



**TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
ÅBO YRKESHÖGSKOLA**

Opinnäytetyö

**JÄRVIRUO'ON SOVELTUVUUS
PIENPOLTTOON**

Juha Kelkka

Kone- ja tuotantotekniikka

2007



Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Tekijä: Juha Kelkka	
Työn nimi: Järviruo'on soveltuvuus pienpolttoon	
Suuntautumisvaihtoehto: Energia- ja ympäristötekniikka	Ohjaaja: Lehtori, DI Paavo Riski
Opinnäytetyön valmistumisajankohta: Helmikuu 2007	Sivumäärä: 51 + 2
<p>Työn tavoitteena oli tutkia järviruo'on soveltuvuutta pienpolttoon, maatilakokoluokan talouksien omaan käyttöön tulevassa lämmöntuotannossa. Koska polttoaine oli korsimaista, tutkimuksen painopiste asetui polttoaineen tuomille erityisvaatimuksille, kuten kuljetuksen mekanisoinnille sekä palotapahtuman käyttäytymiselle. Myös tilojen omavaraisuus järviruo'on käytössä oli yksi arviointikohteista.</p> <p>Työssä suoritettiin polttokokeita 100 %:n järviruokopitoisuudella sekä järviruokoseoksella ottaen huomioon polttomateriaaliresurssit. Polttokokeiden tuloksia verrattiin tilojen varsinaisiin lämmönlähteisiin dokumentoimalla kokeista saadut tekniset tiedot. Soveltuvuutta määritettäessä kuultiin myös tilojen henkilökuntaa. Tutkimuksista saatujen tietojen perusteella laadittiin tarvittavia parannusehdotuksia.</p> <p>Lopullisiksi koepolttomuodoiksi päätyivät järviruokosilppu hakkeen seassa sekä järviruokopaalit. Järviruo'on todettiin soveltuvan pienpolttoon melko vähillä laitteistomuutoksilla. Riittävä ilmansaanti koettiin yhdeksi tärkeimmistä tekijöistä järviruokoa poltettaessa. Myös silpun pituuden koettiin ratkaisevan järviruo'on käytön miehittämättömässä lämmöntuotannossa.</p> <p>Työn aikana haasteita aiheuttivat laboratorio-olosuhteista suuresti poikkeavat kenttäolosuhteet. Lisäksi koepolttoaineiden muoto ja koko asettivat palotapahtumalle omat vaatimuksensa. Koepolttomuotojen alhainen tiheys laski poltoista saatua tehoa. Tutkimustuloksia tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon tutkimuksessa käytettyjen laitteistojen ikä ja kunto sekä laitteistojen suunnitteluperusteista poikkeava polttoaineen rakenne.</p>	
Hakusanat: Pienpoltto, biopolttoaineet, uusiutuvat energianlähteet	
Säilytyspaikka: Turun ammattikorkeakoulun kirjasto	

Degree Programme: Mechanical Engineering	
Author: Juha Kelkka	
Title: Applicability of common reed for small-scale burning	
Specialization line: Energy and Environment Technology	Instructor: Paavo Riski Senior Lecturer, M. Sc.
Date: February 2007	Total number of pages: 51 + 2
<p>The objective of this final thesis was to study the applicability of common reed as an energy source in small-scale plants. The study covered the production of heat for a farm's functions. As the fuel was straw-like, the focus of the study was on mechanized conveyor transportation and the burning process. In addition, the self-sufficiency of the farm as regards reed was one of the main points.</p> <p>During the project combustion tests were conducted and analyzed with a 100 % concentration of common reed and also with a reed mixture together with chips, depending on the combustion material resources. The results of the combustion tests were compared to the farm's primary fuel by documenting the data gained. In defining applicability, the personnel of the farm were also interviewed. Based on the tests, some improvements were suggested.</p> <p>The final combustion test fuel forms were common reed bales and common reed chaff together with chips. Common reed was discovered suitable for use in small-scale plants with quite low modification requirements. Sufficient air supply seemed to be one of the major factors when burning common reed. Also the length of the chaff is conclusive if unmanned production of heat is planned.</p> <p>Challenges were faced during the project because of site circumstances as well as the size and form of the test fuel which set its own special demands on the burning process. A low density of the combustion test fuel forms reduced effective output. When examining the results of this research, the age and condition of the equipment used should be taken into consideration as well as the structure of the test fuel which diverges from the actual design concept of the equipment.</p>	
Keywords: Small-scale burning, biofuel, renewable energy sources	
Deposited at: TUAS library	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	JÄRVIRUOKO	8
	2.1 Järviruoko kasvina	8
	2.2 Järviruoko on ominaisuudet bioenergian lähteenä	8
3	PIENPOLTTO	11
	3.1 Pienpolton määritelmä	11
	3.2 Pienpolton yleisimmät kattilatyypit	11
	3.3 Pienpolton yleisimmät arinatyyppit	14
	3.4 Kiinteän polttoaineen palaminen	14
	3.5 Pienpolton hiukkaspäästöt	16
4	KOEPOLTTOPAIKAT	17
	4.1 Joensuun kartano	17
	4.2 Lindön kartano	17
5	KOEPOLTTOMUODOT- JA LAITTEISTOT	19
	5.1 Silppu	19
	5.2 Silppulaitteisto	21
	5.3 Kovapaali	24
	5.4 Kovapaalilaitteisto	25
6	KOEPOLTOT JA MITTAUKSET	29
	6.1 Silppu	29
	6.2 Kovapaali	36

7 JOHTOPÄÄTÖKSET	43
-------------------------	-----------

8 YHTEENVETO	48
---------------------	-----------

LÄHTEET	50
----------------	-----------

LIITTEET

Liite 1. Esite, kattila Joensuun kartanossa (Laatukattila Oy)	52
---------------------------------------------------------------	----

Liite 2. Datalehti, lämmityspiirin pumppu Joensuun kartanossa (Kolmeks Oy)	53
----------------------------------------------------------------------------	----

KUVAT

Kuva 1. Yläpalokattilan ja alapalokattilan periaate	12
-----------------------------------------------------	----

Kuva 2. Tulipesältäään käänteispaloperiaatetta muistuttava kattila	13
--------------------------------------------------------------------	----

Kuva 3. Hake-järviruokoseosta	20
-------------------------------	----

Kuva 4. Joensuun kartanon 420 kW:n kattila	22
--------------------------------------------	----

