

# ERILAISTEN BIOMASSOJEN SOVELTUVUUS TORREFIOINTIIN BIOTULI-hankkeen tutkimusraportti 2013

Hannu Sarvelainen & Niko Töyrylä



KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU  
Energiatekniikan laboratorio

# ERILAISTEN BIOMASSOJEN SOVELTUVUUS TORREFIOINTIIN

## BIOTULI-hankkeen tutkimusraportti 2013

HANNU SARVELAINEN, tutkimusinsinööri,  
Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

NIKO TÖYRYLÄ, projekti-insinööri,  
Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

KOTKA 2013  
KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUJA.  
SARJA B. NRO 108.



Copyright: Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

Kustantaja: Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

Taitto ja paino: Kopijyvä Oy, Kouvola 2013

ISBN (NID.): 978-952-306-015-9

ISBN (PDF): 978-952-306-016-6

ISSN: 1239-9094

ISSN: (verkkójulkaisu) 1797-5972

# Sisällysluettelo

## Tiivistelmä

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	6
<b>2</b>	<b>Biomassan torrefointi</b>	7
2.1	Torrefointitutkimukset maailmalla	7
2.2	Torrefointikokeet lämpökäsittelyuunissa	8
2.3	Koelaitte biomassan torrefointiin	10
<b>3</b>	<b>Kokeissa käytetyt biomassat</b>	11
3.1	Koivu	12
3.2	Männynkantohake	12
3.3	Paju	13
<b>4</b>	<b>Torrefioitujen biomassojen ominaisuudet</b>	15
4.1	Torrefioinnin massa- ja energiatase	16
4.2	Energiatiheys	19
4.3	Ilmankosteuden kertyminen	23
4.4	Veden hylkiminen vesisateessa	25
4.5	Veden hylkiminen upotuskokeessa	27
	<b>Yhteenveto</b>	28
	<b>Lähteet</b>	
	<b>Kymenlaakson ammattikorkeakoulun julkaisusarjassa B. ilmestyneet julkaisut</b>	

# TIIVISTELMÄ

Tässä BIOTULI-hankkeen tutkimusraportissa on käsitelty biomassan lämpökäsittelyä (torrefiointia). Hankkeessa on rakennettu koelaitte, jolla voidaan tuottaa torrefioitua biomassaa erityyppisistä biomassoista. Tutkimuksen tarkoituksena on ollut selvittää miten biomassojen ominaisuudet muuttuvat torrefioinnissa ja millaisia biomassoja olisi kannattavaa torrefioida. Yleisesti biomassan torrefioinnin tarkoituksena on muuttaa sen ominaisuuksia siten, että kivihiilen käyttöä voitaisiin korvata biomassalla. Torrefoiduista biomassoista on analysoitu tärkeimpiä ominaisuuksia, jotka ovat muuttuneet käsittelemättömään biomassaan verrattuna ja kokeiden tuloksia on verrattu aikaisempiin vastaavanlaisiin tutkimuksiin.

Torrefiointikokeet ja torrefioitujen biomassanäytteiden analysointi on tehty pääosin opiskelijatyönä hankkeen loppuvaiheessa 2012 – 2013. Opiskelijat ovat työskennelleet hankkeessa muutamien opintojaksojen ja projektitöiden kautta. Opiskelijoiden keskeisiin tehtäviin on kuulunut laitteen käytön valvonta ja huolto sekä torrefioitujen näytteiden analysointi. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun laboratoriohenkilökunta on ollut ohjaamassa opiskelijoiden työtä.

Tutkimuksen tavoitteena oli myös selvittää toimiiko pienen kokoluokan laitteisto riittävän hyvin torrefioitun biomassan tuotannossa. Koelaitteella on mahdollista tuottaa torrefioitua biomassaa, jonka ominaisuudet vastaavat tyypillisiä torrefioitun biomassan ominaisuuksia. Laitteella tehdyt näyte-erät ja näytteiden analyysien tulokset eivät kuitenkaan välttämättä vastaa täysin muita vastaavanlaisia tutkimuksia, koska näytteet on tehty tällä koelaitteella. Muunlaisten koelaitteiden tai laitteiden toimintaperiaatteet voivat olla erilaisia, jolloin esimerkiksi lämpötilojen mittaustavoissa voi olla eroja. Torrefioitun biomassan ominaisuuksien parempaan tutkimiseen näyte-eriä olisi pitänyt myös tehdä enemmän. Kuitenkin jokaisen tässä tutkimuksessa käsitellyn biomassalajin torrefioinnilla saavutettiin biomassan laadun paranemista. Biomassalajit, joita tutkimuksessa käsiteltiin, olivat koivu, mänty ja paju.

# I 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 näin 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 koelaitteella tehtyjen erilaisten biomassalajien torrefoinnissa tapahtuvia muutoksia biomassojen ominaisuuksiin. Koelaitteen toiminnasta on tehty raportti ”Koelaitte biomassan torrefiointiin”. Biomassanäytteisiin liittyviin analyyseihin on tehty raportti ”Lämpöyrittäjäkonsepti biotuotteelle”, joka sisältää myös vastaavanlaisia torrefioitujen biomassojen analyyseja kuin tässä raportissa on esitetty. Raportit löytyvät BIOTULI-hankkeen verkkosivuilta.

## 2 BIOMASSAN TORREFIOINTI

Tässä luvussa tarkastellaan yleisesti torrefiointin vaikutusta biomassan ominaisuuksiin sekä yksinkertaisia torrefiointitekniikoita. Torrefiointikokeita on tehty aluksi pienissä näyte-erissä panosperiaatteella ja näytteistä tehtyjen analyysien perusteella on suunniteltu jatkuvatoiminen koelaitte biomassan torrefiointiin.

### 2.1 Torrefiointitutkimukset maailmalla

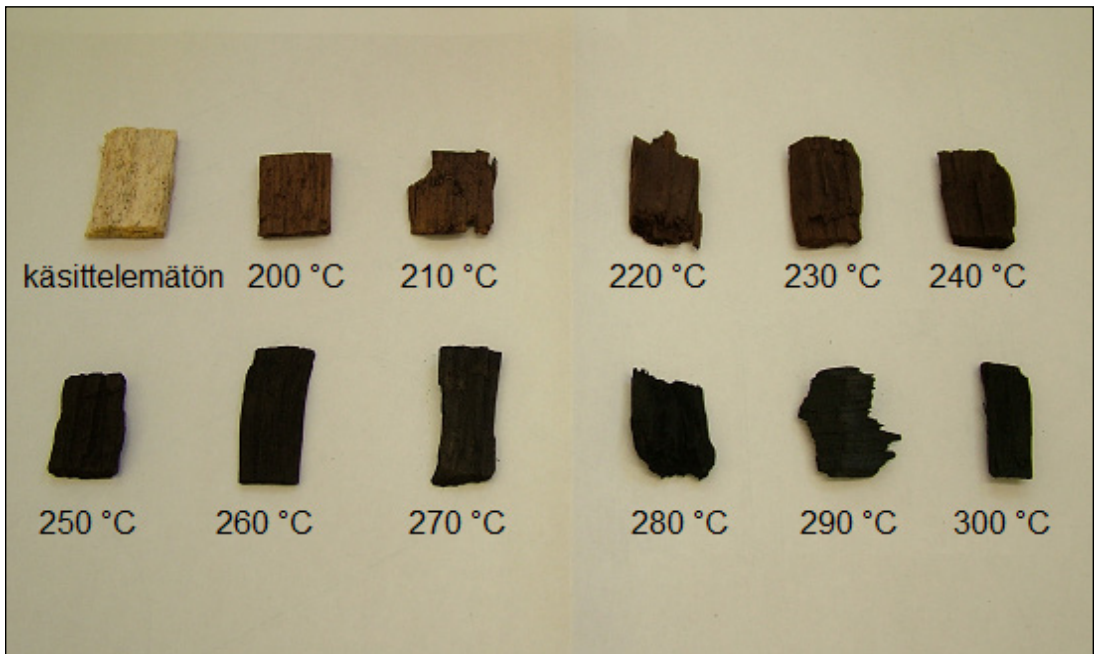
Torrefiointin tavoitteena on jalostaa biomassaa helpommin käytettäväksi polttoaineeksi, koska joskus biomassasta saattaa tulla merkittävä fossiilisten polttoaineiden korvaaja. Erityisesti puun torrefiointia on tutkittu melko paljon, ja tulokset ovat olleet lupaavia. Erilaisia puulajeja torrefioimalla on pystytty parantamaan puun ominaisuuksia vastaamaan kivihiilen ominaisuuksia. Myös torrefioitun puun pelletöinti on mahdollista. Kuvassa 1 on esitetty sijainteja erilaisista torrefiointiprojekteista maailmalla.



