

**Hannu Sarvelainen**  
**Niko Töyrylä**

**KOELAITE BIOMASSAN  
TORREFIOINTIIN  
BIOTULI-hankkeen  
tutkimusraportti 2013**

**Kymenlaakson ammattikorkeakoulu**  
**University of Applied Sciences**  
**2013**

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU  
Energiatekniikan laboratorio

# KOELAITE BIOMASSAN TORREFIOINTIIN BIOTULI-hankkeen tutkimusraportti 2013

HANNU SARVELAINEN, tutkimusinsinööri,  
Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

NIKO TÖYRYLÄ, projekti-insinööri,  
Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

Kotka 2013

Kymenlaakson ammattikorkeakoulun julkaisuja. Sarja B. Nro 102



Copyright: Kymenlaakson ammattikorkeakoulu  
Kustantaja: Kymenlaakson ammattikorkeakoulu  
Taitto ja paino: Kopijyvä Oy, Kouvola 2013  
ISBN (NID.): 978-952-5963-96-0  
ISBN (PDF.): 978-952-5963-97-7  
ISSN: 1239-9094  
ISSN: (verkkajulkaisu) 1797-5972

# Sisällysluettelo

<b>TIIVISTELMÄ .....</b>	<b>4</b>
<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>5</b>
<b>2 KOELAITE .....</b>	<b>6</b>
2.1 Suunnittelu .....	6
2.2 Rakentaminen .....	8
2.3 Sähköistys ja automatisointi .....	12
2.4 Koekäyttö .....	16
<b>3 LAITTEEN KÄYTTÖKOKEMUKSET .....</b>	<b>19</b>
3.1 Käyttö .....	19
3.2 Huolto .....	21
3.3 Torrefioidun hakkeen tuotantokustannukset .....	22
<b>4 LAITTEEN JATKOKEHITYSSUUNNITELMAT .....</b>	<b>26</b>
<b>5 YHTEENVETO .....</b>	<b>29</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>30</b>
<b>KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUSARJASSA B. ILMESTYNEET JULKAISUT .....</b>	<b>31</b>

# TIIVISTELMÄ

Tässä BIOTULI-hankkeen tutkimusraportissa on käsitelty biomassan lämpökäsittelyyn (torrefiointiin) käytettävää koelaitetta. Biomassan torrefioinnin tarkoituksena on muuttaa sen ominaisuuksia siten, että kivihiilen käyttöä voitaisiin korvata biomassalla. Koelaitte on suunniteltu, rakennettu ja testattu hankkeen aikana 2010 – 2013 ja sillä on ollut tarkoitus tutkia torrefioinnin vaikutusta biomassan ominaisuuksiin. Koelaitte on suunniteltu hankkeessa asetettujen vaatimusten mukaisesti. Laitteen suunnittelu perustui muista vastaavanlaisista laitoksista etsittyihin tietoihin sekä kirjallisuustietoon. Koelaitteiston avulla on ollut myös tarkoitus selvittää biomassan lämpökäsittelyn edellytyksiä suuren mittakaavan laitoksena.

Laitteen suunnittelu ja rakentaminen on toteutettu pääosin opiskelijatyönä. Opiskelijat ovat työskennelleet hankkeessa muutamien opintojaksojen ja projektitöiden kautta. Opiskelijoiden keskeisimpiin tehtäviin on kuulunut lämpötekninen suunnittelu, rakentaminen sekä laitteen sähköistys. Koulun laboratoriohenkilökunta on ollut ohjaamassa opiskelijoiden työtä. Laitteen automatisointi toteutettiin opinnäytetyönä.

Koelaitteella on pystytty suorittamaan onnistuneita kokeita ja myös toistamaan niitä. Laitetta on käytetty erilaisilla toiminta-arvoilla ja toiminta-arvoista on pyritty etsimään sellaisia, joilla torrefioitun biomassan ominaisuudet olisivat optimaalisia kivihiilen korvaajaksi. Kokeiden aikana laitteen toiminnasta on saatu myös käytännön tietoa, jota voidaan hyödyntää vastaavanlaisten laitteiden suunnittelussa. Laitteella saadut tulokset eivät kuitenkaan välttämättä vastaa täysin muita vastaavanlaisia tutkimuksia, koska tulokset on saatu tällä kyseisellä laitteella. Lisäksi samanlaisia rinnakkaisia kokeita olisi tehtävä enemmän luotettavien tuloksien varmistamiseksi.

Tutkimuksen tavoitteet koelaitteen rakentamisen osalta onnistui, mutta torrefioitun biomassan ominaisuuksien tutkimiseen näyte-eriä olisi pitänyt tehdä enemmän. Tutkimustyötä on osittain vaikeuttanut koelaitteessa useasti toistuvat vikatilanteet. Näiden vikatilanteiden estämiseksi laite olisi vaatinut tarkempaa suunnittelua. Hankkeen aikana laitteen toiminnasta on tullut esille jatkokehitysideoita, joilla laitteen luotettavuutta ja energiatehokkuutta voitaisiin lisätä. Myös laitteen kokoluokan kasvattaminen suuremmaksi on mahdollista.

# 1 JOHDANTO

Kivihiilivoimalaitokset ovat kohteita, joissa uusiutuvan biomassan käyttöä voitaisiin lisätä. Yleinen kivihiilen polttotekniikkana käytetty pölypoltto ei kuitenkaan sovellu kunnolla biomassan polttamiseen ja biomassaa voidaan polttaa vain pieniä määriä kivihiilen seassa. Lämpökäsittelymenetelmä ”torrefiointi” tarkoittaa biomassan lämmittämistä noin 200 – 300 °C lämpötilassa hapettomissa olosuhteissa. Lämpökäsittelyn seurauksena biomassan ominaisuudet muuttuvat tavalliseen biomassaan verrattuna muun muassa energiatihyden, kosteuden sitoutumisen ja jauhautuvuuden osalta. Torrefioitu biomassaa on ominaisuuksiltaan lähes kivihiilen kaltaista, jolloin sitä voidaan sekoittaa kivihiilen joukkoon huomattavasti enemmän kuin käsittelemätöntä biomassaa. Torrefioitua biomassaa voidaan käyttää kivihiilen korvaajana kivihiilivoimalaitoksissa.

Lappeenrannan teknillinen yliopisto on toteuttanut BIOTULI-hankkeen (2010–2013) yhdessä kaakkoissuomalaisen innovaatio- ja kehittämisorganisaatioiden, alueen ammattikorkeakoulujen sekä alan yritysten kanssa. BIOTULI-hanke on jaettu neljään työpakettiin. Hankkeen työpaketeissa on käsitelty puuperäisistä raaka-aineista saatavia antibakteerisia yhdisteitä, niiden liiketoimintamahdollisuuksia, markkinoita ja liiketoimintamalleja sekä innovaatioprosesseja. Lisäksi hankkeessa on tutkittu jalostusprosessien tuotteiden käyttöä energianlähteenä sekä perehdytty materiaalivirtojen ohjaukseen ja logistiikkaan.

Kymenlaakson ammattikorkeakoulun osuus hankkeen työpaketissa 4 oli rakentaa koelaitte biomassan (puuhake) torrefiointiin. Tässä raportissa käsitellään biomassan torrefiointiin käytettävän laitteen suunnittelua, rakentamista ja testausta. Lopussa on esitetty lyhyesti laitteen käyttökokemuksia ja kehitysideoita jatkotutkimuksia varten. Koelaitteeseen liittyviin tietoihin on tehty tämän raportin lisäksi kaksi muuta raporttia. Laitteen automatisointiin on tehty opinnäytetyö ”Biomassan lämpökäsittelyprosessin koelaitteen automatisointi”. Laitteella tehtyjen biomassan torrefiointikokeiden tuloksia käsittelee hankkeessa tehty raportti ”Erilaisien biomassojen soveltuvuus torrefiointiin”. Raportit löytyvät BIOTULI-hankkeen verkkosivuilta.

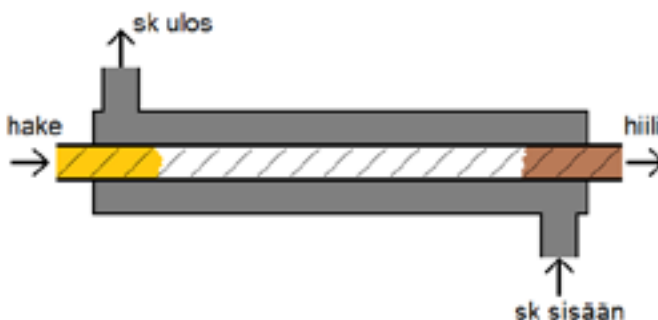
## 2 KOELAITE

### 2.1 Suunnittelu

Koelaitteen suunnittelu aloitettiin etsimällä tietoa jo olemassa olevista koelaitteista ja laitoksista ympäri maailmaa. Torrefiointi voidaan toteuttaa monilla eri tavoilla, mutta hankkeessa oli annettu joitakin rajoituksia ja ohjearvoja laitteen käytännön toteutukseen. Ratkaisevimmat tekijät laitteen suunnittelussa ja mitoituksessa muodostuivat seuraavista vaatimuksista:

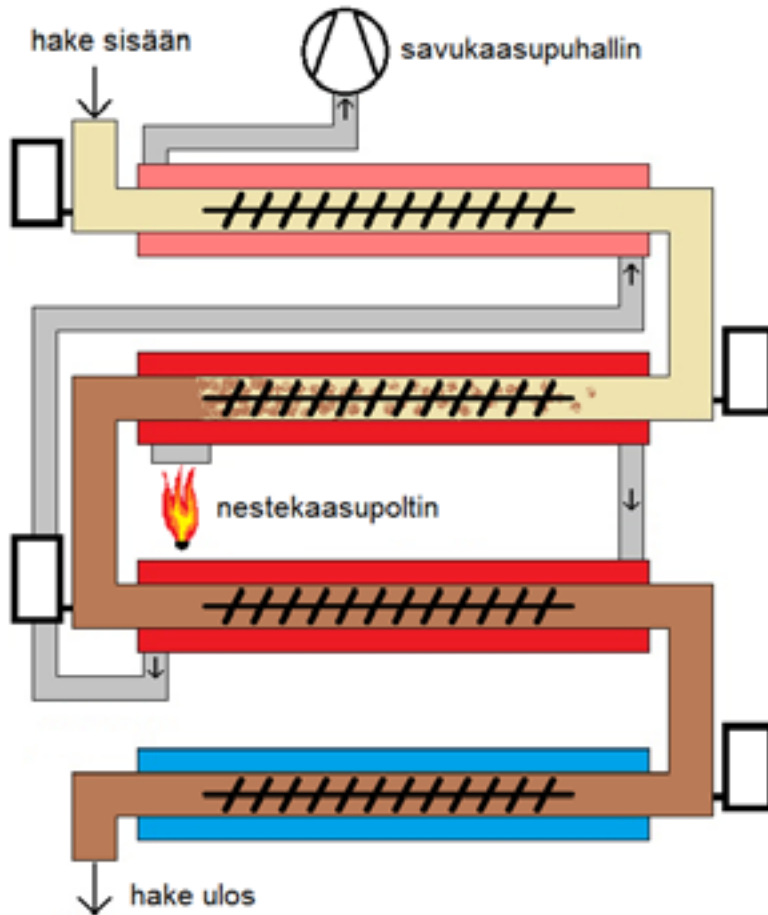
- tuotantokapasiteetti jatkuvatoimisesti noin 25 kg/h
- käsittelylämpötila 200 – 350 °C
- pitoaika tavoitelämpötilassa 5 – 60 min
- kostean hakkeen kuivausmahdollisuus
- lämmöntuonti polttoaineen palamisen avulla (jokin muu kuin sähkövastus)

Laitteen tuotantokapasiteetti on niin pieni, että hakkeen kuljetus päätettiin toteuttaa ruuvikuljettimilla. Yksinkertaistettuna laite toimii kuvan 1 periaatteella. Haketta syötetään ruuvikuljettimella putken sisällä ja putkea lämmitetään ulkopuolelta savukaasulla. Savukaasut ja hake eivät ole suorassa kosketuksessa toisiinsa, vaan savukaasu virtaa kahden sisäkkäisen putken muodostamassa rengaskanavassa. Polttoaineeksi valittiin nestekaasu, koska sen palamisen hallinta on helppoa. Lisäksi poltossa muodostuvat savukaasut koostuvat ”puhtaista” palamistuotteista, jotka eivät nokea kanavia.