Kuva 5. Periaatekuva Joensuun kartanon kuljetinlaitteistosta	23
--------------------------------------------------------------	----

Kuva 6. Kaukalo	24
-----------------	----

Kuva 7. Kovapaaleja	25
---------------------	----

Kuva 8. Lindön kartanon 280 kW:n kattila	26
------------------------------------------	----

Kuva 9. Leikkauskuva Lindön kartanon tulitorvikattilasta	27
----------------------------------------------------------	----

Kuva 10. Testo-savukaasuanalysointila sekä mittapään läpivienti	29
-----------------------------------------------------------------	----

Kuva 11. Hake-järviruokoseoksen holvatussa repijöiden päälle	31
--------------------------------------------------------------	----

Kuva 12. Hake-järviruokoseoksen kuljetusta pitkällä vinokuljettimella	32
-----------------------------------------------------------------------	----

Kuva 13. Tulitorvikattila panostettuna järviruokopaaleilla	37
------------------------------------------------------------	----

Kuva 14. Tulitorvikattilan palamisilmapuhallin	38
------------------------------------------------	----

Kuva 15. Lämmitysrakennuksen savupiippu koepolton sytytysvaiheessa	39
--------------------------------------------------------------------	----

Kuva 16. Järviruokopaalien koepolton alkuvaihetta	40
---------------------------------------------------	----

Kuva 17. Järviruokopaalien koepolto 3 tunnin jälkeen	40
------------------------------------------------------	----

Kuva 18. Järviruokopanostus pöyhimisen jälkeen, koepolton välivaiheessa	41
-------------------------------------------------------------------------	----

Kuva 19. Tulipesän arina sekä ilmansaantiratkaisu (luonnos 1.)	46
----------------------------------------------------------------	----

Kuva 20. Tulipesän arina sekä ilmansaantiratkaisu (luonnos 2.)	47
----------------------------------------------------------------	----

KUVIOT

Kuvio 1. Kuivumisvyöhykkeen eteneminen polttoainekappaleen sisällä, kun kosteuden siirtyminen rajoittaa kuivumista	15
Kuvio 2. Panospolton sykli n. +5 °C:n mukaisella lämmitystarpeella	35

TAULUKOT

Taulukko 1. Korsibiomassojen ominaisuudet	9
Taulukko 2. Oljen ja ruokohelpin ominaisuuksien vertailu	10
Taulukko 3. Savukaasuista mitattujen parametrien keskiarvot kattilan syklin aikana	35

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on osa Lounais-Suomen ympäristökeskuksen koordinoimaa kokonaisuutta, ”Ruovikkostrategia Suomessa ja Virossa”. Yhtenä projektin osapuolista toimii Turun ammattikorkeakoulu, jonka toimeksiantona työssä tutkitaan järviruo’on soveltuvuutta pienpolttoon. Pienpoltto käsittää lähinnä maatilakokoluokan talouksien omaan käyttöön tulevan energiantuotannon.

Järviruoko lukeutuu niin sanottuihin ympäristöystävällisiin, uusiutuviin energianlähteisiin, joiden käyttöön siirtyminen vähentää rikki- ja kasvihuonekaasujen päästöjä ilmakehään, joten yhä suotavampi bioenergiantuotannon tehostaminen voidaan katsoa tämänkin työn innoittajaksi. Tuoreen satelliittikartoituksen perusteella, pelkästään jo Etelä-Suomen rannikkoalueen ruovikoiden pinta-ala on noin 30 000 ha (Lounais-Suomen ympäristökeskus 2006 [viitattu 26.10.2006]).

Koepolttopaikkoja kartoittaessa on pyritty kustannustehokkuuteen ottaen huomioon polttopaikan omavaraisuus järviruo’on esiintymän suhteen. Täten myös polttopaikan vakituisen henkilökunnan voidaan sanoa kokeneen asian omakseen. Koepolttoja suorittaessa painokerroin on asetettu mekanisoinnille, ts. poltoissa on paneuduttu polttomateriaalin juohevaan kulkuun kuljettimissa. Myös hiukkaspäästöjen mittaaminen ja vertailu on asetettu yhdeksi tutkimuksen kohteista. Kokeita suoritettaessa on pyritty pääsemään mahdollisimman lähelle laboratorio-olosuhteita, vaikka mittausvälineet, polttomateriaali ja polttopaikat olivat rajalliset. Kokeiden tuloksia tarkasteltaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon vallinneet kenttäolosuhteet sekä joidenkin parametrien epäsuora mittaus.

2 JÄRVIRUOKO

2.1 Järviruoko kasvina

Järviruoko (*Phragmites australis*) on rantakasvi, joka on vallannut merenlahdet ja rannat niin Suomessa kuin muuallakin maailmassa. Usein länsimurteissa puhutaan virheellisesti kaislasta, vaikka tarkoitetaan järviruokoa. Järviruoko on viimeisten vuosikymmenien aikana levinnyt uusille alueille ja se leviää tehokkaasti, jopa 2 metriä vuodessa kasvullisesti juurakkonsa haaroista. Se kasvattaa tiheitä, hehtaarien laajuisia kasvustoja, joissa muilla kasveilla ei juuri ole menestymisen mahdollisuuksia. (Lounais-Suomen ympäristökeskus 2006 [viitattu 26.10.2006].)

Järviruoko koetaan usein haitallisena kasvina virkistyskäytön kannalta. Ruovikoituminen on enimmäkseen vähentänyt rantojen ja merenlahtien luonnon monimuotoisuutta eli biodiversiteettiä. Paikoitellen ruovikot heikentävät vesistöjen laatua, koska ruovikot hidastavat tai pysäyttävät veden virtauksen. Järviruoko on hyötykäyttö Suomessa on hyvin vähäistä tai lähes olematonta, vaikka ruokoa voisi hyödyntää mm. rakentamisessa, bioenergiana ja käsityötuotannossa. Virossa ja muualla Itämeren alueella ja Euroopassa kasvia hyödynnetään tehokkaasti. (Lounais-Suomen ympäristökeskus 2006 [viitattu 26.10.2006].)

