

BIOENERGIA
Bioenergian tutkimusohjelma

JULKAISUJA 11

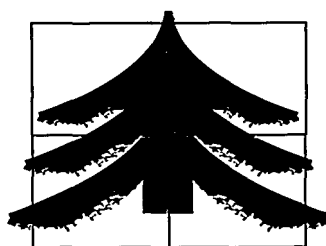
RECEIVED

FEB 04 1997

EST

Vuosikirja 1995

Osa III
Bioenergian käyttö ja
biomassan jalostus



MASTER

BIOENERGIA

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED

RB

VTT Energia
Jyväskylä 1996

DISCLAIMER

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

BIOENERGIA
Bioenergian tutkimusohjelma

JULKAISUJA 11

Vuosikirja 1995

OSA III
Bioenergian käyttö ja
biomassan jalostus

Eija Alakangas (toim.)

VTT Energia

Jyväskylä 1996

TEKNOLOGIAN KEHITTÄMISKESKUKSEN
ENERGIATEKNOLOGIAN TUTKIMUSOHJELMA 1993 - 1998

BIOENERGIA
Bioenergian tutkimusohjelma
Koordinointi:
Jyväskylän Teknologiakeskus Oy

Ylistönmäentie 35, 40500 JYVÄSKYLÄ
Puh. (941) 4451 100, faksi (941) 4451 120
sähköposti: bioenergia@jsp.fi

Tutkimusohjelman johtaja Dan Asplund

ISSN 1236-4738
ISBN 952-9500-77-7

ESIPUHE

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

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

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

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

Lopuksi haluaisin toivottaa kaikille Bioenergian ohjelmassa mukanaoleville työntäyteistä ja menestyksekkästä loppujaksoa sekä antoisia seminaaripäiviä täällä Laajavuorella.

Tarja-Liisa Perttala
TEKES

SISÄLLYSLUETTELO

OSA III

Esipuhe <i>Tarja-Liisa Perttala, TEKES</i>	3
Bioenergian tutkimusohjelman sisältö, keskeiset tulokset vuonna 1995 ja näkymät vuodelle 1996 <i>Dan Asplund & Pirjo Nikku, Bioenergian tutkimusohjelma</i>	9
Bioenergian käyttö - tutkimusalueen katsaus <i>Satu Helynen, VTT Energia</i>	35
Biomassan jalostus - tutkimusalueen katsaus <i>Kai Sipilä, VTT Energia</i>	41

KIINTEIDEN BIOPOLTTOAINEIDEN KUIVAUS JA KÄSITTELY

Kiinteiden polttoaineiden kuivumisparametrien karakterisointi - 301 <i>Risto Impola, Jaakko Saastamoinen & Leenä Fageräs, VTT Energia</i>	47	✓
Paineistettu syötin biopolttoaineille - Y302 <i>Ragnar Lundqvist & Pasi Makkonen, A. Ahlström Oy</i>	59	
Kiinteän materiaalin syöttölaitteen kehittäminen - Y304 <i>Olli Heinonen & Janne Tiihonen, Imatran Voima Oy</i>	69	
Sekoituskuivurin jatkokehitys - Y308 <i>Olli Heinonen, Imatran Voima Oy Erkki Parvio, IVO International Oy</i>	75	
Pölyräjähdysten ja syttymispesäkkeiden tukahduttaminen biomassaa käyttävissä laitoksissa - 307 <i>Carl Wilén & Aimo Rautalin, VTT Energia</i>	85	
Tehokas ja pölytön seospolttoaineiden vastaanottoasema sekä käsittely- ja kuljetinjärjestelmä - Y307 <i>Osmo Nojonen, Finntech Oy Timo Järvinen, VTT Energia</i>	95	

Kierrätyspolttoaineen vastaanotto-, murskaus- ja seulontajärjestelmän kehittäminen - Y309 <i>Antti Nurmi, Timo Kurki & Timo Wrang,</i> <i>BMH Wood Technology</i>	103
---	-----

PELTOBIOMASSOJEN KÄSITTELY, JALOSTUS JA POLTTO

Rypsin ja ruokohelpin viljelyn demonstrointi nykypuristamoilla polttoöljyksi, paperikuiduksi ja flashpyrolyysiöljyn laajamittaisena non-food-tuotantosuuntana - 408, D404 <i>Kai Sipilä, VTT Energia</i>	109
Peltobiomassojen esikäsittely ja prosessointi arvo-, bulkki- ja energiakuitujakeiden tuottamiseksi - 310 <i>Pekka Vilppunen & Jorma Sohlo, Oulun yliopisto</i>	113
Upgraded fuel from reed canary grass <i>Veli-Pekka Heiskanen, VTT Energia</i>	119

PIENIMUOTOINEN POLTTO- JA VOIMALAITOSTEKNIikka

Puuta käyttävien tulisijajärjestelmien kehittäminen - 302 <i>Heikki Oravainen, VTT Energia</i> <i>Osmo Nojonen, Finntech Oy</i>	135
Stokeripolton kehittäminen - Y306 <i>Osmo Nojonen, Finntech Oy</i>	141
500 kW:n stokeripolttojärjestelmän demonstrointi - D306 <i>Heikki Oravainen, VTT Energia</i> <i>Kimmo Kantalainen, Högfors Lämpö Oy</i>	145
Huonekaluteollisuuden lämmityskattiloiden polton tehostaminen - D301 <i>Kari Larjava, Torsti Siltanen & Kauko Tormonen, VTT Kemiantekniikka</i> <i>Aarni Metsä, Suomen Puututkimus Oy</i> <i>Aimo Kolsi & Markku Orjala, VTT Energia</i> <i>Martti Muurinen, Enemi Oy</i>	151
Biomassan ja turpeen kaasutukseen perustuvien dieselvoimalaitosten toteutettavuustutkimus - 309 <i>Esa Kurkela, Pekka Ståhlberg, Yrjö Solantausta & Carl Wilén,</i> <i>VTT Energia</i>	159

BIOPOLTTOÖLJYJEN TUOTANTO JA KÄYTTÖ

Flash pyrolysis Fuel Oil - Y401 <i>Steven Gust, Neste Oy</i>	173
Bioöljyllä toimiva dieselvoimala - D402 <i>Asko Vuorinen, Modigen Oy</i>	183
Bioöljyn tuotanto Flash-pyrolyysillä ja sen poltto - D403 <i>Timo Nyrönen, Vapo Oy</i>	187
Pyrolyysiöljyn valmistus, ominaisuudet ja käyttö - 405 <i>Kai Sipilä, Anja Oasmaa, Vesa Arpiainen, Eeva Kuoppala, Eero Leppämäki, Yrjö Solantausta, Johanna Levander, VTT Energia</i>	189
Puuperäisten biopolttoöljyjen laadun parantaminen - 407 <i>Anja Oasmaa, Paterson McKeough, Eeva Kuoppala, Hilikka Kyllönen, Johanna Levander, Eija Tapola, Reijo Häkkinen, VTT Energia</i>	199
Bioenergiasysteemien teknis-taloudellinen analyysi - 406 <i>Yrjö Solantausta, VTT Energia</i>	213

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

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

1 JOHDANTO

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

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

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

Yleiset perusteet biopolttoaineiden käytön lisäämiseen ovat:

- Bioenergian käyttöä lisäämällä voidaan vähentää energiantuotannon CO₂-päästöjä.

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

Suomi on asettanut tavoitteet sekä typenoksidi-, rikki- että hiilidioksidipäästöjen vähentämiselle 1990-luvulla. Parhaat tulokset on saavutettu rikkipäästöjen vähentämisessä: 80 % vähentämistavoite vuoteen 1980 verrattuna on lähes saavutettu. Typenoksidipäästöjen osalta 30 % vähentämistavoite vuoteen 1998 mennessä jäänee saavuttamatta. Hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen päästöjen vakauttaminen vuoden 1990 tasolle Rion pöytäkirjan mukaisesti on vaikein tavoite. Biopolttoaineiden käytön lisääminen vaikuttaa erityisesti hiilidioksi- mutta myös rikkipäästöjä vähentävästi.

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

Taulukko 1. Suomen biomassavarat ja niiden käyttö.

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

6,2 yht.

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

Valtioneuvosto hyväksyi 7.4.1994 bioenergian edistämishjelman /1/. Tavoitteeksi on asetettu bioenergian käytön lisääminen nykyisestä vähintään

neljänneksellä seuraavan 10 vuoden aikana. Tämä merkitsisi 1,5 miljoonaa öljytonnia vastaavan energiamäärän lisäystä vuoteen 2005 mennessä.

Nykyinen valtioneuvosto teki 21.12.1995 periaatepäätöksen energiapolitiikasta. Bioenergian osalta siinä todetaan, että valtioneuvosto jatkaa bioenergian 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 bionergian käytölle asetetut erillistavoitteet.

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

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

2 TUTKIMUSOHJELMAN TOIMINTA-AJATUS JA TAVOITTEET

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

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

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

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

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

Käyttötekniikan tavoitteet ovat:

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

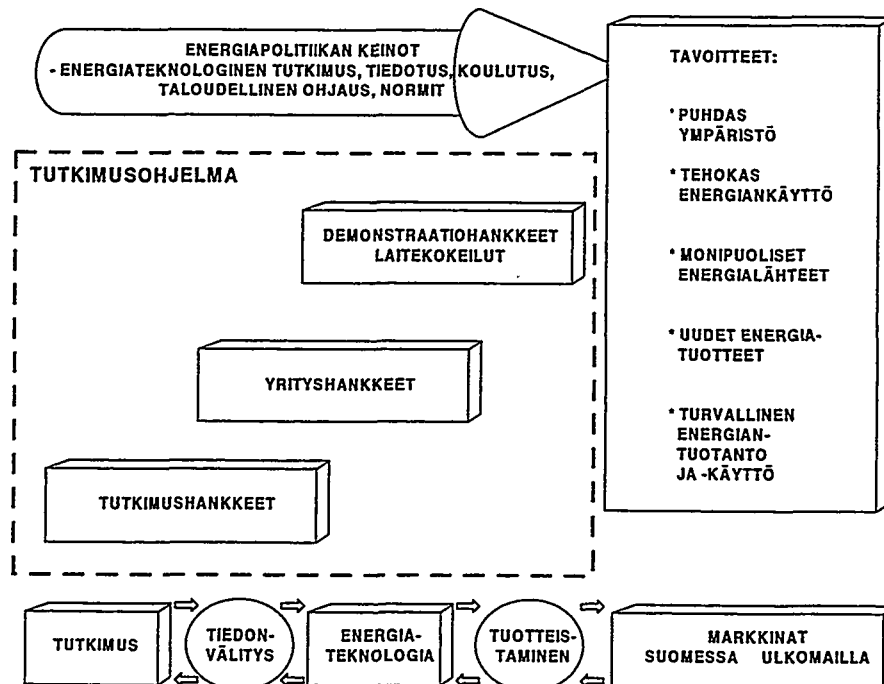
Uuden pienvoimalaitostekniikan kehittäminen, esimerkiksi flashpyrolyysiöljydieselini, kaasutusmoottorin ja pölypoltto kaasutusturbiiniin.

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

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

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

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



Kuva 1. Tutkimuksesta kaupalliseksi toiminnaksi.

3 TUTKIMUSOHJELMAN RAHOITUS JA ORGANISOINTI

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

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

Taulukko 2. BIOENERGIA-tutkimusohjelman rahoitus.

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

* päätökset vielä tekemättä (29.3.1996)

4 PROJEKTIT VUONNA 1995

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

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

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

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

Taulukko 4. Vuonna 1995 päätetyn kokonaisrahoituksen jakautuminen.

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

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

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

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

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

TEKESin tutkimuslaitoshankkeiden kokonaisrahoitus on pienentynyt rahoitusleikkauksen vuoksi 8 milj. markasta 5 milj. markkaan. Vuoden 1996 koordinaatorahoitus voitiin kuitenkin hakea muulla tavoin, joten varsinainen tutkimusrahoitus pieneni 2,04 milj. mk. Kokonaisrahoitus on kuitenkin pysynyt lähes samalla tasolla. Tämä johtuu muun rahoituksen kasvusta eli lähinnä käyttö- ja jalostuspuolelle saadusta EU-rahoituksesta. Merkittävä muutos on lisäksi turvetuotannon tutkimuksen TEKES-rahoituksen pieneneminen lähes 1,5 milj. markalla, jolloin kokonaisrahoitus pienenee vastaavasti 2,5 milj. mk.

5 VUODEN 1995 TULOKSIA

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

5.1 PUUPOLTTOAINEIDEN TUOTANTOTEKNIikka

Polttopuun tuotanto

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

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

Puupolttoaineiden tuotanto taimikon harvennuksista

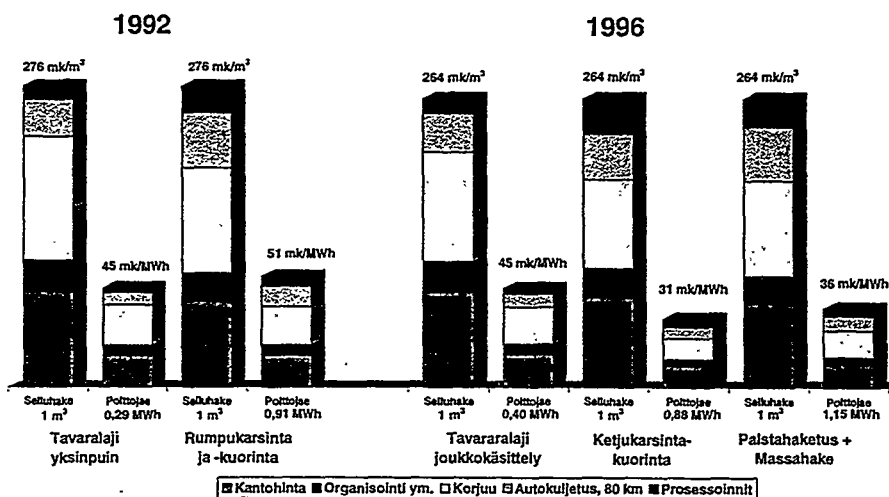
Taimikonhoidon ohjeita on hiljattain tarkistettu siten, että harvennus tulisi tehdä aiempaa myöhemmin, puun 4 - 7 metrin pituusvaiheessa. Kaadettavat

puut ovat silloin jo niin kookkaita, että hehtaarikohtainen biomassakertymä on vähintään 40 - 50 kuutiometriä (vähintään 100 hakekuutiota). Vuotuinen taimikonhoitoala on noin 200 000 ha. Varovainen arvio on, että taimikonhoitokohteista ja nuorten metsien kunnostuksesta voitaisiin helposti ottaa talteen 2,5 milj. m³ (lähes 0,5 milj. toe) vuodessa.

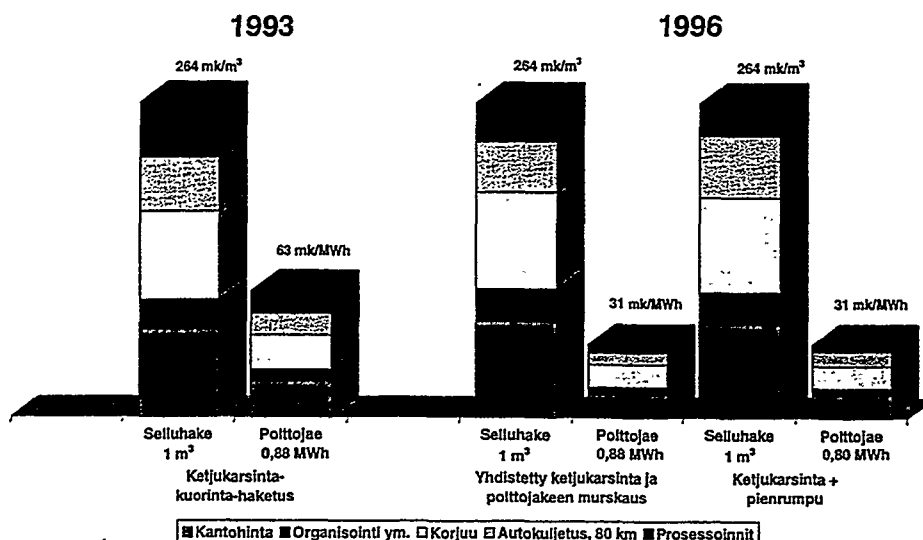
Puupolttoaineiden tuotanto harvennushakkuista

Puupolttoaineen tuottamisessa ensiharvennusvaiheen metsiköistä keskeisenä kehittämiskohteenä on ollut teollisuuden ainespuun ja puupolttoaineen integroitu tuotanto. Yhteenveto tutkimusohjelmassa mukana olleiden integroitujen tuotantomenetelmien kustannusten nykytasosta ensiharvennushakkuille on esitetty kuvassa 2. Se osoittaa integroitujen menetelmien tarjoavan kilpailukykyisen vaihtoehdon ensiharvennuspuun hankintaan. Ehtona on raaka-aineen kelpoisuus metsäteollisuudelle. Puupolttoaineen tuotantokustannusten tavoitteeksi asetettu 45 mk/MWh, näyttää olevan mahdollista saavuttaa esityillä menetelmillä. Tuotantopotentialiksi koko Suomessa on arvioitu noin 0,5 milj.toe/a. Kuvassa esitellyjen tuotantomenetelmien kehitystaso vaihtelee: osa menetelmistä olisi otettavissa käyttöön nykykalustolla välittömästi, mutta osassa tarvitaan vielä keskeisten laitteiden tuotekehitystyötä tai koko ketjun demonstrointia. Kuvassa 3 on tarkemmin esitetty ohjelmassa kehitettyjen menetelmien kehitys ja teknistaloudellinen vertailu.

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



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



Kuva 3. Ohjelmassa tapahtunut ketjukarsintamenetelmiin liittyvä kehitys.

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

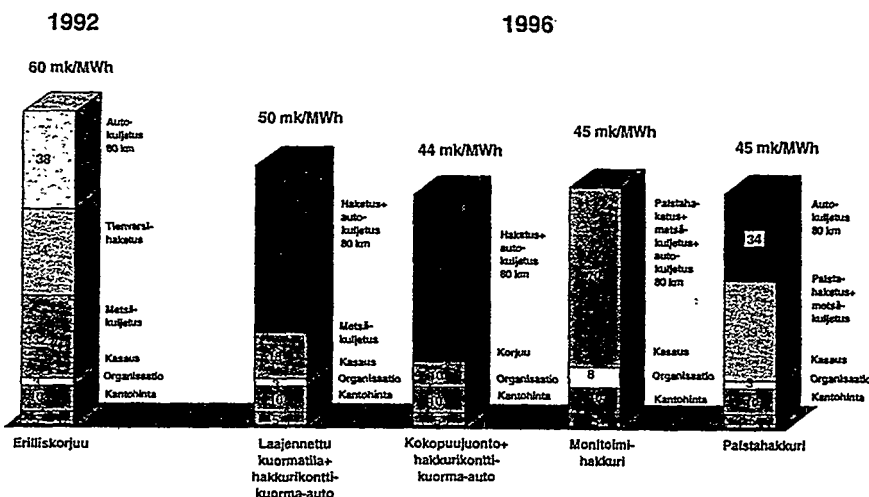
Joukkokäsittelyharvesterilla, joka on kehitetty pienpuun käsittelyyn kuorinainharvesterista, saavutettiin tutkituilla kohteilla 20 % korkeampi tehotuotos kuin yksinpuinkäsittelyllä. Tämä merkitsee noin 5 - 15 mk/m³ vähennystä puun hankintakustannuksiin. Kehitystyötä tekivät Outokummun Metalli Oy ja Metsäteho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

Integroitujen menetelmien kehittämistyö MASSAHAKE-menetelmän osalta on jatkunut osa-alueiden tarkemmassa tutkimuksessa kun menetelmän yleinen tekninen toimivuus on todettu Kankaanpäässä kesäkuussa 1995 aloitta- neessa demonstraatiolaitoksessa.

Ketjukarsintakuorinnan ongelmana on hakkeen korkea kuoripitoisuus talviolo-suhteissa, minkä alentamiseksi on käynnistetty ketjukarsinta-kuorinnan tutkimus tutkimuslaitteen avulla. Pilot-laitos, joka soveltaa ketju- karsintakuorintateknologiaa yhdistettynä pienrumpukuorintaan valmistui vuonna 1995 metsäteollisuuden yhteyteen. Hooli Oy:n demonstraatiohank- keessa on valmistettu karsintakuorintatekniikkaan ja vasaramurskaukseen perustuva laiteyhdistelmä, joka oli kokeiluvaiheessa viime vuonna.

Puupolttoaineiden tuotanto päätehakkuista

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



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

Päätehakkuiden hakkuutähteiden korjuussa on ns. perusmenetelmällä päästy edullisimmillaan Mikkelin seudun demonstraatioprojektissa alle 43 mk/MWh hintaan kaupallisella tekniikalla. Vuonna 1992 menetelmän kustannukseksi arvioitiin 60 mk/MWh. Chipset-palstahakkuriin perustuva uusi päätehakkuumenetelmä on demonstraatiovaiheessa.

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

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

haketus hakettavalla konttikuljetuskalustolla ja kaukokuljetus kolmella kontilla.

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

5.2 TURVETUOTANTO

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

Tärkeimmät vuoden 1993 - 1995 tutkimustulokset ovat:

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

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

Turvetuotannon tutkimusalueen tavoite on tutkimustulosten valossa mahdollista saavuttaa mikäli osatavoitteet saavutetaan. Avo-ojaleveyden kasvattaminen 20 m:stä 60 m:iin alentaa tuotantokustannuksia 5 %, aurinkoenergian hyväksikäyttöasteen kasvattaminen 30 %:sta 40 %:iin alentaa tuotantokustannuksia 8 %, suon pohjalle jäävän turpeen määrän pieneneminen 3000 MWh:sta 1500 MWh:iin alentaa 6,5 %, keveiden ja paloturvallisten koneiden kehittäminen 3 %, yhdistetty puun korjuu alentaa tuotantokustannuksia 3 %. Eri osatavoitteiden saavuttaminen myös käytännön turvetuotannossa pienentää yhdessä tuotantokustannuksia 23,8 %.

5.3 BIOENERGIAN KÄYTTÖ

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

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

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

Tutkimusohjelmassa aloitettu automaattisen lämmitysjärjestelmän kehitystyö johti menetelmän demonstrointiin Högfors Lämpö Oy:n toimesta. Prototyyppikattilasta (200 kW) saatujen kokemusten perusteella rakennettiin 500 kW:n kattila, joka laboratoriotestausten jälkeen sijoitettiin kauppapuutarhan lämmityslaitteeksi vuonna 1995.

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

5.4 BIOMASSAN JALOSTUS

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

Suovan jalotustutkimuksessa on todettu että on mahdollista tuottaa edullista polttoöljyä.

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

5.5 PELTOBIOMASSAN TUOTANTO

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

6 JULKAISU- JA TIEDOTUSTOIMINTA JA KANSAIN- VÄLISET YHTEYDET

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

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

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

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

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

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

7 VIENTI

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8 YHTEENVETO

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

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

VIIITTEET

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

LIITTEET

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

BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMA - TUTKIMUSHANKKEET PUUPOLTTOAINEIDEN TUOTANNOSTA 1995

AIHE	TUTKIMUSLAITOSHANKKEET	YRITYSHANKKEET (Y)	DEMONSTRAATIOHANKKEET (D)
TUOTANTO			
PUUN KORJU METSÄSSÄ	106 Plenpuun keräilykaatoon perustuvan harvennuskoneen kehittäminen	Y113 Harvennuspuiden automaattisen nippukorjausharvesterin kehittäminen Y115 Yhdistelmäkonetta kehittäminen plenpuun korjuuseen sekä ensiharvennukseen	
POLTTOPUU- TUOTANTO	108 Polttopuiden korjuun kehittäminen metsänomistajien tekemisissä ensiharvennuksissa 118 Ostopölkkeen mitta- ja laatuvaatimusten kehittäminen	Y110 Urakointi, puollurakointi ja isännänlinjan polttopuunkorjuun kehittäminen Y111 Polttopuu ja puunkorjuu	D107 Polttopuiden käsittely- ja jakelulogistiikka
INTEGROIDUT PÄÄTEHAKKUU- MENETELMÄT	114 Päätehakkuiden hakkuutähde polttoainelähteenä 115 Hakkuutähtien ja kokopuiden niputus ja nippujen käsittely 116 Palstahaketuksen logistinen ketju	Y109 Puupolttoainetta tuottaminen kokopuujuontomenetelmällä Y116 Oksien ohjaimella varustettu harvesteri	D104 Joustava hakkeen valmistus ja logistiikka D109 Chipset-hakeharvesterin demonstrointi
INTEGROIDUT HARVENNUS- PUUMENE- TELMÄT	104 Massahake-menetelmän soveltaminen kolville sekä hieheen raaka-ainetuotantoon 101 Integroitu puupolttoainetta ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketjukarsinta-kuorintatekniikalla 102 Puun korjuu palahakkeena ja monivaiheinen las- tuaminen	Y106 Teollisuuden aluspuun ja puupolttoainetta integroitu tuotanto Y114 Integroitu energiapuun tuotantomenetelmä Pohjois-Suomessa	D108 Massahake-menetelmän demo D103 Polttojakeen hankinta puun yhdistelmäkorjuussa D102 Plenpuun karsinta-kuorinta

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

BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMA - TUTKIMUSHANKKEET BIOENERGIAN KÄYTÖSTÄ 1995

AIHE	TUTKIMUSLAITOSHANKKEET	YRITYSHANKKEET (Y)	DEMONSTRAATIOHANKKEET (D)
POLTTOAINEI- DEN KÄSITTELY	301 Kiinteiden polttoainelaiden kuivumisparametrien karakterisointi 307 Pölyräjähdysten ja syttymispesäkkeiden tukahduttaminen biomassaa käyttävissä laitoissa	Y308 Sekoituskulvurin jalkokehitys Y302 Painelstettu syöttin biopolttoainelle Y304 Kiinteän materiaalin syöttölaitteen kehittäminen Y307 Tehokas ja pölytön seospolttoainelaiden vastaanottoasema sekä käsittely- ja kuljetinjärjestelmä Y309 Kierrätyspolttoaineen vastaanotto-, murskaus- ja seulontajärjestelmän kehittäminen	
PIENIMUOTOIN EN POLTTO- JA VOIMALAITOS- TEKNIikka	302 Puuta käyttävien tulisijajärjestelmien kehittäminen 309 Biomassan ja turpeen kaasutukseen perustuvien dieselvoimalaitosten toteutettavuustutkimus	Y306 Stokeripolton kehittäminen	D306 500 kW:n stokeripolttojärjestelmän demonstrointi D301 Huonekaluteollisuuden lämmityskattiloiden polton tehostaminen
PELTO	308 Upgraded fuel from reed canary grass 310 Peltobiomassojen esikäsittely ja prosessointi arvo-, bulkki- ja energiatuotteiden tuottamiseksi		

BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMA - TUTKIMUSHANKKEET TURVETUOTANNOSTA 1995

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

BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMA - TUTKIMUSHANKKEET BIOMASSAN JALOSTUKSESTA 1995

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

BIOENERGIAN TUTKIMUSOHJELMA - TUTKIMUSHANKKEET PELTOBIOMASSAN TUOTANNOSTA 1995

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

BIOENERGIAN KÄYTTÖ -TUTKIMUSALUEEN KATSAUS

Satu Helynen
VTT Energia
PL 1603
40101 Jyväskylä
Puh. (941) 672 661
Faksi (941) 672 597

Abstract: Research on use of bioenergy

Drying of biomass with hot gases and steam has been modelled in fixed and solid beds based on experimental results by VTT Energy. The pilot plant of bed mixing dryer at Kuusamo district heating power plant has tested successfully with peat, bark and saw dust by IVO. The dryer increases the overall thermal efficiency of the plant 10 - 15 %.

An effective and dust free receiving station was designed for wood and peat fired power plants. Surplus time for unloading and sampling was decreased and fine dust control was improved. Development work of a system for receiving, crushing and screening recycled fuel material was also launched. Suppression control of fires and explosions in storages were studied by means of experimental tests with international partners.

Two concepts on pressurized piston feeder, needed for pressurized combustion and gasification concepts, have been designed by Foster Wheeler and IVO. Concepts were tested with different types of biomass. Feeders are ready for full-scale demonstration plants.

Competitiveness of new small scale power plant concepts were compared to a conventional steam boiler and turbine concept. New concepts include atmospheric gasification with diesel engines, combustion of pulverized wood in a gas turbine and diesel engine using flash pyrolysis oil. New concepts have technical uncertainties, but their possibilities to become competitive compared to conventional technology are promising.

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.

Pienen kokoluokan lämmöntuotantosovellutusten tutkimusta esitellään jäljempänä Seppo Tuomen Puupolttoaineen pientuotanto ja käyttö - katsauksessa. Tässä esityksessä keskitytään biopolttoaineiden käsittelytekniikan ja pienvoimalaitostekniikoiden tutkimuksiin. Käynnissä olleet suurimittaiset bioenergian käytön demonstraatiohankkeet Mikkelin ja Keski-Suomen lääneissä ovat pääosin keskittyneet puupolttoaineiden tuotantoon, ja ne on esitelty Puupolttoaineiden tuotanto -tutkimusalueen katsauksessa.

2 POLTTOAINEIDEN KUIVAUS

Kuiva polttoaine helpottaa polttoaineen käsittelyä, mahdollistaa palamisen ja päästöjen tarkemman säädön, vähentää savukaasun tilavuusvirtaa ja siten palotilojen tilavuutta sekä parantaa hyötysuhdetta. Erityisen korkeat vaatimukset kuivaukselle asetetaan tuotettaessa biopolttoaineista nestemäisiä tai kaasumaisia tuotteita, joiden laatuun polttoaineen kosteus vaikuttaa merkittävästi. Biopolttoaineiden kuivauksen kehittämistarpeet liittyvät kuivauksen energian tarpeen ja laitteistojen investointikustannusten pienentämiseen, laitteistojen käyttötoiminnan yksinkertaistamiseen ja kuivauksen ympäristövaikutusten vähentämiseen.

VTT Energian polttoaineiden kuivumisominaisuuksia koskevassa projektissa on jatkettu laboratoriolaitteilla koetoimintaa, hyödynnetty kokemuspäästä tietoa kuivumismallien kehityksessä sekä tehty yhteenveto kuivauksessa vapautuvista orgaanisista yhdisteistä ja niiden käyttäytymisestä erityyppisissä kuivureissa. Yksittäistä polttoainepartikkelia koskevassa kuivumismallissa voidaan kuvata tarkkaan partikkelin ominaisuudet ja kuivausympäristö. Kuivumismalli on edelleen muutettu petikuivauksen, sekä kiinteän että liikkuvan pedin, tarkasteluun sopivaksi. Erityisesti on kuvattu kuivumista vesihöyryssä korkeassa paineessa olosuhteissa, jotka vallitsevat Imatran Voima Oy:n kehitteillä olevassa IVOSDIG-prosessin kuivurissa.

Kuivauksen päästöjen määrään ja laatuun vaikuttavat polttoaineen laadun lisäksi kuivauslämpötila ja -paine. Ongelmallisia ovat etenkin hajua aiheuttavat yhdisteet (hapot, aldehydit, monoterpeniinit) sekä kuivurien pinnoille kerrostuvat rasva- ja hartsihapot.

Imatran Voima Oy:n uuteen sekoituskuivurikonseptiin perustuva pilotlaitos on toiminut Kuusamon voimalaitoksella jo vuodesta 1994 alkaen. Kuivuris-

ta saadut käyttökokemukset ovat niin hyviä, että demonstrointia suurem-
massa voimalaitoskokoluokassa suunnitellaan. Kuivausmenetelmä soveltuu
parhaiten jyrksinturpeelle ja purulle, joiden pieni partikkelikoko mahdollistaa
flash-kuivurin edellyttämän pienen kuivumisajan. Konseptin etuna on erit-
tään edullinen energiatalous, sillä kuivauksessa polttoaineesta poistettavan
vesihöyryn lauhtumislämpö saadaan talteen kaukolämpöveleen.

3 POLTTOAINEIDEN KÄSITTELYTEKNIikka

Usea laitetoimittaja, polttoaineen toimittaja ja käyttäjä osallistui VTT
Energian vetämään projektiin, jossa suunniteltiin uusi tehokas, pölyhaitaton
vastaanottoasema. Tavoitteena oli kuljetusajoneuvojen odotus- ja purkuai-
kojen lyhentäminen, tasalaatuisen polttoaineen varmistaminen, manuaalisen
työn vähentäminen sekä palo-, ympäristö- ja pölyriskien vähentäminen.
Näihin päästään mm. nopeuttamalla ajoneuvon asemointia, käyttämällä pö-
lyn vähentämiseen rauhoituskammiota ja syklonia tai letkusuodatinta ja li-
säämällä asemalle automaattinen näyttöönotto. Peräpurkuautojen purkua
voidaan nopeuttaa limittämällä vetopään ja perävaunun purkaus, jotka ta-
pahtuvat keskelle vetoaisan päälle.

Polttoaineiden käsittelytekniikan kehittämistä jatketaan myös vuonna 1996
VTT Energian käynnistämässä ja TEKESin rahoittamassa Seos- ja moni-
polttoaineiden käsittelytekniikan teknologiaohjelmassa, johon osallistuu
suuri joukko laite- ja polttoainetoimittajia sekä käyttäjiä.

BMH Wood Technology Oy on käynnistänyt projektin kierrätyspolttoai-
neen vastaanotto-, murskaus- ja seulptajärjestelmän kehittämiseksi. Syn-
typistelajiteltu kierrätyspolttoaine teollisuudesta, toimistoista ja yhdyskun-
nista on tavoitteena käsitellä leijukattiloiden syöttölaitteistolle sopivaan,
maksimissaan 50 mm palakokoon. Suurimmat kehitystarpeet liittyvät ohui-
den muovikalvojen ja -narujen käsittelyyn. Tavoitteena on rakentaa vuonna
1996 demonstraatiolaitos, jossa voidaan valittuja teknisiä ratkaisuja kehittää
edelleen.

4 POLTTOAINEIDEN KÄSITTELY PAINEISTETUISSA PROSESSEISSA

Useat uudet korkean hyötysuhteen ja rakennusasteen voimalaitosprosessit
perustuvat paineistetun polton tai kaasutuksen käyttöön. Kiinteän, usein
epähomogeenisen biopolttoaineen syöttö korkeaan, jopa yli 20 barin painee-
seen, asettaa syöttölaitteille kovia vaatimuksia mm. pölyräjähdysriskin ta-
kia.

Foster Wheeler Energia Oy ja Imatran Voima Oy ovat kumpikin kehittäneet omaa paineistettuihin voimalaitosprosesseihin sopivaa syöttöjärjestelmäänsä. Foster Wheelerin ratkaisu perustuu kahden sisäkkäisen männän käyttöön syöttimessä. Tavoitteena oli vähentää inerttikaasun kulutusta lock-hopper-järjestelmään verrattuna. Ratkaisua testattiin laboratoriossa prototyyppilaitteistolla, jonka kapasiteetti oli 20 m³/h. Käyttötunteja kokeissa kertyi yhteensä 650 tuntia, ja kokeiltavina polttoaineina oli erityyppiset biomassat ja hiili. Projekti antoi tarpeelliset tiedot kaupallisen syöttimen suunnittelua varten.

Imatran Voima Oy:n syötinratkaisu perustuu myös mäntäteknikkaan, ja ratkaisussa olevat kaksi sylinteriä on kiinnitetty pyörähdyskappaleeseen. Syötintä on testattu pilotmittakaavassa laboratoriossa sekä todellisissa olosuhteissa paineistetun höyrykuivurilaitteiston yhteydessä Jyväskylässä. Turpeen ja purun syöttö onnistui kokeissa hyvin, mutta tikkuja sisältävän hakkeen kanssa esiintyi ongelmia. Projektiin kuului myös täyden mittakaavan prototyypin suunnittelu, missä hyödynnettiin useita satoja tunteja kestäneiden pitkäaikaiskokeiden tuloksia.

5 POLTTOAINEIDEN TURVALLISUUSTEKNISET OMINAISUUDET

Biopolttoaineiden itsesyttymistä varastokuivauksessa tutkittiin viherhakkeella laboratorioon rakennetulla koelaitteistolla VTT Energiassa. Kokeissa seurattiin lämpötilan kohoamista eri osissa varastoa. Syttymiseen vaikuttavat etenkin varaston koko ja ulkoilman lämpötila.

Pölyräjähdyskokeet suoritettiin TNO:lla Hollannissa 1 - 15 barin paineessa ja 25 - 250°C lämpötilassa. Polttoainesiloissa tapahtuvien pölyräjähdysten tukahduttamista tutkitaan englantilaisten yhteistyökumppaneiden kanssa. Tavoitteena on vertailla markkinoilla olevia tukahduttamiseen käytettäviä menetelmiä ja niiden sopivuutta biopolttoaineille sekä ilmanpaineessa että paineistettujen prosessien yhteydessä.

6 PIENVOIMALAITOKSET

Uusia, kehitteillä olevia pienvoimalaitostekniikoita vertailtiin Bioenergian tutkimusohjelman johtoryhmän tilaamassa selvityksessä, johon Powertech-nics Oy laati konseptien teknistaloudellisen vertailun. Lisäksi erillisessä tutkimuslaitoshankkeessa VTT Energia tutki biomassan ja turpeen kaasutukseen perustuvien dieselveimalaitosten toteutettavuutta PDU-kokoluokan

kiertomassakaasuttimella tehtävillä kokeilla. Perinteiseen höyryvoimalaitos-konseptiin verrattiin flashpyrolyysiöljyä käyttävää dieselvoimalaitosta, biomassapölyä polttavaa kaasuturbiinia ja ilmanpaineiseen kaasutukseen perustuvaa dieselvoimalaitosta. Kaikkiin kehitteillä oleviin tekniikoihin liittyy vielä teknisiä epävarmuuksia, mutta kaikilla tekniikoilla on edellytyksiä olla kilpailukykyisiä tutkitussa 3 - 7 MW_e kokoluokassa yhdistetyssä sähkön ja kaukolämmön tuotannossa verrattuna perinteiseen höyryvoimalaitostekniikkaan.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Bioenergian käyttö -alueella on jo tutkimusohjelman kolmen ensimmäisen vuoden aikana kehitetty demonstraatioasteelle uusia tuotteita, joista hyvinä esimerkkinä ovat biomassan syöttöön ja kuivaukseen kehitetyt laitteistot. Hankkeisiin on ollut teollisuuden osallistuminen erityisen laajaa, laitevalmistajien lisäksi polttoaineen tuottajat ja käyttäjät ovat osallistuneet tutkimus-, tuotekehitys- ja demonstraatiohankkeisiin. Meneillään on lisäksi useita tutkimuslaitoshankkeita, joiden tuloksena demonstraatioasteelle saataneen lähivuosina uusia laitteita tai menetelmiä.

Tutkimuskohteisiin, joihin olisi perusteltua suunnata lisää tutkimusohjelman voimavaroja, kuuluvat tärkeimpinä polttoaineiden tuotannon ja energian tuotannon ympäristövaikutukset sekä pienvoimalaitosprosessit. Kehitettyjen tuotteiden ja menetelmien täysimittainen demonstrointi on myös olennainen osa tutkimusohjelmaa.

.....

BIOMASSAN JALOSTUS - TUTKIMUSALUEEN KATSAUS

Kai Sipilä
VTT Energia
Energian tuotantotekniikka
PL 1601 Espoo
02044 VTT
Puh. (90) 456 5440
Faksi (90) 460 493

Abstract: Biomass thermochemical conversion - overview of results

In this Bioenergy research program the thermochemical conversion activities are mainly concentrated in three fields i) flash pyrolysis and the use of wood oil in boilers and engines ii) biomass gasification for gas engine power plants and finally iii) conversion of black liquor and extractives in a pulp mill to various liquid fuels. Parallel to activities in Finland also significant work has been done in EU-Joule and Apas projects and in the IEA Bioenergy Agreement.

In the area of flash pyrolysis technology, three new laboratory and PDU-units have been installed to VTT in order to produce various qualities of bio oils from wood and straw. The quality of pyrolysis oils have been characterized by physical and chemical methods supported by EU and IEA networks. Several companies are carrying out pyrolysis activities as well: Neste Oy is testing the wood oil in a 200 kW boiler, WärtsiläDiesel Oy is testing Canadian wood oil in a 1.5 MWe diesel power plant engine and Vapo Oy is carrying out investigations to produce pyrolysis oils in Finland. The biomass gasification coupled to a gas engine is an interesting alternative for small scale power production parallel to existing fluid bed boiler technology. VTT has installed a circulating fluid bed gasifier with advanced gas cleaning system to test various technologies in order to feed the gas to an engine. In order to produce liquid fuels at a pulp mill, the laboratory work has continued using crude soap as a raw material for high pressure liquid phase treatment and atmospheric pyrolysis process. The laboratory pretests and preliminary techno economic results are promising and the work will continue with additional experimental part in order to decide further test program. The quality of the oil is like light fuel oil or diesel fuel, possibilities to use it as a lubricant will be investigated.

1 JALOSTUSPROJEKTtien TILANNE

Ohjelmaan kuuluu yhteensä kolme tutkimuslaitoshanketta, yksi yrityshanke ja kolme demonstratiohanketta. Toimintaan osallistuvat lähinnä VTT Energia Espoossa, Vapo Oy, Neste Oy, IVO Oy ja Wärtsilä Diesel Oy sekä tutkimushankkeiden osarahoittajana myös Metsä-Serla Oy. Kotimaisen toiminnan lisäksi osallistutaan aktiivisesti niin EU:n eri tukimusohjelmiin ja IEA:n Bioenergy Agreementin toimintaan ja näin lisätään tiedonsiirtoa niin Eurooppaan kuin muihinkin maan osiin ja osaltaan tehdään tunnetuksi suomalaista energiateknologiaa.

Yleisesti jalostushankkeet ovat edenneet hyvin, sisältö on vastannut hyvin asetettuja odotuksia. Eräiden demonstratiohankkeiden aikataulut ovat venyneet hallinnollisista syistä. Toiminnan suuntaamisessa ovat tukeuduttu voimakkaasti myös KTM:n energiaosaston laatimien Bioenergian edistämishojelman selvityksiin bioperäisistä liikennepolttoaineista ja peltoenergian käyttömahdollisuuksista.

Eri biomassan jalostusmenetelmiä on verrattu lähinnä sähkön ja lämmön tuotannossa tutkimuslaitoshankkeessa nro 406. Kehitystyön kohteena olevia tekniikoita kuten kaasutukseen perustuvia IGCC- ja kaasumoottorilaitoksia on verrattu pyrolyysiöljyä käyttävään dieselvoimalaan ja perinteiseen poltto-tekniikkaan nähden. Myös tutkimusohjelman johtoryhmä on teettänyt erillisselvityksen eri pienvoimalatekniikoiden kilpailukyvyistä, jota Yrjö Solan-tausta esittelee omassa esityksessä.

1.1 BIOMASSAN PYROLYYSIHANKKEET

Tutkimuslaitoshankkeessa nro 405 on pääpaino ollut niin kotimaisten kuin ulkomailta tuotetun pyrolyysiöljyn laadun selvittämisessä, seurannassa ja parantamisessa. VTT:lle on rakennettu kolme laboratoriolaitteistoa öljyjen valmistamiseksi ja lisäksi on tuotu eri yhteistyöhankkeissa Espanjasta ja Kanadasta eukalyptus- ja tammiöljyä. Fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien lisäksi on seurattu öljyjen laadun mahdollisia muutoksia varastoinnin aikana ja selvitetty mahdollisuuksia stabilisuuden ja seoskäytön parantamiseen perinteisten polttoöljyjen kanssa. Pyrolyysiöljyt eivät kestä korkeaa yli 50 °C varastointia eivätkä saa joutua kosketuksiin ilman kanssa, muuten niiden viskositeetti alkaa nousta. Ne ovat happamia, pH on noin kolme, ja siksi rakennemateriaalit tulee valita oikein. Toisaalta Kanadassa ja USA:ssa niitä on käytetty kemian teollisuudessa ja energia-alan koekäytössä jo useita vuosia.

Neste Oy on suorittanut hankkeessa nro. Y401 eri puuöljyjen polttokokeita 200 kW:n kattilassa. Savukaasupäästöt ovat olleet odotusten mukaisesti matalat, kehitystarpeet liittyvät öljyn syöttöön polttimelle, mahdollisesti

pisarointiin sekä seostukseen tarvittaessa polttoöljyn kanssa. Samoin käyttömukavuutta tulisi parantaa polttimen käynnistys- ja sammutustilanteita varten. Myös työsuojeluun ja käyttöturvallisuustiedotteihin liittyviä selvityksiä jatketaan, osin myös vertaillen tilannetta eri EU-maissa.

Wärtsilä Diesel Oy on rakentanut demonstratiohankkeessaan nro D402 noin 1.5 MW_e dieselvoimalan Otaniemeen ja siinä on testattu Kanadasta tuotua Ensyn Technologies Inc:n toimittamaan puuöljyä. Tammikuussa 1996 puuöljyä tuotiin VTT:een yhteensä noin 50 tonnia. Koetoiminta on vasta käynnistynyt, moottorin testaukset tehtiin Mildola Oy:n rypsiöljyllä. Tulevan kevään aikana jatketaan polttoainejärjestelmän ja ruiskutuslaitteiston kehittämistä ja testaamista. Osana vasta käynnistynyttä, VTT:n koordinoimaa, EU-Joule projektia, tullaan loppuvuodesta 1996 sekä 1997 tuomaan Italiasta noin kaksi sadan tonnin bioöljyerää pidempien käyttökokemusten saamiseksi niin materiaalivalinnoista kuin palamisen ja päästöjen osalta. Myöhemmin laitoksella ajetaan myös Suomessa pilot-laitoksilla tuotettuja öljyjä.

Vapon demonstraatioprojektissa nro D403 on hankittu Kanadasta pyrolyysin valmistusta varten noin 20 kg/h syötöltään oleva PDU-laitteisto, jonka testiajot suoritettiin maaliskuun 1996 alussa Kanadassa. Laitteisto tullaan pystyttämään huhtikuun aikana VTT:lle Otaniemeen ja tulevan vuoden koetoiminta tähtää VTT:n kehittämän ITP-konseptin kriittisten ykstyiskohtien tutkimiseen. Koeajojen jälkeen tullaan laatimaan Vapo Oy:n uuden pilot-laitoksen investointisuunnitelmat, jolloin investointipäätös voitaisiin tehdä vuonna 1997. Todettakoon, että kanadalainen Ensyn Technologies Inc. on toimittanut 650 kg/h RTP-laitoksen Italiaan Enelille, ja sen koekäyttö on alkamassa huhtikuussa 1996. Laitos on mukana yllämainitussa EU-Joule projektissa, sen muut osapuolet ovat Union Fenosa Espanjasta, Instituto Motori Italiasta, UWC Saksasta, UCL Belgiasta, Elkraft Tanskasta sekä Suomesta VTT, Vapo Oy, Neste Oy, Wärtsilä Diesel Oy ja TKK sekä Kanadasta Ensyn.

1.2 SUOVAN JALOSTUS

Tutkimuslaitoshankkeessa nro 407 on tutkittu mahdollisuutta jalostaa sellutehtailla mustalipeän uuteaineista erilaisia polttonesteitä, joita voitaisiin mahdollisesti käyttää niin kattiloissa kuin moottoreissa joko tehtailla, niiden kuljetuksissa tai myynissä lähiympäristöön. Pääpaino on ollut koivua sisältävässä sekasuovassa, koska usein sen heikon laadun vuoksi sitä ei käytetä mäntyöljytislaamoissa vaan se poltetaan soodakattilassa. Suopa sisältää epäpuhtauksina epäorgaanisia keittosuoloja ja (rikkiä) joten se tulee jalostaa puhtaammaksi ja viskositeetiltaan sopivaksi lopputuoteeksi. Laboratoriokeissa on tutkittu nestefaasissa tapahtuvaa korkeapainekäsittelyä, jolla tuotteeksi on saatu korkealaatuinen polttoöljy tai dieselöljy. Alustavat taloudel-

liset laskelmat osoittivat mentelmällä voitavan tuottaa edullista polttoöljyä, mutta investointi on silti varsin korkea. Siksi vuoden 1996 jatkoprojektissa on tarkoitus jatkaa ilmanpaineisen konseptin esikokeita ja selvittää tuoteöljyjen käyttömahdollisuutta moottoreissa tai sahojen teräketjuöljynä tai muissa voitelukohteissa.