Kuva 1. Jatkuvatoimisen torrefiointin periaate

Lämpöteknisessä mitoituksessa oleellisin asia oli määrittää tarvittava putken pituus. Putki- ja ruuvihalkaisijat määritettiin tuotantokapasiteetin mukaan. Putkipituus määritettiin keskeisimpien lämmönsiirtoteknisten yhtälöiden ja lainalaisuuksien mukaan. Lämpötekni- sen mitoituksen perusteella teoreettinen putkipituus muodostui niin suureksi, että lämmitys oli järkevintä jakaa useaan eri vaiheeseen. Koelaitteen toimintaperiaate kokonaisuudessaan on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Laitteen toimintaperiaate

Hake syötetään ensimmäiseen vaiheeseen, jossa suurin osa hakkeen sisältämästä kosteudesta poistuu. Toisessa vaiheessa haketta lämmitetään edelleen, jolloin hakkeen sisältämät haihtuvat ainesosat alkavat poistua. Kolmannessa vaiheessa haketta pidetään haluttu aika tavoitelämpötilassa. Hake jäädytetään neljännessä vaiheessa ja valmis tuote poistetaan jäähtyneenä ulos.

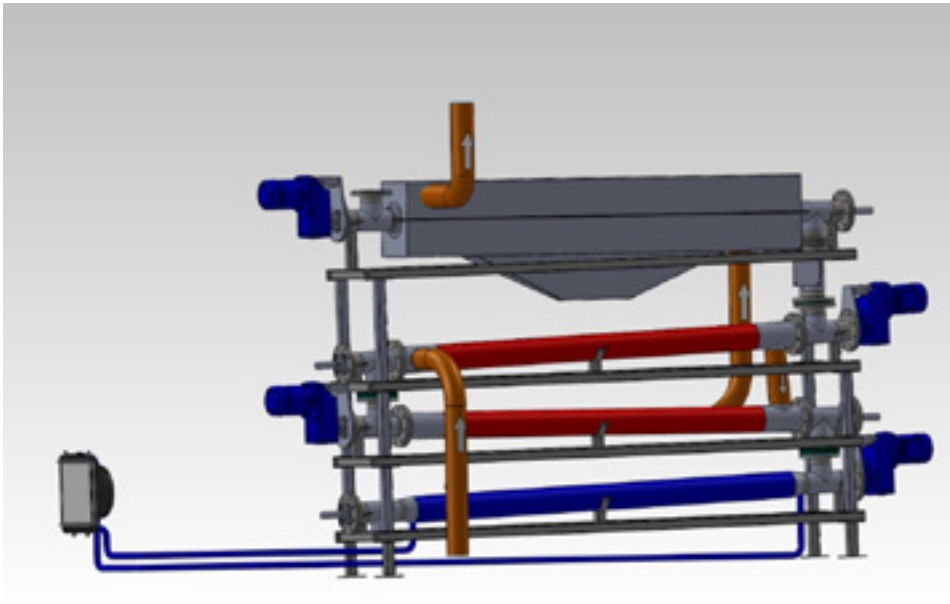


Kuvassa olevat keltainen ja ruskea linja kuvaavat hakkeen kulkua eri vaiheiden läpi. Savukaasut kulkevat harmaassa linjassa ja punaisissa vaiheissa lämpöä siirtyy savukaasuista hakkeeseen. Sinisellä kuvatussa jäähdytysvaiheessa on myös kahden putken muodostama rengaskanava, jossa vesi-glykoliseos jäähdyttää haketta. Jäähdytysnestettä kierrätetään pumpulla jäähdytyskennon ja laitteen välillä. Ensimmäisen vaiheen putkessa on lisäksi pieniä reikiä, joista hakkeen kosteus pääsee poistumaan savukaasujen mukana. Torrefioinnissa syntyvät haihtuvat ainesosat poistuvat myös samalla.

Laitteessa voidaan säätää kuljetinruuvien pyörimisnopeuksia, jolla voidaan vaikuttaa tuotantokapasiteettiin ja hakkeen lämmitysaikaan. Savukaasun arvoja säädetään nestekaasupolttimella sekä laitteen savukaasu-ulostulossa olevalla savukaasupuhaltimella. Polttimen ja puhaltimen säädöillä voidaan vaikuttaa hakkeen lämpötilaan.

## 2.2 Rakentaminen

Laitteen tarkka mitoitus ja suunnittelu tehtiin opiskelijaprojektina syksyn 2011 aikana. Noin 10 opiskelijan ryhmä jaettiin muutamaaan pieneen työryhmään, joissa työryhmien tehtävät jakautuivat laitteen suunnitteluun, mallinnukseen, tarvittavien osien etsimiseen ja laitteen rakentamiseen. Laite suunniteltiin ja mallinnettiin tarkasti SolidWorks ja Autodesk Inventor -suunnitteluohjelmilla.



Kuva 3. Laitteen 3d-malli

Syksyn 2011 aikana laitteen kaikki ruuvivaiheet saatiin rakennettua valmiiksi. Yksittäisten vaiheiden toimintaa testattiin kuljettamalla haketta putken läpi. Laitteen rakentamisen vaiheita on esitetty kuvissa 4-7. Laitte rakennettiin kokonaan valmiiksi talven 2012 aikana ja siirrettiin 20' merikonttiin.



Kuva 4. Ruuvivaiheen testausta konetekniikan laboratoriossa



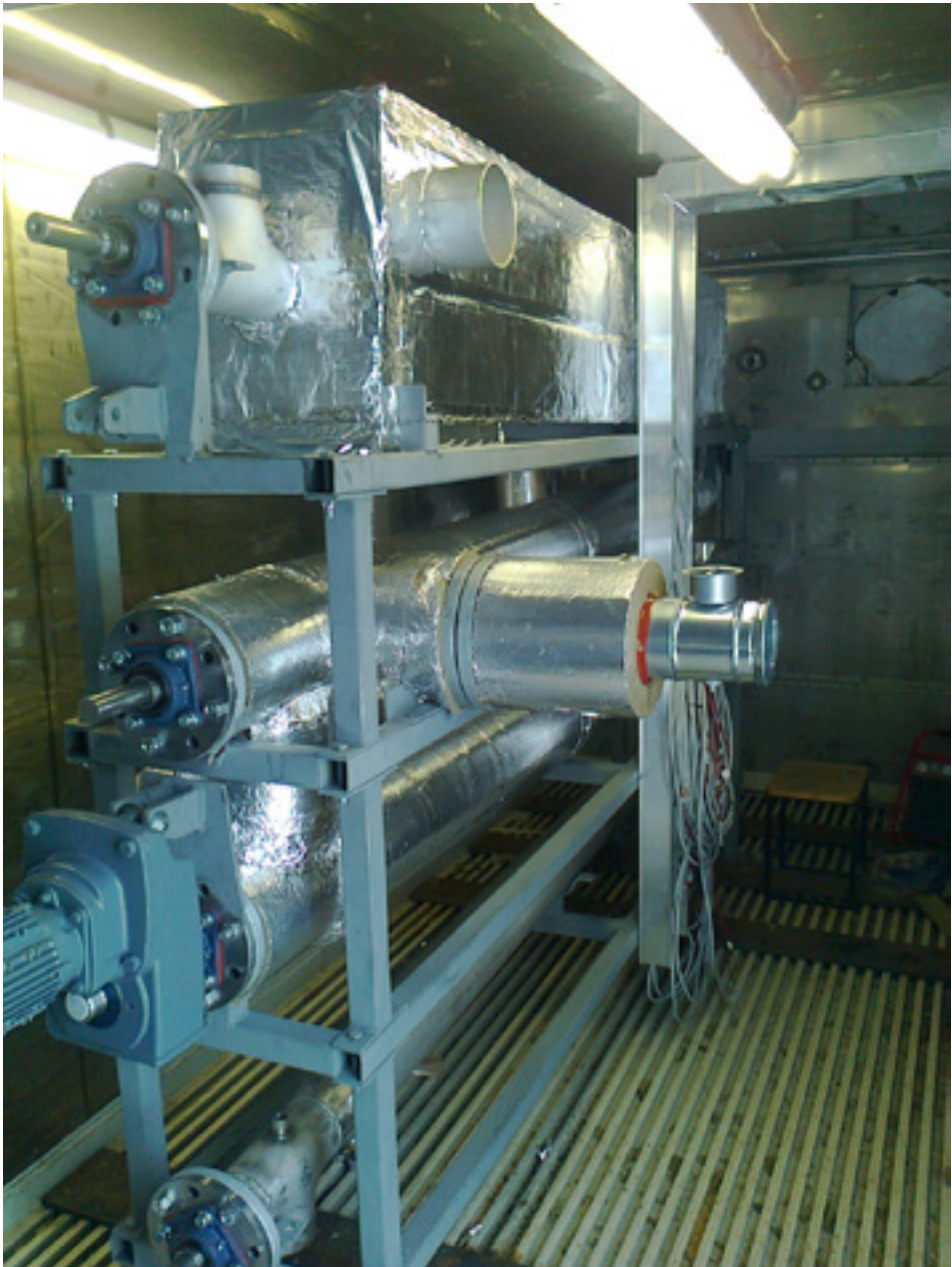
Kuva 5. Ruuvikuljetin putken sisällä

Ruuvivaiheet on lievästi kallistettu hakkeen kulkusuuntaan nähden alaspäin, koska näin voidaan erottaa hakkeesta irtoavien nesteiden ja kaasujen kulkusuunnat. Nesteet kulkevat hakkeen mukana pois alaspäin, kun taas kaasut virtaavat ylöspäin savukaasujen mukana pois. Kuvassa 6 olevassa tilanteessa ensimmäinen ruuvivaihe puuttuu.



