



VAKOLA

03450 OLKKALA
913-46211

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

TUTKIMUSSELOSTUS No 32

OSSI MÄKELÄ - JUKKA AHOKAS -
JORMA SUURINKEROINEN

KOTIMAINEN POLTTOAINE VILJANKUIVAUKSESSA

DOMESTIC FUEL IN GRAIN DRYING

VIHTI 1983

TUTKIMUSSELOSTUS No 32

OSSI MÄKELÄ - JUKKA AHOKAS -
JORMA SUURINKEROINEN

KOTIMAINEN POLTTOAINE VILJANKUIVAUKSESSA

DOMESTIC FUEL IN GRAIN DRYING

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, "Energian tuotanto maatilatalouden omista energialähteistä", VAKOLAN tutkimusselostus n:o 33.

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-Tehdas 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 Lantbrukssällskapetens 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

Sivu

ESIPUHE

TIIVISTELMÄ

SAMMANFATTNING

SUMMARY

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | JOHDANTO | 5 |
| 2. | KOTIMAISET POLTTOAINEET | 6 |
| 2.1 | Saatavuus ja kulutus | 6 |
| 2.1.1 | Puu | 6 |
| 2.1.2 | Turve | 7 |
| 2.1.3 | Olki | 9 |
| 2.2 | Koostumus ja ominaisuudet | 10 |
| 2.3 | Lämpöarvo | 11 |
| 2.4 | Palaminen | 14 |
| 3. | VILJANKUIVAUKSEN TEORIAA | 17 |
| 3.1 | Viljankuivausmenetelmät | 20 |
| 3.2 | Lämminilmakuivaus | 21 |
| 3.3 | Lämmöntarve | 22 |
| 4. | LÄMMINILMAKUIVAUKSEN LÄMMÖNLÄHTEET | 24 |
| 4.1 | Yläpaloinen uuni | 25 |
| 4.2 | Alapaloinen uuni | 28 |
| 4.3 | Etupesä | 33 |
| 4.3.1 | Tuliharjallinen etupesäkuivuriuuni | 35 |
| 4.3.2 | Tuliharjaton etupesäkuivuriuuni | 40 |
| 4.3.3 | Yhteenvedo etupesäkokeista | 44 |
| 4.4 | Poltinuuni | 46 |
| 4.5 | Radiaattorin käyttö viljankuivauksessa | 51 |

| | Sivu |
|---|------|
| KUIVAUSKUSTANNUKSET | 55 |
| 5.1 Kuivauskokeet | 55 |
| 5.2 Kuivauskustannusvertailu | 57 |
| 5.2.1 Öljyuuni ja automaattitäyttöinen etupesä | 57 |
| 5.2.2 Öljyuuni ja alapaloinen halkouuni | 60 |
| 5.2.3 Öljyuuni ja hakepoltinuuni | 60 |
| 5.3 Kotimaisen polttoaineen taloudellisuus viljankuivauksessa | 65 |
| 5.4 Yhteiskunnan tuki kotimaisen polttoaineen käytön edistämiseksi viljankuivauksessa | 66 |
| 5.5 Verotus | 67 |
| 6. KOTIMAISTA POLTTOAINETTA KÄYTTÄVIEN KUIVURIUUNIEN PALOTURVALLISUUS | 68 |
| 7. YHTEENVETO | 69 |
| 8. VIITTEET | 71 |
| LIITE 1. Ehdotus täydennysosaksi viljankuivureiden paloturvallisuudesta kiinteillä polttoaineilla lämmitettävien kuivuriuunien osalta. | |

TIIVISTELMÄ

Maatalouksissa vuosittain käytettävä suora energiamäärä vastaa 2 Mtoe, josta lämmitykseen ja sadonkuivauksen osuus on n. 1,3 Mtoe. Tämä energiamäärä tuotetaan puoleksi puulla ja puoleksi tuontipolttoaineilla.

Maatiloilla voidaan vuosittain ottaa talteen yhteensä keskimäärin n. 15 milj. m^3 polttopuuta. Polttopuun riittävyys on taattu, vaikka maatilojen lämmitykseen ja viljan kuivaukseen käytetty polttoöljy korvattaisiin kokonaan puulla. Maamme turvevarat ovat myös huomattavat.

Palamisominaisuuksiltaan kotimaiset polttoaineet eroavat öljytuotteista huomattavasti siten, että ne sisältävät runsaasti happea ja tuhka-ainetta sekä palavat pitkällä liekillä. Nämä ominaisuudet vaikuttavat kotimaista polttoainetta käyttävien uunien rakenteisiin.

Kotimaista polttoainetta käyttävä kuivuriuuni pitää olla toiminnoiltaan automatisoitu kuten öljyuuni ja paloturvallinen kaikissa kuivaustilanteissa.

Tämän tutkimuksen yhteydessä rakennettiin ja tutkittiin vaihtoehtoina uuniratkaisuja, jotka soveltuvat kotimaisen polttoaineen käyttöön viljan kuivauksessa.

Rakenteellisesti yksinkertaisin ja halvin kuivuriuuni on yläpaloinen halkouuni. Tällaisen uunin lämmöntuotanto on kuitenkin epätasaista ja lämmitystyömäärä suuri. Yläpaloista halkouunia voidaan käyttää vain pienissä kuivureissa.

Alapaloisen varastopesäuunin lämmöntuotanto on tasaisempaa kuin yläpalosen uunin. Alapaloisen uunin varastopesä pitäisi mitoittaa vähintään 2...4 tunnin paloajan mukaan, jotta lämmitystyömäärä olisi vähäinen. Tässä tutkimuksessa ollut n. 165 kW tehoinen alapaloinen halkouuni on kannattava jos kuivattava viljamäärä on yli 30 t/v.

Etupesä on mahdollinen silloin kun öljyuuni halutaan muuttaa kotimaista polttoainetta käyttäväksi. Polttoaineen täytön automatisointi nostaa laitekustannukset yleensä kaksinkertaisiksi öljyuuniin verrattuna. 250 kW tehoinen etupesä-kuivuriuuni automaattisin täyttölaittein on kannattava kun kuivattava viljamäärä on yli 320 t/v.

Automaattinen polttoaineen syöttö yläpaloiseen uuniin (stokeri) on tällä hetkellä mielekkäin ratkaisu kotimaisen polttoaineen käyttöön viljankuivauksessa. Lämmitystyömäärä on vähäinen ja laitteiden hankintahinta on kohtuullinen yläpaloisen uunin yksinkertaisen rakenteen ansiosta. Tutkimuksen mukaan 150 kW tehoinen automaattisyöttöinen uuni on taloudellisesti kannattava, jos kuivattava viljamäärä on vähintään 90 t/v.

Kannattavuuslaskelmat on tehty kevyen polttoöljyn hinnan ollessa 1,42 mk/l.

Tilan lämpökeskusta voidaan käyttää radiaattorikuivurin lämmönlähteenä jos lämmitysjärjestelmä on varaava ja lämmönsiirtoetäisyys on lyhyt. Lämpökeskusta voidaan käyttää myös kylmäilmakuivurin lisälämmönlähteenä. Tällöinkin edellytetään, että lämmitysjärjestelmä on varaava ja lämmönsiirtoetäisyys lyhyt.

Siirtyminen kotimaisen polttoaineen käyttöön viljankuivauksessa on kannattavaa silloin kun rakennetaan uusi kuivuri tai vanha kuivuriuuni joudutaan uusimaan.

Siirtymistä kotimaisen polttoaineen käyttöön viljankuivauksessa pitäisi tehostaa myöntämällä energia-avustuksia kotimaista polttoainetta käyttävien kuivauslaitteiden hankintaan. Näiden laitteiden osalta pitäisi myös liikevaihtovero alentaa tai poistaa kokonaan, jotta niiden kilpailukyky öljyuuniin verrattuna paranisi.

Maatalouden verotusta ajatellen on kannattavaa käyttää viljankuivauksessa kotimaista metsästä saatavaa polttoainetta. Tällöin osa metsänhoidosta johtuvista kustannuksista voidaan vähentää maatalouden menoina.

SAMMANFATTNING

Den direkta mängd energi som årligen används i jordbruket motsvarar 2 Mtoe, varav eldningens och skördetorkningens andel uppgår till ca 1,3 Mtoe. Denna energimängd produceras halvt med ved och halvt med importerade bränslen.

På lantgårdar kan årligen tillvaratas i medeltal totalt ca 15 milj. kbm fast mått ved. Vedens tillräcklighet är säkerställd, om också den i gårdars eldning och spannmålstorkning utnyttjade brännoljan helt ersattes med ved. Även vårt lands torvtillgångar är märkbara.

Skillnaden i förbränningsegenskaperna mellan inhemska bränslen och oljeprodukter ligger uttryckligen däri, att inhemska bränslen har hög syre- och askhalt och de brinner långflammigt. Dessa egenskaper påverkar med inhemskt bränsle arbetande pannors konstruktioner.

En överförbränningspanna i vilken man använder inhemskt bränsle, bör fungera automatiskt såsom en oljepanna, och den bör vara brandsäker i alla torkningsförhållanden.

I samband med denna undersökning byggdes och granskades sådana alternativa pannkonstruktioner, som kan tillämpas vid användning av inhemskt bränsle för spannmålstorkningen.

Konstruktivt är överförbränningsvedpannan den enklaste och förmånligaste varmluftspannan. Denna pannas värmeproduktion blir emellertid olikformig och kräver mycket eldningsarbete. Vedpannan med överförbränning är användbar dock endast för små torkar.

Pannan med underförbränning producerar värme jämnare än överförbränningspannan. Magasinet i underförbränningspannan borde dimensioneras i enlighet med minst 2...4 timmars förbränningstid, för att eldningsarbete skulle fordras endast i ringa mån. Vedpannan med underförbränning, effekt på ca 165 kW, som ingick i denna undersökning, är ekonomisk, om spannmålsmängden överskrider 30 ton per år.

Förugnen kommer i fråga då, när man vill ändra oljepannan att arbeta med inhemskt bränsle. Bränslepåfyllningens automatisering fördubblar i allmänhet anläggningskostnaderna i jämförelse med oljepannan. En 250 kW varmluftspanna med förugn, försedd med automatisk påfyllningsapparat, är ekonomiskt lönande, om den spannmålsmängd som årligen skall torkas är över 320 ton.

För närvarande lämpar sig automatisk bränsleinmatning bäst för en panna med överförbränning (stoker-panna) beträffande utnyttjandet av inhemskt bränsle vid spannmålstorkningen. Eldningsarbetsbehovet är litet och förvärvspriset på apparaturen är skäligt på grund av överförbränningspannans enkla konstruktion. Enligt undersökningen är en 150 kW panna med automatisk inmatningsanordning ekonomisk, om den spannmålsmängd som skall torkas är minst 90 ton per år.

Lönsamhetskalkylerna har gjorts då priset på lätt brännolja uppgick till FIM 1,42 per liter.

Gårdens värmecentral kan användas som värmekälla för radiatortorken, om uppvärmningssystemet är ackumulerande och värmetransportavståndet är kort. Värmecentralen kan också användas som tillsatsvärmekälla för kallluftstorken. Då förutsätts jämväl, att eldningsystemet är ackumulerande och värmetransportavståndet är kort.

Det är lönande att övergå att använda inhemskt bränsle vid spannmålstorkningen då, när en ny tork skall byggas eller den gamla varmluftspannan måste ersättas med en ny.

Övergången till användningen av inhemskt bränsle för spannmålstorkningsändamål borde effektivieras genom att bevilja energianslag för inköp av torkanläggningar som drivs med inhemskt bränsle. Omsättningsskatten för denna apparatur borde också sänkas eller helt upphävas, för att den bättre skulle kunna konkurrera med oljepannan.

Med tanke på beskattningen av lantbruk är det lönsamt att använda vid spannmålstorkning inhemskt, från skogen tillgängligt bränsle. Då kan en del av skogsvårdskostnaderna avdras som lantbruksutgifter.

SUMMARY

The annual rate of direct energy consumed within agriculture corresponds to 2 Mtoe, in which approximately 1,3 Mtoe is formed by the energy used for heating and harvest drying. This amount of energy is produced half by means of firewood and half by imported fuels.

On farms the annual recovery of firewood may in total amount on an average to about 15 million cu.m. of solid measure. The adequacy of firewood is secure, even if the fuel used for the farms' heating and grain drying wholly were replaced by wood. The resources of peat are also appreciable in our country.

As to the burning properties, the domestic fuels are different from the oil products very greatly, since the domestic ones contain oxygen and ashes to a large extent, and further, they burn on a long flame. These properties affect the construction of the furnaces working with domestic fuel.

The operation system of an air furnace employing domestic fuel has to be automated like the one of an oil furnace, and in addition to this, it must be fireproof under all drying circumstances.

In connection with this study such kind of alternative furnace constructions were built and examined, which are suitable for the use of domestic fuel in grain drying.

Constructionally the most uncomplicated and inexpensive air furnace is the firewood furnace with overburning principle. However, such a furnace produces heat unevenly and its firing is laborious. A firewood furnace with overburning principle can solely be used for small driers.

A furnace with underburning principle produces heat more evenly than that with overburning principle. The magazine of an underburning furnace ought to be dimensioned according to 2...4 hours' burning time at the minimum, whereas the firing would require labour only to a minor degree. The underburning firewood furnace with about 165 kW efficiency, having been included in this research, is economical, if the grain quantity to be dried exceeds 30 tons per year.

A front stove comes into question, when you want to change an oil furnace to employ domestic fuel. The automation of fuel feeding generally doubles the equipment expenses, when you compare them with those of an oil furnace. A front stove air furnace, efficiency 250 kW, furnished with an automatic feeding equipment, is profitable, if the amount of grain to be dried exceed 320 tons a year.

The automatic fuel feeding into an air furnace with overburning principle (stoker), is for the time being the most advantageous solution, as to the use of domestic fuel in grain drying. The labour required by the firing is not excessive and the purchase price for the equipment is moderate, due to the uncomplicated construction of the overburning furnace. According to the study, a furnace, rate of efficiency 150 kW, with automatic feeding facilities, is economical, if the quantity of grain to be dried is 90 tons a year at the minimum.

The cost calculations base upon the light fuel oil price amounting to FIM 1,42 per litre.

The farm heating centre can be utilized as a source of heat for the radiator drier, in case the heating system is accumulated and the heat transfer distance is short.

The heating centre can be used as a surplus source of heat for the cold-air drier, too. Also on this case it is provided that the heating system is accumulated and the heat transfer distance is short.

It is profitable to proceed to use domestic fuel in grain drying, when a new drier is being built or the old air furnace has to be replaced.

The proceeding activity for using domestic fuel in grain drying, ought to be supported by granting energy contributions for the purchase of drying equipment working with domestic fuel. Concerning these equipments the turnover tax should be lowered or abolished completely, in order to improve their competitiveness in comparison with the oil furnace.

Considering the taxation of farming, it is economical to use domestic fuel available from forest in grain drying. Thus, a part of the expenses for forestry can be reduced as costs for farming.

1. JOHDANTO

Maatalouden osuus yksityistalous mukaanlukien oli vuonna 1978 n. 8 % Suomen energiankulutuksesta. Maataloudessa käytettävä energia jakautuu suoraan ja epäsuoraan apuenergiaan, joista edellistä käytetään tuotannon yhteydessä öljynä, polttopuuna ja sähköinä ja jälkimmäistä tarvitaan tuotantovälineiden ja lannoitteiden valmistukseen.

