

POLTTOKOKKEITA KAURAN JA PUUPELLETIN SOPIVUUDESTA PIENPOLTINTEN POLTTOAINEEKSI



2. SISÄLLYSLUETTELO	sivu 2
3. ALKUSANAT	3
4. KOKEISSA KÄYTETYT POLTTOAINEET	4
5. KYLMÄSYÖTTÖKOKEET	4
6. POLTTOKOKEET	6
6.1. Koejärjestelyt	6
6.2 Mittauslaitteisto	6
7. TULOKSET	7
7.1. Kokeet nimellisteholla	7
7.2. Kokeet osateholla	9
7.3. Kokeet nollateholla	10
7.4. Takapalo	12
7.5 Palopään puhdistus ja kuona	12
7.6. Tuhka	13
8. TULOSTEN TARKASTELU	14
9. LIITTEET	15

3. ALKUSANAT

Tämä selvitys kauran sopivuudesta pientalo ja maatilamittakaavan polttimiin on tehty alihankinta PrizzTech Oy:lle. Tutkimus ei olisi ollut mahdollista ilman useiden tahojen avustusta. Kiitämme seuraavia yrityksiä selvityksen avustamisesta: BioFire Oy, Jämä Oy, Thermia Oy ja Aimo Kortteen konepaja Oy.

Esitämme parhaat kiitokset kaikille tutkimusprojektiin osallistuneille henkilöille ja organisaatioille.

Rajamäellä 30.9.2005

Jyrki Kouki

Kari Vuorio

4. KOKEISSA KÄYTETYT POLTTOAINEET

Kokeet päätettiin tehdä kauralla ja halkaisijaltaan 6 mm:n puupelletillä. Alustavissa kokeissa 8mm:n turvepelletin käyttö keskeytyi 4 kertaa noin 35 – 40 kg polton jälkeen. Häiriön syynä oli, ettei liekinvalvonta nähnyt liekkiä kun kuonakakkua alkoi muodostua palopäähän. Niinpä turvekokeet päätettiin keskeyttää.

Työtehoseurassa määritettiin polttoaineiden kosteus, tilavuuspaino ja puupelletin osalta käsittelykestävyys LT II testerillä. Polttoaineiden lämpöarvo, tuhkapitoisuus, kloori- ja rikkipitoisuudet määritettiin METLAN Kannuksen tutkimusasemalla.

Taulukko 1. Kokeissa käytettyjen polttoaineiden ominaisuuksia.

Ominaisuus	Yksikkö	Kaura	Puupelletti
Tilavuuspaino	kg/m ³	600	630
Kosteus saapuessa	%	10,99	5,81
Tuhkapitoisuus kuiva-aineessa	%	2,43	0,30
Kalorimetrinen lämpöarvo	MJ/kg	19,23	20,33
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa	MJ/kg	17,90	18,92
Tehollinen lämpöarvo saapumiskosteudessa	MJ/kg	15,66	17,68
Tehollinen lämpöarvo saapumiskosteudessa	kWh/kg	4,35	4,91
Rikkipitoisuus (S)	mg/kg	1440	1,44
Klooripitoisuus (Cl)	mg/kg	383,42	66,54

Taulukko 2. Puupelletin käsittelykestävyys LT II testerillä mitattuna.

Ominaisuus	Yksikkö	Puupelletti
Halkaisija	mm	6
LT 60 (ka.)		97,9
LT 240 (ka.)		93,5



Kuva 1. LT II –laitetta valmistellaan puupelletin käsittelykestävyyden kokeeseen.

5. KYLMÄSYÖTTÖKOKEET

Kylmäsyöttökokeissa tutkittiin erilaisten polttoaineen siirtoruuvien toimintaa. Kokeet tehtiin neljällä erilaisella ruuvilla, joissa käytettiin siirrettävänä materiaalina kauraa ja 6 mm:n puupellettiä. Siirtoruuveista tutkittiin syötön tasaisuus, kapasiteetti sekä siirron vaikutus polttoaineen jauhautumiselle.

Taulukko 3. Siirtokokeissa käytettyjen ruuvien tekniset ominaisuudet.

Ominaisuus	Yksikkö	TTS	Thermia	Biofire	Murska
ruuvi		spiraali	spiraali	keskiöllinen	spiraali
pituus	m	1,8	1,5	1,7	7,3
pyörimisnopeus	r/min	8	15	15	112

Syöttökokeita tehtiin kolmella pellettien siirtoon suunnitellulla keskiöttömällä spiraalikuljettimella ja yhdellä keskiöllisellä kuljettimella. Kahta kuljetinta käytettiin myös kauran ja pelletin polttokokeissa (Thermia, Biofire). Kuljettimet toimittivat kokeisiin Thermia Oy, Biofire Oy ja Aimo Kortteen Konepaja Oy. TTS:n kuljetin rakennettiin läpinäkyvästä muoviputkesta. Kokeissa käytettiin vakiovarusteista sähkösinkittyä 400 litran polttoainesiloa.