Kuva 6. Laitteen kokoonpanoa talvella 2012

Lämpöeristetty kontti on sisäpuolelta tavallista eristämätöntä konttia matalampi, joten laitteen suunnittelussa oli huomioitava riittävä huoltotila ruuvivaiheiden ympärillä. Alla olevassa kuvassa on näkyvissä ensimmäisen ruuvivaiheen ympärillä oleva laatikko, jonka avulla hakkeesta voidaan erottaa hiekkaa ja vesihöyryä. Hiekka ja lauhtunut vesi voidaan poistaa laatikon alaosasta.



Kuva 7. Laite siirretty konttiin



## 2.3 Sähköistys ja automatisointi

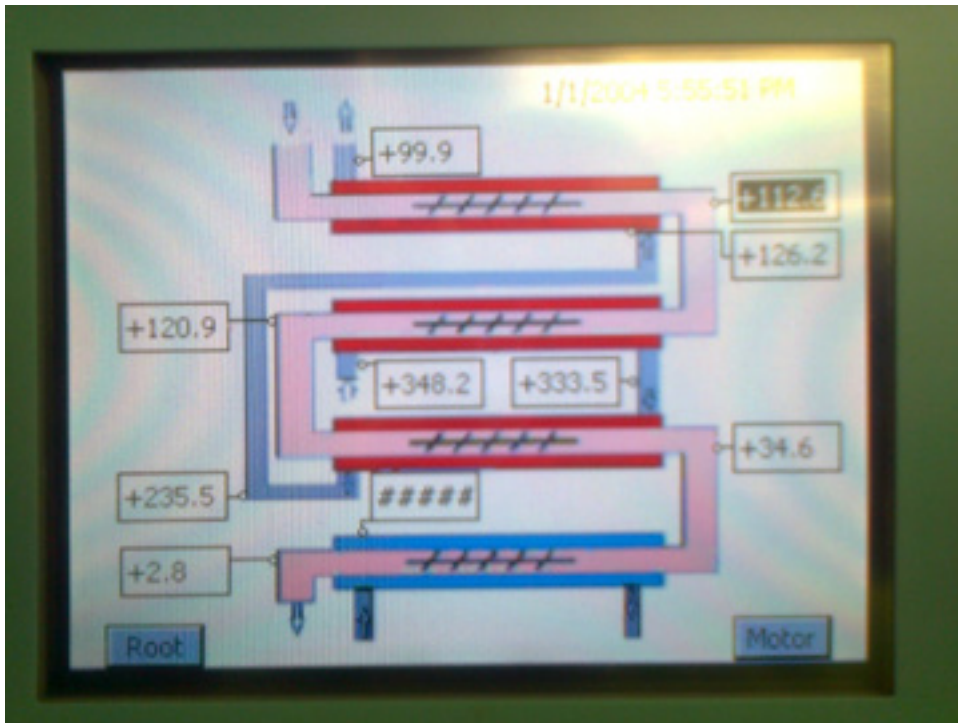
Laitteen sähköjärjestelmä muodostuu moottoreista, lämpötila-antureista sekä ohjausjärjestelmästä. Moottoreiden käyttöä varten konttiin on laitettu sähkökaappi, joka sisältää sähköiset ohjaukset. Mittauksia ja automaatiota varten on toinen sähkökaappi, johon on sijoitettu kyseiset toiminnot mahdollistavat laitteet, kuten logiikkayksikkö. Sähköistys ja automatisointi olivat edellytyksenä torrefioinnin lämpötilan ja käsittelyajan säädettävyyteen. Seuraavassa kuvassa on esitetty laitteen sähkökaapit. Ylempi kaappi on automaatiota ja mittauksia varten ja alempi sähkömoottoreiden ohjausta ja laitteen tehonsyöttöä varten.



Kuva 8. Sähköjärjestelmä.

Laitteen ohjaukset ja toimilaitteet on liitetty logiikkayksikköön, jolloin niiden automaattinen ohjaus on mahdollista. Logiikkayksikköä tarvitaan mittauksia ja ohjauksia varten. Kaikkien ruuvien moottorit sekä savukaasupuhallin on varustettu taajuusmuuttajalla, joten niiden kierrosluvun säätäminen on mahdollista. Logiikkayksikköä voidaan ohjata myös erillisellä tietokoneella sekä etäkäyttönä kontin ulkopuolelta.

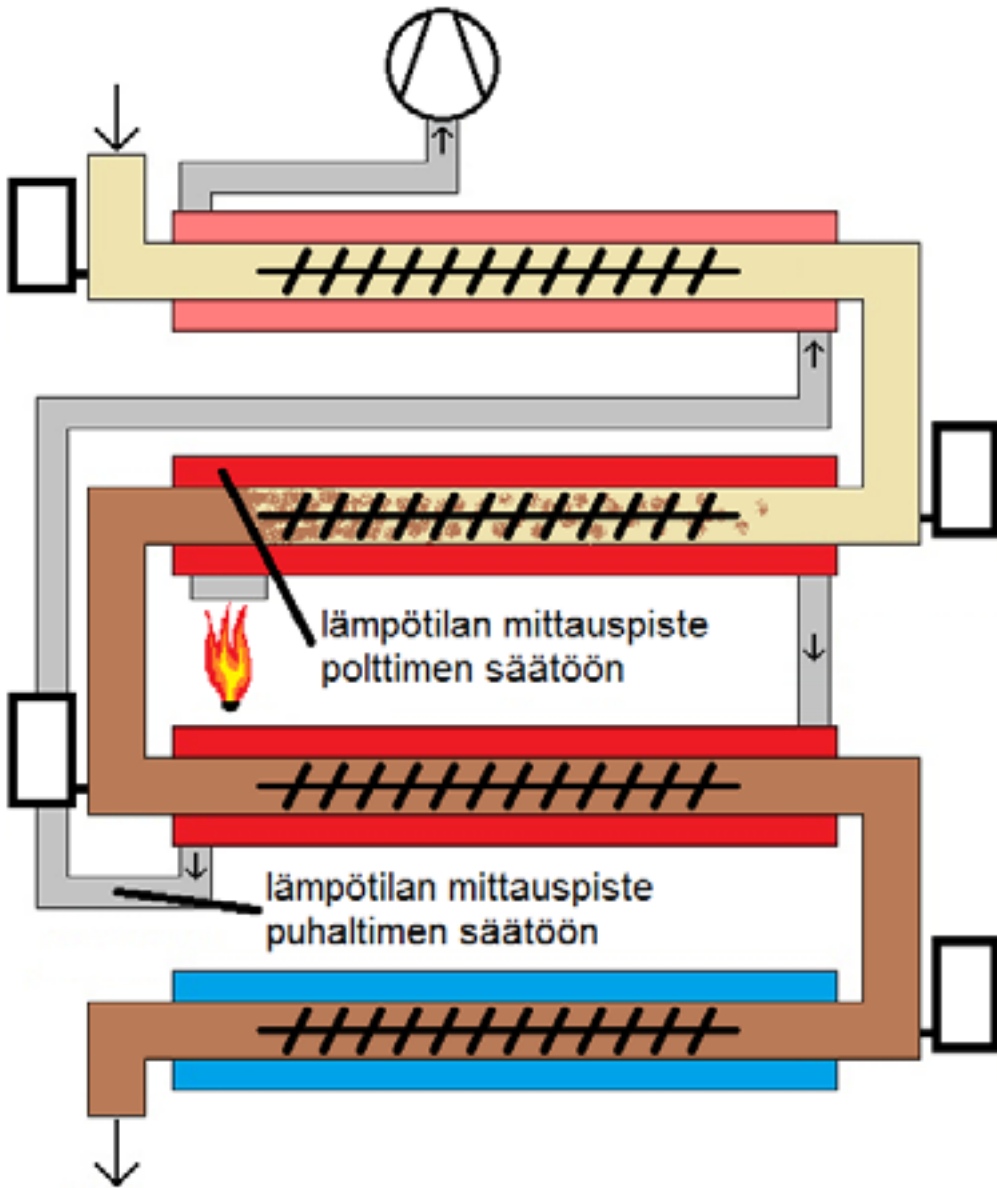
Sähköistys ja automatisoinnin alkuvaihe suoritettiin opiskelijatyönä. Laitteen automatisointia ja kehittämistä jatkettiin edelleen opinnäytetyönä kesän 2012 aikana. Syksyllä 2012 laitteeseen lisättiin myös hakkeen syöttöjärjestelmä, joka automatisoitiin osana opinnäytetyötä. Seuraavassa kuvassa on esitetty alkuvaiheessa tehty näyttö, josta oli mahdollista seurata ainoastaan laitteen lämpötiloja.



Kuva 9. Alkuperäinen näyttö

Lämpötilan hallinta muodostuu kahdesta erillisestä säätimestä, jotka ovat toiminnallisesta itsenäisiä. Polttimen tehoa säädetään nestekaasulinjassa olevan säätöventtiilin avulla, jonka ohjaus on toteutettu lämpötilasäätimellä. Kyseinen säädin saa asetusarvonsa tietokoneen käyttöliittymästä tai kosketuspaneelin käyttöliittymästä. Asetusarvo on käyttäjän asetettavissa.

Toinen säätimistä ohjaa puhaltimen kierrosnopeutta, joka puolestaan vaikuttaa polttimen jäljessä oleviin myöhempien vaiheiden lämpötiloihin. Lämpötilat pysyvät asetusarvoissaan noin yhden asteen tarkkuudella. Seuraavassa kuvassa on esitetty säädettävien lämpötilojen mittauspisteet.



Kuva 10. Säättöpiirien mittauspisteet

Ensimmäisen mittauspisteen tarkoituksena on saada hake lämmitettyä haluttuun lämpötilaan. Toisessa mittauspisteessä varmistetaan, että hake pysyy halutun ajan tässä lämpötilassa. Laite toimii lähes täysin automaattisesti ja sillä voidaan tuottaa tasalaatuista torrefioitua haketta. Nestekaasupolttimen sytytys ja liekinvalvonta sekä torrefioitun hakkeen keräysjärjestelmä kuitenkin puuttuu toistaiseksi.

Laitteen käyttöä varten on tehty tietokoneelle käyttöliittymä kosketuspaneelin käyttöliittymän lisäksi. Tietokone on yhdistetty logiikkayksikköön, johon lähetetään ohjaukskkyt. Laitteen tilaa voidaan lukea tietokoneen näytöltä. Tietokoneen käyttöliittymä on toteutettu InTouch -sovelluksella. Kuvassa 11 on näkyvissä käytettävä tietokone ja sovelluksen käyttönäkymä. Käyttöliittymä toimii valvomona ja sille saadaan kaikki laitteen lämpötilat ja tarvittavat ohjaukset laitteen käyttöä varten. Käyttöliittymä ei sisällä varsinaista automaatiota, vaan säädöt ja ohjaukset lähtevät logiikkayksiköltä.