Maatalouksissa vuosittain käytettävä suora energiamäärä vastaa 2 Mtoe, josta lämmityksen ja sadonkuivauksen osuus on n. 1,3 Mtoe. Tämä energiamäärä tuotetaan puoleksi puulla ja puoleksi tuontipolttoaineilla.

Maassamme on tällä hetkellä n. 65 000 viljankuivaamaa. Kylmäilmakuivureita näistä on 17 000 kpl ja loput ovat erityyppisiä lämminilmakuivureita. Vuosien 1971 - 1980 keskimääräinen viljasato oli maassamme 3 100 milj. kg. Jos koko viljasatomme kuivattaisiin öljyllä lämminilmakuivureissa, tarvittaisiin keskimääräisenä syksynä öljyä n. 72 milj. kg (kuivaustarve 14 % yksikköä, öljyntarve 120 g/haihdutettu vesikilo, haihdutustarve 600 milj. kg). Tarvittava energiamäärä on 840 milj. kWh. Hakkeena tämä vastaa n. 1,0 milj. 1-m^3 :ä (0,5 milj. k-m^3).

Metsistämme voidaan vuosittain ottaa talteen yhteensä n. 15 milj. k-m^3 polttopuuta pienpuuna ja hakkuutähteinä /2/. Polttopuun riittävyys on taattu, vaikka maatilojen lämmitykseen käytetty polttoöljykin korvattaisiin kokonaan puulla.

2. KOTIMAISET POLTTOAINEET

Tässä tarkastelussa kotimaisella polttoaineella tarkoitetaan kiinteitä yleisesti saatavia polttoaineita; puuta, turvetta ja olkea. Puuta käytetään halkoina ja hakkeena. Turvetta käytetään palaturpeena ja olkea käytetään paaleina.

2.1 Kotimaisten polttoaineiden saatavuus ja kulutus

2.1.1 Puun saatavuus ja kulutus maatilalla

Puu on uusiutuva energialähde. Polttopuuta voidaan vuosittain korjata metsähehtaarilta keskimäärin n. $1,5 \text{ k-m}^3$ markkinakelpoisen ainespuun lisäksi. Halkoina tämä vastaa $2,5 \text{ i-m}^3$ ja hakkeena n. $4,5 \text{ i-m}^3 /2/$. Hehtaarin viljasadon kuivaamiseen tarvitaan $0,6 \text{ i-m}^3$ halkoja tai n. 1 i-m^3 haketta.

Tarkastellaan esimerkkinä 30 peltohehtaarin viljanviljelytilaa. Tilan lämmينilmakuivurin vuotuinen lämmöntarve on n. 17 MWh. Asuinrakennuksen sekä muiden lämmitettävien tilojen lämmöntarve on 36 MWh. Poltettaessa kuivaamokäytössä haketta, sitä kuluu $35 \text{ i-m}^3/\text{v}$ ja muussa lämmityksessä $70 \text{ i-m}^3/\text{v}$. Edellä mainitulla joutopuun saannilla tarvitaan tilan muun kuin kuivaamon lämmöntarpeen tyydyttämiseen n. 20 ha metsäalaa ja kuivaamon käyttämään puumäärään 10 ha metsäalaa eli yhteensä 30 metsähehtaaria. Pohjois-Suomessa hitaamman kasvun takia tarvitaan metsäalaa yli 100 ha vastaavan puumäärän tuottamiseen.

Puuta on yleisesti saatavilla ympäri maata. Paikoin siitä saattaa kuitenkin voimakkailla viljanviljelysaluilla olla pulaa tai se on hankittava kauempaa. Hakkeen hankinnassa yhteistyö naapurien kanssa on suotavaa, koska hakkuri hankittuna pelkästään yhden tilan käyttöön lisää pääomakustannuksia kohtuuttomasti ja yhdellä hakkurilla kyetään hakettamaan mainiosti 5..10 tilan polttohake.

Haketettavan, niinkuin muunkin polttopuun, tulisi olla tarpeeksi kuivaa. Tuoreen puun varastointi haketuksen jälkeen edellyttää kuivausta. Rankana kuivunut ja senjälkeen haketettu puu säilyy katetussa varastossa homehtumatta.

Hake tehdään kokopuusta tai runkopuusta. Kokopuuhakkeessa saadaan talteen puun maanpäällinen osa ja korjuutyön tuotavuus on runkopuunetelmää parempi. Kokopuuhakkeen haittana on huonompi lämpöarvo tilavuusyksikköä kohden. Kokopuuhake säilyy varastossa huonosti ilman koneellista tuuletusta, koska se sisältää runsaasti hienojakoista neulas- ja lehtimassaa sekä kuoriainesta. Tuore viheraines lisää homehtumisvaaraa ja on hyvä kasvualusta puun lahottajaisienille, jotka aiheuttavat varastoinnin aikana kuiva-ainetappioita. Home aiheuttaa haketta käsiteltäessä homepölyä.

Kokopuuhake on risuista ja tikkuista. Hakkeen epätasainen laatu aiheuttaa ongelmia hakkeen käsittelyssä ja se holvautuu helposti aiheuttaen siten palamishäiriöitä. Palamishäiriöitä saattaa syntyä myös kokopuuhakkeen tuhkapitoisuuden vuoksi. Neulas- ja lehdet sisältävät tuhkaa 4...6 % ja kuori 2...6 % puulajista riippuen /3/. Suuri tuhkamäärä saattaa tukkia arinan ja aiheuttaa lisääntyvää tuhkanpoistotyötä.

Runkopuusta tehty hake on tasalaatuisempaa ja sopii nykyisiin lämmityslaitteisiin paremmin kuin kokopuuhake. Runkopuun vähimmäishalkaisijana pidetään n. 4 cm. Tällöin kuoren osuus ei vielä merkittävästi vaikuta palamiseen.

2.1.2 Turpeen saatavuus ja kulutus maatilalla

Turvetta käytetään kuivuriuneissa ainoastaan palaturpeena. Turvevarat eivät ole tasaisesti jakautuneet maan eri puolille. Parhaimmat mahdollisuudet polttoturpeen käyttöön on Vaasan, Oulun, Pohjois-Karjalan ja Lapin lääneissä. Paikallisesti turpeen käytöllä polttoaineena on merkitystä myös Etelä-Suomessa.

Yhden peltohehtaarin viljasadon kuivaamisen tarvitaan $0,7 \text{ i-m}^3$ palaturvetta. Tätä vastaavan turvesuon ala on n. 20 m^2 . Keskikokoisen tilan lämmitykseen tarvitaan n. 75 i-m^3 palaturvetta vuosittain. Esimerkiksi 30 peltoha tilan vuosittainen palaturpeen kokonaistarve on n. 96 i-m^3 .

Turve ei ole varsinaisesti uusiutuva luonnonvara. Kun suo kunnostetaan turvetuotantoon, pysähtyy turpeen kasvu. Luonnontilaisen suon kunnostus turvetuotantoon kestää 2...5 vuoteen ja tulee maksamaan 3000...15000 mk/ha raivaus- ja ojitustarpeen sekä kantojen määrän ja tarvittavien teiden mukaan. Pääomakustannukset laskevat merkittävästi, mikäli turvetuotanto voidaan aloittaa viljelyksessä olevalla suopellolla.

Ennen suon käyttöönottoa on selvitettävä seuraavat asiat:

- suon sijainti käyttöpisteisiin nähden
- turpeen soveltuvuus polttokäyttöön, maatumisaste
- tuhkapitoisuus
- turvekerroksen paksuus ja turvealueen pinta-ala
- kuivatusmahdollisuudet
- kantoisuus ja liekoisuus.

Palaturpeen tuotanto yhden tilan käyttöön ei yleensä ole taloudellisesti kannattavaa. Tuotannon aloittaminen tulee kysymykseen silloin, kun peltoa voidaan käyttää turpeentuotantoon tai tuotantoalue on yhteiskäytössä tai alueella on muita turpeen käyttäjiä, joille turvetta voidaan myydä.

Pientuotannossa käytetään nostokoneita, joilla nostoteho on $3...6 \text{ m}^3/\text{h}$ kuivaa turvetta. Koneiden korkeahkon hinnan vuoksi nostettavan turvemäärän tulisi olla vähintään 10 tilan tarvetta vastaava. Keskikokoisen tilan vuotuisen lämmöntarpeen tyydyttämiseen tarvitaan n. 75 i-m^3 palaturvetta ja sen nostaminen kuivumaan kestää 1...2 päivää.

Hyvillä säillä kuivuminen nostokosteudesta (yli 80 %) varastointikosteuteen (alle 40 %) kestää reilun kuukauden. Edullisena kesänä samalta alalta voidaan nostaa jopa kolme palaturvesatoa, vuotuisen nostomäärän ollessa 300...400 m³/ha. Tarvittava suopinta-ala 30 ha viljelys-tilan tarpeeseen on 20 aaria. Nostossa suopinta alenee n. 4 cm vuodessa.

Palaturvetta voidaan käyttää sinällään käsitäytöisissä varastopesäuneissa sekä rikottuna ruuvisyöttöisissä uuneissa. Turpeen tuhkan sulaminen polttolaitteessa vaikeuttaa turpeen palamista.

2.1.3 Oljen saatavuus ja kulutus

Suomessa on saatavissa vuosittain olkea n. 2,3 milj.tonnia. Kaikkea olkea ei kuitenkaan kannata korjata talteen. Keskimääräinen olkisato hehtaarilta on koko maassa n. 1850 kg kuivaa (25 %) olkea. Paikallisesti olkisato voi kohota 2500...3000 kg/ha asti. Keskisato vastaa 23 m³/ha (tiheys 80 kg/m³) olkisatoa.

Hehtaarin jyväsadon kuivaamiseen tarvitaan n. 3,5 m³ eli 300 kg olkea. Yhden hehtaarin olkisadolla pystyttäisiin siten kuivaamaan n. 7 ha viljasato. Keskokokoisen tilan lämmitykseen tarvitaan 8...12 ha oljet. 30 ha viljelytilan lämmitykseen ja viljankuivaukseen tarvittava poltto-olki saataisiin siten 15...20 ha peltoalalta.

Suuren olkimäärän käsittely ja oljen tuhkan vaikea hallittavuus polton yhteydessä hankaloittavat ratkaisevasti oljen käyttöä viljankuivuriuunien polttoaineena. Tällä hetkellä ei markkinoilla ole oljelle soveltuvaa viljankuivuriunia.

2.2 Kotimaisten polttoaineiden koostumus ja ominaisuudet

Kiinteä polttoaine koostuu palavasta ja palamattomasta aineosasta. Palava osa muodostuu haihtuvista aineista sekä hiiltojäännöksestä. Haihtuvat aineet erkanevat polttoaineesta pyrolyysin eri vaiheissa ja ovat pääasiassa puuhappoja (etikkahappo, metanoli, asetoni), tärpättiä ja tervaa. Kotimaisissa polttoaineissa on paljon haihtuvia aineita, mikä tekee ne helposti syttyviksi ja ne palavat pitkällä liekillä.

Tuhka ja vesi muodostavat palamattoman osan kiinteissä polttoaineissa. Uunin arinarakenteeseen vaikuttavat erityisesti tuhkan määrä ja koostumus.

Kotimaisen polttoaineen tuhka soveltuu hyvin lannoitteeksi pelloille ja metsiin. Se sisältää tärkeimpiä lannoiteaineita (kalium, fosfori, magnesium) melko runsaasti, vain typpi puuttuu.

Tuhkan ominaisuuksista ovat tärkeimmät sen pehmenemispiste, syövyttävyyys ja sulan tuhkan juoksevuus. Taulukkoon 1 on kerätty keskimääräisiä arvoja tuhkan sulamiskäyttäytymisestä.

| | Koivu °C | Kuusi °C | Mänty °C | Olki °C | Turve °C |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| Sintraantumisen alkaa | 935 | 1020 | 1010 | | |
| Pehmenemispiste | 1180 | 1250 | 1240 | 750-850 | 1150 |
| Puolipallopiste | 1440 | 1400 | 1385 | 1000-1150 | |
| Sulapiste | 1460 | 1420 | 1400 | 1200-1300 | 1250 |

Taulukko 1. Puun, oljen ja turpeen tuhkan sulamiskäyttäytyminen /4/, /5/, /6/

Tuhka tarttuu helposti kylmiin pintoihin, kun sen lämpötila on lähellä pehmenemispistettä. Tuhkan lämpötilan pitäisikin pysyä alle pehmenemispisteen, jolloin tuhka ei tartu lämpöpintoihin ja se pysyy hienojakoisena.

Tuhka on emäksistä. Siten se on syövyttävää ja mikäli kaaliumpitoisuus on korkea, saattavat myös tulipesän muuraukset syöpyä.

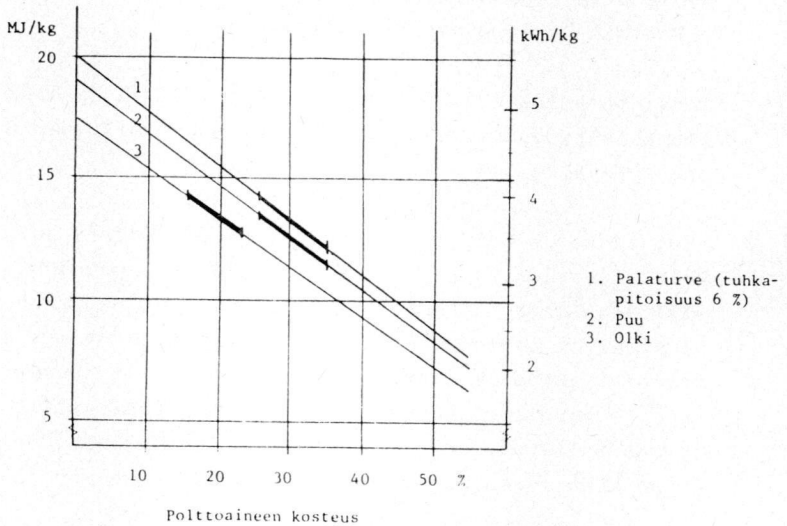
Puun tuhka on helppo hallita sen pienen määrän ja hienojakoisuuden vuoksi. Rakoarinalla se varisee tiheänkin arinan lävitse. Turpeen ja oljen tuhkan määrä on paljon suurempi ja alhaisen pehmenemispisteen vuoksi niiden tuhka sulaa helposti arinalle tukkien arinan raot. Täten turpeelle ja oljelle suunniteltavissa uuneissa on kiinnitettävä huomiota arinan toimivuuteen ja tuhkatilan riittävään kokoon. Oljella on aina varauduttava osittain sulaneeseen tuhkaan.

2.3 Kotimaisten polttoaineiden lämpöarvo

Vertailtaessa kiinteitä polttoaineita on tärkeimpänä ominaisuutena polttoaineen tehollinen lämpöarvo. Tämän ohella kiinteän polttoaineen käytettävyyteen vaikuttavat polttoaineen kosteus, haihtuvien aineiden määrä, tuhkapitoisuus ja tuhkan ominaisuudet, tasalaatuisuus sekä tiheys.

Kiinteiden polttoaineiden sisältämä kosteus laskee lämpöarvoa ja palamishyötysuhdetta. Mitä suurempi on kosteus, sitä suurempi osa palamisessa syntyvästä lämmöstä kuluu polttoaineen sisältämän veden höyrystämiseen. Tämä alentaa tulipesän lämpötilaa, mikä aiheuttaa haihtuvien aineiden epätavallisen palamisen ja hyötysuhteen alenemisen. Polttoaineen sisältämä kosteus kasvattaa myös savukaasumääriä, mikä on otettava huomioon savukanavia ja savupiippua mitoittaessa.

