



Euroopan maaseudun  
kehittämisen maatalousrahasto:  
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Elinkeino-, liikenne- ja  
ympäristökeskus



## **EKOPELLETTI – T&K**

### **SIDE- JA LISÄAINETUTKIMUS – TEOLLISUUDEN SIVUVIRTOJEN JA UUSIORAAKA-AINEIDEN SEKÄ AIKAISEMPAA HUONOMPILAATUISTEN BIOMASSOJEN HYÖDYNTÄMINEN**

#### **Projektiraportti**

Matti Kuokkanen<sup>\*</sup>, Henna Jokinen, Ritva Impola, Heikki Takalo-Kippola

2012

<sup>\*</sup>Oulun yliopisto, kemian laitos, PL 3000, FI-90014, Oulu, [matti.kuokkanen@oulu.fi](mailto:matti.kuokkanen@oulu.fi)

# 1 JOHDANTO

Pellettoinnin käytännön ongelmista ehkä tärkeimpiä ovat niiden koossapysymiseen, lujuuteen ja pölyyn liittyvät ongelmat. Jos nämä ongelmat voidaan poistaa, voidaan samalla tehostaa pelletinvalmistusta, lisätä pellettituotannon määrää, parantaa pellettien laatua ja sitä kautta alan taloudellista kannattavuutta. Jos käytettävät side- ja lisäaineet ovat teollisuuden, käytännössä metsäteollisuuden, sivutuotteita tai jätteestä valmistettuja uusiotuotteita, on samalla kysymys jätteiden eko- ja materiaalitehokkaasta hyödyntämisestä. Pellettituotantoon soveltuvilta uusilta side- ja lisäaineilta vaaditaan tiettyjä ominaisuuksia, jotta niiden käyttö teollisessa mittakaavassa pellettilaitoksella olisi taloudellisesti kannattavaa. Sideaineen tulee olla halpaa, ympäristöystävällistä ja helposti saatavilla. Sideaineen ominaisuuksien tulee olla sellaiset, että jo pieni määrä sideainetta vaikuttaa positiivisesti tuotettujen pellettien laatuun, eikä sideaineesta aiheudu haitallisia päästöjä pellettien polton yhteydessä. On huomioitava, että vaikka itse pelletoitavan raaka-ainemateriaalin on sijaittava lähellä pellettilaitosta, ei sideaineen sen pienestä prosentuaalisesta osuudesta johtuen sijainnillisesti tarvitse täyttää tätä samaa kriteeriä. Sideaineen käytöllä tavoiteltavia vaikutuksia ovat lopputuotteen laadun ja hinnan kannalta tarkasteltuna positiivinen vaikutus lämpöarvoon, koossapysyvyyteen, pölyämisen estoon ja biohajoamisen hidastamiseen sekä pelletointiprosessin kannalta pellettikoneen matriiseja ja muita osia voitelevat ominaisuudet, joiden ansiosta voidaan esimerkiksi kasvattaa tuotantonopeutta tai säädellä raaka-aineen prosessoinnin kitkaominaisuuksia.

EkoPelletti – T&K- hankkeessa potentiaalisiksi osoittautuneet sideaineet ja lisäaineet sekä niitä käyttäen valmistetut pelletit tutkittiin monitieteellisesti erilaisia tutkimusmenetelmiä käyttäen, tavoitteena raaka-ainepohjan laajentaminen erilaisia raaka-aineita ja niiden seoksia käyttäen. Side- ja lisäaineiden käyttö optimoitiin sekä teknilliset että taloudelliset seikat huomioiden, tavoitteena eko-, kustannus- ja materiaalitehokas pellettituotanto. EkoPelletti – T&K –hankkeen aikana sideaineiden käytöstä laadittiin myös erillinen tieteellinen julkaisu: Kuokkanen, M., Vilppo, T., Kuokkanen, T., Stoor, T. & Koskela, J. (2011) ”Pilot-mittakaavainen sekä kemiallinen tutkimus eräiden lisäaineiden käytöstä puupellettituotannossa”, *EkoPelletti*, Raportit ja julkaisut, 21 s. Kyseinen infojulkaisu löytyy EkoPelletti – T&K -hankkeen kotisivuilta osoitteesta: <http://www.oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/docs/pilot-mittakaavainen.pdf>.

