

# MTT RAPORTTI 19

## Korsibiomassojen tuotantoketjut ja energiantuotanto kokopaaalikattilalla

Timo Lötjönen, Jyrki Kouki ja Kari Vuorio



# **MTT** | **RAPORTTI**<sub>19</sub>

---

---

## **Korsibiomassojen tuotantoketjut ja energiantuotanto kokopaalikattilalla**

---

**Timo Lötjönen, Jyrki Kouki ja Kari Vuorio**

**ISBN:** 978-952-487-318-5

ISSN 1798-6419

**www-osoite:** <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti19.pdf>

**Copyright:** MTT

**Kirjoittajat:** Timo Lötjönen, Jyrki Kouki ja Kari Vuorio

**Julkaisija ja kustantaja:** MTT Jokioinen

**Julkaisuvuosi:** 2011

**Kannen kuva:** Timo Lötjönen

---

# Korsibiomassojen tuotantoketjut ja energiantuotanto kokopaalikattilalla

---

Lötjönen, Timo<sup>1)</sup>, Kouki, Jyrki<sup>2)</sup> & Vuorio, Kari<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>MTT, Kasvintuotannon tutkimus, Tutkimusasemantie 15, 92400 Ruukki  
[etunimi.sukunimi@mtt.fi](mailto:etunimi.sukunimi@mtt.fi)

<sup>2)</sup>TTS Tutkimus, Kiljavantie 6, 05201 Rajamäki  
[etunimi.sukunimi@tts.fi](mailto:etunimi.sukunimi@tts.fi)

## Tiivistelmä

Suomessa ja muissa Pohjoismaissa kasvaa monenlaista vajaasti hyödynnettyä biomassaa, kuten viherkesantojen ja suojavyöhykkeiden heinäbiomassat, viljojen oljet sekä vesistöissä kasvava järviruoko. Osa tästä biomassasta voitaisiin muuttaa energiaksi biokaasutuksen tai polton avulla.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää ruokohelven, järviruoko, suojavyöhykeheinän ja vehnän oljen sopivuus tanskalaistyyppisessä kokopaalikattilassa poltettavaksi. Kattilan teho on 380 kW ja siihen on kytketty 70 m<sup>3</sup> kokoinen varaaja. Kattila täytetään kolmella pyöröpaalilla traktorin etukuormaajalla, sytytetään ja annetaan palaa täytöksen loppuun, mikä kestää yleensä 6 – 8 tuntia. Lopuksi tuhkat vedetään pois tulipesän pohjalta erikoisvalmisteisella etukuormaajakauhalla. Tutkimusta varten kattila varustettiin savukaasuanalysaattorilla, joka pystyy mittaamaan savukaasujen lämmön sekä CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO ja NO<sub>2</sub> – pitoisuudet. Palamisen hyötysuhde voitiin laskea näistä arvoista.

Kokeissa käytetyt pyöröpaalit olivat kuivia (kosteus 10 – 14 %) ja niiden tiheys vaihteli välillä 66 – 131 kg kuiva-ainetta/m<sup>3</sup>, materiaalista riippuen. Löysät vehnäolkipaalit paloivat parhaiten. Palaminen oli heikointa tiiveillä ruokohelpipaaleilla, järviruokopaalien ja suojavyöhykeheinäpaalien palaminen oli näiden kahden ääripään välissä. Tuhka-analyysien mukaan kaikkien polttoaineiden tuhkien raskasmetallipitoisuudet olivat niin alhaisia, että niiden tuhka voidaan levittää takaisin peltoon.

Ei ole täysin selvää, miksi ruokohelpi- ja suojavyöhykeheinäpaalit paloivat heikosti, mutta todennäköistä on, että nämä paalit olivat liian tiiviitä tämäntyyppiselle kattilalle. Kattilan omistajan mukaan palaminen on ollut parasta, kun olkipaalit ovat olleet tarpeeksi löysiä (< 100 kg kuiva-ainetta/m<sup>3</sup>).

## Avainsanat:

*olki, ruokohelpi, järviruoko, suojavyöhykeheinä, poltto, paalikattila, savukaasu, päästöt, tuhka*

---

# Production chains for straw biomass and energy production using a whole bale boiler

---

Lötjönen, Timo<sup>1)</sup>, Kouki, Jyrki<sup>2)</sup> & Vuorio, Kari<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>MTT, Plant Production Research, Tutkimusasemantie 15, FI-92400 Ruukki, Finland  
[firstname.lastname@mtt.fi](mailto:firstname.lastname@mtt.fi)

<sup>2)</sup>TTS Research, Kiljavantie 6, FI-05201 Rajamäki, Finland  
[firstname.lastname@tts.fi](mailto:firstname.lastname@tts.fi)

## Abstract

There are many types of biomass that grow in the Nordic countries, and which are poorly utilized. Examples include hay from green fallows and buffer zones, cereal straw and reeds from lakeshores and coasts. Such biomass could be locally converted into energy via biogas production or through combustion.

Our target was to study the suitability of reed canary grass, common reed, buffer zone grass and wheat straw for combustion in a Danish whole round-bale boiler (380 kW, accumulator 70 m<sup>3</sup>). The boiler is fed with three round bales by a tractor with a front loader, the bales are combusted in 6 – 8 hours and finally the ashes are removed from the boiler by tractor. For this study, the boiler was equipped with a smoke gas analyser, which can measure flue gas temperature, and CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO and NO<sub>2</sub> concentrations. Combustion efficiency can be calculated using these values.

The round bales were dry (10 – 14 %, w.b.) and their density was between 66 – 131 kg DM/m<sup>3</sup>, depending on the material. Loose wheat straw bales burnt best (average CO 1356 ppm, NO<sub>x</sub> 98 ppm, efficiency 79 %). Combustion was poorest with dense reed canary grass bales (average CO 3969 ppm, NO<sub>x</sub> 50 ppm, efficiency 64 %). Combustion of common reed and buffer zone grass was intermediate. According to ash analyses all materials had sufficiently low heavy metal concentrations that it would be safe to spread the ash on fields.

It is not fully clear why reed canary grass and buffer zone grass combusted poorly, but it is probable that the density of the bales was too high for this type of boiler. According to the boiler owner, combustion has been best when the straw bales have been sufficiently loose (< 100 kg DM/m<sup>3</sup>).

## Keywords:

*straw, reed canary grass, reed, hay, combustion, burning, bale boiler, smoke gas, emissions, ash*

---

## Alkusanat ja johdanto

---

Suomessa ja muissa pohjoismaissa kasvaa monenlaista heikosti hyödynnettyä biomassaa, kuten viljojen oljet, nurmibiomassa kesantopelloilla ja vesistöjen suojavyöhykkeillä sekä järviruoko merien ja järvien rannoilla. Lisäksi viljelijät ovat olleet osittain tyytymättömiä energialaitosten ruokohelvestä maksamaan hintaan ja helven markkinat vetävät heikosti. Kaikki tämä ”ylimääräinen” biomassaa voitaisiin muuttaa paikallisesti energiaksi biokaasuprosessin tai suoran polton avulla. Myös metsissä on paljon hyödyntämätöntä biomassaa. Pelloilla tai sen kaltaisissa oloissa kasvavan biomassan etuna on se, että korjuu voidaan järjestää tehokkaasti koneellisesti helpommin kuin metsäbiomassalla. Myös hiilen kierto on peltoenergialla metsäenergiaa nopeampaa, mikä on eduksi ilmaston kannalta.

Biokaasuinvestointien haasteena on kalleus suhteessa markkinoilta saataviin energiatuottoihin. Paikalliseen korsibiomassojen avulla tapahtuvaan lämmöntuotantoon on olemassa kahdenlaista tekniikkaa: kokopaalikattilatekniikka ja paalit purkava stokerisyöttöinen tekniikka. Näistä ensimmäinen on toimintaperiaatteeltaan yksinkertaisempi ja halvempi, kun taas jälkimmäisellä saavutetaan hieman parempi hyötysuhde ja automatisointiaste. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli

- 1) selvittää peltobiomassojen korjuun ja logistiikan haasteita ja mahdollisuuksia sekä
- 2) selvittää em. peltobiomassojen soveltuvuus kokopaalikattilassa poltettavaksi.

Pyöröpaalien polttokokeet ja niihin liittyvät mittaukset tehtiin Mats Hagmanin tilalla Kemiössä syksyllä 2010. Elävä Itämeri-säätiön Eija Hagelberg hankki polttoainepaalit koepaikalle. Sitä ennen Västanfjärdin lahdet – yhdistys oli kerännyt ja paalannut järviruokoa koetta varten jo vuoden 2010 keväällä. Yhdistyksen Annalena Sjöblom ja Tomas Stenström ovat ansiokkaasti raportoineet korjuutyön ja laskeneet tuotantoketjun energiahyötysuhteen. Käytännön mittaustyön ja raportoinnin tekivät Jyrki Kouki ja Kari Vuorio TTS tutkimuksesta Mats Hagmanin hoitaessa kattilan käytön. Kattilan maahantuoja Bjarne Gröning antoi arvokkaita kattilan käyttöä koskevia neuvoja. Polttoaine- ja tuhka-analysit teetettiin MTT Jokioisen laboratoriossa. MTT:n Timo Lötjönen laati kirjallisuuden pohjalta korjuu- ja logistiikkaosion sekä kokosi tämän raportin.

Tämä tutkimus oli osa Elävä Itämeri-säätiön ja Luonnon- ja Riistanhoitosäätiön Järki-hanketta. Rahoitus tutkimukselle saatiin MTK-säätiöltä.

Kiitokset rahoittajalle ja kaikille tutkimuksen onnistumisen mahdollistaneille henkilöille.

22.12.2010

Timo Lötjönen

Maa- ja elintarviketalouden

tutkimuskeskus MTT

---

# Sisällysluettelo

---

1 Korsibiomassojen korjuu, varastointi ja kuljetus Suomessa.....	7
1.1 Suojavyöhykeheinän korjuun työketjut.....	7
1.2 Ruokohelven korjuun työketjut.....	8
1.3 Oljen korjuun työketjut .....	9
1.4 Järviruo'on korjuun työketju.....	9
1.5 Korsibiomassojen varastointi ja kuljetus.....	11
2 Polttokokeet.....	14
2.1 Koejärjestelyt .....	14
2.2 Polttoaineet.....	15
2.3 Polttokokeet olkipaaleilla.....	17
2.4 Polttokokeet järviruokopaaleilla .....	19
2.5 Polttokokeet suojavyöhykeheinällä.....	21
2.6 Polttokokeet ruokohelpipaaleilla.....	23
2.7 Tuhka-analyysit.....	25
2.8 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset .....	26
3 Kirjallisuus .....	28

---

# 1 Korsibiomassojen korjuu, varastointi ja kuljetus Suomessa

---

## 1.1 Suojavyöhykeheinän korjuun työketjut

Suojavyöhykkeitä on perustettu valtaojien, jokien, järvien tai meren rannoilla sijaitseville pelloille maatalouden ympäristötuen erityistukien avulla. Niiden tarkoituksena on vähentää eroosiota sekä ravinteiden ja kasvinsuojeluaineiden kulkeutumista vesistöihin. Suojavyöhykkeiden leveyden tulee olla vähintään keskimäärin 15 m ja pinta-alan 0,3 ha. Suojavyöhykkeet tulee niittää pääsääntöisesti kerran vuodessa ja sato on vietävä alueelta pois ravinteiden vähentämiseksi. Niittoa ei yleensä tulisi aloittaa ennen elokuun alkua eläinten pesimisrauhan turvaamiseksi. Laiduntaminenkin on tietyissä tilanteissa mahdollista. (MMM 2007)

Suojavyöhykeheinän voi käyttää eläinten rehuksi, mutta myöhäisestä niittoaajankohdasta johtuen sen rehuarvo on huono. Tästä syystä energiantuotanto polttamalla tai biokaasuttamalla ovat varteenotettavia vaihtoehtoja. Biokaasutusta varten heinä voitaisiin säilöä säilörehun tapaan, mutta myöhäisen korjuuajankohdan takia heinä on karkeaa ja kuiva-ainepitoisuus on korkea. Tällöin säilöntä ei välttämättä onnistu. Monesti suojavyöhykeheinä voidaan korjata kuivanheinän tapaan luokokuivauksella, koska säät ovat yleensä elokuun alussa hyvät. Näin korjattu materiaali (kosteus 15 – 20 %) sopii hyvin polttoon ja tietyin varauksin biokaasuprosesseihin.