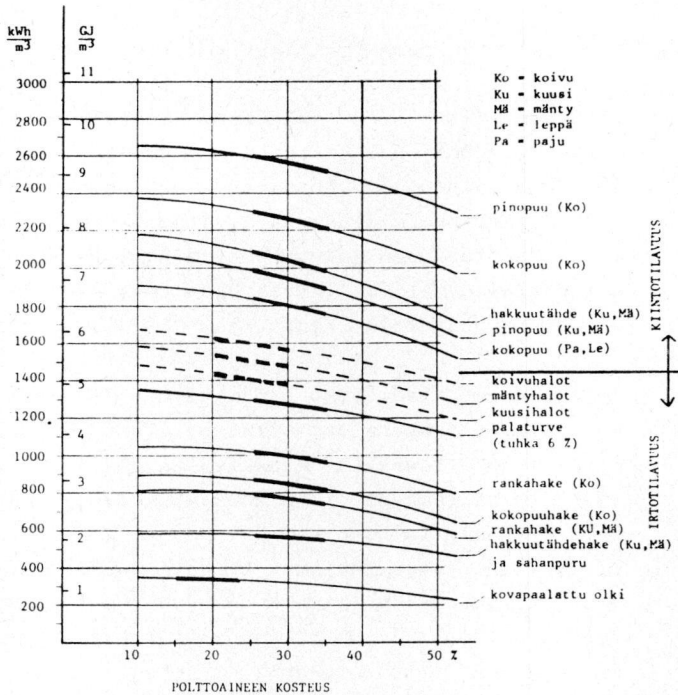
Kuvassa 1 on esitetty kosteuden vaikutus lämpöarvoon puulla, palaturpeella (tuhkapitoisuus 6 %) ja oljella.



Kuva 1. Puun, turpeen ja oljen teholliset lämpöarvot painoyksikköä kohti kosteudesta riippuvana. Polton kannalta suositellut kosteudet merkitty paksummalla viivalla /1/.

Kuvan 1 antamat teholliset lämpöarvot ovat keskimääräisiä arvoja. Turpeen lämpöarvo vaihtelee maatumisasteen mukaan, mistä johtuen todellinen lämpöarvo saattaa poiketa kuvan arvosta jopa 20 %.

Käytännössä on usein tärkeämpää tietää polttoaineen lämpöarvo tilavuusyksikköä kohden. Kuvassa 2 on esitetty teholliset lämpöarvot kiinto- ja irtotilavuusyksikköä kohden kosteudesta riippuen.



Kuva 2. Eri polttoaineiden lämpöarvot tilavuusyksikköä kohden kosteudesta riippuen. Polton kannalta suositellut kosteudet merkitty paksummalla viivalla /9/.

Tilavuusyksikköä kohden lasketuissa lämpöarvoissa on hajontaa, joka aiheutuu eroista raaka-aineen tilavuusyksikön painossa ja tuhkapitoisuudessa. Etenkin hakkeella irtokuution lämpöarvo riippuu hakkurin ominaisuuksista. Kun polton hyötysuhde otetaan huomioon, merkitsee alhainen lämpöarvo sitä, että lämmittämisen yhteydessä joudutaan käsittelemään tilavuudeltaan suurempia määriä polttoainetta. Tämä merkitsee samalla suurempaa polttoainevarastoa ja työmäärää.

2.4 Kiinteän polttoaineen palaminen

Kiinteän polttoaineen palamisprosessissa voidaan erottaa kolme vaihetta; polttoaineen kuivuminen, kaasumaisten aineiden haihtuminen ja haihtuvien aineiden sekä hiilen palaminen. Palamisprosessissa nämä vaiheet tapahtuvat päällekkäin. Polttoaineen kuivuminen ja kaasumaisten aineiden haihtuminen vaativat lämpöä, kun taas kaasujen ja hiilen palaminen ovat voimakkaasti lämpöä luovuttavaa.

Polttoaineen sisältämät palamattomat aineet ovat epäedullisia palamisen kannalta, sillä ne alentavat polttoaineen lämpöarvoa sekä lisäävät savukaasujen määrää. Toisaalta polttoaineen sisältämä happi on eduksi, koska se vähentää uunille tuotavaa palamisilman määrää. Suuren happipitoisuuden vuoksi polttoaineessa tapahtuu hidasta palamista ilman ulkopuolista ilmaa. Hyötynä tästä on hyvä uudelleensyttyminen pitkänkin seisontajakson jälkeen. Haitaksi kyteminen on silloin kun lämmöntuotantoa ei tarvita esim. kuivauksessa jäähdytysjakson aikana. On huomattava, että kytemisen ansiosta myös seisontajakson aikana kuluu polttoainetta, mikä vähentää polttoaineesta hyödyksi saatavaa lämpöä.

Polttoaineen lämpösisällöstä menee osa hukkaan palamisessa erilaisten häviöiden muodossa. Häviöitä syntyy siten, että

- savukaasut kuljettavat mukanaan lämpöä, ns. vapaarämpönä
- osa kaasuista jää palamatta, ns. palamaton polttoainehäviö. Tällöin muodostuu myös lentonokea.
- tuhkan ja kuonan joukkoon jää palamatonta polttoainetta ja hiiltä.
- lämpöä säteilee ja johtuu lämmityslaitteesta tiloihin, joissa sitä ei tarvita.

Häviöistä, joihin itse käyttäjä voi vaikuttaa, merkittävimmät ovat savukaasuhäviöt vapaan lämmön ja palamattoman polttoaineen muodossa.

Vapaan lämmön häviöt ovat sitä suuremmat mitä suurempi on polton yli-ilmamäärä ja mitä korkeampi on savukaasujen lämpötila. Ilmaylimäärä todetaan mittaamalla savukaasujen hiilidioksidipitoisuus (CO_2). Hyvässä poltossa kiinteille polttoaineille se on n. 15 %.

Palamaton häviö muodostuu epätäydellisessä palamisessa, kun poltossa ei ole riittävästi ilmaa tai ilma ei sekoitu täydellisesti palaviin kaasuihin. Hyvässä poltossa häkäpitoisuuden (CO) pitäisi olla lähes nolla. Palamaton polttoaine nostaa häviöitä herkemmin kuin CO_2 -pitoisuuden muutos. Mikäli palamista ei saada tasaiseksi muilla keinoin, voidaan käyttää lievää ilmaylimäärää poistamaan palamaton osa savukaasuista.

Käytännössä on usein vaikea määrittää savukaasuhäviöitä ilman savukaasujen CO - ja CO_2 -pitoisuuksien sekä savukaasujen lämpötilan mittauksia. Oikean ilmamäärän hakeminen voidaan suorittaa kokeilemalla ja tarkkailemalla liekin väriä ja savukaasujen vaaleutta. Liekin pitäisi olla puupoltossa kellertävä. Sinertävä liekki on merkinä yli-ilmasta ja tumma nokinen liekki taas ali-ilmasta tai palamisilman huonosta sekoittumisesta. Savukaasujen pitäisi olla vaaleita, lähes värittömiä. Musta savukaasu on merkinä epätäydellisestä palamisesta.

Kotimaisilla polttoaineissa savukaasujen kastepiste (lämpötila, jossa vesihöyry savukaasuisissa tiivistyy vedeksi) on yleensä alle $60\text{ }^\circ\text{C}$. Nykyisten paloluokitusmääräysten mukaan savukaasujen lämpötila mitattuna hormiliitännästä välittömästi uunin jälkeen ei saa laskea $40\text{ }^\circ\text{C}$ kuivausilman lämpötilan nousulla ja 60 mmvp kuivausilman vastapaineella alle $170\text{ }^\circ\text{C}$.

Kotimainen polttoaine palaa pitkällä liekillä ja vaatii laajan palotilan. Kuivattaessa kuivuriuunilla täydellä teholla niinkuin kuivauksessa yleensä tehdään, kuivausilman lämmön nousu n. 60 °C, nousee savukaasujen lämpötila helposti yli sallitun 350 °C ylärajan aiheuttaen uunin ylikuormituksen ja samalla paloturvallisuusriskin.

Koska savukaasujen korkea lämpötila merkittävästi lisää palamishäviöitä, tulisi kotimaista polttoainetta käytettävissä uuneissa sallia alempi savukaasujen loppulämpötila. Edellämainittu 170 °C alaraja tulisi laskea 120 °C:een.

3. VILJANKUIVAUKSEN TEORIAA

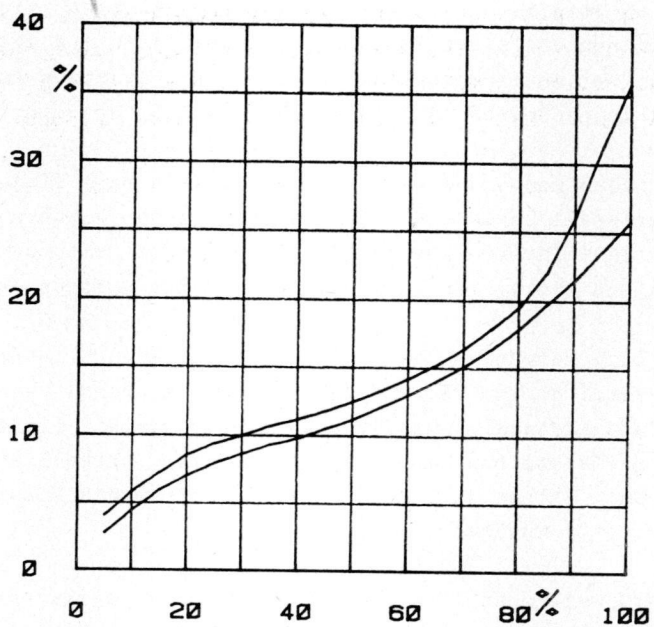
Puitu kostea vilja ei säily sellaisenaan, vaan se alkaa lämmentä ja pilaantua. Käsittelemättömän kostean viljan pilaantuminen voi alkaa jo muutaman tunnin kuluttua puinnista. Säilymisen varmistamiseksi vilja on kuivattava tai estettävä lämpeneminen ja pilaantuminen muilla keinoin.

Kuivaaminen on meillä Suomessa yleisin tapa viljan käsittelemiseksi ennen sen varastointia. Viljan kosteus puintihetkellä vaihtelee 20...40 %:iin sääoloista riippuen. Pitkäaikaisen säilymisen kannalta turvallinen kosteus on 14 %.

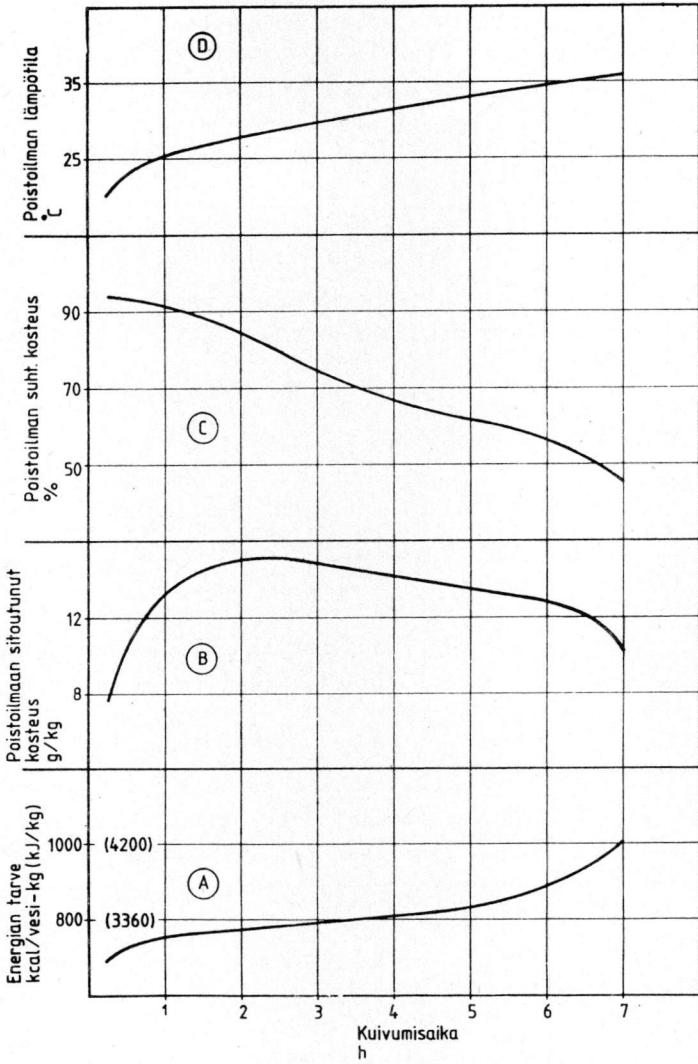
Viljan kuivuminen on jyvissä olevan veden haihtumista. Kun jyvissä olevan veden höyrynpaine on suurempi kuin ympäröivässä ilmassa olevan, vettä siirtyy jyvistä ilmaan. Tasapainoasema riippuu lämpötilasta ja ilman suhteellisesta kosteudesta. Viljan ja ilman kosteuden riippuvuus toisistaan on esitetty kuvassa 3 /7/.

Mitä kuivempaa ilma on, sitä enemmän se pystyy sitomaan kosteutta jyvistä. Lämmittämällä ilman suhteellinen kosteus alenee, joten sen vedensitomiskyky kasvaa. Jyvän pinnan kuitupitoiset kerrokset sitovat ja luovuttavat kosteutta helposti. Ydintä ympäröivä aleuronikerros on huonosti läpäisevää, niin että ytimen kosteus kulkee alkion kautta. Jos pinta kuivataan liian nopeasti, jyvän kuivuminen hidastuu, koska kosteuden siirtyminen jyvien sisältä pintaan ei ehdi tapahtua.

Melko yleinen viljan ylikuivaaminen lisää tuntuvasti energiankulutusta. Kuvassa 4 on esitetty energiantarve kuivauskokeen aikana. Siitä huomataan kuinka se kuivauksen alussa on melkoisesti vähäisempää kuin lopussa, jolloin viljan kosteus on jo n. 14 %. Samasta kuvasta nähdään poistoilmaan sitoutunut kosteus kuivauksen aikana sekä poistoilman suhteellinen kosteus ja lämpötila /8/.



Kuva 3. Viljan ja ilman välinen kosteustasapaino n. 20°C lämpötilassa, Maltry /7/.



Kuva 4. Energiantarve viljankulvauksen eri vaiheissa.

Viljan kuivumista voidaan nopeuttaa nostamalla kuivausilman lämpötilaa. Viljan lämpösiedolla on kuitenkin rajansa, mitä kosteampaa, sen alhaisempi sieto. Ohjeellisena arvona kuivausilman lämpötilalle voidaan pitää lukua, joka saadaan kun 90:stä vähennetään viljan kosteusprosentti.

Lämpötilan vaikutuksen johdosta kuuman viljan jäädyttäminen on oleellinen osa kuivausta. Jyvän kosteuden alentaminen 14 %:ksi ja jäädyttäminen saattavat jyvän lepotilaan, jossa elintoiminnot ovat niin hitaita, että vilja kestää varastoinnin.

Iljankuivausmenetelmät

Viljankuivurit voidaan ryhmitellä kuivausilman lämpötilan, viljan kulun tai yleisrakenteen perusteella.

Lämmönkäyttötavan perusteella on lämminilma-, kylmäilma- ja alipaine eli tyhjiökuivureita. Nimitykset eivät ole yksiselitteisiä, sillä kylmäilma- eli varastokuivurissa voidaan käyttää lisälämpöä.