Taulukko 4. Ruuvin syötön tasaisuus ja kapasiteetti kauran siirtokokeissa.

Polttoainetehto	Yksikkö	TTS	Thermia	Biofire	Murska
		kaura	kaura	kaura	kaura
Suurin arvo	kW	52,3	80,1	164,7	1869,8
Keskimäärin	kW	47	74,2	148,2	1730
Pienin arvo	kW	45,1	65,1	136,8	1587,5
Ero	kW	7,2	15	27,9	282,3

Taulukko 5. Ruuvin syötön tasaisuus ja kapasiteetti puupelletin siirtokokeissa.

Polttoainetehto	Yksikkö	TTS	Thermia	Biofire	Murska
		pelletti 6 mm	pelletti 6 mm	pelletti 6 mm	pelletti 6 mm
Suurin arvo	kW	98,5	188,5	148,4	1610,1
Keskimäärin	kW	93,6	168,1	143,5	1491,9
Pienin arvo	kW	83,6	153,1	135,2	1364,9
Ero	kW	14,9	35,4	13,2	245,2

Siirtoruuvien kapasiteetti oli riittävän suuri tutkimuksessa olleille 20-30 kW:n omakotitalo- ja maatilapolttimille.

Taulukossa 6 on pellettien siirtoruuvikokeissa syntynyt hienoainesmäärä ilmoitettuna prosentiosuutena koko syötön määrästä. Lyhyemmillä ruuveilla, niin spiraali kuin keskiöllisellä, hienoaineksen määrät olivat samansuuruiset. Murska ruuvilla, joka oli 7,3 m pitkä spiraali sekä ruuvin pyörimisnopeus oli noin seitsenkertainen verrattuna lyhyempiin ruuveihin, hienoainesta syntyi kymmenkertainen määrä. Kauran syöttökokeissa syntyi ainoastaan pieni määrä hienojakoista pölyä. Pölyn määrä oli niin pieni, ettei sitä voitu mitata käytetyn vaa'an erottelukyvällä.

Taulukko 6. Siirtoruuvien syöttökokeissa syntyneet hienoainesmäärät (puupellettien syöttömäärästä prosentteina).

Ominaisuus	Yksikkö	TTS	Thermia	Biofire	Murska
Hienoaines	%	0,1	0,1	0,1	1,0



Kuva 2. Läpinäkyvästä putkesta valmistettu siirtoruuvi mallia TTS.



Kuva 3. 7,3 m pituinen Murska siirtoruuvi kylmäsyöttökokeessa Työtehoseuran lämpökoeasemalla

6. POLTTOKOKEET

6.1. Koejärjestelyt

Polttokokeissa tutkittiin kahta poltin-kattila yhdistelmää, joissa käytettiin polttoaineena kauraa ja puupellettiä. BioFire Oy toimitti kokeisiin Palokärki 20 polttimen ja Jämä Bio Stoker 30 poltinkattilan.

Thermia Oy toimitti kokeisiin Farmjet 20 polttimen ja Arimax 25 käänteispolokattilan, josta keraaminen arina oli poistettu. Lämmityslaitteiden valmistajan edustajat kävivät asentamassa laitteistot ja antoivat alustavat ohjeet lämmityksestä ja säädöistä.

6.2. Mittauslaitteisto

SAVUKAASUMITTAUKSET: Savukaasuista mitattiin Hartman&Braun –merkkisellä jatkuvatoimisella savukaasuanalysoitsijalla happi-, hiilimonoksidi- ja hiilidioksidi-pitoisuudet.

HORMIN ALIPAIN: veto mitattiin Huba Controllin valmistamilla alipainemittareilla, joiden mittausalue oli $-100 - 0$ Pa.

HYÖTYSUHDE: Keskuslämmitysveteen siirtynyt lämpömäärä mitattiin kolmella sarjaan kytketyllä lämpömäärälaskurilla. Virtaus mitattiin manganneetti-, akustisella- ja turbiinimittarilla. Lämpömäärälaskureina olivat AB Svensk Värmemätningin SVM 62 ja Enermetin 9EVL ja Kamstrupin xx.

LÄMPÖTILAT: Savukaasun loppulämpötilat ja liitinhormin pintalämpötilat mitattiin termoelementeillä. Mittauksissa käytetään J-, K- ja N –tyypin termoelementtejä.

PALAMISILMA: Palamisilman lämpötila ja kosteus mitattiin Vaisalan valmistamalla Humitter 50U:lla. Ilmanpaine mitattiin Vaisalan valmistamalla PTB101C:llä.

HORMI: Hormin yläpuolella oli huuva jonka kautta savukaasut johdettiin ulos. Vetoa voitiin säätää jonkin verran muuttamalla huuvan korkeutta ja savukaasuimurin kierroslukua.

POLTTOAINE: Polttoaineen sisältämä lämpömäärä määritettiin kalorimetrinen lämpöarvon ja kosteuden perusteella. Polttoaineen kulutus mitattiin punnitsemalla laitteissa käytetty polttoaine.