Kuivaheinä niitetään tyypillisesti lautasniittokoneella tai niittomurskaimella. Kuivumista nopeutetaan kerran päivässä tapahtuvalla pöyhinnällä. Mikäli sää on kuivaa ja kasvusto ohutta, pöyhintää ei välttämättä tarvita. Paalusta varten heinän tulisi olla kosteudeltaan alle 15 %, mikäli koneellista kuivausta ei käytetä. Bioenergiaksi menevässä heinässä voidaan sallia hieman enemmän pilaantumista kuin rehuksi tarkoitettussa heinässä, joten sopiva kosteustavoite voisi olla 15 - 20 %. Paalien lämpenemistä ei saisi merkittävästi tapahtua, koska se saa aikaan homepölyä ja alentaa heinän lämpöarvoa.



Kuva 1. Suojavyöhykeheinän korjuuta pyöröpaaleihin (Kuva: Eija Hagelberg, BSAG)

Ennen korjuuta heinä karhotetaan. Yleisimmin korjuu tehdään pyöröpaalaimella, jonka lieriömäisten paalien leveys on 1,2 – 1,25 m ja halkaisija 1,2 – 1,8 m. Paalien tiheys on tyypillisesti 120 – 160 kg ka/m<sup>3</sup>. Sidontaan käytetään narua tai verkkoa. Muita paalustapoja ovat pienpaalaus ja suurkanttipaalaus. Suurkanttipaalain tekee tiiviitä (jopa 180 kg ka/m<sup>3</sup>) ja kuljetusteknisesti hyvämuotoisia paaleja, mutta se on raskas ja kallis korjuukone. Irtokorjuuta voidaan tehdä noukinvaunulla tai tarkkuussilppurilla. Näiden tekemän irtosilpun tiheys on vain noin 70 kg ka/m<sup>3</sup>, minkä takia irtosilpun varastointi ja kuljetus vaativat runsaasti tilaa ja kuljetus kauas ei ole taloudellista. (Paappanen ym. 2008)



Paalauksen jälkeen paalit kerätään traktorin ja mahdollisen perävaunun avulla pellon laitoihin tai katokseen odottamaan jatkokuljetusta. Pyöröpaalit eivät pilaannu ihan pienestä sateesta tiiviin ja kuperan pintansa takia, mutta jos taivasalla olevat paaliaumat joutuvat odottamaan kauan jatkokuljetusta, ne olisi syytä peittää pressuilla.

Suojavyöhykeheinän korjuussa omat erityishaasteensa asettaa lohkojen kapeus, pienuus, kaltevuus ja lohkojen väliset ojat. Työssä ei välttämättä päästä suuriin tuntisaavutuksiin, mutta kannattaa muistaa, että erityistuen ehtojen mukaan suojavyöhykeheinä tulee joka tapauksessa kerätä pois. Työhön kannattaa valita ketteriä ja matalan painopisteen omaavia työkoneita. Kaltevilla pelloilla matala pyöröpaalain on monesti parempi vaihtoehto kuin järeä noukinvaunu tai kanttipaalain. Myös tavarankäyttö sanelee omat vaatimuksensa korjuumenetelmälle. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa kokeiltuun kokopaalikattilaan sopivat parhaiten löysähköt pyöröpaalit. Irtosilpun syöttäminen ko. kattilaan olisi hankalaa.

Mikäli saman vesistön varrella on peräkkäin usean viljelijän suojavyöhykkeitä, kannattaa tiedustella yhteistyön mahdollisuutta korjuussa työn rationalisoimiseksi. Myös kevytrakenteisia siltoja tai rumpuja kannattaa rakentaa, jotta lohkolta toiselle siirtyminen tapahtuisi joustavasti. Viljelijöiden mukaan suojavyöhykeheinän korjuu on onnistunut pyöröpaalaimella kohtuullisen hyvin, koska suojavyöhykkeet ovat monesti aika pitkiä yhtenäisiä kaistoja.

Tässä tutkimuksessa käytetyt suojavyöhykeheinät oli paalattu heinä - elokuussa 2010 Halikossa Kronen kiinteäkammioisella pyöröpaalaimella (halk. 1,25 m), josta paalit ajettiin kuorma-autolla Kemiön paalikattilalaitokselle.

## 1.2 Ruokohelven korjuun työketjut

Ruokohelpi on heinäkasvi, jota viljellään Suomessa bioenergian tuottamiseksi noin 17 000 ha:n pinta-alalla. Vallitseva korjuuajankohta on keväällä kuloheinänä, jolloin kasvusto on hyvin kuivaa ja talvi on huuhtonut pois polton kannalta haitallisia aineita (mm. kloori ja alkalimetallit). Satoa saadaan noin 3 – 7 ka tonnia/ha, mikä vastaa noin 14 – 32 MWh/ha. Lähes kaikki korjattu ruokohelpi poltetaan suurissa sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa. Polttamisen lisäksi helpeä voitaisiin hyödyntää biokaasun raaka-aineena, jolloin järkevin korjuu-aika olisi syksyllä säilörehuna esimerkiksi laakasiiloon. (Lötjönen & Knuuttila 2009)



Kuva 2. Ruokohelven tehokasta korjuuta kanttipaalaimella (Kuva: Timo Lötjönen, MTT).

Ruokohelpeä voidaan korjata samoin menetelmin kuin kuivaa heinää tai edellä esiteltyä suojavyöhykeheinää. Niiton jälkeen kasvustoa ei yleensä tarvitse pöyhä, koska kuloheinä on jo niitettäessä hyvin kuivaa. Korjutavoista pyöröpaalausta, kanttipaalausta ja irtosilppukorjuuta käytetään loppukäyttötavan vaatimusten mukaan. Pyöröpaalaus on edelleen yleisin korjuutapa. Pyöröpaalaimia on kiinteä- ja muuttuvakammioista tyyppiä. Näistä jälkimmäinen tekee hieman tiukempia paaleja ja sen paalin halkaisijaa voidaan säätää. Paalit kootaan korjuun jälkeen pellon laitoihin suuriin aumoihin odottamaan autokuljetusta.

Paalien peittäminen pressuin kastumisen estämiseksi on erittäin suositeltavaa ja monien tuotantosopimusten mukaan pakollista.

Ruokohelven korjuun kustannukset pyöröpaalimenetelmällä pellon reunaan peitettynä ovat noin 7 e/MWh eli noin 29 e/ ka tonni (Lötjönen & Knuutila 2009). Tässä tutkimuksessa käytetyt ruokohelpipaalit oli paalattu keväällä 2010 Perniössä NewHollandin muuttuvakammioisella pyöröpaalaimella 1,5 m:n paalikokoon. Paalit varastoitiin pellon reunassa pressun alla, josta paalit ajettiin syksyn tullen kuorma-autolla Kemiön paalikattilalaitokselle.

### 1.3 Oljen korjuun työketjut

Viljojen olkea muodostuu suurinpiirtein saman verran kuin jyväsatoakin (Pahkala ym. 2009), eli Suomen oloissa 2 – 4 tonnia ka/ha. Kun viljoja viljellään maassamme noin 1,1 miljoonan hehtaarin alalla, olkien teoreettinen energiapotentiaali on todella suuri, 9 – 18 TWh/v. Tietysti osa oljesta (n. 10 – 20 %) käytetään eläinten kuivikkeeksi, osa jää maahan ylipitkänä sänkenä ja osaa tarvitaan tiettyjen maalajien multavuuden ylläpitäjänä. Kaikilta lohkoilta olkea ei voida/kannata kerätä pitkien etäisyyksien tai maan heikon kantavuuden takia. Lisäksi jotkut syksyt ovat niin sateisia, ettei olkea saada kerätyksi missään päin Suomea. Toisina syksyinä korjuussa ei taas ole mitään ongelmia. Siltikin oljen käytännön energiapotentiaali on maassamme mittava. Tällä hetkellä vain hyvin pieni osa siitä hyödynnetään lähinnä suurten maatilojen lämmöntuotannossa. Ylijäämä silputaan pellolle lahomaan, jossa sillä on pieni lannoitusarvo ja hyötyä maan multavuuden säilymisen kannalta.

Viljat puidaan leikkuupuimurilla, joka jättää oljen korjuuvalmiiseen karhoon. Tavoiteltaessa suurta olkisatoa kannattaa puintikorkeutta alentaa, koska iso osa oljen massasta sijaitsee kasvuston alaosissa. Sään ollessa kuivaa, olkea ei tarvitse pöyhiä puinnin jälkeen. Karheiden yhdistäminen voi olla tarpeen, mikäli korjuu tehdään suuritehoisella korjuukoneella. Sateen jälkeen oljen kuivumista voidaan nopeuttaa uudelleen karhotuksella.

Oljen korjuuseen voidaan käyttää samoja paalaus- ja irtokorjuumenetelmiä kuin kuivalla heinällä tai ruokohelvellä. Koneet eivät saisi olla kovin raskaita, sillä viljapellon pinta kantaa heikosti varsinkin, jos ennen korjuuta sataa paljon.

Tässä tutkimuksessa käytetyt vehnän olkipyöröpaalit oli tehnyt kattilalaitoksen omistaja itse Claas Rollant 250 kiinteäkammioisella pyöröpaalaimella syksyllä 2010. Paalain oli tietoisesti säädetty tekemään melko löysiä paaleja. Viljelijällä on katettua varastotilaa, jossa paalit säilyvät kuivina.

### 1.4 Järviruo'on korjuun työketju

(lähde: Annalena Sjöblom & Tomas Stenström 2010)

Järviruokoa kasvaa Etelä-Suomen merenrannoilla noin 30 000 ha:n alueella. Vuosikasvuksi on arvioitu keskimäärin 5000 kg ka/ha. Tällöin kokonaissato olisi 150 000 tonnia ka vuodessa eli energiaksi muutettuna noin 0,63 TWh vuodessa. (Komulainen ym. 2008). Korjuu on haasteellista, koska se tulisi tehdä talvella jään päältä tai sulan veden aikaan lautalta käsin.

Västanfjärdin lahdet-yhdistys organisoii järviruo'on korjuun polttokoetta varten keväällä 2010. Korjuu tehtiin kahdessa vaiheessa: 1) niitto ja niputus huhtikuussa jään päältä itsekulkevalla korjuukoneella ja 2) nippujen pyöröpaalaus toukokuussa.

Ruo'on korjuun teki virolainen Rooexpert OU itsekulkevalla, tela-alustaisella korjuukoneella. Kone on suunniteltu kattomateriaaliksi tarkoitetun järviruo'on korjuuseen. Kone niittää ruo'on, sitoo sen vajaan 2 kilon painoiseihin nippuihin ja kerää niput kippaamalla tyhjennettävään perävaunuun. Kone ei ole kuitenkaan täysin automaattinen, vaan sen käyttö vaatii kolmen henkilön työpanoksen. 2,7 ha:n koalueen korjuuseen kului aikaa noin 6 h sadon ollessa noin 600 kg/ha. Kasvusto oli siis melko vaatimatonta, eikä 5000 kg ka/ha vuosikasvu arvio ainakaan tässä kohtaa pitänyt paikkaansa. Niput ajettiin koneella rannalle, jossa ne ladottiin aumaksi.



Kuva 3. Järviruo'on korjuuta Rooexpert OU:n korjuukoneella (Kuva: Tomas Stenström).

Ilmakuivat ruokoniput paalattiin toukokuussa pyöröpaalaimella. Västanfjärdin lahdet-yhdistyksen talkoolaiset syöttivät niput käsin paalaimen. Työn edistyessä huomattiin, että nippuja kannattaa syöttää paalaimen molemmilta puolilta, jotta paaleista tulee tasaisia. Sidontanarua käytettiin hieman tavanomaisista enemmän paalien kasassa pysymisen varmistamiseksi. Työ onnistui teknisesti hyvin, 9 paalin paalaamiseen meni aikaa noin 1,5 h. Paalien keskipaino oli noin 180 kg ja halkaisija 130 cm. Paalit olivat siis kohtuullisen tiukkoja. Paalit siirrettiin Nivelaxin kattilalaitokselle traktoriperävaunulla.

Annalena Sjöblomin ja Tomas Stenströmin tekemän laskelman mukaan korjatusta järviruokoerästä saataisiin energiaa poltettuna 8,8 kertaa enemmän talteen kuin mitä kului ruokoerän korjuuseen ja kuljetukseen dieselöljynä. Toiminta on siis järkevää energiataseen kannalta. Todennäköisesti myös kasvihuonekaasutase on järkevällä tasolla, koska järviruon viljelyyn ei tarvitse käyttää panoksia (esim. lannoitusta tai kalkitusta).

