



EkoPelletti - T&K –hanke

Pelletöinti- ja polttokokeet

Ritva Imppola*, Heikki Takalo-Kippola*, Esa Pakonen*, Erkki
Kylmänen*, Henna Jokinen ja Matti Kuokkanen

Hankeraportti 2013

* Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Kotkantie 1, 90250 Oulu



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus

Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	2
2. Pelletöintikokeiden järjestelyt ja käytetyt materiaalit.....	2
3. Polttokokeiden järjestelyt ja käytetyt materiaalit	4
4. Pelletöintikokeiden tulokset.....	4
5. Polttokokeiden tulokset.....	6
6. Tulosten tarkastelu.....	16
7. Yhteenveto.....	18
8. Lähteet	18
Liite 1. Pelletöintikokeiden tulokset, perustiedot.....	20
Liite 2. Pelletöintikokeiden tulokset, irtotiheydet.....	22
Liite 3. Pelletöintikokeiden tulokset, pellettien kosteudet ja ylemmät lämpöarvot.....	24
Liite 4. Pelletöintikokeiden tulokset, rummutuslujuudet ja tuhkapitoisuudet.....	26

1. Johdanto

Puumateriaalista puristettuja pellettejä käytetään energialähteenä niin pienkäytössä kuin isoissa lämpö- ja voimalaitoksissakin. Muusta kuin puumateriaalista tehtyjä pellettejä käytetään tällä hetkellä lähinnä rehu- tai kuivikekäyttöön.

Puupellettejä tuotettiin Suomessa 252 000 tonnia vuonna 2012 liki kolmessakymmenessä pelletintuotantolaitoksessa. Tästä määrästä kotimaassa kulutettiin 196 000 tonnia. Ulkomaille pellettejä vietiin 61 000 tonnia. Kotimaisesta kulutuksesta 69 000 tonnia käytettiin koti- ja maatalouksissa, loput 127 000 tonnia paloi lämpö- ja voimalaitoksissa. Puupellettejä tuotiin Suomeen 28 000 tonnia vuonna 2012, lähinnä Venäjältä ja Latviasta.

Tällä hetkellä energiaksi käytettävien pellettien raaka-aineena käytetään lähes yksinomaan kutteripurua, sahanpurua ja hiontapölyä. Raaka-ainevalikoima voisi kuitenkin olla laajempi, etenkin jos pellettejä valmistetaan maataloilla tilalla käytettävissä olevista omista tai helposti saatavilla olevista raaka-aineista.

EkoPelletti T&K –hankkeessa tehtiin pelletöintikokeita erilaisilla raaka-aineilla, side- ja lisäaineilla sekä erilaisilla raaka-ainesekoituksilla. Parhaiten onnistuneille pelleteille tehtiin polttokokeet. Pelletöintikokeiden toteuttajina olivat Oulun seudun ammattikorkeakoulun Luonnonvara-alan ja Tekniikan yksiköt sekä Oulun yliopiston Kemian laitos ja Kuitu- ja partikkelitekniiikan laboratorio.

Pelletöinti- ja polttokokeiden tarkoituksena oli selvittää pelletöitymisen käytännön ongelmia, luoda tietoa pelletöinnin liiketoimintamallien tekoa varten ja jakaa saatua tietoa pelletöintiä tekevien tai sitä suunnittelevien yritysten käyttöön.

2. Pelletöintikokeiden järjestelyt ja käytetyt materiaalit

Pelletöintikokeissa käytettiin merikonttiin sijoitettua, liikuteltavaksi tarkoitettua pilot-mittakaavan pelletöintilaitteistoa. Laitteisto koostuu raaka-aineen esimurskaimesta, vasaramyllystä, pellettipuristimesta, pellettien jäähdystornista ja näitä osia yhdistävästä materiaalin kuljetusjärjestelmästä sekä hallintajärjestelmästä.



Esimurskain on 11 kW:n sähkömoottorilla toimiva murskain, joka hienontaa maksimissaan 50 x 50 mm raaka-aineen tasalaatuisiksi alle 10 x 5 mm kokoiseksi materiaaliksi. Esimurskaimen maksimikapasiteetti on puulla n. 400 kg/h.

Teholtaan 5,5 kW vasaramylly jauhaa esimurskaimelta tulevan materiaalin haluttuun karkeuteen. Karkeutta voidaan säätää vaihtamalla vasaramyllyn seula. Käytettävissä ovat 3, 4, 5, 6 ja 8 mm seulat.

Pellettipuristin toimii 15 kW sähkömoottorilla. Puristin on rengasmatriisipuristin, jossa raaka-aine puristuu kiinteän matriisin kanavien läpi pelleteiksi. Käytettävissä olevien matriisien vahvuudet ovat 35, 40 ja 55 mm ja kanavien läpimitta on 8 mm. Käytettävissä on myös matriisi, jonka vahvuus on 40 mm ja kanavien läpimitta on 15 mm. Puristimen kapasiteetti riippuu käytettävästä raaka-aineesta ja pelletöinnin olosuhteista. Puumateriaalista pellettejä syntyy puristimella 125 – 175 kg tunnissa.

Kokeissa käytetty laitteisto on kuvassa 1.



Kuva 1. Liikuteltava pelletöintilaitteisto. Vasemmalta lähtien esimurskain, vasaramylly, yllä lisäsyöteyksikkö, välisäiliö, puristinyksikkö, jäähdytystorni ja hallinta-automaattikka. Kuva: Mikko Aalto

Kokeissa on pelletöity ensiharvennus- ja ojien perkauksessa korjatusta puusta tehtyä haketta, kauran, ohran ja heinän olkea, ruokohelpeä, hampun päistärettä, turvetta, pahvia, sanomalehtipaperia ja mainospaperia sekä näiden seoksia eri suhteissa.

Lisäaineina on kokeiltu glyserolia, perunamäskiä ja käytettyä rehupaalien muovia. Glyserolia saadaan biodieselin tuotannon sivutuotteena. Perunamäski on perunan kuorintajätettä. Rehupaalien



muovi on maataloilla ongelma ja voitaisiin tarpeeksi korkeissa lämpötiloissa ja hallitussa poltossa käyttää tiloilla energiaksi. Nykysäädösten mukaan paalimuoveja ei tiloilla saa polttaa.

Sideaineina on kokeiltu lignosulfonaattia, perunatärkkelystä ja selluteollisuuden nollakuitua. Pellettien palamisen edistämiseksi on raaka-aineeseen lisätty kaoliinia.

Kokeiden pelleteistä on määritetty mm. irtotiheys, kosteus, mekaaninen kestävyys, lämpöarvo ja tuhkapitoisuus.

3. Polttokokeiden järjestelyt ja käytetyt materiaalit

Pelletöintikokeissa puristetuista pelleteistä lupaavimmat valittiin polttokokeisiin. Polttokokeet tehtiin kahdessa erässä. Erissä käytettiin samaa, nimellisteholtaan 20 kW kattilaa, mutta erilaisia pellettipolttimia. Ensimmäisen erän (poltto1) polttokokeet tehtiin kuppimallisella polttimella. Toisessa erässä (poltto2) käytettiin pyöriväarinaista poltinta.

Poltettaviksi pelleteiksi valikoituivat ensimmäiseen koe-erään puhtaat puru-, olki- ja hakepelletit, sekä näiden erisuhteiset sekoitukset sekä hake/olki/kauran jyvä- ja puru/hamppu -sekoitukset. Toiseen polttokokeiden erään valikoitiin osittain samoja, osittain uusia materiaaleja; ruokohelpiä, turvetta, sanomalehtipaperia ja rehupaalimuovia.

Kokeissa määritettiin kattilan teho, suora hyötysuhde, ylempi lämpöarvo sekä savukaasujen häkä- ja typpioksidipitoisuudet.

4. Pelletöintikokeiden tulokset

Pelletöintikokeiden tulokset on jaoteltu taulukoihin yksittäisten raaka-aineiden, raaka-ainesekoitusten ja rehupaalimuovien lisäyksen perusteella. Taulukossa 1 on kooste yksittäisistä raaka-aineista tehtyjen pellettien, taulukossa 2 raaka-ainesekoituksista valmistettujen pellettien, taulukossa 3 lisäaineilla valmistettujen pellettien ja taulukossa 4 rehupaalimuovillisillä tehtyjen pellettien ominaisuuksista. Taulukossa 5 kuvataan pellettien puristamiseen kulutetun energian määrä. Eri raaka-aineiden pelletöitymistä on tarkasteltu myös EkoPelletti T&K –hankkeen projektiraporteissa:

Jokinen, H. et al: Pellettien sidostumisen perusmekanismien selvitys
<http://www.oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/docs/EkoPelletti-Sidostumisraportti.pdf>

Kuokkanen, M. et al: Side- ja lisäainetutkimus – teollisuuden sivuvirtojen ja uusioraaka-aineiden sekä aikaisempaa huononmpilaatuisten biomassojen hyödyntäminen
http://www.oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/docs/side_ja_lisaainetutkimus.pdf

Liitteillä 1 – 4 ovat pelletöintikokeista saadut tulokset yksityiskohtaisemmin.

Muovin lisäystä pellettien lisäaineeksi ovat Oulun seudun ammattikorkeakoulun opinnäytetyössään kuvanneet Ville Savela ja Matti Puranen, <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2013052911718> .



Taulukko 1 Yksittäisistä raaka-aineista valmistettujen pellettien ominaisuudet.