Viljan kulun perusteella tunnetaan kaksi ryhmää: eräkuivurit ja jatkuvatoimiset. Eräkuivurissa viljaerä kuivauksen ajan on joko paikallaan tai liikkeessä. Oleellista on, että kuivuri täytetään, vilja kuivataan ja jäädytetään sekä lopuksi tyhjennetään. Jatkuvatoimisessa kuivurissa vilja kuivuu ja jäähtyy yhdellä ajokerralla, joten kuivuriin voidaan syöttää jatkuvasti uutta viljaa.

Yleisrakenteen perusteella kuivurit jaotellaan seuraavasti:

Varastokuivurit

- tasosiilo
- pystysiilo

Säkkikuivurit

- säkkilavakuivuri
- säkkiputkikuivuri

Kaappikuivurit

- Verkkolavakuivurit
- Rumpukuivurit
- Hihnakuivurit
- Leijukuivurit

Siilokuivurit

- verkkosiilokuivuri
- ilmakanavakuivuri
- tyhjiökuivuri

3.2 Lämminilmakuivaus ja kotimainen polttoaine

Lämminilmakuivauksessa kuivausilman lämpötila on nostettu 60...80 °C:een. Ilma lämmitetään ilmalämmitysuunissa, jossa nykyisin käytetään polttoaineena lähes yksinomaan kevyttä polttoöljyä. Ilmalämmitysuunissa on kuivausilmapuhallin paloturvallisuussyistä sijoitettava ennen uunia. Tällöin kuivausilmapuolella on ylipaine uunin savukaasupuoleen nähden, mikä materiaalin rikkoutuessa estää kipinöiden pääsyn kuivausilmaan ja sitä kautta kuivuriin. Ilman lämmitykseen voidaan käyttää myös vesiradiaattoria ja siihen kytkettyä vesilämmityskattilaa. Tällöin kuivuri voi olla alipaineinen ja imuri voi sijaita kuivurin jäljessä.

Lämminilmakuivuri on tyypiltään joko verkkopohjainen lavakuivuri tai siilokuivuri. Viljaerän kuivausaika riippuu kuivaus- tarpeesta ja ulkoilman lämpötilasta sekä kosteudesta. Kuivausaika on normaalisti n. 8 h. Kuivauksen päätyttyä aloitetaan viljan jäähtytys ja sen jälkeen erän purku ja uuden erän täyttö. Lämmöntarve on siis jaksottaista. Kotimaista polttoainetta käyttävät uunit soveltuvat kohtalaisen hyvin myös jaksottaiseen käyttöön.

Aloitettaessa viljan jäähditys kotimaista polttoainetta käyttävässä kuivurissa kuivausilman lämpötila laskee hitaammin kuin öljyä käyttävässä, koska hiillos tulipesässä jäähtyy hitaasti, vaikka palamisilmaluukut suljetaan. Uuni tuottaa lämpöä jonkinverran koko jäähdytysjakson aikana nostaen kuivausilman lämpötilaa muutamalla asteella. Tämä ei sanottavasti vaikuta viljan jäähdytysjakson pituuteen. Aloitettaessa uuden erän kuivaus uuni käynnistyy nopeasti ja normaali kuivausilman lämpötila saavutetaan 10...20 minuutin kuluessa.

3.3 Lämmöntarve viljankuivauksessa

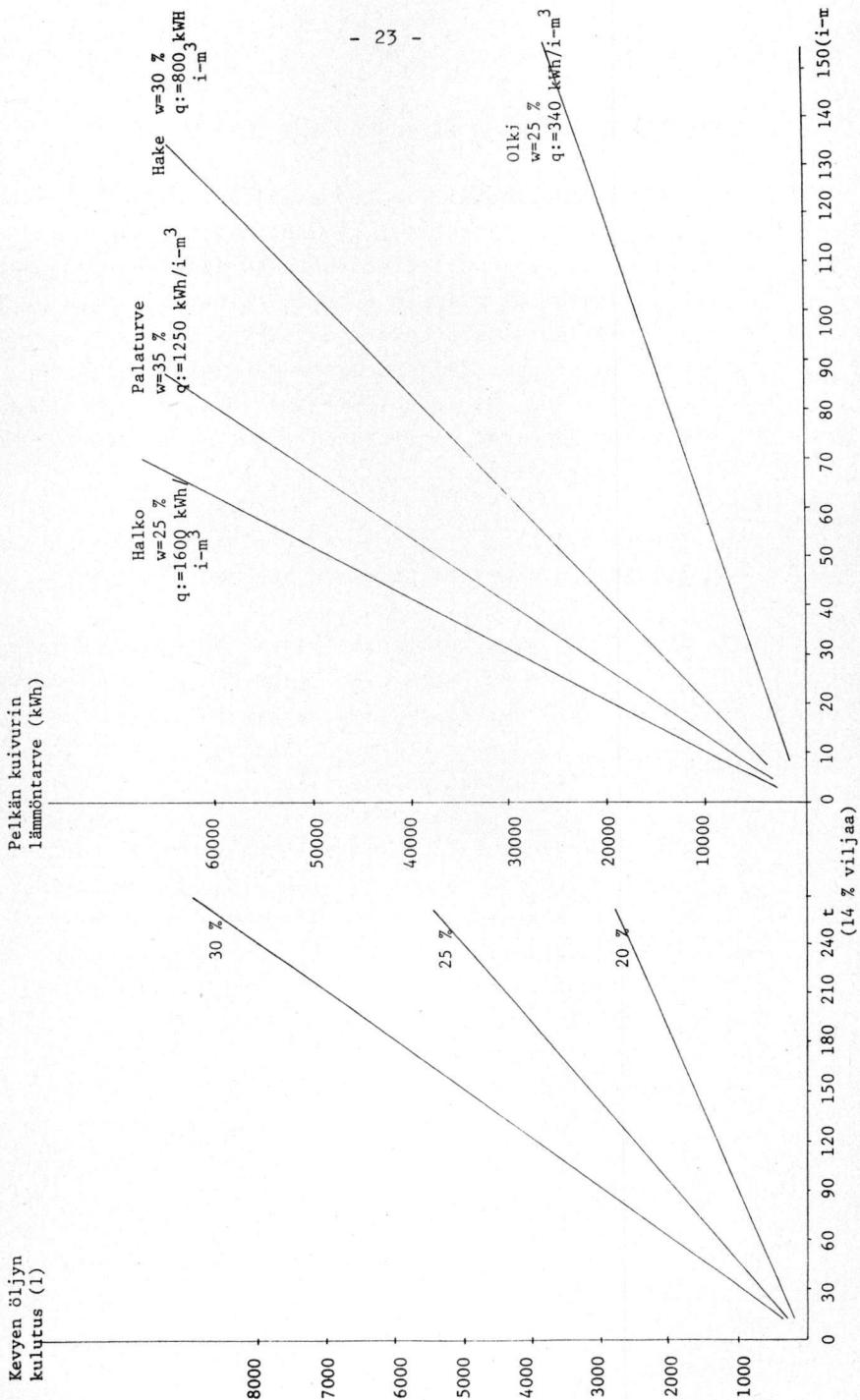
Viljankuivauksessa lämpöä kuluu veden haihduttamiseen sekä kuivuri- ja uunihäviöihin. Karkeasti polttoaineena tuodusta lämmöstä 20 % kuluu uunihäviöihin, 20 % kuivurin häviöihin ja loput 60 % poistuu kuivurin poistoilman mukana ilman sisältämänä lämpönä ja ilmaan sitoutuneen veden höyrystämislämpönä.

Kuvaan 5 on piirretty lämminilmakuivurin energiantarve kuivaustarpeesta riippuen. Keskellä pystyakselilla on kuivaajan lämmöntarve (1 kWh/kg haihdutettua vettä). Samasta kuvasta nähdään polttoaineen tarve, kun lämmityksen hyötysuhteena on

| | | |
|---|-----------------------|-----|
| - | öljyllä | 0,7 |
| - | haloilla ja hakkeella | 0,6 |
| - | palaturpeella | 0,6 |
| - | oljella | 0,5 |

Kun tunnetaan kuivurin öljynkulutus aikaisemmilta vuosilta, voidaan kuvan 5 mukaan arvioida tarvittava kotimaisen polttoaineen määrä. Korvattaessa 1 m³ kevyttä polttoöljyä tarvitaan samansuuruisen viljaerän kuivaamiseen 7 i-m³ halkoja 9 i-m³ palaturvetta, 12 i-m³ haketta ja n. 40 m³ olkea, joka vastaa n. 280 olkipaalia.

Kuva 5. Eri polttoaineiden kulutus viljan kuivaustarpeesta riippuen (viljan loppukosteus 14 %)



4. LÄMMINILMAKUIVAUKSEN LÄMMÖNLÄHTEET

Kotimaisia kiinteitä polttoaineita - puuta, turvetta ja olkea voidaan käyttää eri tavoin. Käyttötavan valinta vaikuttaa polton taloudellisuuteen sekä lämmitystyön määrään. Käyttötavoissa voidaan erottaa kolme erilaista periaateratkaisua. Tulisijaratkaisut ovat ryhmiteltävissä ylä-, alaja käänteispaloperiaatteiksi. Merkittävin ero tapojen kesken on siinä, mihin palamisilma johdetaan ja siinä, tapahtuu haihtuvien aineiden palaminen polttoainekerroksen päällä, sivulla vai alla.

Kotimaisella polttoaineella toimivien kuivuriuunien suunnittelussa on otettava huomioon seuraavat asiat:

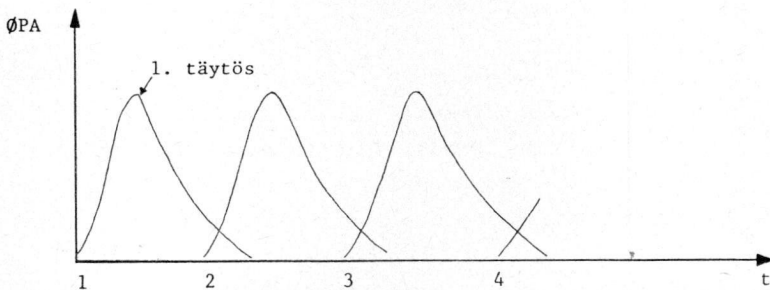
- Uuni ja siihen liittyvät laitteet ja rakenteet eivät saa olla oleellisesti nykyisiä lämmityslaitteita kalliimpia, koska pääomakustannukset lyhyen vuotuisen käyttöajan takia vaikuttavat voimakkaasti kuivauskustannuksiin.
- Unin tulee olla helppohoitoinen: Polttoaineen täyttö tapahtuu automaattisesti tai käsin, jolloin kerralla täytettävän määrän tulee riittää vähintään 3 tunnin ajaksi. Tuhkanpoisto suoritetaan käsin. Turpeelle ja oljelle voidaan suuren tuhkapitoisuuden takia joutua käyttämään automaattista tuhkanpoistoa. Nuohous täytyy olla helposti suoritettavissa. Täyttö- ja puhdistusluukkujen sijoituksessa on otettava huomioon työasennot ja työtilat.
- Toimintavarmuus: Unin tulee olla tunteeton normaalille polttoaineen laadulle (palakoko, kosteus, tuhkapitoisuus). Luukkujen ja saumojen oltava tiiviitä.

- Turvallisuus: Toiminta on oltava varma kaikissa oloissa, myös jäähtytyksen ja sähkökatkon aikana.
- Paloviranomaisten määräykset: Palosulkulaite kuivausilmakanavaan, palonesto polttoainesiloon, savukanavamääräykset, uunihuoneesta ja polttoainetarastosta annetut määräykset.
- Kuivurin automatisoinnin tulee vastata öljykäyttöisen kuivurin toimintaa.

4.1 Yläpaloinen uuni

Yläpaloinen uuni on rakenteeltaan yksinkertainen ja se on aiemmin ollut lähes ainoa kuivuruunityyppi. Kuivurinvalmistajat valmistavat sitä vieläkin puun polttoon.

Yläpaloisen uunin lämmöntuotanto ei ole tasaista johtuen polttoaineen jaksottaisesta syötöstä. Jotta lämmöntuotanto olisi tasaista, pitäisi polttoainetta lisätä hyvin tasaisesti. Tästä aiheutuisi kohtuuttomasti lämmitystyötä. Kuvassa 6 on kaaviomaisesti esitetty polttoaineen luovuttama lämpöteho täytöksittäin.



Kuva 6. Polttoaineteho yläpalouunissa.

Kuvasta havaitaan, että täytös ensin kuivuu, jonka jälkeen polttoaineesta alkaa vapautua nopeasti lämpöä kunnes täytös on palanut. Koska teho vaihtelee täytöksen aikana, on lämmönsiirtopintojen mitoittaminen ja palamisilman oikea jako ensiö- ja toisioilmaiksi vaikeaa. Tehon vaihtelua voidaan pienentää ja lämmitystyötä vähentää varustamalla yläpaloinen uuni automaattisyydöllä ja polttimella. Yläpaloperiaatetta voidaan soveltaa kuivuruuneihin myös yhdistämällä uunin etupesä.

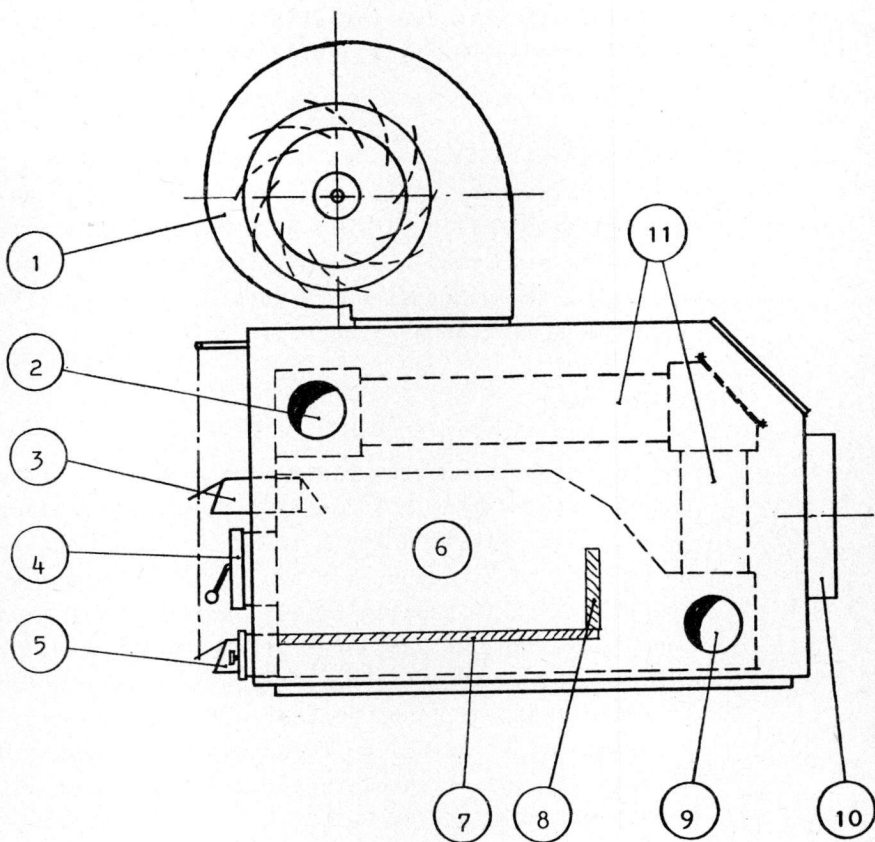
Tutkimuksen yhteydessä suoritettiin kahden yläpaloisen halkouunin paloluokitustarkastus. Tarkastuksessa olivat 110 kW ja 160 kW tehoiset Antti halkouunit.