1.3 BIOMASSAN KAASUTUS JA KAASUMOOTTORI-VOIMALAT

Viime vuonna käynnistyi Bioenergia- ja Liekki-ohjelmien yhteisrahoittama tutkimusprojekti nro 309, jonka tarkoituksena on kehittää tuotekaasun puhdistusta kaasumoottorien vaatimalle tasolle. Projektissa on rakennettu VTT:lle uusi ilmanpaineinen kiertomassakaasutin ja sillä on tehty ensimmäiset koeajot, joissa selvitettiin ajo-olosuhteiden vaikutusta tervapitoisuuden alentamiseen tuotekaasussa. Jatkossa tullaan laitteistoon asentamaan erilaisia katalyyttisiä ym. puhdistuslaitteistoja ja erillinen pieni kaasumoottori. Koetoiminnan lisäksi on tehty eri kaasutus-moottori-voimaloiden teknistaloudellisia laskelmia eri polttoaineilla. Täten on helposti voitu identifioida tuleviksi kehityskohteiksi kilpailukyyn parantamiseksi korkeassa lämpötilassa tapahtuva kaasun puhdistus vesipesun poistamiseksi ja edullisempien esim. varastokuivureiden soveltamistarve. Projektin osana on tehty myös eri biomassavoimaloiden potentialikatsaus eri maanosissa pohjaksi pienvoimaloiden tulevalle kehitystyölle. Sen pohjalta voitaneen helposti todeta yleistyksenä, että ratkaisevaa tulevalle menestymiselle tulee olemaan kilpailukykyiset tuotantokustannukset, ei yksistään hyötysuhde vaan myös investoinnit, eikä niinkään biomassan saatavuus. Biomassamäärät ovat erittäin suuret, mutta eri maanosiin tarvitaan jossain määrin räätälöityjä ratkaisuja nykyisistä voimalaitosratkaisuista. Etenkin kun mennään perinteisen metsäteollisuuden sivutuotteiden hyödyntämisen ulkopuolelle ja tarkastella eri peltobiomassojen, sokeriruokon ja bagassin ym. tuotteiden hyödyntämistä energian tuotannossa, tarvitaan uusia ratkaisuja vientiteollisuuden kilpailukyyn parantamiseksi.

1.4 KANSAINVÄLINEN YHTEISTYÖ

Tekes osallistuu Bioenergia-tutkimusohjelman kautta IEA:n Bioenergy Agreementin toimintaan. Se on 17 jäsenvaltion yhteistyötä ja etenkin tiedonvälitystä kehittävä yhteistyöryhmä, jonka johtoryhmän työskentelyyn allekirjoittanut on osallistunut. Suomi osallistuu puun korjuutekniikoiden kehittämiseen (prof. Hakkila), bioenergian käyttöön (prof. Sipilä) ja kierrätyspolttoaineiden MSW (erik.tutk. Thun) käytön edistämiseen. Käytön osalta suomalaiset ovat mukana seuraavissa aktiviteeteissa: poltto (H. Oravainen), kaasutus (E. Kurkela), pyrolyysi (A. Oasmaa) ja technoeconomic systems (Y. Solantausta). Annamme mielellämme lisätietoa halukkaille IEA:n toiminnasta bioenergia-alueella.

KIINTEIDEN BIOPOLTTOAINEIDEN KUIVAUS
JA KÄSITTELY

KIINTEIDEN POLTTOAINEIDEN KUIVUMIS- PARAMETRIEN KARAKTERISOINTI - 301

Risto Impola, Jaakko Saastamoinen
VTT Energia
PL 1603
40101 Jyväskylä
Puh. (941) 672 611
Faksi (941) 672 597

Leena Fagernäs
VTT Energia
PL 1601
02044 VTT
Puh. (90) 456 5453
Faksi (90) 460 493

Abstract: Characterization of drying parameters for solid fuels

VTT Energy has investigated the drying technology of fuels for some years. The main focus has been on research of the fundamentals and modelling of the drying. Experimental research has been carried out using equipment of various sizes. The research has created 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 behaviour and efficiency of the combustion equipment, dimensioning of the equipment and the reduction of emissions. New drying technologies make it possible to use new moist fuels and develop their production technologies.

In this project VTT Energy has studied the factors influencing the drying, including drying of a single fuel particle in low temperatures (50-200 °C) and the drying of a single fuel particle in steam under various pressures. 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 size of the bed to reach a certain degree of drying depends mostly on the following parameters: particle size, particle moisture content, gas inlet temperature, gas inlet moisture content and gas mass flow rate. As a special case, experiments simulating wood chip drying in a fixed bed and in counterflow were carried out.

This research will also yield profound information on emissions of various dryer technologies and various fuels, as well as on factors influencing the emissions.

1 TAUSTA

Bioenergian ja turpeen käytön merkittävä lisääminen edellyttää sähkön-tuotantohyötysuhteen nostamista. Tähän liittyvät tekniset ratkaisut vaativat mm. polttoaineiden kuivaustekniikan kehittämistä sekä nykyisissä laitoksissa että uusissa laitostekniikoissa (esim. kombivoimalaitokset). Käyttötarkoituksen mukaan kuivuri voi olla joko höyryn tai savukaasun käyttöön perustuva. Tulevaisuudessa paineistettujen polttotekniikoiden rinnalla myös paineistetut kuivausprosessit tulevat olemaan mielenkiinnon kohteena. Uudet korkean hyötysuhteen omaavat kombiprosessit asettavat uusia vaatimuksia märkien polttoaineiden kuivaustekniikoille. IVO Oy:n paineistetun höyrykuivurin pilot-laitos ja leijukerrospolttoon soveltuva sekoituskuivuri ovat esimerkkejä kehitteillä olevista uusista kuivausmenetelmistä.

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. Käytännössä löydetty kuivumisparametrit on testattava jollakin todellisella kuivurilla tai pilot-laitteistolla.

2 TAVOITE

Tavoitteena on 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. Tässä perustutkimuksessa saatuja tuloksia käytetään jo olemassa olevien kuivurien mallinnusohjelmien täydentämiseen ja kehittämiseen. Valmiit kuivumisteoriat ja laskentamallit on tehty yleensä homogeenisille materiaaleille ja säännöllisen muotoisille partikkeleille. Tavoitteena on yhdistää kokeelliset tutkimustulokset ja teoreettiset kuivumisteoriat.

3 TOTEUTUS

Projekti on pääosin toteutettu VTT Energiassa Jyväskylässä. Osatehtävän kuivauksen päästöistä on tehnyt erikoistutkija Leena Fagernäs VTT Energian prosessitekniikan ryhmästä Otaniemestä.

4 TEHTÄVÄT

Projektin tehtävät vuonna 1995 olivat:

1. Jatketaan höyrykuivaukseen liittyvää laskentaa ja mallinnusta
2. Yksittäisen partikkelin kuivumismallin muuttaminen petikuivaukseen soveltuvaksi (panos-, myötä- ja vastavirtakuivaus)
3. Laboratoriokokeet petikuivauksen mallintamisen varmistamiseksi
4. Biopolttoaineiden kuivauksen päästöt
5. Tulosten soveltaminen
6. Loppuraportointi

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 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.

Höyrykuivauksessa kuivuminen tapahtuu höyryatmosfäärissä, jolloin kuivauksessa vapautuva vesihöyry voidaan lauhduttaa painetta vastaavassa lämpötilassa. Lämmitysvoimalaitoksella vapautuvalla lämmöllä voidaan lämmittää esim.

kaukolämpövedettä ja paineistetuissa prosesseissa ylimääräinen höyry voidaan hyödyntää kaasuturbiinissa.

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.

On arvioitu, että esimerkiksi turpeella 10 %:n loppukosteuden saavuttamiseksi on käytettävä noin 10 °C:n tulistusta. Koska höyrykuivureissa vesihöyryn osapaine on sama kuin vallitseva kokonaispaine, voidaan kuivauksessa vapautuva vesihöyry ottaa talteen yksinkertaisesti lauhduttamalla vesihöyry painetta vastaavassa lämpötilassa, joka 1 barin paineessa on 100 °C.

Yhteenvetona 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.
- Tilavuusvirrat tulistettua höyryä käytettäessä ovat pienemmät kuin esim. savukaasukuivureissa. Paineistetuissa kuivureissa päästään vielä pienempiin laiteratkaisuihin.
- Höyryn aineensiirto-ominaisuudet ovat paremmat kuin ilmalla tai savukaasulla.

Vesihöyryllä kuivattaessa höyryn lauhtuminen viileän partikkelin pintaan voi nopeuttaa alkulämpenemistä savukaasukuivaukseen verrattuna. Seuraavassa tarkastelussa tätä lyhyttä alkulämpenemisvaihetta kuivumistilaan ei huomioida.

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.

Taulukkoon 1 on laskettu paineen ($p = 1, 3, 13, 23 \text{ bar}$) vaikutus polttoainepartikkelin ($d = 0,1, 1 \text{ ja } 10 \text{ mm}$) kuivumiseen. Taulukossa laskettu arvo tarkoittaa kuivumisaikaa, jona 90 % alkukosteudesta on poistunut hiukkasesta. Tähän aikaan ei lueta alkulämpenemisaikaa kuivumislämpötilaan.

Höyryn ja hiukkasen välisenä nopeuserona on käytetty arvoja 0 ja 0,5 m/s. Hiukkasen alkukosteus on 50 % ja kuivauskaasun lämpötila on 300 °C.

Taulukko 1. Mallilla lasketut partikkelin kuivumisajat höyrykuivauksessa, kun 90 % alkukosteudesta on poistunut. Partikkelin alkukosteus on 50 % ja kuivaushöyryn lämpötila 300 °C. Muuttujina ovat paine, kuivauskaasun nopeus ja partikkelin halkaisija.

Paine bar	Nopeus m/s	Partikkelin halkaisija		
		0,1 mm	1 mm	10 mm
1	0	0,170	13,6	494
	0,5	0,135	8,43	335
3	0	0,185	14,8	537
	0,5	1,129	7,42	317
13	0	0,231	18,3	677
	0,5	0,125	6,65	331
23	0	0,271	21,5	814
	0,5	0,131	6,89	373

Taulukon arvoista havaitaan, että paineen kasvattaminen lisää kuivumiseen kuluvaa aikaa jonkin verran, kun partikkelin ja höyryn välinen nopeusero on pieni. Tämä aiheutuu siitä, että korkeassa paineessa höyrystymislämpötila kasvaa, jolloin lämmönsiirto vesihöyrystä, mikä on verrannollinen lämpötilaeroon, pienenee. Esimerkiksi vesi höyrystyy 1,01 barin paineessa 100 °C:ssa, 3,61 barin paineessa 130 °C:ssa, 12,55 barin paineessa 190 °C:ssa ja 23,20 barin paineessa 220 °C:ssa. Nopeuseron kasvaessa (esim. 0,5 m/s) eri paineissa, suurempi höyryn tiheys lisää lämmön- ja massansiirtokertoimia, mikä vaikuttaa päinvastaisesti nopeuttaen partikkelin kuivumista.

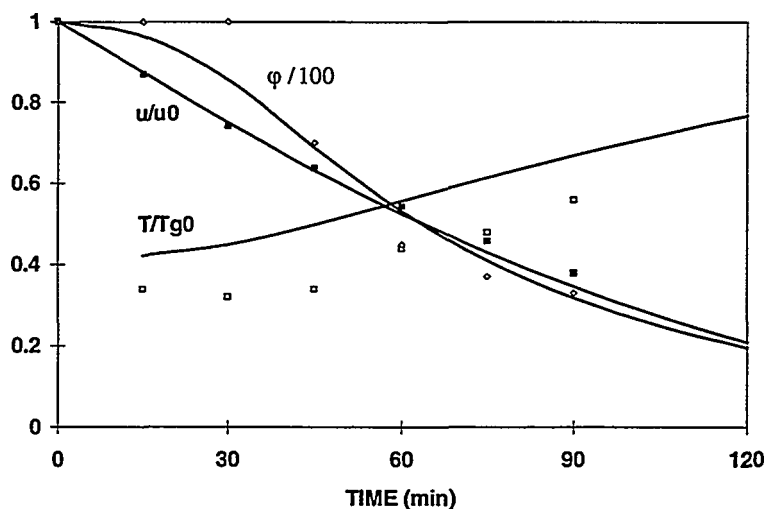
6.2 BIOMASSAPARTIKKELIN KUIVUMINEN KIINTEÄSSÄ JA LIIKKUVASSA PETIKUIVURISSA

Biomassapartikkeleiden kuivumista kiinteissä (panoskuivaus) ja liikkuvissa kerroksissa (myötä-, vasta- ja ristivirta) tarkastellaan sekä teoreettisesti että kokeellisesti. Yksittäisen partikkelin kuivumista kuvaava malli liitetään malliin, joka kuvaa lämmön ja kosteuden siirtymistä kaasussa kerroksessa. Tarvittava kerroksen koko tietyn kuivumisasteen saavuttamiseksi riippuu seuraavista parametreista: partikkelikoko, partikkeleiden kosteus, kaasun sisäänmeno-lämpötila ja -kosteus ja kaasun massavirta. Tutkimuksessa tarkastellaan sekä kuivausta kuumilla kaasuilla että höyryllä.

Kuivumista kiinteissä sekä liikkuvissa kerroksissa on tutkittu jonkin verran. Tässä tutkimuksessa on kehitetty yksinkertaistettu yleinen malli partikkelei-

den kuivumiselle kiinteissä ja liikkuvissa kerroksissa. 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 menetelmä kerroksen kuivumisen laskentaan. Erityistapauksena tehtiin kokeita puuhakkeen kuivumiselle kiinteässä kerroksessa sekä vastavirtaa simuloivalla koejärjestelyllä.

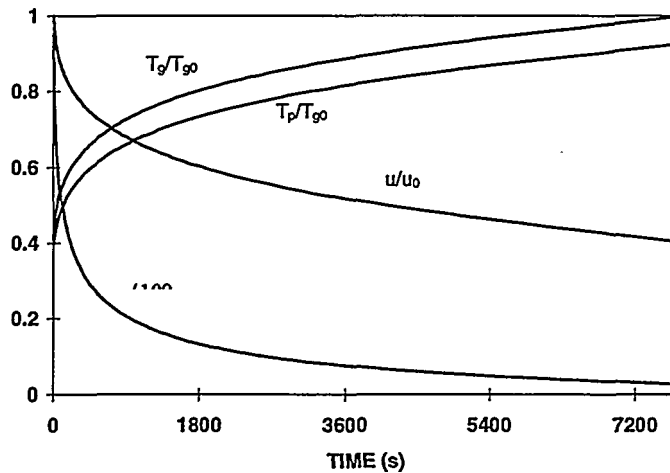
Kuivumiskokeita tehtiin pienellä polttoainekerroksella (massa 1,26 kg ilman vettä, kosteus 42,7 %). Kerroksen paksuus oli noin 0,055 m ja pinta-ala 0,14 m². Ilman massavirta oli 36 kg/h, ilman kosteuspitoisuus (sisäänmenossa) 2 g/kg ja lämpötila 53 °C. Yksittäisten partikkeleiden kuivumiskokeiden perusteella eri muotoisten partikkeleiden kuivuminen tulee vertailukelpoiseksi, kun käytetään tehollista partikkelin halkaisijaa (6*tilavuus/pinta-ala). Partikkeleiden koko ja muoto kerroksessa vaihteli, mutta pienimmät hiukkaset oli seulottu näytteestä pois. Tällaiselle seokselle on vaikea määrittää tehollista partikkelikokoa. Kuitenkin kuivumisnopeus riippuu paljon partikkelikoosta. Laskennassa käytetty koko 8 mm antoi hyvän vastaavuuden mittauksiin (Kuva 1). Mitatut ilman ulostulolämpötilat olivat matalampia kuin lasketut. Tämä aiheutuu todennäköisesti osittain säteilylämmönsiirrosta lämpötila-anturiputken ja matalammassa lämpötilassa olevien partikkeleiden välillä. Lisäksi hakkeen alkulämpötila oli matala ja kaasun ulostulolämpötilaa laski hiukkasten lämpenemiseen kuluva energia, mitä ei oteta huomioon laskennassa.



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 ($\phi/100$).

Kuivausta kaasun ja partikkeleiden vastavirtauksessa simuloitiin kokeellisesti käyttämällä pientä kerrosta, joka koostui kolmesta vaihdettavasta laatikosta, jotka oli täytetty kuivattavalla hakkeella. Kokeet tehtiin käyttämällä alaspäin suuntautuvaa ilmavirtaa ja siirtämällä laatikoita alhaalta ylöspäin 15 minuutin välein. Tämä alaspäin suuntautuva virtaus voi olla edullisempaa, kun kuivataan jäistä ja suuren kosteuden omaavaa polttoainetta, koska osa vedestä kondensoituu ja pisarat eivät putoa takaisin petiin, vaan vesi voi osin poistua kuivurista nestemäisenä. Tämä koejärjestely vastaa kärkeä vastavirtakuivausta. Tietyllä virtausmäärällä kerroksen korkeutta ei kannata valita paljoa suuremmaksi kuin rajakorkeus, jossa ulostulevan ilman suhteellinen kosteus saavuttaa 100 %, koska petiin syntyy vyöhyke, jossa ei tapahdu kuivumista ja joka aiheuttaa tarpeetonta puhallintehon tarvetta. Vastavirtakuivauksessa kuivattava materiaali esilämpenee kuivurin poisto-kaasuilla, mikä säästää jonkin verran energiaa. Kylmissä ilmastoissa tämä on edullista, koska saadaan energiaa sulatukseen, mikä vastaa noin 15 % höyrystymisenergiasta. Kokonaisuudessaan esilämmitys -10°C :sta höyrystymislämpötilaan noin 15°C , kun polttoaineen kosteus on 50 %, vastaa noin 21 % kuivauksessa höyrystymiseen tarvittavasta energiasta.

Laskettu pienen kerroksen kuivuminen vastavirrassa esitetään kuvassa 2 eräälle tapaukselle, jossa polttoaineen (kuiva) massavirta on $2,5 \text{ kg/h}$, kosteus 42,7%, ilman massavirta 90 kg/h , alkulämpötila 50°C ja kosteuspitoisuus 2 g/kg .



Kuva 2. Partikkelin kosteus (u/u_0), kuivauskaasun ja partikkelin lämpötilat (T_g/T_{g0} ja T_p/T_{g0}) sekä kaasun suhteellinen kosteus (ϕ) vastavirtakuivauksessa.

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: kerroksen tilavuus, tarvittava kaasun massavirta tai saavutettava kuivausaste. Kun polttoaine koostuu eri koon ja muodon omaavista partikkeleista, kuivurin mitoitus voidaan tehdä yhdistämällä laboratoriokokeet ja laskenta. Tehollinen partikkelikoko valitaan siten, että laboratoriokokeet ja laskenta antavat yhtäpitävän tuloksen. Tämän jälkeen voidaan laskennalla mitoittaa kuivuri toisiin olosuhteisiin (kaasun lämpötila, suhteellinen kosteus, polttoaineen kosteus, kaasun massavirta) ja virtausjärjestelyihin (vasta-, myötä- tai ristivirta).

6.3 BIOMASSAN KUIVAUKSEN PÄÄSTÖT

6.3.1 Yleistä

Kosteat biopolttoaineet vaativat usein kuivauksen ennen niiden johtamista polttoon tai termisiin konversioprosesseihin. Biomassan kuivaukseen on kehitetty tai kehitteillä erilaisia uusia kuivureita. Kuivausprosesseissa biomassasta vapautuu erilaisia orgaanisia yhdisteitä. Tämä orgaaninen kuormitus kulkeutuu lauhdutettuna jätevesiin tai kaasumaisina päästöinä ilmaan saattaen aiheuttaa hajuhaittoja. Lisäksi se saattaa aiheuttaa käyttöhäiriöitä laitoksissa vaikuttaessaan kerrostumien muodostumiseen poistokanavan sisäpinnoille. Nämä kuivureiden aiheuttamat päästöt ovat tärkeitä tuntea. Uusia biomassalaitoksia suunniteltaessa on arvioitava laitosten ympäristövaikutuksia, jolloin on otettava huomioon myös polttoaineen kuivauksen aiheuttamat vaikutukset. Tutkimus kuivauksen päästöistä on edennyt viime vuosina; päästöjä ja niihin vaikuttavia tekijöitä on selvitetty.

Tavoitteena on koota yhteen viime vuosien tutkimusaineisto biomassan ja turpeen kuivauksen päästöistä. Työ käsittää kirjallisuuskatsauksen sekä VTT:ssä tehtyjen julkaistujen ja julkaisemattomien kuivauskokeiden tuloksia. Tutkimuksen tuloksena saadaan yhteenvetojulkaisu, jossa tarkastellaan biopolttoaineiden kuivauksessa (ilmanpaineinen, paineistettu, savukaasu- ja höyrykuivaus) muodostuvia päästöjä, niiden laatua ja määrää, sekä eri tekijöiden, kuten raaka-aineen, kuivurityypin, lämpötilan ja paineen vaikutuksia päästöihin. Lisäksi tarkastellaan päästöjen vähentämismahdollisuuksia.

6.3.2 Biomassakuivurit

Biopolttoaineiden kuivauksessa käytetään yleensä savukaasukuivuria tai höyrykuivuria. Uusia kuivausprosesseja on viime vuosina kehitetty tai sovellettu biomassaraaka-aineille. Savukaasukuivureissa kuivauslämpötilat ovat suhteellisen korkeita. Kuivuriin johdettavien savukaasujen lämpötila vaihtelee yleensä välillä 250-450 °C. A. Ahlström Oy on kehittänyt viime

aikoina petikuivurin, jossa käytetään matalalämpötilaista (<150 °C) savukaasua. Viime vuosina on kiinnostus kohdistunut höyrykuivureihin. Biomassan kuivauksessa käytössä olevia höyrykuivureita ovat MoDo-Chemetics AB:n ja Niro A/S:n paineistettut höyrykuivurit. MoDo:n kuivuri on käytössä Ruotsissa kuoren ja turpeen kuivaukseen, ja Niro:n kuivuri puuhakkeen ja kuoren kuivaukseen. Imatran Voima Oy on myös viime vuosina kehittänyt uusia turve- ja puubiomassakuivureita. Paineistettu höyrykuivuri, jota edustaa pilot-koelaite Jyväskylässä, suunniteltiin IVOSDIG-prosessia varten, ja ilmanpaineinen sekoituskuivuri asennettiin Kuusamon voimalaitokselle.

6.3.3 Tehdyt tutkimukset

Biopolttoaineen kuivauksen päästöjä on viime vuosina tutkittu lähinnä Suomessa ja Ruotsissa. VTT Energiassa tutkittiin kuivauksen orgaanisia päästöjä aktiivisesti vuosina 1988-1992. Lisäksi VTT on osallistunut Imatran Voima Oy:n ja A. Ahlström Oy:n turpeelle ja biomassalle kehittämien uusien kuivureiden päästöjen määrittämiseen. Ruotsissa on tehty vuosina 1991-93 selvitys eri kuivureiden päästöistä valittaessa kuivuria Boråsin voimalaitokselle. Lisäksi Vattenfallin suunnitelmassa biomassaa polttoaineena käyttävää IGCC kaasutuskombivoimalaitosta Eskilstunaan (VEGA-projekti) tehtiin laaja laitoksen ympäristövaikutusten arviointityö. Vastavasti arvioitiin VTT:n toimesta vuonna 1995 biomassan käyttöön perustuvan IGCC-laitoksen potentiaalisia ympäristövaikutuksia. Laitosta suunniteltiin silloin Enso Publication Papers Oy Ltd:n Summan tulosityksikön paperitehtaan yhteyteen. Näissä ympäristövaikutusarvioinneissa selvitettiin osana biopolttoaineen kuivauksen päästöjä. Biomassan kuivauksen päästöt sisältyivät lisäksi osana IEA:n (International Energy Agency) Bioenergia-ohjelman osaprojektiin Environmental Systems, johon projektiin myös Suomi osallistui. Projektissa tehtiin vertailuksi kirjallisuustyö puun ja puutavaratuotteiden kuivureiden päästöistä.

6.3.4 Kuivauksen päästöt

Biomassan kuivauksessa vapautuu monia erilaisia lähinnä orgaanisia yhdisteitä. Näitä päästöjä koskevissa tutkimuksissa on esitetty erilaisten biopolttoaineiden päästöjä savukaasu- ja höyrykuivureista, ilmanpaineisista ja paineistetuista prosesseista ja eri kuivauslämpötiloissa. Kuivauksessa vapautuvat yhdisteet koostuvat monista erilaisista orgaanisista yhdisteryhmistä. Yhdisteet käsittävät sekä hydrofiilisiä (vesiliukoisia) että lipofiilisiä (rasvaliukoisia) yhdisteitä, kaasumaisia ja kondensoituvia yhdisteitä. Hydrofiilisiä yhdisteitä edustavat pienimolekyyliset haihtuvat hapot kuten muurahais- ja etikkahappo, alkoholit, aldehydit, furfuraalit ja hiilihydraatit kuten anhydrosokerit. Näiden yhdisteiden vapautumiseen vaikuttaa kuivauslämpötila suuresti. Ne muodostuvatkin biomassan termisen hajoamisen tulokse-

na, ja niiden määrä kasvaa 200-300 °C:n kuivauslämpötilaa käytettäessä. Happojen esiintyminen lauhteissa aiheuttaa niiden matalan pH-arvon, joka on yleensä 3-4. Näistä hydrofiilistä yhdisteistä hajua aiheuttavia yhdisteitä ovat hapot ja aldehydit (esim. formaldehydi).

Lipofiilistä yhdisteistä esiintyy lauhteissa mm. rasva- ja hartsihappoja. Ne vapautuvat biomassasta jo 180-200 °C:n kuivauslämpötilassa. Nämä yhdisteet kondensoituvat kuivurin jälkeen ja esiintyvät höyry- tai kaasuvirrassa höyryfaasissa, aerosoleina tai hiukkasten pinnoilla. Tarraavat rasva- ja hartsihapot vaikuttavat kerrostumien muodostumiseen kuivurien pinnoille. Lipofiilistä yhdisteistä vapautuu kuivauksessa myös erittäin haihtuvia monoterpeenejä. Monoterpeenejä haihtuu yleensäkin puusta, ja lämpötilan noustessa niiden haihtumisnopeus kasvaa. Pääyhdisteet ovat α - ja β -pineeni. Monoterpeenit ovat voimakkaita hajunaiheuttajia.

Biomassasta kuivauksessa vapautuvien yhdisteiden määrään ja koostumukseen vaikuttaa suuresti kuivauslämpötila. Työssä tarkastellaan myös paineen ja eri biomassaraaka-aineiden vaikutusta muodostuviin päästöihin.

7 RAPORTIT JA JULKAISUT

7.1 RAPORTIT

Kääriäinen, J. & Impola, R. 1993. Turve- ja hakepartikkeleiden liike kaasuvirtauksessa - sovellutus pneumaattiseen kuivaukseen. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, poltto- ja lämpötekniikan laboratorio. 14 s. + liitteet 5 s.

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

Saastamoinen, J. 1996. Yksittäisen polttoainepartikkelin kuivuminen vesihöyryssä eri paineissa. VTT Energia. 8 s.

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

Fageräs, L. 1996. Biomassan kuivuksen päästöt. Loppuraportti. Bioenergian tutkimusohjelma. 1996.

7.2 JULKAISUT

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. P. 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 3, s. 41 - 48.

Saastamoinen, J. & Richard, J-R. 1995. Simultaneous Drying and Pyrolysis of Solid Fuel Particles. VTT Energy 1995. Accepted by Combustion Flame. 27 p.

Saastamoinen, J. & Impola, R. 1996. Drying of Biomass Particles in Fixed and Moving Beds. Proceedings of 10th International Drying Symposium (IDS'96), Krakow, Poland, 30 July - 2 August, 1996.

Fageräs, L. & Sipilä, K. 1996. Emissions from biomass drying. Conference on Developments in Thermochemical Biomass Conversion, Banff, Canada, 20-24 May, 1996.

PAINESTETTU SYÖTIN BIOPOLTTOAINEILLE - Y302

TkL Ragnar Lundqvist, DI Pasi Makkonen
Foster Wheeler Energia Oy, Karhulan tutkimus- ja kehityskeskus
PL 66
48601 Karhula
Puh. (952) 229 3333
Faksi (952) 229 3309

Abstract: Pressurized feeder for biofuels

A new type of pressurized piston feeder has been tested for further development of the IGCC concept. The project is funded by the Finnish Ministry of Trade and Industry. The objective has been to develop a substitute for lock-hopper systems, which are commercial, but far too expensive from an operational point of view, due to high inert gas consumption for pressurization. The new feeder system, which is of dual piston type, uses little inert gas, because the pressurization sequence is performed partially by the piston movement.

The project comprised further development of the concept, mechanical testing under atmospheric and pressurized conditions and testing with wood chips, peat and coal at elevated pressures. The main concern has been the wear of seals and gaskets during long term operation and for this reason over 600 hours of testing has been carried out.

The tests were carried out between May 1994 and January 1995 with wood chips, peat and coal mainly at 17 bar(a) pressure. During the operation, the system was fine-tuned, and generally, the testing was successful. At the early stage of the tests, the ring seal design was modified and several alternative seal constructions were tested. During the tests, the seal was developed further and improved. The present ring seal design has been proven reliable and it meets the commercial requirements. After the tests, the feeder system was inspected thoroughly and found to be in good condition. A commercially available concept of the feeder has been developed on the basis of the knowledge obtained during the test runs.

1 JOHDANTO

Uusien polttotekniikoiden kehitys asettaa nykyisistä tiukempia vaatimuksia kyseisiin tekniikoihin liittyville oheislaitteille. Jos päästörajojen tiukentuminen jatkuu nykyistä vauhtia, ei perinteisillä biomassan ja hiilen polttotekniikoilla

tulevaisuudessa saavuteta asetettuja päästörajoja ilman laajoja savukaasun puhdistustoimenpiteitä. Uudet poltto- ja kaasutustekniikat tarjoavat ratkaisun, jolla päästöt typen oksidien, rikkidioksidin ja CO:n osalta voidaan minimoida prosessiteknisesti. Lisäksi sähköntuotannon hyötysuhteessa on saavutettavissa reilu parannus. Uusien polttotekniikoiden kehityksen kannalta oleellista on, että kustannukset eivät nouse liian korkeiksi. Mikäli uudet tekniikat eivät ole hinnaltaan kilpailukykyisiä, asiakas ei ole valmis investoimaan "riskitekniikkaan", joka on lisäksi kalliimpaa kuin perinteiset ratkaisut. Yhtenä osa-alueena uusien poltto- ja kaasutustekniikoiden kehityksessä ovat polttoaineen syöttölaitteet.

Koska polttoaine joudutaan syöttämään paineistettuun tilaan, on olemassa pölyräjähdysriski. Tämän riskin minimoimiseksi on syytä käyttää inertisointia. Inertisointiin käytettävät kaasut, esimerkiksi typpi, ovat prosessin käyttökustannusten kannalta kalliita, joten niiden kulutus täytyy kaikilla prosessin alueilla pyrkiä minimoimaan. Perinteiset polttoaineen paineistettuun syöttöön käytettävät järjestelmät, esimerkkinä lock-hopper eli sulkusiilo, kuluttavat suuren määrän inerttikaasua syötettyä polttoainetilavuutta kohti. Uusien polttoaineen syöttöjärjestelmien kehittäminen on suhteellisen hidasta ja hankalaa, koska toteuttamiskelpoisia uusia ideoita on suhteellisen vähän. Eräs uutena ideana esille tuotu laite on kahteen sisäkkäiseen mäntään perustuva mäntäsyötin. Kyseisen mäntäsyöttimen inerttikaasun kulutus on huomattavasti pienempi, koska paineistettava tilavuus on pieni, eikä inerttikaasua tarvitse puhaltaa ulos paineenpoiston aikana, toisin kuin lock-hopper -järjestelmissä.

Kahteen sisäkkäiseen mäntään perustuvan mäntäsyöttimen koekäyttöprojekti aloitettiin keväällä 1993 Bioenergia-ohjelmaan liittyvänä yritysprojektina Y302, joka päättyi marraskuussa 1995. Kolmivuotisen tutkimuksen tarkoituksena oli kehittää luotettava ja kokonaiskustannuksiltaan edullinen syöttinjärjestelmä, jota voidaan myöhemmin käyttää paineistettujen poltto- ja kaasutustekniikoiden yhteydessä.

2 SYÖTINKOKEILUN TAVOITTEET

Paineistetun mäntäsyöttimen tutkimuksen tavoitteena oli kehittää syöttölaitteisto, joka on hankintakustannuksiltaan edullinen ja toimintavarma ja jonka käyttökustannukset ovat alhaiset. Nämä ehdot täyttäviä laitteistovaihtoehtoja ei toistaiseksi ole kaupallisessa käytössä.

Tutkimuksen tavoitteena oli saada aikaan laite, joka pystyy syöttämään yli 40 m³/h kuivattua biopolttoainetta yli 20 bar paineeseen. Syötettävään polttoaineen palakoolle ei haluttu asettaa liian tiukkoja vaatimuksia, syöttölaitteen oli selviydyttävä karkeastakin (L_{max} jopa 100 mm) materiaalista ilman syöttöhäiriöitä. Lisäksi syöttimen oli saavutettava kaupalliselta laitteelta

edellytettävä käytettävyys ja huoltoväli. Laite voisi soveltua muidenkin kiinteiden polttoaineiden kuin biomassan syöttämiseen. Kokeissa käytetyn prototyypin kapasiteetiksi oli määritelty vähintään 20 m³/h.

3 LAITTEISTON KUVAUS

Paineistetun syöttimen koejärjestely koostui kahdesta päälaitteistosta:

- mäntäsyötin oheislaitteineen
- polttoaineen kuljetinjärjestelmä.

Edellä mainittuja laitteistoja käytettiin kokeissa seuraavasti:

3.1 MÄNTÄSYÖTIN

Kokeissa käytetty mäntäsyötin perustui kahden sisäkkäisen männän käyttämiseen. Ulompi mäntä muodosti painelukon puristuessaan rengastiivistettä vasten. Sisemmän männän tarkoituksena oli varmistaa polttoaineen poistuminen syötinkammioista ja aikaansaada paineen poistuminen syötinkammioista sekvenssin loppuvaiheessa. Läppäluukun tarkoituksena oli toimia painesulkuna aina kun männät olivat ylhäällä, lisäksi läppäluukku voitettiin käyttää turvasulkuna. Mäntiä ja läppäluukku ohjattiin korkeapainehydrauliikalla ($p_{max} > 200$ bar). Paineistusjärjestelmällä paineistettiin syötinkammio polttoainesilossa vallitsevaan paineeseen, ennen kuin läppäluukku voitettiin avata. Mäntäsyötin on esitetty kuvassa 1.

3.2 SYÖTTÖSEKVENSSI

Syöttösekvenssi alkoi, kun mäntäsyöttimen syötinkammio täytettiin. Kun syötinkammio oli täynnä, ulompi mäntä ajettiin ala-asentoon rengastiivistettä vasten, jolloin muodostui painetiivis sulku. Tämän jälkeen syötinkammio paineistettiin tyypellä polttoainesiloon paineeseen. Kun paine oli tasattu, avattiin läppäluukku ja sisempi mäntä painettiin alas, jolloin polttoaine poistui syöttimestä. Läppäluukku suljettiin ja sisempi mäntä nostettiin ylös, jolloin tilavuuden kasvamisen vuoksi paine syötinkammiossa aleni. Kun paine syöttimessä oli riittävän alhainen, nostettiin ulompi mäntä ylös, jolloin vapautunut tyyppi inertisoi polttoaineen kuljetinjärjestelmän. Kun ulompi mäntä oli ylhäällä, sekvenssi alkoi alusta. Kuvassa 2 on esitetty sekvenssin kulku.

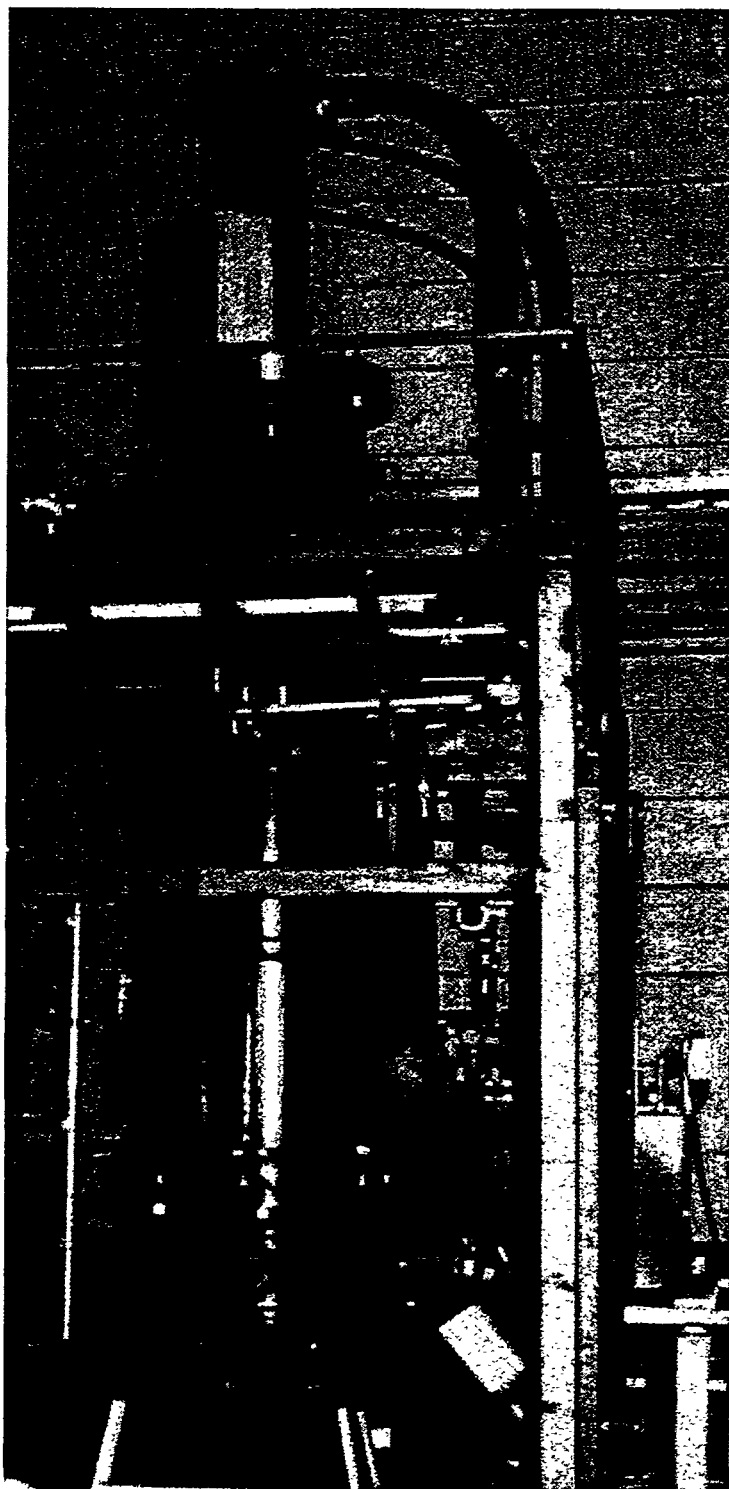
3.3 POLTTOAINEEN KULJETINJÄRJESTELMÄ

Polttoaineen kuljetinjärjestelmällä siirrettiin polttoaine syöttökokeen aikana vastaanottoasemalta mäntäsyöttimelle ja syöttökokeen jälkeen takaisin vastaanottoasemalle. Polttoaineen kuljetinjärjestelmä on esitetty kuvassa 3. Koska polttoaine syötettiin paineistettuun silloon, täytyi polttoaineen

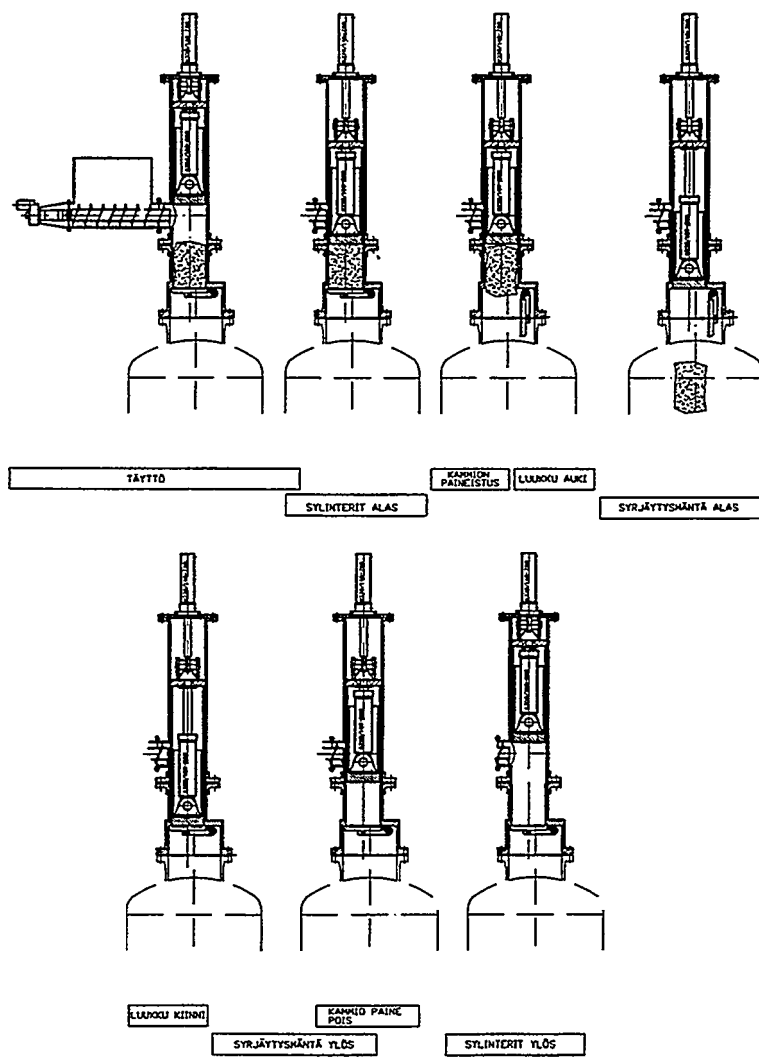
syöttökokeissa käyttää panostyyppistä ajomallia: polttoainesiilo paineistettiin tyypellä, siilo täytettiin polttoaineella, paine poistettiin ja siilo tyhjennettiin. Polttoainesiilon tyhjentymiseen kului aikaa enimmillään kaksi tuntia, joten mäntäsyöttimen vuorokautinen käyttötuntimäärä riippui käytetystä syöttökapasiteetista.

3.4 POLTTOAINEENSYÖTÖN TOIMINTAPERIAATE

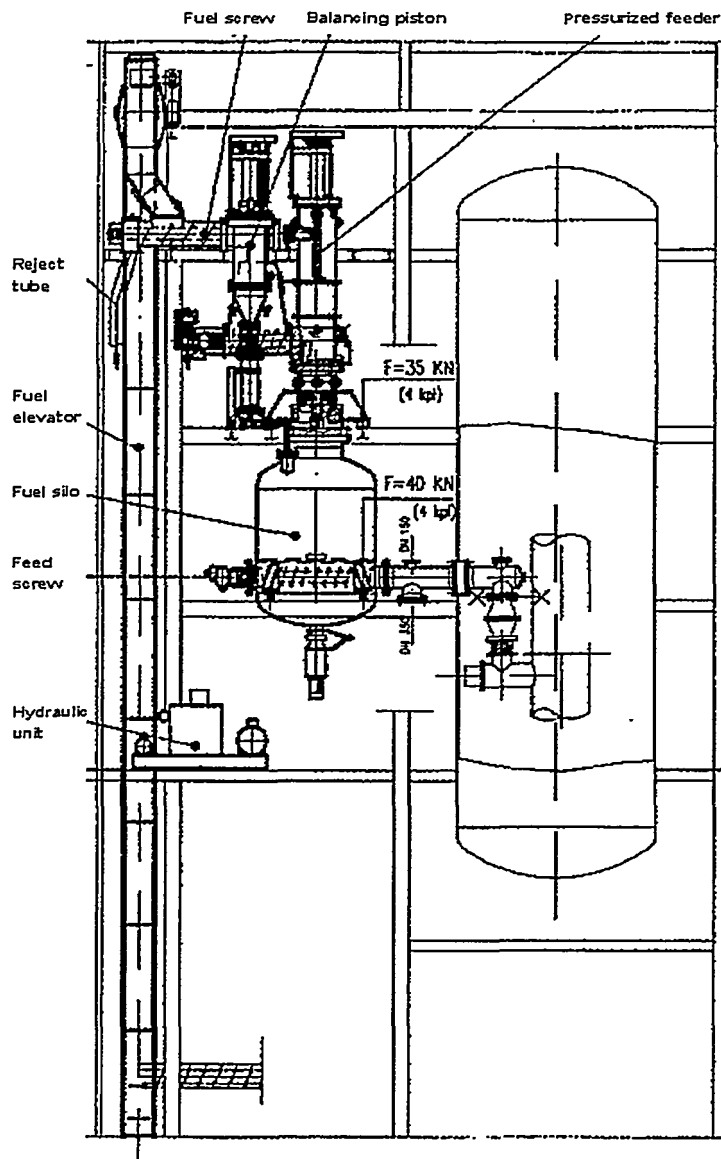
Syöttökokeissa kiinteä polttoaine siirrettiin hakesiilosta kolapohjan avulla ruuvikuljettimella elevaattorille, josta hake purettiin polttoaineruuvien kautta syöttösuppilon. Syöttösuppilosta hake siirrettiin ruuvikuljettimella mäntäsyöttimelle. Mäntäsyöttimellä hake syötettiin paineistettuun polttoainesiilon, siilon täytyttyä paine poistettiin ja hake siirrettiin polttoaineruuvilla takaisin vastaanottoasemalle. Järjestelmä mahdollisti mäntäsyöttimen testauksen polttoainesiilon eri paineissa, erilaisilla polttoainevirroilla ja eri polttoaineilla. Koska polttoainesiilo oli eristetty polttoaineen poistoputkeen asennetulla palloventtiilillä, voitiin polttoainesiilon tyhjennys aloittaa välittömästi paineenpoiston jälkeen ilman laippojen aukomisia. Ainoastaan korkeammassa paineessa tehdyissä kapasiteettikokeissa venttiilin paikalle asennettiin turvallisuussyistä sokea laippa.



Kuva 1. Paineistettu mäntäsyötin.



Kuva 2. Polttoaineen syöttösekvenssin kulku.



Kuva 3. Polttoaineen kuljetinjärjestelmä.

4 LAITETESTAUKSEN TOTEUTUS JA AIKATAULU

Mäntäsyöttimen käyttöönotto alkoi maaliskuussa 1994 mekaanisella koekäytöllä. Kun laitteiston mekaaninen toimivuus oli osoitettu, aloitettiin sekvenssien kokeilu. Tämän jälkeen mäntäsyötin paineistettiin ilman polttoainetta. Kesäkuussa tehtiin ensimmäiset polttoaineen syöttökokeet paineistettuun polttoainesiiloon. Elokuussa aloitettiin pitkäaikaiskokeet, joissa tutkittiin syöttölaitteiston luotettavuutta ja etsittiin optimaalista

rengastiivisteratkaisua. Pitkäaikaiskokeiden yhteydessä selvitettiin laitteiston käytettävyyttä ja testattiin eri rengastiivistevaihtoehtoja.

Syöttimen kapasiteettikokeet aloitettiin lokakuussa, ja niitä jatkettiin eri paineissa tammikulle 1995 saakka. Koeajojen lopuksi mäntäsyötintä käytettiin hiilen ja turpeen syöttämiseen. Projektin lopuksi selvitettiin mäntäsyöttimen kaupallistamiseen liittyviä seikkoja.

5 TULOKSET

Taulukossa 1 on esitetty eri testausvaiheiden ajankohdat ja käyttötuntimäärät.

Taulukko 1. Mäntäsyöttimen testauksen eri vaiheiden ajankohdat ja käyttötuntimäärät sekvenssilukumäärästä laskettuna.

Koekäytön vaihe	Ajankohta	Käyttötunnit kokeiden jälkeen
Mekaaninen testaus	maalis-huhtikuu 1994	90
Paineistuskokeet	toukokuu 1994	106
Polttoaineen syöttö ilman paineistusta	kesäkuu 1994	114
Polttoaineen syöttö paineeseen	kesä-elokuu 1994	154
Pitkäaikaiskokeet	elo-joulukuu 1994	600
Kapasiteettikokeet	lokakuu 1994 -tammikuu 1995	620
Turpeen syöttökokeet	tammikuu 1995	630
Hiilen syöttökokeet	tammikuu 1995	650

Laitteen soveltuvuus eri polttoaineiden syöttämiseen määritettiin 3 h syöttökokeilla. Jos kokeen aikana ei tullut yhtään sekvenssihäiriötä, koe katsottiin onnistuneeksi. Kokeet toistettiin vähintään kahdesti jokaisella polttoaineella. Lisäksi syöttimen kapasiteetti mitattiin eri paineissa eri polttoaineilla. Yksikään kokeissa käytetyistä polttoaineista ei tuottanut vaikeuksia syöttimelle.

Koeajoissa käytetty laitteisto osoittautui toimivaksi sellaisenaan, kaupallistamisen edellytyksenä oleva kapasiteetin nosto voidaan toteuttaa seuraavin toimenpitein:

- lyhentämällä sekvenssiaikaa
- kasvattamalla täytösastetta
- lisäämällä täytöksen tilavuutta kasvattamalla laitteen dimensioita

Alussa ongelmia tuottanut rengastiiviste saatiin kehitettyä kaupallisen tekniikan vaatimukset täyttäväksi ratkaisuksi, joten kokeiden päämäärä saavutettiin: kokeissa testattu mäntäsyötin on toimiva ratkaisu biopolttoaineen syöttämiseksi paineistettuun prosessiin.