Raaka-aine	Raaka-aineen irtotiheys, g/l	Pellettien irtotiheys, g/l	Mekaaninen kestävyys, %	Lämpöarvo, MJ/kg	Energiaa, MWh/t	Kosteus, %
Puru	115	612	95,6	19,27	5,353	8,7
Kauran olki	69	536	97,7	16,07	4,464	11,5
Ruokohelpi	101	576	97,4	16,5	4,584	14,6
Hake 35	220	419	80,4	19,02	5,284	9,6
Hamppu	-					
Turve	222	694	92,0	18,82	5,228	14,7
Heinän olki	149	613	95,2	16,16	4,489	15,6
Pahvi	73	642	83,6	15,44	4,289	8,8
Sanomalehtipaperi	61	771	89,9	18,21	5,059	5,8
Aikakauslehtipaperi	89	671	75,6	13,54	3,761	6,0

Taulukko 2. Sekoitetuista raaka-aineista valmistettujen pellettien ominaisuudet.

Raaka-aine	Seossuhde	Raaka-aineen irtotiheys, g/l	Pellettien irtotiheys, g/l	Mekaaninen kestävyys, %	Lämpöarvo, MJ/kg	Energiaa, MWh/t	Kosteus, %
Kauran olki/Puru	75/25	82	503	93,7	16,59	4,609	13,5
Hake/Kauran olki	25/75	78	581	91,6	17,18	4,773	13,7
Hake/Ruokohelpi	25/75	118	514	72,3	17,95	4,987	8,0
Ruokohelpi/Hamppu	50/50	125	532	84,3	17,52	4,867	9,7
Hake/Ruokohelpi	80/20	216	556	98,2	18,76	5,212	9,2
Turve/Puru	50/50	160	568	93,1	18,25	5,07	15,2

Taulukko 3. Lisäaineilla valmistettujen pellettien ominaisuudet.

Raaka-aine	Seossuhde	Raaka-aineen irtotiheys, g/l	Pellettien irtotiheys, g/l	Mekaaninen kestävyys, %	Lämpöarvo, MJ/kg	Energiaa, MWh/t	Kosteus, %
Hake/Ruokohelpi /Glyseroli	76/19/5	226	352	78,5	17,55	4,875	11,1
Hake/Ruokohelpi /Perunamäski	75/20/5	219	532	97,9	18,07	5,02	12,6
Hake/Ruokohelpi /Perunatärkkelys	75/20/5	208	488	94,2	17,97	4,992	
Puru/Nollakuitu	95/5	101	572	97,4	17,95	4,987	13,1



Taulukko 4. Muovilisäyksellä valmistettujen pellettien ominaisuudet.

Raaka-aine	Seossuhde	Raaka-aineen irtotiheys, g/l	Pellettien irtotiheys, g/l	Mekaaninen kestävyys, %	Lämpöarvo, MJ/kg	Energiaa, MWh/t	Kosteus, %
Muovi/Hake	5/95	137	384	82,1	18,91	5,253	13,2
Muovi/Puru	5/95	94	593	96,0	19,45	5,403	9,6
Muovi/Olki/Hake	5/45/50	123	491	96,8	18,99	5,275	11,9
Muovi/Olki/Hake	5/30/65	139	514	95,3	19,63	5,453	10,4
Muovi/Olki/Hake	10/40/50	130	471	95,4	20,48	5,689	9,9

Taulukko 5. Pellettipuristimen energiankulutus eri raaka-aineilla.

Raaka-aine	Energiankulutus, MWh/t
Ruokohelppi	0,1673
Puru/Ruokohelppi	0,1300
Ruokohelppi/Hake/Kaura	0,0764
Ruokohelppi/Hake	0,1319
Hamppu/Ruokohelppi	0,1012
Hake/Kauran olki	0,1233
Hake/Kauran olki/Hamppu	0,1358
Hake	0,1302
Puru	0,1522
Hake/Ohran olki	0,1697
Hake/Ruokohelppi/Glyseroli	0,1736
Hake/Ruokoh./Perunamäski	0,2038
Hake/Kauran olki/Kaoliini	0,1814
Turve	0,1898
Turve/Puru	0,2492
Heinän olki	0,1438
Kiiltävä mainospaperi	0,9707
Muovi/Olki/Hake	0,1754
Puru/Nollakuitu	0,1735
Olki/Kaoliini	0,2492
Keskiarvo	0,2014

5. Polttokokeiden tulokset

Pellettien polttokokeet tehtiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikössä. Lämpöarvot määritettiin Oulun yliopiston kemian laitoksella.

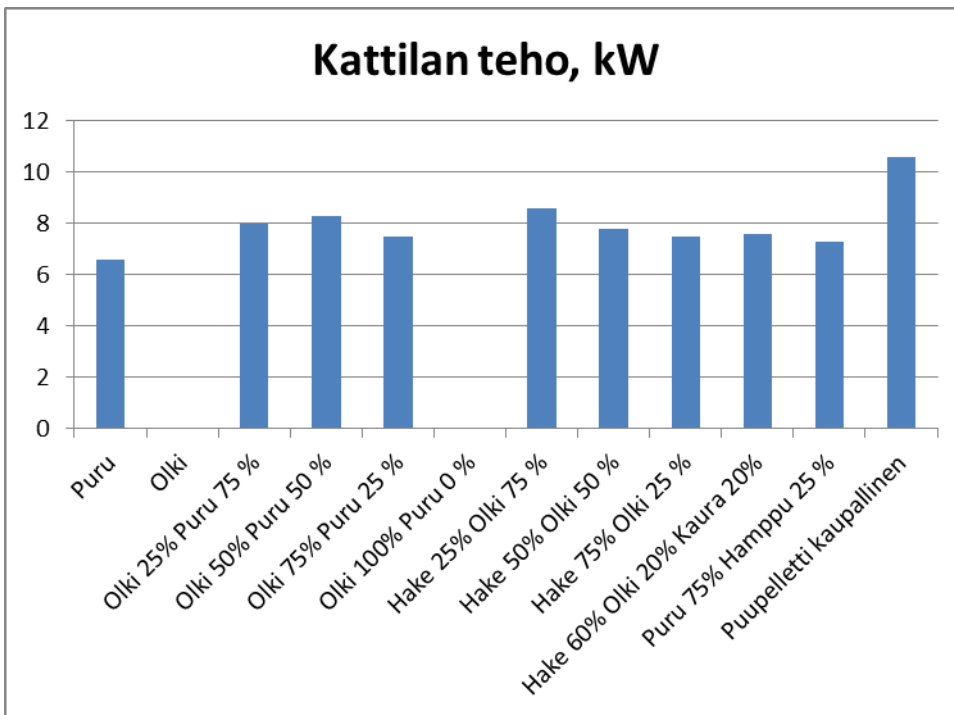
Kattilan teho

Molemmissa kokeissa käytettiin samaa 20 kW:n nimellistehoista kattilaa. Taulukossa 6 ja kuvassa 2 ovat kuppimallin polttimella saadut tulokset kattilan tehoista. Taulukossa 7 ja kuvassa 3 vastaavat tulokset pyöriväärinlaisella polttimella.



Taulukko 6. Kuppimallisella polttimella saavutetut kattilan tehot.

Pellettilaatu	Kattilan teho, kW
Puru	6,6
Olki	
Olki 25% Puru 75 %	8
Olki 50% Puru 50 %	8,3
Olki 75% Puru 25 %	7,5
Olki 100% Puru 0 %	
Hake 25% Olki 75 %	8,6
Hake 50% Olki 50 %	7,8
Hake 75% Olki 25 %	7,5
Hake 60% Olki 20% Kaura 20%	7,6
Puru 75% Hamppu 25 %	7,3
Puupelletti kaupallinen	10,6

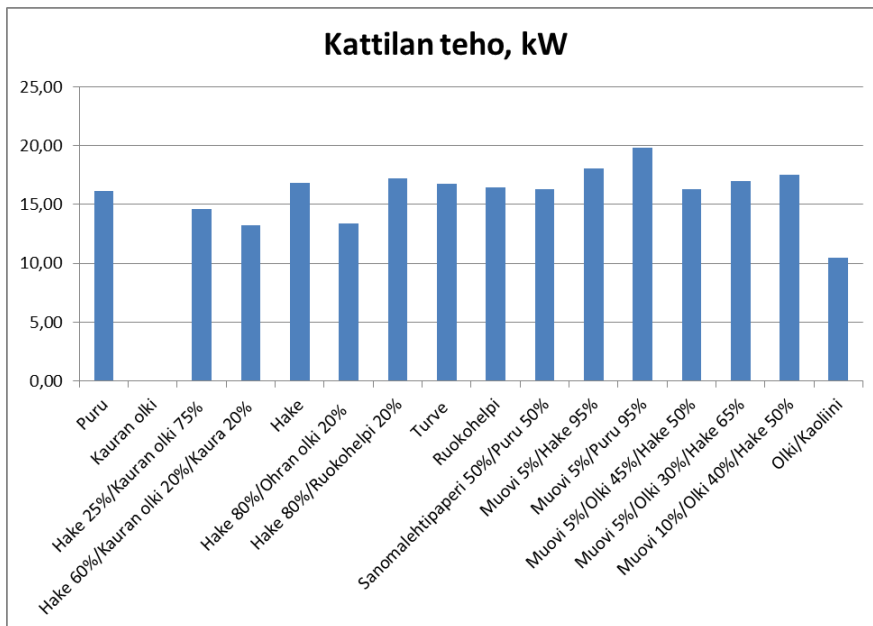


Kuva 3. Kuppimallisella polttimella saavutetut kattilan tehot.



