



VAKOLA

03450 OLKKALA
913-46211

VALTION MAATALOUSKONEIDEN TUTKIMUSLAITOS
STATE RESEARCH INSTITUTE OF ENGINEERING IN AGRICULTURE AND FORESTRY

TUTKIMUSSELOSTUS No 30

JUKKA AHOKAS - PEKKA STÅHLBERG - ILKKA MAASKOLA

OLKI POLTTOAINEENA

STRAW AS FUEL

VIHTI 1983

TUTKIMUSSELOSTUS No 30

JUKKA AHOKAS - PEKKA STÅHLBERG - ILKKA MAASKOLA

OLKI POLTTOAINEENA

STRAW AS FUEL

VIHTI 1983

ISSN 0506-3841

SISÄLLYSLUETTELO

ESIPUHE

TIIVISTELMÄ

SAMMANFATTNING

SUMMARY

- 1 OLKISATO
 - 1.1 Olkisadon määrä
 - 1.2 Olkisadon energiasisältö

- 2 OLJEN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET

- 3 OLKI POLTTOAINEENA
 - 3.1 Oljen energiasisältö
 - 3.2 Kostean oljen lämpöarvo
 - 3.3 Oljen palaminen
 - 3.3.1 Oljen elementtaarianalyysi
 - 3.3.2 Palamisilma- ja savukaasumäärät
 - 3.3.3 Olkikattiloiden häviöt
 - 3.3.3.1 Savukaasuhäviöt vapaan lämmön muodossa
 - 3.3.3.2 Savukaasuhäviöt palamattomien kaasujen muodossa
 - 3.3.3.3 Palamishyötysuhde
 - 3.3.3.4 Johtumis- ja säteilyhäviöt
 - 3.3.3.5 Läpivirtaushäviöt
 - 3.3.3.6 Tuhkahäviöt
 - 3.3.3.7 Kokonaishyötysuhde

- 4 OLKILÄMMITYS
- 4.1 Olkilämmitystä vaikeuttavat tekijät
- 4.1.1 Oljen energiatiheys
- 4.1.2 Kostean oljen palaminen
- 4.1.3 Tuhka
- 4.1.3.1 Tuhkan koostumus ja sulamislämpötilat
- 4.1.3.2 Arinoiden toiminta
- 4.1.3.3 Tuhkan poisto
- 5 OLJEN KUIVUMINEN
- 5.1 Oljen tasapainokosteus
- 5.2 Oljen kuivuminen pellolla
- 5.3 Oljen kuivaaminen apuenergialla
- 5.3.1 Oljen kylmäilmakuivaus
- 5.3.2 Paalattun oljen kylmäilmakuivauskoe
- 5.3.2.1 Kuivuri
- 5.3.2.2 Paalit
- 5.3.2.3 Kokeen suoritus
- 5.3.2.4 Tulokset
- 5.3.2.5 Yhteenveto
- 5.3.3 Lisälämmön käyttö kylmäilmakuivauksessa
- 5.3.3.1 Aurinkoenergia
- 5.3.3.2 Sähkö
- 5.3.3.3 Olki
- 5.3.3.4 Yhteenveto
- 5.4 Oljen kosteuden määrittäminen
- 6 OLKIPURISTEET
- 7 OLKIKATTILAT
- 7.1 Olkikattilatyypit
- 7.2 Olkikattilakokeet
- 7.2.1 Käsisyöttökattilat
- 7.2.1.1 Luonnonvedolla toimiva alapalokattila
- 7.2.1.2 Palamisilmapuhaltimella varustettu alapalokattila
- 7.2.1.3 Yhteenveto

- 7.2.2 Olkibrikettien palamisominaisuudet
alapalokattilassa
 - 7.2.2.1 Olkibrikettien palaminen puhallin-
kattilassa
 - 7.2.2.2 Olkibrikettien palaminen luonnon-
vetokattilassa
 - 7.2.2.3 Yhteenveto
- 7.2.3 Automaattisyöttökattilat
 - 7.2.3.1 Paalipoltto
 - 7.2.3.2 Oljen löyhänä poltto
 - 7.2.3.3 Automatisoinnin vaikutus oljen polttoon

8 OLKILÄMMITYKSEN VARAENERGIAMAHDOLLISUUDET

9 PALOTURVALLISUUS

10 LÄMMITYSKUSTANNUKSET

- 10.1 Lämmityskustannuksien osakustannukset
 - 10.1.1 Lämmitystyökustannukset
 - 10.1.2 Polttoainekustannukset
- 10.2 Vuotuisten lämmityskustannusten vertailu

11 YHTEENVETO

ESIPUHE

Kauppa- ja teollisuusministeriön energiavarojen turvin käynnistettiin vuonna 1980 tutkimus "Energian tuotanto maatilatalouden omista energialähteistä".

Tutkimus käsitti sekä viljankuivauksen energiaselvityksen että oljen lämmityskäytön ja polttotekniikan selvityksen. Muut tämän tutkimuksen julkaisut ovat: "Käyttökokemuksia olkikattiloista" Työtehoseuran julkaisuja 238, "Olkipuristeet polttoaineeksi" Työtehoseuran maatalous- ja rakennusosaston monisteita 2/1981, "Energiansäästö viljankuivauksessa" VAKOLAn tutkimusselostus n:o 31, "Kotimainen polttoaine viljankuivauksessa", VAKOLAn tutkimusselostus n:o 32 ja "Energian tuotanto maatilatalouden omista energialähteistä", VAKOLAn tutkimusselostus n:o 33.

Päävastuu tutkimuksesta on ollut Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitoksella (VAKOLA). Tutkimukseen osallistui lisäksi Työtehoseura ry, Antti Teollisuus Oy, Cool-Temp Oy, Turun Muna Oy - Jaakko Tehtaat, Kollan Teräsrakerne Oy, Lapferro Oy, OT-Tehdas Oy, T:mi Topi Pämppi ja Viishanke Ky. Johtoryhmän puheenjohtajan on ollut ylitarkastaja Keljo Sahrman kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosastolta ja jäsenenä osastopäällikkö Jorma Kallio maa- ja metsätalousministeriö, toimitusjohtaja Gunnar Wickström Svenska Lantbrukssällskapens Förbund, toimitusjohtaja Erkki H. Oksanen Työtehoseura, agronomi Raimo Tammilehto Maataloustuottajain keskusliitto sekä prof. Alpo Reinikainen ja prof. Osmo Kara VAKOLA.

Vinti 31.13.1982

Jukka Ahokas

TIIVISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa on selvitetty oljen ominaisuuksia polttoaineena ja eri kattilatyyppejen ja polttomenetelmien soveltuvuutta oljen polttoon sekä vertailtu olkilämmityksen kustannuksia muilla kotimaisilla polttoaineilla ja öljyllä tapahtuvaan lämmitykseen.

Oljen käyttö polttoaineena on muita kotimaisia polttoaineita vaikeampaa. Tämä johtuu oljen pienestä energiatiheydestä ja suuresta tuhkapitoisuudesta sekä tuhkan sulamisominaisuuksista. Olki sisältää tuhkaa 4...7 % ja tuhkan sulaminen tapahtuu lämpötila-alueella 700... 1500 °C.

Alapalokattiloissa oljen palamisvaikeudet yleensä johtuvat polttoaineen huonosta valumisesta ja arinan tukkeentumisesta. Varaavan lämmityksen hyötysuhde on tällöin n. 40 %. Oljen palamista ja lämmityksen hyötysuhdetta voidaan parantaa tulipesän lämpötilaa kohottamalla, liikkuvalla olkea pöyhivällä arinalla ja silputun tai paalista revityn oljen käytöllä. Varauksen hyötysuhteeksi tulee tällöin n. 60 %. Kun olkea poltetaan paaleina, paranee palaminen, kun tiheys pienenee. Sopiva paalin tiheys on 50...80 kg/m³. Kun kattilassa on mekaanisesti toimiva arina, voi tiheys olla 90 kg/m³. Repijälaitteella varustetuissa kattiloissa voi paalin tiheys olla 100...160 kg/m³.

Olki palaa parhaiten, kun sen kosteus on 15...18 %. Kun kosteus on alle 15 %, on palaminen vakiosäädöllä vaikeasti hallittavaa. Poltettavan oljen kosteus voi olla korkeampi, kun käytetään pöyhijää, tukipolttoainetta, palamisilmapuhallinta tai muurauksia kohottamaan tulipesän lämpötilaa. Sytytysvaiheessa pitää oljen kosteuden aina olla alle 20 %. Kattilan lämpeneminen parantaa kostean oljen palamista ja suurimmillaan kosteus voi olla n. 26 %, kun olkea poltetaan silputtuna tai revittyinä etupesässä.

Kun olkivarastossa on hyvä ilmanvaihto, kuivuu olki varastoinnin aikana itsestään. Kun paalattun oljen tiheys on alle 80 kg/m³ ja alkukosteus 24...26 %, on loppukosteus kolmen kuukauden kuluttua 20...22 % ja kuuden kuukauden kuluttua 17...19 %. Koska olki kuivuu varastossa, voi korjuukosteus olla 25 %. Jollei olkea voida korjata riittävän kuivana, pitää kuivaus suorittaa koneellisesti. Olki kuivuu alle 20 %:n kosteuteen, kun kuivausilman lämpötila on yli 10 °C ja suhteellinen kosteus alle 75 %.

Oljen kokopaalipoltto kannattaa suurilla, yli 50...70 MWh:n vuosikulutuksilla, kun lämmitys tapahtuu erityisesti oljen polttoon suunnitellulla kattilalla ja lämpökeskus ja polttoainevarasto on sijoitettu olemassa oleviin rakennuksiin. Kustannuksiin vaikuttaa ratkaisevasti olkkattiloiden kallis hinta ja suuri varastotilan tarve.

Olkipuristeiden, brikettien ja pellettien, käyttö polttoaineena pienentää kattila- ja varastokustannuksia ja parantaa lämmityksen hyötysuhtetta. Lämmityksen kannattavuus riippuu kuitenkin ensisijaisesti puristeiden valmistuskustannuksista. Nykyiset alapalokattilat eivät sovellu olkipuristeiden polttoon suorassa lämmityksessä.

Verrattuna muilla kotimaisilla polttoaineilla tapahtuvaan lämmitykseen on olkilämmitys nykyisin laittein normaaleilla maatilan vuotuisilla lämmön kulutuksilla selvästi kalliimpaa. Tämän vuoksi olkilämmitys sopii vain niille tiloille, joilla vuotuinen lämmöntarve on normaalia suurempi ja muut kotimaiset polttoaineet pitää hankkia tilan ulkopuolelta.

SAMMANFATTNING

Undersökningen utreder halmens egenskaper som bränsle och lämpligheten av olika panntyper och förbränningsmetoder för halmförbränning och jämför halmens uppvärmningskostnader med den för eldningen medelst olja och andra fasta inhemska bränslen.

Uppvärmningen med halm är svårare än med andra inhemska bränslen. Detta beror på halmens låga energidensitet, höga askhalt och askans smält-egenskaper. Halmen innehåller 4...7 % aska som smälter inom temperaturområdet 700...1500 °C.

Halmens förbränningsssäkerheter i pannor med underförbränning beror i allmänhet på att bränslet sjunker dåligt nedåt och askan täpper till rosten. Vid ackumulerande uppvärmning är verkningsgraden då ca 40 %. Halmens förbränning och uppvärmningens nyttoverkningsgrad kan förbättras genom att höja temperaturen i eldstaden, använda en halm omrörande rost och hackad eller från bal riven halm. Verkningsgraden av en uppvärmningsperiod blir då ca 60 %.

När halmen förbränns i form av balar, förbättras förbränningen när bal-tätheten sjunker. Den lämpligaste tätheten av balen är 50...80 kg/m³. När pannan är försedd med en mekanisk rost, kan tätheten vara 90 kg/m³ och om pannan är försedd med en rivare, kan tätheten vara 100...160 kg/m³.

Förbränningen av halmen är gynnsammast, när halmens fuktighet ligger 15...18 %. När fuktigheten är under 15 %, är det svårt att kontrollera förbränningen med konstanta regleringsanordningar. Fuktigheten på balen kan vara högre, om man använder en omrörare, stödjebränsle, en förbränningsluftsfläkt eller murningar för att höja förbränningstemperaturen. Vid tändningen bör halmens fuktighet alltid ligga under 20 %. När pannan blir varm, förbättras den fuktiga halmens förbränning och fuktigheten kan vara högst ca 26 %, då halmen förbränns hackad eller riven i förugnen.

På ett väl ventilerat halmlager torkar halmen under lagringen av sig själv. När den balade halmens täthet är under 80 kg/m^3 och halmens påbörjningsfuktighet ligger 24...26 %, är den slutliga fuktigheten efter tre månaders lagring 20...22 % och efter sex månader 17...19 %. Eftersom halmen torkar under lagringen, kan bärgningsfuktigheten vara 25 %. Om man inte kan bärga halmen tillräckligt torr, bör den torkas maskinellt i en kalluftstork. Halmen torkar till fukthalt under 20 %, när torkningsluftens temperatur överskrider 10 % och den relativa fuktigheten ligger under 75 %.

Halmens förbränning i form av hela balar är ekonomiskt lönande vid årlig värme-energiförbrukning överskridande 50...70 kWh, då uppvärmningen sker med en särskilt för halmbränning konstruerad panna och när värmecentralen och bränsleförrådet är placerade i de existerande byggnaderna. Halmpannornas höga pris och det stora behovet av lagerutrymman påverkar uppvärmningskostnaderna på ett avgörande sätt.

Kostnaderna för pannor, lager och uppvärmningsarbete kan minskas och uppvärmningens verkningsgrad förbättras genom att använda pressvaror, dvs briketter och pelletter, som bränsle. Lönsamheten av uppvärmningen är dock i första hand beroende på pressvarornas tillverkningskostnad. Nutida pannor med underförbränning är inte lämpliga för förbränning av pressvaror vid direkt eldning.

Jämförd med eldningen med andra inhemska bränslen är uppvärmningen med halm medelst nuvarande aggregat och vid gårdarnas normala årliga värme-förbrukning tydligt dyrare. Därför lämpar sig uppvärmningen med halm endast för de gårdar, på vilka det årliga värmebehovet är större än normalt och de andra inhemska bränslena måste köpas utanför den egna gården.

SUMMARY

This research explains the properties of straw used as fuel and the applicability of different furnace types and burning methods for the burning of straw. Comparisons between the costs for straw heating and those for the use of other solid domestic fuels and oil have been made.

The use of straw as fuel is more difficult than that of other domestic fuels. This is due to the low density of energy and the ash content of straw and also the melting properties of ash. The straw contains 4...7 % ash, and the melting of ash occurs at the temperature ranging 700...1500 °C.

In the furnaces with the underburning principle the difficulties of straw burning are caused by the poor flow of fuel and because ash fills up the grate. In accumulated heating the rate of efficiency is thus about 40 %. It is possible to improve the burning of straw and the efficiency rate of heating by increasing the temperature in the hearth, by means of straw poking grate or by using chopped or from bale torn straw. The efficiency rate of one heating period will then be about 60 %.

When the straw is burnt in form of bales, the burning is improved, since the density of fuel becomes lower. Bale density of 50...80 kg/m³ is suitable. In furnaces with a mechanically moving grate the density can be 90 kg/m³. In furnaces with a tearing device the bale density can be 100...160 kg/m³.

For the burning the most suitable moisture content of baled straw is 15...18 %. When the moisture content is less than 15 %, the burning is difficult to control by means of constant adjusting devices. The fuel moisture content can be higher, if the furnace is provided with a poker, a stabilizing fuel, a burning air blower or masonries to raise the temperature in the hearth. At the lighting stage the moisture content of straw may never exceed 20 %. The burning of damp straw is improved in a warm furnace, and the moisture content can be 26 % at the maximum, when the straw is burned chopped or torn in a front stove.

In a storage with good ventilation the straw gets dry by itself during storing. When the bale density is less than 80 kg/m^3 and the initial moisture content is 24...26 %, the final moisture content of straw is 20...22 % after three months and 17...19 % after six months. Because of drying the moisture content of straw when harvesting may be 25 %. If the straw cannot be harvested dry enough, it has to be dried in a cold air drier. The straw will dry to the moisture content under 20 %, when the temperature of drying air is higher than $10 \text{ }^\circ\text{C}$ and the relative humidity is less than 75 %.

The burning of straw as whole bales is profitable, when the annual heat energy consumption is over 50...70 kWh and the heating is done with furnaces especially constructed for straw burning and the farm heating centre and the fuel storage are located in the existing buildings. The high price for straw furnaces and great need of storage space have a decisive influence on the costs.

The utilization of straw pressware, i.e. briquettes and pellets, as fuel reduces the furnace and storage costs and improves the efficiency rate of heating. At first hand the profitableness of heating is, however, depending on the production costs of the pressware. The present furnaces with underburning principle are not applicable to the burning of straw pressware in direct heating. Compared with the heating with other domestic fuels, the heating with straw is distinctly more expensive by using the present equipments, considering the normal annual heat consumption of the farms. Due to this fact, the straw heating is suitable only for such farms where the annual need of heat is higher than normally and which have to buy the other domestic fuels from outside the farm.

1. OLKISATO

1.1 Olkisadon määrä

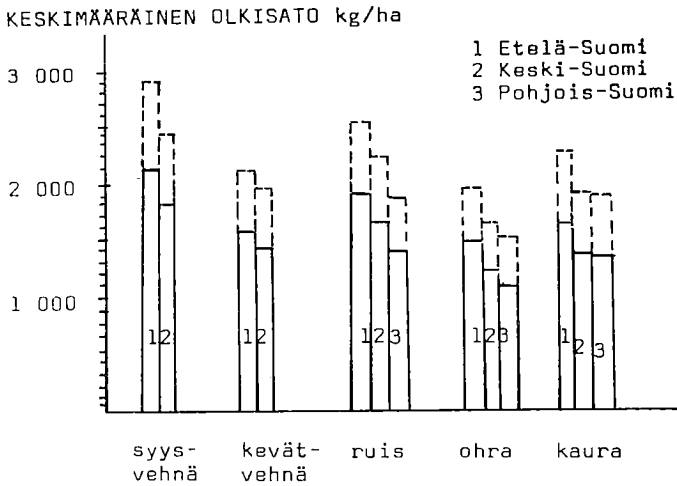
Vuoden 1981 koko viljarviljelyala Suomessa oli n. 1,2 milj.ha /1/. Taulukossa 1 on eri viljalajien viljelyalat ja niiden osuudet kokonaisalasta.

Viljalaji	Viljelyala x 1000 ha	Osuus %
Kevätvehnä	90,5	7,5
Syysvehnä	21,3	1,8
Ruis	45,3	3,8
Ohra	601,6	50,0
Kaura	443,8	36,9
Yhteensä	1202,5	100,0

Taulukko 1. Viljalajien viljelyalat v. 1981

Kokonaisolkisato vaihtelee vuosittain viljelyalojen muuttumisen ja sato-
määrien johdosta. Vuoden 1981 viljelyalajakaumalla on vuotuinen kokonais-
olkisato n. 4,0 milj. t/v, kun oljen kosteuspitoisuus on 25 %. Nykyisin
menetelmin tästä määrästä on korjattavissa 2,2 milj. t/v, jolloin kuiva-
ainemäärä on 1,65 milj. t/v.

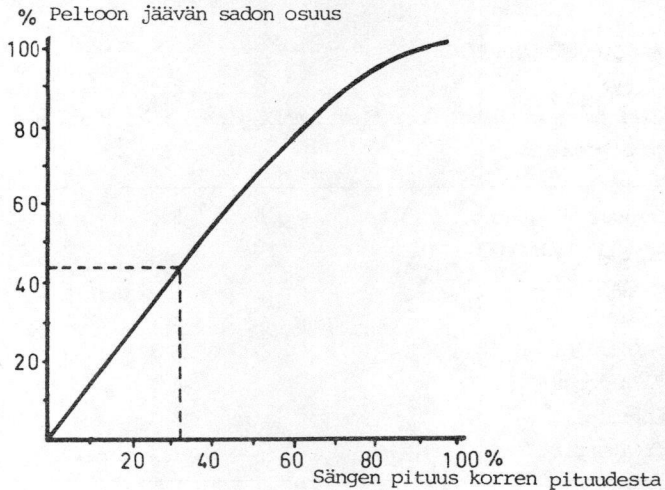
Kuvassa 1 on esitetty eri viljalajien keskimääräinen korjattavissa oleva
olkisato maamme eri osissa, kun sängin pituus on 20...22 cm. Parhaiten
olkea tuottavat syysviljat, joiden vuotuinen olkisato on Etelä- ja Keski-
Suomessa 2700...2900 kg/ha. Koska näiden viljalajien olkisadon osuus on
vain n. 7 % koko sadosta, ei niillä ole kuin paikallinen merkitys olkisa-
toa arvioitaessa. Keskimäärin koko maan vuotuinen olkisato on 1850 kg/ha.



83

Kuva 1. Eri viljalajien keskimääräinen olkisato maamme eri osissa, kun puintisängyn pituus on 20...22 cm. Yhtenäinen viiva merkitsee kuiva-ainesatoa ja katkoviivalla merkitty satoa, jonka kosteuspitoisuus on 25 % /2/.

Olkisadon kuiva-ainemäärään voidaan vaikuttaa viljalajikkeiden valinnalla ja puintisängyn pituudella. Eri viljalajikkeiden korren pituudella on huomattavia eroja ja koska korren massa/pituusyksikkö on suurimmillaan korren alaosassa lisääntyy olkisato tuntuvasti sängyn pituutta lyhennämällä, kuva 2. Esim. jos sängyn pituus puitaessa lyhennetään nykyisestä 22 cm:stä 12 cm:iin lisääntyy korjattavissa oleva kuiva-ainemäärä keskimäärin 40 %.



Kuva 2. Sängin pituuden vaikutus sänkeen jäävän oljen kuiva-ainesatoon /2/

1.2 Olkisadon energiasisältö

Kun oljen kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on 17,4 MJ/kg ja olkisadon keskimääräinen kosteuspitoisuus on 25 %, on korjattavissa olevan oljen tehollinen lämpöarvo 12,4 MJ/kg eli 3,44 kWh/kg.

Koko 4,0 milj. t:n olkisadon energiasisältö on $49,6 \cdot 10^9$ MJ eli 13800 GWh ja korjattavissa oleva 2,2 milj. t:n olkisato sisältää energiaa $27,3 \cdot 10^9$ MJ eli 7600 GWh.

Jos olkilämmityksen kokonaishyötysuhde on 40 %, saadaan vuodessa lämpöenergiaa käyttöön $10,9 \cdot 10^9$ MJ eli 3000 GWh.

Vastaava energiamäärä voidaan tuottaa 0,43 milj. m³:llä kevyttä polttoöljyä.

Ekvivalentteina öljytonneina lausuttuna korjattavissa olevalla olkisadolla voidaan korvata 0,38 Mtoe. Maataloudessa käytetään rakennusten lämmitykseen öljyä 0,56 milj.t eli 0,58 Mtoe, joten oljella voitaisiin korvata n. 65 % tästä öljymäärästä.

2. OLJEN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET

Olki on hyödynnettävissä oleva raaka-aine, jonka koostumus biomassana on taulukossa 2.

Orgaaniset aineet	8 %
- hiilihydraatit	
- proteiinit	
Suola	6 %
Hemiselluloosa	25 %
Selluloosa	36 %
Ligniini	18 %
Silikaatit	7 %

Taulukko 2. Oljen koostumus biomassana. Luvut paino-% vehnän oljesta /3/ /4/.

Taulukosta 2 nähdään, että olki sisältää aineita, jotka mahdollistavat oljen käytön monella eri tuotannon alalla. Näitä ovat esim. /5/:

I Karjatalous

A Kuivikkeena

B Ravintona

1. Käsittlemättä
2. Mekaanisesti käsiteltynä
 - a) silputtuna
 - b) jauhattuna
 - c) puristeina
3. Kemiallisesti käsiteltynä
 - a) NaOH - käsittely
 - b) NH_3 - käsittely
 - c) urea - käsittely
 - d) ureafosfaatti - käsittely

II Teollisuuden raaka-aine

A Rakennuslevyjen valmistus

B Selluloosan valmistus

C Kemian teollisuus

1. Glykoosi
 - a) glyseroli
 - b) metanoli
 - c) etanoli
 - d) butanoli
2. Furfural (puhdistusaine)
3. Pesu- ja kosmeettiset aineet
4. Polttoöljy
5. Biokaasu

III Kiinteä polttoaine

Vaikka olkea voidaankin hyödyntää monella eri tavalla, eivät kaikki käyttökohteet ole kuitenkaan taloudellisesti kannattavia. Tutkimuksen /4/ mukaan eri käyttökohteet kuluttavat apuenergiaa seuraavasti:

Käyttökohde	Energian kulutus kWh/1000 kg olkea	Energiatase kulutus/tuotto
Silppuminen ennen kyntöä	14...27	-
NaOH - käsittely	170	+ 1,8
NH ₃ - käsittely	470	- 0,7
Sekoittettuna juu- riikkaan naattien kanssa rehuksi	33	+ 5,9
Kiinteä polttoaine	130	+ 18,6
Etanoli	4600	- 0,4

Taulukko 3. Oljen käyttökohteiden apuenergian kulutus ja energiatase /4/.

Energiataseessa kulutuksella tarkoitetaan energiamäärää, joka tarvitaan ko. käyttökohteessa käsittelemiseen ja hyödyntämiseen ja tuotolla sitä energiamäärää, joka oljesta saadaan talteen käsittelyn jälkeen. Energiataseiden perusteella olkea kannattaa käyttää ainakin rehuna ja polttoaineena. Rakennustarvikkeiden ja selluloosan raaka-aineena olkea voidaan käyttää maissa, joissa puun käyttö ei ole mahdollista.

Suomessa olkisadon käytöstä ei ole tutkimustuloksia tai tilastoja, mutta on arvioitu, että 82 % olkisadosta kynnetään maahan tai poltetaan pellolla, kuivikkeena käytetään 14 %, rehuna 3 % ja polttoaineena 0,6 % /2/.

Oljen maahankynnön vaikutuksesta viljasatoon ei vielä tässä vaiheessa ole varmoja tietoja, koska tätä tutkitaan parhaillaan. Suuret olkimäärät vaikeuttavat kuitenkin maanmuokkausta ja tämän haitan poistamiseksi olki pitää silputa tai poistaa pellolta esim. polttamalla. Polttaminen on todettu Tanskassa edullisimmaksi hävityskeinoksi.

Kun olki poltetaan pellolla, jäävät sen sisältämät kivennäisaineet hyödyksi. Vaikka olki korjataankin pellolta, säilyy osa mahdollisista hyötyvaikutuksista, koska juuriston lisäksi 35...60 paino-% viljakasvin maanpäällisistä osista jää nykyisillä korjuumenetelmillä pellolle.

Oljen käyttö kuivikkeena on perusteltua, koska oljen vedensitomiskyky on parempi kuin purulla. Turpeen vedensitomiskyky on parempi kuin oljen, mutta olki on halvempaa. Olki parantaa lannan palamista ja estää näin taudinaiheuttajien leviämistä. Oljen käyttö kuivikkeena on kuitenkin vähemmän, koska oljen korjuun ja käsittelyn työmäärä koetaan liian suurena. Oljen kuivikekäyttöä on vähentänyt myös lietelantaloiden yleistymisen /2/.

Oljen käyttöä rehuna rajoittaa sen huono sulavuus ja alhainen valkuaisainepitoisuus. Oljen rehuarvoa voidaan kohottaa mekaanisella tai kemiallisella käsittelyllä, koska käsittely parantaa oljen sulavuutta. Taulukon 3 mukaan lipeäkäsittely (NaOH) on energiataseeltaan lievästi positiivinen ja ammoniakikäsittely (NH₃) negatiivinen. Silppuaminen ja jauhaminen ovat kemiallista käsittelyä taloudellisempia, mutta koska oljen osuutta eläinten ravintona ei valkuaisaineen vähyyden vuoksi voida kohottaa kovin paljon, ei oljen käyttö rehuna tule merkittävästi lisääntymään.

