



VAKOLA

PPA 1
03400 VIHTI
913-46 211

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

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS NRO 40

PEKKA STÅHLBERG — CARL WILÉN —
ANDRAS HORVATH

OLJEN PELLETOINTI
JA
PELLETTIEN KÄYTTÖ
POLTTOAINEENA

STRAW PELLETIZATION
AND USE OF
PELLETS AS FUEL

VIHTI 1985

ISSN 0782-0054

SISÄLLYSLUETTELO

	sivu
TIIVISTELMÄ	I
SAMMANFATTNING	III
SUMMARY	V
ESIPUHE	VII
1. JOHDANTO	1
2. VUOTUINEN OLKISATO JA SEN ENERGIASISÄLTÖ	2
3. OLJEN PELLETOINTI	4
3.1 Oljesta valmistettavat puristeet	4
3.2 Olkipuristeiden tuotanto Suomessa	4
3.3 Puristustekniikka	6
3.4 Olkipellettien ominaisuudet	8
4. Oljen pelletointikokeet	10
4.1 Yleistä	10
4.2 Pelletointilaitteisto	11
4.2.1 Rakenne	11
4.2.2 Laitteet ja niiden toiminta	13
4.3 Pelletointikokeet	14
4.3.1 Raaka-aine	14
4.3.2 Kokeet	14
4.3.3 Tulokset	16
4.3.3.1 Tuotteen laatu	16
4.3.3.2 Pelletoinnin kosteusalue	18
4.3.3.3 Kapasiteetti ja tehonkulutus	19

5.	OLKIPELLETTIEN POLTTOKOKEET	21
5.1	Polttokokeiden tavoitteet	21
5.2	Kiinteän polttoaineen polttimet	23
5.2.1	Koejärjestelyt	23
5.2.2	Pelikko 10 -poltin	24
5.2.2.1	Kattila	24
5.2.2.2	Polttimen muutostyöt	24
5.2.2.3	Polttokokeissa käytetyt polttoaineet	27
5.2.2.4	Polttimen ja kattilan säädöt	28
5.2.2.5	Tulokset	28
5.2.3	TP 30 -poltin	33
5.2.3.1	Kattila ja poltin	33
5.2.3.2	Polttokokeissa käytetyt polttoaineet	35
5.2.3.3	Polttimen ja kattilan säädöt	35
5.2.3.4	Tulokset	36
5.2.3.5	Tuhkan käyttäytyminen	39
5.2.4	Yhteenvedo olkipellettien polttokokeista kiinteän polttoaineen polttimilla	41
5.3	Leijukerroskattila	43
5.3.1	Koejärjestelyt	43
5.3.2	Kokeissa käytetyt polttoaineet	44
5.3.3	Tulokset	44
5.3.4	Yhteenvedo	47
5.4	Olkipellettien kaasutuskokeet	48
6.	LISÄAINEIDEN VAIKUTUS OLJEN TUHKAN SULAMISLÄMPÖTILOIHIN	50
6.1	Tuhkan sulamisen vaikutus polttolaitteiden toimintaan	50
6.2	Oljen tuhka	52
6.3	Tuhkan sulakäyttämisen arviointi	53
6.4	Tuhkan sulamislämpötilojen kohottaminen	55
6.4.1	Menetelmät	55
6.4.2	Kokeissa käytetyt lisäaineet	57

6.4.3	Koetulokset	58
6.4.4	Lisäaineiden käyttökelpoisuus	61
6.4.5	Yhteenvedo	63
7.	OLKIPELLETTIEN TUOTANTOKUSTANNUKSET	65
7.1	Oljen tuotantokustannukset	65
7.1.1	Oljen tuotantokustannusten laskenta- perusteet	65
7.1.2	Tuotantokustannukset	68
7.2	Oljen pelletointikustannukset	74
7.2.1	Valmistusvaihtoehdot	74
7.2.2	Siirrettävä pelletointiyksikkö	74
7.2.3	Valmistuskustannukset siirrettävällä yksiköllä	75
7.2.4	Valmistuskustannukset kiinteällä laitoksella	77
7.2.5	Siirtokustannukset	80
7.3	Yhdistetty rehu- ja polttopelletin tuotanto	82
7.4	Yhteenvedo olkipellettien tuotantokustannuk- sista	83
8.	LÄMMITYSKUSTANNUKSET	84
8.1	Lämmityskustannuksien osakustannukset	84
8.2	Lämmityksen kokonaiskustannukset	88
9.	OLKIPELLETTILÄMMITYKSEN SEURANTA	92
9.1	Yleistä	92
9.2	Seurannan suoritustapa	93
9.3	Seurantakohteet	94
9.4	Seurantakohteiden lämmityslaitteet	99
9.4.1.	Lämmityslaitteiden toiminta	102
9.4.1.1	Yleistä	102
9.4.1.2	Viat ja häiriöt	104
9.5	Seurantakohteiden mittaustulokset	108
9.5.1	Yleistä	108
9.5.2	Energiankulutus, keskiteho ja hyöty- suhde	109
9.5.3	Lämmitystyö	112

9.6	Käyttäjien kokemukset	115
9.7	Kaoliinin vaikutus oljen tuhkan sulamiseen seurantakohteiden polttolaitteissa	122
9.8	Yhteenveto	125
10.	YHTEENVETO	127
10.1	Tutkimuksen tausta ja tavoite	127
10.2	Oljen pelletointikokeet	128
10.3	Olkipellettien polttokokeet	129
10.4	Olkipellettien tuotantokustannukset ja olkipellettilämmityksen kustannukset	131
10.5	Lisäaineiden käyttö oljen tuhkan sulamislämpötilojen kohottamiseen	133
10.6	Käytännön kokemuksia olkipellettilämmityksestä	134
11.	OLKIPELLETTIEN POLTTOAINEKÄYTÖN TULEVAISUUDENNÄKYMÄT SUOMESSA	136

KIRJALLISUUSLUETTELO

LIITTEET

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitetään oljen pelletointia kevytrakenteisella siirrettävällä pelletointilaitteella sekä raaka-aineen laadun vaikutusta oljen pelletoitavuuteen ja tuotettavan pelletin laatuun. Olkipellettien polttoon soveltuvien polttolaitteiden toimivuutta ja polttotekniikkaa selvitetään laboratoriokokeiden ja käytännön seurannan perusteella. Alustavia kokeita on tehty myös lisäaineiden vaikutuksesta oljen tuhkan sulamislämpötiloihin. Lisäksi arvioidaan siirrettävällä pelletointilaitteella tuotettavan olkipelletin valmistuskustannukset sekä vertaillaan olkipellettilämmityksen kustannuksia öljyllä ja puulla tapahtuvan lämmityksen kustannuksiin.

Raaka-aineen ominaisuuksista suurin merkitys oljen pelletoitavuuteen on kosteudella. Oljen kosteus voi olla 12...22 %, mutta pelletoinnin kannalta optimi kosteusalue on 18...20 %. Kuivempi olki saadaan tälle alueelle kostuttamalla se ennen puristusta. Kun oljen kosteus kohoaa yli 20 %:n alkaa puristimen kapasiteetti laskea.

Oljen pelletointi siirrettävällä laitteistolla voi tapahtua kovaa sadetta lukuunottamatta kaikissa sääoloissa. Lumisade ja pakkaneen ei vaikeuta merkittävästi laitteen toimintaa.

Olkipellettien polttokokeita suoritettiin sekä laboratorioolosuhteissa että käytännössä polttoaineteholtaan alle 40 kW:n kiinteän polttoaineen polttimilla. Lisäksi olkipelletillä suoritettiin polttokokeita 300 kW:n leijukerroskattilalla ja kaasutuskokeita. Polttimien hyvä toiminta edellyttää, että poltinpää on varustettu tuhkaa poistavilla laitteilla. Parhaiten tämä onnistuu liikkuvaa porrassarinaa käyttämällä. Käytännössä olkipellettipolttimet toimivat tyydyttävästi. Kattiloiden nuohoustarve on poikkeuksellisen suuri.

Leijukerrospoltoissa laitteiston paras toimivuus saavutetaan käyttämällä hiekkapatjan lämpötilana alhaista 700...730 °C:n lämpötilaa. Matalan lämpötilan käyttö kasvattaa kattilan säätyvyyttä. Säätyvyysaluetta voidaan suurentaa käyttämällä vehnän oljesta valmistettuja pellettejä tai pellettejä, joissa tuhkan sulamislämpötiloja on kohotettu lisäaineiden avulla. Alustavissa lisäainekoikeissa parhaisiin tuloksiin on päästy käyttämällä kaoliinia ja kivihiilen tuhkaa.

Olkipellettien tuotantokustannukset vaihtelevat voimakkaasti sekä raaka-ainetuotannon, että varsinaisen pelletoinnin osalta. Molemmissa vaiheissa laitteiston pääomakustannukset edellyttävät varsin suuria vuosituotantomääriä. Omaan käyttöön tuotettuna olkipelletti maksaa 270...420 mk/t eli 65...105 mk/MWh. Pelletoinnin osuus on tällöin 170...220 mk/t. Tilan ulkopuolelle myytävän oljen raaka-ainehinta on 200...280 mk/t. Tällöin olkipelletin tuotantokustannukset ovat 370...500 mk/t. Olkipellettien hinta saisi olla 330...580 mk/t ollakseen kilpailukykyinen kevyen polttoöljyn hinnan kanssa.

Kaupallisella tasolla olkipellettituotannon ehdottomana edellytyksenä on riittävän suuren vuosituotantomäärän takaaminen kullekin tuotantoyksikölle. Tähän tarvitaan vähintään yksi suurkuluttaja, joka mahdollisesti myös omistaa pelletointilaitteen. Vuosituotantoa voidaan lisätä käyttämällä samaa laitteistoa myös rehupelletin valmistukseen.

SAMMANFATTNING

Forskningsarbetet omfattar pelleteringsförsök med halm i en mobil pelleteringsanläggning. Halmkvalitetens inverkan på halmens pelleterbarhet samt slutproduktens kvalitet har undersökts. Lämplig eldningsutrustning, dess funktion och förbränningsteknik har provats i laboratorieförhållanden och i praktisk drift. Preliminära försök med tillsatsämnens inverkan på halmaskans smältpunkt har gjorts. Därtill beräknades produktionskostnaderna av halmpellets med en mobil anläggning samt jämfördes uppvärmningskostnader i förhållande till uppvärmning med olja och träbränslen.

Halmens fukthalt har stor betydelse för dess pelleterbarhet. Fukthalten kan variera mellan 12 och 22 % men det optimala fukthaltsområdet ur pelleteringssynpunkt ligger mellan 18 och 20 %. Torrare halm kan fuktas före pelletering. Då halmens fukthalt stiger över 20 % försämras pelletpressens produktionskapacitet.

Pelletering med mobil anläggning kan ske i alla väderleksförhållanden. Ihållande regn kan störa produktionen men snö och köld påverkar ej nämnvärt driften.

Eldningsprov med halmpellets utfördes både i laboratorieförhållanden och i praktiken med fastbränslepannor under 40 kW. Därtill utfördes eldningsprov med 300 kW:s fluidbäddpanna och förgasningsprov. För att fungera väl måste pelletbrännare förses med utrustning för askuttag. Bästa resultat nås med en rörlig trapprost. I praktiken fungerar pelletbrännarna nöjaktigt. Sotningsbehovet är exceptionellt stort. Vid preliminära provningar har de bästa resultaten uppnåtts med kaolin och stenkolsaska.

Vid förbränning i fluidiserad bädd uppnås bästa driftsäkerhet om sandbäddens temperatur hålles vid 700-730 °C. Den låga bäddtemperaturen begränsar pannans reglerområde. Reglerområdet kan breddas genom användning av pellets framställda av vetehalm eller genom tillföring av tillsätsämnen som höjer askans smältpunkt.

Produktionskostnaderna på halmpellets varierar kraftigt både i avseende å halmbärgningskostnader och pelleteringskostnader. I båda skedena förutsätter maskininvesteringarna rätt stora årliga produktionsvolymmer. Framställda för eget bruk kostar halmpellets 270-420 FIM/t eller 65...105 FIM/MWh. Pelleterings andel är 170...220 FIM/t. Halm som säljes ut som råvara kostar 200-280 FIM/t. Härvid blir produktionskostnaderna för halmpellets 370-500 FIM/t. Halmpellets kan kosta mellan 330-580 FIM/t för att vara konkurrenskraftig med lätt brännolja.

För kommersiell produktion bör en tillräckligt stor årsproduktion garanteras varje produktionsenhet. Till detta krävs minst en storförbrukare som kanske även äger pelleteringsanläggningen. Årsproduktionen kan ökas genom framställning av foderpellets.

SUMMARY

The aim of research was to study straw pelletization in a light portable pelletization unit and the effect of raw materials on the pelletization properties of straw and on the quality of straw pellets. The operation of combustion equipment suitable for straw pellets was studied by laboratory experiments and follow up in practical conditions. In addition, preliminary tests were carried out to investigate the effect of different additives on the melting temperature of straw ash. The production costs of straw pellets made in the portable unit were determined and the costs of straw pellet heating were compared with those of oil and wood heating.

As regards the properties of raw material, the moisture content of straw is of greatest significance to pelletization. The moisture content of straw varies from 12 to 22 %, whilst the optimum range for pelletization is 18-20 %. If the straw is drier, it should be dampened before compression to get the moisture content within this range. If the moisture content exceeds 20 %, the capacity of the press decreases.

Straw pelletization in the portable unit is hampered only by heavy rains. Snowfall and cold do not affect the operation to any significant degree.

Combustion experiments both in laboratory and in praxis were carried out with solid fuel burners of < 40 kW. In addition combustion experiments were done with a 300 kW fluidized bed boiler as well as gasification experiments. The faultless operation of burners requires ash removal equipment at the burner head. The best solution is to use a moving step grate. In practical conditions the straw pellet burners operated satisfactorily. The sweeping need of the boilers was extraordinarily high.

In fluidized bed combustion, the equipment operates best when the temperature of the sand bed is low, 700-730 °C. The range of regulation is narrowed by the low temperature, but it can be extended by using wheat straw pellets or pellets the ash melting temperature of which has been raised with the aid of additives. In preliminary experiments the best results were obtained by using bolus and coal ash as additives.

The production costs of straw pellets vary within a wide range both as regards the production of raw material and the actual pelletization. The capital costs of both these stages require rather high annual production amounts. The price of straw pellets produced for the farm's own use is 270-420 FIM/t, that is 65-105 FIM/t, the proportion of pelletization being 170-220 FIM/t. The sales price of straw is 200-280 FIM/t. If the straw is bought the production costs of straw pellets are 370-500 FIM/t. The price should be within the range of 330-580 FIM/t to be competitive with that of light fuel oil.

Guaranteeing sufficiently high annual production to each production unit is an absolute precondition for straw pellet production on commercial level. At least one major consumer is needed, which could also be the owner of the pelletization equipment. Annual production can be increased by using the same equipment also in fodder pellet production.

ESIPUHE

Tämä tutkimusselostus käsittelee kolmea eri tutkimusprojektia, jotka on tehty Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitoksen ja Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen polttoainejalostus- ja voitelutekniikan laboratorion yhteistyönä. Niissä suoritettiin siirrettävällä pelletointilaitteella tapahtuvan pelletoinnin teknis-taloudellinen tarkastelu sekä selvitettiin olkipellettien polttotekniikkaa, olkipellettien tuotantokustannuksia ja pelleteillä tapahtuvan lämmityksen kustannuksia. Olkipellettien valmistus- ja polttokokeita tehtiin sekä laboratorio- että käytännön olosuhteissa.

Tutkimuksen on rahoittanut kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosasto. Rahoittajan edustajina projektia valvoivat dipl.ins. Raija Pikku-Pyhältö, dipl.ins. Päivi Simpanen ja dipl.ins. Osmo Räsänen.

Tutkimuksen vastuullisena johtajana on ollut professori Osmo Kara. Projektin johtoryhmään ovat kuuluneet tekn. lis. Kai Sipilä VTT:n polttoainejalostus- ja voitelutekniikan laboratorion ja dipl.ins. Jukka Ahokas VAKOLAsta.

Leijupolttotutkimukset on suoritettu professori Antero Jahkolan johdolla teknillisen korkeakoulun energiatalouden ja voimalaitosopin laboratoriossa. Pienpolttimien laitesuunnittelun ja valmistuksen on suorittanut TP-stokeri Oy.

Tutkijoina projektissa ovat olleet dipl.ins. Carl Wilén VTT:n polttoainejalostus- ja voitelutekniikan laboratorion ja dipl.ins. Andras Horvath teknillisen korkeakoulun energiatalouden ja voimalaitosopin laboratorion ja dipl.ins. Pekka Ståhlberg VAKOLAsta.

VIII

Esitämme parhaat kiitokset tutkimuksessa mukana olleille sekä sen suorittamista edistäneille henkilöille.

Vihti, maaliskuu 1985

tekijät

1. JOHDANTO

Maamme vuotuinen olkisato on keskimäärin 4,3 milj. tonnia, josta nykyisellä puintitekniikalla korjuukelpoista olkea on noin 2,2 milj. tonnia. Tällä hetkellä olkea hyödynnetään eniten karjataloudessa, jossa sitä käytetään sekä kuivikkeena että jossain määrin myös karkearehuna. Olki soveltuu sekä kemian että puunjalostusteollisuuden raaka-aineeksi, mutta Suomessa puu on raaka-aineena olkea kilpailukykyisempi.

Pyrittäessä lisäämään oljen käyttöä on oljen energiakäyttö potentiaalisin vaihtoehto. Oljen energiakäyttöä rajoittaa oljen polttoon soveltuvien huokeiden ja hyvin toimivien pienkattiloiden puute. Olki palaa muille kotimaisille polttoaineille suunnitelluissa kattiloissa huonosti, mikä johtuu oljen huomattavasti pienemmästä energiatiheydestä, suuresta tuhkamäärästä ja tuhkan sulamisominaisuuksista.

Paalimuodossa oljen tehokas energiakäyttö on mahdollista vain sitä varten rakennetuissa erikoiskattiloissa /1/. Tällaiset varsin pitkälle automatisoidut ja runsaasti rakennustilaa vaativat polttolaitteet ovat kuitenkin niin kalliita, että niiden käyttö on taloudellisesti kannattavaa vasta omakotitalojen ja maatilojen normaaleita lämmönkulutuksia suuremmilla kulutuksilla. Oljen tehokkaampi ja laajempi energiakäyttö vaatii oljen jalostamista polttopuristeiksi. Olkipuristeiden käyttö pienentää kustannuksia polttolaitteiden, kattilahuoneen, polttoainevaraston ja lämmitystyön osalta. Hyötysuhteen paranemisen myötä pienenevät myös polttoainekustannukset. Puristeiden valmistuksen ja lämmityskustannusten ratkaisevaksi tekijäksi muodostuu siten varsinaisen puristuksen kustannukset verrattuna niillä saavutettuun hyötyyn.

Tässä valtion maatalousteknologian tutkimuslaitoksen (VAKOLA) ja valtion teknillisen tutkimuskeskuksen polttoainejalostus- ja voiteluainelaboratorion (VTT/POV) tekemässä oljen pelletointia ja olkipellettien polttotekniikkaa käsittelevässä tutkimuksessa selvitettiin pelletointitekniikkaa siirrettävällä pelletointilaitteella, tutkittiin ja kehitettiin olkipellettien polttoon soveltuvaa polttolaitetekniikkaa ja arvioitiin olkipellettien tuotantokustannukset sekä olkipellettilämmityksen vuosikustannukset. Lisäksi tutkimuksessa tehtiin alustavia koekteita oljen tuhkan sulamislämpötiloja kohottavilla lisäaineilla ja seurattiin olkipellettilämmitystä käytännön olosuhteissa lämmityskaudella 84-85. Seurantakohteista kaksi oli omakotitaloa ja kaksi maatilaa. Lämmityslaitteiden toimivuuden ja polttoainetalouden lisäksi selvitettiin olkipellettilämmityksen vaatimaa lämmitystyömäärää ja lisäaineiden vaikutusta oljen tuhkan sulamiseen.

2. VUOTUINEN OLKISATO JA SEN ENERGIASISÄLTÖ

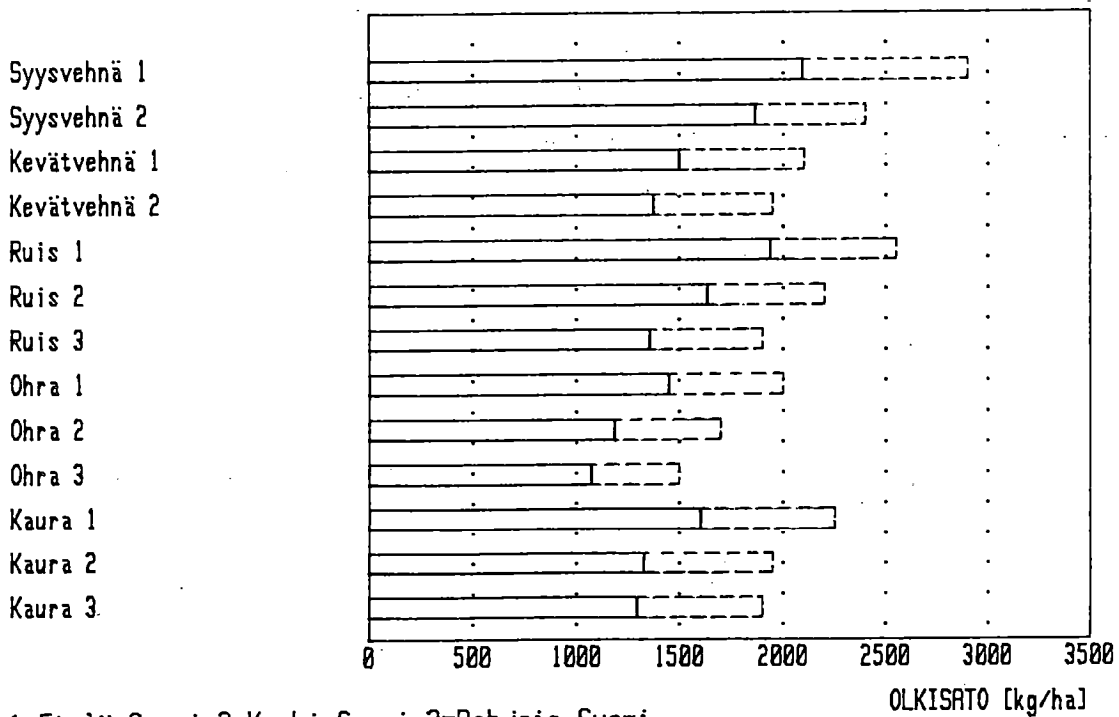
Suomen viljanviljelyala oli vuonna 1981 noin 1,2 milj. ha. Kokonaisolkisato vaihtelee vuosittain viljelyalojen muuttamisen ja satomäärien vaihtelun takia. Vuoden 1981 viljelyjakaumalla on vuotuinen olkisato hieman yli 4 milj. t/v, kun oljen kosteuspitoisuus on 25 %. Tästä on korjattavissa 2,2 milj. t/v. Kuiva-ainemäärä on tällöin 1,65 milj. t/v. Vuotuisesta olkisadosta saadaan lähes 75 % Uudenmaan, Turun ja Porin, Hämeen ja Vaasan läänien alueelta. Erittymisesti Varsinais-Suomen viljenviljelyalueella olki muodostaa huomattavan energiareservin, koska muita kotimaisia polttoaineita ei yleensä ole tarjolla. /3/

Kuivikkeena ja rehuna olkea käytetään noin 0,4 milj. t/v, joten polttoaineeksi käytettävää olkea olisi noin 1,8 milj. t/v (kosteus 25 %). Tämä olkimäärä sisältää energiaa 6200 GWh.

Kokopaalipoltossa lämmityksen vuosihyötysuhde on noin 40 %, jolloin lämpöenergiaa saadaan käyttöön 2500 GWh. Vastaava energiamäärä voidaan tuottaa 0,35 milj. m³:lla kevyttä polttoöljyä. Maataloudessa rakennusten ja tuotantotilojen lämmittämiseen käytetään öljyä 0,45 milj. m³/v, joten öljyllä voidaan korvata noin 75 % tästä öljymäärästä.

Jos olkilämmityksen vuosihyötysuhde saadaan esimerkiksi pelletöinnin avulla kohoamaan 60 %:iin, voitaisiin koko vuosittain lämmitykseen käytettävä öljy korvata öljyllä.

KESKIMÄÄRÄISET OLKISADOT



1=Etelä-Suomi 2=Keski-Suomi 3=Pohjois-Suomi

Kuva 1. Eri viljalajien keskimääräinen olkisato maamme eri osissa, kun puintisängän pituus on 20 cm. Yhtenäinen viiva merkitsee kuiva-ainesatoa ja katkoviiva satoa, jonka kosteus on 25% /2/.

3. OLJEN PELLETOINTI

3.1 Oljesta valmistettavat puristeet

Oljen energiakäytön suurimpia esteitä on sen pieni tilavuuspaino. Tästä syystä oljen kuljetus ja käsittely on hankalaa ja kallista sekä vaadittavat varastotilat suuria. Silppu- ja paalipolttoon vaadittavien erikoiskattiloiden ja syöttölaitteiden investointikustannukset ovat suuria. Oljen energiakäytön lisäämisen eräänä ratkaisuna on oljen jalostaminen puristeiksi, jolloin tilavuuspaino voitaisiin nostaa 50-90 kg:sta/m³ 500-700 kg:aan/m³.

Maataloudessa on olkea puristettu palamuotoon Yhdysvalloissa ja Euroopassa varsin pitkään. Tuotteet (nk. pelletit, briketit, cobsit, USA:ssa cube, wafer) on tarkoitettu rehuksi, ja valmistuksessa on usein käytetty ravintoarvoa parantavia lisäaineita. Rehupellettien valmistuksessa päähuomio kiinnitetään puristeiden ravintoarvoon. Polttopuristeiden tuottamisessa painotetaan puristeiden laatua, koska puristeilta vaaditaan kuljetuksessa sekä käsittely- ja käyttökohteissa huomattavasti parempia lujuusominaisuuksia.

3.2 Olkipuristeiden tuotanto Suomessa

Suomessa ei tällä hetkellä tuoteta olkipuristeita polttoainekäyttöön. Olkipellettejä valmistetaan satunnaisesti pienten viherrehukuivaamoiden toimesta seosrehujen aineosaksi. Tällöin käytetään lisäaineita oljen sulavuuden ja ravintoarvon sekä sen pelleteitavuuden ja säilyvyyden parantamiseksi.

Suomen Sokeri Oy on kokeillut Kemiön viherrehukuivaamollaan ns. kopsien eli olkirehupellettien tuottamista. Pelletit sisälsivät puoleksi olkea ja puoleksi sulavuutta ja ravintoarvoa parantavia lisäaineita (lipeä, melassi, juu-

rikasleike jne.). Raaka-aineena käytettiin vain hyvälaatuista olkea ja se kuivattiin 10%:n kosteuteen säilyvyyden varmistamiseksi. Pelletti oli tarkoitettu karkearehun korvikkeeksi ja sai periaatteessa myönteisen vastaanoton. Tuotanto jouduttiin kuitenkin lopettamaan menekki-vaikkeuksien vuoksi. Syynä oli ilmeisesti jalostetun rehun liian korkea hinta verrattuna omalta tilalta saatavaan karkearehuun.

Suomessa on useita pieniä viherrehukuivaamoita, jotka rehujen epäsuotuisan hintakehityksen takia ovat lopettaneet toimintansa. Lisäksi on sokeritehtaiden yhteydessä viherrehun kuivaus- ja puristuslinjoja, jotka ovat toiminnassa noin 4 kk/v. Viherrehulinjat sopivat sellaisenaan olkisilpun käsittelyyn. Koska viherrehun alkukosteus on 80-90%, on tuotantolinjan haihdutuskapasiteetti yleensä noin kolminkertainen verrattuna oljen kuivaustarpeeseen huononakin kautena. Sokeritehtailla on lisäksi erilliset kuivauslinjat juurikasleikkeelle. Ne ovat käynnissä noin 2 kk/v välittömästi rehunvalmistuskauden jälkeen. Vapaata kuivaus- ja puristuskapasiteettia olisi siten käytettävissä ainakin 6 kk/v.

Polttopuristeiden valmistus olisi yksi mahdollisuus kuivaamoiden vapaan kapasiteetin käyttämiseksi. Viherrehukuivaamoilla on yleensä 1-2 puristinta, joista toinen on usein varalla. Jos tyypillisen viherrehulinjan puristuskapasiteetiksi arvioidaan puhtaan olkipelletin valmistuksessa noin 50 % rehupelletin valmistuskapasiteetista, saadaan vapaan puristuskapasiteetin karkeaksi arvioksi 60000-70000 t olkipellettiä/v. Tällöin on oletettu, että laitokset käyvät polttopuristetuoannossa keskeytyvässä 2-vuorotyössä 6 kk/v.

Viherrehukuivaamoiden puristuskapasiteetti on polttopellettivalmistusta ajatellen yleensä liian pieni. Järkevän tuotantotehon saavuttaminen vaatisi investointeja sekä

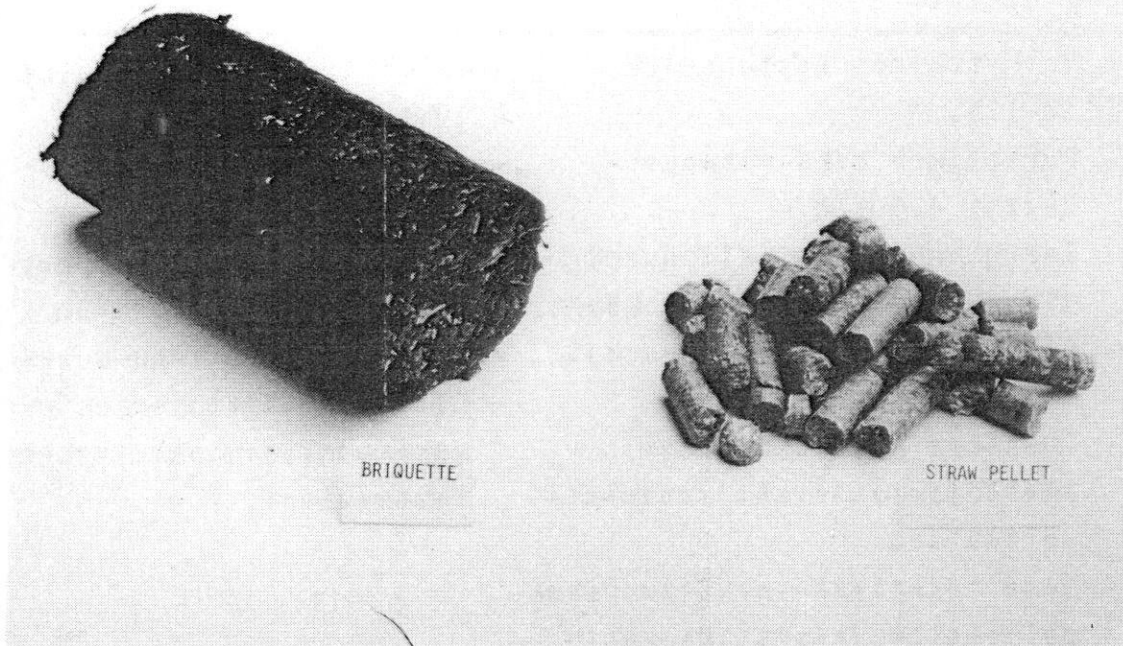
oljen silppuamis- että puristusvaiheeseen. Tällöin vapaa puristuskapasiteetti nousisi 100000-150000 t:iin/v, ja jos tällä hetkellä suljettuna olevista kuivaamoista tuot-taisi päätuotteenaan polttopellettejä, kapasiteetti nou-sisi edelleen yli 200000 t:iin/v.

Toistaiseksi varsin rajoitetut polttopellettimarkkinat estävät laajemman tuotannon käynnistämisen. Oljen kor-jaaminen, varastointi ja kuljetus on myös nähty varsin kalliiksi ja hankalaksi, koska valmista organisaatiota ei ole. Valmiin tuotteen varastointi ja jakelu muodosta-vat myös omat ongelmansa. Keskitetyn tuotannon vaihtoehtona on polttopellettien pienimuotoinen valmistus siir-rettävällä pelletointiyksiköllä, jolloin oljen hankinta ja kuljetus olisi helpompaa.

3.3 Puristustekniikka

Polttopuristeiden valmistuksessa voidaan käyttää kahta eri puristustekniikkaa: pelletointia tai briketointia. Pelletoinnissa käytetään rengas- tai tasomatriisipuristi-mia, joissa materiaali puristetaan rei'itetyn matriisin läpi pieniksi, halkaisijaltaan 6-20 mm:n sylintereiksi. Briketit ovat kooltaan huomattavasti suurempia, halkaisi-ja 20-60 mm. Valmistus tapahtuu ruuvi- tai mäntäpuristi-milla.

Esimerkiksi Tanskassa olkipuristeita on valmistettu etu-päässä briketointiperiaatteella, ja puristeet on poltet-tu käsisyöttöisissä pienkattiloissa. Oljen jalostaminen pienpuristeiksi (pelleteiksi) edustaa uudempaa teknolo-giaa, joka on puun ja turpeen osalta jo viety varsin pit-källe. Kuvassa 2 on näytteet olkibriketistä ja -pelle-teistä.



Kuva 2. Olkibriketti ja olkipellettejä.

Jalostamalla olki pelleteiksi saavutetaan briketteihin nähden huomattavia etuja sekä valmistuksessa että käytössä. Taulukossa 1 on lueteltu eräitä näkökohtia, jotka erottavat mainitut menetelmät toisistaan.

Pelletoinnin huomattavimmat edut ovat puristimilla saatava suurempi kapasiteetti, valmistuksessa sallittavat laajempi kosteusalue sekä kehitteillä olevilla automatisoivilla polttojärjestelmillä saavutettava käyttömukavuus. Pelletointiin tuleva raaka-aine on kuitenkin silputtava ja mahdollisesti jauhettava huomattavasti hienommaksi kuin briketointiin käytettävä silppu.

Taulukko 1. Pelletoinnin ja briketoinnin vertailu

Pelletointi	Briketointi
- Valmistuksen kosteusalue 10-12%.	- Valmistuksen kosteusalue 10-15%.
- Puristimen maksimikapasiteetti 4-6 t/h.	- Puristimen maksikapasiteetti 1-1,5 t/h.
- Energiankulutus (silppuaaminen, puristus) 60-80 kWh/t.	- Energiankulutus (silppuaaminen, puristus) 40-50 kWh/t.
- Olki on silputtava hienoksi (<20mm).	- Pitempi olkisolppu soveltuu.
- Tuotteen palakoko pieni, käyttöjärjestelmät automatoitavissa.	- Poltossa käyttöjärjestelmät verrattavissa palaturpeen vastaaviin
- Sama tekniikka soveltuu rehu-pellettien valmistukseen.	

3.4 Olkipellettien ominaisuudet

Taulukossa 2 on esitetty olkipellettien lujuus- ja tilavuuspainoarvoja verrattuina turpeesta ja puusta valmistettujen pellettien arvoihin. Rummutuslujuus määritettiin turve- ja rehupelleteille käytössä olevalla laatikorumpumenetelmällä ja puristuslujuus Amandus Kahl-puristuslujuusmittarilla. Irtotilavuuspaino määritettiin 5 litran astiassa. Oljesta valmistetut pelletit ovat lujuusarvoiltaan turvepellettejä heikompia.

Olkipelleteillä tehtiin laboratoriomitan säänkestokokeet ja tuloksia verrattiin muilla palamuotoisille polttoaineille saatuihin tuloksiin. Säänkestokokeet käsittivät sadetus- ja upotuskokeen sekä pellettien tasapainokosteu- den määrittämisen sääkaapissa. Testausmenetelmät on esitetty lähemmin viitteessä /4/.

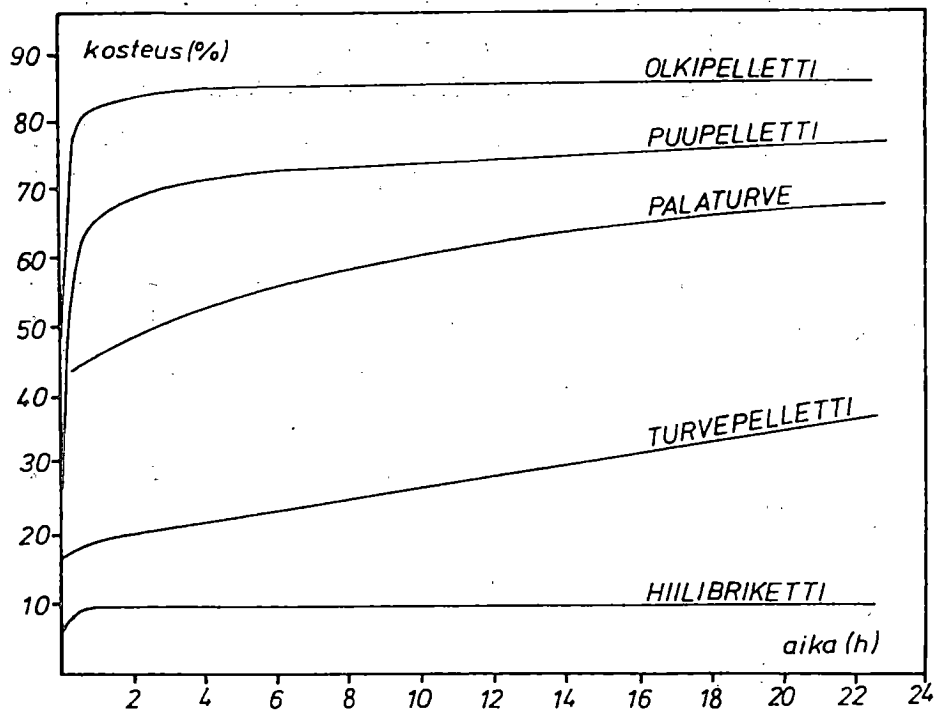
Taulukko 2. Pellettien ominaisuudet

	Kosteus %	Tilavuus- paino kg/m ³	Puristus- lujuus kp	Rummutus- lujuus %
Olkipelletti	10-12	560	30	93
Olkipelletti	18-20	470	10	87
Turvepelletti	14-16	750	35	95
Turvepelletti	30-35	650	18	90
Sahanpuru	10-15	650	30	90

Sadetus- ja upotuskokeissa todettiin, että pelletit imevät vettä varsin nopeasti ja hajoavat samalla täydellisesti. Kuvassa 3 on esitetty veden imeytyminen olki-, turve-, puu- ja hiilipellettien sekä palaturpeen upotuskokeessa.

Sääkaapissa olkipellettien tasapainokosteudeksi saatiin 17% 15 °C:n lämpötilassa ja 87%:n suhteellisessa kosteudessa. Alunperin kosteammat olkipelletit kuivuivat kokeessa nopeammin kuin turvepelletit. Kuivumisen aikana pelletit kutistuivat jonkin verran ja niiden puristuslujuus kasvoi 10 kp:sta 17 kp:iin. Kutistuminen ja kovettuminen ei ollut yhtä voimakasta kuin turvepelleteillä.

Olkipelletit ovat turvepellettejä hauraampia ja herkempiä pilaantumaan kosteuden ja sateen vaikutuksesta. Olkipelletit on varastoitava suojattuna veden suoralta vaikutukselta. Kuten turve- ja puupelletit myös olkipelletit homehtuvat, mikäli ne varastoidaan yli 20%:n kosteudessa huolehtimatta riittävästä ilmanvaihdosta.



Kuva 3. Veden imeytyminen upotuskokeessa eri palamuotoisilla polttoaineilla (hiilibriketti valmistettu valssipuristimella käyttäen sideainetta).

4. OLJEN PELLETOINTIKOKEET

4.1 YLEISTÄ

Oljen pelletointitutkimuksen yhteydessä on varsin laajasti selvitetty eri olkilaatujen pelletoitavuutta. Pelletointikokeissa on käytetty siirrettävää pelletointilaitteistoa, joka on tähän tarkoitukseen rakennettu VTT:n polttoainejalostus- ja voitelutekniikan laboratoriossa. Laitteiston rakentaminen ja pelletointikokeet on tapahtunut kahdessa vaiheessa. Siirrettävän pelletointiaseman suunnittelu- ja rakentaminen aloitettiin kesällä 1983 ja loka-marraskuussa valmistettiin VAKOLAssa noin 15 t olkipellettiä.

Pelletointikokeiden perusteella kehitettiin laitteistoa kesällä 1984 tavoitteena nostaa laitoksen kapasiteettia. Tällöin pelletointiasemaan asennettiin uusi silppuri, alitteen palauttava tuoteseula sekä hankittiin uusi matriisi puristimeen. Pelletointikokeita jatkettiin lokakuussa 1984, jonka aikana valmistettiin noin 20 tonnia olkipellettejä.

4.2 PELLETOINTILAITTEISTO

4.2.1 Rakenne

Siirrettävän pelletointiaseman ulkomitat ovat: pituus 15 m, leveys 2,6 m, korkeus kuljetusasennossa 4 m ja käyttökunnossa 5,5 m. Kokonaispaino on 15,3 t. Pellettiasema luokitellaan hinattavaksi laitteeksi ja vaatii maantiekuljetuksessa kuljetusluvan. Asemaa hinataan kuorma-autolla ja suurin sallittu kuljetusnopeus on 50 km/h.

Laitteisto koottiin siirrettävälle alustalle pääosin polttoainejalostus- ja voitelutekniikan laboratorion kiinteään pelletointilinjaan kuuluvista laitteista. Kuva 4 esittää laitosta toimintakunnossa. Kuljetuksen ajaksi laskeetaan puristimen yläpuolella oleva syöttösäiliö hydraulisylinterillä noin 1 m alemmaksi ja sykloni käännetään saranoiden varassa alaviistoon. Ensimmäisen vaiheen koeajoissa käytetty pieni silppuri oli asennettu kiinteästi yksikköön. Myöhemmin hankittu tehokkaampi silppuri oli asennettu ulosvedettävälle pedille, kuva 5, ja se jouduttiin kuljetuksen ajaksi siirtämään vetoauton lavalle. Pelletointiasemassa käytetty kolmilohkoinen nauhajäähdytin on ylimitoitettu. Huolehtimalla pellettien tehokkaasta leviämisestä tasaiseksi patjaksi jäädyttimen nauhalle selvitetään yksikössä yhdellä jäädytinlohkolla (kuvien 4 ja 5 laitteissa jäädytyslohkoja on 3 kpl).



Kuva 4. Siirrettävä pelletointilaite, syksy 1983

Koska kyseessä on koelaitteisto, pelletointiyksikössä ei ole omaa voimanlähdettä, vaan se vaatii 200 ampeerin sähkökytkennän. Käyttömoottorit ovat kaikki sähkökäyttöisiä.



Kuva 5. Oljen pelletointia VAKOLAssa syksyllä 1984

4.2.2 Laitteet ja niiden toiminta

Olki silputaan pienpaalisilppurilla. Aluksi käytettiin tanskalaisvalmisteista Meton silppuria, johon kuului pyörivä leikkuuterä ja vasaramyllytyyppinen jauhin. Silppurilla saavutettiin 27 mm:n seulalla noin 300-400 kg:n/h kapasiteetti, joka ei riittänyt syöttämään pellettipuristinta. Tilalle vaihdettiin Cormall-merkkinen pienpaalisilppuri, jonka kapasiteetiksi ilmoitettiin ilman seuloja noin 2,5 t/h. Käytettäessä silppurissa seulaa laskee tuotantoteho noin puoleen.

Silppuri puhalsi silputun oljen erotussykloniin, josta olkisilppu johdettiin noin 0,8 m³:n syöttösäiliöön. Siilon pohjalla olevilla neljällä invertteriohjatulla purkausruuvilla säädettiin puristimelle tulevan syötön määrää. Pinnanvartiat ja merkkivalot ilmoittivat siilon täyttymisestä ja tyhjenemisestä. Syöttösiilosta silppu tuotiin poikittaisella ruuvilla puristimelle.

Puristimena käytettiin polttoainetalostus- ja voitelutekniikan laboratorion Amandus Kahl Grando 30 -tasomatriisipuristinta, jonka käyttömootorin teho on 75 kW. Puristimesta tulevat lämpimät pelletit (70-80 °C) johdettiin nauhajäähdyttimelle, jossa rei'itetyllä viiralla kulkeva pellettijatja jäähdytetään. Jäähdytyksen jälkeen pelletit seulottiin täryseulalla ja johdettiin kuljettimella säkiytykseen. Seulan alite palautettiin puhaltimen avulla sykloniin.

Pelletointiyksikön laitteet ja niiden nimellistehot on esitetty taulukossa 3. Kyseessä on lopullinen versio kesällä 1984 tehtyjen muutostöiden jälkeen.

Taulukko 3. Pelletointiyksikön laite-erittely.

Laite	Valmistaja	Sähköteho, kW
Puristin	Amandus Kahl Grando 30	75
Silppuri	Cormall	30
Siilon pohjaruuvit	VTT/POV	3
Syöttöruuvit	VTT/POV	1,1
Jäähdytin	Amandus Kahl	1
Seula	Cyrus	0,4
Kuljettimet	VTT/POV	2,5
Puhaltimet	VTT/POV	6
Asennettu sähköteho		119

4.3 PELLETOINTIKOKEET

4.3.1 Raaka-aine

Syksyn 1983 pelletointikokeissa käytetty olki kerättiin VAKOLAn pelloilta elo-syyskuussa 1983. Oljet varastoitiin latoihin tai pelloille. Hyvän sään ansiosta oljet olivat paalattaessa varsin kuivia, yleensä alle 20 kosteusprosentin. Pelletointikokeissa käytettiin kaikkien viljalajien olkia ja lisäksi rypsin olkea sekä järviruokoa. Syksyn 1984 kokeissa pelletoititiin pääasiassa syksyllä 1983 korjattua ylivuotisia olkia. Kokeita tehtiin myös syksyllä 1984 korjatuilla erittäin kostealla oljella.

4.3.2 Kokeet

Kokeet aloitettiin marraskuun 1983 alussa rukiin oljen pelletoinnilla ja niitä jatkettiin ohran, vehnän ja kauran oljilla. Lopuksi pelletoititiin järviruokoa ja rypsin olkea sekä kauran olkea lisäaineena kaoliinisavi ja urea.

Pelleteointikokeet kestivät marraskuun loppuun, jolloin pakkasta oli kokeiden aikana ajoittain -10°C . Pakkanen ja lumisade eivät haitanneet pelleteointiyksikön toimintaa lukuunottamatta käynnistysvaihetta, jolloin kuljettimet olivat osittain jäässä. Syksyn 1984 aikana pelletoititiin pääasiassa rukiin ja ohran olkea. Loppuvaiheessa lisäaineena käytettiin kaoliinisavea.

Kokeiden alkuvaiheessa oli Meton silppuri varustettu 7 mm:n seulalla. Oljen kosteuden lisääntyessä ja olkipaalien tullessa tiukemmiksi (ohran pelleteinti) vaihdettiin silppuriin 27 mm:n seula. Näin estettiin silppurin ylikuormitus ja jatkuva tukkeutuminen. Silpun piteneminen oli havaittavissa silmämääräisesti, mutta pellettipuristimen toiminnan kannalta ei havaittu olennaista eroa. Jatkoissa kokeissa käytettiin 27 mm:n seulaa. Syksyllä 1984 tehtiin sama havainto käytettäessä Cormall-silppuria 10 mm:n ja 20 mm:n seuloilla. 10 mm:n seulalla aikaansaadaan olkisolppu, jonka keskimääräinen pituus on noin 5 mm ja 20 mm:n seulalla keskimäärin pituus on vastaavasti noin 10 mm.

Pelleteointikokeet aloitettiin matriisilla, jonka puristusuhde (reiän halkaisija/pituus) oli 1:5. Puristussuhde todettiin jo alkuvaiheessa liian pieneksi ja kokeita jatkettiin suhteella 1:6. Syksyllä 1984 käytettiin matriisia, jonka puristussuhde oli 1:7. Pelleteointivaiheessa voitiin liian kuiva olkisolppu kostuttaa vedellä, joka lisättiin rotametrin kautta syöttöruuville.

Pelleteointikokeiden aikana mitattiin puristimen kapasiteetti, seurattiin puristimen moottorin tehonkulutusta ja otettiin näytteitä raaka-aineesta ja tuotteesta. Näytteistä määritettiin kosteus ja irtotiheys, pellettien lujuus rummutus- ja puristusmenetelmillä sekä eri olkilaatujen polttoaineominaisuudet.

4.3.3 Tulokset

4.3.3.1 Tuotteen laatu

Pelletointikokeissa valmistettiin syksyllä 1983 pellettejä vuorotellen eri olkilaaduista, kutakin laatua noin viikon ajan, yhteensä noin 15 t. Olkien kosteus vaihteli sekä laaduittain että paaleittain riippuen lähinnä paalien varastointitavasta. Yleensä olkien kosteus oli alle 18%. Saman olkilaadun kosteusvaihtelu keskiarvon suhteen oli \pm 4-5 prosenttiyksikköä. Suurimmat kosteusarvot, 26%, todettiin vehnän oljella. Taulukossa 4 on olkisilpun ja pellettien ominaisuuksia mittaustulosten keskiarvoina.