6 PROJEKTIN RAHOITUS

Mäntäsyöttimen kokeilu kuului osana paineistetun IGCC-laitoksen kehittämisvaiheisiin. Biopolttoaineelle tarkoitetun paineistetun syöttimen testauksen ja kehityksen rahoitus on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Paineistettu syötin biopolttoaineelle, rahoitus.

Rahoittaja	Osuus, %
KTM	38
A. Ahlström Osakeyhtiö	23
Muut rahoittajat	39

Tutkimus paineistetun syöttimen kehittämisestä biopolttoaineelle alkoi 1.5.1993 ja tutkimus päättyi keväällä 1995. Tänä aikana kustannukset jakautuivat seuraavasti:

- 1993 36 % kokonaiskustannuksista, suunnittelu- ja laitekustannukset.
- 1994 50 % kokonaiskustannuksista, päälaitteiden hankinta ja testaus.
- 1995 14 % kokonaiskustannuksista, käyttö- ja kehityskustannukset.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kahteen sisäkkäiseen, hydraulisesti ohjattuun mäntään perustuvan paineistetun biopolttoaineen syöttölaitteen koeajot saatiin päätökseen tammikuussa 1995. Kehitystyön ja testauksen lopputuloksena saatiin aikaan mekaanisesti varmatoiminen syöttölaite, jonka käyttövarmuus ja inertin kaasun kulutus ovat

kaupalliselle tekniikalle riittävää tasoa. Tutkittu määntäsyötin soveltuu biomassan ja hiilen syöttämiseen paineistettuihin prosesseihin. Suurin määntäsyötinelle mitattu kapasiteetti oli 23 m³/h eucalyptushaketta 16 bar(y) paineeseen. Suuremmalla vastapaineella määritetty kapasiteetti oli pienempi johtuen paineistusajan kasvamisesta, tavoitteena ollut 20 m³/h kapasiteetti saavutettiin kuitenkin 24 bar(y) paineeseen saakka. Syötin nopeimmin kuluvan tiivisteiden kesto vastaa kaupallista vaatimusta. Lisäksi nopeimmin kuluva tiiviste on edullinen ja tiivisteiden vaihto on nopea toimenpide.

Koeajoista saatiin riittävästi tietoa kaupallisen määntäsyötin suunnittelua varten. Kaupallinen määntäsyötin tulee vastaamaan nykyistä prototyyppiä rakenteeltaan; laitteiston mittasuhteita on kuitenkin hieman muutettava kapasiteetin kasvattamiseksi. Nykyisen syötin kapasiteetti oli yli 20 m³/h puuhaketta 25 bar(a) paineeseen, kaupallisessa mittakaavassa valmistettavan syötin kapasiteetti on mahdollista lähes kaksinkertaistaa.

8 RAPORTIT JA JULKAISUT

8.1 RAPORTIT

Makkonen P., Pressurized Feeder for Biofuels, BIOENERGIA-tutkimusohjelman loppuraportti, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1995, 32 s.

8.2 JULKAISUT

Makkonen P., Paineistettu syötin biopolttoaineille - Y302, BIOENERGIA-tutkimusohjelman vuosikirja 93, osa III, Bioenergian käyttö ja biomassan jalostus.

Makkonen P., Paineistettu syötin biopolttoaineille - Y302, BIOENERGIA-tutkimusohjelman vuosikirja 94, osa III, Bioenergian käyttö ja biomassan jalostus.

KIINTEÄN MATERIAALIN SYÖTTÖLAITTEEN KEHITTÄMINEN - Y304

Olli Heinonen & Janne Tiihonen
Imatran Voima Oy
Tutkimus- ja kehitysyksikkö
Rajatorpantie 8, Vantaa
01019 IVO
Puh. (90) 85611
Faksi (90) 563 6823

Abstract: Development of a feeding device for solid material

Feeding of solid fuel into high pressure is an essential part of the pressurized power plant processes. A pilot scale fuel feeder meeting the requirements of these processes has been designed and built by Imatran Voima Oy (IVO). The fuel feeder is capable of feeding both relatively dry and wet solid material into high pressure. The object of this project was to develop the pilot scale fuel feeder to commercial level. The project was financed by IVO and Bioenergia -research programme.

The project included testing of the previously built pilot-feeder at real operating conditions using peat and wood biomass as feedstocks. The testing consisted of short term and long term runs, which provided information about the operation and durability of the feeder with different materials. The tests were carried out partly in IVO's laboratory, and partly in Jyväskylä at the pressurized steam drying pilot plant owned by IVO and VTT.

The pilot-feeder operated well and reliably during the feeding tests. The feeder was dissembled and the parts were inspected between and after the test periods. No sign of excessive wear of the parts was noticed.

Based on the good experiences from the pilot scale testing a commercial feeder with the capacity of 50 m³/h was designed.

1 TAUSTA

Imatran Voima Oy (IVO) kehittää kosteille polttoaineille soveltuvaa voimalaitosprosessia (IVOSDIG), jonka eräs osa-alue on polttoaineen syöttö paineeseen. Vuonna 1990 aloitetun kokeellisen kehitystyön perusteella mäntäsyötintekniikka tuntui soveltuvan polttoaineen syöttöön, mutta

laitekonstruktiot vaativat kuitenkin parannusta. Tämän vuoksi IVO päätti aloittaa mäntäteknikkaan perustuvan syöttölaitteen kehityksen.

Syöttölaitteen ideointi, suunnittelu ja pilot-mittakaavan koelaitteen valmistus toteutettiin vuoden 1992 aikana. Vuoden 1993 aikana koelaitteella tehtiin lyhytaikaisia testauksia, joiden perusteella laitteen konstruktion tehtiin parannuksia ja laite saatiin teknisesti toimivalle tasolle.

Vuoden 1994 alussa käynnistettiin Bioenergia-tutkimusohjelmaan kuuluva projekti, jonka tarkoituksena oli saattaa kehitetty kiinteän polttoaineen syöttölaite kaupalliselle tasolle. Projektin rahoituksesta vastasivat IVO ja Bioenergia-tutkimusohjelma.

2 TAVOITE

Projektin tavoitteena oli pyrkiä valmiuteen uuden kiinteän polttoaineen syöttölaitteen kaupallisessa soveltamisessa.

3 TEHTÄVÄT JA NIIDEN TOTEUTUS

Hanke toteutettiin Imatran Voima Oy:n toimesta. Hanke sisälsi pilot-mittakaavan koelaitteen testausta sekä kaupallisen mittakaavan syöttimen suunnittelun.

Laitetestauksilla selvitettiin rakennetun koesyöttimen kulutuskestävyyttä ja toimivuutta erilaisilla materiaaleilla. Laitetestaukset suoritettiin osin Viikissä IVOn energiankäytön laboratoriossa ja osin Jyväskylässä IVOn ja VTT:n kuivurikoelaitteiston yhteydessä.

Viikin laitetestaukset käsittivät lyhytaikaiset syöttökokeet vastapaineeseen eri materiaaleilla ja pitkäaikaistestauksia, joilla tutkittiin kiintoaineen ja vastapaineen vaikutusta syöttimen toimintaan.

Jyväskylässä laitetta testattiin todellisissa olosuhteissa paineistetun höyrykuivurikoelaitteiston yhteydessä. Testauksen tarkoituksena oli varmentaa laitteen toiminta ja saada mahdollisimman paljon käyttötunteja.

Kaupallisen mittakaavan prototyyppilaitteen suunnittelu valmistui syksyllä 1995. Koesyöttimen laitetestauksista saadut kokemukset hyödynnettiin suunnittelussa.

4 RAHOITUS

Rahoittaja	1994 mk
Bioenergian tutkimusohjelma	270 000
Imatran Voima Oy	410 000
Yhteensä	680 000

5 SYÖTTÖLAITTEEN RAKENNE

Kehitetty kiinteän polttoaineen syöttölaite soveltuu sekä suhteellisen kuivan että määrän materiaalin syöttämiseen. Laite on ensisijaisesti suunniteltu turpeelle ja puubiomassalle, mutta sen toimivuus on mahdollista myös muilla polttoaineilla.

Syöttölaitteen suunnitteluperusteet ovat olleet seuraavat:

- sopivuus erityyppisille kiinteille polttoaineille laajalla kosteusalueella
- turvallisuus: ei mahdollisuutta paineen purkautumiseen syöttimen kautta
- ei inertointikaasun kulutusta
- kohtuulliset investointi- ja käyttökustannukset

Syöttölaite perustuu mäntäteknikkaan, jossa sylinteri täytetään ruuvisyöttimellä männän vetäytyessä taaksepäin. Tämän jälkeen sylinteri kääntyy pyörähdyspintaa vasten syöttimen ulostuloputken kohdalle ja mäntä liikkuu eteenpäin tyhjentäen sylinterin prosessin paineeseen. Sylintereitä on kaksi kappaletta, joista toinen täytetään samanaikaisesti kun toinen tyhjennetään.

Korkeapaineinen prosessi erotetaan syöttimestä ulostuloputkessa sijaitsevalla venttiilillä. Myös sylinterien pyörähdyspinta erottaa korkeapaineisen prosessin ilmanpaineesta, joten paineen vapaa purkautuminen syöttimen kautta ei ole mahdollista häiriötilanteissakaan. Laite on hydraulitoiminen ja hydraulijärjestelmä voidaan koota kaupallisista komponenteista.

Syöttimen toimintaa ohjaa ohjelmoitava logiikka ja toimintojen valvonta perustuu suurimmalta osin induktiivisiin rajakytkimiin. Rajakytkimien avulla valvotaan, että toiminnot suoritetaan ennalta määritetyssä ajassa. Kun syötin pysäytetään, suorittaa laite kesken olevan syöttösyklin loppuun ja pysähtyy vasta sitten. Vastaavasti käynnistystilanteessa logiikka tarkistaa ensin, että laite on lähtötilassa ja käynnistyy vasta sen jälkeen.

Rakennetun pilot-mittakaavan syöttölaitteen mitoitusarvot ovat seuraavat:

- kaasun vastapaine 25 bar
- syöttimen kapasiteetti n. 10 m³/h

6 LAITETESTAUS

Laitetestaus jakautui kahteen osaan. Ensimmäinen osa suoritettiin Viikissä IVOn energiankäytön laboratoriossa ja toinen osa IVOn ja VTTn paineistetun höyrykuivurikoelaitteiston yhteydessä Jyväskylässä.

6.1 TESTAUS VIKISSÄ

Testaukset Viikissä IVOn laboratoriotiloissa suoritettiin kevään 1994 aikana. Viimeiset muutokset laitteen konstruktion tehtiin tammi-helmikuussa ja varsinaiset testaukset suoritettiin maaliskuun huhtikuun aikana.

Viikin testaukset käsittivät sekä lyhyt- että pitkäaikaisia syöttökokeita. Lyhytaikaisissa kokeissa eri materiaaleja syötettiin 20 bar vastapaineeseen. Pitkäaikaiskokeita suoritettiin kaksi kappaletta, joista toinen oli 'tyhjäkäyntikoe' ilman syötettä vastapaineeseen ja toinen turpeen kierrätyskoe ilmanpaineisena.

6.1.1 Lyhytaikaiset syöttökokeet

Lyhytaikaisissa syöttökokeissa laitteella syötettiin turvetta ja puubiomassaa (purua ja haketta) noin 20 bar vastapaineeseen. Koejärjestelyssä syötin kytkettiin paineastiaan, astia paineistettiin tyellä ja materiaalia syötettiin vastapaineeseen. Koska materiaalin pumppaus nostaa painetta paineastiassa, kytkettiin paineastiaan myös paineensäätölaitteisto, jonka avulla vastapaine pidettiin vakiona. Kokeiden aikana paineastia pumpattiin noin puolilleen, jonka jälkeen paine poistettiin, astian pääty avattiin ja materiaali poistettiin.

Syötettävänä materiaaleina käytettiin turvetta ja puubiomassaa (purua ja haketta). Materiaalien syöttö vastapaineeseen onnistui ilman suurempia ongelmia. Turve osoittautui helpoimmaksi materiaaliksi ja myös purun syöttö oli vaivatonta. Hake oli selvästi vaikein materiaali. Käytetty hake sisälsi runsaasti tikkumaista materiaalia, joka alkoi vaikeuttaa venttiilin toimintaa. Varsinaisessa pumppauksessa paineeseen ei ollut ongelmia.

6.1.2. Pitkäaikaiskokeet

Lyhytaikaistestaukset osoittivat, että syöttimen periaate on toimiva. Syötintä haluttiin kuitenkin testata kauemmin, jotta saataisiin käsitys laitteen mahdollisista kulumisongelmista. Koska Viikissä ei ollut mahdollista syöttää materiaalia pitkäaikaisesti paineastiaan vastapainetta vasten, jaettiin pitkäaikaistestaus kahteen osaan, joista toisen avulla tutkittiin vastapaineen ja toisen avulla kiintoaineen vaikutusta laitteen toimintaan. Kokeet tehtiin maaliskuun huhtikuun 1994.

Suoritetut kaksi pitkäaikaiskoetta olivat seuraavat (suunniteltu koeaika oli 100 h kummallekin kokeelle):

1. Vastapaineen vaikutusta syöttimen toimintaan ja kulumiseen selvitettiin antamalla syöttimen käydä ilman syötettä (tyhjäkäynnillä) kaasunpainetta vastaan. Koe suoritettiin kahdesti erilaisilla tiivisteratkaisuilla. Koejaksojen pituudet olivat 140 h ja 100 h ja pumppausten lukumäärät vastaavasti 26400 ja 19000.

2. Kiintoaineen vaikutusta laitteen toimintaan selvitettiin kierrättämällä turvetta ilmanpaineessa. Syötin pumppasi turpeen putkea pitkin takaisin syöttösiiloon. Turpeeseen oli lisätty vettä, jotta kitkavoimat kierrätysputken seinämiä vasten eivät tulleet liian suuriksi. Koe kesti 150 h ja laite suoritti 37000 pumppausta.

Yhteensä pitkäaikaistestaukset kestivät 390 h ja pumppaus sykliä laite teki 82400.

Kokeiden välissä ja niiden jälkeen laite purettiin ja osien kunto tarkastettiin. Merkittävää kulumista osissa ei havaittu. Laite toimi luotettavasti kokeiden aikana. Kokemusten perusteella laite päätettiin siirtää Jyväskylään höyrykuivurikoelaitoksen yhteyteen jatkotestauksia varten.

6.2. TESTAUS JYVÄSKYLÄSSÄ

Jyväskylässä syötintä testattiin IVOn ja VTTn paineistetun höyrykuivurikoelaitteiston yhteydessä. Testauksen tarkoituksena oli varmentaa laitteen toiminta todellisissa olosuhteissa sekä kerätä paljon käyttötunteja mahdollisten kulumisongelmien havaitsemiseksi.

Syöttölaitteen asennus ja koelaitteiston vaatimat muutostyöt tehtiin touko-kesäkuussa 1994. Varsinaiset syöttö- ja kuivauskokeet tehtiin elo-syyskuussa 1994 kesälomien jälkeen.

Tehollinen koeaika kuivurilaitteistolla oli noin 175 tuntia. Prosessin vastapaine oli kokeiden aikana 23 bar ja materiaalia syötettiin noin 65 000 kg. Syötettävänä ja kuivattavana materiaalina käytettiin puubiomassaa. Syöttimen mitoituskapasiteetti oli suurempi kuin kuivurikoelaitteiston, joten syötintä käytettiin melko pienellä kapasiteetilla kokeiden aikana.

Kaikenkaikkiaan syötin toimi hyvin ja luotettavasti koejakson aikana. Kokeiden jälkeen laite purettiin ja osien kunto tarkastettiin. Merkittävää kulumista ei havaittu, laitteen osat olivat vastaavassa kunnossa kuin Viikin pitkäaikaistestausten jälkeen.

7 KAUPALLISEN MITTAKAAVAN SYÖTIN

Täyden mittakaavan prototyypin suunnittelu käynnistettiin lokakuussa 1994. Suunnittelu valmistui syksyllä 1995.

Pilot-mittakaavan laitteesta saadut kokemukset hyödynnettiin kaupallisen mittakaavan laitteen suunnittelussa. Laitteen peruseriaate pysyi samana, mutta laitteen yksityiskohtiin tehtiin muutoksia koelaitteesta saatujen kokemusten perusteella.

Kaupallisessa mittakaavassa syöttimen kapasiteetti on 50 m³/h.

8 YHTEENVETO

Projektin tavoitteena oli pyrkiä valmiuteen uuden kiinteän polttoaineen syöttölaitteen kaupallisessa soveltamisessa. Projekti sisälsi pilot-mittakaavan koelaitteen testausta sekä kaupallisen mittakaavan syöttimen suunnittelun.

Koelaitteen testaukset suoritettiin osin Viikissä IVOn energiankäytön laboratoriossa ja osin Jyväskylässä IVOn ja VTT:n paineistetun kuivurikoelaitteiston yhteydessä. Sekä Viikin että Jyväskylän testaukset sujuivat hyvin ja kaupallisen mittakaavan prototyyppilaitteen käynnistettiin. Suunnittelu valmistui syksyllä 1995.

Koetulosten mukaan kehitetty syöttölaite soveltuu hyvin erityyppisten kiinteiden polttoaineiden syöttöön korkeaan paineeseen. Laite on ensisijaisesti suunniteltu turpeelle ja puubiomassalle, mutta sitä voidaan soveltaa myös muille materiaaleille.

SEKOITUSKUIVURIN JATKOKEHITYS - Y308

Olli Heinonen
Imatran Voima Oy
Tutkimus- ja kehitysyksikkö
Rajatorpantie 8, Vantaa
01019 IVO
Puh. (90) 8561 4612
Faksi (90) 563 6823

Erkki Parvio
IVO International Oy
Rajatorpantie 8, Vantaa
01019 IVO
Puh. (90) 8561 4754
Faksi (90) 563 0432

Abstract: Further development of a mixed-dryer for wood biomass

Imatran Voima Oy and IVO International Ltd are developing a new, advanced drying method for high moisture content fuels such as peat, biomass, and brown coal. The drying technology is based on using the heat of the fluidized bed directly for drying. The drying takes place at steam atmosphere, which makes it possible to recover the latent heat of evaporation back to process at high temperature level. This improves the thermal efficiency of the plant considerably. The technology is called bed mixing dryer.

The pilot plant of the bed mixing dryer was built to IVO's Kuusamo peat and wood fired power plant that was commissioned in the beginning of 1994. The Kuusamo district heating power plant has a fuel input of 27 MW that gives a power output of 6 MW_e and district heat output of 17.5/21.2 MW_{th}. As fuels are used peat, saw dust and wood wastes. The boiler is a bubbling fluidized bed boiler and the steam cycle is a conventional back pressure steam process. The unique feature in the plant is the new dryer that increases the overall thermal efficiency of the plant 10 to 15 units of percentage.

In this project the operation and behaviour of the bed mixing dryer has been examined. Various components of the dryer were developed by the cold model tests carried out at IVO's laboratory in Helsinki. Testing with the Kuusamo bed mixing dryer consisted of about 390 hours of drying tests with peat, bark and saw dust. The dryer operated well, and the drying was effective. The measured final moisture content varied from 7 to 19 % depending on the fuel particle size and the temperature level of the dryer.

1 TAUSTA

Imatran Voima Oy on rakentanut turvetta ja puubiomassaa käyttävän sähköä ja kaukolämpöä tuottavan pienvoimalaitoksen Kuusamoon. Laitos

otettiin käyttöön vuoden 1994 alussa. Kuusamon voimalaitoksella polttoaineen kuivaaminen toteutetaan uuden tyyppisellä IVOssa kehitettävällä kuivurilla, jota kutsutaan sekoituskuivuriksi ja joka perustuu leijukerroksesta erotettavan patjamateriaalin lämpösisällön hyödyntämiseen kuivauksen energialähteenä. Kuivuri toimii höyryatmosfäärissä, mikä mahdollistaa kuivaukseen käytetyn energian palauttamisen kaukolämmöntuotantoon. Tämän vuoksi voimalaitoksen energiantuotannon hyötysuhde on selvästi tavanomaista korkeampi.

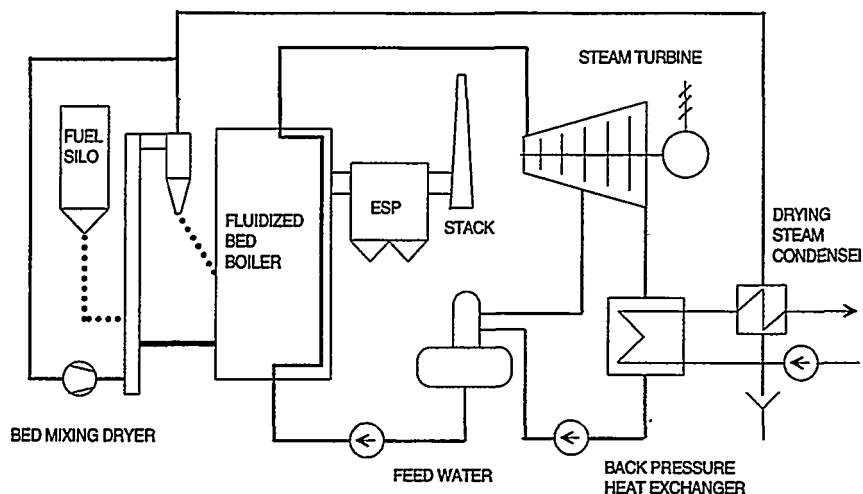
Kuusamoon rakennettu sekoituskuivuri on ainutlaatuinen uuden tyyppisen kuivaustekniikan pilotlaitos, jota tutkimus- ja kehitystoiminnan lisäksi käytetään voimalaitoksen osana. Kuivurin ajo toteutetaan voimalaitoksen ohjausjärjestelmän avulla. Kuivurin käyttö tapahtuu automaation ohjaamana, joten kuivuri ei vaadi erillistä käyttöhenkilöstöä. Voimalaitosta hoitaakin yksi henkilö vuoroa kohden. Kuivuri on varsinaisesti suunniteltu jyrshinturpeelle, mutta siitä saatavat hyödyt ovat samanlaisia myös muilla kosteilla polttoaineilla.

2 KUIVAUSMENETELMÄN KUVAUS

IVOssa kehitettävää uutta kuivausmenetelmää kutsutaan sekoituskuivaukseksi (Bed Mixing Dryer). Menetelmä perustuu leijukerroskattilasta erotettavan patjamateriaalin lämpösisällön käyttämiseen kuivauksen energialähteenä. Kuivuri toimii höyryatmosfäärissä, jolloin kuivaukseen käytetty energia saadaan palautetuksi takaisin prosessiin.

Sekoituskuivurissa leijukerroskattilasta erotettu korkeassa lämpötilassa oleva patjamateriaali sekoitetaan kuivuripiirissä kiertävään höyryyn ja johdetaan kuivuriputkeen, jossa seokseen lisätään kuivattava polttoaine. Polttoaine kulkeutuu täten suorassa kosketuksessa höyryn ja inertin patjamateriaalin kanssa samalla kuivuen esierottimeen ja sykloniin, joista polttoaine patjamateriaalin kanssa erotetaan höyryvirrasta ja syötetään leijukerroskattilaan.

Kuivurin kytkentä prosessiin Kuusamon voimalaitoksella on esitetty kuvassa 1.



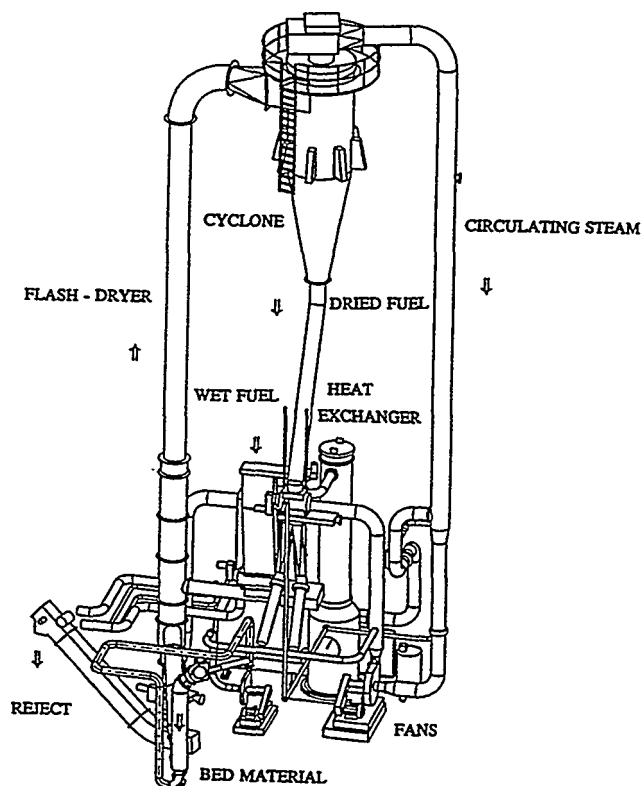
Kuva 1. Kuivurin kytkentä voimalaitosprosessiin.

Osa höyrystä kierrätetään syklonin jälkeen puhaltimella takaisin kuivurin alkuosaan, mutta kuivauksessa vapautunut osa höyrystä johdetaan kaukolämmön vaihtimeen, jossa höyry lauhdutetaan kaukolämpöveden lämmitykseen. Lauhde johdetaan pH-säädön jälkeen viemäriverkostoon.

Sekoituskuivurin tekee edulliseksi mahdollisuus palauttaa kuivaukseen käytetty energia takaisin prosessiin. Kuivuri toimii höyryatmosfäärissä, joten höyrystymislämpö voidaan hyödyntää lauhduttamalla kuivauksessa vapautunut höyry kaukolämmönvaihtimessa tai korvaamalla syöttöveden tai ilman esilämmittimiä. Kuusamon voimalaitoksella kuivurista saatava kaukolämpöteho on 3.5 MW, kun vastapaineturbiinilla tuotettava kaukolämpöteho on 17.5 MW. Täten kokonaiskaukolämpöteho on 21 MW. Tuotettava sähköteho on 6.1 MW, joten kokonaishyötysuhteen paraneminen on kuivurikäytössä noin 15 %. Laitosta voidaan käyttää kuivurin kanssa kuten myös ilman kuivuria.

Toinen sekoituskuivurin etu on se, että erillisiä lämmönvaihtimia ei tarvita vaan lämpö siirtyy suorassa kosketuksessa patjamateriaalin, höyryn ja kuivattavan materiaalin välillä. Lisäksi kattilan savukaasuvirta on kuivurikäytössä pienempi, koska vesihöyry puuttuu savukaasuista. Tällöin uudet kattilat voidaan mitoittaa pienemmiksi tai vanhojen kattiloiden tehotasoa nostaa.

Kuusamon kuivurin isometrikaavio on esitetty kuvassa 2 ja kuivurin toiminta-arvot taulukossa 1.



Kuva 2. Kuivurin isometrikaavio.

Taulukko 1. Kuusamon sekoituskuivurin toiminta-arvot.

Kuivattava polttoaine	Turve, puru, kuori
Polttoainevirta	3.3 kg/s
Alkukosteus	40 - 60 %
Loppukosteus	10 - 20 %
Höyryn lämpötila	120 - 200 °C
Kuivurin paine	1.05 bar(abs)
Kaukolämmön tuotanto	max 3.5 MW

3 TAVOITE

Projektin tavoitteena oli kehittää sekoituskuivurin komponentteja ja skaalata niitä suurempaan mittakaavaan. Mittauksin pyrittiin myös selvittämään Kuusamon sekoituskuivurin toimintaa jyrshinturpeella ja sahanpurulla. Lisäksi haluttiin tutkia uuden tyyppisen kuivausmenetelmän vaikutusta polt-

toaineen ominaisuuksiin ja leijukerroskattilan toimintaan, kuivauksessa muodostuvan lauhteen käsittelytekniikoita sekä täsmentää kuivurin materiaalivalintoja.

4 TOTEUTUS

Hankkeen toteuttivat Imatran Voima Oy ja IVO International Oy.

Tutkimus koostui pääasiassa kokeellisesta työstä, joka jakautui kylmämallikokeisiin ja sekoituskuivurin koeajoihin. Kylmämallikokeet suoritettiin IVO:n laboratoriossa Helsingissä ja niiden avulla kehitettiin kuivurin komponentteja. Kuivurin koeajot tehtiin Torangin voimalaitoksen sekoituskuivurilla Kuusamossa. Mittauksia varten kuivuriin on rakennettu tavanomaista täydellisempi tiedonkeruulaitteisto, jolla prosessiolosuhteet mitataan ja talletetaan.

5 TEHTÄVÄT

Hankkeen tehtävät olivat:

- Petimateriaalin siirto
 - materiaalin annostelu kuivuriin L-venttiilillä
 - materiaalin kuljetus
 - materiaalin erotus höyryvirrasta
- Lauhteen puhdistusmenetelmien testaus ja kehitys
 - kuivurilauhteen alipainehaihdutus
- Kuivurin materiaalivalintojen täsmentäminen
 - korroosio
 - eroosio
- Höyrykuivauksen vaikutus kuivattavan materiaalin ominaisuuksiin
 - polttoaineen Cl-pitoisuuden muutos kuivurissa
- Kokemusten kerääminen Kuusamon sekoituskuivurilta

6 RAHOITUS

Rahoittaja	1995 mk
Bioenergian tutkimusohjelma	440 000
Imatran Voima Oy	660 000
Yhteensä	1 100 000

7 TULOKSET

7.1 KYLMÄMALLIKOKEET

Kylmämallikokeet suoritettiin alkuvuodesta 1995 IVOn laboratoriossa Helsingissä. Kokeiden avulla selvitettiin hiekan pneumaattista kuljetusta, annostelua L-venttiilin avulla sekä hiekan erotusta kaasuvirrasta. Materiaalin annostelukokeet suoritettiin samanaikaisesti siirtokokeiden kanssa.

Hiekan pneumaattista kuljetusta tutkittiin vinossa kuljetusputkessa ja samalla optimoitiin kuljetuksen painehäviötä.

Materiaalin annostelukokeissa selvitettiin hiekan valutusta vinossa putkessa ja optimoitiin L-venttiilin ilmastuspisteiden sijaintia. Myös hiekan raekoon vaikutusta L-venttiilin toimintaan selvitettiin. Tutkittavat raekokoot vastasivat kuplivan leijukerroskattilan ja kiertopetikattilan petimateriaaleja.

Hiekan erotusta kaasuvirrasta tutkittiin kahdella esierottimen versiolla. Kehittyneempi versio erotti hiekan kaasuvirrasta hyvin koko kuormitusalueella ja erottimen läpi kulkeutui ainoastaan hienoksi jauhautunut pöly.

Kylmämallikokeiden perusteella Kuusamon sekoituskuivurin hiekansiirtoa kattilasta kuivuriin tehostettiin ja kuivuriin lisättiin esierotin karkean materiaalin erottamiseksi.

7.2 KUUSAMON SEKOITUSKUIVURIN KOEAJOT

Tutkimusohjelman mukaiset koeajot suoritettiin marras-joulukuussa 1995. Tällöin ajettiin kuusi tasetta jysinturpeella, kaksi sahanpurulla ja yksi tase sekapolttoaineella (turvetta, purua ja kuorta).

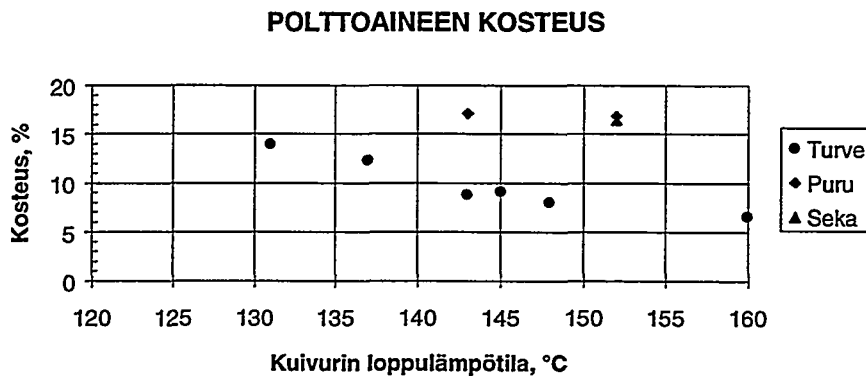
Alipainehaihdutuksen tehokkuutta kuivurilauhteen puhdistuksessa tutkittiin erillisen koejakson aikana. Polttoaineena käytettiin tällöin turvetta ja puuta.

7.3 KUIVUMINEN

Mitatut loppukosteudet on esitetty kuvassa 3. Loppukosteus määritettiin kuivapolttoainenäytteestä siten, että näytteeksi saadusta polttoaine-hiekka-seoksesta analysoitiin kosteus sekä tuhkapitoisuus, minkä jälkeen polttoaineen tuhkapitoisuutta käyttäen laskettiin polttoaineen kosteus.

Turpeen alkukosteus oli 45 - 48 %, mistä se kuivui loppukosteuteen 7 - 14 %. Purun alkukosteus puolestaan oli 50 - 52 %, mistä se kuivui loppukosteuteen 17 %. Sekapolttoaineen alkukosteus oli 57 %, mistä se kuivui 16 % loppukosteuteen.

Loppukosteuden vaihtelu riippuu kuivattavan polttoaineen partikkelikoosta ja kuivurin lämpötilatasosta. Pienillä partikkeleilla kuivuminen on luonnollisesti tehokkaampaa samoin kuin korkeampaa kuivurin lämpötilatasoa käytettäessä.



Kuva 3. Polttoaineiden kosteudet loppulämpötilan funktiona.

7.4 KLOORIN VAPAUTUMINEN KUTVAUKSESSA

Kloorin vapautumista höyrykuivauksessa selvitettiin mittaamalla syötetyn polttoaineen, kuivatun polttoaineen ja kuivurilauhteen kloridipitoisuuksia. Analyysien mukaan polttoaineen kloridipitoisuudessa ei tapahtunut merkittävää muutosta, eikä kuivurilauhteessa havaittu kloridipitoisuuden nousua. Täten mittausten mukaan polttoaineen sisältämä kloori ei vapaudu sekoituskuivurin olosuhteissa. Mitatut kloridipitoisuudet olivat kuitenkin niin pieniä, että analysointitarkkuuden takia tulokset ovat epävarmoja.

7.5 MATERIAALIN EROTUS HÖYRYVIRRASTA

Kylmämallikokeiden perusteella suunniteltu karkean materiaalin esierotin asennettiin Kuusamon sekoituskuivuriin kesällä 1995. Esierotin toimi hyvin koeajojen aikana.

Esierotin erottaa karkean materiaalin, esim. hiekan, höyryvirrasta. Hieno materiaali, joka läpäisee esierottimen, erotetaan syklonilla. Koska syklonille ei tule eroosiota aiheuttavaa hiekkaa, voidaan siinä käyttää suuria nopeuksia ja erotusaste saadaan korkeaksi.

Esierottimen ansiosta materiaalin erotus tehostui ja kiertohöyryn hiukkaspitoisuus pienentyi huomattavasti verrattuna aiempiin mittauksiin. Esierottimen ja syklonin kokonaiserotusaste oli yli 99.98 %. Pienen hiukkaspitoisuuden ansiosta kuivuriin ja lauhdutin pysyivät hyvin puhtaina.

7.6 KORROOSIO JA EROOSIO

Eroosiota on havaittu jonkin verran sellaisissa prosessin osissa, joissa kuljettavan materiaalin virtaussuunta muuttuu ja kuljetusnopeus on suuri. Myös kattilan petilämpötila on ollut selvästi kuivurin suunnittelussa käytettyä lämpötilatasoa alhaisempi, mikä on kasvattanut kuivaukseen käytettävän petimateriaalin virtausta suunnitellusta.

Kylmämallikokeiden perusteella kriittisten kohtien konstruktion tehtiin pieniä muutoksia ja joitakin prosessin osia vuorattiin paremmin kulutusta kestäville materiaaleilla.

Korroosiota ei kuivurin osissa ole havaittu.

7.7 LAUHTEN PUHDISTUSKOKEET

Kuivurilauhteen puhdistuskokeet suoritettiin Hadwaco Oy:n pilot-haihduttimella, jossa on muovista valmistettu lämmönsiirtopinta ja jonka toiminta perustuu mekaaniseen höyryn komprimointiin. Haihduttimen lisäksi koelaitteistoon kuuluu esikäsittely-yksikkö, joka on varustettu mikroflotaatio- ja hiekkasuodatuslaitteella. Esikäsittely-yksiköllä poistetaan lauhteen liukenemattomassa muodossa olevat kiintoaineet.

Kuivurin tuottama lauhde on hapanta, pH on noin 4. Puhdistuskokeiden aikana lauhteen pH säädettiin NaOH-liuoksella halutuksi. Lauhde oli puskuroivaa, minkä vuoksi syötettävä lipeämäärä oli moninkertainen teoreettiseen arvoon nähden. pH:n säätö paransi puhdistustulosta ja paras puhdistustulos saavutettiin neutraalilla lauhteella.

Puhdistettu lauhde ei sisältänyt kiintoainetta, pitoisuus oli alle 1 mg/l. Lauhteen KMnO_4 -kulutuksessa päästiin arvoon 550 mg/l, joka on lähellä vesistöön päästettävien vesien suuntaa-antavaa ohjearvoa.

Haihduttimella saavutettiin haihdutussuhteen arvo 0.97 ilman että puhdistusulos huononi. Täten tislauSJäännöksen eli konsentraatin määrä on niin pieni, että se voidaan sekoittaa polttoaineen joukkoon ja polttaa.

Kokeiden jälkeen tehdyssä tarkastuksessa todettiin, että haihduttimen lämmönsiirtopinnat olivat puhtaat.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOSUUNNITELMAT

IVO kehittää uuden tyyppistä kuivausmenetelmää kosteille polttoaineille. Tehtyjen mittausten mukaan kuivuri sopii hyvin sekä turpeelle että purulle, joilla saavutetaan hyvä kuivumistulos. Mitatut loppukosteudet ovat olleet tyyppillisesti 10 - 15 %. Käytetty flash-kuivuri ei luonteensa vuoksi sovellu hyvin karkeiden polttoaineiden kuivaukseen, koska viipymäaika kuivurissa on lyhyt, eivätkä suuret partikkelit ehdi kuivua. Tällöin olisi esim. leijukerroskuivuri soveliaampi reaktorityyppi.

Käyttökokemukset Kuusamon kuivurista ovat positiivisia. Kuivuri toimii prosessina hyvin, ja sen ajo on vakaata ja helposti säädettävää. Kehitystä jatketaan edelleen selvittämällä tarkemmin kuivurin eri sovellutuksissa esiintyviä erityiskysymyksiä. Kehitystyön tavoitteena on demonstroida sekoituskuivaustekniikka lähivuosina suuremmassa mittakaavassa.

JULKAISUT JA RAPORTIT

Hulkkonen S., Parvio E., Raiko M., An Advanced Fuel Drying technology for Fluidized Bed Boilers. Paper submitted for presentation at the 13th International Conference on Fluidized Bed Combustion, May 7-10, 1995.

Jokela P., Kiinteän lämmönsiirtomateriaalin kuljetus polttoaineen kuivauksessa. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, Espoo 1995.

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

Carl Wilén, Aimo Rautalin
VTT Energy
P.O.Box 1601
FIN-02044 VTT
Tel +358 0 4561
Fax +358 0 469 493

Abstract

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.

The objectives of this project were to evaluate the usability of suppression systems and to demonstrate dust explosion suppression at elevated initial pressure. Suppression tests at 1 - 20 bar pressure will be carried out in co-operation with CTDD of British Coal, Kiddy Fire Protection and Health & Safety Executive. The tests with coal and biomass dust are scheduled to be started in March 1996 in Great Britain.

In the second task of the project, self-ignition properties of forest residue dust and straw dust have been measured in a flow-through system simulating slow drying of the fuel.

1 INTRODUCTION

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, will result in extremely high operating costs. By using partial inertisation with, e.g., flue gases combined with the explosion suppression system, a sufficient level of operational safety may be achieved at reasonable costs.

The explosion characteristics of forest residue dust both at normal pressure and at elevated initial pressure have been determined in earlier studies. These indices, maximum explosion pressure and maximum rate of pressure rise, give a good basis for evaluating the usability of the suppression system concerned. The aim is 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. Suppression tests are carried out in co-operation with Kiddy Fire Protection (KFP) and Coal Technology Development Division (CTDD) of British Coal, Great Britain.

Either rapid flash drying or slower drum or store drying can be used for biomass. In store drying usually low-temperature air or waste gases are used. The hazard of spontaneous ignition in the store is essentially increased by large fuel volumes and long drying time combined with elevated temperature. The aim of this part of the project was to measure and assess safety factors related to drying of different fuels in ambient pressure systems. Self-ignition characteristics of forest residue chips and straw were measured by introducing a flow of preheated air through the sample. The tests were made at atmospheric pressure.

2 EXPLOSION SUPPRESSION

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 (Figure 1). 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.

A contract has been signed with CTDD concerning suppression tests with coal and biomass dust. The tests will be performed in co-operation with KFP and Health & Safety Executive at Buxton in Great Britain. A 5 m³ pressure vessel has recently been completed, and the testing will commence in late March 1996. The test programme is summarised as follows:

- Construction and instrumentation of the pressure vessel.
- Determination of the explosion characteristics for coal and biomass dusts at 1 - 20 bar initial pressure.
- Optimum operation and detection setting for the rate of pressure rise detection system will be determined on the basis of these tests.

- The suppression tests will be initiated with coal dust by using two, four or six suppression agent vessels, and then the tests will be continued with biomass dust in conditions chosen on the basis of the coal tests.

Test results and reports are scheduled to be available in early June 1996.

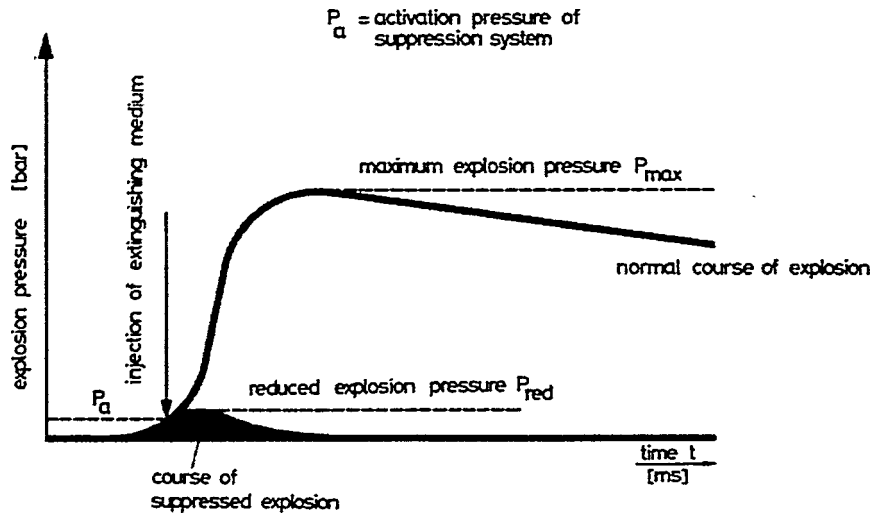


Figure 1. Principle of explosion suppression.

3 SELF-IGNITION TESTS

3.1 TREATMENT OF TEST MATERIALS

The particle size of forest residue was rather coarse and, consequently, the materials were milled by a disc refiner twice to obtain a sufficiently fine particle size for a homogeneous mixture suitable for the tests. The characteristics and chemical composition of the forest residue chips and straw are presented in Tables 1 and 2.

The self-ignition temperature is affected by the volume weight of biomass in practice. As there was no exact value of volume weight in practice available, the volume weight was determined with a laboratory method generally used by machine manufacturers for bulk material when dimensioning equipment if no other value of volume weight is available. The method has been presented in [1]. Results obtained with this method have been compared with volume weight measurements carried out for peat

in a 5.4 m³ bin at the Laboratory of Fuel and Process Technology of VTT in 1986 [2], which indicated fairly similar results.

Table 1. Characteristics of forest residue chips and straw compared with those of some other biomass fuels.

	Peat dust	Bark dust	Wood dust	Straw (dried)
Particle size, D50, mm	0.100 - 0.130	1.25	0.22	0.5
Moisture content, %	7.8 - 13	12.7	6.9	11.6
Ash content, % of dry matter	7.6	15.9	2.6	4.9
Volatiles, % of dry matter	65.3	57.7	78.8	76.1
C content, % of dry matter	59.1	50.1	53.1	48.0
H content, % of dry matter	5.6	4.4	5.9	5.7
N content, % of dry matter	2.3	0.3	0.3	0.7
O content (by difference), %	25.4	29.3	38.1	40.7
S content (total)	-	-	-	-
Chlorine	-	-	-	-

Table 2. Results of volume weight measurements for forest residue chips and straw compared with those of some other fuels.

Fuel	Density kg/m ³ (loose)	Density kg/m ³ (compacted)	Density wt% (compaction)
Forest residue /coarse*	192.5*	231.1	20.7
Forest residue / fine	216.8	273.8	26.3
Saw dust	253.9	274.1	8.0
Coal	840.3	910.9	8.4
Straw (dried)*	77.0*	99.1	28.7
* Fuels used in ignition tests			

3.2 GENERAL

The self-ignition temperature is defined, in this case, as the temperature, at which the heat amount produced by burning per time unit and, on the other hand, the heat efficiency transferring from the material to the surroundings and their derivatives with regard to temperature are equal. The temperature dependence of reaction rate is usually very highly unlinear. Consequently, if the temperature exceeds the self-ignition temperature, the heat yield is greater than the heat losses, and as a result the reactions are accelerated further by the temperature rise. The temperature continues to rise until a

new stationary state, i.e. combustion temperature, is reached. The theory of spontaneous combustion has been discussed by Bowes [3] and Beever [4].

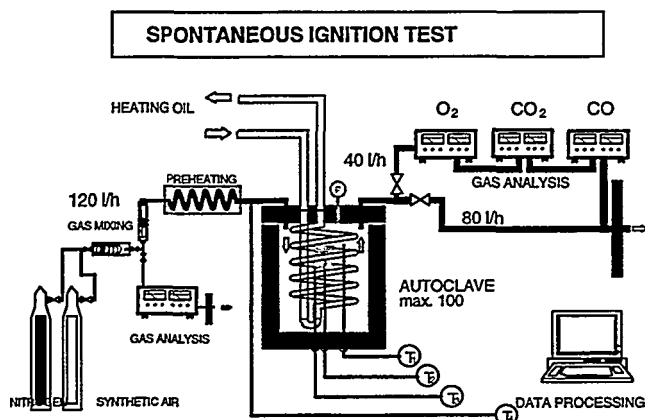


Figure 2. Schematic of test equipment for spontaneous ignition in pressurized and inertized atmosphere.

3.3 DETERMINATION OF SPONTANEOUS IGNITION

3.3.1 The normal determination method

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. In small samples, the temperature changes quickly and hence the determinations can be carried out rapidly, although the accuracy is poor. The sample can be of any shape; however, cylindrical ones (according to bin shape) are most often used.

The method normally used for determining spontaneous ignition at an elevated pressure is described in [5]. The principle of the equipment is shown in Figure 2.

3.3.2 Ignition by the flow-through method

The flow-through method was used in these tests. The tests were carried out at atmospheric pressures with samples of about 50, 100 and 400 cm³. The ignition temperatures were determined using normal air. The net-structured sample baskets were cylindric, the height being equal to the diameter. The baskets were filled according to "loose" volume weight, i.e., the fuel was not compacted in the baskets. The determination was carried out by raising the pressure in the autoclave to the desired level (about 1 bar abs.pressure)

by introducing simultaneously the desired gas atmosphere in the autoclave and then through the sample. The gas was preheated prior to entering the autoclave. The ambient temperature was raised stepwise at 10° steps (max 220 °C) with a heat coil located on the inner walls of the autoclave. Each temperature level was kept a sufficiently long time to see if it was sufficient for spontaneous ignition of the sample (usually from one to a few hours). The accuracy of the measured self-ignition temperature was about 5 °C in these experiments.

3.4 RESULTS

As was informed in chapter 2.3.2, the tests deviated from the standard test procedure in such a way that the whole gas flow was led through the sample and the flow rate was varied in different tests. In normal self-ignition tests the gas flows only around the sample keeping the composition of the gas atmosphere constant during the self-ignition determination.

The aim was to determine the self-ignition temperatures of forest residue chips and straw when the hot gas flows through the fuel batch, as e.g., in flow-through drying. Another aim was to study, within the limits of the self-ignition equipment available, how sensitive self-ignition is to changes in the flow rate of gas. By carrying out the tests with the same samples of three size classes as those used in the previous standard self-ignition tests, it was assessed if the sample size has the same effect on the ignition temperature as in normal self-ignition caused by the temperature of the environment, and, if this proves to be true, whether results can be extrapolated in the same way as in normal self-ignition cases.

However, the results indicated that the principle of extrapolation cannot be applied to self-ignition results determined in the flow-through principle, as no significant differences based on the sample size were found in the self-ignition temperatures of these tests for relatively small sample sizes and flow rates of gas.

Figures 3 and 4 show examples of output obtained in a test with forest residue at 1 bar (abs.). The essential results are shown in Figure 5.

