



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus



EKOPELLETTI – T&K

Pellettien sidostumisen perusmekanismien selvitys

Projektiraportti
Henna Jokinen*, Matti Kuokkanen, Ritva Imppola,
Heikki Takalo-Kippola
2013

*Oulun yliopisto, Kuitu- ja partikkelitekniiikan laboratorio, PL 4300, 90014 Oulu

1. Johdanto

Pelletoinnissa kuiva raaka-aine, kuten sahanpuru, turve tai olki, puristetaan paineella reikälevyn (matriisin) läpi, jolloin raaka-aineen lämpötila nousee rajusti ja samalla puun sisältämä ligniini pehmenee. Valmiiden pellettien lämpötilan laskiessa pellettien sisältämä ligniini jähmettyy uudelleen ja toimii näin pellettiä koossapitävänä ”liimana”. Pellettien laatuun vaikuttavat erilaiset raaka-aineiden ominaisuudet, kuten kosteuspitoisuus, irtotiheys ja elastisuus, sekä käytetyt side- ja lisäaineet. Lisäksi myös pellettikoneen säätömuuttujilla on suuri vaikutus pellettien mekaaniseen kestävyyskykyyn. Pellettien sidostumiseen vaikuttavat ainakin raaka-aineen osittainen sulaminen korkeassa lämpötilassa, koheesio, adheesio, nestesillat ja molekyylien väliset voimat. Pellettien sidostumismekanismeista ei kuitenkaan ole toistaiseksi tarkempaa tutkittua tietoa, vaikka aihealue on merkittävä pellettien laadun ja käytettävyyden parantamiseksi. Erilaisia sidosteorioita on kehitetty monille raaka-aineille, mutta yleispätevää teoriaa ei löydy kirjallisuudesta.

Selvitettäessä pelletoinnin sidostumista tavoitteena on ennen kaikkea pellettien lujuuden ja koossapysyvyyden parantaminen. Sidostumisen ymmärtämisen avulla voidaan arvioida mitkä tekijät vaikuttavat siihen, että esimerkiksi kasveista ja turpeesta valmistetut pelletit ovat yleensä heikompia kuin puupelletit ja samalla voidaan arvioida miten ko. raaka-aineista valmistettujen pellettien lujuutta voitaisiin jatkossa parantaa. Sidostumismekanismien tutkimuksesta saadaan arvokasta tietoa raaka-aineiden ominaisuuksien vaikutuksista pellettien rakenteeseen, jonka avulla voidaan parantaa sekä pellettien laatua että vähentää laadunvaihtelua. Pellettien tasalaatuisuus on ensiarvoisen tärkeää erityisesti pienemmän mittakaavan polttolaitteistojen yhteydessä. Sidostumistutkimusten avulla luodaan myös mahdollisuus hyödyntää uusia ja entistä huonompilaatuisia raaka-aineita pellettituotannossa.

Ekopelletti - T&K -hankkeessa tutkittiin puuraaka-aineen lisäksi myös muita mahdollisia pellettien raaka-aineita, kuten peltoenergiakasveja, sekä teollisuuden sivuvirtoja ja jätteitä lisä- ja sideaineina pelletteissä. Hankkeessa tarkoituksena oli tutkia pellettien rakennetta ja pohtia sidostumisen ja raaka-aineiden ominaisuuksien vaikutuksia pellettien lujuuteen. Tavoitteena tutkimuksissa oli pellettien koossapysymisen parantaminen ja pölyn määrän vähentäminen sekä varastoinnin, kuljetuksen että käytön aikana. Hankkeessa selvitettiin pilot-kokoluokan koelaitteen avulla erilaisia pellettien sidostumiseen vaikuttavia materiaalien ominaisuuksia ja mm. mahdollisuuksia parantaa pellettien koossapysymistä erilaisten lisäaineiden avulla. Koelaitteiston avulla selvitettiin eri raaka-aineparametrien, kuten partikkelikoko ja kosteus, vaikutusta valmistettujen pellettien lujuuksiin. Pelletoinnissa käytetty partikkelikoko analysoitiin mm. seulomalla. Hyviä menetelmiä pellettien mekaanisen kestävyyskyvyn tutkimiseen olivat mm. taivutus- ja puristuslujuuskokeet, tuhkapitoisuus- ja pellettitiheysmääritykset sekä raaka-aineen partikkelikoon ja kosteuspitoisuuden määritykset.

2. Käytetyt materiaalit

Tutkimuksissa käytettiin laajasti erilaisia raaka-aineita pellettien valmistuksessa. Valmiista pelleteistä on valittu 19 hyvin erilaista näytettä tähän raporttiin tarkoituksena havainnollistaa materiaalin vaikutusta pelletointiprosessiin ja pellettien lujuusominaisuuksiin. Tutkittuja pellettejä olivat mm. kauran oljesta, ruokohelvestä, hakkeesta, sahanpurusta, turpeesta, pahvista, sanomalehtipaperista, kiiltopaperista (aikakauslehtipaperi) ja paalimuovista valmistetut pelletit sekä edellisten seokset. Seoksissa käytettiin lisäaineina lignosulfonaattia, perunankuorijätettä, kaoliinia tai kuitulietettä (entsyymaattisesti käsiteltyä nollakuitua). Side- ja lisäainetutkimuksesta lisätietoa Ekopelletti T&K-hankkeen raportissa: M. Kuokkanen, H. Jokinen, R. Imppola & H. Takalo-Kippola, ”Side- ja lisäainetutkimus - Teollisuuden sivuvirtojen ja uusioraaka-aineiden sekä aikaisempaa huonompilaatuisten biomassojen hyödyntäminen”, joka löytyy hankkeen nettisivuilta: http://www.oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/docs/side_ja_lisaainetutkimus.pdf.

Tutkimuksiin valitut pellettinäytteet olivat:

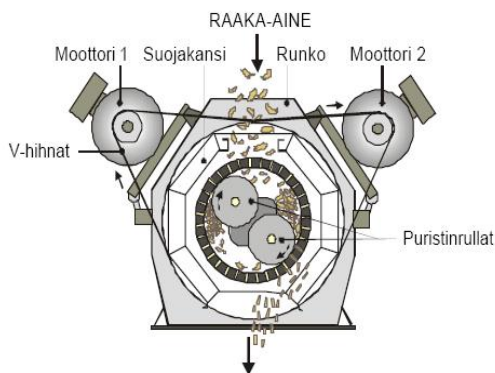
- Ruokohelppi 100 %
- Hake 100 %
- Hake 70 % + Ruokohelppi 20 % + Perunamäski 10 %
- Hake 75 % + Ruokohelppi 20 % + Perunamäski 5 %
- Hake 73,5 % + Olki (kaura) 25 % + Kaoliini 1,5 %
- Olki 98,5 % + Kaoliini 1,5 % + Kaoliini 1,5 %
- Puru 100 %
- Puru 98 % + Nollakuitu 2 %
- Puru 95 % + Nollakuitu 5 %
- Puru 90 % + Nollakuitu 10 %
- Heinän olki 100 %
- Turve 100 %
- Turve 50 % + Puru 50 %
- Sanomalehtipaperi 100 %
- Sanomalehtipaperi 50 % + Puru 50 %
- Kiiltopaperi 100 %
- Muovi 95 % + Hake 5 %
- Muovi 5 % + Puru 95 %

