

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/m<sup>3</sup>. 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.

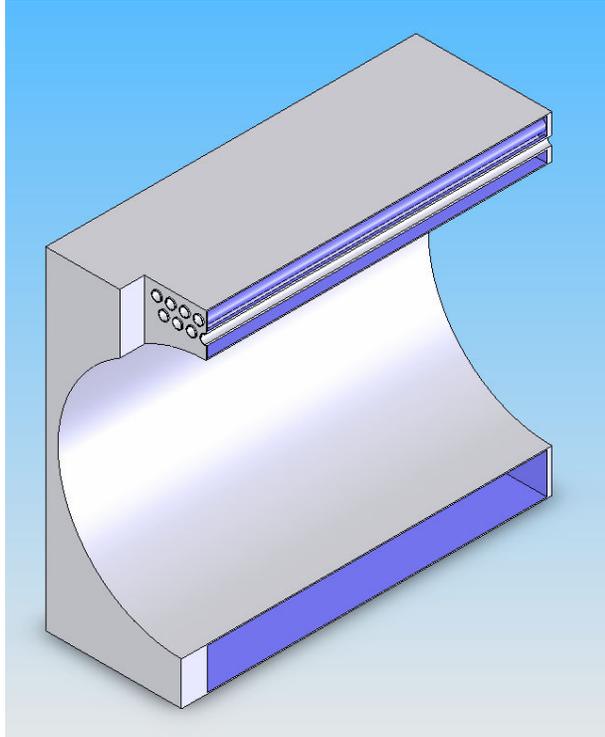
Tarkempi tutustuminen Lindön kartanon lieriömallin tulitorvikattilaan (kuva 8.), aikaansai uudentyyppisen, varteenotettavan näkökulman järviruo'on koepoltosta. Lisäksi kartanolle kuuluvan, laajalti ruovikkoa kasvavan rantaviivan määrän huomioiminen loi tarvetta tämän kaltaisen koepolton toteuttamiselle.



*Kuva 8. Lindön kartanon 280 kW:n kattila.*

Lindön kartanon tulitorvikattila on tanskalaisvalmisteinen. Sen nimellisteho ylittää 280 kW:iin ja tyyppiltään se on ns. 1-vetoinen. Kattilan halkaisija on 2 metriä ja syvyys 3 metriä. Täten kattilan tulipesän tilavuus on  $9,42 \text{ m}^3$ . Varsinaista arinaa kattilassa ei ole, vaan kattila on kauttaaltaan lieriön muotoinen. Kattilan vaippaa ympäröi vesi (kuva 9.), joka on suoraan yhteydessä varaajiin. Myös kattilan ovi on vesitäytteinen. Oven, kattilan ja varaajien välinen veden kierto toteutetaan pumpulla. Kattila on vastannut kartanon lämmitystarpeita jo 9 vuoden ajan. Useiden lämmitystä, sekä lämmintä vettä karjanhoitotarpeisiin vaativien rakennusten pinta-ala on yht.  $1200 \text{ m}^2$ . Lisäksi syksyisin

kuivurin vaatima lämpö tuotetaan tällä samaisella kattilalla. (De La Chapelle 11.10.2006.)



*Kuva 9. Leikkauskuva Lindön kartanon tulitorvikattilasta.*

Kartanon lämmönlähteenä käytetään nykyään pelkästään puuta. Puut ovat peräisin kartanon omista metsävarannoista. Lämmitykseen käytettävät, pituudeltaan lähes 3-metriset puut pinotaan pituussuuntaisesti päällekkäin kattilaan, panostukseen tehdyllä traktorikäyttöisellä kouralla. Ruovikkostrategian puitteissa järviruo'on polttoon kokeilussa kattilassa on poltettu myös risu- ja olkipaaleja. Nämä paalit ovat olleet pyöröpaaleja, jolloin kattilan panostus on tapahtunut traktorin etukuormaajalla, trukkipiikeillä. Tyypillisiä pyöröpaaleja kattilaan mahtuu tällöin 2 kpl. Olkipaaleja poltettiin, kunnes karjan kuivikkeiden tarve kasvoi, ja oljesta muodostuva tuhka koettiin käyttökelpoiseksi. (De La Chapelle 11.10.2006; Kumentola 16.10.2006.)

Polttoainepanoksen suuruuden määrää sen hetkisen vuodenajan edellyttämä lämmöntarve. Puuta poltettaessa kattila panostetaan keskimäärin n. 3 kertaa 2 viikon aikana (Kumentola 20.10.2006). Panostettaessa kattilan alaosaan, polttoainepun alle laitetaan yleensä 2 trukkilavaa, jotka siten palavat yhdessä varsinaisen polttoaineen kanssa. Trukkilavojen käyttö yhdessä polttoaineen kanssa mahdollistaa paremman ilmankierron kattilan tulipesässä. Trukkilavojen käytön tarve korostuu varsinkin pyöröpaaleja poltettaessa, sillä käytännössä paali tukkii ilmankierron koko tulipesän alaosan alueelta, ja haittaa palotapahtumaa. Kattilan panostus tapahtuu kaikilta osin manuaalisesti, ilman kuljetinlaitteistoa. Sytytyksessä apuna käytetään mm. nestekaasupoltinta. Työssä käsiteltävä koepoltto kovapaaleilla suoritettiin kokonaisuudessaan nimellisteholtaan 280 kW:n tulitorvikattilalla.

## 6 KOEOLTOT JA MITTAUKSET

### 6.1 Silppu

Kuten kohdassa 5.1 käsiteltiin, järviruo'on koepoltto suoritettiin hakkeeseen seostettuna, ja järviruokopitoisuus oli  $\frac{1}{3}$  polttoainemäärän kokonaistilavuudesta.

Mahdollisimman hyvän vertailupohjan luomiseksi hake-järviruokoseoksen koepoltolle, ennen varsinaista koepoltoa suoritettiin referenssipoltto hakkeella. Referenssipoltosta saatuja parametreja käytettiin pääosin verrattaessa päästöjä hake-järviruokoseoksen ja hakkeen välillä. Savukaasujen lämpötilaa sekä savukaasuissa esiintyviä päästöjä seurattiin Teston valmistamalla savukaasuanalysointilaitteella (kuva 10.). Savukaasuanalysointilaitteen käyttöön vuoksi valmistettiin kattilan takaosassa olevaan savukaasukanavaan erillinen levy. Levyn keskelle poratusta reiästä vietiin läpi analysointilaitteen mittapää. Mittapään tuli olla keskellä savukaasukanavaa ja kohtisuorassa savukaasujen virtausta vastaan.



