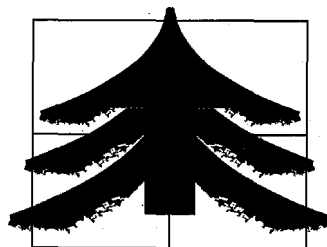


BIOENERGIA
Bioenergian tutkimusohjelma

JULKAISUJA 16

Vuosikirja 1996

Osa III
Bioenergian käyttö
ja
biomassan jalostus



BIOENERGIA

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED
FOREIGN SALES PROHIBITED

MASTER

Jyväskylän Teknoliakeskus Oy
Jyväskylä 1997

BIOENERGIA
Bioenergian tutkimusohjelma

JULKAISUJA 16

Vuosikirja 1996

Osa III Bioenergian käyttö ja biomassan jalostus

Pirjo Nikku (toim.)

Jyväskylän Teknologiakeskus Oy

Jyväskylä 1997

TEKNOLOGIAN KEHITTÄMISKESKUS
ENERGIATEKNOLOGIAN TUTKIMUSOHJELMA 1993 - 1998

BIOENERGIA
Bioenergian tutkimusohjelma
Koordinointi:
Jyväskylän Teknologiakeskus Oy

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

Tutkimusohjelman johtaja Dan Asplund

ISSN 1236-4738
ISBN 952-5165-04-3

DISCLAIMER

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

ESIPUHE

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

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

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

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

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

Tarja-Liisa Perttala
Tekes

VUOSIKIRJAN 1996 SISÄLLYSLUETTELO

BIOENERGIAN KÄYTTÖ JA BIOMASSAN JALOSTUS

Osa 3

Esipuhe <i>Tarja-Liisa Perttala, TEKES</i>	3
Bioenergian tutkimusohjelman sisältö, keskeiset tulokset vuonna 1996 ja näkymät vuodelle 1997 <i>Dan asplund ja Pirjo Nikku, Jyväskylän Teknologiakeskus Oy</i>	9
Bioenergian käyttö - tutkimusalueen katsaus <i>Satu Helynen, VTT Energia</i>	33
Puupolttoaineen pientuotanto ja -käyttö -katsaus tutkimusprojekteihin <i>Seppo Tuomi, Työtehoseura</i>	41
Biomassan jalostus -tutkimusalueen katsaus <i>Kai Sipilä, VTT Energia</i>	51

BIOENERGIAN KÄYTTÖ

Kiinteiden polttoaineiden kuivumisparametrien karakterisointi - 301 <i>Risto Impola, Jaakko Saastamoinen, Leena Fagernäs, VTT Energia</i>	59
Kartonkilietteen paineistettu kuivaus - Y310 <i>Martti Äijälä, Olli Heinonen, Janne Tiihonen, Seppo Hulkkonen, Imatran Voima Oy</i>	71
Kierrätyspolttoaineen vastaanotto-, murskaus- ja seulontajärjestelmän kehittäminen - Y 309 <i>Antti Nurmi, BMH Wood Technology Oy</i>	77

Suppression of dust explosions and ignition spots in biomass-fired power plants - 307 <i>Carl Wilén, Aimo Rautalin, VTT Energia</i>	83
Safe handling of renewable fuels and fuel mixtures - 311 <i>Carl Wilén, Aimo Rautalin, VTT Energia</i>	95
Influence of forest biomass grown in fertilized soils on combustion and gasification processes as well as on the environment with integrated bioenergy production - 313 <i>Keijo Jaanu, Markku Orjala, VTT Energia</i>	109
Cleaning of biomass derived product gas for engine applications and for co-firing in pc-boilers - 312 <i>Esa Kurkela, Pekka Ståhlberg, VTT Energia</i>	121
Upgraded fuel from reed canary grass - 308 <i>Heikki Oravainen, VTT ENERGIA</i>	135
Development of newly designed wood burning systems with low emissions and high efficiency - 314 <i>Heikki Hyytiäinen, Tulisydän Oy, Suomalaiset Tulisijat - Finnish Fireplaces ry</i>	149
Stokeripolton kehittäminen - Y306 <i>Heikki Oravainen, VTT Energia Osmo Nojonen, Finntech Oy</i>	153
Metsänomistajien lämpöyrittämisen talous ja kehittäminen - 129 <i>Seppo Tuomi, Työtehoseura</i>	157

BIOMASSAN JALOSTUS

Production, properties and utilisation of pyrolysis oil - 409 <i>Kai Sipilä, Anja Oasmaa, Vesa Arpiainen, Yrjö Solantausta, Eero Leppämäki, Eeva Kuoppala, Johanna Levander, Jarmo Kleemola, Pekka Saarimäki, VTT Energia</i>	169
Bioöljyn tuotanto flash-pyrolyysillä ja sen poltto - D403 <i>Timo Nyrönen, Vapo Oy</i>	181

Flash pyrolysis fuel oil: bio-pok - Y401 <i>Steven Gust, Neste Oy</i>	185
Bioöljyllä toimiva dieselvoimala - D402 <i>Asko Vuorinen, Modigen Oy</i>	191
Raakasuovan jalostus poltto- ja voiteluöljyksi - 410 <i>Anja Oasmaa, Vesa Arpiainen, Paterson McKeough, Eija Tapola, Reijo Häkkinen, Eeva Kuoppala, Kari Koskela, VTT Energia</i>	197

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

Dan Asplund, Pirjo Nikku
Bioenergian tutkimusohjelma
Ylistönmäentie 31
40500 Jyväskylä

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

1 JOHDANTO

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

Yleiset perusteet biopolttoaineiden käytön lisäämiseen ovat:

- Bioenergian käyttöä lisäämällä voidaan vähentää energiantuotannon CO₂-päästöjä.
- Bioenergian käyttöä lisäämällä voidaan luoda ensiharvennuspuulle taloudellisesti kannattavaa lisääkäyttöä integroiduilla tuotantomenetelmillä, jotka lisäävät sekä aines- että energiapuun tuotantomahdollisuuksia.
- Bioenergian käyttöä lisäämällä voidaan lisätä energiatuotannon omavaraisuutta ja luoda edellytyksiä uudelle yritystoiminnalle etenkin pk-sektorilla sekä paremmalle työllisyydelle.
- Bioenergian käyttöä lisäämällä voidaan vahvistaa alan teknologia- ja laitevientiä.

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

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

Suomen bioenergiavarat ovat runsaat. Turpeen vuotuinen käyttö vie ainoastaan pienen osan varoista ja puuston vuosikasvu on suurempi kuin käyttö. Hakkuutähdemäärä teollisuuden ainespuuntuotannon yhteydessä oli 4,3 milj. toe vuonna 1995. Lisäksi arvion mukaan taimikonhoitokohteista ja nuorten metsien kunnostuksesta olisi saatavissa vuosittain lähes 0,5 milj. toe vastaava määrä puupolttoainetta. Ensiharvennushakkuista lisätuotantopotentiaali on myös noin 0,5 milj. toe vuodessa. Tärkein tuotantopotentiaali muodostuu kuitenkin päätehakkuiden hakkuutähteistä, joista voitaisiin helposti tuottaa noin 1,0 milj. toe vastaava määrä polttohaketta. Yhteensä puupolttoaineen tuotantopotentiaali on noin 2,0 milj. toe vastaten yli 10 milj. m³ puubiomassaa vuodessa teknis-taloudelliset ja ympäristönäkökohdat huomioiden.

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

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

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

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

2 TUTKIMUSOHJELMAN TOIMINTA-AJATUS JA TAVOITTEET

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

Ohjelman päätavoite on kehittää uusia puupolttoaineiden tuotantomenetelmiä, joilla tuotettu polttoaine on kilpailukykyistä tuontipolttoaineisiin nähden (tuotantokustannukset käyttöpaikalla suurkäyttäjälle noin 45 mk/MWh 100 km:n kuljetusmatkalla) ja yhteenlaskettu lisäkäyttöpotentiaali vähintään 1 milj. toe/a (11 TWh) eli n. 5,5 milj. m³. Kuljetusetäisyydeksi on täsmennetty 100 km.

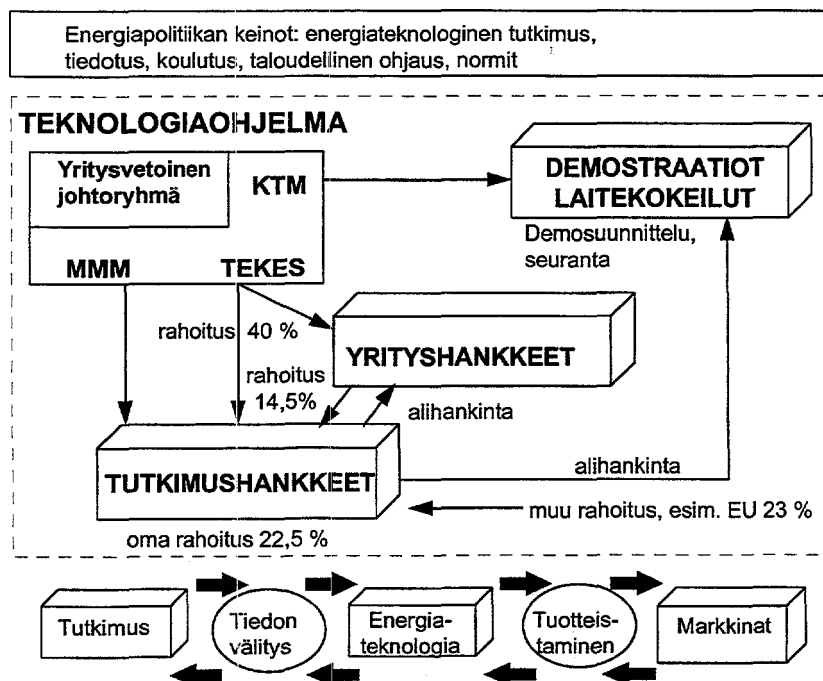
Puun pientuotannon osalta tavoitteena on 20 %:n kustannusten pienentäminen vuoden 1992 teknologiatasoon verrattuna. Kehitystyö kohdistuu lähinnä kla-pien ja polttihakkeen tuotantoon ns. kevyen polttoöljyn kokoluokkaan alle 1 MW:n lämmityskohteisiin.

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

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

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

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



Kuva 1. Tutkimuksesta kaupalliseksi toiminnaksi.

3 OHJELMAN ORGANISOINTI JA RAHOITUS

3.1 ORGANISOINTI VUONNA 1996

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

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

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

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

Tutkimusohjelmassa on neljä seurantaryhmää tutkimusalueittain:

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

3.2 OHJELMAN RAHOITUS

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

Taulukko 1. BIOENERGIA-tutkimusohjelman rahoitus.

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

3.3 PROJEKTIT VUONNA 1996

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

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

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

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

Taulukko 3. Vuonna 1996 päätetyn kokonaisrahoituksen jakautuminen.

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

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

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

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

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

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

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

4 VUODEN 1996 TULOKSIA

4.1 PUUPOLTTOAINEIDEN TUOTANTOTEKNIikka

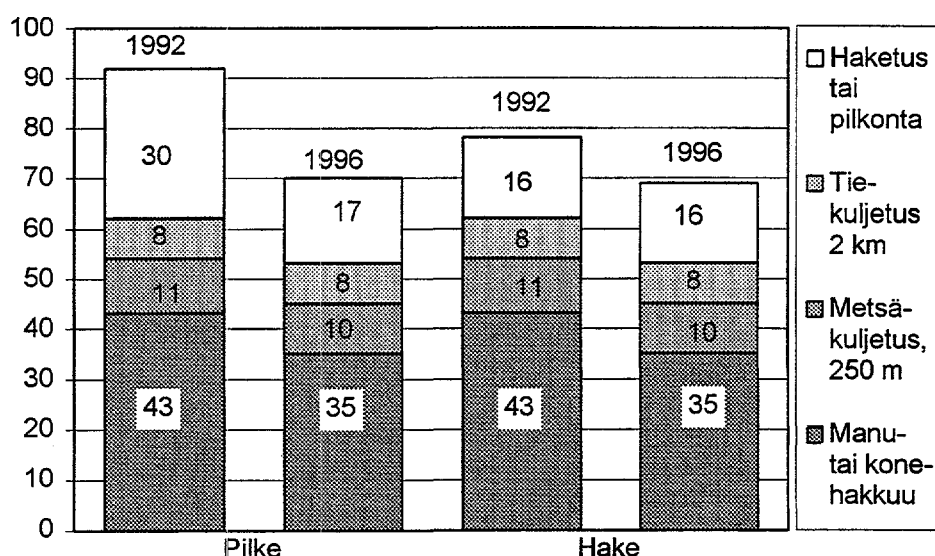
Puupolttoaineiden tuotannon tutkimusalueella on tuotettu uutta tietoa kehitystyön pohjaksi mm. päätehakkuun työtavoista, ensiharvennusmännyn ja -kuusen biomassataseista ja ominaisuuksista, ketjukarsinta-kuorinnan perusteista, tiivistyksen perusteista, hakkeen erotusominaisuuksista ja pneumaattisesta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

4.1.1 Puun pientuotanto

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

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

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



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

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

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

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

4.1.2 Puupolttoaineiden tuotanto taimikon harvennuksista

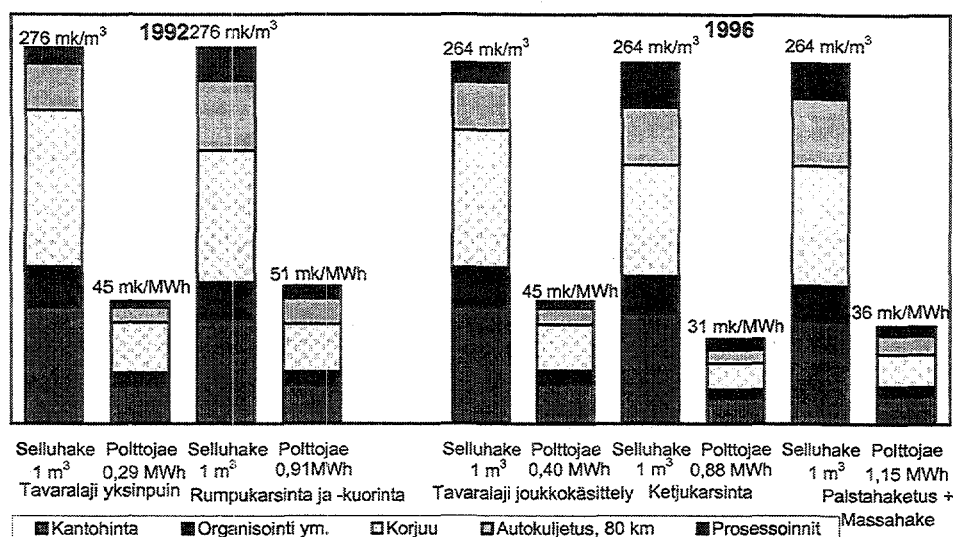
Taimikonhoidon ohjeita on hiljattain tarkistettu siten, että harvennus tulisi tehdä aiempaa myöhemmin, puun 4 - 7 metrin pituusvaiheessa. Kaadettavat puut ovat silloin jo niin kookkaita, että hehtaarikohtainen biomassakertymä on vähintään 40 - 50 kuutiometriä (vähintään 100 hakekuutiota). Vuotuinen

taimikonhoitoala on noin 200 000 ha. Varovainen arvio on, että taimikonhoitokohteista ja nuorten metsien kunnostuksesta voitaisiin helposti ottaa talteen 2,5 milj. m³ (lähes 0,5 milj. toe) vuodessa.

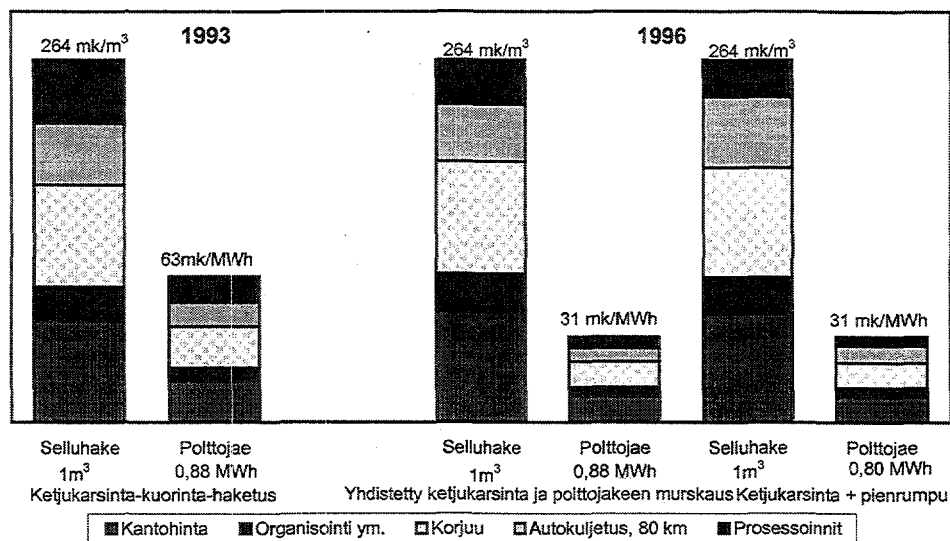
4.1.3 Puupolttoaineiden tuotanto harvennushakkuista

Puupolttoaineen tuottamisessa ensiharvennusvaiheen metsiköistä keskeisenä kehittämiskohteena on ollut teollisuuden ainespuun ja puupolttoaineen integroitu tuotanto. Yhteenvedo tutkimusohjelmassa mukana olleiden integroitujen tuotantomenetelmien kustannusten nykytasosta ensiharvennusmännnylle on esitetty kuvassa 3. Se osoittaa integroitujen menetelmien tarjoavan kilpailukykyisen vaihtoehdon ensiharvennuspuun hankintaan. Ehtona on raaka-aineen kelpoisuus metsäteollisuudelle. Puupolttoaineen tuotantokustannusten tavoitteeksi asetettu 45 mk/MWh, näyttää olevan mahdollista saavuttaa esityillä menetelmillä. Laskelmassa on vertailukohdaksi otettu tarvaralajimenetelmä ja joukkokäsittely, jossa joukkokäsittely ja kehitystyö on alentanut kustannuksia 276 mk/m³:sta 264 mk/m³ vuodesta 1992 vuoteen 1996 verrattuna. Polttojakeen hinta on tällöin 45 mk/MWh. Verrattavissa uusissa menetelmissä selluhakkeen hinta on pidetty samana. Tuotantopotentiaaliksi koko Suomessa on arvioitu noin 0,5 milj.toe/a. Kuvassa esiteltyjen tuotantomenetelmien kehitystaso vaihtelee: osa menetelmistä olisi otettavissa käyttöön nykykalustolla välittömästi, mutta osassa tarvitaan vielä keskeisten laitteiden tuotekehitystyötä tai koko ketjun demonstrointia. Kuvassa 4 on tarkemmin esitetty ohjelmassa kehitettyjen menetelmien kehitys ja teknistaloudellinen vertailu.

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



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



Kuva 4. Ohjelmassa tapahtunut ketjukarsintamenetelmiin liittyvä kehitys.

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

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

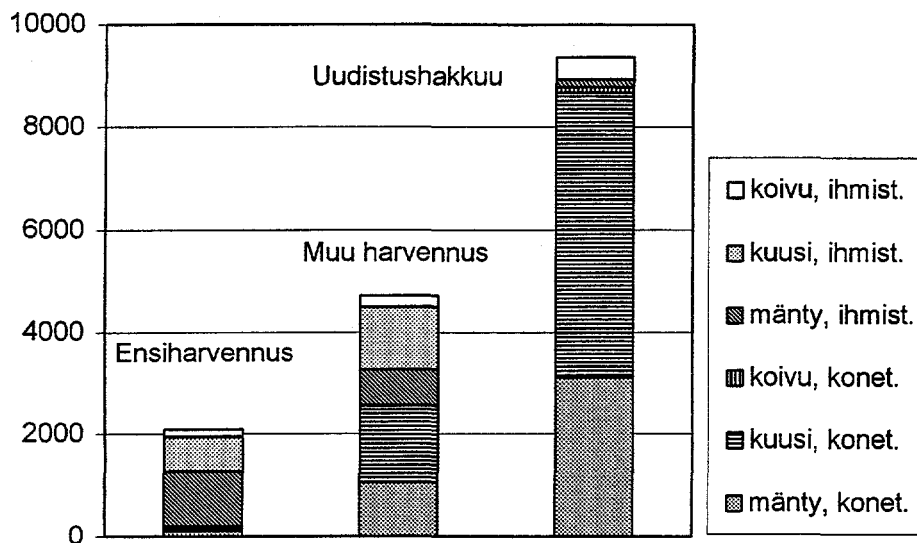
tuotos kuin yksinpuunkäsittelyllä. Tämä merkitsee noin 5 - 15 mk/m³ vähennystä puun hankintakustannuksiin. Kehitystyötä tekivät Outokummun Metalli Oy ja Metsäteho yhteistyössä Enso Oy:n kanssa. Laite on valmis kaupallisesti.

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

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

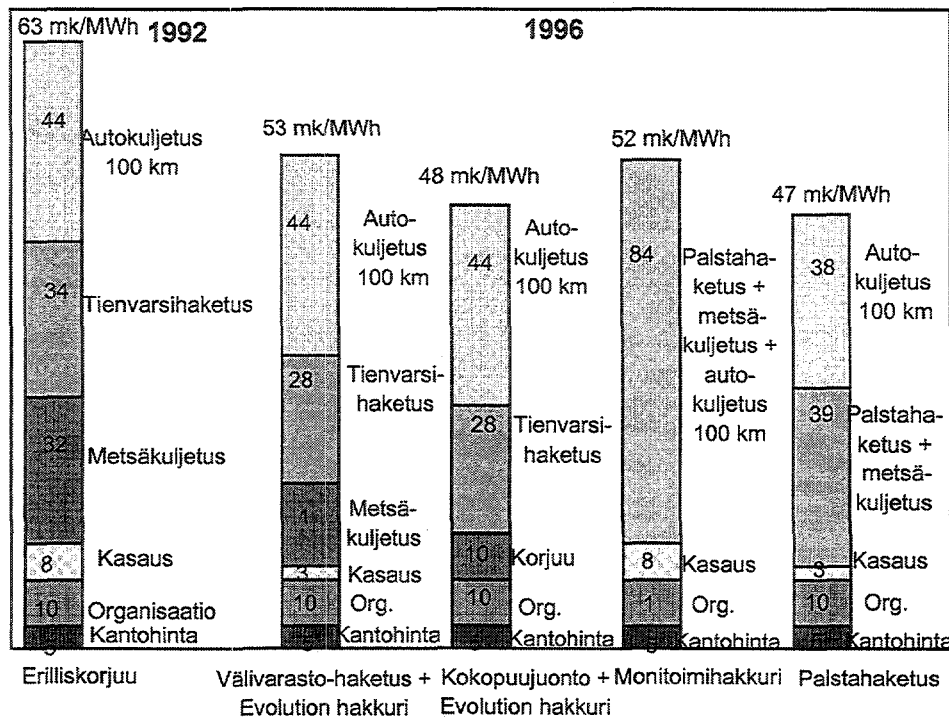
4.1.4 Puupolttoaineiden tuotanto päätehakkuista

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



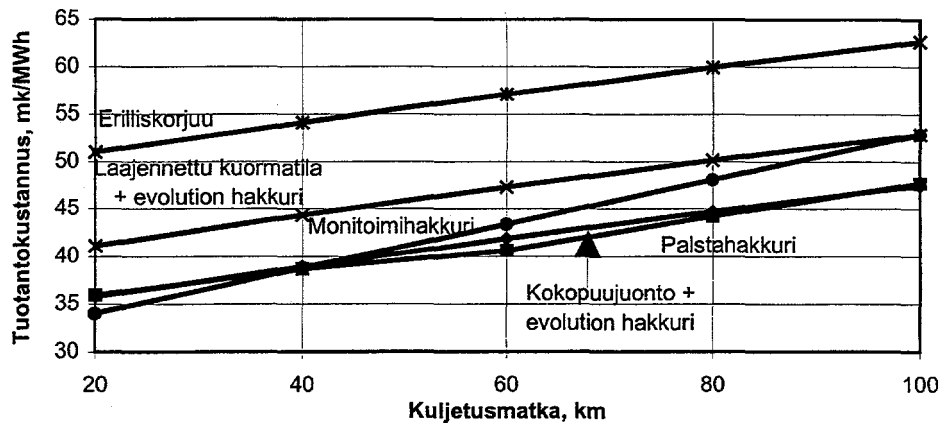
Kuva 5. Hakkuutähteen kokonaismäärä 1995 (1000 m³).

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



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

Kuvassa 7 on esitetty tuotantomenetelmien kustannukset kuljetusetäisyyden funktiona.



Kuva 7. Puupolttoaineiden tuotanto hakkuutähteistä kuusivaltaisessa uudistushakkuussa.

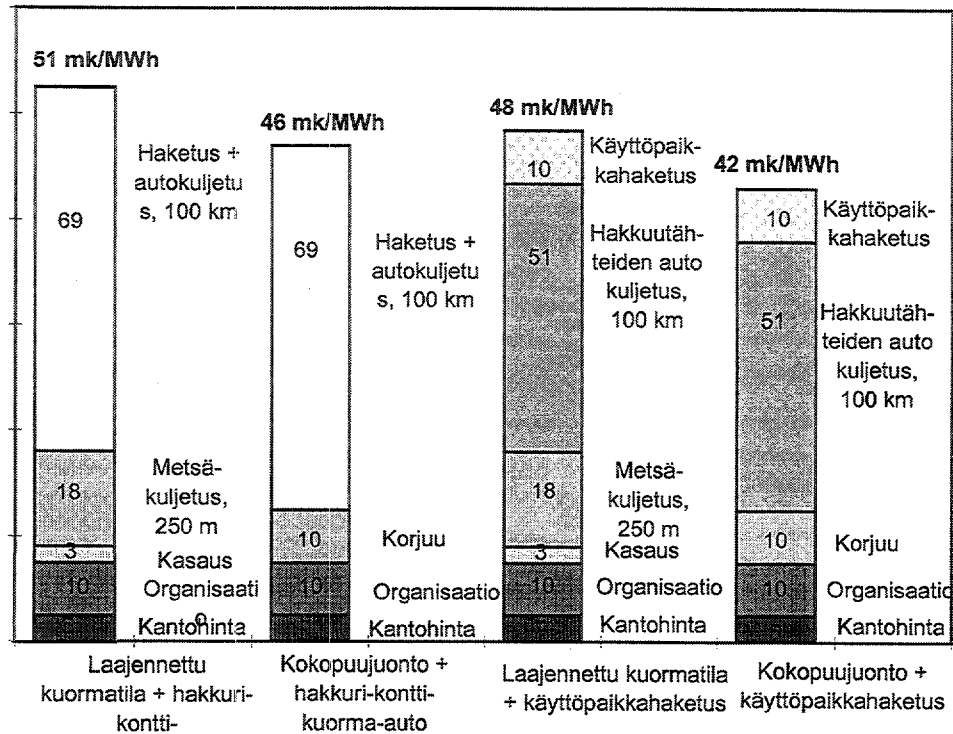
Päätehakkuiden hakkuutähteiden korjuussa on ns. perusmenetelmällä päästy edullisimmillaan Mikkelin seudun demonstraatioprojektissa alle 43 mk/MWh hintaan kaupallisella tekniikalla. Vuonna 1992 menetelmän kustannukseksi arvioitiin 60 mk/MWh. Menetelmän kehityskohteena on ollut metsäkuljetus ja erityisesti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

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

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

Kuusivaltaisissa päätehakkuissa on kokeiltu myös kokopuujuontoon perustuvaa ainesrunkopuun ja energiapuun integroitua korjuumenetelmää, jolla hakkuutähteisiin kohdistuvat korjuukustannukset olivat jopa alle 10 mk/m³. Tämä merkitsisi polttoaineelle alle 45 mk/MWh tuotantokustannuksia käyttäpaikalla 80 km:n etäisyydellä, jos menetelmään liittyvät kehitystarpeet esi-

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



Kuva 8. Kehityspotentiaali puupolttoaineiden tuotannolle hakkuutähteistä kuusivaltaisessa uudistushakkuussa.

4.2 TURVETUOTANTO

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

Tärkeimmät vuoden 1996 tulokset ovat:

- Uudessa imuvaunussa pölypäästöt on voitu eliminoida. Imuvaunu on myös 10 % tehokkaampi kuin perinteinen vaunu. Uuden tehokkaamman imuvau-
nun kehittämistä jatketaan.
- Suon tarkkaan hyödyntämiseen tarkoitettu Tarkkaturve-menetelmä on kau-
pallisessa käytössä. Lisäksi on kehitetty Tarkkaturve-menetelmään kevyt ja
paloturvallinen Haku-koneketju, joka koostuu muovijyrsimestä, kevyestä
kuormaajasta ja peräkärystä. Muovijyrsin ja kevyt kuormaaja ovat proto-
tyyppiasteella. Peräkärri on sarjavalmistuksessa. Lisäksi on vielä kehitetty
uusi yli kaksi kertaa perinteistä kokojavaunua tehokkaampi mekaaninen
kokojavunu, joka on myös sarjavalmistuksessa.
- Testattu käytännössä uutta tiivistetyn turpeen tutkimusprotoa. Kenttätutki-
muksissa tuli esille, että tiivisturve kuivuu 1,1 - 2 kertaa nopeammin kuin
jyrsinturve. Suurin ongelma on nostokoneen suuri tehontarve. Jatkossa kes-
kitytään nostokoneen tehontarpeen pienentämiseen.
- Selvitetty pienturvetuotannon nykytila ja kehitystarpeet. Pientuottajat on
merkittävä turvetuottajaryhmä. Pientuottajia Suomessa on noin 200 kappa-
letta. Pientuottajien tuotantomäärä oli vuonna 1996 yhteensä 3,3 TWh ja
ei-energiaturpeen määrä 0,265 miljoonaa m³. Vuonna 1997 tutkimuksen
tehtäviä ovat ympäristösuojelun parantaminen, turvetoimitusten tehostami-
nen ja turvekoneiden yhteiskäytön kehittäminen.
- Palaturpeen karhekuivausmenetelmässä on parannettu PK-IS- ja RYT-
nostokoneiden kapasiteettia ja kehitetty karheen ja kuormaajan proto-
tyypit.
- Testattu käytännössä routapalamenetelmää.

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

4.3 BIOENERGIAN KÄYTTÖ

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

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

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

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

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

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

4.4 BIOMASSAN JALOSTUS

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

Suovan jalostustutkimuksessa on todettu että on mahdollista tuottaa edullista polttoöljyä.

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

4.5 PELTOBIOMASSAN TUOTANTO

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

Tärkeimmät hankkeet v. 1996 olivat seuraavat:

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

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

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

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

5 JULKAISU- JA TIEDOTUSTOIMINTA

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

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

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

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

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

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

6 TULOSTEN VAIKUTTAUVUUS

6.1 TEOLLINEN RELEVANSSI

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6.2 TEKNOLOGISEN TASON PARANEMINEN

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

Taulukko 5. Teknologisen tason paraneminen.

PUUPOLTTOAINEIDEN TUOTANTO			
Tieto	Teknologia	Pienlaitteet	Menetelmät
• päätehakkuun työtavat • ensiharvennusmänty ja -kuusi: biomassataseet, ominaisuudet • ketjukarsinta-kuorinnan perusteet • tiivistyksen perusteet • hakkeen erotusominaisuudet • pneumaattinen siirto • pientuotannon kustannuslaskentamalli, perusteet/kehitystyö • pilkkeiden mittaustilaatu, perusteet • lämpöyrittäjyyden toimintatavat, perusteet, demo	• palstahakkuri (Chipset), kaupallinen • monitoimihakkurialto (Moha), demo • integroitu energiapuun tuotanto (Hooli), demo • mobiilihakkuri (Lahti), demo • hienohakehakkuri, kehitystyö • niputustekniikka, kehitystyö • joukkokäsittely, demo • yhdistelmäkonc, demo • harvesterin oksaohjain, kehitystyö • puupolttolaineen ohjausjärj., kaupallinen	• häkkikuljetusjärjestelmä, kehitystyö • maataloustraktoriin perustuva hake- ja pilkontatekniikka, kaupallinen • pilkeprosessorointiin ja -harvesteriin perustuvat tuotantoljärjestelmät, kehitystyö • pilkkeiden jakelu- ja markkinointijärjestelmät, kaupallinen	• monitoimihakkuri (Moha), demo • hakeharvesteri (Chipset), kaupallinen • kokopuujuonto, kehitystyö • konttikuljetushakkuri (JPöyry), kehitystyö • palahake, kehitystyö • intergroitu energiapuun tuotantomenet. (Hooli), demo • ketjukarsintapienrumpu, demo • Massahake, demo • hienohake-pneuma, kehitystyö
TURVETUOTANTO			
Tieto	Teknologia	Menetelmät	
• kuivuminen • uudet materiaalit • salaojitus • hakkeen käyttö auman peittona	• kevyt koneketju: - muovijyrstin - kuormaaja - kokoojavaunu • viivotinkarheeja	• Tarkkaturve, demo • Tehomenetelmä, kaupallinen • Siirtopalamenetelmä, demo • Compeat-menetelmä, kehitystyö • Hakeauman peitto	
BIONERGIAN KÄYTTÖ			
Tieto	Teknologia	Menetelmät	
• kuivumisen perusteet • kuivumismalli • tulisijapolton perusteet • katalyyttinen puhdistus	• syöttölaite (IVO), demovalmuis • syöttölaite (FW), demovalmuis • kuivuri (IVO), demo • kuivuri (FW), demovalmuis • poltin, demo	• hakeyrittäjyys, kaupallinen • supersellu, demovalmuis	
BIOMASSAN JALOSTUS			
Tieto	Teknologia	Menetelmät	
• pyrolyysiöljyn ominaisuudet • pyrolyysiöljyn palamisominaisuudet • pyrolyysiöljyn dieselkäytön perusteet		• ITP-menetelmän kehitystyö	
PELTOENERGIA			
Tieto	Teknologia	Menetelmät	
• ruokohelpin ominaisuudet • rypsin dieselominaisuudet • fraktiointi		• ruokohelpin kasvatust ja korjuu, demo	

7 NÄKYMÄT VUODELLE 1997

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

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

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

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

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

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

BIOENERGIAN KÄYTTÖ -TUTKIMUSALUEEN KATSAUS

Satu Helynen
VTT Energia
PL 1603
40101 Jyväskylä

Puh. (014) 672 661
Fax (014) 672 597
satu.helynen@vtt.fi

Abstract: Research on use of bioenergy

The aims of Bioenergy Research Programme have been achieved in the field of fuel handling technologies and small scale combustion concepts but 3 - 4 large scale demonstration projects (0,2 - 0,3 million toe/year per utilization concept) before the year 2000 seems to be a very challenging aim.

Ignition and explosion properties of wood and agro biomasses and biomass-coal mixtures are determined in atmospheric and pressurized conditions by VTT Energy with Spanish, French, Dutch and German partners in JOULE-project. Explosion suppression systems have also been tested successfully in pressurized conditions up to 10 bar with British partners.

Feasibility of reed canary grass for chemical pulp and fuel is evaluated in a large FAIR project. VTT Energy is responsible for pelletising of fuel fraction, combustion of pellets, gasification and combustion of pulverized fuel fraction. Fuel characteristics of reed canary grass are analyzed to be quite similar to sod peat.

Development of a system for receiving, crushing and screening recycled fuel material was concentrated on a heavy-duty two-rotor crusher and a crushing screen by BMH Wood Technology. Primary and secondary crushing are needed for optimum particle size distribution. The system will be demonstrated in Sweden.

Dry gas-cleaning methods for gasification-diesel power plants and for other atmospheric-pressure applications of biomass gasification are developed by VTT Energy. Catalytic gas-cleaning methods are tested for engine applications in PDU-scale. Removal of trace metals, chlorine and other harmful contaminants of CFB gasification is studied with regard to co-combustion of the product gas in PC boilers. Gasification tests with straw and demolition wood have recently started as the feedstocks.

1 JOHDANTO

Bioenergian käytön tutkimuksen painopisteiksi valittiin ohjelmaa käynnistettäessä käyttösovellutukset pienessä kokoluokassa, joiksi määriteltiin polttoaineteholtaan alle 20 MW laitokset, sekä biopolttoaineiden käsittelyn tutkimus kaikissa kokoluokissa. Tavoitteeksi asetettiin kehittää ohjelman aikana 3 - 4 uutta biopolttoaineen käsittely-, kuivaus- tai pienimuotoista käyttölaitetta tai -menetelmää sekä demonstroida 3 - 4 suurimittaista bioenergian käyttökohdetta.

Puupolttoaineiden pientuotannon, jakelun ja osin myös käytön tutkimusta on esitelty Seppo Tuomen katsauksessa ja biopolttoaineiden jalostukseen perustuvat käyttötekniikat on esitelty Kai Sipilän katsauksessa. Tässä esityksessä keskitytään biopolttoaineiden käsittelytekniikan ja ominaisuuksien ja pienen koko-luokan käyttösovellutuksien tutkimuksiin. Käynnissä ollut laaja bioenergian käytön demonstraatiohanke Keski-Suomen läänissä on pääosin keskittynyt puupolttoaineiden tuotantoon, ja se on esitelty Puupolttoaineiden tuotanto -tutkimusalueen katsauksessa.

2 POLTTOAINEIDEN KÄSITTELY JA OMINAISUUDET

2.1 TUTKIMUSLAITOSHANKKEET

EU:n JOULE- ja FAIR-tutkimusohjelmiin kuuluvia hankkeita on mukana kaikissa kolme kappaletta. Yksi EU-hankkeista käynnistyi vuonna 1996, mutta yhtään muuta tutkimuslaitoshanketta tällä alueella ei käynnistynyt kyseisenä vuonna. Muun muassa biomassojen varastointia tutkimusohjelman hankkeissa on tähän mennessä vain sivuttu.

3-vuotisessa biopolttoaineiden kuivausta käsitelleessä VTT Energian tutkimuk-sessa (301) kehitettiin mitoitusten menetelmä kerroskuivureille, joissa kuivataan epähomogeenista polttoainetta. Menetelmässä mitataan laboratorio-olosuhteis-sa kuivumisparametreja, joita voidaan käyttää tietokone-mallissa lähtötietoina. Hanke on johtanut jatko-projekteihin mm. lietteiden kuivauksessa, jonka tarve lisääntyy, kun metsäteollisuuden vesikiertoja suljetaan ja lietteiden kaatopaik-kasijoitusta pyritään vähentämään. Tietokone-mallit ovat tehty helppokäyttöi-seksi, mutta niiden kaupallistaminen on avoinna. Tutkimukseen kuului myös kuivauksen päästöjä koskevan tietämyksen kokoaminen. Kuivattaessa bio-massaa terminen hajoaminen alkaa 100°C:ssa, jolloin vapautuu haihtuvia hap-poja, kuten etikkahappoa. Alle 200°C:ssa vapautuu biomassasta sellaisenaan monoterpentiinejä sekä rasva- ja hartsihappoja, kun taas korkeammissa lämpö-tiloissa vapautuu termisen hajoamisen tuloksena mm. aldehydeja ja furfu-raaleja. Päästöt voivat aiheuttaa orgaanista kuormitusta ja toksisuutta jäteve-siin, kaasumaisina hajuhaittoja ja otsonin muodostumista sekä kerrostua kuivureiden pinnoile.

Pölyräjähdysten tukahduttamista ilmanpaineessa sekä korkeissa paineissa on VTT Energia tutkinut yhdessä englantilaisten yhteistyösopuolten kanssa (307). Kokeita tehtiin CTDD:n (Coal Technology Development Division of British Coal) koelaitteella, ja mukana oli laitetoimittaja Kiddy Fire Protection ja British Health & Safety Laboratory. Puupölyllä ja hiilipölyllä tehdyt kokeet sekä 5 ja 10 barin paineessa osoittivat tukahduttamisjärjestelmän toimivan hy-vin paineen nousun jäädessä 2 - 4 bariin. Ilman tukahduttamista pölyräjähdys-sessä paine nousee 5 barista 50 bariin ja 10 barin lähtö-tasosta lähes 100 bariin. Tuloksissa ei ollut suurta eroa puu- ja hiilipölyn välillä. Tutkimus jatkuu hiili-pölyllä 17 barin lähtöpaineeseen asti vuonna 1997.

Vuonna 1996 käynnistyi VTT Energian koordinoima 2-vuotinen EU-JOULE-projekti (311), jonka tavoitteena on kartoittaa eri polttoaineiden ja niiden seosten turvallisuustekniset ominaisuudet ja kehittää menetelmiä pölyräjähdys-ten tukahduttamiseksi. Itsesyttymis- ja pölyräjähdystunnusluvut määritellään puu- ja peltobiomassoille sekä näiden ja saksalaisen ja espanjalaisen rusko-hiilen seoksille. Ominaisuudet määritellään sekä ilmanpaineessa että 25 barin paineessa Valittuja puupolttoaineita ovat puupöly, hakkuutähdehake, kuori ja espanjalaisesta männystä tehty hake. Peltobiomassoja ovat erilaiset oljet, Miscanthus ja Sorghum. Yhteistyösopuolet ovat Espanjasta (LOM), Hollan-nista (TNO), Saksasta (DMT) ja Ranskasta (INERIS).