3. Tutkimusmenetelmät ja -laitteistot

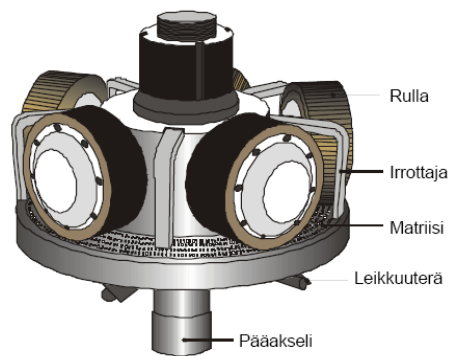
Pellettien rakennetta selvitettiin käyttäen useita erilaisia tutkimusmenetelmiä, mm. tiheysmäärittäjiä, mekaanisen lujuuden määrittäjämenetelmiä ja tuhkapitoisuusanalyysijä. Kyseisten

tutkimusmenetelmien avulla haluttiin arvioida eri raaka-aineiden soveltuvuutta erityisesti pienen mittakaavan pellettituotantoon. Edellä lueteltujen tutkimusten ohella seurattiin myös tiiviisti aiheeseen liittyvää kirjallisuutta.

Varsinaiset pelletoinnit suoritettiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun (OAMK) luonnonvara-alan yksikön pilot-mittakaavan pellettilaitteistolla (SPC) sekä osittain Oulun yliopiston kuitu- ja partikkelitekniikan laboratorion laboratoriomittaluokan pellettilaitteistolla (Amandus Kahl). Ennen pelletointia raaka-aineet murskattiin vasaramyllyllä ja seulottiin 6 mm:n partikkelikokoon (paitsi hake 5 mm:n). OAMK:n pellettilaitteessa pelletit puristetaan rengasmatriisin (Kuva 1) läpi, kun taas yliopiston laitteessa on käytössä tasomatriisi (Kuva 2). Ammattikorkeakoululla tutkittuihin pelletteihin käytetyt matriisien koot olivat 8/55 mm, paitsi hakkeelle 8/35 mm.



Kuva 1. Rengasmatriisi.



Kuva 2. Tasomatriisi.

Pelletointien yhteydessä jäähtyneet pelletit kerättiin talteen ja suljettiin tiiviisti rasioihin jatkotutkimuksia varten. Tutkimuksissa määritettiin pellettien raaka-aineiden partikkelikokojakauma ilmasuihkuseulalla (Kuva 3) ennen pelletointia, sekä pelletoinnin jälkeen valmiiden pellettien tiheydet kaasupyknometrillä (Kuva 4). Myös raaka-aineiden ja valmiiden pellettien irtotiheydet (SFS-EN 15103) (Kuva 5) määritettiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun luonnonvara-alan yksikön koehallissa.



Kuva 3. Ilmasuihkuseula.



Kuva 4. Kaasupyknometri.



Kuva 5. Irtotiheyden määrittäyslaitte.

Raaka-aineiden ja valmiiden pellettien tuhkapitoisuudet määritettiin Oulun yliopiston kuitu- ja partikkeliteknikan laboratorion termogravimetrilla (Kuva 6), joka ohjelmoitiin kiinteiden biopolttoaineiden tuhkapitoisuusstandardin mukaisesti (EN 14775).



Kuva 6. Termogravimetri.



Kuva 7. Instron 5544. Taivutuslujuusmäärittäminen.

Pellettien mekaanista kestävyttä tutkittiin kolmella tavalla. Pellettien puristus- ja taivutuslujuudet määritettiin Oulun yliopiston Instron-laitteistolla (Kuva 7) ja pellettien rummutuslujuus (Kuva 8) määritettiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun luonnonvara-alan yksikössä standardin mukaisesti (SFS-EN 15210-1).



Kuva 8. Rummutuslujuusmäärittäminen.

