

Bioenergiakeskuksen julkaisusarja

(BDC-Publications)

Nro 14

**TURVEPELLETIN KÄYTTÖ  
PUUPOLTTOAINEEN LAADUN TASAAJANA  
KYYJÄRVEN LÄMPÖLAITOKSESSA**

**Tellervo Korte  
2005**



JYVÄSKYLÄN  
AMMATTIKORKEAKOULU



**TURVEPELLETIN KÄYTTÖ  
PUUPOLTTOAINEEN LAADUN TASAAJANA  
KYYJÄRVEN LÄMPÖLAITOKSESSA**

**Tellervo Korte**

**Opinnäytetyö**

**Huhtikuu 2005**



**JYVÄSKYLÄN  
AMMATTIKORKEAKOULU**

*Luonnonvarainstituutti*

Tekijä(t)  KORTE, Tellervo	Julkaisun laji Opinnäytetyö	
	Sivumäärä 53	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus <input type="checkbox"/> Salainen _____ saakka	
Työn nimi Turvepelletin käyttö puupolttoaineen laadun tasaajana Kyyjärven lämpölaitoksessa		
Koulutusohjelma Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Yliopettaja VESISENAHO, Tero		
Toimeksiantaja(t) Pohjoisen Keski-Suomen bioenergiaverkoston kehittämishanke		
Tiivistelmä <p>Pohjoisen Keski-Suomen bioenergiaverkoston kehittämishanke teetti tämän tutkimuksen, jonka tavoitteena oli selvittää turvepelletin käytön mahdollisuuksia kokopuusta valmistetun hakkeen seospolttoaineena Kyyjärven lämpölaitoksessa.</p> <p>Tutkimusmenetelmänä käytettiin vertailevaa tutkimusta. Perinteisen polttomenetelmän ja seospolttomenetelmän ominaisuuksien muutoksia vertailtiin keskenään ja tarkasteltiin tapahtumia palamisprosessissa Kyyjärven lämpölaitoksessa kuukauden aikana. Vertailun koekäyttö tapahtui kahden viikon jaksoissa. Perinteinen koepoltto suoritettiin pääpolttoaineella hakkeella perinteistä menetelmää käyttäen kahden viikon ajan, sen jälkeen koepolttoa jatkettiin seospoltolla. Hakkeen sekaan sekoitettiin turvepelletti.</p> <p>Kyyjärven lämpölaitoksen kattilat on tehty kotimaisille kiinteille polttoaineille. Seospolttojaksoissa turvepelletin 3,8 prosentin lisäys hakkeen sekaan nosti kattilan hyötysuhdetta perinteiseen jaksoon verrattuna 8 prosenttia, tähän vaikuttaa myös käytössä ollut hakkeen tasainen laatu. Turvepelletin lisäyksen hyvyys palamisessa näkyi seospolttojakson aikana savukaasulämpötilojen tasaisuutena ja palamisprosessi oli tasaista ja hyvää.</p> <p>Vaikka tämän tutkimuksen tulosten mukaan ei vertailujen välillä ollutkaan merkittäviä eroja, ei tällä perusteella voida olettaa, ettei turvepelletti ole sovelias seospolttoaineeksi hakkeen sekaan. Kotimaista puupolttoainetta käyttävä Kyyjärven lämpölaitos voi turvepelletillä parantaa laitoksen suorituskykyä vähäisessä määrin silloin, kun hake on huonolaatuista tai kostea. Lisäys seospolttoaineena pitäisi olla 5–30 prosenttia, tällöin seospolton erot tulisivat paremmin esille.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Lämpölaitos, turvepelletti, bioenergia, poltto		
Muut tiedot Sivuja 46, liitteitä 7		

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>4</b>
<b>2 TURVEPELLETTI.....</b>	<b>5</b>
<b>3 PUU JA TURVE YHDESSÄ.....</b>	<b>7</b>
<b>4 TUTKIMUSTYÖN TOTEUTUS.....</b>	<b>8</b>
4.1 Tutkimuksen tavoite.....	8
4.3 Perinteinen polttomenetelmä.....	9
4.4 Turvepelletti seospolttoaineena .....	10
<b>5 KERÄTTY AINEISTO JA TYÖMENETELMÄT.....</b>	<b>13</b>
5.1 Kuormien tilavuudet .....	14
5.2 Seulontanäytteet .....	15
5.3 Tuhkan palamaton aine .....	16
5.4 Lämmönsiirtopintojen tuhka .....	16
5.5 Savukaasut .....	17
5.6 Kattilatiedot .....	18
<b>6 KERÄTTYJEN AINEISTOJEN ANALYSOINTI.....</b>	<b>18</b>
6.1 Kosteuden määrittäminen.....	19
6.2 Tuhkapitoisuuden määrittäminen.....	20
6.3 Tuhkan palamattoman aineen määrittäminen .....	21
6.4 Lämmönsiirtopintojen pH analyysi.....	22
6.5 Savukaasuanalysaattorin tulosten tallentaminen.....	23
<b>7 TULOKSET JA VERTAILU .....</b>	<b>23</b>
7.1 Hyötysuhteiden tulokset ja vertailu.....	24
7.2 Tuhkapitoisuuksien tulokset ja vertailu.....	26

<b>7.3 Lämmönsiirtopintojen tuhkan pH tulokset .....</b>	<b>28</b>
<b>7.4 Palakokojen tulokset .....</b>	<b>28</b>
<b>7.5 Palamisessa syntyneet savukaasut .....</b>	<b>29</b>
7.5.1 990 kilowatin kattilan perinteisen ja seospolttojaksojen savukaasuarvojen tulokset .....	30
7.5.2 1500 kilowatin kattilan perinteisen ja seospolttojaksojen savukaasuarvojen tulokset .....	36
<b>7.6 Pääpolttoaineen hakkeen kosteus Kyyjärven lämpölaitoksessa .....</b>	<b>42</b>
<b>8 YHTEENVETO.....</b>	<b>44</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>46</b>
<b>LIITTEET .....</b>	<b>47</b>
<b>LIITE 1. Kyyjärven lämpölaitos .....</b>	<b>47</b>
<b>LIITE 2. Savukaasujen CO<sub>2</sub> &amp; lambda-arvot 990 kilowatin kattilasta 16.11.2004 - 26.11.2004 ja 28.1.2005 - 7.2.2005.....</b>	<b>48</b>
<b>LIITE 3. Savukaasujen CO<sub>2</sub> &amp; lambda-arvot 1500 kilowatin kattilassa 16.11.2004 - 26.11.2004 ja 28.1.2005 - 7.2.2005.....</b>	<b>49</b>
<b>LIITE 4. Perinteisen jakson 990 kilowatin kattilan mittaustulokset 16.11.2004 - 26.11.2004.....</b>	<b>50</b>
<b>LIITE 5. Seospolttojakson 990 kilowatin kattilan mittaustulokset 28.1.2005 - 7.2.2005 .....</b>	<b>51</b>
<b>LIITE 6. Perinteisen jakson 1500 kilowatin kattilan mittaustulokset 16.11.2004 - 26.11.2004.....</b>	<b>52</b>
<b>LIITE 7. Seospolttojakson 1500 kilowatin kattilan mittaustulokset 28.1.2005 - 7.1.2005 .....</b>	<b>53</b>
 <b>KUVIOT</b>	
<b>KUVIO 1. Turvepellettiä (Kuva: Vapo Oy.) .....</b>	<b>6</b>
<b>KUVIO 2. Haketta kipataan tyhjään polttoainevarastoon .....</b>	<b>9</b>
<b>KUVIO 3. Turvepelletin sekoitusmenetelmä Kyyjärven lämpölaitoksessa .....</b>	<b>11</b>
<b>KUVIO 4. Turvepellettsiilo hakevarastossa .....</b>	<b>12</b>
<b>KUVIO 5. Hakevaraston nurkassa olevalla puntarilla punnittiin irtokuutiopainot.....</b>	<b>15</b>
<b>KUVIO 6. Seulat (Kuva: Labo Line.) .....</b>	<b>16</b>
<b>KUVIO 7. Savukaasujen mittauslaitteistoja .....</b>	<b>18</b>
<b>KUVIO 8. HERAEUS ilmastoitu lämpökaappi .....</b>	<b>19</b>
<b>KUVIO 9. Noberthern tuhkausuuni .....</b>	<b>20</b>
<b>KUVIO 10. pH mittari.....</b>	<b>22</b>
<b>KUVIO 11. 990 kilowatin kattilan O<sub>2</sub>-arvot.....</b>	<b>31</b>

<b>KUVIO 12. 990 kilowatin kattilan CO-arvot .....</b>	<b>32</b>
<b>KUVIO 13. 990 kilowatin kattilan savukaasujen lämpötilat .....</b>	<b>34</b>
<b>KUVIO 14. 1500 kilowatin kattilan O<sub>2</sub>-arvot .....</b>	<b>37</b>
<b>KUVIO 15. 1500 kilowatin kattilan ppm CO-arvot.....</b>	<b>39</b>
<b>KUVIO 16. 1500 kilowatin kattilan savukaasujen lämpötilat .....</b>	<b>41</b>
<b>KUVIO 17. Osuuskunnan ja opinnäytetyöntekijän määrittämät kosteusprosentit.....</b>	<b>43</b>

## **TAULUKOT**

<b>TAULUKKO 1. Turvepelletin ominaisuuksia (Nalkki 2004.).....</b>	<b>7</b>
--	----------

# 1 JOHDANTO

Pienpuun käyttö energiatuotannossa elää voimakasta kasvukautta. Käyttömäärän lisääntyessä raaka-aineen saanti vaihtelee ja kosteuspitoisuudessa voi olla suuriakin vaihteluja. Puupolttoaineen kosteuspitoisuuteen vaikuttaa varastointialueen sijainti ja kasojen rakenne sekä puulajisuhteet ja niihin jääneiden oksamassan määrä. Kattiloiden mitoituksista, hakkeen kosteuspitoisuudesta ja sen laadunvaihteluista riippuen, joudutaan harkitsemaan tukipolttoaineen lisäämistä tasaamaan kosteaa puupolttoaineen laatua.

Kyyjärven energiaosuuskunta oli kiinnostunut markkinoille tulleesta uudesta turvepellettituotteesta ja sen käytön mahdollisuudesta hakkeen laadun tasaajana Kyyjärven lämpölaitoksessa. Kiinnostusta lisäsi vielä se, että mennyt kesä oli sateinen ja tiedettiin, etteivät talvella korjatut kokopuuvarastot päässeet kuivumaan toivotulla tavalla. Turvepelletin sekoittaminen hakkeen sekaan herätti kiinnostusta myös lämpölaitoksen tekniikasta vastaavassa yrityksessä Tulostekniikka Oy:ssä.

Knuutilan (2004; 25, 53) mukaan turvetuotannon kolme huonoa nostokautta on vaikuttanut palaturpeen toimituksiin, sitä on saatu ainoastaan sopimusasiakkaille. Peräseinäjoen Haukinevalle valmistuneen uuden turvepellettitehtaan valmistaman turvepelletin odotetaan auttavan, pienpuun kosteudesta ja laadun vaihteluista kärsiviä pienen kokoluokan lämpölaitoksia.

Turvepelletin käyttökokeita on aiemmin tehty Saarijärven Kaukolämpö Oy:llä. (Siivola 2004.) sekä 50 kilowatin kattilalla VTT:llä Jyväskylässä ja 4 megawattitunnin kattilalla Kvaernerilla Tampereella. Hyvät kokemukset on saatu myös Voimavasu Oy:n hiililaitoksella Säskylässä, jossa hiilen sekaan syötettiin turvepellettiä eri määriä. (Vainikka, Taipale, Hillebrand, Frilander & Paappanen 2004.)

Tutkimus jakautui kahteen kahden viikon jaksoon. Ensimmäinen jakso oli perinteinen polttomenetelmän, missä tarkasteltiin pääpolttoaineena olevan hakkeen laatua ja poltossa syntyviä savukaasuarvoja. Toisella jaksolla tarkasteltiin kahden polttoaineen, turvepelletin ja pääpolttoaineen hakkeen, yhtäaikaista polttamista samassa kattilassa. Saatuja tuloksia verrattiin keskenään. Tutkimustyössä tarkasteltiin, mitkä olivat turve-

pelletin vaikutukset kattilan suorituskykyyn. Savukaasujen arvojen muodostumista ja määrää ei voitu suoraan arvioida yksin poltettavien polttoaineiden savukaasujen arvojen summana tai erotuksena, koska savukaasujen arvojen tulokseen vaikutti polttoaineiden sisältämä epäorgaanisten aineiden määrä ja kosteus.

Tutkimus tehtiin Pohjoisen Keski-Suomen bioenergiaverkoston kehittämishankeen ja Kyyjärven energiaosuuskunnan yhteistyössä ja se toteutettiin Kyyjärven lämpölaitoksessa. Työn aikana laitoksen teknisestä toiminnasta vastasi Tulostekniikka Oy. Kyyjärven lämpölaitoksessa on 900 kilowatin ja 1500 kilowatin kattilat. Verkostossa on omakotitaloja 29 ja muita kiinteistöjä 16, kiinteistöjen yhteinen rakennustilavuus on 104 000 kuutiometriä, josta kunnan omien kiinteistöjen rakennustilavuus on 35000 kuutiometriä. Lämpöenergiaa tuotetaan 6000 megawattituntia vuodessa, mihin tarvitaan haketta 9 000 irtokuutiometriä. Liitteessä 1 on lisää tietoja Kyyjärven lämpölaitoksesta. (Sorsamäki 2004.)

Tutkimustyön valvojana ja työni ohjaajana on toiminut Jyväskylän ammattikorkeakoulun bioenergian yliopettaja Tero Vesisenaho. Tutkimustyöhön liittyvistä käytännön kysymyksistä on vastannut Pohjoisen Keski-Suomen bioenergiaverkoston kehittämishankkeen toimialapäällikkö Tapani Sauranen, Kyyjärven energiaosuuskunnan puheenjohtaja Hannu Kainu ja Tulostekniikka Oy.

## **2 TURVEPELETTI**

Turvepelletti valmistetaan hyvin maatuneesta jyrshinturpeesta Peräseinäjoen Haukinevan tehtaalla. Peräpurkaimilla varustetut autot purkavat jyrshinturpeen vastaanottovaraanastoon, mihin mahtuu turvetta 300 irtokuutiometriä. Karkeat aineet erotellaan seulalla ja rautojen poistoon käytetään magneettia. Seulottu turve kuivataan kymmenen prosentin kosteuteen. Kuivausmenetelmänä käytetään kahta epäsuoraa höyrykuivuria. Epäsuoralla kuivauksella estetään kuivan turvepölyn räjähdysriskiä. Kuivattu turve jauhetaan vasaramyllyllä hienoksi. Kuivattu ja jauhettu turve puristetaan matriisipuristimen läpi pelletiksi. Puristuksessa lisätään höyryä ja mäntyöljyä sitomaan pölyä, mikä vaikuttaa siihen, että turvepelletin pinnasta saadaan tiivis ja kiiltävä, eikä se ole niin



herkkää kosteudelle. Kuviossa 1 nähdään miten mäntyöljyn lisäys tekee turvepelleteistä kiiltävän. (Nyrhinen 2004.)



KUVIO 1. Turvepellettiä (Kuva: Vapo Oy.)

Nyrhisen (2004) mukaan turvepellettiä tuotetaan Vapon tuotantolaitoksessa Peräseinäjoen Haukinevan tehtaalla. Tuotanto oli vuonna 2004 35 000 tonnia, tuotannon odotetaan kasvavan 70 000 tonniin vuonna 2005. Tällä hetkellä tuotannosta viedään ulkomaille kaksi kolmasosaa ja yksi kolmasosa käytetään kotimaassa. Vuoden 2005 lopulla turvepelletin saatavuus paranee, kun pelletin tuotantokapasiteetti kasvaa 130 000 tonnia Haapaveden ja Ilomantsin pellettitehtaiden rakentamisen ja laajennuksen valmistuessa on kotimaista turvepellettiä saatavissa huomattavasti enemmän.

Turvepelletin käyttökohteiksi soveltuvat maatilat, puutarhat ja kasvihuoneet sekä muut biolämpökeskukset, joiden poltin- ja kattilatekniikka soveltuvat turpeen polttoon. Nalkin (2004) mukaan turvepelletti sopii lisäpolttoaineeksi kiinteätä polttoainetta käyttäviin lämpö- ja voimalaitoksiin. Kotimaista puupolttoainetta käyttävät lämpölaitokset voivat turvepelletillä parantaa suorituskykyä, varsinkin silloin kun käytössä oleva polttoaine on kostea tai muuten huonolaatuista.

Turvepelletti soveltuu Nalkin (2004) mukaan hyvin seospolttoaineeksi, koska se on kuivaa ja tasalaatuista. Taulukossa 1 voidaan tarkastella turvepelletin ominaisuuksia ja sen lämpösisältöä, joka on viisinkertainen hakkeesta saatavaan lämpösisältöön verrattuna. Pienillä määrillä turvepellettiä pääpolttoaineen seassa voidaan parantaa lämpölaitoksen suorituskykyä ja tasata pääpolttoaineen laatua. Turvepelletti on hyvä sekoitumaan hakkeen sekaan.

TAULUKKO 1. Turvepelletin ominaisuuksia (Nalkki 2004.)