Antti 110 kW halkouuni voidaan muuttaa Antti 160 kW halkouuniksi vaihtamalla suurempi puhallin ja sähkökeskus sekä lisäämällä savukaasuimuri ja turbulenssielimet (savujarrut) lämpöelementteihin. Antti 110 halkouuni toimii luonnonvedolla, jolloin savupiipun pituuden tulee olla vähintään 6 m.

Kokeissa Antti 110 halkouunin suurin teho oli 118 kW. Savukaasujen ylin lämpötila suurimmalla sallitulla kuormituksella oli 295 °C, ulkoilman lämpötilan ollessa 17 °C. Kuivausilman lämpötila oli 77 °C ympäristön lämpötilan ollessa 17 °C. Savupiipun mitattu veto oli tällöin n. 2,5 mmvp.

Antti 160 halkouunin suurin teho oli 174 kW. Savukaasujen ylin lämpötila suurimmalla sallitulla kuormituksella oli 325 °C, ulkoilman lämpötilan ollessa 17 °C. Kuivausilman lämpötila oli 80 °C ympäristön lämpötilan ollessa 20 °C. Savupiipun mitattu veto oli tällöin n. 14 mmvp.

Uuneissa oli lämpötilan rajoitin, joka pysäytti kuivausilmapuhaltimen lämpötilan noustessa 94 °C:een. Uunissa lämmentynyt ilma ohjautui tällöin ohivirtaushormin kautta ulos. Samalla sulkeutui myös vetoluukku.



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

Kuva 7. Antti 110 halkouuni

Polttoainetäydennys suoritettiin 4...6 kertaa tunnissa, joten käsitäyttöisenä tällaiset uunit vaativat jatkuvan lämmitystyön.

Sähkökatkoksen sattuessa tai kuivausilmapuhaltimen muutoin pysähtyessä kesken lämmityksen, voidaan yläpaloinen uuni sammuttaa heittämällä hiekkaa polttoainetäytöksen päälle. Ellei tulta sammuteta on uunin ylikuumeneminen todennäköistä silloin, kun polttoainetäytöksen palaminen on tehokkaimmillaan sähkökatkoksen sattuessa.

4.2 Alapaloinen uuni

Alapaloinen uuni soveltuu yläpaloista paremmin viljankuivaukseen, koska siinä polttoaineen täyttövälit saadaan 2...4 tunnin mittaisiksi, jolloin lämmitystyö on vähäisempää. Teho on myös tasaisempaa, jolloin liian kuuma tai kylmä kuivausilma ei ole samalla lailla vaarana kuin yläpaloisilla uuneilla. Sähkökatkosten ja viljan jäähtyksen takia uunin on oltava varmatoiminen. Arinalla olevan polttoaineen määrä on melkoinen, josta johtuu, että palaminen on hallittava varmasti. Palamisilman vuodot voivat helposti kuumentaa uunia liiaksi. Kiinteän polttoaineen kuivuriuunit on palomääräysten mukaan varustettava kuivausilman ohivirtaus-hormilla. Kun kuivausilmapuhallin pysähtyy hormi avautuu ja ilmaa pääsee virtaamaan lämmönvaihtimen läpi ulkoilmaan jäähdyttäen lämmönvaihdinta. Uunin rakenteessa varastopesär ja tulipesän rakenteet on huolella suunniteltava, koska näiden lämpörasitukset ovat suuret.

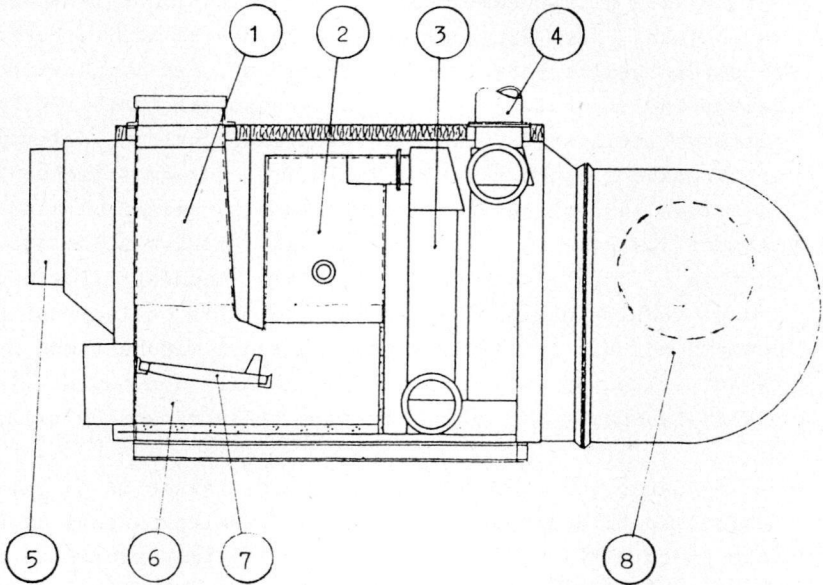
Lämmitystyö jää melko vähäiseksi, jos varastopesä varustetaan automaattisella polttoaineen täyttölaitteella. Täyttölaitteeksi soveltuu hakkeelle ja purulle ruuvisyötin, palaturpeelle kola- tai mäntäsyötin. Haloilla syöttölaitteita ei käytetä, vaan varastopesä on mitoitettava tarvittavan paloajan mukaan.

Tutkimuksen aikana rakennettiin ja koeajettiin Halko-Jaakko kuivuriuuni, kuva 8. Uuni on alapaloinen haloille, hakkeelle ja palaturpeelle tarkoitettu kuivuriuuni. Sen lämmönvaihdin ja Jaakko 180 öljykuivuriuunista ja varastopesä Jaakko 70 keskuslämmityskattilasta. Uunissa on savukaasuimuri ja lentotuhkan erotinsykloni, joka toimii samalla kipinänsamuttimena. Kuivausilman lämpötilarajoitin on yhdistetty palamisilmaluukun magneettikytkimeen, joka sulkee luukun, mikäli säädetty kuivausilman lämpötilan yläraja ylitetään. Magneettikytkin avaa luukun uudelleen kun kuivausilman lämpötila on laskenut säädettyyn käynnistymislämpötilaan. Kuivausilmapuhaltimen pysähtyessä sulkeutuu kuivausilmahormi. Samalla avautuu hormin päällä luukku, josta kuuma ilma johdetaan vapaaseen tilaan.

Halko-Jaakko uuni koeajettiin haloilla, hakkeella ja palaturpeella. Koetulokset ovat taulukossa 2. Halkokokeissa käytettiin 45 cm mittaisia halkoja, jotka halottiin pyöreästä neljään osaan. Halkojen paino vaihteli 0,5...1,5 kg välillä keskipainon ollessa n. 1,0 kg. Varastopesään mahtui polttoainetta 70...80 kg, joka vastaa n. 1,5 h paloaikaa.

Hakekokeissa käytettiin koivuhaloista tehtyä haketta. Hakkeen palakoko 20...40 mm ja tilavuuspaino 230 kg/m³. Varastopesään mahtui haketta n. 60 kg, joka vastaa 55 minuutin paloaikaa.

Palaturvekokeissa käytettiin palaturvetta, jonka läpimitta oli 60 mm ja pituus 100...200 mm. Tilavuuspaino oli n. 270 kg/m³. Turvetta mahtui varastopesään n. 70 kg, joka vastaa 1,2 h paloaikaa.



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

Kuva 8. Halko-Jaakko kuivuriuunin halkileikkaus

| Polttoaine | | Koivuhalko | Koivuhake | Palaturve |
|---|-------------------|-------------------|-----------|-----------|
| Keskimäärin saavutettu teho | kW | 158 | 177 | 183 |
| Tehoa vastaava kuivausilman lämmönnousu | °C | 54,5 | 61 | 63 |
| Kuivausilman tilavuusvirtaus 60 mmvp vastapaineella | m ³ /h | 10350 | 10350 | 10350 |
| Vastaava kuivausilman massavirtaus | kg/s | 2,9 | 2,9 | 2,9 |
| Polttoaineen kulutus keskimäärin saavutetulla teholla | kg/h | 54 | 66,8 | 53,5 |
| Polttoaineen kosteus | % | 16,3 | 26,9 | 16,0 |
| Polttoaineen tehollinen lämpöarvo | MJ/kg | 15,7 | 13,4 | 17,0 |
| Savukaasujen lämpötila | °C | 350 | 350 | 340 |
| Savupiipun veto kokeen aikana | Pa | 200 | 85 | 80 |
| Savukaasujen CO ₂ -pitoisuus | % | 11,5 | 16,4 | 16,1 |
| Savukaasujen CO-pitoisuus | % | 0,05 | 0,1 | 0,05 |
| Palamishyötysuhde | % | 76,5 | 82 | 82 |
| Kokonaishyötysuhde | % | 67 | 71 | 72 |
| Suurin saavutettu hetkellinen teho | kW | 185 | 220 | 209 |
| Kuivausilman lämmönnousu suurimmalla saavutetulla teholla | °C | 64 | 76 | 72 |
| Savukaasujen lämpötila suurimmalla saavutetulla teholla | °C | 410 | 395 | 390 |
| Tulipintojen korkein mitattu lämpötila | °C | 575 ¹⁾ | 595 | 610 |

1) Materiaali Corten A Tsall 650 °C.

Taulukko 2. Koetulokset Halko-Jaakko kuivuriuunilla.

Kokeissa uunin teho vaihteli 160...180 kW väliltä polttoaineen mukaan. Kokonaishyötysuhteet kokeissa olivat 67...72 %. Täyttää tehoa käytettäessä varastopesän polttoainemäärä riitti 1...1,5 h paloaikoihin. Lisäsäiliöllä päästäisiin 2...3 h paloaikoihin. Jos lämmitystyön halutaan olevan vähäistä, uunissa pitäisi olla automaattinen polttoaineen syöttö tai suurempi polttoainesäiliö.

Savukaasujen lämpötila oli keskimäärin 340...350 °C. Jaak 180 öljyuunin suurin teho on 193 kW, joten polttokammio täytyisi kotimaisia polttoaineita käytettäessä olla suurempi, jos halutaan päästä samaan tehoon kuin öljylämmityksessä.

Kuivausilman lämpötilat on esitetty kuvassa 9. Kuivausilman lämpötila nousi sytytettäessä 90 %:iin normaalista arvosta hakkeella 25 min, turpeella 32 min ja haloilla 40 min kuluttua. Jäähdytyksen jälkeen lämpötilat nousivat vastaavasti haloilla 7 min, turpeella 8 min ja hakkeella 13 min kuluttua.

Jäähdytyksessä ilmapuodot tulipesään ja polttoaineen hapestaa johtuva kyteminen aiheuttivat 5...9 °C jäähdytysilman lämpenemisen. Jäähdytysilma jäähdytti 90 %:iin loppuarvostaan haloilla ja hakkeella 13 min sekä palaturpeella 15 min kuluttua.

Sähkökatkoksessa lämpötila kuivausilmahormissa laski nopeasti katkoksen alettua. 25 min kuluttua kuivausilman lämpötila oli 30 °C ulkoilman lämpötilan ollessa 20 °C. Tulipintojen lämpötila laski heti sähkökatkoksen alettua. Kaikissa kokeissa varastopesän, tulipesän ja konvektiopintojen lämpötilat olivat sallitulla, alle 650 °C, alueella.

Öljuuneihin verrattuna hyötysuhteet olivat n. 10 %-yksikköä alhaisemmat ja lämpenemis- sekä jäähtymisajat hieman pitemmät. Ne eivät kuitenkaan huononna kuivattavan viljan laatua, eivätkä mainittavasti hidasta kuivaamista.

Kokeet osoittivat, että alapaloisia uuneja voidaan käyttää myös suoraan ilmalämmitykseen. Varmatoimisuuden ja paloturvallisuuden takaamiseksi uunien paloturvallisuustarkastuksia ja säännöksiä olisi täsmennettävä. Liitteessä 1 on tästä ehdotus.

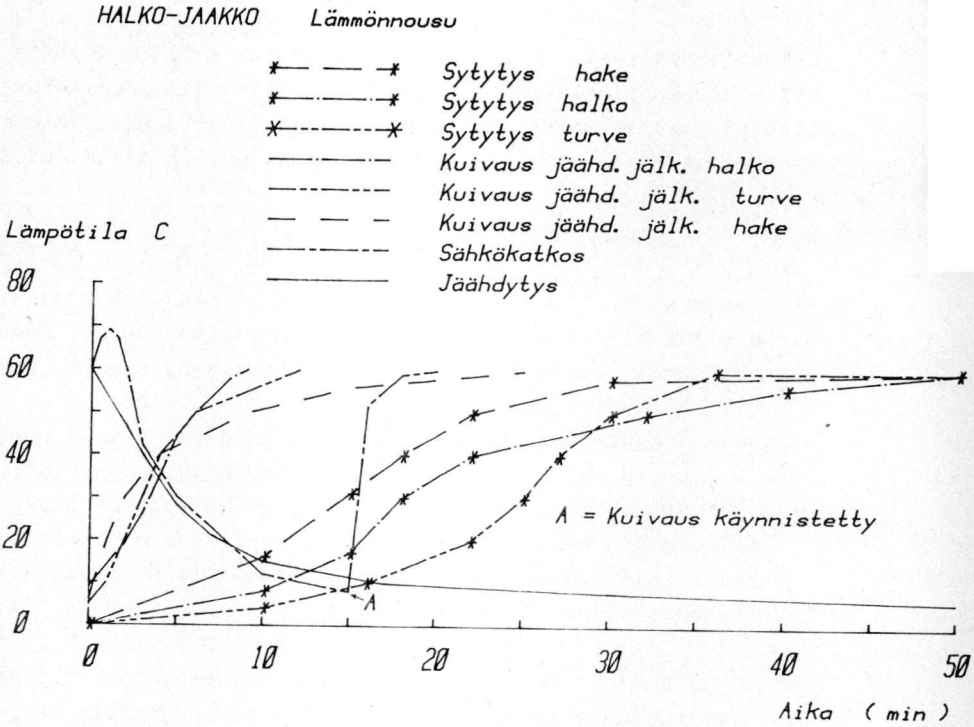
4.3 Etupesä

Maassamme on n. 50 000 öljylämmitteistä lämminilmakuivuria. Öljyuunissa ei voida polttaa kotimaisia polttoaineita. Sensijaan öljyuunit voidaan hyödyntää liittämällä niihin etupesä.

Etupesässä kotimainen polttoaine kaasutetaan ja kaasut poltetaan öljyuunin polttokammiossa. Jos öljyuunien polttokammiot ovat ylimitoitettuja tilavuudeltaan öljypoltossa, ne soveltuvat melko hyvin kaasujen polttoon. Saatava teho on usein samaa luokkaa kuin öljypoltossakin. Jos polttokammio on pieni, joudutaan tehosta hiukan tinkimään.

Polton hyötysuhde etupesä-öljyuuni yhdistelmässä jää öljypolton hyötysuhdetta alhaisemmaksi. Tämä johtuu etupesän vaipan aiheuttamasta lisähäviöstä ja ennenkaikkea käynnistymis- ja pysäytysjakson sekä seisonta-ajan aiheuttamista häviöistä.

