



VAKOLA

03450 OLKKALA
913-46211

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

TUTKIMUSSELOSTUS No 33

JUKKA AHOKAS

ENERGIANTUOTANTO MAATILATALOUDEN
OMISTA ENERGIALÄHTEISTÄ

ENERGY PRODUCTION FROM OWN ENERGY
SOURCES IN AGRICULTURE

VIHTI 1983

TUTKIMUSSELOSTUS No 33

JUKKA AHOKAS

ENERGIANTUOTANTO MAATILATALOUDEN
OMISTA ENERGIALÄHTEISTÄ

ENERGY PRODUCTION FROM OWN ENERGY
SOURCES IN AGRICULTURE

VIHTI 1983

ISSN 0506-3841

ESIPUHE

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

Tutkimus käsitti sekä viljankuivauksen energiaselvityksen että oljen lämmityskäytön ja polttotekniikan selvityksen. Muut tämän tutkimuksen julkaisut ovat: "Käyttökokemuksia olkikattiloista" Työtehoseuran julkaisuja 238, "Olkipuristeet polttoaineeksi" Työtehoseuran maatalous- ja rakennusosaston monisteita 2/1981, "Olki polttoaineena" VAKOLAN tutkimusselostus n:o 30, "Energiansäästö viljankuivauksessa" VAKOLAN tutkimusselostus n:o 31, "Kotimainen polttoaine viljankuivauksessa", VAKOLAN tutkimusselostus n:o 32.

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

Vihti 6.1.1983

Jukka Ahokas

SISÄLLYSLUETTELO

ESIPUHE

TIIVISTELMÄ

SAMMANFATTNING

SUMMARY

Sivu

1.	KOTIMAISEN POLTTOAINEEN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET MAATILATALOUESSA	1
1.1	Maatilatalouden energiakulutus	1
1.2	Polttopuun käyttö	2
1.3	Poltto-oljen käyttö	3
1.4	Polttoturpeen käyttö	5
1.5	Kotimainen polttoaine viljankuivauksessa	5
2.	OLKI POLTTOAINEENA	7
2.1	Oljen ominaisuudet polttoaineena	7
2.1.1	Oljen kosteus	7
2.1.2	Oljen tilavuuspaino	9
2.1.3	Oljen koostumus	10
2.1.4	Oljen lämpöarvo	11
2.1.5	Oljen tuhka	12
2.2	Olkikattilat	13
2.2.1	Yläpaloiset olkikattilat	13
2.2.2	Alapaloiset olkikattilat	15
2.2.3	Etupesät oljenpoltossa	17
2.3	Olkipuristeet	18
2.3.1	Olkibriketit	18
2.3.2	Olkipelletit	19
2.4	Paloturvallisuus	19
2.5	Olkilämmityksen taloudellisuus	20
2.5.1	Paalipolton taloudellisuus	20
2.5.2	Olkipuristeiden taloudellisuus	22

3.	KOTIMAINEN POLTTOAINE VILJANKUIVAUKSESSA	23
3.1	Polttoainetarve	23
3.2	Lämminilmakuivauksen lämmönlähteet	24
3.2.1	Ilmalämmitysuunit	24
3.2.2	Yläpaloiset uunit	24
3.2.3	Alapaloiset uunit	25
3.2.4	Etupesät	28
3.2.5	Polttimet	32
3.2.6	Vesiradiaattoriuunit	33
3.3	Kylmäilmakuivauksen lisälämmönlähteet	33
3.4	Paloturvallisuus	34
3.5	Kotimaisen polttoaineen taloudellisuus viljankuivauksessa	34
4.	ENERGIAN SÄÄSTÖ VILJANKUIVAUKSESSA	40
4.1	Viljan kosteus, kuivuminen ja säilytys	40
4.2	Kylmäilmakuivaus	41
4.3	Lämminilmakuivaus	45
4.3.1	Yleistä	45
4.3.2	Lämminilmakuivauksen energiatase	46
4.3.3	Kuivuriuunien häviöt	47
4.3.4	Lämpöhäviöt ympäristöön	47
4.3.5	Viljan lämmitys- ja jäädytyshäviöt	48
4.3.6	Poistoilman lämpöhäviöt	49
4.3.7	Kuivauksen optimointi	50
4.4	Kuivauskapasiteetti	52
4.5	Energian säästön kannattavuus	55
5.	YHTEENVETO	57
5.1	Oljen polttotekniikka	57
5.2	Kotimainen polttoaine viljankuivauksessa	59
5.3	Energian säästö viljankuivauksessa	61
5.4	Maatilatalouden energiareservien hyödyntäminen	63
	VIITEKIRJALLISUUS	65

TIIVISTELMÄ

Maatilatalouksien omat energianlähteet riittävät hyvin omaan kulutukseen. Lisäksi niillä voitaisiin korvata melkoinen osa koko maan lämmityskäytön polttoöljystä.

Asuin- ja tuotantorakennuksien uudet lämmityslaitteet ovat maatilatalouksissa lähes yksinomaan kotimaisilla polttoaineilla toimivia. Viljankuivureihin kotimaisen polttoaineen uuneja on vähän saatavissa. Polttoaineista puu ja turve ovat yleisesti käytössä. Oljen käyttö on vähäistä.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin oljen käyttömahdollisuuksia, kotimaisten polttoaineiden soveltuvuutta kuivuriuuneihin sekä yleensä energiansäästömahdollisuuksia viljankuivauksessa.

Oljen kokopaalien poltto on kannattavaa suurella, yli 50...70 MWh/a kulutuksella. Kustannuksiin vaikuttaa ratkaisevasti olkikattiloiden kallis hinta ja suuri polttoainevaraston tarve. Kattiloiden hinta tulee korkeaksi, koska paalien syöttö, tuhkan poisto ja palamisen valvonta/kohinta on automatisoitava. Käsikäyttöisenä lämmitys on liian työläs.

Polttoja ajatellen oljen kosteuden olisi mieluiten oltava alle 20 %. Korjuukosteus saisi olla tällöin enintään 25 %, koska olki kuivuu itsestään varastoitaessa muutaman prosenttiyksikön. Jos sääoloista johtuen tähän ei päästä, olki on koneellisesti kuivattava.

Olkipuristeista pelletit ovat brikettejä mielekkäämmät. Tämä johtuu siitä, että oljen pelleteintikosteus saa olla briketöintikosteutta korkeampi, pelletit ovat kestävämpiä ja pellettien polttolaitteet ovat helpommin automatisoitavissa.

Kotimaisen polttoaineen käyttö kuivuriuuneissa on täysin toteutettavissa. Uunien on toimittava samalla lailla kuin öljyuunien, tällöin kuivausautomaattikka voidaan pitää entisellään. Erityisesti on tarkattava uunien varmatoimisuutta, niiden on selviydyttävä sähkökatkoksista ja viljan jäähtymyksestä.

Pienitehoisissa uuneissa, alle 150 kW, voidaan käyttää alapaloisia käsikäyttöisiä uuneja. Suuritehoisissa uuneissa polttoaineen syöttö on työmäärän ja paloajan takia automatisoitava. Tällöin ruuvisyöttöinen poltin (stoker) on hallittavuuden ja hintansakin takia suositeltava.

Öljyuunien vaihto kotimaisen polttoaineen uuniin ei yleensä ole kannattavaa. Vanhojen öljyuunien uudistamisessa ja uudisrakennuksissa kotimainen polttoaine kannattaa paremmin.

Viljan kuivureiden kuivauskustannuksissa pääomakustannukset ovat 70...80 % kokonaiskustannuksista. Tästä johtuen kuivauksen kokonaiskustannuksia voidaan tehokkaimmin alentaa pääomakustannusten alentamisella. Merkittävänä tekijänä on oikea kuivauskapasiteetti ja oikea -järjestelmä. Kuivauksen energiakustannuksia voidaan melko yksinkertaisinkin keinoin valvoa. Säätämällä öljypolttimet, puhdistamalla kuivurit, eristämällä lämpimät pinnat ja käyttämällä kuivuria oikein voidaan energiankulutuksessa säästää huomattavasti.

SAMMANFATTNING

Lantbrukets egna energikällor räcker väl till förbrukningen på den egna gården. Därtill kunde man med dem ersätta en tämligen stor del av den mängd lätt brännolja som används för eldning i hela landet.

De nya värmeaggregaten i bostadshus och produktionsanläggningar arbetar på lantgårdarna nästan enbart med inhemska bränslen. Med inhemskt bränsle drivna pannor för spannmålstorkar är tillgängliga i ringa mån. Av bränslena är det ved och torv som är aktuella. Halmen utnyttjas i ringa mängd.

Genom denna undersökning utreddes möjligheter att använda halm, inhemska bränslens lämplighet för varmluftspannor samt möjligheter i allmänhet att spara energi vid spannmålstorkning.

Halmens bränning i form av hela balar är ekonomiskt lönsamt, när förbrukningen överskrider 50...70 MWh/a. Kostnaderna påverkas på ett avgörande sätt av halmpannornas höga pris och det stora behovet av bränslefförråd. Priset på pannorna stiger på grund av att balarnas inmatning, askans avlägsnande och förbränningens kontroll/omprörande bör automatiseras. Manuell eldning fordrar för mycket arbete.

Med tanke på bränningen borde halmens vattenhalt helst vara under 20 %. Vattenhalten under bärgningen borde således hellre vara högst 25 %, eftersom halmen torkar under lagringen några procentenheter av sig själv. Om detta är omöjligt att nå beroende på väderleken, bör halmen torkas maskinellt.

Av halmpressvarorna lämpar sig pelletterna bättre än briketterna. Orsakerna härtill är de, att halmens vattenhalt under pelletteringen får vara högre än under briketteringen, pelletterna har bättre hållbarhet och pelletternas bränningsapparat är lättare att automatiseras.

Utnyttjandet av inhemskt bränsle i varmluftstorkar är helt realiserbart. Pannorna bör fungera på samma sätt som varmluftsoljepannorna, varvid torkautomatiken kan bibehållas oförändrad.

Speciell tillsyn bör hållas över pannornas driftsäkerhet, de bör tåla elavbrott och spannmålskylning.

I torkar med effekt under 150 kW kan manuellt matade pannor med underförbränning användas. Ifråga om högeffektiva torkar bör bränsleinmatningen automatiseras på grund av arbetsmängd och förbränningstid. Då kan man rekommendera stoker-pannan (med skruvinmatning) därför, att den är kontrollerbar och redan iakttagande priset på den.

I allmänhet är det inte lönsamt att ersätta en funktionsduglig oljepanna med en panna som drivs med inhemskt bränsle. Vid renovering av gamla oljepannor och i nybyggen blir utnyttjandet av inhemskt bränsle gynnsammare.

Angående torkningskostnaderna för spannmålstorkar utgörs totalkostnaden 70...80 procentigt av kapitalkostnader. Det effektivaste sättet att sänka torkningens totalkostnad är att minska kapitalkostnaden. Betydande faktorer är rätt torkningskapacitet och -system. Torkningens energikostnader kan i själva verket på relativt enkla sätt uppföljas. Genom att inställa oljebrännarna, rengöra torkarna, isolera de varma ytorna och driva torken på behörigt sätt kan man avsevärt spara vid energiförbrukningen.

SUMMARY

The own sources of energy within the agriculture well suffice the own consumption of the farm. In addition to this, they could compensate quite a good deal of the light fuel oil quantity used for heating in the whole country.

The new heating devices for dwelling houses and production buildings operate on the farms almost solely by means of domestic fuels. Domestic fuel furnaces for grain driers are available to a minor degree. Wood and peat are generally used as fuels. Straw is not much utilized.

This research clarified the possibilities for using straw, the applicability of domestic fuels in air furnaces as well as the possibilities for saving energy in grain drying in general.

The burning of straw as whole bales is profitable, when the consumption is extensive, i.e. exceeds 50...70 MWh/a. The costs are decisively affected by the high price for the straw furnaces and the fuel storage capacity required to a large extent. The furnace price increases, due to the fact that the bale feeding, ash removal and the burning control/raking up must be automated. The labour required for manual heating is excessive.

Taking the burning into consideration, the moisture content of straw ought to be preferably less than 20 per cent. Thus, the moisture content when harvesting should not exceed 25 %, since the straw dries by itself a few per cent during the storing. If, due to climatic conditions, this will not be the case, the straw has to be dried mechanically.

As to straw pressware, the straw pellets are better than the briquettes. This is based upon following: the moisture content during the pelletizing of straw is allowed to be higher than that during the briquetting; the strength of the pellets is better; the fuel use of pellets can be automated more easily.

It is quite possible to use domestic fuel in air furnaces. The function of the furnaces has to be similar to that of those with oil burners, whereas the drying automation can remain unchanged. Special attention has to be paid to the secure functioning of the furnaces; they must stand electric breakdowns and grain cooling.

Concerning low-efficiency driers, i.e. less than 150 kW, manual furnaces with underburning principle can be utilized. Covering high-efficiency driers, the fuel feeding has to be automated, due to the amount of labour and the burning time. In this case a stoker is recommended because of its controllability and its price, too.

In general it is not advantageous to replace oil burner air furnaces by those operating with domestic fuel. Domestic fuel is more economical when renovating old oil burner air furnaces as well as to be used in new buildings.

Regarding the drying costs for grain driers, the capital cost makes 70...80 % of the total cost. Due to this the most effective way of lowering the total cost for drying, is to decrease the capital cost. Appropriate drying capacity and drying system are significant factors. The energy costs for drying can be controlled also relatively simply. By adjusting the oil burners, cleaning the driers, insulating the warm surfaces and operating the drier properly, a remarkable return can be gained in the energy consumption.

1. KOTIMAISEN POLTTOAINEEN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET MAATILATALOUDESSA

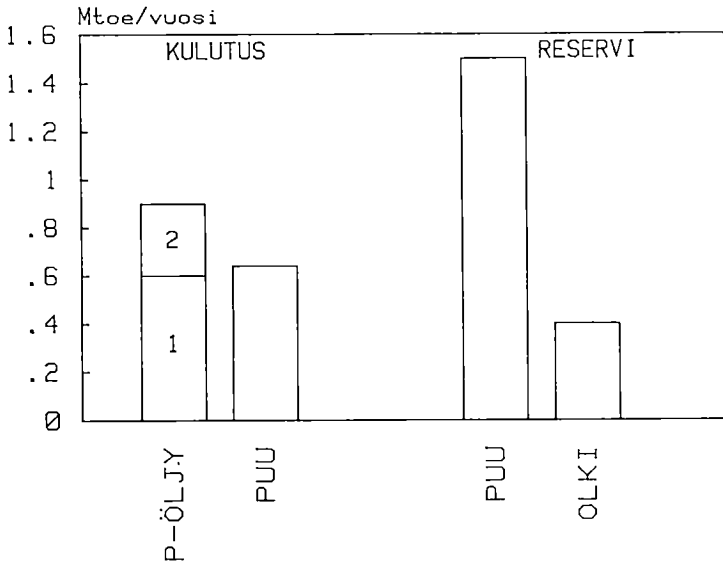
1.1 Maatilatalouden energiakulutus

Maatilatalouksien vuodessa kuluttama suora energia on 2 Mtoe (1 Mtoe = 1 miljoona tonnia raskasta polttoöljyä vastaava energiamäärä). Kevyen ja raskaan polttoöljyn määrä on 0,9 Mtoe (kuva 1) eli lähes puolet kokonaiskulutuksesta. Traktoreiden ja muiden maatalouskoneiden kevyen polttoöljyn kulutus on 0,3 Mtoe, jota ei ensisijaisesti ole järkevää pyrkiä korvaamaan kotimaisilla polttoaineilla. Kotimaisilla polttoaineilla voitaisiin maatilatalouksissa korvata siten 0,6 Mtoe. Raskasta polttoöljyä käytetään vuosittain 0,07 Mtoe etupäässä kasvihuoneissa. Jos esim. viljankuivauksessa ja tuotanto- sekä asuintilojen lämmityksessä käytettävä kevyt polttoöljy, 0,53 Mtoe, korvattaisiin täysin kotimaisilla polttoaineilla, tämä vastaisi 14 % vähennystä kevyen polttoöljyn kokonaistuontimäärässä.

1.2 Polttopuun käyttö

Tuotanto- ja asuintilojen lämmityksessä puun osuus on aina ollut merkittävä. Sen osuus lämmönlähteistä oli 1970-luvun lopulla likimain puolet ja se vastasi 0,64 Mtoe. Samana aikana lämmitysjärjestelmän hankkineista n. 70 % valitsi puulämmityksen. Täten kotimaisen polttoaineen osuus lämmityksessä lisääntyy jatkuvasti.

Metsistämme voidaan vuosittain korjata markkinakelpoisen puun lisäksi 15 milj. m^3 polttopuuta. Tämä vastaa 1,5 Mtoe eli maatilatalouksien lämmitystarpeet on täysin korvattavissa kotimaisilla polttoaineilla.



Kuva 1. Maatilatalouden kevyen ja raskaan polttoöljyn sekä puun kulutus ja maatilatalouden energiareseptit. 1 = lämmitys ja viljankuivaus, 2 = traktorit ja maatalouskoneet.

Kaiken jätetuun korjuu ei kuitenkaan ole taloudellisesti kannattavaa ja lisäksi se on alueittain epätasaisesti jakautunut. Arvioiden mukaan jätetuusta olisi hyvinkin neljännes tai kolmannes korjattavissa.