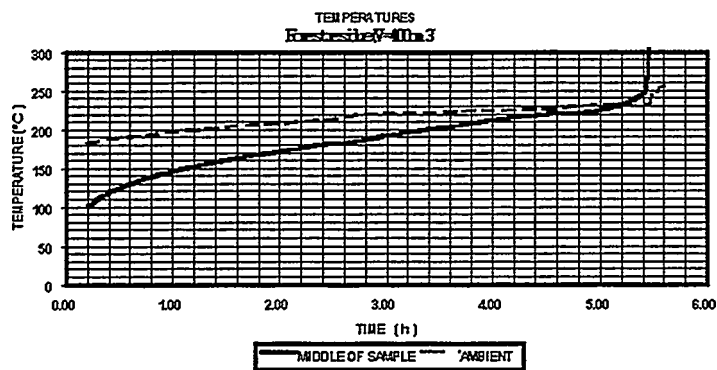


Figure 3. The self-ignition of forest residue in air flow through the sample ($p = 1$ bar; $V = 400$ cm³; Air flow = 0.9 cm/s).

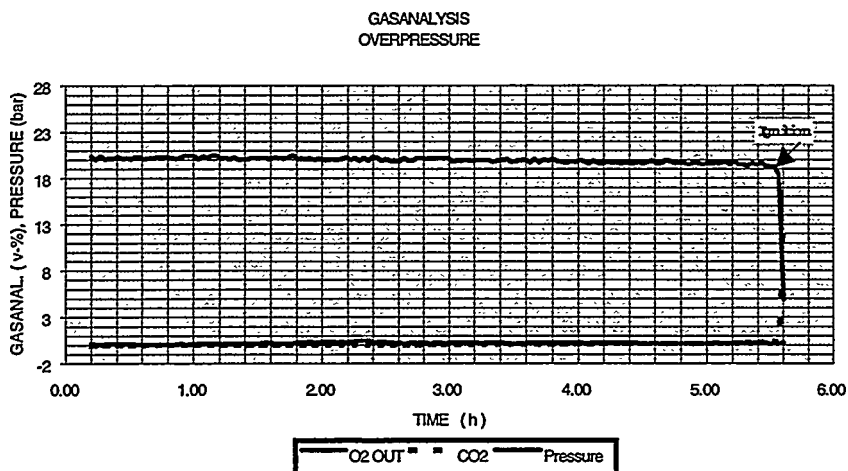


Figure 4. The gas analysis in the self-ignition of forest residue in air flow through the sample ($p = 1$ bar; $V = 400$ cm³; Air flow = 0.9 cm/s).

The ignition temperatures of all sample sizes are shown as a function of gas flow in Figure 5.

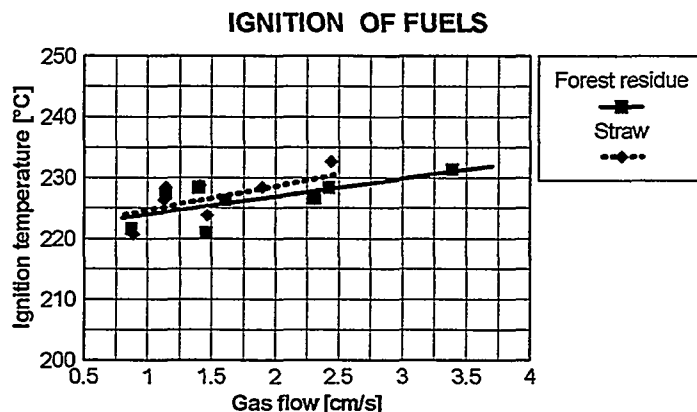


Figure 5. Ignition of fuels at gas flows of different size (flow rate at ignition, all sample sizes included).

4 CONCLUSIONS

In normal self-ignition the self-ignition temperature is determined by the ambient temperature and is highly dependent on the size of the store. Small samples ignite quickly (usually within 2 - 4 hours). It should be borne in mind that in practice with large amounts of materials, spontaneous ignition temperatures may be much lower than these test values, and differences between materials are quite significant. The self-ignition temperature and ignition time are also affected, for example, by the initial temperature, heat conductivity (storage compactness of fuel), and heat insulation or heating level of the store.

However, it can be concluded that the size class of the samples seemed not to have any great effect on the self-ignition temperature when the hot gas flew through the fuel layer. Hence, a dependence on the size of the sample or the store, similar to that in normal self-ignition determinations, was not observed. Consequently, no similar extrapolation, to determine the self-ignition temperature of any larger fuel layer, cannot be made. On the other hand, the increase in the flow rate of gas seems to slightly elevate the self-ignition temperature. This might be due to a more efficient transfer of heat from the fuel by the larger gas amount. However, the flow rates of gas within the limits of measurement were so small that any convincing direct conclusions from the effect of higher flow rates on the self-ignition cannot be drawn from the results of these tests. To study the effects of higher flow rates of gas on the self-ignition of fuels, larger equipment is required for measurements.

It can also be concluded, that the self-ignition temperatures obtained in these tests were clearly higher than those obtained for corresponding fuels with the normal test method.

REFERENCES

1. Federation Europeenne de la Manutention, Working Group 4, Pneumatic Handling, Agenda, Paris, 4 October 1983.
2. *Rautalin, A., Thun, R., Brandt, J., Okkonen, J. & Pyykkönen, R.* Flow of peat products and chips in a bin. Espoo : Technical Research Centre of Finland, 1986. Research Notes 616. 217 p. + app. 7 p. In Finnish.
3. *Bowes, P. C.* Self-heating: evaluation and controlling the hazards. London: Building Research Establishment, 1984. P. 3 - 70.
4. *Beever, P. F.* Spontaneous combustion - isothermal test methods. Information paper. London: Building Research Establishment, 1982.
5. Bioenergy Research Programme, Yearbook 1993, Part III Use of biomass, conversion. Publication 3. Jyväskylä: VTT Energy, 1994.

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

TEHOKAS JA PÖLYTÖN SEOSPOLTTOAINEIDEN VASTAANOTTOASEMA SEKÄ KÄSITTELY- JA KULJETINJÄRJESTELMÄ - Y307

Osmo Nojonen
Finntech Oy
PL 402
02151 Espoo
Puh. (90) 456 6148
Faksi (90) 456 7007

Timo Järvinen
VTT Energia
PL 1603
40101 Jyväskylä
Puh. (941) 672 611/
Faksi (941) 672 597

Abstract: The effective and dust free receiving station and handling for the low calorific value solid fuels

In the power plant technology solid fuel handling is not on the equal technology level as combustion and process control. Also the great variation of solid fuels, like wood, peat and refuse based fuels affects on the pre-treatment and conveying technology. The situation can be seen clearly in the solid fuel receiving stations.

The aim of the project was to get higher automatization level and improve dust preventing in solid fuel receiving stations.

There are two general types of receiving stations in the Finnish power plants: large unloading stations for the side tipping devices of trucks and small ones for the rear tipping devices of trucks. In the first ones the trucks empty their load (approx. 100 m³ loose bulk density) divided by hauling unit and trailer within few (5-10) minutes into a rectangular box, which depth is approx. 3 m. The discharging causes a strong counter-current air and dust flow (20 ... 40 m³/s) upwards and the dust will easily spread out all over the station. In the second ones the discharging takes place from the rear of truck and trailer using loadspace conveyor of the vehicle within 20 minutes. The material falls on a (belt) conveyor, which is on the floor level. Because of the short falling distance and longer unloading period there is no such strong air and dust stream. Nevertheless the dust concentrates in the small space of station.

The problems in side tipping system are connected with dust and surplus time, which is needed for the preparation and completion of unloading and sampling. The actual discharging is fast enough. In the rear tipping system the problem is a long period needed for the unloading and small dusty discharging space.

Air conditioning was applied earlier in a few receiving stations. Very soon it turned out, that the recycling of air should have been 10 to 20 times faster as realised having some effect on the dust content in the air of receiving stations. Also the suction of air from

the receiving box is nearly out of the question because of the huge air quantities, which should be removed. For the fine dust control has also been tested water spray (fog) nozzles and tried to utilise a settling chamber for the dust stream. At the moment it seems, that the realistic solutions for the dust preventing and controlling in receiving stations are based on the unloading systems, which reduce the surface area of falling material and falling distance without increasing the total discharging time. Also the using the settling chamber equipped with air suction connections and cyclone separation may be effective (Figure 1). In the rear tipping system are also applied bag filters because of smaller air quantities. These solutions are now under construction based also on the results of this particular project.

The rapid truck positioning and control in the receiving station is one of the presupposition for the fast and accurate unloading. This can be done using ultrasonic sensing methods. Also the ensuring of accurate discharging can be based on the modern technology. One of the basic things is the enlarging of video control (CCD -cameras) (Figure 2).

The automatical sampling is not common in the receiving stations. The obstacles have been many fuel suppliers and fuels, fuel mixtures and the lack of reliable and economical solutions. The scope and basics of the situation was clarified by the project.

1 TAUSTA

Polttoaineen vastaanotto, käsittely-, siirto- ja syöttötekniikka sekä niiden edellyttämät rakennukset ja sähköistys sekä instrumentointi ovat 5 ... 15 % voima- tai lämpölaitoksen koko investoinnista. Kuitenkin niiden merkitys laitoksen käytettävyyteen on huomattava: yli puolet kaikista häiriöistä johtuu käsittelylaitteista. Aivan tarkkaa nykyistä tilannetta ei ole tiedossa. Kuitenkin tilanne näkyy hyvin mm. polttoaineen vastaanottoasemissa, joita on jouduttu monissa laitoksissa korjaamaan käyttöongelmien vuoksi. Lisäksi kapasiteetin nosto ja kattilamuutokset vaikuttavat ja muuttavat nykyisiä vastaanottoratkaisuja. Yhä monipuolisempi polttoainevalikoima lisää myös sekä vastaanottoasemien että käsittelytekniikan kehittämistarvetta.

Vastaanottoasemaratkaisut riippuvat käytettävästä: teollisuuden ja voimalaitosten ostopolttoaineen vastaanotto on osa koko kuljetin- ja käsittelyjärjestelmää, joka sisältää käsittelyn yksikköoperaatiot ja välivarastoinnin sekä kattilasyötön. Pienemmillä lämpölaitoksilla linja on huomattavasti suorempi. Vastaanottoasema on usein myös polttoainevarasto.

Valtaosa Suomessa ostopolttoainekäytössä olevasta turpeesta, hakkeesta, purusta ja kuoresta kuljetetaan käyttöpaikalle täysperävaunurekoilla. Jonkin verran lähinnä turvetta tuodaan junalla ja traktoriperäkärryillä. Autojen purkauksessa käytetään kolmea purkaustapaa: perään kaato (kippaus), sivukaato (sivupurkaus) ja peräpurkaus. Kaksi jälkimmäistä on käytössä pääosin voimalai-

toskokoluokassa ja ensiksi mainittu lämpökeskuksissa. Vastaavasti vastaanotto-asetmat voidaan jakaa seuraavasti: vastaanottotasku/sivupurku, peräpurkuasema ja lämpökeskusten vastaanotto(siiilo). Junavaunut puretaan yleensä sivupurkutaskuun.

Vastaanottoasemissa esiintyy syöttö/kuljetinlaite-, kunnossapito- ja palo- sekä pölyongelmia ja pitkiä odotusaikoja. Automaatioaste vastaanotoissa on matala, mikä aiheuttaa paljon käsityötä ja vaatii purkauksen valmisteluun, lopettamiseen, näytteenottoon ja puhdistukseen aikaa. Yleisin syy vastaanoton sekä yleensä käsittelytekniikan kehittymättömyyteen ovat kustannukset. Usein käsittely- ja kuljetinlaitetekniikka katsotaan myös toissijaiseksi laitoshanketta suunniteltaessa ja toteutettaessa. Laitetoimittajilla on ollut käyttökelpoisia uusiakin ratkaisuja, mutta tilaajien ja konsulttien asettamat rajat ovat estäneet niiden käyttöönottoa tai aiheuttaneet voimakasta karsintaa.

2 TAVOITE

VTT Energiassa on vuonna 1995 tehty projekti ” Tehokas ja pölytön seospolttoaineiden vastaanottoasema sekä käsittely- ja kuljetinjärjestelmä”, jonka tavoitteena on ollut polttoaineen käsittelyjärjestelmän, lähinnä vastaanottoasemien tehon sekä palo- ja pölyturvallisuuden nosto automaation, laiteteknisen kehittämisen ja pölynpoistotekniikan avulla. Projekti on ollut Bioenergian tutkimusohjelman yrityshanke, jossa ovat olleet mukana Imatran Voima Oy, Kuopion energialaitos, Oulun kaupungin energialaitos, Tampereen kaupungin sähkölaitos , Vapo Oy, Vaskiluodon Voima Oy Seinäjoen voimalaitos sekä laitetoimittajista BMH Wood Technology Oy, Nordfab Oy, Roxon Oy, Vesme Systems Oy ja Konepaja Antti Ranta Oy (autojen kuormatilatoimittaja) sekä Finntech Oy projektin hallinnoinnissa.

3 TOTEUTUS

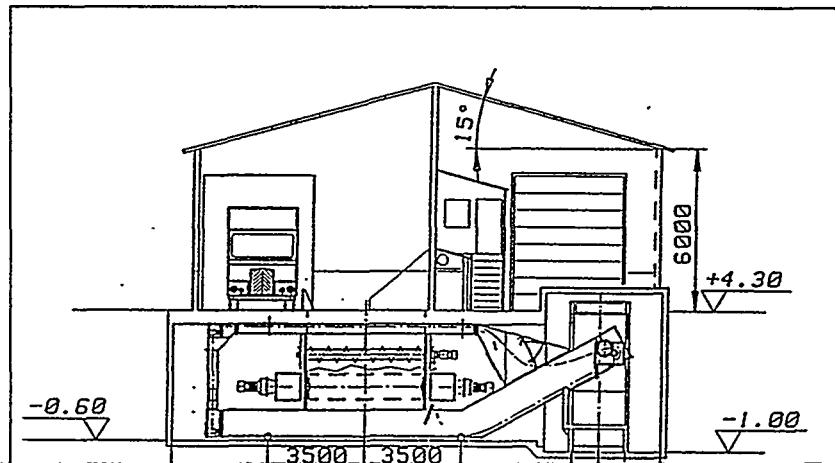
Viiden laitetoimittajan ja käyttäjän sekä polttoainetoimittajan ja VTT Energian voimin projektissa on suunniteltiin uusi tehokas pölyhaitaton vastaanottoasema perustuen pölyvirtauksien hallintaan suunnittelusta lähtien vastaanottoautomaatti -tyyppisenä ratkaisuna. Lisäksi suunniteltiin parannukset olemassaoleviin asemiin sekä ajoneuvoihin tavoitteen mukaan. Projektin hyötynä on autojen ja muiden kuljetusajoneuvojen odotus- ja purkausaikojen lyhentymisen, riittävän ja tasalaatuisen polttoaineen varmistaminen, manuaalisen työn sekä palo-, pöly- ja ympäristöriskien vähentyminen.

edellyttää, että auto voidaan purkaa keskelle vetoaisan paalle vastakkaisiin suuntiin purkavilla kuormatilojen ketjukuljettimilla. Autossa se merkitsee lähinnä hydraulikäytön siirtämistä perävaunussa etupäähän ja perävaunun kuormatilan mahdollista vähäistä pienentymistä. Hyötynä on kuitenkin purkausajan huomattava lyhentymisen, joka on ollut peräpurkauksen ongelma.

Auton purkauskapasiteettia voidaan tasata myös ketjukolapurkaimen tehon

4 TULOKSET: UUSIA KEINOJA ONGELMIEN RATKAISUKSI JA VASTAANOTTOASEMIA

Nykyisin sivupurkauksessa varsinainen purkaustapahtuma voi olla hyvinkin nopea. Autojen viipymä vastaanotossa on kuitenkin huomattavasti pitempi. Sivupurkauksen apuaikojen vähentäminen voi tapahtua nopeuttamalla ja tarkentamalla ajoneuvon asemointia sekä varmistamalla kuormatilan tyhjentymisen esim. purkauspressulla. Junavaunujen asemointi voi tapahtua esimerkiksi optisen valoverhon avulla. Pölyämisen estämiseksi sivupurkauksessa voidaan käyttää nousevan pölyvirran rauhoituskammiota ja poistoa sekä pölyn erottamista syklonilla tai letkusuotimella. Uusissa ratkaisuissa on voitu jo hyödyntää parempaa tietämystä ja tekniikkaa: UPM - Kymmene Oy:lle Raumalle tulevassa vastaanotossa pölyn erotus tapahtuu käyttäen rauhoituskammioita ja syklonia ja PVO -Veitsiluodon Voima Oy:llä Kemissä käytetään suodatusta. Kemiin on tulossa myös automaattinen näytteenotto. Pölyn leviämistä ja syntymistä voidaan sivupurkuasemassa estää tekemällä muutoksia sekä ajoneuvon kuormatilaan että estämällä pölyvirran nousua eri tyyppisillä pölynestolevyillä. Lisäksi purkaukseen tulee saada lisää "jouhevuutta" Esiseulontaritilällä tulisi pyrkiä poistamaan vain suuret kappaleet. Näin sen puhdistustarve on pienempi. Kuvassa 1 on UPM-Kymmene Oy:lle tulevan uuden ostopolttoaineen vastaanottoaseman leikkauskuva. Laitetoimittajana on Vesme Systems Oy. Taskun tilavuus on 300 m^3 ja ja siirtoteho $400 \text{ m}^3/\text{h}$.



Turpeen junakuljetuksessa FAT -vaunujen kattaminen helpottaa vaunujen purkamista. Katteen avulla voidaan mahdollisesti hallita myös pölymistä purkauksessa. Muita purkausta helpottavia toimia ovat liukukitkan pienentäminen pinnoituksilla ja vaunujen lämpöeristäminen. Uudet junakuljetusratkaisut voivat perustua myös konttikuljetustekniikkaan ja vanhoihin OHN-tyyppisiin hakevaunuihin.

Automaattisen näytteenoton kehittäminen ja soveltaminen eri tapauksiin kohtuullisella tarkkuudella on ratkaistavissa. Tällä hetkellä on jo muutamissa voimalaitoksissa automaattinen näytteenotto turpeelle. Polttoainevalikoiman laajentuminen ja useat polttoainetoimittajat edellyttävät kuitenkin näytteenoton kehittämistä. Peruseriaatteina näytteenotossa on, että otto- paikka tulisi olla mahdollisimman lähellä polttoaineen luovutusta ja se tulisi ottaa vapaasta liikkeestä koko tai valtaosasta polttoainevirtaa. Koko materiaaliavirrasta tulisi ottaa useampia pieniä näytteitä välttämättä ottamasta osasta

6 RAPORTIT JA JULKAISUT

Järvinen, T., Tehokas ja pölytön seospolttoaineiden vastaanottoasema sekä käsittely- ja kuljetinjärjestelmä, väliraportti. VTT Energia, syyskuu 1995. 28 s. + liitt. 3 s.

Kohola, P., Mäkelä, H., Tehokas ja pölytön seospolttoaineiden vastaanottoasema sekä käsittely- ja kuljetinjärjestelmä, osatehtävä. Ajoneuvon paikanus voimalaitoksen vastaanottoasemassa ja kuormatilaan jääneen polttoaineen havaitseminen, tutkimusraportti, VTT Automaatio, lokakuu 1995. 12 s.

Järvinen, T., Tehokas ja pölytön seospolttoaineiden vastaanottoasema sekä käsittely- ja kuljetinjärjestelmä, loppuraportti. VTT Energia, marraskuu 1995. 34 s. + liitt. 8 s.

Järvinen, T., Teknologiaohjelma käynnistynyt, Polttoaineen vastaanottoasemien teho ja turvallisuus paremmiksi. Energia 2/96 2 s.

Reinivaara, R., Raportti ionisointilaitteiden sopivuudesta eri pölyille: ionisointi kokeet Roxon Oy:llä kesällä 1995. Roxon Oy, syyskuu 1995. 3 s. + liitt. 3s.

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

KIERRÄTYSPOLTTOAINEEN VASTAANOTTO-, MURSKAUS- JA SEULONTAJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN - Y309

Antti Nurmi, Timo Kurki, Timo Wrang
BMH Wood Technology Oy
PL 32
26101 Rauma
Puh. (938) 83 151
Faksi (938) 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 dumped to be handled in such way that it can be burnt in modern fluidized bed and circulating bed boilers. One drawback of present handling systems is the fact that most of them are more or less inapplicable for handling plastic materials, especially thin plastic films and sheets. Reducing plastic waste into a particle size of 50 mm required by modern fluidized bed boilers has proved to be very difficult. An essential part of this project is the development of waste material screening after primary and/or secondary crushing. The idea is to separate plastic particles larger than the maximum allowable size from the crushed material and then feed them to a separate low-capacity plastic crusher. The main stages of the project are: i) Study and analysis on existing technology and equipment, ii) Development of system components, iii) Development of the system, iv) Building a pilot/demonstration plant, v) Tests and analysis and vi) Decisions on further actions.

1 JOHDANTO

Teollisuus- ja yhdyskuntajätteen polttaminen tulee lähivuosina lisääntymään Suomessa huomattavasti johtuen mm. kaatopaikkamaksujen noususta, pakkausjätteen määrän jatkuvasta kasvamisesta sekä EU-direktiivien kierrätysmääräyksistä johtuen.

1990-luvun alkupuolella jätelakia valmisteltaessa arvioitiin, että Suomessa syntyy vuosittain 65 - 70 milj. tonnia jätettä. Tällä hetkellä arvio on 80 - 90 milj. tonnia. Pääosa jätteistä syntyy tuotannossa; yhdyskuntajätteiden osuus on vain 4 %. Suuri osa jätteistä voitaisiin hyödyntää uusioraaka-aineena tai

polttoaineena energiantuotannossa. Nykyisellään kokonaisjättemäärästä hyödynnetään kuitenkin vain alle puolet suurimman osan kulkeutuessa kaatopaikoille. Yhdyskuntajätteen hyödyntämisaste on noin 30 %. Kotitalouksien ja kauppojen pakkausjätteet vievät 30 - 40 % kaatopaikkojen tilasta.

Syntypistelajittelun, polttokelpoisen yhdyskuntajätteen lämpöarvo on keskimäärin 15 - 20 MJ/kg, joka vastaa likimain puun lämpöarvoa. Kierrätyspolttoaineiden (REF) käyttö ei tutkimusten mukaan kasvata voimalaitosten päästöjä. Lisäksi kierrätyspolttoaineiden käyttö vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä, mikä puolestaan hidastaa kasvihuoneilmiön etenemistä.

Suomessa kierrätyspolttoaineiden käyttö on toistaiseksi rahoittunut lähinnä puunjalostusteollisuuden omiin voimalaitoksiin, jotka ovat hyödyntäneet polttokelpoista teollisuusjätettä paikallisesti. Voimalaitosten kiinteän polttoaineen vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmät on yleensä suunniteltu tietylle perinteiselle polttoaineelle, kuten turpeelle, joka on materiaaliominaisuuksiltaan varsin homogeenista. Tämän vuoksi jättemateriaalien epähomogeenisuus, erityisesti pitkät paperi- ja muovisuikaleet, -narut ja -kalvot, ovat aiheuttaneet toimintahäiriöitä ja ongelmia käsittelylaitteissa.

Tästä johtuen käytettäessä kierrätyspolttoainetta laajemmassa mittakaavassa on joko a) valmistettava ja käsiteltävä kierrätyspolttoaine riittävän homogeeniseksi seokseksi erillisessä terminaalityyppisessä laitoksessa, josta se tuodaan voimalaitokselle tai b) rakennettava voimalaitokselle oma vastaanotto- ja käsittelylinja kierrätyspolttoaineen valmistamiseksi jätteestä.

2 PROJEKTIN TAVOITE

Projektin tavoitteena on kehittää kierrätyspolttoaineen vastaanotto-, murskaus- ja seulontajärjestelmä, johon voidaan esimerkiksi suoraan kuljetusajoneuvosta kippaamalla syöttää syntypaikkalajittelua, polttokelpoista teollisuus-, toimisto- ja yhdyskuntajätettä käsiteltäväksi palakooltaan max. 50 mm suuruisiksi sekoittuneeksi, homogeeniseksi polttoaineeksi, joka voidaan hyödyntää nykyaikaisissa leijupetikattiloissa.

Olemassa olevien käsittelyjärjestelmien eräänä ongelmana on se, että ne soveltuvat huonosti muovimateriaalien, erityisesti ohuiden muovikalvojen, -suikaleiden ja -narujen käsittelyyn. Muovimateriaalien murskaaminen kattiloiden ja niiden syöttölaitteiden vaatimaan 50 mm:n maksimipalakokoon on osoittautunut erittäin vaikeaksi. Lisäksi käsittelyjärjestelmien automaatioaste on hyvin alhainen.

Projektin päävaiheet ovat:

- i) Tiedonkeruuvaihe
- ii) Järjestelmäkokonaisuuden alustava hahmottelu
- iii) Osakokonaisuuksien kehittäminen
- iv) Järjestelmäkokonaisuuden kehittäminen ja optimointi
- v) Pilot/demonstraatio-laitteiston rakentaminen ja testaukset
- vi) Testitulosten analysointi ja jatkokehitystarpeiden määrittely

3 PROJEKTIN TOTEUTUS 1995

Aluksi kerättiin tietoa kierrätyspolttoaineiden (REF) käytöstä ja laatuvaatimuksista sekä käytössä olevista kierrätyspolttoaineen valmistus- ja käsittelylaitteista. Tietoa kerättiin mm. alan lehdistä ja kirjallisuudesta, kirjastojen tietokannoista sekä eri yritysten ja yhteisöjen sisäisistä arkistoista. Tietoa kerättiin myös keskustelemalla useiden alan asiantuntijoiden kanssa; keskusteluja käytiin mm. VTT Energian, VAM VAPO Wastech Oy:n, IVO International Oy:n, Energia-Ekono Oy:n, Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksen, Suomen Pakkausyhdistys ry:n, Pakkausteknologiaryhmä ry:n, useiden jätahuoltoyritysten sekä useiden kuntien edustajien kanssa.

Kerättyjen ja analysoitujen tietojen perusteella tarkennettiin kehitettävälle järjestelmälle asetettavat reunaehdot. REF-polttoaineen 50 mm:n palakoon lisäksi ensisijaiseksi vaatimukseksi vahvistui pitkien muovi- ym. suikaleiden ja -narujen poistaminen polttoainemateriaalin joukosta.

Seuraavaksi hahmoteltiin ensimmäisiä alustavia järjestelmävaihtoehtoja kokonaistoiminnon toteuttamiseksi. Tämän jälkeen alettiin ideoida ja luonnostella ratkaisuvaihtoehtoja eri osatoimintojen toteuttamiseksi. Samalla muokattiin ja tarkennettiin järjestelmäratkaisuja.

Vuoden 1995 lopulla keskityttiin ylikokoisten partikkelien erottelijan kehittelyyn. Joulukuussa rakennettiin koelaitte, jota testataan ja jatkokehitetään lähikuukausien aikana. Loppuvuoden aikana aloitettiin myös alustavat neuvottelut todelliseen tuotantokäyttöön suunniteltavan pilot/demonstraatiolaitoksen rakentamisesta kahden eri kunnan edustajien kanssa.

4 PROJEKTIN TOIMINTASUUNNITELMA 1996

Kevään 1996 aikana jatketaan osakokonaisuuksien ja vaihtoehtoisten laiteratkaisujen kehittämistä. Samalla jatketaan neuvotteluja demonstraatiolai-

toksen rakentamisesta. Kokonaisjärjestelmäratkaisu tarkentuu lopullisesti, kun demonstraatiolaitoksen sijoituspaikka on ratkennut.

5 PROJEKTIN RAHOITUS

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

PELTOBIOMASSOJEN KÄSITTELY, JALOSTUS
JA POLTTO

ENERGIARYPSI - PELTOJEN NON-FOOD VAIHTOEHTOJA - 408, D404

Kai Sipilä
VTT Energia
Energian tuotantotekniikka
PL 1601 Espoo
02044 VTT
Puh. (90) 456 5440
Faksi (90) 460 493

Abstract: Integrated non-food concept of rape seed, reed canary grass and flax processing for fiber, fuel oil and solid fuel

The target of this project is to investigate if rape seed based fuel oil and diesel fuel component, agrofibre and solid fuel from other annual crops could be produced effectively as an alternative to existing non economical biodiesel-RME and ethanol production. Without heavy tax incentives the biodiesel and grain ethanol can not compete with conventional liquid fuels, the present EU fuel tax legislation will not permit any permanent tax incentives for commercial scale operations. Based on several studies by VTT the rape seed oil will be 30 % cheaper than RME and the utilization as a component 10 - 30 % blended to heating oil or diesel fuel might be the most flexible solution. Neste Oy has carried out the combustion tests with 20 kW boiler and VTT the diesel engine tests with 20 % unprocessed rape seed oil mixtures, the oil was delivered by Mildola Oy. For the co-utilization of annual crops and straw, several laboratory scale combustion and flash pyrolysis tests have been carried out by VTT with straw, reed canary grass etc. In fluid bed combustion 10-30 % addition of rape seed straw and reed canary grass, which have high ash melting point, seems to be less problematic compared to other straw species, which are used for example in Denmark. In a flash pyrolysis process, the alkalies will remain in the char and a low alkali level bio oils can be produced. As a final step in order to reach the zero subsidy target, an extensive laboratory work is carried out to produce agro fibre from flax, reed canary grass and wheat straw. The laboratory results show that a good quality pulp can be produced to be mixed with conventional wood fibres, the quality of flax pulp is even better compared to conventional pulp. During the next months an overall economic calculations will be carried out in Finnish, Danish and Italian conditions as an EU-Aspas project in order to see the competitiveness of such integrated concepts to conventional RME and reed canary grass combustion.

1 JOHDANTO

Projekti on kaksivuotinen, ja sen rahoittajat ovat KTM:n energiaosasto, MMM, Neste Oy, Vapo Oy, Mildola Oy, MTK ja VTT. Projekti päättyy kevään 1996 aikana, kokeellinen työ on pääosin tehty ja koko konseptin teknistaloudelliset yhteenvetolaskelmat tehdään vielä kuluvan kevään aikana. Hanke käynnistyi jatkoksi useammille KTM:n tekemille selvityksille peltoenergian ja biopolttonesteiden käyttömahdollisuuksista. Yhteistä niille oli eri vaihtoehtojen huono liiketaloudellinen kannattavuus, rypsiä valmistettu biodiesel-RME olisi noin 3 - 4 kertaa kalliimpaa kuin veroton diesel polttoöljy ja viljapohjainen etanoli noin kolme kertaa kalliimpi kuin veroton bensiini. Ruokohelpin käyttö sellaisenaan kesantopelloilta kiinteänä polttoaineena olisi myös kalliimpaa kuin turve tai kivihiili, erällä maatalouden tukijärjestelmän kesantoalueilla se saattaisi laskennallisesti olla kilpailukykyinen, mutta laajempi käyttö ei nykyhinnoin näytä todennäköiseltä. Yllämainittujen syiden vuoksi päätettiin selvittää vielä eräitä edullisimpien vaihtoehtojen teknisiä yksityiskohtia ja lisäksi hakea taloudellisesti edullisia peltokasvien yhteiskäyttöön tai komponenttikäyttöön perustuvia ratkaisuja. Projektin tavoitteena oli hakea niin Suomeen sopivia non-food-ratkaisuja kuin selvittää suomalaisen vientiteknologian tuotteiden sopivuutta pelto-biomassoille niin kattiloiden ja vastaavien kuin moottoreiden osalta.

2 TULOKSET

2.1 RYPSIÖLJYN KÄYTTÖKOKKEET

Mildola Oy:n kylmäpuristettua rypsiöljyä on käytetty 5 - 30 % seoksilla kevyen polttoöljyn komponenttina Neste Oy:n polttokokeissa Sköldvikin polttolaboratoriossa. Kevään 1995 vuosiseminaarissa kuultiin Jorma Virkin esitys tuloksista. Kenttäkokeissa on havaittu polttimen palopään karstaantumista eräissä käyttöolosuhteissa, lyhytaikaiskokeet antoivat laboratorio-kokeissa varsin hyviä tuloksia. Vuoden 1995 aikana on jatkettu karstanmuodostuksen syiden ja poistovaihtoehtojen selvittämistä, mutta toistaiseksi ei ole löydetty riittävän hyviä vaihtoehtoja pitkäaikaiskäyttöön, työ jatkuu edelleen. Koska rypsiöljyn esteröinti lisää tuotantokustannuksia noin 50 - 80 p/l, olisi ra'an rypsiöljyn käyttö esteröimättömänä luonnollisesti edullisempaa vaikkakin silti kallista. Eräissä Euroopan maissa se olisi jo nyt kilpailukykyistä paikallisten veroratkaisujen vuoksi, ja myös RME:n käyttö on siksi laajenemassa.

VTT on suorittanut moottorikokeita rypsiseoksella, jossa on 20 % rypsiöljyä, 5 % RME:ä ja 75 % dieselöljyä. Tavoitteena oli löytää hinnaltaan halvempi, seoskäyttöön sopiva seos, jota voitaisiin käyttää normaaleissa moot-

toreissa ilman muutoksia. Sekä pakokaasumittaukset että tuhannen tunnin kestoproovit suoritettiin Sisu-Valmet-nelisyntetisellä moottorilla VTT:n moottorilaboratoriossa Otaniemessä. Suoritetuissa testiajoissa ei havaittu mitään normaalista poikkeavaa, pakokaasupäästöt vastasivat dieselöljyllä mitattuja arvoja. Myöskään pitkäaikaiskokeissa ei havaittu mitään käyttöhäiriöitä aiheuttavia karstaantumisia. Työ jatkuu mahdollisesti muuttaman traktorin kenttäkokeena ennenkuin voidaan arvioida uuden polttoaineseoksen todellinen käyttökelpoisuus. Syksyllä 1995 seokselle myönnettiin patenttisuoja. Myös Wärtsilä Diesel Oy on suorittanut testejä puhtaalla rypsiöljyllä hyvin tuloksin.

2.2 KÄYTTÖ KIINTEÄNÄ POLTTOAINEENA

Eri olkiladuilla ja ruokohelpillä suoritettiin poltto-, kaasutus- ja flash-pyrolyysikokeita, joiden tarkoituksena oli selvittää, miten ko. polttoaineet sopisivat yhteiskäyttöön muiden kotimaisten polttoaineiden ja mahdollisesti hiilen kanssa. Peltobiomassojen tuhkapitoisuus on yleensä korkeampi ja tuhkan sulamispiste matalampi sekä klooripitoisuus korkeampi kuin turpeella ja puulla. Siksi niiden laajamittainen poltto on yleistynyt hitaasti, joskin Tanskassa on tarkoitus lisätä oljen energiakäyttöä nykyisestä 0,3 milj. tonnista vuodessa noin 1,3 milj. tonniin vuoteen 2000 mennessä. Yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa on Tanskassa kolme laitosta tällä hetkellä, joista kaksi on arinakattilaa ja yksi Grenån kiertoleijukattila, jossa poltetaan 50/50 % hiiltä ja olkea.

Laboratoriomittakaavaisessa leijukerosreaktorissa tehtiin eri olkien ja ruokohelpien polttokokeita puhtaina ja seostettuna jyränturpeeseen ja hiileen. Pedin sulamiskäyttäytymistä seurattiin patjasta tapahtuvan näytteenoton avulla ja tuloksia verrattiin normien mukaiseen sulamispisteen määrittämiseen. Antero Moilanen esittelee tässä vuosiseminaarissa lähemmin saatuja tuloksia. Seoskäyttö turpeen joukossa näyttäisi teknisesti ongelmattomammalta kuin esim. pelkän oljen poltto tai yhteispolttu puun kanssa. Toisaalta polttoa helpompia ratkaisuja ovat kaasutus- ja flash-pyrolyysiprosessit, koska niissä lämpötilat eivät kohoa niin korkealle kuin poltossa ja siten tuhkan käyttäytymiseen voidaan saada lisää ratkaisumahdollisuuksia. Esim. flash-pyrolyysillä tuotetun olkiöljyn alkalipitoisuus jäi laboratoriokokeissa alle yhden ppm:n, kun tuotekaasut suodatettiin ennen öljyn talteenottoa. Kokeita tullaan jatkamaan EU:n yhteistyöprojekteissa laboratoriomittakaavassa ja niiden perusteella tuetaan laitevalmistajien vientiponnisteluja ja käyttökokeita Suomessa. Merkittävin koehanke Suomessa tulee olemaan Vapo Oy:n ruokohelpin viljely- ja käyttökokeet Oulussa, jonka jälkeen lähivuosina tunnetaan varsin tarkasti niin ruokohelpin viljely- ja käyttötekniikka kuin sen kustannukset. Todettakoon, että Ruotsissa viljellään ruokohelpiä noin 5000 hehtaarin alalla ja energiapajua noin 15 000 hehtaarin alalla.

Flash-pyrolyysikokeita varten rakennettiin VTT:lle Espooseen 1 kg/h laitteistoon uusi suodatusyksikkö, jolla on voitu valmistaa korkealaatuista bioöljyä eri olkilaaduista.

Tämän projektin tuloksia on raportoitu myös EU-Apas-ohjelman puitteissa eurooppalaiselle forumille, missä tanskalaisiin ja italialaisiin olosuhteisiin ja hintoihin verrattuna on laskettu eri peltoenergiavaihtojen kanattavuutta. On luonnollista, että koska Tanskassa ja Italiassa bioenergiapohjaiselle sähkön ja lämmön tuotannolle annetaan verotukea, niin myös teollinen mielenkiinto uusien laitosten rakentamiseen on kasvamassa. Ruotsissa sen sijaan verotuet liittyvät lähinnä kauko- ja aluelämmityskäyttöön. Muissa Keski-Euroopan maissa verotuet liittyvät liikenteen biopolttonesteiden valmistukseen.

2.3 AGROKUIDUN VALMISTUS

Tässä alaprojektissa on kehitetty VTT:n ja TKK:n yhteistyönä uusia, pienen mittakaavan agrokuidun valmistusprosesseja, joita on tutkittu laboratorio-mittakaavassa. Tavoitteena olisi integroida aluekohtainen agrokuidun ja bioenergian tuotanto, ja täten laskea ja eräissä maissa poistaa kokonaan tukitarve. Kolme uutta keittomenetelmää on identifioitu, joilla on laboratoriokeitoissa voitu valmistaa riittävän hyvälaatuista paperikuitua pääasiassa pellavasta. Tarkoituksena on, että keittomenetelmien tulee sopia myös eri olkilaaduille, vaikka silloin valmistettaisiinkin matalampiarvoista lyhytkuitua. Noin 30 - 50 000 t/a tuottavat agrokuitulaitokset voisivat syöttää isoa paperikonetta, jossa agrokuituja voitaisiin seostaa perinteisten kuitulaatujen joukkoon halutussa suhteessa. Myös valkaisu voidaan suorittaa joko kuidutuksen tai paperikoneen yhteydessä. Tutkimus tähtää ennenkaikkea vientimarkkinoille, vaikkakin rajattu käytön demonstrointi voisi tulla kyseeseen Suomessakin. Kuluvan kevään ajan viimeistellään eri agrokuituprosessien teknistaloudelliset laskelmat ja tehdään mahdolliset ehdotukset jatkotoimiksi. Vertailussa on mukana myös perinteisiä agrokuitukeittomenetelmiä. Tämän projektin puitteissa on pidetty yhteyttä myös MTT:n ja Pöyryn agrokuituprojektiin, jossa kuidutusprosessit ovat erilaisia ja työt täydentävät tältä osin toisiaan.

PELTOTBIOMASSOJEN ESIKÄSITTELY JA PRO- SESSOINTI ARVO-, BULKKI- JA ENERGIAKUI- TUJAKEIDEN TUOTTAMISEKSI - 310

Pekka Vilppunen & Jorma Sohlo
Oulun yliopisto
Prosessiteknikan osasto
PL 444
90571 Oulu
Puh. (981) 553 2300
Faksi (981) 553 2304

Abstract: Pretreatment and processing of field biomasses for production of precious, bulk and energy fiber fractions

The objective of the research was to make a preliminary study on pretreatment and processing possibilities of different field biomasses for production of specific product fractions with dry and wet separation methods.

Pretreatment processes and possible combinations, before pulping and energy production, were studied in the dry-fraction part of the research. Sieving technology, air-classifier and a collision separator were tested. Additionally, the fuel processing systems of present power/thermal plants were studied in practise. A new type of separation system, based on removal of fines with collision-separator, was designed in the sub-project. The results of the sub-project are now utilized in other researches of the Bioenergy Research Programme.

Separation processes for energy and fiber fractions, predominantly those for seed flax, using traditional pulp classifiers and the new pressure classifier process were studied in the wet-separation part of the project.

A combined plant fiber further-refining process, based on mechanical and biotechnical separation, operating on the basis of fiber length, was developed on the basis of dry and wet fraction tests.

1 JOHDANTO

Suomessa ei ns. nonwoodkasveja ole käytetty sellun tuotannon raaka-aineena. Nykyiset sellutehtaat eivät ole suunniteltu käyttämään korsimaista raaka-ainetta ja niiden konekanta vaatii muutoksia. Kotimaiset tutkimukset

ovat painottuneet etsimään sopivia nonwoodkasveja hienopaperin raaka-aineeksi. Sopivia peltokasveja ovat mm. ruoko ja pellava.

Kuitumaisten raaka-aineiden ominaisuudet kuten kasvikuitujen muoto, koko ja kuituseinämän rakenne vaihtelevat. Raaka-aine vaatii sopivan esikäsittelyn, joka voidaan tehdä kuivana, märkänä tai näiden yhdistelmällä.

Peltobiomassojen käytön yhtenä ongelmana sellun tuotannon raaka-aineena on korsien silikaattipitoisuus. Silikaatti liukenee perinteisessä sulfaattikeittossa keittoliemeen ja kumuloi edelleen lämmönvaihtimille. Mekaanisilla esikäsittelyillä ei voida poistaa silikaattiongelmaa, mutta voidaan huomattavasti vaikuttaa kuitujakautumaan ja myös tuhkapitoisuuteen. Peltobiomassat vaativat uudet silppuamisyksiköt ja mahdollisesti myös fraktiointiyksikön.

Energian tuotannossa olkea/ruokoa voidaan polttaa muiden polttoaineiden seassa. Edellytyksenä on riittävän lyhyt silpun pituus. Olkien poltossa on ongelmana tuhkan alhainen sulamislämpötila, mikä ei kuitenkaan häiritse leijupetipoltossa. Ruokojen poltossa tuhkan sulaminen ei ole ongelma.

Nykyisten lämpö/voimalaitosten kuljetus- ja käsittelyjärjestelmä ei ole suunniteltu korsimaiselle polttoaineelle, joten laitoksissa tarvitaan polttoaineenkäsittelyn erityisratkaisuja. Oljet/ruo'ot on toimitettava nykyisiin laitoksiin lyhyenä silppuna tai laitoksiin on rakennettava erilliset silppuriyksiköt. Ongelmana on myös tuottaa oljet/ruo'ot kilpailukykyiseen hintaan polttolaitokseen.

2 TAVOITTEET JA TOTEUTUS

Esitutkimuksen tavoitteena oli selvittää alustavasti eri peltobiomassojen (järviruoko, ruokohelpi, kuitu- ja öljypellava) esikäsittely- ja prosessointimahdollisuudet erilaisten spesifisten tuotejakeiden

- * arvokuidut (laatutuotteiden valmistus)
- * bulkkikuidut (alempiarvoiset valmisteet)
- * energiakuidut

tuottamiseksi käyttäen hyödyksi erilaisia kuiva- ja märkäerotusmenetelmiä. Käyttäen optimiesikäsittelyprosessia voidaan oleellisesti parantaa peltobiomassojen kustannustehokasta hyödyntämistä kuidun ja energiatuotannossa ohjaamalla oikea jae oikeaan hyödyntämisprosessiin.

Tutkimusvaiheet olivat

- * kullekin peltobiomassalle optimaalisen erotusmenetelmän (kuiva ja/tai märkä) valinta nykytietämyksen perusteella
- * käytännön laboratorio- ja pilotkoeajot kuiva- ja märkäerotuslaitteilla (fraktioinnit, pumppauslajittelut, ymv.). Pölynpoiston ja seulonnan soveltuvuus epäpuhtauksien poistoon, koelaitteiden suunnittelu. Optimaalisen esikäsittelyjärjestelmän suunnittelu (seulamalli, sykloni/laskeutuskammio + -tyyppi).
- * kaupallisten esikäsittelyjärjestelmien kartoitus ja soveltuvuuskohteiden selvitys, kustannustarkastelu
- * peltobiomassoille soveltuvien kuljetinjärjestelmien kartoitus ja ongelmakohtien (murskaimet, seulat ym.) selvitys olemassa olevissa lämpö/voimalaitoksissa
- * koetulosten analysointi ja tulosten perusteella tehtävät jatkotoimenpideehdotukset

2.1 KUIVAFRAKTIOINTI

Kirjallisuusselvityksessä tarkasteltiin esikäsittelyprosesseja ja mahdollisia kombinaatioita. Erotusprosesseista testattiin seulonta, ilmaluokitin ja törmäyserotin. Energiaselvityksessä tarkasteltiin nykyisten voima/lämpölaitosten käsittelyjärjestelmät esimerkein ja polttokokein. Lopussa esiteltiin hahmotelma peltobiomassojen laatuluokituksesta polttolaitoksia varten.

Peltobiomassoille tehtävät käsittelyt ennen polttoa ja sellun valmistusta ovat paljolti samanlaisia. Käsittelyt eroavat siinä, että ennen sellun valmistusta fraktioita voidaan murskauksen lisäksi käsitellä esim. pneumaattisesti hienoaineksen poistamiseksi. Poltossa korsien hienoaineista ei tarvitse poistaa. Esikäsittelyistä testattiin seulontaa ja ilmaluokitusta. Ilmaluokittimen ylittään (poistettava jae) tuhkapitoisuus oli yli 11 % ja tuotteen tuhkapitoisuus oli alle 3 %, joten tuhkapitoisuus laski huomattavasti. Ilmaluokitin soveltuu siis hienoaineksen erotukseen. Raaka-aineena oli keväällä 1995 korjattu järviruoko.

Seulonta poistaa myös hienoaineksen tehokkaasti, mutta seulontamekanismi on kallis. Seulonta voidaan kuitenkin liittää ilmaluokitinprosessiin, mikäli lopputuote vaatii lisäpuhdistusta.

Energiataloudellisessa selvityksessä tarkasteltiin nykyisten laitosten käsittelyjärjestelmiä ja mahdollisia ongelmakohtia ja parannusehdotuksia. Esi-merkkitapauksina olivat Oulun Kemiran 42 MW:n leijupeti ja 55 MW:n pyroflow-kattila, jolla tehtiin seospolttokokeita tavoitteena selvittää korsimaisen jakeen soveltuvuus käsittelylaitteisiin. Kattiloiden pääpolttoaine on jyrsinturve ja muita polttoaineita ovat palaturve ja puru.

Kokeissa poltettiin 200 m³ silputtua järviruokoa. Järviruo' on syöttö aiheutti tukoksia kiekkoseulalle, murskalle ja syöttösuppilon. Nämä saatiin estettyä sekoittamalla ruoko jyrsinturpeeseen ja puruun. Tällöin seos meni linjoista hyvin lävitse ja poltossa ei ollut ongelmia. Kokeiden tulosten perusteella tulee kuitumainen jae syöttää mahdollisimman lähelle kattilaa. Tällöin estetään mahdolliset tukkeutumiset ja palot kiekkoseulalla, murskaimella ja siilossa.

Pitkähköjen korsien syöttö edellyttää lisälinjan rakentamista tai ruokojen hyvää sekoittamista joko turpeeseen tai puruun ennen kiekkoseulaa. Tällöin seos valuu helposti kiekkoseulan lävitse. Poltossa ei havaittu kokeiden aikana ongelmia. Etuna oli purun ja ruokojen poltosta aiheutuva rikkipäästöjen pieneneminen.

2.2 MÄRKÄFRAKTIOINTI

Esitutkimuksen II osan tavoitteena oli tutkia agrokuidun märkäfraktiointia ennen sellun valmistusta. Tutkittava agrokuitu oli kuivana varastoitu öljypellava, joka oli viljelty Pohjois-Pohjanmaalla vuonna 1994. Kirjallisuusosassa perehdyttiin ruokojen ja pellavien kuituominaisuuksiin, tuottamiseen ja kustannuksiin sekä märkälajitteluun.

Kokeellisessa osassa tutkittiin öljypellavan kuitujen ja puumaisen osan, päistäreän, erottamista märkäfraktioinnilla. Kokeiden tavoitteena oli säilyttää kuidun pituus. Kokeiden edetessä huomattiin, että korren pituutta täytyi lyhentää kuivana, jolloin kuidun pituus lyheni. Pellavakorret lyhennettiin oksasilppurilla ja arkkileikkurilla sekä murskattiin vasaramyllyllä. Liotuksen jälkeen massa täytyi hajottaa ja jauhaa ennen lajittelua. Hajottimina ja jauhimina olivat pulperi, levyjauhin ja hollanteri. Lajittimina käytettiin täryseulaa, pyörrepuhdistinta ja painelajitinta. Kokeiden tavoitteena oli öljypellavan käsittely vain märkänä, mutta vertailuna tutkittiin mahdollisuutta lajitella öljypellava myös kuivana.

