

Savukaasujen jälkikäsittelyjärjestelmä

Sami Niemi

Opinnäytetyö

Huhtikuu 2016

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Niemi, Sami	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2016
	Sivumäärä 32	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Savukaasujen jälkikäsitteilyjärjestelmä		
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Hytönen Kari, Luosma Petri		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän ammattikorkeakoulun biotalousinstituutti		
Tiivistelmä <p>Biotalousinstituutin pienkattilantestauslaboratorion savukaasupäästöt aiheuttavat terveyshaittoja opettajille ja opiskelijoille koulun alueella. Työn tarkoituksena on tehdä markkinakartoitusta sopivista savukaasujen jälkikäsitteilyjärjestelmistä ja löytää toimivia tapoja puhdistaa savukaasuista pienhiukkaset ja hiilivedyt.</p> <p>Työssä selvitettiin tarkemmin kattilantestauslaboratoriossa käytettävien polttoaineiden savukaasukomponentit. Tarkasteluun valittiin hake, pelletti, turve, metsätähdehake, muovi, lanta ja yhdyskuntajäte. Lisäksi työssä selvitettiin eri suodatustekniikoiden toimintaperiaatteet ja niiden sopivuus kattilantestauslaboratorioon.</p> <p>Savukaasujen jälkikäsitteilyjärjestelmä mitoitettiin tuhanteen kilowattiin toimeksiantajalta saatujen mittaustietojen perusteella. Järjestelmän valinnassa huomioitiin erotusaste, säädettävyys ja hinta.</p> <p>Pienhiukkassuodatukseen löydettiin esimerkkiratkaisut multisyklonista sekä sähkösuodatimesta. Epätäydellisestä palamisesta johtuvien hiilivetypäästöjen poistoon ei löytynyt sopivaa katalyysaattoria. Katalyysaattorin asennus savukaasukanavaan vaatii lisätutkimusta muun muassa mitoittamisesta, painehäviöstä sekä mahdollisesta tukkeutumisesta.</p> <p>Työssä laadittiin toimeksiantajalle käytettäväksi hankintaesitys sekä tarjouspyyntö. Tarjouspyynnön avulla järjestetään yrityksille kilpailutus savukaasujen jälkikäsitteilyjärjestelmän hankinnasta.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Savukaasu, palamisreaktio, pienkattilat, suodatustekniikat		
Muut tiedot		

Author(s) Niemi, Sami	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 32	Permission for web publication: x
Title of publication Flue gas post-processing system		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Hytönen Kari, Luosma Petri		
Assigned by JAMK University of Applied Sciences, Institute of Bioeconomy		
Abstract <p>The flue gas emissions of the small boiler testing facilities at the Institute of Bioeconomy cause health risks for teachers and students in the school campus area. The goal is to perform a market survey on the post-processing systems for flue gas and to find suitable ways to clean the small particles and hydrocarbons from the flue gases.</p> <p>The fuels commonly used in the small boiler testing facility were inspected closer and the composition of the flue gasses were explained. The fuels chosen for inspection were wood chips, pellet, peat, logging residue chips, plastic, manure and community waste. In addition, the working principals of different filtering techniques and their compatibility to the small boiler testing facility were examined.</p> <p>The post-processing system for flue gases was designed for thousand kilowatts based on the measured information received from the client. The post-processing system was chosen based on separation efficiency, adjustment possibilities and price.</p> <p>A multicyclone and an electrostatic precipitator were found to be good example solutions for particulate filtering. A suitable catalytic combustor for removing hydrocarbons caused by imperfect combustion was not found. The installation of the catalytic combustor needs more research, among other things, on dimensioning, pressure loss and possible choking.</p> <p>In addition, an acquisition form and a request for quotation were made for the client to use. The request for quotation is used to seek bids from corporations for the flue gas post-processing system.</p>		
Keywords/tags (subjects) Flue gas, combustion, small boilers, filtering technology		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Lähtökohdat ja tavoitteet	3
2	Polttoaineiden savukaasukomponentit	4
2.1	Hake	6
2.2	Pelletti.....	6
2.3	Turve	7
2.4	Metsätähdehake.....	8
2.5	Muovi.....	9
2.6	Lanta	9
2.7	Yhdyskuntajäte	11
3	Savukaasujen jälkikäsittelyjärjestelmän mitoitus	12
4	Laiteselvitys	16
4.1	Kuitusuodatin.....	17
4.2	Sähkösuodatin	18
4.3	Sykloni.....	19
4.4	Katalysaattori.....	20
5	Yhteenveto	22
6	Hankintaesitys ja tarjouspyyntö	23
	Lähteet.	25
	Liitteet	27
	Liite 1 Hankintaesitys.....	27
	Liite 2 Tarjouspyyntö.....	28

Kuviot

Kuvio 1. Letkusuodattimen toimintaperiaate	17
Kuvio 2. Levymäinen ja putkimainen sähkösuodatin	18
Kuvio 3. Vastavirtasyklonin toimintaperiaate	20
Kuvio 4. NVI - Piippukatalysaattori.....	21

Taulukot

Taulukko 1. Hakkeen tyypillinen kuiva-ainekoostumus.....	6
Taulukko 2. Pelletin kuiva-ainekoostumus.....	7
Taulukko 3. Palaturpeen kuiva-ainekoostumus	8
Taulukko 4. Kanamunantuotannon kuivalannan koostumus	10
Taulukko 5. Broilerintuotannon kuivalannan koostumus	11
Taulukko 6. Kierrätyspolttoaineiden kuiva-ainekoostumus	12
Taulukko 7. Kuiva-aineiden moolimassat.....	13
Taulukko 8. Teoreettisen hapen tarve	14
Taulukko 9. Savukaasukomponenttien määrät.....	14

1 Lähtökohdat ja tavoitteet

Työn aiheena on selvittää ja suunnitella Jyväskylän ammattikorkeakoulun Saarijärven biotalousinstituutin pienkattiloiden testauslaboratorioon sopivia erilaisia savukaasujen jälkikäsittelyjärjestelmävaihtoehtoja. Laboratoriossa käytetään monenlaisia kattiloita 40 kilowattista 1200 kilowattiin asti. Kattilatestaukset aiheuttavat haitallisia päästöjä biotalousinstituutin alueelle ja savukaasut saattavat kulkeutua myös sisätiloihin esimerkiksi tuulen mukana. Suurimpana ongelmana ovat epätäydellisestä palamisesta syntyvät hiilivedyt ja pienhiukkaset.

Haitalliset savukaasupäästöt on tärkeä saada minimoitua, sillä muuten kattiloiden testaukset joudutaan suorittamaan yöllä, joka koituu toimeksiantajalle kalliiksi. Päästöjen vähentäminen on tärkeää myös terveysongelmien kannalta.

Työssä selvitetään tarkempi kuvaus eri polttoaineiden palamisesta syntyvistä savukaasuista. Kattilantestauslaboratoriossa käytetään monia eri polttoaineita, joista tarkasteluun valittiin hake, pelletti, turve, metsähake, muovi, lanta ja yhdyskuntajäte.

Suurimpia palamisprosessiin vaikuttavia tekijöitä ovat polttoaine, polttotapa, polttolaitte ja palamisolosuhteet. Koska kyseessä on kattilantestauslaboratorio, polttoaineeseen eikä polttolaitteeseen voida vaikuttaa. Lisäksi testauksien aikana kattilaa voidaan esimerkiksi koeajaa eri ilmakertoimilla, jolloin palamisolosuhteet eivät ole aina suotuisat. Tästä syystä päästöihin täytyy vaikuttaa muilla keinoilla.

Tavoitteena on selvittää paras mahdollinen tapa poistaa pienhiukkaset ja hiilivedyt savukaasuista ja ottaa selvää minkälaisia valmiita järjestelmiä laitetoimittajat myyvät. Mahdollisuutena on myös rakentaa laitekokonaisuus itse teollisuuskomponenteista. Lisäksi toimeksiantajalle laaditaan hankintaesitys ja tarjouspyyntö jälkikäsittelyjärjestelmästä käytettäväksi.