Syksyllä 1984 valmisteltiin olkipellettejä etupäässä ylivuotisista rukiin ja ohran oljista. Kosteustaso oli hie- man korkeampi ja paalien väliset vaihtelut ilmeisesti va- rastoinnin vaikutuksesta jonkin verran tasaantuneet. Pel- letointikokeita tehtiin myös samana syksynä kerätyllä erittäin kostealla oljella, jonka kosteus vaihteli 30-45%:n tasolla. Lisäksi pelletoititiin ylivuotista olkea, joka oli paalattu kosteana kylmäilmakuivaskokeita varten. Osa näistä oljista oli pelletointihetkellä 20-22 %:n kos- teudessa ja näöltään huonolaatuista. Huonolaatuisen oljen silppuaminen ja pelletointi osoittautui hankalammaksi kuin hyvälaatuisen, mutta tuotteena saadut tummat pelle- tit olivat lujuusominaisuuksiltaan muita olkipellettejä huomattavasti parempia, eli samaa luokkaa kuin jyrshintur- peesta valmistetut pelletit.

Rukiin, ohran, vehnän ja kauran oljista tuotettujen pel- lettien laaduissa ei ollut merkittäviä eroja. Rypsin ol- jesta ja järviruo`osta valmistetut pelletit olivat laa- dultaan selvästi parempia, kuin samalla matriisilla val- mistetut muut olkipelletit. Taulukosta 4 voidaan lisäksi nähdä, että syksyllä 1984 valmistetut ruis- ja ohrapelle- tit olivat parempilaatuisia (suurempi tilavuuspaino ja pa- rempi lujuus). Tämä johtuu etupäässä syksyllä 1984 puris- tuksessa käytetyistä "tiukemmasta" matriisista.

Taulukko 4. Olkisirpän ja pellettien ominaisuuksia

	Sirppi		Pelletti			
	Kos- teus %	Tilavuus- paino kg/m ³	Kos- teus %	Tilavuus- paino kg/m ³	Puris- tuslu- juus, kp	Rummu- tuslu- juus %
Syksy 1983						
Ruis	14	67	12	506	11	93
Ohra	18	45	13	519	12	87
Vehnä	20	55	15	474	11	84
Kaura	17	59	14	479	9	90
Rypsi	17	70	15	585	22	97
Järviruoko	15	97	11	624	20	96
Syksy 1984						
Ruis	20		9	560	12	92
Ohra	20	59	11	564	20	96
Ohra + kaoliini	19	42	14	480	18	96
* Ohra + kaoliini	22	49	14	670	41	98
Ohra	33		16	692	27	99
Viherkuivaamossa tuotettu olkipelletti (yksittäiskoe)						
Ø 8 mm			12,6	528	12	
Ø 10 mm			11,7	558	30	

* Kylmäilmakuivattu olki

Pellettien lämpötila puristimen jälkeen oli 70-80 °C ja lämpiminä ne olivat varsin pehmeitä. Jäähdytyksen jälkeisessä seulonnassa oli hienoaineiksen määrä normaalitoiminnassa alle 5 %. Seulonnassa erottunut hienoaines oli kuivempaa kuin syötetty silppu ja sen tilavuuspaino oli noin 300 kg/m³. Palauttamalla hienoaines syöttöön olkisilpun pelleteoitavuus parani jonkin verran. Syksyn 1983 koeajossa, jolloin käytettiin matriisin puristussuhteena 1/6, todettiin hienoaineiksen määrän kasvavan ajoittain hyvin suureksi pelleteoitaessa yli 20 prosentista olkisilppua. Pienentämällä syöttöä pelletin muodostus palautui tässä tapauksessa normaaliksi. Kun matriisin puristussuhde nostettiin 1/7 ei hienoainesta yleensä syntynyt.

4.3.3.2 Pelletoinnin kosteusalue

Taulukosta 4 nähdään, että oljen kuivuminen puristus- ja jäähdytysvaiheessa on varsin merkittävä. Kuivuminen on voimakkaampaa kun oljen kosteus on korkeampi ja puristus matriisissa suuremman puristussuhteen takia voimakkaampaa. Syksyllä 1983 kuivuminen oli keskimäärin 3-4 prosenttiyksikköä, syksyn 1984 koeajoissa 10-12 prosenttiyksikköä.

Pääosa oljen kuivumisesta tapahtuu puristimella oljen kosketuksessa kitkan kuumentaman matriisin kanssa. Oljen kuivumiseen vaikuttaa siten matriisin lämpötila ja oljen viipymäaika matriisilla. Raaka-aineen ylimääräinen kuivaaminen puristusvaiheessa ei ole energiankulutuksen kannalta järkevää. Kuivumista ei voida kokonaan välttää ja noin 2-4 prosenttiyksikön haihtuminen katsotaan yleensä normaaliksi.

Olkea pelleteoitaessa todettiin tuotteen kosteuden vaihtelevan 10-16 %:n välillä. Raaka-aineen eli olkisilpun kosteus vaihteli 14 prosentista yli 40 prosenttiin. Mikäli silpun kosteus nousee yli 20 %:n on puristimen syöttöä

pienennettävä, jotta oljen pelletoitavuus säilyisi hyvänä. Muussa tapauksessa hienoaineksen osuus kasvaa jyrkästi ("löysä matriisi") tai puristimen matriisi menee tukkoon ("tiukka matriisi") ja puristin pysähtyy ylikuormituksen takia. Teknisesti on mahdollista pelletoida olkea hyvinkin kosteana, mutta tällöin puristimen kapasiteetti jää pieneksi ja valtaosa puristimen ottamasta sähkötehosta kuluu oljen kuivaamiseen (vrt. taulukko 5). Pelletoinnin kannalta paras kosteusalue on 18-20 %. Kuivempia olkia pelletoitessa on lisättävä vettä vähentämään oljen ja matriisin välistä kitkaa. Vedellä on usein positiivinen vaikutus myös kosteusalueella 10-20 %, mikäli pelletoinnissa pyrkii muodostumaan hienoainesta. Vesilisyästä käyttäen voidaan samaa matriisia käyttää laajemmalla kosteusalueella. 3-5 %:n vesilisyys ei vaikuta oleellisesti tuotteen loppukosteuteen. Oljen pelletoinnin kannalta mielekkäänä raaka-aineen kosteusalueena voidaan pitää 12-22 %.

4.3.3.3 Kapasiteetti ja tehonkulutus

Taulukossa 5 on esitty koeajojen aikana mitattujen puristimen kapasiteettien ja tehonkulutusten keskiarvot eri olkilaaduille. Kesällä 1984 tehtyjen parannusten ansioista pelletointiyksikön kapasiteetti nousi noin 70 %. Suurin mitattu kapasiteetti oli 850 kg/h, jolloin pelkän puristimen sähkön ominaiskulutukseksi saatiin noin 70 kWh/t. Olkisilpun kosteus (kauran ja ohran seos) oli 19 % ja pelletin kosteus 13 %. Tässä tilanteessa vettä lisättiin noin 3 %. Todettakoon, että valmistettaessa kaoliinia sisältäviä pellettejä pyrittiin tasaisen lisäainepitoisuuden saavuttamiseksi pitämään puristimien kapasiteetti mahdollisimman vakiona, 400 kg/h. Kosteata, 30-45 prosenttista ohraa pelletoitessa kapasiteetti jäi mitättömäksi.

Taulukko 5. Pellettiyksikön puristimen kapasiteetti ja tehonkulutus eri olkilaaduilla

Olkilaatu	Kapasiteetti kg/h	Keskimääräinen sähköteho kW	Ominaiskulutus kWh/t
Syksy 1983			
Ruis	380	42	111
Ohra	360	45	126
Vehnä	257	36	135
Kaura	322	36	111
Syksy 1984			
Ruis	570	48	84
Ohra	670	53	79
Ohra + kaoliini	420	45	82
*Ohra + kaoliini	400	35	87
Ohra, kostea	140	60	430

* Kylmäilmakuivattu olki

Pelletoinnissa toiseksi eniten energiaa kuluu oljen silppuamiseen. Koeajoissa silppuri joutui varsin epätasaisen kuormituksen alaiseksi. Silppurin kapasiteetti oli suurempi kuin puristimen, eikä paaleja täten tarvinnut syöttää jatkuvana virtana. Jatkuvassa käytössä Cormall-silppurin kapasiteetiksi 20 mm:n seulalla voidaan arvioida noin 1-1,2 t/h, jolloin silppurin sähkön ominaiskulutukseksi tulee 25-30 kWh/t. Hyvin kostea ja huonolaatuinen olki laskee silppuamistehoa ja aiheuttaa helposti tukoksia silppurissa.

Koelaitoksen nimelliskapasiteetti oljella on syksyn 1984-tuloksien valossa noin 800 kg/h. Tällöin koko laitoksen sähkön ominaiskulutus on noin 115 kWh/t. Pellettipuristin

oli laitoksen kapasiteettia rajoittava yksikkö. Siirryttäessä suurempiin puristimiin laskee puristusvaiheen ominaiskulutus ja siten laitoksen energiankulutus. Suurien puristimien nimelliskapasiteetti oljella on valmistajien mukaan 4-6 t/h. Turpeen pelletoinnista eri kokoluokan puristimilla saadun kokemuksen perusteella voidaan arvioida oljen puristusvaiheen tehon kulutuksen tässä kokoluokassa olevan noin 45 kWh/t. Täten noin 3 t/h olkipellettejä tuottavan laitoksen sähkön ominaiskulutus olisi 80-90 kWh/t.

5. OLKIPELLETTIEN POLTTOKOKEET

5.1 Polttokokeiden tavoitteet

Oljelle tyypillisiin polttoteknisiin ominaisuuksiin kuuluu tuhkan sulaminen alhaisessa lämpötilassa. Arinapoltoissa hiilloksen lämpötila pienkattiloissa on yleensä 900...1050 °C. Näin korkeissa lämpötiloissa tapahtuu kaikkien viljan olkien tuhkan kohdalla jonkinasteista sulamista, taulukko 6. Osittain tai kokonaan sulaneella tuhalla on kaksi kattiloiden ja muiden polttolaitteiden toimintaa vaikeuttavaa ominaisuutta.

- a) Sulanut tuhka tukkii arinan ja estää näin palamisilman virtauksen.
- b) Sulanut tuhka ei siirry sulamattoman tuhkan tavoin esim. putoamalla tai puhalluksen voimasta tuhkatilaan. Tuhkan poistoon tarvitaan mekaaninen apuväline.

Arinoiden toiminnan vaikeutumisen lisäksi alhaisessa lämpötilassa tapahtuva tuhkan sulaminen edistää lentotuhkan muodossa myös tulipesän ja lämmönsiirtopintojen likaantumista, jolloin lämmönsiirto liekistä ja savukaasusta kattilaveteen heikkenee.

Taulukko 6. Oljen tuhkan sulamislämpötilat

Sulamisen tila	Lämpötilat, °C				
	Vehnä	Ruis	Ohra	Kaura	Rypsi
Muodonmuutos- lämpötila	900-1050	800-850	750-850	730-800	1150-1250
Puolipallo- lämpötila	1300-1400	1050-1150	1000-1100	850-1050	1250-1500
Juoksevuus- lämpötila	1400-1500	1300-1400	1150-1250	1050-1200	1300-1500

Olkipellettien polttokokeiden yhteydessä on pyritty kehittämään yhteistyönä laitevalmistajien kanssa sellaista laitetekniikkaa, jolla olkipellettien poltto olisi mahdollisimman vaivatonta ja verrattavissa esim. hakkeen tai turvepellettien polttoon. Kuten taulukosta 6 havaitaan, tapahtuu eri olkilajien tuhkan sulaminen eri lämpötila-alueilla. Tällä on huomattava vaikutus polttolaitteiden toimivuuteen. Polttolaitteiden hyvä toiminta edellyttääkin, että ne toimivat kaikilla olkilajeilla eli olosuhteissa, joissa tuhka joko sulaa täysin tai pysyy lähes kokonaan sulamattomana. Toisena vaihtoehtona on pitää hiilloksen ja tulipesän lämpötila niin alhaisena, että sulamista ei tapahdu lainkaan.

Suoritetut olkipellettien polttokokeet voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään:

1. Mekaanisella tuhkanpoistolla varustetut kiinteän polttoaineen polttimet
2. Leijukerros poltto
3. Kaasutus

Polttokokeiden yhteydessä selvitettiin kullekin polttolaitteelle sellaiset säätö- ja prosessioarvot, joilla laitteisto toimii mahdollisimman monella eri olkipellettilaadulla.

5.2 Kiinteän polttoaineen polttimet

Kokeissa käytettiin kahta eri poltinmallia, jotka poikkeavat toisistaan pääasiassa tuhkanpoistolaitteen osalta. Pelikköä 10 -polttimessa tuhkanpoisto poltinpäästä tapahtuu sen edessä olevan tuhkaa ulosvetävän sakara-akselin avulla ja TP 30 -polttimessa pitkittäissuunnassa liikkuvan porrasarinan avulla.

5.2.1 Koejärjestelyt

Lämmityslaitteisto (poltin ja kattila) oli kokeiden aikana kytketty VAKOLAN kotimaisten polttoaineiden pienkattiloiden testauksessa käytettävään mittauslaitteistoon, liite 1. Kattila on tällöin kytketty lämmönvaihtimeen, jolla kattilaa kuormittava teho voidaan säätää portaattomasti välillä 0...35 kW.

Kokeet suoritettiin kattilatestaustandardin SFS 4800 mukaisesti kuitenkin siten, että kattilat nuohottiin ja tuhkattiin vain tarvittaessa eikä poltinta sammutettu kokeiden välillä (eri tehoille ja eri polttoaineille siirryttäessä).

Kokeet eri polttoaineilla (olkilaji) kestivät 1...2 viikkoa ja eri tehoilla 0,5...2 vuorokautta.

Kokeissa kattilan kuormitusteho, kattilaveden lämpötilat, savukaasujen ja palamisilman lämpötilat ja savukaasujen CO₂- ja CO -pitoisuudet mitattiin jatkuvatoimisilla mittareilla ja mittaustulokset tallennettiin HP 3497A tiedonkeruulaitteella.

Polttoaineen kulutus mitattiin punnitsemalla ja käytettävästä polttoaineesta mitattiin tilavuuspaino, kosteus ja lämpöarvo päivittäin.

5.2.2 Pelikko 10 -poltin

5.2.2.1 Kattila

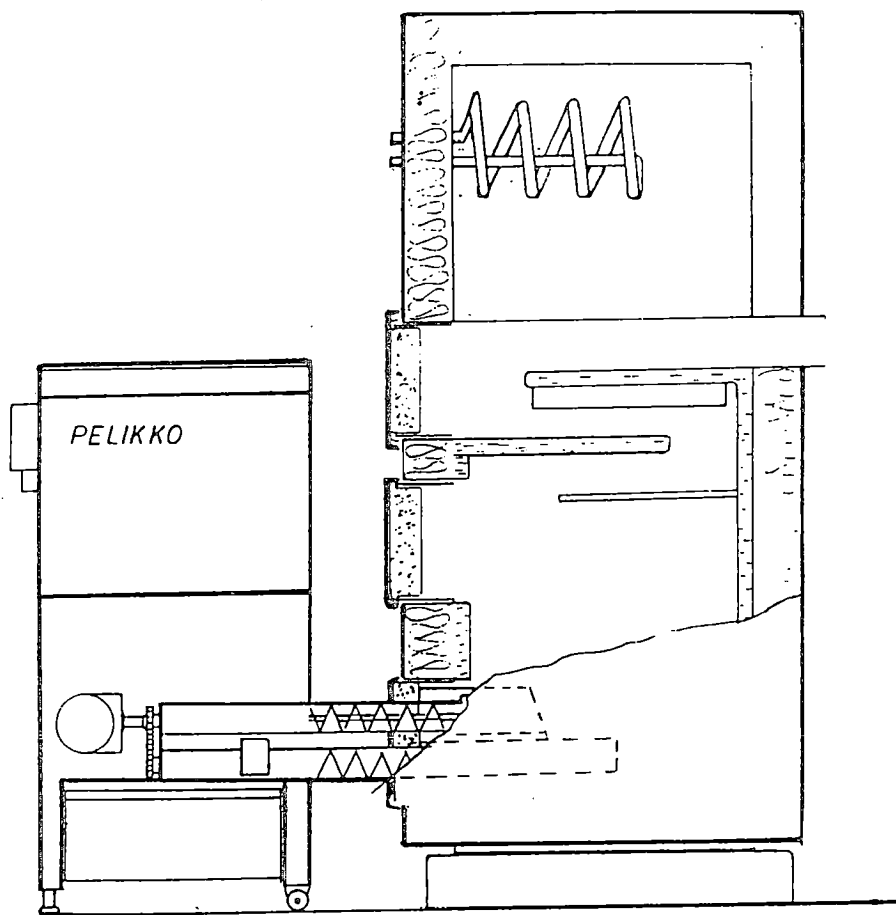
Kokeiden aikana Pelikko 10 -poltin oli liitetty Tulikko YP 25 -kattilaan. Tulikko YP 25 -kattila on yläpaloinen, luonnonvedolla toimiva varaavaan lämmitykseen tarkoitettu vesilämmityskattila, kuva 6. Kattilan teho 0,5 m:n koivuhalkoja poltettaessa on 25...30 kW. Kattilasta poistettiin arina. Poltin oli yhdistetty kattilan tuhkaluukuun.

5.2.2.2 Polttimen muutostyöt

Turvepelletille tarkoitettu Pelikko 10 -poltin ei soveltu sellaisenaan olkipelletin polttoon, sillä sulanut tuhka estää polttimen jatkuvan toiminnan ohraa, kauraa ja ruista poltettaessa. Sellaisenaan Pelikko -poltin soveltuu turvepellettien lisäksi hyvin vain rypsipellettien polttoon. Olkipellettien polttoa varten polttimeen tehtiin seuraavat muutokset:

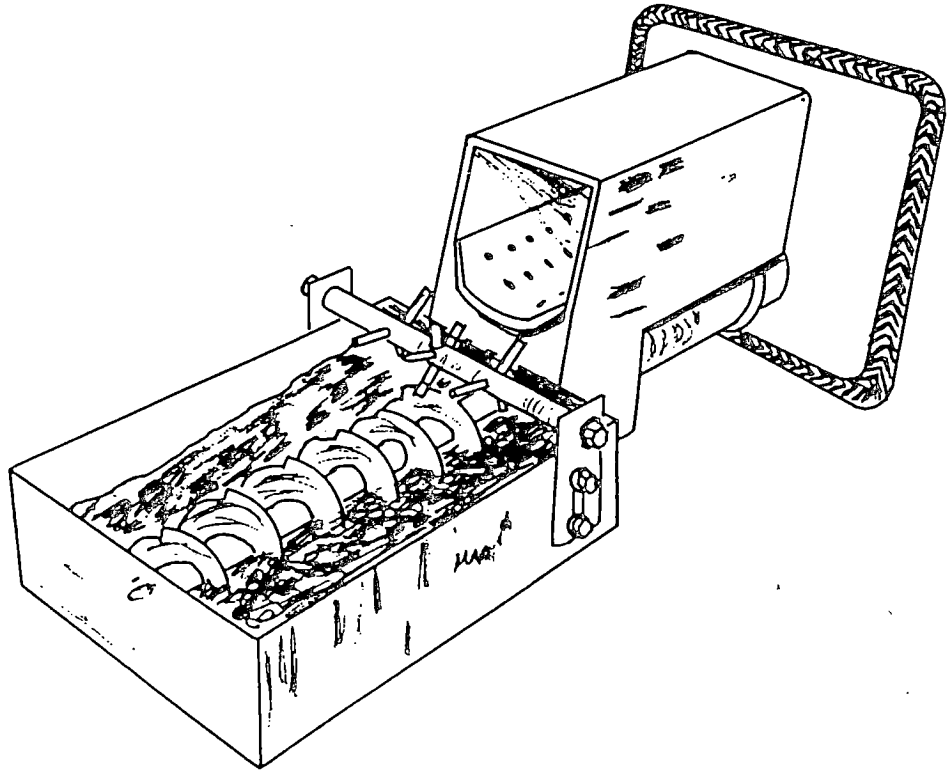
1. Arinan päällä olevaa akselia lyhennettiin 12 cm.
2. Akselin päähän muotoiltiin jyrkkänosuinen pellettejä voimakkaasti eteenpäin työntävä siiveke.
3. Arinan reijät (3 riviä) tukittiin edellä mainitun siivekkeen alapuolelta, jotta tuhka ei sulaisi kiinni siivekkeeseen.
4. Arinareijät suurennettiin ja puhallussuunta muutettiin takaviistosta suoraan ylös..
5. Tuhkakaukaloa suurennettiin sekä leveys- että pituus-suunnassa.

6. Tuhkanpoistoruuvia pidennettiin ja vahvistettiin. Ruuviin lisättiin tuhkaa murskaavia lovia ja tappeja.
7. Tuhkanpoistokaukalon päälle, polttimen arinan eteen, lisättiin tuhkaa poltinpäästä ulosvetävä sakara-akseli, joka saa käyttövoimansa tuhkanpoistoruuvista.



Kuva 6. Pelikko 10 -poltin liitettynä Tulikko YP 25-kattilaan

Kuvassa 7 on esitetty poltinpää muutostöiden jälkeen.



Kuva 7. Olkipellettien polttokokeissa käytetyn Pelikko 10 -polttimen poltinpää.

Muutostöiden vaikutus polttimen toimintaan:

- 1-3. Sulanut tuhka ei tartu kiinni poltinpäähän. Palava polttoaine työntää edellään sulanutta tuhkaa pois poltinpäästä.
4. Savutus polttoaineruuvien ja syöttösäiliön kautta kattilahuoneeseen loppui lähes kokonaan. Tämä voidaan poistaa myös tiiviillä polttoainesiilolla ja tiiviillä siilon kannella.

5. Arinalta tuleva 10...20 cm:n pituinen tuhkakokkare ei pyörähdä tuhkakaukalon ulkopuolelle.
6. Tuhkakokkare murskaantuu ja voidaan siirtää tuhkanpoistoruuvilla polttoainesäiliön alla olevaan tuhka-laatikkoon.
7. Tuhkakokkare saadaan poistettua riittävän nopeasti arinalta, jolloin poltinpää ei tukkeennu, vaikka poltinta käytettäisiin jatkuvasti suurimmalla teholla. Muutos suurentaa tuhkan mukana poistuvan palamattoman polttoaineen määrää.

5.2.2.3 Polttokokeissa käytetyt polttoaineet

Polttokokeet suoritettiin olkipelleteillä, jotka oli valmistettu siirrettävällä pelletointilaitteella syksyn 1983 pelletointikokeissa. Pellettien ominaisuudet on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Polttokokeissa käytetyt polttoaineet

Polttoaine	Tilavuuspaino kg/m ³	Kosteus %	Lämpöarvo MJ/kg
Ohrapelletti	520...560	14,3...14,8	14,4...14,6
Kaurapelletti	460...520	9,6...11,5	15,1...15,5
Ruispelletti	460...530	13,8...14,3	14,5...14,6
Vehnäpelletti	560...530	7,9...8,1	15,8
RypsiPelletti	490...510	18,1	14,6
Turvepelletti	860	14,4	17,5

Turvepelletillä kuiva-aineen tehollisena lämpöarvona on käytetty 20,8 MJ/kg, rypsiPelletillä 18,2 MJ/kg ja olkipelleteillä 17,4 MJ/kg.

Olkipelletit olivat laadultaan varsin hyviä, joskin pehmeitä. Hienoaineen osuus vaihteli muissa kuin vehnäpelletissä 2...10 %:n välillä. Vehnäpelletissä hienoainesta oli 15...30 %.

Hienoaineen määrällä ei ollut havaittavaa vaikutusta polttimen toimintaan muutoin kuin kipinöintinä ja lentotuhkan määrän kasvamisena, jolloin kattilan nuohoustarve lisääntyi.

5.2.2.4 Polttimen ja kattilan säädöt

Polttokokeet aloitettiin ohrapelletillä, jolloin polttoaineen syöttö, palamisilmamäärä, viretulisäädöt ja kattilatermostaatin asetusarvo valittiin seuraavin perustein.

1. Polttimen käydessä jatkuvasti kattilaa voidaan kuormittaa 10 kW:n teholla eli polttoaineteho on noin 12,5 kW.
2. Palamisilmamäärä säädettiin n. 10 % optimiarvoa suuremmaksi, jolloin poltin sallii samaa suuruusluokkaa olevan polttoaineen tiheysvaihtelusta aiheutuvan polttoainetehon muutoksen.
3. Viretulisäädöt ja kattilatermostaatin asetusarvot valittiin siten, ettei tuli polttimessa sammu eikä kattilavesi kiehu pitkien seisontajaksojen ja nolletehon aikana.

5.2.2.5 Tulokset

Taulukossa 8 on esitetty mittaustulokset, kun kattilaa on kuormitettu n. 3 kW:n teholla, mikä vastaa mitoitus-
teholtaan n. 10 kW:n kiinteistön vuotuista keskitehoa.

Vastaaviin tuloksiin voidaan käytännössä päästä, jos kattila nuohotaan 0,5...2 viikon välein ja kattilan ja polttimen säädöt ovat kohdallaan.

Taulukon 9 kaikki kokeet on tehty polttimella, joka on muutettu olkipellettipolttoon soveltuvaksi. Vakiomallisella Pelikko 10 -polttimella ei tehty vastaavaa n. 3 kW:n koetta. VAKOLAssa koetuselostuksessa n:o 1130 olevan hyötysuhdekäyrän mukaan hyötysuhde 3 kW:n teholla olisi turvepellellillä 69 %.

Kuvassa 8 on esitetty koko polttimen tehoalueen kattavat hyötysuhdekäyrät eri olkilajeja poltettaessa sekä vakiomallisella Pelikko 10 -polttimella turvepellellipoltossa saavutetut hyötysuhteet.

Olkipellettipolttoon muunnetulla polttimella ei tehty koko tehoalueen kattavia kokeita turve- ja rypsipelleillä.

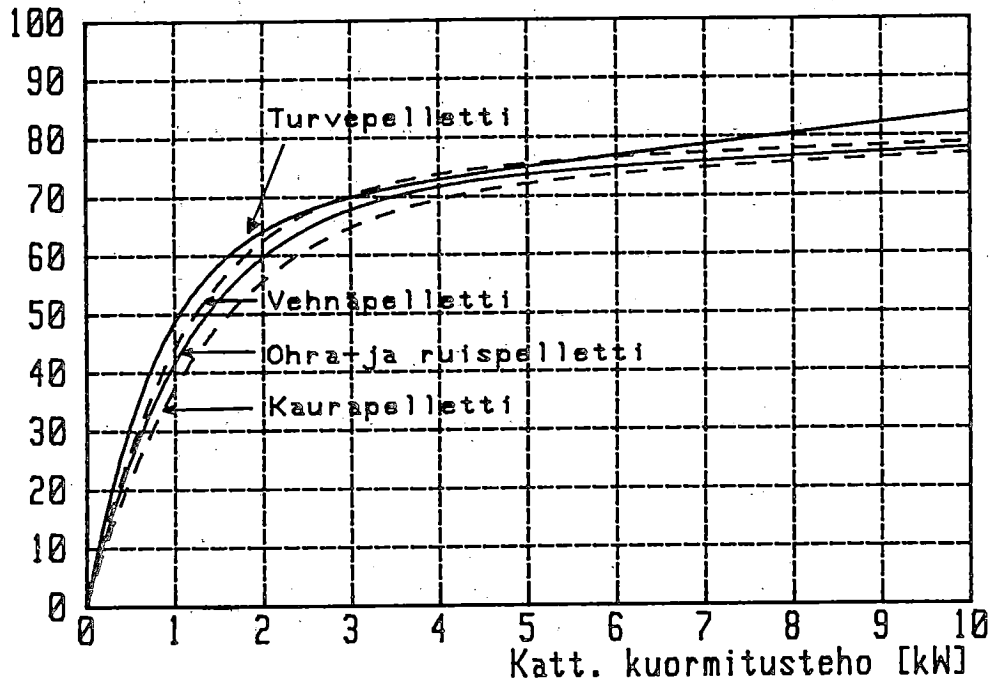
Hyötysuhdekäyrien mukaan poltin toimii parhaiten vehnäpelleiteillä. Ruis- ja ohrapelleiteillä polttimen toiminnassa ei ole havaittavaa eroa.

Poltinpään muutokset heikentävät polttimen toimintaa polttoaineilla, joiden tuhka ei sula. Laitteisto toimii näilläkin polttoaineilla koko tehoalueella, mutta poltossa on käytettävä suurempaa ilmakerrointa, mikä pienentää palamishyötysuhteen kautta kokonaishyötysuhdetta. Turve ja rypsipelletit tulisi tämän vuoksi mieluummin polttaa vakiomallisella polttimella.

Taulukko 8. Pelikko 10 -polttimen ja Tulikko YP 25 -kattilan koetulokset, kun kuormitusteho on n. 3 kW. Savukaasujen arvot ilmoitettu polttimen käyntijakson ajalta.

Polttoaine		Kaura- pellet- ti	Ohra- pellet- ti	Ruis- pellet- ti	Vehnä- pellet- ti	Rypsi- pellet- ti	Turve pellet- ti
Kokeen kesto- aika	h	17,8	23,2	21,7	23,7	23,0	19,4
Polttoaineen kosteus	%	9,6	14,8	14,2	8,0	18,1	14,4
Polttoaineen lämpöarvo	MJ/kg	15,5	14,4	14,6	15,8	14,6	17,45
Polttoaineen tiheys	kg/m ³	520	540	480	580	500	860
Kattilan kuor- mitusteho	kW	2,95	3,05	3,03	2,98	3,05	3,01
Polttoaineen kulutus	kg/h	1,065	1,120	1,088	0,963	1,140	0,973
Polttoainetehto	kW	4,58	4,48	4,42	4,23	4,62	4,72
Hyötysuhde	%	64,4	68,0	68,7	70,5	66,2	63,8
CO ₂ -pitoisuus	%	10,2	10,0	9,6	13,0	6,5	7,2
CO -pitoisuus	%	0,26	0,13	0,15	0,05	0,09	0,12
Savukaasun lämpötila	°C	132	129	135	127	139	124

Hyötysuhde [%]

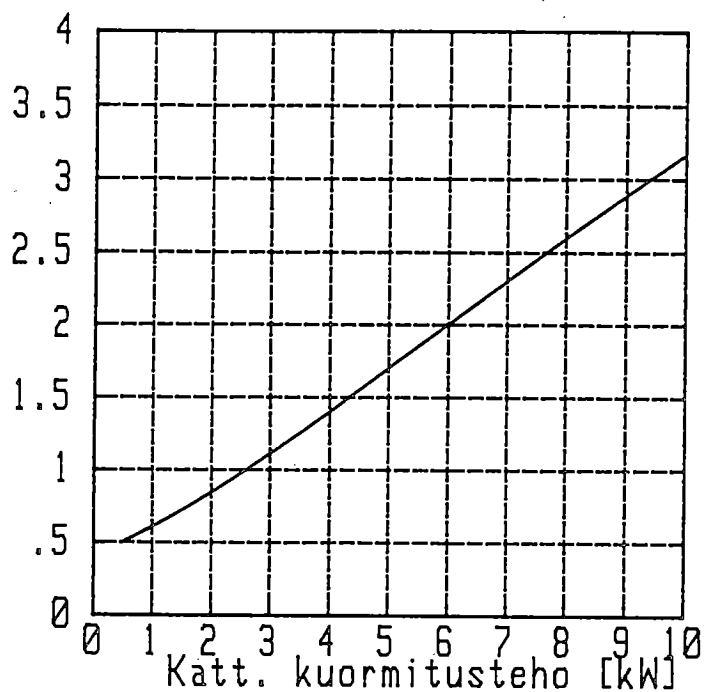


Kuva 8. Pelikko 10 -polttimen ja Tulikko YP 25 -kattilan kokonaishyötysuhde eri olkipellettilajeja poltettaessa. Turvepellettikokeet suoritettu vakiomallisella polttimella.

Kuvassa 9 on esitetty Pelikko 10 -polttimen polttoaineen kulutus kattilan eri kuormitustehoilla. Vuotuisen keskitehon ollessa 2...3 kW (vuosikulutus 17...25 MWh) on polttoaineen kulutus 0,9...1,2 kg/h eli 7,9...10,5 t/v. Käytännön lämmityksessä hyötysuhteet jäävät pienemmiksi.

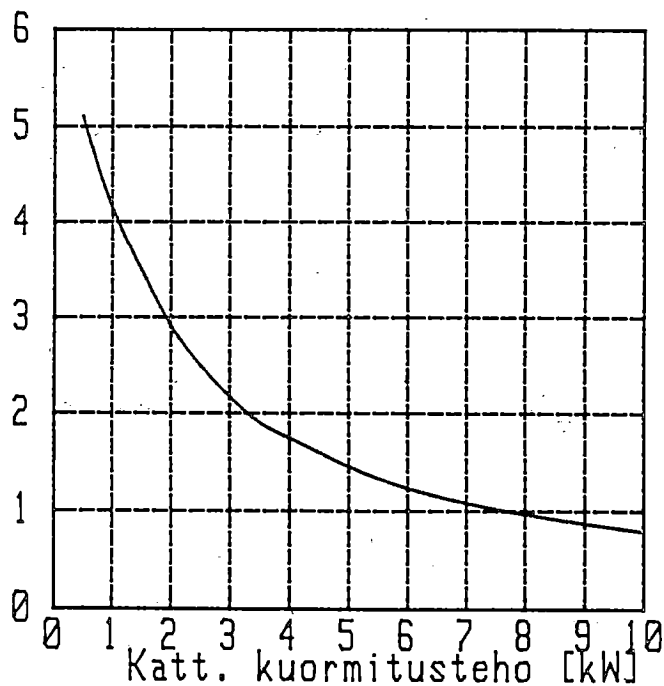
Pelikko 10 -polttimen polttoainesäiliön tilavuus on 0,12 m³. Kun olkipelletin tiheys on 500 kg/m³, on yhden polttoainetäytöksen määrä 60 kg. Kuvassa 10 on esitetty yhden täytöksen palo-aika kattilan eri kuormitustehoilla. Suurimilla tehoilla polttoainesäiliö tulee täyttää kaksi kertaa vuorokaudessa. Vuotuisen keskitehon ollessa 2...3 kW (asuinrakennus 120...140 m²) on keskimääräinen täyttöväli 2...3 vrk ja kesäaikana 4...5 vrk.

Polttoaineen kulutus [kg/h]



Kuva 9. Pelikko 10 -polttimen polttoaineen kulutus kattilan eri kuormitustehoilla.

Polttoaineen pala aika [vrk]

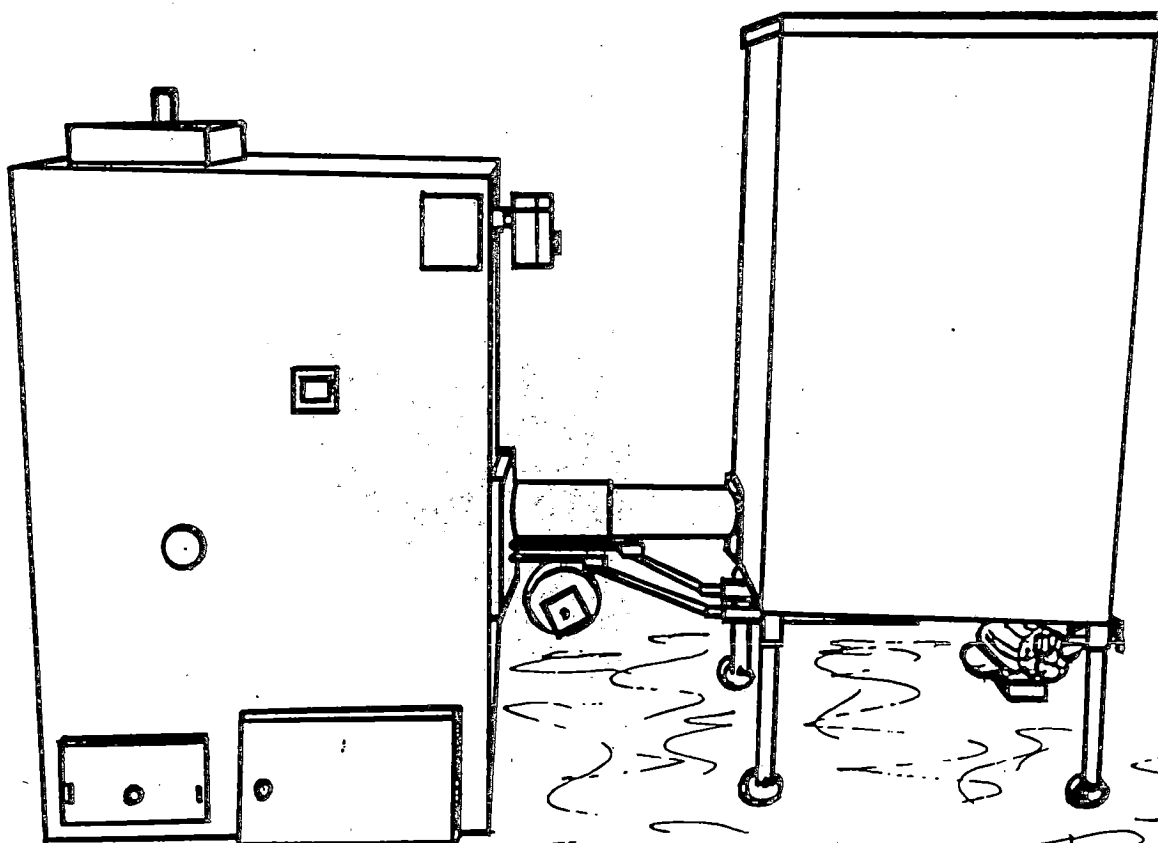


Kuva 10. Pelikko 10 -polttimen polttoainesäiliöllisen pala aika kattilan eri kuormitustehoilla.

5.2.3 TP 30 -poltin

5.2.3.1 Kattila

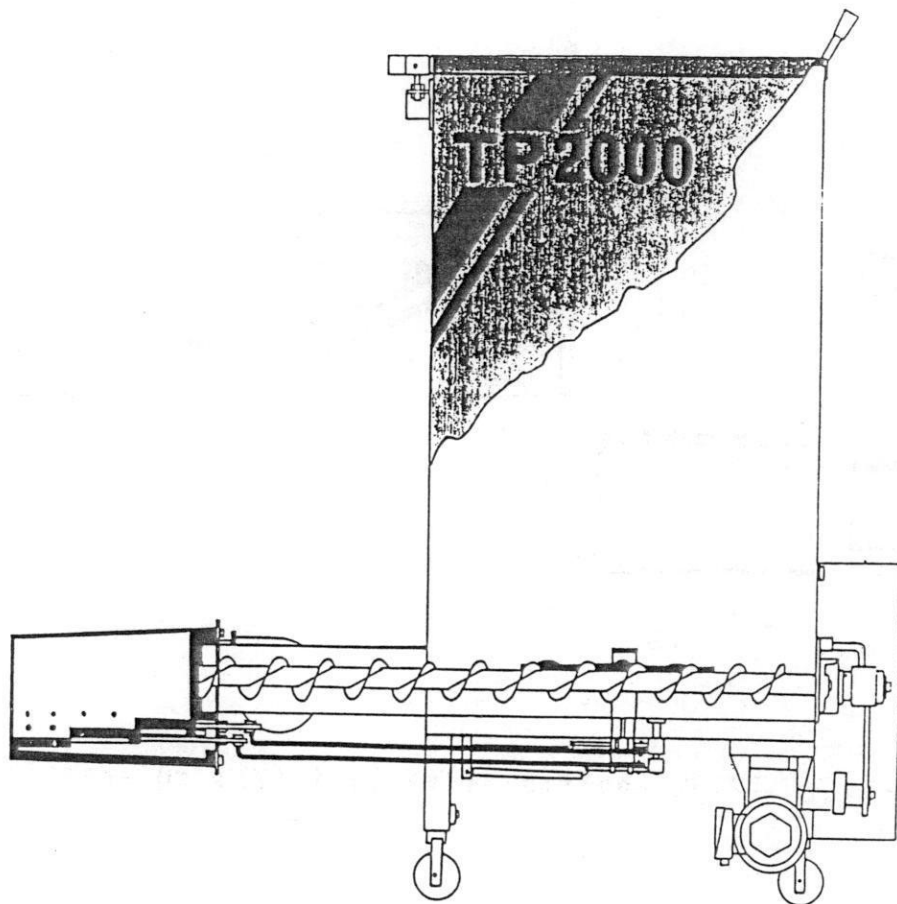
TP 30 -poltin oli kokeiden aikana liitetty TULI 30- vesi-
lämmityskattilaan. TULI 30 -kattilan nimellisteho on
30 kW ja se on suunniteltu erityisesti polttimiin liitet-
täväksi. Kattila voidaan tuhkata ja nuohota poltinta ir-
roittamatta.



Kuva 11. TP 30 -poltin liitettynä TULI 30 -kattilaan.

TP 30 -poltin (kuva 12) on erityisesti suunniteltu polttoaineille, joiden tuhka sulaa alhaisessa lämpötilassa. Polttimen nimellinen polttoaineteho on noin 35 kW, joten sitä voidaan käyttää lämpötehon tarpeen ollessa alle 30 kW. Poltin voidaan säätää toimimaan myös pienemmällä polttoaineteholla polttoaineen syöttönopeutta ja palamisilmämäärää muuttamalla.

TP 30 -polttimessa on kolmiportainen arina, jonka kaksi ylintä porrasta ovat liikkuvia. Arinat liikkuvat eri aikaan ja saavat käyttövoimansa polttoaineen syöttöruuvista säiliösekoittimen akselin ja työntövarsien välityksellä. Arinoiden palautus tapahtuu jousilla. Arinoiden liikkeen pituus on säädettävissä välillä 0...30 mm. Liikkeen tulee olla sitä pitempi mitä alhaisemmassa lämpötilassa polttoaineen tuhka sulaa. Polttimessa voidaan polttaa myös haketta, pienpalaturvetta ja turvepellettiä.



Kuva 12. TP 30 -poltin

5.2.3.2 Polttokokeissa käytetyt polttoaineet

Polttokokeissa käytetyt olkipelletit oli valmistettu siirrettävällä pelletointilaitteella syksyllä 1983. Polttoaineiden ominaisuudet on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Kokeissa käytetyt polttoaineet

Polttoaine	Tilavuuspaino kg/m ³	Kosteus %	Lämpöarvo MJ/kg
Ohrapelletti	500...520	13,3...14,6	14,5...14,8
Ruispelletti	510...520	7,4...8,3	15,7...15,9
Vehnäpelletti	570	8,8	15,6
Kaurapelletti	480	14,6	14,5
Rypselletti	510	12,9	15,6
Turvepelletti	680	15,1	17,3
Hakepelletti	200	16,2	15,7

Turvepelletin kuiva-aineen lämpöarvona on käytetty 20,8 MJ/kg, rypselletillä 18,2 MJ/kg, hakkeella 19,2 MJ/kg ja olkipelleteillä 17,4 MJ/kg.

Olkipelletit olivat laadultaan hyviä. Hienoaineen osuus oli 2...20 %. Hienoaineen määrällä ei näissä rajoissa ollut havaittavaa vaikutusta polttimen toimintaan muutoin kuin kipinöintinä ja lentotuhkan määrän kasvamisena. Tämä lisää myös kattilan nuohoustarvetta.

5.2.3.3 Polttimen ja kattilan säädöt

Polttokokeet aloitettiin ohrapelleteillä, jolloin polttoaineen syöttö, palamisilmamäärä, viretulensäädöt ja kattilatermostaatin asetusarvo valittiin seuraavin perustein:

1. Polttimen käydessä jatkuvasti kattilaa voidaan kuormittaa 30 kW:n teholla eli polttoaineteho on n. 37 kW.
2. Palamisilman määrä säädettiin vastaamaan 37 kW:n polttoainetehoa. Tarvittaessa polttoaineen tiheysvaihtelusta aiheutuva polttoainetehon muutos säädettiin syöttönopeutta muuttamalla.
3. Viretulensäädöt ja kattilatermostaatin asetusarvot valittiin siten, ettei tuli polttimessa sammu eikä kattilavesi kiehu pitkien seisontajaksojen ja nollatehon aikana.
4. Arinoiden liikkeen pituus säädettiin polttoainelajin mukaan sellaiseksi, että arinalla olevan hiilloksen paksuus pysyy vakiona ja tuhkaan jäävän palamattoman polttoaineen määrä vähäisenä.

5.2.3.4 Tulokset

Hyötysuhdemittaukset TP 30 -polttimella ja TULI 30 -kattilalla tehtiin ohrapelleteillä. Muilla olkipelleteillä, turvepelleteillä ja hakkeella ei suoritettu standardin SFS 4800 mukaisia suoran lämmityksen koesarjoja. Näillä polttoaineilla seurattiin polttimen pidempiaikaista toimintaa seuraavien tekijöiden osalta.

- polttimen toiminta 37 kW:n polttoaineteholla
- polttimen toiminta alle 5 kW:n polttoaineteholla
- polttoaineen syöttöruuvien nopeuden, palamisilmamäärän ja arinoiden liikkeen pituuden säädöt
- Tuli 30 -kattilan tuhkatilan riittävyys eri olkilajeilla
- nuohoustarve

Ohrapelleiteillä suoritettujen kokeiden tulokset on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. TP 30 -polttimen ja TULI 30 -kattilan hyötysuhdekokeet ohrapelleiteillä. Palamisarvot ilmoitettu polttimen käyntijakson ajalta. Poltin käy jatkuvasti vain 29,2 kW:n teholla.

Kattilan kuormitusteho kW		29,2	20,0	10,4	4,9	2,8	1,5
Kokeen kesto aika h		3,1	15,7	27,9	17,7	16,8	21,6
Polttoaineen kosteus %		14,3	13,4	13,4	13,6	14,6	13,8
Polttoaineen lämpöarvo MJ/kg		14,5	14,7	14,7	14,7	14,5	14,6
Polttoaineen tiheys kg/m ³		515	510	500	505	520	510
Polttoaineen kulutus kg/h		8,97	5,77	3,03	1,56	0,99	0,68
Polttoaineteho kW		36,1	23,6	12,4	6,4	4,0	2,8
Hyötysuhde %		81	85	84	77	70	54
CO ₂ -pitoisuus %		13,0	12,4	12,2	11,5	10,4	9,7
CO -pitoisuus %		0,10	0,16	0,18	0,16	0,12	0,11
Savukaasujen lämpötila °C		232	190	182	168	170	153
Palamisilman lämpötila °C		23	23	20	21	20	20

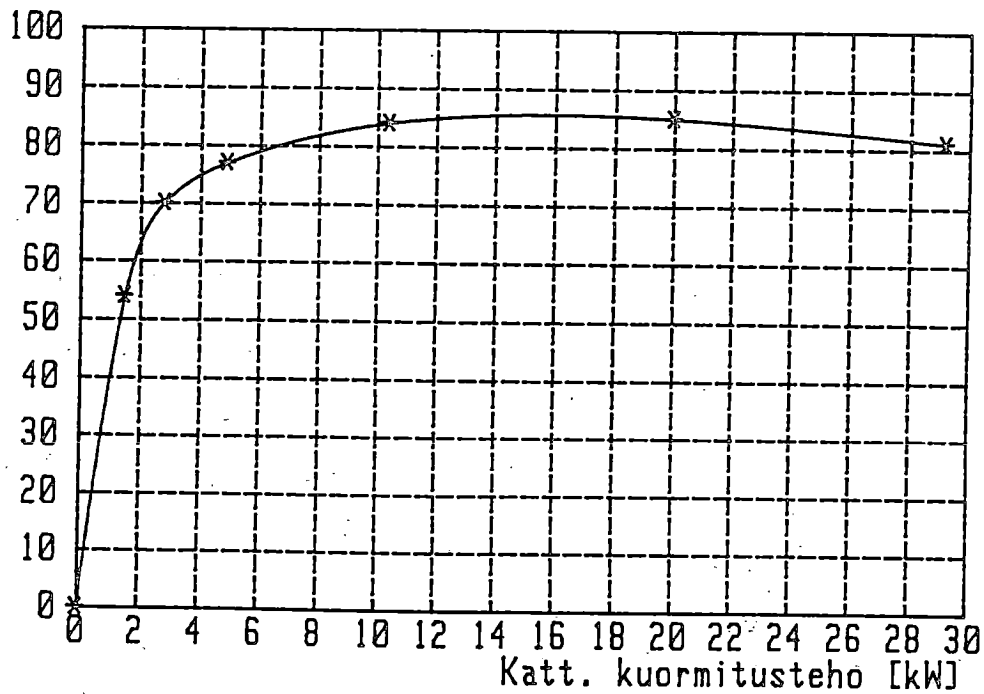
Tyhjäkäynnillä, jolloin polttoainetta kuluu vain palamisen ylläpitämiseen ja kattilan eristyshäviöiden korvaamiseen polttoaineen kulutus on 0,37 kg/h.