TIEDONKERUU: Mittaustiedot kerättiin sekunnin välein Gantner Electronicsin valmistamilla ISM 110 dataloggereilla. Tiedonkeruuohjelmana käytettiin DasyLab 4.0 ja tulokset käsiteltiin Excel – taulukkolaskentaohjelmalla.

7. TULOKSET

7.1. Kokeet nimellisteholla

Molemmilla poltin-kattila yhdistelmillä tehtiin koesarjat valmistajan antamien säätöarvojen pohjalta. Säätöarvojen pohjalta polttimien pitäisi toimia ns. nimellistehollaan, jolloin palaminen on tehokkaimmillaan ja hyötysuhde parhaimmillaan. Taulukossa 7 on esitetty poltin-kattila yhdistelmillä tehdyt puupelletin ja kauran polttokokeitten tulokset. Palokärki 20 ja Jämä Bio Stoker 30 yhdistelmällä savukaasujen lämpötila on selvästi alhaisempi kuin Farmjet 20 ja Arimax 25 yhdistelmällä. Lisäksi Palokärki 20 ja Jämä Bio Stoker 30 yhdistelmällä savukaasujen ilmakerroin on pienempi mikä näkyy korkeampana hyötysuhteena.

Vertailtaessa polttoaineen vaikutusta näyttäisi puupelleteillä menevän tuhkan joukkoon enemmän palamatonta kuin kauralla. Tästä syystä kauralla onkin hieman parempi hyötysuhde molemmilla laitteilla kuin puupelletillä.

Taulukko 7. Taulukon tehoa ja savukaasuja koskevat arvot ovat koko kokeen aikana mitattujen arvojen keskiarvoja.

Poltin+kattila	Palokärki 20+ Jämä Bio 30	Palokärki 20+ Jämä Bio 30	Farmjet 20+ Arimax 25	Farmjet 20+ Arimax 25
Polttoaine	Puupelletti	Kaura	Puupelletti	Kaura
Pa:n kosteus, %	6	11	6	11
Lämpöarvo, kWh/kg	4,9	4,3	4,9	4,3
Tuhkapitoisuus, % kuiva-aineessa	0,3	2,4	0,3	2,4
Polttainetta, kg	59,8	98,1	112,4	75,4
Teho veteen, kW	24	24	20	19
Hyötysuhde, %	84	85	78	81
Savukaasun lämpötila, °C	126	128	174	169
CO –pitoisuus, ppm	82	43	38	14,9
CO2 –pitoisuus, %	15,7	16,0	10,8	11,8
Ilma, asento/%	1,2	1,5	50	80
Syöttö, s/%	0,7	1	80	65
Tauko, s	9	12	-	-
Hormin veto, Pa	- 9	-10	- 23	- 22
Tuhkaa+palamatonta polttoainetta kuiva- aineessa, %	3,9	2,9	4,3	4,6