Ruokohelpin käyttöä polttoaineena tutkitaan EU-AIR-projektissa (308) 1995 - 1998. Tavoitteena on kehittää ruokohelpin integroitua tuotantoa kuiduksi ja

polttoaineeksi. Ruukohelpin kasvatusta tutkitaan Suomessa, Ruotsissa, Saksassa, Englannissa ja Irlannissa. Tanskalainen osapuoli tutkii ruukohelpin proses-sointia kuitu- ja polttoainejakeeksi ja Jaakko Pöyry Oy selluloosan ja paperin valmistusta. VTT Energia koordinoi tehtäväkokonaisuutta, jossa tutkitaan polt-toainejakeen käyttöä energiantuotantoon. Ruukohelpin polttoainetta pel-letöidään ja poltetaan stokerissa ja lisäksi tutkitaan sen pölypolttoa ja kaasut-tamista. Pelletöintikokeet jatkuvat vielä, koska pelletöinnissä oli ongelmia käytetyllä laitteistolla. Pellettien polttoa on tutkittu 500 kW palaturvekattilalla, joka ei sellaisenaan soveltunut täysin palakooltaan paljon pienempien pellet-tien polttoon. Tutkimusta jatketaan vuonna 1997 200 kW stokeripolttimella, joka voidaan säätää pellettipolttoon paremmin soveltuvaksi. Ruukohelpi ja turve osoittautuivat käyttäytyvän hyvin samalla tavalla reaktiivisuus- ja NO-konversiokokeissa. Ruukohelpin poltossa tulee kiinnittää huomiota NOx-pääs-töjen pitämiseen pieninä. Pölypoltto- ja kaasutuskokeita ei ruukohelpillä ole vielä tehty. Yhteistyösopimuksena hankkeen polttoaineosuudessa ovat VTT Energia, SLU Ruotsista ja United Milling Systems Tanskasta.

Metsien lannoittamisen vaikutusta puupolttoaineen poltto- ja kaasutusominaisuuksiin ja ympäristöön tutkitaan EU-AIR-projektissa (313) vuosina 1994 - 1997. Hanketta koordinoidaan VTT Energiasta ja yhteistyösopimuksena ovat METLA ja TTKK, Portugalista INETI/ISA sekä Espanjasta CIEMAT. Suomessa lannoitettuja alueita on noin 15 % metsäpinta-alasta. Saatujen tulosten mukaan lannoitus lisää merkittävästi puun alkalien, etenkin kaliumin, määrää ja voi vaikuttaa siten haitallisesti tuhkan käyttäytymiseen.

2.2 YRITYS- JA DEMONSTRAATIOHANKKEET

Polttoaineiden käsittelyn alueella on kehitetty useita tuotteita, jotka ovat jo demonstroitu tai jotka ovat valmiita demonstrointiin. Demonstroiduista tuotteista on esimerkkinä Imatran Voima Oy:n sekoituskuivuri, jossa seuraavana vaiheena on demonstrointi suuremmassa voimalaitoskokoluokassa. Samoin Foster Wheelerillä on valmius viedä petikuivuri demonstraatioasteelle 1 - 2 vuoden kuluessa. Myös polttoaineen vastaanottoasemiin kehitettyjä uusia ratkaisuja on otettu kaupalliseen käyttöön.

IVOn kartonkilietteen kuivaus -projekti (Y310) ei toteutunut suunnitellussa laajuudessaan, koska mukana ollut amerikkalainen partneri vetäytyi hankkeesta. Suunnitelmissa oli ollut kartonkilietteen kuivaus IVOssa kehitetyllä paineistetulla höyrykuivurilla ja lietteen polttaminen leiju-

kerroskattilassa. Kuivaus-höyry olisi hyödynnetty prosessihöyryn tuottamiseen paperitehtaalte. Hank-keen talous laskettiin, tehtiin kokeita kartonkilietteilte Jyväskylässä paineis-tetun kuivurin koelaitteistolla ja tehtiin kuivurin markkinaselvitys USAssa. Kokeissa kartonkilietteen onnistui alkukosteudesta 60 %:sta loppukosteuteen 20 - 30 %, mutta primäärilietteen ja kuorimolietteen kuivauksessa syntyi tuk-keumia sykloniin. Tehdyn selvityksen mukaan USAssa kuivaukselle on suurin potentiaali metsäteollisuuden lietteiden kuivauksessa, jossa erityisen kiinnos-tavia ovat höyrykuivausratkaisut.

Kierrätyspolttoaineen vastaanotto-, murskaus- ja seulontajärjestelmää (Y309) kehittää BMH Wood Technology Oy. Murskauksesta koottujen käyttökoke-musten perusteella on päädytty useampivaiheisen murskauksen käyttöön, jolloin päästään edulliseen palakokojakaumaan. Myös kapasiteetti-, käyttö-varmuus- ja huollettavuusnäkökohdat puoltavat useampivaiheista käsittelyä. Hankkeessa kehitetään ison hidaskäyntisen murskaimen teriä ja samoin uuden-tyyppistä murskaavaa seulaa. Käsittelykokonaisuutta on tarjottu demonstraatiokohteeseen Ruotsiin.

TEKES rahoittaa vuosina 1996-98 Bioenergian tutkimusohjelman ulkopuolella yritysryhmähanketta, jossa on tavoitteena nostaa seos- ja monipolttoaineiden käsittelytekniikan tason nostaminen. Mukana on 16 yritystä ja tutkimuslaitok-sena mukana on VTT Energia.

3 PIENEN KOKOLUOKAN POLTTOTEKNIikka

Pienen kokoluokan polttotekniikan kehittäminen on tullut erityisen kiinnos-tavaksi, koska biopolttoaineiden kilpailukyky on parantunut etenkin kiinteis-töjen lämmityksessä öljyyn ja sähköön verrattuna. Tämä on näkynyt poltto-puun käytön lisääntymisenä, joskin tilastointi ei vielä anna tarkkaa tilanteesta. Kiinteistökohtaisen lämmityksen lisääntyessä merkittävästi ilman laatu voi hei-ketä taajamissa ellei päästöjen määrää saada hallittua.

Panospolton alueella TEKES on käynnistänyt PANOSPOLTTO-ohjelman, jossa on mukana 7 tulisijavalmistajaa, Åbo Akademi ja VTT Energia.

Puun polttoa pienessä kokoluokassa tutkitaan EU-JOULE-projektissa (314) vuosina 1996-1998. Hanketta koordinoi Suomalaiset Tulisijat ry. ja suomalai-

sina yhteistyösapuolina ovat UPO Puulämpö, Tiileritehtaat, Neste NAPS, Sähköenergialiitto ja IVO. Ulkomaiset yhteistyösapuolet ovat Saksasta (Stutt-gartin yliopisto, Michael Struschka), Ruotsista (Luulajan teknillinen korkea-koulu) ja Sveitsistä (CATSE). Tavoitteena on uudet vientituotteet, joissa on vähennetty puunpolton päästöjä tarkemman palamisen hallinnan avulla ja parannettu hyötysuhdetta nykyisiin tuotteisiin verrattuna. Suomessa tehtävän kehitystyön tärkeimpänä kohteena on muurattu, varaava takka, joskin mukana ovat muutkin tulisijatyypit: liedet, leivinuunit, kiukaat ja kaminat. TTKK:lle kuuluu kehitettävien tulisijojen mallitus numeerisella virtaussimulointi-ohjel-malla. Saksassa suunnitellaan koetoimintaa ja kokeiltavia prototyyppejä sekä rakennetaan uusi koeympäristö, jossa voidaan analysoida entistä tarkemmin eri palovyöhykkeitä. Sveitsissä keskitytään testauksen teoriaan ja Ruotsissa jatketaan erittäin pienipäästöisen pientalokattilan kehittämistä.

Stokeripolttua on tutkittu Bioenergian tutkimusohjelmassa ja Högfors Lämpö Oy:n toimittama järjestelmä on demonstroitu 500 kW-teholuokassa hakkeella ja palaturpeella hyvin tuloksin puutarhalla Jalasjärvellä. Kehitystyötä jatketaan (Y306) tavoitteena kehittää vastavirtaperiaatteella toimiva kostealle poltto-aineelle soveltuva stokeripoltin, jossa pyrolyysi- ja hiiliväyhykkeessä kehittyvä lämpö virtaa syttymis- ja kuivumisrintamaa kohti tehostaen polttoaineen kuivumista ja syttymistä. Uusi poltin on asennettu Högfors Lämpö Oy:n 200 kW:n ETNA Bioenergiakattilaan. Koeajot palaturpeella ja hakkeella tehdään vuoden 1997 alussa VTT Energiassa.

4 PIENVOIMALAITOSTEKNIIKAT

Kaasunpuhdistustekniikkaa ilmanpaineisille biomassojen kaasutusprosesseille moottori- ja kivihiilikattilakäyttöä varten tutkitaan hankkeessa (312) vuosina 1996 - 1997 VTT Energiassa. Tutkittavana moottorikäytön yhteydessä ovat ka-talyytiset, kuivat menetelmät, monoliittityyppinen nikkelikatalyytti ja dolo-miittikrakkeri, joita käytetään kiertomassa- ja vastavirtakaasutuksessa poista-maan kaasun sisältämää tervaa. Hiilipölypolton yhteydessä kaasu tuotetaan kiertomassakaasuttimessa, jonka tuotekaasusta on poistettava haitalliset tuhka-komponentit, alkalit, raskasmetallit ja klooriyhdisteet. PDU-kokoluokan ko-keissa rakennuspurkujätteellä kaasun puhdistus ilman kaasun jäähdytyksessä ja suodatuksessa ilmeneviä tukkeutumisongelmia onnistui alimmillaan 215°C:ssa ja oljella 320°C:ssa

5 YHTEENVETO

Ohjelmassa asetetut tavoitteet ovat toteutumassa hyvin kiinteistöjen lämmitys-järjestelmien osalta ja polttoaineen käsittelytekniikan osalta, mutta kolmen-neljän suurimittaisen käyttökohteen (0,2 - 0,3 milj.toe/a per käyttökohde) demonstroinnin toteutuminen ennen vuotta 2000 näyttää tässä vaiheessa erit-täin haastavalta tavoitteelta. Uusien pienvoimalaitostekniikoiden demonstroin-tivaiheeseen päästään vasta tutkimusohjelman päättymisen aikoihin.

PUUPOLTTOAINEEN PIENTUOTANTO JA -KÄYTTÖ - KATSAUS TUTKIMUSPROJEKTEIHIN

Seppo Tuomi
Työtehoseura
PL 13
05201 Rajamäki

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

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

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

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

The main subject of development of heating equipment designed for buildings is stoker burners for wet fuels.

1 JOHDANTO

Metsäntutkimuslaitoksen tutkimuksen mukaan polttopuuta käyttäviä pientaloja oli lämmityskaudella 1992/93 noin miljoona ja niiden polttopuun käyttö 5,6 milj. m³. Se on valtaosa Suomen polttopuun käytöstä, kun metsäteollisuuden jäteliemet ja kuoren poltto jätetään huomioon ottamatta.

Polttopuun pienkäyttöä on mahdollista huomattavasti lisätä. Tehostamalla pientalojen noin miljoonan tulisijan lämmitystä, puun käyttöä voidaan lisätä ainakin 2 milj. m³. Tuntuva lisäkäyttöpotentiaali on myös kaukolämpöverkon ulkopuolella olevissa julkisissa kiinteistöissä, joiden muuttamiseksi hakelämpöisiksi tarvitaan metsänomistajien omatoimisuuteen perustuvaa lämpöyrittäjyyttä.

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

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

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

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

Edellytys tutkimustiedon vaikuttamiselle on tiedon saattaminen yritysten ohella myös tuotteiden ja tiedon loppukäyttäjille. Tämä on erityisen tärkeää

pientuotannon ja -käytön sektorilla, jolla kohderymän koko on suuri. Ohjelmassa tehty aktiivinen tiedotustyö lienee jo saanut aikaan polttopuun käytön lisääntymisen sekä pientaloissa että julkisissa kiinteistöissä.

2 PUUPOLTTOAINEEN PIENTUOTANTO

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

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

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

2.1 PIENPUUN KORJUU

2.1.1 Hakkuulaitteiden kehittäminen

Kenttätutkimuksin arvioitiin maataloustraktorin hydraulikuormaimeen asennettava Naarva-Syke-hakkuulaitetta ensiharvennus- ja energiapuun hakkuussa. Hakkuulaitteella voidaan kaataa ja kasata pienikokoisia puita sekä valmistaa myös karsittua kuitupuuta. Laite mahdollistaa hakkuun koneellistamisen varsin pienellä pääomalla. Tutkitulla hakkuumenetelmällä tuottavuus on huomatta-

vasti suurempi kuin vastaavalla periaatteella toimivien laitteiden aiemmissa kenttäkokeissa. Niin ikään kustannukset ovat manuaalista hakkuuta pienemmät. Kenttätutkimukset muista vastaavan tyyppisistä hakkuulaitteista jatkuvat.

2.1.2 Hakkuutähteiden kuljetuksen kehittäminen

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

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

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

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

2.1.3 Ketjukarsintalaitteen kehittäminen

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

Leppä- ja koivukokopuulla karsintajälki on melko hyvä. Myös puiden kuori rikkoontuu karsittaessa, mikä parantaa rankojen kuivumista. Karsintatulos

riippuu oleellisesti ketjujen pyörintänopeudesta. Tuore puu vaatii eri pyörintänopeuden kuin jäähtynyt. Samoin puulajilla on merkitystä.

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

2.1.4 Energiapuun korjuu taimikon harvennuksissa

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

Siirtelykaadolla päästiin taimikonhoitokohteissa varsin kohtuullisiin hakkuukustannuksiin, vaikka kertymä oli melko pieni ja se koostui pienistä rungoista. Menetelmä osoittautui kilpailukykyisemmäksi taimikon käsittelyssä kuin aiemmin ohjelmassa kokeiltu, kaatokouralla varustettu yhdistelmäkone. Siirtelykaatotyön laskennalliset kustannukset olivat 25,3 - 67,4 mk/m³ eli noin 900 - 2800 mk/ha. Taimikonhoidosta saatavan energiapuun korjuun kustannuksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että ylimääräinen pienpuusto on joka tapauksessa poistettava. Maahan kaato maksaa raivaussahatyönä 700 - 1700 mk/ha.

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

2.2 PILKKEEN MITTA- JA LAATUVAATIMUSTEN KEHITTÄMINEN

Ohjelmassa kehitetään pilkkeen määrän ja kosteuden mittausmenetelmiä sekä laatukriteereitä tavoitteena poistaa mittaus- ja laatu epäselvyyksistä johtuvat polttopuukaupan esteet.

Kenttäkokeilla täsmennettiin pilkkeen eri tilavuusyksiköiden välisiä muuntolukuja ja niihin vaikuttavia tekijöitä. Irtotiiviyteen vaikuttavista tekijöistä pilkekoneen tyyppin, mittauslaatikon koon ja kuormaustavan vaikutus pilkekasan tiiviyteen on oletettua pienempi, mikä parantaa irtotavarana mittauksen käyttökelpoisuutta käytännön pilkekaupassa.

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

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

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

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

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

3 PUUPOLTTOAINEEN PIENKÄYTTÖ

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

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

3.1 TULISIJOJEN KEHITTÄMINEN

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

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

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

3.2 STOKERIPOLTON KEHITTÄMINEN

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

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

3.3 LÄMPÖYRITTÄJYYDEN KEHITTÄMINEN

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

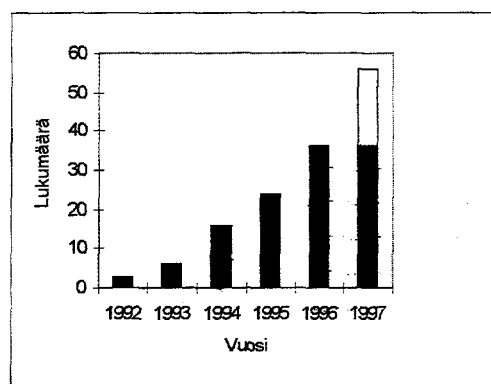
Lämmitettävien kohteiden ollessa pieniä, kuten kouluja, lämpöyrittäjyys voi- daan toteuttaa hyvin muutaman metsänomistajan yrittäjärenkaalla. Suuremmis- sa kohteissa osuuskunta- ja osakeyhtiöpohjaiset toimintamallit näyttäisivät toi- mivilta ratkaisuilta.

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

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

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

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



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

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

4 YHTEENVETO

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

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

BIOMASSAN JALOSTUS - TUTKIMUSALUEEN KATSAUS

Kai Sipilä
VTT Energia
PL 1601 Espoo
02044 VTT

Puh. (09) 456 5440
Fax (09) 460 493
kai.sipila@vtt.fi

Abstract: Biomass thermochemical conversion - overview of results

The BIOENERGY Programme comprised two research institute projects, one enterprise project and two demonstration projects in 1996. The studies focused on the development of flash pyrolysis technology for biomass, and on the study of the storage stability of imported wood oils and of their suitability for use in oil-fired boilers and diesel power plants. Development of biomass gasification/gas engine concepts suitable for diesel power plants was also initiated. In addition to techno-economic assessments, experimental work was carried out focusing on the cleaning of gasification gas for engine use. Conversion of by-products from the pulping industry, in particular crude soap, into liquid fuels was studied by laboratory tests. Results obtained within IEA Bioenergy Agreement are also surveyed and a new three-year work plan is presented in the overview.

Vuoden 1996 Bioenergiaohjelmaan on kuulunut kaksi tutkimuslaitoshanketta, yksi yrityshanke ja kaksi demonstraatiohanketta. Sisällöltään työ on painottunut biomassojen flashpyrolyysitekniikan kehittämiseen ja ulkomailta tuotujen puuöljyjen varastoitavuuden ja käytettävyyden selvittämiseen öljykattiloissa ja dieselvoimaloissa. Dieselvoimaloihin soveltuvan biomassan kaasutuskaasumoottorikonseptien kehittämistä on myös aloitettu. Teknistaloudellisten arviointien ohella kokeellinen työ on painottunut kaasutuskaasun puhdistukseen moottorikäyttöä varten. Selluteollisuuden sivutuotteiden, erityisesti suovan jalostusta polttonesteiksi on selvitetty laboratoriokokein. Yhteenvedossa luodaan myös katsaus IEA:n Bioenergy Agreementin työn tuloksiin sekä uuteen kolmivuotiseen työsuunnitelmaan.

1 FLASHPYROLYYSIHANKKEET

1.1 VTT:N TUTKIMUSHANKKEET

VTT:n tutkimuslaitoshankkeissa on Tekeksen Bioenergia-ohjelman ja EU:n Jouleohjelman rahoituksella tutkittu puusta ja oljesta valmistettujen pyrolyysiöljyjen stabilisuutta ja laadun parantamista suodattamalla sekä alentamalla viskositeettia. Kokeissa puuöljyä on varastoitettu yli vuoden hapettomassa tilassa lähellä huoneen lämpötilaa ilman merkittävää viskositeetin kasvua. Jos lämpötila nousee yli 50 C:n tai astiaan pääsee ilmaa, muodostuu ohut kalvo säiliön pinnalle ja viskositeetti alkaa kasvaa. Toisaalta viskositeetin nousu voi olla kriittistä lähinnä pienissä kevytöljykattiloissa, raskasöljysovellutuksissa esilämmityksellä voidaan osin hallita öljyn laatuvariaatioita. Kanadasta ja Espanjasta on tuotu runsaat 80 tonnia puuöljyä käyttökokeisiin, öljyn ominaisuuksien muutoksia tullaan seuraamaan usean vuoden ajan.

Tärkein tutkimuskohde on ollut pyrolyysikaasujen suodatus keraamisilla suodattimilla ennen kondensointia ja öljyn talteenottoa. Syötöltään 1 kg/h pyrolyysilaitteistoon asennettiin keraaminen suodatin ja koelaitteistolla on tehty noin 6-8 tunnin testejä ilman suodattimen tukkeutumista. Kokeissa on voitu osoittaa koksi-, tuhka- ja alkalipitoisuuden voimakas aleneminen suodatuksen ansiosta, jolloin öljyn laatu on parantunut myös merkittävästi varastointia varten. Nestesaanto ei laskenut olleellisesti suodatuksen vaikutuksesta. Kokeita tullaan jatkamaan keväällä 1997 isommassa PDU-laitteistossa. Keskeisenä kysymyksenä tulee luonnollisesti olemaan keraamisten tai vastaavien suodattimien pitkäaikaiskokemukset, ts. kuinka pitkiä jaksoja suodattimien painehäviö säilyisi tuotannollisessa toiminnassa. Kehitystyössä tullaan soveltamaan pitkälti kaasutusprosessien tuotekaasun suodatuksesta saatuja kokemuksia. Suodatuksen rinnalla tutkitaan yhteistyössä TKK:n kanssa viskositeetin laskua - tuotekaasujen katalyyttisellä käsittelyllä.

VTT koordinoi myös EU-Joule ohjelman "Biofuel oil for boilers and diesel power plants"-projektia. Siihen osallistuvat Italiasta Enel, Finesport Engineering, Arusia ja Instituto Motori, Espanjasta Union Fenosa, Kanadasta Ensyn Technologies, Suomesta Neste Oy ja Wärtsilä Diesel Oy sekä Saksasta Hampurin ja Belgiasta Louvainin yliopistot sekä TKK. Keskeistä on saada pilotlaitoskokemuksia Enelin syötöltään 650 kg/h ja Fenosan 150 kg/h laitoksista. Vastaavasti näissä kohdemaissa mielenkiinto bioöljyjen käyttämiseksi CHP-dieselvoimaloissa on varsin korkea johtuen Suomea korkeammasta sähkön hinnasta ja tariffirakenteesta. Tanskalainen Elkraft ja Vapo Oy

osallistuvat lisäksi työn rahoitukseen. Tämän lisäksi VTT osallistuu useampaan EU ja IEA-yhteistyöprojektiin.

1.2 NESTE OY:N YRITYSHANKE

Nesteen tavoitteena on selvittää pyrolyysiöljyjen soveltuvuus kevytöljykattiloiden polttoaineeksi kokoluokassa 0.2-2 MW. Sköldvikin polttolaboratoriossa on tehty polttokokeita 200 kW kattilalla. Koko käyttöketjua on tutkittu varastoinnista suodatuksen, pumppaukseen, polttimeen, kattilaan ja päästöihin. Suoritetuissa mittauksissa on saatu pyrolyysiöljyillä matalampia savukaasujen hiilivety- ja häkäpäästöjä verrattuna yleisimpiin vastaanvankokoisiin kiinteän polttoaineen kattiloihin. Toistaiseksi ongelmat ovat olleet suuttimien pikeentyminen normaalissa katkokäytössä ilman erikoisjärjestelyjä.

Näillä lämmityskattilamarkkinoilla tulisi pyrolyysiöljyn olla kilpailukykyinen lähinnä puupellettien käytön kanssa. Etenkin Ruotsissa toimii kymmenkunta pellettitehdasta, ja korkean lämmitysöljyn verotuksen vuoksi pellettienkäyttö on kasvamassa.

1.3 WÄRTSILÄ DIESEL / MODIGEN OY:N DEMONSTRAATIOHANKE

WärtsiläDiesel Oy rakensi Kanadasta tuodun pyrolyysiöljyn käyttökokeita varten 1.5 MW diesellaitoksen VTT:lle Otaniemeen. Laitoksen valmistuttua kesällä 1995, sillä on tehty kokeita sekä rypsiöljyllä (referenssinä) että pyrolyysiöljyllä. Laitos on Wärtsilä Dieselin koelaitteisto, ja sillä tehdään pääasiassa muita kehitystehtäviä mm. hyötysuhteen kohottamiseksi, polttoainevalikoiman lisäämiseksi ja päästöjen vähentämiseksi. Helmikuussa 1996 tehtiin lyhyt testi Ensytin öljyllä, mutta koeaika jäi lyhyeksi ruiskutuslaitteiden puutteiden takia. Loppuvuodesta rakennettiin syöttöjärjestelmän kehittämiseksi uusi testilaitteisto, jota kokeiltiin vielä tammikuussa 1997. Vuonna 1997 ei kokeita tehdä lisää nykylaitteistolla, ja seuraavat koejaksot suunnitellaan tehtäväksi vuoden 1998 alussa.

1.4 VAPO OY:N DEMONSTRAATIOHANKE

Vapon tavoitteena on selvittää pyrolyysiöljyn valmistuksen ja käytön edellytyksiä massamme VTT:n ITP-prosessilla (Integrated Thermal Processing). Keväällä 1996 Vapo hankki VTT:lle Otaniemeen Kanadasta pyrolyysilait-

teiston, jonka syöttö on 20 kg/h. Syksyn aikana sillä tehtiin useassa jaksossa kokeita, joissa tuotettiin mäntypurusta noin 1000 litraa puuöljyä noin 100 ajotunnin aikana. Varsinainen koetoiminta tehdään kevään 1997 aikana, jolloin selvitetään ITP-konseptin muuttujien vaikutusta, ja asennetaan kuumasuodatin öljyn laadun parantamiseksi. Näiden tulosten pohjalta tehdään pilotlaitoksen suunnitelmat ja kustannuslaskelmat. Toisaalta pilotlaitosta ei voida rakentaa ennenkuin puuöljyn käyttökokeet öljykattiloissa ja dieselmootoreissa on saatu toteutettua onnistuneesti.

2 SUOVAN JALOSTAMINEN POLTTONESTEIKSI

Tässä VTT:n ja Metsä-Serla Oy:n laboratoriprojektissa on tutkittu niin korkeapaineisen nestefaasikäsitelyn kuin ilmanpaineisen pyrolyysiprosessin sopivuutta sekasuovan palstoitusta korvaavaksi prosessiksi. Mielenkiinto tähän vaihtoehtoon voi kasvaa tulevaisuudessa sellutehtaiden vesikiertoja suljettaessa ja kehitettäessä rikittömiä sellunkeittovaihtoehtoja. Vuonna 1995 tehtiin esikokeita paineistetussa nestefaasikäsitelyssä, jolloin tuoteöljy oli laadultaan varsin korkeatasoista. Alustavat taloudelliset laskelmat osoittivat sen kilpailukykyiseksi verrattuna perinteiseen palstoitukseen. Vuoden 1996 laboratoriokeissa valmistettiin ilmanpaineisella flashpyrolyysillä sekasuovasta eri koi-vupitoisuuksilla pyrolyysiöljyjä, jotka antoivat aihetta laajempiin kokeisiin. Pyrolyysi olisi kustannuksellisesti edullisempi kuin korkeapaineinen nestefaasikäsitely. Vuodelle 1997 on haettu rahoitusta jatkokeikoihin, mutta Bioenergiaohjelmasta ei rahoitusta myönnetty.

3 IEA:N BIOENERGY AGREEMENT

Suomi on ollut mukana tässä 15 maan yhteistyöhankkeessa, joka tähtää lähinnä yhteistyön ja tiedonvaihdon lisäämiseen osanottajamaiden kesken bioenergian käytön edistämiseksi. Lähinnä Metlan edustajat ovat osallistuneet puun korjuuhankkeisiin ja VTT:n edustajat bioenergian käytön hankkeisiin. Kun projektikokouksia tai seminaareja on pidetty Suomessa, on myös teollisuuden edustajat osallistuneet kiitettävästi IEA:n yhteistyöhön. Varsinainen tulosten raportointi on hoidettu niissä Bionergia- ja Liekkiohjelman projekteissa, joissa kehitetään ko. tekniikoita. IEA Bioenergiaohjelma suoritti ohjelman arvioinnin johtoryhmätasolla keväällä 1996, jonka pohjalta seuraavan kolmivuotiskauden 1998-2000 työtä on suunniteltu. Tekes on myös käynnistänyt kaikkien IEA hankkeiden evaluoinnin ja tuloksia odotetaan kuluvin kevään aikana. Silloin

selvinnee myös millä tasolla ja missä laajuudessa yhteistyötä on syytä jatkaa. Nykyjärjestelmässä on puutteena tiedonvaihto IEA:n projekteista Bioenergia-ohjelman yritysedustajille, etenkin johtoryhmässä, koska heidän tekevät viimekädessä ratkaisuja IEA:n työhön osallistumisesta. IEA:n taholta on toivottu erityisesti yritysedustajilta aktiivisempaa osanottoa IEA:n projektikokouksiin. IEA:n kansainvälisessä evaluoinnissa suomalainen bioenergiaosaaminen arvostettiin tärkeimmäksi yksittäiseksi maaksi, josta on saatavissa uusimmat ja edistyneisimmät ratkaisut kohdemaiden tarpeisiin. Tämä yhteistyömuoto palvelee siis varsin hyvin myös markkinointi- ja tiedotuskanavana kasvavalle bioenergiatekniikan viennille. Vaikka EU:n eri ohjelmat ovatkin olleet viime vuosina voimakkaasti esillä kansainvälisen yhteistyön laajentamiseksi, arvostan IEA:n yhteistyömuotoja etenkin EU:n ulkopuolisten yhteyksien luomisessa ja lujittamisessa.

LIITTEET:

- 1 Suomi mukana IEA:n Bioenergy aktiviteetissä

IEA Bioenergy

List of topics agreed upon at EC 38 as potential Tasks for the working period 1998 - 2000

Topic	AUT			BEL			CAN			DEN			FIN			FRA			ITA			JAP			NEL			NOR			NZE			SWE			SWI			UK			USA			CEC			Sum*)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C						
1. Short Rotation Crops																																													7	6	3				
2. Conventional Forestry																																													7	7	1				
3. Environmental Issues1)																																													2	1	0				
4. Combustion																																													#	#	1				
5. Gasification																																													#	#	2				
6. Co-firing																																													3	2	1				
7. Pyrolysis																																													3	4	0				
8. Technoeconomic Analysis																																													4	3	1				
9. MSW Therm. Conversion																																													7	6	2				
10. MSW Biol. Conversion																																													5	5	1				
11. MSW Integrated W. Man.																																													2	4	1				
12. Greenhouse Gas Balance																																													7	7	1				
13. Liquid Biofuels2)																																													8	8	2				
14. Biodiesel2)																																													0	1	1				
15. Bioethanol2)																																													0	4	1				
Country Responses-10 Feb 97	yes			yes			yes			yes			yes			yes			yes					yes		yes		yes		yes		yes		yes		yes		yes		yes		yes		yes		yes					

1) This topic refers to environmental issues related to biomass production systems. If not enough interest is indicated for this topic as a separate Task the respective environmental issues will be treated in the Tasks "Short Rotation Crops" and "Conventional Forestry".

2) "Biodiesel" and "Bioethanol" will be treated within the new Task or Special Project "Liquid Biofuels". No vote has been taken on the two topics separately at EC 38.

A = Preliminary indication of country participation at EC 38

B = Preliminary indication of country participation as of December 1996

C = Intention to submit a Task proposal

*) as of 10 February 1997

LITE 1/1

BIOENERGIAN KÄYTTÖ

KIINTEIDEN POLTTOAINEIDEN KUIVUMIS- PARAMETRIEN KARAKTERISOINTI -301

Risto Impola,
Jaakko Saastamoinen
VTT Energia
PL 1603
40101 Jyväskylä

Leena Fagernäs
VTT Energia
PL 1601
02044 VTT

Puh. (014) 672 611
Fax (014) 672 597
risto.impola@vtt.fi
jaakko.saastamoinen@vtt.fi

Puh. (09) 456 5453
Fax (09) 460 493
leena.fagernäs@vtt.fi

Abstract: Characterization of drying parameters for solid fuels

VTT Energy has investigated the drying technology of fuels for several years. The main focus has been on research into the fundamentals and modelling of the drying. Experimental research has been carried out using equipment of various sizes. The research has yielded profound information on the behaviour of fuels and on the reduction of emissions. Drying technology is a part of the quality control of biofuels and other moist inhomogeneous fuels before the combustion process. The drying of fuels influences operational accuracy and efficiency of the combustion equipment, dimensioning of the reduction of emissions, for example. New drying technologies make it possible to use new moist fuels and develop their production technologies. Drying of solid fuel particles in hot gases (50 - 200 °C) is studied both theoretically and experimentally. The measurements are carried out by using a thermobalance reactor constructed for drying and pyrolysis studies of particles up to 30 mm by diameter. The model is based on the solution of the conservation equations for mass and energy. The main parameters affecting the drying rate are: particle size, particle shape, initial particle moisture content, gas temperature and gas moisture content, temperature of the reactor walls and slip velocity. Also, the drying of biomass fuel particles in fixed and moving beds with hot gas or steam is considered both experimentally and theoretically. A single particle drying model is coupled with a model describing heat and moisture transfer in the gas phase of the bed. The model can be used in the dimensioning of the drying system in a larger scale. Other study subjects were the movement of

wood and peat particles in a pneumatic dryer, and the drying of a single fuel particle in steam under various pressures. The aim of the research work was to present a review of recent studies on emissions from biomass drying. The work covers the emissions from different feedstocks, and from different dryers and drying tests (atmospheric, pressurised, flue gas and steam drying), and the effects of factors, such as feedstock, dryer type and drying conditions, on the emissions. The formation and effects of the emissions, and methods to reduce them are also discussed. The emissions of biomass drying consist of different condensable and gaseous, mainly organic compounds. The compounds released cause organic load in wastewaters and gaseous emissions to the air, and contribute to the formation of deposits on the surfaces of the dryers.

1 TAUSTA

Useimmat polttoaineet (turve, puuhake, jätepuu, lietteet, ruskohiili) ovat epä-homogeenisia materiaaleja mm. kosteuden ja partikkelikoon suhteen. Poltto-aineen kosteus on usein liian korkea sekä olemassaoleville että uusille poltto-laitteille ja -menetelmille. Kosteilla polttoaineilla esiintyy myös käsittely-tekniisiä ongelmia, kuten holvaantumista, tukkeentumista ja jäätymistä. Poltto-aineiden kuivaus on eräs oleellinen tekijä useissa polttolaitosten ja -prosessien kehittämistöissä.

Kuivurisuunnittelun apuna käytetään usein joko vanhoista kuivureista tai koelaitoksista saatuja tietoja. Nämä tiedot joudutaan kuitenkin tapauskohtaisesti kalibroimaan uuteen haluttuun tilanteeseen. Yksinkertaistuksien tekemisessä samoin kuin yleensä kuivauksen mallintamisessa on tiedettävä mitkä eri tekijät vaikuttavat kuivauksen lopputulokseen. Tätä vaikeuttaa normaalissa kuivaustapahtumassa esiintyvien kuivausparametrien suuri määrä ja näiden keskinäinen vuorovaikutus. Karkeassa mallinnuksessa ainoastaan osa parametreista on otettu huomioon. Mitä tarkempaan mallintamiseen pyritään sitä enemmän kuivumisparametreja mallissa on huomioitava. Lasketut kuivumisparametrit on testattava jollakin todellisella kuivurilla tai pilot-laitteistolla.

2 TAVOITE

Tavoitteena oli tutkia erityisesti sellaisia kuivaukseen vaikuttavia vaikeasti määritettäviä parametreja, joiden vaikutusta ei aikaisemmin ole riittävän hyvin

voitu ottaa huomioon kuivureiden mallintamisessa ja suunnittelussa. Useimmat vaikeasti määriteltävät parametrit johtuvat biopolttoaineiden epähomogeenisuudesta. Valmiit kuivumisteoriat ja laskentamallit on tehty yleensä homogeenisille materiaaleille ja säännöllisen muotoisille partikkeleille. Tavoitteena oli yhdistää kokeelliset tutkimustulokset ja teoreettiset kuivumisteoriat.

3 TOTEUTUS

Projekti on pääosin toteutettu VTT Energiassa Jyväskylässä. Osatehtävä kuivauksen päästöistä on tehty VTT Energian prosessitekniikan ryhmässä Otniemessä.

4 TEHTÄVÄT

Tälle kiinteiden polttoaineiden kuivaustutkimukselle oli määritelty seuraavia teoreettisia ja kokeellisia osatehtäviä, jotka toteutettiin vuosina 1993 - 1996.

1. *Kuivauksen perusteoria erilaisille kosteille polttoaineille*
 - kostean materiaalin rakenne
 - lämmön- ja massansiirtoilmiöt
 - kuivausmekanismi ja kiintoaineen kuivausominaisuudet
2. *Kuivausominaisuuksien perustutkiminen laboratoriomittakaavan laitteilla*
 - olemassa olevien tutkimuslaitteistojen muuttaminen ja täydentäminen kuivaustutkimuksiin soveltuviksi
 - partikkelien leijutus- ja pudotuskokeet
 - partikkelien virtauskokeet ja nopeuden mittaus
 - yksittäisten polttoainepartikkelien kuivuminen termovaakakokeilla
 - paineistettu höyrykuivaus partikkelien kuivuminen kiinteässä ja liikkuvassa kerroskuivurissa
3. *Kuivauksen mallintaminen ja kuivausteorian kehittäminen*
 - VTT Energiassa valmiina olevien eri partikkelikoolle soveltuvien kuivumismallien täydentäminen ja kehittäminen
 - biopolttoainepartikkelien nopeus- ja kiihtyvyyssilmiöt kaasuvirtauksissa ja tulosten soveltaminen flash-kuivukseen
 - uusi kuivumismalli yksittäiselle polttoainepartikkelille matalalämpökuivauk-

- sessä sekä mallin testaaminen termovaakakokeiden tuloksilla
 - partikkelin kuivuminen kiinteässä ja liikkuvassa kerroskuivurissa ja mallin testaaminen koetuloksilla (vasta-, myötä- ja ristivirtakuivaus)
 - yksittäisen partikkelin kuivuminen vesihöyryssä eri paineissa
4. *Biopolttoaineiden kuivauksen päästöt*
- erilaiset kuivausmenetelmät (esim. höyrykuivaus, savukaasukuivaus)
 - eri polttoaineet ja päästöihin vaikuttavat tekijät
5. *Tulosten ja mallien soveltaminen kuivurien suunnittelussa ja mitoituksessa*
- saatuja tuloksia on jo sovellettu muutamissa erillishankkeissa ja muutamia uusia hankkeita on vireillä

5 RAHOITUS

Rahoittaja	1993	1994	1995
Bioenergian tutkimusohjelma	370 000	350 000	300 000
Imatran Voima Oy	50 000	50 000	-
VTT Energia	80 000	100 000	200 000
YHTEENSÄ	500 000	500 000	500 000

6 TULOKSET

6.1 POLTTOAINEPARTIKKELIN LIIKE KAASUVIRTAUKSESSA

Tämän osatehtävän tavoitteena oli kokeisiin perustuen ratkaista turve- ja hakepartikkeleiden liikeyhtälöt partikkeleiden liikkeessa pystysuorassa putkessa kantokaasun vaikutuksesta alhaalta ylöspäin. Saatua tuloksia käytetään ensisijaisesti VTT:ssä aikaisemmin suunnitellun pneumaattisen kuivauksen simulointimallin jatkokehittämiseen. Nykyisessä simulointimallissa oletetaan, että kuivattavat partikkelit ovat säännöllisen muotoisia ja että ne kaikki liikkuvat systeemissä kantokaasun nopeudella. Kuivumisen kannalta partikkeleiden ja kantokaasun välisellä nopeuserolla on huomattava merkitys; nopeuseron ollessa suuri on kuivuminen nopeaa. Saatua tuloksia voidaan soveltaa myös pneumaattisessa kuljetuksessa kuljetussysteemin mitoituksessa.

Vastustekijän ja tehollisen halkaisijan ratkaisemiseksi tehtiin turpeelle ja hakkeelle pudotuskokeita seulakokoluokittain. Pudotuskokeissa partikkeleiden putoamisnopeudet määritettiin optisen nopeudenmittauslaitteiston avulla. Pudotuskokeiden perusteella määritettiin eri polttoaineille ns. vastustekijä C_D^* seulakokoluokan keskiarvon funktiona. Vastustekijään on sisällytetty mahdollisimman paljon vaikeasti turpeelle ja hakkeelle määritettäviä tekijöitä. Lisäksi tulosten perusteella määritettiin kunkin seulakokoluokan tehollinen halkaisija d_{eff} seulakokoluokan keskiarvon ja partikkelin tiheyden funktiona. Tehollisen halkaisijan avulla voidaan käyttää pallolle johdettuja liike- ja vastuskerroinyhtälöitä. Lähtötietoina tehtyyn ohjelmaan syötetään tarkasteltavan seulakokoluokan keskiarvo, kantokaasun nopeus ja partikkelin tiheys. Lisäksi ohjelmassa voidaan halutessa arvioida partikkelin ja putken välistä kitkavoimaa kitkatekijän avulla. Partikkelin ja kantokaasun väliseen nopeuseroon vaikutti eniten partikkelin ja seinämän välinen kitkavoima. Kitkavoiman ollessa suuri oli myös nopeusero suuri. Nopeusero kasvoi myös partikkelikoon kasvaessa. Partikkelikokoluokan tasapainonopeus kasvoi kantokaasun nopeuden kasvaessa, mutta partikkelin ja kantokaasun välinen nopeusero pysyi vakiona. Partikkelin tiheydellä oli vain pieni vaikutus partikkelin nopeuteen.

Pudotuskokeiden perusteella muodostettujen liikeyhtälöiden testaamiseksi suoritettiin turpeelle ja hakkeelle seulakokoluokittain leijutuskokeita kartiomaaisessa koelaitteistossa. Leijutuskokeiden perusteella määritetty seulakokoluokan keskimääräinen leijumisnopeus annettiin pudotuskokeiden perusteella muodostettuihin liikeyhtälöihin kantokaasun nopeudeksi. Vertailtaessa turvepartikkelien liikeyhtälön ratkaisuja ja leijutuskokeiden tuloksia erot olivat odotettavaa suuruusluokkaa.