Kuva 1. Torrefiointiprojekteja maailmalla

## 2.2 Torrefiointikokeet lämpökäsittelyuunissa

Lämpöryttäjäkonepiti biotuotteelle on BIOTULI-hankkeessa tehty diplomityö, jossa on tutkittu biomassan torrefiointia. Työn tarkoituksena oli suunnitella liikeidea torrefoidun biomassan tuottamiseen pienissä lämpölaitoksissa lämmöntuotannon ohella. Työssä tehtiin aluksi laboratoriokokeita, joissa tarkasteltiin käytännön kokeilla biomassan ominaisuuksien muutoksia torrefioinnissa. Laboratoriokokeet tehtiin vaihtelevilla lämpötiloilla, pitoajoilla sekä erilaisilla biomassalajeilla. Kokeiden perusteella saatiin tuloksia lämpökäsittelyn toiminta-arvoista, joilla torrefoidun biomassan energiatiheys saadaan mahdollisimman suureksi.



Kuva 2. Torrefioituja hakenäytteitä

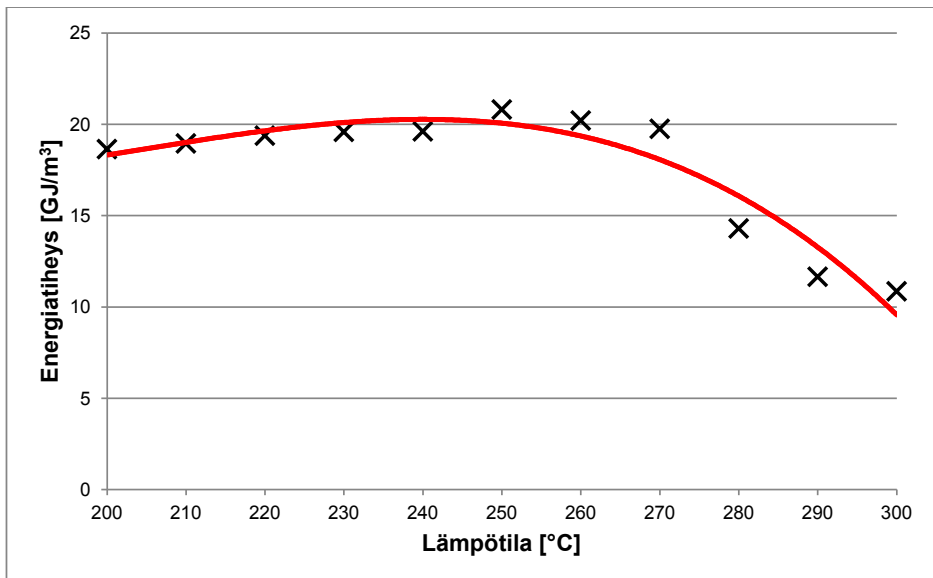
Laboratoriokokeissa biomassan torrefiointi suoritettiin ilmatiiviissä tilassa, mutta ilman suojakaasua. Tämän takia kaikissa tuloksissa voi esiintyä virheitä, jos tuloksia verrataan suojakaasun avulla tehtyihin vastaavanlaisiin kokeisiin. Laboratoriokokeissa tehdyt koejärjestelyt olivat kuitenkin eräänlaisia perusmenetelmiä, joilla tutkimusta oli helppo aloittaa yksinkertaisilla välineillä. Tulokset vaikuttavat myös keskenään johdonmukaisilta ja järkeviltä.





Kuva 3. Lämpökäsittelyuunissa torrefioitua haketta

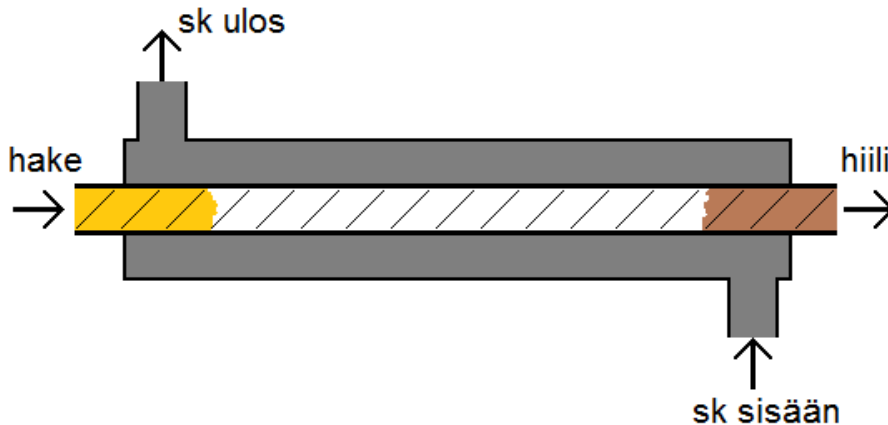
Seuraavassa kuvassa on esimerkki erään laboratorion tuloksista. Kokeessa määritettiin torrefioitun hakkeen (männyn ja koivun seos) energiatiheyttä lämpötilan mukaan. Energiatiheyden arvot on esitetty pelletöitynä kiintotiheyden mukaan. Suurin energiatiheys saavutetaan 250 °C käsittelylämpötilalla, jolloin torrefioitun pelletin energiatiheys on 20 GJ/m<sup>3</sup>. Tätä arvoa vastaava energiatiheys irtotiheyden mukaan laskettuna olisi noin 12 GJ/m<sup>3</sup>.



Kuva 4. Hakkeen energiatiheys lämpötilan mukaan (kiintotiheydestä)

## 2.3 Koelaitte biomassan torrefiointiin

Hankkeessa rakennetulla koelaitteella oli tarkoituksena saada tuotettua torrefioitua haketta jatkuvatoimisesti noin 25 kg/h siten, että torrefioinnin lämpötila ja pitoaika olisivat myös säädettävissä. Lämpö tuotetaan laitteeseen nestekaasupolttimella ja nestekaasun palamisesta muodostuvat kuumat savukaasut kuljetetaan laitteen läpi savukaasupuhaltimella. Savukaasut virtaavat rengaskanavassa, joka muodostuu kahdesta sisäkkäisestä putkesta. Rengaskanavan sisempi putki on ruuvikuljettimen runko ja ulompi putki on kanavan seinämä. Rengaskanavasta lämpö siirtyy hakkeeseen epäsuorasti putken seinämän kautta.