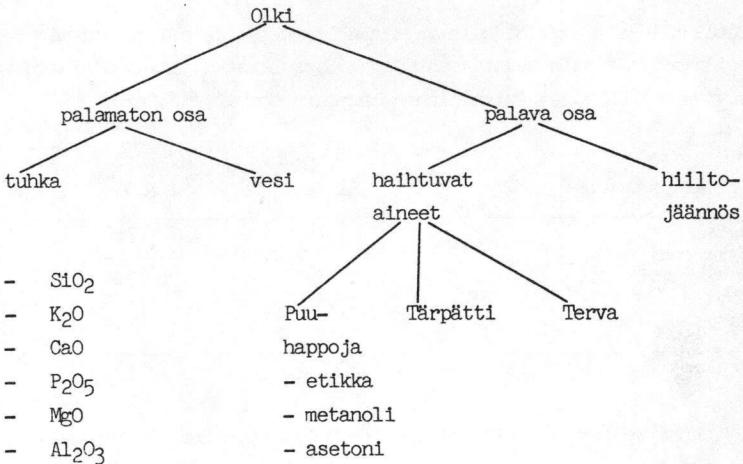
3. OLKI POLTTOAINEENA

3.1 Oljen energiasisältö

Kiinteät polttoaineet sisältävät palavan aineen lisäksi palamattomia kivennäisaineita, jotka polttoaineen palaessa muodostavat tuhkaa. Polttoaineen palava osa käsittää kiinteän osan eli hiilijäännöksen ja haihtuvien aineiden osan, joka sisältää esim. tervan ja kuivatislaus- tuotteet.

Olki ja puu kuuluvat geologiselta iältään nuorimpiin polttoaineisiin ja muistuttavat tämän vuoksi rakenteeltaan toisiaan. Haihtuvien aineiden osuus on molemmilla suuri, oljella 70...80 % ja puulla 75...80 %. Olki sisältää tuhkaa 10...20 kertaisen määrän puuhun verrattun.

Kuvassa 3 on kaavio oljen rakenteesta polttoaineena.



Kuva 3. Oljen rakenne polttoaineena

Tuhkattoman kuiva-aineen tehollinen eli alempi lämpöarvo Ha voidaan nuorille polttoaineille laskea Steuerin ja Michelin mukaan yhtälöillä

$$Ha = 81 C + 291 H + 25 S - 30,56 \cdot O \quad (\text{kcal/kg}) \quad \text{Steuer} \quad (1)$$

$$Ha = 81,3 C + 243 H + 15 N + 45,6 S - 25,3 \cdot O \quad (\text{kcal/kg}) \quad \text{Michel} \quad (2)$$

missä C = hiili
H = vety
S = rikki
N = typpi
O = happi

Aineiden pitoisuudet sijoitetaan yhtälöihin painoprosentteina.

Oljen elementtaarianalyysiin ja kuiva-aineen teholliseen lämpöarvoon vaikuttavat esim. viljalaji ja -lajike, kasvupaikka, kasvuolosuhteet, korjuuaika ja varastointi.

Yhtälöt 1 ja 2 ovat oljelle varsin epätarkkoja ja niiden antamia arvoja voidaan pitää vain suuntaa antavina. Saksalaisten ja suomalaisten tutkimusten mukaan oljen kuiva-aineen lämpöarvot ovat /6/, /2/:

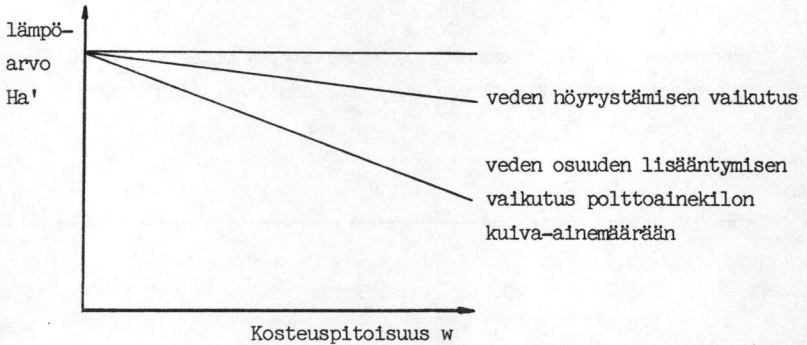
Viljalaji	Lämpöarvo (MJ/kg)	
	Saksa	Suomi
Ruis	17,7	17,6
Syysvehnä	17,2	-
Kevätvehnä	17,1	17,8
Ohra	17,5	17,4
Kaura	16,7	-

Taulukko 4. Olkilajien lämpöarvot /2/, /6/.

Keskiarvona Suomessa käytetään oljen kuiva-aineelle lämpöarvoa 17,4 MJ/kg.

3.2 Kostean oljen lämpöarvo

Polttoaineiden lämpöarvoon ja polttotekniikkaan vaikuttaa eniten polttoaineen kosteus. Kostean polttoaineen palaessa joudutaan polttoaineessa oleva vesi höyrystämään ja kun polttoainetilassa oleva kuiva-aineen osuus laskee, vähenee talteen saatava nettoenergia. Kuva 4.



Kuva 4. Kosteuden vaikutus polttoaineen lämpöarvoon.

Kun polttoaineen kosteuspitoisuus w määritellään yhtälön 3 mukaan

$$w = u/(u + K) \quad (3)$$

missä w = kosteuspitoisuus
 u = vesimäärä (kg)
 K = kuiva-ainemäärä (kg)

saadaan kostean oljen tehollisen lämpöarvon Ha' yhtälöksi

$$Ha' = Ha - 19,972 \cdot w \text{ (MJ/kg)} \quad (4)$$

Oljen lämpöarvo Ha' kosteuspitoisuuden w funktiona on esitetty liitteessä 1.

3.3 Oljen palaminen

3.3.1 Oljen elementtaarianalyysi

Polttoaineen teoreettisen eli täydellisen palamisen tarvitseman palamisilmamäärän ja palamisessa syntyvän savukaasumäärän määrittämiseksi täytyy tuntea ko. polttoaineen kemiallinen alkuainesisältö eli elementtaarianalyysi.

Saksalaisessa tutkimuksessa /7/ on selvitetty yhteensä n. 350 näytteen perusteella eri olkilajien elementtaarianalyysit. Taulukko 5.

Olkilaji	C	O ₂	H ₂	N ₂	S	A
Ruis	50,4	39,1	5,5	0,4	0,1	4,5
Vehnä	48,1	40,3	5,5	0,5	0,1	6,5
Ohra	48,1	40,3	6,5	0,5	0,1	4,5
Kaura	48,7	40,0	5,9	0,4	0,1	4,9

Taulukko 5. Olkilajien elementtaarianalyysit /7/. Luvut painoprosentteina kuivapainosta. A = tuhkapitoisuus.

Merkittevin eri olkilajien välinen ero on vehnän korkea tuhkapitoisuus.

Edellä on jo mainittu oljen ja puun yhtäläisyyksistä polttoaineena ja tämä ilmenee myös taulukosta 6, jossa oljen keskimääräinen elementtaarianalyysi on esitetty yhdessä muiden kiinteiden polttoaineiden kanssa.

	Viljan olki	Rypsin olki	Puu	Turve	Kivihiili	POK
C	49,3	48,7	50	52,0 - 56,0	81,0 - 92,0	85,8
O ₂	39,3	42,7	43	20,0 - 30,0	1,4 - 10,0	0,3
H ₂	5,8	5,7	6	5,0 - 6,5	5,0 - 5,0	13,2
N ₂	0,5	0,4	0,1	1,0 - 25,0	1,2 - 1,7	0,2
S	0,1	0,1	-	0,05 - 0,0	0,6 - 1,4	0,5
A	5,0	2,4	0,5	2,0 - 10,0	1,0 - 15,0	0,01

Taulukko 6. Kiinteiden polttoaineiden elementtaarianalyysit /7/, /8/
POK = kevyt polttoöljy.

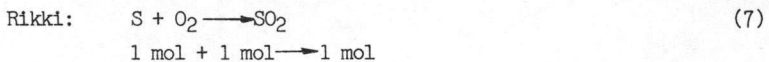
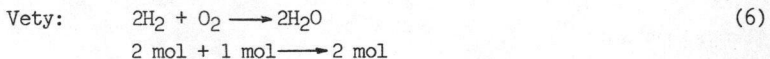
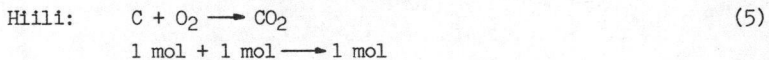
3.3.2 Palamisilma ja savukaasumäärät

Kiinteän polttoaineen palaminen tapahtuu neljässä eri vaiheessa, jotka ovat: kosteuden haihtuminen, haihtuvien aineiden kaasuuntuminen, haihtuvien aineiden palaminen ja hiilen palaminen.

Kosteuden haihtuminen tapahtuu n. 100 °C lämpötilassa, minkä jälkeen 150...200 °C lämpötilassa alkaa haihtuvien aineiden kaasuuntuminen. Aluksi kaasuuntuminen sitoo lämpöä, mutta muuttuu lämpöä luovuttavaksi yli 350 °C lämpötiloissa. Oljen ja puun pitkä valaiseva liekki osoittaa haihtuvien aineiden palamisen. Haihtuvien aineiden täydellinen palaminen vaatii korkean 850...900 °C lämpötilan. Hiilijäännöksen syttymislämpötila on n. 300 °C.

Olkea poltettaessa palamiseen ottavat osaa hiili, vety ja rikki sekä happi, joka pienentää palamisilman tarvetta. Typpi ei ota osaa palamiseen, mutta sitoo lämpöä muuttuessaan kaasumaiseen tilaan.

Palamisilma- ja savukaasumääriä laskettaessa on käytetty seuraavia yhtälöitä:



Laskennassa, joka on tehty lähteessä /8/ esitetyllä menetelmällä, on käytetty seuraavia alkuarvoja:

Oljen elementtaarianalyysi = taulukko 6

Atomi- ja moolipainot:

C	=	12,011 g/mol
H ₂	=	2,016 "
O ₂	=	31,999 "
N ₂	=	28,013 "
S	=	32,064 "
ilma	=	28,964 "
vesi	=	18,016 "
SO ₂	=	64,063 "
CO ₂	=	44,010 "

Moolitilavuudet:

CO ₂	=	22,3 · 10 ⁻³ m ³ /mol
N ₂	=	22,4 · 10 ⁻³ "
SO ₂	=	21,9 · 10 ⁻³ "
H ₂ O	=	22,4 · 10 ⁻³ "
ilma	=	22,4 · 10 ⁻³ "

Ilman koostumus:

N ₂	=	78,09 til.%
O ₂	=	20,95 "
A	=	0,93 "
CO ₂	=	0,03 "

Palamisilman lämpötila = 25 °C

Palamisilman suhteellinen kosteus = 50 %.

Näillä arvoilla saadaan oljen kuiva-aineen palamisilmamääräksi polttoainekiloa kohden ilmakertoimella 1,0

$$m_1 = 5,97 \text{ kg/kgpa}$$

$$V_1 = 4,62 \text{ nm}^3/\text{kgpa}$$

missä m = massa

V = tilavuus

i = ilma

nm^3 = normaali m^3 (0 °C, 101,325 kPa)

kgpa = kg polttoainetta

ja kosteiden savukaasujen määräksi (sk = savukaasu) vastaavasti

$$m_{sk} = 6,90 \text{ kg/kgpa}$$

$$V_{sk} = 5,92 \text{ nm}^3/\text{kgpa}$$

Todelliset palamisilma- ja savukaasumäärät saadaan ottamalla huomioon palamisen tarvitsema ilmaylimäärä eli ilmakerroin n .

Ilmakerroin on todellisen ilmamäärän suhde teoreettiseen ilmamäärään eli

$$n = m_1/m_{1n=1} \quad (11)$$

$$n = V_1/V_{1n=1} \quad (12)$$

Syntyvät savukaasumäärät saadaan yhtälöillä

$$m_{sk, n} = m_{sk, n=1} + (n - 1) m_{1n=1} \quad (13)$$

$$V_{sk, n} = V_{sk, n=1} + (n - 1) V_{1n=1} \quad (14)$$

missä $m_{sk, n}$ = savukaasujen massa ilmakertoimella n

$V_{sk, n}$ = savukaasujen tilavuus ilmakertoimella n

$m_{sk, n=1}$ = savukaasujen massa ilmkertoimella 1

$V_{sk, n=1}$ = savukaasujen tilavuus ilmakertoimella 1

$m_{in} = 1$ = palamisilman massa ilmakertoimella 1

$V_{in} = 1$ = palamisilman tilavuus ilmakertoimella 1

Liitteessä 2 ja 3 on esitetty palamisilma- ja savukaasumäärät ilmakertoimen ja polttoaineen kosteuden funktiona. Kuviin piirretyn esimerkin mukaan poltettaessa olkea, jonka kosteus on 20 % ilmakertoimella $n = 2,0$, tarvitaan poltettua olkikiloa kohti palamisilmaa 9,6 kg = 7,4 nm³ ja savukaasuja syntyy 10,5 kg = 8,1 nm³.

Kun ilmakerrointa pidetään vakiona, pienenevät palamisilma ja savukaasumäärät polttoaineen kosteuspitoisuuden kasvaessa. Käytännössä polttoaineen kosteuden kohoaminen vaatii niin paljon suuremman ilmakertoimen käyttöä, että palamisilma- ja savukaasumäärät myös kasvavat.

Palamisen ilmakerroin saadaan mittaamalla savukaasujen CO₂- tai O₂-pitoisuus. Ilmakertoimen suhde CO₂- tai O₂-pitoisuuteen on kullekin polttoaineelle ominainen suure ja se voidaan laskea yhtälöillä 15 tai 16.

$$\text{CO}_2\text{-til.\%} = 100 \cdot V_{\text{CO}} / V_{\text{sk, ku}} \quad (\%) \quad (15)$$

$$\text{O}_2\text{-til.\%} = 100 \cdot 0,2095 (n - 1) V_{in = 1} / V_{\text{sk, ku}} \quad (\%) \quad (16)$$

missä V_{CO} = CO₂:n tilavuus savukaasuissa

$V_{\text{sk, ku}}$ = kuivien savukaasujen tilavuus

n = ilmakerroin

$V_{i, n = 1}$ = palamisilman tilavuus, kun ilmakerroin on 1,0

Liitteessä 4 on esitetty kuivien savukaasujen CO₂- ja O₂-pitoisuudet oljelle ilmakertoimen funktiona. Siitä nähdään, että maksimi CO₂-pitoisuus olkea poltettaessa on 20,0 %.

3.3.3 Olkikattiloiden häviöt

Vertailtaessa eri kattilaratkaisuilla ja polttotavoilla tapahtuvaa palamista, voidaan vertailuarvona pitää palamishyötysuhdetta, joka ottaa huomioon häviöt vapaan lämmön ja palamattomien kaasujen muodossa. Kattilan lämmityskykyä kuvaa kattilahyötysuhde, johon edellämäinittujen häviöiden

lisäksi vaikuttavat johtumis- ja säteilyhäviöt, läpivirtaushäviöt ja palamattoman polttoaineen aiheuttamat häviöt. Lämmityksen vuosihyötysuhteeseen vaikuttavat näiden lisäksi lämmönsiirrossa ja varastoinnissa syntyvät häviöt.

3.3.3.1 Savukaasuhäviöt vapaan lämmön muodossa

Vapaan lämmön häviöillä tarkoitetaan kattilasta poistuvan savukaasun sisältämää lämpöenergiaa. Tätä häviötä ei voida kokonaan poistaa, koska savukaasun lämpötila ei saa alittaa kastepistelämpötilaa. Hyvässä kattilassa on vapaan lämmön muodossa syntyvä häviö suurin kattilan häviöistä.

Savukaasujen sisältämä lämpöenergia H lasketaan yhtälöllä 17.

$$H = m_{ok} \cdot \left[h_{ok}(t) - h_{ok}(t_0) \right] \quad (17)$$

missä m_{ok} = savukaasun osakaasun massa

$h_{ok}(t)$ = savukaasun osakaasun entalpia lämpötilassa t

$h_{ok}(t_0)$ = savukaasun osakaasun entalpia taselämpötilassa t_0

Savukaasun osakaasuja ovat: CO_2 , H_2O , SO_2 , N_2 ja ilma.

Vapaan lämmön häviö-% q_t saadaan yhtälöllä

$$q_t = 100 \cdot \frac{H(\Delta t)}{Ha'} \quad (18)$$

missä Ha' = polttoaineen lämpöarvo

Δt = savukaasujen ja palamisilman lämpötilaero.

Vapaan lämmön häviöitä laskettaessa on savukaasujen osakaasujen entalpiat saatu lähteistä /10/ ja /11/. Taselämpötilana on käytetty kattilahuoneen lämpötilana +25 ja polttoaineen lämpöarvo on laskettu yhtälöllä 4. Liitteessä 5 on esitetty käyrästä, josta vapaan lämmön häviöprosentit saadaan savukaasun ja palamisilman lämpötilaeron, savukaasujen $CO_2 + CO$ - pitoisuuksien ja polttoaineen kosteuksien funktiona. Käyrästä kosteuskorjaus on tarkka, kun $CO_2 + CO = 12\%$.

3.3.3.2 Savukaasuhäviöt palamattomien kaasujen muodossa

Epätäydellisen palamisen seurauksena savukaasut sisältävät hiilimonoksidia, vetyä ja hiilivetyjä. Vapaata vetyä voi syntyä hiilivetyjen hajoamisen tuloksena tai vesihöyryn hajotessa hehkuvan hiilen vaikutuksesta. Epätäydellisen palamisen aiheuttaa liian alhainen palamislämpötila, palamisilman (toisioilman) puute ja palamisilman huono sekoittuminen.

Häviöt palamattoman CO:n ja H₂:n muodossa saadaan yhtälöllä

$$q_{CO} = V_{sk, ku(n)} \cdot CO\text{-til.}\% \cdot \frac{H_{CO}}{Ha'} \cdot 100 (\%) \quad (19)$$

$$q_{H_2} = V_{sk, ku(n)} \cdot H_2\text{-til.}\% \cdot \frac{H_{H_2}}{Ha'} \cdot 100 (\%) \quad (20)$$

missä $V_{sk, ku(n)}$ = kuivien savukaasujen määrä ilmakertoimella n
CO-til.%, H₂-til.% = CO:n ja H₂:n pitoisuus kuivissa savukaasuissa

$$H_{CO} = CO:n \text{ lämpöarvo} = 12,645 \text{ MJ/rm}^3$$

$$H_{H_2} = H_2:n \text{ lämpöarvo} = 10,761 \text{ MJ/rm}^3$$

$$Ha' = \text{polttoaineen tehollinen lämpöarvo}$$

Palamattoman CO:n ja H₂:n muodossa syntyvät häviöprosentit olkea poltettaessa on esitetty liitteissä 6 ja 7 CO- ja H₂-pitoisuuksien, CO₂-CO-pitoisuuksien ja polttoaineen kosteuden funktiona. Käyrästöjen vasemmat puolet ovat tarkkoja, kun CO₂ + CO = 12 %.

3.3.3.3 Palamishyötysuhde

Palamishyötysuhde η_p on:

$$\eta_{pa} = 100 (q_t + q_{CO} + q_{H_2}) (\%) \quad (21)$$

missä q_t = häviö vapaan lämmön muodossa

q_{CO} = häviö palamattoman CO:n muodossa

q_{H_2} = häviö palamattoman H₂:n muodossa

3.3.3.4 Johtumis- ja säteilyhäviöt q_s

Häviöt muodostuvat kattilan rakenteista johtumalla siirtyvästä ja kattilan pinnan säteilemästä lämmöstä. Osa näistä häviöistä siirtyy takaisin kattilaan palamisilman lämpenemisen johdosta, mutta osa siirtyy kattilahuoneeseen tai sen ulkopuolelle. Näiden häviöiden tarkka laskennallinen määrittäminen on hankalaa, koska kattilan pintalämpötila, pinnan muoto ja -materiaali vaihtelevat kattilan eri osissa.

Mihin kiinteän polttoaineen kattiloihin verrattuna olkikattiloiden johtumis- ja säteilyhäviöt muodostuvat usein huomattavasti suuremmiksi, koska kattiloiden ja varsinkin varastosilojen suurempi koko lisää säteilypinta-alaa.

3.3.3.5 Läpivirtaushäviö q_v

Läpivirtaushäviöllä tarkoitetaan häviötä, joka syntyy lämmitysjakson jälkeen palamisen loputtua, jolloin kattilan läpi virtaa kylmää ilmaa jäädyttäen kattilaa. Läpivirtaushäviöitä voidaan pienentää sulkemalla kattilan luukut ja savukanavassa oleva säätö/sulkupelti lämmitysjakson jälkeen.

3.3.3.6 Tuhkahäviöt q_c

Tuhkahäviöillä tarkoitetaan tuhkan mukana kattilasta pois siirtyvää palamatonta hiiltä. Tuhka estää palamisilman pääsyn kosketuksiin hiilen kanssa, jolloin osa hiilestä jää palamatta. Arinapoltossa osa polttoaineesta valuu palamattomana arinan läpi. Palamatonta polttoainetta esiintyy myös lentotuhkan joukossa ja nokena.

3.3.3.7 Kokonaishyötysuhde

Kattilan hyötysuhde on tiettyinä aikana kattilaveteen siirtyneen lämpömäärän Q suhde samana aikana kuluneen polttoaineen sisältämään lämpömäärään Q_{pa} .

$$\eta_k = \frac{Q}{Q_{pa}} \cdot 100 (\%) \quad (22)$$

Ns. epäsuoralla menetelmällä kattilan hyötysuhde voidaan määrittää mittaamalla kattilan ja palamisen eri osahäviöt, jolloin kokonaishäviö q_{kok} on

$$q_{\text{kok}} = q_t + q_p + q_s + q_v + q_c \quad (\%) \quad (23)$$

missä	q_t	=	häviöt vapaan lämmön muodossa
	q_p	=	häviöt palamattomien kaasujen muodossa
	q_s	=	johtumis- ja säteilyhäviöt
	q_v	=	läpivirtaushäviöt
	q_c	=	tuhkahäviöt

Kattilan hyötysuhde on tällöin

$$\eta = 100 - q_{\text{kok}} \quad (\%) \quad (24)$$

Koska osahäviöitä on vaikea mitata tarkasti, käytetään kattilan hyötysuhteen määrittämiseen ns. suoraa menetelmää, jolloin yhtälö 22 on muodossa

$$\eta_k = \frac{\dot{m}_v \cdot \Delta h}{\dot{m}_{\text{pa}} \cdot Ha'} \cdot 100 \quad (\%) \quad (25)$$

missä	\dot{m}_v	=	kattilan läpi virtaavan veden massavirta
	Δh	=	kattilan meno- ja paluuveden välinen ominaisentalpia ero
	\dot{m}_{pa}	=	polttoaineen massavirta
	Ha'	=	polttoaineen tehollinen lämpöarvo

4. OLKILÄMMITYS

4.1 Olkilämmitystä vaikeuttavat tekijät

Olkea ja puuta voidaan useilta ominaisuuksiltaan pitää samanlaisina polttoaineina. Alkuainesisältö ja tehollinen lämpöarvo ovat hyvin lähellä toisiaan. Molemmat sisältävät runsaasti haihtuvia aineita ja palavat tämän vuoksi pitkällä valaisevalla liekillä ja vaativat palotilakseen laajan tulipesän. Oljen pieni energiatiheys ja suuri tuhkapitoisuus tekevät siitä kuitenkin puuta ja muita kiinteitä polttoaineita ongelmallisemman polttoaineen.

4.1.1 Oljen energiatiheys

Normaaleissa ylä- ja alapalokattiloissa olki palaa sitä paremmin mitä pienempi on oljen tiheys ja paalutun oljen tiheyden ylärajana voidaan pitää 80 kg/m^3 . Tällöin oljen energiasisältö kosteuspitoisuudesta riippuen on $275 \dots 320 \text{ kWh/m}^3$. Vastaavat arvot muilla kiinteillä polttoaineilla ovat: hake $750 \dots 850 \text{ kWh/m}^3$, halot ja palaturve $1100 \dots 1400 \text{ kWh/m}^3$ ja öljy 10000 kWh/m^3 .

Olkilämmityksessä pitää vähintään yhden vuoden polttoainemäärä hankkia ja varastoida yhdellä kertaa. Pienen energiatiheyden johdosta kasvavat varastotilan tarve ja varastointikustannukset suuriksi. Usein vuotuista polttoainemäärää ei voida varastoida varsinaisen lämpökeskuksen yhteyteen, vaan joudutaan käyttämään välivarastoja, jotka lisäävät lämmitystyön määrää ja kuljetuskustannuksia. Taulukossa 7 on esitetty polttoainemäärät, jotka tarvitaan korvaamaan 1 m^3 öljyä, kun otetaan huomioon eri polttoaineilla tapahtuvan lämmityksen hyötysuhde. Taulukon arvojen mukaan oljen varastotilan tarve on 6-kertainen halkoon ja palaturpeeseen verrattuna ja 3...4 kertainen hakkeeseen verrattuna.

Polttoaine	Polttoainemäärä m ³	Hyötysuhde %
öljy	1	75
halko	10	55
palaturve	11	60
hake	16	60
olki	60	40

Taulukko 7. Polttoainemäärät, jotka tarvitaan korvaamaan
1 m³ öljyä.

Jotta varastointikustannukset pysyisivät kohtuullisina pitäisi olki ensisijaisesti varastoida olemassa oleviin rakennuksiin, karjarakennusten ylisille ja latoihin. Uusia varastotiloja suunniteltaessa tulee kiinnittää huomiota seuraaviin seikkoihin.

- Varaston pitää olla halparakenteinen.
- Varaston pitää suojata olkea sateelta ja maasta nousevalta kosteudelta.
- Varaston täytön ja tyhjennyksen pitää olla helppoa.
- Varaston pitää mahdollistaa oljen kuivuminen

Suositteluvia varastomalleja ovat pylväskatokset ja suojapeitteellä varustetut ladotut aumat.

Olkivaraston hyvä ilmanvaihto edistää oljen kuivumista. Jos olkipaalit ladotaan varastoon, ei seinää tarvita lainkaan, koska sivusuunnalta tuleva sade ja tuiskuava lumi kostuttaa vain reunimmaisen paalirivin pintakerroksen 10...15 cm:n paksuudelta. Tämäkin voidaan estää käyttämällä irroitettavia peitteitä. Varastoitaessa paaleja hajallaan riittää varaston seinäksi harva laudoitus tai verkko.

Oljen pienen energiatiheyden vaikutuksesta ovat olkikattilat ja varastosiilot suurikokoisia. Suuri koko lisää kattilan hintaa, mutta tämän lisäksi suurentaa myös säteily- ja johtumishäviöitä. Tällöin kattilan hyötysuhde pienenee ja lämmityskustannukset kasvavat lisääntyvien varastointi-, lämmitystyö- ja polttoainekustannusten vaikutuksesta.

4.1.2 Kostean oljen palaminen

Oljen kosteus puintihetkellä vaihtelee syksyn sääolojen mukaan 30... 60 %. Oljen korjuukosteus määräytyy käyttötarkoituksen perusteella, mutta myös lämmityskäyttöön tarkoitettu olki tulisi homepölyhaittojen välttämiseksi korjata vasta sitten, kun kosteus on alle 30 %.

Koska olkilämmitykseen käytettävän kattilan tulee olla ns. varaavan lämmityksen kattila, ilmenevät vaikeudet kosteaa olkea poltettaessa erityisesti sytytysvaiheessa. Alapalokattilassa, jossa tulipesän lämpötilaa on kohotettu osittaisilla murauksilla, voidaan ilman tukipolttoainetta polttaa korkeintaan 18...20 % kosteaa olkea. Puulla ja palaturpeella vastaava kosteuspitoisuus on 30...40 %.

Kostean oljen palamisvaikeudet johtuvat sekä oljen pienestä energia- tiheydestä että alhaisesta lämpöarvosta. Lämmönsiirto polttoaineen eri osien välillä on niin huono, ettei palamisprosessi eli pyrolyysi etene riittävän nopeasti tai se pysähtyy kokonaan. Tällöin haihtuvien aineiden palamiseen vaadittavaa lämpötilaa ei saavuteta ja palaminen tapahtuu kytemisasteella ja kattilan teho ja hyötysuhde ovat alhaisia.

Kostean oljen palamista voidaan parantaa:

1. palamisilmapuhaltimella
2. pöyhijällä
3. tukipolttoaineella
4. palamisilman esilämmityksellä
5. tulipesän lämpötilan kohottamisella

Palamisilmapuhallinta käyttämällä voi oljen kosteuspitoisuus olla n. 21 % ja pöyhinnällä päästään 1...2 %-yksikköä suurempaan kosteuteen. Tukipolttoaineen määrää lisäämällä päästään n. 25 % kosteuteen, mutta tällöin puiden osuuden pitää olla lähes 50 paino-%. Kun tukipolttoaineen määrä on 30 %, voi oljen kosteus olla n. 23 %. Palamisilman esilämmityksen vaikutuksesta oljen kosteuteen ei tarkalleen tiedetä.