## 2 PELLETOINTIKOKEET

EkoPelletti – T&K –hankkeen pelletointikokeet suoritettiin Oulun Ammattikorkean Luonnonvaralan yksikön koehallissa (Kuva 1) pilot-mittakaavan pelletointilaitteistolla sekä osittain Oulun yliopiston Kuitu- ja partikkeliteknikan laboratoriossa sijaitsevalla pienpelletointilaitteistolla (Kuva 2). Lisättävän sideainemäärä laskettiin panoskohtaisesti suhteutettuna koko panoksen määrään. Koeajojen aikana sideaineiden syöttö tapahtui joko suoraan pellettikoneen välisäiliöön tai jo ennen sideaineen syöttöä raaka-aineen sekaan, jonka jälkeen koko raaka-aine-erä sekoitettiin huolellisesti. Nestemäisten sideaineiden syöttö voidaan säätää välisäiliön päällä olevan hanan avulla, josta syöttönopeutta säätämällä oli mahdollista lisätä tarvittava sideainepitoisuus. Kiinteiden sideaineiden syöttö tapahtui manuaalisesti. Koeajojen yhteydessä sideaineelliset pelletit kerättiin puristuksen ja jäädytyksen jälkeen laakeisiin avonaisiin laatikoihin ja jäädyttyään pussitettiin tiiviisti myöhempiä laboratoriomittauksia varten. Raaka-ainepurun irtotiheys sekä kosteus jokaisesta mittauksesta ennen syöttöä prosessiin määritettiin digitaalisella pikakosteusmittarilla (Kuva 3). Raaka-aineet murskattiin käyttäen vasaramyllyä, jonka seulakoko vaihteli 3 - 6 mm välillä riippuen raaka-aineesta. Matriisikokoa vaihdeltiin riippuen raaka-aineen prosessoinnin onnistumisesta. Käytetyt matriisikoot (reikien läpimitta/matriisin paksuus) olivat 8/55 mm, 8/40 mm ja 8/35 mm.



**Kuva 1.** OAMK LuoVa:n pilot-mittakaavan pelletöintilaitteisto, tuotantokapasiteetti 150 kg/h.



**Kuva 2.** Oulun yliopiston Kuitu- ja partikkelitekniiikan laboratoriossa sijaitseva pienpelletointilaitteisto, tuotantokapasiteetti 30 kg/h.



**Kuva 3.** Kosteuden pikamittauksen mittalaite.

## 2.1 Mittaukset Oulun yliopistolla

Tutkimuksen tässä vaiheessa kullakin koeajokerralla valmistetuista sideaineellisista pelleteistä sekä vertailunäytteinä joistakin sideaineettomista pelleteistä mitattiin Oulun yliopiston Kemian laitoksen fysikaalisen kemian osastolla kosteuspitoisuudet (SFS-EN 14774-1) ja lämpöarvot pommikalorimetrillä (DIN 51900, ISO 1928, Kuva 4) standardien mukaisesti. Pellettien rummutuslujuusmääritykset (SFS-EN 15210-1, Kuva 5) ja irtotiheyden määrittäminen (SFS-EN 15103, Kuva 6) suoritettiin OAMK:n luonnonvara-alan yksikön koehallissa pelletointikokeiden yhteydessä standardien mukaisesti. Tuhkapitoisuus-, pelletitiheys- sekä taivutus- ja puristuslujuusmääritykset suoritettiin Oulun yliopiston Kuitu- ja partikkelitekniiikan laboratoriossa.



**Kuva 4.** Lämpöarvojen mittaukseen käytettävä pommikalorimetri.



**Kuva 5.** Rummutuslujuuden määrittämisen mittalaite.



**Kuva 6.** Irtotiheyden määrittämiseen tarkoitettu mittalaite.

### 3 SIDEAINEMATERIAALIT JA NÄYTTEET

EkoPelletti – T&K -hankkeen aikana valmistettiin pellettejä seitsemällä eri side- ja lisäaineella, käyttäen eri raaka-aineita ja niiden seoksia. Lignosulfonaattia lisättiin 2 % ja 5 % pitoisuudet, glyserolia 5 % ja 10 % pitoisuudet, perunankuorijätettä 5 % ja 10 % pitoisuudet, perunatärkkelystä (perunajauho) 5 % pitoisuus, kaoliinia 1,5 % pitoisuus, nollakuitua 2 %, 5 % ja 10 % pitoisuudet ja muovia lisättiin raaka-aineen sekaan 5 % ja 10 % pitoisuudet. Nestepitoisen glyserolin syöttö pyrittiin säätämään mahdollisimman tasaiseksi välisäiliön hanan avulla ja syöttönopeudesta laskettiin annosteltu sideainepitoisuus. Lietemäinen nollakuitu annosteltiin raaka-aineen sekaan välisäiliöön ja sekoitettiin huolellisesti. Kiinteät sideaineet annosteltiin raaka-aineen sekaan ennen vasaramyllyä. Olosuhteet pellettien valmistusajankohtina OAMK:n luonnonvara-alan yksikön koehallissa olivat melko vakiot vuodenaikasta riippuen (lämpötilan vaihtelu  $T = 5 - 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ja pellettien tuntituotanto (noin  $150 \pm 10 \text{ kg/h}$ ) oli suhteellisen vakio. Mittauksia varten valmistetut pellettinäytteet olivat seuraavat:

#### Lignosulfonaatti (Lignobond DD)

- Ruokohelpi/hake 75:25, sideainepitoisuus ~2 %
- Ruokohelpi/hamppu 50:50, sideainepitoisuus ~2 %
- Hake/olki/kaura 60:30:10, sideainepitoisuus ~2 %
- Hake/olki 2:1, sideainepitoisuus ~2 %
- Hake/olki/hamppu 50:25:25, sideainepitoisuus ~2 %
- Puru, sideainepitoisuus ~2 %
- Hake, sideainepitoisuus ~2 %
- Hake/hamppu, sideainepitoisuus 2 %
- Hake, sideainepitoisuus ~5 %

## Glyseroli

Hake/ruokohelpi 80:20, sideainepitoisuus ~10 %

Hake/ruokohelpi 80:20, sideainepitoisuus ~5 %

## Perunankuorijäte (Kotirannan Vihannesjaloste Oy)

Hake/ruokohelpi/kuorijäte 70:20:10, sideainepitoisuus ~10 %

Hake/ruokohelpi/kuorijäte 75:20:5, sideainepitoisuus ~5 %

## Perunatärkkelys

Hake/ruokohelpi/tärkkelys 75:20:5, sideainepitoisuus ~5 %

## Kaoliini

Hake/kauran olki/kaoliini 73,5/25/1,5, sideainepitoisuus ~1,5 %

Olki/kaoliini 98,5/1,5, sideainepitoisuus ~1,5 %

## Nollakuitu (Mfibrils Oy)

Puru/nollakuitu(YO) 90:10, sideainepitoisuus ~10 %

Puru/nollakuitu(YO) 95:5, sideainepitoisuus ~5 %

Puru/nollakuitu(YO) 98:2, sideainepitoisuus ~2 %

Puru/nollakuitu 90:10, sideainepitoisuus ~10 %

Puru/nollakuitu 95:5, sideainepitoisuus ~5 %

Puru/nollakuitu 98:2, sideainepitoisuus ~2 %

## Muovi

Hake/muovi 95:5, lisäainepitoisuus 5 %

Puru/muovi 95:5, lisäainepitoisuus 5 %

Hake/olki/muovi 50:45:5, lisäainepitoisuus 5 %

Hake/olki/muovi 65:30:5, lisäainepitoisuus 5 %

Hake/olki/muovi 50:40:10, lisäainepitoisuus 10 %

## 4 TULOKSET

### 4.1 Raaka-aineiden pikakosteuspitoisuudet

**Taulukko 1.** Pellettikokeiden raaka-aineiden ja vertailunäytteiden pikakosteuspitoisuudet.

<b>Materiaali, sideainepitoisuus</b>	<b>Kosteuspitoisuus, <math>M_{Ar}</math> [%]</b>
<i>Vertailunäytteet</i>	
Puru	12,40
Hake	15,70
Hake/olki/hamppu 50:25:25	14,10
Hake/ruokohelpi 80:20	14,50



<i>Sideainepelletit</i>	
Ruokohelpi/hake 75:25, lignosulfonaatti 2 %	13,00
Ruokohelpi/hamppu 50:50, lignosulfonaatti 2 %	12,60
Hake/olki/kaura 60:30:10, lignosulfonaatti 2 %	14,30
Hake/olki 2:1, lignosulfonaatti 2 %	14,00
Hake/olki/hamppu 50:25:25, lignosulfonaatti 2 %	14,40
Puru, lignosulfonaatti 2 %	-
Hake, lignosulfonaatti 2 %	15,70
Hake/hamppu, lignosulfonaatti 2 %	13,70
Hake, lignosulfonaatti 5 %	17,00
Hake/ruokohelpi 80:20, glyseroli 10 %	17,80
Hake/ruokohelpi 80:20, glyseroli 5 %	16,60
Hake/ruokohelpi/kuorijäte 70:20:10, kuorijäte 10 %	21,00
Hake/ruokohelpi/kuorijäte 75:20:5, kuorijäte 5 %	19,70
Hake/ruokohelpi/tärkkelys 75:20:5, tärkkelys 5 %	14,30
Hake/kauran olki/kaoliini 73,5/25/1,5, kaoliini 1,5 %	16,90
Olki/kaoliini 98,5/1,5, kaoliini 1,5 %	17,27
Puru/nollakuitu(YO) 90:10, nollakuitu 10 %	-
Puru/nollakuitu(YO) 95:5, nollakuitu 5 %	-
Puru/nollakuitu(YO) 98:2, nollakuitu 2 %	-
Puru/nollakuitu 90:10, nollakuitu 10 %	12,60
Puru/nollakuitu 95:5, nollakuitu 5 %	13,50
Puru/nollakuitu 98:2, nollakuitu 2 %	13,30
Hake/muovi 95:5, muovi 5 %	17,70
Puru/muovi 95:5, muovi 5 %	11,97
Hake/olki/muovi 50:45:5, muovi 5 %	13,90
Hake/olki/muovi 65:30:5, muovi 5 %	13,00
Hake/olki/muovi 50:40:10, muovi 10 %	12,20