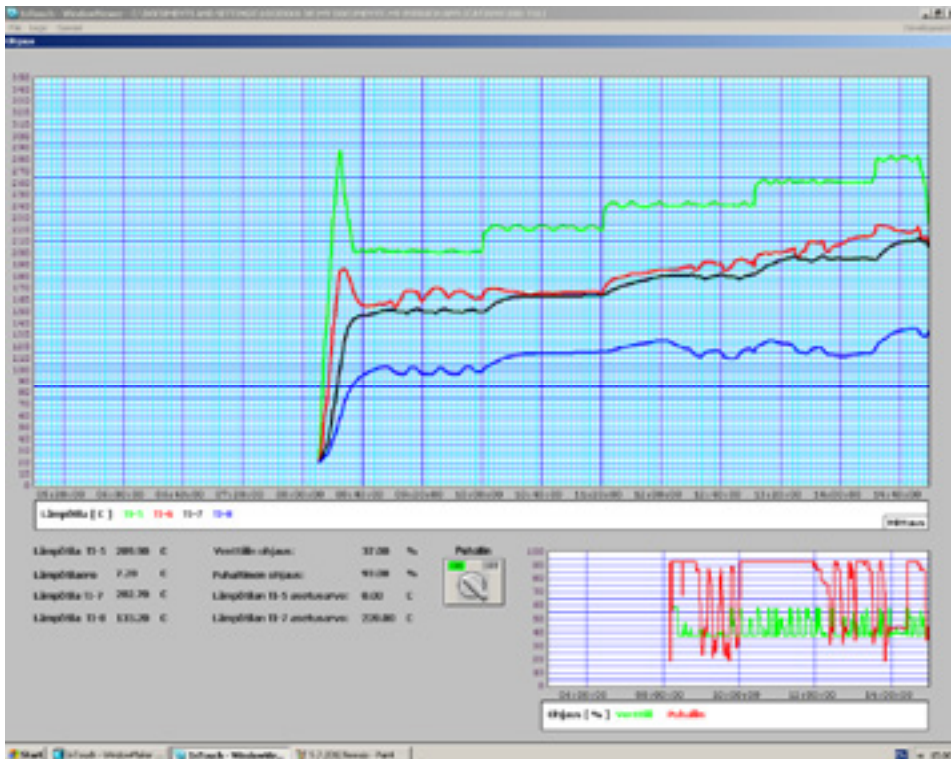
Kuva 11. "Valvomo"

Kuvassa 12 on esitetty käyttöliittymän näkymä. Näytölle on otettu laitteen kannalta tärkeät lämpötilat näkyviin, lämpötilaero, asetusarvo hakkeen loppulämpötilalle, asetusarvo pitolämpötilalle ja toimilaitteiden ohjausarvot prosentteina (puhallin ja venttiili). Trendinäytöt on mitoitettu niin, että ne piirtävät kuvaajat reaaliajassa 10 tunnin ajalta.

Suuremmissa trendinäytössä näkyy laitteen lämpötiloja eri kohdissa. Esimerkiksi vihreällä on kuvattu laitteeseen sisään tulevien savukaasujen lämpötilaa ja sinisellä ensimmäisen vaiheen loppulämpötilaa. Torrefioinnin loppulämpötila ja pitolämpötila, ovat yhteydessä säätöpiireihin, joilla ohjataan venttiilin ja savukaasupuhall-



timen toimintaa. Kuvan oikeassa alakulmassa olevassa trendinäytössä on näkyvissä toimilaitteiden prosentuaaliset ohjaukset 10 tunnin ajalta (venttiili vihreällä ja puhallin punaisella). Puhallinta varten näytölle on sijoitettu ”on / off” -kytkin, josta puhallin saadaan myös tarvittaessa käsin päälle tai pois päältä.



Kuva 12. Näkymä erään kokeen ajalta

## 2.4 Koekäyttö

Laitteen koekäyttö aloitettiin testillä, jossa kokeiltiin onko tarvittavia lämpötiloja mahdollista saavuttaa. Laitteessa olevan polttimen koko, putkien eristepaksuudet ja puhalltimen säädöt olivat vasta tässä vaiheessa arvioitu sopiviksi. Kokeessa havaittiin, että lämpötilat nousivat helposti tarvittavan suuriksi.

Hakkeen syöttöä kokeiltiin muutaman tunnin jatkuvalla käytöllä, jossa ruuvikuljettimiin laitettiin märkää haketta. Tällöin voitiin todeta, toimivatko ruuvikuljettimet huonoissa olosuhteissa. Testi suoritettiin ilman lämmitystä.

Ensimmäinen torrefiointikoe tehtiin siten, että ensimmäinen lämmitysvaihe täytettiin hakkeella ja hakkeen syöttöaukko suljettiin. Laite lämmitettiin ja haketta alettiin siirtää ruuveilla eteenpäin. Ulostuloaukkoon laitettiin eristetty ämpäri, jonne hiiltynyt hake tippui. Koe tehtiin niin suurilla lämpötiloilla (n. 300 – 350 °C), että hiiltymistä varmasti tapahtuisi.



Kuva 13. Valmista hiiltä

Hiiltyminen onnistui hyvin ja kokeen perusteella voitiin siirtyä matalampiin lämpötiloihin. Ilman pääsy ruuvivaiheiden sisään oli ongelmana koekäytöissä. Jos pienikin määrä happea pääsi kuumen hakkeen sekaan, hake syttyi palamaan ja tuli levisi helposti jokaiseen ruuvivaiheeseen. Hake ei tällöin pala kokonaan, mutta valmis tuote on hiiltynyt kokonaan.



Kuva 14. Hake syttynyt palamaan

Muutamien testikertojen jälkeen ilman pääsyä saatiin rajoitettua niin, että valmis hake oli ruskean väristä. 200–300 °C lämpötilassa käsitelty hake on väriltään tyyppillisesti ruskeaa. Koekäytöt tehtiin täysin manuaalisesti ilman mitään automatiikkaa. Edellisessä luvussa esitettyä automatisointia ei ollut vielä koekäytön aikana laitteessa.

## 3 LAITTEEN KÄYTTÖKOKEMUKSET

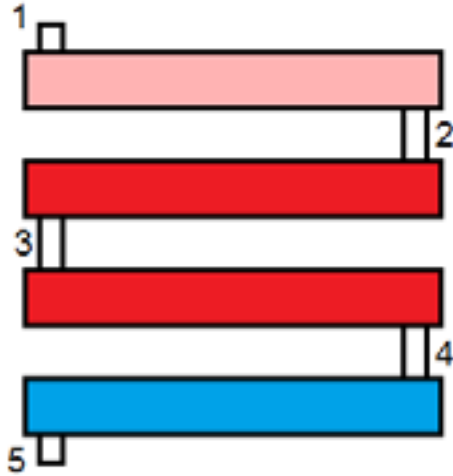
### 3.1 Käyttö

Laitteella tehtäviä kokeita varten hake on seulottava tasalaatuiseksi noin 10 – 40 mm palakokoon. Parhaisiin testaustuloksiin koelaitteella on päästy, kun hake on seulottu tähän kokoon. Käyttökokemuksien perusteella tämän laitteen ruuvikuljettimet eivät toimi kunnolla, jos palakoko on alle 10 mm tai yli 40 mm. Ruuvikuljettimet siirtävät myös helpommin murskattua palamaista haketta kuin lastumaista haketta.

Laitteen lämmityksen alkuvaiheessa haketta on syötettävä koko ajan pieni määrä ruuvien läpi. Kuumaan laitteeseen syötetty hake syttyy palamaan, jos ruuvit ovat täysin tyhjänä. Tuli leviää tässä tapauksessa helposti hakkeen syöttöaukkoon asti. Toisaalta haketta ei voida syöttää lämmitysvaiheessa vielä suurta määrää, koska märkä hake saattaa aiheuttaa tukoksia ruuvikuljettimiin.

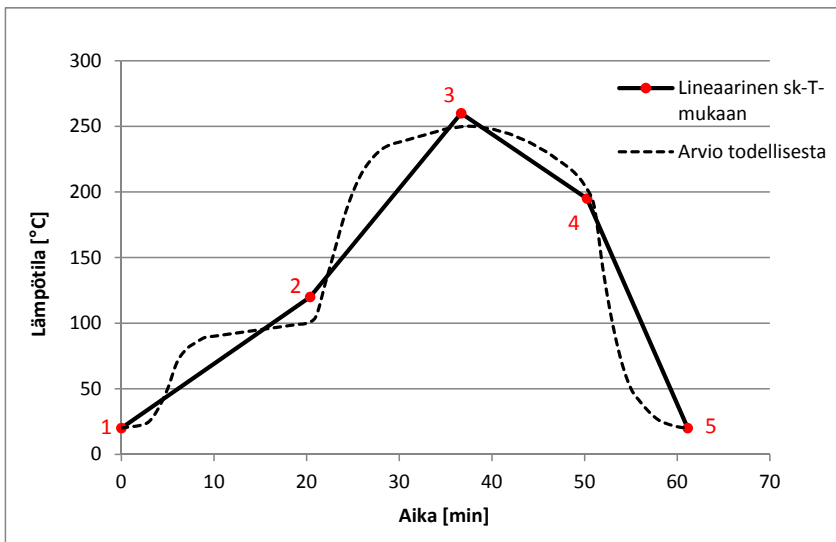
Laitteen käyttö on helppoa automatisoinnin takia. Laitteen käyttäjän tehtäväksi jää ainoastaan torrefioidun hakkeen keräys sekä laitteen valvonta. Torrefioitu hake tippuu ilmatiiviiseen ämpäriin ja käyttäjä vaihtaa ämpäriä määräajoin. Käyttäjän muita tehtäviä ovat haluttujen lämpötila-arvojen, ruuvikuljettimien kierrosnopeuksien ja hakkeen syöttömäärän asettaminen sekä nestekaasupolttimen valvonta. Toiminta-arvot voidaan yleensä asettaa heti alkuvaiheessa.

Kuvissa 15 ja 16 on esimerkki hakkeen lämpötilan muutoksista laitteen ruuvikuljettimissa. Hakkeen lämpötiloja voidaan arvioida pisteissä 2-4 olevien savukaasun lämpötilojen mukaan. Suuremman kokoisilla torrefiointilaitteilla ja -laitoksilla lämpötilojen hallinta on helpompaa kuin pienellä laitteella. Tämän takia koelaitteella tehtyjen torrefiointien tulokset eivät todennäköisesti vastaa suuremmilla laitteilla tehtyjä torrefiointeja.