Metsähehtaarilta polttopuuta voidaan vuosittain korjata n. 1,5 k-m³. Tämä vastaa halkoina 2,5 i-m³ ja hakkeena 4,5 i-m³. Hehtaarin viljasadon kuivaamiseen tarvitaan keskimäärin 0,6 i-m³ halkoja ja n. 1 i-m³ haketta. Täten yhden metsähehtaarin harvennus- ja hakkuujätetuilla pystytään kuivaamaan kolmen...neljän peltohehtaarin viljasato. Maatilan keskikokoisen asuinrakennuksen lämmöntarve

vastaa 70 i-m³ haketta tai 50 i-m³ halkoja vuosittain. Tämä määrä saadaan noin 20 metsähehtaarin alalta. Esimerkiksi 30 peltohehtaarin viljanviljelytilan lämmitys- ja kuivauspolttopuun tuottamiseen harvennus- ja hakkuujätepuusta tarvitaan 30 metsähehtaaria. Pohjois-Suomessa, jossa metsänkasvu on hitaampaa ja lämmöntarve suurempi, tarvitaan kuitenkin huomattavasti suuremmat metsäalat.

1.3 Poltto-oljen käyttö

Maamme vuosittainen korjattavissa oleva olkisato on 25 % kosteuden mukaan laskien 2,2 milj. tonnia. Korjattavissa oleva hehtaarisato on keskimäärin 1850 kg. Olkisatoon vaikuttaa merkittävästi alueellinen sijoittuminen, vuotuiset vaihtelut, lajike ja viljelyn voimaperäisyys. Sängin pituus vaikuttaa myös korjattavaan satoon. Esim. lyhentämällä sänki tavanomaisesta n. 22 cm:stä 12 cm:iin lisääntyy sato 40 %. Tämä johtuu siitä, että kasvimassaa on alaosassa olkea enemmän. Alueellisesti suurin osa olkisatoa saadaan Etelä-Suomesta. Etenkin tiloilla, joilla metsäala on pieni, olki on ainoa mahdollinen oma kotoinen polttoaine.

Vuotuinen korjattavissa oleva olkisato vastaa lämpösisällöltään 0,4 Mtoe. Tämä on n. 70 % maatalouden lämmitykseen käytetystä vuotuisesta öljymäärästä.

Samalla laillakuin polttopuunkin osalta, olki on alueellisesti epätasaisesti jakautunut ja kaiken oljen käyttö ei ole mahdollista. Tosin olki korvaa monin paikoin puuttuvat puuvarat. Jos paalipoltosta siirrytään olkipellettien polttoon, lämmityksen hyötysuhde paranee huomattavasti ja vuotuisella olkimäärällä päästäisiin maatilatalouksissa omavaraisuuteen.

Kattilahyötysuhteesta ja oljen kosteudesta riippuen yhden polttoöljylitran korvaamiseen tarvitaan 3...5 kg olkea. Täten hehtaarin käytettävissä oleva olkisato vastaa 400...650 l kevyttä polttoöljyä ja esim. asuinrakennusten lämmitysöljet saadaan 8...12 hehtaarin alalta.

Hehtaarin jyväsadon kuivaamiseen tarvitaan 3,5 m³ eli 300 kg olkea. Yhden hehtaarin olkiasadolla pystyttäisiin siten kuivaamaan 7 hehtaarin viljasato. Pinta-alaltaan 30 hehtaarin viljanviljelytilan poltto-öljet asuinrakennusten lämmitys huomioiden saataisiin siten 15...20 hehtaarin peltoalalta.

Suurin osa, n. 80 %, oljesta joko poltetaan pellolla tai kynnetään maahan. Viljelytöiden kannalta oljesta on enemmän haittaa kuin hyötyä. Jollei olkea korjata tai hävitetä, se tukkeaa maatalouskoneet. Satoihin sillä ei ole huomattu olevan sanottavaa merkitystä. Joka tapauksessa juuristo ja sängen mukana 35...60 % maanpäällisistä osista jää peltoon. Yleisimmin olki hävitetään leikkupuinnissa olkisilppurilla.

Kuivikkeena ja karjan rehuna oljesta käytetään n. 15 %. Rehusta suurin osa käytetään heinää korvaamaan. Sen rehuarvo on kuitenkin melko huono. Kemiallisesti sitä voidaan parantaa, mutta se ei ole taloudellisesti kovin kannattavaa.

Polttoaineeksi oljesta käytetään n. 1 %. Oljen vähäinen lämmityskäyttö johtuu sille sopivien lämmityskattiloiden vähäisyydestä ja kalleudesta. Myöskin kiinnostus oljenpolttoon on laimeata sen "huonon maineen" vuoksi. Tässä tutkimuksessa selvitettiin oljen lämmityskäytön mahdollisuudet ja siten oljen energiareservin hyödyntäminen.

1.4 Polttoturpeen käyttö

Turve poikkeaa oljesta ja puusta siten, ettei se ole varsinaisesti uusiutuva luonnonvara. Polttoturpeeksi kelpaavaa turvetta on arvioitu maassamme olevan 22 miljardia kuutiometriä. Maatilatalouden tarpeisiin pelkästään käytettynä tämä riittäisi useaksi tuhanneksi vuodeksi.

Parhaimmat mahdollisuudet polttoturpeen käyttöön on Vaasan, Oulun, Lapin ja Pohjois-Karjalan lääneissä. Paikallisia polttoturvealueita on myös muuallakin. Maatilakäyttöön soveltuu parhaiten palaturve. Pientuotannossa saata-va vuotuinen palaturvesato on keskimäärin 300...400 m³/ha. Tällainen turvemäärä alentaa turvekerrosta n. 4 cm.

Yhden peltohehtaarin viljasadon kuivaamiseen tarvitaan 0,7 i-m³ palaturvetta. Tätä vastaava turvesuon ala on 20 m². Keskikokoisen tilan lämmitykseen tarvitaan 75 i-m³ palaturvetta vuosittain. Esimerkiksi 30 peltohehtaarin tilan vuosittainen palaturpeen kokonaistarve on 96 i-m³, mikä vastaa n. 20 aarin turvesuota.

Yhden tilan käyttöön palaturpeen nosto ei yleensä ole kannattavaa. Suon perustaminen, kuljetusreittien rakentaminen ja nostokoneet maksavat melkoisesti. Yhteiskäytössä, polttoturpeen myynnissä tai pellon käyttön samanaikaisesti tuotantoon mahdollistavat turpeen taloudellisen noston.

1.5 Kotimainen polttoaine viljankuivauksessa

Viljankuivaus kuluttaa vuosittain 0,15 Mtoe eli 17 % maatilatalouden kevyen ja raskaan polttoöljyn kokonaiskulutuksesta ja 28 % maatilataloudessa kotimaisilla polttoaineilla korvattavissa olevasta kevyen polttoöljyn kulutuksesta.

Toisin kuin asuin- ja tuotantotilojen lämmityksessä, viljankuivauksessa ei lähes ollenkaan käytetä kotimaisia polttoaineita. Tämä johtuu sopivien kuivuriuunien puutteesta. Tässä tutkimuksessa selvitettiin kotimaisen polttoaineen käyttömahdollisuuksia myös viljankuivauksessa sekä yleensä energian säästämahdollisuuksia kuivauksessa.

Viitteet /1/, /4/, /5/, /7/, /8/, /9/.

2. OLKI POLTTOAINEENA

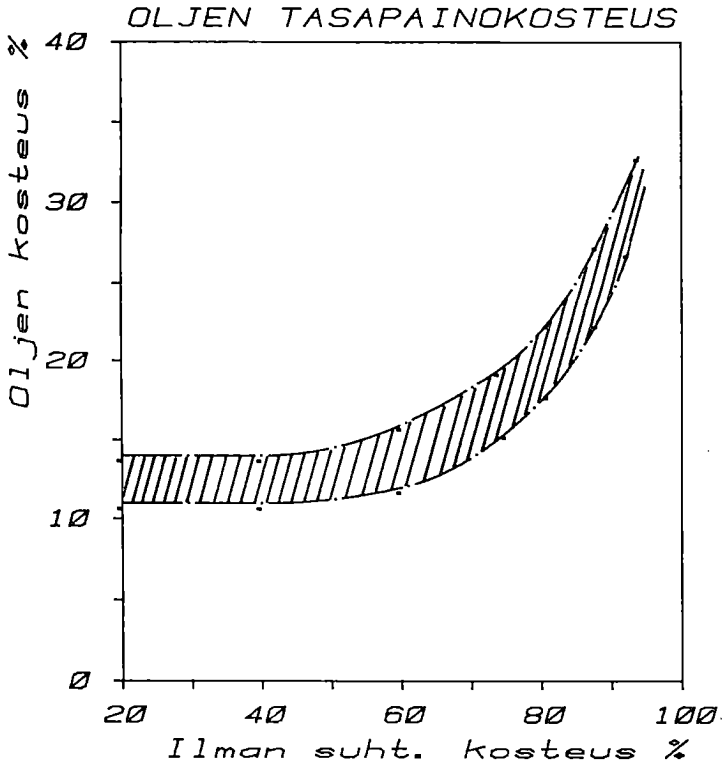
2.1 Oljen ominaisuudet polttoaineena

2.1.1 Oljen kosteus

Oljen puintikosteus on 30...60 %. Jos halutaan homeetonta olkea, varastointikosteuden pitäisi olla alle 25 %. Palamisen kannalta oljen kosteuden olisi oltava mieluummin alle 20 %. Olki kuivuu varastoinnin aikana helposti 2...6 %-yksikköä, joten polttotarkoituksiin kerättävän oljen kosteus saa olla korjuuhetkellä enimmillään n. 25 %. Lähes aina puidun oljen täytyy joko antaa kuivua pellolla tai se on kuivattava koneellisesti. Olki kuivuu varastossa 25 % kosteudesta muutaman kuukauden aikana polttoon sopivaksi. Tämän takia pitäisi olla käytettävissä myös ylivuotista olkea lämmityskauden alkua varten. Jos olki joudutaan kuitenkin korjaamaan yli 30 % kosteana, jo pelkästään palamisen kannalta olki on koneellisesti kuivattava. Kuvassa 2 on oljen tasapainokosteuskäyrä.

Kuvasta 2 nähdään, että olki kuivuu hyvin helposti. Esimerkiksi oljen 30 % kosteutta vastaava ilman suhteellinen kosteus on 90...95 %. Heinälle vastaava arvo on 75...80 %. Yleisenä sääntönä voidaan pitää, että leikkuupuinnin jälkeen tarvitaan vähintään yksi poutapäivä ennenkuin olki kosteudeltaan on korjuukelpoista. Oljen korjuukelpoisuus voidaan todeta viljan kosteusmittareista kehitettyjä oljen ja heinän kosteusmittareita käyttäen. Niillä saadaan riittävän tarkat arvot korjuun alun määrittämiseen, vaikkakin, etenkin pistinmittauksella, hajonta on melkoinen.

Jos oljen keruukosteus on yli 25...30 %, olki on koneellisesti kuivattava, jotta sen poltto onnistuisi. Tähän voidaan käyttää kylmäilmakuivausta. Kuivauksen energiankulutus korvautuu oljen lämpöarvon kohoamisella. Lisäksi polton hyötysuhde paranee huomattavasti ja kuivaus varmistaa sen, palaako olki ensinkään kattilassa.



Kuva 2. Oljen tasapainokosteus

Oljen kylmäilmakuivauksessa suositeltava ilmamäärä on 900...1200 m³/h t ja suositeltava ilman nopeus on 0,09... 0,12 m/s. Oljen kuivaamisesta tarvittaisiin kuitenkin lisätutkimuksia, koska nämä suositukset perustuvat vain muuttamaan kuivauskokeeseen.

2.1.2 Oljen tilavuuspaino

Irto-oljen tilavuuspaino on 30...40 kg/m³. Paalatus oljen tilavuuspaino on normaalisti 50...120 kg/m³. Polton kannalta sopiva paalin tiiviys koko paalin poltossa on 50... 80 kg/m³. Tiiviimmät paalit eivät pala kunnolla vaan ainoastaan kytevät voimakkaasti. Repijällä varustetuissa kattiloissa paalit voivat olla huomattavastikin tiiviimmät.

Paalien koko voi vaihdella melkoisesti. Paalainten paalikammioiden mitat vaihtelevat 40...50 cm leveydestä 30... 36 cm korkeuteen. Suuresta koon vaihtelusta on haittaa kattilan polttoainesilloja suunniteltaessa. Liian tiukka välykset estää paalien valumista alas. Paalit turpoavat jonkin verran sidenarujen katkettua, mikä vielä pahentaa tilannetta. Suurin osa paaleista mahtuu 50 cm x 40 cm aukkoon.

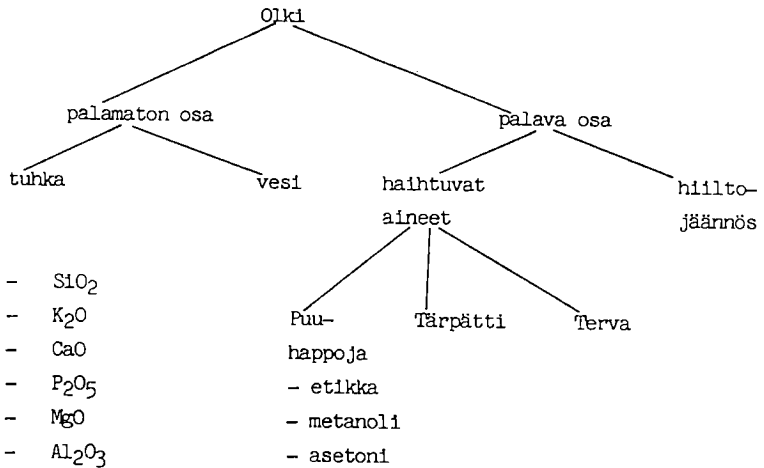
Kun olkipaaleja verrataan muihin polttoaineisiin, puuhalkojen tilavuuspaino on noin seitsenkertainen, hakkeen noin nelinkertainen ja kevyen polttoöljyn noin 12-kertainen. Tämä vaikuttaa ratkaisevasti sekä polttoainesäiliölisen paloajan että polttoainevaraston kokoon. Paloajan lyheneminen lisää lämmitystyötä. Jos lämmitystyön halutaan olevan kohtuullinen, on järjestettävä automaattinen polttoaineen syöttö tai huomattavan suuri polttoainesäiliö.

Olki voidaan varastoida joko ulos huolellisesti peitettyinä tai sisävarastoihin. Keskikokoisen tilan olkitarve on 20 tonnia. Varastointikorkeuden ollessa 2,5 m ja ominaispainon 70 kg/m^3 , tarvittava varastopinta on n. 120 m^2 . Edullisinta on käyttää maatalilan vanhoja rakennuksia, uudisvarastojen rakentaminen lisää olkilämmityksen kustannuksia melkoisesti.

2.1.3 Oljen koostumus

Oljen koostumusta polttoaineena voidaan kuvata kuvan 3 mukaan.

Oljen alkuainekoostumus puuhun verrattuna on taulukon 1 mukainen.



Kuva 3. Kaavio oljen rakenteesta polttoaineena.

		Olki	Puu
Hilli	C	49	50
Happi	O ₂	39	43
Vety	H ₂	6	6
Typpi	N ₂	0,5	0,1
Rikki	S	0,1	-
Tuhka	A	5	0,5

Taulukko 1. Oljen ja puun kuiva-ainekoostumus.

Taulukon 1 arvot vaihtelevat eri viljalajeilla. Vaihtelu ei kuitenkaan ole huomattavaa, öljykasvien olki poikkeaa tosin viljaoljesta merkittävästi. Puuhun verrattuna suurin ero on tuhkan määrässä. Oljen tuhkapitoisuus on kymmenkertainen.

2.1.4 Oljen lämpöarvo

Oljen keskimääräinen kuiva-aineen lämpöarvo on 17,4 MJ/kg. Lämpöarvo vaihtelee hieman viljalajin mukaan, mutta se ei ole merkittävää. Samoin kasvupaikan ja lannoituksen vaikutus on merkityksetön. Määrän oljen tehollinen lämpöarvo saadaan yhtälöstä:

$$H_a = 17,4 \text{ MJ/kg} - 19,972 \cdot X(\text{MJ/kg})$$

$$X = \text{vesipitoisuus märkäpainoista}$$

Puun kuiva-aineen lämpöarvo on n. 19 MJ/kg ja turpeen n. 20 MJ/kg. Näihin verrattuna oljen lämpöarvo on n. 10 % alempi. Koska oljen tilavuuspaino on alhainen, lämpöarvot tilavuutta kohti laskien ovat suuret. Oljen kuiva-aineen lämpöarvo on n. 1,2 GJ/m³ ja esim. halkojen n. 7,6 GJ/m³.

2.1.5 Oljen tuhka

Oljen tuhkan ominaisuudet muuttuvat viljalajin mukaan. Ratkaisevina aineosina ovat piidioksidi (SiO_2), kaliumoksidi (K_2O) ja kalsiumoksidi (CaO). Vehnällä ja rukiilla SiO_2 arvot ovat huomattavasti ohraa ja kauraa korkeammat. K_2O ja CaO arvot ovat vastaavasti huomattavasti alhaisemmat. Piidioksidi (SiO_2) kohottaa sulamislämpötilaa ja kaliumoksidi sekä kalsiumoksidi alentavat sitä. Taulukossa 2 on eri viljanolkien tuhkan sulamislämpötiloja.