Kuvaan 13 on piirretty taulukon 11 kokeiden perusteella TP 30 -polttimen ja TULI 30 -kattilan hyötysuhteet kattilan kuormitustehon funktiona. Yli 20 kW:n tehoilla hyötysuhteen aleneminen johtuu tuhkahäviöiden suurenemisestä.

Taulukon 10 kokeissa polttoaine- ja palamisilmamäärän säädöt olivat vakioita, joten laitteiston säätövyys on erittäin hyvä ja hyötysuhde pysyy korkeana pienilläkin osatehoilla. Hyötysuhde on yli 60 %, kun kuormitusteho

on yli 1,8 kW eli 6...100 %:n kuormituksella. Yli 70 %:n kokonaishyötysuhde saavutetaan yli 2,8 kW:n (10...100 %) kuormitusteholla ja yli 80 %:n kokonaishyötysuhde yli 6 kW:n (20...100 %) kuormitusteholla. Maatiloilla vuotuinen keskitehon tarve on 20...30 % mitoitustehosta. Kun maatilan mitoitustehon tarve on 30 kW, on vuotuinen keskiteho 6...9 kW eli ko. laitteistolla on tällä tehoalueella saavutettavissa yli 80 %:n vuosihyötysuhde mikäli polttimen ja kattilan säädöt ovat oikeat ja kattila nuohotaan 0,5...2 viikon välein.

Hyötysuhde [%]



Kuva 13. TP 30 -polttimen ja TULI 30 -kattilan hyötysuhteet ohrapelletillä kattilan eri kuormitustehoilla.

Kuvassa 14 on esitetty polttimen polttoaineen kulutus kattilan eri kuormitustehoilla. Laboratoriokokeiden mukaan on polttoaineen kulutus vuotuisen keskitehon ollessa 6...9 kW (vuosikulutus 50...80 MWh) 1,9...2,7 kg/h eli 16,6...23,6 t/v. Vastaavasti omakotitalon, jonka vuotuinen keskiteho on 2 kW (vuosikulutus 17,5 MWh) polttoaineen kulutus on 0,85 kg/h eli 7,5 t/v. Käytännön lämmityksessä ei kuitenkaan saavuteta yhtä hyviä vuosihyötysuhteita kuin laboratoriomittauksissa.

TP 30 -polttimen polttoainesäiliön tehollinen tilavuus (säiliö ei tyhjene koskaan kokonaan) on 0,3 m³. Kun olkipelletin tiheys on 500 kg/m³, on yhden polttoainetäytöksen määrä 150 kg. Kuvassa 15 on esitetty yhden täytöksen paloaika kattilan eri kuormitustehoilla. Suurimmilla tehoilla poltinsäiliö tulee täyttää kaksi kertaa vuorokaudessa. Kun vuotuinen keskiteho on 6...9 kW on täyttöväli 2...3 vrk. 140 m²:n asuinrakennuksen lämmityksessä täyttöväli suurimman tehontarpeen aikana on 2...3 vrk ja keskimäärin 6...8 vrk. Lämmityskauden ulkopuolella täyttöväli on 1,5...2 viikkoa.

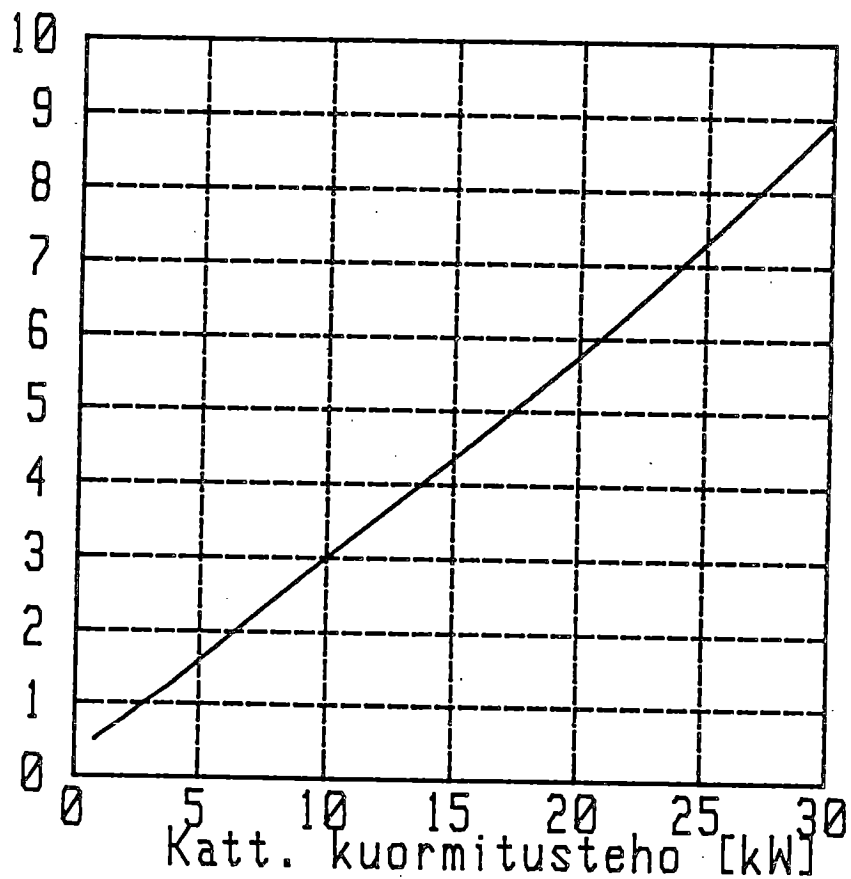
5.2.3.5 Tuhkan käyttäytyminen

Kaikkien olkipellettilajien tuhka sulaa TP 30 -polttimen poltinpäässä. Vähäisintä sulaminen on vehnäpelletillä. Kokeissa käytetyllä turvepelletillä muodostui pieniä sintraantuneita tuhkakokkareita. Rypselletillä ja hakkeella ei esiintynyt tuhkan sulamista.

TULI 30 -kattilan tuhkatila on n. 55 l. Tuhka kasaantuu poltinpään alle tuhkatilan takaosaan, ja jollei tuhka kasaa välillä tasoiteta, on tuhkatilan tehollinen tilavuus n. 30 l. Tuhkatila riittää yhden polttoainesäiliöllisen polttamiseen kaikilla olkipellettilaaduilla, mikäli kasa poltinpään alla välillä tasoitetaan. Tuhkatila

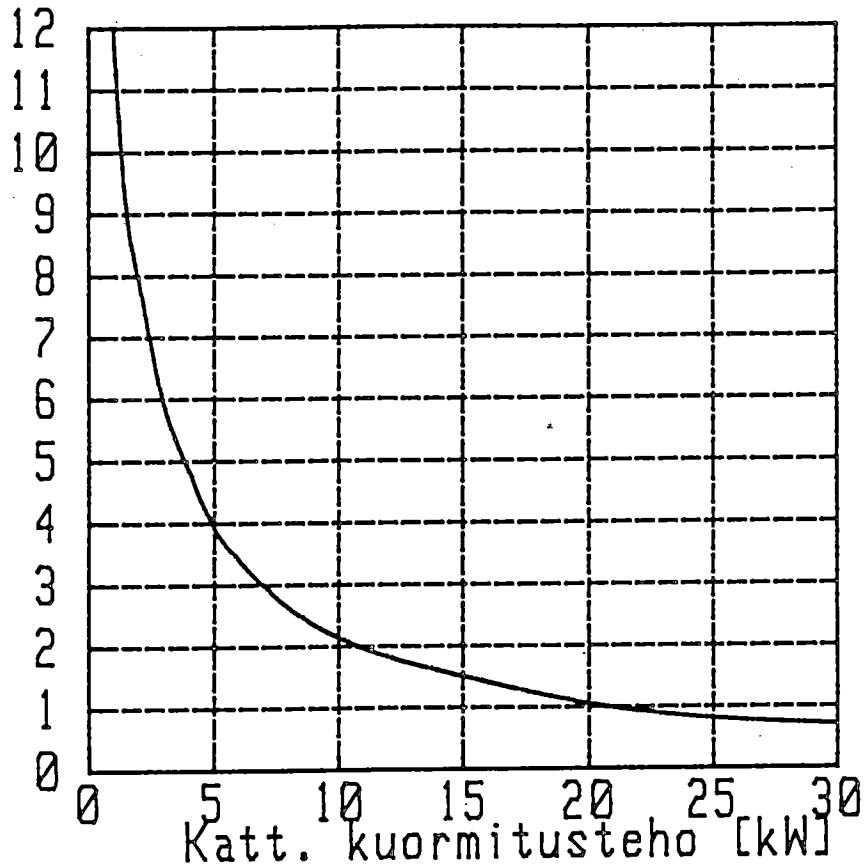
voidaan suurentaa muuraamalla lisätuhkatile kattilan alle. Toisaalta polttoainetäytökset voidaan rytmittää tuhkauksen mukaan. Tuhkatilen riittävyys on 20...30 % lyhyempi kuin kuvassa 15 esitetty polttoainesäiliöllisen riittävyys.

Polttoaineen kulutus [kg/h]



Kuva 14. TP 30 -polttimen polttoaineen kulutus kattilan eri kuormitustehoilla.

Polttoaineen paloaika [vrk]



Kuva 15. TP 30 -polttimen polttoainesäiliöllisen paloaika kattilan eri kuormitustehoilla.

5.2.4 Yhteenveto olkipellettien polttokokeista kiinteän polttoaineen polttimilla

Polttokokeilla oli tarkoitus selvittää kaikilla olkilajeilla toimivan pellettipolttimen vaatimaa laitetekniikkaa polttoaineteholtaan alle 40 kW:n polttimilla. Tämä teholuokka kattaa sekä omakotitalojen että maatilojen yleensä vaatiman tehontarpeen.

Polttimen toimivuuden kannalta on tärkeintä, että se yhtäaikaaisesti polton kanssa poistaa sulaneen tuhkan arinalta. Tuhka ei myöskään saa tarttua tuhkanpoistolaitteisiin.

Pelikko 10 -polttimessa tuhkanpoisto arinalta on toteutettu välittömästi arinan jälkeen asennetulla sakaraakselilla, joka toimii sulaneen tuhkan "ulosvetäjänä" ja saa käyttövoimansa varsinaisesta tuhkanpoistoruuvista. TP 30 -polttimessa sulanut tuhka poistetaan poltinpäästä eriaikaisesti liikkuvilla porrasarinoilla. Kummassakaan polttimessa sulanut tuhka ei tartu varsinaiseen arinaan, koska palamisilma jäädyttää välittömästi arinaa vasten olevan hiilloksen lämpötilan riittävän alhaiseksi.

Pelikko 10 -polttimessa ulosvetäjän poistama tuhka putoaa tuhkakaukaloon, jonka pohjalla on tuhkaa murskaava ruuvi. Tämä ruuvi kuljettaa tuhkan kattilasta polttoainesiilon alla sijaitsevaan tuhkalaatikkoon. TP 30 -polttimessa ei ole tällaista tuhkanpoistolaitteistoa, vaan tuhka poistetaan käsityövälinein kattilan tuhkatilasta.

Molemmat poltintyypit toimivat kaikilla olkipellettilajeilla hyvin. Kestävyydeltään TP 30 -polttimen rakenne vaikuttaa vahvemmalta ja näin ollen käytännön lämmityksessä luotettavammalta. Molemmat polttimet aiheuttavat enemmän melua kuin tavalliset hakepolttimet. Pelikko 10 -polttimessa melu syntyy tuhkan murskaantuessa ja TP 30 -polttimessa arinoiden palautuessa jousien vetämänä takasentoon.

TP 30 -polttimen kohdalla melu voidaan poistaa arinoiden palautusmekanismia muuttamalla tai palautusiskua vaimentavilla vastakappaleilla. Pelikko 10 -polttimella esiintyi ajoittain lyhytaikaista savutusta kattilahuoneeseen, joka voidaan poistaa tiivistämällä polttoainesiilo ja sen kansi kunnolla.

Suoritettujen koajojen perusteella molemmat poltintyypit toimivat luotettavasti ja ne soveltuvat riittävän vesitiilan omaavaan kattilaan liitettynä ilman varaajaa tapahtuvaan suoraan lämmitykseen.

5.3 Leijukerroskattila

5.3.1 Koejärjestelyt

Olkipellettien polttokokeet suoritettiin Helsingin teknillisen korkeakoulun Energiatalouden ja voimalaitosopin laboratoriossa TKK:n ja Neste Oy:n yhteistyönä tutkimuskäyttöön kehittämällä 300 kW:n leijukerroskattilalla. Leijukerroskattilan kaaviokuva on esitetty liitteessä 2.

Leijukerroskattilassa polttoaine palaa hiekkakerroksessa, jota leijutetaan arinan alta puhallettavan palamisilman eli leijuilman avulla. Leijutuksen voimakkuudesta ja polttoainepartikkeleiden tiheydestä riippuen polttoaine palaa joko leijukerroksen pinnalla tai sen sisässä. Polttoaineen kaasumaiset aineosat palavat leijukerroksen yläpuolisessa tulipesässä. Polttoaine voidaan syöttää joko leijukerroksen pinnalle tai suoraan leijuivan hiekkapatjan sisään. Leijuhiekan esilämmitys tapahtuu yleensä öljyn tai kaasun avulla.

Leijukerroskattiloita käytettiin aluksi vaikeasti poltettavien kosteiden jätteiden polttamiseen. Viimeaikoina leijukerroskattilat ovat yleistyneet Suomessa ja niitä käytetään yhdyskuntajätteiden, puujätteiden, turpeen ja hakkeen poltossa.

Oljen tuhkan sulamiskäyttäytyminen vaikuttaa myös leijukerroskattilan toimintaan. Tämän vuoksi olkipellettien polttokokeissa selvitettiin lähinnä hiekkapatjan muutoksia, tuhkanpoistolaitteiden toimivuutta ja kattilan likaantumista. Tärkeimpänä tekijänä polttolaitteen toimivuuden kannalta oli olkipellettipolton vaatimien prosessiarvojen selvittäminen.

5.3.2 Kokeissa käytetyt polttoaineet

Polttokokeita tehtiin vehnän, rukiin, ohran ja kauran oljesta valmistetuilla pelleteillä sekä lisäksi kaurapelleteillä, johon valmistusvaiheessa oli lisätty oljen tuhkan sulamislämpötiloja kohottavaa lisäainetta, kaoliinia. Pellettien halkaisija oli 10...11 mm ja keskipituus 10...20 mm. Kokeissa käytettyjen pellettien ominaisuudet ovat taulukossa 11.

Taulukko 11. Polttokokeissa käytetyt polttoaineet

Olkilaji	Irtotiheys kg/m ³	Kosteus %	Lämpöarvo MJ/kg
1 Vehnä	460	12,2	15,0
2 Kaura + kaoliini 7.4%	530	10,2	13,9
3 Kaura + kaoliini 2.9%	510	10,0	14,8
4 Ruis	620	6,5	16,1
5 Ohra	500	9,6	15,5
6 Kaura	520	9,4	15,5

5.3.3 Tulokset

Kokeet aloitettiin vehnäpelletillä, jonka jälkeen siirryttiin muihin olkilajeihin taulukon 11 osoittamassa järjestyksessä. Samalla alennettiin patjan lämpötilaa ja käytettiin mahdollisimman pientä ensiöilmaosuutta ja vastaavasti suurempaa toisiöilmaosuutta. Kaura- ja ohrapellettien poltossa oli patjan lämpötila pidettävä hyvin alhaisena jopa alle 700 °C.

Kattilan patjamateriaali oli hiekkaa. Kokeiden aikana ta-
pahtuneiden hiekkapatjan koostumuksen muutokset on esi-
tetty liitteessä 3. Hiekkapatjan koostumuksessa ei synty-

nyt merkittäviä muutoksia Fe_2O_3 -, CaO -, MgO - ja Na_2O -pitoisuuksien osalta. Ainoa merkittävä muutos esiintyi K_2O -pitoisuuteen kasvamisena. Tulosten mukaan noin puolet oljen kaliumista jää hiekkaan ja puolet poistuu lentotuhkan mukana. K_2O -pitoisuuden lisääntyminen ei kuitenkaan aiheuta hiekan agglomeroitumista polton aikana hiekkapatjassa esiintyvissä lämpötiloissa.

Kokeiden aikana palamista ja kattilan toimintaa seurattiin edellämainittujen mittausten lisäksi mm. mittaamalla savukaasujen ja kattilaveden lämpötilat, savukaasujen CO_2 -, CO - ja O_2 -pitoisuudet sekä ensiö- ja toisioilmamäärät. Lisäksi seurattiin lentotuhkan määriä ja sen sisältämän palamattoman polttoaineen määrää.

Liitteessä 4 on esitetty polttokokeissa saatuja mittaus-tuloksia. Kattilaan syötetty polttoaineteho on vaihdellut välillä 145...260 kW ja polttoaineen kulutus on tällöin ollut 31...60 kg/h. Olkipelletille sopivaa hiekkapatjan lämpötilaa selvitettäessä sen lämpötila vaihteli eri kokeissa alueella 680...840 °C. Lentotuhka sisälsi palamatonta polttoainetta 2,5...5,2 % tuhkamäärästä. Savukaasujen CO_2 -pitoisuudet olivat 13,5...16,4 %, O_2 -pitoisuudet 2,5...9 % ja CO -pitoisuudet 40...1400 ppm.

Yli 300 ppm:n CO -pitoisuudet saatiin kokeissa, joissa käytettiin hyvin pientä ilmaylimäärää keveiden olkihiukkasten karkaamisen estämiseksi.

Patjalämpötilan rajoittaminen alle 800 °C rajoitti kattilakuorman 230 kW:iin (0,7 MW/m²). Epäsuorasti laskettu kattilan hyötysuhde vaihteli välillä 92-98 %, jolloin reaktio-osan teho-osuus oli 45-55 %. Kaurapellettejä poltettaessa (patjan lämpötila alle 700 °C) hyötysuhde oli 83-86 %.

Parhaat poltto-olosuhteet saatiin 25-35 %:n ilmaylimäärällä patjalämpötilan ollessa 720-740 °C (0,45-0,55 MW/m²). Lentotuhkan heikutushäviö oli alle 6 %. Oljen tuhkasta elutroitui patjasta 10-15 %. Sillä ei ole suurta merkitystä, koska oljen tuhkapitoisuus on alhainen verrattuna muihin leijukerros-poltossa käytettyihin polttoaineisiin. Toisioilmaa käyttämällä saatiin palaminen roisketilassa tehokkaammaksi, ja sillä voitiin vähentää tuhkan elutroitumista, mutta se ei merkittävästi pienentänyt lentotuhkan heikutushäviötä. Staattisen patjan paksuuden muuttaminen (0,4-0,6 m) ei vaikuttanut kokonaishyötysuhteeseen eikä reaktoriosan teho-osuuteen.

Koesarjan polttokokeet 2 ja 3 tehtiin myös lisäainetta sisältävillä olkipelleteillä. Lisäaineen metallioksidit kohottavat olkituhkan sulamispistettä ja vähentävät patjan agglomeroitumisvaaraa ja lämpöpintojen kuonaantumista.

Kokeissa käytetyt pelletit olivat varsin kevyitä (taulukko 11). Tällaiset pelletit eivät sekoitu hiekkaan vaan jäävät "kellumaan" hiekkapatjan pinnalle. Hiekka irroittaa pelletistä hiukkasia, jotka palavat kaasujen kanssa hiekkapatjan yläpuolisessa tulipesässä. Tästä seuraa lämpötilan voimakas kohoaminen tulipesän yläosassa. Lämpötilaerot tulipesän eri osissa muodostuvat suu-riksi ja alhaisesta hiekkapatjan lämpötilasta huolimatta osa polttoaineesta palaa tuhkan muodonmuutoslämpötiloja korkeammassa lämpötilassa.

Tämä lisää tulipesän yläosan ja lämmönsiirtopintojen liikaantumista ja aiheuttaa kanavistoissa tukkeutumista ohraa, kauraa ja ruista poltettaessa. Vehnäpelleteillä ei esiintynyt vastaavassa määrin kanaviston tukkeentumista. Kaoliinipelleteillä lämpöpintojen liikaantuminen oli selvästi vähäisempää kuin "puhtailla" pelleteillä.

5.3.4 Yhteenveto

Polttokokeiden perusteella voidaan todeta, että riittävän alhaista patjan lämpötilaa käyttämällä leijukerros-poltto soveltuu olkipellettien polttoon. Ohra- kaura- ja ruispelleteille ominainen, tuhkan sulamisesta aiheutuva kuonan muodostus saadaan tehokkaimmin poistettua käyttämällä alhaista hiekkapatjan lämpötilaa 700...730 °C ja sulamislämpötiloja kohottavia lisäaineita.

Parhaiten olkipellettien poltto onnistuu 25...35 %:n yli- ilmamäärällä, hiekkapatjan lämpötilan ollessa 720...740 °C ja kun syötetty polttoaineteho on 0,45...0,55 MW/m² (pinta-alalla tarkoitetaan hiekkapatjan poikkipinta- alaa).

Polttoaineen syöttö hiekkapatjan päälle aiheuttaa voimakkaan tulipesässä patjan yläpuolella tapahtuvan palamisen. Tulipesän lämpötiloihin voidaan vaikuttaa yli-ilmamäärällä. Toisioilman käyttö lisää huomattavasti yläpuolisen palamisen voimakkuutta, kun toisioilman osuus on yli 30 %.

Kokeissa käytetty leijukerroskattila on suunniteltu turvepellettien polttoon. Olkipelletit ovat turvepellettejä kevyempiä ja hauraampia. Lisäksi oljen tuhalla on lämmönsiirtopintoja likaava ja kanavistoja tukkeava vaikutus. Näistä johtuvat vaikeudet voidaan poistaa kattilan rakennetta muuttamalla. Olkipelletit tulee syöttää hiekkapatjan sisään. Tällä saavutetaan parempi polttoaineen loppuunpalaminen, koska pelletin viipymä hiekkapatjassa pitenee. Olkipellettipoltossa leijukerroskattila tulee varustaa lentotuhkan erottimella, esim. syklonilla, sekä lentotuhkan palautuksella, jolloin palamattoman polttoaineen osuus tuhkassa pienenee. Näiden lisälaitteiden tulee olla jäähdytettyjä, jolloin voidaan välttää lentotuhkan tarttumisen ja sulaminen kuumille pinnoille.

5.4 Olkipellettien kaasutuskokeet

Olkipelleteille suoritettiin alustavat kaasutuskokeet VTT:n polttoainejalostus- ja voitelutekniikan laboratorion vastavirtakaasuttimella. Kaasuttimen teho on noin 200 kW.

Olkipellettiä kaasutettiin kahdessa erillisessä koeajossa. Ensimmäisessä tarkoituksena oli testata onko oljen tuhkan sulamisesta haittaa kaasutusprosessille. Kokeet tehtiin kokonaan ilman höyrypuhallusta. Kaasutusvyöhykkeen lämpötila oli 900-1000 °C. Koeajon jälkeen todettiin, ettei tuhka ollut sulanut häiritsevästi arinalle. Arinalle tosin muodostui muutamia isompia sintrautuneita tuhkakappaleita, mutta ne olivat niin hauraita, että arinan liike pystyi murskaamaan ne. Perusteellisempi selvitys oljen tuhkan käyttäytymistä kiinteäkerroskaasuttimessa vaatisi pitempiaikaisempien yhtäjaksoisten kokeiden suorittamisen.

Toisessa olkipelletin kaasutuskokeessa tarkasteltiin varsinaisesti olkipelletin kaasuuntumista ja sen käyttäytymistä reaktorissa. Kokeessa käytettiin sekä rypsellettiä että kaurapellettiä. Analyysitiedot kummastakin pellettilaadusta on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Kaura- ja rypsellettien polttoainetiedot

	Rypselletti	Kaurapelletti
Kosteus (p-%)	11	12
Tuhkapitoisuus kuiva-aineessa (p-%)	5,0	5,9
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa (MJ/kg)	17,48	17,30

Olkipellettikokeet aloitettiin rypselletillä. Kun koeolosuhteet olivat tasaantuneet siirryttiin kaurapelletille, jolloin saatiin selville eri olkilaatujen mahdollinen vaikutus kaasun laatuun. Syntyneet eroavuudet olivat kuitenkin selitettävissä normaalilla hajonnalla.

Vaikka kumpikin olkipellettilaatu oli alkuaan tasalaatuista ja suhteellisen kiinteää, havaittiin pienenkin ylimääräisen kosteuden heikentävän pelletin laatua ja jopa kokonaan tekevän sen "puuromaiseksi" jauheeksi. Tästä syystä pidettiin mahdollisena, että myös kostea kaasuvirta saattaisi vaikuttaa vahingollisesti polttoaineeseen. Paine-eromittaus materiaalipatjan yli osoitti kuitenkin, ettei paine-ero kokeen kuluessa merkittävästi noussut. Tämä taas osoittaa sen, ettei hienoaineksen määrä polttoainepatjassa kokeen kuluessa juurikaan lisääntynyt. Olkipelletin kuivuminen ja pyrolysoituminen reaktorin kuivumis- ja pyrolyysivyöhykkeissä vaikuttaa nähtävästi edullisesti sen koossapysymiseen ja lujuuteen.

Kokeissa käytetyt ilmamäärät olivat 35, 60, ja 85 m³/h. Hörypuhallukselle käytettiin määriä 0, 9 ja 16 kg/h. Lämpötila reaktorin kaasutusvyöhykkeessä vaihteli välillä 850-1100 °C. Ilmapuhalluksen lisäämisellä aiheutetun tehonnoston ei havaittu muuttavan tuotekaasun laatua. Sen sijaan hörypuhalluksen lisääminen vaikutti kaasun laatuun samoin kuin muilla polttoaineilla. Tuotekaasun sisältämä tervamäärä oli jonkin verran pienempi kuin esimerkiksi puulla ja turpeella. Tervamäärä vaihteli välillä 30-55 g/m³ kuivaa kaasua ja määrä lisääntyi, kun hörypuhallusta lisättiin. Kaasun lämpöarvo oli suhteellisen korkea vaihdellen välillä 5,3-6,8 MJ/m³n kuivaa tervatonta tuotekaasua. Korkeahko lämpöarvo on seurausta kuivasta polttoaineesta ja korkeasta reaktiolämpötilasta. Taulukossa 13 on eri ajoarvoilla saatuja tuotekaasukoostumuksia.

Taulukko 13. Olkipellettien kaasutuksesta saatuja kaasukoostumuksia

ilma- määrä m ³ /h	höyry- määrä kg/h	kaasutus- lämpötila (°C)	CO	H ₂	CH ₂	CO ₂	Hu MJ/m ³	terva g/m ³
35	-	900	31	8	2	7	5,4	
35	-	1100	26	9	3	10	5,3	30
35	9	1100	26	15	2	10	5,8	51
60	9	1100	30	14	2	6	5,8	55
60	16	1000	28	20	2	11	6,5	
85	9	900	30	14	2	10	6,0	
85	16	900	29	20	3	10	6,8	

Kaasutuskokeiden perusteella olkipellettiä voidaan pitää lähes puun ja turpeen veroisena polttoaineena. Kaasutuskokeita tulisi kuitenkin vielä jatkaa selvittämällä jatkuvan käytön kannalta edullisin kaasutusvyöhykkeen lämpötila, tuhkan käyttäytyminen arinalla ja tuhkan sulamislämpötiloja kohottavien lisäaineiden vaikutus kaasuttimien toimintaan. Lisäksi olisi selvitettävä mureneminen polttoainekerroksessa, kun kaasutin ei ole jatkuvassa käytössä.

6. LISÄAINEIDEN VAIKUTUS OLJEN TUHKAN SULAMISLÄMPÖTILOIHIN

6.1 Tuhkan sulamisen vaikutus polttolaitteiden toimintaan

Kuten edellä on jo useasti todettu, on oljen tuhkan sulaminen alhaisissa lämpötiloissa eräs oljen polttoainekäyttöä eniten vaikeuttava tekijä. Oljen hyvä palaminen edellyttää, että hiilloksen lämpötila on 950...1100 °C ja

tulipesän lämpötila yli 850 °C. Oljen tuhka kuitenkin sulaa näissä lämpötiloissa (taulukko 6), jolloin sulanut tuhka vaikeuttaa arinoiden ja tuhkan poistolaitteiden toimintaa. Tuhkan sulamisen vuoksi olkea ei voida polttaa normaalirakenteisissa puupolttoon tarkoitetuissa ylä- ja alapalokattiloissa. Samoja vaikeuksia esiintyy usein eräitä turvelaatuja poltettaessa. Pienitehoisissa polttimissa olkea voidaan polttaa puristeina, mutta näissäkin oljen tuhkan sulaminen haittaa polttimen toimintaa.

Erikoisrakenteisissa polttimissa olkipellettien poltto onnistuu varsin hyvin kuten luvun 4 koetuloksista ilmenee. Pyrittäessä oljella joko paali- tai puristemuodossa hyvään palamiseen ja jatkuvaan, suoraan lämmitykseen soveltuvaan toimintaan, pitää polttolaitteet varustaa liikkuvin erikoisarinoin ja tuhkanpoistolaittein, jotka pystyvät käsittelemään sulamisen jälkeen uudelleen jähmettyntä oljen tuhkaa.

Tavallisten polttolaitteiden huono toiminta oljella on ollut eräs oljen polttoainekäytön yleistymistä estävä tekijä. Tätä ongelmaa ei poisteta myöskään hyvillä erityisesti olkipolttoon tarkoitetuilla polttolaitteilla, koska nämä ovat aina kalliimpia kuin muilla kotimaisilla polttoaineilla hyvin toimivat laitteistot eikä niitä tämän vuoksi kannata hankkia.

Jos oljen tuhkan sulamislämpötilat saadaan lisäaineiden avulla kohotettua riittävän edullisesti kyllin korkealle, paranevat oljen käytön yleistymisen edellytykset, koska olki brikettinä ja pelletteinä sopisi tällöin jo käytössä olevien ylä- ja alapalokattiloiden sekä polttimien polttoaineeksi.

Tämän lisäksi sulamislämpötilojen kohoaminen yksinkertaistaisi oljen käyttöä kaasutuslaitoksissa ja leijukeroskattiloiden toimivuus paranisi. Kokonaisuudessaan olkipolttoaineen käyttömahdollisuuksien lisääntyminen parantaisi myös taloudellisesti kannattavan briketti- ja pellettituotannon aloittamisen edellytyksiä.

6.2 Oljen tuhka

Viljan olki sisältää tuhkaa 4...7 %. Eniten tuhkaa on vehnän oljessa, 6...7%. Muilla viljalaaduilla tuhkapitoisuus on yleensä 4...5 %. Eri olkilajien tuhkan sulaminen tapahtuu eri lämpötiloissa. Viljalajin lisäksi tuhkan sulamisominaisuuksiin vaikuttaa esim. viljalajike, kasvumaaperä ja lannoitus. Oljen tuhkan sulamislämpötilat eivät ole viljalajikohtaisestikaan vakioita.

Taulukossa 14 on esitetty eri viljalajien oljen tuhkasta mitattuja koostumuksia. Siitä nähdään, että eri olkilajien tuhkat poikkeavat eniten SiO_2 -, K_2O - ja CaO -pitoisuuksien kohdalla. Näistä aineista SiO_2 :lla on sulamislämpötiloja kohottava ja K_2O :lla ja CaO :lla niitä alentava vaikutus. Tämä vaikutus näkyy selvästi verrattaessa taulukoita 6 ja 14 keskenään. Runsaasti SiO_2 :ta sisältävän vehnän tuhkan sulamislämpötilat ovat selvästi korkeampia kuin muilla viljalajeilla. Tämän vuoksi vehnäpellettiä voidaan polttaa tyydyttävästi turpeelle ja hakkeelle tarkoitetuissa polttimissa. Muita olkilajeja käytettäessä tulee polttolaitteiden olla erikoisrakenteisia.

Taulukko 14. Oljen tuhkan koostumukset

Osa-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

6.3 Tuhkan sulamiskäyttäytymisen arviointi

Kiinteän polttoaineen tuhkan sulamisominaisuuksia kuvataan esim. K_T -arvolla, joka on

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

Sulamislämpötilat ovat sitä korkeampia, mitä suurempi K_T -arvo on. K_T -luvun kaavasta nähdään, että SiO₂:n lisäksi myös alumiinioksidilla, Al₂O₃, on sulamislämpötiloja kohottava vaikutus. Fe₂O₃, MgO ja CaO vaikuttavat sulamislämpötiloja alentavasti.

K_T -luku ei kuitenkaan ota huomioon kaikkia tuhkan sulamiseen vaikuttavia aineosia. Näitä ovat alkalimetallien oksidit K₂O ja Na₂O, jotka alentavat tuhkan sulamislämpötiloja.

Tuhkan sulamislämpötilojen vaikutusta polttolaitteiden ja kattiloiden toimintaan on yleensä selvitetty vain suurien kivihiiltä ja turvetta polttavien kattilalaitosten yhteydessä. Varsinkin kivihiilelle on kehitetty useita

erilaisia tuhkan ominaisuuksiin perustuvia kuonaamisvaikutuksen arviointimenetelmiä, sillä mitä alemmissä lämpötiloissa tuhka pehmenee ja sulaa, sitä kuonaavampaa ja lämmönsiirtopintoja likaavampaa tuhka yleensä on. Kivihiilellä kuonaamistaipumuksia voidaan arvioida tuhkan ominaisuuksien perusteella seuraavien tekijöiden avulla /10/: Tuhkan viskositeetti, rajaviskositeettia vastaava lämpötila, SiO₂ - suhde, emäs/happo -suhdeluku, kuonaamisindeksi, alkaaliluku, likaantumiskerroin.

Oljen tuhkan kuonaamisominaisuutta voidaan parhaiten arvioida emäs/happo-suhdeluvulla ja alkaaliluvulla, jotka ottavat huomioon myös alkalimetallien oksidien vaikutuksen.

a) Emäs/happo -suhdeluku B/A

$$\frac{B}{A} = \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2}$$

Eri olkilajeilla emäs/happo-suhdeluku on:

	B/A
vehnä	0,21
ruis	0,49
ohra	1,10
kaura	1,48

Kuonaantuminen on sitä vähäisempää mitä pienempi arvo B/A on. Kuivalla hiilipölyllä arvon tulee olla alle 0,5. Tämän rajan alapuolella ovat siis vehnä ja ruis.

b) Alkaaliluku A

$$A = (\text{Na}_2\text{O} + 0,659 \cdot \text{K}_2\text{O}) \times \frac{\text{Tuhkapitoisuus}}{100}$$

Alkaliluvut eri olkilajeilla ovat:

	A
vehnä	0,30
ruis	0,58
ohra	1,11
Kaura	1,32

Arvosteluasteikkona kivihiilelle käytetään:

Likaantuminen	Alkaliluku A
vähäinen	< 0,3
keskimääräinen	0,3...0,45
suuri	0,45...0,6
erittäin suuri	0,6 >

Tämän arvosteluasteikon mukaan vehnän kuonaamisvaikutus on vähäinen, rukiin suuri ja ohran ja kauran erittäin suuri.

Tuhkan sulakäyttämistä voidaan tarkastella myös emäksisyystekijän β avulla, joka määritellään /5/

$$\beta = \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \quad [\%]$$

Kuvassa 16 on esitetty oljen tuhkan sulamislämpötilojen riippuvuus emäksisyystekijästä.

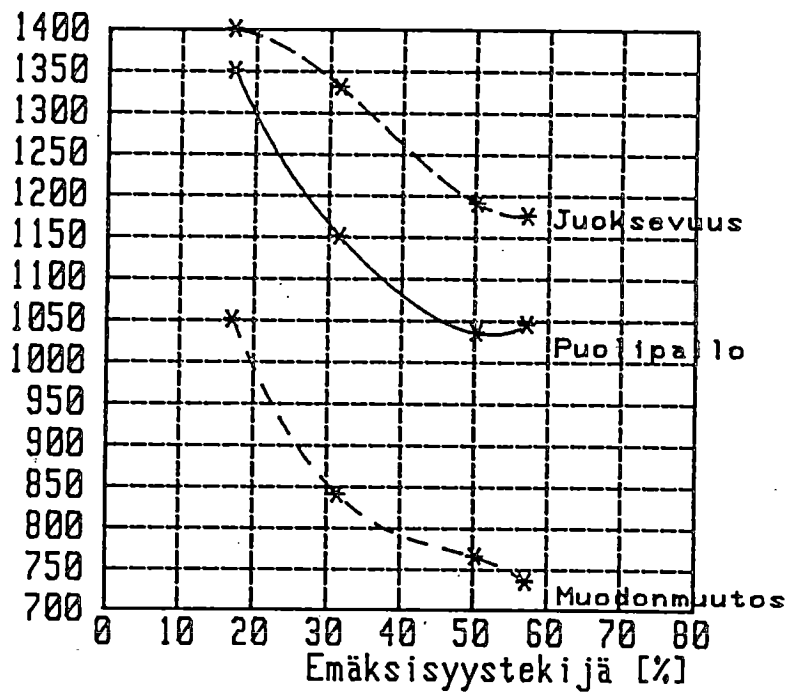
6.4 Tuhkan sulamislämpötilojen kohottaminen

6.4.1 Menetelmät

Kuvan 16 mukaan tuhkan sulamislämpötilat alenevat, kun emäksisyystekijä kasvaa. Rukiin, ohran ja kauran oljen tuhkan alhaisia sulamislämpötiloja voitaisiin periaat-

teessa kohottaa sekoittamalla niiden sekaan ennen puristusvaihetta vehnän olkea. Tällöin emäksisyystekijä pienenee ja sulamislämpötilat kohoaisivat. Käytännössä sekoittaminen on kuitenkin vaikeaa, koska tämä vaatisi olkisilpun valmistamisen erikseen tai kahdella eri silpurilla. Toisaalta vehnää lisäämällä ei vielä saavuteta riittävää vaikutusta tuhkan sulamislämpötiloihin.

Lämpötila [°C]



Kuva 16. Oljen tuhkan sulamislämpötilojen riippuvuus emäksisyystekijästä β .

Käytännössä helpommin toteutettava keino kohottaa sulamislämpötiloja on lisätä olkisilpun sekaan ennen puristusvaihetta mieluummin jauhomaista lisäainetta, joka kohottaa tuhkan sulamislämpötiloja. Tällaiset lisäaineet lisäävät polttoaineen tuhkapitoisuutta ja samalla tietysti alentavat sen lämpöarvoa. Lisäaineiden aiheuttama

polttoaineen energiahinnan nousu tulisi voida korvata kustannussäästöillä, jotka saavutetaan, kun käytetään yksinkertaisempia ja halvempia poltto- ja tuhkanpoistolaitteita.

Lisäaineelta vaadittavia ominaisuuksia ovat:

- halpa: pieni kustannusvaikutus
- helposti sekoitettavissa olkisirpän sekaan: yksinkertaiset syöttölaitteet, tarkka annostelu
- tehokas: käytettävät lisäainemäärät jäävät pieniksi, tuhkapitoisuus ei kasva liian suureksi, pieni kustannusvaikutus
- pehmeys: puristinlaitteiden kulumisen vähäistä

6.4.2 Kokeissa käytetyt lisäaineet

Kuten edellä esitetyistä K_T -luvun ja emäs/happo-suhdeluvun kaavoista voidaan havaita ovat sulamislämpötiloja kohottavia aineita SiO_2 , Al_2O_3 ja TiO_2 . Lisäainekokeisiin on pyritty löytämään sellaisia markkinoilla olevia jauhomaisia aineita, jotka sisältävät näitä aineita. Taulukossa 15 on esitetty käytettyjen lisäaineiden koostumus.

Taulukon 15 arvot on kauppalaatujen osalta saatu tuoteselostuksista. Tuhkan osalta luvut ovat kyseisen kivihiili-laadun tuhkasta Martinlaakson voimalaitoksella mitattuja arvoja. Kuten taulukosta 15 havaitaan, sisältävät käytetyt lisäaineet aina myös tuhkan sulamislämpötiloja alentavia aineita.

Taulukko 15. Kokeissa käytettyjen lisäaineiden koostumuksia. Aineosuudet ilmoitettu painoprosentteina

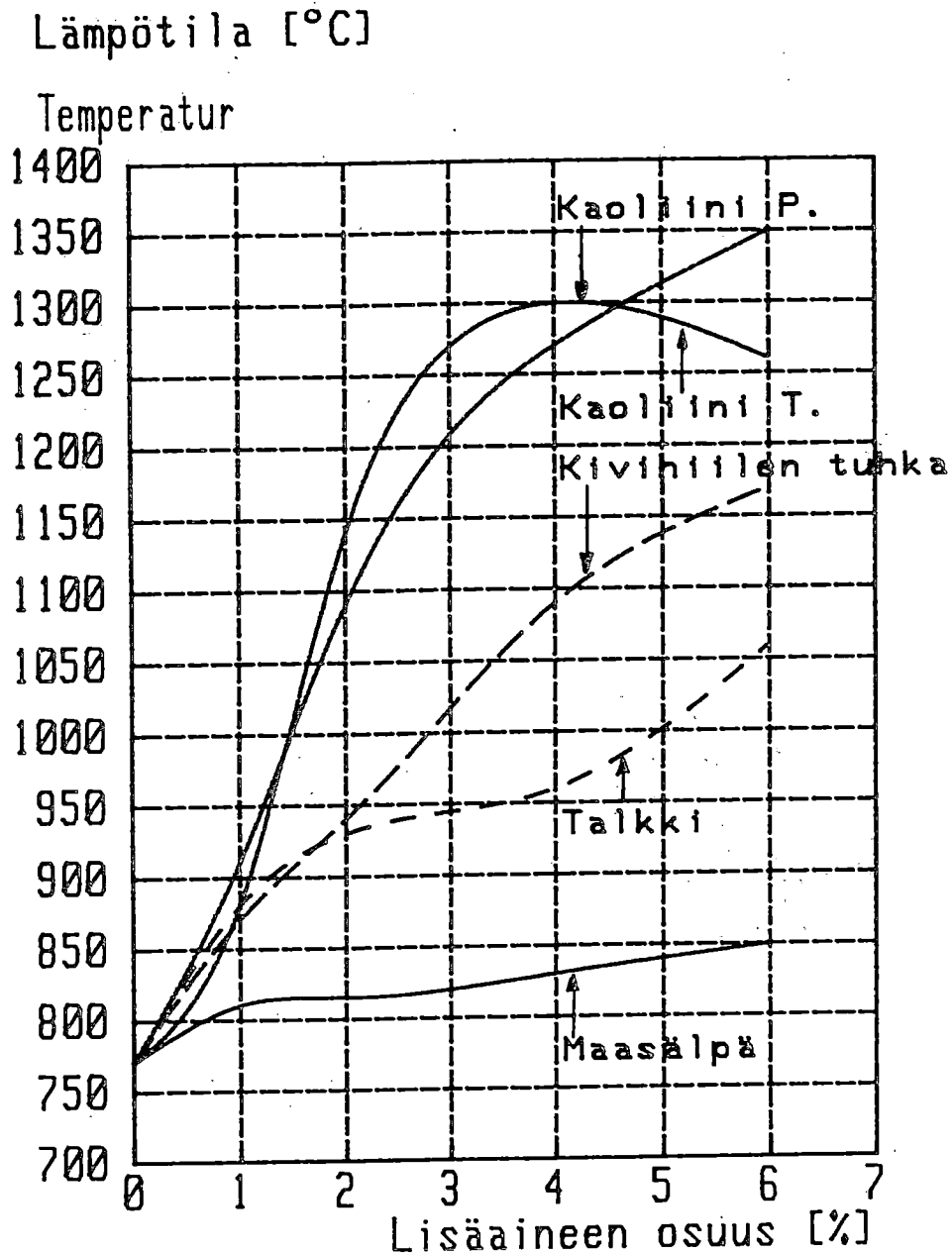
Osa- aine	Kaolii- ni P	Kaolii- ni T	Keraaminen maasälpä	Talkki	Kivihiilen tuhka
SiO ₂	47,8	48,6	67...69	59	44...46
Al ₂ O ₃	37,0	36,0	17,8...18,3	0,4	22...23
Fe ₂ O ₃	0,6	0,82	0,12...0,18	0,1	9,5...10,5
CaO	0,04	0,06	0,5...0,8	0,6	-
MgO	0,16	0,25	-	30	2,8...3,2
FeO	-	-	-	2,2	-
SO ₃	-	-	-	-	1,0...1,5
K ₂ O	1,10	2,12	7,5...8,0	-	-
Na ₂ O	0,10	0,10	4,5...5,0	-	-
TiO ₂	0,03	0,05	-	-	-

6.4.3 Koetulokset

Lisäaineiden vaikutus oljen tuhkan sulamiseen on selvitetty koesarjalla, jossa jauhettuun kauran olkeen on sekoitettu 1 %, 2 %, 4 % ja 6 % ko. lisäainetta. Tämän jälkeen olki on poltettu ja syntyneestä tuhkasta on määritetty sulamisominaisuudet DIN 51730 mukaan.

Kuvassa 17 on esitetty lisäaineiden vaikutus tuhkan muodonmuutoslämpötilaan ja kuvassa 18 tuhkan puolipallolämpötilaan. "Puhtaan" kauran sulamislämpötilat olivat seuraavat:

muodonmuutoslämpötila	770 °C
puolipallolämpötila	860 °C
juoksevuuslämpötila	1050 °C

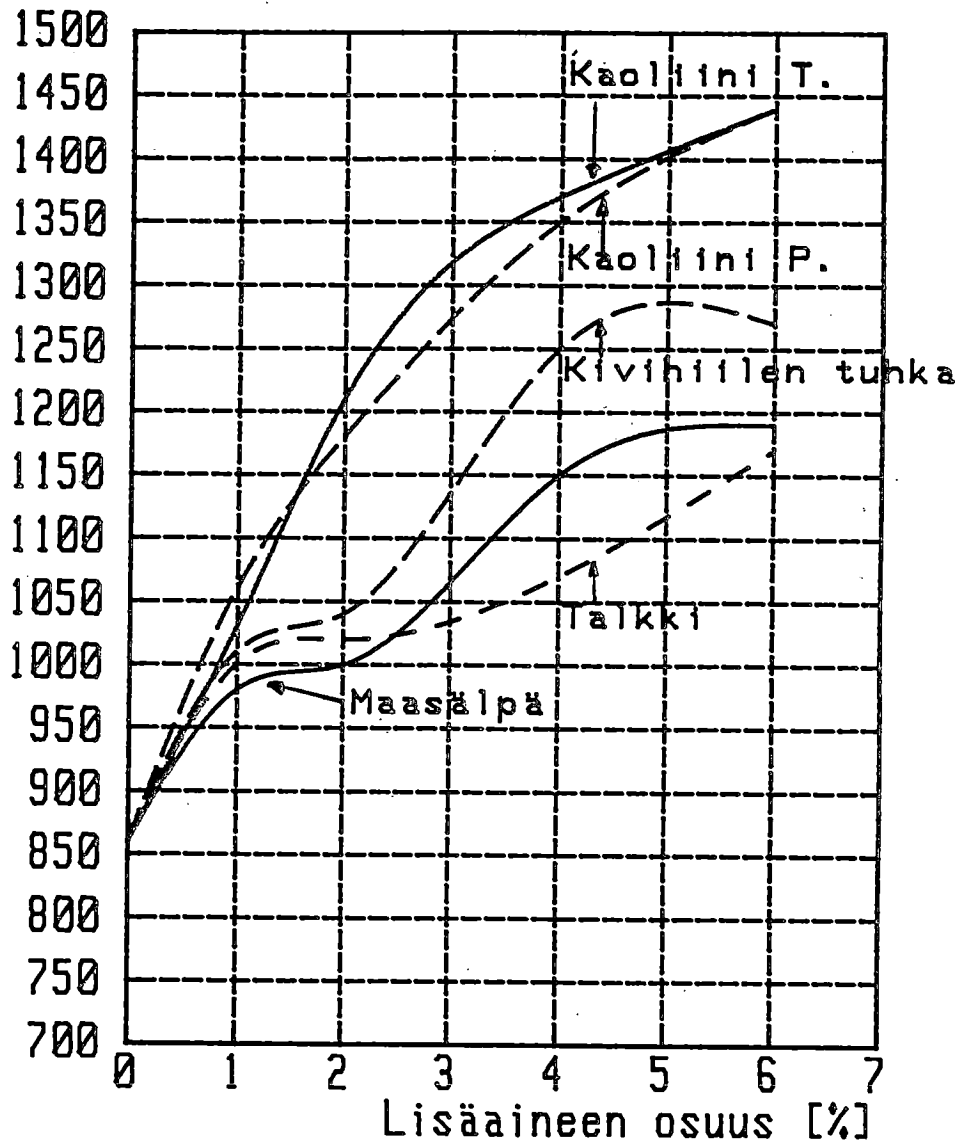


Kuva 17.

Lisäaineiden vaikutus kauran oljen tuhkan muodonmuutoslämpötilaan.