2.2 Järviruoko on ominaisuudet bioenergian lähteenä

Kun tarkastellaan järviruokoa bioenergian lähteenä, voidaan se rinnastaa jo tuloaan tehneeseen monivuotiseen kasviin, ruokohelpeen. Ruokohelven nykyinen viljelyala on n. 9 000 ha (Maa- ja metsätalousministeriö 2006 [viitattu 26.10.2006]), kun pelkästään Etelä-Suomen rannikkoalueella järviruokoa kasvaa n. 30 000 ha:n alueella (Lounais-Suomen ympäristökeskus 2006 [viitattu 26.10.2006]).

Ruokohelpiä pidemmäksi kasvavan järviruoko on kosteusprosentti on talvella korjattuna alle 20, joten se voidaan polttaa ilman erillistä kuivausta.

Järviruo'on tehollinen lämpöarvo (kosteus 14 %) on 13 - 15 MJ/kg eli samaa luokkaa kuin ruokohelvellä (kosteus 20 - 30 %) sekä hakkeella (kosteus 25 %). Tuhkapitoisuus asettuu n. 4 %:iin ja sen sulamispiste n. 1400 °C:seen, ts. sulamispistettä voidaan pitää melko korkeana verrattaessa esim. olkeen, jonka tuhkan sulamispiste jää alle 1000 °C:n. Järviruo'on sato hehtaaria kohti on 3 t:sta aina 12 t:iin, ja saanto 3 - 4 MWh/t, kosteuden (15 - 30 %) mukaan. (Lounais-Suomen ympäristökeskus 2006 [viitattu 26.10.2006]; Bioenergia Suomessa 2006 [viitattu 31.10.2006]; Kask 10.4.2006.)

Seuraaviin taulukoihin on koottu järviruo'oon rinnastettavien korsimassojen ominaisuuksia sekä verrattu niitä muihin polttoaineisiin.

Taulukko 1. Korsibiomassojen ominaisuudet (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 2005 [viitattu 31.10.2006]).

	Ruokohelvi (kevätkorj.)	Vehnän olki	Puupolttoaine	Palaturve
Tehollinen lämpöarvo k.a, MJ/kg	17,6	17,4	19,2	21,5
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa, MJ/kg	14,6	14,4	8,5	12
Kosteus, %	14	15	50	40
Haihtuvat aineet, %	74	73	80	70
Tuhkapitoisuus, %	5,5	5,5	1,5	4
Tuhkan sulamispiste, °C	1400	930	1150	1100
Tiheys, kg/m ³	60 – 80 (silppu)	60 – 80 (silppu)	280 – 300	380 – 420
Energiateiheys, MWh/m ³	0,3	0,3	0,6 – 0,8	1,2 – 1,4

Taulukko 2. Oljen ja ruokohelpin ominaisuuksien vertailu (Bioenergia Suomessa 2006 [viitattu 31.10.2006]).

Ominaisuus	Olki	Ruokohelpi syyskorj.	Ruokohelpi kevät
Kosteus, %	17-25	20-30	15-20
Kalorimetrinen lämpöarvo, MJ/kg	17,9-18,7	18,0-18,9	18,4-18,7
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa, MJ/kg	17,4	16,7-17,7	17,1-17,5
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa, MJ/kg	12,4-14,0	11,0-13,7	13,2-14,2
Irtotiheys saapumistilassa, kg/i-m ³	80	80	70
Energiatiheys, MWh/m ³	0,3-0,4	0,2-0,3	0,3-0,4
Tuhkapitoisuus kuiva-aineessa, %	5	5,1-7,1	6,2-7,5
Hiilipitoisuus kuiva-aineessa C, %	45-47	44,6-46,7	45,5-46,1
Vetytitoisuus kuiva-aineessa (H), %	5,8-6,0	5,6-5,9	5,7-5,8
Rikkipitoisuus kuiva-aineessa (S), %	0,01-0,03	0,06-0,25	0,08-0,13
Typpipitoisuus kuiva-aineessa (N), %	0,4-0,6	0,7-1,1	0,65-1,04
Natrium, Na %	0,01 -0,6	<0,001	<0,03
Kalium, K, %	0,69-1,3	1,2-2,3	0,3-0,5
Kloori, Cl, %	0,14- 0,97	0,4	0,09

3 PIENPOLTTO

3.1 Pienpolton määritelmä

Pienpoltolla tarkoitetaan pienimuotoista polttoa tulisijassa, kattilassa tai avopolttona ulkona, jossa yleensä käytetään polttoaineena puuta, kevyttä polttoöljyä tai kotitalousjätettä. Pienpoltolla lämmitetään mm. omakoti- ja rivitaloja, ulko- ja pienrakennuksia, maataloja ja suurehkoja yksittäisiä rakennuksia. Polttolaitteet vaihtelevat polttoaineen asettamien vaatimusten mukaisesti. (Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta 2003 [viitattu 16.11.2006]; Jyväskylän yliopisto 2006 [viitattu 16.11.2006].)

Pienpoltossa palaminen on joko jatkuvatoimista, tai poltto tapahtuu panoksittain. Kattiloissa jatkuvatoiminen poltto mahdollistaa korkean, jopa 90 %:n hyötysuhteen. Polttoaineena käytetään tyypillisesti haketta ja pellettejä. Tämän kaltaisella polttotavalla on hyvät edellytykset pienlaitoksen miehittämättömään lämmöntuotantoon. (Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta 2003 [viitattu 16.11.2006]; Jyväskylän yliopisto 2006 [viitattu 16.11.2006].)