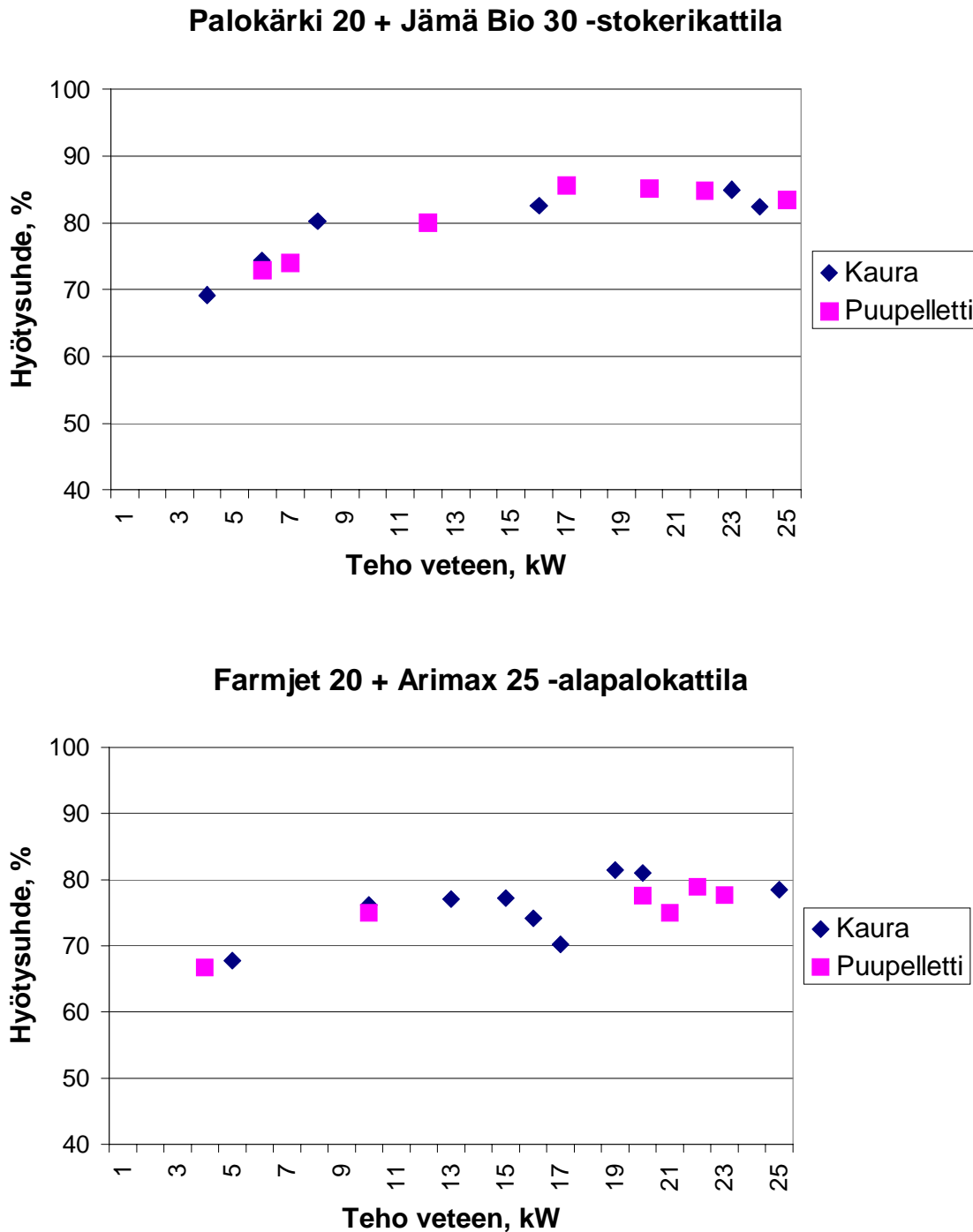
Puhtaasta puusta tehdyillä puupelleteillä voidaan poltinta käyttää pitkiäkin aikoja nimellisteholla. Tuhka ei kuitenkaan sula helposti palopäähän vaan ”lentää” palamiskaasujen ja uuden polttoaineen työntämänä tuhkatilaan. Mikäli pienestä palopäystä yritetään ottaa liian suurta tehoa alkaa tuhkan joukkoon kuitenkin tulla enemmän palamatonta polttoainetta.

Kauralla palopää sintraantuu helpommin mikäli poltinta käytetään pitkään suurella teholla. Tutkituilla polttimilla palopää alkoi tukkeutua noin 15 – 20 tunnin tehokäynnin jälkeen. Tilannetta parantaa mikäli poltin voi välillä siirtyä ylläpitotilaan. Toinen tapa on säätää poltin pienemmälle teholle. Tällöin tulee muistaa pienentää myös palamisilmaa.

Kun palopäähän alkaa kertyä kauran poltossa kuonaa muuttuu liekin muoto ja liekinvartija ei enää ”näe” liekkiä, jolloin poltin menee häiriöön ja sammuu. Näin kävi molemmilla tutkituilla polttimilla. Puupellettien poltossa ei vastaavaa ilmiötä havaittu.

7.2. Kokeet osateholla

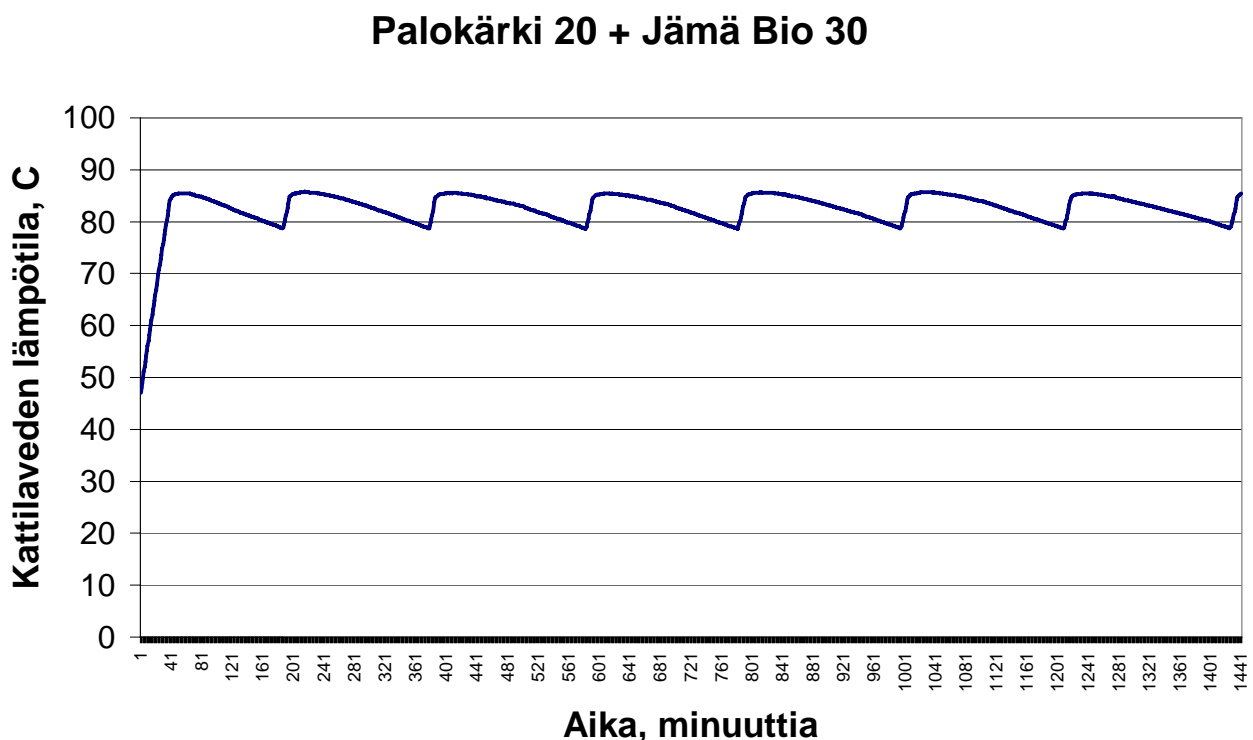
Mikäli poltin-kattilayhdistelmä kytketään suoraan lämmitysjärjestelmään tulee se toimimaan esimerkiksi pientalossa suurimman osan vuotta osateholla. Siksi on tärkeää tietää poltin-kattilayhdistelmän toiminta ja hyötysuhde myös pienillä tehoilla.