Kuva 5. Torrefiointilaitteen toimintaperiaate

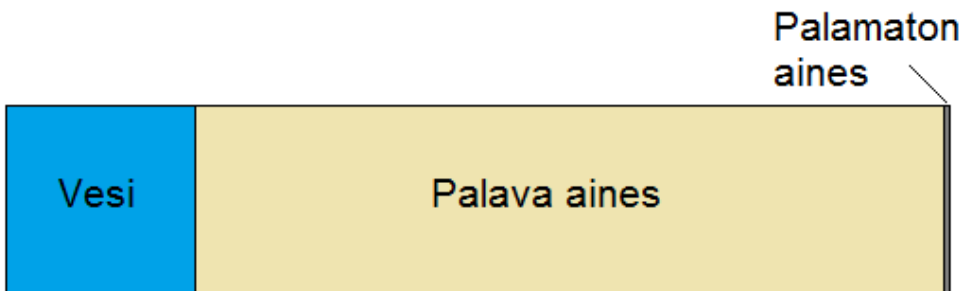
Laitteisto sisältää kokonaisuudessaan neljä peräkkäistä ruuvikuljetinta. Ensimmäiset kolme ruuvikuljetinta on tarkoitettu hakkeen kuivaukseen ja torrefiointiin. Viimeinen ruuvikuljetin on tarkoitettu torrefioitun hakkeen jäähtymiseen. Tämän lisäksi laite sisältää erillisen hakkeen syöttösiilon, joka on tilavuudeltaan 100 litraa.

Laitteessa hake siirretään syöttösiilosta kuivaukseen ensimmäiseen ruuviin. Tässä vaiheessa hakkeen lämpötila nostetaan noin 100 °C lämpötilaan. Hake kuivuu osittain ja se voidaan siirtää varsinaisiin torrefiointivaiheisiin, joissa lämpötila on noin 200 – 300 °C. Torrefiointivaiheet sisältävät kaksi ruuvikuljetinta, jonka jälkeen valmis lopputuote siirtyy neljäntenä olevaan jäähdytysvaiheeseen. Jäähdytys tapahtuu myös ruuvikuljettimessa, jonka ympärillä on rengaskanava. Tämä rengaskanava sisältää vesikierron, joka kulkee jäähdyttimen läpi. Jäähdytyksen jälkeen hake tippuu kannelliseen muoviympäriin, joka on kiinnitetty laitteen ulostulokanavaan. Näin muodostuu kokonaisuus, jonka lämpötiloja voidaan hallita ja johon ei tule ulkopuolelta ylimääräistä hapetta.

Laitteen avulla on saatu tutkimustietoa torrefioinnin käytännön toteutuksesta jatkuvatoimisena tuotantolaitoksena. Laitteella on kyetty osoittamaan, että jatkuvatoiminen torrefiointi voidaan toteuttaa hallitusti myös pienessä kokoluokassa. Laitteesta on saatu paljon tietoa kyseisen laitetyypin yleisimmistä vikatilanteista, joita laitteen käytön yhteydessä saattaa ilmetä. On osoittautunut, että tyypillisin vika on ruuvikuljettimen tukkiutuminen. Lämpötilojen tarkka hallinta on haasteellista, mutta koelaitteessa lämpötilat on onnistuttu saamaan hallintaan riittävällä tasolla. Laitteella pystytään tuottamaan tasalaatuista torrefioitua haketta.

### 3 KOKEISSA KÄYTETYT BIOMASSAT

Kuvassa 6 on esitetty kostean puun ainesosien jakauma yleisesti. Puu sisältää vettä tyypillisesti noin 20 - 50 % kokonaismassasta. Palamatonta ainesta eli tuhkaa puussa ei käytännössä ole yhtään.



Kuva 6. Tyypillinen kostean puun ainesosien suhteellinen jakauma (20 % kosteus)

Kokeissa käytettyjen biomassojen kosteuspitoisuus on määritetty CEN/TS 14774–2 standardin mukaisella menetelmällä, jossa näytettä pidetään 24 tuntia 105 °C lämpötilassa. Näyte punnitaan ennen kuivausta ja kuivauksen jälkeen, jolloin voidaan määrittää haihtuneen veden massan suhde kostean näytteen massa.

### 3.1 Koivu

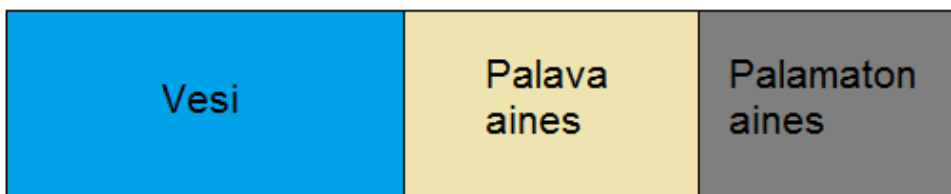
Kokeissa käytetty koivu oli kokopuusta haketettua ja sen kosteuspitoisuus oli kokeissa noin 20 %. Palamattomien ainesosien osuus kuivasta hakkeesta oli alle 1 %.



Kuva 7. Koivuhaketta

### 3.2 Männynkantohake

Männynkantohakkeen ainesosien jakauma poikkesi huomattavasti tyypillisestä puhtaan puun ainesosajakaumasta. Hakkeessa oli noin 40 % vettä, mutta kuiva-aineessa oli lähes 50 % palamatonta ainesta. Kosteassa hakkeessa oli tämän perusteella palavaa ainesta vain noin 30 %. Seuraavassa kuvassa on esitetty männynkantohakkeen ainesosien jakauma.



Kuva 8. Kosteaa männynkantohakkeen ainesosien jakauma

Männynkantohakkeessa oleva palamaton aines oli käytännössä hiekkaa ja multaa. Maa-aines näkyy kuvassa 9.



Kuva 9. Männynkantohaketta

### 3.3 Paju

Kuvassa 10 on nähtävissä torrefiointikokeissa käytettyä pajua. Pajujen kosteuspitoisuus oli noin 25 % ja tuhkapitoisuus noin 1 %.



Kuva 10. Kokeissa käytettyä pajua



Paju haketettiin kokeita varten noin 30 mm pituisiksi paloiksi (kuva 11).



Kuva 11. Pajuhaketta

## 4 TORREFIOITUJEN BIOMASSOJEN OMINAISUUDET

Tässä luvussa on esitetty torrefoiduista biomassoista tehtyjä analyysejä. Tärkeimmät erot käsittelemättömän ja torrefoidun biomassan välillä ovat energiatiheys ja kosteuden hylkiminen. Torrefiointikokeissa biomassoista otettiin näytteitä määrärajojen ja näytteistä tehtiin erilaisia analyysejä.