	Ruis	Vehnä	Ohra	Kaura	Rypsi
Pehmenemispiste	840	1050	765	735	1220
Sulamispiste	1330	1400	1190	1175	1495

Taulukko 2. Oljen tuhkan sulamislämpötilat °C.

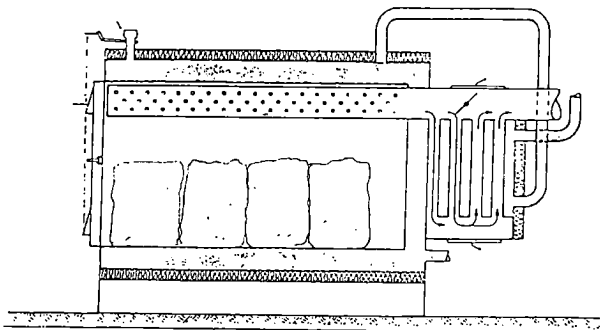
Taulukon 2 mukaan tuhkan sulaminen tapahtuu melko laajalla lämpötila-alueella. Koska kattiloita ei ole syytä valmistaa pelkästään tietyille viljalaaduille, on aina varauduttava sekä sulamattomaan että sulaneeseen tuhkaan. Parhaiten tuhka voidaan poistaa ruuvikuljettimella, jossa on jähmettyneen tuhkan murskain. Tuhkaa ei kannata poistaa kattilasta sulana, vaan sen on annettava jähmettyä.

Oljen tuhkan tilavuuspaino on alhainen. Vaikka turpeen tuhkapitoisuus on olkea suurempi, oljen tuhkan tilavuuspaino on alhaisempi ja siten tuhkatilan on oltava suurempi. Käytännössä tämä aiheuttaa sen, että tuhkan poisto on automatisoitava, jos halutaan kohtuullista lämmitystyötä.

2.2 Olkikattilat

2.2.1 Yläpaloiset olkikattilat

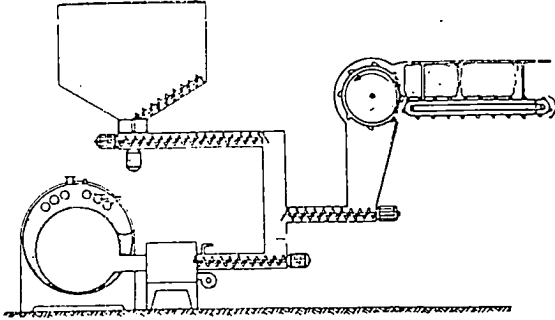
Keski-Euroopassa on yleistynyt yläpaloinen kokonaisia olkipaaleja polttava kattilatyyppi, kuva 4.



Kuva 4. Yläpaloinen olkipaalikattila

Niiden teho vaihtelee huomattavasti täytöksestä riippuen. Samoin ne ovat käsikäyttöisinä työläitä. Oloihimme ne eivät sovellu, koska meillä lämmitystarve on jatkuvaa, polttoaine on kosteampaa ja työmäärä olisi liian suuri. Meillä tässä kattilatyypissä käytetään etenkin kovilla pakka-silla huomattavasti puuta. Tämä on seurausta olkikäytön suuresta työmäärästä ja puun poltolla saavutettavasta suu-remmasta tehosta.

Yläpaloisia kattiloita voidaan käyttää olkilämmityksessä, jos niiden toimintoja automatisoidaan. Kattilalaitos voi-daan varustaa repijälaitteella, joka hajoittaa olkipaalin. Olkisilppu siirretään syöttöruuvilla kattilaan. Esimerkki tällaisesta on kuvassa 5.



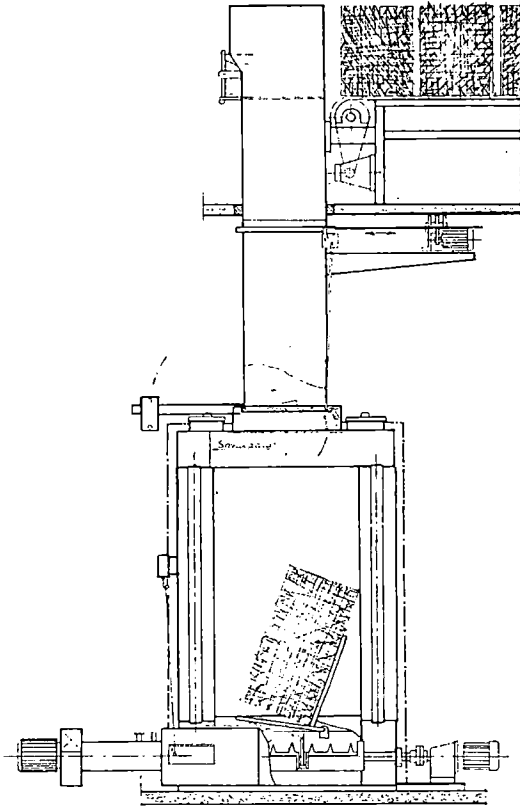
Kuva 5. Repijälaitteella varustettu olkikattila.

Silppuna poltettuna palaminen on tasaista ja hyötysuhteet ovat paalipolttoa korkeammat.

Kokonaaisia olkipaaleja polttavista automaattikattiloista on esimerkkinä KOTERA 80 kattila, kuva 6.

Siinä on automaattinen polttoaineen syöttö, sytytys, pöyhintä ja tuhkanpoisto. Automaatiikka huolehtii myös kattilan toiminnasta lämmöntarpeen mukaan.

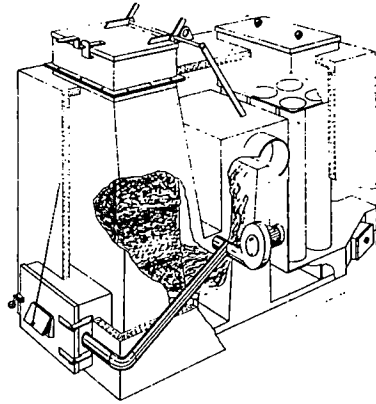
Suoritetuissa kokeissa kattilan hyötysuhde vaihteli 58... 66 % välillä lämmitystavasta ja oljen kosteudesta riippuen. Normaalisti tällä kattilatyypillä on odotettavissa n. 60 % kokonaishyötysuhteita. Automatisoinnin ansiosta työmäärä on pieni. Maatiloilla tehdyissä tutkimuksissa käyttövarmuus on myös ollut hyvä.



Kuva 6. KOTERA 80 olkikattila

2.2.2 Alapaloiset olkikattilat

Alapaloisissa olkikattiloissa polttoainesäiliöön mahtuu 3...5 kpl olkipaaleja. Olkipaalit poltetaan kokonaisina. Lämmitystehot ovat 40...70 kW ja lämmitystapa on varaava. Kattila voi toimia joko luonnonvetoisena tai palamisilmapuhaltimella. Esimerkki tällaisesta kattilasta on Jaakko 70-olki, kuva 7.



Kuva 7. Jaakko 70-olki kattila.

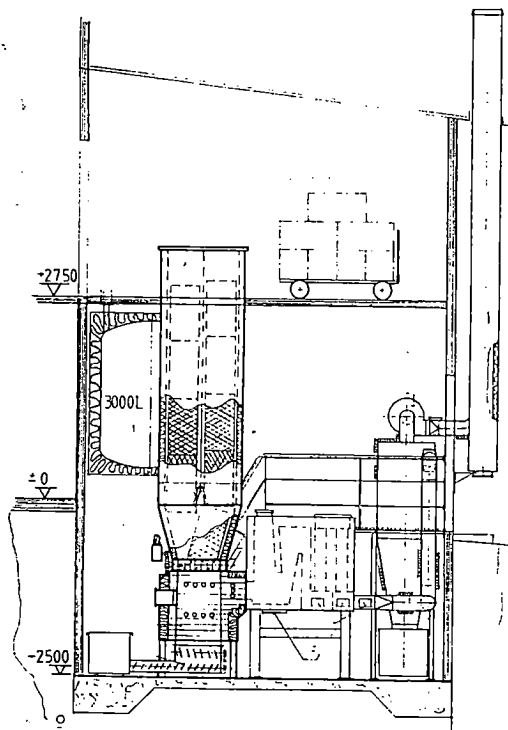
Alapaloisten olkikattiloiden kokonaishyötysuhteet ovat 40...60 %. Lämmitystyö on kuitenkin työlästä. Olkipaaleja joudutaan lisäämään puolen tunnin...kahden tunnin välein. Lisäksi kattilaa voidaan joutua kohentamaan välillä. Käytössä näitä kattiloita harvoin käytetään pelkästään oljella, usein niillä lämmitetään oljen ja halkojen sekapolttolle. Tuhkanpoistoa ei ole automatisoitu, joten tuhkat olisi poistettava jokaisen varaukerran jälkeen. Kattilan hoitotyön määrää voidaan vähentää automaattisella tuhkanpoistolla ja liikkuvalla arinalla. Liikkuva arina vähentää tai poistaa kohentamistyötä. Polttoainetta joudutaan kuitenkin lisäämään useasti, joten lämmitys on joka tapauksessa työlästä.

Alapaloisten olkikattiloiden käyttöä hankaloittaa olkipaalien suuri kokovaihtelu. Polttoainesäiliön mitoitus on tästä johtuen hankalaa.

2.2.3 Etupesät oljenvoltossa

Etupesien käytön valkeudet ovat kokopaalin poltossa samat kuin alapaloisilla kattiloilla. Lisäksi lämpimien pintojen määrä lisääntyy, joten kokonaishyötysuhde jää helposti alhaiseksi.

Etupesää voidaan käyttää myös löyhän oljen polttoon. Esimerkkinä tästä on Viilshanke Ky:n etupesä, kuva 8.



Kuva 8. Olkivari EP etupesä.

Etupesän päällä oleva repijälaitte repii olkipaalin ja syöttää revityn oljen etupesään. Polttoainesäiliössä on kaksi rinnakkaista paalirataa. Täten siihen mahtuu kerralla useita paaleja ja paloajat ovat sellaiset, ettei lämmitystyö ole kohtuutonta. Polttoa ja polttoaineen syöttöä ohjaavat liekinvalvojat.

Etupesärakenteessa palaminen on tasaista ja palamishyötysuhteet korkeat. Suurista lämpimistä pinnoista johtuen kokonaishyötysuhde on 50...60 %. Suoraan kattilaan asennettuna repijälaitteen avulla saataisiin korkeammat kokonaishyötysuhteet. Tältä osin kehitystyö on kesken johtuen palamisen säätövaikeuksista ja sopivien yläpalokattiloiden puutteesta.

2.3 Olkipuristeet

2.3.1 Olkibrikketit

Brikketit ovat isoja puristeita, jotka muodoltaan voivat olla 12...100 mm paksuja tankoja tai myös kiekkomaisia kappaleita. Niiden kiintotiheys on 450...1100 kg/m³ ja varastotiheys 300...500 kg/m³. Olkipaaleihin verrattuna irtotiheys on siten 4...5 kertainen. Tällöin palamisajat kattiloissa pitenevät ja lämmitystyö vähenee oleellisesti. Kuitenkin oljen muut ominaisuudet säilyvät ja kattiloissa pitää ottaa huomioon erityisesti tuhkan ominaisuudet ja määrät.

Brikketit eivät ole yhtä vahvasti sidoksissa kuin pelletit. Brikketit voivat itsestään purkautua ja hajota pitempiaikaisissa varastoinneissa sekä myös kattilan polttoainesäiliössä. Suurehko koko vaikeuttaa myös polttoaineen syötön automatisointia.

2.3.2 Olkipelletit

Olkipelletit ovat läpimitaltaan ja pituudeltaan 3...35 mm. Yleensä läpimitta on 6...15 mm. Niiden kiintotiheys on 800...1400 kg/m³ ja irtotiheys 450...750 kg/m³. Olkipaaleihin verrattuna irtotiheys on 5...10-kertainen. Ratkaisevimmin tämä vaikuttaa palamisaikoihin ja sitä myötä lämmitystyön määrään. Pellettienkään osalta erilainen "pakkaus" ei muuta palamisominaisuuksia. Pellettikattilan on oltava erityisesti olkipellettien polttoon suunnitellun.

Polttoaineen syöttö on pienen palakoon takia helppo automatisoida. Parhaaseen tulokseen päästään ruuvisyöttöisellä yläpaloisella kattilalla ja pellettipolttimella (stoker). Jos tämä suunnitellaan olkipellettien polttoon, myös turvepelletit, murskattu palaturve ja hake soveltuvat polttoaineiksi.

2.4 Paloturvallisuus

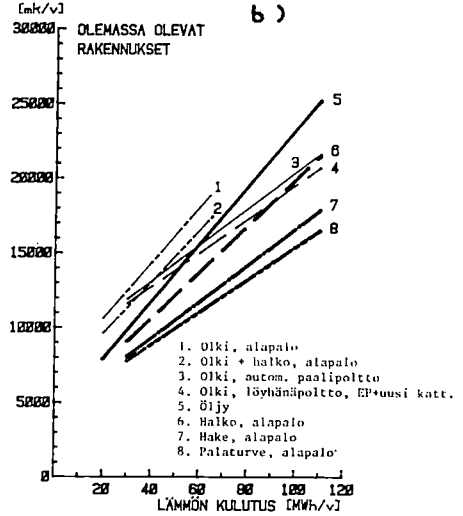
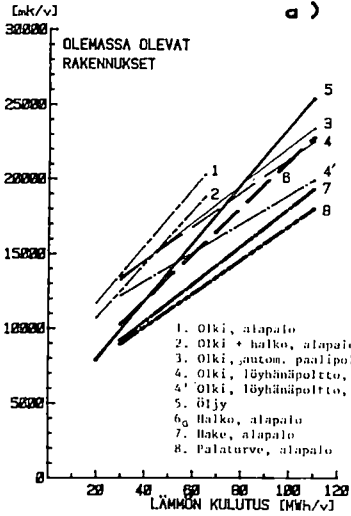
Kokopaalien poltossa paaleista varisee hyvin helposti lyhyitä oljenpätkiä. Nämä aiheuttavat kattilahuoneeseen ja kattilan päälle jäädessään palovaaran. Alapaloisissa kattiloissa on polttoainesäiliön täyttötilanteessa vaarana jäljellä olevan olkimäärän lehahtaminen. Kokopaalien poltossa olisikin noudatettava suurempaa varovaisuutta kuin muita kotimaisia polttoaineita käytettäessä. Kattilahuone ja täyttötila on pidettävä siistinä. Kattilan täytön pitäisi tapahtua erillisestä täyttöhuoneesta, jolloin kattilahuone pysyisi siistinä. Täyttöhuoneen pitää olla erillinen polttoainevarastosta eristetty tila.

2.5 Olkilämmityksen taloudellisuus

2.5.1 Paalipolton taloudellisuus

Toimivan, työmäärältään vähäisen ja hyötysuhteeltaan hyvän kokopaalien polttoon tarkoitetun kattilan hinta muodostuu korkeaksi. Suuri polttoainevaraston koko lisää vielä pääomakustannuksia. Vaikkakin polttoainekustannukset ovat vain n. 3...5 p/kWh, kattilalaitoksesta ja varastosta aiheutuvat pääomakustannukset ratkaisevat lämmityskustannukset. Uudisrakennuksissa olkilämmitys on lähes aina muita kalliimpi. Ainoastaan energia-avustus ja suuri lämmöntarve (yli 90 MWh/a) tekevät oljen edullisemmaksi kuin kevyen polttoöljyn.

Vanhoihin rakennuksiin asennettuna olkilämmitys kannattaa yli 70 MWh/a kulutuksella, kuva 9, ja 20 % energia-avustuksen turvin jo yli 50 MWh/a kulutuksella. Kevytpolttoöljylämmitykseen verrattuna nämä vastaavat kulutuksia 10000 l/a ja 7000 l/a. Jos lämmitystyön työkuksannuksia ei lasketa, olkilämmitys ilman energia-avustuksia on kannattavaa yli 50 MWh/a kulutuksella. Muihin kotimaisiin polttoaineisiin verrattuna olkilämmitys on aina muita kalliimpi. Täten se soveltuu pääasiassa niille tiloille, joilla muut kotimaiset polttoaineet jouduttaisiin hankkimaan tilan ulkopuolelta.



Kuva 9. Lämmityskustannukset eri polttoaineita käytettäessä. Kattilalaitos on asennettu olemassa oleviin tiloihin. Energia-avustus kotimaisia polttoaineita käytettäessä 20 %.

- a) ei energia-avustusta
- b) 20 % energia-avustus

2.5.2 Olkipuristeiden taloudellisuus

Puristeisiin käytettävän oljen kosteuden olisi oltava 10...25 %. Briketöintikosteuden olisi oltava 10...15 % ja pelleteintikosteuden 15...25 %. Oloissamme tämä merkitsee sitä, että hyvinä vuosina pellettioljen keruu onnistuu hyvin, märkinä vuosina mahdollisuudet ovat huonommat. Tällöin voitaisiin turvautua ylivuotisiin varastoihin tai oljen kuivaamiseen. Esim. 25 % olki kuivuu varastossa muutamassa kuukaudessa 2...6 %-yksikköä. Briketöntia varten olki on lähes aina kuivattava.