*Kuva 10. Testo-savukaasuanalysointilaitteet sekä mittapään läpivienti.*

Savukaasujen parametrien lisäksi seurattiin palamisilmapuhaltimien tuottaman palamisilman seuraavia suureita: lämpötila, primääri- ja sekundaari-ilman virtaus, suhteellinen kosteus, kastepiste sekä märkälämpötila. Palamisilman suureiden mittaamiseen käytettiin Alnorin valmistamaa termo-anemometriä. Palamisilman tilavuusvirran määrittämiseksi mitattiin myös palamisilmapuhaltimien imuaukkojen halkaisijat (130 mm). Kattilavesipiiristä saatavan tehon sekä kattilan hyötysuhteen määrittämiseksi mitattiin kattilasta lähtevän ja kattilaan palaavan veden lämpötiloja, sekä painetta kattilavesipiirin pumpun imu- ja paineaukolla. 4 tuntia 15 minuuttia kestäneen koepolton aikana poltettiin kaikkiaan 2,3 i-m<sup>3</sup>, 3,9 i-m<sup>3</sup>:n hakejärviruokoseksesta. Seoksen mitatun tiheyden ollessa 135 kg/i-m<sup>3</sup>, kokeen aikana poltettu kokonaismassa saadaan seuraavasti:

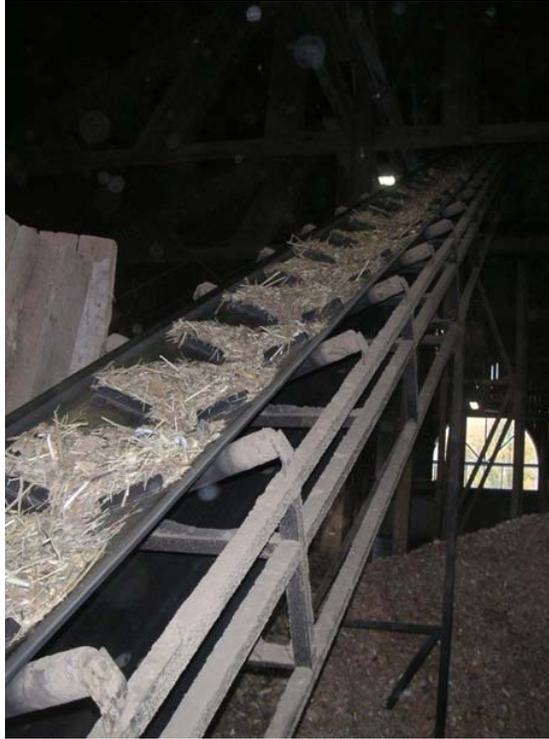
$$m_{seos} = \rho_{seos} \cdot V_{seos} = 135 \frac{kg}{i-m^3} \cdot 2,3 m^3 = 310,5 kg$$

Koepolttoaine kuljetettiin hakevarastosta lämmitysrakennuksen kattilalle, kuten kohdassa 5.2 esitetään. Silpun pitkistä korsista johtuen polttoaineen kuljetuksen alkuvaiheen kävi, kuten saatettiin odottaa. Seoksen pisimmät järviruo'on pätkät alkoivat ns. holvaamaan kaukalossa olevien repijöiden tankojen päälle (kuva 11.), jolloin koko polttoaineseos ei kohdannut kaukalon alaosassa pyörivää ruuvikuljetinta. Holvaamiseen vaikutti osaltaan myös koepolttoaineen alhainen tiheys, jolloin sen oma paino ei edesauttanut polttoaineen kulkua kohti kaukalon pohjaa.



*Kuva 11. Hake-järviruokoseoksen holvatessa repijöiden päälle.*

Tässä vaiheessa käytettiin repijöitä tukoksen avaamiseksi sekä sekoitettiin seosta kohti kaukalon alaosassa pyörivää ruuvikuljetinta. Näin jouduttiin toimimaan lähes koko kuljetuksen ajan, jotta polttoainevirta (kuva 12.) kohti siiloa oli tasainen. Kun polttoaineen kuljetus saatiin onnistumaan toivotulla tavalla, ei tukoksia enää esiintynyt kuljetuksen missään vaiheessa, vaikka toisin odotettiin lähinnä kattilalle syöttävien ruuvien sekä siilon alaosan kohdalta. Kuvasta 12. havaittavissa myös koepolttoaineen epätasalaatuisuus pitkine järviruokopätkineen.



Kuva 12. Hake-järviruokoseoksen kuljetusta pitkällä vinokuljettimella.

Kokeen aikana kattilaan viety teho saadaan SFS 4800-standardin mukaisesti:

$$\phi_o = \dot{m} \cdot H_a,$$

jossa  $\phi_o$  kattilaan viety teho, kW

$\dot{m}$  polttoainevirta, g/s

$H_a$  polttoaineen tehollinen lämpöarvo, MJ/kg (14 MJ/kg)

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} = 135 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{2,3 \text{ m}^3}{4 \text{ h } 15 \text{ min}} = 0,0202941 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 20,2941 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

$$\phi_o = 20,2941 \frac{\text{g}}{\text{s}} \cdot 14 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \approx 284 \text{ kW}$$

Standardin SFS 4800 mukaan laskettu kattilaan viety teho vastaa n. 68 % kattilan nimellistehosta. Teho juontuu sen hetkisestä lämmöntarpeesta, sillä koepoltto suoritettiin syysaikaan, ulkoilman lämpötilan ollessa n. +5 °C:sta. Kokeen aikana kattilasta lämmönsiirtimeen saatava teho voidaan myös laskea samaisen standardin perusteella:

$$\phi_{lv} = c_{p_{vesi}} \cdot \dot{m}_{vesi} \cdot \Delta t$$

jossa  $\phi_{lv}$  lämmönsiirtimeen viety teho, kW

$c_{p_{vesi}}$  veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg °C

$\dot{m}_{vesi}$  kattilavesivirta kg/s

$\Delta t$  keskimääräinen lämpötilaero

Keskiarvo paine-erosta kattilavesipiiriin pumpun imu- ja paineaukolla oli 1,05 bar. Kun huomioidaan pumppua ennen olevan venttiilin aiheuttama painehäviö (~ 0,15 bar), kokonaispaine-eroksi muodostuu n. 1,20 bar. Täten pumpun nostokorkeudeksi saadaan:

$$H = \frac{\Delta p}{\rho_{vesi 60,3^\circ C} \cdot g} = \frac{1,20 \cdot 10^5 \frac{kgm}{s^2}}{983,0 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} \approx 12,4 m \rightarrow \text{datalehti (liite 2.) } \dot{V} \approx 5 l/s$$

$$\dot{m}_{vesi} = \rho_{vesi 60,3^\circ C} \cdot \dot{V} = 983,0 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,005 \frac{m^3}{s} \approx 4,9 \frac{kg}{s}$$

$$\phi_{lv} = 4,19 \frac{kJ}{kg^\circ C} \cdot 4,9 \frac{kg}{s} \cdot 10^\circ C \approx 205 kW$$

Lämmönsiirtimeen saatavan tehon määrittäminen on tehty ns. epäsuorasti, jolloin se kasvattaa lopputuloksessa esiintyvää mahdollista virhettä. Lämmönsiirtimeen saatavan tehon ja kattilaan viedyn tehon suhteesta saadaan selville kattilan likimääräinen kokonaishyötysuhde koeolosuhteissa, n. 68 %:n osakuormalla.

$$\eta_k = \frac{\phi_{iv}}{\phi_o} \cdot 100\% = \frac{205 \text{ kW}}{284 \text{ kW}} \cdot 100\% \approx 72\% \quad (\text{vrt. kohta 5.2, s. 21})$$

Poltetun seoksen energiasisältö:

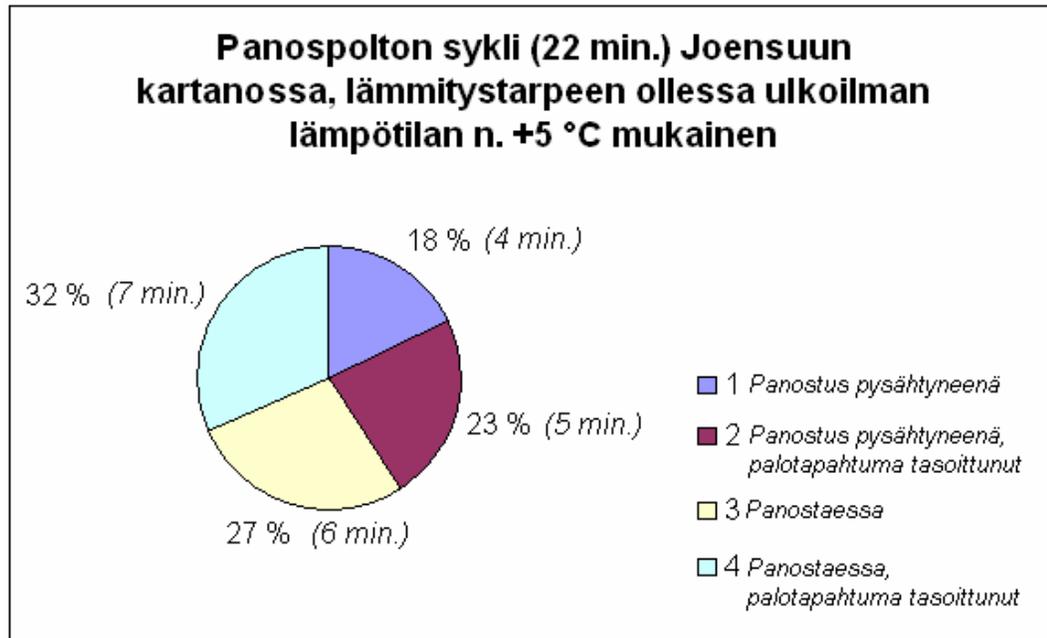
$$E_{seos} = Q_{j\ddot{a}rviruoko} \cdot m_{j\ddot{a}rviruoko} = 14 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 310,5 \text{ kg} = 4347 \text{ MJ} = 1207,5 \text{ kWh} \approx 1,2 \text{ MWh}$$

Josta edelleen energiatiheys (vrt. taulukko 2., s. 10):

$$E_\rho = \frac{E_{seos}}{V_{seos}} = \frac{1207,5 \text{ kWh}}{2,3 \text{ m}^3} = 525 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \approx 0,53 \frac{\text{MWh}}{\text{m}^3}$$

Savukaasujen lämpötilan, sekä savukaasuissa esiintyvien päästöjen mittaamista vaikeutti kattilan panospolttoon perustuva toiminta. Lämpötila sekä päästöt olivat mitattavissa, mutta arvojen vaihtuvuus oli suuri, sillä kattilasta lähtevän veden lämpötila vaikutti termostaattien myötä suoraan panostuksen ja palamisilman tarpeeseen. Kun kattilasta lähtevän veden lämpötila laskee 70 °C:een, alkaa välittömästi polttoaineen panostus sekä palamisilman puhallus. Kattila käy tällä tavoin kunnes kattilasta lähtevä vesi saavuttaa 75 °C:n lämpötilan. Tämän jälkeen panostus sekä palamisilman puhallus pysähtyvät, ja kattilassa palaa vastikään syötetty polttoaine vailla puhallusta.

Syysäällä kattilan käyntisykliin (kuvio 2.) kuluu keskimäärin 22 minuuttia, josta kattilaan syötetään polttoainetta ja palamisilmaa 13 minuutin ajan. Loput 9 minuuttia kattila käy, kunnes kattilasta lähtevän veden lämpötila on jälleen laskenut 70 °C:een. Käyntisykli voidaan jakaa 4:ään eri vaiheeseen: panostus pysähtyneenä, panostus pysähtyneenä palotapahtuman ollessa tasoittunut, panostaessa sekä panostaessa palotapahtuman ollessa tasoittunut. Savukaasujen parametreja mitattiin kaikkien 4 vaiheen aikana. Syöttö- ja puhallusvaiheelle ominaista on korkea savukaasujen lämpötila ja alhainen hiilimonoksidi eli häkäpitoisuus. Taulukkoon 3. on koottu kokeessa mitattujen parametrien keskiarvot syklin aikana.



Kuvio 2. Panospolton sykli n. +5 °C:n mukaisella lämmitystarpeella.

Taulukko 3. Savukaasuista mitattujen parametrien keskiarvot kattilan syklin aikana.

Polttoaine	Savukaasujen lämpötila / °C	O <sub>2</sub> (happi) / %	CO (hiilimon.) / ppm	CO <sub>2</sub> (hiilidiok.) / %	NO <sub>x</sub> (typen oks.) / ppm
Hake	230	17,5	787	2,7	42,1
Hake-järviruoko	258	16,7	402	3,2	50,9

Savukaasuhäviöiden likiarvo voidaan määrittää mitattujen imuilman parametrien perusteella seuraavasti (käytetyt arvot keskiarvoja):

Imuilman suhteellinen kosteus      58 %  
 Imuilman lämpötila                      +18 °C  
 → jolloin imuilman tiheys on 1,192 kg/m<sup>3</sup>

Palamisilmapuhaltimien imuaukkojen koko on 130 mm, jolloin niiden kokonaispinta-ala on yht.  $0,027 \text{ m}^2$ . Näin ollen imuilman virtausnopeudella 3,82 m/s, imuilman tilavuusvirraksi saadaan  $0,10314 \text{ m}^3/\text{s}$ .

$$\dot{m}_{\text{imuilma}} = \dot{m}_{\text{savukaasu}} = \rho \cdot \dot{V} = 1,192 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,10314 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \approx 0,123 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{Q}_{\text{savukaasu}} = \dot{m}_{\text{savukaasu}} \cdot c_{p_{\text{savukaasu}}} \cdot (t_{\text{savukaasu}} - t_{\text{imuilma}})$$

$$\dot{Q}_{\text{savukaasu}} = 0,123 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1,033508 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (258 - 18) ^\circ\text{C} \approx 30,5 \text{ kW}$$

Likimääräiskaavalla laskettu savukaasuhäviö vastaa 11 % kattilaan syötetystä polttoainetehosta (vrt. kohta 5.2). Tarkempaan savukaasuhäviöiden määrittämiseen olisi mittausvaiheessa vaadittu mm. Pitot-putkea paine-eron mittaamiseksi. Kyseistä mittavälinettä ei kuitenkaan ollut mahdollista järjestää koepolttopaikalle.

## 6.2 Kovapaali

Kovapaalien koepoltossa keskityttiin polttoon harvinaislaatuisten laitteiston mahdollistamalla 100 %:n järviruokopitoisuudella. Näin ollen koepolton painopiste silpun koepoltosta poiketen oli panostuksen sytytyksessä, palon etenemisessä, polttoaineen ilmansaannissa ja -tarpeessa, polttoainemäärässä sekä tuhkan muodostumisessa.