Taulukko 7. Pyöriväärinlaisella polttimella saavutetut kattilan tehot.

Pellettilaatu	Kattilan teho, kW
Puru	16,14
Kauran olki	-
Hake 25%/Kauran olki 75%	14,65
Hake 60%/Kauran olki 20%/Kaura 20%	13,22
Hake	16,87
Hake 80%/Ohran olki 20%	13,37
Hake 80%/Ruokohelppi 20%	17,19
Turve	16,78
Ruokohelppi	16,47
Sanomalehtipaperi 50%/Puru 50%	16,28
Muovi 5%/Hake 95%	18,09
Muovi 5%/Puru 95%	19,82
Muovi 5%/Olki 45%/Hake 50%	16,27
Muovi 5%/Olki 30%/Hake 65%	17,00
Muovi 10%/Olki 40%/Hake 50%	17,50
Olki/Kaoliini	10,49



Kuva 3. Pyöriväärinlaisen polttimella saavutetut kattilan tehot.

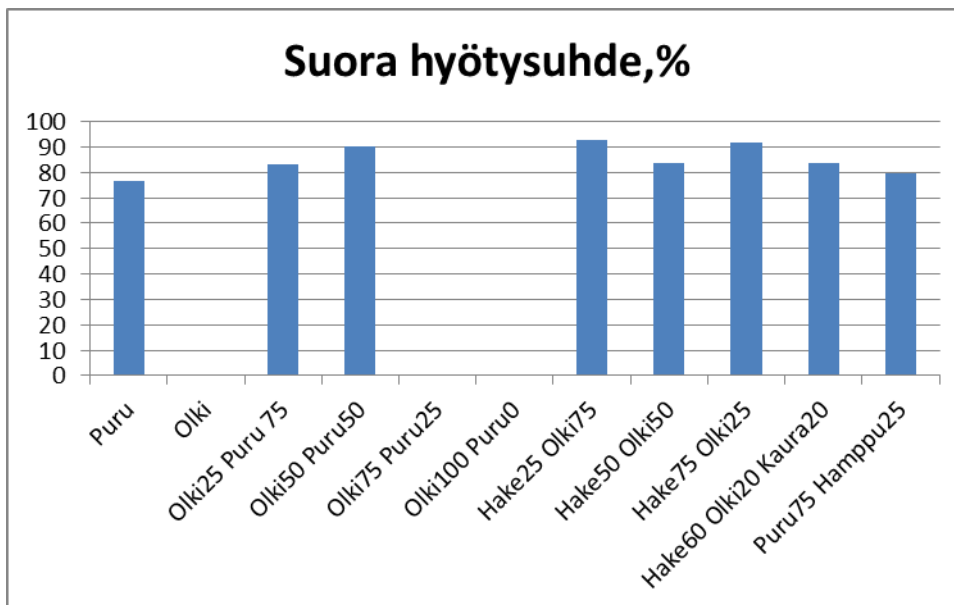
Suora hyötysuhde

Suora hyötysuhde kuvaa saadun energian suhdetta kattilaan syötettyyn energiaan. Taulukossa 8 ja kuvassa 4 ovat kuppimallin polttimella saadut tulokset suorista hyötysuhteista. Taulukossa 9 ja kuvassa 5 vastaavat tulokset pyöriväärinlaisella polttimella.



Taulukko 8. Kuppimallisella polttimella saadut suorat hyötysuhteet

Raaka-aineet	Suora hyötysuhde, %
Puru	76,51
Olki	
Olki25 Puru 75	83,42
Olki50 Puru50	90,01
Olki75 Puru25	
Olki100 Puru0	
Hake25 Olki75	92,68
Hake50 Olki50	83,57
Hake75 Olki25	91,84
Hake60 Olki20 Kaura20	83,53
Puru75 Hamppu25	79,85

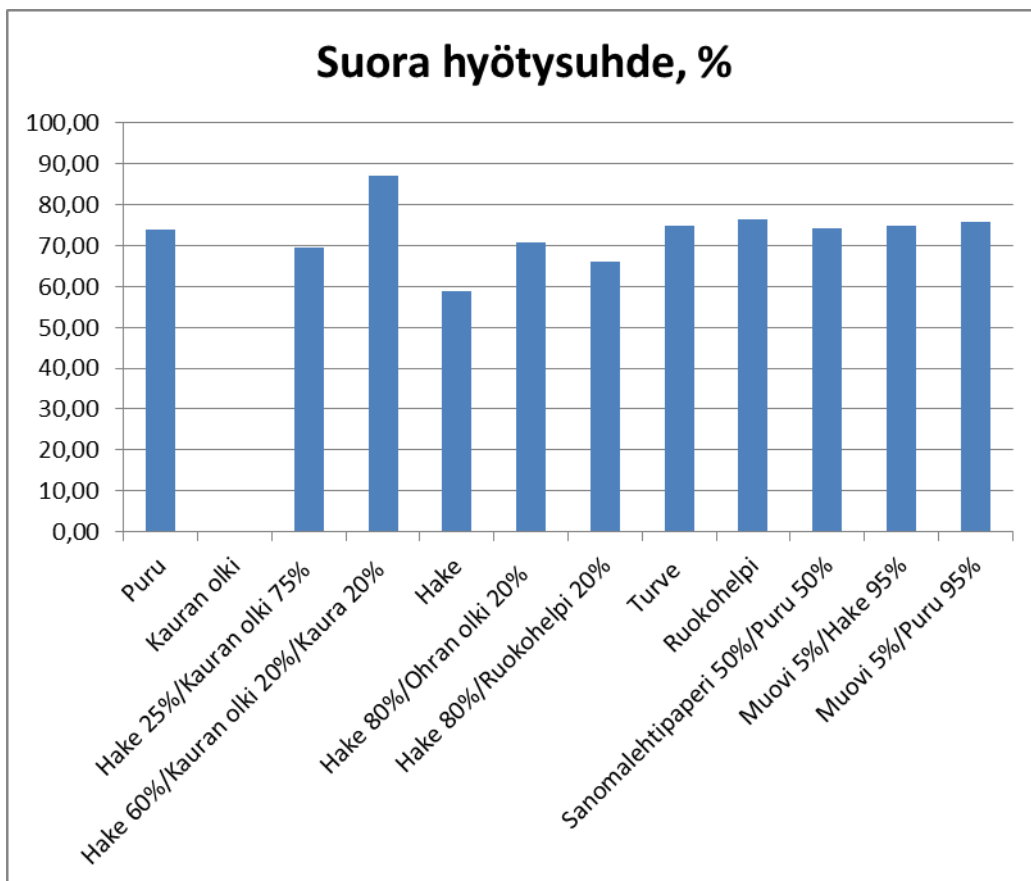


Kuva 4. Kuppimallisella polttimella saadut suorat hyötysuhteet.



Taulukko 9. Pyöriväärinlaisella polttimella saadut suorat hyötysuhteet.

	Suora hyötysuhde, %
Puru	73,76
Kauran olki	-
Hake 25%/Kauran olki 75%	69,39
Hake 60%/Kauran olki 20%/Kaura 20%	87,03
Hake	58,88
Hake 80%/Ohran olki 20%	70,64
Hake 80%/Ruokohelppi 20%	66,01
Turve	74,91
Ruokohelppi	76,24
Sanomalehtipaperi 50%/Puru 50%	74,31
Muovi 5%/Hake 95%	74,77
Muovi 5%/Puru 95%	75,71



Kuva 5. Pyöriväärinlaisen polttimella saadut suorat hyötysuhteet

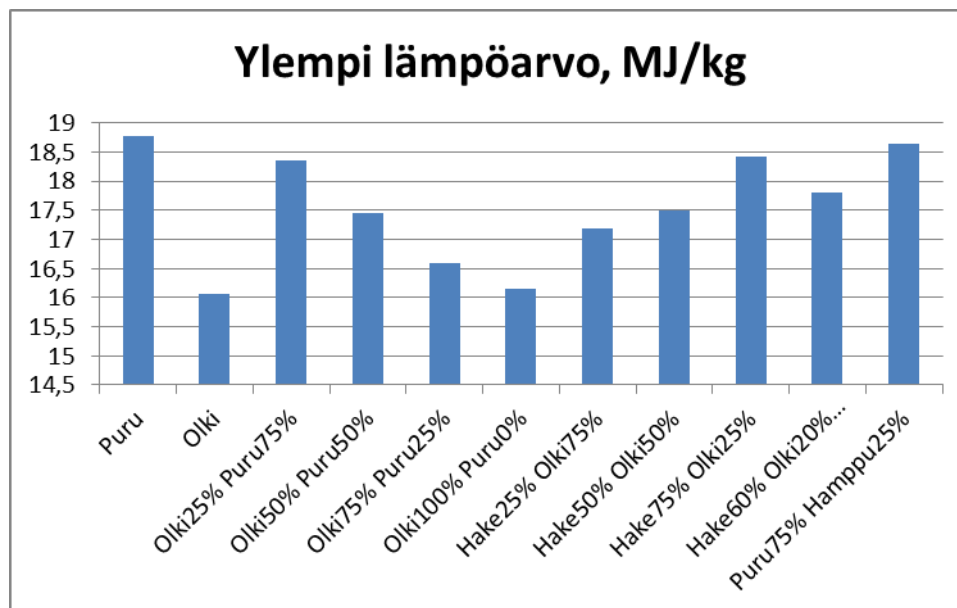


Lämpöarvot

Lämpöarvo antaa kuvan siitä, paljonko energiaa pelleteissä on. Poltetuista pelleteistä määritettiin ylempät lämpöarvot Oulun yliopistolla. Taulukossa 10 ja kuvassa 6 ovat kuppimallin polttimella saadut tulokset lämpöarvoista. Taulukossa 11 ja kuvassa 7 vastaavat tulokset pyöriväärinlaisella polttimella.