Kuva 12. Torrefoidusta koivuhakkeesta otettuja näytteitä

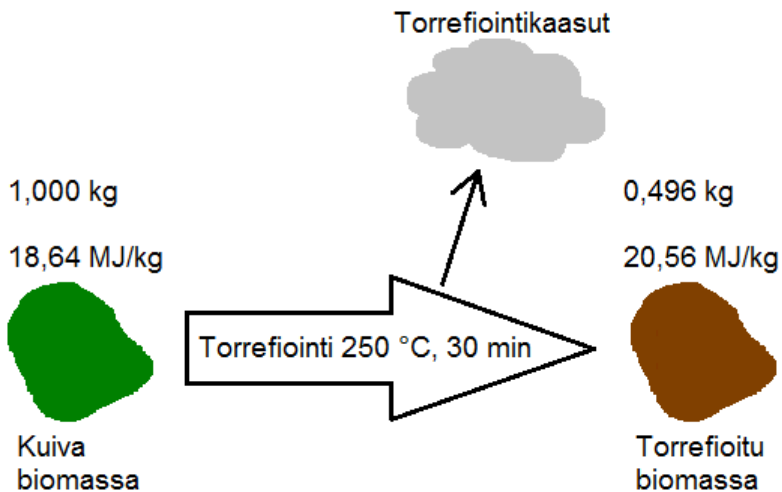
Kaikkien biomassojen kosteuspuiteisuus oli käytännössä 0 % torrefiointin jälkeen. Torrefoidut näytteet jauhettiin tasalaatuiseksi jauheeksi lämpöarvon ja energiatheyden määrittämistä varten.



Kuva 13. Torrefioitua koivuhaketta jauhattuna

#### 4.1 Torrefiointin massa- ja energiatase

Koelaitteella tehdyissä kokeissa tarkasteltiin aluksi torrefiointin massa- ja energiatasetta. Raaka-aineena käytettiin koivuhaketta, jota käsiteltiin lämpötiloissa 200 °C, 250 °C ja 300 °C. Pitoaika oli jokaisessa lämpötilajaksossa 30 minuuttia. Seuraavassa kuvassa on esimerkki 250 °C lämpötilassa tehdystä käsittelystä.



Kuva 14. Esimerkki torrefiointin massa- ja energiataseesta



Kuvasta nähdään, että torrefioidun biomassan massasta on jäljellä 49,6 %. Torrefioidun biomassan tehollinen lämpöarvo on kuitenkin suurempi kuin käsittelemättömän biomassan tehollinen lämpöarvo, jolloin energiaa jää jäljelle enemmän kuin massaa. Jäljellä oleva energia voidaan määrittää massojen ja lämpöarvojen avulla.

$$Q = mH_u$$

$Q$	energia [MJ]
$m$	massa [kg]
$H_u$	lämpöarvo [MJ/kg]

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \frac{m_1 H_{u,1}}{m_0 H_{u,0}} = \frac{0,496 \text{ kg} \cdot 20,56 \text{ MJ/kg}}{1,000 \text{ kg} \cdot 18,64 \text{ MJ/kg}} = 0,547 = 54,7 \%$$

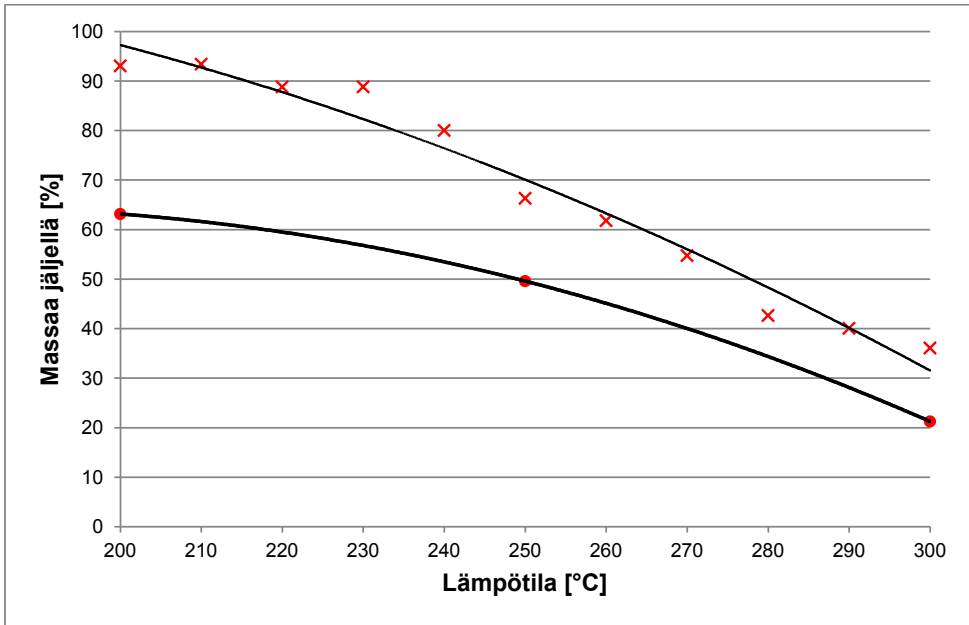
Energiaa on jäänyt jäljelle 54,7 %.

Taulukossa 1 on näkyvissä massa- ja energiataseet kokeissa käytettyjen lämpötilojen mukaisesti.

Taulukko 1. Massa- ja energiatase koivuhakkeen torrefioinnissa

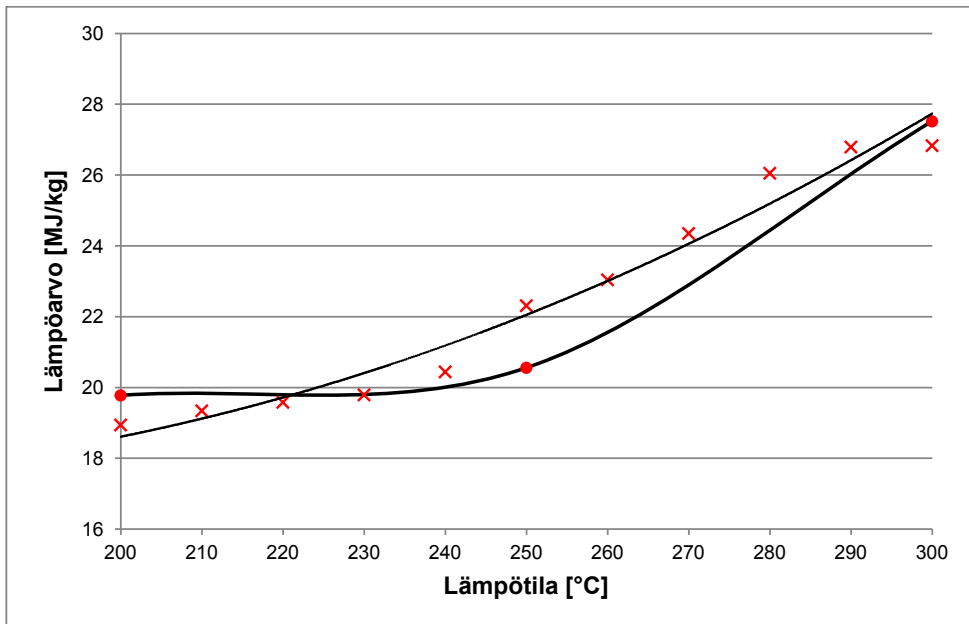
Käsittely	Massaa jäljellä [%]	Tehollinen lämpöarvo [MJ/kg]	Energiaa jäljellä [MJ/kg]
raaka hake	100,0	18,64	100,0
200 °C, 30 min	63,2	19,78	67,0
250 °C, 30 min	49,6	20,56	54,7
300 °C, 30 min	21,3	27,52	31,4

Kuvassa 15 on vertailtu jäljellä olevaa massaa koelaitteella tehtyjen kokeiden ja aikaisemmin tehtyjen uunikokeiden välillä. Koelaitteella tehtyjen kokeiden tulokset on esitetty yhtenäisellä viivalla ja uunikokeiden tulokset katkoviivalla. Koelaitteella tehdyissä kokeissa on selvä ero jäljellä olevassa massassa uunikokeisiin verrattuna. Koelaitteessa pääsee jonkin verran happea hakkeen sekaan, jolloin osa hakkeesta reagoi hapen kanssa. Tämän takia koelaitteella tehdyissä kokeissa torrefioiduissa näytteissä on massaa vähemmän jäljellä.