Hollanteri soveltui öljypellavan hajottamiseen parhaiten. Perinteinen pulperi ei soveltunut öljypellavan hajotukseen, koska se muodosti roottorin ympärille kerän. Levyjauhin soveltui öljypellavan jauhukseen huonosti. Se jauhtoi öljypellavaa hitaasti, koska liian suurella syöttömäärällä jauhinterien väliin muodostui kuitukimppuja.

Vain painelajitin toimi öljypellavan lajittelussa. Tärylajitin fraktioi massan pituuden mukaan erottamatta kuituja ja puumaisia osia. Pyörrepuhdistin ei soveltunut pitkien kuitujen ja puumaisien osien erottamiseen.

Pellavakorressa on puumaisia osia yleensä 70 - 80 p-%. Painelajittimen syöttösirtauksessa oli selvästi erotettavia puumaisia osia vain 12 - 13 p-%, kun rejektivirtauksessa niiden määrä oli yli 60 p-%. Puumaisista osista on suurin osa muuttunut hienoaineeksi esikäsittelyiden aikana. Märkälajittelussa hienoaineen määrän suuri kasvu on ongelma, koska kuitujen ja puumaisien osien erottaminen hienoaineksesta vaikeutuu.

Kuitujen ja puumaisien osien erottaminen onnistui seulonnalla, kun kuivat öljypellavat murskattiin hienoksi pölyksi. Murskauksessa kuidut vahingoittuvat, mutta mekaanisella käsittelyllä (breaking) tämä voidaan estää. Mekaaninen käsittely soveltui kuitujen erottamiseen hyvin, sillä kuiduissa on päistärettä ja hienoainesta jäljellä vain 20 p-%.

Märkäkäsittelyä tulee edeltää kuiva esikäsittely, jolla öljypellavan korsista poistetaan energiajaa (päistäre) ja hienoainesta. Ratkaisulla säästetään märkäkäsittelyssä lajittimien kokoa ja kuitujen erottaminen epäpuhtauksista helpottuu kuitujen osuuden kasvaessa. Suunnitellut käyttökohteet ratkaisevat kuinka pitkälle korren esikäsittelyä kannattaa jatkaa.

3 TULOKSET JA JATKOTOIMENPITEET

Lopputuloksena kuiva- ja märkäfraktiokokeista suunniteltiin yhdistetty mekaaniseen ja biotekniseen erottamiseen perustuva ja kuitupituuden mukaan toimiva kasvikuitujen (niinikuidut) jatkojalostusprosessi. Perustana ko. prosessin kehittämiselle on lopputuotteen (sellu/paperi, komposiitit, eristeet ymv. kuitutuotteet) edellyttämä kuitupituus, mikä taas ohjaa omalta osaltaan esikäsittely- ja erotusprosesseja.

Jatkoprojektin tavoitteena on kehittää märkä- ja kuivaerotusmenetelmiä hyödyntävä ja kuitupituuteen perustuva esikäsittely- ja prosessointimenetelmä kasvikuiduille kuten öljy- ja kuitupellava sekä hamppu.

Projekti toteutetaan seuraavin toimenpitein:

- 1) Prosessikokeet (laboratorio- ja pilot-kokeet) kuidun ja kuitukimppujen erottamiseksi korresta eri fraktioihin
 - * mekaaniset erotusmenetelmät (esikäsittely/painelajittelu)
 - * biotekniset erotusmenetelmät (entsymaattiset ja vast.)

- 2) Laatu-testit lopputuotteen edellyttämien vaatimusten perusteella (mm. kuitutestit, paperiteknisten omin. määrittäminen)
- 3) Teknistaloudellinen tarkastelu eri prosessivaihtoehdoille lopputuotteen kuidun laatuvaatimusten perusteella.

Jatkossa kehitettävän kuidutusprosessin arvioidut edut ovat:

- * suljettu kiertoprosessi
 - kuidutusprosessin liuotusvesien minimointi ja niiden regenerointi käytettäväksi uudelleen kuidutusprosessissa
- * hienoaineksen hyödyntäminen
 - peltobiomassojen hyödyntämisessä (sellu/paperiteollisuus) ongelmallisen hienoaineksen käyttö tukemaan bioteknisen erotusprosessin tehokkuutta
- * lopputuotteille (paperi, komposiitit, eristeet, tekstiilit) optimaalisen kuitupituuden tuottaminen sekä energiajakeen erottaminen jo prosessin alkuvaiheessa.

4 JULKAISUT

Aaltonen, H. Agrokuidun raaka-aineen tuottaminen ja fraktioiminen merkänä kuituteollisuudelle. Diplomityö, Oulun yliopisto, Prosessitekniikan osasto, mekaanisen prosessitekniikan laboratorio, 83 s. + liit. 6 s., Oulu 1996.

Puuronen, M., Vilppunen, P. Peltobiomassojen fraktiointi. Oulun yliopisto, Prosessitekniikan osaston julkaisuja, raportti 169. 79 s. + liit. 3 s. Oulu 1996 (painossa).

UPGRADED FUEL FROM REED CANARY GRASS - 308

Veli-Pekka Heiskanen
VTT Energy
P.O. Box 1603
40101 Jyväskylä
Tel. +358 41 672 611
Fax +358 41 672 596

INTRODUCTION

The feasibility of RCG for commercial utilization depends primarily on its applicability for pulp production and its use in energy production will be based on the residue that will be available after extracting the pulp fraction of the RCG. Roughly 20..30% of the material will be available for energy production purposes. However, the percentage may be higher/lower depending on the quality standards of the pulp fiber material.

The harvesting period has a significant effect on the fuel characteristics of RCG. For instance the contents of N, S, Cl, K are clearly lower if the RCG is harvested in the spring (delayed) instead of summer/autumn. These elements affect significantly overall emission formation and ash behaviour and its melting temperature. The combustion related research in this project has been focused on the spring-harvested RCG.

The project aims to evaluate the feasibility of delayed harvested RCG for energy production. In order to reach this goal, the following combustion methods will be tested and studied:

- combustion of pelletized RCG
- gasification
- combustion of pulverized RCG

In addition, pelletizing, reactivity and NO conversion of pulverized RCG will be studied.

The research described here is a part of "Reed Canary Grass" project (in AIR programme). The contractors of the project are Swedish University of Agricultural Sciences (coordinator), United Milling Systems from Denmark,

Jaakko Pöyry Oy and VTT Energy. In addition, there are partners from several countries participating in the project. The project has been divided in five tasks, VTT Energy being responsible for combustion related task "Upgraded fuel" that includes the research topics discussed in this paper.

Total funding for VTT Energy's contribution in the project is 990 000 Fmk, coming from following sources:

AIR programme	357 000 Fmk
Ministry of Agriculture and Forestry	89 000 Fmk
Bioenergy Research programme	290 000 Fmk
VTT Energy + others	254 000 Fmk

Funding for VTT Energy's tasks in 1995 was 200 000 Fmk. The project was started 1995 and will be finished until the end of 1998.

RESULTS

During the first year of the project, work has been carried out in following subtasks of the project:

- pelletizing of intermediate fuel fraction
- combustion tests with 300 kW residential boiler
- reactivity and NO conversion of pulverized RCG

The results are described in detail in following sections.

PELLETIZING OF INTERMEDIATE FUEL FRACTION

RCG pelletizing tests were made at VTT Energy. Tests were carried out with a field pelletizer that is presented in Figure 1. The main components of the pelletizer 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 the fine particles will be mixed to the material flow on a conveyor belt.

The main dimensions and parameters of the roller mill are:

- | | |
|------------------------|--------|
| - diameter of the die | 780 mm |
| - thickness of the die | 60 mm |
| - hole length | 55 mm |

- hole diameter 12 mm (13 mm at the conical upper end of the holes)
- holes in nine rows
- width of the roller wheels 100 mm

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 energy fraction. The RCG is originally from Sweden, its variety is Palaton and it has been harvested in spring 1993. The particle size distribution of energy fraction is as shown in Table 1. The energy fraction consists of particles that are smaller than 2 mm. In addition to the particle size distribution, the fuel characteristics shown in Table 2 were determined.

The tests were started using pure RCG as raw material. However, pelletizing was not very succesful and the proportion of the fine particles at the sieve was high. Thus only approximately 10 % of the material input to the roller mill was pelletized and the rest (fine particles) was recirculated from the sieve back to the roller mill. Because during 50 minutes of operation only less than 100 kg could be pelletized, equaling a production capacity in order of 100 kg/h, the test was finished. The production capacity of the field pelletizer with peat is normally 1000 - 1500 kg/h and it was supposed to be with RCG between 500 - 1000 kg/h. It seemed obvious that the material is flowing through the roller mill holes too easily without the necessary resistance and consequent pressure in the holes. This is probably due to the low moisture of RCG, since it has been found out in the pelletizing tests with straw when a similar type of field pelletizer has been used (Ståhlberg et al., 1983) that the pelletizing can be succesful only in a limited moisture range. In case of straw that was 16 - 24 %.

In order to increase the moisture of the material, water was sprayed on the material on the conveyor belt before the roller mill. However this did not change the pelletizing more effective, the production capacity remained low. Obviously the moisture should be inside the particles, in case of spraying water it stays on the surface of the particles, not absorbed inside. As a consequence of limited resources for this subtask there was no possibility to prepare RCG:s with different moistures and make a new set of tests.

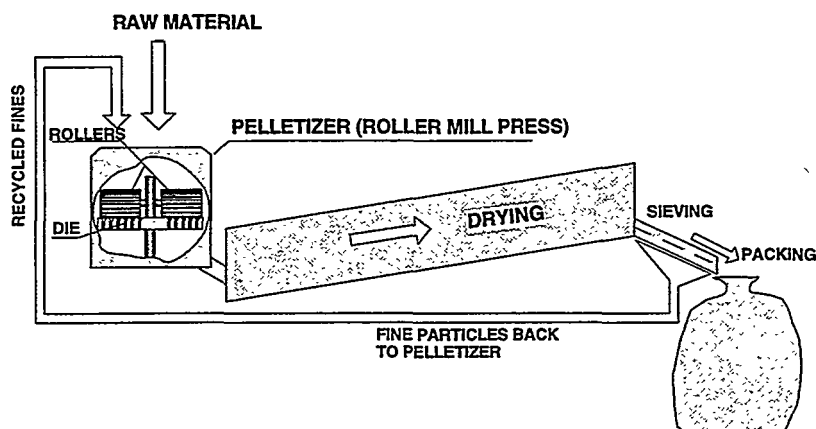


Figure 1. Field pelletizer.

In the following test peat was mixed with RCG. Its percentage in peat/RCG mixture was around 10 %. This way it was possible to pelletize RCG with a reasonable production capacity, the proportion of recirculated material was estimated to be in order of 10 - 20 %. During the test following parameters were measured giving the results:

- production capacity	700 kg/h
- energy consumption (diesel)	175 kWh/ton equal to 4.2 % of the energy content of the pelletized material
- electric power consumption	70 kWh/ton (equal to 1.7 %)
- electric power	48 kW

As expected the production capacity was lower than achieved with peat. This is obviously due to lower bulk density of RCG. The energy consumption of the diesel engine corresponded 4.2 % of the energy input in the material feed. In case of not using a diesel engine for power generation, there should be at least 50 kW of electric power available at the site where the material will be pelletized.

In addition, a standard crumbling test was carried out with the pellets. Crumbling tests simulate the effect of handling and transportation on the pellets. Table 3 shows a comparison with the results obtained for other pellets (Ståhlberg et al., 1983). According to the results, mechanical strength of RCG pellets is comparable with strength of straw pellets.

Table 1. Particle size distribution of RCG energy fraction.

Particle size, μ	%
> 2000	0.0
1000 - 2000	23.2
500 - 1000	38.3
250 - 500	23.8
125 - 250	6.0
< 125	8.7

Table 2. Fuel characteristics of RCG energy fraction.

Moisture, %	14.8
Ash content, %	9.38
Volatiles, %	74.3
Lower heat value (dry basis), MJ/kg	17.0
Lower heat value (as received), MJ/kg	14.1
Calorific heat value, MJ/kg	18.2
Elemental analysis	
C, %	45.0
H, %	5.55
N, %	0.84
O, %	39.1
S, %	0.11

Table 3. Crumbling test results.

Material, moisture	Material on the sieve after the test, %
RCG, 14 %	84 - 87
Peat, 15 %	94 - 98
Peat, 35 %	90 - 95
Straw, 16-18 %	88 - 91
Straw, 24-25 %	63 - 67

Self heating of pellets was studied with thermocouples that were set in 5 points of a stored heap of RCG pellets to indicate possible heating effects. A storage heap was around 1.5 m³ containing 1100 kg of pellets. On the basis of the self heating tests with straw fuel it was supposed that the self heating of RCG pellets will start during first days. Therefore the temperatures were followed actively during one week. After that the pellets were shipped for the combustion tests that are explained in following section. All the measured temperatures were perfectly stable during the whole week. Thus, as it was

expected because of the low moisture of the material, there was no sign of self heating effects.

One test was carried out using material with rougher particle size distribution. The material was of same RCG, but it was received in bales from United Milling Systems. The bales were milled at VTT Energy and there was no separation in pulp and energy fractions. The particle size distribution after milling is presented in Table 4.

Table 4. Particle size distribution of RCG after milling.

Particle size, μ	%
>10000	1.9
5000 - 10000	4.0
2000 - 5000	44.2
1000 - 2000	26.1
500 - 1000	11.9
250 - 500	7.4
125 - 250	3.5
< 125	1.0

The moisture of the material was 14.3 %, almost exactly as the moisture of the energy fraction. Pelletizing was succesful in the beginning during the first 10 minutes producing around 100 kg of pellets. The proportion of fine particles at the sieve increased gradually and the production rate decreased unreasonably low. The test was finished then. Obviously in this test as with the energy fraction also, the increase of the proportion of fine particles at the roller mill will result in insufficient pressure in the die holes or at least in some of them. As a consequence, smaller proportion of material will be pressed to pellets and the amount of recirculating material increases and finally production rate becomes very low.

The tests with the field pelletizer indicate that the moisture of the RCG should be higher than that of the tested material. Consequently the pressure in the die holes would increase and proper pelletization without adding peat could be possible. Another measure to improve pelletization could be a different die that has a smaller hole diameter or the conical part at the upper end of the holes is wider and longer than in the test die.

COMBUSTION TESTS WITH 300 KW RESIDENTIAL BOILER

Experimental device

Combustion tests were carried out with a 300 kW boiler that is normally fired with sod peat and occasionally with wood chips. The boiler is originally designed to use light oil but it has been retrofitted for solid fuels with a new burner and some modifications. The boiler and the burner are presented in Figures 2 and 3.

The burner and the boiler modifications were designed at VTT Energy, details in Ref. (Oravainen, 1995). The boiler is equipped with all necessary measuring ports for carrying out the planned measurements, since tests with sod peat have been performed earlier in 1995. The results of those tests give a possibility for comparisons. The tests were carried out in order to obtain information of:

- capacity
- ash behavior in fuel bed
- flue gas emissions: CO, NO_x, SO_x, PAH, particulates

All listed parameters are important in assessing technical and environmental applicability of RCG as a fuel in residential-scale boilers.

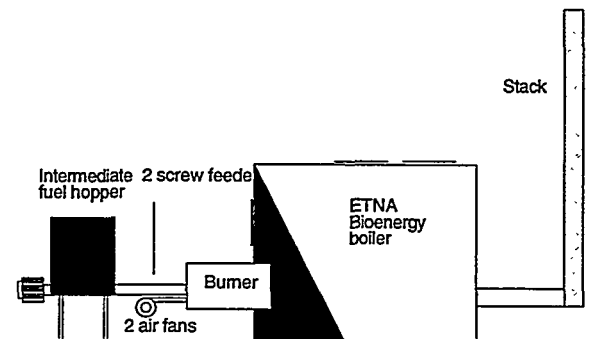


Figure 2. 300 kW residential solid fuel boiler.

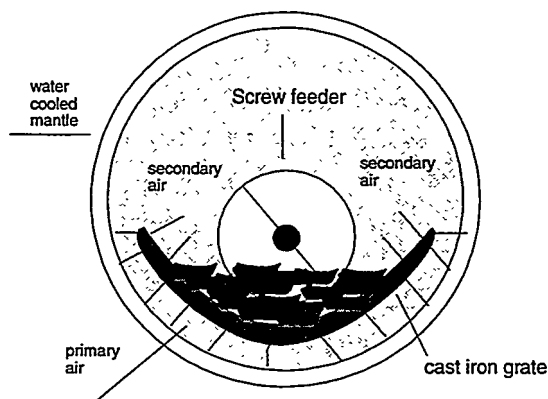


Figure 3. Burner.

Fuel characteristics

The combustion tests were carried out using the pellets made with the field pelletizer. The main fuel characteristics were as presented in Table 5. 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 heat 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.

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 6 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.

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. This is due to less complete gas phase combustion. RCG pellet combustion decreases SO₂ content of flue gas in comparison with sod peat as was expected because of the lower sulfur 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 of air. Increase in excess of 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 5, the initial deformation temperature of RCG is relatively low. It was observed by studying the ash afterwards that there was no indication of ash melting. However, partial deformation may cause bridging between the pellets and prevent the air pass through the bed. The bridging between the pellets can not be very strong since there was no clear indication of that in the ash that was removed from the bottom of the boiler after the test. Laboratory analyses of ashes showed surprisingly 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 test it is evident that this type of burner is not applicable for RCG pellet combustion without modifications. Probably the air feed through the fuel bed could be improved by using some kind of stirring or blender of the bed that breaks the bridging between fuel particles.

Table 5. 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

Table 6. The contents of main components in flue gas.

Fuel	O ₂ , %	CO ₂ , %	CO/CO _{ref} , ppm	SO ₂ /SO _{2ref} , ppm	NO _x /NO _{xref} , 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

Table 7. The contents of solid particles and PAH compounds (corresponding 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

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 7.

The contents of solid particles in flue gas are of same order, the PAH content is clearly lower in case of RCG pellets. The distribution to different PAH compounds with both fuels is quite similar, naphthalene and dibenzofuran being the main components. Formation of different hydrocarbons usually correlates with CO formation indicating less complete combustion. However, in RCG combustion test CO content was very high and PAH content very low in comparison with those in sod peat combustion. As mentioned, in RCG pellet combustion the excess of air is clearly higher and should result in lower CO and PAH contents. This is especially true when the excess of air is in usual range, for instance 0 - 50 %. With higher excess of air the conditions in the fuel bed and above it change because of the cooling effect of the air excess. As a consequence, the temperature level above the bed is lower. Probably it is in this case low enough to prevent complete CO combustion. The lower PAH formation rate may depend somehow on less air staging since the primary air feed was practically blocked. In any case, the amounts of PAH compounds are low. Typical values in residential-scale combustion are in order of hundreds of $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

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 experimental procedure is explained in detail in Ref. (Aho et al., 1989). For the tests the particle size of samples were sieved to be between 63 - 100 and 100 - 125 μm . Flue gas was analyzed with FT-IR spectrometer and conventional gas analyzers. For reactivity measurements samples were taken at various heights in the combustion tube. The samples will be analyzed in order to determine how the initial mass of the sample has changed as its combustion proceeds. The percentage of burnout at different heights will be calculated on the basis of ash enrichment in the sample.

The combustion conditions (gas composition and temperature) can be chosen in certain limits. In these tests the temperature was set to 860 °C. Since reactivity and NO conversion both depend on oxygen content of the gas, the oxygen content was set to 5 and 10 % in various tests. In a single test the temperature varies about 20 °C and the oxygen content about 1 % around the fixed value.

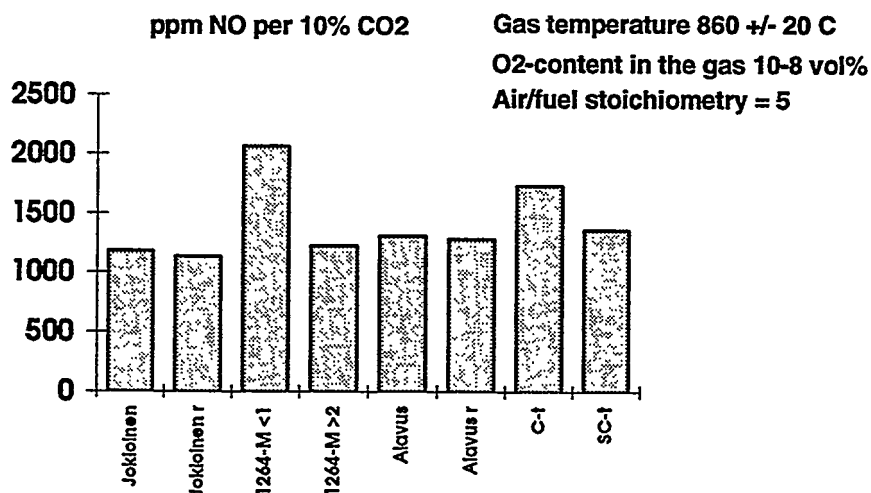


Fig 5. Results of NO conversion tests.

Since the tests were carried out recently, the results has not been analyzed yet. However, Figure 5 shows some results of NO conversion tests. The absolute scaled values (to 10 % of CO₂) of NO are much higher than in practical combustion systems since the suspension is leaner and there are 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 show the NO formation from peat samples for comparison. The NO formation is of same order. The values of measured contents follow the nitrogen contents in corresponding samples regardless the fuel. The detailed results including the results of reactivity tests will be described in next progress report. RCG samples with different characteristics (harvesting period, fertilization) will be compared. The results will be compared with reactivities and NO conversion rates measured for other fuels.

SUMMARY

RCG pelletization tests with a field pelletizer indicate that the structure of the die used in these tests is not optimal for RCG. Sufficient compression for pelletization can not achieved in the material since it passes the die without necessary resistance in die holes. This could be avoided probably by using another type of die having a longer conical entrance into the die holes or using

a die with smaller hole diameter. RCG could be pelletized when it was mixed with peat.

The emissions from RCG pellet combustion did not exceed those of sod peat excluding CO emission that was clearly higher and NO_x that was somewhat higher. The tests were carried out with a sod peat burner. For RCG pellet combustion the burner should be modified in order to avoid the problems caused by RCG ash behavior. The initial deformation temperature of RCG ash is quite low in comparison with other fuels. Therefore the fuel and ash particles may, because of bridging between the particles, form a layer that at least partially blocks the air feed and prevents proper combustion.

Reactivity and NO conversion tests were started. The results will be reported in next progress report. Preliminary results do not indicate any higher tendency for NO formation in pulverized RCG combustion than with pulverized peat.

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-Pacific 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 leys, 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.

PIENIMUOTOINEN POLTTO- JA VOIMALAITOS-
TEKNIikka

PUUTA KÄYTTÄVIEN TULISIJA- JÄRJESTELMIEN KEHITTÄMINEN - 302

Heikki Oravainen
VTT Energia
PL 1603
40101 Jyväskylä
Puh. (941) 672 532
Faksi (941) 672 596

Abstract: Development of wood-fueled fireplace systems

The objective of the project was to reduce the emissions of fireplaces by developing and using catalysts to promote the oxidation of uncompletely combusted gases of the flue-gases. The project started in 1993. The research in 1995 was concentrated on investigation of the combustion phenomena in a heat-accumulating fireplace.

Measurements, by which it has been tried to clarify the fundamental factors of clean combustion in batch-combustion, such as the temperature, the mixing of the combustion air, and the retention time, have been made using accumulating fireplaces. Series of tests have been made using different ways of feeding the secondary air.

1 TAUSTA

Polttopuuta käytetään kotitalouksien tulisijoissa vuosittain n. 1 Mtoe:ia vastaava energiamäärä, joka tarkoittaa yli 5 milj.m³:a puuta. Puun käyttöön soveltuvia tulisijoja Suomessa on noin miljoona. Sähkölämmityksen yleistyessä etenkin varaavat tulisijat ovat yleistyneet vara- ja lisälämmityslähteenä. Tulisijojen käyttöpotentiaalia ei kuitenkaan hyödynnetä täysitehoisesti. Tämä johtuu muun muassa tulisijojen käyttömukavuuteen, mitoitukseen ja lämpötekniisiin ominaisuuksiin liittyvistä puutteista.

Puun polton periaatteellisista ympäristöeduista huolimatta sen tulisijakäytössä syntyy myös savukaasupäästöjä, jotka saattavat olla terveydelle vaarallisia. On laskettu, että yli 90 % energiantuotannon häkä- ja metaanipäästöistä syntyy puun pienpoltossa epätäydellisen palamisen seurauksena. Vaikka puulla oikein poltettuna ei ole kasvihuoneilmiötä lisäävää vaikutusta, puun pienpoltolla sellainen saattaa olla, johtuen juuri epätäy-

dellisestä palamisesta. Tämä haitta voidaan poistaa joko poltto- ja lämmitystekniikkaa kehittämällä tai varustamalla pienpolttolaitteet lisälaitteella, joka edesauttaa palamista tai joka puhdistaa savukaasut haitallisista kaasuisista. Palamisteknisten parannusten ja oikeiden lämmitystapojen lisäksi tulisijat voidaan varustaa palamista edistävällä katalysaattorilla. Katalysaattorin avulla epätäydellisesti palaneet kaasut hapettuvat helpommin normaalia alhaisemmassa lämpötilassa.

2 TAVOITE

Tavoitteena on tutkimuksen ja kehitystyön avulla parantaa tulisijojen poltto- ja lämpötekniikkaa niin, että tulisijojen haitalliset savukaasupäästöt oleellisesti pienenevät ja että ne soveltuvat entistä paremmin lisä- ja varalämmönlähteeksi esimerkiksi sähkölämmitteiseen taloihin.

3 TOTEUTUS

Projekti toteutetaan VTT Energian koordinoimana. Projektin toteutuksessa ovat mukana myös Työtehoseura ry sekä VTT Rakennustekniikka.

4 TEHTÄVÄT

Projektin tehtävät vuoden 1995 aikana olivat:

- 1 Koetoiminta koetulisijalla
- 2 Uuden sukupolven prototyyppitulisijan rakentaminen ja kokeilu
- 3 Tulipesälaskenta
- 4 Kansainvälinen toiminta (CEN-normi työskentely, IEA Biomass Agreement/ Wood Combustion aktiviteetti)

5 RAHOITUS

Rahoittaja	1993 mk	1994 mk	1995 mk
Bioenergian tutkimusohjelma	300 000	300 000	300 000
Tulikivi Oy	50 000	128 600	200 000
Upo Valimo Oy	50 000	-	-
Yhteensä	400 000	428 600	500 000

Lisäksi Kemira Metalkat Oy on osallistunut projektin rahoitukseen toimittamalla useita erikoisvalmisteisia katalysaattoreita. Upo Valimo Oy ja Tuli-kivi Oy on luovuttaneet projektin käyttöön useita tulisijoja korvauksetta.

6 TOTEUTUS VUONNA 1995

6.1 SAVUKAASUJEN KATALYTTINEN PUHDISTAMINEN

Katalysaattorikokeita ei jatkettu enää vuonna 1995. Työtehoseura ry raportoi vuonna 1994 tehtyjen kokeiden tulokset. Katalysaattorikokeiden tuloksista on kirjoitettu vuoden 1994 vuosikirjassa ja ne tullaan raportoimaan tarkemmin projektin loppuraportissa.

6.2 UUDEN SUKUPOLVEN VARAAVAN TULISIJAN KEHITTÄMINEN

Vuoden 1994 aikana aloitettiin kokeet, joiden tavoitteena oli selvittää tulisijojen hiilimonoksidi- ja hiilivety päästöjen minimoinnin kannalta kriittiset palamisolosuhteet (lämpötila, viipymäaika ja ilmanjako) ja suositeltavat toteutustavat (tulipesärasitus, arinarasitus, ilmanjakotapa) päästöjen minimoimiseksi. Lopputavoitteena oli uuden sukupolven tulijamalliston prototyypit vuoden 1995 aikana.

Vuoden 1995 aikana oli tarkoitus aloittaa myös tulisijan tulipesien laskenta numeerisella virtaussimulointi-ohjelmistolla, jota on käytetty voimalaitoskattiloiden virtausten, lämmönsiirron ja palamiskemian laskemiseen. Resurssit projektissa eivät kuitenkaan riittäneet tämän tehtävän suorittamiseen.

6.3 KANSAINVÄLINEN TOIMINTA

Osallistuttiin edelleen IEA:n Bioenergiasopimuksen Wood Combustion -aktiviteetin toimintaan Suomen edustajana. Osallistuttiin myös Suomen toisen edustajana CEN- tulisijastandardia valmistelevan Technical Committee 295:n (Residential Solid Fuel Burning Appliances) työryhmien WG5 (Test methods) ja WG2 (Roomheaters) toimintoihin. Työryhmä WG5 valmistelee päästö- ja hyötysuhdemittausmenetelmiä ja WG2 käsittelee huonelämmittimiä, johon ryhmään myös suomalaiset varaavat tulisijat luetaan. Standardin luonnos valmistuu vuoden 1996 aikana. Työtä on viivästyttänyt päästö- ja hyötysuhdemittausmenetelmiä valmistelevan työryhmän WG5 suunniteltua hitaampi eteneminen. Standardi tulee voimaan EU-maissa ja se koskee myös suomalaisia tulisijavalmistajia, jotka vievät yhä enemmän tuotteitaan ulkomaille. Standardin voimaantuloon menee vielä noin kaksi vuotta, koska luonnos tulee ensin lausuntokierrokselle CEN-jäsenmailhin. Eurooppalaiset

standardit vahvistetaan Suomessa SFS-standardeiksi ja niiden kanssa ristiriitaiset standardit kumotaan.

7 RAPORTIT JA JULKAISUT

Projektin aikana on tuloksia tähän mennessä julkaistu seuraavissa raporteissa ja julkaisuissa. Projektin loppuraportissa esitetään tiivistelmä tuloksista kolmen vuoden ajalta.

RAPORTIT

Oravainen, H. 1993. Katalyyttinen poltto tulisijoissa. SIHTI I -tutkimusohjelman projektin YT-15634Q loppuraportti. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, poltto- ja lämpötekniikan laboratorio. 13 s. + liitt. 11 s.

Oravainen, H. 1993. Katalysaattorikokeet Upo-kamiinalla ja Jøtul-kamiinalla. Projektiraportti. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, poltto- ja lämpötekniikan laboratorio. 9 s. + liitt. 13 s.

Kouki Jyrki. Lämmitystapakokeet UPO 2000 -kamiinalla. Väliraportti. Työtehoseura ry, joulukuu 1993. 15 s. + liitt. 12 s.

Kauppinen, T., Pakonen, E. & Oravainen, H. Tulisijojen polttotekniikan, talon rakenteiden ja ilmanvaihtojärjestelmien kenttämittaukset. Väliraportti. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, joulukuu 1993. 26 s. + liitt. 12 s.

Oravainen, H. Katalysaattoreilla varustetun varaavan tulisijan mittaukset. Työraportti. VTT Energia, tammikuu 1995. 6 s. + liitt. 8 s.

Oravainen, H. Polttokokeet TU 1800 takkauunilla. Työraportti. VTT Energia, huhtikuu 1995. 6 s. + liitt. 11 s.

Oravainen, H. & Gröönroos, E. Varaavan tulisijan CO-päästön riippuvuus polttoaineen panoskoosta sekä ensio- ja toisioilman määristä. Työraportti. VTT Energia, maaliskuu 1995. 18 s. + liitt.

JULKAISUT

Oravainen, H. Catalytic Combustion in Small Heating Appliances. SINTEF Trondheim, seminar on biomass combustion. 1992. 8 p.

Oravainen, H. Biopolttoaineiden katalyyttinen poltto. Jätteiden ja energian kiertokulku, Mustasaari 2. - 3.11.1993. Mustasaari: Merenkurkun neuvosto, VTT, 1993. 10 s.

Viinikainen, S. & Oravainen, H. Pienpolton päästöt vähenevät uudella tekniikalla. BIOENERGIA-tutkimusohjelma, tiedotuslehti, 1993. Nro 2/1993, s. 12 - 15.

Oravainen, H. Puuta käyttävien tulisijajärjestelmien kehittäminen. Jyväskylä, VTT Energia 1994. Bioenergian tutkimusohjelma, Vuosikirja 93, OSA III, Bioenergian käyttö ja biomassan jalostus. Bioenergian tutkimusohjelma, Julkaisuja 3, s. 133 - 152.

Oravainen, H. Reduction of flue gas emissions from small heating appliances by using a catalytic converter. BIOENERGY 93 Conference, Espoo 17. - 18.11.1993. Jyväskylä: VTT:n poltto- ja lämpötekniikan laboratorio, 1993. S. 343 - 357.

Viinikainen, S. & Oravainen, H. Pienpolton päästöt vähenevät uudella tekniikalla. BIOENERGIA-tutkimusohjelma, tiedotuslehti, 1993. Nro 2/1993, s. 12 - 15.

Oravainen, H. Reduction of Emissions by using catalytic converters in small scale heating appliances. COMETT Expert Workshop - Biomass Combustion 16 - 17 May, 1994. Graz, AUSTRIA arranged by JOANNEUM RESEARCH.

Oravainen, H. Reduction of flue gas emissions from small heating appliances by using a catalytic converter. 8 th European Conference on Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry. Vienna 3 - 5.10.1994. 9 p.

Oravainen, H. & Tuomi, S. Reduction of Flue Gas Emissions from Small Scale Wood heating Appliances by a Catalytic Converter. First Workshop of FAO/SREN on Environmental Aspects of Producing and Conversion of Biomass for Energy, 3 - 5.11.1994 Freising, Germany. 10 p.

Kouki, J. Lämmitystapa vaikuttaa tulisijan toimintaan. Teho 4/1994, s. 24 - 26.

Tuomi, S. Tehdasvalmisteisia tulisijoja kehitetään. Teho 4/1994, s. 26 - 28.

Ryynänen, S., Tuomi, S. & Oravainen, H. Työtehoseuran metsäosasto Bioenergian tutkimusohjelmassa. Teho 1/1994, S. 4 - 5.

Kouki, J. Lämmitystapa- ja katalysaattorikokeet kevytrakenteisella kamiinala. Työtehoseuran monisteita 7/1995 (41). Helsinki 1995. 28 s. + liitt. 7 s.

Oravainen, H. & Saastamoinen, J. Wood Combustion in Fireplaces. (esitelmä tai poster konferenssissa Developments in Thermochemical Biomass Conversion, Banff, Canada. May 20 - 24.1996)

STOKERIPOLTON KEHITTÄMINEN - Y306

Heikki Oravainen
VTT Energia
PL 1603
40101 Jyväskylä
Puh. (941) 672 532
Faksi (941) 672 596

Osmo Nojonen
Finntech Oy
PL 402
02151 Espoo
Puh. (90) 456 6148
Faksi (90) 456 7007

Abstract: Development of stoker-burning technology

Combustion Technology Research Group of VTT Energy had a project, funded by VTT and Vapo Oy, going on in 1993, the aim of which was to develop a chip/sod peat heating system for power range 50 - 100 kW, meeting the requirements of 1990s, the characteristics being high efficiency (> 85 %), low emissions (CO < 0.1 %), well operability and durability. The project has to be carried out so that the investment and operation costs are as low as possible. Högfors Lämpö Oy had simultaneously going on an industrial project, in which new ETNA bioenergy boiler series for the same power range was constructed. A 200 kW stoker burner prototype, suitable for wood chips and sod peat, was developed on the basis of VTT's research. The boiler has been demonstrated later in power range 500 kW.

The present stoker burners are based on downstream combustion principle, which means that the fuel and the flue-gases flow into same direction. It is well 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 carbonizing zone flows away from drying and ignition zone.

VTT has an idea, by which it is possible to alter the stoker burner to operate so, that the heat formed in pyrolysis and carbonizing zone flow towards the ignition and drying zone, hence the drying of the moist fuel and ignition of it are intensified remarkably.

1 TAUSTA

VTT Energian polttotekniikan ryhmällä oli vuonna 1993 Bioenergian tutkimusohjelman, 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, hakkeelle ja palaturpeelle soveltuvan stokeripolttimen prototyyppi, joka on myöhemmin demonstroitu myös 500 kW:n tehoisena.

Nykyisissä stokeripolttimissa polttoperiaate on myötävirtapolttoa eli polttoaine ja savukaasut kulkevat samaan suuntaan. On hyvin tiedetty, että tällaisessa polttotavassa kostealla polttoaineella tehoa rajoittaa syttymisrintaman etenemisnopeus. Pyrolyysi- ja hiiliväyhykkeessä kehittyvä lämpö virtaa pois päin kuivumis- ja syttymisrintamasta.

VTT:llä on idea, jolla stokeripoltin voidaan muuttaa toimimaan niin, että pyrolyysi- ja hiiliväyhykkeessä kehittyvä lämpö virtaa syttymis- ja kuivumisrintamaa kohti, jolloin kostean polttoaineen kuivuminen ja syttyminen huomattavasti tehostuu.

2 TAVOITTEET

Tavoitteena on kehittää vastavirtaperiaatteella toimivan stokeripolttimen prototyyppi, 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 jäännöshappipitoisuus 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

Prototyypin suunnittelu ja valmistaminen

Prototyypipolttimen toiminta-arvojen tutkiminen

Polttimen koeajot suoritetaan VTT:llä Jyväskylässä. Pääpolttoaineet ovat palaturve ja hake. Mittauksin todetaan saavutetaanko polttimelle asetetut tavoitteet. Suoritetaan palamis- ja päästöominaisuuksien karakterisointi (tarvittava viipymäaika ja tulipesän lämpötila, tulipesärasitus, arinarasitus, NOx-konversio, CO- ja hiilivetypäästöt, PAH-päästöt, SO₂-päästöt ja hiukaspäästöt) 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.

Polttoainelähteiden kartoitus

Bioenergian tutkimusohjelmassa kehitetään uusia polttoaineentuotantomenetelmiä. Tässä tehtävässä kartoitetaan mistä prosesseista tulee stokeripolttimille soveltuvaa polttoainetta ja arvioidaan polttoaineen hinta ja jatkojalostustarpeet.

Raportointi

5 AIKATAULU

Projektin alkuperäinen aikataulu oli 1.4.1995 - 31.12.1995. Projektin alkuperäistä aikataulua on siirretty TEKESin luvalla. Laitteiston suunnittelu ja rakentaminen tapahtuu kevään 1996 aikana.

500 kW STOKERIPOLTTOJÄRJESTELMÄN DEMONSTROINTI - D306

Heikki Oravainen
VTT Energia
PL 1603
40101 Jyväskylä
Puh. (941) 672 532
Faksi (941) 672 596

Kimmo Kantalainen
Högfors Lämpö Oy
PL 59
43101 Saarijärvi
Puh. (944) 221 11
Faksi (944) 222 03

Abstract: Demonstration of the 500 kw stokerburning system

The objective of the project is to demonstrate the operation of a 500 kW stoker-burning system in practice. The project is continuation of the previous projects of the Bioenergy research programme, 303 - Development of automatic heating system for wood chips and sod peat, carried out by VTT Energy, and Y301 - Development of heating boiler for wood chips and sod peat, carried out by Högfors Lämpö Oy. A 500 kW (nominal power) stoker-burner was constructed on the basis of the results of these projects. The burner was mounted on ETNA 500 bioenergy boiler. Screw-feeders, constructed by Maamiehen Sähkö Oy, were used as fuel feeding system. Maamiehen Sähkö Oy delivered also the automation system for the combustion equipment. Combustion air pre-heater was mounted on the boiler for promotion of the combustion of moist fuel.

Testing of the equipment was carried out at the laboratory of VTT Energy in Jyväskylä in October-November 1994. In December 1994 the equipment was transported to Jalasjärvi, to heating station of the farmer Juha Jyrä. The actual heat generation started in the beginning of February 1995, when the greenhouses started to require heating. Sod peat has been used as the fuel. VTT Energy has carried out the efficiency and emission measurements in the heating station with sod peat in March 1995, and with reed canary grass in in autumn 1995. The energy generation and fuel consumption have been followed all the time.

1 TAUSTA

Projekti on jatkoa aikaisemmille Bioenergian tutkimusohjelman projekteille, 303 - Automaattisen lämmitysjärjestelmän kehittäminen hakkeelle ja palaturpeelle, jonka toteuttaja oli VTT Energia sekä Y301 - Lämmityskattilan kehittäminen hakkeelle ja palaturpeelle, jonka toteuttaja oli Högfors Lämpö Oy. Näiden projektien perusteella saatiin sekä stokeripoltin että lämmitys-

kattilasarja kehitettyä niin pitkälle, että todettiin niiden olevan valmis demonstroitavaksi käytännön oloissa. Aikaisemmissa projekteissa todettiin, että kostean polttoaineen palaminen ei ole ongelmaton stokeripolttimissa, joissa palaminen tapahtuu ristivirtaperiaatteella. Tämän vuoksi haluttiin tutkia myös palamisilman esilämmittämisen vaikutusta kosteudeltaan yli 35 % olevan polttoaineen palamiseen.

2 TAVOITE

Tavoitteena on suunnitella uusi 500 kW:n stokeripoltin ja demonstroida sen toiminta käytännössä. Polttimeen pitää pystyä toimimaan nykyistä kosteammalla polttoaineella (40 - 45 %). Polttoaineen kosteus käytännön tilanteessa vaihtelee, vaikka pyrittäisiinkin käyttämään nykyisille stokeripolttimille soveltuvaa, suhteellisen kuivaa polttoainetta. Toimituserissä tulee aina myös kosteampaa polttoainetta ja se aiheuttaa palamis- ja tehontuotto-ongelmia nykyisissä laitteissa.

Bioenergian tutkimusohjelman projektissa 303 - Automaattisen lämmitysjärjestelmän kehittäminen hakkeelle ja palaturpeelle - tuli esille, että kostean polttoaineen poltossa stokeripolttimella tulee ongelmia. Liian kostean polttoaineen palaminen vaatii runsaasti yli-ilmaa, palamattomia kaasuja syntyy herkästi ja ennen kaikkea, polttimeen tehontuotto laskee jyrkästi. Projektissa kokeiltiin jo keinoja, joiden avulla myös kosteaa polttoainetta voitiin laboratorikokeiden aikana polttaa.

Palamisilman esilämmitys oli lupaavimpia keinoja ongelman ratkaisemiseksi. Palamisilman lämmittämiseksi ideoitui ratkaisu, joka on helposti liitettävissä stokeripolttimeen. Kosteaa polttoainetta vaatii pitemmän kuivumisajan ja se osaltaan vaikuttaa polttimeen mitoittamiseen.

3 TOTEUTUS

Projekti toteutettiin Högfors Lämpö Oy:n ja VTT Energian yhteistyönä. Maamiehen Sähkö Oy osallistui myös projektiin laitetoimittajana. VTT Energia suunnitteli ja mitoitti 500 kW:n polttimeen aikaisempiin kokemuksiinsa ja mittauksiinsa perustuen. Polttimeen käytännön toteutus suunniteltiin yhdessä Högfors Lämpö Oy:n ja VTT Energian kanssa. Kattila ja poltin rakennettiin Högfors Lämpö Oy:n Saarijärven tehtaalla. Polttimeen valurautainen arina ja palamisilman esilämmitin tilattiin alihankkijoilta.

Polttolaitteiston koeajot tehtiin VTT Energian laboratoriossa Jyväskylässä loka - marraskuun 1994 aikana. Koeajojakson aikana ja sen päätyttyä poltti-

meen tehtiin pieniä rakenteellisia muutoksia. Tämän jälkeen laitteisto siirrettiin puutarhuri Juha Jyrän puutarhan lämpökeskukseen Jalasjärvelle. Ensimmäiset koekäytöt tehtiin ennen joulua. Laitteiston seuranta tehtiin projektin loppuun asti. Maaliskuussa 1995 tehtiin palaturpeella polttokokeet, joissa määritettiin laitoksen hyötysuhde ja päästöt.

4 LAITTEISTON RAKENNE

Polttolaitteisto koostuu 500 kW:n kattilasta, joka on levyrakenteinen alipainekattila. Kattilan tulipesä on laatikkomainen ja konvektio-osa pystymallinen. Konvektio-osan lämmönsiirtoa on tehostettu ripaelementeillä.

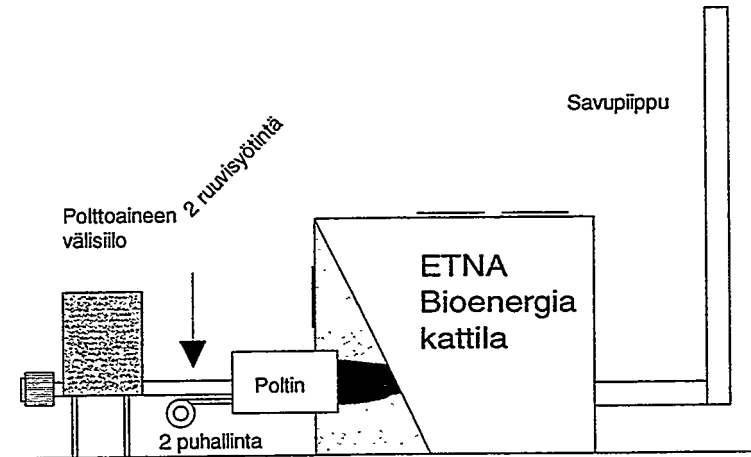
Stokeripoltin on sylinterimäinen vaakapoltin, joka on vaipasta vesijäähdytetty. Polttimessa on valuraudasta valmistettu kouruarina, joka on kaksiosainen. Palamisilma johdetaan polttimeen kahden puhaltimen avulla. Polttoaine syötetään arinalle kahdella ruuvisyöttimellä. Polttimen sisällä, arinan yläpuolisella osalla on tulenkestävästä valusta tehty holvimuuraus.

Palamisilman esilämmitin oli ripustettu tulipesän yläosaan. Sen kautta voitiin syöttää palamisilma toisella puhaltimella. Kuumennettu ilma johdettiin arinan alkuosaan polttoaineen kuivumisen nopeuttamiseksi. Arinan loppuosalle johdettiin lämmittämätöntä ilmaa toisella puhaltimella. Palamisilman esilämmitystä voitiin säätää portaattomasti 50 - 300 °C:n välillä.

Automaatiikka on on-off -periaatteella toimiva. Tehokäynnin ja ylläpitoikäynnin polttoaineen syöttönopeudet voidaan säätää erikseen. Polttoaineen sopiva syöttönopeus on etsittävä kokeellisesti kullekin polttoaineelle.

VTT Energian kokeiden aikana kattilassa ei ollut koneellista tuhkanpoistoa. Puutarhuri Jyrällä on ruuvilla toimiva tuhkanpoisto.

Laitteiston periaatteellinen rakenne on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. 500 kW:n stokeripolttojärjestelmän periaatteellinen kuva.

5 PROJEKTIN TULOKSET

Koeajot VTT Energian laboratoriossa olivat tuotekehitystä tukevia mittauksia. Koeajojen perusteella haluttiin tutkia mm. seuraavia seikkoja:

- polttoaineen kosteuden vaikutus palamisnopeuteen eli polttimesta saatavaan tehoon
- päästöjä eri polttoaineilla
- palamisilman esilämmityksen vaikutusta
- palamisilman määrien vaikutusta (2 puhallinta)

Tavoitteeksi asetettu 500 kW:n teho saavutettiin sekä hakkeella että palaturpeella. Hakkeen kosteus oli suurimmillaan 57 % ja palaturpeen. Hake paloi vielä hyvin, mutta tehontuotto oli vain reilut 200 kW. Kosteaa polttoainetta palaminen on huomattavasti hitaampaa ja tehontuotto sen takia luonnollisesti pienempi. Kuitenkin palamisilman lämmityksen ansiosta kosteakin polttoaine palaa. Poltin ja kattila vaatii vaan erilaisen mitoituksen. Tässä tullaankin käytännössä kohdattuun ongelmaan. Asiakkaat vaativat usein, että polttolaitteessa pitäisi pystyä polttamaan lähes millaista polttoainetta tahansa. Puuta, turvetta, sahausjätettä jne., joiden kosteus vaihtelee ääriarvoiltoiselle. Tämä on ristiriidassa sen tosiseikan kanssa, että esimerkiksi öljypolttimessa voi polttaa vain laatuvaatimukset tarkoin täyttävää öljyläätettä. Miksi kotimaisen polttoaineen polttolaitteen pitäisi selviytyä kaikista mahdollisista polttoaineista?

Savukaasujen jäännöshappipitoisuus oli yleensä luokkaa 4 - 5 %, joka tarkoittaa CO₂-pitoisuutta 14 - 15 %. CO-pitoisuus oli alhaisimmillaan alle 100 ppm eli palaminen oli hyvällä polttoaineella puhdasta.

Kokeiden loppuvaiheessa huomattiin polttimessa ilmapuotoja arinan sivuilta, jotka korjattiin siinä vaiheessa kun polttolaitteisto siirrettiin Jalasjärvelle. Käyttökokemusten mukaan korjaustoimenpiteillä oli huomattava vaikutus polttimen toimintaan. Jalasjärvellä tehtiin mittauksia maaliskuussa 1995.