Talouslukuja tarkasteltaessa tilanne on hieman toinen. Laskelman mukaan korjuu- ja kuljetusketjun dieselpolttoainekustannus oli noin 1,02 c/kWh eli 10,2 eur/MWh. Tämä on samaa suuruusluokkaa, millä suuret lämpövoimalaitokset ostavat ruokohelpeä ja turvetta laitokselle toimitettuna! Lämpöyrittäjyystoiminnassa hinta voi olla tietysti korkeampi, esimerkiksi 2 c/kWh. Paljon enempiä ei ole perusteltua maksaa, koska tällä hintaa saa haketta käyttöpaikalle toimitettuna. Koska päivässä korjuuseen saatu määrä oli suhteellisen pieni (1620 kg), jää työpalkkojen ja koneiden kiinteiden kustannusten kattamiseen vain 70 euroa/päivä. Siten toiminta voi perustua pelkästään vain talkootyöhön ja siihen hyötyyn, mikä saadaan, kun kasvimassaa saadaan kerättyä pois vesistöjä rehevöittävästä.

Jotta toiminnalla olisi edellytykset olla kannattavaa, korjuutehon tulisi olla suurempi. Nythän paaleihin saatiin niitto ja niputus mukaan laskien vain reilu 200 kg/h. Vertailun vuoksi pellolla kasvaneen ruokohelven niitossa ja pyöröpaalauksessa päästään melko helposti noin 6000 kg/h työsaavutukseen (Paappanen ym. 2008). Toisaalta tämä demonstraatio ei ollutkaan mikään nopeuskoe, vaan haluttiin nähdä, onnistuuko työ yleensä tällä tavalla. Alhainen sato (600 kg/ha) ei mahdollistanut kovin suurta korjuutehoa, sillä harvalla korjuumenetelmällä päästään yli hehtaarin tuntisaavutuksiin.

Järviruokoa on kokeiltu korjata Suomessa aiemmin mm. traktorikäyttöisellä maissisilppurilla (Vilkuna 1996) ja traktorivetöisillä niittokone – noukinvaunu/paalain yhdistelmillä (Komulainen ym. 2008). Nykyiset traktorit ja paalaimet ovat varsin painavia, mikä estää niiden käytön jäänpäällisessä korjuussa lauhoina talvina. Kovinakin pakkastalvina sopivaa korjuukeliä voi olla vain muutama viikko. Paripyörillä ja teloilla koneiden pintapainetta voidaan alentaa, mutta jäällä ajettaessa myös yhdistelmän kokonaispainolla on merkityksensä, pintapaineen alentaminen ei yksistään riitä.

Järviruo'on korjuuseen on kehitetty itsekulkeva niitto- ja paalauskuone (kuva 4), joka on varustettu teloilla (Komulainen ym. 2008). Niitto ja pyöröpaalaus tapahtuvat siis samalla ajokerralla ilman, että ruokoa lasketaan työvaiheiden välillä maahan. Kasvusto niitetään puimurin leikkuupöydällä, joka pystyy niittämään lakoistakin kasvustoa tarkasti. Kone on runko-ohjattu ja sen takavaunuun mahtuu 3 pyöröpaalia. Sen suurin ongelma lienee suuri massa, joka on ilman kuormaakin yli 9 tonnia. Koneeseen on jatkokehittä-

telyssä suunniteltu ponttoonit ja laaja telasto, joilla pintapaine saadaan pieneksi. Kone on vielä prototyyp-  
piasteella, mutta toivottavasti siitä saadaan toimiva kokonaisuus, sillä idea on erittäin hyvä. Laitteella  
voisi olla käyttöä myös ruokohelven kevätkorjuussa, koska sielläkin peltojen heikko kantavuus ja kasvus-  
tojen lakoisuus ovat monesti ongelmana.



*Kuva 4. Järviruo'on korjuuseen Suomessa kehitetty itsekulkeva korjuukone (Kuva: Eija Hagelberg, BSAG).*

## 1.5 Korsibiomassojen varastointi ja kuljetus

Yhteistä kaikille polttoon meneville korsibiomassoille on, että ne tulisi pyrkiä korjaamaan ja varastoi-  
maan kuivina, mieluiten alle 15 % kosteudessa, mutta vähintään alle 20 % kosteudessa. Syksyllä korjatta-  
vaa olkea voidaan varastoida jopa 25 % kosteudessa (Orava 1980). Kattiloissa voitaisiin ehkä polttaa  
kosteampaakin polttoainetta, mutta ongelmaksi tulee korsibiomassojen lämpeneminen ja homehtuminen  
varastoinnin aikana. Tämä laskee polttoaineen lämpöarvoa ja voi altistaa polttoaineita käsittelevät  
työntekijät homepölyille. Kosteampiakin korsibiomassoja voidaan säilöä, mikäli ne voidaan saattaa il-  
matiiviiseen tilaan esimerkiksi muoviin käärimisen avulla.



*Kuva 5. Kanttipaalivarasto on peitetty asiallisesti turveaumamuovilla, mutta tuuli on repäissyt peiton halki. (Kuva: Timo Lötjönen, MTT)*

Korjuun jälkeen on tärkeää, ettei sadevesi, lumi tai maankosteus pääse pilaamaan korsibiomassavarastoja. Esimerkiksi paalivarasto kannattaa sijoittaa muuta maastoa hieman korkeammalle paikalle tai käyttää aluspuita. Paalit ladotaan pyramidin muotoiseen aumaan, joka peitetään pressuilla. Tuulet tahtovat repiä pressut pois paikoiltaan, joten pressujen reunat kannattaa painottaa esimerkiksi maavallilla. Mikäli tilalla on tyhjiä avaria varastorakennuksia, nämä kannattaa hyödyntää paalien varastoinnissa. Tanskassa, jossa oljen käyttö energiaksi on yleistä, on rakennettu paalivarastoiksi yksinkertaisia katoksia (kuva 6). Näissä on sorapohja, kyllästetystä puusta tehdyt runkotolpat ja katto. Seiniä ei välttämättä tarvita ja ne olisivatkin tiellä varastoa täytettäessä tai tyhjennettäessä.



Kuva 6. Katettu olkipaalivarasto Tanskassa. (Kuva: Timo Lötjönen, MTT)

Paaleja voidaan varastoida myös käärimällä ne ohuesti tuorerehupaalimuoviin. Tämä on kuitenkin melko kallis säilöntätapa verrattuna lopputuotteen arvoon. Pyöröpaalien muovituskustannuksissa voidaan säästää käärimällä vain paalien kehä muovilla ja latomalla paalit jonoiksi tiiviisti päädyt toisiaan vasten. Myös tuubikäärintä on yksi mahdollinen säilöntätapa ja tarvittaessa varastosta saadaan ilmatyiviä. Käärintämuovit ovat puhdasta polyeteeniä ja käytännössä ne palavat hyvällä tulella poltettaessa puhtaasti hiilidioksidiksi ja vedeksi. Nykyisen lainsäädännön valossa on kuitenkin epäselvää, saisiko muovikääreisiä paaleja polttaa, sillä todennäköisesti paalimuovi tulkitaan tässäkin tapauksessa jätteeksi. Asia kaipaisi päästömittauksia ja mahdollisesti lainsäädännön muuttamista.

–Mikäli matka paalivarastolta lämpölaitokselle on kohtuullisen lyhyt (< 20 km), järkevin pyöröpaalien kuljetustapa on etukuormaajalla varustettu tehokas maataloustraktori ja paalien kuljetukseen varta vasten suunniteltu perävaunu (kuva7). Näin kuorman teko, kuljetus ja purku voidaan tehdä samalla kalustolla yhden työntekijän voimin. Tilavaan paalivaunuun mahtuu 24 pyöröpaalia ja jopa enemmänkin. Pidemmällä kuljetusmatkoilla rekka-auto puutavarakuormaimella on kilpailukykyisempi vaihtoehto. Rekka-autoon voi mahtua noin 60 pyöröpaalia ja polttoon menevän korsibiomassan kannattava kuljetusetäisyys voi olla maksimissaan noin 100 km, riippuen tietysti korsipolttoaineen hinnasta. (Paappanen ym. 2006, Paappanen ym. 2008)



*Kuva 7. Traktorivetoisella paalivaunulla kulkee helposti 24 pyöröpaalia eli keskikokoisen omakotitalon vuotuinen kokonaisenergiatarve. (Kuva: Timo Lötjönen, MTT)*

---

## 2 Polttokokeet

---

### 2.1 Koejärjestelyt

Polttokokeiden tavoitteena oli selvittää suojavyöhykeheinän, järviruo'on ja ruokohelven soveltuvuus kokopaalikattilassa poltettavaksi. Näitä polttoaineita verrattiin vehnän oljista tehtyjen pyöröpaalien palamiseen. Polttokokeiden lisäksi polttoaineista ja tuhkista otettiin näytteet laboratorioanalyysjä varten. Näytteet analysoitiin MTT:n laboratoriossa. Polttokokeet tehtiin soveltaen osin TTS:n pienille kattiloille vakiintunutta mittauskäytäntöä.

Polttokokeet tehtiin Mats Hagmanin tilalla Kemiön Nivelaxissa TTS:n toimesta. Tilalla on tanskalainen 380 kW:n olkikattila, joka voidaan täyttää traktorin etukuormaajalla kolmella pyöröpaalilla. Tämän jälkeen panos poltettiin ja osa lämmöstä meni kaukolämpöverkkoon ja ylimäärä ladattiin 70 kuutiometrin vesivaraajaan. Vesivaraajan lämpötilan laskiessa tietylle tasolle tulipesä täytettiin jälleen polttoaineella ja uusi panos poltettiin.



*Kuva 8. Hagmanin tilan olkipaalikattila. Paalit työnnetään etukuormaajalla kattilan sisään avaamalla matalamman rakennuksen etuseinä. Vesivaraaja näkyy taaempänä korkeampana. Savupiippu on johdettu vesivaraajan läpi, jolloin osa hukkalämmöstä saadaan talteen. (Kuva: Timo Lötjönen, MTT)*

Kattilassa panoksen polttaminen oli jaettu jaksoihin ja jakson aikana savukanavaan sijoitettu happianturi ohjasi palamisilmapuhallinta. Palamisilma johdettiin tulipesän yläosaan sijoitettuihin neljään suuttimeen, josta se puhallettiin paaleihin. Jaksot oli mitoitettu tehtaalla olkipaalien vaatimusten mukaan ja niitä ei voitu muuttaa mittausten aikana. Savukanavassa oleva sykloni vähentää savukaasujen sisältämää pölyä.

Kokeita varten TTS tutkimuksen asuntovaunu ajettiin lämpökeskuksen viereen ja vaunuun asennettiin savukaasuanalysaattorit ja tiedonkeruulaitteet. Lämpökeskuksen hormiin porattiin reiät savukaasun näytteenottosodille ja termoelementeille. Näytteenottosondista lähti yhde savukaasunkuivaimelle (IMR 500-P), josta kuivattu savukaasu johdettiin vaunun kahteen savukaasuanalysaattoriin (Testo 350 XL ja Leybold-Heraeus Pinos 1).

Savukaasuista mitattiin lämpötilan lisäksi CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO ja NO<sub>2</sub> pitoisuudet. Näistä voitiin laskea palamishyötysuhde ja saada viitteitä palamisen tasosta. Hiukkaspäästöjä ei voitu tällä mittausjärjestelmällä mitata.

*Palamishyötysuhde* lasketaan savukaasuista mittaamalla savukaasujen happipitoisuus (tai CO<sub>2</sub> -pitoisuus kun polttoaine tunnetaan), CO-pitoisuus, savukaasun lämpötila ja palamisilman lämpötila. Palamishyötysuhde tai oikeammin palamishäviö kuvaa savupiipun kautta hukkaan mennyttä lämpöä ja palamattomien savukaasujen energiaa. *Kattilahyötysuhde* tarkoittaa hyödyksi saadun energian osuutta kattilaan syötettyyn energiaan nähden. Se on pienempi kuin palamishyötysuhde, koska siinä otetaan huomioon myös muut häviöt kuten kattilan vaippahäviö ja johtumishäviöt.

Kahta savukaasuanalysointia käytettiin koska savukaasuissa panospoltosta johtuen saattoi esiintyä hetimitään korkeitakin CO pitoisuuksia. Pinos 1:n CO kaasujen mitta-asteikko oli 0 – 10 %, Testo 350 XL savukaasuanalysointilaitteen CO kaasujen mitta-alue oli 0 - 4000 ppm, joten se soveltui paremmin pienempien pitoisuuksien tarkkaan mittaamiseen. Näissä mittausjärjestelyissä ei voitu mitata kattilaveteen siirtyneen energian määrää joten laitoksen kattilahyötysuhdetta ei voitu määrittää.

## 2.2 Polttoaineet

Kokeita tehtiin kaikkiaan viidellä eri polttoaineella, josta neljää tutkittiin tarkemmin. Ensimmäisenä päivänä laitteet asennettiin ja kokeiltiin polttaa rypsin oljista tehdyillä pyöröpaaleilla. Näitä paaleja ei punnittu ja niistä ei otettu näytteitä. Seuraavana päivänä polttokokeet aloitettiin järviruo'on polttokokeilla. Saman päivän iltapäivällä tehtiin kokeet vehnän olkipaaleilla. Kolmantena päivänä tehtiin polttokokeet suojavaohykeheinällä. Tällöin oli paikalla myös alueen lehdistöä. Suojavaohykeheinä oli pääasiassa heinä-elokuussa korjattua nurminataa, myös muita heiniä, kuten timoteitä oli mukana.

