

## Hake pelletin korvaajana keskuslämmityskattilassa

Hilli Anu, Kylmänen Erkki, Härkönen Mikko, Uutela Teemu

15.12.2016 ::

**Kansainvälisissä sopimuksissa ja ohjelmissa on asetettu tavoitteita uusiutuvan energian käytön lisäämiselle. Bioenergia on uusiutuvaa energiaa, jota saadaan muun muassa erilaisista biomassoista, kuten puusta, peltokasveista ja bioperäisistä jätteistä. Suomessa uusiutuvan energian painopiste on puussa ja bioperäisissä kierrätyspolttoaineissa. Ensisijaisesti lämmöntuotantoon tarkoitettujen puuperäisten polttoaineiden käyttöä voidaan maassamme lisätä.**

Klapeja eli polttopuita, puupohjaisia pellettejä, brikettejä ja metsähaketta poltetaan pientalojen, maatilojen ja suurten kiinteistöjen erilaisissa lämmityskattiloissa ja tulisijoissa. Metsähaketta käytetään myös aluelämpölaitoksissa ja kaupunkien sekä teollisuuden lämpö- ja voimalaitoksissa. Pienkiinteistöissä puuta ja puupohjaisia pellettejä ja brikettejä käytetään päälämmitysmuotona tai jonkun toisen lämmitysmuodon lisänä. <sup>[1]</sup>

Suuret lämpölaitokset voivat käyttää jopa tuorekosteaa puuraaka-ainetta. Suomessa kasvavien puulajien kosteuspitoisuus tuoreena vaihtelee 45–60 % <sup>[2] [3]</sup>. Sen sijaan pienet lämpölaitokset ja kotitaloudet tarvitsevat puuraaka-ainetta, jonka kosteuspitoisuus on tuorekosteutta selkeästi alhaisempi. Näissä pienissä käyttökohteissa puuraaka-aineen kosteuspitoisuuden tulisi olla alle 25 %. <sup>[2]</sup>

Suurin osa energiaksi käytettävästä puusta kuivataan luonnonolosuhteissa. Esimerkiksi hakkeeksi käytettävän puun annetaan kuivua tienvarsivarastossa tai terminaalikentällä ennen haketusta. Keinokuivauksessa puun kuivumista yritetään nopeuttaa lisäenergian avulla. <sup>[2]</sup>

Omakotitalo- ja maatilakokoluokan lämpökattiloissa käytettävän hakkeen tulee lisäksi olla tasalaatuista. Tällöin hakkeen raaka-aineeksi soveltuvat parhaiten sahaustuotteet, karsittu ranka sekä kokopuuhaake. Riittävän tasalaatuista haketta saadaan tuotettua erilaisilla haketustavoilla: kartioruuvi-, laikka- tai rumpuhakurilla, jos käytetään tiheää seulaa. <sup>[2]</sup>

Tässä työssä selvitettiin hakkeen käyttömahdollisuuksia pelletin tilalla biopolttoaineiden polttoon tarkoitettussa keskuslämmityskattilassa.

### Aineisto ja menetelmät

Tuoreesta, helmikuussa kaadetusta ja karsitusta koivurangasta valmistettu hake (30 mm x 30 mm) seulottiin minkkiverkosta tehdyllä seulalla, jonka silmäkoko oli 10 mm\*17 mm (kuva 1). Hake seulottiin kahteen eri palakokoon, jotka olivat 10 mm\*17 mm seulan läpäisevä palakoko ja tätä suurempi hake. Seulonnan yhteydessä suurimmat hakepalat ja oksat poistettiin. Hake kuivattiin lavakuivurilla <sup>[4]</sup>. Kosteuspitoisuudet, joihin hake kuivattiin, olivat pienellä palakoolla 10,5 %, 18,5 % ja 20,6 % sekä isolla palakoolla 14,1 %, 20,5 % ja 30,0 %. Hakkeesta määritettiin irtotiheys, kosteuspitoisuus uunikuivausmenetelmällä sekä lämpöarvot pommikalorimetrillä ja laskennallisesti. <sup>[5] [6] [7]</sup>