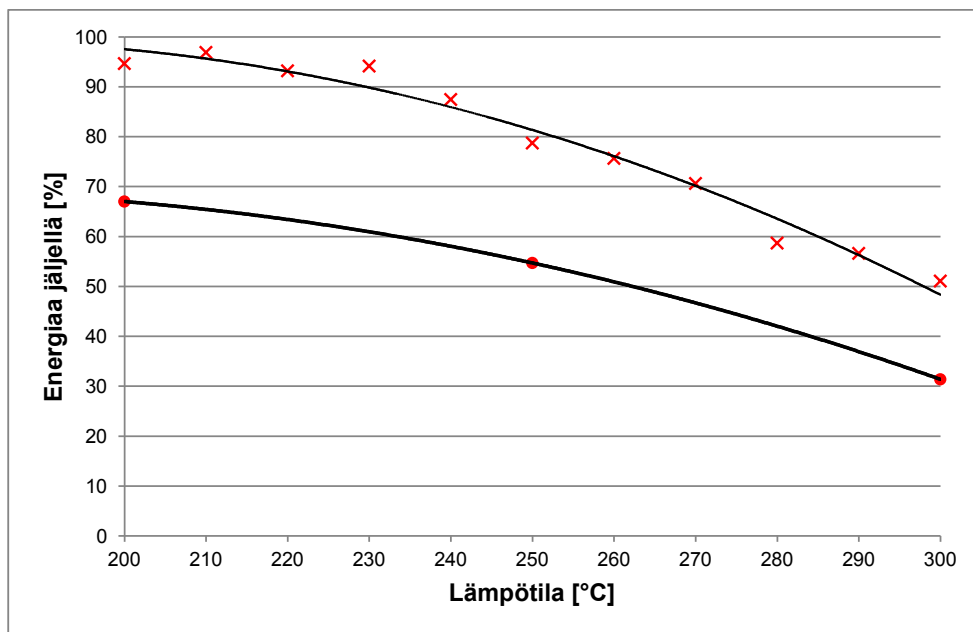
Kuva 15. Massataseen vertailu uunikokeisiin

Koelaitteella tehtyjen kokeiden ja uunikokeiden välisissä lämpöarvojen vertailuissa ei ole suurta eroa (kuva 16). Lämpötilojen ääripisteet 200 °C ja 300 °C ovat lähes samat, mutta 250 °C lämpötilassa tehdyssä koelaitteen näytteessä on jonkin verran poikkeamaa uunikokeisiin verrattuna.



Kuva 16. Lämpöarvon vertailu uunikokeisiin

Koska koelaitteen ja uunikokeiden näytteiden lämpöarvoissa ei ole suurta eroa, jäljellä oleva energia vastaa samassa suhteessa jäljellä olevaa massaa koelaitteen ja uunikokeiden välillä.



Kuva 17. Energiataseen vertailu uunikokeisiin

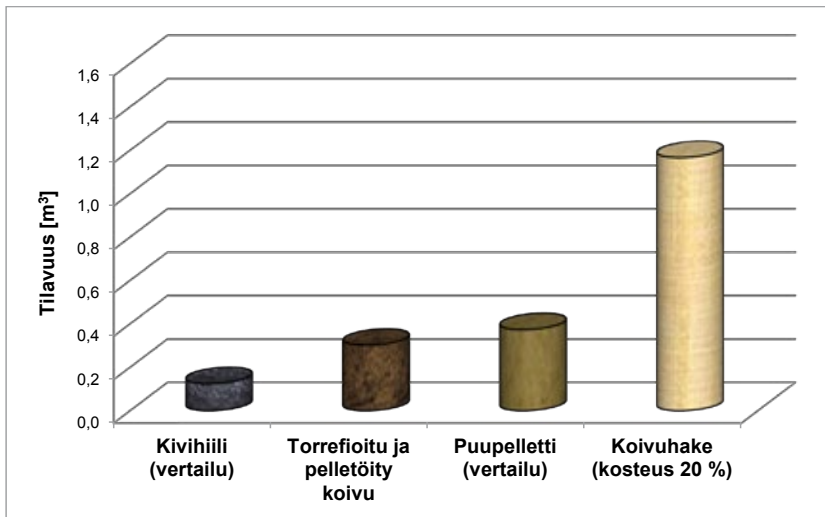
Uunikokeet tehtiin sekahakkeella, jossa oli mäntyä ja koivua. Koelaitteella tehdyissä massa- ja energiataseiden kokeissa käytettiin pelkkää koivuhaketta. Kokeita voidaan kuitenkin pitää vertailukelpoisina, koska kokopuusta haketetun männyn ja koivun välillä ei ole havaittu suurta eroa massa- ja energiataseissa.

## 4.2 Energiatiheys

Jokaisen biomassalajin (koivu, männynkanto ja paju) energiatiheys kasvoi torrefiointin ja pelletöinnin avulla. Seuraavassa on tarkasteltu biomassalajien energiatiheyden muuttumista. Pelletöinti suoritettiin siten, että näytteistä jauhetusta jauheesta puristettiin pieni lieriön muotoinen kappale. Kappaleen painon ja tilavuuden mukaan määritettiin ensin kiintotiheys ja kiintotiheyden mukaan irtotiheys. Irtotiheyden arvioitiin olevan 0,6-kertainen kiintotiheyteen nähden. Kerroin määritettiin tavallisen puupelletin irtotiheyden ja kiintotiheyden suhteesta.

## Koivu

Seuraavassa kuvassa on neljä erilaista polttoainelajia. Kivihiilen ja tavallisen puupelletin määrät ovat näkyvässä vertailun vuoksi. Energiatiheyttä on havainnollistettu siten, että jokainen näistä tilavuusmääristä vapauttaa palaessaan 1 MWh energiaa. Käsittelemätöntä koivuhaketta, jonka kosteusprosentti on 20 %, tarvitaan edellä mainitun energiamäärän tuottamiseen noin 1,2 m<sup>3</sup>. Torrefiointin ja pelletöinnin avulla energiatiheys kasvaa kuitenkin niin paljon, että energiamäärä voidaan tuottaa huomattavasti pienemmällä määrällä, noin 0,3 m<sup>3</sup>:lla.



Kuva 18. Koivun energiatiheyden vertailua

Vaikka puupelletin ja torrefioitun pelletin välillä ei ole suurta eroa, torrefioitun pelletin polttotekniset ominaisuudet ovat kuitenkin parempia kuin tavallisen pelletin polttotekniset ominaisuudet.