Neljäntenä päivänä poltettiin ruokohelpipaaleja ja viidentenä päivänä kokeet uusittiin järviruo'olla siten, että pohjalle pantiin kolmemetrisiä kuusirankoja kolme kappaletta ilmanjaon parantamiseksi. Käytettyjen polttoainepaalien ominaisuuksia on esitetty taulukoissa 1 ja 2.

*Taulukko 1. Kokeissa käytettyjen pyöröpaalien fyysisiä ominaisuuksia.*

Polttoaine	Kosteus, %	Paalin halkaisija, m	Paalin leveys, m	Paalien keskimääräinen kuiva-ainemassa, kg	Paalien tiheys, kg ka/m <sup>3</sup>	Panoksen massa, kg
Järviruoko	12,6	1,3	1,25	181	109	620
Vehnän olki	14,1	1,3	1,25	110	66	384
Suojaheinä	12,3	1,25	1,2	193	131	659
Ruokohelpi	10,5	1,54	1,2	yli 270	yli 120	yli 600

Kaikki polttoaineet olivat hyvin kuivia, koska niiden kosteus oli vain 10 – 14 % (w.b.) (taulukko 1). Suojaheinä- ja ruokohelpipaalit olivat myös tiiviitä ts. niiden tiheys oli kohtalaisen korkea. Toisaalta ruokohelven korjuukokeissa pyöröpaalaimilla on saavutettu 140 – 150 kg ka/m<sup>3</sup> tiheyksiä, joten mitenkään erityisen korkeita tämän kokeen paalien tiheydet eivät olleet (Paappanen ym. 2008). Olkipaalit olivat tarkoituksella paalattu hyvin löysiksi.

Taulukossa 2 on tämän tutkimuksen polttoaineanalyysituloksia verrattu kirjallisuudessa yleisesti esiintyviin arvoihin. On kuitenkin huomattava, että eri alkuaineiden esiintyminen biopolttaineissa vaihtelee hyvin paljon vuoden sääoloista, maalajista ja kasvupaikasta riippuen. Lisäksi nämä näytteet edustavat vain kolmea paalia kustakin polttoaineesta, joten erilaisiakin tuloksia varmasti saataisiin eri pelloilta otetuista näytteistä.





Kuva 9. Kokeissa käytetyt pyöröpaalit. Vasemmalta: järviruoko, vehnän olki, suojavyöhykeheinä ja ruokohelpi. (Kuva: Kari Vuorio, TTS tutkimus)

Tuloksissa yllättävää on mm. kloorin alhaiset pitoisuudet tämän tutkimuksen ruokohelvellä ja varsinkin oljessa verrattaessa niitä kirjallisuusarvoihin. Kloorin pitoisuus ei millään polttoainella ylitä oljen kirjallisuusarvoa (0,8 % ka.), joten kattilan korroosioriski lienee pieni näillä polttoaineilla, onhan ainevahvuudet kuitenkin mitoitettu oljen poltolle. Suurimmat pääravinnepitoisuudet (N, P, K) olivat suojavyöhykeheinässä ja oljessa. Tämä on luonnollista, koska ko. kasvimassat eivät ole olleet syksyn ja talven säiden armoilla samalla lailla kuin järviruoko ja ruokohelpi. Selvästi suurin tuhkapitoisuus oli suojavyöhykeheinällä, mikä kertoo kasvupaikan maalajin savipitoisuudesta.

Taulukko 2. Kokeissa käytettyjen polttoaineiden ominaisuuksia verrattuina kirjallisuusarvoihin. (Lähteet: Alakangas 2000, Bränslehandboken 2004)

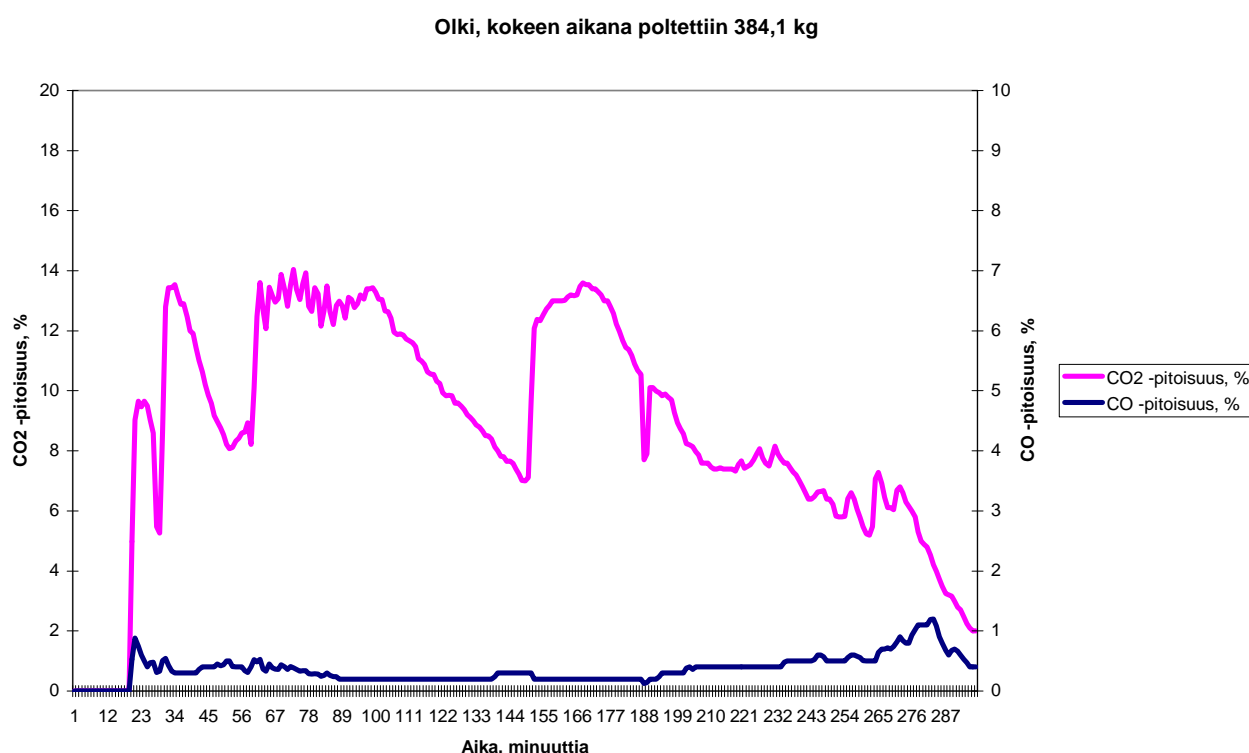
		Järviruoko	Heinä	Ruokohelpi	Olki, vehnä	Ruokohelpi yleensä	Olki, vehnä yleensä
Lämpöarvo, ylempi	MJ/kg ka.	19,2	18,2	19,4	19,1	18 - 19	18-19
Lämpöarvo, alempi	MJ/kg ka.					17 - 18	17
Hiili, C	% ka.	49,0	46,8	51,0	49,8	48	48
Typpi, N	% ka.	0,26	0,60	0,42	0,71	1,1	0,6
Kloori, Cl	% ka.	0,11	0,28	<0,005	<0,005	0,1	0,8
Natrium, Na	% ka.	0,14	0,004	0,004	0,004	<0,03	0,1
Rikki, S	% ka.	0,11	0,13	0,06	0,09	0,1	0,1
Kalsium, Ca	% ka.	0,04	0,46	0,10	0,28	0,2	0,4
Kalium, K	% ka.	0,08	1,07	0,12	0,90	0,4	0,8
Magnesium, Mg	% ka.	0,05	0,17	0,03	0,05	0,05	0,11
Fosfori, P	% ka.	0,03	0,23	0,06	0,07		0,08
Tuhka	% ka.	2,68	8,07	0,74	3,01	3 - 8	3 - 8

## 2.3 Polttokokeet olkipaaleilla

Kattilan tulipesä täytettiin kolmella olkipyöröpaalilla. Niiden yhteismassa oli 384 kg. Lähinnä suuluukku olevan paalin narut katkaistiin ja paalia avattiin hieman sytytyksen helpottamiseksi. Paalien poltto-aika oli noin viisi tuntia, jonka jälkeen automatiikka sammutti kattilan puhaltimen ja tuhkan annettiin jäähtyä ennen kattilan tyhjentämistä tuhkasta ja osittain palaneesta polttoaineesta. Tätä jäännöstä ei voitu punnita mutta silmämääräisen tarkastelun perusteella siinä ei ollut merkittävästi palamatonta olkea. Taulukossa 3 on palamisjaksolta mitattuja keskimääräisiä arvoja.

*Taulukko 3. Olkipaalien poltossa saatuja savukaasun keskiarvoja mittausjaksolta (Testo 350 XL).*

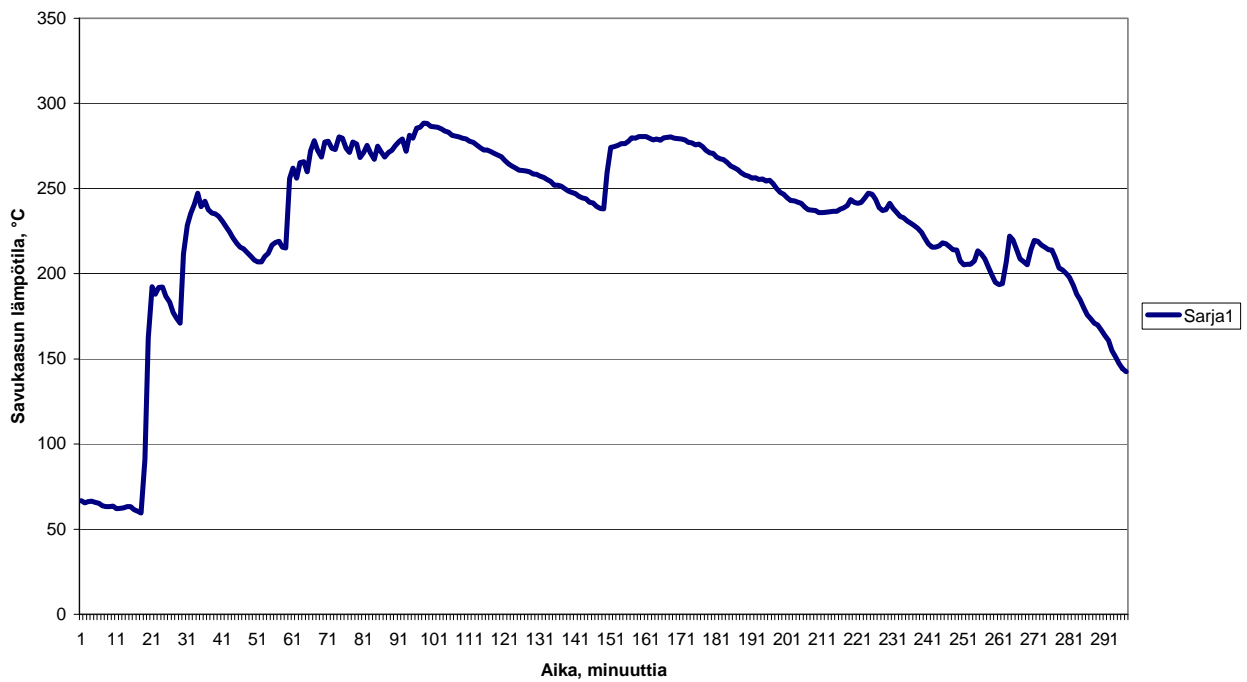
O <sub>2</sub> , %	CO, ppm	NO, ppm	NO <sub>2</sub> , ppm	Tsavu, °C	Palamishyötysuhde, %
10,5	1356	96	1,6	246	79



*Kuva 10. CO<sub>2</sub> ja CO –pitoisuudet kokeen aikana kun polttoaineena oli olki.*