2 Polttoaineiden savukaasukomponentit

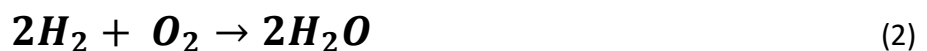
Saarijärven kattilatestauslaboratoriossa käytetään monenlaisia polttoaineita, joista tarkasteluun valittiin hake, pelletti, turve, metsätähdehake, muovi, lanta ja yhdyskuntajäte. Valinnoissa otettiin huomioon myös kosteus hakkeessa, pelletissä ja turpeessa. Tarkoituksena oli selvittää tarkemmin mitä molekyylijä savukaasut sisältävät poistuessaan kattilasta.

Lähes kaikki polttoaineet ovat suurimmaksi osaksi hiiltä ja vetyä. Monissa polttoaineissa myös hapen osuus on merkittävä, joka vähentää palamisilman tarvetta. Palamisessa polttoaineen sisältämät aineet reagoivat hapen kanssa. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 38.)

Hiilen palamisreaktiossa palamistuotteena on hiilidioksidi, joka muodostaa suurimman osan kaikista savukaasuista.



Vedyn palamisen tuotteena on vesi.



Monissa polttoaineissa esiintyy myös pieniä määriä rikkiä, joka palamisen aikana muuttuu rikkidioksidiksi.



Polttoaineissa on myös palamattomia komponentteja. Näitä ovat tuhka, vesi, happi ja typpi. Palamattoman tuhkan määrä lisää savukaasujen pölypitoisuutta ja polttoaineissa oleva vesi höyrystyy. Happi ja typpi reagoivat palon aikana seuraavasti: (Polttoaineiden koostumus ja palaminen 2015, 38–40.)





Osa typestä muodostaa palamisen aikana ympäristölle haitallista typpimonoksidia ja typpidioksidia: (Polttoaineiden koostumus ja palaminen 2015, 60).



Epätäydellinen palaminen

Orgaanisten aineiden palaminen jää usein epätäydelliseksi, etenkin pienpoltossa. Tämä johtuu siitä, että happi ei sekoitu kattilassa palavan aineen kanssa tarpeeksi hyvin tai happea ei ole riittävästi palamisreaktioiden toteuttamiseksi. Epätäydellisen palamisen seurauksena syntyy häkää (CO), nokea (C) ja erilaisia hiilivetyjä (C_xH_y.)

Mikäli polttoaine sisältää klooria, huonoissa palamisolosuhteissa voi muodostua myrkyllisiä furaaneja ja dioksiineja, jotka ovat haitallisia vesieliöille ja linnuille (Polttoaineiden koostumus ja palaminen 2015, 34).

Savukaasuissa osa rikkidioksidista (SO₂) hapettuu edelleen rikkiatrioksidiksi (SO₃), joka reagoi edelleen vedyn palamistuotteen eli veden kanssa muodostaen syövyttävää rikkihappoa (H₂SO₄) (Polttoaineiden koostumus ja palaminen 2015, 54—59).

Polttoaineen kosteus

Kosteus laskee polttoaineen lämpöarvoa, koska ennen palamista veden täytyy höyryytyä ja faasimuutos vie runsaasti energiaa (2260 kJ/kg). Tuoreen vastakaadetun puun kosteus on noin 50—60 %. Kosteus lisää savukaasujen mukana poistuvaa höy-

ryn määrää sekä alentaa lämpötilaa, jossa voi tapahtua epätäydellistä palamista. Kosteus vähentää myös huomattavasti palamisilman tarvetta. Turve, jonka kosteus on 50 %, tarvitsee noin puolet vähemmän palamisilmaa kuin täysin kuiva turve. (Polttoainneiden koostumus ja palaminen 2015, 52—53), (Huhtinen ja muut 2000, 39.)

2.1 Hake

Hake on yleisin Suomessa käytetty puupolttoainemuoto. Hake valmistetaan koneellisesti puuta leikkaamalla pieniksi kappaleiksi, joiden koko on yleensä 30—40 mm. Korkealaatuisen hakkeen kosteus on yleensä noin 25 %. Eri puilla ja eri valmistustavoilla tehdyn hakkeen kuiva-ainekoostumukset eroavat toisistaan, mutta erot ovat hyvin pieniä (Hake, n.d.). Taulukossa 1 on tyypillisen hakkeen kuiva-ainekoostumus.

Taulukko 1. Hakkeen tyypillinen kuiva-ainekoostumus (Kärmeniemi, 2006, 23)

Hakkeen kuiva-ainekoostumus	
Aine	% -kokonaismassasta
C	52
H ₂	6
N ₂	0,4
O ₂	40
Tuhka	1,6

2.2 Pelletti

Pelletti on puusta valmistettua polttoainetta. Se valmistetaan pääosin puunjalostuksesta syntyvistä sivutuotteista, esimerkiksi kutterinpurusta tai sahajauhosta. Ne pu-

ristetaan hienonnetusta puumassasta pieniksi sylinterin muotoisiksi kappaleiksi. Pelletin kosteuspitoisuus on alhainen, yleensä noin 10—15 %. (Knuuttila, Alakangas & Moisio 2003, 84—85.)

Taulukko 2. Pelletin kuiva-ainekoostumus (Kärmeniemi, 2006, 34)

Pelletin kuiva-ainekoostumus	
Aine	% -kokonaismassasta
C	49,7
H ₂	6,11
N ₂	0,16
O ₂	43,73
Tuhka	0,3

Pelletin ja hakkeen kuiva-ainekoostumukset ovat hyvin samanlaiset. Suurimpana erona on tuhkan määrä, joka on pelletillä huomattavasti pienempi.

2.3 Turve

Turvetta syntyy kuolleista kasveista maatumalla kun kasvimateriaali hajoaa epätäydellisesti veden ja hapen puutteen vuoksi. Turpeen koostumus vaihtelee tuotantopaikan ja -tavan mukaan. Taulukossa 3 esitetään yleisemmin pienpoltossa käytetyn palaturpeen kuiva-ainekoostumus, jonka arvot on otettu palaturpeen vaihteluväliltä. Palaturpeen kosteus on tyypillisesti noin 25—40 %. (Kärmeniemi, 2006, 26—27.)

Taulukko 3. Palaturpeen kuiva-ainekoostumus (Kärmeniemi, 2006, 27)

Palaturpeen kuiva-ainekoostumus	
Aine	% -kokonaismassasta
C	55,5
H ₂	5,5
N ₂	1,86
O ₂	32,5
S	0,15
Tuhka	4,5

Turpeen savukaasujen koostumuksessa suurimmat erot hakkeeseen ovat typen ja tuhkan määrä sekä rikki- ja klooripitoisuus.

2.4 Metsätähdehake

Metsätähdehake tehdään metsään jäävistä runkohukkapuista, oksista ja juurista. Palamisen aikana metsätähdehakkeen kosteasta lehti- tai neulasaineesta syntyy klooria sekä alkalimetalleja, kaliumia ja natriumia. Kloori voi aiheuttaa kattilassa kuumakorroosiota, jos sisäpinnan lämpötila ylittää 480 °C. Metsätähdehaketta pyritäänkin polttamaan seoksena rikki- ja klooripitoisen polttoaineen kanssa. Tällöin alkalit sulfa- toituvat ja kloori vapautuu kloorivedyksi kulkeutuen savukaasujen mukana ulos. Pol- ton kannalta haastavampia aineita ovat kalium ja natrium. Muuten metsätähdehak- keen kuiva-ainekoostumus on hyvin samanlainen kuin hakkeella. Sen kosteus on noin 35—40 %. (Polttoaineiden koostumus ja palaminen 2015, 27.)

2.5 Muovi

Muovin palaminen on monimutkainen tapahtuma, josta syntyy usein nokihiukkasista koostuvaa savua. Savun määrän muodostumiseen vaikuttavat etenkin muovin rakenne ja poltettavan kappaleen muoto. Noin 80 % muoveista ovat polyeteeniä (PE) ja polypropeenaa (PP). Loput muoveista koostuvat yleisimmin polystyreenistä (PS) ja polyeteenitereftalaatista (PET). Näistä poltettavaksi suositellaan ainoastaan polyeteeniä ja polypropeenaa. Esimerkiksi polyeteenitereftalaatin ja polystyreenin poltossa muodostuu jopa 3–4 kertaa enemmän savua kuin polyeteenin poltossa. (Alakan-gas n.d.)