Koska palamisilman lämpeneminen kohottaa palamislämpötilaa, kohoaa myös tulipesän lämpötila. Oljen kosteus voi olla suurempi, mutta erot ovat todennäköisesti hyvin pieniä.

Muurausten lisäämisellä voidaan tulipesän lämpötilaa kohottaa. Täysin muuratulla etupesällä saadaan tulipesän pysyväksi lämpötilaksi 900... 950 °C oljen kosteuden ollessa 24...26 %. Koska muuraukset lämpenevät hitaasti, pitää lämmitys aloittaa kuivilla oljilla ja kosteisiin olkiin voidaan siirtyä vasta kun tulipesän lämpötila on riittävän korkea. Polttoaineteholtaan 100 kW etupesän lämpeneminen kestää 2...3 tuntia, kun polttoaineena käytetään paalista revittyä hyvin palavaa irta-olkea ja vasta tämän jälkeen voidaan polttoaineena käyttää yli 25 % kosteaa olkea.

Koska kostea olki ei pala kylmässä kattilassa on pelkkään olkeen perustuva lämmitys epävarmaa. Useimmiten ainakin osa olkiasadosta saadaan kuivana talteen ja kostea olki kuivuu talven aikana ilmvassa varastossa 2...6 %-yksikköä. Olkilämmityksen epävarmuutta voidaan pienentää suurentamalla polttoaineväriä vastamaan 1,5...2 vuoden tarvetta tai turvautumalla oljen kuivaamiseen erityisesti tätä tarkoitusta varten rakennetulla kylmäilmakuivurilla. Oljen kuivaaminen apuenergialla tai varastotilojen laajentaminen lisäävät lämmityskustannuksia ja pienentävät oljen kilpailukykyä muihin polttoainevaihtoehtoihin nähden.

4.1.3 Tuhka

4.1.3.1 Tuhkan koostumus ja sulamislämpötilat

Viljan olki sisältää tuhkaa 4...7 % kuiva-aineesta. Runsas tuhkamäärä ja tuhkan sulaminen alhaisessa lämpötilassa vaikeuttavat oljen palamista estämällä palamisilman kulkua ja lisäämällä lämmitystyön määrää.

Kiinteän polttoaineen tuhkan sulamisominaisuuksia kuvataan yleensä ns. K_T - arvolla, joka on:

$$K_T = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{CaO}} \quad (25)$$

K_T - arvo ei ota kuitenkaan huomioon alkalimetalleja K ja Na, joilla on sulamislämpötiloja alentava vaikutus. Koska oljen tuhka sisältää runsaasti kaliumia, ei K_T - arvo anna oikeaa kuvaa oljen tuhkan sulamisesta muihin kiinteisiin polttoaineisiin verrattuna. Taulukossa 8 on esitetty eri olkilajien tuhkan koostumus ja taulukossa 9 sulamislämpötilat sekä viljan että rypsin oljelle.

Aine	Vehnä	Ruis	Ohra	Kaura
SiO ₂	78,2	61,7	44,7	37,3
K ₂ O	6,6	19,2	37,1	40,3
CaO	5,0	7,4	9,3	12,3
P ₂ O ₅	3,3	3,7	3,8	4,1
MgO	3,6	2,8	2,5	3,0
Al ₂ O ₃	2,0	2,1	0,4	0,8
Fe ₂ O ₃	1,5	1,5	0,5	0,5
SO ₃	1,4	1,3	1,4	1,4
Na ₂ O	0,3	0,3	0,3	0,3

Taulukko 8. Eri viljalajien oljen tuhkan koostumus

Taulukosta 8 nähdään, että eri olkilajien tuhkat poikkeavat eniten SiO₂-, K₂O- ja CaO-pitoisuuksien kohdalla. SiO₂:lla on sulamislämpötiloja kohottava ja K₂O:lla ja CaO:lla niitä alentava vaikutus. Tämä näkyy selvästi taulukossa 9 olevista tuhkan sulamislämpötiloista.

Sulamisen tila	Lämpötilat (°C)				
	Vehnä	Ruis	Ohra	Kaura	Rypsi
Pehmenemispiste	1050	840	765	735	1220
Puolipallopiste	1350	1150	1035	1045	1490
Sulapiste	1400	1330	1190	1175	1495

Taulukko 9. Eri viljalajien oljen ja rypsin oljen tuhkan sulamislämpötilat

Oljen tuhkan sulaminen tapahtuu laajalla vaihteluväliltään 350...500 °C lämpötila-alueella ja vaihtelee viljalajeittain pääasiassa pioksidi- ja kaliumoksidipitoisuuksien vaikutuksesta. Rypsin tuhkan sulamislämpötilat ovat selvästi korkeampia, eikä tuhkan sulaminen aiheuta vaikeuksia rypsiä poltettaessa.

Eri olkilajeja erottelematta tapahtuu oljen tuhkan sulaminen lämpötila-alueella 730...1400 °C. Lämpötila-alue on niin laaja, ettei normaalissa lämmityksessä käytettävissä kattiloissa voida päästä tilanteeseen, jossa tuhka pysyy joko täysin sulamattomana tai täysin sulana. Luonnonveto-kattiloissa hilloksen lämpötila on niin alhainen, ettei vehnää poltettaessa sulamista tapahdu, mutta muiden olkilajien kohdalla osa tuhkasta sulaa. Puhallinkattiloissa kaikkien olkilajien tuhka sulaa ainakin osittain, mutta juoksevaan muotoon tuhkaa ei normaalissa lämmityksessä (sytitys, osateho) saada. Tämän johdosta olkikattilan arinan pitäisi toimia sekä sulalla että sulamattomalla tuhalla ja tuhkanpoistolaitteen pitää pystyä käsittelemään sekä sulamisen jälkeen uudelleen jähmettynyttä että sulamatta jäänyttä tuhkaa.

4.1.3.2 Arinoiden toiminta

Kun olkea poltetaan tavallisella rakoarinalla, tarttuu sularut tuhka arinan rautoihin ja lisäksi estää sulamattoman tuhkan valumista. Jos tuhka ei sula arinalla, jää osa hiilijäännöksestä palamatta. Tällöin oljen tuhka säilyttää korsimuotonsa eikä irtoa kunnolla paalista. Tuhka kerääntyy arinalle ja varsinainen palamisvyöhyke kohoaa arinan yläpuolelle. Tämä laskee palamisen tasoa, koska osa palamisilmasta ohittaa polttoaineen palavan osan.

Riittävän harvalla mekaanisesti puhdistuvalla arinalla saadaan tuhka valumaan arinan läpi. Hyvä ja tasainen palaminen vaatii puhdistuslaitteen säädettävyyttä palamisen tason, esim. savukaasun lämpötilan mukaan. Mekaanisesti toimiva arinan puhdistuslaite lisää häviöitä palamattoman polttoaineen muodossa.

Puhallinkattilassa suurin osa tuhkasta sulaa. Sulaminen suurentaa tuhkan tiheyttä ja lisää tuhkatilan riittävyttä, mutta jollei tuhka siirry sulassa tilassa arinalta tuhkatilaan, ei pysyvää hyvätasoista palamista saavuteta.

4.1.3.3 Tuhkan poisto

Oljen runsas tuhkapitoisuus lisää huomattavasti olkikattilan vaatimaa hoitotyömäärää, jos tuhkan poisto tapahtuu tavallisilla käsityökaluilla. Varaavassa lämmityksessä arina täytyy puhdistaa aina ennen sytyttämistä ja samalla kattila yleensä tuhkataan. Olkikattilan tuhkatilan tulee mah-
tua vähintään yhden varaukserran eli noin 6 tunnin lämmityksen aikana syntyvä tuhkamäärä. Tuhkanpoistovälien pidentämiseksi voidaan tuhkatilaa suurentaa, mutta tuhkatilan kasvaessa suurentuvat yleensä myös tuhka ja johtumis- ja säteilyhäviöt.

Sulamaton oljen tuhka on kevyttä ja hienojakoista pölyä. Tuhka voidaan poistaa joko käsityövälinein, ruuvilla, imurilla tai vesihuhtelulla. Koska tuhkan sulamista ja palamattoman polttoaineen joutumista tuhkan sekaan ei voida täysin välttää, tulee olkikattilan tuhkanpoistolaitteen pystyä käsittämään sekä sulamatonta että sulamisen jälkeen uudelleen kovettunutta tuhkaa. Rakoarinalla varustetuissa kattiloissa tuhkan poisto onnistuu vain käsin, mutta arinattomissa tai erikoisarinoilla varustetuissa kattiloissa voidaan tuhkanpoiston työmäärää pienentää joko automaattisesti tai käsin ohjatulla ruuvilla. Mikäli sulanut kylmä tuhka murskataan hienojakoiseksi pölyksi, voidaan imuria ja vesihuhtelua käyttää tuhkan siirtoon kattilahuoneesta tuhavarastoon.

Oljen tuhka sisältää runsaasti kalkkia ja ravinteita, joten se kannattaa kerätä talteen ja käyttää maanparannusaineena kalkin ja lannoitteiden ta-
voin. Tuhkan sulaminen pienentää ravinteiden käyttökelpoisuutta.

5. OLJEN KUIVUMINEN

5.1 Oljen tasapainokosteus

Kuivattaessa olkea pellolla, varastossa tai varastokuivurissa määrätty saavutettavissa oleva loppukosteus = tasapainokosteus kuivaavan ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden perusteella. Tasapainokosteusarvojen avulla voidaan myös tietää millaisissa sääolosuhteissa olkea voidaan kuivata ja mitkä ovat hygrostaattiohjatun kuivurin säätöjen asetusravot.

Oljen tasapainokosteudet on esitetty liitteessä 8.

Oljen tasapainokosteudet mitattiin 10 °C, 15 °C, 20 °C ja 25 °C lämpötiloissa suhteellisen kosteuden arvoilla 90 %, 70 %, 50 % ja 30 %. Jotta saadut tulokset vastaisivat normaalia oljen kuivumistapahtumaa, kostutettiin oljet aluksi eri lämpötiloissa säätämällä ilman suhteelliseksi kosteudeksi 100 %. Oljen kosteuspitoisuus mitattiin vuorokauden välein, ja kun se oli vakiintunut, alennettiin ilman suhteellinen kosteus portaittain 90 %:sta 30 %:iin. Ilman suhteellinen kosteus pidettiin vakiona niin kauan kunnes oljen kosteus oli pysynyt 1 vuorokauden vakiona.

Kauraa huomioimatta, eri viljalajien oljen tasapainokosteudet poikkesivat toisistaan 0...0,8 %-yksikköä eri mittauksissa. Liitteen 8 käyrät ovat tasapainokosteusarvojen keskiarvoja, koska erot olisivat olleet merkityksettömän pieniä.

Kauran oljen tasapainokosteudet olivat selvästi suurempia kuin muiden olkilajien. Kauran olki oli muihin olkilajeihin nähden heikompileatuisia, joten tuloksia ei voida pitää aivan luotettavina. Liitteessä 8 on kuitenkin esitetty esimerkkinä kauran oljen tasapainokosteudet lämpötiloissa 15 °C ja 25 °C.

Tuloksista voidaan havaita, että oljen tasapainokosteus on alle 20 % aina, kun ilman lämpötila on yli 10 °C ja suhteellinen kosteus alle 75 %. Näin ollen voidaan kosteanakin korjattu olki kuivata suotuisissa olosuhteissa polttotarkeitukseen soveltuvaiksi.

Heinään verrattuna oljen tasapainokosteudet ovat selvästi alhaisempia, joten heinällä tehtyjä kylmäilmakuivauskokeita ei voida käyttää oljen kuivumista arvioitaessa. Liitteessä 8 on esitetty heinän tasapainokosteudet lämpötiloissa 20 °C ja 25 °C (Winkeler).

5.2 Oljen kuivuminen pellolla

Polttoaineeksi tarkoitettun oljen kosteuspitoisuuden tulisi olla alle 20 %. Varastossa olki säilyy moitteettomana alle 25 % kosteudessa, mutta niissäkin kattiloissa, joissa olki palaa yli 20 %:n kosteudessa laskevat teho ja hyötysuhde polttoaineen kosteuden kohotessa ja 25 % kostea olkea voidaan polttaa vain etupesässä tai käytettäessä runsaasti tukipolttoainetta.

Oljen kosteus puintihetkellä vaihtelee vallitsevien sääolosuhteiden ja puintihetken mukaan 30...60 % välillä. Vaikka olki kuivuukin varastossa, kannattaa olki kuivata karholla mahdollisimman pitkälle. Aurinkoisella ja tuulisella säällä oljen kuivuminen on nopeaa ja yleensä tarvitaan vain 1...3 vrk:n poutajakso oljen kuivaamiseksi varastointikelpoiseksi. Polttokäyttöön sopivaksi kuivuminen vaatii kuitenkin 2...4 aurinkoista ja lämmintä päivää. Oljen kuivumista voidaan nopeuttaa pöyhimällä.

Sateen jälkeen karholla olevan oljen kosteus on 75...82 %. Alkusyöksen suotuisissa olosuhteissa näin märkä olki kuivuu 25 %:iin kahdessa vuorokaudessa ja 20 %:iin neljässä vuorokaudessa /2/.

5.3 Oljen kuivuminen varastossa

Varastoitaessa yli 20 % kostea olkea alkavat paalit lämmentä ja lämpeneminen voimistuu kosteuspitoisuuden kasvaessa. Paalikasan lämpeneminen kiihdyttää kosteuden höyrystymistä ja paalit kuivuvat, mikäli varastossa on riittävä ilmanvaihto. Kun oljen tiheys on 90 kg/m³ ja alkukosteus 24...26 %, tulee oljen loppukosteudeksi 20...22 % n. 3 kuukauden kuluttua /2/. Jos paalien tiheys on alle 80 kg/m³ jatkuu kuivuminen ja loppukosteus on kuuden kuukauden kuluttua 17...19 %.

Yli 25 % kosteaa olkea varastoitaessa lisääntyvät homepölyhaitat ja kuiva-ainetappiot, mutta niillä on selvä vaikutus oljen energiasisältöön vasta kun varastointikosteus on yli 35 %. Parhaiten olki kuivuu sateelta ja maakosteudelta suojatussa pylväskatoksessa.

Oljen varastokuivumisen johdosta pienenee olkilämmityksen riskialttius huomattavasti, jos olkea ja varastotilaa on käytettävissä 1,5...2 vuoden tarvetta vastaava määrä.

5.3 Oljen kuivaaminen apuenergialla

Mikäli tilan lämmityksen ainoa polttoainevaihtoehto on olki ja tilalla ei ole valmiina riittävän suuria tiloja ylivuotisen oljen varastoimiseksi, on varauduttava käyttämään apuenergiaa oljen kuivaamiseksi.

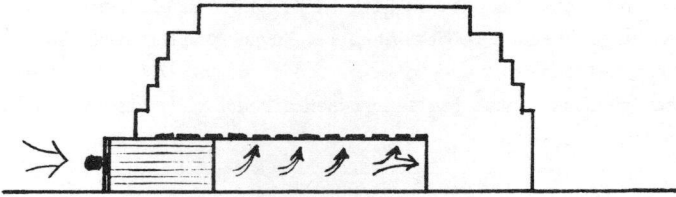
Käyttökelpoinen kuivausmenetelmä on olkivarastoon rakennettu kylmäilma-kuivuri, jolloin lisälämmönlähteenä voidaan käyttää esim. auringon energiaa.

5.3.1 Oljen kylmäilmakuivaus

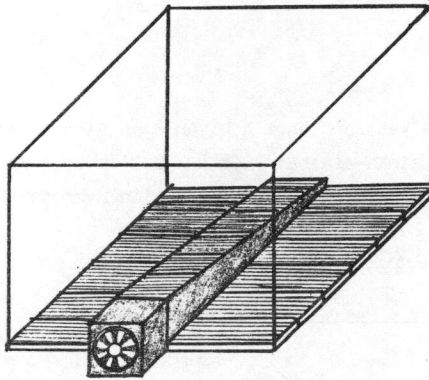
Paalattuja olkia kuivattaessa on pyrittävä mahdollisimman yksinkertaisiin ja halpoihin, mutta silti helposti täytettäviin ja tyhjennettäviin kuivurirakenteisiin. Yksinkertaisin varastokuivuri on sateelta ja maakosteudelta suojattu paalikasa, johon ilmanava tehdään paaleista latomalla, kuva 5.

Mikäli käytettävissä on sopiva rakennus, voidaan sitä käyttää varastokuivurina, kun lattiat ja seinät tiivistetään ja rakennetaan puhalluskanava ja rakolattia, kuva 6.

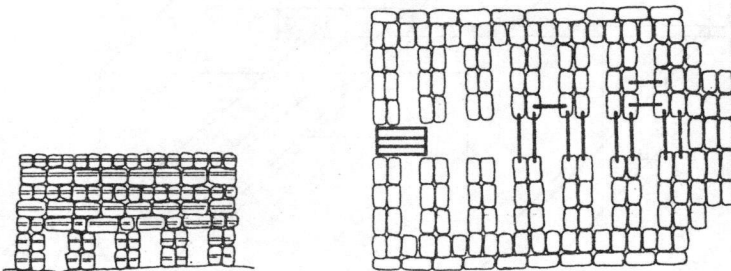
Rakolattian käyttö ei ole välttämätöntä, jos kuivausilma johdetaan paalikasan eri osiin paaleista rakennettuja ilmanavia pitkin, kuva 7.



Kuva 5. Olkipaalien varastokuivuri



Kuva 6. Kaaviokuva rakolattiakuivurista



Kuva 7. Varastokuivuri, jossa ilmakanavat on rakennettu paaleista latomalla /13/.

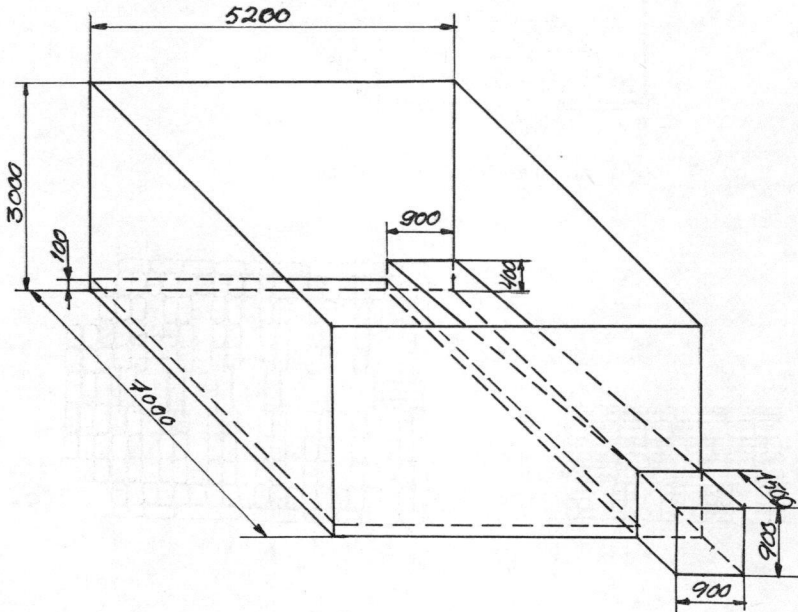
Kuvan 7 kuivuriratkaisu on hieman halvempi kuin kuvassa 6 esitetty, mutta kanaviston ladonta on hidasta ja hankalaa eikä kuivuria voida rakentaa yhtä suurille olkimäärille. Kuvan 5 paalikuivurissa pitää sivu- ja päätyseinien paksuuden olla n. 0,8 x kanavan yläpuolella olevan kerroksen paksuus, jotta paalikerroksen aiheuttama vastapaine olisi kaikkiin suuntiin sama.

Kylmäilmakuivauksessa 1000 kg kuivattua olkea tarvitsee kuivausilmaa 900...1200 m³/h ja ilman nopeuden olkikerroksessa pitäisi olla 0,09...0,12 m/s.

5.3.2 Paalaton oljen kylmäilmakuivauskoe

5.3.2.1 Kuivuri

Paalaton oljen kuivauskoe tehtiin kuvan 8 mukaisessa rakolattiakuivurissa, jonka pohjan pinta-ala oli 36,4 m² ja korkeus 3 m. Puhaltimen teho oli 2,2 kW ja puhaltimen toimintaa ohjattiin hygrostaattilla.



Kuva 8. Kuivauskokeessa käytetty rakolattiakuivuri

5.3.2.2 Paalit

Kuivauskokeessa käytettyjen paalien mitat olivat 39 x 45 x 92 cm. Paalit ladottiin kyljelleen leikkauspinnat alaspäin siten, että paalikerrokset olivat mahdollisimman paljon ristikkäisessä asennossa. Paalikerroksia oli 6 kpl ja kokonaiskorkeus oli 2,7 m ja kokonaistilavuus 98,3 m³. Kuivattavia paaleja oli 728 kpl ja niiden keskimääräinen alkupaino oli 14,93 kg. Kokeen alussa oljen kokonaispaino oli 10870 kg ja keski kosteus 42,8 %. Paalien alkutiheys oli n. 113 kg/m³.

5.3.2.3 Kokeen suoritus

Kuivauskoe aloitettiin 6.9.1982 ja puhallusta jatkettiin yhtäjaksoisesti 4 vuorokautta. Tämän jälkeen puhallin kytkettiin hygrostaattiohjauksessa ja hygrostaatin säätöarvo asetettiin kolmen alimman paalikerroksen tasapainokosteusarvon alapuolella. Oljen kosteuspitoisuudet mitattiin 3...4 vuorokauden välein kunkin paalikerroksen kolmesta eri paalista. Viimeinen kosteusmittaus tehtiin 21.10.

5.3.2.4 Tulokset

Kokeen aikana puhallin kävi yhteensä 579 h eli 54 % koko kuivausajasta. Keskimääräinen kuivausilmamäärä kokeen aikana oli 9200 m³/h ja puhaltimen sähkötehon tarve 2,66 kW. Vettä poistettiin 3075 kg ja sähköä kului 1540 kWh eli 0,5 kWh/kg vettä. Ilman vedensitomiskyky oli 0,58 g/m³.

Taulukossa 10 on esitetty kokeen kulku viikottaisina keskiarvoina. Viimeisenä viikkona kuivuri kävi vain viikon kolmena ensimmäisenä päivänä.

Viikko	Käyttötunnit	Ilman lämpötila	Ilman suht. kosteus	Oljen kosteus	Haihdutettu vesimäärä	Ilman kosteus- sitomiskyky
	h	°C	%	%	kg	g/m ³
1	107	10,6	81	42,8 - 33,7	1492	1,59
2	77	12,8	85	33,7 - 32,3	194	0,27
3	86	7,8	82	32,3 - 36,6	303	0,38
4	66	8,3	80	30,0 - 27,3	330	0,54
5	88	6,7	81	27,3 - 22,9	488	0,60
6	109	4,3	81	22,9 - 21,0	194	0,19
7	46	2,6	82	21,0 - 20,25	74	0,17

Taulukko 10. Kuivauskokeen viikottainen eteneminen

Taulukon 10 ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden keskiarvot ovat koko viikon keskiarvoja eivätkä puhaltimen käyntiajan aikaisia keskiarvoja. Tällöin ne eivät anna selvää kuvaa kuivausilman muutosten vaikutuksesta kuivaustulokseen. Viikkojen 2 ja 3 osalta kuivaustulokseen on vaikuttanut säään lisäksi kosteuden tiivistyminen ylimpiin paalikerroksiin. Viikon 3 loppupuolella alkoi 3 ylimmän paalikerroksen kuivuminen ja näiden kerrosten kuivuminen on voimakkainta viikoilla 4 ja 5. Viikoilla 6 ja 7 vaikuttaa kuivaustulokseen vuotoilman osuuden lisääntyminen. Liitteessä 9 on esitetty oljen kuivumisen edistyminen sekä viikottain että käyttötunneittain ja erikseen ylimmän paalikerroksen kuivuminen käyttötunneittain. Keskimääräinen kuivumisnopeus ko. olkierällä (loppupaino 7800 kg, loppukosteus 20 %) oli 0,04 %-yksikköä/h. Vuorokaudessa olki kuivui keskimäärin 0,5 %-yksikköä.

Taulukkoon 11 on laskettu oljen kuivausajat eri alkukosteuksille, kun oljen loppukosteus on 20 %.

Alkukosteus %	Kuivurin käyttöstunnit h	Kuivausaika vrk
45	640	50
40	514	40
35	385	30
30	256	20
25	128	10

Taulukko 11. Oljen kuivausajat, kun kuivatun olkierän loppupaino on 7800 kg ja loppukosteus 20 %.

Taulukossa 12 on esitetty kuivaamisen vaikutus oljen lämpöarvoon, kuivatun oljen lämpömäärään, vastaavat sähkönkulutukset ja kuivauksen sähkökustannukset

Oljen alku- kosteus %	Lämpö- arvo MJ/kg	Lämpömäärän muutos kWh	Sähkön kulutus kWh	Kuivauksen sähkökustannus mk/1000 kg
45	8,41	2610	1702	72
40	9,41	1930	1367	58
35	10,41	1357	1024	43
30	11,41	866	681	29
25	12,41	440	340	14
20	13,41			

Taulukko 12. Kuivauksen vaikutus oljen lämpöarvoon, kuivauserän lämpömäärään, kuivauksen energian kulutus ja kuivauksen energiakustannukset kuivaa olkitonnia kohti sähkön hinnalla 33,1 p/kWh.

Taulukosta 12 nähdään, että näin määriteltynä kuivauksen energiatase pysyy positiivisena koko kuivauksen ajan. Kun otetaan huomioon, että yli 30 % kosteaa olkea ei voida polttaa millään kattilalla ja 25 %-kosteuksilla palaminen on useimmiten kytevää ja hyötysuhde 10...40 %-yksikköä huonompi kuin kuivaa olkea poltettaessa, on kuivauksesta saatava hyöty aivan toista suuruusluokkaa.

Vaikka syksyn 1082 sääolosuhteet olivat kylmäilmakuivauksen kannalta normaalia paremmat, oli kuivauksen kesto aika 45 vrk. Eniten kuivausaikaa pidensi kolmen ylimmän paalikerroksen hidas kuivuminen, sillä kolmen alimman paalikerroksen keskikosteus oli alle 20 % jo kymmenen vuorokauden kuluttua. Ylimpien paalikerrosten hitaaseen kuivumiseen vaikutti kosteuden tiivistymisen lisäksi se, että paalien tiheys oli suurempi.

Koe kuitenkin osoittaa, ettei tämän kokoluokan kuivurilla voida korjuukauden aikana kuivata kuin korkeintaan kaksi olkierää, vaikka kuivaus-tarve olisi alle 10 %-yksikköä. Koska olki kuivuu varastossa, voidaan kuivausaikaa lyhentää kuivaamalla olki vain varastointikelpoiseksi eli alle 25 % kosteuteen. Samalla pienenevät myös kuivauskustannukset. Kun olki kuivattiin 20 %:n kosteuteen, olivat energiakustannukset 2,9 mk/t x %-yksikkö . 22,5 %:n keskimääräisellä loppukosteudella olisivat energia-kustannukset olleet 2,5 mk/t x %-yksikkö. Koko olkimäärästä on tällöin alle 20 % kostea olkea n. 70 %.

5.3.3 Lisälämmön käyttö kylmäilmakuivauksessa

Lisälämmön käyttö kylmäilmakuivauksessa parantaa kuivausilman kosteuden-sitomiskykyä ja lyhentää kuivausjakson pituutta. Kun kuivausilman lämpö-tilaa nostetaan 3 °C, alenee elo-syyskuun ilmasto-olosuhteissa kuivaus-ilman suhteellinen kosteus 12...16 %-yksikköä ja ilman kosteuden sitomis-kyky kaksinkertaistuu. Kuivausaika lyhenee puoleen, jolloin esim. 10000 kg:n olkierän kuivauksessa puhaltimien käyntiaika lyhenee n. 120 tuntia, kun kuivaus tapahtuu 30 % kosteudesta 20 % kosteuteen. Kuivaus-kustannukset pienenevät 70...100 mk eli 7...10 mk/t kuivattua olkea.

Kuivausilman lämpötilan kohottaminen 3 °C vaatii 11,5 kW:n lämpötehon, kun ilmavirtaus on 11000 m³/h. Lisälämpö voidaan kehittää esim. aurinko-energialla, sähköllä tai olkikattilalla.