Kuva 15. Lämpötilan mittauspisteet

Alla olevassa yhtenäisen viiva kuvaa lineaarista lämpötilan muutosta ruuvivaiheiden aikana. Katkoviivalla on esitetty arviota todellisesta tilanteesta. Kuvasta nähdään, että laite ei pidä lämpötilaa kolmannessa vaiheessa (väli 3-4) vakiona, vaan lämpötila laskee jonkin verran. Toisaalta toisessa vaiheessa (väli 2-3) lämpötila on lähellä tavoitetta jo ennen vaiheen loppua. Pitoaika lähes vakiolämpötilassa olisi tämän perusteella noin 25 minuuttia (ajanhetki 25 min → 50 min).



Kuva 16. Hakkeen lämpötilan muutos eri vaiheissa

## 3.2 Huolto

Laitteessa ilmenneet vikatilanteet ovat olleet pääasiassa kuivausvaiheen ruuvikuljettimessa. Kuivausvaiheessa on muodostunut ongelmaksi kostean hakkeen pakkaantuminen ruuvin ympärille, jolloin muodostuu tukos. Ruuvia on yritetty muuttaa esimerkiksi viistoamalla ruuvin lehden loppuosaa ja teroittamalla lehden reunoja. Muutoksien jälkeen kuivausvaiheen ruuvi toimii hyvin muutamien testien ajan, jonka jälkeen aikaisemmin ilmenneet viat alkavat toistua. Tukokset on kuitenkin saatu pääasiallisesti purettua ajamalla ruuvia edestakaisin, jolloin ruuvi on avautunut.

Laitteessa muodostuvat palavat kaasut ovat räjähtäneet joitakin kertoja ruuvivaiheiden sisällä. Laitteen ensimmäisen ruuvivaiheen kotelossa on luukku, jonka kautta räjähdys aiheuttama paine tasaantuu. Räjähdyks tapahtuu helposti, kun laitteen lämpötilat nousevat yli 300 °C lämpötilaan.

Laitteen kuivausvaiheen tukkeutumisen vuoksi laitetta on jouduttu huoltamaan usein. Laitteelle on vaikeaa tehdä ennakoivaa huoltoa ja laite toimii pääasiallisesti ilman huoltotöitä. Laitetta ei tarvitsisi huoltaa kovin paljon, jos kuivausvaiheen tukosongelmat saataisiin ratkaistua. Kuivausvaiheen moottorinpuoleinen laakerointi rikkoutui erään tukoksen aikana, koska laakeri ei kestänyt pitkittäistä voimaa.



Kuva 17. Rikkoutunut laakeripesä.

Kuivausvaiheen laakereiksi vaihdettiin kestävämmät laakerit, jotka kestävät myös pitkittäistä voimaa. Laite on toiminut tämän muutoksen jälkeen paremmin ja pienet tukokset ovat avautuneet helposti.

### 3.3 Torrefioidun hakkeen tuotantokustannukset

Seuraavassa on esitetty koelaitteella tuotetun torrefioidun hakkeen tuotantokustannuksien muodostuminen. Suurin osa laitteen toimintaan ja kustannuksiin liittyvistä lukuarvoista perustuvat todellisiin tietoihin laitteen käyttökokemuksista. Kustannukset on kuitenkin jouduttu arvioimaan vuositasolle, koska pisimmät yhtiökohtaiset koekäytöt ovat olleet vain 8 tunnin mittaisia. Henkilökuluja on vaikea arvioida, koska laite vaatii toistaiseksi melko paljon valvontaa.

Tietoja kustannuksista sekä laitteen toiminnasta:

- investointi yhteensä 30 000 €
- huolto (tarvikkeet) 2000 €/a
- henkilökulut 25 €/h
- raaka-aineen (hakkeen) hinta 20 €/MWh
- polttoaineen (nestekaasun) hinta 2 €/kg
- sähkön hinta 0,15 €/MWh
- torrefioidun hakkeen tuotanto 10 kg/h
- arvioitu tuotantoaika 7000 h/a
- käytön valvonta tuotantoajasta 20 %
- arvioitu huoltoaika 1500 h/a
- nestekaasun kulutus 1 kg/h (0,1 kgkausa/kgtorr. haketta)
- sähkönkulutus keskimäärin 5 kW
- hakkeen lämpöarvo 15,7 MJ/kg
- torrefioidun hakkeen lämpöarvo 20,6 MJ/kg
- hakkeen energiasta jää 65 % torrefioituun hakkeeseen

Lasketaan näillä tiedoilla torrefioidun hakkeen tuotantokustannukset vuositasolla. Investointi oletetaan jaettavaksi 10 vuoden ajalle 5 % vuotuisella korolla.

Vuosittainen torrefioidun hakkeen tuotanto:

$$10 \text{ kg/h} \cdot 7000 \text{ h/a} = 70\,000 \text{ kg/a}$$

Vuosittainen energia torrefioidusta hakkeesta:

$$70\,000 \text{ kg/a} \cdot 20,6 \text{ MJ/kg} = 1\,442\,000 \text{ MJ/a} = 400,6 \text{ MWh}$$

Haketta tarvitaan:

$$\frac{400,6 \text{ MWh}}{0,65} = 616,2 \text{ MWh}$$

Kustannus hakkeesta:

$$616,2 \text{ MWh} \cdot 20 \text{ €/MWh} = 12\,325 \text{ €}$$

Kustannus nestekaasusta:

$$1 \text{ kg/h} \cdot 7000 \text{ h} \cdot 2 \text{ €/kg} = 14\,000 \text{ €}$$

Kustannus sähköstä:

$$5 \text{ kW} \cdot 7000 \text{ h} \cdot 0,15 \text{ €/kWh} = 5\,250 \text{ €}$$

Investointikustannukset annuiteettimenetelmällä:

$$\frac{0,05(1 + 0,05)^{10}}{(1 + 0,05)^{10} - 1} \cdot 30\,000 \text{ €} = 0,13 \cdot 30\,000 \text{ €} = 3\,885 \text{ €}$$

Henkilökulut (tuotantoajan ja huoltoajan mukaan):

$$(0,20 \cdot 7000 \text{ h} + 1500 \text{ h}) \cdot 25 \text{ €/h} = 72\,500 \text{ €}$$

Kustannukset yhteensä (tarvikekulut edellä olevien lisäksi):

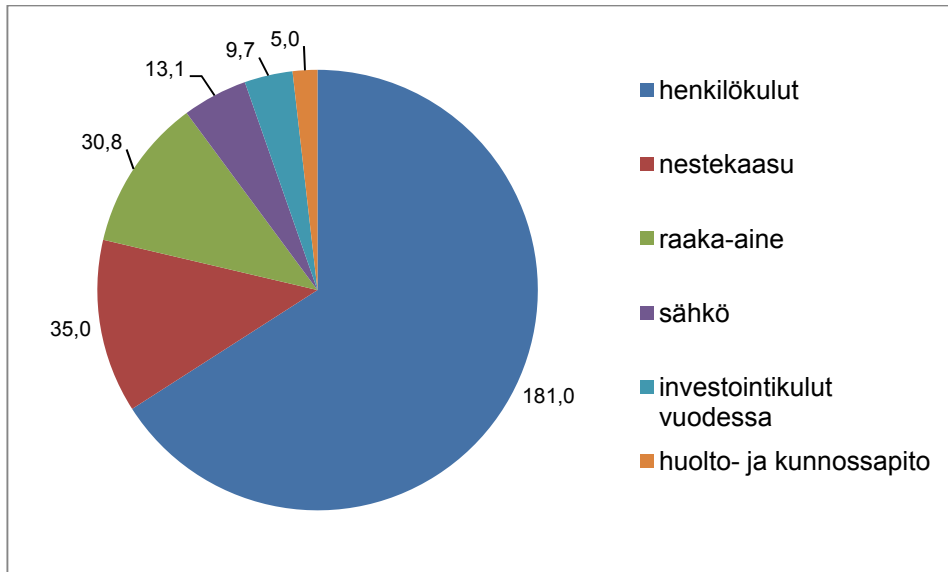
$$(12\,325 + 14\,000 + 5\,250 + 3\,885 + 72\,500 + 2\,000) \text{ €} = 109\,960 \text{ €}$$

Näiden kustannuksien perusteella torrefioidun hakkeen kokonaishinnaksi energiayksikköä kohti muodostuu noin 275 €/MWh.

$$\frac{109\,960 \text{ €}}{400,6 \text{ MWh}} = 274,5 \text{ €/MWh}$$



Kuvassa 18 on esitetty kustannusten jakautuminen eri kustannuslajeihin. Kuvasta nähdään henkilökustannuksien olevan merkittäviä tämän kokoluokan laitteessa.



Kuva 18. Kustannuslajien jakauma (€/MWh)

Laitteessa on kuitenkin joitakin muutettavia asioita, joilla torrefioidun hakkeen hintaa saataisiin pienemmäksi. Nämä muutokset voitaisiin toteuttaa kehittämällä laitteen automaatiota, koska tällöin laitteen käytön valvonnan tarve pienenesi ja tuotantokapasiteetti olisi suunnitellulla tasolla. Tällöin voitaisiin myös käyttää huonelaatuisempaa ja halvempaa haketta raaka-aineena.

- torrefioidun hakkeen tuotanto 10 kg/h → **25 kg/h**
- arvioitu tuotantoaika 7000 h/a → **7500 h/a**
- arvioitu huoltoaika 1500 h/a → **1000 h/a**
- käytön valvonta tuotantoajasta 20 % → **5 %**
- raaka-aineen hinta 20 €/MWh → **12 €/MWh**
- energiatehokkuuden parantaminen, nestekaasu 1 kg/h → **0,8 kg/h**

Nämä muutokset aiheuttaisivat arviolta seuraavanlaisia muutoksia alkuperäisiin kustannuksiin:

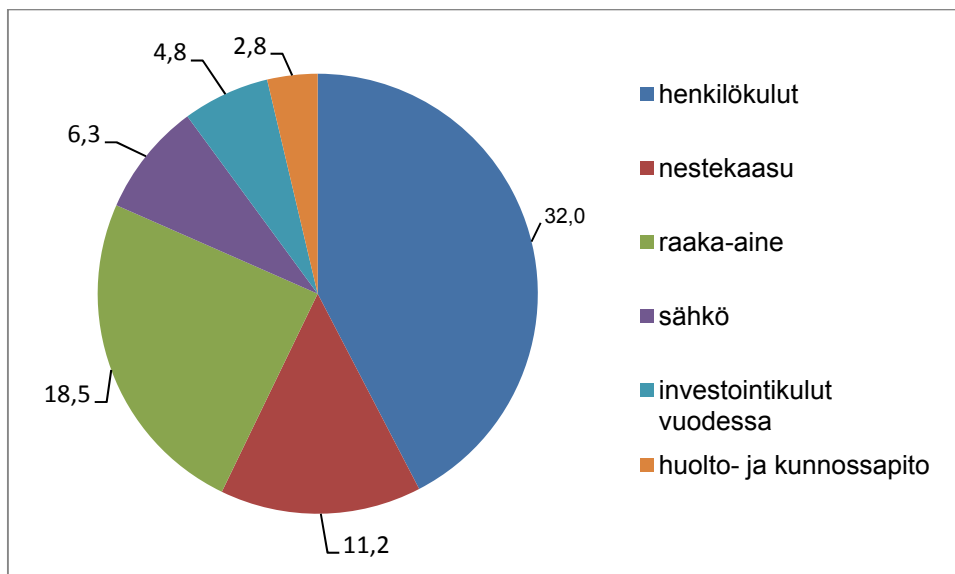
investointi yhteensä 30 000 € → **40 000 €**

nestekaasun kulutus 1 kg/h → **1,5 kg/h**

sähkönkulutus keskimäärin 5 kW → **6 kW**

huolto (tarvikkeet) 2000 €/a → **3000 €/a**

Muutoksien perusteella torrefioidun hakkeen kokonaishinnaksi energiayksikköä kohti muodostuisi noin 76 €/MWh.