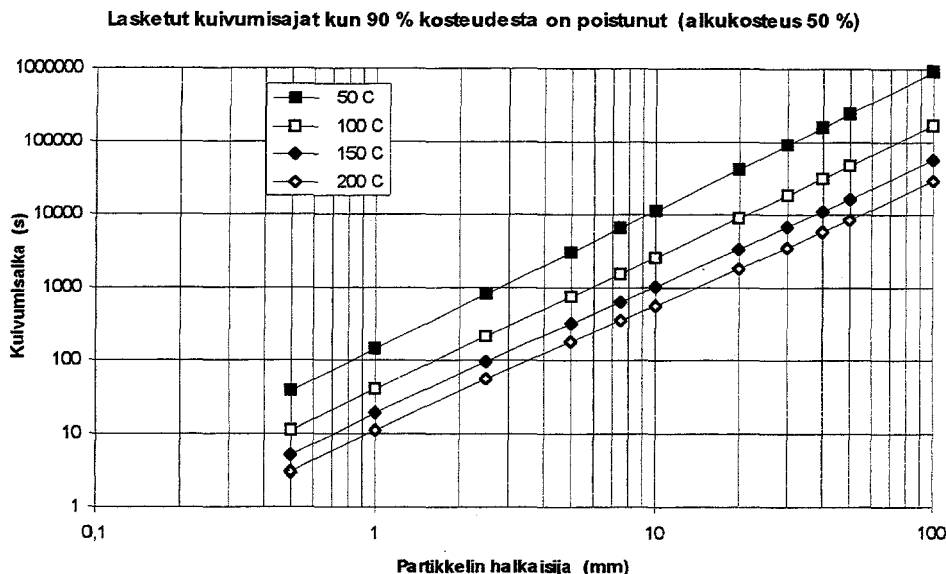
6.2 YKSITTÄISEN POLTTOAINEPARTIKKELIN KUIVUMINEN KAASUVIRTAUKSESSA

Useimmat kiinteät polttoaineet sisältävät runsaasti vettä. Kuivauksella ennen poltto- tai kaasutusprosessia joko savukaasuilla tai höyryllä voidaan parantaa laitoksen taloutta ja pienentää poltto- tai kaasutusyksikön kokoa. Eriyisten poltto-ominaisuuksien (tiheys, lämmönjohtuminen, kaasupermeabiliteetti, diffusiviteetti) ohella kuivuminen riippuu monista tekijöistä kuten partikkelin koko ja muoto, kosteuspitoisuus, kuivauskaasun lämpötila, ympäröivien pintojen lämpötila, kaasun suhteellinen kosteus sekä partikkelin ja kaasun välinen nopeusero.

Tässä työssä on kehitetty kuivumismalli suhteellisen matalille lämpötiloille (alle 200 °C). Näissä lämpötiloissa kuivumismallin ratkaisu perustuu massan- ja lämmönsiirtoyhtälöiden ratkaisemiseen. Kuivuminen sisältää kolme peräkkäistä vaihetta; lyhyt sisäisen kuivumisen jakso, vakionopeudella tapahtuva kuivumisen jakso ja laskevan kuivumisnopeuden jakso. Kuivumisnopeus on tavallisesti vakio, kun kosteuspitoisuus ylittää kriittisen kosteuden rajan. Silloin oletetaan, että kosteus- ja lämpötilajakaumat partikkelin sisällä ovat tasaisia vakionopeudella tapahtuvassa kuivumisjaksossa ja että nestemäinen vesi siirtyy kapillaareissa nopeasti pitäen kosteuskajaan tasaisena. Höyrystymisen oletetaan tapahtuvan partikkelin pinnassa vakionopeudella tapahtuvassa kuivumisjaksossa.

Kun partikkelin kosteus laskee alle kriittisen arvon, laskevan kuivumisnopeuden jakso alkaa. Silloin kosteuspitoisuus höyrystymisvaiheessa kasvaa ja laskeutu kuivumisnopeus pienenee. Kuivumismallilla on laskettu eri tekijöiden vaikutuksia partikkelin kuivumiseen ja kuivumisaikoihin. Kuivauskaasun lämpötila, partikkelin koko ja partikkelin alkukosteus ovat parametreja, jotka eniten vaikuttavat kuivumisnopeuteen. Kuvassa 1 on esitetty mallilla laskettuja puupartikkelin kuivumisaikoja eri kuivumislämpötiloissa.

Kuivumismallin luotettavuus testattiin käytännön vertailukokeilla, missä yksittäisiä puu-, kuori- ja turvepartikkeleita kuivattiin termovaa'alla isotermissä olosuhteissa. Kokeissa seurattiin partikkelin massanmuutosta ja kuivumisnopeutta kuivumisajan funktiona. Kuivumiskäyrissä on luettavissa myös mallissa huomioitavat eri kuivumisjaksot; sisäisen lämpenemisen jakso, vakionopeudella tapahtuva kuivumisen jakso ja laskevan kuivumisnopeuden jakso. Tehdyt vertailukokeet osoittivat, että laadittu kuivumismalli matalille kuivumislämpötiloille kuvaa suhteellisen luotettavasti yksittäisen polttoainepartikkelin kuivumista.



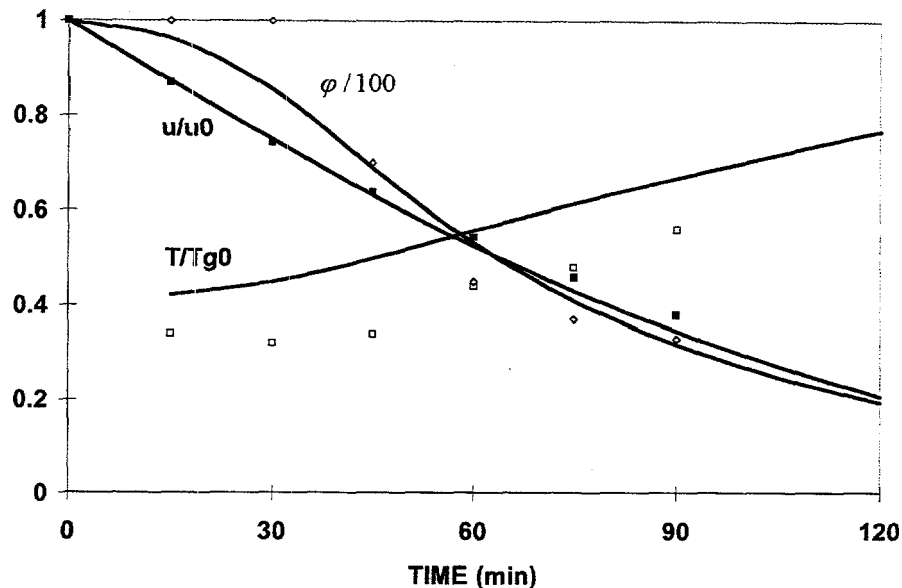
Kuva 1. Kuivausmallilla lasketut yksittäisten partikkelien kuivumisnopeudet sekunteina partikkelin halkaisijan funktiona, kun 90 % partikkelin alkuperäisestä kosteudesta on poistunut. Kuivauskaasun lämpötila vaihtelee 50 - 200 °C. Partikkelin alkukosteus on 50 %.

6.3 POLTTOAINEPARTIKKELIEN KUIVUMINEN KIINTEISSÄ JA LIIKKUVISSA KERROSKUIVUREISSA

Biomassapartikkelien kuivumista sekä kiinteissä (panoskuivaus) että liikkuvissa kerroksissa (myötä-, vasta- ja ristivirta) tarkasteltiin myös sekä teoreettisesti että kokeellisesti. Em. yksittäisen partikkelin kuivumismalli liitettiin laskentamalliin, joka kuvaa lämmön ja kosteuden siirtymistä kerroksien kaasufaasissa. Tarvittava kerroksen koko tietyn kuivumisasteen saavuttamiseksi riippuu mm. seuraavista parametreista; partikkelikoko, partikkeleiden alkukosteus, kaasun sisäänmenolämpötila ja -kosteus sekä kaasun massavirta. Tutkimuksessa tarkasteltiin kuivausta sekä kuumilla kaasuilla että höyryllä.

Kuivumista kiinteissä sekä liikkuvissa kerroksissa on aikaisemmin tutkittu jonkin verran. Kuivumisprosesseissa tuntuva lämpö on pieni verrattuna energian tarpeeseen, joka kuluu itse höyrystymiseen. Siten se voidaan olettaa mitättömäksi tai voidaan käyttää tehollista lisäkosteuspitoisuutta, joka sisältää sen vaikutuksen. Tämän yksinkertaistuksen vuoksi voidaan johtaa nopea menetel-

mä kerroksen kuivumisen laskentaan. Erityistapauksena tehtiin kokeita puuhakkeen kuivumiselle sekä kiinteässä kerroksessa että vastavirtaa simuloivalla koejärjestelyllä (Kuva 2).



Kuva 1. Kokeissa mitattu ja mallilla laskettu puupolttoainepartikkelin kuivuminen kiinteässä pedissä. Keskimääräinen pedin kosteuspitoisuus (u/u_0), kuivauskaasun ulostulolämpötila (T/T_{g0}) ja suhteellinen kosteus ($\phi/100$).

Kehitettyä laskentamallia voidaan käyttää kuivurin mitoittamiseen suurempaan kokoluokkaan. Eri parametrien vaikutus kuivurin kokoon voidaan selvittää laskennallisesti. Mitoituksessa voidaan esimerkiksi laskea joku seuraavasta kolmesta suureesta, kun toiset kaksi on valittu; polttoainekerroksen tilavuus, tarvittava kaasun massavirta tai saavutettava kuivausaste. Kun polttoaine koostuu eri koon ja muodon omaavista partikkeleista, kuivurin mitoitus voidaan tehdä liittämällä laboratoriokokeista saatu partikkelin tehollinen halkaisija laskentaan. Tämän jälkeen voidaan laskennalla mitoittaa kuivuri toisiin olosuhteisiin (kaasun lämpötila, suhteellinen kosteus, polttoaineen kosteus, kaasun massavirta) ja kuivurin virtausjärjestelyihin (vasta-, myötä- ja ristivirta sekä kiinteä kerros).

6.4 YKSITTÄISEN POLTTOAINEPARTIKKELIN KUIVUMINEN VESIHÖYRYSSÄ ERI PAINEISSA

Polttoaineen kuivausta paineistetulla vesihöyryllä on suunniteltu käytettäväksi voimalaitosprosesseissa, jotka soveltuvat kosteille polttoaineille kuten erilaiset puupolttoaineet, turve, ruskohiili ja lietteet. Esimerkiksi Imatran Voima Oy:n kehittämässä IVOSDIG-prosessissa liitetään yhteen paineistettu kuivuri, paineistettu kaasutin ja kaasuturbiini.

Polttoaineen kuivaus puhtaassa vesihöyryssä perustuu siihen, että vesihöyry on tulistettua eli lämpötila korkeampi kuin painetta vastaava kyllästyslämpötila. Tällöin kuivattavan materiaalin lämmitessä ympäristön lämpötilaan nousee materiaalissa olevan veden höyrynpaine voimakkaasti, jolloin vesi höyrystyy ja siirtyy ympäröivään alemmpipaineiseen vesihöyryyn. Kuivuminen tulistetussa höyryssä voidaan ajatella materiaalissa olevan veden kiehumisena ympäristöön, sillä höyrykuivauksessa partikkelin ympärille ei muodostu kuivumista hidastavaa rajakerrosta, jonka läpi vesihöyryn olisi diffuusion vaikutuksesta siirryttävä, kuten tapahtuu ilma- ja savukaasukuivauksessa. Kuivumisen teoria höyryssä on jonkin verran yksinkertaisempi savukaasukuivaukseen verrattuna, koska väliaineena höyrykuivauksessa on vain höyry, jolloin massansiirtoa ei tarvitse tarkastella. Höyrykuivauksessa vesi höyrystyy partikkelissa kiehumislämpötilassa, kun taas kaasulla kuivattaessa höyrystymislämpötila on matalampi.

Höyrykuivureiden käytön eduista voidaan mainita; poistohöyryn sisältämä lämpö saadaan talteen yksinkertaisesti lauhduttamalla höyry. Höyry on turvallinen kuivausympäristö kuivattaessa helposti syttyviä materiaaleja, joten räjähdysvaaraa ei juuri ole. Lisäksi höyryn aineensirto-ominaisuudet ovat paremmat kuin ilmalla tai savukaasulla. Tilavuusvirrat tulistettua höyryä käytettäessä ovat pienemmät kuin savukaasukuivureissa. Paineistetuissa kuivureissa päästään vielä pienempiin laiteratkaisuihin.

6.5 BIOMASSAN KUIVAUKSEN PÄÄSTÖT

Tutkimuksessa on koottu yhteen viime vuosien tutkimusaineisto puupolttoaineiden ja turpeen kuivauksen päästöistä. Työssä tarkasteltiin biopolttoaineiden kuivauksessa (ilmanpaineinen, paineistettu, savukaasu- ja höyrykuivaus) muodostuvia päästöjä, niiden laatua ja määrää sekä eri tekijöiden, kuten raaka-aineen, kuivurityypin ja kuivausolosuhteiden vaikutuksia päästöihin. Lisäksi tarkasteltiin päästöjen muodostumista sekä niiden vaikutuksia ja vähentämismahdollisuuksia.

Biomassoista kuivauksessa vapautuvien yhdisteiden määrään ja koostumukseen vaikuttavat monet tekijät, kuten kuivauslämpötila, kuivausaika ja kuivattava raaka-aine. Kuivauslämpötilalla on erittäin suuri vaikutus päästöjen määrään ja laatuun. Lämpötilan noustessa päästöt kasvavat. Siten savukaasu-kuivauksessa muodostuneet päästöt ovat yleensä suuremmat kuin päästöt höyrykuivauksessa, jossa käytetään matalampia kuivauslämpötiloja. Metsäjätteen ja kuoren kuivauksessa muodostuneet päästöt ovat yleensä suurempia kuin puuta ja turvetta kuivattaessa.

Biopolttoaineiden kuivauksessa vapautuu monia erilaisia kondensoituvia ja kaasumaisia, lähinnä orgaanisia yhdisteitä. Biomassan terminen hajoaminen alkaa jo yli 100 °C:n lämpötilassa vapauttaen haihtuvia happoja kuten etikkahappoa. Matalammissa lämpötiloissa (< 200 °C) muodostuvat päästöt koostuvat lähinnä libofiilisistä yhdisteistä kuten monoterpeeneistä sekä rasva- ja hartsihapoista, jotka vapautuvat sellaisenaan biomassasta. Käytettäessä korkeampia kuivauslämpötiloja (> 200 °C) päästöt sisältävät enemmän termisen hajoamisen tuloksena syntyviä yhdisteitä kuten pienimolekyyllisiä happoja ja alkoholeja, aldehydejä, furfuraaleja, anhydrosokereita ja hiilidioksidia. Niiden määrä lisääntyy voimakkaasti lämpötilan noustessa. Yhdisteiden määrään vaikuttaa biomassan raaka-aine ja sen orgaaninen koostumus.

Päästöt vaikuttavat ympäristöön, terveyteen ja kuivurin toimintaan. Ne aiheuttavat orgaanista kuormitusta ja toksisuutta jätevesiin sekä kaasumaisina yhdisteinä ilmaan hajuhaittoja ja otsonin muodostumista. Näiden vaikutusten merkitys on kuitenkin riippuvainen vallitsevista paikallisista olosuhteista ja ympäristöstä. Lisäksi varsinkin tarraavat rasva- ja hartsihapot vaikuttavat kerrostumien muodostumiseen kuivureiden laitepinnoille.

Päästöjen vähentämiseksi on suositeltavaa käyttää matalampia kuivauslämpötiloja ja lyhyempiä kuivausaikoja, minimoida kaasumaiset päästöt käyttämällä höyrykuivausta tai polttamalla terpeenejä sisältävät päästökaasut ja johtamalla jätevedet pH:n säädön jälkeen puhdistukseen.

7 TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN

Tämän kuivausprojektin tuloksia voidaan hyödyntää suunniteltaessa ja rakennettaessa kuivureita erilaisille poltto- ja voimalaitoksille. Tässä tutkimuksessa saatuja tuloksia on jo sovellettu muutamissa erillisprojekteissa ja joitakin uusia hankkeita on vireillä. Soveltamiskohteita löytyy sekä voimalaitos-, alueläm-

mitys- että kiinteistökokoluokista. Lisäksi erilaisten jätelietteiden kuivaus ennen polttoa on jatkossa kehitystyön kohteena. Tuloksia ja menetelmiä voidaan hyödyntää myös muussa prosessiteollisuudessa ja muiden materiaalien kuivauksessa.

8 RAPORTIT JA JULKAISUT

Kääriäinen, J. & Impola, R. 1993. Turve- ja hakepartikkeleiden liike kaasuvirtauksessa - sovellutus pneumaattiseen kuivaukseen. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, poltto- ja lämpötekniikan laboratorio. 16 s. + liitteet 5 s.

Impola, R. & Saastamoinen, J. 1994. Kiinteiden polttoaineiden kuivumisominaisuuksien karakterisointi. Väkiraportti. VTT Energia. 20 s. + liitteet 32 s.

Impola, R. & Saastamoinen, J. 1995. Kiinteiden polttoaineiden kuivumisominaisuuksien karakterisointi. Väkiraportti. VTT Energia. 37 s. + liitteet 64 s.

Saastamoinen, J. & Heiskanen, V-P. 1996. Yksittäisen polttoainepartikkelin kuivuminen vesihöyryssä eri paineissa. VTT Energia, Jyväskylä. 8 s.

Saastamoinen, J. & Impola, R. 1996. Biomassapartikkelin kuivuminen kiinteissä ja liikkuvissa kerroskuivureissa. Raportti. VTT Energia, Jyväskylä. 4 s.

Fagernäs, L. 1996. Biomassan kuivuksen päästöt. Raportti. Bioenergian tutkimusohjelma. VTT Energia, Espoo. 11 s.

Impola, R., Saastamoinen, J. & Fagernäs, L. 1996. Kiinteiden polttoaineiden kuivumisparametrien karakterisointi. Loppuraportti. VTT Energia. 54 s. + liitteet 71 s.

Kääriäinen, J. 1993. Turve- ja hakepartikkeleiden liike kaasuvirtauksessa - sovellutus pneumaattiseen kuivaukseen. Diplomityö. Oulu 1993. Oulun yliopisto. 104 s. + liitteet 21 s.

Saastamoinen, J. & Impola, R. 1994. Drying of Solid Fuel Particles in Hot Gases. Drying 94. V. Rudolph, R.B. Keey and A.S. Mujumdar (Editors). Proceedings of the 9th International Drying Symposium (IDS'94), Gold Coast, Australia, August 1-4, 1994, pp. 623 - 630.

Impola, R. & Saastamoinen, J. 1994. Kiinteiden polttoaineiden kuivumisparametrien karakterisointi. Jyväskylä, VTT Energia. BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMA, Vuosikirja 1993. Osa III, Bioenergian käyttö ja biomassan jalostus. Bioenergian tutkimusohjelma, julkaisuja 3, s. 101 - 107.

Impola, R., Saastamoinen, J. & Kääriäinen, J. 1994. Characterization of Drying Properties of Biofuels. Teoksessa: Chartier, Ph., Beenackers A.A.C.M. & Grassi G. (Editors). Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry. Proceedings of the 8th European Biomass Conference, Volume 2, Vienna, Austria, 3-5 October 1994, pp. 1498 - 1505.

Impola, R. & Saastamoinen, J. 1995. Kiinteiden polttoaineiden kuivumisparametrien karakterisointi. Jyväskylä, VTT Energia. BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMA, Vuosikirja 1994. Osa III, Bioenergian käyttö ja biomassan jalostus. Bioenergian tutkimusohjelma, julkaisuja 6, s. 41 - 48.

Saastamoinen, J. & Impola, R. 1995. Drying of Solid Particles in Hot Gases. Drying Technology, 13(5-7), p. 1305 - 1315.

Saastamoinen, J. & Richard, J-R. 1995. Simultaneous Drying and Pyrolysis of Solid Fuel Particles. Combustion and Flame, vol. 106, p. 288 - 300.

Impola, R., Saastamoinen, J. & Fagernäs, L. 1996. Kiinteiden polttoaineiden kuivumisparametrien karakterisointi. Jyväskylä, VTT Energia. BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMA, Vuosikirja 1995. Osa III, Bioenergian käyttö ja biomassan jalostus. Bioenergian tutkimusohjelma, julkaisuja 11, s. 47 - 57.

Impola, R. & Saastamoinen, J. 1996. Kuivauksen uudet perustiedot. BIOENERGIA - Tutkimusohjelman tiedotuslehti 1/96, s. 26 - 27.

Saastamoinen, J. & Impola, R. 1996. Drying of Biomass Particles in Fixed and Moving Beds. Drying 96. C. Strumillo, Z. Pakowski and A.S. Mujumdar (Editor). Proceedings of 10th International Drying Symposium (IDS'96), Krakow, Poland, 30 July - 2 August, 1996, vol A, pp. 349 - 356.

Fagernäs, L. & Sipilä, K. 1996. Emissions from biomass drying. Proceedings of Conference on Developments in Thermochemical Biomass Conversion, Banff, Canada, 20 - 24 May, 1996, pp. 783 - 797.

Saastamoinen, J. & Impola, R. 1996. Drying of Biomass Particles in Fixed and Moving Beds. Accepted by Drying Technology, 14(5-7), 7 p.

KARTONKILJETTEEN PAINEISTETTU KUIVAUS

- Y310

Martti Äijälä, Olli Heinonen, Janne Tiihonen, Seppo Hulkkonen
Imatran Voima Oy
Rajatorpantie 8, Vantaa
01019 IVO

Puh. (09) 856 11
Fax (09) 5632 225
martti.ajjala@ivo.fi; olli.heinonen@ivo.fi

Abstract: Pressurized drying of paper mill sludge

The original objective of the project was to study and develop pressurized steam drying of paper mill sludge for a power plant project in the USA. The power plant consisted of an atmospheric fluidized bed boiler to burn cardboard sludge produced in a nearby paper mill. The sludge was planned to be dried prior to combustion in a pressurized steam dryer developed by IVO, and the steam released during drying would have been used to raise new steam for the paper mill. The recovery of the heat used for drying the sludge made the case attractive. However, due to the difficulties in getting a long term fuel contract, the project developer was forced to cancel the project. The contents of this project was changed accordingly. The study was changed to a more general examination of fuel drying technologies and potential of different high moisture content fuels in USA. Additionally, paper mill sludge drying tests were carried out in IVO's and VTT's pressurized steam drying pilot plant in Jyväskylä. The economics of the use of high pressure steam drying in a paper mill application was also assessed.

1 TAUSTA

Hanke pohjautui alun perin USAlaisen yrityksen suunnittelemaan voimalaitoshankkeeseen, jossa yhtenä osaprosessina oli kartonkilietteen polttaminen ilma-kehän paineisessa leijukerroskattilassa. Hanke suunniteltiin toteutettavaksi paperitehtaan läheisyydessä St. Helensissä, Oregonissa. Kartonkiliete oli määrä kuivata ennen polttoa IVOssa kehitetyllä paineistetulla höyrykuivurilla, jolloin polttoaineesta vapautuvalla kuivaushöyryllä olisi voitu tuottaa prosessihöyryä paperitehtaalle.

Loppuvuodesta 1995 kuitenkin ilmeni, että Oregonin hanke USAssa ei tulisi etenemään kaavailujen mukaisesti. Voimalaitoshankkeen kehittäjä ilmoitti, että yhtiö ei saa riittävän pitkäaikaista sopimusta kartonkilietettä toimittavan laitoksen kanssa, joten lietteenpoltto-osaa ei toteutettaisi. Sen sijaan muu osa laitoshankkeesta menisi eteenpäin. Tämän vuoksi tutkimusprojektin sisältöä muutettiin yleisemmäksi sisältäen USAssa käytettävien kuivaustekniikoiden arvioinnin ja kuivattavien polttoaineiden potentiaalikartoituksen. Tämän lisäksi selvitettiin kartonkilietteen kuivauksen taloutta ja tehtiin lietteen kuivauskokeita.

2 TAVOITE

Projektin alkuperäisenä tavoitteena oli jatkokehittää kokeellisesti kuivaustekniikkaa lietteen kuivaukseen sopivaksi, eritoten Oregonin voimantuotantotapaseen sopivaksi. Lisäksi tarkoituksena oli esisuunnitella tarvittava laitteisto ja laatia kuivauslaitteistosta tarjous ja kehittää hanketta investointipäätökseen saakka. Tavoitteita olivat:

1. Kuivurinlaitoksen talouden laskenta kannattavuuden toteamiseksi Oregonhankkeessa
2. Kartonkilietteen kuivauskokeet Jyväskylän koelaitteella
3. Kuivurin esisuunnittelu ja tekniset valinnat
4. Kuivurin markkinaselvitys
5. Kuivurin hinnoittelu ja tarjouksen laatiminen
6. Kuivurin detaljisuunnittelu
7. Kuivurin rakentamisen ja demonstraatiohankkeen valmistelu.

3 TOTEUTUS

Oregon projekti USAssa ei edennyt suunnitelmien mukaan, minkä takia suunnitelmia jouduttiin muuttamaan. Hankkeen korvaavaksi päätettiin tehdä yleisempi selvitys kuivaustekniikan tilasta ja markkinoista USAssa.

Toteutuneet tehtävät olivat seuraavat:

1. Paineistetun kuivauslaitoksen talouden laskenta
2. Kartonkilietteen kuivauskokeet Jyväskylässä
3. Kuivureiden tekninen selvitys
4. Kosteiden polttoaineiden potentiaalikartoitus Pohjois-Amerikassa
5. Raportointi.

4 TULOKSET

Osatehtävässä 1 selvitettiin paineistetun höyrykuivurin kannattavuutta kartonkilietteen kuivauksessa Oregonin tapauksessa. Tarkoituksena oli kuivata paperitehtaalta saatava kartonkijäte n. 20 bar paineessa, ja lauhduttaa polttoaineesta höyrystynyt höyry lämmönvaihtimessa, jossa tuotettaisiin 17 bar/240 °C höyryä toimitettavaksi takaisin paperitehtaalle. Kuivurin tarvitsema energia otettaisiin maakaasulla toimivan kaasuturbiinin jätelämpökattilasta. Vertailutilanteeksi valittiin tilanne, jossa liete poltetaan kattilassa ilman kuivuria.

Laskelman mukaan käytetyillä sähkön ja lämmön hinnoilla kuivurin kytkeminen ei ole taloudellisesti kannattavaa mikäli liete voidaan polttaa ilman kuivausta. Todennäköisempää kuitenkin on, että liete on teknisistä syistä kuivattava, jolloin esitetty ratkaisu olisi kilpailukykyinen. Verrattuna tilanteeseen jossa liete korvattaisiin hiilellä, saatiin kuivurin nykyarvoksi + 26 miljoonaa markkaa. Tällöin kuivurin rakentaminen olisi ollut perusteltua.

Kartonkilietteiden kuivauskokeet toteutettiin syksyllä 1995 käyttäen syötteellä Stromsdalin tehtaalta Juankoskelta tilattua lietettä. Kokeet tehtiin IVOn ja VTTn yhteisellä paineistetun kuivauksen koelaitteistolla Jyväskylässä. Kokeet toteutettiin kahdessa erässä siten, ensimmäiset kokeet koostuivat laskeutusaltaasta pumpatun kuitupitoisen lietteen ja biologiselta vedenpuhdistuslaitokselta tulevan biolietteen sekoituksesta. Tämä vastasi tarkasteltavaa karton-

kilietettä. Toisessa erässä liete koostui primäärilietteen ja kuorimolietteen sekoituksesta. Kokonaiskoeaika oli n. 60 tuntia. Kokeet tehtiin 23 bar paineessa ja n. 300-340 °C lämpötilassa. Kartonkilietteen osalta kokeet sujuivat hyvin, kun taas jälkimmäisen primäärilietteen ja kuorimolietteen sekoituksen kuivaus aiheutti tukkeutumia syklonissa. Lietteiden alkukosteus oli n.60% ja mitatut loppukosteudet 20-30%.

Oregon-projektin peruunnuttua päätettiin tehdä yleisempi selvitys kuivaustekniikastajapotentiaalista USAssa (osatehtävät 3 ja 4). Hanke teetettiin EPRIN kautta, jossa projektia hoiti EPRIN projektipäällikköjen apuna S. Hulkkonen IVOsta. Hankkeen sisällöksi asetettiin USAssa käytettävien kuivaustekniikoiden tekninen kartoitus ja kosteiden polttoaineiden potentiaaliselvitys. Teknisesti hankkeessa verrattiin IVOssa kehitettäviä höyrykuivureita muihin kaupallisiin kuivureihin. Polttoaineista tutkimukseen valittiin metsäteollisuuden lietteet, turve, bagassi, kuori ja erilaiset puujätteet.

Hanke toteutettiin EPRIN tapaan käyttäen ulkopuolista kontraktoria. Tarjouskilpailun jälkeen alkuvuodesta 1996 kontraktoriksi valittiin H.A Simons Vancouverista, Kanadasta. H.A Simonsin tekemästä selvityksestä on kirjoitettu raportti: Thermal Drying of Wet Fuels: Opportunities and Technology. Raportti on valmis, ja se julkaistaan EPRI-raporttina alkuvuodesta 1997.

Selvityksen mukaan suurin potentiaali kuivaukselle on metsäteollisuuden lietteiden kuivauksessa. Lietteiden hävittäminen kallistuu ja saman aikaisesta kierrätyskuitujen käyttö lisää lietteiden muodostumista. Puujätteet, kuten sahanpuru, sen sijaan usein ovat liian arvokkaita kuituraaka-aineita, joten niiden käyttöä polttoprosesseissa pidettiin useimmiten epätaloudellisena. Kuivaustekniikoista selvityksessä tarkasteltiin erilaisia savukaasu- ja höyrykuivausratkaisuja. Selvästi potentiaalia kehityspuolella oli höyrykuivauksessa.

EPRIssä tehdyn tutkimuksen tuloksia on esitelty Bioenergy 96 konferenssissa Tenneseessä syyskuussa 1996 ja Canadian Pulp and Paper Associationin kokouksessa tammikuussa 1997.

5 RAHOITUS

Projektin toteutuneet kustannukset ovat olleet n. 609 kmk, josta TEKESiltä on laskutettu n. 182 kmk.

6 JATKOSUUNNITELMAT

Projektia ei sellaisenaan jatketa. Jäljelle jääneen rahoituksen käyttämisestä johonkin toiseen vastaavan tyyppiseen hankkeeseen neuvotellaan TEKESin kanssa.

7 RAPORTIT

Tiihonen J., Oregonin IVOSDIG-kuivurin nykyarvotarkastelu. IVON sisäimen työseloste. 4.10.1995. 7 s.

Tiihonen J., Heinonen O., Äijälä M., Oregon - hankkeeseen liittyvät kuivaus-okeet Jyväskylässä paineistetulla höyrykuivurilla. Työseloste. Imatran Voima Oy. 28 s.

Thermal Drying of Wet Fuels. EPRI TR-107109.

Tumbull J., Hulkkonen S., Bruce D., Sinclair M., Options for Biomass Drying: What's Feasible? What's Practical. Bioenergy 96 conference. Nashville, TN, September 15-20, 1996.

Bruce D., Hulkkonen S., Thermal Drying: Benefits, Technology, and Applications. 83 rd annual meeting of the Technical Section, Canadian Pulp and Paper Association (CPPA), January 27-31, 1997.

Äijälä M., Heinonen O., Kartonkilietteen paineistettu kuivaus. Projektin väliraportti 23.12.1996.

KIERRÄTYSPOLTTOAINEEN VASTAANOTTO-, MURSKAUS-JA SEULONTAJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN - Y 309

Antti Nurmi
BMH Wood Technology Oy
PL 32
26 101 Rauma

Puh. (02) 83 151
Fax (02) 822 1327

Abstract: Development of a system for receiving, crushing and screening recycled fuel (REF) material

The goal of this project is to develop a system to which source sorted combustible industrial, office and municipal waste material can be taken and where it is then processed in such way that it can be burnt in modern fluidized bed and circulating bed boilers. The project started in the end of year 1995. The main stages of the project are: 1) Study and analysis of existing technology and equipment, 2) Development of system components, 3) Development of the system , 4) Building a pilot/demonstration plant, 5) Tests and results analysis and 6) Decisions on further actions. In the year 1996 the main stage was development of system components; especially crushing. Results of running slow-speed big crushers were collected, analysed and the main development details determined. Additionally, particle size distribution from different crushing methods were analyzed using also primary and secondary crushing. Development of a heavy-duty 2-rotor ECO-Crusher and a crushing screen was started. Regarding to the development of the REF-system, different alternatives have been analyzed and possible demonstration places have been searched. The first multi-crushing line will be demonstrated in Sweden.

1 TAUSTA

Kierrätyspolttoaineen käyttö energiantuotannossa tulee lähivuosina lisääntymään Suomessa ja muissa pohjoismaissa huomattavasti johtuen mm. toteutuneesta jäteverosta, lainsäädännön edellyttämästä kaatopaikkakuormituksen pienentämisestä vuoden 1990 tasosta 50 % vuoteen 2000 mennessä, sekä siitä, että syntypistelajitellun, polttokelpoisen jätteen hyödyntämiseksi alkaa olla saatavilla tehokasta, luotettavaa ja turvallista teknologiaa. REF- polttoaineen energiakäytön potentiaali Suomessa on noin 0,5 Mtoe/a, joka muodostuu pääasiassa pakkausjätteestä sekä rakennustoiminnan ja yhdyskuntien jätteistä. Metsäteollisuuden tuotannosta syntyvät jätteet eivät ole mukana edellämainitussa luvussa.

Kierrätyspolttoaineiden käyttö on tähän asti rajoittunut lähinnä puunjalostusteollisuuden omiin voimalaitoksiin, jotka ovat hyödyntäneet polttokelpoista teollisuusjätettä paikallisesti. Olemassaolevat kiinteän polttoaineen vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmät on useimmiten suunniteltu tietylle, pitkään tunnetulle polttoaineelle, kuten turpeelle tai metsähakkeelle, jonka materiaaliominaisuudet ovat varsin homogeenisia verrattuna kierrätyspolttoaineeseen. Käytettäessä kierrätyspolttoaineita laajemmin on joko rakennettava voimalaitokselle oma vastaanotto- ja käsittelylinja kierrätyspolttoaineen valmistamiseksi tai rakennetaan erillinen, terminaalityyppinen laitos kierrätyspolttoaineen valmistamiseksi, josta se maantie- tai rautatiekuljetuksena tuodaan voimalaitokselle.

2 PROJEKTIN TAVOITE

Projektin tavoitteena on kehittää kierrätyspolttoaineen vastaanotto-, murskaus- ja seulontajärjestelmä, johon voidaan suoraan kuljetusajoneuvosta vastaanottaa syntypaikkalajiteltua, polttokelpoista teollisuus-, toimisto- ja yhdyskuntajätettä käsiteltäväksi palakooltaan sopivaksi, sekoittuneeksi, homogeeniseksi polttoaineeksi, joka voidaan hyödyntää nykyaikaisissa leijupetikattiloissa.

Projektin päävaiheet ovat:

1. Tiedonkeruuvaihe
2. Järjestelmäkokonaisuuden alustava hahmottelu
3. Osakokonaisuuksien kehittäminen
4. Järjestelmäkokonaisuuden kehittäminen ja optimointi

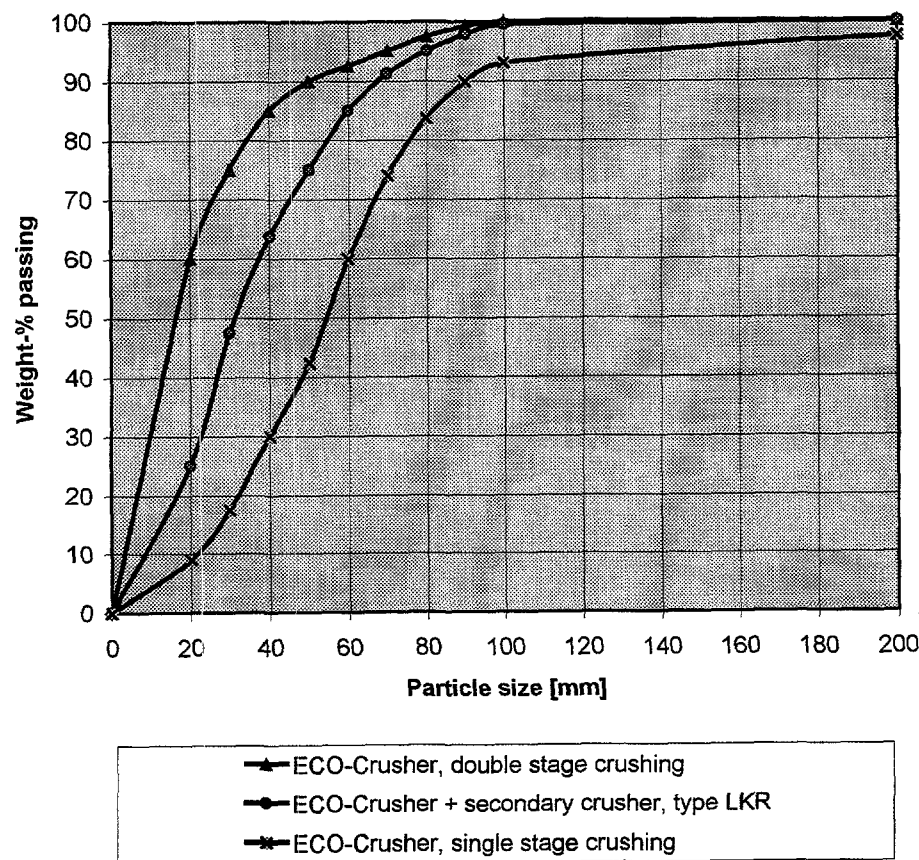
5. Pilot/demonstraatio-laitteiston rakentaminen ja testaukset
6. Testitulosten analysointi ja jatkokehitystarpeiden määrittely

3 PROJEKTIN TOTEUTUS 1996

3.1 MURSKAUKSEN KEHITTÄMINEN

Osana murskauksen kehittämistä on tutkittu olemassaolevien, hitaastipyörivien murskaimien käyttökokemuksia. Laitteista useimmat ovat käytössä 24 h/vrk, joka tietenkin vaatii murskaimilta varmatoimisuutta ja tiettyä automaatioastetta. Kohteissa murskattava materiaali on hyvin vaihtelevaa; paperijätettä, kuorta, hylsyjä, kantoja, rakennusjätettä, lavoja, pakkausjätettä, nauhoja, muoveja, tarralaminaatteja, liimahartsikokkareita, risuja yms. Laitteiden huoltotoimenpiteet vaihtelevat huomattavasti eri kohteissa. Käyttökokemusten perusteella on valittu tärkeimmät kehityskohteet.

Murskauskokeissa on käytetty kierrätyspolttoainetta, REF, joka on sisältänyt myös kotitalouksista peräisin olevaa polttokelpoista materiaalia. Kierrätyspoltoaineen kosteus on vaihdellut 27 % - 32 % ja irtotiheys 90 kg/m^3 - 170 kg/m^3 . Kokeissa on käytetty sekä yhtä murskainta, että järjestelmää, jossa on kaksi eri tyyppistä murskainta peräkkäin. Palakokojakauman selville saamiseksi on käytetty testiseulaa, joka on sisältänyt tasot 200 mm, 100 mm, 50 mm, ja pohja. Kokeiden perusteella voidaan sanoa, että murskattaessa seoksena eli materiaali on sisältänyt paperin ja muovin lisäksi myös esim. puuta, niin murskaustulos on parempi kuin pelkästään yhtä tai kahta materiaalia murskattaessa. Mikäli pyritään yhdellä murskaimella huomattavan pieneen palakokoon niin laitteen kapasiteetti saattaa muodostua alhaiseksi. Lisäksi murskaimen huollettavuus-
seikat on otettava jatkuvatoimisessa prosessissa huomioon. Ylisuurten; yli 100 mm osuus kahden murskaimen läpi ajettaessa on lähes nolla.



Kuva 1. Tyypillinen palakokojakauma murskauskokeissa (ECO-Crusher).

Edullisin palakokojakauma saavutetaan käytettäessä kahta erillistä murskainta. Lisäksi kapasiteetti-, käyttövarmuus- ja huollettavuustekijät puoltavat sitä näkökantaa, että kierrätyspolttoaineen käsittelylinjassa on syytä olla useampia laitteita alkuperäisen raaka-aineen palakoon pienentämiseksi. Joidenkin vasaramurskaimien tuottaman murskeen palakokojakaumasta voidaan todeta, että ne jauhavat polttokelpoista materiaalia ehkä liiankin pieneksi; jopa 50 % on palakooltaan alle 10 mm. Käytettäessä linjaa, jossa on esim. kaksi hidaskäyntistä murskausyksikköä on mahdollista sijoittaa esim. ferromagneettisten partikkeleiden erotus murskausyksiköiden välissä olevaan kuljetinlinjaan.

3.2 SEULONNAN KEHITTÄMINEN

Yleisesti kiinteän polttoaineen käsittelylinjoissa olisi edullista, että seulonta on sijoitettuna linjan alkupäähän. REF-järjestelmissä saattaa tapauksesta riippuen olla tarpeellista erotella ylisuureksi jäänyt partikkeli esimuskauksen jälkeen ajettavaksi erityyppisen murskaimen lävitse.

Alkuvuonna 1996 tehtiin kokeita ylisuuren partikkelin erottelijakoelaitteella. Testien perusteella voidaan todeta, että kohtuullisen homogeenisella ja kuivahkolla syntypistelajitellulla polttokelpoisella jätemateriaalilla erottelu onnistuu. Useimmiten käsiteltävän materiaalin ominaisuudet vaativat myös murskausvaikutuksen lisäämistä seulaan.

3.3 JÄRJESTELMÄKOKONAISUUDEN KEHITTÄMINEN

Järjestelmävaihtoehtoja on useita riippuen kohteesta käytettävästä raaka-ainejakaumasta, epäpuhtauksien määrästä ja voimalaitoksella olemassaolevasta systeemistä. Vastaanottoon on syytä järjestää jonkintyyppinen kontrolli saapuvalle materiaalille. Monissa tapauksissa usempivaiheinen murskaus on kokonaisuuden kannalta edullinen ratkaisu. Ferromagneettisten materiaalien erotus on mahdollista järjestää esimurskauksen jälkeen mikäli vastaanotossa on kontrolli. Murskaavan seulan tarve ja sijoitus riippuvat käsiteltävästä materiaalista ja käyttökohteesta. Ei-ferromagneettisten, haitallisten materiaalien erottaminen korkealaatuisesta polttoainevirrasta saattaa tulla kysymykseen joissakin tapauksissa. Tämä voidaan hoitaa joko järjestämällä linjaan metallinilmaisinta mekaaninen erotus tai Eddy Current-tekniikalla. Loppuvuonna 1996 Ruotsista on löytynyt tietyn tyyppinen demonstraatiokohde, jossa on tarkoitus toteuttaa mm. useampivaiheinen murskaus.