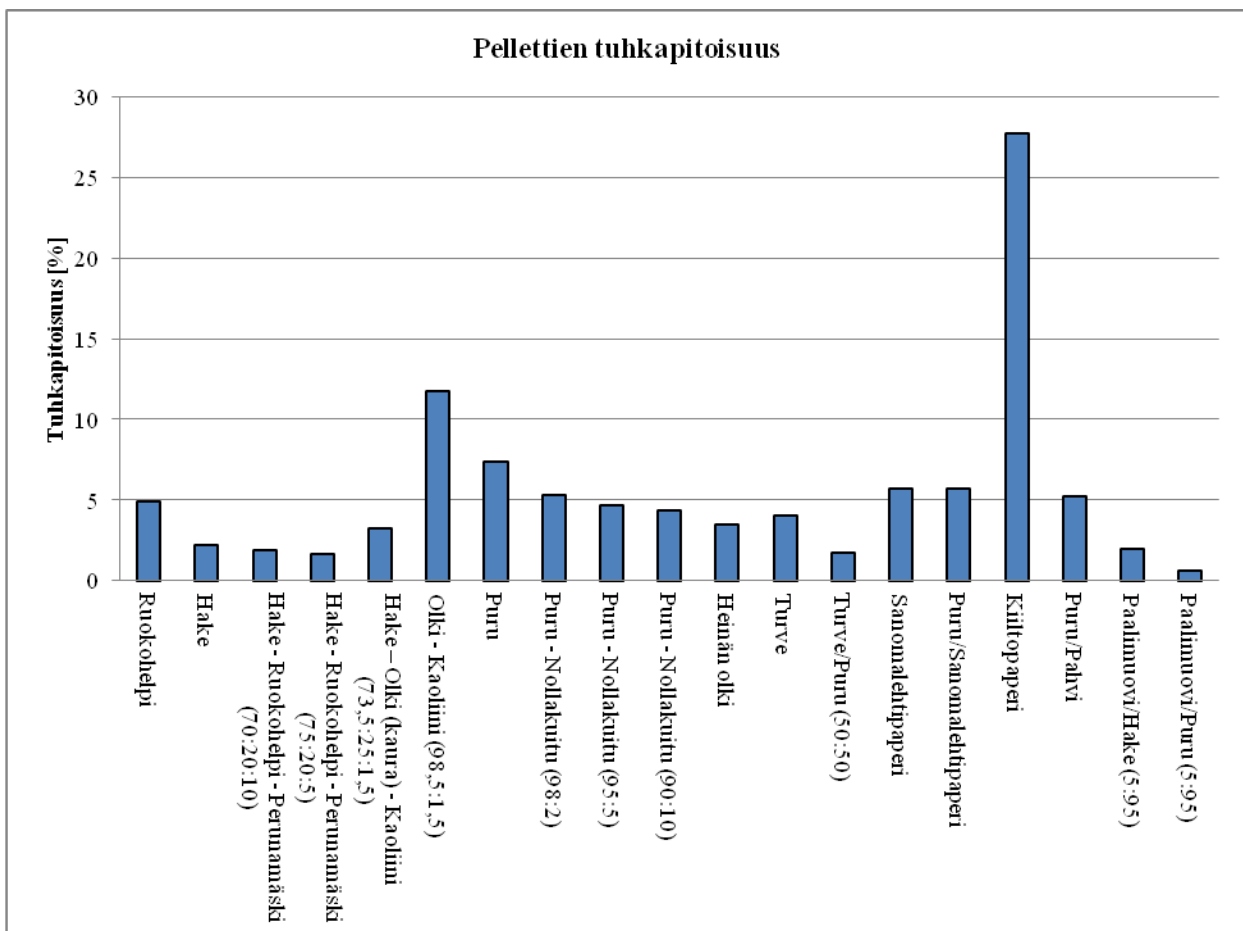
4. Tulokset

4.1. Pellettien tuhkapitoisuudet

Määritetyt tuhkapitoisuudet (Kuva 9) olivat välillä 0,61 % - 27,77 %. Vaihteluväli on huomattavan suuri, mutta tulos voidaan perustella käytettyjen raaka-aineiden ominaisuuksilla, jotka esimerkiksi paperilla ja turpeella ovat hyvin erilaiset. Oljesta valmistetuilla pelleteillä on yleisesti ollut korkea tuhkapitoisuus, mikä hankaloittaa niiden käyttöä energian tuotannossa, mutta seospelleteissä esimerkiksi ruukohelven olki antoi lupaavia tuloksia tuhkan määrän suhteen.

Tutkimustuloksista voidaan odotetusti havaita, että kiiltopaperin (aikakauslehtipaperi) tuhkapitoisuus (27,77 %) on selkeästi korkeampi kuin muiden tutkittujen materiaalien. Esimerkiksi sanomalehtipaperin kohdalla arvoksi saatiin 5,72 %, mikä on selvästi matalampi. Myös olki-kaoliini-seos erottuu tuhkapitoisuutensa puolesta muista näytteistä, varsinkin pelkän oljen tuhkapitoisuudesta (3,50 %). Kaoliini, joka on silikaattimineraali, nostaa epäorgaanisena materiaalina pellettien tuhkapitoisuutta huomattavasti.

Matalammissa tuhkapitoisuuksissa ainoastaan muovi-puru seospellettien arvo jäi alle 1 %:n. Lisäksi hakkeen erilaiset seospelletit antoivat alle 2 %:n tuhkapitoisuuksia. Näistä tuloksista voidaan päätellä muovin lisäyksen laskevan pelletin tuhkapitoisuutta. Myös entsyymaattisesti käsitellyn nollakuidun lisäyksellä oli pieni positiivinen vaikutus pellettien tuhkapitoisuuksiin. Taulukko tarkoista tuhkapitoisuusarvoista löytyy liitteestä 1.

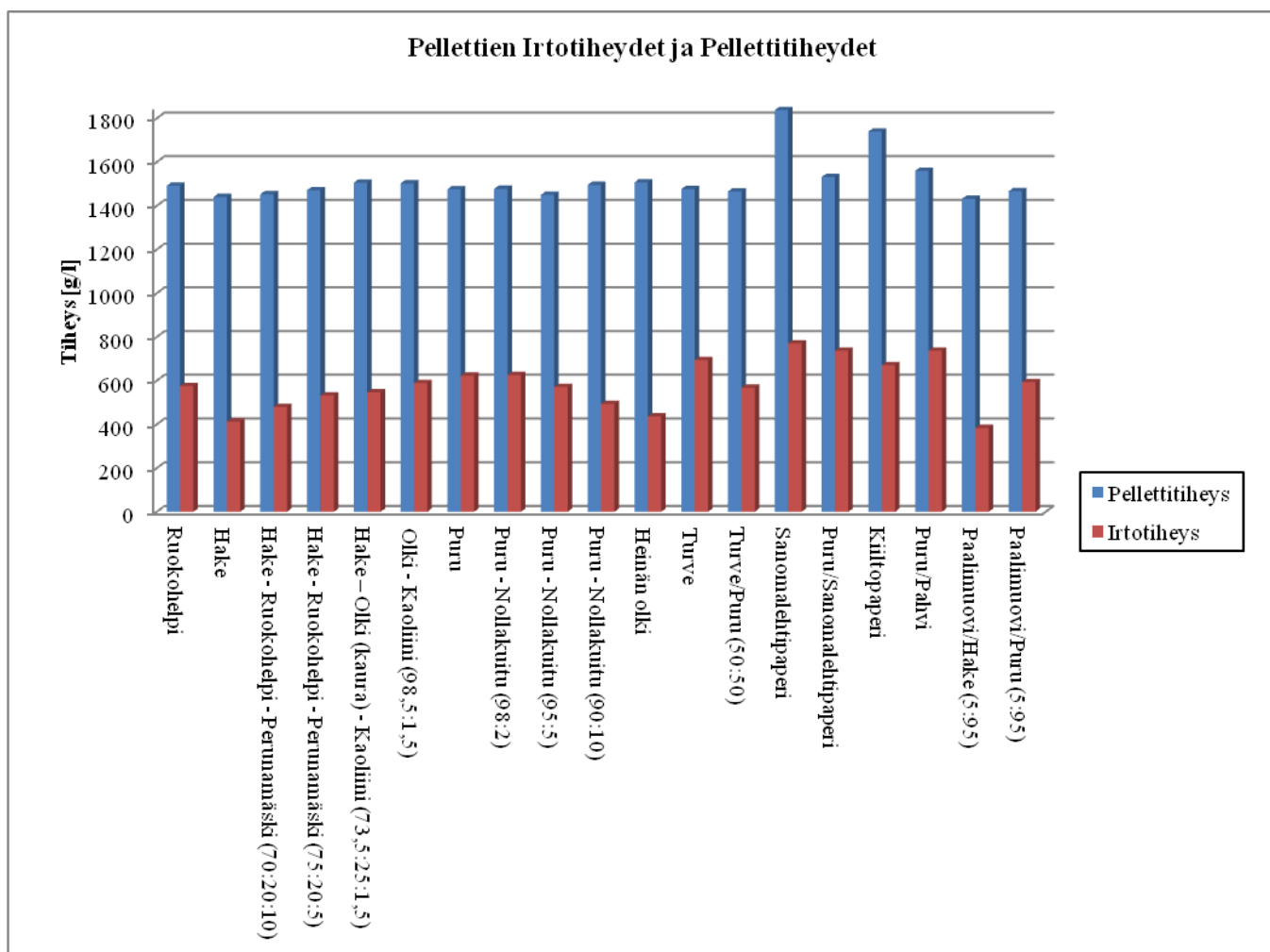


Kuva 9. Tutkittujen pellettien tuhkapitoisuudet [%].