Kuva 4. Tutkittujen poltin-kattilayhdistelmien hyötysuhteet eri polttoaineilla tehon mukaan.

7.3. Kokeet nollateholla

Kytettäessä poltin-kattilayhdistelmä suoraan lämmitykseen on tärkeää tietää toimiiko laitteisto myös ns. nollateho tilanteessa. Tällainen tilanne voi tulla esimerkiksi kesäaikaan kun kattilassa halutaan valmius tuottaa lämmintä käyttövettä. Tällaisessa tilanteessa mikäli polttimessa ei ole sähkösytytystä täytyy palopäässä pitää yllä hiillosta. Mikäli laitteisto ei sovellu nollateholle se joko sammuu tai kattilaveden lämpötila nousee niin korkeaksi, että polttimen kiehumissuoja sammuttaa polttimen. Arimax 25 kattila suositellaan kytkettäväksi varaajaan koska sen vesitilavuus on vain 90 litraa ja siinä ei ole omaa LKV-kierukkaa. Lisäksi Farmjetissä on sähkösytytys jolloin nollatehokokeet ei ole mielekkäitä tällä yhdistelmällä. Niinpä nollatehon koe tehtiin vain Palokärki 20 ja Jämä Bio 30 yhdistelmällä. Polttoaineena käytettiin kauraa. Kuvassa 5 on esitetty kattilaveden lämpötilan vaihtelut vuorokauden ajalta.



Kuva 5. Kattilaveden lämpötila vuorokauden kestäneessä nollatehon kokeessa. Polttoaineena oli kaura, jota kului hieman alle 0,5 kg tunnissa.

7.4. Takapalo

Takapalo tarkoittaa tulen etenemistä palopäästä kohti polttoainesiiloa. Tutkituissa polttimissa oli molemmissa sulkusyötin ja polttoaineen pudotusputki. Mikäli nämä ovat ehjät ja tiiviit on takapalon riski pieni.

Takapalo voisi syntyä mikäli sulkusyötin kuluisi niin väljäksi, että palaminen voisi edetä sen kautta. Lisäksi tilannetta pahentaisi mikäli pudotusputki olisi hyvin pölyinen ja kattilassa olisi esimerkiksi puutteellisesta nuohouksesta johtuen veto ongelmia.

Kummankaan polttimen kanssa ei ollut ongelmia takapalon kanssa. Sulkusyöttimen yläpuolelta mitattu lämpötila ei noussut milloinkaan yli sadan asteen.

7.5. Palopään puhdistus ja kuona

Kuten edellä on todettu syntyy palopäähän etenkin kauraa poltettaessa kuonaa, joka on aika ajoin poistettava. Mikäli palopäätä on kuormitettu pitkään suurella teholla saattaa kuona olla hyvin tiukasti palopäässä. Olisi eduksi mikäli poltin voitaisiin helposti irrottaa kattilasta ja palopäähän pääsisi vaivattomasti käsiksi.



Mikäli palopään poltinputki olisi helposti vaihdettavissa voisi kokeilla kahden putken järjestelmää. Siinä vielä lämmin ja kuonainen putki irrotettaisiin ja pantaisi jäähtymään. Sillä aikaa polttimeen laitettaisiin toinen aiemmin puhdistettu putki. Kun aikaa olisi voisi puhdistaa huolella poltinputken ilmareikineen.

Mikäli poltin on käynyt katkokäyntiä tai säädetty pienelle teholle voidaan palopää puhdistaa esimerkiksi tuhkaipurilla. Tällöin lähes kaikki kuona irtoaa palopäästä ja ilmareiät voidaan tarkistaa.