4 PROJEKTIN TOIMINTASUUNNITELMA 1997

Vuoden 1997 ensimmäisellä puoliskolla on tarkoitus jatkaa osakokonaisuuksien kehittämistä mm. suunnitella ja testata tuotantokäyttöön tarkoitettu täysimittainen 2-roottorinen ECO-Crusher. Murskaavan seulan suunnittelu ja testaus toteutetaan. Muiden osakokonaisuuksien kehitystyötä ja eri järjestelmävaihtoehtoratkaisujen suunnittelua ja analysointia jatketaan.

5 PROJEKTIN AIKATAULU JA RAHOITUS

Projektiin on anottu ja myönnetty aikataulumuutosta vuonna 1996 johtuen lähinnä demonstraatiokohteen löytymisen viivästymisen takia.

BMH Wood Technology Oy rahoittaa 70 % projektista. TEKES osallistuu projektin rahoitukseen 30 %:n osuudella.

SUPPRESSION OF DUST EXPLOSIONS AND IGNITION SPOTS IN BIOMASS-FIRED POWER PLANTS - 307

Carl Wilén
VTT Energia
PL 1601
02044 VTT

Puh. (09) 456 5452
Fax (09) 469 493
carl.wilen@vtt.fi

Aimo Rautalin
VTT Energia
PL 1601
02044 VTT

Puh. (09) 456 5455
Fax (09) 469 493
aimo.rautalin@vtt.fi

Tiivistelmä

Aikaisemmissa tutkimuksissa on määritetty metsähakkuujätepölyn räjähdysominaisuuksia sekä normaalipaineessa että korotetussa lähtöpaineessa. Nämä tekijät, maksimiräjähdyspaine ja maksimipaineennousunopeus, antavat hyvän perustan kyseessä olevan tukahduttamisjärjestelmän käyttökelpoisuuden arviointiin. Tämän tutkimusprojektin tavoitteena oli demonstroida tukahduttamisjärjestelmän soveltuvuus paineistettuihin olosuhteisiin. Tukahduttamiskokeita on tehty Englannissa yhteistyössä Kidde Fire Protection'in (KFP) ja British Coal'in Coal Technology Development Division'in (CTDD) kanssa. Kokeita varten rakennetulla 5 m³:n paineastialla tehtiin kokeita huhtikuun lopulla ja toukokuussa 1996. Vaiheessa 1 tehdyt räjähdysentukahduttamiskokeet 5 baarin ja 10 baarin paineissa osoittivat, että tukahduttaminen onnistui sekä hiili- että biomassapölyjä käytettäessä. Vaiheen 2 tavoitteena on kokeilla räjähdysentukahduttamisjärjestelmää hiilipölylle 17 baarin paineessa käyttäen 4 - 6 tukahduttamispulloa ja 100 baarin dispersiopaineita. Kokeet ajoittuvat vuoden 1997 alkuun.

Biomassalle voidaan käyttää joko nopeaa flash-kuivausta tai hitaampaa rumpu- tai varastokuivausta. Varastokuivauksessa käytetään tavallisesti matalalämpötilaista ilmaa tai jätekaasuja. Projektin tämän osan tavoitteena oli mitata ja arvioida erilaisten polttoaineiden kuivaukseen liittyviä turvallisuustekijöitä ilmanpaineisissa järjestelmissä. Metsäjätehakkeen sekä oljen itsesyttymisominaisuuksia mitattiin johtamalla esilämmitetty ilmavirta näytteen läpi. Kokeet tehtiin ilmakehän paineessa. Vastaavaa riippuvuutta näytteen tai varaston

koosta kuin normaaleissa itsesyttymismääryyksissä ei havaittu. Toisaalta kaasun virtausnopeuden kasvu näyttää lievästi nostavan itsesyttymislämpötilaa. Näissä kokeissa saadut itsesyttymislämpötilat olivat myös selvästi korkeampia kuin tavanomaisella koemenetelmällä vastaaville polttoaineille saadut lämpötilat. Kyseisen osatehtävän tulokset raportoitiin Bioenergian tutkimusohjelman vuosikirjassa 1995.

1 INTRODUCTION

Dust explosion characteristics of forest residue dust both at normal pressure and at elevated initial pressure have been determined in previous studies. These indices give a good base for evaluating the usability of suppression systems to obtain a sufficient level of operational safety in biomass fuel handling equipment.

Dust explosion hazards in atmospheric-pressure bins and equipment are usually provided for by arranging the discharge of explosion pressure through explosion discs or relief vents and by using explosion suppression systems. Total inertisation has been applied in pressurised fuel feeding and handling, which, in the demonstration and industrial size class, results in extremely high operating costs. Suppression systems have been used with success in chemical and food-stuff industry in atmospheric applications. Although the technology is available its application to date has been limited to systems generally operating at atmospheric pressure although some systems have been used at pressures up to 2-3 bar. It is wellknown that as the initial pressure rises the maximum explosion pressure and the rate of rise of pressure also rise thus increasing the demand on the suppression system. There is no references available on the use of suppression technology in biomass (wood, peat) employing process or energy production systems. The technology has neither been demonstrated in pressurised processes.

2 OBJECTIVES

The aim of this project was to survey the suppression systems on the market, their present uses and operational qualifications and possible applicability to biomass dust in atmospheric and pressurised processes. At the beginning of the project an exceptional opportunity to conduct suppression tests with both coal and biomass dust offered. Consequently, the main effort and resources were directed to this experimental work, the final overall aim still being to evaluate the suitability of suppression systems for replacing or complementing present inertisation systems.

In the second task of the project, self-ignition properties of forest residue dust and straw dust were measured in a flow-through system simulating slow drying of the fuel. These test were completed in 1995 and reported in the Yearbook 1995.

3 REALISATION

VTT Energy and Coal Technology Development Division (CTDD) of British Coal agreed in mid-1995 to carry out the suppression tests at elevated pressure in a vessel designed and built for this purpose. A 5.6 m³ pressure vessel was designed and constructed in late 1995. The overall test programme was divided into two phases, allowing a reconsideration of the programme after Phase 1. In Phase 1 suppression tests at 1 - 10 bar pressure were carried out in co-operation between VTT Energy, CTDD, Kidde Fire Protection (KFP) and Health & Safety Executive, Great Britain. The tests commenced in April 1996 and the Phase 1 work was completed in May 1996.

4 FINANCING

Financer	1995-96, mk
Bioenergia Research Programme	380 000
Foster Wheeler Energia Oy	50 000
Imatran Voima Oy	50 000
Carbona Inc.	50 000
Elkraft/Elsam	50 000
VTT Energy	120 000
TOTAL	700 000

The suppression tests were jointly financed by CTDD and this project. The share of the current project was about 25 %.

5 EXPLOSION SUPPRESSION

Explosion suppression is a procedure whereby the incipient explosion is detected and extinguished, with a suitable suppressant, before the explosion pressure exceeds the vessel pressure shock resistance. In the suppression system, the dust explosion is suppressed immediately after ignition, before the explosion pressure reaches the design pressure of the equipment or the bin. Thus

like explosion venting, the design criteria for suppression require that:

$$P_{\text{red}} < P_s$$

where P_{red} is the reduced (suppressed) explosion pressure and P_s is the pressure load corresponding to the minimum yield strength of the vessel.

The pressure rise due to dust explosion is indicated by a sensitive pressure detector based on pressure difference or on the rate of pressure rise, the valves of the extinction vessels are released at pressure P_a , and the dust explosion is suppressed at its initial stage. The overpressure P_{red} formed in the vessel is controlled either by designing the construction sufficiently strong or, if an atmospheric system is concerned, by depressurising through explosion vents.

As an explosion suppression system is an active system, its effectiveness depends on the reliability of the components used in the detection control and release of chemical suppressants. A typical system would normally consist of pressure detectors, suppressors, and a control unit to provide a process/system interface. The choice of suppressant is critical. The suppressant must have free flow capabilities and efficient heat absorption characteristics so that, when introduced into the flame kernel, the chemical removes the heat energy quickly and effectively. The selection of suppressant is often undertaken in consultation with the user and depends on the type of process to be protected. In the food and pharmaceutical industries, for instance, it would be beneficial to select a soluble or chemically clean agent, such as sodium bicarbonate, to reduce the time spent for cleaning down following an activation. In areas where contamination is not a problem it is more appropriate to select a high-efficiency suppressant such as monoammonium phosphate.

Explosion suppression systems must be designed and installed in such a way that their operational effectiveness is assured. This effectiveness is dependent on a number of factors:

- Volume and geometry of vessel
- Explosion characteristics of combustible dust such as: P_{max} - maximum explosion pressure
- K_{St} - maximum rate of pressure rise (constant)
- Process conditions (airflow and turbulence)
- Detector pressure threshold (P_a)
- Type and efficiency of suppressors
- Number and geometric deployment of suppressors

The design of suppression systems, for a given application, is based on an estimate of the worst case explosion pressure/time characteristics in the vessel to be protected. The corresponding suppressant concentration requirement in the combustion kernel can be calculated from the explosibility data and the known efficacy of the suppressant. These elements provide working parameters for the determination of the mass of suppressant required as a function of time. When compared with the predicted suppressant delivery rate into the vessel (defined by the detection pressure and discharge characteristics of the suppressors), the worst case P_{red} can be defined.

6 SUPPRESSION TEST PROGRAMME

6.1 PROJECT COOPERATION

CTDD planned to demonstrate the explosion suppression system in elevated pressures in the intention to apply the system to the coal hopper feeders in their pressurised gasification process. CTDD contacted Kidde Fire Protection Ltd. (KFP), an international company in the business of specialised fire and explosion protection systems with its principal manufacturing facility and headquarters at Northolt, Great Britain. KFP's interest was to extend the utilisation of their atmospheric suppression systems to high-pressure processes. Using their computer modelling of the suppression system and utilising the high pressure explosion data they concluded that suppression was theoretically feasible for both coal and biomass systems operating at pressures up to 25 bar(a). To realistically demonstrate and prove the technology at the pressures and volumes encountered in coal and biomass systems it was necessary to undertake tests at pressures up to about 20 bar(a) in a 5 m³ sized vessel. The Health & Safety Laboratory of Britain (HSL) was also involved in providing the necessary site and infrastructure for the testing. The tests were performed by Kidde International Research (KIR) under CTDD project management at HSL Buxton site in mid England.

6.2 TEST EQUIPMENT SET-UP

A high pressure test vessel of 5.6 m³ capacity rated to 160 bar pressure was specifically designed and built to be used in the test work. The size and shape of the vessel was made similar to the lockhoppers envisaged for coal and biomass gasification applications. A pressure vessel rated to 160 bar was specified to allow tests to be undertaken at initial (i.e. pre-explosion) pressures up to 18 bar(a) pressure with the explosion being fully contained within the vessel. The results at 18 bar(a) can be confidently extrapolated to 25 bar(a), the

maximum anticipated operating pressure for these lockhoppers. The vessel was equipped with standard KFP suppressor bottles for the injection of the dust (3 bottles) and the injection of the suppressant (max. 6 bottles). The vessel without the suppressant bottles is shown in Figure 1.

A Kistler piezo-electric transducer coupled to a charge and a Kistler piezo-resistive transducers coupled to bridge amplifiers were separately used to measure the pressure history of each unsuppressed and suppressed explosion test within the 5.6 m³ test vessel.

The analogue outputs of each measuring system were fed to a National Instruments data acquisition board and Labview software package which stored the raw data in a digital format at 1 millisecond intervals. The data was also recorded on a Racal Store 14DS instrumentation tape recorder as a back-up. Multiplexed output from the explosion sequencer, the suppression power unit and Incom control unit were also captured.

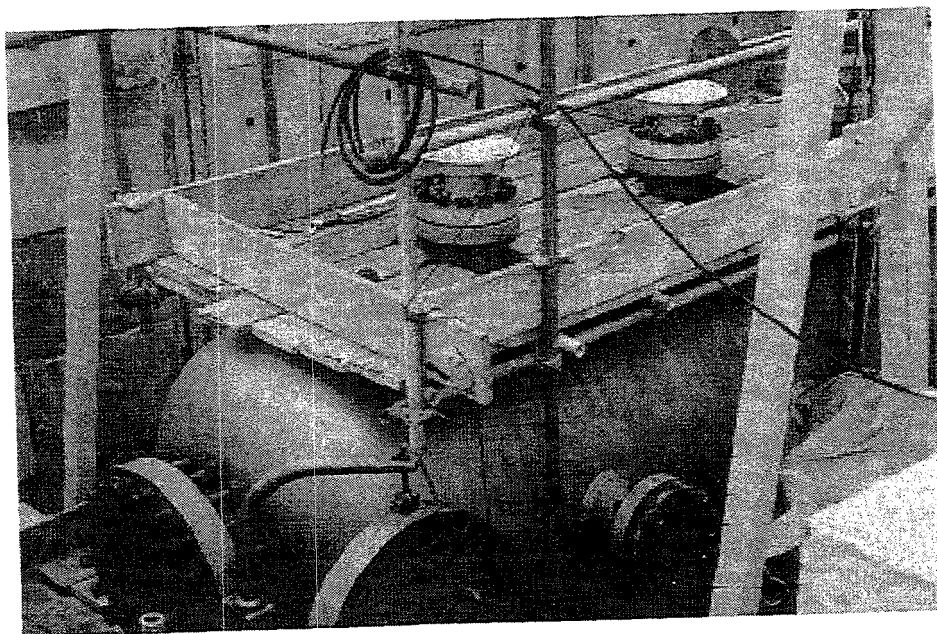


Figure 4. The 5,6 m³ / 160 bar pressure vessel.

6.3 TEST PROCEDURE

The dust injection system comprised three 45 litre dust dispersion canisters evenly distributed along the top of the test vessel. The dust dispersion canisters were simultaneously activated, discharging all their fuel load through conical dispersion nozzles into the test vessel, to achieve a turbulent dust cloud within the test vessel. The propelling agent used to disperse the fuel dust was dry air for the atmospheric pressure tests and nitrogen at all higher initial pressures and was always set at 20 bar(g) above the initial pressure within the test vessel. This method of dust injection was unique to this trial and was necessary to achieve the required fuel dust concentrations for a maximum initial pressure of 20 bar(g) for coal dust and 10 bar(g) for biomass dust.

The method for igniting the fuel dust explosions was by two Sobbe igniters, which is consistent with ISO standard requirement of a 10 kJ ignition source. The point of ignition for all tests was at the geometric centre of the test vessel.

The method of detection for the suppression system was either by the Incom 0 to 30 bar(a) rate of rise detection system or by the static pressure threshold facility of the KFP Research explosion control sequencer system.

For all suppression tests, 35 kg HRD (high rate discharge) suppressors were used to suppress the explosions and were positioned around the side of the test vessel. On activation of the suppression system, the powder suppressant was discharged into the test vessel through conical spreaders. The suppressor propelling agent was dry nitrogen at 60 bar(g) for all suppression tests.

The explosion suppressant used for this trial work was Dessikarb (sodium bicarbonate).

The particle size distribution of the coal and biomass dust was determined prior to the tests. The coal dust was considerably finer and had a mean diameter $D_{50} = 35$ microns compared to the biomass $D_{50} = 300$ microns.

7 TEST RESULTS

7.1 UNSUPPRESSED EXPLOSION TEST

The test work of Phase 1 comprised 29 shots, starting with unsuppressed explosion tests at atmospheric and elevated pressures [1].

The tests were carried out in atmospheric conditions to determine the correct dust dispersion configuration to achieve an ISO standard test result. The time delay for ignition was set to 500 ms. The optimum dust concentration in 1 bar(a) conditions was 750 g/m³ for coal and 500 g/m³ for biomass dust (derived from testing at LOM). At raised initial pressures the amount of dust injected was rationed by the vessel pressure in absolute bar.

A series of unsuppressed coal dust explosion tests were undertaken with initial pressures at 5 bar(g), 10 bar(g) and 17 bar(g) to determine explosion parameters against which the suppression system would be tested.

A corresponding series of unsuppressed biomass dust explosion tests were undertaken with P_i at 5 bar(g) and 10 bar(g). Biomass tests were limited to a maximum initial pressure of 10 bar(g), because of the capacity of the dust dispersion 45 litre canisters. The bulk density of the biomass sample supplied was much lower than expected.

The results of the unsuppressed explosion tests are shown in Figures 2 and 3 together with the values of maximum explosion pressure and rate of pressure rise measured in two different turbulent conditions in the LOM test work [2]. Explosion pressures determined in the Buxton tests show good consistency with the LOM values obtained in the 1 m³ explosion vessel, indicating fair ISO Standard conditions. The rate of pressure rise values measured at Buxton indicate good turbulent conditions in the 5,6 m³ vessel. The coal results show, however, a considerable scattering.

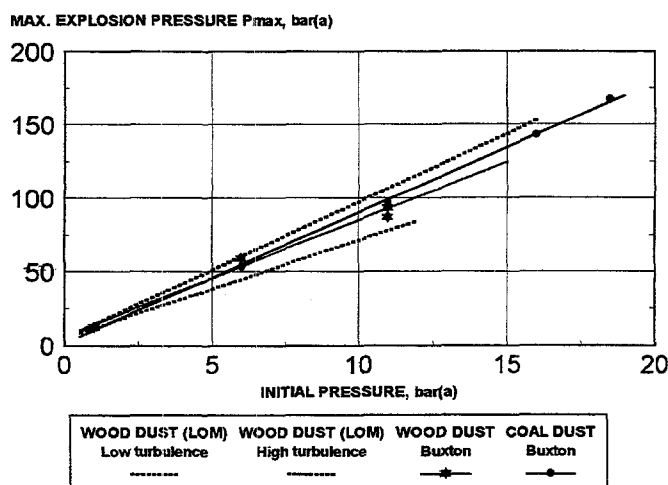


Figure 2. Maximum explosion pressure of LOM and Buxton tests.

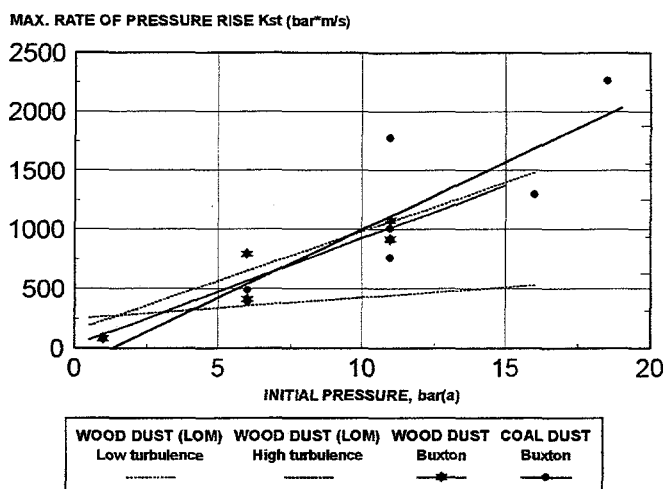


Figure 3. Rate of pressure rise (K_{St} -value) of LOM and Buxton tests.

7.2 SUPPRESSED EXPLOSION TESTS

Suppression tests at P_i of 5 bar(g) and 10 bar(g) with coal and biomass dust using four 35 kg HRD suppressors, show successful explosion suppression with an approximate 2 bar and 4 bar increase in pressure being observed respectively. Suppression was effective because the pressure time curve immediately after ignition of the dust cloud exhibited a relatively slow initial combustion during which the pressure rise was slow. This window of opportunity was used by the suppression system to detect the pressure rise and to instigate suppressant injection before the explosion became uncontrollable.

Coal dust suppression tests at P_i of 17 bar(g) proved to be unsuccessful with either four or three 35 kg HRD suppressors. However, some evidence from the pressure time curve of the last test showed that initial suppression of the explosion was very nearly achieved. On disassembling the 35 kg suppressors large amounts of Dessikarb were found within the suppressor and dispersion devices.

Figure 4 shows the pressure versus time curve of a unsuppressed biomass explosion test at P_i of 10 bar(g). The corresponding suppressed explosion is shown in Figure 5.

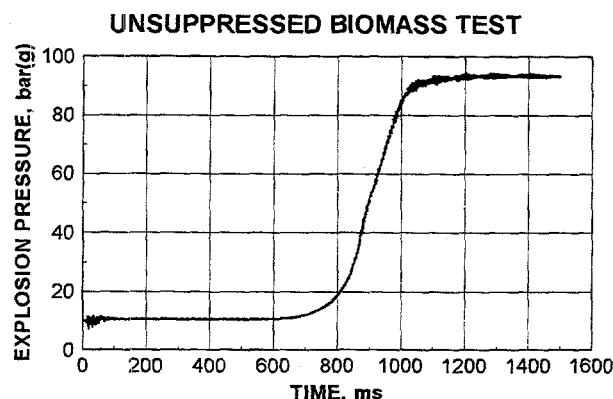


Figure 4. Unsuppressed biomass explosion test at 10 bar(g).

8 CONCLUSIONS

The following conclusions can be drawn from this series of tests:

- Preliminary tests to establish ISO conditions for both coal and biomass dusts were successful and yielded K_{St} and P_{max} values that were consistent with the ISO results achieved in the TNO and LOM 1.0 m³ test vessels.
- The unsuppressed explosion tests show that the coal dust results are similar to those of the biomass dust.

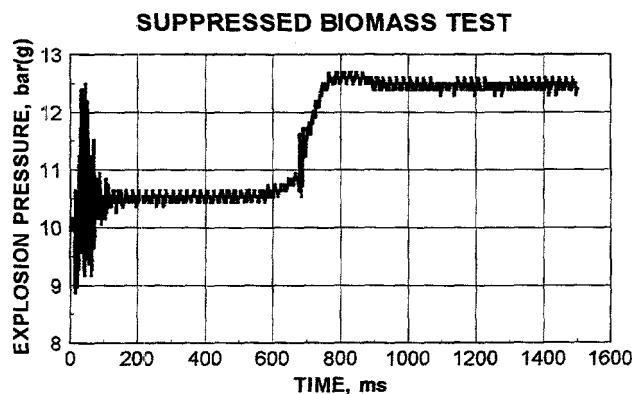


Figure 5. Suppressed biomass explosion test at 10 bar(g).

- Unsuppressed results for both coal and biomass show that there is a short delay after the point of ignition before there is any significant pressure rise.

- The coal dust unsuppressed K_{St} explosion results in the 5.6 m³ test vessel are significantly higher than the results in the TNO 1.0 m³ test vessel. The biomass results are in consistency with the earlier measured LOM values.
- Explosion suppression tests at P_i of 5 bar(g) and 10 bar(g) demonstrated that successful suppressions were achieved with relatively high detection pressures for both coal and biomass dusts.
- Explosion suppression tests at P_i of 17 bar(g) with coal dust proved to be unsuccessful, although test number 29 showed that suppression nearly succeeded at an early stage. This was considered to be attributable to the higher initial pressure impairing the suppressant discharge into the test vessel as the pressure difference was effectively only 40 bar.

9 REFERENCES

Wilén C., Rautalin A., Safe handling of biomass fuels in IGCC power production. Biomass for energy and the environment. Proc. 9th European Bioenergy Conf. Vol 1. Kidlington: Elsevier 1996, p. 170.

Wilén C., Rautalin A., Suppression of dust explosions and ignition spots in biomass-fired power plants, BIOENERGIA research programme, Final report, Espoo, 18 October 1996.

SAFE HANDLING OF RENEWABLE FUELS AND FUEL MIXTURES - 311

Carl Wilén, Aimo Rautalin
VTT Energia
PL 1601
02044 VTT

Puh. (09) 4561
Fax (09) 460 493
carl.wilen@vtt.fi

Tiivistelmä

VTT Energia on usean vuoden aikana tehnyt toimeksiantopohjalta yhteistyötä monen eurooppalaisen tutkimuslaitoksen kanssa polttoaineiden käsittelyyn liittyvien turvallisuuskysymyksien alalla. VTT:n ja näiden tutkimuslaitosten kesken käynnistyi vuonna 1996 kaksivuotinen EU hanke JOULE 3 ohjelmassa, jonka kokonaisbudjetti on 6.9 milj. mk.

Hankkeessa "Safe handling of renewable fuels and fuel mixtures" kehitetään pölyräjähdysten testausmenetelmää "vaikeille" polttoaineille ja korotetussa paineessa ja lämpötilassa tehtäville kokeille. Itsesyttymis- ja pölyräjähdystunuslukuja generoidaan puu- ja agropohjaisille biomassoille sekä näiden ja hiilen seoksille. Inerttisointivaatimukset eri polttoaineille selvitetään ja tukahduttamismenetelmää yhdistettynä osittaisinertisointiin kokeillaan 1 m³ laitteistossa. Termovaakakokeilla karakterisoidaan polttoaineiden syttymisominaisuuksia normaalipaineessa ja korotetussa paineessa. VTT Energia toimii projektin koordinaattorina.

Projektin käynnistys tapahtui virallisesti Espoossa pidetyssä käynnityskokouksessa 12-13.2.1996. Kokouksessa sovittiin ja jaettiin projektissa käytettävien 10 polttoaineen ja kahden polttoaineseoksen hankinnasta, esikäsittelystä ja toimituksista. Polttoaineiden hankinta käynnistettiin välittömästi.

Consortium agreement sopimusluonnos laadittiin yhdessä VTT:n Tukipalvelun kanssa ja allekirjoitettiin partnereiden kesken lokakuussa 1996.

Heinäkuussa 1996 jätettiin Brysseliin ensimmäinen ja tammikuussa 1997 toinen väliraportti.

Itsesyttymiskokeet puu- ja metsätähdepölyllä 25 barin paineessa on viety läpi aikataulussa. Usealle polttoaineelle on lisäksi tehty termovaaka-ajot, seula-analyysit ja mikroskooppitutkimukset polttoaineiden karakterisointi varten.

1 INTRODUCTION

The use of renewable fuels, agricultural residues and low grade coals for producing electricity and/or heat is being promoted within the European Union i.a. for environmental and agricultural-political reasons. New atmospheric biomass combustion, gasification and pyrolysis technologies are being developed for small-scale power production, and pressurised IGCC and PFBC have reached a demonstration stage in large-scale power production. The use of renewable fuels and fuel mixtures sets new requirements on the pretreatment and feed of fuels into the gasification or combustion process. These fuels require extensive safety measures in handling due to their unhomogeneous character, dustiness and inflammability.

Existing information on the assessment of risk and prescription of safety measures is largely concerned with spontaneous ignition risks and dust explosions initiated at atmospheric pressure and temperature. There is, however, hardly any information available on ignition and explosion properties of renewable fuels and biomass-coal mixtures. As the large scale power industry is changing over to processes operating at high pressures and temperatures, the knowledge of safety-technical basic characteristics of fuels in these elevated conditions is of essential significance when designing handling and feeding equipment, planning safety systems and instructions and evaluating fire and explosion hazards.

2 OBJECTIVES

The aim of this project is to create fundamental knowledge and an improved understanding of the safe handling of renewable fuels and fuel mixtures in existing heating and power plants and in new pressurised gasification and combustion demonstration projects. A better knowledge of the safety-technical

characteristics of the fuels concerned will be of valuable support to the design of protection systems and to risk assessments, and thus will significantly improve personnel safety at power plants.

The technical objectives of the study are:

- to characterise the selected fuels and fuel mixtures (biomass, waste fuels, low rank coals) by physical and chemical analyses with regard to their safety-technical characteristics
- to study the spontaneous ignition behaviour of these fuels and fuel mixtures and to assess the necessary preventive actions in various ambient conditions
- to determine the explosion characteristics of the most critical dusts and dust mixtures in both normal conditions and at elevated pressure and temperature, being essential for the design of protective devices
- to experimentally verify explosion-prevention concepts in both ambient and elevated conditions (inertization, suppression)
- to create a criterion based on simple analyses to assess the reactivity of the fuels with regard to their safety-technical properties

3 REALISATION

VTT Energy is coordinator of the project. The project organisation is shown in Figure 1 and the partners listed below:

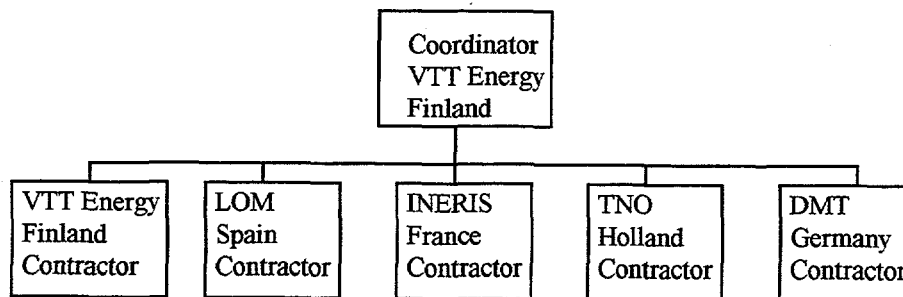


Figure 1. Project organisation.

- VTT Energy (VTT), Finland
- Laboratorio Oficial J. M. Madariaga (LOM), Spain
- Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), France
- TNO Prins Maurits Laboratory (TNO), The Netherlands
- DMT Gesellschaft für Forschung und Prüfung mbH, Institute of Fire and Explosion Protection (DMT), Germany

The tasks designated specifically to VTT Energy are:

- coordination of the project
- selection of fuel samples, preparation and characterisation
- reactivity of the samples at elevated pressure
- self-ignition tests at elevated pressure, inertisation and time factor evaluation
- annual summary reports

4 FINANCING

The total budget of the project is 1 200 ECU (6,9 milj.FIM), of which the contribution of EC is 50 %. The budget of VTT Energy is presented below.

Financer	1996	1997
Bioenergia Research Programme	128 000 FIM	128 000 FIM
EU JOULE 3	321 000 FIM	321 000 FIM
VTT Energy	193 000 FIM	193 000 FIM
TOTAL	642 000 FIM	642 000 FIM

5 RESULTS

5.1 COORDINATION

The actual work on the project started with a kick-off meeting at VTT Energy 12-13 February 1996. At the meeting the detailed work programme was discussed and agreed upon. It was also agreed to have a Consortium Agreement between the partners based on a proposal prepared by the Legal Advisor of

VTT. The Agreement was approved and signed by the partners in October 1996. The second project meeting was held at DMT in Dortmund 29 October 1996. The work of each partner was reviewed and the work programme until the next meeting in spring 1997 was specified.

The First Progress Report was prepared and submitted to Brussels in July 1996. The 12 Monthly Progress Report was submitted in January 1997.

5.2 SAMPLE SELECTION

During the kick-off meeting on 12-13 February 1996 at VTT Energy a decision was taken regarding the selection of samples included in the work program and the responsibility of each contractor in acquiring and preparing the samples. The collecting of the samples selected started immediately and the samples were distributed to the respective partners in April-May. The selected samples were divided into 4 main groups:

Wood fuels and wood wastes:

1. Wood dust, representing a clean wood fuel. Responsible organisation: VTT.
2. Forest residue, a wood chip prepared from small wood, branches and tops containing green parts, bark and some stemwood. Responsible organisation: VTT.
3. Bark, left over from barking and used extensively by the paper and pulp industry as fuel. Responsible organisation: VTT.
4. Pine chips, a Spanish wood fuel used e.g. by the company Union Fenosa in preparing wood based oil by the Waterloo Flash Pyrolyses Process. Responsible organisation: LOM.

Agricultural residues and energy crops:

5. Straw, of barley, representing the large agricultural energy resource. Responsible organisation: LOM.
6. Rape seed straw, a straw with different combustion properties compared to normal straw. Responsible organisation: VTT.
7. Miscanthus and
8. Sorghum, two of the most productive energy crops. Responsible organisation: TNO.

Low rank coals:

9. German lignite, a typical Reinische brown coal. Responsible organisation: DMT.
10. Spanish lignite, a poor coal obtained in open pit mines in Meirama, in the North-West of Spain. Responsible organisation: LOM.

Fuel mixtures:

11. Mixture of wood dust and German lignite.
12. Mixture of barley straw and Spanish lignite.

Three fuels, one from each group, were chosen as secondary samples. These were wood dust, barley straw and German black lignite. The most extensive test program will be performed for these fuels, e.g. high pressure explosion tests, inerting tests and suppression tests in the 1 m³ explosion test facilities, requiring a very large amount of dust to be prepared (600 to 1800 kg per sample). For the mixtures a ratio of 25 kg biomass/75 kg coal was used to give a volume ratio of about 1/1.

To accomplish suitable dusts for the explosion tests it was decided to mill and sieve the fuels to a particle size of 50 % below 200 µm and dry them to a moisture content less than 10 %.

5.3 PARAMETER SELECTION

- Below are listed the selected parameters determined for the samples.
- PHYSICAL: size, shape, density, area, conductivity, diffusivity
- CHEMICAL: proximate, ultimate, heat value, ash analyses
- THERMAL ANALYSIS: TGA/DTGA, DSC, adiab.calor., activ.energy
- FLAMMABILITY: minimum ignition temperature on a layer and in a cloud, minimum explosible concentration, minimum ignition energy
- EXPLOSIBILITY: maximum explosion pressure, maximum rate of pressure rise, limiting oxygen concentration

5.4 ANALYSES OF SAMPLES, VTT

5.4.1 Chemical analyses

The ash and volatile matter contents of the dry samples delivered by VTT (wood dust, forest residue dust, bark dust, rapestraw dust) were analysed in a Leco TGA-500 instrument according to DIN 51719 and DIN 51720. The moisture content of the fuel samples was determined according to DIN 51718. The C, H, and N contents of the dry samples were determined with the Leco CHN-600 analyser. The lower and higher heating values were determined according to DIN 51900.

5.4.2 Particle size distribution

The particle size is of significant importance concerning the performance and the results of the dust explosion tests. The aim was to obtain a fine and uniform dust of all fuels with a mean particle size of 0.2 mm or less. Further, the aim was to compare different particle size analysing methods, mechanical sieving and Laser beam based methods, to evaluate their suitability for fibrous materials.

The method of mechanical sieving was evaluated by sieving a number of fuels 10, 15, 18 and 21 minutes. The results suggest a minimum sieving time of 15 minutes. The differences are typically notable concerning the finest fractions. The mean particle size D_{50} is influenced to a lesser extent.

The sieve analysis of all fuels is shown in Figure 2. The sieving time is 15 minutes. The mean particle size D_{50} , described by the mesh of the sieve dividing the fuel sample in two equal parts, were for the different fuel categories as follows:

Woody biomasses:	$D_{50} = 0.10\text{-}0.32 \text{ mm}$
Agricultural biomasses:	$D_{50} = 0.17\text{-}0.24 \text{ mm}$
Lignites:	$D_{50} = 0.05\text{-}0.06 \text{ mm}$

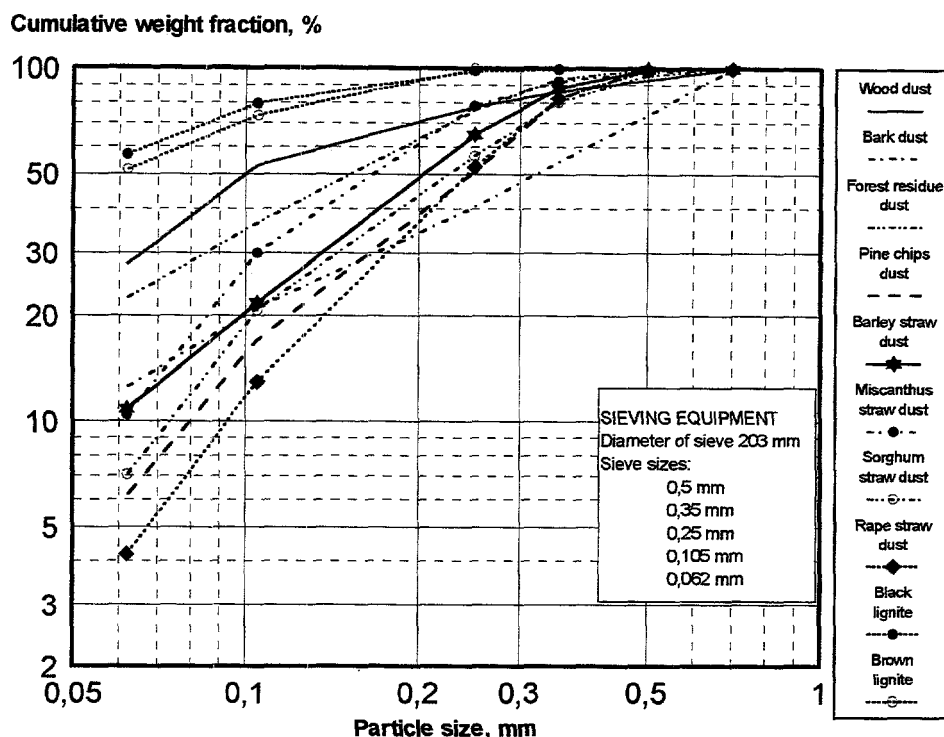


Figure 2. Particle size distribution for all fuel samples (VTT).

5.5 SELF-IGNITION TESTS

Spontaneous ignition is usually studied on at least three samples of different volumes to be able to extrapolate the results for larger amounts. The samples are usually small, or else the time required by the tests would be too long. The sample can be of any shape; however, cylindrical ones (according to bin shape) are most often used.

The following method is used at VTT Energy for determining spontaneous ignition at an elevated pressure dynamic self-ignition test facility.

A cylindrical fuel sample is placed in a metal mesh vessel and then into an autoclave, which is pressurized (maximum 10 MPa), and the desired gas composition is fed in. Prior to feed, the temperature of the gas is raised to that of the autoclave to secure a steady temperature around the sample. The gaseous atmosphere is dynamic, as the gas flows slowly through the autoclave

and the composition of the gaseous atmosphere is nearly constant. The temperature of the sample is raised stepwise. The sample is kept at each temperature stage a sufficiently long time (usually from one to several hours) to monitor whether the ambient temperature is sufficiently high for spontaneous ignition. The temperatures of the midpoint, and of one end of the sample as well as the temperature of the gas, and gas analyses, are recorded. The temperature of the gas volume near the sample at the moment of spontaneous ignition is given as the result of the determination.

The self-ignition tests for several of the fuel samples have been carried out at 25 bar pressure. The results from the first two test series are presented in Table 1. Samples are wood dust and bark dust. For wood dust tests were also carried out at ambient pressure to be able to make comparisons between methodology used by VTT and INERIS.

Figure 3 shows the self-ignition temperature of wood dust in ambient and elevated pressure extrapolated as a funktion of the diameter.

Table 1. Ignition temperatures for wood and bark dust.

V = 6.3 m ³ D = 2 m (Calculated)	V = 21 m ³ D=3m (Calculated)	Fuel	Pressure bar	Sample size cm ³	Ignition °C	Bulk density kg/m ³
107,6	98,7	Wood dust	1	50	221,7	112,7
		Wood dust	1	100	213,9	112,7
		Wood dust	1	400	196,7	112,7
113,6	105,3	Wood dust	1	50	217,9	164,3
		Wood dust	1	100	211,0	164,3
		Wood dust	1	400	195,5	164,3
92,0	84,7	Wood dust	25	50	181,5	164,3
		Wood dust	25	100	173,5	164,3
		Wood dust	25	400	162,4	164,3
77,4	71,2	Bark dust	25	50	152,0	376,2
		Bark dust	25	100	144,7	376,2
		Bark dust	25	400	136,5	376,2

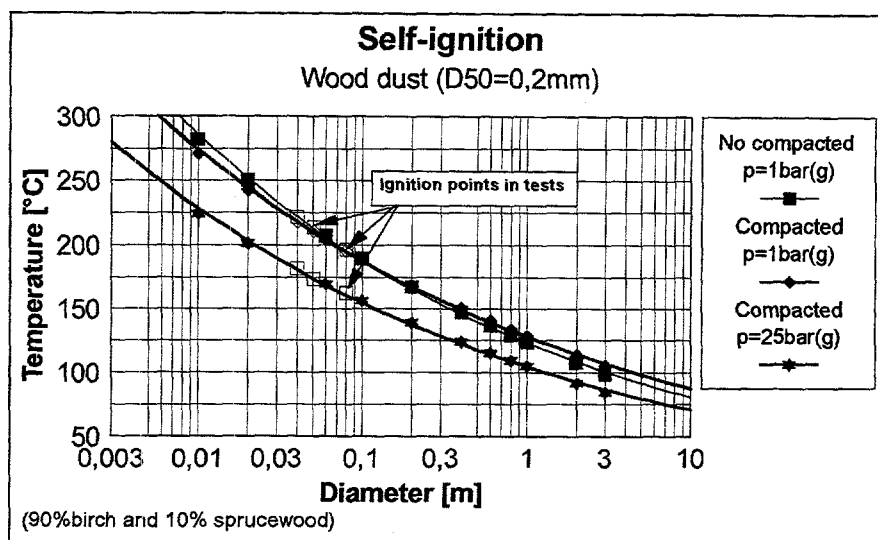


Figure 3. Self-ignition as a function of the storage size in different pressures ($O_2 = 21\%$).

5.6 THERMOBALANCE MEASUREMENTS

5.6.1 Objective

The objective of this task was to develop a simple method according to which the tendency of self-ignition temperatures of solid fuels could be characterised, also under pressure. The method is based on thermogravimetry. For that purpose, in the year 1996 a series of measurements was carried out in a atmospheric thermobalance for selected samples which were also tested with other self-ignition test method used in VTT. From the results of the measurements a database was obtained which can be used for the comparison of the measurements under pressure. The pressurised tests will be carried out 1997 using the pressurised thermobalance of VTT.

5.6.2 Methodology

The self-ignition tests in the atmospheric thermobalance were accomplished using the set-up shown in Figure 4. The sample sizes used was 620 mg, and particle size below 0.2 mm. The sample was placed in the sample holder having the diameter of 18 mm and the height of 18 mm, as shown in Figure 4.

The sample layer had a height of 15 mm. A test was carried out by heating the thermobalance reactor with a heating rate of $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ both in air and in nitrogen. The weight change rate curves vs. temperature were compared, as shown in Figure 5.