4.2. Tiheydet

Pellettitiheydet antavat pellettien koostumuksesta paljon tärkeää tietoa. Ne kertovat kuinka tiiviisti raaka-aine partikkelit on saatu puristettua yhteen pelletointiprosessin yhteydessä ja kuinka erilaiset side- ja lisäaineet ovat vaikuttaneet pelletin pakkautumiseen. Pellettitiheydet tutkituille näytteille olivat välillä 1432 g/l – 1838,2 g/l. Kuvasta 10. nähdään, että pellettitiheydet olivat selkeästi korkeimmat paperista valmistetuilla pelleteillä. Kiiltopaperipelleteillä 1739,5 g/l ja sanomalehtipaperipelleteillä jopa 1838,2 g/l, mikä johtuu paperin sisältämästä kiviaineksesta. Myös puru-sanomalehtipaperi-seospellettien tiheys oli melko korkea (1531,9 g/l). Toisaalta raaka-aineena käytetty hake ja muovi tuntuivat hieman laskevan pellettitiheyksiä.

Irtotiheyksien kohdalla tutkittujen pellettien tulokset olivat välillä 383,7 g/l – 770,5 g/l. Irtotiheydet noudattivat samansuuntaista trendiä kuin pellettitiheyksissä, mutta eräs huomattava seikka oli nollakuidun lisäyksen vaikutus pellettien irtotiheyteen. Mitä suurempi pitoisuus nollakuitua pelleteissä on, sitä pienempi irtotiheys niillä on. Muovin lisäys raaka-aineeseen näyttäisi laskevan pellettien irtotiheyttä. Taulukko pellettien irtotiheyksistä ja pellettitiheyksistä on esitetty liitteessä 2.



Kuva 10. Tutkittujen pellettien irtotiheydet [g/l] ja pellettitiheydet [g/l].

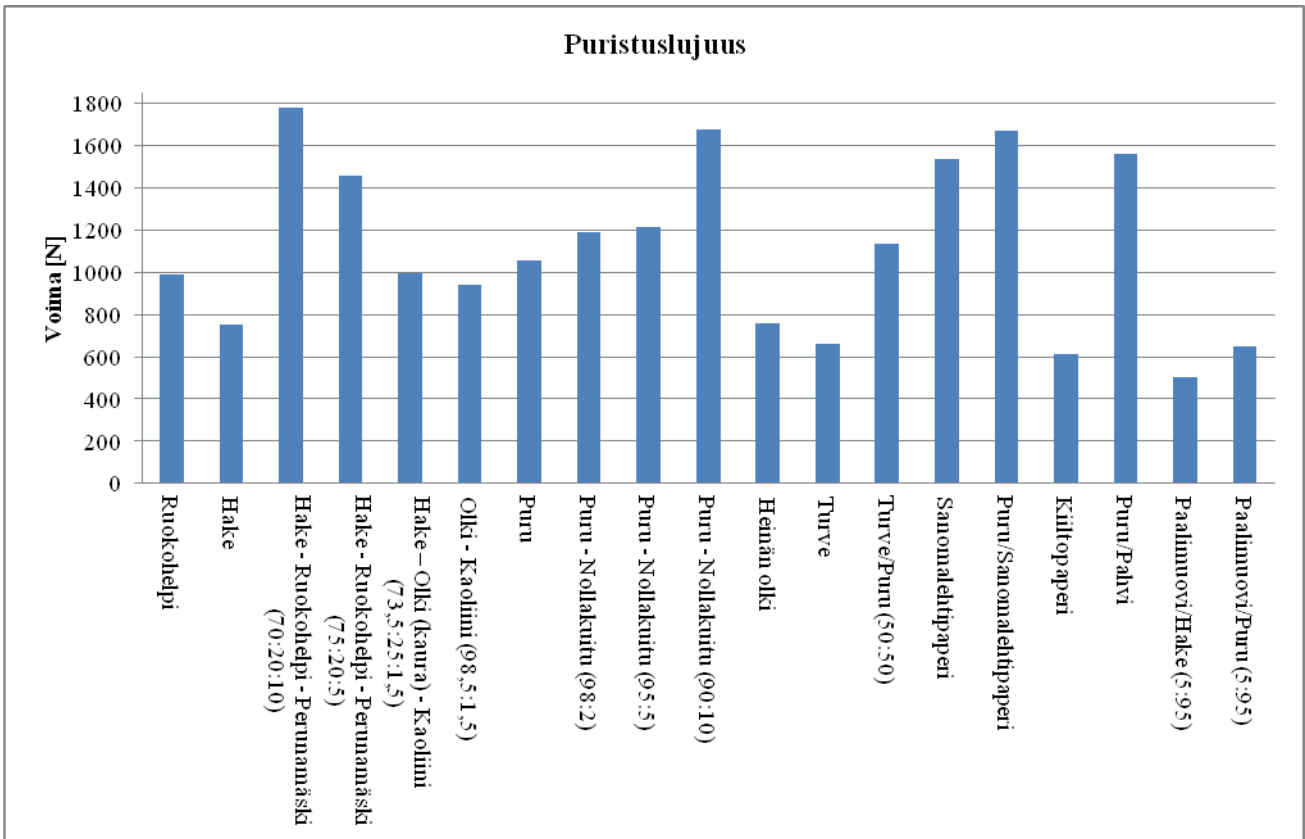
4.3. *Mekaaninen kestävyys*

Mekaaninen kestävyys on tärkeä mitta pellettien kyvyllä vastustaa hajottavia voimia varastoinnin, kuljetuksen ja käytön aikana. Pellettejä käsiteltäessä niihin kohdistuu voimakasta mekaanista rasitusta, joka saattaa rikkoa pelletit muodostaen hienoainetta ja pölyä. Nämä aiheuttavat sekä teknisiä ongelmia että terveyshaittoja käytön yhteydessä. Mekaanista kestävyyttä voidaan määrittää kolmella tavalla: puristuslujuus-, taivutuslujuus- ja rummutuslujuustesteillä.