Kierrätys- ja jätemuovin merkkejä on silti mahdotonta tutkia ennen polttoa ja esimerkiksi polyuretaani voi palaessaan muodostaa pieniä määriä myrkyllistä syaanivetyä (HCN). PVC:tä ei niin ikään saa polttaa. Palaessa siitä muodostuu kloorivetyä ja siitä edelleen syövyttävää suolahappoa (NaCl). Tästä huolimatta edellä mainittuja muovityyppejä saattaa esiintyä kierrätysmuovin mukana. (Mts.)

Polton aikana muovi sulaa ja suuret määrät muovaa saattavat palaa jopa räjähdysmäisesti korkeissa lämpötiloissa. Koska muovin raaka-aineena toimii öljy, savukaasusta löytyy myös usein orgaanisia yhdisteitä eli hiilivetyjä. (Mts.)

2.6 Lanta

Lain mukaan lannan polttaminen Suomessa on vielä taloudellisesti melkein mahdollista, koska lanta luokitellaan jätteeksi ja vaatii tästä syystä jatkuvan savukaasupäästötarkkailun. Lainsäädäntöön odotetaan kuitenkin muutosta lähitulevaisuudessa. (Hevoselanta n.d.)

Tutkimusta on tehty selvästi eniten hevosen lannan hyötykäyttöön liittyen. VTT:n tekemien polttokokeiden mukaan, jossa 40 kW:n kattilassa poltettiin 40 % lanta- ja

60 % hake –seosta havaittiin, että etenkin hiukkas-, hiilivety-, ja häkäpäästöt olivat huomattavasti suurempia kuin normaalissa puunpoltossa. Polton aikana muodostui myös pieniä määriä vetykloridia. (Pellikka n.d.)

Yleinen ongelma lannan poltossa on ammoniakista johtuvat päästöt ja hajuhaitat. Lanta joudutaan kuivaamaan eri prosesseilla ja suositellaan poltettavaksi esimerkiksi turpeen kanssa, jolla on paras ammoniakkin sitomiskyky. (Kuokkanen 2010, 18.)

Kananlannan poltto on myös yleistynyt. Viime vuosina tullut muutos EU:n asetuksiin sallii siipikarjan lannan polton alle 5 megawatin polttolaitoksissa. Poltolla on korkeat lämpötilavaatimukset (850 °C) ja päästöille on asetettu tiukat raja-arvot. (Lehtonen 2014.)

Kananlannan kuiva-ainekoostumus riippuu kanalan tyypistä. Kananmunantuotannon ja broilerintuotannon lantaa ei voi käsitellä samanlaisena, koska broilerintuotannossa kasvatuskausi kestää vain 36–37 päivää, kun taas kananmunantuotannossa kausi on noin 13 kuukautta. Taulukoon 4 ja 5 on kerätty keskiarvot eri mittauksista, joita on suoritettu Espanjassa ECN laboratorioissa. Mittauksissa tuhkapitoisuus vaihtelee reilusti 22–36 painoprosentin välillä. (Kuokkanen 2010, 20–22.)

Taulukko 4. Kananmunantuotannon kuivalannan koostumus (Kuokkanen 2010, 21)

Kananmunantuotannon kuivalannan koostumus	
Aine	% -kokonaismassasta
C	36,2
H	4,6
N	5,9
O	31,3
S	0,109
Tuhka	33,65

Taulukko 5. Broilerintuotannon kuivalannan koostumus (Kuokkanen 2010, 22)

Broilerintuotannon kuivalannan koostumus	
Aine	% -kokonaismassasta
C	39,4
H	3,5
N	5,3
O	23,4
S	0,7
Tuhka	19,6

Merkittävin ero lannanpolton savukaasuissa verrattuna hakkeen savukaasuihin on erittäin suuri tuhkan määrä. Myös typen oksidi- ja rikkidioksidipäästöt ovat selkeästi suurempia kuin esimerkiksi turpeella. Lisäksi lannan kloori- ja alkalipitoisuudet voivat aiheuttaa korroosio-ongelmia. (Kuokkanen 2010, 40—41.).

2.7 Yhdyskuntajäte

Yhdyskuntajätteellä tarkoitetaan kunnan järjestämän jätehuollon piirissä olevissa kotitalouksissa syntyvää jätettä. Yhdyskuntajäte koostuu pääosin muovista, paperista, pahvista, tekstiilistä ja styroksista. (Yhdyskuntajäte, n.d.)

Yleisesti käytetyt kierrätyspolttoaineet ovat jaettu eri luokkiin kloori- ja raskasmetallipitoisuuksien mukaan, jossa REF I (REcovered Fuel) tarkoittaa polttoominaisuuksiltaan parasta ja REF III taas huonointa polttoainetta. Ominaisuuksissa on huomioitava, että suuria eroja voi syntyä esimerkiksi eri paikkakunnilta kerättävistä jätteistä. Taulukko 6 perustuu VTT:n ja Fortumin Kauttuan tehtaan polttoaineanalyysistä ja kuvaavat keskimääräisiä arvoja.

Taulukko 6. Kierrätyspolttoaineiden kuiva-ainekoostumus (Koskinen 2006, 18)

Kierrätyspolttoaineiden kuiva-ainekoostumus	REF I	REF III
Aine	% -kokonaismassasta	% -kokonaismassasta
C	56	52,9
H	7,4	7,3
N	0,63	0,73
O	29,5	28,3
S	0,16	0,13
Tuhka	5,9	9,5
Kosteus	9,1	28,5

Jätteenpolton aikana aiemmin mainittuihin polttoaineisiin erona on mahdollinen vetykloridin (HCl) eli suolahapon ja vetyfluoridin (HF) syntyminen (Koskinen 2006, 19). Yhdyskuntajätteen kokonaiskoostumusta on mahdotonta selvittää tarkasti, koska eri jätetyyppien määrät voivat vaihdella suuresti. Jätteen pienpoltosta palaminen on hyvin usein epätäydellistä ja savukaasut ovat likaisempia kuin esimerkiksi hakkeen poltossa.

3 Savukaasujen jälkikäsittelyjärjestelmän mitoitus

Saarijärven kattilantestauslaboratoriossa käytetään monenlaisia kattiloita koko-
luokissa 40 kW—1200 kW, mikä tekee sopivan jälkikäsittelyjärjestelmän suunnitte-
lusta hyvin hankalan. Mittaustiedot perustuvat 500 kilowatin koivuhakkeen ja 1,2
megawatin jätteenpolttolaitoksen polton aikana mitattuihin tietoihin. Mittausanturit
sijaitsevat piipussa heti kattilan jälkeen.

Seuraavat laskelmat perustuvat 35 minuuttia kestäneen koivuhakkeen polton mittatuloksiin, jossa polttoainetta syötettiin 85,14 kg ja tehoksi on laskettu 508,94 kW. Testauslaboratoriossa ei ole savukaasujen virtausmittausta, joten virtaus lasketaan mittaustulosten perusteella. Savukaasujen kokonaisvirtausmäärä on teoreettisten savukaasujen määrä ja ilmaylimäärän summa.

- Mittaustulosten perusteella haketta poltettiin tunnin aikana yhteensä.

$$\frac{85,14 \text{ kg}}{35 \text{ min} * 60 \text{ s}} * 3600 \text{ s} = 145,95 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (8)$$

- Laskennassa käytetään työssä aikaisemmin mainittua tyyppillisen hakkeen kuiva-ainekoostumusta ja mittaustiedoista saatua kosteusprosenttia 25,7 %. Aineiden moolimäärät saadaan kertomalla polttoaineen kokonaismassa kuiva-aineen prosenttiosuudella ja tämä luku kerrotaan moolimassalla (kg/kmol) eli massalla, joka aineella on kilomoolia kohden. (ks. taulukko 7.)

Taulukko 7. Kuiva-aineiden moolimassat

Kuiva-aineet	M kg/kmol
Hiili	12,01
Vety	2,02
Happi	32
Typpi	28,01
Vesi	18,02

- Teoreettinen hapen tarve määräytyy palamisreaktioissa ilmaantuvan happi-molekyylin mukaan. Taulukossa 8 kuvataan teoreettinen hapen tarve täydelliseen palamiseen.