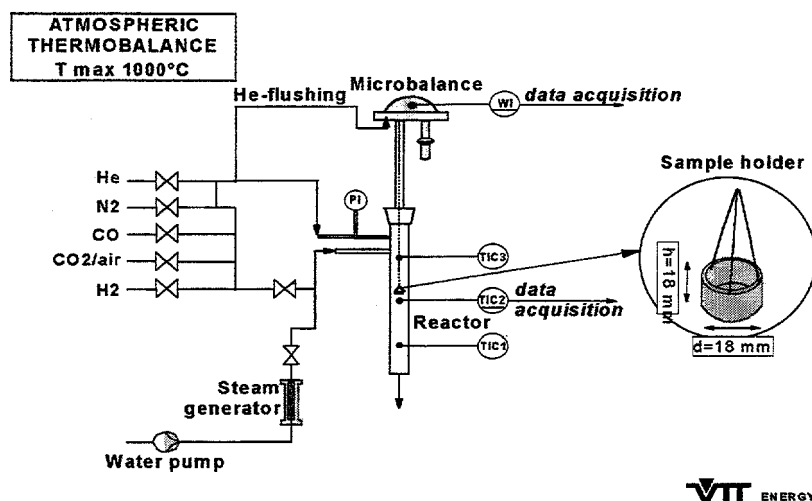


Figure 4. The atmospheric thermobalance set-up.

To describe the ignition sensitivity, two temperature points were selected from the weight change curves: The point at which the weight change rate measured in air deviated from that measured in nitrogen was determined for the first temperature, and the point at which the weight change rate, i.e. burning rate was at its maximum (second derivative) was taken as the peak temperature, as shown in Figure 5. Table 2 shows the temperature values, respectively.

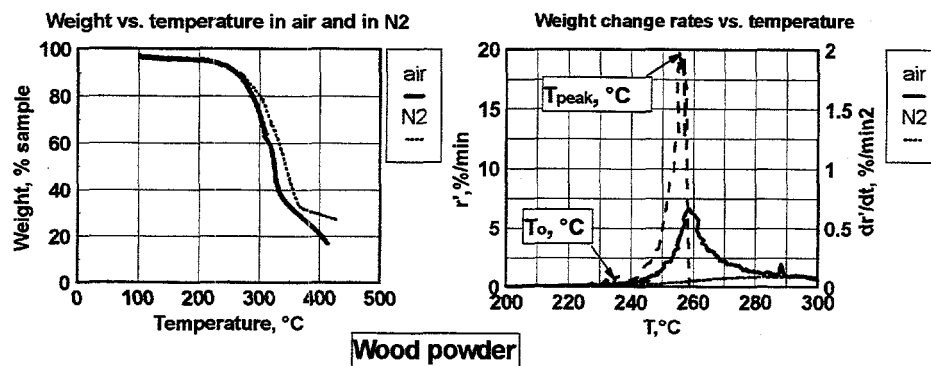


Figure 5. Weight change and weight change rate as well as its acceleration vs. temperature measured in nitrogen and air. T_0 and T_{peak} denotes the start temperature and peak temperature, respectively.

Table 2. Temperatures at which the weight change rate measured in air deviates from that measured in nitrogen T_0 , and at which the burning rate is at its maximum, T_{peak} . (I and II refer to replicate tests).

Sample	T_0 , °C	T_{peak} , °C
Spanish brown lignite I	200	214
Spanish brown lignite II	205	219
Wood dust	205	256
Dutch Miscanthus	208	239

5.6.3 Results

According to the temperature values given in Table 2, lignite was much more reactive than wood powder and Miscanthus. Lignite ignited earlier, and moreover its burning rate accelerated faster than those of wood and Miscanthus.

The measurements in 1997 will be carried under pressure using the pressurised thermobalance of VTT. The pressure level tested will be 25 bar.

REFERENCES

Safe handling of renewable fuels and fuel mixtures, 12 Monthly Progress Report 1 January - 31 December 1996. Confidential.

INFLUENCE OF FOREST BIOMASS GROWN IN FERTILIZED SOILS ON COMBUSTION AND GASIFICATION PROCESSES AS WELL AS ON THE ENVIRONMENT WITH INTEGRATED BIOENERGY PRODUCTION - 313

Keijo Jaanu, Markku Orjala
VTT Energia
PL 1603
40101 Jyväskylä

Puh. (014) 672 611
Fax (014) 672 596
keijo.jaanu@vtt.fi; markku.orjala@vtt.fi

Abstract: Influence of forest biomass grown in fertilized soils on combustion and gasification processes as well as on the environment with integrated bioenergy production

This paper describes research carried out by VTT Energy and METLA during 1996, as part of the collaborative EU project involving Finland, Portugal and Spain. The main objectives of this project are to carry out experimental studies of both combustion and gasification under atmospheric (Portugal and Spain) and pressurized conditions (Finland) using biomass from different countries, namely Finland, Portugal and Spain. This was to determine the influence of biomass fertilizing conditions on the process itself and the impact on the integrated energy production facilities, such as gas turbines.

The aim of the research was carried out during 1996:

- To complete the biomass collection, analyses and selection of the samples for combustion and gasification tests. This task has been carried out in co-operation with VTT and METLA.
- To start the combustion and gasification tests under pressurized and atmospheric conditions. The combustion research in Finland is being performed in pressurized entrained flow reactor at VTT in Jyväskylä and the gasification research is being conducted at VTT in Espoo.

The collection of biomass samples has been completed. The analyses of the samples show that for instance potassium and phosphorus content will be increased by about 30-50% due to fertilization. In the ash fusion tests, the ash from fertilized bark and branches and needles may start to soften already at 900 °C under reducing conditions depending on the composition of the ash. In oxidizing atmospheres the ash softening seems to occur at higher temperatures. Preliminary results indicate that the fertilization may have an influence on the combustion process.

1 TAUSTA

Suomessa on metsien lannoitusta harjoitettu jo 50-luvulta asti tietyin väliajoin erityisesti suopohjaisilla mailla. Myös Portugalissa ja Espanjassa metsiä on alettu lannoittaa, mutta kokemukset ovat siellä vielä suhteellisen nuoria. Lannoitus on lisännyt metsän tuottoa merkittävästi. Energiapuun osalta tilanne on kaksinainen. Lannoitus lisää kasvua, mutta ravinteita, kuten K, P jne, akkumuloituu sekä runkoon että puun elävään osaan. Mikäli alkalien, fosforin jne määrät kasvavat liian suuriksi niin ne vaikuttavat haitallisesti energiantuotantoprosesseihin likaamalla lämpöpintoja, heikentämällä lämmönsiirtoa ja lisäämällä korroosiovaaraa prosesseissa jne. Ajatuksena oli tutkia onko metsän lannoituksella vaikutusta biomassan polttoon, kaasutukseen ja koko energiantuotantoketjuun. Sillä, jos lannoitettu puubiomassa osoittautuu kriittiseksi energiapuuna niin kuinka paljon kriittisempi tilanne syntyy kun runsaasti lannoitettuja pelloja ryhdytään metsittämään. Tutkimus käynnistyi vuonna 1995 EU-projektina Suomen, Espanjan ja Portugalin yhteistyönä. Projekti on VTT:n koordinoima.

2 TAVOITE

Vuonna 1996 tutkimuksen tarkoituksena oli saattaa päätöksen laajan lannoitetun biomassanäytteiden keruu, niiden analysointi ja valinta poltto- ja kaasutuskokeita varten. Toisena vaiheena oli poltto- ja kaasunpuhdistuskokeiden käynnistys ja analysointi sekä kaasutuskokeiden aloitus.

3 TEHTÄVÄT

Vuoden tehtävänä oli saattaa loppuun lannoitettujen ja lannoittamattomien biomassojen keräys (METLA) ja niiden analysointi (VTT/METLA) ja koe-näytteiden valinta poltto ja kaasutustesteihin.

Polttokokeet 700 - 950 °C:een lämpötilassa ja kahdessa paineessa, joissa tutkittiin alkalien ja muiden komponenttien vapautumista prosessin aikana eli onko lannoitetulla biomassalla vaikutusta polttoprosesseihin vai ei.

Tehtävänä oli lisäksi tutkia kaasunpuhdistusta yllämainituissa olosuhteissa, tavoitteena päästöjen vähentäminen ja niiden syntymekanismit alkalien osalta. Tehtävä jakautuu vuodelle 1996 ja 1997.

4 TOTEUTUS

Projekti Suomen osalta toteutetaan VTT Energian ja METLA:n yhteistyönä. EU:n puolelta mukana ovat Espanjasta CIEMAT ja Portugalista INETI. Projekti on VTT koordinoima.

5 RAHOITUS

Rahoittaja	Rahoitusosuudet vuonna 1996
EU/ AIR-Programme	563 000 mk
TEKES/ Bioenergian tutkimusohjelma	250 000 mk
VTT	437 000 mk
Yhteensä	1 250 000 mk

Projekti on 3-vuotinen. Projektin kokonaiskustannusarvio on 540600 ECU:a. Projektille on myönnetty EU-rahaa 244079 ECU:a. Projektin rahoitussuunnitelma on seuraava:

Rahoittaja	Rahoitusosuudet vuosina 1995 - 1997		
	1995	1996	1997
EU	45 %	45 %	45 %
MMM	25 %	-	-
TEKES/Bioenergia	-	20 %	20 %
VTT	30 %	35 %	35 %

6 TULOKSET

6.1 BIOMASSOJEN KERUU

Biomassoja on kerätty sekä Liesinevalta, Parkanosta että Piipsannevalta Haapavedeltä. Pääasiallinen puulaji on ollut lannoitettu ja lannoittamaton mänty jaettuna eri fraktioihin: runkoon, kuoreen, oksiin ja neulasiin. Mäntypuun lisäksi on otettu näytteitä pajusta, koivusta ja haavasta. Keruuvaihe keskittyi pääasiassa vuodelle 1995. Biomassan hankinnasta ja perusanalyysipaketista vastasi METLA yhteistyössä VTT:n kanssa.

6.2 BIOMASSOJEN VALIKOINTI JA ESIKÄSITTELY POLTTOKOKEITA VARTEN

PEFR:lla tehtäviin polttokokeisiin valittiin sekä lannoitettua että lannoittamatonta biomassaa. Biomassanäytteet kuivattiin, jauhettiin ja seulottiin kahteen eri fraktioon:

- 125 - 250 mikrometriä
- 125 - 500 mikrometriä.

METLA:n toimittamista näytteistä tehtiin elementaarianalyysi ja määritettiin lämpöarvo, haihtuvat, kosteus, tuhkapitoisuus ja tuhkan sulamispiste. Näytteiden tuhkapitoisuus vaihteli 0.34 -1.12 %:n välillä. Vastaavasti haihtuvat vaih-

telivat välillä 86 ja 80 %:a ja lämpöarvo (kuiva-aineessa) 19.2 -20.5 MJ/kg välillä. Polttoaineen kosteus vaihteli 3.6 - 4.4 %:n välillä.

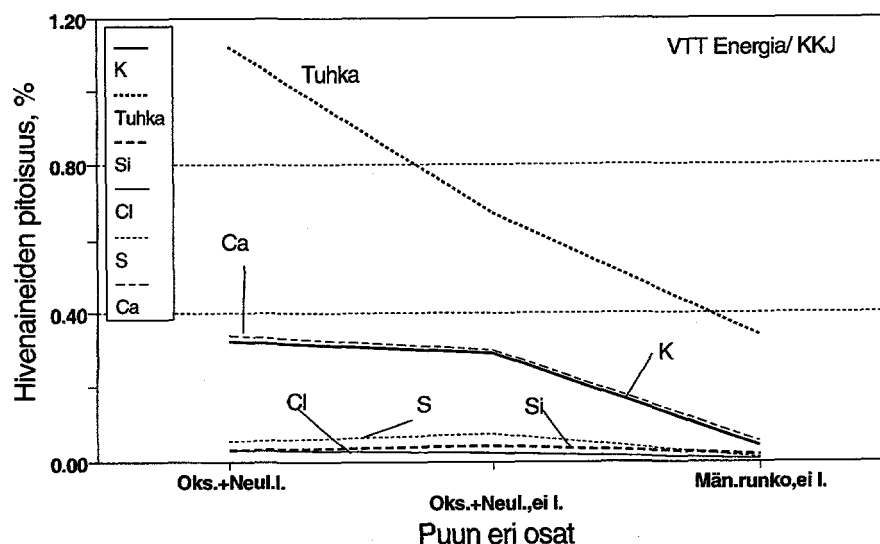
6.3 POLTTOKOKEET

6.3.1 Lannoitus ja palaminen

Vuoden 1996 aikana VTT:llä on tehty polttokokeita kolme eri sarjaa suunnitelmien mukaisesti keväällä, syksyllä ja vuoden lopussa. Ensimmäisessä koesarjassa testattiin sekä männyn oksa- ja neulasmassa sekä lannoitettuna että lannoittamattomana. Vertailuksi otettiin lisäksi lannoittamatonta männyn runkoa. Kokeet tehtiin 750 - 950 °C lämpötila-alueella 5 ja 10 bar:n paineessa.

Kuvassa 1 on esitetty mäntybiomassan tuhkapitoisuus ja eräiden hivenaineiden koostumus sekä lannoitetussa että lannoittamattomassa tapauksessa.

Mäntybiomassan polttoaineanalyysijä
Koesarjassa 1 testattua biomassaa



Kuva 1. Erään mäntybiomassan tuhka ja hivenaineanalyysi oksien ja neulas-
ten lannoituksen funktiona, vertailuna myös lannoittamatonta runkomassaa.

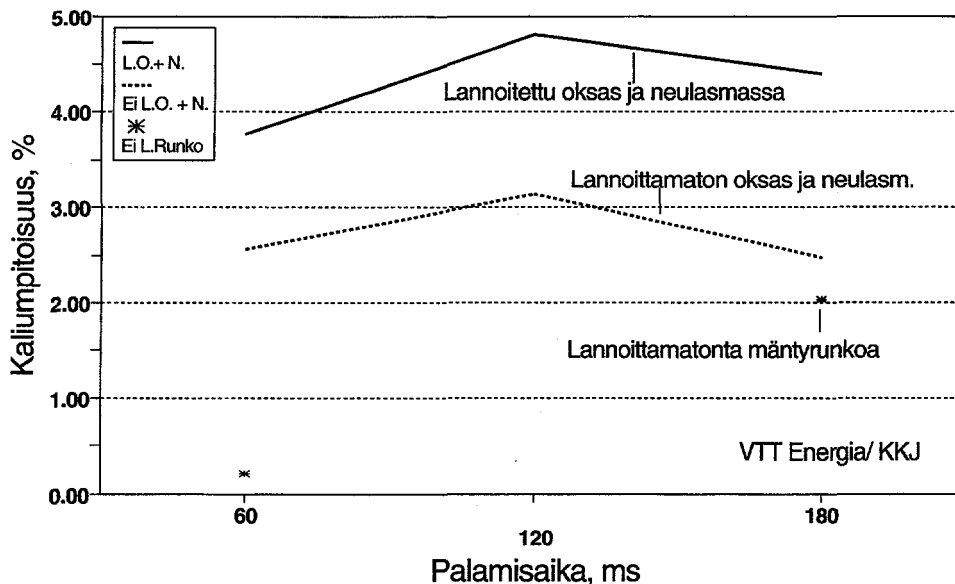
Kuten kuvasta 1 ilmenee tuhkapitoisuus lannoitetulla oksas- ja neulasmassalla on huomattavasti suurempi kuin lannoittamattomassa tapauksessa. Lannoitetun oksas- ja neulasmassan kaliumpitoisuus on tässä vajaat 400 ppm:ää suurempi kuin lannoittamattomassa tapauksessa. Vastaavasti Si-pitoisuus lannoitetussa on 1.5 kertainen lannoittamattomaan verrattuna. Myös klooripitoisuus on noussut 40 ppm:ää lannoitetussa lannoittamattomaan verrattuna. Rikin kohdalla rikastumista ei ole tapahtunut, mikä ilmeisesti johtuu siitä, että lannoite on ollut klooripohjainen.

Kokeiden tarkoituksena oli osoittaa vapautuuko lannoitetusta biomassasta enemmän haitallisia alkali- ja muita päästöjä kuin lannoittamattomasta biomassasta. Lisäksi oli tarkoitus löytää vastaus sille, missä palamisen vaiheessa vapautuminen tapahtuu.

Tulokset erästä koesarjasta kolmella eri polttoaineella 850 °C:ssa ja 5 bar:n paineessa on esitetty kuvassa 2. Kuten kuvasta 2 ilmenee kaliumin vapautuminen alkaa pyrolyysivaiheessa. 60 ms jälkeen otetussa kiintoainenäytteessä, jossa palamattomia oli vielä 55%:a, kaliumia määritettiin lannoitetusta oksas- ja neulasmassan kiinto-ainejäännösnäytteestä noin 3.77 %:a. Seuraavaksi eniten kaliumia löytyi lannoittamattomasta oksas- ja neulasmassan kiintoainejäännöksestä (palamattomien osuus n. 58 %) noin 2.5 % ja vähiten oli tietysti vapautunut lannoittamattomasta männynrunkosta. 120 ms jälkeen palamattoman kiintoaineen (hiili) osuus oli pudonnut 44.8 %:iin lannoitetussa tapauksessa ja kaliumpitoisuus oli noussut 4.79%:iin. Lannoittamattomassa tapauksessa (palamattomat: 57.5%) kaliumpitoisuus oli kohonnut 3.14%:iin. Verrattaessa tapauksia keskenään kaliumpitoisuus oli lannoitetussa tapauksessa 1.5 kertaa suurempi kuin lannoittamattomassa tapauksessa.

Kaliumpitoisuuksia kiintoaineessa palamisen jälkeen

P = 5 bar ja T = 850 °C, O₂ = 3%



Kuva 2. Kaliumpitoisuuksia palamistapahtuman jälkeen otetussa kiintoainenäytteessä P = 5 bar, T = 850 °C ja O₂ = 3 %, parametrinä lannoitettu ja lannoittamaton polttoaine.

Vastaavalla tavalla käyttäytyvät rikki, kloori, silika, fosfori ja natrium. Lannoituksella näyttää olevan positiivinen vaikutus palamiseen, sillä samoissa olosuhteissa lannoitettu puumassa paloi selvästi lannoittamatonta nopeammin kohonneen kaliumpitoisuuden ansiosta.

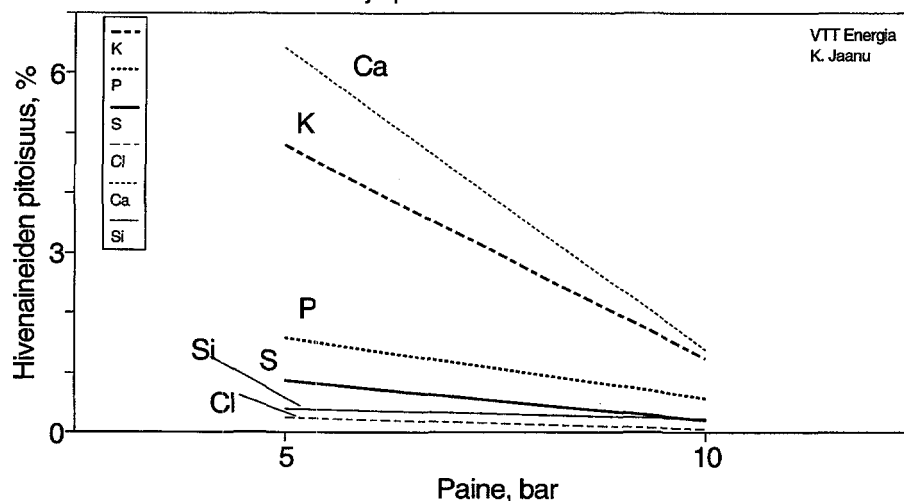
6.3.2 Ajoparametrien vaikutus palamisjäännöksen hivenainepitoisuuteen

Lannoitettua oksas- ja neulasmassa poltettiin 5 ja 10 bar:n paineessa ja 750, 850 ja 950 °C lämpötilassa. Kiintoainenäytteitä kerättiin palamistapahtuman ajan funktiona. Tavoitteena oli selvittää kuinka paljon paine vaikuttaa biomassapoltossa hivenaineiden höyrystymiseen ja pidättymiseen ja sitäkautta tuhkan ominaisuuksiin. Kuvassa 3 on esitetty paineen vaikutus palamisjäännöksen hivenainepitoisuuteen 850 °C lämpötilassa ja 120 ms palamistapahtuman jälkeen. Kuten kuvasta 3 käy ilmi paine odotetusti pienensi pitoisuuksia palamisjäännöksessä. Lämpötilan vaikutus palamisjäännöksen hivenainepitoisuuteen 10 bar:n paineessa ja 120 ms palamisajan jälkeen on esitetty kuvassa 4. Kuvan 4 perusteella voidaan päätellä, että biomassalla eritoten kaliumin ja kalsiumin pitoisuudet jopa kolminkertaistuivat, kun lämpötila nostettiin 850 °C:sta 950 °C:een. Myös fosforin, rikin, kloorin ja raudan pitoisuudet kohosivat merkittävästi kyseisellä lämpötila-alueella.

Paineen vaikutus palamisjäännöksen hivenainepitoisuuteen

Polttoaine: lannoitettu oksas- ja neulasmassa

T = 850 °C ja palamisaika = 120 ms

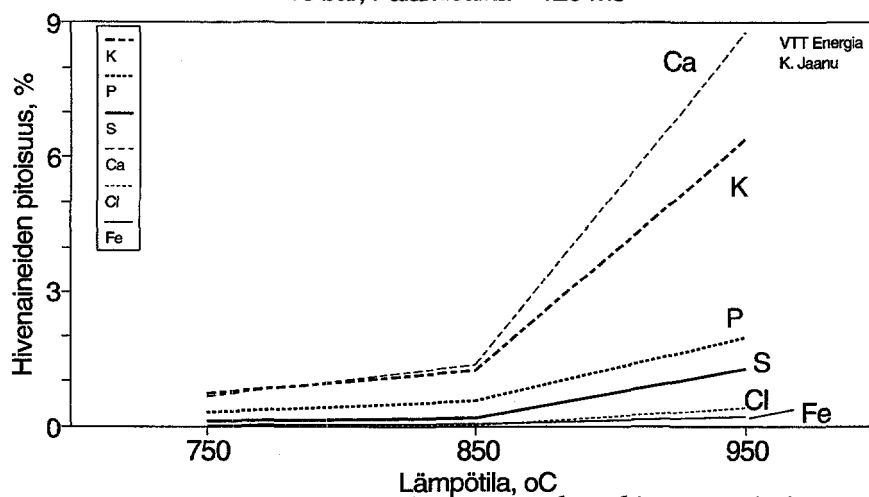


Kuva 3. Paineen vaikutus palamisjäännöksen hivenainepitoisuuteen. Lämpötila 850 °C, palamisaika 120 ms, polttoaine lannoitettu oksas- ja neulasmassa

Lämpötilan vaikutus palamisjäännöksen hivenainepitoisuuteen

Polttoaine: lannoitettu oksas- ja neulasmassa

P = 10 bar, Palamisaika = 120 ms



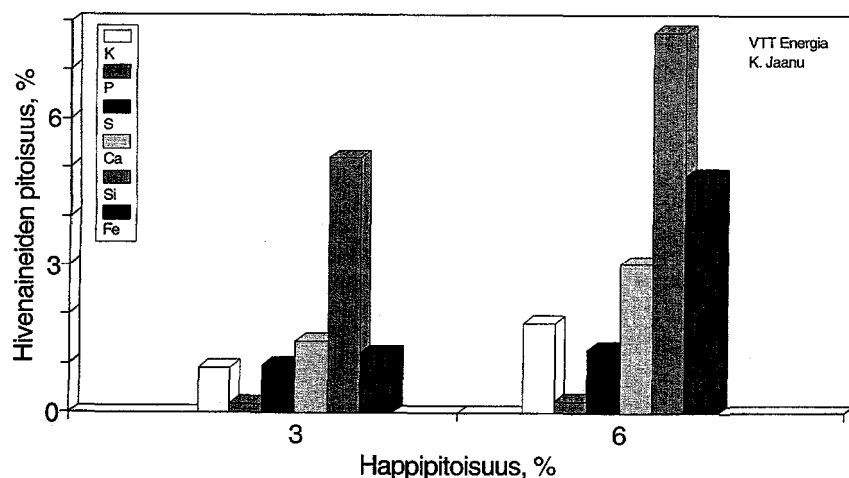
Kuva 4. Lämpötilan vaikutus palamisjäännöksen hivenainepitoisuuteen. Paine 10 bar, palamisaika 120 ms.

Lämpötilan ja paineen lisäksi testattiin hapen osapaineen vaikutusta palamisjäännöksen hivenainepitoisuuteen 850 °C lämpötilassa ja 5 bar:n paineessa. Näytteenottoa vastaava palamisaika oli nostettu 240 ms, jolloin loppuunpalamisaste oli korkea. Polttoaineena käytettiin lannoittamatonta männyn runkoa. Tulokset on esitetty kuvassa 5. Esitykseen on valittu kuusi komponenttia, joilla on merkittävä osuus tuhkan tai palamisjäännöksen käyttäytymiseen. Kuten kuvasta 5 käy ilmi hivenainepitoisuudet luonnollisesti kohoavat happipitoisuuden funktiona. Jos verrataan kuvia 3 ja 5 keskenään niin havaitaan, että 5 bar:n paineessa ja 850 °C lämpötilassa lannoitetusta biomassasta on kertynyt 120 ms aikana suunnilleen sama määrä hivenaineita palamisjäännökseen kuin lannoittamattomasta männyn runkosta 240 ms jälkeen. Tästäkin havaitaan, että lannoitetusta biomassasta vapautuvat pitoisuudet ovat suurempia lannoittamattomaan biomassaan verrattuna.

Hapen osapaineen vaikutus palamisjäännöksen hivenainepitoisuuteen

T = 850 °C, P = 5 bar, Palamisaika = 240 ms

Polttoaine: lannoittamaton männyn runko



Kuva 5. Hapen vaikutus palamisjäännöksen hivenainepitoisuuteen. T = 850 °C, P = 5 bar, palamisaika 240 ms, polttoaine lannoittamaton männyn runko, partikkelikoko 125-500 mikronia

6.4 KAASUTUSKOKEET

Tutkimustoiminta on käynnistynyt. METLA on toimittanut VTT:lle lannoitettua biomassaa reilut 2 tonnia kuivamassaa pilotkokeita varten. Polttoaineen käsittely on käynnissä ja pilottikokeet ajetaan Espoossa maaliskuussa 1997.

6.5 PÄÄSTÖJEN PUHDISTUS

Ylläesitetyt esimerkit indikoivat mahdollisuutta, että päästöjen pitoisuudet voisivat nousta toimintaa haittaavalle tasolle niin leijupedissä kuin kattilasakin puhumattakaan kaasuturbiinivaihtoehdosta, kun käytetään lannoitettua latvus-massaa polttoaineena. Tutkimuksen tarkoituksena oli katsoa, löytyykö menetelmä, jolla hivenaineita saadaan sidottua ja poistettua savukaasuista. Hivenaineiden pidätykseen on sovellettu VTT Energian Jyväskylän kuuma-puhdistusryhmän kehittämää sorbenttiteknologiaa. Tulokset ovat olleet lupaavia, esimerkiksi kaliumin erotusasteiksi on saatu 94-99% 900 °C lämpötilassa ja 7.5 bar:n paineessa. Myös fosfori erottuu tyydyttävästi. Menetelmä näyttää erottavan myös muita metalleita simultaanisesti. Kokeita tehtiin syys-joulukuussa 1996. Koetoiminta tällä alueella vie pitemmän ajan, koska määritetään kineettisiä parametreja. Tulosten hienoanalysointi on meneillään. Koetoimintaan liittyvät kaksi koesarjaa tehdään helmi-maaliskuussa 1997. Syvempiä johtopäätöksiä voidaan tehdä vasta sen jälkeen.

7 TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN JA JATKOTOIMENPITEET

EU-projektissa toimitaan EU-raportointisäännösten puitteissa. Tulokset raportoidaan EU:n vuosittaisissa tieteellisissä raporteissa, jossa komissio arvioittaa asiantuntijakreemiumissa kunkin työn tulokset. Tähän kuluu aikaa noin puoli vuotta. Sen jälkeen tulokset julkaistaan osittain tieteellisissä julkaisuissa ja osittain jaetaan teollisuuden ja ohjelman käyttöön.

Tuloksia on tarkoitus hyödyntää sekä bioenergiateollisuudessa, energiantuotannossa ja laitevalmistajilla sekä osin metsäteollisuudessa.

Vuoden 1997 tutkimussuunnitelman pääaiheet ovat:

- Poltto- ja kaasutuskokeiden loppuunsaattaminen maaliskuussa 1997
- Kaasunpuhdistuskokeiden loppuunsaattaminen maaliskuussa 1997
- Kineettisten parametrien määrittäminen ja mallin kehittäminen puhdistusprosessille
- Tarkastella lannoituksen vaikutusta prosessin likaantumiseen .

Projekti on tarkoitus saada päätökseen vuonna 1997.

8 RAPORTIT

Tästä EU-projektista on tehty kaksi puolivuosisiraporttia, ensimmäinen vuonna 1995 ja toinen vuonna 1996 ja yksi vuosiraportti Euroopan Komission AIR-ohjelmaan. Vuoden 1995 vuosiraporttiin METLA on tehnyt raportin omasta osuudestaan. Vuoden 1996 vuosiraportti valmistuu 11.03.1997 mennessä EU:n ja osapuolien kanssa tehdyn sopimuksen mukaisesti.

CLEANING OF BIOMASS DERIVED PRODUCT GAS FOR ENGINE APPLICATIONS AND FOR CO-FIRING IN PC-BOILERS - 312

Esa Kurkela, Pekka Ståhlberg
VTT ENERGY
PL 1601
02044 VTT

Puh. (09) 4561
Fax (09) 460 493
esa.kurkela@vtt.fi; pekka.stahlberg@vtt.fi

Tiivistelmä

Tutkimuksessa kehitetään biomassasta ja biomassajätteistä ilmanpaineisilla kaasutusprosesseilla tuotetun kaasun puhdistustekniikkaa. Tavoitteena on saavuttaa kaasun puhtaustaso, joka mahdollistaa sen käytön sekä moottoreissa että hiilen pölypolttoon perustuissa voimalaitoskattiloissa.

Biomassasta tuotetun kaasun moottorikäyttöä on eniten vaikeuttanut kaasun sisältämä terva (kondensoituvat hiilivety-yhdisteet), joka aiheuttaa ongelmia putkistoissa, suuttimissa ja palamisen säädöissä. Näiden ongelmien poistamiseksi tässä tutkimuksessa kehitetään tervojen katalyyttiseen krakkaukseen perustuvia puhdistusmenetelmiä. Projektin tavoitteena on demonstroida kehitetty kaasutus/kaasun puhdistus -prosessi PDU-kokoluokan laitteistoilla tehtävillä moottorikokeilla.

Biomassojen ja biomassajätteiden sisältämät epäpuhtaudet (alkalit, kloori, raskasmetallit) sekä tuhkan sulamisominaisuudet rajoittavat monissa tapauksissa biomassojen ja hiilen yhteiskäyttöä voimalaitoskattiloissa. Tämän tutkimuksen toisena päätehtävänä on selvittää ongelmallisten kaasuyhdisteiden ja tuhkakomponenttien poistoa kaasuttimen tuotekaasusta. Tuotekaasun riittävä puhtaustaso tulisi saavuttaa mahdollisimman yksinkertaisilla ja edullisilla puhdistusmenetelmillä.

Tutkimushankkeen ensimmäisen vuoden päätehtäviä olivat a) ilmanpaineisen PDU -kokoluokan kennokatalyyttireaktorin mitoitusarvojen selvittäminen (kokeita laboratoriokokoluokan laitteilla) sekä reaktorin suunnittelu ja raken-

taminen, b) tutkia kennokatalyytin toimintaa termisesti esikrakatun vastavirta-kaasun puhdistuksessa, c) leijuperiaatteella toimivan dolomiittikrakkerin mitoitustatan hankkiminen sekä d) kaasutus- ja kaasun puhdistuskokeet hollantilaisella rakennuspurkujätteellä ja tanskalaisella oljella.

Kennokatalyyttireaktorin käyttöönotto aloitettiin joulukuussa 1996 ja ensimmäiset kaasun puhdistuskokeet tapahtuvat helmikuun 1997 loppulla. Rakennuspurkujätteellä ja oljella tehtiin vuoden 1996 aikana yhteensä 14 koetta. Prosessimuuttujina näissä kokeissa olivat mm. kaasutuslämpötila, petimateriaali ja puhdistuslaitteiden (sykloni, suodatin) toimintalämpötila. Kaasun puhdistus tapahtui rakennuspurkujätteellä alhaisimmillaan 215 °C:n ja oljella 320 °C:n lämpötilassa ilman kaasun jäähdytyksessä ja suodatuksessa ilmeneviä tukkeutumisongelmia.

1 BACKGROUND

The gasification diesel power plant is one of the two alternatives in the small-scale power production (the other one is pyrolysis oil based diesel), which have clearly higher power-to-heat ratios than can be reached in conventional steam cycles. Gasification diesel power plant technology was developed in Finland by Wärtsilä and Ahlstrom Corporation and in Sweden by Studsvik Ab (presently TPS Ab) in the 1980s. The main technical problem of the Finnish R&D was cleaning of gas from condensable tars. In later Swedish experiments the gas was catalytically cleaned in a secondary circulating-bed operated with dolomite. In these trials tar condensation problems could be avoided, but the hydrocarbon emissions of the engine were too high (evidently due to incomplete combustion of residual tars in the engine).

In addition to the diesel-power plants, there are several other interesting applications for atmospheric-pressure clean gas technology. One of the most interesting alternatives for cost-effective biomass utilisation is co-firing of biomass derived product gas in existing pulverised coal fired boilers (or other types of boilers and furnaces) [1]. The woody residues of mechanical and chemical wood industry can be co-combusted without major problems in fluidised-bed boilers or even in pulverised combustors. On the other hand, extensive full-scale test programs carried out with straw in Denmark, have clearly shown the limitations of this type of co-combustion methods. Many potential biomass feedstocks, such as straw and several energy crops as well as biomass wastes have a problematic ash melting behaviour, which will cause sintering and fouling problems in fluidised-bed combustors. Perhaps the most critical factor in controlling possibilities of direct co-firing of these problematic biofuels in

large PC boilers is the usability of coal ash for cement industry and other construction purposes.

The concept based on gasification has several advantages over the other co-utilisation methods:

- The gasification reactor (bubbling or circulating fluid-bed or updraft fixed-bed) is simpler and cheaper than complete fluidised-bed boilers with steam cycles.
- The product gas can be cleaned from trace metals, chlorine and other harmful contaminants prior to leading into the coal-fired boiler.
- The separation of the gasification and gas combustion makes it possible to maintain stable high-temperature combustion in order to minimise risks for the formation of dioxines and other chlorinated organic compounds.

2 OBJECTIVES

The overall aim of this project was to develop dry gas-cleaning methods for gasification-diesel power plants and for other atmospheric-pressure applications of biomass and waste gasification. The technical objectives of the project are:

- to develop and test catalytic gas-cleaning methods for engine applications,
- to demonstrate the effectiveness of the developed gasification and gas-cleaning concept by carrying out engine tests in PDU-scale,
- to study the removal of problematic ash species of CFB gasification with regard to co-combustion of the product gas in PC boilers, and
- to evaluate the technical and economical feasibility of different small-scale power plant concepts based on fixed-bed updraft and circulating fluidised-bed gasification of biomass and waste.

3 REALISATION

The project will be carried out jointly by the research groups on Advanced Gasification and Pressurised Combustion and on Engine Technology of VTT Energy.

4 TASKS

In the original project plan the project was divided into the following tasks:

1. Catalytic gas cleaning for engine applications (1996 - 1997)
2. Demonstration of selected gas cleaning method by carrying out engine tests (1997)
3. Removal of gas contaminants prior to gas combustion in a PC boiler (1996)
4. Techno-economic studies (1996-97)

The work in 1996 focused mainly on Tasks 1 and 3 with minor activities in Task 4. Task 2 is planned to be carried out in 1997. In 1997, gas filtration research related to PC boiler applications (Task 3) will be continued in a separate project, while this project will be focused fully on catalytic tar removal and engine tests.

5 FINANCING

Financer	1996
Bioenergia Research Programme	400 000 mk
LIEKKI 2 Research Programme	400 000 mk
Industry	300 000 mk
(BASF AG, Condens Oy, Elkraft Power Ltd, Foster Wheeler Energia Oy, NV PNEM, Wärtsilä Diesel Oy)	
VTT	336 000 mk

The project will be divided into two parts in 1997: A) Research on catalytic cleaning of gas will be continued in the project "Catalytic cleaning of biomass derived product gas for engine applications" and B) Research on the cleaning of gas for pulverised coal combustion boilers will be continued in the project "Removal of chlorine and alkali/heavy metals from the product gas of atmospheric CFB gasification of agrobiomfuels and wastes". The total budget of project A) in 1997 will be FIM 1 431 000, of which FIM 590 000 will be funded through BIOENERGIA Research Programme, FIM 200 000 by the industries and FIM 631 000 by VTT. The total budget of project B) in 1997 will be FIM 1 552 000 mk, of which FIM 550 000 will be funded through BIOENERGIA Research Programme, FIM 500 000 by EU, FIM 400 000 by the industries and FIM 102 000 by VTT.

6 CFB TEST RIG

The central test equipment of this project is the PDU-scale Circulating Fluidised-Bed test rig illustrated in Figure 1. The gasifier and hot cyclones were constructed and taken into use already in 1995, while all the gas cleaning devices are taken into operation within this research project. The gas coolers, the 3rd cyclone and the filter unit were finalised already in spring 1996 and were in operation in the tests of Task 3. The catalyst reactors for testing of the monolith nickel catalysts were designed and constructed in 1996, and preliminary hot tests were carried out in early December. The other alternative catalyst system, a limestone/dolomite cracker, will be designed in early 1997 after finishing the on-going cold model tests.

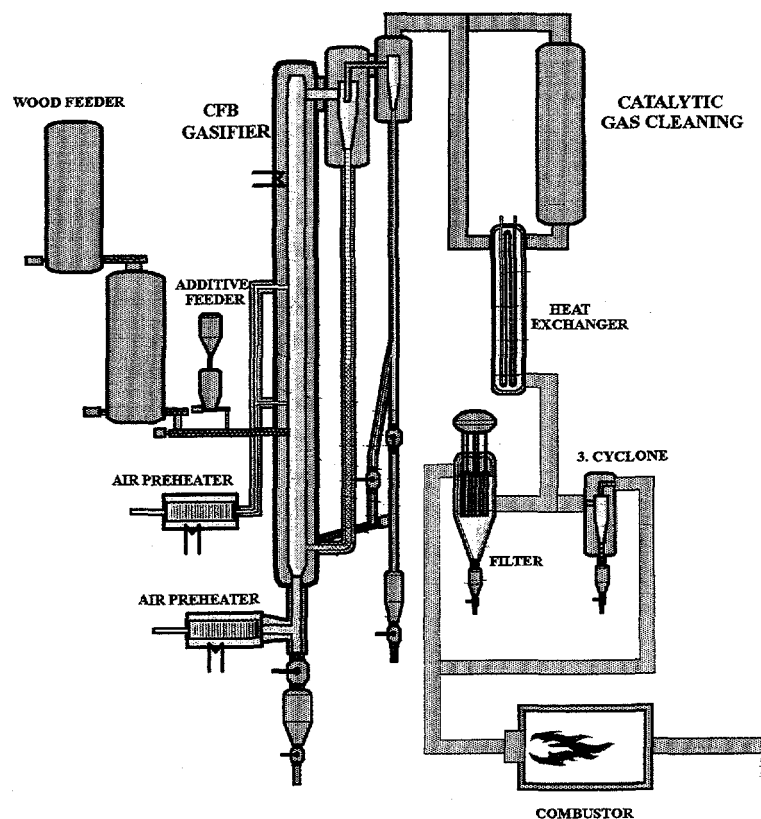


Figure 1. Circulating Fluidised-Bed test rig of VTT Energy.

7 CATALYTIC GAS CLEANING FOR ENGINE USE

In principle, efficient tar removal can be realised by three environmentally acceptable alternative methods:

- The formation of tars is minimised already in the gasifier by using calcium-based bed additives [2].
- The tars are decomposed by nickel catalyst in a monolith-type of reactor.
- The tars are decomposed in a secondary granular-bed catalyst reactor operated with calcium-based bed materials.

All biomass feedstocks cannot be gasified at above 850 - 900 °C required for in-bed catalytic tar decomposition and in several cases a secondary catalytic gas cleaning reactor is required to produce clean gas, which can be cooled down to below 50 °C without tar condensation problems.

The previous laboratory studies of VTT [3, 4] have shown that complete tar decomposition can in principle be achieved both by nickel and calcium-based catalysts. At present, the use of monolith type of nickel catalyst seems to be the most promising for IGCC applications. Complete tar decomposition and simultaneous 80 % decomposition of ammonia has been achieved at 5 bar and 900 °C with a residence time of 1 second [5]. Limestones and dolomites are effective tar decomposition catalysts only in calcined form [6], which in IGCC applications (high CO₂ partial pressure) requires extremely high operation temperatures (> 970 - 1000 °C at 20 bar), which is not practical with most biomass feedstocks. However, at operating pressures of 1 - 5 bar, used in engine applications, calcination of CaCO₃ takes place already at realistic operating temperatures (>750 - 850 °C).

The aim of the present project is to develop and demonstrate a reactor type, which can meet the following three requirements: a) gas-catalyst contact and residence time are efficient enough for complete tar decomposition, b) the reactor is not sensitive for plugging problems caused by the particles elutriated from the gasifier and c) the investment costs of the system are low.

7.1 MONOLITH NICKEL CATALYST FOR CFB GASIFICATION

The main activity of this task in 1996 was the design and construction of the new catalyst reactor for the full product gas flow of the PDU-scale CFB gasifier. The system design was mainly based on earlier experiences obtained with the monolith catalyst in the slip stream tests carried out in 1994 - 1995 using the product gas of the pressurised fluidised-bed gasification test rig of VTT. In

spring 1996, additional bench-scale tests were carried out using an atmospheric-pressure test rig of VTT (maximum fuel feeding ~ 1.0 kg/h). In these tests, the effects of residence time and temperature on tar decomposition were studied under atmospheric-pressure conditions.