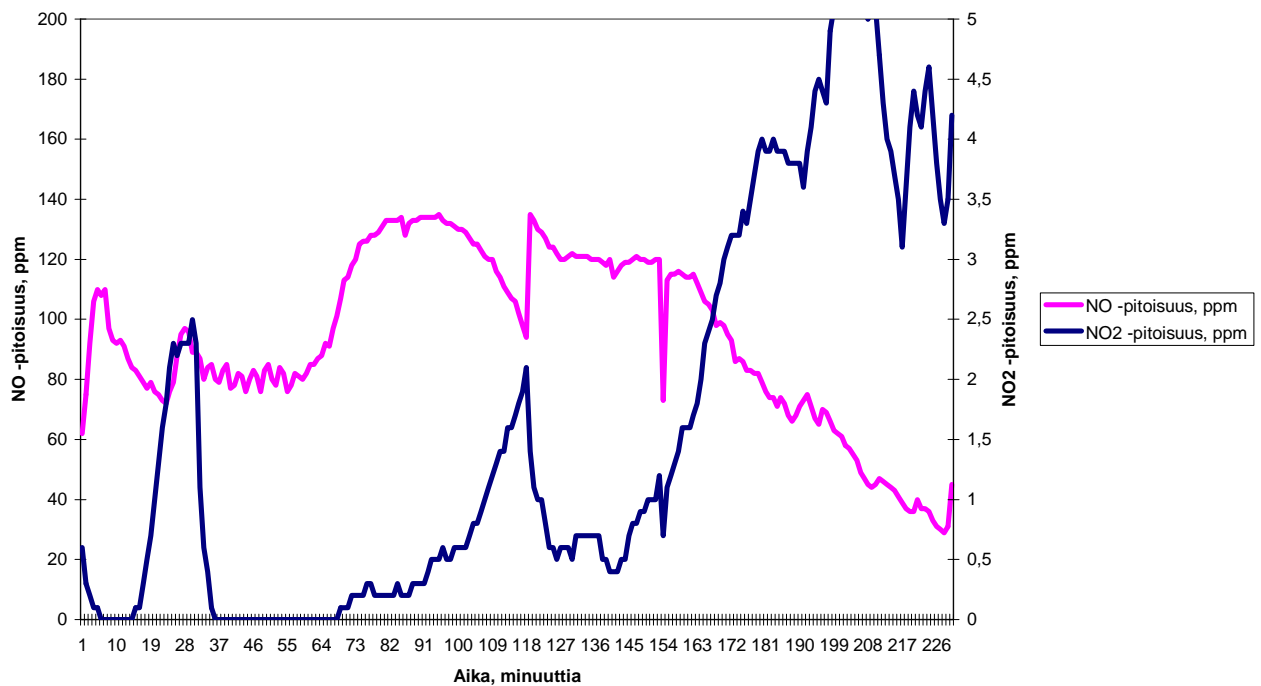
Savukaasumittausten mukaan oljen palaminen oli kohtuullisen tasaista (kuvat 10 – 12). Hiilidioksidia muodostui tehokkaasti ja tasaisesti, paitsi aivan palamisen lopussa. Savukaasujen lämpö pysyi suhteellisen vakiona ja korkealla. Häkää ja typen oksideja muodostui sanottavasti vasta palamisen loppuvaiheessa.

Olki, kokeen aikana poltettiin 384,1 kg



Kuva 11. Savukaasun lämpötila kokeen aikana kun polttoaineena oli olki.

Olki, kokeen aikana poltettiin 384,1 kg



Kuva 12. NO<sub>x</sub> -pitoisuudet kokeen aikana kun polttoaineena oli olki.

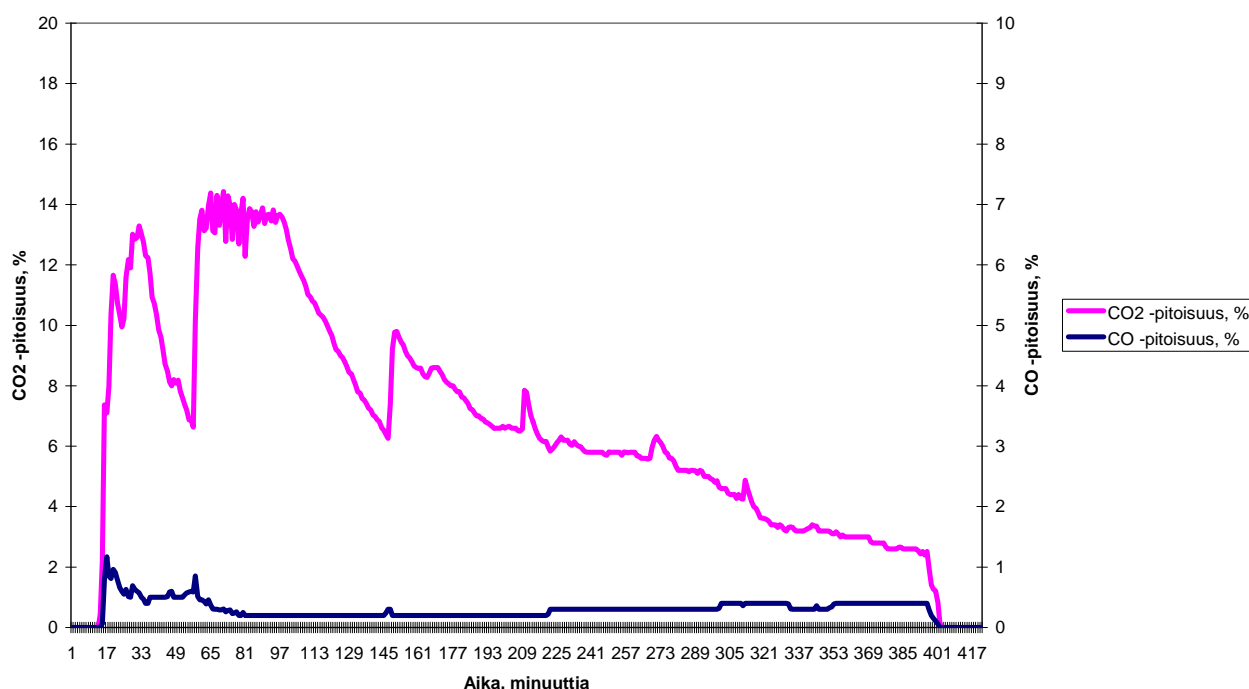
## 2.4 Polttokokeet järviruokopaaleilla

Kattilan tulipesä täytettiin kolmella järviruokopyöröpaalilla. Niiden yhteismassa oli 620 kg. Lähinnä suuluukku olevan paalin narut katkaistiin ja paalia avattiin hieman sytytyksen helpottamiseksi. Paalien poltto-aika oli lähes seitsemän tuntia, jonka jälkeen automatiikka sammutti kattilan puhaltimen ja tuhkan annettiin jäähtyä ennen kattilan tyhjentämistä tuhkasta ja osittain palaneesta polttoaineesta. Tätä jäännöstä ei voitu punnita mutta silmämääräisen tarkastelun perusteella siinä oli runsaasti palamatonta ruokoa. Taulukossa 4 on palamisjaksolta mitattuja keskimääräisiä arvoja.

Taulukko 4. Järviruokopaalien poltossa saatuja savukaasun keskiarvoja mittausjaksolta (Testo 350 XL).

O <sub>2</sub> , %	CO, ppm	NO, ppm	NO <sub>2</sub> , ppm	Tsavu, °C	Palamishyötysuhde, %
13,6	1359	74	1,5	224	72

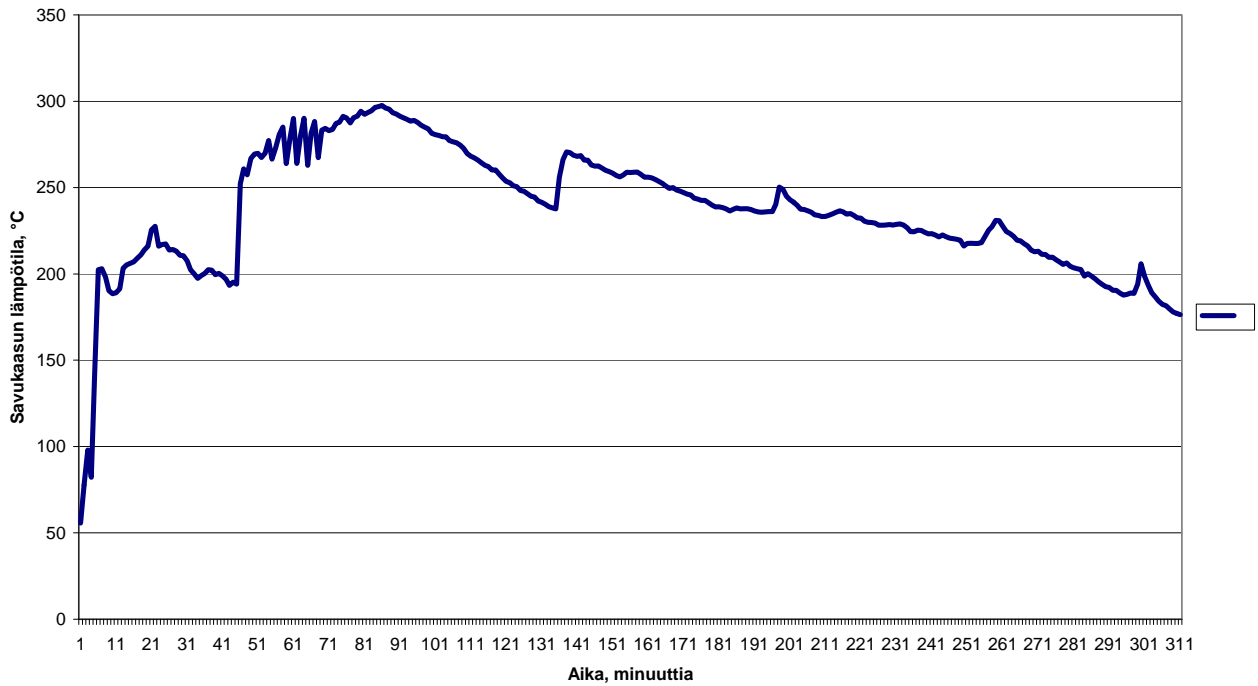
Järviruoko, kokeen aikana poltettiin 620,4 kg



Kuva 13. CO<sub>2</sub> ja CO –pitoisuudet kokeen aikana kun polttoaineena oli järviruoko.

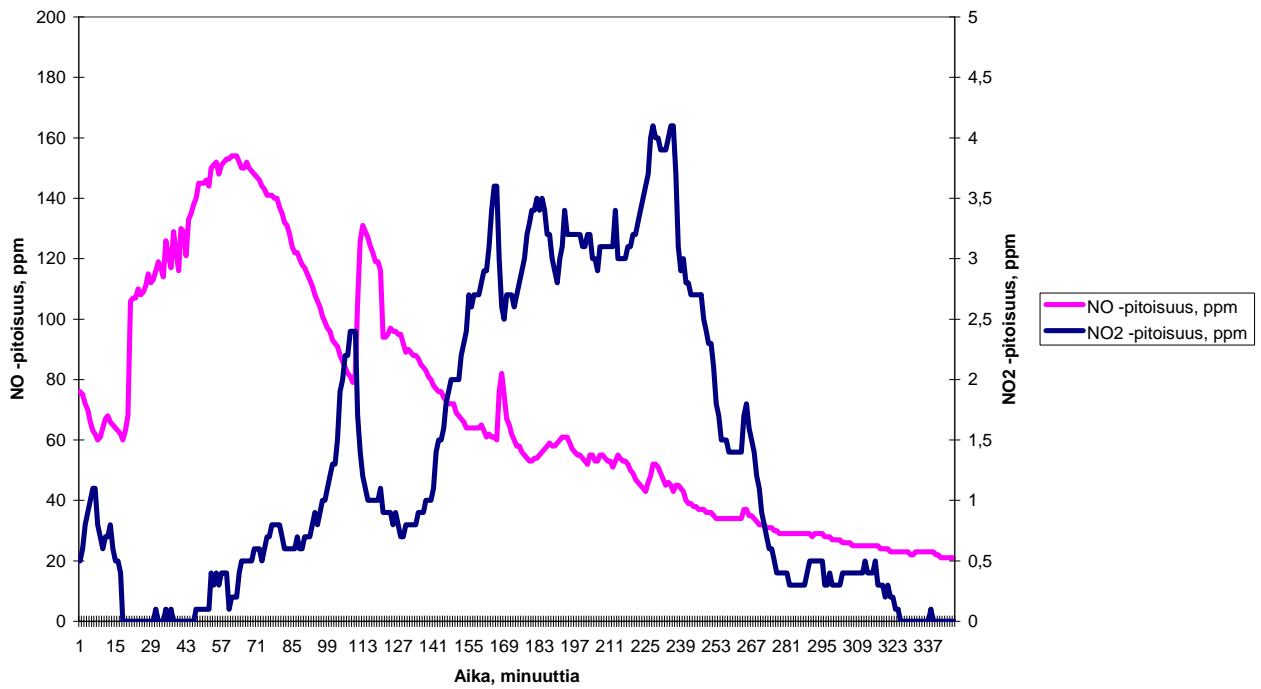
Savukaasumittausten mukaan järviruo’ on palaminen oli kohtuullisen tasaista (kuvat 13 – 15). Hiilidioksidia muodostui tehokkaasti palamisen alussa, mutta CO<sub>2</sub>:sen muodostus hiipui loppua kohti. Tämä ei kuitenkaan näkynyt häkäpitoisuuden kasvuna. Savukaasujen lämpö pysyi suhteellisen vakiona. Typen oksidien kokonaistaso oli hieman alempi kuin oljella, mutta niitä muodostui aikaisemmin kuin oljen poltossa.