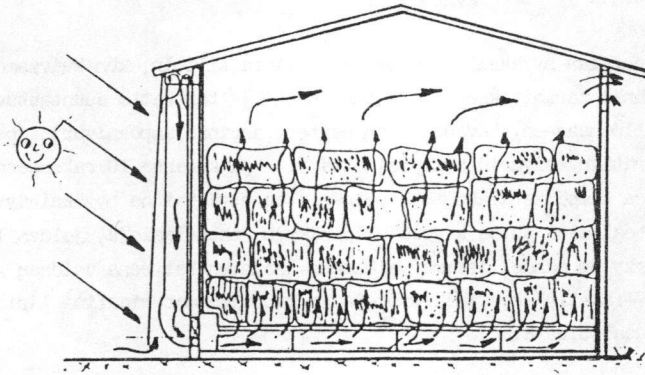
5.3.3.1 Aurinkoenergia

Aurinkoenergian hyväksikäyttö on mahdollista silloin, kun kuivaamorakennuksen tähän tarkoitukseen soveltuva seinä ja/tai katto suuntautuvat etelään tai lounaaseen. Kuvassa 9 on esitetty aurinkolämpökuivuri, jossa lämpö kerätään kuivurin pystyseinältä /14/ ja kuvassa 10 rakennetkai-sua, jossa lämpö kerätään sekä seinäpintaa että kattoa hyväksikäyttäen /14/. Kateaineina tulee käyttää läpinäkyviä materiaaleja, joiden lämmön-sitomiskyky on mahdollisimman alhainen. Seinien katteena voidaan käyttää ohuita UV-säteilyä kestäviä muoveja ja kattojen materiaalina läpinäkyvää lasikuituaaltolevyä.

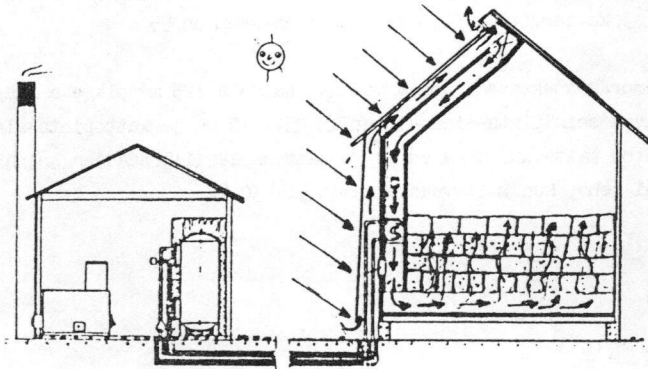
Aurinkoenergian kerääjän hyötysuhde paranee, kun kerääjän ja ulkoilman välinen lämpötila pienenee. Kun kuivausilman lämpötilaa kohotetaan vain 3 °C voidaan kerääjällä päästä 60...65 %:n hyötysuhteeseen. Kuivaus-ilman suhteellinen kosteus alenee tällöin n. 15 %-yksikköä.

Oljen kuivausaikana elokuun puolivälistä syyskuun loppuun on keskimääräinen säteilyteho etelään tai lounaaseen suuntautuvalla pystyseinälle Etelä-Suomessa 420 W/m² vuorokauden 12 lämpimimmän tunnin aikana /15/. Kerääjän tuottama lämpöteho on 210 W/m², kun hyötysuhde on 50 %. Lämpö-pinta, joka tarvitaan 11,5 kW:n tuottamiseen on 55 m².

Kuivaamorakennuksessa, jossa voidaan kuivata 125 m³ olkea on käytettävissä olevaa seinäpinta-alaa vähintään 25...30 m² ja kattopinta-alaa 30 m², kun katon kaltevuuskulma on 30 °. Kattokerääjällä saadaan seinäkerääjää parempi teho, kun kaltevuuskulma on yli 30 °.



Kuva 9. Varastokuivuri, jossa aurinkoenergian talteenotto tapahtuu seinäkerääjällä /14/.



Kuva 10. Varastokuivuri, jossa aurinkoenergia kerätään seinä- ja kattokerääjällä ja lisälämmönlähteenä käytetään keskuslämmityskattilaa /14/.

5.3.3.2 Sähkö

Sähkön käyttö kuivausilman lisälämmönlähteenä tulee kalliiksi, sillä lyhyemmästä kuivausajasta huolimatta kuivauskustannukset muodostuvat kolminkertaisiksi. Tämän lisäksi tarvittavat sähkötehot ovat usein niin suuria, että niiden kytkeminen verkkoon vaatii sähkölaitoksen luvan.

5.3.3.3 Olki

Mikäli lämpökeskus ja polttoainevarasto/kuivuri sijaitsevat lähellä toisiaan, voidaan lisälämmönlähteenä käyttää keskuslämmityskattilaa, kuva 10. Koska kattilan teho on suurempi kuin $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilan nostoon tarvittava $11,5\text{ kW}$ saadaan 125 m^3 kuivurissa ilman lämpötila korkeammaksi ja kuivausaika lyhyemmäksi. Kun kuivurille tuleva lämpöteho on 40 kW , kohoaa kuivausilman lämpötila $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja kuivausaika lyhenee viidesosaan pelkän kylmäilmakuivauksen vaatimasta ajasta.

Lämmöntuoton hyötysuhteella 40% kuluu polttoaineena $10\text{...}13\%$ kuivattavasta olkimäärästä. Mikäli ajansäästön ohella kuivauskustannukset halutaan pitää yhtä alhaisina kuin kylmäilmakuivauksessa, pitää oljen hankintakustannusten olla 9 mk/m^3 eli n. 11 p/kg (tiheys 80 kg/m^3). Kun oljen hankintakustannuksiin lasketaan korjuulaitteiden kuljetus-, työ-, kuivaus- ja varastointikustannukset on oljen hinta kolminkertainen, eikä oljen kuivaaminen oljella ole näin ollen taloudellisesti kannattavaa.

5.3.3.4 Yhteenveto

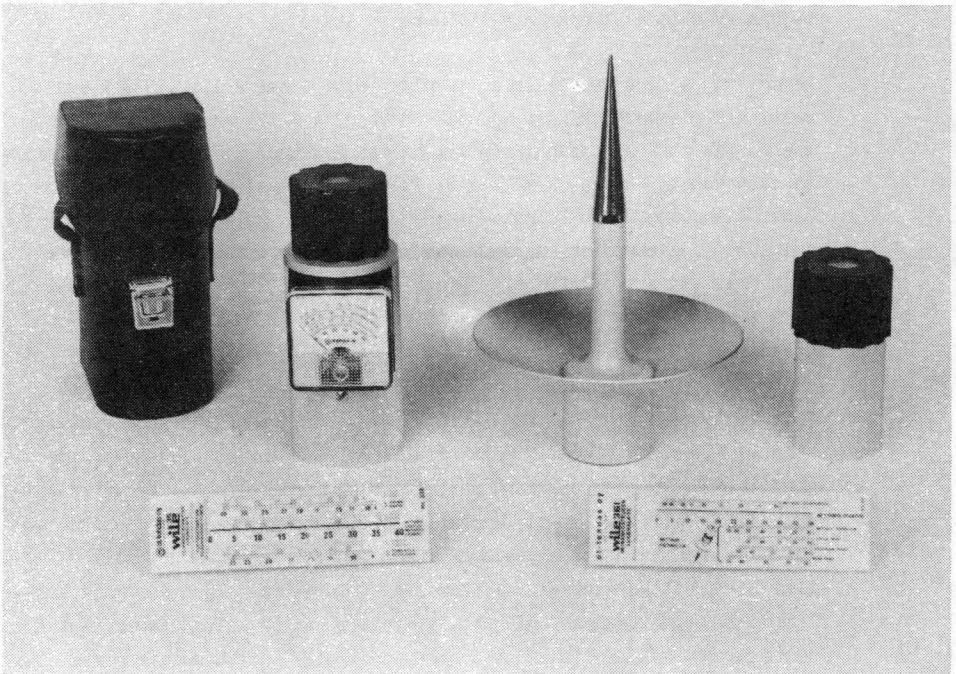
Pelkkään olkeen perustuvassa lämmityksessä tarvitaan jo alkusyksystä alle 20% kosteaa olkea. Mikäli tilalla voidaan korjata ja varastoida vähintään $1,5$ vuoden tarvetta vastaava olkimäärä, ei olkea tarvitse kuivata apuenergialla. Jos tällaista mahdollisuutta ei ole, on varauduttava kuivaamaan ainakin osa oljesta. Kuivaaminen voi tapahtua kylmällä ilmalla varastokuivurissa. Käyttämällä aurinko- tai oljen energiaa lisälämmön lähteenä saadaan kuivausaika lyhyemmäksi ja kuivauskapasiteetti suuremmaksi. Mikäli lisälämpö tuotetaan oljella, pitää kuivaa olkea olla varastossa vielä kesän lopulla $500\text{...}1500\text{ kg}$.

5.4 Oljen kosteuden määrittäminen

Oljen varastointi ja polttaminen onnistuu vain, jos oljen kosteus on suositusarvojen alapuolella. Tarkimmin oljen kosteus voidaan määrittää uunikuivaus + punnitus -menetelmällä, mutta tätä ei voida käyttää kenttäolosuhteissa, koska se on hidasta ja vaatii pienien näyte-erien vuoksi tarkkoja vaakoja.

Olkilämpömittäjä tarvitsee kenttäkäyttöön soveltuvan nopean kosteusmittarin, jonka tarkkuus on n. 2 kosteusprosenttiyksikköä.

Tällaisen mittarin toimivuuden ja tarkkuuden selvittämiseksi on tämän tutkimuksen yhteydessä käytetty tarkkojen kosteusmääritysten rinnalla OT-tehdas Oy:n valmistamia oljen ja heinän kosteusmittareita, kuva 11.



Kuva 11. Wiley-35 heinän ja oljen kosteusmittarit

Mittareiden runko-osa on samanlainen kuin ko. tehtaan valmistamissa viljankosteusmittareissa. Oljen ja heinän kosteusmittauksia varten toinen mittari on varustettu sylinterillä, johon näyte puristetaan vakiotiukkuuteen ja toisessa on pistin, jolla mittaus tapahtuu suoraan paalista. Kosteuspitoisuudet saadaan mittarin perusasteikon avulla erillisestä lukemalaitteesta.

Sylinteri-mallin mittaustarkkuus on alle 30 %:n kosteuksilla käyttäjän kannalta riittävän tarkka (± 2 %-yksikköä) ja soveltuu poltettavan ja varastoitavan oljen mittauksiin. Mittausten luotettavuus paranee, kun tutkittavasta olkierästä otetaan 3...5 näytettä. Yhden mittauksen ottaminen kestää 0,5...1 minuuttia.

Pistimellä varustetun mittarin mittaustarkkuus on selvästi sylinterimal-
lia huonompi, sillä paalin tiheys aiheuttaa suuria poikkeamia mittaustu-
loksiin. Paaleilla, joiden tiheys on alle 80 kg/m^3 saadaan pistinmittauk-
sella riittävän tarkka tulos alle 30 %:n kosteuksista, mutta kun paalin
tiheys on yli 80 kg/m^3 voi mittaustulos olla liian virheellinen ja mit-
taustulokset ovat erilaisia eri olkilajeja mitattaessa. Mittausten teko
pistimellä on helppoa ja nopeaa (5...10 s).

6. OLKIPURISTEET

Paalipoltossa pitää oljen tiheyden olla alle 80 kg/m^3 . Poltettaessa olkea löyhänä tai silppuna voi paalaustiheys olla suurempi, mutta vielä täällöinkin on oljen varastotilan tarve 2...3 kertainen muihin kotimaisiin polttoaineesiin verrattuna. Puristamalla olki briketeiksi tai pelleteiksi saadaan oljen tiheys suuremmaksi ja varastotilan tarve pienenee. Samalla oljen käsittely ja kuljetus helpottuu.

Briketit valmistetaan valssi-, mäntä- ja ruuvipuristimilla. Brikettien muoto vaihtelee tyynymäisestä erilaisen poikkileikkauksen omaavaan kiekkoon tai tankoon. Niiden läpimitta on 12...100 mm /19/. Olkibrikettien kiintotiheys on $450...1100 \text{ kg/m}^3$ ja varastointitiheys $300...550 \text{ kg/m}^3$.

Pelletit valmistetaan rengas- ja tasomatriisikoneilla, joissa raaka-aine puristetaan rullien avulla reikälevyn tai rei'itetyn sylinterin läpi. Pellettien läpimitta vaihtelee välillä 3...35 mm, mutta yleensä se on 6...12 mm /19/. Pellettien kiintotiheys on $800...1400 \text{ kg/m}^3$ ja irtotiheys $450...750 \text{ kg/m}^3$.

Puristeiden kosteus on 8...15 %. Alhaisen kosteuden ja suuren tiheyden vaikutuksesta olkipuristeiden energiatiheys on 5...10 kertainen paalattuun olkeen verrattuna. Varastotilan tarve pienenee samassa suhteessa. Polttoaineen palamisajat pitenevät ja lämmitystyön määrä vähenee.

Oljen puristaminen tiiviimpään muotoon ei kuitenkaan vaikuta sen muihin ominaisuuksiin. Tuhkamäärä ja tuhkan sulaminen säilyvät entisellään eikä puristeiden poltto tältä osalta helpota olkilämmitystä.

Olkipuristeita polttavan kattilan pitää olla erityisesti tähän tarkoitukseen suunniteltu. Kun kattilassa voidaan polttaa olkipuristeita, palavat siinä myös turvepuristeet ja hake. Pellettipolttaminen on pienen palakoon ansiosta helppo automatisoida. Parhaaseen tulokseen päästään ruuvisyöttöisellä yläpalokattilalla ja pellettipolttimella, jossa palaminen tapahtuu kapealla vyöhykkeellä ja tuhka jähmettyy nopeasti palamisen jälkeen.

Rehuteollisuus suosittelee puristeiden kosteudeksi 10...20 %. Näin kuivan oljen saaminen on syksyisin epävarmaa. Sopiva oljen kosteus pitää turvata joko ylivuotisilla varastoilla tai kuivaamisella. Pelletöinti onnistuu yleensä suuremmalla kosteusalueella kuin briketöinti. Rehuteollisuuden kosteussuositukset perustuvat rehun laatuvaatimuksiin, jotka ovat polttoainekäyttöä tiukemmat. Mikäli oljen puristaminen polttopelleteiksi voi tapahtua suuremmassa kosteudessa pienenevät valmistuskustannukset kuivaamisen osalta.

Puristeiden valmistuksen energiankulutuksesta ei ole tarkkoja arvoja, koska ne vaihtelevat raaka-aineen kuivaustarpeen ja valmistusprosessin mukaan. Yleensä energian kulutus on 70...400 kWh/t. Olkipuristeiden valmistusenergian kulutuksen korvaamiseen tarvitaan 5...10 %-yksikköä suurempi lämmityksen hyötysuhde. Kokopaalipolttoon verrattuna tämä on helposti saavutettavissa.

Olkipellettien tuotantokustannukset jakaantuvat seuraavasti:

paalaus, keruu ja varastoon siirto	150...250 mk/t
varastointi	0... 80 mk/t
kuljetus pelletitäväksi (30...50 km)	80...150 mk/t
pelletöinti	70...300 mk/t

Yhteensä valmistuskustannukset ovat 300...780 mk/t.

Hyötysuhteella 60 % tulee lämpöenergian hinnaksi 14...35 p/kWh. Kevyellä polttoöljyllä vastaava hinta on n. 19 p, kun hyötysuhde on 75 %.

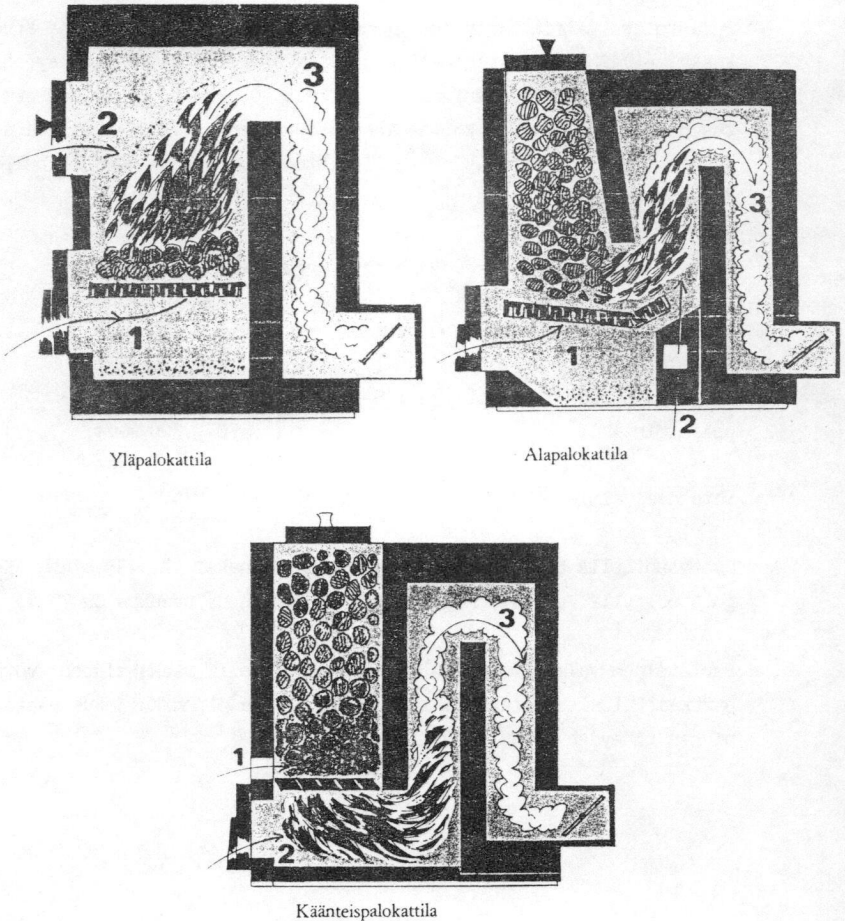
Puristeiden valmistuksen tulee tapahtua lähellä raaka-aineen tuotantopaikkaa tai siirrettävällä laitteella, koska oljen kuljetus paaleina on pienen tiheyden johdosta kallista.

7. OLKIKATTILAT

7.1 Olkikattilatyyppit

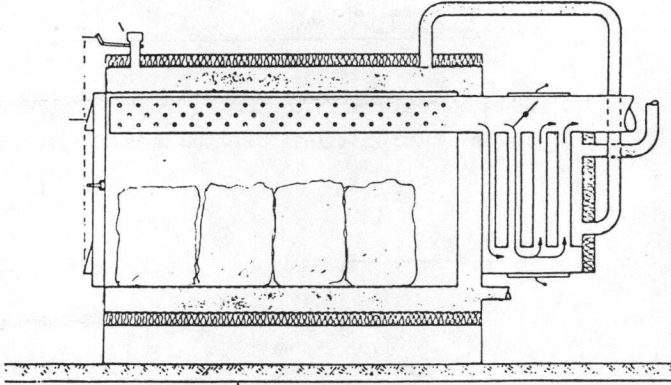
Polttoaineen polttoperiaatteen mukaan kattilat voidaan jakaa ylä-, alaja käänteispalokattiloihin, kuva 11. Käänteispaloperiaate on harvinainen eikä sitä käytetä olkea poltettaessa.

- 1 = ensiöilma
- 2 = toisiöilma
- 3 = savukaasut

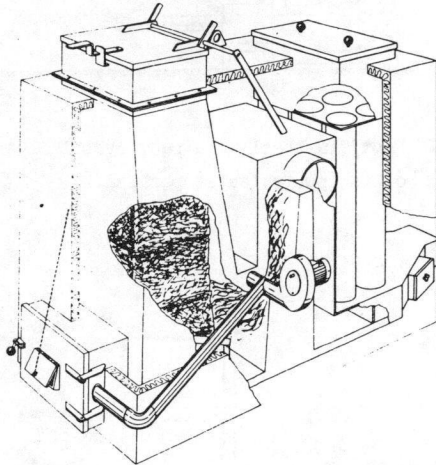


Kuva 11. Polton periaateratkaisut /21/

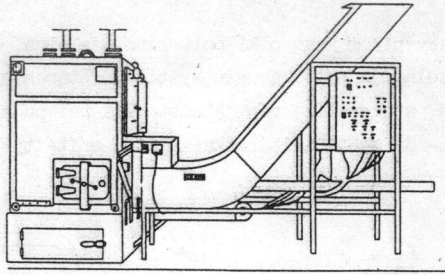
Kattilatyyppin mukaan olki poltetaan paaleina, silppuna, briketteinä tai pelletteinä ja polttoaineen syöttö voi tapahtua käsin, paalien syöttöradalla, stokerilla, repijälaitteella tai puhaltimella. Erityyppisiä kattila- ja syöttölaiteratkaisuja on esitetty kuvissa 12...18.



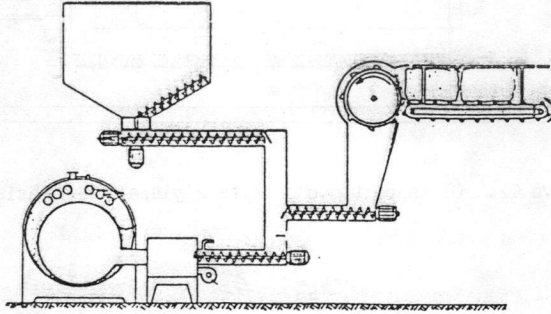
Kuva 12. Oljen polttoon soveltuva yläpaloinen käsisyöttökattila.



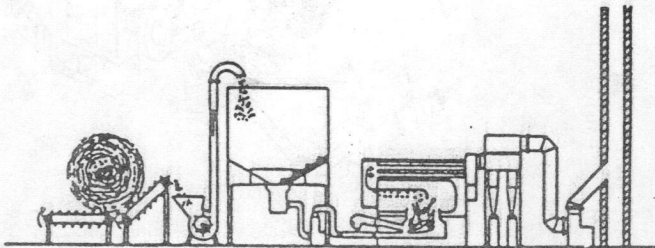
Kuva 13. Alapaloperiaatteella toimiva käsisyöttöinen olkikattila.



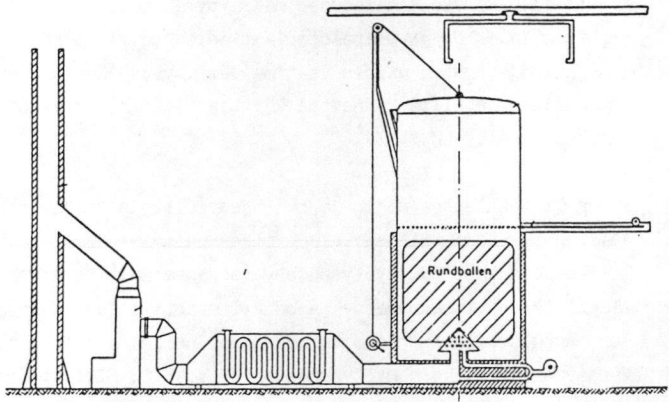
Kuva 14. Yläpaloperiaatteella toimiva automaattisyöttökattila, jossa paalin syöttö kattilaan tapahtuu hydraulisesti.



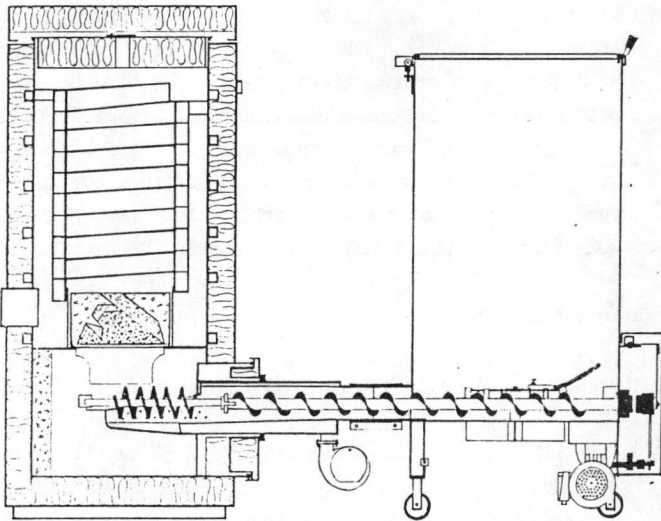
Kuva 15. Repijälaitteella ja ruuvisyöttöllä varustettu kattila, jossa olkisilppu palaa etupesässä.



Kuva 16. Repijälaitteella varustetu puhallinsyöttöinen kattilalaitos.



Kuva 17. Pyöröpaaleja polttava kattila.



Kuva 18. Automaattisyöttöinen pelletinpolttokattila.

Kattiloiden käyttöominaisuudet määräytyvät polttoaineen syöttötavan perusteella. Ala- ja yläpaloperiaatteella toimivat käsisyöttökattilat ovat halpoja, mutta niiden vaatima lämmitystyömäärä on suuri, hyötysuhde on alhainen ja niitä kannattaa käyttää silloin, kun vuotuinen lämmön kulutus on alle 60 MWh/v.

Kuvan 12 mukaisessa oljen ja halkojen polttoon tarkoitettussa yläpaloisessa luonnonvetokattilassa pelkän oljen palaminen tapahtuu kytämisasteella, jolloin kattilan hyötysuhde varaavassa lämmityksessä on 30...35 %. Alapaloisissa luonnonveto- ja puhallinkattiloissa oljen palamista huonontaa polttoaineen huono valuminen arinalle ja arinan tukkeutuminen. Varaavan lämmityksen hyötysuhde on 35...45 %. Olkikattiloiden käyttökokemukset /18/ ovat osoittaneet, että lämmitys käsisyöttöisillä ylä- ja alapalokattiloilla koetaan hankalaksi. Tukipolttoaineen käyttö parantaa palamista ja vähentää lämmitystyön määrää.

7.2 Olkikattilakokeet

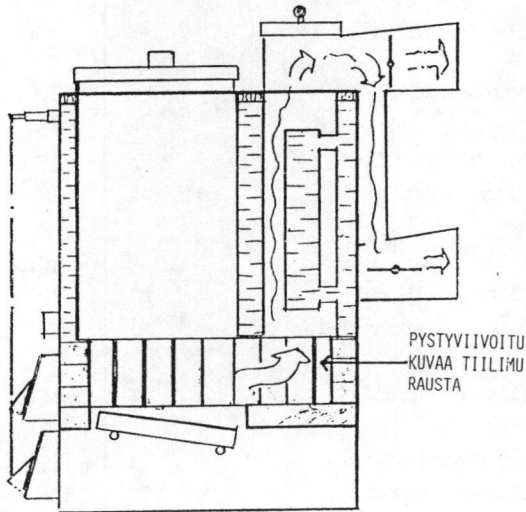
Olkikattiloiden käyttöominaisuuksia ja oljen palamisominaisuuksia on tutkittu pääasiassa neljällä kotimaisella olkikattilalla. Käsisyöttökattiloita ovat OK 34 ja Jaakko 70 olkikattilat. OK 34 toimii luonnonvedolla ja Jaakko 70 on varustettu palamisilmapuhaltimella. Automaattikattiloita ovat edustaneet luonnonvedolla toimiva Olkivari EP ja palamisilmapuhaltimella ja savukaasuimurilla varustettu Kotera 80. Olkikattiloiden käyttökokemuksia on edellä mainittujen lisäksi tutkittu Hakas-Sampsä 35, Kespes 25 ja Passat - Ho-45 -kattiloilla /18/. Olkibrikettien poltto-koeket tehtiin Hakas-Sampsä 18 ja Jaakko 30 -kattiloilla.

7.2.1 Käsisyöttökattilat

7.2.1.1 Luonnonvedolla toimiva alapalokattila

Metallituote O. Kuhlmanin valmistama OK 34 kattila on alapaloinen, luonnonvedolla toimiva varaavaan lämmitykseen tarkoitettu vesilämmityskattila. Kuvassa 19 on esitetty OK 34 kattila ilman polttoainesäiliön jatko-osaa, joka normaalisti tarvitaan silloin, kun lämmitys tapahtuu oljella. Kattilan pääpolttoaineet ovat halko, hake ja palaturve. Koska kattilassa

on erittäin tilava polttoainesäiliö, soveltuu se myös paalatus oljen, rakennusjätteiden, kantojen ym. polttoon. Kattilan nimellisteho puuta poltettaessa on 65 kW. Polttoainesäiliön tilavuus on 0,9 m³ ilman jatko-osia ja säiliön kannen halkaisija 900 mm. Kun polttoainesäiliö on varustettu 1 m:n jatko-osalla mahtuu säiliöön kerrallaan 5...7 paalia.