KUVA 1. Seulottua haketta laatikossa (iso palakoko) ja seulan alla (pieni palakoko) (kuvaaja: Teemu Uutela)

Pommikalorimetrillä määritettiin eri kosteuspitoisten hakkeiden kalorimetrinen eli ylempi lämpöarvo ( $Q_{gross}$ ) ja tehollinen eli alempi lämpöarvo ( $Q_{net}$ ) (taulukko 1). Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa  $Q_{net,ar}$  laskettiin pommikalorimetrillä saaduista tehollisista lämpöarvoista yhtälön (1) mukaan:

$$Q_{net,ar} = Q_{net,d} * \frac{100 - Mar}{100} - 0,2443 * Mar \quad (1)$$

missä  $Q_{net,d}$  = kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo [MJ/kg]

$Mar$  = polttoaine-erän kosteus saapumistilassa [%]

0,02443 [MJ/kg] = veden höyrystymiseen kuluva lämpömäärä vakiopaineessa (+25 °C).

Hakkeen irtotiheyksien ja lämpöarvojen perusteella laskettiin (yhtälö 2) kullekin näytteelle energiasisältö litrassa (Elitra) näytettä ja sitä verrattiin pelletin energiasisältöön. Tämän suhdeluvun perusteella laskettiin teoreettinen syöttöruuvien tehoasetus hake-erille (taulukko 1).

$$Elitra = BDar * Q_{net,ar} \quad (2)$$

missä  $Elitra$  = energiasisältö litrassa näytettä

$BDar$  = irtotiheys [kg/l]

$Q_{net,ar}$  = lämpöarvo tulokosteudessa

Hakkeen poltto suoritettiin 60 kW Artiermin BioComp-kattilalla, johon on asennettu MultiJet-biopolttin. MultiJet-polttimessa on liikkuva porrassarina, jota voidaan säätää käytettävän polttoaineen mukaan. Polttimelle soveltuvat polttoaineiksi puusta, turpeesta ja muusta biopolttoaineista valmistetut pelletit [\[8\]](#), hake, palaturve sekä peltobiomassa. Kattilan syöttöruuvi on halkaisijaltaan 115 mm.

Ennen koepolttojen aloittamista kattila, arina ja tuhkapesa puhdistettiin ja kattila esilämmitettiin sähkövastuksella. Kattilaveden lämpötila-asetus säädettiin 80 asteeseen. Tavoitteena polttokokeiden aikana oli kattilaveden lämpötilan säilyminen 80 asteessa ja kuormitus nimellistehon mukainen 60 kW. Tasapainotilanteen saavuttaminen kesti noin tunnin. Tasapainotilan saavuttamiseen tarvittavaan aikaan vaikuttivat poltettavan hake-erän ominaisuudet. Palamiseen vaikuttavat säädöt, kuten polttoaineen syöttö, palamisilman määrä ja arinan liikkuminen asetettiin ennen polttokokeen alkamista. Varsinainen koepoltto kesti tunnista lähemmäs kahteen tuntiin.

Kattilan hyötysuhteet hakkeen eri palakoolla ja kosteuspitoisuuksilla laskettiin yhtälön (3) mukaisesti:

$$\eta = \frac{Q_{hyöty}}{Q_{tuotu}} \quad (3)$$

missä  $\eta$  = kattilan hyötysuhde  
 $Q_{hyöty}$  = kattilasta hyödyksi saatu lämpövirta  
 $Q_{tuotu}$  = kattilaan tuotu energiavirta

Hyötysuhteet laskettiin suoralla menetelmällä (taulukko 2). Kattilaan viiden minuutin jaksoissa syötetty polttoainemäärä punnittiin.  $Q_{hyöty}$  saatiin suoraan kattilan energianmittauslaitteelta ja  $Q_{tuotu}$  laskettiin poltetusta hakemäärästä lämpöarvojen perusteella.

Savukaasuanalyysaattorilla määritettiin savukaasujen lämpötila, jäännöshappi  $O_2$  (%),  $CO_2$  (%), CO (ppm), CO ( $mg/m^3$ ), NO (ppm) ja NO ( $mg/m^3$ ) sekä lambda. Tavoitteena oli mahdollisimman puhdas palaminen ja korkea hyötysuhde. Savukaasuanalyysaattorilla pitoisuudet määritettiin viiden minuutin välein.