Järviruoko, kokeen aikana poltettiin 620,4 kg



Kuva 14. Savukaasun lämpötilä kokeen aikana kun polttoaineena oli järviruoko.

Järviruoko, kokeen aikana poltettiin 620,4 kg



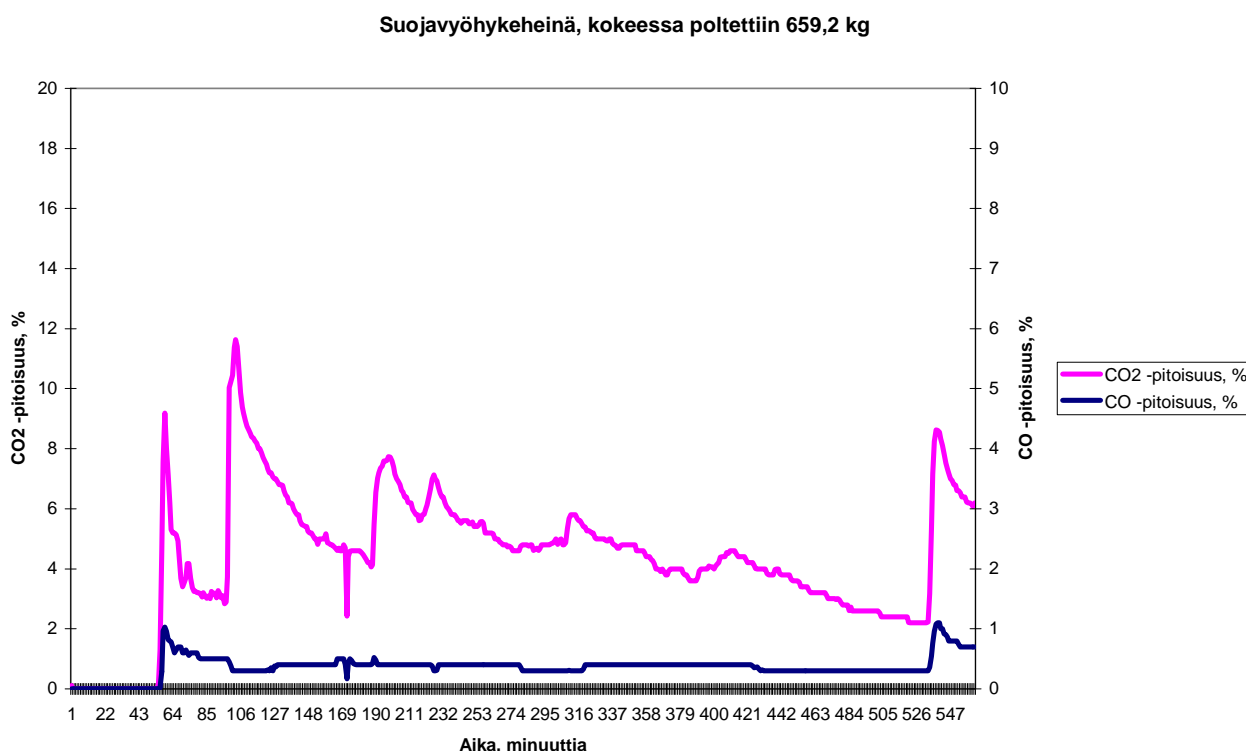
Kuva 15. NOx –pitoisuudet kokeen aikana kun polttoaineena oli järviruoko.

## 2.5 Polttokokeet suojavyöhykeheinällä

Kattilan tulipesä täytettiin kolmella heinäpyöröpaalilla. Niiden yhteismassa oli 659 kg. Lähinnä suuluukua olevan paalin narut katkaistiin ja paalia avattiin hieman sytytyksen helpottamiseksi. Paalien poltto-aika oli noin kahdeksan tuntia, jonka jälkeen automatiikka sammutti kattilan puhaltimen ja tuhkan annettiin jäähtyä ennen kattilan tyhjentämistä tuhkasta ja osittain palaneesta polttoaineesta. Tätä jäännöstä ei voitu punnita mutta silmämääräisen tarkastelun perusteella siinä oli huomattavan paljon palamatonta heinää. Taulukossa 5 on palamisjaksolta mitattuja keskimääräisiä arvoja.

Taulukko 5. Heinäpaalien poltossa saatuja savukaasun keskiarvoja mittausjaksolta (Testo 350 XL).

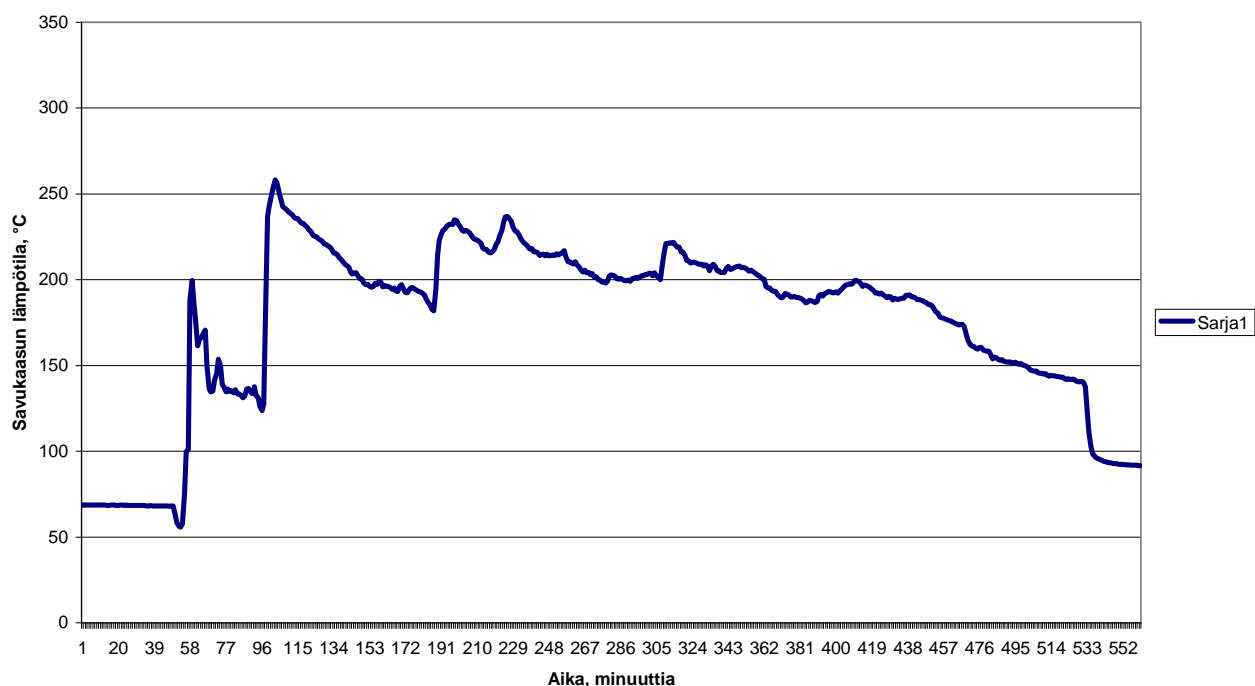
O <sub>2</sub> , %	CO, ppm	NO, ppm	NO <sub>2</sub> , ppm	Tsavu, °C	Palamishyötysuhde, %
15,0	2851	64	2,4	203	72



Kuva 16. CO<sub>2</sub> ja CO –pitoisuudet kokeen aikana kun polttoaineena oli suojavyöhykeheinä.

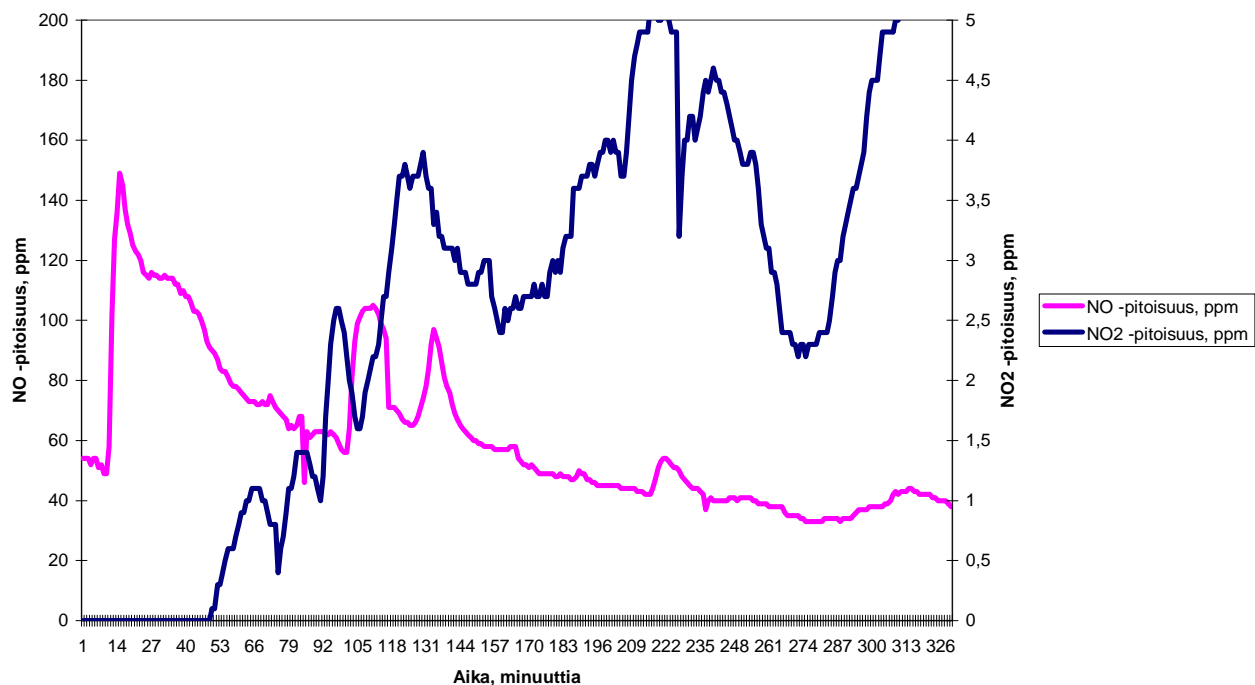
Savukaasumittausten mukaan suojavyöhykeheinän palaminen oli heikompaa kuin oljen palaminen (kuvat 16 – 18). Hiilidioksidin muodostus oli vähäisempää ja epätasaisempaa kuin järviruo’olla tai oljella. Häkää tuli kokonaisuutena enemmän kuin kahdella aiemmalla polttoaineella, joskaan mitään piikkejä CO:n muodostuksessa ei ollut. Paloilmaa jouduttiin käyttämään enemmän, mikä näkyi savukaasujen alempana lämpönä. Sinällään savukaasujen lämpö pysyi suhteellisen vakiona. Typen oksidien kokonaistaso oli hieman alempi kuin oljen poltossa.

Suojavyöhykeheinä, kokeessa poltettiin 659,2 kg



Kuva 17. Savukaasun lämpötila kokeen aikana kun polttoaineena oli suojavyöhykeheinä.

Suojavyöhykeheinä, kokeessa poltettiin 659,2 kg



Kuva 18. NO<sub>x</sub> –pitoisuudet kokeen aikana kun polttoaineena oli suojavyöhykeheinä.