Olkipuristeen valmistusenergian kulutus korvaantuu 5...10 %-yksikköä paremmalla polton hyötysuhteella. Käytännössä tämä on etenkin kokopaalin polttoon verrattuna helpposti saavutettavissa. Suurin hyöty puristeiden käytössä saadaan pienemmistä kattilalaitoksen pääomakustannuksista. Esim. ruuvisyöttöisen pellettikattilan hinta on vain kolmas-neljäsosa hyvän paalikattilan hinnasta. Varastokustannukset ovat 5...10-osa paalivarastokustannuksista. Lämmitystyön määrä vähenee myös oleellisesti.

Puristelaitosten pitää olla joko lähellä tuotantoa tai sen on oltava siirrettävä. Olkiraaka-aineen pitkän matkan kuljetus pienen tilavuuspainon takia ei ole kannattavaa.

Pellettien kokonaiskustannuksiksi saadaan 300...400 mk/t. Maatilan omaan käyttöön valmistettuna pellettikustannukset ovat 200...300 mk/t. Tällöin olemassa olevien koneiden, kuten esim. paalain ja traktori, pääomakustannuksia ei ole huomioitu.

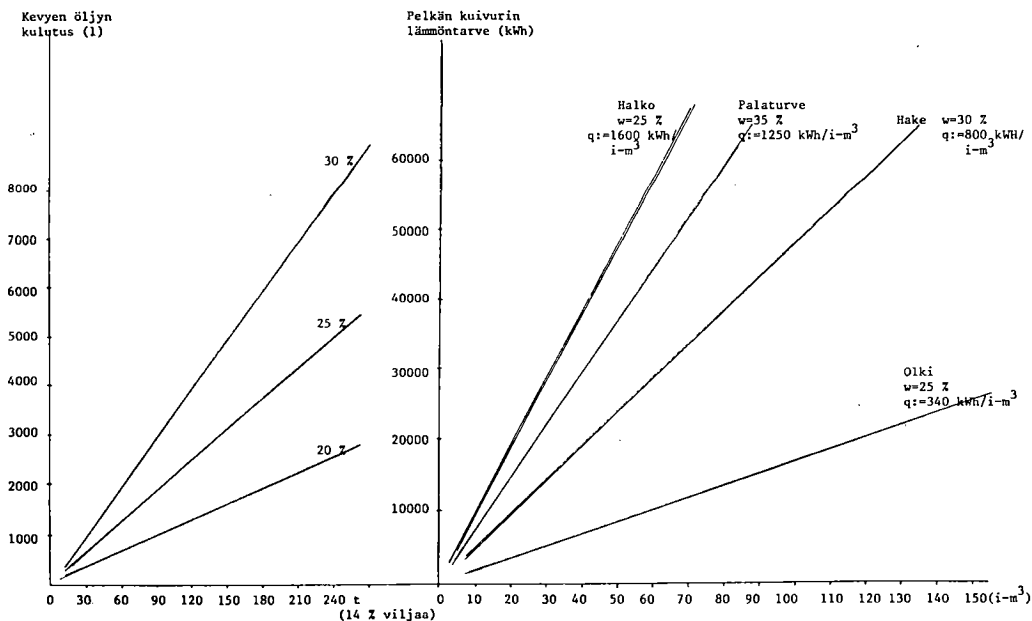
Viitteet /3/, /5/, /6/, /8/, /9/, /10/, /11/, /12/.

3. KOTIMAINEN POLTTOAINE VILJANKUIVAUKSESSA

3.1 Polttoainetarve

Kotimaiset polttoaineet on hankittava hyvissä ajoin ennen viljankuivauskautta, koska kuivauskautena polttoainetta tarvitaan lyhyenä aikana paljon. Tällöin polttoainevarasto ei pystytä työkiireiden takia välillä täydentämään. Palaturve olisi hankittava jo edellisenä kesänä, olki edellisenä syksynä ja puu edellisenä talvena. Silloin polttoaineen kosteus käyttöhetkellä olisi myös polttoon sopiva.

Eri polttoaineiden tarpeet viljankuivaukseen selviävät kuvasta 10.



Kuva 10. Eri polttoaineiden kulutus kuivaustarpeen mukaan.

3.2. Lämminilmakuivauksen lämmönlähteet

3.2.1 Ilmalämmitysuunit

Nykyiset maassamme käytössä olevat kuivuriuunit ovat kevytöljykäyttöisiä ilmalämmitysuuneja.

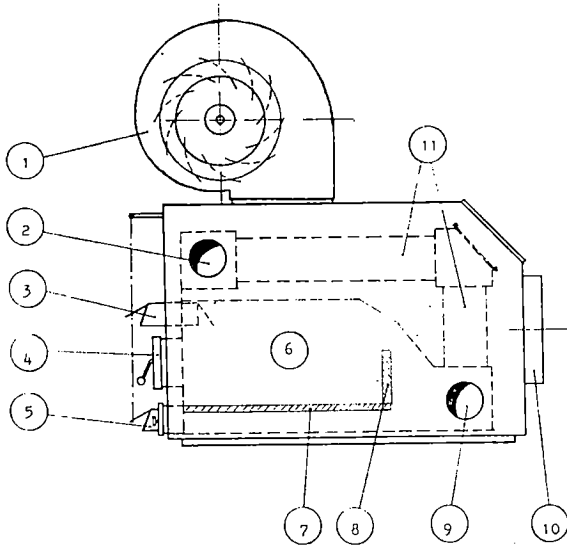
Ilmalämmitysuunun etuna on yksinkertainen ja halpa rakenne. Lisäksi sen hyötysuhde on korkea. Paloturvallisuuden takia uuni lämmönvaihtimeen on puhaltimen painepuolella. Tällöin reiät uunissa eivät painepuolella ollessaan aiheuta palovaaraa. Pakokaasulämmitys, jossa palamiskaasut johdetaan kuivuriin, ei ole maassamme sallittu.

Kotimaisia polttoaineita käytettäessä on syytä käyttää myös ilmalämmitysuuneja. Suurimpana vaikeutena on riittävän pitkä palamisaika, uunin toiminta viljan jäähtytyksessä sekä sähkökatkoksissa ja pieni hoitotyömäärä. Käyttämällä ilmalämmitysuuneja kuivausautomaattikka voidaan pitää entisellään.

Kiinteän polttoaineen kuivuriuunit on paloviranomaisten määräysten mukaan varustettava kuivausilman ohivirtaus-hormilla. Kun kuivausilmapuhallin pysähtyy, hormi avautuu ja ilmaa virtaa lämmönvaihtimen läpi ulkoilmaan jäähtytään lämmönvaihdinta.

3.2.2 Yläpaloiset uunit

Yläpaloisia uuneja on käytetty viljankuivauksessa ennen öljyuunien käyttöönottoa, kuva 11. Viljankuivaukseen ne soveltuvat huonosti, koska niissä polttoainetta on lisättävä 10...15 min välein ja uunin teho vaihtelee huomattavasti täytöksen mukaan.



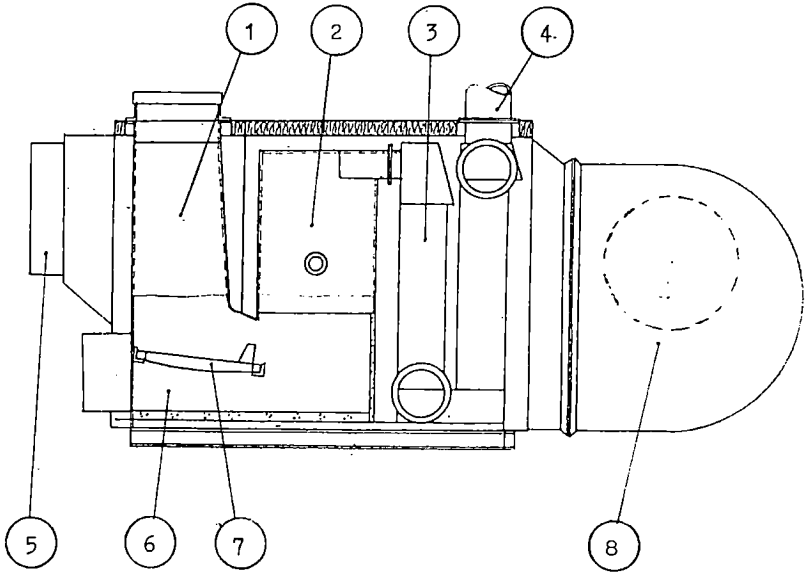
Kuva 11. Yläpaloinen Antti-kuivuriuuni

1. Puhallin, 2. Savukanavan aukko, 3. Toisioilmaluukku, 4. Tulenhoitoluukku, 5. Ensiöilmaluukku,
6. Tulipesä, 7. Arina, 8. Heittoeste, 9. Puhdistus- ja räjähdysluukku, 10. Ulospuhallusaukko,
11. Lämpöelementit.

Rakenteeltaan uuni on yksinkertainen ja halpa. Se soveltuu hyvin ruuvisyöttöisellä hake-, turve- tai puristepolttimella käytettäväksi.

3.2.3 Alapaloiset uunit

Alapaloinen uuni soveltuu yläpaloista paremmin viljankuivaukseen, kuva 12.



Kuva 12. Halko-Jaakko kuivuriuuni

1. Varastopesä, 2. Polttokammio, 3. Konvektio-osa, 4. Savukaasujen poisto, 5. Kuivausilman lähtö, 6. Tuhkatila, 7. Arina, 8. Puhallin

Siinä polttoaineen täyttövälit saadaan 2...4 tunnin mittaisiksi, jolloin lämmitystyö on vähäisempää. Teho on yläpaloiseen uuniin verrattuna tasaisempaa, jolloin liian kuuma tai kylmä kuivausilma ei ole samalla lailla vaarana.

Sähkökatkosten ja viljan jäähdytyksen takia uunin on oltava varmatoiminen. Arinalla olevan polttoaineen määrä on melkoinen, mistä johtuen palaminen on hallittava varmasti. Uunin varastopesän ja tulipesän rakenteet on huolella suunniteltava, koska näiden lämpörasitukset ovat suuret.

Tutkimuksen aikana rakennettiin ja koeajettiin Halko-Jaakko kuivuriuuni, kuva 12. Uuni on alapaloinen halolle, hakkeelle ja turpeelle tarkoitettu kuivuriuuni. Sen lämmönvaihdin on Jaakko 180 öljykuivuriuunista ja varastopesä Jaakko 70 keskuslämmityskattilasta.

Uunin suurin lämpöteho vaihteli 160...180 kW välillä polttoaineen mukaan. Kokonaishyötysuhde oli 67...72 %.

Jäähdytyksessä ilmavuodot ja polttoaineen ilma aiheuttivat jäähdytysilman lämpenemisen 5...9°C. Sähkökatkoskokeessa jäähdytysilma ja uunin sisälämpötila laskivat melko nopeasti. Öljyuuniin verrattuna kuivausilman lämpeneminen ja jäähdyminen olivat hitaammat. Tämä ei kuitenkaan vaikuta viljan laatuun eikä kuivausaikaan.

Kotimaisen polttoaineen uunissa polttokammion on oltava hieman vastaavan tehoista öljyuunia suuremman. Muutoin savukaasujen lämpötilat ovat liian korkeat. Alapaloisella kuivuriuunilla tehdyt kokeet osoittivat sen soveltuvan myös suoraan ilmalämmitykseen. Öljyuuniin verrattuna hyötysuhde on n. 10 %-yksikköä alempi ja lämpenemis- sekä jäähdytysajat hieman pidemmät. Polttoaineen täyttöväli on 2...4 h. Jos halutaan vähemmän hoitotyötä, uunissa pitäisi olla automaattinen polttoaineensyöttö tai suurempi polttoainesäiliö.

Koska kuivuriuuni ja kuivaus nykyisin tapahtuvat suurimaksi osaksi valvomattomana, uunin varmatoimisuus on tärkeä. Sitä varten paloturvallisuustarkastuksia ja -säännöksiä olisi täsmennettävä.

3.2.4 Etupesät

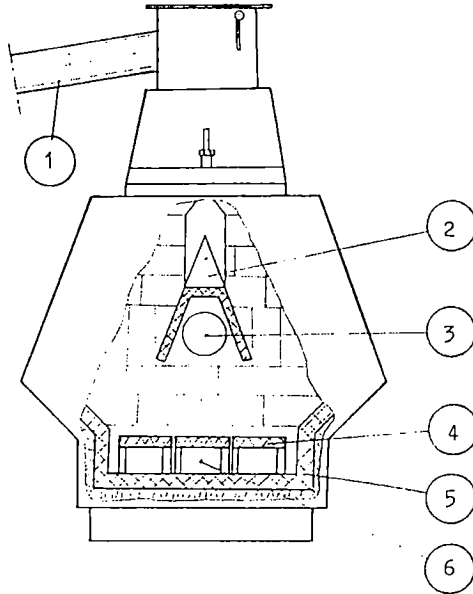
Etupesien avulla öljykäyttöisissä kuivuriuuneissa voidaan käyttää kotimaisia kiinteitä polttoaineita. Etupesäkäytössä palamishyötysuhteet ovat yleensä korkeat, mutta kokonaishyötysuhteet normaalia alhaisemmat. Tämä on seurausta siitä, että etupesän lämpimät pinnat lisäävät lämpöhäviöitä. Etenkin pienillä tehoilla sen vaikutus kokonaishyötysuhteeseen on merkittävä.

Tutkimuksen aikana mitattiin sekä Jaakko 295 EP ja Antti etupesien suoritusarvot. Jaakko etupesällä tehtiin syksyllä 1981 myös kuivauskokeita.

Antti etupesä on tuliharjallinen etupesä, kuva 13. Kokeen aikana se oli yhdistetty Antti 230 öljyuuniin. Öljyuunin nimellisteho on 238 kW. Polttoaineena oli hake. Suurin keskimääräinen teho oli 183 kW ja kokonaishyötysuhde 75 %.

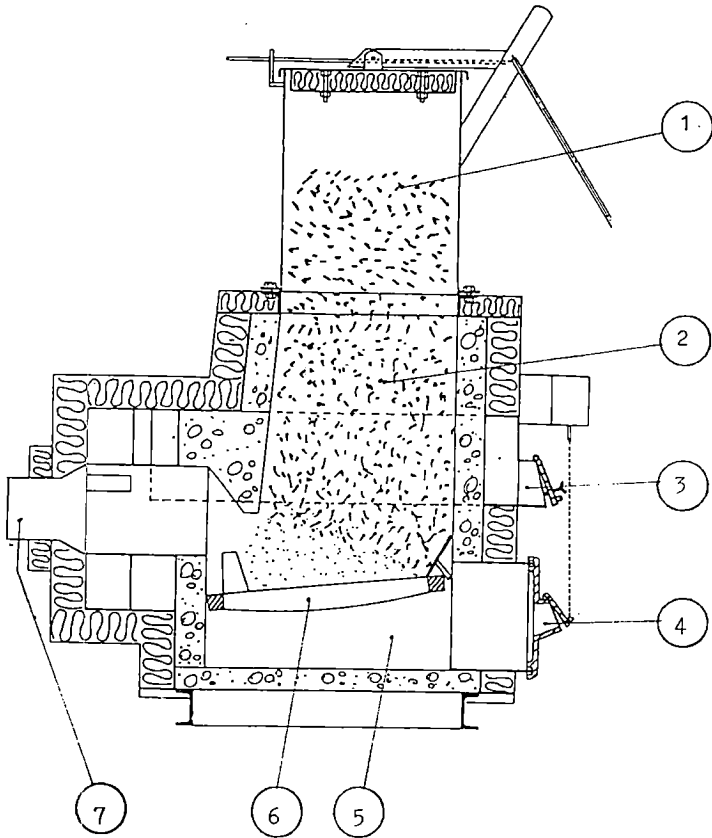
Jaakko 295 EP etupesä on tuliharjaton etupesä, kuva 14. Tämän ansiosta polttoaineen ei tarvitse olla pienipalaista eikä tasalaatuista. Polttoaineeksi kelpaa halot ja palaturve yhtä hyvin. Etupesä oli yhdistetty Jaakko 295 öljyuuniin, jonka nimellisteho on 298 kW. Koeajoissa käytettiin halkoa, haketta ja palaturvetta. Suurimmat tehot olivat haloilla 120 kW, hakkeella 250 kW ja palaturpeella 230 kW. Kokonaishyötysuhteet olivat haloilla 76 % ja hakkeella 76 % sekä palaturpeella 78 %.

Kuivauskokeissa Jaakko 295 EP etupesään oli yhdistetty automaattinen hakkeensyöttölaite. Kokeissa haketta (21...24 % kosteus) kului 460...540 g/haihdutettua vesikiloa kohti. Uunin kokonaishyötysuhde oli 75...78 %. Koska kuivausilma jouduttiin koejärjestelyistä johtuen johtamaan vanhan öljyuunin ohitse, ilmaputkiston lämpöhäviöt olivat pitkien ilmaputkien takia suuret. Tästä johtuen hakkeen kulutus haihdutettua vesikiloa kohti on normaalia suurempi.



Kuva 13. Antti etupesä

1. Hakkeen syöttöputki, 2. Hakkeen jakaja,
3. Tuliputki, 4. Arina, 5. Muuraus, 6. Tuhkatila



Kuva 14. Jaakko 295 EP etupesä

1. Jatkosilo, 2. Varastopesä, 3. Toisioilma-
- kanava, 4. Ensiöilmaluukku, 5. Tuhkatila,
6. Arina, 7. Tuliputki

Etupesillä voidaan hyödyntää vanhat öljyuunit ja hyöty-suhteet ovat etupesäkäytössä 5...10 %-yksikköä öljykäyttöä alhaisemmat. Käytännön vaikeudet ovat etupesien kytkemisessä öljyuunihin. Uunihuoneet ovat kuivurirakenteissa ahtaat, jolloin rakenteita joudutaan muuttamaan. Jos käytöttehot ovat suuret, yli 150 kW, joudutaan käyttämään automaattisia polttoaineiden syöttölaitteita.