### ***Johtopäätökset:***

Määritetyt raaka-aineiden kosteuspitoisuudet olivat välillä 11,97 – 21,00 %. Tähän suureen vaihteluun merkittävin vaikuttava tekijä oli muutokset vallitsevassa ilmankosteudessa koehallissa sekä raaka-aineen vaihtelevat ominaisuudet, sillä esimerkiksi raaka-aineena käytetty hake oli huomattavasti kosteampaa kuin puru. Hyväksi havaittu raaka-aineen pelletointikosteus on yleensä 12 – 15 %. Sideaineen lisäyksen vaikutus raaka-aineen kosteuteen pystyttiin havaitsemaan, kun verrattiin raaka-aineiden kosteustuloksia sideaineettomiin vertailunäytteisiin. Kuten jo ennakkoon saattoi arvioida, nestepitoiset *perunankuorijäte* ja *glyseroli* nostivat merkittävästi raaka-aineen kosteuspitoisuutta. Tähän vaikutti myös se, että niitä lisättiin raaka-aineen sekaan suuremmat pitoisuudet kuin muita sideaineita. Lietemäinen *nollakuitu* sen sijaan ei vaikuttanut raaka-aineen kosteuspitoisuuteen. Myöskään muilla sideaineilla ei vaikuttanut olevan vaikutusta pelletoitavan raaka-aineen kosteuspitoisuuteen, jolla tiedetään olevan selvä vaikutus pelletoinnin onnistumiseen.



## 4.2 Pellettien kosteuspitoisuudet

**Taulukko 2.** Sideaineellisten pellettien ja vertailunäytteiden kosteuspitoisuudet.

<b>Materiaali, sideainepitoisuus</b>	<b>Kosteuspitoisuus, M<sub>Ar</sub> [%]</b>
<i>Vertailunäytteet</i>	
Puru	11,36
Hake	9,92
Hake/olki/hamppu 50:25:25	9,62
Hake/ruokohelpi 80:20	9,21
<i>Sideainepelletit</i>	
Ruokohelpi/hake 75:25, lignosulfonaatti 2 %	8,90
Ruokohelpi/hamppu 50:50, lignosulfonaatti 2 %	9,51
Hake/olki/kaura 60:30:10, lignosulfonaatti 2 %	10,03
Hake/olki 2:1, lignosulfonaatti 2 %	8,90
Hake/olki/hamppu 50:25:25, lignosulfonaatti 2 %	9,10
Puru, lignosulfonaatti 2 %	-
Hake, lignosulfonaatti 2 %	9,77
Hake/hamppu, lignosulfonaatti 2 %	9,59
Hake, lignosulfonaatti 5 %	10,04
Hake/ruokohelpi 80:20, glyseroli 10 %	13,16
Hake/ruokohelpi 80:20, glyseroli 5 %	11,13
Hake/ruokohelpi/kuorijäte 70:20:10, kuorijäte 10 %	14,42
Hake/ruokohelpi/kuorijäte 75:20:5, kuorijäte 5 %	12,57
Hake/ruokohelpi/tärkkelys 75:20:5, tärkkelys 5 %	-
Hake/kauran olki/kaoliini 73,5/25/1,5, kaoliini 1,5 %	10,75
Olki/kaoliini 98,5/1,5, kaoliini 1,5 %	15,06
Puru/nollakuitu(YO) 90:10, nollakuitu 10 %	8,33
Puru/nollakuitu(YO) 95:5, nollakuitu 5 %	6,28
Puru/nollakuitu(YO) 98:2, nollakuitu 2 %	4,72
Puru/nollakuitu 90:10, nollakuitu 10 %	16,66
Puru/nollakuitu 95:5, nollakuitu 5 %	13,13
Puru/nollakuitu 98:2, nollakuitu 2 %	12,90
Hake/muovi 95:5, muovi 5 %	13,19
Puru/muovi 95:5, muovi 5 %	9,56
Hake/olki/muovi 50:45:5, muovi 5 %	11,87
Hake/olki/muovi 65:30:5, muovi 5 %	10,44
Hake/olki/muovi 50:40:10, muovi 10 %	9,90

### **Johtopäätökset:**

Määritetyt pellettien kosteuspitoisuudet olivat välillä 4,92 – 16,66 %. Pienimmät kosteuspitoisuudet saatiin Oulun yliopiston pienpellettilaitteistolla valmistetuille näytteille, jotka oli valmistettu huomattavan kuivasta mäntypururaaka-aineesta. Hyväksi havaittu pellettituotteen kosteuspitoisuus on yleensä 8 – 12 %. Tulosten perusteella nestepitoiset *perunankuorijäte* ja *glyseroli* nostivat myöskin pellettien kosteuspitoisuutta. Lietemäinen *nollakuitu* nosti myös pellettien

kosteuspitoisuutta sitä enemmän mitä suurempi oli lisätty sideaineen pitoisuus. Muilla testatuilla side- ja lisäaineilla ei vaikuttanut olevan vaikutusta pellettien kosteuspitoisuuteen.