Taulukko 8. Teoreettisen hapen tarve

Kuiva-aineet	Moolimäärä, kmol	Teoreettinen hapen tarve, kmol
Hiili	6,319	6,319
Vety	4,335	2,168
Happi	1,824	-1,824
Typpi	0,021	0
Vesi	2,082	0
Yhteensä		6,66

- Taulukossa 9 kuvataan polton aikana muodostuvien savukaasukomponenttien määrät kilomooleina.

Taulukko 9. Savukaasukomponenttien määrät

Savukaasu-komponentit	Savukaasujen määrä, kmol
CO ₂	6,319
H ₂ O (vety)	4,335
N ²	0,021
H ₂ O (kosteus)	2,082
Yhteensä	12,76

- Savukaasuissa oleva typen määrä saadaan kertomalla teoreettinen hapen tarve ilmassa olevan typen ja hapen suhteella. Tulokseen lisätään teoreettinen ilman tarve, joka on teoreettisen hapen tarpeen ja typen määrän summa, jolloin saadaan kokonaisilman tarve. Tämä ilman määrä kerrotaan ilmakerto-

mella, joka polton aikana oli 1,514. Lopputuloksena on savukaasujen mukana kulkeutuva ilman ylimäärä.

$$\left(6,66 \text{ kmol} * \frac{79}{21} + 6,66 \text{ kmol}\right) * (1,514 - 1) = 16,3 \text{ kmol} \quad (9)$$

- Varsinaisten savukaasujen määrä saadaan summaamalla typen ja muodostuneiden savukaasujen määrät.

$$\left(6,66 \text{ kmol} * \frac{79}{21}\right) + 12,76 \text{ kmol} = 37,81 \text{ kmol} \quad (10)$$

- Lopullinen savukaasujen määrä on savukaasujen ja ilman ylimäärän summa.

$$16,3 \text{ kmol} + 37,81 \text{ kmol} = 54,11 \text{ kmol} \quad (11)$$

- Tulos muutetaan ymmärrettävämpään muotoon ideaalin kaasulain avulla eli kaavalla $pV = nRT$, josta ratkaistaan tilavuusvirtaus eli V . Savukaasujen lämpötila polton aikana on noin $240 \text{ }^\circ\text{C}$ -astetta, joka on saatu jätteenpolton mittauksista. Laskussa lämpötila muutetaan kelvineiksi ja kaasuvakio R on $8,31 \text{ kNm/K*kmol}$. Paineena käytetään ilmanpainetta eli $101\,000 \text{ Pascalia}$.

$$\frac{54,11 \text{ kmol} * 8,31 \frac{\text{kNm}}{\text{K*kmol}} * (240 \text{ }^\circ\text{C} + 273,15)}{101000 \text{ Pa}} * 1000 = 2284,6 \text{ m}^3 \quad (12)$$

- Savukaasuja syntyy aina samassa suhteessa polttoaineeseen nähden. Tästä syystä tulokset voidaan muuttaa tuhannen kilowatin kokoluokkaan.

$$2284,6 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ kW}}{508,94 \text{ kW}} = 4488,94 \text{ m}^3 \quad (13)$$

Jälkikäsittelyjärjestelmän täytyy siis pystyä suodattamaan savukaasuja noin 4500 - kuutiota tunnissa ja kestää noin $240 \text{ }^\circ\text{C}$ -asteen lämpötilaa. Järjestelmä voidaan mi-

toittaa pelkästään puupolttoaineelle, koska eri polttoaineista muodostuu melkein sama määrä savukaasuja tehoon verrattuna.

4 Laiteselvitys

Savukaasujen puhdistusjärjestelmän tarkasteluun on valittu yleisimmät voimalaitoksissa käytetyt suodatustekniikat. Tarkasteluun ei otettu märkäpesureita, koska ne tarvitsevat yhteyden jätevesilinjaan ja pahimmassa tapauksessa vesi luokitellaan ongelmajätteeksi. (Ohlström, Tsupari, Lehtilä & Raunemaa 2005, 26—27.)

Suodatusmenetelmän valinnan kannalta tärkeimmät suureet ovat hiukkaskoko ja keräystehokkuus. Keräystehokkuus eli erotusaste kertoo kuinka suuri osa suodatettavasta aineesta suodattuu. Se ilmoitetaan usein massaprosentteina, eli kuinka suuri osa suodatettavan aineen massasta suodattuu. (Visakova 2015, 34.)

Valinnassa on huomioitava myös suodattimen aiheuttama painehäviö. Mikäli painehäviö nousee liian suureksi, kattilan veto heikkenee ja pahimmassa tapauksessa laitokseen joudutaan asentamaan tehokkaampi savukaasupuhallin.

Hiukkaset

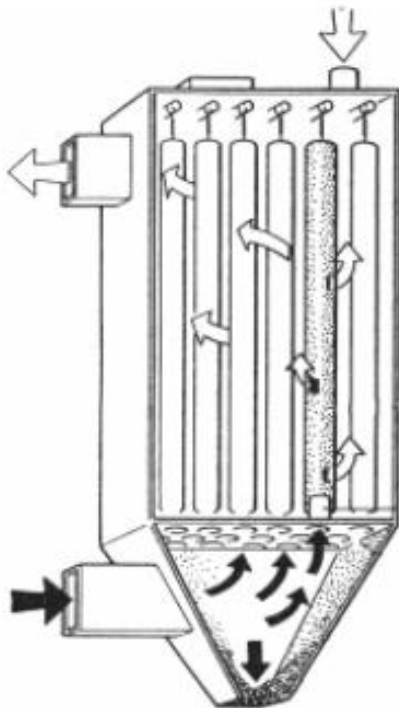
Pienhiukkaset ovat alle 2,5 -mikrometrin kokoisia hiukkasia. Pienhiukkaset leijailevat ilman mukana ja aiheuttavat terveyshaittoja hengitysteihin. Puun pienpoltto on merkittävin pienhiukkaslähde Suomessa. Karkeat hiukkaset ovat suurempia 2,5—100 mikrometrin kokoisia hiukkasia. Ne ovat silti silmällä havaitsemattoman pieniä, esimerkiksi katu - ja siitepöly koostuvat karkeista hiukkasista. (Hiukkastieto, n.d.)

4.1 Kuitusuodatin

Kuitusuodattimen toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen ja se koostuu useasta kuitukerroksesta. Kuitusuodatin erottaa tyypillisesti 0,1—100 µm kokoiset hiukkaset. Kuitukerrokset ovat hyvin ohuita ja suodatinosa on vain 0,15—0,5 mm paksuinen. Kuitumateriaali on hyvin huokoista ja tästä syystä painehäviö on pieni.

Kuitusuodatin kykenee suodattamaan jopa 0,1 µm kokoisia hiukkasia ja sen erotusaste on yleensä lähes 100 % kaikenkokoisille hiukkasille.

Letkusuodatin on yleisin kuitusuodatintyyppi (ks. kuvio 1). Suodatinyksikön letkujen määrä valitaan suodatustarpeen mukaan. Savukaasu johdetaan kankaan läpi ja kankaalle kertynyt pöly poistetaan joko mekaanisesti ravistamalla, paineilmalla tai ultraäänien avulla. Puhdistuksessa pöly putoaa pohjasuppiloon ja siitä säiliöön. (Ohlström ja muut 2005, 23—26.)