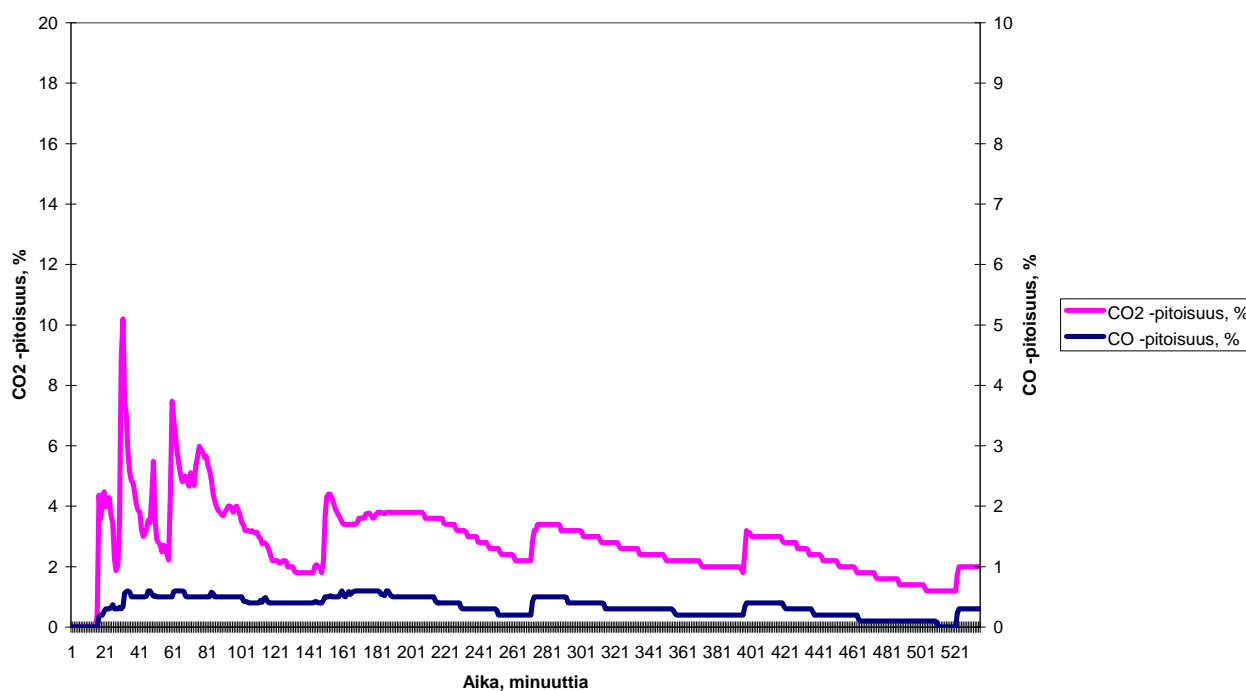
## 2.6 Polttokokeet ruokohelpipaaleilla

Kattilan tulipesä täytettiin kahdella helpipyöröpaalilla. Niiden yhteismassa oli yli 600 kg. Paalien tarkkaa painoa ei saatu mitatuksi, koska vaa'an asteikko ylsi vain 300 kiloon. Lähinnä suuluukkuu olevan paalin narut katkaistiin ja paalia avattiin hieman sytytyksen helpottamiseksi. Paalien poltto-aika oli noin kahdeksan ja puolituntia, jonka jälkeen automatiikka sammutti kattilan puhaltimen ja tuhkan annettiin jäähtyä ennen kattilan tyhjentämistä tuhkasta ja osittain palaneesta polttoaineesta. Tätä jäännöstä ei voitu punnita mutta silmämääräisen tarkastelun perusteella siinä oli merkittävästi palamatonta ruokohelpeä. Taulukossa 6 on palamisjaksolta mitattuja keskimääräisiä arvoja.

Taulukko 6. Ruokohelpipaalien poltossa saatuja savukaasun keskiarvoja mittausjaksolta (Testo 350 XL).

O <sub>2</sub> , %	CO, ppm	NO, ppm	NO <sub>2</sub> , ppm	Tsavu, °C	Palamishyötysuhde, %
17	3969	50	0,0	175	64

Ruokohelpi, kokeessa poltettiin yli 600 kg

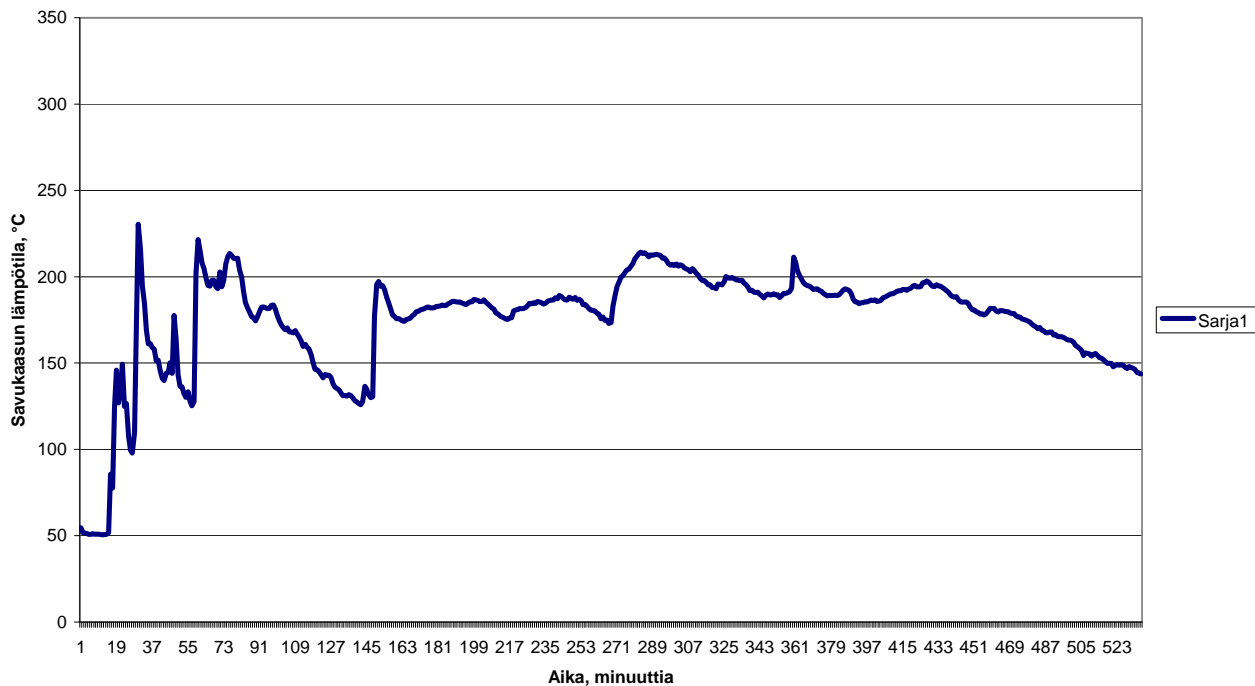


Kuva 19. CO<sub>2</sub> ja CO –pitoisuudet kokeen aikana kun polttoaineena oli ruokohelpi.

Savukaasumittausten mukaan ruokohelven palaminen oli heikompaa kuin muiden polttoaineiden (kuvat 19 – 21). Hiilidioksidin muodostus oli vähäisempää ja häkää tuli kokonaisuutena enemmän kuin kolmesta aiemmasta polttoaineesta, joskaan mitään piikkejä CO:n muodostuksessa ei ollut. Paloilmaa jouduttiin käyttämään enemmän, mikä näkyi savukaasujen alempana lämpönä. Sinällään savukaasujen lämpö pysyi suhteellisen vakiona. Typen oksidien kokonaistaso oli melko alhainen johtuen paloilman suuresta määrästä.

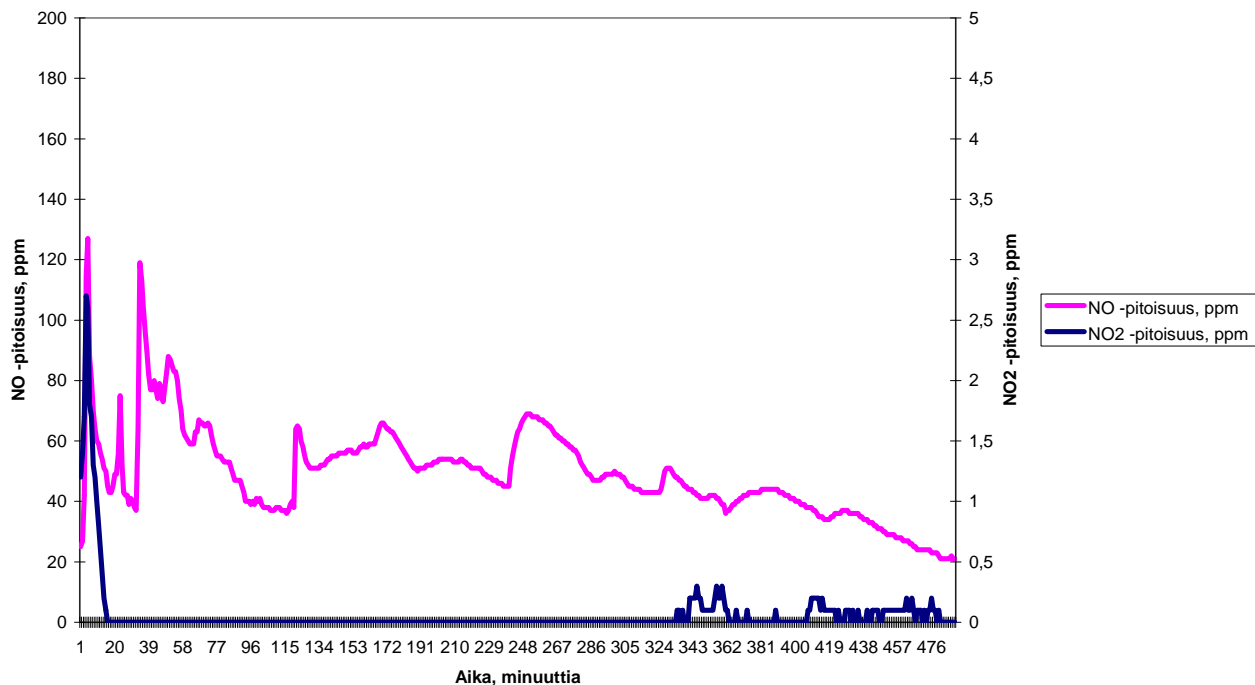


Ruokohelpi, kokeessa poltettiin yli 600 kg



Kuva 20. Savukaasun lämpötilä kokeen aikana kun polttoaineena oli ruokohelpi.

Ruokohelpi, kokeessa poltettiin yli 600 kg



Kuva 21. NO<sub>x</sub> –pitoisuudet kokeen aikana kun polttoaineena oli ruokohelpi.

## 2.7 Tuhka-analyysit

Omallekin pellolle levitettävä tuhka tulkitaan lainsäädännössä lannoitevalmisteksi. Lannoitevalmisteenä käytettävien sivutuotteiden epäorgaanisten haitta-aineiden liukoisuuden tulee alittaa valtioneuvoston asetuksen 202/2006 mukaiset tavanomaisille jätteille tarkoitetut raja-arvot. Lannoitevalmisteen käyttäjän on pidettävä kirjaa lannoitevalmisteiden käytöstä aiheutuvasta kadmiumkertymästä (Evira 2010). Tuhkien ja lannoitteiden mukana levitettävien raskasmetallien suurimmat sallitut määrät vaihtelevat maittain Euroopan Unionissa. Tarkempaa tietoa löytyy Eviran sivuilta ([www.evira.fi](http://www.evira.fi)).

Koepolttoaineiden tuhkista otettujen näytteiden metallipitoisuudet analysoitiin MTT:n laboratoriossa kuningasvesiuutto-menetelmällä (taulukko 7). Minkään metallin osalta MMM:n asettamat pitoisuusrajat eivät ylittyneet, mutta oljen ja ruokohelven tuhkan kadmiumpitoisuudet olivat lähimpänä raja-arvoja peltokäyttöä ajatellen. Kadmium on raskasmetalli, jonka liian korkea pitoisuus useimmiten estää puu- ja turvetuhkan levittämisen pelloille. Metsäkäytössä rajoitukset ovat hieman lievempiä.

*Taulukko 7. Koepolttoaineiden tuhkista mitatut haitallisten metallien pitoisuudet ja Suomessa sallitut enimmäispitoisuudet pellolle levitettävässä tuhkassa (MMM asetus 12/07, liite IV).*

	Järviruoko	Olki, vehnä	Heinä	Ruokohelppi	Raja-arvot, peltotuhka
Arseeni, As mg/kg ka.	0,8	1,3	0,6	0,9	25
Elohopea, Hg mg/kg ka.	0,0	0,0	0,0	0,0	1
Kadmium, Cd mg/kg ka.	0,2	0,6	0,1	1,0	1,5
Kromi, Cr mg/kg ka.	1,0	2,4	1,2	4,5	300
Kupari, Cu mg/kg ka.	12	35	6	27	600
Lyijy, Pb mg/kg ka.	3,8	2,4	0,9	8,3	100
Nikkeli, Ni mg/kg ka.	0,6	0,3	0,7	4,6	100
Sinkki, Zn mg/kg ka.	140	125	25	158	1500

Koska Eviran ohje (Evira 2010) määrää, että pelloille neljän vuoden aikana tuleva kadmiumkertymä saa olla enintään kuusi grammaa hehtaarille, voisi taulukon 7 mukaista ruokohelpituhkaa levittää maksimissaan 6 tonnia tai olkituhkaa 10 tonnia hehtaarille. Tämä määrä voitaisiin siis antaa kertalevityksenä tai useampana eränä neljän vuoden aikana.