The main conclusion of the tests was that shorter residence times can be used as the basis of reactor design in the present project than those required in the pressurised IGCC. Consequently, the PDU reactor was designed with a maximum residence time of 0.5 seconds (achievable at the full gas flow rate of the gasifier). The PDU test rig for testing monolith nickel catalysts was designed on the basis of two catalyst reactors connected in series. The operation temperature of the reactors is controlled by partial combustion of the gas before the first reactor and in between the two catalyst reactors. The operation of this system was preliminary tested in December 1996 with empty reactors (without catalyst elements). The preliminary tests indicated that minor modifications are needed in the air inlet system and in the thermal insulation of equipment. The next testing phase will be carried out at the beginning of 1997 after the modifications in the test equipment.

7.2 MONOLITH NICKEL CATALYST FOR CLEANING THE PRODUCT GAS OF AN UPDRAFT FIXED-BED GASIFIER

Fixed-bed updraft gasification technology was also developed and commercialised in the 1980s in Finland. There are nine commercial gasifiers in operation in Finland and Sweden. All these gasifiers are close-coupled to either boilers producing district heat for small municipalities or for drying kilns of wood industry. The updraft gas contains an abundance of condensable oils and tars, which must be removed if the gas will be used in an internal combustion engine.

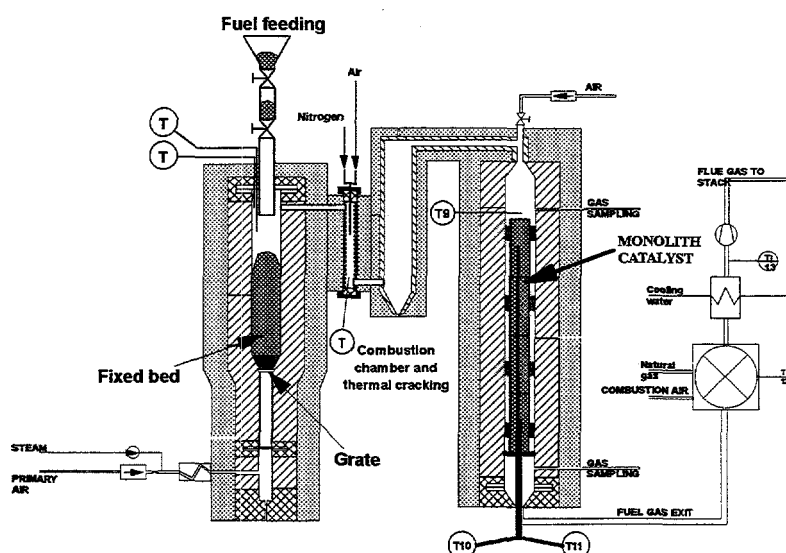


Figure 2. The gasification test rig for testing the monolith catalyst with the product gas of an atmospheric-pressure fixed-bed updraft gasifier.

The usability of monolith catalyst for cleaning of the product gas of an updraft gasifier was preliminary studied by bench-scale tests, in which one of the existing bench-scale fluidised-bed gasifiers was modified and operated as an updraft fixed bed reactor and the product gas was first thermally cracked and then led through the catalyst reactor. The test arrangement is illustrated in Figure 2.

In this process, the product gas leaves the gasifier at about 200 °C and is firstly partially combusted to raise the gas temperature to 700-900 °C. Then the thermally cracked product gas is led into the catalysts unit. The results of the tests (see Table 1) indicate that complete tar decomposition was achieved also with updraft product gas when the catalyst was operated at 800 - 900°C with residence time of the order of 0.5 - 0.7 seconds.

Table 1. Testing of the monolith catalyst with the product gas of an atmospheric-pressure fixed-bed updraft gasifier.

TEST		A	B	C	D
Fuel		Wood chips	Wood chips	Wood chips	Wood chips
* moisture	wt%	3.8	25.1	25.4	24.0
Gasifier					
* Air flow rate	mg/s	155	155	155	155
* Gas outlet temperature	°C	165 - 180	95 - 120	130 - 165	70 - 95
Thermal cracker					
* Temperature	°C	945	870	870	825
Catalyst reactor					
* Average temperature	°C	905 - 910	845 - 860	835 - 845	795 - 810
* Residence time	s	0.5 - 0.6	0.5	0.6 - 0.7	0.6 - 0.7
After thermal cracking					
* Tars	g/m ³ _n	1.6 - 3.9	1.1 - 1.9	2.8 - 3.0	2.1 - 3.8
* Benzene	g/m ³ _n	5.5 - 9.8	2.6 - 3.7	6.1 - 6.7	3.8 - 5.8
After catalytic cracking					
* Tars	/m ³ _n	0	0	0	0 - 0.005
* Benzene	g/m ³ _n	0	0	0	0 - 0.010

7.3 CALCIUM-BASED CATALYST REACTOR

Different (fluidised/spouted bed) reactor configurations and gas flow patterns are tested in a cold model, which was constructed in the fall of 1996. The first testing phase was finalised in November and, due to an unsatisfactory gas/solid contact, modifications to the reactor were designed and constructed in December 1996. The next testing phase will be carried out in February 1997. The aims of the cold model testing are a) to find suitable design criteria for the gas and air inlet systems that allow stable operation (no pressure fluctuation) and are also realistic in a large-scale hot reactor, b) to get the minimal loss of catalyst material, and c) to achieve as good a gas/solid contact as possible.

8 GAS CLEANING FOR PC-BOILERS

In 1996 CFB gasification tests were carried out using demolition wood from the Netherlands and Danish wheat straw as the feedstocks. The planned test program was finalised in January 1997.

8.1 TESTS WITH DEMOLITION WOOD WASTE

Demolition wood was supplied to VTT by NV PNEM from the Netherlands. This feedstock contains trace metals, and the first aim of the test was to define the process conditions in which the product gas could be filtered at a low temperature level from particulates and condensed trace metals without filter blocking problems.

The operation conditions and test data of the test series are presented in Table 2. Set point A was carried out using sand bed and all others set points were carried out using limestone as a bed additive. At set point B only cyclones were used as the gas cleaning devices. The secondary cyclone was located directly after the primary recycling cyclone and was uncooled, while the third cyclone was operated after the heat exchanger, in which the gas was cooled down to about 300 °C. The ceramic filter unit was used at set points C - F. The filter was operated at a temperature range of 215 - 335 °C.

Based on the measurements, the elemental material balances were determined for the set points and the carbon conversion efficiency was calculated. Selected samples from set points B - F were also sent for the analysis of heavy metal species.

Table 2. CFB gasification tests with demolition wood waste.

SET POINT		A	B	C	D	F
Bed additive		-	LS, P3	LS, P3	LS, P3	LS, P3
Gas cleaning		CY 2	CY 2 & 3	F	F	F
Gas cleaning temp.	°C	285	285	335	215	230
T, riser-bottom	°C	940	915	910	910	925
T, riser-top	°C	925	885	890	895	915
Carbon conversion						
* incl. input of LS C	%		100.7	102.6	101.5	100.0
* without LS C	%	99.1	97.8	99.0	98.3	97.1
Tar concentration	g/m ³ _n	9.6	4.1	3.1	3.2	2.3
Particulates						
* After CY 2	g/m ³ _n	1.1 - 2.0		5.9 - 8.0	4.6 - 11.2	4.2 - 6.4
* After CY 3 or F	g/m ³ _n	-	0.3 - 1.4	< 0.2	< 0.02	< 0.02

LS= Limestone, P3= Parfill P3 (0 - 1.0 mm), CY= Cyclone, F= Ceramic Filter

The tests have already clearly demonstrated the effectiveness of the calcium-based bed additive on tar decomposition (see Table 2, Tar concentration). The gas could also be filtered at 215 - 335 °C without any signs of tar-related problems. Neither there were any signs of tar condensation in the gas cooler. However, the test periods have so far been too short (5 - 14 h) for any final evaluation of the development of filter pressure drop or to be sure that tars are not condensing on the cooled surfaces of the heat exchanger. Thus, extended time test runs will be carried out in 1997 in a separate project.

8.2 TESTS WITH DANISH STRAW AS THE FEEDSTOCK

Straw is a typical biomass feedstock, which is problematic to be directly co-combusted in existing PC-boilers due to high concentrations of alkali metals and chlorine. The problematic ash behaviour also makes straw a rather difficult fuel to be combusted in separate stand-alone fluidised-bed boilers. Critical questions to be solved before entering into demonstration projects are a) how to avoid sintering and deposit formation in the gasifier and b) how to remove the bulk of corrosive alkalis and chlorine prior to combusting the gas in a boiler.

The first question, the behaviour of straw ash in gasification, has been studied in a VTT project "Prevention of ash-related problems in gasification of agrobiomaterials and wastes" using laboratory and bench-scale test facilities.

Table 3. CFB gasification test with Danish wheat straw (crushed pellets).

SET POINT		A	B	C	D
Bed additive		LS, P3/P6	LS, P3/P6	LS, P3/P6	LS, P3
Gas cleaning		CY 2	CY 2	CY 2	F
Gas cleaning temperature	°C	460	515	565	320
Air/Steam feeding	g/s	12.1 / 3.3	10.9 / 2.8	15.7 / -	11.8 / -
T, riser-bottom	°C	760	805	810	830
T, riser-top	°C	745	780	775	800
Carbon conversion					
* incl. LS C	%	89.2	96.0	88.0	na
* without LS C	%	88.2	90.7	84.7	na
Tar concentration	g/m ³ _n	11.3	6.4	8.1	3.8

LS= Limestone, P3= Parfill P3 (0 - 1.0 mm), P6= Parfill P6 (0 - 0.5 mm)

CY= Cyclone, F= Ceramic Filter, na = data not available yet

Based on the laboratory findings, the test conditions of the first CFB gasification tests carried out with straw within the present project were designed (see Table 3). Limestone was selected as the bed additive. The first experiment A was carried out at a low temperature of 745 - 760 °C, and a mixture of steam and air was used as the gasification agents. Then, the gasification temperature was slightly elevated at set points B - D. Only air was used as the gasification agent at set point C and D. No signs of ash problems were met in these straw gasification tests, the solid samples of which were characterised within the other VTT project focusing on ash behaviour.

9 REFERENCES

Kurkela, E. Recent results and plans concerning co-gasification of biomass and coal - an overview. Paper presented at the 9th Eur. Bioenergy Conference, Copenhagen, 24 - 27 June 1996.

Kurkela, E. Formation and removal of biomass-derived contaminants in fluidized-bed gasification processes. VTT: Espoo, 1996. 47 p. + app. 87 p. (VTT Publication 287).

Simell, P. A. & Bredenberg, J. B. Catalytic purification of tarry fuel gas. Fuel, 1990. Vol. 69, pp. 1219 - 1225.

Simell, P. A., Leppälahti, J. K. & Bredenberg, J. B. Catalytic purification of tarry fuel gas with carbonate rocks and ferrous materials. *Fuel*, 1992. Vol. 71, pp. 211 - 218.

Simell, P., Ståhlberg, P., Solantausta, J., Hepola, J. & Kurkela, E. Gasification gas cleaning with nickel monolith catalyst. In: Bridgwater, A. V. & Boocock, D. G. B. (eds.). *Developments in Thermochemical Biomass Conversion*, Banff, 20 - 24 May 1996. London: Blackie Academic & Professional, 1996. Vol. 2. P. 1103 - 1116.

Simell, P. A., Leppälahti, J. K. & Kurkela, E. A. Tar-decomposing activity of carbonate rocks under high CO₂ partial pressure. *Fuel*, 1995. Vol. 74, pp. 938 - 945

UPGRATED FUEL FROM REED CANARY GRASS

- 308

Heikki Oravainen
VTT ENERGIA
PL 1603
40101 Jyväskylä

Puh. (014) 627 532
Fax (014) 627 596
heikki.oravainen@vtt.fi

Tiivistelmä

Tässä esitetään tuloksia kansainvälisestä projektista, jonka osarahoitus tulee EU:n AIR3-ohjelmasta. Projekti käynnistyi vuonna 1995 ja jatkuu 1998 loppuun saakka. Projektissa kehitetään menetelmää ruokohelpin kasvattamiseksi paperin valmistuksen raaka-aineeksi ja energian tuotantoon. Menetelmä perustuu ruokohelpin keväällä tapahtuvaan korjuuseen. Sillä on suotuinen vaikutus biomassan laatuun, koska talven aikana ravinteet siirtyvät takaisin kasvin juuristoon ja biomassan kosteus on korjuuvaiheessa alhainen.

Projektissa tutkitaan ruokohelpin (*Phalaris Arundinaceae*) kasvatusta eri puolilla Eurooppaa (Suomi, Ruotsi, Saksa, Englanti, Irlanti), prosessointia kuituja-keeksi ja polttoainejakeeksi (United Milling Systems A/S, Tanska), selluloosan ja paperin valmistusta (Jaakko Pöyry Oy, Suomi) ja polttoainejakeen käyttöä energiatuotantoon (VTT Energia, Suomi). Lisäksi tehdään koko tuotantokäytöketojulle systeemianalyysi kustannuslaskelmineen (Institute of Agricultural Economics, Tanska).

VTT Energia koordinoi projektissa tehtäväkokonaisuutta 4 (Task 4) eli polttoainejakeen käyttöä energiantuotantoon. Siinä tutkitaan polttoaineen ja tuhkan analysointia, polttoainejakeen pelletointia, pellettien polttoa, hienon polttoainepölyn pölypolttotekniikkaa ja polttoainejakeen kaasutusta.

1 INTRODUCTION

Results described in this paper are from a large EU-project - Development of a new crop production system based on delayed harvesting and system for its combined processing to chemical pulp and biofuel powder. This is a project to develop the use of Reed Canary Grass (*Phalaris Arundinaceae*) both for pulp industry and energy production. The main contractor of the project is Swedish University of Agricultural Sciences (coordinator), task coordinators are United Milling Systems A/S from Denmark, and Jaakko Pöyry Oy and VTT Energy from Finland. In addition, there are partners from several countries participating in the project.

2 PROJECT AIM

Task 4 of the project, Upgraded Fuel, aims to evaluate the feasibility of delayed harvested RCG for energy production. In order to reach this goal, the following fuel handling and thermal conversion methods will be tested and studied: pelletising of RCG's fuel fraction, combustion of pelletised RCG, gasification and pulverised combustion of RCG's fuel fraction. Reactivity and NO conversion rates of pulverised RCG will also be studied. The project was started 1995 and will be finished in the end of 1998.

3 PROJECT IMPLEMENTATION

Pelletisation tests were carried out using a mobile pelletisation plant that VTT Energy has been earlier used to study pelletisation of peat, straw and wood wastes. Material for experiments were sent from United Milling Systems A/S in Denmark, where it had been classified to fibre (chip) and fuel (meal) parts.

Pellet combustion experiments were carried out at a commercial 500 kW heating plant at Jalasjärvi, Finland. It is a heating plant of a greenhouse using horizontal stoker combustion system. Normally sod peat is used as a fuel.

NO_x-conversion and reactivity tests were carried out at VTT Energy's laboratory using an atmospheric entrained flow reactor. Fuel samples were from Denmark and Finland.

4 PROJECT FINANCING

Total costs of the project for the period of 1995 - 1998 are 990,000 FIM.

Project is financed by following bodies:

EU Contract no: AIR3-CT94-2465	350 000 FIM	1995 - 1998
TEKES	40 000 FIM	1995
Bioenergy Research Programme	306 000 FIM	1996, 1997
MMM	99 000 FIM	1995, 1996
Keski-Suomen Liitto	50 000 FIM	1996
VTT Energy	145 000 FIM	1995 - 1998

5 RESULTS

5.1 PELLETISING OF INTERMEDIATE FUEL FRACTION

RCG pelletising tests were made at VTT Energy using a mobile pelletising plant. The main components of the pelletising plant are roller mill, dryer and sieve. After sieving the pellets will be packed and the separated fine particles will be recirculated back to the roller mill. Before the roller mill fine particles will be mixed to the material flow on a conveyor belt.

The RCG for the tests was delivered by United Milling Systems, where it was fractionated in a disc mill. After the disc mill the material has been separated in pulp and fuel fractions. The RCG was originally from Sweden, its variety was Palaton and it has been harvested in spring 1993. Results are presented in the 1996 year book.

The tests with the field pelletiser indicate that the pressure in the die holes should be increased by changing compression ratio. It means that a new die should be installed to the pellet mill.

Pelletising tests will be done also in Denmark arranged by United Milling Systems. Tests will be made at an animal fodder factory that is located next to the fractionation pilot plant. If pelletisation is not successful there, pilot tests will be done at the pilot plant of a pellet mill manufacture in Germany. Offers of renovation of the mobile pelletisation plant of VTT have also been asked.

5.2 COMBUSTION TESTS WITH A 200 kW HORIZONTAL STOKER BURNER

5.2.1 Experimental device

Combustion tests were carried out with a 500 kW boiler that is normally fired with sod peat. The burner is designed at VTT Energy, details in Ref. (Oravainen, 1995). More details are presented in the 1996 year book.

5.2.2 Fuel characteristics

The combustion tests were carried out using pellets made with the mobile pelletiser. The main fuel characteristics are presented in table 1. Table shows also some characteristics for sod peat that is normally used at the plant.

In comparison with typical sod peat fuels the ash content of RCG pellets is higher than in peat. The ash fusibility temperatures of RCG are high, even higher than those of peat normally excluding initial deformation temperature. The initial deformation temperature is, especially in reducing conditions, very low and may be the reason for the problems observed during the tests. The lower heating value (dry basis) of RCG is also lower than that of sod peat (typically 20 - 22 MJ/kg). However, since the moisture of sod peat is usually higher, the heat values for both fuels (moist) are about equal.

Table 1. Fuel characteristics of RCG pellets.

Fuel	RCG pellets	Sod peat
Moisture, %	20.8	24.5
Ash content, %	8.47	3.15
Volatiles, %	75.3	68.9
Lower heat value (dry basis), MJ/kg	17.4	21.6
Lower heat value (as received), MJ/kg	13.2	15.7
Calorific heat value, MJ/kg	18.6	22.8
Elemental analysis		
C, %	46.4	56.4
H, %	5.64	5.88
N, %	0.82	1.48
O, %	38.6	33.0
S, %	0.10	0.17
Ash fusibility temperatures, oxidizing atmosphere		
Initial deformation temperature, °C	1115	-
Hemispherical temperature, °C	>1550	-
Fluid temperature, °C	>1550	-
Ash fusibility temperatures, reducing atmosphere		Typical sod peat
Initial deformation temperature, °C	980	1100
Hemispherical temperature, °C	>1550	1150
Fluid temperature, °C	>1550	1300

5.2.3 Test results

Before the test with RCG pellets, a test period with sod peat was carried out. The results of that period are used in comparison.

Table 2 shows the contents of main components in flue gas (averages during the test periods). The contents of CO, SO₂ and NO_x are presented also in reference conditions corresponding 6% of oxygen in flue gas. This way the emissions of both fuels are comparable.

Table 2. Main components in flue gas.

Fuel	O ₂	CO ₂	CO	CO (6% O ₂)	SO ₂	SO ₂ (6% O ₂)	NO _x	NO _x (6% O ₂)
	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
RCG pellets	14.9	5.8	272	668	36	88	167	410
Sod peat	5.1	14.6	102	96	129	122	287	271

In case of sod peat, oxygen content of flue gas is 5.1% corresponding an excess of combustion air to be around 30% that is a typical value for this type combustion. In case of RCG pellets the oxygen content of flue gas equals to almost 250% excess of air. Such an high excess of air increases the enthalpy loss of flue gas. High excess of air also dilutes the contents of emissions that were therefore scaled to 6% of oxygen in flue gas. The CO content in reference conditions in RCG pellet combustion is clearly higher than in sod peat combustion. RCG pellet combustion decreases SO₂ content of flue gas in comparison with sod peat as was expected because of the lower sulphur content in RCG. RCG combustion results in higher nitrogen oxides content of flue gas even though the nitrogen content in RCG is lower. Thus the nitrogen conversion of RCG is higher than that of sod peat. This is obviously due to higher excess air ratio. Increase in excess air results usually in higher NO_x emissions (scaled emissions) in all kind of combustion.

When the fuel was changed from sod peat to RCG pellets, the heat output of the burner decreased from around 250 kW to 70 kW. It was observed that only the pellets in the uppermost part of fuel bed were burning. Thus the heat output decreased since in case of sod peat burning takes place throughout the fuel bed. It seemed obvious that the primary air feed is partially blocked. There seemed to be no air feed through the bottom of the burner. The pellets formed such a layer that air could not pass through the bed properly. This is probably due to partial deformation of the fuel ash, since as indicated in Table 1, the initial deformation temperature of RCG is relatively low. However, it was observed by studying the ash afterwards that there was no indication of ash melting.

Because the particle size of pellets is much smaller than that of sod peat, combustion air introduction needs to be re-designed. Air must be forced through a pellet layer, in existent design too much air is flowing as secondary air above the fuel bed.

Laboratory analyses of ashes showed that the amount of combustible solids in ash was very low, only 2.8%. Since the percentage was this low, it was confirmed with another determination giving 2.7%. Correspondingly for sod peat ash the percentage was 18.9% causing therefore a higher loss in efficiency. However, on the basis of these combustion tests it is evident that this type of burner is not applicable for RCG pellet combustion without modifications in combustion air feeding.

More pellet combustion tests will be carried out in 1997. VTT has now a 200 kW horizontal stoker burner available in the laboratory. It's combustion air introduction will be modified to be better suitable for pellet combustion.

In addition, the contents of solid particles and PAH compounds (31 different compounds) in flue gas were determined. The results corresponding reference conditions are shown in Table 3.

Table 3. The contents of solid particles and PAH compounds (at 6 % of O₂ in flue gas).

Fuel	Solid particles, mg/m ³ _n	PAH, µg/m ³ _n
RCG pellets	62	4.1
Sod peat	85	23.9

The contents of solid particles in flue gas are of same order, the PAH content being clearly lower in case of RCG pellets. Measured values are very low, of the order of found in much larger district heating boilers. Typical values in residential-scale combustion are in order of hundreds or thousands of µg/m³_n.

5.3 REACTIVITY AND NO CONVERSION TESTS

The tests were carried out using VTT Energy's flow reactor that has been used for reactivity and NO conversion measurements of various fuels. The flow reactor and experimental procedure is explained in detail in Ref. (Aho et al., 1989). The results of the combustion tests are shown in Table 4.

Table 4. Summary of elemental analysis of the studied samples and the measured concentrations of flue gas components during experiments. T_1 and T_3 describe the temperature distribution along the reaction tube.

Fuel	Elemental analysis of fuel			Flue gas concentrations				Temperatures	
sample	C	N	O	O ₂	CO ₂	NO	CO	T ₁	T ₃
	wt%	wt%	wt%	vol%	ppm	ppm	ppm	°C	°C
Jokioinen	46.3	0.9	40	10.5 - 8.5	1560 0	184	2	878	835
Jokioinen r	46.3	0.9	40	10.5 - 8.5	1500 0	170	2	870	830
1264-M <1	43.7	1.8	34	10.5 - 8.5	1420 0	293	12	870	835
1264-M >2	45.3	0.8	40	10.5 - 8.5	1450 0	177	7	873	840
Alavus	46.5	1.2	41	10.5 - 8.5	1400 0	183	212	870	837
Alavus r	46.5	1.2	41	10.5 - 8.6	1680 0	215	300	885	830
Jokioinen	46.3	0.9	40	6.0 - 4.0	1350 0	154	4	873	828
1264-M <1	43.7	1.8	34	6.0 - 4.0	1400 0	235	8	878	840
1264-M >2	45.3	0.8	40	6.0 - 4.0	1500 0	150	9	885	845
Alavus	46.5	1.2	41	6.0 - 4.0	1320 0	157	1630	881	835
Peat; C-t	57.0	2.0	30	10.5 - 8.5	1500 0	260	3	910	840
Peat; SC-t	55.5	1.2	37	10.5 - 8.5	1360 0	185	0	890	830

O₂ concentration 10.5 - 8.5% means that oxygen concentration in the beginning is 10.5% but combustion of fuel consumes oxygen so much that it is 8.5% at the exit from the reactor.

5.3.1 Comparison of NO formation

The nitrogen concentration was highest with in samples 1264-M<1 and Peat; C-t (1.8-2.0 wt-%) as shown in Table 4. Those fuels produced the highest NO concentrations in combustion experiments. Figure 1 shows results of NO formation during combustion. The absolute scaled values (at 10 % of CO₂) of NO are much higher than in practical combustion systems since the suspension is leaner and there is no air staging. However, the aim of this type of tests is to compare the NO formation of different fuels. The NO formation tendency of a fuel is assessed then on the basis of comparison with other fuels that have been used already in practical combustion. Two extreme bars (C-t and SC-t) in Figure 1 show the NO formation from peat samples giving a reference for pulverized RCG samples.

Usually the conversion rate of fuel-N to NO decreased with increasing fuel nitrogen content as shown in figure 2. Peat; SC-t, however, convert more effectively to NO than the other fuels studied. Ultimately, RCG and peat samples behaved quite similarly in the experiments which is reasonable since the volatile content and the other fuel characteristics are quite similar.

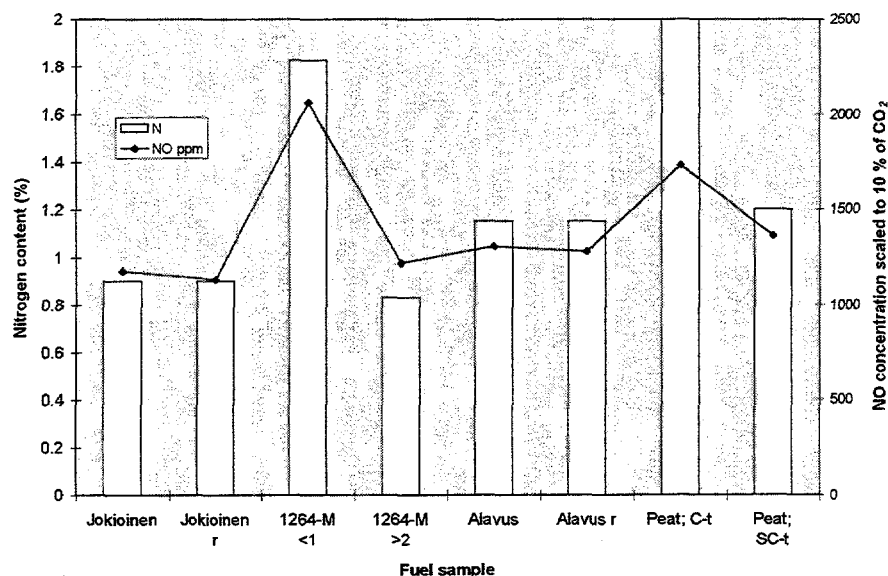


Figure 1. Formation of NO from different fuels during combustion at 860 °C (oxygen concentration in reaction gas changes from 10 - to 8 vol% of O₂).

Figure 6. Formation of NO from different fuels during combustion at 860 °C (oxygen concentration in reaction gas changes from 6 to 4 vol% of O₂).

RCG-pellet combustion experiments with the horizontal stoker burner resulted in higher NO - emission than with peat. However, in the case of pellet combustion, excess air ratio was much higher than during sod peat combustion.

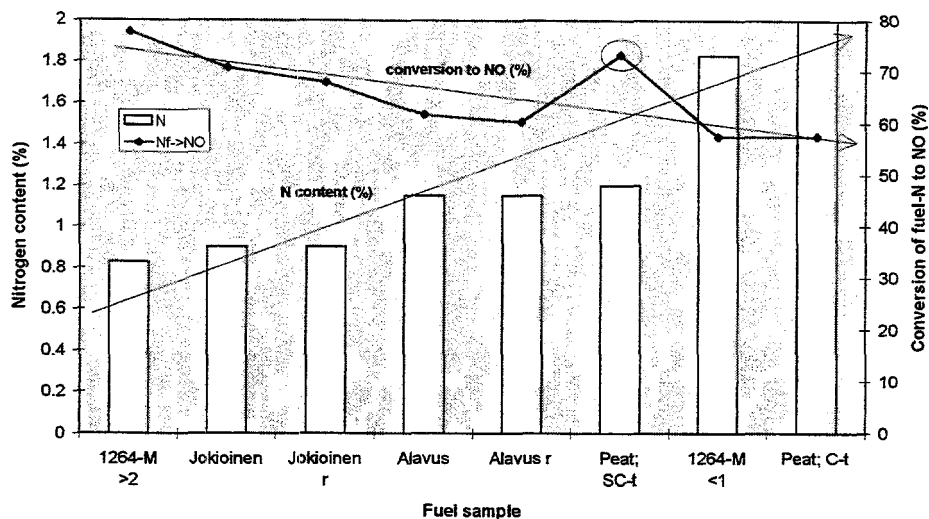


Figure 2. Conversion of fuel nitrogen to NO at 860 °C (oxygen concentration in reaction gas 10-8 vol% of O₂)

5.3.2 Comparison of reactivity

In the experiments where the formation of NO was measured, the evolution of the other major gases (CO₂, CO, O₂) was also studied. The results of CO formation suggested that the sample of "Alavus" might have lower combustion rate than the other samples. To confirm this, the samples "Alavus" and "1264-M < 1" were sieved to particle size 100-125 µm and combusted in the entrained flow reactor at two levels of oxygen concentration at T= 850 °C. The incompletely burned chars were collected after 85 milliseconds, and the degree of combustion was calculated with ash tracer technique.

Table 5 shows that the combustion rate of the sample from "Alavus" is clearly lower than that of 1264-M<1 (the dry ashless mass left after 85 ms is clearly larger for "Alavus" RCG sample).

Table 5. Degrees of combustion of the two studied samples after 85 ms. Particle size 100 - 125 μm . Reactor temperature 850 °C.

Sample code	O ₂ - conct. in flue gases	m/m ₀
	%	%
1264-M<1	10	6.5
Alavus	10	9.5
1264-M<1	8	11
Alavus	8	13.5

Sample code 1264-M means RCG fractionated at the pilot plant of United Milling Systems A/S in Denmark. Code Alavus means that RCG is grown in Finland.

4.4 LOW-NO_x COMBUSTION TEST WITH 5 MW BURNER

The objectives of the tests are to find out the optimum air staged burner parameters in order to minimize NO_x -emissions without unnecessary excess in uncombustibles in flue gases. Originally test runs were planned to carry out with a 5 MW pc-combustion pilot plant in Finland. This is not available anymore. That is why other options from Netherlands and Sweden have been investigated. The place to carry out the test runs is still open.

5.5 GASIFICATION BEHAVIOR OF REED CANARY GRASS

Gasification tests will be made at VTT Energy. Test programme has been made and agreed between partners. It not possible to carry out tests before RCG samples are available from different growing experiment sites. RCG will be harvested during spring 1997 and after that fractionated in Denmark by United Milling Systems A/S.

Gasification tests commission is composed of three supporting tasks, which are to be carried out with each selected feedstock sample.

Task 1. Laboratory characterisation of the gasification and ash behaviour

The routine feedstock analyses will be supplemented in this task by characterising the gasification behaviour of the biomass char in the thermobalance in order to detect the relationship between char conversion and ash behaviour.

Task 2. Bench-scale gasification tests with selected biomass fuels

Based on the results of task 1 two feedstocks will be selected for the bench-scale gasification tests of this task. These samples will be selected so that they represent both better and worse quality of reed canary grass based feedstocks (with regard to ash and reactivity behaviour).

The aim of this task is to estimate the gasification behaviour and ash sintering/deposition tendency of the feedstocks in a real fluidized-bed reactor. A bench-scale continuously operating test gasifier (capacity 0.5 kg/h) will be used. The reactor is operated at atmospheric pressure and electrical heaters can be used to compensate heat losses.

Based on the measuring results the material balances are calculated according to the same principals as is used for the larger-scale gasification tests. Following measurements are done:

- Process measurements (temperatures, flow rates of fuel and air)
- Gas analysis (CO , CO_2 , H_2 , CH_4 , C_2H_y , N_2)
- The amount of elutriated dust and its ash content
- Tar content and composition

Task 3. Evaluation of the results and suggestion for suitable gasification conditions

The results of tasks 1 and 2 will be evaluated and suggestions for suitable gasification conditions will be given. The results will be compared with earlier characterisation and gasification data of VTT obtained for other biomass feedstocks.

6 DISCUSSION AND FUTURE PLANS

6.1 PELLETISING TESTS WITH FUEL FRACTION

Test runs made so far show that pelletisation of fuel fraction (small particles) is not very easy. More tests are necessary. Some tests will be carried out in Denmark by United Milling Systems A/S. If they are not succesful, more detailed test runs are made at the pilot plant of a pellet mill manufacture.

6.2 COMBUSTION TESTS WITH 200 KW STOKER FURNACE

RCG-pellets were burned at a 500 kW (instead of 200 kW burner) commercial heating plant. Experiments showed that some modifications must be made to lower excess air ratio in pellet burning. Conversion of fuel-nitrogen was higher than with peat combustion. PAH-emissions were very low, beeing of the order of larger MW-size boilers.

6.3 REACTIVITY AND NO CONVERSION TESTS

RCG and peat samples behaved quite similarly in the experiments which is reasonable since the volatile content and the other fuel characteristics are quite similar. This means that quite high NO_x emissions must be taken into consideration in RCG combustion. More experiments will be made when new samples are available in 1997.

6.4 LOW-NOX COMBUSTION TESTS WITH 5 MW BURNER

No results yet.

6.5 GASIFICATION TESTS

No results yet. Plan for test runs has been done.

7 REFERENCES

Aho, M., Rantanen, J., Emissions of nitrogen oxides in pulverized peat combustion between 730 and 900 °C, *Fuel*, 1989, Vol 68, pp. 586-590.

Oravainen, H., Automatic Combustion Equipment for Wood Chips and Sod Peat. Proceedings of the 3rd Asian-Pasific International Symposium on Combustion and Energy Utilization. Hong Kong 11 - 15.12.1995. 7 p.

Ståhlberg, P., Wilen, C., Straw pelletization, Technical Research Centre Of Finland, Research notes 261, Espoo, Finland, 1983, 39 pp.

Burvall, J., Hedman, B., Fuel characteristics of reed canary grass - results from first and second years, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Research for Northern Sweden, report 5:1994, in Swedish, Umeå, Sweden, 27 pp.

Burvall, J., Production and combustion of reed canary grass powder - a full scale trial, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Research for Northern Sweden, report 9:1993, in Swedish, Umeå, Sweden, 31 pp.

8 REPORTS AND PUBLICATIONS

Periodical progress reports for EU. The 1996 year book of the Finnish Bio-energy Research Programme.

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

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

Puh. (09) 897 922
Fax (09) 879 3162
heikki.hyytiainen@megabaud.fi

Abstract

The investigations in the project will focus on the combustion behaviour of wood burning systems of untreated wood fuels with batch-wise and quasi-continuous mechanical feeding. The objectives will be to minimize the pollutant release of these combustion systems during the different operational phases by a consequent optimization of the fuel burning technique and to reduce the CO₂ release by increasing the efficiency of the combustion.

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

For that the following goals will be attained:

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

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

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

1 TAUSTA

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

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

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

2 TAVOITE

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

3 TOTEUTUS

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

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

4 TEHTÄVÄT

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

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

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

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

TS aloitti ensimmäisellä jaksolla ohjelman mukaisesti kaupallisten tulisijojen palamiskäyttäytymisen määrittelykoesarjan. Tärkein kohde on muurattu, varaa-va takkauuni. Sen ohella koesarjassa ovat mukana myös kaikki muutkin maassamme myytävät tulisijatyyppit, liedet, leivinuunit, kiukaat, kaminat jne. Projekti tekee yhteistyötä joittenkin erityisasiantuntijoitten kanssa, tärkeimpänä TTKK, joka mallittaa koepoltossa olevia tulipesiä omalla numeerisella virtaussimulointiohjelmallaan.

5 RAHOITUS

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

6 TULOKSET VUONNA 1996 JA NIIDEN HYÖDYNTÄMINEN

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

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

7 JATKOSUUNNITELMAT

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

Projektissa saavutettuja tuloksia sovelletaan täällä suunniteltaviin ja valmistettaviin prototyypeihin, jotka saatetaan tuotannon suunnittelukuntoon projektin loppuun mennessä.

8 RAPORTIT JA JULKAISUT

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

STOKERIPOLTON KEHITTÄMINEN - Y306

Heikki Oravainen
VTT ENERGIA
PL 1603
40101 Jyväskylä

Osmo Nojonen
Finntech Oy
PL 402
02151 ESPOO

Puh. (014) 627 532
Fax (014) 627 596
heikki.oravainen@vtt.fi

Puh. (09) 456 6148
Fax (09) 456 7007
nojonen@innopoli.fi

Abstract: Development of stoker-burning technology

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

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

1 TAUSTA

VTT Energian polttotekniikan ryhmällä oli vuonna 1993 Bioenergian tutkimus-ohjelman, VTT:n ja Vapo Oy:n rahoituksella käynnissä projekti, jonka tavoitteena oli kehittää 1990-luvun vaatimukset täyttävä hake/palaturvelämmitysjärjestelmä tehoalueelle 50 - 1000 kW, jonka olennaisia piirteitä ovat korkea hyötysuhde (yli 85 %), alhaiset päästöt (CO alle 0,1 %), hyvä käytettävyys ja kestävyys toteutettuna niin, että investointi- ja käyttökustannukset ovat mahdollisimman alhaiset. Samanaikaisesti Högfors Lämpö Oy:llä oli käynnissä teollisuusprojekti, jossa kehitettiin uusi ETNA Bioenergia kattilasarja samaan tehoalueeseen. VTT:n projektin tuloksena kehitettiin

200 kW:n tehoinen, hak-keelle ja palaturpeelle soveltuvan stokeripolttimen prototyyppi, joka on myö-hemmin demonstroitu myös 500 kW:n tehoisena.

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

VTT:llä on idea, jolla stokeripoltin voidaan muuttaa toimimaan niin, että pyro-lyysi- ja hiilivöhykkeessä kehittyvä lämpö virtaa syttymis- ja kuivumisrinta-maa kohti, jolloin kostean polttoaineen kuivuminen ja syttyminen huomatta-vasti tehostuu.

2 TAVOITTEET

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

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

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

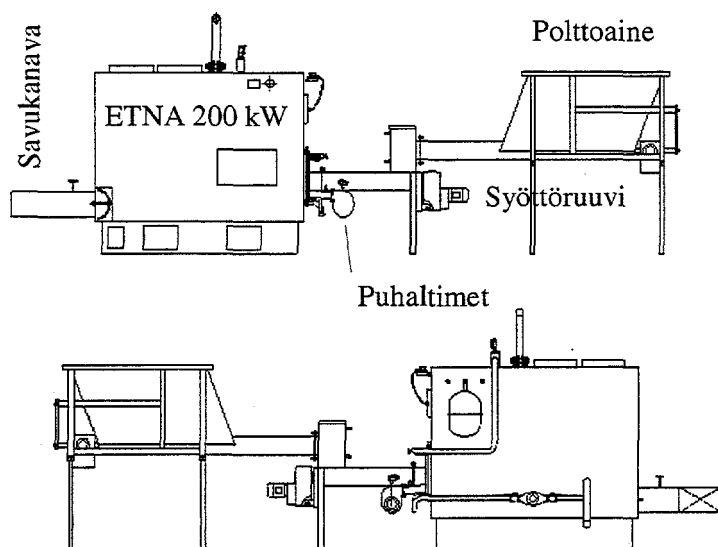
3 TOTEUTUS

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

4 TEHTÄVÄT

4.1 PROTOTYYPIN SUUNNITTELU JA VALMISTAMINEN

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



Kuva 1. Koelaitteisto.

Polttoaine syötetään vakionopeudella pyörivällä ruuvilla polttoainesiilosta pie-neen välilaatikkoon. Siihen on asennettu pinnankorkeusvahdit, jotka ohjaavat syöttöruuvin toimintaa. Poltin on asennettu kattilan sisään. Polttoaine syöte-tään toisella ruuvilla, jonka pyörimisnopeutta voidaan säätää invertterin avulla. Palamisilma johdetaan polttimeen kahden puhaltimen avulla, joiden pyörimis-nopeutta voidaan säätää myös invertterin avulla. Kattila on kytketty jäähdytys-piiriin lämmönvaihtimen kautta. Teho mitataan jatkuvasti. Savukaasujen pitoi-suudet mitataan savukanavasta jatkuvatoimisesti. Invertterien asetusarvoja voi-daan muuttaa tietokoneen avulla. Kaikki mittaustulokset kerätään tietokoneen muistiin myöhempää analysointia varten. Järjestelmään on rakennettu reaali-aikaista laskentaa, joka helpottaa kokeiden suoritusta.

4.2 PROTOTYYPPIPOLTTIMEN TOIMINTA-ARVOJEN TUTKIMINEN

Polttimen koeajot suoritetaan VTT:llä Jyväskylässä. Pääpolttoaineet ovat pala-turve ja hake. Mittauksin todetaan saavutetaanko polttimelle asetetut tavoitteet. Suoritetaan palamis- ja päästöominaisuuksien karakterisointi (tarvittava viipymäaika ja tulipesän lämpötila, tulipesärasitus, arinarasitus, NO_x-konversio, CO- ja hiilivetypäästöt, PAH-päästöt, SO₂-päästöt ja hiukkaspäästöt) erilaisilla biopolttoaineilla ja niiden seoksilla, jotka voivat tulla kysymykseen teholuokassa 50 - 1000 kW. Mitataan lämpötilaprofiili polttimen ja tulipesän sisältä sekä savukaasun koostumusprofiili polttimen ja tulipesän sisältä. Koe-ajot aloitetaan viikolla 8.

4.3 RAPORTOINTI

Koeajojen suorittamisen jälkeen raportoidaan tulokset.

