

Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000



PUUENERGIA



VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS
ESPOO 2000

VTT SYMPOSIUM 205

Asiasanat: 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

Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000

Puuenergian teknologiaohjelman vuosiseminaari
Jyväskylä, 29.–30.8.2000

Toimittaja

Eija Alakangas
VTT Energia

Seminaarin järjestäjä
VTT Energia



VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS
ESPOO 2000

ISBN 951-38-5703-4 (nid.)
ISSN 0357-9387 (nid.)

ISBN 951-38-5704-2 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)
ISSN 0455-0873 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 2000

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

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

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

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

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

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

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

Kannen kuvat: Kvaerner Pulping, Timberjack Oy ja Vapo Oy.

Otamedia Oy, Espoo 2000

Esipuhe

Kustannustehokkuus, monipuolisuus ja vähäiset ympäristöpäästöt ovat energiamme keskeisiä tavoitteita. Viime aikoina erityisesti ilmastonmuutosten ehkäisy on korostunut. Tuotantorakenteemme erityispiirre on uusiutuvien energialähteiden runsaus, mikä vähentää ilmastopäästöjä ja luo vakavuutta energiahuoltoomme. Puuperäiset polttoaineet kattavat 20 % energian kokonaistuotannosta ja 10 % sähkön tuotannosta eli suuremman osuuden kuin missään muussa teollistuneessa maassa.

Koko EU:n puitteissa vain 6 % energian kokonaistarpeesta saadaan uusiutuvista lähteistä, mutta Valkoisessa kirjassa yhteisö on asettanut tavoitteekseen osuuden nostamisen 12 %:iin vuoteen 2010 mennessä. Pääosan kasvusta on määrä pohjautua bioenergiaan, jonka tärkein lähde olosuhteista riippuen on eri maissa joko peltobiomassa tai metsäbiomassa.

Suomen vastaus Valkoisen kirjan suunnitelmaan on uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma, jonka tavoitteena on lisätä uusiutuvista lähteistä saatavan energian määrää vuodesta 1995 vuoteen 2010 mennessä 3 Mtoe eli 50 % ja edelleen vuoteen 2025 mennessä yhteensä 6 Mtoe eli 100 %. Pääosa lisästarvoitteesta perustuu puubiomassaan, joka saadaan joko metsäteollisuuden prosessitähteestä tai metsiemme hyödyntämättömästä hakkuutähteen ja pienpuun reservistä.

Metsäteollisuuden prosessitähteen tuotanto kasvaa teollisuuden puunkäytön myötä, sillä keskimäärin 40 % teollisuuden puuraaka-aineesta päätyy lähinnä kuoren, purun ja mustalipeän muodossa energiakäyttöön. Toiminta on kannattavaa, joten prosessitähteen hyödyntäminen energialähteenä ei vaadi erityisiä energiapoliittisia tukitoimenpiteitä. Sen sijaan metsien energiareservien käyttöönotto edellyttää yhteiskunnan vastaantuloa investointi- tai muiden tukien, energiaverotuksen, tutkimus- tai kehitystyön keinoin.

Tekes käynnisti vuoden 1999 alussa Puuenergian teknologiaohjelman. Ohjelma on jatkoa aiemmin toteutetulle kuusivuotiselle Tekesin, kauppaja teollisuusministeriön ja maa- ja metsätalousministeriön sekä teollisuuden Bioenergia-

ohjelmalle. Puuenergiaohjelman tavoitteena on kehittää vientikelpoista teknologiaa ja hyödyntää ilmastonmuutoksen kautta avautuvia vientimarkkinoita. Samalla on tarkoitus Suomessa luoda puitteet pienpuusta ja hakkuutähteestä tehdyn metsähakkeen energiakäytön viisinkertaistamiselle viidessä vuodessa niin, että vuonna 2003 tuotettaisiin 2,5 miljoonaa m³ metsähaketta ja sillä noin 5 TWh energiaa. Käyttömäärän tavoite on sopusoinnussa Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman ja Kansallisen metsäohjelman vuodelle 2010 asettamien noin 5 miljoonan m³:n metsähakkeen käyttötavoitteiden kanssa. Energia-alan investointien pitkäjänteisyydestä johtuen Puuenergian teknologiaohjelmassa vuodelle 2003 asetettu tavoite on käytännössä kuitenkin tiukin.

Metsähakkeen käytön lisäys edellyttää tuotantotekniikan kehittämistä, kustannusten alentamista ja laadun parantamista. Käytön lisäys ohjeutunee paljolti suuriin laitoksiin, joille metsähake on useimmiten muun puutähteen, turpeen, yhdyskuntajätteen tai hiilen seospolttoaine. Lähtökohtana on lisäksi, että metsähake tuotetaan ympäristöystävällisin, metsätalouden kestävyuden turvaavin menetelmin. Tiukat vaatimukset kotimaassa antavat hyvät edellytykset myös teknikan menestymiselle vientimarkkinoilla.

Tekes on siis keskittänyt puuenergian kehitystoiminnan Puuenergian teknologiaohjelmaan, jonka kokonaisbudjetin arvio vuosille 1999–2003 on 250 miljoonaa markkaa. Kuluvan vuoden kesäkuun alkuun mennessä oli käynnistynyt 15 tutkimuslaitos-, 15 yritys- ja 6 demonstraatiohanketta. Niiden kokonaislaajuus on 75 milj. mk, josta Tekesin osuus on 32,5 milj. mk, kauppa- ja teollisuusministeriön 3,4 milj. mk, yritysten 34,4 milj. mk ja tutkimuslaitosten 4,7 milj. mk. Koska metsähakkeen tuotannon tekniseen kehittelyyn liittyy kalliita laiteinvestointeja, rahoituksen painopiste on yrityshankkeissa, mutta niihin on tyypillisesti integroitu myös vahva tutkimuspanos. Ohjelman eräänä tavoitteena onkin alan tutkimuskapasiteetin kasvattaminen ja tutkimusverkoston rakentaminen toisaalta tutkimuslaitosten kesken ja toisaalta tutkimuslaitosten ja yritysten välille. Tärkeätä on myös yhteyksien ja yhteistyön luominen alan tutkimukseen ulkomaille.

Ohjelman aikana on alkanut kuulua entistä enemmän positiivisia viestejä metsätähteen energiakäytön lisääntymisestä suurissa käyttökohteissa. Vaikka metsätähteen käyttö on lisääntymässä voimakkaasti, on siihen kohdistuviin korjuuteknisiin ratkaisuihin vielä panostettava. Ilmaston muutoksen ehkäisyyn kohdistettujen toimenpiteiden myötä syntyy tilanne, jossa hiilidioksidipäästöille tulee

hinta. Hinnan muodostuttua myös nyt vähemmän kiinnostavat puubiomassaerät saattavat tulla mielenkiintoisiksi. Tämän takia on kehityspanoksia suunnattava myös näiden, nyt vähemmän kiinnostavien erien korjuu- ja käyttötekniikan kehittämiseen.

Heinäkuussa 2000

Martti Äijälä
Teknologian kehittämiskeskus

Sisällys

Esipuhe	3
Puuenergian teknologiaohjelman katsaus 1999–2000 <i>Pentti Hakkila & Eija Alakangas, VTT Energia</i>	11
JOHTORYHMÄN RAHOITTAMAT SELVITYKSET	
Hakkuutähdehakkeen korjuun ohjeistaminen – PUUJO1 <i>Tage Fredriksson, Puuenergia ry</i>	31
TUOTANNON SUUNNITTELU	
Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suurimittakaavaisen hankinnan logistiikka – PUUT01 <i>Antti Asikainen & Juha Laitila, Joensuun yliopisto, Tapio Ranta, VTT Energia</i>	37
Energiapuun hankinnan organisointi muun puunhankinnan yhteydessä – PUUT02 <i>Pekka Mäkinen, Metsäntutkimuslaitos</i>	55
Hakkuutähteen tilavuuden estimointi harvesterin tietojärjestelmässä – PUUT03 <i>Pertti Harstela & Nuutti Kiljunen, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta</i>	63
Ensiharvennusleimikot metsähakkeen korjuukohteina – PUUT04 <i>Matti Sirén, Vesa Tantt, Jouni Siipilehto, Hannu Aaltio & Erno Mäntynen, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus</i>	69
TUOTANTO	
Menetelmä nuorten metsien harvennukseen – PUUY01 <i>Jarmo Hämäläinen & Kaarlo Rieppo, Metsäteho Oy</i>	89
Seospolttoaineiden tuotanto terminaalilla -hankekokonaisuus – PUUT05 <i>Arvo Leinonen, VTT Energia</i>	95

Terminaalihakkeen tuotantotekniikka – PUUY06 <i>Jaakko Silpola, Vapo Oy</i>	113
Kaksivaiheisen murskaimen kehittäminen puun energiajakeen tuottamiseksi – PUUT12 <i>Arvo Leinonen & Jouko Aalto, VTT Energia</i>	119
Teollisten metsähaketusten erikoishakkuri – PUUY03 <i>Tommi Lahti, LHM-Hakkuri Oy</i>	127
Traktorikäyttöinen rumpuhakkuri TT-97RMT – PUUY05 <i>Ari Melkko, Heinolan Sahakoneet Oy</i>	133
Käyttöpaikalla haketukseen perustuva puupolttoaineen tuotanto – PUUY02 <i>Antti Korpilahti, Metsäteho Oy</i>	137
Hakkuutähdepolttoaineen tuotantomahdollisuudet – PUUY04 <i>Seppo Paananen, UPM-Kymmene Oyj Metsä Samuli Rinne, YTY-Konsultointi</i>	145
Hakkeen hankinnan työvaiheiden kehittäminen, lähikuljetus ja hakkeen varastointi – PUUT13 <i>Panu Pankakari, Savonlinnan Ammatillinen Aikuiskoulutuskeskus (SAKKE)</i>	149
Puupolttoaineklinikka – PUUY07 <i>Dan Asplund & Pirjo Nikku, Jyväskylän Teknologikeskus Oy</i>	155
LAATU JA KÄYTTÖ	
Ensiharvennuspuun hyödyntäminen – PUUT06 <i>Raimo Alén, Marian Marttina, Teppo Parikka, Riikka Rautiainen & Jaakko Toivanen, Jyväskylän yliopisto, soveltavan kemian osasto</i>	167
Erilaisten korjuuketjujen tuottaman metsähakkeen käyttö suurten voimaloiden leijukerroskattiloissa – PUUT08 <i>Markku Orjala & Riikka Ingalsuo, VTT Energia</i>	185

Puupolttoaineiden laadunhallinta – PUUT09 <i>Kari Hillebrand, VTT Energia</i> <i>Juha Nurmi, Metsäntutkimuslaitos</i>	205
Kuoren käsittely polttoaineeksi – PUUT07 <i>Risto Impola, VTT Energia</i>	217
Mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden polttoteknisten ominaisuuksien parantaminen – PUUT15 <i>Raija Kuoppamäki, VTT Energia</i>	233
Kiinteän polttoaineen varastoinnin sekä tasaus-, laadunvarmistus- ja syöttöjärjestelmän kehittäminen – PUUY08 <i>Antti Nurmi, BMH Wood Technology Oy</i>	239
Seospolttoaineiden toimitus, käsittely, sekoittaminen ja syöttö MF2 – PUUY10 <i>Timo Järvinen, VTT Energia</i>	245
Ilmanpaineisen CFB-kaasutustekniikan kehittäminen – PUUY09 <i>Matti Hiltunen, Foster Wheeler Energia Oy</i>	259
SEURANNAISVAIKUTUKSET	
Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsän uudistamiseen – PUUT10 <i>Timo Saksa, Metsäntutkimuslaitos, Suomenjoen tutkimusasema</i>	267
Puuenergiaketjujen ympäristönäkökohtien hankekokonaisuus – PUUT11 <i>Helena Mälkki, Tiina Harju & Tarja Turkulainen, VTT Kemianteeniikka</i> <i>Margareta Wihersaari & Taru Palosuo, VTT Energia</i>	281
Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä – PUUT14 <i>Juha Nurmi, Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema</i>	293

Puuenergian teknologiaohjelman katsaus 1999–2000

Pentti Hakkila

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

Eija Alakangas

VTT Energia, PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014-672 550, faksi 014-672 598
e.mail: eija.alakangas@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Wood Energy Technology Programme

The Tekes Wood Energy Technology Programme focuses on developing the production technology and improving the quality of forest chips from logging residues and small-sized trees. In 1999 the use of forest chips amounted in Finland to 0.56 million m³ solid. The target of the Programme is to raise the use to 2.5 million m³ solid in 2003. This is to be achieved mainly with chips from logging residues from regeneration areas because of their lower cost of production. The programme also aims to develop quality control and storage of solid wood fuels from industrial process residues.

In June 2000, the Programme consisted of 15 research institute projects, 15 industrial projects and 6 demonstration projects. The total cost of these 36 ongoing projects is estimated to be 75 million FIM. Information about the programme, approved research projects, research results and progress is published in magazines and journals, at seminars and in the yearbook of the programme.

The Programme also participates in international co-operation such as EU's ALTENER programme for promoting renewable energy sources, IEA Bioenergy

Agreement (Task 18 – Conventional Forestry Systems for Bioenergy) and EU's OPET network (Organisations Promoting Energy Technology).

1. Ohjelman tausta

Fossiilipolttoaineitten käytön aiheuttama ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvu ja sen seurauksena tapahtuva ilmaston lämpeneminen nähdään koko maapallon vakavimpana ympäristöuhkana. Kansainväliset sopimukset asettavat teollisuusmaille rajoituksia hiilidioksidin ja muitten kasvihuonekaasujen päästöille, ja Suomi on sitoutunut palauttamaan päästöt vuoteen 2010 mennessä vuoden 1990 tasolle.

Suomen oloissa tärkein uusiutuvan energian lähde on puubiomassa. Markkinakelvottoman metsäbiomassan talteenotto energiakäyttöön elvyttää maaseudun elinvoimaisuutta, sillä se luo uusia työpaikkoja ja edistää metsien hoitoa. Puun energiakäytön edistämistavoite on saanut taakseen yhteiskunnan laajan tuen, sillä edellytyksellä, että energiakäyttö kohdistuu sellaiseen puubiomasaan, joka ei sovellu teollisuuden raaka-ainekäyttöön.

Vaikka puuperäisellä energialla tyydytetään jo runsaat 20 % maamme primaarienergian kokonaiskulutuksesta, valtiolta on asettanut sille uusia kasvutavoitteita. Valtioneuvoston vuonna 1999 hyväksymän kansallisen metsäohjelman tavoitteena on lisätä puun energiakäyttöä vuoteen 2010 mennessä vuositasolla 5 miljoonalla m³:lla, joka lähes kokonaisuudessaan koostuisi pienpuusta ja hakkuutähteestä tehdystä metsähakkeesta. Kauppa- ja teollisuusministeriön uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmaan sisältyy niinkään tavoite, jonka mukaan metsäpolttoaineitten energiakäyttöä lisätään vuoteen 2010 mennessä noin 5 miljoonalla m³:llä (0,9 Mtoe/a).

2. Ohjelman tavoite

Tekesin Puuenergian teknologiaohjelma on eräs niistä keinoista, joilla valtiolta edistää uusiutuvien energialähteitten käyttöä. Viisivuotinen tutkimus- ja kehitysohjelma kohdistuu ensisijaisesti metsähakkeen tuotantoon. Tavoitteena on tuotannon ja käytön kasvattaminen vuoden 1998 oletetulta 0,5 miljoonan

m³:n tasolta vuoteen 2003 mennessä 2,5 miljoonan m³:n tasolle eli viisinkertais-
taminen viidessä vuodessa. Tavoite on sopusoinnussa valtioneuvoston ja kaup-
pa- ja teollisuusministeriön tavoitteitten kanssa mutta jonkin verran niitä tiu-
kempi.

Useat selvitykset osoittavat, että metsiemme energiapuupotentiaali mahdollistaa
tavoitteeksi asetetut käyttömäärät. Myös valmiina, rakenteilla ja suunnitteilla
oleva käyttöpotentiaali on tavoitteisiin nähden riittävä. Vaikka käyttäjien asen-
teet ovat kehittyneet metsähakkeelle myönteiseen suuntaan, käytön kasvun tiellä
on kuitenkin edelleen esteitä. Käyttäjille osoitetun kyselyn mukaan niistä tär-
keimmät ovat:

1. Korkea kustannustaso
2. Toimitusorganisaation puuttuminen ja/tai toimitusten epävarmuus
3. Vastaanotto- ja käsittelyongelmat
4. Riittämätön kattilateho
5. Epätydyttävä laatu

Edellä mainituista syistä ohjelma on tähdätty metsähakkeen tuotantokustannus-
ten alentamiseen, laadun parantamiseen sekä tuotanto- ja vastaanottojärjestel-
mien ja tuotantologistiikan kehittämiseen. Vaatimuksena on, että metsähake
tuotetaan ympäristöystävällisin menetelmin ja metsätalouden kestävyys turvaten.
Laadun parantamisen tarve ei rajoitu pelkästään metsähakkeeseen, vaan sen
osalta kehityskohteena on myös metsäteollisuuden kiinteä puu- ja kuoritähde.

Kustannusten alentamisen, laadun parantamisen ja järjestelmäosaamisen tavoit-
teet toisaalta sekä metsähakkeen tuotannon moninkertaistamisen tavoite toisaalta
ratkaisevat ohjelman painalojen valinnan. Niitä ovat:

- Energiapuun tuotannon integroiminen teollisuuspuun tuotantoon metsä-
taloudessa.

- Metsähakkeen tuotannon suunnittelun, logistiikan ja varastoinnin kehittäminen.
- Metsähakkeen ja hakettamattoman metsäbiomassan kaukokuljetuksen kehittäminen.
- Metsäkone- ja kuljetusyrittäjien valmiuden luominen laajamittaiseen energiapuun tuotantoon.
- Metsähakkeen laadunhallinnan tehostaminen polttoaineen lämpöarvon, käsiteltävyyden ja laitoksen toimintavarmuuden parantamiseksi sekä seospolton kehittämiseksi.
- Teollisuuden kuori-, puru- ja muun kiinteän puutähteen käsittely- ja käyttöominaisuuksien parantaminen.

3. Organisaatio

Ohjelma koostuu tutkimuslaitos-, yritys- ja demonstraatiohankkeista. Ohjelman koordinoinnista vastaa Finntech Oy yhteistyössä VTT Energian kanssa. Hallinnollisena ohjelmapäällikkönä toimii tutkimuspäällikkö Satu Helynen. Hänen työskennellessä vierailevana tutkijana Yhdysvalloissa ohjelmapäällikön tehtävää hoiti ryhmäpäällikkö Ismo Nousiainen ajalla 1.7.1999–30.6.2000. Ohjelman tieteellisenä ohjelmapäällikkönä toimii professori Pentti Hakkila ja tiedottajana tuotepäällikkö Eija Alakangas.

Ohjelmalla on johtoryhmä, jonka tehtävänä on tukea, ohjata ja suunnata hankkeissa tapahtuvaa tutkimus- ja kehitystyötä sekä edistää tiedon kulkua ohjelman ja käytännön toimijain välillä. Johtoryhmässä ovat edustettuina Tekes, KTM, MMM, yksityismetsätalous, metsäkoneyrittäjät sekä yhteensä 7 metsäteollisuutta, energian tuotantoa ja laitevalmistusta edustavaa yritystä. Johtoryhmän puheenjohtajana on toimitusjohtaja Pekka Laurila Biowatti Oy:stä ja varapuheenjohtajana suunnittelupäällikkö Seppo Paananen UPM-Kymmene Oyj:stä.

4. Hankkeet

Ohjelman tavoitteenasettelussa painotetaan järjestelmäosaamista. Hankkeet pyritään kohdistamaan kokonaisuin tuotantojärjestelmiin pikemminkin kuin detalji-ongelmiin. Tästä seuraa, että esimerkiksi Bioenergian tutkimusohjelmaan verrattuna hankkeet ovat keskimäärin laajempia mutta niiden lukumäärä on pienempi.

Kesäkuun 2000 alkuun mennessä oli käynnistynyt kaikkiaan 36 hanketta; 15 tutkimuslaitos-, 15 yritys- ja 6 demonstraatiohanketta. Käynnistyneitten hankkeitten kokonaislaajuus on 75 milj. mk, josta Tekesin osuus on 32,5 milj. mk, kauppa- ja teollisuusministeriön 3,4 milj. mk, yritysten 34,4 milj. mk ja tutkimuslaitosten 4,7 milj. mk. Rahoituksen painopiste on yrityshankkeissa, sillä metsähakkeen tuotannon tekniseen kehittelyyn ja demonstrointiin liittyy usein kalliita laiteinvestointeja.

Metsähakkeen tuotannon suunnittelu ja logistiikka ovat keskeisessä asemassa, kun kehitetään järjestelmäosaamista ja kasvatetaan tuotantomääriä. Tutkimuksen kohteina ovat muun muassa korjuuteknisten leimikkotietojen tarkentaminen tuotannon suunnittelua sekä leimikoitten valintaa ja keskittämistä silmällä pitäen, hakkuutähteen määrän estimointi hakkuun yhteydessä, hakkuutähdehakkeen tuotannon kustannustekijäin yksityiskohtainen analyysi leimikko- ja menetelmävalinnan ja tuotannon kehittämisen tarpeisiin, hakkeen hankinnan organisointi sekä koneyrittäjien toimintakenttä ja verkostuminen. Tässä aieryhmässä on käynnissä 4 tutkimuslaitoshanketta.

Metsähakkeen tuotannon aieryhmässä on 8 yrityshanketta, joissa pääpaino on haketus- ja murskaustekniikan, hakettamattoman hakkuutähteen kaukokuljetuksen ja hakkuutähdehakkeen koko korjuuketjun kehittämisessä. Yrityshankkeista 2 Metsätehon johtamaa on luonteeltaan pikemminkin tutkimuslaitoshankkeita, mutta Metsätehon omistustaustan vuoksi ne luetaan yrityshankkeisiin. Niistä toisen aiheena on kuitu- ja energiapuun integroitu korjuu nuorista metsistä. Varsinaisia tutkimuslaitoshankkeita on tässä ryhmässä vain 2. Ne kohdistuvat terminaaleilla tapahtuvaan haketukseen ja seospolttoaineitten tuotantoon. Hankkeitten lisäksi ohjelma tukee myös Polttoaineklinikan toimintaa.

Metsähakkeen laadun ja käytön aiheryhmässä on 4 tutkimuslaitos- ja 3 yritys-hanketta. Aiheina ovat hakkeen laadun (erityisesti kosteuden) hallinta, varas-tointitekniikka, seospolttoaineitten käsittely, syöttöjärjestelmät, erilaisten hakkeitten käyttäytyminen leijukerroskattiloissa sekä kaasutustekniikoissa. Metsähakkeen lisäksi tutkimuksen kohteena on myös purun ja kuoren polttoaineominaisuuksien parantaminen.

Metsähakkeen tuotannon ja käytön seurannaisvaikutusten tutkiminen on käymässä sitä tärkeämmäksi, mitä suuremmaksi tuotanto kasvaa. Kun metsähakkeen käytön ensisijaisena kimmokkeena on ympäristön suojelu, on itsestään selvää, ettei toiminta saa aiheuttaa ympäristöhaittoja toisaalla. Selvityksen kohteina ovat puuenergiaketjujen ympäristönäkökohdat sekä hakkuutähteen talteenoton vaikutus metsän uudistamiseen. Aiheryhmässä on 3 tutkimuslaitoshanketta.

Varsinaisten hankkeitten ohella johtoryhmä on pannut alulle kaksi tärkeäksi katsomaansa selvitystä. VTT Energian ja Metsäntutkimuslaitoksen yhteistyönä toteutetaan vuoden 1999 tilannetta kartoittava metsähakkeen käyttöselvitys, joka palvelee myös hankkeen edistymisen seurantaa sekä ohjelmasuunnittelua. Toinen selvitys tähtää hakkuutähdehakkeen tuotannon ohjeistamiseen, jolla pyritään varmistamaan tuotannon ympäristöystävällisyys sekä teknisesti tarkoituksenmukainen toiminta. Se toteutetaan Puuenergia ry:n, Finbion, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion sekä puunkorjuun asiantuntijain yhteistyönä. Suunnitteilla on lisäksi selvitys metsähakkeen tuotannon tutkimustoiminnasta EU-maissa KTM:n myöntämän määrärahan turvin.

5. Viestintä

Johtoryhmän hyväksymässä viestintästrategiassa määritetään viestinnän tavoitteet, toimenpiteet ja toteuttajat. Lähtökohtana ovat toisaalta Tekesin yleinen viestintästrategia ja toisaalta Puuenergian teknologiaohjelman tavoitteet, joista viestintästrategiaan vaikuttavat seuraavat ohjelmasuunnitelmaan kirjatut asiat:

Valtion energia- ja ympäristöpoliittisten tavoitteiden tukeminen

- tehdä tunnetuksi puuenergian rooli Suomen energiastrategiassa ja erityisesti teknologian mahdollisuudet puuenergian kilpailukyvyn parantamiseksi
- tehdä tunnetuksi puuenergian mahdollisuudet kansainvälisten ilmastositomusten täyttämässä ja puuenergian tuotanto osana kestävä metsätaloutta

Puupolttoaineiden tuotantokustannusten alentaminen ja laadun parantaminen

- kohdistaa viestintää puupolttoaineiden tuotantokustannuksiin ja laatuun liittyviin tutkimustuloksiin
- tehdä ohjelman rahoitusmahdollisuudet tunnetuiksi

Puupolttoaineen tuotantoketjujen kehittäminen

- tehdä tunnetuksi vaihtoehtoiset puuenergian tuotantoketjut ja niiden kehitystilanne
- painottaa viestinnässä puupolttoaineiden tuotantoketjujen kokonaisuutta

Yritysvetoisuuden vahvistaminen

- edistää ohjelman alueella toimivien yritysten ja tutkimuslaitosten verkostoitumista
- toteuttaa viestintää yhdessä yritysten projektihenkilöiden ja johtoryhmän kanssa yritysten toiveet huomioiden

Suomen tunnetuksi tekeminen teknologisenä osaajana ja kiinnostavana liiketoiminnan kohteena

- tehdä Puuenergian teknologiaohjelma ja alan suomalainen osaaminen tunnetuiksi maailmalla ja erityisesti Euroopassa, USA:ssa ja Japanissa
- tehdä tunnetuksi kansainvälinen tutkijavaihtomahdollisuus

Tuloksista tiedottamisen pääroolissa ovat hankkeiden tutkijat sekä yrityksen edustajat hankkeen luonteesta ja luottamuksellisuudesta riippuen. Ohjelmapäälliköt laativat yhteenvetoja, katsauksia, lehtiartikkeleita sekä esitelmiä ohjelmasta. Ohjelman tiedottajat avustavat ja opastavat aineiston tuottamisessa.

Tutkimusten keskeiset tulokset julkaistaan vuosittain VTT Symposium-sarjassa ohjelman vuosikirjana, jossa raportoidaan kaikkien projektien, myös yritys- ja demonstraatiohankkeiden tuloksista. Lisäksi tuloksista raportoidaan alan lehdissä ja seminaareissa sekä Internetin ja kansainvälisen yhteistyön kautta.

6. Kansainvälinen yhteistyö

Kansainvälisessä yhteistyössä hyödynnetään

- IEA Bioenergy sopimusta tutkijoiden välisessä tieteellisessä tiedonvälityksessä.
- Tekesin teollisuussihteeriverkosta ja Tekesin koordinoimaa ja osaksi EU:n viidennen puiteohjelman rahoittamaa OPET-verkosta (Organisation for Promoting Energy Technology) kansainvälisessä teknologiatiedon välityksessä yhdessä suomalaisten yritysten kanssa.
- VTT Energian koordinoimaa ALTENER-bioenergiaverkosta (AFB-net) erityisesti kaupallisen teknologiatiedon välityksessä sekä Suomen energiastrategian tavoitteiden ja erityisesti bioenergian käytön tunnetuksi tekemiseksi EU-maissa.

Ohjelmasta on laadittu yleisesite suomen- ja englanninkielisenä, www-sivut osana Tekesin suomen- ja englanninkielisiä sivuja (www.tekes.fi/ohjelmat/ puuenergia, www.tekes.fi/programme/woodenergy). Ohjelmaa on esitelty AFB-netin newsletterissä sekä Wood Energy Newsletterissä (myös saksan- ja ranskan-kielinen). Ohjelman posterit on ollut esillä USA:ssa Charlestonissa pidetyssä IEA:n seminaarissa ja Sevillan Biomass Conferencessa. Ohjelmaa on esitelty AFB-net- ja OPET-verkoston retkeilyjen yhteydessä energia- ja metsäasiantuntijoille.

OPET-verkoston puitteissa on laadittu ohjelmalle saksankielinen tiedote sekä yhteistyössä vuosiseminaarin kansainvälinen päivä 30.8.2000 ja METKO-näyttelyyn osallistuminen. Ohjelma on mukana myös IEA yhteistyön puitteissa laadittavassa kansainvälisessä oppikirjassa metsähakkeen tuotannosta kestävästä metsätalouden yhteydessä.

7. Metsähakkeen käyttötilanne

Ohjelman tehtävänä on luoda edellytyksiä metsähakkeen lisäkäytölle siten, että käyttö nousisi vuonna 2003 yhteensä 2,5 miljoonaan m³:iin. Ohjelman johtoryhmä seuraa käyttö määrän ja siihen keskeisesti vaikuttavan kustannustason kehitystä kyselytutkimuksella, jolla kartoitettiin vuoden 1999 tilanne. Tuloksia verrataan seuraavassa Metsäntutkimuslaitoksen vuosia 1982 ja 1995 koskeviin aikaisempiin selvityksiin. Luvuista puuttuu mautilojen ja pientalojen sekä lämpöyrittäjien käyttämä metsähake.

Vuosi	Polttoaineeksi	Raaka-aineeksi Metsähaketta, m ³	Kokonaiskäyttö
1982	519 000	127 000	646 000
1995	258 000	-	258 000
1999	557 000	-	557 000

Tuotanto oli suurimmillaan 1980-luvun alkupuoliskolla, jolloin metsähaketta käytettiin paitsi polttoaineena myös sulfaattisellun sekä lastu- ja kuitulevyjen raaka-aineena. Sen jälkeen käyttö romahti toisaalta öljyn hinnan alenemisen sekä toisaalta metsäteollisuuden raaka-ainevaatimusten kiristymisen seurauksena. Käyttö kääntyi uudelleen nousuun 1990-luvun alkuvuosina, mutta vielä vuosikymmenen puolivälissä polttokäyttö oli vain puolet vuoden 1982 huipputasosta. Vasta vuonna 1999 saavutettiin polttohakkeen käytössä uusi ennätys, 557 000 m³. Jos mukaan luetaan myös kaupallisen toiminnan ulkopuolelle jäävä maati-

lojen ja pientalojen sekä lämpöyrittäjien käyttämä hake, kokonaismäärä nousee 700 000 m³:iin.

Metsähakkeen käytön kokonaismäärä on hieman odotettua pienempi. Kasvua ovat hidastaneet metsäteollisuuden puutähteitten tuotannon kasvu sekä metsähakkeen käyttöön tähtääviin laitosinvestointeihin liittyvä aikaviive. Näyttää myös siltä, että ohjelman käynnistyessä vuoden 1998 kaupalliseksi tuotannoksi oletettu 500 000 m³ oli hienoinen yliarvio.

Ohjelman painottamisen kannalta on tärkeätä tuntea hakkeen lähteet. Tässä suhteessa vuodesta 1995 vuoteen 1999 on tapahtunut merkittävä muutos, kun pienpuuhakkeen käyttömäärä on pysynyt lähes ennallaan mutta hakkuutähdehakkeen käyttömäärä on kuusinkertaistunut. Pienpuuhakkeen sisällä on tapahtunut siirtymää rankahakkeesta kokopuuhaakeeseen. Myös muista lähteistä, lähinnä lahovikaisesta kuusipuusta ja Venäjältä peräisin olevasta polttopuusta tehdyn hakkeen käyttö on kasvanut.

Metsähakkeen lähde	Käyttö 1995		Käyttö 1999	
	m ³	%	m ³	%
Pienpuu				
Karsittu ranka	65 000	25	39 000	7
Karsimaton kokopuu	139 000	54	176 000	32
Yhteensä	204 000	79	215 000	39
Hakkuutähde	49 000	19	291 000	52
Muu polttopuu	5 000	2	51 000	9
Yhteensä	258 000	100	557 000	100

Pienissä lämpölaitoksissa pienpuu on kuitenkin edelleen pääasiallinen metsähakkeen lähde. Alle 1 MW:n laitoksissa sen osuus on 93 % ja 1—10 MW:n laitoksissa 86 % metsähakkeen käytöstä. Sen sijaan metsäteollisuuden polttama metsähake on miltei kokonaisuudessaan peräisin hakkuutähteestä. Kun ohjelman hankkeisiin myönnetty yritysrahoitus saadaan pääosiltaan metsäteollisuudesta ja

muista suurista yrityksistä, hankkeet ovat suuntautuneet voittopuolisesti hakkuutähteen tuotantoon ja käyttöön liittyvien ongelmien tutkimiseen. Pienpuuhakkeeseen kohdistuva tutkimustoiminta on jäänyt jossain määrin taka-alalle.

Koska ohjelma tähtää metsähakkeen tuotantokustannusten alentamiseen, seurataan myös puupolttoaineitten hintakehitystä. Käyttökysely, joka hintojen osalta ei sisällä metsäteollisuuden omaa polttoainekäyttöä, osoittaa halvimpien puupolttoaineitten eli purun ja kuoren hinnan nousseen ja kalleimman rankahakkeen taas laskeneen 1990-luvun jälkipuoliskolla. Kokopuu- ja hakkuutähdehakkeen osalta muutokset ovat olleet vähäisiä. Metsähakkeen keskihinta on alentunut kuitenkin merkittävästi sen ansiosta, että hakkuutähdehakkeen osuus on kasvanut voimakkaasti. Vuonna 1999 keskimääräinen hinta oli 53 mk/MWh.

Polttoaine	1995	1999
	Hinta käyttöpaikalla, mk/MWh	
Prosessitähde:		
Puru	32	38
Kuori	33	36
Teoll.hake	44	43
Metsähake:		
Rankahake	89	82
Kokopuuhake	62	61
Hakkuutähdehake	46	44
Kaikki metsähake	66	53

8. Kehitysnäkymät

Metsähakkeen käytön kehitysnäkymät ovat ainakin hakkuutähdehakkeen osalta rohkaisevat. Valtiovallan harjoittama energiapolitiikka on kohentanut metsähakkeen kilpailukykyä, ja erityisesti metsäteollisuus on ryhtynyt konkreettisiin toimenpiteisiin metsäpolttoaineitten tuotantojärjestelmien rakentamiseksi ja käyttökapasiteetin kasvattamiseksi. Hankintaorganisaatiot ovat kehittyneet, ja uusia suuriakin käyttökohteita on avautumassa. Metsäkone- ja kuljetusyrittäjät, jotka käytännössä tulevat haketoimituksista huolehtimaan, ovat kiinnostuneet kasvavista liiketoimintamahdollisuuksista, joskin alan kannattavuus on edelleen heikko. Myönteiset kehitysnäkymät ovat lisänneet myös koneenrakentajien mahdollisuuksia ja kiinnostusta.

Yritysmaailmassa on aitoa valmiutta yhteistyöhön tutkimuslaitosten kanssa, ja tutkimuslaitosten osaaminen on kasvanut. Tämä luo hyvät mahdollisuudet ohjelman toteuttamiselle suunnitellulla tavalla.

9. Koordinaation julkaisutoiminta

Puuenergian teknologiaohjelman seminaari, 12. lokakuuta 1999, Jyväskylä.

Puuenergian teknologiaohjelman tutkija-seminaari, 5.–6. huhtikuuta 2000, Jyväskylä.

Alakangas, E. Terminologiaa puupolttoaineista. *Puuenergia-lehti* 2/00: 27–28.

Hakkila, P. Hakkuutähteen polttoainekäyttö myötätuulella. *Metsä ja Kuljetus Forum*, maaliskuu 1999: 8.

Hakkila, P. Metsähake ja ympäristö. *Puuenergia* 3/99: 17–20.

Hakkila, P. Metsähakkeen tuotanto kone- ja kuljetusyrittäjän näkökulmasta. *Koneyrittäjä* 5/99: 16–18.

Hakkila, P. Polttopuu Suomessa. *Finbion raporttisarja* 4: 109–116.

Hakkila, P. Puu uusiutuvan energian lähteenä. Työtehoseuran metsätiedote 15/99. 4 s.

Hakkila, P. Puuenergian käyttö lisääntyy. Teho 4/99: 29–31.

Hakkila, P. Puuenergian teknologiaohjelma. Puuenergian teknologiaohjelman seminaari. Tekes. 8 s.

Hakkila, P. Puuenergian teknologiaohjelma. Finbion raporttisarja 4: 31–33

Hakkila, P. Reduction of nutrient loss in conjunction with intensive biomass harvesting. IEA Task 18 Workshop. Charleston, South Carolina. 20–22 September, 1999. 14 s.

Hakkila, P. Sata vuotta puunkorjuuta. Tuohitorvi 5/99: 22–23. StoraEnso.

Hakkila, P. Puu palaa jälleen. Metsäviikko 2000. 30.–31.3.2000, Lahti.

Hakkila, P. Metsähakkeen energiatiheys, Puuenergia-lehti 1/00:24–25.

Hakkila, P. & Helynen, S. Puuenergian teknologiaohjelma. Puuenergia 1/99.

Helynen, S., Hakkila, P. & Nousiainen, I. Wood Energy 1999–2003 - A new national technology programme in Finland. IEA Task 18 Workshop. Charleston, South Carolina. 20–22 September, 1999. 7 s.

Helynen, S., Hakkila, P. & Nousiainen, I. Wood energy 1999–2003 – A new national energy technology programme in Finland. Sevilla. 4 s.

Pellinen, J. Metsähakkeesta enemmän energiaa. Tekniikan Näköalat 4/99: 22. Teknologian kehittämiskeskus.

Rötkönen, P. Metsähakkeen käyttö viisinkertaiseksi. Tekniikan Näköalat 2/99: 38. Teknologian kehittämiskeskus.

Ohjelman johtoryhmän kokoonpano 2000

Biowatti Oy, puh.joht.

Pekka Laurila

Revontulentie 8A

02100 Espoo

Puh. 01046 58210, faksi: 01046 94298

E-mail: pekka.laurila@ metsaliitto.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

KTM Energiaosasto

Mika Anttonen

PL 37, 00131 Helsinki

Puh. 09 160 4815, faksi: 09 1602695

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

Fortum Power and Heat Oy

Dan Blomster

PL 10, 00048 FORTUM

Puh. 010 453 3962, faksi: 010 453 3986

E-mail: dan.blomster@ivo.fi

VTT Energia

Pentti Hakkila

PL 1604, 02044 VTT

Puh. 0400 208 789, 09 456 5094

faksi: 09 456 5000

E-mail: pentti.hakkila@vtt.fi

VTT Energia

Satu Helynen

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 661, faksi: 014 672 597

E-mail: satu.helynen@vtt.fi

Maa- ja metsätalousministeriö

Matti Heikurainen

PL 232, 00171 Helsinki

Puh. 09 160 3359, faksi: 09 160 2400

E-mail: matti.heikurainen@mmm.fi

Stora Enso Oy

Arto Huurinainen

Metsäosasto,55800 Imatra

Puh. 02046 23005, faksi: 02046 23000

E-mail: arto.huurinainen@

storaenso.com

BMH Wood Technology

Antti Nurmi

PL 32, 26101 Rauma

Puh. 02 831 5236, faksi: 02 822 1327

E-mail: antti.nurmi@bmh.fi

Kvaerner Pulping Oy

Matti Rautanen

PL 109, 33101 Tampere

Puh. 03 241 3111, faksi: 03 241 3448

E-mail: matti.rautanen@kvaerner.com

Plustech Oy

Arto Timperi

PL 306, 33101 Tampere

Puh. 0204 80 4683, faksi: 0204 80 4690

E-mail: arto.timperi@

fi.timberjack.com

Vapo Oy

Tero Vesisenaho

PL 22, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 623 5617, faksi: 014 623 5707

E-mail: tero.vesisenaho@vapo.fi

Koneyrittäjien liitto ry

Simo Jaakkola

Sitratie 7, 00420 Helsinki

Puh. 09 566 00114, faksi: 09 563 0329

E-mail:simo.jaakkola@koneyrittajat.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

Hankeluettelo kesäkuussa 2000

TUOTANNON SUUNNITTELU

PUUT01 Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suurimittakaavaisen hankinnan logistiikka
Antti Asikainen
 Joensuun yliopisto
 PL 111, 80101 Joensuu
 Puh. 013 251 4429, Faksi: 013 251 3590
 E-mail: antti.asikainen@joensuu.fi

PUUT02 Energiapuun hankinnan organisointi muun puunhankinnan yhteydessä
Pekka Mäkinen
 Metsäntutkimuslaitos
 PL 18, 01301 Vantaa
 Puh. 09 857 05345, Faksi: 09 857 05361
 E-mail: pekka.makinen@metla.fi

PUUT03 Energiapuun tilavuuden estimointi harvesterin tietojärjestelmässä
Pertti Harstela
 Joensuun yliopisto
 PL 111, 80101 Joensuu
 Puh. 013 251 3625, Faksi: 031 251 3590
 E-mail: pertti.harstela@joensuu.fi

PUUT04 Ensiharvennusten korjuuolot
Matti Sirén
 Metsäntutkimuslaitos
 PL 18, 01301 Vantaa
 Puh. 09 857 05339, Faksi: 09 857 05361
 E-mail: matti.siren@metla.fi

TUOTANTO

PUUT05 Seospolttoaineiden tuotanto terminaalilla - hankekokonaisuus
Arvo Leinonen
 VTT Energia
 PL 1603, 40101 Jyväskylä
 Puh. 014 672 677, Faksi: 014 672 597
 E-mail: arvo.leinonen@vtt.fi

PUUT12 Kaksivaiheisen murskaimen kehittäminen puun energijakeen tuottamiseksi
Arvo Leinonen
 VTT Energia
 PL 1603, 40101 Jyväskylä
 Puh. 014 672 677, Faksi: 014 672 597
 E-mail: arvo.leinonen@vtt.fi

PUUY01 Menetelmä nuorten metsien harvennukseen
Jarmo Hämäläinen
 Metsäteho Oy
 PL 194, 00131 Helsinki
 Puh. 09 132 5224, Faksi: 09 659 202
 E-mail: jarmo.hamalainen@metsateho.fi

PUUY02 Käyttöpaikkahaketukseen perustuva menetelmä
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 erikoishakkuri
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 Hakkuutähdepolttoaineen tuotantomahdollisuudet
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

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

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 Teknologikeskus Oy

PL 27, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 4451 112, Faksi: 014 4451 199

E-mail: dan.asplund@jso.fi

PUUT13 Hakkeen hankinnan työvaiheiden kehittäminen, lähikuljetus ja hakkeen varastointi

Teuvo Rasimus

Savonlinnan ammatillinen aikuiskoulutuskeskus

Telakkatie 9, 57230 Savonlinna

Puh. 015 575 8236, Faksi: 015 575 8290

E-mail:

teuvo.rasimus@akk.savonlinna.fi

LAATU JA KÄYTTÖ

PUUT06 Ensiharvennuspuun hyödyntäminen

Raimo Alén

Jyväskylän yliopisto

PL 35, 40351 Jyväskylä

Puh. 014 260 2562, Faksi: 014 602 501

E-mail: raimo.alen@ju.fi

PUUT07 Kuorintajätteen käsittely

Risto Impola

VTT Energia

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh: 014 672 542, Faksi: 014 672 597

E-mail: risto.impola@vtt.fi

PUUT08 Erilaisten korjuuketjujen tuotaman metsähakkeen käyttö suurten voimaloiden leijukerroskattiloissa

Markku Orjala

VTT Energia,

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 534, Faksi: 014 672 596

E-mail: markku.orjala@vtt.fi

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

Kari Hillebrand

VTT Energia

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 675, Faksi: 014 672 597

E-mail: kari.hillebrand@vtt.fi

PUUT15 Mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden polttoteknisten ominaisuuksien parantaminen

Raija Kuoppamäki

VTT Energia

PL 1603, 40101 Jyväskylä

Puh. 014 672 540, Faksi: 014 672 598

E-mail: raija.kuoppamaki@vtt.fi

PUUY08 Kiinteän polttoaineen varastoinnin sekä tasaus-, laadunvarmistus ja syöttöjärjestelmän 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

PUUY09 Ilmanpaineisen CFB-kaasutustekniikan kehittäminen

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
Timo Järvinen
VTT Energia
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 672 692, Faksi: 014 672 597
E-mail: timo.jarvinen@vtt.fi

SEURANNAISVAIKUTUKSET

PUUT10 Hakkuutähteen korjuun vai-
kutukset metsän uudistamiseen

Timo Saksa

Metsäntutkimuslaitos
Suonenjoen tutkimusasema
77600 Suonenjoki
Puh. 017 513 8300, Faksi: 017 513 068
E-mail: timo.saksa@metla.fi

PUUT11 Puuenergiaketjujen ym-
päristönäkökohtien hankekokonaisuus

Helena Mälkki

VTT Kemianteekniikka
PL 14031, 02044 VTT
Puh. 09 456 6442, Faksi: 09 456 7043
E-mail: helena.malkki@vtt.fi

PUUT14 Biomassan tehostetun taltee-
noton seurannaisvaikutukset metsässä

Juha Nurmi

Metsäntutkimuslaitos
PL 44, 69101 Kannus
Puh. 06 874 3219, Faksi: 06 874 3201
E-mail: juha.nurmi@metla.fi

JOHTORYHMÄN RAHOITTAMAT SELVITYKSET

PUUJ01 Hakkuutähdehakkeen korjuun
ohjeistaminen

Tage Fredriksson

Puuenergia ry
Soidinkuja 4, 00700 Helsinki
Puh. 09 156 2247, Faksi: 09 1562 433
E-mail: tage.fredriksson@
tapio.mailnet.fi

PUUJ02 Metsähakkeen käyttökartoitus
Pentti Hakkila

VTT Energia
PL 1604, 02044 VTT
Puh. 09 456 6672, Faksi: 09 456 5000
E-mail: pentti.hakkila@vtt.fi

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

Ismo Nousiainen

VTT Energia
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014 672 670, Faksi: 014 672 597
E-mail: ismo.nousiainen@vtt.fi

DEMONSTRAATIOHANKKEET

PUUD1 Hakkuutähteen lähikul-
jetusyksikkö ja varastokontti

(ks. PUUT13)

Savonlinnan ammatillinen aikuiskoulu-
tuskeskus

PUUD2 Irtohakkuutähteen kuljetusauto
(ks. PUUY04)

Kuljetusliike Hakonen ja Pojat

PUUD3 Hakkuutähteen paalauskuone
(ks. PUUY04)

Ris-Esset Ab Oy

PUUD4 Metsähakkeen terminaalituo-
tanto

(ks. PUUY06)

Vapo Oy Energia

PUUD5 GIANT-hakkuri (ks. PUUY03)
Kotimaiset Energiat Ky

PUUD6 Rumpuhakkuri TT-1310RML
(ks. PUUY05)

Tmi Hake-Energia Kari Vainikka

PUUD7 Hakkuutähteen kaukokuljetus
(ks. PUUY06)

Vapo Oy Energia

T= tutkimuslaitoshanke

Y= yrityshanke

J= johtoryhmän rahoittamat selvitykset

D= demonstraatiohankkeet

Johtoryhmän rahoittamat selvitykset

Hakkuutähdehakkeen korjuun ohjeistaminen – PUUJO1

Tage Fredriksson
Puuenergia ry
Soidinkuja 4, 00700 Helsinki
Puh. 09-1564 247, faksi 09-1562 232
e-mail: tage.fredriksson@tapio.mailnet.fi

Abstract

Project title in English: Instructions for harvesting logging residues chips

The manual consists of two parts: environmental instructions and purchase technical instructions. Environmental instructions are needed to ensure that the requirements of forestry and sustainable forest economy would be considered from the beginning to the end of the harvesting. The technical instructions for purchase of logging residue chips are designed to be an indicative operating model. These instructions make it possible to construct more precise instructions on the basis of purchase system used.

The objective of the project is the create a manual, the content of which is accepted and the principles presented are followed as widely as possible in the production of fuel chips from forest regeneration areas.

The existing background information has been collected by two working groups. The first of these has investigated the environmental issues, and the other one the harvesting technical and economical issues. The opinions of other researches and organisations of citizens have also been taken into account.

Results and application of them: The manual will be ready for distribution in August – September. The slides will be available in electrical form. The manual will be used by harvesting organisations and as basic material in the in-house instructions of organisations.

The further plans of the project: The manual will be renovated as the experiences are gained and new data has been gathered. The instructions for harvesting energy wood from thinning forests is under consideration.

1. Tausta

Oppaassa on kaksi osaa: ympäristöohjeet ja hankintatekniset ohjeet. Ympäristöön liittyvä ohjeistus tarvitaan jotta metsän hoidon ja kestävän metsätalouden vaatimukset tulisivat alusta alkaen huomioon otetuiksi ja hankintatekniset ohjeet on tarkoitettu suuntaa-antaviksi toimintamalliksi, joitten pohjalta asianomaiset tarpeen mukaan rakentavat tarkemmat ohjeet käyttämästään hankintajärjestelmästä riippuen.

2. Tavoite

Tavoitteena on tehdä opas, jonka sisältö mahdollisimman laajasti hyväksytään ja esitettyjä toimintatapoja noudatetaan polttohakkeen tuotannossa metsänuudistamisaloilta.

3. Toteutus

Olemassa oleva taustatieto on koottu kahden työryhmän avulla. Toinen on työskennellyt ympäristökysymysten parissa ja toinen korjuuteknisten- ja taloudellisten kysymysten parissa. Työskentelyssä on kuultu varsinaisen työn osallistujien lisäksi tutkijoita ja kansalaisjärjestöjä.

4. Tulokset ja hyödyntäminen

Valmis opas tilaajilla elo-syyskuun aikana sekä kalvoja sähköisessä muodossa. Opas korjuuorganisaatioiden aktiivisessa käytössä ja pohjamateriaalina organisaatioiden omassa ohjeistuksessa.

5. Projektin jatkosuunnitelmat

Opas uusitaan, kun kokemukset ja tutkimustieto edelleen karttuvat. Harvennuskorjuun energiapuun korjuun ohjeistaminen harkittava.

POLTTOHAKKEEN TUOTANTO METSÄNUUDISTAMISALOILTA

Sisällysluettelo

YMPÄRISTÖOHJEET

1. RAVINTEET JA PUUNTUOTANTO
2. RAVINTEET JA VESIENSUOJELU
3. METSÄMAAN ORGAANINEN AINES
4. TOIMINNAN ULKOPUOLELLE JÄTETTÄVÄT KOHTEET
5. MONIMUOTOISUUDEN VAATIMAT TOIMENPITEET
6. MAISEMA JA VIRKISTYSKÄYTTÖ
7. HYÖNTEISVAHINGOT

HANKINTATEKNISET OHJEET

1. MISTÄ JA KUINKA PALJON
2. HAKKUUTÄHTEEN KOOSTUMUS
3. HAKKEEN LAATU
4. KORJUUTEKNISIÄ RAJAUKSIA
5. HAKKUUTÄHDEHAKKEEN HANKINTATEKNIIKAT

6. HAKKUUTÄHTEIDEN VARASTOINTI

7. VARASTOALUEEN JÄLKIHOITO

Tuotannon suunnittelu

Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suurimittakaavaisen hankinnan logistiikka – PUUT01

Antti Asikainen¹, Tapio Ranta² & Juha Laitila¹

¹Joensuun yliopisto

PL 111, 80101 Joensuu

Puh. 013-251 4429, faksi 013-251 3590

e-mail: antti.asikainen@joensuu.fi

²VTT Energia, PL 1603, 40101 Jyväskylä

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

Abstract

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

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

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

1. Tausta

Energiapuun talteenoton kasvaessa korjuu joudutaan ulottamaan entistä suuremmalle maantieteelliselle alueelle. Lisäksi aikaisempaa epäedullisemmat leimikot

on otettava korjuun piiriin, jotta käyttöpaikkojen polttoaineen tarve saadaan täytettyä. Korjuumenetelmät reagoivat eri tavoin olosuhteiden muutokseen. Kun polttoraaka-aineen hankintasäde on pieni, ovat kilpailukykyisiä menetelmät, joiden terminaalikustannukset tai kuljetusmatkasta riippumattomat kustannukset ovat edullisia. Näitä menetelmiä ovat esimerkiksi MOHA-monitoimihakkuri sekä irtorisujen kuljettamiseen ja käyttöpaikalla hakettamiseen perustuvat menetelmät. Kun hankintasäde kasvaa, terminaalikustannuksiltaan korkeiden menetelmien kilpailukyky paranee. Tienvarsivarastohaketus ja hakkuutähteen niputtaminen risutukeiksi mahdollistavat korkean kuljetustiheyden ja hakeauton koko kantavuuden hyödyntämisen. Siksi näihin menetelmiin perustuvat menetelmät eivät reagoi yhtä voimakkaasti kuljetusmatkan pitenemiseen kuin monitoimihakkuriin ja irtorisujen kuljettamiseen perustuvat menetelmät.

Tietoja hakkuutähteen korjuun kustannustekijöistä tarvitaan valittaessa eri tilanteisiin parhaiten soveltuvaa korjuuketjuja. Suorien korjuukustannusten lisäksi on otettava toiminnan organisoinnin aiheuttamat kustannukset. Tässä suhteessa edullisia ovat sellaiset korjuumenetelmät, jotka voivat hyödyntää olemassaolevia korjuun ja kuljetuksen ohjausjärjestelmiä.

2. Tavoite

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

3. Projektin toteutus

Projektissa on kerätty olemassa oleva aikautkimus- ja seurantatieto teollisuusmittakaavan hakkuutähteen korjuuketjuista ja tehty täydentäviä aikautkimuksia. Tutkittavia korjuuketjuja ovat olleet perinteiset ns. hakeketjut, joissa haketus tapahtuu joko palstalla palstahakkurilla tai metsäautotien varressa autoalustaisella rumpuhakkurilla tai murskaimella. Tämän lisäksi projektissa tutkitaan irtotähteen ja hakkuutähteenippujen kaukokuljetukseen ja keskitettyyn terminaali-hakemukseen perustuvia korjuuketjuvaihtoehtoja.

Aikautkimuksilla on selvitetty leimikkotekijöiden vaikutusta hakkuutähteen metsäkuljetuksen ja palstahaketuksen tuottavuuteen. Palstalla työskentelyn ajanmenekki on jaettu seuraavasti yksittäisiin työn osavaiheisiin: tyhjänä ajo, kuormausajo, kuormaus, kuormattuna ajo ja purkaminen. Kustakin osavaiheesta on määritetty välitön osa-aika, joka on selitettävissä leimikkotekijöiden suhteen ja välillinen ns. apu-aika. Selittäviksi leimikkotekijöiksi on valittu metsäkuljetusmatka ja hakkuutähteen ajouranvarsitiheys. Työvaiheittain on tarkasteltu metsäkuljetusmatkan vaikutus kuormien ajojen ajanmenekkeihin palstalta tienvarteen ja ajouranvarsitiheyden vaikutus kuormausajon ajanmenekkiin.

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

Aikautkimusten perusteella on laadittu ajanmenekki-funktiot korjuuketjun eri työvaiheille, jossa ajanmenekki on määritetty työvaiheittain ko. ajanmenekkiin vaikuttavan leimikkotekijän suhteen.

Tuotos on määritetty kuutiometreinä, m^3 , kun käsitellään hakkuutähdettä ennen haketusta esimerkiksi metsäkuljetuksessa tai irtokuutiometreinä, $i\text{-}m^3$, kun hakkuutähde on haketettu tai murskattu hakkeen muotoon. $i\text{-}m^3$ on muutettu vertailun vuoksi m^3 :ksi kertoimella 2,5. Tuotokset on esitetty myös lämpöarvona, MWh, jotta tulokset eri raaka-aineilla olisivat vertailukelpoisia. Tuottavuudet on esitetty tehotuntia, (h_0), ja käyttötuntia, (h_{15}), kohti.

Hakkuutähteen metsäkuljetuksen ja palstahaketuksen aiemmat aikatutkimukset perustuvat BENET-projektin aikatutkimusaineistoon vuodelta 1998 (Oijala ym. 1999). Lisäksi kuusen ja männyn välillä on tehty vertaileva tutkimus metsäkuljetuksesta maataloustraktorilla ja tuoreen ja kuivan kuusen metsäkuljetuksesta metsätraktorilla vuonna 1999. Palstahaketuksesta on tehty lisäksi kolme aikatutkimusta vuosina 1999–2000. Metsäkuljetuksen ja palstahaketuksen aikatutkimusaineistoja täydennetään edelleen.

Tienvarsivarastohaketuksen osalta tulokset raaka-aineen, puun kosteuden ja vuodenajan vaikutuksesta välivarastohaketuksen tuottavuuteen perustuvat Lahden (1998) ja Oijalan ym. (1999) Evolution-hakkurista tekemiin tutkimuksiin sekä projektissa tehtyihin täydentäviin aikatutkimuksiin. Hakkurikohtaisista tuloksista laskettiin keskiarvot ja haketuksen tuottavuus eri raaka-aineilla kesä- ja talviolosuhteissa ilmaistiin suhteellisena tuottavuutena. Tuoreella hakkuutähteellä kesäolosuhteissa suhdeluku oli 100.

Täydentäviä aikatutkimuksia eri raaka-aineilla ja eri vuodenaikoina on tehty mm. Future Giant, Ahlström RMT 97, ja LT 57 R (kuva 1) välivarastohakkuureilla sekä Lokomo MS 9 ja Jenz AZ 55 välivarastomurskaimilla.

Terminaalihaketuksen osalta selvitettiin eri tyyppisten hakeautojen soveltuvuutta terminaalitoimintaan sekä tutkittiin simulointitekniikalla kuormauksen ja auto-
kuljetuksen tuottavuutta ja kustannuksia.

Projektissa on tehty tapaustutkimuksena hakkuutähteen kertymä- ja korjuukustannusselvitys Oy Alholmens Kraft Ab:n ja Fortumin Joensuun Iiksenvaaran voimalaitoksille. Joensuun Iiksenvaaran voimalaitoksen tapaustutkimus on julkinen ja Alholmens Kraftin puolestaan luottamuksellinen. Joensuun Iiksenvaaran voimalaitokselle hakkuutähdehakkeen käyttöpaikkahinta laskettiin välivarasto- ja käyttöpaikkahaketukseen perustuvilla menetelmillä. Käyttöpaikkahaketusmenetelmässä hakkuutähde kuljetettiin joko paalattuina eli ns. "risutukkeina" tai irtorisuina käyttöpaikalla haketettavaksi. Risutukin valmistuskustannuksista ei ole aikatutkimukseen perustuvaa tietoa. Tämän vuoksi niputuksen kustannuksiksi asetettiin kolme oletusarvoa: 18, 20 ja 23 mk/risutukki, jotta voitiin tarkastella, millä hintatasolla hakkuutähteen niputus on kannattavaa muihin menetelmiin verrattuna.

Joensuun liksenvaaran voimalaitoksen hakkuutähdekertymän laskenta perustui Stora Enson ja UPM Kymmene korjaamien päätehakkuiden (avo-, siemen- tai suojuspuuhakkuu) leimikkotietoihin yhden vuoden ajalta. Hakkuutähdehakkeen hankinta-alueeksi rajattiin Pohjois-Karjalan maakunta ja Joensuun voimalaitoksesta maanteitse 100 km:n säteellä sijaitsevat kunnat. Hakkuutähteen kokonaismäärä voimalaitoksen hankinta-alueella saatiin, kun em. yhtiöiden hakkuutähdekertymään lisättiin Metsäliiton päätehakkuilta kertyvän hakkuutähteen osuus. Metsäliiton osuuden oletettiin olevan sama kuin yhtiön markkinaosuus hankinta-alueella ja noudattavan puulajijakaumaltaan kahden muun yhtiön puulajijakaumaa. Kertymä arviossa ei ole mukana Metsähallituksen päätehakkuilta kertyvän hakkuutähteen osuutta. Hakkuutähteen talteenoton tarkkuuden oletettiin olevan 70%.

Joensuun tapauksessa tarkasteltiin kuinka hakkuutähteen korjuukustannukset muuttuvat, kun entistä suurempi osa hakkuutähdereservistä otetaan käyttöön ja korjuu joudutaan kohdentamaan entistä epäedullisemmille kohteille. Laskelmassa tarkasteltiin kertymämääriä ja korjuukustannuksia, kun hakkuutähdettä korjattiin kaikilta päätehakkuilta tai korjuu rajoitettiin pelkästään kuusivaltaisiin kohteisiin.

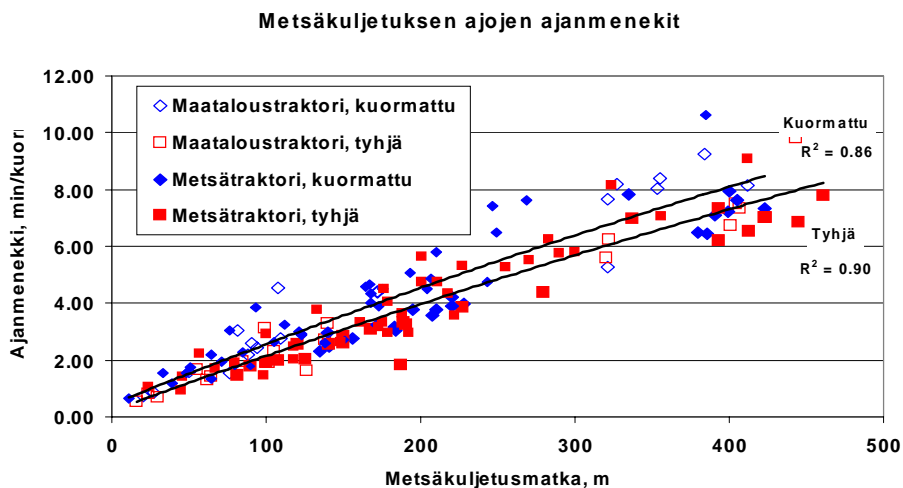


Kuva 1. Aikatutkimuksessa käytetty Mi-Pe Ky:n väliavarastohakkuri LT 57 R (Kuva Jarno Hämäläinen, Joensuun yliopisto).

4. Tulokset

4.1 Metsäkuljetus

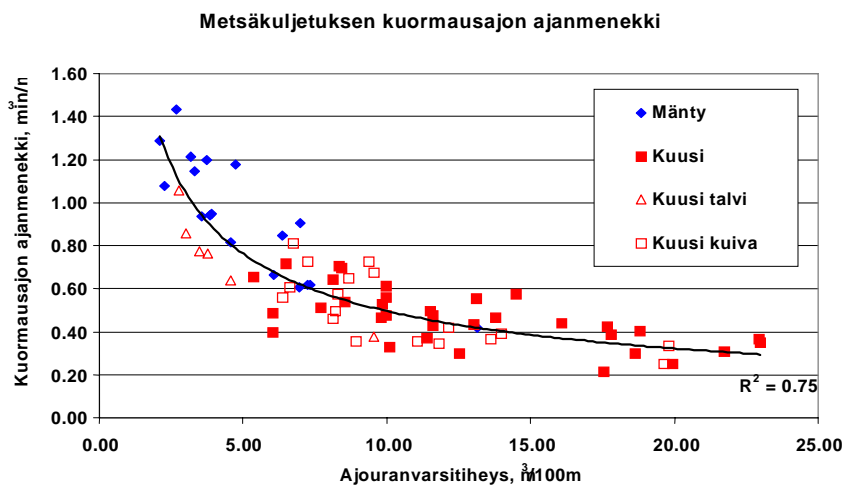
Metsäkuljetuksen ajanmenekifunktioissa metsäkuljetusmatka on selittävänä tekijänä ajojen ajanmenekille. Kuutiometrikohtaiseen ajanmenekkiin vaikuttaa myös kuormankoko. Kalustolla on merkitystä ajettavuuteen palstalla, kuvassa 2 on vertailtu maatalous- ja metsätraktoria. Tyhjillä kuormilla kuljetaan jonkin verran nopeammin, samoin kuljetusmatka tyhjänä on jonkin verran lyhempi. Aikatutkimuksissa kuormakoot ovat olleet 3,3–8,8 m³. Varsinaisen ajosuorituksen ajanmenekkiin on lisättävä apuaika, jonka merkitys on vähäinen, enimmillään 0,5 min/kuorma kuormattuna ja tyhjänä ajolle yhteensä (kuva 2).