Taulukko 1. Irtotiheys, lämpöarvot ja laskennalliset syöttöruuvien tehoasetukset

	Irtotiheys kg/l	Ylempi lämpö- arvo J/g	Alempi lämpö- arvo J/g	Lämpöarvo saapumis- kosteudessa MJ/kg	Lämpö- arvo MJ/l	Kerroin	Laskennallinen syöttöruuvien tehoasetus %
<b>Pelletti</b>	0,65			16,92	11,00	1	4
<b>Hake pieni 10,5 %</b>	0,20	19716	19460	17,42	3,48	3,2	12,6
<b>Hake pieni 18,5 %</b>	0,21	19741	18432	15,74	3,12	3,5	14,1
<b>Hake pieni 20,6 %</b>	0,23	19323	18816	14,48	3,33	3,3	13,2
<b>Hake iso 14,1 %</b>	0,20	19134	18675	16,04	3,21	3,4	13,7
<b>Hake iso 20,5 %</b>	0,22	19132	18529	14,73	3,24	3,4	13,6
<b>Hake iso 30,0 %</b>	0,22	21131	18432	14,06	3,23	3,4	13,6

## Tulokset ja tulosten tarkastelu

Syöttöruuvien lopulliset tehoasetukset säädettiin sopivaksi kullekin hake-erälle koepolttojen yhteydessä (taulukko 2). Apuna käytettiin laskennallista tehoasetusta. Hakkeella syöttöruuvien tehoasetus oli huomattavasti pellettiä korkeampi, vaihdellen 9–20 %:iin. Hakkeen pienelle palakoolle, jonka kosteuspitoisuus oli keskimäärin 20,6 %, oli vaikea löytää optimaalisia syöttöasetuksia. Tämä todennäköisesti johtui siitä, että hake jäätynä ennen kuivausta ja kosteuspitoisuus tässä kuivauserässä vaihteli.

Hakkeen keskipolttokokeissa vaihteli 13–20 kg/h, eikä kuivan hakkeen (kosteuspitoisuus 10,5 %) kulutus eronnut pelletin keskipolttokokeesta. Hakkeen kosteuspitoisuuden noustessa sen keskipolttokulutus kasvoi. (Taulukko 2.) Suuremman kosteuspitoisuuden takia hakkeen lämpöarvo on pienempi, jolloin polttoainetta kuluu enemmän saman tehon saamiseksi. Hakkeen palakoolla on myös merkitystä polttoaineen syöttöön, sillä suuremmalla palakoolla haketta kului enemmän. Tässä työssä kyseistä asiaa ei kuitenkaan selvitetty tarkemmin. Myös hakkeen palakoon jakautuminen voi vaikuttaa syöttöruuvien siirtokapasiteettiin ja sitä kautta hakkeen kulutukseen. Pieni palakoko siirtyi syöttöputkessa ja ruuvikuljettimessa ongelmitta, mutta suuremmalla palakoolla havaittiin syöttöputkessa holvaantumista ja tukkeumia kuljettimessa.

Tavoiteltu nimellisteho 60 kW saavutettiin kummallakin palakoolla ja keskimääräinen tehontuotto oli 59,6–59,9 kW (taulukko 2). Hakkeen kosteudella oli selkeä merkitys palamiseen ja kattilan tehon tuottoon. Viikon kattilahuoneessa kuivunut hake (33 %) paloi huonosti ja tehon tuotto jäi vain 20–40 kW. Tämän vuoksi tulokostea (46 %) haketta ei edes yritetty polttaa. Hakkeilla, joiden kosteuspitoisuudet olivat noin 10 %, 20 % ja 30 %, saavutettiin kattilan nimellisteho 60 kW.