Kuva 19. OK 34 kattila

Polttoaineen sytyttäminen tapahtuu sytykkeiden (paperi, tuohi) ja kuivien puiden avulla. Näillä saadaan aikaan hiillos, joka parantaa oljen palamista. Paalien koko voi olla normaali 35 x 46 x 95 cm, mutta lyhyemmillä alle 75 cm:n pituisilla paaleilla saadaan kertatäytöksen määrä suuremmaksi ja polttoaineen valuminen tasaisemmaksi.

Kun polttoaineena käytetään pelkästään olkea, tulee oljen kosteuden olla 15...20 %. Mikäli oljen tukipolttoaineena käytetään puuta, saa oljen kosteus nousta 25 %:iin. Kun tukipolttoaineen määrä on 30...35 % koko polttoainemäärästä voi oljen kosteus olla korkeintaan 23 %.

Taulukossa 13 on esitetty kattilalla suoritettujen varaavan lämmityksen kokeiden tulokset pelkällä oljella ja polttamalla olkea käyttäen halkoja tukipolttoaineena.

Koemuoto Polttoaine		Varaava Ruis	Varaava Olki + Halko	
Polttoaineen kosteus	%	17,4	17,0	25,1
Polttoaineen lämpöarvo	MJ/kg	13,9	14,0	13,8
Paalin koko/halon pituus	cm	31x43x90	31x43x70	50
Paalin paino/halon paino	kg	9,2	7,2	2,1
Kokeen kestoaika	h	6,50	6,7	
Polttoaineen palamisaika	h	6,02	5,85	
Polttoaineen kulutus	kg/h	17,6	23,0	
Halkojen osuus	paino -%		24,4	
Kattilan teho	kW	30,5	45,3	
Tuotettu energiamäärä	MJ	572	866	
Kulutettu energiamäärä	MJ	1472	1881	
Kattilan hyötysuhde	%	38,9	46,0	
Alipaine savusolassa	Pa	-35	-35	
Savukaasun lämpötila	°C	176	241	
Palamisilman lämpötila	°C	22,1	20,9	
CO ₂ -pitoisuus	%	5,1	7,8	
CO-pitoisuus	%	0,65	1,0	
Palamishyötysuhde	%	62	66	

Taulukko 13. Varaavan lämmityksen kokeet OK 34 kattilalla.

Lämmityksen aikana kattila ei vaadi muuta hoitotyötä kuin polttoaineen lisäykset. Palaminen on sitä parempaa, mitä kuivempia ja löysempiä olkipaalit ovat. Paalien tiheyden tulisi olla alle 80 kg/m^3 . Tilava, pyöreä polttoainesilo on helppo täyttää ja paalit pääsevät vapaasti laskeutumaan arinalle. Koska suuren polttoainesäiliön aiheuttamat säteilyhäviöt ovat suuria ja palaminen vaatii suuren ilmaylimäärän, jää hyötysuhde pelkkää olkea poltettaessa huonoksi. Kattilan teho pelkkää olkea poltettaessa on n. 30 kW. Tukipolttoaineen käyttö parantaa palamista ja kattilan hyötysuhde nousee tyydyttävälle tasolle.

Pelkkää olkea poltettaessa tuhka ei sula, mutta se ei myöskään valu kunnolla arinan läpi, koska tuhka säilyttää korsimuotonsa. Tukipolttoainetta käytettäessä hiillos on niin kuumaa, että oljen tuhka osittain sulaa. Tämä aiheuttaa arinan osittaisen tukkeutumisen. Arinarakojen puhdistus parantaa palamista, mutta yhden puhdistuksen vaikutus kestää vain 10...30 min, mistä seuraa, että normaalikäytössä palamisilmamäärä joudutaan pitämään suurena.

7.2.1.2 Palamisilmapuhaltimella varustettu alapalokattila

Jaakko 70 olkikattila, kuva 13, on alapaloinen, varaavaan lämmitykseen tarkoitettu palamisilmapuhaltimella varustettu vesilämmityskattila, jossa tehon säätö tapahtuu kattilavedessä olevan vaihtotermostaatin avulla. Vaihtotermostaatti ohjaa palamisilmapuhaltimen toimintaa. Lisäksi kattila on varustettu vaihtotermostaatilla, joka pysäyttää palamisilmapuhaltimen kattilaveden lämpötilan laskettua polttoaineen loppumisen jälkeen säätöarvon alapuolelle.

Kattilan pääpolttoaineet ovat hake, halko ja palaturve, joita poltettaessa palamisilmapuhallinta ei tarvita ja kattila toimii luonnonvedolla. Kattilan nimellisteho on 70 kW ja ilman jatko-osia polttoainesäiliön tilavuus on 270 l. Kun polttoainesäiliötä korotetaan 1,5...2 m mahtuu säiliöön kolme normaalipituista paalia.

Polttoainesäiliön aukon mitat ovat 485 x 390 mm. Säiliö laajenee hieman alaspäin, mutta tästä huolimatta säiliön poikkipinnan mitat osoittautuivat liian pieniksi käytettäessä paaleja, joiden mitat vastasivat markkinoilla olevien paalainten keskimääräisiä paalikokoja. Paalit juuttuvat kiinni säiliöön joko kokonaan tai paalien laskeutuminen on jaksottaista. Tästä seuraa palamisen heikentyminen kytemisasteelle. Uusi syttyminen vaatii joko kohentelua tuhkaluukun kautta tai polttoaineen lisäyksen heti, kun uusi paali mahtuu sisään.

Puhallinkattilassa palamisilma tulee suunnata paaliin kahdelta vastakkaiselta suunnalta. Jos ilma puhalletaan vain yhdeltä suunnalta palaa paali epätasaisesti ja tämä aiheuttaa varsinkin pienillä paalin tiheyksillä paalin vääntymisen, mikä osaltaan vaikeuttaa paalin laskeutumista.

Puhallinkattilassa oljen tuhka sulaa ainakin osittain rukiin, ohran ja kauran olkea poltettaessa. Vehnän oljen tuhka sensijaan jää lähes kokonaan sulamattomaan muotoon. Sulanut tuhka jää kiinni Jaakko 70:n kehikkomaiselle arinalle. Se muodostaa 2...3 tuntia kestäneen palamisen jälkeen "korokkeen", joka osaltaan estää paalin laskeutumista palamisilmojen ulottuville.

Jaakko 70 kattilassa palaa 21 % kostea olki kuumassa kattilassa, mutta sytytettäessä tulee kosteuden olla alle 20 %. Alle 15 %:n kosteuksilla palaminen on niin voimakasta, ettei se ole vakiosäädöllä hallittavissa. Sopiva oljen kosteus riippuu paalin tiheydestä eli kosteuden kasvaessa tulee tiheyden pienentyä. Paalin tiheyden tulee olla alle 80 kg/m³.

Taulukossa 14 on esitetty varaavan lämmityksen kokeen tulokset. Kokeessa polttoaineen lisäykset on huonon laskeutumisen johdosta tehty 20 min. välein.

Kun kattilan arina muutettiin liikkuvaksi, ei paalien laskeutumisvaikeuksia enää ollut.

Koemuoto Polttoaine		Varaava Ruis
Polttoaineen kosteus	%	17,0
Polttoaineen lämpöarvo	MJ/kg	14,0
Paalin koko	cm	31x41x70
Paalin paino	kg	5,8
Kokeen kesto aika	h	5,0
Polttoaineen palamisaika	h	4,58
Polttoaineen kulutus	kg/h	24,8
Kattilan teho	kW	64,6
Tuotettu energiamäärä	MJ	972
Kulutettu energiamäärä	MJ	1617
Kattilan hyötysuhde	%	60,1
Alipaine savusolassa	Pa	-25
Savukaasun lämpötila	°C	233
Palamisilman lämpötila	°C	22
CO ₂ -pitoisuus	%	13,5
CO-pitoisuus	%	1,6
Palamishyötysuhde	%	74
Huom. Polttoaineen lisäysväli		20 min

Taulukko 14. Varaavan lämmityksen hake Jaakko 70 kattilalla.

7.2.1.3 Yhteenveto

Käsisyöttöisen, kokonaisia paaleja polttavan alapalokattilan toimintaa vaikeuttaa paalien huono laskeutuminen arinalle ja arinan tukkeutuminen, joka tuhkan sulamisen seurauksena voimistuu.

Jotta polttoaineen laskeutumisvaikeudet polttoainesäiliössä voidaan välttää, tulee polttoainesäiliön poikkipinnan mittojen olla n. 100 mm paalin mittoja suuremmat. Tämä lisää kattilan säteilyhäviöitä, koska lämpö pääsee nousemaan säiliöön. Samalla säiliön täyttö vaikeutuu, koska savu ja liekit pääsevät helposti nousemaan ylös täyttöaukolle. Arinan toimivuuden parantamiseksi pitäisi kattila varustaa mekaanisesti puhdistuvalla arinalla. Tällaisten arinoiden toimintavarmuudesta ja kestävyydestä ei olkikattiloiden kohdalla ole pitkäaikaisia käyttökokemuksia, mutta hakekattiloissa ne ovat osoittautuneet käyttökelpoisiksi. Mekaanisesti puhdistuva arina nostaa jonkin verran kattilan hintaa, mutta parantaa vastaavasti kattilan hyötysuhdetta ja vähentää lämmitystyon määrää.

7.2.2 Olkibrikettien palamisominaisuudet alapalokattiloissa

Palamisominaisuuksien selvittämiseksi olkibrikettejä poltettiin puhallin- ja luonnonvetokattilassa, joiden ensisijaiset polttoaineet ovat hake, halot ja palaturve.

Lämmitysmuoto, varaava tai suora, valittiin ko. kattilan normaalin lämmitysmuodon mukaan, jolloin vertailu muihin polttoaineisiin oli mahdollista. Kokeissa käytetyt olkibriketit oli valmistettu kauran oljesta.

7.2.2.1 Olkibrikettien palaminen puhallinkattilassa

Kokeet suoritettiin nimellisteholtaan 18 kW Hakas-Sampsä 18 kattilalla, jossa polttoaine palaa kattilan pohjalla tulitiilien päällä. Ensioilma puhalletaan kolmen suuttimen läpi polttoainekerrokseen, jossa tapahtuu kaasuntuminen ja hiilen palaminen. Kaasuuntunut polttoaine poltetaan hiilloksen reunaan ohjatun toisioilman avulla. Tuhkatila sijaitsee tulitiiliarinan vieressä, jonne kevyt sulamaton tuhka siirtyy palamisilma- virtauksen kuljettamana. Koska kattila on tarkoitettu suoraan lämmitykseen, tehtiin myös olkibrikettien polttokokeet suoran lämmityksen kokeina.

Kosteuspitoisuus	8,7...10,6 %
Tiheys	960...1080 kg/m ³
Briketin halkaisija	46...47 mm
Briketin pituus	30...120 mm
Varastointitiheys	n. 460 kg/m ³

Polttokokeissa käytettiin vain hyvälaatuista brikkettä, mikä tarkoittaa sitä, että brikkettien joukossa oli mahdollisimman vähän rikkoutuneista brikketeistä syntynyttä holvaantumista edistävää olkisilppua.

Kauran oljen lämpöarvo on 0,5...0,9 MJ/kg muita olkilajeja pienempi, joten sitä voidaan tässä suhteessa pitää huonoimpana olkilajina. Toisaalta kauran oljen tuhkaa sulaa alhaisimmassa lämpötilassa, mitä ko. puhallinkattilassa voidaan pitää palamista edistävänä tekijänä.

Olkibrikketit ovat hauraita ja rikkoontuvat helposti käsittelyn eri vaiheissa. Alapalolaisen kattilan varastosiiilossa olkisilppu aiheuttaa holvaantumista ja sitä edistää myös varastosiiiloon nouseva kosteus ja lämpö, koska niiden vaikutuksesta tapahtuu brikkettien ja varsinkin olkisilpun pehmenemistä ja turpoamista.

Puun ja turpeen polttoon verrattuna olkibrikketit vaativat enemmän ensiöilmaa, mikä johtuu suuremmasta tiheydestä ja tuhkapitoisuudesta. Koekattilalla nimellistehoon päästiin suurentamalla suutinten halkaisijaa 6 mm:stä 8 mm:iin.

Koekattilan tuhkatila ja tuhkan poisto arinatililtä on suunniteltu puun tuhkalle. Kauran oljessa on tuhkaa puuhun verrattuna n. 20-kertainen määrä ja tuhkan sulaminen tapahtuu 300...400 °C alemmassa lämpötilassa. Jos tuhkaa ei sulaa, täyttyy tuhkatila ja ensiöilmasuuttimien edusta nopeasti ja palaminen muuttuu kytemisasteelle. Kauran oljen tuhkaa sulaa lähes täydellisesti ja on todennäköistä, että myös rukiin ja ohran tuhkaa sulaa niin hyvin, että päästäisiin varaajalämmityksen vaatimiin 4...6 tunnin palamisjaksojen pituuksiin.

Vehrän olki sisältää tuhkaa muita olkilajeja enemmän ja sulamislämpötilat ovat 150...250 °C korkeampia, joten on todennäköistä, että vehrän oljesta tehtyjä brikettejä puhallinkattilassa poltettaessa palamisvaikeudet tulevat esiin varsin nopeasti. Kokeissa käytetyillä briketeillä päästiin n. 5 tunnin lämmitysjaksoihin ilman kattilan tehon selvää alenemista. Sulanut tuhka ei siirry arinalta tuhkatilaan ja tuhkaerroksen pinta kohoaa 6 tunnin nimellisteholla tapahtuvan lämmityksen jälkeen niin korkealle, että tuhka estää palamisilmojen virtausta. Koska tuhkaa ei voida poistaa palamisen aikana ja osatehoilla tuhkan sulaminen on heikompaa ei ko. kattilaa voida käyttää olkibrikettejä poltettaessa suoraan lämmitykseen.

Koetulokset ja samalla kattilalla tehtyjen halko-, palaturve- ja hakekokeiden tulokset on esitetty taulukossa 15.

Taulukosta 15 nähdään, että pelkästään palamisarvoja tarkasteltaessa olkibriketeillä päästään yhtä hyvin tuloksiin kuin hakkeella ja palaturpeella. Alapaloisilla puhallinkattiloilla hyötysuhde on paaleja poltettaessa n. 50 % ja luonnonvetokattiloilla n. 40 %. Ns. erikoiskattiloilla oljen poltossa päästään korkeampiin hyötysuhteisiin, mutta tällöin kattiloiden tehot ja hinnat ovat nelinkertaisia brikettien polttokokeissa käytettyyn kattilaan verrattuna.

Vaikka ko. kattila on tarkoitettu suoraan lämmitykseen, voidaan sitä luonnollisesti käyttää myös varaajan kanssa. Tällöin lämmitys olkibriketeillä on myös käytännössä mahdollista. Varaavassa lämmityksessä varauskerran hyötysuhde on n. 10 %-yksikköä suoran lämmityksen hyötysuhdetta pienempi.

Koemuoto Polttoaine		Suora Olki- briketti	Suora Hake	Suora Halko	Suora Pala- turve
Polttoaineen kosteus	%	9,1	25,5	24,5	23,0
Polttoaineen lämpöarvo	MJ/kg	15,6	13,7	13,9	15,5
Polttoaineen palakoko	cm	ø46x75	2-4	33	ø6x10
Polttoaineen irtotiheys	kg/m ³	460	240	-	-
Kokeen kestoaika	h	4,0	4,0	4,4	4,0
Kattilan teho	kW	18,4	17,5	16,3	16,5
Alipaine savusolassa	Pa	-20	-20	-20	-20
Savukaasun lämpötila	°C	251	252	249	223
Palamisilman lämpötila	°C	21,0	22,1	20,6	21,4
CO ₂ -pitoisuus	%	14,7	14,8	14,8	14,6
CO-pitoisuus	%	0,21	0,20	0,20	0,10
Palamishyötysuhde	%	85,1	85,5	85,5	86,8

Taulukko 15. Puhallinkattilan suoran lämmityksen kokeet nimellisteholla

7.2.2.2 Olkibrikettien palaminen luonnonvetokattilassa

Koekattilana käytettiin alapaloista, rakoarinalla varustettua 30 kW:n Jaakko 30 kattilaa. Hake- ja halkoarinan tilalle vaihdettiin arina, jonka rakojen leveys oli 23 mm. Arinarakojen leveys olisi saanut olla vielä suurempi, koska arina tukkeentui nopeasti eikä läpivalumista tapahtunut edes palamisen alkuvaiheissa. Tuhkatilan alaosassa käytettiin ohjauslevyä, joka pakottaa palamisilman kulkemaan arinan läpi. Samaa levyä

käytetään myös normaalisti halkoja poltettaessa. Palamisilman säätö tapahtui vedonsäätötermostaatilla, joka oli säädetty siten, että vedonsäätöluukku sulkeutui kun kattilan lämpötila oli 95 °C. Muuten lämmitettiin käyttöohjeiden mukaisesti.

Kokeissa käytetyt olkibriketit olivat kauran olkea kuten puhallinkattilakokeissakin, mutta brikettien laatu oli epätasaisempaa.

Kosteus	9,1...12,5 %
Tiheys	860...1130 kg/m ³
Brikettien halkaisija	45...48 mm
Brikettien pituus	30...120 mm
Varastointitiheys	420...510 kg/m ³

Kokeissa käytetty 23 mm raoilla varustettu arina oli olkibrikettien polttoon liian tiheä. Tuhka ei läpäissyt arinaa, vaan sulii sen päälle ja pysyi hehkuvana massana, joka osittain päästi palamisilman lävitse. Kohentelu ja arinarakojen puhdistus auttoi palamista n. 10 minuutin ajan, mutta tämä aikana savukaasujen CO-pitoisuus pysyi korkeana.

Vehnän oljesta tehtyjä brikettejä poltettaessa arinan toiminta olisi mahdollisesti ollut parempaa. Toisaalta ilmeni, että tuhka ei irtoa olkibriketistä samoin kuin puusta, mikä johtuu ainakin osittain polttoaineen korsimuodosta. Samanlaisia vaikeuksia on ilmennyt myös olkea paaleina poltettaessa kiinteällä arinalla varustetuissa alapalokattiloissa. Eri-laisten arinoiden kokeiluun ei näiden kokeiden aikana ollut mahdollisuutta.

Varsinaisia holvaantumisia ja tästä johtuvia valumisvaikeuksia ei luonnonvetokattilakokeiden aikana ilmennyt, koska polttoaineen joukossa oli hyvin vähän rikkoutuneita brikettejä. Taulukossa 16 on esitetty olkibriketeillä, hakkeella ja haloilla tehtyjen varaavien lämmityskokeiden tulokset.

Suuret erot savukaasun lämpötilan, tehon, polttoaineen kulutuksen ja hyötysuhteen kohdalla johtuvat suurimmalta osalta sulaneen tuhkan aiheuttamasta arinan osittaisesta tukkeutumisesta ja siitä, että arinaurautojen päälle sulanut tuhka kohotti varsinaisen hillo- ja kaasuntumiskerroksen arinan yläpuolelle. Tällöin osa palamisilmasta pääsee suoraan kattilan konvektiopuolelle jäädyttäen savukaasuja. Samalla polttoaineen kulutus pienenee ja kattilan teho laskee. Taulukossa 16 esitetyn olkibrikettikokeen aikana kohentelua ei ole suoritettu muulloin kuin sytytysvaiheessa.

Koemuoto Polttoaine		Varaava Olkibriketti	Varaava Hake	Varaava Halko
Polttoaineen kosteus	%	11,5	27,9	22,5
Polttoaineen lämpöarvo	MJ/kg	15,1	13,2	14,3
Polttoaineen palakoko	cm	ø4,6x7,5	2 - 4	33
Polttoaineen irtotiheys	kg/m ³	450	240	-
Kokeen kesto-aika	h	6,0	6,02	5,52
Polttoaineen palamis-aika	h	5,0	5,47	4,76
Polttoaineen kulutus	kg/h	8,3	12,5	13,4
Kattilan teho	kW	18,4	29,3	33,0
Tuotettu energiamäärä	MJ	306	576	563
Kulutettu energiamäärä	MJ	631	900	911
Kattilan hyötysuhde	%	48,5	64,0	61,8
Alipaine savusolassa	Pa	-20	-19	-22
Savukaasun lämpötila	°C	217	294	295
Palamisilman lämpötila	°C	20,4	20,1	20,7
CO ₂ -pitoisuus	%	8,5	-	-
CO-pitoisuus	%	0,38	-	-
Palamishyötysuhde	%	77,8	-	-

Taulukko 16. Luonnonvetokattilan varaavan lämmityksen kokeet

7.2.2.3 Yhteenvedo

Puhallinkattilalla saavutetut erittäin hyvät koetulokset osoittavat, että olkeakin voidaan polttaa yhtä hyvällä hyötysuhteella kuin haketta ja palaturvetta, mutta oljen poltto briketteinäkkin vaatii automaattisesti toimivan tuhkanpoistolaitteen, jotta päästäisiin pitempään yhtäjaksoiseen lämmitykseen. Tuhkanpoistolaitteen rakenteen tulisi olla yksinkertainen ja halpa, koska brikettien kilpailukyky polttoainemarkkinoilla ei todennäköisesti kestä kovin suuria lisäkustannuksia.

Luonnonvetokattilalla brikettien palaminen oli selvästi haketta ja halkoja huonompaa ja hyötysuhde varaavassa lämmityksessä jää tyydyttävän paalipolton tasolle. Palamisen parantumisen ehdottomana edellytyksenä on arinan toiminnan varmistaminen.

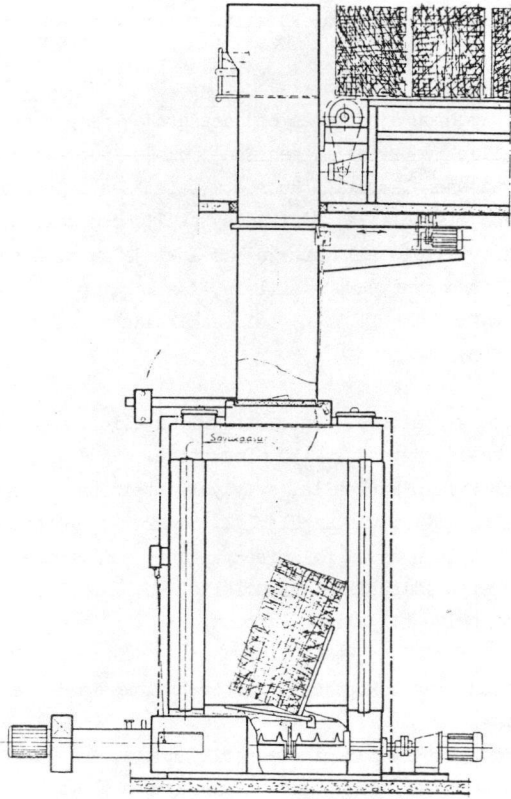
7.2.3 Automaattisyöttökattilat

Automaattisyöttökattilalla tarkoitetaan tässä yhteydessä kattilaa, joka syöttää polttoaineen automaattisesti tulipesään joko lämmöntarpeen tai palamisen säätämiseksi.

7.2.3.1 Paalipoltto

Kotera 80 -kattila syöttää, sytyttää ja polttaa olkipaalit sekä poistaa tuhkan automaattisesti lämmöntarpeen mukaan. Kattila on yläpaloinen pystyyn sijoitettu tulitorvi/tuliputkikattila, jonka nimellisteho on 80 kW, vesitilavuus 600 l ja lämmänsiirtopinta 10 m². Kattila on kytketty varaajaan siten, että varaajan veden lämpötila ohjaa kattilan toimintaa ja kattilaan palaavan veden lämpötila on aina n. 70 °C.

Olkipaalit asetetaan kuljettimelle, joka käynnistyy varaajan termostaatin ohjaamana. Kattila polttaa yhden paalin kerrallaan. Paali putoaa kattilaan kolmella paloluukulla varustetun syöttökuilun läpi ja paali sytytetään sähkövastuksella lämmitetyn kuumen ilman avulla. Palamista ylläpidetään pöyhinnällä. Pöyhinnan pituus ja seisonta-aika ovat säädettävissä. Pöyhintä ohjataan savukaasun ja kattilaveden lämpötilojen avulla. Pöyhijänä toimii liikkuva arina. Tuhka poistetaan ruuvikuljettimella, joka toimii pöyhijän kanssa samanaikaisesti. Savukaasut poistetaan imurilla.



Kuva 20. Kotera 80 olkikattila

Kattilan häiriöttömän toiminnan perustana on paalien tasainen laatu. Syöttökuilun yläpäässä on painovoimalla toimiva kääntöpöytä, jonka toiminta edellyttää, että paalien paino ja mitat pysyvät mahdollisimman vakiona. Kääntöpöytä on kuitenkin säädettävissä erilaisille paalin painoille ja mitoille. Suurimmillaan paali voi olla mitoiltaan 420 x 520 x 850 mm.

Syöttökuilun paloluukuista kaksi toimii painovoimalla ja yksi moottori-käyttöisenä. Luukut toimivat siten, että aina on vähintään yksi luukku kiinni ja alin luukku aukeaa vasta, kun kaksi ylemmää on sulkeutunut. Jos jokin luukuista ei sulkeudu, kattilan toiminta pysähtyy ja häiriöstä tulee häilytys.

Paalien syöttö tapahtuu ajoittimen ohjaamana. Jos paalin palamiseen varattu aika on liian lyhyt (esim. paalien joukossa normaalia kosteampi paali) ja savukaasujen lämpötila huonosta palamisesta johtuen on termostaatin säätöarvon alapuolella, ajoitin syöttää uuden paalin, joka ei mahdu tulipesään. Tällöin alin luukku jää auki ja kattila on häiriötilassa. Häiriötilanne syntyy myös silloin, jos kaksi paalia putoaa yhtä aikaa kuiluun (säätö virheellinen) tai paali kääntyy väärään asentoon ja jää kiinni kuiluun.

Sytytyslaitteisto käynnistyy, kun syöttökuilun alin luukku sulkeutuu. Sytytysaika on säädettävissä 1...10 minuuttiin. Kun savukaasujen lämpötila on kohonnut kyllin korkealle, sytytyslaitteiston toiminta pysähtyy, vaikka sytytysaikaa olisi vielä jäljellä. Savukaasutermostaatin ohjaamana pöyhintää ei tapahdu hyvän palamisen aikana. Kun varaajan veden lämpötila nousee säädetyin lämpötilan yläpuolelle, pöyhintä loppuu ja jäljelle jäänyt paalinosa palaa hiljalleen loppuun.

Kotera 80 kattilan koetulokset on esitetty taulukossa 17 ja 18.

Normaalilla lämmityksellä tarkoitetaan tilannetta, jolloin kattila on kytketty siten, että kattilaa ohjataan varaajassa olevalla termostaatilla ja kattilaveden paluulämpötila pidetään säätöventtiilin avulla lämpötilassa 70 °C. Tällöin kattilaveden lämpötila ei varsinaisen lämmityskauden aikana pääse laskemaan alle 70 °C.

Varsin pienet kokonaishyötysuhde-erot eri lämmitystapojen välillä johtuvat siitä, että kattila saavuttaa normaalilämpötilan hyvin nopeasti. Kattilassa on suuri lämmönsiirtopinta-ala ja savukaasujen lämpötila on normaalikäytössä vain 160 °C. Savukaasujen lämpötila nousee yli 100 °C lämpötilaan kylmää kattilaa sytytettäessä n. 5 minuutissa.

Koemuoto Polttoaine		Varaava Ohra	Varaava Vehnä
Polttoaineen kosteus	%	17,0	19,0
Polttoaineen lämpöarvo	MJ/kg	14,0	13,6
Paalin koko	cm	36x46x80	36x46x80
Paalin paino	kg	11,8	12,6
Kokeen kestoaika	h	4,97	4,10
Polttoaineen palamisaika	h	4,65	3,81
Polttoaineen kulutus	kg/h	30,9	
Kattilan teho	kW	81,2	79,9
Tuotettu energiamäärä	MJ	1300	1219
Kulutettu energiamäärä	MJ	2148	2064
Kattilan hyötysuhde	%	60,5	59,1
Alipaine savusolassa	Pa	-260	-170
Savukaasun lämpötila	°C	161	-260
Palamisilman lämpötila	°C	20,1	20,4
CO ₂ -pitoisuus	%	5,6	6,8
CO-pitoisuus	%	0,28	0,26
Palamishyötysuhde	%	75	78

Taulukko 17. Varaavan lämmityksen kokeet Kotera 80 kattilalla

Koska kattila pöyhii paalin narujen katkeamisen jälkeen hajalle, ei paalin tiheydellä ole samanlaista merkitystä palamiseen kuin normaaleilla alapaloisilla kattiloilla. Kylmällä kattilalla paalin tiukkuus pidentää jonkin verran syttymisaikaa, mutta sytytysajan säätömahdollisuus (0...10 min) on alle 20 %:n oljen kosteuspitoisuuksilla riittävä. Yli 20 % kosteuspitoisuuksilla on paalien tiheyden oltava alle 90 kg/m³.