Taulukko 10. Kuppimallisella polttimella poltettujen pellettien ylempät lämpöarvot.

Raaka-aineet	Lämpöarvo, MJ/kg
Puru	18,77
Olki	16,07
Olki25% Puru75%	18,36
Olki50% Puru50%	17,46
Olki75% Puru25%	16,59
Olki100% Puru0%	16,16
Hake25% Olki75%	17,18
Hake50% Olki50%	17,50
Hake75% Olki25%	18,41
Hake60% Olki20% Kaura20%	17,80
Puru75% Hamppu25%	18,65

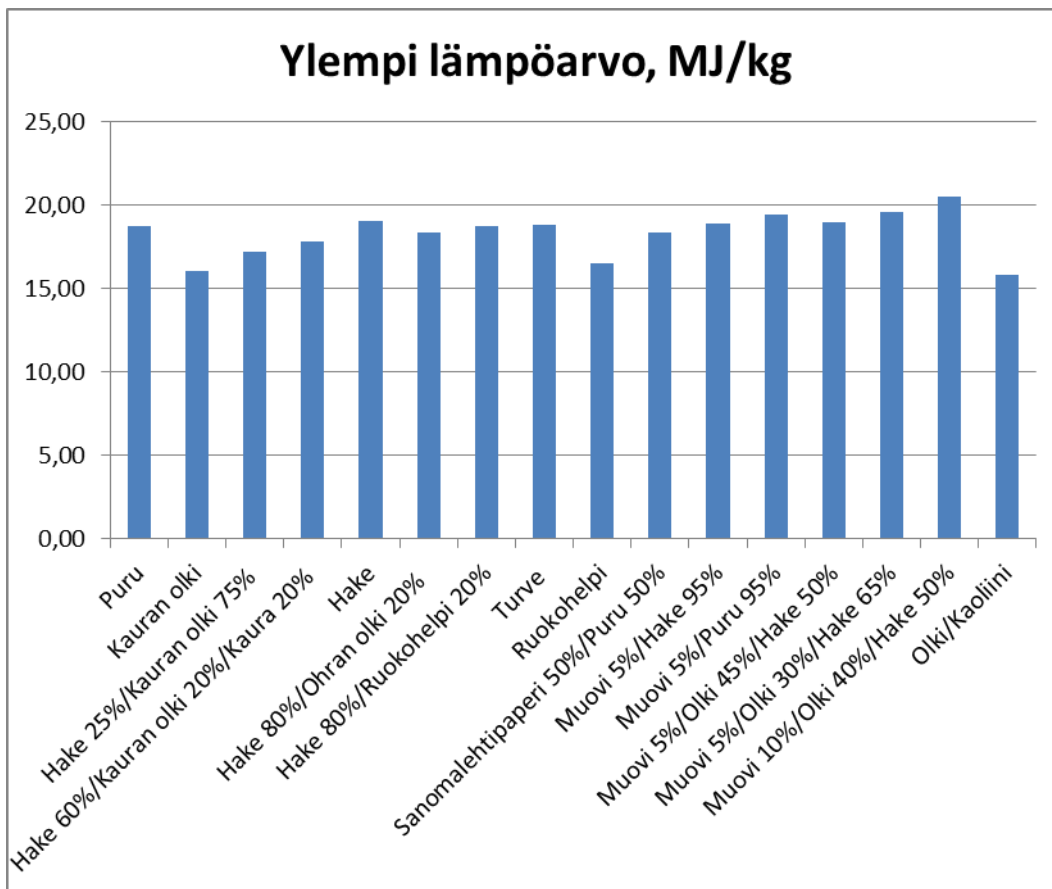


Kuva 6. Kuppimallisella polttimella saadut ylempät lämpöarvot.



Taulukko 11. Pyöriväärinlaisella polttimella poltettujen pellettien ylempät lämpöarvot.

	Ylempi lämpöarvo, MJ/kg
Puru	18,77
Kauran olki	16,07
Hake 25%/Kauran olki 75%	17,18
Hake 60%/Kauran olki 20%/Kaura 20%	17,80
Hake	19,02
Hake 80%/Ohran olki 20%	18,37
Hake 80%/Ruokohelppi 20%	18,76
Turve	18,82
Ruokohelppi	16,50
Sanomalehtipaperi 50%/Puru 50%	18,37
Muovi 5%/Hake 95%	18,91
Muovi 5%/Puru 95%	19,45
Muovi 5%/Olki 45%/Hake 50%	18,99
Muovi 5%/Olki 30%/Hake 65%	19,63
Muovi 10%/Olki 40%/Hake 50%	20,48
Olki/Kaoliini	15,84



Kuva 7. Pyöriväärinlaisella polttimella saadut ylempät lämpöarvot.



Savukaasujen CO- (hiilimonoksidi eli häkä) ja NO- (typpimonoksidi) pitoisuudet

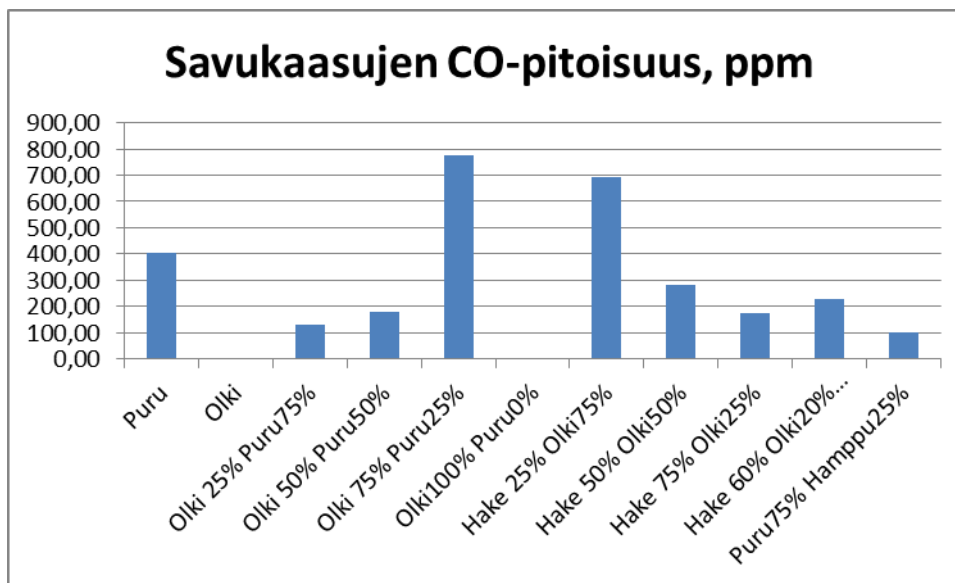
Polttoaineen poltossa savukaasujen koostumus kertoo itse poltosta ja polttoaineen ominaisuuksista. Savukaasujen häkäpitoisuudet polton aikana ovat korkeimmillaan polton alussa ja lopussa. Jos pitoisuudet ovat korkealla koko polton ajan, palaa polttoaine epätäydellisesti.

Typpiyhdisteiden määrä puolestaan johtuu enimmäkseen polttoaineen koostumuksesta. Korkeat typpiyhdistepitoisuudet ovat ympäristölle haitallisia.

Taulukossa 12 ja kuvissa 8 ja 9 ovat kuppimallin polttimella saadut tulokset CO- ja NO-pitoisuuksista. Taulukossa 13 ja kuvissa 10 ja 11 vastaavat tulokset pyöriväärinlaisella polttimella.

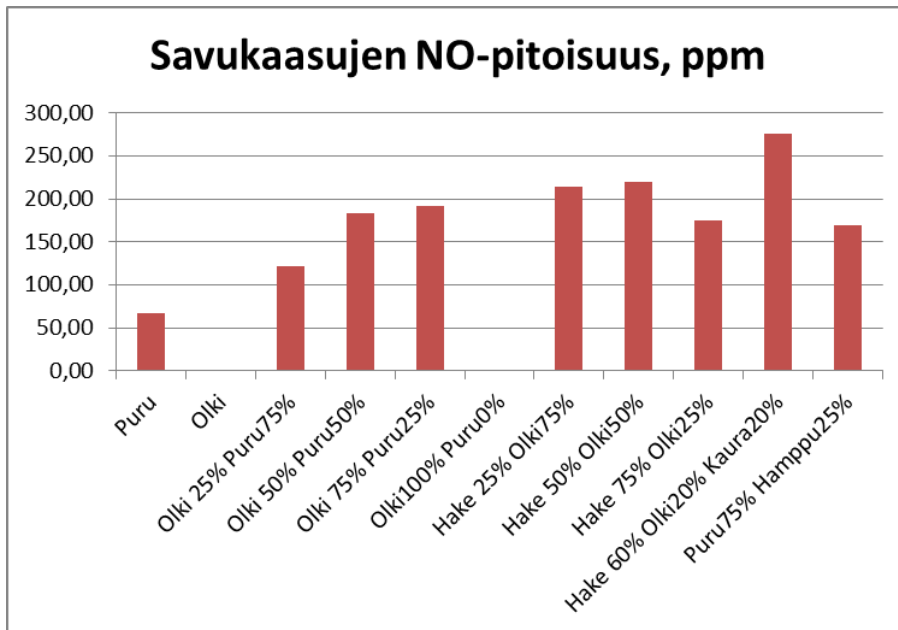
Taulukko 12. Savukaasujen CO- ja NO-pitoisuudet kuppimallisella polttimella.