<b>Ominaisuus</b>	<b>keskiarvo</b>	<b>vaihteluväli</b>
Tuhkapitoisuus	2 m - %	1,1 - 3,6 m - %
Kosteus	12 m %	8 - 15 m %
Tilavuuspaino	700kg/i - m <sup>3</sup>	+ - 50 kg
Pituus	<4xd	
Halkaisija	8 mm	8 - 14 mm
Lämpöarvo saapumistilassa	5,1 MWh/t	4,9 - 5,2 MWh/t
Rikkipitoisuus	0,1 m - %	0,04 - 0,18 m - %

### 3 PUU JA TURVE YHDESSÄ

Puupolttoaine on hyvä pääpolttoaine pienissä lämpölaitoksissa. Kattiloiden mitoitusista johtuen puupolttoaine vaatii rinnalleen tukipolttoaineen, johon turvaudutaan erityisen kylminä jaksoina ja silloin, kun puupolttoaine on märkää ja laadultaan huonoa. Osa käytössä olevista polttotekniikoista on myös sellaisia, ettei puupolttoaineiden osuutta voida kasvattaa liian suureksi kattiloiden likaantumisen takia. Puun käyttö vähentää rikkipäästöjä, koska puun tuhka reagoi kattilan sisällä kuten kalkki. Tämä tukee yhteiskäyttöä. Turve on puun tapaan kotimaista biopolttoainetta. (Lindholm 2000, 14 - 15.)

Vainikka ja muut (2004) ovat todenneet, että puuperäiset polttoaineet sisältävät runsaasti klooria sekä alkalimetalleja kuten natriumia ja kaliumia. Nämä muodostavat alhaisissa lämpötiloissa sulavia yhdisteitä, joiden sulamispisteet vaihtelevat 771 - 800 °C. Nämä tarttuvat helposti lämmönsiirtopinnoille kattilan yläosissa. Kerrostuessaan klooriyhdisteet aiheuttavat kuumaeroosiota eli lämmönsiirtopintojen syöpymistä. Riskiyhdisteiden muodostumista voidaan vähentää, sekoittamalla puupolttoaineisiin turvetta. Turpeen tuhkassa on rikkiä ja alumiinisilikaattia, jotka sitovat natriumia ja kaliumia, jolloin kloori vapautuu suolahappona. Suolahappo ei tiivisty lämmönsiirtopin-

noille, sillä sen kiehumispiste on 85 °C, ja näin klooripitoisten kerrostumien muodostumiselta voidaan välttyä.

Alakankaan (2000; 35, 88) mukaan puulla ja turpeella on yhteisiä hyviä piirteitä, kemialliselta koostumukseltaan ne ovat lähes samanlaiset. Puun ja turpeen poltossa hiilidioksidia syntyy lähes saman verran. Yhteispolton päästöistä syntyvä hiilidioksidi sitoutuu metsien ja turpeen uuteen kasvuun. Turpeen ja puun yhteiskäyttöä edistetään eteenkin ympäristö- ja kattilateknisistä syistä. (Lindholm 2000, 16.)

## 4 TUTKIMUSTYÖN TOTEUTUS

Tutkimus toteutettiin Kyyjärven lämpölaitoksessa.

### **Tutkimustyö jakautui seuraaviin osiin:**

- perinteinen polttomenetelmä
- seospolttomenetelmä
- aineiston keruu ja analysointi
- polttomenetelmien vertailu
- raportointi.

### **4.1 Tutkimuksen tavoite**

Tutkimustyössä arvioitiin perinteisesti poltetun puupolttoaineen ja puupolttoaineen sekaan sekoitetun turvepelletin ominaisuuksia energiatuotannossa. Tavoitteena oli tutkia, miten turvepelletti soveltuu ongelmatilanteissa kostean tai muuten huonolaatuisen pääpolttoaineen hakkeen seosaineeksi Kyyjärven lämpölaitoksessa. Lisäksi työssä selvitettiin, miten turvepelletin käyttö pääpolttoaineen hakkeen seospolttoaineena vaikuttaa kattilan käyttöominaisuuksiin, likaantumiseen ja savukaasuarvoihin. Tavoitteena oli tutkia pienen kokoluokan lämpölaitoksen soveltuvuutta puun ja turpeen seospoltolle, silloin kun kattilasta halutaan saavuttaa maksimiteho.

### 4.3 Perinteinen polttomenetelmä

Perinteinen polttojakso tehtiin 15 - 29.11.2004. Edeltävänä toimenpiteenä hake oli siirretty hakevaraston reunoilta tankopurkaimille. Tällä toimenpiteellä saatiin hakevarasto käytettyä lähes tyhjäksi. Alkutoimenpiteenä olivat 990 kilowatin kattilan puhdistustoimenpiteet, koska kattila oli ollut kesän seisokissa. Työhön kuului siirto- ja syöttöruuvien puhdistus. Puhdistustoimenpiteiden jälkeen kattila sytytettiin.

Kuviossa 2 toimitetaan ensimmäinen hakekuorma lämpölaitoksen polttoainevarastoon. Kipattu hake siirrettiin traktorin etukuormaajalla lähelle siirtoruuvia. Tämän jälkeen hake merkittiin punaisella maalilla siirtoruuvien vierestä. Merkitseminen punaisella maalilla auttoi seuraamaan hakkeen siirtymistä siirtoruuveilta välivarastoon, missä hake oli helppo havaita. Kun merkitty hake oli siirtynyt siirtoruuveilta kattiloiden välivarastoon, katsottiin koejakso alkaneeksi. Tässä vaiheessa otettiin energiamittarissa olevat megawattituntien lukemat ylös myöhempää analyysiä varten.



KUVIO 2. Haketta kipataan tyhjäan polttoainevarastoon

990 kilowatin kattilan sytyttämisen jälkeen, 1500 kilowatin kattila ajettiin alas nuohousta varten. Nuohouksen jälkeen kattila sytytettiin. Nuohouksen suorittamisella puh-

distettiin kattilat koejaksoa varten, jotta saadaan tehtyä havaintoja mittausten avulla savukaasujen lämpötilojen muuttumisesta ja siitä miten kattilat likaantuvat.

Haketta toimitettiin polttoainevarastoon kahden päivän aikana 294 irtokuutiometriä. Hake loppui jakson puolivälissä ja sen jälkeen haketta toimitettiin useaan kertaan eri paikoista. Perinteisen jakson aikana toimitettiin haketta yhteensä 664 irtokuutiometriä. Tästä polttoainevarastoon jäi 20 irtokuutiometriä käyttämätöntä haketta, mikä vähennettiin toimitetusta irtokuutiomäärästä. Tästä saatiin käytetyn hakkeen irtokuutiomäärät koejakson aikana. Hakkeen irtokuutiomääriä tarvitaan, kun analysoidaan kattiloiden hyötysuhteita.

Ensimmäisenä päivänä ei tehty savukaasujen mittausta. Sain neuvoja ja opastusta savukaasuanalysaattorin ja kannettavan tietokoneen käyttämiseen sekä mittaukseen käytettävään Testo-ohjelmaan. Aloituspäivänä selvitettiin myös mittauspaikat ja savukaasuanalysaattorin anturin mittaussasento mittauksen aikana.

Toisena koepäivänä aloitettiin ensimmäiset savukaasuarvojen mittaukset lämpölaitoksessa. Savukaasu- ja kattilakohtaisia mittauksia tehtiin koko perinteisen koejakson ajan, kuten oli sovittu edeltävissä palavereissa.

Mittausjakson lopussa kumpikin kattila nuohottiin ja otettiin tuhkanäytteet kattiloiden lämmönsiirtopinnoilta pH-analyysiä varten. Työ aloitettiin 990 kilowatin kattilan nuohouksella. Heti nuohouksen jälkeen kattila sytytettiin. Sääolosuhteet muuttuivat nopeasti aamun aikana ja 1500 kilowatin kattilan nuohous siirrettiin seuraavaan päivään. Perinteisen koejakson päätyttyä otettiin energiamittarista tuotetut megawattituntien määrät ylös. Tuotettujen megawattituntien määriä tarvitaan, kun lasketaan kattiloiden hyötysuhteita.

#### **4.4 Turvepelletti seospolttoaineena**

Seospolttoaineen jakso aloitettiin 26.1.2005 ja se päättyi 9.2.2005. Lämpölaitoksen käyttämän hakkeen sekaan sekoitettiin turvepelletti. Mittausjakso aloitettiin nuohouksilla, ensin nuohottiin 990 kilowatin kattila ja sen jälkeen 1500 kilowatin kattila. Nuo-

housten jälkeen kattilat sytytettiin tulille. Polttoaineiden sekoitusmenetelmä on kuviossa 3, jossa voidaan nähdä miten turvepelletti sekoittui hakkeen sekaan ja kuviosta voidaan havaita myös se, miten turvepelletti siirtyi hakkeen seassa siirtoruuville. Hake ja turvepelletti merkittiin samaan tapaan, kuin perinteisen polttomenetelmän aikana. Koejakso alkoi, kun merkitty seospolttoaine oli siirtynyt siirtoruuvien kautta kattiloiden välivarastoon. Tällöin energiataulukosta otettiin megawattituntien lukemat ylös analysointia varten.



KUVIO 3. Turvepelletin sekoitusmenetelmä Kyyjärven lämpölaitoksessa

Ennen hakkeen toimitusta mitattiin hakevarastossa jäljellä oleva hake. Haketta oli jäljellä 56 irtokuutiometriä. Ensimmäinen hakekuorma toimitettiin lämpölaitokselle kymmenen aikoihin. Tämän jälkeen hakettajat toimittivat päivän aikana viisi kuormaa. Mittausjakson aikana toimitettiin haketta useaan kertaan ja monesta eri varastosta yhteensä 511 irtokuutiometriä. Seospolttojakson päätyttyä haketta jäi varastoon 20 irtokuutiometriä. Jäänyt hakemäärä vähennettiin jakson aikana toimitetusta hakemäärästä. Mittausjakson aikana käytettyä hakkeen irtokuutiomäärää käytetään, kun lasketaan kattiloille hyötysuhdetta.

Turvellettsiilo oli asennettu polttoainevarastoon. Siilosta oli asennettu siirtoruuvi, joka siirsi turvellettin suoraan hakkeen siirtoruuville. Tarvittavat sähköasennukset oli tehty marraskuulla.

Kuviossa 4 nähdään, miten turvelletti syötettiin erillisestä säiliöstä suoraan hakkeen siirtoruuvien päähän. Tankopurkainten siirtäessä haketta siirtoruuveille turvelletti sekoittui hyvin hakkeen sekaan. Kyyjärven lämpölaitoksessa oli aiemmin tehty koe-käyttö puupelletin seospoltosta. Samat laitteet sopivat myös turvellettin koeikäyttöön, joten laitteistoja ei tarvinnut erikseen rakentaa turvellettikoea varten. Turvellet-tiseospolton ajaksi ei tehty muutoksia kattiloiden säätöihin, vaan koetta jatkettiin samoilla säädöillä, kuin perinteisen polttomenetelmän aikana.



KUVIO 4. Turvellettsiilo hakevarastossa

Seospoltojako turvelletillä aloitettiin niin, että pellettsäiliö täytettiin ensin aivan täyteen ja laskettiin siihen mahtuva määrä. Tämän jälkeen lisättiin kaksi kertaa säiliöön turvellettiä yhteensä 3000 kiloa. Koejakson aikana käytettiin turvellettiä 5416 kiloa. Seospoltoaineena käytetty turvelletti toimitettiin Peräseinäjoen Haukinevan tehtaalta Peräseinäjoelta.

Seospoltojakson aikana tehtiin savukaasu- ja kattilakohtaiset mittaukset energiamittarista ja kattiloiden omista mittarilaitteistoista. Ongelmia oli savukaasuanalysaattorin ja kannettavan tietokoneen yhteiskäytössä. Savukaasuarvojen kaksi alkupään mittaustulosta jouduttiin tekemään osittain käsikäyttöisesti. Turvepelletin koejakson päätyttyä otettiin energiamittarista megawattituntien lukemat ylös. Mittaustuloksia käytetään palamisprosessissa tapahtuvia muutoksia analysoitaessa.

## 5 KERÄTTY AINEISTO JA TYÖMENETELMÄT

Aineistoa kerättiin työn aikana alla olevan listauksen mukaan.

### **Aineisto:**

- Hakekuormista mitataan tilavuus.
- Hakkeesta ja turvepelletistä määritetään kosteus ja tuhkapitoisuus.
- Kaikista hakekuormista punnitaan irtokuutiotilavuuden paino, jolla saadaan laskettua hakkeen määrä kiloina.
- Hakkeesta ja turvepelletistä määritetään hienoainepitoisuus.
- Tuhka kerätään tuhkakontista tuhkan palamattoman aineen määrittämistä varten.
- Aineistoa kerätään uuneista ja lämmönsiirtopinnoilta, näytteistä määritetään pH arvot.
- Päästöarvojen tulosten saamiseksi tehdään savukaasumittaukset erillisenä kummallekin kattilalle.
- Energiamittarista saadut mittaustulokset kerätään kummallekin kattilalle yhteisesti lämpöenergian kulutuksen määrittämistä varten.
- Kummallekin kattilalle on omat mittaritaulukot joista kerättävät tiedot käytetään savukaasujen analysointia varten ja arvioidaan kattilan likaantuminen.



## 5.1 Kuormien tilavuudet

Hakeperävaunujen tilavuus mitattiin rullamitalla ja mittausten perusteella laskettiin irtokuutiomäärät. Polttoainevarastoon toimitetuista hakekuormista mitattiin niiden kuutiotilavuudet ja kuormissa olevat vajaukset. Hakekuormissa olevat vajaukset vähennettiin kuormien tilavuudesta. Hakekuormien päällystasauksen tekeminen katsottiin tarpeettomaksi, koska pitkien ajonmatkojen aikana kuormat tiivistyivät ja tasaantuivat.

Kosteuden määrittämistä varten otettiin hakenäytteet kaikista hakekuormista, joita hakevarastoon tuotiin koejaksojen aikana. Hakenäytteiden ottaminen tapahtui niin, että haketta otettiin toimitetuista hakekuormista useista eri kohdista kymmenen litran astiaan ja kerätty näyte sekoitettiin astiassa. Toimenpiteellä varmistettiin, että hakekuormista saadaan tasalaatuinen näyte analysoitavaksi. Sekoitettu hake laitettiin muovipussiin ja näytteet säilytettiin ennen analysointia jääkaapissa. Pusseihin merkittiin hakkeen toimituspäivä ja hakkeen toimittaja.

Turvepelletistä otettiin viisi eri näytettä ja jokainen näyte eri säkistä. Näytteiden ottaminen tapahtui säkistä mahdollisimman syvältä, johon ilman kosteus ei ollut päässyt vaikuttamaan. Näytteet otettiin seuraavan päivänä, kun turvepelletti oli toimitettu varastoon. Näyte analysoitiin seuraavana päivänä.

Kuviossa 5 on laitteisto, millä tehtiin hakkeen tiheyden määrittäminen. Hakkeen tiheyden määrittämistä varten otettiin näytteitä kuormien eri paikoista. Hakkeen tiheydellä määritettiin kuormakohtaisesti irtokuutiopaino. Hakekuormien irtotiheyden painoja tarvitaan, kun lasketaan kattiloille hyötysuhdetta.



KUVIO 5. Hakevaraston nurkassa olevalla vaa'alla punnittiin irtokuutiopainot

## 5.2 Seulontanäytteet

Koekäytön aikana oli kaksi hakettajaa toimittamassa haketta lämpölaitokselle, heidän lisäksi valmista haketta toimitettiin Kyyjärven sahalta. Näytteitä otettiin yksi kummankin hakettajan toimittamasta hakkeesta. Sahalta toimitetusta hakkeesta ei otettu seulontanäytettä. Hakkeesta kerättiin kaksi 20 litran astiaa seulontanäytettä varten. Turvepellettisäkeistä kerättiin 20 litraa turvepellettiä seulontanäytettä varten.

Hakkeen ja turvepelletin palakokoanalyysin seulontanäytteissä ei ole standardien mukaisia ohjeita eikä seuloja. Palakokoanalyysin seulonnassa käytettiin kuviossa 6 olevaa ristiin kudottua seulaa. Reikäkokona käytettiin 5,6 ja 11,2 millimetriä. Hakkeen ja turvepelletin näytteet seulottiin ensin 11,2 millimetrin seulalla ja sen jälkeen 5,6 millimetrin seulalla.

Seulontanäytteiden palakokoanalyysit tehtiin hakkeen ja turvepelletin tuhkapitoisuuden määrittämistä varten. Seulontanäytteiden palakokojakauman tulosta käytetään palamisprosessin seurantaan ja siihen, mikä on hienoaineen vaikutus palamisessa perinteisen ja seospolttojakson aikana.



KUVIO 6. Seulat (Kuva: Labo Line.)

### 5.3 Tuhkan palamaton aine

Tuhkan palamattoman aineen määrittämistä varten, näyte otettiin suoraan tuhkakontista. Koska kontti oli syvä, näytteiden ottamiseen tarvittiin apuväline. Apuvälineenä käytettiin lämpölaitoksen nuohouskolaa. Tuhkanäytteet säilytettiin lasipurkeissa, joihin merkittiin näytteen ottamisen päivämäärä ja koejakson nimi. Palamattoman aineen tuhkapitoisuuden määrittämistä tarvitaan, kun analysoidaan palamisessa syntyneen tuhkan määrää ja sitä, mikä on sen vaikutus syntyneeseen hävikkiin.