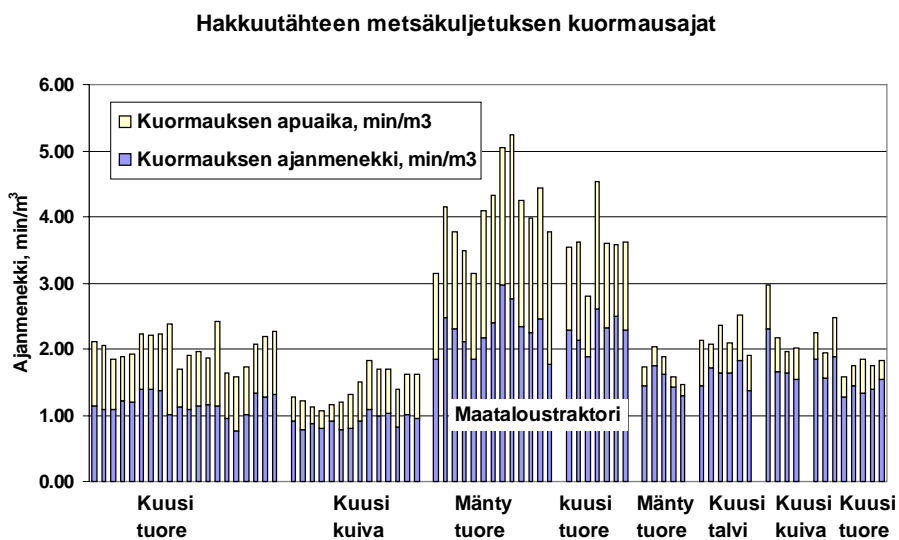
Kuva 2. Metsäkuljetuksen ajojen ajanmenekit.

Kuormausajon ajanmenekki-funktioissa selittävänä tekijänä on ajouranvarsitiheys, $\text{m}^3/100 \text{ m}$ (kuva 3). Mänyllä hehtaarikohtainen kertymä on kuusta vähäisempi, jolloin myös kuormausajon ajanmenekki kuutiometriä kohden on suurempi. Samoin kuivattaminen palstalla vähentää kertymää ja talviaikainen korjuu, mikäli esimerkiksi peittävä lumi haittaa keruuta. Varsinaisen kuormausajon ajanmenekkiin on lisättävä apuaika, joka on kalusto-kohtainen. Maataloustraktorilla apuaika oli enimmillään $0,8 \text{ min/m}^3$ ja metsätraktorilla $0,1 \text{ min/m}^3$.

Kuormauksen ajanmenekkiin ei vaikuttanut leimikkokohtainen kertymä tai hakkuutähdekasojen koko tutkimustyömailla, joilla oli hakkuun yhteydessä tehty esikasaava puinti (kuva 4). Oleellisimmin ajanmenekkiin vaikuttaa kalusto ja sen varustelu sekä jonkin verran hakkuutähteen kasautumisen laatu. Purkamisen ajanmenekkiin vaikuttavat samoin kalusto ja jonkin verran purkupaikan olosuhteet (kuva 5).

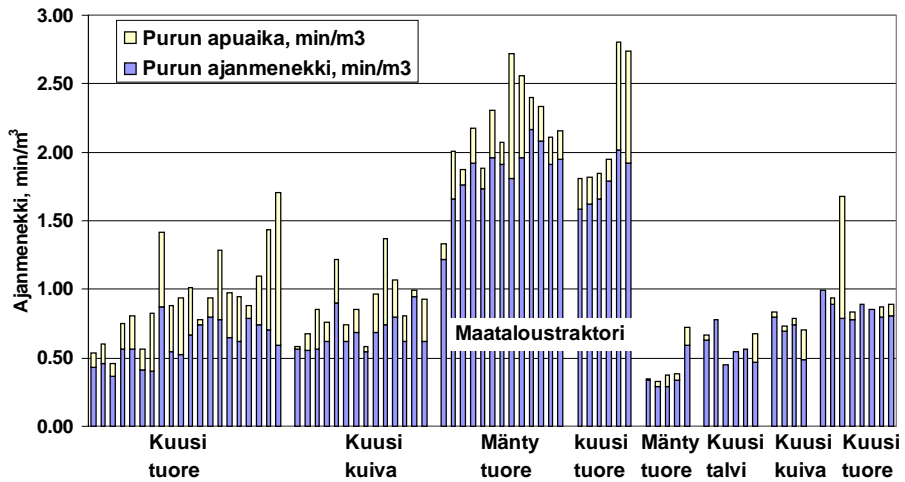


Kuva 3. Metsäkuljetuksen kuormausajon ajanmenekki.



Kuva 4. Hakkuutähteen metsäkuljetuksen kuormausajat.

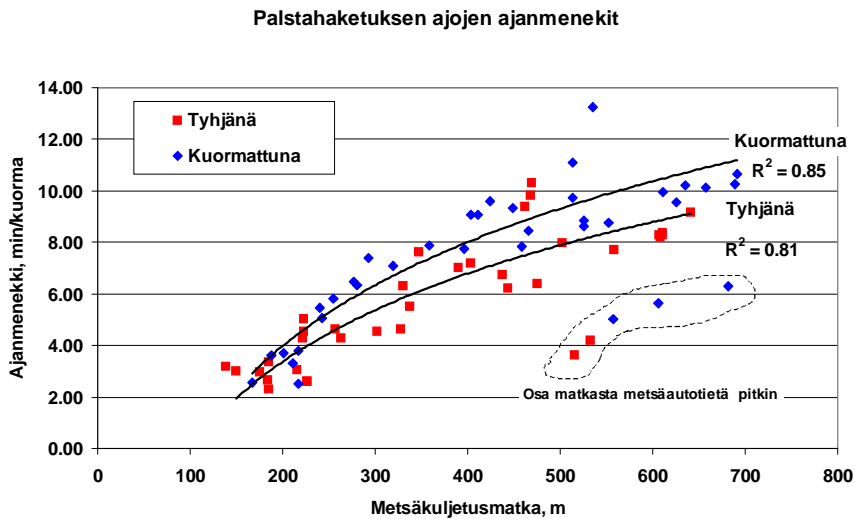
Hakkuutähteen purun ajanmenekki



Kuva 5. Hakkuutähteen purkamisen ajanmenekit.

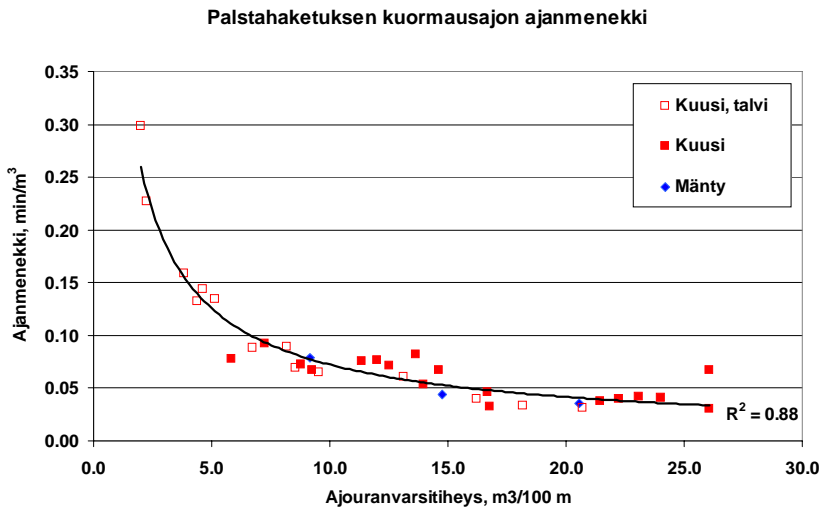
4.2 Palstahaketus

Palstahaketuksella ajojen ajanmenekkien käyttäytyminen metsäkuljetusmatkan mukaan on vastaava kuin hakkuutähteen metsäkuljetuksessa. Ajonopeus ja kuormakoot ovat tyypillisesti metsätraktoreita suuremmat (kuva 6). Hakkurien kuormakonttien koot ovat olleet 14–20 i-m³.



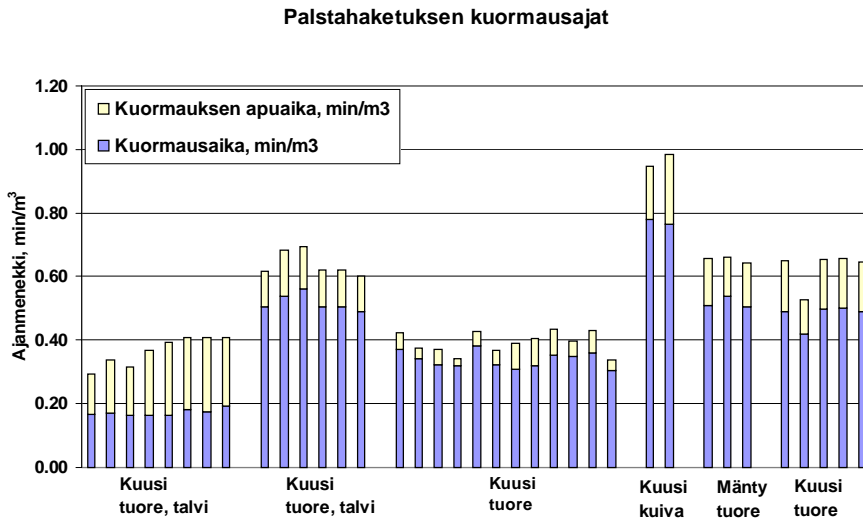
Kuva 6. Palstahaketuksen tyhjänä- ja kuormattuna-ajon ajanmenekit.

Palstahaketuksessa kuormausajon ajanmenekkiin vaikuttaa hakkuutähteen ajouranvarsitiheys vastaavasti kuin metsäkuljetuksessa (kuva 7). Ajouranvarsitiheyden vaikutus ajanmenekkiin on kuitenkin vähäisempi ja kuormausajo on selvästi nopeampaa kuin metsäkuljetuksessa.



Kuva 7. Palstahaketuksen kuormausajon ajanmenekki.

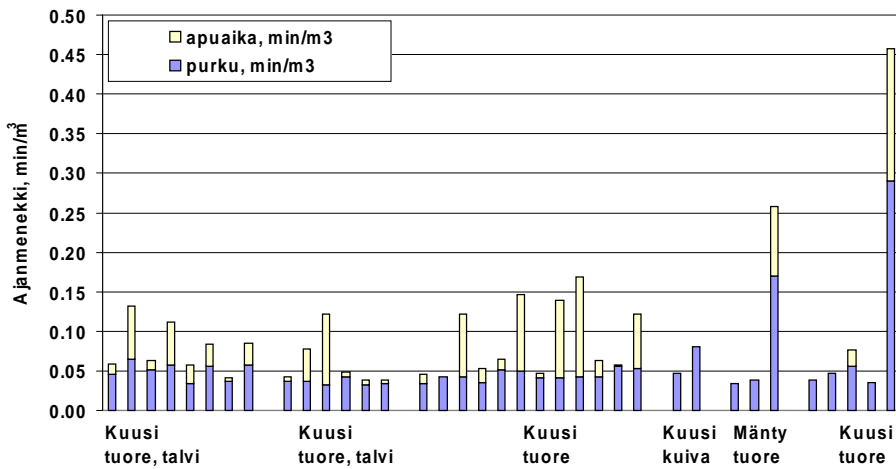
Palstahaketuksen työmaittaiseen kuormauksen ajanmenekin vaihteluun vaikuttavat kalusto ja hakkuutähteen kasautumisen laatu. Kuormauksen ajanmenekki on huomattavasti pienempi kuin hakkuutähteen metsäkuljetuksessa (kuva 8).



Kuva 8. Palstahaketuksen kuormausajanmenekki.

Varsinaisen purun ajanmenekin vaihtelu on melko vähäistä, mikäli vaihtokonttiin mahtuu vaivatta kippaamaan (kuva 9). Apuajan vaihtelu johtuu purkupaikan olosuhteista.

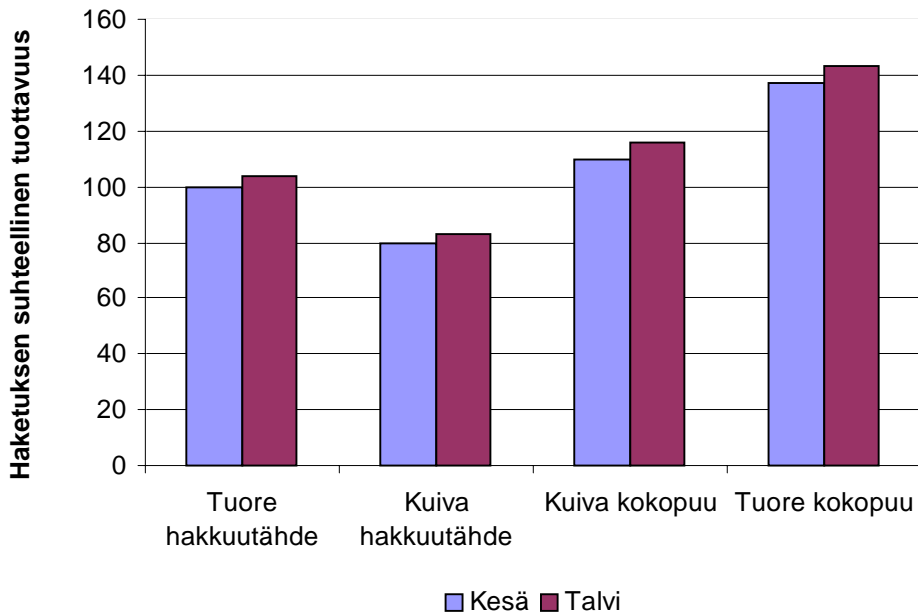
Purun ajanmenekki palstahaketuksessa



Kuva 9. Palstahakkurin purkamisajanmenekki.

4.3 Tienvarsivarastohaketus

Tulosten mukaan haketettava materiaali ja raaka-aineen kosteus vaikuttavat haketuksen tuottavuuteen voimakkaasti (kuva 10). Kokopuun haketuksen tuottavuus on suurempi kuin hakkuutähteen haketuksen tuottavuus, mikä johtuu pääasiassa materiaalin tehokkaammasta syötöstä mutta myös haketusominaisuuksista. Raaka-aineen kuivuessa hakkurin tuottavuus alenee, sillä kuivan materiaalin leikkauslujuus on korkeampi. Myös vuodenaika vaikuttaa haketuksen tuottavuuteen. Talviolosuhteissa haketuksen tuottavuus on hieman suurempi kuin kesäolosuhteissa. Tämä johtuu ilmeisesti siitä, että jäätynyttä hakkuutähdettä on helpompi syöttää hakkuriin ja toisaalta kitka hakkurin eri osissa on jäätyneellä materiaalilla alhaisempi. Jäätyneen materiaalin rakenne särkyy helpommin, minkä tuloksena haketuksen vaatima voima vähenee ja tuotos kasvaa.



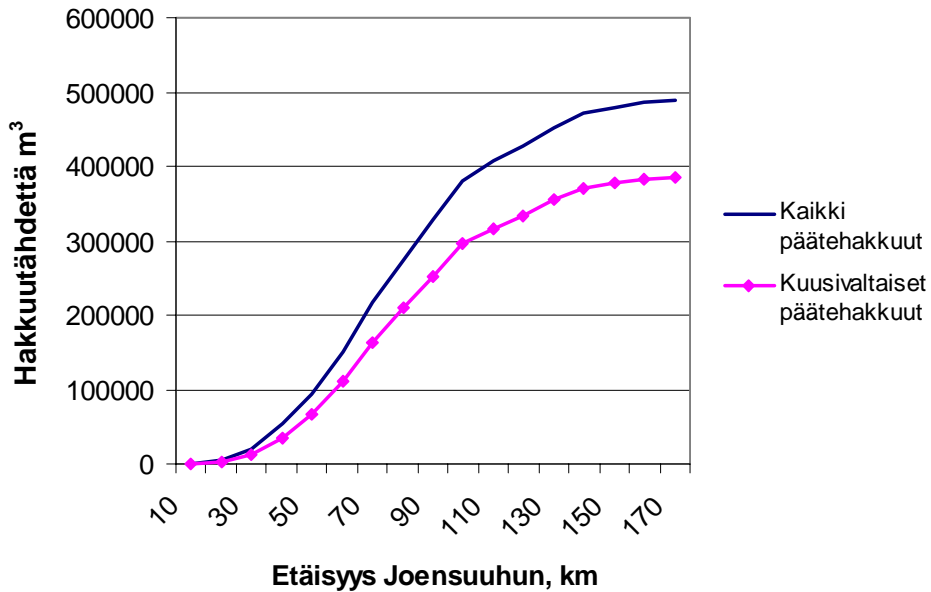
Kuva 10. Haketuksen suhteellinen tuottavuus ja sen vaihtelu eri raaka-aineilla kesä ja talviolosuhteissa. Tuore hakkuutähde kesäolosuhteissa = 100.

4.4 Hakkuutähteen kertymäselvitykset ja mittakaavan vaikutus hankintakustannuksiin

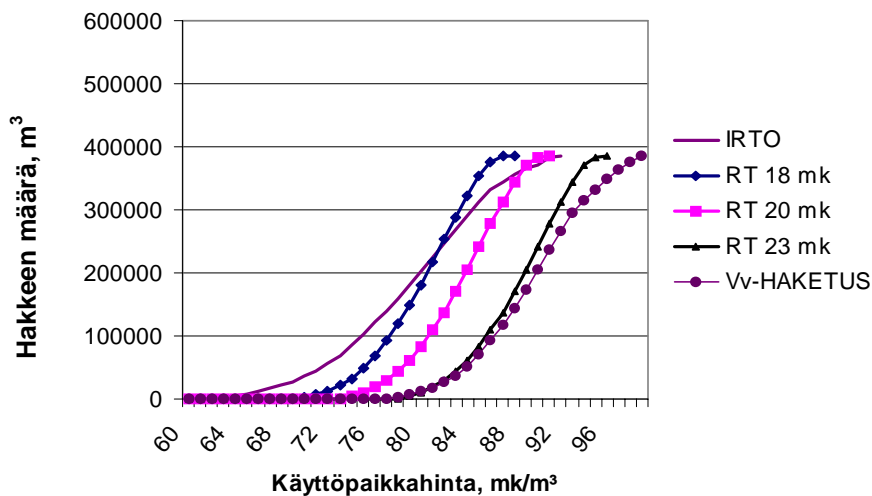
Kertymäselvityksen mukaan hakkuutähdepotentiaali Joensuun voimalaitoksen ympäristössä on noin 386 000 m³, mikäli hakkuutähteen korjuussa keskitytään ai-noastaan kuusivaltaisiin pätehakkuisiin. Jos hakkuutähteen korjuu ulotetaan kaikkiin pätehakkuisiin, kasvaa hakkuutähdepotentiaali 489 000 m³:in (kuva 11).

Menetelmävertailun mukaan kaikilla tutkituilla korjuuketjuilla voidaan tuottaa hakkuutähdehaketta varsin kilpailukykyiseen hintaan (kuvat 12 ja 13). Joensuun ympäristössä irtorisuun ja käyttöpaikkahaketuksen perustuva ketju oli edullisin menetelmä. 100 000 m³ hankintamäärällä irtorisuketjun hakkuutähdehakkeen käyttöpaikkahinta oli noin 75 mk/m³ korjattaessa hakkuutähdettä kuusivaltaisista pätehakkuista ja 73 mk/m³ korjattaessa hakkuutähdettä kaikista pätehakkuista. Välivarastohaketusketjulla vastaavat arvot olivat 87 mk/m³ ja 86 mk/m³.

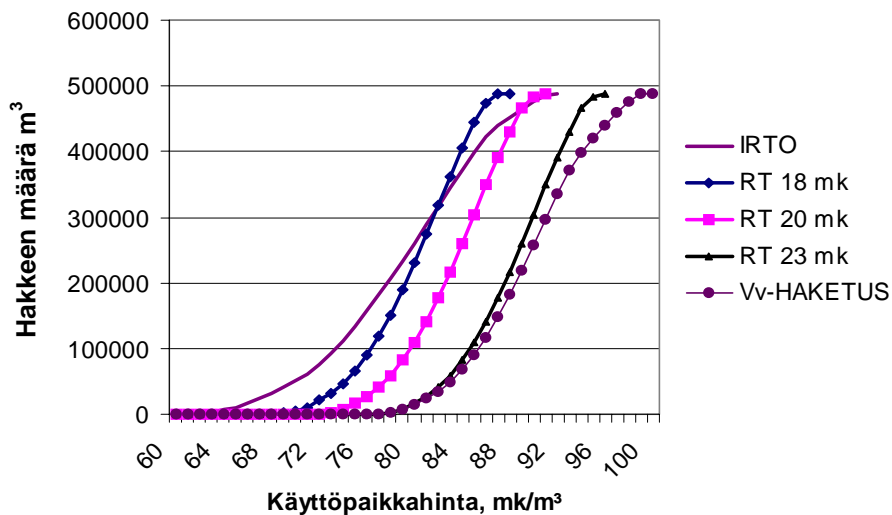
Pohjois-Karjalan kuljetusetäisyyksillä risutukkeihin perustuvilla ketjuilla tuotetun hakkeen tuotantokustannus oli irtorisu- ja välivarastohaketusketjujen välissä (kuvat 12 ja 13).



Kuva 11. Hakkuutähteen kertymä etäisyyden mukaan kaikista päätehakuista ja pelkästään kuusivaltaisista päätehakuista Joensuun voimalaitoksen ympäristössä.



Kuva 12. Hakkuutähdehakkeen käyttöpaikkahinta eri menetelmillä korjattaessa hakkuutähdettä kuusivaltaisista päätehakuista. (IRTO = irtohaketus, RT = risutukit, Vv-HAKETUS = välivarastohaketus.)



Kuva 13. Hakkuutähdehakkeen käyttöpaikkahinta eri menetelmillä korjattaessa hakkuutähdettä kaikista päätehakuista. (IRTO = irtohaketus, RT = risutukit, Vv-HAKETUS = välivarastohaketus.)

Tutkimus osoitti, että hakkuutähteen korjuun ulottaminen kuusivaltaisista päätehakkuuleimikoista myös mäntyvaltaisiin päätehakkuuleimikoihin on kannattavaa. Korjuukohteita ei siis tule rajata pois pelkän puulajijakauman perusteella, vaan kohteet kannattaa valita korjuukustannusten mukaan. Koska käyttöpaikkahinnan kasvu muodostuu lähinnä kauko- ja metsäkuljetus-kustannuksista, voi käyttöpaikkaa lähellä olevalla leimikolla olla korkeat metsäkuljetuskustannukset, mutta silti alhainen käyttöpaikkahinta lyhyen kaukokuljetusmatkan vuoksi. Korjuun ulottaminen mäntyvaltaisiin leimikoihin oli erityisen kannattavaa irtomenetelmällä, jonka heikkous on kaukokuljetuksen pieni kuormakoko. Kaukokuljetustehokkailta välivarastohaketus- ja risutukkimenetelmillä mäntyvaltaisten leimikoiden merkitys oli pienempi.

Tuloksia esitettäessä on korostettava, että käyttöpaikkahaketusketjun kustannukset perustuvat pitkälti arvioihin ja saattavat olla optimistisia esim. kuormakokojen osalta. Välivarastohaketusketjujen kustannusten laskennan arvot puolestaan perustuvat seurantatutkimusten ja käytännössä todettuihin tuloksiin, joten todellisuudessa menetelmien väliset erot todennäköisesti pienenevät. Hakkuutähdekertymiä tarkasteltaessa on muistettava, että käytännössä kertymämäärät vähenevät maanomistajien kielteisen asenteen, maaston huonon kantavuuden, kasvupaikan karuuden tai muun seikan takia. Myös vuotuiset hakkuumäärät vaihtelevat jonkin verran.

5. Jatkotoimenpiteet

Fiberpac 370 hakkuutähdepaalaimen osalta aikatutkimuksia ollaan tekemässä kuivan ja tuoreen sekä mänty- ja kuusirisutukkien paalauksen suhdelukujen määrittämiseksi. Hakkuutähteen, hakkeen ja risutukkien autokuljetusten kaukokuljetukselle pyritään tekemään ajanmenekki-funktiot. Täydentäviä aikatutkimuksia tehdään männyn metsäkuljetukselle sekä kuivan hakkuutähteen haketukselle kesäolosuhteissa. Hakkuutähteen kuivattamisen vaikutuksia hankintakustannuksiin tarkastellaan gradutyössä, joka valmistuu loppusyksystä 2000. Tutkimuksen tulokset koostetaan julkaisuksi sekä tulosten pohjalta tehdään Excel-pohjainen laskentaohjelma, jolla korjuukustannuksia voidaan vertailla.

6. Projektissa tehdyt julkaisut

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

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

Viitteet

Oijala, T., Saksa, T. & Sauranen, T. 1999 Hakkuutähteen korjuumenetelmien vertailu ja vaikutus metsänuudistamiseen. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 27. Jyväskylän Teknologiakeskus Oy.

Lahti, P. 1998. Evolution energiapuuhakkurin käyttöselvitys. Bioenergian tutkimusohjelman julkaisuja 21, s. 493–502.

Energiapuun hankinnan organisointi muun puunhankinnan yhteydessä – PUUT02

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

Abstract

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

The research consists of three sub-projects. The present role of forestry associations in purchase of wood fuels is studied in the sub-project no. one. The possibilities and willingness of them to increase their share in purchase of wood fuels is also studied. The roles of forest machine and forest service entrepreneurs in purchase of wood fuels are investigated in the sub-project number two. The effects of energy wood harvesting on the operation of forest machine entrepreneur will also be studied this sub-project. The requirements of customers for the suppliers of energy wood are studied in the sub-project no. three. All the data in these sub-projects will be collected using personal interviews. It appeared that the harvesting of energy wood had no effect on the degree of employment of forest machine entrepreneurs, and that the energy wood entrepreneurs did not differ from other entrepreneurs. The activity of forest machine entrepreneurs was estimated to grow in the harvesting of energy wood in the near future. Measuring and accrual basis practices seemed also to differ widely from each other. The technologies appeared also to be targets of continuous development, so the technologies were relatively impermanent. Harvesting of energy wood was not seen to play a significant role in increment of the employment and turnover. However, the effect of energy wood harvesting on the aggravation of industrial wood harvesting was estimated to be more significant. In the future the end-users of energy wood word like to have more competition in the markets. However, the suppliers were wanted to be fairly large, so that the reliability of deliveries could be guaranteed.

The potential for increasing the utilisation of wood fuels is high, but the competitiveness of peat was estimated to be high, and simultaneously it was estimated to be a threat to increment of the utilisation of wood fuels. As the end users want to decrease the price of the wood fuels, the wood chipping companies and wood purchase organisations estimated the price to increase inevitably during the next few years.

1. Tausta

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

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

2. Tavoite

Tutkimuksessa on kolme osahanketta, joiden tavoitteet ovat seuraavat:

- 1) Osahankkeessa yksi selvitetään metsänhoitoyhdistysten nykyistä roolia energiapuun hankinnassa. Lisäksi selvitetään niiden mahdollisuuksia ja halukkuutta lisätä osuuttaan energiapuun hankinnassa.
- 2) Osahankkeessa kaksi selvitetään metsäkone- ja metsäpalveluyrittäjien roolit energiapuun hankinnassa. Tässä osahankkeessa selvitetään myös, miten energiapuun korjuu vaikuttaa metsäkoneyrityksen toimintaan yleensä.

- 3) Osahankkeessa kolme on kaksi erillistä osaa.

Ensimmäisessä osassa selvitetään, mitä vaatimuksia asiakasyritykset asettavat energiapuun toimittajille?

Jälkimmäisessä osassa selvitetään, mikä olisi pienyritysten rooli ja uskottavuus energiapuun toimittajina.

Selvitetään, millaiset toimintamallit ja markkinoinnin keinot voisivat lisätä pk-yritysten uskottavuutta energiapuun toimittajina.

Jälkimmäinen osa toteutetaan myöhemmin yhteistyössä Koneyrittäjien liiton ja Metsäalan kuljetusyrittäjien kanssa, mikäli hankkeelle saadaan rahoitusta. Tämä jälkimmäinen osa sisältää myös demonstraatiohankkeen. Tästä osasta kerrotaan lisää luvussa projektin jatkosuunnitelmat.

3. Projektin toteutus

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

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

Metsäkoneyrittäjiä koskevassa osassa selvitettiin energiapuun hankinnassa toimiva metsäkoneyrittäjäkunta. Selvitys tehtiin tiedustelemalla merkittäviltä metsähakkeen hankkijoilta heidän yrittäjäkuntansa laajuutta. Tässä tutkimuksessa merkittäviksi hakkeen hankkijoiksi laskettiin seuraavat yritykset: UPM-Kymmene Oyj, Stora-Enso Oyj, Biowatti Oy, Kotimaiset energiat ky, Metsäenergia ky ja Vapo Timber Oy. Yrittäjätiedot saatiin Vapo Timber Oy:tä lukuunottamatta. Edellä mainittujen yritysten yrittäjäkunta muodosti tutkimuksen perusjoukon.

Perusjoukko oli 94 yrittäjää. Tutkimus päätettiin toteuttaa henkilökohtaisena haastatteluna. Otanta suoritettiin systemaattisena otantana koko perusjoukosta. Haastateltavaksi valittiin perusjoukon joka neljäs yrittäjä. Otokseksi saatiin 24 yrittäjää. Otoksesta haastateltiin 20 yrittäjää.

Osahankkeessa kolme tutkimuksen aineistoksi valittiin metsähakkeen loppukäyttäjiä, hankintaorganisaatioita sekä hakeyrittäjiä. Pitäydyttiin kuitenkin käyttäjissä, joilla on asiakassuhde joihinkin toimittajiin, jolloin pienet lämpövoimalat jäivät tutkimuksen ulkopuolelle. Näissä loppukäyttäjät usein hoitaa myös raaka-aineen hankinnan ja haketuksen sekä kuljetuksen, joten varsinaista asiakas – toimittaja suhdetta ei synny. Loppukäyttäjät valittiin otannalla Suomen Kaukolämpöyhdistys ry:n rekisteristä. Hakeyrittäjät kerättiin Koneyrittäjien liiton rekisteristä sekä kaupparekisteristä. Hankintaorganisaatioina haastateltiin ainespuun hankintaorganisaatioita sekä energiapuun hankintaan erikoistuneet yritykset. Metsähakkeen käyttäjiä ja käyttömäärää ei ole kartoitettu pitkään aikaan, joten otannan osuutta ei voi tarkasti arvioida. Haastatellut loppukäyttäjät käyttävät vuositasolla noin 350 00 MWh metsähaketta, mikä vastaa noin 450 000 i-m³. Suomen Kaukolämpöyhdistyksen rekisterin perusteella otanta edustaa suurinta osaa metsähakkeen käyttäjistä ja käyttömääristä. Tässä tutkimuksessa haastateltiin 16 metsähakkeen käyttäjää metsähakkeen hankinnan organisoinnin onnistumisesta ja heidän asettamistaan vaatimuksista metsähakkeen toimittajille. Hakeyrittäjiä haastateltiin yhdeksän, jotka edustavat suurinta osaa metsähaketta tuotavista yrittäjistä Koneyrittäjien liiton yrittäjärekisterin mukaan. Suuria metsähakkeen hankintaa harjoittavia yrityksiä haastateltiin neljä. Kaikilta haastatelluilta kysyttiin koettuja ongelmia, parannusehdotuksia sekä tulevaisuuden näkymiä. Loppukäyttäjien sekä hankintaorganisaatioiden tyytyväisyyttä metsähakkeen toimitusten nykytilaan mitattiin erilaisten ominaisuuksien parittaisella vertailulla. Haastattelut tehtiin henkilökohtaisilla haastatteluilla vuosituhannen vaihteessa. Haastatteluun pyrittiin valitsemaan jokaisesta yrityksestä metsähakkeen hankinnasta tai tuotannosta vastaava henkilö.

4. Tulokset

4.1 Osahanke 2

Energiapuun korjuulla ei havaittu olevan vaikutuksia metsäkoneyrittäjien työllisyysasteeseen, eivätkä energiapuun korjuuta harjoittaneet yrittäjät muutenkaan poikenneet muusta yrittäjäkunnasta. Tutkimuksessa todettiin jo tapahtunut sekä varsinkin ennakoitavissa oleva kasvu energiapuun korjuun määrissä. Todennäköisesti vaikutukset metsäkoneyrittäjien toimintaan kasvavatkin lähitulevaisuudessa. Havaittiin myös selvästi ainespuuta kirjavampi mittaus- ja maksuperusteikäytäntö, sekä todettiin teknologioiden jatkuva kehittyminen ja vakiintumattomuus.

Vaikka hakkutähteen korjuu voidaankin toteuttaa ainespuun korjuussa käytettävällä metsäkonekalustolla vaatii se kuitenkin tiettyjä muutoksia normaaliin työkentelytapaan. Energiapuun korjuulla todettiin olevan useita ainespuun korjuuta vaikeuttavia vaikutuksia. Näiden vaikutusten merkityksestä ei kuitenkaan ole olemassa mitattua tietoa. Hakkutähteen talteenotolla on todennäköisesti ainespuun korjuuta muuttavien tekijöiden kautta suurempi vaikutus metsäkoneyrittäjän toimintaan kuin suoraan talteenotosta saatavien maksusuoritusten liikevaihdollisten tekijöiden kautta.

4.2 Osahanke 3

Metsähakkeen loppukäyttäjät pitivät kaikkein tärkeimpänä metsähakkeen toimituksissa hintaa. Hinnan jälkeen tärkeysjärjestyksessä tulivat toimitusvarmuus, joustavuus, yhteistyökyky sekä aikataulujen noudattaminen. Kaikki muut tärkeimmistä ominaisuuksista ovat palvelun laatuun liittyviä ominaisuuksia. Suurimpina puutteina loppukäyttäjät pitivät laatujärjestelmän puutetta, hinnan korkeutta, laadun epätasaisuutta, ympäristöasioiden huonoa huomioonottoa sekä toimittajien motivaatiota. Kuitenkin suurin osa haastateltavista oli joko erittäin tyytyväisiä tai tyytyväisiä nykyisiin toimittajiinsa, joten kovin suuria parannuksia ei kaivata.

Hankintaorganisaatiot olivat tyytymättömämpiä kuin loppukäyttäjät. Kaikki neljä organisaatiota pitivät toimitusvarmuutta huonompana kuin toivottu tila. Lisäksi laatujärjestelmää kaivattiin koko ketjuun. Tärkeimpinä seikkoina metsähakkeen toimittajissa pidettiin yhteistyökykyä, ammattitaitoa sekä kehittymishalua ja -mahdollisuuksia. Vaikka laatujärjestelmä ei vastannut toivottua tasoa, eivät hankintaorganisaatiot laatujärjestelmää kovin tärkeänä pitäneet.

Hakeyrittäjät olivat huolissaan kaikkein eniten metsähakkeen hinnasta, varsinkin, jos yritys oli täysin riippuvainen metsähakkeen tuottamisesta saaduista tuloista. Joidenkin hankintaorganisaatioiden ohella osa hakeyrittäjistä pitikin järkevänä, ettei metsähakkeen haketus olisi päätoimeentulo. Suurimmalla osalla hakeyrittäjistä haketus tai murkaus tapahtuu yhä tienvarressa, johon liittyy erinäisiä ongelmia varsinkin kelirikko-aikaan. Epäpuhtaudet aiheuttivat yli puolille haastelluista hakeyrittäjistä merkittäviä kustannuksia. Epäpuhtauksien määrä ja kustannukset riippuivat energiapuukasojen tekotavasta eli tekijän ammattitaidosta. Tienvarsihaketuksen ongelmista huolimatta hakeyrittäjät uskoivat sen säilyvän yleisimpänä haketuspaikkana tulevaisuudessakin. Hankintaorganisaatiot taas halusivat tienvarsihaketuksen vähenevän ja terminaali- sekä käyttöpaikkahaketuksen tai -murskauksen lisääntyvän.

Tulevaisuudessa loppukäyttäjät haluaisivat alalle lisää kilpailua. Kuitenkin toimittajien toivottiin olevan suurehkoja, jotta toimitusvarmuus pystyttäisiin takaamaan. Intoa käytön lisäämiselle löytyi, mutta turvetta pidettiin erittäin kilpailukykyisenä ja samalla uhkana metsähakkeen lisäämiselle. Samalla kun loppukäyttäjät halusivat pudottaa metsähakkeen hintaa, hakeyrittäjät ja hankintaorganisaatiot ennustivat hinnan väistämättä nousevan tulevina vuosina.

5. Tuloksien hyödyntäminen

Tuloksia voidaan hyödyntää kehitettäessä metsäkoneyrittäjien roolia energiapuun korjuussa. Mm. maksuperustekäytännön selkiyttäminen toisi vakautta ja uskottavuutta asialle yrittäjien silmissä. Myöskin hakkuutekniikan, tilan käytön, varastoinnin ja puomiston kehittäessä yrittäjien mielipiteet tulisi ottaa huomioon.

Rakennettaessa toimitusketjuja energiapuun loppukäyttäjien tarpeita palvelemaan täytyy heidän vaatimuksensa tuntea. Loppukäyttäjien mielestä eniten parannettavaa on aikataulujen noudattamisessa, toimitusvarmuudessa ja toimittajien motivaatiossa. Myös hakkeen laatuun, ympäristöasioiden huomioonottamiseen ja laatujärjestelmän käyttöönottoon tulisi panostaa.

6. Projektin jatkosuunnitelmat

Projektista on jätetty jatkohakemus Tekesin puuenergian teknologiaohjelmalle. Uusi projektisuunnitelma on nimeltään: Demonstraatiohanke pk-yritysten yhteistoiminta verkoista energiapuun hankkimiseksi. Uudessa projektissa tarkastellaan kysymystä: Mikä on pienyritysten rooli ja uskottavuus puuenergian toimittajina? Millaiset toimintamallit ja markkinoinnin keinot voisivat lisätä pk-yritysten uskottavuutta puuenergian toimittajina?

Projektin tavoitteena on kehittää yrittäjävetoinen toimintamalli metsähakkeen toimittamiseksi. Toimitusvarmuus taataan kokoamalla yrittäjistä verkosto, jossa yrittäjät sitoutuvat vastaamaan toimituksista yhteisvastuullisesti. Tällöin mahdolliset ongelmat yksittäisen yrittäjän kohdalla eivät vaaranna koko verkoston toimintaa.

Projekti tulisi muodostumaan kahdesta osahankkeesta: Ensimmäisessä osahankkeessa selvitetään toteuttamiskelpoiset toimintamallit yrittäjäverkoston toimintaa silmällä pitäen. Toisessa osahankkeessa käynnistetään käytännön demonstraatioketjun toiminta. Hanke toteutetaan yhteistyössä Metsäntutkimuslaitoksen, Koneyrittäjien liiton ja Metsäalan kuljetusyrittäjien kanssa. Vetovastuu tulisi olemaan Koneyrittäjien liitolla.

7. Julkaisut ja raportit

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

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

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

Hakkuutähteen tilavuuden estimointi harvesterin tietojärjestelmässä – PUUT03

Pertti Harstela

Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta

PL 111, 80101 Joensuu

Puh. 013-2513625, faksi 014-2513590

e-mail: pertti.harstela@joensuu.fi

Nuutti Kiljunen

Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta

PL 111, 80101 Joensuu

Puh. 013-2513382, faksi 014-2513590

e-mail: nuutti.kiljunen@joensuu.fi

Abstract

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

An estimation method was developed for the amount of logging residues. The method is operated in the data system of the harvester, and it uses the data from the measuring gauge of the harvester. Regression models, by which it is possible to estimate separately the DS-contents of the stems smaller than the minimum diameter of pulpwood and branches, were compiled in the research. It is possible to use the height of the minimum altitude of the treetop and the corresponding diameter, as well as the geographic location of the stand to assist the information obtained from the tapper curves in estimation. The estimation models will be programmed as a part of the data system of the harvester, so it is possible to print out an estimate of the DS-content of the logging residues by the side of timber assortment data to the measuring list. The relative average error of the estimates in the estimation of the logging residues of the stands is less than 10%. In the case of individual trees the average error is higher, but it becomes even on the stand basis, as it was expected.

1. Projektin tausta

Hakkuutähdehakkeen lisääntyvä käyttö polttoaineena asettaa uusia vaatimuksia polttoainetta hankkiville yrityksille. Arvion saaminen hakkuutähteen määrästä ainespuun hankinnan yhteydessä on helpottaa ja tehostaa yrityksen puupolttoainetoimitusten suunnittelua. Arviointimenetelmän lähtökohtana pidettiin sitä, että se pohjautuu helposti saatavissa olevaan mittaustietoon, eikä vaadi muutoksia hakkuukoneeseen lukuunottamatta sen tietokoneen mittausohjelmistoa.

2. Tavoite

Projektin tavoitteena on luoda menetelmä ja laskentamallit hakkuutähteen määrän estimoimiseksi hakkuukonemittauksen yhteydessä. Laskentamallit käyttävät lähtötietonaan harvesterin mittalaitteelta saatavaa informaatiota ja mahdollisesti leimikkokohtaista lisäinformaatiota. Malleilla lasketaan erikseen kuitupuun latvaläpimittaa ohuemman rungonosan massa ja oksien kokonaismassa. Harvesterin tietojärjestelmään ohjelmoitujen laskentamallien avulla tietojärjestelmä tulostaa arvion hakkuutähteen määrästä mittaustilastaan ainespuutavaralajien lisäksi. Luotavan arviointimenetelmän luotettavuuden selvittäminen on olennainen osa hanketta.

3. Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa käytettävä aineisto mitattiin Metsäntutkimuslaitoksessa 1980-luvun puolivälissä. Tarkempi selvitys aineiston keruusta on julkaisussa Folia Forestalia 773. Yksikertaisesti kuvattuna aineiston keruu tapahtui sijoittamalla ympäri Suomea valituille päätehakkuuleimikoille systemaattisesti 50 m välein koealoja, joiden keskipisteen ympäriltä valittiin 10 lähintä hakkuussa kaadettavaa puuta mitattaviksi. Mallien laadinta päätettiin rajoittaa ainoastaan päätehakkuuleimikoihin, joita oli 41 kpl, mikä pienensi analysoitavaa aineistoa huomattavasti. Päätehakkuuleimikoista mitattua aineistoa oli siten yhteensä 2050 puuta.

Aineistoa täydennettiin Metsäntutkimuslaitoksen KPL-ohjelmalla sovittamalla puille runkokäyrät ja laskemalla runkopuun kokonaistilavuudet, sekä rungon käyttöpuuosan tilavuudet 5–9 cm latvaläpimittaan asti senttimetrin välein.

Kuitupuun latvaläpimittaa ohuemman latvakappaleen tilavuus saatiin runkopuun kokonaistilavuuden ja tiettyyn läpimittaan asti lasketun käyttöpuuosan tilavuuden erotuksena. Katkaisuläpimittoja vastaavat katkaisukorkeudet laskettiin lineaarisista interpolointia apuna käyttäen. Runkokäyrän lineaarisuusoletus katkaisukohtien määrittämisessä ei käytetyissä lyhyissä kahden metrin mittauspätkissä aiheuta oleellista harhaa tulokseen.

Laskentamallien laadinnassa käytettiin lineaarisista regressioanalyysiä. Muuttamien muuttujien kohdalla tehtiin epälineaarisia muunnoksia muuttujien välisten suhteiden epälineaarisuuden tai heteroskedastisuuden vähentämiseksi. Latvakappalemalleja laadittaessa arvottiin kullekin rungolle katkaisuläpimitta tasajakau-
masta väliltä [5,9] cm. Aineistosta poistettiin seuraavaksi ne pienet puut, joiden katkaisukorkeus tietyllä kuitupuun latvaläpimitalla oli alle 20 desimetriä. Näin kyseiset ainespuuna korjattavan rungon koon reilusti alittavat puut eivät aiheuta harhaa laadittaviin malleihin. Latvakappaleiden tilavuusmitat muutettiin kappaleiden kuivamassoiksi kotimaisesta tutkimuskirjallisuudesta etsittyjen kuivatuo-
retiheyksien ja puun ja kuoren tilavuusosuuksien avulla. Mallien laadintaa yksin-
kertaisti harvesterin mittaustekniikasta johtuva selittävien muuttujien rajoitettu määrä ja laatu. Näin voidaan oksamalleista unohtaa monia usein oksamassamal-
leissa käytettyjä selitysvoimaisia muuttujia, kuten i_5 , puun ikä tai latvuksen leveys.

4. Tulokset

Yksittäisen puun hakkuutähteen kuivamassa vaihtelee samassa leimikossa varsin paljon samankokoisilla puillakin. Projektissa muodostetuilla malleillakin puukohtaiset virrehajonnat ovat sangen suuret (taulukko 1). Otettaessa tarkastelun kohteeksi kaikki leimikoilta mitatut ainespuun mitat täyttävät puut, pieneni hakkuutähteen massan virrehajonta huomattavasti (taulukko 2.). Kuten ennalta on voitu jo olettaa, ainespuutavaran mittausvaatimusten mukaiseen tarkkuuteen ei ole tässä mahdollista päästä, mikä ei välttämättä ole tarkoituksenmukaistakaan.

Ongelmallista hakkuutähdemallien laadinnassa on puiden kokojakauman leveys. Päätehakkuissakin on suurten puiden seassa runsaasti pienempiä runkoja erityisesti kuusikoissa. Suurten puiden hakkuutähteen määrän ennustamisessa ylhäältä rungosta saatava informaation parantaisi mallien puukohtaista ennustetarkkuutta jonkin verran. Pienistä puista vastaavilta absoluuttisilta korkeuksilta läpimittatie-

toa ei voida saada, joten käyttöön jouduttaisiin ottamaan useampia, erikokoisille puille tarkoitettuja malleja. Leimikkotasolla, mikä menetelmän varsinainen käyttökohde onkin, ongelman merkitys on kuitenkin puutasoa pienempi.

Latvakappalemallit tehtiin pohjautuen ainoastaan rungosta saatavaan informaatioon. Selittävinä muuttujina olivat läpimitta kahden metrin korkeudella kannonkorkeudesta, ohuimman kuitupuupölkyn latvapään etäisyys kannonkorkeudesta, ohuimman kuitupuupölkyn latvaläpimitta, sekä kapenema viimeisen metrin matkalla ennen ohuimman kuitupuupölkyn latvankatkaisua. Oksakuivamassamalleja tehtiin kolmen tasoisia selittäviä muuttujia käyttäen. Tason I mallit sisältävät ainoastaan runkokäyrästä johdettavia tunnuksia. Tasolla II on mukaan otettu elävän latvuksen alarajan korkeus tai sitä vastaava läpimitta. Tämän tason mallien käyttö edellyttää lisätyötä harvesterin kuljettajalta apterauksen yhteydessä. Tasolla III lisättiin selittäjäksi vielä yhtenäiskoordinaatiston pohjoiskoordinaatti kuvaamaan leimikon maantieteellistä sijaintia.

Taulukko 1. Harha ja mallien suhteellinen keskivirhe yksittäisen puun hakkutähteen kuivamassan arvioinnissa eri tasoisia malleja käytettäessä. Leimikkotasoon virhe perustuu 35–50 kultakin leimikolta mitattuun puuhun.

Malli	Harha (%)	Keskivirhe (%)	N _{puut}
Mänty I	2.9	27.6	653
Mänty II	1.6	22.2	653
Mänty III	1.1	22.0	653
Kuusi I	2.3	25.1	805
Kuusi II	1.5	21.5	805
Kuusi III	1.6	20.9	805
Koivu I	1.3	27.4	445
Koivu II	0.8	24.3	445
Koivu III	0.8	24.2	445

Taulukko 2. Hakkuutähteen kuivamassan harha ja suhteellinen keskivirhe leimikotasolla eri tasoisia malleja käytettäessä. Vertailun vuoksi on laskettu usein käytettyyn ainespuun tilavuus - hakkuutähteen massa-suhteeseen perustuva arvio.

Mallitaso	Harha %	Keskivirhe (%)	N _{leimikot}
I	-2.9	8.7	41
II	-2.6	7.7	41
III	-2.9	7.2	41
Suhde-estimaatti	-8.7	28.9	41

5. Tuloksien hyödyntäminen

Projektissa luotu menetelmä on koekäyttövaiheessa yhdessä sen mahdollisista tulevaisuuden käyttökohteista, mutta jatkossa järjestelmä on tarkoitus ottaa käyttöön aluksi Ponssen valmistamissa harvesterissa. Tällä hetkellä hakkuutähteen määrän arviointi tapahtuu vielä Ponsse-harvesterin tulostaman STM-runkotiedoston avulla. Muilla metsäkonevalmistajilla on mahdollisuus käyttää samoja malleja niiden tieteellisessä julkaisusarjassa julkaisemisen jälkeen. Kun järjestelmä on yleistynyt laajempaan käyttöön, tarjoaa se käyttökelpoisen työkalun hakkuutähdehakkeen hankinnan logistiikan suunnitteluun ja tehostamiseen.

6. Projektin jatkosuunnitelmat

Leimikolta saatavan hakkuutähteen kokonaismäärän lisäksi on yhtä tärkeää tietää mikä osuus kokonaismäärästä on saatavissa talteen polttoaineena. Saantosuuden selvittäminen on luonteva jatko meneillään olevalle tutkimukselle. Mikäli leimikolta saatavan hakkuutähteen määrää pystyttäisiin ennakoimaan puunhankintaorganisaatiolla olevan leimikkotiedon pohjalta jo ennen hakkuuta, pystyttäisiin arvioimaan leimikon soveltuvuus hakkuutähteen korjuuseen ja harvesterin työskentelytapa voitaisiin valita sen mukaan. Ennakoarviointimenetelmän kehittäminen voitaisiin tehdä ei-parametrisilla menetelmillä, mikäli sopiva aineisto saadaan käsiteltäväksi.

7. Projektissa syntyneet julkaisut ja raportit

Kiljunen, N. 2000. Functions for estimation of the dry mass of logging residues in a harvester's data system. 16 s. Käsikirjoitus lähetetty julkaistavaksi sarjassa Scandinavian Journal of Forest Research.

Ensiharvennusleimikot metsähakkeen korjuukohteina – PUUT04

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

Abstract

Project title in English: Wood energy harvesting conditions in first thinnings

Harvesting conditions are an important consideration when comparing harvesting methods and costs. The number, size and quality of trees to be removed, remaining trees, hauling distance and terrain conditions have a great effect on work productivity. Knowledge of the stem frequency distribution creates possibilities to compare different bucking alternatives in harvesting of wood energy.

The research project covers two research areas. The first examines stem frequency distribution and harvesting conditions of first thinning stands. These are studied by using three different information sources: sample plot measurements, district forestry plans and National forest survey data. The second research area studies the possibility of improving wood energy harvesting conditions. For example, cooperation between forest owners and forest companies is one possible way of improving harvesting conditions.

The possibilities for improving harvesting conditions are in the first stage studied with theoretic calculations on a forest area of 5000 hectares. Different wood energy harvesting methods are compared in stands of the study area to be cut in the next 5- and 10-year periods with thinnings and clear cuttings included. Later a pilot study of practical cooperation possibilities will also be carried out.

1. Johdanto

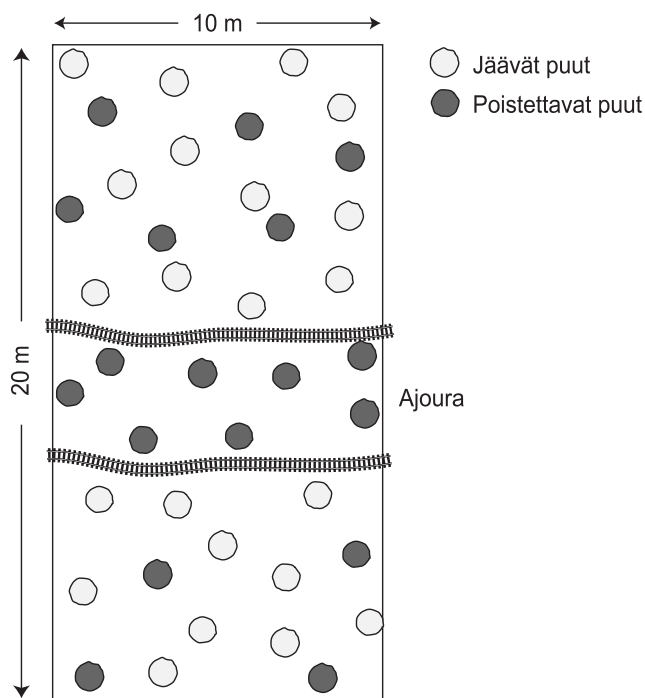
Korjuuolojen tuntemus on yksi kulmakivi korjuumenetelmiä verrattaessa ja korjuukustannuksia laskettaessa. Korjuuolojen vaikutus korjuumenetelmien työn tuottavuuteen on yksi metsätyöntutkimuksen keskeisistä tutkimusaiheista. Poistettavien puiden koko ja laatu, poistuman ja jäävän puuston määrä, kuljetusmatka sekä maasto vaikuttavat keskeisesti korjuutyön tuottavuuteen. Eräs keskeisistä asioista sekä harvennuksissa että päätehakkuissa on runkolukusarja, jonka tuntemus antaa esimerkiksi energiapuun talteenotossa mahdollisuuden vertailla kertymiä erilaisilla katkontavaihtoehdoilla. Metsäntutkimuslaitoksen hanke Puuenergian teknologiaohjelmassa sisältää kaksi tutkimusaihetta. Ensiharvennusten runkolukusarjoja ja niihin vaikuttavia tekijöitä selvitetään kolmesta eri tietolähteestä. Toisena tutkimuskohteena ovat korjuuolojen parantamismahdollisuudet. Tähän pyritään ensivaiheessa teoreettisella, myöhemmin käytännön yhteistyövaihtoehtoja selvittävällä tarkastelulla.

2. Tutkimusmenetelmä ja -aineisto

2.1 Ensiharvennusmänniköiden runkolukusarjat

Runkolukusarjoja ovat Bioenergian tutkimusohjelmassa selvittäneet Korpilahti ym. (1998) Etelä-Pohjanmaan ja Pohjois-Karjalan metsäkeskusten alueilta. Mittaukset tehtiin 50 m² ympyräkoaloilta, joiden puut jaettiin jääviin ja poistuviin. Korpilahden ym. (1998) mukaan koalan koko olisi saanut olla suurempi.

Puuenergian teknologiaohjelman hankkeessa runkolukusarjoja tutkitaan käytäntöä jäljittelevällä tavalla. Mittaukset tehdään suorakaiteen muotoisilta, 20 m x 10 m koealoilta (kuva 1). Koealan keskivaiheille leimataan vajaan 4 m levyinen ajoura. Ajouran ulkopuoliselle alueelle tehdään laatuharvennuksen mallileimaus. Koealueen puista mitataan kokoa ja laatua kuvaavia tunnuksia. Kaikki yli 1,3 m pitkät puut mitataan. Alle 1,3 m pituisten puiden lukumäärät määritetään puulajeittain.



Kuva 1. Ensiharvennusten runkolukusarjojen mittauskoeala.

Tutkimuksen tavoitteena on ennustaa ensiharvennusmänniköiden runkolukusarjoja sekä poistettavien puiden energiapuun määrää erilaisilla pölytysvaihtoehdoilla. Myös alle ainespuumitan olevan puuston määrä selvitetään. Alle ainespuumitan oleva osio on toisaalta energiapuuta, toisaalta se saattaa vaikeuttaa korjuuta. Tavoitteena on luoda kuva kasvupaikan ja metsikön historian vaikutuksesta ensiharvennusmänniköiden rakenteeseen.

Aineisto kerätään Hämeen-Uudenmaan, Etelä-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueilla. Mittaustavoite on 70 koealaa. Koealat valitaan seuraavalla viisivuotiskaudella hakattaviksi merkityistä ensiharvennuksista siten, että mukaan saadaan kasvupaikaltaan, uudistamistavaltaan (istutus, kylvä, luontainen) ja käsittelyltään (taimikonhoito) erilaisia leimikoita. Mukaan ei oteta leimikoita, jotka on vastikään raivattu korjuuta ajatellen.

Syksyllä 1999 mitattiin 33 koealaa Hämeen-Uudenmaan ja Etelä-Pohjanmaan alueilta. Aineiston keruu jatkui huhtikuun lopulla kuluvana vuonna. Nyt esitettävät mallit ovat alustavia tuloksia perustuen Hämeen-Uudenmaan metsäkeskuksen alueelta 24 koealalta mitattuihin 620 runkoon. Kasvupaikka oli joko MT- tai VT-kangas. Tutkimusaineiston puustotunnukset (männyn mediaaniläpimitta d_M , pohjapinta-ala G ja runkoluku N sekä koko metsikön pohjapinta-ala G_{tot} ja runkoluku N_{tot}) esitetään taulukossa 1.

Taulukko 1. Tutkimusaineiston keskimääräiset puustotunnukset vaihteluineen.

	Keskiarvo	Keskihajonta	Min	Max
d_M , cm	11,6	2,7	6,4	16,3
G , m^2ha^{-1}	29,5	3,8	21,6	34,9
N , kpl ha^{-1}	2630	960	1500	4850
G_{tot} , m^2ha^{-1}	33,4	3,8	25,5	44,1
N_{tot} , kpl ha^{-1}	4820	1970	1950	8550

2.2 Aluesuunnitelma- ja VMI-ajot

Aluesuunnitelmien ajot muodostavat toisen tason ensiharvennusten korjuuolujen selvittämisessä. Aluesuunnitelmien ajoja tehtiin Bioenergian tutkimusohjelmassa (Korpilahti ym. 1998) Etelä-Pohjanmaan ja Pohjois-Karjalan metsäkeskusten alueilta. Nyt käsiteltävässä hankkeessa ajot tehtiin Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueilta. Ajoihin otettiin mukaan kuviot, joille on ehdotettu hakkuuta seuraavalla 5- tai 10-vuotiskaudella. Pääpuulajiksi aineistossa

oli määritetty puulaji, jonka hyväksi toimenpiteet tehdään tai jonka osuus metsikön puuntuotosta ja runkotilavuudesta on suurin.

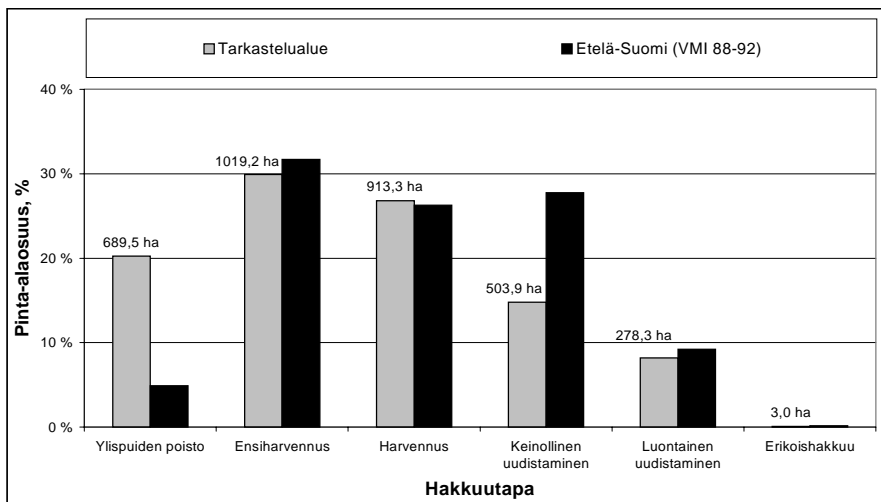
Valtakunnan metsien inventoinnissa kertyy runsaasti runkolukusarjoja käsittelevää tietoa. Ongelmana on tiedon ryhmittely siten, että otos olisi alueellisesti riittävä ja tulokset kuitenkin mahdollisimman yksityiskohtaisia. VMI-ajaja suunniteltaessa käytetään hyväksi koealamittauksista ja aluesuunnitelmista saatavaa tietoa. VMI-ajot tehdään vuoden 2000 syksyllä.

2.3 Korjuulojen parantamismahdollisuudet metsätalousaluetasolla

Sekä teollisuuden ainespuun että energiapuun korjuukustannuksiin vaikuttavat monet asiat kuten leimikkotekijät, kuljetusetäisyydet, puunhankinnan organisointi ja logistiikan toimivuus. Ensiharvennusten energiapuuta teollisessa mittakaavassa korjattaessa yksittäinen kuvio tai tilakohtainen leimikko antaa tehokkaalle toiminnalle huonot toimintaedellytykset. Korjuun tehokkuuteen ja samalla toiminnan kattavuuteen voidaan vaikuttaa kasvattamalla toimintayksiköitten kokoa.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää sekä hankkeiden tilakohtaisen keskittämisen että metsänomistajien välisen yhteistyön vaikutusta ensiharvennuskorjuun energiapuun korjuuseen vertailemalla tarkastelualueen energiapuun korjuun kustannuksia ja kattavuutta erilaisilla toimintavaihtoehdoilla. Laajemmassa mittakaavassa toteutuva energiapuukorjuuketjujen tarkastelu edellyttää ensiharvennusten pienpuun lisäksi myös päätehakuualoilta saatavan hakkuutähteen mukana olon, muodostaahan se tuotantokustannuksiltaan selkeästi kannattavimman energiapuupotentiaalin.

Korjuuoloja tarkastellaan Orimattilassa sijaitsevalla, kolmesta metsätalousalueesta muodostuvalla yhtenäisellä alueella. Tarkastelu perustuu 4968 ha TASO-alue suunnitelmien vuoden 1999 lopun tasolle päivitettyihin kuvio- ja karttatietoihin. Seuraavina 5- ja 10-vuotiskausina alueelle on ehdotettu hakkuuta yhteensä 3407 ha alalle, joka on 71 % suunnittelualan metsämaa-alasta. Vastaava pinta-alaosuus Etelä-Suomen metsämaasta on VMI-tietojen (1988–1992) perusteella 61 % (Salminen & Salminen 1998). Kuvassa 2 esitetään tarkastelualueelle seuraavalla 10-vuotiskaudella ehdotetut hakkuut hakkuutavoittain.



Kuva 2. Tarkastelualueen seuraavan 10-vuotiskauden hakkuuehdotuspinta-alan jakautuminen hakkuutavoittain. Vertailuna ehdotetut eri hakkuutapojen pinta-alaosuudet VMI:n mukaan Etelä-Suomessa.

Tarkastelualueella on ehdotettu hakkuuta kaikkiaan 2272 kuviolle. Keskimääräinen kuvion koko on 1,5 ha. Kuvioista 498 on päätehakkuukuvioita keskipöytäalaltaan 1,6 ha ja 719 ensiharvennuskuvioita keskipöytäalaltaan 1,4 ha.