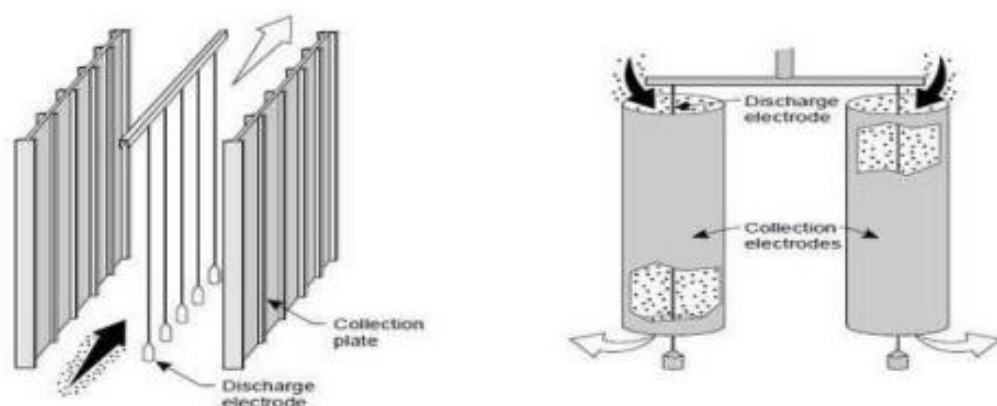


Kuvio 1. Letkusuodattimen toimintaperiaate (Ohlström ja muut 2005, 26)

Kuitusuodattimien ongelmana on kuluminen, savukaasujen tarttuvat partikkelit ja huollon tarve. Suodattimia joudutaan uusimaan tietyin väliajoin, joten kuitumateriaalista voi kertyä merkittäviä kustannuksia. Materiaalina suodattimissa käytetään puuvillaa, nylonia, lasikuitua ja polyestereitä. Etenkään puuvilla ei kestä korkeita lämpötiloja ja lasikuituakin voi käyttää vain savukaasujen ollessa maksimissaan 290 °C – astetta. Haitallista kuitusuodattimille on myös rikkiptoisten polttoaineiden poltto. (Mts, 23–26.)

4.2 Sähkösuodatin

Sähkösuodatin on kiinteitä polttoaineita käyttävissä voimalaitoksissa yleisimmin käytetty hiukkaserotinlaite. Se voidaan jakaa kahteen ryhmään: kuuma- ja kylmäpuolisuodattimiin. Kuumapuolisuodattimet sijaitsevat kattilan lähellä kun savukaasujen lämpötila on 320 °C – 400 °C. Kylmäpuolisuodattimet sijaitsevat savukaasukanavan loppupuolella usein luvon, eli palamisilman esilämmittimen jälkeen, jolloin lämpötila on 120 °C – 150 °C. Suodattimia on myös kahta eri rakennetta levymäisiä ja putkimaisia (ks. kuvio 2). (Ohlström ja muut 2005, 20–23.)



Kuvio 2. Levymäinen ja putkimainen sähkösuodatin (Visakova 2015, 25)

Sähkösuodattimessa hiukkaset varataan sähkökentässä, minkä jälkeen ne erottuvat keräyselektrodeille. Negatiivisella tasavirtajännitteellä varautuneet emissioelektrodit, purkautuvat koronapurkauksessa, jolloin negatiivisen elektronin irtoaminen saa aikaan sähkövirran. Elektronit törmäävät savukaasumolekyyleihin ja varaavat hiukkaset negatiivisella varauksella. Tästä syystä savukaasumolekyylit hakeutuvat positiiviselle keräyselektrodille. Kiinnittyneet hiukkaset poistetaan ravistamalla, vesihuutelulla tai mekaanisesti. (Jalovaara, Aho, Hietämäki & Hyytiä 2003, 59—61.)

Sähkösuodatin suodattaa 0,1—100 µm kokoiset hiukkaset 99 % -erotusasteella. Sen lukuisiin hyviin puoliin kuuluvat myös pienet käyttökustannukset, pieni painehäviö, lämpötilankesto, vähäinen huoltovaatimus ja pitkä käyttöikä. Sähkösuodattimen investointikustannukset saattavat kuitenkin nousta korkeiksi. (Visakova 2015, 25.)

Sähkösuodattimen erotuskyky on riippuvainen savukaasujen koostumuksesta. Erotuskykyä heikentävät palamattomien hiukkasten osuus sekä vety-, typpi-, ja hiilidioksidipitoisuus. Erotuskykyä nostavat vesihöyry ja rikkidioksidien määrä. (Ohlström ja muut 2005, 20—23.)

4.3 Sykloni

Syklonit saattavat savukaasut pyörivään liikkeeseen ja erottavat hiukkasia savukaasuista keskipakovoiman avulla. Hiukkaset ajautuvat virtauksen mukana syklonin seinille ja valuvat siitä pohja-aukosta säiliöön. Sykloneita valmistetaan halkaisijaltaan 10 senttimetristä useaan metriin. Yleisimmät syklonityypit ovat vastavirtasykloni ja läpivirtaussykloni. Useita sykloneita voidaan myös asentaa rinnan suodatuskyvyn parantamiseksi. Tätä kutsutaan multisykloniksi. (Ohlström ja muut 2005, 18—20.)



Kuvio 3. Vastavirtasyklonin toimintaperiaate (Ohlström ja muut 2005, 19)

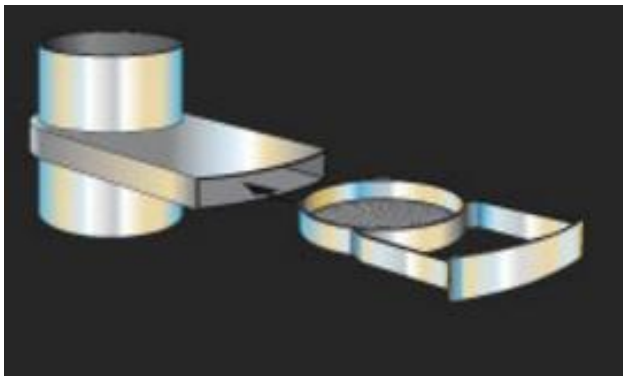
Syklonin tavallinen erotusaste on noin 90 % yli 10 μm hiukkasille. Pienhiukkasten suodatuskyky jää kuitenkin hyvin heikoksi ja painehäviö on suhteellisen suuri. Syklonin rakenne on hyvin yksinkertainen ja tästä syystä kustannukset jäävät hyvin alhaisiksi muihin suodatusmenetelmiin verrattuna. (Ohlström ja muut 2005, 18–20.)

4.4 Katalysaattori

Katalysaattorin tarkoituksena on poistaa savukaasuista häkä, typpioksidit sekä hiilivedyt. Sen toiminta perustuu jalometallikatalyytteihin, jotka ovat usein joko platina tai palladium ja lisäksi rhodium. Platina ja palladium toimivat hapetuskatalyyttinä ja rhodium puolestaan pelkistyskatalyyttinä. Katalysaattorin hunajakennomainen ra-

kenne saa savukaasut kulkemaan kapeiden kanavien kautta, jossa savukaasumolekyylin osuminen katalyyttiseen hiukkaseen varmistetaan. (Laurikko, 1993.)

Katalysaattorit pienkattiloissa eivät ole kovin yleisiä. Esimerkkinä toimii NVI:n piippukatalysaattori, joka mainostaa poistavansa 60—80 % hiilimonoksidista savukaasujen lämpötilan ollessa 200—450 °C -astetta. Katalysaattori täytyy puhdistaa 40—60 tunnin aktiivisen käytön jälkeen. Sen rakenne onkin suunniteltu helposti irroitettavaksi (ks. kuvio 4). (NVI - piippukatalysaattori, n.d.)



Kuvio 4. NVI - Piippukatalysaattori (NVI - piippukatalysaattori, n.d.)

Toinen esimerkki on yhdysvaltalainen Energy King -yrityksen takkaan sijoitettava katalysaattori. Molemmat esimerkit ovat kuitenkin suunniteltu vain pieniin kotikäyttöisiin kattiloihin ja takkoihin, eikä niitä valmisteta suurempaan kokoluokkaan. (Energy king, n.d.)

Pienten katalysaattoreiden lisäksi suuriakin katalysaattoreita käytetään esimerkiksi laivoissa. Epävarmaksi jää, soveltuuko samanlainen katalysaattori suodattamaan kattilasta tulevia savukaasuja. Kattilasta tulevat savukaasut ovat huomattavasti epäpuhtaampia kuin esimerkiksi diesel-käyttöisestä moottorista. Tämä voi johtaa siihen, että katalysaattori menee helposti tukkoon. Rakenteen vuoksi katalysaattori saattaa aiheuttaa puhtaankin savukaasuvirtaukselle suuren painehäviön.