5 RAHOITUS

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

6 AIKATAULU

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

METSÄNOMISTAJIEN LÄMPÖYRITTÄMISEN TALOUS JA KEHITTÄMINEN - 129

Seppo Tuomi
Työtehoseura
PL 13
05201 Rajamäki

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

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

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

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

1 TAUSTA

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

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

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

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

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

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

2 TAVOITE

Projektin tavoitteena on

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

3 RAHOITUS VUONNA 1996

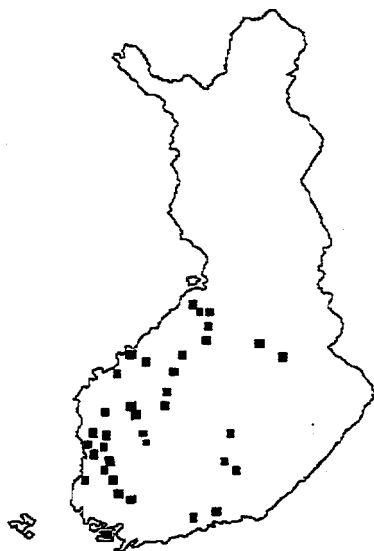
Rahoittaja	
Bioenergian tutkimusohjelma (maa- ja metsätalousministeriö)	270 000 mk
Työteho-seura	202 000 mk
Yhteensä	472 000 mk

4 TOIMINTA JA TULOKSET VUONNA 1996

4.1 LÄMPÖYRITTÄJÄKOhteiden INVENTOINTI

Lämpöyrittäjyyden kehittämistyön pohjaksi ja alueellisten hankkeiden kordinoimiseksi inventoitiin käynnissä ja suunnitteilla olevat lämpöyrittäjäkohdeet. Yrittäjäkohteiden perustiedot hankittiin kuntiin, maakuntaliittoihin, metsäkeskuksiin, maaseutuelinkeinopiireihin, maaseutukeskuksiin ja metsänhoito-yhdistysten liittoihin lähetetyllä postikyselyllä, jota täydennettiin puhelin-haastatteluin. Inventoinnin tulokset julkaistiin Teho-lehdessä 1/1997.

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



Kuva 1. Toiminnassa olevat lämpöyrittäjäkohteet vuonna 1996.

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

Taulukko 1. Kpa-kattilatehot toimivissa lämpöyrittäjäkohteissa vuonna 1996.

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

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

Taulukko 2. Toimintamuodot toimivissa lämpöyrittämiskohteissa vuonna 1996.

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

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

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

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

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

Yhtä palaturpeella toimivaa laitosta lukuunottamatta puu oli muiden laitosten pääpolttoaineena. Puupolttoainetta laitokset käyttivät vuodessa yhteensä 54000 i-m³, josta sahausjätettä oli 6500 i-m³. (taulukko 3). Sahausjätteestä noin puolet oli sahauspintahaketta. Loput oli sahanpurua ja puunkuorta, jota käytettiin yhdessä aluelämpölaitoksessa. Metsähakkeesta aluelämpölaitokset käyttivät neljä viidesosaa ja sahausjätteestä kaksi kolmasosaa. Polttoaineesta oli lämpöyrittäjien omasta metsästä hankittua puuta 46 % ja ostettua 54 %. Hakkeen käyttömäärästä 85 % oli yrittäjien omilla hakkureilla tehtyä, 15 % vieraalla urakaoitsijalla teetettyä.

Taulukko 3. Puupolttoaineen vuotuinen käyttömäärä lämpöyrittäjäkohteissa.

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

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

4.2 SEURANTATUTKIMUS

Lämmityskausilla 1993 - 95 lämpöyrittäjien seurantatutkimuksessa kerätty aineisto analysoitiin ja tulokset julkaistiin Työtehoseuran monisteessa 1/1996 ja Teho-lehdessä. Seurantatutkimuksessa oli mukana viisi 50 - 400 kW:n hake- lämmitteistä kiinteistöä. Lämpöyrittäjät kirjasivat päivittäin työhön kuluneen ajan työvaiheittain, polttoaineiden määrät sekä lämpökeskuksessa tuotetun lämpömäärän. Aineistoa kerättiin myös haastattelemalla lämpöyrittäjiä ja kiinteistöjen hoidosta vastaavia kuntien edustajia.

Hakkeen keskikulutus tuotettua energiayksikköä vaihteli seurantakohteissa 1,48 - 1,77 i-m³/MWh (taulukko 4). Hakkeen kosteus vaihteli kohteittain 20 - 40 %. Hakkeen liiallisesta kosteudesta aiheutuneita ongelmia seurantakohteissa ei ollut. Pienimmissä kohteissa käytettiin yleisesti rankahaketta, suuremmissa myös kokopuusta tehtyä haketta.

Taulukko 4. Hakkeen kulutus ja tuotettu lämpömäärä seurantatutkimuksen lämpöyrittäjäkohteissa.

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

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

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

Eniten aikaa kului kaikissa kohteissa lämmityksen valvontaan. Lämpökeskuksella käyntien määrä lämmitysvuorokautta kohden vaihteli 0,43 - 1,12. Valvontakäyntejä tarvittiin vähiten automaattisin hälytysjärjestelmin varustetuissa yrittäjäkohteissa.

Polttopuun korjuun (hakkuu ja metsäkuljetus) tuottavuus vaihteli kohteittain 0,4 - 0,8 m³/h. Haketuksen tuottavuus oli 3,8 - 7,5 i-m³/h, kun lämpöyrittäjät

hakettivat välivarastolla maataloustraktorin perävaunuun. Polttoaine kuljettiin lämpökeskuksille maataloustraktorikalustolla. Kuljetusetäisyydet olivat 2 - 11 km ja hakekuormien koot 2,5 - 10 i-m³. Kun kustannusten laskennassa lähtökohtana pidettiin olemassa olevan kaluston lisäkäyttöä, hakepuun korjuun kustannukset omana työnä ilman palkkaa olivat 18 - 23 mk/MWh, haketuskustannukset 10 - 23 mk/MWh ja hakkeen kuljetuskustannukset 5 - 22 mk/MWh.

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

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

1) Polttopuusta 34 % sahauspintaa.

2) Metsäkuljetus omalla, hakkuu vieraalla työvoimalla.

3) Metsäkuljetuksesta 40 % teki metsäkoneyrittäjä. Polttoaineesta 13 % sahanpurua ja 5 % sahauspintaa.

4) Metsäkuljetuksen teki metsäkoneyrittäjä, hakkuusta 40 % vieras työvoima.

5) Hakeyrittäjä teki 46 % hakkeesta.

6) Polttoaineen kuljetti lämpökeskukselle hakeyrittäjä.

Lämmön toimittamisesta maksettu korvaus ilman investointikustannuksia huomioon ottavaa perusmaksua oli seurantakohteissa 92 - 204 mk/MWh. Energiayksikön hinta määriteltiin kolmessa kohteessa yksinomaan kevyen polttoöljyn hintaan perustuvalla laskentakaavalla. Kahdessa kohteessa korvaus perustui kunnan kaukolämpölaitoksen myymän lämmön hintaan. Lämmön hinta oli näissä kohteissa lämpöyrittäjille edullisempi kuin muissa kohteissa. Metsänparannusvaroista maksettu tuki toi lisätuloa neljässä kohteessa. Metsänparannustuen osuus lämpöyrittäjien tuloista oli 6 - 16 %.

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

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

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

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

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

1) Vajaa lämmityskausi

4.3 INFORMAATIOITOIMINTA

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

5 SUUNNITELMAT VUODELLE 1997

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

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

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

6 RAPORTIT JA JULKAISUT

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

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

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

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

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

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

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

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

Lämpöyrittäminen puuenergialla- tapahtuma Lahdessa 20.11.1996. Seminaari-raportti.

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

BIOMASSAN JALOSTUS

PRODUCTION, PROPERTIES AND UTILISATION OF PYROLYSIS OIL - 409

Kai Sipilä, Anja Oasmaa, Vesa Arpiainen
Yrjö Solantausta, Eero Leppämäki, Eeva Kuoppala
Johanna Levander, Jarmo Kleemola, Pekka Saarimäki

VTT Energia
PL 1601
02044 VTT

Puh. (09) 4561
Fax (09) 460 493
kai.sipila@vtt.fi

Abstract: Production, properties, and utilisation of pyrolysis oil

In this project VTT Energy co-ordinates the EU JOULE Project "Biofuel oil for power plants and boilers" supporting the development projects of Finnish enterprises, and participates in the Pyrolysis Project of IEA Bioenergy Agreement.

Presently two pyrolysis devices with capacities of 150 g/h and 1 kg/h are used for the project. Hot gas filtering tests by using one ceramic candle equipment have been carried out with the 1 kg/h device for pyrolysis oil. The solids and alkali contents of the product oil were reduced clearly. Suitable conditions are being defined for continuous hot gas filtering. A PDU device of 20 kg/h is being commissioned.

The main aim of the chemical characterisation of pyrolysis oil was to develop as simple a method as possible for differentiating pyrolysis oils and for finding correlations between the characteristics and behaviour of pyrolysis oils. Pyrolysis oils produced from various raw materials (hardwood, pine, straw) were analysed and compared with each other.

VTT Energy participates in the pyrolysis network (EU/PYNE) of EU, the aim of which is to collect and disseminate research results of pyrolysis studies, i.e., through a journal with a wide circulation. VTT also participates in the pyrolysis activity of IEA (PYRA), the other partners being Great Britain, EU,

Canada and the United States. I.a., quality criteria and improvement, occupational safety and pyrolysis kinetics are discussed in IEA/PYRA.

1 INTRODUCTION

Four organisations have been active in the area of fast biomass pyrolysis in Finland: Technical Research Centre of Finland (VTT), Vapo Oy, Neste Oy, and Wärtsilä Diesel Oy. The first experimental studies on fast pyrolysis of biomass were conducted at VTT in 1986 - 1987. Later on further research has been carried out within a Finnish national energy research programme (BIO-ENERGY), and the EC AIR and JOULE3 programmes. The following issues are addressed in the present study: improving pyrolysis liquid as a fuel oil, stability of the liquid, physical and chemical properties of the liquids, hot vapour filtration, boiler performance and emissions, and diesel engine performance and emissions. The industrial organizations involved in the utilisation of pyrolysis liquids are Vapo, Neste and Wärtsilä. Vapo is developing production of fast pyrolysis liquid. Neste is focusing on the use of pyrolysis liquid in medium size boilers, whereas Wärtsilä is aiming at using pyrolysis liquid as a fuel in a diesel engine power plant. The research of VTT supports these developments.

2 RESOURCES AND FUNDING

The project leader is Prof. Kai Sipilä of VTT Energy, Energy Production Technologies. The research scientists are Vesa Arpiainen, Anja Oasmaa, Yrjö Solantausta, Matti Nieminen, Leena Fagernäs, and Eero Leppämäki and the technicians Eeva Kuoppala, Johanna Levander, Eija Tapola, Jarmo Kleemola, Pekka Saarimäki, and Sampo Ratinen. Part of the BIOENERGY funding is used in the EU project "Bio fuel oil for power plants and boilers" (JOR3-CT95-0025). VTT Energy coordinates (Prof K.Sipilä) the project. Other participants are Neste Oy, Wärtsilä Diesel Ltd, ARUSIA (Italy), Helsinki University of Technology, Université Catholique de Louvain (UCL, Belgium), Federal Research Center for Forestry and Forest Products (IWC, Germany), Union Fenosa (Spain), Finesport Engineering S.r.l, ENEL (Italy), Instituto Motori (Italy), and Ensyn Technologies Inc (Canada). Research is funded in part by the European Commission in the framework of the Non Nuclear Energy Programme JOULE III.

The total funding (EU-project included) in 1996:

	FIM
BIOENERGY-programme	800 000
Wärtsilä Diesel Oy	100 000
Neste	100 000
IVO	100 000
Vapo	100 000
Elkraft	100 000
VTT	596 050
EU	863 460
TOTAL	2659 510

3 TASKS

The main tasks in 1996 in the BIOENERGY-project 409 were as follows:

- Acceptance trials of the process development unit (PDU 20 kg/h) for pyrolysis.
- Production of pyrolysis liquids from domestic feedstocks (peat, pine sawdust, rapeseed). Development of base data for the design of continuously operating hot gas filtering system for removing solids and alkali metals.
- Development of characterisation scheme for pyrolysis liquids.
- Participation in IEA activity on pyrolysis.

The tasks in the EU project "Bio fuel oil for power plants and boilers" (JOR3-CT95-0025) are shown in Figure 1.

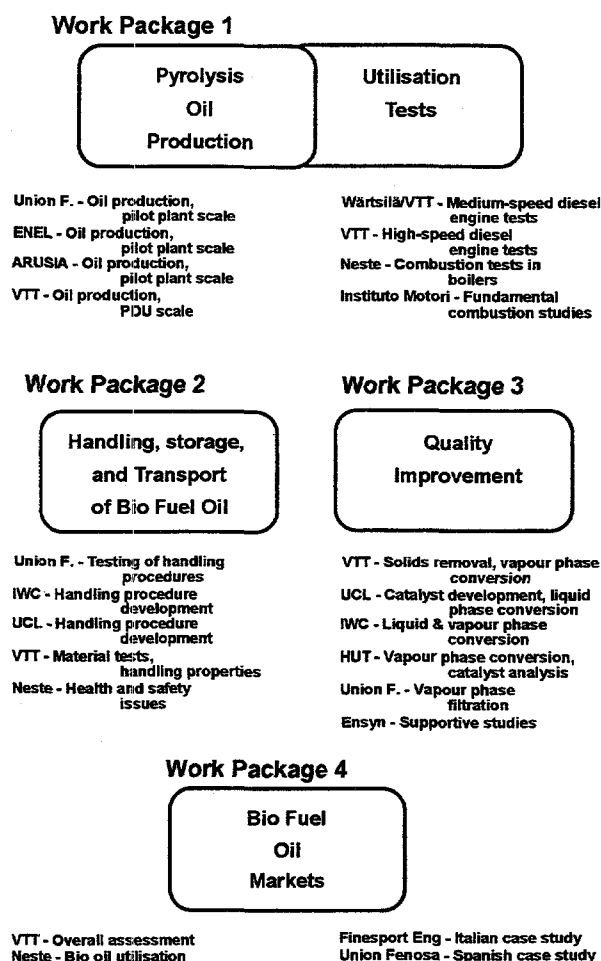


Figure 1. Work packages for JOR3-CT95-0025 4 RESULTS.

4.1 TRIAL RUNS WITH PYROLYSIS EQUIPMENTS

The process development unit (PDU 20 kg/h) arrived Finland in April 1996 and it is based on a fast fluidised-bed reactor of Ensyn Technologies Inc. The acceptance trials were carried out in Canada in March and in Finland in June. Four longer test runs, in which steady-state operation was attained, were also performed. The total operation time in the steady-state conditions was more than 100 hours. The yield of pyrolytic oil from pine saw dust (moisture content about 10 wt%) was about 75 wt% of the feed. On the basis of the experience from the longer test runs, some operational changes and modifications of the pieces of equipment as well as of software were necessary during 1996.

The pyrolysis experiments with pine sawdust and straw were carried out in 1996 in 1 kg/h fluidised-bed equipment. The raw material was pyrolysed in a bubbling fluidised-bed reactor, the char was recovered by using a cyclone and a hot gas filter equipment (one ceramic candle), and the pyrolytic vapours were cooled and recovered by using polyalphaolefine solution. The pyrolytic oils were immiscible into the washing solution used. The main objectives of these experiments were to create a base data (filtration temperature, thermal cracking of pyrolytic vapours space velocity and the properties of filter cakes) for the design of continuously operating hot gas filtration equipment and to study the properties of pyrolysis oils attained by this type of pyrolysis process. The new continuously operating hot gas filtration equipment was designed at the end of 1996. The schematic flowsheet of 1 kg/h equipment is given in Figure 2. The continuously operating hot gas filter will be tested firstly by using the 1 kg/h equipment before assembling it to the side-line of PDU for further experiments.

The operation of the 150 g/h fluidised-bed equipment was tested with pine sawdust in 1996. In 1997 the catalyst reactor will be designed and assembled to study the catalytic upgrading of pyrolytic vapours. Supporting experiments for the incoming catalytic studies were carried out in 1996 by using a pyrolysis gas chromatograph (Pyr-GC-AED/MS) as analytical equipment.

4.2 PYROLYSIS EXPERIMENTS WITH PINE SAWDUST AND STRAW IN THE 1 KG/H EQUIPMENT

The raw materials used in these experiments were pelletised and crushed Danish wheat straw and pine sawdust obtained from a Finnish saw mill. They were dried (to below 10 wt%) and sieved (0.55 - 0.92 mm) before use. The properties of raw materials are given in Table 1. The origin of the pine sawdust feed in PDU experiments was the same. The feed was dried to about 10 wt% moisture content before sieving to below 6 mm size fraction.

ATMOSPHERIC FLUIDIZED BED PYROLYSER (1 kg/h) FOR SOLID FUELS

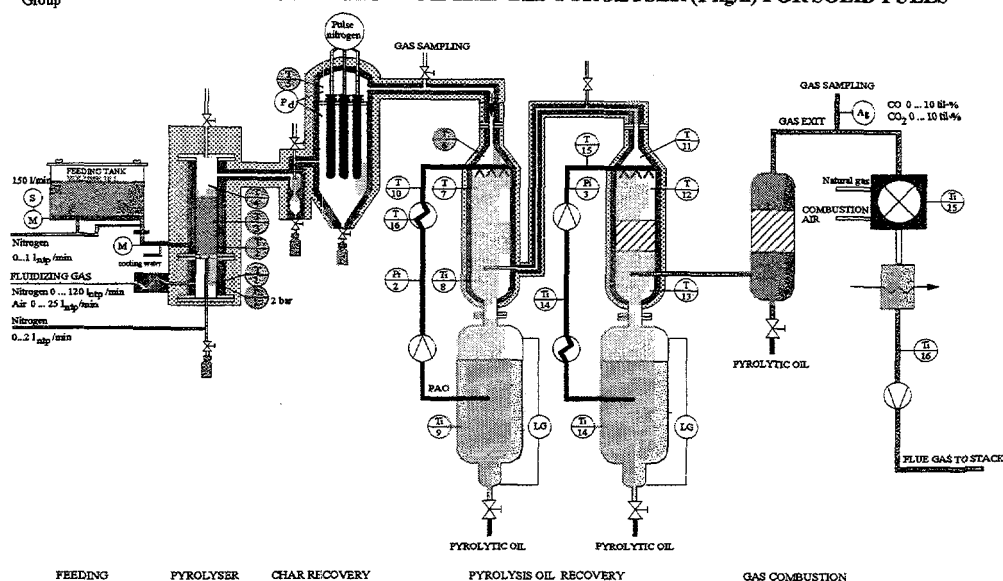


Figure 2. Fluidised- bed pyrolysis equipment (1 kg/h).

Table 1 . Properties of raw materials.

Property	Straw	Pine sawdust
Seave sizes, mm	0.55 - 0.92	0.55 - 0.92
Moisture, wt-%	7.1	6.3
Elemental analyses wt-%/mf feed		
C	46.5	50.9
H	6.0	6.4
N	0.5	0.1
O (by difference)	42.2	42.2
Ash content	4.8	0.4
Volatility matter wt-%/mf feed	77.3	82.9
Metal contents mg/kg feed		
Na	80	below 1
K	4200	230
Ca	790	270
Mg	390	190
Chlorine content mg/kg mf feed	1370	-

The raw material (0.5 kg/h) was fed into pyrolysis reactor with a screw feeder and sieved alumina (0.35 - 0.5 mm) was used as the fluidising agent in these experiments. The sampling system as well as the Excel-based calculation program were designed and tested in spring 1996. The residual char fines passing the recovery cyclone were removed by using hot gas filtration (standard ceramic candle filters manufactured by Schumacher). The cooled and washed pyrolytic vapours were separated from the washing solution in gravity separation vessels. The sampling ports for pyrolysis vapours and gases were located before and after the hot gas filtration. The amount of raw material feed was monitored during the experiments (3 - 9 hours) with a continuously operating gas analyzer (carbon monoxide, carbon dioxide, methane and oxy-gen). The pyrolysis and hot gas filtration temperatures were 525 °C and 450 °C. The residence time of gases and vapours were 0.5 s and 4 s in the reactor and in the hot gas filter.

The total mass balances of the pine sawdust and straw are given in table 2. The first and the second columns are based on sampling before and after the hot gas filtration unit. The yield of the pyrolysis oils for pine sawdust and straw were after hot gas filtration (HGF) 70 and 64 wt%, respectively. The amount of wood oil was reduced by 2 wt% in the hot gas filtration unit. The yield of straw oil remained unchanged in spite of hot gas filtration applied. The yields mentioned above are based on measurements and analysis of solids and gases. The gas volume rates were measured with a dry gas meter and the composition of gases was analysed with gas chromatographs. The pyrolytic oil yields measured by the sampling equipment (sampling about 10% of the total stream) were only 80 - 90 wt% of those calculated ones. These systematically lower yields are possibly due to carrying over light organics and some aerosols. The use of internal solvent is supposed to give a higher recovery percentage also in this type of simple sampling system.

The alkaline and solid contents of hot gas filtered oils were lower than those unfiltered oils (Table 3). The recovery of the pyrolytic oils was not complete in this type of recovery system (two polyalphaolefine condensers and one mist eliminator). Part of the polyalphaolefine vapours, in addition to some light organics and water vapour, passed the recovery system in these experiments and hence, higher recovery percentages would require more efficient equipment after the condensers. To avoid the film formation observed mainly on the first condenser walls internal solvent washing and teflonated column walls are suggested. A more detailed report on these ceramic candle experiments will be published later.

Table 2. The total mass balances of pine sawdust and straw (sampling before and after hot gas filtration).

Raw material	Pine sawdust		Straw	
	Before HGF	After HGF	Before HGF	After HGF
Product distribution				
wt%/mf feed				
Char	14	14	17	17
Gases	14	16	19	19
Liquid products (by difference)	72	70	64	64
Total	100	100	100	100
Pyrolytic vapour sampling				
wt%/mf feed	53	48	40	40
Organic liquids	12	13	12	13
Pyrolytic water	65	61	52	53
Total				

Table 3. Properties of hot gas filtered pyrolysis oils.

	PYROLYSIS LIQUIDS			HOT GAS FILTERED	
	HARDWOOD	EUCALYPTUS	STRAW	STRAW	PINE
Solids, wt-%	0.3	0.9	0.7	0.3	0.2
pH	2.8	2.3	3.5	3.7	3.1
Water, wt-%	23.3	27.9	28.2	19.9	12.4
Viscosity (50°C), cSt	50	38	11	11	26
Density (15°C), kg/dm ³	1.23	1.26	1.23	1.19	1.23
LHV, MJ/kg	16.6	14.0	13.2	16.9	18.7
Ash, wt-%	0.09	0.09	1.3	0.14	0.07
CCR, wt-%	23	19	17	18	18
Carbon, wt-%	44.8	39.3	36.9	44.3	48.3
Hydrogen, wt-%	7.2	7.3	7.5	7.5	7.5
Nitrogen, wt-%	0.1	0.02	0.4	0.3	<0.1
Sulfur, wt-%	<0.01	<0.01	0.04	0.05	-
Flash point, °C	>106	*	*	56	61
Pour point, °C	-9	-12	-36	-36	-33
Metals, ppm					
Na	8	82	400	1	<1
K	320	30	9300	<1	<1
Ca	195	30	1000	<1	<1
Mg	30	14	240	2	4

* Water vapors disturbed the analysis

4.3 PYROLYSIS OIL CHARACTERISATION

A characterisation scheme based on water extraction was developed for pyrolysis liquids. The most efficient method for separating waterinsolubles was to add pyrolysis liquid slowly into a large amount of water. This enables a good solubilisation of the oil and a powder-like fraction is formed. If the solubilisation is carried out other way around, the water may dissolve only the outer part of the pyrolysis liquid sample and the dissolution is not complete. An excess of water (pyrolysis liquid:water ratio of 1:10...20) and good mixing should be provided for obtaining a homogenous dry powder. Heating of the washed product should be avoided as the powder melts at above 60 °C. The filtering of the aqueous-phase removes the particles that disturb the analysis. For some pyrolysis liquids from pine, the water-insoluble fraction remained sticky. As a consequence, a higher variation in duplicates was observed. The amount of waterinsolubles (dry basis) varies for different pyrolysis liquids: 34 - 35 wt% for hardwood liquids (oak, birch, eucalyptus), 32 - 35 wt% for softwood (pine) liquids, and 17 - 29 wt% for straw (wheat) liquids (Oasmaa et al. 1997). An article on the development of pyrolysis liquid characterisation scheme has been sent to be published and hence the work is not yet summarized.

4.4 IEA ACTIVITY

One main tasks in IEA Activity is characterisation of pyrolysis liquids. Considering the experiences of VTT in fuel oil analyses, the standard fuel oil analyses developed for petroleum-based fuels were tested also for pyrolysis liquids (Oasmaa et al. 1997). Recommendations on sampling, samples and small modifications of standard methods are presented. In general, most of the methods can be used as such but the accuracy of the analysis can be improved by minor modifications. Fuel oil analyses not suitable for pyrolysis liquids have been identified. Homogeneity of the oils is the most critical factor in accurate analysis. Attention should be paid to mixing and sampling of the oil. The presence of air bubbles may disturb in several analyses. Sample pre-heating and prefiltration should be avoided when possible. The former may cause changes in the composition and structure of the pyrolysis liquid. The latter may remove part of organic material with particles. The size of the sample should be determined on the basis of the homogeneity and the water content of the oil. The basic analyses of the Technical Research Centre of Finland (VTT) include water, pH, solids, ash, Conradson carbon residue, heating value, CHN, density, viscosity, pour point, flash point, and stability. Additional analyses are carried out when needed.

5 SUMMARY

The state-of-the-art in pyrolysis research is as follows:

- Several (150 g/h, 1 kg/h, 20 kg/h) research equipments for pyrolysis are in use or under development.
- Pyrolysis experiments on domestic feedstocks have been initiated.
- Standard methods of fuel oil analyses have been tested for pyrolysis liquids. The study will be published in VTT series. Co-operation within the IEA Pyrolysis Activity has been useful.
- Chemical characterisation scheme has been developed. An article on this topic has been offered to a paper.

6 TASKS IN 1997

The main tasks in 1997 are as follows:

- PDU experiments
- Pyrolysis of domestic fuels (peat, wood)
- Development of continuous hot-vapour filtration system
- Stability behaviour of pyrolysis liquids
- Quality improvement of pyrolysis liquids by physical upgrading

7 PUBLICATIONS IN 1996

Diebold, J. P., Milne, T. A., Czernik, S., Oasmaa, A., Bridgwater, A. V., Cuevas, A., Gust, S., Huffman, D. & Piskorz, J. Proposed specification for various grades of pyrolysis oils. In: Bridgwater, A. V. & Boocock, D. G. B. (eds.). *Developments in Thermochemical Biomass Conversion*, Banff, 20 - 24 May 1996. London: Blackie Academic & Professional, 1996. Vol. 1. P. 433 - 447.

Maniatis, K., Rensfelt, E. & Solantausta, Y. Conclusions of the Workshop "Applications for Thermochemical Processes". In: Bridgwater, A. V. & Boocock, D. G. B. (eds.). *Developments in Thermochemical Biomass Conversion*, Banff, 20 - 24 May 1996. London: Blackie Academic & Professional, 1996. Vol. 2. P. 1631 - 1635.

Meier, D., Oasmaa, A. & Peacocke, G. V. C. Properties of fast pyrolysis liquids: status of test methods. In: Bridgwater, A. V. & Boocock, D. G. B. (eds.). *Developments in Thermochemical Biomass Conversion*, Banff, 20 - 24 May 1996. London: Blackie Academic & Professional, 1996. Vol. 1. P. 391 - 408.

Moilanen, A., Oesch, P. & Leppämäki, E. Laboratory experiments to characterise the pyrolysis behaviour of selected biomass fuels. In: Bridgwater, A. V. & Boocock, D. G. B. (eds.). *Developments in Thermochemical Biomass Conversion*, Banff, 20 - 24 May 1996. London: Blackie Academic & Professional, 1996. Vol. 1. P. 163 - 175.

Oasmaa, A. & Sipilä, K. Pyrolysis oil properties: use of pyrolysis oil as fuel in medium speed diesel engines. In: Bridgwater, A. V. & Hogan, E. N. (eds.). *Bio-oil. Production & Utilisation. Proc. 2nd EU-Canada workshop on Thermal Biomass Processing*. Newbury: CPL Press, 1996. P. 175 - 184.

Sipilä, K., Oasmaa, A., Arpiainen, V., Westerholm, M., Solantausta, Y., Ahneger, A., Gros, S., Nyrönen, T. & Gust, S. Pyrolysis oils for power plants and boilers. In: *Proc. 9th European Bioenergy Conference*, Copenhagen, 24 - 27 June 1996.

Solantausta, Y., Bridgwater, A. V., Beckman, D. The performance and economics of power from biomass. In: Bridgwater, A. V. & Boocock, D. G. B. (eds.). *Developments in Thermochemical Biomass Conversion*, Banff, 20 - 24 May 1996. London: Blackie Academic & Professional, 1996. Vol. 2. P. 1539 - 1555.

REFERENCES

Oasmaa, A., Leppämäki, E., Koponen, P., Levander, J. & Tapola, E. Physical Characterization of Biomass-Based Pyrolysis Liquids. Application of Standard Fuel Oil Analyses. To be published in VTT Publications. Espoo: VTT, 1997.

BIOÖLJYN TUOTANTO FLASH-PYROLYYSILLÄ JA SEN POLTTO - D403

Timo Nyrönen
Vapo Oy
PL 22
40101 Jyväskylä

Puh. (014) 623 623
Fax (014) 613 599
timo.nyronen@vapo.fi

Abstract: Production of bio-oil with flash pyrolysis

The target of the R & D work is to study the production of bio-oils using Flash-pyrolysis technology and utilisation of the bio-oil in oil-fueled boilers.

The PDU-unit was installed at VTT Energy in Otaniemi in April 1996. The first test were carried out in June.

In the whole project Vapo Oy is responsible for:

- acquiring the 20 kg/h PDU-device for development,
- follow up of the engine tests,
- the investment of 5 MW demonstration plant
- to carry on the boiler and engine tests with Finnish bio-oils.

1 VAPO OY:N PYROLYYSIPROJEKTIN TULOKSET VUONNA 1996

Vuoden 1996 aikana Vapon pyrolyysiprojekti eteni pääasiassa Kanadasta hankitun PDU-laitteiston käyttöönoton ja kokeiden parissa. Vapo Oy:n, Enslyn INC:n ja WärtsiläDiesel Oy:n keskeisessä demonstratiohankkeessa on tarkoitus selvittää puusta valmistetun flashpyrolyysiöljyn valmistusta suomalaisista raaka-aineista, öljyn ominaisuuksia sekä sen käyttömahdollisuuksia niin öljykattiloissa kuin dieselvoimaloissa.

Vapo Oy kehittää VTT:n kanssa ns. ITP-konseptia tuotantokustannusten alentamiseksi. Siinä pyrolyysilaitteisto olisi yhdistetty leijukerrosvoimalaan tai lämpökeskukseen erona ulkomailla kehitettyyn perinteiseen RTP-konseptiin nähden. Koko hankkeessa Vapo Oy:n tehtävinä on:

- hankkia syötöltään 20 kg/h PDU-laitteisto jatkokehitystä varten,
- seurata kattila- ja moottorikokeiden edistymistä,
- käyttökokeiden onnistuttua rakentaa noin 5 MWpa pyrolyysireaktori Suomeen ja
- jatkaa kattila- ja moottorikokeita suomalaisista raaka-aineista tehdyllä bioöljyllä.

Ensytin rakentama PDU-laitteisto saapui VTT Energialle Otaniemeen huhtikuussa 1996 ja ensimmäiset testiajot tehtiin kesäkuun aikana. Syksyllä on jatkettu testiajoja mäntypurulla nimelliskapasiteetilla eri lämpötiloissa.

Laitosta on ajettu ns. steady state olosuhteissa noin sata tuntia tuottaen yhteensä runsaat 1000 litraa pyrolyysiöljyä. Laitteistoon on tehty testivaiheiden aikana lukuisia pienehköjä parannuksia materiaalivirtojen ja lämpötilojen hallinnan parantamiseksi.

2 JATKOTOIMENPITEET VUONNA 1997

Varsinaiseen koeajovaiheeseen siirryttiin maaliskuussa 1997, jolloin alkoi ajo-olosuhteiden optimiolosuhteiden tarkentaminen. Mäntypurun lisäksi tullaan ajoja suorittamaan tyypillisillä muilla raaka-aineilla, kuten metsätähteillä, kuorella ja turpeella. Kierrätyspolttoaineita ja olkea testataan syksyllä 1997 mahdollisuuksien mukaan.

Öljyn laadun parantamiseksi tärkein kehityskohde on keraamisen suodattimen asentaminen kuuman höyryvirtaan ennen kondensointia. Näin voidaan valmistaa tuhkaton ja alkaliton tuoteöljy, jonka stabilisuus on ulkomaisten tulosten pohjalta myös selvästi parempi. Kuumasuodatin asennetaan PDU-laitteistoon keväällä 1997 ensin sivuvirtaan ja myöhemmin koko tuotevirtaan.

Kun PDU-laitteistolla on selvitetty tietyt ITP-konseptin muuttujat, tullaan laatimaan kaupallisen laitoksen tuotantokustannuslaskennat. Pilot-laitoksen suunnittelu ja laskenta tehdään vuoden 1997 aikana. Ennen pilot-laitoksen

investointipäätöstä on saatava positiivisia tuloksia niin pyrolyysiöljyn poltto- kuin moottorikokeista, muuten pilotin rakentaminen voi siirtyä eteenpäin. Toisaalta Tukholman Energialaitoksella tehtiin vuonna 1996 varsin onnistuneet polttokokeet 50 tonnin pyrolyysiöljyerällä, joten öljyn poltto isossa raskas- öljykattilassa näyttäisi olevan teknisesti mahdollista. Vuoden 1997 aikana keskitytäänkin ITP-konseptin kehittämisen rinnalla kattila- ja moottorikokeiden seurantaan ja edesauttamiseen.

FLASH PYROLYSIS FUEL OIL: BIO-POK Y401

Steven Gust
Neste Oy
PL 310
06101 Porvoo

Puh 020 450 3738
Fax 020 450 6691
steven.gust@neste.com

Abstract: Flash pyrolysis fuel oil:bio-pok

Samples of flash pyrolysis liquid produced by Union Fenosa, Spain from pine and straw and samples produced by Ensyn of Canada from mixed hardwoods were combusted with simple pressure atomisation equipment commonly used with light fuel oils in intermediate size (0.1-1 MW) boilers.

With a number of modifications to the combustion system, carbon monoxide (CO) and nitrous oxide (NO_x) could be reduced to acceptable levels: CO < 30 ppm and NO_x < 140 ppm. Particulate emissions which were initially very high (Bacharach 4-5) were reduced (Bach. 2-3) by system improvements but are still higher than from light fuel oil (Bach. <1). The modifications to the combustion system were: refractory section between burner and boiler, acid resistant progressive cavity pump, higher liquid preheat temperature and higher pressure than for light fuel oils.

The main problems with pyrolysis liquids concerns their instability or reactivity. At temperatures above 100 °C they begin to coke, their viscosity increases during storage and oxygen from air causes skin formation. This requires that special handling procedures are developed for fuel storage, delivery and combustion systems.

1 BACKGROUND

Flash pyrolysis has been demonstrated as an efficient way (65-70 % yields) to convert solid biomass to a liquid. The advantages over solid biomass systems are: lower shipping and storage costs, cheaper and simpler combustion systems and lower emissions. The main disadvantages come when flash pyrolysis liquid quality is compared to light and heavy fuel oils it is meant to replace.

Flash pyrolysis liquid is currently in the early stages of application testing. For profitable economics in Finland, replacement of a light fuel oil is necessary. Based on the current quality levels of flash pyrolysis liquid, replacement of a residential heating fuel is not possible; but large, light fuel oil customers (0.1-1 MWth boiler) that currently use Tempera 15 such as schools, small industry etc. could utilise flash pyrolysis liquid providing a number of fuel characteristics are improved and shipping, storage, delivery and combustion systems are modified.

The total market potential in Finland is estimated to be about 1 Mtoe or about one-half current light fuel oil use. The practical potential will depend on biomass availability and cost, government programmes for supporting renewable energy and ability of technology to meet the customer requirements.

The main fuel properties to be improved are: high viscosity and storage stability. Other properties such as coking, poor ignition and acidity can be handled with modifications to the combustion system. Feedback from applications testing will indicate to what extent properties must be improved.

2 GOAL

The aim of our work is to determine the technical feasibility and associated costs of combusting flash pyrolysis liquid in large (0.1 MW) light fuel oil boilers and based on this knowledge to develop proprietary technology / know how solutions which raises the value of primary flash pyrolysis oil and satisfies the requirements of the target customers.

3 SAMPLES TESTED

Samples from Union Fenosa, Spain made from pine and straw and from Ensyn of Canada from hardwoods were tested.

Table 1. Flash pyrolysis samples at Neste.

Feedstock	Ensyn hardwoods	Union Fenosa pine	
At Neste	11/95	8796	10/96
Water wt%	23	26	30
Identifier	En5/23	UF6/26	UF6/30
Solids wt%	0.7	0.1	0.1

4 COMBUSTION MECHANISMS

The design and construction of our combustion system was based on work in flame tunnel tests at CANMET, Canada, and at MIT, US together with single droplet studies at Sandia and diesel engine tests at VTT, Finland. In these tests it was shown that although the actual process of flash pyrolysis combustion differs from mineral oils, the overall combustion time required for complete burnout is similar. This means that flash pyrolysis liquids can be combusted in existing boilers and engines provided suitable atomizers and fuel delivery systems can be constructed and that ignition is assisted by either refractories or a mineral oil pilot flame.

In the boiler combustion tests at MIT and CANMET, technology commonly used for heavy fuel oils was employed such as air or steam atomization, combustion air preheating. In addition, flame tunnels were used for the tests which had an initial refractory section that was warmed up with a normal fuel prior to firing pyrolysis liquid. All emissions were reportedly lower than for heavy fuel oil.

5 COMBUSTION SYSTEM

Based on the results of the earlier tests, an existing combustion system was modified. An Arimax Eetta 200 kW boiler and a Oilon KP24H dual fuel burner was utilized. A 1 kW fuel preheater was used to regulate temperatures in the range 60-90 °C. A variety of refractories were designed, constructed and tested. The original oil pump was replaced with a progressive cavity pump. Different pump materials were tested. Typical results are shown in Table 2.

Depending on the refractory design, it was found necessary to warm the refractory up to 500-800 °C before the pyrolysis oil samples would ignite and combust. Rinsing the nozzles out with alcohol as the final step of combustion

was required to prevent coking in the lines after shutdown. This is not considered to be a practical solution and various alternatives are being sought.

Both Danfoss and Monarch nozzles were tested. Monarch nozzles were found to be more acid resistant than the Danfoss nozzles and less susceptible to blocking but showed surface corrosion.

6 RESULTS & DISCUSSION

1. A summary of flash pyrolysis results is shown in Table 2 with comparison to wood chips, a light to medium fuel oil Tempera 15 and a heavy fuel oil Master 180. Emissions for all fuels vary depending on what actual system is employed. Flash point for pyrolysis oil varies depending on water content. Sauter diameter values give an indication of drop size in the spray. In general the lower the viscosity, the lower the drop size and the better the combustion.
2. In the combustion configurations tested to date it was found that flash pyrolysis oil would not ignite and combust unless a refractory section, placed between the burner and boiler, was warmed up to at least 500-800 °C. The failure to ignite at lower temperatures is due to high water content of 20-30%.
3. In the boiler configurations tested to date, particulates, NO_x and carbon monoxide are all higher from flash pyrolysis oil than from high fuel oil. NO_x emissions have significant contributions from fuel nitrogen and will vary with feedstock. Particulate emissions will be strongly influenced by fuel solid content.
4. Existing dual nozzle burners can be used with suitable modification of the control programme. Existing progressive cavity pumps with suitably chosen materials can be used. Normal fuel oil nozzles will have to be made from acid resistant material but the pressure swirl nozzle design can be used as is. Fuel lines, storage tanks, pressure valves will also have to be made from acid resistant material.
5. Viscosity of flash pyrolysis oil was found to slowly increase with time even when stored under inert conditions. Viscosity doubled during the year storage time. Since viscosity of existing samples is at present higher than the fuel oil, this increase in viscosity will lead to higher emissions and problems

in pumping. Mixing of old and new product will give an produce a sample of unknown viscosity.

6. The combination of high temperatures required for ignition with thermal stability will require that combustion chambers are designed and operated with precise temperature control.

Table 2. Flash pyrolysis oil properties and emissions compared to alternative fuels.

	Tempera 15	Flash pyrolysis oil	Wood chips	Mastera 180
Water content wt%	0.02	18...25	15...20	0.5
Heating value MJ/kg	42.4	17....15	16...12	41
MJ/l	36.9	21...18	8...6	39.4
Viscosity cSt 30 °C	9	900....150		600
50 °C	4	150...20		180
80 °C	2	24...6		50
130 °C				12
Flash point °C	90	66...100		80
Solids	-	<0.7		<0.05
Ash wt%	<0.010	0.1...0.2	2...4	0.03
Sulfur wt%	0.15	0	0	1
Nitrogen wt%	0	0.03....0.1	0.1...0.2	0.3
Sauter diameter um	30-40 10 bar, 20 C	60-40 20 bar, 85 C		50-70 30 bar, 130 C
Typical emissions				
CO (ppm)	15-30	30-50	3000-6000	5-30
NOx (ppm)	80-120	120-150	80-160	300-400
particulates(Bach.)	0.2-1	2.5-5	+tars, PAH	1-4
Pour point C	15	-27		0

7 CONCLUSIONS

1. Flash pyrolysis oil can be combusted using simple mechanical atomisation equipment and emissions reduced to acceptable levels with proper optimisation of combustion conditions.
2. The main problem with pyrolysis liquids concerns its' reactivity or instability at high temperatures and during storage. This requires that special care be placed on thermal management inside combustion chambers and that the fuel delivery chain be modified from todays normal practise.
3. Due to the number and extent of problems encountered with storing, pumping, igniting, and keeping nozzles operable after shutdown, present quality levels of flash pyrolysis oil would not meet the requirements of a light fuel oil replacement.