### 5.4 Lämmönsiirtopintojen tuhka

Koejaksojen päättymisen jälkeen kattilat nuohottiin. Nuohouksen yhteydessä otettiin näytteitä kattiloiden lämmönsiirtopintojen ja tulipesän seinämistä olevista likaantumi-

sesta. Näytteet otettiin ensin lämmönsiirtopinnoista, koska samanaikaisesti kattila oli sammuksissa ja uunin odotettiin jäähtyvän. Näin varmistettiin että uunista otettavien näytteiden ottaminen olisi turvallisempaa.

Kuumien näytteiden annettiin jäähtyä ennen lasipurkkeihin laittamista. Purkitetut näytteet merkittiin kattilakohtaisesti ja purkkeihin merkittiin näytteenottopäivä. Näytteet säilytettiin ulkona analysointia varten, kuitenkin niin, etteivät ne jäätyneet. Lämmönsiirtopintojen tuhkanäytteistä analysoidaan kattiloiden pH. Saatujen tulosten perusteella arvioidaan, mikä on turvepeltin vaikutus kattiloiden pH:n muutokseen.

## 5.5 Savukaasut

Savukaasujen arvot kerättiin käyttämällä TESTO 300-savukaasuanalysointia ja kannettavaa tietokonetta. Kuviossa 7 on savukaasuanalysointia ja kannettava tietokone kytketty savukaasujen mittausta varten. Mittaukset aloitettiin aamulla kello kuusi. Savukaasut arvot mitattiin, ensin 990 kilowatin kattilasta tunnin ajan ja seuraavaksi mitattiin 1500 kilowatin kattilasta tunnin ajan. Mittauksia jatkettiin tällä jaksotuksella mittausjakson loppuun saakka niin, että mittauksia tuli kummastakin kattilasta yhteensä 12 tuntia. Savukaasut mitattiin samalla tapaa myös seospolttojakson aikana. Savukaasujen mittauksia varten kannettavan tietokoneen Testo-ohjelmaan ohjelmoitiin tiedonkeruuta varten, vastaanottamaan savukaasuanalysointia tulevat tiedot kahden minuutin välein. Savukaasuanalysointia kerättiin kattiloiden savukaasuista happipitoisuusarvo ( $O_2$ ), hiilidioksidipitoisuusarvo ( $CO_2$ ), hiilimonoksidipitoisuusarvo ( $CO$  ppm), eli häkäpitoisuusarvo, savukaasujen lämpötilat ( $^{\circ}C$ ) ja lambda-arvo.

Mittausten päätyttyä tulokset siirrettiin Testo-ohjelmasta ja tallennettiin Excel-tiedostoon tietokoneelle. Tietojen siirto kannettavasta tietokoneesta omalle tietokoneelle, tehtiin heti mittausjakson päätyttyä. Kerättyjä tietoja käytetään myöhemmin kattiloiden palamisprosessin muutosten ja lämmönsiirtopintojen likaantumisen analysoinnissa.



KUVIO 7. Savukaasujen mittauslaitteistoja

## 5.6 Kattilatiedot

Savukaasujen mittauksen aikana kerättiin tietoja kattiloiden mittarilaitteistoista. Tietoja kerättiin yhteisistä mittareista ja kummankin kattilan omista mittaritaulukoista. Tietoja kerättiin 20 minuutin välein sen kattilan mittareista, josta samanaikaisesti kerättiin savukaasuarvoja. Kattiloiden mittarilaitteistoista kerättiin ensiö- ja toisioilman, savukaasuimurien ja syöttöruuvien taajuuksia (Hz). Lisäksi tietoja kerättiin kattiloiden savukaasujen ja kuivausvyöhykkeiden lämpötiloista (°C). 1500 kilowatin kattilan mittarilaitteistosta saatiin ulkolämpötila. Seospoltojakson aikana ulkolämpötila mitattiin ulkona olevasta lämpömittarista. Tiedon kerättiin Excel-ohjelmalla tehtyihin kaavakkeisiin. Kerättyjä tietoja käytetään palamisprosessin tapahtuman analysoinnissa.

## 6 KERÄTTYJEN AINEISTOJEN ANALYSOINTI

Kosteuden, tuhkapitoisuuden ja tuhkan palamattomaan aineen määrittäminen kokopuuhihkeesta ja turvepelleetistä tehtiin Bioenergiakeskuksessa Kolkanlahdessa, käyttämällä

siellä olevia laitteistoja ja uuneja tarkoituksen mukaisten analyysien tulosten saamiseksi.

## 6.1 Kosteuden määrittäminen

Kosteuden määrittäminen tehtiin Alakankaan (2000, 26 - 27) ohjeen mukaan. Kosteuden määrittämisen menetelmä perustuu standardiin (ISO 589 36). Näytteiden kuivatuksessa käytettiin kuviossa 8 olevaa ilmastoitua Heraedus-lämpökaappia. Näytteet kuivatettiin 105 °C lämpötilassa vakiopainoon. Kuivatusrasioina käytettiin alumiinifoliorasioita. Rasiat merkittiin juoksevilla numeroinnilla ja a-, b-merkinnällä työn helpottamiseksi, koska kaikista näytteistä tehtiin rinnakkaisnäytteet.



KUVIO 8. HERAEUS ilmastoitu lämpökaappi

Hakenäytteiden kuivaustyö aloitettiin punnitsemalla ensin rasiat ja sen jälkeen niihin lisättiin kuivattavat hakenäytteet. Punnituspainot kirjattiin ylös niin, että rasioiden painot olivat erikseen, koska niiden painot vähennettiin näytteiden painosta. Näytteitä kuivatettiin 16 - 24 tuntia ilmastoidussa lämpökaapissa. Kuivuneet näytteet punnittiin suoraan uunista otettuina. Punnitustulokset kirjattiin ylös, ja saatujen punnitustulosten

perusteella laskettiin näytteille kosteusprosentti. Tulos ilmoitettiin rinnakkaisnäytteiden keskiarvoilla. Kosteuden määrittäminen tehtiin 0,1 prosentin tarkkuudella. Kosteusprosentin tulosta tarvitaan kattiloiden hyötysuhteiden laskemisessa ja osuuskunnan määrittämien kosteusprosenttien vertailussa.

## 6.2 Tuhkapitoisuuden määrittäminen

Tuhkapitoisuuden määrittämisessä käytettiin Alakankaan (2000, 30 - 31) teoksen ohjetta. Menetelmä perustuu standardeihin (ISO 1171 ja DIN 51719 30). Tuhkapitoisuuden määrittämiseen käytettiin kuviossa 9 olevaa Noberthern-tuhkausuunia. Näytteiden hehkuttamisessa käytettiin upokkaita, joiden halkaisija on 30 - 40 millimetriä ja korkeus 10 - 20 millimetriä.



KUVIO 9. Noberthern tuhkausuuni

Tuhkaukseen käytetty hake otettiin seulotusta näytteistä, suhteessa karkea palakoko hienoaineeseen. Turvepelletti ja hake paloitettiin ensin pienempiin palasiin ja sen jälkeen jauhettiin myllyllä jauheeksi. Jauheet kuivattiin ilmastoidussa lämpökaapissa 105

°C tasapainokosteuteen tuhka-analyysiä varten. Jauheista tehtiin kuivatuksessa rinnakkaisnäytteet, mistä laskettiin kosteusprosentti tuhkaprosentin laskentakaavaa varten.

Työ jouduttiin jakamaan kahteen päivään, koska uunin jäähtymiseen kului aikaa, eikä työtä voitu tehdä yhtäjaksoisesti, koska hehkutettavat näytteet laitetaan ohjeen mukaan huoneenlämpöiseen uuniin. Tästä syystä uunin oli annettava jäähtyä seuraavaan päivään. Ensimmäisenä päivänä upokkaat hehkutettiin 815 °C tunnin ajan. Tämän jälkeen uunin annettiin jäähtyä seuraavaan päivään, jolloin upokkaat otettiin uunista ja punnittiin 0,0001 gramman tarkkuudella, seuraavaa toimenpidettä varten.

Työtä jatkettiin seuraavana päivänä. Jauhettu ja tasapainokosteuteen kuivatut näytteet punnittiin upokkaisiin 0,0001 gramman tarkkuudella ja asetettiin huoneenlämpöiseen uuniin. Punnitus tapahtui sivuluukuun suljetulla puntarilla, joka valettiin ennen punnitusta vesivaakaan.

Uuni säädettiin tuhkapitoisuuden määrittämistä varten annetun ohjeen mukaan niin, että uunin lämpötila nostettiin 60 minuutin aikana 500 °C ja sen jälkeen 60 minuutin aikana lämpötila nostettiin 815 °C, missä näytteet pidettiin 60 minuuttia. Hehkutuksen jälkeen uunin annettiin jäähtyä alle 300 °C ennen, kuin näytteitä otettiin pois uunista. Polton jälkeen näytteet jäähdytettiin eksikaattorissa ja tämän jälkeen punnittiin ja saatujen tulosten perusteella laskettiin kuiva-aineen tuhkapitoisuusprosentti. Kuiva-aineen tuhkapitoisuusprosenttia varten, tehtiin kaksi rinnakkaisnäytettä. Näytteet saivat poiketa toisistaan 0,2 prosenttiyksikköä. Tuhka-analyysin tuloksien perusteella arvioidaan, palamisessa syntyneen tuhkan määrä ja mikä on sen vaikutus polttoaineen energiasisällön hävikin määrään.

### **6.3 Tuhkan palamattoman aineen määrittäminen**

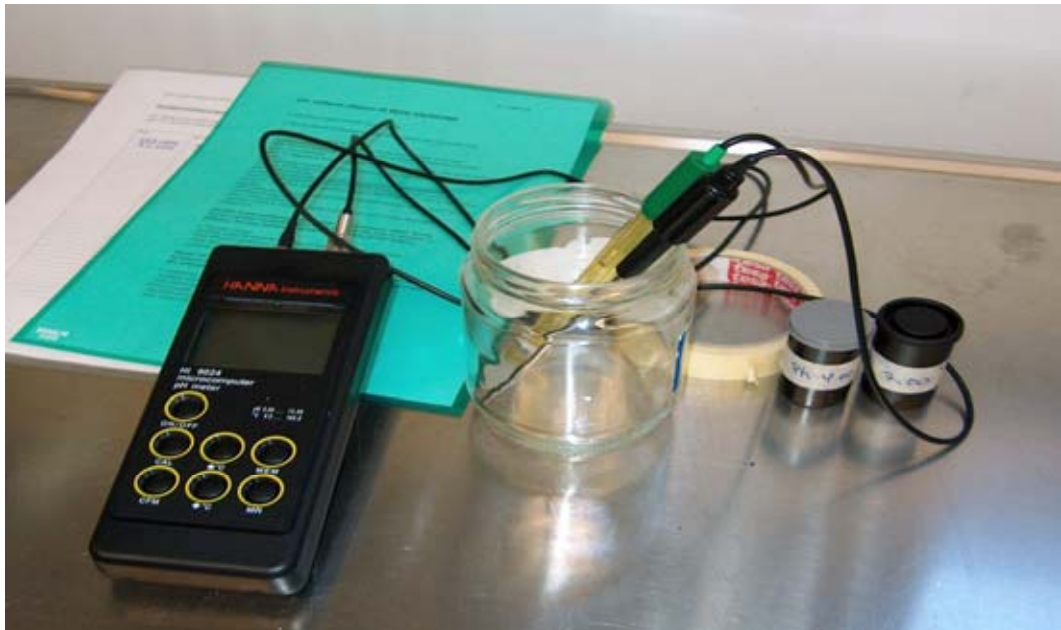
Tuhkan palamattomalle aineen määrittämiselle ei ole omaa standardia, vaan se tehtiin samoin, kuin hakkeen ja turvepelleetin tuhkapitoisuuksien määrittäminen. Tehdyt näytteet punnittiin ja laskettiin palamattoman aineentuhkaprosentti. Saatujen tulosten perusteella määritetään palamisen laatua ja arvioidaan hävikin määrää.



## 6.4 Lämmönsiirtopintojen pH analyysi

Lämmönsiirtopintojen tuhkan pH analyysit tehtiin kuviossa 10 olevalla laitteella. Analyysi tehtiin Stenmanin (2005) ohjeiden mukaan. Tuhkan pH mittaukseen ei ole standardia, vaan mittaukset tehtiin maanäytteiden mittauksessa käytettyä pH standardin ohjetta.

pH mittauslaite kalibroidaan aina ennen, kun sillä tehdään analyysituloksia. Ensin mittauslaite kalibroitiin liuoksessa 4,01 tämän jälkeen huuhdeltiin pH- ja lämpötilanturi tislattulla vedellä sen jälkeen kalibrointia jatkettiin 6,68 olevassa liuoksessa. Kalibrointia jatkettiin niin kauan, että pH-mittauslaite ilmoitti kalibroinnin olevan valmis. Mittauslaitteen kalibroinnilla varmistettiin mittauslaite antamaan oikea analyysitulokset pH analyysiä tehtäessä.



KUVIO 10. pH mittari

Tämän jälkeen tehtiin tuhkan ja tislattun veden sekoitusnäyte analyysitulosta varten 1:5. Ensin mitattiin mittalasiin yksi osa tuhkaa ja sen jälkeen viisinkertainen määrä tislattua vettä ja sekoitettiin hyvin, minkä jälkeen näytteistä mitattiin pH Stenmanin (2005) ohjeen mukaan. Tuhkapitoisuuden pH mittaustulosten perusteella, verrataan perinteisen ja seospolttojaksojen aikana saatuja lukuja keskenään ja arvioidaan, miten

turvepelletti vaikuttaa palamisprosessissa kattiloiden alkalimetallien ja klooripitoisuuden määriin.

## **6.5 Savukaasuanalysaattorin tulosten tallentaminen**

Savukaasuanalysaattorin TESTO 300-mittaustulokset saatiin suoraan Testo-tietokoneohjelmaan kannettavaan tietokoneeseen, josta ne siirrettiin Excel taulukkoon tulosten tarkastelua ja vertailuja varten. Kaikki saadut analyysitulokset tallennettiin Excel taulukkoon tulosten tarkastelua, vertailua ja raportointia varten.

## **7 TULOKSET JA VERTAILU**

Seuraavassa huomioon otettavia asioita, joita tapahtui koejakson aikana ja joilla oli vaikutusta polttoprosessin tapahtumaan sekä niistä saatuihin tuloksiin. 990 kilowatin kattilalla tuotettu teho oli yksi kolmasosa kattilan tuottamasta vakiotehosta. Lisäksi kattilan tehontuottoa vaihdeltiin perinteisen ja seospolttojaksojen aikana. 1500 kilowatin kattila tuotti lämpöenergiaa vakioteholla koko perinteisen ja seospolttojakson ajan.

Turvepелletin syöttö tapahtui siirtoruuvien kautta hakkeen sekaan. Siirtoruuvit siirsivät seospolttoaineen ensin 990 kilowatin kattilan välivarastoon, josta se siirtyi 1500 kilowatin kattilan siirtoruuveille ja päättyi 1500 kilowatin kattilan syöttöruuveille ja edelleen syöttöruuveilta kuivausvyöhykkeelle. 990 kilowatin kattila sai enemmän turvepellettiä palamiseen, kuin 1500 kilowatin kattila. Syy siihen oli se, että turvepelletti raskaampana putosi 990 kilowatin kattilan välivarastoon. Lisätystä turvepelletistä pieni osa pysyi hakkeen seassa, kun turvepellettiseos siirtyi siirtoruuvien mukana 1500 kilowatin kattilan välivarastoon ja edelleen syöttöruuvien kautta kuivausvyöhykkeelle palamisprosessiin.

## 7.1 Hyötysuhteiden tulokset ja vertailu

Kattiloiden hyötysuhdetta ei voitu verrata suoraan keskenään, koska hakkeen laatu vaihteli koejaksojen aikana. Kattiloiden hyötysuhteisiin vaikuttivat mittausjaksojen aikana kerättyjen savukaasujen lämpötilat. Eikä käytössä olevien kattiloiden hyötysuhdetta saada kattilakohtaisena, koska lämpölaitoksen energiatuotantojärjestelmä on rakennettu niin, että ne tuottavat yhteisen lämpöenergiämäärän.

Tavoitteena oli se, että lämmöntuotannossa käytetty hake saadaan samasta varastosta koko mittausjakson ajaksi. Varastot eivät kuitenkaan olleet niin suuria, että hake olisi riittänyt mittausjaksojen ajaksi, vaan sitä jouduttiin ajamaan eri varastoista ja erikoisista varastoista. Myös toimitetun hakkeen korjuuajankohdat vaihtelivat. Kesällä ja syksyllä 2003 korjattu hake, oli hyvinkin kuivaa ja niistä oli neulaset ja osa oksista karisseet pois, kun taas talvella 2004 korjattu hake oli kosteampaa.

Perinteisen jakson aikana toimitetun hakkeen energiasisältö oli 537,22 megawattituntia. Kattilat tuottivat verkostoon lämpöenergiaa 368,14 megawattituntia poltetusta hakkeesta. Kattiloiden hyötysuhde saadaan kun, tuotettu megawattituntimäärää jaetaan hakkeen energiasisällöllä ja se kerrotaan sadalla. Tästä saadaan perinteisen jakson hyötysuhteeksi 69 prosenttia. Hävikkiä syntyi 170,08 megawattituntia tuhkasta, savukaasujen lämpötilan mukana ja kattiloiden lämpösäteilystä kattilahuoneeseen sekä verkostohävikki.