Koemuoto Polttoaine		Varaava Ohra	Varaava Vehnä
Polttoaineen kosteus	%	21,2	16,0
Polttoaineen lämpöarvo	MJ/kg	13,2	14,2
Paalin koko	cm	36x46x80	36x46x80
Paalin paino	kg	11,2	11,2
Kokeen kestoaika	h	4,12	4,23
Polttoaineen palamisaika	h	3,93	4,18
Polttoaineen kulutus	kg/h	34,2	31,8
Kattilan teho	kW	76,3	80,5
Tuotettu energiamäärä	MJ	1132	1226
Kulutettu energiamäärä	MJ	1774	1889
Kattilan hyötysuhde	%	63,8	64,9
Alipaine savusolassa	Pa	-260	-160
Savukaasun lämpötila	°C	157	175
Palamisilman lämpötila	°C	20,0	22
CO ₂ -pitoisuus	%	5,6	7,0
CO-pitoisuus	%	0,32	0,31
Palamishyötysuhde	%	75	79

Taulukko 18. Normaalin lämmityksen koe Kotera 80 kattilalla

Alle 22 % kosteaa olkea poltettaessa tuhkan poistoväli ja poistojakson pituus ovat riittävän pitkät ja tuhka ehtii jäähtyä ulostuloputkessa eikä ruuvin tukkeentumisia esiinny. Yli 22 % kosteuksilla kattilan pöyhintäjaksoja joudutaan pidentämään ja tihentämään niin paljon, että ulostuleva tuhka on kuumaa ja sisältää toisinaan kytevää hiillosta. Liian kostea olki voi sytytysvaiheessa aiheuttaa ruuvin tukkeutumisen, koska osa oljesta tulee täysin palamattomana ulos kattilasta.

Palamatonta polttoainetta (hiiltä) tuhkan seassa on kuivaa olkea poltettaessa 9...10 % eli n. 0,5 % polttoainemäärästä. Oljen kosteuden kasvaessa palamattoman polttoaineen määrä tuhkassa kasvaa. Tuhka on osittain sintraantunutta ruista ja ohraa poltettaessa, mutta tuhkan osittainen sulaminen ei vaikeuta tuhkan poistoa, koska ruuvi jaksaa hyvin murskata syntyneet kokkareet.

Kuivaa olkea poltettaessa tuhkan poistoväli on niin pitkä, ettei kaikki tuhka poistu kattilasta. Tästä ei ole haittaa muulloin kuin pitkien yhtäjaksoisten lämmitysjaksojen aikana, koska uuden lämmitysjakson alussa tuhkan poisto tapahtuu aina normaalia useammin. Pitkien lämmitysjaksojen aikana tuhka voidaan poistaa käsiajolla, mutta tämän tarpeen havaitseminen vaatii lämmittäjältä pitempää käyttökokemusta.

Kotera 80 kattilan ympäristöhaittojen selvittämiseksi suoritettiin kattilalla savukaasujen pölypitoisuuksien määrittäminen. Pölypitoisuudet mitattiin sekä lämmitysjakson alussa että jatkuvuustilassa (kattilan teho 84 kW). Pölypitoisuus lämmitysjakson alussa oli 400 mg/m^3 ja päästö $0,2 \text{ kg/h}$. Jatkuvuustilassa vastaavat arvot olivat 290 mg/m^3 ja $0,15 \text{ kg/h}$.

Saksan Liittotasavallan ilmansuojelulaki rajoittaa pölypitoisuuden enimmäismääräksi 300 mg/m^3 , kun kuivien savukaasujen CO_2 -pitoisuus on 12,0 %. Näin ilmoitettuna Kotera 80:n savukaasujen pölypitoisuudet ovat lämmitysjakson alussa 590 mg/m^3 ja jatkuvuustilassa 420 mg/m^3 .

Kun paalit ovat tasalaatuisia ja paalien syöttöväli on riittävän pitkä, on Kotera 80 kattilan toimintavarmuus hyvä alle 22 % kosteaa olkea poltettaessa. Kattilan vaatima hoito- ja lämmitystyön tarve on erittäin vähäinen.

Kattilan nimellisteho on 80 kW ja vielä 95 kW:n tehollakin suoran lämmityksen hyötysuhde on 63 %. Kotera 80:tä voidaan käyttää 1000...2000 m^3 :n lämmittämiseen. Jos lämmitettävä tilavuus on näin suuri eivät kattilan hankintakustannukset enää kuormita liikaa lämmityksen kokonaiskustannuksia. Koska Kotera 80 kattilalla ei ole varapolttoainemahdollisuutta, pitää tätä kattilaa käytettäessä turvata riittävän kuivan oljen ympäri-
vuotinen saanti.

7.2.3.2 Oljen löyhänä poltto

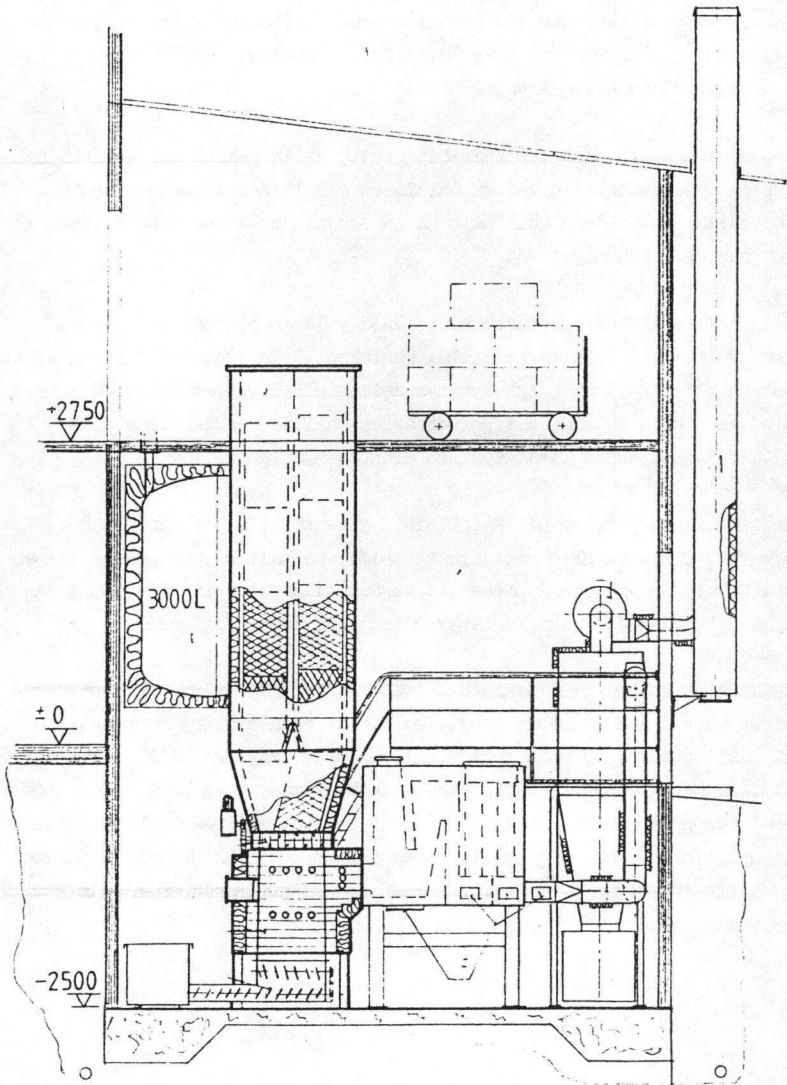
Oljen löyhänä polttoa eli paalista revityn oljen polttoa on tutkittu ja kehitetty Viishanke Ky:n toimesta Olkivari-EP etupesäkattilalla. Olkivari-EP:n rakenne selviää kuvan 21 periaatekaaviosta.

Paalattu olki syötetään kaksikanavaista polttoainesiltoa pitkin repijälaitteelle. Sillossa on sulkuluukku, joka päästää paalin laskeutumaan yhtä paalikanavaa pitkin kerrallaan. Silon alaosassa oleva tunnustelija ilmoittaa polttoaineen loppumisen, jolloin sulkuluukku avautuu ja toisessa kanavassa oleva paali putoaa repijälaitteen päälle. Repijälaitte käsittää kaksi vastakkaisin suuntiin pyörivää piikeillä varustettua telaa, jotka syöttävät paalista revityn irto-oljen etupesään. Repijälaitetta ohjataan liekinvalvojalla.

Repijälaitte on sijoitettu etupesän päälle. Ensiöilma ohjataan etupesän etuseinässä olevista luukuista tulipesän etu- ja sivuseinissä kahdessa tasossa olevien suuttimien kautta tulipesään. Repijälaitteen rungon kautta tuleva toisiöilma johdetaan ulkopuolista kanavaa pitkin yhdyssolessa oleville suuttimille. Toisiöilma jäähdyttää repijälaitteen rungon eli repijälaitte toimii palamisilman esilämmittimenä. Repijälaitteen toimintaa ohjaava valokenno on suunnattu toisioliekkiin.

Etupesässä ei ole arinaa ja tuhkan poisto tapahtuu automaattisesti ruuvikuljettimella. Poistoruvin yläpuolella on kaksi eri suuntiin pyörivää ruuvia, jotka toimivat tuhkan murskaimena. Polttoaineen syöttö on jaksotaista ja tapahtuu 2...10 kertaa minuutissa.

Polttokokeiden aikana etupesä oli liitetty Jaakko 70 kattilaan. Etupesän toiminta vaatii yhdyssolessa 10...15 Pa alipaineen, joka ko. kattilalla saadaan 9...10 m:n savupiipulla.



Kuva 21. Olkivari EP + Jaakko 70 kattila

Etupesälämmityksessä sekä kokonais- että palamishyötysuhteeseen vaikuttaa etupesän lisäksi myös siihen liitetyn kattilan ominaisuudet. Olkivari EP:n ja Jaakko 70:n yhdistelmällä saadaan varaukserran hyötysuhteeksi n. 54 %, taulukko 19. Mikäli etupesä liitetään kattilaan, jonka savukaasujen ulostulolämpötila ko. tehoilla on 120...150 °C paranee kokonaisyötysuhde 4...6 %-yksikköä.

Etupesä aiheuttaa aina lämpöhäviöitä, eikä sillä päästä välttämättä parempiin hyötysuhteisiin vaikka palaminen oleellisesti parantuisikin. Etupesällä saavutetaan kuitenkin muita etuja, jotka usein korvaavat hyötysuhteen pienentymisen.

Repijälaitteella varustetussa etupesässä voidaan polttaa kosteampaa olkea kuin muilla olkikattiloilla. Taulukon 19 kokeessa 4 on oljen keski-kosteus ollut 24,5 %. Koska sytytyspaalien eli 2...3 ensimmäisen paalin tulee aina olla kuivia, voi poltettavien paalien keski-kosteus olla 26...27 %. Kosteuden lisääntyminen alentaa hyötysuhdetta.

Paalien tiheyden tulee olkikattiloissa yleensä olla korkeintaan 80...90 kg/m³. Olkivari EP:n repijälaitte toimii parhaiten, kun paalin tiheys on 100...160 kg/m³. Tämä pienentää varastotilan tarvetta 25...45 % ja lämmitystyömäärää, koska kertatäytöksen palamisaika pitenee.

Olkivari EP:ssä ei ole lainkaan arinaa, vaan tuhka valuu joko sulaneena tai sulamattomana etupesän pohjalle. Mikäli pesä täyttyy "kevyestä" olkihiilloksesta, työntää repijälaitteen syöttämä olki hiillosta alas-päin. Etupesän pohjasta syötetään osa ensiöilmaa, joka polttaa hiillok-sen loppuun ja jäädyttää tuhkan. Tuhka poistetaan pesän pohjalla ole-valla kellokoneiston ohjaamalla tuhkanpoistoruuvilla. Sulamisen jälkeen uudelleen jähmettynyt tuhka murskataan poistoruuvien yläpuolella olevalla murskaimella.

Koemuoto Polttoaine		Varaava Ohra	Varaava Ohra	Varaava Ruis	Varaava Vehnä	Suora Vehnä
Polttoaineen kosteus	%	18,6	18,9	18,7	24,5	18,8
Polttoaineen lämpöarvo	MJ/kg	13,7	13,6	13,7	12,5	13,6
Paalin koko	cm	31x43x90	31x43x90	31x43x90	31x43x90	31x43x90
Paalin paino	kg	7,5	7,9	7,8	10,7	7,9
Kokeen kesto aika	h	4,90	6,68	5,83	6,07	4,95
Polttoaineen palamisaika	h	4,38	5,78	5,38	5,17	4,95
Polttoaineen kulutus	kg/h	34,3	27,3	25,9	33,1	25,4
Kattilan teho	kW	76,9	58,2	56,0	62,0	59,6
Tuotettu energiamäärä	MJ	1087	1180	1055	990	1062
Kulutettu energiamäärä	MJ	2059	2149	1913	2139	1707
Kattilan hyötysuhde	%	52,8	54,9	55,1	46,3	62,2
Alipaine savusolassa	Pa	- 45	- 30	- 30	- 40	- 30
Savukaasun lämpötila	°C	250	220	293	238	246
Palamisilman lämpötila	°C	21,0	20,3	20,1	22,6	20,3
CO ₂ -pitoisuus	%	14,1	13,1	12,8	13,1	12,8
CO-pitoisuus	%	0,59	0,21	0,27	0,45	0,24
Palamishyötysuhde	%	80	84	82	81	82

Taulukko 19. Olkivari EP:n ja Jaakko 70:n koetulokset

7.2.3.3 Automatisoinnin vaikutus oljen polttoon

Olkivari EP:ssä olki syötetään irtonaisena tulipesään ja Kotera 80:ssä pöyhijälaitte hajoittaa paalin tulipesässä. Molemmat menetelmät parantavat ja tasoittavat oljen palamista ja paalien kosteus ja tiheys voivat olla suurempia kuin kokonaisia paaleja polttavissa ylä- ja alapalokattiloissa.

Polttoaineen syötön, palamisen valvonnan ja arinaratkaisujen ansiosta on lämmityksen hyötysuhde näillä kattiloilla 10...25 %-yksikköä parempi kuin muilla olkikattiloilla. Tuhkan sulaminen tai sulamattomuus ei heikennä palamista eikä tuhkan poistoa.

Automatisoinnin ansiosta on olkilämmitys saatu lämmitystyömäärältään vastaamaan hakelämmitystä. Olkivari EP vastaa varaavaan lämmitykseen tarkoitettua alapalokattilaa ja Kotera 80 automaattisyöttöistä suoran lämmityksen kattilaa. Näiden olkikattiloiden sytyttäminen on helpompaa kuin hakekattiloiden, mutta tästä aiheutuva työ määrän säästö korvautuu suuremman polttoaine- ja tuhkamäärän käsittelyyn kuluvana aikana.

Automatisointi nostaa kattilan hintaa eikä pitkälle vietyä automatiikkaa kannata sijoittaa pienitehoisiin kattiloihin. Kun kattilan teho kasvaa alenevat automatisoinnin aiheuttamat kustannukset tuotettua tehoyksikköä kohti. Tällä on vaikutusta vasta sitten kun kattilan käyttäjällä on riittävän suuri lämpöenergian tarve.

8. OLKILÄMMITYKSEN VARAENERGIAMAHDOLLISUDET

Olkilämmityksessä polttoaineen hankinta ajoittuu vuoden kiireisimpään aikaan. Sääolosuhteiden puolesta vuotuisen polttoainemäärän hankintaan on aikaa keskimäärin 12 vrk /2/. Sateisina syksyinä saattaa oljen korjuuseen sopivia päiviä olla vain 3...4 kpl. Jollei tilalla ole ylimääräistä työvoimaa ja korjuukalustoa, voi tämäkin aika kulua viljan puinnissa ja kuivauksessa. Sääolosuhteiden lisäksi voivat korjuulaitteiden vioittumiset aiheuttaa vaikeuksia polttoaineen hankintaan.

Kun oljen korjuu ei onnistu täytyy olkilämmityksen rinnalla olla sitä korvaava ja/tai täydentävä lämmitysmuoto.

Käsisyöttöisissä kattiloissa voidaan aina käyttää varaenergiana muita kotimaisia kiinteitä polttoaineita eikä kattila vaadi muita muutoksia kuin arinan ja säätöjen vaihtamisen.

Automaattisyöttöisten kattiloiden osalta tilanne on vaikeampi, koska oljen syöttölaitteet eivät yleensä sovellu muiden polttoaineiden käsittelyyn. Kun olki poltetaan silppuna, esim. kuvan 15 mukaisesti, ja syötö tapahtuu ruuvisyöttimellä, voidaan samaa ruuvia käyttää myös hakkeen syöttämiseen. Kun lämmitys tapahtuu syöttölaitteella varustetussa etupesässä, voidaan etupesä tarvittaessa poistaa, jolloin lämmitystä voidaan jatkaa etupesään liitetyn kattilan pääpolttoaineilla. Tämä on kuitenkin esim. kaksitasoisessa järjestelmässä vaikeaa, koska etupesän siirtäminen vaatii myös syöttölaitteen ja polttoainesiihon siirtämisen.

Koska olkilämmityksessä käytetään aina varaajaa, turvataan lämmön saanti helpoimmin asentamalla varaajaan sähkövastukset. Sähköllä voidaan lämmitellä lomien ym. pidempien poissaolojen aikana sekä tuottaa lämmin käyttövesi kesäaikana. Mikäli lämpötehon tarve on suuri, ei sähkölämmitystä voida käyttää kuin muun lämmityksen tukena, koska sähkölaitokset asettavat rajoituksia liittäntätehon suuruudelle. Tähän tulee varautua jo olkilämmitykseen siirryttäessä esim. jättämällä aikaisemmin käytössä olleet toimivat lämmityslaitteet toimintakuntoon tai turvaamalla kuivan oljen saanti joko ostamalla tai kuivausmenetelmillä.

9. PALOTURVALLISUUS /20/

Kotimaisen polttoaineen käyttöön liittyy enemmän paloturvallisuusriskejä kuin muihin yleisesti käytössä oleviin lämmitysmuotoihin.

Olkipoltosta suurimman palovaaran aiheuttaa paalien siirron ja polttoaineen lisäyksen aikana kattilahuoneen lattialle ja kattilan päälle variseva olki. Kattilahuoneessa ja kattilan päällä kuivuneen oljen syttymislämpötila on n. 200 °C. Kattilan päällä olevien nuohousluukkujen pintalämpötilat ylittävät usein tämän lämpötilan, ellei niitä suojata eristyskotelolla. Kattilahuoneen ja syöttöhuoneen lattialla oleva olkisilppu ja pöly voi syttyä häikätsähdäksen tai huolimattomasti suoritetun hoitokäynnin aikana lattialle putoavasta kipinästä tai kekäleestä.

Siisteys ja kattilalaitoksen huolellinen hoito parantavat huomattavasti paloturvallisuutta ja olkipoltossa olisikin syytä puhdistaa kattilahuoneen lattiat ja kattilan pinnat jokaisen polttoainetäytöksen jälkeen. Kaksitasojärjestelmässä saadaan kattilahuone pysymään siistinä käytettäessä kuvan 22 mukaisia rakenneratkaisuja. Täyttöhuone on myös pidettävä siistinä eikä sinne saa varastoida ylimääräistä polttoainetta.

Paloturvallisuuden kannalta paras ratkaisu on muista rakennuksista erillinen lämpökeskus, jolloin rakenteelliset vaatimukset ovat lievimmät. Kattilahuonetta ja polttoainevarastoa ei tällöin tarvitse erottaa omiksi palo-osastokseen. Riittää, kun välissä on pölyn leviämistä estävä seinä.

Kun kattilahuone rakennetaan muun rakennuksen yhteyteen, tulee se tehdä kokonaan kiviaineisena omaksi palo-osastokseen ja polttoainevarasto erotetaan sekä kattilahuoneesta että muista tiloista myös omaksi palo-osastokseen. Jos polttoainevarasto on talousrakennuksen varastotilan yhteydessä esim. navetan ullakolla, ei polttoainevarastoa tarvitse erottaa muusta varastosta omaksi osastokseen.

Erillinen syöttöhuone tarvitaan silloin, kun kattilan varastopesän ja varastosiilon yhteinen tilavuus on yli 0,5 m³, mutta enintään 2 m³. Yli 2 m³ varastosiilo katsotaan polttoainevarastoksi, jolloin se on sijoitettava kattilahuoneen ulkopuolelle ja osastoitava muista tiloista.

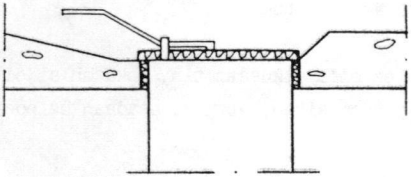
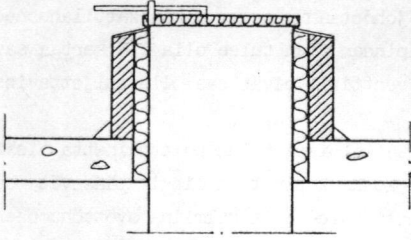
Kattilan palamisilma johdetaan suoraan ulkoa kattilahuoneeseen. Hormin tai venttiilin poikkipinnan alan tulee olla 1,5 kertaa savuhormin poikkipinta-ala. Hormi tai venttiili eivät saa olla suljettavissa.

Käsisyöttöisissä olkikattiloissa tulee polttoainetta lisättäessä olla erityisen varovainen, koska kipinät ja liekit pääsevät nousemaan syöttöhuoneeseen. Polttoaineen tulee olla valmiina syöttöhuoneessa ennen syöttöluukun avaamista. Polttoaineeseen ei saa sekoittaa jätelöjyä tai muita palavia nesteitä, jotka kaasuuntuessaan saattavat aiheuttaa räjähdysvaaran. Syötön aikana polttoainevaraston ja syöttöhuoneen välinen ovi on pidettävä suljettuna.

Kattilalaitoksessa tulee olla alkusammutin, joka on sijoitettu kattilahuoneen läheisyyteen siten, että se saadaan helposti käsille tulipalotilanteessa.

Tuhkan säilytysastioiden tulee olla palamattomia ja niiden ensisijainen säilytyspaikka on ulkona. Kattilahuoneessa saa säilyttää vain yhtä tuhka-astiaa. Jos suurempaa tuhkamäärää halutaan säilyttää sisätiloissa on sitä varten kattilahuoneesta erotettava A-luokan rakentein poistoilmahormilla varustettu tuhkahuone.

Kattilaitoksen paloturvallisuusasioista saa lisätietoa Suomen Palontorjuntaliiton julkaisusta "Pieneköjen kotimaista polttoainetta käyttävien lämmityslaitosten paloturvallisuus", Suomen rakentamismääräyskokoelmasta ja paikallisilta paloviranomaisilta.



Kuva 22. Varastointisillon paloturvallinen läpivienti
täyttöhuoneeseen

10. LÄMMITYSKUSTANNUKSET

10.1 Lämmityskustannuksien osakustannukset

Kiinteällä polttoaineella lämmitettäessä vuotuiset lämmityskustannukset muodostuvat seuraavista osakustannuksista

- lämpökeskuksen ja polttoainevaraston pääomakustannukset
- lämmityslaitteiden ja asennusten pääomakustannukset
- lämmitystyökustannukset
- polttoainekustannukset
- sähkökustannukset

Olkilämmityksen kustannuksien vertailussa muilla kotimaisilla polttoaineilla ja öljyllä tapahtuvan lämmityksen kustannuksiin on lämpökeskuksen ja polttoainevaraston sekä LVI-tarvikkeiden ja sähköistykseen pääomakustannusten perustana käytetty lähteessä /16/ esitettyjä kustannuksia, jotka on laskettu lokakuun 1979 hintatason mukaan. Nämä kustannukset on muutettu kustannusindeksien nousun mukaisesti vastaamaan tammikuun 1982 hintatasoa. Kattiloiden ja varaajien hintoina on käytetty maaliskuun 1982 vähittäismyyntihintoja. Laitekustannukset käsittävät vain varsinaisen kattilahuoneiston laitteet. Kuoletusaikana laitteiden osalta on käytetty 15 vuotta ja rakennusten osalta 25 vuotta. Inflaation vaikutus on otettu huomioon käyttämällä korkokantana 5 % korkoa. Kun lämpökeskus sijoitetaan olemassa oleviin rakennuksiin on muutos- ja kunnostustöiden ja tarvikkeiden kustannuksiksi arvioitu 30 % uudisrakennuksen kustannuksista.

10.1.2 Lämmitystyökustannukset

Lämmitystyökustannusten laskennassa on vuotuisten lämmityspäivien lukumäärä ollut 300 ja lämmitystyön tuntipalkkana 12 mk/h. Haloilla, hakkeella ja palaturpeella lämmitettäessä lämmitystyötä tehdään 20 min/vrk kun lämpöenergian kulutus on 30 MWh/v. Lämmitystyön määrä kasvaa 5 min/vrk, kun energian kulutus kasvaa 10 MWh/v./16/

Olkikattiloiden lämmitystyökustannukset on laskettu seuraavien lämmitystyöaikojen mukaan.

Vuotuinen lämpöenergian kulutus (MWh/v)	Lämmitystyoaika (min/vrk)		
	30	50	70
Kattila			
OK 34	55	65	75
OK 34 olki + halko	47	55	63
Kotera 80	24	27	30
Olkivari EP	27	33	39

10.1.3 Polttoainekustannukset

Polttoainekustannuksia laskettaessa on käytetty seuraavia arvoja

Pienhalko (0,5 m)	lämpöarvo	1330 kWh/1-m ³
	hyötysuhde	0,6
	hintaa	90 mk/m ³
Hake	lämpöarvo	850 kWh/m ³
	hyötysuhde	0,6
	hintaa	40 mk/hake-m ³
Palaturve	lämpöarvo	1310 kWh/m ³
	hyötysuhde	0,65
	hintaa	60 mk/m ³
Olki	OK 34 ja Kotera 80	
	lämpöarvo	305 kWh/m ³
	hyötysuhde	0,35 OK 34 olki
		0,42 OK 34 olki + halko
		0,55 Kotera 80
hintaa	15 mk/m ³	

Olkivari EP

lämpöarvo	375 kWh/m ³
hyötysuhde	0,5
hinta	15 mk/m ³

Öljy	lämpöarvo	10000 kWh/m ³
	hyötysuhde	0,75
	hinta	1418 mk/m ³

Olkikattilan vuotuiset lämmityskustannukset saadaan määrättyä liitteen 10 avulla.

Sähkökustannukset

Kattila	Kustannukset tuotettua energiayksikköä kohti (p/kWh)
Luonnonveto	0,25
Öljy	0,70
Olkivari EP	0,70
Kotera 80	1,10

Öljylämmityksessä vuosihuollon kustannukseksi on laskettu 700 mk/v.

10.2 Vuotuisten lämmityskustannusten vertailu

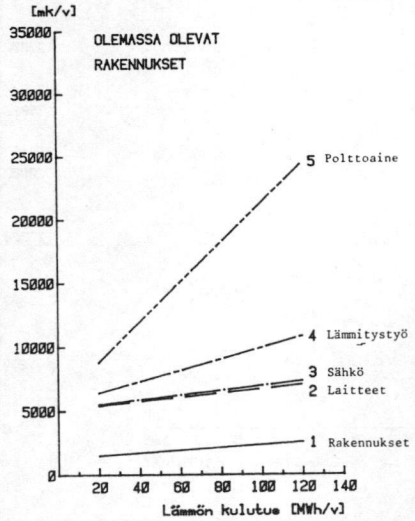
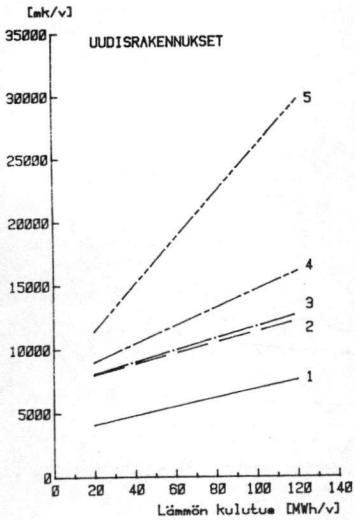
Kuvissa 23...26 on esitetty halko-, hake-, palaturve- ja olkilämmityksen vuotuiset lämmityskustannukset ja kustannusten jakautuminen eri osakustannusten osalle, kun lämpökeskus ja polttoainearasto on sijoitettu uudisrakennuksiin tai olemassa oleviin rakennuksiin ja lämpökeskuksen teho on 70...80 kW.