Koepoltossa poltettiin kertapanostuksella kaikkiaan 36 paalia (kuva 13.). Ennen panostusta suoritettiin tulipesän puhdistus, jotta koepolttoaineesta syntyvän tuhkan määrä ja rakenne pystyttiin toteamaan. Panostuksen alle laitettiin 2 trukkilavaa ilmankierron parantamiseksi, kuten kartanon tavanomaista polttoainetta puuta käytettäessä.



*Kuva 13. Tulitorvikattila panostettuna järviruokopaaleilla.*

Kun nestekaasupolttimella sytytetyn panostuksen katsottiin palavan riittävästi, pidettiin kattilan ovea auki kuitenkin vielä 10 minuuttia. Tällä tavoin pyrittiin varmistamaan palon eteneminen, sillä ovi suljettaessa palamisilmapuhallin (kuva 14.) alkaa lähes välittömästi puhalttaa. Tehokkaan palamisilmapuhaltimen sijainnin vuoksi oven liian aikainen sulkeminen saattaa puhalttaa vasta sytytetyn panostuksen sammuksiin.



*Kuva 14. Tulitorvikattilan palamisilmapiuhallin.*

Kuva 15 esittää savukaasujen virtausta lämmitysrakennuksen savupiipusta sytytysvaiheessa, n. 15 minuutin koepolton jälkeen.



*Kuva 15. Lämmitysrakennuksen savupiippu koepolton sytytysvaiheessa.*

Koepolton alkuvaiheessa palotapahtumaa seurattiin palamisilmapuhaltimen yllä olevasta luukusta (kuva 16.). Vaikka sytytysvaiheessa pyrittiin huomioimaan liiallisen puhaltamisen haitta panostuksen syttymiseksi, päädyttiin n. 45 min koepolton jälkeen avaamaan kattilan ovi, ja näin ollen pysäyttämään palamisilmapuhallin. Liekin katsottiin kytevän, koska siihen puhallettiin kohtisuoraan ilmaa liian suurella nopeudella. Liekin elpymiseksi, ovea tuli pitää auki ainoastaan muutama minuutti. Tässä ajassa liekki oli ennallaan ja sitä kohti voitiin jälleen puhaltaa palamisilmaa.



*Kuva 16. Järviruokopaalien koepolton alkuvaihetta.*

Sytytysvaiheesta eteenpäin palotapahtumaa seurattiin edelleen tasaisin väliajoin palamisilmapuhaltimen yllä olevasta luukusta. Koepolton todettiin etenevän tasaisesti ja hallitusti. Jotta koepolton välivaihe kävisi myös selville, ja järviruo'on palotapahtumaa pystyttäisiin vertaamaan kartanon varsinaisen lämmönlähteen, puun käyttäytymiseen, katsottiin tärkeäksi avata kattilan ovi 3 tunnin koepolton jälkeen (kuva 17.).



*Kuva 17. Järviruokopaalien koepoltto 3 tunnin jälkeen.*

Koepolton välivaiheessa, 3 tuntia sytytysvaiheesta, havaittiin palaneesta järviruo'osta muodostuneen merkittävä määrä tuhkaa. Ensin havaittiin lähes kaiken polttoaineen palaneen, mutta myöhemmin kasaa pöyhiessä todettiin tuhkan alta löytyvän vielä huomattava määrä, jopa neljäsosa panostuksesta, palamatonta polttoainetta (kuva 18.).



*Kuva 18. Järviruokopanostus pöyhimisen jälkeen, koepolton välivaiheessa.*

Palamattoman polttoaineen esiintymän tuhkamuodustuman alla, katsottiin aiheutuvan palamisilman saannista ja sen puhallustavasta sekä -kohdasta. Päällä ollut tuhka esti alla olevan palamattoman polttoaineen ilmansaantia. Tästä voidaan todeta palotapahtuman edenneen ylhäältä alaspäin. Toisaalta, järviruokopaaleista muodostunut tuhka oli erittäin ilmavaa, jolloin se oli puristettavissa kokoon tuhkan viedessä huomattavasti aiempaa pienemmän tilavuuden.

36 järviruokopaalin koepoltto kesti kokonaisuudessaan n. 7,5 tuntia. Koepolttainepanoksen teoreettiseksi kokonaismassaksi saadaan:

$$m_{\text{järviruoko}} = m_{\text{paali}} \cdot n_{\text{paali}} = 18,4 \frac{\text{kg}}{\text{paali}} \cdot 36 \text{ paalia} = 662,4 \text{ kg}$$

Järviruokopaalin energiasisältöä määritettäessä otetaan huomioon paalien 25 %:n kosteus, käyttämällä lämpöarvona 11 MJ/kg seuraavasti:

$$E_{paali} = Q_{järviruoko} \cdot m_{järviruoko} = 11 \frac{MJ}{kg} \cdot 18,4 kg = 202,4 MJ \approx 56,2 kWh$$

36 paalin energiasisältö:

$$E_{panostus} = Q_{järviruoko} \cdot m_{järviruoko} \cdot n_{paali} = 11 \frac{MJ}{kg} \cdot 18,4 kg \cdot 36 = 7286,4 MJ = 2024 kWh \approx 2,0 MWh$$

Jolloin teoriassa kattilaa ajettiin seuraavalla teholla:

$$P_{kattila} = \frac{E_{panostus}}{t_{koepoltto}} = \frac{2024 kWh}{7,5 h} \approx 270 kW$$

Teoreettinen 270 kW:n teho vastaa n. 96 % kattilan nimellistehosta. Yhden järviruokopaalin energiasisältö oli 56,2 kWh ja kuten kohdassa 5.3 mainittiin, koepoltoissa käytettyjen järviruokopaalien tilavuus oli 0,098 m<sup>3</sup>. Tällöin järviruokopaalin energiatiheys voidaan määrittää seuraavasti (vrt. taulukko 2., s. 10):

$$E_{\rho} = \frac{E_{paali}}{V_{paali}} = \frac{56,2 kWh}{0,098 m^3} \approx 573 \frac{kWh}{m^3} \approx 0,57 \frac{MWh}{m^3}$$

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

### Analyysi

Joensuun kartanossa toteutettu koepoltto hake-järviruokoseoksella oli varsin mielenkiintoinen, koska polton antamia tuloksia päästiin vertaamaan käytössä olevaan hakepolttoon. Hakevaraston lattialla suoritettu seoksen valmistus koitui melko työlääksi, joten suuremmat järviruo'on käyttövolyymit vaatisivat ratkaisua seoksen tehokkaaseen valmistamiseen. Järviruokosilpun pituuden tulisi olla lyhyempää siten, että polttoaineen kuljetuksen alkuvaiheessa esiintynyt holvaaminen olisi ehkäistävissä. Molempien seoksessa käytettyjen polttoaineiden lämpöarvo on käytännössä sama, joten se ei aiheuttaisi ristiriitaa esim. seossuhteelle. Toisaalta, järviruokosilpun alhainen tiheys vaatii enemmän varastotilaa sekä suuremman määrän syötettävää polttoainetta saman lämpötehon tuottamiseen.