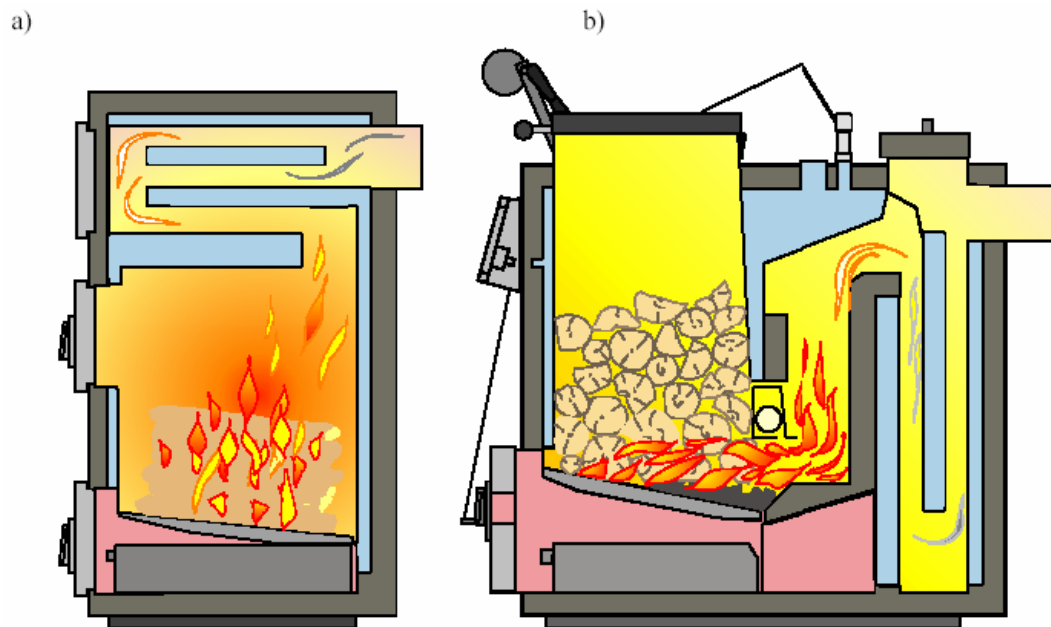
3.2 Pienpolton yleisimmät kattilatyytit

Kiinteän polttoaineen keskuslämmityskattilat jaetaan lähinnä kolmeen ryhmään polttoaineen polttotavan mukaan. Näitä ryhmiä ovat alapalokattilat, yläpalokattilat ja käänteispalokattilat. Lisäksi on joukko erikoiskattiloita, kuten kaksoispesäkattiloita ja edellä mainittujen yhdistelmiä. (Wahlroos 1980, 114).

Alapalokattiloissa (kuva 1. b) polttoaine kaasuuntuu ja palaa osittain pienessä osassa polttoainepanosta kattilan alaosassa. Syntyvät kaasut ja liekit johdetaan erilliseen jälkipalo-osaan loppuun palamista varten. Tuhka valuu arinan läpi tuhkatilaan. Alapalokattiloissa käytetään polttoaineena klapeja, haketta ja palaturvetta. Alapalokattilat toimivat joko luonnonvedolla, tai palamisilma ohjataan palavaan kerrokseen puhaltimen avulla. (Kuopion yliopisto 2005 [viitattu 30.12.2006].)

Alapalokattiloissa palamistapahtuma on lähempänä jatkuvaa polttoa kuin yläpalokattiloissa. Palaminen on puhtaampaa ja tehokkaampaa, eikä varaaja ole aina välttämätön, joskin suositeltava. Alapalokattilat ovat kalliimpia kuin yläpalokattilat. (Kuopion yliopisto 2005 [viitattu 30.12.2006].)

Yläpalokattilat (kuva 1. a) on yleisimpiä pilkkeen polttoon tarkoitettuja kattiloita Suomessa. Yksinkertaisen rakenteen vuoksi kattilan hinta on kohtuullinen. Polttotapahtuma on samanlainen kuin tulisijoissa. Polttoaine lisätään isoina panoksina, ja koko polttoainepanos syttyy palamaan kerralla. Palamisilma ohjataan kattilan pohjalla olevan rakoarinan läpi ja kattilan luukkujen kautta sekundaari-ilmaksi. Yleensä kattila liitetään varaajaan, jonka koko on 1 - 5 m³. Varaaja mahdollistaa sen, että kattilaa voidaan polttaa nimellisteholla, jolloin päästöt ovat yleensä alhaisimmat, palaminen tehokkainta ja kokonaislämmitysaika jää muutamaan tuntiin vuorokaudessa. (Kuopion yliopisto 2005 [viitattu 30.12.2006].)

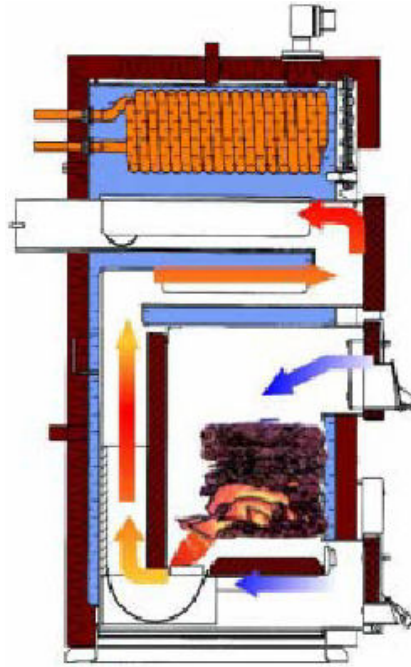


Kuva 1. Yläpalokattilan (a) ja alapalokattilan (b) periaate (Kuopion yliopisto [viitattu 30.12.2006]).

Uusin pienkattilatyyppejä on käänteispolokattila. Siinä palamiskaasut pakotetaan kulkemaan kattilan polttoainekerroksen alaosassa olevan, pienen arinan läpi usein

keraamiseen jälkipalotilaan, jossa kaasu palaa korkeassa lämpötilassa. Käänteispalokattila on käytännössä parannettu muunnos alapalokattilasta, jossa kaasujen jälkipoltto hallitaan paremmin. Korkean lämpötilan vuoksi kattilan rakennusmateriaalit ovat kovassa rasituksessa. (Kuopion yliopisto 2005 [viitattu 30.12.2006].)

Käänteispalokattila (kuva 2.) toimii parhaiten, jos siinä on integroituna savukaasujen poistomuri. Luonnonvedolla palamista on vaikeampi hallita, eikä lopputulos ole niin hyvä. Suomessa käänteispalokattilat eivät ole yleisiä. Kuluttajat ostavat mahdollisimman halpoja polttolaitteita, joita on helppo käyttää. Kuluttajien vaatimukset ohjaavat myös laitevalmistajia. (Kuopion yliopisto 2005 [viitattu 30.12.2006].)



Kuva 2. Tulipesältään käänteispaloperiaatetta muistuttava kattila (Kuopion yliopisto [viitattu 30.12.2006]).

Kaksoispesäkattila on myös varsin yleinen Suomessa. Kaksoispesäkattilassa on oma tulipesä öljypolttimelle ja oma, yleensä yläpaloperiaatteella toimiva tulipesä pilkkeiden polttamiseen. Vanhemmissa kattiloissa pilkepesä on tarkoitettu vain tilapäiseen käyttöön, koska se on mitoitukseltaan pieni eikä sovellu pääasialliseen puulla lämmittämiseen ilman varaajaa. (Kuopion yliopisto 2005 [viitattu 30.12.2006].)