Taulukkoon 8 on laskettu karkeasti, paljonko tonnissa tuhkaa on pääravinteita fosfori ja kalium, typpihän haihtuu polton aikana taivaalle. Ympäristötuen ehtojen mukaan pelloille saadaan levittää fosforia 8 – 70 kg/ha vuodessa kasvusta ja maan fosforitilanteesta riippuen. Kaliumille ei ole tukiehdossa rajoituksia, mutta käyttöä voidaan joutua rajoittamaan agronomisista syistä. Taulukosta 8 huomataan, että monestikin tuhkan fosforipitoisuus voi rajoittaa tuhkan sallitun käyttömäärän esim. vain yhteen tonniin hehtaarille vuodessa. Toisaalta kannattaa myös panna merkille, että puhtaat peltobiomassojen tuhkat ovat arvokkaita fosfori- ja kaliumlannoitteita, jotka kannattaa tarkoin hyödyntää.

*Taulukko 8. Koepolttoaineiden tuhkan laskennalliset fosfori- ja kaliumpitoisuudet (kg/ tuhkatonni ka.). Huom! Pitoisuuksia ei mitattu suoraan tuhkista, vaan ne on saatu laskennallisesti materiaalin ravinne- ja tuhkapitoisuuden tulona.*

	Järviruoko	Heinä	Ruokohelppi	Olki, vehnä
Fosfori, P kg/ ton ka.	10	29	74	25
Kalium, K kg/ ton ka.	30	133	162	299

Analyysimme edustaa vain kolmea paalia per polttoaine. Eri tavoin lannoitetuilta peltolohkoilta ja erilaisilta maalajeilta voitaisiin saada toisenlaisia analyysituloksia. Kirjallisuuden mukaan vaihtelu peltobiomassojen tuhkien pitoisuuksissa on laajaa. Siten tätä laskelmaa ei voi yleistää, mutta se kertoo, että peltobiomassoista saatavan tuhkan levittäminen takaisin pelloille voi olla monestikin mahdollista, kunhan muistaa tarkkailla tiettyjen aineiden pitoisuuksia ja huolehtii levitystyön tasaisuudesta. Järviruon ja suojavyöhykkeiden tuhkissa haitallisia aineita oli vähemmän kuin oljen ja helven tuhkissa.

## 2.8 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Kokeiden perusteella näyttäisi, että paalikattilan säädöt ja mitoitukset on tehty kuivalle olkipaalille, jonka tiheys on suuruusluokkaa  $75 \text{ kg/m}^3$ . Tällainen paali paloi laitoksessa loppuun ja tuhkan joukkoon jäi hyvin vähän palamatonta olkea (kuva 22). Savukaasuista mitatut palamisarvot olivat hyvät kun huomioon otetaan, että kyseessä oli panospolttu. Palamishyötysuhde nousi lähes 80 %:iin ja kokeen keskimääräinen häkäpitoisuus oli luokkaa 1400 ppm.

Taulukon 3 arvojen perusteella saadaan redusoidut (happi 10 %) arvot häkä- ja typpipäästölle. Hänen redusoidu arvo taulukon 3 tulosten perusteella on noin  $1800 \text{ mg/m}^3$  ja typen oksidien noin  $210 \text{ mg/m}^3$ . EU-alueella on työn alla standardin EN 303-5 päivitys ja siinä ollaan tiukentamassa mm. häkäpäästöä. Standardiehdotuksen mukaan siihen kuuluisivat myös tämän tyyppiset uudet alle 500 kW:n tehoiset oljenpolttolaitokset. Hänen osalta tämä kattilalaitos ei saatujen tulosten perusteella alittaisi EN 303-5 standardin raja-arvoa. Korostettakoon, että tuleva standardi koskee vain uusia laitoksia sitten, kun se joskus astuu voimaan.

Muilla heinäkasveilla palaminen ei ollut yhtä hyvää kuin oljella. Vaikka paalien kosteus oli vähäinen, jäi kokeen päätyttyä tulipesään runsaasti palamatonta polttoainetta tuhkan joukkoon. Tähän oli syynä paalien liian suuri tiheys, jolloin palamisilma ei päässyt tunkeutumaan paalien sisään. Lisäksi kattilan automatiikka vaihtoi tehokäynnin liian aikaisin alasarjoon.



*Kuva 22. Olkipaalien jäljiltä jäi vähän tuhkaa verrattuna muihin paaleihin ja sen tilavuuspaino oli erittäin pieni. (Kuva: Kari Vuorio, TTS tutkimus)*

Paalin tiheyden kasvaminen näkyi suoraan savukaasuarvoissa palamisen huonontumisena. Paalin suurin tiheys oli ruokohelvellä, millä oli myös huonoimmat palamisarvot. Kokeen keskimääräinen happipitoisuus nousi 17 %, jolloin myös häkäpitoisuus oli hyvin korkea. Palamisilma ei tunkeutunut paalin sisään vaan lisäsi ilmaylijäämää ja huononsi hyötysuhdetta. Typen oksidipäästöt eivät millään polttoaineella nousseet hälyttävän suuriksi, vaikka esim. suojavyöhykeheinässä saattaa olla melko paljonkin typpeä. Suuret  $\text{No}_x$  päästöt voivat johtua myös liian korkeasta palamistapahtuman lämpötilasta.

Pyöröpaalien tiheyttä voidaan pienentää yleensä helposti paalaimen säätöjä muuttamalla. Tämä kuitenkin lisää paalien rikkoutumisriskiä paaleja käsiteltäessä sekä tilantarvetta varastoinnissa ja kuljetuksissa. Mi

käli paalien tiheyttä ei voida pienentää, niin palamista voisi parantaa lisäämällä ilmamäärää ja muotoilemalla suuttimia niin, että ilman virtausnopeus kasvaisi ja näin myös sen tunkeutuvuus paaliin helpottuisi. Lisäksi paalit tulisi sahata halki ainakin paalin puoliväliin asti.

Kokeiden perusteella ei voi sanoa minkälaisia eroja eri heinäkasvien polton päästöissä syntyy. Kokeita varten olisi täytynyt paalata saman kokoisia ja painoisia paaleja, joiden kosteus olisi lähes sama. Tätä varten pitäisi käyttää yhtä paalainta kaikkien materiaalien paalaamiseen ja paalaimella olisi tehtävä monia koeajoja ja säätöjä, sillä samoilla säädöillä eri materiaaleista voi tulla eri tiukkuuksisia paaleja. Lisäksi paalit pitäisi varastoida samaan ilmavaan ja tuuletettuun varastoon suojaan sateelta. Todennäköisesti sopivan löysät ja kuivat järviruoko-, suojavyöhykeheinä- ja helpipaalit palaisivat kattilassa mikäli palamista ohjaava automaatio ja ilmanjako tulipesään olisi säädetty niille sopivaksi.

Tulevana keväänä on vielä tarkoitus kokeilla löysien ruokohelpipaalien polttoa kattilalla, jotta saataisiin varmuus siitä, että paalien löysyys on oleellinen tekijä hyvän palamisen aikaansaamiseksi. Toisaalta ulkomaisissa lähteissä ei ole raportoitu olkipaalien liian suuren tiheyden aiheuttavan haittaa kokopaalikattiloissa (Bernesson & Nilsson 2005, Nikolaisen ym. 1998).



*Kuva 23. Järviruo'osta jäi selvästi enemmän tuhkaa jäljelle kuin oljesta. Tämä olisi palanut vähemmäksi, jos kattilan automaatiikka ei olisi katkaissut palotapahtumaa turhan aikaisin. (Kuva: Kari Vuorio, TTS tutkimus)*

Viimeisenä koepäivänä tehtiin järviruo'on polttokoe, jossa paalien alle lisättiin kolme kuusipuun rankaa. Tällä ei kuitenkaan ollut mitään vaikutusta, koska ruoko suojasi puita niin, että ne säilyivät palamatomina kokeen loppuun. Ensimmäisenä koepäivänä poltettiin harjoittelumielessä rypsin oljista tehtyjä pyöröpaaleja. Ne oli tehty samalla koneella kuin olkipaalit. Palamisessa ei ollut juurikaan eroja ja tuhkan joukkoon jäi yhtä vähän palamatonta kuin oljen poltossakin.

Lämpölaitoksen automaatiikkaa tulisi muuttaa niin, ettei puhallus katkea ennen kuin kaikki polttoaine on palanut tulipesässä. Hiukkas- ja pölypäästöjä ei pystytty tällä mittausjärjestelmällä mittaamaan, mutta savukaasujen väristä voidaan päätellä, että varsinkin sytytysvaiheessa niitä vapautuu runsaasti. Palamisen vakiinnuttua savukaasut muuttuivat lähes värittömiksi. Mikäli hiukkasten aiheuttamia haittoja alueen asutukselle halutaan vähentää, laitoksen savupiippua kannattaisi jatkaa esim. 5 metrillä. Tällöin savukaasut kulkeutuisivat todennäköisesti lähiasutuksen yli ja laimenesivat.

---

## 3 Kirjallisuus

---

- Alakangas, E. 2000.** Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045.
- Bernesson, S. & Nilsson, D. 2005.** Halm som energiakälla. Översikt av existerande kunskap. SLU. Rapport – miljö, teknik och lantbruk 2005:07. 55 p. + 25 p. appendix. [www.bt.slu.se](http://www.bt.slu.se)
- Bränslehandboken 2004.** (Handbook of fuels, in swedish), Värmeforsk Service AB, Stockholm 2004
- Evira 2010.** Tuhkan käyttö lannoitevalmisteena. Toimintaohje 12502/01.  
[http://www.evira.fi/files/attachments/fi/kasvit/lannoitevalmistet/ohjeet/12502\\_02\\_tuhkan\\_kaytto\\_lannoitevalmisteena.pdf](http://www.evira.fi/files/attachments/fi/kasvit/lannoitevalmistet/ohjeet/12502_02_tuhkan_kaytto_lannoitevalmisteena.pdf)
- Komulainen, M., Simi, P., Hagelberg, E., Ikonen, I. & Lyytinen, S. 2008.** Ruokoenergiaa – järvi-ruo'on energiakäyttömahdollisuudet Etelä-Suomessa. Turun ammattikorkeakoulun raportteja 66. 80 s.  
<http://www.ruoko.fi/index.php?page=julkaisut>
- Lötjönen, T. (toim.) & Knuutila, K. (toim.) 2009.** Pelloilta energiaa - opas ruokohelven käyttäjille. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jyväskylä Innovation. 44 s.
- MMM 2007.** Suojavyöhykkeen perustaminen ja hoito. Maatalouden ympäristötuen erityistuet. Maa- ja metsätalousministeriö. 12 s.  
[http://www.mavi.fi/attachments/mavi/ymparistotuki/5FyF2cmm5/Suojavyohyke\\_2007.pdf](http://www.mavi.fi/attachments/mavi/ymparistotuki/5FyF2cmm5/Suojavyohyke_2007.pdf)
- Nikolaisen, L., Nielsen, C., Larsen, M. G, Nielsen, V., Zielke, U., Kristensen, J. K. & Holm-Christensen, B. 1998.** Straw for energy production. Technology – Environment – Economy. Second Edition. The Centre for Biomass Technology. 53 s.
- Orava, R. 1980.** Oljen korjuu ja käyttö maatiloilla. Työtehoseuran julkaisuja 226. 105 s. + 5 s. liit.
- Paappanen, T., Kallio, E., Kirjalainen, T. & Lindh, T. 2006.** Jahtavisnevan tuottajarenkkaan toiminnan kehittäminen ruokohelven tuotannossa, väliraportti I. VTT:n projektiraportti PRO2/P2063/05. Jyväskylä: VTT. 26 s + 4 s. liit.
- Paappanen, T., Lindh, T., Kärki, J., Impola, R., Taipale, R., Leino, T., Rinne, S., Lötjönen, T. & Kirkkari, A-M. 2008.** Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi. Development of reed canary grass fuel chain. VTT Tiedotteita 2452. 158 p. + 9 p. appendix.  
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2452.pdf>
- Pahkala, K., Hakala, K., Kontturi, M., Niemeläinen, O. 2009.** Peltobiomassat globaalina energianlähteenä. Maa- ja elintarviketalous 137: 53 s.
- Vilkuna, V. 1996.** Järviuoko antautuu maissihakkurin edessä: heinästä hyvää paperia tai pelkkää voimaa. Koneviesti 9, s. 20-21.

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

# MTT RAPORTTI<sub>19</sub>

[www.mtt.fi/julkaisut](http://www.mtt.fi/julkaisut)

MTT Raportti -verkkojulkaisusarjassa julkaistaan maatalous- ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.

Puh. (03) 4188 2327, sähköposti [julkaisut@mtt.fi](mailto:julkaisut@mtt.fi)