Suurin osa hakkeesta, mitä käytettiin perinteisen jakson aikana, tuotiin Saunakylän Kulhalammelta. Hake oli korjattu ja varastoitu ajotien varteen tammikuussa 2004. Korjattu energiapuu ei kuivunut odotetusti, koska kesän sääolosuhteet olivat hyvin sateiset. Tästä johtuen hakkeen kosteus oli 25–55 prosenttia, josta keskiarvoksi tulee 42 prosenttia. Hakkeen kosteus vaikutti kattiloiden hyötysuhteeseen alentavasti.

Seospolttojakson aikana toimitetun hakkeen energiasisältö oli 454,7 megawattia. Kattilat tuottivat verkostoon lämpöenergiaa 351,3 megawattituntia. Energiasisällön ja verkostoon tuotetun megawattituntien määrän ero oli hävikkiä, jota syntyi jakson aikana 103,4 megawattituntia. Kattiloiden hyötysuhde oli seospolttojakson aikana 77

prosenttia. Seospolttojaksoissa käytettiin turvepellettiä 3,8 prosenttia lisätyn polttoaineen energiasisältö oli 24 megawattituntia.

Seospolttojakson aikana käytetty hake oli korjattu kesällä ja syksyllä 2003. Hake oli hyvin tasalaatuista, saatujen tulosten mukaan kosteusprosentti oli 33–42, tästä saadaan mittausaikana käytetyn hakkeen kosteuden keskiarvoksi 38 prosenttia. Hakkeen kosteuden vaikutus hyötysuhteeseen oli pienempi kuin perinteisen jakson aikana, koska käytössä ollut hake oli kuivempaa ja palaminen oli tasaista eikä lämpöenergiaa kulu-  
nut hakkeen kuivattamiseen.

Savukaasulämpötilojen vaihtelu 990 megawattitunnin kattilassa vaikutti hyötysuhteeseen. Osa tuotetusta lämpöenergiasta meni savukaasujen mukana piipusta ulos ja synnytti polttoaineen energiasisällön hävikkiä. Perinteisen jakson aikana kattilan hyötysuhteeseen vaikutti koejakson aikana käytetyn hakkeen kosteusprosentti. Kosteasta hakkeesta haihtunut vesi jäähdytti tulipesän pintoja, mikä vaikutti siihen, että osa tuotetusta lämpöenergiasta hukkaantui myös kattilan tulipesän lämmittämiseen. Kostean hakkeen vaikutuksesta vesihöyryn haihtuminen laski tulipesän lämpötilaa ja hidasti palamista. Polttoaineessa oleva vesi kiehui palamisvaiheessa ja synnytti vesihöyryä tulipesään ja esti hapen pääsyn palaviin kaasuihin. Märästä ja kosteasta hakkeesta kattilat eivät pystyneet hyödyntämään niille asetettujen hyötysuhteiden arvoja.

Märkä ja kostea polttoaine synnytti palamisessa kitupolttoa ja se aiheutti huonoa palamista, minkä seurauksena syntyi enemmän tuhkaa. Syntynyt tuhka lisäsi polttoaineen energiasisällön hävikkiä. Palamisessa tapahtui hiiltymistä mikä vaikutti tuhkan palamattoman aineen painoprosenttiin kuiva-aineen painosta. Saatujen tulosten perusteella, perinteisen jakson tuhkan palamaton aine oli 4,4 prosenttia kuiva-aineen painosta ja tämä oli hävikkiä polttoaineen energiasisällöstä.

Turvepelletin lisäys hakkeen sekaan vaikutti sen, että havaittavissa oli palamisessa tapahtunut muutos. Seospolttojakson aikana turvepelletin lisäys vaikutti palamisen hyvyyteen siinä määrin, että palaminen oli kuumempaa ja hakkeen hiiltymistä tapahtui vähemmän. Turvepelletin lisäys nosti kattiloiden hyötysuhdetta. Tähän vaikutti myös se, että käytetty hake oli tasalaatuista ja kosteuden vaihtelu pieni. Seospolttojakson aikana syntynyttä tuhkaa tuli vähemmän, kuin perinteisen jakson aikana, tästä johtuen

hävikkiä syntyi vähemmän. Saatujen tulosten mukaan tuhkan palamaton aine oli 4,0 prosenttia kuiva-aineen painosta. Tuloksesta voidaan havaita se, että turvepelletin lisäyksellä saatiin vähemmän palamatonta tuhkaa, myös tätä kautta syntyi vähemmän hävikkiä.

Palamisen tuloksena syntyi myös hävikkiä kattiloiden lämpösäteilystä kattilahuoneeseen. Ensio- ja toisioilma käyttivät esilämmitetyn kattilahuoneen lämpösäteilyn palamisen ylläpitämiseen. Lämpösäteilynä syntynyt hävikki, oli osittain kiertokulussa kattiloiden lämpöenergian tuotannossa. Osa lämpösäteilystä hävisi rakenteiden läpi ulos. Hävikkiä syntyi myös kattilahuoneen ja kanaalien verkostojärjestelmässä

## 7.2 Tuhkapitoisuuksien tulokset ja vertailu

Tuhkapitoisuudet ilmoitetaan painoprosenttina kuiva-aineen painosta. Tuhkan määrä ei vastaa suoraan sitä epäorgaanisen aineen määrää joka polttoaineessa on alkuperäisessä tilassa, sillä esimerkiksi useat mineraalit hajoavat tai hapettuvat polton aikana. (Jalovaara, Aho, & Hetemäki 2003, 24.)

Kuorettoman puun tuhkapitoisuus on tavallisesti 0,5 painoprosenttia kuiva-aineen painosta ja havupuun kuoren 2 painoprosenttia kuiva-aineen painosta. Tutkimuksen aikana käytössä ollut pääpolttoaine oli kokopuuhaketta, joka oli tehty sekapuusta. Sekapuuhakkeen tuhkapitoisuus on yleensä 0,5 - 0,6 painoprosenttia kuiva-aineen painosta. (Alakangas 2000, 37 - 38.)

Perinteisen jakson aikana käytetyn hakkeen tuhkapitoisuus oli 1,59 - 1,66, josta keskiarvoksi saatiin 1,64 painoprosenttia kuiva-aineen painosta. Tuhkapitoisuuden painoprosentin arvoon vaikutti se, että näyte, josta tuhkapitoisuuden määrittäminen oli tehty, oli otettu tammikuun 2004 korjatun hakkeen näytteestä, joka suhteutettiin sen hienoaineeseen.

Seospolttojakson aikana hakkeen tuhkapitoisuus oli 0,46 - 1,03, josta saatiin keskiarvoksi 0,75 painoprosenttia kuiva-aineen painosta. Tuhkapitoisuuden painoprosenttiin vaikutti se, että jakson aikana poltetun hakkeen kokopuu oli korjattu 2003 kesällä ja

syksyllä, osa kokopuukasoista oli peitetty muoveilla. Havupuiden neulasets olivat karisseet pois ja osa oksista putoili hakettaessa varastopaikalle. Tuhka-analyysiä varten otettiin näyte seulotusta hakkeesta, saadun seulonta tuloksen mukaan palakoko suhteutettiin hienoaineeseen.

Turvelletille määritetty tuhkapitoisuus oli 4,57 painoprosenttia kuiva-aineen painosta, mikä vastaa normaalia turpeen tuhkapitoisuutta. Vapolta saatujen arvojen (taulukko 1, s. 7) mukaan turvelletin tuhkapitoisuus on 1,1 - 3,6 painoprosenttia kuiva-aineen painosta, mitä voidaan pitää nyt tehtyjen analyysien perusteella aivan liian alhaisena tasona turvelletin tuhkapitoisuudelle.

Tulosten vertailussa näkyy se, että perinteisen jakson aikana käytetyn hakkeen laatu vaihteli sateisen kesä jälkeen, siihen vaikutti kokopuuvarastojen huono kuivuminen. Kosteaa polttoainetta paloi huonommin ja syntyi hiiltymistä, mikä oli havaittavissa jakson tuhkapitoisuuden kokonaismäärässä. Korjattu kokopuu ei ole kuivunut kesän aikana, mistä johtuu se, että näytteen hienoaineessa oli havuja, oksia, kuorta ja orgaanisia aineita mukana kun tuhka-analyysiä tehtiin. Havujen ja oksien vaikutus tuhkapitoisuuden painoprosenttiin oli nostava.

Seospolttolaineen tuhka-analyysin hienoaineessa oli hyvin vähän oksia. Näytteen havunneulasista ja muita orgaanisia aineita oli hyvin vähän, mikä oli havaittavissa tuhkapitoisuuden painoprosentissa kuiva-aineen painosta. Seospoltonjaksoissa ei turvelletin lisäyksellä ollut vaikutusta tuhkan kokonaismäärään. Seospolttolaineen aikana näkyi palamisen hyvyys myös tuhkapitoisuuden määrässä, koska tuhkaa syntyi suhteessa vähemmän kuin perinteisen jakson aikana.

Edellä olevien tuhka-analyysien tulosten perusteella voidaan todeta, että perinteisen jakson aikana syntyi tuhkaa enemmän, kuin seospolttolaineen aikana, mikä lisäsi myös polttoaineen energiasisällön hävikkiä. Seospolttolaineen tuhka-analyysin tuloksiin vaikutti se, että jakson aikana hake oli tasalaatuista ja palaminen oli hyvää, tämä vaikutti tuhkan määrään vähentävästi. Tästä johtuen polttoaineen energiasisällön hävikkiä syntyi vähemmän.

### 7.3 Lämmönsiirtopintojen tuhkan pH tulokset

Tuhkan pH ohjearvot ovat 11–12. (Stenman 2005.) Perinteisessä jaksossa 990 kilowatin kattilan pH oli 12,15 ja seospolttojaksossa 12,10. Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta se, että seospolttojakson tuhkan pH oli pienempi kuin perinteisen jakson.

Perinteisessä jaksossa 1500 kilowatin kattilan pH oli 11,86 ja seospolttojaksossa 11,17. Tuloksista voidaan todeta se, että seospolttojakson aikana tuhkan pH oli huomattavasti alempi, kuin perinteisen jakson pH. Kuitenkaan pH ei ylittänyt annettuja ohjearvoja mittausjakson aikana.

Lämmönsiirtopintojen tuhkan tulosten vertailussa oli eroja. Perinteisen jakson aikana kummankin kattilan pH oli korkealla, seospolttojakson aikana kattiloiden pH laski. Tuloksista huomataan, kuinka turvepelletin lisäys vaikutti lämmönsiirtopintojen tuhkan pH:n alenemiseen 1500 kilowatin kattilassa. Lämmönsiirtopintojen tuhkan pH:n muutokset olisi saatu paremmin esille jos seospolttojakso olisi ollut pitempi. Pienellä turvepelletin lisäyksellä syntyi tuloksissa suurehkoja eroja. Saatujen tulosten perusteella voidaan arvioida se, että kattiloiden lämmönsiirtopintojen tuhkapitoisuuksien alkalimetallien ja kloorin määrä väheni seospolttojakson aikana ja näin ollen turvepelletin lisäys vähentäisi kattiloiden kuumakorroosiota.

### 7.4 Palakokojen tulokset

Tulokset ja vertailu on tehty kahden hakettajan toimittaman hakkeen palakokoja-kaumasta. Perinteisen jakson pääpolttoaineena käytetyn hakkeen palakoko 20 litran hakenäytteestä oli 17,7 prosenttia hienoainetta. Seospolttojakson käytetyn hakkeen näytteestä oli 13,7 prosenttia hienoainetta. Seospolton aikana käytetyn turvepelletin palakoko 20 litran näytteessä oli 2,1 prosenttia hienoainetta.

Perinteisen jakson hakkeen hienoaineella oli vaikutusta kattiloiden hyötysuhteeseen alentavasti, koska hienoaine aiheutti arinalla kitupaloa. Hienojakoisuuden aiheuttamalla kitupalolla oli vaikutus savukaasujen lämpötilaan. Kitupalo lisäsi savukaasujen kiintoaineen määrää, minkä vaikutuksesta kattiloiden lämmönsiirtopinnat likaantuivat

ja se nosti savukaasujen lämpötilaa vieden lämpöenergiaa savupiipun kautta ulos, tämän vaikutuksesta kattiloiden hyötysuhde aleni.

Seospolttojakson aikana toimitetun hakkeen hienoaineella ei ole niin suurta vaikutusta kattiloiden hyötysuhteeseen, koska hienoainetta oli neljä prosenttia vähemmän kuin perinteisessä jaksossa käytetyn hakkeen hienoaine. Hienoaineen vaikutusta kattilan ominaisuuksiin palamisprosessissa ei voitu suoraan verrata perinteisen ja seospolttojaksojen välillä koska oli huomioitava käytetyn turvepelletin osuus seospolttojakson aikana.

## 7.5 Palamisessa syntyneet savukaasut

Alakankaan (2000, 35) mukaan tuoreena puu sisältää lähes puolet painostaan vettä ja lopusta kuiva-aineesta 85 prosenttia on hiilivetyjä, lähinnä selluloosaa ja hemiselloosaa sekä 14,5 prosenttia palavaa kiinteää hiiltä ja 0,5 prosenttia palamatonta kiinteää ainesta. Koostumuksensa vuoksi puun palamisprosessikin on monivaiheinen.

Aluksi puun sisältämä vesi höyrystyi kuivausvyöhykkeellä ja alensi tulipesän lämpötilaa, mikä hidasti palamista. (Puu polttoaineena 2000.) Tämän jälkeen 100 - 600 °C lämpötilassa alkaa kaasujen haihtuminen, kun selluloosat alkavat hajota lämmön vaikutuksesta. Kaasumaiset aineet haihtuvat ja syttyvät palamaan. Tulipesässä on oltava riittävä lämpötila ja tehokas toisioilman sekoitus, jolloin haihtuvat kaasut saadaan palamaan viimeistään lämmönsiirto-osassa. Jäännöshiilen palaminen vie aikaa palamisajasta 50 - 70 prosenttia. Jäännöshiilen palamatta jääminen vaikuttaa oleellisesti kattilan hyötysuhteeseen yleensä 0,1 - 5 prosenttia. (Lundgren 2005.)

Savukaasujen lämpötila riippuu palamisen hyväydestä ja ilmamäärästä. Savukaasujen lämpötila on oltava happo- ja vesikastepistettä ylempänä. Lämmönsiirtopintojen ja piipun yläpäähän lämpötila ei saisi laskea liian alas. Lämpötila ei saa olla myöskään liian korkea, sillä savukaasujen lämpötila vaikuttaa kattilan hyötysuhteeseen. Sopiva savukaasujen lämpötila kattilan jälkeen on 150 - 180 °C, tällöin savukaasut eivät jäähdy piipun yläosassakaan alle happokastepisteen. Savukaasuissa olisi hyvä olla aina ylimääräistä ilmaa. Tämä auttaa vähentämään kattilan lämmönsiirtopintojen ja savuhor-



min nokeentumista. Ylimääräisellä ilmalla saadaan riittävä hapensaanti ja täydellinen palaminen. (Lundgren 2005.)

### **7.5.1 990 kilowatin kattilan perinteisen ja seospolttojaksojen savukaasuarvojen tulokset**

#### **Happipitoisuus**

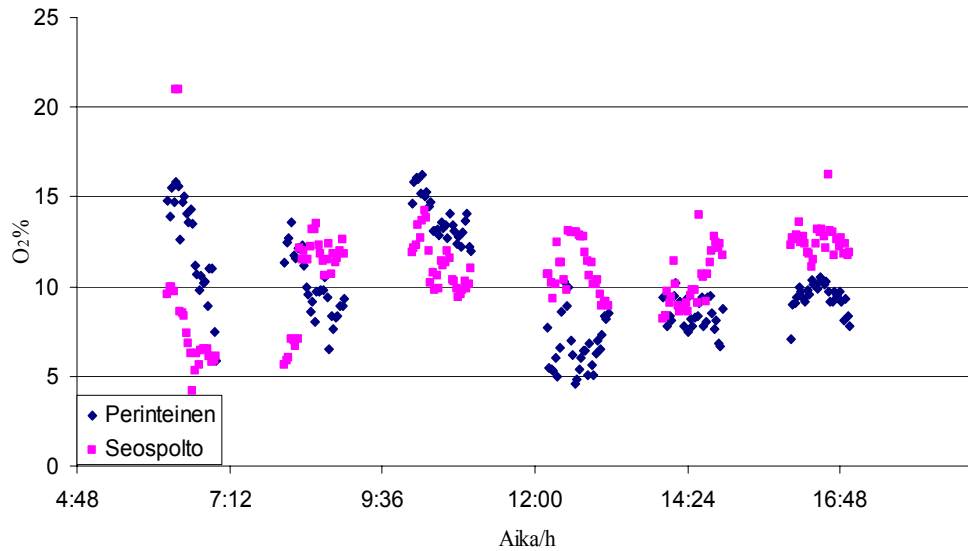
Perinteisen jakson aikana happipitoisuuksien määrät vaihtelevat. Happipitoisuuksien arvojen laskua ja nousua voidaan tarkastella kuviosta 1 perinteisen mittausjakson aikana. Mittausjakson aikana tapahtuvia muutoksia lambda- ja hiilidioksidipitoisuusarvoissa voidaan tarkastella liitteessä 2. Silloin kun, lambda-arvot nousivat, myös happipitoisuusarvot nousivat ja hiilidioksidipitoisuusarvot laskivat.