Kuvasta 17 nähdään, että maasälvällä ei ole juuri min-käänlaista vaikutusta kauran oljen tuhkan muodonmuutoslämpötilaan. Talkin ja kivihiilen tuhkan vaikutus on samaa suuruusluokkaa alle 2 %:n lisäainemäärillä. Tätä suuremmilla lisäainemäärillä kivihiilen tuhkalla on selvästi voimakkaampi vaikutus muodonmuutoslämpötiloihin.

Lämpötila [°C]



Kuva 18. Lisäaineiden vaikutus kauran tuhkan puolipallolämpötilaan.

Talkilla ei päästä alle 6 % lisäysmäärillä 1100 °C muodonmuutoslämpötilaan. Kivihiilen tuhkalla tämä lämpötila saavutetaan n. 4 %:n lisäainemäärällä. Kaoliinin vaikutuksen voimakkuus tulee selvimmän esille yli 1 %:n lisäainemäärillä ja muodonmuutoslämpötilaan 1100 °C päästään, kun lisäainemäärä on n. 2 %.

Puolipallolämpötilojen määrittämisen tarkkuus tuhkanäytteestä on muodonmuutoslämpötiloja parempi. Kuvassa 18 esitetty lisäaineiden vaikutus puolipallolämpötiloihin tukee kuitenkin muodonmuutoslämpötilojen perusteella saatua eri lisäaineiden tehokkuusjärjestystä. Ainoat erot ovat maasälvän ja talkin välillä yli 3 %:n lisäysmäärillä. Tämä johtunee maasälvän runsaista K_2O - ja Na_2O -pitoisuuksista, jotka aiheuttavat muodonmuutoksen alkamisen alhaisemmissa lämpötiloissa.

6.4.4 Lisäaineiden käyttökelpoisuus

Maasälvän vaikutus tuhkan muodonmuutokslämpötilaan on niin vähäinen, ettei sen käyttö ole mielekäästä. Lisäksi maasälpä on käytetyistä aineista kalleinta ja kovinta. Maasälvän hinta on n. 580 mk/t ja kovuus Mohsin kovuusasteikon mukaan 6,5...7. (Mohsin kovuusasteikko kiillostusaineille, 1...10) /6/.

Talkin kovuus on Mohsin asteikon mukaan 1, joten se soveltuisi sinänsä hyvin lisäaineksi. Pyrittäessä yli 1100 °C:een muodonmuutos lämpötiloihin olisi talkkia lisättävä n. 7 %. Talkin hinta on 500 mk/t, joten polttoaineeseen sen kustannusvaikutus on 35 mk/t. Olkipelletin tuhkapitoisuus olisi tällöin n. 12 %.

Kivihiilen tuhkalla ei ole varsinaista markkinahintaa. Suurin osa kivihiilen tuhkan hinnasta muodostuu sen kuljetuskustannuksista, jotka ovat n. 30 mk/t (kuljetusestäisyys 150 km). Tuhkan raaka-ainehinnalla 20 mk/t on kokonaiskustannus n. 50 mk/t. Kauran olkeen sekoitettuna tuhkaa tulisi lisätä 4...5 %, mikä lisäisi polttoaineen hintaa vain 2...2,5 mk/t. Kivihiilen tuhkan kovuusarvoa ei ole tiedossa.

Kaoliini on periaatteessa rapautunutta maasälpää, jota tuodaan maahamme Englannista. Syksyllä 1984 sitä löydettiin myös Suomesta. Merkittävimmät erot maasälpään verrattuna ovat pehmeys ja alhaisempi K_2O - ja Na_2O -pitoisuudet. Kaoliinin kovuus on Mohsin asteikon mukaan 1. Kaoliinia käytetään paperi- ja keramiikkateollisuudessa pinnoite- ja täyteaineena sekä hioma-aineena kiilloitus-tarkoituksiin. Pinnoituslaatuja, kuvissa 17 ja 18 kaoliini P, hinnaksi käyttöpaikalla (kuljetusetäisyys 150 km) tulee eri pinnoitelaaduilla 900...1100 mk/t. Lisäainemäärän ollessa 2 % tulee olkipelletin hintaan lisäys 18...22 mk/t. Karkeampirakeiset täytelaadut, kaoliini T, ovat pinnoituslaatuja halvempia. Täytelaatujenkin raekoko on alle 20 μm , joten ne soveltuvat hyvin olkipelletin lisäaineeksi. Täytelaatujen hinta käyttöpaikalla on 360...460 mk/t. Polttoaineen hinta kohoaa 2 %:n lisäysmäärällä täytekaoliinilaatuja käytettäessä 7...10 mk/t.

Jos olkipelletin hinnaksi oletetaan 400 mk/t ja lämpöarvo on 4,0 MWh/t, on sen energiahinta 100 mk/MWh. Jos kaoliinia lisätään 2 %, tulee polttoaineen hinnaksi 407...410 mk/t ja lämpöarvoksi 3,9 MWh/t. Olkipelletin energiahinta on tällöin 104,4...105,1 mk/MWh eli 5 % alkuperäistä suurempi. Jos olkipellettiin lisätään 4 % kivihiilen tuhkaa tulee polttoaineen hinnaksi 402 mk/t. Olkipelletin lämpöarvo on tällöin 3,81 MWh/t ja energiahinta 105,5 mk/MWh.

Kaoliinin ja kivihiilen tuhkan lisäysten kustannusvaikutukset olkipelletin energiahintaan ovat siis samaa suuruusluokkaa.

Kaoliini-olkipelletiteillä on laboratorio-olosuhteissa tehty alustavia polttokokeita, jotka perustuvat lähinnä tuhkan käyttäytymisen silmämääräiseen tarkasteluun poltinpäässä. Pelikko 10 ja TP 30 -polttimilla tehdyissä

koeajoissa on käytetty kaurapellettiä, johon on lisätty n. 7 % pinnoitekaoliinia (Lisäainemäärään tarvetta ei tiedetty pellettien valmistushetkellä). Näin suurella kaoliinilisäyksellä ei esiinny lainkaan tuhkan sulamista poltinpäässä. Tuhka poistuu arinalta sulamattomana, säilyttäen "pellettimuotonsa".

Pelikko 10 -polttimella tehdyssä yhdessä polttokokeessa saatiin kaoliinipelleteillä hyötysuhteeksi 83,2 %, kun kattilan kuormitusteho oli 10,3 kW. Vastaavalla teholla puhdasta kaurapellettiä poltettaessa laitteiston hyötysuhde on 79 %. Kaoliinilisäyksen vaikutuksesta polttoaineen lämpöarvo on alhaisempi. Polttoaineen kulutus molemmilla pellettilaaduilla oli sama 3,3 kg/h.

6.4.6 Yhteenveto

Oljen tuhkan sulamislämpötilojen kohottamiseen käytetyistä lisäaineista parhaimmat tulokset sekä vaikutukseltaan että kustannuksiltaan saatiin kaoliinilla ja kivihiilen tuhalla. Kaoliinin vaikutus on selvästi voimakkaampaa kuin tuhkan, mutta tuhkaa käyttämällä päästään pienempiin lisäainekustannuksiin. Valmiiden tuotteiden energiahinnat ovat samaa suuruusluokkaa. Kaoliinia käyttämällä saadaan kauran oljen tuhkan muodonmuutoslämpötila kohoamaan 770 °C:sta 1100 °C:een 2 %:n lisäainemäärällä. Vastaavaan vaikutukseen päästään kivihiilen tuhalla, kun lisäys on 4...5 %.

Kivihiilen tuhalla lisäaineen kustannusvaikutus polttoainetonnin on 2...2,5 mk. Kaoliinilla kustannusvaikutus on 7...10 mk/t. Ohralla vaadittavat lisäainemäärät ovat samaa suuruusluokkaa kuin kauralla, rukiilla tarvittavat lisäainemäärät ovat hieman pienempiä. Mikäli lisäaineiden vaikutus vehnän oljen tuhkan sulamislämpötiloihin on samanlaista kuin kauran oljen tuhkaan tarvitaan 1100 °C muodonmuutoslämpötilan saavuttamiseen

kivihiilen tuhkaa tai kaoliinia n. 0,5 % polttoaineen kuiva-ainemäärästä. Tutkimuksessa ei ole selvitetty puristusprosessin mahdollista vaikutusta lisäaineiden tehokkuuteen.

Polttimissa hiilloksen lämpötila on 950...1100 °C. Mikäli hiilloksen lämpötila on korkeampi, tulee lisäaineen määrää lisätä. Sulamislämpötilojen kohotustarve ei kuitenkaan vielä ole tarkasti selvillä, sillä esim. polttimissa voi tuhka hieman sulaa ilman, että se haittaa polttimen toimintaa. Tällä alueella olisi selvitetävä kuinka korkealle tuhkan sulamislämpötilat tulee erilaisilla polttolaitteilla kohottaa, jotta tuhkan sulaminen ei haittaa polttolaitteen toimintaa.

Lisäaineiden käytön vaikutuksesta saatuja tuloksia voidaan pitää hyvinä, koska niiden aiheuttama kustannuslisäys polttoaineen hintaan on varsin pieni.

Kaoliinin ja kivihiilen tuhka voidaan lisätä ruuvisyötöisenä olkisilpun sekaan ja ainakin kaoliini on niin pehmeää, ettei se aiheuta puristimien lisääntyvää kulumista.

Lisäaineiden käyttö suurentaa polttoaineen tuhkapitoisuutta ja alentaa sen lämpöarvoa samalla, kun polttoaineen energiahinta kohoaa. Toisaalta lisäaineiden käytöllä voitaneen poistaa oljen tuhkan sulamisen aiheuttamat polton vaikeudet, jolloin polttolaitteet ja tuhkanpoistolaitteet yksinkertaistuvat ja halpenevat.

Laitteistojen yksinkertaistuminen lisää niiden toiminnan luotettavuutta. Suurin etu lisäaineiden käytöstä saavutetaan poltettaessa olkea teholtaan yli 100 kW:n laitteistoilla, sillä sulanutta tuhkaa siirtävien arinoiden käyttö on hankalampaa suurissa polttimissa.

7. OLKIPELLETTIEN TUOTANTOKUSTANNUKSET

7.1 Oljen tuotantokustannukset

7.1.1 Oljen tuotantokustannusten laskentaperusteet

Oljen tuotantokustannukset on laskettu laitteiden ja tarvikkeiden osalta kesäkuun 1984 hintatason mukaan. Traktorityön ja ulkopuolisen työvoiman kustannuslaskelmat perustuvat Työtehoseura ry:n tekemään laskentamalliin /7/ siten, että traktorin osalta oljen korjauskustannuksiin on huomioitu vain muuttuvat kustannukset (polttoaine, voiteluaine ja kunnossapitokustannukset). Tapauksissa, joissa oljen korjuussa käytetään vieraita koneita, on näiden koneiden (traktori, paalain ym.) kustannukset laskettu Työtehoseuran laatimien vuoden 1984 maatalouskoneiden vuokrasuositusten mukaan /8/. Oljen korjuun vaatimat ihmis- ja konetyön menekit on perinteisen pienpaalikorjuun ja pyöröpaalauksen osalta laskettu Työtehoseuran tekemän selvityksen "Työnkäyttö kotoisen polttoaineen korjuussa" mukaan /9/. Perinteisellä pienpaalikorjuulla tarkoitetaan korjuuketjua, jossa paalien siirto sekä pellolta perävaunuun että perävaunusta varastoon tapahtuu käsin. Niputusmenetelmän työmenekit on saatu Työtehoseuran tekemästä tutkimuksesta "Oljen korjuu ja käyttö maatiloilla" /2/. Oman työn tuntipalkkana on käytetty 19 mk/h.

Oljen korjuukustannuksia laskettaessa on huomioitu seuraavat työvaiheet:

1. Oljen pöyhminen karholla
2. Paalaus
3. Paalien keruu pellolta
4. Paalien kuljetus välivarastoon
5. Varastointi
6. Keinokuivaus (vain osalle olkea)
7. Kuljetus pelletointiin

Maatiloilla olevien käyttökelpoisten varastotilojen on oletettu riittävän 20 tonnin varastointiin, jolloin varastointikustannuksia syntyy vain tätä suuremmilla vuotuisilla korjuumäärillä. Tällöin kovapaalit varastoidaan peitteellä katettuun ulkovarastoon ja pyöröpaalit ulkovarastoon ilman katetta, jolloin oljen hävikki on 30 %.

Koneellista kuivausta tarvitaan korjuumääristä riippuen 5...10 vuoden välein ja tällöinkin vain osalle olkea. Kuivauskustannukset on tämän vuoksi laskettu 10 vuoden jaksolta ja kohdistettu koko tänä aikana korjattavalle olkimäärälle.

Kuljetuskustannuksissa on huomioitu, että korjuumäärien kasvaminen pidentää myös keskimääräisiä kuljetusmatkoja.

Oljen tuotantokustannuksia laskettaessa on käytetty viittä eri laskentaperustetta, jotka eroavat toisistaan paalaimen omistussuhteen ja käyttötarkoituksen sekä korjuumenetelmän osalta:

1. Vuokrakonepaalaus

Oljen paalausksessa käytetään vuokrattua traktoria ja paalainta sekä vierasta työvoimaa. Paalien korjuu, varastointi ja kuljetukset suoritetaan omalla olemassa olevalla maatilojen vakiokalustoon kuuluvalla laitteistolla ja omalla työvoimalla.

2. Olemassa olevat laitteet

Olemassa olevat korjuulaitteet on hankittu aikaisemmin heinän ja rehuna käytettävän oljen korjuuseen, jolloin oljen korjuussa hyödynnetään aikaisempaa investointia ja näitä kustannuksia ei huomioida oljen osalle. Kun lisäksi jätetään oman työn palkkakustannukset huomioimatta saadaan korjuun minimihinta.

3. Uusi paalain, jolla korjataan vain olkea

Uuden paalaimen kaikki investointikustannukset kohdistuvat oljen osalle. Muu korjuutyö tapahtuu olemassa olevalla kalustolla ja omalla työvoimalla.

4. Uusi paalain, jolla korjataan olkea ja heinää

Tilalle hankitaan uusi paalain, jota käytetään sekä heinän että oljen paalaukseen. Vuosittain paalattavat heinä ja olkimäärät ovat yhtä suuria, jolloin vain puolet paalaimen investointikustannuksista kohdistuu oljen osalle. Muu korjuutyö tapahtuu olemassa olevalla kalustolla ja omalla työvoimalla.

5. Urakkapaalaus

Olki korjataan joko pyöröpaalaimella tai niputusmenetelmää käyttäen. Korjuukaluston pääomakustannukset kohdistetaan oljelle ja traktorityötunnin hinnassa huomioidaan myös pääomakustannukset. Ihmistyön palkkakustannuksissa huomioidaan sosiaaliturvamaksut.

Niputusmenetelmässä kovapaalit pinotaan paalaimen perässä vedettävään niputusreen päälle 32...40 paalin nippuihin. Pellolle jätetyt niput kerätään etu- ja/tai takakuormaimella varustetulla traktorilla joko perävaunuun tai suoraan pellon laidalla sijaitsevaan ulko-varastoon. Työn säästö tavalliseen korjuuketjuun verrattuna 30...50 %. Niputusmenetelmällä voidaan erityisesti vähentää työvoiman tarvetta, ja samalla vähenee myös traktorityön määrä.

Korjuukustannusten laskennassa käytetyt tarkemmat lähtöarvot on esitetty liitteessä 5.

Liitteen 5 taulukoissa on esitetty eri korjuuvaihtoehtojen kustannukset. Eri korjuuvaihtoehtojen kohdalla on ilmoitettu, minkälaista oman työn hintaa laskelmissa on käytetty.

TraktORITYÖN osalta muuttuvat kustannukset ovat 17,5 mk/h. Kohdassa 6.1.5 "Urakkapaalaus" traktORITYÖN hintana on käytetty 50 mk/h.

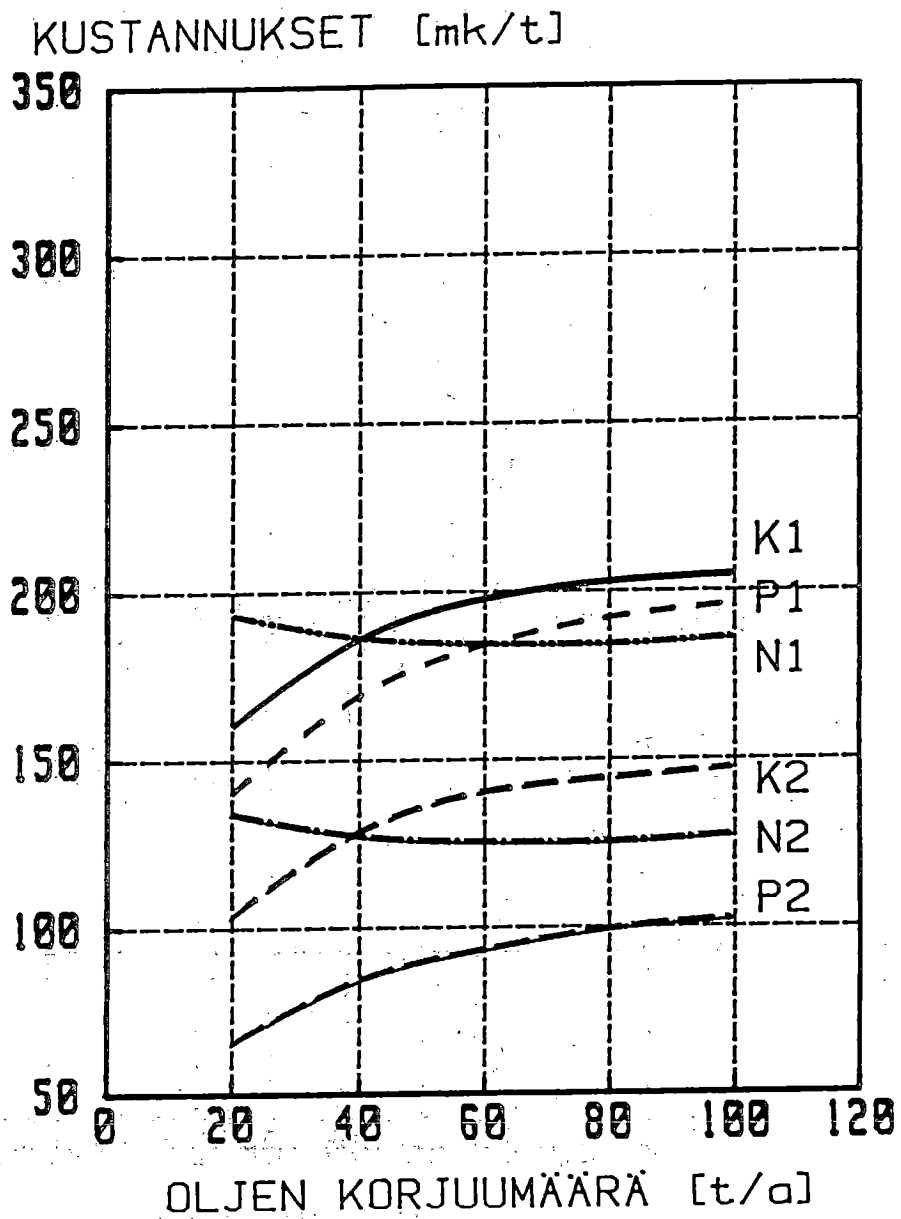
7.1.2 Tuotantokustannukset

Oljen tuotantokustannuksiin vaikuttaa eniten korjuussa käytettävien koneiden pääomakustannukset ja vuotuinen korjuumäärä. Huomattava merkitys on myös korjuutyön muuttuvilla kustannuksilla eli minkä arvoiseksi oman työn ja olemassa olevien korjuussa käytettävien laitteiden kustannukset lasketaan.

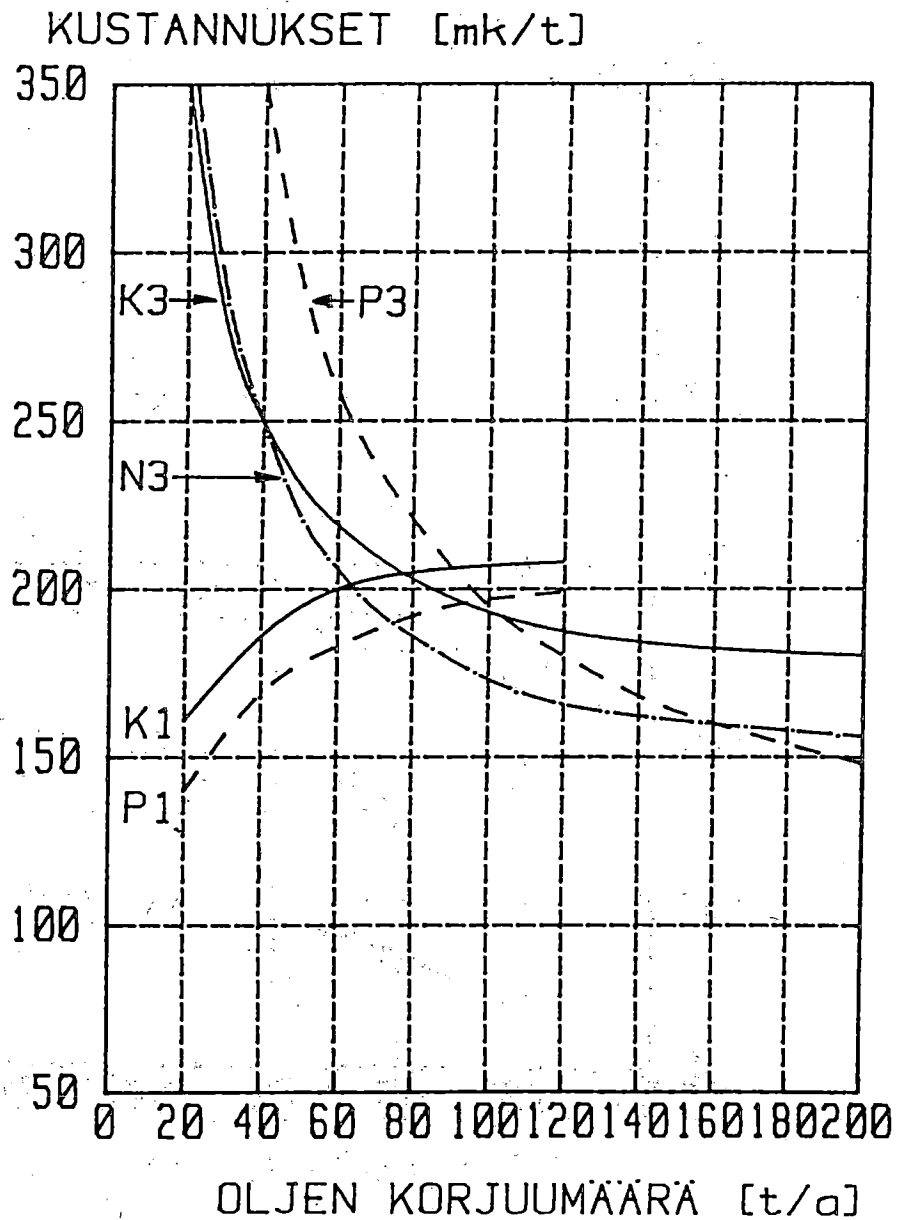
Kuvissa 19...21 on esitetty pelletöitävän oljen tuotantokustannukset eri korjuumenetelmiä käytettäessä. Omaan käyttöön tulevan oljen korjuutyön hintana on käytetty 19 mk/h ja tilan ulkopuoliseen käyttöön tulevan oljen korjuutyön hintana 32 mk/h.

Oman tilan käyttöön tulevan oljen kannalta tarkasteltuna on perinteinen käsityövaltainen korjuuketju pyöröpaalusta edullisempaa, kun vuotuiset korjuumäärät ovat alle 100 t/v.

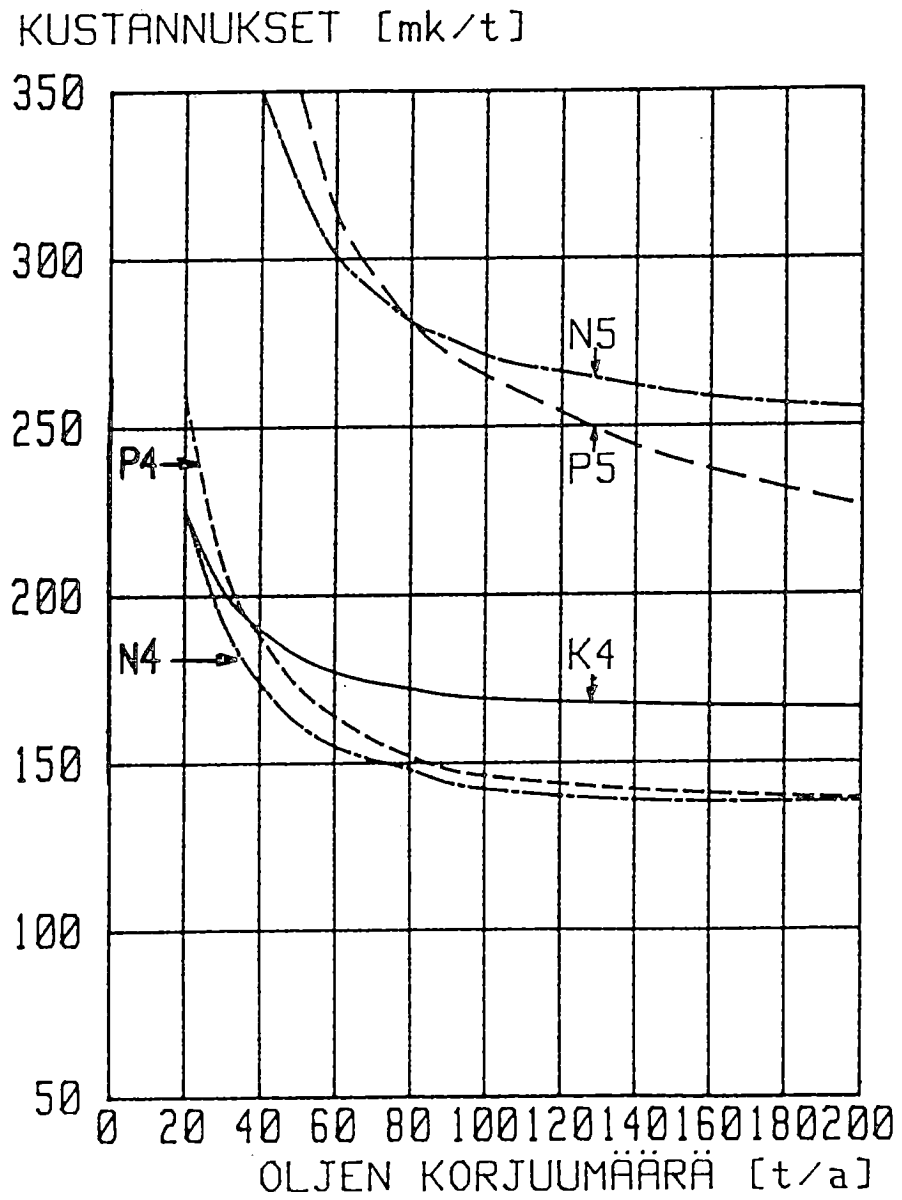
Niputusmenetelmän käyttö on pyöröpaalusta edullisempaa korjuumäärien ollessa alle 160 t/v. Niputusmenetelmän käyttö kannattaa perinteiseen korjuuketjuun verrattuna korjuumäärien ollessa yli 40 t/v. Mikäli samalla korjuuketjulla korjataan oljen ohella myös heinää, voidaan kokonaismäärien osalta raja-arvoina pitää samoja korjuumääriä, vaikka heinän korjuukustannukset hieman poikkeaa-



Kuva 19. Oljen tuotantokustannukset, 1 = vuokrakonepaalaus, 2 = olemassa olevat korjuulaitteet, K = kovapaalaus, P = pyöröpaalaus, N = niputusmenetelmä.



Kuva 20. Oljen tuotantokustannukset, 1 = vuokrakonepää-
laus, 3 = oma paalain, jolla korjataan vain
olkea. K = kovapaalaus, P = pyöröpaalaus, N =
niputusmenetelmä.



Kuva 21. Oljen tuotantokustannukset, 4 = oma paalain, jolla korjataan olkea ja heinää, 5 = urakka-paalaus, K = kovapaalaus, P = pyöröpaalaus, N = niputusmenetelmä.

vatkin oljen korjuukustannuksista. Mikäli palkkakustannukset ovat korkeammat tai traktorityössä käytetään muuttuvia kustannuksia korkeampaa tuntihintaa tulee niputusmenetelmä edullisemmaksi jo pienemmillä vuotuisilla korjuumäärillä.

Niputusmenetelmän käyttö pienentää korjuuseen kuluvaan aikaa ja tarvittavan työvoiman määrää sekä helpottaa korjuutyövaiheiden ajoittamista siinä määrin, että menetelmä kannattaa usein ottaa käyttöön kannattavuusrajaa pienemmillä korjuumäärillä.

Vuokrakoneella paalattaessa pyöröpaalaus on aina kovapaalausta edullisempaa normaalia korjuuketjua käytettäessä, kun oman työn palkka on 19 mk/h. Niputusmenetelmän käyttö pyöröpaalaukseen verrattuna kannattaa vain yli 60 t vuotuisella korjuumäärällä. Kovapaalaukseen verrattuna niputusmenetelmää kannattaa käyttää, kun vuotuinen korjuumäärä on yli 40 t.

Oma kovapaalain kannattaa hankkia vasta yli 80 tonnin ja pyöröpaalain yli 100 tonnin vuotuisilla korjuumäärillä. Niputusmenetelmää käytettäessä oma paalain kannattaa hankkia kuitenkin jo yli 60 tonnin vuotuisilla korjuumäärillä.

Paalainten tehokas käyttö, joko vuokrauksen, yhteiskäytön tai riittävän suuren yksittäisen korjuutarpeen muodossa, on oljen korjuun ja sen myötä myös olkilämmityksen kannattavuuden ehdoton edellytys, sillä maatilat tarvitsevat olkipellettejä lämmitykseen normaalisti vain 13...30 t/v. Omaan käyttöön tulevan oljen tuotokustannukset ovat 150...200 ^{mk/t} ~~mk~~, kun kovapaalaimen vuotuinen korjuumäärä (heinän paalaus mukaan lukien) niputusmenetelmää käytettäessä on yli 60 t/v ja perinteistä korjuuketjua käytettäessä 80 t/v. Vastaaviin kustannuksiin päästään pyöröpaalauksessa, jos vuotuinen korjuu-

määrä on yli 100 t. Oman työn hinnoittelulla on selvä vaikutus oljen tuotantokustannuksiin. Jos omalle työlle ei lasketa palkkaa ovat pelletoitavan oljen tuotantokustannukset 110...140 mk/t. Mikäli olemassa olevan korjuukaluston osalta huomioidaan vain muuttuvat kustannukset ovat korjuukustannukset oman työn hinnoittelusta riippuen 50...120 mk/t.

Kun oljen tuotantokustannuksissa huomioidaan uuden korjuukaluston, siis myös traktorin, kiinteät ja muuttuvat kustannukset sekä palkkakustannukset sosiaalimaksuineen on oljen korjaus mielekästä vain tehokkaita korjuuketjuja (pyöröpaalain ja niputusmenetelmä) käyttäen. Tällöin niputusmenetelmä on pyöröpaalausta edullisempaa, kun vuotuinen korjuumäärä on alle 75 t/v. Tällöin on pelletoitavan oljen tuotantokustannukset vielä varsin korkeita, yli 250 mk/t. Kaluston tehokkaalla käytöllä eli yli 130 t:n vuosituotoksella päästään pyöröpaalauksella 200...250 mk/t tuotantokustannuksiin. Vuonna 1984 rehu-tehtaiden laatuvaatimukset täyttävä olki maksoi 220...320 mk/kuiva-ainetonni, mikä 20 % kosteutta sisältäväksi oljeksi muutettuna vastaa hintaa 175...260 mk/t.

Edellä esitetyt vuotuiset tuotantorajavaatimukset ja niillä saavutettavat rajakustannukset vaikuttavat varsin korkeilta, mikäli niitä tarkastellaan maatalojen lämmönkulutuksen ja lämmitykseen tarvittavan 13...30 t:n olkimäärän tasolta. Uutta korjuukalustoa ei yleensä kannata hankkia pekästään lämmitysoljen hankintaa varten. Ns. normaalivuonna on oljen korjuuseen käytettävissä 12 päivää, jolloin yhdellä paalaimella voidaan normalityöajan puitteissa korjata n. 120 t olkea. Tämä vastaa tuotettuna lämpönä n. 300 MWh, mikä taas vastaa 5...8 tilan vuotuista lämmöntarvetta. Mikäli samaa paalainta käytetään lisäksi heinän paalaukseen, jäävät oljen korjuukustannukset tasolle 150 mk/t.

Suomessa on tällä hetkellä 16000...17000 käyttökuntoista paalainta. Teoreettisesti laskien tällä kalustomäärällä voidaan korjata koko maamme vuotuinen olkisato. Suurin osa näistä paalaimista on kuitenkin karjatalousalueilla, joten energiaoljen käytön yleistyminen viljanviljelyalueilla vaatii myös uusien laitteiden hankintaa.

7.2 Oljen pelletointikustannukset

7.2.1 Valmistusvaihtoehdot

Olkipelletit voidaan periaatteessa valmistaa joko siirrettävällä pelletointiyksiköllä tai kiinteällä pelletointilaitoksella, kuten sokeri- tai rehutehtailla niiden vuotuisten seisokkien aikana.

7.2.2 Siirrettävä pelletointiyksikkö

Siirrettävälle alustalle rakennettu pelletointiyksikkö käsittää seuraavat päälaitteet:

- erillinen silppuri (1-3 kpl mallista riippuen)
- syöttölaitteet
- puristin
- jäähdytin puhaltimiseen
- seula palautuksineen ja
- dieselgeneraattori (tai suora verkkokytkentä)

Siirrettävän yksikön kapasiteetti määräytyy silppurin ja puristimen tuotantotehoista. Käytännössä on tila- ja painorajoitusten takia tyydyttävä yhden suuren pellettipuristimen käyttämiseen. Erillisiä silppureita voi sitä vastoin olla useampia ja niiden lukumäärää rajoittavat lähinnä sopivat voimalähdejärjestelmät.

Suurimpien pellettipuristimien kapasiteetti on Tanskassa ja Ruotsissa saatujen kokemusten mukaan 4-5 t/h, kun olki on silputtu 10-20 mm:n pituuteen. Jatkuvaksi kapasiteetiksi on saatu mm. 3-4 t/h. Puristimien nimellisteho on näissä tapauksissa ollut 200 kW.

Oljen silppuamiseen voidaan käyttää joko kovapaali-, (pienpaali) tai suurpaalisilppuria. Yleensä näitä laitteita käytetään ilman seulaa, jolloin keskimääräinen silpun pituus on noin 50 mm. Kovapaalisilppureiden kapasiteetiksi ilmoitetaan 1,5-2,5 t/h (nim.teho noin 30 kW) ja suurpaalisilppureiden 3-5 t/h (nim.teho 40-50 kW). Käytettäessä seulaa silppurin yhteydessä silpun pituus laskee alle 20 mm:n.

Laitevalmistajilla ei ole yleensä tarkkaa käsitystä siitä, miten seulan käyttö vaikuttaa silppurin kapasiteettiin ja ominaiskulutukseen. Pelletointikokeissa saadut kokemukset osoittavat, että seulan käyttö laskee silppurin kapasiteettia 30-50 %. Mitoitettaessa pelletointiyksikön kapasiteetti 3 t:iin/h joudutaan siten käyttämään 2-3 pienpaalisilppuria tai 1-2 suurpaalirepijää. Ainakin yksi näistä silppureista saa käyttövoimansa suoraan vetotraktorista.

7.2.3 Valmistuskustannukset siirrettävällä yksiköllä

Seuraavassa on esitetty siirrettävän pelletointiyksikön investointi- ja käyttökustannukset ilman raaka-ainekustannuksia. Laskettaessa olkipellettien valmistuskustannuksia on lähdetty seuraavista alkuarvoista:

- kapasiteetti 3 t/h
- käyttö keskeytyvä 2-vuorotyö, käyttöaika 7 kk/v
- käyttöhenkilökunta 3 miestä (50 mk/h), tilanomistaja apumiehenä syöttövaiheessa
- käyttösähkö puristimelle ja yhdelle silppurille dieselaggregaatista: sähkö 0,60 mk/kWh
- oljen kosteus 18-20 %, pellettien kosteus noin 15 %

Taulukko 16. Siirrettävän yksikön investointikustannukset

Puristin (200 kW)	400 kmk
Silppurit (90 kW)	150 kmk
Dieselaggregaatti (350 kVA)	250 kmk
Jäähdytin	110 kmk
Syöttö, seula, muut laitteet	70 kmk
Alusta	80 kmk
Rakentaminen, sähköistys, instr.	120 kmk
Vetotraktori	220 kmk
Laiteinvestointi	1400 kmk

Taulukko 17. Käyttökustannukset

Kiinteät: pääomakustannukset (10 %/10 v)	28 kmk/v
huolto, vakuutukset	40 kmk/v
Muuttuvat: palkat	50 mk/t
energia	54 mk/t
lisäaineet	5 mk/t
varaosat (matriisi, muut)	8 mk/t

Olkipellettien valmistuskustannukset (ilman raaka-ainekustannuksia) ovat siten:

1000 h/v=3000 t/v 2000 h/v=6000 t/v 3000 h/v=9000 t/v

206 mk/t

162 mk/t

147 mk/t

52 mk/MWh

40 mk/MWh

37 mk/MWh

Mikäli pelletointiyksikkö mitoitetaan tuottamaan 1,5 t/h olkipellettejä, laskevat investointikustannukset noin 1035 kmk:aan. Edellämainituilla käyttöajoilla 1000, 2000 ja 3000 h/v tulee valmistuskustannuksiksi 269, 195 ja 171 mk/t. Käyttöhenkilökuntaa tässä-vaihtoehdossa on 2 miestä.

Sähkön tuottaminen dieselaggregaatilla on varsin kallista. Mikäli pelletointiyksikkö voidaan liittää suoraan sähköverkkoon laskevat sekä investointi- että energiakustannukset. Kun sähkön hinnaksi tässä tapauksessa otetaan 0,25 mk/kWh, tulee kapasiteetiltaan 3 t/h pelletointiyksikössä pellettien valmistuskustannuksiksi yllämainituilla käyttöajoilla 162, 124 ja 111 mk/t.

7.2.4 Valmistuskustannukset kiinteällä laitoksella

Ruotsissa ja Tanskassa on useilla pienemmillä rehu- ja sokeritehtailla ja kuivaamoilla ryhdytty tuottamaan myös polttopuristeita. Polttopuristeita valmistetaan laitoksien talviseisokkien aikana tai muun rehu tuotannon ohella. Ruotsissa raaka-aineena on yleensä ollut puu- ja metsäjäte ja Tanskassa olki. Tanskassa valmistetaan oljesta 60-80000 t/v olkipellettejä ja -brikettejä kymmenillä puristamoilla. Tanskassa ja Ruotsissa olkipuristeiden myyntihinta on ollut noin 450-500 mk/t. Tanskassa voi maatilan omistaja valmistuttaa pelletit omasta oljestaan, jolloin valmistuskustannukset ovat noin 250 mk/t.

Seuraavassa on karkeasti arvioitu oljesta tuotettujen polttopuristeiden valmistuskustannuksia esimerkiksi pienellä viherrehukuivaamolla. Kuivaamoilla voidaan ylikostea olki yleensä kuivata rumpukuivurissa. Tuotantoa rajoittaa yleensä puristus- ja silppuamiskapasiteetti. Laskelmissa on otettu olemassa olevien laitteiden ja

rakennusten kuoletettavaksi arvoksi 1000 kmk. Lisäksi laitteistoa on lisätty yhdellä puristimella ja kahdella silppurilla riittävän kapasiteetin saavuttamiseksi, jolloin lisäinvestoinnin suuruus on noin 1000 kmk. Laitoksen kiinteät kustannukset olisivat 7 vuoden takaisinmaksuajalla noin 450 kmk/v ja muuttuvat kustannukset 5 t/h:n kapasiteetilla noin 100 mk/t. 10 kuukauden käyntiajalla valmistuskustannukset (ilman raaka-ainekustannuksia) olisivat:

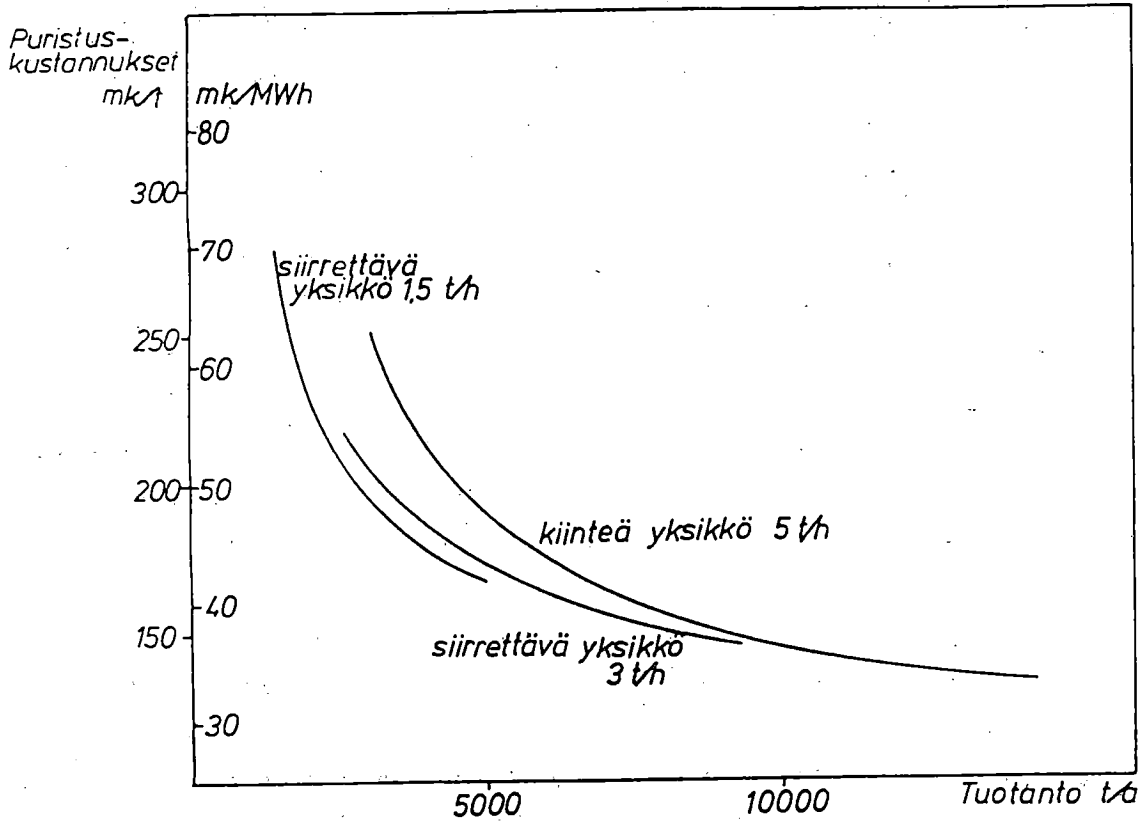
<u>1 vuoro/6750 t/v</u>	<u>2 vuoro/13500 t/v</u>	<u>3 vuoro/20250 t/v</u>
167 mk/t	133 mk/t	122 mk/t
42 mk/MWh	33 mk/MWh	31 mk/MWh

Mikäli kuivaamossa tuotetaan myös viherrehua ja sokeritehtaan yhteydessä kuivataan sokerileikettä, on käyntiaika käytännössä noin 6 kk/v ja valmistuskustannukset tässä tapauksessa olisivat:

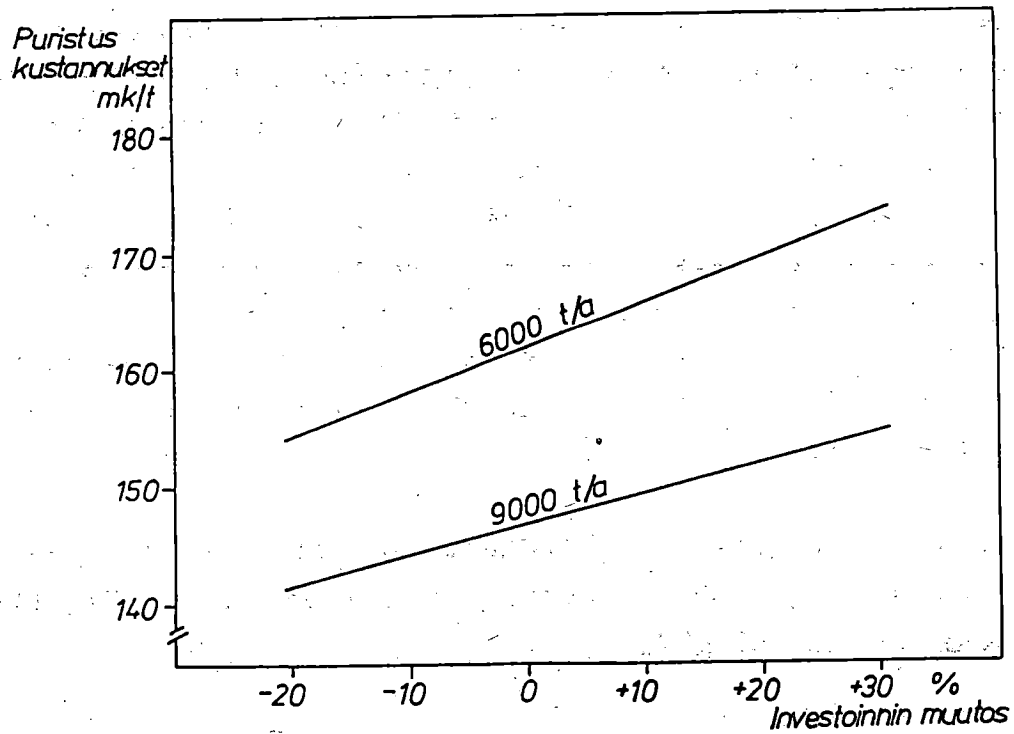
<u>1 vuoro/4500 t/v</u>	<u>2 vuoro/9000 t/v</u>	<u>3 vuoro/13500 t/v</u>
196 mk/t	148 mk/t	132 mk/t
49 mk/MWh	37 mk/MWh	33 mk/MWh

On huomattava, että kiinteiden kustannusten osuus voi vaihdella hyvinkin paljon riippuen tarkasteltavasta laitoksesta.

Kuvassa 22 on esitetty puristuskustannusten riippuvuus olkipellettien tuotantomäärästä sekä siirrettävien että kiinteän laitoksen osalta. Kuvassa 23 on esitetty olkipellettien puristuskustannuksien riippuvuus investointikustannusten muutoksesta siirrettävässä 3 t/h tuottavassa yksikössä. Puristuskustannukset riippuvat pääasiassa tuotetusta pellettimäärästä. Investoinnin herkkyyttä kasvaa tuotantomäärän laskiessa.



Kuva 22. Olkipellettien puristuskustannukset (ilman raakaainekustannuksia)



Kuva 23. Puristuskustannuksien herkkyytstarkastelu

7.2.5 Siirtokustannukset

Koska olkipellettien tuotantomäärä vaikuttaa olennaisesti pellettien valmistuskustannuksiin siirrettävän yksikön osalta, on itsestäänselvä, että siirtoihin ja käynnistykseen käytettävä aika on rajallinen. Siirto- ja siihen verrattavat kustannukset riippuvat paikallisista olosuhteista ja koko tuotantoketjun toteutustavasta. Näin ollen niiden tarkka arviointi on vaikeaa. Seuraavassa on esimerkinomaisesti arvioitu olkipellettien valmistuskustannuksia eräissä ajatelluissa valmistusvaihtoehtoissa.

Tarkasteltavassa vaihtoehdossa on lähtökohtana ollut 3 t/h tuottava siirrettävä yksikkö, joka toimisi 2 vuorossa 7 kuukauden käyttöajalla. Tuotantoaika olisi siten 2400 h/v (30 vko) ja tuotantomäärä 7200 t/v. Kuvasta 22 saadaan pellettien puristuskustannukseksi 154 mk/t.

Ensimmäisessä tapauksessa on tarkasteltu yksikköä, joka kiertää maatilalta toiselle. Kussakin kohteessa tuotetaan pellettejä yhden tai useamman tilan tarpeeseen. Pellettimäärät ovat 20, 50 tai 100 t. Yksikön käynnistämiseen ja alasajoon kuluu päivittäin 2 h. Siirtoihin pelletointipaikkojen välillä kuluu keskimäärin 5-8 h. Siirtokustannukseksi (palkat, polttoaine) on arvioitu 150 mk/h. Maatilojen koosta ja siirtoajojen tiheydestä riippuen valmistuskustannukset (ilman raaka-ainekustannuksia) vaihtelevat noin 170 mk:sta/t noin 220 mk:aan/t, taulukko 18.

Vastaava tarkastelu toteutettuna 1.5 t/h tuottavalla siirtyvällä yksiköllä antaa pellettien valmistuskustannukseksi 210-250 mk/t.