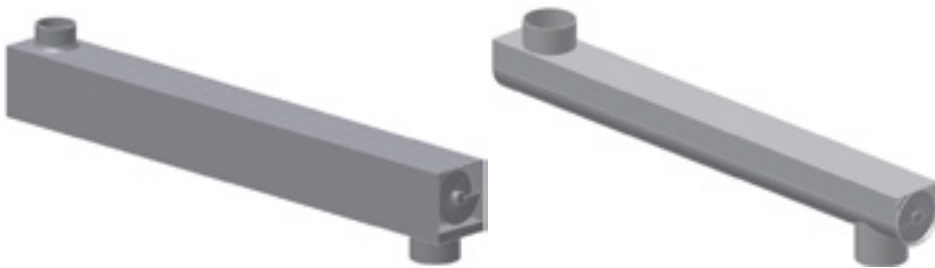
Kuva 19. Kustannuslajien jakauma uudessa tilanteessa (€/MWh)

Henkilökulut ovat edelleen suurin osa torrefioidun hakkeen hinnan muodostumisessa. Jos henkilökuluja ei huomioida, torrefioidun hakkeen hinta olisi noin 44 €/MWh.

## 4 LAITTEEN JATKOKEHITYSSUUNNITELMAT

Laitteessa ilmenneiden ongelmien poistamiseksi on mietitty erilaisia jatkokehityssuunnitelmia. Kuivausvaiheen tukosten muodostumisen estämiseksi laitteeseen on suunniteltu uudenlainen hakkeen virtauskanava. Nykyisessä laitteessa virtauskanavan poikkileikkaus on ympyrän muotoinen, jolloin hake saattaa jäädä pyörimään ruuvin ja putken seinämän väliin. Uudessa suunnitelmassa virtauskanava olisi poikkileikkaukseltaan neliön muotoinen, jolloin hake ei tarttuisi ruuviin kiinni.

Kuvassa 20 on malli uudesta ratkaisusta, joka voisi poistaa ongelmat tukosten muodostumisesta. Tällaisessa ratkaisussa hakkeen palakoolla ei olisi suurta merkitystä. Kuivausvaiheen ruuvikuljetin pilkkoisi haketta pienemmäksi.



Kuva 20. Uudenlaisia ratkaisuja kuivausvaiheeseen

Toinen mahdollisesti hyvä ratkaisu kuivausvaiheen ruuvikuljettimen virtauskanavaksi voisi olla U-mallinen virtauskanava, jonka alaosa on puoliympyrän muotoinen ja yläosa suorakulmainen. Tässä ratkaisussa kiilautuneet hakkeen palaset irtoaisivat yläosan vapaassa tilassa ja alaosassa haketta ei jäisi kanavan kulmiin. Tämä voisi olla toiminnallisesti paras ratkaisu. Neliskanttisessa kanavassa haketta jää jonkin verran kulmiin ja tämä vaikuttaa lämmönsiirto-ominaisuuksiin.

Torrefioidun hakkeen keräämiseksi voitaisiin kehittää kuljetinratkaisu, jolla torrefioitu hake voitaisiin siirtää esimerkiksi ruuvikuljettimella suureen keräysastiaan kontin ulkopuolelle. Kuljettimeksi voisi sopia spiraalikuljetin, koska torrefioitu

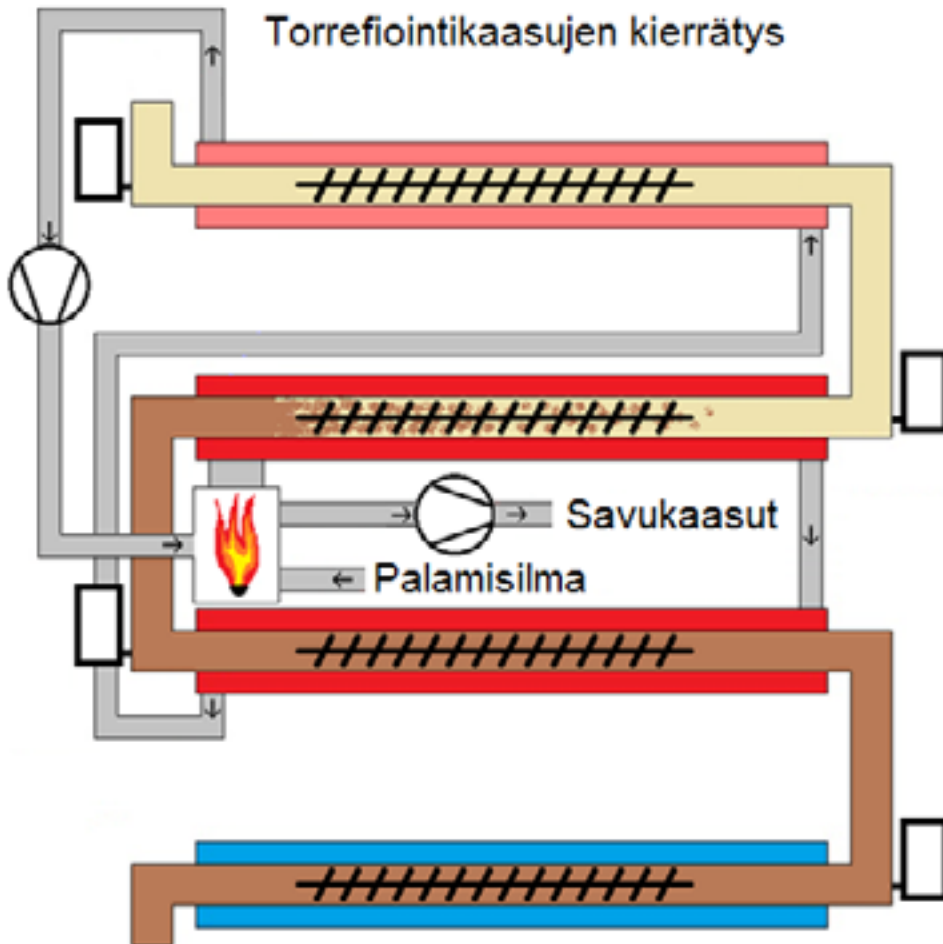
hake on haurasta ja spiraalikuljetin saattaisi toimia hyvin hakkeen siirrossa. Suuremman mittakaavan laitteessa hakkeen keräys olisi helpommin toteutettavissa, kun hakkeen keräys otettaisiin paremmin huomioon jo suunnitteluvaiheessa.

Automaation jatkokehityksellä, kuten turva-automaation lisäämisellä, voitaisiin lisätä merkittävästi laitteen käyttövarmuutta ja turvallisuutta. Näitä automaationlisäyksiä voisivat olla esimerkiksi liekinvalvonta ja hakkeen keräyksen automatisointi.

Liekinvalvonta olisi oleellinen parannus laitteen automatisointiin ja se mahdollistaisi kokonaan automatisoidun laitteen, jota voitaisiin valvoa esimerkiksi etäyhteyden avulla. Liekinvalvonta ja nestekaasun syötön turvajärjestelmä takaisi laitteen turvallisen käytön merkittävästi vähäisemmällä valvonnan tarpeella. Tällaisessa ratkaisussa laitteen käyttö voitaisiin hoitaa käytännössä pelkästään tietokoneen käyttöliittymän kautta.

Mikäli kyseisestä koelaitteesta tehtäisiin kaupallinen versio, vaatisi tämä edellä mainittujen automatisointien toteuttamista. Laitteen tarkempaan hallintaan vaadittaisiin mittaukset hakkeen virtaukselle, polttoaineen määrälle sekä mahdollisesti sekoitusilman määrälle. Kyseinen laite olisi kuitenkin mahdollista toteuttaa itsenäisesti toimivaksi, jolloin laitteen käyttöön ei tarvittaisi suurta henkilötyömäärää suuremmassakaan laitoksessa.

Laitteen energiatehokkuutta voitaisiin parantaa savukaasuja kierrättämällä. Samalla voitaisiin vähentää laitteesta syntyviä päästöjä. Kierrätys tapahtuisi siirtämällä lämpöä siirtävää savukaasua puhaltimella nestekaasupolttimelle. Tehokas savukaasujen poltto edellyttää polttimen kotelointia ja puhaltimella säädeltyä savukaasujen takaisinvirtausta. Seuraavassa kuvassa on esitetty kuinka savukaasujen kierrätys laitteessa voitaisiin toteuttaa. Samalla voidaan saada aikaan ilmatiiviimpi laite ja laitteessa kulkevan hapen määrä pieneneisi.



Kuva 21. Savukaasujen takaisinkierätys

Torrefioinnin laatua voitaisiin parantaa, jos laitteen sisälle pääsevän hapen määrää saataisiin vähennettyä. Laitteen sisällä on jonkin verran alipainetta ympäröivään paineeseen verrattuna, joten ilmaa pääsee vuotamaan laitteen sisälle pieniä määriä. Tavoitteena olisi saada aikaan hapeton tila, jolloin hakkeen palamiselle ei olisi mitään edellytyksiä. Yhtenä vaihtoehtona voitaisiin käyttää tyypeä hapen syrjäyttäjänä.

Laitteessa olevaa hapen määrää voitaisiin pienentää myös ilman tyypeä, mikäli laitteesta rakennettaisiin tiiviimpi. Tämä edellyttäisi ilmatiivistä syöttösiiloja ja keräyssiiloja. Tämä ratkaisu edellyttäisi luvussa 4.3 esitettyjen ratkaisujen toteuttamista, jotta laitetta voitaisiin käyttää luotettavasti.

## 5 YHTEENVETO

Tässä tutkimusraportissa käsiteltiin biomassan torrefiointiin käytettävää koelaitetta. Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia biomassan ominaisuuksien muuttumista torrefioinnissa sekä saada käyttökokemuksia laitteen toiminnasta. Lisäksi tavoitteena oli selvittää laitteen tuotantokustannuksia ja mahdollisuuksia laitetyypin käytöstä suuremmassa kokoluokassa.