5 Yhteenveto

Tavoitteena oli tehdä markkinakartoitusta sopivista savukaasujen jälkikäsittelyjärjestelmistä ja löytää eri tapoja puhdistaa savukaasuista pienhiukkaset ja hiilivedyt. Saarijärven biotalousinstituuttiin ihanteellinen savukaasujen jälkikäsittelyjärjestelmän rakenne koostuisi hiukkassuodattimesta ja katalysaattorista. Katalysaattori asennettaisiin savukaasulinjaan hiukkassuodattimen jälkeen. Koska kyseessä on kattilantestauslaboratorio, en suosittelisi kuitusuodattimen käyttöä huoltovälien ja rikkipitoisten polttoaineiden käytön sekä paljon vaihtelevien polttotilanteiden takia. Toimivin ratkaisu pienhiukkaspäästöihin olisi mielestäni sykloni tai sähkösuodatin riippuen toimeksiantajan tarpeista. Sykloni on halvempi ja yksinkertaisempi, mutta sähkösuodattimen pienhiukkasten erotusaste on huomattavasti parempi.

Vaikka valmista katalysaattoria tai aktiivihiilisuodatinta ei pienpolttoon valmisteta, mielestäni näistä ratkaisuista etenkin katalysaattori on silti mahdollinen. Lisätutkimusta vaativat katalysaattorin mitoittaminen, hiilivetyjen poistokyky, painehäviö ja likaisista savukaasuista sekä katalysaattorin rakenteesta johtuva mahdollinen tukkoon meneminen.

Esimerkkisyklonina toimii kiinteään polttoaineen kattiloille suunniteltu Dust control system oy:n DCPS-25 multisykloni. DCPS-25:ssa on monia piensyklonielementtejä, joista yhden mitoitustilavuusvirta on $1000 \text{ m}^3/\text{h}$. Sen erotusaste on yli 90 % yli 10 mikrometrin hiukkasille. DCPS-25 soveltuu kattilantestauslaboratorion käyttöön hyvin, koska kattilatehon puolittuessa erotusaste tippuu vain neljännesosan. Lisäksi haluttaessa piensyklonielementti voidaan tulpata sokeilla laipoilla huoltoluukusta, jolloin erotusaste nousee takaisin 90 prosenttiin, kun käytetään pienitehoisempia kattiloita. DCPS-25:n arvolisäveroton hinta-arvio on noin 6500 € ja laitteen koko on noin 1,1m x 3m x 1m. (Kanerva, 2016.)

Valmiina sähkösuodatinratkaisun esimerkkinä toimii sveitsiläinen OekoSolve yrityksen puupolttoaineiden savukaasujen suodatuksen tarkoitettu OekoRona - sähkösuodatin, jota valmistetaan 70—1000 kilowatin kokoluokissa. OekoRona on putkimainen sähkösuodatin, joka asennetaan savukaasulinjaan heti kattilan jälkeen. Suodatin sopisi hyvin vaihteleviin polttotehoihin, koska sähkösuodattimet toimivat yleisesti paremmin kuin savukaasunvirtausta lasketaan suuremman keräyspinta-ala-ansiosta. (Brzovic, 2016.)

OekoRona ei kuitenkaan sovellu kattilantestauslaboratorion käyttöön. Ongelmia tulee rikkiä kestävistä polttoaineiden kanssa, koska kaikkia laitteen osia ei ole rakennettu rikkiä kestävästä teräksestä. Lisäksi rikkiä kestävien polttoaineiden suodatukseen käytökustannukset kasvavat. Sähkösuodattimet ovat usein myös suurikokoisia. Kannattavaa onkin etukäteen tarkistaa riittääkö kattilahallissa oleva tila sähkösuodattimelle. Tuhanteen kilowattiin mitoitettu OekoRona 6M fyysiset mitat ovat noin 4m x 3m x 1m. (Brzovic, 2016.)

6 Hankintaesitys ja tarjouspyyntö

Hankintaesitys ja tarjouspyyntö laaditaan harjoituksena valmiiksi toimeksiantajalle käytettäväksi. Jyväskylän ammattikorkeakoulussa uuden hankinnan tekemisessä ensimmäinen askel on markkinakartoituksen tekeminen. Markkinakartoituksessa selvitetään muun muassa markkinoilla olevia tuotteita ja valmistajia, tuotteiden ominaisuuksia sekä hintatasoa ja saatavuutta. Kartoituksen jälkeen täytetään hankintaesitys, jossa kerrotaan hankinnan kuvaus ja perustelut sekä alustava hinta-arvio ja aikataulu. (Miettinen, 2015.) Hankintaesitys löytyy liitteestä 1.

Hankintaesityksen jälkeen täytetään hankinnan tärkein asiakirja eli tarjouspyyntö. Tarjouspyyntö toimii pohjana varsinaiselle sopimukselle, joka luodaan tarjouskilpai-


lun jälkeen ostajan ja tarjoajan välille. Tarjouspyynnön avulla järjestetään kaikkia kohtaan reilu kilpailutus, jossa esimerkiksi tehdään tarjoajille selväksi, minkälainen kohde on kyseessä, mitä ominaisuuksia laitteelta vaaditaan ja mitä sopimusehtoja noudatetaan. Lisäksi tarjouspyynnössä käydään läpi päätöksen valintakriteerit, eli millä perusteilla tarjouskilpailun voittaja valitaan. (Miettinen, 2015.) Tarjouspyyntö löytyy liitteestä 2.

Lähteet

1. Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. Kotka: Edita. Viitattu 14.3.2016.
2. 2015. Polttoaineiden koostumus ja palaminen. Bioenergia ja palaminen kurssimateriaalit. Viitattu 14.3.2016.
3. N.d Turve ja turvemaat. Turveinfo.fi. Viitattu 14.3.2016.
<http://www.turveinfo.fi/turve>
4. N.d. Hake. Puuenergieneuvoja. Viitattu 14.3.2016.
<http://www.bioenergieneuvoja.fi/biopolttoaineet/hake/>
5. Kärmeniemi H. 2006. Sulakaasututkimuslaitoksen suunnittelu ja testaus. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, energia- ja ympäristötekniikan osasto. Viitattu 15.3.2016.
<https://www.doria.fi/xmlui/bitstream/handle/10024/30307/TMP.objres.263.pdf?sequence=1>
6. Knuuttila K, Alakangas E & Moisio T. 2003. Puuenergia. Jyväskylä: Jyväskylän teknologiakeskus Oy. Viitattu 15.3.2016.
7. N.d. Hiukkastieto. Viitattu 16.3.2016. <http://www.hiukkastieto.fi/node/22>
8. Visakova, A. 2015. Päästöjen vähentämistekniikat ja niiden sopivuus pienpolttolaitoksiin. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 17.3.2016.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/94099/Visakova_Antti.pdf?sequence=1
9. Ohlström, M, Tsupari, E, Lehtilä, A, & Raunemaa, T. 2005. Pienhiukkaspäästöt ja niiden vähentämismahdollisuudet Suomessa. Espoo: VTT tiedote. Viitattu 17.3.2016. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2300.pdf>
10. Jalovaara, J, Aho, J, Hietämäki, E, & Hyytiä, H. 2003. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5-50 MW:n polttolaitoksissa Suomessa. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy. Viitattu 17.3.2016.
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40560/SY_649.pdf?sequenc
11. Laurikko, J. 1993. Auto - Ympäristö. Oppimateriaaliprojekti. Viitattu 18.3.2016.
http://www.autotieto.net/pakokaasukurssi/oppimateriaalit/katalyysaattorin_rakenne.htm
12. Alakangas, E. N.d. Polttokelpoisten muovien tunnistaminen. VTT prosessit. Jyväskylä. Viitattu 21.3.2016.
https://www.uusiomuovi.fi/document.php/1/6/muovin_poltto-ohje/f6b47689ef58cbab9e026ac37949bbc5+&cd=1&hl=fi&ct=clnk&gl=fi
13. N.d. Yhdyskuntajäte. Lajitteluapuri. Viitattu 22.3.2016.
http://www.lajitteluapuri.fi/kotitaloudet/muut_materiaalit/yhdyskuntajate
14. Koivunen, K. 2007. Jätteenpolton tuhkien käsittelytekniikoiden ympäristövaikutukset. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, energia ja ympäristötekniikan osasto. Viitattu 22.3.2016.
<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/29991/TMP.objres.658.pdf?sequence=1>