Kaksoispesäkattilat ovat viime vuosina kehittyneet. Puutulipesän koko on kasvanut ja puutulipesää on saatavana myös ns. käänteispaloperiaatteella toimivana. (Kuopion yliopisto 2005 [viitattu 30.12.2006].)

3.3 Pienpolton yleisimmät arinatyypit

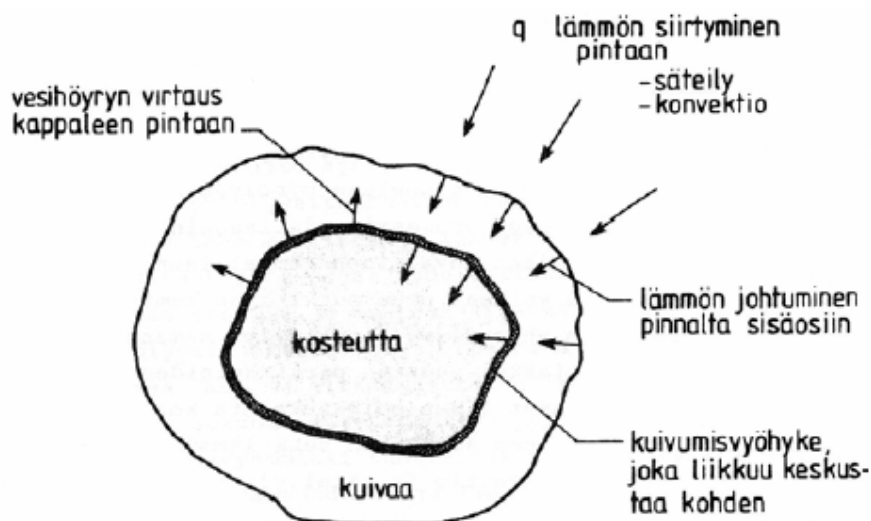
Pienten ja keskisuurten yksiköiden yleisin polttomenetelmä kiinteille polttoaineille on perinteisesti ollut arinapoltto. Uudet polttotekniikat, kuten leijupoltto ovat 1980-luvulta lähtien nopeasti syrjäyttäneet arinapolttotekniikkaa Suomessa yli 5 MW:n yksiköissä. Tätä pienimmissä yksiköissä arinapoltto on kuitenkin edelleen yleisin kiinteiden polttoaineiden polttomenetelmä. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 2005 [viitattu 10.1.2007].)

Polttoaineen ja kattilan koon vuoksi käytössä on erilaisia arinaratkaisuja: kiinteä tasoarina, kiinteä viistoarina, mekaaninen viistoarina, ketjuarinat ja erikoisarinat (esim. jätteenpolttoarina). Usein arinatyypit ovat näiden yhdistelmiä. Arinat eroavat lisäksi toisistaan arinamateriaalin jäähdytystavan mukaan. Pienet arinat ovat yleensä ilmajäähdytteisiä, eli jäähdytys tapahtuu primääri-ilmalla. Suuret arinat ovat pääasiassa vesijäähdytteisiä, ja jäähdytys on integroitu kattilan vesikiertoon. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus 2005 [viitattu 10.1.2007].)

3.4 Kiinteän polttoaineen palaminen

Kiinteän polttoaineen palaminen jaetaan seuraaviin vaiheisiin (kuvio 1.): lämpeneminen, kosteuden haihtuminen, pyrolyysi ja jäännöshiilen palaminen. Panospoltossa nämä eri vaiheet ovat helposti tunnistettavissa, mutta jatkuvatoimisessa

poltoissa kaikkia vaiheita tapahtuu yhtä aikaa. Polttoaineen lämmitessä veden haihtuminen kiihtyy ja höyrystyminen saavutetaan 100 °C:n lämpötilassa. Hajoaminen ja kaasuuntuminen alkaa 190 °C:ssa ja varsinainen pyrolyysivaihe 225 - 300 °C:n lämpötilassa. Pyrolyysin aikana selluloosat hajoavat, ja niistä muodostuvat keveät kaasumaiset hiilivedyt ja -monoksidit irtaantuvat aineksesta. Samalla muodostuu nestemäisiä tervoja. Kaasumaiset pyrolyysituotteet syttyvät ja palavat herkimmin 500 - 600 °C:n lämpötilassa, mikä nähdään nopeasti etenevänä diffuusioliekinä polttoaineen pinnan lähellä. Hyvien poltto-olosuhteiden edellyttämänä palaminen kiihtyy tässä vaiheessa nopeasti, kunnes pyrolyysituotteiden muodostuminen hidastuu. Kun pyrolyysikaasujen haihtuminen on enää vähäistä, palaa lopuksi ns. jäännöshiili. Tällöin kiinteä hiili ja terva palavat hitaasti 800 - 1000 °C:n lämpötilassa, sillä hapettuminen tapahtuu ainoastaan polttoaineen pinnasta ja huokosten sisältä. Keltaista diffuusioliekkiä ei tällöin näe kuin satunnaisesti viimeisten pyrolyysikaasujen vapautuessa. (Jyväskylän yliopisto 2006 [viitattu 16.11.2006].)



Kuvio 1. Kuivumisvyöhykkeen eteneminen polttoainekappaleen sisällä, kun kosteuden siirtyminen rajoittaa kuivumista (Kuopion yliopisto 2005 [viitattu 30.12.2006]).

3.5 Pienpolton hiukkaspäästöt

Päästöjen määrä ja koostumus vaihtelevat huomattavasti riippuen polttotekniikasta, polttoaineen ominaisuuksista, mahdollisista savukaasun puhdistustekniikoista ja yleisesti olosuhteista tulipesässä sekä sen jälkeisessä savukaasukanavassa. (Kuopion yliopisto 2005 [viitattu 30.12.2006].)