3. Tutkimustulokset

3.1 Ensiharvennusmänniköiden runkolukusarjat Hämeen-Uudenmaan metsäkeskuksen alueella

Puuston läpimittajakauma kuvattiin Weibull-jakaumalla ja harvennuspoistumaan sovellettiin logistista mallia kuvaamaan mallileimausta. Yksinkertaisimmillaan harvennuskalleja on toteutettu läpimittajakauma katkaisemalla. Hafleyn ja Bufordin (1985) mallissa katkaisu tehtiin kaksiulotteisesta läpimitan ja pituuden jakaumasta molempien dimensioiden avulla alaharvennuksessa. Jakauman katkaiseminen tiettyyn läpimittaan ei käytännössä anna oikeaa kuvaa poistuman rakenteesta. Pesonen ja Hirvelä (1992) sovittivat läpimittaluokittaista poistotodennäköisyyttä esittävän suoran vastaamaan Metlan kestokoeaineistoa. Valsta (1992) jakoi läpimittajakauman useampaan luokkaan, joille voitiin hakea erilaiset harvennusvoimakkuudet optimoinnilla. Useat kehittyneemmät harvennusalgoritmit vaativat yksittäisten puiden koko ja sijaintitiedot (esim. Pukkala ja Miina 1998 ja Vetterranta ja Miina 1999).

3.1.1 Lähtöpuuston ennustemalli

Puuston rakennetta kuvattiin kahden parametrin Weibull-jakaumalla, joka estimoitiin maximum likelihood -menetelmällä. Estimoiduille jakauman muoto-parametreille (c) laadittiin ennustemalli. Kun kyseinen parametri sekä jakauman mediaani tunnettiin, voitiin toinen parametri (b) ratkaista analyttisesti. Tämä merkitsi samalla sitä, että mitattu mediaani sijoitettiin ennustetun jakauman mediaaniksi. Lähtöpuuston läpimittajakaumaa ennustava yhtälö sai muodon

$$\hat{c} = a_0 + a_1 \left(\frac{d_M}{d_{max}} \right) - a_2 MT, \quad (1)$$

jossa d_M = mediaaniläpimitta
 d_{max} = suurin läpimitta
 MT = dummy-muuttuja; arvo 1, jos kasvupaikka on MT, muulloin $MT = 0$
 a_0, a_1 ja a_2 mallin estimoitavat parametrit

Olettamalla VT-männikkö lähtötasoksi voitiin MT:n vaikutus kuvata dummy-muuttujan avulla. Mediaanin ja suurimman läpimitan suhde selitti 75 prosenttia parametrin c vaihtelusta ja kasvupaikkatyyppin huomioiminen nosti selityksasteen 80 prosenttiin. Mallin tarkastelu osoitti, että MT-männikössä oli suurempia puita kuin VT-männikössä, vaikka yhtälöön (1) sijoitettiin sama mediaani ja maksimiläpimitta molemmille kasvupaikoille.

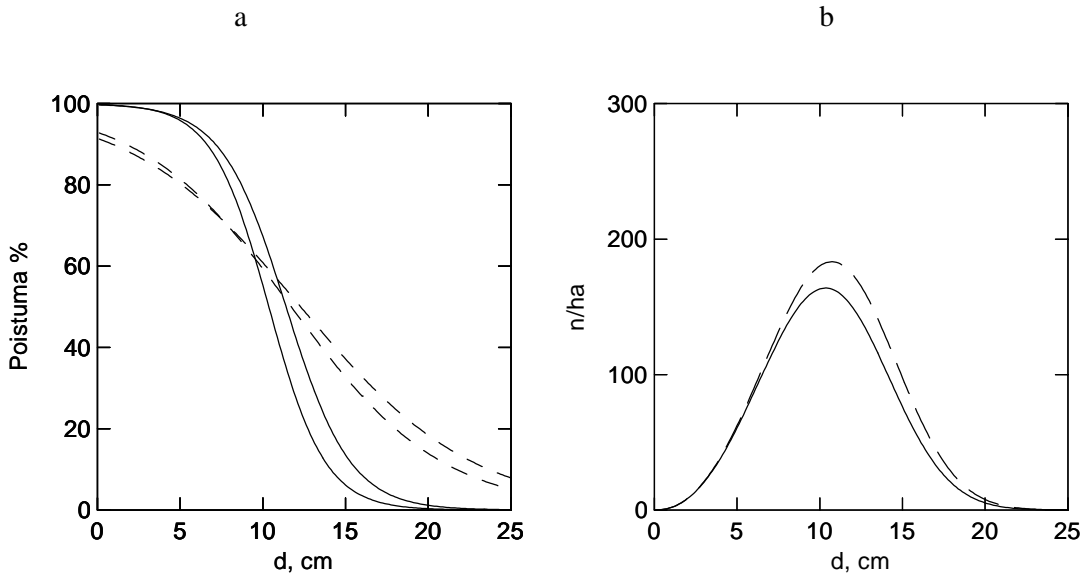
3.1.2 Poistuman rakenne logistisella mallilla läpimittajakaumasta

Logistisella mallilla kuvattiin puun todennäköisyyttä sisältyä harvennuspoistumaan. Kun malli liitettiin ennustettuun lähtöpuustoon, saatiin loogisesti toimiva malliyhdistelmä. Laadituilla malleilla voitiin vertailla toisiinsa metsänhoidollista poistumaa ja hakkuun jälkeistä poistumaa ajourineen. Sama malli (2) sovitettiin sekä metsänhoidollisen harvennuksen rakennetta että ajouravaikutusta kuvaamaan.

$$\hat{p}(h_i) = \frac{\exp(a_0 - a_1 d_{rel} - a_2 d_M + a_3 MT)}{1 + \exp(a_0 - a_1 d_{rel} - a_2 d_M + a_3 MT)}, \quad (2)$$

jossa $\hat{p}(h_i)$ = on puun todennäköisyys tulla poistetuksi ensiharvennuksessa
 d_{rel} = puun suhteellinen läpimitta ($d_{1,3}/d_M$)
 a_0, a_1, a_2 ja a_3 mallin estimoitavat parametrit

Puun suhteellista kokoa esittävä tunnus (d_{rel}) kuvasi puun asemaa metsikössä. Tällä tavalla leimikot voitiin erotella toisistaan keskiläpimitan avulla ja yksittäiset puut kuvattiin yhtenäisesti niiden suhteena keskiläpimittaan. Jos harvennus toteutettiin suhteellisen pieniläpimittaisessa puustossa, oli poistumaa kuvaava todennäköisyys hyvin jyrkkä läpimitan suhteen (kuva 3a). Keskiläpimitan kasvaessa poistuman todennäköisyys tasoittui. MT erosi VT-kasvupaikasta poistuman järeytymisenä (kuva 3b). Vaikka puuston keskiläpimitta oli sama, poistui ensiharvennuksessa MT-kankaalla suhteellisesti ottaen enemmän järeämpiä runkoja kuin VT-kankaalla.



Kuva 3. Harvennuksen kohdistuminen eri läpimittaluokkiin metsikön mediaaniläpimitan ollessa 6 cm (—) tai 16 cm (- - -). Ajouravaikutus (läpimittaluokkien oikeanpuoleiset käyrät) näkyy lievänä käyrän loivenemisena ja siirtymisenä oikealle (kuva a). Harvennuspoistuman läpimittajakaumat 16 cm keskiläpimittaiselle metsikölle VT (—) ja MT (- - -) kasvupaikalla (kuva b).

3.1.3 Tulosten tarkastelu

Puuston rakenteen ennustaminen todennäköisyysjakaumien avulla on ollut pitkäaikainen käytäntö metsätaloudessa. Suomessa ensimmäiset ennustemallit laati Päivinen (1980). Valtaosa jakaumista on esitetty pohjapinta-alan läpimittajakaumina, mutta ensiharvennusvaiheen metsissä runkolukujakauma on hyvin perusteltu. Myös poistuman rakenne voidaan ennustaa poistuvan puuston läpimittajakaumana. Näin menetellen ei kuitenkaan voida olla varmoja jakaumamallien yhteensopivuudesta.

Kun mallien yhteensopivuus on etusijalla, luo logistinen malli vankan perustan. Harvennustapahtuma on tyypillinen 'ota tai jätä' tilanne, jolloin tapahtuma voidaan esittää binäärisen (0 tai 1) muuttujan avulla. Pelkästään puun kokoon perustuva harvennusmalli ei pysty jäljittelemään todellisuutta, koska harventami-

nen on mitä suurimmassa määrin puiden sijaintiin liittyvää kasvutilan hoitoa. Kuitenkin keskimääräinen poistuman rakenne voidaan kuvata kohtuullisen luotettavasti ilman puiden sijaintia. Mallit olivat alustavia eikä ennustettujen ja havaittujen jakaumien yhteensopivuuksia tilastollisesti testattu.

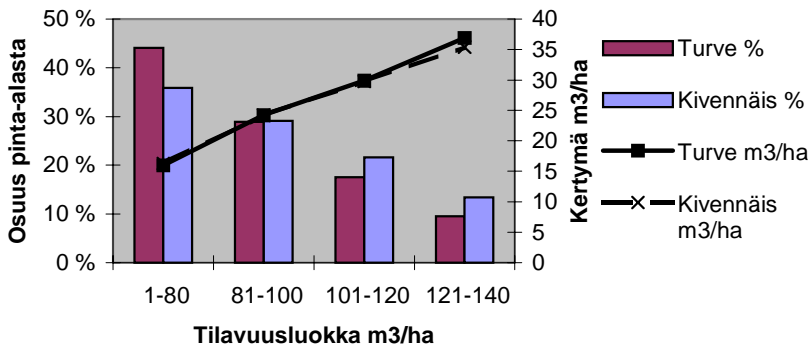
3.2 Aluesuunnitelmien ajot Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueilla

Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella poimintaan otettujen aluesuunnitelmien pinta-ala oli 838 340 ha kattaen 73 % alueen yksityismetsien metsämaan pinta-alasta. Pohjois-Pohjanmaan aineisto koostui kaikkiaan 32 177 ensiharvennuskuviosta, joiden yhteispinta-ala oli 45 474 ha. Tästä turvemaiden osuus oli 53,7 %, josta mäntyvaltaisia oli 61,7 %, kuusivaltaisia 4,8 % ja lehtipuuvallaisia 33,5 %. Kivennäismaita oli 46,3 %, josta mäntyvaltaisia oli 79,5 %, kuusivaltaisia 10,5 % ja lehtipuuvallaisia 10,0 %.

Keski-Suomen metsäkeskuksen alueella poimitujen aluesuunnitelmien kattavuus oli 729 937 ha kattaen 61 % alueen yksityismetsien metsämaan pinta-alasta. Aineisto koostui 39 254 ensiharvennuskuviosta, joiden yhteispinta-ala oli 57 352 ha. Tästä turvemaiden osuus oli 23,3 %, josta mäntyvaltaisia oli 61,3 %, kuusivaltaisia 13,4 % ja lehtipuuvallaisia 25,3 %. Kivennäismaita Keski-Suomen metsäkeskuksen alueella oli 76,7 % ensiharvennuskuvioiden pinta-alasta, josta oli 68,6 % mäntyvaltaisia, 21,1 % kuusivaltaisia ja 10,3 % lehtipuuvallaisia. Aineiston jatkokäsittelyssä selvitetään kasvupaikat, jotka poikkeavat toisistaan tilavuus- ja kertymätunnusten suhteen.

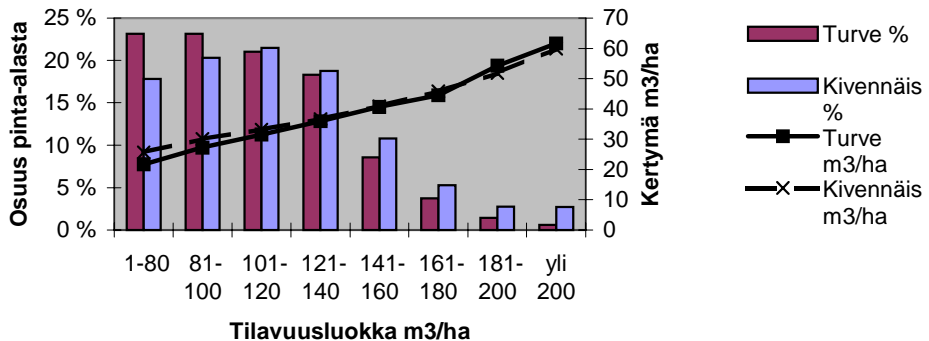
Seuraavalle viisivuotiskaudelle ehdotettujen ensiharvennusten jakautuminen tilavuusluokkiin (m^3/ha) ja hehtaariohaiset kertymäärviot kivennäis- ja turve- mailla metsäkeskuksittain esitetään kuvissa 4 ja 5. Seuraavalle viisivuotiskaudelle ehdotettujen ensiharvennusten keskimääräiset hakkuukertymät ja puuston kokonaistilavuudet eri kasvupaikoilla pääpuulajeittain esitetään taulukossa 2.

Pohjois-Pohjanmaa



Kuva 4. Seuraavalle viisivuotiskaudelle ehdotettujen ensiharvennusten jakautuminen tilavuusluokkiin (m³/ha) ja hehtaarikohtaiset kertymäarvot kivennäis- ja turvemaidella Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella.

Keski-Suomi



Kuva 5. Seuraavalle viisivuotiskaudelle ehdotettujen ensiharvennusten jakautuminen tilavuusluokkiin (m³/ha) ja hehtaarikohtaiset kertymäarvot kivennäis- ja turvemaidella Keski-Suomen metsäkeskuksen alueella.

Taulukko 2. Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueilla seuraavalle viisivuotiskaudelle ehdotettujen ensiharvennusten keskimääräiset hakkuukertymät ja puuston kokonaistilavuudet eri kasvupaikoilla pääpuulajeittain.

	POHJOIS-POHJANMAA		KESKI-SUOMI	
	Kertymä m ³ /ha	Tilavuus m ³ /ha	Kertymä m ³ /ha	Tilavuus m ³ /ha
TURVEMAAT:				
Mänty	22,5	84,6	29,3	105,7
Kuusi	25,6	91,7	31,9	117,7
Lehtipuu	22,3	84,6	34,0	109,6
Kaikki	22,6	85,9	31,1	108,7
KIVENNÄISMAAT:				
Mänty	24,1	91,4	33,8	112,8
Kuusi	24,9	96,3	36,5	130,0
Lehtipuu	23,3	91,7	35,5	110,5
Kaikki	24,0	91,9	34,7	116,7
METSÄMAA kaikki	23,3	88,9	33,9	114,8

3.3 Energiapuun korjuuolot Orimattilan tarkastelualueella

Tarkastelualueen kuviotiedoista poimittiin kuviot, joille oli ehdotettu päätehakuuta tai ensiharvennusta seuraavan 5- tai 10-vuotiskauden aikana. Päätehakuukuviot jaettiin edelleen keinollisesti (503,9 ha) ja luontaisesti uudistettaviin (278,3 ha). Ensiharvennuskuvioista ns. ainespuuensiharvennukset (694,6 ha) eriteltiin TASO-kuviotietojen avulla kohteista, jotka täyttävät Hämeen-

Uudenmaan metsäkeskuksen alueella Kestävän metsätalouden rahoituslain mukaiset 2-kehitysluokan metsän harvennuksen (NMK) ja energiapuun korjuun tukiehdot (324,6 ha). Puulajivaltaisuuden perusteella tarkastelualueen metsiköt soveltuvat hyvin sekä päätehakkuiden hakkuutähdepuun että harvennuspuiden pienpuun korjuuseen, sillä päätehakkupinta-alasta on 87 %:ssa pääpuulajina kuusi ja ensiharvennuspinta-alasta 81 %:ssa mänty.

Tarkastelualueelle ehdotetut ensiharvennukset ja päätehakkuut jakautuvat varsin tasaisesti ensimmäisellä ja toisella viisivuotiskaudella tehtäväksi (taulukko 3). Valtaosa hakkuista soveltuu vain talvella tehtäväksi.

Taulukko 3. Tarkastelualueen ainespuuensiharvennus ja nuoren metsän kunnostus (NMK) pinta-alojen sekä keinollisesti ja luontaisesti uudistettavien hakkuupinta-alojen suhteellinen jakautuminen hakkuun kiireellisyyden ja korjuukelpoisuuden mukaan.

Hakkuutapa		Pinta-alaosuus hakkuupinta-alasta, %					
		Kiireellisyys 0–5 vuotta			Kiireellisyys 5–10 vuotta		
		Aina	Kesä	Talvi	Aina	Kesä	Talvi
ENSI-HARVENNUS	Ainespuuensih.	0	3	38	1	2	29
	NMK	0	1	6	1	1	18
	Kaikki	0	4	44	2	3	47
PÄÄTE-HAKKUUT	Keinollinen	2	16	17	5	9	16
	Luontainen	4	13	6	2	6	4
	Kaikki	7	29	22	7	15	20
KAIKKI HAKKUUT		3	15	34	4	8	36

3.3.1 Energiapuupotentiaali ja korjuukelpoinen energiapuureservi

Energiapuupotentiaalilla tarkoitetaan tässä kaikkea teollisuuden ensiharvennusten ja päätehakkuiden raaka-aineeksi mitta- ja laatuvaatimustensa puolesta kelpaamatonta puuta (taulukko 4). TASO-kuviotiedoissa ei ole puukohtaisia tietoja tarjolla, joten energiapuumääräarvion lähtökohdaksi asetettiin hakkuussa poistettavan ainesrunkopuun kokonaistilavuus, josta laskettiin puulajikohtaiset latvusmassa arviot Hakkilan (1991) latvusmassataulukoista johdettujen kerrointen avulla. Latvusmassa-arvioon lisättiin markkinakelvottoman hukkarunkopuun osuus (Hakkila ym. 1998). Saatuun hakkuutähteen määrään lisättiin hakkuukertymän polttopuuosuus ja energiapuuta korjattavana erityisominaisuuskoodin mukainen puumäärä.

Korjuukelpoisella energiapuureservillä tarkoitetaan puolestaan energiapuumäärää joka saatiin huomioimalla talteenoton ekologiset ja tekniset rajoitteet, mutta ei sen sijaan mitään tiettyä kustannusrajoitetasoa (taulukko 4). Päätehakkuiden korjuukelpoinen energiapuumäärä laskettiin vähentämällä energiapuupotentiaalista kuivahkojen kankaiden ja sitä karumpien kuvioden, lehtipuuvaltaisten kuvioden ja energiapuukertymältään alle 35 m³/ha olevien kuvioden energiapuupotentiaali ja kertomalla jäljellä oleva puumäärä oletetulla talteen-saantikertoimella. Ainespuuensiharvennuksissa korjuukelpoiseen energiapuureserviin laskettiin kuuluvaksi kuivahkojen kankaiden ja sitä rehevempien mäntyvaltaisten kuvioden energiapuupotentiaali vähennettynä minimikertymärajoitteen (5 m³/ha) täyttämättömien kohteiden potentiaalilla ja kertomalla jäljellä oleva puumäärä talteensaantikertoimella. NMK-kuvioilla korjuukelpoiseen energiapuupotentiaaliin laskettiin kuuluvaksi kaikki kuivahkoilla kankailla ja sitä rehevemmillä maapohjilla oleva talteenottokertoimella kerrottu energiapuupotentiaali.

Taulukko 4. Tarkastelualueen seuraavan 10-vuotiskauden ensiharvennusten ja päätehakkuiden energiapuureservi ja korjuukelpoinen energiapuureservi TASO-kertymätiedoista määriteltynä.

Hakkuutapa		Energiapuupotentiaali		Korjuukelpoinen energiapuureservi	
		m ³	m ³ /ha	m ³	m ³ /ha
ENSI-HARVENNUS	Ainespuuensih.	20 060	29	6 900	17
	NMK	8 650	27	5 590	17
	Kaikki	28 700	28	12 490	17
PÄÄTE-HAKKUU	Keinollinen	83 390	164	53 300	109
	Luontainen	24 380	87	11 720	75
	Kaikki	107 770	136	65 030	101
KAIKKI HAKKUUT		136 480	75	77 510	57

TASO-kuviotietojen perusteella määriteltynä energiapuukertymätasojatullaan jatkossa tarkentamaan koela- ja VMI-aineistojen runkolukusarjoista johdetuilla kertymääräarvioilla sekä tarkemmilla korjuumenetelmien mukaisilla talteensaanti-kertoimilla.

3.3.2 Korjuumenetelmät

Ennen varsinaista ainespuuensiharvennusta tehtävään nuoren metsän kunnostukseen ei ole kehitettyä sekä metsänhoidollisesti että taloudellisesti riittävän hyvää koneellista ratkaisua ja näissä kohteissa päädyttiin miestyövaltaiseen hakkuumenetelmään. Ensiharvennuksien korjuuketjuksi valittiin korjuuketju, jossa kaato-kasaus tehdään metsurityönä siirtelykaatometelmällä, metsäkuljetus kuormatraktorilla, haketus tienvarsivarastolla ja energiapuun kaukokuljetus hakkeena käyttöpaikalle. Vaihtoehtoisena korjuumenetelmänä ainespuuensiharvennuksille käytetään koneellista korjuuta.

Päättehakkuiden korjuumenetelmiksi valittiin kaksi menetelmää, joista toinen on nykyisin käytössä oleva valtamenetelmä: hakkuutähteen kuljetus irtorisuna tienvarsivarastolle, tienvarsivarastohaketus ja hakkeen kaukokuljetus käyttöpai- kalle. Vertailtavaksi menetelmäksi otettiin käyttöpaikkahaketus-menetelmä, jossa hakkuutähte korjataan risutukkina.

3.3.3 Yhteistyön merkitys

Leimikon koon suurentamisesta syntyvät kustannusedut syntyvät hankinnan or- ganisoinnin keskittämisestä sekä työmaiden valmisteluissa että päättämisissä kuluvan ajan vähenemisestä. Lisäksi toimintaa keskittämällä saadaan korjuuseen mukaan kertymältään alhaisia nuorten metsien harvennuskuvioita, jotka eivät muutoin täyttäisi teollismittakaavaisen korjuun vaatimuksia.

4. Hankkeen jatkosuunnitelmat

Tutkimushanke on vaiheessa, jossa aineiston keruusta siirrytään aineiston käsit- telyyn ja tulosten raportointiin. Ensiharvennusmänniköiden runkolukusarjoja ennustavat mallit antavat pohjan ensiharvennuspoistuman energiapuuosion määrittämiselle erilaisilla pölkytysvaihtoehdoilla. Ensiharvennusleimikoiden rakennetta täsmennetään VMI-ajoilla. Ensiharvennusleimikoiden maastomit- taukset, aluesunnitelmien ja VMI-ajot mahdollistavat eri tietolähteiden vertailun leimikoiden rakenteen kuvaajina.

Metsätalousaluetasolla tehtävässä kuviokohtaisessa tarkastelussa tullaan vertaile- maan energiapuun korjuukustannuksia, energiapuupotentiaalin talteensaannin tasoa sekä toiminnan kattavuutta erilaisilla yhteistyö- ja korjuuketjuvaihto- ehdoilla. Tuottavuus- ja kustannusmallit laaditaan paikkatiedon avulla saatavien kuljetusmatkojen, määritettävien korjuumenetelmäkohtaisten energiapuuker- tymien ja saatavilla olevan tuottavuus- sekä kustannustiedon avulla.

Lähteet

Hafley, W.L. & Buford, M.A. 1985. A bivariate model for growth and yield prediction. *Forest Science* 31(1):237–247.

Hakkila, P. 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. *Folia Forestalia* 773.24 s.

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

Korpilahti, A., Varhimo, A., Backman, M. & Rieppo, K. 1998. Karsimattoman puun korjuu ensiharvennuksilta. Bioenergian tutkimusohjelma. Puupolttoaineen tuotantotekniikka. Projekti 137. Loppuraportti. 33 s.

Pesonen, M. & Hirvelä, H. 1992. Liiketaloudelliset harvennusmallit Etelä-Suomessa. *Folia Forestalia* 800. 35 s.

Pukkala, T. & Miina, J. 1998. Tree selection algorithms for optimizing thinning using a distance-dependent growth model. *Canadian Journal of Forest Research* 28(5):693–702.

Päivinen, R. 1980. Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotunnusten laskenta. *Folia Forestalia* 442. 28 s.

Salminen, S. & Salminen O. 1998. Metsävarat Keskisessä Suomessa 1998–92 sekä koko Etelä-Suomessa 1986–92. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 710. 137 s.

Vettenranta, J. & Miina, J. 1999. Optimizing thinning and rotation of Scots pine and Norway spruce mixtures. *Silva Fennica* 33(1):73–84.

Valsta, L. 1992. A scenario approach to stochastic anticipatory optimization in stand management. *Forest Science* 38(2):430–447.

Tuotanto

Menetelmä nuorten metsien harvennukseen – PUUY01

Jarmo Hämäläinen & Kaarlo Rieppo
Metsäteho Oy
PL 194, 00131 Helsinki
Puh. 09-132 521, faksi 09-659 202
e-mail: etunimi.sukunimi@metsateho.fi

Summary

Project title in English: A method of thinning young stands

The goal of the project is to develop a method of harvesting energy wood and pulp wood in dense thinning stands with small-diameter trees. A felling device based on multi-tree processing and load-compacting devices for forest haulage and long-distance transportation of whole-trees have been constructed. The productivity of the harvesting method was studied in two young thinning stands of pine. The whole trees were processed with a flail-delimiting-debarking chipper. The project ends at september 2000.

1. Tavoite

Projektin tavoitteena on kehittää kilpailukykyinen energia- ja selluhakkeen tuotantomenetelmä, jolla voidaan tehostaa tiheiden ja pienirunkoisten harvennusmetsien käsittelyä.

Projektissa jatketaan Karelian Puu ja Metalli Oy:n kokopuun korjuuseen tarkoitettua keräilykaatolaitteen kehittämistä sekä rakennetaan ja kokeillaan yrityksen ideoimia metsä- ja kaukokuljetuskuorman tiivistyslaitteita. Projektissa tarkastellaan pelkkää energiapuun hankintaa sekä integroitua energia- ja teollisuuspuun hankintaa. Jälkimmäisessä osassa kokopuiden jatkokäsittely tehdään ketju-karsinta-pienrumpukuorinta-haketusyksiköllä. Lisäksi kokeillaan teollisuuspuun mitat täyttävän puun erottelumahdollisuuksia korjuuvaiheessa.

2. Organisointi

Projekti toteutetaan Metsäteho Oy:n, Karelian Puu ja Metalli Oy:n, Plustech Oy:n ja Metsäntutkimuslaitoksen yhteistyönä. Metsätehon osakkaista projektiin osallistuvat Metsäliitto Osuuskunta, Metsähallitus, UPM-Kymmene Oyj, Stora Enso Oyj, Vapo Oy ja Yksityismetsätalouden työnantajat ry.

3. Projektin tilanne

Projektista on toteutettu 5.6.2000 mennessä seuraavat tehtävät:

- Projektin suunnittelu ja koetyömaiden hankinta
- Keräilykaatolaitteen, metsätraktorikuorman tiivistyslaitteen sekä autokuorman tiivistyslaitteen suunnittelu ja rakentaminen.
- Laitteiden kokeilu ja niihin liittyvät aikatutkimukset.
- Ketjukarsinta-kuorinta-kokeet ja käsittelytulosten analysointi
- Korjuun tuottavuustulosten laskenta
- Käynnistetty kustannusanalyysit sekä potentiaalisia soveltamisolosuhteita koskeva selvitys

4. Tulokset

4.1 Yleistä

Kehitetty korjuumenetelmä ja -laitteet osoittautuivat teknisesti toimiviksi. Keräilykaatolaite soveltui harvennuspuiden kaatoon, kasaukseen, kuormaukseen ja kuorman purkuun sekä kokopuiden katkaisuun. Metsätraktorikuorman tiivistyslaitteella metsäkuljetuskuorman kokoa voitiin lisätä. Ohessa on esitetty alustavia tuloksia kokeiluista.



Kuva 1. Keräilykaatolaite toimii joukkokäsittelyperiaatteella, ja se soveltuu koko- tai osapuun korjuuseen. Kuorma tiivistetään puristuspankoilla.

4.2 Tutkimuskohteet

Maastoaineisto kerättiin kahdelta mäntyvaltaiselta kohteelta UPM-Kymmene Oyj:n mailta Enosta. Kohteiden valtapituus oli n. 10 metriä ja lähtötiheys 3100–3800 runkoa/ha. Puuston tilavuustiedot olivat :

Kohde	Lähtöpuusto, m ³ /ha	Korjuukertymä, m ³ /ha	
	Kokopuuta	Kokopuuta	Ainespuuta (7 cm)
1	135	52	24
2	139	60	30

4.3 Korjuun tuottavuus

Tuottavuuslukuihin sisältyy hakkuu ja metsäkuljetus sekä kokopuiden katkonta kaukokuljetuspituuksiin. Tuottavuus on laskettu korjattua kokonaisbiomassaa kohtia. Metsäkuljetusmatka on laskelmissa vakioitu 250 m:iin.

Kohde	Tehotuntituotos, m ³ /h
1	2.5 (1.9–3.4)
2	3.5 (3.1–4.2)

4.4 Muita tuloksia

Metsäkuljetuskuorman tiivistyksestä tehtiin erilliskokeet. Tiivistetyn kuorman tilavuus oli kokopuukorjuussa 1,53–1,57-kertainen tiivistämättömään verrattuna.

Selluhakkeen saanto oli ketjukarsinta-kuorinta-haketus-kokeissa männyllä 54–56 % ja koivulla 55 %. Kuoripitoisuus oli männyllä 2,2–2,4 % ja koivulla 5,0 %. Palakooltaan hyväksytyin hakkeen osuus oli 85–87 %. Kokeilut tehtiin puiden ollessa jäätyneitä, mikä heikensi käsittelytulosta.

Kuitupuuositteen erottelua kokeiltiin pienimuotoisesti myös korjuuvaiheessa. Keräilykaatolaitteella katkaistiin rungot noin 7 cm:n kohdalta, ja pidettiin tyviosat kuljetuksessa erillään latvoista. Menetelmä toimi teknisesti hyvin, eikä tuottavuus poikennut olennaisesti kokopuukorjuun tuottavuudesta.

5. Jatkotoimet

Jatkotoimenpiteitä ovat autokuljetuskuorman tiivistyslaitteen lisäkokeilut, korjuumenetelmän kannattavuustarkastelut, potentiaalisia soveltamisolosuhteita koskeva selvitys, korjuujäljen ja ympäristönäkökohtien tarkastelu sekä loppuraportin laatiminen. Projekti päättyy syyskuussa 2000.

Seospolttoaineiden tuotanto terminaalilla -hankekokonaisuus – PUUT05

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

Abstract

Project title in English: Production of mixed fuels at the terminal

VTT Energy has developed integrated forest chips and peat production in co-operation with peat producers. The leading principle of the integration of peat and forest chips production is to utilise the peat production machines and transportation systems, as well as the peat production site, in production of forest chips. Integrated production of forest chips and peat is carried out in fuel terminals, located either at the peat production site or close to it. Harvesting of straw and the utilisation of it in mixed fuels has also been investigated in the project.

1. Tausta

Seospolttoaineiden, etenkin turpeen ja puun yhteiskäyttö on lisääntymässä. Puuenergian käytön lisääminen edellyttää kuitenkin metsähakkeen tuotannon merkittävää kasvattamista. Suurkäyttökohteina tulevat kysymykseen ennen kaikkea metsäteollisuuden voimalat sekä energiayhtiöiden ja kaupunkien turvevoimalat. Ne edellyttävät kilpailukykyistä hintaa, toimitusvarmuutta ja vaatimusten täyttävää laatua. Seospolttoaineiden tuotanto terminaalilla -hankekokonaisuuden yhtenä tavoitteena onkin määritellä se toimintaympäristö, jonka mukaan voidaan tuottaa laadukasta ja energiasisällöltään hyvää puupolttoainetta seospolttoaineiden raaka-aineiksi.

Seospolttoaineiden tuotannon kehittämisen keskeisenä ajatuksena on hyödyntää turpeen tuotannon infrastruktuuria puupolttoaineiden ja korsibiomassojen korjuussa. Tuotantokonseptin ominaispiirteenä on polttoaineterminaali, joka sijaitsee turvetuotantoalueella tai sen välittömässä läheisyydessä. Puupolttoaine ja korsibiomassa toimitetaan polttoaineterminaaliin suon ympäristöstä, missä se varastoidaan. Puupolttoaine kuivataan varastossa kesän yli. Näin puupolttoaineen laatua voidaan parantaa. Puupolttoaineen haketus ja toimitus tapahtuu syksy- ja talviaikaan käyttäen turpeen kuljetusjärjestelmää. Puupolttoaineen ja korsibiomassan tuotannossa hyödynnetään turveurakoitsijoita. Lisäksi polttoaineiden kuivauksessa ja valmistuksessa voidaan hyödyntää turvealueita ja turvekoneita. Polttoaine terminaalilta voidaan toimittaa erikseen omina polttoaineina tai niitä voidaan sekoittaa asiakkaan haluamalla tavalla.

2. Kokonaistavoite

Seospolttoaineiden tuotanto terminaalilla -hankekokonaisuuden kokonaistavoitteena oli biopolttoaineiden käytön lisääminen ja tuotantokustannusten alentaminen tutkimalla ja kehittämällä biopolttoaineiden yhteistuotantoa, tehostamalla raaka-aineiden kuivausta, kehittämällä suotermiinali polttoaineiden käsittelyyn sekä polttoaineiden varastointia ja logistiikkaa.

3. Hankekokonaisuus

Vuosina 1997–1999 on toteutettu Seospolttoaineiden tuotanto terminaalilla-hankekokonaisuus, joka oli VTT Energian koordinoima. Tutkimus tehtiin turvetuottajien ja tutkimuslaitosten kanssa yhteistyössä. Tutkimuksen vastuullinen johtaja oli johtava tutkija Arvo Leinonen. Tutkimus on päättynyt ja hankekokonaisuudessa ilmestyneet loppuraportit on esitetty liitteessä 2.

Hankekokonaisuuden budjetti oli 5,5 milj. mk. Tekesin rahoitusosuus oli 2,72 milj. mk, Vapo Oy:n 1,13 milj. mk, Turveruukki Oy:n 0,15 milj. mk ja VTT Energian 1,50 milj. mk.

Seospolttoaineiden tuotanto terminaalilla -hankekokonaisuuden johtoryhmään ovat kuuluneet erikoistutkija Tarja-Liisa Perttala Tekesistä, tutkimusjohtaja Timo Nyrönen ja projektipäällikkö Jaakko Silpola Vapo Oy:stä, kehittämisspäälikkö Heikki Karppimaa Turveruukki Oy:stä, käyttöpäällikkö Antero Kyllönen Oulun Energialaitokselta, dosentti Eino Kiukaanniemi Oulun yliopiston Thule-instituutista, Ari Keskimölo Metsätalouden kehittämiskeskus Tapiosta sekä johtava tutkija Arvo Leinonen ja erikoistutkija Pekka-Juhani Kuitto VTT Energiasta. Johtoryhmän puheenjohtajana on toiminut tutkimusjohtaja Timo Nyrönen. Hankekokonaisuuden vastuullisena johtajana on toiminut johtava tutkija Arvo Leinonen.

Hankekokonaisuus jakaantui kuuteen eri osaprojektiin, jotka olivat Puuenergiavarojen kartoitus turvetuotantoalueiden ympäristössä (Tapio), Seospolttoaineiden raaka-aineiden kuivaus (VTT Energia), Turpeen hankintaverkoston käyttö energiapuun hankintaan (Oulun yliopisto), Turvetuotantoalueen käyttö seospolttoaineiden käsittelyterminaalina (VTT Energia), Seospolttoaineiden varastoinnin kehittäminen (VTT Energia) ja Korsibiomassojen tuotanto energiaksi ja käyttö (VTT Energia).

Eri osaprojektit ja niiden vastuorganisaatiot ja projektipäälliköt sekä vuosi- ja kokonaisbudjetit on esitetty liitteessä 1.

4. Tulokset

4.1 Yhteenveto Puuenergiavarojen kartoitus turvetuotantoalueiden ympäristössä -projektista

Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida teknisesti korjuukelpoisia puuenergiavaroja Suomen eri osissa. Laskentamenetelmänä oli Tapion 1994–1996 kehittämä Aluepuu-menetelmä (Alueellisten energiapuuvarejojen analysointimenetelmä), jolla voidaan selvittää metsikkökuvion tarkkuudella energiapuun korjuun kannattavuus. Kuvioittaisten tietojen pohjalta voidaan määritellä teknisesti ja taloudellisesti korjattavissa oleva energiapuumäärä. Näiden tietojen perusteella voidaan suunnitella seospolttoaineiden tuotantoa turvetuotantoalueilla.

Hankkeessa puuenergiavarat kartoitettiin 33 kohteelta ympäri Suomea. Pääosa kohteista oli turvetuotantoalueiden lähiympäristöjä. Lisäksi hankkeeseen kuului kolme suurta käyttöpaikkakohtaista laskenta-aluetta.

Hehtaarikohtaiset energiapuumäärät vaihtelivat alueittain merkittävästi. Hakkuutähteiden vuotuiset tekniset potentiaalit olivat 0,02–0,86 kiinto-m³/ha, integroidun korjuun 0,01–0,10 m³/ha ja alle 200 metrin etäisyydellä tiestä olevien nuoren metsän hoitokohteiden 0,00–0,08 m³/ha (runkopuuta). Parhaat hakkuutähteiden korjuualueet olivat Etelä-Savon ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueilla.

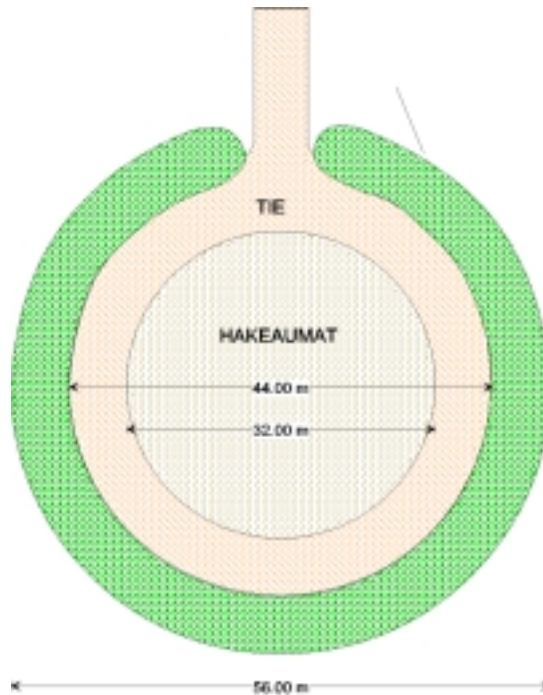
4.2 Yhteenveto Turvetuotantoalueen käyttö seospolttoaineiden käsittelyterminaalina -tutkimuksesta

Seospolttoaineiden tuotantokonseptin mukaisesti turvetuotantoalue toimisi seospolttoaineiden käsittelyterminaalina. Tähän ovat hyvät käytännön mahdollisuudet, sillä turve toimii seospolttoaineiden pääraaka-aineena, turvetuotantoalueilla on hyvä ympärivuotisen toiminnan mahdollistava tieverkosto ja valmis toimituslogistiikka. Turvetuotantoalueiden ympäristössä on yleensä myös riittävät puupolttovälinevarat. Näin puupolttoväline raaka-aineiden kuljetus turvetuotantoalueella toimivaan suotermiinaliin ja puupolttovälineen tai seospolttovälineen valmistus ja toimitus suotermiinalista käyttäjälle on luontevaa.

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää turvetuotantoaluetta hyödyntävä seospolttovälineiden käsittelyterminaalikonsepti, jossa suurten puupolttovälineiden raaka-aineiden varastointi, käsittely ja valmiin puupolttovälineen varastointi ja toimitus on tehokkaasti, hallitusti ja ympärivuotisesti mahdollista suorittaa taloudellisesti ja ympäristöystävällisesti.

Tutkimuksen mukaan seospolttovälineterminaalien suunnittelussa tärkeimmät paikakavalintaan vaikuttavat tekijät ovat kantava ja hyväkuntoinen tiestö, terminaalin avoin ja tuulinen sijainti sekä tasainen ja kantava pohja, jolla ei ole ylimääräisiä epäpuhtauksia. Soveltuvia terminaalinpaikkoja ovat turvetuotantoalueiden auma-alueet, soranottoalueet, varastokentät ym. Heikommin kantavilla

maapohjilla tulee ottaa huomioon mahdolliset työskentelyrajoitukset varsinkin kelirikkoaikaan, mutta myös kesäaikaan runsaiden sateiden jälkeen (kuva 1).



Kuva 1. Hakkuutähteelle mitoitettu ympyräterminaali, jota on mahdollista soveltaa eri kokoluokkiin työmaaolosuhteiden ja raaka-ainemäärien mukaan.

Puupolttoaineterminaalialueen ja erityisesti raaka-aineiden ja valmiin hakkeen varastoaumojen alueiden tulee olla pohjamateriaaliltaan kantava, tasainen ja kivetön. Terminaalialueelle johtavan tiestön tulee olla kantava ja riittävän leveä yhdistelmäautoilla tapahtuvaa polttoaineen toimitusta varten. Auman korkeuden tulee olla noin 5 metriä ja leveyden 5 metriä. Aumojen sivuseinämien on oltava mahdollisimman pystyt kastumisen ja lumen kertymisen estämiseksi. Hakkuutähdeaura peitetään peittomateriaalilla samantien auman teon yhteydessä. Talviaikaan toimittaessa terminaalialueen lumenauraukseen voidaan käyttää etukuormaajatraktoria joko kauhalla tai alueauralla varustettuna. Hakettavien hakkuutähdeaumojen viereltä on lumi poistettava mahdollisimman tarkasti. Lumi voidaan kasata työskentelytavasta riippuen joko terminaalialueelle tai

kuljettaa kauhalla alueen ulkopuolelle. Hakkuutähdeaman ennakkopuhdistuksella ennen haketusta voidaan parantaa talviaikaan hakkeen lämpöarvoa. Sekä autoalustainen että traktorikäyttöinen haketuskalusto soveltuu hakkuutähteen terminaalihaketukseseen. Terminaalityöskentelyssä varsinkin haketuksen yhteydessä täytyy ottaa huomioon pölyn ja mahdollisten homeiden aiheuttamat riskit alueella työskentelevien terveydelle (kuva 2). Hakkeen kuormaus terminaalin välivarastoaumasta kaukokuljetuskalustoon voidaan työmaasta riippuen tehdä joko pyöräkuormaajalla, traktorin etukuormaajalla tai kourakuormaajan kahmarilla.



Kuva 2. Hakkuutähteen haketusta terminaalilla.

4.3 Yhteenveto Seospolttoaineiden raaka-aineiden kuivaus -tutkimuksesta

Polttoaineen lämpöarvoon vaikuttaa mm. polttoaineen kosteus. Esimerkiksi tuoreen hakkuutähteen kosteus on 50–60 % vuodenajasta riippuen. Seospolttoaineiden tuotannossa on asetettu tavoitteeksi, että voimalaitokselle toimitettavan metsähakkeen kosteus on enintään 45 p-%. Tämä edellyttää puun kuivaamista ja

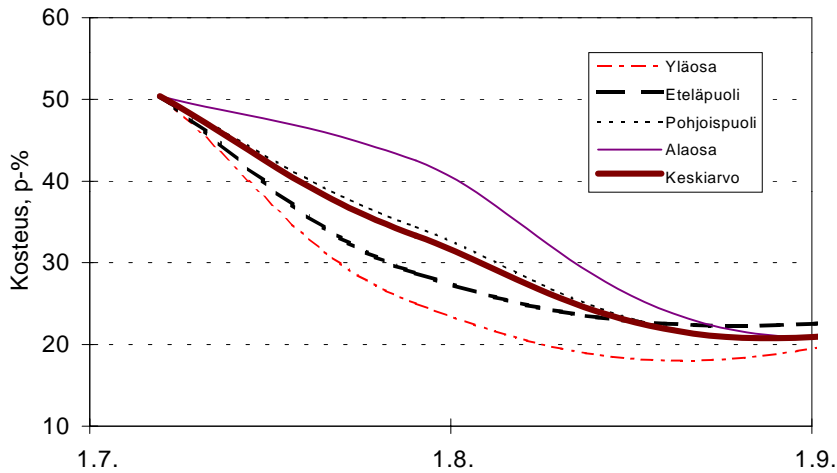
uudelleen kostumisen ehkäisemistä. Seospolttoaineiden tuotanto terminaalilla-konseptissa suotermiinalin ympäristöstä hankittava hakkuutähde kuivataan varastossa terminaalilla. Puun kuivattaminen terminaalilla poikkeaa esim. tien-varresta tapahtuvasta kuivattamisesta alusta- ja ympäristö-olosuhteiltaan, joiden vaikutusta kuivumiseen ei aiemmin ole tutkittu.

Projektin tavoitteena oli seospolttoaineiden raaka-aineiden kuivauksen tehostaminen ja optimointi. Kuivauksen tehostamisella kasvatetaan polttoaineen lämpöarvoa ja alennetaan raaka-aineiden tuotantokustannuksia. Kuivauksen optimoinnilla parannetaan muodostettavan seospolttoaineen laatua. Hakkuutähteestä tehdyn hakkeen energiakäytön kannalta tärkeitä laatuominaisuuksia ovat polttoaineen kemiallinen koostumus, puuaineen tiheys, kosteus, tuhkapitoisuus ja kaikkien edellisten tuloksena määräytyvä tehollinen lämpöarvo laitoksella.

Tutkimuksessa hakkuutähteiden kuivumista seurattiin aumojen tekovaiheesta hakkuutähteiden haketukseen noin vuoden ajan. Tutkittuja hakkuutähdeaumoja oli 36 kpl. Tutkimuksen mukaan paras paikka hakkuutähteiden kuivumisen kannalta on muodostaa varastoauama aukealle ja tuuliselle paikalle pohjois-etelä-suuntaisesti, jolloin hyödynnetään auringon säteilyn kuivattava vaikutus parhaiten. Hakkuutähdeaumat kannattaa tehdä mahdollisimman korkeiksi ja peittää yläosastaan, jolla estetään auman kastuminen sateiden aikana. Varastoauaman tekovaiheessa tulee kiinnittää huomiota siihen, että aumojen reunat saadaan mahdollisimman tasaisiksi ja pystysuoriksi, jolloin auman päällä oleva peite suojaa hakkuutähteitä sateelta mahdollisimman hyvin. Talvihaketuksessa tulee kiinnittää huomiota siihen, että auman päällä mahdollisesti oleva lumi ei pääse sekoittumaan hakkuutähteisiin, joka muuten voi nostaa hakkeen kosteutta merkittävästi. Aluspuilla voidaan myös edistää jonkin verran hakkuutähteiden kuivumista. Jos aluspuita käytetään on huolehdittava siitä, että alimmat hakkuutähteet eivät estä ilmankiertoa auman alta (kuva 3 ja 4).



Kuva 3. Hakuutähdettä kuivumassa terminaalissa.



Kuva 4. Hakuutähdeauran kuivuminen Juvan terminaalilla kesällä 1997. Kuvaan on piirretty auran keskikosteuden muutoksen lisäksi kosteuskajaumat auran eri osissa. Koska auma on sijainnut itä-länsi-suunnassa ei auma ole kuivunut tasaisesti, vaan auran etelänpuoleinen sivu on kuivunut pohjoispuoleista sivua nopeammin.

4.4 Yhteenveto Turpeen hankintaverkoston käyttö energiapuun hankintaan -tutkimuksesta

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää turpeen hankintaverkoston käyttömahdollisuuksia energiapuun hankintaan suoterminalille seospolttoaineeksi turpeen kanssa. Oleellisena osana tavoitteeseen sisältyi hakkeen hankinnan kustannusten ja niiden alentamismahdollisuuksien selvittäminen.

Hakkuutähteen kesä- ja talvikorjuuta tutkittiin sekä maatalous- että metsätraktorilla. Tähteen haketukseen kokeiltiin kolmea erilaista murskainta. Kustannusten laskentaan kehitettiin Microsoft-Excel-taulukkolaskentapohjainen ohjelmisto. Hakkuutähteen korjuun kannattavuutta ja työvaiheiden tuotoksia analysoitiin korjuukokeiden perusteella. Korjuun kustannuksille tehtiin herkkyystarkastelu, josta selviää eri tekijöiden muutoksien vaikutukset korjuun kustannukseen. Hakkuutähteen korjuun ja suoterminalille kuljetuksen logistisia toimintamalleja simuloitiin sekä vertailtiin terminaalihaketuksen ja välivarastohaketuksen kustannuksia. Lisäksi tehtiin arvio yhdelle turvesuoterminalille soveltuvista energiapuun hankintakohteista ja energiapuumääristä.

Hakkuutähteen kesä- ja talvikorjuussa keskimääräinen tuotos palstalta välivarastolle maataloustraktorilla ja kehystilavuudeltaan 21 m³:n metsäperävaunulla oli 15 m³ tehotyötunnissa ja vastaava punnitukseen perustuva keskimääräinen kuormakoko 10 m³. Keskimääräinen metsäkuljetusmatka välivarastolle oli noin 170 m. Korjuukokeissa saavutettu tuotostaso mahdollistaa maataloustraktorilla suoritettavan hakkuutähteen käytännön korjuutoiminnan (kuva 5).

Hakkuutähteen haketukseen kokeiltiin kolmea murskainta. Lokomo murskaimella tuotos oli 21, Vermeer TG 400:lla 36 ja Jenz AZ 55:lla 70 i-m³ haketta tehotyötunnissa.

Laskentamallilla arvioitiin traktorilla tehtävän hakkuutähteen terminaalikuljetuksen kustannuksia eri kuljetustavoilla: hakkuutähtä kuljetetaan ensin välivarastoon ja sieltä myöhemmin terminaliin, lastataan metsäperävaunusta suoraan terminalivaunuun tai kuljetetaan metsäperävaunulla suoraan terminaliin. Käytännössä kyseeseen tulevilla kuormako'oilla ja kuljetusmatkoilla (alle 10 km) oli edullisinta kuljettaa hakkuutähtä palstalta jatkettuna lähikuljetuksena suoraan suoterminaliin. Hakkuutähteen terminaalihaketuksessa arvioimme voitavan

säästää vielä 5 km:n kuljetusmatkoilla likimain terminaaliin kuljetuskustannuksen verran kun vertailukohtana oli tienvarsihaketus välivarastolla samalla hakkurilla. Arvioinnissa huomioitiin myös hakkeen kaukokuljetuskustannukset. Haketus suoterminalissa oletettiin kylmäksi ketjuksi ja haketus välivarastolla kuumaksi ketjuksi. Arvioinnissa ei otettu huomioon terminalissa tapahtuvaa hakkuutähteen kuivumisen lisähyötyä.

Hakkuutähteen maataloustraktorikorjuuseen ja suoterminalivarastointiin perustuva hankintaketju näyttäisi olevan taloudellisesti toimintakelpoinen. Hakkuutähteen korjuu, hakkeen kaukokuljetus käyttöpaikalle turverekalla ja miksei myös haketus, ainakin joltain osin, soveltuisivat erinomaisesti turveurakoitsijoille turvetuotantokauden ulkopuolisena aikana, jolloin sekä miehet että koneet ovat usein vajaakäytössä.



Kuva 5. Hakkuutähteen metsäkuljetusta maataloustraktori/perävaunu-yhdistelmällä.

4.5 Yhteenveto Seospolttoaineiden varastoinnin kehittämisen -tutkimuksesta

Jotta taataan keskeytymätön toimitus käyttäjälle läpi vuoden, niin haketta joudutaan pitämään varastossa useita kuukausia ennen käyttöä. Hakkeen varastoinnin ongelmina ovat kuiva-ainetappiot, hakkeen kostuminen ja jäätyminen. Kuiva-ainetappiot johtuvat biologisista ja kemiallisista reaktioista sekä lahottaja sienien toiminnasta. Hakkeen kostuminen aumassa johtuu sadevedestä ja kemiallisista reaktioista. Hakkeen varastointiin liittyvää tutkimusta on tehty ensisijaisesti Ruotsissa ja jonkin verran Suomessa.

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää hakkuutähdehakkeen varastointitekniikkaa, jotta kuiva-ainetappiot jäävät alle 5 % kuuden kuukauden varastointiaikana. Lisäksi tavoitteena on minimoida hakkuutähdehakkeen varastotappiot lyhytaikaisessa varastoinnissa.

Tutkimuksessa selvitettiin kaikkiaan 15 koeaumassa varastointiajan, alkukosteuden, auman korkeuden, peittämisen, ilmaston ja haketusajankohdan vaikutusta hakkuutähdehakkeen säilyvyyteen aumassa niin lyhytaikaisessa kuin myös pitkäaikaisessa varastoinnissa (kuva 6). Johtopäätökset tutkimuksesta ovat samansuuntaiset kuin kirjallisuuden pohjalta tehdyt johtopäätökset. Hakkeen pitkäaikainen varastointi ei ole suositeltavaa suurien kosteus- ja kuiva-ainetappioiden vuoksi. Se on perusteltua silloin, kun halutaan varmistaa hakkeen toimitukset kaikissa olosuhteissa. Hake kannattaa yleensä varastoida lyhyen ajan, jolloin kosteus- ja kuiva-ainetappiot jäävät mahdollisimman pieniksi. Pitkäaikaisessa varastoinnissa kuiva-ainetappiot jäävät alle asetetun tavoitteen (5 %), kun hakeauman alkukosteus on alle 30 p-%, auma peitetään ja auman korkeus on 3 m. Lyhytaikaisessa varastoinnissa (varastointiaika alle 2 viikkoa). Tällöin kuiva-ainetappiot ja kosteuden muutokset ovat pienet. Lyhytaikaisessa varastoinnissa auman peittäminen ei ole tarpeen. Peittämättömät aumat kannattaa tehdä mahdollisimman korkeiksi, jyrkkäreunaisiksi ja tasaisiksi, samaan tapaan kuin pitkäaikaisessa varastoinnissa. Hakkeen alkukosteus on pyrittävä pitämään mahdollisimman alhaisena myös lyhytaikaisessa varastoinnissa (alle 30 p-%). Tehtäessä talvella hakevarastoja on kiinnitettävä huomiota, että aumaan ei mene lunta ja jäätä. Nämä oleellisesti nostavat hakkeen kosteutta aumassa. Työntekijät altistuvat hakkeen kuormauksessa ja kuljetuksessa varastoinnin aikana lisääntyville mikrobeille, mikä on tarkkaan huomioitava hakkeen tuotannossa.



Kuva 6. Hakuutähdeauvoja terminaalilla.

4.6 Yhteenveto Korsibiomassojen tuotanto energiaksi ja käyttö -tutkimuksista

Oljen korjuumenetelmän kehittäminen seospolttoaineiden tuotantoon –osaprojektin tavoitteena oli kehittää tehokas irtokorjuumenetelmä oljen korjuuseen ja toimitukseen. Kesällä 1999 järjestetyissä korjuukokeissa tutkittuja korjuuketjuja olivat paalaukseen ja irtokorjuuseen perustuvat menetelmät. Molemissa ketjuissa tutkittiin normaalin tilatason koneita ja toisaalta urakointiin soveltuvia koneita. Irtokorjuumenetelmän työvaiheet olivat puintikarheiden yhdistäminen karheejalla, karheiden silppurointi perävaunuun ja kuormien kuljetus välivarastolle silppurin perään kytketyllä perävaunulla (kuva 7). Paalausmenetelmien työvaiheet olivat puintikarheiden yhdistäminen tarkatorin vetämällä karheejalla, paalaus ja paalien keräily erillisenä työvaiheena kahdella traktorilla, joista toinen veti maatalousperävaunua ja toinen lastasi paalit perävaunuun etukuormaajalla. Vetokoneina olivat traktorit. Eri koneiden työtehot olivat tehokkaalla silppurilla 3,9 ha/h, tilatason silppurilla 1,8 ha/h, pyöröpaalaimella 5,0

ha/h ja suurkantipaalaimella 10,2 ha/h. Näitä vastaavat laskennalliset tuotantokustannukset eo. järjestyksessä olivat 38 mk/MWh, 42 mk/MWh, 38 mk/MWh ja 34 mk/MWh. Tuotantokustannukset sisältävät korjuun työvaiheet, välivarastoinnin aumoissa ja kaukokuljetuksen 30 kilometrin päähän käyttöpaikalle. Kustannukset perustuvat oletukseen, että korjuukoneita käytetään ruokohelven, tuorerehun, kuivaheinän ja oljen korjuussa sään salliessa aika vuodessa. Paalausmenetelmissä kustannuksiin ei ole luettu paalien erillistä silppuamista, minkä kustannus pyöröpaalisilppurilla on arvioitu olevan 23 mk/MWh.



Kuva 7. Silppuri-perävaunu-yhdistelmä oljen irtokorjuussa.

Kasvuston käyttö turvetuotantoalueen vesien puhdistuksessa – osaprojektissa tavoitteena oli tehostaa turvetuotannon valumavesien puhdistusta ylivuotokentällä kasvuston avulla. Kesien 1998–1999 aikana Vapo Oy:n Pelsonsuolle perustettiin kolme koealuetta vastaamaan suopohjalla toimivia ylivuotokenttiä.

Yhdellä kentistä on ruokohelvi-, toisella pajuviiljelmä kolmannen toimiessa turvepintaisena vertailukenttänä, joka saa kasvittua luontaisesti. Koekentille ylivaluntatilanteissa tulevan ja niiltä lähtevän veden määrää ja laatua voitiin seurata mittapatojen ja automaattisten virtaamis- ja näytteenottoyksiköiden avulla. Ruokohelpikasvuston kehitystä heikensi hieman kesän 1999 kuivuus. Pajukasvusto kehittyi heikosti, sillä se kärsi myös kuivuudesta sekä vuoden 1998 myöhäisestä istutusajankohdasta. Vertailukentällä luontaista kasvittumista ei tapahtunut. Kesän 1999 aikana toteutui viisi ylivalumatilannetta, joista kolme luonnollista ja kaksi keinotekoista. Kentille tulleen ja niiltä lähteneen veden laatua sekä kenttien kiintoaineiden ja ravinteiden pidätyskykyä tarkasteltiin veden pitoisuuksien ja vesimäärien avulla. Kentille johdetun veden mukana tulleesta kiintoaine-, ravinne-, ja humuskuormituksesta pajukenttä pidätti 11–29 % ja ruokohelpikenttä 14–29 %. Kasviston vahvistuminen ja kenttien stabiloituminen kesän kuluessa edistivät pidättymistä. Kenttien ravinteiden sitomiskykyä ja kasvustojen huoltoon ja hyödyntämiseen liittyvistä kysymyksistä saadaan varmempaa tietoa jatkossa.

Korsibiomassojen käytön kehittäminen seospoltossa-osaprojektin tavoitteena oli määrittää oljen ja pääpolttoaineiden (puu ja turve) käyttökelpoiset seossuhteet polttotavoiltaan ja käsittelylaitteiltaan erilaisissa laitoksissa. Oljen käyttö olemassa olevissa lämpö- ja voimalaitoksissa edellyttää polttoaineen sekoittamisen pääpolttoaineen joukkoon, koska nykyiset kattilat on mitoitettu tyypillisesti 40–50 p-% kostealle polttoaineelle. Oljen energiatiheys on alhainen, noin 0,25–0,3 MWh/i-m³, joten sitä ei voida kuljettaa taloudellisesti pitkiä matkoja. Tanskan kokemusten mukaan oljen korkea kloori- ja kaliumpitoisuus aiheuttavat merkittäviä ongelmia energiantuotannossa, etenkin höyrykattiloissa. Kloori aiheuttaa voimalaitoksissa kuumakorrosiota ja kalium kattilan likaantumista. VTT Energia teki oljen seospolttokokeita Savon Voima Oy:n Pielaveden lämpökeskuksella Sermet Oy:n toimittamalla 3,0 MW:n pyörivällä kekoarinalla varustetulla biokattilalla. Kattilan savukaasut puhdistetaan syklonierottimella. Mittauksilla selvitettiin oljen käyttöä kattilalaitoksen seospolttoaineena. Mittaukset kattoivat tavanomaisempien mittausten ohella myös savukaasujen orgaaniset päästöt. Kokeet tehtiin kolmella polttoaineella; peruspolttoaineella (kuori + puru) sekä kahdella seoksella, joissa oljen energiaosuudet olivat noin 7,5 % ja noin 12,5 %. Kokeissa oljen käyttö ei lisännyt päästöjä pääpolttoaineeseen ver-

rattuna. Mitatut dioksiini- ja furaanipäästöt alittivat selvästi jätteenpolttolaitoksille asetetut päästöarvot. Kokeiden aikana laitoksen käsittelylaitteet toimivat moitteettomasti.

SEOSPOLTTOAINEIDEN TUOTANTO TERMINAALILLA – hankekokonaisuuden projektit vuosina 1997–1999

Nimi	Vastuuorganisaatio/ Projektipäällikkö	Aikataulu	Budjetti (1000 mk)			
			1997	1998	1999	Yhteensä
1. Puuenergiavarojen kartoitus turvetuotantoalueiden ympäristössä	Tapio Ari Keskimölo	1997–1998	250	250	-	500
2. Seospolttoaineiden raaka-aineiden kuivaus	VTT Energia Kari Hillebrand	1997–1999	400	360	445	1 205
3. Turpeen hankintaverkoston käyttö energiapuun hankintaan	Oulun Yliopisto/ Thule-Instituutti Matti Tervo	1997–1999	280	300	165	745
4. Turvetuotantoalueen käyttö seospolttoaineiden käsittelyterminaalina	VTT Energia Ismo Tiihonen	1997–1998	400	335	520	1 255
5. Seospolttoaineiden varastoinnin kehittäminen	VTT Energia Arvo Leinonen	1997–1999	350	260	35	645
6. Korsibiomassojen tuotanto energiaksi ja käyttö	VTT Energia Tuulikki Lindh	1998–1999	-	550	550	1 100
7. Koordinointi	VTT Energia Arvo Leinonen	1997–1999	-	35	35	70
			1 680	2 090	1 750	5 520

SEOSPOLTTOAINEIDEN TUOTANTO TERMINAALILLA -hankekokonaisuudessa ilmestyneet raportit

1. *Keskimölä, A.* 2000. Puuenergiavarojen kartoitus turvetuotantoalueiden ympäristössä. VTT Energia. Seospolttoaineiden tuotanto terminaalilla -hankekokonaisuus, Tutkimusselostus ENE32/T0039/2000. Julkinen. 16 s. + liitt. 8 s.

2. *Tiihonen, I. Marttila, M. & Hillebrand, K.* 2000. Turvetuotantoalueen käyttö seospolttoaineen käsittelyterminaalina. VTT Energia. Seospolttoaineiden tuotanto terminaalilla -hankekokonaisuus, Tutkimusselostus ENE32/T0019/2000. Luottamuksellinen. 77 s. + liitt. 18 s.

1. *Hillebrand, K. & Marttila, M.* 2000. Seospolttoaineiden raaka-aineiden kuivaus. VTT Energia. Seospolttoaineiden tuotanto terminaalilla -hankekokonaisuus, Tutkimusselostus ENE32/T0015/2000. Luottamuksellinen. 55 s. + liitt. 23 s.

3. *Marttila, M. & Leinonen, A.* 2000. Seospolttoaineiden varastoinnin kehittäminen. VTT Energia. Seospolttoaineiden tuotanto terminaalilla -hankekokonaisuus, Tutkimusselostus ENE32/T0047/1999. Luottamuksellinen. 62 s. + liitt. 34 s.

4. *Ahonen, A. & Tervo, M.* 2000. Turpeen hankintaverkoston käyttö energiapuun hankintaan. VTT Energia. Seospolttoaineiden tuotanto terminaalilla -hankekokonaisuus, Tutkimusselostus ENE32/T0035/2000. Julkinen. 100 s.