Taulukko 18. Valmistuskustannukset mautiloilla kiertävällä yksiköllä (3 t/h)

	20 t/paikka	50 t/paikka	100 t/paikka
tehollinen tuotantoaika	35 h/vko	51 h/vko	66 h/vko
siirtoaika, käynnistys	38 "	29 "	14 "
maatilaa/viikko	6	3	2
vuosituotanto	3600 t/v	4600 t/v	6000 t/v
puristuskustannus	184 mk/t	176 mk/t	161 mk/t
siirtokustannus	33 "	21 "	8 "
valmistuskustannus	217 "	197 "	169 "

Taulukossa 19 on esitetty siirtokustannukset tapauksissa, joissa oljen pelletointiyksikkö on esimerkiksi kylän käytössä 1 tai 2 viikon aikana. Ensimmäisessä tapauksessa laitos valmistaa olkipellettejä kahdessa vuorossa 4 päivän aikana ja siirtyy viidentenä päivänä seuraavalle paikkakunnalle. Yksikkö voi viikossa valmistaa polttoainemäärän, joka vastaa keskimäärin kahdeksan maatilalan vuotuista polttoainetarvetta (ä 20 t/v).

Taulukko 19. Valmistuskustannukset kyläkohtaisella siirrettävällä yksiköllä (3 t/h)

	1 vko	2 vko
tehollinen tuotantoaika	56 h/vko	63 h/vko
käynnistykset	8 h/vko	9 h/vko
siirtoaika	8 h/vko	4 h/vko
viikkotuotanto	170 t/vko	190 t/vko
vuosituotanto (7 kk)	5100 t/v	5700 t/v
puristuskustannus	170 mk/t	164 mk/t
siirtokustannus	8 mk/t	3 mk/t
valmistuskustannus	178 mk/t	167 mk/t

Mikäli valmistus toteutetaan kapasiteetiltaan 1.5 t/h:n yksiköllä ovat valmistuskustannukset 200-220 mk/t.

Tarkastelun perusteella voidaan todeta, että maataloil-
la kiertävä yksikkö tulee kysymykseen ainoastaan mikäli
valmistettava olkipellettimäärä on yli 100 t/paikka. Ky-
läkohtaisen yksikön avulla voidaan hoitaa myös pienien
tilojen polttoainehuolto. Lisäksi kyläkohtainen pelle-
tointiyksikkö voidaan ajatella toimivaksi suoralla kyt-
kennällä sähköverkkoon, jolloin valmistuskustannukset
laskevat edelleen noin 30 mk:lla/t.

Yhteenvedona voidaan todeta, että olkipellettien valmis-
tuskustannukset puristusvaiheen osalta voivat vaihdella
varsin merkittävästi valmistustavasta riippuen. Mielek-
käästi toteutettuna puristuskustannukset ovat noin 170 mk/t.

7.3 Yhdistetty rehu- ja polttopelletin tuotanto

Siirrettävällä pelletointilaitteistolla voidaan myös
tuottaa pelleteitua karkearehua. Tällöin olkisirppuun
sekoitetaan lipeää, ureaa tai ureafosfaattia sulavuu-
den, säilyvyyden ja ravintoarvon parantamiseksi. Rehu-
pellettien valmistus edellyttäisi tiettyjen syöttö- ja
sekoituslaitteiden liittämisen pelletointiyksikköön.
Maatilan omistaja voisi täten valmistaa polttopelletti-
en yhteydessä hyvälaatuisesta oljestaan tarvitsemansa
lisä- ja karkearehun. Rehupellettien tuotantokustannus
on suurin piirtein sama kuin polttopellettien. Lisäai-
neiden kustannusvaikutus (esim. lipeän kohdalla on n.
60 mk/t pellettiä) korvautuu seostetun oljen parempien
puristusominaisuuksien myötä. Valmistamalla myös rehu-
pellettejä voidaan siirreltävän pelletointiyksikön käyt-
töaika ja kapasiteettia lisätä ja sitä kautta vaikut-
taa puristeiden valmistuskustannuksiin. Rehun käyttäjäl-
le on eduksi rehun helpompi valmistustapa ja tuotteen
pienempi varastotilan tarve.

7.3 Yhteenveto olkipellettien tuotantokustannuksista

Olkipellettien tuotantokustannukset vaihtelevat huomattavasti sekä raaka-ainetuotannon että varsinaisen pelletoinnin osalta. Laitteiden pääomakustannukset muodostavat huomattavan osan kokonaiskustannuksista ja tämä vaikuttaa erittäin voimakkaasti raaka-ainekustannuksiin silloin, kun korjuukalustoa käytetään pelkästään polttoaineena käytettävän oljen korjuuseen. Kallista paalainta ei kannata hankkia pelkästään 13...30 t/v olkea polttoaineena käyttävän tilan polttoainehuoltoa varten. Tällaisessa tapauksessa paalaimella tulisi olla myös muuta käyttöä.

Pelletoitavan oljen korjuukustannukset ovat 100...200 mk/t, kun olki tuotetaan omaan käyttöön. Vuotuisen korjuumäärän ollessa alle 60 t päästään tähän hintatasoon, kun käytetään yhteispaalainta, vuokrapaalainta tai olemassa olevia laitteita. Kun vuotuinen korjuumäärä on yli 60 t, ovat pelletoitavan oljen korjuukustannukset aina alle 200 mk/t. Kaupallisesti tuotettuna oljen tuotantokustannukset ovat 200...280 mk/t.

Oljen pelletointikustannukset muodostuvat paljolti pääomakustannuksien, palkkakustannuksien ja vuosituotannon perusteella. Lisäksi siirrettävällä pelletointilaitteella tapahtuvan pelletoinnin kustannuksiin vaikuttaa laitteiston kapasiteetti ja siirtotiheys. Pelletointikustannuksien osalta olisi edullista, että siirrettävä laitteisto olisi mahdollisimman paljon paikoillaan. Pelletointikustannukset ovat alle 200 mk/t, kun kussakin kohteessa pelletoidaan yli 50 t. Tämä vastaa 2...3 tilan vuotuista pellettitarvetta, joka saadaan korjattua keskimäärin 25 ha:n viljelyalalta. Pelletointikustannukset ovat 170...220 mk/t, kun laitteiston vuosituotanto on 3600...6000 t/v.

Yhdistämällä raaka-ainekustannukset ja pelletointikustannukset saadaan olkipellettien valmistuskustannuksiksi 270...420 mk/t, kun pelletin käyttäjä toimittaa raaka-aineen itse. Muulloin olkipelletin valmistuskustannukset ovat 370...500 mk/t.

8. LÄMMITYSKUSTANNUKSET

8.1 Lämmityskustannuksien osakustannukset

Kiinteistöjen vuotuisiin lämmityskustannuksiin vaikuttavat seuraavat osakustannukset:

- lämpökeskuksen (kattilahuone ja polttoainevarasto) rakennusten pääomakustannukset
- lämmityslaitteiden ja asennusten pääomakustannukset
- lämmitystyökustannukset
- polttoaine-, kunnossapito- ja sähkökustannukset

Lämmityskustannuksien vertailussa on lämpökeskuksen rakennuskustannusten perustana käytetty lähteen /11/ kustannuksia, jotka on muutettu rakennuskustannusindeksien nousun mukaisesti vastaamaan lokakuun 1984 kustannustasoa.

Lämmityslaitteiden, LVI-tarvikkeiden ja asennusten osalta on huomioitu vain kattilahuoneeseen kuuluvien laitteiden kustannukset eli ne kustannukset, joihin pääpolttoaineen valinta välittömästi vaikuttaa. Samaa periaatetta on noudatettu myös sähkötarvikkeiden ja asennusten osalta. Kaikki laite-, tarvike- ja asennuskustannukset vastaavat lokakuun 1984 hintatasoa.

Lämmityskustannuksia arvioitaessa on lämmitystyöhön huomioitu polttoaineen siirto kattilahuoneeseen, sytytys, polttoaineen lisäykset, tuhkaus, nuohous ja polttolaitteen kunnossapito. Lämmitystyön tuntihintana on käytetty 19 mk/h.

Olkipellettiä ja öljyä lukuunottamatta polttoaineen hinnat edustavat tasoa, joka vastaa omalta tilalta, omalla työvoimalla ja omaan käyttöön hankitun polttoaineen hintoja. Sähkönkulutuksen osalta on huomioitu vain polttolaitteiden sähkönkulutus.

Pääomakustannuksia laskettaessa on käytetty kahta laskentaperustaa

a) Kevyt rahoitus

Korkokanta 5 %, joka ottaa huomioon inflaation ja lainan korkojen verovähennyskelpoisuuden. Kuoletusaika on rakennusten osalta 25 v. ja laitteiden osalta 15 v. Olemassa olevien käyttökelpoisten rakennusten pääomakustannukset ovat 30 % uusien hinnasta.

b) Raskas rahoitus

Korkokanta 10 %, poistoaika 10 vuotta. Jäännösarvo rakennusten osalta 50 % ja laitteiden osalta 30 %.

Olkipellettilämmityksen vuotuisia kustannuksia on tässä tutkimuksessa verrattu öljy-, olkipaali, hake- ja pilkelämmitykseen. Näistä olkipaali- ja pilkelämmitys ovat varaavia lämmitysjärjestelmiä. Kussakin tapauksessa tarkat kustannukset on laskettu kahdelle lämpökeskukselle, jotka tuottavat vuosittain lämpöä 25 MWh ja 60 MWh.

Uudisrakennukseen sijoitetun lämpökeskuksen pääomakustannukset on esitetty taulukossa 20.

Rakennuskustannuksiin vaikuttaa eniten vuotuinen polttoaineen tarve, polttoaineen energiatiheys ja lämmityksessä saavutettava hyötysuhde. Öljylämmityksen osalta taulukon kustannuksissa on mukana myös polttoainesäiliön osuus.

Taulukko 20. Uudisrakennukseen sijoitetun lämpökeskuk-
sen pääomakustannukset

Lämmönkulutus	MWh/v	Kustannukset mk	
		25	60
Öljy		22200	26500
Olkipelletti		34100	40800
Olkipaali		122800	180000
Pilke		53300	66000
Hake		44100	56500

Kun laitteiden ja asennusten kustannuksissa huomioidaan kattiloiden, polttimien, varaajien kustannusten lisäksi tehon ja lämpötilan säätölaitteet, kattilahuoneen putkisto tarvikkeineen ja asennuksineen sekä kullekin lämmitysjärjestelmälle tyypillinen sähköistys laitteineen ja asennuksineen, ovat hankintahinnat taulukon 21 mukaisia.

Taulukko 21. Lämpökeskuksen laitteiden ja asennusten
kustannukset

Lämmönkulutus	MWh/v	Kustannukset, mk	
		25	60
Öljy		18700	19900
Olkipelletti		24000	26700
Olkipaali		32550	36950
Pilke		26050	31450
Hake		23500	26000

Lämmitystyökustannukset:

Kustannuslaskelmissa on lämmitystyön tuntihintana käytetty 19 mk/h. Kiinteiden polttoaineiden osalta lämmitystyön määrä riippuu tuotettavan lämmön määrästä kul-

lekin laitteistolle ominaisella tasolla. Taulukossa 22 on esitetty tässä kustannusvertailussa käytetyt lämmitystyön tarvetta kuvaavat ominaisluvut sekä näin syntyvät vuotuiset lämmitystyökustannukset.

Taulukko 22. Lämmitystyökustannukset

	Lämmitystyön tarve h/MWh	Lämmitystyö- kustannukset mk/v	
Lämmönkulutus MWh/v		25	60
Olkipelletti	1,2	570	1400
Olkipaali	5,5	2600	6300
Pilke	3,0	1420	3420
Hake	1,2	570	1400

Sähkökustannukset:

Laskelmissa on sähkön hintana käytetty 0,32 mk/kWh. Kiinteän polttoaineen polttimien sähkönkulutus tuotettua energiayksikköä kohti on 12 kWh/MWh ja öljykattilan sähkön ominaiskulutukseksi on arvioitu 4 kWh/MWh. Laskelmissa ei ole huomioitu kiertovesipumppujen kulutusta. Kiinteän polttoaineen polttimien sähkökustannus on 25 MWh:n vuosikulutuksella 100 mk/v ja 60 MWh:n vuosikulutuksella 230 mk/v. Öljykattilalla vastaavat kustannukset ovat 30 ja 80 mk/v.

Polttoainekustannukset:

Polttoainekustannuksiin vaikuttaa käytettävän polttoaineen hinnan ja vuosikulutuksen lisäksi myös lämmityksen vuosihyötysuhde. Taulukossa 23 on esitetty kustannus-

laskelmissa käytetyt lähtöarvot ja taulukossa 24 eri polttoaineilla tapahtuvan lämmityksen polttoainekustannukset.

Taulukko 23. Polttoainekustannusten laskelmissa käytetyt lähtöarvot

Polttoaine	Lämmitys- järjestelmä	Vuosi- hyötysuhde %	Lämpöarvo	Yksikkö- hintaa mk/MWh
Olkipelletti	suora	65	4,0 MWh/t	100
Hake	suora	65	0,8 MWh/i-m ³	63
Öljy	suora	75	10 MWh/m ³	166,6
Pilke	varaava	55	1,3 MWh/p-m ³	77
Olkipaali	varaava	40	3,8 MWh/t	40

Taulukko 24. Vuotuiset polttoainekustannukset

Vuosikulutus MWh/v	Polttoainekustannukset mk/v	
	25	60
Olkipelletti	3800	9200
Hake	2400	5800
Öljy	5600	13300
Pilke	3500	8400
Olkipaali	2500	6000

8.2 Lämmityksen kokonaiskustannukset

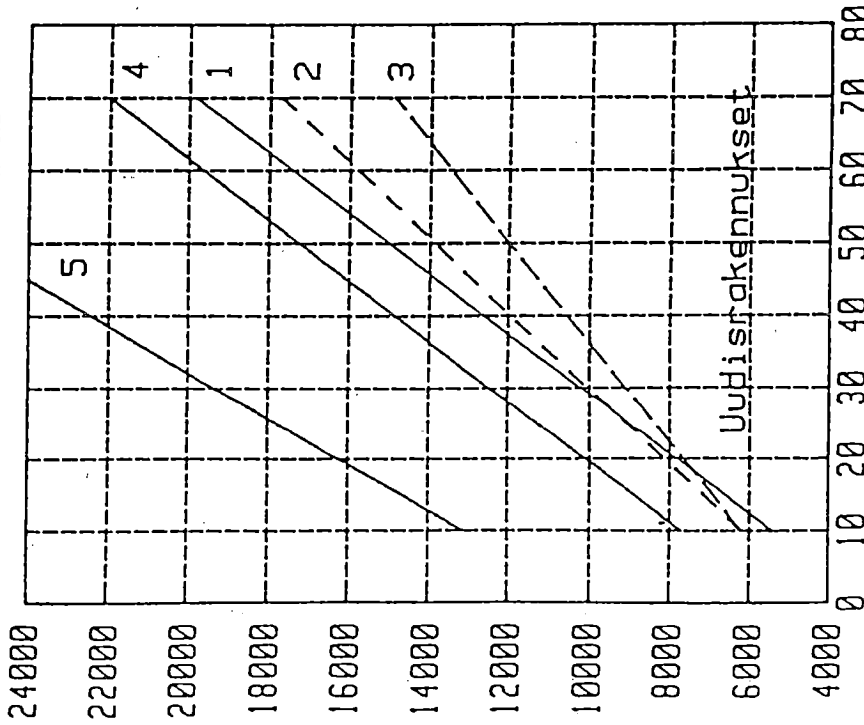
Lämmityksen vuotuiset kokonaiskustannukset on esitetty kuvissa 24 ja 25.

Kuvasta 24 nähdään, että uudisrakennuksissa olkipelletti- ja öljylämmityksen kustannukset ovat yhtä suuret olkipelletin hinnalla 400 mk/t ja vuosikulutuksen ollessa 27 MWh/v. Tätä suuremmilla kulutuksilla olkipelletti on ko. hinnalla edullisempaa. Kulutuksen ollessa 60 MWh/v saa olkipelletti maksaa 460 mk/t. Lämpökeskuksen sijoittaminen olemassa oleviin rakennuksiin parantaa kotimaisten polttoaineiden kilpailukykyä varastointikustannusten suuren muutoksen vaikutuksesta. Hinnalla 400 mk/t olkipelletti on aina edullisempi polttoaine kuin öljy. Öljyyn nähden kilpailukykyinen olkipelletti saa maksaa 520 mk/t. Energia-avustukset ja halpakorkoiset lainat parantavat olkipelletin kilpailukykyä. Tällöin olkipelletin hinta voi korkeimmillaan olla 580 mk/t.

Omalta tilalta hankittu hake on aina olkipellettiä edullisempi polttoaine. Alle 18 MWh:n vuosikulutuksella öljy on haketta edullisempaa. Kuvassa 25 on vuotuiset lämmityskustannukset, kun korkokanta on 10 % ja takaisinmaksuaika 10 v. Raskaampi rahoitus heikentää kotimaisten polttoaineiden kilpailukykyä suurempien pääomakustannusten vuoksi. Öljylämmitykseen nähden lämmitys 400 mk/t maksavilla olkipelletteillä on kannattavaa vasta yli 45 MWh:n vuosikulutuksilla. Vuosikulutuksen ollessa yli 25 MWh saisi kilpailukykyinen olkipelletti maksaa vain 330 mk/t ja 60 MWh:n vuosikulutuksella 420 mk/t.

Lämpökeskuksen sijoittaminen olemassa oleviin rakennuksiin parantaa jälleen huomattavasti kotimaisten polttoaineiden kilpailukykyä öljyyn verrattuna. Olkipelletti on laskelmissa käytetyllä hinnalla 400 mk/t öljyä edullisempaa yli 15 MWh:n vuosikulutuksilla. Yhtä suuria lämmityskustannukset ovat olkipelletin maksaessa 530 mk/t.

LÄMMITYSKUSTANNUKSET [mk/a]



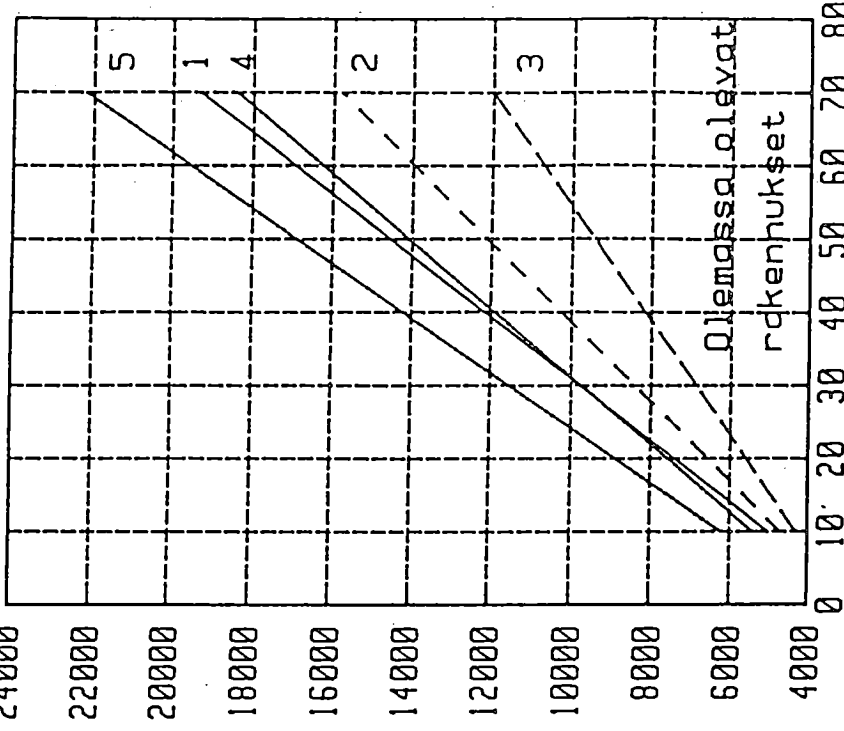
LÄMMÖN KULUTUS [MWh/a]

KUVA 24

KORKO 5%

KUOLETUSAIKA: LAITTEET 15v, RAKENNUKSET 25v

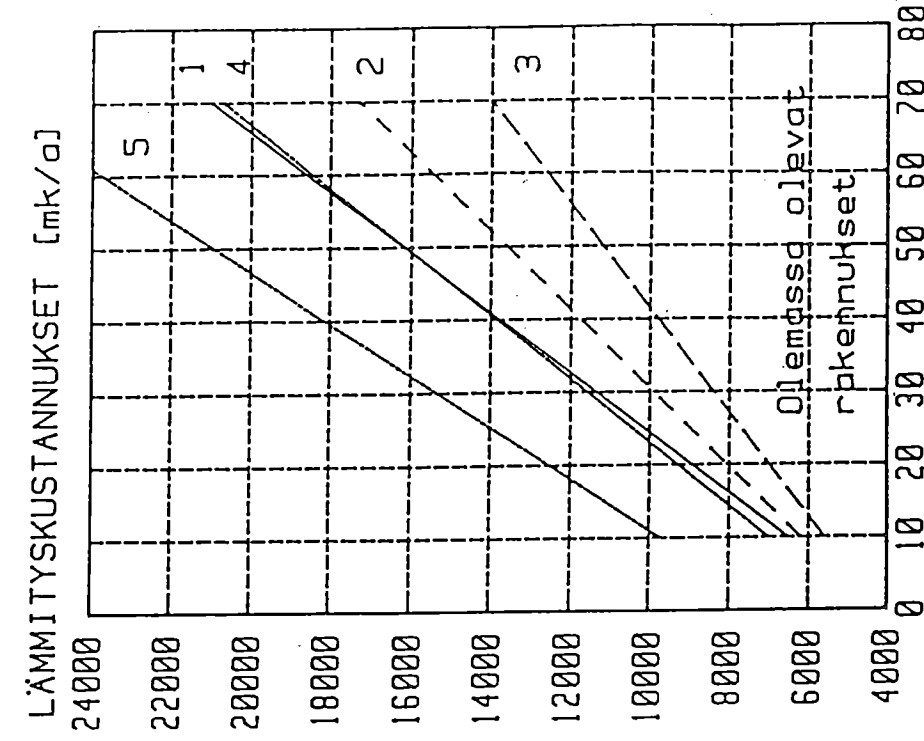
LÄMMITYSKUSTANNUKSET [mk/a]



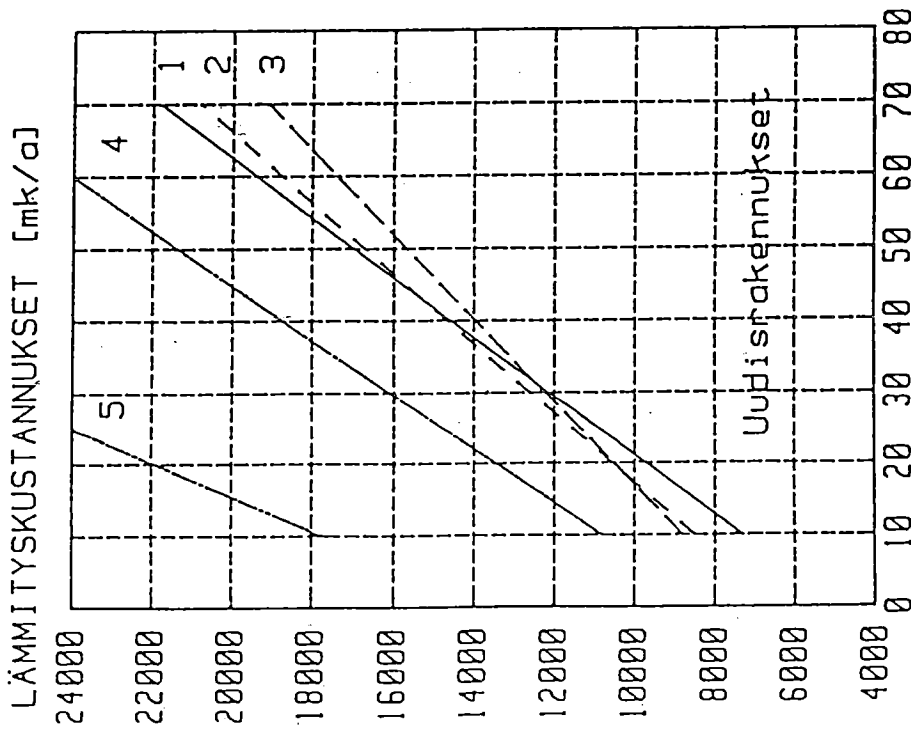
LÄMMÖN KULUTUS [MWh/a]

VUOTUISIET LÄMMITYSKUSTANNUKSET

- 1 = ÖLJY
- 2 = OLKIPELLETTI
- 3 = HAKE
- 4 = PILKE
- 5 = OLKIPAALI



LÄMMÖN KULUTUS [MWh/a]



LÄMMÖN KULUTUS [MWh/a]

VUOTUISISET LÄMMITYSKUSTANNUKSET

- 1 = ÖLJY
- 2 = OLKIPELLETTI
- 3 = HAKE
- 4 = PILKE
- 5 = OLKIPAALI

KUVA 25

KORKO 10 %
KUOLETUSAIKA 10v

Kuvista 24 ja 25 nähdään myös selvästi, miten voimakas vaikutus oljen pelletoinnilla on lämmityskustannuksiin verrattaessa pellettilämmitystä kokopaalilämmitykseen.

Parin viime vuoden aikana on yleinen kustannustaso kohonnut alakohtaisesti 12...25 %. Öljyn hinta on tänä aikana kohonnut 12,1 %. Samana aikana on oljen korjuussa käytettävien paalainten hintataso kohonnut 30...40 %. Kovapaalaimen vuokrahintasuositus on kohonnut vuodesta 1982 vuoteen 1984 110 %. Tällaisella korjuukaluston hintojen nousunopeudella on ollut selvä vaikutus raaka-ainekustannusten kohoamisen muodossa olkipelletin kilpailukyvn heikkenemiseen.

Olkipellettilämmityksen kannattavuutta kuvaavat vuotuiset energiakulutusrajat ja pellettien maksimihinnat on saatu edellä esitettyjen laskentaperusteiden pohjalta. Nämä taas perustuvat laitteiden, rakennustarvikkeiden ja asennustöiden osalta ns. ohjehintoihin. Koska poikkeavuudet omalta tilalta hankitun polttoaineen hinnassa ja oman työn ja alennusten vaikutuksesta myös rakennus- ja laitekustannuksissa voivat olla varsin suuria, tulee kustannuksia tarkastella yleisluontoisena tutkimustuloksena, jolla on pyritty määrittämään olkipelletin kilpailukykyinen hintataso. Edullisin lämmitysratkaisu ja kustannukset selviää vasta tarkempien tapauskohtaisten laskelmien perusteella.

9 OLKIPELLETTILÄMMITYKSEN SEURANTA

9.1 Yleistä

Olkipellettilämmityksen seuranta suoritettiin neljässä eri seurantakokeessa, josta jäljempänä käytetään nimityksiä: Kohde A, B, C ja D. Seurantakohteina oli kaksi maatilaa ja kaksi omakotitaloa. Kohteet sijaitsivat Uudellamaalla Vihdin ja Karkkilan alueella. Kummallakin maatilalla on aikaisemmin käytetty haketta polttoaineena. Omakotitalot olivat uudisrakennuksia.

Seurantatutkimuksen tavoitteena oli selvittää olkipellettilämmityksen onnistumista yhden lämmityskauden aikana käytännön olosuhteissa teholuokassa 10...25 kW. Tämä tehoalue kattaa omakotitalojen ja maatilojen normaalin asuin- ja tuotantotilojen lämmityksen tehontarpeen ja riittää tyydyttämään alle 70 MWh:n vuotuisen lämmitysenergian kulutuksen, kun lämmitysjärjestelmänä käytetään ns. suoraa kytkentää.

Tutkimuksessa selvitetään polttolaitteiden toiminnan ja lämmityksen vuosihyötysuhteen lisäksi olkipellettilämmityksen vaatimaa lämmitystyömäärää, olkipellettien varastointia ja eräiden lisäaineiden vaikutusta oljen tuhkan käyttäytymiseen.

9.2 Seurannan suoritustapa

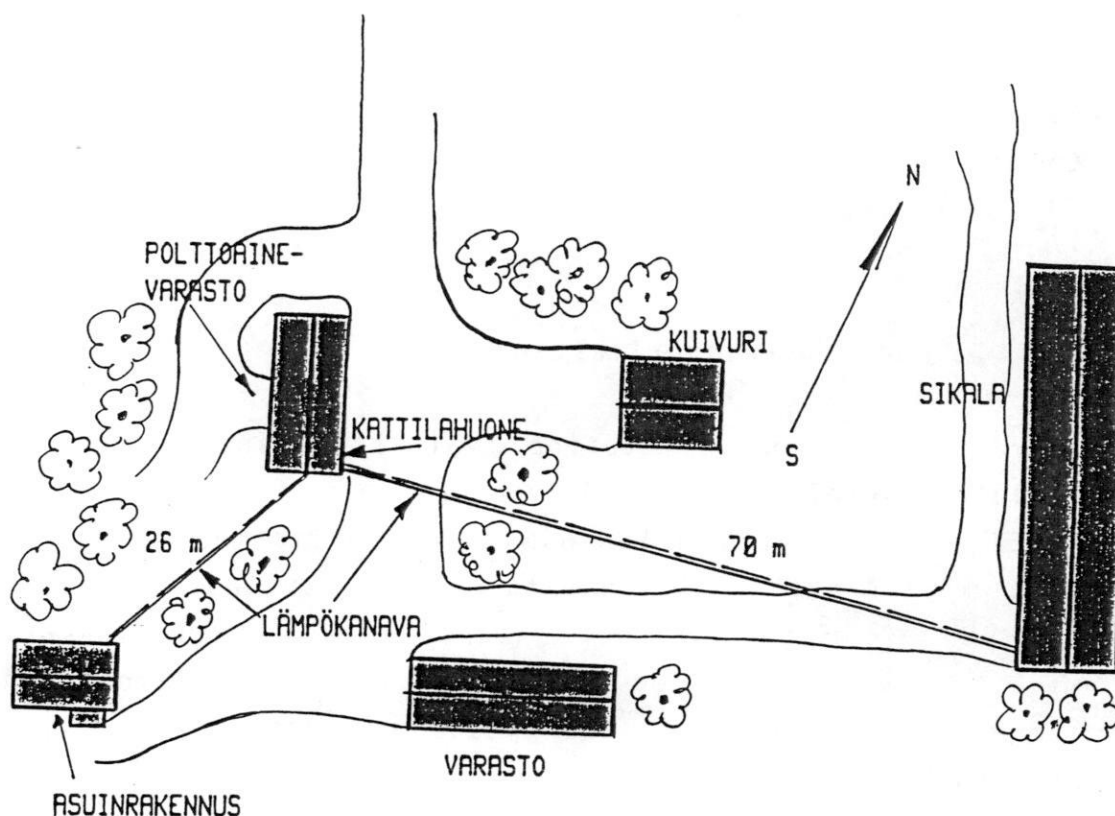
Seurantakohteiden polttoaine valmistettiin siirrettävällä pelletointilaitteella VAKOLA:ssa syksyllä 1984 ja RAFEX Oy:n rehutehtaalla Loimaalla. Polttoaine toimitettiin käyttökohteisiin punnituisissa, tilavuudeltaan 0.1, 0.6 ja 1.2 m³:n säkeissä. Säkkeihin oli painon lisäksi merkitty viljalaji ja lisäainepitoisuus. Polttoaineen lämpöarvo määriteltiin seurantakauden aikana otettujen näytteiden avulla.

Seurantakohteiden energiankulutus mitattiin lämpömäärämittareilla. Lisäksi lämmityslaitteistoa hoitava henkilö kirjasi lämmitystyöhön kuluneen ajan ja suoritettujen toimenpiteet, häiriöt ja niiden syyt sekä määritteli tuhkan määrän ja laadun.

9.3 Seurantakohteet

Kohde A

Kohde A on porsastuotantoon erikoistunut maatila, jossa lämmityksen piiriin kuuluu asuinrakennus ja sikala. Sikalassa on 60 emakkopaikkaa. Talouskeskuksen asemapiirros on esitetty kuvassa 26.



Kuva 26. Kohteen A talouskeskuksen asemapiirros

Asuinrakennus on vuonna 1948 rakennettu 1 1/2-kerroksinen rakennus, jossa lämmin asuinpinta-ala on 160 m^2 ja tilavuus 480 m^3 . Aukkaita on 5 henkilöä. Asuinrakennuksessa on lisäksi lämmin kellarikerros 92 m^2 (220 m^3). Sikalan pinta-ala on 530 m^2 ja tilavuus 1560 m^3 . Lisäksi lämmitettävää teknistä tilaa on 20 m^2 (50 m^3). Yhteensä lämmitettävä pinta-ala on 805 m^2 ja tilavuus

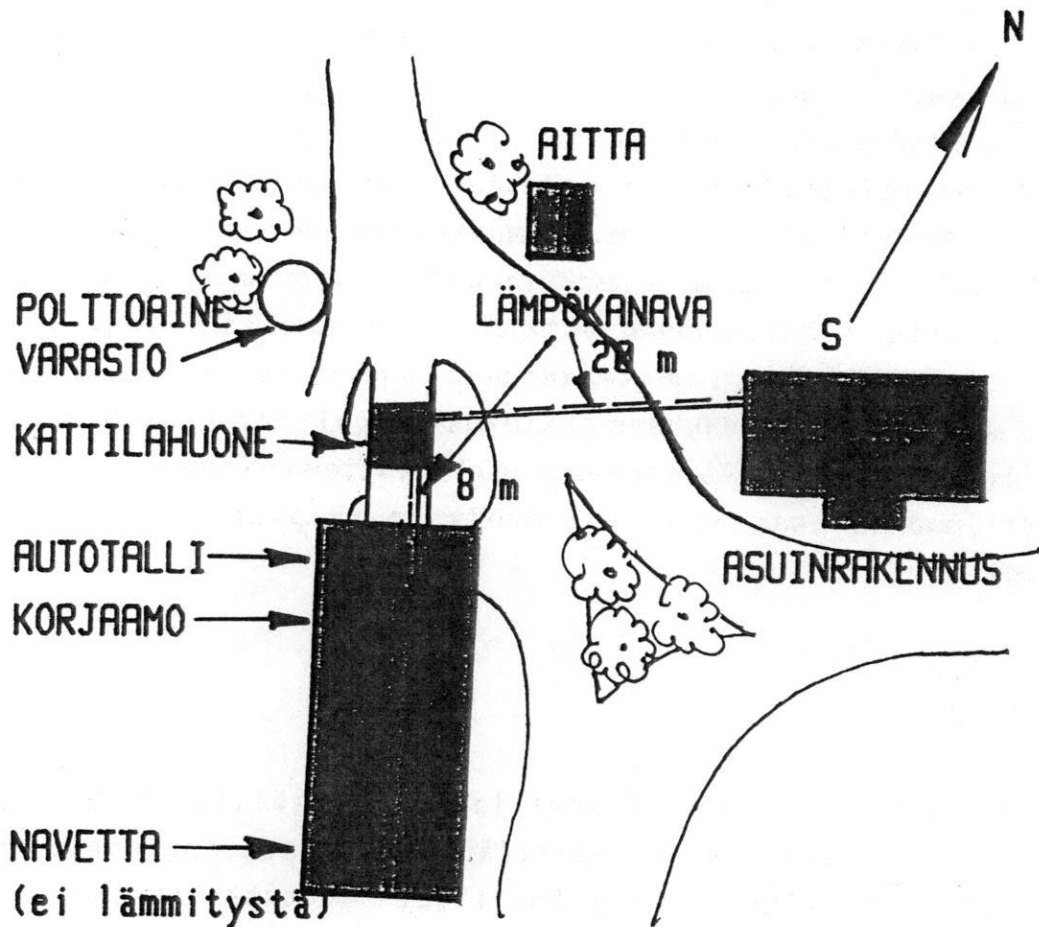
2310 m³. Erillisessä rakennuksessa sijaitseva lämpökeskus käsittää sekä kattilahuoneen että polttoainevaraston. Asuinrakennukseen johtavan lämpökanavan pituus on 26 m. Asunnon alakertaan on sijoitettu käyttövesikierukalla varustettu 200 l:n varaaja. Sikalaan johtavan lämpökanavan pituus on 70 m. Lämpökeskus on kaksitasoinen. Polttoaine siirretään kattilahuoneen katossa olevan lukuun kautta syöttökourua pitkin polttimen säiliöön. Aikaisemmin lämmitys on tapahtunut omalta tilalta hankitulla hakkeella. Hakkeen kulutus on ollut n. 120 m³/v eli n. 96 MWh/v. Tämän perusteella kohteen A vuotuinen lämmönkulutus on n. 57 MWh/v ja huipputehontarve n. 25 kW.

Kohde B

Seurantakohde B on viljanviljelyyn erikoistunut maatiila, jossa lämmityksen piiriin kuuluu asuinrakennuksen lisäksi autotalli ja korjaamotilat. Talouskeskuksen asemapiirros on esitetty kuvassa 27.

Asuinrakennus on vuonna 1946 rakennettu 1 1/2-kerroksinen rakennus, jossa lämmin asuinpinta-ala on 220 m² ja tilavuus 600 m³. Asuinrakennus on peruskorjattu 1960. Aukkaita on 1 henkilö. Autotallin ja korjaamotilan pinta-ala on yhteensä 50 m² ja tilavuus 130 m³. Yhteensä lämmitettävä pinta-ala on 270 m² ja tilavuus 730 m³.

Kattilahuone on sijoitettu navetan ylisille johtavan ajosillan alle. Polttoaine varastoidaan suojapeitteen alle kattilahuoneen läheisyyteen, josta se kannetaan saaveilla polttimen polttoainesäiliöön. Asuinrakennukseen johtavan lämpökanavan pituus on 20 m ja autotalliin ja korjaamotilaan johtavan 8 m.



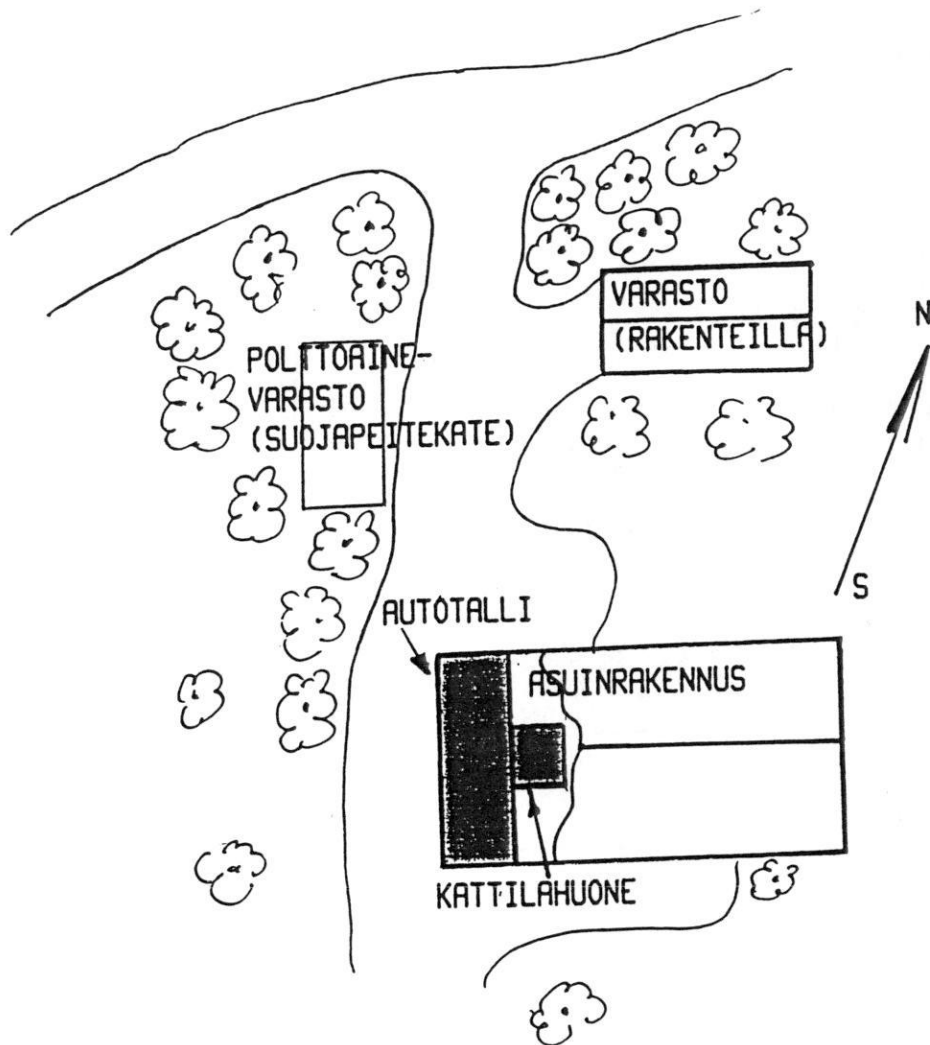
Kuva 27. Kohteen B talouskeskuksen asemapiirros

Polttoaineena tilalla on käytetty haketta vuosina 1960...64 ja öljyä vuosina 1965...75. Vuoden 1975 jälkeen polttoaineena on ollut vuorottain hake ja öljy. Lämmitykseen käytetyn polttoöljyn vuosikulutus on karkean arvion mukaan ollut 5000...6000 l/v.

Tämän perusteella tilan vuosikulutus on n. 41 MWh/v ja suurin tehontarve 18 kW. Syksyllä 1983 tilalle oli hankittu TP 2000 -hakepoltin ja TP-kattila. Laitteiston antama lämpöteho oli ollut riittävä lämmityskaudella 1983-1984, kun kylmimpänä aikana käytettiin kuivaa ja hyvää haketta.

Kohde C

Seurantakohde C on Vihdissä sijaitseva omakotitalo, jonka lämmitettävä pinta-ala on 156 m² ja tilavuus 470 m³. Asukkaita on 5 henkilöä. Lämpökeskuksen ja polttoainetaraston sijainti käy ilmi kuvasta 28.

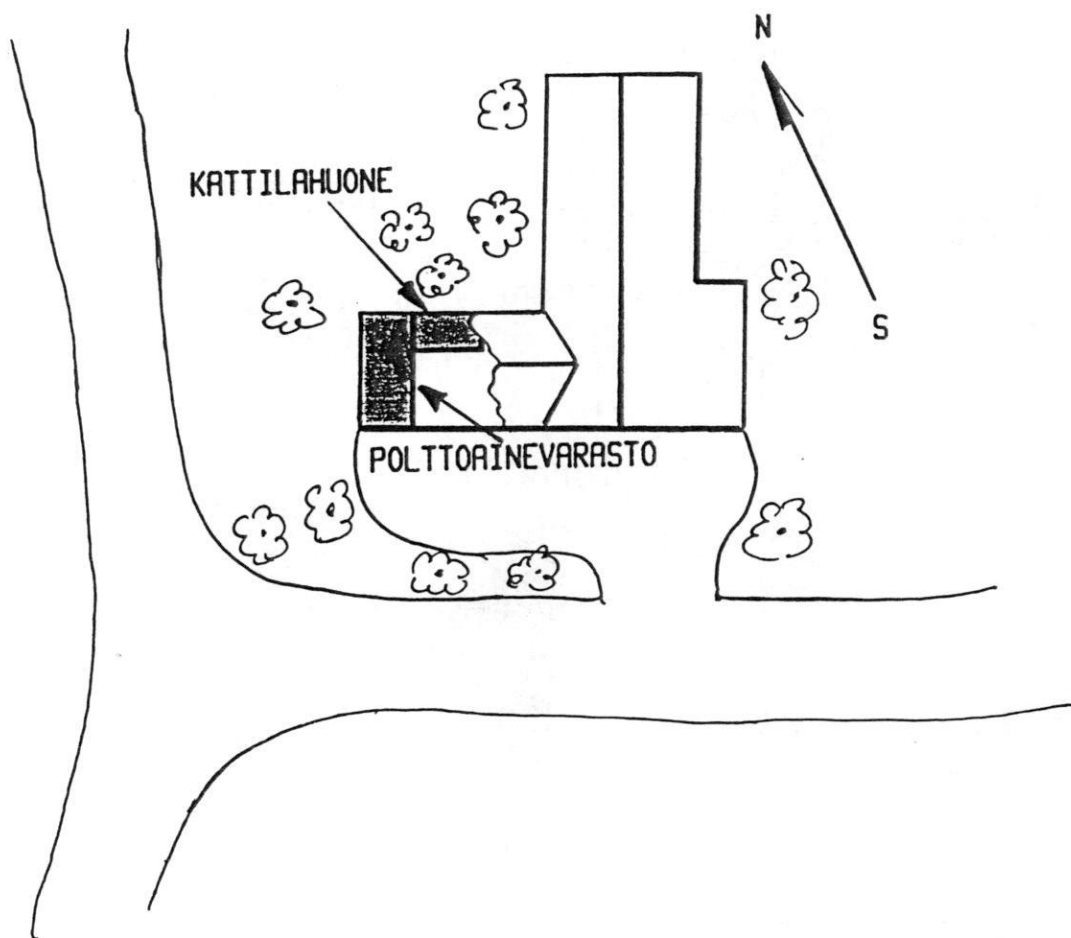


Kuva 28. Kohteen C rakennusten asemapiirros

Asuinrakennus on rakennettu vuonna 1983. Kattilahuone on sijoitettu kellarikerrokseen lähinnä varastotilana käytettävän autotallin viereen. Aluksi polttoaineena käytettiin rakennusjätteitä ja pilkkeitä (3kk), jonka jälkeen helmikuussa 1984 siirryttiin olkipellettiin.

Seurantatutkimuksessa tarvittavat mittalaitteet asennettiin kuitenkin vasta heinäkuussa 1984. Polttoainevarasto ei ollut valmis lämmityskaudelle 1984-85. Polttoainevarastoitiin suursäkeissä pihalle rakennuksen läheisyyteen, josta siirto polttimen siiloon tapahtui saaveilla, kottikärryllä ja ämpäreillä.

Kohde D



Kuva 29. Kohteen D lämpökeskuksen asemapiirros

Seurantakohde D oli Vihdissä sijaitseva rakenteilla oleva omakotitalo, jonka lämmitettävä asuinpinta-ala on 180 m^2 ja tilavuus 540 m^3 . Lisäksi lämmityksen piiriin

kuuluu autotalli, jonka pinta-ala on 20 m² ja lämmitettävä tilavuus 60 m³. Seurantakuukausien aikana rakennuksessa ei asuttu, joten energian kulutus ei tämän vuoksi vastannut varsinkaan lämpimän käyttöveden osalta asuttua rakennusta. Toisaalta seuranta-ajan ensimmäisinä kuukausina rakennuksen eristystaso ei vastannut valmiin rakennuksen eristystä. Kattilahuone ja polttoainevarasto sijaitsevat rakennuksen yhteydessä, kuva 29.

Polttoaineen siirto varastosta polttimen siiloon tapahtuu käsin.

9.4 Seurantakohteiden lämmityslaitteet

Seurankohteita valittaessa pyrittiin löytämään sellaiset kohteet, joissa valmius olkipellettien polttoon, varsinkin laitteiden osalta, on mahdollisimman hyvä. Edellä esitellyistä seurantakohteista kahdella oli valmiiksi kokemusta kotimaisella polttoaineella toimivien polttimien käytöstä ja kaksi oli päättänyt aloittaa lämmityksen tällaisella laitteella. Kolmessa kohteessa polttimena oli TP-poltin ja yhdessä Pelikko-poltin.

Kohde A

Seurantakohteessa A oli jo edellisellä lämmityskaudella siirrytty käyttämään TP-hakepoltinta. Polttimen teho oli 25 kW. Olkipellettipolttoa varten tämän polttimen palopää vaihdettiin liikkuva-arinaiseen palopäähän ja polttimeen lisättiin arinoiden vaatimat voimansiirto- ja säätölaitteet. Poltin liitettiin Tuli 30 -poltinkattilaan, jonka tuhkatilaa suurennettiin korkeussuunnassa 10 cm. Tuhkatilan tilavuutta lukuunottamatta laitteisto on sama kuin kohdan 5.2.3 polttokokeissa.

Lämpömäärämittari asennettiin siten, että se samanaikaisesti mittasi sekä asunnon että sikalan energiankulutuksen. Koska käyttövesikierukka oli sijoitettu asunnossa olevaan 200 l:n varaajaan, sisältää mitattu energiankulutus myös tämän lämpömäärän. Asunnon ja sikalan lämmönkulutusta ei eroteltu mittauksissa toisistaan.

Kohde B

Kohteeseen B oli hankittu TP-hakepoltin syksyllä 1983. Poltin on liitetty TP 25-poltinkattilaan. Tämän kattilan tuhkatila on liian pieni olkipellettejä poltettaessa ja tämän vuoksi kattilan alle muurattiin lisätuhkatiilaa. Tuhkatilan tilavuus suureni tällöin 24 l:sta 90 l:aan (tuhkatilan korkeus 48 cm). Hakepolttimen palopää vaihdettiin liikkuvalla porrassarinalla varustettuun polttimeen, jonka teho polttoaineessa mitattuna oli 20 kW. Tämän suurempaa poltinta ei kattilan mitoituksen vuoksi voitu käyttää.