Savukaasun happipitoisuuden ( $O_2$ ) ohjearvo on 6 - 9 prosenttia. (Lundgren 2005.) Happipitoisuus oli perinteisen mittausjakson aikana 7,5 - 16,2 prosenttia. Happipitoisuusarvot ylittivät sille annetut ohjearvot. Lambda-arvojen ohjearvo on 1 - 4,5. (Oinonen 2005.) Liitteessä 2 lambda-arvot olivat mittausjakson aikana 1 - 4,5, eli lambda-arvot pysyivät annetuissa ohjearvoissa. Hiilidioksidipitoisuuksille ei ole annettu ohjearvoja.

Perinteisen jakson aikana happipitoisuusarvot olivat mittausjakson alusta korkeita. Kuviosta 11 huomataan mittausjakson edetessä, miten arvot nousivat ja jäivät tasaiseksi jakson keskivaiheella ja edelleen nousivat jakson lopussa. Liitteestä 2 selviää, miten lambda-arvot olivat jakson alussa alhaalla, mittausjakson edetessä keskivaiheelle arvojen määrät vähän nousivat ja pysyivät tasaisina, mittausjakson edetessä loppua kohden tapahtui lambda-arvoissa pientä nousua. Samasta liitteestä, voidaan tarkastella myös hiilidioksidipitoisuuksien arvoja. Hiilidioksidipitoisuusarvot olivat mittausjakson aikana hajanaisia ja nousivat mittausjakson keskivaiheella, pientä laskua tapahtui mittausjakson lopussa.

Seospolttojakson aikana happipitoisuusarvot ylittivät ohjearvot, mutta pysyivät tasaisena. Liitteessä 2 voidaan todeta, että lambda-arvot pysyivät tasaisena koko mittausjakson ajan ja annetuissa ohjearvoissa. Mittausjakson aikana oli hiilidioksidipitoisuuksien

sien arvoissa pientä hajontaa, kuitenkin arvot pysyivät tasaisena koko mittausjakson ajan.



KUVIO 11. 990 kilowatin kattilan O<sub>2</sub>-arvot

Perinteisen mittausjakson aikana käytetty hake oli kostea ja laatuvaihtelut suurehkoja, tästä johtuen palaminen ei ollut hyvää. Palamisen ylläpitämiseksi jouduttiin lisäämään toisioilman määrää, mikä vaikutti siihen, että palaminen sai liikaa happea. Ensiöilman kuivatessa kostea hake, höyrystyvä vesi muodosti hakepalojen pinnoille ja tulipesään höyrykerroksen, mikä vaikeutti toisioilman sekoittumista haihtuviin kaasuihin. Myös hakkeen hienoaine hidasti palamista ja lämmön kehitystä sekä synnytti kitupaloa. Arinalla ollut hiillos paloi useaan kertaan puhki, minkä seurauksena ensiöilmaa pääsi karkaamaan puhki palaneen hiilloskerroksen läpi. Tämä vaikutuksesta hapen määrää lisääntyi palamistilassa.

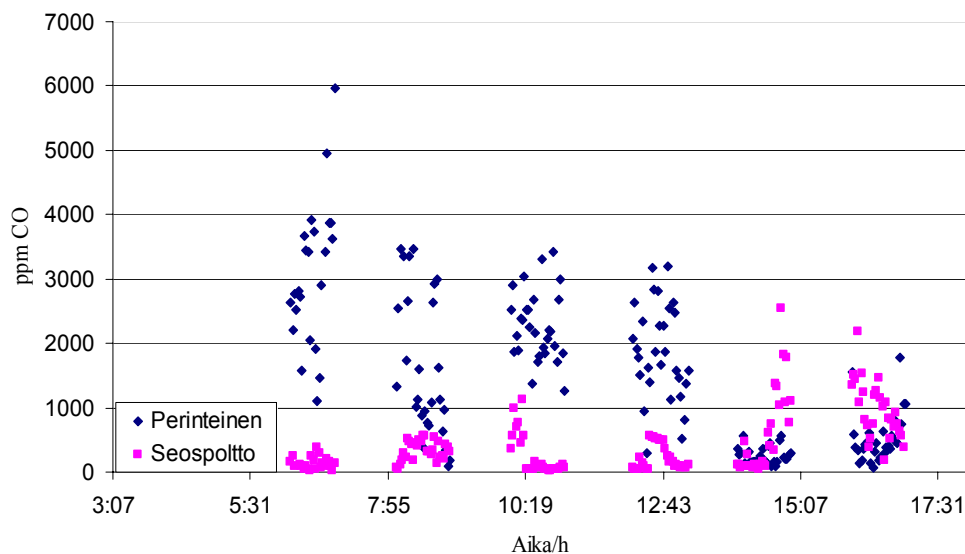
Seospoltojakson aikana palaminen oli tasaista. Toisioilmaa oli riittävästi, sen määrä ja suunta olivat oikein onnistuneita, tämän vaikutuksesta saatiin aikaan tasainen palaminen. Liitteessä 2 voidaan nähdä, että savukaasujen hiilidioksidipitoisuudet ovat tasaisempia, kuin perinteisen mittausjakson aikana. Palamiseen hyvytyteen vaikutti turvopelletin lisäys ja käytössä olleen hakkeen tasainen kosteus ja laatu.

Liitteestä 4 ja 5 voidaan tarkastella koko perinteisen jakson palamistapahtumaa. Tarkasteltaessa annosruuvien, ensiö- ja toisioilman määriä nähdään, ettei kattilan palaminen voinut olla tehokasta, koska se ei saanut riittävästi polttoainetta. Kattila oli suurimman osan mittausjaksojen aikana ”lepotilassa”. Lisäksi liitteestä 4 voidaan todeta se, miten mittausjakson toisella viikolla ja iltapäivällä, kun tehontarve nousee, myös hiilidioksidiarvot nousevat, tällöin palaminen oli parempaa. Jakson loppua kohden hiilidioksidiarvot tasaantuivat, mistä voidaan todeta palamisen tasaisuus.

### Häkäpitoisuus

Kuviossa 12 perinteisen jakson aikana aluksi häkäpitoisuusarvot ovat korkealla ja ylittävät annetun ohjearvon. Mittausjakson loppua kohden häkäpitoisuusarvot tasaantuvat ja alenevat annettuun ohjearvoon. Seospoltojakson aikana häkäpitoisuusarvot ovat tasaisia ja pysyvät mittausjakson aikana annetun ohjearvon alapuolella. Mittausjakson lopussa oli pientä nousua, siellä tapahtui ohjearvon ylitystä muutaman kerran.

Hiilimonoksidi (CO) eli häkäpitoisuusarvon ohjearvo on <1000 ppm CO. (Lundgren 2005.) Saatujen mittaustulosten perusteella perinteisen mittausjakson aikana häkäpitoisuuden arvot ovat 205 - 5954 ppm. Seospolton aikana 14 - 2537 ppm. Kummankin mittausjakson aikana häkäpitoisuusarvot ylittyivät ajoittain sille annetun ohjearvon.



KUVIO 12. 990 kilowatin kattilan CO-arvot

Häkäpitoisuusarvojen tarkasteltaessa on otettava huomioon se, että perinteisen jakson aloituksessa otettiin 990 kilowatin kattila käyttöön kesän seisokin jälkeen. Kattilan ylösajo kesän seisokin jälkeen vaikuttaa siihen, että häkäpitoisuudet ovat aluksi hyvin korkeat.

Toisioilmalla ei saatu ylläpidettyä tasalaatuista palamista perinteisen jakson aikana. Mittausjakson aikana käytössä ollut hake oli kosteaa ja huonolaatuista. Palamisessa tapahtui kitupaloa, minkä seurauksena syntyi häkää normaalia enemmän. Kitupalon palamisessa tapahtui hiiltymistä, mikä lisäsi savukaasujen kiintoainemäärää. Liitteessä 4 nähdään, miten kattilan tehot vaihtelivat mittausjakson aikana. Kun kattilan tehot olivat alhaalla, ei ilmojen sekoittuminen tapahtunut riittävän hyvin. Häkäpitoisuusarvoihin vaikutti ensiö- ja toisioilman määrät, mitkä olivat hyvin pieniä koko mittausjakson aikana. Alhaiset ilmojen määrät tulipesässä sekoittuivat huonosti palaviin kaasuihin, millä oli vaikutusta häkäarvojen korkeisiin tuloksiin mittausjakson alussa. Mittausjakson lopussa hakkeen laatu muuttui kuivemmaksi, minkä vaikutuksesta palaminen oli hyvää ja häkäarvot laskivat.

Seospolttojakson aikana turvepelletin lisäys vaikutti palamisen tasaisuuteen. Toisioilman ohjaus ja virtausnopeus oli saatu tehokkaasti ja oikein suunnattua palamiskaasuihin, tuloksena oli tasalaatuinen palaminen. Häkäpitoisuusarvojen tulos oli hyvä, vaikka kattilan toisioilman määrän lisäystä tehtiin osittain käsiohjauksena. Seospolttojakson aikana häkäpitoisuuksien arvot pysyivät hyvin tasaisena ja niille annetuissa ohjearvoissa, jakson lopussa oli pieniä eroavaisuuksia. Liitteestä 5 voidaan nähdä, miten ensiö- ja toisioilman määrä vaihteli ylläpitääkseen hyvää palamista.

Saatuja tuloksien yhteisvertailussa perinteisen- ja seospolttojaksojen välillä voidaan todeta, miten turvepelletti lisäys vaikutti palamistulokseen. Turvepelletin lisäys tasasi palamisen ja häkäpitoisuusarvot pysyivät alhaalla koko seospolttojakson ajan.

### **Savukaasujen lämpötilat**

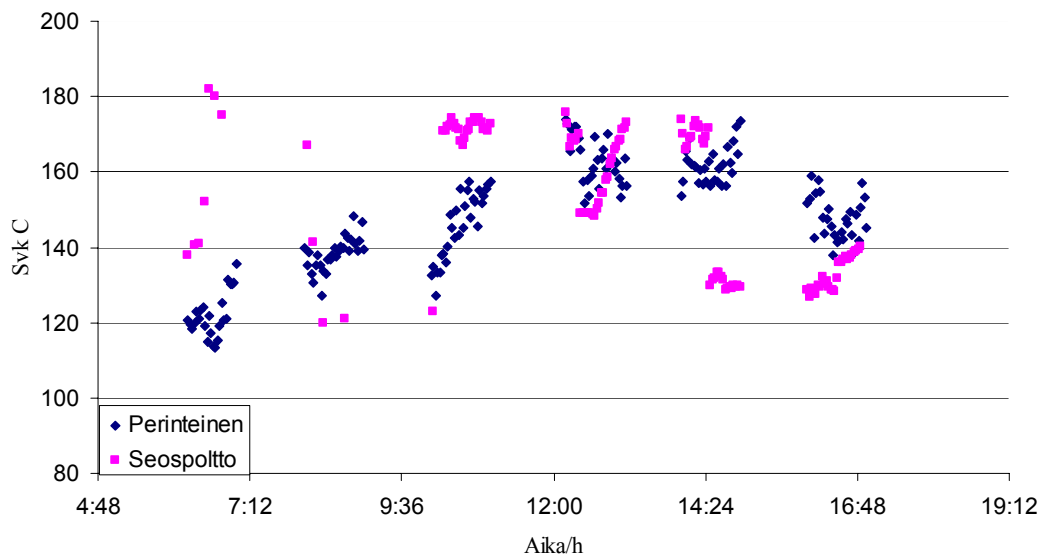
Perinteisen jakson aikana savukaasujen lämpötilojen arvot vaihtelivat. Kuviosta 13 voidaan tarkastella savukaasujen lämpötiloja. Savukaasujen lämpötilat olivat nuoho-

uksen jälkeen alhaalla, lämpötilat kuitenkin nousivat mittausjakson edetessä. Seospolttojakson aikana savukaasut pysyivät tasaisena koko mittausjakson ajan.

Savukaasujen lämpötilan ohjearvo on 150–180 °C. (Lundgren 2005.) Saatujen mittautulosten perusteella savukaasujen arvot perinteisen jakson aikana olivat 113–170 °C. Seospolton aikana savukaasujen lämpötila oli 120–183 °C.

Perinteisen jakson kuviossa 13 voidaan päätellä savukaasujen lämpötilasta, että kattila likaantuu nopeasti nuohouksen jälkeen. Savukaasujen lämpötilat olivat aluksi alhaiset, mutta nousivat nopeasti ja jäivät korkeisiin lukemiin mittausjakson edetessä loppuun.

Seospolttojakson savukaasujen lämpötila pysyi tasaisena heti nuohouksen jälkeen, eikä koko mittausjakson aikana tapahtunut suuria vaihteluja. Kattila ei seospolttojakson aikana likaantunut siinä määrin, kuin perinteisen jakson aikana.



KUVIO 13. 990 kilowatin kattilan savukaasujen lämpötilat

Perinteisen jakson aikana kostea ja huonolaatuinen hake palaessaan lisäsi savukaasujen määrää. Liitteessä 4 voidaan nähdä, miten ensiöilman määrä vaihteli, kun kuivausvyöhykkeen lämpötilat vaihtelivat kuivattaessaan kosteaa haketta. Kostean hakkeen kuivauksesta syntyi vettä, mikä lämpötilan vaikutuksesta haihtui vesihöyryksi, estäen palamisilmojen sekoittumista palamistilassa. Tämä vaikutti siihen, että palamisen yl-

läpittämiseksi tarvittiin lisää toisioilmaa. Mittausjakson aluksi tehty kattilan nuohous vaikutti siihen, että savukaasut olivat alhaiset mittausjakson alussa, aivan kuten odotettiin.

Seospolttojakson aikana turvepelletin lisäyksellä saatiin hyvä palaminen ja sen vaikutus näkyi savukaasujen lämpötilojen tasaisuutena. Tästä voidaan päätellä, että kattila likaantui vähemmän. Tulosten perusteella voidaan päätellä, että turvepelletin lisäys hakkeen sekaan vähensi kattiloiden likaantumista, mikä saatujen tulosten perusteella vähentäisi kattilan nuohouskertojen määrään. Savukaasujen lämpötilan tasaisuus pienensi polttoaineen energiasisällön hävikkiä.

Perinteisen ja seospolttojaksojen yhteisessä vertailussa on huomioitava se, että 990 kilowatin kattila tuotti lämpöenergiaa vain yhden kolmasosan vakiotehosta, mikä on edellä jo todettu. 990 kilowatin kattilan lämpöenergian tuotantoa voidaan tarkastella liitteistä 4 ja 5. Perinteisen jakson aikana, voidaan tarkastella annosteluruuvien syöttöä ja samanaikaisesti miten palaminen sai ensiö- ja toisioilmaa. Liitteessä olevien tulosten vertailusta savukaasujen lämpötilojen kanssa voidaan todeta, että kattilan automaattijärjestelmä oli hidas reagoimaan palamisessa tapahtuviin muutoksiin. Tuloksista voidaan päätellä myös se, että kattilan automaattijärjestelmä ei ole niin tarkka polttoaineen laadunvaihteluille. Liitteen tuloksista voidaan todeta myös se, että kattilan tuottama lämpöenergia oli vähäistä.

Seospolttojakson aikana turvepelletin lisäyksellä saatiin nopea ja kuuma palaminen se indikoi puhtaampaa palamista, jolloin palavat kaasut pysyivät pidempään liekissä. Tulipesä pysyi riittävän kuumana ja tehokas toisioilman sekoitus auttoi kaasujen palamisen vielä lämmönsiirto-osassa. Turvepelletin lisäyksen vaikutuksesta saatiin täydellisempi palaminen, jonka vaikutus näkyi savukaasujen lämpötilojen tasaantumisesa. Turvepelletin vaikutuksesta savukaasujen lämpötilat pysyivät tasaisena nostaen samalla kattilan hyötysuhdetta ja vähentäen kokonaishävikin määrää.

Opinnäytetyöntekijän mielestä kahden viikon koejakso oli liian lyhyt aika antamaan todellista selvyttä siitä, mikä oli turvepelletin vaikutus kattilan lämmönsiirtopintojen likaantumiseen. Lyhyen mittausjakson aikana ei sääolosuhteet muuttunut siinä määrin, että olisi tarvittu nopeita kiihdytyksiä, eikä ulkolämpötilan pienet vaihtelut antanut

siihen mahdollisuutta. Tehontarpeen nopeita kiihdytysten vaikutuksia palamiseen jäi kokonaan todentamatta.