Keskimääräisillä maatilan energian vuosikulutuksilla suurin osa kokonaiskustannuksista muodostuu rakennus- ja laitekustannuksista. Vasta yli 90 MWh/v vuosikulutuksella ovat muuttuvat polttoaine-, lämmitystyö- ja sähkökustannukset yli 50 % kokonaiskustannuksista. Rakennuskustannukset eivät tosin ole täysin kiinteitä, koska energiankulutuksen kasvaessa tarvittavat polttoainevarastot kasvavat. Kotimaisia polttoaineita käytettäessä lämpöenergian hinta alenee 10...25 %, kun lämpökeskus ja polttoainevarasto sijoitetaan olemassa oleviin rakennuksiin. Tämän lisäksi myönnettävät energia-avustukset pienentävät kokonaiskustannuksia. Polttoaineen hinnan ja energia-avustusten vaikutus on esitetty kuvissa 27...30.

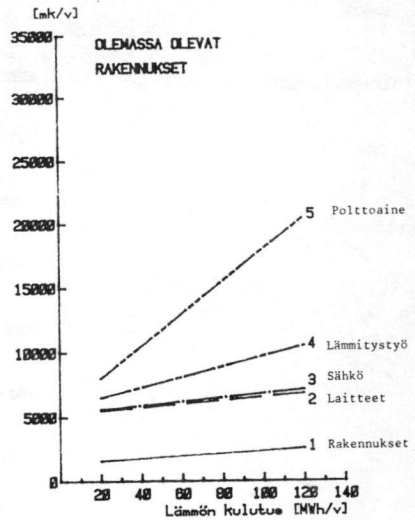
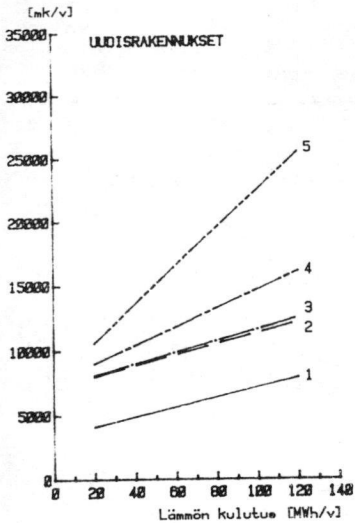
Jos polttoaine ostetaan tilan ulkopuolelta (hinnat lähde /17/), ovat vuotuiset lämmityskustannukset eri polttoaineilla kuvan 27 mukaiset. Öljyn hinnassa on huomioitu maaliskuun 1982 alennus. Kuvasta nähdään, että ainoastaan palaturve on kilpailukykyinen öljyn kanssa alle 100 MWh:n vuosikulutuksella käytettäessä uudisrakennuksia, mutta jos lämpökeskus ja polttoainevarasto voidaan sijoittaa olemassa oleviin rakennuksiin, on palaturve öljyä halvempaa, kun lämmön kulutus on yli 20 MWh/v ja hakkeella vastaava lämmön kulutuksen raja-arvo on 55 MWh/v. Haloilla ja oljella lämmittäminen ei ole kannattavaa.

Kuvassa 28 ovat vuotuiset lämmityskustannukset, kun polttoaineen hintana on käytetty edellä esitettyjä omalta tilalta hankitun polttoaineen hintoja. Tällöin kotimaisen polttoaineen käyttö on öljyä edullisempaa, kun vuotuinen lämmönkulutus on suurempi kuin taulukossa 20 esitetty kulutus.

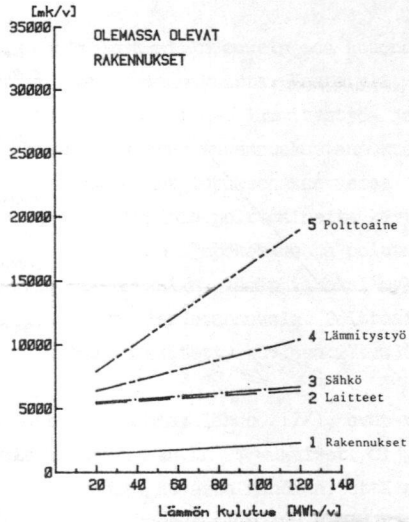
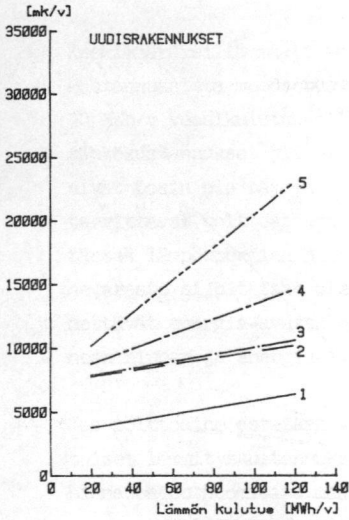
Taulukon 20 kohdassa 5 etupesä on asennettu viisi vuotta aikaisemmin hankittuun kiinteään polttoaineen kattilaan, jolloin kattilahuoneessa on tehty 5000 mk:lla muutostöitä ja polttoainevarastoa on laajennettu.



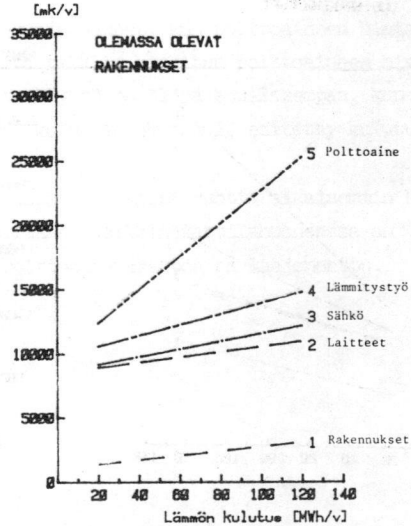
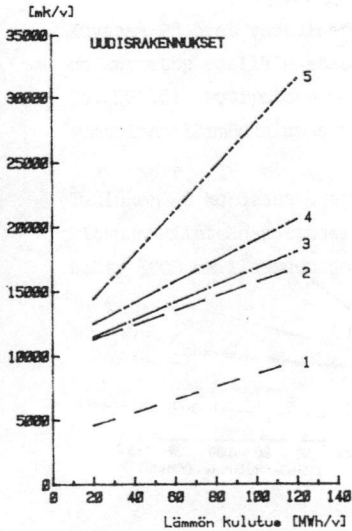
Kuva 23. Halkolämmityksen vuotuiset lämmityskustannukset



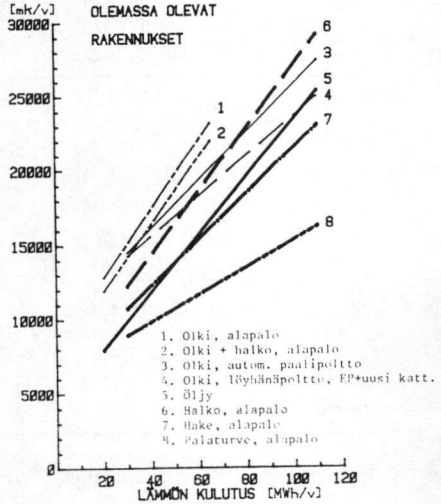
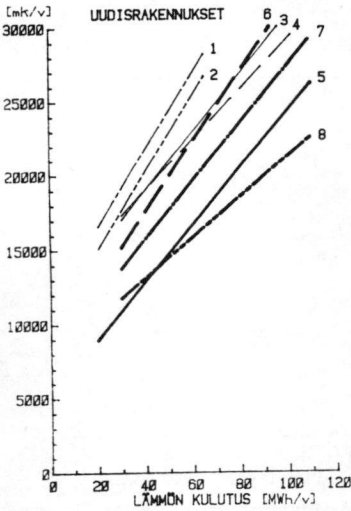
Kuva 24. Palaturvelämmityksen vuotuiset lämmityskustannukset



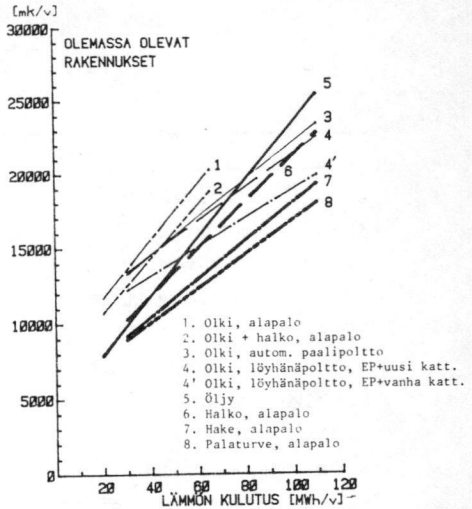
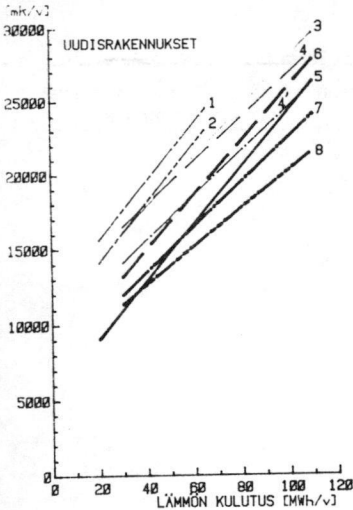
Kuva 25. Hakelämmityksen vuotuiset lämmityskustannukset



Kuva 26. Olkilämmityksen vuotuiset lämmityskustannukset



Kuva 27. Vuotuiset lämmityskustannukset, kun polttoaine hankitaan oman tilan ulkopuolelta



Kuva 28. Vuotuiset lämmityskustannukset, kun polttoaine hankitaan omalta tilalta.

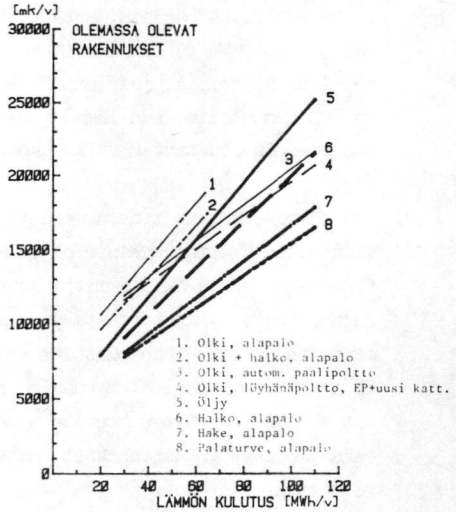
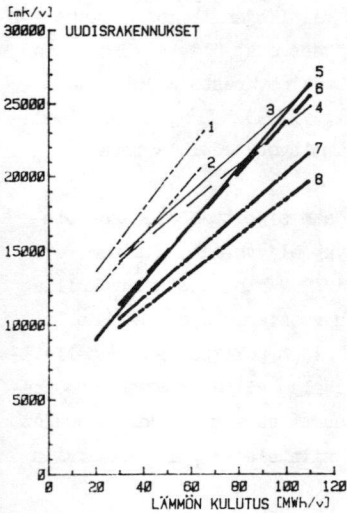
		Vuotuinen lämmönkulutus (MWh/v)	
		Uudisrakennus	Olemassa olevat rakennukset
1. Olki	alapalo	-	-
2. Olki	+ halko tukipa.	-	115
3. Olki	Kotera 80	115	75
4. Olki	Olkivari EP		
	+ uusi kattila	115	70
5. Olki	Olkivari EP		
	+ vanha kattila	95	42
6. Halko	alapalo	-	40
7. Hake	alapalo	55	20
8. Palaturve	alapalo	40	16

Taulukko 20. Pienin lämmönkulutus, jolla kotimaisella polttoaineella tapahtuva lämmitys on öljylämmitystä edullisempaa, kun polttoaine hankitaan omalta tilalta

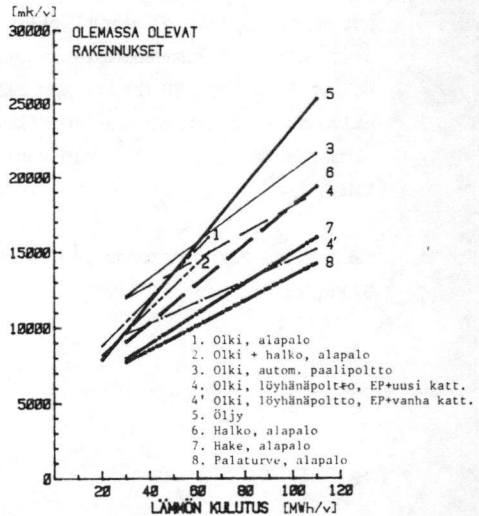
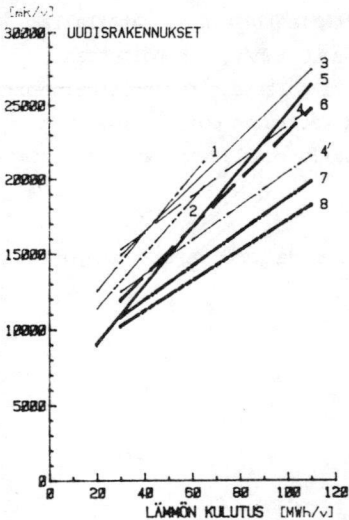
Kun lämpökeskuksen ja polttoainevaraston rakentamiseen saadaan energia-avustuksen enimmäismäärä 20 % ovat lämmityskustannukset kuvan 29 mukaisia. Eri polttoaineiden kilpailukyky öljyyn nähden on esitetty taulukossa 21.

		Vuotuinen lämmönkulutus (MWh/v)	
		Uudisrakennus	Olemassa olevat rakennukset
1. Olki	alapalo	-	-
2. Olki	+ halko tukipa.	-	70
3. Olki	Kotera 80	100	52
4. Olki	Olkivari EP		
	+ uusi kattila	80	48
5. Olki	Olkivari EP		
	+ vanha kattila		
6. Halko	alapalo	60	aina
7. Hake	alapalo	20	aina
8. Palaturve	alapalo	15	aina

Taulukko 21. Pienin lämmönkulutus, jolla kotimaisella polttoaineella tapahtuva lämmitys on öljylämmitystä edullisempaa, kun kustannuksissa on huomioitu 20 % energia-avustus.



Kuva 29. Vuotuiset lämmityskustannukset, kun polttoaine hankitaan omalta tilalta ja energia-avustus on 20 %



Kuva 30. Vuotuiset lämmityskustannukset ilman lämmitystyökustannuksia, kun polttoaine hankitaan omalta tilalta.

Kuvista 27...29 nähdään, että yleisimmillä maatilojen lämmönkulutuksilla, 35...60 MWh/v, olkilämmityksen kustannukset ovat öljyyn verrattuna selvästi suurempia, jos lämpökeskus ja polttoainevarasto sijoitetaan uudisrakennuksiin. Kun lämmöntarve on suuri, yli 90 MWh/v, on olkilämmitys energia-avustusten vaikutuksesta öljylämmitystä edullisempaa.

Kun lämpökeskus polttoainevarastoinen voidaan sijoittaa olemassa oleviin rakennuksiin, paranee oljen kilpailukyky öljyyn nähden siten, että ilman avustuksia olkilämmitys kannattaa yli 70 MWh:n vuosikulutuksilla ja avustusten vaikutuksesta jo yli 50 MWh:n vuosikulutuksella. Edellä mainittuihin arvoihin päästään erityisesti oljen polttoon suunnitelluilla lämmityslaitteilla. Normaalin alapalokattilan kilpailukykyä huonontavat alhaisesta höytysuhteesta aiheutuvat suuret varastointikustannukset sekä lämmitystyökustannukset, jotka muihin kiinteisiin polttoaineisiin verrattuna ovat kaksinkertaiset.

Lämmitystyön vaikutus kustannuksiin näkyy kuvista 28 ja 30. Kuvassa 30 vuotuiset kustannukset on laskettu ilman lämmitystyökustannuksia ja energia-avustuksia. Käytettäessä uudisrakennuksia on olki edelleen öljyä kalliimpaa, mutta käytettäessä olemassa olevia rakennuksia on olki yli 60 MWh:n vuosikulutuksilla öljyä edullisempaa, kun lämmitys tapahtuu automatisoiduilla olkikattiloilla. Käsisyöttöisellä alapalokattilalla ovat vastaavat lämmönkulutuksen minimiarvot 40 MWh/v, kun poltetaan pelkkää olkea ja 30 MWh/v, kun oljen lisäksi poltetaan tukipolttoaineena halkoja. Vertailtaessa eri olkilämmityksiä keskenään on käsisyöttöinen alapalokattila alle 60 MWh:n vuosikulutuksella edullisempi kuin automaattikattila.

Taulukossa 22 on rakennusten lämmönkulutuksen ja sitä vastaavien polttoöljyn kulutuksen ohjearvoja.

Lämmön kulutus MWh/v	Lämmitettävä pinta-ala m ²	Lämmitettävä tilavuus m ³	Polttoöljyn kulutus m ³
20	100...125	250... 310	2,5... 3,1
30	150...180	375... 450	3,7... 4,6
50	260...300	650... 750	6,3... 7,7
70	360...420	900...1100	8,8...10,8
90	460...540	1100...1400	11,3...13,9

Taulukko 22. Lämmönkulutus lämmitettävän pinta-alan ja tilavuuden mukaan, sekä vastaava kevyen polttoöljyn kulutus

Edellä esitetyissä laskelmissa on olkilämmityksen kustannuksia vertailtu öljy-, halko-, hake- ja palaturvelämmitykseen, kun lämpökeskus (polttoainevarastoinen) on sijoitettu joko uudisrakennuksiin tai olemassa oleviin rakennuksiin. Kun lämpökeskus on sijoitettu olemassa oleviin rakennuksiin, on rakennusten investointikustannuksiksi arvioitu 30 % uudisrakennusten kustannuksista.

Verrattuna muilla kotimaisilla polttoaineilla tapahtuvaan lämmitykseen on olkilämmitys normaaleilla maatalan vuotuisilla lämmönkulutuksilla selvästi kalliimpaa. Syynä tähän ovat huonomman hyötysuhteen aiheuttamat suuremmat polttoaineen varastointikustannukset, lämmitystyökustannukset ja lämmityslaitteiston suuremmat investointikustannukset. Tämän vuoksi olkilämmitys sopii vain niille tiloille, joilla muut kotimaiset polttoaineet pitää hankkia tilan ulkopuolelta.

Kun lämpökeskus sijoitetaan uudisrakennuksiin, ovat olkilämmityksen kustannukset öljyyn verrattuna selvästi suurempia normaaleilla maatalojen lämmön kulutuksilla. Vasta kun lämmön tarve on suuri, yli 90 MWh/v, tulee olkilämmitys energia-avustusten ansiosta öljyä edullisemmaksi.

Jos lämpökeskus voidaan sijoittaa olemassa oleviin rakennuksiin paranee oljen kilpailukyky öljyyn nähden siten, että ilman avustuksia olkilämmitys kannattaa yli 70 MWh:n vuosikulutuksilla ja täyden energia-avustuksen ansiosta yli 50 MWh:n vuosikulutuksilla. Näihin arvoihin päästään erityisesti olkikäyttöön suunnitelluilla lämmityslaitteilla. Normaalin alapalokattilan kilpailukykyä heikentävät suuret varastointi- ja lämmitystyökustannukset.

Jos lämmitystyökustannukset jätetään huomioimatta on olkilämmitys edelleen öljyä kalliimpaa, kun lämpökeskus sijoitetaan uudisrakennuksiin. Vertaillaessa eri olkilämmitystapoja keskenään, on tavallisella alapalokattilalla tapahtuva lämmitys alle 60 MWh:n vuosikulutuksilla edullisempaa. Kun lämpökeskus voidaan sijoittaa olemassa oleviin tiloihin on olkilämmitys yli 60 MWh:n vuosikulutuksilla öljyä edullisempaa. Kun lämmitys tapahtuu tavallisella oljenpolttoon soveltuvalla alapalokattilalla alkaa lämmitystyöstä tulla jonkinlaista palkkaa jo yli 30 MWh:n vuosikulutuksilla.

Olkilämmityksen kannattavuutta kuvaavat vuotuisen lämpöenergian kulutuksen rajat on saatu edellä esitettyjen laskentaperusteiden pohjalta. Koska poikkeavuudet polttoaineen hinnassa ja oman työn ja alennusten vaikutuksesta myös rakennus- ja laitekustannuksissa voivat olla varsin suuret, selviää edullisin lämmitysratkaisu vasta tarkempien tapauskohtaisten laskelmien perusteella.

11. YHTEENVETO

Maamme korjattavissa oleva olkisato on 2,2 milj. t/v. Nykyisin tästä olkimäärästä käytetään hyödyksi kuivikkeena ja rehuna n. 17 %, jolloin polttoaineeksi sopivaa olkea saataisiin 1,8 milj. t/v. Tällä olkimäärällä voidaan korvata n. 55 % maataloudessa rakennusten lämmitykseen kuluvasta öljystä. Energialähteenä oljella on suurin merkitys Etelä- ja Lounais-Suomessa sekä Pohjanmaalla. Näillä alueilla tuotetaan n. 70 % koko olkisadosta.

Oljen energiakäyttöä rajoittaa oljenpolttoon soveltuvien pienkattiloiden puute. Oljen palaminen muille kotimaisille polttoaineille suunnitelluissa kattiloissa on huonoa. Tämä johtuu oljen huomattavasti pienemmästä energiatiheydestä, suuresta tuhkamäärästä ja tuhkan sulamisominaisuuksista.

Oljen palamista ja lämmityksen hyötysuhdetta voidaan parantaa esimerkiksi tulipesän lämpötilaa kohottamalla, liikkuvalla olkea pöyhivällä arinalla ja silputun tai paalista revityn oljen käytöllä. Poltettavan oljen kosteuden pitää sytytysvaiheessa aina olla alle 20 %. Kattilan lämpeneminen parantaa kostean oljen palamista ja suurimmillaan kosteus voi olla n. 26 %, kun olkea poltetaan löyhänä etupesässä. Koska olki kuivuu varastoinnin aikana itsestään, voi oljen korjuukosteus olla 25 %. Jollei olkea voida korjata riittävän kuivana, on käytettävä koneellista kuivausta. Kuivureiden oikean mitoituksen ja syksyn säiden vaikutuksen selvittämiseksi tarvitaan lisätutkimuksia.

Kun olkea poltetaan paaleina, paranee palaminen, kun tiheys pienenee. Sopiva paalin tiheys on 50...80 kg/m³. Pieni tiheys lisää polttoaineen varastointitilan tarvetta ja lämmitystyön määrää. Kun kattilassa on mekaanisesti toimiva arina, voi tiheys olla 90 kg/m³. Repijälaitteella varustetuissa kattiloissa paalin tiheyden kohoaminen parantaa repijän toimintaa. Sopiva paalin tiheys on 100...160 kg/m³.

Oljen runsas tuhkapitoisuus ja tuhkan sulaminen vaikeuttavat palamista kaikissa arinakattiloissa, joissa arina ei ole liikkuva. Kun kattilassa on liikkuva arina, pitää sen toimintaa ohjata palamisen tason mukaan. Tuhkan poisto lisää huomattavasti olkikattilan vaatimaa hoitotyömäärää, kun se tehdään tavallisilla käsityövälineillä. Koneellisen tuhkanpoistolaitteen pitää pystyä käsittämään sekä sulamatonta että sulamisen jälkeä uudelleen kovettunutta tuhkaa. Parhaiten tuhkan poistoon soveltuu ruuvikuljetin.

Oljen kokopaalipoltto kannattaa suurilla, yli 50...70 MWh:n vuosikulutuksilla, kun lämmitys tapahtuu erityisesti oljen polttoon suunnitellulla kattilalla. Tällöinkin tulee lämpökeskus ja polttoainevarasto sijoittaa olemassa oleviin rakennuksiin. Kustannuksiin vaikuttaa ratkaisevasti olkikattiloiden kallis hinta ja suuri varastotilan tarve. Kattiloiden hinta tulee korkeaksi koska paalien syöttö, tuhkan poisto ja palamisen valvonta pitää automatisoida. Käsisyöttöisenä olkilämmitys on liian työlästä. Paalipoltossa olkikattilan säätyvyys on huono, jolloin on käytettävä varaavaa lämmitystä.

Kun oikea poltetaan revittyä on palaminen hallitumpaa ja palamishyötysuhde parempi. Ainoa tällä hetkellä maassamme valmistettava paalista revittyä olkea polttava laite on Viishanke Ky:n valmistama Olkivari EP etupesä. Palaminen siinä on erittäin hyvää, mutta kokonaisyötysuhde jää etupesän ja suuren polttoainesiloon häviöiden vuoksi alhaiseksi.

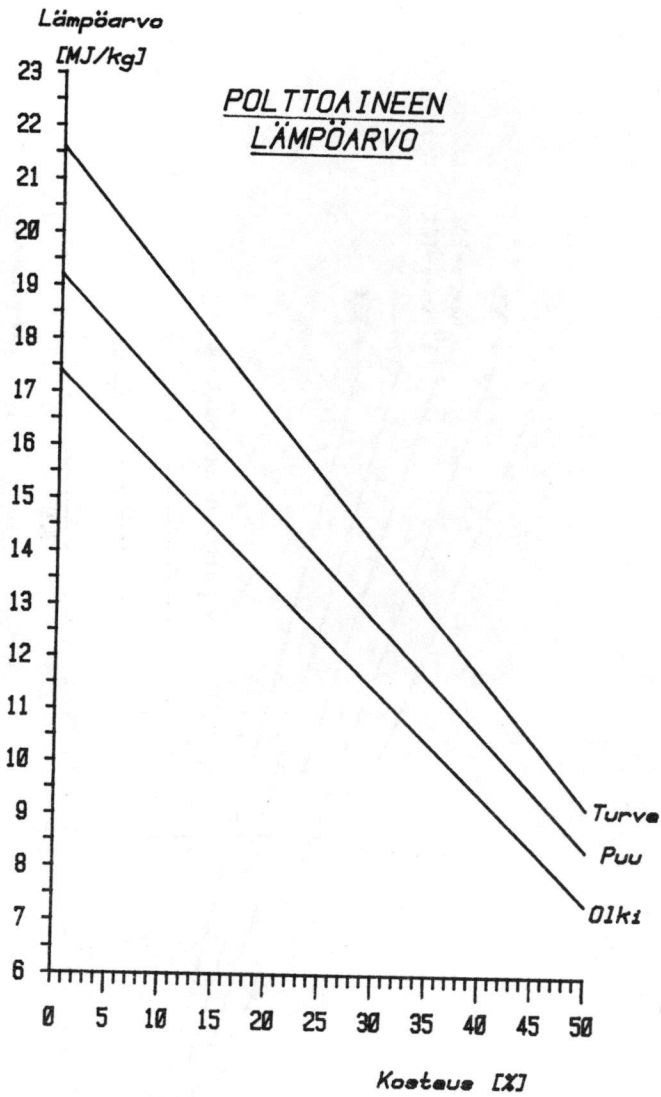
Olkipellettien käyttö polttoaineena pienentää kattila- ja varastokustannuksia ja parantaa lämmityksen hyötysuhdetta. Lämmityksen kannattavuus riippuu kuitenkin ensisijaisesti itse pelletöinnin kustannuksista. Parhaiten pellettien polttoon soveltuu ruuvisyöttöinen poltin, joka on yhdistetty yläpalokattilaan. Tällaisessa kattilassa voidaan olkipellettien lisäksi polttaa turvepellettejä, murskattua palaturvetta ja haketta. Nykyiset alapalokattilat eivät sovellu olkipellettien eikä -brikettien polttoon suorassa lämmityksessä. Olkibriketeille soveltuvat poltto-laitteet tulevat pellettipolttimia kalliimmiksi.

Verrattuna muilla kotimaisilla polttoaineilla tapahtuvaan lämmitykseen on olkilämmitys nykyisin laittein normaaleilla maatilan vuotuisilla lämmön kulutuksilla selvästi kalliimpaa. Tämän vuoksi olkilämmitys sopii vain niille tiloilta, joissa lämmöntarve on tavallista suurempi ja muut kotimaiset polttoaineet pitää hankkia tilan ulkopuolelta.