### 4.3 Pellettien lämpöarvot

Sideaineellisille pelleteille ja vertailunäytteille määritettiin kalorimetriset lämpöarvot yhtälön (1) mukaisesti. Tarkempaa tietoa lämpöarvojen määrittämisestä on löydettävissä mm. EkoPelletti-infosta: Kuokkanen, M., Kolppanen, R. & Kuokkanen, T. (2011) ”Nesteiden ja kiinteiden aineiden lämpöarvojen määrittäminen”, *EkoPelletti EAKR-hanke, Projekti Info*, 6 s. Kalorimetriavakion C määrittämisen jälkeen minkä hyvänsä näytteen (neste tai kiinteä) ominaispalamislämpö  $\Delta H_m$  [kJ/g] voidaan laskea yhtälöstä (1).

$$\Delta H_m = \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_0) \cdot C}{m_2} \quad (1)$$

missä  $\Delta H_m$  = näytteen ominaispalamislämpö [kJ/g]

$\Delta T_2$  = näytteen palamisesta johtuva lämpötilanmuutos [°C]

$\Delta T_0$  = sytytyksestä ja langan palamisesta johtuva lämpötilanmuutos [°C]

C = kalorimetriavakio [kJ/ °C]

$m_2$  = näytteen massa [g]

**Taulukko 3.** Sideaineellisten pellettien ja vertailunäytteiden lämpöarvot.

Materiaali, sideainepitoisuus	Lämpöarvo $\Delta H_m$ [MJ/kg]
<i>Vertailunäytteet</i>	
Puru	18,53
Hake	18,77
Hake/olki/hamppu 50:25:25	17,98
Hake/ruokohelpi 80:20	18,76
<i>Sideainepelletit</i>	
Ruokohelpi/hake 75:25, lignosulfonaatti 2 %	17,82
Ruokohelpi/hamppu 50:50, lignosulfonaatti 2 %	17,35
Hake/olki/kaura 60:30:10, lignosulfonaatti 2 %	17,82
Hake/olki 2:1, lignosulfonaatti 2 %	18,22
Hake/olki/hamppu 50:25:25, lignosulfonaatti 2 %	17,92
Puru, lignosulfonaatti 2 %	19,29
Hake, lignosulfonaatti 2 %	18,67
Hake/hamppu, lignosulfonaatti 2 %	18,17
Hake, lignosulfonaatti 5 %	18,84

Hake/ruokohelpi 80:20, glyseroli 10 %	18,66
Hake/ruokohelpi 80:20, glyseroli 5 %	17,55
Hake/ruokohelpi/kuorijäte 70:20:10, kuorijäte 10 %	17,51
Hake/ruokohelpi/kuorijäte 75:20:5, kuorijäte 5 %	18,07
Hake/ruokohelpi/tärkkelys 75:20:5, tärkkelys 5 %	17,97
Hake/kauran olki/kaoliini 73,5/25/1,5, kaoliini 1,5 %	17,99
Olki/kaoliini 98,5/1,5, kaoliini 1,5 %	15,84
Puru/nollakuitu(YO) 90:10, nollakuitu 10 %	18,84
Puru/nollakuitu(YO) 95:5, nollakuitu 5 %	19,30
Puru/nollakuitu(YO) 98:2, nollakuitu 2 %	19,68
Puru/nollakuitu 90:10, nollakuitu 10 %	17,31
Puru/nollakuitu 95:5, nollakuitu 5 %	17,95
Puru/nollakuitu 98:2, nollakuitu 2 %	18,50
Hake/muovi 95:5, muovi 5 %	18,91
Puru/muovi 95:5, muovi 5 %	19,45
Hake/olki/muovi 50:45:5, muovi 5 %	18,99
Hake/olki/muovi 65:30:5, muovi 5 %	19,63
Hake/olki/muovi 50:40:10, muovi 10 %	20,48

#### **Johtopäätökset:**

Tutkituilla sideaineilla ja niiden eri pitoisuuksilla ei vaikuttaisi olevan kovinkaan suurta vaikutusta pellettien lämpöarvoihin. Lämpöarvojen muutokset eri sideainepellettien välillä ovat suhteessa kosteuspitoisuuksien muutoksiin. Eli mikäli tulokset laskettaisiin ja ilmoitettaisiin kuiva-aineen lämpöarvoina tulokset, olisivat kaikille mittauksille lähestulkoon samat. Tämä on sikälkin loogista, että lisätty sideainemäärä kussakin pelletissä on erittäin pieni suhteessa biomassan määrään. Parhaat kalorimetriset lämpöarvotulokset saavutettiin lisäämällä *muovia* ja käyttämällä raaka-aineena purua. Ruokohelven ja erityisesti oljen käyttäminen pellettien raaka-aineena laskee pellettien lämpöarvoa.