	CO ppm	NO ppm
Puru	402,00	67,00
Olki		
Olki 25% Puru75%	131,00	122,00
Olki 50% Puru50%	180,00	183,00
Olki 75% Puru25%	778,00	192,00
Olki100% Puru0%		
Hake 25% Olki75%	692,00	214,00
Hake 50% Olki50%	282,00	220,00
Hake 75% Olki25%	175,00	175,00
Hake 60% Olki20% Kaura20%	226,00	276,00
Puru75% Hamppu25%	100,00	169,00



Kuva 8. Savukaasujen CO-pitoisuus kuppimallisella polttimella.



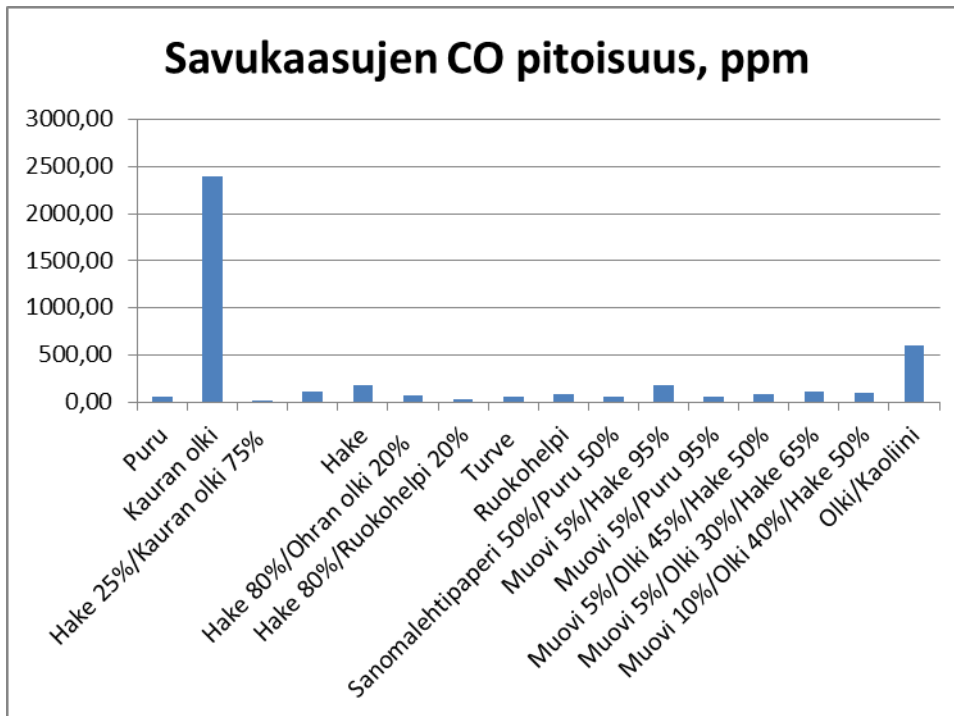


Kuva 9. Savukaasujen NO-pitoisuus kuppimallisella polttimella.

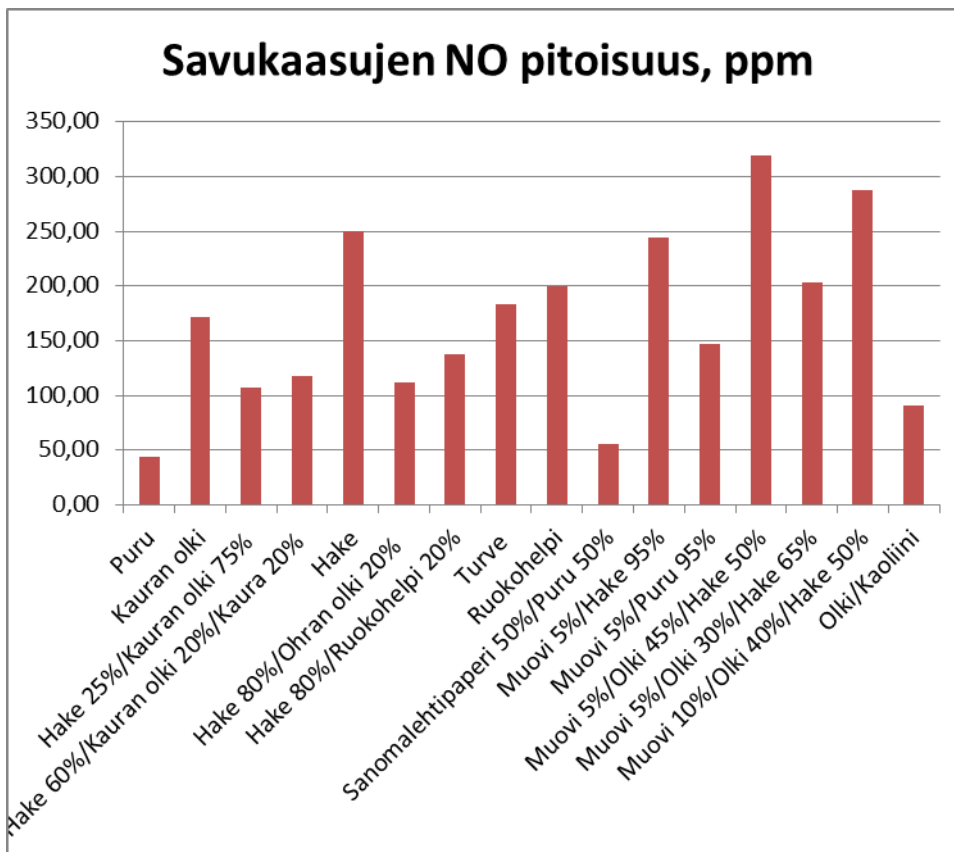
Taulukko 13. Savukaasujen CO- ja NO-pitoisuudet pyöriväärinlaisella polttimella.

	CO ppm	NO ppm
Puru	61,74	44,37
Kauran olki	2396,00	172,00
Hake 25%/Kauran olki 75%	10,50	107,60
Hake 60%/Kauran olki 20%/Kaura 20%	109,50	118,00
Hake	180,60	250,20
Hake 80%/Ohran olki 20%	65,60	111,40
Hake 80%/Ruokohelppi 20%	26,74	137,42
Turve	51,29	182,84
Ruokohelppi	86,42	199,50
Sanomalehtipaperi 50%/Puru 50%	63,40	55,25
Muovi 5%/Hake 95%	179,34	244,00
Muovi 5%/Puru 95%	54,25	146,94
Muovi 5%/Olki 45%/Hake 50%	83,67	319,33
Muovi 5%/Olki 30%/Hake 65%	118,59	202,83
Muovi 10%/Olki 40%/Hake 50%	104,62	287,12
Olki/Kaoliini	599,10	90,13





Kuva 10. Savukaasujen CO-pitoisuus pyöriväärinlaisella polttimella.



Kuva 11. Savukaasujen NO-pitoisuus pyöriväärinlaisella polttimella.

Polttokokeista on tekeillä Oulun seudun ammattikorkeakoulussa kaksi opinnäytetyötä, joissa tullaan käsittelemään ja analysoimaan saatuja tuloksia yksityiskohtaisemmin. Toisen tekijöinä ovat Kari Kallio, Niilo Krekula ja Sami Savolainen ja se käsittelee kuppimallisella polttimella tehtyjä



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus

polttokokeita. Toisen opinnäytetyön tekijä on Minni Kukkonen ja se käsittelee pellettien polttoa pyöriväärinlaisella polttimella.

6. Tulosten tarkastelu

Suomen standardisoimisliitto SFS on julkaissut kiinteille polttoaineille sovitut laatuluokitukset. Luokituksen tarkoituksena on selvittää millaisesta polttoaineesta on kysymys ja helpottaa kiinteiden polttoaineiden kauppaa. Jää nähtäväksi, toimiiko luokitus kaupan edistäjänä vai tuleeko siitä byrokraattinen rahastussysteemi. Kiinteiden polttoaineiden laatuluokitus on julkaistu standardeina SFS-EN 14961 osat 1 – 6.

Luokituksessa Ei-teollisuuskäyttöön tarkoitettujen puupellettien parhaimmassa luokassa käytetään vain runkopuuta ja kemiallisesti käsittelemätöntä puutähdettä. Ominaisuuksiltaan tämän luokan pelleteissä mm. kosteuden pitää olla alle 10 %, tuhkapitoisuuden alle 0,7 p-%, mekaanisen kestävyys yli 97,5 %, irtotiheyden yli 600 g/l ja tehollisen lämpöarvon välillä 16,5 - 19 MJ/kg. Alin luokka sallii raaka-aineinaan myös käytöstä poistettua puuta, sivutuotteita ja puutähdettä puunjalostusteollisuudesta. Ominaisuuksiltaan tämän luokan pelleteissä mm. kosteuden pitää olla alle 10 %, tuhkapitoisuuden alle 3,0 p-%, mekaanisen kestävyys yli 96,5 %, irtotiheyden yli 600 g/l ja tehollisen lämpöarvon välillä 16,0 - 19 MJ/kg.