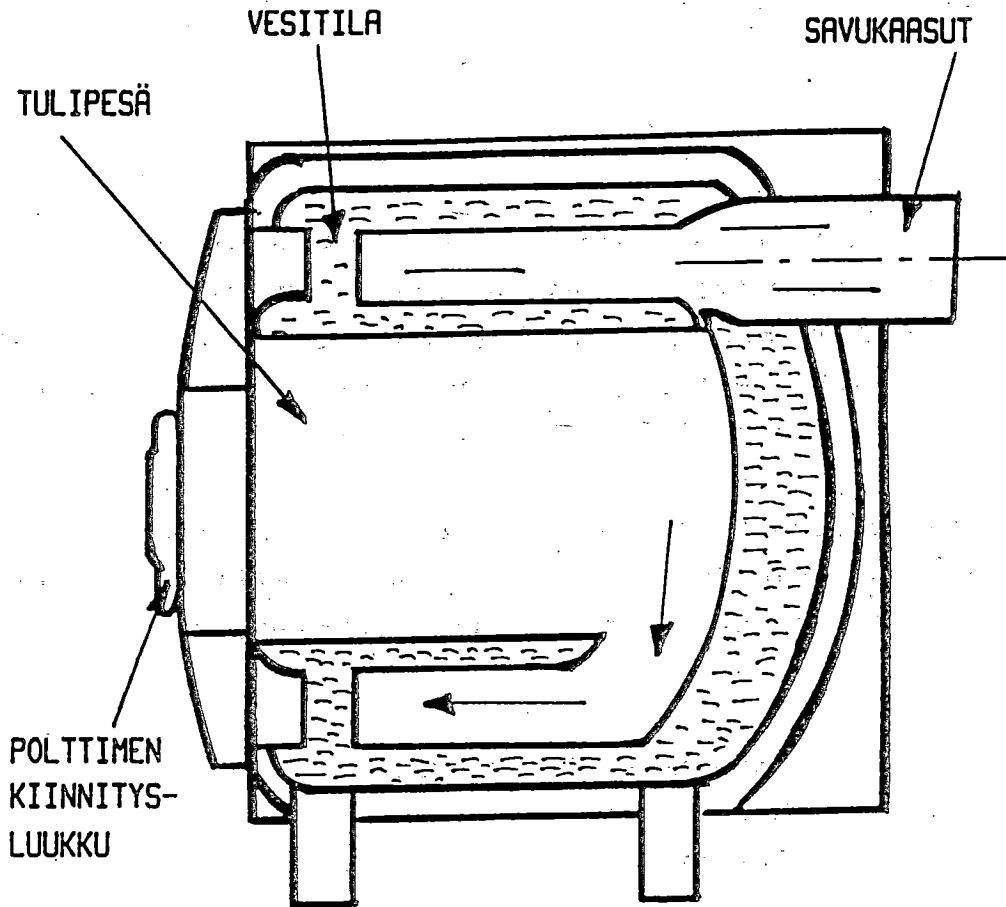
Koska TP 25 -kattilan vesitila on vain 24 l, vaatii se lämmintä käyttövettä tuottaessa lisävesitilan. Kohteeseen B käyttövesivaraajan tilavuus on 400 l ja se on sijoitettu kattilahuoneeseen. Lämminvesikierukka on sijoitettu tähän varaajaan.

Lämpömäärämittari asennettiin siten, että sillä voitiin samanaikaisesti mitata asuinrakennuksen, autotallin ja korjaamon ja lämpimän käyttöveden yhteinen energiankulutus.

Kohde C

Seurantakohteessa C oli kattilana Parca Norrahammarin valmistama Parca Meco 93 -monipolttoainekattila. Kattila on öljykattila, jossa valmistajan ilmoituksen mukaan voidaan polttaa myös puuta.

Kattilan halkileikkaus on esitetty kuvassa 30.



Kuva 30. Parca Meco -kattila

Polttimena kohteessa C oli Pelikko 10 -poltin, jonka poltinpää oli muutettu olkipellettipolttoon soveltuvaksi, vertaa 5.2.2. Koska pitkä tuhkalaatikko muutoin estäisi savukaasujen virtauksen Parca Meco 93 -kattilassa, lisättiin poltinluukkuun 16 cm:n pituinen kaulus, jolloin tuhkalaatikon takaseinä jää riittävän kauas.

Kattilan vesitilavuus on 85 l. Lämpimän käyttöveden riittävyyden turvaamiseksi kattilan rinnalle liitettiin 200 l:n lisävesisäiliö. Koska lämminvesikierukka sijaitsee kattilassa, mitattiin lämmitykseen ja käyttöveteen kulunut energia erikseen.

Kohde D

Seurantakohte D oli rakenteilla oleva uudisrakennus, joten sen lämmityslaitteetkin olivat uusia. Polttimena kohteessa D oli liikkuvalla porrassarinalla varustettu TP 20 -poltin eli sama poltinpää kuin seurantakohteessa B. Kattila oli Tuli 40 -poltinkattila.

Asennusvaiheessa kattilan tuhkatilaa korotettiin 10 cm. Kattila on varustettu lämminvesikierukalla, joten käyttöveden energiankulutus mitattiin erikseen.

9.4.1 Lämmityslaitteiden toiminta

9.4.1.1 Yleistä

Polttolaitteiden toimintaa on eri kohteissa seurattu 7...18 kuukautta. Jokaisessa laitteistossa on esiintynyt melko nopeasti asennuksen jälkeen ilmenneitä "las-tentauteja", jotka yleensä on saatu poistettua ensimmäisen käyttökuukauden aikana. Seurantakohteessa C vaikeudet vähenivät kuitenkin vasta kolmen käyttökuukauden jälkeen.

Kussakin seurantakohteessa polttolaitteen perussäädöt (polttoainemäärä, palamisilmamäärä, arinoiden liike) on tehty tutkijan toimesta. Lämpöarämittareiden kytkemisen jälkeen savukaasuanalysointia ei käytetty myöhemmin palamisarvojen säädössä. Lämmityskauden aikana läm-

mityslaitetta hoitava henkilö on suorittanut tarvittavat säätötoimenpiteet, joko oman harkintansa tai tutkijalta saamiensa ohjeiden mukaan.

Seurantajaksojen aikana säätöjen muutoksia on tarvittu lähinnä polttoainemäärän ja palamisilmamäärän osalta. Tämä johtuu lähinnä siitä, että polttoaineen laatuvaihtelut olivat erittäin suuria lämmityskauden aikana. Siirrettävällä pelletointilaitteella valmistetut pelletit olivat kovia eikä pelletti sisältänyt juuri lainkaan hienoainesta. Rafex Oy:n toimittamassa pelletissä hienoainetta oli 20...60%, joten polttoaineen tiheysvaihtelut olivat suuria. Toisaalta suuri osa seuranta-kohteissa poltetuista pelleteistä sisälsi erilaisia lisäaineita, joilla pyrittiin vaikuttamaan oljen tuhkan sulamisominaisuuksiin, oljen pelletoitavuuteen ja olkipelletin laatuun. Tällaisilla koepolttoaineiden tiheällä vaihtelulla on oma vaikutuksensa myös seuranta-tutkimuksessa saavutettuihin tuloksiin. Tuloksissa näitä ei kuitenkaan ole tarkasti eroteltu toisistaan. Taulukossa 25 on kokeissa käytetyt eri polttoainelaadut ja lisäaineiden vaikutus olkipelletin polttoon tai valmistukseen. Seuranta-kohteissa käytetyt polttoainelaadut on esitetty kuukausittain liitteessä 7.

Taulukko 25. Seuranta-kohteissa käytettyjä polttoaineita

ohra-, kaura-, ruispelletti	tuhkan sulaminen
vehnäpelletti	- " -
ohra + kaoliini 1%	- " -
ohra + kaoliini 2%	- " -
ohra + kaoliini 4%	- " -
olki + lignosulfanaatti	pelletoinnin kapasiteetti, lujuus
olki + rasvahappo	- " -
olki + urea	pelletoinnin kapasiteetti, ravintoarvo

9.4.1.2 Viat ja häiriöt

Kohde A

Seurantakohteessa A olkipellettipoltin asennettiin lokakuussa 1984. Lämmitys ja seurantamittaukset aloitettiin 19.10.1984.

Alkuvaikeuksia olivat: Arinoiden juuttuminen kiinni, palamisilmamäärän riittämättömyys ja poltinpään tukkeutuminen. Nämä vaikeudet poistettiin muuttamalla arinoiden työntötankojen kiinnitystä, asentamalla puhallin oikein, muuttamalla arinoiden hidas palautusliike nopeaksi ja lisäämällä ensiö- ja toisioilmareikien määrää. Näiden korjaustöiden jälkeen laitteisto on toiminut 8 kuukautta, joulukuusta heinäkuun loppuun polttoaineen laatuvaihteluista johtuvia säätötarpeita lukuunottamatta häiriöittä.

Koko 9,5 kuukautta kestäneen seurantajakson aikana poltin on sytytetty 5 kertaa ja ne ovat tapahtuneet ensimmäisen 1,5 käyttökuukauden aikana.

Kohde B

Seurantakohteessa B olkipellettipoltin ja mittauslaitteet asennettiin lokakuun alussa 1984 ja seurantamittaukset alkoivat 8.10.1984.

Alkuvaikeutena oli, samoin kuin kohteessa A, poltinpään tukkeutuminen. Vika korjautui, kun arinoiden palautusliike muutettiin nopeaksi ja ensiö- ja toisioilmareikien määrää lisättiin. Myöhemmin ilmennyt herkkyys polttoaineen laatuvaihtelusta johtuvalle poltinpään tukkeutumiselle, aiheutui polttimen alitehoisuudesta. Jotta kattilasta olisi saatu riittävän suuri teho, säädettiin

poltin toimimaan mahdollisimman suurella teholla. Tällöin se on herkkä polttoaineen laatu(tiheys)vaihteluille. Polttimen teho oli riittävä, kun ulkoilman lämpötila oli korkeampi kuin $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tätä kylmempinä päivinä lisälämpö saatiin leivinuunista. Osaltaan tehon riittämättömyys johtui myös kattilan lämmönsiirtopinta-alan pienuudesta ja nopeasta likaantumisesta. Kun poltinteho oli n. 20 kW oli savukaasujen lämpötila 300...380 $^{\circ}\text{C}$ eli huomattava osa polttimen tehosta menetettiin savukaasuhäviöiden muodossa.

Suurimmat vaikeudet seurantakohteessa B aiheutuivat kuitenkin kattilahuoneen tulipalosta joulukuun viimeisellä viikolla. Tulipalon syytä ei ole saatu varmuudella selville, mutta todennäköisimmin se on aiheutunut kipinästä, joka nuohouksen tai normaalin lämmityksen aikana on lentänyt pölyiseen kattilahuoneen takaosaan. Tulipalo ei vaurioittanut poltinta eikä kattilaa, mutta tuhosi kattilahuoneen sähkölaitteet sekä seurantatutkimuksessa käytetyn lämpömäärämittarin ja mittauskirjanpidon joulukuun osalta. Tulipalon aiheuttamien vaurioiden korjaaminen kesti helmikuun 5. päivään asti. Lämmitys saatiin päälle 28.1. ja energiamittaus 5.2.1985. Tulipalon vuoksi seurantakohteen B mittaustulokset puuttuvat joulu- ja tammikuun osalta.

Helmi- ja kesäkuun välisenä aikana poltin sammui 5 kertaa. Sähkökatkos oli syynä kolmesti ja polttimen käyntimoottorin lämpösuoja kaksi kertaa.

Kohde C

Seurantakohteessa C lämmitys Pelikko 10⁴-polttimella ja olkipelletillä aloitettiin 8.2.1984.

Aluksi hankaluuksia aiheutti satunnaisesti (n. 1 kpl/kk) tapahtuva syöttöruuvien tukkeutuminen ja tästä aiheutuva voimansiirtolaitteiden vaurioituminen (3 kpl). Voimansiirtolaitteiden ylikuormitussuoja ei siis toiminut vaan heikoimmaksi kohdaksi osoittautui eräs vaihteiston hammaspyörä.

Ylikuormitussuojan murtumisherkkyyttä parannettiin ja syöttöruuvien tukkeutuminen korjattiin toukokuussa arinan ilmareikiä ja syöttöruuvien viimeistä kierrettä muuttamalla.

Seuraavien 10 kuukauden aikana (kesäkuu 1984 - maaliskuu 1985) kirjattiin 18 häiriötilannetta, joista on aiheutunut polttimeen sammuminen. Sammumisen syitä olivat:

polttoaine loppunut	2 kpl
polttoaineen holvaantuminen (hienoainetta)	9 kpl
sähkökatkos	3 kpl
kattilan lämpösuoja lauennut	1 kpl
puhaltimen siivistö likaantunut	1 kpl
poltinpään tukkeutuminen	1 kpl
polttoaineessa haitallista lisäainetta (tuhkan voimakas sulaminen)	1 kpl

Häiriöluettelosta nähdään, että Pelikko -polttimeen polttoainesäiliössä hienoainetta sisältävä pelletti holvaantuu herkästi. Syöttöruuvien sijoittaminen kouruun polttoainesäiliön pohjalle aiheuttaa sen, että polttoaine poltinpäässä loppuu yhtäkkiä ja poltin sammuu. Suorapohjaisessa säiliössä polttimeen teho laskee polttoaineen loppuessa hitaasti, jolloin se usein huomataan huoneiston lämpötilan laskemisena ennen kuin poltin sammuu. Poltinpään tukkeutuminen tapahtui poltettaessa runsaasti hienoainesta ja kaoliinia sisältävää pellettiä.

Maaliskuun lopussa 1985 polttoaineen seassa ollut tuntematon lisäaine aiheutti tuhkanpoistoruuvien katkeamisen. Tuhka sulii erittäin helposti ja oli poikkeuksellisen tarttuvaa ja jäähtymisen jälkeen kovaa. Vastaavanlaista oljen tuhka on silloin, kun olkipelletti sisältää melassia. Tämän vaurion jälkeen olkipellettipolttoa jatkettiin huhtikuun 6. päivään asti, jonka jälkeen kohteessa C alettiin polttaa turve- ja olkipelletin sekoitusta. Koska turvepelletti ei ollut punnittua, ei polttoaineen kulutusta ja hyötysuhdetta voitu mitata. Tuhkan käyttäytyminen ja polttimen toiminta osoittavat, että turvepelletin sekoittaminen helpottaa olkipelletin polttoa. Tuhka pysyy tällöin irtonaisena ja rakeisena.

Kohde D

Seurantakohteessa D aloitettiin olkipellettilämmitys 5.1.1985.

Alkuvaikeudet olivat samoja kuin muillakin porrassarina-polttimilla. Poltinpää pyrki tukkeutumaan, kun poltin kävi jatkuvasti. Seurantakohteessa D kokeiltu poikkeuksellinen arinoiden liikkeen säätö osoittautui kohteiden A ja B polttimien liikkeen säätöä huonommaksi.

Eniten vaikeuksia aiheutti kuitenkin se, että poltinpää oli liian lähellä tuhkatilan takaseinää, jolloin tuhkatilaan putoava tuhkakokkare jäi poltinpään alle ja esti näin jatkossa tuhkan putoamisen tuhkatilaan. Tämä lisäsi huomattavasti poltinpään tukkeutumistaipumusta, lisäsi lämmitystyötä ja huononsi palamista. Poltin toimikin parhaiten vasta, kun kattilan keskimääräinen kuormitus-teho oli alle 5 kW. Tämän lisäksi Tuli 40 -kattilan tulipesä osoittautui aivan liian pieneksi. Kiinteällä polttoaineella tulipesään mahtuu vain 10...15 kW:n liekki. Suuremmalla poltinteholla liekki osuu kylmiin läm-

mönsiirtopintoihin ja kulkee pitkin savukanavia. Tämä heikentää palamista, lisää kattilan nokeentumista, alentaa hyötysuhdetta ja lisää entisestään nuohoustarvetta, joka oljella on muutoinkin suuri. "Kaoliinipellettien" poltto paransi poltinpään toimintaa, mutta tuhkatila täyttyi tällöinkin nopeasti kuohkeasta tuhkasta.

Seurantajakson aikana (7 kk) polttimessa ei esiintynyt kertaakaan sammumisen aiheuttavaa häiriötilannetta, vaikka pisimmät sähkökatkokset olivat yli 3 tuntia. Pienillä alle 1 kW:n keskitehoilla touko- ja kesäkuussa savukaasujen lämpötila laskee liian alas, jolloin kattila ja savupiippu likaantuvat ja kostuvat. Tämä vaikeus korjattiin poistamalla kattilasta savukaasujen kiertoa ohjaava välilevy. Seurantajakson aikana poltin on sytytetty vain kolme kertaa ja tällöinkin vain siitä syystä, että poltin sammutettiin tarkoituksella kesäkuussa, kun rakennuksessa ei vielä asuttu.

9.5 Seurantakohteiden mittaustulokset

9.5.1 Yleistä

Lämmityskaudella 1984...85 suoritetuilla mittauksilla selvitettiin seuraavia asioita:

- seurantakohteen lämmönkulutus ja tehontarve kuukausi- ja vuositasolla
- polttoaineen kulutus
- lämmitystyömäärä
- polttolaitteiden toiminta

Huomattava osa mittauksista perustuu lämpökeskusta hoitavan henkilön havaintoihin ja kirjanpitoon. Seurannassa pyrittiin saamaan mittaustulokset kustakin kohteesta vähintään kahdeksan kuukauden ajalta, jolloin tulokset

vuositasolla ja ns. tilastolliseen normaalivuoteen muutettuna olisivat jo varsin luotettavia. Eri seurantakohteiden mittausjaksojen pituudet on esitetty taulukossa 26.

Taulukko 26. Mittausjaksojen pituudet eri seurantakohteissa

Seuranta- kohde	Täydelliset mittaustulokset	Osittaiset mittaustulokset
A	9 kk, 19.10.1984-31.7.1985	
B	7 kk, 8.10.1984-30.11.1984 5.2.1985-26.6.1985	8.10.1984-30.11.1984 28.1.1985-26.6.1985
C	8 kk, 2.8.1984-31.3.1985	18 kk, 8.2.1984-31.7.1985
D	7 kk, 5.1.1985-31.7.1985	

Mittausten tulokset on esitetty todellisen seurantajakson osalta sekä arvioituna vuositasolla lämmityskaudelle 1.8.1984-31.7.1985. Lisäksi tulokset on muutettu poikkeuksellisen ankaran talven vuoksi vastaamaan myös tilastollista normaalivuotta astepäivälukujen avulla. Kuukausittain mittaustulokset on esitetty liitteessä 8. Mikäli mittausjakso ei ole kestänyt koko kuukautta, on mittaustulos esitetty redusoituna edustamaan koko kuukautta.

9.5.2 Energian kulutus, keskiteho ja hyötysuhde

Lämmityskaudella 1984-1985 tammi- ja helmikuu olivat erityisen kylmiä. Energian kulutus astepäivälukujen mukaan arvioituna oli näinä kuukausina n. 40% normaalivuotta suurempi. Tämä vaikuttaa tietysti myös seuranta-
tutkimuksien tuloksiin. Koska kattiloiden hyötysuhde

yleensä paranee keskitehon kasvaessa on seuraavissa tuloksissa esitetty myös arviot ns. normaalivuoden arvoilla.

Olkipelletin kosteus vaihteli 8%:sta 17%:iin. Yleensä kosteus oli 10-14%. Lisäksi olkipelletin lämpöarvoon vaikuttivat sen sisältämät lisäaineet.

Taulukko 27. Seurantakohteiden energiankulutus, keskiteho ja hyötysuhde seurantajakson aikana

Seuranta- kohde	Poltto- aineen kulutus t	Seuranta- jakson pituus vrk	Pelletin energia- sisältö MWh	Energian- kulutus MWh	Keski- teho kW	Hyöty- suhde %
A	19.73	278	79.8	54.0	8.1	67.7
B	11.84	193	47.3	28.3	6.1	59.8
C	9.74	244	40.6	21.7	3.7	53.4
D	7.20	196	29.7	18.8	4.0	63.3

Luvussa 5 esitettyjen laboratorikokeiden ja taulukon 27 tuloksia voidaan parhaiten vertailla seurantakohteen A osalta, koska laitteistot näissä kokeissa olivat lähes täysin samanlaiset. Polttimet poikkeavat toisistaan vain toisioilmareikien osalta. Muissa seurantakohteissa lämmityslaitteiston kattila ei vastaa laboratorikokeissa käytettyä kattilaa.

Laboratorikokeiden perusteella olisi TP 30 -polttimella ja TULI 30 -kattilalla pitänyt 8.1 kW:n keskiteholla saavuttaa n. 82%:n vuosihyötysuhde. Hyötysuhdetulosten ero on n. 14% -yksikköä. On selvää, että käytännössä ei saavuteta yhtä hyviä tuloksia kuin suhteellisen lyhyissä laboratorikokeissa, mutta silti ero on varsin suu-

ri. Suuri merkitys todennäköisesti on ollut polttoaineen vaihtelevalla laadulla (hienoaines ja lisäaineet), vuotoilmalla ja lämmön riittävyuden takaavalla tehonsäädöllä. Savukaasujen lämpötilat olivat sekä seisonta että käyntijaksojen aikana (myös nuohouksen jälkeen) 30...50 °C korkeampia kuin laboratorikokeissa. Pelikko-polttimella pitkäaikainen hyötysuhde oli n. 10%-yksikköä huonompi kuin laboratorikokeissa. Kattila tosin oli toinen, mutta savukaasujen lämpötilakin oli seurantakohteessa useimmiten yli 100 °C korkeampi kuin laboratorikokeissa.

Taulukossa 28 on esitetty taulukkoa 27 vastaavat tulokset arvioituna koko lämmityskaudelle 1.8.1984-31.7.1985 sekä energian kulutuksen kannalta tarkasteltuna ns. normaalivuodelle. Seurantakohteen D osalta tätä arviota ei ole tehty koska rakennus oli mittauksen aikana rakennusvaiheessa.

Taulukko 28. Arvio seurantakohteiden vuotuisesta energiankulutuksesta, polttoaineen kulutuksesta ja hyötysuhteesta lämmityskaudella 84/85 ja ns. normaalivuonna

Seuranta- kohde	Poltto- aineen kulutus t/v	Energian- kulutus MWh	Keski- teho kW	Hyöty- suhde %
A 84/85	23.0	62.2	7.1	67
A norm.	20.7	56.0	6.4	65
B 84/85	21.7	52.6	5.9	59
B norm.	19.6	47.5	5.4	58
C 84/85	13.2	28.2	3.2	52
C norm.	11.5	25.2	2.9	50

Vuositasolla saavutettuja tuloksia voidaan pitää vähintäänkin tyydyttävinä, kun otetaan huomioon, että kyseessä on kullekin käyttäjälle ja myös laitevalmistajalle uusi polttoaine. Erityisesti mittausten aikana oli havaittavissa polttimeen liitetyn kattilan merkitys laitteiston toimivuuteen ja sillä saavutettavaan hyötysuhteeseen. On erittäin tärkeää, että tulipesä on riittävän tilava pitkäliekkiselle, paljon haihtuvia aineita sisältävän olkipelletin liekille. Tämä vaikuttaa palamisen ohella myös kattilan lämmönsiirtopintojen likaantumiseen ja myös tätä kautta kattilahuötysuhteeseen.

9.5.3 Lämmitystyö

Verrattaessa kotimaisella polttoaineella tapahtuvaa lämmitystä esim. öljy- ja sähkölämmitykseen, koetaan lämmitystyömäärä ja lämmityksen sitovuus polttoaineen hankinnan ohella merkittävimmäksi kotimaisen polttoaineen huonoksi ominaisuudeksi.

Polttoaineen tiheyttä suurentamalla ja käyttämällä kuorituksen mukaan hyvin säätyvää polttolaitetta voidaan vähentää erityisesti tätä haittatekijää.

Oljen pelletointi suurentaa oljen energiatiheyttä 5-10-kertaiseksi paalattuun olkeen verrattuna. Kuutiometri olkipellettiä sisältää energiaa 2.5-kertaisesti hakkeeseen ja 1.5-kertaisesti palaturpeeseen ja pilkkeeseen verrattuna.

Lämpökeskuksessa tehtävään lämmitystyöhön kuuluu:

- polttoaineen siirto varastosta kattilahuoneeseen
- polttoainesäiliön täyttäminen ja polttoaineen lisääminen
- sytytys
- kattilan säädöt
- tuhkanpoisto
- nuohous
- kattilahuoneen siivous

Seurantakohteissa lämmitystyöhön kuluva aikaa seurattiin kattilaa hoitavan henkilön kirjanpidon mukaan. Jokaisesta kattilahuonekäynnistä merkittiin ylös suoritettu lämmitystyöhön kuuluva toimenpide ja niihin kerrallaan kulunut yhteisaika. Liitteessä 8 on esitetty kuukausittaisina keskiarvoina lämmitystyöhön kulunut aika ja suoritettujen toimenpiteiden lukumäärä. Taulukoissa 29 ja 30 sensijaan eri seurantakohteista saadut tulokset on redusoitu vuositasolle lämmityskaudella 84/85 ja toisaalta vastaamaan energiankulutukseltaan normaalia lämmityskautta. Tuloksia tarkasteltaessa on huomattava, että kummallakin seurannassa mukana olleella maatilalla, kohteet A ja B, on aikaisempaa kokemusta hakkeella toimivan polttimen hoidosta ja toisaalta lämmityslaitteen hoito soveltuu paremmin maatilan normaaliin työrytmiin.

Taulukko 29. Lämmitystyöhön kuluva aika eri seurantakohteissa

Seuranta- kohde	Lämmitys- työmäärä h/v	Lämmitys- työmäärä min/vrk	Lämmitys- työmäärä h/MWh
A 84/85	60	9.8	0.96
A norm.	55	9.0	0.96
B 84/85	51	8.5	0.97
B norm.	46	7.6	0.97
C 84/85	68	11.1	2.40
C norm.	62	10.2	2.40
D* 7kk	44	13.4	2.36

*Kohde D on rakenteilla oleva rakennus. Arvot seitsemän seurantakuukauden keskiarvoja ajalta, jolloin talossa ei vielä asuttu.

Taulukko 30. Lämpökeskuksen hoitotoimenpiteiden lukumäärä
lämmityskaudella 84/85

Seuranta- kohde	Sytytys- kerrat		Täyttö- kerrat		Tuhkaus- kerrat		Nuohous kerrat	
	kpl/v	kpl/vko	kpl/v	kpl/vko	kpl/v	kpl/vko	kpl/v	kpl/vko
A	5	-	159	3.1	144	2.8	58	1.1
B	8	-	201	3.9	166	3.2	35	0.7
C	23	0.4	206	4.0	121	2.3	47	0.9
D	3*	-	89*	3.0	133*	4.4	48*	1.6

* 7 kuukauden yhteismäärä

Taulukosta 29 nähdään, että lämmitystyöhön kulutetaan tai koetaan kuluvan selvästi eri määrä aikaa. Tuotettua MWh:a kohti laskettuna maatiloilla kuluu noin 1 h lämmitystyötä ja omakotitaloissa 2.4 h. Osaltaan selvään eroon vaikuttaa varmasti kokemus ja lämmitystyön soveltuminen muiden maatalan töiden lomaan. Toisaalta omakotitaloissa kiinnitettiin enemmän huomiota kattilahuoneen siisteyteen, sijaitseehan kattilahuone asuinrakennuksen yhteydessä. Lämmitystyöajan ominaiskulutukseen (tunti/tuotettu energiayksikkö) vaikuttaa tosin myös lämmityslaitteiston mitoitus ja tuotettava energiamäärä. Isommissa yksiköissä aikaa kuluu hoitotyöhön suhteessa vähemmän. Vuorokautinen lämmitystyöhön keskimäärin kuluva aika oli seurantakohteissa 8-14 min ja vuositasolla 50-70 h/v. Seurantakohteista A ja B saatujen kokemusten mukaan olkipellettilämmitys vaati yhtä paljon lämmitystyötä kuin hakelämmitys. Se aika, mikä polttoainetäytösten määrässä voitetaan, kuluu tuhkan poistossa ja nuohouksessa.

Taulukosta 30 nähdään, että tuhka pitää keskimäärin poistaa 2-4 kertaa viikossa ja nuohous suorittaa kerran viikossa. Tuhkan poistotarpeeseen vaikuttaa huomattavas-

ti olkilaatu ja käytetyt lisäaineet. Kun tuhka ei sula, on tuhkanpoistotarve kaksinkertainen sulaneeseen tuhkaan verrattuna. Tähän vaikuttaa myös se, miten tehokkaasti tuhka täyttää sille tarkoitettun tuhkatilan.

Nuohoustarve on olkipellettipoltossa erittäin suuri. Tammi-helmikuun kovilla pakkasilla kattilaa nuohottiin 2-3 päivän välein. Nuohoustarve on erityisen suuri silloin, kun kattilassa on kapeita rivoitettuja savukanaavia. Oljesta irtoaa puristeinakin hienojakoista kevyttä lentotuhkaa, joka tarttuu lämmönsiirtopinnoille "kuohkeaksi" kerrokseksi, joka irtoaa erittäin helposti ja on nopea poistaa kevyesti harjaamalla. Polttoaineen joukossa oleva hienoaines lisää lentotuhkan määrää. Suurimpana häirtana on nuohouksen pölyisyys. Kattilatehon kasvauksessa tarvitaan koneellisia nuohous- ja tuhkan poistolaitteita.

9.6 Käyttäjien kokemukset

Seurantajaksojen aikana lämpökeskusta hoitaneet henkilöt ehdivät muodostaa oman käsityksensä olkipellettilämmityksestä. Yleisesti oltiin sitä mieltä, että alkuhan- kaluuksien ja opettelun jälkeen lämmitys onnistui varsin hyvin. Seuraavassa mielipiteet seurantakohteittain.

Kohde A

Polttimen tehoa pidettiin tässä suurimmassa lämmönkulutuskohteessa riittävänä ja toimintavarmuutta hyvänä. Toimintavarmuus oli yhtä hyvä tai jopa parempi kuin ha- kepolttimen. Säätötarve oli vähäinen. Suurimmilla käy- tetyillä polttoaineen syöttönopeuksilla palopää pyrki täyttymään, mutta tätä ei tapahtunut käytettäessä "kao- liinipellettiä". Kun polttoaineessa oli paljon hienoai-

nestä, jäi siilon reunoille paljon valumatonta polttoainetta. Tämä ei kuitenkaan aiheuttanut polttimen sammumista.

Kattila ei isännän mielestä ollut paras mahdollinen. Olkipellettipoltossa tuhkatilan pitäisi olla suurempi. Lentotuhka tukki savukanavat. Nuohous oli helppoa ja sitä haittasi eniten se, ettei poltinta voitu kattilahuoneen mittojen vuoksi vetää riittävän paljon ulos kattilasta. Tuhkanpoisto oli helppoa, mutta liian pölyistä. Jatkokäsittelyssä tuhka levitetään tilan peltoille.

Polttoaineen osalta kohteessa A pidettiin suurimpana haittana hienoaineen suurta määrää osassa polttoainetta. Kiinteä pelletti on siisti käsitellä. Polttoainetta tarvitsi lisätä niin harvoin, että lämmitystyömäärä tämän ansiosta laski polttimella tapahtuvan hakelämmityksen tasolle. Molemmat polttoaineet vaativat talvella päivittäistä tarkkailua. Varastotilan tarvetta pidettiin kohtuullisena. Kohteessa A on riittävät tilat vuoden polttoaineelle. Palaneen oljen haju tuntui joskus pihamaalla. Tätä ei koettu häiriöksi, kuten ei myöskään sitä, että talvella voitiin havaita piipusta tulevan vähän tuhkaa ympäristöön.

Kysymykseen, "Onko olkipelletistä polttoaineeksi", vastattiin "Kyllä, jos pelletointi saadaan järkevästi ratkaistua". Tällaisena ratkaisuna isäntä pitää kiertävää pelletointiasemaa tai halpaa isäntälinjan konetta. Olkipelletin hinta saa olla 350-400 mk/t. Pelkästään pelletoinnin osalta kohtuullisena hintana pidettiin 200 mk/t.

Kohde B

Seurantakohteessa B olivat vaikeudet lämmityskaudella 84/85 selvästi suurempia kuin kohteessa A. Kattilan teho ei riittänyt kovimmilla pakkasilla ja joulukuun lopulla tulipalo vaurioitti kattilahuonetta ja keskeytti lämmityksen koko tammikuun ajaksi. Seuraavassa isännän mielipiteitä olkipellettilämmityksestä.

Polttimen tehoksi kohteen B isäntä arvioi n. 15 kW. Toimintavarmuus oli hyvä, mutta teho olisi saanut olla suurempi. Kovilla pakkasilla pienetkin vaihtelut polttoaineen laadussa aiheuttivat lämmön puutetta. Polttimen säädettävyys on hyvä ja säädöt on helppo suorittaa.

Kattila soveltuu isännän mielestä hyvin poltinkäyttöön. Likaantumisen on kohtuullista. Tuhkanpoisto ja nuohous ovat helppoja suorittaa. Vaikeinta oli nuohoustuhkan poisto kattilan vesitilan ja ulkoseinän välistä. Tuhkatilaa isäntä piti riittävänä, koska tuhkatila riittää yhden polttoainesäiliöllisen poltossa syntyvälle tuhkalle. Tuhka käytetään lannoitteena pellolla ja metsässä.

Polttoaineen laadun vaikutus havaitaan selvimmin kovilla pakkasilla, kun poltin käy pitkiä aikoja suurella teholla. Polttoaineen käsittely on pölyistä varsinkin silloin, kun pelletin seassa on hienoainesta. Polttoaineen lisäysväliä isäntä pitää pitkänä. Lämmitystyömäärä on yhtä suuri kuin polttimella tapahtuvassa hakelämmityksessä.

Polttoaineen vaatima tilantarve on kohtuullinen. Tilalla ei ole polttoainevarastoa, johon mahtuisi vuoden polttoaineet. Tällaisen rakentaminen kuuluu kuitenkin tulevaisuudensuunnitelmiin.

Olkipellettiä isäntä pitää hyvin käyttökelpoisena polttoaineena. Laadultaan hyvän pelletin käyttö on nuohouta lukuunottamatta siistiä ja polttolaitteiden toiminta varmaa. Käypää olkipelletin hintaa ei osattu arvioida, koska hake saadaan omasta metsästä ja haketetaan maa-miesseuran hakkurilla. Viljanviljelytilan ainoana työntekijänä olkea ei itse ehtisi korjata pellolta.

Seurantakohde C

Tässä omakotitalossa olkipellettipoltin on liitetty öljykattilaan. Käyttökokemuksia olkipelletistä on kertynyt 18 kk:n ajalta ja aina ei ole ollut aivan helppoa. Vaikeudet ovat johtuneet sekä polttolaitteesta että vaihtelevalaatuaisesta polttoaineesta. Isännän ennakkoluulottomuutta kuvanee hyvin se, että sekä poltinettä kattilavalmistajan edustajat olivat lämmityskokeisiin ryhdyttäessä sitä mieltä, ettei heidän laitteensa sovellu olkipellettilämmitykseen. Seuraavassa isännän mielipiteitä:

Polttimen teho on ollut riittävä. Suurinta tehoa ei ole vielä tarvittu. Toiminta alkuhankaluuksien jälkeen on ollut lähes moitteeton. Puhallin on sijoitettu paikkaan, jossa sen siivistö likaantuu nopeasti. Tästä seuraa, että palamisilman säädöt eivät pysy kohdallaan. Alussa vaikeuksia aiheutti eniten polttoaineen syöttölaitteen ylikuormitussuojan virheellinen mitoitus. Laitteisto on arka polttoaineen epäpuhtauksille, esim. puu, kivet. Tuhkalaatikon muotoilua isäntä pitää epäonnistuneena.

Kattilan soveltuvuus poltinkäyttöön on tyydyttävä, kun poltin on varustettu tuhkanpoistolaitteella. Kattilan likaantuminen on olkipellettipoltossa kohtalaista, mutta nuohous on helppo suorittaa, koska kanavat ovat hyvin näkyvissä ja puhdistettavissa. Jos polttimessa ei

ole tuhkanpoistolaitetta on tuhkaus helppoa, mutta kattilan tuhkatila on liian pieni. Oljen tuhka on käytetty metsäisen tontin maanparannusaineena.

Kuivalla ja tasalaatuisella polttoaineella lämmitys onnistuu hyvin. Jos polttoaine pääsee kostumaan tai se sisältää paljon hienoainesta poltin toimii hyvin huonosti. Kuivaa polttoainetta käsiteltäessä ja nuohottaessa syntyy pölyä, mutta tätä haittaa ei pidetä kovin suurena.

Lämmitystyömäärä öljylämmitykseen verrattuna on runsas. Polttoaine vaatii myös runsaasti tilaa, eikä tarvittavia tiloja olkipellettilämmityksen aikana ollut käytössä. Rakennuslupa on kuitenkin jo hankittu, koska jatkossa lämmitys tapahtuu turvepelletillä. Isännän mielestä kevytrakenteisen (katos) lisätilan rakentaminen polttoainetta varten on parempi ratkaisu kuin toistuvat polttoainetoimitukset.

Isännän mielestä olkipelletti soveltuu polttoaineeksi ja hän on valmis maksamaan siitä 400-500 mk/t. Varalämmitykseen hän ehdottaa sähköä.

Seurantakohte D

Kohteen D lämmityslaitteistoa hankittaessa pidettiin esimerkkinä seurantakohteen A laitteistoa, joka vastaa laboratorioskokeissa keväällä 1984 käytettyä poltin-kattilayhdistelmää. Polttimen teho valittiin pienemmäksi. Toimitusten saapuessa voitiin kuitenkin todeta, että vuoden vaihtuessa olivat myös polttolaitteiden mallit muuttuneet. Myöhemmin voitiin todeta, että muutokset olivat menneet huonompaan suuntaan, varsinkin kattilan osalta. Arinoiden liikettä ei voitu säätää vastaavasti kuin kohteen A ja B polttimissa. Kattilan osalta kilpi-

tehoa oli suurennettu, mutta kattilan ulkomitat ja tulipesän tilavuus olivat pienentyneet huomattavasti. Lämmönsiirtopintaa kattilassa on riittävästi, mutta vastaavan tehoinen liekki ei mahdu palamaan tulipesässä. Seuraavassa isännän mielipiteitä:

Polttimen teho oli riittävä, mutta sulanut tuhka aiheutti ongelmia jo yli 5 kW:n keskitehoilla. Tämä johtuu siitä, että poltin ei "katkaise" tuhkakokkareita riittävän pienin palasiin, jolloin tuhka ei valu tuhkatilaan vaan jää poltinpään alle ja haittaa jatkossa tuhkan poistumista poltinpäästä. Tähän vaikuttaa myös se, että poltinpää on varsin lähellä tulipesän ja tuhkatilan takaseinää. "Kaoliinipelleteillä" ei vastaavaa ongelmaa esiintynyt. Laitteiston toimintavarmuus oli tyydyttävä. Lämmityksessä ei viiden kuukauden aikana ollut yhtään katkosta. Tuhka poltinpäässä aiheutti toisinaan savutusta. Säättöjen osalta laitetta pidettiin liian herkkänä olkipelletin laadun vaihdellessa.

Kattilan soveltuminen poltinkäyttöön arveltiin kohteessa D välttäväksi, olkipellettipolttoon käytettäessä huonoksi. Lämmönsiirtopinnat likaantuvat nopeasti ja nuohous on hankalaa, koska poltin täytyy irrottaa. Osa nuohousluukuista on kattilan polttimen puoleisella seinällä. Tuhkanpoisto on hankalaa, koska tuhkanpoistoluuku on ahdas ja sijaitsee kattilan sivulla takaosassa. Samasta luukusta poistetaan sekä polttimen tuhka että nuohoustuhka. Tuhkaus on siistiä. Tuhkatila koettiin liian pieneksi. Tuhkan jatkokäsittelylle ei oltu keksitty siistiä menetelmää.

Polttoaineen osalta laadun vaikutusta pidettiin liian suurena. Kaikki kohteessa D käytetty pelletti oli rehu-tehtaalla valmistettua huonolaatuista pellettiä. Pölyhaittoja kohteessa D esiintyi nuohottaessa. Savun haju

tuntui toisinaan pihamaalla polttimen käynnistymisen jälkeen. Polttoaineen lisäysväliä pidettiin kohtuullisena. Samoin tilantarvetta. Lämmitystyö olisi muutoin kohtuullista, mutta tuhkasta on liikaa ongelmia. Kohteessa D arvioidaan varastotilojen riittävän vuodessa kuluvalle pellettimäärälle. Mikäli tila ei riittäisi, olisi useat polttoainetoimitukset parempi ratkaisu kuin lisätilojen rakentaminen.

Myös kohteessa D uskotaan, että olkipellettiä voidaan käyttää polttoaineena, kunhan laiteratkaisut ovat oikeita. Millä tahansa polttimella ja kattilalla lämmitys ei onnistu. Isännän mielestä olkipelletin hinta saa olla korkeintaan puolet öljyllä tuotetun energian hinnasta, silloin kun tarkastellaan pelkästään polttoainekustannuksia. Tällöin olkipelletti saisi korkeintaan maksaa 270 mk/t.

Yhteenvedona käyttäjien kokemuksista voidaan todeta:

Olkipelletti koetaan käyttökelpoiseksi polttoaineeksi silloin, kun se on laadultaan hyvää ja tasaista. Polttolaitteiston osalta on tärkeintä, että polttimen ja kattilan teho on oikeassa suhteessa rakennuksen vaatimaan tehoon. Olkipellettipoltossa suurimmiksi haitoiksi koetaan suuri tuhkamäärä ja nuohustarve. Harvemmat polttoainekäytökset tasoittavat lämmitystyömäärän kuitenkin hakepolttimen tasolle.

Seurantakokeiden aikana eniten vaikeuksia aiheutti laadultaan epätasainen polttoaine. Osaltaan tähän oli syytä, että polttoaineena käytettiin tuhkan sulamiskäyttämistä selvittäviä koepolttoaineita. Suurin syy kuitenkin oli rehutehtaan toimittaman polttopelletin suuri ja vaihteleva hienoainepitoisuus. Olkipelletin tiheys vaihteli alueella $250-550 \text{ kg/m}^3$ (siirrettävällä laitteella valmistettu pelletti $500-600 \text{ kg/m}^3$). Rehutehtaiden pu-

ristimilla on erittäin vaikeaa ja hidasta tuottaa polttopellettejä, koska näissä ei voida käyttää samoja oljen ravintoarvoa ja puristettavuutta parantavia lisäaineita.

Olkipelletin käyttö soveltuu paremmin maatiloille kuin omakotialueille. Maaseudulla pienet savu- ja nokihaivat eivät ole niin häiritseviä varsinkaan silloin, kun lämpökeskus sijaitsee erillisessä rakennuksessa. Lämmitys työ rytmittyy joustavasti maatilan muiden töiden kanssa. Hinnallaan olkipelletti ei kuitenkaan pysty kilpailemaan omalta tilalta hankitun hakkeen kanssa.

9.7 Kaoliinin vaikutus oljen tuhkan sulamiseen seurantakohteiden polttolaitteissa

Kohdassa 6 on käsitelty oljen tuhkan sulamista ja lisäaineiden vaikutusta oljen tuhkan sulamislämpötiloihin. Laboratoriokokeiden avulla todettiin, että parhaimmat tulokset saavutetaan käytettäessä lisäaineena kaoliinia. Ohralla ja kauralla lisäainemäärän tulisi poltin-käytössä olla n. 2%. Laboratoriokokeiden aikana ei suoritettu riittävästi polttokokeita, koska näihin tarvittavaa polttoainetta ei ollut käytettävissä.

Laboratoriokokeiden tulosten luotettavuuden toteamiseksi valmistettiin RAFEX Oy:n rehupuristelinjalla pellettejä, jotka sisälsivät kaoliinia 1%, 2% ja 4%. Näitä pellettejä käytettiin seurantakohteissa koepolttoaineina lämmityskaudella 84/85.

Poltetut "kaoliinipellettimäärät" on esitetty taulukossa 31.

TP-polttimet toimivat parhaiten, kun niissä käytettiin joko 2% kaoliinia sisältävää olkipellettiä tai sekoitettiin 2% ja 4% kaoliinia sisältävät pelletit keskenään. Kun kaoliinia oli 1% tai poltettaessa seosta, jossa oli sekoitettu 1% ja 2% kaoliinia sisältävää pellettiä, oli tuhkan seassa vielä sulanutta tuhkaa. Lian pieni kaoliinilisäys huononsi polttimien toimintaa, koska tuhkan poisto ei toiminut kunnolla. Kun kaoliinilisäys oli riittävä eli yli 2% ei tuhkanpoisto toiminut enää liikkuvien arinoiden avulla vaan tuhka työntyi lähinnä takaa tulevan polttoaineen avulla pois poltinpäästä.

Taulukko 31. Seurantakohteissa käytetyt kaoliinia sisältävien pellettien kokonaismäärät

Polttoaineen kaoliinipitoisuus %	Polttoainemäärät kg			
	Kohde A	Kohde B	Kohde C	Kohde D
1	1800	1710	1220	
2	5010	1000	310	600
4	1530		500	

Pelikko-polttimessa tuhkan käyttäytyminen oli samantyyppistä kuin TP-polttimessa. Tarvittiin 2%:n kaoliinilisäys ennenkuin tuhka pysyi sulamattomana. Pelikko-polttimen toiminta kuitenkin huononi kaoliinipitoisuuden kasvaessa. Kuohkea, sulamaton tuhka täytti koko poltinpään, eikä normaalisti tuhkanpoistossa apuna oleva sakara-akseli saanut missään vaiheessa otetta tuhkasta. Poltinpään tukkeutuessa palamisilma ei riittänyt, jolloin polttimen teho huononi. Tuloksena saatiin hyviä hyötysuhdearvoja, mutta niihin vaikutti polttimen pitkät käyntijaksot. Pitkien käyntijaksojen aikana tuhka-

häviöt suurenivat, mutta näiden häviöiden suuruus ei ollut niin suuri kuin pitkistä käyntijaksoista syntyvä hyöty. Taulukossa 32 on esitetty kaoliinipelleteillä tehtyjen kokeiden tuloksia. Kokeet olivat 5-14 vrk:n pituisia.

Taulukko 32. Kaoliinia sisältävien pellettien poltto-
kokeita

Seuranta- kohde	Kaoliini- pitoisuus %	Kattilan- kuormitusteho kW	Hyötysuhde %
A	1	9.0	64
A	1	17.1	72
A	2	11.3	74
A	1 ja 2	15.5	71
A	2 ja 4	15.1	77
A	2 ja 4	16.5	74
A	4	18.9	65
B	1	5.2	56
B	1	8.3	56
B	2	7.9	66
C	1	6.2	70
C	1	6.9	64
C	2	4.2	73
C	1 ja 2	6.6	57
D	2	4.8	73

Taulukon 32 hyötysuhdearvot eivät ole tarkkoja, koska polttoainesäiliössä olevan polttoaineen määrää ei tiedetä tarkasti polttoaineesta toiseen siirryttäessä.

Kun kaoliinilisäys on riittävä, ovat TP 30 -polttimessa ja Pelikko 10 -polttimessa käytetyt sulaneen tuhkan poistolaitteet turhia, koska ne eivät toimi enää kunnolla. Porrassarinassa portaiden korkeuden tulisi olla suu-

remppi. Muutoin tuhkanpoistossa voidaan käyttää samoja menetelmiä kuin turvetta ja haketta poltettaessa kunhan huomioidaan, että tuhkaa tulee huomattavasti enemmän.

9.8 Yhteenveto olkipellettilämmityksen seuranta- kokeista

Seurantakohteina tutkimuksessa oli 2 maatilaa ja kaksi omakotitaloa. Molemmilla maatiloilla oli aikaisemmin lämmitetty hakepolttimella, joten kotimaisen polttoaineen käytöstä oli näissä seurantakohteissa aikaisempaa kokemusta. Molemmissa omakotitaloissa olkipellettipoltin oli ensimmäinen kotimaisella polttoaineella toimiva lämmityslaite.

Kolmessa seurantakohteessa oli liikkuvalla porrasarinalla varustettu TP-poltin ja yhdessä olkipellettipolttoon soveltuvaksi muutettu Pelikko-poltin. Maatilojen energiankulutukset normaalivuonna ovat 45 ja 55 MWh/v ja omakotitalojen 24 ja 29 MWh/v.

Seurantajaksojen pituudet lämmityskaudella 1984/1985 olivat 7-9 kk. Polttoaineena käytettiin pelletointitutkimuksessa syksyllä 1984 siirrettävällä pelletointilaitteella valmistettuja pellettejä ja Rafex Oy:n rehupellettilinjalla valmistettuja polttopellettejä.