Etupesäkäytössä kuivuriuunin teho jää öljykäyttöä alhaisemmaksi. Kotimaiset polttoaineet vaatisivat hieman suuremmat polttokammiot. Tehon aleneminen 10...20 % ei kuitenkaan vielä ratkaisevasti haittaa kuivausta.

Polttoaineiden syöttölaitteiden on oltava varmatoimiset. Ne eivät saa aiheuttaa toimintahäiriöitä etupesissä. Kun etupesä poltetaan tyhjäksi, syöttölaitteiden kautta pääsee ylimääräistä ilmaa, mikä sotkee etupesän toimintaa ja aiheuttaa helposti tussahduksia.

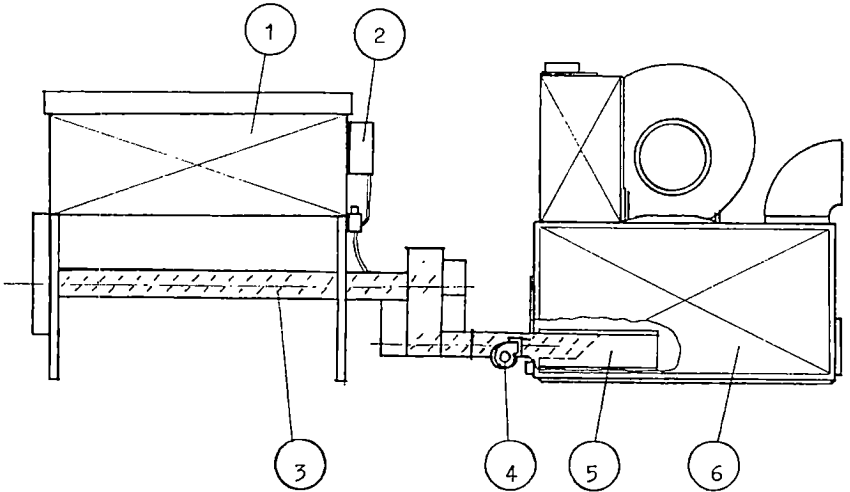
Etupesän ollessa pysähdyksissä varastopesän polttoaine kyttee. Tämän seurauksena syöttöruuvin yläpää kuumenee ja siellä oleva polttoaine voi syttyä aiheuttaen palovaaran.

Jotta etupesät toimisivat kunnolla, ne on varustettava savukaasuimureilla. Kipinävaaran takia imureiden on oltava tiiviit ja savupiipussa on oltava kipinänsammutin (tuhkankeräin, esim. sykloni).

Etupesäkuivureissa ei välttämättä tarvita kuivausilman ohivirtaushormia sähkökatkosten varalta. Kuivauslämpötilat nousevat sähkökatkosten aikana n. 100°C lämpötilaan, mikä on öljyuunien normaali suojakytkinlämpötila.

3.2.5 Polttimet

Polttimissa syöttöruuvi syöttää polttoaineen säiliöstä polttomaljaan, jossa se palaa, kuva 15.



Kuva 15. Näppärä-stoker

1. Hakesillo, 2. Vesipallosulku, 3. Syöttöruuvi,
4. Palamisilmapuhallin, 5. Hakepoltin, 6. Kuvuriuuni

Polttoaineena voi olla hake, murskattu palaturve tai polttoainepuristeet. Polttimen rakenteesta johtuu pystyykö se käyttämään näitä kaikkia polttoaineita vai vain joitakin niistä. Palavan polttoaineen määrä on pieni ja syöttöjärjestelmä huolehtii siitä, että palamisessa on tasainen polttoainemäärä. Tästä johtuen itse uuni voi olla yksinkertainen yläpaloinen uuni. Palaminen on myöskin helposti hallittavissa. Tämä on etenkin ilmalämmitys-uuneissa tärkeää.

Tutkimuksen aikana koeajettiin Näppärä 5 kuivuriuuni, jossa on ruuvisyöttöinen hakepoltin, kuva 15. Kokeet tehtiin sekä hakkeella että murskatulla palaturpeella. Lämpöteho oli 150 kW ja kokonaishyötysuhde hakkeella 73 % ja palaturpeella 75 %. Palaturpeella viiden tunnin käytön jälkeen arina tukkeutui tuhkaa sulaessa.

Kotimaisen polttoaineen käyttöä viljankuivauksessa ajattelun polttimet ovat mielekkäin ratkaisu. Vähäisestä pesästä olevasta polttoainemäärästä johtuen palaminen on paremmin ja varmemmin hallittavissa. Koska viljankuivauksessa polttoaineen syöttö työmäärää ajatellen on etenkin suurilla tehoilla automatisoitava, poltin ja yksinkertainen yläpalouuni on halvempi kuin alapaloinen uuni ja erillinen polttoaineen syötin. Polttimet eivät useinkaan sovellu vanhoihin öljyuuneihin, koska niissä ei ole tarpeellisia liityntäaukkoja eikä tuhkatiloja. Näihin soveltuu etupesä. Uusissa kuivuriuunirakenteissa pitäisi huomioida kotimaisen polttoaineen poltinkäyttö.

3.2.6 Vesiradiaattoriuunit

Vesiradiaattoreita käytetään meillä hyvin vanhoissa kuivureissa ja muissa maissa lähinnä suurissa kuivureissa. Vesiradiaattorikuivurit ovat kalliita, joten niiden käyttö ei ole kannattavaa. Koska viljankuivauksen ja tilan muun lämmityksen tehon tarpeet ovat erisuuret, lämmitysjärjestelmää ei kannata mitoittaa viljankuivauksen mukaan. Jos kuivuri on lähellä talon lämpökeskusta, sitä voidaan käyttää kuivausilman esilämmitykseen.

3.3 Kylmäilmakuivauksen lisälämmönlähteet

Kylmäilmakuivauksella saadaan helposti kosteudeltaan 18...20 % viljaa. Kuivaaminen 14 % säilytyskosteuteen on jo vaikeampaa. Kuivauskautena ulkoilman kosteus ja lämpötila ovat sellaiset, että useimmiten tarvitaan kuivausilman lisälämmitystä 14 % säilytyskosteuteen pääsemiseen.

Tähän voidaan käyttää sähkövastuksia, aurinkolämmönkeräjiä, kevytöljykäyttöisiä rakennuskuivureita tai kotimaisen polttoaineen keskuslämmityskattiloita. Kylmäilmakuivauksen lisälämmön tarve on n. 0,2 kW/m²°C silloin pinta-alan mukaan laskien. Tällöin tilan lämpökeskusta voidaan käyttää lisälämmönlähteenä, etenkin jos kyseessä on varava lämmitys. Tällöin kattilateho on suurehko ja se riittää hyvin kuivaukseen. Lämmön siirtoon voidaan käyttää jopa tavallisia eristämättömiä muoviputkia. Lämmityksen hyötysuhde on putkistohäviöiden takia hieman alhainen. Toisaalta pääomakustannukset ovat pienet ja kokonaiskuivauuskustannukset tämän ansiosta alhaiset.

3.4 Paloturvallisuus

Jotta kotimaisten polttoaineiden käyttö olisi turvallista ja varmaa, kuivureiden ja kuivuriuunien paloturvallisuusmääräyksiä on täsmennettävä. Kotimaisen polttoaineen käytössä roskat ja pölyt eivät saa joutua uunihuoneeseen. Savuhormit on useimmiten varustettava tuhkan- ja kipinän-erottimilla ja keinovedolla. Savuhormien ja savukaasulaitteiston on oltava tiiviit. Polttoaineen syötön ja täytön paloturvallisuus on varmistettava. Kotimaisen polttoaineen uunien on toimittava varmasti sekä jäädytyksessä että sähkökatkosten aikana. Kotimaisen polttoaineen kuivuriuuneja varten on tehty palomääräysehdotus /4/.

3.5. Kotimaisen polttoaineen taloudellisuus viljankuivauksessa

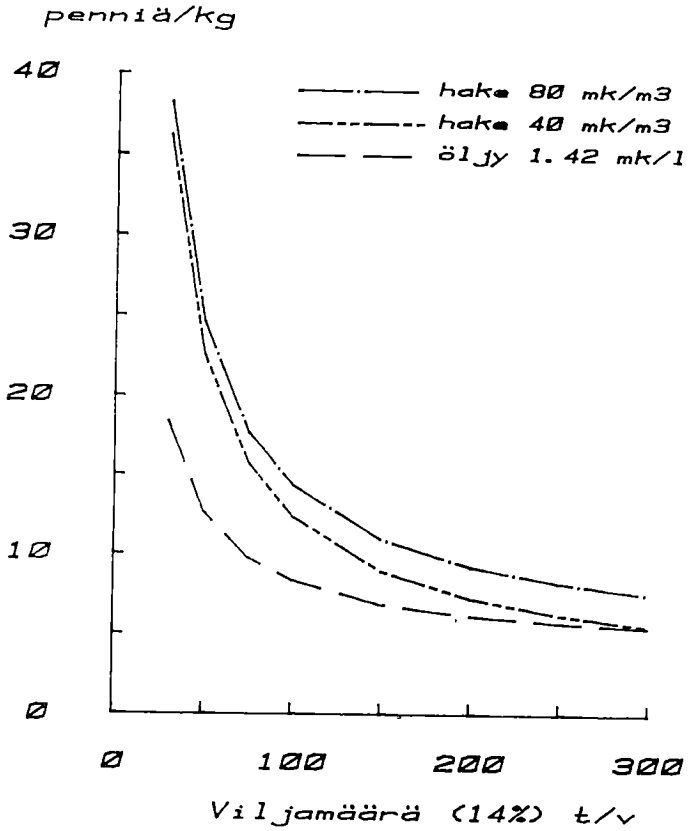
Viljankuivauksessa kuivurin vuotuinen käyttötuntimäärä on alhainen, 100... 250 tuntia. Tästä johtuen kuivauksen pääomakustannukset ovat energiakustannuksiin verrattuna suhteellisesti suuret. Lisäksi kuivuriuunien lämpötehot ovat suuret, joten kotimaisen polttoaineen käytössä polttoaineen syöttö on automatisoitava, jos lämmityksessä halutaan vähäistä työmäärää ja sitovuutta. Tämä lisää pääomakustannuksia.

Kuvassa 16 on esitetty vuotuiset kuivauskustannukset käytettäessä öljyuunia tai varustettaessa se etupesällä. Pääomakustannuksia rasittaa tällöin uunihuoneeseen tehtävät muutokset sekä etupesän ja syöttölaitteiston hankintahinnat. Kustannukset on laskettu uusien laitteiden mukaan. Vasta viljamäärän ollessa enemmän kuin 320 t/v etupesä olisi kannattava. Vanhoihin öljyuuneihin asennettuna etupesä ei ole kannattava.

Pienissä kuivuriuuneissa, teholtaan alle 150 kW, voidaan käyttää alapaloista uunia ilman polttoaineen syöttölaitteita. Työmäärä on suurempi, täyttövälit 2...4 h, mutta pääomakustannukset ovat pienet, koska syöttölaitteisto on suhteellisen kallis. Kuivattavan viljamäärän ollessa 30 t/v tai enemmän, halkouuni on kannattava, kuva 17. On huomattava, että polttoainesäiliöllisen paloajan pitäisi olla 2...4 tuntia, jotta alapaloista kuivuriuunia kannattaa harkita. Alapaloinenkin uuni on kannattava vasta vanhaa uunia uusittaessa tai uusissa kuivaamoissa.

Automaattisyöttöisen hakepolttimen ja öljyuunin vertailu on kuvassa 18. Tehon ollessa 150 kW hakepoltin on kannattava viljamäärän ollessa enemmän kuin 90 t/v. Alapaloiseen uuniin verrattuna lämmitystyön sitovuus ja määrä on vähäisempi sekä toimintavarmuus parempi. Suurempia lämpötehoja käytettäessä syöttölaitteen hinta halpenee suhteellisesti, koska sama syöttölaite voi toimia esim. 80 kW... 300 kW tehoilla.

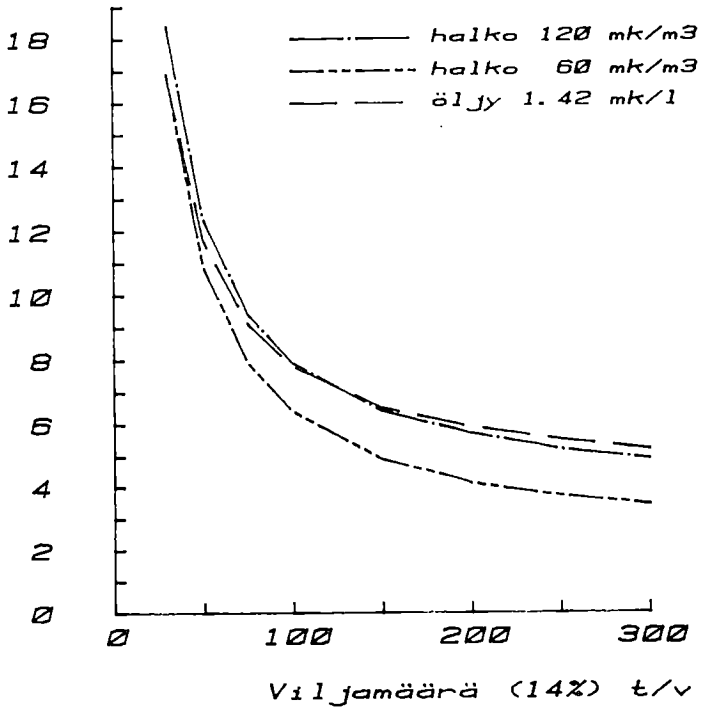
KUIVAUSKUSTANNUKSET



Kuva 16. Kuivauskustannukset käytettäessä 250 kW lämpötehoa. Uuneina öljyuuni ja etupesällä varustettu öljyuuni. Etupesässä on polttoaineen automaattiset syöttölaitteet.

KUIVAUSKUSTANNUKSET

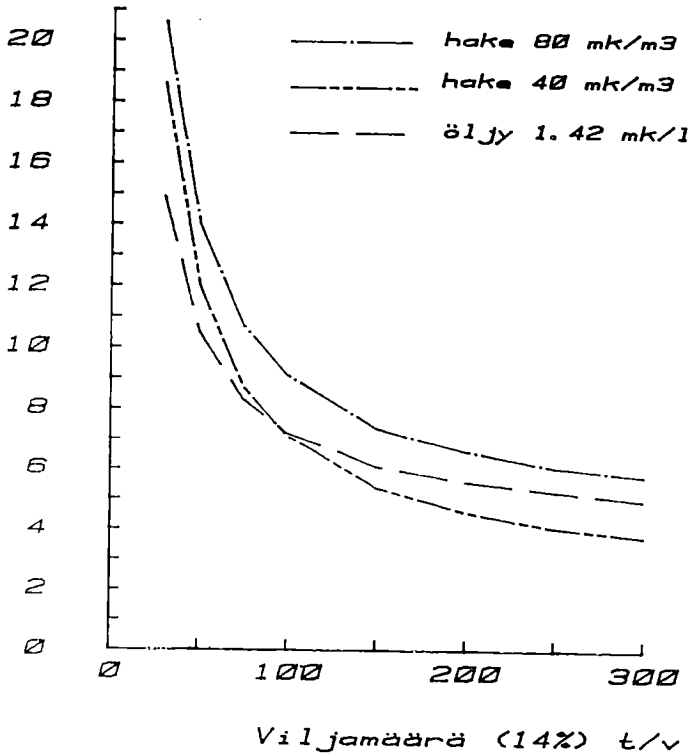
penniä/kg



Kuva 17. Kuivauskustannukset käytettäessä 165 kW öljy-uunia tai käsitäyttöistä alapalouunia.

KUIVAUSKUSTANNUKSET

penniä /kg



Kuva 18. Kuivauskustannukset käytettäessä 150 kW öljy-uunia ja hakepoltinuunia.

Kotimaisen polttoaineen käyttöä varten voidaan saada maatilahallituksen myöntämään Maatilalainaan kuivaamorakennuksia varten erityisporrastus. Työllisyysvaroja ja samantlaisia energia-avustuksia kuin asuintalojen lämmityksessä näille ei voi saada. Jotta kotimainen polttoaine olisi viljankuivaamoissa paremmin kilpailukykyinen, sille pitää antaa samantlaiset edut kuin asuintalojen lämmityksessä.

Verotuksen osalta puun kantohinta on vähennyskelpoinen tuotantoon käytettynä. Turve ja olki ovat maatalouden tuotteita ja siten eivät ole vähennyskelpoisia. Niiden korjuuseen ja käsittelyyn hankitut koneet ovat kuitenkin maatalouskoneita ja siten vähennyskelpoiset. Ostettu polttoaine on aina samalla lailla vähennyskelpoinen.

Kotimaisen polttoaineen käyttöä voitaisiin edistää myös liikevaihtoverohelpotuksin. Koska kotimaisen polttoaineen lämmitysjärjestelmät ovat aina öljykäyttöisiä kalliimmat, liikevaihtovero kasvattaa vielä markkamääräisesti tätä eroa.