### **7.5.2 1500 kilowatin kattilan perinteisen ja seospolttojaksojen savukaasuarvojen tulokset**

#### **Happipitoisuus**

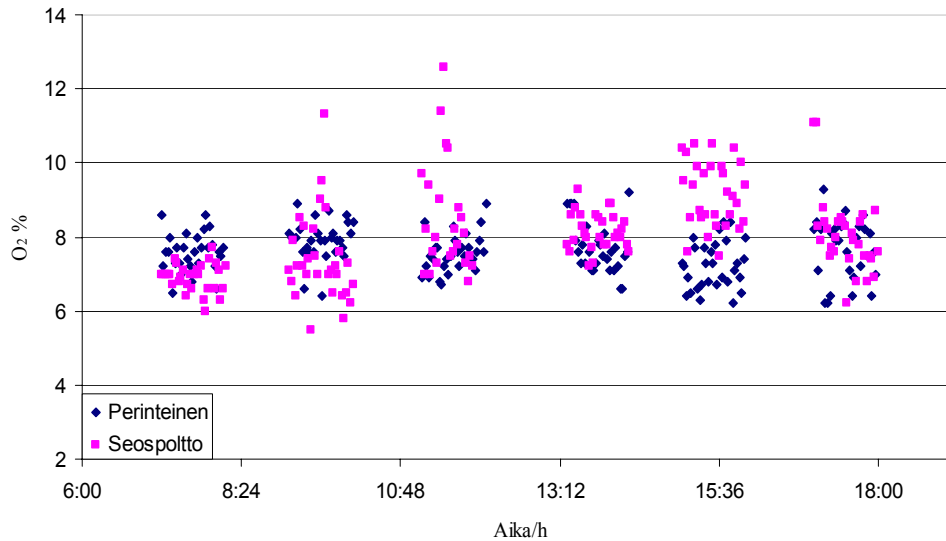
Kuviosta 14 voidaan tarkastella perinteisen jakson happipitoisuusarvoja. Mittausjakson alussa happipitoisuusarvot olivat tasaisia, vain muutamia ohjearvojen ylityksiä tapahtui jakson lopussa. Liitteessä kolme voidaan tarkastella saman jakson lambda- ja hiilidioksidipitoisuusarvoja. Lambda-arvot pysyivät tasaisina eikä annettuja ohjearvoja ylitetty. Hiilidioksidipitoisuusarvot olivat aluksi tasaisia. Mittausjakson edetessä loppua kohden tapahtui hiilidioksidipitoisuusarvoissa pientä nousua.

Edelleen kuviossa 14 voidaan tarkastella happipitoisuusarvojen muutoksia seospolttojakson aikana. Koko mittausjakson ajan happipitoisuusarvot vaihtelevat niin, että välillä oli tasaista jolloin pysyttiin annetuissa ohjearvoissa ja välillä arvot muuttuvat ylittäen annetut ohjearvot. Liitteessä 3 huomataan lambda-arvojen muuttumisen olevan samansuuntaista kuin kuviossa 14 olevat happipitoisuusarvot. Lambda- ja happipitoisuusarvojen sidonnaisuus näkyy tässä jaksossa hyvin. Kun lambda-arvot nousevat, samanaikaisesti nousevat myös happipitoisuusarvot. Hiilidioksidipitoisuusarvot ovat koko mittausjakson hajanaisia (liite 3).

Tarkasteltavan jakson happipitoisuus oli 6,2 - 9,3 prosenttia. Seospolttojaksossa savukaasun happipitoisuus oli 5,5 - 12,6 prosenttia. Liitteessä 3 1500 kilowatin kattilan lambda-arvot ovat 1,42 - 1,8 perinteisen jakson aikana ja 1,35 - 2,49 seospolttojakson aikana.

Liitteessä 3 voidaan tarkastella, miten perinteisen jakson hiilidioksidipitoisuusarvot olivat aluksi vähän hajanaisia, mutta kuitenkin tasaisia. Mittausjakson loppua kohden hiilidioksidipitoisuusarvot alkoivat vähän nousta. Mittausjakson aikana hiilidioksidipitoisuusarvot olivat 11,3 - 14,3 prosenttia. Seospolttojakson aikana hiilidioksidipitoi-

suusarvot olivat koko mittausjakson ajan hajanaisia ja erot olivat ajoittain suuria. Mittausjakson hiilidioksidipitoisuusarvot olivat 8,1 - 14,3 prosenttia.



KUVIO 14. 1500 kilowatin kattilan O<sub>2</sub>-arvot

Perinteisen jakson aikana käytetty hake oli kostea ja huonolaatuista. Se ei kuitenkaan vaikuttanut kattilan palamistulokseen siinä määrin, että olisi aiheuttanut happi-, lambda- ja hiilidioksidipitoisuusarvoissa eroavaisuuksia. Tuloksia verrattaessa voidaan todeta, että palamisessa tarvittava happimäärä oli oikeassa suhteessa palavien kaasujen kanssa. Mittausjakson aikana palaminen sai polttoainetta tasaisesti eikä syötössä tapahtunut katkoksia.

Seospolttojakson aikana happipitoisuuden vaihteluihin vaikutti toisioilman syötön määrä. Epätasainen syöttö aiheutti sen, että itseohjautuva automaatiojärjestelmä paikansi virheitä ja yritti korjata ensiö- ja toisioilman avulla palamisen häiriöt ylläpitääkseen hyvää palamista. Aluksi palamisessa oli happea oikeassa suhteessa ja palaminen oli hyvää. Mittausjakson edetessä palaminen sai liikaa happea ja ylimääräinen happi sekoittui savukaasuihin nostaen happipitoisuusarvoa.

Liitteestä 7 voidaan tarkastella miten kattila tuotti lämpöenergiaa vakioteholla. Mittausjakson aikana tehontarve oli vähäinen, johtuen leudosta säästä. Kun tehontarve oli vähäinen ja kattila tuotti lämpöenergiaa vakioteholla, nousi lähtevän veden lämpötila



yli sadan ja savukaasujen lämpötilat ylittivät ohjearvon. Tässä vaiheessa automaattijärjestelmä alkoi ohjata polttoaineen syöttöä, vähentäen sitä ja edelleen lopetti polttoaineen syötön kokonaan, mistä syntyi syötön katkos. Polttoaineen syöttö on liitteessä 7 ilmoitettu annosruuvien taajuutena (Hz). Samanaikaisesti lambda-anturi ohjasi toisioilman määrää ja alensi sen minimitasolle. Tällöin palaminen oli minimissä ja siitä jäi ylimääräistä happea palamistilaan. Ainoastaan ensiöilman määrä pysyi vakiossa. Tämä vaikutti siihen, että hakepatja paloi puhki arinalla ja ensiöilmaa pääsi karkaamaan palamistilaan lisäten hapen määrää savukaasuissa.

Kun palaminen pieneni, myös savukaasujen lämpötila laski alle ohjearvojen. Edelleen liitteestä 7 voidaan todeta se, kun savukaasujen lämpötila oli alle ohjearvojen, alkoi automaattijärjestelmä lisätä polttoaineen syöttöä. Lambda-anturi alkoi lisätä toisioilman määrää, saadakseen aikaan hyvän palamisen. Hiilidioksidiarvoista voidaan nähdä liitteessä 3 missä kohdissa mittausjaksoa edellä olevat palamisen muutokset tapahtuivat.

### **Häkäpitoisuus**

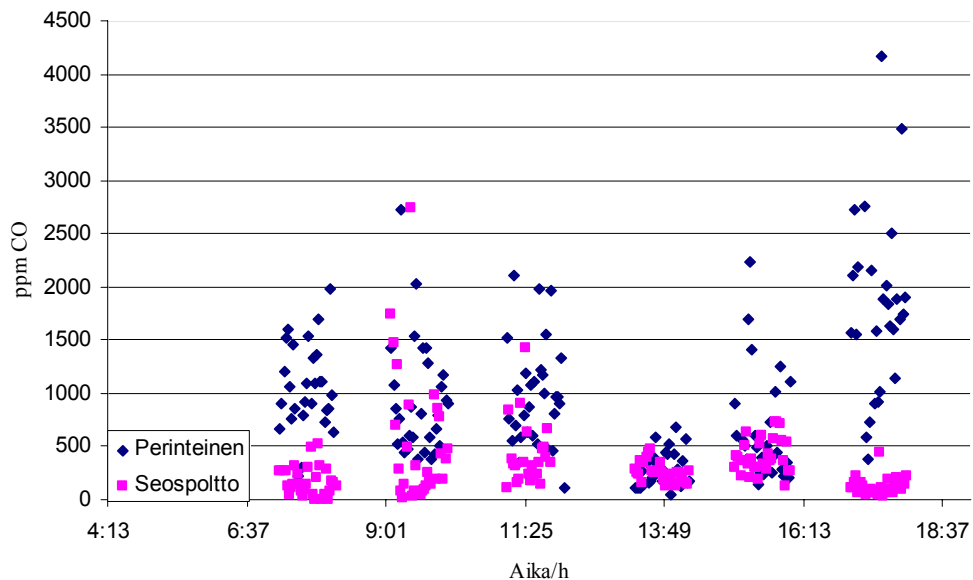
Hiilidioksidipitoisuusarvoista voidaan päätellä palamisen vaihteluja koko mittausjakson ajan. Häkäpitoisuusarvojen tuloksista voidaan todeta, että polttoaineen syötössä oli syntynyt katkoksia ja syöttö oli epätasaista.

Kuviosta 15 voidaan tarkastella perinteisen jakson häkäpitoisuusarvoja. Mittausjakson alussa häkäarvot olivat korkeita ja hajanaisia. Mittausjakson keskivaiheella tulos oli tasainen, mikä kuitenkin muuttui mittausjakson loppua kohden hajanaiseksi ja samanaikaisesti tapahtui ohjearvon ylityksiä.

Seospolttojakson aikana voidaan havaita muutoksia palamisessa. Mittausjakson alussa savukaasujen häkäpitoisuusarvot olivat tasaisia ja palaminen oli hyvää. Muutosta tapahtui mittausjakson edetessä. Häkäpitoisuusarvot nousivat hetkellisesti ja laskivat edelleen alle ohjearvon. Jakson loppua kohden häkäpitoisuusarvot alkoivat nousta yllättävän korkealle. Seospolttojakson aikana savukaasujen häkäpitoisuus oli 47 - 4173 ppm.

Liitteessä 6 voidaan tarkastella perinteisen jakson tehontarvetta. Kun tehontarve oli vähäinen, palaminen oli huonoa ja häkäpitoisuusarvot olivat korkeat. Mittausjakson aikana tehontarve lisääntyi ja palaminen muuttui paremmaksi, kuitenkin häkäpitoisuusarvot eivät kokonaan tasaantuneet mittausjakson aikana.

Seospolttojakson aikana aamulla palaminen oli hyvää ja häkäpitoisuusarvot olivat alhaalla. Palaminen muuttui, kun tehon tarve liitteessä 7 lisääntyi ja sen myötä häkäpitoisuusarvot alkoivat tasaantua ja laskevat mittausjakson lopussa alle ohjearvon. Automaattijärjestelmä oli korjannut ensiö- ja toisioilman määriä ja saanut aikaan hyvän palamisen.



KUVIO 15. 1500 kilowatin kattilan ppm CO-arvot

Häkäpitoisuusarvojen vaihteluun perinteisen jakson aikana vaikutti hakkeen laatu. Aluksi oli kosteaa ja huonolaatuista haketta, minkä jälkeen hakettajat vaihtuivat ja uudet hakettajat toimittivat tasalaatuisempaa haketta. Liitteessä 6 tarkasteltaessa ensiöilman määrää ja sen vertailusta kuvion 15 häkäpitoisuusarvoihin, voidaan päätellä palamisen laatua. Kuivausvyöhykkeellä olleen kostean hakkeen kuivauksen haihtumisessa syntyy vettä, mikä tulipesässä muuttui vesihöyryksi. Vesihöyry esti osittain toisioilman sekoittumista palaviin kaasuihin. Tästä johtuen palaminen ei ollut hyvää ja syntyi kitupalaa, minkä vaikutuksesta syntyneet häkäpitoisuusarvot ylittivät annetun

ohjearvon. Mittausjakson keskivaiheen jälkeen hakkeen laatu vaihtui tasalaatuisempaan, mikä vaikutti häkäpitoisuusarvojen alenemisen annettuun ohjearvoon. Mittausjakson lopussa häkäpitoisuusarvot nousivat, koska jakson lopuksi toimitetun hake oli kosteaa ja synnytti uudelleen kitupalaa. Kosteasta polttoaineesta johtui häkäpitoisuusarvojen vaihtelu ja hajanaisuus koko mittausjakson ajan. Häkäpitoisuusarvojen vaihtelu lisäsi polttoaineen energiasisällön hävikkiä.

Seospolttajakson aikana käytetty hake oli tasalaatuista ja hyvää, mikä vaikutti siihen, että palaminen oli hyvää. Mittausjakson aamupäivän tulos oli hajanainen, johon vaikutti huonosti sekoittunut turvepelletti tai aikaisemmin todetut syötön katkokset. Mittausjakson loppua kohden häkäpitoisuusarvot tasaantuivat ja pysyivät annetun ohjearvon alapuolella. Jakson kokonaisvertailussa voidaan todeta, että seospolttajakson aikana palamisesta syntynyt hävikinmäärä jäi pienemmäksi kuin perinteisen jakson aikana.

Palamistulokseen kokonaisuuteen voi vaikuttaa myös se, kun kattiloiden tehot olivat alhaalla, ei ilmojen sekoittuminen päässyt tapahtumaan riittävän hyvin ja tästä johtuen palaminen ei ollut tasaista. Edelleen vaikutus muutokseen saattoi olla se, ettei ensiö- ja toisioilma päässyt sekoittumaan kattilassa riittävän hyvin.

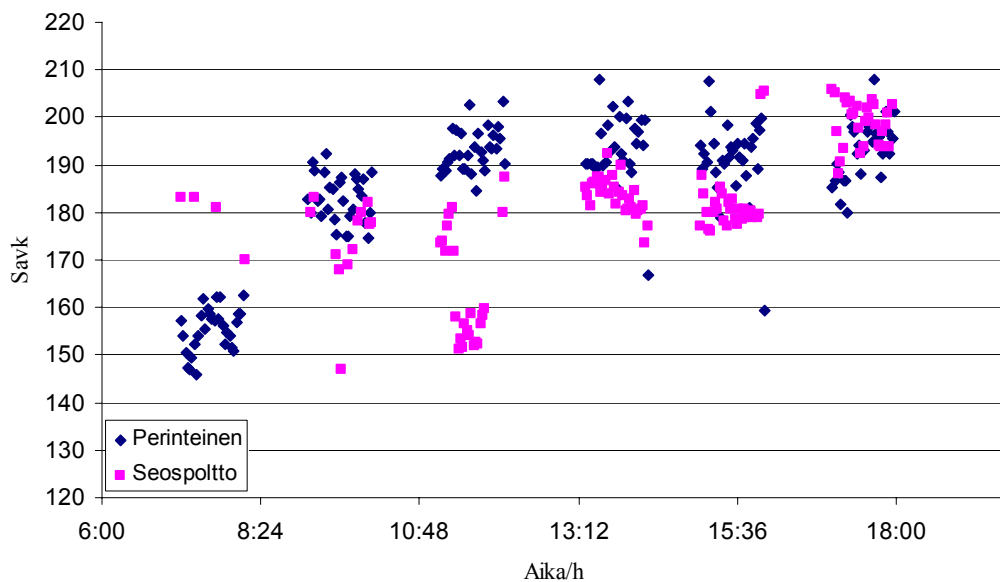
### **Savukaasujen lämpötilat**

Savukaasujen lämpötiloista voidaan päätellä se, että palamisessa oli vaihteluja mittausjakson aikana, mihin vaikutti käytössä ollut hake. Mittausjakson aikana käytössä olleen hakkeen laatu vaihteli kosteasta ja huonolaatuisesta, hyvään ja tasalaatuiseseen.

Kuviosta 16 voidaan tarkastella savukaasujen lämpötiloja. Perinteisen jakson alussa nuohouksen jälkeen, kattilan savukaasujen lämpötilat olivat alhaiset. Mittausjakson edetessä huomataan, miten savukaasujen lämpötilat alkoivat nousta. Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että kattila alkoi likaantua nopeasti. Savukaasujen lämpötilojen nopeasta nousemisesta voidaan todeta se, että kattila likaantui heti ensimmäisen viikon mittausjakson aikana ja ylitti sille annetut ohjearvot.

Seospoltojakson aikana savukaasujen lämpötilat pysyivät tasaisena. Pieniä muutoksia ja hajanaisuutta tapahtui jakson aikana. Mittausjakson edetessä loppua kohden, nousivat savukaasujen lämpötilat yli annettujen ohjearvojen. Seospoltojakson aikana savukaasujen lämpötilat pysyivät tasaisempina, kuin perinteisen mittausjakson aikana. Tästä voidaan päätellä, ettei kattila likaantunut seospoltojakson aikana siinä määrin, kuin perinteisen mittausjakson aikana.

Savukaasujen lämpötilan ohjearvo on 150–180 °C. (Lundgren 2005.) Saatujen mittaus- tulosten perusteella savukaasujen arvot perinteisen mittauksen aikana olivat 147 - 203 °C ja seospolton aikana 147 - 205 °C.



KUVIO 16. 1500 kilowatin kattilan savukaasujen lämpötilat

Perinteisen jakson aikana käytössä oli kostea ja huonolaatuinen hake. Liitteessä 7 voidaan tarkastella, miten kuivausvyöhykkeellä olevan hakkeen kosteus lisäsi vesihöyryä ja esti palamiskaasujen sekoittumista toisioilmaan. Tällöin syntyi kitupaloo, minkä seurauksena kiintoaineiden määrä lisääntyi savukaasuissa. Kiintoaineet tarttuivat nopeasti lämmönsiirtopinnoille, nostaen savukaasujen lämpötilan yli ohjearvojen. Liikaantuneet lämmönsiirtopinnot, eivät pystyneet ottamaan niin hyvin lämpöenergiaa vastaan ja siirtämään sitä lähtevään veteen, vaan tuotettua lämpöenergia jäi savukaasuihin ja meni savupiipun kautta ulos, synnyttäen hävikkiä.