Hakkeen ja hake-järviruokoseoksen savukaasujen lämpötiloissa ja päästöissä ei käytännössä voida sanoa esiintyneen poikkeavuuksia. Erikoista parametreissa oli happipitoisuus kummankin polttoaineen käytössä. Happipitoisuuden keskiarvot 17 %:n tuntumassa ovat varsin korkeat, jonka takia kattilan päällä olevien huoltoluukkujen tiiveys tarkistettiin vuodon varalta. Vuotoa ei kuitenkaan havaittu. Osaltaan korkean happipitoisuuden selittää järviruo'on korsimaisuus, jolloin ontto polttoaine itsessään sisältää palamiseen tarvittavaa happea. Tällöin kattilaan puhallettavan palamisilman tarve pienenee, ja osa kattilaan puhalletun palamisilman sisältämästä hapesta ei ole tarpeen palamistapahtumalle. Korkeiden happipitoisuuksien voidaan kuitenkin olettaa syntyvän kattilaan puhallettavasta yli-ilmamäärästä, joka selittää myös osin korkeahkon savukaasujen lämpötilan. Poltetun seosmäärän perusteella ei voida sanoa tuhkan muodostumisen koituvan merkittäväksi.

Järviruokopaalien varastointi sekä koepoltossa käytetyn kattilan panostaminen osoittautui varsin yksinkertaiseksi. Koepoltossa käytetty järviruo'on muoto, kovapaali, oli helppo toteuttaa koneellisesti. Paalin tiheys ylsi lähes hakkeen tiheyteen, mutta silti tavanomaisemman lämmönlähteen, puun tiheys on noin kaksinkertainen

järviruokopaaliin nähden. Mikäli järviruokopaalit varastoitaisiin kattilan välittömässä läheisyydessä, voidaan käsin tapahtuvan panostuksen sanoa olevan hallitumpaa kuin puulla panostettaessa.

Suurella tulipesällä varustetun tulitorvikattilan käytön 100 %:n järviruokopitoisuudella havaittiin tuhkaavan melko paljon. Järviruokopaaleista syntynyt tuhka oli kuitumaista. Tuhkan määrä poikkeaa suuresti puun poltossa syntyneen tuhkan määrästä, joka edellyttää tulipesän puhdistuksen noin kerran kahdessa kuukaudessa (Kumentola 20.10.2006). Koepolton edetessä todettiin ylhäältä alaspäin etenevän palotapahtuman myötä muodostuvan tuhkaa alla olevan palamattoman polttoaineen päälle. Päälle muodostuva tuhkaa haittaa erittäin paljon vielä palamatta olevan polttoaineen ilmansaantia. Hallittu palotapahtuma edellyttäisi palamisilman puhaltamiseen uudenlaisen ratkaisun.

Suoritetun polttokokeen perusteella on varsin selvää, että järviruokopaalien käyttö lämmönlähteenä vaatii tilavuudeltaan puuta suuremman määrän polttoainetta. Seuraavassa tarkastelussa on keskitytty hypoteesiin Lindön kartanon lämmöntarpeen edellyttämään vuotuisen polttoainemäärään järviruokopaalien ja puun (kuusi) osalta.

Polttoaineiden tiheydet:	Polttoaineiden lämpöarvot:
Järviruokopaali 188 kg/m <sup>3</sup>	Järviruoko 11 MJ/kg
Kuusi 400 kg/m <sup>3</sup>	Kuusi 18 MJ/kg

Panostus tehdään keskimäärin 3 kertaa 2 viikossa, jolloin vuotuinen panostuksien määrä on 78. Tilavuudeltaan 9,42 m<sup>3</sup>:n tulipesä panostetaan n. 70 %:iin tilavuudestaan, mm. ilmankierron varmistamiseksi. Täten voidaan laskea likiarvo vuotuisesta kuusipuun tarpeesta:

$$V_{\text{kuusi / vuosi}} = 0,7 \cdot 9,42 \text{ m}^3 \cdot 78 \approx 510 \text{ m}^3$$

Järviruokopaalien vuotuista tarvetta laskettaessa on huomioitava järviruokopaalien alhaisempi lämpöarvo sekä tiheys:

$$V_{\text{järviruoko}} = 0,7 \cdot 9,42 \text{ m}^3 \cdot 78 \cdot \left( \frac{18 \text{ MJ} / \text{kg}}{11 \text{ MJ} / \text{kg}} \right) \cdot \left( \frac{400 \text{ kg} / \text{m}^3}{188 \text{ kg} / \text{m}^3} \right) \approx 1790 \text{ m}^3$$

Järviruokopaaleja tarvitaan tilavuudeltaan n. 3,5-kertainen määrä kuusipuuhun nähden.

Tarvittava järviruokopaalien lukumäärä:

$$Lkm_{\text{järviruokopaali}} = \frac{V_{\text{järviruoko}}}{V_{\text{paali}}} = \frac{1790 \text{ m}^3}{0,098 \text{ m}^3} \approx 18270 \text{ järviruokopaalia vuodessa}$$

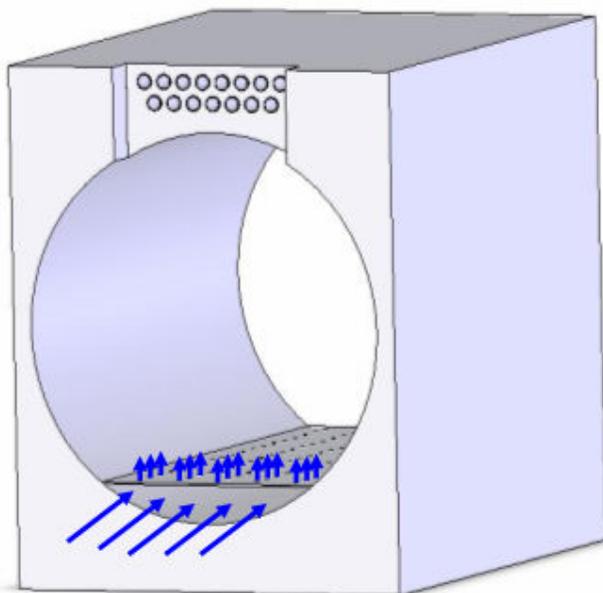
#### Parannusehdotukset

Myöhemmin syksyllä 2006 tämän projektin puitteissa tehdyt koeluontoiset järviruo'on silputustestit antoivat arvokasta tietoa lyhyen silpun aikaansaamiseksi. Lyhyen silpun valmistamisessa onnistuttiin sekä puupohjaisille materiaaleille suunnitellulla Jenz-merkkisellä vasaramurskaimella, että Weima-merkkisellä hidaskäyntisellä roottorimurskaimella. Silpun pituus molemmissa tapauksissa oli ainoastaan muutaman cm:n luokkaa. Kummankin testin osalta järviruoko oli kovapaalin muodossa, jolloin se oli käynyt läpi jo yhden esikäsittelyvaiheen.