5. *Paappanen, T., Kallio, E. & Lindh, T.* 2000. Oljen korjuumenetelmän kehittäminen seospolttoaineiden tuotantoon. Seospolttoaineiden tuotanto terminaalilla -hankekokonaisuus, Tutkimusselostus ENE32/T0024/2000. Julkinen. 37 s. + liitt. 3 s.

6. *Flyktman, M.* 2000. Korsibiomassojen käytön kehittäminen seospoltossa. Seospolttoaineiden tuotanto terminaalilla -hankekokonaisuus, Tutkimusselostus ENE33/T0017/2000. Julkinen. 27 s. + liitt. 2 s.

7. *Lindh, Kallio, E., Marja-aho, J., Käyhkö, V., Huovinen, J., Hiljanen, R. & Selin, P.* 2000. Kasvuston käyttö turvetuotantoalueen vesien puhdistuksessa. Seospolttoaineiden tuotanto terminaalilla -hankekokonaisuus, Tutkimusselostus ENE32/T0105/1999. Julkinen. 34 s. + liitt. 5 s.

8. *Leinonen, A., Hillebrand, K. & Marttila, M.* 2000. Hakuutähdehakkeen terminaalituotannon kehittäminen. VTT Energia. Seospolttoaineiden tuotanto terminaalilla -hankekokonaisuus, Tutkimusselostus. Julkinen. 38 s. + liitt. 1 s.

Terminaalihakkeen tuotantotekniikka – PUUY06

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

Abstract

Project title in English: Technology for forest residues produced at fuel supply terminals

The aim of the project was to develop a method, by which forest residue chips are produced at fuel supply terminals in order to improve the quality and delivery logistics of chips. A trailer HavuHukka was constructed for the haulage of logging residues, i.e. for forest hauling and road transports. A peat or farm tractor can be used for hauling the trailer. Tractor-operated chippers suitable for making logging residue chips have also been constructed for use with the same tractors and trailers. A launching campaign of the production technology was also carried out. Furthermore, a target was to develop a method for the analysis of the peat-wood mixture ratio. The production capacity of this method launched during the three-year project is around 400–500 GWh/a forest residue chips.

1. Projektin tavoite

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

- 1) hakkuutähdeperävaunun kehittäminen
- 2) traktorihaketuksen kehittäminen

- 3) kenttäkunnostusjyrsimen sovitus hakkuutähteen murskaukseen
- 4) turve-puuseospolttoaineen seossuhteen analyysimenetelmän kehittäminen
- 5) metsähakkeen seulonnan kehittäminen
- 6) terminaalituotannon lanseeraus

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

Kaikille osaprojekteille on asetettu konkreettiset, esim. numeeriset tavoitteet.

2. Projektin toteutus

Projektia on toteutettu yhdessä mm. seuraavien yhteistyötahojen kanssa:

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

Tutkimus- ja suunnittelutyöhön on osallistunut myös lukuisia yksityisyrittäjiä.

Projekti niveltyy myös VTT Energian vetämään Seospolttoainehankkeeseen.

3. Kustannusarvio ja aikataulu

Hankkeen kustannusarvio on 5,9 miljoonaa markkaa. Projekti on kolmivuotinen ja se toteutetaan vuosina 1998–2000.

4. Tulokset

4.1 Hakkuutähdeperävaunun kehittäminen ja tutkimus

HavuHukka-hakkuutähdeperävaunun kehitys aloitettiin vuonna 1997, siis ennen projektin aloittamista. Vuosina 1997–98 rakennettiin 4 erilaista protovaunua ja 3 kpl ensimmäisen 0-sarjan vaunuja.

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

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

Vaunun nopeasta viemisestä kehitysvaiheesta urakointiin on ollut etuina mm.

- usean urakoitsijan työn kautta kehityskokemuksia on saatua nopeasti
- konetuotannon kehitys on pysynyt ripeänä
- tuotantoketjun kokonaisuuden kannalta tärkeää hakkuutähdeperävaunun varastointiosaamista on tullut työnjohtomme käyttöön

Nopeasta kehitystyöstä on aiheutunut myös ongelmia ja kustannuksia, jotka johtuvat lähinnä

- lastentautien paikkaamisesta
- uuden, paremmaksi havaitun tekniikan jälkiasennuksista

- pienimpien kuormainten vahvistamisesta
- hakkuutähdekouran vahvistus- ja muutostarpeista

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

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

4.2 Traktorihakkurin kehittäminen

Traktorihakkurien käyttöä terminaalihaketuksessa on tutkittu ja kehitetty yhdessä laitevalmistajan (Heinolan Sahakoneet Oy) ja VTT Energian kanssa. Ensimmäiset traktorikäyttöiset hakkurit otettiin Vapo Oy Energian käyttöön keväällä 1998. Näiden hakkureiden käyttökokemusten perusteella Vapo investoi kahteen uuteen hakkuriin, joiden suunnittelussa hyödynnettiin ensimmäisten hakkurien käyttökokemuksia. Talvella 1998–1999 käytössä olleiden neljän traktorihakkurin tuottavuutta ja teknistä toimivuutta selvitettiin VTT Energian yritystutkimuksessa.

4.3 Seospoltoaineen analyysimenetelmä

Tavoitteena oli kehittää menetelmä hake-turve -seoksen seossuhteiden analysoimiseksi. Hapan/emäs -liuoksen käyttöön perustuvaa ”saippuavesimenetelmää” ei ole syksyn aikana jatkokehitetty johtuen laboratorion kapasiteettipulasta, mutta menetelmän toimivuus testataan kevättalvella 2000, minkä jälkeen asiasta tehdään lopulliset johtopäätökset.

4.4 Terminaalituotannon lanseeraus

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

Hankkeen puitteissa on lisäksi vuonna 1999 suunniteltu ja tuotettu esittelyaineistoa terminaalituotannosta edellisten vuosien tapaan. Projektin kuluihin ei ole kirjattu tuotantokustannuksia.

5. Yhteenveto

Puuenergian kehitysprojektien tuloksena Vapo Oy Energia on aloittanut metsätähdehakkeen terminaalituotannon eri puolilla Suomea. Tällä hetkellä Vapo Oy Energian tuotantokapasiteetti on 400–500 GWh metsätähdehaketta vuodessa. Tuotanto työllistää

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

Projektin viimeisenä toimintavuotena tuotantotekniikka vakiinnutetaan, toimintalogistiikkaa hiotaan ja koneiden lastentaudit karsitaan.

6. Julkaisut

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

Kaksivaiheisen murskaimen kehittäminen puun energiajakeen tuottamiseksi – PUUT12

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

Abstract

Project title in English: Development of a two-stage crusher for producing energy fraction from wood

The aim is to study and develop a two-stage crusher line suitable, primarily, for producing energy fraction from logging residues. The crusher line comprises a precrusher and a secondary crusher. In precrushing, the logging residues are crushed to 100–500 mm particle size, and in aftercrushing, energy fraction is formed. Compared to conventional crushing and chipping, advantages of two-stage crushing are higher capacity and smaller power requirement. A precrusher has been acquired for the crusher line. Test runs have been carried out with logging residues, and the precrusher has operated as planned. The present activity is to acquire a secondary crusher for connecting to the crusher line after the precrusher. Test runs will be carried out with the crusher line in autumn 2000.

1. Tausta

Haketuksen osuus hakkuutähdehakkeen tuotantokustannuksista on suuri. Bioenergian ohjelman mukaan Evolution-hakkuriin perustuvassa hakkuutähdehakkeen tuotantoketjussa haketuksen osuus on 33 % hakkeen kokonaistuotantokustannuksista, jotka on arvioitu olevan 46 mk/MWh (autokuljetusmatka 100 km). Hakkeen tuotantokustannuksia on mahdollista eniten alentaa kehittämällä juuri haketusta.

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

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

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

Alustavan kustannustarkastelun mukaan kaksivaihemurskauksella on mahdollista alentaa energiajakeen murskauskustannuksia yli 30 %.

2. Tavoite

Projektin tavoitteena on tutkia ja kehittää kaksivaiheinen murskainlinja, joka soveltuu ensisijaisesti energiajakeen tuottamiseen hakkuutähteestä, ensiharvennuspuusta ja suokannoista. Murskain soveltuu myös erilaisten rakennusjätepuun ja myös muiden kuivajätteiden murskaukseen energiakäyttöön.

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

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

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

3. Toimenpiteet ja aikataulu

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

Tutkimuksen sisältö on jaettu viiteen tehtävään:

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

Tehtävässä 1 hankitaan esimurskain.

Tehtävässä 2 murskaimella tehdään murskauskokeet esimurskaimella hakkuutähteellä. Tutkimuksessa mitataan murskaimen kapasiteetti, tehontarve ja murskatun jakeen raekoostumus. Koeajot tehdään ruskealla ja vihreällä hakkuutähteellä.

Tehtävässä 3 suunnitellaan ja hankitaan jälkimurskain. Suunnittelussa käytetään hyväksi esimurskauksessa saavutettuja tuloksia. Jälkimurskain asennetaan esimurskaimen jälkeen, jolloin esimurskaimelta tuleva murska ohjataan kivien ja metalliesineiden poiston jälkeen jälkimurskaimelle. Linja koekäytetään ja saatetaan toimintakuntoon.

Tehtävässä 4 rakennetulla kaksivaihemurskainlaitteistolla tehdään murskauskoeket pääasiassa hakkuutähteellä. Tutkimuksessa mitataan murskaimen kapasiteetti, tehontarve ja murskatun jakeen raakoostumus. Tutkimuksessa tutkitaan lähtömateriaalin kosteuden ja mahdollisten epäpuhtauksien vaikutusta murskaimen toimintaan. Tulosten pohjalta lasketaan murskeen tuotantokustannus.

Tehtävässä 5 tehdään loppuraportti vuoden 2001 helmikuun loppuun mennessä.

4. Projektin toteutus

Tutkimuksesta vastaa VTT Energia. Tutkimus toteutetaan VTT Energian, murskaimen valmistajan Paperville Oy:n, murskainterien valmistajan Tikomet Oy:n ja energiapuun tuottajan Biowatti Oy:n kanssa yhteistyössä.

Tutkimukseen osallistuvat yritykset muodostavat yritysverkon, jonka avulla projekti on mahdollista toteuttaa tehokkaasti.

Tutkimuksen projektipäällikkönä VTT Energiasta toimii Arvo Leinonen.

5. Projektin tulokset

Projektissa on hankittu esimurskain Paperville Oy:ltä. Esimurskain on asennettu VTT Energian piha-alueelle ja se on varustettu syöttö- ja ohjauslaitteistolla (kuva 1). Murskain on noepakäyntinen vasaramurskain. Laitteisto on koekäytetty ja saatettu toimintakuntoon.



Kuva 1. Esimurskain VTT:n kenttäkoealueella.

Esimurskaimella on tehty koeajoja kuivalla ruskealla hakkuutähteellä. Kokeessa murskattiin 11 kuormaintaakkaa. Murskaimen keskimääräinen tehontarve vaihteli kokeessa 15–40 kW:n välillä. Kapasiteetti murskaimella jäi pieneksi kuormaimen tehottomuudesta johtuen.

Projektissa on lähdetty suunnittelemaan toisiomurskainta. Toisiomurskaimen suunnittelun lähtökohtia ovat:

- kapasiteetti 150 i-m³ haketta tunnissa,
- tehontarve 40–50 kW,
- soveltuu esimurskatulle hakkuutähteelle, jonka raekoko on alle 500 mm,
- syöttöaukko 500 x 1000 mm,
- varustettu seulastolla, joka on aukaistava,
- kestää epäpuhtauksia.

6. Jatkosuunnitelmat

Esimurskaimella tehdään lisää murskauskoekita ruskealla hakkuutähteellä kapasiteetin ja tehontarpeen määrittämiseksi kesä-elokuussa 2000.

Rakennetaan toisiomurskain elokuussa 2000.

Tehdään koeajot toisiomurskaimella ja koko linjalla syksyllä 2000 ruskealla ja vihreällä hakkuutähteellä kapasiteetin ja tehontarpeen määrittämiseksi.

7. Kustannusarvio ja rahoitus

Projektin kokonaiskustannusarvio 1 060 000 mk. Projektin rahoittavat Tekes, Biowatti Oy, Tikomet Oy, Jyväskylän teknologiakeskus Oy ja VTT Energia. VTT rahoittaa erikseen esi- ja jälkimurskaimen hankinnan.

8. Tulosten hyödyntäminen

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

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

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

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

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

Teollisten metsähaketusten erikoishakkuri – PUUY03

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

Abstract

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

The objective of the project is to improve the quality of chips, and to improve the profitability of chipping by developing the chipper more cost-effective and better suitable for different production chains.

The objective of this project is to develop specialised equipment, the properties of which meet all the industrial operational reliability and chipping capacity requirements, and which improve the wood chips production methods and integration of different production phases significantly. The objective of the development of the specialised equipment is to decrease the waiting periods, and to change the character of the chipping work from chipping to loading of the chips.

1. Tausta

Hakkeen käytön lisääminen kansallisen tavoitteen mukaisesti edellyttää toteutukseen, että haketus saadaan aiempaa kannattavammaksi. Ilman menestyviä yrittäjiä jää kotimainen energiareervi vähäiselle käytölle. Projekti pyrkii parantamaan hakkeen laatua sekä lisäämään haketuksen kannattavuutta kehittämällä hakkuria kustannustehokkaammaksi ja paremmin eri tuotantoketjuihin sopivaksi.

2. Tavoite

Tavoitteena on kehittää markkinoille erikoiskalusto, jonka ominaisuudet täyttävät teollisuuden asettamat toimintavarmuus- ja haketustehovaatimukset ja parantavat hakkeen tuotantomenetelmiä sekä tuotannon eri vaiheiden integrointia merkittävästi. Kehitettävän erikoiskaluston avulla pyritään minimoimaan odotusajat ja muuttamaan haketustyön luonne haketuksesta hakkeen kuormaukseksi.

Projektin tuloksena valmistuu erikoiskaluston prototyyppi. Prototyypille asetettavat vaatimukset ovat:

1. kapasiteetin riittävyys 100 GWh:n haketoimituksiin
2. tieliikennekelpoisuus myös metsäteillä ja metsäterminaaleilla
3. liitettävyys nykyaikaisiin tuotannonohjausjärjestelmiin
4. täysperävaunun kuormausaika alle yksi tunti.

Hankkeen tavoite on saada markkinoille sarjavalmistainen ja kilpailukykyinen hakkuri teollisiin metsähaketuksiin.

3. Projektin toteutus

Haketustehon kasvattaminen on monen muuttujan ongelma. Tehoa rajoittavan ongelman ratkaisu synnyttää tyypillisesti myös haittoja. Erityisesti liikkuvuus ja metsätiekelpoisuus huononee kaluston tehon ja massan kasvaessa. Suunnittelussa on tiedettävä milloin yksittäinen kehityskohta muuttuu toivottavasta ominaisuudesta haketustyötä haittaavaksi. Kokonaisuuden suunnittelulta vaaditaan hakkurin suunnittelukokemuksen lisäksi haketustyön hyvää tuntemusta.

Menetelmänä suunnittelussa käytetään eri osa-alueiden ammattilaisten aivoriihtyöskentelyä. Suunnittelun onnistuminen pyritään varmistamaan kokeellisesti ja

kriittisiltä osin koelaitteilla. Projektin käytettävissä on Kotimaiset Energiat Ky:ssä kertynyt kokemus eri hakkureista ja haketusmenetelmistä.

4. Projektin tulokset

Projekti valmistuu vuoden 2000 loppuun mennessä. Tähän mennessä valmistuneita osioita on hakkurin suunnittelu. Hakkuri rakennetaan neliakselisen alustan päälle. Alustan voimansiirtoa hyödynnetään 300 kW hakkurin hydraulikkaan. Hakkurin syöttölaitte on mitoitettu siten, että vinottain tapahtuva hakkurin syöttö on mahdollista hakkurin molemmilta puolilta. Kuormain on suunniteltu riittävän jykeväksi, että sillä voi repiä taakan irti mahdollisesti jäätyneestä hakkuutähdekasasta.

Hakkurin rumpua pyörittää ilmajäähdytteinen, haketukseen optimoitu erillismoottori, josta puristetaan 600 kW haketukseen. Hakkuri voidaan varustaa säädettävällä seulaajärjestelmällä. Tämän laadunvarmistuksen jälkeen hake jaetaan heittimille kiihdytystä varten. Hakkeensiirto varmistetaan tarvittaessa puhallinjärjestelmällä.

Giant-hakkuri (kuva 1) esitellään Metko 2000 messuilla 31.8.–2.9. Jämsänkoskella. Työnäytössarjat ja haketuskokeet käynnistyvät syksyn kuluessa.



Kuva 1 ja 2. Giant-hakkuri irtohakkuutähteen haketuksessa.



Kuva 3. Giant-hakkuri "risutukkien" haketuksessa.

5. Tuloksen hyödyntäminen ja miten tulokset palvelevat ohjelman tavoitteiden toteutusta

Projektin tuloksena syntyy sarjavalmistainen hakkuri, joka soveltuu suurten hakemäärien haketukseen. Projekti pyrkii tekemään haketuksesta kannattavaa, mikä edesauttaa investointipäätöksiä. Hakkeenkäytön merkittävä lisääminen edellyttää investointeja haketuskalustoon.

6. Projektin jatkosuunnitelmat

Giant-hakkurin ominaisuudet on tiedossa, mutta markkinoinnin edistämiseksi ne on hyvä todentaa ja dokumentoida. Parhaiten tämä onnistuu erilaisin mittauksin ja kyllin laajalla seurantatutkimuksella. Tutkittavia ominaisuuksia voisivat olla tuottavuus ja hakkeen laatu erilaisilla raaka-aineilla ja eri olosuhteissa sekä hakkurin käytettävyys ja toimivuus.

7. Projektissa syntyneet julkaisut ja raportit

Projektissa on valmistunut kolme sisäistä raporttia sekä Giant-esite ja Giant-demo (3D-esitys, saatavana www.lhmhakkuri.com).

Traktorikäyttöinen rumpuhakkuri TT-97RMT – PUUY05

Ari Melkko
Heinolan Sahakoneet Oy
PL 24, 18101 Heinola
Puh. 03-848 411, faksi 03-848 4301
Matkapuhelin 0500-492 991
e-mail: ari.melkko@heinolasm.fi

Abstract

Project title in English: Tractor-operated drum chipper

The objective of the research is to develop a drum chipper, producing high quality chips mainly from logging residues, but also from long-length timber and whole-trees. The project started in February 1998.

Tractors, used in peat production, are used as power supplies of the chipper in the power range 140 - 200 hp. The capacity objectives for logging residues were 30 - 50 bulk-m³ of chips per hour in the power range. The chipping is carried out mainly at the terminals. The chips are conveyed pneumatically in a stockpile or a container. The prototype chipper, based on the TT-97RML lorry-mounted chipper, was mounted on a trailer chassis. The prototype was tested by Vapo Oy in 1998. Second generation chippers (2 units) were constructed in autumn 1998 on the basis of test results and further development. The experiences show that the tractor powers were sufficient for chipping of logging residues. Automation of the feeding enables even chipping of 300–400 mm trees.

1. Lähtökohdat

Tavoitteena oli kehittää rumpuhakkuri, joka tuottaa laadukasta polttohaketta etupäässä hakkuutähteistä, mutta myös rangoista ja kokopuusta.

Hakkurin voimanlähteenä on turvetuotannossa käytettävät traktorit tehoalueella 140–200 hv. Kapasiteettitavoitteet olivat hakkuutähteellä 30–50 im³/h haketta ko. traktoritehoilla. Haketus tapahtuu pääasiassa terminaaliolosuhteissa. Hake puhalletaan aumaan tai konttiin.

2. Toteutus

Projekti käynnistyi helmikuussa 1998. Prototyypihakkuri valmistettiin muuttamalla ja kehittelemällä TT-97RML-autohakkuri perävaunualustalle. Prototyypihakkurin toimitimme koekäyttöön ja testaukseen Vapo Energia Oy:lle keväällä 1998.

Testitulosten ja jatkokehittelyjen jälkeen seuraavat uudet hakkurit, 2 kpl, valmistuivat syksyllä 1998. Käyttökokemusten perusteella traktoritehot ovat riittäviä hakkuutähteen haketukseen. Syötön automatiikan avulla tehot riittävät myös paksumpien puiden, halkaisija 300–400 mm, haketukseen.

3. Sovellus

Perushakkuri TT-RM voidaan asentaa kuorma-auton alustalle. Voimanlähteenä käytetään tällöin ajoneuvon moottoria tai erillistä käyttömoottoria.

Näitä uusia hakkureita on toimitettu traktorikäyttöisenä ja ajoneuvoon asennettuina yli kymmenen kappaletta.



Kuva 1 ja 2. TT-97RMT-hakkuri

RUMPUHAKKURI TT-97RMT

TEKNISET TIEDOT

Tuotto	40–90 im ³ /h
Rummun halkaisija	900 mm
Syöttöaukon korkeus	400 mm
Syöttöaukon leveys	700 mm
Haketusterien määrä	2 kpl

Voimanlähde

Traktori, tehoalue	145–190 hv
Voimansiirto nivelakselilla.	

Alusta

Vetosilmukalla ja seisontatuella varustettu telialusta.	
Rengaskoko	400–15.5/10 ply

Syöttölaite

Yläpuolella hydraulisesti kevennetty syöttörulla.
Alapuolella ketjumattokuljetin.
Syöttölaitteen lasku ja nosto hydraulisesti.
Syötön valvonnan automaatiikka.

Hakkeen puhallus

Haketorven lasku ja nosto hydraulisesti.
Hakeputken hydraulinen kääntö.
Erillinen, hihnakäyttöinen puhallin, puhallustehon säätö.
Hydraulinen hakkeenohjauslipa.

Paino	noin 7 500 kg
-------	---------------

Käyttöpaikalla haketukseen perustuva puupolttoaineen tuotanto – PUUY02

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

Abstract

Project title in English: Wood fuels production based on chipping at the mill

The objective of the project is to determine the production costs and competitiveness of the wood fuels, based on chipping of logging residues at the mill, in comparison to the present production chains, on-site chipping and chipping at the intermediate storage. The research concentrates on technological evaluations. The storage and other researches, connected to fuel quality, are not included in this project. Production chains, based on baling of logging residues and transportation of bulk logging residues will be studied in this project. The project started in 1999 and it is expected to end by the end of 2000.

1. Tausta

Bioenergian tutkimusohjelman projekteissa tutkittiin ja julkaistiin tuloksia käytössä olevista palsta- ja välivarastollahaketukseen perustuvista tuotantoketjuista. Eräissä ruotsalaisissa tutkimuksissa käyttöpaikallahaketus on todettu erittäin kilpailukykyiseksi menetelmäksi, mutta se ei ole yleistynyt, vaan käytännön kokemus on jäänyt lähinnä kahden pilotlaitoksen varaan. Myös suomalaiset arviot ja laskelmat osoittivat käyttöpaikallahaketuksessa päästävän sekä kustannuskilpailukyiseen puupolttoaineen tuotantoon että saavutettavan muita etuja tuotantologistiikkaan. Käyttöpaikallahaketukseen perustuva tuotanto sopii hyvin suurkankäyttöön, jollaisia hankkeita on nyt maassamme vireillä useita.

Kun haketus tehdään vasta käyttöpaikalla, tuotanto voidaan järjestää siten, että päästään eroon ns. kuumen ketjun ongelmista. Sen ansiosta tuotantoketjun kukin vaihe voidaan tehdä niin tehokkaasti kuin kyseessä olevalla kalustolla vain on mahdollista. Muita tuotantoteknisiä etuja esimerkiksi tienvarsivarastolla tehtävään haketukseen nähden ovat mm. haketuksessa tai murskauksessa saavutettava suuri tuottavuus ja vuosituotos ja siten myös edullisemmat tuotantokustannukset. Ruotsissa kehitetyt hakkuutähteiden paalaustekniikat antavat käyttöpaikalla-haketukseen perustuvalla tuotannolle aiempaa paremmat tuotantotekniset perusteet ja mahdollisuuksia tuotteen laadun hallintaan. Näillä uusilla tekniikoilla hakkuutähteet paalataan tukkimaisiksi kappaleiksi, risutukeiksi. Niiden käsittely ja kuljetus hoituu tavanomaisella puutavarakalustolla. Murskaus tai haketus tosin edellyttää järeitä laitteita.

Suomeen saatiin ensimmäinen risutukkeja valmistava hakkuutähdepaalain, Fiberpac 370, kuluvan vuoden alussa. Yksikkö toimii Pohjanmaalla Pietarsaaren ympäristössä ja sen omistaa UPM-Kymmene Oyj:lle urakoiva koneyritys.

2. Tavoite

Projektin tavoitteena on määrittää hakkuutähteiden käyttöpaikallishaketukseen perustuvan puupolttoaineen tuotannon kustannukset ja kilpailukyky käytössä oleviin tuotantoketjuihin - palsta- ja välivarastohaketukseen - nähden. Työ painottuu teknistaloudellisiin selvityksiin, laatuun liittyvät varastointi- ym. tutkimukset jäävät muissa yhteyksissä tehtäviksi. Käyttöpaikallishaketuksessa selvitetään sekä hakkuutähteiden paalauksen että irtonaisten hakkuutähteiden kuljetukseen perustuvia tuotantoketjuja.

3. Toteutus

Projekti on yrityshanke ja siihen osallistuvat seuraavat yritykset:

A. Ahlström Oy, Fortum Power and Heat Oy, Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta/Biowatti Oy, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj ja Vapo Oy.

Projektin vastuullisena johtajana toimii erikoistutkija, MML Antti Korpilahti Metsäteho Oy:stä. Projektiryhmään kuuluvat tutkija, DI, MH Kaarlo Rieppo, projektitutkija, MMM Sakari Suuriniemi ja työntutkijat Reima Liikkanen ja Kari Uusi-Pantti. Projektissa tehdään käytännön tasolla yhteistyötä erityisesti UPMKymmene Oyj:n kanssa, jossa yhdyshenkilöinä toimivat hankintapäällikkö, MH Christer Backlund ja kenttäpäällikkö, MH Esa Korhonen. Yhteistyö koskee hakkuutähteiden paalausketjun eri vaiheiden tutkimista.

Projekti käynnistyi keväällä 1999 ja se on suunniteltu päättyväksi vuoden 2000 aikana. Projektissa hyödynnetään soveltuvin osin aiempia tutkimus- ja muita tietoja, mutta varsinkin paalausketjun tuottavuuksien selvittäminen edellyttää kelloaikatutkimuksia.

4. Tulokset

4.1 Hakkuutähteiden paalaukseen perustuva tuotanto

Hakkuutähdepaalit ovat olleet halkaisijaltaan noin 68 cm ja pituudeltaan 303 cm. Ne osoittautuivat ennakoitua pienemmiksi, sillä ruotsalaisten informaation mukaan niiden piti olla hiukan paksumpia ja pituudeltaan noin 320 cm. Muutos merkitsee sitä, että paalin tilavuus on selvästi ennakkolaskelmissa käytettyä pienempi. Kun käsittelyajat eivät useinkaan riipu paljoa risutukin koosta, niin tuottavuus ja tuotantokustannukset muuttuvat herkästi. Edellä todetun kokoinen hakkuutähdetukki painaa 50 %:n kosteudessa runsaat 420 kg ja sen kiinto-tilavuus on noin 0,5 m³.

Paalauksen työsaavutus on ollut kuljettajien noin 1–3 kuukauden työkokemuksen jälkeen 16–22 paalia tunnissa tehoaikana. Kuljettajien kokemuksen lisäksi tuottavuus riippuu laitteiston toimivuudesta. Kun kyseessä on uusi tekniikka ja sen ensimmäiset sovellukset, voidaan odottaa teknistä kehityspotentiaalia olevan vielä merkittävästi. Paalausyksikkö on nyt asennettu sopivasti käyttöön satuun käytettyyn alustakoneeseen erillistyönä. Tehdasvalmisteisessa paaluskoneessa esimerkiksi hydrauliiikka- ja elektroniikkajärjestelmät olisi toteutettu ennakkosuunnitteluun perustuvina. Myös paalausyksikön kytkentä alustakoneeseen tultaneen tuotteistamaan. Teknisellä kehittämisellä parannetaan

sekä suorituskykyä että vaikutetaan oheislaitteiden mitoittamiseen ja paalaus-koneen valmistuskustannuksiin.

Hakutähdepaalien kuljetus onnistuu tavanomaisella puutavarakalustolla hyvin. Kun kuormatraktoriin sopii vain yksi nippu risutukkeja, niin kuormakoko jää noin puoleen kantavuuden mahdollistamasta. Kuormatraktori tulisi varustaa liukupankoilla. On arvioitu, että keskikokoisen kuormatraktorin kuormaan sopisi silloin noin 20 risupaalia.

Puutavara-autoon sopii noin 68 risutukkaa ja lasti painaa noin 30 tonnia. Kuor-matilan käyttö olisi tehokasta, jos risutukkien pituus olisi aiemmin mainittu noin 3,3 metriä. Kun risutukit nyt ovat lyhyempiä, kuormakoko jää lähes 10 % pie-nemmäksi. Tosin ajoneuvoyhdistelmän kantavuus mahdollistaisi selvästi suu-remmankin kuorman. Kaluston kehittämistarvetta on siis olemassa, vaikka kul-jetukset hoituvatkin nykykalustolla.

Hakutähdepaalien murskausta kokeiltiin mobiilimurskaimilla, joiden mootto-ritehot olivat 600–728 kW. Murskaimet olivat

- Bruks CBI Magnum, vaakasyöttöinen roottorimurskain (Huurinainen Oy, Kajaani)
- Diamond Z, kaukalomurskain (Vertainen Oy, Äänekoski)
- Lundvik, vaakasyöttöinen vasaramurskain (Lundvik, Pietarsaari).

Hakutähdetukkien murskauksen tehotuntituottavuudet olivat 50–80 m³ vas-taten 130–200 i-m³/h. Tulosten perusteella kiinteän murskausaseman tuottavuudeksi määritettiin 100 m³/h (noin 250 i-m³/h). Murskauskalusteissa käytettiin 70 % käyttötehokkuutta. Koska käyttöpaikallamurskauksen vuotuinen suorite muodostuu suureksi, esimerkiksi 235 000 m tai 600 000 i-m³, tuotantokus-tannukset jäävät 7–8 mk/m³ tasolle. Murskausaseman investoinniksi on oletettu 6 milj. markkaa ja yhden miestyövuoden työkustannukset.

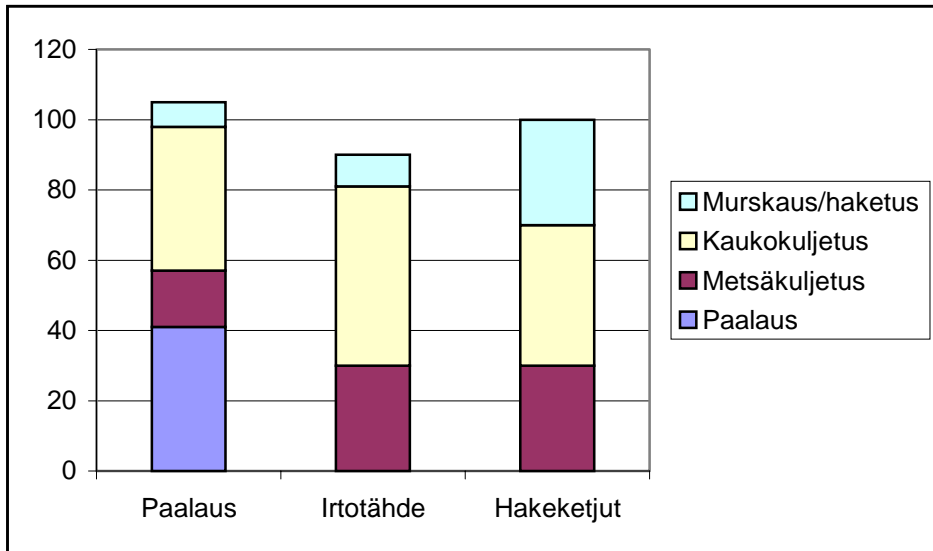
4.2 Irtonaisen hakkuutähteen kuljetukseen perustuva tuotanto

Irtonaisen hakkuutähteen metsäkuljetukseen on valmistettu ensimmäiset liukupankkovarusteiset kuormatraktorit. Niillä päästään runsaaseen 10 kiintokuution kuormaan. Kuormakoko on voitu kaksinkertaistaa tavanomaisella kuormatilalla varustetun koneen kuormasta. Kaukokuljetuksessa on vielä ratkaisematta käytäntöön hyvin soveltuva kuorman tiivistystapa. Kalustovalmistajille on annettu vähimmäistavoitteeksi 25 % tiiviyden saavuttaminen. Kuormatilan enimmäiskooksi valmistajat esittävät 130 m³. Ajoneuvoyhdistelmän nykyinen enimmäispituus sallisi hiukan suuremman kuormatilan, mutta metsäteillä ja -kääntöpaikoilla ei pystytä maksimipituisilla ajoneuvoilla liikennöimään. Vaikka vielä ei ole valmiita ratkaisuja kuorman tiivistämiseen, laskelmissa on käytetty edellä esitettyä kuormakokoa. On huomattava, että oletetulle kalustolle kuorma-aika on jouduttu määrittämään tavanomaisemmalla kuljetuskalustolla tehtyjen hakkuutähteen kuljetustutkimusten avulla.

Irtotähteellä voidaan periaatteessa päästä jopa suurempaan tuottavuuteen, jos tähteiden syöttö voidaan järjestää tasaiseksi. Laskelmissa kuitenkin oltiin varovaisia ja irtotähteen murskaus oletettiin 15 % hitaammaksi. Kaukalosyöttöisellä murskaimella tuottavuusero oli selvästi suurempi.

4.3 Tuotantokustannukset

Tällä hetkellä määritetyt realistiset tuotantokustannukset ovat paalausketjulla hieman suuremmat ja irtotähteeseen perustuvalla ketjulla pienemmät kuin vallitsevilla tuotantotavoilla saavutettavat kustannukset (kuva). Kuvasta näkyy paalausvaiheen suuri kustannusosuus ja toisaalta käyttöpaikallamurskauksen edullisuus. Absoluuttiset tuotantokustannukset ovat noin 45–55 mk/MWh. Vuotuinen työaika on oletettu 10 kuukaudeksi ja työskentely 2-vuorossa.



Kuva 1. Hakkuutähteiden paalaukseen ja irtonaisten tähteiden kuljetukseen perustuvien tuotantoketjujen suhteelliset kustannukset verrattuna vallitseviin hakkuutähdehakkeen tuotantomenetelmiin. Metsäkuljetusmatka 300 m ja kaukokuljetusmatka 80 km.

5. Johtopäätöksiä

Edellä esitetty kustannusvertailu osoittaa tilannetta, joka voidaan tämän hetken todennettujen seikkojen perusteella saavuttaa. Kun laskelman kuljetusmatkat, metsäkuljetus 300 m ja kaukokuljetus 80 km, oletetaan keskimääräisiksi matkoiksi, tilanne kuvastaa tavallaan hakkuutähdepolttoaineen suurtuotannon tulevaisuutta. Hankinta-alue ulottuisi silloin noin 120 kilometrin etäisyydelle käyttöpaikasta ja tähteet tulisi kerätä lähes kaikilta leimikoilta. Tuotantokustannukset pyrkivät asettumaan lähemmäs 55 kuin 45 mk/MWh.

Paalauksessa on varmasti kalustoteknistä kehityspotentialia, jolla voidaan parantaa menetelmän kustannuskilpailukykyä. Paalaukseen perustuva menetelmä on logistisesti helppo ja käytäntöön sopeva.

Irtonaiseen tähteeseen perustuva menetelmä edellyttää kaukokuljetukseen erikoiskaluston kehittämistä. Asetetuilla ehdoilla, kuormatila 130 m³ ja tiiviys 25 %, se on kilpailukykyinen ja kalustokehitykseen panostus järkevää.

Vallitsevissakin tuotantomenetelmissä on kehityspotentiaalia, varsinkin palstahaketuksessa, joka nyt vaikuttaa tehokasta tienvarsihaketusta selvästi kalliimmalta. Palstahaketuksen suorituskyky riippuu olennaisesti siitä, kuinka jatkuvasti hakkuria pystytään syöttämään. Tutkimuksissa on havaittu, että hakkuri on pyörinyt noin puolet ajasta tyhjänä. Kun palstahakkuri on tehokas, sitä voidaan kannattavasti käyttää myös tienvarsihakkurina. Sen maastokelpoisuus ja tiellä liikkumiskyky antavat joustoa hakkuutähdeaumojen sijoiteluun ja haketuksen ajoittamiseen.

6. Julkaisut

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

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

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

Hakkuutähdepolttoaineen tuotantomahdollisuudet – PUUY04

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

Samuli Rinne
YTY-Konsultointi
Parviaisentie 33 A 9, 40900 Säynätsalo
Puh. 0400-543 835, faksi 0420-543 835
e-mail: samuli.rinne@solutions.fi

Abstract

Project title in English: The production possibilities of logging residue fuel

UPM-Kymmene has started to use logging residues as a fuel in its power plants at the mills. In this case logging residues are hauled to the mill as they are or as bales. In this project enlarged load spaces and compaction equipment are constructed and tested. The logging residue load of the forwarder has been increased from 4.3 m³ solid to 7.8 m³ solid by using a special, wider-than-normal load space. The truck for the haulage of the logging residues is to be renewed in the summer. The new crane is going to be much more stronger than the old one to increase the productivity of loading and the result of compaction. There are also special grapples for logging residues to be tested and compared. A baling machine has been acquired and it is in the commercial use. It produces some 20 bales per hour. One bale has a volume of about 0.5 m³ solid. An ordinary timber truck can take 60 to 70 bales at one load.

1. Tausta

Raumalla on aloitettu hakkuutähdepolttoaineen hankinta UPM-Kymmenen Rauman paperitehtaan voimalaitokselle. Tähteet kuljetetaan sellaisenaan tehtaalle ja murskataan vasta siellä.

Pietarsaareen valmistuu marraskuussa 2001 suuri biopolttoainetta käyttävä voimalaitos, Alholmens Kraft Ab. Suunnitelmissa on hankkia vuodessa 150–200 000 kiintokuutiometriä hakkuutähdepolttoainetta, pääosin paalattuna tai irtotavarana. Tähteet murskataan voimalaitoksella.

Tähteiden hankintaa laajennetaan myös muilla UPM:n tehtailla siten että kokonaisuus vuonna 2004 on arvioitu noin 1,5 TWh:ksi. Toiminnan laajentuminen riippuu pioneerilaitoksilta, kuten Raumalta, saaduista kokemuksista.

Käyttöpaiikkamurskaus on laskennallisesti edullisin tähdepolttoaineen tuotantomenetelmä siihen soveltuvilla laitoksilla, mutta ketjun eri osissa on vielä parantamisen varaa ja myös paikalliset olosuhteet asettavat omia vaatimuksiaan. Suurin kehittämispotentiaali on hakkuutähteen paalauksessa ja irrallisen sekä paalatun tähteen metsäkuljetuksessa ja autokuljetuksessa. Näitä pyrittiin kehittelemään ja kehittämään tässä hankkeessa.

2. Tavoite

Hankkeen tavoitteena on tehdä Raumalle ja Pietarsaareen tulevista hakkuutähteen käyttöpaiikkamurskaukseen perustuvista polttoaineen-tuotantoketjuista teknistaloudellisesti toimivia siten, että laite- ja menetelmäratkaisut ovat pääosin kaupallisina ratkaisuinä käytettävissä muillakin vastaavilla voimalaitoksilla.

3. Toteutus

Rauman seudulla toimivaksi on rakennettu 0-sarjan malli kuormatraktorin sivusuunnassa laajennettavasta kuormatilasta. Kyseinen liukupankkokuormatila on jatkuvassa käytössä.

Raumalle hankitaan irrallista hakkuutähdettä ajavaan autoon suurikokoinen kuormain, jolla tähteiden käsittely on nopeampaa ja tiivistäminen käy paremmin kuin tavanomaisenkokoisella kuormaimella. Myös auton lava uudistetaan siten että se on kevyt mutta kestävä. Autossa kokeillaan lisäksi erilaisia hakkuutähdeturia.

Pietarsaaren seudulle on hankittu vanhan hakkuukoneen alustalle asennettu hakkuutähdemaalain. Paalauksesta ja paalien metsä- ja autokuljetuksesta ja murskauksesta kerätään kokemuksia.

4. Tulokset

Kuormakoko vakiovarusteisella kuormatraktorilla on ollut $4,2 \text{ m}^3$ ja liukupankoilla varustetulla $7,8 \text{ m}^3$. Mahdollisuus tiivistää kuormaa liukupankoilla parantaa koneen vakautta. Lisäksi oksat ja latvat voidaan latoa leveään kuormatilaan yhdensuuntaisesti, mikä helpottaa jatkokäsittelyä.

Raumalla aloitetussa tähteenajossa on ollut tähän asti käytössä auto, jossa on tavanomaisenkokoinen kuormain, tavanomainen puutavarakoura, jatkokärky ja kiinteät teräslavat. Kuormakoko on ollut jouluhelmikuussa keskimäärin 24 m^3 ja kuormauksen ajanmenekki hankkeessa tutkituissa kuormissa $2,7 \text{ min/m}^3$.

Hakkuutähdemaalaimen tehoaikatuottavuus on noin 20 paalia tunnissa. Paalin koko on noin $0,5 \text{ m}^3$. Tavanomaisen puutavara-auton kuormaan sopii 60–70 paalia.

5. Tuloksien hyödyntäminen

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

6. Jatkosuunnitelmat

Kehittämis- ja kokeilutehtävät saatetaan loppuun ja niiden pohjalta pyritään löytämään sopivimpia ratkaisuja kokeiltaviin tuotantoketjuihin.

7. Julkaisut ja raportit

Projektia on esitelty tutkimusohjelman seminaareissa.

Hakkeen hankinnan työvaiheiden kehittäminen, lähikuljetus ja hakkeen varastointi – PUUT13

Panu Pankakari

Savonlinnan Ammatillinen Aikuiskoulutuskeskus (SAKKE)

Telakkatie 9, 57230 Savonlinna

Puh. 015-5758 248, faksi 015-5758 290

e-mail: panu.pankakari@akk.savonlinna.fi

Abstract

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

Occupational Adult Education Centre of Savonlinna Town (SAKKE) is developing, as an equipment development project, a harvesting unit for logging residue, based on the use of farm tractors in the delivery chain of wood chips. Another aim of the project is to develop an interchangeable container system for heating stations of < 1 MW. This storage container would replace stockpiling chips at the heating station and is also used as the transport container of chips.

1. Yleistä

PUUT13-projekti (lyhyesti LaKe-projekti) lähti tarpeesta kehittää ns. olemassa olevia laitteita sellaisiksi, että hakkuutähteen keruu ja lähikuljetus olisi kannattavaa, sekä siitä, että ei tarvitsisi jokaisen pienen lämpölaitoksen yhteyteen rakentaa erillisiä hakevarastoja, vaan hakkeen kuljetusyksikkö eli kontti voisi toimia samalla myös varastona.

2. Tavoite

Laitekehitysprojektin tavoitteena on kehittää tavallisesta maataloustraktorista – maastossa toimiessaan – metsäkoneenomainen hakkuutähdettä taloudellisesti keräävä lähikuljetusyksikkö, jossa on huomioitu ajo-, ohjaus- ja kuormausjärjestelmien joustava yhteen toimivuus.



Kuva 1. Lähikuljetus menetelmätriisi.

Vaihtovarastokonttijärjestelmässä tavoitteena on saavuttaa palahakkeen käytön helppous lähes yhtä yksinkertaiseksi ja ”huolettomaksi” kuin fossiilisia aineita käytettäessä. Tämän onnistuminen lisää ennestäänkin kohonnutta kiinnostusta siirtyä käyttämään kotimaista puuenergiaa.



Kuva 2. Vaihtovarastokontti menetelmämatriisi.

3. Toteutus

Savonlinnan Ammatillinen Aikuiskoulutuskeskus tarjoaa projektin toteuttamiseen tarvittavat toimitilat, materiaalsen tuen ja työtuen sekä suunnittelussa tarvittavan välineistön.

Rahoituspäätöksen (22.12.1999) jälkeen alkoi projektin varsinainen käytännön toteutus. Projektin käyttöön osoitetut toimitilat saatiin varusteltua asianmukaiseen kuntoon maaliskuun alussa ja samalla tilattiin vaihtovarastokonttijärjestelmään tarvittava materiaali ja välittömästi toimitusten saavuttua aloitettiin vaihtovarastokonttijärjestelmän teko. Projektin tässä vaiheessa ei ole vielä mitään mittaustuloksia käytettävissä. Ensimmäisiä tutkimustuloksia on odotettavissa aikaisintaan syystalven 2000 aikana.

Lähikuljetusyksikköön kuuluvan traktorin luovutus modifiointiin tapahtui 23.05.2000 SAKKE:lla.



Kuva 3. Traktorin luovutus modifiointia varten SAKKElla 23.05.2000.

4. Tästä eteenpäin

Seuraavassa vaiheessa – kesä-heinäkuussa – keskitytään traktorin modifiointiin ja kuormaimen asentamiseen takasiltaan. Tämä sen takia, että näkyväisyys ohjaamosta työskentelymaastoon olisi mahdollisimman esteetön ja toiseksi, jotta kuormaimen työliikeradat olisivat mahdollisimman taloudelliset. Samalla muokataan sisätiloja niin, että kuljettajan ympärikäntymiseen tarvittavia jalkatiloja suurennetaan ja hallintalaitteiden sijoittelua parannetaan, jotta ohjaamon ergonomia paremmin vastaisi sille asetettavia toiveita. Kuormaimen hydraulikka-järjestelmä tarvitsee myös oman erillisen säiliön, joka valmistetaan itse ja sen muotoilussa huomioidaan se, ettei traktorin maastoliikkuvuus saa kärsiä.

Traktoriyksikön maastokokeisiin on tarkoitus päästä viimeistään elo-syyskuun vaihteessa. Tämän ensimmäisen maastojakson kestoksi on suunniteltu paria kuukautta, jonka jälkeen tehdään tarvittavat lisämuutokset.

Vaihtovarastokonttijärjestelmää testataan myös syksyllä lämmityskauden alkaessa ja silloin tutkitaan purkujärjestelmän toimivuutta.

Koko projekti kestää vuoden 2001 loppuun, jolloin järjestelmien tulisi olla valmiit ja kaikki tarpeelliset muutostyöt ja testaukset olisivat valmiina aina loppuraportointia myöten.

Puupolttoaineklinikka – PUUY07

Dan Asplund & Pirjo Nikku
Jyväskylän Teknoliakeskus Oy
PL 27, 40101 Jyväskylä
Puh. 014-4451 112, faksi 014-4451 199
e-mail: dan.asplund@jsp.fi, pirjo.nikku@jsp.fi

Abstract

Project title in English: Technology clinic for wood fuel technologies

Jyväskylä Science Park Ltd. operates the Technology Clinic for wood fuel technologies, funded by Tekes, the National Technology Agency. The clinic helps SMEs to start projects, offers funding and expertise. The services of the clinic are directed to SMEs developing new components or equipment for wood fuels production or utilisation.

Earlier the services were connected only to wood fuels production. At present the projects aimed at small-scale utilisation of wood fuels are an essential part of the clinic. These projects include development of fireplaces, small and large-scale boilers, district heating and small-scale power plants. Development of all kinds of components and services for the delivery of a boiler plant is included.

The clinic offers a flexible funding system for projects of SMEs developing and producing partial solutions or components. Simultaneously, the clinic makes it possible for SMEs to find an appropriate researchers to assist them in solving technical problems in the development work.

1. Tausta

Jyväskylän Teknoliakeskus Oy on koordinoanut vuoden 1996 lopulla käynnistynyttä puupolttoaineklinikkaa. Klinikkan ensimmäinen vaihe toimi hyvin. Klinikkan markkinointi oli laajaa ja hankkeet käynnistyivät nopeasti.

Suomen ja EU:n keskeisenä tavoitteena on edistää pk-yritysten teknologiakehitystä eri tavoin. Bioenergian tutkimusohjelmassa kehitettiin menestyksellisesti uusia tuotantomenetelmiä erityisesti painopistealueena olevalla puupolttoainepuolelle. Energian osalta keskeinen mahdollisuus on uudistushakkuissa, johon on kehitetty kolme uutta tuotantomenetelmää. Lisäksi ohjelmassa kehitettiin useita muita puupolttoaineiden tuotantoon liittyviä menetelmiä, koneita ja laitteita. Ohjelman ulkopuolella on myös kehitetty uutta teknologiaa.

2. Puupolttoaineiden tuotanto

Uusien tuotantomenetelmien optimoinnissa ja kehittämisessä kaupallisiksi tuotteiksi on kuitenkin vielä tehtävää ja erilaisia osakomponentteja tarvitaan, vaikka useimmat menetelmät ovatkin jo demonstraatiovaiheessa. Myös jo kaupallisten menetelmien kohdalla on mahdollista pienin teknologisin muutoksilla tehdä tuoteparannuksia. Erityisesti pk-sektorilta löytyy uusia ideoita näiden osakomponenttien kehittämiseen ja valmistamiseen sekä tuoteparannusten tekoon. Pk-sektori on jo alalla merkittävä tuote- ja komponentti valmistaja.

Päättehakkuiden hakkuutähteiden korjuussa kehitettiin useita uusia menetelmiä Bioenergia tutkimusohjelmassa ja myös ohjelman ulkopuolella. Perinteisen tienvarsihaketusmenetelmän kehityskohteena on ollut metsäkuljetuksen tehostaminen ja erityisesti Kotimaiset Energiat Pekka Lahti Ky:n kehittämä Evolution-hakkuri. Logset Oy:n Chipset-palstahakkuriin perustuva uusi päättehakkumenetelmä on jo saavuttanut kaupallisen vaiheen. Siinä on kuitenkin vielä kehityspotentiaalia esim. syöttöpöydän osalta. Hakkurilla varustetun MOHA-SISU kuorma-auton, joka voi kulkea palstalla, ja siirtokonttien käyttöön perustuvalla tuotantoketjulla päästään kilpailukykyiseen hintaan. MOHA-SISU mahdollistaa uudenlaisen polttihakkeen tuotantologistiikan, joka tarjoaa etuja perinteiseen toimintatapaan ja muihin tuotantoketjuihin nähden.

Keskeinen uusi mahdollisuus liittyy uudistushakkuun tähteiden suoraan vientiin käyttölaitokselle hakettavaksi. Näiden menetelmien edelleen kehittäminen edellyttää menetelmien optimointia ja sitä kautta erityisesti erilaisten uusien laitekomponenttien kehittämistä.

Puupolttoaineen pientuotannossa on ohjelmassa kehitetty uusi, maataloustraktoriin perustuva ja aikaisempaa halvempi laitesukupolvi. Kaato- ja karsintavaiheeseen on kehitetty useita puita käsitteleviä harvestereita. Mefor Oy:n AM 240-hakkuulaite alentaa tuotantokustannuksia noin 20–25 %. Samaan tehtävään sykeperiaatteella toimivat hakkuulaitteet ovat kehittäneet Pentin Paja Ky ja Metso-Metalli Oy. Sekä NaarvaSyke ja Arkro-Stroke -hakkuulaitteet ovat kaupallisessa käytössä ja niitä on myyty 250 kpl. Merkittävä määrä laitteista on mennyt vientiin.

Itse lämmityspilkkeen tekoon on kehitetty menetelmä, jossa pilkettä tuotetaan suoraan kuljetushäkkeihin. Näissä puut voivat myös kuivua. Polttopuun karsintaan on kehitetty traktorisovitteinen ketjukarsijalaitteisto. Tämä piiskaa oksat irti ja irrottaa osan kuoresta, mikä tehostaa polttopuun kuivumista.

Taimikon hoidon ja nuorten metsien kunnostuksella saadaan hyvin vähän teollisuudelle kelpaavaa raaka-ainetta. Tätä kautta saadaan pääasiassa polttoainetta. Puun kaato suoritetaan pääsääntöisesti manuaalisesti ja toimenpidettä varten on kehitetty uusi työntökahvalla varustettu moottorisaha, joka on kaupallisessa vaiheessa. Puun karsintaan ja kuljetukseen on kehitetty kauko-ohjattava metsäkone. Tämä mahdollistaa kevyemmän ratkaisun kehittämisen. Koneen prototyyppi on ollut kokeiltavana metsässä ja teknisesti laite on toiminut odotusten mukaisesti. Myös Chipset®:tiin perustuva palstahaketus kokopuuhakkeen tuotantoon on kehitetty.

Lupaavimmat uusiin laitteisiin perustuvat menetelmät taimikon hoitoon ja nuorten metsien kunnostukseen ovat:

- keräilykaato, kuljetus metsätraktorilla, ketjukarsinta-kuorinta-haketus tehtaalla.

Pk-sektorin erityisongelma - toisaalta mahdollisuus - on, että kehitettävät osaratkaisut ovat pieniä panostuksia vaativia. Joustava ja nopea rahoitus on siten tarpeen. Myös ohjelman teknologiakehittäjien palvelut, mittaus ja raportointi ovat tärkeä osa kehitystyötä. Klinikatoiminta tarjoaa joustavan mahdollisuuden myöntää klinikkaperinteiden mukaisesti pienimuotoisia, mutta tärkeitä pk-sektoreille suunnattuja tuotekehitysavustuksia ja tarjota siihen liittyvää teknologiapalvelua ohjelmassa mukana oleville tahoille. Tutkimuspalveluja tuottavat

organisaatiot: Metsäteho Oy, Metsäntutkimuslaitos, Työtehoseura ja VTT Energia, jotka ovat olleet mukana kehittämässä päämenetelmiä ja tekemässä niihin liittyvää seurantaan demonstraatiovaiheessa, pystyisivät tarjoamaan palveluja myös pk-sektorille.

3. Polttopuun pienkäyttö

Uutena alueena klinikkaan on käynnistynyt puupolttoaineiden pienkäyttö. Alueena on tulisijat, pien- ja suurkiinteistökattilat. Kehityskohteena voi olla kaikki kattilalaitoksen toimittamiseen liittyvät laitekomponentit tai palvelut.

Pienkattiloiden palamisprosessin kehittäminen vähäpäästöisemmäksi on tärkeää. Vaikka Suomessa ei olekaan virallisia päästömääräyksiä, vientimarkkinoille pyrittäessä kattilat on hyväksyttävä virallisessa testauslaboratoriossa. Tällä hetkellä eri maissa on vielä erilaisia määräyksiä ja testausmenetelmiä: Viime vuoden lokakuussa hyväksyttiin uusi EN-normi alle 300 kW kiinteän polttoaineen kattiloille. Siirtymäajan jälkeen kattilan testaus yhdessä EU-maassa tämän normin mukaisesti on voimassa koko EU:n alueella. Hyötysuhde- ja päästövaatimukset voivat vaihdella eri maissa, mutta testaus tehdään kuitenkin samalla tavalla kaikissa maissa.

Tulisijoille vastaavanlainen EN-normi on tulossa. Luonnos tulee viralliseen äänestykseen ensi vuoden puolella.

Polton päästöjen alentaminen vaatii erilaisia teknologisia innovaatioita, joita nopealla klinikkarahoituksella on hyvä kehittää. Tutkimuslaitos voi olla hankkeissa mukana. Tyypillisesti tutkittavat asiat voivat liittyä mm. tulipesän rakenteeseen, arinan rakenteeseen, palamisilman syöttöön, kattilan säätöjärjestelmän muutoksiin, kattilan mitoittamiseen, savukaasujen puhdistimiin, prototyypien rakentamiseen ja testaamiseen jne. Vastaavanlaisia hankkeita voidaan rahoittaa polttoaineen varastointi- ja syöttöjärjestelmien kehittämiseen, polttoaineen laadun parantamiseen, polttoaineen kuivausratkaisuihin jne.

Pienkäytöllä tarkoitetaan tässä yhteydessä pientalojen, maatilojen, muiden asuin- ja teollisuuskiinteistöjen lämmitystä, maatilojen tuotantotoiminnassa käytettävän energian tuotantoa, pienten sahojen kuivausenergian tuottamista omista poltto-

aineista sekä pienten aluelämpölaitosten, teho alle 10 MW_{th}, polttotekniikkaa sekä kaikkiin edellisiin liittyvää polttoaineen käsittelyä ja savukaasujen puhdistustekniikkaa. Energiamuodoista pääpaino on puulla, mutta myös sen yhteiskäyttö muiden polttoaineiden kanssa sekä sähkön kanssa lämmöntuotannossa kuuluu ohjelman piiriin.

Rakennusten lämmityksessä kevyt polttoöljy on eniten käytetty energiamuoto. Polttopuuta käytetään vielä runsaasti, enemmän kuin sähköä. Sähkölämmitys on kuitenkin suosituin uusissa omakotitaloissa ja myös uusissa teollisuusrakennuksissa ja palvelurakennuksissa. Rivitaloista rakennetaan valtaosa kaukolämpö-alueille, mutta näiden alueiden ulkopuolelle rakennettavista rivitaloista suurimpaan osaan valitaan sähkölämmitys.

Savukaasujen puhtaudelle asetetaan eräissä Euroopan maissa jo hyvin tiukkoja vaatimuksia. Jotta suomalaisten laitteiden nykyinen vienti on turvattu ja uutta vientiä saadaan alulle, teknologian kehittäminen on suorastaan elinehto.

Kehittynyt säätötekniikka antaa paljon mahdollisuuksia päästöjen alentamiseen ja laitteiden automaattisempaan toimintaan erityisesti kun käytetään biopolttoaineita. Nämä mahdollisuudet on kuitenkin toistaiseksi huonosti hyödynnetty. Keskieurooppalaisissa kattiloissa on happisäätö yleinen myös pienkattiloissa, johtuen tiukoista päästörajoista.

Tulipesien ja polttolaitteiden suunnittelussa voitaisiin hyödyntää paremmin numeerisia virtauslaskentamenetelmiä, joita käytetään yleisesti suurempien kattiloiden mitoittamisessa. TULISIJA – Puun polton teknologiaohjelman (1997–1999) pääasiallinen tarkoitus on ollut kehittää tulisijojen suunnitteluun tietokonemalli. Tätä työkalua kannattaa käyttää uusien tulisijaratkaisujen ideoinnissa ja tuotekehityksessä.

Puupolttoaineiden pientuotantoa tutkittiin ja kehitettiin Bioenergian tutkimusohjelmassa vuosina 1993–1998. Ohjelmassa oli myös muutamia pienpolttoon liittyviä projekteja.

Tehdyt tutkimukset ovat osoittaneet, että dynaamiset tariffit lisäävät tulevaisuudessa kiinnostusta käyttää puulämmitystä nykyistä tehokkaammin erityisesti kalliin sähkön aikana. Tähän liittyvän automaation tutkiminen ja kehittäminen

on tarpeellista. Merkkivaloihin ja manuaaliseen toimintaan perustuva aktiivisuus ei pidemmän päälle välttämättä toimi alkuinnostuksen mentyä ohi. Automaatiota tulisijojen yhteydessä on kehitettävä.

Käyttötekniikan kehittämistavoitteena on kohottaa teknologian tasoa kilpailukykyä parantaen niin, että savukaasupäästöt alittavat Euroopan tällä hetkellä voimassa olevat päästöraajat 50 %:lla ja samalla laitteiden suorituskyky- ja turvallisuusvaatimukset täyttyvät.

Mahdollisia käyttöön liittyviä tuotekehityskohteita:

- kiinteistöjen lämmitys
- tulisijojen soveltuvuus kotitalouksissa syntyvän palavan jätteen polttoon
- polttoaineen kuivaus
- stokeripoltteknikka
- säätötekniikka
- savukaasujen puhdistus.

4. Laitetekniikan vientipotentiaali

EU:n Valkoisessa kirjassa on esitetty tavoite, että uudistuvilla energialähteillä tuotetaan vähintään 12 % Euroopan Unionin energiantarpeesta vuonna 2010. Käytännössä se tarkoittaa huomattavaa bioenergian käytön ja etenkin puun käytön lisäämistarvetta. Bioenergian käytön on suunniteltu kasvavan 45 Mtoe:sta 135 Mtoe:een.

Polttopuun polttolaitteita on EU-maissa käytössä n. 20 miljoonaa kappaletta. Mikäli näitä uusitaan yhtä yleisesti kuin Suomessa, merkitsee se noin 1 miljoonan lämmityslaitteen hankintaa vuodessa. EU:n alueella laitemarkkinapotentiaalia on yli 10 miljardia mk vuodessa. Siitä on 4/5 käyttökäyttöä ja loput tuotantotekniikkaa.

EU-maiden lisäksi Venäjä, Balttia ja Itä-Euroopan maat tarjoavat mahdollisuuksia sekä tuotanto- että käyttötieteiden viennille. Myös Pohjois-Amerikassa on markkinoita erityisesti polttoainekorjuu- ja valmistusteknologialle.

5. Tavoite

Klinikkatoiminta keskittyy puupolttoaineiden tuotannon ja pienkäytön koneisiin ja laitteisiin sekä jo kehitettyjen menetelmien optimointiin. Tavoitteena on kehittää pk-sektorin tuella täydentäviä, uusia optimaalisia komponenttiratkaisuja. Tavoitteena on polttoaine- ja energiantuotantomenetelmien kilpailukykyyn parantaminen edellä mainitulla toiminnalla siten, että tarjotaan joustava rahoitusjärjestelmä pk-sektorille osaratkaisujen ja laitekomponenttien kehittämistä varten.

6. Tehtävät ja tulokset

Klinikkaa pyörittää klinikkakeskus, Jyväskylän Teknologiakeskus Oy, jolla on laajat bioenergiaan liittyvät verkostot. Klinikkan ensimmäinen vaihe toimi hyvin. Klinikkan markkinointi oli laajaa ja hankkeet käynnistyivät nopeasti.

Tavoitteena on tarjota nopeasti ja joustavasti pienimuotoista, pääsääntöisesti alle 100 000 mk:n tuotekehitysavustusta Tekesin ehtojen mukaisesti pk-yrityksille, jotka kehittävät uusia komponentteja ja uusia tuotteita tai tuoteparannuksia puupolttoaineen tuotannon kilpailukykyyn parantamiseksi puupolttoaineen pien-tuotantoon ja -käyttöön sekä suurtuotantoon.

Tyypillinen klinikkaprojekti on kustannuksiltaan 20 000–200 000 markkaa ja Tekesin tuki enintään 100 000 markkaa ja enintään 50 %. Projektien kesto on 1–6 kuukautta. Asiantuntijapalveluina on käytetty eniten Työtehoseuran palveluja.

Klinikkaa on markkinoitu laajasti sähköpostijakelulla, uudella esitteellä sekä useissa erilaisissa tilaisuuksissa ja seminaareissa. Myös asiantuntijaorganisaatiot ovat esitelleet klinikkaa omissa tilaisuuksissaan.