Koelaitteen käyttökokemuksien perusteella on pystytty toteamaan, että laitteella voidaan tuottaa torrefioitua haketta halutuissa lämpötiloissa jatkuvatoimisesti. Laitteen käytön kanssa esiintyi kuitenkin joitakin ongelmia, mutta näistä ongelmista on saatu tietoa laitteen jatkokehitystä varten. Ongelmien ansiosta on pystytty selvittämään laitteessa esiintyviä tyypillisiä vikoja ja niiden syitä. Näitä voidaan huomioida, mikäli laitteesta suunnitellaan kehittyneempiä malleja. Laitteeseen suunniteltiin joitakin muutos- ja kehityskohteita, joilla voitaisiin parantaa laitteen käyttövarmuutta ja energiatehokkuutta.

Tutkimuksen aikana on selvinnyt, että laitteiston edellytykset kaupalliseen käyttöön eivät ole ainakaan tällä hetkellä kannattavia. Koelaitteen suuruusluokassa kaupallinen käyttö ei ole missään tapauksessa kannattavaa, mutta laitekokoa suurentamalla torrefioitun biomassan tuotanto voi olla kannattavaa. Tutkimuksen tavoitteet saavutettiin koelaitteen toiminnan osalta riittävällä tasolla, joten toiminnasta saatua tutkimustietoa voidaan hyödyntää jatkossa samankaltaisten laitteiden suunnittelussa sekä liiketoimintamahdollisuuksien kartoittamisessa.

## LÄHTEET

- Andritz. 2013. Torrefaction of biomass. Internet sivut, 2013. Saatavissa: <http://www.andritz.com/se-torrefaction> [viitattu 19.6.2013]
- Beekes, M., Cremers, M., DNV KEMA. 2012. Torrefaction Cracks the Biomass Challenge. Renewable Energy World 25.6.2012. Saatavissa: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2012/06/torrefaction-cracks-the-biomass-challenge> [Viitattu 19.6.2013]
- Biomass Technology Group. 2012. Torrefaction. Internet sivut, 2012. Saatavissa: <http://www.btgworld.com/nl/rtd/technologies/torrefaction> [viitattu 19.6.2013]
- BIOTULI-hanke. 2010 - 2013. BIOTULI-hankkeen Internet sivut, 2012. Saatavissa: <http://www.biotuli-hanke.fi/> [Viitattu 19.6.2013]
- Dahl J. Danish Technological Institute. CBP seminar- Session 4. Seminaariesitys. Saatavissa: <http://biomass-sp.net/wp-content/uploads/2011/11/CBP-seminar-Session-4.pdf> [Viitattu 19.6.2013]
- Motiva. 2013. Muita polttoaineita. Internet sivut, 2013. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/muita\\_biopolttoaineita](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/muita_biopolttoaineita) [viitattu 19.6.2013]

# KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUSARJASSA B. ILMESTYNEET JULKAISUT

## B-SARJA Tutkimuksia ja raportteja

- B 1 Markku Huhtinen & al.:  
**Laivadieselien päästöjen vähentäminen olemassa olevissa laivoissa [1997].**
- B 2 Ulla Pietilä, Markku Puustelli:  
**An Empiral Study on Chinese Finnish Buying Behaviour of International Brands [1997].**
- B 3 Markku Huhtinen & al.:  
**Merenkulkualan ympäristönsuojelun koulutustarve Suomessa [1997].**
- B 4 Tuulia Paane-Tiainen:  
**Kohti oppijakeskeisyyttä. Oppijan ja opettajan välisen ohjaavan toiminnan hahmottamista [1997].**
- B 5 Markku Huhtinen & al.:  
**Laivadieselien päästöjä vähentävien puhdistuslaitteiden tuotteistaminen [1998].**
- B 6 Ari Siekkinen:  
**Kotkan alueen kasvihuonepäästöt [1998]. Myynti: Kotkan Energia.**
- B 7 Risto Korhonen, Mika Määttänen:  
**Veturidieseleiden ominaispäästöjen selvittäminen [1999].**
- B 8 Johanna Hasu, Juhani Turtiainen:  
**Terveysalan karusellikoulutusten toteutuksen ja vaikuttavuuden arviointi [1999].**
- B 9 Hilikka Dufva, Mervi Luhtanen, Johanna Hasu:  
**Kymenlaakson väestön hyvinvoinnin tila, selvitys Kymenlaakson väestön hyvinvointiin liittyvistä tekijöistä [2001].**
- B 10 Timo Esko, Sami Uoti:  
**Tutkimussopimusopas [2002].**
- B 11 Arjaterthu Hintsala:  
**Mies sosiaali- ja terveydenhuollon ammattilaisena – minunko ammattini? [2002].**
- B 12 Päivi Mäenpää, Toini Nurminen:  
**Ohjatun harjoittelun oppimisympäristöt ammatillisen kehittymisen edistäjinä – ARVI-projekti 1999-2002 [2003], 2 p. [2005] .**



- B 13 Frank Hering:  
**Ehdotus Kymenlaakson ammattikorkeakoulun kestävän kehityksen ohjelmaksi** [2003].
- B 14 Hiikka Dufva, Raija Liukkonen  
**Sosiaali- ja terveysalan yrittäjyys Kaakkois-Suomessa. Selvitys Kaakkois-Suomen sosiaali- ja terveysalan palveluyrittäjyyden nykytilasta ja tulevaisuuden näkymistä** [2003].
- B 15 Eija Anttalainen:  
**Ykköskuski: kuljettajien koulutustarveselvitys** [2003].
- B 16 Jyrki Ahola, Tero Keva:  
**Kymenlaakson hyvinvointistrategia 2003 –2010** [2003], 2 p. [2003].
- B 17 Ulla Pietilä, Markku Puustelli:  
**Paradise in Bahrain** [2003].
- B 18 Elina Petro:  
**Straightway 1996—2003. Kansainvälinen transitoreitin markkinointi** [2003].
- B 19 Anne Kainlauri, Marita Melkko:  
**Kymenlaakson maaseudun hyvinvointipalvelut - näkökulmia maaseudun arkeen sekä mahdollisuuksia ja malleja hyvinvointipalvelujen kehittämiseen** [2005].
- B 20 Anja Härkönen, Tuomo Paakkonen, Tuija Suikkanen-Malin, Pasi Tulkki:  
**Yrittäjyyskasvatus sosiaalialalla** [2005]. 2. p. [2006]
- B 21 Kai Koski (toim.):  
**Kannattava yritys ei menetä parhaita asiakkaitaan. PK-yritysten liiketoiminnan kehittäminen osana perusopetusta** [2005]
- B 22 Paula Posio, Teemu Saarelainen:  
**Käytettävyyden huomioon ottaminen Kaakkois-Suomen ICT-yritysten tuotekehityksessä** [2005]
- B 23 Eeva-Liisa Frilander-Paavilainen, Elina Kantola, Eeva Suuronen:  
**Keski-ikäisten naisten sepelvaltimotaudin riskitekijät, elämäntavat ja ohjaus sairaalassa** [2006]
- B 24 Johanna Erkamo & al.:  
**Oppimisen iloa, verkostojen solmimista ja toimivia toteutuksia yrittäjämäisessä oppimisympäristössä** [2006]
- B 25 Johanna Erkamo & al.:  
**Luovat sattumat ja avoin yhteistyö ikäihmisten iloksi** [2006]
- B 26 Hanna Liikanen, Annukka Niemi:  
**Kotihoitoon liikkuvaa tietojenkäsittelyä kehittämässä** [2006]
- B 27 Päivi Mäenpää  
**Kaakkois-Suomen ensihoidon kehittämisstrategia vuoteen 2010** [2006]

- B 28 Anneli Airola, Arja-Tuulikki Wilén (toim.):  
**Hyvinvointialan tutkimus- ja kehittämistoiminta Kymenlaakson ammattikorkeakoulussa [2006]**
- B 29 Arja-Tuulikki Wilén:  
**Sosiaalipäivystys – kehittämishankkeen prosessievaluatio [2006].**
- B 30 Arja Sinkko (toim.):  
**Kestävä kehitys Suomen ammattikorkeakouluissa – SUDENET-verkostohanke [2007].**
- B 31 Eeva-Liisa Frilander-Paavilainen, Mirja Nurmi, Leena Wäre (toim.):  
**Kymenlaakson ammattikorkeakoulu Etelä-Suomen Alkoholiohjelman kuntakumppanuudessa [2007].**
- B 32 Erkki Hämäläinen & Mari Simonen:  
**Siperian radan tariffikorotusten vaikutus konttiliikenteeseen 2006 [2007].**
- B 33 Eeva-Liisa Frilander-Paavilainen & Mirja Nurmi:  
**Tulevaisuuteen suuntaava tutkiva ja kehittävä oppiminen avoimissa ammattikorkeakoulun oppimisympäristöissä [2007].**
- B 34 Erkki Hämäläinen & Eugene Korovyakovsky:  
**Survey of the Logistic Factors in the TSR-Railway Operation - "What TSR-Station Masters Think about the Trans-Siberian?" [2007].**
- B 35 Arja Sinkko:  
**Kymenlaakson hyvinvoinnin tutkimus- ja kehittämiskeskus (HYTKES ) 2000-2007. Vaikuttavuuden arviointi [2007].**
- B 36 Erkki Hämäläinen & Eugene Korovyakovsky:  
**Logistics Centres in St Petersburg, Russia: Current status and prospects [2007].**
- B 37 Hilikka Dufva & Anneli Airola (toim.):  
**Kymenlaakson hyvinvointistrategia 2007 - 2015 [2007].**
- B 38 Anja Härkönen:  
**Turvallista elämää Pohjois-Kymenlaaksossa? Raportti Kouvolan seudun asukkaiden kokemasta turvallisuudesta [2007].**
- B 39 Heidi Nousiainen:  
**Stuuva-tietokanta satamien työturvallisuustyön työkaluna [2007].**
- B 40 Tuula Kivilaakso:  
**Kymenlaaksolainen veneenveistoperinne: venemestareita ja mestarillisia veneitä [2007].**
- B 41 Elena Timukhina, Erkki Hämäläinen, Soma Biswas-Kauppinen:  
**Logistic Centres in Yekaterinburg: Transport - logistics infrastructure of Ural Region [2007].**
- B 42 Heidi Kokkonen:  
**Kouvola muuttajan silmin. Perheiden asuinpaikan valintaan vaikuttavia tekijöitä [2007].**