#### 4.4 Pellettien irtotiheydet

**Taulukko 4.** Sideaineellisten pellettien, niiden raaka-aineiden ja vertailunäytteiden irtotiheydet.

<b>Materiaali, sideainepitoisuus</b>	<b>Irtotiheys [g/l]</b>	<b>Raaka-aine [g/l]</b>
<i>Vertailunäytteet</i>		
Puru	622,91	78,64
Hake	412,99	231,03
Hake/olki/hamppu 50:25:25	558,60	138,14
Hake/ruokohelpi 80:20	556,38	216,30
<i>Sideainepelletit</i>		
Ruokohelpi/hake 75:25, lignosulfonaatti 2 %	543,66	135,81
Ruokohelpi/hamppu 50:50, lignosulfonaatti 2 %	547,99	132,85
Hake/olki/kaura 60:30:10, lignosulfonaatti 2 %	491,03	168,88

Hake/olki 2:1, lignosulfonaatti 2 %	519,29	147,94
Hake/olki/hamppu 50:25:25, lignosulfonaatti 2 %	529,77	136,30
Puru, lignosulfonaatti 2 %	-	-
Hake, lignosulfonaatti 2 %	413,26	239,05
Hake/hamppu, lignosulfonaatti 2 %	499,17	168,31
Hake, lignosulfonaatti 5 %	402,91	239,02
Hake/ruokohelpi 80:20, glyseroli 10 %	379,80	219,30
Hake/ruokohelpi 80:20, glyseroli 5 %	351,97	226,25
Hake/ruokohelpi/kuorijäte 70:20:10, kuorijäte 10 %	479,83	196,52
Hake/ruokohelpi/kuorijäte 75:20:5, kuorijäte 5 %	532,35	219,06
Hake/ruokohelpi/tärkkelys 75:20:5, tärkkelys 5 %	488,44	207,52
Hake/kauran olki/kaoliini 73,5/25/1,5, kaoliini 1,5 %	546,78	173,65
Olki/kaoliini 98,5/1,5, kaoliini 1,5 %	588,87	81,57
Puru/nollakuitu(YO) 90:10, nollakuitu 10 %	643,68	-
Puru/nollakuitu(YO) 95:5, nollakuitu 5 %	658,70	-
Puru/nollakuitu(YO) 98:2, nollakuitu 2 %	655,00	-
Puru/nollakuitu 90:10, nollakuitu 10 %	493,44	102,68
Puru/nollakuitu 95:5, nollakuitu 5 %	571,55	100,95
Puru/nollakuitu 98:2, nollakuitu 2 %	625,99	99,51
Hake/muovi 95:5, muovi 5 %	383,70	137,30
Puru/muovi 95:5, muovi 5 %	593,10	93,57
Hake/olki/muovi 50:45:5, muovi 5 %	490,78	122,79
Hake/olki/muovi 65:30:5, muovi 5 %	514,37	139,21
Hake/olki/muovi 50:40:10, muovi 10 %	471,02	129,65

### **Johtopäätökset:**

Irtotiheydellä on suora yhteys pelletin lujuuteen, koska se kertoo kuinka tiiviisti pelletti on puristunut kokoon. Määritykset tehtiin sekä pellettien raaka-aineille, että valmiille sideainepelleteille. Pellettien irtotiheydet olivat välillä 350 – 660 g/l. Tulokset osoittavat, että raaka-ainepurun irtotiheys oli huomattavasti pienempi kuin hakkeella. Hake vaati muutamissa kokeissa ohuemman matriisin (8/35 mm) pelletointiprosessin onnistumiseksi. Tämä voidaan selittää johtuvan sen suuremmasta partikkelikoosta muihin raaka-aineisiin verrattuna, mikä on havaittavissa myös irtotiheystuloksista. Silti korkeimman irtotiheyden omaavat pelletit saatiin aikaan matalan irtotiheyden raaka-aineita puristamalla, kuten esimerkiksi sideaineeton purupelletti, 2 % puru/nollakuitupelletti sekä yliopiston pienlaitteella valmistetut puru/nollakuitupelletit, jotka valmistettiin pelkästä mäntypurusta. Sen sijaan korkeamman irtotiheyden hakkeen suurempi osuus pelletin raaka-aineena vaikutti pellettien irtotiheyden tuloksiin alentavasti. Sideaineiden lisäyksen suoranaista vaikutusta irtotiheyteen ei ollut havaittavissa, mikä toisaalta johtui pienistä sideaineiden pitoisuuksista.