Jokaisessa seurantakohteessa esiintyi polttolaitteiden käyttöönoton jälkeen alkuvaikeuksia, joista suurin osa saatiin poistettua ensimmäisten käyttökuukausien aikana. Lisäksi laitteiden toimintaa häytti erilaisten koepolttoaineiden käytöstä johtuva polttoaineen laatu- vaihtelu. Huomattava osa polttoaineesta sisälsi paljon hienoainesta, joka huononsi laitteiden toimintaa.

Kokonaisuutena laitteiden toimintaa voidaan pitää tyydyttävänä. Huonoimmalla saavutettiin 52%:n vuosihyötysuhde. Tällöin Pelikko-poltin oli liitetty Parca Meco 92 öljykattilaan. Parhaiten toimivalla laitteistolla, TP-poltin ja Tuli-poltinkattila, vuosihyötysuhde oli 67%.

Eniten seurantakohteissa lämmitystä vaikeutti kattiloiden suuri nuohoustarve ja oljesta syntyvän tuhkan määrä. Osaltaan nuohoustarvetta lisäsi polttoaineen suuri hienoainepitoisuus ja yhdessä seurantakohteessa tulipesän ahtaus. Lämmitystyötä olkipellettilämmitys vaati pienimmillään keskimäärin n. 9 min/vrk ja suurimmillaan n. 13 min/vrk.

Seurantakohteissa olkipelletti koettiin käyttökelpoiseksi polttoaineeksi silloin, kun se on laadultaan hyvää ja tasaista. Polttolaitteiston osalta on tärkeintä, että polttimen ja kattilan teho on oikeassa suhteessa rakennuksen vaatimaan tehoon. Tällöin poltin ei toimi pitkiä aikoja suurimmalla tehollaan eikä polttoaineen laatuvaihteluista ole tällöin kovin paljon haittaa. Poltin ei myöskään saa olla säädetty liian suurelle teholle. Polttimen tulee poistaa sulanut tuhka poltinpäästä mahdollisimman pieninä palasina. Tällöin myös kattilan tuhkatila riittää pisimpään. Kattilan osalta on tärkeää, että se on suunniteltu poltinkäyttöön. Tällöin nuohous ja tuhkanpoisto voidaan suorittaa poltinta irrottamatta. Olkipellettipoltossa tulee kattilassa olla niin suuri tuhkatila, että vähintään yksi polttoainesäiliöllinen voidaan polttaa tuhkausten välillä. On myös huolehdittava siitä, että tuhkatila voidaan käyttää tehokkaasti hyödyksi. Tähän on hyvät mahdollisuudet, koska olkipellettipoltossa lisätuhkatila joudutaan muuraamaan kattilan alle. Olkipellettilämmityksessä tulee kattila nuohota keskimäärin kerran viikossa. Nuohous on nopea ja helppo suorittaa sillä lentotuhka irtoaa hyvin lämmönsiirtopinnoilta. Kohteissa, joissa aikaisemmin on läm-

mitetty hakkeella, koettiin olkipellettilämmityksen vaatiman työmäärän vastaavan polttimella tapahtuvaa hake-
lämmitystä.

10. YHTEENVETO

10.1 Tutkimuksen tausta ja tavoite

Nykyinen oljen hyötykäyttö kuivikkeena ja rehuna on n. 0,4 milj.t. vuodessa. Tämän lisäksi maassamme kasvaa korjuukelpoista olkea 1,8 milj.t vuodessa, josta 90 % Uudenmaan, Turun ja Porin-, Hämeen- ja Vaasan läänien alueella. Näillä alueilla olki muodostaa varteenotettavan energiapotentiaalin, joka paikallisesti saattaa ylittää kyseisen alueen koko lämmitysenergian tarpeen.

Oljen tehokasta polttoainekäyttöä silppuna tai paalimuodossa rajoittaa oljen pieni energiatiheys. Pienen energiatiheyden vaikutuksesta varastointi-, kuljetus-, lämmitystyö- ja osittain myös polttolaitteiden kustannukset kohoavat niin korkeiksi, ettei oljen käyttö ole kannattavaa muulloin kuin omalta pellolta tuotettuna sellaisilla tiloilla, joilla vuotuinen energiankulutus on huomattavan suuri. Oljen tehokkaampi polttoainekäyttö vaatii oljen jalostamista puristeiksi, jolloin oljen tilavuuspaino kohoaa 6...10 -kertaiseksi. Tämä pienentää edellä mainittuja lämmityksen osakustannuksia sekä lisäksi parantaa lämmityksen hyötysuhdetta. Kustannusten osalta ratkaisevaksi tekijäksi muodostuu varsinaisen pelletöinnin hinta.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää siirrettävällä pelletöintilaitteella tapahtuvaa olkipuristeiden valmistustekniikkaa ja raaka-aineen vaikutusta tuotetta-

vaan pelletin laatuun. Polttolaitteiden osalta tavoitteena oli kehittää laitevalmistajien tuella ilman vaaraa tapahtuvaan lämmitykseen soveltuva olkipellettipoltin. Tällaisella polttolaitteella voidaan aina polttaa myös helpommin poltettavia polttoaineita kuten turvetta ja haketta.

Olkipellettituotannon kannattavuutta selvitettiin määrittelemällä olkipellettien tuotantokustannukset ja vertailemalla olkipellettilämmityksen kustannuksia öljyllä ja omalta tilalta hankitulla puulla tuotettuun lämpöön.

10.2 Oljen pelletointikokeet

Oljen pelletointia tutkittiin VTT:n polttoainejalostus- ja voitelutekniikan laboratoriossa suunnitellulla ja rakennetulla siirrettävällä pelletointilaitteella.

Pelletointiyksikön päälaitteet olivat: olkisirppuri, silpun syöttölaitteet, puristin, jäähdytin ja seula. Koska laitteisto oli tarkoitettu tutkimuskäyttöön olivat kaikki käyttömootorit sähkökäyttöisiä. Asennettu sähköteho oli 119 kW, josta puristimen teho 75 kW. Koko laitteiston energiankulutusta seurattiin sähkölaitoksen asentamalla kWh-mittarilla.

Pelletointikokeissa selvitettiin puristimen puristussuhteen, olkilajin, oljen kosteuden, silpun pituuden ja sääolosuhteiden vaikutusta laitteiden toimintaan, kapasiteettiin ja valmistettavan pelletin laatuun. Näistä puristussuhteella ja oljen kosteudella on merkittävin vaikutus sekä kapasiteettiin että tuotteen laatuun. Suurin kapasiteetti ja paras tuotteen laatu saavutettiin käytettäessä puristussuhdetta 1:7. Tällä puristussuhteella raaka-aineen optimikosteus oli 18...20 %. Pelletointi voidaan suorittaa olkisirppun kosteuden ollessa

12...22 %. Kuiva olki saadaan optimi-alueelle kostuttamalla se ennen puristusta. Kosteuden kohotessa yli 20 %:n alkaa puristimen kapasiteetti huonontua. Kosteudeltaan 30...45 prosenttista olkea pelleteitaessa kapasiteetti oli vain 25 % normaalista. Puristimen keskimääräinen kapasiteetti oli 600 kg/h, jolloin sen ominaiskulutus oli 80 kWh/t. Koelaitoksen nimelliskapasiteetti oli n. 800 kg/h. Tällöin koko laitteiston sähkön ominaiskulutus on 115 kWh/t eli 2,8 % olkipelletin lämpöarvosta.

Silpun koon vaikutusta tutkittiin käyttämällä silppurissa 7...27 mm seuvoja. Tällä alueella ei havaittu silpun koon vaikuttavan puristimen kapasiteettiin eikä pelletin laatuun. Suurempi reikäkoko pienentää silppurin kuormitusta, joten sen käyttö on suositeltavaa.

Korsilajeista viljan oljet ovat pelleteitavuudeltaan saman arvoisia. Rypsin ja järviruo'on oljesta saadaan viljan olkea parempilaatuista pellettiä. Ylivuotisella oljella saavutettiin yleensä hieman pienempi kapasiteetti kuin "tuoreella" oljella.

Pelleteointikokeita suoritettiin kaikissa sääoloissa. Pakkasta oli kokeiden aikana (marraskuu 1983) ajoittain -10 °C. Pakkanen ja lumisade eivät haitanneet pelleteintiyksikön toimintaa muutoin kuin aamuisin käynnistysvaiheessa, jolloin kuljettimen hihnat toisinaan jäätyivät kiinni teloihin. Sateella kuljettimien tulee olla katettuja.

10.3 Olkipellettien polttokokeet

Olkipellettien polttokokeita suoritettiin kiinteän polttoaineen polttimilla VAKOLAn kattilalaboratoriossa, leijukerroskattilalla TKK:n energiatalouden ja voimalaitosopin laboratoriossa sekä vastavirtakaasuttimella VTT:n polttoainejalostus- ja voitelutekniikan laboratoriossa.

Polttimilla suoritetuissa kokeissa todettiin, että hyvin ja luotettavasti toimiva olkipellettipoltin tulee varustaa tuhkaa poltinpäästä poistavalla laitteistolla. Paras toiminta saavutettiin käyttämällä liikkuvaa porrasarinaa. Kun poltin on liitetty oikein mitoitettuun kattilaan, säätyy se 0...100 %:n teholle ja hyötysuhde laboratorio-olosuhteissa on yli 70 % laajalla 10...100 %:n tehoalueella. Oljen runsas tuhkamäärä tulee huomioida polttimeen yhdistettävää kattilaa valittaessa. Olkipelleteillä kattilan lämmönsiirtopintojen likaantuminen on huomattavasti nopeampaa kuin hakkeella. Lämmönsiirtopinnoille tarttuva lentotuhka on erittäin irtonaista ja helppo poistaa, mutta nuohous tulee suorittaa 0,5...2 viikon välein. Nuohottaessa tulee tarvittaessa käyttää hengityssuojaimia.

Olkipellettien leijupolttokokeet suoritettiin laitteistolla, joka varsinaisesti oli suunniteltu turvepellettien polttoon. Turvepelletteihin verrattuna oljen poltto vaatii 150...250 °C alhaisemman hiekkapatjan lämpötilan käyttöä. Patjan alhainen lämpötila rajoittaa kattilan tehonsäätyvyyttä, mutta muuten poltto onnistuu hyvin, eikä patjamateriaalissa tapahdu merkittävästi oljen tuhkan aiheuttamia muutoksia. Lämmönsiirtopintojen likaantuminen on voimakasta ja tämä tulee huomioida tuhkanerotimien ja nuohouksen suunnittelussa.

Olkipellettien kaasutuskokeet suoritettiin vastavirtakaasuttimella, jonka teho oli n. 200 kW. Käytettäessä kaasutusvyöhykkeen lämpötilana 900...1000 °C, ei oljen tuhkan havaittu aiheuttavan merkittävästi häiriöitä arinan toiminnalle. Arinalle muodostuneet tuhkakokkareet olivat niin hauraita, että ne pystytään murskaamaan liikkuvalla arinalla. Koeajot suoritettiin kaura- ja rypselleteillä. Näillä pellettilaaduilla ei todettu eroja tuotettavan kaasun laadussa. Olkipelleteistä saatavan kaasun laatua voidaan pitää hyvänä ja kaasun lämpöarvo on suhteellisen korkea vaihdellen välillä 5,3...6,8 MJ/m³n kuivaa tervatonta tuotekaasua.

10.4 Olkipellettien tuotantokustannukset ja olkipellettilämmityksen kustannukset

Olkipelletin tuotantokustannukset vaihtelevat huomattavasti sekä raaka-ainetuotannon että varsinaisen pelletoinnin osalta. Oljen korjuun osalta kustannuksiin eniten vaikuttavia tekijöitä ovat:

- korjuussa käytettävien laitteiden pääomakustannukset ja niiden kohdistuminen oljen osalle
- korjuukaluston omistussuhde
- vuosittain korjattava olkimäärä
- korjuuketjun rakenne ja käytetyt työmenetelmät
- korjuussa tarvittavan ihmistyön hinnoittelu

Oljen korjuukustannukset on laskettu viidessä eri tapauksessa, jotka poikkeavat toisistaan lähinnä paalaimen pääomakustannusten osalta. Kustannukset on laskettu myös pyöröpaalusta käytettäessä. Korjuuketjuina on tarkasteltu perinteistä käsityövaltaista paalien keruuta ja niputusmenetelmän käyttöä.

Kallista, 35 000 mk maksavaa paalainta ei kannata hankkia pelkästään 13...30 t/v olkea polttoaineena käyttävän tilan tarpeisiin. Paalaimella tulee olla myös muuta käyttöä. Pelletoitavan oljen korjuukustannukset ovat 100...200 mk/t, kun olki tuotetaan omaan käyttöön olemassa olevilla laitteilla, vuokratonepaalauksella, yhteispaalaimella tai uudella paalaimella, jonka vuotuinen korjuumäärä (olki+heinä) on yli 60 t/v. Kaupallisesti tuotetun oljen raaka-ainehinta on 200...280 mk/t.

Pääomakustannuksien, palkkojen ja vuosituotannon lisäksi siirrettävällä pelletointilaitteella tapahtuvan pelletoinnin kustannuksiin vaikuttaa laitteiston kapasiteetti ja siirtoyhteys. Kapasiteetiltaan kaksinkertaisel-

la laitteistolla saavutetaan n. 25 % alhaisemmat pelletointikustannukset, kun laitteiston siirtoon käytetään yksi työpäivä viikossa. Käytettäessä pelletointiyksikköä tehokkaasti ovat pelletointikustannukset 170...220 mk/t.

Mikäli olkipellettien käyttäjä tuottaa itse oljen ja maksaa vain pelletoinnista, ovat oljen tuotantokustannukset 270...420 mk/t. Kun myös raaka-aine joudutaan ostamaan, ovat tuotantokustannukset 370...500 mk/t.

Olkipelletin tuotantokustannukset ovat viime vuosina (1982...1984) koonneet nopeasti paalainten hintakehityksen vaikutuksesta. Kovapaalainten keskihinta on näiden vuosien aikana koonnut noin 40 %, pyöröpaalaimien vastaavasti 30 % ja paalainten vuokrasuosituksia 110 %. Samana aikana muilla aloilla hinnannousu on ollut yleensä suuruusluokkaa 10...25 % (esim. kevyt polttoöljy 12,1 %). Tällaisella hintakehityksellä on ollut selvä vaikutus olkipelletin kilpailukykyyn. Maatilakokoluokan lämpökeskuksissa (25...60 MWh/v) olkipelletti voi maksaa 330...580 mk/t vertailtaessa olkipellettilämmityksen kustannuksia öljylämmitykseen. Olkipelletin kilpailukykyyn vaikuttaa olennaisesti:

- mahdollisuus sijoittaa lämpökeskus olemassa oleviin rakennuksiin
- pääomakustannusten laskentamenetelmä
- rakennusvaiheessa saatavat alennukset ja avustukset
- oman työn arvostus
- lämmityksen vuosihyötysuhde

10.5 Lisäaineiden käyttö oljen tuhkan sulamislämpötilojen kohottamiseen

Oljen tuhkan alhaisessa lämpötilassa tapahtuvan sulamisen vaikutuksesta oljen poltto on joko muita kotimaisia polttoaineita vaikeampaa tai sen tulee tapahtua monimutkaisemmilla ja kalliimmilla polttolaitteilla. Pellettipolttoon soveltuva liikkuvilla arinoilla varustettu poltin on tosin vain 0...700 mk tavallista kalliimpi.

Jotta olkipuristeita voitaisiin polttaa samoilla laitteilla kuin muita kotimaisia polttoaineita, tulisi oljen tuhkan sulamislämpötilojen kohota 300...400 °C. Tällä olisi huomattava vaikutus oljen polttoainekäytön lisääntymiseen.

Laboratoriokokeissa parhaisiin tuloksiin on päästy käyttämällä tuhkan sulamislämpötiloja kohottavana lisäaineenä kaoliinia ja kivihiilien tuhkaa. Kauran oljen tuhkan sulamislämpötilojen kohottamiseen kuuluu kaoliinia n. 2 % ja kivihiilen tuhkaa 4...5 %. Polttoaineen energiahintaa molemmat lisäainemäärät kohottavat n. 5 mk/MWh, joten kaoliinin käyttö pienempien ainemäärien vuoksi on mielekkäämpää.

Kaoliinipelleteillä on tämän tutkimuksen puitteissa suoritettu laboratorio-olosuhteissa lyhyitä koeajoja leijupolttokokeiden ja poltinkokeiden yhteydessä. Leijupolttokokeissa käytettiin 3 % ja 7 % kaoliinia sisältäviä olkipellettejä, poltinkokeissa vain jälkimmäisiä. Leijupoltossa molempien kaoliinilisäysten todettiin helpottavan kattilan nuohottavuutta. Kaoliinilisäyksen vaikutuksesta voitiin myös hiekkapatjan lämpötila pitää korkeampana kuin "puhdasta" ohra-, kaura- ja ruispellettiä poltettaessa.

Seurantatutkimuksen aikana polttolaitteiden toimintaa on selvitetty myös "kaoliinipelleteillä", joiden kaoliinipitoisuus on 1%, 2% ja 4%. Nämä polttokokeet osoittavat, että 2%:n kaoliinilisäys riittää pitämään oljen tuhkan sulamattomana poltinkäytössä.

10.6 Käytännön kokemuksia olkipellettilämmityksestä

Seurantakohteina tutkimuksessa oli 2 maatilaa ja kaksi omakotitaloa. Kolmessa seurantakohteessa oli liikkuvalla porrasarinalla varustettu TP-poltin ja yhdessä olkipellettipolttoon soveltuvaksi muunnettu Pelikko-poltin. Polttimien tehot (polttoaineena) olivat 10...40 kW ja niiden toimintaa seurattiin lämmityskaudella 84/85 7...9 kk.

Jokaisessa seurantakohteessa esiintyi polttolaitteiden käyttöönoton jälkeen alkuvaikeuksia, joista suurin osa saatiin poistettua ensimmäisten käyttökuukausien aikana. Lisäksi laitteiden toimintaa häytti erilaisten koepolttoaineiden käytöstä johtuva polttoaineen laatu vaihtelu. Huomattava osa polttoaineesta sisälsi paljon hienoaainesta, joka huonontaa laitteiden toimintaa.

Kokonaisuutena laitteiden toimintaa voidaan pitää tyydyttävänä. Huonoimmalla saavutettiin 52%:n vuosihyötysuhde. Tällöin Pelikko-poltin oli liitetty Parca Meco 92 öljykattilaan. Parhaiten toimivalla laitteistolla, TP-poltin ja Tuli-poltinkattila, vuosihyötysuhde oli 67%.

Eniten seurantakohteissa lämmitystä vaikeutti kattiloiden suuri nuohoustarve ja oljesta syntyvän tuhkan määrä. Osaltaan nuohoustarvetta lisäsi polttoaineen suuri hienoaainepitoisuus ja yhdessä seurantakohteessa tulipesän ahtaus. Lämmitystyötä olkipellettilämmitys vaati pienimmillään keskimäärin n. 9 min/vrk ja suurimmillaan n. 13 min/vrk.

Seurantakohteissa olkipelletti koettiin käyttökelpoiseksi polttoaineeksi silloin, kun se on laadultaan hyvää ja tasaista. Polttolaitteiston osalta on tärkeintä, että polttimen ja kattilan teho on oikeassa suhteessa rakennuksen vaatimaan tehoon.

11. OLKIPELLETTIEN POLTTOAINEKÄYTÖN TULEVAISUUDEN- NÄKYMÄT SUOMESSA

Suomessa ei ole tällä hetkellä polttoainekäyttöön tarkoitettujen olkipellettien kaupallista tuotantoa. Tällaisen tuotannon käynnistyminen edellyttää, että olkipelletti on hinnaltaan riittävän kilpailukykyinen muihin käytettävissä oleviin polttoainevaihtoehtoihin verrattuna. Lisäksi tulee olkipellettien käytön olla riittävän suuri takaamaan tuotantoyksikön toiminnan kannattavuuden.

Olkipelletin kilpailukykyä voidaan parantaa vain tuotantokustannuksia alentamalla. Siirrettävällä yksiköllä tuotettuna olkipelletillä päästään kevyen polttoöljyn kanssa kilpailukykyiseen hintatasoon, kun tuotanto on vähintään 5000...6000 t/v. Energiaa tämä olkimäärä sisältää 20000...25000 MWh, mikä riittää 250...300:n maatilalan lämmityskäyttöön. Vaihtoehtona ja ainakin alkuvaiheessa ehkä mielekkäämpänä tapana olisi tuottaa olkipelletit kiinteillä, olemassa olevilla viherrehukuivaamoilla. Tuotantomäärien tulee tällöin olla yli 10000 t/v. Tämä kuitenkin vaatisi melkoisen organisaation oljen tuotannon varmistamiseksi.

Käytännössä näin suuren polttoainemäärän tuottaminen edellyttää, että kuluttajien joukossa on yksi tai useampia "suurkuluttajia", jotka takaavat riittävän tuotantarpeen ja mahdollisesti myös omistavat pelletointilaitteiston. Tällainen suurkuluttaja voisi olla esim. aluelämpökeskus, jossa pelletit poltetaan tähän tarkoitukseen kehitetyssä leijukerroskattilassa tai kiinteäkerroskaasuttimessa (tehoalue 2...12 MW). Riittävän suureen vuosituotantoon pyrittäessä on myös huomattava, että pelletointilaitteistoa voidaan varsin yksinkertaisten lisälaitteiden avulla käyttää myös rehupellettien valmistukseen.

Olkipellettien käytön kannalta on merkittävää, ettei niiden poltto edellytä kovin erikoista laitetekniikkaa. Tällöin ei myöskään olemassa oleva laitekanta ole olkipellettilämmityksen yleistymisen esteenä.

Lisäaineiden avulla voidaan vähentää oljen tuhkan sulamista ja siitä aiheutuvia vaikeuksia, joskin tuhkan määrä ja nuohoustarve tällöin kasvaa. Kun tuhka ei sula, voivat polttimet olla yksinkertaisempia ja tehot suurempia, arviolta 200...500 kW. Tuhkan sulamattomuus parantaa myös kaasutuslaitosten ja leijukerroskattiloiden toimintaa.

Tämän tutkimuksen yhteydessä ei ole selvitetty tavallisella rakoarinalla varustettujen ala- ja yläpalokattiloiden toimintaa poltettaessa tuhkan sulamislämpötiloja kohottavaa lisäainetta sisältäviä olkipuristeita. Mikäli poltto onnistuu, kasvaa olkipuristeiden todennäköinen käyttöalue huomattavasti.

Olki on viljanviljelyn jäte, joka on hävitettävä. Nykyisin se useimmiten silputaan puinnin yhteydessä ja kynnetään maahan. Tämän silpun energiahinta on hehtaarisadosta riippuen suuruusluokkaa 500...1300 mk/ha.

Polttoainekäyttöön olki soveltuu parhaiten puristeena. Puristeiden valmistus ja käyttö voi olla tietyissä olosuhteissa myös taloudellisesti kannattavaa. Tämä tulisi selvittää käytännössä riittävän suuressa mittakaavassa. Tällöin voitaisiin myös ylläpitää kehitettyä polttopuristeiden valmistustekniikkaa.

Siirrettävällä pelletointilaitteella valmistettuna olkipuristeiden hinta on kuitenkin vielä niin korkea, ettei se ole kilpailukykyinen esim. omalta tilalta tuotettuun hakkeeseen verrattuna. Olkipelletin tuotantoketjuun kuuluvat paalain ja puristuslaitteisto ovat hankintahinnal-

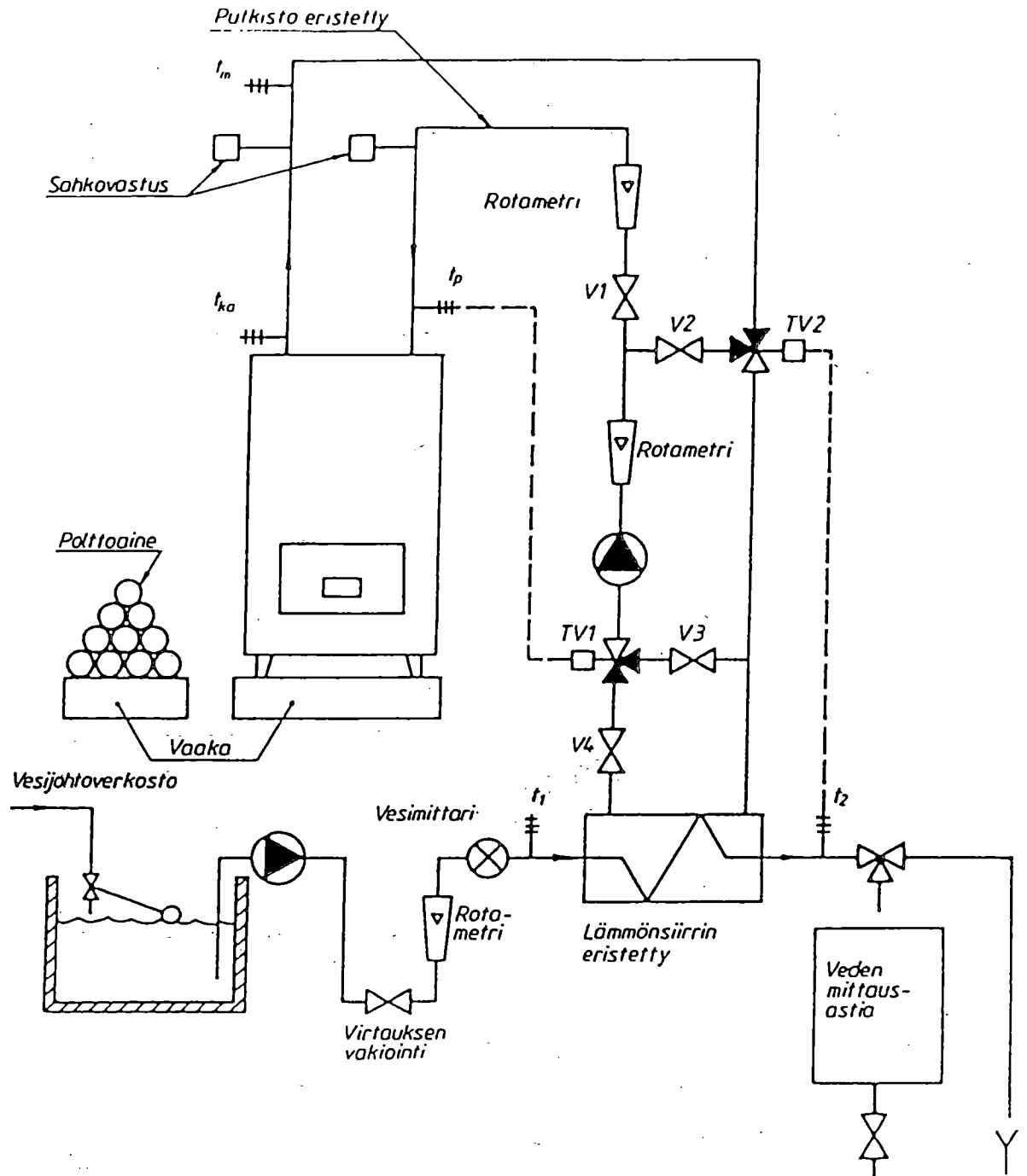
taan kalliita. Jos nämä saadaan yhdistettyä Suomen olo-
suhteisiin soveltuvaksi, traktorikäyttöiseksi, riittä-
vän edulliseksi ja kapasiteetiltaan riittävän tehokkaak-
si ns. "isäntälinjan" laitteistoksi, on olkipuristeiden
tuottaminen ja energiakäyttö yksityisillä maataloilla
mahdollista.

KIRJALLISUUSLUETTELO

1. Ahokas, J., Ståhlberg, P., Maaskola, I., Olki polttoaineena, VAKOLAn tutkimusselostus no 30, Vihti 1983.
2. Orava, R., Oljen korjuu ja käyttö maatiloilla. Työtehoseuran julkaisuja 226. Helsinki 1980.
3. Wilén, C., Ståhlberg, P., Oljen pelletointi. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 261. Espoo 1983, 39 s.
4. Nieminen, M., Ranta, J., Kotimaisten polttoaineiden ominaisuudet osa 2. Näytteiden esikäsittely- ja testausohjeet. Espoo 1982. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tiedotteita 164, 50 s.
5. Bryers, R. W., Taylor, T. E. : An examination of the relationship between ash chemistry and ash fusion temperature in various coal size and gravity fractions using polynomial regression analysis. Transaction of the ASAE Journal of Energy. 1976.
6. Tekniikan käsikirja, 8. painos, osa 9. 1974, s. 458...459.
7. Traktorin työtunnin hintalaskelma. Teho 4/1984, s. 30...31.
8. Maatalouskoneiden vuokrasuosituksat 1984. Teho 4/1984, s. 27...29.
9. Orava, R., Rynänen, S., Siekkinen, A., Solmio, H., Työnkäyttö kotoisen polttoaineen korjuussa. Teho 7-8. 1983, s. 4...7.

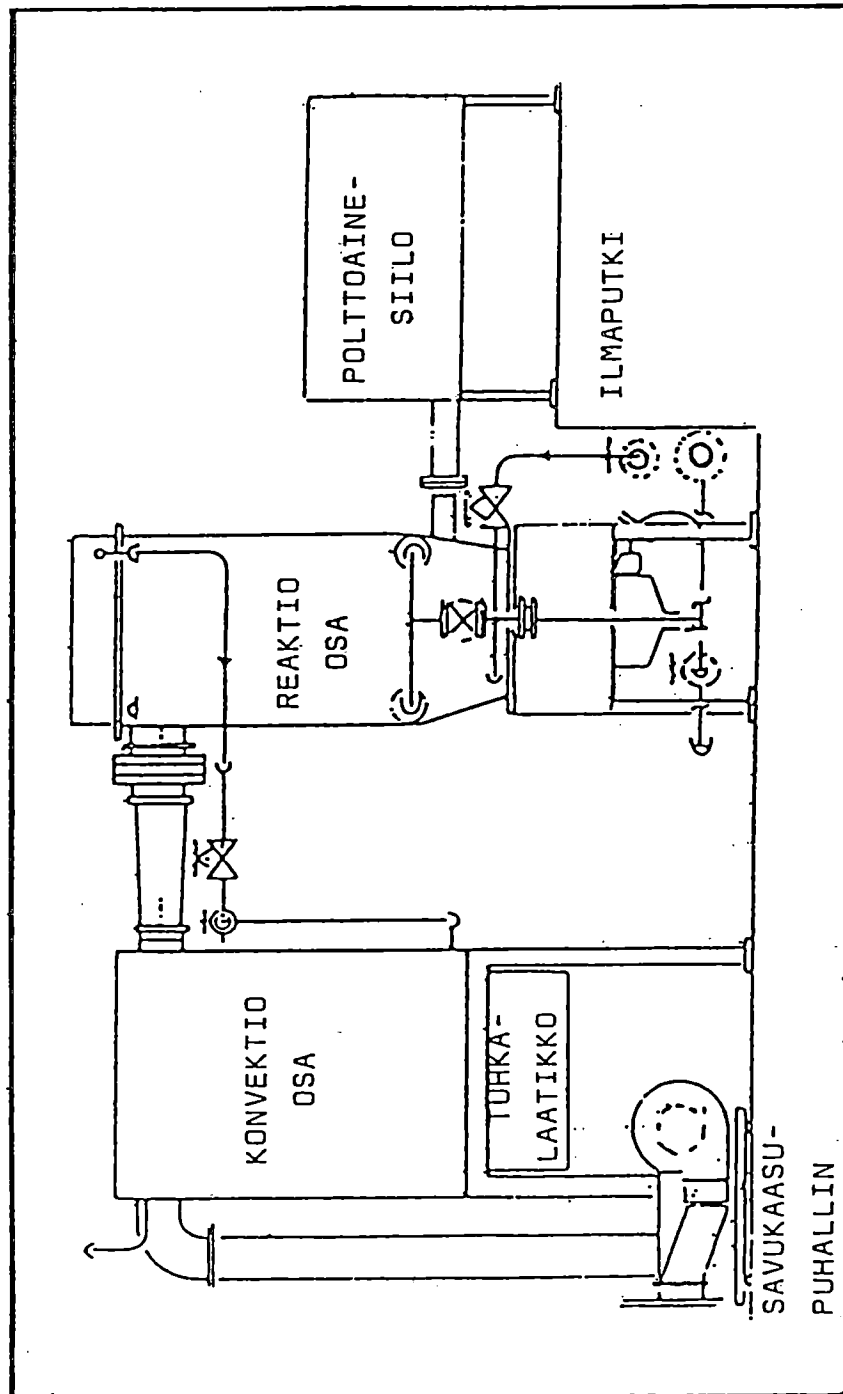
10. Voimalaitoskemia. Inskon moniste n:o 30-82, s. 21...28.
11. Kallio-Mannila, R., Nurmisto, U., Lämmitysjärjestelmän tyyppiratkaisut, Työtehoseuran julkaisu, n:o 229, 1980.
12. Møller, F., The utilization of straw for heating and other purposes, STS, Meddelelse n:o 30, Danmark 1977.
13. Strehler, A., Hofsteffer E.M., Untersuchungen über verschiedene Möglichkeiten der Energiewinnung aus Stroh, 1979, 217 s.
14. Ekonon kalenteri 1980.

KIINTEÄÄ POLTTOAINETTA KÄYTTÄVIEN PIENKATTILOIDEN TESTAUSLAITTEISTO



V1 – V4 Kertasäätö- ja sulkuventtiili
 TV1 ja TV2 Automaattinen kolmitiesäätöventtiili

TKK-EVO-LABORATORION 300 kW LEIJUPOLTTOLAITTEISTO



Kokeen numero	Polttoaine	PA:n	PA:n	HP:n	HP:n	Tulipesän	Ilmakerroin	PA	C02-	O2-	C0	Lentotuhkan.
		tiheys	kosteus	korkeus	tila	lämpötila	teho	pitoi-	pitoi-	pitoi-	palamaton	
		kg/m ³	%	m	°C	°C		kW	suus	suus	suus	%
									%	%	ppm	%
1	Vehnä	470	11,0	0,4	822	848	1,33	184	14,9	5,2	180	2,8
2	Vehnä	415	15,2	0,4	780	778	1,31	175	15,3	4,2	-	2,8
3	Vehnä	413	15,2	0,4	833	921	1,21	228	16,4	2,5	1340	3,4
4	Vehnä	451	-	0,4	838	951	1,22	250	16,3	2,6	910	-
5	Vehnä	471	13,3	0,4	809	835	1,38	185	13,5	6,0	100	3,4
6	Vehnä	463	11,2	0,5	744	841	1,25	228	16,0	2,5	1440	-
7	Vehnä	520	11,5	0,5	767	849	1,43	240	13,9	7,2	-	3,1
8	Vehnä	409	11,1	0,5	707	777	1,30	145	15,3	6,1	126	5,2
9	Kaura+C7	530	10,2	0,5	710	791	1,29	159	15,4	6,2	55	5,2
10	Kaura+C3	510	10,8	0,5	709	809	1,21	164	16,4	5,2	220	5,2
11	Ruis	667	5,9	0,5	719	816	1,31	215	15,4	6,9	100	2,5
12	Ruis	570	7,1	0,5	694	814	1,23	144	16,4	6,2	280	2,5
13	Ohra	502	9,7	0,6	681	827	1,40	230	13,9	9,0	170	4,0
14	Kaura	520	9,4	0,6	692	799	1,67	182	11,9	6,9	40	4,0

OLKIPELLETTIEN POLTTOKOKEIDEN MITTAUSTULOKSIA

LIITE 3

* C7 = lisääineena kaoliinia 7 % PA = polttoaine
C3 = lisääineena kaoliinia 3 % HP = hiekkapatja

Kokeen numero	Polttoaine (olkilaji)	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	H ₂ O %	Na ₂ O %	SO ₃ %	Muut oksidit %	Uunikoe 980 °C ei muutosta	Hiekkapatjan lämpötila °C
1	Vehnä	71,1	9,5	4,3	5,2	1,3	2,8	0,16	0,1	5,6	980 °C ei muutosta	822
3	Vehnä	76,7	9,3	3,4	4,8	1,1	3,0	0,16	0,3	1,2	980 °C	833
9	Kaura + kaoliini 7%	69,7	9,1	3,6	3,9	1,0	3,5	0,23	0,5	8,5	980 °C	710
10	Kaura + kaoliini 3%	69,5	14,0	3,8	4,7	1,2	5,0	0,25	0,3	1,2	980 °C hieman kiinni- juuttumista	709
12	Ruis	65,8	10,0	3,3	4,5	1,1	4,9	0,27	0,3	9,8	hidasta sintraantumista 920 °C:ssa	694
14	Ohra + kaura	67,6	8,9	2,8	4,9	1,3	7,7	0,15	0,4	6,2	hieman sintraantumista 875 °C:ssa	692

HIEKKAPATJAN KOOSTUMUS

* hiekkapatjan lämpötila näytteenottohetkellä.

OLJEN TUOTANTOKUSTANNUKSETLaskentaperusteet

Korjuukustannuksia laskettaessa on käytetty seuraavia korjuuketjuja /8, 9/

1. Perinteinen kovapaalain korjuu
pöyhintä, paalaus, keruu, kuljetus (0,5 km),
varastoonsiirto

	Koko ketju	Paalaus
Traktorityön menekki	1,10 h/t	0,3 h/t
Ihmistyön menekki	2,38 h/t	0,3 h/t

2. Pyöröpaalaus
pöyhintä, paalaus, kuljetus (0,5 km), varastoon-
siirto

	Koko ketju	Paalaus
Traktorityön menekki	0,76 h/t	0,28 h/t
Ihmistyön menekki	0,82 h/t	0,28 h/t

3. Niputusmenetelmä
pöyhintä, paalaus, kuljetus (0,5 km), varastoon-
siirto

	Koko ketju	Paalaus
Traktorityön menekki	0,92 h/t	0,3 h/t
Ihmistyön menekki	1,23 h/t	0,3 h/t

Traktorityön hinta ilman kuljettajan palkkoja:

polttoaine, voiteluaine, kunnossapito	17,5 mk/h
kaikki kustannukset	50,0 mk/h

Ihmistyön hinta:

oma työvoima	19 mk/h
vieras työvoima	32 mk/h

Vuokrapaalaus:

Paalaimen vuokra: kovapaalain	160 mk/h
pyöröpaalain	265 mk/h

Traktorin vuokra (40...49 kW)	50 mk/h
Kuljettajan palkka	32 mk/h

<u>Paalausteho:</u> kovapaalain	3,3 t/h
pyöröpaalain	3,6 t/h

Oljen korjuukustannuslaskemien perusteet:Paalinarukustannukset:

muovinarun hinta	110 mk/rulla
rullan pituus	4500 m
narun kulutus: kovapaali	5,5 m/paali
" " " " 12 kg	460 m/t
pyöröpaali	57 m/paali
" " " " 350 kg	165 m/t
narukustannus: kovapaali	11,2 mk/t
pyöröpaali	4,0 mk/t

Varastointi

Pelleteitavan oljen varastointiaika on varsin lyhyt, 0...9 kk. Polttokäyttöön toimitetun oljen laatuvaatimukset eivät ole niin korkeat kuin rehuoljen, joten varastoinnin osalta on tärkeätä, että olki suojataan vain sateelta. Yleensä tulee varastoina käyttää olemassa olevia käyttökelpoisia tiloja mikäli ne eivät sijaitse liian kaukana korjuualueesta tai pelletointiasemasta. Maatiloilla tällaista tilaa löytyy yleensä ainakin osalle olkea.

Mikäli oljelle tarvitaan varastotilaa on yleensä edullisinta varastoida olki pellon reunalle koottavaan kaasaan, joka sijaitsee mahdollisimman kuivalla paikalla. Peitoksi olkikasalle riittää rakennusmuovi tai muu vastaava kate. Kate tulee sitoa hyvin.

Rakennusmuovirulla (20 kg, 110 m²) = 256 mk
Olkivarasto (50...150 m³) vaatii katetta keskimäärin 8 m²/t olkea.
Katemateriaalin kustannus 19 mk/t.
Ulkovaraston hoitotyö 0,3 h/t.

Pyöröpaalin varastointi on edullisinta pellon reunalla, mahdollisimman kuivalla paikalla ilman mitään katteita. Olki toimii itsensä katteena eli piloille mennyt osa paalia kuoritaan pois ennen kuljetusta pelletointiin. Oljen kokonaismäärästä menee hukkaan noin 30 %, mikä yleensä merkitsee, että varastointikustannukset ovat 20...30 mk/t.

Kuljetuskustannukset välivarastolta pelletointipaikalleKovapaalit:

Tilan sisäiset kuljetukset: ajonopeus 20 km/h paalien kuormaus käsin (2 miestä), purku kipaten. Tällöin työn menekki on 1,03 h + matkoihin menevä aika.

kuorman koko	1,5 t
miestyötunnin hinta	19 mk/h
traktorityöhinhinta	17,5 mk/h

Kuljetuskustannusten yhtälöksi saadaan

$$K = 19,6 + 2,433 \times \text{kuljetusmatka (km)} \quad [\text{mk/t}]$$

Kaukokuljetus traktorilla: ajonopeus 30 km/h

vastaavasti kuin edellä saadaan kuljetuskustannusyhtälöksi:

$$K = 19,6 + 1,62 + \text{kuljetusmatka (km)} \quad [\text{mk/t}]$$

Pyöröpaalit:

kuorma kolme paalia	350 kg
kuormaus ja purku	0,47 h/t
miestyötunnin hinta	19 mk/h
traktorityön hinta	17,5 mk/h

Kuljetuskustannukset ovat:

$$K = 16,1 + 3,48 + \text{kuljetusmatka (km)} \quad [\text{mk/t}]$$

Kuivauskustannukset

Koska pelleteitavan oljen kosteus voi olla 12...22 %, ei olki yleensä tarvitse keinokuivausta. Maatilat kuluttavat yleensä lämpöä 25...60 MWh/v, jolloin pellettejä tarvitaan 12...26 t/v. Tämä olkimäärä voidaan korjata yhdellä korjuuketjulla 1...3 päivässä, joten oljen keinokuivauksen tarve esiintyy korkeintaan osalle olkea kerran kymmenessä vuodessa. Jos yhdellä korjuuketjulla tuotetaan olkea 100 t/v, tarvitaan keinokuivausta osalle olkea joka viides vuosi. Tutkimuksessa "Olki polttoaineena" on selvitetty oljen kylmäilmakuivauksen kustannuksia vuoden 1982 hintatason mukaan. Syksyn 1982 ja kesän 1984 välisenä aikana on maatalouden käyttämän sähkön hinta laskenut n. 4 % ja rakennuskustannukset nousseet 13,5 %. Näiden muutosten vaikutuksesta ovat kustannukset sähkön kulutuksen osalta kuivattua olkitonnia ja prosenttiyksikköä kohti 2,4 mk ja rakennuskustannusten osalta 12...24 mk/t. Kun oljen kuivauskustannukset lasketaan 10 vuoden jaksolta ja kuivausta tarvittaessa olkea kuivataan 10 prosenttiyksikköä, ovat kuivauskustannukset 14...29 mk/t. Kustannuslaskelmissa on käytetty keskimääräistä arvoa 22 mk/t.

Oman paalaimen investointi ja kunnossapitokustannukset

hankintahinta:	kovapaalain	35000 mk
	pyöröpaalain	58000 mk

poistoaika	10 v
korko	8 %
jäännösarvo	25 % hankintahinnasta

Kunnossapitokustannukset 2 % hankintahinnasta

Vuosikustannukset:	kovapaalain	5075 mk/v
	pyöröpaalain	8425 mk/v

Olemassa oleville paalaimille on käytetty samaa kunnossapitokustannusta kuin uusille paalaimille.

Paalaimen pääomakustannusten vaikutus korjattavan oljen hintaan:

	Kiinteät kustannukset mk/t				
Vuotuinen korjuumäärä t/v	20	50	100	200	400
Kovapaalain	254	102	51	26	
Pyöröpaalain		168	84	42	21

Jos paalainta käytetään oljen ohella myös heinän korjuuseen saadaan kiinteät paalaus-kustannukset koko vuotuisen korjuumäärän kohdalta.

Niputusmenetelmä

Niputusmenetelmässä käytettävät työvälineet (niputusreki ja etu- tai takakuormaaja) lisäävät oljen korjuun kiinteitä vuosikustannuksia 700..1500 mk. Kustannusvaihtelu johtuu osittain siitä, kuinka suuri osuus kuormaimen hinnasta lasketaan oljenkorjuun osalle. Suoritettuisissa kustannuslaskelmissa näiden laitteiden oljen korjuuseen kohdistuvina kiinteinä vuosikustannuksina on käytetty 1100 mk/v.

Eri oljenkorjuumäärille tuotantokustannusten lisäys on seuraava:

Oljen korjuumäärä t/v	20	50	100	200
Kiinteät kustannukset mk/t	55	22	11	6

Olemassa olevien laitteiden hyödyntäminen

Kustannuksissa on huomioitu vain korjuukaluston polttoaine, voiteluaine ja kunnossapitokustannukset. Niputusmenetelmän käyttöönoton on kuitenkin laskettu aiheuttavan korjuulaitteiston investointikustannuksia.

Oljen tuotantokustannukset, ilman olemassa olevan korjuukaluston investointikustannuksia

Vuotuinen korjuumäärä t/v	Oljen tuotantokustannukset mk/t		
	20	50	100
a. Kovapaalaus, ei palkkoja	58	71	78
b. Pyöröpaalaus, ei palkkoja	48	61	67
c. Niputusmenetelmä, ei palkkoja	110	93	90
d. Kovapaalaus, 19 mk/h	103	134	147
e. Pyöröpaalaus, 19 mk/h	64	88	101
f. Niputusmenetelmä, 19 mk/h	133	126	127

Vuokrakonepaalaus

Paalaus suoritetaan vuokralaitteilla ja vieraalla työvoimalla (traktori, kuljettaja, paalain). Muu korjuutyö omalla kalustolla, jonka kustannuksista huomioitu vain muuttuvat kustannukset. Paalauksen osalta palkkakustannukset ovat 32 mk/h.

Oljen tuotantokustannukset vuokratonepaalausta käytettäessä

Vuotuinen korjuumäärä t/v	Oljen tuotantokustannukset mk/t		
	20	50	100
a. Kovapaalaus, ei palkkoja	121	134	141
b. Pyöröpaalaus, ei palkkoja	130	157	169
c. Niputusmenetelmä, ei palkkoja	175	158	169
d. Kovapaalaus, 19 mk/h	161	192	205
e. Pyöröpaalaus, 19 mk/h	140	177	195
f. Niputusmenetelmä, 19 mk/h	192	185	186

Oma paalain, jolla korjataan myös heinää

Tilalle hankitaan paalain, jota käytetään myös heinän korjuussa, jolloin vain puolet paalaimen kiinteistä kustannuksista kohdistuu olkeen. Muun korjuukaluston osalta huomioitu vain polttoaine, voiteluaine ja kunnossapitokustannukset.

Oljen tuotantokustannukset, kun korjuukalustoa käytetään myös heinän korjuuseen. Oljen osuus on puolet koko vuotuisesta korjuumäärästä.

Vuotuinen korjuumäärä t/v	Oljen tuotantokustannukset mk/t			
	20	50	100	200
a. Kovapaalaus, ei palkkoja	180	118	99	
b. Pyöröpaalaus, ei palkkoja	247	149	108	90
c. Niputusmenetelmä, ei palkkoja	204	127	104	
d. Kovapaalaus, 19 mk/h	225	181	169	
e. Pyöröpaalaus, 19 mk/h	263	173	145	135
f. Niputusmenetelmä, 19 mk/h	228	161	142	

Oma paalain, jolla korjataan vain olkea

Tilalle hankitaan paalain, jota käytetään vain lämmityksessä käytettävän oljen paalaukseen. Paalaimen pääomakustannukset kohdistuvat pelkästään oljen osalle. Muun korjuukaluston osalta huomioitu vain polttoaine-, voiteluaine ja kunnossapitokustannukset.

Oljen tuotantokustannukset, kun paalainta käytetään vain oljen korjuuseen

Vuotuinen korjuumäärä t/v	Oljen tuotantokustannukset mk/t				
	20	50	100	200	400
a. Kovapaalaus, ei palkkoja	307	168	124	104	
b. Pyöröpaalaus, ei palkkoja		268	166	118	97
c. Niputusmenetelmä, ei palkkoja	358	189	135	110	
d. Kovapaalaus, 19 mk/h	352	231	194	180	
e. Pyöröpaalaus, 19 mk/h		252	196	148	142
f. Niputusmenetelmä, 19 mk/h	382	223	173	154	

Urakkapaalaus

Urakkapaalauksessa kustannuslaskelmat on tehty vain pyöröpaalauksista ja niputusmenetelmää käytettäessä. Traktorityön hintana on käytetty 50 mk/h, joka sisältää traktorin peruskustannukset (poisto, korko, säilytys, vakuutus) ja käyttökustannukset (polttoaine, voiteluaine, kunnossapito). Ihmistyön hintana on käytetty 32 mk/h. Korjuukaluston osalta kustannukset vastaavat kohdan 6.1.4 kustannuksia.