Seospolttojakson aikana turvepelletin lisäyksellä saatiin aikaan hyvä palaminen ja sen vaikutus näkyi savukaasujen lämpötilojen tasaisuutena, mistä voidaan todeta, että kattila likaantui vähemmän. Tästä voidaan päätellä, että turvepelletin lisäyksellä hakkeen sekaan, saadaan kattilan nuohouskertoja vähennettyä. Lämmönsiirtopinnat pysyivät puhtaampana ja lämpöenergia pystyi siirtymään verkostoon lähtevään veteen. Tuotetusta lämpöenergiasta vain pieni osa meni savukaasujen mukana ulos. Savukaasujen lämpötilan tasaisuus vaikutti siihen, että hävikin määrä jäi pienemmäksi kuin perinteisen jakson aikana.

Kokonaisvertailussa 1500 kilowatin kattilan savukaasujen arvojen tulosten perusteella voidaan sanoa, että kattila oli herkkä polttoaineen laadunvaihteluille. Näissä tuloksissa oli pieniä eroavaisuuksia. Kuitenkin niistä huomataan, että pienikin laadun muutos polttoaineessa vaikutti kattilan ominaisuuksiin ja savukaasuarvoihin. Herkkyyteen vaikutti myös se, miten automaattijärjestelmä oli säädetty ja miten se reagoi pieniin muutoksiin ja pyrki korjaamaan palamisen tapahtumaa.

Palamistulokseen vaikutti myös, se miten turvepelletti sekoittui hakkeen sekaan. Seospolttoaine siirtyi siirtoruuvien kautta kattiloiden välivarastoihin, joista syöttöruuvien kautta palamistilaan. 1500 kilowatin kattila sai seospolttoaineen 990 kilowatin kattilan välivaraston kautta. Turvepelletti raskaampana putosi 990 kilowatin kattilan välivarastoon ja tämän seurauksena 1500 kilowatin kattila sai vähemmän turvepellettiä seoksessa. Kiinteässä arinapoltossa pääpolttoaine hake ja siihen lisätty turvepelletti ei voinut sekoittua arinalla, vaan turvepelletin sekoitus oli saatava tasaiseksi ennen, kuin se tuli kuivausvyöhykkeelle. Saatujen tulosten perusteella 1500 kilowatin kattilan seospolttoaineen annostelu ei onnistunut odotetusti.

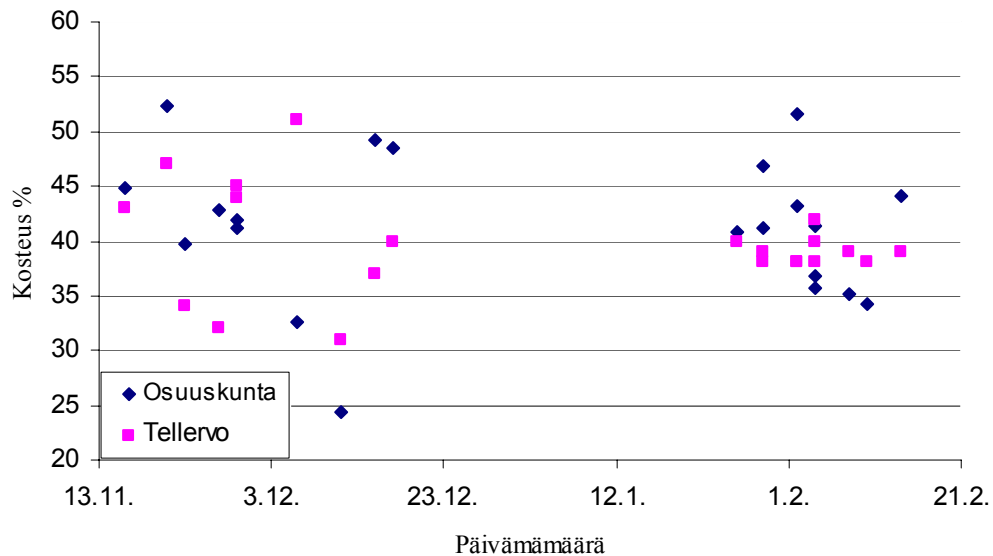
## **7.6 Pääpolttoaineen hakkeen kosteus Kyyjärven lämpölaitoksessa**

Kosteus on tärkein puupolttoaineen laatua kuvaava ominaisuus. Se vaikuttaa suoraan saapumistilaisen polttoaineen teholliseen lämpöarvon. Puupolttoaineen kosteutta voidaan alentaa korjuuajankohdalla sekä oikein valitulla varastointipaikalla. Kosteuspiitoisuuteen vaikuttaa se, kuinka paljon puissa on oksamassaa ja miten korjattu kokopuu on metsikössä käsitelty.

Kaadetun tuoreen koivun kosteusprosentti on 40 -50 prosentin välillä, lepän 45 - 55 prosenttia, männyn 50 - 60 prosenttia. Kosteuteen vaikuttavat, kasvupaikka, puulaji, sekä puun ikä tämän lisäksi kosteus vaihtelee puun eri osissa. Lehtipuun kosteus vaihtelee vuodenajoin. (Puu polttoaineena 2000.)

Kuviossa 17 on osuuskunnan ja opinnäytetyöntekijän ottamia kosteusnäytteiden tuloksia joita verrataan keskenään. Opinnäytetyöntekijällä oli enemmän näytteitä kun osuuskunnan näytteitä.

Mittaustulosten perustella laskettiin osuuskunnan ja opinnäytetyöntekijän kosteusnäytteistä keskiarvot ja niitä verrattiin keskenään. Perinteisen jakson aikana osuuskunnan kosteusprosentin keskiarvo oli 42,7 ja opinnäytetyöntekijän 41,8 prosenttia. Seospolttojakson aikana osuuskunnan kosteusprosentti oli 42,9 ja opinnäytetyöntekijän 38,6 prosenttia. Kosteusprosentteissa oli suurehko ja systemaattinen ero.



KUVIO 17. Osuuskunnan ja opinnäytetyöntekijän määrittämät kosteusprosentit

Perinteisen jakson aikana Kyyjärven lämpölaitoksessa käytetty hake oli korjattu koneellisesti talvella 2003 ja 2004. Puulajisuhteet olivat mäntyä 70 prosenttia ja loppu lehtipuuta. Varastointipaikka oli ajotien varressa.

Perinteisen jakson ajalla tehtyjen kosteusprosenttien keskimääräisissä tuloksissa opinnäytetyöntekijän ja osuuskunnan tuloksissa oli samansuuntaiset poikkeavuudet. Syitä jakson kosteusprosentin hajanaisuuteen löytyy sateisesta kesästä, korjuuajan kohdasta, varastointipaikoista ja puulajisuhteista. Kosteusprosenttien eroihin vaikuttavia muita syitä oli otettujen näytteiden määrä, näytteiden ottopaikka ja näytteiden analyysiin käytetyt kuivatusuunit.

Seospoltojakson aikana toimitettu hake oli korjattu koneellisesti kesällä ja syksyllä 2003. Osa kasoista oli peitetty muoveilla. Puulajisuhteista lehtipuuta oli yli puolet ja loppu mäntyä. Varastointipaikkoihin oli kiinnitetty enemmän huomiota, ne olivat avoimilla ja tuulisilla paikoilla.

Seospoltojakson aikana tehtyjen kosteusprosentin keskimääräisissä tuloksissa näkyi eroavaisuuksia osuuskunnan ja opinnäytetyöntekijän tekemien tulosten välillä. Osuuskunnan saadut tulokset ovat hajanaisempia, kuin opinnäytetyöntekijän tulokset. Syitä mitkä voivat vaikuttaa saatuihin tuloksiin ovat varastointipaikka, korjuuajankohda ja puulajisuhteet. Muita syitä, joilla saattoi olla vaikutusta tuloksiin, oli näytteiden määrä, näytteiden ottopaikka ja näytteiden analyysiin käytetyt kuivatusuunit.

Tulosten vertailussa perinteisen ja seospoltojakson aikana saatuja kosteusprosentteja oli havaittavissa eroavaisuuksia. Vaikuttavana tekijänä olivat menneen kesän sääolosuhteet, joka vaikutti kokopuun huonoon kuivumiseen varastointipaikalla. Seospoltojakson aikana käytetty kokopuun kosteus oli tasalaatuista. Tulokseen vaikutti korjuun ajankota ja kasojen varastointipaikat.

## **8 YHTEENVETO**

Sateinen kesä lisäsi Kyyjärven energiaosuuskunnan kiinnostusta teettämään tutkimusta Kyyjärven lämpölaitoksella käytetyn hakkeen laadun tasaamisesta silloin kun tulee ongelmatilanteita tai tarvitaan nopeita kiihdytyksiä. Käytössä oli ollut kosteaa ja huonolaatuista haketta mikä antoi aiheita seospoltoaineen tutkimukselle ja mitkä olisivat sen vaikutukset kostean hakkeen laadun tasaajana.

Kotimaista puupolttoainetta käyttävä Kyyjärven lämpölaitos voi turvepelletillä parantaa laitoksen suorituskykyä vähäisissä määrin, silloin kun käytettävä pääpolttoaine hake on huonolaatuista tai kosteaa. Talvella kovilla pakkasilla, kun tehontarve kasvaa ja tarvitaan nopeita kiihdytyksiä, saadaan turvepelletin lisäyksellä tasainen ja hyvä palaminen.

Kyyjärven lämpölaitoksessa tehdyn tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että turvepelletin polttokoe onnistui hyvin hakkeen seospolttona. Hake- turvepellettiseoksen syöttö ja sekoittuminen siirtoruuvien osalta oli myös onnistunutta. Sen sijaan 990 kilowatin kattilan välivarasto osoittautui ongelmaksi. Seoksessa raskaampana oleva turvepelletti jäi suurimmaksi osaksi 990 kilowatin kattilan välivarastoon ja näin 1500 kilowatin kattila sai vähemmän turvepellettiä.

Kyyjärven lämpölaitoksen kattilat on tehty kotimaisille kiinteille polttoaineille. Seospolttojaksoissa turvepelletin 3,8 prosentin lisäys hakkeen sekaan nosti kattilan hyötysuhdetta perinteiseen jaksoon verrattuna kahdeksan prosenttiyksikköä. Hyötysuhteen eroon vaikuttaa, myös seospolttojakson aikana käytössä ollut kosteudeltaan tasalaatuinen hake.

Opinnäytetyön tekijän mielestä turvepelletillä oli vaikutusta seospolttojakson aikana kattiloiden hyötysuhteen nousuun. Seospolttojakson pituus oli opinnäytetyöntekijän mielestä liian lyhyt. Kahden viikon mittausjakso, oli liian lyhyt aika antamaan todellista selvyyttä siitä, mikä oli turvepelletin vaikutus kattilan lämmönsiirtopintojen likaantumiseen ja mikä oli turvepelletin vaikutus palamisprosessissa.

Turvepellettiä käytettiin 5416 kiloa. Yhden tonnin hinta on 81,97 euroa (Nyrhinen 2005), josta saadaan käytetyn turvepelletin hinnaksi 443,90 euroa. Käytetyn turvepelletin energiasäilytys oli 24 megawattituntia.

Uutena tulokkaana kotimaisille polttoainemarkkinoille tullut turvepelletti antaa hyvän vaihtoehdon seos- tai tukipolttoaineena Kyyjärven lämpölaitoksessa. Turvepelletissä on turpeen vahvuudet: sen lämpöarvo on korkea, saatavuus on varmaa ja hinnaltaan se pysyy vakaana. Turvepelletti on kotimainen polttoaine ja sillä on alueellinen työllistävä vaikutus.



## LÄHTEET

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT-tiedotteita 2045. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Espoo: Otamedia Oy.
- Halonen, P., Helynen, S., Flyktman, M., Kallio, E., Paappanen, T & Vesterinen, P. 2003. Bioenergian tuotanto- ja käyttöketjut sekä niiden suorat työllisyysvaikutukset. VTT-tiedotteita 2219. Espoo: Otamedia Oy.
- Impola, R. 1998. Puupolttoaineiden laatuohje. Nro 5. Jyväskylä: FINBIO.
- Jalovaara, J. Aho, J & Hetemäki, E. 2003. Paras käytettävissä oleva tekniikka. Julkaisu 649. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.
- Knuutila, J. 2004. Pelletti pelastaa palaturvepulasta. Maatilan Pellervo lokakuu 2004.
- Lindholm, P. 2000. Selvitys puupolttoaineista. Aluetieteen ja ympäristöpolitiikan laitoksen verkkojulkaisu. [Viitattu 15.2.2005.]  
[http://www.uta.fi/laitokset/yhdt/artikkelit/2000\\_puupoltto.pdf](http://www.uta.fi/laitokset/yhdt/artikkelit/2000_puupoltto.pdf).
- Lundgren, J. 2005. Lämpökeskusten toimivuus ja säätäminen kattilamittausten perusteella. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Luentosarja. [Viitattu 8.2.2005.]
- Nalkki, J. 2004. Vs: Turvepelletin käyttökohteita. Sähköpostiviesti. 1.12.2004, vastaanottaja Tellervo Korte.
- Nyrhinen, P. 2004. Vs: Turvepelletin tuotanto Peräseinäjoen Haukinevan tehtaalla. Sähköpostiviesti 28.12.2004, vastaanottaja Tellervo Korte.
- Oinonen, K. 2004. Kyyjärven energiaosuuskunta. Suullinen tiedonanto 15.12.2004.
- Puu polttoaineena. 2000. Jyväskylä. Altener Tiedote 3.
- Selin, P. 1999. Turvevarojen teollinen käyttö ja suopohjien hyödyntäminen Suomessa. 1999. Jyväskylä. studies in biological and environmental science.
- Siivola, J. 2004. Vapon turvepelletin käyttökoe Saarijärven Kaukolämpö Oy:llä. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
- Sorsamäki, E. 2004. Vs: Kyyjärven lämpölaitoshankkeen eri rakennusvaiheet ja tekniset tiedot. Sähköpostiviesti 29.12.2004 vastaanottaja Tellervo Korte.
- Stenman, T. 2005. Ohjeita tuhkan pH mittausta varten Jyväskylän yliopisto. Suullinen tiedonanto 28.2.2005.
- Vainikka, P., Taipale, R., Hillebrand, K., Frilander, P & Paappanen, T. Tutkimushanke. 2004. Jyväskylä. Maximum biomass use and efficiency in large-scale cofiring PUUT13 [27.2.2004.]
- Ylitalo, E. 2004. Puupolttoaineiden käyttö energiantuotannossa 2003. Metsätilastotiedote 719.

## LIITTEET

### LIITE 1. Kyyjärven lämpölaitos

#### 1 - vaihe 1998

Lämpökeskuksen rakennustyöt aloitettiin 1998.  
Pääpolttoaineena käytetään kokopuusta ja rangasta valmistettua haketta.

#### Seiväsahon lämpökeskus

Kattilan teho 990 kilowattia.  
Kerrosala 219 m<sup>2</sup> tilavuus 1708 m<sup>3</sup>.  
Lämmönjakeluverkkoa 1000 juoksumetriä.  
Toimintaperiaatteena on aluelämpö ilman kiinteistökohtaisia lämmönvaihtimia.  
Liittyneet kiinteistöt kunnan omia 35 000 m<sup>3</sup> (Nopolan koulu, Rientola , Touhula ja Kivirinta (vanhainkoti).

#### 2 – vaihe 2001 - 2003

Lämpökeskuksen laajennus 2001.  
Kattilan teho 1500 kilowattia.  
Laajennuksen jälkeen polttoainevaraston kerrosala 264 m<sup>2</sup> lämpökeskuksen kerrosala 121 m<sup>2</sup> tilavuus 2615 m<sup>3</sup>.  
Lämpöjakeluverkostoa jatkettiin 3500 juoksumetriä.  
Laajennuksen jälkeen liittyneitä omakotitaloja on 29 kappaletta ja muita kiinteistöjä 16 kappaletta.  
Lämmönjakeluverkoston laajentaminen 2002, 480 juoksumetriä.  
Lämmönjakeluverkoston laajentaminen 2003, 230 juoksumetriä.