Luokituksessa kasvi- ja hedelmäbiomassasta sekä sekoituksista ja seoksista valmistettujen pellettien raaka-ainepohja voi olla laajempi. Ominaisuuksiltaan tämän luokan parhaissa pelleteissä mm. kosteuden pitää olla alle 12 %, tuhkapitoisuuden alle 5,0 p-%, mekaanisen kestävyys yli 97,5 % ja tehollisen lämpöarvon yli 14,1 MJ/kg. Alimmassa luokassa raaka-aineet ovat samanlaiset, mutta kriteerit väljemmät. Ominaisuuksiltaan tämän luokan pelleteissä mm. kosteuden pitää olla alle 15 %, tuhkapitoisuuden alle 10 p-%, mekaanisen kestävyys yli 96,0 %, irtotiheyden yli 600 g/l ja tehollisen lämpöarvon yli 13,2 MJ/kg.

Hankkeessa tehdyissä kokeissa pelletöiminen onnistui lähes kaikista kokeilluista materiaaleista. Saatujen pellettien ominaisuudet vaihtelivat raaka-aineesta ja sen ominaisuuksista riippuen. Ensiharvennuspuusta tehdyn hakkeen rangat oli kuivattu hyvin ja haketettu kuivimmalla mahdollisella kelillä, eikä haketta tarvinnut kuivata lisää ennen pelletöintiä. Ojien varsilta kerätystä puusta tehtyä haketta kuivattiin 20 kosteusprosentista alle 15 %:iin. Pelkästä hakkeesta tehdyt pelletit jäivät hauraammiksi, mutta pysyivät kuitenkin koossa. Irtotiheys oli n. 400 g/l. Sekoitusten, joissa oli hakkeen lisäksi olkea, ruokohelpeä tai hampun päistärettä, olivat mekaaniselta kestävyydeltään huomattavasti kestävämpiä ja pellettien irtotiheys oli suurempi.

Olki ja ruokohelpe pelletöityivät yksinäänkin hyvin ja pellettien irtotiheydessä päästiin lähes lukuun 600 g/l ja mekaanisessa kestävyudessa päästiin 95 – 98 %:iin. Pelletöityä olkea ja ruokohelpeä voidaan käyttää polton lisäksi myös kuivikkeena eläimillä.

Turve pelletöityi hyvin 8 mm läpimittaisiksi pelleteiksi, mutta se oli kuivattava 42 kosteusprosentista alle 15 %:iin. Turvepellettien irtotiheys oli korkea, 693 g/l ja mekaaninen kestävyys 91 %. Turvelle kokeiltiin myös 15 mm läpimittaisiksi pelleteiksi pelletöivää matriisia, mutta siinä ei onnistuttu.

Keräyspaperin pelletöinti tehtiin pahvilla, sanomalehdillä ja kiiltävällä mainospaperilla. Yksinäänkin keräyspaperin pelletöinti onnistuu, mutta sekoitettuna purumateriaaliin sen kulku pelletöintipuristimessa ja kuljettimissa oli helpompaa, pellettien irtotiheys ja mekaaninen kestävyys kasvoivat.



Lisäaineista glyserolia lisättiin hakkeen ja ruokohelven seokseen. Glyseroli haurastutti hieman pellettien rakennetta, irtotiheys jäi pieneksi ja mekaaninen kestävyys jäi matalaksi.

Rehupaalien muovi oli kokeissa lisäaine purulle, hakkeelle sekä oljen ja hakkeen sekoituksille. Paalimuovia käytettiin 5 % tai 10 % kokonaismassasta. Paalimuovi/hakepellettien irtotiheys ja mekaaninen kestävyys jäivät alhaiseksi. Paalimuovi/purupellettien irtotiheys oli liki 600 g/l ja mekaaninenkin kestävyys oli kohtuullisen hyvä 95 %. Paalimuovin, oljen ja hakkeen seoksista tehtyjen pellettien irtotiheys oli n. 500 g/l ja mekaaninen kestävyys n. 95 %. Paalimuovin piti olla hyvin sekoitettuna seoksessa. Jos muovimurske pääsi rikastumaan sekoituksissa, se jumitti helposti ruuvikuljettimen.

Paalimuoviahhan ei nykysäädöksillä saa polttaa muualla kuin jätteenpolttolaitoksissa, mutta maatiloilla paalimuovia kertyy melkoiset määrät ja hävittäminen tiloilla oikein poltettuna voisi olla vaihtoehtona toimiva.



Kuva 13. Pellettejä eri materiaaleista. Vasemmalla ylhäällä sanomalehdestä, keskellä hakkeesta ja oikealla ylhäällä kauran oljesta puristetut pelletit. Vasemmalta alhaalla ruokohelvestä, keskellä hakkeen ja oljen sekoituksesta ja oikealla alhaalla rehupaalimuovin, oljen ja hakkeen sekoituksesta puristetut pelletit. Kuva Ritva Impola.

Raaka-aineen saatavuus on pelletinvalmistajille haastavaa koska raaka-ainetta tulee epätasaisesti vuoden mittaan ja saatavuus voi ylipäättään olla riittämätöntä. Raaka-aineena olisi mahdollista käyttää myös muuta materiaalia.

Maatilojen yhteydessä ja lämpöyrittäjäkohteissa olevilla lämpölaitoksilla muusta kuin puumateriaalista valmistetut pelletit voisivat toimia energian lähteenä. Etenkin, kun polttotekniikka muillekin kuin puupelleteille jatkuvasti kehittyy.



Pelletöinnissä puristimen energiankulutusta verrattiin eri raaka-ainemateriaaleilla. Selvästi eniten energiaa puristimella kului valmistettaessa pellettejä mainospaperista ja selvästi vähiten raaka-aineen ollessa olki/hake/kauran jyvä –sekoitus. Ilman näitä ääripäitä pellettipuristin vaati energiaa n. 166 kWh raaka-ainetonnin kohti.

Tehdyissä polttokokeissa puhdas olkipelletti oli kattilalle haastava materiaali. Kuppimallisella polttimella olkipellettejä ei saatu kunnolla palamaan ja pyöriväärinlaisellakin polttimella poltossa oli ongelmia. Sekoituspelletit, joissa oli eri suhteissa olkea ja purua tai haketta, sen sijaan paloivat kohtalaisen hyvin.

Kattilan teho kuppimallisella polttimella oli 6,6 – 8,6 kW (20 kW nimellistehon kattila) ja pyöriväärinlaisella polttimella 10,49 – 19,82 kW.

Lämpöarvot olivat puupelleteillä hieman korkeammat kuin muista materiaaleista tehdyillä pelleteillä paitsi sekoituksilla, joissa oli rehupaalimuovia mukana. Muovilisä nosti pellettien lämpöarvoa.

Savukaasujen CO-pitoisuudet olivat suurimmat olkimateriaalilla sekä kuppimallisella että pyöriväärinlaisella polttimella. NO-pitoisuudet olivat korkeimmat hakemateriaalista tehdyillä pelleteillä.

7. Yhteenveto

Tehdyt kokeet osoittivat, että pellettien mahdollinen raaka-ainepohja on laajempi kuin käytössä yleisesti oleva. Peltopohjaisten pellettien lämpöarvo on jonkin verran matalampi kuin puupohjaisilla pelleteillä ja peltopohjaisten pellettien poltto on haastavampaa kuin puupohjaisten pellettien. Tekniikan kehittymisen myötä nämä ongelmat ovat ratkaistavissa. Toisaalta pellettien raaka-aineiden sekoitussuhteilla voidaan vaikuttaa pellettien laatuun niin, että saadaan laatukriteerit täyttäviä pellettejä vaihtoehtoisestakin materiaalista.

8. Lähteet

Alakangas E., 2000: Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita 2045.

Obernberger I. ja Thek G., 2010: The Pellet Handbook The production and thermal utilization of biomass pellets. Earthscan.

Ylitalo E., 2013: Puupelletit 2012. Metsätalastiedote 8/2013. Metsäntutkimuslaitos, Metsätalastollinen tietopalvelu.

Lötjönen, T., Kouki, J. ja Vuorio, K., 2011: Korsibiomassojen tuotantoketjut ja energiantuotanto kokopaalikattilalla. MTT Raportti 19.

Suomen standardisoimisliitto, 2011: SFS-EN 14961-1. Kiinteät biopolttoaineet. Polttoaineen laatuvaatimukset ja –luokat. Osa 1: Yleiset vaatimukset.

Suomen standardisoimisliitto, 2011: SFS-EN 14961-2. Kiinteät biopolttoaineet. Polttoaineen laatuvaatimukset ja –luokat. Osa 2: Puupelletit ei-teollisuuskäyttöön.



Suomen standardisoimisliitto, 2012: SFS-EN 14961-2. Kiinteät biopolttoaineet. Polttoaineen laatuvaatimukset ja -luokat. Osa 6: Ei-puupohjaiset pelletit ei-teollisuuskäyttöön.



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus

Liite 1

Taulukko 14a. Pelletöintikokeiden tulokset, perustiedot.