- B 43 Jouni Laine, Suvi-Tuuli Lappalainen, Pia Paukku:  
**Kaakkois-Suomen satamasidonnaisten yritysten koulutustarveselvitys [2007].**
- B 44 Alexey V. Rezer & Erkki Hämäläinen:  
**Logistic Centres in Moscow: Transport, operators and logistics infrastructure in the Moscow Region [2007].**
- B 45 Arja-Tuulikki Wilén:  
**Hyvä vanhusten hoidon tulevaisuus. Raportti tutkimuksesta Kotkansaaren sairaalassa 2007 [2007].**
- B 46 Harri Ala-Uotila, Eeva-Liisa Frilander-Paavilainen, Ari Lindeman, Pasi Tulkki (toim.):  
**Oppimisympäristöistä innovaatioiden ekosysteemiin [2007].**
- B 47 Elena Timukhina, Erkki Hämäläinen, Soma Biswas-Kauppinen:  
**Railway Shunting Yard Services in a Dry-Port. Analysis of the railway shunting yards in Sverdlovsk-Russia and Kouvola-Finland [2008].**
- B 48 Arja-Tuulikki Wilén:  
**Kymenlaakson muisti- ja dementiaverkosto. Hankkeen arviointiraportti [2008].**
- B 49 Hilka Dufva, Anneli Airola (toim.):  
**Puukuidun uudet mahdollisuudet terveyden- ja sairaanhoidossa. TerveysSellu-hanke. [2008].**
- B 50 Samu Urpalainen:  
**3D-voimalaitossimulaattori. Hankkeen loppuraportti. [2008].**
- B 51 Harri Ala-Uotila, Eeva-Liisa Frilander-Paavilainen, Ari Lindeman (toim.):  
**Yrittäjämäisen toiminnan oppiminen Kymenlaaksossa [2008].**
- B 52 Peter Zashev, Peeter Vahtra:  
**Opportunities and strategies for Finnish companies in the Saint Petersburg and Leningrad region automobile cluster [2009].**
- B 53 Jari Handelberg, Juhani Talvela:  
**Logistiikka-alan pk-yritykset versus globaalit suuroperaattorit [2009].**
- B 54 Jorma Rytönen, Tommy Ulmanen:  
**Katsaus intermodaalikuljetusten käsitteisiin [2009].**
- B 55 Eeva-Liisa Frilander-Paavilainen:  
**Lasten ja nuorten terveys- ja tapakäyttäytyminen Etelä-Kymenlaakson kunnissa [2009].**
- B 56 Kirsi Rouhiainen:  
**Viisasten kiveä etsimässä: miksi tradenomiopiskelija jättää opintonsa kesken? Opintojen keskeyttämisen syiden selvitys Kymenlaakson ammattikorkeakoulun liiketalouden osaamisalalla vuonna 2008 [2010].**
- B 57 Lauri Korppas - Esa Rika - Eeva-Liisa Kauhanen:  
**eReseptin tuomat muutokset reseptiprosessiin [2010].**

- B 58 Kari Stenman, Rajka Ivanis, Juhani Talvela, Juhani Heikkinen:  
**Logistiikka & ICT Suomessa ja Venäjällä** [2010].
- B 59 Mikael Björk, Tarmo Ahvenainen:  
**Kielelliset käytänteet Kymenlaakson alueen logistiikkayrityksissä** [2010].
- B 60 Anni Mättö:  
**Kylälaisten metsävarojen käyttö ja suhtautuminen metsien häviämiseen Mzuzun alueella Malawissa** [2010].
- B 61 Hilikka Dufva, Juhani Pekkola:  
**Turvallisuusjohtaminen moniammatillisissa viranomaisverkostoissa** [2010].
- B 62 Kari Stenman, Juhani Talvela, Lea Värtö:  
**Toiminnanohjausjärjestelmä Kymenlaakson keskussairaalan välinehuoltoon** [2010].
- B 63 Tommy Ulmanen, Jorma Rytkönen:  
**Intermodaalikuljetuksiin vaikuttavat häiriöt Kotkan ja Haminan satamissa** [2010].
- B 64 Mirva Salokorpi, Jorma Rytkönen  
**Turvallisuus ja turvallisuusjohtamisjärjestelmät satamissa** [2010].
- B 65 Soili Nysten-Haarala, Katri Pynnöniemi (eds.):  
**Russia and Europe: From mental images to business practices** [2010].
- B 66 Mirva Salokorpi, Jorma Rytkönen:  
**Turvallisuusjohtamisen parhaita käytäntöjä merenkulkijoille ja satamille** [2010].
- B 67 Hannu Boren, Marko Viinikainen, Ilkka Paajanen, Viivi Etholen:  
**Puutuotteiden ja -rakenteiden kemiallinen suojaus ja suojauksen markkinapotentiaali** [2011].
- B 68 Tommy Ulmanen, Jorma Rytkönen, Taina Lepistö:  
**Tavaravirtojen kasvusta ja häiriötekijöistä aiheutuvat haasteet satamien intermodaalijärjestelmälle** [2011].
- B 69 Juhani Pekkola, Sari Engelhardt, Jussi Hänninen, Olli Lehtonen, Pirjo Ojala:  
**2,6 Kestävä kansakunta. Elinvoimainen 200-vuotias Suomi** [2011].
- B 70 Tommy Ulmanen:  
**Strategisen osaamisen johtaminen satama-alueen Seveso-laitoksissa** [2011].
- B 71 Arja Sinkko:  
**LCCE-mallin käyttöönotto tekniikan ja liikenteen toimialalla – ensiaskeleina tuotteistaminen ja sidosryhmäyhteistyön kehittäminen** [2012].
- B 72 Markku Nikkanen:  
**Observations on Responsibility – with Special reference to Intermodal Freight Transport Networks** [2012].
- B 73 Terhi Suuronen:  
**Yrityksen arvon määrittäminen yrityskauppatilanteessa** [2012].

- B 74 Hanna Kuninkaanniemi, Pekka Malvela, Marja-Leena Saarinen (toim.):  
**Research Publication 2012** [2012].
- B 75 Tuomo Väärä, Reeta Stöd, Hannu Boren:  
**Moderni painekyllästys ja uusien puutuotteiden testaus aidossa, rakennetussa ympäristössä. Jatkohankkeen loppuraportti** [2012].
- B 76 Ilmari Larjavaara  
**Vaikutustapojen monimuotoisuus B-to-B-markkinoinnissa Venäjällä - lahjukset osana liiketoimintakulttuuria** [2012].
- B 77 Anne Fransas, Enni Nieminen, Mirva Salokorpi, Jorma Rytkönen:  
**Maritime safety and security. Literature review** [2012].
- B 78 Juhani Pekkola, Olli Lehtonen, Sanna Haavisto:  
**Kymenlaakson hyvinvointibarometri 2012. Kymenlaakson hyvinvoinnin kehityssuuntia viranhaltijoiden, luottamushenkilöiden ja ammattilaisten arvioimana** [2012].
- B 79 Auli Jungner (toim.):  
**Sosionomin (AMK) osaamisen työelämälähtöinen vahvistaminen. Ongelmaperustaisen oppimisen jalkauttaminen työelämäyhteistyöhön** [2012].
- B 80 Mikko Mylläri, Jouni-Juhani Häkkinen:  
**Biokaasun liikennekäyttö Kymenlaaksossa** [2012].
- B 81 Riitta Leviäkangas (toim.):  
**Yhteiskuntavastuuraportti 2011** [2012].
- B 82 Riitta Leviäkangas (ed.):  
**Annual Responsibility Report 2011** [2012].
- B 83 Juhani Heikkinen, Janne Mikkala, Niko Jurvanen  
**Satamayhteisön PCS-järjestelmän pilotointi Kaakkois-Suomessa. Mobiilisatama-projektin työpaketit WP4 ja WP5, loppuraportti 2012** [2012].
- B 84 Tuomo Väärä, Hannu Boren  
**Puun modifiointiklusteri. Loppuraportti 2012** [2012].
- B 85 Tiina Kirvesniemi  
**Tieto ja tiedon luominen päiväkotityön arjessa** [2012].
- B 86 Sari Kiviharju, Anne Jääsmaa  
**KV-hanketoiminnan osaamisen ja kehittämistarpeiden kartoitus - Kyselyn tulokset** [2012].
- B 87 Satu Hoikka, Liisa Korpivaara  
**Työhyvinvointia yrittäjälle - yrittäjien kokemuksia Hyvinvointikoulusta ja näkemyksiä yrittäjän työhyvinvointia parantavista keinoista** [2012].
- B 88 Sanna Haavisto, Saara Eskola, Sami-Seppö Ovaska  
**Kopteri-hankkeen loppuraportti** [2013].

- B 89 Marja-Liisa Neuvonen-Rauhala, Pekka Malvela, Heta Vilén, Oona Sahlberg (toim.)  
**Sidos 2013 - Katsaus kansainvälisen liiketoiminnan ja kulttuurin toimialan työelämälaheisyyteen** [2013].
- B 90 Minna Söderqvist  
**Asiakaskesteistä kansainvälistymistä Kymenlaakson ammattikorkeakoulun yritys yhteistyössä** [2013].
- B 91 Sari Engelhardt, Marja-Leena Selenius, Juhani Pekkola  
**Hyvän tuulen palvelu. Kotkan terveystioski hyvinvoinnin edistäjänä - Kotkan terveystioskikokeilun arviointi 2011-2012** [2013].
- B 92 Anne Fransas, Enni Nieminen, Mirva Salokorpi  
**Maritime security and safety threats – Study in the Baltic Sea area** [2013].
- B 93 Valdemar Kallunki (toim.)  
**Elämässä on lupa tavoitella onnea: Nuorten aikuisten koettu hyvinvointi, syrjäytyminen ja osallisuus Kaakkois-Suomessa ja Luoteis-Venäjällä. Voi hyvin nuori -hankkeen loppuraportti.** [2013].
- B 94 Hanna Kuninkaanniemi, Pekka Malvela, Marja-Leena Saarinen (toim.):  
**Research Publication 2013** [2013].
- B 95 Arja Sinkko (toim.):  
**Tekniikan ja liikenteen toimialan LCCE-toiminta Yritys yhteistyönä käytännössä: logistiikan opiskelijoiden ”24 tunnin ponnistus”**[2013].
- B 96 Markku Nikkanen:  
**Notes & Tones on Aspects of Aesthetics in Studying Harmony and Disharmony: A Dialectical Examination** [2013].
- B 97 Riitta Leviäkangas (toim.):  
**Yhteiskuntavastuuraportti 2012** [2013].
- B 98 Mervi Nurminen, Teija Suoknuuti, Riina Mylläri (toim.)  
**Sidos 2013, NELI North European Logistics Institute - Katsaus logistiikan kehitysohjelman tuloksiin**[2013].
- B 99 Jouni-Juhani Häkkinen, Svenja Baer, Hanna Ricklefs:  
**Economic comparison of three NOx emission abatement systems** [2013].
- B 100 Merja Laitoniemi:  
**Yksinäisyydestä yhteisöllisyyteen. Yhteisöllistä hoitotyötä Elimäen Puustellissa** [2013].
- B 101 Kari Stenman (toim.):  
**ROCKET. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun osahankkeen loppuraportti** [2013].