Hankkeilla on jatkuva haku ja niiden käynnistämistä edetään nopeasti. Klinikkapäätökset tehdään pääsääntöisesti viikon sisällä siitä kun hakemus on saapunut

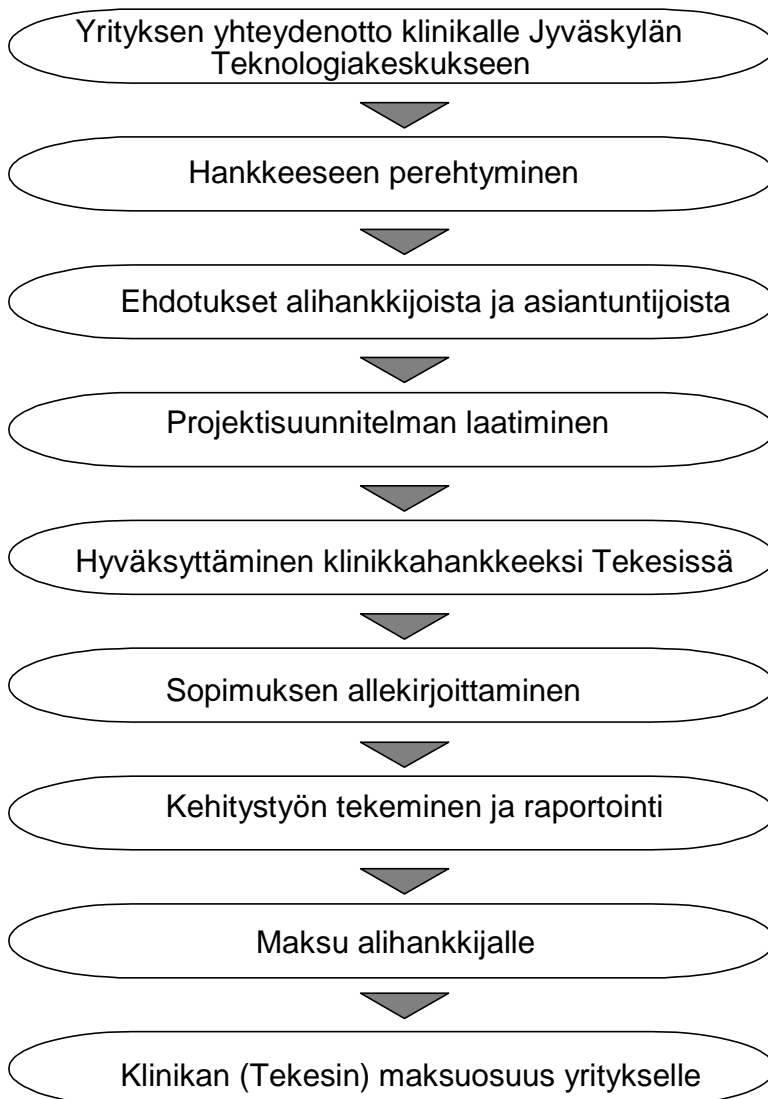
Teknologiakeskukseen. Klinikkahakemusten käsittelyssä noudatetaan valmis-teilla olevaa JTK:n laatuohjetta.

Klinikkahankkeiden yhteistyökumppaneita ovat olleet Metsäteho Oy, Työteho-seura, VTT, Joensuun yliopisto, Savonlinnan ammattikorkeakouluja eräät kon-sulttiyritykset.

Hakemuksia klinikkaan on tullut kaikkiaan 17, joista yksi on siirretty suuruuden vuoksi Tekesille. Muihin on tehty myönteinen päätös, mutta näistä on myöhem-min kolme peruuntunut. Eniten klinikkaprojekteja on käynnistynyt Työteho-seuran kautta.

Klinikkaprosessi käynnistyy yhteydenotolla toimintaa pyörittävään Jyväskylän Tekno-logiakeskukseen. Hankkeesta keskustellaan ja tarvittaessa Teknologiakeskuksen asiantuntijat käyvät tutustumassa yritykseen ja hankkeeseen. Jos hanke täyttää klinik-kaehdot, laaditaan projektisuunnitelma. Suunnitelmassa kuvataan lyhyesti tausta, tavoitteet, toimenpiteet sekä laaditaan kustannusarvio ja rahoitussuunnitelma. Klinikkarahoituksen hakemuslomakkeen voi tilata Teknologiakeskuksesta tai Internetistä osoitteesta: www.finbioenergy.fi/puupolttoaineklinikka/.

Yritys toimittaa suunnitelman klinikalle, joka hakee sille Tekesin rahoituspäätök-sen. Klinikka avustaa tarvittaessa sopivan alihankkijan, tutkimuslaitoksen tai muun asiantuntijapalvelun valinnassa. Klinikka lähettää sopimus allekirjoitetta-vaksi ja hanke käynnistyy. Alihankkijan työn jälkeen yritys maksaa laskun ja toi-mittaa kustannuserittelyn ja loppuraportin koko kehitystyöstä klinikalle. Jyväskylän Teknologiakeskus Oy maksaa Tekesin rahoitusosuuden yritykselle.



Kuva 1. Klinikaprosessi: keskimäärin yritys saa rahoituspäätöksen viikossa hakemuksen jättämisestä.

7. Aikataulu ja organisointi

Projektin aikataulu on 15.4.2000–31.5.2001.

Vastuullisena johtajana toimii teknologiajohtaja Dan Asplund. Klinikatoiminnan instrumenttien tiedotuksesta vastaa viestintäpäällikkö Pirjo Nikku. Operaatiivinen päätös tehdään teknologiajohtajan ja Tekesin vastuuhenkilön Heikki Kotilan päätöksellä.

Laatu ja käyttö

Ensiharvennuspuun hyödyntäminen – PUUT06

Raimo Alén, Marian Martina, Teppo Parikka,
Riikka Rautiainen & Jaakko Toivanen
Jyväskylän yliopisto, soveltavan kemian osasto
PL 35, 40351 Jyväskylä
Puh. 014-260 2562, faksi 014-260 2581
e-mail: ralen@cc.jyu.fi

Abstract

Project title in English: Utilization of wood material from early thinnings

The aim of this project was to promote the use of first-thinning pine (*Pinus sylvestris*) and birch (*Betula pendula* / *B. pubescens*) wood as competitive raw materials for energy production by increasing the potential utilization of these wood resources for kraft pulping. The work in 1999 was divided into three subtasks:

- kraft pulping of the different parts of pine stemwood,
- characterization of the physical properties of birch wood, and
- developing of chemometric methods for predicting the chemical composition of wood by means of FTIR data.

The cooking experiments indicated that no significant differences in bleached kraft pulps from first-thinning and technical pine feedstock were found. According to the data available, with respect to papermaking properties no use to fractionate the stemwood (i.e., into the short-fibered inner and long-fibered outer parts) prior to pulping could be seen. Several birch wood samples were analyzed in terms of average fiber length and fiber length distribution within the stem. The results confirmed a general trend that, for example, average fiber length increases towards the outer parts of the stem. In addition, variations in chemical

composition within the stem were determined. The results suggested that chemical composition of the unknown samples could be evaluated with reasonable accuracy by means of the FTIR data using a chemometric PLS method.

1. Projektin tausta

Ensiharvennusikäiset metsät ovat merkittävä teollisuuden raaka-ainevarasto. Puunkäytön lisäystarve Suomessa edellyttää ensiharvennushakkuista saatavan puumateriaalin tehokkaan hyödyntämisen. Toisaalta ensiharvennusten vuosittainen tarve on 250 000 ha, joka vastaa noin 10 milj. m³ vuotuista runkopuun poistumapotentiaalia (Hakkila et al. 1998). Männyn osuus on noin 60 % ensiharvennettavasta puustosta. Vuosittaisten ensiharvennushakkuiden toteutumaksi on arvioitu vain noin 3 milj. m³. Teolliseen käyttöön korjattu kotimaisen puun määrä oli vuonna 1997 noin 53 milj. m³ (Anon. 1998). Kemiallinen metsäteollisuus käyttää puuraaka-ainetta vuosittain noin 41 milj. m³.

Ensiharvennus pohjaisen puuvarannon hyödyntäminen merkitsee kuitenkin korjuumenetelmien tehostamista sekä tarvetta selvittää harvennuspuun soveltumisen sekä teollisen energiatuotannon että selluloosamassan valmistuksen raaka-aineeksi. Viimeksi mainitussa tapauksessa on merkittävää sekä tutkia erityisesti ensiharvennuspuun ja nykyisin käytettävän teollisen kuitupuun välisiä ominaisuseroja että verrata keskenään kyseisiin raaka-aineisiin pohjautuvien kuitutuotteiden valmistusta (esim. sulfaattikeiton saanto ja massan ligniinipitoisuus) ja lujuusominaisuuksia. Lisäksi jo käytettävissä olevan tiedon perusteella voidaan olettaa, että ensiharvennuspuun optimaalinen hyödyntäminen edellyttää kyseisen puumateriaalin tehokkaan ja tarkoituksenmukaisen fraktioinnin.

2. Tavoite

Tässä tutkimuksessa tavoitteena on selvittää kuusi- ja koivuharvennuspuiden soveltuvuus niiden energiantuotantoa korvaavan kemiallisen massanvalmistuksen raaka-aineeksi. Tällöin tarkastellaan ensisijaisesti fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien vaihtelua kyseisten harvennusraaka-aineiden runkopuuosassa. Analyysitietämystä käytetään myös hyväksi etsittäessä mahdollisuuksia

kehittää vastaavien puumateriaalien optimaalisen hyväksikäytön arviointiin ja mahdolliseen teolliseen fraktiointiin soveltuvia menetelmiä.

3. Toteutus

Tutkimushanke aloitettiin toukokuussa 1999 ja toteutetaan Jyväskylän yliopiston kemian laitoksen soveltavan kemian osastolla. Yhteistyötä tehdään Jyväskylän Teknologiateollisuus Oy:n ja UPM-Kymmene Oy:n kanssa.

4. Tehtävät

Projektin tehtävät voidaan jakaa seuraaviin osakokonaisuuksiin:

- Ensiharvennuskuitusulfaattikeitot ja valkaisu sekä tuotteiden lujuusominaisuudet
- Ensiharvennuskuitututkimus
 - kuidunpituusjakauma
 - FTIR-spektroskopiaan perustuvat koostumusmallit
 - sulfaattikeitto- ja valkaisukokeet.

5. Tulokset

5.1 Mäntyarkkien testaus

Laboratorioarkeista tehtävien analyysien avulla selvitettiin ensiharvennuskuitusulfaattimassan paperitekniisten ominaisuuksien kehittyminen ECF-valkaisussa eri jauhatustasilla. Ensiharvennuskuitua tutkittiin sellaisenaan kokopuuna (K) sekä fraktioituna pitkäkuituiseen pinta- (P) ja lyhytkuituiseen

sisäosaan (S). Tutkimuksessa ensiharvennussulfaattimassat keitettiin tavoite kappalukuun 20 seuraavissa olosuhteissa: aktiivialkali 30 % (NaOH:na laskettuna), sulfiditeetti 40 % ja paineaika maksimilämpötilassa (170 °C) 85 minuuttia (nostovaiheen aika 65 minuuttia). Happidelignifioinnin jälkeen massat valkaistiin ECF-sekvenssillä D₀E₁D₁E₂D₂ ja yksittäisten vaiheiden olosuhteet on esitetty taulukossa 1. Sekä valkaisu- että valkaistuille massoille tehtiin PFI-jauhatussarja: 0, 200, 900, 4000 ja 8000 kierrosta. Vertailumassaksi (V) keitettiin ja valkaistiin laboratoriomittassa edellisissä olosuhteissa Äänekosken Metsä-Botnia Oy:n käyttämää havuhaketta. Jokaisesta jauhatuspisteestä sekä ruskeista että valkaistusta näytteistä valmistettiin laboratorioarkeja (neliömassa noin 60 g/m²). Kaikista laboratorioarkeista mitattiin tiheys, karheus, vaaleus, opasiteetti, valonsirontakerroin sekä repäisy- ja vetolujuus.

Taulukko 1. ECF-valkaisuolosuhteet.

Vaihe	Sakeus, %	Lämpötila, °C	Reaktioaika, min	Kemikaaliannos, % massasta
D ₀	4	60	30	0,2 x kappaluku
E ₁	10	70	90	1
D ₁	4	60	120	1,5
E ₂	10	70	90	0,5
D ₂	4	70	180	0,5

Valkaisuolosuhteiden (taulukko 2) osalta voitiin todeta, että

- jauhamattomiin massoihin verrattuna jauhatusta heikentää massojen opasiteettiä, vaaleutta ja repäisy- ja vetolujuutta,
- jauhatusmäärän lisääntyessä tiheys ja vetolujuus kasvavat sekä arkit tulevat sileämmiksi,
- jauhettujen ensiharvennuskokopuumassojen (K) lujuudet ja opasiteettiarvot ovat vastaaviin vertailumassoihin (V) nähden hieman heikompia, kun taas tiheydessä ja vaaleudessa ei ole eroja sekä

- ensiharvennuspuumassojen (K, P ja S) ja vertailumassojen (V) järjestys (ominaisuuden suuruuden tai paremmuuden mukaan) mitattujen ominaisuuksien suhteen ovat: tiheys ($S > V, K > P$), sileyys ($S > V > K > P$), opasiteetti (V, P, $S > K$), vaaleus (lähes samat), vetolujuus ($V > S > K > P$) ja repäisyjujuus ($P > V, K > S$).

Taulukko 2. Valkaisemattomien massojen paperitekniset ominaisuudet.

Näyte	SR-luku	Tiheys kg/m ³	Karheus ml/min	Opasiteetti %	Valonsironta- kerroin m ² /kg	Vaaleus B(ISO)	Veto- indeksi Nm/g	Repäisy- indeksi mNm ² /g
V0	13	638	351	97,2	23,5	25,3	48,7	19,4
V200	13	669	321	96,2	20,9	24,2	63,8	14,6
V900	13,5	708	244	95,9	18,9	22,8	82,9	11,3
V4000	17	761	187	93,8	15,2	20,7	98,5	9,1
V8000	31,5	803	85	92,8	14,1	19,9	103,5	8,2
P0	12	579	688	96,9	22,1	25,3	37,9	17,5
P200	12,5	615	619	96,2	20,6	24,7	51,4	20,2
P900	13	646	538	94,0	18,2	23,6	64,8	14,8
P4000	16,5	711	344	92,1	14,3	21,1	86,5	11,5
P8000	28	751	168	91,6	13,6	20,7	96,3	10,0
K0	12,5	638	413	96,7	22,6	26,1	46,6	16,0
K200	13	662	354	95,7	21,2	25,2	62,5	14,0
K900	13,5	688	311	95,4	19,6	24,4	76,4	11,8
K4000	17,5	759	193	92,4	14,9	21,3	98,1	8,9
K8000	33	789	118	90,7	12,9	19,8	102,3	8,4
S0	13	666	277	96,7	24,5	26,5	48,1	13,1
S200	13,5	688	249	96,1	22,8	26,0	60,7	11,7
S900	14,5	726	212	95,6	20,0	24,4	76,9	9,8
S4000	19	797	148	92,8	15,1	21,3	93,5	7,7
S8000	34	830	74	91,2	13,2	20,0	98,4	7,2

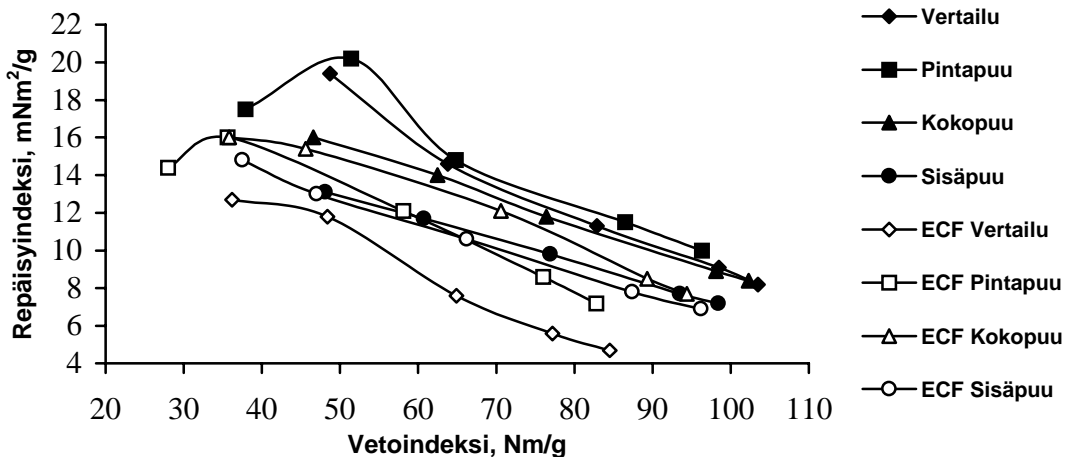
ECF-valkaistujen massojen (taulukko 3) osalta voitiin puolestaan todeta, että

- jauhamattomiin massoihin verrattuna jauhatusta heikentää massojen opasiteettia, vaaleutta ja repäisyjuuutta,
- jauhatusmäärän lisääntyessä tiheys ja vetolujuus kasvavat sekä arkit tulevat sileämmiksi,
- jauhettujen ensiharvennuskokopuumassojen (K) lujuudet olivat hieman korkeampia kuin vastaaviin vertailumassojen (V) lujuudet, kun taas tiheydessä ja vaaleudessa ei ole eroja sekä
- ensiharvennusmassojen (K, P ja S) ja vertailumassojen (V) järjestys (ominaisuuksien paremmuuden tai suuruuden mukaan) mitattujen ominaisuuksien suhteen ovat: tiheys ($V, S > K > P$), sileyys ($S > V > K > P$), opasiteetti ($V, K, S > P$), vaaleus (lähes samat), vetolujuus ($K, S > V > P$) ja repäisyjuuus ($K > S, P > V$).

Taulukko 3. ECF-valkaistujen massojen paperitekniset ominaisuudet.

Näyte	SR- luku	Tiheys kg/m ³	Karheus ml/min	Opasiteetti %	Valonsironta- kerroin m ² /kg	Vaaleus B(ISO)	Veto- indeksi Nm/g	Repäisy- indeksi mNm ² /g
V0	12,5	685	407	68,0	25,4	85,5	36,2	12,7
V200	13	693	339	69,3	25,3	82,6	48,4	11,8
V900	15	743	263	64,4	21,5	83,3	64,9	7,6
V4000	38	811	162	59,1	17,8	81,8	77,2	5,6
V8000	79	872	129	55,8	14,9	78,2	84,5	4,7
P0	12	615	727	67,4	24,5	83,4	28,0	14,4
P200	12	624	697	64,6	23,0	85,1	35,6	16,0
P900	13	681	551	63,0	20,4	81,9	58,1	12,1
P4000	24	745	289	59,1	17,3	80,4	76,0	8,6
P8000	59	788	188	57,0	16,3	79,9	82,8	7,2
K0	12,5	657	429	69,3	26,5	85,1	35,8	16,0
K200	12,5	679	388	67,3	24,9	84,5	45,6	15,4
K900	13	724	334	64,2	21,8	83,6	70,6	12,1
K4000	20	774	233	58,8	17,6	81,6	89,3	8,5
K8000	37,5	819	112	56,2	15,5	80,7	94,4	7,7
S0	13	682	311	70,5	27,7	85,6	36,7	14,8
S200	13	705	278	70,6	27,2	85,0	47,0	13,0
S900	14	756	232	65,5	22,1	83,6	66,2	10,6
S4000	20	805	180	58,5	17,5	81,8	87,4	7,8
S8000	37	844	128	55,8	15,1	80,3	96,2	6,9

Tulosten perusteella voidaan todeta, että valkaistun ensiharvennuskokopuumassan paperitekniset ominaisuudet olivat paremmat kuin pintapuumassan vastaavat ominaisuudet, joten puuaineen keittoa edeltävä fraktiointi näyttäisi olevan tarpeeton. Lisäksi kuvasta 1 on todettavissa, että valkaisu heikensi massojen lujuuksia enemmän pitkäkuituisella pintapuulla kuin lyhytkuituisella sisäpuulla. Valkaistua massaa täytyi myös jauhaa enemmän kuin ruskeaa massaa halutun vetolujuuden saavuttamiseksi, jolloin repäisyylujuus heikkeni. Valkaisu vaikutti siten merkittävästi vertailu- ja pintapuumassojen lujuuksiin.



Kuva 1. Valkaisemattomien (mustat pisteet) ja ECF-valkaistujen massojen (avopisteet) repäisyindeksit esitettynä vetoindeksin funktiona.

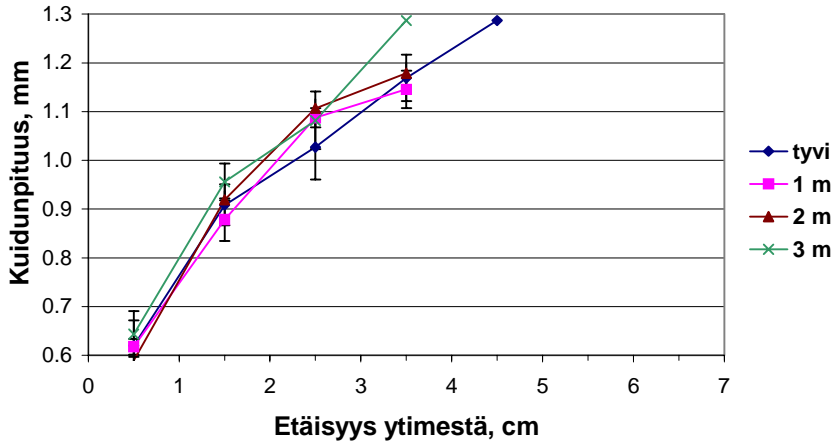
Yhteenvedona voidaan todeta, että ensiharvennusmäntyä voitaisiin käyttää hyvin korkealaatuisten paperilajien valmistukseen. Hienopaperin kriittisiin ominaisuuksiin kuuluvat veto- ja repäisyylujuudet sekä opasiteetti olivat rohkaisevia ensiharvennusmäntymassoilla.

5.2 Ensiharvennuskoivu

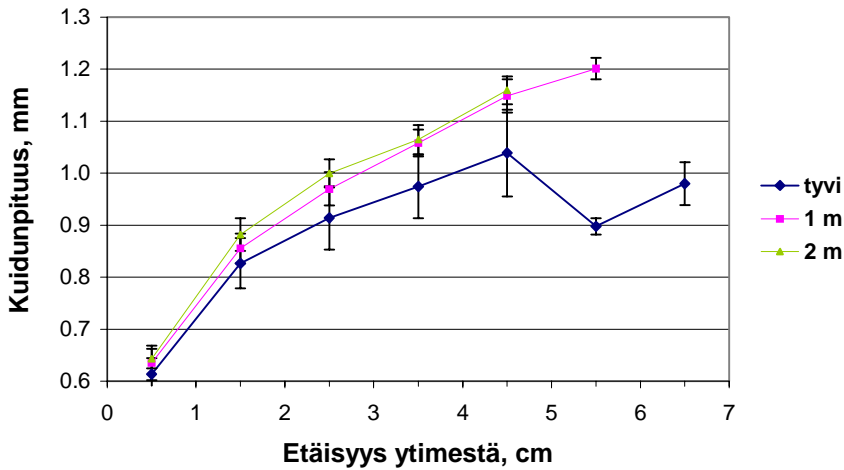
Tutkittavina oli 7 hies- ja 7 rauduskoivua. Hieskoivut olivat peräisin Keski-Suomesta mustikkatyyppin kankaalta ja rauduskoivut Keski-Pohjanmaalta isovarpuiselta rämeeltä. Hieskoivut olivat keskimäärin 27 ja rauduskoivut 21 vuotta vanhoja. Koivuista otettiin näytekiekkoja (paksuus 5 cm) metrin välein tyvestä ylöspäin kahteen tai kolmeen metriin asti. Näytekiekkojen keskeltä leikattiin noin 2 cm:n levyinen kappale, joka jaettiin 1 cm:n mittaisiin osiin (näytteisiin) ytimestä lähtien. Saadut näytteet halkaistiin edelleen ristikkäin rungonsuuntaisesti kemiallisia ja kuidunpituusanalyysjä varten.

5.3 Kuidunpituusmääritykset

Kajaani FS-200-kuidunpituusanalysointimittausta varten näytteet maseroitiin kuitujen vapauttamiseksi. Tulosten perusteella todettiin kuidunpituuden kasvavan ytimestä pintapuuta kohden. Koivujen kuidunpituudessa rungon suunnassa ei sen sijaan havaittu merkittävää muutosta. Sekä hies- että rauduskoivujen kuidunpituuksista laskettiin keskiarvot (kuvat 2–3). Kyseisissä kuvissa on esitetty pituuspainotetun kuidunpituuden kasvu puun poikittaissuunnassa. Kuidunpituuden kasvu oli yhtä suuri poikittaissuunnassa sekä hies- että rauduskoivuilla, vaikka hieskoivun paksuus olikin kehittynyt huomattavasti hitaammin kuin rauduskoivun. Kummallakin lajilla kuidun pituus kasvoi ytimen arvosta noin 0,65 mm pintapuun arvoon noin 1,15 mm. Voidaankin sanoa, että ensiharvennuskoivujen kuidunpituuden kasvuun vaikuttaa ensisijaisesti koivupuun ikä ja laji, eikä niinkään kasvunopeus.



Kuva 2. Kuidunpituuden muutos ensiharvennusikäisessä hieskoivussa.



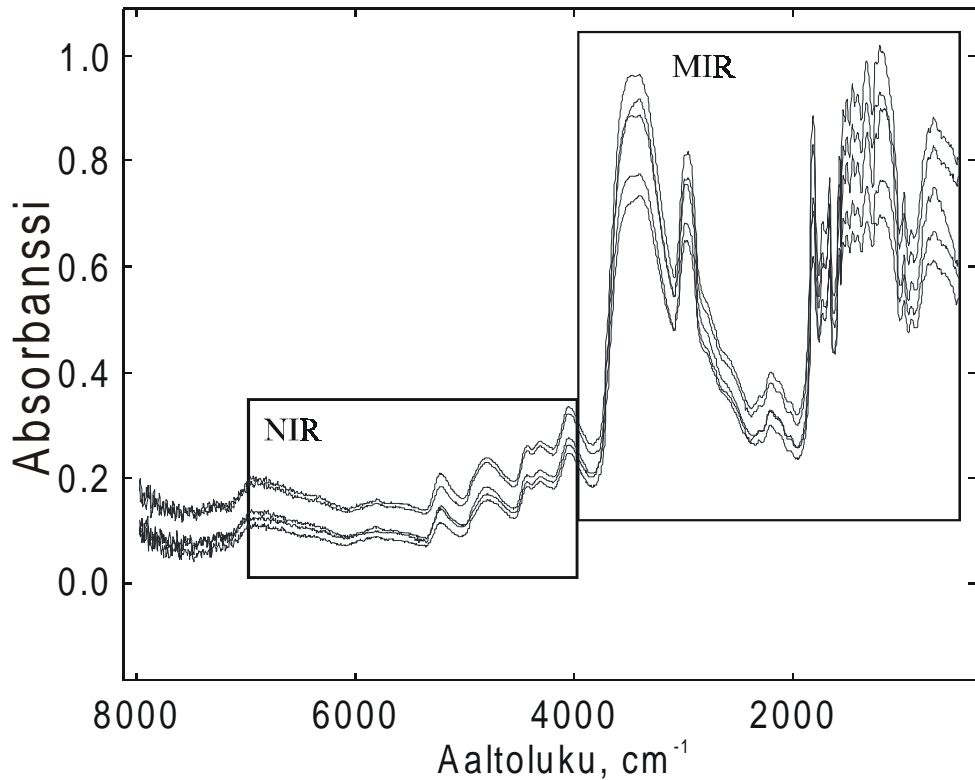
Kuva 3. Kuidunpituuden muutos ensiharvennusikäisessä rauduskoivussa.

5.4 Kemiallinen koostumus ja FTIR-spektroskopia

Runkopuun luonnollisen koostumusvaihtelun havaitsemiseksi säteen- ja rungon suunnassa tehtiin sekä kemiallisia analyysejä puun pääkomponenttien keski-

näisten pitoisuuksien määrittämiseksi että FTIR-spektrimittauksia. Tavoitteena oli myös kehittää spektroskopisia menetelmiä puun koostumuksen nopeaksi havainnoimiseksi.

Rungonsisäisten koostumusvaihtelujen selvittämiseksi määritettiin tarkasti paikallistetuista hies- ja rauduskoivunäytteistä uuteaine-, ligniini- ja hiilihydraattipitoisuudet. Uuteainemääritykset tehtiin gravimetrisesti ja saadut uuteainenäytteet analysoitiin komponenttitasolla kaasukromatografisella menetelmällä. Ligniini-määritys tehtiin gravimetrisesti Klason-menetelmällä sekä määritettiin ns. happoliukoinen ligniini puunäytteen hydrolysaatista UV-spektrofotometrisesti. Hydrolysaatista määritettiin myös hiilihydraattipitoisuudet kaasukromatografimenetelmällä. Hydrolyysimenetelmän heikkous on kuitenkin monosakkaridien hajoaminen, jonka seurauksena menetetään noin viidesosa hiilihydraateista. Ligniini- ja hiilihydraattimääritykset tehtiin 14:lle näytteelle siten, että jokaisesta näytteestä tehtiin kaksi rinnakkaismääritystä. FTIR-mittauksia tehtiin kaikkiaan 150 eri puolilta runkoja otetuista näytteistä. Lähi-infrapuna- (NIR, 6500–4000 cm^{-1}) ja keski-infrapuna- (MIR, 4000–400 cm^{-1}) spektrien (kuva 4) ja kemiallisten määritysten perusteella laskettiin OS(orthogonal signal)-korjattuja PLS(projection to latent structures)-malleja joilla ennustettiin runkojen kemiallisen koostumuksen vaihtelua rungon pituussuunnan ja säteen muodostamassa tasossa.



Kuva 4. Ensiharvennuskoivun IR-spektrejä.

Gravimetrisesti määritetyt uuteainepitoisuudet olivat 2–12 % puun kuiva-aineesta. Sekä hies- että rauduskoivulla oli havaittavissa uuteainepitoisuuden laskeva suuntaus rungon säteensuunnassa pintaa kohti mentäessä. Hieskoivun tapauksessa havaittiin uuteainepitoisuuksien kasvavan latvaa kohti. Ligniinipitoisuudet olivat 17–24 % puun uuteaineita sisältävästä kuiva-aineesta. Ligniinipitoisuudella ei havaittu yleistä muutossuuntausta säteensuunnassa. Hiilihydraattimäärityksissä hydrolysoiduista näytteistä havaittiin suurimmat pitoisuudet glukoosilla ja ksyloosilla. Glukoosipitoisuudet olivat 27–41 % puun uuteaineita sisältävästä kuiva-aineesta ja vastaavat ksyloosipitoisuudet välillä 16–21 %. Rauduskoivunäytteissä havaittiin keskimäärin korkeammat glukoosipitoisuudet kuin hieskoivunäytteissä. Myös läheltä rungon pintaa otetuissa näytteissä tavattiin suurimmat glukoosipitoisuudet kummallakin lajilla. Monosakkaridien keskimääräiset saannot olivat noin 60 % kuiva-aineesta ja kaikkien analyysien yhtenlasketut saannot olivat 76–91 %.

OS-korjattujen PLS-mallien tarkkuus määritettiin laskemalla erilliselle validointinäytejoukolle selitysaste (R^2). Paras laskettu regressiomalli saatiin gravimetriselle uuteainepitoisuudelle ($R^2 = 0,94$) (taulukko 4). Myös pienimmissä määrissä esiintyvien monosakkaridien, arabinoosin ja galaktoosin, pitoisuuksien ennustaminen onnistui hyvin käytetyllä spektrialueella. Malleilla laskettujen ennusteiden perusteella interpoloitiin runkokohtaisia pintakuvaajia määritettyjen yhdisteiden vaihteluista.

Taulukko 4. PLS-mallien validointiarvot.

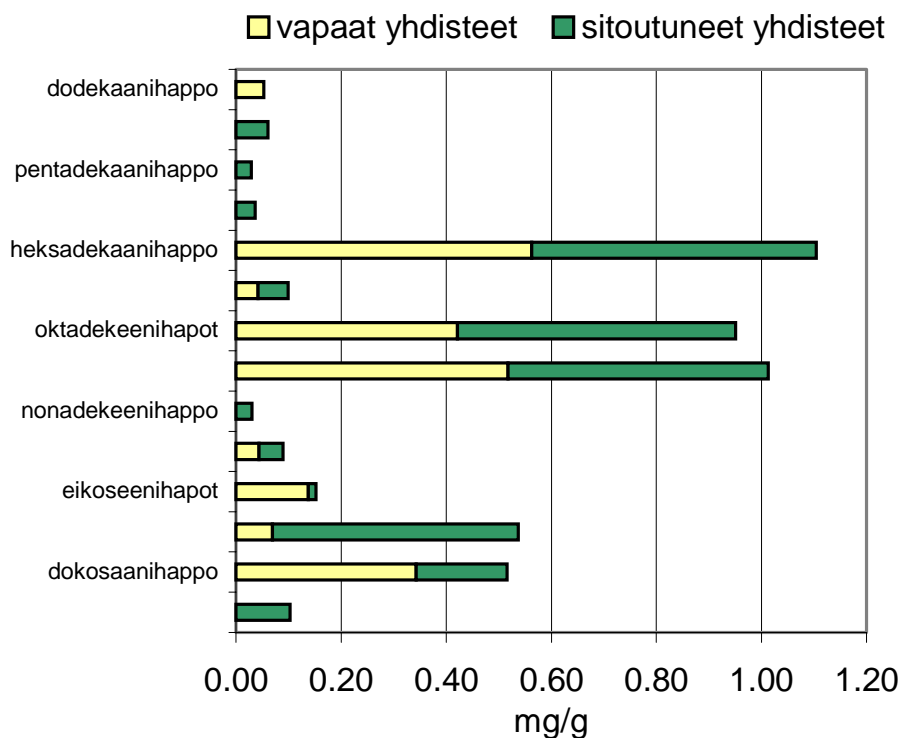
	Absorbanssispektri				Keskitetty spektri				Autoskaalattu spektri			
	NIR R^2	SEP	MIR R^2	SEP	NIR R^2	SEP	MIR R^2	SEP	NIR R^2	SEP	MIR R^2	SEP
arabinoosi	22	0.1	6	0.2	23	0.1	3	0.2	29	0.1	87	0.1
galaktoosi	66	0.2	65	0.3	68	0.2	66	0.3	83	0.2	69	0.2
glukoosi	72	3.6	*	11.3	10	6.5	*	14.5	60	3.6	*	6.3
mannoosi	*	0.6	56	0.5	*	0.5	73	0.4	*	0.6	45	0.4
ksyloosi	*	3.4	*	5.2	*	2.4	*	6.2	*	2.8	19	2.7
ligniini	*	4.4	*	6.8	*	3.9	*	6.7	34	3.0	*	4.6
uuteaine	88	1.4	85	1.7	88	1.4	87	1.3	88	1.0	94	1.1

*)selitysaste pienempi kuin nolla.

Uuteainenäytteiden tarkempi analyysi tehtiin kaasukromatografisesti kahdella ajolla, jolloin ensin analysoitiin käsittelemätön näyte (derivatisointia lukuun ottamatta) ja toisessa ajossa hydrolysoitu näyte (ts. vapautettiin mono-, di- ja triglyserideihin kemiallisesti sitoutuneet yhdisteet). Kyseisten ajojen perusteella laskettiin vapaitten ja sitoutuneitten yhdisteiden pitoisuudet. Erottuneet yhdisteet tunnistettiin massaspektrensä perusteella ja yhdisteet kvantitoitiin liekki-ionisaatiodetektorilla. Yhdisteiden tarkkojen pitoisuuksien määrittämiseksi käytettiin sisäisinä standardeina heneikosaanihappoa sekä kolesterolia. Erottuneista yhdisteistä tunnistettiin 66 piikkiä, kun yhdessä kromatogrammissa esiintyi noin sata piikkiä. Tunnistetut yhdisteet kattoivat kuitenkin kromatogrammien piikkien pinta-alasta 80–90 %. Tunnistetuista yhdisteistä suurin osa kuului rasvahappoihin. Lisäksi tunnistettiin monosakkarideja, dihapvoja, steroleita, lignaaneja ja alkoholeja. Tunnistetut yhdisteet yhteenlaskettuna antoivat summaksi 0,5–2,6 % kuivasta puunäytteestä. Määrän pienuus verrattuna gravimetrisen

määritykseen perustui oletettavasti siihen, että asetoniuutteessa esiintyi tietyssä määrin sekä suurimolekyulistä ainesta että liukenematonta hienoaainesta kuten kuitufragmenteja.

Tunnistettujen yhdisteiden määrä suhteessa gravimetriseen uuteainemääritykseen kasvoi ytimeistä pintaa kohti mentäessä. Kuten gravimetrisessä uuteainemäärityksessäkin sekä raudus- että hieskoivulla oli havaittavissa kaasukromatografisesti määritettyjen uuteainepitoisuuksien laskeva suuntaus rungon säteen suunnassa. Samoin hieskoivulla oli havaittavissa pitoisuuksien kasvu latvaa kohti mentäessä. Näytteistä laskettiin yhteensä 19 rasvahapon pitoisuudet. Rauduskoivujen uuteainenäytteistä noin 75 % koostui tyydyttymättömistä oktadekeeni-hapoista (1, 2 tai 3 kaksoissidosta hiiliketjussa). Seuraavaksi suurimmat pitoisuudet olivat heksadekaani- ja oktadekaanihapolla. Hieskoivujen uuteainenäytteissä suurimmat pitoisuudet olivat heksadekaani-, oktadekaani-, oktadekeeni-, eikosaani- ja dokosaanihapoilla, joten uuteainenäytteiden koostumus erosi selvästi toisistaan raudus- ja hieskoivujen välillä. Muista analysoiduista yhdisteistä hieskoivunäytteet sisälsivät eniten atselaiinihappoa, kun taas rauduskoivunäytteet sisälsivät merkittävästi sitosterolia. Rasvahapoista noin 60 % esiintyi uuteainenäytteissä sitoutuneina ja noin 40 % vapaina yhdisteinä. Steroleista taas noin 80 % ja muista yhdisteistä noin 70 % oli sitoutuneita. Hieskoivun uuteaineen rasvahappokoostumus on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Hieskoivun uuteainenäytteen rasvahapot. Vapaat yhdisteet on merkitty vaalealla pylväällä ja sitoutuneet yhdisteet tummalla.

6. Jatkosuunnitelmat

Keittokokeita jatketaan tekemällä lujousteauksia varten laboratorioarkkeja, joissa on hienopaperikäyttöä silmällä pitäen ainesosana valkaistua ensiharvennusmäntymassaa eri massaosuuksissa. Samoin valmistetaan (sulfaattikeitto ja valkaisu) ensiharvennuskoivumassaa testausta varten.

Kemometriset tarkastelut laajennetaan käsittämään ensiharvennuskoivun, jolloin perusspektroskooppisena menetelmänä käytetään FTIR-tekniikkaa.

Työ tullaan raportoimaan tieteellisten artikkelien ja esitelmien muodossa.

7. Syntyneet raportit ja julkaisut

Myyryläinen, R. 1999. Ensiharvennuspuun soveltuminen hienopaperin valmistamiseen. Erikoistyö: Jyväskylän yliopisto, soveltavan kemian osasto. 90 s.

Toivanen, J. 1999. Puumateriaalin koostumuksen ennustaminen FTIR/PLS-menetelmällä. Lisensiaatintutkimus. Jyväskylän yliopisto, soveltavan kemian osasto. 64 s.

Martina, M. 2000. Ensiharvennusmäntynäytteiden ja niistä valmistettujen sulfaattimassojen kuidunpituusjakauma. Lisensiaatintutkimus. Jyväskylän yliopisto, soveltavan kemian osasto. 95 s.

Lähteet

Anon. 1998. Avain Suomen metsäteollisuuteen. Metsäteollisuus ry. 116 s.

Hakkila, P., Rieppo, K. & Kalaja, H. 1998. Ensiharvennuspuun erilliskäsittely tehdasvarastolla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 700. 40 s.

Erilaisten korjuuketjujen tuottaman metsähakkeen käyttö suurten voimaloiden leijukerroskattiloissa – PUUT08

Markku Orjala & Riikka Ingalsuo
VTT Energia
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014-672 534, faksi 014-672 596
email: markku.orjala@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Combustion of wood chips produced by different harvesting methods in fluidised bed boilers of large-scale power plants

Combustion tests with whole tree and logging residue chips were carried out using the bubbling fluidised bed (BFB) and circulating fluidised bed (CFB) reactors of VTT Energy. Tests were made both with pure wood fuels and by using peat or bark-biosludge-deinking sludge mixtures.

Increment of the particle size of bed-material, caused by agglomeration, was observed both in FB and CFB combustion tests with pure logging residue chips. Agglomeration was not observed when whole-tree chips were combusted by using peat or bark-biosludge-deinking sludge mixtures as additional fuel.

Deposition of Ca, K, P, Mg and Mn was observed especially in the bed-material when combusting forest chips. When peat was fired with logging residue chips Ca, K and P agglomerated still on the bed-sand, however, not so strongly as in the case of combustion of pure logging residue chips. Similar trends were observed in the circulating material of the circulating fluidised bed reactor.

When peat was fired with wood fuel, the HCl-content of flue gases increased. The sulphur content of peat was 0.16%. This was absorbed by alkali metals of wood ashes. Chlorine is hence released as hydrochloric acid, which is not combined with alkali metals to form corroding chlorides.

The formation of the deposits was investigated with probes installed in the free board and the intermediate channel of the reactor. The results of SEM-EDX analysis show that potassium/sodium chloride was observed at the surface of the deposition ring of the FB tests when pure logging residue chips was used as a fuel. Similar potassium/sodium chloride deposition was not observed on the surface of the deposition ring when peat was mixed with logging residue chips.

1. Tutkimuksen tavoite

Projektin tutkimustavoitteena on määrittää tyypillisten ja käyttömääriltään merkittävien metsähakelaatujen sekä niiden ja muiden polttoaineiden seoksien turvalliset poltto-olosuhteet aluksi FB- ja CFB-laboratoriokoelaitteilla ja myöhemmin myös voimalaitoksissa. Tässä raportissa on esitetty projektin ensimmäisen vuoden aikana saatuja tuloksia.

Kokeissa selvitettiin puupolttoaineiden aiheuttamaa kuonaantumis- ja korroosioriskiä kerrostumasondimittauksin ja kiintoaineanalysein. Lisäksi tarkasteltiin päästövaikutuksia – pyrittiin minimoimaan päästöjä ja selvittämään niihin seospoltossa vaikuttavia tekijöitä.

2. Projektin toteutus

2.1 Koelaitteet

Kokeet suoritettiin VTT Energian kerrosleijukoelaitteella ja kiertoleijukoelaitteella Jyväskylässä (www.vtt.fi/ene). Laitteet on varustettu jatkuvatoimisilla savukaasun pääkomponenttien CO₂, CO, NO, O₂ ja SO₂ analysaattoreilla. Suurimmassa osassa kokeista käytettiin myös Gasmet- FTIR-analysaattoria. Koelaitteiden mittaus- ja ohjausjärjestelmä on mikrotietokonepohjainen (PC-valvomo), joka on varustettu Windows-käyttäjäliitännällä.

Polttoaineet syötetään kahdesta vaa'alla varustetusta siilosta säädettävillä ruuvisyöttimillä, joilla saadaan halutut polttoaineiden massavirrat ja seossuhteet. Laitteet on varustettu antureilla lämpötilojen ja paine-erojen mittaamiseksi.

2.1.1 Kiertoleijukoelaite

Kiertoleijukoelaitteen (CFB) polttoaineteho on 40 kW. Keraaminen nousuputki on pituudeltaan 8 m ja sen halkaisija on 16,7 cm. Kiertoleijukoelaitteessa saadaan halutut olosuhteet lämmitysvastuksilla, jäähdytyksellä sekä ilman jaolla. Palamisilmat ovat esilämmitettyjä. Kiertävän petihiekan avulla saavutetaan tasainen lämpötilajakauma ja maksimi kaasun nopeudella 4 m/s n. 2 s viipymäaika nousuputkessa. Kierrossa olevan petimateriaalin määrään voidaan vaikuttaa kaasun kokonaismäärällä, lämpötilalla ja kiertomateriaalin partikkelikoolla. Kiintoaineiden analyysiin näytteitä otetaan pedistä, ensiö- ja toisiosyklonien palautuksista sekä jäähdyttimen jälkeisestä savukanavasta.

Savukaasunäytteet otetaan jäähdyttimen jälkeisestä kanavasta, joka on varustettu myös in-situ happianturilla.

Kokeissa käytetään petimateriaalina seulottua luonnonhiekkaa, jonka raekoko on alle 0,315 mm. Petihiekan määrää voidaan vaihdella välillä 6–12 kg ja sitä voi poistaa tai lisätä tarvittaessa.

2.1.2 Kerrosleijukoelaite

Kerrosleijukoelaitteen (FB) polttoaineteho on 13–15 kW. Reaktorin korkeus on 4,1 m, pedin halkaisija on 0,16 m ja freeboardin halkaisija 0,23 m. Koelaite lämmitetään sähkövastuksilla haluttuun lämpötilaan. Laitetta voidaan tarvittaessa jäähdyttää paineilmalla pedin ja freeboardin alimpien lohkojen alueella. Palamisilma esilämmitetään ja jaetaan sopivassa suhteessa leijutus-, sekundääri- ja tertiääri-ilmaan polton optimoimiseksi. Typenoksidien määrää minimoidaan sekundääri- ja tertiääri-ilmojen suhteen optimoinnilla eli ilman syötön vaiheistuksella.

Pääosa lentotuhkasta erotetaan syklonilla, johon jäänyt tuhka punnitaan tase-tarkasteluja varten ja käytetään näytteenä. Hienojakoinen tuhka erotetaan ja kerätään näytteeksi kankaisella filterillä. Kokeissa käytettiin petimateriaalina partikkelikooltaan alle 0,71 mm luonnonhiekkaa, jota panostettiin n. 2 kg kokeen alussa. Pedistä otettiin näytteitä kokeen kuluessa ja sen lopussa.

2.2 Käytetyt polttoaineet

Koeajoissa käytettiin kolmea eri hakelaatua, taulukko 1. Metsätähdehakeet olivat suoraan kaadosta saatua sekä puolivuotta varastossa ollutta. Varastoinnilla ei näyttänyt olevan vaikutusta metsätähdehakeiden klooripitoisuuksiin, vaan ne olivat samat. Seospolttoaineena käytettiin turvetta ja UPM Kymmenen Kaipolan tehtaan voimalaitoksen käyttämää kuori-bioliete-siistauslieteseosta. Polttoaineet kuivattiin lavakuivurilla ja hienonnettiin koelaitteille sopivaan partikkelikokoon (<4 mm). Ennen koetta polttoaineet kostutettiin 30–40% kosteuteen. Taulukossa 1 ja 2 on polttoaineiden polttoaineanalyysit. Koekohtaiset polttoaineiden kosteudet on esitetty taulukoissa 4 ja 6.

Taulukko 1. Koelaitteajojen puupolttoaineet ja niiden analyysit.

	Kokopuuhake (KPH)	Metsätähdehake 1 (MTH 1)	Metsätähdehake 2 (MTH 2)
Toimittaja	Biowatti	UPM	UPM
Paikkakunta	Keuruun lähistö	Uurainen	Uurainen
Varastointiaika, a	n. 2	-	0,5
Puulaatu	mänty, oksineen	pääasiassa kuusi	pääasiassa kuusi
Tuhkapitoisuus (%), 815 °C	0,64	2,17	3,73
500 °C	0,83	2,60	4,23
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa (kJ/kg)	19303	19894	19804
C-pitoisuus (%)	51,2	52,1	51,8
H-pitoisuus (%)	6,05	6,13	5,98
N-pitoisuus (%)	0,17	0,56	0,69
O-pitoisuus (%)	41,9	38,8	37,7
S-pitoisuus (%)	0,01	0,05	0,05
Cl-pitoisuus (%)	0,01	0,04	0,04

Taulukko 2. Lisäpolttoaineiden analyysit.

Analyyssi	Jyrsinturve	Kaipolan polttoaineseos
Tuhkapitoisuus (%), 815 °C	4,76	23,7
500 °C	4,77	
Tehollinen lämpöarvo kuiva- aineessa (kJ/kg)	20859	13923
C-pitoisuus (%)	54,7	39,4
H-pitoisuus (%)	5,59	4,53
N-pitoisuus (%)	1,73	0,42
O-pitoisuus (%)	33,0	31,9
S-pitoisuus (%)	0,16	0,10
Cl-pitoisuus (%)	0,05	0,02

Kaipolan polttoaineseos = Bioliete 30%, Kuori 42%, Siistausliete 28%, kuiva-aineesta

Metsätähdehakkeiden tuhka- ja typpipitoisuus ovat korkeampia kuin pääosin runkopuusta koostuvan kokopuuhakkeen. Kokopuuhakkeen klooripitoisuus on pienempi kuin metsätähdehakkeiden. Puupolttoaineiden tuhkien sulamisominaisuudet määritettiin ja tulokset on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Polttoaineiden tuhkan sulamisominaisuudet.

		Kokopuuhake °C	MTH 1 °C	MTH 2 °C
Hapettava atmosfääri	Pehmenemispiste	1240	1160	1140
	Puolipallopiste	1300	1230	1190
	Sulapiste	1350	1240	1230
Pelkistävä atmosfääri	Pehmenemispiste	1200	1140	1140
	Puolipallopiste	1300	1240	1180
	Sulapiste	1330	1245	1220

2.3 Suoritetut kokeet ja tulokset

Koeajot aloitettiin puhtailla puupolttoaineilla ja myöhemmin sekaan lisättiin turvetta ja kuori-bioliete-siistauslieteseosta. Koeparametrejä ja -olosuhteita sekä

savukaasun koostumus ja päästöt on esitetty taulukoissa 4 ja 6, joissa polttoaineosuudet tarkoittavat kuiva-aineosuuksia.

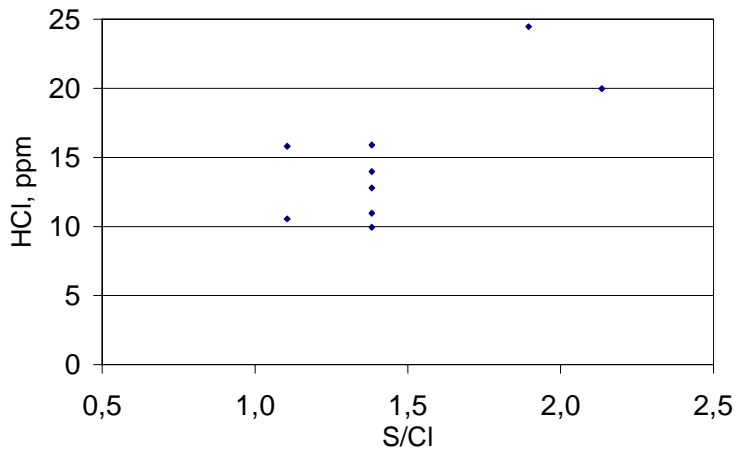
Puhtaan metsätähdehакkeen FB- ja CFB-polttokokeissa havaittiin agglomeroitumisesta johtuvaa petihiekan partikkelikoon kasvua. Kun poltettiin kokopuuhaketta, lisäpolttoaineena turvetta tai kuori-bioliete-siistauslieteseosta, agglomeroitumista ei esiintynyt.

2.3.1 Kiertoleijukoeajot

Taulukossa 4 ja 5 on esitetty suoritettujen CFB-kokeiden keskimääräisiä olosuhteita ja savukaasun koostumuksia. CFB-koelaitteen palamisilma voidaan syöttää neljästä eri kohdasta. Ilmanjaon vaiheistuksella savukaasujen keskimääräistä NO-pitoisuutta saatiin vähennettyä n. 100 ppm.

Savukaasun HCl-pitoisuudet määritettiin CFB-koelaitteessa savukanavasta jäähdytyksen jälkeen FTIR:llä ja vertailun vuoksi myös erillisellä näytteenotolla. HCl-pitoisuus savukaasussa nousi, kun puupolttoaineeseen lisättiin turvetta, kuva 1. Turve sisälsi 0,16 % rikkiä, johon puun tuhkassa olevat alkalimetallit sitoutuvat. Tällöin kloorin sitoutuminen alkalimetalleihin heikkenee. Kloori vapautuu enenevässä määrin savukaasun mukana suolahappohöyrynä (HCl) ja haitallisten, tulistinpinnoille jäävien kloridien määrä vähenee.

CFB-kokeissa 9 ja 12 poltettiin metsätähdehакetta 1 reaktorin lämpötilojen ollessa 870 °C ja 897 °C. Kokeen aikana petihiekka agglomeroitui. Tehtyjen SEM-analyysien perusteella petipartikkelien pinnoilta on havaittavissa suuria kalium ja kalsiumpitoisuuksia. Kaliumin kanssa esiintyy myös fosforia, mutta pitoisuudet ovat pieniä. Petihiekan agglomeroivana aineena näyttäisi olevan kaliumkalsiumsilikaatti.



Kuva 1. CFB-kokeiden 3–12 savukaasun HCl-pitoisuudet polttoaineiden eri S/Cl-suhteilla. FTIR, kuiva savukaasu.

Taulukko 4. Koeajo-olosuhteita CFB-koelaitteella.

Koe	Polttoaine	Kosteus %	Polttoaineen Cl-pitoisuus %	Aika	O ₂ %	CO ₂ %	CO ppm	NO ppm	SO ₂ ppm	T _{ka} °C	v _{FB,1} m/s	Viipymääika s
3	Kokopuuhake	25,7	0,01	4h 5min	6,1	-	4	177	4	913	3,03	2,6
4	Kokopuuhake	31,1	0,01	3h 34min	6,4	13,6	10	307	0	896	3,07	2,6
5	Metsät.hake 2	26,4	0,04	39min	6,3	13,6	15	249	0	867	2,95	2,7
6	Metsät.hake 2 +20%turve	27,7	0,04	1h 20min	5,8	14,3	4	225	1	922	2,98	2,7
7	Metsät.hake 2	27,3	0,04	3h 12min	6,1	13,7	7	256	0	915	3,00	2,7
8	Metsät.hake 2	29,3	0,04	4h 9min	6,5	13,3	10	265	0	881	2,92	2,7
9	Metsät.hake 1	31,1	0,04	3h 24min	6,1	13,8	15	241	0	870	2,99	2,7
11	Metsät.hake 1 +30%turve	31,5	0,04	3h 58min	6,2	13,8	7	226	0	886	3,03	2,6
12	Metsät.hake 1	30,9	0,04	3h 58min	6,3	13,7	8	240	0	897	3,06	2,6
13	Kaipolan polttoaineseos	39,8	0,02	2h 10min	6,3	13,7	36	129	1	835	3,04	2,6
14	Kaipolan polttoaineseos	37,0	0,02	24min	6,8	13,2	22	146	1	871	3,33	2,4
15	Kaipola + 40%Metsät.hake 1	39,3	0,03	4h 1min	6,2	13,6	35	149	0	830	2,85	2,8
16	Kaipola + 40%Metsät.hake 1	39,7	0,03	3h 58min	4,7	15,0	23	132	1	913	3,32	2,4
17	Kaipola33%+turve33%+Metsät.hake 1 33%	42,0	0,04	3h 51min	5,9	13,8	37	117	0	839	3,11	2,6
18	Kaipola33%+turve33%+Metsät.hake 1 33%	41,6	0,04	3h 51min	5,4	14,3	19	163	0	902	3,14	2,5
19	Kaipola20%+turve20%+Metsät.hake 1 60%	42,6	0,04	3h 57min	5,2	14,5	32	150	0	840	2,97	2,7
20	Kaipola20%+turve20%+Metsät.hake 1 60%	43,0	0,04	3h 57min	5,0	14,7	20	167	0	888	3,04	2,6

Savukaasun pitoisuudet kuivissa

Ilmanjako 50%/30%/20%/0% (kokeet 1–12) ja 50%/10%/10%/30% (kokeet 13–20)

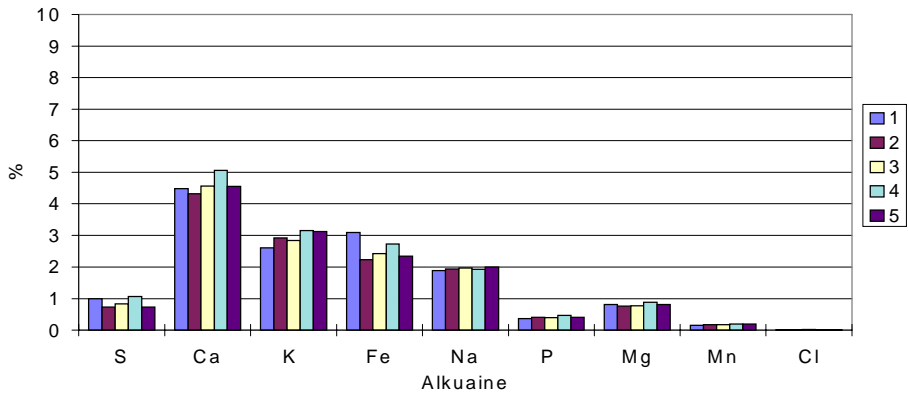
Taulukko 5. CFB-koeajojen FTIR-mittaukset ja erillinen HCl-näytteenotto (titr.) savukanavasta, kuiva savukaasu.

Koe	HCl ppm	HCl (titr.) ppm	SO ₂ ppm	N ₂ O ppm	NO ppm	NO ₂ ppm	Koe	HCl ppm	HCl (titr.) ppm	SO ₂ ppm	N ₂ O ppm	NO ppm	NO ₂ ppm
3	16	7	0	1	203	16	13	9	-	0	26	92	16
4	11	-	0	3	358	21	14	-	-	-	-	-	-
5	13	-	0	5	258	21	15	4	-	0	31	108	9
6	24	9	0	2	284	18	16	4	-	0	6	109	19
7	16	10	0	2	261	20	17	4	-	0	46	66	13
8	14	-	0	5	285	20	18	5	-	0	12	131	16
9	10	-	0	3	293	24	19	5	-	0	31	125	17
11	20	12	0	6	275	17	20	5	-	0	9	145	12
12	11	-	0	1	283	24							

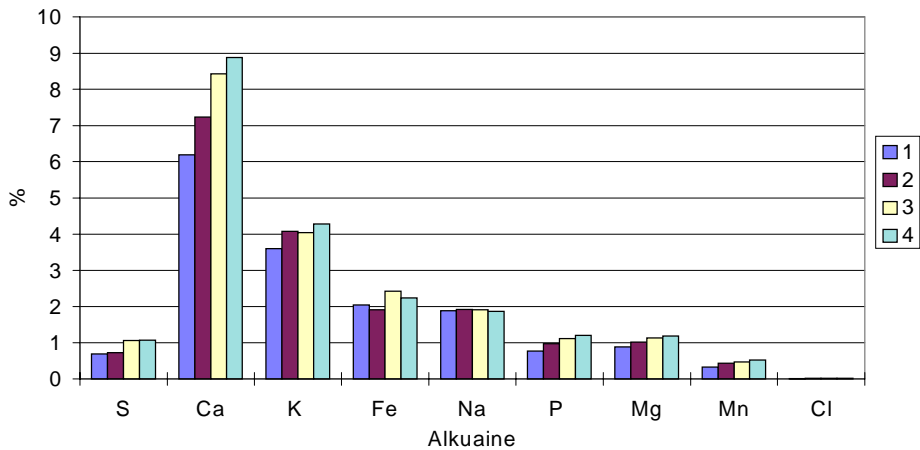
2.3.1.1 Kiintoaineiden analyysituloksia

CFB kokeissa otettiin näytteitä kiertomateriaalista noin tunnin välein. Kuvissa 2–4 on esitetty näiden näytteiden XRF analyysituloksia. Kun poltettiin kokopuuhaketta, kuva 2, kiertomateriaalin Ca-pitoisuus on huomattavasti matalampi kuin muissa kokeissa. Kokopuuhakekokeen kuluessa ei tapahdu juurikaan minkään aineen kertymistä kiertomateriaaliin eikä peti agglomeroitunut. Kuvien 3 ja 4 tulokset on saatu, kun poltettiin metsätähdehaketta 1 yksistään ja turpeen kanssa. Kuvissa esitetyillä Ca-, K-, P-, Mg- ja Mn-pitoisuuksilla on nouseva trendi kokeen edetessä. Kun metsätähde-hakkeen sekaan lisätään turvetta, kiertävän materiaalin rauta (Fe) pitoisuus on korkeampi. Kloorin kertymistä kiertomateriaaliin ei näytä tapahtuvan, vaan se pysyy tasolla 0,01%.

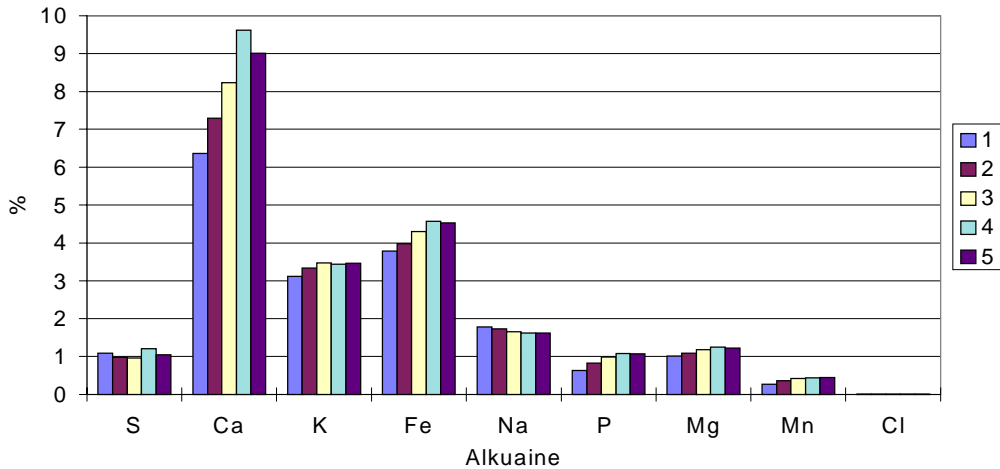
Kun kiertoleijussa poltettiin kokopuuhaketta, koe 4, pedin agglomeroitumista ei ollut havaittavissa, ja pedin keskimääräinen raekoko oli tällöin 0,276 mm. Raekoko kasvoi 0,351 mm:iin, kun metsätähdehakkeen 2 poltossa, koe 7, peti agglomeroitui.



Kuva 2. CFB koe 3, näyte kiertävästä materiaalista 1 h välein. (Kokopuu-hake, $T = 913\text{ }^{\circ}\text{C}$, hiekkaa lisätty kokeen aikana 1 kg.)



Kuva 3. CFB koe 9, näyte kiertävästä materiaalista 1 h välein. (Metsätähde-hake 1, $T = 870\text{ }^{\circ}\text{C}$, ei hiekan lisäystä kokeen aikana.)



Kuva 4. CFB koe 11, näyte kiertävästä materiaalista 1 h välein. (Metsätähdehake1 + 30 % turve, $T = 886\text{ }^{\circ}\text{C}$, ei hiekan lisäystä kokeen aikana.)

2.3.1.2 Kerrostumasondit

CFB-kokeissa 13–20 sondit olivat freeboardissa 6,15 m:n korkeudessa ari-nalta ja syklonien välisessä kanavassa. Sondien lämpötilat pidettiin vakiona: $530\text{ }^{\circ}\text{C}$ (freeboardsondi) ja $480\text{ }^{\circ}\text{C}$ (välikanavasondi). Savukaasun lämpötila välikanavassa oli n. $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ matalampi kuin reaktorin nousuputken lämpötila. Osa sondien kerrostumista analysoitiin SEM-EDX-analyysilaitteistolla kerrostumien yhdisteiden ja sulamis-käyttötymisen arvioimiseksi.

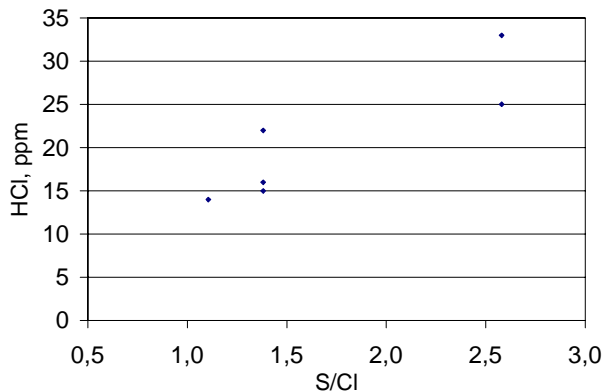
Kokeessa 16 poltettiin Kaipolan polttaineseoksen kanssa 40% metsätähdehaketta 1. Kokeessa 17 lisättiin vielä turvetta, jolloin kunkin kolmen polttoaineen osuus oli 33%. SEM-analyysien perusteella näiden kokeiden välikanavaholkkien kerrostumassa ei ollut havaittavissa kloridia. Kerrostumassa esiintyi rikkiä, fosforia alkali- ja maa-alkalipartikkeleissa. Kokeessa 16 fosforin määrä oli kuitenkin hieman vähäisempi kuin kokeessa 17.