Ajo-numero	Raaka-aineet	Sekoitus-suhde %	Sideaine / lisäaine	Sideaineen/lisäaineen osuus, %	Vasara myllyn seula, mm	Matriisi, kanavan halkaisija/vahvuus, mm
1	Puru	100			6	8/55
2	Hake/Puru	33,33/66,66			6	8/55
3	Hake/Puru	33,33/66,66			6	8/40
4	Puru	100			6	8/40
5	Puru	100			6	8/55
6	Kauran olki	100			6	8/55
7	Kauran olki/Puru	25/75			6	8/55
8	Kauran olki/Puru	50/50			6	8/55
9	Kauran olki/Puru	75/25			6	8/55
10	Kauran olki	100			6	8/55
11	Hake/Kauran olki	25/75			6	8/55
12	Hake/Kauran olki	50/50			6	8/55
13	Hake/Kauran olki	75/25			6	8/55
14	Hake	100			6	8/55
15	Hake/Kauran olki	50/50			6	8/40
16	Hamppu/puru	50/50			6	8/55
17	Hake/Kauran olki/Kaura	60/20/20			6	8/55
18	Puru/Hamppu	75/25			6	8/55
19	Ruokohelpi	100			6	8/55
20	Hake/Ruokohelpi	50/50			6	8/55
21	Hake/Ruokohelpi	25/75			6	8/55
22	Puru/Ruokohelpi	50/50			6	8/55
23	Ruokohelpi/Hamppu	50/50			6	8/55
24	Ruokohelpi/Hake/Kaura	50/40/10			6	8/55
25	Ruokohelpi/Hake	74/24	Lignosulfonaatti	2	6	8/55
26	Hamppu/Ruokohelpi	49/49	Lignosulfonaatti	2	6	8/55
27	Hake/Kauran olki/Kaura	59/29/10	Lignosulfonaatti	2	6	8/55
28	Hake/Kauran olki	65/33	Lignosulfonaatti	2	6	8/55
29	Hake/Kauran olki/Hamppu	50/25/25			6	8/55
31	Puru	98	Lignosulfonaatti	2	6	8/55
32	Hake	100			6	8/35
33	Hake	98	Lignosulfonaatti	2	6	8/35
34	Hake	95	Lignosulfonaatti	5	6	8/35
35	Hake/Hamppu	49/49	Lignosulfonaatti	2	6	8/35
36	Hake	100			3	8/35
37	Puru	100			3	8/55
38	Hake	100			5	8/35
39	Puru	100			5	8/55



Liite 1

Taulukko 14b. Pelletöintikokeiden tulokset, perustiedot.

Ajo-numero	Raaka-aineet	Sekoitus-suhde %	Sideaine / lisäaine	Sideaineen/lisäaineen osuus, %	Vasara myllyn seula, mm	Matriisi, kanavan halkaisija/vahvuus, mm
41	Hake/Ruokohelppi	80/20			6	8/55
42	Hake/Ruokohelppi/Glyseroli	73/18/9	Glyseroli	10	6	8/55
43	Hake/Ruokohelppi/Glyseroli	76,2/19/4,8	Glyseroli	5	6	8/55
44	Hake/Ruokoh./Perunamäski	70/20/10	Perunamäski	10	6	8/55
45	Hake/Ruokoh./Perunamäski	75/20/5	Perunamäski	5	6	8/55
46	Hake/Ruokohelppi	80/20			6	8/55
47	Hake/Ruokohelppi/Perunatärk.	75/20/5	Perunatärkkelys	5	6	8/55
48	Hake/Kauran olki/Kaoliini	73,5/25/1,5	Kaoliini	1,5	6	8/55
49	Turve	100			6	8/55
50	Turve/Puru	50/50			6	8/55
51	Heinän olki	100			6	8/55
52	Heinän olki	100			6	8/55
53	Heinän olki	100			4	8/55
54	Ruokohelppi	100			6	8/55
55	Pahvi	100			6	8/55
56	Pahvi/Puru	50/50			6	8/55
57	Sanomalehtipaperi	100			6	8/55
58	Sanomalehtipaperi/puru	50/50			6	8/55
59	Kiiltävä mainospaperi	100			6	8/55
60	Muovi/Hake	5/95			6	8/55
61	Muovi/Puru	5/95			6	8/55
62	Muovi/Olki/Hake	5/45/50			6	8/55
63	Muovi/Olki/Hake	5/30/65			6	8/55
64	Muovi/Olki/Hake	10/40/50			6	8/55
65	Puru/Nollakuitu	90/10	Nollakuitu	10	6	8/55
66	Puru/Nollakuitu	95/5	Nollakuitu	5	6	8/55
67	Puru/Nollakuitu	98/2	Nollakuitu	2	6	8/55
68	Puru				6	8/55
69	Olki/Kaoliini	98,5/1,5	Kaoliini	1,5	6	8/55



Liite 2

Taulukko 15a. Pelletöintikokeiden tulokset, irtotiheydet.

Ajonumero	Raaka-aineet	Seossuhde %	Raaka-aineen irtotiheys, g/l	Pellettien irtotiheys, g/l
1	Puru	100	119.8	622.4
2	Hake/Puru	33,33/66.66	136.7	
3	Hake/Puru	33,33/66,66	136.7	529.8
4	Puru	100	94.775	533.9
5	Puru	100	126.1	558.0
6	Kauran olki	100	68.64	535.7
7	Kauran olki/Puru	25/75	107.09	
8	Kauran olki/Puru	50/50	89.44	556.06
9	Kauran olki/Puru	75/25	81.81	502.72
10	Kauran olki	100	71,38	476.32
11	Hake/Kauran olki	25/75	78,14	580.60
12	Hake/Kauran olki	50/50	108.66	522.66
13	Hake/Kauran olki	75/25	128.86	471.92
14	Hake	100		
15	Hake/Kauran olki	50/50	89.8	401.01
16	Hamppu/puru	50/50	116.53	
17	Hake/Kauran olki/Kaura	60/20/20	184.68	450.76
18	Puru/Hamppu	75/25	99.72	581.17
19	Ruokohelpi	100	102.70	502.40
20	Hake/Ruokohelpi	50/50		
21	Hake/Ruokohelpi	25/75	118.35	513.53
22	Puru/Ruokohelpi	50/50	101.04	574.86
23	Ruokohelpi/Hamppu	50/50	124.92	532.20
24	Ruokohelpi/Hake/Kaura	50/40/10	185.91	471.60
25	Ruokohelpi/Hake	74/24	135.81	543.66
26	Hamppu/Ruokohelpi	49/49	132.85	547.99
27	Hake/Kauran olki/Kaura	59/29/10	168.88	491.03
28	Hake/Kauran olki	65/33	147.94	519.29
29	Hake/Kauran olki/Hamppu	50/25/25	138.14	558.60
30	Hake/Kauran olki/Hamppu	49/24/25	136.30	529.77
31	Puru	98		
32	Hake	100	231,03	412,99
33	Hake	98	239,05	413,26
34	Hake	95	239,02	402,91
35	Hake/Hamppu	49/49	168,31	499,17
36	Hake	100	219,80	419,18
37	Puru	100	117,69	586,67
38	Hake	100	254,09	396,28
39	Puru	100	114,64	611,78



Liite 2

Taulukko 15b. Pelletöintikokeiden tulokset, irtotiheydet.

Ajonumero	Raaka-aineet	Seossuhde %	Raaka-aineen irtotiheys, g/l	Pellettien irtotiheys, g/l
40	Hake/Ohran olki	80/20	183,50	485,02
41	Hake/Ruokohelpi	80/20	216,30	556,38
42	Hake/Ruokohelpi/Glyseroli	73/18/9	219,30	379,80
43	Hake/Ruokohelpi/Glyseroli	76,2/19/4,8	226,25	351,97
44	Hake/Ruokoh./Perunamäski	70/20/10	196,52	479,83
45	Hake/Ruokoh./Perunamäski	75/20/5	219,06	532,35
46	Hake/Ruokohelpi	80/20		
47	Hake/Ruokohelpi/Perunatärkk	75/20/5	207,52	488,44
48	Hake/Kauran olki/Kaoliini	73,5/25/1,5	173,65	546,78
49	Turve	100	221,73	693,94
50	Turve/Puru	50/50	159,70	567,81
51	Heinän olki	100	160,07	485,34
52	Heinän olki	100	149,10	612,62
53	Heinän olki	100		436,20
54	Ruokohelpi	100	100,55	575,50
55	Pahvi	100	73,35	641,90
56	Pahvi/Puru	50/50	80,00	737,42
57	Sanomalehtipaperi	100	60,89	770,50
58	Sanomalehtipaperi/puru	50/50	101,55	737,20
59	Kiiltävä mainospaperi	100	89,25	670,74
60	Muovi/Hake	5/95	137,30	383,70
61	Muovi/Puru	5/95	93,57	593,10
62	Muovi/Olki/Hake	5/45/50	122,79	490,78
63	Muovi/Olki/Hake	5/30/65	139,21	514,37
64	Muovi/Olki/Hake	10/40/50	129,65	471,02
65	Puru/Nollakuitu	90/10	102,68	493,44
66	Puru/Nollakuitu	95/5	100,95	571,55
67	Puru/Nollakuitu	98/2	99,51	625,99
68	Puru		78,64	622,91
69	Olki/Kaoliini	98,5/1,5	81,57	588,87



Liite 3

Taulukko 16a. Pelletöintikokeiden tulokset, pellettien kosteudet ja ylemmät lämpöarvot.