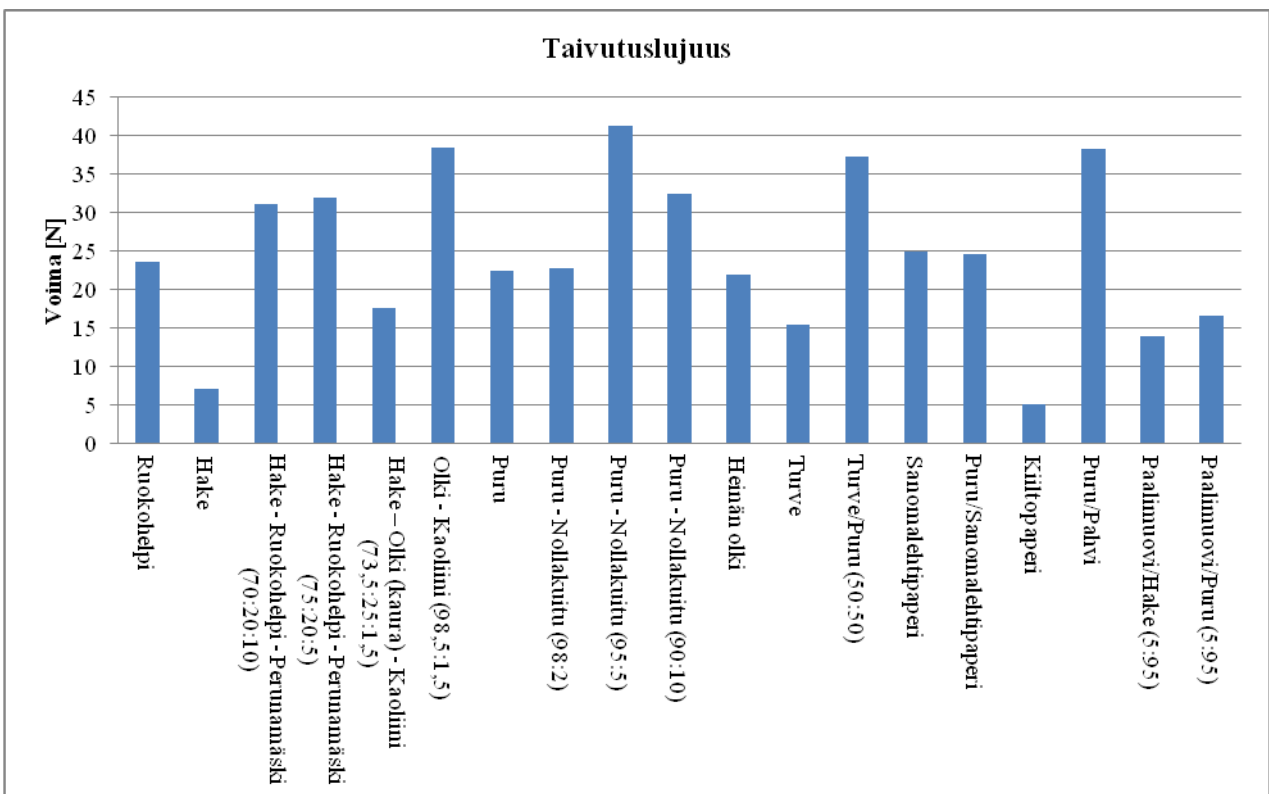
Tutkittujen pellettinäytteiden puristuslujuudet (Kuva 11) olivat välillä 505,5 N – 1783,0 N. Perunamäskin ja nollakuidun lisäys nosti pellettien puristuslujuutta selvästi, samoin kävi taivutuslujuuden kohdalla. Muovia sisältävien pellettien puristuslujuus oli heikoin.

Taivutuslujuudet (Kuva 12) olivat välillä 5,1 N – 41,3 N ja heikoimman tuloksen antoivat kiiltopaperista valmistetut pelletit. Myös hake oli melko heikko pellettien raaka-aine taivutuslujuuksien perusteella. Nollakuidun lisäys vaikutti purupellettien kestävyyspositiivisesti, erityisesti 5 % lisäys.

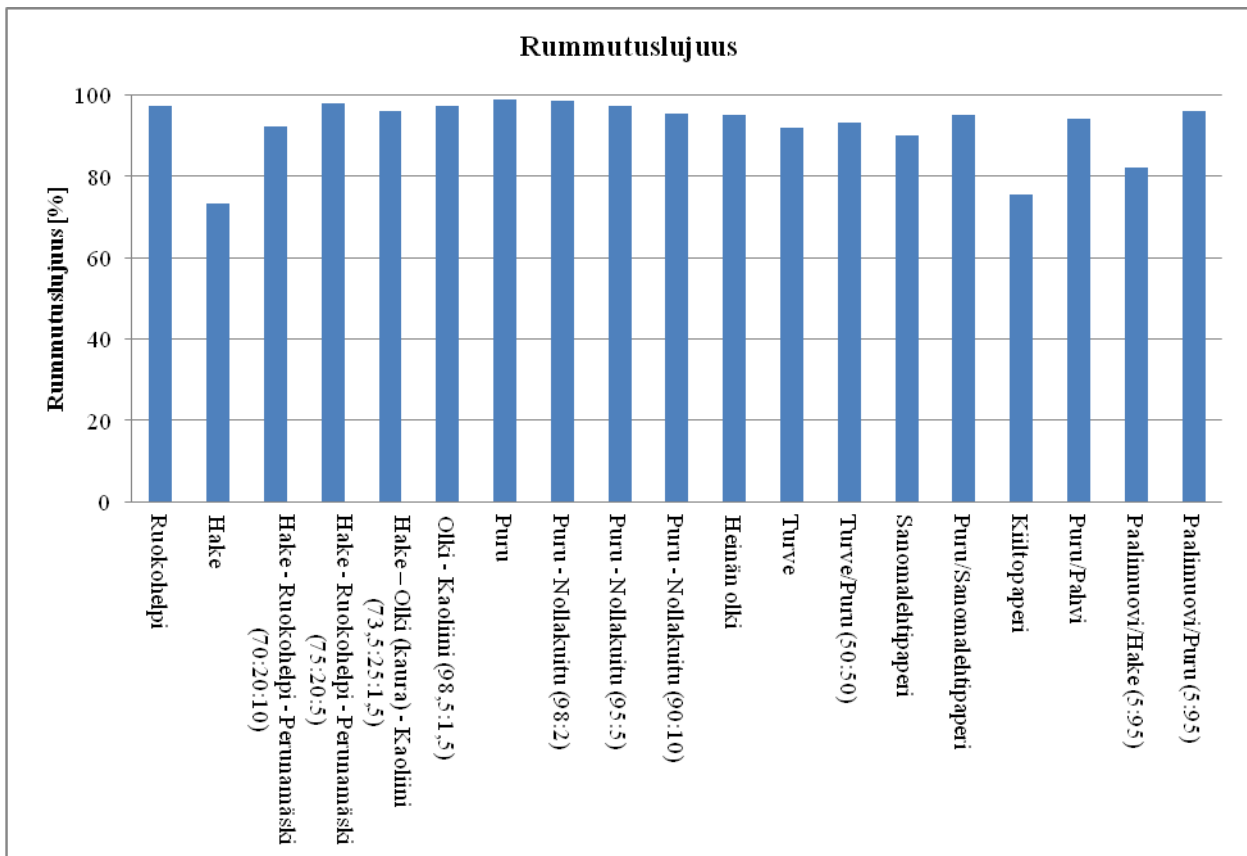
Pellettien rummutuslujuudet (Kuva 13) olivat välillä 73,4 % - 98,9 %, mikä kertoo suuresta vaihtelusta pellettien laadun suhteen. Heikoimmat pelletit oli valmistettu hakkeesta ilman lisäaineita, mutta seospelletteinä hake nousi huomattavasti parempiin tuloksiin. Hakkeen suuri partikkelikoko on todennäköisin syy matalaan rummutuslujuuteen. Käyttämällä pidempiä puristuskanavia saattaisi hakkeesta syntyä selvästi kestävämpiä pellettejä. Kansainvälisten tutkimusten mukaan raaka-aine, jossa on laaja jakauma erikokoisia partikkeleita antaa parhaat pelletit. Parhaat rummutuslujuustulokset tutkituille näytteille saatiin pelkille purupelleteille sekä erilaisille purun seospelleteille. Taulukko pellettien puristus-, taivutus- ja rummutuslujuuksista on esitetty liitteessä 3.