Kokeiden 16 ja 17 freeboardholkkien pinnoitemäärät olivat hyvin pienet. Metallin rajapinnalla esiintyi harvaan muutamia partikkeleita, joissa mukana on magnesiumia ja kalsiumia alumiinisilikaattina. Rajapinnassa havaittiin myös hieman rikkiä.

2.3.2 Kerrosleijukoeajot

Taulukossa 6 ja 7 on esitetty suoritettujen FB-kokeiden keskimääräisiä olosuhteita ja savukaasun koostumuksia. Ilmanjako: primääri/sekundääri/ tertiääri, oli kokeissa 50%/30%/20%. Kokeita suoritettiin puhtailla puupolttoaineilla ja osassa kokeista lisättiin sekaan turvetta. Savukaasun NO₂-pitoisuudet olivat alle 100 ppm. SO₂-pitoisuudet olivat korkeimmillaan 144 ppm, kun lisäpolttoaineena oli turvetta. Puhtailla puupolttoaineilla SO₂-pitoisuudet olivat hyvin pieniä.

FB-koelaitteessa mitattiin HCl aluksi FTIR:llä nousuputken yläpuolelta ja myöhemmin savukanavasta ennen jäähtytintä FTIR:llä ja erillisellä näytteenotolla. Kuten CFB-kokeissa, FB-kokeissa HCl-pitoisuus savukaasussa nousi, kun polttoaineeseen lisättiin turvetta. Kuvassa 5 on esitetty savukaasun HCl-pitoisuudet polttoaineiden eri S/Cl-suhteilla.



Kuva 5. FB-kokeiden 1–9 savukaasun HCl-pitoisuudet polttoaineiden eri S/Cl-suhteilla. FTIR, kuiva savukaasu.

Taulukko 6. Koeajo-olosuhteita FB-koelaitteella.

Koe	Polttoaine	Kosteus %	Cl-pitoisuus %	Aika	O ₂ %	CO ₂ %	CO ppm	NO ppm	SO ₂ ppm	T _{ka} °C	v _{FB} , m/s	Viipymä-aika s
1	Kokopuuhake	36,9	0,01	4h 75min	3,7	16,2	15	78	2	864	0,63	6,3
2	Metsät.hake 2	40,9	0,04	4h 54min	4,3	15,3	30	58	1	829	0,61	6,6
3	Metsät.hake 1	42,8	0,04	5h	4,4	15,3	98	63	1	827	0,61	6,6
4	Metsät.hake 2	39,7	0,04	4h 51min	4,6	15,3	21	73	1	879	0,63	6,3
5	Metsät.hake 1	41,0	0,04	5h	4,4	15,3	72	67	1	851	0,63	6,3
7	Metsät.hake 1	39,6	0,04	5h 1min	4,6	-	33	79	1	881	0,63	6,3
8	Metsät.hake 2+ 50%turve	38,9	0,045	5h	4,7	-	158	95	31	873	0,62	6,5
9	Metsät.hake 1+ 50%turve	39,5	0,045	4h	5,1	-	208	93	24	873	0,62	6,5

Savukaasun pitoisuudet kuivissa. Ilmanjako 50%/30%/20%.

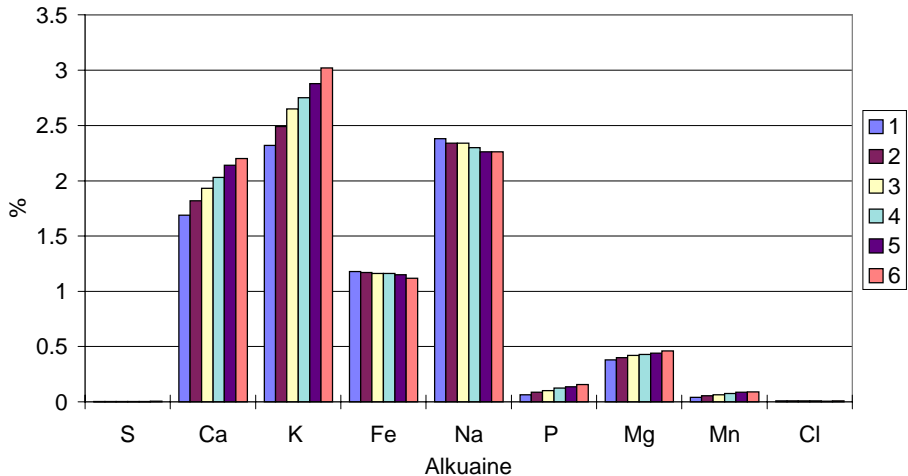
Taulukko 7. FB-koeajojen FTIR-mittaukset ja erillinen HCl-näytteenotto (titr.), kuiva savukaasu. Freeboardin yläpuolelta ja savukanavasta ennen jäähtytintä.

Koe	FB:n yläpuoli					Savukanava						
	N ₂ O ppm	NO Ppm	NO ₂ Ppm	SO ₂ ppm	HCl Ppm	N ₂ O Ppm	NO ppm	NO ₂ ppm	SO ₂ ppm	HCl (titr.)* ppm		HCl ppm
										1.näyte	2.näyte	
1	0	120	33	0	4	0	96	30	0	-	-	14
2	3	111	32	0	3	1	105	31	0	10	-	16
3	2	118	33	0	4	1	123	33	1	9	-	15
4	0	112	26	0	5	0	111	25	0	14	-	22
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	14	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	20	-
8	2	95	21	46	8	3	79	13	6	25	27	33
9	-	-	-	-	-	3	134	19	44	25	-	25

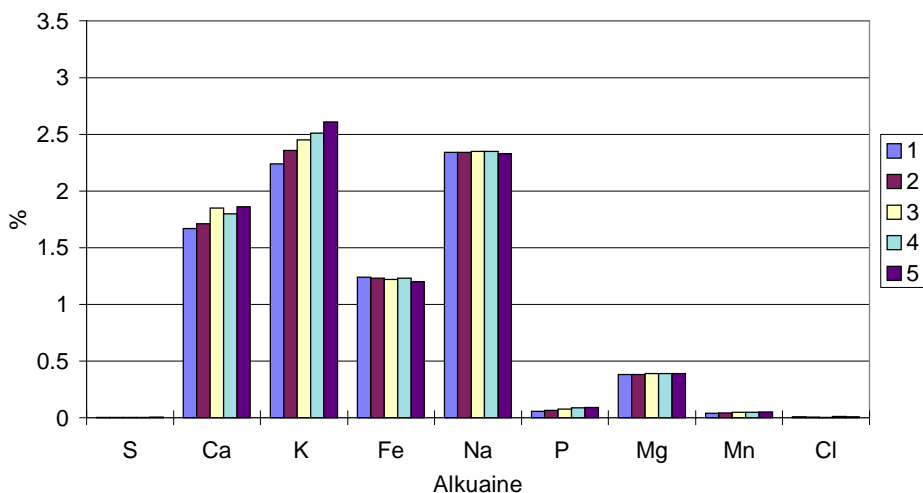
*kostea savukaasu

2.3.2.1 Kiintoaineiden analyysituloksia

Joidenkin kokeiden petihiekkänäytteistä tehtiin XRF-analyysejä. Kun poltettiin metsätähdehaketta 1, kuva 6, petihiekan Ca-, K-, P-, Mg-, Mn-pitoisuudet nousevat kokeen kuluessa. Kun metsätähdehakkeen 1 sekaan on lisätty jyrsinturvetta, kuva 7, Ca-, K- ja P-pitoisuudet nousevat, mutta eivät yhtä voimakkaasti eikä yhtä korkealle tasolle kuin poltettaessa metsätähdehaketta, kuva 6. Mg- ja Mn-pitoisuuksissa ei tapahdu merkittävää muutosta jyrsinturvetta lisättäessä. Kloorin ja rikin kertymistä petimateriaaliin ei näytä tapahtuvan, vaan molemmat pysyvät tasoilla 0,01 %.



Kuva 6. FB koe 7, petinäyte 1 h välein. (Metsätähdehake 1, $T = 881\text{ }^{\circ}\text{C}$)

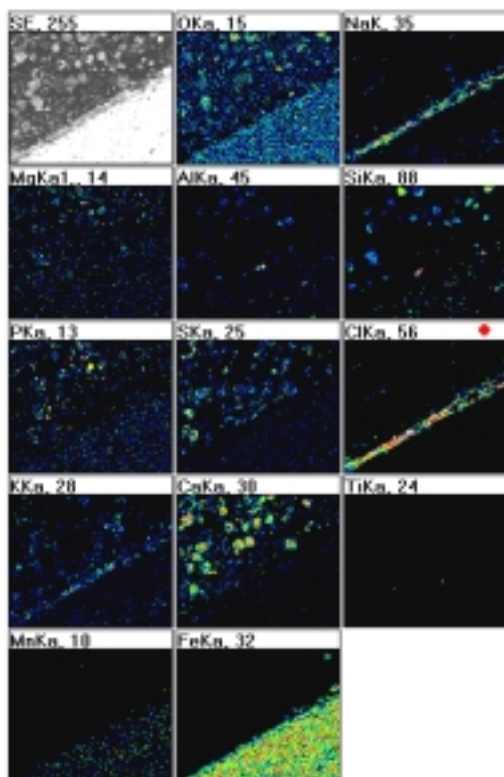


Kuva 7. FB koe 9, petinäyte 1 h välein. (Metsätähdehake 1 50 % + turve 50 %, $T = 873 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

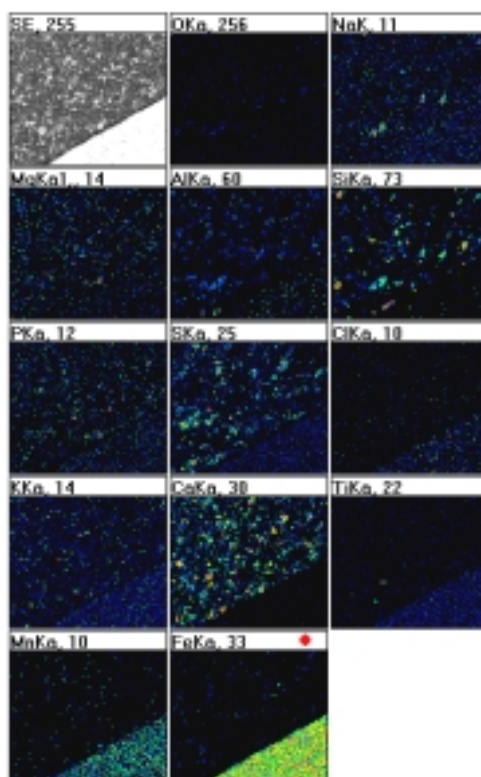
Kalsiumpitoisuudet ovat huomattavasti korkeammat CFB:n kiertomateriaalissa (n. 9 %) kuin FB:n petimateriaalissa (n. 2 %). Kalsium näyttäisi konsentroituvan hienompiin petipartikkeleihin. Petihiekan ja kiertomateriaalin kaliumpitoisuuksissa ei juurikaan ole eroja.

2.3.2.2 Kerrostumasondit

FB-kokeissa pidettiin kerrostumasondia freeboardissa 3,32 m:n korkeudessa arinalta ja toinen sondi välikanavassa ennen sykklonia. Sondien lämpötilat pidettiin vakiona: $530 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (freeboardsondi) ja $480 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (välikanavasondi). Osa sondien kerrostumasta on analysoitu SEM-EDX analyysillä.



Kuva 8. 650-kertainen BEI röntgenkartta FB-kokeen 7 poikkileikatun välikanavasondin rajapinnasta. Koelaitteen keskiarvolämpötila 881 °C, sondin lämpötila 480 °C. Polttoaine: metsätähdehake 1. Kalium- ja natriumkloridikerrostuman paksuus 2–3 µm.



Kuva 9. 330-kertainen BEI röntgenkartta FB-kokeen 9 poikkileikatun välikanavasondin rajapinnasta. Koelaitteen keskiarvolämpötila 873 °C, sondin lämpötila 480 °C. Polttoaine: 50 % metsätähdehake 1 + 50 % turve. Kalium- ja natriumkloridikerros-tumaa ei enää havaita.

Metsätähdehakekokeen 7 välikanavaholkeissa oli kasautunut ainetta lähinnä savukaasun tulopuolelle. Aines oli pääasiassa kalsium- ja magnesiumoksida ja vähisemmässä määrin alkalimetellisilikaatteja. Näyteholkin tulo-, jättö-, ja sivupin-noille pohjimmaisiksi pinnoitteen on kuitenkin muodostanut kalium- ja natriumkloridi, kuva 8. Kun metsätähdehakeeseen sekaan lisät-

tiin turvetta (koe 9), ei väliskanavan errostumaholkin pinnalta ollut havaittavissa vastaavaa kalium- ja natriumkloridikerrosta, kuva 9. Pinnoite oli lähinnä kalsiumia, rikkiä ja alumiinisilikaatteja.

Em. kokeiden freeboardholkkien rajapinnasta ei löytynyt klorideja. Pinnoitekerrokset olivat huomattavasti ohuempia kuin väliskanavaholkeissa. Näissä pinnoite sisälsi kalsiumfosfaattia ja kaliumsilikaattia sekä hiukan kaliumsulfaattipartikkeleita.

3. Yhteenveto

Tutkimuksessa selvitettiin FB- ja CFB laboratoriokoelaitteilla kolmen erilaisen puupolttoaineen turvallisia poltto-olosuhteita.

Puhdasta metsätähdehaketta poltettaessa 827–922 °C:ssa, peti agglomeroitui molemmissa koelaitteissa. Kun sekaan lisättiin turvetta 20–30 %, kuori-bioliete-siistauslieteseosta 20–60 % tai poltettiin pelkkää kokopuuhaketta, pedissä ei tapahtunut agglomeroitumista. XRF-analyysit osoittivat, että petihiekkaan kertyi kalsiumia, kaliumia, fosforia, magnesiumia ja mangaania metsätähdehakekokeen kuluessa. Kokopuuhakekokeissa tai seospoltossa kalsium, kalium ja fosfori kertyivät edelleen kokeen kuluessa, mutta ei yhtä voimakkaasti kuin puhtaalla metsätähdehakeella. SEM-EDX-analyysin perusteella agglomeroituneiden petipartikkelien pinnoilta löytyi suuria kalium- ja kalsiumpitoisuuksia.

Kokeissa pidettiin kerrostumasondia freeboardissa ja väliskanavassa. Sondien kerrostumia analysoitiin SEM-EDX-analyysillä. CFB-kokeissa, kun poltettiin metsätähdehakeen 1 seassa 60 % kuori-bioliete-siistauslieteseosta tai 33 % kuori-bioliete-siistauslietettä ja 33 % turvetta, väliskanavasondin kerrostumassa oli havaittavissa lähinnä fosforia ja rikkiä sitoutuneena alkali- ja maa-alkalipartikkeleihin. FB-kokeissa, kun poltettiin puhdasta metsätähdehaketta, väliskanavasondin kerrostumassa oli havaittavissa selvä kalium- ja natriumkloridikerros metallin pinnalla koelaitteen keskiarvolämpötilasta riippumatta. Kun metsätähdehakeen sekaan lisättiin turvetta, kalium- ja natriumkloridikerrosta väliskanavan holkista ei enää ollut havaittavissa. Vastaavasti savukaasuista oli havaittavissa korkeampi HCl-pitoisuus, kun

metsätähdehakkeen seassa poltettiin turvetta. Turve sisältää rikkiä tässä tapauksessa 0,16 %, johon puun tuhkassa olevat alkalimetallit sitoutuvat. Kloorin sitoutuminen alkalimetalleihinkin heikkenee ja haitallisten, tulistinpinnoille jäävien yhdisteiden määrä vähenee. Tällöin kloori vapautuu yhä enemmän savukaasun mukana HCl:nä.

4. Tulosten hyödyntäminen

Metsätähdehakkeen kanssa olisi hyvä polttaa vähintään 10–20 % turvetta sen rikkipitoisuudesta riippuen. Tällöin voidaan vähentää pedin agglomeroitumista ja siitä aiheutuvia ongelmia. Lisäksi haitallisten alkalikloridien määrä savukaasussa vähenee. Kun turvetta lisättiin koelaitteajoissa metsätähdehakkeeseen kertyi kalsiumia, kaliumia ja fosforia myös tällöin petihiekkaan. Agglomeroitumisen estämiseksi voi olla tarpeen poistaa pedistä karkeaa kerrosta.

5. Projektin jatkosuunnitelmat

Laboratoriokokeita jatketaan kohdennetuina kokeina ja pääpaino vuoden 2000 aikana on voimalaitoskokeissa. Tehdään koeajoja ja mittauksia voimalaitoksien kiertoleijukattilalla ja kerrosleijukattilalla. Käytännön kokein varmistetaan koelaitteilla saavutettujen tulosten yhteensopivuus suuressa kokoluokassa. Lisäksi tehdään pitkän ajan vaikutusten seuraamiseksi korroosiodimittaukset, joiden avulla seurataan hakkeen käytön vaikutusta kerrostuman muodostukseen ja korroosiovaikutusta lämpöpintoihin.

6. Julkaisut ja raportit

Orjala, M. & Ingalsuo, R. Metsähakkeen poltto -ensimmäinen väliraportti, laboratoriotestejä. VTT Energia, Jyväskylä 1999, Tutkimusraportti ENE33/K0143/99. 28 s.

Orjala, M. & Ingalsuo, R. Combusting of wood chips, produced by different harvesting methods, in fluidised bed boilers. World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry in Sevilla, Spain 5–9 June 2000. 6 s.

Puupolttoaineiden laadunhallinta – PUUT09

Kari Hillebrand
VTT Energia
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. 06-87 43 211, faksi 06-87 43 201
e-mail: juha.nurmi@metla.fi

Abstract

Project title in English: Quality management of wood fuels

Effects of storage techniques on the drying and quality management of wood fuels is studied. The work focuses on the first parts of the delivery chain of energy wood: piling at logging plots and at roadside landings.

In total 28 stockpiles of logging residues were collected in 1999, the amount of logging residues being about 11 500 frame-m³. Stockpiles were collected both from green (fresh) logging residues and from brown ones dried at the plot for a certain period. Part of stockpiles were collected on sleepers, and part of stockpiles were covered.

Under good weather conditions of the early summer, the logging residues dried well in the stockpiles collected in early June. Drying proceeded most efficiently at the beginning of the storage period, i.e., by 14–20 percentage units during the first two months. The moisture content was low, 20–25%, over the summer, while the effect of autumn rains was seen as intensive moistening in piles located at the logging plot. The moisture content of covered piles was 7–11

percentage units lower than that of uncovered ones. However, the moisture content may increase significantly in wintertime chipping.

When the logging residues are collected to an intermediate landing immediately after logging, the major part of needles are recovered. Under summertime dry conditions, the needles may drop rather soon after logging, and the major part drops within less than a month.

1. Tausta

Metsänuudistusalojen hakkuutähde (hakkuualalle jäävä hukkarunkopuu sekä oksa- ja latvusmassa) on merkittävä energiareservi. Uudistushakkuitten pinta-ala on vuosittain keskimäärin 150 000 ha ja tyypilliselle kuusikon päätehakkuualalle jää hakkuutähdettä noin 100 m³ hehtaarille (n. 40 tonnia kuivamassaa), kun ainespuuta on korjattu 200–250 m³/ha. Talteensaatavat hakkuutähdemäärät vastaavat yleensä 25–30 % hakkuualalta korjattavan runkopuun määrästä.

Hakkuutähdehakkeen käyttö on Suomessa lisääntymässä. Suurkäyttökohteina ovat ennen kaikkea metsäteollisuuden voimalat sekä energiayhtiöiden ja kaupunkien turvevoimalat. Hakkuutähteiden käyttö energialähteenä edellyttää kilpailukykyistä hintaa, toimitusvarmuutta ja vaatimusten täyttävää laatua.

Varastointi on oleellinen osa hakkuutähteen hankintaketjua ja logistiikkaa, ja hakkuutähteiden eriasteisilla varastoinnilla varmistetaan polttoaineen saatavuus vuoden kaikkina aikoina sekä parannetaan sen laatua. Varastointivaiheen suunnittelun lähtökohtana on toisaalta varaston sijaintipaikka ja toisaalta varastoinnin ajoitus hankintaketjun muitten toimintojen suhteen. Hakkuutähdettä voidaan varastoida hakkuukoneen tekemissä pienissä kasoissa palstalla, kuormatraktorin tekemissä suurissa kasoissa tienvarsivarastossa tai keskitettyä haketusta sovellettaessa suurissa aumoissa terminaalissa tai käyttöpaikalla.

2. Tavoite

Projektin päätavoitteena on tutkia hakkuutähteen varastointitekniikoiden vaikutuksia tähtöiden kuivumiseen ja laadun hallintaan. Varastointitutkimus painottuu energiapuun hankintaketjun alkupäähän, varastointiin palstalla ja tienvarsivarastossa. Tutkimus toteutetaan vuosina 1999–2000.

Tavoitteena on polttoaineen hankinnan aikana selvittää tekniset keinot, joilla voidaan saada halutut laadunmuutokset ja kuivata tuore (55–65 p-%) hakkuutähte alle 40 p-%:n kosteuteen, jolloin raaka-aineen tehollista lämpöarvoa voidaan kasvattaa. Samalla pyritään raaka-aineen kosteuden homogenisointiin. Hankkeessa selvitetään tuotantoketjuittain polttoaineiden saanto, hävikki, koostumus ja laadunmuutoksiin vaikuttavat tekijät. Lisäksi lasketaan, miten ne vaikuttavat tuotannon kustannuksiin.

3. Toteutus

Projekti toteutetaan yhteistyössä VTT Energian ja Metsäntutkimuslaitoksen kanssa. Yritysosapuolina hankkeeseen osallistuvat UPM-Kymmene Oyj, StoraEnso Oyj ja Fortum Oyj. Projektin vastuullisena johtajana toimii erikoistutkija Kari Hillebrand VTT Energiasta. Projektiryhmään kuuluvat lisäksi Juha Nurmi Metlasta ja Markku Marttila VTT Energiasta.

Projekti käynnistyi 1.5.1999 ja on suunniteltu päättyväksi 31.12.2000. Kustannusarvio on 1 604 000 mk. Rahoituksesta Tekesin osuus on 1 004 000 mk ja osallistuvien yritysten osuus 600 000 mk.

Hanke sovelletaan yritysosapuolten käyttötärpeisiin ja infrastruktuuriin. Pääkohdeena on tärkein metsäpolttoainepotentiaali: uudistushakkuiden hakkuutähteet. Erilaisia palsta- ja tienvarsivarastoja perustetaan eri puolille Suomea, joissa hakkuutähteet varastoidaan kokonaisina. Varastokasvoja analysoidaan systemaattisesti 0,5 kk - 2 vuoden ajan.

Tutkimus jakaantuu seuraaviin osatehtäviin:

1. Puupolttoaineiden varastoverkoston perustaminen.

2. Tutkitaan varastointitapojen ja -tekniikoiden vaikutukset raaka-aineiden laadunmuutoksiin.
3. Lasketaan varastointitapojen ja -tekniikoiden vaikutukset tuotannon kustannuksiin.
4. Raportointi.

Puupolttoaineiden varastoverkosto käsittää erilaisia varastoalueita eri puolilla Suomea. Varastoalueiden sijainnit valitaan projektissa mukana olevien yritysten tarpeiden mukaan. Varastoalueille rakennetaan peitettyjä ja peittämättömiä sekä eri tavoin tehtyjä hakkuutähdekasoja.

Polttoaineen laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat hakkuuajankohta, varastointitekniikat, varaston maantieteellinen ja paikallinen sijainti sekä kokoluokka. Eri-laisissa hakkuutähteen varastointitekniikoissa otetaan huomioon mm. kasojen sijainti, koko, muoto, alusta, peittäminen ja ladonta. Energiakäytön kannalta tärkeitä ominaisuuksia ovat hakkuutähteen kemiallinen koostumus, puuaineen tiheys, kosteus, tuhkapitoisuus sekä näistä määräytyvä lämpöarvo. Näytteet otetaan aina kokeen alussa, tähteen siirtyessä varastosta toiseen ja varastoinnin lopussa. Lisäksi näytteet otetaan vuoden 1999 tähteistä lämmityskauden aikana keskitalvella 1999–2000. Näytteitä otetaan seuraavien laatua kuvaavien muuttujien määrittämiseksi: kosteus, neulasosuus, tuhkapitoisuus, korroosiota aiheuttavat alkuaineet (Cl, Na, Ca, K, S), hiili ja vety, lämpöarvo ja homeet.

Vuoden 1999 päätuloksista on laadittu väliraportti (Hillebrand ym., 2000) ja loppuraportti laaditaan 31.3.2001 mennessä.

Paikalliset sääolosuhteet vaikuttavat oleellisesti hakkuutähteen kuivumiseen niin palstalla kuin välivarastossakin. Jotta eri paikoissa olevien hakkuutähteen kuivumista voidaan verrata keskenään, asennettiin sään havainnointia varten tutkimuskohteille GroWeather sääasemat. Asema mittaa automaattisesti eri sääparametrit ja tallentaa ne muistiin.

Vuonna 1999 tutkittiin erilaisten varastointitekniikoiden vaikutusta hakkuutähteen kuivumiseen ja laadun hallintaan neljällä eri kohteella: Längelmäellä, Hartolassa, Juupajoella ja Muuramessa. Yhteensä varastokasoja tehtiin 28 kpl, joissa

hakkuutähdettä oli 11 500 kehys-m³. Varastokasoja tehtiin sekä vihreästä (tuoreesta) että palstalla tietyn ajan kuivuneista ruskeista hakkuutähteistä. Osa varastokasoista tehtiin aluspuiden päälle ja osa niistä peitettiin.

4. Tulokset

4.1 Hakkuutähteiden alkukosteus

Hartolan ja Längelmäen palstoilla hakkuutähteet kerättiin kahdessa vaiheessa, vihreänä noin 1–2 viikon jälkeen hakkuusta alkukesällä ja ruskeana 2–3 kuu-kauden kuluttua loppukesällä. Längelmäen palstalla 1 kaikkien neljän kasan alle ladottiin aluspuupohja, joka tehtiin palstalle jääneistä rankapuista ja lumpeista kuvan 1 mukaisesti.



Kuva 1. Längelmäen palstalla 1 kaikkien neljän tutkimuskasan alle ladottiin pölkypohja.

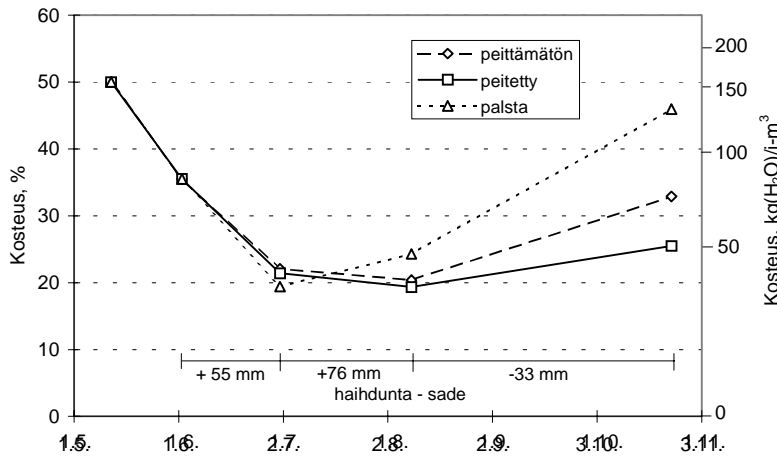
Kesäkuun hyvistä kuivumisolosuhteista johtuen tähteet kuivuivat palstalla merkittävästi ennen ajoa kasoihin. Längelmäen palstalla 1 ja Hartolassa hakkuutähteiden alkukosteus oli 32–36 % kesäkuun alussa tehdyissä kasoissa. Längelmäen palstalla 2 kesäkuun lopulla ajetuissa kasoissa alkukosteus oli 38–40 %, eli kummassakin tapauksessa hakkuutähteiden kosteudet varastokasojen tekovaiheessa olivat selvästi kaatotuoreen hakkuutähteen kosteutta (50–55 %) alhaisempia.

Elokuussa ajettiin Hartolan ja Längelmäen palstoille 1 ja 2 jääneet loput hakkuutähteet kasoihin. Kesän palstalla kuivumassa olleiden tähteiden kosteudet olivat 18–34 %. Elokuun lopulla Juupajoella vihreistä hakkuutähteistä tehtyjen kasojen kosteudet olivat 47–48 %. Kasat tehtiin noin viikon kuluttua hakkuusta. Saman palstan syyskuun lopulla tehtyjen kasojen alkukosteudet olivat 36–37 %.

Lokakuun lopulla tehdyissä Muuramen palstakasoissa hakkuutähteiden alkukosteudet olivat 53–55 %. Kasat ajettiin 1–2 viikon kuluttua hakkuusta.

4.2 Hakkuutähteiden kuivuminen

Alkukesän hyvissä sääoloissa hakkuutähteet kuivuivat kesäkuun alussa tehdyissä varastokasoissa hyvin. Kuvassa 2 on esitetty esimerkinä Hartolassa kesäkuussa tehtyjen kasojen sekä palstalla olleiden tähteiden kuivuminen. Kuivuminen oli tehokkainta varastointijakson alussa, jolloin tähteet kuivuivat 14–20 %-yksikköä ensimmäisen kahden kuukauden aikana. Tänä aikana haihdunta oli yli 100 mm suurempi kuin sademäärä. Lokakuussa kosteudet alkoivat jälleen kohota sateiden vaikutuksesta. Längelmäellä helmikuussa 2000 haketuissa palstan 1 kasoissa kosteus oli 45–50 %, joten lumen kosteutta nostava vaikutus on ollut merkittävä.



Kuva 2. Kesäkuun alussa vihreästä tähteestä tehtyjen Hartolan varastokasojen ja palstalla olleiden tähteiden kosteudet. Kuvaajiin on laskettu kaikkien peitettyjen ja peittämättömien kasojen keskikosteudet.

Elokuussa tehtyjen hakkuutähdekasojen kosteudet ovat myös kohonneet varastoinnin aikana. Lokakuun lopussa kosteudet olivat 27–42 % ja haketusvaiheessa helmikuussa Längelmäellä 46 %.

Tutkimusalueilla osa kerättävistä hakkuutähteistä jätettiin palstalle hakkuukoneen tekemiin kasoihin. Tähteet kuivuivat palstalla alkukesästä kyseisissä olosuhteissa erittäin nopeasti. Kosteus pysyi alhaisena 20–25 prosentissa koko kesän, kunnes elokuussa kosteus alkoi kohota. Syksyllä sateiden vaikutus näkyi palstakasojen voimakkaana kostumisena. Marraskuun alussa Längelmäellä otetuissa näytteissä palstan tähteiden kosteus oli 9–13 %-yksikköä korkeampi kuin peittämättömissä varastokasoissa. Kosteuden ero peitettyihin kasoihin nähden oli vielä suurempi.

4.3 Peittämisen vaikutus hakkuutähteiden kosteuteen

Kaikissa tutkimuskohteissa puolet hakkuutähdekasoihin peitettiin heti ajon jälkeen paperilla. Peittopaperina käytettiin Walki Wisan valmistamaa 3,16 m leveää metsäpeitettä. Peittäminen suoritettiin lähinnä miestyövoimin ja metsätraktorilla nostettiin muutamia kourataakkoja hakkuutähdettä peittopaperin päälle (kuva 3).



Kuva 3. Osa tutkimuskasoista peitettiin paperilla. Kuvat Längelmäen paltalta 2.

Mitattujen tulosten perusteella katteella oli tutkittuna ajankohtana vaikutusta hakkuutähteen kosteuteen välivarastoinnissa. Peitetyissä kasoissa tähteen kosteus oli 7–11 %-yksikköä alhaisempi kuin peittämättömissä. Kesäkuun alussa tehdyissä kasoissa kosteuden ero Hartolan kasoissa lokakuussa oli 7 %-yksikköä ja Längelmäen 11 %-yksikköä. Helmikuussa 2000 Längelmäellä haketetuissa kasoissa peitetyn kasan kosteus oli enää 5 %-yksikköä alhaisempi.

Elokuussa tehdyissä kasoissa Hartolassa peitetyn kasan kosteus oli 11 %-yksikköä ja Längelmäellä 10 %-yksikköä alhaisempi kuin peittämättömien. Kuitenkin haketuksessa helmikuussa kosteus kohosi sekä peitettyssä ja peittämättömässä kasassa 46 %:iin. Juupajoen elokuun lopussa tehdyissä kasoissa leveällä muovilla peitetyn kasan kosteus oli 15 %-yksikköä ja syyskuun alussa tehdyissä 8 %-yksikköä alhaisempi.

Hakkuutähteen peittämisen hyötyyn vaikuttaa oleellisesti käytetyn peitteen leveys, kestävyys, ja haketettavuus. Lisäksi kasan muoto on tärkeä tekijä. Paperipeitteellä on myös taipumusta ”kuroutua” kasaan ohueksi raidaksi kasan päälle tuulen vaikutuksesta. Tämä voidaan estää asettamalla hakkuutähdetourataakkoja painoksi paperin molemmille laidoille tarpeeksi tiheään. Kasan päällä oleva paperi estää suurimman osan sadevedestä, mutta talvihaketustulosten perusteella se ei ole riittävä suojaamaan kasaa lumelta.

4.4 Aluspuut

Längelmäen palstalla 1 kaikkien neljän tutkimuskasan alle asetettiin aluspuut. Tulosten perusteella ei saatu selvää osoitusta aluspuiden edistävästä vaikutuksesta hakkuutähteiden kuivumisessa. Aluspuilla on kuitenkin merkitystä haketusvaiheessa, sillä puiden päältä hakkuutähteet voidaan kerätä tarkemmin ja nopeammin hakkuriin. Aluspuut myös vähentävät maa-aineksen pääsyä tähteen joukkoon sekä maan kosteuden imeytymistä alimpiin hakkuutähteisiin ja tähteidän jäätymistä maahan kiinni.

4.5 Neulasosuus

Kun hakkuutähteet kerätään välivarastoon välittömästi hakkuun jälkeen, saadaan suurin osa neulasista talteen. Kuivissa olosuhteissa kesällä neulaset alkavat varista varsin pian hakkuun jälkeen ja alle kuukauden kuluessa suurin osa neulasista on varissut maahan.

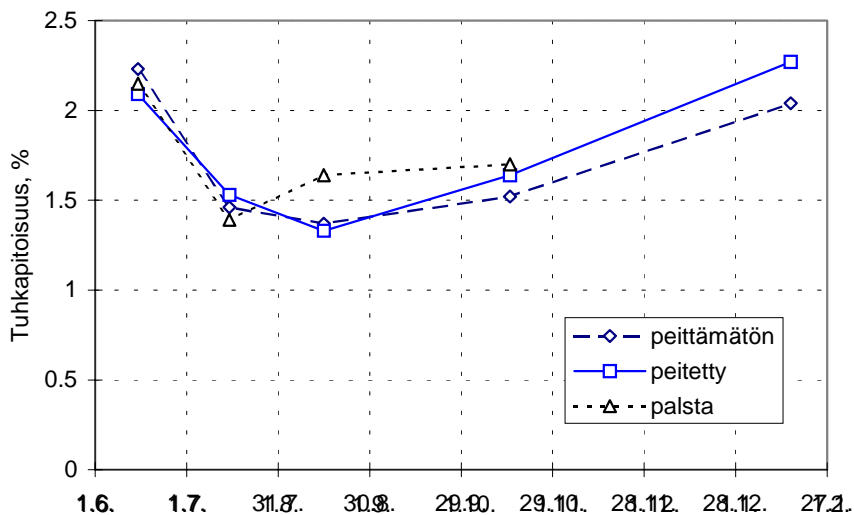
Tuoreella kuusitähteellä neulasosuus on noin 36 %. Kesäkuun alussa tehdyissä varastokasoissa neulasten osuus koko massasta oli 19–27 %, joten se oli keskimäärin yli 10 %-yksikköä alhaisempi tuoreeseen tähteeseen verrattuna. Tähän vaikutti alkukesän kuivattavat olosuhteet, jolloin osa neulasista varisi palstalle keruun yhteydessä.

Neulasten osuus kasoissa on pysynyt suunnilleen samana, noin 20 %:n tasolla koko varastointijakson ajan riippumatta siitä, onko kasa peitetty tai peittämätön. Sen sijaan palstalla neulaset varisevat nopeasti. Jo muutaman viikon aikana neulasosuus on pudonnut reilusti alle 5 %. Varastoinnin aikana kuivumisen myötä neulaset irtoavat myös varastokasoissa. Kuitenkin haketusvaiheessa suurin osa niistä saadaan talteen, sillä ne kulkeutuvat hakkuriin suurissa kourataakoissa ja vain pieni osa neulasmäärästä jää kasan pohjalle.

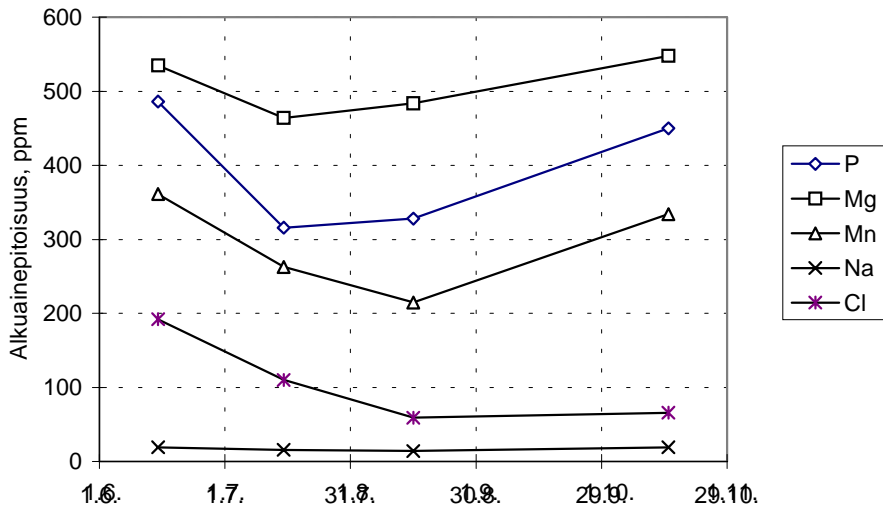
5. Hakkuutähteen alkuainepitoisuudet

Ravinteiden vapautuminen neulasista on hidasta kaikilla varastopaikoilla. Vapautumista tärkeämpää onkin kuivumista seuraava neulasten variseminen. Tähän

parhaat edellytykset antaa tähteen palstavarastointi. Siinä ravinnerikkaat ruskeat neulaset tippuvat metsän pohjalle viimeistään keräilyvaiheen aikana. Tämän seurauksena tähteen sisältämien alkuaineitten konsentraatiot laskevat hetkellisesti. Puu- ja kuoriaineen lahotessa mikrobitoiminnan tuloksena puusta vapautuu hiilidioksidia ja vettä. Tällöin tähteen tuhkapitoisuus kuitenkin kohoaa uudelleen (kuva 4). Tämä siksi, että tuhka muodostuu kivennäisalkuaineista ja sen suhteellinen lisääntyminen ilmenee korkeampina pitoisuuksina (kuva 5). Poikkeuksen tähän trendiin tekee kloridi, jonka pitoisuus vähenee läpi varastoinnin. Sitä, onko tuhkan sisältämien alkuaineitten pitoisuuksien kohoamiseen osasyynä ravinteiden siirtyminen neulasista oksiiin ei tunneta. Tätä seikkaa pyritäänkin selvittämään tässä tutkimuksessa kesän ja syksyn 2000 aikana.



Kuva 4. Kuusen hakkuutähteen tuhkapitoisuus eri varastoissa vuodenajan suhteen.



Kuva 5. Palstalla varastoidun tähteen alkuainepitoisuuksien muuttuminen varastointiajan suhteen.

Välivarastossa ravinnekertymät näyttäisivät käyttäytyvän samalla tavoin kuin palstalla, sillä erolla, että niiden absoluuttiset määrät pysyvät suurina. Tämä siksi, että niissä neulaset eivät kuivumisesta huolimatta pääse varisemaan, vaan päätyvät osaksi polttohaketta. Raskasmetallien määrät ovat hyvin pienet hakkuutähteessä, eikä varastopaikalla tai -menetelmällä näyttäisi olevan vaikutusta niihin.

6. Jatkosuunnitelmat

Osa vuodelle 2000 suunnitelluista talvihakkuista toteutettiin jo lokakuussa 1999 Muuramessa, jolloin voidaan seurata tuoreen hakkuutähteen laadun muutoksia syys-talvi- ja kevätkautena. Uusia varastokasoja tehtiin neljä kappaletta. Kesällä 1999 tehdyt loput varastokasat haketetaan huhtikuun aikana ja talvella tehdyt varastot kesä-elokuussa vuonna 2000. Varastokasoista otetaan vielä välinäytteet toukokuun aikana toisen varastointikesän vaikutusten arvioimiseksi. Tulokset esitetään loppuraportin yhteydessä.

7. Raportit

Hillebrand, K, Marttila, M. & Nurmi, J. 2000. Puupolttoaineiden laadunhallinta, väliraportti 1999. Tutkimusselostus ENE32/T0016/2000, VTT Energia. 22 s. + liitt. 6 s.

Kuoren käsittely polttoaineeksi – PUUT07

Risto Impola
VTT Energia
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014-672 542, faksi 014-672 597
e-mail: risto.impola@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Processing of bark into fuel

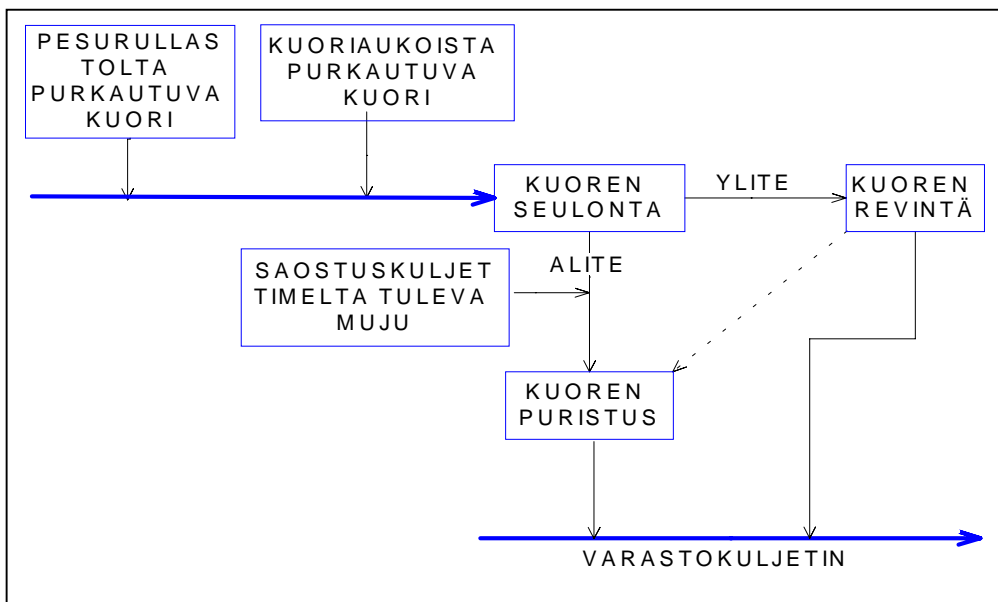
The dry matter content of debarking waste from wood processing is typically low and particle size distribution is extensive. Debarking waste is also a difficult fuel to process. Nevertheless, bark is a significant source of domestic energy in the wood-processing industry. The aim of this study was to improve present methods and develop new mechanical and thermal bark processing methods, by which the fuel characteristics of bark are improved and waste water effluents from wood processing can be reduced.

The work focused on experimental operations with existing bark shredders and presses. The sites of research were bark processing lines at five pulp mills and bark crushers at two sawmills. The present shredders disintegrate bark relatively well. Especially, softwood bark is totally crushed to < 60 mm, and 80–90% to < 30 mm. In shredding birch bark, the high wood content causes problems. In mechanical pressing of bark, the dry matter contents were as follows: 3.5–9.3 percentage units for pine, and 4.7–12.2 percentage units for spruce. The moisture content of softwood bark was still 50–65% after pressing. The dry matter content of birch bark grew only by 1–3.3 percentage units in pressing, primarily due to a low initial moisture content and wide particle size distribution.

1. Tausta

Puuraaka-aineen kuorinnassa syntyvä kuori muodostaa merkittävän energialähteen metsäteollisuudelle. Puuraaka-aineen tehdaskäsittelyn tavoitteena on siten puuraaka-aineen kuorinnan ja haketuksen lisäksi myös kerätä ja käsitellä syntyvä kuori energiakäyttöä varten. Kuoren käsittely sisältää nykyisin veden ja vieraiden aineiden erotuksen syntyvästä kuoresta sekä kuoren revinnän ja mekaanisen puristuksen. Tyypillinen kuorimon kuorenkäsittelyprosessi on esitetty kuvassa 1.

Kuoren käsittelyn ja kattilaan syötön helpottamiseksi sekä sen puristettavuuden ja poltto-ominaisuuksien parantamiseksi kuori revitään ennen puristusta. Mekaanisen puristuksen tavoitteena on nostaa kuoren kuiva-ainepitoisuus mahdollisimman korkeaksi. Puristuksen jälkeen kuoren kuiva-ainepitoisuus on talvella havupuulla tyypillisesti 40–46 % ja koivulla 45–57 %. Kuoripuristimelta tulevan veden osuus kuorimon jätevesikuormituksesta on suuri.



Kuva 1. Tyypillinen yksilinjaisen kuorimon kuorenkäsittelyprosessi.

Kattilatekniikan kehittyminen on muuttanut kuoren ja muun jätepuun polttoa teollisuudessa. Aikaisemmin metsäteollisuus poltti kuorta arinakattiloissa. Tällaiset ns. kuorikattilat on korvattu nykyisin isommilla leijukerroskattiloilla, joissa poltetaan sekapolttona kuorta ja muuta puujätettä, metsäteollisuuden lietteitä, turvetta ja mahdollisesti myös kivihiltä. Myös sahoilla vanhoja kuorikattiloita on korvattu leijukerroskattiloilla ja muutamien sahojen yhteyteen on rakennettu myös pienvoimaloita. Pienimmät sahat kuivaavat usein sahatavaransa öljyllä, koska luotettavia ja halpoja määrällä kuorella toimivia pienkattiloita ei ole ollut saatavilla. Tosin tälläkin kokoalueella on viime vuosina kehitystä tapahtunut.

Koska nykyisin poltettavan kuoren kosteus on varsinkin talviaikana korkea (55–65 %), vaatii sen luotettava polttaminen rinnalle paremman lämpöarvon omaavia ostopolttoaineita. Mikäli kuoren kuiva-ainepitoisuutta voitaisiin nostaa joko mekaanisesti tai termisesti, saataisiin kattiloihin lisäkapasiteettia ja laitoksen omavaraisuutta voitaisiin lisätä vähentämällä ostopolttoaineiden osuutta.

Kuoren prosessointi puusta polttoon vaatii monta eri vaihetta; kuorinta, keräily, siirto, hienontaminen (repiminen, murskaus), puristus ja jätevesien käsittely, varastointi, mahdollinen kuljetus, mahdollinen kuivaus, sekoittaminen muihin polttoaineisiin, kattilaan syöttö ja poltto.

Kuoren käsittelyn ja käytön ongelmia ja muita erityispiirteitä ovat yleisesti mm:

- kuoren epähomogeenisuus (partikkelikoko, pitkät kuoren suikaleet, suuret kosteusvaihtelut, usein alhainen energiasisältö).
- käsittelyteknisesti vaikea polttoaine - usein myös polttoteknisesti.
- polttoaineseokset (esim. kuori/turve/liete) aiheuttavat myös ongelmia mm. holvaantumista käsittelylaitteissa ja kattilaan syötössä.
- kuoren kuiva-ainepitoisuuden nostaminen lisäisi nykyisten kattiloiden kapasiteettia.
- kuoren palakoon pienentäminen parantaisi polttoaineen tasalaatuisuutta.

- tunnetaanko kuoren puristuksen ja mekaanisen vedenpoiston teoria riittävän hyvin ja voidaanko mekaanista vedenpoistoa jotenkin vielä tehostaa.
- kuorimoiden vesikierto ja jätevesipäästöt muodostavat merkittävän osa koko metsäteollisuuden jätevesiongelmaa.

2. Tavoite

Tämän projektin tavoitteena oli tehostaa nykyisiä ja kehittää uusia mekaanisia ja termisiä käsittelymenetelmiä, joilla kuoren tiettyjä polttoaineominaisuuksia (kuiva-ainepitoisuus, energiatiheys, partikkelikoko, kuoren käsittelytekniset ominaisuudet) voidaan parantaa sekä vähentää puunkäsittelyn jätevesipäästöjä.

3. Toteutus

Tämä kaksivuotinen projekti toteutettiin VTT Energiassa Jyväskylässä vuosina 1998–99. Vuonna 1998 projekti kuului VTT Energian PUULAATU-teknologiaohjelman, jonka kautta projektille tuli yritysrahoitus. Koska projekti painottui kuoren energiakäyttöön, Tekes siirsi toisen vuoden rahoituksen uuteen Puuenergian teknologiaohjelmaan.

Projekti jaettiin seuraavaan kuuteen osatehtävään

- Kuoren polttoaineominaisuudet
- Kuoren partikkelikoon hallinta
- Kuoren mekaanisen puristuksen tehostaminen
- Kuoren terminen kuivaus
- Kuivurin vaikutukset energia- ja vesitaseisiin
- Tulosten raportointi ja jatkosuunnitelmat.

Tutkimus keskittyi kokeelliseen toimintaan olemassa olevilla kuoren repijöillä ja puristimilla. Koekohteina oli viiden massatehtaan kuorenkäsittelylinjat sekä kahden sahan kuorimurskaimet. Tehdaskohtainen tutkimusjakso käsitti monipuolisen näytteenoton. Tärkeimmät analysointikohteet olivat kuoren kosteus ja partikkelikokojakauma käsittelylinjan eri vaiheissa. Koekohteita valittaessa huomioitiin mm. eri puulajit, eri laitetyypit ja laitevalmistajat, laitteiden ikä ja kunto, kuorimon erilaiset ajotavat sekä kausivaihtelut. Laitoskohtaisia näytteenottojaksoja tehtiin yhdestä kolmeen eri vuodenaikoina. Eri tekijöiden vaikutusta veden poistumiseen kuoresta tutkittiin myös pienellä laboratoriokokoluokan mäntäpuristimella.

4. Tulokset

4.1 Kuori energialähteenä

Metsäteollisuuden puutähte muodostaa merkittävän polttoainelähteen sekä teollisuuden omassa että kunnallisessa kaukolämmön ja voiman tuotannossa. Kuoren osuus on ylivoimaisesti suurin, tilavuusmäärin mitattuna yli 70 % koko puutähteen määrästä. Muita teollisuuden puutähteitä ovat mm. sahanpuru, kutterinlastu, puutähdehake, hiontapöly ja vaneritähde.

Kuoren vuosittainen energiakäyttö vaihtelee ja se riippuu teollisuuden vuosittaisesta puunkäytöstä eri metsäteollisuussektoreilla. Taulukon 1 mukaan teollisuuden puunkäyttö Suomessa oli vuonna 1998 yhteensä lähes 67 milj. m³.

Taulukossa 1 on esitetty myös puulajikohtaisilla kuoriprosenteilla lasketut kuoren määrät toimialoittain ja puulajeittain. Laskettu kuorimäärä oli vuonna 1998 yhteensä 8,8 milj. m³, mikä vastaa noin 17,5 TWh energiamäärää. Todellisuudessa hyödynnettävä kuorimäärä jää pienemmäksi. On arvioitu, että nykyisin puun korjuussa ja käsittelyssä maastoon ja välivarastoihin jäisi jopa 15–20 % kuoren kokonaismäärästä eli jopa 1,5 milj. m³. Tämän energiasisällöltään lähes 3 TWh kuorimäärän saaminen energiantuotantoon olisi tärkeää. Toisaalta rumpukuorinnassa syntyvät puuhäviöt lisäävät taulukossa 1 laskettuja kuorimääriä.

Taulukko 1. Teollisuuden puunkäyttö ja sitä vastaava kuoren määrä toimialoitain Suomessa vuonna 1998 (milj. m³).

Puun käyttö 1998	Mänty	Kuusi	Koivu	Tuontipuu	Yhteensä
Sahateollisuus	11,81	14,24	0,21	1,11	27,37
Vaneriteollisuus	0,01	1,44	1,10	0,44	2,99
Selluteollisuus	11,50	1,32	4,73	8,08	25,63
Mekaaninen massateollisuus	0,00	9,27	0,59	0,39	10,25
Muu teollisuus	0,57	0,03	0,01	0,00	0,61
Yhteensä (milj. m ³)	23,89	26,30	6,64	10,02	66,85
Kuoren määrä 1998	Mänty	Kuusi	Koivu	Tuontipuu	Yhteensä
Sahateollisuus	1,39	1,98	0,03	0,15	3,55
Vaneriteollisuus	0,00	0,20	0,16	0,06	0,42
Selluteollisuus	1,36	0,18	0,70	1,09	3,34
Mekaaninen massateollisuus	0,00	1,29	0,09	0,05	1,43
Muu teollisuus	0,07	0,00	0,00	0,00	0,07
Yhteensä (milj. m ³)	2,82	3,66	0,99	1,35	8,82
Kuiva-ainetta, milj. tonnia	0,75	1,37	0,54	0,54	3,20
Energiamäärä, TWh	3,95	7,24	3,33	3,01	17,52

Suurin osa kuoresta syntyy kemiallisessa ja mekaanisessa massateollisuudessa. Yleensä kaikki kuori ja muut puutähteet hyödynnetään tehtaan omissa kattiloissa. Toinen merkittävä toimiala on sahateollisuus. Osa siellä syntyvästä kuoresta ja muusta puutähteestä myydään ulkopuolisille energialaitoksille.

Pääosa Suomessa syntyvästä kuoresta on havupuun kuorta. Sen käsittelyssä ja poltossa suurimmat ongelmat ovat suuri kosteuspitoisuus ja keväisin kuusen kuoren pitkät partikkelit. Koivun kuoren etuna on alhaisempi kosteuspitoisuus ja huomattavan korkea kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo ja kuiva-tuoretiheys. Nämä lisäävät koivun kuoren suhteellista merkitystä energiantuotannossa, kun verrataan kuoren energiamääriä puulajeittain.

4.2 Kuoren partikkelikoon hallinta

Kuoren partikkelikoolla ja -kokojakaumalla on merkittävä vaikutus kuoren jatkokäsittelyssä kuten kuoren puristuksessa, kuljettimissa ja varastoinnissa, sekoittamisessa muihin polttoaineisiin sekä kattilaan syötössä ja poltossa.

Kuoren partikkelikokoa pienentävät laitteet voidaan jakaa rakenteen ja ominaisuuksien mukaan. Aikaisemmin massateollisuuden kuorimot käyttivät yleisesti pystyroottorisia repijöitä. Viime vuosikymmenellä kuorimoilla yleistyivät myös vaakaroottoriset murskaimet. Vastaavia murskaimia on otettu käyttöön myös sahoilla varsinkin kesäkuoren partikkelikoon hienontamiseen.

Kuoren revintä- ja murskauskokeista voidaan tehdä seuraavia johtopäätöksiä:

Kuoren seulonta

- Kuori leviää epätasaisesti seulalle eikä ”kuoriniput” aina purkaannu seulalla, varsinkin ruuvisyöttö levittää kuoren seulalle hyvin epätasaisesti.
- Kuoren seulonnassa yleisesti on kiekko-seulojen jälkeen ylitteessä hienoainesta ja alitteessa pitkiä kuorenkappaleita.
- Kiekkoseulat päästävät alitteen joukkoon helposti pitkiä ja/tai levymäisiä kuorenkappaleita, joiden hienontaminen puristuksen tehostamiseksi on oleellista.
- Kuoren liika kosteus aiheuttaa adheesiota kuoriaineksen välillä ja kuoriaineksen ja seulalevyjen välillä ja täten heikentävät seulonta tulosta.
- Syötetyn kuoren määrällä ja puun tai kuoren kulkeutumissuunnalla seulalle tai murskaimen terien väliin arvioidaan olevan merkitystä sekä hyvän seulontatuloksen saavuttamiseen että murskauksen tehoon varsinkin kuoren ja puuaineksen pituuden lyhentämiseksi.

Pystyroottoriset repijät

- Suuret puupartikkelit, varsinkin koivu, murskautuvat huonosti.
- Terien kunto vaikuttaa koivun kuoren ja puupartikkelien revintään pituutta mitattaessa merkittävästi.
- Kevätaika huonontaa saavutettua koivun murskaustulosta.
- Havupuun kuorta talvella revittäessä terien kunnolla ei kovin suurta merkitystä pituuden suhteen, mutta hienoaineksen määrä lisääntyy terien kuluessa.

Vaakaroottoriset repijät

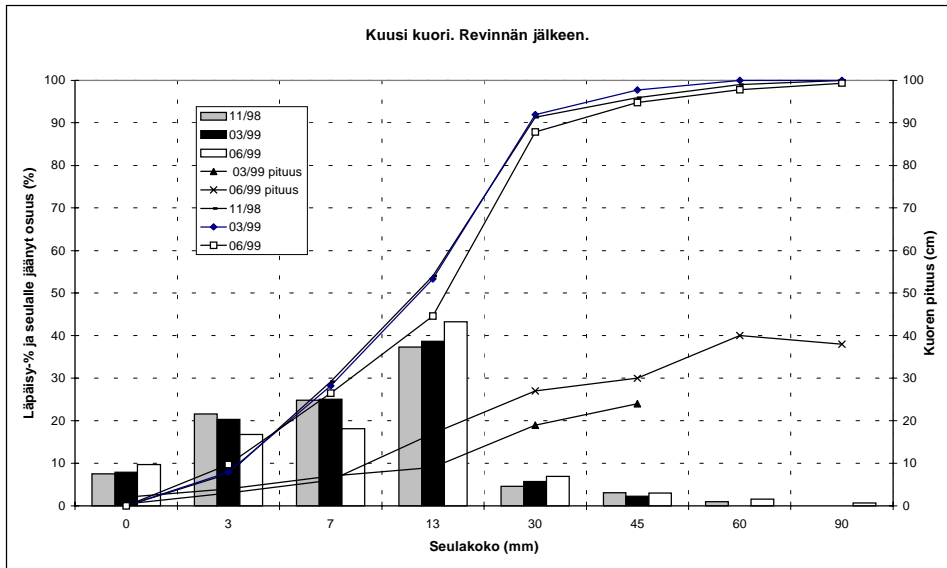
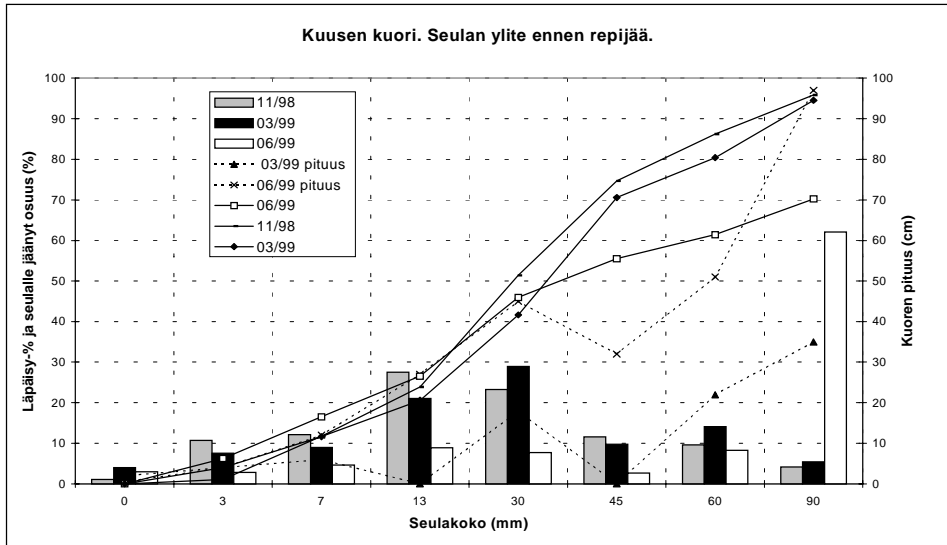
- Sahoilla yleisiä, lisääntyneet myös massateollisuudessa.
- Havupuun kuoren murskautuminen talvella riittävä.
- Tutkimuksessa ei saatu tuloksia puupitoisen koivun kuoren hienontamisesta.
- Partikkelikokoa voidaan säätää seulalevyillä, mutta käyttö vaikuttaa repijän kapasiteettiin.

Repijöitten eroista

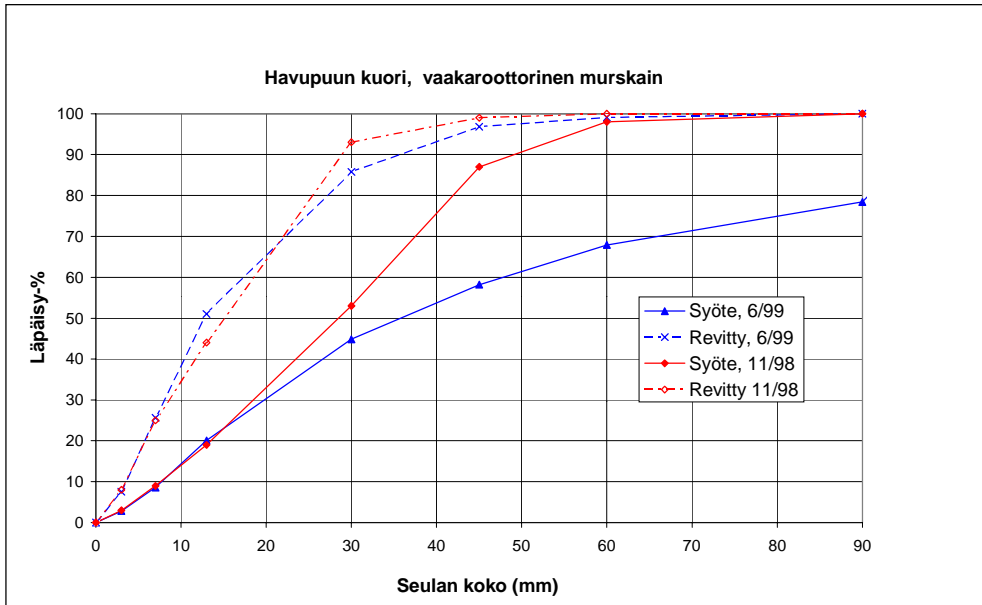
- Repijöitten seulomalla saaduissa revintätuloksissa ei ole oleellisia eroja. Kaikki tutkitut repijätyypit jättävät pitkiä kuoren palasia repimättä ja revittävän kuoriaineksen ominaisuudet (kevätpuu) vaikuttavat saavutettuun revintätulokseen.
- Vaakaroottorinen murskain tekee havun kuorta murskatessaan vähemmän hienoainesta kuin pystyroottorinen repijä.
- Nila-aikana männynkuorikin on pitempää, mutta varsinkin kuusen kuorintajäte on kyseisenä aikana pitkää ja on vaikeaa lyhentää riittävästi. Pisimmät jakeet ovat lähes metrinmittaisia ja lyhenevät noin puoleen pituuteen pystyroottorisessa murskauksessa ja hiukan lyhemmäksi vaakaroottorisessa murskauksessa.