15. Pellikka, T. N.d. Hevoselannan pienpolton tuloksia. VTT. Viitattu 23.3.2016.
http://www.hippolis.fi/UserFiles/hippolis/File/04112009/Pellikka_VTT_041109.pdf
16. Lehtonen, S. 2014. Kananlannan poltto sallitaan, hevosen ei. Maaseudun tulevaisuus. 30.6.2014. Viitattu 23.3.2016.
<http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/kananlannan-poltto-sallitaan-hevoselannan-ei-1.65797>
17. Kuokkanen, P. 2010. Kananlannan ominaisuudet mädätyksen ja polton kannalta. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen opisto, ympäristötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 23.3.2016.
<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/62850/nbnfi-fe201006021934.pdf>
18. N.d. Hevoselanta. Bioenergianeuvoja. Viitattu 23.3.2016.
<http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/hevoselanta/>
19. Koskinen, J. 2006. Jätteen rinnakkaispolton rooli ja rajaehdot Suomen jätestrategiassa. Suomen ympäristökeskus, valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016. Viitattu 30.3.2016.
20. N.d. NVI - piippukatalysaattori. Viitattu 30.3.2016.
<http://www.nvi.se/vedkatalysator.html?language=fi>
21. N.d. Energy king katalysaattori. Viitattu 31.3.2016.
<http://www.energyking.com/silhouette-zero-clearance-fireplace.htm>
22. Brzovic, T. 2016. OekoRona 6M. Vastaanottaja S. Niemi. Lisätietoja OekoRona sähkösuodattimesta. Viitattu 8.4.2016.
23. Miettinen, K. 2015. Projektien hankintakoulutus. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 10.4.2016.
24. Kanerva, T. 2016. DCPS-25 multisykloni. Vastaanottaja S. Niemi. Lisätietoja multisyklonista. Viitattu 15.4.2016.

Liite 1 Hankintaselvitys

		HANKINTAESITYS	Yksikkö: _____ Projektinro: _____ Kustannuspaikka: _____
<p>Hankintaesitys tulee ennen hankinnan toteuttamista laatia kaikista, yli 5000 euroa (ALV 0 %) arvoltaan olevista vuosihankinnoista muilta kuin kilpailutetuilta sopimustoimittajilta JAMKissa, olipa rahoittajana JAMK tai muu rahoittaja. Alle 5000 euron hankinnat toteutetaan JAMKin hankintaohjeen luvun 4 mukaisesti tai muun rahoittajan ohjeen mukaisesti. Hankinnan toteuttamisesta JAMKin hankintasäännön ja hankintaohjeen tai muun rahoittajan ohjeen mukaisesti sekä hankinnasta tiedottamisesta vastaa esittelijä. Allekirjoitettu hankintaesitys toimitetaan hankintakoordinaattorille, joka avaa hankinta-asian Twebissä ja arkistoi lomakkeen.</p>			
1 Hankinnan kohde	1.1 Kuvaus hankinnan kohteesta: Saarijärven biotalousinstituutin kattilantestauslaboratorion savukaasujen jälkikäsitteilyjärjestelmä.		
	1.2 Perustelut hankinnan toteuttamiselle: Kattilan polttotestaukset aiheuttavat opettajien ja opiskelijoiden terveydelle haitallisia päästöjä koulun alueella.		
	1.3 Hinta-arvio (sis. ALV:n) koko sopimusajalle: 10 000 - 30 000€	1.4 Selvitys siitä, miten hintatieto on selvitetty ja mitä hinta sisältää: Hintatieto on selvitetty markkinakartoituksella.	
	1.5 Mahdollisten toimittajien lkm: 2 kpl	1.6 Selvitys siitä, miten toimittajat on selvitetty: Internetistä etsimällä	
2 Hankinnan rahoitus ja takaisinmaksuaika	2.1 Hankinta on budjetoitu JAMKin vuosibudjettiin: Kyllä [], Ei [] Lisätietoja liitteessä nro _____		2.2 Hankinnalle on olemassa rahoitus: Kyllä [], Ei [] Lisätietoja liitteessä nro _____
	2.3 Mikäli kyseessä on käyttöomaisuusinvestointi (koneet, laitteet, rakennuskustannukset, tms.), laskelma takaisinmaksuajasta: _____ vuoden takaisinmaksuaika.		<i>Esimerkki: Suunniteltu investointi maksaa 10 000 € ja siitä arvioidaan saatavan noin 1 500 €:n (netto)tuotot tai muissa kustannuksissa saavutettavat säästöt vuosittain seuraavien 10 vuoden ajan. Investoinnin takaisinmaksuaika on 10 000 / 1500 = 6,66 vuotta.</i>
3 Hankintamenettely	3.1 Hankintalain mukainen suorahankintaperuste täyttyy ja hankinta toteutetaan suorahankintana (ks. suorahankintaperustelulomake, https://tweb1.ad.jamk.fi/TWeb/tfile?id=41580) Kyllä [], suorahankintaperustelulomake liitteenä nro _____ Ei [x], hankinta kilpailutetaan (<i>siirry kohtaan 3.2</i>)		
	3.2 Hankinta ylittää JAMKin sisäisen kilpailutusrajan 5000 euroa tai on kolmannen osapuolen rahoittama. Hankinta kilpailutetaan joko JAMKin hankintasäännön ja hankintaohjeen mukaisesti tai muun rahoittajan ohjeen mukaisesti. Mikäli hankinnan arvo ylittää 30 000 euroa (ALV 0 %), hankinta kilpailutetaan hankintalain mukaisesti. Kyllä [x], Ei []		
4 Aikataulu	Hankinnan tavoiteaikataulu: _____	<i>Keskimääräinen julkisen hankinnan kilpailutusprosessiin kuluva aika: * EU-kynnysarvon (209 000 €) alittava tavara- ja palveluhankinta 2 - 8 viikkoa. * EU-kynnysarvon ylittävä hankinta 3 – 6 kk.</i>	
5 Esittelijä	Paikka ja päivämäärä <u>Jyväskylä 18/5 2016</u>	Esittelijän allekirjoitus <u>Sami Niemi, Opiskelija</u>	
6 Hyväksyntä	Hyväksyjä: <input type="checkbox"/> Rehtori/toimitusjohtaja (> 50 000 €) <input type="checkbox"/> Vararehtori (< 50 000 € tai delegointipäätöksen mukaan) <input type="checkbox"/> Hallintojohtaja (< 50 000 € tai delegointipäätöksen mukaan)		<input type="checkbox"/> Liiketoimintajohtaja (< 50 000 €) <input type="checkbox"/> Tulosityksikön johtaja (< 50 000 €) <input type="checkbox"/> Tulosalueen päällikkö/Instituutin johtaja (< 30 000 € tai delegointipäätöksen mukaan) <input type="checkbox"/> Tukipalvelupäällikkö (< 30 000 €)
	Paikka ja päivämäärä _____ / _____ 201__		Hyväksyjän allekirjoitus Etunimi, Sukunimi

Liite 2 Tarjouspyyntö

Tarjouspyyntö savukaasujen jälkikäsittelyjärjestelmästä

Jyväskylän ammattikorkeakoulun biotalousinstituutti järjestää tarjouskilpailun savukaasujen jälkikäsittelyjärjestelmälle ja pyytää "[pp.kk.vvvv]" julkaisuun hankintailmoitukseen nro "[hankintailmoituksen nro]" viitaten tarjoustanne seuraavasti:

1 Sisältö

Kattilantestauslaboratorioon etsitään savukaasujen jälkikäsittelyjärjestelmää, jonka tarkoituksena on vähentää pienhiukkas- ja hiilivetypäästöjä. Kattilantestauslaboratoriossa käytetään kattiloita 40 kilowattista 1200 kilowattiin asti. Käytettäviä polttoaineita ovat muun muassa hake, turve, muovi, lanta ja yhdyskuntajäte.

Savukaasujen jälkikäsittelyjärjestelmä koostuu hiukkassuodattimesta ja katalyysaattorista. Jälkikäsittelyjärjestelmä jaetaan osioihin A hiukkassuodatin ja B katalyysaattori.