#### Tekniset tiedot

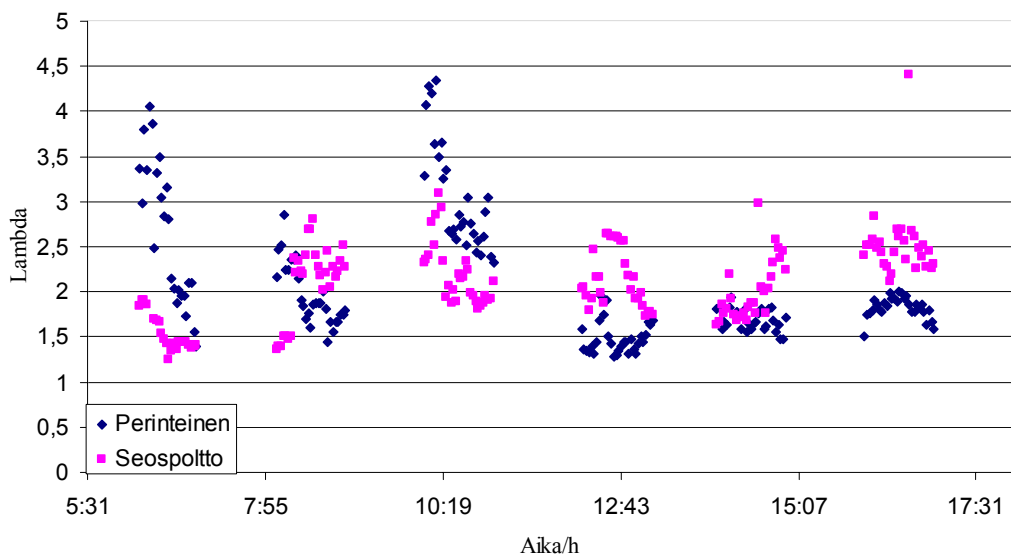
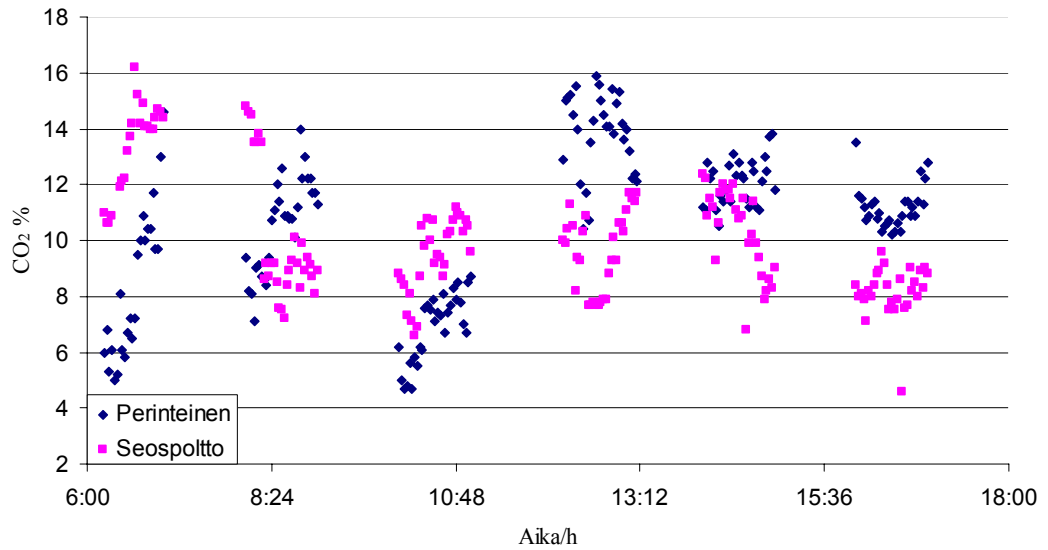
Hakekattilat	990 kW + 1500 kW
Arinat	Kiinteät tasaporrasarinat
Polttoaine	Kokopuuhake
Lämmöntuotanto vuodessa	6 000 MWh
Hakkeen käyttö vuodessa	9 000 i-m <sup>3</sup>
Lämmitettävä rakennustilavuus	104 000 m <sup>3</sup>
Käyttöönottovuosi	1999 ja laajennus 2001

#### Polton säätö ja hallinta

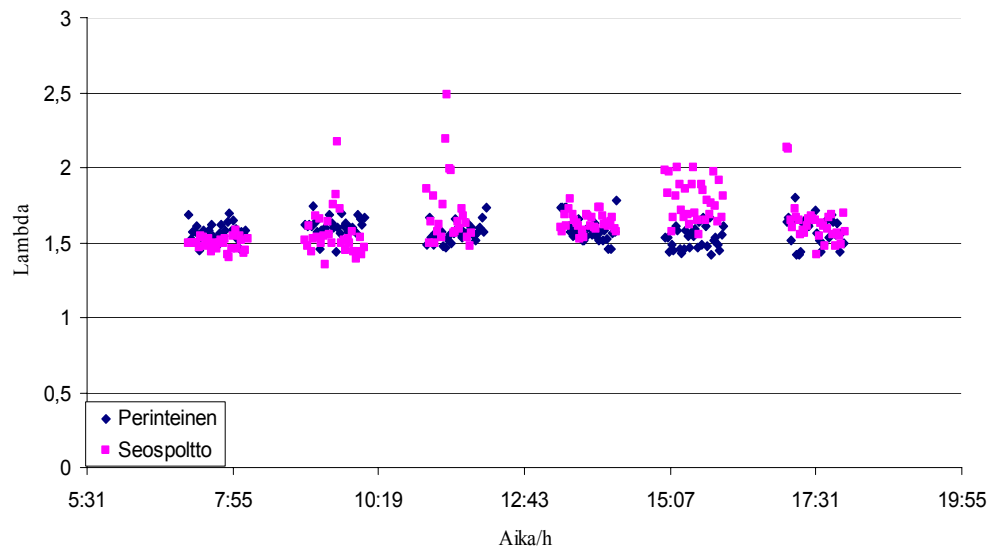
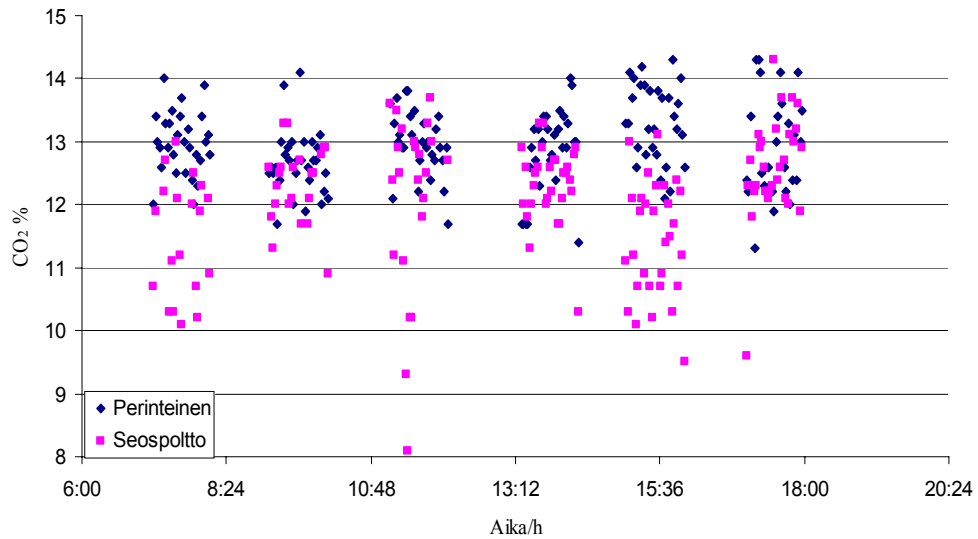
Portaaton, tunnistaa kuormituksen.  
Toisioilma, savukaasujen ja happipitoisuuden mukaan.  
Ensiöilma ohjataan arinan alle polttoaineen kosteuden mukaan.

Laitos on miehittämätön, automatiikka valvoo toimintaa. (Sorsämäki 2005.)

LIITE 2. Savukaasujen CO<sub>2</sub> & lambda-arvot 990 kilowatin kattilasta 16.11.2004 - 26.11.2004 ja 28.1.2005 - 7.2.2005



LIITE 3. Savukaasujen CO<sub>2</sub> & lambda-arvot 1500 kilowatin kattilassa 16.11.2004 - 26.11.2004 ja 28.1.2005 - 7.2.2005



LIITE 4. Perinteisen jakson 990 kilowatin kattilan mittaustulokset 16.11.2004 - 26.11.2004

Pv.	Kello	Meno vesi T1	Paluu vesi T2	Hetkellinen P/kVh	Energia määrä E/MWh	Savukaa- suimuri	Toisio- ilma	Ensio- ilma	Annoste lu- ruuvi	Kattilan lämpö/C	Savukaa- su lämpö	Kuivaus vyöh. Lämpö	Ulkoläm- pötila/C
16.11.	6:12	95	49	948	23364.16	19.48	30.30	25.20	9.10.	94.3	109	71.4	2
	6:30	91	48	829	23364.37	19.50	31.50	25.30	9.10.	93.1	111	69.1	3
	6:45	91	49	840	23364.61	19.00	15.00	30.30	12.00	90.3	112	67.0	3
18.11.	8:04	95	50	1137	23412.99	21.30	12.00	30.90	10.20.	93.4	120	105	7
	8:24	95	51	1127	23413.31	22.90	12.00	31.50	11.00	92.9	119	100	7
	8:44	97	51	1173	23413.73	23.50	12.00	30.30	9.70.	95.8	123	92.4	6
20.11.	10:03	94	50	1012	23466.84	19.80	20.00	30.40	9.60.	93.3	120	139	5
	10:23	94	49	1061	23467.19	24.30	20.00	35.20	14.00	94.3	125	143	5
	10:43	94	48	1050	23467.53	25.25	20.00	37.20	14.00	94.5	129	142	4
22.11.	12:11	95	46	1291	23250.65	24.80	12.00	25.20	12.00	95.4	143	139	6
	12:31	94	47	1246	23521.07	21.40	15.00	31.50	10.20.	94.5	136	136	6
	12:51	97	47	1263	23521.49	21.80	15.90	35.20	10.20.	95.8	138	135	6
24.11.	14:01	97	48	1353	23580.51	19.60	15.90	28.30	9.10.	95.5	132	313	7
	14:21	97	48	1327	23580.95	20.30	16.00	28.30	9.10.	95.5	133	323	8
	14:41	96	47	1404	23581.42	20.20	16.40	28.50	9.30.	95.4	134	320	10
26.11.	16:00	97	47	1181	23634.63	16.50	12.00	26.70	8.20.	97.5	126	188	4
	16:20	96	47	1142	23635.07	14.60	8.40.	25.50	6.80.	95.5	118	186	4
	16:40	95	48	1119	23635.38	15.10.	13.80	27.30	8.70.	94.6	118	206	4

LIITE 5. Seospolttojakson 990 kilowatin kattilan mittaustulokset 28.1.2005 - 7.2.2005

Pv.	Kello	Meno vesi		Paluu vesi	Hetkellinen vesi	Energia määrä E/MWh	Savukaa- suimuri	Toisio- ilma	Ensio- ilma	Annostelu ruuvi	Kattilan lämpö/C	Savukaa- su lämpö vyöh. Lämpö	Kuivaus	Ulkoläm- pötila/C
		T1	T2											
28.1.	6:09	95	56	1640	25082,04	28,00	35,10	39,00	10,90	94,0	152	99,6	18	
	6:29	101	56	1837	25082,68	35,90	46,90	43,90	16,00	100,0	182	99,2	17	
	6:49	100	55	1821	25083,31	34,20	41,60	40,50	11,90	99,7	180	93,7	17	
30.1.	7:45	97	57	1130	25141,03	16,90	5,10	30,00	5,00	96,4	121	180	8	
	8:05	96	57	1169	25141,39	18,20	5,10	30,00	5,10	96,3	119	180	8	
	8:25	96	58	1165	25141,80	18,60	5,10	30,00	5,10	95,5	121	174	8	
1.2.	10:00	91	52	1097	25192,39	24,80	32,20	44,00	13,00	92,5	145	130	6	
	10:20	97	50	1239	25192,80	30,00	38,90	47,20	16,20	97,7	168	127	5	
	10:40	101	51	1348	25193,20	23,40	20,30	35,30	5,00	101	160	100	5	
3.2.	12:00	93	52	1175	25247,59	21,90	12,40	35,00	8,40	92,7	139	126	4	
	12:20	95	51	1286	25247,99	26,40	19,00	39,50	12,70	94,7	153	134	4	
	12:40	95	53	1251	25248,37	26,00	19,00	39,20	12,70	95,4	155	129	3	
5.2.	14:15	96	54	958	25296,02	15,20	5,00	30,00	5,00	95,5	120	68,4	0	
	14:35	95	54	932	25296,31	15,70	5,20	30,10	5,00	95,1	119	71,5	0,5	
	14:55	96	55	915	25296,62	15,60	5,20	30,00	5,10	95,1	119	72,3	0,5	
7.2.	16:05	94	54	1034	25342,44	15,70	6,00	30,70	5,20	94,7	123	125	2	
	16:25	96	54	1079	25342,80	16,60	8,00	32,10	7,00	95,6	126	150	2	
	16:45	95	53	1100	25343,14	16,00	5,10	30,10	5,10	95,6	125	139	2	

LIITE 6. Perinteisen jakson 1500 kilowatin kattilan mittaukset 16.11.2004 - 26.11.2004

Pv.	Kello	Meno vesi		Paluu vesi	Hetkellinen teho P/kW	Energiä määrä E/MWh	Savukaa-		Ensio- ilma	Annos- ruuvi	Kattilan lämpö/C	Savukaa- su lämpö	Kuivaus- lämpö	Ulkoläm-
		T1	T2				suimuri	ilma						
16.11.	7:11	100	48	1100	23365.08	44.36	27.13	45.65	19.63	93.5	144	64.0	2	
	7:31	97	49	1070	23365.35	51.19	42.87	45.51	19.55	90.5	143	59.0	3	
	7:51	94	49	1030	23365.72	47.10	25.59	49.92	21.41	88.8	146	66.1	3	
18.11.	9:09	99	51	1162	23414.22	50.25	29.52	51.47	21.79	88.2	167	88.3	6	
	9:29	94	49	1140	23414.60	58.21	47.13	51.47	21.81	86.8	172	89.8	6	
	9:49	91	49	1112	23414.97	59.50	50.12	51.48	21.80	83.3	168	88.2	5	
20.11.	11:07	97	48	1119	23467.96	49.87	37.40	47.53	20.76	87.3	174	88.8	4	
	11:27	95	48	1040	23468.32	49.93	36.31	47.54	20.81	87.7	178	89.1	4	
	11:47	97	48	1083	23468.68	49.21	27.29	47.55	20.81	88.0	172	91.1	4	
22.11.	13:16	93	47	1192	23522.03	51.91	47.16	47.53	22.79	84.8	180	70.3	6	
	13:36	95	48	1185	23522.43	52.43	46.68	47.53	22.79	84.9	183	67.3	6	
	13:56	96	46	1288	23522.87	53.12	44.37	47.54	22.74	83.8	180	71.2	6	
24.11.	15:04	96	48	1325	23581.93	46.51	40.51	43.61	20.82	83.0	176	186	10	
	15:24	98	49	1327	23582.41	44.02	39.34	43.60	20.81	83.7	175	200	10	
	15:44	95	47	1331	23582.87	45.65	19.16	43.62	20.83	83.2	173	188	10	
26.11.	17:02	97	47	1149	23635.80	39.74	40.50	39.69	19.85	88.0	177	178	4	
	17:22	96	47	1075	23636.17	44.32	56.24	39.67	19.84	87.0	177	181	4	
	17:42	98	48	1138	23636.55	43.31	48.35	39.59	19.84	88.8	183	167	4	

LIITE 7. Seospolttojakson 1500 kilowatin kattilan mittaustulokset 28.1.2005 - 7.1.2005

Pv.	Kello	Meno vesi		Paluu vesi	Hetkellinen teho P/kW	Energia määrä E/MWh	Savukaa-		Ensio- ilma	Toisio- ilma	Annos- ruuvi	Kattilan lämpö/C	Savukaa- su lämpö	Kuivaus- lämpö	Ulkoläm-
		T1	T2				suimuri	ilma							
28.1.	7:09	98	56	1699	25083,82	67,30	86,87	48,49	19,80	85,7	183	49,3	16		
	7:29	98	57	1642	25084,69	67,76	90,00	48,49	19,81	86,7	183	49,7	16		
	7:59	99	56	1672	25085,22	62,01	74,77	48,51	19,81	87,1	181	51,9	17		
30.1.	8:53	99	57	1304	25142,40	64,50	90,00	50,37	19,79	89,1	170	38,7	9		
	9:23	100	57	1324	25143,07	35,24	3,00	40,72	19,03	89,7	150	54,0	8,5		
	9:33	90	57	1273	25143,50	61,90	86,30	50,47	19,77	88,8	180	39,4	8,5		
1.2.	11:25	94	51	1160	25193,83	48,51	40,28	51,45	17,78	87,2	163	35,9	5		
	11:45	100	53	1248	25194,17	34,37	3,00	51,53	16,86	90,7	150	38,1	5		
	12:05	92	53	1016	25194,50	36,70	3,00	51,52	17,85	86,4	141	44,6	5		
3.2.	13:00	95	52	1280	25248,90	51,19	9,77	52,42	16,83	86,1	166	85,3	3		
	13:20	95	52	1254	25249,31	50,69	11,4	52,40	16,79	87,4	172	85,7	3		
	13:40	94	54	1221	25249,71	47,50	52,43	52,43	16,84	87,1	167	95,2	2		
5.2.	15:17	96	56	946	25296,99	42,69	3,00	52,31	16,80	90,3	165	92,3	0,5		
	15:37	96	55	967	25297,28	46,72	3,00	52,43	16,79	90,3	168	81,8	0,5		
	15:57	95	56	890	25297,59	44,52	3,00	52,45	16,85	89,7	167	75,7	1		
7.2.	17:07	95	54	1104	25343,58	51,45	41,13	45,41	17,78	90,3	189	64,7	2		
	17:27	95	54	1140	25343,92	48,32	29,53	45,55	17,84	89,9	187	65,7	2		
	17:47	97	54	1169	25344,92	50,64	35,45	45,41	17,78	90,6	188	67,0	3		