Kuva 11. Pellettien puristuslujuudet [N].



Kuva 12. Pellettien taivutuslujuudet [N].



Kuva 13. Pellettien rummutuslujuudet [%].

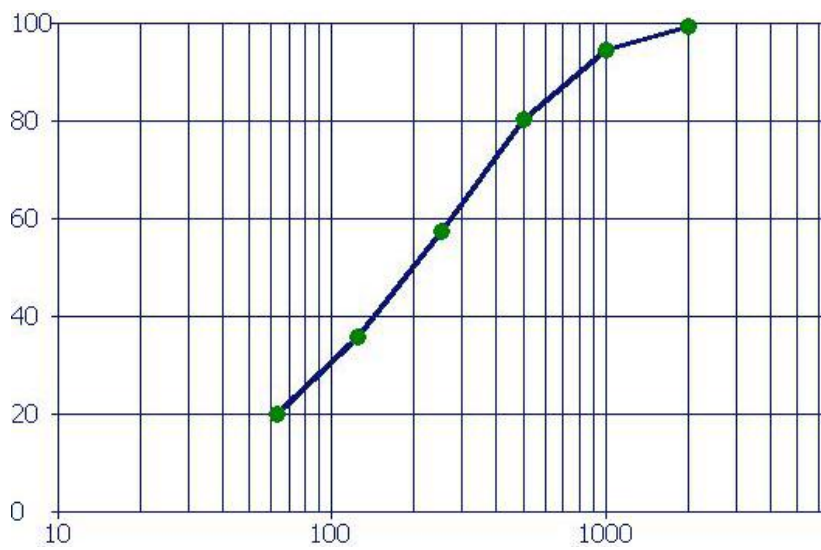
4.4. Raaka-aineen partikkelikoko

Jos raaka-aineen partikkelikokoa pienennetään, kasvaa kitkan määrä pellettilaitteessa, jolloin vaadittava lämpötila saavutetaan nopeammin ja energiakulutus vähenee. Tämä aiheutuu laajemmasta pinta-alasta pienten partikkelien ja laitteen välillä. Pieni partikkelikoko myös nostaa tuotettujen pellettien irtotiheyttä. Pellettituotannossa ihanteellisena kokona pidetään yleensä alle 5 mm:n partikkelikokoa. Kuitenkaan hienoainesta (alle 0,5 mm) partikkeleita ei saisi olla liikaa raaka-aineessa. Nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että pienien partikkelien määrä ei saisi ylittää 10-20 % sideaineettomissa pelleteissä, mutta muuttamalla matriisin kanavien pituutta partikkelien kokoon nähden sopivammaksi voidaan aina parantaa valmistettävien pellettien laatua. Raaka-aine, jossa on vaihtelevankokoisia partikkeleita antaa kuitenkin parhaat pelletit.

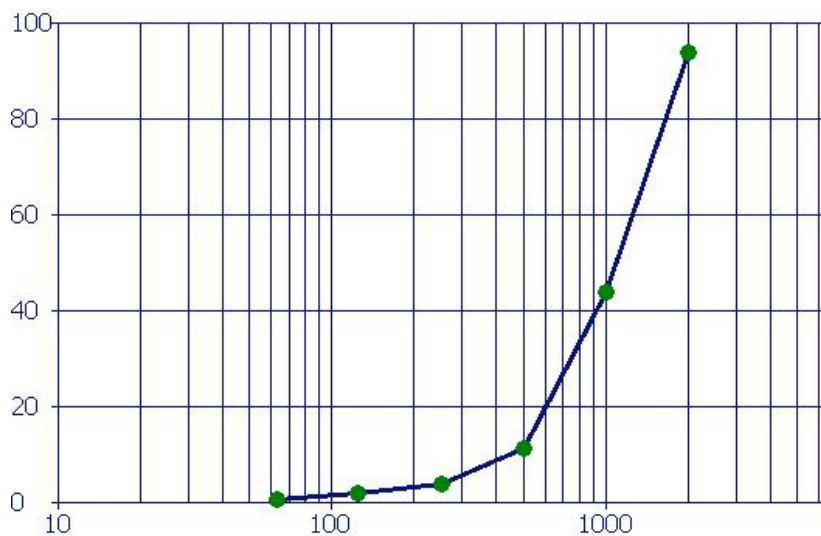
Tuloksista (Taulukko 1) voidaan havaita, että paperien (Kuva 19) partikkelikoko oli melko suuri vasaramyllyn jälkeen. Vain vajaa 30 % partikkeleista oli pienempiä kuin 2 mm. Paperipellettien tiheydet olivat kuitenkin korkeita. Turpeessa puolestaan on hyvin paljon hienoainesta ja jopa 99,4 % turvenäytteestä oli alle 2 mm partikkelikoossa. Partikkelikokojakauma oli myös melko tasainen, jolloin tulokseksi saadaan lähes lineaarinen kuvaaja (Kuva 14). Purulla (Kuva 15) ja hakkeella (Kuva 16) alle 63 µm partikkeleita on hyvin vähän ja suurin osa partikkeleista on kooltaan 1-2 mm. Heinän olki (Kuva 17) ja ruokohelpi (Kuva 18) ovat partikkelikokojakaumansa puolesta hyvin samanlaisia raaka-aineita pellettituotantoon.

Taulukko 1. Partikkelien jakautuminen koon mukaan eli läpimennyt prosenttiosuus ilmasuihkuseulassa.