Täydellisen palamisen tuloksena polttoaineen sisältämät hiili, vety ja happi muuntuvat hiilidioksidiksi ja vesihöyryksi. Osa polttoaineen sisältämästä vähäisestä määrästä typpeä, rikkiä ja eri mineraaliaineita, jää pohjatuhkaan ja osa kulkee savukaasun mukana pieninä hiukkasina eli ns. lentotuhkana ulos tulipesästä. Palamisen yhteydessä typpi ja rikki muuntuvat pääosin typen ja rikin oksideiksi (N_xO_y , SO_2). Epätäydellisen palamisen vuoksi pienpoltosta vapautuu yleensä huomattavia määriä häkääkaasua (CO), hiilivetyjä (C_xH_y) ja kiinteää nokea. Polton yhteydessä voi savukaasuvirran mukana kulkeutua myös pienikokoisia hiiltojäännöshiukkasia tulipesästä ulkoilmaan. Hiilivedyt voivat esiintyä sekä kaasufaasissa, että tiivistyneinä nestemäisessä tai kiinteässä olomuodossa. Tiivistyneitä hiilivetyjä kutsutaan yleisnimityksellä tervat. Laitoskoon pienentyessä päästörajat kevenevät eikä alle 1 MW:n laitoksille ole Suomessa säädetty päästörajaa. (Kuopion yliopisto 2005 [viitattu 30.12.2006]; Jyväskylän yliopisto 2006 [viitattu 16.11.2006].)

Suuremman kokoluokan laitoksissa palamisen hyvyiden kannalta tärkeimmät mitattavat suureet ovat happi- (O_2) ja hiilimonoksidipitoisuus (CO). Myös hiilidioksidipitoisuutta (CO_2) seurataan melko yleisesti samasta syystä. Päästöjen vuoksi mitataan typpioksidin (NO_x), rikkidioksidin (SO_2) ja hiukkaspitoisuuksia. Palamattomien hiilivetyjen päästöjäkin voidaan mitata sekä palamisen että päästömäärien seuraamiseksi. (Huhtinen; Kettunen; Nurminen; Pakkanen 2000, 288.)

4 KOEPOLTTOPAIKAT

4.1 Joensuun kartano

Joensuun kartano on Halikossa sijaitseva yksityiskotina toimiva suuri maatila. Ennen toista maailmansotaa kartanon kokonaispinta-ala oli vielä yli 3 000 hehtaaria ja peltoa oli runsaat 800 hehtaaria. Kun kartano sijaitsee aivan kasvavan Salon kaupungin vieressä, on osa pelloista siirtynyt kaupungin omistukseen, ja niille on rakennettu teollisuus- ja asuinalueita. Kartanon maatalous on edelleen merkittävää, peltoa on 300 hehtaaria, ja niissä viljellään vehnää, sokerijuurikasta ja ohraa. Päärakennus ja puisto ovat entisellään, myös kartanon edustavat, lähinnä 1800-luvulla rakennetut talousrakennukset ovat edelleen hyvässä kunnossa, ja osa niistä on muutettu vuokrattaviksi asuinrakennuksiksi. (Moision yläaste 2006 [viitattu 16.10.2006].)

Koepolttojen suunnittelun Joensuun kartanossa voidaan katsoa alkaneen jo varhain keväällä 2006, jolloin ruovikkostrategian yhteistyökumppanimme Viron avulla saimme sikäläistä työvoimaa suorittamaan korjuita Halikonlahdelle, Joensuun kartanolle kuuluville maille. Korjuut suoritettiin siihen tarkoitettulla tanskalaisvalmisteisella Seiga-leikkuukoneella. Alueen ruovikko oli hyvälaatuista, joten suurin osa korjatusta materiaalista päätyi rakennuskäyttöön. Polttokokeita varten varastoitiin kesäksi kuitenkin n. 2 kuorma-autollista järviruokoa. Polttoaine varastoitiin lyhteinä, jotka silputtiin myöhemmin syksyllä juuri ennen polttokokeita.

4.2 Lindön kartano

Lindön kartano on yksityisomistuksessa oleva kartanomiljö Tammissaarella, tammien kehystämän Bromarvintien varrella. Kartano tunnettiin alun perin nimellä Göltö tai Gullö, mutta sitä alettiin kutsua Lindöksi 1580-luvulla. Omistajat tunnetaan 1500-luvun alkupuolelta lähtien.

Päärakennus on alun perin rakennettu 1730 - luvulla. Sitä on laajennettu myöhemmin ja vuosina 1828 - 1829 tehtiin merkittävä laajennus. Tänä päivänä pääelinkeinonaan mm. maidontuotantoa pitävän Lindön kartanon kokonaispinta-ala ylittää yli 700 ha:iin, ja tilalla on merkittävä määrä rantaviivaa. (Kuvia Suomesta 2006 [viitattu 11.10.2006]; Kumentola 16.10.2006.)

Laajahkon ruovikon esiintyminen Bromarvin kylän alueella sekä tutustuminen Lindön kartanon harvinaislaatuiseen lämmityslaitteistoon herättivät kiinnostuksen koepoltolle. Kartanon lämmityslaitteistolla oli mahdollista polttaa järviruokoa 100 %:n pitoisuudella ja polttoaineen kertapanostus oli pienpolttoon nähden erittäin suuri.

5 KOEPOLTTOMUODOT- JA LAITTEISTOT

5.1 Silppu

Ensimmäinen koepoltto tehtiin hakkeen kanssa sekoitetulla järviruokosilpulla. Kun Joensuun kartanon omavaraisuuden järviruo'on suhteen todettiin olevan suuri sekä kartanon lämmityslaitteiston koepoltolle soveltuva, katsottiin löytyneen oikeanlainen testausympäristö. Joensuun kartano käyttää lämmönlähteenään pelkästään haketta, joten olemassa olevan laitteiston voitiin olettaa soveltuvan vastaavalle koepoltolle lähes muutoksitta. Kartanossa käytettävä hake pyritään pääosin tuottamaan kartanon omista metsävarannoista (Ehrnrooth 26.9.2006).

Koepoltossa käytetty järviruoko korjattiin Halikonlahdelta keväällä 2006. Jotta korjuun jäljiltä lyhteen muodossa ollut polttoaine saatiin kokeen edellyttämään silpun muotoon, käytettiin silppuamiseen traktorista käyttövoimansa saavaa Hakki-oksahakesilppuria. Vaikka kyseiseen hakesilppuriin oli päivää aiemmin vaihdettu uudet leikkuuterät, niin 3 - 10 cm pitkän silpun seassa esiintyi myös pitempiä, jopa 20 - 30 cm:n pituisia pätkiä. Eri esikäsitteilyvaiheiden välisinä aikoina poltettavaksi varattu materiaali säilytettiin ulkorakennuksessa, jolloin silputus- ja polttovaiheessa sen todettiin olevan erittäin kuivaa kosteuden ollessa alle 15 %.