Ajo-numero	Raaka-aineet	Seossuhde %	Pellettien kosteus, %	Ylempi lämpöarvo, MJ/kg	Energiaa, MWh/t
1	Puru	100	9,29		
2	Hake/Puru	33,33/66,66			
3	Hake/Puru	33,33/66,66	10,54		
4	Puru	100	9,51	19,62	5,45
5	Puru	100	12,43	18,77	5,21
6	Kauran olki	100	11,51	16,07	4,46
7	Kauran olki/Puru	25/75	10,79	18,36	5,10
8	Kauran olki/Puru	50/50	12,30	17,46	4,85
9	Kauran olki/Puru	75/25	13,54	16,59	4,61
10	Kauran olki	100	14,92	16,16	4,49
11	Hake/Kauran olki	25/75	13,70	17,18	4,77
12	Hake/Kauran olki	50/50	12,96	17,77	4,94
13	Hake/Kauran olki	75/25	12,06	18,41	5,11
14	Hake	100			
15	Hake/Kauran olki	50/50	14,12	17,5	4,86
16	Hamppu/puru	50/50			
17	Hake/Kauran olki/Kaura	60/20/20	11,25	17,8	4,94
18	Puru/Hamppu	75/25	8,18	18,65	5,18
19	Ruokohelppi	100	7,97	17,7	4,92
20	Hake/Ruokohelppi	50/50			
21	Hake/Ruokohelppi	25/75	7,99	17,95	4,99
22	Puru/Ruokohelppi	50/50	7,83	18,34	5,09
23	Ruokohelppi/Hamppu	50/50	9,68	17,52	4,87
24	Ruokohelppi/Hake/Kaura	50/40/10	8,87	17,87	4,96
25	Ruokohelppi/Hake	74/24	8,90	17,82	4,95
26	Hamppu/Ruokohelppi	49/49	9,51	17,35	4,82
27	Hake/Kauran olki/Kaura	59/29/10	10,03	17,82	4,95
28	Hake/Kauran olki	65/33	8,90	18,22	5,06
29	Hake/Kauran olki/Hamppu	50/25/25	9,62	17,98	4,99
30	Hake/Kauran olki/Hamppu	49/24/25	9,10	17,92	4,98
31	Puru	98		19,29	5,36
32	Hake	100	9,92	18,77	5,21
33	Hake	98	9,77	18,67	5,19
34	Hake	95	10,04	18,84	5,23
35	Hake/Hamppu	49/49	9,59	18,17	5,05
36	Hake	100	9,58	19,02	5,28
37	Puru	100	8,10	19,3	5,36
38	Hake	100	10,79	18,71	5,20
39	Puru	100	8,72	19,27	5,35



Liite 3

Taulukko 16b. Pelletöintikokeiden tulokset, pellettien kosteudet ja ylemmät lämpöarvot.

Ajo-numero	Raaka-aineet	Seossuhde %	Pellettien kosteus, %	Ylempi lämpöarvo, MJ/kg	Energiaa, MWh/t
40	Hake/Ohran olki	80/20	10,34	18,37	5,10
41	Hake/Ruokohelpi	80/20	9,21	18,76	5,21
42	Hake/Ruokohelpi/Glyseroli	73/18/9	13,16	18,66	5,18
43	Hake/Ruokohelpi/Glyseroli	76,2/19/4,8	11,13	17,55	4,88
44	Hake/Ruokoh./Perunamäski	70/20/10	14,42	17,51	4,86
45	Hake/Ruokoh./Perunamäski	75/20/5	12,57	18,07	5,02
46	Hake/Ruokohelpi	80/20			
47	Hake/Ruokohelpi/Perunatärk.	75/20/5		17,97	4,99
48	Hake/Kauran olki/Kaoliini	73,5/25/1,5	10,75	17,99	5,00
49	Turve	100	14,68	18,82	5,23
50	Turve/Puru	50/50	15,19	18,25	5,07
51	Heinän olki	100	16,43	16,11	4,48
52	Heinän olki	100	15,62	16,16	4,49
53	Heinän olki	100	13,84	16,52	4,59
54	Ruokohelpi	100	14,61	16,5	4,58
55	Pahvi	100	8,78	15,44	4,29
56	Pahvi/Puru	50/50	8,56	17,51	4,86
57	Sanomalehtipaperi	100	5,83	18,21	5,06
58	Sanomalehtipaperi/puru	50/50	6,82	18,37	5,10
59	Kiiltävä mainospaperi	100	6,00	13,54	3,76
60	Muovi/Hake	5/95	13,19	18,91	5,25
61	Muovi/Puru	5/95	9,56	19,45	5,40
62	Muovi/Olki/Hake	5/45/50	11,87	18,99	5,28
63	Muovi/Olki/Hake	5/30/65	10,44	19,63	5,45
64	Muovi/Olki/Hake	10/40/50	9,90	20,48	5,69
65	Puru/Nollakuitu	90/10	16,66	17,31	4,81
66	Puru/Nollakuitu	95/5	13,13	17,95	4,99
67	Puru/Nollakuitu	98/2	12,90	18,5	5,14
68	Puru		11,36	18,53	5,15
69	Olki/Kaoliini	98,5/1,5	15,06	15,84	4,40



Liite 4

Taulukko 17a. Pelletöintikokeiden tulokset, rummutuslujuudet ja tuhkapitoisuudet.

Ajo-numero	Raaka-aineet	Seos-suhde %	Rummutus-lujuus, %	Tuhkapitoisuus
1	Puru	100	94,96	0,26
2	Hake/Puru	33,33/66,66	-	-
3	Hake/Puru	33,33/66,66	-	0,54
4	Puru	100	86,08	0,21
5	Puru	100	95,06	0,22
6	Kauran olki	100	97,66	9,57
7	Kauran olki/Puru	25/75	91,72	1,23
8	Kauran olki/Puru	50/50	93,05	2,13
9	Kauran olki/Puru	75/25	93,65	3,23
10	Kauran olki	100	91,73	4,09
11	Hake/Kauran olki	25/75	91,56	3,09
12	Hake/Kauran olki	50/50	91,07	2,85
13	Hake/Kauran olki	75/25	86,04	1,95
14	Hake	100	-	-
15	Hake/Kauran olki	50/50	78,68	-
16	Hamppu/puru	50/50	-	-
17	Hake/Kauran olki/Kaura	60/20/20	64,09	2,31
18	Puru/Hamppu	75/25	94,02	0,83
19	Ruokohelppi	100	62,33	4,09
20	Hake/Ruokohelppi	50/50	-	-
21	Hake/Ruokohelppi	25/75	72,29	3,42
22	Puru/Ruokohelppi	50/50	88,91	2,19
23	Ruokohelppi/Hamppu	50/50	84,27	3,20
24	Ruokohelppi/Hake/Kaura	50/40/10	64,12	2,80
25	Ruokohelppi/Hake	74/24	95,49	4,03
26	Hamppu/Ruokohelppi	49/49	92,88	3,45
27	Hake/Kauran olki/Kaura	59/29/10	87,25	2,87
28	Hake/Kauran olki	65/33	94,42	2,46
29	Hake/Kauran olki/Hamppu	50/25/25	94,69	-
30	Hake/Kauran olki/Hamppu	49/24/25	95,71	3,07
31	Puru	98	-	0,62
32	Hake	100	73,43	-
33	Hake	98	80,10	-
34	Hake	95	83,97	1,59
35	Hake/Hamppu	49/49	93,74	1,70
36	Hake	100	80,36	1,18
37	Puru	100	93,33	0,34
38	Hake	100	74,85	-
39	Puru	100	95,60	0,31

Liite 4



Taulukko 17b. Pelletöintikokeiden tulokset, rummutuslujuudet ja tuhkapitoisuudet.

Ajo-numero	Raaka-aineet	Seos-suhde %	Rummutus-lujuus, %	Tuhkapitoisuus
40	Hake/Ohran olki	80/20	87,39	2,40
41	Hake/Ruokohelpi	80/20	98,21	1,59
42	Hake/Ruokohelpi/Glyseroli	73/18/9	69,45	1,87
43	Hake/Ruokohelpi/Glyseroli	76,2/19/4,8	78,47	1,78
44	Hake/Ruokoh./Perunamäski	70/20/10	92,18	1,85
45	Hake/Ruokoh./Perunamäski	75/20/5	97,94	1,66
46	Hake/Ruokohelpi	80/20		
47	Hake/Ruokohelpi/Perunatärk.	75/20/5	94,20	1,55
48	Hake/Kauran olki/Kaoliini	73,5/25/1,5	96,09	3,25
49	Turve	100	91,95	4,06
50	Turve/Puru	50/50	93,13	1,74
51	Heinän olki	100		
52	Heinän olki	100	95,18	3,66
53	Heinän olki	100	82,92	3,42
54	Ruokohelpi	100	97,36	4,89
55	Pahvi	100	83,64	
56	Pahvi/Puru	50/50	94,29	5,19
57	Sanomalehtipaperi	100	89,94	5,72
58	Sanomalehtipaperi/puru	50/50	95,14	5,74
59	Kiiltävä mainospaperi	100	75,63	
60	Muovi/Hake	5/95	82,14	
61	Muovi/Puru	5/95	95,95	
62	Muovi/Olki/Hake	5/45/50	96,83	
63	Muovi/Olki/Hake	5/30/65	95,31	
64	Muovi/Olki/Hake	10/40/50	95,36	
65	Puru/Nollakuitu	90/10	95,34	
66	Puru/Nollakuitu	95/5	97,37	
67	Puru/Nollakuitu	98/2	98,60	
68	Puru		98,88	
69	Olki/Kaoliini	98,5/1,5	97,35	