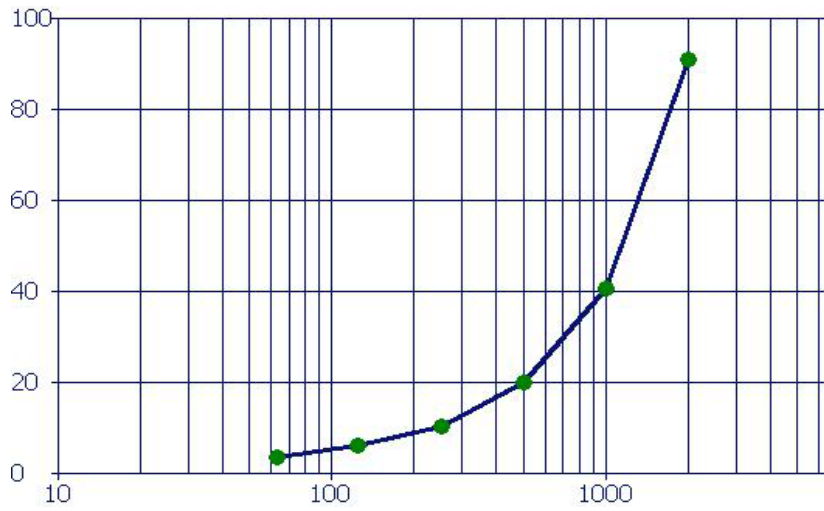
Seula (µm)	Puru (6 mm)	Kauran olki	Hake (5 mm)	Ruokohelpi	Turve	Heinän olki	Sanomalehtipaperi	Kiilto-paperi
63	1,8 %	5,0 %	4,8 %	4,87 %	20,92 %	9,67 %	6,4 %	7,42 %
125	3,04 %	3,33 %	7,32 %	6,60 %	36,56 %	12,0 %	8,0 %	9,75 %
250	4,96 %	7,73 %	11,4 %	10,07 %	57,96 %	15,87 %	10,2 %	12,5 %
500	12,4 %	10,33 %	21,04 %	19,67 %	80,68 %	25,67 %	11,9 %	14,33 %
1000	44,56 %	21,2 %	41,52 %	49,87 %	94,52 %	67,47 %	14,0 %	16,83 %
2000	94,08 %	72,07 %	91,0 %	97,53 %	99,44 %	98,67 %	20,4 %	29,17 %



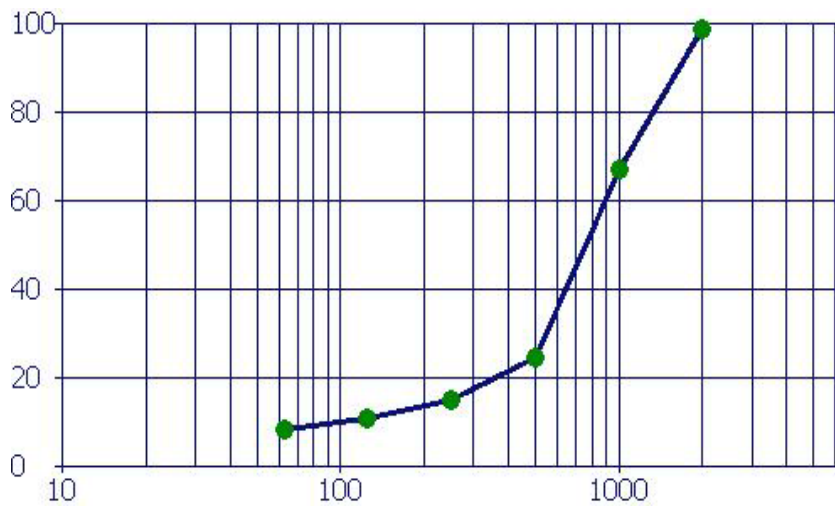
Kuva 14. Partikkelikokojakauma. Turve.



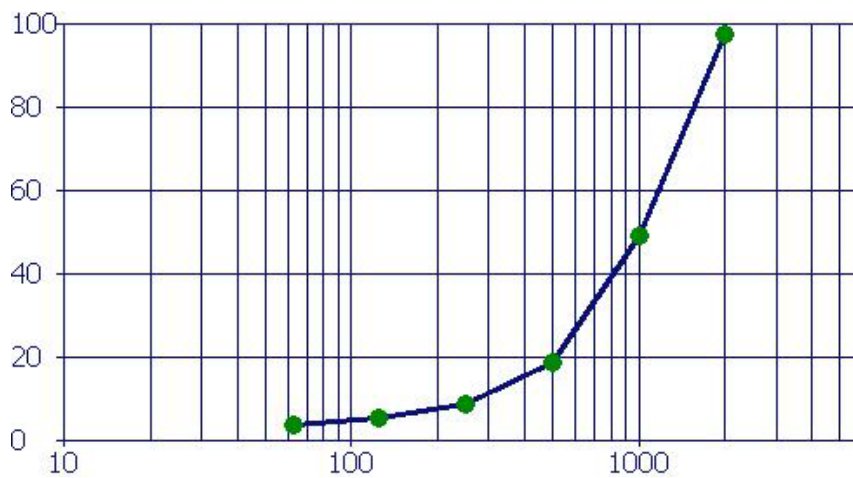
Kuva 15. Partikkelikokojakauma. Puru (5 mm seula).



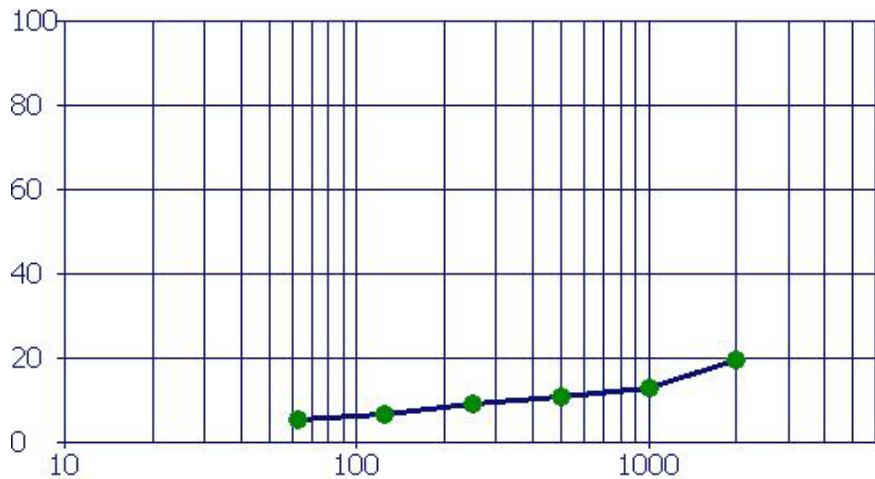
Kuva 16. Partikkelikokojakauma. Hake (5 mm seula).



Kuva 17. Partikkelikokojakauma. Heinän olki.



Kuva 18. Partikkelikokojakauma. Ruokohelppi.



Kuva 19. Partikkelikokojakauma. Sanomalehtipaperi.