Kuvissa 2 ja 3 on esitetty kaksi esimerkkiä tutkimustuloksista. Kuvassa 2 on erään kuorimon pystyroottorisen repijän toiminta kuusen kuorella kolmena eri vuoden aikana. Huomioitava on kuoren suuret partikkelit ennen repijää nilakauden (06/99) aikana. Pisimmät partikkelit ovat silloin olleet lähes metrin pituisia. Repijän jälkeen seulontatulokset ovat lähellä toisiaan ja 30 mm seulan on läpäissyt noin 90 % koko kuorimäärästä.

Kuvassa 3 on vaakaroottorisen murskaimen toiminta havupuun kuorella eräällä sahalla marraskuussa ja kesäkuussa. Myös tässä murskaustulosta voidaan pitää hyvänä eli 45 mm seulan läpäisee yli 95 % materiaalista.



Kuva 2. Esimerkki pystyroottorisen repijän toiminnasta kuusen kuorella kolmena eri vuodenaikana.



Kuva 3. Esimerkki havupuun kuoren murskauksesta sahalla kahtena eri vuodenaikana.

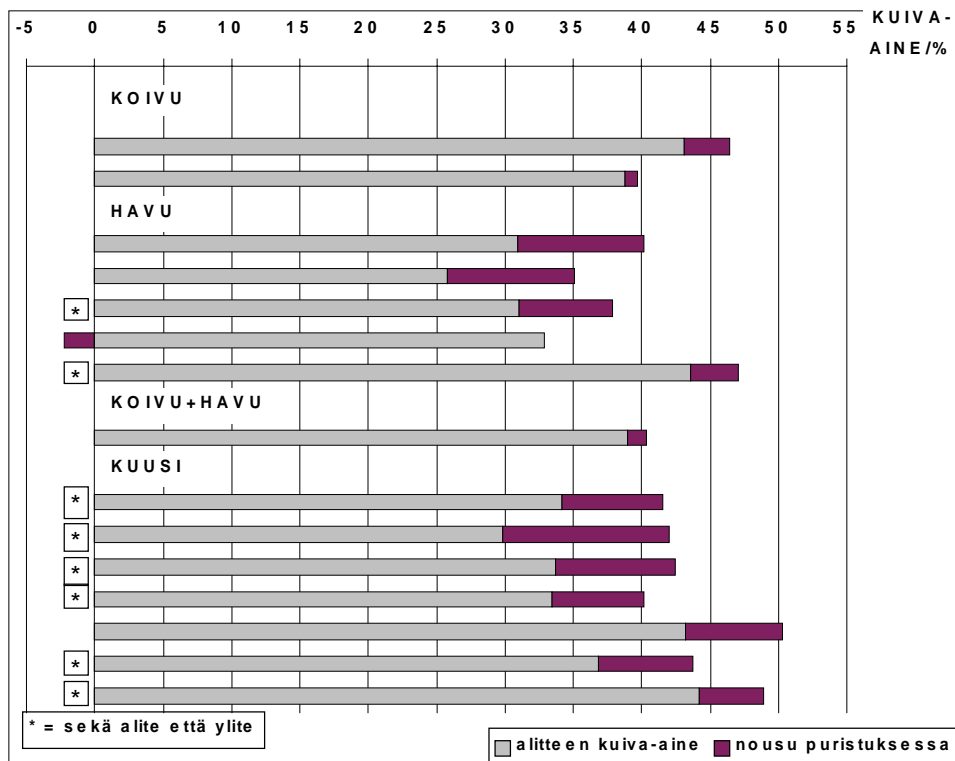
4.3 Kuoren kuiva-ainepitoisuuden nostaminen

Kuoren mekaanisessa puristuksessa puristustulokseen vaikuttavat mm. puulaji ja kuoren puupitoisuus, kuoren lämpötila, kuoren lähtökuiva-ainepitoisuus, partikkelikoko, puristimen kapasiteetin käyttöaste ja puristimen syötön tasaisuus.

Puulaji vaikuttaa siten, että koivun kuorinnassa puun osuus kuorimassasta on selvästi korkeampi kuin muilla puulajeilla. Kuusikuorimoilla käytetään pienempiläpimittaisia kuorimarumpuja, jonka vuoksi mm. kuorinta on hellävaraisempaa ja vähentää siten kuorinnan puuhäviöitä ja kuoren puupitoisuutta. Koivun kuori on lähtötilanteessa kuivempaa kuin havupuukuoren. Kuoren lämpötila vaikuttaa siten, että lämpimän, lämpötila 20–40 °C, kuoren kuiva-ainepitoisuuden nosto on helpompaa kuin kylmän kuoren. Lähtökuiva-ainepitoisuus vaikuttaa siten, että mitä alhaisempi se on, sitä enemmän se yleisesti nousee. Suhteellisen suuri

partikkelikoko vaikuttaa negatiivisesti puristustulokseen, mutta suuri hienoaineen osuus taas heikentää veden poistumista. Kuoren seassa olevasta puusta vettä ei puristuksessa irtoa, mutta sopiva puuosuus lisää veden poistumisreittejä kuorimatosta. Kapasiteetin käyttöasteen noustessa puristustulos, kuiva-ainepitoisuuden nousu, pienenee. Syynä on kuorimatons paksuuden lisääntyminen tai puristusajan väheneminen, jolloin veden poisto matosta vaikeutuu. Samaan seuraukseen liittyy puristimen syötön tasaisuus: tasaisella syötöllä saavutetaan paras puristustulos. Puristimet on kuitenkin mitoitettu niin, että niiden pitäisi saavuttaa kohtuullinen puristustulos myös poikkeuksellisen suurien kuorimäärien käsittelyssä.

Tulokset tutkimuksen kaikista puristuskokeista on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Kuoren kuiva-ainepitoisuuksien nousu eri puulajeilla.

Koivulla kuiva-ainepitoisuus ei puristuksen aikana juurikaan noussut (0,9 ja 3,3 %-yksikköä). Tärkein syy on korkea lähtökuiva-ainepitoisuus. Muita syitä ovat suuri puupitoisuus ja suuri partikkelikokojakauma. Molemmissa näytetapauksissa tehdään puristusprosessi on mitoitettu siten, että sen kapasiteetti riittää havu- ja koivulinjoilta tulevan kuoren yhtäaikaiseen käsittelyyn.

Kolmen ensimmäisen havunäytteen (kuusi ja mänty) kuiva-ainepitoisuuden nousu oli 6,9–9,3 %-yksikköä. Kolmannessa näytteessä oli sekä seulonnan ylitte että alite. Loppukuiva-ainepitoisuudet olivat 35,1–40,2 %. Neljännessä havunäytteessä kuiva-ainepitoisuus laski mittauksen mukaan puristuksessa. Se ei tietenkään ole mahdollista vaan kyse on ilmeisesti puristimen syöttöhäiriöstä. Viidennessä tapauksessa lähtökuiva-ainepitoisuus oli korkea, 43,6 % selittäen osittain heikon puristustuloksen, 3,5 %-yksikköä. Toinen syy on, että puu oli sulaa, joten sitä ei tarvinnut sulattaa ja siten kastella kuten edellisissä tapauksissa tehtiin. Kuoren lämpötila oli noin 15 °C. Koivun ja havun yhteisnäytteen puristustulos oli heikko. Kun puristimeen syötetään määrällisesti runsaasti kuorta ja lisäksi siinä on seassa runsaasti puun paloja, puristaminen on vaikeaa.

Kuusinäytteiden kuiva-ainepitoisuudet nousivat 4,7–12,2 %-yksikköä. Ensimmäisen kuorinäytteen lämpötila oli vain 5, toisen noin 30 ja kolmannen ja neljännen 25 sekä viimeisten noin 15 °C. Toisen näytteen korkea lämpötila selittää hyvää puristustulosta. Viidennessä näytteessä oli pelkästään revittyä seulonnan ylitettä, kun muissa oli sekä alitetta että ylitettä. Kolme viimeistä näytettä otettiin puun ollessa sulaa eli aikana, jolloin puun sulatusta ei käytetty. Loppukuiva-ainepitoisuudet olivat 40,2–50,1 %.

Yhteenveto kuoren puristuskokeista

- Kokeiden mukaan kuoren puristus ei aina onnistu riittävän hyvin.
- Havupuun kuoren kuiva-ainepitoisuus jää usein alle 40 %.
- Aina ei ole tarkoituksenmukaista puristaa sekä seulonnan ylitettä että alitetta. Kun seulonnassa onnistutaan erottamaan tarkemmin suuret kappaleet pois alitteesta ja pienet ylitteestä, vältetään suurten kappaleiden aiheuttamat ongelmat puristuksessa.

- Saavutettava kuiva-ainepitoisuustaso riippuu suuresti sekä kuoren lämpötilasta että partikkelikoosta.
- Koivun kuoren puristamisen kannattavuus on kyseenalaista.

Koeajojen tuloksena ilmeni seuraavat jatkotutkimuksia vaativat kysymykset:

- Miten puristimen syötön tasaisuus vaikuttaa puristustulokseen?
- Kuinka nykyistä tarkempi seulonta vaikuttaa puristuksen onnistumiseen?
- Laskeeko kuoren kuiva-ainepitoisuus pölkkyjen sulatusprosessin aikana yhtä paljon kuin se lisääntyy puristuksessa? Syötetäänkö sulatuskuljettimelle ylenmäärin energiaa ja kuinka paljon kuoresta liukenee ravinteita veteen? Voisiko lämmön syöttää kuoreen myöhemmin, mikäli sen lisäys on välttämätöntä?

Kuoren mekaaniseen vedenpoistoon liittyviä kokeita tehtiin myös laboratorio-koepuristimella. Näytemateriaali oli kuusen kuorta. Kokeissa havaittiin puristuspaineen ja kuoren lämpötilan olevan selvästi tärkeimmät puristustulokseen vaikuttavista muuttujista. Tulos on samansuuntainen kuin, mitä tehdaspuristinten kohdalla on havaittu.

5. Tuloksien hyödyntäminen

Projektin tuloksia tullaan hyödyntämään metsäteollisuudessa syntyvän kuoren tehokkaampana polttokäyttönä. Lisäämällä kuoren kuiva-ainepitoisuutta laitoksilla on mahdollisuus vähentää ostopolttoaineiden osuutta. Samoin pääkattilan kapasiteettia voidaan lisätä siirryttäessä kuivempaan polttoaineeseen ja siten siirtää mahdollisten uusien polttolaitteiden hankintaa sekä vähentää usein öljykäyttöisten apukattiloiden käyttöä.

Projektin tuloksia voidaan hyödyntää metsäteollisuuden kuorenkäsittelylaitteiden osalta. Projektissa saatujen tulosten ja kokemusten perusteella nykyisin käytössä olevia laitteita voidaan ”säätää” tehokkaampaan käyttöön kuoren partikkelikoon ja kuiva-ainepitoisuuden osalta. Seuraava askel tulosten hyödyn-

tämisessä on nykytekniikalla toimivien laitteiden modernisointi ja jatkossa täysin uusien menetelmien soveltaminen tulevaisuuden laiteratkaisuihin. Suomalaiset laitevalmistajat hyötyvät kuoren laitteiden kehityksestä sekä kotimaisessa metsäteollisuudessa että vientimarkkinoilla.

Kuoren mahdollinen terminen kuivaus vaikuttaa sekä koko laitosalueen että kuorimon vesi- ja energiataseisiin. Kuivauksessa voidaan käyttää tehdasalueen mahdollisia jätelämpöjä ja kuivauksessa syntyviä jätelämpöjä ja -vesiä voidaan hyödyntää kuorimolla joko sulatusvesinä tai jätevesien haihdutuksessa.

Projektin tuloksia voidaan hyödyntää myös sahateollisuudessa. Sahoilla syntyvä kuori saadaan tehokkaampaan hyötykäyttöön joko omalla sahalla tai myyntiin, kun kuoren partikkelikoko ja kosteus saadaan hallintaan.

6. Julkaisut ja raportit

Projektista on julkaistu normaaliin tapaan väli- ja loppuraportit sekä tuloksia on esitetty teknologia- ja tutkimusohjelmien johtoryhmien kokouksissa ja seminaareissa.

Mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden polttoteknisten ominaisuuksien parantaminen-PUUT15

Raija Kuoppamäki
VTT Energia
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014- 672540 tai 0400-344034,
faksi 014- 672598
e-mail: raija.kuoppamaki@vtt.fi

Abstract

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

The objective of the research is to improve the combustion technical properties of by-products formed in mechanical forest industry by developing the fuel storage and processing. The research is divided into three projects: 1) research on the factors effecting on the combustion technical properties of bark, and the optimisation of the storage, 2) reduction of the moisture content of the by-products, and 3) removal of harmful substances from the fuel. The research will be carried out in cooperation with Swedish Agricultural University (SLU), which is starting a similar research project.

The objective of the research is to study how the different storage methods effect on the DS-losses of bark, the quality of the bark, the processibility and environmental effects. Instructions for optimisation of the storage will be prepared on the basis of the results.

In addition to these the objective of the project is to study the techno-economic applicability of mechanical compression and the new type HT drying technology for drying of bark and to determine the effects of snow and ice in the bark on the moisture content of bark.

The amount and quality of by-products containing impurities (stones and sand) in the sawmill industry will be determined, as well as the methods suitable for removal of these impurities.

1. Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää miten eri varastointitavat vaikuttavat kuoren kuiva-ainetappioihin, kuoren laatuun, käsiteltävyyteen ja ympäristövaikutuksiin. Tuloksien perusteella laaditaan ohjeet varastoinin optimaaliselle suoritamiselle.

Lisäksi projektin tavoitteena on selvittää mekaanisen puristuksen ja uudentyyppisen HT-kuivaustekniikan teknis-taloudellinen soveltuvuus kuoren kuivaukseen sekä määrittää kuoren joukkoon joutuvan lumen ja jään vaikutukset kuoren kosteuteen.

Projektissa arvioidaan myös epäpuhtauksia (kiviä ja hiekkaa) sisältävien sivutuotteiden määrä ja laatu sahatteollisuudessa sekä selvitetään kivien ja hiekan erotukseen soveltuvat mahdolliset erotustekniikat.

2. Projektin toteutus

Toimenpiteiden osalta tutkimus jakaantuu kolmeen suurempaan tutkimusosa-alueeseen: 1) sivutuotteiden varastoinnin optimoimiseen, 2) sivutuotteiden kosteuden alentamiseen ja 3) sivutuotteiden sekaan joutuneiden haitallisten aineiden poistamiseen.

Kukin osa-alue kattaa kenttäkokeet, tulosten analysoinnin, raportoinnin ja mahdollisten jatkotoimenpiteiden kartoittamisen.

2.1 Kuoren varastointi

Tutkimus sisältää kirjallisuusosan ja varastointikokeet. Varastointikokeet toteutetaan rakentamalla useampia koekuoriaumoja sahojen yhteyteen. Varastointi-

aika on 2–3 kk. Eri tekijöiden vaikutusta varastointiin arvostellaan sekä polttoaineen laatuominaisuuksien että työympäristön kannalta. Alla on lueteltu kuoren varastointikokeissa tutkittavat tekijät ja arviointiperusteet:

Tutkittavat tekijät:

- Puulaji (mänty, kuusi)
- Kuoren palakoko (revitty, repimätön)
- Kuorivaraston koko (korkeus)
- Kuorivaraston tiivistäminen
- Kuorivaraston kattaminen
- Kuoren alkukosteus (vesivarastoitu puu, maavarastoitu puu).

Arviointiperusteet polttoaineen laatuominaisuuksien kannalta:

- Kosteus
- Lämpöarvo
- Kuiva-ainetappio
- Tuhkapitoisuus
- Partikkelikoko.

Arviointiperusteet työympäristön kannalta:

- Itsesyttymisen riski
- Päästöt ilmaan varastoinnin yhteydessä (sienet, bakteerit)
- Päästöt ilmaan polton yhteydessä (metallit ym.)

- Veden mukana kuorivarastosta liukenevat aineet (vaikutukset maaperään ja pohjavesiin).

Kuoren varastointitutkimus toteutetaan yhteistyössä Ruotsin SLU:n kanssa.

Jako työtehtävien kesken VTT:n ja SLU:n välillä on seuraava: VTT keskittyy kuoren laatuominaisuuksien ja käsiteltävyyden tutkimiseen varastoinnin aikana. SLU:ssa tutkitaan sekä kuoren laatuominaisuuksia että varastoinnin vaikutuksia työympäristöön. Kumpikin osapuoli hankkii oman rahoituksensa osuudelleen. Raportointi tehdään suomen ja englannin kielillä.

2.2 Sivutuotteiden kosteuden alentaminen

Kosteuden alentamiseen tähtäävä tutkimus jaetaan edelleen kolmeen osaan: 1) lumen ja jään sekä tukkien kastelun ja uiton vaikutus kuoren polttoarvoon 2) kuoren termisen kuivaus ja 3) mekaaninen puristus.

1) Lumen ja jään osalta tarkastellaan tukkien mukana tulevan lumen ja jään vaikutusta kuoren lämpöarvon alenemiseen. Lumen ja jään määrän selvittäminen toteutetaan sahalla tapahtuvien mittauksien avulla. Lumen ja jään vaikutus lämpöarvon alenemaan määritetään puolestaan edellä mainittujen mittauksien perusteella laskennallisesti. Mikäli lumen ja jään vaikutus lämpöarvon alenemaan on merkittävä pyritään jatkossa kehittämään menetelmiä lumen ja jään poistamiseksi. Osatehtävässä selvitetään myös tukkikentällä tapahtuvan puiden kastelun ja puiden uiton vaikutus kuoren lämpöarvoon. Tämä selvitys tapahtuu laskennallisesti.

2) Termisen kuivauksen osatehtävässä tarkastellaan termisen kuivauksen teknistä taloudellista soveltuvuutta metsäteollisuuden sivutuotteiden kuivaukseen. Lisäksi on mahdollisuus käytännössä testata uudentyyppisen periaatteessa lietteen kuivaamiseksi kehitetyn HT-kuivurin soveltuvuus kuoren kuivaamiseksi. Testaus tapahtuu HT-koekuivurilaitteella joko sahalla tai VTT Energian tiloissa.

3) Mekaaniseen puristuksen osalta tarkastellaan teoreettisesti puristuksen teknistä taloudellista soveltuvuutta metsäteollisuuden sivutuotteiden kuivaukseen.

Tarkastelussa hyödynnetään VTT Energian aikaisempia tutkimustuloksia kuoren käsittelystä.

2.3 Haitalliset aineet

Osatehtävässä selvitetään ensivaiheessa epäpuhtauksia (kiviä ja hiekkaa) sisältävien sivutuotteiden määrä ja laatu sahatteollisuudessa. Selvitys tapahtuu seurantatutkimuksena koesahoilla. Seurantatutkimusten yhteydessä selvitetään myös puiden autokuljetuksen mukanaan tuomien kivien ja hiekan määrä.

Tämän jälkeen selvitetään kivien ja hiekan erotukseen soveltuvat mahdolliset erotustekniikat. Kartoitetuista tekniikoista valitaan parhaat ja arvioidaan niiden soveltuvuus, laitteisiin tarvittavat parannukset ja uusien laitteiden kehitystarve. Mahdollisuuksien mukaan pyritään tekemään esikokeita parhaaksi havaituilla tekniikoilla. Varsinainen laitekehitys tehdään tämän osatehtävän tulosten perusteella jatkohankkeissa.

3. Projektin aikataulu ja tilanne

Projekti on kaksivuotinen. Projekti käynnistyi huhtikuussa 2000 ja se päättyi joulukuussa 2001. Varsinainen tutkimustyö aloitetaan syksyllä 2000.

4. Tulokset

Projektin tuloksia ei vielä ole saatavilla.

Kiinteän polttoaineen varastoinnin sekä tasaus-, laadunvarmistus- ja syöttöjärjestelmän kehittäminen – PUUY08

Antti Nurmi
BMH Wood Technology Oy
PL 32, 26 101 Rauma
Puh. 02-83 15 236, faksi 02-82 21 327
e-mail: antti.nurmi@bmh.fi

Abstract

Project title in English: Developing storage, material flow equalizing and boiler infeed systems for solid biofuels

The capacity and the quality of solid biofuel can vary quite much in existing storage and handling systems before the boiler. For these reasons the optimal use of the boiler is not possible. Additionally new solid fuels, like recovered fuels and mixed fuels, have created a need for development of the handling systems. The target of the project is to develop storage, handling and boiler infeed systems for mixed solid biofuels. The project is lead by BMH Wood Technology Oy and VTT Energy will participate in the storage research part of the project. The material flow equalizer, which allows more even infeed of fuel into the boiler, was developed during the early stage of the project. The demonstration of the equipment is taking place in Stockholm Energy AB, Sweden. The silo filling device was also developed during the project. The demonstration of this equipment will be realized during the year 2000 in Eskilstuna Energi & Miljö, Sweden. The storage research and development will be realized in co-operation with VTT Energy.

1. Projektin tausta

Olemassa olevissa kiinteän polttoaineen varastointi-, käsittely- ja kattilaansyöttöjärjestelmissä tapahtuu usein suuria vaihteluita mm. polttoaineen määrässä ja

laadussa. Käytettäessä polttoaineseoksia käsittelyn hallittavuus on vielä vaikeampaa. Lisäksi laajentunut polttoainevalikoima mm. kierrätyspolttoaineet, asettavat vielä tuntemattomia lisävaatimuksia erityisesti sen suhteen, että saadaan tasaisen lämpöarvon omaava polttoainevirta kattilaan häiriöttömästi.

2. Projektin tavoite

Projektin tavoitteena on kehittää kiinteän polttoaineen varastointi-, käsittely-, tasaus- ja laadunvarmistusjärjestelmä siten, että varmistetaan polttoaineen tasainen laatu laajenevassa polttoainerepertuaarissa sen ajettavuuden, käytettävyyden ja ohjattavuuden suhteen.

3. Projektin toteutus

Projekti toteutetaan BMH Wood Technology Oy:n johtamana yritysprojektina. Tutkimuslaitosapuolena on VTT Energia, jonka osuus liittyy varastointijärjestelmän kehittämiseen.

4. Projektin tulokset

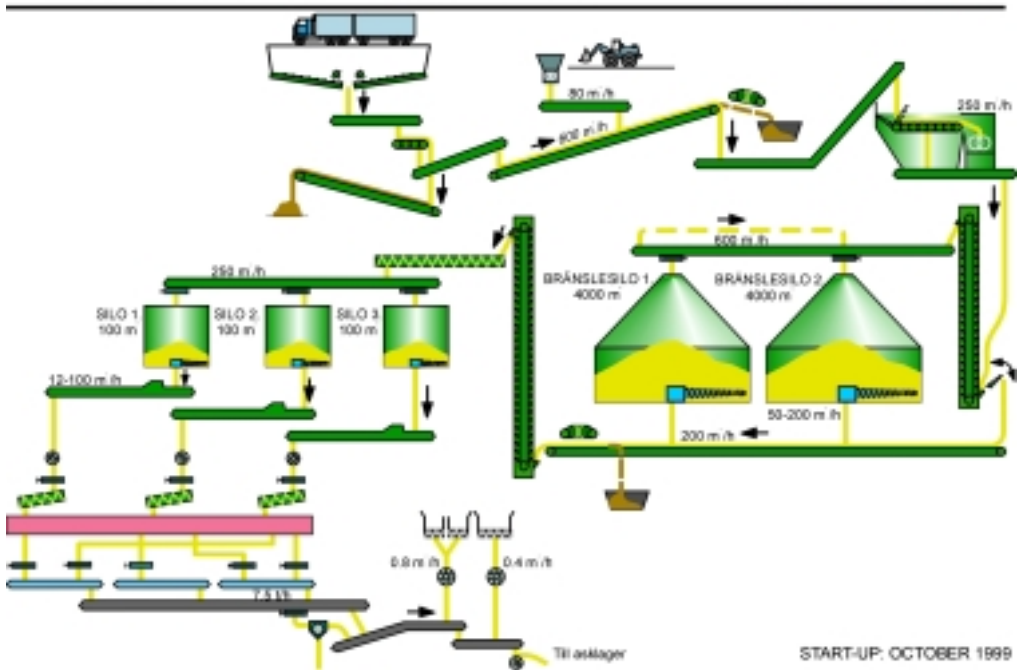
Projektin alussa päädyttiin tutkimaan ja kehittämään tasaus- ja laadunvarmistuslaitteistoa sekä varastosiilon täyttöä ja purkausta. VTT Energialta tilattu varastojärjestelmiin liittyvä tutkimusosuus on alkanut vuoden 2000 alkupuoliskolla.

Kiinteän polttoaineen tasaus- ja laadunvarmistuslaitteiston kehittäminen: projektisuunnitelmassa esitetyn tyyppinen koelaitteisto suunniteltiin ja rakennettiin BMH:n testitiloihin. Laitteistolla suoritettiin aluksi testiajoja perustoiminnan selvittämiseksi. Idea todettiin toimivaksi ja tämän jälkeen tehtiin koeajoja eri polttoaineilla mm. metsähakkeella. Tulokset olivat lupaavia ja ryhdyimme etsimään mahdollista demonstraatiokohdetta. Laitteen toimintaperiaatetta, sillä saatavettavia etuja sekä koelaitteistoa esiteltiin potentiaalisille asiakkaille ja käyttäjille. Lopulta päädyttiin yhteistyöhön Foster Wheeler Energia Oy:n kanssa. Laitteisto suunniteltiin ja valmistettiin demonstroitavaksi Stockholms Energi AB:lle Ruotsiin. Laitoksella käytetään monentyypisiä polttoaineita, puuta, jäte-

paperia ja kierrätyspolttoaineita. Demonstrointia on suoritettu alkuvuoden 2000 aikana.

Reference: Stockholm Energi AB

BMH Wood Technology



Kuva 1. BMH Wood Technology Oy:n toimittama kiinteän polttoaineen ja tuhkan käsittelyjärjestelmä Stockholms Energi Ab:lle, Ruotsiin.

Tukholmassa käytettävä polttoaine on erittäin vaikeasti käsiteltävää, sisältäen mm. paljon muovia, kangasta, kiviä, metalleja ja ylipitkiä kappaleita. BMH:n kehittämä materiaalivirran tasain on alustavissa tutkimuksissa osoittanut toimivaksi ratkaisuksi myös polttoaineseoksilla. Kattilasiilon jälkeen tilavuusvirran vaihtelu kapasiteettina mitattuna on suuruusluokkaa 50–150 im³/h. Materiaalivirran tasaimen jälkeen tilavuusvirta on 100 im³/h, 5 %:n heitto maksimisaan suuntaan tai toiseen.



Kuva 2. Materiaalivirran tasaimet ovat kiinteän polttoaineen sisäkäsittelyjärjestelmässä Stockholms Energi AB:lla, Ruotsissa.

Varastointi- ja siilojärjestelmän kehittäminen: Alkuperäisessä projekti-suunnitelmassa on varastointijärjestelmän kehitysosuudessa mm. siilon täyttölaitteen kehittämien. Myös kattilasiiloissa tasainen täyttö sekä eri polttoaineiden lajittumisen esto ovat kattilan toiminnan kannalta tärkeitä asioita. Projektin alkuvaiheessa siilon täyttölaitteisto suunniteltiin soveltuvaksi nimenomaan tyypillisten kattilasiilojen hallittuun täyttöön. Vastaavanlainen tarve on olemassa myös suuremmissa varsinaisten kenttävarastojen täytössä. Tähän paneudutaan sen jälkeen kun VTT Energialta tilatun tutkimusosuuden tulokset ovat käytettävissä. Kattilasiilojen täytön mitoitusparametrien selvittämiseksi tutkittiin muutamia tyypillisiä olemassa olevia siiloja. Siilon täyttölaitteen testaamiseksi päätettiin etsiä sopiva demonstraatiokohde. Useita vaihtoehtoja tutkittiin ja päädyttiin yhteistyöhön Kvaerner Pulping Oy:n kanssa. Kohde on Eskilstuna Energi & Miljö, Ruotsissa. Demonstrointia on tarkoitus suorittaa loppuvuoden 2000 aikana.

5. Tulosten hyödyntäminen

Projektin tähän mennessä saavutettuja tuloksia voidaan hyödyntää tarjoamalla kehitettyä tekniikkaa olemassaoleviin ja uusiin käsittelyjärjestelmiin. Tulokset

palvelevat Puuenergian teknologiaohjelman tavoitteita parantamalla puupolttoaineiden hallittua käyttöä voimalaitoksilla.

6. Projektin jatkosuunnitelmat

Edellämainittuja kehitettyjä laitteistoja testataan käytännön vaativissa olosuhteissa ja tehdään tarvittavaa jatkokehitystyötä. Varastointikehityksen osalta suoritetaan VTT Energialta tilattu tutkimusosuus ja laaditaan suunnitelma kehitettävistä kohteista. Kattilan syöttösystemejä ideoidaan ja valitaan kehityskohteita.

7. Projektissa syntyneet julkaisut ja raportit

Esite: BMH Wood Technology Oy; Bio solid fuel and ash handling system delivered to Stocholms Energi AB, Sweden

Seospolttoaineiden toimitus, käsittely, sekoittaminen ja syöttö MF2 – PUUY10

Timo Järvinen
VTT Energia, Jyväskylä
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. 014-672 692, faksi 014-672 597
e-mail: timo.jarvinen@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Multifuel handling and feeding (MF2 -project)

The use and variety of wood fuels has increased rapidly during last years in Finland. This has taken place because of boiler retrofits and new fluidised bed boilers (fuel flexibility), environmental (emission standards) and economical reasons (fiscal measures and subsidies). At the same time when the fuel variety and boiler technology has changed, the existing handling and feeding systems, although are still utilised. Normally the handling and feeding lines are designed for one fuel type, in most cases e.g. in Finland for peat fuels. This has emphasised the importance of fuel quality control and the effective mixing of different fuels and improving the feed control. The aims of the project are:

- sufficient and even fuel flow into the boiler,
- new methods, operation systems and equipment to Finland and export,
- increase of utilising new biofuels nearly with the existing facilities,
- no additional investment in new power plant projects.

The fuel quality control in delivery, handling system and boiler feed were studied in two existing power plants. For the development of screening a light nearly full-scale disc screen were realised. Because of corrosion and erosion problems material tests were carried out with new fuels against different

construction materials. Also the present level of solid biofuel co-firing in eight European countries and 20 plants were surveyed in a project partly financed by EU's ALTENER programme, AFB-net project.

1. Tausta

Puuperäisten polttoaineiden käyttö (sekä metsähakkeiden että teollisuuden sivutuotteiden) on lisääntynyt viime vuosina eri kokoluokan lämpö- ja voimalaitoksilla sekä metsäteollisuuden kattiloissa ja kasvun odotetaan jatkuvan edelleen. Puupolttoaineiden kaupan ja laadun kehittämiseksi on tehty myös Puupolttoaineiden laatuohje. Puupolttoaineiden käytön lisäämisen tärkeimmät perusteet ovat uusiutuva, ympäristöystävällinen energiapohja, omavaraisuus ja varmuus. Teollisuuden omien puupolttoaineiden hintakin on hyvin kilpailukykyinen. Päätehakkuiden hakkuutähdehake on kohtuullisilla kuljetusetäisyyksillä myös hinnallisesti nykyisin varteenotettava vaihtoehto. Teollisuuden voimantuotannon yksiköissä kuori ja muut puupolttoaineet poltetaan nykyisin poikkeuksetta seospolttona mm. turpeen ja lietteiden sekä teollisuusmurskeen kanssa kuorikattiloissa. Uutena ostopolttoaineena on tullut erityisesti hakkuutähdehake. Erillisessä voiman ja lämmöntuotannossa puupolttoaineet, jotka ovat olleet yleensä melko helposti syötössä käyttäytyviä purua ja sahojen puujätteitä, on poltettu seostettuna turpeen ja joskus kivihiilenkin kanssa. Sahojen sivutuotteiden laatu on noussut usein kuorenrepijainvestointien ansiosta. Kuitenkin suuria kausivaihteluita esim. kosteuspitoisuudessa havaitaan. Sahojen sivutuotteiden saatavuus vaihtelee pitemmällä aikavälillä. Varsinaisen uuden puupolttoainepotentiaalin muodostaa metsähakkeet. Siksi sekä kuorikattiloihin että erilliseen voimantuotantoon on tulossa enenevässä määrin hakkuutähdehakkeet ja jonkun verran kierätyspolttoaineet. Seospoltto on lisääntynyt myös pienemmissä kokoluokissa leijukerros polton yleistyessä.

Suuret vaihtelut polttoaineiden kosteuksissa ja energiatiheyksissä (esim. turve 0,8–1,3, kuori ja puru 0,5–0,9, metsätähdehake 0,7–0,9, liete 0,2–0,5 MWh/m³) ja tietyt erikoisominaisuudet (esim. kostea liete, kevyt kutterinpuru, lämpöarvoltaan korkea tai matala muovijäte) vaativat tehokasta sekoitusta jossakin vaiheessa ennen kattilaan syöttöä. Lisäksi uusien ostopolttoaineiden käsittely-, purkaus- ja syöttöominaisuudet eroavat nykyisistä teollisuuden omista ja erillisen voimantuotannon käyttämistä polttoaineista.

Seospoltossa sekoitus ja laaduntasaaminen korostuvat. Ensisijassa polttoaineen syötössä tärkeintä on saada riittävä polttoaine-energia kattilaan. Toiseksi polttoaine-energiamäärän on oltava säädettävä. Tämän edellytyksenä ovat energiatiheyden tasaisuus ja polttoaineen hyvät juoksevuusominaisuudet. Siihen vaikuttavat eniten eri polttoaineiden (seoksien) kosteus, lämpöarvo, irtotiheys ja partikkelikoko ja -muoto sekä kuitujen määrä. Tasainen ja hallittu polttoainevirta kattilaan vaikuttaa polton tasaisuuteen ja pienentää säädön tarvetta sekä vähentää polton aiheuttamia päästöjä ja pienentää tukipolttoaineiden, öljyn ja hiilen käyttöä.

2. Tavoitteet

Hankkeen tavoitteena on saada:

- Kattilaan riittävä, tasainen polttoainevirta
- Uusia menetelmä-, käyttö- ja laiteratkaisuja Suomeen ja vientiin
- Uusien polttoaineiden (esim. metsähakkeet, RF) käytön lisäys tapahduttava lähes nykyisillä laitteilla
- Uusissa laitoksissa investointitaso ei saa nousta.

3. Toteutus

Hanke on jaettu neljään osatehtävään:

- 1 Polttoaineen laadunhallinta toimituksessa ja laitoksen käsittelyjärjestelmässä sekä kattilan syöttö ja syötön säätö (Laitosseuranta)
- 2 Seulonta ja murskaus
- 3 Materiaalivalinnat ja paksuudet

- 4 AFB-net: Part 2 – Co-firing of biomass – evaluation of fuel procurement and handling in selected existing plants and exchange of information (EU:n Altener-ohjelma rahoittaa hankkeesta puolet).

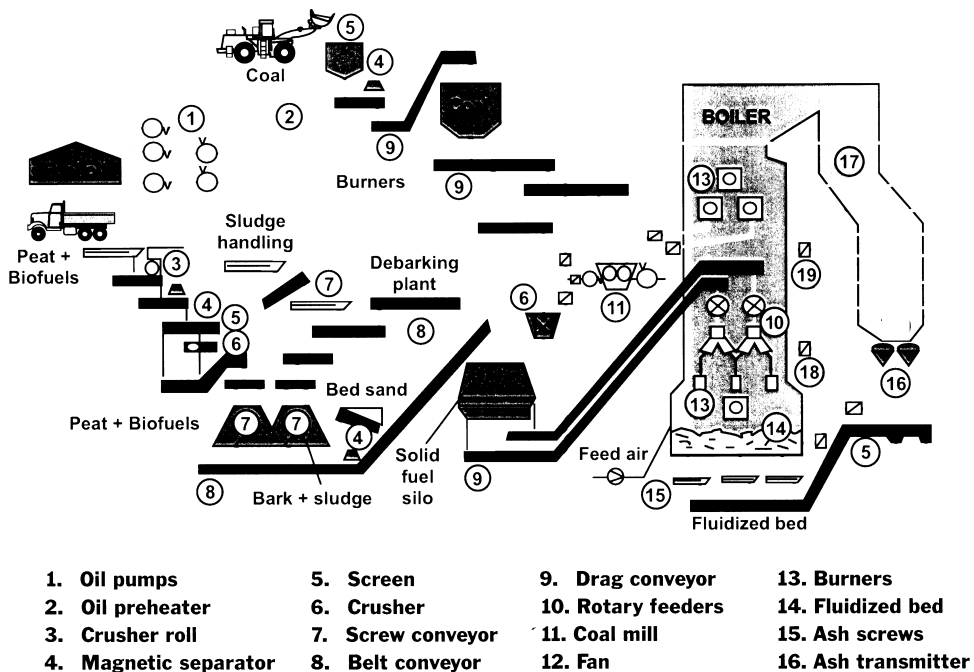
Projekti on toteutettu yhteistyössä VTT Energian ja osallistuvan yritysryhmän kanssa. Yritykset (16 kpl) edustavat laajasti Suomen energiaklusteria: polttoaineiden tuotanto, käyttö, laitevalmistus, järjestelmät. Hanke on yrityshankkeena Puuenergian teknologiaohjelmassa.

4. Tulokset

4.1 Laitosseuranta

Ensimmäisessä osatehtävässä tehtiin n. kaksi viikkoa kestäneet laitosseurannat koskien UPM-Kymmene Oy:n Kaipolan kuorikattilan (105 MW_{th}) ja Fortum Power and Heat Oy:n Hämeenlinnan voimalaitoksen kerrosleijukattilan (60 MW_{th}) polttoaineen vastaanottoa, käsittelyä ja syöttöä. Kuvassa 1 on Kaipolan syöttölinja ja kuvassa 2 vastaavasti linjakuva Hämeenlinnasta. Kummankin laitoksen ostopolttoaineen käsittely- ja syöttölinjat on suunniteltu jyrshinturpeelle. Kaipolan linjassa on lisäksi huomioitu palaturpeen käyttö.

Kaipolan kuorikattilan kiinteät polttoaineet ovat oma kuori, lietteet, ostopuupolttoaineet, turve ja hiili. Ostopuupolttoaineet sisältävät sahojen purua, jonkin verran kuorta sekä metsätähdehaketta.



Kuva 1. UPM-Kymmene Oyj:n Kaipolan kuorikattilan polttoaineen käsittelyjärjestelmä.

Hämeenlinnan kerrosleijukattilan polttoaineet ovat jyrshinturve ja sahojen puru, jossa voi olla vähän kuorta, sekä metsähake. Ensimmäisen koeviikon aikana poltettiin jäteperustaista RF-polttoainetta, joka tuli Pirkanmaan Jätehuolto Oy:stä. RF-polttoaine seostettiin turpeeseen. Toisen viikon aikana poltettiin metsätähdehaketta eri suhteissa turpeen kanssa.



Kuva 2. Fortum Hämeenlinnan voimalaitoksen syöttölinjaa, etualalla väli-varasto.

4.1.1 Polttoaineen laadunhallinta toimituksessa ja laitoksen käsittelyjärjestelmässä

Kaipolan kokeissa polttoaineiden sekoittaminen tapahtui vastaanottoasemassa kuormittain sekä pyöräkuormaajalla seuraavasti: jyrshinturve/kuori+liete, metsähake/turve, metsähake/puru ja sekoittumista verrattiin mm. valmiisiin kuormiin tehtyihin seoksiin (metsähake/turve). Sekoittuminen selvitettiin näytteenotolla ja kameratekniikalla. Kaikilla em. järjestelyillä saatiin kohtuullinen seostuminen ennen välivarastoa. Sekoitusastetta voidaan parantaa sekä huolellisuudella että kehittämällä autojen purkauksen säätöä. Myös kahden auton yhtäaikainen purkaminen on mahdollista kapasiteetin olennaisesti muuttumatta. Kaipolan vastaanotossa on tasku, jonka koko on 200 m³ ja siihen voidaan purkaa perä- ja sivupurkuautot sekä taskun päästä taakse kippaavat autot. Vastaanoton

siirtokapasiteetit olivat seoksilla ja hakkeilla pienemmät kuin alunperin jyrshinturpeelle suunniteltu siirtoteho. Valmiit seokset eivät uudelleen lajittuneet ja niiden purkaus vastasi lähinnä jyrshinturpeen purkausta. Puhdasta metsähaketta ei voinut purkaa vastaanoton ritilän läpi. Sen sijaan turve/hake seos (50/50) ei hollannut ritilälle juuri normaalia jyrshinturvetta pahemmin.

Hämeenlinnassa polttoaineen vastaanotto tapahtuu läpiajettavassa peräpurkuvastaa-otossa yliajettavalle kolakuljettimelle. Sekoittumista tutkittiin siten, että n. 25 til.-% RF-polttoainetta oli kuormattu peräpurkuautossa pohjalle ja sen päälle oli kuormattu jyrshinturve (n. 75 til.-%). Metsähaketta sekoitettiin turpeeseen myös pyöräkuormaajalla. Normaalisti metsähake tulee laitokselle erillisinä kuormina. RF- ja turveseoksien purkauksessa ei voitu hyödyntää pelkällä turpeella käytettävää loppukuorman purkauksen nopeuttamista. Kuormatilojen purku oli jaksottaista, koska RF-materiaali ”kantoi” turvetta päällä ja seos muodosti suurehkoja kasoja.

4.1.2 Seulan ja murskaimen toiminta

Kaipolan seula ja murskain on suunniteltu turpeelle. Murskain on kaksiroottorinen hidaskäyntinen kantomurskain, joka soveltuu myös palaturpeelle. Seula ja murskain toimii nykyisillä kapasiteeteilla hyvin useimmilla polttoaineilla ja seoksilla. Eri toimittajien metsähakkeesta tuli hyvin vähän ylitettä murskaimelle. Jos palaturpeen määrä kasvoi, niin ylitettä murskaimelle kasvoi selvästi. Vastaanotto-välivarastolinjan maksimikapasiteetin nosto saattaisi aiheuttaa ongelmia seulonnessa.

Hämeenlinnassa on pelkkä kiekko-seula ja ylite tulee ulos pienen katoksen alle, josta se kierrätetään uudelleen pyöräkuormaajalla vastaanottoon tai kentälle erikseen murskattavaksi. RF-seoksen seulonnessa tuli ylitettä runsas 10 % syötetystä RF-määrästä. Ylite tuli panoksittain, koska se kasaantui jyrshinturpeelle suunnitellun kiekko-seulan purkupäähän ja tuli osittain mattonakin ulos (kuva 3). Ylitteessä oli suhteellisen vähän turpeen kantoja ja kameja. Metsähake/turve seoksella lähes kaikki ylite tuli turpeesta. Jonkun verran haketta saattoi kulkea patajana seulan purkupäähän asti. Seulan alkupään kiekko-väli on pienempi kuin loppupäässä.



Kuva 3. RF-seulaylitettä Hämeenlinnan voimalaitoksella.

4.1.3 Välivarasto ja varastopurkaimien toiminta

Kaipolan välivarasto on suorakaidepohjainen ja sen tilavuus on 8 000 m³. Polttoaineet tuodaan välivarastoon siten, että toiseen päähän tulee lähinnä jyrsin- ja palaturve, keskelle ostopuupolttoaineet ja toiseen päähän oma kuori ja lietteen. Varasto puretaan kahdella liikkuvalla purkainruuvilla, joilla muodostetaan haluttu polttoaineseos. Kasojen muodostuminen ja muoto riippuu polttoaineesta: asettumiskulmassa on suuria eroja eri polttoaineiden välillä ja kulma muuttuu kasan muodostumisen aikana. Turve- ja purukasat ovat ”laakeita” ja metsähake sekä kuori-lieteseoskasat teräviä. Palaturpeen palat ja suuremmat lietepartikkelit vyöryvät kasojen reunoille. Varastoon jää vaihtumattomia kerroksia ruuvien lyhydestä johtuen.

Kaipolan välivaraston purkaimet ottavat selvästi suurempia tehoja kuorilietteellä, metsähakkeella (ostopuupolttoaineella) kuin turpeella. Vastaavasti varastokasojen dynaamisten paineolojen mittaukset näyttivät suurimmat leikkausvoimat kuori-liete -seokselle ja seuraavaksi suurimmat ostopuupolttoaineelle (myös metsähaketta) ja pienimmät turpeelle. Laitoksen käyttökokeemukset tukevat tätä siten, että eniten kuluu kuori-lietepäässä ja keskikasassa liikkuva ruuvi ja vähiten turvekasan alla oleva purkain. Painemittauksista pystyttiin myös laskemaan myös eri materiaalien sisäiset kitkat ja kitkakulmat. Mittaustuloksista lasketut sisäisen kitkakulman arvot turpeella ovat lähellä kokeellisia virtauskulman arvoja ja suuremmilla laitteilla mitattuja kitkakulman arvoja. Tietoja voidaan käyttää silojen ja purkaimien mitoituksessa.

Hämeenlinnassa on pyöreäpohjainen kiertävällä ruuvipurkaimella varustettu siilo, jonka tilavuus on 600 m³. Varastossa ei havaittu suuria holvinmuodostuksia eikä ”reikiä”. Välivaraston purkaus kattilan syöttösiilon näkyy kuitenkin vain toisessa pintamittauksessa, koska ruuvi täytti jo puolen kierroksen aikana syöttösiilon. Ruuvipurkaimen kiertoliike on hyvin hidas. Tällöin on mahdollista, että polttoainekasan pinta elää kiertoliikkeen mukaan epätasaisesti ja seuraavan kuorman polttoaine leviää pääosin siilon toiselle puolelle. Myös painemittauksissa näkyy toispuoleisuutta, mutta se johtui todennäköisesti erityyppisistä antureista kummallakin puolella välivarastosiiloa. Kuitenkin kattilan syöttösiilon jälkeisellä kolakuljettimella sekä RF-polttoaine että metsähake olivat hyvin sekoittuneet turpeeseen.

4.1.4 Kattilan syöttö

Kattilan syötössä tutkittiin polttoaineen jakautumista ja mahdollista lajittumista syöttösiilon sekä polttoainesyötön tasaisuutta so. polttoaineiden jakautumista syöttökolakuljettimille.

Kaipolassa syöttösiilon muodostuu täyttötavasta johtuen toispuoleinen kasa, jolloin hyvin vierivät polttoaineet kuten palaturve ja lietepartikkelit joutuvat herkemmin toiselle kolakuljettimelle. Kuitenkin kattilaan tullessa syöttö pystytään uudelleen hyvin tasaamaan kolmella syöttötorvella ja luukku/jakojärjestelmällä. Syöttöön tulevan polttoaineseoksen laatu so. sopiva seos kutakin ajotilannetta ja höyrynkulutusta varten, tehdään välivarasto-

purkaimilla. Myös seurannan aikana tuli esille tilanne, jossa välivaraston polttoaineen laatu ei pystynyt vastaamaan höyrynkulutukseen ja toiselle kolakuljetimelle syötettiin tällöin hiiltä. Välivaraston purkaimet liikkuvat niin hitaasti että, jos ne polttoaineen laadun (energiasisältö) kannalta ovat ”väärissä” paikoissa tai varastossa on liian ”energiaköyhää” polttoainetta, niin hiiltä on pakko käyttää.

Hämeenlinnan voimalaitoksella polttoaineet eivät lajittuneet syöttösiilossa ja tulivat siilosta ulos pääsääntöisesti hyvin sekoittuneina. Leikkauspaineen mittauksissa ja syöttösiilon purkausruuvien moottoreiden ottamassa tehossa polttoaineen ja seoksien muutokset näkyivät kuitenkin selvästi. Polttoaineen syötön säätö toimi hyvin turpeella ja hake-turveseoksilla, mutta RF-polttoaineella syötön säätö oli vaikeampaa.

4.2 Seulonnan kehittäminen

Seulonnan kehittämiseksi on tehty kiekoseula koetoimintaa varten. Koeseula on tehty mahdollisimman helposti muunneltavaksi ja kustannuksiltaan edulliseksi. Se instrumentoidaan mittauksia varten. Seulan kiekot ovat muovia. VTT Energialla on jo olemassa ensimmäinen prototyyppi seulasta (kuva 4). Kyseisellä rakenteella päästään nopeasti tutkimaan puhtaiden polttoaineiden sekä seosten käyttäytymistä eri seulaparametrien funktiona. Tietoja käytetään seulasuunnittelussa sekä seoksien seulonnassa laitoksilla.



Kuva 4. VTT Energian koeseula.

Seulontatuloksia pyritään myös vertaamaan jälkimmäisen laitosseurantakohteen seulan toimintaan erityisesti RF-polttoaineella.

4.3 Materiaalivalinnat ja paksuudet

Materiaalivalinnat ja -paksuudet osatehtävässä on testeissä käytettäviksi polttoaineiksi valittu seuraavat polttoaineet: referenssipolttoaineena on bagasse (sokeriruokojäte) ja muita polttoaineita ovat jrsinturve, kuusen kuori, metsätähdehake ja RF-polttoaine. Tavoitteena on tutkia erityisesti pintapaineen ja eroosioasteen vaikutusta kulumisnopeuteen tiettyjä rakennemateriaaleja vasten. Pintapaineen vaikutusta pyritään simuloimaan kasvattamalla polttoaine-slurryn virtausnopeutta testilaitteistossa ja toisaalta eroosioastetta vaihdellaan polttoaineen joukossa olevan hiekan määrää muuttamalla.

4.4 Cofiring (Rinnakkaispoltto)

Cofiring-tehtävässä on tavoitteena tarkastella eri tyyppisiä biomassan rinnakkaispolttoratkaisuja, joita eri Euroopan maissa on toteutettu kokemuksen, tiedon ja osaamisen levittämiseksi. Hanke on myös EU:n ALTENER-ohjelman

AFB-net-hankkeen osatehtävä. Hankkeessa kunkin osallistujamaan organisaatio (8) käy läpi oman maansa rinnakkaispolttoratkaisuja: kaikkiaan laitoksia on 20 kappaletta. VTT Energia on hankkeen koordinaattori. Laitokset on pyritty käymään läpi tietyn suunnitelman mukaisesti. Kustakin kohteesta tehdään ”Laitosraportti” ja näistä raporteista ja muusta projektin materiaalista kootaan myöhemmin julkinen yhteenvetoraportti. Laitoksien kokemuksia rinnakkais- tai seospoltosta tarkastellaan myös hankkeen loppuseminaarissa syksyllä 2000 (14.–15.9) Ranskassa. (<http://afbnet.vtt.fi>)

5. Tuloksien hyödyntäminen

Hankkeen tulokset ovat hyödynnettävissä puupolttoaineiden käytössä laitoksilla sekä laitevalmistajien toimesta menetelmien ja laitteiden kehittämisessä. Projektissa pyritään myös tuottamaan tietoa, jota voidaan suoraan hyödyntää niillä voimalaitoksilla, joita seurattiin tarkemmin.

6. Projektin jatkosuunnitelmat

Projektin tuloksien soveltamiseksi ja vaikutuksen selvittämiseksi on suunniteltu jatko-hanketta, jossa tarkastellaan joko lähemmin seuratuissa yksiköissä tai muilla osallistuvien yritysten voimalaitoksilla tuloksien soveltamisen onnistumista. Tämä koskee sekä yksittäisiä laitteita että koko käsittely- ja syöttölinjaa. Tavoitteena on myös, että jatkohankkeessa hyödynnetään VTT Energian kiinteän polttoaineen käsittelyn ja syötön kehittämissympäristöä, joka suunnitellaan osittain myös Jyväskylän Teknologiakeskuksen rahoituksella.

Projektin tuloksia hyödynnetään myös jatkuvasti luottamuksellisissa osallistuvien yritysten kanssa tehtävissä yrityshankkeissa.

7. Julkaisut ja raportit

Projekti on Puuenergian teknologiaohjelman yrityshanke, joten raportit ovat pääsääntöisesti luottamuksellisia. Yleiset mahdollisesti puuenergian käyttöä lisäävät tiedot julkaistaan teknologiaohjelman vuosikirjoissa.

Järvinen, T. & Alakangas, E. Cofiring: Analysis of fuel systems for co-firing of biomass in the 20 existing plants in Europe. 1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, Sevilla 5.–10.6.2000. 5 s.

Ilmanpaineisen CFB-kaasutustekniikan kehittäminen – PUUY09

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

Abstract

Project title in English: Further development of atmospheric CFB gasification technology

Atmospheric CFB Gasifier pilot plant was planned, constructed and commissioned. The capacity of the gasifier is 3 MW_{th}. The gasifier is suitable for gasifying wood, agrobiofuels like straw and various wastes (RDF). In commissioning, wood chips and saw dust were gasified. The gasifier performance was good. The objective of the project is to develop the atmospheric CFB gasification technology capable to gasify various new biofuels, waste fractions and plastics and mixtures thereof, and to produce clean gas that can be safely co-combusted in existing coal, oil or natural gas fired boilers.

1. Projektin tausta

Ilmanpaineinen CFB-kaasutustekniikka kehitettiin Suomessa 1980-luvun alussa. Ensimmäiset neljä kaupallista laitosta käynnistyivät 1983–1985. Nämä laitokset sijaitsevat Suomessa, Ruotsissa (2 kpl) ja Portugalissa. Kaikki kaasuttavat kuivattua kuorta ja puujätettä. Kaasu käytetään polttoaineena sellutehtaiden meesa-uuneissa öljyn asemesta. Em. laitosten investoinnit perustuivat siis kalliin öljyn korvaamiseen halvalla polttoaineella. Halpa öljy romahdutti mielenkiinnon kaasutinin investointeihin v. 1985 jälkeen.

Huoli kasvihuonekaasujen vaikutuksesta maapallon ilmastoon ja muut ympäristösyöt herättivät mielenkiinnon uusiutuvien polttoaineiden hyväksikäyttöön 1990-luvun jälkipuoliskolla. Myös kaasutus nousi taas esille yhtenä prosessivaihtoehtona. Lahden THERMIE-demonstraatioprojekti uudesta kaasutinkyt-kennästä olemassaolevaan hiilipölypolttokattilaan herätti ja herättää edelleen valtavasti mielenkiintoa. Tässä vaiheessa oli selvää, että tuotekaasu joudutaan puhdistamaan pyrittäessä hyödyntämään biopolttoaineiden ohella kierrätyspolttoaineita yleisesti. Foster Wheeler Energia Oy päätti tällöin v. 1997 käynnistää uudelleen kaasutustekniikan ja kaasun puhdistuksen kehitystyön Karhulan T&K-keskuksessaan. Ensimmäinen osaprojekti oli CFB-kaasutinpilotin ja kaasutinlaboratorion modernisointi ja käyttöönotto.

2. Tavoite

Projektin tavoitteena on kehittää edelleen CFB-kaasutustekniikkaa soveltuvaksi kaasuttamaan ominaisuuksiltaan vaihtelevia biomassoja ja ns. kierrätyspolttoaineita. Tuotekaasu puhdistetaan soveltuvaksi käytettäväksi aluksi hiili- ja öljykattiloissa, myöhemmin myös kaasukattiloissa, moottoreissa ja kaasuturbiineissa.

3. Projektin toteutus

3.1 Pilot-kaasutusprosessin suunnittelu

Pilot-kaasutusprosessin yksityiskohtainen suunnittelu aloitettiin lokakuun 1997 alussa. Suunnitteluprosessissa olivat seuraavat vaiheet:

- Layout-suunnittelu Karhulan tutkimuskeskuksen tiloihin,
- Turvallisuussuunnittelu,
- Pilot-kaasuttimen kunnostustöiden ja modifioinnin suunnittelu,
- Polttoainejärjestelmän suunnittelu,
- Tuhkajärjestelmän suunnittelu,

- Kaasun jäähdyttimen suunnittelu,
- Kaasun polttolaitteen suunnittelu,
- Kaasun pesujärjestelmän suunnittelu,
- Instrumentointisuunnittelu ja
- Mittaussuunnittelu.

Suunnitteluvaihe oli varsin laaja, koska olemassa oleva kaasutinpilot-laitteisto ei enää sellaisenaan soveltunut tämän projektin tarpeisiin. Pääosa laitteista oli peräisin 1980-luvun alkupuolelta.

3.2 Pilot-prosessin rakentaminen

Kemikaalilain edellyttämä lupamenettely käynnistettiin 11.11.1997. Samalla aloitettiin myös turvallisuuden vaatimat osastointityöt, joilla koelaitetila erotetaan kaasutiiviisti muista koehallitiloista.

Koelaitteen rakennustyöt aloitettiin noin joulukuun 1997 alussa olemassa olevan pilot-kaasuttimen kunnostuksella ja muutostöillä.

Laitetilaukset tehtiin suunnitteluvaiheen lopussa. Laitteiston asennus jatkui eräiden komponenttien pitkien toimitusaikojen vuoksi vielä kesällä 1998.

Asennustyöt tehtiin sekä oman henkilökunnan että alihankkijoiden toimesta. Mm. kaasunjäähdyttimen paineastiatyöt jouduttiin teettämään.

Keväällä 1998 palkattiin yksi uusi tutkimusinsinööri ja yksi laborantti kaasutuskokeiden hoitamiseksi.

Pilot-prosessin oli valmis kylmäkäyttökokeita varten elokuussa 1998.

4. Tulokset

Kaasuttimen oheislaitteiden, mittausten, ohjausjärjestelman ja turvalukitusten koestus aloitettiin elokuussa 1998. Havaitut puutteet korjattiin välittömästi.

Kaasutuskokeisiin päästiin syyskuun 1998 puolivälissä (viikko 38/98). Kahden viikon mittaiseksi suunnitellussa kokeessa kaasutettiin hakkeen ja sahanpurun seosta. Kaasutuskoe oli Pilot-kaasuttimen käyttöönottokoe, eikä sen onnistumista haluttu vaarantaa uudella polttoaineella.

Kaasutuksen aikana prosessi käyttäytyi erittäin hyvin ja tasaisesti. Kaasun lämpötila jäähdyttimen jälkeen oli 300 °C, mikä vastasi tarkasti mitoitusta. Kaasu poltettiin soihdussa.

Kaasutusaika oli riittävä kahden taseen ajamiseksi, joiden aikana saatiin analysoiduksi kaasun koostumus. VTT Energia otti myös tervanäytteet kaasusta.

Kuivan kaasun koostumus vaihteli seuraavissa rajoissa:

Komponentti	Pitoisuus mol-%
CO	21.2–22.0
H ₂	6.2–6.0
CH ₄	5.9–6.1
C ₂ H ₄	2.2–2.3
C ₂ H ₆	0.3
CO ₂	14.6–14.4
N ₂	49.6–48.9

Kaasun lämpöarvo oli 5.93–6.32 MJ/m³n, mitä voidaan pitää varsin hyvänä arvona.

Samalla käynnistettiin myös seuraavan koevaiheen suunnittelu. Kaasun puhdistusta parannettiin rakentamalla sekundäärisykloni kaasun jäähdyttimen jälkeen. Syklonilla pyritään erottamaan kaasun sisältämää noki- ja tuhkapitoisuutta ja pienentämään siten kaasun polttolaitteeseen menevää pölykuormaa. Edelleen

rakennettiin kaasulinja CFB Compact -pilotille, jossa tullaan polttamaan valtaosa tuotekaasusta. Osa poltetaan poltinpolttona alkuperäisessä polttokammiossa.

Tavoitteena oli selvittää, onko yksinkertaisella syklonierottimella saavutettavissa riittävä kaasun puhtausaste polttoa ajatellen. Jatkokokeissa (tämän projektin ulkopuolella) todettiin, että sykloni ei soveltunut kaasun puhdistukseen pölyn erottumisominaisuuksien vuoksi. Syklonin erotusaste jäi parhaimmillaankin tasolle 60–70% kokonaispölystä.

5. Jatkosuunnitelmat

Seuraavan koevaiheen polttoaineena käytettiin aluksi puuhaketta ensimmäisen kahden viikon kampanjan aikana. Jatkossa tutkitaan ensisijaisesti sopivaa heinämäistä biomassaa kokemuksen saamiseksi tällaisista polttoaineista.

Tapahtuneiden yhteydenottojen perusteella päädyttiin olkeen, jota kaasutuskoetta varten lupautui toimittamaan tanskalainen Elkraft. Olki saatiin pelletoituna, jolloin voitiin keskittyä prosessin hallintaan syöttöongelmien ratkomisen asemesta.

Alkuperäinen tavoite oli kaasuttaa myös olkea vuoden 1998 lopulla, mutta koeajo siirtyi kuitenkin vuoden 1999 puolelle. Se toteutettiin onnistuneesti helmi-maaliskuussa 1999. Ko. koetta varten Tekes on myöntänyt lisärahoitusta, ja tulokset on raportoitu uuden projektin puitteissa.

6. Yhteenveto

Ilmanpaineisen CFB-kaasutinpilotin modernisointi osoittautui arvioitua kalliimmaksi projektiksi. Suurin yksittäinen tekijä kustannusarvion ylitykseen oli turvallisuuden vaatima osastointityö.

Syyskuussa 1998 tehdyssä ensimmäisessä kaasutuskokeessa kaasutettiin varsin hyvin tuloksin hakkeen ja sahanpurun seosta.

Pelletoidun oljen kaasutuskoe siirtyi vuoden 1999 alkuun ja se on raportoitu uuden Tekes-projektin puitteissa.

Jo tässä vaiheessa saadun palautteen ja kontaktien perusteella investointi toisen sukupolven ilmanpaineiseen kaasutinpilot-laitteeseen on osoittautunut oikeaksi. Pilot-kokeet tukevat tekniikan kehitystä ja markkinointia voimakkaasti.

Seurannaisvaikutukset

Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsän uudistamiseen – PUUT10

Timo Saksa

Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema

77600 Suonenjoki

Puh. 017-513 811, faksi 017-513 068

e-mail: timo.saksa@metla.fi

Abstract

Project title in English: Effects of slash removal on forest regeneration

The amount of slash (logging residue) remaining on regeneration plots in the removal and variations in slash amounts are surveyed. In addition, implementation and quality of soil tillage and forest regeneration at test plots with and without slash are studied, and regeneration results in practice in relation to slash amounts are compared. Research results can be utilised in the development of soil tillage methods and in the mechanisation of forest regeneration.

In regeneration plots, the average coverage of soil tillage was similar at slash removal plots and at plots with slash. Nevertheless, the amount of slash was found to degrade the soil tillage result essentially. Apparently, the aim was to achieve the same result in soil tillage independent of slash amount, and hence the plots with slash are tilled more "intensively". Differences due to slash removal in planting and natural regeneration were insignificant. At spruce and silver birch tillage cultivation plots, slash removal contributed to natural regeneration and hence improved the regeneration result. The amount of slash in regeneration fields had no effect on the height increment of wood plants during the first 2–4 years.

1. Tausta

Metsähakkeen käyttö energialähteenä on 1990-luvun puolivälistä lähtien kaksinkertaistunut vuosittain. Vuonna 1998 hakkuutähdettä arvioitiin käytetyn 342 000 m³ (Hakkila ym. 1998). Jatkossakin puun energiakäytön kasvu tulee suurelta osalta perustumaan metsähakkeen käytön lisäämiseen, joka merkitsee nimenomaan uudistushakkuualojen hakkuutähteen lisääntyvää käyttöä.