Viitteet /2/, /4/, /8/.

4. ENERGIANSÄÄSTÖ VILJANKUIVAUKSESSA

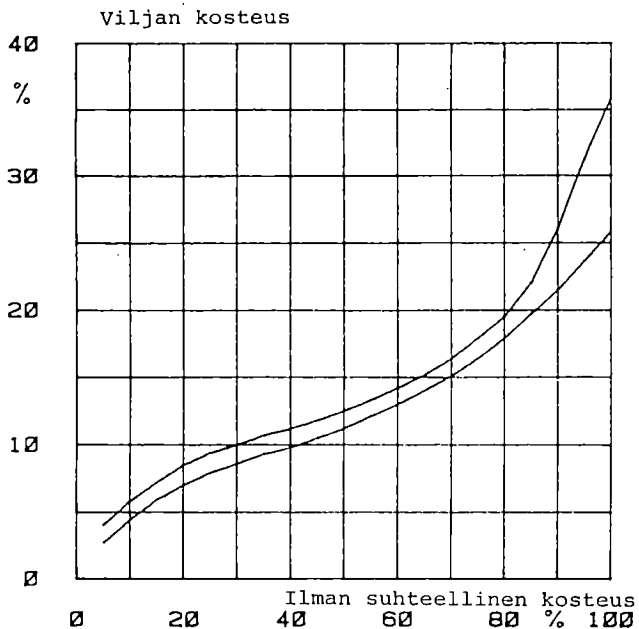
4.1 Viljan kosteus, kuivuminen ja säilytys

Viljan pintikosteus riippuu paljolti säistä. Hyvinä syksyinä se on 20...25 % ja märkinä yli 30 %. Koska korjuukausi on lyhyt ja sääolot vaihtelevat, kuivauskapasiteetti valitaan monesti huonojen olojen mukaan.

Puintikosteus määrää milloin kuivaaminen on aloitettava. Jos viljan kosteus on yli 30 %, kuivaaminen on aloitettava viimeistään puolen vuorokauden kuluessa puinnista. Kosteuden ollessa n. 25 % kuivaaminen on aloitettava vuorokauden kuluessa ja alle 20 % viljan viimeistään kahden vuorokauden kuluessa. Jos viljassa on huomattavasti kypsymätöntä joukossa, kuivaaminen on aloitettava aiemmin.

Viljan kuivuminen on mahdollista silloin, kun viljan vesihöyryn paine on suurempi kuin sitä ympäröivän ilman vesihöyryn osapaine. Tyypillinen viljan tasapainokosteusalue on kuvassa 19.

Meidän oloissamme viljan kosteutena saa olla enintään 14 %, jos sen halutaan säilyvän varastoinnissa pitkäaikaisesti. Talven yli säilytyksessä kosteus saa olla silloisena enintään 16 % ja säkeissä tai 1 m syvässä lavassa 18 %. 50 cm syvässä lavassa kosteus voi talvisäilytyksessä olla 20 %.

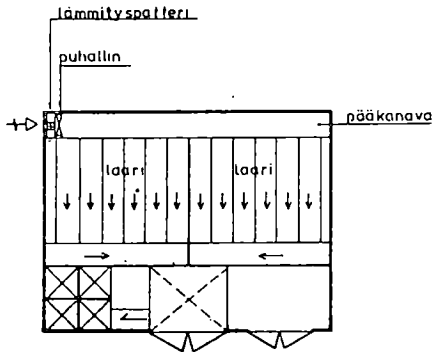


Kuva 19. Viljan kosteustasapaino n. 20°C lämpötilassa

4.2 Kylmäilmakuivaus

Kylmäilmakuivauksessa vilja kuivataan suoraan ulkoilmalla tai lämmittämällä sitä korkeintaan 5...7°C. Kuivurit ovat yleensä lavakuivureita, kuva 20, ja puhaltimet potkuripuhaltimeja. Kylmäilmakuivauksessa kuivuminen on mahdollista vain, jos kuivausilman suhteellinen kosteus on pienempi kuin kuivattavan viljan kosteutta vastaava tasapainotila edellyttää, kuva 19.

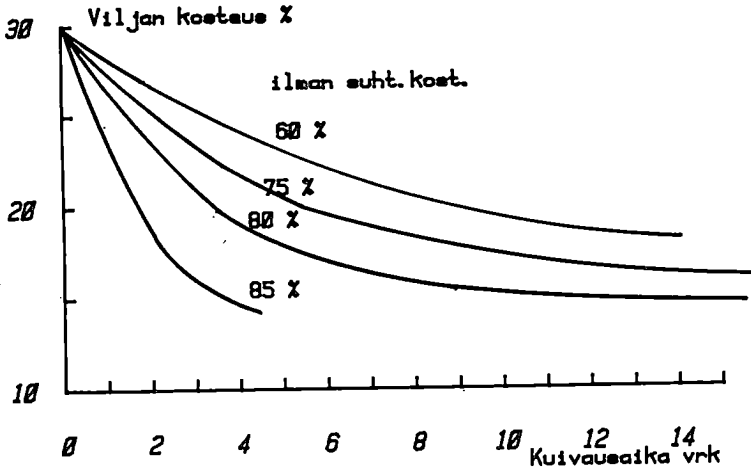
Energian kulutuksen suhteen kylmäilmakuivaus on edullista. Poistoilman kosteus kuivauksen alussa on pitkään yli 90 %.



Kuva 20. Tyypillinen kylmäilmalavakuivuri

Kylmäilmakuivauksessa energian kulutus on normaalisti 0,3...0,5 kWh haihdutettua vesikiloa kohti. Kuumailmakuivauksessa energian kulutus on n. 1,5 kWh/haihdutettu vesi-kg. Kylmäilmakuivauksessa energia on pääasiassa sähköä ja kuumailmakuivauksessa sähköä ja kevyttä polttoöljyä.

Kylmäilmakuivauksella päästään huonosti ilman lisälämpöä viljan pitkäaikaiseen varastointikosteuteen 14 %. Kuvassa 21 on esitetty loppukosteuden ja kuivausajan riippuvuus sadonkorjuuaikana. Yhden asteen lämpötilannousu puhallusilmassa pienentää ilman suhteellista kosteutta 4...5 %-yksikköä. Kun kuivausilman suhteellinen kosteus on 60 % tai vähemmän, kuivuminen 14 % kosteuteen on varmaa.



Kuva 21. Kylmäilmakuivauksen kuivausaika

Kylmäilmakuivausta pitää käyttää sääolojen mukaan. Kun viljan kosteus on yli 22 %, puhallin saa käydä jatkuvasti. Kosteuden ollessa 22...20 %, puhallin saa käydä poutasäällä päiväsaikaan ja kosteuden ollessa alle 20 %, puhallin saa käydä ainoastaan "hyvillä kuivaussäillä". Parhaiten kylmäilmakuivausta voitaisiin ohjata hygrostaatilla ulkoilman suhteellisen kosteuden mukaan.

Kylmäilmakuivauksessa riittävä ilmamäärä on 800 m³/th kosteuden ollessa 20 % ja 1700 m³/th kosteuden ollessa yli 30 %. Tällöin viljakerroksen pintakin saadaan kuivumaan ennenkuin pilaantuminen alkaa. Käytännössä ilmamääriä voidaan muuttaa viljakerroksen paksuudella. Ilmamäärä 800 m³/th vastaa 550 m³/h kuivurin laarialan yhtä neliometriä kohti. Tämä ilmamäärä pitäisi saavuttaa vastapaineen ollessa 500...600 Pa (50...60 mmvp). Kosteaa viljaa kuivattaessa käytetään ohuempia kerroksia, jolloin ilmamäärä kasvaa vastapaineen pientymisen ansiosta.

Yli 1 m kerroksia ei yleensä käytetä. Viljan kuivuminen alkaa kerroksen pohjalta ja etenee ylöspäin. Alkuvaiheessa pintakerros voi jopa kostua pohjalta höyrystyneen veden tiivistyessä kylmässä pintakerroksessa. Tällöin viljaa joudutaan sekoittamaan, jottei pilaantumista tai kuorettumista pääsisi tapahtumaan.

Kuivausilmaa lämmittämällä varmistetaan viljan kuivuminen ja lyhennetään kuivausaikaa. Se ei paljoakaan lisää kuivauskustannuksia, koska kuivausajan lyheneminen vähentää puhallusaikaa ja siten puhalluksen energiankulutusta. Kuivausilmaa ei saa lämmittää enempää kuin 5...7°C, koska lämpötilan kohotessa kuivuminen on epätasaista. Alimmat kerrokset kuivuvat liikaa ja pinta kostuu ja kuorettuu helposti.

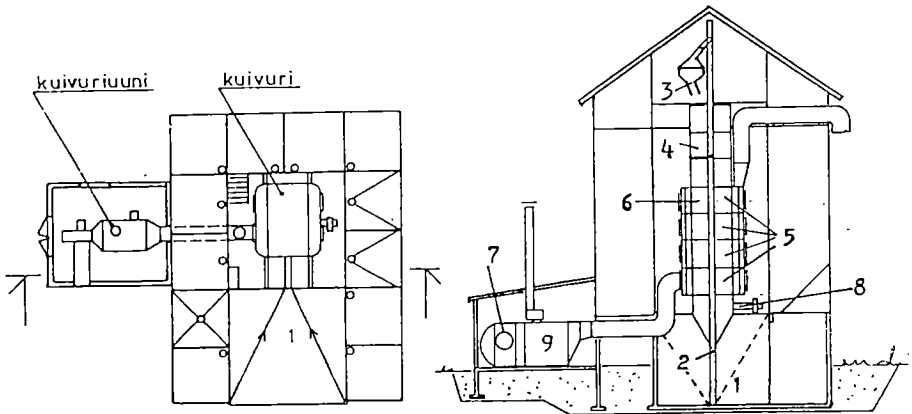
Lisälämmön lähteenä voidaan käyttää sähkö- ja kevytpolttoöljylämmittimiä, aurinkolämmön keräimiä tai tilan lämpökeskusta. Yhden asteen lämpötilan nousuun vaadittava lämpöteho on 0,2 kW laarin yhtä neliometriä kohti. Esim. 1°C lämpötilan nousu 100 m² kuivurissa tietää 20 kW lämpötehoa. Etenkin jos tilan lämmitysjärjestelmä on varaava, kattilateho usein riittää kylmäilmakuivauksen lisälämpöön. Lämön siirtoon voidaan käyttää jopa pinta- tai ilma-asenteisia, eristämättömiä muoviputkia. Dieselkäyttöisissä kylmäilmakuivureissa moottorin hukkalämpö tulee yleensä hyödynnettyä, jolloin erillistä lisälämpöä ei välttämättä tarvita.

Kylmäilmakuivurit voivat olla myös sillomallisia. Näissä energiankulutus kuitenkin on ollut lämminilmakuivureiden luokkaa. Tämä johtuu osittain viljakerroksen syvyydestä, jolloin puhallusilma on pohjan tiiviimmän kerroksen takia jakaantunut epätasaisesti. Kierrätyksellä ja esim. kenno-rakenteella tämä voitaneen välttää.

4.3 Lämminilmakuivaus

4.3.1 Yleistä

Ilman kuivausominaisuuksien parantamiseksi ja kuivumisen nopeuttamiseksi kuivausilmaa lämmitetään lämminilmakuivurissa niin paljon kuin viljan lämpökestoisuus sallii. Yleisin lämminilmakuivurytityppi maassamme on ilmauunilla lämmitettävä kennokuivuri, kuva 22. Kuivaus tapahtuu eräkuivauksena. Jatkuvatoimisia kuivureita käytetään isoissa kuivaamoissa.

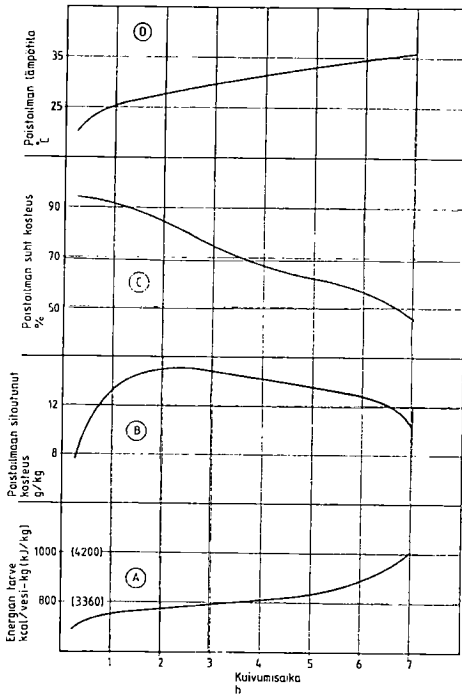


Kuva 22. Tyypillinen lämminilmakuivaamo

Muihin maihin verrattuna meillä vilja kuivataan tiloilla pienissä yksiköissä, muualla huomattava osa myös isoissa kuivureissa viljan vastaanottoaikalla. Täten jatkuvatoimisia kuivureita on maassamme vähän.

Lämminilmakuivaus etenee kuvan 23 mukaisesti. Alussa lämpöenergia kuluu viljan lämpenemiseen. Sen jälkeen alkaa nopea veden haihtuminen. Viljan kuivuttua osittain, haihtuminen hidastuu. Tämä johtuu siitä, että aluksi vesi

haihtuu jyvän pinnalta. Kun pinta on kuivunut, kosteuden on siirryttävä ensin ytimestä pintaan ennenkuin se haihtuu. Tällöin kuivuminen hidastuu ja energiankulutus haih- dutettua vesikiloa kohti kasvaa mitä kuivemmaksi vilja pyritään saamaan.

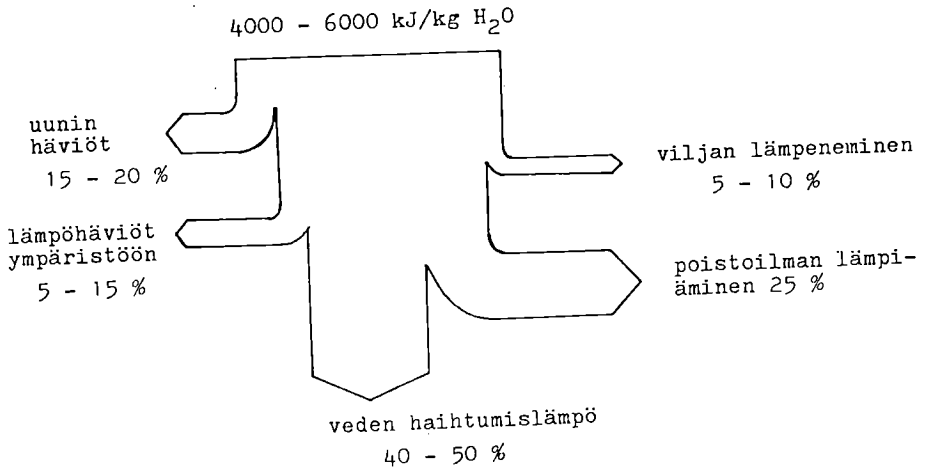


Kuva 23. Kuivauksen eteneminen lämminilmakuivauksessa

4.3.2 Lämminilmakuivauksen energiatase

Tyypillinen lämminilmakuivauksen energiatase on kuvassa 24.

Polttoaineen energiasta 15...20 % kuluu ennen kuivuria uunihäviöihin. Kuivuriin menevästä energiasta n. 30 % kuluu lämpöhäviöihin ja loput, 70 % osallistuu kuivaamiseen.



Kuva 24. Lämminilmakuivauksen energiatase

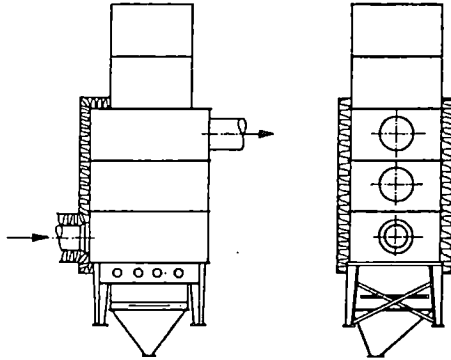
4.3.3 Kuivuriuunien häviöt

Kuivuriuunit ovat öljykäyttöisiä lämminilmauuneja. Niiden palamishyötysuhde on n. 90 % ja kokonaishyötysuhde 80... 85 %. Osittain paloturvallisuusmääräyksistä johtuen hyötysuhteita ei voida paljoakaan parantaa. Savukaasujen alin sallittu lämpötila on 170°C, mikä jo rajoittaa palamishyötysuhteen korkeintaan hieman yli 90 %.

Kuivuriuunien lämpöhäviöt voitaisiin hyödyntää puhaltimen imuilman esilämmitykseen. Tämä ei kuitenkaan ole sallittua, koska uunihuoneeseen syntyisi alipainetta, mikä häiritseisi polttimen toimintaa. Polttimien ja uunien hoitoon ja säätöön kannattaa kiinnittää huomiota. Säätämällä polttimen ennen kuivauskauden alkua päästään helposti 5... 10 % polttoaineensäästöön.

4.3.4. Lämpöhäviöt ympäristöön

Lämpöhäviöitä tulee sekä ilmaputkistosta että kuivurisiilon seinämistä. Ne lämpenevät lähes kuivausilman lämpötilaan. Ulkoilmaan verrattuna lämpötilaero on suuri. Eristämällä kuivurisiilon seinämät saadaan 10...15 % polttoaineensäästö, kuva 25.