7.6. Tuhka

Kauran tuhkapitoisuus on melko korkea ja sen tilavuuspaino vähäinen. Tämän takia tuhkan automaattinen poisto joko ruuvilla tai muulla tavoin olisi suositeltava. Esimerkiksi kokeissa olleisiin kattiloihin mahtui vain noin 50 kaurakilon tuhkat. Mikäli kattilaa lämmitetään nimellistehollaan täytyy tuhkat poistaa kaksi kertaa vuorokaudessa. Tuhkaa kertyy myös kattilan konvektio-pinnoille, josta ne on aika ajoin poistettava.



8. TULOSTEN TARKASTELO

Tarkasteltaessa kauraa polttoaineena huomataan sen suuri energiasisältö 4,35 kWh/kg noin 11 %:n käyttökosteudessa. Puupelletillä se näissä kokeissa oli 4,9 kWh/kg noin 6 %:n käyttökosteudessa. Tilavuuspainossakaan ei ole kovin suurta eroa.

Puupellettejä ja kauraa voidaan siirtää samoilla kuljettimilla. Päinvastoin kuin puupelletit kaura ei jauhaudu juurikaan pölyksi. Syöttökapasiteetti on keskiöllisillä ruuveilla ja nopeasti pyörivillä ruuveilla lähes sama. Hitaasti pyörivillä spiraaleillakin se on kauralla puolet puupelletin kapasiteetistä. Miinuksena kauran osalle tulee noin kuusi kertaa suurempi klooripitoisuus kuin puupelletillä. Rikki-pitoisuus oli molemmissa sama. Lämmityslaitteiden käyttöikä saattaakin lyhentyä kauralämmityksessä. Tästä tarvittaisiin enemmän tutkimusta jossa selvitetäisiin syöpymisolot ja keinot jolla syöpyminen voidaan estää. Lisäksi tulisi selvittää aiheuttaako kloori polton yhteydessä ympäristöön myrkyllisiä kaasuja.

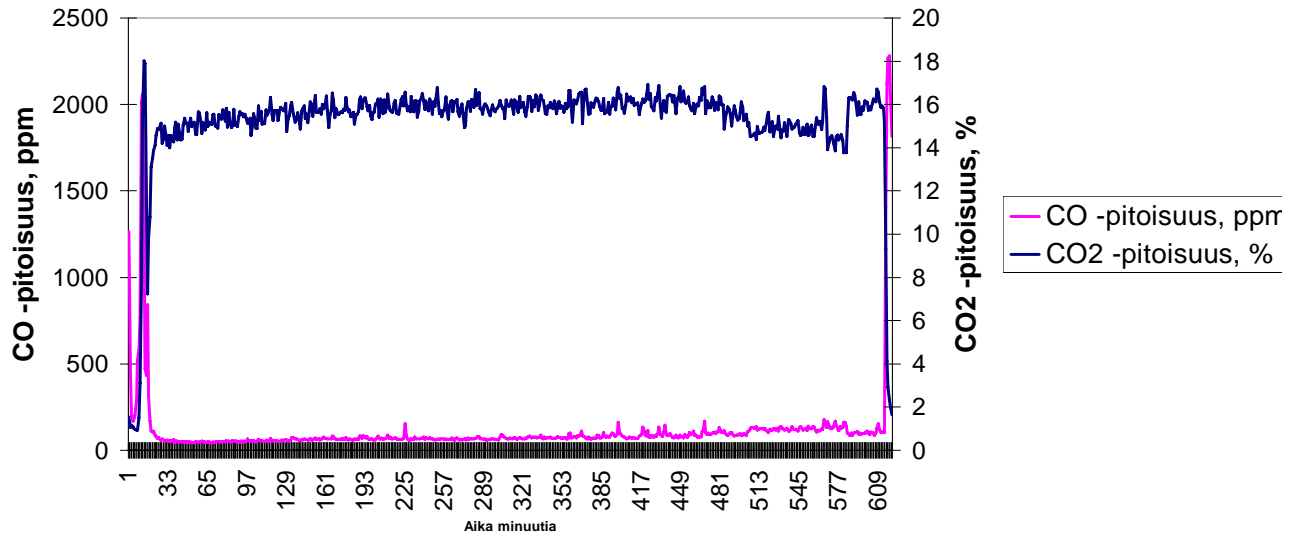
Toinen miinus kauralle tulee sen tuhkan sintraantumisenesta palopäähän varsinkin kun lämmitetään isolla teholla. Tutkituilla polttimilla palopää alkoi likaantua noin 15 – 20 tunnin tehokäynnin jälkeen. Tilannetta parantaa mikäli poltin voi välillä siirtyä ylläpitotilaan. Toinen tapa on säätää poltin pienemmälle teholle. Tällöin tulee muistaa pienentää myös palamisilmaa.