Uudistushakkuissa syntyvän hakkuutähteen laajamittaisen korjuun on arvioitu vaikuttavan metsänuudistamisen ratkaisuihin ja tekniikkaan. Uudistusaloilta tehtävän hakkuutähteen korjuun on arvioitu vaikuttavan mm. seuraavilla tavoilla metsänuudistamiseen (Hakkila ym. 1998):

- muokkaus aikaistuu jopa kahdella vuodella
- muokkausjälki paranee
- tasaisempi viljelytulos ja luontainen taimettuminen
- vähentää taimien peittymistä hakkuutähteeseen
- hillitsee pintakasvillisuuden rehevöitymistä
- istutus- ja kylvötyön laatu paranee ja kustannukset alenevat
- viljelyn koneellistaminen helpottuu
- hakkuutähteen antama suoja taimille vähenee.

Hakkuutähteen määrällä saattaa olla merkitystä myös tukkimiehintäin aiheuttamien tuhojen määrään.

Hakkuutähteen korjuusta maan ravinnevaroihin koituvia haittoja ja hyötyjä on puntaroitu useassa yhteydessä viime aikoina (Kukkola & Mälkönen 1998, Hakkila ym. 1998). Kasvatusmetsässä harvennushakkuun yhteydessä tehtävän hakkuutähteen korjuun on todettu ainakin kuusikoissa alentavan puuston tuotosta jatkossa (Kukkola & Mälkönen 1997). Harvennushakkuussa hakkuutähteestä vapautuvat ravinteet ovat jäävän puuston käytettävissä, mutta avohakkuualalta vastaava hakkuutähteistä vapautuvia ravinteita hyödyntävä puusto ensimmäisinä vuosina puuttuu. Niinpä avohakkuualalla, erityisesti hakkuutähdekasautumista

vapautuvista ravinteista (Rosén & Lundmark-Thelin 1987) osan on todettu huuhtoutuvan pinta- ja pohjavesiin (Ahtiainen 1988).

Edellä esitettyjen arvioiden lisäksi hakkuutähteen korjuun vaikutuksia metsänuudistamiseen ja taimikon alkukehitykseen ei meillä juurikaan ole tutkittu. Eräässä Bioenergian tutkimusohjelmaan kuuluneessa projektissa selvitettiin yhden demonstraatioluonteisen kenttäkokeen avulla maanmuokkauksen tehokkuutta ja istutustyön laatua hakkuutähteen määrän suhteen. Tutkimuksen mukaan hakkuutähteen korjuun jälkeen muokkausjälki peitti lähes 30 % maanpinnasta. Kun hakkuutähteitä ei oltu poistettu ylsi muokkauksen peittävyys reiluun 20 %:iin. Hyvien istutuskohtien määrää kuvaava muokkauksessa paljastuneen kivennäismaan osuus nousi hakkuutähteen korjuun ansiosta 5–6 %:sta 10 %:iin pinta-alasta (Oijala ym. 1999). Hankkeen lyhyestä kestosta johtuen koeksessa ei vielä voitu selvittää hakkuutähteen korjuun vaikutuksia varsinaiseen uudistamistulokseen.

Hakkuutähteen määrästä maanmuokkaukseen, metsänviljelyyn ja uudistamistulokseen aiheutuvien vaikutusten selvittämiseksi ja uusien metsänuudistamisratkaisujen ja tekniikoiden kehittämisen perusteiksi tarvitaan tutkimustietoa. Hakkuutähteen korjuun voidaan perustellusti arvioida lyhentävän uudistamisaikaa, pienentävän uudistamiskustannuksia ja edesauttavan metsänviljelyn koneellistumista. Hakkuutähteen korjuusta metsänuudistamiselle koituvien vaikutuksien tunteminen edistää hakkuutähdehakkeen käytön kasvua ja osaltaan edesauttaa hakkuutähdehakkeen hankintakustannusten pysymistä alhaisella tasolla.

2. Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on antaa luotettava ja yleistyskelpoinen kuva hakkuutähteen korjuun vaikutuksista maanmuokkaukseen, metsänviljelyyn, uudistamistulokseen ja taimikon alkukehitykseen.

Tutkimuksessa selvitetään uudistusaloille hakkuutähteiden korjuussa jäävän hakkuutähteen määrää, maanmuokkausjäljen laatua ja metsänviljelytyön laatua käytännön uudistusaloilla. Lisäksi tutkitaan maanmuokkaus- ja metsänviljelytyön suoritusta hakkuutähteettömillä ja hakkuutähteellisillä koealueilla sekä verrataan metsänuudistamistulosta, istutustulosta ja luontaista taimettumista

suhteessa hakkuutähteen määrän. Tutkimuksen tulokset ovat hyödynnettävissä maanpinnankäsittelyn menetelmäkehityksessä sekä koneellistettaessa 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). Seuraavassa esitetään lyhyesti osatehtävä A:n tuloksia.

3.1 Maanmuokkausjälki ja uudistamistulos hakkuutähteen korjuun jälkeen

3.1.1 Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksen aineisto kerättiin 2–4 vuotta vanhoilta istutusaloilta Etelä-Savosta (Mikkelin seutu), jossa hakkuutähteen korjuuta laajenevassa mittakaavassa on tehty jo 1990-luvun alkupuolelta alkaen (Saksa & Auvinen 1996). Tutkimuskohteeksi valittiin uudistusaloja, joilta hakkuutähteen oli korjattu ennen maanmuokkausta sekä aloja, joilta hakkuutähteen ei oltu korjattu. Mitatut kohteet sijaitsivat Mikkelin kaupungin mailla sekä yksityismailla, joista osa oli UPM-Kymmene Oyj:n hoitosopimustiloja. Hakkuutähteen korjuukohteita etsittäessä valittiin, jos mahdollista, samalla tilalla oleva saman ikäinen hakkuutähteellinen uudistamiskohde. Hakkuutähteellisten kohteiden määrä täydennettiin pienellä otannalla metsänhoitoyhdistyksen rekistereistä. Hakkuutähteelliset kohteet pai-

noittuivat hieman hakkuutähteen korjuukohteita enemmän yksityismaille. Maanmuokkausmenetelmänä oli käytetty pääosin äestystä.

Kaikkiaan syksyn 1999 aikana mitattiin 50 uudistusaloja (taulukko 1). Näistä 22:lla kohteella hakkuutähdettä ei oltu kerätty lainkaan tai hakkuutähteen korjuu oli ollut niin vähäistä, ettei uudistusalan maastossa arvioitu poikkeavan hakkuutähteellisistä kohteista. Vastaavasti 28 kohteessa hakkuutähteen korjuu oli onnistunut vähintään normaalisti. Kasvupaikaltaan kohteet olivat pääasiassa tuoreen kankaan uudistusaloja, mutta sisälsivät myös lehtomaista kangasta ja kuivahkoa kangasta käsittäviä osia. Istutuspuulajina oli käytetty kuusta, rauduskoivua, mäntyä ja lehtikuusta. Usealla kohteella viljelyssä oli käytetty kahta tai useampaa puulajia.

Taulukko 1. Yleistietoja tarkastetuista uudistusaloista ja niille sijoitetuista inventointikoealoista.

Hakkuutähteen korjuuaste	Uudistusaloja	Viljelyvuosi			Istutuspuulaji			
		-95	-96	-97	Mänty	Kuusi	Rauduskoivu	Lehtikuusi
Ei lainkaan korjuuta	16	8	4	4	1	8	7	-
Saanto heikko	6	-	5	1	2	3	1	-
HT:t korjaamatta	22	8	9	5	3	11	8	-
Saanto normaali	23	7	10	6	5	10	7	1
Saanto hyvä	5	-	2	3	1	1	3	-
HT:t korjattu	28	7	12	9	6	11	10	1

Hakkuutähteen korjuuaste	Inventointikoealoja	Koealojen kasvupaikkajakauma, %				
		Lehto	Lehtom. kangas	Tuore kangas	Kuivahko kangas	Kuiva kangas
Ei lainkaan korjuuta	321	0,3	22,1	70,4	7,2	0,0
Saanto heikko	122	0,0	4,9	77,1	18,0	0,0
HT:t korjaamatta	443	0,2	17,4	72,2	10,2	0,0
Saanto normaali	457	1,1	9,2	69,6	19,9	0,2
Saanto hyvä	98	0,0	10,2	66,3	23,5	0,0
HT:t korjattu	555	0,9	9,4	69,0	20,5	0,2

Maanmuokkausjäljen arvioinnissa ja uudistamistuloksen mittauksessa käytettiin systemaattista linjoittaista ympyräkoealaotantaa. Koealan kokona oli 20 m², jolloin kukin taimi vastasi 500 tainta hehtaarilla. Käytetty linja/koealaväli valittiin siten, että kustakin taimikosta mitattiin noin 20 koealaa.

Uudistusalalla kasvupaikkaryhmä (kangas/suo) ja metsätyyppi lisämääreineen määritettiin kunkin inventointikoealan edustamalta alalta. Ympyräkoealalta arvioitiin hakkuutähteen aiheuttamaa haittaa sekä maanmuokkauksen peittävyyttä. Hakkuutähteen aiheuttaman haitan arvio perustui siihen missä määrin se oli heikentäneen optimaalista muokkausjälkeä koealalla. Maanmuokkauksen peittävyys ilmaistiin muokatun maanpinnan osuutena. Koealalla olleista kaikista viljellyistä taimista ja luontaisista kasvatuskelpoisista taimista mitattiin pituus ja kaksi viimeistä pituuskasvua. Kasvatuskelpoisten taimien tuli olla vähintään 50 cm:n päässä toisistaan ja niiden tuli olla pituussuhteiltaan, terveydentilaltaan ja ulkoiselta laadultaan tulevaan kasvatettavaan puustoon kuuluvia puita. Kasvatuskelpoisia puita valittiin korkeitaan 4–6 kpl/koeala (2 000–3 000 kpl/ha). Luontaiset siemensyntyisten männyn, kuusen, raudus- ja hieskoivun taimien määrä (pituus >10 cm) luettiin puulajeittain.

3.2 Tulokset

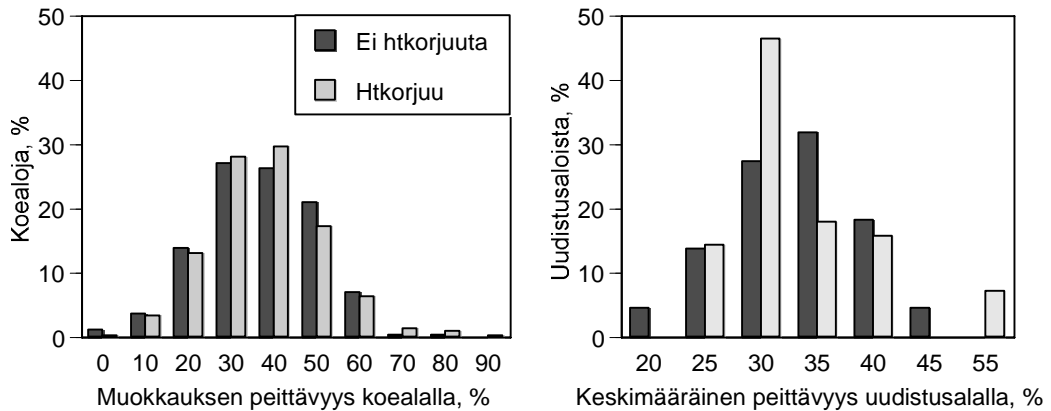
Hakkuutähde heikensi muokkausjäljen laatua sekä vähensi syntyvän muokkausjäljen määrää (taulukko 2). Hakkuutähteen korjuun ansiosta hakkuutähteen muokkausta rajoittava vaikutus väheni merkittävästi, keskimäärin 20 % yksiköllä. Hakkuutähteen korjuun jälkeen keskimäärin 90 % uudistusalasta oli hakkuutähteen suhteen muokkaukelpoinen kun vastaava osuus hakkuutähteellisillä uudistusaloilla jäi keskimäärin alle 70 %:n.

Taulukko 2 . Hakkuutähteestä aiheutuneet puutteet muokkausjäljessä (% koealoista, $x \pm s$ = keskiarvo \pm hajonta). Erojen testaus hakkuutähteen korjuun suhteen arcsin-muunnoksen jälkeen .

	Uudistus- aloja, kpl	Ei vaikutusta muokkaus- jälkeen $x \pm s$	Heikentänyt muokkaus- jäljen laatua $x \pm s$	Rajoittanut muokkaus- jälkeä $x \pm s$
Ei htkorjuuta	22	67,2 \pm 21,2	7,6 \pm 7,3	25,2 \pm 18,6
Htkorjuu	28	88,7 \pm 14,1	4,4 \pm 7,2	6,8 \pm 10,8
F-arvo		15,32	4,41	17,927
p-arvo		0,000	0,041	0,000

Hakkuutähteet olivat vähentäneet optimaalista muokkausjälkeä 80 %:lla hakkuutähteellisistä uudistusaloista, kun vastaava osuus hakkuutähteen korjuun jälkeen jäi 45 %:iin. Kun hakkuutähteitä ei korjattu, puuttui optimaalisesta muokkausjäljestä vähintään viidennes 60 %:ssa uudistusaloista. Vastaava tilanne hakkuutähteen korjuun jälkeen oli vain 10 %:lla uudistusaloista. Joka kymmenennellä hakkuutähteellisellä kohteella hakkuutähteet olivat vähentäneet yli 50 % optimaalisesta muokkausjäljestä.

Muokkausjäljen keskimääräinen peittävyys oli 35 % sekä hakkuutähteellisillä että 'hakkuutähteettömillä' uudistusaloilla (= hakkuutähteen korjuu kohteet). Hakkuutähteen korjuun jälkeen täysin muokkaamatonta alaa oli vähemmän uudistusaloilla ja peittävästi, yli 60 %:sti muokattua hieman enemmän kuin hakkuutähteellisillä aloilla (kuva 1). Sama ilmiö korostui tarkasteltaessa muokkausjälkeä uudistusaloittain. Hakkuutähteen korjuun jälkeen keskimääräinen muokkauksen peittävyys oli heikoimmillaan 26 % ja kahdella kohteella muokkauksen peittävyys nousi yli 50 %:n hakkuutähteen korjuun jälkeen. Hakkuutähteellisillä uudistusaloilla muokkauksen keskimääräinen peittävyys nousi parhaimmillaan keskimäärin 45 %:iin mutta jäi heikoimmillaan 22 %:iin.



Kuva 1. Muokkausjäljen peittävyyden frekvenssijakauma koaloittain ja uudistusaloittain hakkuutähteellisillä ja 'hakkuutähteettömillä' aloilla.

Havupuiden luontainen taimettuminen oli hakkuutähteen korjuun jälkeen ollut runsaampaa kuin aloilla, joilta hakkuutähdettä ei oltu kerätty (taulukko 3). Suuremmasta tiheydestä huolimatta havupuiden taimettuminen oli kuitenkin yhtä ryhmittäistä niin hakkuutähteellisillä ja 'hakkuutähteettömillä' aloilla. Tuoreella kankaalla neljäs osa uudistusalasta oli jäänyt luontaisia havupuita vaille sekä hakkuutähteellisillä että 'hakkuutähteettömillä' uudistusaloilla. Koivun taimettumisessa hakkuutähteen määrällä ei näyttänyt olleen merkitystä.

Taulukko 3. Luontaisten taimien määrä (kpl/ha) tuoreen kankaan koaloilla muokausvuoden mukaan ryhmiteltynä (n=mittauskoealojen lukumäärä). Taimimääräerojen testaus varianssianalyysillä.

		Uudistusalan muokausvuosi				
		1995 x ± s	1996 x ± s	1997 x ± s		
Havupuut	125	3080±4543	108	1611±2577	35	871±1379
Ei htkorjuuta	153	3225±5562	143	1856±2942	69	2536±4374
Htkorjuu		0,05 / 0,814		1,47 / 0,491		4,80 / 0,031
F-arvo / p-arvo						
Koivut						
Ei htkorjuuta	125	4504±14400	108	4856±6627	35	3914±5459
Htkorjuu	153	3748± 6790	143	2982±5025	69	5065±7110
F-arvo / p-arvo		0,03 / 0,565		6,49 / 0,011		0,70 / 0,403

Istutustaimien määrässä ei ollut havaittavissa yhdensuuntaista eroa hakkuutähteen korjuun suhteen (taulukko 4). Kuusen ja rauduskoivun viljelyksillä istutustaimien määrä oli hieman suurempi ‘hakkuutähteellisillä’ kuin ‘hakkuutähteettömillä’ uudistusaloilla. Johtuiko tämä ero sitten istutustiheys eroista vai todellisesta istutustaimien menestymiseroista jää tässä yhteydessä selitystä vaille.

Luontaisten kasvatuskelpoisten taimien määrä oli ‘hakkuutähteettömällä’ kuusen ja rauduskoivun viljelyaloilla selvästi suurempi kuin hakkuutähteellisillä uudistusaloilla. Tästä johtuen myös kokonaisuudistamistulos; istutustaimien ja luontaisten taimien muodostaman kasvatettavan puuston tiheys, oli kuusen istutusaloilla suurempi hakkuutähteen korjuun jälkeen kuin hakkuutähteellisillä uudistusaloilla (taulukko 4). Männyn istutusaloilla tilanne oli toisinpäin ja rauduskoivikoiden tiheys oli runsaamman luontaisen täydennyksen ansioista ‘hakkuutähteettömällä’ aloilla sama kuin hakkuutähteellisillä uudistusaloilla.

Taulukko 4. Uudistamistuloksen vertailu hakkuutähteen korjuun suhteen (n = taimikoiden lukumäärä). Erojen testaus varianssianalyysilla.

Hakkuutähteen korjuuaste	Istutuspuulaji		n	Kuusi x ± s	n	Rauduskoivu x ± s
	n	Mänty x ± s				
Kasvatuskelpoiset istutustaimet						
Ei ht korjuuta	3	1378 ± 193	11	1432 ± 252	8	1540 ± 329
Htkorjuu	6	1381 ± 379	10*	1362 ± 261	10	1342 ± 320
F-arvo / p-arvo		0,00 / 0,987		0,39 / 0,540		1,65 / 0,216
Kasvatuskelpoiset luontaiset taimet						
Ei ht korjuuta	3	707 ± 362	11	291 ± 128	8	193 ± 200
Htkorjuu	6	405 ± 306	10*	593 ± 267	10	430 ± 197
F-arvo / p-arvo		1,74 / 0,228		11,1 / 0,003		6,29 / 0,023
Koko kasvatettava puusto						
Ei ht korjuuta	3	2085 ± 226	11	1724 ± 186	8	1733 ± 171
Htkorjuu	6	1787 ± 426	10*	1955 ± 271	10	1772 ± 266
F-arvo / p-arvo		1,22 / 0,305		5,79 / 0,026		0,12 / 0,726

* Poikkeava, epäonnistunut kuusen istutusala (450 tainta/ha) poistettu aineistosta

Istutustaimien pituuskehityksessä ei voitu havaita eroa hakkuutähteen korjuun suhteen (taulukko 5). Vuosien 1995 ja 1997 istutuksissa havaittu pituuskasvuero selittyy taimien erilaisella lähtöpituudella 'hakkuutähteellisellä' ja '-tähteettömällä' aloilla.

Taulukko 5. Istutettujen kuusen taimien keskipituus ja pituuskasvu tuoreen kankaan koeloilla istutusvuosittain (n = taimien lukumäärä). Erojen taustaus varianssianalyysillä hakkuutähteen korjuun suhteen.

	n	Keskipituus x ± s	Pituus- kasvu -99 x ± s	Pituuskasvut -98+99 x ± s
1995				
Ei htikorjuuta	123	88±29	15±8	40±18
Htkorjuu	118	101±28	19±8	49±18
F-arvo		13,19	14,24	18,01
p-arvo		0,000	0,000	0,000
1996				
Ei htikorjuuta	148	66±15	13±7	34±12
Htkorjuu	170	66±21	15±7	33±15
F-arvo		0,50	3,36	0,03
p-arvo		0,824	0,068	0,871
1997				
Ei htikorjuuta	103	40±10	8±3	20± 6
Htkorjuu	52	59±11	11±5	30± 9
F-arvo		106,81	13,49	71,20
p-arvo		0,000	0,000	0,000

4. Johtopäätökset

Hakkuutähteen määrän ei havaittu suuresti vaikuttavan uudistamistulokseen tässä aineistossa. Näillä käytännön työn tuloksena syntyneiden uudistamistuloksien vaihtelu niin uudistusalan sisällä kuin uudistusalojen välillä oli sekä hakkuutähteellisillä että 'hakkuutähteettömällä' niin suuri, että se saattoi peittää hakkuutähteen määrästä johtuneet pienet erot istutus- tai uudistamistuloksessa.

Toteutuneen maanmuokkausjäljen keskimääräinen peittävyys oli sama hakkuutähteen korjuukohteilla ja hakkuutähteellisillä kohteilla. Tästä huolimatta hakkuutähteen määrän todettiin heikentäneen oleellisesti syntyntä maanmuokkausjälkeä. Ilmeisesti käytännön maanmuokkausta tehtäessä pyritään samaan tulokseen hakkuutähteen määrästä riippumatta, jolloin hakkuutähteelliset kohteet muokataan ‘voimakkaammin’. Tähän viittaa myös hakkuutähteellisten ja ‘hakkuutähteettömien’ kohteiden muokkauksen peittävyyden jakaumissa havaittavat lievät eroavuudet.

Istutustuloksessa ja luontaisessa taimettumisessa hakkuutähteen määrästä johtuneet erot jäivät myös vähäisiksi. Kuusen ja rauduskoivun viljelyaloilla hakkuutähteen korjuun voidaan katsoa edistäneen luontaista uudistamista sekä parantaneen näiden alojen uudistamistulosta. Istutustaimien pituuskehitykseen ensimmäisinä 2–4 vuotena ei uudistusaloilla olleella hakkuutähteen määrällä havaittu olevan positiivista tai negatiivista vaikutusta.

5. Projektin jatkosuunnitelmat

Samana kasvukautena viljellyiltä uudistusaloilta mitataan maanmuokkausjäljen ja istutustyön laatua sekä selvitetään hakkuutähteen korjuun jälkeen uudistusaloille jäävän hakkuutähteen määrää ja sen vaihtelua. Kohteet valitaan keväällä 2000 istutetuista, normaalin toiminnan yhteydessä syntyneistä hakkuutähteen korjuukohteista. Kohteista selvitetään hakatun puuston määrä, hakkuutähteen määrä (korjattu ja maastoon korjuun jälkeen jäänyt). Muokkausjäljen ja istutustyön laadun mittaukset tehdään syyskesällä kasvukauden päättyessä.

Maanmuokkaus- ja istutustyön tutkimusta varten valitaan 5–10 uudistusaloja yhteistyökumppaneiden mailta, jotka jaetaan kahteen osaan, joista toiselta korjataan hakkuutähteen ja toiselta ei. Hakkuutähteellisellä osalla hakkuutähteet hakataan levälleen palstalle. Näillä aloilla tehdään vertaileva aikautkimus maanmuokkauksen ja metsänviljelytyön eroista hakkuutähteen määrän suhteen. Metsänviljely sisältää istutuksen kahdella eri taimityypillä ja kohteeksi pyritään saamaan myös männylle uudistettava kohde, jolloin istutuksen vertailuna on kylvö. Kohteet valitaan ja lohkotaan 1999–2000 ja maanmuokkausta ja istutustyötä koskeva aikautkimus tehdään muokkaus- ja istutustyön edetessä 2000 ja 2001. Taimimittaukset tehdään syksyllä 2001.

BENET-bioenergiaverkoston vetämässä 'Päätihakkuun bioenergian korjuumenetelmien vertaileva tutkimus ja demonstraatio, sekä menetelmien vaikutukset metsänuudistamiseen' -projektissa Saarijärvelle perustettua kenttäkoetta täydennetään tekemällä vastaava istutuskoe palstalle, josta hakkuutähde on korjattu ruskeana (v. 1998). Maanmuokkaus tehtiin syksyllä 1999 ja koealue istutettiin keväällä 2000. Istutustaimien kehitystä ja luontaista taimettumista seurataan mittauksin syksyllä 2000 ja 2001. Seurannan avulla selvitetään istutustaimien kehitystä (kuolleisuuden syyt, tuhot, viat) ja luontaista taimettumista suhteessa hakkuutähteen määrään.

6. Projektissa syntyneet julkaisut ja raportit

Saksa, T. 1999. Hakkuutähden korjuun vaikutukset metsän uudistamiseen. Julkaisussa: Puuenergian teknologiaohjelman seminaari, 12. lokakuuta 1999, Jyväskylä. 6 s.

Saksa, T. 1999. Hakkuutähden korjuu mahdollistaa nopean metsän uudistamisen. *PuuEnergia* 4/99:12–13.

Viitteet

Ahtiainen, M. 1988. Effects of clearcutting and forestry drainage on water quality in the Nurmes study. Proceedings of the international symposium on the hydrology of wetlands in temperate and cold regions. Joensuu, Finland, 6–8 Juni 1988. Vol. 1. Publications of the Academy of Finland 4/1988.

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

Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1997. The role of logging residues in site productivity after first thinning of Scots pine and Norway spruce stands. Julkaisussa: Hakkila, P. Heino, M. & Puranen, E. (toim.). Forest management for bioenergy. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 640: 230–237.

Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1998. Puunkorjuun vaikutus maan viljavuuteen. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.). Ympäristömuutos ja metsiemme terveydentila. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691: 221–224.

Oijala, T., Saksa, T. & Sauranen, T. 1999. Hakkuutähteen korjuumenetelmien vertailu ja vaikutus metsänuudistamiseen. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 27. 83 s.

Rosén, K. & Lundmark-Thelin, A. 1987. Increased nitrogen leaching under piles of slash - a consequence of modern forest harvesting techniques. Scandinavian Journal of Forest Research. 2: 21–29.

Saksa, T. & Auvinen, P. 1996. Puuhakkeen hankinta- ja tutkimusprojekti Mikkelin seudulla. Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). Bioenergian tutkimusohjelma. Vuosikirja 1995, osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka: 265–274.

Puuenergiaketjujen ympäristönäkökohtien hankekokonaisuus – PUUT11

Helena Mälkki, Tiina Harju & Tarja Turkulainen
VTT Kemiantekniikka
PL 1403, 02044 VTT
Puh. 09-456 6442, faksi 09-456 7043
e-mail: helena.malkki@vtt.fi, tiina.harju@vtt.fi

Margareta Wihersaari & Taru Palosuo
VTT Energia, Energijärjestelmät
PL 1606, 02044 VTT
Puh. 09-456 5808
e-mail: margareta.wihersaari@vtt.fi

Abstract

Project title in English: Environmental aspects of wood energy

The project includes three independent studies. They produce data and information on the environmental burdens and impacts of the total fuel production chain from forest to energy. One study emphasizes the impact on the abatement of greenhouse gas emissions when using different production techniques and calculate the impact on carbon balances in the forest soil when utilising logging residue. The other study carries out the emission measurements and the material balance calculations with the fuel analysis in the selected power plants. And the third study makes a comprehensive assessment of the environmental burdens and impacts of the wood energy production chain using Life Cycle Assessment (LCA) methodology. The studies complement each others. The selected cases are two Finnish combined heat and power plants and their logging residue chains. The five different methods are studied for the production of the logging residue. Life cycle assessment of the system provides credible and transparent data for decision-making processes, and supports the environmental communication directed to various stakeholders. The results of

the project support the mitigation implementation of the Kyoto agreement at the national and company levels.

1. Toteutus

Hankekokonaisuus toteutetaan VTT Energian ja VTT Kemiantekniikan tutkijoiden yhteistyönä. Hankkeeseen osallistuvat yritykset ovat Biowatti Oy, Kainuun Sähkö Oy, Pohjolan Voima Oy, Vapo Oy ja Ympäristöpooli/Finergy. Tutkimus koostuu kolmesta itsenäisestä osahankkeesta. Hankekokonaisuuden vastuullisena johtajana toimii erikoistutkija Helena Mälkki VTT Kemiantekniikasta.

Osahanke 1) PUUENERGIAKETJUN ELINKAARIARVIOINTI JA YMPÄRISTÖINDIKAATTORIT (VTT Kemiantekniikka/ projektipäällikkö Helena Mälkki, tutkija Tarja Turkulainen)

Osahanke 2) PUUENERGIAN KÄYTTÖVAIHTOEHTOJEN MERKITYS KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN RAJOITTAMISESSA (VTT Energia/ projektipäällikkö Margareta Wihersaari, tutkija Taru Palosuo)

Osahanke 3) PUUENERGIAPOLTON MATERIAALIVIRRAT (VTT Kemiantekniikka/ projektipäällikkö Tiina Harju).

2. Tavoite

Tutkimuksen päätavoitteina on kokonaisvaltaisesti selvittää puuenergiaketjujen ympäristönäkökohtia ja rakentaa elinkaaripohjaiseen tietoon perustuvia ympäristöindikaattoreita kommunikointiin ja sidosryhmien tarpeisiin. Tutkimuksessa selvitetään ja analysoidaan vaihtoehtoisia puuenergian hankintatapoja, kasvihuonekaasuja ja niiden merkitystä Suomen kannalta. Energiantuotantovaiheen materiaalitaseiden laskennan ja laitoskohtaisten päästöjen mittausten avulla tuotetaan kohdistettua tietoa koko liiketoimintaketjun ympäristönäkökohtien arviointiin.

3. Tulokset

Tarkasteltaviksi puuenergian hankintaketjuiksi valittiin olemassa olevat pääketjut ja tulevat mahdolliset ketjut, ottamalla myös ainespuun hakkuu mukaan tarkasteluun. Nämä tarkasteltavat hankintaketjut ovat palstahaketus-, tienvarsihaketus-, terminaalihaketus-, käyttöpaikkahaketus- ja sätkähakkeen ketjut. Hankekokonaisuuden I vaiheen case-kohteiksi valittiin Forssan Energian Kii-massuon lämmitysvoimalaitos ja Kainuun Voima Oy:n höyryvoimalaitos ja niiden metsähakkeen hankintaketjut. Alholman laitos valittiin II vaiheen koh-teeksi ja sitä valmistellaan I vaiheen aikana.

3.1 Elinkaariarviointiosahanke

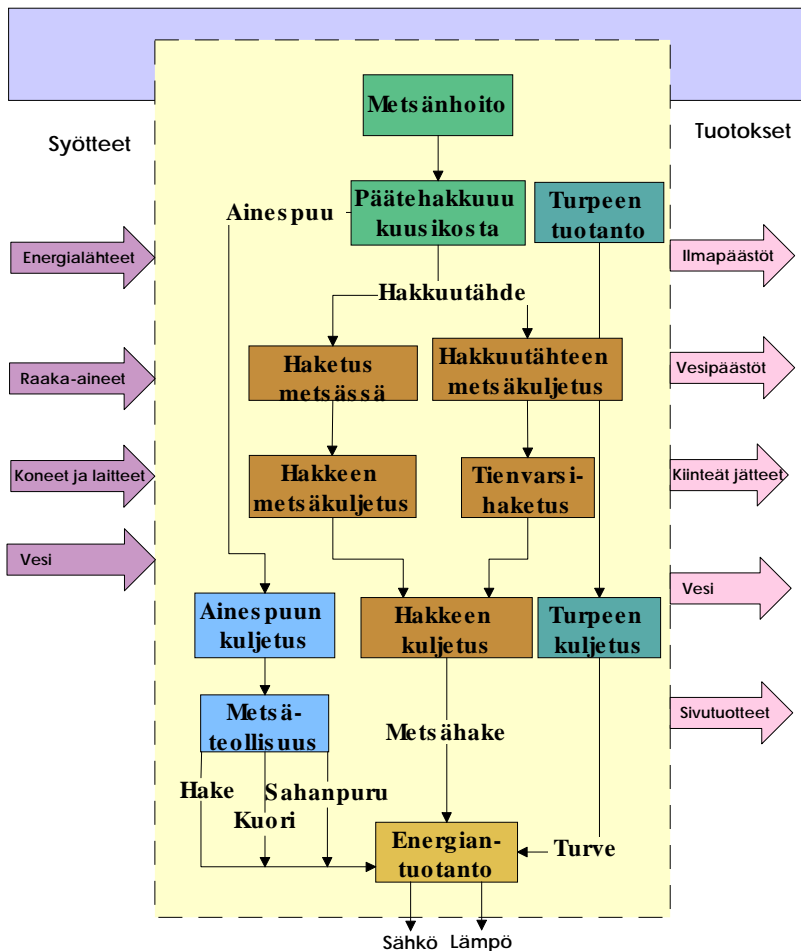
Elinkaariarviointilaskelmat sisältävät ympäristökuormitusten ja -vaikutusten arvi-oinnin koko polttoaineketjulle alkaen metsän kasvusta ja hakkeen hankinnasta energian tuottamiseen asti, sisältäen syntyvien jätteiden hyödyntämisen. Laskelmissa käytetyt lähtötiedot perustuvat todellisiin case-kohtaisiin tietoihin. Tarvittava lisätieto otetaan tehdyistä alan tutkimuksista, olemassa olevista tieto-kannoista ja kirjallisuudesta. Ympäristökuormituksia tarkastellaan ilmaan, veteen ja maaperään. Ympäristövaikutusten tarkastelukategorioina ovat mm. energian käyttö, ilmastonlämpenemispotentiaali, happamoituminen ja rehevöi-tyminen sekä lisäksi tarkastellaan maan käyttöä ja biodiversiteettiä. Tutkimuksen toiminnallisina yksiköinä tarkastellaan ensisijaisesti tuotettua yhtä MWh:a ener-giaa sekä joidenkin laskentatapausten kohdalla myös yhtä hehtaarin metsä- aluetta, jolta metsähaketta toimitetaan voimalaitokselle.

Tarkasteltavat case-kohteet käyttävät polttoaineenaan metsähakkeen lisäksi myös metsäteollisuuden sivutuotteita sekä turvetta, joiden ketjut ovat myös mu- kana elinkaarilaskelmissa alkulähteiltä asti. Tässä työssä valitaan myös allo- kointiperiaatteet pää- ja sivutuotteille kohdistettaville kuormituksille. Nämä va- linnat tehdään yhteistyössä johtoryhmän kanssa ja niistä tullaan raportoimaan loppuraportin yhteydessä tarkemmin.

Elinkaariarviointi-osahanke yhdistää muiden osahankkeiden tuottamia tietoja koko metsähakkeen ja energiantuotannon elinkaaren kattavaksi kokonaisuudeksi. Tutkimuksen tärkeänä lähtökohtana on tuottaa luotettavaa perustietoa ym-

päristönäkökohdista päätöksenteon tueksi ja kommunikoinnin erilaisiin tarpeisiin. Työssä yhdistyy eri hankintaketjujen erojen esille tuominen ja voimallistusten mittaustietojen yhdistäminen polttoaineiden hankintaketjuihin. Tavoitteena on selvittää ympäristön kannalta metsähakkeen käytön lisäämisen vaikutukset voimalaitoksen muiden polttoaineiden hankintaketjuihin, voimalaitoksen päästöihin ja metsäekosysteemiin.

Järjestelmämalli on kuvassa 1.



Kuva 1. LCA-osahankkeessa käsiteltävät metsähakkeen hankinta- ja polttoaineketjut.

3.2 Kasvihuonekaasuosahanke

Tutkimus sisältää hakkuutähteiden tuotanto-ketjuihin ja metsän hiilitaseeseen liittyvät tarkastelut. Tässä arvioitiin päätehakuussa syntyvän hakkuutähteen korjuuketjujen (viisi ketjua), hakkuutähteiden polton sekä tuhkan kierrätyksen ja mahdollisen kompensatiolannoituksen kasvihuonekaasujen päästötasot. Kuvassa 2 on esitetty hankintakeijujen periaatekuva. Lisäksi laskettiin mitä suuruusluokkaa kasvihuonekaasupäästöt hakkeen varastoinnissa voisivat olla, jos lämpötila kohoaa hakekasassa vilkkaan hajoamis-prosessin seurauksena. Tässä osahankkeessa arvioitiin myös, miten hakkuutähteiden korjuu vaikuttaa metsämaan hiilitaseeseen.

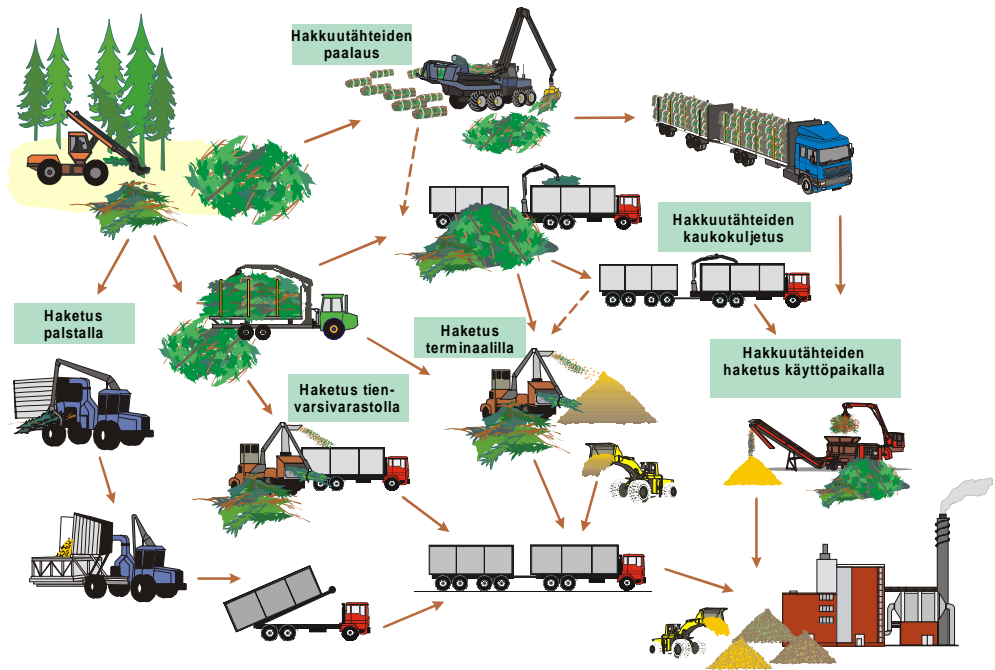
Metsätähteiden talteenotto päätehakkuun yhteydessä on talteenotossa ja kuljetuksessa käytettyjen työkonoiden osalta hyvin tehokasta, tuotantoketjun energiankulutus on noin 2 % tuotetun polttoaineen energia-sisällöstä. Tästä seuraa, että myös koneiden aiheuttamat kasvihuonekaasu-päästöt ovat tuotettuun energiaan nähden pienet, 4–7 kg CO₂-ekv/MWh tuotettua puupolttoainetta. Tuotantoketjujen väliset erot ovat pienet. Metsä-tähde-hakkeen poltossa vapautuu Forssassa tehtyjen mittausten perusteella vain noin 1 kg CO₂-ekv/MWh käytettyä puupolttoainetta. Tuhkan granulointi ja levitys metsään nostaa ketjujen päästöjä vain vähän, noin 3–6 %. Jos poisviety tyyppi tämän lisäksi palautetaan lannoittamalla, ovat tästä aiheutuvat päästöt (pääosa syntyy typpilannoitteen valmistuksessa) noin 7 kg CO₂-ekv/MWh eli ketjujen päästöt kaksinkertaistuvat (tasoon 11–14 kg CO₂-ekv/MWh). Kuvassa 3 on esitetty hakkuutähdehakkeen tuotantoketjun ja polton kasvihuonekaasupäästöt ja päästöihin liittyvät epävarmuudet

Jos puupolttoaineella voidaan suoraan korvata fossiilisia polttoaineita, vältetään vastaavasti fossiilisten polttoaineiden aiheuttamilta päästöiltä. Esim. hiilen kuljetus ja poltto Suomessa aiheuttaa noin 336 kg CO₂-ekv/MWh käytettyä polttoainetta ja turpeen poltto noin 394 kg CO₂-ekv/MWh käytettyä polttoainetta. Korvaamalla nämä kiinteät polttoaineet puupolttoaineilla voidaan parhaimmillaan vähentää 97–98 % korvattujen polttoaineiden päästöistä.

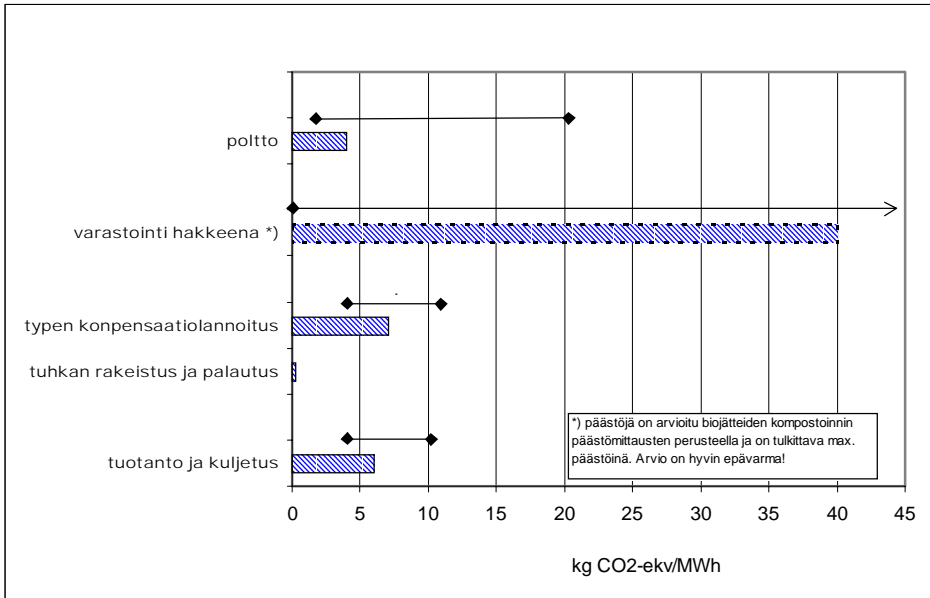
Lyhyen, muutaman viikon kestävän hakkeen varastoinnin aikana polttoaineen laatu kärsii, mutta ei kuitenkaan niin paljon, että varastointi olisi täysin poissuljettu. Epäedullisissa olosuhteissa (vilkas hajoamisprosessi) on mahdollista, että kasvihuonekaasupäästöt varastointivaiheesta ovat huomattavasti suuremmat kuin

koko tuotantoketjun päästöt. Hakkeen varastoija ei välttämättä tiedosta tätä epäkohtaa, koska päästöjen lisääntyminen ja polttoaineen arvon vähenemisen välinen korrelaatio on hyvin heikko. Jos tällaisia päästöjä syntyy, voivat puupolttoaineen avulla saavutettavat päästösäästöt vähentyä 90 %:iin tai jopa alle.

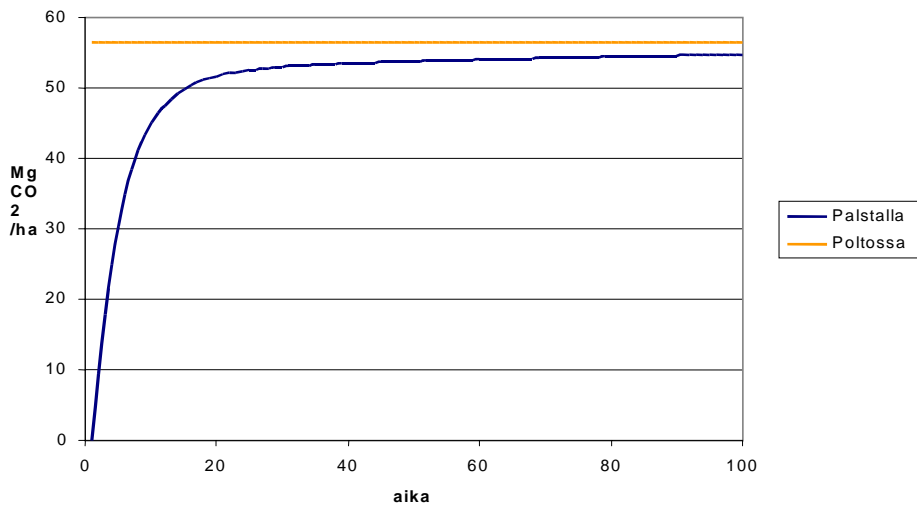
Hakkuutähteiden keruun aiheuttama hiilivaje hakkuuhetkellä maaperään päätyvässä hiilimäärässä näkyy maaperän kokonaishiilimäärässä vain n. 20 hakkuun jälkeistä vuotta. Tämän jälkeen erot hiilimäärissä ovat pieniä. Kumulatiivisesti ilmakehään hakkuutähteistä vapautuvan hiilen määrä poltossa ja tähteiden maatuessa kuusikkopalstalla on kuvattu kuvassa 4. Näiden eri hajoamisnopeuksien aiheuttama ero ilmakehän hiilimäärässä voidaan ajatella eräänlaisena hiilipäästönä ilmakehään. Tämä perustuu siihen, että jos ajattelemme metsäalueita, joita käsitellään ajan suhteen tasaisesti hakkuutähteiden suhteen jollain edellä kuvatuista tavoista, niin sillä alueella, jossa hakkuutähteet maatuvat hitaasti maaperässä on enemmän hiiltä kuin sillä alueella, jossa hakkuutähteet poltetaan välittömästi hakkuiden jälkeen. Kuusikon hakkuualalta, josta runkopuun saanto on noin 200 m³/ha, on maaperän hiilivähennys, kun hakkuutähteet kerätään vihreinä n. 15 Mg C/ha, joka vastaa 1,7 Mg hehtaarikohtaista hiilen ”vajausta”. Ainespuun vieminen metsästä aiheuttaa tätä huomattavasti suuremman hiilivähennyksen, koska poisviety runkopuu sisältää puulajista riippuen noin 2–4 kertaa enemmän biomassaa kuin metsätähteet.



Kuva 2. Tarkastelussa mukana olleet viisi hankintaketjua.



Kuva 3. Hakkuutähdehakkeen tuotantoketjun ja polton kasvihuonekaasupäästöt ja päästöihin liittyvät epävarmuudet.



Kuva 4. Kuusikon hakkuutähteisiin sitoutuneen hiilimäärän vapautuminen hiilidioksidina kumulatiivisesti ilmakehään, kun hakkuutähteet poltetaan tai niiden annetaan maatua palstalla. Tämä laskettu kuusikolle, jossa ainespuusaanto on 200 m³/ha ja hakkuutähteiden määrä 15.4 Mg C/ha.

3.3 Mittausosahanke

Hankkeessa on tehty mittaukset Forssan Energian Kiimassuon lämmitysvoimalaitoksella. Mittaukset tehtiin käyttäen kolmea eriä polttoaineseosta: 45 % hake + 55 % puru, 20 % hake + 25 % puru + 55 % ruskeahake ja 20 % hake + 25 % puru + 55 % viherhake (polttoaineen massaosuus saapumistilassa). Mittaukset tehtiin kuuden päivän aikana, jolloin tehtiin rinnakkaismittaukset kahtena peräkkäisenä päivänä jokaisella polttoaineseoksella. Laitoksessa on leijupetikatila. Laitoksen maksimi sähköteho on 17,2 MW ja maksimi lämpöteho on 48 MW. Mittausten aikana laitosta ajettiin vajaalla teholla lauhan sään vuoksi, jolloin sähköteho oli 10 MW ja lämpöteho oli 30 MW.

Mittausjaksojen pituus oli kuusi tuntia päivittäin. Savukaasujen raskasmetallipitoisuudet mitattiin ja määritettiin kaikki laitoksen sisään ja ulostulevat massavirrat sekä analysoitiin niiden sisältämät raskasmetallipitoisuudet. Tällöin voidaan määrittää kaikkien kolmen polttoaineseoksen polton aikaiset raskasmetallitaseet (As, Cd, Cr, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb).

Kokonaishiukkasmittaukset tehtiin manuaalisesti akkreditoidulla menetelmällä, joka perustuu standardiin SFS 3866. Hiukkaskokojakaumamittaukset tehtiin jatkuvatoimisesti sähköisellä alipaineimpaktorilla, jolla voidaan mitata hiukkaskokoalue 0,030–10 µm. Savukaasuista mitattiin jatkuvatoimisesti CO, CO₂, H₂O, NO_x, N₂O, SO₂, HCl, HF ja CH₄ FTIR-analysaattorilla.

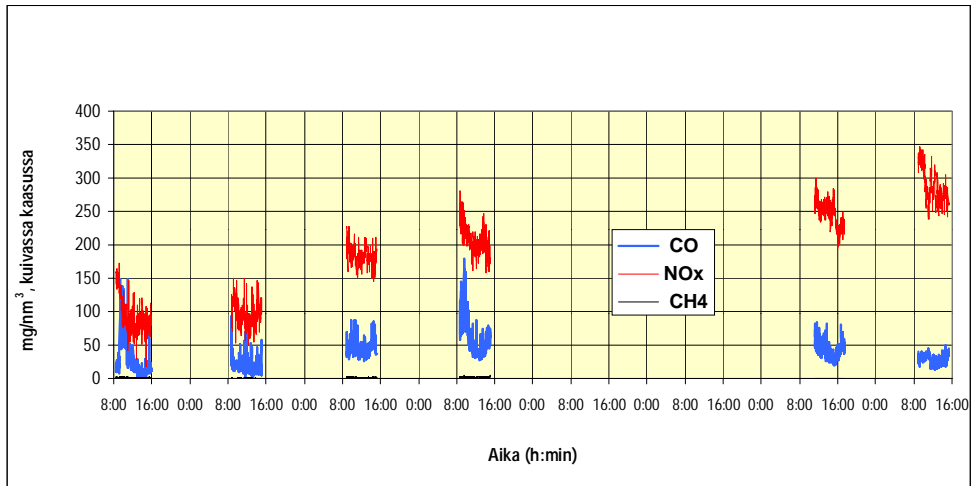
Polttoainenäytteistä analysoitiin polttoaineen koostumus eli kosteus, haihtuvat, tehollinen lämpöarvo, tuhka-, rikki- ja typpipitoisuus. Lisäksi tuhkanäytteistä määritettiin palamattomat.

Keväällä Paperiliiton lakon takia peruuntuneet Kainuun Voimassa tehtävät mittaukset ovat syksyllä loka-marraskuussa 2000. Voimalaitoksessa on kiertopetikatila, jonka maksimiteho on 240 MW (sähkö, kaukolämpö, prosessihöyry). Mittaukset tehdään kahdella eri polttoaineseoksella, jolloin puun osuus vaihtelee. Polttoaine koostuu turpeesta (jyrsin, pala), puusta (kuori, puru, metsähake) ja puristeesta (paperitehtaan biologisen jätevedenpuhdistamon liete). Mittaukset sisältävät savukaasumittaukset CO₂, CO, SO₂, NO_x, N₂O, CH₄, HF, HCl. Lisäksi analysoidaan polttoainenäytteiden kosteus, haihtuvat, tehollinen lämpöarvo, tuhka-, rikki- ja typpipitoisuus.

Savukaasujen kaasumaisten yhdisteiden tuloksia on kuvissa 5–6. Tuloksista nähdään, että kattilaan syötetty polttoaine ei ole tasalaatuista. Mittaustulokset vaihtelevat kovasti mittaussarjojen aikana, vaikka poltto-olosuhteet pidettiin mittausten aikana vakiona. Nox- pitoisuus oli noin 100 mg/Nm³ hakkeen ja purun seospoltossa. NOx pitoisuudet kasvoivat kaksinkertaisiksi poltettaessa hakkeen ja purun seassa ruskeahaketta. Kun ruskehake korvattiin viherhakkeella, NOx pitoisuus kasvoi 2,5-kertaiseksi. Metaanipitoisuus oli hyvin pieni kaikkien kolmen polttoaineseoksen polton aikana. N₂O- arvot olivat alle määrittämissä. Viherhakkeen seospoltossa savukaasujen SO₂-pitoisuus kasvoi hakkeen ja purun polttoon nähden noin 50 % ja HCl-pitoisuus kasvoi noin nelinkertaiseksi.

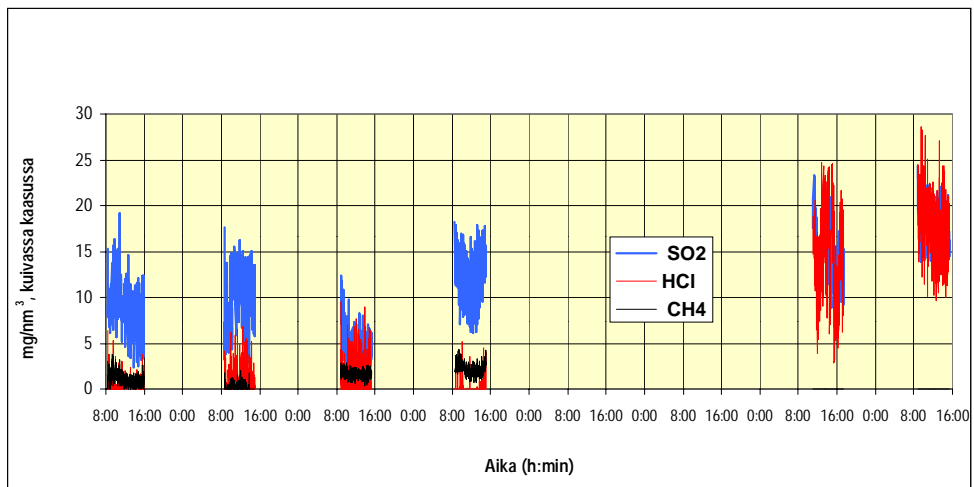
Taulukko 1. Polttoaineanalyysit.

Näyte	Kosteus m-%	Tuhka m-% k-a.	Haihtuvat m-% k-a.	Tehollinen lämpöarvo kuiva-aine MJ/kg	Tehollinen lämpöarvo saap.tila MJ/kg	Rikki m-% k-a.	Typpi m-% k-a.
Sahanpuru	53,7	0,1	86,9	18,92	7,45	0,008	0,06
Sahanpuru	55,1	0,1	86,0	18,94	7,16	0,006	0,06
Hake (ranka- hake)	35,5	2,8	84,1	18,80	11,26	0,013	0,05
Hake (ranka- hake)	38,9	1,5	85,8	18,71	10,48	0,008	0,05
Ruskeahake	54,0	3,7	75,8	19,39	7,60	0,038	0,48
Ruskeahake	53,6	3,7	76,1	19,47	7,73	0,041	0,54
Viherhake	59,3	2,3	77,0	19,82	6,62	0,041	0,51
Viherhake	61,3	2,4	77,4	19,97	6,23	0,049	0,63
Viherhake	59,9	2,8	77,2	19,83	6,49	0,047	0,60



Kuva 5. CO, NO_x ja CH₄ tuloksia.

(1. ja 2. päivä: 45 % hake + 55 % puru; 3. ja 4. päivä: 20 % hake + 25 % puru + 55 % ruskeahake, 5. ja 6. päivä: 20 % hake + 25 % puru + 55 % viherhake).



Kuva 6. SO₂, HCl ja CH₄ tuloksia.

(1. ja 2. päivä: 45 % hake + 55 % puru; 3. ja 4. päivä: 20 % hake + 25 % puru + 55 % ruskeahake, 5. ja 6. päivä: 20 % hake + 25 % puru + 55 % viherhake).

4. Hankkeen jatkosuunnitelmat

Hankekokonaisuus on jaettu kahteen toteutusvaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa (1999–2000) luodaan tarkasteltavan järjestelmän rajaukset ja hankitaan perustiedot energiantuotannossa hyödynnettävän metsähakkeen hankintaketjuille ympäristökuormituksineen ja -vaikutuksineen elinkaarilähtöisesti, mitataan puupolton päästöt ja taseet, tarkastellaan uudistushakkuualueilta tuotettavan hakkeen hankintaketjujen kasvihuonekaasutaseita ja hakkuutähteen korjuun vaikutuksia metsämaan hiilitaseeseen. Hankkeen ensimmäinen vaihe valmistuu vuoden 2000 loppuun mennessä.

Toisessa vaiheessa (2001–2002) täydennetään tutkimusta mm. ravinnetase-, tuhka- ja kustannustarkasteluilla sekä puuenergialle ominaisilla ympäristövaikutuksilla. Samalla testataan ja täydennetään puuenergiaketjua kuvaavaa ympäristöindikaattorijärjestelmää. II-vaiheen case-kohteena on Alholman laitos Pietarsaareissa.

5. Julkaisut

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: Hakkuutähteen energiakäytön vaikutus metsien maaperän hiilitaseeseen. VTT Energian raportteja 9/2000.

Hankkeen tuloksia on esitelty kaukolämmön CHP-seminaarissa toukokuussa 2000. Hankkeen tuloksia tullaan myös esittelemään Euroopan metsäinstituutin (EFI) kansainvälisessä seminaarissa 25.–28.9.2000 Joensuussa, Energiamesseilla lokakuussa 2000 ja IEA:n Bioenergy Task 18 -työryhmässä lokakuussa 2000.

Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä – PUUT14

Juha Nurmi

Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema

PL 44, 69101 Kannus

Puh. 06-87 43 211, faksi 06-87 43 201

e-mail: juha.nurmi@metla.fi

Abstract

Project title in English: The effects of intensified energy wood recovery on the forest

The importance of surveying the effects of increased recovery of wood based forest fuels on the forest environment has been recognized by scientists, the forest industry and government agencies. This concern has led to the decision to make a state-of-the-art report on the environmental effects of intensified energy wood recovery. The aim of the project is to compile information on how the different fuelwood harvesting alternatives will affect the nutrient status of the site, insect and fungal damages, success of regeneration work, as well as multiple use and biodiversity. The project is carried out by The Finnish Forest Research Institute during the year 2000. The outcoming book will provide those parties involved with background information on the best management practice guidelines and policy making.

1. Tausta ja tavoite

Puuperäisten polttoaineitten käytön nopean lisääntymisen vuoksi Puuenergian teknologiaohjelman johtoryhmä katsoi vuonna 1999 tarpeelliseksi laatia perinpohjaisen selvityksen metsähakkeen lisääntyvän käytön ympäristövaikutuksista metsissä. Selvitystyön katsottiin kuuluvan maa- ja metsätalousministeriön Metsäntutkimuksen toimialueeseen.

Hankkeen tavoitteena on koota nykyinen tietämys siitä mitä puupolttoaineen käytön lisäys tulee merkitsemään metsän kasvun ja terveyden kannalta. Hankkeen tavoitteena onkin kirjan julkaiseminen aiheesta. Käsiteltäviä aiheita ovat mm. puuenergiavarat, talteenoton vaihtoehdot ja niiden vaikutukset metsämaan ravinnetaseeseen sekä kivennäis-, että turvemailla. Kirjassa tarkastellaan myös energiapuun hankinnan vaikutuksia metsätuhojen, uudistamisen, monimuotoisuuden ja virkistyskäytön kannalta.

2. Toteutus

Hanke toteutetaan siten, että Metsäntutkimuslaitos (METLA) vastaa kirjan kirjoittamisesta ja toimituksesta. Kirjoittajat ovat kaikki Metsäntutkimuslaitoksen tutkijoita ja kirja ilmestyy laitoksen Tiedonantoja-sarjassa. Metlan lisäksi hankkeen rahoitukseen osallistuvat Biowatti Oy, UPM-Kymmene Oyj, Stora Enso Oyj ja MTK.

3. Tulosten hyödyntäminen

Kirjan antaa taustatietoa puuenergian käytöstä metsälle aiheutuvista vaikutuksista. Tietoja voidaan käyttää hyväksi laadittaessa metsäbiomassojen hyödyntämistä käsitteleviä toimintaohjeita, sekä suunniteltaessa puunkorjuun laatujärjestelmiä.

Kirjan sisällys ja kirjoittajat:

Johdanto: *K. Mielikäinen, E. Mälkönen & J. Nurmi*

Energiahuollon tavoitteet

1. Energiapuutarat: *J. Hynynen & K. Mielikäinen*

1.1 Uudistushakkuista

1.2 Kunnostushakkuut

2. Talteenoton vaihtoehdot: *J. Nurmi*

2.1 Talteenoton logistiikka

2.2 Puupolttoaineen koostumus, kertymä ja laatu

3. Energiapuun käytön vaikutus hiilitaseeseen: *R. Sievänen*
 - 3.1 Hiilen kierto metsäekosysteemissä
 - 3.2 Hiilitase
4. Energiapuun korjuu ja metsämaan ravinnetase
 - 4.1 Ravinteiden kierto ja metsämaan puuntuotoskyky
 - Kangasmetsät: *E. Mälkönen*
 - Suometsät: *L. Finer*
 - 4.2 Ravinnemenetyks puunkorjuussa: *E. Mälkönen & M. Kukkola*
 - 4.3 Ravinnemenetyksen vaikutus puuston kasvuun erilaisilla kasvupaikoilla
 - Kangasmetsät: *M. Kukkola & E. Mälkönen*
 - Suometsät: *L. Finer & S. Kaunisto*
 - 4.4 Puuntuhkan koostumus ja käyttö metsänparannusaineena: *M. Moilanen & E. Mälkönen*
5. Energiapuun hankinta ja metsätuhot: *M. Kytö & K. Korhonen*
 - 5.1 Hyönteiset
 - 5.2 Sienet
6. Hakkuutähteen vaikutus metsän uudistamiseen: *T. Saks*
 - 6.1 Maanmuokkaus
 - 6.2 Viljelytyön onnistuminen
7. Energiapuun hankinta ja metsien monimuotoisuus: *J. Siitonen*
8. Energiapuun hankinnan merkitys maisemanhoidossa ja metsien virkistyskäytössä: *E. Karjalainen & T. Sievänen*
9. Päätelmät
 - Käytännön päätelmät
 - Tutkimustarpeet

Kirjallisuus



Tekijä(t)			
Alakangas, Eija (toim.)			
Nimeke			
Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000			
Tiivistelmä			
<p>Tekesin Puuenergian teknologiaohjelman tavoitteena on luoda teknistaloudelliset edellytykset metsähakkeen käytön viisinkertaistamiseksi vuoteen 2003 mennessä. Näin nopea kasvu on mahdollista saavuttaa vain teollisuuden raakapuun hankintaan liittyvän puupolttoaineen tuotannon ja suurien käyttökohteiden kautta. Vaatimuksena on lisäksi se, että metsähake tuotetaan ympäristöystävällisin menetelmin ja metsätalouden kestävyys turvaten. Rinnakkaisena tavoitteena on parantaa puupolttoaineitten laatua.</p> <p>Vuonna 1998 metsähakkeen käyttö oli noin 0,5 miljoonaa m³. Puuenergian teknologiaohjelman tavoitteena on luoda puitteet metsähakkeen vuotuisen energiakäytön viisinkertaistamiselle 2,5 miljoonaan m³:iin. Vuonna 2003 metsähakkeella tuotettaisiin energiaa siis noin 5 TWh eli lähes 0,5 Mtoe.</p> <p>Tekes on siis keskittänyt puuenergian kehitystoiminnan Puuenergian teknologiaohjelmaan, jonka kokonaisbudjetin arvio vuosille 1999–2003 on 250 miljoonaa markkaa. Vuoden 2000 kesäkuun alkuun mennessä oli käynnistynyt 15 tutkimuslaitos-, 15 yritys- ja kuusi demonstraatiohanketta. Niiden kokonaislaajuus on 75 miljoonaa markkaa. Tässä ohjelman ensimmäisessä vuosikirjassa 2000 esitellään 27 projektin tuloksia vuosilta 1999–2000.</p>			
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			
Toimintayksikkö			
VTT Energia, Energian tuotanto, Koivurannantie 1, PL 1603, 40101 Jyväskylä			
ISBN		Projektinumero	
951–38–5703–4 (nid.)		N9SU00315,	
951–38–5704–2 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		N9SU00393	
Julkaisu-aika	Kieli	Sivuja	Hinta
Elokuu 2000	suomi	295 s.	F
Projektin nimi		Toimeksiantaja(t)	
Puuenergian teknologiaohjelma		Tekes	
Avainnimeke ja ISSN		Myynti	
VTT Symposium		VTT Tietopalvelu	
0357–9387 (nid.)		PL 2000, 02044 VTT	
1455–0873 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Puh. (09) 456 4404	
		Faksi (09) 456 4374	