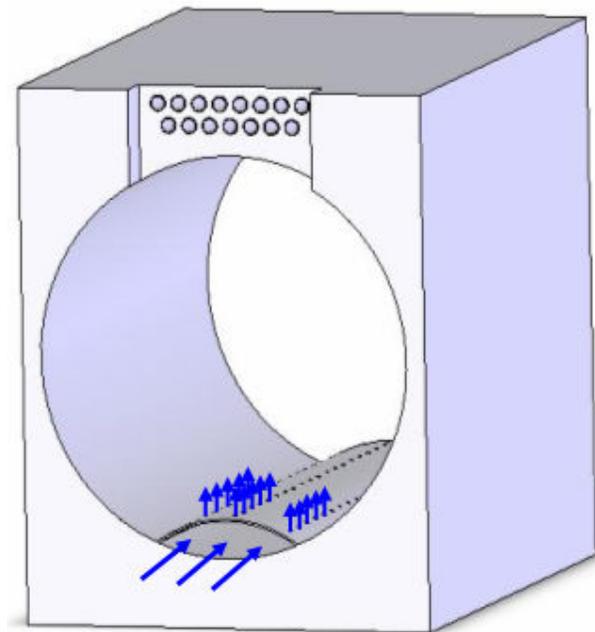
Järviruo'on esikäsittely em. tavalla tai siirtyminen uuteen järviruo'on polttomuotoon, kuten pelletti, voisivat luoda hake-järviruokoseoksen käytölle uuden näkökulman Joensuun kartanon lämmöntuotantoa vastaavassa järjestelmässä. Eritoten miehittämättömässä lämmöntuotannossa vastaavat polttomuodot voisivat tulla kyseeseen.

Kohdissa 6.2 ja 7.1 käsitellään järviruokopaalien poltosta muodostuvaa haitallista tuhkan määrää palamattoman polttoaineen päälle. Happea sisältävän ilmansaannin ratkaisua tulisi muuttaa hallitun palamisen kannalta edullisemmaksi. Tulitorvikattilan ovesa oleva palamisilmapuhallin voitaisiin siirtää oven alareunaan, tai oven alareunaan voitaisiin asentaa kokonaan uusi puhallin alkuperäisen puhaltimen paikan säilyessä

ennallaan. Näiden muutosten lisäksi tulipesään tulisi valmistaa reiällinen arina, joka toimisi jakotukkina ilman tasaisen leviämisen aikaansaamiseksi. Järviruokopaalit voitaisiin panostaa suoraan arinan päälle. Arinan alaosa muodostaisi tunnelin ilmankululle puhaltimelta. Seuraavissa kuvissa (kuvat 19. ja 20.) luonnoksia vartenotettavista ratkaisuista.



*Kuva 19. Tulipesän arina sekä ilmansaantiratkaisu (luonnos 1.).*



*Kuva 20. Tulipesän arina sekä ilmansaantiratkaisu (luonnos 2.).*

Puhallettaessa ilma polttoaineen alapuolelta voidaan ratkaisua verrata voimalaitoskokoluokassa edistyneeseen ns. leijupolttoon. Jälkimmäinen ratkaisu on valmistusteknisesti hieman haastavampi, mutta kattilan sisällä virtaava ilma olisi todennäköisesti turbulenttisempaa kuin ensimmäisessä ratkaisussa. Täten ilma pääsisi sekoittumaan polttoaineeseen läpikotaisin.

Lindön kartanoa vastaavassa järjestelmässä voitaisiin ajatella myös pyöröpaalina olevaa polttomuotoa. Kattilan 3 m:n syvyys mahdollistaisi panostuksen kahdella pyöröpaalilla.

## 8 YHTEENVETO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Turun ammattikorkeakoululle, osana tulevaa, laajempaa julkaisua järviruo'on käytöstä bioenergian lähteenä. Työhön liittyvä ruovikkostrategia Suomessa ja Virossa päättyy vuoden 2007 loppuun mennessä. Hankkeen päätavoitteena on luoda perusteet rannikkoalueiden ruovikoiden kestävä kehityksen mukaiselle käytölle Suomessa ja Virossa.

Työn tarkoituksena oli polttokokeiden perusteella tutkia järviruo'on soveltuvuutta pienpolttoon. Kokeista saatujen tulosten myötä saadaan suuntaa järviruo'on mahdolliseen käyttöön bioenergiana sekä tehokkaan varastoinnin ja kuljetuksen edellyttämään optimaaliseen polttomuotoon. Järviruo'on tehokasta hyötykäyttöä bioenergian lähteenä voidaan perustella mm. entuudestaan rehevöityneiden rannikkoalueidemme huollolla. Kustannustehokkaasti suunniteltu korjuu sekä käyttö bioenergiana pitäisi ruovikot siistimpänä, jolloin myös veden laatu paranisi sekä rantojen pohjaan mutaa kerryttävää järviruokoa olisi harvemmassa.

Järviruo'osta ei vielä voida sanoa, että se on valmis konsepti bioenergian lähteeksi. Tähänastisten polttomuotojen tiheydet ovat olleet pienpoltolle tavanomaisten polttoaineiden tiheyksiä alhaisemmat. Pitäytyminen tähänastisissa polttomuodoissa edellyttäisi riittävää varastointitilaa silloin kun järviruokoa käytettäisiin pääasiallisena lämmönlähteenä. Siirtyminen tiheämpään polttomuotoon ratkaisisi em. varastointiongelman. Tarvetta palveleva polttomuoto voisi olla joko pelletti tai briketti. Molemmille polttomuodoille on ominaista erittäin suuri tiheys. Näin ollen myös varastointitilan tarve pienenesi huomattavasti.

Öljystä bioenergian käyttöön siirtyvän pienpolttajan kannalta em. polttomuodot voisivat olla yksi ratkaisu, etenkin jos kyseisellä pienpolttajalla olisi entuudestaan ruovikkoa omaavaa rantaviivaa. Kannustusta energianlähteen vaihtamiseen loisi esim. valtion tuki, kun kyseessä on ruovikoita siistivä uusiutuva energianlähde. Näin ei kuitenkaan vielä toistaiseksi menetellä, joten järviruo'on käyttöä bioenergian lähteenä voidaan kuvailla ympäristötekona.

Tällä hetkellä järviruo'on käyttöä voidaan ajatella seospolttoaineena, esim. turpeen seassa rikkipäästöjä pienennettäessä. Myös paalia vastaavan polttomuodon tuhkaaminen vaatii lisätutkimusta. Järviruo'on sisältämän kemiallisen koostumuksen aggressiivisuudesta ei myöskään ole tarpeeksi tutkimustietoa, kun ajetaan pienlaitosta yhtäjaksoisesti. Lisäksi talven 2006-2007 kaltainen jään vahvuus tekee talvikorjuun lähes mahdottomaksi, joten sääolosuhteet tulee myös ottaa huomioon.

## LÄHTEET

### Kirjallisuus

Huhtinen Markku; Kettunen Arto; Nurminen Pasi; Pakkanen Heikki 2000. Höyrykattilatekniikka. 5. painos. Helsinki: Oy Edita Ab.

SFS 4800. 1982. Kiinteän polttoaineen pienkattilat, testaus, Suomen standardisoimisliitto.

Wahlroos, Lasse 1980. Kotimaiset polttoaineet ja keskuslämmityskattilat. Toinen tarkistettu ja laajennettu painos. Pori: Energiakirjat Ky.