## 4.5 Pellettien rummutuslujuudet

**Taulukko 5.** Sideaineellisten pellettien ja vertailunäytteiden rummutuslujuudet.

<b>Materiaali, sideainepitoisuus</b>	<b>Rummutuslujuus [%]</b>
<i>Vertailunäytteet</i>	
Puru	98,88
Hake	73,43
Hake/olki/hamppu 50:25:25	94,69
Hake/ruokohelpi 80:20	98,21
<i>Sideainepelletit</i>	
Ruokohelpi/hake 75:25, lignosulfonaatti 2 %	95,49
Ruokohelpi/hamppu 50:50, lignosulfonaatti 2 %	92,88
Hake/olki/kaura 60:30:10, lignosulfonaatti 2 %	87,25
Hake/olki 2:1, lignosulfonaatti 2 %	94,42
Hake/olki/hamppu 50:25:25, lignosulfonaatti 2 %	95,71
Puru, lignosulfonaatti 2 %	-
Hake, lignosulfonaatti 2 %	80,10
Hake/hamppu, lignosulfonaatti 2 %	93,74
Hake, lignosulfonaatti 5 %	83,97
Hake/ruokohelpi 80:20, glyseroli 10 %	69,45
Hake/ruokohelpi 80:20, glyseroli 5 %	78,47
Hake/ruokohelpi/kuorijäte 70:20:10, kuorijäte 10 %	92,18
Hake/ruokohelpi/kuorijäte 75:20:5, kuorijäte 5 %	97,94
Hake/ruokohelpi/tärkkelys 75:20:5, tärkkelys 5 %	94,20
Hake/kauran olki/kaoliini 73,5/25/1,5, kaoliini 1,5 %	96,09
Olki/kaoliini 98,5/1,5, kaoliini 1,5 %	97,35
Puru/nollakuitu(YO) 90:10, nollakuitu 10 %	91,98
Puru/nollakuitu(YO) 95:5, nollakuitu 5 %	90,75
Puru/nollakuitu(YO) 98:2, nollakuitu 2 %	87,60
Puru/nollakuitu 90:10, nollakuitu 10 %	95,34
Puru/nollakuitu 95:5, nollakuitu 5 %	97,37
Puru/nollakuitu 98:2, nollakuitu 2 %	98,60
Hake/muovi 95:5, muovi 5 %	82,14
Puru/muovi 95:5, muovi 5 %	95,95
Hake/olki/muovi 50:45:5, muovi 5 %	96,83
Hake/olki/muovi 65:30:5, muovi 5 %	95,31
Hake/olki/muovi 50:40:10, muovi 10 %	95,36

### **Johtopäätökset:**

Osa sideainekokeissa valmistetuista pelleteistä oli rummutuslujuuskokeiden perusteella melko huonolaatuisia. Eri sideaineiden vaikutukset koossapysyvyyteen ja mekaaniseen lujuuteen voitiin kuitenkin havaita rummutuslujuustuloksista. Perunajättemateriaaleista *perunankuorijäte* 5 % pitoisuudella antoi hyvän tuloksen koossapysyvyydelle. Parhaimmat tulokset koossapysyvyydelle saavutettiin käyttämällä raaka-aineena hakkeen ja ruokohelven seosta 80:20-suhteessa sekä

käyttämällä raaka-aineena purua. *Lignosulfonaatin* lisäys hakkeen sekaan nosti sen koossapysyvyyttä selvästi, koossapysyvyyksien ollessa parhaat suurimmilla sideainelisäysmäärillä. *Nollakuidulla* saavutettiin myös pieni positiivinen vaikutus koossapysyvyyteen, tuloksen ollessa kuitenkin sitä parempi mitä pienempi oli sideaineen lisäys. *Perunatärkkelyksen* kohdalla tulokset vaikuttivat myös niukasti positiivisilta. *Glyserolin* lisäys heikensi pellettien koossapysyvyyttä merkittävästi. Suurin syy tähän on liian korkeaksi noussut pellettien kosteuspitoisuus. Havaittiin, että optimaalisen kosteuspitoisuuden vaikutus sekä irtotiheyteen että rummutuslujuteen on merkittävä.

## 5 POHDINTAA

EkoPelletti – T&K –hankkeen aikana olemme kehittäneet Oulun yliopistolla yhdistettyä värjäys- ja mikroskooppikuvausmenetelmää tärkkelyspitoisten pellettien sidostumiskäyttäytymisen ja sisärakenteen tarkastelun työkaluksi, jotta voidaan arvioida sideainelisäyksen optimointi. Jatkossa menetelmällä olisi tarkoitus tutkia ja analysoida sekä sideainekokeissa valmistamiemme pellettinäytteitä että muita pellettinäytteitä. Edelleenkin sideainekokeissa on kiinnitettävä huomiota myös testattavien sideaineiden laatuun (liuoskonsentraatio, kosteuspitoisuus, homogeenisuus, prosessoitavuus), syöttötapaan ja -kohtaan prosessissa. EkoPelletti- T&K –hankkeen aikana osalle pellettinäytteistä tullaan määrittämään myös biohajoavuudet ja suorittamaan polttokokeet (mm. tuhkapitoisuudet), joiden tuloksia on hyödyllistä vertailla tämän sideainetutkimuksen tuloksiin. Jatkossa on syytä tutkia myös pellettituhkien koostumusta ja ominaisuuksia, onhan biotuhkien hyödyntäminen eri käyttökohteissa (metsänlannoitus, ”kalkitus”, maarakentaminen, jätevesien käsittely, jne) tällä hetkellä erittäin kuuma aihe tuhkien jäteveron vuoksi (50 €/t vuoden 2012 alusta alkaen). Biotuhkien kustannustehokkaalla hyödyntämisellä on huomattava vaikutus myös pellettituotannon kannattavuuteen. Samoin tässä hankkeessa testatulle nollakuidulle voimaan astunut jätevero on kiihdyttänyt sen hyödyntämistutkimuksia, ja esikokeissa onkin saatu entsymaattisesti käsitellylle nollakuidulle lupaavia tuloksia sen käyttöpotentiaalista pelletin side- ja lisäaineena.