Silppuamisen jälkeen havaittiin, että järviruo'on tiheys on n. 32,5 kg/i-m³ kartanon tavanomaisen lämmityspolttoaineen, hakkeen tiheyden ollessa n. 210 kg/i-m³. Kun tutkittiin lopullista koepolttomuotoa, ts. hake-järviruokoseoksen suhdetta, tuli erityistä huomiota kiinnittää koepolttomateriaalin kuljetuksen mekanisoimisen onnistumiseen, aina hakevaraston kaukalolta lämmitysrakennuksen kattilan tulipesään asti. Täten päädyttiin järviruo'on sekoitussuhteeseen 1/3 V-% (tilavuusprosenttia).

Hake-järviruokoseos (kuva 3.) tehtiin Joensuun kartanon hakevarastossa sekoittamalla haketta ja järviruokosilppua yht. 3,9 i-m³. Näin järviruo'on lopullinen osuus seoksesta oli 1,3 m³. Hakkeen ja järviruo'on teoreettiset massat seoksessa saadaan seuraavasti:

$$m_{hake} = \rho \cdot V = 210 \frac{kg}{i - m^3} \cdot 2,6 m^3 = 546 kg$$

$$m_{j\ddot{a}rviruoko} = \rho \cdot V = 32,5 \frac{kg}{i - m^3} \cdot 1,3 m^3 = 42,25 kg$$

Josta edelleen teoreettiset massaprosentit:

$$m - \%_{hake} = \frac{m_{hake}}{m_{seos}} \cdot 100\% = \frac{546 kg}{(546 + 42,25) kg} \cdot 100\% \approx 92,8\%$$

$$m - \%_{j\ddot{a}rviruoko} = \frac{m_{j\ddot{a}rviruoko}}{m_{seos}} \cdot 100\% = \frac{42,25 kg}{(546 + 42,25) kg} \cdot 100\% \approx 7,2\%$$

Seoksen tiheydeksi mitattiin n. 135 kg/i-m³, määritettäessä teorettinen tiheys seuraavasti:

$$\rho_{seos, teor.} = \frac{(m_{hake} + m_{j\ddot{a}rviruoko})}{V_{seos}} = \frac{(546 + 42,25) kg}{3,9 i - m^3} \approx 151 \frac{kg}{i - m^3}$$



Kuva 3. Hake-järviruokoseosta.

5.2 Silppulaitteisto

Hake-järviruokoseoksen polttoon kokeiltu Joensuun kartanon lämmitys- ja kuljetinlaitteisto on suunniteltu pääosin käytettäväksi hakkeella. Mitä todennäköisimmin laitteisto mahdollistaisi myös pellettien käytön lämmitystarkoitukseen, koska vaadittavat muutokset olisivat melko pieniä. Laitteisto voisi soveltua tasalaatuisen 100 %:n järviruokopitoisuuden käytölle vielä pellettiäkin vähemmin muutosvaatimuksin. Kartanon rakennusten lämmitykseen on varattu kaikkiaan 3 eri kattilaa, joista 1, vähiten käytetty toimii öljyllä, ja loput 2 kattilaa on suunniteltu hakekäyttöön.

Hakekattilat ovat Laatikattila Oy:n toimittamia, nykyään jo yli 20 vuotta vanhoja. Niiden nimellistehot ovat 420 kW ja 700 kW (ks. liite 1). Kattilavarusteet ovat pääosin Finstoker Oy:n toimittamia. Tehokkaampaa 700 kW:n kattilaa käytetään pääasiallisesti vain kovimmilla pakkasilla (Ehrnrooth 26.9.2006). Koska koepoltto tapahtui syksyllä, katsottiin pienitehoisemman kattilan vastaavan sen hetkistä lämmöntarvetta.

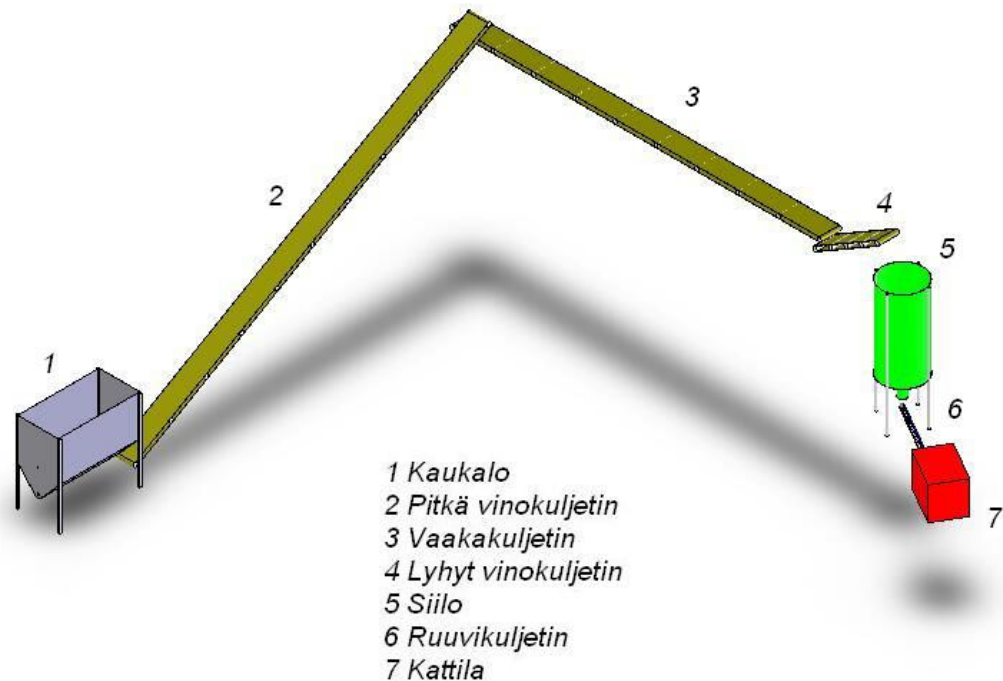
Suoraan polttotapaan (vrt. kaasutuspoltto) perustuvissa Joensuun kartanon Laka – PS-tyyppin kattiloissa on suuri tulipesä. Savukaasujen virtaus tapahtuu pystysuoraan konvektio-osassa, jolloin tuhka ei kerääny lämpöpinnoille. Polttoaine syötetään ruuvisyöttimellä tulipesän pohjalla olevan arinalaatikon keskusta. Tästä polttoaine valuu tasaisesti laatikon sivuilla olevien arinarautojen päälle, jossa palaminen tapahtuu. Kaksi kolmasosaa palamiseen tarvittavasta ilmasta puhalletaan arinoiden alle primääriilmaksi. (Wahlroos 1980, 47 - 48.)