Huolimatta siitä, että polttoaine murskautui ruuvikuljettimissa osittain aivan hienoksi jauheeksi, polttoaineen palaminen oli kuitenkin hyvää. Savukaasujen hiilidioksidipitoisuus oli 14,57 - 15,30 %, joka merkitsee 4,5 - 5,0 %:n jäännöshappipitoisuutta. Se on tyypillinen arvo myös isommissa aluelämpökattiloissa. Palamisen hyvyttä kuvaa erittäin alhainen CO-pitoisuus, joka oli keskimäärin 106 ppm molempien kokeiden aikana. Syksyllä 1995 tehtiin pääasiassa ruokohelpin polttokokeita, mutta samassa tehtiin mittaus myös palaturpeella. Hiukkaspitoisuus oli ruokohelpillä 62 mg/m³ ja palaturpeella 85 mg/m³. PAH-pitoisuus oli vastaavasti 4,1 µg/m³ ja 23,9 µg/m³ eli hyvin alhainen. Laitoksella oli 14.6.1995 mennessä poltettu palaturvetta 545 m³. Laatu P15 on toimitettu 2 kpl 35 m³:n kuormaa, loput ovat olleet laatua P13. Energiaa oli tuotettu 701,21 MWh eli yhdestä kuutiosta palaturvetta oli saatu hyödyksi 1,286 MWh.

6 LAITOKSEEN TEHDYT MUUTOKSET

- Polttoaineen syöttöruuville on asennettu virran mittaus, joka ohjaa tankopurkainten toimintaa. Tankopurkainten toiminta pysähtyy, jos virta nousee liian suureksi.
- Polttimen syöttöruuvien moottorit on vaihdettu hitaammin pyöriviin. Pyörimisnopeutta voidaan nyt säätää invertterien avulla. Näin saadaan arinalle tasaisempi polttoainevirta.
- Tulipesän ja konvektio-osan välistä aukkoa on pienennetty tulitiilien avulla.
- Laitteiston ohjaukseen on asennettu ohjelmoitava logiikka, joka mahdollistaa laitteiston optimaalisemman ajamisen ja täten korkeamman hyötysuhteen.

- Varastohallia on pidennetty, jotta polttoaine pysyy paremmin varastosta eikä valu täytöksen yhteydessä ulos.
- Tulipesään on asennettu holvi, joka ohjaa liekin kulkua niin, että se ei mene suoraan konvektio-osaan vaan aiheuttaa takaisinvirtausta. Tällä tavalla saatiin savukaasujen hiukkaspitoisuus laskemaan oleellisesti.

HUONEKALUTEOLLISUUDEN LÄMMITYSKAT- TILOIDEN POLTON TEHOSTAMINEN - D301

Kari Larjava, Torsti Siltanen
Kauko Tormonen
VTT Kemiantekniikka
PL 1403
02044 VTT
Puh. (90) 4561
Faksi (90) 456 7022

Aarni Metsä
Suomen Puututkimus Oy
Tekniikantie 12
02150 Espoo
Puh. (90) 4354 3456
Faksi (90) 4354 2200

Aimo Kolsi, Markku Orjala, VTT Energia

Martti Muurinen, Enemi Oy

Abstract: Intensification of combustion in wood product industry

The study involved optimization of the burning process in furniture industry boilers and reduction of noxious emissions by simple remedies and adjustments. This was realized in four boilers whose initial concentration of carbon monoxide (CO) in the flue gas was 1 500 - 2 000 ppm. In addition some other similar boilers were measured and tuned. As a result, emissions due to incompleting burning diminished.

The concentration of carbon monoxide in flue gas during the turning off phase was in the range 3 000 - 30 000 ppm in the on/off controlled boilers. It was observed that the CO-level in the flue gas correlated with the amount of fuel left on the grate at the end of each full output sequence. The emissions during the turning-off phase could not be reduced. The gas flow through one boiler during the turning off period was 10 - 15 % of the initial gas flow at the nominal output. Thus the influence of the turning-off phase on the total emissions is remarkable.

Grate and control equipment showed defects and malfunction originating from negligence of maintenance and lack of proper operating instructions. The emissions from maintained boilers were reduced by adjusting the fuel stream and the primary and secondary air flows, with brickwork in the furnace over the grate and by insulating the secondary burning chamber. The flow adjustments were carried out on the basis of flue gas analysis. As a result of all the improvements together the temperature of secondary burning chamber will increase with 200 -300 °C, the mixing of the gases will improve, the resident time will increase and the CO-concentration will decrease to 50 - 300 ppm. The changes and reiteration of the control settings presume easy adjustable control equipment, measurement of air flows and clear

operating instructions, provided that flue gas analysis is not available. Primary and secondary air flows should always be separately tunable.

Mounting a catalyst into the convection part of one tested boiler reduced the CO concentration in of flue gas from the initial value 500 ppm to 300 ppm. However the tested catalyst was poisoned by pollutants in the wood chips.

In addition to improving the burning phase, the total emissions of one boiler were minimised by removing the turning off phase completely and changing the burning to a continuous process. This required that the boiler automation was renewed and new automation equipment.

Based on the results refitting instructions for the chipboard boilers was made.

1 TAUSTA

Teholtaan alle 5 MW:n (0,3 - 5 MW) lastulevyä polttavien lämmityskattiloiden haitalliset päästöt ovat pitkään olleet keskustelun aiheena. Kattilalaitosten lähellä asuvien ihmisten tekemien valitusten vuoksi kattiloita on asetettu jopa käyttökieltoon /4/. Koska huonekalutuotannon tuottamaa lastulevy- ja puupurujätettä voidaan käyttää lämmityskattiloiden polttoaineena, on luonnollista polttaa se tuotantopaikalla. Lastulevyjätettä poltettaessa tulee kuitenkin varmistaa, ettei siitä aiheudu haittaa ympäristölle. Lastulevy-puru sisältää orgaanisia, palavia aineosia, joten sen polttaminen lähes kokonaan ilman haitallisia päästöjä on mahdollista. Aikaisemmin tehdyissä tutkimuksissa selvitettiin lastulevyä ja puuta käyttävien lämmityskattiloiden päästöjä ja todettiin, että kattilat on korjattava, jos päästöt halutaan saada esimerkiksi Saksassa käytettävien päästöohjearvojen alapuolelle (TA-Luft 1986) /5/. Viranomaisten asettamat päästörajat alittuvat jos uudet, suunnitella tai rakenteilla olevat kattilat toteutetaan käyttäen uusinta teknistä tietoa ja koeteltuja keinoja. Vanhojen käytössä olevien kattiloiden ja niiden oheislaitteiden saneeraus on usein vaikeampaa ajatellen taloudellista ja ympäristöllisesti tarkoituksenmukaista lopputulosta.

2 TAVOITE

Tavoitteena oli tutkia mahdollisuuksia tehostaa palamista yksinkertaisin korjaus- ja säätötoimin huonekaluteollisuuden lämmityskattiloissa siten että haitalliset päästöt saadaan vähennettyä alle nykyisten päästönormien. Tavoitteena oli selvittää ne käytännössä kyseeseen tulevat palamisen parantamistoimenpiteet, jotka voidaan taloudellisesti tehdä vanhoihin kattiloihin, sekä niiden vaikutus päästöihin. Tavoitteena oli saneerata 4 - 5 kattilaa. Li-

säksi tutkittiin savukaasukatalyytin käyttöä päästöjen vähentämiseksi ja laadittiin menettelytapaohjeet kattiloiden saneeraukselle.

3 TOTEUTUS

Potentiaalisiksi korjauskohteiksi valittiin kuusi kattilalaitosta, joista aikaisemmin oli mitattu neljän kattilan päästöt /1/. Tutkimuksen toteuttivat VTT Kemiantekniikka ja VTT Energia yhteistyössä kattiloita käyttävän huonekaluteollisuuden kanssa. Projektissa mukana olleet huonekaluteollisuuden yritykset toteuttivat saneeraustoimenpiteitä lämmityskattiloissaan sekä avustivat tutkimuksen kenttämittauksissa. Saneerausohjeiden laadintaan osallistui lisäksi Enemi Oy. Tutkimuksen kohdealue sisälsi eri kattilatyyppejä ja arinapolttolaitteita, joiden tekniset ratkaisut ovat kuitenkin samankaltaisia. Kattiloiden lämmönsiirto-osa oli joko Laatukattilan PS-kattila, jossa on suorakulmaisen laatikon mallinen tulipesä, tai VHE-kattila, joka on vaakasuora tulitorvi-tuliputkikattila. Kattiloiden tulipesät olivat vesijäähdytettyjä. Yhtä lukuunottamatta valitut kattilat toimivat on/off-säätöperiaatteella.

Korjauskohteet valittiin osittain aikaisempien mittausten perusteella. Valittujen kattiloiden laitteita kunnostettiin ja kattiloiden toimintaa mitattiin. Analysoimalla kattiloiden polttolaitteiden ja säätötekniikan toimintaa savukaasuanalyysin perusteella selvitettiin puutteet kattiloiden nykyisessä toiminnassa ja palamisprosessissa. Kattiloiden toiminnassa esiintyneiden puutteiden perusteella suunniteltiin korjaus- ja säätötoimenpiteet polttoaineen syöttöjärjestelmään, tulipesän muurauksiin, palamisen säätöön ja ilmanjakoon. Eri korjaustoimenpiteistä laadittiin ehdotukset, joiden hyöty- ja kustannussuhteita verrattiin keskenään arvioimalla ehdotettujen toimenpiteiden vaikutusta palamiseen sekä muutostöistä aiheutuvia kustannuksia. Korjaustöiden toteuttaminen jäi yritysten tehtäväksi.

Neljässä kattilassa tehtiin varsinaisia kattilan muutostöitä, muissa kunnostettiin vajaakuntoisia laitteita ja asetettiin polttoaine- ja ilmavirtoja kohdalleen savukaasuanalyysiä hyväksi käyttäen. Korjaus- ja muutostöihin kuuluivat mm. tulipesän muuraus, säätölaiteasennukset, säätöihin liittyvät mittaukset ja toiminta-asetukset. Yhdessä kattilassa kokeiltiin katalyysaattorin toimintaa. Muutosten jälkeen mitattiin päästöt sekä analysoitiin tuloksia ja muutosten vaikutuksia palamiseen. Tulosten ja projektissa saatujen kokemusten perusteella laadittiin menettelytapaohjeet kattiloiden kunnostukselle ja saneeraukselle.

4 KORJAUSTOIMENPITEET JA TULOKSET

Ennen saneerausta saatettiin kattilan nykyiset rakenteet ja laitteet toimintakuntoon ja selvitettiin kattilan toiminta:

- arinakotelo, arinaraudat ja arinamuuraukset
- sekundääri-ilmasuuttimet ja niiden suuntaus
- tulipesän paineensäätöön liittyvät laitteet
- syöttölaitteiden polttoainevirta
- puhaltimien tilavuusvirta
- kattilan ilmavuotojen tiivistys
- termostaattien asetukset
- parhaat säätöasetukset toimintateholle
- käyttöohjeiden laadinta

Käyntijakson päästöjä vähennettiin useilla eri toimenpiteillä. Arina kunnostettiin ja polttoaineen laadun tasaisuuteen kiinnitettiin huomiota. Kattilan polttokykyä vastaava polttoainevirta haettiin ja asetettiin savukaasuanalyysin avulla. Tulipesän paineenvakiointiautomaatiikan toiminta kunnostettiin.

Palamisilmojen tuonti tulipesään toteutettiin ottaen huomioon polton tarpeet. Palamisilmavirrat asetettiin kohdalleen savukaasuanalyysiä apuna käyttäen. Palamisilman säädöillä saatiin savukaasun happipitoisuus optimitasolle jolloin myös savukaasuhäviö pieneni ja hyötysuhde kasvoi. Kattiloiden primääri- ja sekundääri-ilmat säädettiin savukaasumittausten perusteella erikseen ja säätöasetukset kirjattiin käyttöohjeiksi.

Projektissa saatujen kokemusten perusteella eniten päästöjä vähensivät tulipesän lämpötilatason nosto eristävin muurauksin, jolla parannettiin myös kaasujen sekoittumista. Kun kattilan polttoainevirta säädetään siten, että kaasujen mahdollisimman hyvä loppuunpalaminen on mahdollista, ei tulipesän muuraus pienennä kattilasta saatavaa tehoa. Kaasumäärää voidaan vähentää pienemmän yli-ilmamäärän johdosta, jolloin savukaasu ehtii paremmin jäähtyä kattilan konvektio-osassa ja kattilan käyttövarmuus myös lisääntyy. Muurauksia käyttämällä saadaan myös tulipesän koko tilavuus paremmin kaasuvirtauksen käyttöön ja kaasun viipymä korkeassa lämpötilassa pitenee.

Arinan yläpuolelle tehtiin lämpöeristävä holvimuuraus ja sen jälkeinen palotila lämpöeristettiin polton lämpötilatason nostamiseksi ja sekoittumisen ja viipymän lisäämiseksi. Muutoksen aiheuttama virtausvastusten kasvaminen edellyttää savukaasumurin asentamista myös kun kattila on aikaisemmin toiminut luonnonvedolla.

Kunnostamalla arina ja asettamalla polttoainevirta ja säätämällä palamisil-mavirrat savukaasumittausten avulla, päästiin ilman muita toimenpiteitä CO -pitoisuudessa tasolle 600 - 900 ppm. Optimikohta on aina löydettävissä savukaasumittauksen avulla, mutta polttotulos riippuu aina polttolaitteesta. Muuraamalla lisäksi holvi tulipesään arinan yläpuolelle ja lämpöeristämällä tulipesän jäljelle jäävä osa, saatiin CO-pitoisuus vähennettyä tasolle 200 - 300 ppm.

Katalysaattorin sijoitettuna kattilan konvektio-osaan hapetti tutkimuksessa siihen tulleesta CO:sta 67 % CO₂:ksi. Vastaavasti kaasun lämpötila kohosi katalysaattorin läpi virratessaan parhaimmillaan noin 100 °C. Tutkittu katalyytti kuitenkin myrkyttyi puujätteen joukossa olleiden epäpuhtauksien johdosta, sen toiminta heikkeni eikä katalysaattoria saatu enää puhdistuksesta huolimatta toimimaan kunnolla. Katalysaattorin mahdollisen myrkyttymisen estäminen ennakolta edellyttää polttoaineen laadun tuntemista, mm. pinnoitteiden väriaineiden sisältämät alkuaineet olisi selvitettävä.

Seisontajakson aikana on palaminen hallitsematonta, eikä seisontajakson aikana syntyviä päästöjä kyetty poistamaan saneeraustoimenpiteillä. Kaasuvirtaus kattilan läpi on 10 - 15 % käyntijakson aikaisesta virtaamasta, joten seisontajakson vaikutus kokonaispäästöön on korkeasta pitoisuustasosta johtuen merkittävä. Puhaltimien käynnistymisjärjestyksellä ja -nopeudella voitiin pienentää päästöjä käynnistymisvaiheessa. Seisontajaksoja lyhentämällä ja säätämällä toimintateho pienemmäksi voitiin seisontajakson aikaisen päästöjen merkitystä hieman pienentää.

Seisontajakso ja sen aiheuttamat ongelmat poistettiin lisäämällä automatiikkaa ja muuttamalla kattila toiminnaltaan liukuvasti tehoa säätäväksi. Polttoaineensyötön ja puhaltimien moottorien pyörimisnopeudet muutettiin portaattomasti säädettäväksi. Tutkimuksessa 465 kW kattilan on/off-käynnin muuttaminen jatkuvaksi yksinkertaisella automaatiolla maksoi 50 000 mk. CO-pitoisuudeksi mitattiin nimellisteholla muutosten jälkeen 200-300 ppm. Tämän kattilan tulipesään ei tehty palamista parantavia muurauksia.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Vanhojen kattiloiden polttolaitteet sekä polton automatiikka on mahdollista saneerata siten, että palamisprosessille luodaan hyvät tai vähintään tyydyttävät edellytykset. Kyseeseen tulevat käyttötapaan liittyvät muutokset sekä kohtalaisen edulliset rakenteelliset muutokset. Toimenpiteiden vaikutus riippuu myös saneerattavan kattilan ja sen polttolaitteen rakenteesta. Hyvä palamistulos edellyttää toimintakuntoista arinaa ja polttoainevirran asetusta arinan polttokykyä vastaavaksi. Suurin vaikutus oli palamisilmojen säätöasetuksilla ja tulipesän holvimuurauksella yhdessä. Toteuttamalla arinare-

visio, säätöasetusten korjaus sekä valittuja saneeraustoimenpiteitä yhdessä voidaan savukaasun CO-pitoisuus kattilan käyntijaksolla saada tasolle 200 - 300 ppm. Onnistuneella saneerauksella voidaan CO-pitoisuus saada jopa alle 50 ppm. Projektissa saatujen kokemusten perusteella voidaan todeta että lastulevy- ja puupurun poltto voidaan toteuttaa siten ettei poltosta aiheudu merkittäviä määriä haitallisia palamattomia kaasuja. Noin 10 000 mk maksavalla saneerauksella voidaan kattilan käyntijaksolla päästä savukaasun CO-pitoisuudessa alle 1000 ppm, 20 000 mk saneerauksella alle 500 ppm.

On/off-käynnin seisonajaksolla muodostuu tulipesässä suuria haitallisten kaasujen pitoisuuksia. Saneeraustoimenpiteiden vaikutus seisonajakson aikaisiin päästöihin on vähäinen ja ainoaksi merkittäväksi keinoksi vähentää päästöjä nähtiin seisonajakson poistaminen kokonaan ja polton muuttaminen jatkuvatoimiseksi kattilan automaatiotasoa lisäämällä. Poltto voidaan muuttaa jatkuvaksi yksinkertaisella noin 50 000 mk maksavalla tehonsäätö-automaatiikan muutoksella. Kattilassa, jossa polttoteho seuraa kuormaa, edellytetään myös tulipesän muurausta, jotta kaasun loppuunpalamiseksi tarvittava korkea lämpötilataso voidaan säilyttää myös osatehoilla. Mikäli tulipesän muuraus tehdään ottaen huomioon palamisen myös osatehoilla, voidaan tyydyttävään palamistulokseen ja alle 200 ppm CO-pitoisuuteen päästä ainakin 50 % teholla ja mahdollisesti pienemmälläkin teholla.

JULKAISUT JA RAPORTIT

1. *Larjava, K. Siltanen, T. Muurinen, M. Puustinen, H.* Huonekaluteollisuuden lämmöntuotannon päästöt. Espoo 1991. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita no 1254. 30 s. + liitt. 8 s.

2. *Hahkala, M. Vesterinen, R.* Pienten ja keskisuurten kotimaista polttoainetta käyttävien lämpölaitosten päästöselvitys. Helsinki 1986. Kauppa- ja teollisuusministeriö Energiaosasto, Sarja D:115.

3. *Larjava, K. Siltanen, T. Orjala, M. Linna, V. Metsä, A.* Reduction of the Emissions from Chipboard Waste Combustion. Seminar of Small-Scale Combustion Technology and Emissions. Hotel Laajavuori, Jyväskylä, Finland 25.5.1994. 6 s.

4. *Knihtinen, J. Kirjalainen, T. Kolsi, A. Linna, V.* Puujätteen polton päästöselvitys. Jyväskylä 1991. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Liekki-Ohjelma, UJ Saarni & K:nit. Projekti PLT 1200302. 14 s + liitt. 32 s.

5. *Kalmbach, S. Schmölling, J.* Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. 2. uudistettu ja laajennettu painos. Berlin 1986, Erich Schmidt Verlag. 254 s.

6. *Hahkala, M. Jormanainen, P. Puustinen, H. Pohjola, V.* Pienkattiloiden päästöselvitys. Espoo 1986. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia no 454. 81 s. + liitt. 85 s.

7. *Larjava, K. Siltanen, T. Tormonen, K. Linna, V. Orjala, M.* Huonekaluteollisuuden lämmityskattiloiden polton tehostaminen. Bioenergia tutkimusohjelman 1994 seminaarin julkaisu. Jyväskylä 1994. 3 s. + liitt. 7 s.

8. *Metsä, A. Larjava, K. Siltanen, T. Tormonen, K. Orjala, M. Kolsi, A.* Huonekaluteollisuuden lämmityskattiloiden polton tehostaminen. Bioenergia tutkimusohjelman 1995 seminaarin julkaisu. Jyväskylä 1995. 5 s. + liitt. 6 s.

9. *Larjava, K. Siltanen, T. Tormonen, K. Kolsi, A. Orjala, M. Muurinen, M.* Huonekaluteollisuuden lämmityskattiloiden polton tehostaminen. Espoo 1995. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita no 1709. 35 s. + liitt. 6 s.

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

BIOMASSAN JA TURPEEN KAASUTUKSEEN PERUSTUVIEN DIESELVOIMALAITOSTEN TOTEUTETTAVUUSTUTKIMUS - 309

Esa Kurkela, Pekka Ståhlberg, Yrjö Solantausta, Carl Wilén
VTT Energia
PL 1601
02044 VTT
Puh. (90) 4561
Faksi (90) 460 493

Abstract: Diesel power plants based on biomass gasification

Different power production systems have been developed for biomass feedstocks. However, only few of these systems can meet the following three requirements: a) suitability to small scale electricity production ($< 5\text{--}10\text{ MWe}$), b) reliable operation with realistically available biomass feedstocks, and c) potential for economical competitiveness. The fluidized-bed boilers have been successfully operated with wood waste and peat down to outputs of the order of 5 MWe and the investment costs have been successfully lowered to a reasonable level. However, this concept is most suitable for combined heat and electricity production and smaller plant sizes are not considered feasible. One of the most promising alternative for this commercially proven technology is the diesel power plant based on gasification. This concept has a potential for higher power to heat ratios in cogeneration or higher efficiency in separate electricity production.

The objectives of this project were a) to evaluate the technical and economical feasibility of diesel power plants based on biomass gasification and b) to study the effects of operating conditions (temperature, bed material and air staging) on the performance of a circulating fluidized-bed gasifier.

The experimental part of the project was carried out on a new PDU-scale Circulating Fluidized-Bed Gasification test facility of VTT. Wood residues were used as the feedstocks and the experiments were mainly focused on tar formation and gasifier performance. The results will be compared to earlier VTT data obtained for bubbling-bed reactors. The techno-economic feasibility studies are carried out using existing process modelling tools of VTT and the gasification based diesel plants will be compared to conventional fluidized-bed boilers.

1 TAUSTA

Kiinteiden polttoaineiden kaasutustekniikan voimakas kehitystyö käynnistyi Suomessa 1980-luvun alussa, jolloin tavoitteena oli tuontipolttoaineiden korvaaminen turpeesta ja puubiomassasta valmistetulla kaasulla. 1980-luvun lopulta lähtien päämielenkiinto on kohdistunut ns. yksinkertaistetun kaasutuskombivoimalaitoksen (simplified IGCC) kehittämiseen. IGCC-tekniikan taloudellinen kilpailukyky edellyttää niin suurta kokoluokkaa (yli 30 -50 MWe), ettei se käytännössä tule kysymykseen läheskään kaikissa biomassan ja turpeen potentiaalisissa käyttökohteissa. Esimerkiksi useimmat mekaanisen metsäteollisuuden kohteet ovat tehontarpeeltaan ja jätepuumääriltään liian pieniä IGCC-tekniikalle.

Pienessä kokoluokassa perinteisen höyryprosessin kanssa kilpailevia tekniikoita ovat: pyrolyysiöljyä käyttävä dieselvoimala, puupölyn suora poltto kaasuturbiinissa sekä tässä projektissa tarkasteltava kaasutusdiesel. Näistä vaihtoehtoista lähinnä kaupallista toteutusta on kaasutusdiesel, jota on Suomessakin demonstroitu Ahlströmin ja Wärtsilän toimesta 1980-luvun puolivälissä. Tämän prosessin etuna leijukerrospolttoon ja höyryturbiiniin verrattuna on korkeampi hyötysuhde (lauhdetuotannossa) ja selvästi korkeampi rakennusaste yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa. Ahlströmin ja Wärtsilän lisäksi kaasutusdieselteknikkaa on kehitetty 1980-luvun lopulla Ruotsissa, Studsvik Ab:n (nykyään TPS) toimesta. Ainoa merkittävä tekninen ongelma näissä molemmissa hankkeissa oli kaasun puhdistus tervamaisista epäpuhtauksista ja osin niistä johtuneet korkeat CO- ja PAH-päästöt.

2 TAVOITE

Projektin tavoitteena oli arvioida biomassan kaasutukseen ja diesel/kaasumootoriin perustuvien pienvoimalaitoskonseptien kilpailukyky ja markkinapotentiaali sekä selvittää prosessiparametrien vaikutusta kiertomassakaasuttimen suorituskykyyn ja tervamaisten epäpuhtauksien muodostumiseen.

3 TOTEUTUS

Projekti toteutettiin VTT Energian kaasutustekniikan tutkimusryhmässä. Voimalaitoskonseptit mallinnettiin Aspen plus -ohjelmistolla, jolla laskettiin erilaisten prosessivaihtoehtojen aine- ja energiataseet. Konseptien sähkötuo-
tuotantokustannuksia verrattiin suoraan polttoon ja höyryprosessiin perustuvaan laitokseen. Biomassan käyttöön perustuvien pienvoimalaitosten mark-

kinapotentiaali selvitettiin olemassaolevan kirjallisuuden perusteella. Projektin kokeellinen toiminta toteutettiin VTT Energian Otaniemen koetiloissa olevalla ilmanpaineisella kiertomassakaasuttimella.

4 TEHTÄVÄT

Tämän, vuonna 1995 toteutetun yksivuotisen projektin tehtävät olivat:

1. Selvittää ilmanpaineiseen kaasutukseen ja diesel/kaasumoottoriin perustuvien voimalaitoskonseptin kilpailukyky höyryprosessiin verrattuna.
2. Selvittää biomassaa käyttävien pienvoimalaitosten markkinapotentiaali.
3. Tutkia kiertomassakaasuttimen toimintaparametrien vaikutus saavutettavaan hiilikonversioon, kaasun laatuun ja tervojen muodostumiseen.

5 RAHOITUS

Rahoittaja	1995 mk
Bioenergia tutkimusohjelma	300 000
Liekki 2 tutkimusohjelma	250 000
Imatran Voima Oy	50 000
Wärtsilä Diesel Oy	50 000
VTT	270 000

6 TULOKSET

6.1 KILPAILUKYKY

Tässä osatehtävässä tarkasteltiin vaihtoehtoisia kaasutukseen perustuvia diesel/kaasumoottorivoimalakonsepteja laitoskokoluokassa 6 - 50 MWe, taulukko 1. Konseptikehityksen tavoitteena oli korkean hyötysuhteen saavuttamisen ohella investointikustannusten minimointi.

Konseptit mallinnettiin VTT:n käytössä olevalla Aspen Plus ohjelmistolla, jolla laskettiin prosessien aine- ja energiataseet. Prosessit suunniteltiin ilmanpaineisen kiertomassakaasuttimen ja diesel/kaasumoottorin ympärille. Laskelmissa käytettyjen diesel/kaasumoottorikoneikkjen yksikköteho oli 5 MWe.

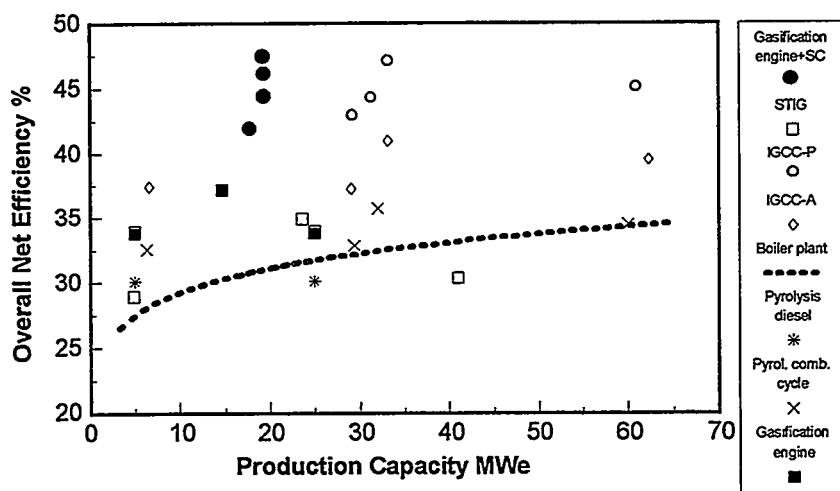
Perusversiossa, jossa sähköä tuotetaan pelkästään diesel/kaasumoottorilla, päästään sähkön tuotannon hyötysuhteessa tasolle 37 %. Vaikka hyötysuhde

onkin korkea perinteiseen höyryprosessiin verrattuna, ei prosessilla saavuteta kilpailukykyisiä sähköntuotantokustannuksia korkeampien investointikustannusten johdosta. Kun prosessiin lisätään höyrypiiri, päästään sähkön tuotannon hyötysuhteessa 44 - 48 %:n tasolle. Kuten kuvasta 1 nähdään, ovat saavutetut hyötysuhteet erittäin korkeita ja kilpailukykyisiä, kun niitä verrataan muiden, joko kaupallisella tasolla tai kehitteillä olevien biomassavoimalaitosprosessien hyötysuhteisiin.

Taulukko 1. Tutkitut prosessikombinaatiot.

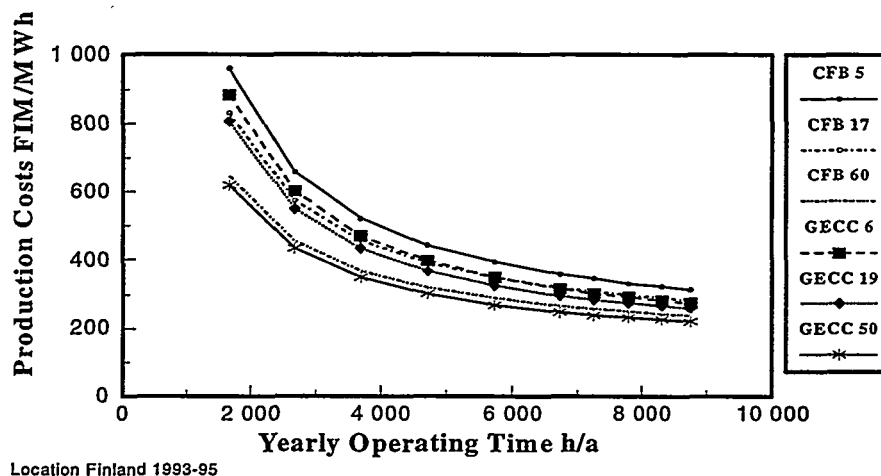
Koneikko	Koneikkojen määrä (kpl)	Savukaasukuivurin tyyppi	Kaasun puhdistus	Tuotettu energia
1. Diesel & SC	1	Varasto	Ni-kat.+suod.	Sähkö
2. Diesel & SC	1,2,3	Flash	Ni-kat.+suod.	Sähkö
3. Diesel & SC	1	Flash	Dol.kat.+suod.	Sähkö
4. Diesel	1	Flash	Ni-kat.+suod.	Sähkö & lämpö
5. Kaasumoott. & SC	1,2,3	Flash	Ni-kat.+suod.	Sähkö
6. Kaasumoott. & SC	1	Flash	Dol.kat.+suod.	Sähkö
7. Kaasumoott. & SC	1,2,3	Flash	Ni-kat.+suod.	Sähkö & lämpö

SC= höyrypiiri
Ni-kat. = nikkeli-katalyytti (momoliitti)
Dol-kat = Dolomiitti-katalyytti (leijukerros)



Kuva 1. Biomassaa käyttävien voimalaitosprosessien sähköntuotantohyötysuhteita /1/.

Kuvassa 2 on vertailtu höyrypiirillä varustetun kaasumootoriprosessin ja perinteisen höyryprosessin (kattila + turbiini) sähköntuotantokustannuksia kolmessa eri laitoskokoluokassa. Kuvasta nähdään, että tuotantokustannukset ovat molemmilla prosesseilla samaa suuruusluokkaa, joskin kaasumootorilla hieman alhaisempia. Sen sijaan yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa höyryprosessi on edullisempi, mikä lähinnä johtuu paremmasta lämpöenergian tuotannon hyötysuhteesta. Tästä myös seuraa, että kaasu/dieselmootoriprosessin kilpailukyky paranee tuotetun lämpöenergian arvon laskiessa.



Kuva 2. Sähkön tuotantokustannukset. CFB 5 = poltto+höyryprosessi 5 MW_e jne., GECC 6 = kaasutus+kaasumoottori+höyryprosessi 6 MW_e jne.

Biomassan kaasutus+kaasu/dieselmoottori -prosessin kilpailukyky perustuu pitkälti sillä saavutettavaan korkeaan sähkön tuotannon hyötysuhteeseen. Tämän vuoksi prosessi soveltuu parhaiten kohteisiin, joissa tuotetun sähkön arvo on korkea ja lämpöenergiaa ei tarvita. Höyrypiirin lisääminen prosessiin parantaa hyötysuhdetta 7 - 10 %-yksikköä ja pienentää sähköntuotantokustannuksia 3 - 5 %. Moottorityypillä (kaasu/diesel) ei ole tämän hetkisten tietojen perusteella merkittävää vaikutusta sähkön tuotantokustannuksiin.

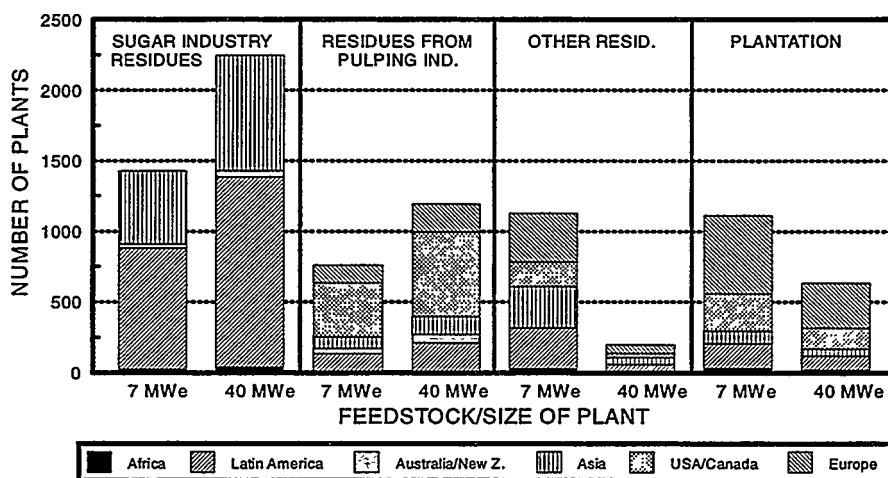
6.2 MARKKINAPOTENTIAALI

Biomassalla tuotettiin vuonna 1990 noin 13 % maailman koko energiantuotannosta. Eräissä kehitysmaissa biomassan osuus oli jopa yli 80 %, mutta teollistuneissa maissa keskimäärin vain noin 3 %. Teollisuusmaista Suomi ja Ruotsi ovat kärjessä biomassan hyödyntäjinä. Suomessa biomassalla tuotetaan 18 % ja Ruotsissa 16 % kokonaisenergiasta. Näissä laskelmissa

biomassaksi on luokiteltu polttopuun ja puuhiilen lisäksi maa- ja metsätalouden jätteet sekä metsä-, paperi- ja muun teollisuuden ja yhdyskuntien tuottamat jätebiomassat /2/.

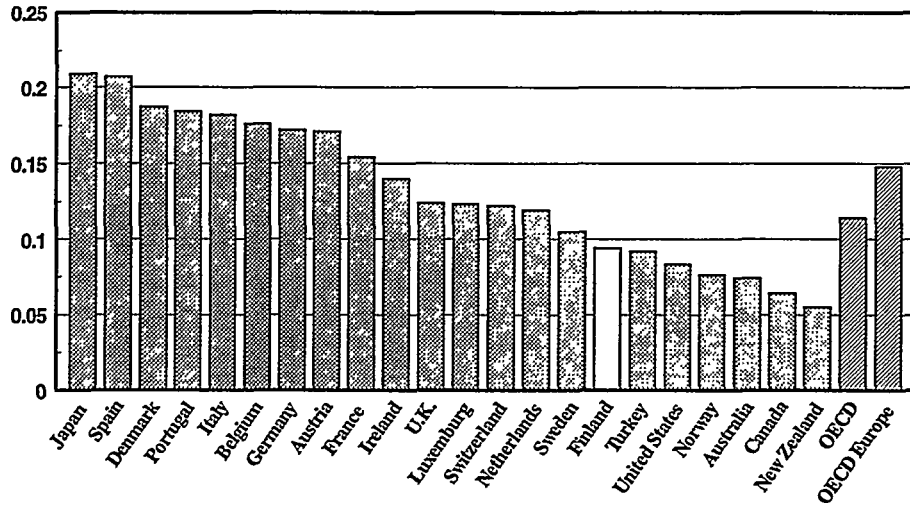
Kiinnostus erilaisten biomassojen ja jätemateriaalien energiakäyttöön on kasvamassa ympäri maailmaa. Kiinnostuksen kasvun taustalla ovat mm. ympäristökysymykset, kasvihuoneilmiö, jätteiden kierrätys/hyötykäyttö-tarve, maatalouden ylituotantoa tuottavien viljelymaiden muuttaminen muuhun hyötykäyttöön ja usein myös korkea sähkön hinta ja sen myötä ”oman” sähkön tuotantomahdollisuuden tarve. Voimakkaimmin kiinnostus kohdistuu, myös pienessä kokoluokassa, pelkästään sähköä tuottaviin laitoksiin, vähäisemmässä määrin yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon /2 - 5/.

Kuvassa 3 on esitetty arvio biomassaan perustuvan sähkön tuotannon potentiaalista vuonna 2025 /5/. Potentiaali on esitetty kahden eri kokoluokan (7 MW_e ja 40 MW_e) laitoksille, minkä lisäksi mahdollisuus pienempien kokoluokkien laitosten rakentamisille olisi erittäin suuri. Merkittävimmän potentiaalin muodostavat Etelä- ja Keski-Amerikan sekä Aasian maiden sokeiteollisuuden jätteet. Tämän lisäksi erittäin suuria biomassan energiakäytön kasvupotentiaaleja syntyy NAFTA-maissa (USA, Kanada ja Meksiko) ja Euroopassa.



Kuva 3. Biomassaan perustuvan energiantuotannon potentiaali vuonna 2025 /5/.

Consumer price US\$/kWh



Kuva 4. Sähkön kuluttajahintoja OECD-maissa /8/.

Euroopan maista biomassan energiakäytön ennustetaan kasvavan vuosiin 2005-2010 mennessä eniten Italiassa, Espanjassa, Saksassa ja Puolassa /6,7/. Näissä maissa biomassan energiakäytön arvioidaan kasvavan tasolle 140-260 PJ/a (Suomi 1990: 230 PJ/a), mikä olisi 3 - 6 kertainen nykyiseen käyttöön verrattuna. Huomattavaa bioenergian käytön kasvua ennustetaan myös Ranskaan, Englantiin ja Tanskaan. Kun lisäksi sähkön hinnat ovat Espanjassa, Tanskassa, Italiassa ja Saksassa erittäin korkeita (kuva 4), voidaan näiden maiden katsoa muodostavan Euroopassa merkittävimmän markkinapotentiaalin biomassaa käyttäville sähköntuotantolaitoksille.

6.3 KOKEELLINEN TOIMINTA

6.3.1 Koelaitteisto ja suoritettut kokeet

Projektin kokeellinen toiminta toteutettiin VTT Energian uudella ilmanpaineisella kiertomassakaasuttimella, jonka rakennustyöt saatiin päätökseen kesällä 1995. Kaasuttimen reaktorin sisähalkaisija on 0.15 m ja korkeus 7.9 m. Laitteiston maksimi teho on noin 350 kW ja se on varustettu biomassalle ja huonolaatuisille polttoaineille soveltuvilla syöttölaitteilla. Kaasutusilma syötetään esilämmittimien kautta reaktoriin joko yhdessä, kahdessa tai kolmessa eri vaiheessa. Kaasuttimessa on kaksi syklonia, joista ensimmäinen palauttaa kiertomassan reaktoriin ja toinen toimii kaasun puhdistimena. Haluttaessa kiintoaine voidaan palauttaa myös 2. syklonista reaktoriin. Vuoden 1996 aikana laitteisto varustetaan katalyyttisillä kaasun puhdistuslaitteistoilla, kaasun jäähdyttimillä ja kuumasuodattimella.

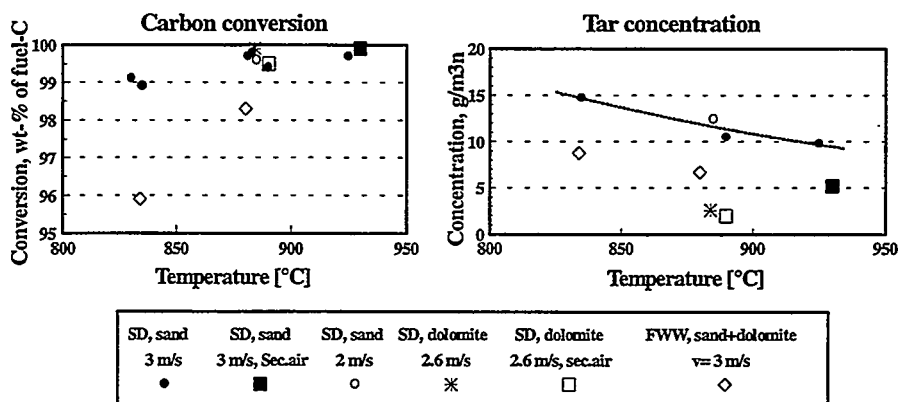
Vuonna 1995 suoritettujen kokeiden tavoitteena oli selvittää eri toimintaparametrien vaikutus kaasuttimen toimintaan, hiilikonversioon, kaasun laatuun ja tervamaisiin epäpuhtauksiin. Kaksi viikkoa kestäneet koeajot käsittivät yhteensä 12 erilaista tasejaksoa, joissa muuttujina olivat:

- polttoaine: sahanpuru, metsätähdehake
- kaasutuslämpötila: 830 - 930 °C
- ilmanjako: vain primääri-ilmaa, primääri- ja sekundääri-ilman syöttö
- kaasun nopeus reaktorin alaosassa: 2 - 3 m/s
- kiertomassan materiaali: hiekka, dolomiittikalkki

Suurin osa taseista tehtiin sahanpurulla. Metsätähdehakeella tehtiin vain kaksi tasetta. Kaasutusilman syötön vaiheistusta käytettiin kahdessa taseessa ja dolomiittia neljässä taseessa. Metsätähdehakeella tehdyissä kokeissa kiertomassana käytettiin hiekan ja dolomiittikalkin seosta.

6.3.2 Tulokset

Kaasuttimessa saavutettu polttoaineen hiilikonversio ja tuotekaasun tervapitoisuudet on esitetty kuvassa 5. Hiilikonversio oli sahanpurulla jo 830 °C:n kaasutuslämpötilassa hyvin korkea, 99 %. Kun kaasutuslämpötila kohotettiin 880 °C:n yläpuolelle, saatiin hiilikonversioksi 99.5-99.9 %. Metsätähdehakeella konversio jäi selvästi huonommaksi. Hiilikonversio oli 830 °C:n kaasutuslämpötilassa 96 % ja kun lämpötilaa kohotettiin 50 °C päästiin konversiossa tasolle 98 %. Kaasun nopeudella ja petimateriaalilla ei ollut merkittävää vaikutusta hiilikonversioon sahanpurun kaasutuksessa.



Kuva 5. Polttoaineen hiilen konversio kaasuiksi ja tuotekaasun tervapitoisuus CFB -kaasuttimessa. (Terva= yhdisteet, joiden moolipaino 79 - 202 g/mol)

Yhteenvedon suoritetuista kokeista voidaan todeta, että ilmanpaineisella CFB-kaasuttimella saavutetaan puulla erittäin hyvä hiilikonversio, kun kaasutus tapahtuu yli 900 °C:n lämpötiloissa. Kaasun tervapitoisuuteen voidaan vaikuttaa voimakkaasti kaasutusilman vaiheistuksella ja käyttämällä katalyyttistä kiertomassamateriaalia. Ainoaksi ongelmaksi osoittautui dolomiitin voimakas jauhautuminen. Jauhautuminen kasvattaa kiertomassan hävikkiä ja huonontaa suurien virtausnopeuksien käyttömahdollisuuksia.

Kokonaisuudessaan uusi koelaitteisto toimi hyvin. Se mahdollistaa monipuolisen tutkimustoiminnan, koska laitteisto on varustettu monipuolisella ilmansyöttöjärjestelmällä ja sitä voidaan käyttää sekä kaasuttimena että polttolaitteena. Laitteisto soveltuu myös kuplivan leijukerroskaasutuksen ja -polton tutkimuksiin.

7 JATKOSUUNNITELMAT

Tässä projektissa käynnistettiin kaasutus-dieseliin ja muihin ilmanpaineisen kaasutustekniikan sovelluksiin tähtäävä kokeellinen tutkimus. Tämän yksi-vuotisen projektin puitteissa rajoitettiin itse kaasuttimen toimintaan, kun taas tekniikan toteutuksen kannalta keskeiseen kysymykseen, kaasun puhdistukseen, keskitytään vuosina 1996-97 toteutettavassa jatkoprojektissa.

8 RAPORTIT

Kokeellisen tutkimuksen tuloksia julkaistaan yhdessä Liekki 2 tutkimusohjelmaan kuuluneiden projektien puitteissa kuplivalla leijukerroskaasuttimella tehtyjen ilmanpaineisten kaasutuskokeiden tulosten kanssa. Lisäksi projektin tuloksia on tarkoitus julkaista kesällä 1996 pidettävässä bioenergia-konferenssissa

LÄHTEET

1. Solantausta, Y., Bridgwater, T. & Beckman, D. 1996. Electricity production by advanced biomass power systems. Espoo: Technical Research Centre of Finland. 115 p. + app. 79 p. (VTT Research Notes 1729)
2. Hall, D.O. & House, J.I. 1995. Biomass (Other Than Wood) in Survey of Energy Resources. World Energy Council, Holywell Press Ltd, Oxford, U.K., pp. 197-206
3. IPCC Energy Supply Mitigation Options. Final draft, 9 July 1995. 156 p

4. *Hall, D.O. & House, J.I.* 1995. Biomass: an environmentally acceptable fuel for the future. *Journal of Power and Energy*, Vol 209
5. *Hislop, D. & Hall, D.O.* 1995. Biomass Resources for Gasification Power Plant. A Report for the IEA Bio-Energy Agreement Thermal Gasification Activity. 30 p
6. World Energy Council. 1992. Report 1992: International Energy Data. Immediaprint, London, U.K.
7. Energy in Europe: A view to the Future. Special Issue - September 1992. Commission of the European Communities.
8. IEA Statistics. Energy prices and taxes. Third quarter 1993. Paris 1994. 384 p.
9. *Kurkela, E., Ståhlberg, P. & Laatikainen, J.* 1993. Pressurized fluidized-bed gasification experiments with wood, peat and coal at VTT in 1991-1992. Part 1. Test facilities and gasification experiments with sawdust. Espoo: Technical Research Centre of Finland. 55 p. + app. 2 p. (VTT Publications 161)

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY
ASTOR LENOX TILDEN FOUNDATION
125 WEST 4TH STREET
NEW YORK, N.Y. 10014

BIOPOLTTOÖLJYJEN TUOTANTO JA KÄYTTÖ

FLASH PYROLYSIS FUEL OIL: BIO-POK - Y401

Steven Gust
Neste Oy,
P.O. Box 310,
FIN-06101 Porvoo, FINLAND
Tel. +358 15 54 111
Fax +358 15 54 7113

Abstract

Flash pyrolysis oil from Ensyn Tech., Canada and Union Fenosa, Spain was 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 changes but are still higher than from light fuel oil (Bach. <1). The modifications to the combustion system were: acid resistant progressive cavity pump, higher oil preheat temperature and higher oil pressure than for light fuel oils, refractory section between burner and boiler warmed up to at least 800 °C. In addition, it was necessary to store pyrolysis oil samples under inert conditions to prevent oxidation and to rinse nozzles with alcohol after shutdown to prevent coking. The complexity and cost of these system modifications are considered to be too great for current grades of flash pyrolysis oil to be sold as a light fuel oil replacement. Improvements to fuel quality will be necessary. The main improvements are lowering of viscosity and improving of stability.

1 INTRODUCTION

The aim of our work is to determine the technical feasibility and cost of combusting flash pyrolysis oil in intermediate size boilers which currently use light fuel oil. Intermediate size boilers are roughly classified as larger than residential boilers (15 - 20 kW) but smaller than the lower range of heavy fuel oil boilers (1 MW). Typical customers could be small industry, schools, hospitals, apartment buildings etc. 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.

Flash pyrolysis has been demonstrated as an efficient way (65 - 70 weight percent 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 oil quality is compared to light and heavy fuel oils it is meant to replace. (see below and Table 4).