### Elektroniset lähteet

Bioenergia Suomessa 2006. Oljen ja ruokohelpin ominaisuuksien vertailu. [viitattu 31.10.2006.] Saatavissa: [www.finbioenergy.fi](http://www.finbioenergy.fi) > Suomeksi > Tietosivut > Biopolttoaineet > Polttoaineiden ominaisuuksia > Olki ja ruokohelpi

Flyktman, Martti; Paappanen Teuvo 2005. Ruokohelven käyttökapasiteettiselvitys. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. [viitattu 31.10.2006.] Saatavissa: [http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmamuistiot/2006/siirto/trm2006\\_1\\_ruokohelven%20k%C3%A4ytt%C3%B6kapasiteettiselvitys%20lopullinen%20\(2\).pdf](http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmamuistiot/2006/siirto/trm2006_1_ruokohelven%20k%C3%A4ytt%C3%B6kapasiteettiselvitys%20lopullinen%20(2).pdf)

Haaparanta, Suvi; Myllynen Maria; Koskentalo Tarja 2003. Pienpoltto pääkaupunkiseudulla. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta. [viitattu 16.11.2006] Saatavissa: <http://www.ytv.fi/NR/rdonlyres/B71C8D4B-46CC-456C-8EF9-BFC82DCF3182/0/pienpoltto.pdf>

Kuvia Suomesta 2006. Kartanot. [viitattu 11.10.2006] Saatavissa: [http://www.muuka.com/finnishpumpkin/manor/l/manor\\_1\\_fi.html](http://www.muuka.com/finnishpumpkin/manor/l/manor_1_fi.html)

Lounais-Suomen ympäristökeskus 2006. Järviruoko – energiakasvi? [26.10.2006.] Saatavissa: [www.ruoko.fi](http://www.ruoko.fi) > Bioenergia

Lounais-Suomen ympäristökeskus 2006. Tietoa järviruoko'osta. [26.10.2006.] Saatavissa: [www.ruoko.fi](http://www.ruoko.fi) > Järviruoko

Maa- ja metsätalousministeriö 26.1.2006. Ruokohelven viljelyala kasvanut nopeasti Suomessa. Tiedote. Helsinki. [31.10.2006.] Saatavissa: <http://wwwb.mmm.fi/tiedotteet/tiedote.asp?nro=2071>

Moision yläaste 2006. Joensuun kartano nykypäivänä. [viitattu 16.10.2006.] Saatavissa: [http://213.138.144.231/moisio/kuninkaantie/j\\_v\\_kart/joensuu%20nykyaivana.htm](http://213.138.144.231/moisio/kuninkaantie/j_v_kart/joensuu%20nykyaivana.htm)



Ohlström, Mikael; Tsupari Eemeli; Lehtilä, Antti; Raunemaa, Taisto 2005. Pienhiukkaspäästöt ja niiden vähentämismahdollisuudet Suomessa. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. [viitattu 10.1.2007] Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2300.pdf>

Talka, Ismo 2006. Pienpolton hiukkasten sähköinen suodattaminen. Jyväskylän yliopisto, fysiikan laitos. [viitattu 16.11.2006] Saatavissa: [http://thesis.jyu.fi/06/URN\\_NBN\\_fi\\_jyu-200693.pdf](http://thesis.jyu.fi/06/URN_NBN_fi_jyu-200693.pdf)

Tissari, Jarkko; Raunemaa, Taisto; Jokiniemi, Jorma; Sippula, Olli; Hytönen, Kati 2005. Puun polton pienhiukkaspäästöt. Kuopion yliopisto, ympäristötieteiden laitos. [viitattu 30.12.2006] Saatavissa: <http://www.uku.fi/laitokset/ifk/PIPOLoppuraportti2005.pdf>

#### Haastattelut ja henkilökohtaiset tiedonannot

De La Chapelle, Jan, tilallinen, Lindön kartano. Puhelinhaastattelu 11.10.2006. Tammisaari.

Ehrnrooth, Kari, tilanhoitaja, Joensuun kartano. Haastattelu 26.9.2006. Halikko.

Ehrnrooth, Kari, tilanhoitaja, Joensuun kartano. Haastattelu 24.10.2006. Halikko.

Ülo, Kask, tutkija, Viron teknillinen yliopisto. Haastattelu 10.4.2006. Salo.

Kumentola, Jukka, tilanhoitaja, Lindön kartano. Haastattelu 16.10.2006. Tammisaari.

Kumentola, Jukka, tilanhoitaja, Lindön kartano. Haastattelu 20.11.2006. Tammisaari.

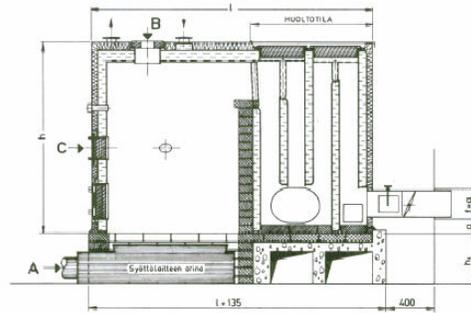
Ruismäki, Veli-Matti, toimitusjohtaja, Kuortaneen energiaosuuskunta Oy, sähköpostiviesti 30.11.2006



# LAKA PS

Tehoalue 145...6000 kW  
 Käyttölämpötila  $\leq 120\text{ }^{\circ}\text{C}$  <sup>3)</sup>  
 Käyttöpaine 2,4,6 ja 10 bar  
 LVI no 5023...

– Puru, hake – Palaturve <sup>1)</sup> – Kivihilli <sup>1)</sup> – Lastulevyjäte <sup>2)</sup>



A = Ruuvisyöttölaiteen polttoaine  
 B = Puhallussyöttölaiteen polttoaine  
 C = Öljypoltin

LAKA PS kattilat mitoitettuna hakkeen- ja purunsyöttölaiteille  
 Perustuksen korkeus syöttölaiteen ja polttoaineen mukaan  
 b = kattilan leveys

T E H O kW	b	h	l	q	f	g	Vesi-tila l	Rungon paino ilman vettä kg
145	1000	1180	1310	875	160	450	395	1200
160	1000	1250	1400	950	160	450	410	1250
180	1000	1250	1770	120	250	680	540	1300
210	1100	1300	1800	120	250	680	600	1350
250	1100	1300	1920	120	250	680	650	1400
290	1100	1400	1920	120	250	680	700	1500
325	1150	1500	2000	120	250	680	850	1750
360	1150	1600	2000	120	250	680	880	1900
420	1150	1600	2200	120	250	680	950	2100
460	1150	1600	2350	120	250	680	990	2230
520	1250	1750	2300	120	250	680	1130	2500
580	1250	1820	2450	120	250	680	1250	3100
630	1380	1800	2450	120	250	680	1280	3800
700	1380	1870	2450	120	250	680	1350	4000
840	1500	1900	2700	120	250	880	1630	4300
1000	1500	2100	2800	120	250	880	1850	4600
1200	1600	2300	2825	120	280	880	2350	5000
1400	1700	2380	3150	120	280	1050	2500	5600
1600	1980	2400	3200	120	280	1050	2700	6100
1800	1980	2560	3200	120	280	1050	2850	6900
2000	1980	2860	3200	120	280	1050	3050	7300
2200	2100	3000	3200	120	280	1050	3300	7500
2500	2250	2600	4050	120	420	1050	3900	9300
3000	2250	3000	4050	120	420	1050	4300	10000
4000	3000	3500	5000	120	500	1100	5000	13000