Öljypoltossa käytetty lyhyt savupiippu ei riitä antamaan riittävä luonnonvetoa, vaan etupesän yhteydessä on käytettävä savukaasuimuria. Palamisilmapuhaltimen käyttö ilmalämmitysuunissa ei ole suotavaa palovaaran takia.



Kuva 9. Halko-Jaakko uunin lämpötiläkäyrät

Kuva 9. Halko-Jaakko kuivuriuunin kuivausilman lämpötiläkäyrät

Etupesän käyttö nykyisellään edellyttää tasalaatuista polttoainetta. Niihin soveltuu parhaiten hake. Myös pilke, palaturve ja puru soveltuvat polttoaineiksi. Hakkeen syöttö on helposti automatisoitavissa eikä lämmitystyö muodostu rasitukseksi.

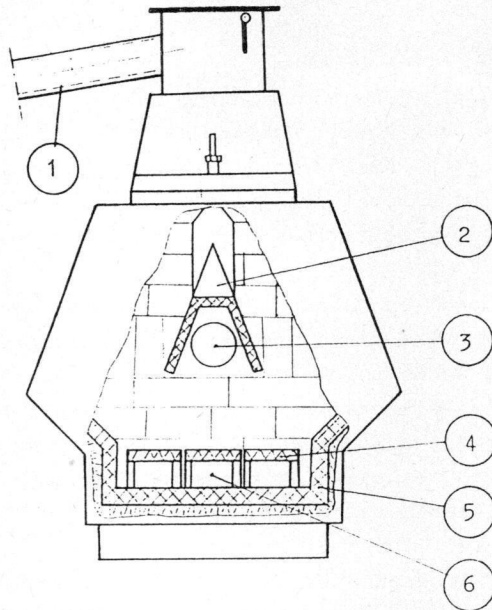
Etupesä on helposti uudelleensyttyvä, koska kuuma hilloso säilyy siinä kauan pysäyttämisen jälkeen. Tässä piilee myös vaara, koska polttoaineessa olevan hapen takia kehittyvä kaasua myös seisontajakson aikana. Seurauksena voi olla räjähdysvaara, jos tulipesään vuotaa ilmaa. Tästä johtuen kaikkien luukujen, etupesän ja varastosiloon sekä etupesän ja lieskapesän liitosten tulee olla tiiviit.

Tutkimuksen yhteydessä suoritettiin kokeita kuivuriuuniin yhdistettävällä tuliharjallisella ja tuliharjattomalla etupesällä. Kokeet olivat viljankuivausta kuvaavia laboratorio-kokeita.

4.3.1 Tuliharjallinen etupesä-kuivuriuuni

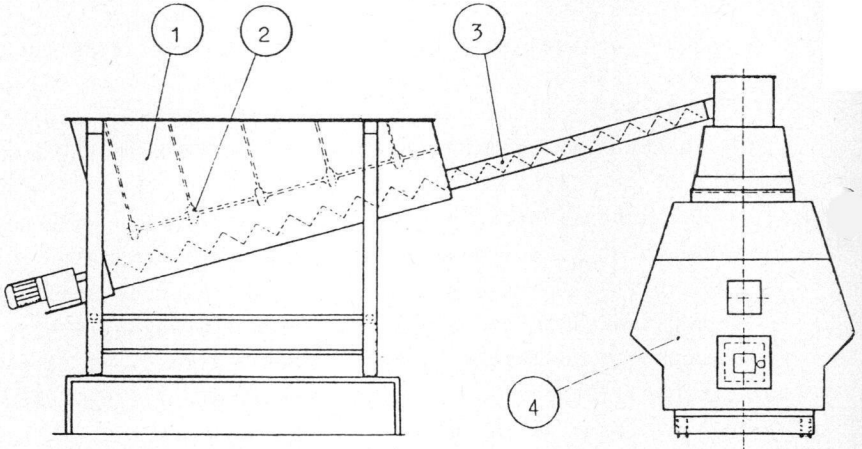
Antti etupesä-kuivuriuuni on yhdistelmä, jossa luokiteltuun Antti 230 öljyuuniin (nimellisteho 238 kW) on väliputkella yhdistetty kotimaista polttoainetta käyttävä etupesä syöttö- ja säätölaitteineen. Kuivuriuuni on tarkoitettu hakkeelle.

Varastosilosta ruuvi kuljettaa hakkeen etupesän yläosaan, jossa sulkulevyyn yhdistetty rajakytkin säätelee ruuvin käynnistystä. Sulkulevy toimii samalla palonsulkulaitteena. Syöttöputkessa on etupesästä n. 0,5 m etäisyydellä yhde, joka on letkulla yhdistetty yläpuolella olevaan n. 60 litran vesisäiliöön. Yhteessä on mehiläisvahatulppa. Jos syöttöputkessa oleva hake palaa, sulaa vahatulppa ja vesisäiliö tyhjenee syöttöputkeen, estäen palon leviämisen varastosiloon.



Kuva 10. Antti etupesä hakelämmitystä varten

- | | |
|-----------------------|--------------|
| 1. Hakkeensyöttöputki | 4. Arina |
| 2. Hakkeenjakaja | 5. Muuraus |
| 3. Tuliputki | 6. Tuhkatila |



Kuva 11. Antti etupesä syöttölaitteineen

- | | |
|-------------------|----------------|
| 1. Hakesiilo | 3. Syöttöruuvi |
| 2. Pöyhintälaitte | 4. Etupesä |

Etupesä on varustettu arinalla ja tarvittavilla tuhka- ja palamisilmaluukuilla. Magneettikytkin avaa palamisilmaluukut käynnistettäessä uuni. Tuhkaluukku on kiinniasentoon salvattava ja voidaan pitää kiinni uunia käytettäessä.

Uuni on varustettu räjähdysluukulla, joka avautuu paineiskun sattuessa. Luukku on uunin päällä palotilan takaosan kohdalla. Uunissa on savukaasuimuri.

Koetulokset ovat taulukossa 3 ja kuivausilman lämpötiläkäyrät kuvassa 12.

Kokeissa saatiin keskimääräiseksi tehoksi 183 kW savukaasujen lämpötilan ollessa 325 °C. Kokonaishyötysuhde oli 75 %. Polttoaineen kosteudella on huomattava merkitys saavutettavaan tehoon, sillä lämmitettäessä 5 % testipolttoainetta kuivemmalla hakkeella (testipolttoaine 28 %) saatiin suurimmaksi tehoksi 238 kW.

Kuivauslämpötila nousi sytytyksessä 90 %:iin loppuarvostaan 22 min kuluttua. Jäähdytyksen jälkeen lämpötila nousi 6 min kuluttua 90 %:iin. Jäähdytyksessä kuivauslämpötila laski 90 % 8 min aikana. Sähkökatkoskokeessa korkein kuivausilman lämpötila oli 98 °C. Uunissa ei ole laitetta, joka ohjaa kuivausilman ulkoilmaan. Etupesän yhteydessä tällainen laite ei ole välttämätön, sillä etupesän lämmöntuotanto pienee nopeasti kun sähkökatkoksen alkaessa savukaasuimuri pysähtyy ja palamisilmaluukut sulkeutuvat automaattisesti.

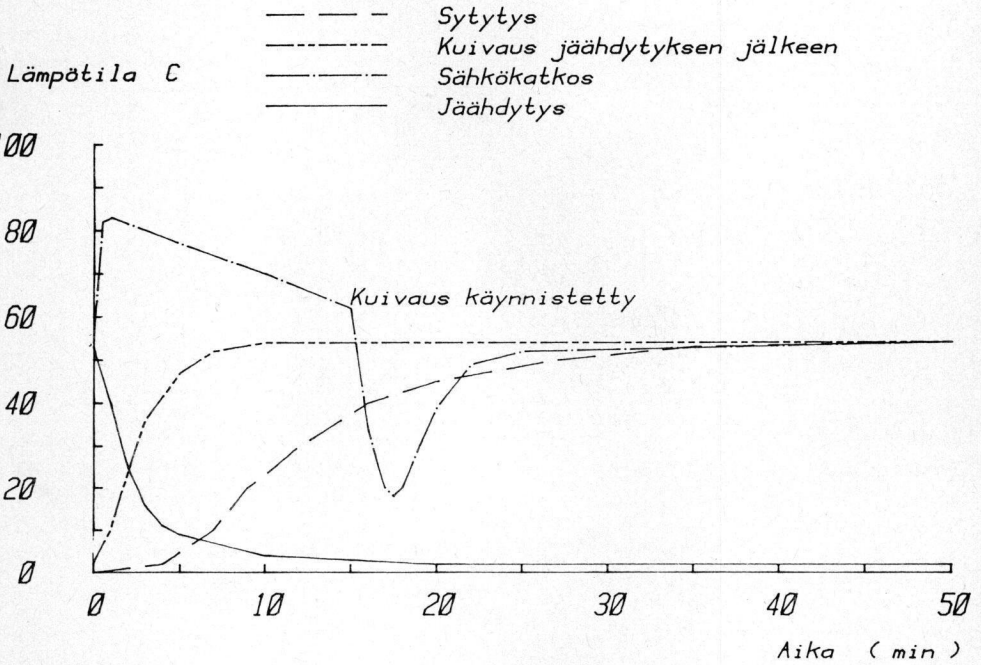
Etupesässä esiintyi tussahduksia sytyttämisen aikana ja poltettaessa polttoaine loppuun.

| Polttoaine | | Koivuhake |
|---|-------------------|-----------|
| Keskimäärin saavutettu teho | kW | 183 |
| Tehoa vastaava kuivausilman lämmönnousu | °C | 47 |
| Kuivausilman tilavuusvirtaus 60 mmvp vastapaineella | m ³ /h | 13750 |
| Vastaava kuivausilman massavirtaus | kg/s | 3,9 |
| Polttoaineen kulutus keskimäärin saavutetulla teholla | kg/h | 67 |
| Polttoaineen kosteus | % | 28 |
| Polttoaineen tehollinen lämpöarvo | MJ/kg | 13,1 |
| Savukaasujen lämpötila | °C | 325 |
| Savupiipun veto kokeen aikana | Pa | 350 |
| Savukaasujen CO ₂ -pitoisuus | % | 16,1 |
| Savukaasujen CO-pitoisuus | % | 0,1 |
| Palamishyötysuhde | % | 84 |
| Kokonaishyötysuhde | % | 75 |
| Suurin saavutettu hetkellinen teho | kW | 238 1) |
| Kuivausilman lämmönnousu suurimmalla saavutetulla teholla | °C | 61 |
| Savukaasujen lämpötila suurimmalla saavutetulla teholla | °C | 350 |
| Tulipintojen korkein mitattu lämpötila | °C | 775 2) |

1) Hakkeen kosteus 23 %

2) Valmistusmateriaali seostettu teräs T sall. 800 °C.

ANTTI ETUPESA Lämmönousu

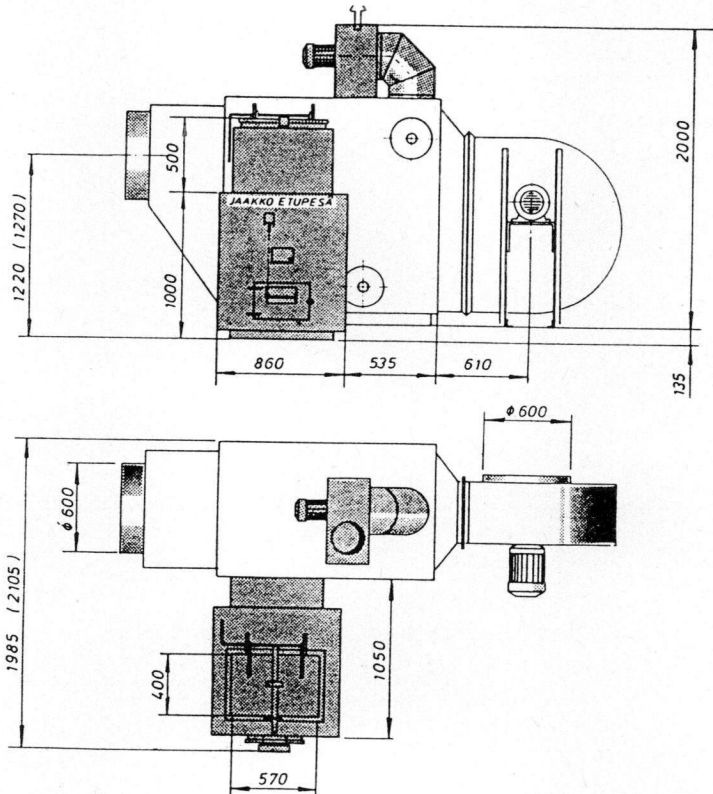


Kuva 12. Antti etupesäuunin lämpötiläkäyrät

Kuva 12. Antti etupesäkuivuriuunin kuivausilman lämpötiläkäyrät.

4.3.2 Tuliharjaton etupesäkuivuriuuni

Jaakko 295 EP on Jaakko 295 kuivuriuuniin (nimellisteho öljylä 298 kW) väliputkella yhdistetty kotimaista polttoainetta käyttävä etupesä.



MITAT J-180, SULUISSA OLEVAT MITAT J-295

Kuva 13. Jaakko etupesä kuivuriuuniin yhdistettynä.

Uunissa on savukaasumuri ja lentotuhkan erotinsykloni, joka toimii myös kipinänsammuttimena.

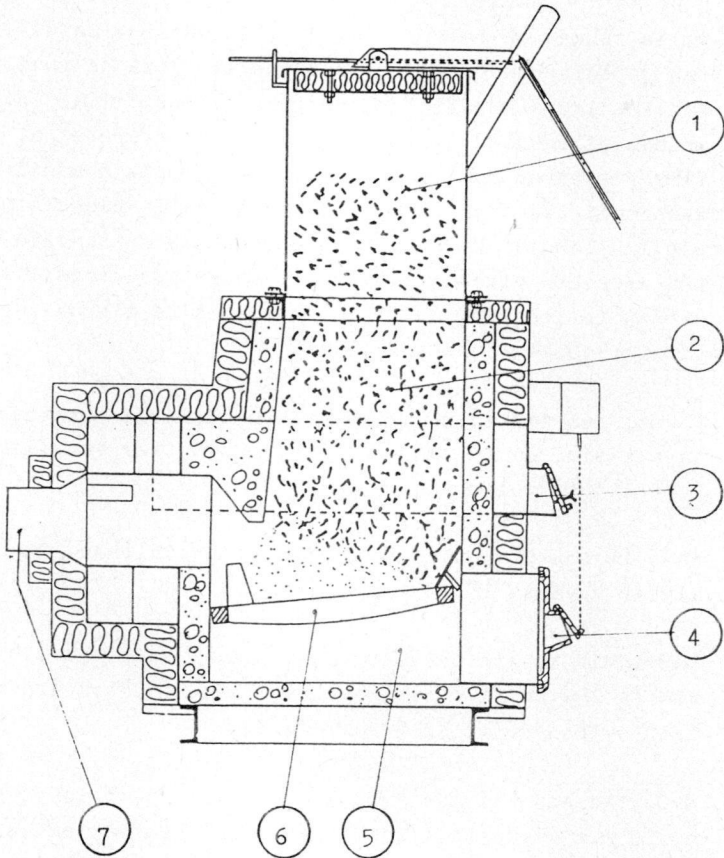
Etupesä on alapaloinen ja varustettu arinalla ja tarvittavilla tuhka- ja palmisilmaluukuilla. Ensiöilmaluukku avautuu ja sulkeutuu magneettikytkimellä, joka on yhdistetty kuivausilman lämpötilanrajoittimeen. Ensiöilma johdetaan arinan alle kuten tuliharjallisessakin etupesässä. Toisioilma johdetaan muurausten ulkopintoja pitkin uuniin johtavaan tuliputkeen, jossa se yhtyy palaviin kaasuihin. Toisioilma lämpiää kiertäessään muurauksia ja samalla jäähdyy etupesän ulkopintoja. Antti etupesässä toisioilma johdetaan tuliputken suulle tuliharjan alla olevaa kanavaa pitkin, jossa ilma esilämpää.