5. Yhteenveto

Aiemmissa pellettitutkimuksissa ympäri maailman on todettu puuperäisten pellettien sitoutuvan lähinnä puumateriaaleissa luonnostaan olevan ligniinin avulla, jolloin pelletointi ei vaadi erillisiä sideaineita. Eri raaka-aineista valmistettujen pellettien koossapysyminen vaihtelee kuitenkin hyvin paljon tuottaen ongelmia niiden varastoinnissa ja käsittelyssä. EkoPelletti T&K -hankkeessa yhtenä tavoitteena oli selvittää pellettien sidostumiseen vaikuttavia tekijöitä, parantaen näin pellettien ominaisuuksia ja erilaisten raaka-aineiden käyttökelpoisuutta pelletoinnissa.

Lämpötila suoritetuissa pelletointikokeissa oli liian alhainen paalimuovin täydelliseen sulamiseen, jolloin muovin palat jäivät puupelletteihin osittain kiinnittyneiksi ”karvoiksi”. Myös paalimuovin tehokas murskaaminen oli työlästä ja hidasta, mikä hankaloittaa sen hyödyntämistä energiapellettituotannossa. Paperien murskauksessa ja pelletoinnissa ongelmana oli huomattava pölyhaitta, jolloin näiden materiaalien kohdalla tulee huolehtia riittävästä pölynpoistosta ja henkilösuojainten käytöstä. Erityisesti kaoliinipitoisen kiiltopaperin murskauksen kohdalla pölyä syntyi paljon.

Perinteisesti purusta valmistetut pelletit olivat tutkimusten perusteella kestäviä ja riittävän tiheyden omaavia pellettejä. Mutta sekoittamalla puruun lisäaineita saatiin aikaiseksi puristus- ja taivutuslujuudeltaan jopa vielä kestävämpiä pellettejä. Hake/ruokohelppi/perunankuorijäte-seoksesta valmistui kuitenkin puristuslujuuden suhteen kaikkein vahvimmat pelletit.

6. Lähteet

Kuokkanen M., Jokinen H., Imppola R., Takalo-Kippola H., Sideainetutkimus - Teollisuuden sivuvirtojen ja uusioraaka-aineiden sekä aikaisempaa huonompilaatuisten biomassojen hyödyntäminen, EkoPelletti, raportit ja julkaisut.

Kuokkanen M., Vilppo T., Kuokkanen T., Stoor T. & Koskela J. (2011). Pilot-mittakaavainen sekä kemiallinen tutkimus eräiden lisäaineiden käytöstä puupellettituotannossa. EkoPelletti, Raportit ja julkaisut.

Nielsen, P. K. ym. 2010. Effect of extractives and storage on the pelletizing process of sawdust. Fuel 89, pp. 94-98

The Pellet handbook. The Production and Thermal Utilisation of Pellets. Earthscan 2010.

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

Suomen Standardisoimisliitto(2006) CEN/TS 15149-2:fi Kiinteät biopolttoaineet. Palakokojakauman määrittäminen. Osa 2: Täryseulamenetelmä käyttäen alle 3,15 mm seulan aukkoja.

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

Suomen Standardisoimisliitto (2010) SFS-EN 14775 Kiinteät biopolttoaineet. Tuhkapitoisuuden määrittäminen

Suomen Standardisoimisliitto (2010) CEN/TS 15405 Solid recovered fuels. Determination of density of pellets and Briquettes.

Liite 1. Pellettien tuhkapitoisuudet

Pelletit	Tuhka-pitoisuus [%]
Ruokohelpi	4,89
Hake	2,17
Hake - Ruokohelpi - Perunamäski (70:20:10)	1,85
Hake - Ruokohelpi - Perunamäski (75:20:5)	1,66
Hake – Olki (kaura) - Kaoliini (73,5:25:1,5)	3,25
Olki - Kaoliini (98,5:1,5)	11,78
Puru	7,40
Puru - Nollakuitu (98:2)	5,28
Puru - Nollakuitu (95:5)	4,66
Puru - Nollakuitu (90:10)	4,37
Heinän olki	3,50
Turve	4,06
Turve/Puru (50:50)	1,74
Sanomalehtipaperi	5,72
Puru/Sanomalehtipaperi	5,74
Kiiltopaperi	27,77
Puru/Pahvi	5,19
Paalimuovi/Hake (5:95)	1,98
Paalimuovi/Puru (5:95)	0,61

Liite 2. Pellettitiheydet ja irtotiheydet.

Pelletit	Pellettitiheys [g/l]	Irtotiheys [g/l]
Ruokohelpi	1492,1	575,50
Hake	1440,6	412,99
Hake - Ruokohelpi - Perunamäski (70:20:10)	1452,7	479,83
Hake - Ruokohelpi - Perunamäski (75:20:5)	1471,5	532,35
Hake – Olki (kaura) - Kaoliini (73,5:25:1,5)	1506,0	546,78
Olki - Kaoliini (98,5:1,5)	1502,6	588,87
Puru	1475,7	622,87
Puru - Nollakuitu (98:2)	1477,6	625,99
Puru - Nollakuitu (95:5)	1450,9	571,55
Puru - Nollakuitu (90:10)	1495,9	493,44
Heinän olki	1507,7	436,20
Turve	1476,3	693,94
Turve/Puru (50:50)	1466,2	567,81
Sanomalehtipaperi	1838,2	770,50
Puru/Sanomalehtipaperi	1531,9	737,20
Kiiltopaperi	1739,5	670,74
Puru/Pahvi	1560,4	737,42
Paalimuovi/Hake (5:95)	1432,0	383,70
Paalimuovi/Puru (5:95)	1467,3	593,10

Liite 3. Pellettien puristus-, taivutus- ja rummutuslujuudet.

Pelletit	Puristus- lujuus [N]	Taivutus- lujuus [N]	Rummutus- lujuus [%]
Ruokohelpi	988,23	23,63	97,36
Hake	753,44	7,12	73,43
Hake - Ruokohelpi - Perunamäski (70:20:10)	1783,01	31,14	92,18
Hake - Ruokohelpi - Perunamäski (75:20:5)	1460,88	31,96	97,94
Hake – Olki (kaura) - Kaoliini (73,5:25:1,5)	996,21	17,50	96,09
Olki - Kaoliini (98,5:1,5)	938,53	38,45	97,35
Puru	1057,89	22,49	98,88
Puru - Nollakuitu (98:2)	1188,98	22,82	98,60
Puru - Nollakuitu (95:5)	1217,00	41,26	97,37
Puru - Nollakuitu (90:10)	1676,24	32,48	95,34
Heinän olki	756,31	21,95	95,18
Turve	662,00	15,45	91,95
Turve/Puru (50:50)	1136,35	37,29	93,13
Sanomalehtipaperi	1536,67	24,85	89,94
Puru/Sanomalehtipaperi	1671,59	24,64	95,14
Kiiltopaperi	614,63	5,12	75,63
Puru/Pahvi	1562,56	38,17	94,29
Paalimuovi/Hake (5:95)	505,50	13,96	82,14
Paalimuovi/Puru (5:95)	651,61	16,65	95,95