- LAKA PS-kattilassa on suuri tulipesä, joka on suunniteltu erityisesti pienipalaisten polttoaineiden (hake, puru, lastu, hiontapöly) polttamiseen altasyöttävillä syöttölaiteilla.
  - Varapolttoaineena voidaan käyttää esim. kevyttä polttoöljyä. Poltinluukku on edessä tulenhoitoluukun yläpuolella. Kiinteällä polttoaineella lämmitettäessä poltin käännetään sivuun.
  - Pienen vetovastuksen n. 30 Pa/100 kW ansiosta LAKA PS-kattilat voidaan asentaa luonnonvedolla toimiviksi.
  - LAKA PS-kattilaa toimitetaan myös kokonaisuutena, jossa on savukaasupuhdistin, tulipesän paineensäätöautomaatiikka ja savukaasupuhallin. Puhdistinyksikkö voidaan toimittaa myös erillisenä esim. ulos asennusta varten. Ympäristönsuojelun vuoksi suosittelemme yli 500 kW kattiloiden varustamista savukaasupuhdistinlaitteilla.
  - Pystysuorien pintojen ansiosta konvektio-osan tulipinnoille ei kerääntynyt hyötysuhdetta alentavaa lentotuhkaa. Lentotuhka laskeutuu konvektio-osan alla olevaan tuhkatilaan.
  - Tulenhoitoluukku on normaalisti kattilan etupäädyssä, mutta se on saatavissa myös sivulle. Tarvittaessa tulipesä voidaan varustaa lisäluukuilla.
  - Puhdistus suoritetaan harjaamalla kattilan päältä ja tuhka poistetaan sivuluukuista.
  - Huoltotilaa tarvitaan kattilan päällä vähintään h-300 mm, mutta mielellään 1,9 m. Luukkujen (käsitistyden) puoleisella sivulla on huoltotilaa oltava kattilan leveyden verran. Muualla minimietäisyys kiinteistä rakenteista on 500 mm.
  - Kattila asennetaan betoni- tai teräsrakenteiselle perustukselle, johon syöttölaite arina normaalisti asennetaan.
  - Kattilatoimitukseen sisältyy kattilan puhdistusvälineet ja ohjeellinen piirustus kattilan alle tehtävästä perustuksesta. Kattilan sisämuurauksissa tarvittavat tiilet ja muuraustarvikkeet saatavissa lisähintaan.
- Palaturpeen ja kivihillen poltossa on käytettävä sopivaa polttolaitetta esim. mekaaninen viistoarina tai ketjuarina. Näille polttolaitteille kattila valmistetaan erikoismitoilla.
  - LAKA PS-kattila on saatavissa erikoistulipesällä esim. lastulevyyn tai muiden myrkyllisiä kaasuja synnyttävien puujätteiden polttoa varten.
  - LAKA PS-kattila voidaan valmistaa rekisteröitävänä paineastiana myös korkeammille käyttölämpötiloille.

**LAKA** ympäristölle ystävällinen tapa  
 lämmittää – jo yli 45 vuotta

**LAATUKATTILA OY**

Postios: PL 69 – 33201 TAMPERE

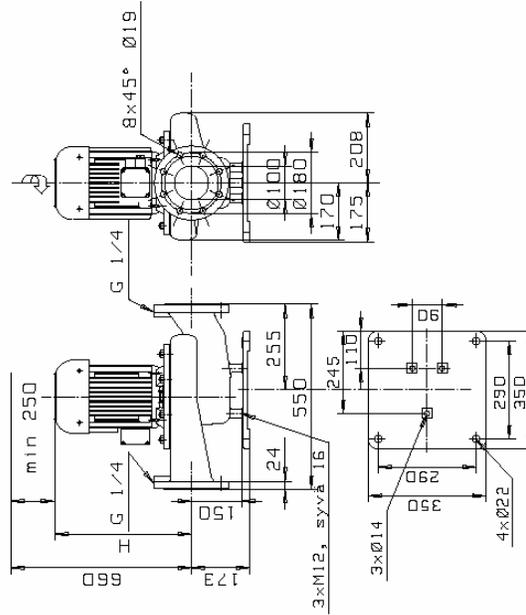
Puhelin

Telefax

(03) 21 41 411

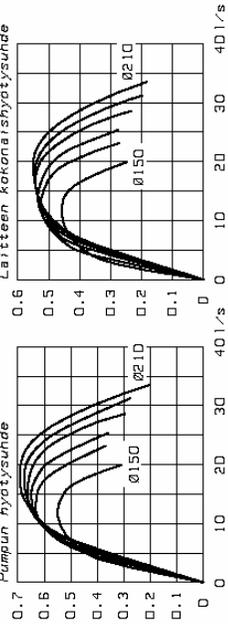
(03) 21 21 528

AKN-100/4 DN100 1500 r/min

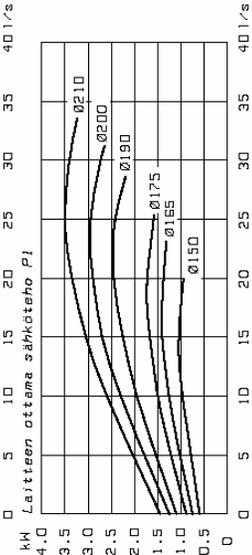
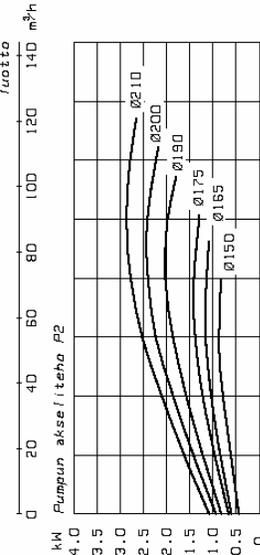
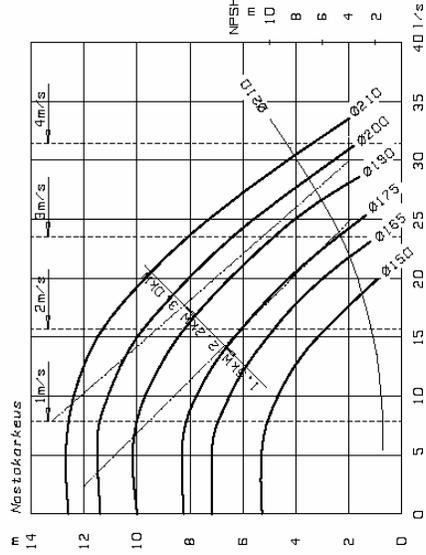
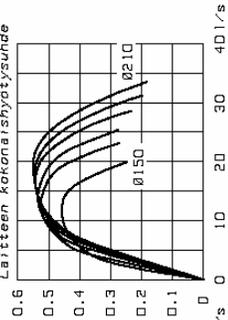


	kkH	H	kg	H
OKY-112 E2 N26	3.0	6.6	84	410
OKY-112 C2 N26	2.2	5.1	79	410
OKY-101 D2 N26	1.5	3.5	73	365

Pumpun hyötysuhde



Laitteen kokonaishyötysuhde



84234  
 Suunn: 2000-05-08 JS  
 Task: 2000-05-31 JJJ