Flash pyrolysis oil is currently in the early stages of application testing. It is being tested as a fuel for gas turbines, stationary diesels and boilers. Present quality levels are intermediate between that of a low sulfur heavy fuel oil and a light fuel oil. For profitable production, replacement of a light fuel oil is necessary. Based on the current quality levels of flash pyrolysis oil, replacement of a residential heating fuel is not possible; but large, light fuel oil customers that currently use Tempera 15 could utilise flash pyrolysis oil providing a number of fuel characteristics are improved and shipping, storage, delivery and combustion systems are modified.

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 GRADES OF FUEL OIL

The most important property which distinguishes between different fuel oil grades is viscosity. The lower the viscosity, the easier it is to store, pump and atomise and the better the low temperature characteristics. Light fuel oils have room temperature viscosity of 3 - 6 cSt while heavy fuel oils are 200 - 500 cSt at 50 °C. The viscosity of flash pyrolysis oil is dependent on water content and varies from 100 - 1000 cSt at 30 °C and 10 - 20 cSt at 89 °C. Other important fuel properties are: flash point, heating value, cloud point, cold filter plug point. These properties are used for the design of combustion systems and the choice of pumps, storage tanks etc. Contaminants in the form of heavy metals, sulfur, nitrogen and solids content are important for emission control and system reliability.

When considering fuel specifications for different grades of flash pyrolysis oil, a good starting point is the specs for different petroleum products. Some of these tests can be directly applied while others will have to be modified. Additional tests will be needed to measure for example stability.

3 FUEL OIL COMBUSTION

There are only minor differences in light fuel oil grade specs and combustion techniques in different countries. In general, light fuel oil is pressurised to 8 - 10 bars and atomised in a pressure swirl or simplex nozzle to produce a fuel spray. Under these conditions small drops are produced, on the order of 20 - 40 micrometer diameter. Light compounds evaporate, mix with oxygen, ignites and combusts. Heavier compounds form coke or cenospheres and combust giving a yellow flame. The combustion system is composed of a storage tank, burner and boiler. The burner contains a fan, an oil pump, a nozzle, ignition coil and burner retention head. The nozzle imparts circular or swirl motion to the oil which when combined with swirling air produced from the burner retention head, gives a good fuel/air mixture. This turbulent mixing allows combustion to take place in a relatively small, compact volume. Heat is transferred from the flame through the boiler walls to either air or water which is used for heating and hot water systems. The system is designed so that the temperature of the escaping flue gases are kept above the dew point at 150 - 170 °C.

Using this simple technology, relatively low emissions of carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x) and soot or smoke number are produced. Typical values are: CO 10 - 20 ppm, NO_x 80 - 120 ppm, and soot as measured on the Bacharach smoke scale <1. Burners are also available in which oil is vaporised prior to combustion lowering NO_x emissions to under 50 ppm. Oil preheaters may be used to ensure good atomisation with heating of the light fuel to 40 - 50 °C. In order to achieve higher efficiencies, condensing boilers are also available in which flue gases are cooled allowing water to condense. Depending on fuel sulfur content and NO_x emissions, the condensate must be neutralised prior to disposal.

A wider range of technologies has been developed for heavy fuel oils than for light fuel oils. Atomisers range from the simple pressure type, to air, steam or rotating cup. Here oil is preheated to 100 - 140 °C depending on the atomiser type and initial viscosity. Oil pressure can range from 10 to 30 bars depending on atomiser type and viscosity. These measures reduce drop size to those approaching light fuel oils. For very viscous fuels, combustion air is also heated to assist in fuel evaporation.

4 FLASH PYROLYSIS COMBUSTION

There is limited published work pertaining to the combustion of flash pyrolysis oil in practical systems. Early work on slow pyrolysis oil is of limited value due to the large differences in fuel properties between slow and fast

pyrolysis oil. Recent 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 have provided general insights into the combustion process. These works have shown that although the actual process of flash pyrolysis combustion may differ from petroleum oils, the overall combustion time required for complete burnout is similar. This means that flash pyrolysis oils can be combusted in existing boilers and engines provided suitable atomizers and fuel delivery systems can be constructed.

In the 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 oil. All emissions were reportedly lower than for heavy fuel oil.

5 SAMPLES TESTED

The samples tested are shown in Table 1. In addition some preliminary tests were done on a sample from Ensyn with 25 wt% water but high solids content of 2 wt%. Some filtering trials were done on this sample but problems occurred due to combination of char and lignin fraction forming a paste and blocking of filters.

Table 1. Flash pyrolysis samples at Neste.

	Ensyn		Union Fenosa
feedstock	hardwood		eucalyptus
at Neste	11/94	11/95	8/94
water wt%	18	23	19
name	En4/18	En5/23	UF4/19
solids wt%	0.5	0.7	0.7

6 EQUIPMENT & METHODS

Oxygen was measured using a Hartmann & Braun (H&B) Magnos 3 paramagnetic analyzer, carbon monoxide on a H&B Uras 3G IR-absorption, nitrogen oxides on a AAL 443 chemiluminescence instrument. Particulate levels were determined by drawing a known volume of flue gas through a filter and optically measuring the grayness level and reporting as a Bacharach smoke number.

7 RESULTS

7.1 PRELIMINARY COMBUSTION TESTS

Initial combustion testing was performed on Ens93 (25 wt% water, 2% solids) in a district heating type 2.5 MW Danstoker boiler fitted with a dual fuel burner using normal pressure atomisation. Initial tests with unfiltered flash pyrolysis oil caused pump pressure to fluctuate by ± 3 bar and stable combustion could not be obtained. The oil was then filtered to < 35 microns. In the first series of combustion tests, the burner was used in the dual fuel mode and different light fuel oil to flash pyrolysis oil ratios were tested. A variety of nozzle types, excess air amounts, oil preheat temperature and pressures were tested. It was found that flash pyrolysis oil was not able to combust on its own under these conditions. The pyrolysis flame ignited almost immediately after switching off the mineral oil.

In the next set of tests, a sheet metal tube was inserted into the boiler and warmed up with light fuel oil. This clearly improved pyrolysis ignition and combustion could take place without the mineral oil. But the pyrolysis oil could not maintain the insert temperature which slowly cooled which lead to the flame extinguishing. During these tests it was noted that the pyrolysis oil flame was composed of two sections. The section close to the nozzle was presumably from the combustion of light, volatile components of the pyrolysis oil while the second section was of the char combustion.

In the next series of tests, the insert was wrapped with insulating material. The flash pyrolysis oil was now found to be able to combust on its own without an auxiliary fuel. Emissions (CO , NO_x and particulates) were high with the best results: NO_x 140 ppm, CO 90 ppm and particulates with a Bacharach number of 6 - 7. The particulates were both higher and due to their brown colour of different composition than for mineral fuel oils.

7.2 SYSTEM MODIFICATIONS AND EFFECT ON RESULTS

Based on the results of the initial tests, an existing combustion system was modified. A refractory section of dimensions approximately 1 meter long by 0.4 meter diameter was placed between an Arimax Eetta 200 kW boiler and a Oilon KP24H dual fuel burner. Burner control was modified so that two fuels could be combusted simultaneously or independently. A 1 kW fuel preheater was used to control temperatures in the range 60 - 90 °C. A Danfoss 1.75 gal 60°S nozzle was used for pyrolysis oil combustion. Nozzle capacities for mineral oil and pyrolysis oil were chosen to enable rapid warming up of the refractory and to help in air adjustments when switching between fuels. The original oil pump was replaced with a progressive cavity

pump. Different pump materials were tested. Typical results are shown in Table 2.

Table 2. Flash pyrolysis oil emissions (1 meter refractory).

	O ₂ vol%	CO ppm	NO _x ppm	Bach. value	oil press. bars	oil T C
Tempera 15	3	14	128	1	10	24
	6	10	111	1,2	10	24
Ens94	4	32	142	5	15	90
	6	28	137	5	15	90
UF +3%EtOH +3% H2O	5	11	100	7,4	16	85
	8	11	90	7,2	16	85

It was found necessary to warm the refractory up to at least 800 °C before the pyrolysis oil samples would ignite and combust on their own. Rinsing the nozzles out with alcohol as the final step of combustion was required to prevent coking in the lines after shutdown. Coking was caused by the hot refractory radiating heat back to the nozzle raising its temperature to above 200 °C. Rinsing out with mineral oils in the system configuration tested was found not to be adequate. Combustion of Union Fenosa sample was not stable. Additions of ethyl alcohol and water were used to reduce viscosity but even with these additions, pumping pressure fluctuated.

During these tests it was noted that the flue gas temperature was <120 °C. This is less than the gas dew point and was expected to lead to higher emissions. The refractory was then shortened which raised the flue gas temperature and reduced particulates as shown in Table 3.

Table 3. Flash pyrolysis oil emissions (shortened refractory).

	O ₂ vol%	CO ppm	NO _x ppm	Bach. value	oil press. bars	oil T C
Tempera 15	3	12	60	0	10	24
Ens94+ 4% EtOH	5	40	170	2,5	18	80

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. Results for a Monarch 2.25 US gal./hour nozzle are shown in Table 3. Note that alcohol added to Ens94 was to counteract the effect of viscosity increase during storage.

8 DISCUSSION

1. A summary of flash pyrolysis results is shown in Table 4 with comparison to wood chips, a light to medium fuel oil Temperra 15 and a heavy fuel oil Master 180. Other grades of heavy fuel oil are also available. Note in the table that the heating value is for dried wood chips. Fresh cut wood has moisture content of 40 - 50% and woodchips have heating value of about 3 MJ/l. Emissions vary considerably depending on what system is employed and a range of values is given in the table. Flash point for pyrolysis oil varies depending on water content. Solids content for pyrolysis oil is after the cyclone, lower values can be obtained with hot gas filtering. The Sauter diameter values give an indication of drop size in the spray.

Table 4. Flash pyrolysis oil properties and emissions compared to alternative fuels.

	Temperra 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

2. In the combustion configurations tested to date it was found that flash pyrolysis oil would not ignite and achieve self-sustaining combustion until a refractory section, placed between the burner and boiler, was warmed up to at least 800 °C. The failure to ignite at lower temperatures is most likely caused by heat removal from the flame during water evaporation. In order to achieve the goal of retrofitting existing boilers, the refractory must be designed such that warm up time is minimised and that boiler efficiency is not significantly reduced.

3. In the boiler configurations tested to date, particulates, NO_x and carbon monoxide are all higher from flash pyrolysis oil than from fuel oil under similar conditions. NO_x emissions could have significant contributions from fuel nitrogen depending on feedstock. Particulate emissions will be strongly influenced by fuel solid content. The brown color of the particulates from pyrolysis oil combustion indicates presence of tars which can be reduced with further improvements of atomisation and/or of oil quality.

4. Existing dual fuel 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. Fuel oil boilers operate in a cycle mode. The duration and frequency of cycles varies depending on the application This can mean as many as 40-50 on-off cycles per day. As discussed earlier, a hot environment in the vicinity of the nozzle is required for ignition. This leads to nozzle coking after shutdown unless this heat is quickly removed or pyrolysis oil is stabilised. Rinsing with alcohols was found to be an effective way to clean nozzles during our tests but is not considered to be a practical solution. Flushing with mineral oils was not effective.

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. 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. (90) 70951
Faksi (90) 773 3060

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 and 1997 pyrolysis oil made of wood will be 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 1995 tilattiin voimalaitoskäyttöön yhteisteholtaan noin 8000 MW öljykäyttöisiä dieselmottoreita. Kaasuturpiinien tilausteho puolestaan jäin noin 3000 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 olla 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 hintamuu-toksille 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 1995 aikana olivat:

1. MW bioöljyvoimalaitoksen käyttöönotto
2. Voimalaitoksen testaus rypsiöljyllä
3. Pyrolyysiöljykokeiden valmistelu

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	975.000	450.000	1.763.000
KTM	250.000	650.000	300.000	1.200.000
Yhteensä	688.000	1.625.000	750.000	2.963.000

6 TULOKSET

Rypsiöljyn käyttöä Vasa 4L32 dieselmoottorissa testattiin 197 tunnin ajan VTT:n laboratoriossa 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. Mootorin 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.

7 JATKOTEHTÄVÄT

Pyrolyysiöljyn testausta varten kone on varustettu tarvittavilla uusilla polttoaineen syöttöjärjestelmillä. Lisäksi Kanadasta on hankittu 100 tonnia pyrolyysiöljyä. Kokeet pyrolyysiöljyllä tehdään vuosina 1996 ja 1997.

Projektin lopussa tehdään voimalan pyrolyysiöljyä käyttävän voimalan konseptisuunnitelmat. Tavoitteena on kaupallisen demonstraatiolaitoksen rakentaminen vuosina 1997 - 1998.

BIOÖLJYN TUOTANTO FLASHPYROLYYSILLÄ JA SEN POLTTO - D403

Timo Nyrönen
Vapo Oy
PL 22
40101 Jyväskylä
Puh. (941) 623 623
Faksi (941) 613 599

Abstract: Production of bio-oil with flash pyrolysis and the combustion of it

The target of the research is to study the production of bio-oils using flash-pyrolysis and utilization of the bio-oil in oil-fueled boilers. The PDU-device was ordered in December 1994. The device was tested in Canada in the beginning of March 1996. The device will be mounted in Otaniemi in the research unit of VTT Energy. The device will be equipped, if possible, with a hot-filtering device in order to improve the purity and the quality of the oil.

The capacity of the PDU-device is 20 kg/h of dry biomass of about 10 wt-% DS-content, with particle size less than 6 mm. The actual tests will be made in autumn 1996.

The investment costs of the PDU are about 2.5 million FIM. The Canadian funding of the project is about 50 %.

It has been planned that within the research project of Vapo oy, about 50 - 100 tons of bio-oil will be acquired from Canada for the engine tests carried out by Wärtsilä Diesel, and the project will be responsible for planning and operation of the PDU and the demonstration plants. About 50 tons of wood-oil was received from Canada in January 1996 for the engine tests, the results of which will be reported separately by Wärtsilä Diesel.

The present costs of the tasks are about 1.2 million FIM, but the main part of the costs will be formed in 1996-1997.

INVESTOINTIPROJEKTI

Työ on edennyt sisällöltään suunnitelmien mukaisesti. Sopimusneuvottelut venyivät tammikuusta 1994 kesäkuun 1995 loppuun kunnes yhteistyösopi-

mus saatiin allekirjoitettua kaikkia osapuolia tyydyttävällä tavalla. Tästä syystä alkuperäisestä aikataulusta ollaan jäljessä runsas vuosi. PDU-laitteisto tilattiin joulukuussa 1994, koeajot sillä on suoritettu Kanadassa maaliskuun alussa 1996. Laivauksen jälkeen se pystytetään Otaniemeen VTT Energian tiloihin huhtikuussa 1996. Lisälaitteistona siihen pyritään asentamaan kuumasuodatin puhtaamman ja parempilaatuisen öljyn valmistamiseksi.

PDU-laitteiston kapasiteetti on 20 kg/h kuivaa, noin 10 p-% biomassaa, jonka raekoko on alle 6 mm. Kokonaisuudeltaan se tulee olemaan monipuolisin flash-pyrolyysin tutkimuslaitteisto kokoluokassaan. Varsinainen ajojakso ITP-prosessin kriittisten parametrien selvittämiseksi tehdään tulevan syksyn aikana.

PDU:n investointikustannukset ovat noin 2.5 milj.mk, joka on toteutumassa suunnitelmien mukaisesti. Kanadalainen rahoitus on 50 % hankkeesta.

Vapon demonstraatioprojektin suunnittelutyö alkaa nykynäkymin syksyllä 1996, jotka tähtäävät investointipäätöksen tekoon alkuvuodesta 1997.

VAPON SELVITYSPROJEKTI

Selvitysprojehtilla tullaan suunnitelmien mukaan hankkimaan Kanadasta 50 - 100 tonnin öljyerä Suomeen Wärtsilä Dieselin moottorikokeisiin, vastamaan PDU:n ja Demolaitoksien suunnittelusta ja käytöstä. Tammikuussa 1996 Kanadasta saapui 50 tonnia puuöljyä moottorikokeisiin, jonka käyttötulokset raportoidaan erikseen Wärtsilä Dieselin toimesta.

Hankkeiden toteutuneet kustannukset ovat toistaiseksi noin 1.2 milj.mk, pääosa kustannuksista tulee syntymään vuoden 1996 ja 1997 aikana.

PYROLYYSIÖLJYN VALMISTUS, OMINAISUUDET JA KÄYTTÖ - 405

Kai Sipilä
Anja Oasmaa
Vesa Arpiainen
Eeva Kuoppala
Eero Leppämäki
Yrjö Solantausta
Johanna Levander

VTT Energia
PL 1601
02044 VTT
Puh. (90) 4561
Faksi (90) 460 493

Abstract: Pyrolysis oil production, properties, and utilization

The main tasks for 1995 were: design and assembling of experimental reactors, and physical and chemical characterisation of pyrolysis oils.

A PDU-unit (20 kg/h) has been designed and it will be assembled in April 1996. A 1 kg/h pyrolyzer has been constructed with a hot-filtration system (a ceramic candle filter) and direct quenching with a hydrocarbon oil. The equipment has worked well. Pine saw dust has been used as a feed and a good-quality solids-free product oil has been obtained. In addition to this, a smaller (150 g/h) pyrolyzer has been bought from Canada (University of Waterloo). The small equipment will be used for example for catalytic upgrading of pyrolysis vapours.

Chemical characterisation of pyrolysis oil has been carried out 1995. Water extraction has been developed for a fractionation method. Pyrolysis oil samples produced from mixed hardwood, eucalyptus and straw have been employed. The objective of the study has been to develop a simple characterisation method for comparison of different pyrolysis oils. For example reactive compounds have been identified. Main analytical method for analysing the water-soluble fraction has been GC-MS. The research will be continued 1996. A literature review of chemical and physical characterization of pyrolysis oils has been published 1995.

Testing of fuel oil analyses has been continued within the IEA pyrolysis project. VTT Energy is responsible for fuel oil analytical methods.

1 TAUSTA

Wärtsilä Diesel Oy, Vapo Oy, Neste Oy, IVO Oy, Metsä-Serla ja VTT ovat yhteistyössä selvittämässä uuden bioenergian jalostusvaihtoehtoon, nopean pyrolyysin, toteutettavuutta. Kahta sovellusta tutkitaan:

1. Pyrolyysiöljyn (biopolttoöljyn) käyttö dieselvoimalan polttoaineena, ja
2. Biopolttoöljyn käyttö kevyen polttoöljyn (Tempera 15) korvaajana suurkiinteistöjen öljykattiloissa.

Biopolttoöljy on IEA:n bioenerbiasopimuksessa tehtyjen selvitysten mukaan edullisin biomassasta valmistettu polttoneste. Kanadassa, USA:ssa ja EU:n JOULE-ohjelman tuella Euroopassa on tutkittu puusta pilot-laitoksissa valmistetun pyrolyysiöljyn tuotantoa ja ominaisuuksia. Tähän mennessä VTT:n, Wärtsilä Dieselin ja Nesteen kokeita varten on Suomeen tuotu noin 60 tonnia puusta valmistettua bioöljyä. Öljyn tuotantokustannuksia on kuitenkin vielä pystyttävä alentamaan, sen laatua on parannettava, ja tasalaatuisen öljyn tuotanto on osoitettava mahdolliseksi, ennenkuin biopolttoöljy voidaan tuoda markkinoille.

2 TAVOITE

Vuoden 1995 Bioenergia-ohjelman projekti "pyrolyysiöljyn valmistus, ominaisuudet ja käyttö" on jatkoa vuoden 1994 samannimiselle projektille. Projektin päätavoitteena on tukea uuden biopolttoöljyä tuottavan prosessikonseptin kehitystä. Biopolttoöljyä voidaan käyttää kattilapolttoaineena tai dieselvoimalan polttoaineena. Tavoitteena on syventää pyrolyysin perusilmiöiden tuntemusta ja näiden avulla optimoida prosessikonseptia.

Projekti tukee Nesteen yritysprojektin lisäksi Vapon ja Wärtsilän yhteensä 30 Mmk:n demonstraatioprojekteja. Työssä tuotetaan myös perustietoa uuden pyrolyysikonseptin, Integrated Thermal Processing (ITP), kehitystyöhön. ITP on VTT:n kehittämä menetelmä, jossa kanadalainen pyrolyysitekniikka on integroitu leijukerrosvoimalaan. Työn tässä osassa pyrolysoidaan myös polttoaineita, jotka ovat kotimaassa keskeisiä (turve, metsätähdhake).

Projektissa osallistutaan myös IEA Bioenerbiasopimuksen "Pyrolysis" -projektiin. IEA työssä laaditaan mm. öljyille standardimääritykset ja kehitetään kriittisten ominaisuuksien analytiikkaa. Biopolttoöljyt eroavat markkinoilla olevista hiilivetypolttoaineista oleellisesti, eivätkä näille kehitetyt standardimenetelmät yleensä sovellu biopolttoöljyille. Vientimarkkinoiden ja standardisoimistyön takia kansainvälinen yhteistyö on välttämätöntä. IEA

on hyvä foorumi hankkia tietoutta USA:sta ja Kanadasta, jossa alan perustietämys on korkealla tasolla.

3 TOTEUTUS

Tutkimuksen vastuullinen johtaja on prof. Kai Sipilä. Tutkimus toteutetaan VTT Energian prosessiryhmässä. Projekti tukee Vapon, Wärtsilä Dieselin ja Nesteen demonstraatio- ja yrityshankkeita. Tuloksia voivat käyttää yritykset kehityshankkeissaan.

4 TEHTÄVÄT

Vuoden 1995 keskeisimmät työt olivat:

- Koelaitteistojen, erityisesti PDU-koelaitteiston, suunnittelu ja hankinta
- Pyrolyysiöljyjen fysikaalinen ja kemiallinen karakterisointi

5 RAHOITUS

Projektin rahoitus vuodelle 1995 oli 1 171 000 mk. Yritysten rahoitusosuudet on laskutettu suunnitelmien mukaan. Koko raha käytettiin vuoden 1995 aikana loppuun. Projektin rahoitus vuodelle 1996 on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Projektin rahoitus 1996.

Rahoittaja	1996 mk
	454 620
Bioenergian tutkimusohjelma	
Wärtsilä	100 000
Neste	100 000
IVO	100 000
VTT	177 980
Yhteensä	932 600

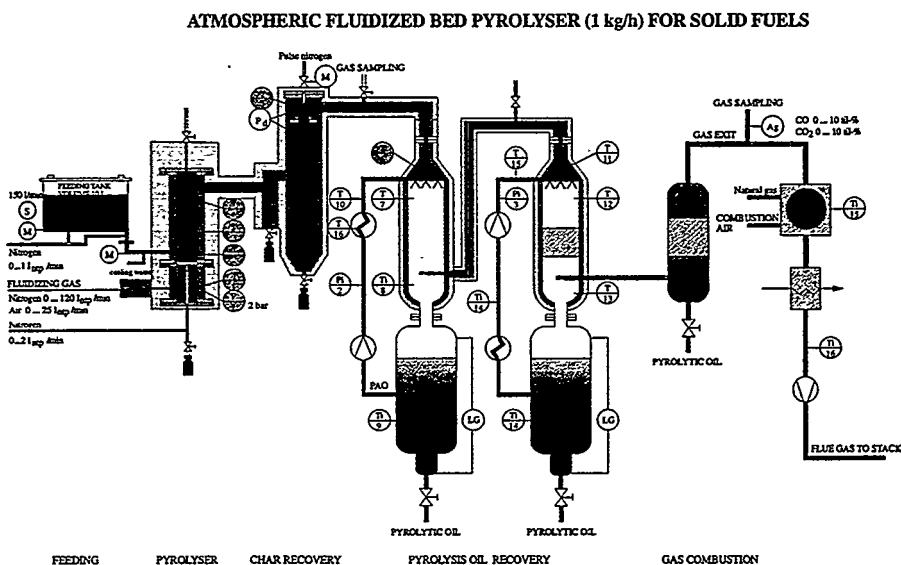
6 TULOKSET

6.1 KOELAITTEISTOT

Vuoden 1995 aikana on suunniteltu 1996 huhtikuussa asennettavaa PDU-koelaitteistoa (20 kg/h).

Pienimuotoisempaa koetoimintaa varten on rakennettu kapasiteetiltaan 1 kg/h pyrolysaattori (kuva 1). Laitteistoon on asennettu kuumasuodatin (keraaminen kynttiläsuodatin) sekä valkoöljyruiskutuksella tapahtuva kondensointiyksikkö, jotka molemmat ovat toimineet hyvin. Testiajoissa on raaka-aineena käytetty mäntypurua, josta on tuotettu hyvälaatuista pyrolyysiöljyä (taulukko 2).

VTT ENERGY
Process Technology Group



Kuva 1. Pyrolyysikoelaitteisto (kapasiteetti 1 kg/h).

Taulukko 2. Pyrolyysiöljyn polttoaineanalyysijä.

	Mäntypyrolyysiöljy	
	testi 1	testi 2
kiintoaines, p-%	0,02	0,2
vesi, p-%	19,7	12,4
pH	2,8	3,1
viskositeetti, cSt		
20 °C	185	207
50 °C	25	26
Lämpöarvo, MJ/kg		
HHV	16,5	20,3
LHV	18,0	18,7
tiheys (15 °C), kg/dm ³	1,243	1,235
tuhka, p-%	0,07	0,07
Na, ppm	<1	<1
K, ppm	2,5	<1
Ca, ppm	16	<1
Mg, ppm	7	4
Conradson hiiltojäännös, p-%	18	18

Kanadasta (University of Waterloo) on lisäksi ostettu pienempi (150 g/h) pyrolysaattori, jota sisäänajetaan kotimaisilla raaka-aineilla maaliskuun aikana 1996. Koelaitteistolla on myöhemmin tänä vuonna tarkoitus tutkia kaasufaasissa tapahtuvaa kemiallista jalostusta. Tutkimusta varten laitteistoon rakennetaan erillinen katalyyttireaktori.

6.2 PYROLYYSIÖLJYJEN FYSIKAALINEN JA KEMIALLINEN KARAKTERISOINTI

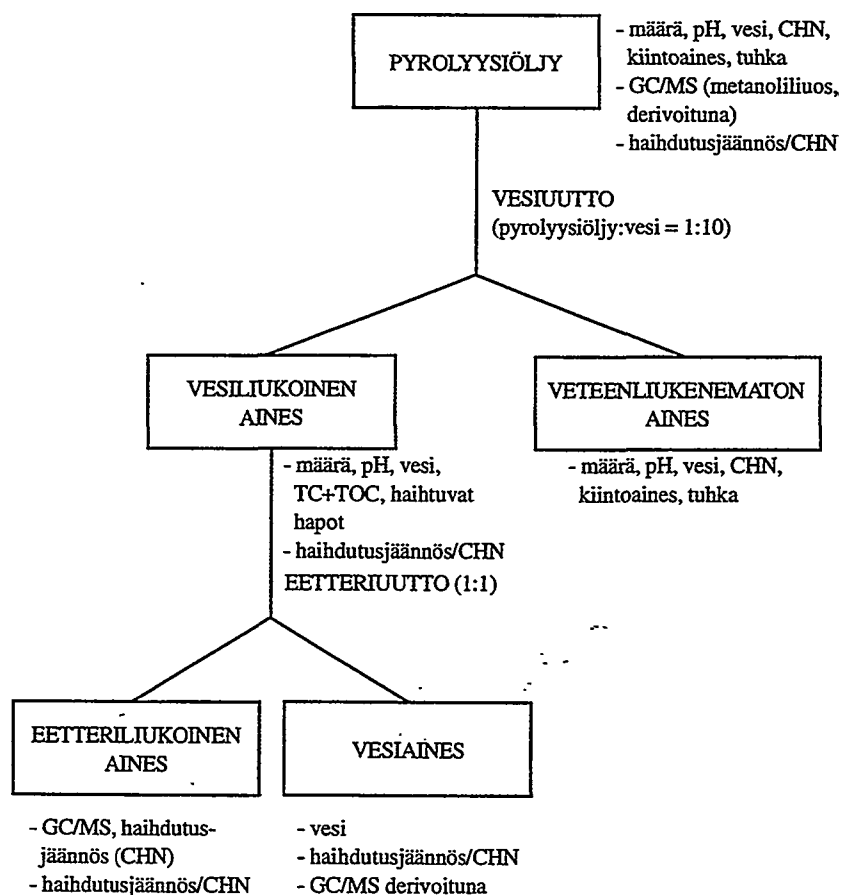
Pyrolyysiöljyjen kemiallista karakterisointia on jatkettu tänä vuonna jakamalla öljy ensin vesiliukoiseen ja veteenliukenemattomaan jakeeseen (kuva 2). Näytteinä ovat olleet sekalehtipuun, eukalyptuspuun ja oljen pyrolyysiöljyt. Tavoitteena on ollut kehittää mahdollisimman yksinkertainen karakterisointimenetelmä, jolla saadaan näkyviin eroja eri pyrolyysiöljyjen välillä. Tutkimuksen kohteena ovat olleet mm. pyrolyysiöljyjen reaktiiviset ryhmät. Vesiliukoisesta jakeesta pääanalyysimenetelmänä on ollut GC-MS.

Esikokeissa havaittiin seuraavaa:

- Vesiuuttomenetelmän toistettavuus on hyvä.
- Vesiuuttoon perustuva kemiallinen karakterisointi antaa eroja eri öljyille. Vesiliukoisesta jakeesta voidaan analysoida kvantitatiivisesti mm. pyrolyysiöljyn sisältämät haihtuvat hapot. Hiilihydraattien kvalitatiivinen

analyysi kannattaa jatkossa tehdä alkuperäisestä öljystä, koska hiilihydraatit eivät jakaudu selkeästi yhteen jakeeseen fraktioinnissa. Veteen liukenematon aines on pääasiassa ligniiniperäistä ainesta. Sen analyyttinen pyrolysointi (Pyr-GC/MS) saattaisi olla hyödyllistä jakeen karakterisoinnissa.

- Alkuperäisessä öljyssä tapahtuu saostumista ajan funktiona. GC-MS-tekniikalla pyritään tunnistamaan saostuvia yhdisteitä.



Kuva 2. Pyrolyysiöljyjen kemiallinen karakterisointikaavio.

6.3 IEA PYROLYSIS ACTIVITY

Pyrolyysiöljyn polttoaineanalytiikan testausta jatketaan IEA pyrolyysi-projektin puitteissa. VTT Energia/BIK on mukana kyseisessä projektissa ja vastaa mm. pyrolyysiöljyjen polttoaineanalytiikasta. Työssä kehitetään mm. näytteenotto- ja näytteenesikäsittely-menetelmiä, jotka ovat oleellisen tärkeitä pyrolyysiöljyjen luotettavalle analysoinnille.

6.4 MATERIAALITUTKIMUS

Materiaalien kestävyyttä pyrolyysiöljyssä eri lämpötiloissa on testattu laboratoriokeuin. Testikappaleen painohäviötä on seurattu (taulukko 3). Testattavat materiaalit soveltuvat joko pyrolyysiöljyn varastointiin, siirtoon tai käyttöön dieselmoottorissa. Teräksistä materiaalit, joiden kromi- ja nikkelpitoisuus ovat korkeita, ovat osoittautuneet kestävimiksi pyrolyysiöljyssä. Testejä jatketaan.

Taulukko 3. Korroosiotestituloksia.

Materiaali	Koostumus	Testiolosuhteet	Painohäviö, p-%
teflon		6 viikkoa huoneenlämpötilassa	0.000
AISI 01 AISI 316 *	0.9% C, 1.2% Mn, 0.5% W, 0.1% V 0.05% C, 17% Cr, 11% Ni, 2.2% Mo	24h 60°C 6 viikkoa huoneenlämpötilassa	0.823 0.000
AISI 420		6 viikkoa 50°C 3 kk 50°C	0.000 0.191
HASTELLOY X	0.4% C, 13.6% Cr, 0.8% Si, 0.5% Mn	6 viikkoa huoneenlämpötilassa 6 viikkoa 50°C	2.2 0.012
NIMONIC 80A	21% Cr, 19% Fe, 9% Mo, 2% Co, 0.5% W 19.5% Cr, 2.4% Ti, 1.4% Al	6 viikkoa huoneenlämpötilassa	0.002 0.109 0.226
HAYNES 188		6 viikkoa huoneenlämpötilassa	0.000
ARCLOK	22% Cr, 22% Ni, 15% W 12.7% Cr, 4.2% Ni, 1% Mo, 1% Mn, 0.02% C, 0.3% Si	1 viikko 80°C 3 viikkoa 80°C 6 viikkoa huoneenlämpötilassa 1 viikko 80°C 6 viikkoa huoneenlämpötilassa	0.006
kupari		1 kk huoneenlämpötilassa	0.000
messinki	99.5% Ni, 100 ppm Co	1 kk 50°C 1 viikko 80°C 3 viikkoa 80°C	0.000 0.005 0.009
kromipinnoite nikkeli		6 viikkoa huoneenlämpötilassa 1 viikko 80°C 6 viikkoa huoneenlämpötilassa	0.000 1.0 0.004
NIKROTAL 80	80% Ni, 20% Cr	6 viikkoa huoneenlämpötilassa	0.005

* Werkstoff no. 1.4401, SS 2347, Avesta 832SF

7 TUTKIMUKSEN JATKO

Vuoden 1996 tärkeimmät osatehtävät ovat:

- PDU-koelaitteiston (20 kg/h) sisäänajo ja testaus.
- Pyrolyysiöljyjen valmistus kotimaisista raaka-aineista (turve, metsätähdehake, rapsi) sekä oljesta. Kiintoaineksen ja alkalien poisto kuumasuodatuksella. Koelaitteistot: g/h, 1 kg/h, 20 kg/h.
- VTT:n koelaitteistoilla valmistettujen pyrolyysiöljyjen analysointi kehitetyllä vesiututukseen perustuvalla kemiallisella karakterisointimenetelmällä.
- IEA yhteistyöön osallistuminen. Tavoitteena on kehittää standarimenetelmät öljyn kriittisten ominaisuuksien määrittämiseksi. Työssä tullaan myös käsittelemään käyttöturvallisuuteen ja terveysriskeihin liittyviä asioita.

8 RAPORTIT JA JULKAISUT

Solantausta, Y., Nylund, N-O., Westerholm, M., Koljonen, T., Oasmaa, A. Wood Pyrolysis Oil as Fuel in a Diesel Power Plant. *Bioresource Technology* 46 (1993) 177-188.

Solantausta, Y., Nylund, N-O., Gust, S. Use of Pyrolysis Oil in a Test Diesel Engine to Study the Feasibility of a Diesel Power Plant Concept. *Biomass and Bioenergy* 7 (1994)1-6, 297-306.

Solantausta, Y., Nylund, N-O., Oasmaa, A. Preliminary Tests with Wood-Derived Pyrolysis Oil as Fuel in a Stationary Diesel Engine. In: *Proc. Biomass Pyrolysis Oil, Properties and Combustion Meeting*, ed. NREL, September 26-28, 1994, Estes Park, Colorado, USA, p. 355-361.

Oasmaa, A., Leppämäki, E., Koponen, P. Physical Characterization of Biomass-Based Pyrolysis Oils. Application of Standard Fuel Oil Analyses and their Modifications. VTT ENERGY, Internal Report, Espoo, Finland, 24.3.1995.

Oasmaa, A. & Sipilä, K. Pyrolysis oil properties - Use of pyrolysis oil as fuel in medium-speed diesel engines. In: *EC-Canada Workshop on Bio-Oil*, Toronto, Canada, 8.-9.5.1995.

Fageräs, L. Chemical and physical characterization of biomass-based pyrolysis oils. Literature review. VTT Research Notes 1706. VTT, Espoo 1995.

Jay, D.C., Sipilä, K.H., Rantanen, O.A., Nylund, N.-O. Wood pyrolysis oil for diesel engines. In: Internal Combustion Engine Division of the ASME, 1995 Fall Technical Conference, September 24-27, 1995.

Oasmaa, A. Leppämäki, E. Koponen, P. Physical characterization of biomass-based pyrolysis oils. To be published 1996 in VTT Research Notes.

PUUPERÄISTEN BIOPOLTTOÖLJYJEN LAADUN PARANTAMINEN - 407

Raakasuovan terminen nestefaasikäsitteily hiilivety-
polttoaineiksi

Anja Oasmaa
Paterson McKeough
Eeva Kuoppala
Hilkka Kyllönen
Johanna Levander
Eija Tapola
Reijo Häkkinen

VTT Energia
PL 1601
02044 VTT
Puh. (90) 4561
Faksi (90) 460 493

Abstract: Improvement of the quality of wood derived biofuel-oils

Liquid-phase thermochemical processing of tall oil soap 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 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. Both catalytic hydrotreatment and liquid-phase thermal treatment of a mixed pine/birch soap have been investigated in the laboratory. Liquid and gaseous hydrocarbons were the principal products formed in both types of treatment. Although the liquid product formed under hydrotreatment conditions contained a higher proportion of aliphatic compounds, it was clear that the thermal treatment process would be, economically, the more favorable option. In the thermal process, a predominantly hydrocarbon oil product was obtained at 450 °C using a residence time of at least 60 min. About 50 % of the energy content of the tall oil soap was recovered as oil product, about 30 % as gases, and about 20 % as organic material contained in an aqueous slurry phase. When the oil product was carefully separated from the aqueous slurry phase, only trace amounts of impurities, such as water, sodium and organic acid salts were present in the product. A techno-economic evaluation of the process concept has

been performed. The economics of the thermal treatment process appear to be favorable in comparison with those of the conventional acidulation process.

1 TAUSTA

Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa (VTT Energiassa) on tutkittu sulfaattiprosessin jäte/sivuvirtojen vaihtoehtoista energiakäyttöä 1980-luvun alulta lähtien. Raakasuopa on yksi tällainen virta. Raakasuovan orgaaninen aines on peräisin pääasiassa puun uuteaineista. Raakasuovan perinteiseen käsittelyyn kuuluu hapotus raaka-mäntyöljyksi, palstoitusprosessi, (taulukko 1) ja saadun raakamäntyöljyn tislauksen jalostamoissa. Koska koivusta peräisin oleva öljy on vähäarvoisempaa kuin männystä saatava, Pohjoismaissa on taloudellista kiinnostusta kehittää raakasuovalle vaihtoehtoisia jalostusprosesseja erityisesti tehtaissa, joissa käytetään paljon koivua. Perinteisessä raakasuovan palstoituksessa talteenottoon syötetään huomattava määrä rikkiä. Niinpä toisaalta pyrkimys kehittää sellutehtaisiin suljettu vesikierto ja toisaalta soveltaa rikitöntä alkalista sellunkeittoa lehtipuille on lisännyt kiinnostusta raakasuovan vaihtoehtoisin käsittelyprosesseihin.

Taulukko 1. Suomalaisten raakasuopalajien tyypillisiä koostumuksia.

	Mänty	Koivu ^a	Mänty/koivu n. 50:50
Happoluku, mg KOH/g	160	110 - 125 ^b	130
Saippuoitumaton aines, %	7	30	15
Hartsihapot, %	40	0	25
Rasvahapot, %	53	70	60

^a Uutettu mustalipeästä. ^b Raakasuovan happoluku tehtaalla, jossa käytettiin koivua raaka-aineena. Hartsihappojäänteitä männyn käytöstä.

Raakasuovan termokemiallista jalostusta on tutkittu hyvin rajoitetusti. Pääsyynä ovat selvästikin olleet raakasuovan korkea vesipitoisuus (noin 35 %) ja epäorgaanisten aineiden pitoisuus (natriumpitoisuus noin 4 %). Mäntyöljyn, ts. hapotetun mäntysuovan, jalostusta on toisaalta tutkittu hyvin laajasti. Mäntyöljyn katalyyttinen nestefaasikäsittely on saanut eniten huomiota.

2 RAAKA-AINE JA TUTKIMUSMENETELMÄT

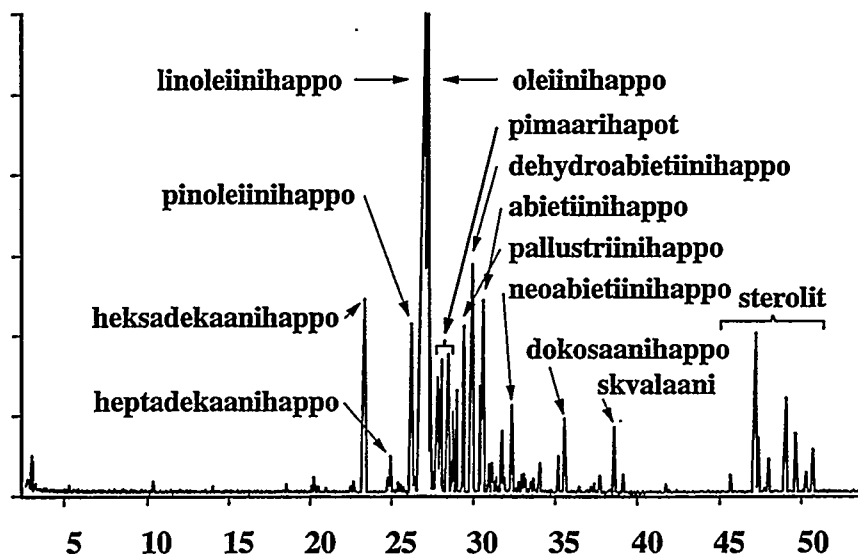
2.1 RAAKA-AINE

Kokeissa käytettiin raaka-aineena nk. sekasuopaa (taulukko 2), jota muodostuu sekä mäntyä että koivua raaka-aineena käyttävässä sulfaattiprosessissa.

Raakasuovan orgaanisen aineksen kaasukromatografinen analyysi on esitetty kuvassa 1. Hapot ovat raakasuovassa natrium-suoloina.

Taulukko 2. Raakasuovan analyysit.

	Raakasuopa
vesi, paino-%	35,1
alkuaineanalyysi, paino-% kuiva-aineesta	
hiili	69,5
vety	10,5
typpi	0,1
natrium	6,1
rikki	0,4
happi (erotuksena)	13,4
lämpöarvo, MJ/kg	
HHV	22
LHV	20
tiheys (15 °C), kg/dm ³	0,845



Kuva 1. Raakasuovan orgaanisen aineksen kaasukromatografinen analyysi.

2.2 KOEJÄRJESTELYT

Kokeet tehtiin 1 litran panosreaktorilla, jossa oli sekoitin. Tyypillinen raaka-ainemäärä oli 150 g. Reaktori huuhdeltiin typellä (0,1 MPa). Sekoitusnopeus oli 1500 kierrosta/min.

Tuote poistettiin manuaalisesti autoklaavista ja sentrifugoitiin eri tuotefaa-seihin: öljy-, vesi- ja kiintoaines. Autoklaaviin ja sekoittimeen jäänyt aine pestiin asetonilla, punnittiin liuottimen haihduttamisen jälkeen ja lisättiin ainetaseeseen. Termisten nestefaasiajojen koeolosuhteet on esitetty taulu-kossa 3.

Taulukko 3. Termiset nestefaasikokeet.

	1/95	5/94	8/95	4/95	16/94	24/94	29/94	7/95	18/94	21/94	9/94	25/93
T, °C	420	435	435	435	450	450	450	450	450	450	450	450
t (lämmitys), min	75	85	75	75	75	85	90	85	90	85	75	70
t (reaktio), min	190	5	70	130	5	25	65	70	120	130	130	140
P, MPa	16	16	16	17	12	17	19	17	20	11	13	11

2.3 ANALYYSIMENETELMÄT

Vesipitoisuus analysoitiin Karl-Fischer-titrauksella ASTM D 1744:n mukai-sesti. Natrium ja rikki analysoitiin atomiabsorptiospektrokopiolla (AAS). Alkuaineanalyysi tehtiin hiilelle, vedylle ja typelle ASTM D 5291-92:n mu-kaisesti LECO CHN-700 -analysaattorilla.

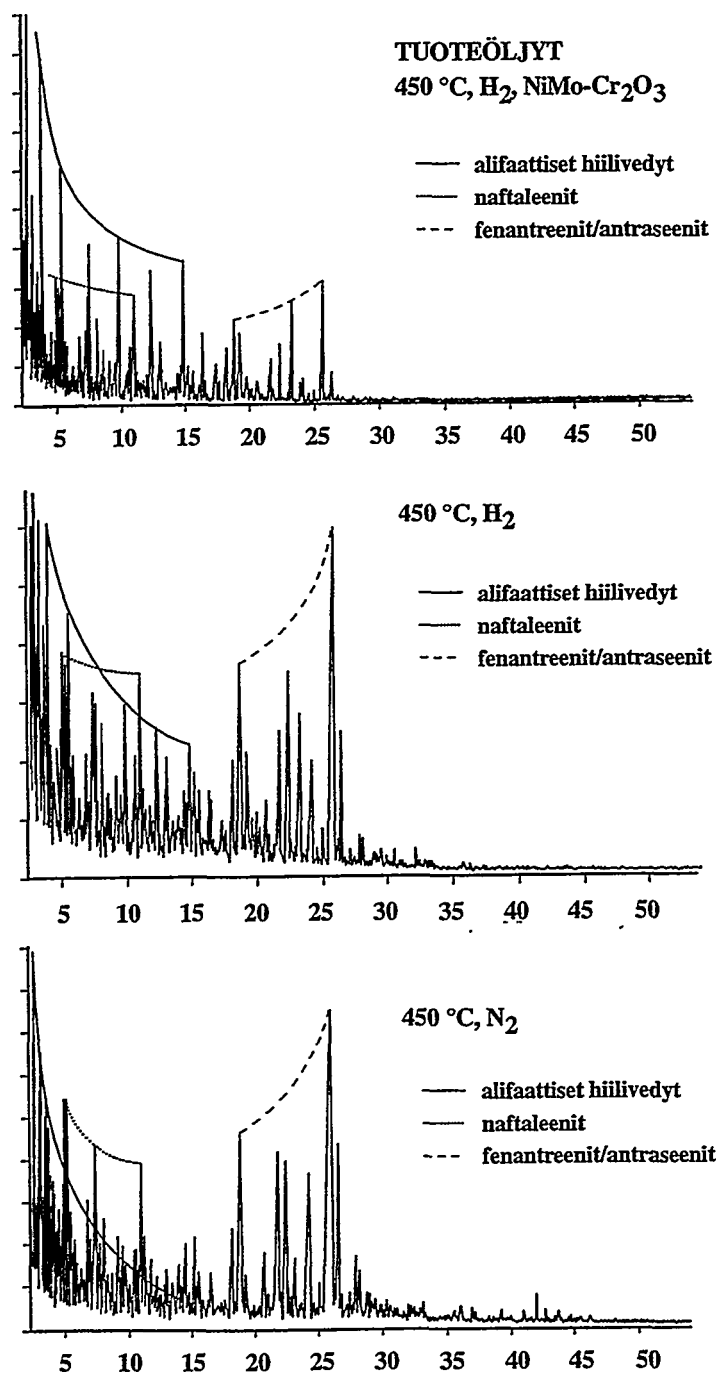
Kemiallisten yhdisteiden tunnistuksessa käytettiin massaselektiivistä ilmai-sinta yhdessä kaasukromatografian kanssa, jossa oli HP-1-kolonne (25 m, 0,32 mm, 0,17 µm). Kantajakaasuna oli helium 80 kPa:ssa (split injection mode). Derivoitu näyte (0,5 - 1 mg) valmistettiin kuumentamalla näytettä 30 min 75 °C:ssa 0,5 ml:ssa pyridiiniä (kuivattu KOH:lla) ja 0,1 ml:ssa BSTFA [bis(trimetyylisilyyli)trifluoro-asetamidi) kanssa, jossa oli 1 % TMCS (trimetyyliklorosilaani), tiivistetyssä lasiputkessa trimetyyli(TMS)deri-vaattien muodostamiseksi. Uunin alkulämpötila oli 100 °C:ssa. On otettava huomioon, että näytteet silyloitiin GC-analyysejä varten käyttäen hapanta reagenssia ja siten kaikki hapot vapautuivat natriumsuoloista.

3 TULOKSET

3.1 ALUSTAVAT JALOSTUSKOKEET

Esikokeissa 450 °C:ssa tutkittiin kolmea eri tapausta: (1) katalyyttinen hyd-raus, (2) ei-katalyyttinen hydraus ja (3) lämpökäsittely. Kaikissa tapauksissa saatiin samanlaisia tuoteryhmiä eri suhteissa (kuva 2). Suoraketjuisten hiili-vetyjen suhteellinen osuus muihin tuoteryhmiin (naftaleenit, antraseenit, fenantreenit) verrattuna oli suurin katalyyttisessä nestefaasikäsittelyssä ja pienin ei-katalyyttisessä lämpökäsittelyssä. Vastaavat öljysaannot olivat 44 paino-% ja 40 paino-% syötön orgaanisesta aineksesta. Öljyt koostuivat pääasiassa hiilivedyistä ja liukenivat täysin heksaaniin. Vaikka hydraukses-sa saatu nestetuote sisälsi suuremman osuuden alifaattisia yhdisteitä, oli

selvää, että lämpökäsittely olisi taloudellisesti edullisempi vaihtoehto. Sen vuoksi tutkimuksen painopisteeksi valittiin raakasuovan lämpökäsittely.



Kuva 2. Raakasuovan jalostustuotteiden kaasukromatografiset analyysit.