Tästä seuraa, että mikäli polttolaitteessa ei ole automaattista liikkuvaa arinaa puhdistusta joudutaan kauraa käytettäessä tekemään enemmän. Myös käyttöhäiriöt lisääntyvät kun palopään likaantumisen takia liekin muoto ja paikka muuttuu ja liekinvartija sammuttaa polttimen.

Kauralla saavutetaan lähes sama hyötysuhde laajalla tehoalueella kuin puupelletilläkin. Mikäli polttimen tehoalue ei puupelletillä ole kohdallaan voidaan kauralla saavuttaa hieman parempikin hyötysuhde kuin puupelletillä. Savukaasuarvot saadaan ainakin lämpötilan, CO- ja CO2-pitoisuuden kohdalta yhtä hyväksi kuin puupelletillä.

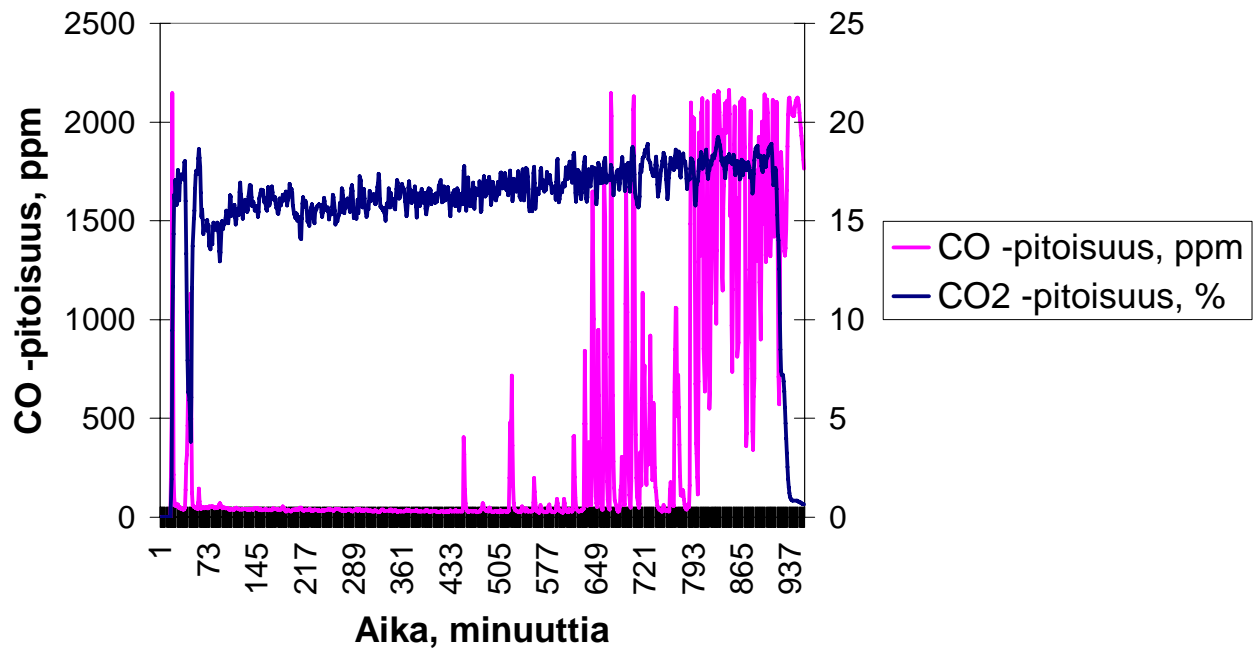
LIITTEET

Palokärki 20 + Puupelletti



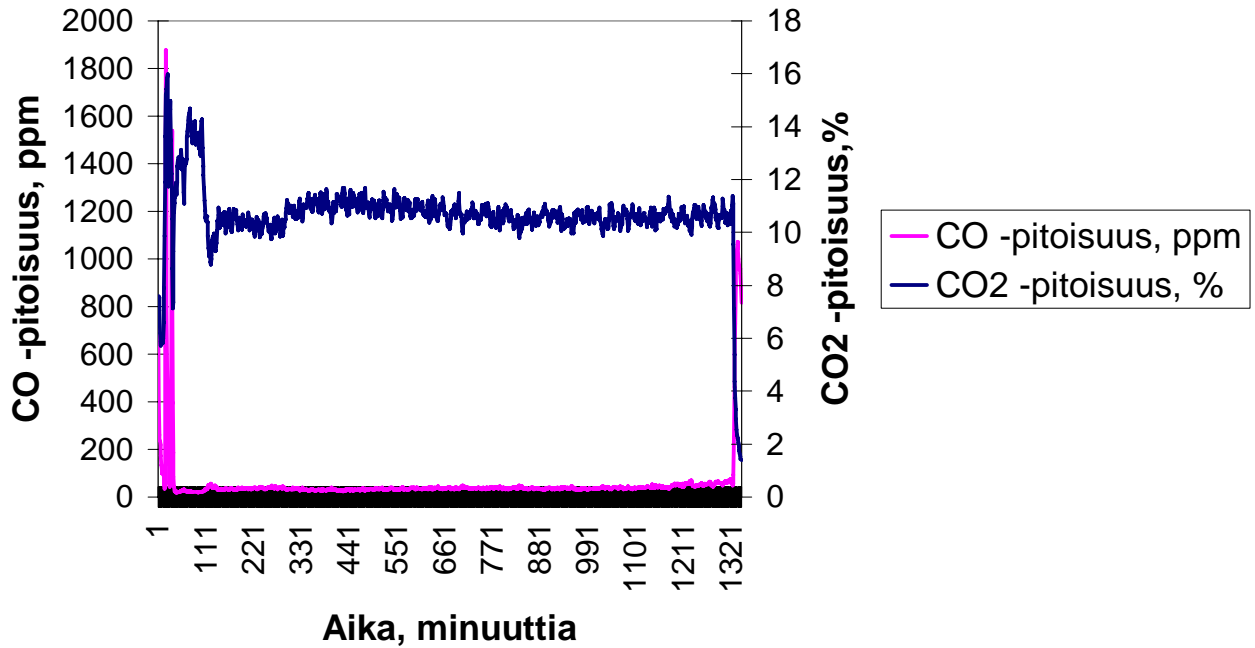
Kuva 6. Palokärki 20 + Jämä Bio Stoker 30 kattilan CO ja CO2 arvot käytettäessä puupellettiä. Yhdistelmä oli säädetty 24 kW:n teholle, jolloin hyötysuhde oli 84%.