Kattilan hyötysuhteet olivat korkeat (taulukko 2). Tuloksiin vaikuttaa polttokokeen lyhytaikaisuus ja mahdolliset vaihtelut hakkeen kosteuspitoisuudessa. Erityisesti 94–96 % hyötysuhteet ovat korkeat tällaiselle kattilatyypille. Näissä hake-erissä kuivuminen on todennäköisesti tapahtunut epätasaisesti ja hake on ollut pääasiassa kuivempaa. Esimerkiksi 96 % hyötysuhteen uunikuivaustulokset vaihtelivat 17,5–24 %. Todennäköisesti erä oli kokonaisuudessaan kosteuspitoisuudeltaan lähempänä 17 % kuin 20 %. Hyötysuhteeseen vaikuttavat savukaasussa poistuvat epätäydellisen palamisen reaktiotuotteet (hiilimonoksidi), poistuvan savukaasun lämpötila ja ilmakerroin. Poltettiinpa pellettiä tai haketta sen eri kosteuspitoisuuksilla, savukaasujen lämpötilassa ei ollut suurta vaihtelua ja ilmakerroin vaihteli 1,8–2,4 (taulukko 3).

TAULUKKO 2. Hakkeen polttokokeen tulokset ja syöttöruuvien lopulliset tehoasetukset

Palakoko ja kosteus-prosentti	Hyötysuhde %	Keskiteho (kW)	Keskipolttokulutus kg/h	Syöttöruuvien tehoasetus %
<b>Pelletti</b>	92	60,2	13,68	4
<b>Hake pieni 10,5 %, 1. poltto</b>	95	59,8	13,44	9
<b>Hake pieni 10,5 %, 2. poltto</b>	94	59,7	13,56	9
<b>Hake pieni 18,5 %</b>	86	59,6	16,08	10
<b>Hake pieni 20,6 %, 1. poltto</b>	90	59,8	16,58	11
<b>Hake pieni 20,6 %, 2. poltto</b>	91	59,6	16,59	11
<b>Hake iso 14,5 %</b>	89	59,8	15,12	13
<b>Hake iso 20,5 %</b>	96	59,9	15,41	13.5
<b>Hake iso 30,0 %</b>	77	59,7	20,04	20

Pellettiin verrattuna hakkeen polton hiilimonoksidipäästöt vaihtelivat enemmän johtuen polttoaineen suuremmasta laadun vaihtelusta. Pääosin hiilimonoksidipäästöt hakkeen poltossa vaihtelivat 100–250 ppm ja vain polton alussa havaittiin korkeampia arvoja. Myös typenoksidipäästöt olivat haketta poltettaessa selkeästi korkeammat näillä kosteuspitoisuuksilla kuin pellettiä poltettaessa. Sen sijaan hake-erien hiilidioksidipäästöt pääosin olivat hieman alhaisempia verrattuna pellettiin. (Taulukko 3.)



TAULUKKO 3. Savukaasujen pitoisuuksien keskiarvot

	T-kaasu	T-ilma	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (ppm)	CO (mg/m <sup>3</sup> )	Lambda	NO (ppm)	NO (mg/m <sup>3</sup> )
<b>Pelletti</b>	119,66	18,63	9,46	9,38	82,75	103,25	1,84	75,85	155,75
<b>Pieni 10,5 %</b>	119,10	21,76	10,15	8,60	221,75	277,25	1,98	117,66	242,00
<b>Pieni 10,5 %</b>	116,73	19,16	11,65	7,40	220,25	277,00	2,28	94,05	193,00
<b>Pieni 18,5 %</b>	122,45	21,79	9,70	9,40	148,89	185,94	1,88	123,61	165,55
<b>Pieni 20,6 %</b>	121,11	17,98	9,60	9,26	156,20	195,40	1,85	121,14	248,80
<b>Pieni 20,6 %</b>	121,44	18,66	9,34	9,52	139,80	174,60	1,81	133,72	274,40
<b>Iso 14,1 %</b>	121,92	18,04	10,49	8,76	207,40	259,00	2,02	96,42	198,20
<b>Iso 20,5 %</b>	121,43	18,15	10,97	7,78	163,50	204,25	2,10	104,33	214,25
<b>Iso 30,0 %</b>	125,08	21,73	11,88	7,40	466,28	424,07	2,42	120,28	132,57