OIJEN TUOTANTOKUSTANNUKSET

VUOTUINEN KORJUUMÄÄRÄ t/v	TUOTANTOKUSTANNUKSET, mk/t			
	50	100	200	400
Pyöröpaalaus, ei palkkoja	348	264	225	204
Niputusmenetelmä, ei palkkoja	325	271	255	242

OLJEN POLTTOTEKINISIÄ OMINAISUUKSIA

Vehnän oljen koostumus biomassana /12/.

Aineosa	Paino-%
Orgaaniset aineet (hiilihydraatit, proteiinit)	8
Suola	6
Hemiselluloosa	25
Selluloosa	36
Ligniini	18
Silikaatit	7

Kiinteiden polttoaineiden alkuaineanalyysit

POK = kevyt polttoöljy, A = tuhka /13, 14/.

	Viljan olki	Rypsin olki	Puu	Turve	Kivihili	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

OLJEN LÄMPÖARVO

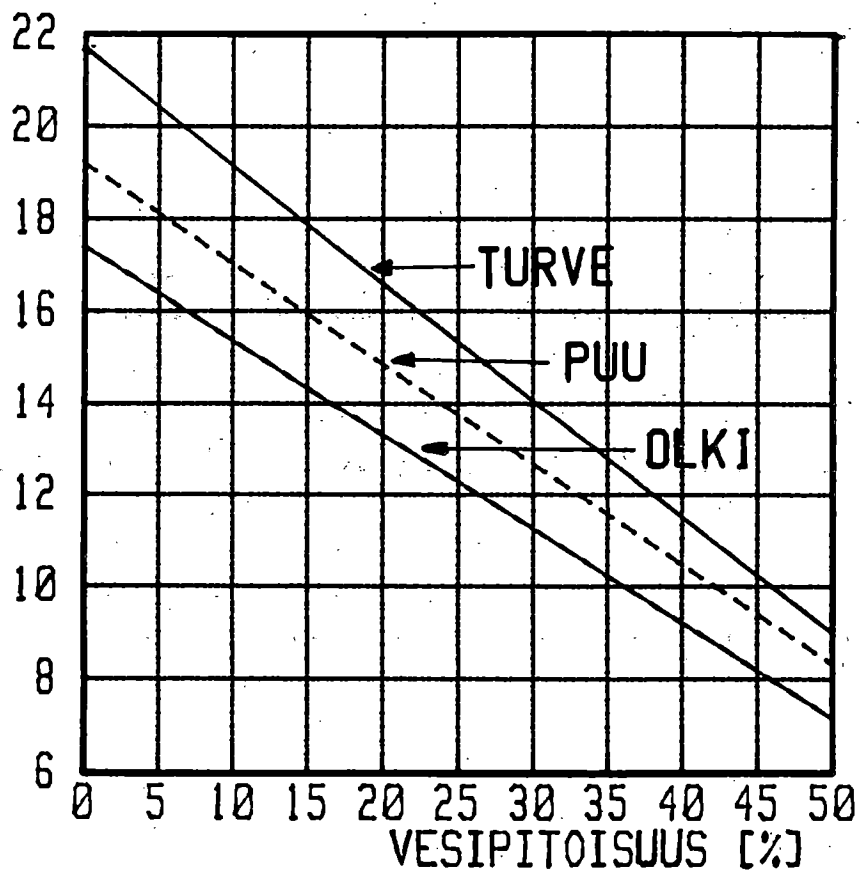
Haihtuvia aineita oljen kuiva-aineessa on 70...80 %.
 Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa 16,7...17,7 MJ/kg,
 keskiarvona Suomessa käytetään 17,4 MJ/kg.

Kostean oljen tehollinen lämpöarvo:

$$q_i = 17,4 - 0,1997 \times w \quad [\text{MJ/kg}]$$

w = vesipitoisuus, prosentteina märkäpainosta

LÄMPÖARVO [MJ/kg]



Oljen, puun ja turpeen tehollinen lämpöarvo

Polttoaineiden ominaispainoja ja energiatiheyksiä. Kevyt polttoöljy = 10 MWh/m³.

Olkipelletti	450...650	kg/m ³	1,8...2,7	MWh/m ³
Turvepelletti	600...850	kg/m ³	2,2...3,8	MWh/m ³
Olkipaali	70...90	kg/m ³	0,3...0,35	MWh/m ³
Hake	180...250	kg/m ³	0,7...1,1	MWh/m ³
Pilke	280...350	kg/m ³	1,2...1,4	MWh/m ³
Palaturve	250...350	kg/m ³	1,2...1,6	MWh/m ³

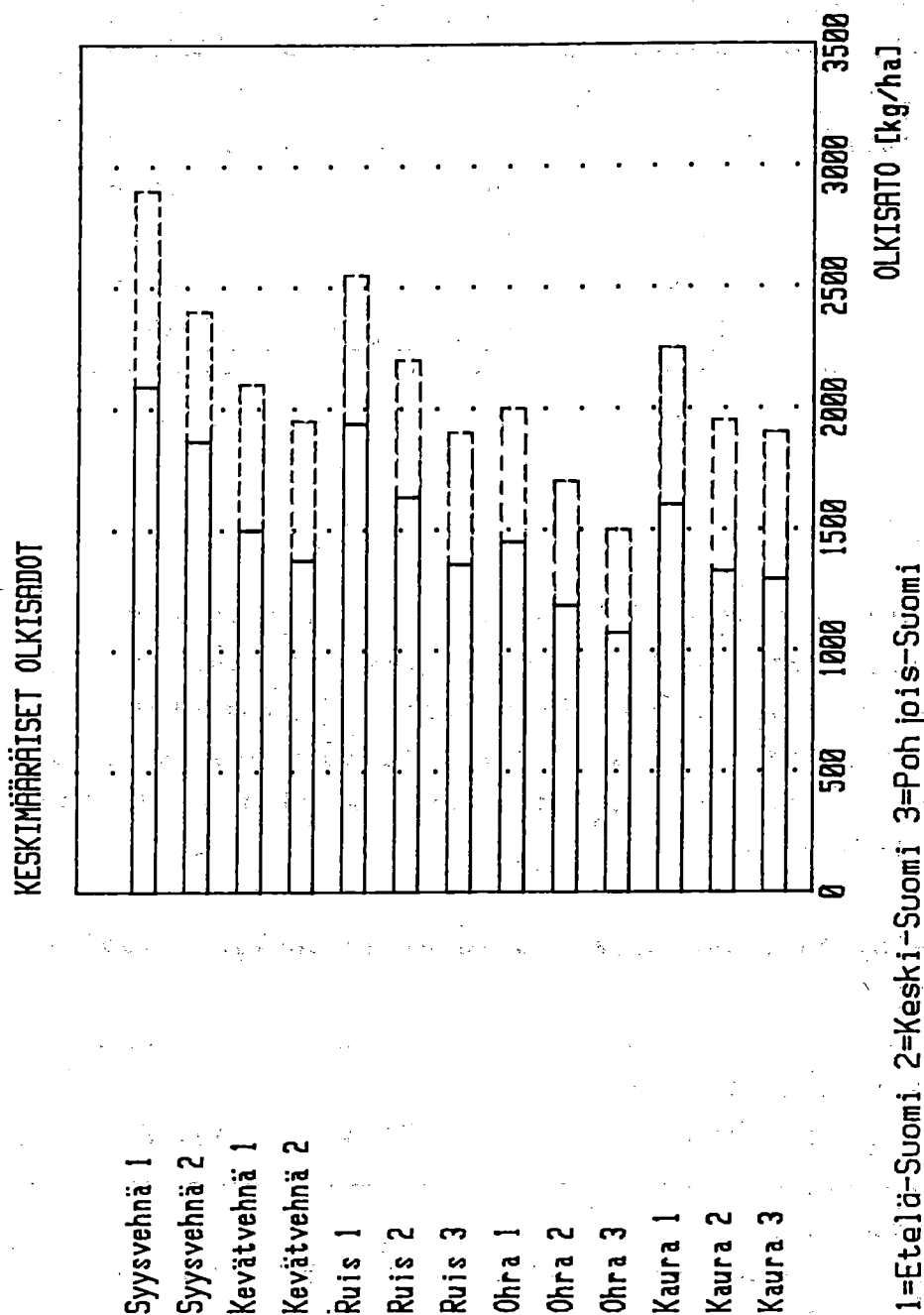
OLJEN TUHKA

Viljan olki sisältää tuhkaa 4-7 % kuiva-aineesta. Oljen tuhka sulaa laajalla vaihteluväliltään 350-500 °C:n lämpötilaalueella. Sulaminen vaihtelee viljalajeittain pääasiassa piioksidi- ja kaliumoksidipitoisuuksien vaikutuksesta. Taulukossa on esitetty eri olkilajien tuhkan sulamislämpötiloja.

Eri viljalajien oljen sekä rypsin oljen tuhkan sulamislämpötilat

Sulamisen tila	Lämpötilat (°C)				
	Vehnä	Ruis	Ohra	Kaura	Rypsi
Muodonmuutos- lämpötila	900-1050	800-850	750-850	730-800	1150-1250
Puolipallo- lämpötila	1300-1400	1050-1150	1000-1100	850-1050	1250-1500
Juoksevuus- lämpötila	1400-1500	1300-1400	1150-1250	1050-1200	1300-1500

Olkisato



Eri viljalajien keskimääräinen olkisato maamme eri osissa, kun puintisängen pituus on 20 cm. Yhtenäinen viiva merkitsee kuiva-ainesätoa, ja katkoviiva satoa, jonka kosteus on 25 % /2/.

Seurantakohteissa käytetyt polttoainelaadutPolttoainelaadut

1.	Ohra-, kaura-, ruis- ja sekapelletti
2.	Vehnäpelletti
3.	Sekapelletti + kaoliinia 1%
4.	" " 2%
5.	" " 4%
6.	Sekapelletti + lignosulfanaatti 1-2%
7.	Sekapelletti + rasvahappo 0.5-1%
8.	Sekapelletti + urea

Kohde A

Kuukausi	Polttoaineen laatu ja sen osuus
lokakuu	1/100%
marraskuu	1/100%
joulukuu	1/52%, 3/24%, 4/24%
tammikuu	1/13%, 3/12%, 4/44%, 5/31%
helmikuu	1/14%, 2/8%, 3/16%, 4/48%, 5/7%, 8/7%
maaliskuu	2/77%, 4/23%
huhtikuu	2/100%
toukokuu	2/100%
kesäkuu	2/100%
heinäkuu	1/100%

Kohde B

Kuukausi	Polttoaineen laatu ja sen osuus
lokakuu	1/100%
marraskuu	1/100%
joulukuu	ei mittaustuloksia
tammikuu	ei mittaustuloksia
helmikuu	1/83%, 4/17%
maaliskuu	1/25%, 2/25%, 3/33%, 4/17%
huhtikuu	2/53%, 3/47%
toukokuu	2/100%
kesäkuu	1/100%

Kohde C

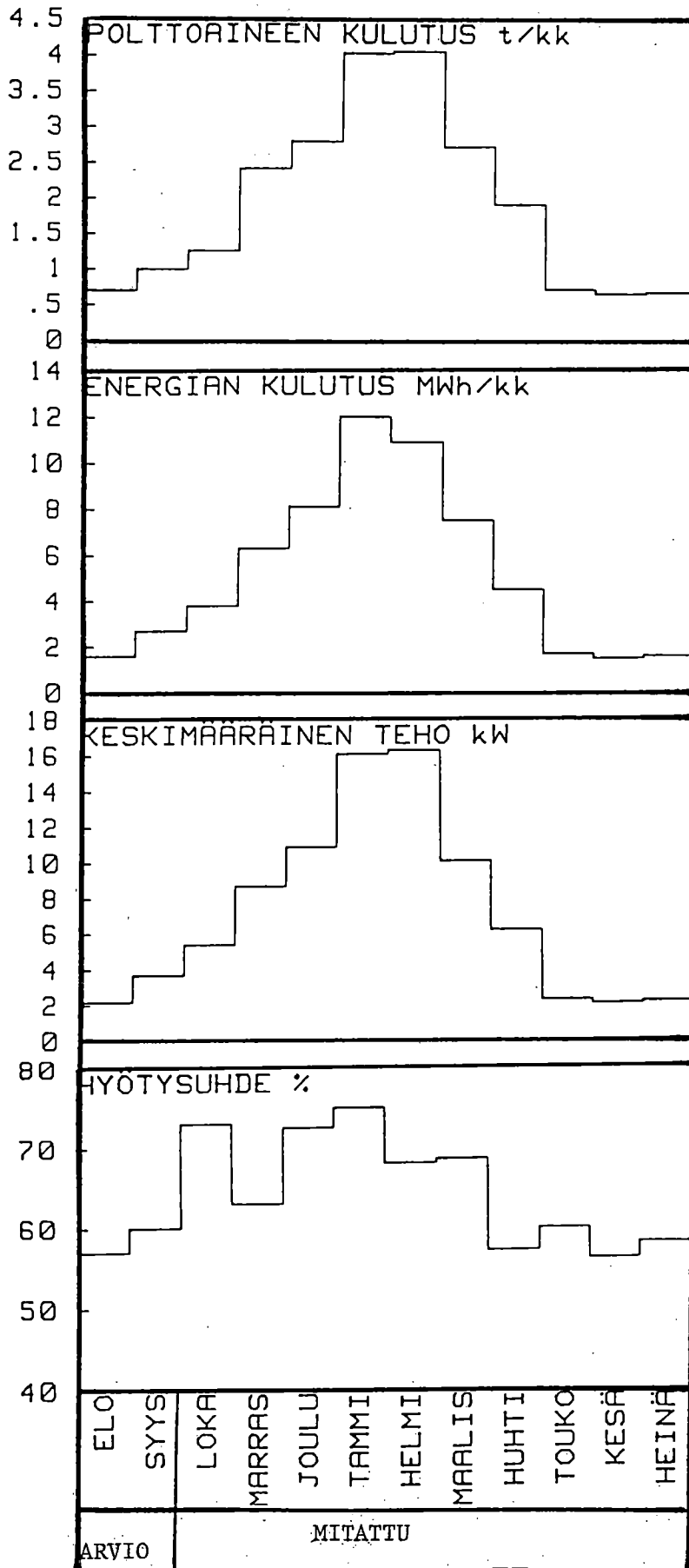
Kuukausi	Polttoaineen laatu ja sen osuus
elokuu	1/100%
syyskuu	1/80%, 2/20%
lokakuu	1/90%, 2/10%
marraskuu	1/100%
joulukuu	1/100%
tammikuu	1/80%, 3/20%
helmikuu	1/18%, 3/35%, 4/18%, 5/29%
maaliskuu	1/44%, 2/37%, 3/19%

Kohde D

Kuukausi	Polttoaineen laatu ja sen osuus
tammikuu	1/93%, 6/7%
helmikuu	1/32%, 6/33%, 7/35%
maaliskuu	1/10%, 4/50%, 7/40%
huhtikuu	1/100%
toukokuu	1/42%, 6/8%, 7/50%
kesäkuu	1/100%
heinäkuu	1/100%

SEURANTAKOHTEIDEN MITTAUSTULOKSET

SEURANTAKOHDE A



VUOSIKULUTUS:

84/85 : 23.0 t
norm.vuosi : 20...21 t

VUOSIKULUTUS:

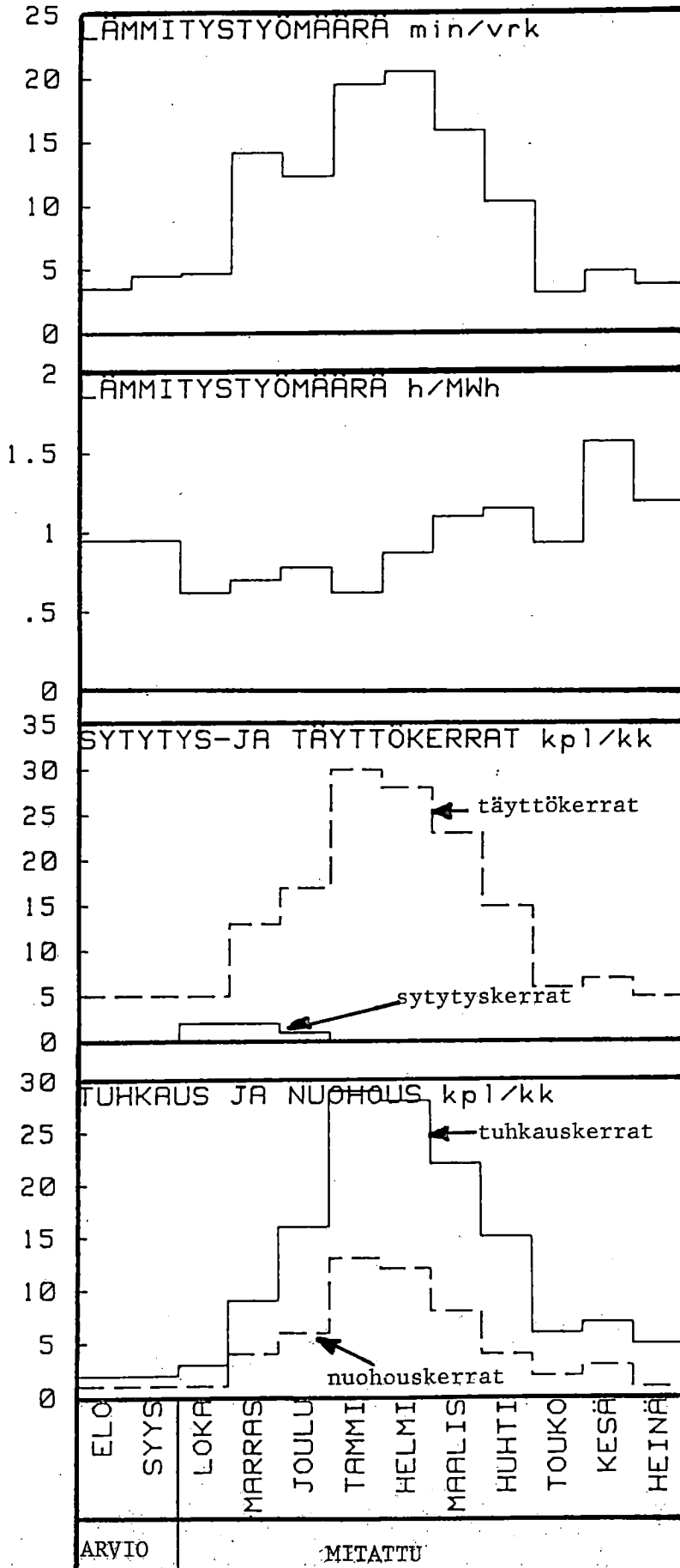
84/85 : 62.2 MWh
norm.vuosi : 55...57 MWh

VUOTUINEN KESKITEHO:

84/85 : 7.1 kW
norm.vuosi : 6.2...6.5 kW

VUOSIHYÖTYSUHDE

84/85 : 67 %
norm.vuosi : 64...66 %



LÄMMITYSTYÖHÖN KULUVA AIKA

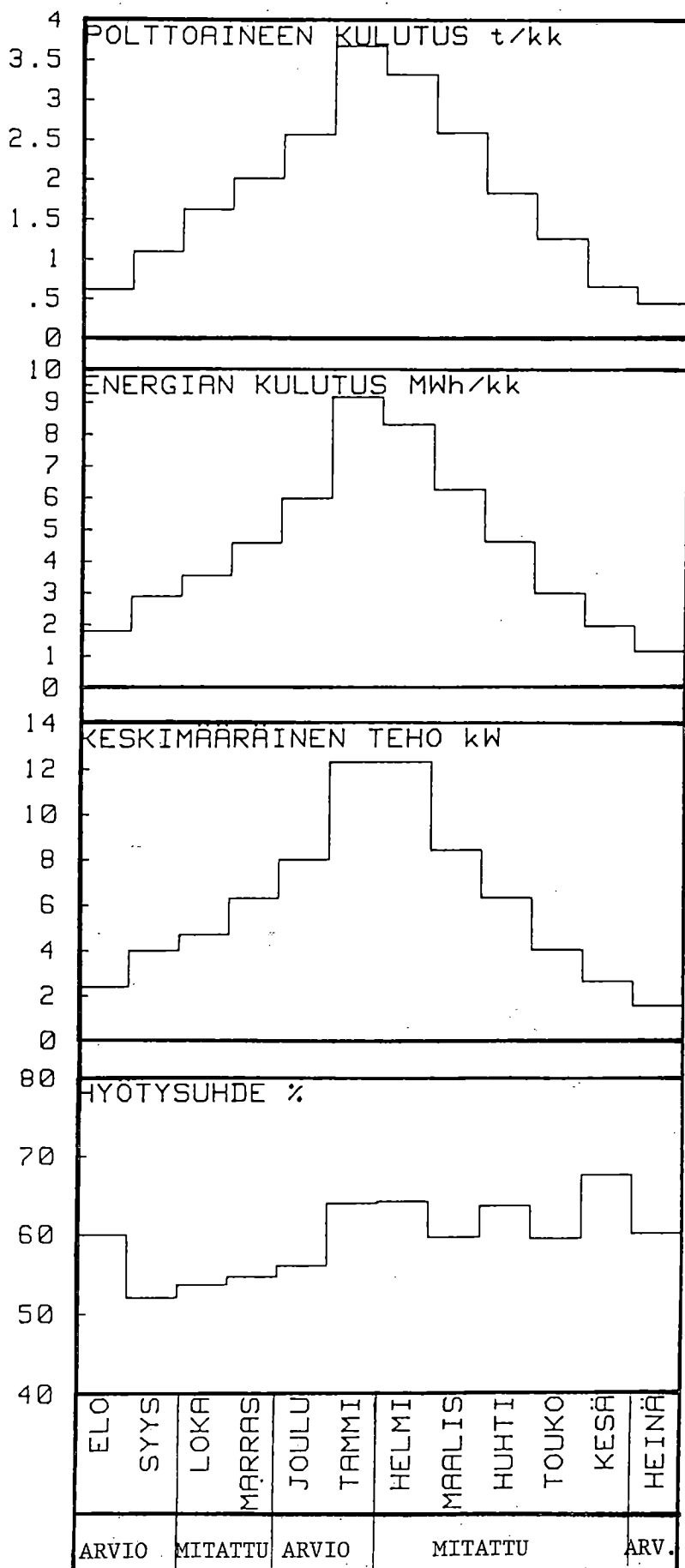
84/85 : 60 h
 norm. vuosi : 55 h

SYTYTYS- JA TÄYTTÖKERRAT:

sytytys : 5 kpl
 täyttö : 159 kpl

TUHKAUS- JA NUOHOUSKERRAT:

tuhkaus : 144 kpl
 nuohous : 58 kpl



VUOSIKULUTUS:

84/85 : 21.7 t
norm.vuosi : 19...20 t

VUOSIKULUTUS:

84/85 : 52.5 MWh
norm.vuosi : 47...48 MWh

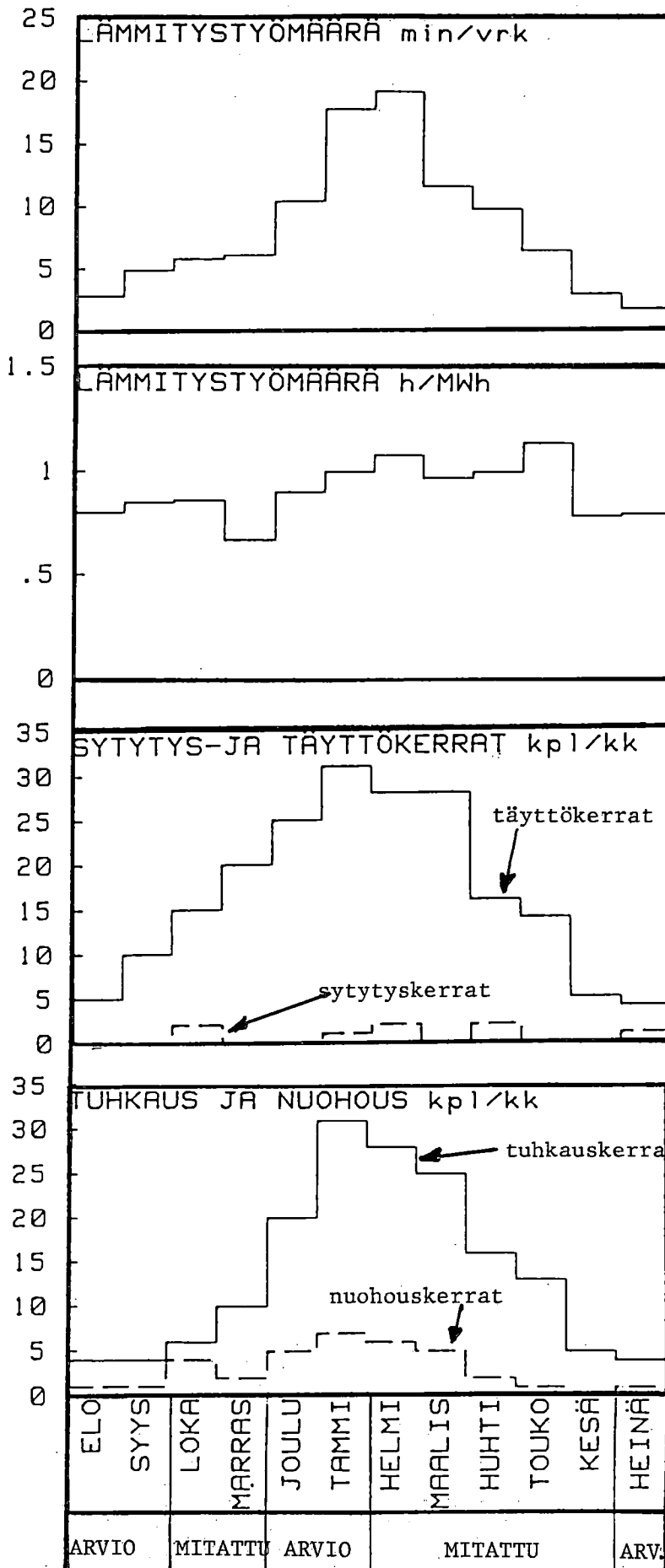
VUOTUINEN KESKITEHO

84/85 : 5.9 kW
norm.vuosi : 5.3...5.5 kW

VUOSIHYÖTYSUHDE:

84/85 : 59 %
norm.vuosi : 56...58 %

ELO	SYYS	LOKA	MARRAS	JOULU	TAMMI	HELMI	MÄRLIS	HUHTI	TOUKO	KESÄ	HEINÄ
ARVIO	MITATTU	ARVIO					MITATTU				ARV.



LÄMMITYSTYÖHÖN KULUVA AIKA:

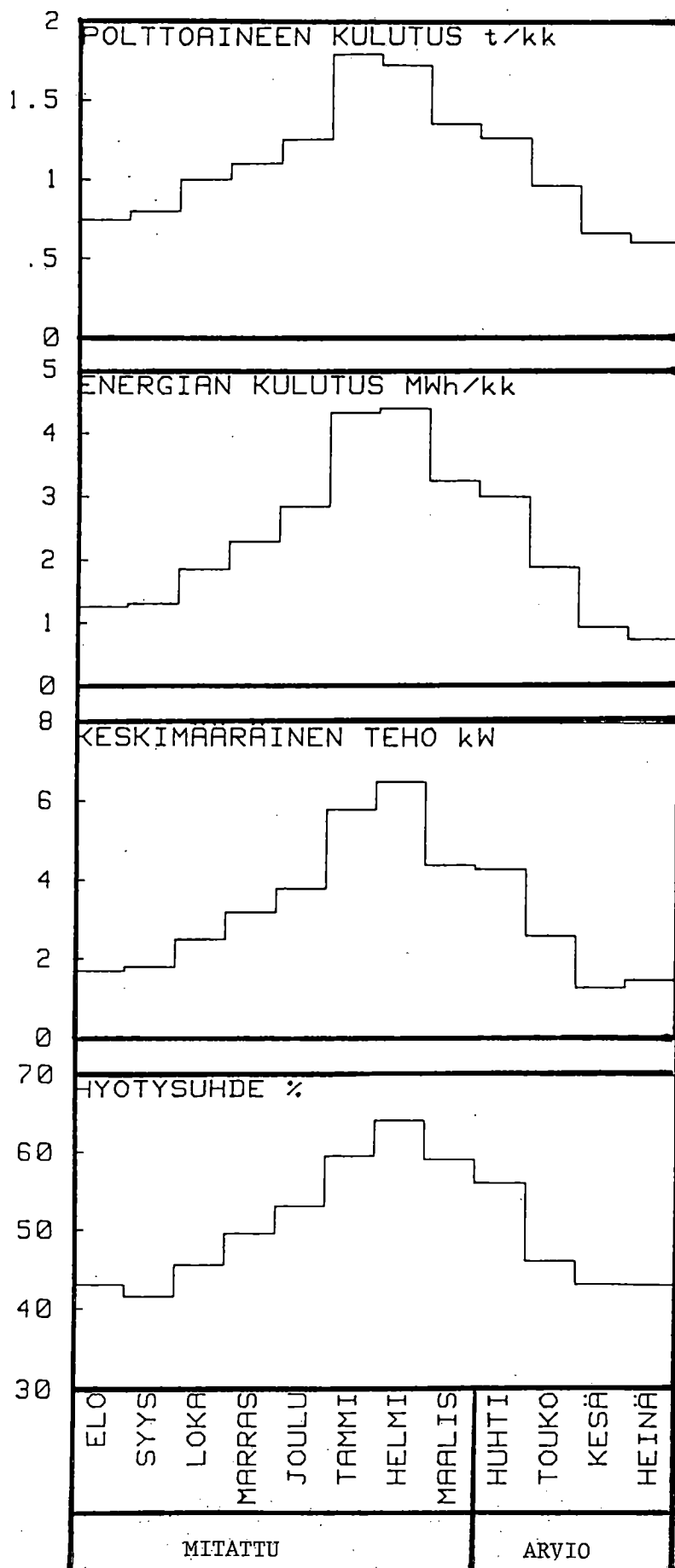
84/85 : 51 h
norm.vuosi : 46 h

SYTYTYS- JA TÄYTTÖKERRAT:

sytytys : 8 kpl
täyttö : 201 kpl

TUHKAUS- JA NUOHOUSKERRAT

tuhkaus : 166 kpl
nuohous : 35 kpl



VUOSIKULUTUS:

84/85 : 13.2 t
norm.vuosi : 11...12 t

VUOSIKULUTUS:

84/85 : 28.2 MWh
norm.vuosi : 24.5...26 MWh

VUOTUINEN KESKITEHO

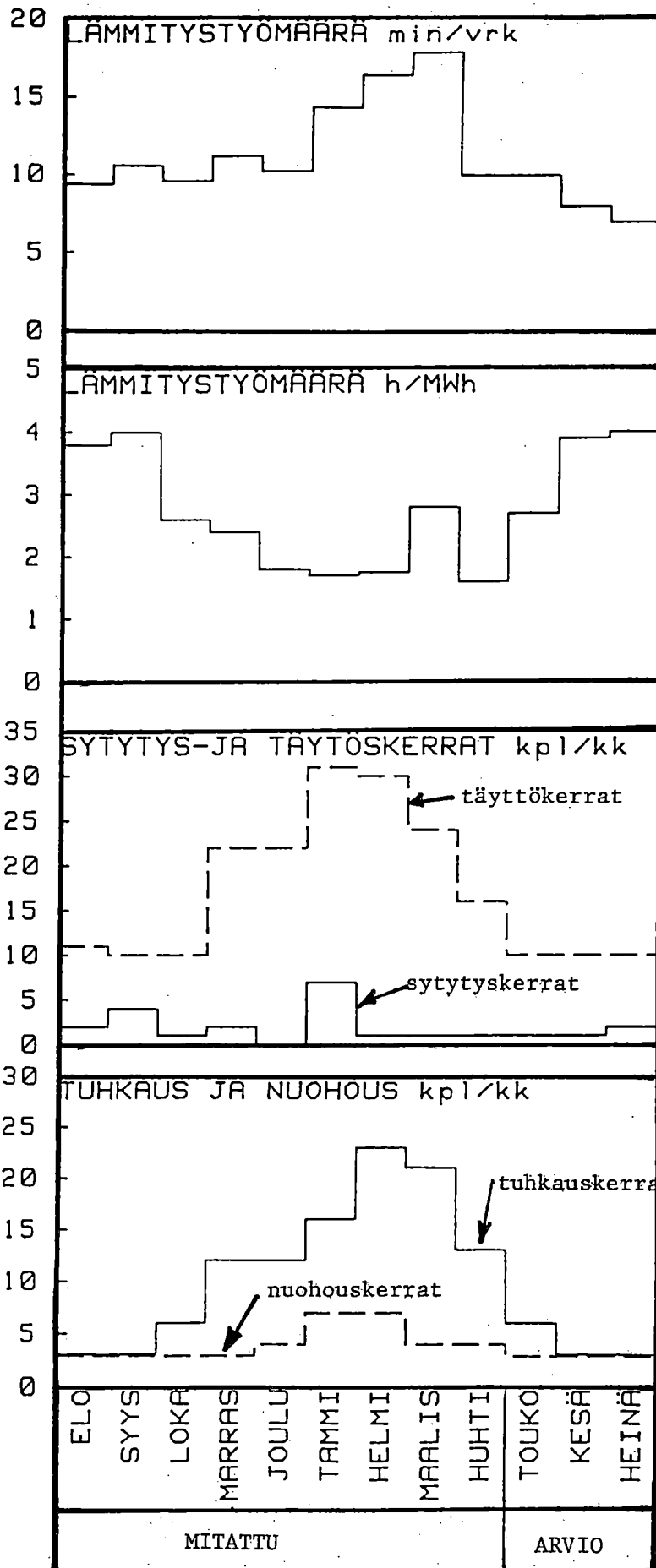
84/85 : 3.2 kW
norm.vuosi : 2.8...3.0 kW

VUOSIHYÖTYSUHDE:

84/85 : 52 %
norm.vuosi : 50...51 %

SEURANTAKOHTTEEN C LÄMMITYSTYÖMÄÄRÄT

6/10



LÄMMITYSTYÖHÖN KULUVA AIKA:

84/85 : 68 h
 norm.vuosi : 60...62 h

SYTYTYS- JA TÄYTTÖKERRAT:

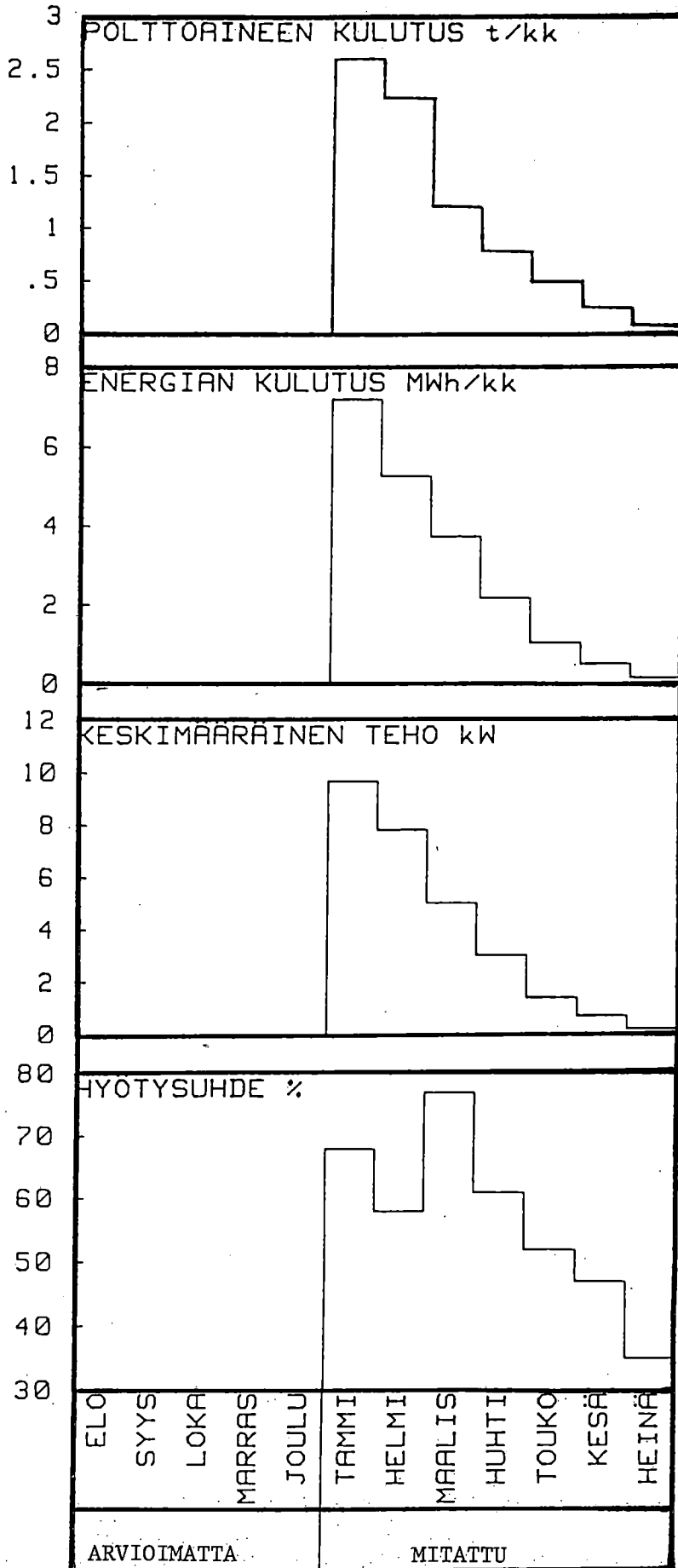
sytytys : 23 kpl
 täyttö : 206 kpl

TUHKAUS- JA NUOHOUSKERRAT

tuhkaus : 121 kpl
 nuohous : 47 kpl

SEURANTAKOHTTEEN D MITTAUSTULOKSET
(rakenteilla oleva omakotitalo)

7/10



POLTTOAINEEN KULUTUS:

5.1...31.7.1985 : 7.2 t

ENERGIAN KULUTUS:

5.1....31.7.1985 : 18.8 MWh

KESKIMÄÄRÄINEN TEHO:

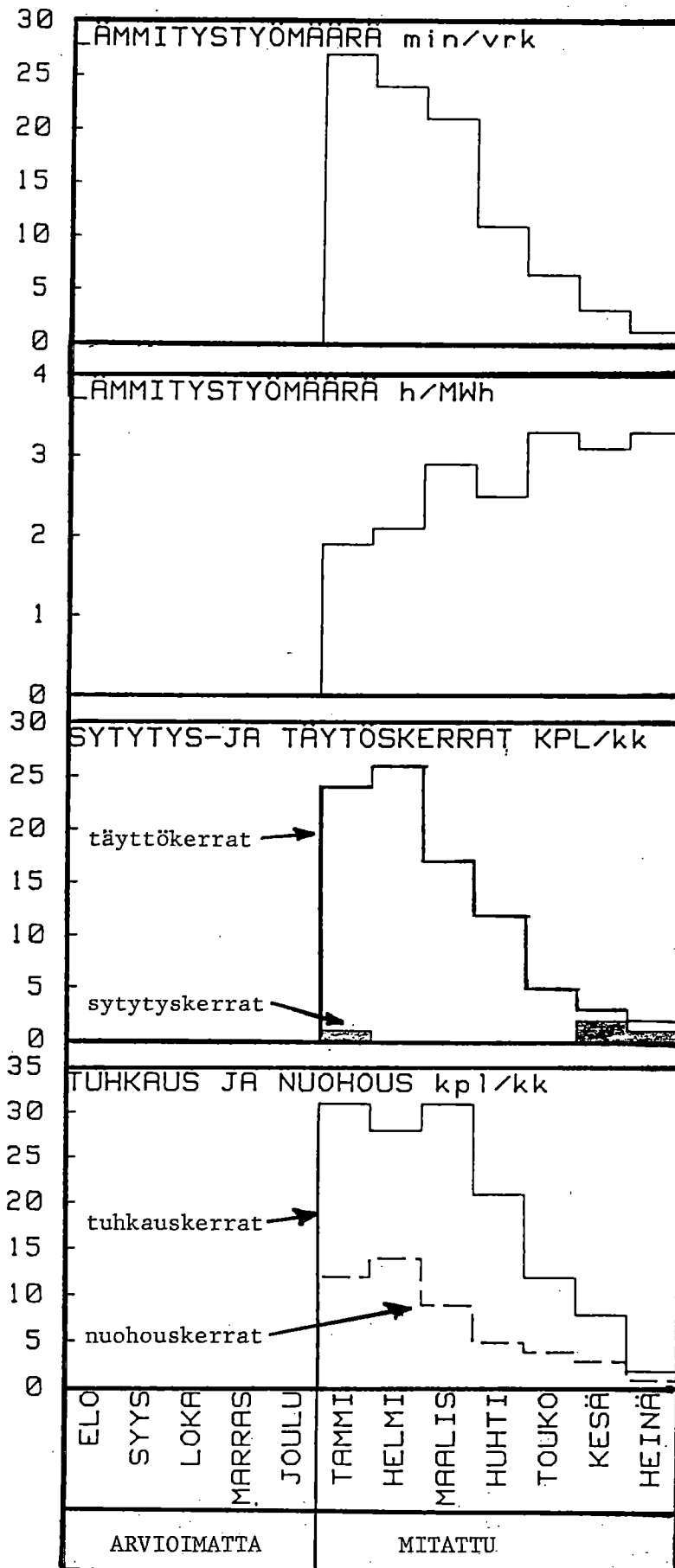
5.1...31.7.1985 : 4.0 kW

KESKIMÄÄRÄINEN HYÖTYSUHDE:

5.1....31.7.1985 : 63.3 %

SEURANTAKOHTTEEN D LÄMMITYSTYÖMÄÄRÄ

8/10



LÄMMITYKSEEN KULUNUT AIKA:

5.1....31.7.1985: 44 h

SYTYTYS- JA TÄYTTÖKERRAT:

5.1....31.7.1985
 sytytys : 3 kpl
 täyttö : 89 kpl

TUHKAUS- JA NUOHOUSKERRAT:

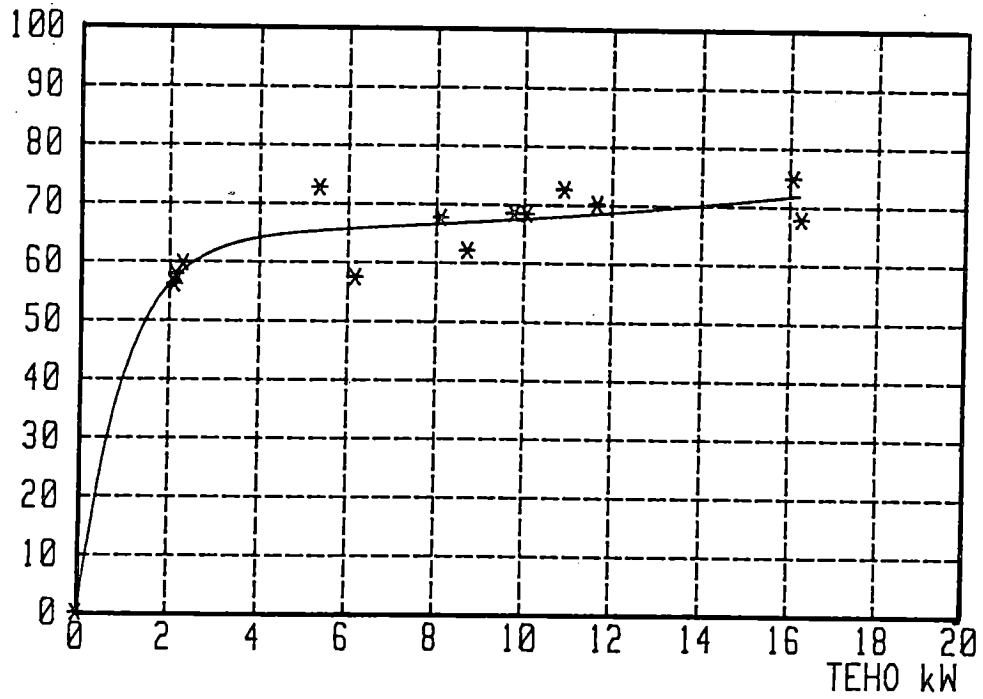
5.1....31.7.1985
 tuhkaus : 133 kpl
 nuohous : 48 kpl

ARVIOIMATTA

MITATTU

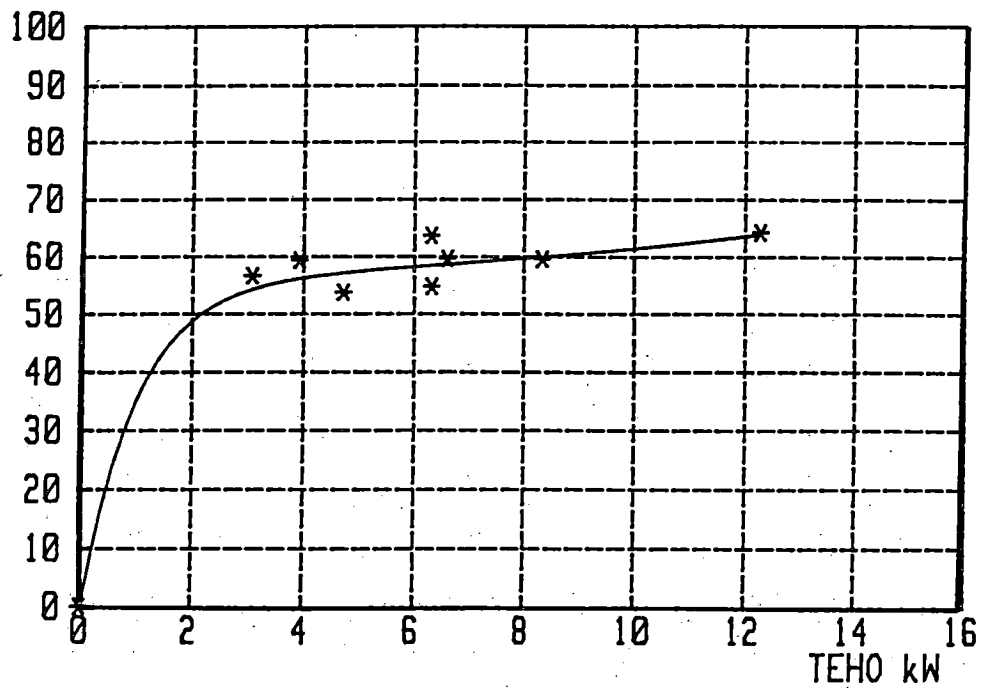
KOHDE A : TP 30 -POLTIN JA TULI 30 -KATTILA

HYÖTYSUHDE %



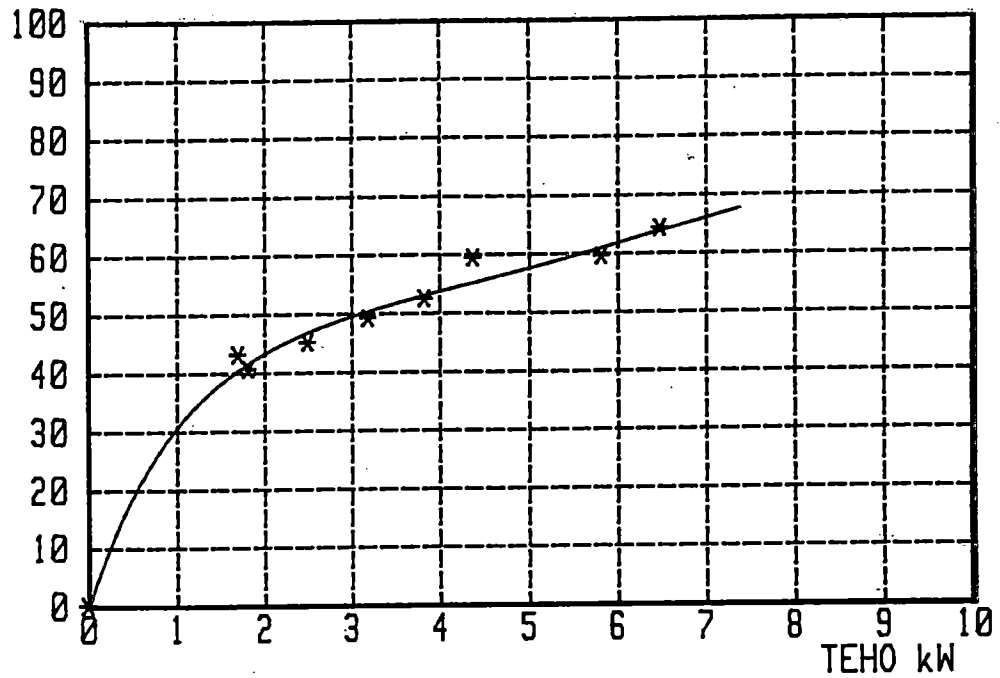
KOHDE B : TP 20 -POLTIN JA TP 25 -KATTILA

HYÖTYSUHDE %



KOHDE C : PELIKKO 10 -POLTIN JA PARCA MECO 93 -KATTILA

HYÖTYSUHDE %



KOHDE D : TP 20 -POLTIN JA TULI 40 -KATTILA

HYÖTYSUHDE %