Jos polttoaineen kosteus on alle 30 % saavutetaan poltossa 12...15 %:n CO₂-pitoisuus, joka vastaa 250 °C:n savukaasujen loppulämpötilalla 13...16 %:n savukaasuhäviöitä. Noen, tuhkan ja palamattomien kaasujen aiheuttama häviö on 2...3 %. Johtumis- ja säteilyhäviöt ovat samaa suuruusluokkaa. Kattilan kokonaishyötysuhde nimelliskuormalla pysyy alueella 78...83 %. Tuhkan poisto tapahtuu käsin. (Wahlroos 1980, 48.)

Työhön liittyvä koepoltto hake-järviruokoseoksella suoritettiin kokonaisuudessaan nimellisteholtaan 420 kW:n kattilalla (kuva 4.).



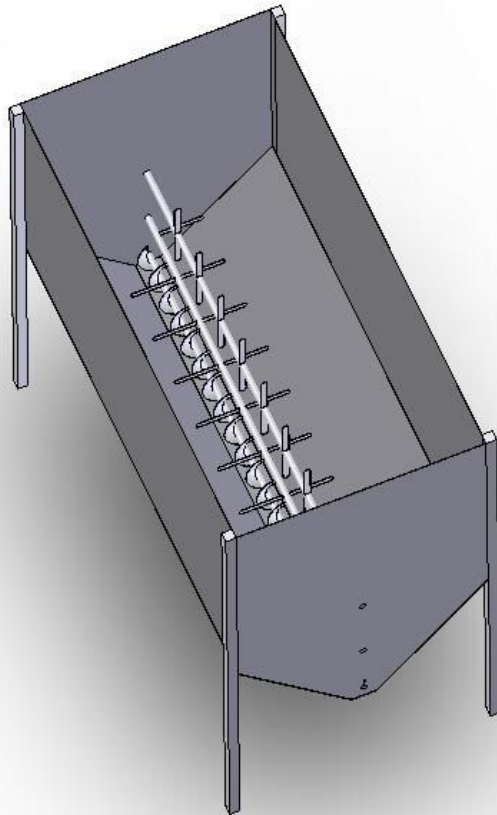
Kuva 4. Joensuun kartanon 420 kW:n kattila.



Kuva 5. Periaatekuva Joensuun kartanon kuljetinlaitteistosta.

Kuvasta 5. voidaan tarkastella polttoaineen kulkua hakevarastosta erilliseen lämmitysrakennukseen, kattilalle asti. Polttoaine nostetaan traktorin etukuormaajalla hakevaraston lattialta kaukaloon. Kaukalon (kuva 6.) pohjaosassa pyörii ruuvikuljetin, joka syöttää polttoainetta kohti pitkää vinokuljetinta. Mikäli polttoaine jostain syystä ns. ”holvaa” kaukalon seinämiin tai sen komponentteihin, voidaan tällöin käyttää hitaasti pyöriviä repijöitä (ks. kuva 6) tukoksen aukaisemiseksi. Näin ruuvikuljettimelle pääsee jälleen polttoainetta. Repijöiden käyttö tapahtuu pelkästään käyttöhenkilökunnan toimesta manuaalisesti. Repijät vaativat käyttöä hakkeen kuljetuksessa ainoastaan satunnaisesti (Ehrnrooth 24.10.2006). Vinokuljettimelta polttoaine tippuu vaakakuljettimelle, joka vie polttoaineen hakevarastosta lämmitysrakennukseen. Vaakakuljettimelta polttoaine kulkeutuu edelleen lyhyelle vinokuljettimelle, jonka toimesta polttoaine tippuu siilon.

Siilo täyttyy aina, kunnes siilon yläosassa oleva rajakytkin pysäyttää kuljettimet. Kuljettimia voidaan käyttää myös manuaalisesti ohjauspaneelista. Siilon alaosassa oleva syötin toimii synkronoituna yhdessä kattilaan syöttävän ruuvikuljettimen sekä kattilan termostaatin kanssa.



Kuva 6. Kaukalo.

5.3 Kovapaali

Toisessa koepoltossa käytettiin kovapaaleja (kuva 7.), mitoiltaan n. 35 cm x 40 cm x 70 cm (korkeus, leveys, pituus). Yhden kovapaalin tilavuudeksi saadaan tällöin 0,098 m³. Heti paalauksen jälkeen paalit painoivat keskimäärin 16 kg:aa kappaleelta, mutta varsinaista koepolttoa suoritettaessa paalien keskiarvopaino oli n. 18,4 kg:aa. Ennen koepolttoa paalit säilytettiin ulkosalla pinottuna trukkilavojen päälle sekä pressuilla

peitettyinä. Vaikka paalit olivat ennen koepolttoa n. 1,5 kuukautta kestäneen säilytysvaiheen aikana peitettyinä, ei kosteuden imeytymiseltä voitu välttyä. Tästä johtuen paalien kappalepaino kasvoi paalauksen ja koepolton välillä. Koepolttohetkellä paalien keskimääräinen kosteus oli n. 25 % (Ruismäki, sähköpostiviesti 30.11.2006), jolloin kostean paalin tiheys oli n. 188 kg/m³. Koepolton puitteissa poltettiin yht. 36 kovapaalia.



Kuva 7. Kovapaaleja.

Kovapaaleiksi päätyneen järviruo'on alkuperä on keväältä 2006, jolloin Askaistenlahdella suoritettiin korjuita traktorilla jään päältä. Tämän keväällä korjatun materiaalin lopulliseen muotoon vaikuttivat samaisen ruovikkostrategiaprojektin puitteissa toteutettu onnistunut paalauskoee sekä suunnitteilla olleen briketöintikokeen edellyttämä muoto.

5.4 Kovapaalilaitteisto

Tieto kovapaalien polttoon soveltuvan, Suomessa harvinaisen laitteiston olemassaolosta saatiin vasta noin kuukausi paalauksen jälkeen. Näin ollen paalausvaiheessa ei ollut vielä varmuutta, tullaanko koepolttoa suorittamaan kovapaalin muodossa.