LÄHTEET

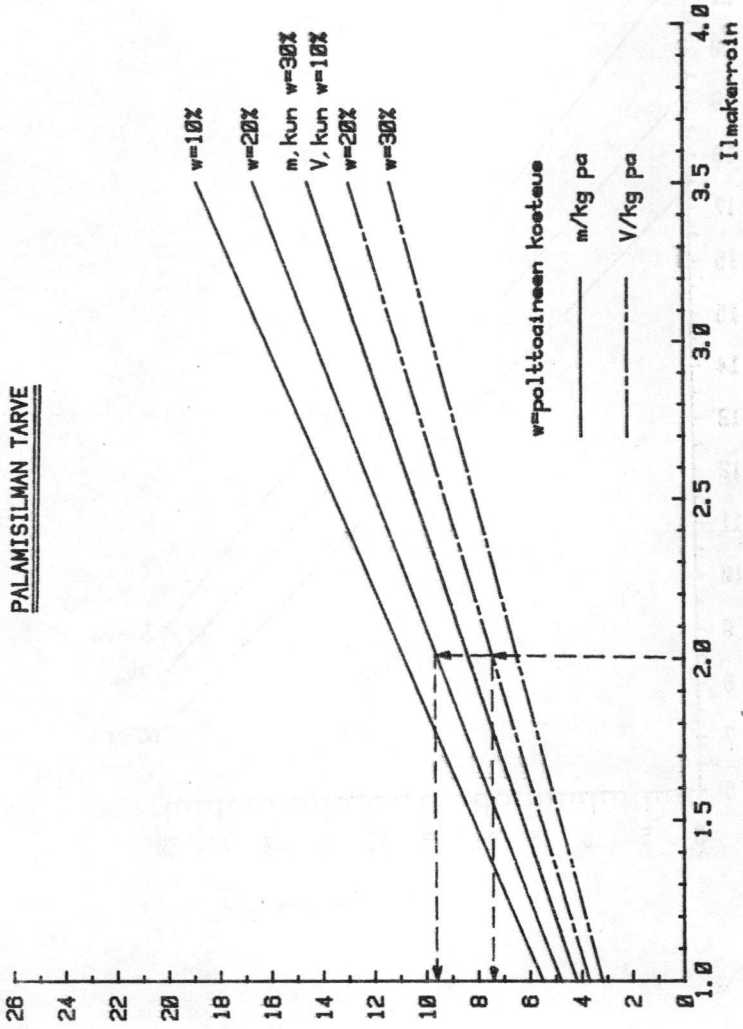
- 1 Maatilatalouden tiedotuskeskus
- 2 R. Orava, Oljen korjuu ja käyttö maataloilla. Työtehoseuran julkaisuja 226, Helsinki 1980.
- 3 Traktor Journalen 12/1977
- 4 The utilization of straw for heating and other purposes, Finn Møller. STI. Meddelelse n:o 30, Danmark 1977.
- 5 C. Nilsson, N. Ekström, Halm som bränsle specialmeddelande 114. Sveriges lantbruksuniversitet, Lund 1982.
- 6 Hofstetter E.M., Feuerungstechnische Kenngrößen von Getreide stroh 1978.
- 7 Strehler A., Hofstetter E.M., Untersuchungen über verschiedene Möglichkeiten der Energiegege Winnung aus Stroh, 1979.
- 8 Ekonon - kalenteri 1980
- 9 Tekniikan käsikirja, 8. painos, osa 2, s. 552 - 556
- 10 Rah, R.G., Kattilalaitokset 1968
- 11 Steinmüller - Kesseltechnisches Taschenbuch 1963
- 12 Mäki - Välikkilä, Heinäpaalien kylmäilmakuivauksesta ja varastoinnista. 1977.
- 13 Iisakkila M., Käytännön maamies n:o 2, 1980
- 14 Wahlroos L., Aurinkoenergia 1981.

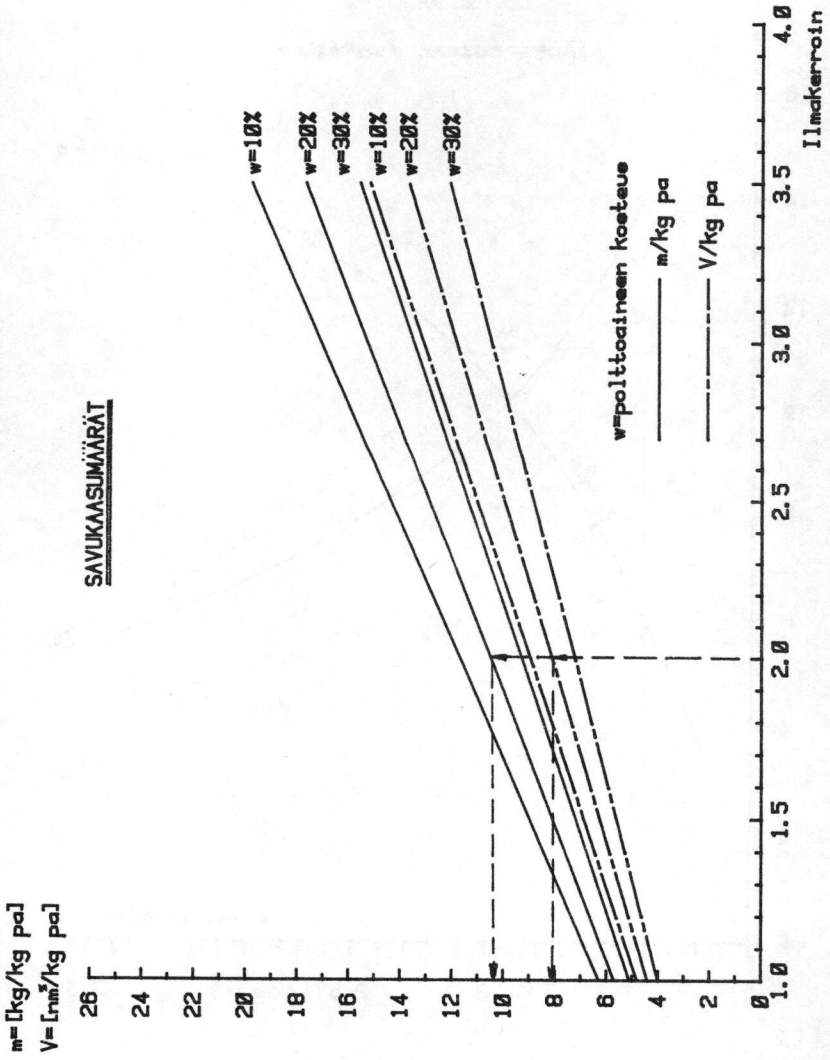
- 15 Vuorelainen O., LVI tekniikka, Lämmöntarve ja lämmöneristys, 1977.
- 16 Kallio - Mannila R., Nurmisto U., Lämmitysjärjestelmien tyyppiratkaisut. Työtehoseuran julkaisu n:o 229, 1980.
- 17 KTM, Energiakatsaus n:o 4, 1981
- 18 Koskenranta P., Oksanen E.H., Käyttökokemuksia olkikattiloista, Työtehoseuran julkaisu 238, Helsinki 1981.
- 19 Peltola A., Olkipuristeet polttoaineeksi. Valmistuksen tekniikka, energiatase ja talous. Työtehoseuran maatalous- ja rakennusosaston monisteita 2/1981.
- 20 Lastu A., Hallio P.K., Nupponen H., Orrainen M., Pienehköjen kotimaista polttoainetta käyttävien lämmityslaitosten paloturvallisuus. Suomen Palontorjuntaliiton julkaisu 1982.
- 21 KTM, Energiaosasto, Miten käytät taloudellisesti kotimaista polttoainetta 1982.

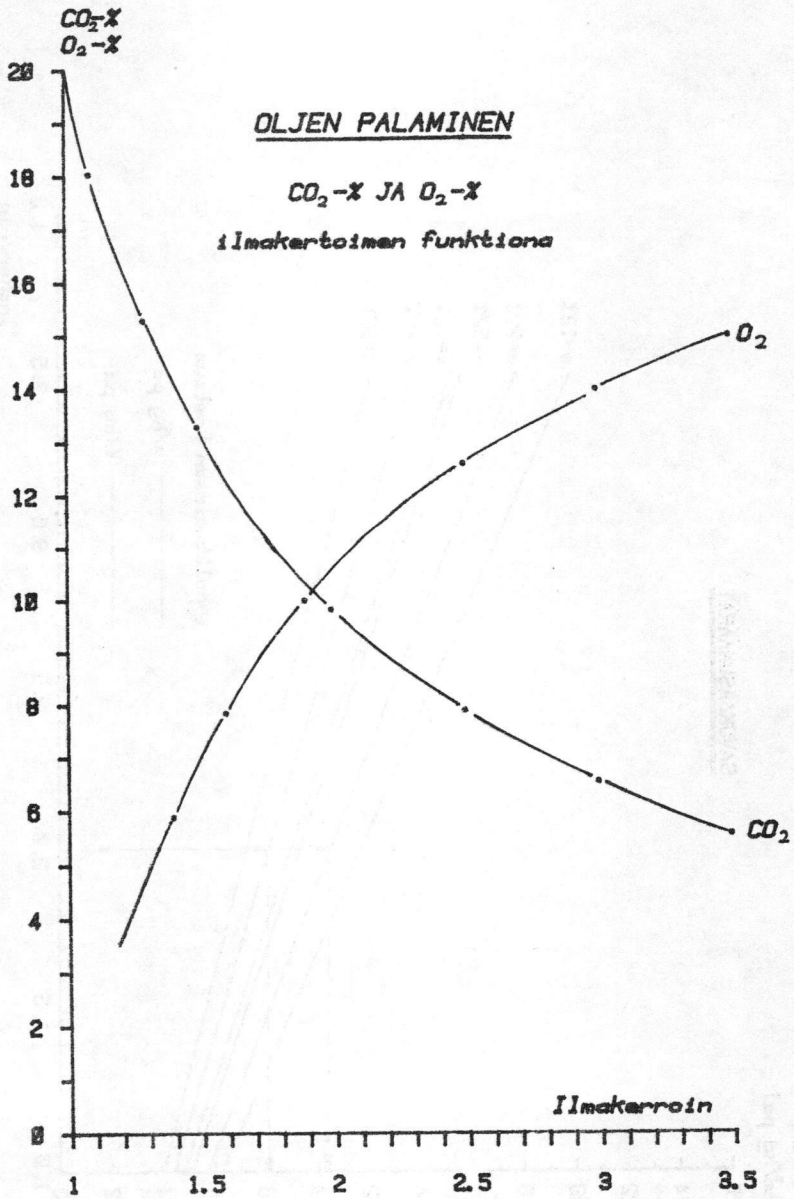


$m = [kg/kg\ pa]$
 $V = [m^3/kg\ pa]$

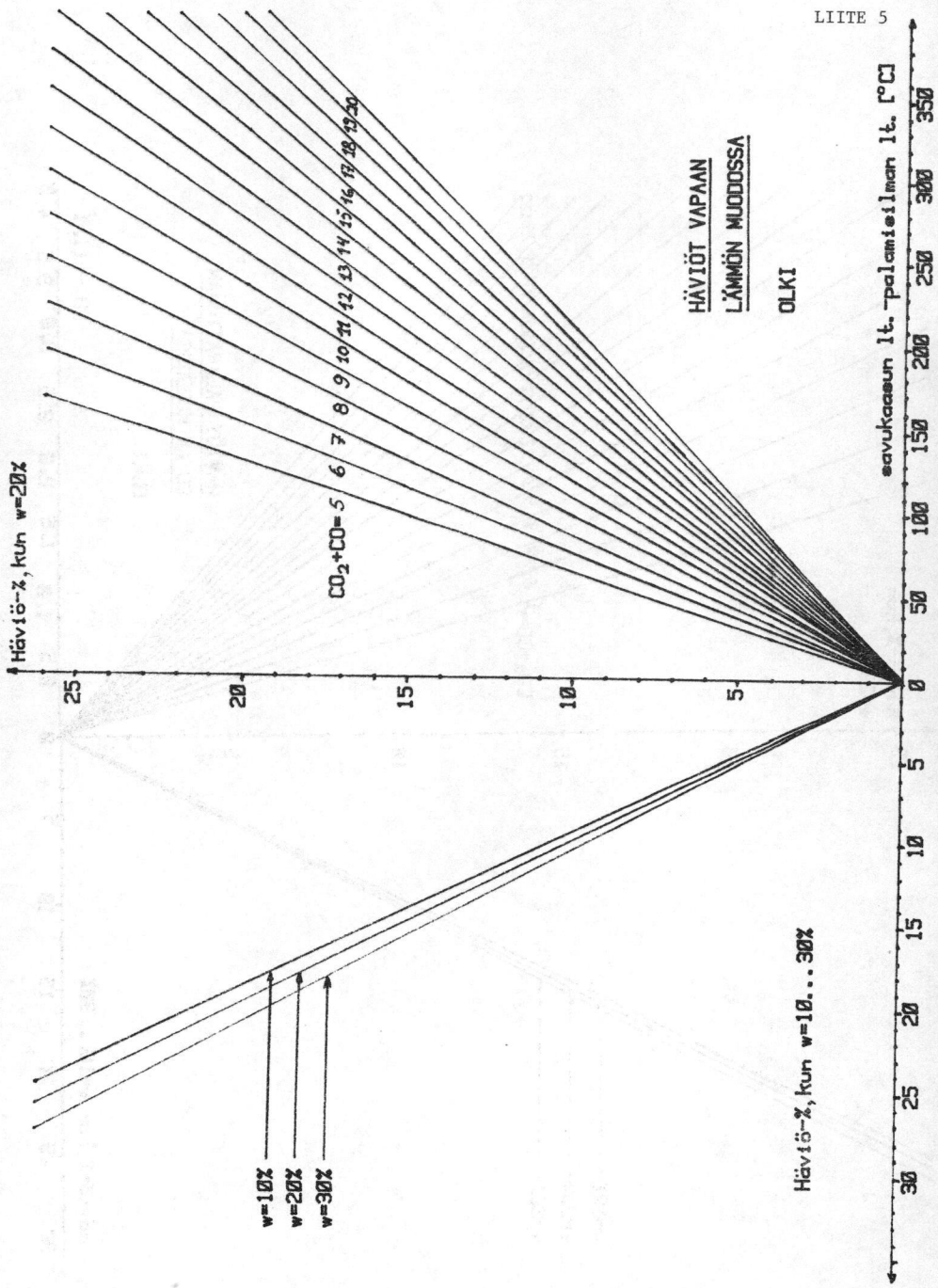
PALAMISILMAN TARVE







HÄVIÖT VAPAAN
LÄMMÖN MUODOSSA
OLKI

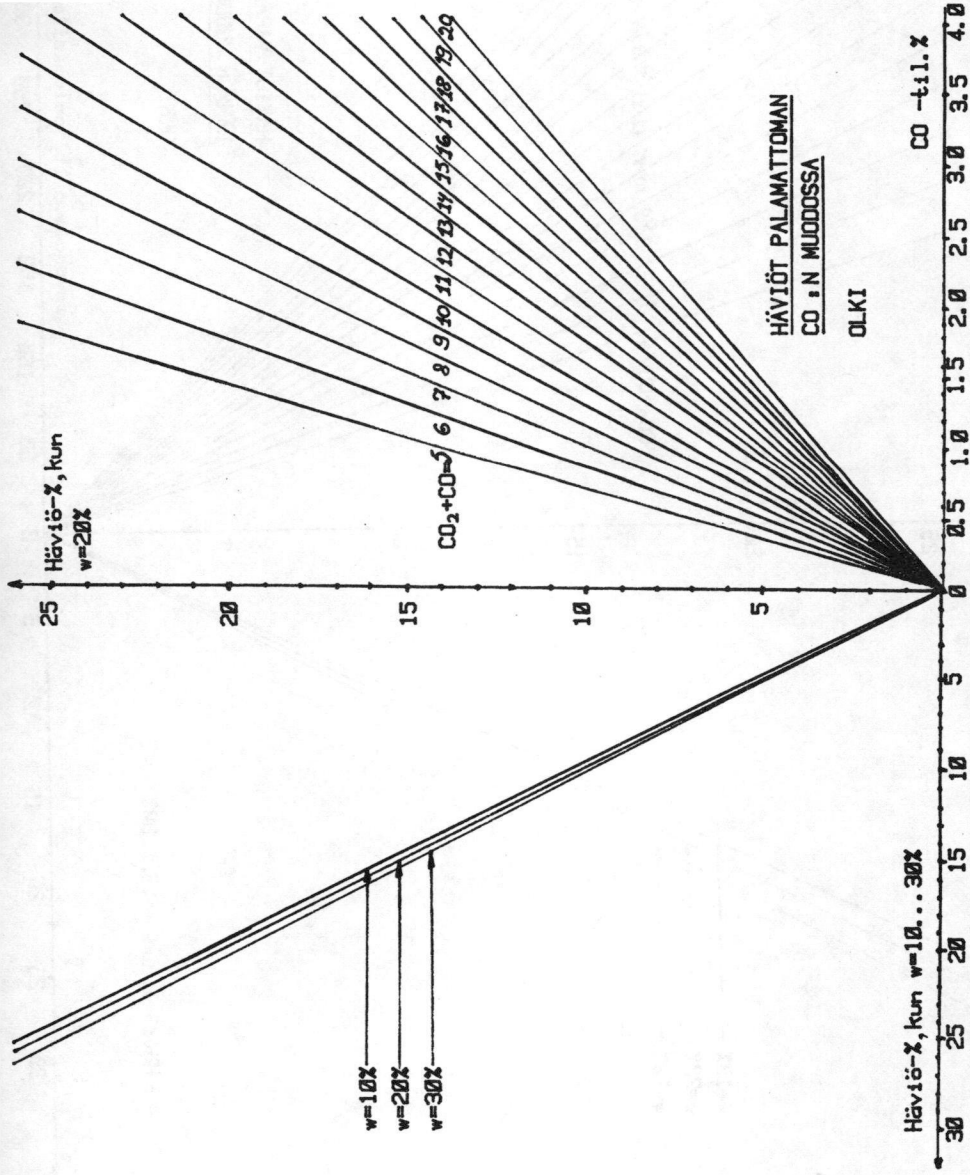


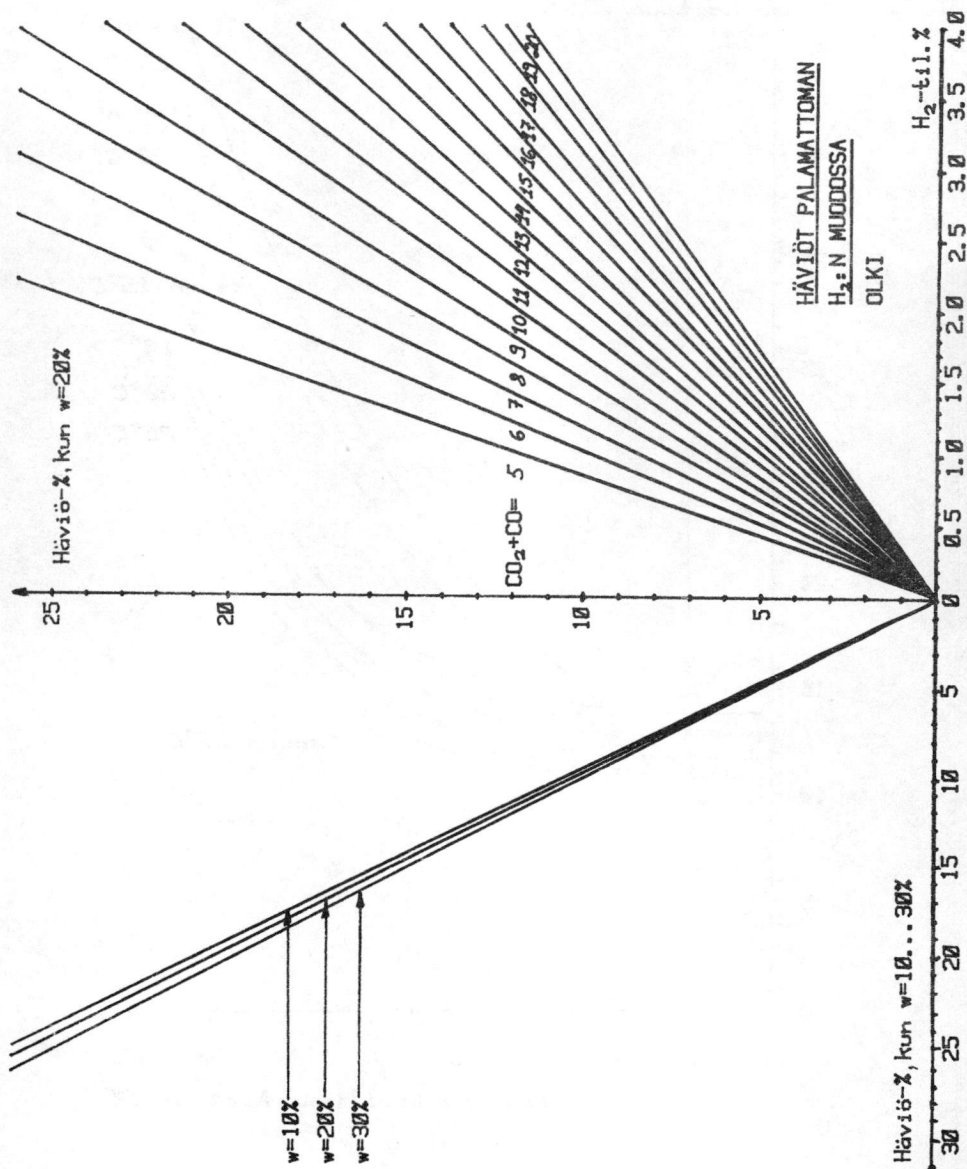
w=10%
w=20%
w=30%

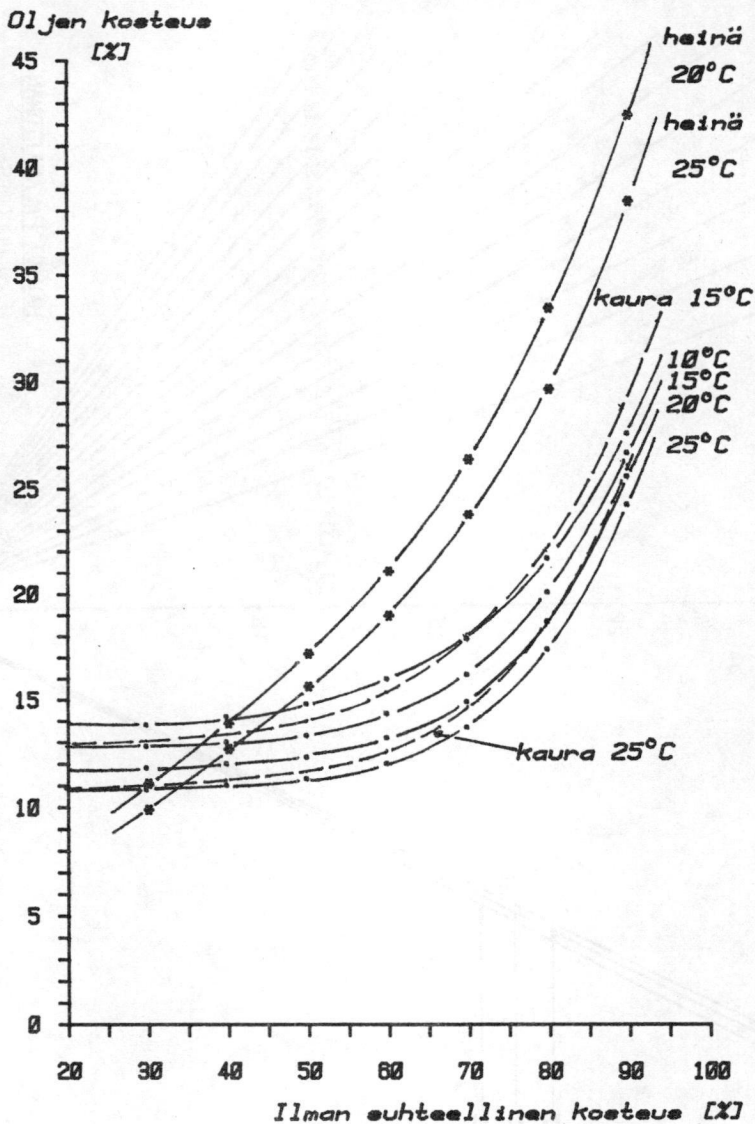
CO₂+CO=5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

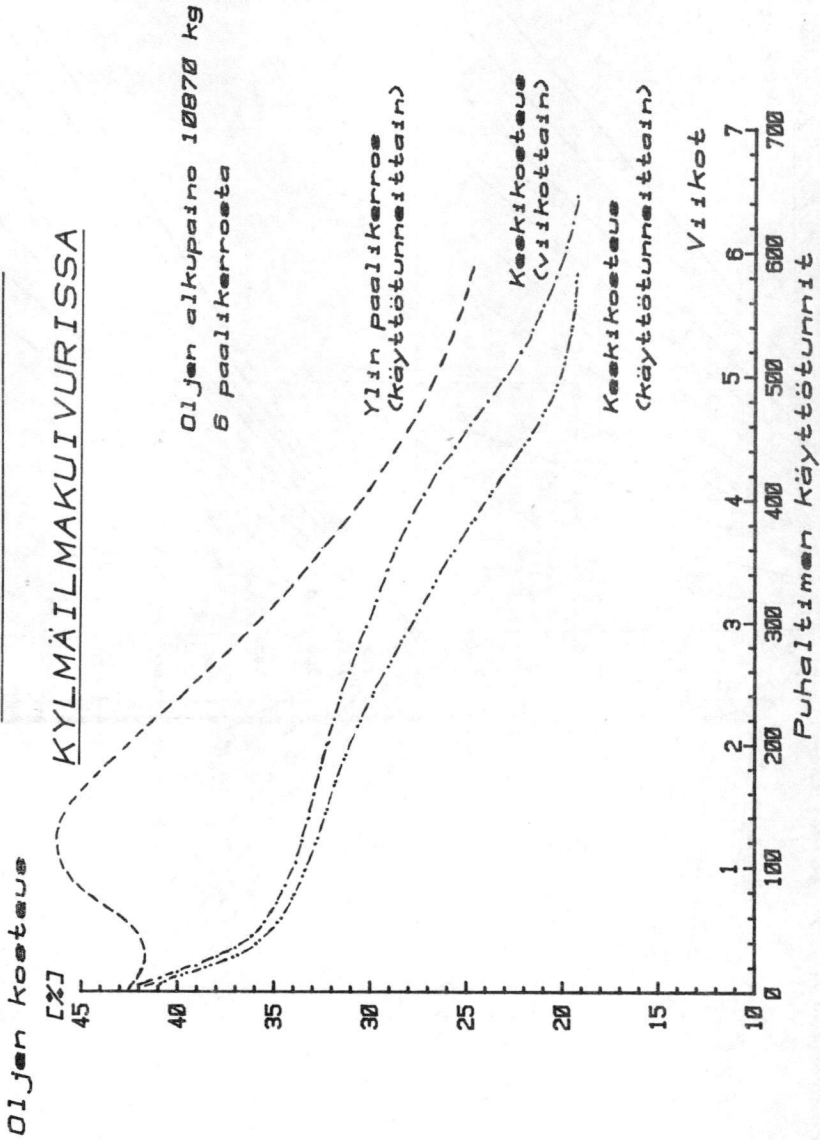
Häviö-%, kun w=10...30%

savukaasun lt. -palamislämpö t. [°C]





OLJEN TASAPAINOKOSTEUDET

OLJEN KUIVUMINENKYLMÄILMAKUIVURISSA

OLJEN LÄMPÖARVO
[kWh/m³]

ESIMERKKIÖÖLJÄN MITAT 36x46x92 cm

VIOTILINEN LÄMMÖNKUULLUTUS
[MWh/yr]

Oljentiheys [kg/m³] 120 Pölyin pitoisuus [18.5]

110 16.8

100 15.2 400

90 13.7

80 12.2

70 10.7 300

60 9.1

Oljen kosteus [%]

26 24 22 20 18 16

Oljensinkki [m³]

500 400 300 200 100

800 700 600 500 400

3300 3960 4620 5280

200-1320 300-1580 400-2640

500-3300 600-3960 700-4620 800-5280

20000 25000 30000 5000

VIOTUOSET POLTTOPIEKEKUSTANNUKSET [m⁴]

VIOSINVOYYSUINDE [%]

30 35 40 45 50 55 60 65