Kokeet suoritettiin laboratorio-oloissa ja polttoaineen lisäys käsin. Uunin teho, 250 kW, edellyttää automaattista koneellista polttoaineen syöttöä.

Koetulokset ovat taulukossa 4 ja kuivausilman lämpötilakäyrät kuvassa 15.

Suurimmat keskimääräiset tehot olivat haloilla 120 kW, hakeella 250 kW ja palaturpeella 230 kW. Hyötysuhteet olivat vastaavasti 76 %, 76 % sekä 78 %.

Sytytyksessä kuivauslämpötila saavutti 90 % loppuarvostaan n. 20 min kuluttua. Jäähdytyksen jälkeen vastaavasti n. 15 min kuluttua. Jäähdytyksessä lämpötila laski 90 % 18 min kuluttua. Korkein lämpötila sähkökatkoksessa oli 125 °C.



Kuva 14. Jaakko 295 etupesän halkileikkaus

- | | |
|---------------------|--------------|
| 1. Jatkosilo | 5. Tuhkatila |
| 2. Varastopesä | 6. Arina |
| 3. Toisioilmakanava | 7. Tuliputki |
| 4. Ensiöilmaluukku | |

| Polttoaine | | Koivuhake | Koivuhalko | Palaturve |
|---|-------------------|-----------|------------|-----------|
| Keskimäärin saavutettu teho | kW | 250 | 120 | 230 |
| Tehoa vastaava kuivausilman lämmönnousu | °C | 57 | 27 | 50 |
| Kuivausilman tilavuusvirtaus 60 mmvp vastapaineella | m ³ /h | 16000 | 16000 | 16000 |
| Vastaava kuivausilman massavirtaus | kg/s | 4,5 | 4,5 | 4,5 |
| Polttoaineen kulutus keskimäärin saavutetulla teholla | kg/h | 85 | 41 | 65 |
| Polttoaineen kosteus | % | 27 | 26 | 22 |
| Polttoaineen tehollinen lämpöarvo | MJ/kg | 13,5 | 13,9 | 16,1 |
| Savukaasujen lämpötila | °C | 320 | 230 | 290 |
| Savupiipun veto kokeen aikana | Pa | 300 | 330 | 300 |
| Savukaasujen CO ₂ -pitoisuus | % | 17,0 | 10,1 | 15,6 |
| Savukaasujen CO-pitoisuus | % | 0,5 | 0,1 | 0,1 |
| Palamishyötysuhde | % | 82 | 82 | 83 |
| Kokonaishyötysuhde | % | 76 | 76 | 78 |
| Suurin saavutettu hetkellinen teho | kW | 265 | - | - |
| Kuivausilman lämmönnousu suurimmalla saavutetulla teholla | °C | 60 | - | - |
| Savukaasujen lämpötila suurimmalla saavutetulla teholla | °C | 350 | - | - |
| Tulipintojen korkein mitattu lämpötila | °C | 650 1) | 400 | 550 |

1) Materiaali seostettu teräs T sall 800.

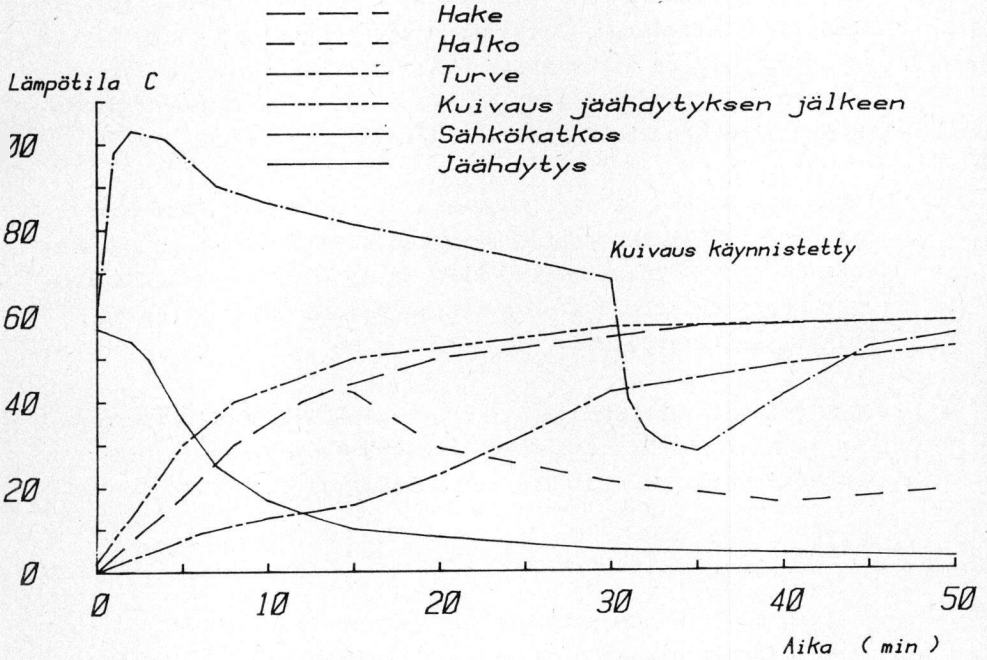
Taulukko 4. Koetulokset Jaakko 295 EP kuivuriunilla.

Kokeista havaitaan, että tuliharjallinen ja tuliharjaton etupesä ovat kuivauksen kannalta lähes samanveroiset. Antti etupesäkuivuriuunissa kuivausilma lämpiää hiukan nopeammin sytytyksessä ja jäähtyy nopeammin jäähdytyksessä. Tämä joh-tuu siitä, että Jaakko uunin polttokammio on muurauksilla vuorattu. Muuraukset tasoittavat hiukan lämmön tuotantoa kuivauksessa. Tuliharjallisen etupesän tehoa säädetään muuttamalla arinan päällä olevan hakekerroksen paksuutta nostamalla tai laskemalla tuliharjaa sekä palamisilmamäärää ja vedonsäätöä muuttamalla. Tuliharjattoman etupesän teho säädetään palamisilmamäärää ja vedonsäätöä muuttamalla. Käytössä tuliharjaton etupesä on helpompi säätää ja on varmatoimisempi. Se ei ole herkkä polttoaineen palakoon vaihteluille ja myös tikkuinen hake soveltuu polttoaineeeksi.

4.3.3 Yhteenveto etupesäkokeista

Etupesillä voidaan hyödyntää vanhat öljyuunit käyttämään kotimaista polttoainetta. Hyötysuhteet ovat etupesäkäytössä 5...10 %-yksikköä öljykäyttöä alhaisemmat. Käytännön vaikeudet ovat etupesien kytkemisessä öljyuumeihin. Uunihuoneet ovat kuivurirakennuksissa ahtaat, jolloin rakenteita joudutaan muuttamaan. Jos käyttötehot ovat suuret, yli 150 kW, joudutaan käyttämään automaattisia polttoaineiden syöttölaitteita. Näiden sijoituksessa on omat vaikeutensa. Etupesäkäytössä kuivuriuunin teho jää öljykäyttöä alhaisemmaksi. Kotimaiset polttoaineet vaativat hieman suuremmat polttokammiot. Tehon aleneminen 10...20 % ei kuitenkaan pahemmin haittaa kuivausta.

JAAKKO 295 EP LÄMMÖNNOUSU



Kuva 15. Jaakko 295 EP uunin lämpötiläkäyrät

Kuva 15. Jaakko 295 EP kuivuriuunin kuivausilman lämpötiläkäyrät.

Polttoaineiden syöttölaitteiden on oltava varmatoimiset. Ne eivät saa aiheuttaa toimintahäiriöitä etupesissä. Kun etupesää poltetaan tyhjäksi, syöttölaitteiden kautta pääsee ylimääräistä ilmaa, mikä sotkee etupesän toimintaa ja aiheuttaa herkästi tussahduksia. Tällöin voi siirtoruuvien pää myös kuumentua siten, että siinä oleva polttoaine syttyy aiheuttaen palovaaran. Jotta etupesät toimisivat kunnolla, ne on varustettava savukaasuimurilla. Kipinävaaran takia imuroiden on oltava tiiviit ja savupiipussa on oltava kipinänsammutin/tuhkankeräin, esim. sykloni.

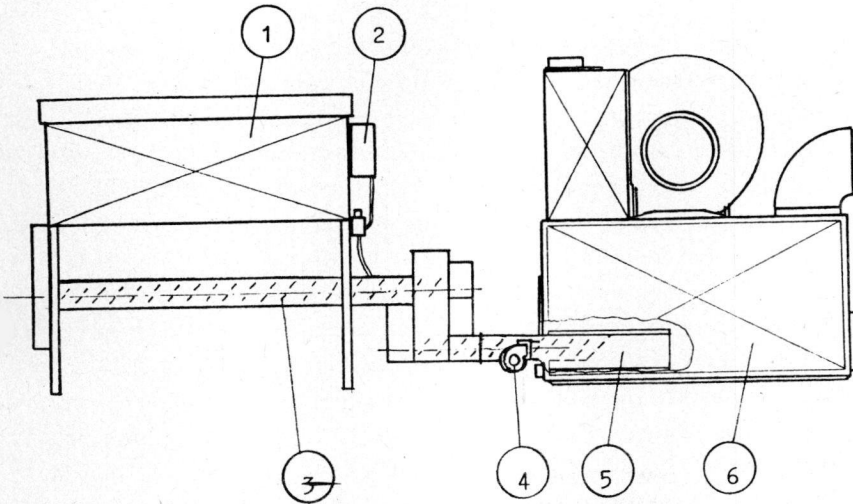
Etupesäuneissa ei välttämättä tarvita kuivausilman ohivirtaushormia sähkökatkosten varalta. Kuivauslämpötilat nousivat n. 100 °C lämpötilaan, mikä on öljyuunien normaali suojakytkinlämpötila. Paloturvallisuusmääräyksiä varten on liitteessä 1 ehdotus.

Syttymisajat ja jäähtymisajat olivat öljykäyttöä pitemmät. Ne eivät kuitenkaan huononna kuivattavan viljan laatua eivätkä mainittavasti hidasta kuivumista.

4.4 Poltinuuni

Poltin on kiinteän polttoaineen polttolaite, jossa polttoaineen syöttimen päähän on rakennettu kyseiselle polttoaineelle soveltuva poltin.

Tällainen laite voidaan liittää yläpaloiseen kuivuriuuniin. Lämmitystyömäärä vähenee ratkaisevasti ja uunin lämmönluovutuksen vaihtelut tasoittuvat. Polttoaine syötetään varastosilosta polttimelle yleensä ruuvilla (myös männällä tai kolalla). Teho säädetään ruuvien pyörimisnopeutta muuttamalla. Kuivausilman ylikuumentuminen estetään termostaatilla, joka pysäyttää ruuvien, mikäli termostaatin asetettu lämpötila ylitetään. Kun lämpötila on laskenut käynnistää termostaatti ruuvien uudelleen. Polttoaineen palo ruuvissa estetään ruuvien katkoksellä. Mahdollisen ruuvipalon sammuttamiseen pitää ruuvissa olla sammutusjärjestelmä esim. vesipalosuikku.



Kuva 16. Polttimella varustettu Näppärä -
viljankuivausuuni

- | | |
|-------------------|------------------------|
| 1. Hakesiilo | 4. Palamisilmapuhallin |
| 2. Vesipallosulku | 5. Hakepoltin |
| 3. Syöttöruuvi | 6. Kuivuriuuni |

Poltin soveltuu hyvin viljankuivaukseen, koska syöttölaite saa käydä vakionopeudella. Se pysäytetään jäähtytyksen ja viljaerän vaihdon ajaksi. Syöttölaitteeseen voidaan asentaa kello-ohjaus, joka käynnistää sen hetkeksi määräajoin. Näin pidetään polttimella pieni polttoainemäärä palamassa, jolloin kuivauksen alkaessa uuni käynnistyy automaattisesti.

Palavan polttoaineen määrä polttimella 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, koska palavan polttoaineen määrä on pieni. Tämä on etenkin ilmalämmitysuneissa tärkeää.

Polttoaineen tulee olla tasalaatuista, jotta saavutetaan hyvä palaminen ja tasainen kuivausilman lämpötila. Polttoaineen laadun tai kosteuden muuttuessa teho säädetään syöttölaitteen syöttönopeudella. Polttimelle soveltuvat polttoaineiksi hake, puru, pelletit sekä palaturve rikottuna. Turpeen ja oljen tuhka saattaa aiheuttaa vaikeuksia sulaessaan polttimessa.

Tutkimuksen aikana koeajettiin Näppärä - hakepoltinkuivuri-uuni. Laitteistossa on luokiteltuun yläpaloiseen Näppärä 5 -halkouuniin yhdistetty automaattinen polttoaineen syöttöruuvilla. Tulipesässä on ruuvisyötölle soveltuva hakepoltin, kuva 16. Syöttöruuvi on katkaistu ja porrastettu ja varustettu vesisammutuslaitteella. Ruuvi on jatkuvatoiminen ja teho säädetään ruuvin pyörimisnopeutta muuttamalla. Polttimessa on palamisilmapuhallin.

Koetulokset ovat taulukossa 5 ja kuivausilman lämpötilakäyrät kuvassa 17.

Keskimääräinen teho oli 150 kW ja kokonaishyötysuhde hakeella 73 % ja palaturpeella 75 %. Savukaasulämpötilat olivat 300 °C. Palaturpeella viiden tunnin ajon jälkeen arina tukkeutui tuhkan sulaessa.