## Johtopäätökset

Pienkattiloissa käytettävän hakkeen tulee olla mahdollisimman tasalaatuista niin palakooltaan kuin kosteuspitoisuudeltaankin. Hakkeen palakoon tulee olla noin 20 mm tai alle, jos polttokattilan syöttöruuvin halkaisija on 115 mm. Tässä tutkimuksessa pienellä palakoolla ei havaittu ongelmia hakkeen syötössä, eikä kulkeutumisessa arinalle. Sen sijaan suurempaa palakokoa oleva hake ei kulkenut ongelmitta arinalle johtavassa ruuvikuljettimessa, jossa tapahtui tukkeutumista. Lisäksi syöttöputkessa havaittiin holvaantumista.

Hakkeen kosteuspitoisuuden tasalaatuisuus helpottaa kattilan syöttöruuvin tehoasetuksien säätämistä ja vaikuttaa siten palamisen puhtauteen. Mikäli hake-erä on epätasaisesti kuivunutta, kattilalle voi olla vaikea löytää sopivia asetuksia tai niitä joudutaan säätämään usein. Tällöin kattilan tehontuotto ja palamisen puhtaus kärsivät. Hakkeen kosteuspitoisuuden tulee olla alle 30 %, jotta polttoaine palaa puhtaasti ja tuottaa riittävästi tehoa pienkattilassa.

Artikkeli on laadittu osana [PUUTA-hanketta](#) (Puuraaka-aineen hyödyntäminen Utajärven kunnassa). Hanketta rahoittaa Pohjois-Pohjanmaan liitto ja Euroopan aluekehitysrahasto. Yksityisrahoitus tulee alueen yrityksiltä. Hanke toteutetaan yhteistyössä Utajärven kunnan, Oulun yliopiston kauppakorkeakoulun ja Oulun ammattikorkeakoulun kanssa.



Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020

POHJOIS-POHJANMAA  
Council of Oulu Region



OAMK  
OULUN AMMATTIKORKEAKOULU

## Lähteet

1. <sup>△</sup>Motiva. 2016. Puulämmitys kiinteistöissä. Hakupäivä 30.9.2016.  
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia...](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia...)
2. <sup>^</sup><sup>abcd</sup>Lepistö, T. (toim.) 2010. Laatuhaakkeen tuotanto-opas. 2. p. Metsäkeskus. Vammalan kirjapaino, Sastamala. Hakupäivä 18.11.2016.  
<http://www.metsakeskus.fi/sites/default/files...>
3. <sup>△</sup>Routa, J. 2014. Energiapuuvarastojen kosteusmallit. Laava-seminaari. Vantaa 19.2.2014.

4. [△Norrkniivilä, M.](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/29432...) 2011. Biopolttoaineiden kuivauslaitteisto. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 30.9.2016.  
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/29432...>
5. [△SFS-Käsikirja 35-1.](#) 2015. Kiinteät biopolttoaineet. Osa 1: Terminologia, luokitusjärjestelmät ja laadunvarmistus sekä analyysitulosten muuntaminen eri ilmoittamisperustoille. Suomen standardoimisliitto SFS RY.
6. [△SFS-Käsikirja 35-2.](#) 2012. Kiinteät biopolttoaineet. Osa 2: Terminologia, näytteenotto ja näytteen esikäsittely, fysikaaliset ja mekaaniset testimenetelmät sekä analyysitulosten muuntaminen eri ilmoittamisperustoille. Suomen standardoimisliitto SFS RY.
7. [△Uutela, T. & Härkönen, M.](#) 2016. Pelletin korvaaminen hakkeella biopolttokattilassa. Oulun ammattikorkeakoulu. Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 30.9.2016.  
<https://www.theseus.fi/handle/10024/110535>
8. [△Imppola, R., Takalo-Kippola, H., Pakonen, E., Kylmänen, E., Jokinen, H. & Kuokkanen, M.](#) 2013. Pelletointi- ja polttokokeet. EkoPelletti – T&K –hanke. Hankeraportti. Hakupäivä 30.9.2016.  
<http://www.oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/docs...>