Tarjous tulee antaa suomen kielellä. Hankinnan ennakoitu arvo on 10 000 – 30 000 euroa (ALV 0 %)

2 Hinnoittelu

Hinnat on ilmoitettava arvonlisäverottomana (ALV 0 %).

Hintojen tulee sisältää kaikki kustannukset, kuten matkustus-, majoitus-, päiväraha-, materiaali-, tila-, kone-, laite-, ohjelmisto-, toimitus- ja kuljetuskustannukset. Kokouspalkkioita ja muita kulukorvauksia ei makseta erikseen. Toimittajalla ei ole oikeutta myöskään veloittaa erikseen matka-ajasta.

Hinnat on ilmoitettava tarjouslomakkeella annettujen ohjeiden mukaisesti. Lomaketta ei saa muuttaa millään tavoin. Ainoastaan lomakkeella ilmoitetut hinnat ovat mukana vertailussa.

3 Toimitusaika

119.09.2011

2090

Työn tulee olla valmis [pp.kk.vvvv] mennessä ja myyjän tulee esittää tarjouksessa työhön vaadittava aikataulu.

4 Toimitusehto

Vapaasti perille toimitettuna, koottuna ja asiakkaan tarpeiden mukaan säädettynä, paikoilleen asennettuna ja pakkausmateriaalit pois vietyinä.

5 Maksuehto

21 Pv netto.

6 Takuu ja saatavuus

Myyjää pyydetään ilmoittamaan tuotteen saatavuusehdot jatkossa.

7 Sopimusehdot

Tarjouskilpailun jälkeen ostajan ja tarjoajan välille tehdään kilpailutusasiakirjoihin perustuva sopimus.

Tässä tarjouspyynnössä mainittujen ehtojen lisäksi noudatetaan seuraavia sopimusehtoja: JYSE 2014 Tavarat.

Sopimus ostajan ja tarjoajan välille syntyy siinä vaiheessa, kun osapuolet ovat allekirjoittaneet kirjallisen sopimuksen. Mikäli varsinaista sopimusta ei tehdä, myyjää veloitetaan vahvistamaan tilaus tilausvahvistuksella.

8 Vaatimukset tarjottaville tuotteille

Laittejärjestelmän pakolliset vaatimukset:

- Laitteiston täytyy soveltua käyttöön kaikilla edellä mainittujen polttoaineiden kanssa.
- Laitteiston täytyy fyysisiltä mitoiltaan mahtua laboratorioon (ks. liite 1).

9 Päätöksen perusteet (valintakriteerit)

Tarjouskilpailun ratkaisussa käytetään kokonaistaloudellista edullisuutta seuraavien valintakriteerien mukaan:

- Hinta, painoarvo – 40 %

119.09.2011

2090

- Hiukkasten tai hiilivetyjen erotuskyky, painoarvo – 30 %
- Järjestelmän säädettävyys eri polttotehoille, painoarvo – 20 %
- Laitteiston takuu-aika ja ehdot, painoarvo – 10 %

Jyväskylän ammattikorkeakoulun biotalousinstituutin edustajista muodostuva raati arvioi soveltuvuuden. Kukin arvioija antaa laitekokonaisuudelle pisteet asteikolla 1-5. Kunkin laitekokonaisuuden saamat pisteet lasketaan yhteen. Eniten pisteitä saanut tarjoaja saa laitekokonaisuudesta maksimipistemäärän. Muiden tarjoajien pisteet suhteutetaan maksimipistemäärään painoarvoker-toimen (tarjoajan todellinen yhteenlaskettu pistemäärä/ maksimipisteet) avulla.

10 Tarjousten käsittely

Ostaja pyrkii valitsemaan toimittajan [pp.kk.vvvv] mennessä. Valinnasta lähetetään tarjoajalle tieto kirjallisesti tai sähköpostilla. Ostaja pidättää itsellään oikeuden hankinnan laajuuden muuttamiseen tarjousten jättämisen jälkeen perustellusta syystä.

11 Osatarjouksien hyväksyminen

Osatarjoukset hyväksytään. Osiot A ja B on määritelty sisältö-kohdassa.

12 Tarjoajia koskevat kelpoisuusehdot

Tarjouksen liitteenä tulee toimittaa seuraavat asiakirjat:

- selvitys yrityksen laadunhallinnasta.
- referenssiluettelo [5] kpl vaadittuja referenssejä viimeisen kolmen (3) vuoden ajalta tarjouksen viimeisestä jättöpäivästä.

Tarjoaja vakuuttaa, että tilaajavastuulain mukaiset vaatimukset täyttyvät ja se sitoutuu toimittamaan hankintayksikölle seuraavia selvityksiä:

- 1) Selvitys siitä, onko yritys merkitty ennakkoperintälain (1118/1996) mukaiseen ennakkoperintärekisteriin ja työnantajarekisteriin sekä arvonlisäverolain (1501/1993) mukaiseen arvonlisäverovelvollisten rekisteriin.
- 2) Kaupparekisteriote tai kaupparekisteristä muutoin saadut kaupparekisteriotetta vastaavat tiedot.
- 3) Selvitys siitä, ettei yrityksellä ole verotustietojen julkisuudesta ja salassapidosta annetun lain (1346/1999) 20 b §:n 1 momentin 2 kohdassa tarkoitettua verovelkaa taikka viranomaisen antama selvitys verovelan määräs-tä.

119.09.2011

2090

- 4) Todistukset työntekijöiden eläkevakuutusten ottamisesta ja eläkevakuutusmaksujen suorittamisesta tai selvitys siitä, että erääntyneitä eläkevakuutusmaksuja koskeva maksusopimus on tehty.
- 5) Selvitys työhön sovellettavasta työehtosopimuksesta tai keskeisistä työehdoista.
- 6) Selvitys työterveyshuollon järjestämisestä.

Pyydetessä annettava yksittäinen todistus/selvitys ei saa olla 3 kk vanhempi tarjouksen jättöpäivästä.

13 Tarjousasiakirjojen julkisuus

Hankintayksikölle toimitetut asiakirjat ovat julkisia, joka pyydetään ottamaan huomioon tarjousta tehtäessä. Mikäli tarjoukseen sisältyy tekijän liike- tai ammattisalaisuuksia, ko. salassa pidettävät kohdat pyydetään merkitsemään tarjousasiakirjoihin selkeästi, mielellään erillisellä liitteellä.

14 Tarjouksen jättöaika ja voimassaoloaika

Tarjoukset tulee jättää osoitteeseen tarjouspalvelu.fi [pp.kk.vvvv] klo [hh.mm] mennessä.

Myöhästyneinä saapuneita tai muutoin tarjouspyynnön vastaisia tarjouksia ei oteta huomioon. Lisäksi suljetaan pois ne tarjoajat, jotka eivät toimita vaadittuja asiakirjoja tai joiden ei arvioida selviytyvän tarjouspyynnön mukaisista velvoitteista.

Tarjousten tulee olla voimassa 2 kuukautta yllämainitusta tarjousten viimeisestä jättöpäivästä lukien.

15 Kohteeseen tutustuminen/näytekappaleiden toimitus

Biotalousinstituutin kattilantestauslaboratorioon järjestetään esittely [pp.kk.vvvv] kello [hh.mm]. Esittelyyn voi ilmoittautua sähköpostitse osoitteeseen "etunimi.sukunimi@jamk.fi."

16 Lisätietoja

Tarjoajien tasapuolisen kohtelun varmistamiseksi emme vastaa tarjouspyyntöön liittyviin tiedusteluihin puhelimitse. Lisätietopyynnöt tulee toimittaa viimeistään [pp.kk.vvvv] klo [hh.mm] mennessä osoitteen tarjouspalvelu.fi kautta. Lisätietokyselyihin vastataan viimeistään kuusi päivää ennen tarjouk-

119.09.2011

2090

sen jättöaikaa [pp.kk.vvvv] julkisesti, osoitteessa tarjouspalvelu.fi. Mikäli mahdollista, kysymyksiin vastataan sivustolla sitä mukaa kun niitä tulee.

Jyväskylän ammattikorkeakoulu

[allekirjoitus]

Sami Niemi

Opiskelija

Liitteet

1. Kattilantestauslaboratorion pohjapiirustus