BIOÖLJYLLÄ TOIMIVA DIESELVOIMALA - D402

Asko Vuorinen
Modigen Oy
PL 196
00531 Helsinki

Puh. (09) 70951
Fax (09) 773 3060
asko.vuorinen@wartsila.fi

Abstract: Bio-oil fueled diesel power plant

The project mission is to develop a diesel power plant which is capable of using liquid bio-oils as the main fuel of the power plant. The applicable bio-oils are rape seed oils and pyrolysis oils. The project was started in 1994 by installing a 1.5 MW Vasa 4L32 engine in VTT Energy laboratory in Otaniemi. During 1995 the first tests with the rape seed oils were made. The tests show that the rape seed oil can be used in Vasa 32 engines without difficulties. In the second phase of the project during 1996 pyrolysis oil made of wood was tested. Finally a diesel power plant concept with integrated pyrolysis oil, electricity and heat production will be developed.

1 TAUSTA

Dieselmoottorista on tullut suosituin pääkone nestemäisiä polttoainetta käyttävien voimalaitoksien markkinoille. Vuonna 1996 tilattiin voimalaitoskäyttöön yhteisteholtaan noin 8600 MW öljykäyttöisiä dieselmottoreita 1-30 Mw_e teholuokassa. Kaasuturpiinien tilausteho puolestaan jäi noin 350 MW:iin.

Dieselmoottorin etuna kaasuturpiiniin verrattuna on nopeampi käynnistymisaika, selvästi korkeampi hyötysuhde sekä soveltuvuus epäpuhtaampien nestemäisten polttoaineiden käyttöön. Viimeksi mainittu ominaisuus tekee dieselmoottorista kehityskelpoisen moottorin myös bioöljyn käyttöön.

Bioöljyn käytön esteenä on ollut myös polttoaineiden hinta ja saatavuuskysymykset. Pohjoismaissa toteuttu ja EU:ssa kaavailtu CO₂-verotus on muuttamassa tilannetta uusiutuvien polttoaineiden eduksi. Voimalaitoskäytössä kannattavuuden kannalta keskeisiä kysymyksiä ovat biopolttoaineiden hinta verrattuna muihin nestemäisiin polttoaineisiin, kaukolämmön myynti sähköntuotannon yhteydessä sekä sähköntuotannon maksimointi.

Bioöljyn hinta tulee olla lämmitysvoimakäytössä kilpailukykyinen maakaasuun tai raskaaseen polttoöljyyn verrattuna eli noin 60 - 80 mk/MWh. Huippuvoimakäytössä sen hinta voi olla korkeintaan kevyen polttoöljyn tasolla (90 - 110 mk/MWh). Ratkaiseva kysymys bioöljyvoimalan kannattavuudelle on kilpailevien polttoaineiden verollisten hintojen kehitys tulevaisuudessa.

Dieselmoottorin kehittäminen useiden polttoaineiden käyttöön antaa voimalaitosten omistajille mahdollisuuden suojautua polttoaineiden hintamuutoksille tulevaisuudessa. Sama voimalaitos voi aloittaa esimerkiksi raskaalla polttoöljyllä tai kaasulla ja siirtyä myöhemmin bioöljyn käyttöön. Näin bioöljyn käyttömahdollisuus tuo myös tavanoimaisille dieselvoimalaitoksille lisäsuojan polttoaineiden hintavaihtelulle tulevaisuudessa.

2 TAVOITE

Kehitysprojektin tavoitteena on kehittää moottori, joka toimii nestemäisillä biopolttoaineilla sekä voimalaitoskonsepti, jonka avulla biopolttoaineiden käyttö tulee kaupallisesti kannattavaksi.

3 TOTEUTUS

Projekti on toteutettu yhteistyössä VTT Energian, Wärtsilä Diesel Oy:n, Wärtsilä Diesel International Oy:n ja Modigen Oy:n toimesta. Se liittyy kiinteästi myös VTT Energian "Pyrolyysiöljyn valmistus, ominaisuudet ja käyttö" -projektiin (406) ja Vapo Oy:n "Bioöljyn tuotanto Flash-pyrolyysillä ja sen poltto" -projektiin (405).

4 TEHTÄVÄT

Projektin tehtävät vuoden 1996 aikana olivat:

1. Pyrolyysiöljykokeet moottorilla
2. Pyrolyysiöljykokeet testilaitteella

5 RAHOITUS

Voimalaitoksen rakentamisen kustannukset olivat seuraavat:

	1994 - 1995
Modigen Oy	6.126.000 mk
Kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM)	4.084.000 mk
Yhteensä	10.210.000 mk

Testaus- ja kehitysprojektin kustannukset ovat seuraavat:

	1995	1996	1997	Yhteensä
Modigen Oy	338.000	1.083.000	350.000	1.771.000
KTM	250.000	722.000	150.000	1.122.000
Yhteensä	588.000	1.805.000	500.000	2.893.000

6 TULOKSET

Rypsiöljyn käyttöä Vasa 4L32 dieselmoottorissa testattiin 197 tunnin ajan VTT:n laboratorioissa Otaniemessä huhti-toukokuussa 1995. Käytetty rypsiöljy oli viskositeetiltaan 13 - 19 cSt 60 - 73 °C:een lämpötilassa. Vertailuajo tehtiin viskositeetiltaan 5 cSt (+ 20 °C) olevalla kevyellä polttoöljyllä.

Testin tulokset on esitetty seuraavassa taulukossa:

		Rypsiöljy	Polttoöljy
Polttoaine			
- lämpöarvo	MJ/kg	37.3	42.6
Suorituskyky			
- lämmönkulutus	MJ/kWh	8520	8989
- hyötysuhde	%	42.3	40.0
Emissiot			
- NO _x	g/kWh	17.5	13.7
- CO	g/kWh	0.21	0.26
- THC	g/kWh	0.14	0.31
- Smoke	FSN	0.04	0.08
- Particles	g/kWh	0.16	0.06

Tulosten mukaan voidaan todeta, että rypsiöljy on palamisominaisuuksiltaan hyvin lähellä kevyttä polttoöljyä. Rypsiöljy palaa erittäin hyvin. Moottorin hyötysuhde on rypsiöljyllä parempi ja NO_x-arvot korkeammat kuin kevyttä polttoöljyä käytettäessä.

Testien jälkeinen osien tarkastus puolestaan osoitti, että moottorin likaantuminen oli pienempää kuin raskaalla polttoöljyllä. Ainoa varsinainen ongelma oli rypsiöljyn tarttuminen polttoainekanaviin, jos kanavia ei huuhdella kevyellä polttoöljyllä heti rypsiöljyn käytön jälkeen.

Konetta testattiin Kanadasta hankitulla pyrolyysiöljyllä keväällä 1996. Kokeet kestivät vain hetken, jolloin injektiopumppu rikkoontui. Syksyllä kokeita jatkettiin testilaitteella.

7 JATKOTEHTÄVÄT

Rigtestejä jatketaan vuoden 1997 puolella. Testien tarkoitus on kehittää toimiva pyrolyysiöljyn injektiojärjestelmä.

Projektin lopussa tehdään voimalan pyrolyysiöljyä käyttävän voimalan konseptisuunnitelmat. Tavoitteena on kaupallisen demonstraatiolaitoksen rakentaminen vuosina 1998 - 1999.

RAAKASUOVAN JALOSTUS POLTTO- JA VOITELUÖLJYKSI - 410

Anja Oasmaa, Vesa Arpiainen, Paterson McKeough, Eija Tapola,
Reijo Häkkinen, Eeva Kuoppala, Kari Koskela
VTT Energia
PL 1601
02044 VTT

Puh. (09) 4561
Fax (09) 460 493
paterson.mckeough@vtt.fi

Abstract: Upgrading of raw tall oil soap into fuel oils and lubricants

Thermochemical processing of tall oil soap originating from various mixtures of birch and pine has been experimentally investigated. The organic matter of tall oil soap, which is a by-product of kraft pulping, originates mainly from wood extractives. Conventional processing of tall oil soap involves acidulation with sulphuric acid to yield crude tall oil and subsequent distillation of the oil at centralized refineries. Because tall oil originating from birch wood is far less valuable than that from pine, there is an economic incentive in the Nordic countries to develop alternative conversion processes for the tall oil soap produced at pulp mills where birch is widely used as feedstock. Furthermore, thermochemical processing of tall oil soap does not introduce sulphur into the chemical recovery cycle. This would be a significant advantage in future mills employing closure of water circuits and/or sulphur-free pulping. In small-scale experiments tall oil soaps from wood mixtures with high birch content have been processed using both liquid-phase thermal treatment and pyrolysis. The liquid-phase thermal treatment at 450 °C under a nitrogen atmosphere yielded a good-quality oil product at high yield (about 50% of the energy content of the tall oil soap). In the atmospheric pyrolysis of birch tall oil soap a separation of inorganic and organic constituents was obtained. The energy value of the product gases was high. Both processes are promising, but the pyrolysis alternative has the greater economic potential, providing that the promising preliminary experimental results have given a true picture of the performance of the full-scale pyrolysis process.

1 TAUSTA JA TAVOITE

Raakasuopa, jonka orgaaninen aines on peräisin puun uuteaineista, on eräs sulfaattiselluprosessin sivutuote. Raakasuopa tavallisesti hapotetaan eli palstoitetaan, jolloin syntyy raakamäntyöljy. Suurin osa raakamäntyöljystä myydään edelleen tislaamoille. Vaihtoehtoisesti sitä voidaan käyttää raskaan polttoöljyn korvikkeena. Palstoitukseen käytetään joko rikkihappoa tai tehtaassa muodostuvaa jäterikkihappovirtaa.

VTT Energiassa on tutkittu mahdollisuuksia tuottaa kevyt polttoneste suovasta termokemiallisin menetelmin. Laboratoriossa tehdyissä nestefaasikokeissa suovasta on saatu hyvänlaatuisia tuotteita pelkällä termisellä käsittelyllä. Tuotteen korkean laadun ansiosta epäorgaaniset aineet voidaan erottaa hyvin öljytuotteesta. Kyseistä jalostusprosessia olisi tarkoitus soveltaa lähinnä sellaiseen suopaan, jossa lehtipuun osuus on suuri. Mitä suurempi on lehtipuun osuus, sitä vähempiarvoinen on vastaava raakamäntyöljy. Jalostusprosessin tuote koostuu lähinnä hiilivety-yhdisteistä ja näin ollen sen polttoaineominaisuudet ovat paremmat kuin raakamäntyöljyn vastaavat ominaisuudet.

Suovan nestefaasikäsittelyyn perustuvalla prosessilla on tehty teknistaloudellinen arviointi (Oasmaa et al. 1995 ja 1997). Tulokset ovat olleet positiivisia. Tuoteöljyn tuotantokustannusten arvioitiin olevan hieman korkeammat kuin raakamäntyöljyn vastaavat kustannukset. Toisaalta on todennäköistä, että tuotteen markkina-arvo on ainakin yhtä paljon suurempi kuin raakamäntyöljyn arvo, erityisesti siinä tapauksessa, että lehtipuun osuus öljyssä on suuri.

Ilmanpaineinen pyrolyysi on lupaava terminen prosessi suovan jalostamiseksi polttoaineiksi. Tässä raportissa esitetään esikokeiden tuloksia. Kyseisen prosessin investointikustannukset olisivat pienemmät kuin em. nestefaasiprosessin kustannukset.

Suovan termiset käsittelyt eivät aiheuta rikin lisäystä sellutehtaan kemikaalikiertoon kuten perinteinen palstointi. Tästä voi muodostua huomattava etu tulevaisuudessa, koska pyrkimykset sekä suljettuihin vesikiertoihin että lehtipuun osalta rikittömiin keittoihin ovat voimistumassa. Toinen potentiaalinen etu, joka liittyy suovan termisiin jalostusprosesseihin, on mahdollisuus valmistaa sellaisia tuotteita, kuten kevyitä polttonesteitä ja voiteluöljyjä, joita sellutehtaan omistava yritys voi käyttää omassa toiminnassaan.

Projektin tavoitteena on kehittää vaihtoehtoinen menetelmä suovan jalostamiseksi. Tavoitetuotteet ovat mm. kevyitä polttonesteitä sekä voiteluöljyjä. Prosessin on voitava kilpailla perinteisen palstointiprosessin kanssa.

2 TOTEUTUS

Työ on tehty VTT Energian prosessitekniikan ryhmässä. Vastuullisena johtajana on ollut PhD Paterson McKeough ja tutkijoina DI Anja Oasmaa, DI Vesa Arpiainen ja DI Hilikka Kyllönen. Tutkimusryhmän muut jäsenet ovat olleet Eija Tapola, Eeva Kuoppala, Reijo Häkkinen ja Kari Koskela.

3 TEHTÄVÄT

Tutkimus on painottunut sekä laboratoriokokeisiin että prosessikonseptien teknistaloudellisiin arviointeihin. Pääasiallinen prosessivaihtoehto on ollut terminen nestefaasikäsitteily, jota on tutkittu VTT Energiassa viimeisten parin vuoden aikana. Tutkimus on poikennut oleellisesti aikaisemmin tehdystä ainakin kolmessa suhteessa:

- Tärkein lähtöaine on ollut lehtipuusuopa (60 - 90 % koivua). Aikaisemmin on käytetty sekasuopaa (60 % mäntyä, 40 % koivua).
- Tavoitetuotteita on ollut aikaisempaa enemmän; esim. voiteluöljyt ovat olleet tutkimuksessa mukana.
- Myös toista prosessivaihtoehtoa, ilmanpaineista pyrolyysiä, on tutkittu esikokeilla.

Jalostusprosessin optimaaliset olosuhteet ovat riippuneet tuotteiden laatuvaatimuksista.

4 RAHOITUS

Projektin rahoitus vuodelle 1996:

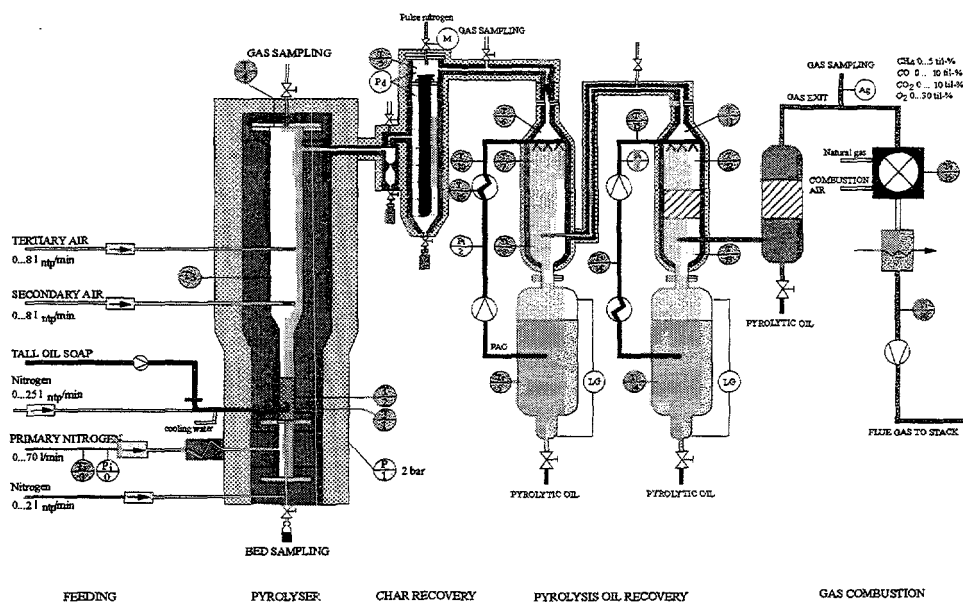
Rahoittaja	1996
BIOENERGIA-tutkimusohjelma	200 000 mk
Metsä-Serla	30 000 mk
VTT	103 500 mk
Yhteensä	333 500 mk

Projektin jatko vuonna 1997 on auki. Tutkimushakemus on jätetty BIO-ENERGIA-ohjelmaan syksyllä 1996.

5 KOELAITTEISTOT

Raakasuovan nestefaasikäsitely on tehty litran panostoismissa korkeapaine-reaktorissa. Tyypillinen raaka-ainemäärä on ollut 150 g. Reaktori on huuhdeltu tyypellä (0,1 MPa). Sekoitusnopeus on ollut 1500 kierrosta/min. Tuotteen käsittely ja analytiikka on kuvattu aiemmassa raportissa (Oasmaa et al. 1995). Raakasuovan ilmanpaineisessa pyrolyysissä käytetty leijukerroskoelaitteisto on esitetty kuvassa 1. Leijukerrosväliaineina (350 - 500 μm) käytettiin dolomiittia (lämpötila 650 °C) ja alumiinioksidia lämpötila (575 °C). Esikokeissa käytettiin noin 100 cm/s leijutusnopeuksia ja kaasun viipymäaika yli 500 °C:n lämpötilassa oli 7 - 8 s.

VTT ENERGY
Process Technology group



Kuva 1. Ilmanpaineinen leijukerroskoelaitteisto (500 g/h).

6 TULOKSET

6.1 RAAKASUOVAN NESTEFAASIKÄSITTELY

Raakasuovan termisessä nestefaasikäsitelyssä on jalostettu kolmea eri koivupitoisuuden (40 %, 60 %, 90 %) omaavaa raakasuopaa (Taulukko 1) sekasuovalle (40 % koivua, 60 % mäntyä) optimoiduissa olosuhteissa (450 °C,

N₂, 70 min). Muodostuneet tuotefraktiot olivat: öljy, hyytelömainen öljy, vesifaasi, kiinteä faasi ja tuotekaasut. Hyvälaatuisen (hyytelömainen öljy ei mukana) tuoteöljyn saannot olivat 44 %, 48 % ja 38 % (raakasuovan orgaanisesta aineksesta) koivun osuuden ollessa vastaavasti 40 %, 60 % ja 90 %.

Taulukko 1. Suomalaisen raakasuopien tyypillinen koostumus.

analyysi\raakasuopa	mänty	koivu	mänty/koivu noin 50:50
happoluku, mg KOH/g	160	110 - 125	130
saippuoitumattomat, %	7	30	15
hartsihapot, %	40	0	25
rasvahapot, %	53	70	60

Kun huomioidaan huonompilaatuisen öljyn (hyytelö) saanto, saadaan öljy-saannoksi sekasuovalle (40 % koivua) 48 % ja koivusuoville (60, 90 % koivua) 52 - 54 %. Aiemmissa kokeissa on havaittu, että hyvälaatuinen ja hyytelömainen öljy sisältävät samaa öljytuotetta. Ainoa ero on, että hyytelömaisessä öljyssä on vielä mukana rasvahappoja, vettä ja natriumia. Viipymäaikaa pidentämällä rasvahapot liukenevat vesifaasiin. Tuotekaasusaannot olivat 16, 15 ja 16 % (raakasuovan orgaanisesta aineksesta) koivun osuuksilla 40, 60 ja 90 %.

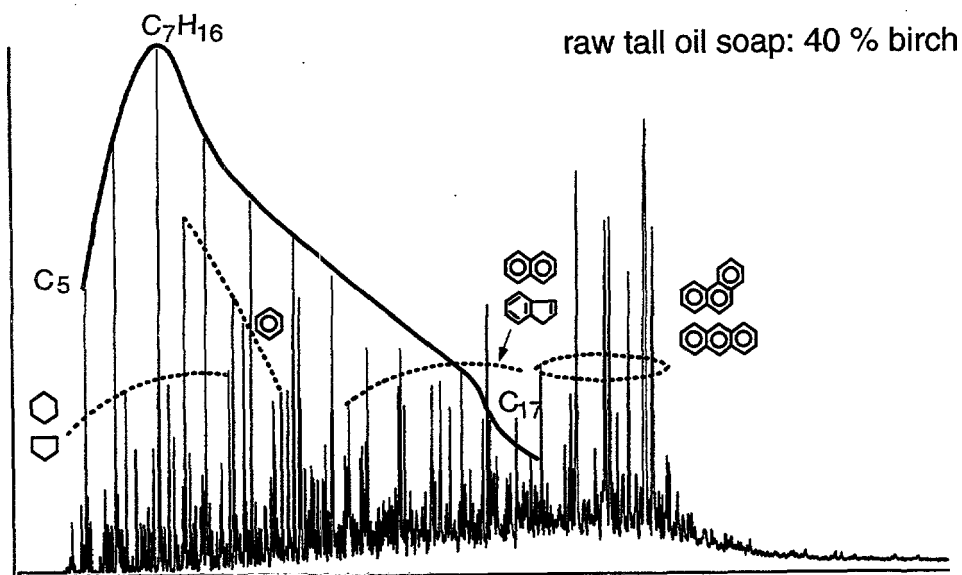
Tuoteöljyjen polttoainelaatu (taulukko 2) ja kemiallinen koostumus (kuva 2) olivat lähes samat. Tuoteöljyn pääkomponentit olivat tyydyttyneet hiilivedyt (C₅-C₁₇) sekä aromaattiset yksi-, kaksi- ja kolmirengashiilivedyt. Tuoteöljyssä ei ollut happoja eikä natriumia. Tuoteöljyn aromaattisuusaste oli noin 50 %.

Taulukko 2. Raakasuopien ja niiden jalostustuotteiden polttoaineanalyysijä.

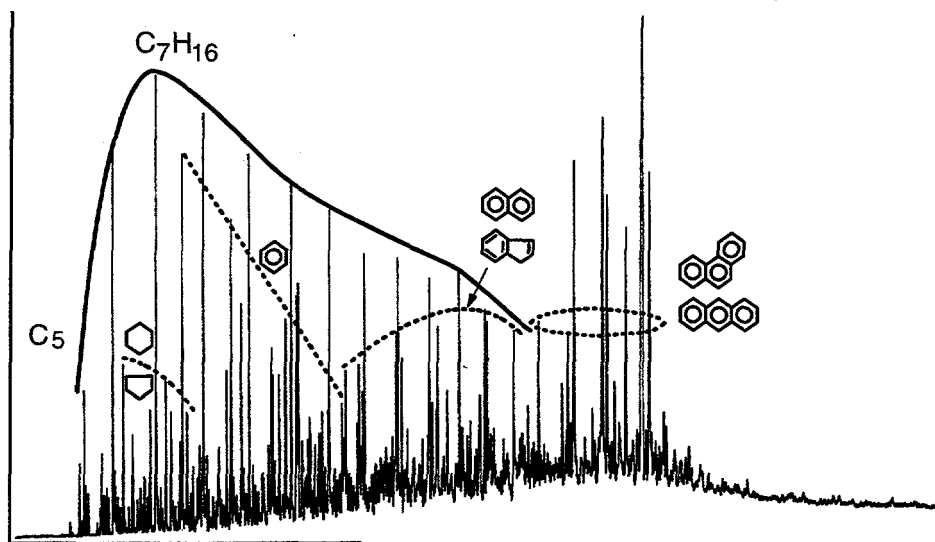
	raakasuopa		tuoteöljy (450 °C, N ₂)	
	40% koivua	90% koivua	40% koivua	90% koivua
vesi, p-%	35	35,2	0,18	0,12
alkuaineanalyysi, p-%				
hiili	69,5	72,5	89,6	90,3
vety	10,5	9,0	9,9	9,9
typpi	0,1	<0,1	<0,1	<0,1
natrium	6,1	3,9	0,08	0,02
rikki	0,4	0,36	0,06	0,24
happi (erotuksena)	13,4	14,1	0,3	0
LHV, MJ/kg	20	21,5	39,4	40,2
tiheys (15 °C), kg/dm ³	0,845	-	0,901	0,901
viskositeetti (50 °C), cSt	-	-	4	5
pH	-	-	9,1	9,4
saanto, p-% kuiva-aine	-	-	43	38

Koeajojen perusteella vahvistui käsitys, että tyydyttyneet hiilivedyt muodostuvat raakasuovan sisältämistä rasvahapoista. Näin ollen olisi johdonmukaista, että tuoteöljysaanto olisi koivusuovalla suurempi johtuen sen suuremmasta rasvahappopitoisuudesta (taulukko 1). Näin olikin, kun hyytelömäinen öljy huomioidaan. Ilmeisesti joko koivua paljon sisältävä raakasuopa tarvitsee pidemmän viipymäajan rasvahappojen pikkoutumiselle ja liukenemiselle vesifaasiin tai suuremman vesimäärä, jotta liukeneminen ei estyisi vesifaasin kyllästymisen takia.

Kokeiden tärkein tulos on, että termisellä nestefaasikäsittelyllä saadaan koivusuovasta yhtä hyvälaatuinen tuoteöljy kuin mäntysuovasta. Jatkokokeissa optimoidaan koivusuovalle reaktio-olosuhteita, jotta öljysaanto ja tyydyttyneiden hiilivetyjen määrä maksimoitaisiin ja aromaattisten hiilivetyjen määrä minimoitaisiin. Kokeillaan myös esimerkiksi reaktiopaineen alentamista raaka-ainetta osittain kuivaamalla. Tällöin termisen nestefaasikäsittelyprosessin kustannukset alenesivat. Raakasuovan voiteluöljykäyttö ei esitutkimuksen perusteella vaikuta järkevältä mm. tuoteöljyn alhaisen viskositeetin takia.



raw tall oil soap: 90 % birch



Kuva 2. Jalostetun raakasuovan kemiallinen koostumus.

6.2 RAAKASUOVAN ILMANPAINEN PYROLYYSI

Raakasuovan matalapaineinen kaasufaasissa tapahtuva nopea lämpökäsittelyprosessi on prosessivaihtoehtona yksinkertaisempi ja investointikustannuksiltaan paineellista nestefaasissa tapahtuvaa termistä lämpökäsittelyä edullisempi vaihtoehto. Esikokeissa (3 h koejaksot) lämpökäsiteltiin onnistuneesti lehtipuuuopaa (keitossa 90 % koivua) leijukerroslaitteistossa.

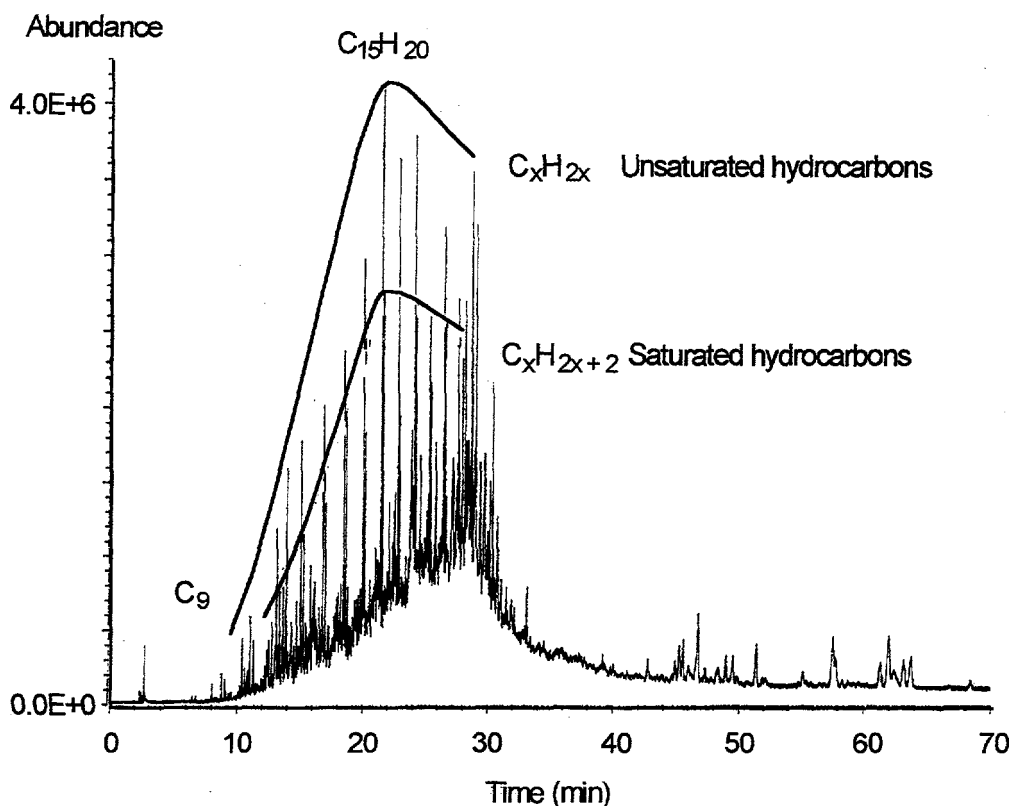
Lämpökäsittelyssä orgaanisesti sitoutunut natrium vapautuu muodostaen epäorgaanisia suoloja. Tuotekaasut (taulukko 3) sisälsivät runsaasti lämpökrakkautumisessa muodostunutta vetyä sekä tyydyttämättömiä että tyydytetyjä alifaattisia hiilivetyjä. Alumiinioksidilla tehdyssä kokeessa kondensoitiin osa tuotekaasuvirrasta jäähdyttimiin. Ensimmäisen jäähdyttimen nestetuotetta, jota oli runsaimmin, tarkasteltiin kvalitatiivisesti kaasunestekromatografilla (GLC), jolloin havaittiin kevyempien eluoituvien yhdisteiden sisältävän pääosin alifaattisia tyydyttämättömiä (9 - 30 hiiliatomia) ja tyydytettyjä hiilivetyjä sekä vähäisemmässä määrin todennäköisesti rasvahappojen natrium-suolojen vapautuessa muodostuneita alifaattisia ketoneja (kuva 3). Esikokeiden perusteella tuoteöljyssaannon arvioidaan olevan noin 30 - 60 paino-% lämpökäsittelyolosuhteista riippuen.

Taulukko 3. Pyrolyysituotekaasujen koostumus.

Tuotekaasu	til-%		p-% kuivasta syötöstä	
	Dolomiitti/ 650 °C	Alumiinioksidi/ 575 °C	Dolomiitti/ 650 °C	Alumiinioksidi/ 575 °C
vety	35.6	26.4	1.3	0.5
hiilimonoksidi	4.3	19.8	2.2	5.4
hiilidioksidi	12.0	9.4	9.8	4.0
ei-hiilivedyt	51.9	55.6	13.3	9.9
metaani	12.5	10.8	3.7	1.7
etaani, eteeni	12.9	8.9	6.7	2.5
C ₁ -C ₂ -hiilivedyt	25.4	19.7	10.4	4.2
propaani, propeeni	6.8	5.9	5.3	2.4
isobutaani, 1,3 butadieeni	2.9	4.3	4.8	2.3
muut C ₄ -hiilivedyt	1.8			
C ₅ -hiilivedyt	2.9	3.5	3.9	2.5
C ₃ -C ₅ -hiilivedyt	14.4	13.7	14.0	7.2
C ₆ -hiilivedyt	6.5	9.3	10.3	7.8
C ₇ -hiilivedyt	1.5	1.4	2.7	1.4
C ₈ -hiilivedyt	0.3	0.3	0.6	0.3
C ₆ -C ₈ -hiilivedyt	8.3	11.0	13.6	9.5
Yhteensä	100.0	100.0	51.3	30.8

Huom. C₆-hiilivedyt pääasiassa avoketjuisia hiilivetyjä. Dolomiitilla muodostuvan kaasun hiilipitoisuus on 49 % (C kaasu/C kuiva-aine), alumiinioksidilla 29 %. Natriumkarbonaattia on laskennallisesti noin 9 p-% kuivasta syötöstä.

Alumina 575 °C - pretest 2 - 12.9.1996



Kuva 3. Pyrolysoitujen tuoteöljyn koostumus. Alumiinioksidi, 575 °C.

Esikokeissa onnistuttiin yksinkertaisella lämpökäsittelyllä hajottamaan raaka-suopa epäorgaaniseksi ja orgaaniseksi aineosaksi. Tuotekaasun lämpöarvo on korkea. Alifaattisten hiilivetyjen osuus tuotekaasussa ja nestetuotteiden kevyessä GLC-eluoituvassa osassa on korkea. Prosessivaihtoehdon yksityiskohtaisempi tarkastelu vaatisi mm. yksityiskohtaisempaa kokeellista työtä lämpöhajoamis-olosuhteiden (lämpötila, lämpökäsittelyaika ja leijukerrosväliaine) vaikutuksesta tuotekaasun ja polttonestetuotteen ominaisuuksiin.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tärkeimmät johtopäätökset ovat:

- Koivupitoisen raakasuovan nestefaasikäsittelyssä saadaan yhtä hyvälaatuis-
ta öljyä kuin lähtemällä sekasuovasta (mänty/koivu).
- Koivupitoisen raakasuovan ilmanpaineinen pyrolyysi onnistuu teknisesti.
Raakasuovan orgaaninen ja epäorgaaninen aineosa saadaan erilleen. Tuote-
kaasun lämpöarvo on korkea.

8 VUODEN 1997 TEHTÄVÄT

Koska projekti rahoituspäätöksen viivästymisen vuoksi alkoi vasta touko-
kuussa 1996, on vuoden 1996 projektin sovittu BIOENERGIA-tutkimus-
ohjelman johdon kanssa päättyvän huhtikuun lopussa 1997. Koetoiminta ra-
joittuu 2 - 3 viikkoon vuoden 1997 puolella. Tänä aikana tehtävät työtehtävät:

- Koivusuovan nestefaasikäsittely. Prosessiolosuhteiden optimointia.
- Kuivemman raaka-aineen käyttö. Prosessin talouden parantamista.
- Kiertööljyn simulointi. Prosessikonseptin kehittämistä.

Projektin jatko on auki. Tutkimushakemus on jätetty BIOENERGIA-ohjel-
maan syksyllä 1996.

9 RAPORTIT, JULKAISUT JA LÄHTEET

Vuoden 1996 aikana on pidetty esitelmä kansainvälisessä konferenssissa:

Oasmaa, A., McKeough, P., Kuoppala, E., Kyllönen, H. Liquid-phase thermal
treatment of tal oil soap into hydrocarbon fuels. In: *Developments in thermo-
chemical biomass conversion*, 1997, Eds. A.V.Bridgwater & D.G.B.Boocock,
pp. 696-710.

*Oasmaa, A., McKeough, P., Kuoppala, E., Kyllönen, H., Levander, J., Tapola,
E., Häkkinen, R.* Puuperäisten biopolttoöljyjen laadun parantaminen - 407.
Raakasuovan terminen nestefaasikäsittely hiilivetypolttoaineiksi. *BIOENER-
GIA vuosikirja 1995*, osa III, s. 199-211.

Oasmaa, A., McKeough, P., Kuoppala, E., Kyllönen, H. Liquid-phase thermal
treatment of tal oil soap into hydrocarbon fuels. In: *Developments in
thermochemical biomass conversion*, 1997, Eds. A.V.Bridgwater & D.G.B.
Boocock, pp. 696-710.



BIOENERGIA

BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMA
BIOENERGY RESEARCH PROGRAMME

Julkaisija (nimi ja osoite) Jyväskylän Teknologiakeskus Oy Ylistönmäentie 31 40500 Jyväskylä Puh. (014) 4451 100, fax (014) 4451 120 bioenergia@jysp.fi		Projektin tunnus/projektinumero Y001	Paikka ja päiväys Jyväskylä 20.3.1997
Tekijä(t) Pirjo Nikku (toim.)		Toimeksiantaja(t) Bioenergian tutkimusohjelma	
Projektin nimi Bioenergian tutkimusohjelman esitutkimukset, koordinointi ja tiedotus			
Raportin nimi Vuosikirja 1996, Osa III, Bioenergian käyttö ja biomassan jalostus			
Tiivistelmä Bioenergia-tutkimusohjelman toiminta-ajatuksena on teknisen tutkimus- ja kehitystyön keinoin lisätä taloudellisesti kannattavaa ja ympäristöystävällistä bioenergian käyttöä parantamalla nykyisten puu- ja turvepoltoainesten kilpailukykyä, kehittämällä uusia kilpailukykyisiä biopolttoaineita sekä bioenergian käyttöön ja jalostukseen liittyvää teknologiaa. Tutkimusohjelman kokonaisrahoitus oli vuonna 1996 27,3 milj. mk ja projekteja oli vuoden 1996 lopussa käynnissä kaikkiaan käytön alueella 10 ja jalostuksessa 6. Tässä julkaisussa on esitetty käynnissä olevien projektien keskeisiä tuloksia. Käyttötietekniikan tavoitteena on kehittää demonstraatioasteelle 3 - 4 biopolttoaineen käsittelyyn tai kuiva-tukseen liittyvää liittyvää uutta laitetta tai menetelmää ja kehittää pienkäytön (< 20 MWth) laitetekniikkaa ja vähentää päästöjä. Tavoitteena on uuden pienvoimalaitostekniikan kehittäminen, esimerkiksi flashpyrolyysiöljydie-selin, kaasutusmoottorin ja pölypoltto kaasutusturbiinin. Ohjelmassa demonstroidaan vähintään 2 - 3 uutta suuren kokoluokan käyttökohdetta, joissa kussakin käyttöpotentiaali koko maassa on vähintään 0,2 - 0,3 milj. toe/a vuoteen 2000 mennessä. Ohjelmassa asetetut tavoitteet ovat toteutumassa hyvin kiinteistöjen lämmitysjärjestelmien osalta ja polttoaineen käsittelytekniikan osalta. Uusien pienvoimalaitostekniikoiden demonstroituvaiheeseen päästään vasta tutkimusohjelman päättymisen aikoihin. Jalostustutkimuksen tavoitteena on tuottaa perustietoa eri biomassojen jalostustekniikoista, arvioida tuotteiden laatua, käytettävyyttä, käytön ympäristövaikutuksia sekä koko tuotantoketjujen taloudellisuutta. Tavoitteena on lisäksi luoda ja saattaa demonstraatioasteelle 2 - 3 uutta menetelmää bioöljyjen, kaasutuskaasun tai muiden jalosteiden valmistamiseksi ja käyttämiseksi ja luoda edellytykset vuoteen 2005 mennessä 0,2 - 0,3 milj. toe/a jalostustuotteiden käyttömäärälle. Sisällöltään työ on painottunut biomassojen flashpyrolyysitekniikan kehittämiseen ja ulkomailta tuotujen puuöljyjen varastoitavuuden ja käytettävyyden selvittämiseen öljykattiloissa ja dieselvoimaloissa.			
Avainsanat (Avainsanat suomeksi ja englanniksi) biomassa, bioenergia, biopolttoaineet, käyttö, jalostus, jäteliemet, pyrolyysi, polttoöljy, poltote-kniikka, kasviöljyt, biodiesel, tutkimusprojektit, Bioenergian tutkimusohjelma		Luokitus ja/tai indeksointi (kirjasto täyttää)	
ISSN ja avainnime 1236-4738 Julkaisu - Bioenergian tutkimusohjelma		ISBN 952-5165-04-3	
Kokonaissivumäärä 208 s.	Kieli suomi, englanninkieliset tiivistelmät	Hinta 210 mk	Luottamuksellisuus julkinen
Julkaisun jakaja (nimi ja osoite) Bioenergian tutkimusohjelma Jyväskylän Teknologiakeskus Oy, Ylistönmäentie 31, 40500 Jyväskylä		Lisätietoja Dan Asplund Pirjo Nikku	



BIOENERGIA

BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMA
BIOENERGY RESEARCH PROGRAMME

Publisher (name and address) Jyväskylä Science Park Ylistönmäentie 31 FIN-40500 Jyväskylä Tel.+358-14-4451 100, fax +358-14-4451 120 bioenergia@jsp.fi		Project code/project number Y001	Date and place Jyväskylä March, 1996
Author(s) Pirjo Nikku (ed.)		Commissioned by Bioenergy Research Programme	
Name of project			
Title Yearbook 1996, Part III, Utilization of bioenergy and biomass conversion			
Abstract The aim of the research programme is to increase the use of economically profitable and environmentally sound bioenergy, by improving the competitiveness of present peat and wood fuels. Research and development projects will also develop new economically competitive biofuels, new equipment and methods for production, handling and using of biofuels. The total funding for 1996 was 27,3 million FIM, and the number of projects 63. The number of projects concerning bioenergy use was 10 and biomass conversion 6. Results from the projects that were going in 1996 are presented in this publication. The aim of the bioenergy use is to develop and demonstrate at least 3 - 4 new equipment or methods for handling and use of biofuels. The equipment and/or methods should provide economically competitive and environmentally sound energy production. The second aim is to demonstrate at least 2 - 3 large-scale biofuel end-use technologies. Each of these should have a potential of 0.2 - 0.3 million toe per year till the year 2000. The aims have been achieved in the field of fuel handling technologies and small scale combustion concepts but large scale demonstration projects before the year 2000 seems to be a very challenging aim. The aim of the biomass conversion is to produce basic information on biomass conversion, to evaluate the quality of products, their usability, environmental effects of use as well as the total economy of the production. The objective of biomass conversion is to develop 2 - 3 new methods, which could be demonstrated, for the production and utilization of liquefied, gasified and other converted biofuels. The production target is 0.2 - 0.3 million toe per year by 2005 at a competitive price level. The studies focused on the development of flash pyrolysis technology for biomass, and on the study of the storage stability of imported wood oils and of their suitability for use in oil-fired boilers and diesel power plants.			
Keywords biomass, bioenergy, biofuels, utilization, conversion, waste liquors, pyrolysis, combustion, fuel oils, biodiesel, research projects, Bioenergy Research Programme		Classification	
ISSN series title 1236-4738 Publications - Bioenergy Research Programme		ISBN 952-5165-04-3	
Pages 208 p.	Language Finnish, English abstracts	Price FIM 210	Confidentially non confidential
Distributed (name and address) Bioenergy research programme Jyväskylä Science Park Ltd, Ylistönmäentie 31, 40500 Jyväskylä, Finland		Further information Dan Asplund Pirjo Nikku	