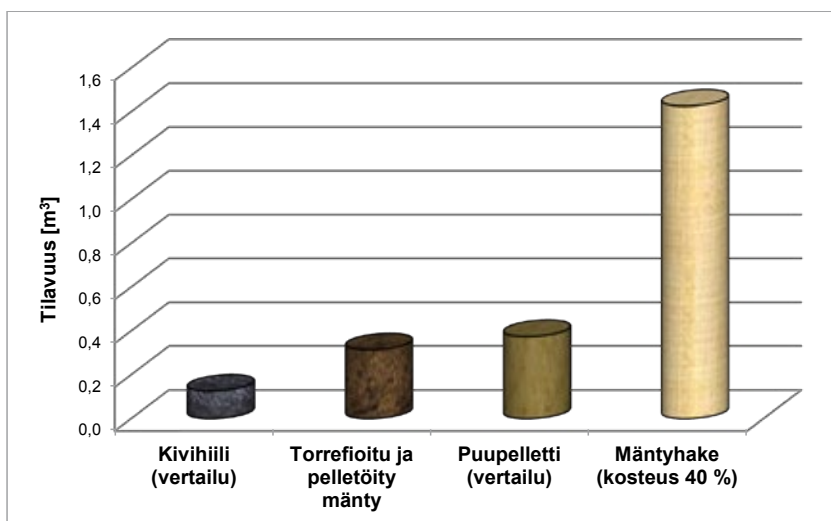


Kuva 19. Torrefioitua koivua

## Männynkantohake

Männynkantohakkeen torrefioinnilla ja pelletöinnillä sen energiatiheyttä saadaan kasvatettua merkittävästi. Luvussa 3.2 esitettiin kokeissa käytetyn männynkantohakkeen ainesosien jakauma. Torrefioinnilla saadaan kuivattua haketta ja myös palamattomien ainesosien määrä vähenee, koska hiekka ja multa irtoavat kuivasta hakkeesta helposti. Hake seulottiin yli 10 mm palakokoon ennen torrefiointia irtonaisen hiekan ja mullan poistamiseksi.

Kuvassa 20 on esitetty tarvittavan männynkantohakkeen määrää 1 MWh energian tuottamiseen. Männynkantohaketta tarvitaan yli 1,4 m<sup>3</sup>, mutta torrefioinnin ja pelletöinnin avulla energiatiheys kasvaa lähes samanlaisiin arvoihin kuin muillakin biomassoilla.

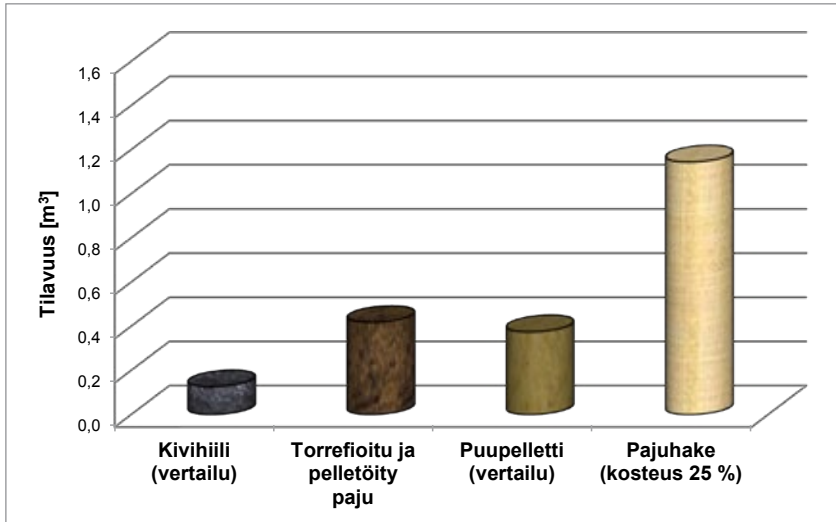


Kuva 20. Männynkantohakkeen energiatheyden vertailua

Kuvasta voidaan havaita, että myös hakkuujätteestä voidaan jalostaa hyvälaatuista polttoainetta. Hakkeen energiatiheys on kasvanut merkittävästi ja lopputuotteella on huomattavasti paremmat ominaisuudet raaka-aineeseen verrattuna.

## Paju

Pajun torrefioinnissa ja pelletöinnissä energiatiheys kasvaa, mutta tavallisella puupelletillä on suurempi energiatiheys kuin pajulla. Pelletit tehdään yleensä havupuusta, joten pajusta ei tämän kokeen perusteella saada torrefioinnilla ja pelletöinnillä energiatiheämpää kuin tavallisesta puupelletistä.



Kuva 21. Pajun energiatheyden vertailua

Kuvassa 22 on torrefioitua pajua ennen pelletöintiä. Pajuhake on lieriömäistä, jolloin sen torrefiointi voi vaatia pidempää lämmitysaikaa verrattuna lastumaiseen hakkeeseen. Paju oli kuitenkin ruskean väristä myös sisältäpäin, joten torrefiointi oli onnistunut.



Kuva 22. Torrefioitua pajua

## Energiatiheyksien vertailu

Taulukossa 2 on yhteenveto energiatiheyteen liittyvien kokeiden tuloksista. Puupelletin ja kivihiilen arvoina on käytetty niille tyypillisiä arvoja.

Taulukko 2. Yhteenveto energiatiheyskokeista.

Polttoaine	Käsittely	Irtotiheys [kg/m <sup>3</sup> ]	Tehollinen lämpöarvo [MJ/kg]	Energiatiheys [GJ/m <sup>3</sup> ]
Koivuhake	-	230	13,4	3,1
Männynkanto- hake	-	515	4,9	2,5
Pajuhake	-	242	13,0	3,1
Torrefioitu ja pelletöity koivu	250 °C, 30 min	610	19,5	11,9
Torrefioitu ja pelletöity mänty	250 °C, 30 min	637	18,0	11,5
Torrefioitu ja pelletöity paju	250 °C, 30 min	469	18,4	8,6
Puupelletti	-	600	16,0	9,6
Kivihiili	-	1100	26,0	28,6

### 4.3 Ilmankosteuden kertyminen

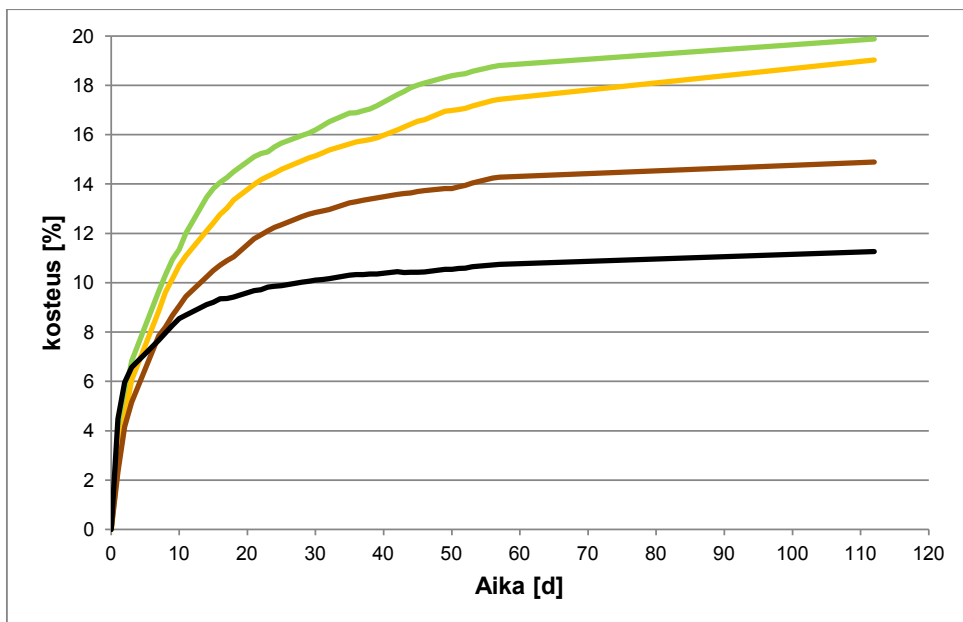
Puu on ominaisuuksiltaan hygroskooppinen aine, joten se voi sitoa huomattavia määriä kosteutta, jopa yli oman painonsa verran. Puu alkaa vaurioitua, jos ympäristön lämpötila on 0 - 40 °C välillä ja puun kosteus pysyy pitkäjäksoisesti yli 25 %:ssa.