Palokärki 20 + Kaura



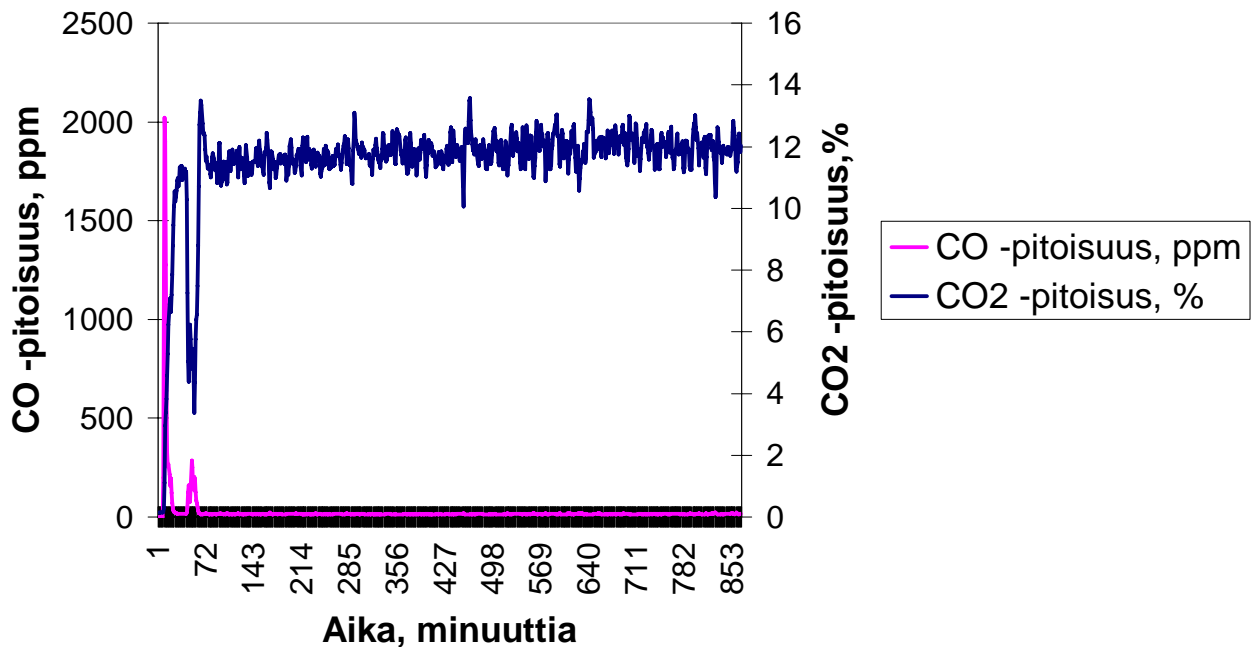
Kuva 7. Palokärki 20 + Jämä Bio Stoker 30 kattilan CO ja CO2 arvot käytettäessä kauraa. Yhdistelmä oli säädetty 24 kW:n teholle, jolloin hyötysuhde oli 85%.

Farmjet 20 + Puupelletti



Kuva 8. Farmjet 20 + Arimax 25 kattilan CO ja CO2 arvot käytettäessä kauraa. Yhdistelmä oli säädetty 20 kW:n teholle, jolloin hyötysuhde oli 78%.

Farmjet 20 + Kaura



Kuva 9. Farmjet 20 + Arimax 25 kattilan CO ja CO2 arvot käytettäessä kauraa. Yhdistelmä oli säädetty 19 kW:n teholle, jolloin hyötysuhde oli 81%.