Kuva 25. Lämminilmakuivurin eristäminen

Kuivurin eristäminen pitää kuivurin sisäpuolen puhtaana ja kuivana. Tämä edistää viljan kulkua ja kuivumista.

Lämpöhäviöitä voi tulla myös harvarakenteisista kuivureista. Osa kuivausilmasta vuotaa raoista. Häviö voi olla jopa 5... 10 %.

4.3.5 Viljan lämmitys- ja jäähdytyskäviöt

Kuivauksessa vilja lämpenee lähes kuivausilman lämpötilaan. Kuivauksen loputtua vilja on säilyvyyden takia melko nopeasti jäähdytettävä lähelle ulkolämpötilaa. Viljan lämpeneminen sitoo lämpöä mikä jäähdytyksessä vapautuu. Myös viljan kuivumista tapahtuu, kuitenkin vain 0,5...1 %-yksikköä. Tätä lämpöä voitaisiin hyödyntää esim. seuraavan erän lämmittämiseen tai kylmäilmakuivurin lisälämpönä. Jatkuvatoimisissa kuivureissa tätä voidaan käyttää myös kuivausilman esilämmitykseen. Lämmitys- ja jäähdytyskäviö on 5...10 %. Sen hyväksikäyttö vaatisi eräkuivureissa rakenne- ja järjestelmämuutoksia.

4.3.6 Poistoilman lämpöhäviöt

Kokonaisuudessaan poistoilmassa poistuu 65...75 % polttoaineen energiasta. Kuivausilman lämpöhäviö on n. 25 % ja kuivaukseen eli vesihöyryn sitomiseen kuuluu 40...50 % polttoaineen energiasisällöstä.

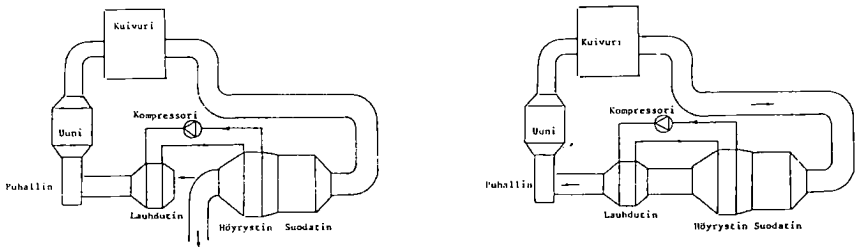
Tästä lämpömäärästä voitaisiin lämmönvaihtimilla tai lämpöpumpulla hyödyntää huomattava määrä, kuva 26.

Poistoilmasta voidaan siirtää lämpöä tuloilmaan joko lämmönvaihtimilla tai lämpöpumpuilla, kuva 26a. Lämmön talteenotossa hyödynnetään sekä poistoilman lämpö että kostean ilman tiivistyessään luovuttama lauhtumislämpö. Lämmönvaihdin voi olla joko suoraan poistoilmasta tuloilmaan siirtävä tai nestettä väliaineena käyttävä.

Suurimmaksi haitaksi lämmönvaihtimien käytössä on osoittautunut niiden tukkeutuminen. Kuivurin poistoilma on pölyistä ja se sitoutuu lämmönvaihtimessa tiivistyessään veteen tukkien lämmönvaihtimen. Tämän estämiseksi poistoilmaan on asennettava tehokkaat suodattimet.

Lämmönvaihtimien asentaminen kuivureihin on hankalaa, koska yleensä poisto- ja kuivausilmaputket ovat eripuolella rakennusta. Siirtomatka on tällöin pitkä ja kustannukset sekä lämpöhäviöt huomattavat. Jos lämmönvaihtimia halutaan käyttää, tämä pitäisi huomioida jo kuivurirakenteissa, jolloin kustannukset olisivat pienemmät. Jo melko yksinkertaisilla lämmönvaihtimilla saadaan 15...25 % polttoaineen säästö.

Lämmön talteenottoon voidaan käyttää myös lämpöpumpua. Niiden hankintahinta on kuitenkin korkea ja pääoma- sekä huoltokustannukset lämmönvaihtimiin verrattuna ovat huomattavasti suuremmat.



Kuva 26. Esimerkkejä poistoilman lämmöntalteenotosta.

- a) lämmönsiirto poistoilmasta tuloilmaan
- b) suljettu kuivausilman kierto

Viljankuivauksessa voidaan lämpöpumpun avulla käyttää myös suljettua kiertoa, kuva 26b. Poistoilmassa oleva höyrystin tiivistää poistoilman kosteuden ja vesi poistuu kierrosta. Tiivistymisessä syntyvä lauhtumislämpö siirretään tuloilmaan esilämmittämään sitä. Energiainsäästö on 60...70 % luokkaa. Lähinnä pääomakustannuksista johtuen järjestelmä ei ole kannattava.

Kuivuriuuni voidaan kokonaan korvata lämpöpumpulla, rajoituksena on käyttöteho ja matala lämpötila. Kuivuriuunien tehot ovat 100 kW:sta ylöspäin. Tarvittava lämpöpumpun sähköteho on n. 30 kW, jota maaseudun sähkölinjat eivät kestä. Lämpöpumpuilla saadaan yleensä korkeintaan n. 55°C lämpötila. Kuivauslämpötilat saisivat olla 50...80°C väliltä, joten lämpöpumpun antama lämpötila on alhainen.

4.3.7 Kuivauksen optimointi

Kuivauslämpötila vaikuttaa energian kulutukseen. Mitä korkeampaa lämpötilaa käytetään, sitä pienempää energiankulutus teoreettisesti on. Nykyisissä rakenteissa kuitenkin lämpöhäviöt samalla kasvavat ja säästö on hyvin pientä, prosenttilyksikön, parin suuruista. Eristetyissä rakenteissa tätä kuitenkin kannattaa käyttää hyväksi. Niissä lämpöhäviöt eivät suurene yhtä voimakkaasti.

Viljan laadun kannalta sallitut lämpötilat voidaan karkeasti jakaa kolmeen, siemenvilja 50...60°C, leipävilja 60...70°C ja rehuvilja aina 80°C asti. Sallittu lämpötila riippuu kuitenkin kuivurityypistä ja viljan kosteudesta. Nyrkkisääntönä pidetäänkin, että kuivausilma saa olla 90°C vähennettynä viljan kosteusprosentilla. Esim. 25 % viljan kuivauslämpötila olisi 65°C. Lämpötilaa voidaan edellä mainitusta nostaa tai laskea hieman sen mukaan halutaanko rehu- vai siemenviljaa.

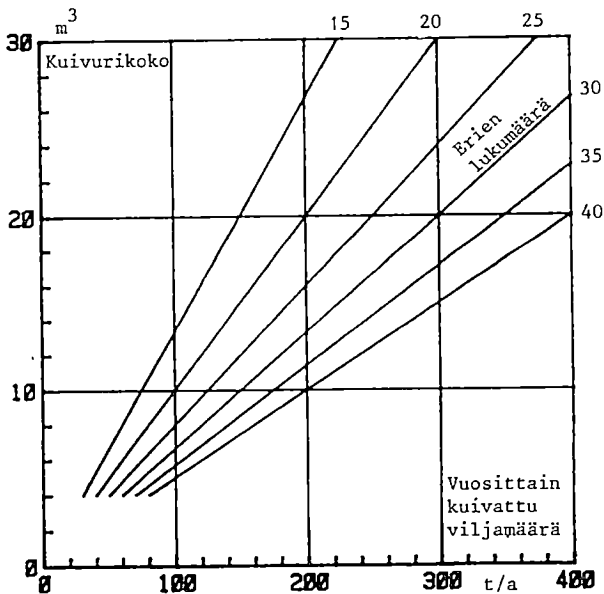
Sää ei lämminilmakuivauksessa mainittavasti vaikuta kuivumisaikaan, mutta polttoaineen kulutukseen se kylläkin vaikuttaa. Käyttämällä hyödyksi päiväsaikojen ilman korkeampaa lämpötilaa ja alhaisempaa kosteutta säästetään 5...10 % polttoainetta. Tämä hyväksikäyttö on tietenkin riippuvainen puintien ja kuivauksen kiireistä ja säästä.

Mitä kuivemmaksi vilja kuivataan, sitä enemmän suhteellisesti energiaa kuluu. Tämä johtuu siitä, että kuivalla viljalla kosteus on aluksi saatava siirtymään jyvän sisästä pintaan. Jos esim. 15 % asemesta vilja kuivataan 14 % kosteuteen ennen jäädytystä, energiaa kuluu n. 15 % enemmän. Jäädytyksessä vilja kuivuu 0,5...1 %-yksikköä eli loppukosteus tässä tapauksessa olisi 13...13,5 %. Jos viljan halutaan säilyvän vain talven yli, tällöin riittäisi 16...20 % kosteus.

Kuivuriautomaattikka ei pysty kovinkaan tarkasti määräämään kuivauksen lopettamista, mitta-antureiden tarkkuus on melko huono. Käsikäyttöisten viljan kosteusmittareiden tarkkuus ei myöskään ole aina riittävä. Kaupassa kuivasta viljasta hyvitetään ja märästä sakotetaan. Viljan vastaanottoehtona voi myös olla säilymiskykyinen kosteus. Näistä seikoista johtuen ylikuivaamista suositetaan.

4.4 Kuivauskapasiteetti

Viljaa korjataan Suomessa yleensä elo-syyskuussa, jolloin puintipäiviä on keskimäärin 15. Lämminilmakuivureilla pystytään kuivaamaan normaalisti kaksi kuivurillista vuorokaudessa kosteuden aletessa 15 %-yksikköä. Erittäin märkinä syksyinä kuivausajat voivat jopa kaksinkertaistua. Kuvassa 27 on kuivurikoon sopivuus viljamäärän ja kuivauserien mukaan laskettuna.

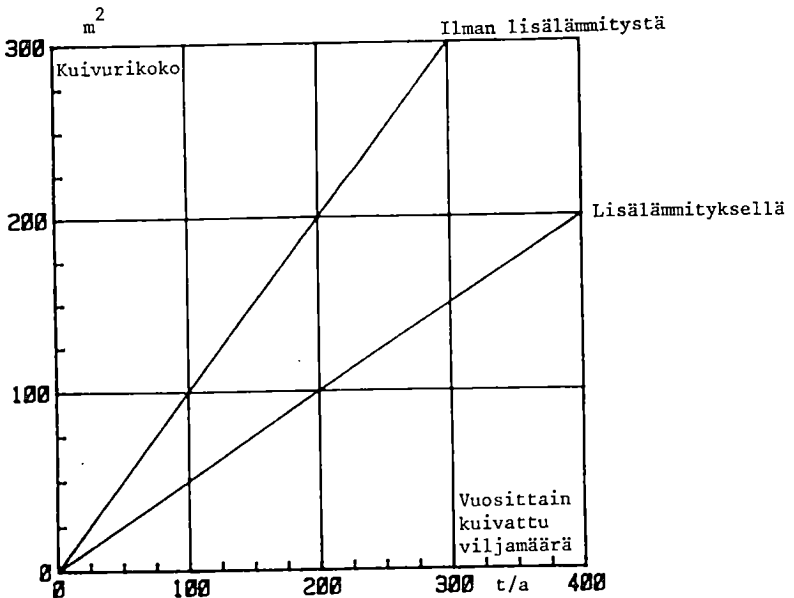


Kuva 27. Lämminilmakuivurin koon riippuvuus viljasadosta ja kuivauserien määrästä.

Lämminilmakuivurin kapasiteettia voidaan luonnehtia siten, että sillä kuivataan tasaisen varmasti, mutta joutoa esim. suuremman erän vastaanottamiseen ei ole.

Tästä johtuen kuivurit ylimitoitetaan. Sen kapasiteetin halutaan olevan lähellä puintikapasiteettia. 15 puintipäivän mukaan laskien tilan sato voitaisiin kuivata 30:ssä erässä. Sato- ja kuivuritilastojen mukaan laskien erämäärä on noin 15 kuivuria kohti. Pääomakustannukset ovat 70...80 % kokonaiskuivauskustannuksista. Tällöin kuivauskapasiteetin valinta vaikuttaa nopeasti kuivauskustannuksiin. Esimerkiksi kuivaamalla 15 erän sijasta 20, kuivauskustannusten aleneminen vastaa 20...40 % energiansäästöä saatavaa hyötyä.

Kylmäilmakuivurin mitoitus voidaan laskea siten, että viidessä päivässä viljaerä saadaan lisälämmityksen avulla kuivaksi ja kymmenessä ilman lisälämmitystä, kuva 28.



Kuva 28. Kylmäilmakuivurin koko sadon mukaan

Tällöin 15 puintipäivän mukaan laskien lisälämmön avulla voidaan kuivata koko sato kolmessa erässä. Ilman lisälämpöä olevassa kuivurissa koko sadon kuivaamiseen tarvitaan 1,5 erää.

Koska sääolot voivat vaihdella melkoisesti, ilman lisälämpöä tapahtuvassa kuivauksessa kuivausaika voi pidentyä huomattavastikin.

Kylmäilmakuivuri on puintia ajatellen joustava, alussa ja kuivauserän jälkeen pystytään puimaan suuria määriä ennenkuin kuivuri täyttyy. Vaikeutena on kuivauskapasiteetin riippuvuus säistä.

Joustavana vaihtoehtona on kylmäilmakuivurin ja lämminilmakuivurin yhdistelmä. Kosteaa vilja kuivataan aluksi kylmäilmakuivurissa ja loppukosteuteen kuivaaminen tapahtuu lämminilmakuivurissa. Tällöin voidaan hyödyntää kylmäilmakuivauksen joustavuus ja hyvät märän viljan kuivaamisominaisuudet lämminilmakuivurin varmuuteen ja nopeuteen.

Rakentamalla kylmäilmapuskurikuivuri lämminilmakuivurin yhteyteen voitaisiin lämmönvaihtimen avulla hyödyntää lämminilmakuivurin poistolämpöä.

Kuivureiden mitoituksessa voidaan käyttää esim. seuraavaa tapaa. Jos kylmäilmakuivurissa ei ole lisälämpöä, kuivaus 30 % kosteudesta 20 % kosteuteen kestää keskimäärin 5 vrk. Puintipäivien, 15 vrk, sato saadaan kuivatuksi kolmessa erässä. Kuivurin koko saadaan kuvasta 28 ottamalla "ilman lisälämmitystä" kohdasta puolet sen ilmoittamasta pinta-alasta. Kuumailmakuivurin pitää tällöin puintikautena pystyä kuivaamaan kaksi kolmasosaa sadosta. Loppu voidaan kuivata puintikauden jälkeen. Kuumailmakuivurin koko saadaan kuvasta 27 kuivauserien ollessa 35...45.

Kylmäilmakuivaus soveltuu parhaiten kapasiteettinsa puolesta pienille ja keskikokoisille tiloille. Lämminilmakuivaus sellaisenaan ja kylmäilmakuivurin kanssa soveltuu kapasiteetiltaan suuremmille tiloille.

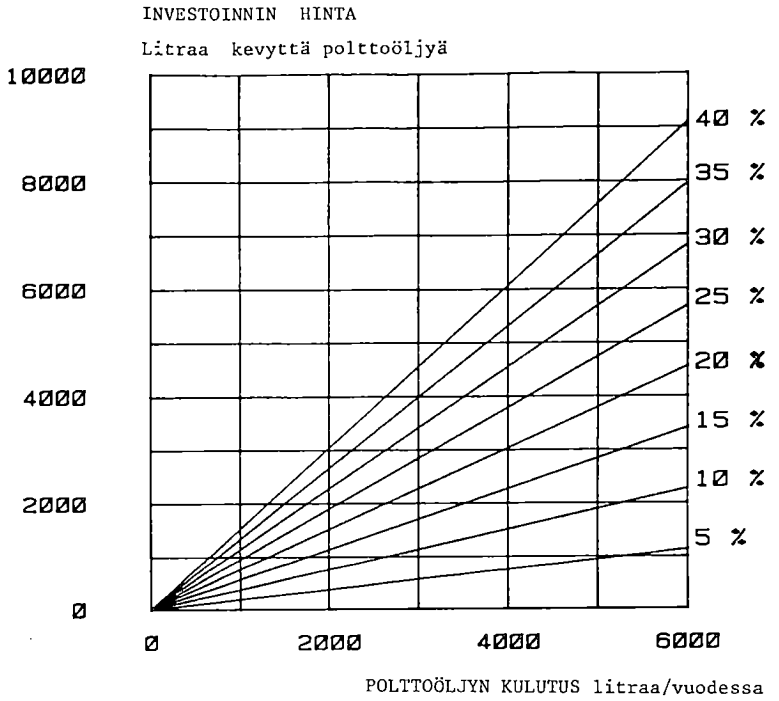
4.5 Energian säästön kannattavuus

Lämminilmakuivureilla kuivataan alle 20 erää vuodessa. Vuotuinen käyttöaika on tällöin 100...250 tuntia. Pääomakustannusten osuus on 70...80 % kokonaiskuivauskustannuksista. Täten kuivauskustannusten alentamisessa pääomakustannusten pienentäminen tuo nopeasti huomattavan säästön. Eräs tärkeimmistä on oikea kuivauskapasiteetti. Tästä johdun energiansäästötoimet eivät saa pienentää kuivauskapasiteettia.

Energian säästön kannattavuutta voidaan tarkastella kuvan 29 avulla. Se on laskettu 5 v kuoletusajan ja 10 % koron mukaan.