Puun tasapainokosteus tarkoittaa tilaa, jossa puun kosteus pysyy vakiona. Tasapainokosteus riippuu ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta. Puun sisältämä kosteus voi olla joko sitoutuneena soluseinämiin tai olla niin sanottua vapaata vettä, jota on kertyneenä soluonteloihin. Torrefioinnin avulla pyritään parantamaan lahonkestoa ja vähentämään ominaisuutta sitoa kosteutta ympäristöstä. Biomassa kuivuu myös käsittelyn aikana.

Torrefioidusta ja käsittelemättömästä koivuhakkeesta otetuista näytteistä seurattiin ilmankosteuden kertymistä noin kolmen kuukauden ajan. Näytteet kuivattiin ennen koetta. Koejärjestelyssä näytteitä sisältävät astiat sekä erillinen vesiastia asetettiin suljettavaan pussiin, jolloin pussin sisälle muodostui käytännössä 100 % suhteellista ilmankosteutta vastaava tilanne. Kokeen aikana tarkasteltiin ilmankosteuden kertymistä näytteeseen.

Tarkastelujakson aikana tehtyjen havaintojen perusteella kosteuden kertyminen torrefioituun näytteeseen oli selvästi vähäisempää käsittelemättömään hakkeeseen verrattuna. Kuvassa 23 on esitetty neljä erilaista näytettä. Vihreä viiva kuvaa käsittelemättömän hakkeen keräämää ilmankosteutta. Keltainen, ruskea ja musta viiva kuvaavat torrefioituja hakkeita, jotka tehtiin seuraavissa lämpötiloissa ja pitoajoissa.

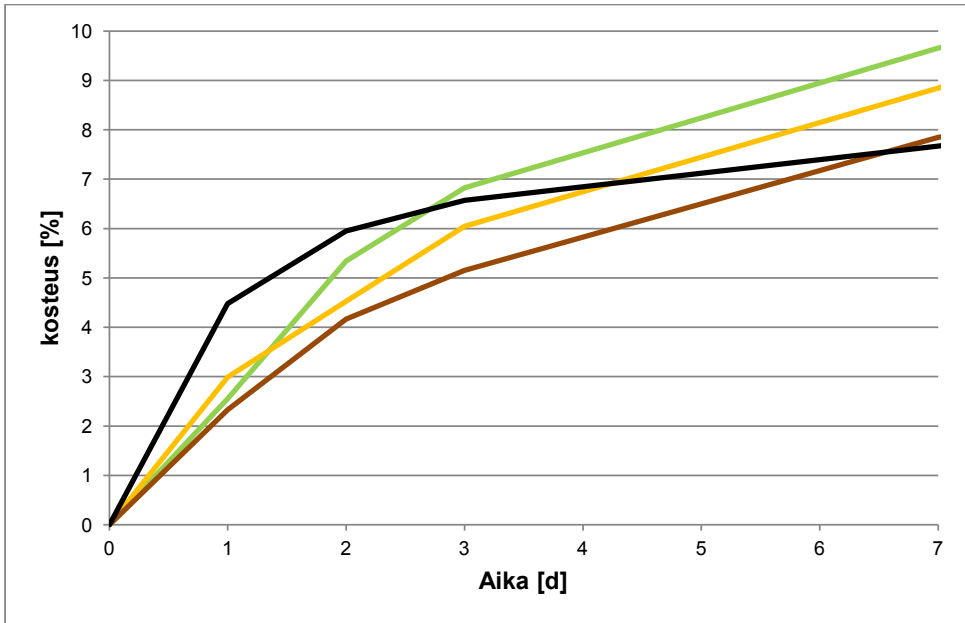
- keltainen, 200 °C, 30 min
- ruskea, 250 °C, 30 min
- musta, 300 °C, 30 min



Kuva 23. Ilmankosteuden kertymisen seuranta 3 kk ajalta

Torrefioinnilla ja etenkin käsittelylämpötilalla on selvästi vaikutusta ilmankosteuden kertymiseen biomassaan. 300 °C lämpötilassa torrefioitu hake keräsi vettä tarkastelujakson aikana vain puolet käsittelemättömään hakkeeseen verrattuna. Kuvassa 24 on näkyvissä ilmankosteuden kertyminen ensimmäisen viikon ajalta. 300 °C lämpötilassa tehty näyte keräsi kosteutta alkuvaiheessa muita enemmän. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että 300 °C:ssa torrefioitu puu on hiilimäistä ja huokoista. Huokoinen puu sitoo kosteutta helposti kapillaari-ilmion takia.





Kuva 24. Ilmankosteuden kertyminen ensimmäisen viikon aikana

#### 4.4 Veden hylkiminen vesisateessa

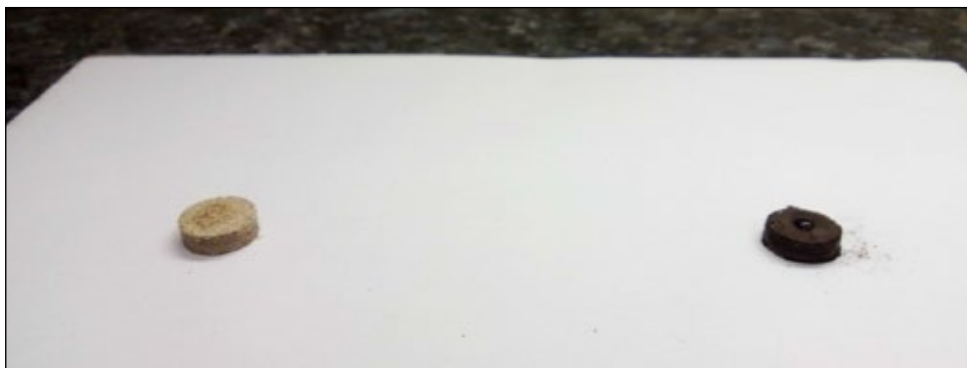
Veden hylkimistä vesisateessa tarkasteltiin seuraavanlaisella koejärjestelyllä. Käsittelemätöntä ja torrefioitua haketta jauhettiin hienojakoiseksi jauheeksi ja jauheista puristettiin pelletit. Pellettien päälle tiputettiin vesitippoja. Tarkoituksena oli tarkastella torrefioidusta hakkeesta valmistetun ja käsittelemättömästä hakkeesta valmistetun pelletin kosteuden sitomista. Tavallinen pelletti sitoi vettä erittäin nopeasti ja pelletin korkeus kasvoi yli kaksinkertaiseksi. Torrefioitu pelletti ei sitonut käytännössä yhtään vettä, eikä sen koko kasvanut merkittävästi.