3.2 RAAKASUOVAN TERMINEN NESTEFAASIKÄSITTELY

Raakasuvon krakkautumiseen korkealaatuiseksi öljyiksi (ts. eivät sisällä happoja eivätkä epäorgaanisia aineita) vaikuttavat pääparametrit ovat lämpötila ja aika. 420 °C:ssa 180 minuutin viipymääjan jälkeen öljytuote (kuva 3a) sisältää yhä rasvahappoja (natriumsuoloina), vettä (12 - 24 paino-%) ja natriumia (yli 3 paino-%). On huomioitava, että kaikki tämän esityksen kromatogrammeissa esiintyvät hapot olivat natriumsuoloina alkuperäisissä näytteissä (ks. Analyysimenetelmät). 435 °C:ssa 120 minuutin viipymääjan jälkeen saadaan alhaisen viskositeetin omaava öljytuote (öljysaanto 42 paino-%), jossa on pieni määrä vettä ja natriumia (kuva 3b). 435 °C:ssa saadun öljytuotteen pääyhdisteet on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Massaspektrometrilla tunnistetut tuoteöljyn (435 °C, 120 min) pääyhdisteet.

Alkaanit, tyydyttyneet, tyydyttymättömät, alkyylisubstituoidut (noin 30 paino%),

dodekaani, tridekaani, tetradekaani, pentadekaani, heksadekaani, heptadekaani, okta-dekaani, nonadekaani, eikosaani, docosaani (C₂₂H₄₆)

Sykliset hiilivedyt (noin 5 paino-%)

Yksirenkaiset aromaattiset hiilivedyt (noin 15 paino-%)

tolueeni, alkyylibentseenit

Kaksirenkaiset aromaattiset hiilivedyt (noin 20 paino-%)

naftaleeni, alkyylinaftaleenit

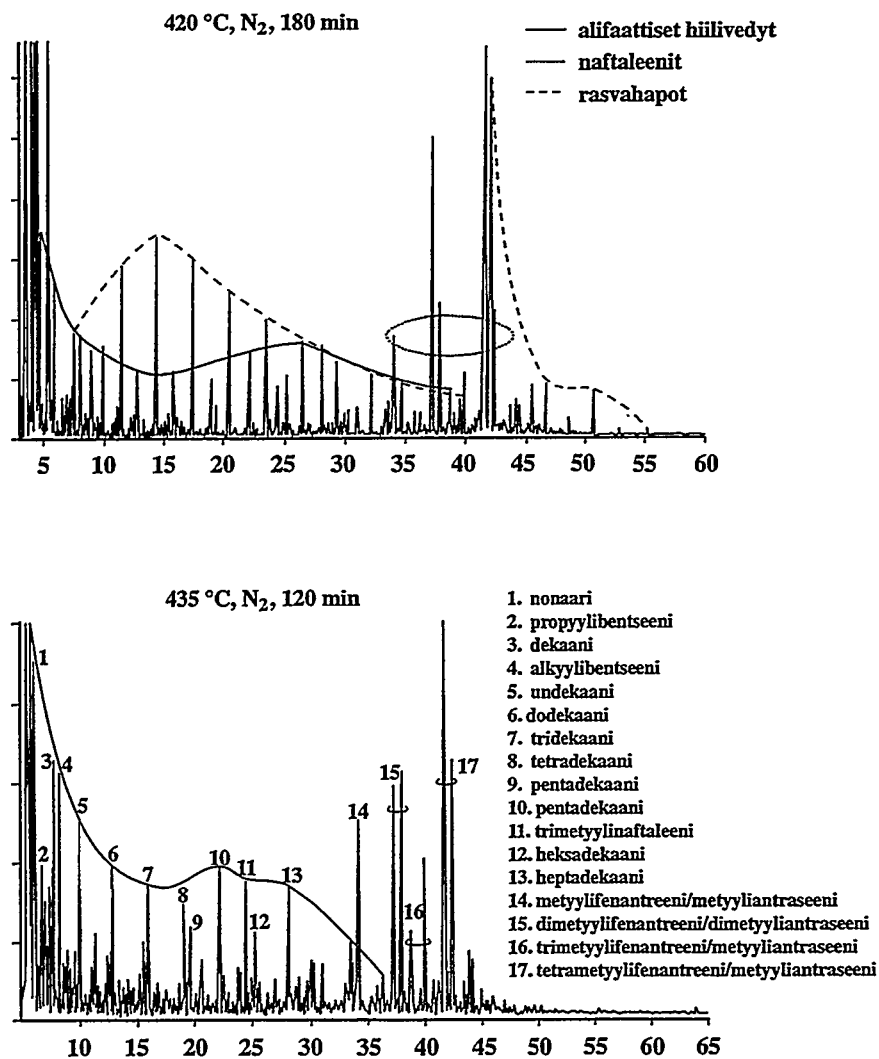
Kolmirenkaiset aromaattiset hiilivedyt (noin 25 paino-%)

fenantreenit, antraseenit, alkyylifenantreenit, alkyylantraseenit

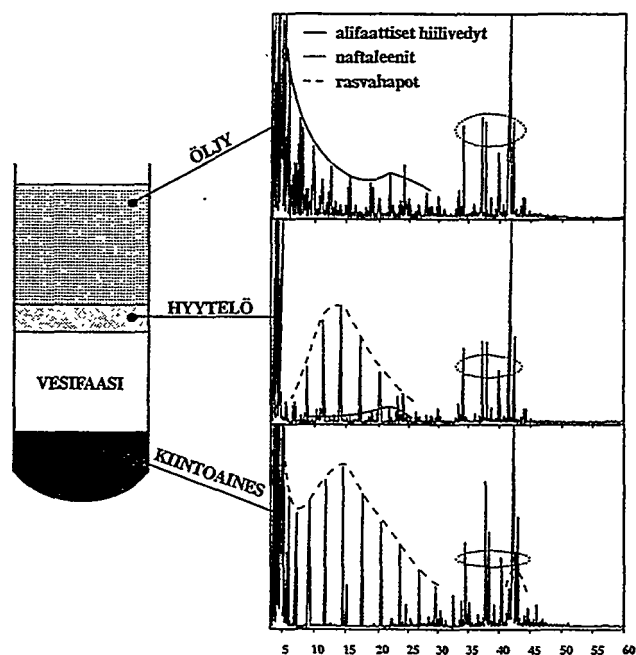
Muut (noin 5 paino-%)

60 - 120 minuutin viipymääjan jälkeen 450 °C:ssa tuoteöljy (öljysaannot 39 - 40 paino-%) sisältää vain jätteitä kosteudesta, natriumista ja rasvahapoista (suoloina). Pääöljy-kerroksen alapuolelle muodostuu pienempi viskoosimpi öljyfaasi ("hyytelö"), joka sisältää rasvahapposuoloja. 120 minuutin viipymääjan jälkeen suoraketjuiset hiilivedyt alkavat krakkautua lisää ja öljysaanto pienenee. Kuva 4 osoittaa raakasuvossa 65 minuutin lämpökäsittelyllä 450 °C:ssa muodostuneiden erilaisten tuotefaasien jakautumisen ja koostumuksen. Pääosa natriumista on nestefaasissa (40 - 50 paino-% syötetystä natriumista) ja kiinteässä faasissa (50 - 60 paino-% syötetystä natriumista). Nämä faasit sisältävät myös huomattavia määriä rasvahappoja (suoloina). Näyttää siltä, että lämpökäsittely pilkkoo raakasuvossa olevien rasvahappojen suolat, jolloin muodostuu toisaalta hiilivetyjä, ja toisaalta lyhyempiketjuisten happojen suoloja. Jossain riittävän ankaran käsittelyn vaiheessa nestefaasi ja rasvahappojen suolat muuttuvat täysin sekoittumattomiksi, pääasiassa hiilivedyistä muodostuneeseen öljykerrokseen.

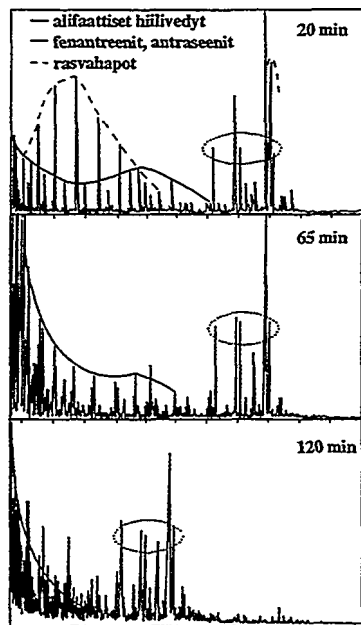
Viipymäärän vaikutus tuotteen koostumukseen 450 °C:ssa on esitetty kuvassa 5. 60 minuutin tai pidemmällä viipymäärällä 450 °C:n lämpötilassa saadaan pääasiassa hiilivety-öljytuotteita.



Kuva 3. 420 °C:ssa 180 minuutissa (3a) ja 435 °C:ssa ja 120 minuutissa (3b) saatujen öljytuotteiden kaasukromatografiset analyysit.



Kuva 4. Eri tuotefraktioiden (saatu linkoamalla) jakautuminen ja koostumus (kaasu-kromatografianalyysit) 65 minuutin lämpökäsittelyn jälkeen 450 °C:ssa. Tuotefraktiot: öljy (ylhäällä), hyytelö, vesi ja kiinteät (alin). Faasien vesipitoisuus: öljy (0,1 paino-%), hyytelö (8,8 paino-%), kiinteät (36 paino-%).



Kuva 5. Viipymääjan vaikutus tuoteöljyn koostumukseen (kaasukromatografianalyysit) 450 °C:ssa.

Taulukossa 5 on esitetty yhden tuoteöljyn polttoaineominaisuudet. Epäorgaanisten suolojen määrää öljyssä voidaan alentaa edelleen lisälinkouksella tai pesemällä öljy vedellä. Jopa 3,5 ppm:n natriumpitoisuus (vesipitoisuus alle 0,01 paino-%) saavutettiin. Alimpia mahdollisia tasoja ei vielä ole määritetty.

Taulukko 5. 450 °C:ssa ja 120 minuutissa saadun öljytuotteen polttoaineominaisuudet

Koe n:o	18/94
Vesi, paino%	0,08
Alkuaineanalyysi, paino-%	
Hiili	87,8
Vety	10,5
Typpi	0,1
Natrium	0,2
Rikki	0,14
Happi (erotus)	1,3
Lämpöarvo, MJ/kg	
Ylempi	42,1
Alempi	39,8
Tiheys (15 °C), kg/dm ³	0,943
Viskositeetti, cSt	
20 °C	4
50 °C	2

3.3 TEKNISS-TALOUDELLINEN ARVIOINTI

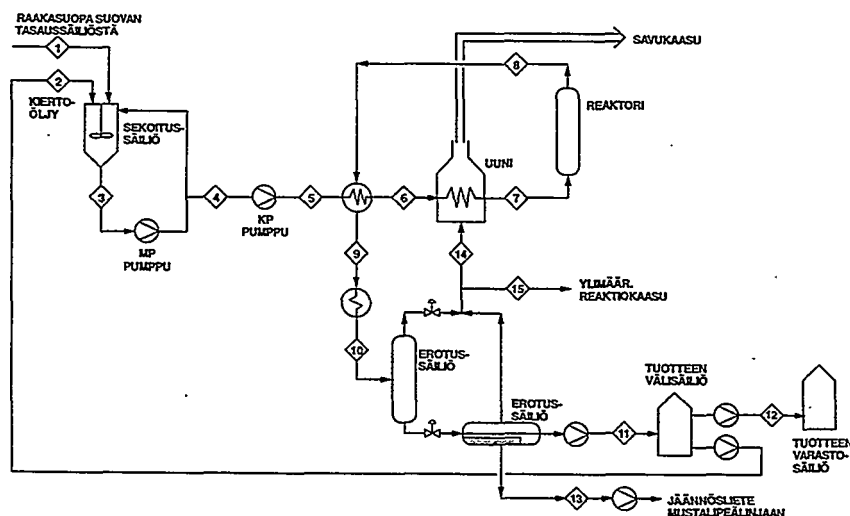
Kuvassa 6 esitetylle prosessikonseptille laadittiin teknis-taloudellinen arviointi. Laitoksen suunnittelukapasiteetti on 30 000 t/a raakasuopaa (kosteus 35 %). Tämä määrä vastaa karkeasti suomalaisen, n. 400 000 t/a sulfaattiseluloosaa tuottavan tehtaan raakasuopatuotantoa.

Lämpökäsittelyn massa- ja energiataseet, joita on käytetty arvioinnin perustana, on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Lämpökäsittelyn massa- ja energiataseet.

	Massa % raakasuovan kuiva-aineesta	Energia (ylempi lämpöarvo) % raakasuovan energiasta
Tuoteöljy	40	50
Tuotekaasu	25	30
Jäännöslietteen kuiva-aine	30	20
Tuotevesi	5	-

Lämpökäsittelyprosessin investointi- ja käyttökustannukset arvioitiin ja niitä verrattiin suovan palstoitusprosessin vastaaviin kustannuksiin. Taloudellisen arvion eräitä perusteita on esitetty taulukossa 7.



Kuva 6. Raakasuvon termisen nestefaasikäsittelyn prosessikaavio.

Taulukko 7. Taloudellisen arvioinnin perusteita.

Pääomakustannustekijä	0,118*
Ylimääräisen tuotekaasun arvo	60 mk/MWh (LHV)
Sähköt	200 mk/MWh
Höyrykulut	72 mk/MWh
Rikkihapon kulut	400 mk/t

*annuiteettimenetelmä, 10 %, 20 vuotta.

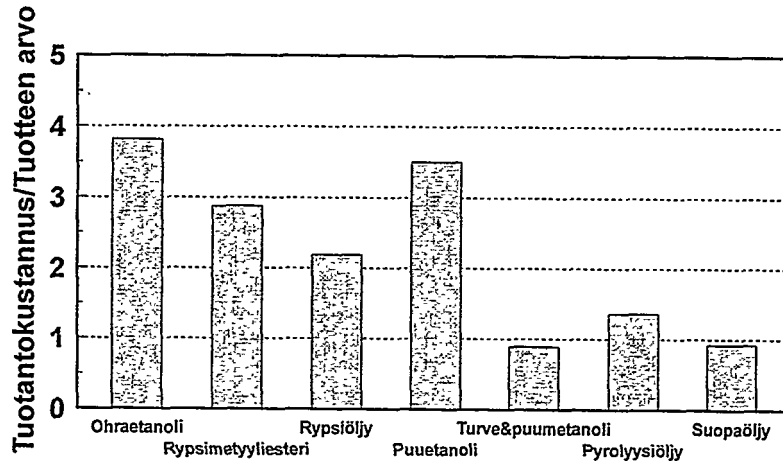
Lämpökäsittelylaitoksen kokonaispääomantarpeeksi arvioitiin 17,9 milj. mk, mikä on huomattavasti suurempi kuin palstoitusprosessin 5,2 milj. mk. Toisaalta palstoitusprosessin käyttökustannukset arvioitiin korkeammiksi kuin lämpökäsittelyprosessin pääasiassa rikkihapon kustannusten takia. Raakasuvon todellista hintaa ei tunneta, joten arvioinnissa käytettiin useita arvoja. Taulukossa 8 on esitty suopaöljyn ja raakamäntyöljyn tuotantokustannukset kahdella eri suovan hinnalla. Lämpökäsittelyvaihtoehdossa noin 80 % tuotekaasusta voidaan käyttää muualla sellutehtaassa, esimerkiksi meesuunissa, jolloin ylimääräisen tuotekaasun energiasisältö on huomioitu tulona.

Taulukko 8. Raakasuovan termisen käsittelyprosessin ja palstoitusprosessin arvioidut tuotantokustannukset. Kapasiteetti n. 30 000 t/a raakasuopaa (65 p-% k.a.)

		terminen käsittely 8000 t/a öljyä		palstoitus 13 000 t/a mäntyöljyä	
Raakasuovan hinta	FIM/t	150	200	150	200
	FIM/MWh (LHV)	27	36	27	36
Pääomakustannukset	1000 FIM/a	2100	2100	600	600
Raaka- ainekustannukset	1000 FIM/a	4500	6000	4500	6000
Muut käyttökustannukset	1000 FIM/a	1300	1300	2400	2400
Tuotekaasuhyvitys	1000 FIM/a	-2600	-2600	-	-
Tuotantokustannukset	1000 FIM/a	5300	6800	7500	9000
	FIM/t	660	850	580	690
	FIM/MWh (LHV)	59	76	58	69

Taulukon 8 tulokset osoittavat lämpökäsittelyprosessin tuotantokustannukset hieman suuremmiksi kuin palstoitusprosessin. Toisaalta lämpökäsittelyprosessin tuoteöljyn pitäisi olla arvokkaampi polttoaine kuin raakamäntyöljyn, jota parhaimmillaan voidaan käyttää korvaamaan raskasta polttoöljyä. Suomessa huonolaatuisen raakamäntyöljyn (peräisin osittain koivusta) arvo on sama kuin raskaan polttoöljyn (veroja lukuunottamatta) - noin 65 mk/MWh. Siten tulosten perusteella voidaan olettaa, että lämpökäsittelyprosessi olisi kilpailukykyinen perinteisen mäntyöljyprosessin kanssa tapauksissa, joissa palstoituksella tuotetun raakamäntyöljy laatu ei ole korkea.

Suopaöljyn tuotantokustannuksia on verrattu myös muiden biomassasta valmistettujen polttonesteiden tuotantokustannuksiin. Muut biopolttonesteet ovat: ohrasta valmistettu etanoli (ja jatkokonversio bensiinin lisäaineeksi ETBE), rypsimetyyliesteri (vastaa dieselöljyä), puusta valmistettu etanoli (ETBE), turpeesta ja puusta valmistettu metanoli (ja jatkokonversio bensiinin lisäaineeksi MTBE), ja puusta valmistettu pyrolyysiöljy (vastaa kevyttä polttoöljyä). Näille biopolttonesteille on laskettu suhteelliset tuotantokustannukset; arvioitu tuotantokustannus on jaettu tuotteen markkinahinnalla (tammikuu -96). Suhteelliset tuotantokustannukset on esitetty kuvassa 7. Kuvasta ilmenee, että vain yksi muista bioöljyprosesseista - MTBE-tuotanto turpeesta ja puusta - on taloudellisesti yhtä lupaava kuin raakasuovan termisen konversioprosessi.



Kuva 7. Erilaisten biopolttoneiden suhteelliset tuotantokustannukset.

3.4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tärkeimmät johtopäätökset ovat:

- Raakasuopaa voidaan lämpökäsitellä 435 - 450 °C:ssa matalaviskoosisen öljyn tuottamiseksi (saanto 32 - 42 paino-% syötetystä orgaanisesta aineksesta), lämpöarvo (ylempi) 42- 44 MJ/kg. Vaaditut viipymäajat ovat 180 min 435 °C:ssa ja 60 min 450 °C:ssa.
- Käsittelyn aikana raakasuovan rasvahappojen suolojen ketjupituus pienee ja jäännös-happosuolat muuttuvat tuoteöljykerrokseen liukenemattomiksi.
- Lähes kaikki natrium saadaan vesilietefaasiin. Öljytuotteen natriumpitoisuutta voidaan alentaa edelleen vesipesulla tai lisälinkouksella. Epäorgaanisten aineiden matalinta mahdollista tasoa öljyssä ei ole vielä määritetty. Pääosa natriumista on vesi- ja raskasfaaseissa.

Raakasuovan nestefaasilämpökäsittelyllä on mahdollisuuksia olla kilpailukykyinen perinteisen mäntyöljyprosessin kanssa tapauksissa, joissa palstoituksella tuotetun raakamäntyöljyn laatu ei ole korkea.

4 TUTKIMUKSEN JATKO

BIOENERGIA-ohjelman päätöstä projektin jatkosta ei olla saatu.

5 JULKAISUT

Raakasuovan jalostustutkimuksesta on lähetetty esitelmä seuraavaan konferenssiin: Developments in Thermochemical Biomass Conversion, Banff, Canada 20-24 May 1996.

1. *A. Oasmaa, P. McKeough, E. Kuoppala and H. Kyllönen.* Liquid-phase Thermal Treatment of Tall Oil Soap Into Hydrocarbon Fuels. VTT Energy, Finland.

BIOENERGIASYSTEEMIEN TEKNISTALOUDELLINEN ANALYYSI (IEA BIOENERGY AGREEMENT TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS) - 406

Yrjö Solantausta
VTT Energia
PL 1601
02044 VTT
Puh. (90) 456 5517
Faksi (90) 460 493

Abstract: Technical/economical analysis of bioenergy systems

The objectives of the IEA Bioenergy Technoeconomic Analysis Activity are:

- To promote development of thermochemical biomass conversion methods by carrying out selected site specific feasibility studies in participating countries. Both agricultural and woody biomasses will be converted either into electricity or boiler fuels.
- To compare advanced technologies to commercial alternatives based on technoeconomic basis to establish future development needs.
- To facilitate information exchange between participants on relevant basic process issues.

Five countries (Finland, Canada, USA, Norway, Austria) are participating to the Activity. Initially two feasibility studies are planned for each country. Each study has three common elements: site specific, technical, and economic data.

The site specific cases are described below in short. Products in the cases are electricity, heat and fuel oil. Total of two cases per country are planned.

TAUSTA

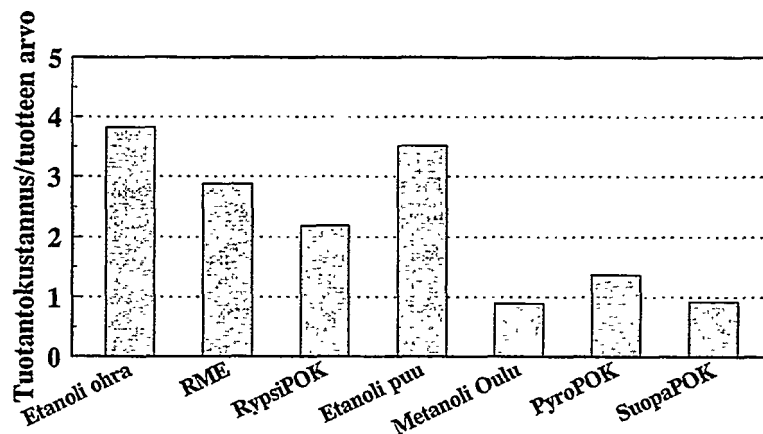
International Energy Agency (IEA, OECD-maiden energia-alan yhteistyöjärjestö) bioenergiasopimuksessa on toteutettu useita bioenergian käyttöön liittyviä teknistaloudellisia selvityksiä /1-4/. Niissä on ollut tavoitteena arvioida uusien, kehitteillä olevien biomassan jalostustekniikoiden kilpailukykyä, ja osoittaa lupaavimmat vaihtoehdot tutkimuksen suuntaamiseksi. Sekä biopolttonesteiden että sähkön ja lämmön tuotantoa on tarkasteltu.

Vuonna 1995 käynnistettiin kolmivuotinen projekti "Techno-economic analysis of bioenergy systems", johon Suomen ohella osallistuvat Kanada, Yhdysvallat, Itävalta ja Norja. Projektin koordinaattorina toimii VTT Energian Otaniemen prosessitekniikan tutkimusryhmä. Koko projekti toteutetaan vuosina 1995 - 1997 ja kokonaisrahoitus on 940 000 mk. Bioenergiaohjelman rahoitus vuonna 1995 oli 60 000 mk.

Kuvassa 1 on eräs esimerkki IEA työn aiemmista tuloksista. Siinä on esitetty kotimaisista raaka-aineista valmistettujen biopolttonesteiden suhteelliset tuotantokustannukset. Niillä tarkoitetaan arvioitujen tuotantokustannusten ja tuotteen arvon suhdetta, joka osoittaa selkeästi eri vaihtoehtojen kilpailutilanteen. Vaihtoehdot ovat: etanolin valmistus ohrasta (etanolin jatkojalostus bensiinin seoskomponentiksi ETBE:ksi), rypsimetyyliesterin valmistus rypsistä (vaihtoehtoinen dieselpolttoneste), rypsipolttoöljyn valmistus rypsistä (kevyttä polttoöljyä, POK:a, korvaava tuote), etanolin valmistus puusta (jatkojalostus ETBE:ksi), metanolin valmistus turpeesta ja puusta (metanolin jatkojalostus bensiinin seoskomponentiksi MTBE:ksi), pyrolyysiöljyn valmistus puusta (kevyttä polttoöljyä, POK:a, korvaava tuote), ja raakasuoan jalostus suopaPOK:ksi. Metanolin ja suopaPOK:n valmistus näyttää olevan kilpailukyistä, mutta on huomattava, että vaihtoehtoista vain ohra-etanolin ja RME:n valmistuksen voidaan sanoa olevan kaupallisella asteella. Muut edellyttävät vaihtelevan määrän kehitystyötä.

Biopolttonesteet Suomessa

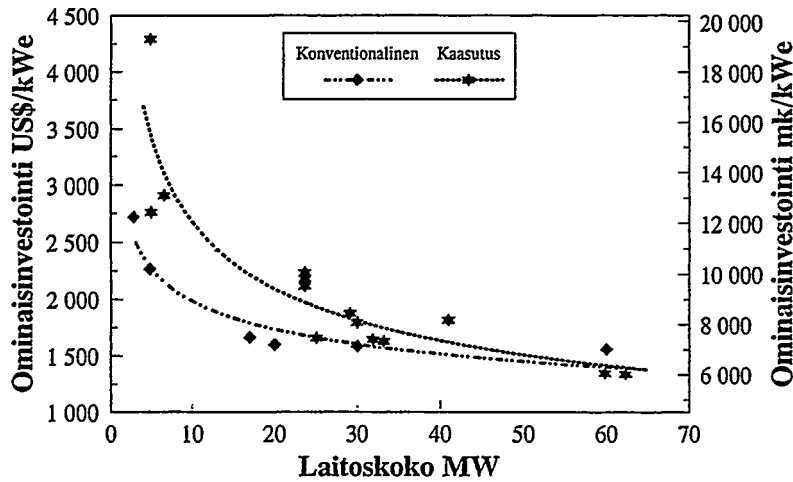
Suhteelliset tuotantokustannukset



Kuva 1. Biopolttonesteiden kilpailukyky Suomessa 1996.

Kuvassa 2 on puolestaan esitetty kaasutukseen perustuvien sähköntuotantokonseptien ominaisinvestointeja /4/. On arvioitu /5/, että IGCC tekniikalla tuotettu sähkö voisi olla kilpailukyistä perinteisen höyryvoimalatekniikan kanssa yli 30 - 40 MW_e kapasiteetilla.

Voimalaitosinvestointeja



Länsi-Eurooppa 1994

Kuva 2. Kaasutukseen perustuvien voimalaitosten ominaisinvestointeja.

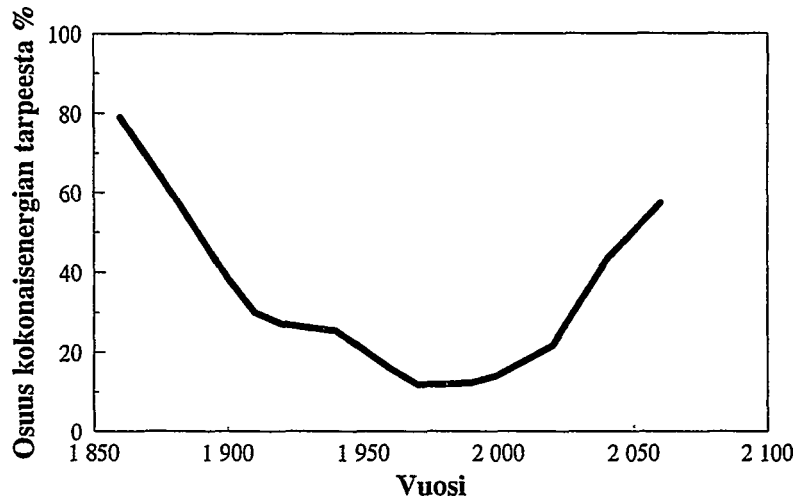
TAVOITTEET

IEA projektin tavoitteet ovat:

- Edistää biomassan termokemiallisten jalostusmenetelmien kehittämistä tekemällä paikkakohtaisia toteutettavuustutkimuksia osallistujamaissa,
- Vertailla kehitteillä olevia tekniikoita markkinoilla oleviin vaihtoehtoihin teknistaloudellisin perustein,
- Levittää tietoa alalla toimivien (erityisesti pk-sektorin) yritysten tuotteista, ja
- Edistää tiedonvaihtoa osallistujamaiden välillä.

Uusiutuvien energialähteiden markkinaosuuden on usein arvioitu kasvavan voimakkaasti tulevaisuudessa. Biomassa on tärkeä uusiutuva energianlähde, ja joissain maissa kuten Suomessa se on tärkein. Kuvassa 3 on esitetty Shellin eräs skenario, jossa esitetään uusiutuvien energialähteiden markkinaosuuden kääntyvän jyrkkään nousuun jo lähitulevaisuudessa. Tämän kaltaisten esitysten perusteella voidaan mm. nähdä, kuinka tärkeitä on pyrkiä arvioimaan kehitteillä olevien bioenergysysteemien kehityspotentiaalia tutkimustyön tueksi. IEA projektissa pyritään tuottamaan juuri tämän kaltaista taustamateriaalia.

Skenario uusiutuvien energialähteiden markkinaosuuksista



Shell International Petroleum 1994

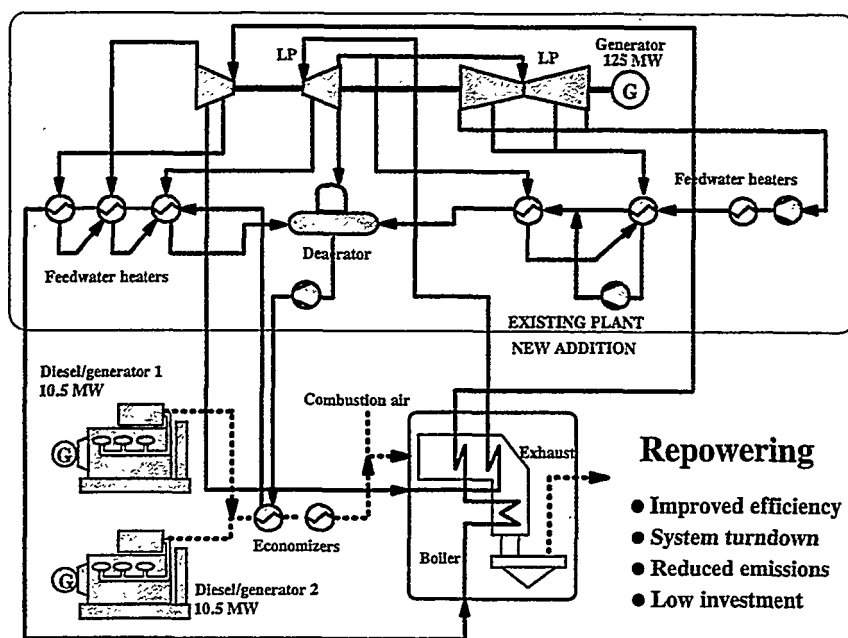
Kuva 3. Uusiutuvien energialähteiden osuus kokonaisenergian tarpeesta /6/.

TEHTÄVÄT

Työn puitteissa julkaistaan osallistujamaissa tehtyjä toteutettavuustutkimuksia. Koska eri maiden markkinatilanteet ja kehityshankkeet eroavat toisistaan, ovat toteutettavuustutkimukset erilaisia. Keskeisenä tavoitteena on edistää muutaman yrityksen kehityshankkeita osallistujamaissa.

Suomessa toteutettavuustutkimuksia on kaksi. Ensimmäisessä Enviropower Oy:n IGCC tekniikkaa tarkastellaan kytkettynä suomalaiseen sellutehtaan. Työssä määritetään Enviropowerin kanssa laitoskonsepti, kustannukset ja taseet. Työn lopputuloksena on arvio konseptin toteutettavuudesta. Toisessa toteutettavuustutkimuksessa käsitellään Vapo Oy:n, Wärtsilä Oy:n ja Neste Oy:n puun pyrolyysiin liittyvää konseptia. Vapo kehittää yhdessä VTT:n kanssa biopolttoöljyn tuotantotekniikkaa. Öljyn käyttöä dieselmoottorin ja suurkiinteistökattilan polttoaineena arvioidaan kaukolämpölaitokseen kytkettynä.

Kuvassa 4 on esimerkki, kuinka dieselmoottori voidaan kytkeä höyryvoimalaitoksen syöttöveden esilämmitykseen. Tällainen tapaus voi olla kiinnostava, jos olemassaolevasta voimalasta halutaan saada lisätehoa edullisella ominaisinvestoinnilla (repowering).



Kuva 4. Repowering dieselmoottorin avulla toteutettuna.

Taulukossa 1 on yhteenveto IEA projektin toteutettavuustutkimuksista. Tuotteina on sähkö, prosessi- ja kaukolämpö, sekä biopolttoöljy. Viime-mainnitu on kiinnostava vaihtoehto erityisesti maissa (kuten Ruotsi, Tanska, Italia), missä polttoöljyä verotetaan keskimääräistä ankarammin.

Taulukko 1. IEA teknistaloudellisen arviot projektin toteutettavuustutkimukset.

Osallistuja	Tekniikka	Kapasiteetti
Suomi		
Sähkö & lämpö	Puubiomassa IGCC	Noin 40 MW
BioPOK	Puubiomassan pyrolyysi	Noin 20 000 t/a (30 GWh/a)
Kanada		
BioPOK	Puubiomassan pyrolyysi	Noin 20 000 t/a
Ruotsi		
BioPOK	Puubiomassan pyrolyysi	Noin 20 000 t/a
USA		
Sähkö & lämpö	Puubiomassa IGCC	Noin 60 MW
Sähkö & lämpö	Puubiomassa IGCC	Noin 40 MW
Itävalta		
Sähkö & kaukolämpö	Puubiomassa Stirling & kattila	Noin 100 kW
Sähkö & kaukolämpö	Puubiomassa HAT & kattila	Noin 500 kW
Norja		
Auki		

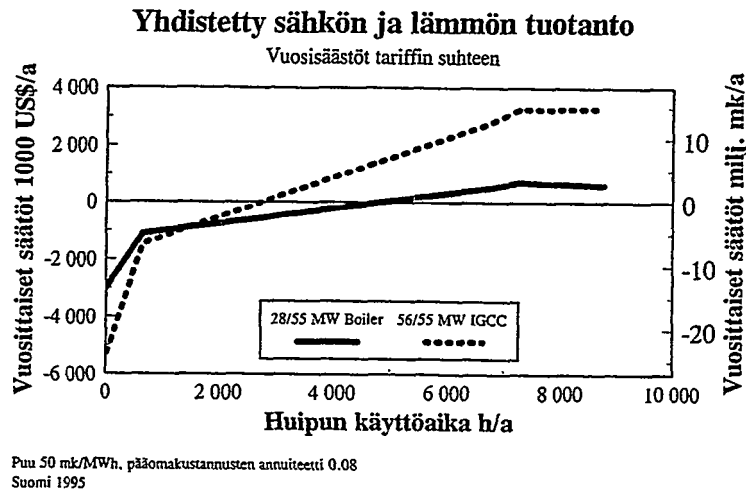
Projektin tavoitteista tärkein, yritys edistää biomassan käyttöä energiasektorilla (lähinnä lämpönä ja sähköinä), voi onnistua, mikäli esimerkiksi seuraavat ehdot ovat yhtäaikaisesti olemassa:

- on asiakas, joka tarvitsee sähköä tai lämpöä, ja biomassaa on saatavissa edullisesti (teollisuuslaitos, yhdyskunta),
- on yritys, joka tarjoaa tekniikkaa, jonka investointi- ja käyttökustannukset ovat kilpailukykyiset,
- hankkeelle löytyy rahoittajia.

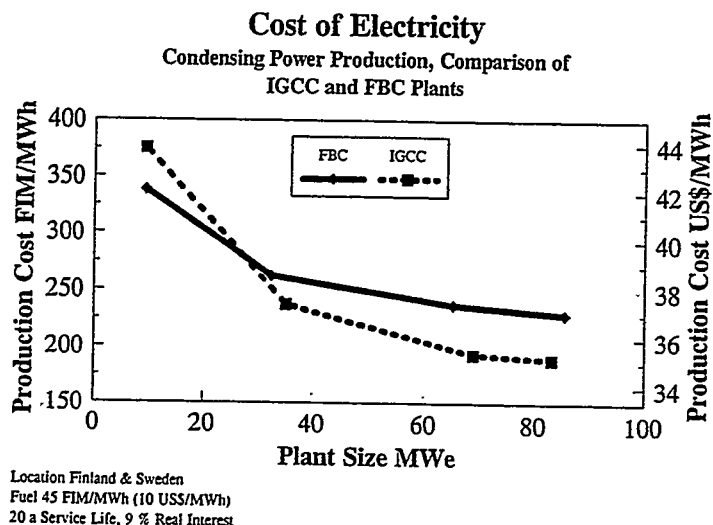
Viimemainittu ehto on eniten tapauskohtainen. Nykyään ainakin Länsi-Euroopassa uusissa energiatekniikan sovelluksissa usein osarahoittajana voi olla myös julkisen taho, esimerkiksi EU:n Thermie-ohjelma, EU:n rakennerahasto tms. Suomessa Kauppa- ja teollisuusministeriö on useissa tapauksissa antanut investointiavustuksia yhdyskuntien kaukolämpölaitoksille.

Selluteollisuudessa on esimerkki uuden energiatekniikan mahdollisuuksista. IGCC tekniikan korkean rakennusasteen vuoksi suurempi sähkösaalis lämpökuormaa kohden on erityinen etu, mikäli sähkön hinta on korkea. Enviro-power on osoittanut /5/, että IGCC on kilpailukykyinen vaihtoehto sellutehtaan höyryn ja sähkön tuotannossa.

Kuvassa 5 on puolestaan esimerkki, kuinka yhdistetyssä sähkön ja kaukolämmön tuotannossa vuosisäästöt ovat korkean rakennusasteen laitoksella korkeammat kuin perinteisellä höyryvoimalalla. Voidaan nähdä, että IGCC laitos olisi kilpailukykyinen tariffia vastaan yli 3000 tunnin vuosittaisella käyttöajalla. Kuvassa 6 puolestaan on esitetty sähkön tuotannon kustannukset eri tekniikoilla. IGCC tekniikan tuotantokustannukset ovat alhaisemmat yli 30 - 40 MW laitoskoossa.



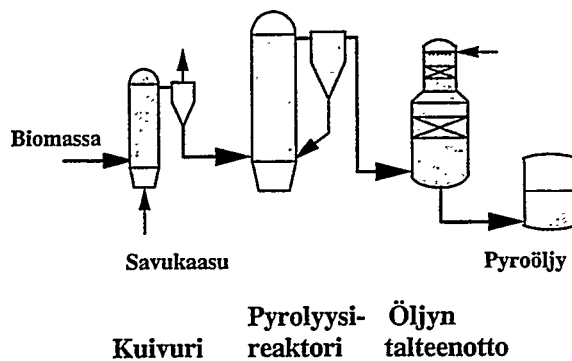
Kuva 5. Vuosittaiset säästöt sähkötariffiin verrattuna konventionaalisella ja IGCC tekniikalla.



Kuva 6. Sähkön tuotanto biomassasta, konventionaalisen ja IGCC tekniikan vertailu.

TULOKSET JA NIIDEN HYÖDYNTÄMINEN

Projektista on toistaiseksi vähän tuloksia, koska useimmissa tapauksissa lähtötietojen kerääminen on osittain kesken. Kahdesta tapauksesta (Kanada ja Ruotsi) on kuitenkin jo valmistunut väliraportti. Molemmissa tapauksissa biopolttoöljyä tuotetaan metsäteollisuuden jätetuusta, ja tuotettu öljy käytetään teollisuuden tai yhdyskuntien kattiloissa (kuva 7). Tuloksia voidaan käyttää hyväksi julkisissa ohjelmissa, kun päätöksiä tutkimuksen suuntaamiseksi tehdään. Tuloksia voivat käyttää hyödykseen myös yritykset, joiden teknikkaa toteutettavuustutkimuksissa arvioidaan.



Kuva 7. Biopolttoöljyn (pyrolyysiöljyn) valmistus biomassasta.

VIIITEET

McKeough, P., Nissilä, M., Solantausta, Y., Beckman, D., Östman, A., Kannel, A. (1985). Techno-economic assessment of direct biomass liquefaction processes. Espoo: Technical Research Centre of Finland. 139 p. (VTT Research Reports 337)

Beckman, D., Elliott, D., Gevert, B., Hörnell, K., Kjellström, B., Östman, A., Solantausta, Y., Tulenheimo, V. (1990). Techno-economic Assessment of Selected Biomass Liquefaction Processes. Espoo: Technical Research Centre of Finland. Espoo 1990. 161 p. + app. 95 p. (VTT Research Reports 697).

Solantausta, Y., Diebold, J.P., Elliott, D.C., Bridgwater, T. & Beckman, D. (1994). Assessment of liquefaction and pyrolysis systems. Espoo: Technical Research Centre of Finland. 230 p.+ app. 79 p. (VTT Research Notes 1573).

Solantausta, Y., Bridgwater, A., Beckman, D. (1996). Electricity production by advanced biomass power systems. Espoo: Technical Research Centre of Finland. 120 p.+ app. 61 p. (VTT Research Notes 1729).

Salo, K., Keränen, H., Biomass IGCC. Proceedings of the 2nd seminar Power Production from Biomass, March 22-23, 1995, Espoo, Finland. VTT Energy, 1996.

Dupont-Roc, G., The evolution of the world's energy system 1860-2060. In Conference Proceedings, Development and deployment of technologies to respond to global climate change concerns. Paris, France 21-22 November 1994. IEA/OECD 1995



JULKAISIJA
VTT Energia
PL 1603, 40101 Jyväskylä
Puh. (941) 672 611, fax (941) 672 598

Julkaisusarjan nimi ja numero
JULKAISUJA 11, OSA III
Julkaisu aika
Jyväskylä 1996

Julkaisun tekijä(t) Eija Alakangas (toim.)		Tutkimuksen nimi ja numero BIOENERGIA - Koordinointi ja tiedotus 445/881/92; KTM, ENE43202
Julkaisun nimi Vuosikirja 1995, Osa III, Bioenergian käyttö ja biomassan jalostus		Toimeksiantaja Jyväskylän Teknologiakeskus Oy Bioenergian tutkimusohjelma
TIIVISTELMÄ Bioenergian tutkimusohjelma on yksi TEKESin energiateknologian tutkimusohjelmista. Ohjelman tavoitteena on teknisen tutkimus- ja kehitystyön avulla lisätä taloudellisesti kannattavan ja ympäristöystävällisen bioenergian käyttöä, parantaa nykyisten puu- ja turvepolttoaineiden kilpailukykyä ja kehittää uusia kilpailukykyisiä polttoaineita sekä bioenergiaan liittyvää laitetekniikkaa. Tutkimusohjelman kokonaisrahoitus oli vuonna 1995 lähes 52 milj. mk ja projekteja oli vuoden 1995 lopussa käynnissä 66. Biomassan jalostusalueella oli vuonna 1995 yhteensä 8 projektia ja bioenergian käytön alueella oli 14. Tässä julkaisussa esitellään näiden projektien tuloksia vuodelle 1995. Biomassan jalostustutkimuksessa pyritään jalostustekniikoilla tuottamaan niin puunjalostustehtaiden kuin kaukolämpövoimaloiden yhteydessä bioöljyä ja sähköä enemmän kuin nykypäivän ratkaisussa. Jalostustutkimus painottuu selluteollisuuden jäteliemien ja niiden uuteaineiden jalostamiseen polttoöljyksi ja moottoripolttonesteiksi sekä puuöljyn tuottamiseen flash-pyrolyysillä sekä sen polttokokeisiin. Muut jalostustekniikat liittyvät polttoaine-etanolin tuottamiseen, peltobiomassojen käsittelyyn ja käyttöön leijukerroskattiloissa sekä flash-pyrolyysiin. Agrokuidun tuotantoa on tutkittu laboratoriokeihin. Bioenergian käytön tutkimuksen tavoite on saattaa kaupalliselle asteelle 3 - 4 uutta käyttöön liittyvää tekniikkaa tai menetelmää sekä demonstroida useita käyttökohteita, joiden käyttöpotentiaali on 0,2 - 0,3 milj. toe. Polttotekniikan kehitys rajoittuu pieneen käyttökokoluokkaan (alle 20 MW:n lämpöteho), mutta käsittelytekniikan kehittämiseen ja demonstraatioihin tähtäävää työtä tehdään kaikissa kokoluokissa. Projektit muodostivat kolme selvää kokonaisuutta: pienen kokoluokan päästöjen vähentäminen, uuden voimalaitostekniikan eri laitteiden ja menetelmien kehittäminen sekä metsäteollisuuden puupolttoaineiden lisäkäytön selvitykset. Paineistettuja tekniikoita varten on suunniteltu kaksi syöintä, jotka ovat demonstraatiovaiheessa. Uusien pienvoimalaitostekniikoiden taloudellisuutta on selvitetty esitutkimuksissa. Vuonna 1995 on tehty myös suuntaamisselvitys kiinteistö- ja aluelämmityksestä.		
Avainsanat biomassa, bioenergia, biopolttoaineet, biokaasu, tuotanto, käyttö, kilpailukyky, jalostus, selluteollisuus, jäteliemet, pyrolyysi, polttoöljy, polttotekniikka, päästöt, rypsi, ruukohelpi, viljely, kasviöljyt, etanoli, biodiesel, tutkimusprojektit, BIOENERGIA-tutkimusohjelma		
ISSN 1236-4738	Avainnimeke Julkaisu - Bioenergian tutkimusohjelma	ISBN 952-9500-77-7
Kokonaissivumäärä 222 s.	Kieli suomi, englanninkieliset tiivistelmät	Hinta 220 mk
Jakelu Julkaisija ja Bioenergian tutkimusohjelma Taitto: Tarja Rautevaara		UDK 662.63: 662.65: 662.71: 662.765: 66.075: 676.08: 620.95



PUBLISHER
VTT Energy
PO. Box 1603, FIN-40101 Jyväskylä, FINLAND
Tel. +358 41 672 611, fax +358 41 672 598

Series title and number
PUBLICATIONS 11, PART III

Date
Jyväskylä 1996

Author(s) Eija Alakangas (ed.)	Name of project and number Bioenergy - Coordination and information dissemination 445/881/92; KTM, ENE43202	
Title Yearbook 1995, Part III, Utilization of bioenergy and biomass conversion	Commissioned by Jyväskylän Teknoliakeskus Oy Bioenergy Research Programme	
ABSTRACT Bioenergy Research Programme is one of the energy technology research programmes of the Technology Development Center TEKES. The aim of the Bioenergy Research Programme is to increase, by using technical research and development, the economically profitable and environmentally sound utilization of bioenergy, to improve the competitiveness of present wood and peat fuels, and to develop new competitive fuels and equipment related to bioenergy. The funding for 1995 was nearly 52 million FIM, and the number of projects 66. The research area of biomass conversion consisted of 8 projects in 1995, and the research area of bioenergy utilization of 14 projects. The results of these projects carried out in 1995 are presented in this publication. The aim of the biomass conversion research is to produce more bio oils and electric power as well at wood processing industry as at power plants than it is possible at present day appliances. The conversion research was pointed at refining of the waste liquors of pulping industry and the extracts of them into fuel oil and liquid engine fuels, on production of wood oil via flash pyrolysis, and on combustion tests. Other conversion studies dealt with production of fuel-grade ethanol. For utilization of agrobiomass in various forms of energy, a system study is introduced where special attention is how to use rape seed oil unprocessed in heating boilers and diesel engines. Energy crops like reed canary grass is investigated as a solid fuel to fluid bed boilers, gasifiers and flash pyrolysis. The main aim of the research in bioenergy utilization is to create the technological potential for increasing the bioenergy use. This aim is further defined as to get into commercial phase 3 to 4 new techniques or methods and to start several demonstrations, which will have 0.2 - 0.3 mill. toe bioenergy utilization potential. The development of combustion is restricted to small scale (less than 20 MW thermal effect) but the fuel handling as well as the demonstrations cover the whole range of plants. The emphasis of the development work has been on fuel handling, especially fuel drying and feeding to the pressure. Two concepts on pressurized piston feeder, needed for pressurized combustion and gasification, have been designed and are ready for full-scale demonstration. Competitiveness of new small scale power plant concepts were studied. New concepts include atmospheric gasification with diesel engines, combustion of pulverized wood in a gas turbine and diesel engine using flash pyrolysis oil.		
Keywords biomass, bioenergy, biofuels, biogas, production, utilization, competitiveness, conversion, combustion, pulping industry, waste liquors, pyrolysis, fuel oils, wood oils, emissions, ethanol, biodiesel, reed canary grass, research projects, BIOENERGY research programme		
ISSN 1236-4738	Series title Publications - Bioenergy Research Programme	ISBN 952-9500-77-7
Pages 222 p.	Language Finnish, English abstracts	Price FIM 220
Distribution Publisher and Bioenergy Research Programme		Classification 662.63: 662.65: 662.71: 662.765: 66.075: 676.08: 620.95