Jos esim. vuotuinen öljynkulutus on 4000 l, kuivurin eristämisestä saatava 15 % hyöty saisi olla enintään kustannuksiltaan 2300 öljylitran hintainen. Vuoden 1982 öljyhinnan mukaan tämä on 3300 mk.

Viitteet /2/, /4/.



Kuva 29. Energian säästötoimenpiteiden kannattavuus

5. YHTEENVETO

5.1 Oljen polttotekniikka

Oljen kokopaalien poltto on kannattavaa suurella, yli 50...70 MWh/a kulutuksella. Kustannuksiin vaikuttaa ratkaisevasti olkikattiloiden kallis hinta ja suuri polttoainevaraston tarve. Kattiloiden hinta tulee korkeaksi, koska paalien syöttö, tuhkan poisto ja palamisen valvonta/kohinta täytyy automatisoida. Käsikäyttöisenä lämmitys on liian työläs. Kokopaalien poltossa palaminen on vaihtelevaa, jolloin on käytettävä varaavaa lämmitystä.

Löyhänä/revittynä olkea poltettaessa palaminen on hallitumpaa ja hyötysuhde parempi. Tältä osalta olisi ilmeisesti saatavissa halvempia ja toimivimpia olkikattiloita kuin mitä tämänhetkiset kokopaalin kattilat ovat. Ainoa tällä hetkellä maassamme saatavissa oleva löyhänäpoltto-laite on Viishankkeen Olkivari, EP etupesä. Palaminen siinä on hyvää, mutta kokonaishyötysuhde etupesän lämpöhäviöiden takia jää alhaiseksi.

Poltettavan oljen kosteuden pitää olla mieluummin alle 20 %. Koska olki kuivuu varastoitaessa itsestään, korjuukosteuden on oltava enimmillään 25 %. Jos olkea ei voida korjata kuivana, on käytettävä koneellista kuivausta. Tältä osin tarvitaan lisätutkimuksia.

Olkipellettien etu on pienemmissä kattila- ja varastokustannuksissa. Kannattavuus riippuu ensisijaisesti itse pelletöinnin kustannuksista. Parhaiten pellettien polttoon soveltuu ruuvisyöttöinen poltin yläpaloiseen kattilaan yhdistettynä. Tällainen kattila pystyy olkipellettien lisäksi käyttämään turvepellettejä, murskattua palaturvetta ja haketta. Nykyiset alapaloiset kattilat eivät sovellu olkipellettien eikä -brikettien polttoon. Olkibriketit eivät ole polttoaineena yhtä mielenkiintoisia, koska kattilaratkaisut olisivat pellettejä vaikeammat ja olki jouduttaisiin lähes aina kuivaamaan ennen briketöintiä. Lisäksi briketit hajoavat pellettejä helpommin.

Olkilämmitystä suunnitteleville:

- Mitä kotoisia polttoaineita tilalla on saatavissa. Puu ja turve ovat lähes aina olkea halvempia.
 - Kuinka suuri on lämmöntarve. Vuosittaisen kulutuksen ollessa enemmän kuin 50...70 MWh, 7000...10000 l kevyttä polttoöljyä, olkilämmitys on kannattavampaa kuin öljy.
 - Uudisrakennusten teko olkilämmitystä varten ei yleensä ole kannattavaa.
 - Olki on palonarempaa kuin muut kotimaiset polttoaineet.
 - Automaattisyydöllä, repijällä tai pöyhijällä ja tuhkanpoistolla varustettu kattila vähentää työmäärää. Jos näitä laitteita ei ole, työmäärä on hyvin suuri.
- Olkilämmitys vaatii nykyisin menetelmin aina varaajan.
- Olkilämmityksen varaenergiana on useimmiten sähkö.

Olkilämmityksen kehitys- ja tutkimustyö:

- Oljen koneellista kuivaamista on tutkittava lisää. Tällä varmistetaan oljen käyttö huonoinakin vuosina.
- Kokopaalin poltossa pitää tutkia ja kehittää löyhänä ja silputtuna tapahtuvaa polttoa. Näillä voitaneen alentaa laitekustannuksia lämmitystyön silti ollessa vähäistä.

- Oljen pelletointia ja pellettipolttimia pitää tutkia ja kehittää. Pelletillä on ratkaiseva asema varasto- ja laitekustannuksien pienentämisessä ja hyötysuhteen parantamisessa.

5.2 Kotimainen polttoaine viljankuivauksessa

Yhden metsähehtaarin harvennus- ja hakkuujätepuilla voidaan kuivata keskimäärin kolmen...neljän hehtaarin viljasato. Asuinrakennusten puulämmityksessä tarvitaan n. 20 hehtaarin ala. Jos myös vilja halutaan kuivata puilla, metsäalan pitää olla 20 ha lisättynä 1 metsähehtaari jokaista kolmea, neljää peltohehtaaria kohti.

Palaturvetta käytettäessä tarvittava suopinta-ala on 20...30 aaria keskikokoisen tilan lämmittämiseen ja viljan kuivaamiseen.

Olkea käytettäessä asuinrakennusten lämmitykseen tarvitaan 8...12 ha oljet. Yhden hehtaarin olkisadolla pystytään kuivaamaan seitsemän hehtaarin viljasato. Olkea ei voida kuitenkaan käyttää viljankuivaukseen, koska ei ole olemassa sopivia olkiuuneja.

Kotimaisen polttoaineen kuivuriuunien on toimittava samalla tavalla kuin öljyuunien. Tämä siksi, ettei kuivurirakenteisiin eikä kuivausautomaattikkaan tarvitse tehdä muutoksia. Uunien on oltava varmatoimiset. Niiden on pystyttävä säätymään nopeasti lähes nollatehoon viljan jäähdystystä varten tai sähkökatkoksen takia.

Pienissä, alle 150 kW uuneissa voidaan käyttää käsikäyttöisiä alapaloisia uuneja. Suuremmissa uuneissa on syytä käyttää polttoaineen syöttölaitteita, jottei työmäärä tule rasitteeksi. Tällöin paras lämmitysjärjestelmä on ruuvisyöttöinen poltin (stoker) yläpaloisessa uunissa. Jos vanhoja öljyuuneja halutaan hyödyntää, silloin voidaan käyttää etupesä.

Kotimaiseen polttoaineeseen siirtyminen on taloudellista silloin, kun rakennetaan uusi kuivaamo tai vanha öljyuuni joudutaan uusimaan.

Kotimaisen polttoaineen käyttöä ajatellen paloturvallisuusmääräyksiä pitää täsmentää.

On huomattava, että maa- ja metsätalouden kokonaisuutta ajatellen on maatilalla järkevää käyttää kotimaista metsästä saatavaa polttoainetta. Metsänhoidon taimiston perkaus- ja harvennushakkuujätteet tulevat hyödynnettyä omalla tilalla ja samalla hoitotyöstä johtuvat kustannukset ovat vähennyskelpoisia maatalouden verotuksessa tuotantorakennusten lämmityksen ja viljankuivauksen osalta. Tällöin metsänhoitotyöstä johtuvat kustannukset eivät rasita metsätaloutta.

Viljankuivauksessa kotimaisen polttoaineen käyttöä suunnitteleville:

- Hanke on yleensä kannattava vain uudisrakentamisessa ja normaalissa öljyuunin uusimisessa.
- Kuivaus on kotimaisia polttoaineita käytettäessä työltään sitovampaa ja runsaampaa.
- Yläpalouuni vaatii vakituisen lämmittäjän. Alapalouuni 150 kW tehoon nykyisillä rakenteilla sallii 2...4 tunnin paloajan.
- Polttoainetta on oltava tilalla riittävästi saatavilla ja se on hankittava ennakkoon ennen kuivauskautta.
- Maa- ja metsätalous yhdistettynä harvennus- ja perkaustyöt metsässä tulevat hyödynnettyä maataloudessa.

Kotimaisen polttoaineen kuivuriuunien valmistus:

- Uunien on toimittava samalla lailla kuin öljyuunien. Tällöin kuivausautomaatiikkaa ei tarvitse muuttaa.
- Uunien on oltava varmatoimiset. Tämä etenkin viljan jäähdytyksessä ja sähkökatkosten aikana.
- Polttoaineen syöttö on useimmiten automatisoitava. Tällöin automaattisyöttöinen poltin on monasti järkevin.
- Uusissa öljyuuneissa pitäisi huomioida kotimaisen polttoaineen polttimen käyttömahdollisuus.

Viranomaistoimenpiteet:

- Palomääräyksiä on tarkennettava kotimaisen polttoaineen osalta.
- Energia-avustuksia on annettava myös kotimaisen polttoaineen käytölle viljankuivauksessa.
- Kotimaisen polttoaineiden koneiden ja laitteiden liikevaihtovero voitaisiin pienentää tai poistaa.

5.3 Energiansäästö viljankuivauksessa

Viljankuivauksen kokonaiskustannusten kannalta on tärkeää valita oikea kuivurityyppi ja kuivauskapasiteetti. Kylmäilmakuivaus soveltuu parhaiten pienille ja keskikokoisille tiloille. Se on kuivumisen varmistamiseksi syytä varustaa lisälämmöllä. Kuumailmakuivaus soveltuu parhaiten suuremmille tiloille. Kuivauksen kannalta joustavana vaihtoehtona on kuumailmakuivuriin yhdistetty kylmäilmakuivuri.

puskurivarastona. Tällöin saadaan sekä kuumailmakuivauksen varmuus ja nopeus sekä kylmäilmakuivauksen joustavuus ja alhainen energiankulutus märän viljan kuivaamiseen. Järkevästi rakentamalla kuumailmakuivurin poistoilman lämpö voitaisiin hyödyntää kylmäilmakuivurissa.

Energian säästöön ei voida investoida kovinkaan paljon, koska vuotuinen käyttöaika on lyhyt. Kuivauksen kokonaiskustannuksia ajatellen ratkaisevin on pääomakustannusten alentaminen. Kuitenkin energiakustannuksia voidaan melko yksinkertaisinkin keinoin pienentää. Kannattavimmat näistä tällä hetkellä ovat:

Oikea käyttö

- Ei ylikapasiteettia, pääomakustannukset ovat suuret ylikapasiteetissa
- Ei ylikuivausta, energian säästö 10...20 %
- Käyttö sääoloja mukaillen, energiansäästö 5...10 %
- Kuivurin puhtaana ja tiiviinä pitäminen, energian säästö 5...10 %.

Kuivuriuunin oikea säätö

- Energian säästö 5...10 %.

Kuivurin ja ilmaputkiston eristäminen

- Energian säästö 10...15 %.

Viljankuivureiden valmistuksessa pitäisi kiinnittää huomio seuraaviin asioihin.

- Kuivurin poistoilman lämmön talteenoton huomioiminen kuivurirakenteissa.
- Kylmäilmapuskurikuivurin huomioiminen kuivurirakenteissa sekä poistoilman lämmön hyväksikäyttö kylmäilmakuivurissa.

Viljankuivausta ajatellen seuraavat kuivaus- ja energiaasiat sietäisivät tutkimusta:

- Lämminilmakuivurin puskurikuivuri
- Kylmäilmakuivurin lisälämmönlähteet
- Lämminilmakuivurin poistoilman lämmön hyödyntäminen
- Siilo- ja kennotyyppiset kylmäilmakuivurit.

5.4 Maatilatalouden energiareservien hyödyntäminen

Maatilataloudessa asuntojen sekä tuotantotilojen lämmityksessä kotimaisten polttoaineiden osuus on merkittävä ja se lisääntyy jatkuvasti.

Viljankuivauksessa voitaisiin myös käyttää kotimaisia polttoaineita. Valmius tähän on melko huono, kotimaisen polttoaineen kuivuriuuneja on huonosti saatavilla. Uusiin öljyuunimalleihin saataisiin tämä valmius kuitenkin melko helposti. Jotta kotimainen polttoaine yleistyisi kuivuriuuneissa, kiinteistöjen energia-avustusta vastaava avustus pitäisi antaa myös kotimaisen polttoaineen kuivuriuuneille.

Oljen käyttö lämmityksessä on teknisesti täysin mahdollista. Kokopaalin poltossa pääomakustannukset ovat suuret ja se on kannattavaa vain suurilla lämmöntarpeilla. Pelletoinnilla näitä kustannuksia voitaneen huomattavasti alentaa ja taloudellisuutta parantaa.

Maatilatalouden energiareservit riittävät hyvin kattamaan oman kulutuksen ja lisäksi jopa myyntiin. Tällöin maatilataloudet voivat raaka-aineiden ja elintarvikkeiden tuottajien lisäksi olla energian tuottajia.

KIRJALLISUUSVIITTEET

1. Immonen, K., Kotimaisten polttoaineiden alueellinen hyväksikäyttö, kotimaisten kiinteiden polttoaineiden jakelun kehittäminen, esitutkimus, Tutkimusraportti n:o 1; Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energielosasto ja Suomen itsenäisyyden juhlavuoden 1967 rahasto, Helsinki 1981.
2. Koivisto, K., Ahokas, J., Energian säästö viljankuivauksessa, Vihti 1982, VAKOLA, Tutkimusselostus n:o 31.
3. Koskenranta, P., Käyttökokemuksia olkikattiloista.
4. Mäkelä, O., Ahokas, J., Suurinkeroinen, J., Kotimainen polttoaine viljankuivauksessa, Vihti 1982, VAKOLA, Tutkimusselostus n:o 32.
5. Orava, R., Oljen korjuu ja käyttö maataloilla. Helsinki 1980. Työtehoseuran julkaisuja, n:o 226.
6. Peltola, A., Olkipuristeet polttoaineeksi, Helsinki 1981, Työtehoseuran maatalous- ja rakennusosaston monisteita 2/1981.
7. Ryytänen, S., Tuomi, S., Polttopuun korjuu ja käyttö maataloilla, Työtehoseuran julkaisuja 241, Helsinki 1982.
8. Sippola, J., Maatilatalouden energiareservien käyttö, Helsinki 1980, SITRA, Sarja A, n:o 59.
9. Ståhlberg, P., Maaskola, I., Ahokas, J., Olki polttoaineena, Vihti 1982, VAKOLA, Tutkimusselostus n:o 30.
10. Jaakko 70- ja Jaakko 70 olki -kattilat, Koetuselostus n:o 1044, Vihti 1981, VAKOLA.

11. Kotera 80 - olkikattila, Koetusselostus n:o 1051, Vihti 1981, VAKOLA.
12. OK 34 - olkikattila, Koetusselostus n:o 1062, Vihti 1982, VAKOLA.

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUKSIA

- | No | Nimi |
|----|---|
| 11 | Turtiainen, K., Chain saw operator's opinions of chain saw vibration. 1974. |
| 12 | Turtiainen, K., Chain saw vibration and vibration measurements. 1974. |
| 13 | Turtiainen, K., Preliminary survey of the back complains of men who have driven tractors in forest work. 1974. |
| 14 | Ahokas, J., Altonen, M., Tutkimus maataloustraktorin veto-voimasta. 1975. |
| 15 | Hahlman, A., Ahokas, J., Tutkimus maataloustraktorin tärinästä ja heilunnasta. 1978. |
| 16 | Hyvärinen, H., Ahokas, J., Runko-ohjattavien metsäkoneiden stabilisuus. 1978. |
| 17 | Turtiainen, K., Kyselytutkimus monitoimikoneen kuljettajien työn rasittavuudesta ja työviihtyvyydestä. 1978. |
| 18 | Turtiainen, K., Vertailututkimus metsurin työhousujen viiltosuojainten kestävyystutkimuksissa käytetyistä tutkimusmenetelmistä. 1979. |
| 19 | Piltti, M., Energian säästö ja kotimaisten polttoaineiden käyttö viljan kuivauksessa. 1979. |
| 20 | Kara, O., Räisänen, L., Maanmuokkauksen minimointi ja kylvö- ja lannoitusvantaiden soveltuvuus kyntämättömään maahan. 1979. |

- 21 Ketola, T., Kotimaiset polttoaineet, kattilat ja kattiloiden koetusmenetelmä. 1979.
- 22 Parmala, S-P., Puukaasu moottoriajoneuvojen polttoaineena. 1980.
- 23 Kiviniemi, J., Pokki, J., Oksanen, E.H., Turkkila, K., Nurmisäilörehun valmistuksen ja käsittelyn tekniikka. 1980.
- 24 Parmala, S-P., Polttomoottorien varustaminen kotimaisten polttoaineiden käyttöön soveltuviksi. 1980.
- 25 Kara, O., Heikkilä, H., Itujen vaurioituminen idätetyn perunan koneellisessa istutuksessa. 1982.
- 26 Ahokas, J., Salminen, R., Agricultural Tractor Hitch-hook loading and location. 1981.
- 27 Salminen, R., Turtiainen, K., Metsätraktorin heilunnan mittausmenetelmän kehittäminen. 1982.
- 28 Haber, P., Näkyvyys traktorista. 1982.
- 29 Olkinuora, P., Esala, J., Aurasalaojituksen käyttömahdollisuudet. 1982.
- 30 Ståhlber, P., Olki polttoaineena. 1983.
- 31 Koivisto, K., Energiänsäästö viljankuivauksessa. 1983.
- 32 Mäkelä, O., Ahokas, J., Suurinkeroinen, J., Kotimainen polttoaine viljankuivauksessa. 1983.
- 33 Ahokas, J., Energiantuotanto maatilatalouden omista energialähteistä. 1983.