Seuraavassa kuvassa on alkutilanne, jossa pelletit ovat täysin samankokoisia.



Kuva 25. Vesisadekokeen alkutilanne

Kuvassa 26 pellettien päälle on tiputettu vesipisara. Vasemmalla puolella oleva tavallinen pelletti on sitonut vesipisaran kokonaan. Oikealla puolella olevassa torrefioidussa pelletissä vesipisara näkyy pelletin päällä.



Kuva 26. Vesipisarat pellettien päällä

Vettä lisättiin jatkuvasti pellettien päälle ja noin 15 minuutin jälkeen tilanne oli kuvan 27 mukainen. Tavallinen pelletti oli kaksinkertainen kooltaan alkutilanteeseen verrattuna ja pelletti oli myös hauras rakenteeltaan. Torrefioitu pelletti oli säilyttänyt muotonsa hyvin eikä se ollut sitonut vettä.



Kuva 27. Lopputilanne

Testistä voidaan selkeästi nähdä, että torrefioidulla hakkeella on vettä hylkiviä eli hydrofobisia ominaisuuksia. Tämän takia torrefioitu pelletti on huomattavasti helpompi materiaali varastoida kuin tavallinen pelletti. Tavallisen pelletin turpoaminen on myös ongelma, jos turpoaminen pääsee tapahtumaan esimerkiksi ruuvikuljettimen sisällä.

## 4.5 Veden hylkiminen upotuskokeessa

Torrefoidun ja käsittelemättömän koivuhakkeen veden sitomista tarkasteltiin myös siten, että hakkeet upotettiin veteen 10 litran sankoihin. Molempiin sankoihin laitettiin tilavuudeltaan saman verran haketta, jonka jälkeen astiat täytettiin vedellä. Astioihin laitettiin kannet, joissa oli pieniä reikiä. Kansien päälle lisättiin vettä niin kauan kuin vettä ei enää imeytynyt näytteisiin. Kokeen lopussa vedet valutettiin pois ja näytteet punnittiin.

Näytteitä pidettiin upotettuna veteen noin 5 tuntia. Käsittelemättömän hakkeen kosteudeksi muodostui 50 %, kun taas torrefoidun hakkeen kosteus oli 35 %. Vaikka torrefoituun hakkeeseen kertyy jonkin verran vettä, niin vettä kertyy kuitenkin vähemmän kuin käsittelemättömään hakkeeseen.

# YHTEENVETO

Tässä tutkimusraportissa käsiteltiin erilaisten biomassalajien torrefiointia. Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia biomassan ominaisuuksien muuttumista torrefioinnissa. Lisäksi tavoitteena oli selvittää millaisia biomassatyyppejä olisi kannattavaa torrefioida ja pelletöidä, jotta biomassan energiatiheys kasvaisi mahdollisimman paljon.

Torrefiointikokeiden perusteella on pystytty toteamaan, että huonolaatuisten biomassalajien, kuten kantohakkeen torrefioinnilla saavutetaan suurin energiatiheden kasvaminen. Torrefiointi kuivattaa kantohaketta, mutta myös kantohakkeessa jäljellä oleva maa-aines irtoaa helposti kuivasta hakkeesta.

Erilaisten biomassojen torrefioinnissa ei käsittely laitteen käyttökustannuksien vaikutusta torrefioinnin kannattavuuteen. Todennäköisesti kuitenkin huonolaatuisten biomassojen torrefiointi voi tulla kannattavaksi, koska niitä on vaikea hyödyntää energiantuotannossa ilman lämpökäsittelyä.

Tutkimuksen tavoitteet saavutettiin biomassojen torrefiointiin soveltuvuuden osalta, mutta tutkimuksia on jatkettava saavutettujen tietojen perusteella ainakin torrefioinnin ja pelletöinnin kannattavuuden näkökulmasta. Torrefioidun biomassaan sekaan voidaan laittaa esimerkiksi käsittelemätöntä biomassaa ja tehdä näiden seoksesta pellettejä. Jos seospelletin ominaisuudet vastaavat torrefioidun pelletin ominaisuuksia, säästettäisiin pellettien tuotantokustannuksissa.

## LÄHTEET

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedote. Saatavissa: [http://www.vtt.fi/vtt\\_show\\_record.jsp?target=julk&form=sdefe&zsearch=38991](http://www.vtt.fi/vtt_show_record.jsp?target=julk&form=sdefe&zsearch=38991) [Viitattu 15.10.2013]
- 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.btg-world.com/nl/rtd/technologies/torrefaction> [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]
- Nurminen, F., Schorr, C. 2013. Biosaimaa. Torrefaction projects. Saatavissa: <http://biosaimaa.fi/aineistot> [viitattu 29.11.2013]
- Peng, J.H. 2012. A study of softwood torrefaction and densification for the production of high quality wood pellets. Saatavissa: <http://www.collectionscanada.gc.ca/obj/thesescanada/vol2/BVAU/TC-BVAU-42654.pdf> [Viitattu 15.10.2013]
- Torrefaction Processes Inc. 2013. Torrefied Wood vs. Wood Pellets vs. Coal. Saatavissa: <http://torrproc.com/torrefied-wood/torrefied-wood-vs-wood-pellets-vs-coal/> [viitattu 15.10.2013]

# 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 Hilikka 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:  
**Kotihoidon 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 Hilikka 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:  
**Kyläläisten metsävarojen käyttö ja suhtautuminen metsien häviämiseen Mzuzun alueella Malawissa** [2010].
- B 61 Hilka 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 Rytönen:  
**Intermodaalikuljetuksiin vaikuttavat häiriöt Kotkan ja Haminan satamissa** [2010].
- B 64 Mirva Salokorpi, Jorma Rytönen  
**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 Rytönen:  
**Turvallisuusjohtamisen parhaita käytäntöjä merenkulkijoille ja satamille** [2010].
- B 67 Hannu Boren, Marko Viinikainen, Ilkka Paaanen, Viivi Etholen:  
**Puutuotteiden ja -rakenteiden kemiallinen suojaus ja suojauksen markkinapotentiaali** [2011].
- B 68 Tommy Ulmanen, Jorma Rytönen, 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 Rytönen:  
**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  
**Asiakaskeikeistä 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 Yritysyhteistyönä 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].
- B 102 Hannu Sarvelainen, Niko Töyrylä:  
**Koelaite biomassan torrefiointiin. Biotuli-hankkeen tutkimusraportti 2013** [2013].
- B 103 Saara Eskola  
**Biotuli-hanke. Puupohjaiset antibakteeriset tuotteet infektioiden torjunnassa** [2013].
- B 104 Hilikka Dufva, Juhani Pekkola  
**Matkustajalaivaliikennettä harjoittavan varustamon yhteiskuntaeettinen liiketoiminta** [2013].
- B 105 Mirva Pilli-Sihvola (toim.)  
**Muuttuuko opettajuus ja mihin suuntaan? Yhteisöllisen verkko-oppimisen ja mobiilioppimisen mahdollisuuksia etsimässä** [2013].
- B 106 Anne Fransas, Enni Nieminen, Mirva Salokorpi  
**Maritime security and security measures – Mimic Study in the Baltic Sea Area** [2013].
- B 107 Satu Peltola (ed.):  
**Wicked world – The spirit of wicked problems in the field of higher education** [2013].



KYAMK

University of Applied Sciences