## 6 LÄHTEET

Deutsches Institut für Normung (2000) DIN 51900 Determining the gross calorific value of solid and liquid fuels using bomb calorimeter, and calculation of net calorific value – Part I: General information.

- International Organization for Standardization (1995) ISO 1928 Solid mineral fuels – Determination of gross calorific value by the bomb calorimetric method, and calculation of net calorific value.
- Jokinen, H., Kuokkanen, M., Kuokkanen, T. & Stoor, T. (2011) Pellettitutkimus Oulun yliopistossa, *Ekoopelleteistä kestäväää energiaa -seminaari*, Oulu, 12.10.2011, poster.
- Kuokkanen, M., Kolppanen, R. & Kuokkanen, T. (2011) Nesteiden ja kiinteiden aineiden lämpöarvojen määrittäminen, *EkoPelletti*, Raportit ja julkaisut, 6 s.  
[http://www.oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/docs/ekopelletti\\_info\\_010911.pdf](http://www.oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/docs/ekopelletti_info_010911.pdf)
- Kuokkanen, M. & Kuokkanen, T. (2011) Biopolttoaineiden palamislämpöjen vertailututkimus, *EkoPelletti*, Raportit ja julkaisut, 3 s.  
[http://www.oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/docs/pommikalorimetrivertailu\\_060911.pdf](http://www.oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/docs/pommikalorimetrivertailu_060911.pdf)
- Kuokkanen, M., Prokkola, H. & Kuokkanen, T. (2011) Bio-polttoaineiden palamislämpöjen vertailututkimus, *HighBio2 Projekti Info*, 2011, 3 s.  
[https://ciweb.chydenius.fi/project\\_files/HighBio2-Info/INFO%20HighBio2%20F%204-2%20Biopolttoaineiden%20palamisl%C3%A4mp%C3%B6jen...pdf](https://ciweb.chydenius.fi/project_files/HighBio2-Info/INFO%20HighBio2%20F%204-2%20Biopolttoaineiden%20palamisl%C3%A4mp%C3%B6jen...pdf)
- Kuokkanen, M., Prokkola, H., Larkomaa, J., Stoor, T., Siltaloppi, L. & Kuokkanen, T. (2010) Specific Staining and Optical Microscopy – a New Method for Characterization of Starch-containing Wood Pellets, *Special Issue of Research Journal of Chemistry and Environment, Proceedings of ICCE-2009*, 311-317.
- Kuokkanen, M., Vilppo, T., Kuokkanen, T., Stoor, T. & Koskela, J. (2011) Pilot-mittakaavainen sekä kemiallinen tutkimus eräiden lisäaineiden käytöstä puupellettituotannossa, *EkoPelletti*, Raportit ja julkaisut, 21 s. <http://www.oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/docs/pilot-mittakaavainen.pdf>
- Kuokkanen, T. (2012) Biotuhkien hyödyntämispotentiaali – kemiallinen näkökulma, *Kotimaista energiaa puusta ja turpeesta, tuhka rakeiksi ja hyötykäyttöön -seminaari*, Oulu, 18.6.2012, 23 s. [http://www.metla.fi/hanke/7464/seminariesitykset/08\\_kuokkanen.pdf](http://www.metla.fi/hanke/7464/seminariesitykset/08_kuokkanen.pdf)
- Prokkola, H., Kuokkanen, M. & Kuokkanen, T. (2010) Biohajoavuuden määrittäminen kiinteässä faasissa BOD Oxitop –menetelmällä, *HighBio Projekti Info* 62, 2010, 3 s.  
[https://ciweb.chydenius.fi/project\\_files/HighBio%20projekti%20INFO/INFO%20HighBio%20F62.pdf](https://ciweb.chydenius.fi/project_files/HighBio%20projekti%20INFO/INFO%20HighBio%20F62.pdf)



Suomen Standardisoimisliitto (2003) SFS-EN 15103 Kiinteät biopolttoaineet. Irtotiheyden määrittäminen.

Suomen Standardisoimisliitto (2010) SFS-EN 15210-1 Kiinteät biopolttoaineet. Pellettien ja brikettien mekaanisen kestävyysmäärittäminen. Osa 1: Pelletit.

Suomen Standardisoimisliitto (2009) SFS-EN 14774-1 Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 1: Kokonaiskosteus. Vertailumenetelmä.