Sytytyksessä saavutettiin loppuarvostaan 90 % kuivauslämpötila 10 min jälkeen. Lämpötila laski jäähtytyksessä 90 % 15 min kuluttua. Sähkökatkoksesta kuivausilma nousi hetkellisesti 90 °C lämpötilaan.

| Polttoaine | | Koivuhake | Palaturve |
|---|-------------------|-----------|-----------|
| Keskimäärin saavutettu teho | kW | 151 | 148 |
| Tehoa vastaava kuivausilman lämmönnousu | °C | 58 | 57 |
| Kuivausilman tilavuusvirtaus 60 mmvp vastapaineella | m ³ /h | 9200 | 9200 |
| Vastaava kuivausilman massavirtaus | kg/s | 2,6 | 2,6 |
| Polttoaineen kulutus keskimäärin saavutetulla teholla | kg/h | 56 | 46 |
| Polttoaineen kosteus | % | 27,1 | 21,0 |
| Polttoaineen tehollinen lämpöarvo | MJ/kg | 13,3 | 15,6 |
| Savukaasujen lämpötila | °C | 300 | 300 |
| Savupiipun veto kokeen aikana | Pa | 90 | 90 |
| Savukaasujen CO ₂ -pitoisuus | % | 16,5 | 14,6 |
| Savukaasujen CO-pitoisuus | % | 0,6 | 0,1 |
| Palamishyötysuhde | % | 82 | 85 |
| Kokonaishyötysuhde | % | 73 | 75 |
| Suurin saavutettu hetkellinen teho | kW | 161 | 166 |
| Kuivausilman lämmönnousu suurimmalla saavutetulla teholla | °C | 62 | 64 |
| Savukaasujen lämpötila suurimmalla saavutetulla teholla | °C | 320 | 330 |
| Tulipintojen korkein mitattu lämpötila | °C | 420 1) | 440 |

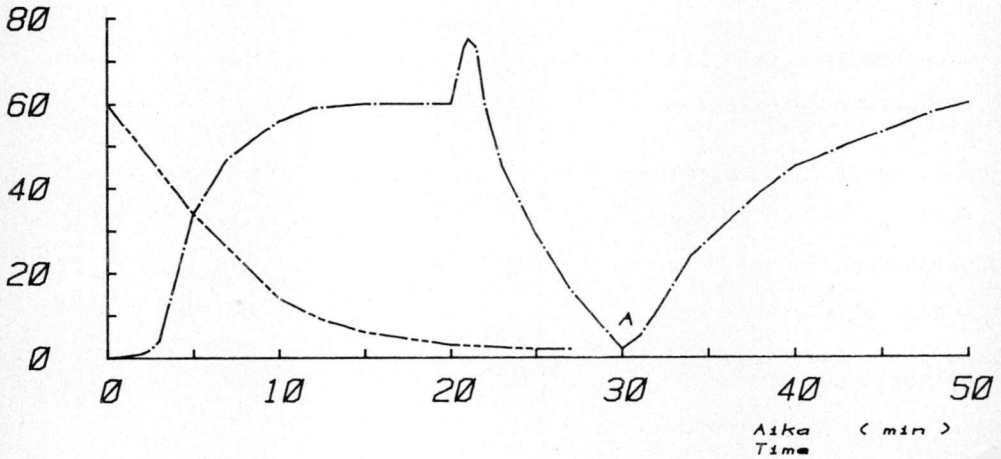
1) Materiaali seostettu teräs T sall 800 °C.

Taulukko 5. Näppärä 5 hakepoltin kuivuriuunin koetulokset.

NÄPPÄRÄ 5 kuivuriuuni
NÄPPÄRÄ 5 air heating unit

- Sytytys ja sähkökatkos
Start and electric interruption
- - - - - Jäähdytys
Cooling
- A Kuivaus käynnistetty
Starting point of drying

Lämpötila C
Temperature



Kuva 17. Näppärä hakepoltinkuivuriuunin kuivausilman lämpötiläkäyrät.

Kotimaisen polttoaineen käyttöä viljankuivauksessa ajatellen polttimet ovat mielekkäin ratkaisu. Vähäisestä pesästä olevasta polttoainemäärästä johtuen palaminen on paremmin ja varmemmin hallittavissa. Koska polttoaineen syöttö työmäärää ajatellen on etenkin suurilla kuivaustehoilla automatisoitava, poltin ja yksinkertainen yläpalouuni on halvempi kuin alapaloinen uuni ja erillinen polttoaineensyötin. Polttimet eivät useinkaan sovellu vanhoihin öljyuuneihin, koska niissä ei ole tarpeellisia liitäntöjä eikä tuhkatiloja. Näihin soveltuvat etupesät. Uusia öljyuuneja suunniteltaessa voitaisi ottaa huomioon mahdollisuus liittää haakepoltin öljypolttimen tilalle.

4.5 Radiaattorin käyttö viljankuivauksessa

Lämminilmakuivauksessa tarvitaan suurta lämpötehoa suhteellisen lyhyenä kuivauskautena. Tilan lämpökeskuksen käyttö lämminilmakuivurin lämmönlähteenä ei yleensä ole mahdollista juuri kuivurin vaatiman suuren lämpötehon takia, koska tehontarve keskikokoisessa kuivurissa on 5...10 kertaa suurempi kuin talouskeskuksen kattilateho. Lämpökeskusta voidaan käyttää pienen lämminilmakuivurin lämmönlähteenä, tai kylmäilmakuivurin lisälämmönlähteenä, mikäli lämmönsiirtoetäisyys on pieni.

Koska kuivurin tarvitsema lämpöteho on suuri, ei lämpökeskuksen kattilan teho riitä kuivurin suoraan lämmitykseen. Varaajaa käyttämällä saadaan lämpökeskuksesta kuivurin tarvitsema jaksottainen suuri lämpöteho.

Tarvittavan varaajan koko riippuu käytettävästä vesikattilasta ja kuivurin lämmöntarpeesta. Yhteen vesikuutiometriin voidaan varastoida n. 50 kWh (45 °C jäähtytyksellä). Kun esimerkiksi 70 hl lämminilmakuivurin kuivausteho on 600 kg/h, on tarvittava lämpöteho 120 kW. Viljaerän kuivaukseen 8 h aikana tarvitaan energiaa 960 kWh. Kun tilan lämpökeskuksen nimellisteho on 70 kW on tarvittava varaajakoko n. 10 m³.

40 m lämmönsiirtoetäisyydellä vuorivillalla eristetyn siirtoputkiston (putki \varnothing 50 mm, eristys 50 mm) ja varaajan häviöt ovat n. 10 %.

Mikäli kuivauskauden aikana kuivataan jatkuvasti 2 erää/vrk, pitää kattilaa käyttää n. 90 kW teholla. Kattilaa voidaan käyttää kuivauskauden aikana nimellistehoja suuremmalla teholla. Esimerkin järjestelmällä voidaan kuivata kaksi erää peräkkäin, kun jäähtytys- ja eränvaihto-aika on kaksi tuntia. Tämän jälkeen pitää varaaja ladata ennen uuden erän kuivausta.

Kattilan, jonka hyötysuhde on 70 %, polttoaineen kulutus on 90 kW teholla lämmitettäessä n. 36 kg/h kun lämmitykseen käytetään koivuhalkoa tai haketta (kosteus 30 %). Varastopesäkattiloissa polttoaineen lisäys on suoritettava 1...2 h välein.

Radiaattorikäytössä kustannukset kohoavat helposti suuremmiksi kuin jos kuivuria lämmitetään omalla ja teholtaan sopivalla uunilla. Lämmönsiirtoputkisto, varaaja ja radiaattori säätölaitteineen sekä lämpöhäviöt siirrossa ja varaajas-
sa nostavat vuotuiset kustannukset tasolle, jolla on edullista hankkia lämminilmakuivurille oma lämmönkehitin.

Kuvassa 18 on radiaattorikuivurin kytkentä tilan lämpökeskukseen.

Lämpökeskuksen käyttö kylmäilmakuivauksen lisälämmönlähteenä on useissa tapauksissa kannattavaa. Täällöinkin edellytetään, että kuivuri on lähellä. Kattila voidaan kytkeä ilman varaajaa kylmäilmakuivurin ilmakehän lämminvesipatteriin. Riittävä lämpöteho kattilasta saadaan yleensä vain jos tilalla on varaava lämmitysjärjestelmä, koska tilan lämmöntarpeen mukaan mitoitettu varaava kattila on teholtaan 2...4 kertaa suurempi kuin saman lämmöntarpeen mukaan mitoitettu suorälämmityskattila.

Muutaman asteen lämmönnosto parantaa kylmäilmakuivurin toimintavarmuutta, sillä yhden asteen lämpötilan nousu kuivausilmassa alentaa ilman suhteellista kosteutta n. 5 %-yksikköä. Jos esimerkiksi ilman suhteellinen kosteus on 80 % niin ilman lämmitystä on mahdollista saavuttaa viljan kuivuminen 18 % kosteuteen. Samoissa oloissa lämmitettäessä kuivausilmaa 4 °C, saavutetaan viljan kuivuminen 13,5 % kosteuteen (kuva 3). Kuivausaika lyhenee samalla, mikä vähentää huomattavasti puhaltimen energiankulutusta.

Lämmityksen hyötysuhde muodostuu melko alhaiseksi, koska putkistohäviöt ovat suuret. Esim. 80 kW kattilalla, jonka kattilahyötysuhde on 70 % on lämmityksen kokonaishyötysuhde n. 60 %. Tällä ei kuitenkaan ole suurta merkitystä, sillä kuivauskustannuksista valtaosa muodostuu rakennus- ja laitekustannuksista, jotka tässä tapauksessa lämmityksen osalta ovat vähäiset.

5. KUIVAUSKUSTANNUKSET

5.1 Kuivauskokeet

Tutkimuksen yhteydessä kehitettyjen kuivuriuunien soveltumisesta viljankuivaukseen suoritettiin Vakolassa kuivauskokeita Jaakko 295 EP kuivuriuunilla. Kokeissa tutkittiin uunin ja etupesän sekä laitteistoon kuuluvan automaattisen hakeensyöttölaitteen toiminta ja kestävyys viljankuivauksessa. Lisäksi tutkittiin kuivauksen tehokkuutta kotimaista polttoainetta käyttäen sekä kulutettu polttoainemäärää haihdutettua vesikiloa kohti. Koetulokset ovat taulukossa 6.

Uunin kokonaishyötysuhde oli 75...78 %. Haihdutettua vesikiloa kohti kului energiaa 7,3...9,3 MJ. Tämä vastaa koe-polttoaineen kosteudella n. 30 % 520...620 g haketta haihdutettua vesikiloa kohti. Uunin asennusvaikeuksista johtuen ilmaputki oli pitkä. Tämä suurensi haihdutettua vesikiloa kohti laskettua kulutusta. Myös ympäristölämpötilan muutokset vaikuttivat tällöin koetuloksiin, koska ilmaputken lämpöhäviöt vaihtelivat ulkolämpötilan mukaan.

Tuhka poistettiin arinan alta 20 h käyntijakson jälkeen. Tuhkan poistamiseen kului aikaa 5 min/kerta. Savusolien tuhka poistettiin 40 h käyntijakson jälkeen. Käytetty aika 10 min/kerta. Lentotuhkan erotinsyklonista tuhka poistettiin 80 h käyntijakson jälkeen. Käytetty aika 10 min. 4 m³ hakesiilon täyttämiseen hakettamalla kului 20 min. Yhdellä täytöksellä kuivattiin 10 tuntia täydellä teholla. Kuivauksen alkaessa sytytykseen ja säätöön käytettiin aikaa 20 minuuttia.

| Viljalaji | | Kaura | Ohra |
|---|-------------------|-------|-------|
| Tilavuus | hl | 210 | 220 |
| Hehtolitrapaino tuoreena | kg/hl | 35 | 51,4 |
| Määrä | kg | 7400 | 11300 |
| Alkukosteus | % | 23,5 | 22,8 |
| Loppukosteus | % | 12,0 | 12,7 |
| Haihdutettu vesimäärä | kg | 967 | 1307 |
| Kuivausaika | h | 5,75 | 8,5 |
| Jäähdytysaika | h | 1,0 | 1,0 |
| Kuivausilman lämpötila | °C | 70 | 73 |
| Ulkoilman lämpötila | °C | 18 | 15 |
| Kuivausilman lämmönnousu | °C | 52 | 58 |
| Ulkoilman suhteellinen kosteus | % | 55 | 85 |
| Kuivurin aiheuttama vasapaine | mmvp | 55 | 60 |
| Kuivausilman virtaus | m ³ /h | 16400 | 16400 |
| Savukaasujen lämpötila | °C | 280 | 285 |
| Savukaasujen CO ₂ -pitoisuus | % | 16 | 16 |
| Savukaasujen CO-pitoisuus | % | 0,2 | 0,3 |
| Palamishyötysuhde | % | 84 | 83 |
| Hakkeen kulutus | kg/h | 77 | 83 |
| Hakkeen kosteus | % | 24 | 20,5 |
| Hakkeen tehollinen lämpöarvo | MJ/kg | 14 | 15 |
| Uuniin polttoaineessa viety teho | kW | 300 | 347 |
| Uunista saatu teho | kW | 234 | 261 |
| Kokonaishyötysuhde | % | 78 | 75 |
| Polttoaineen kulutus/haihdutettu vesikilo | g | 460 | 540 |

Taulukko 6. Viljankuivauskokeiden tulokset

5.2 Kuivauskustannusvertailu

Kuivauskustannusvertailussa eri kotimaista polttoainetta käyttävien uuniratkaisujen ja samantehoisten öljyuunien kesken on otettu huomioon ainoastaan lämmityslaitteistosta ja lämmitystyöstä sekä polttoaineesta johtuvat kustannukset. Laitteistojen poisto aika on 10 vuotta ja muiden rakenteiden 20 vuotta. Pääoman korko on 5 %. Öljyuunin lämmitystyötä ei ole huomioitu sen vähäisyyden vuoksi. Vuotuinen öljypoltinhuolto on 600 mk. Öljyn hinta 1,42 mk/l ja kulutus 120 g/haihdutettu vesikilo. Kotimaista polttoainetta käyttävien uunien lämmityskustannuksiin on laskettu mahdollisten lisärakennusten ja uunihuoneen laajennuksen aiheuttamat rakennuskustannukset.

Lämmitystyötunnin hinnaksi on otettu 12 mk. Hakkeen hinta käyttöpaikalla 40 mk/m³ omakustannushintaan tai ostopuuna 80 mk/m³. Hakkeen kulutus 620 g/haihdutettu vesikilo. Hakkeen kosteus n. 30 %. Laskelmat on tehty 14 %-yksikön viljankuivaustarpeen mukaan.

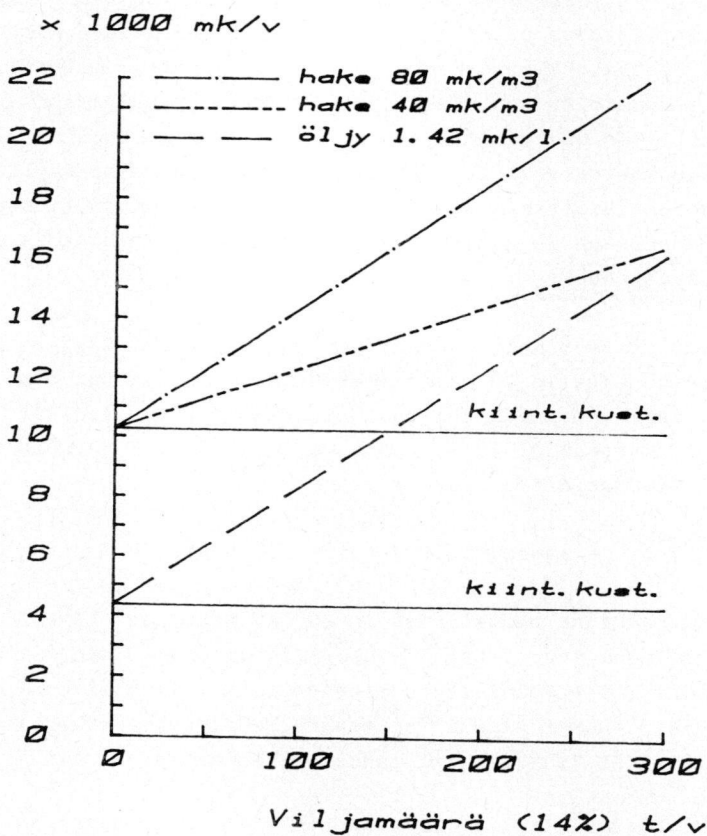
5.2.1 Öljyuuni ja automaattitäyttöinen etupesä

Lähtökohtana vertailussa on 250 kW tehoinen öljyuuni ja sama uuni varustettuna etupesällä automaattisin täyttölaittein. Etupesäuunille on rakennettava tilavampi uunihuone. Tämän lisäksi hakesiilon ympärille on syytä rakentaa vähintään B 30 luokkaiseksi palosuojattu katos.

| | | |
|---|--|-----------|
| - | Öljyuunin hinta | 25 000 mk |
| - | Öljyuuni lisättynä etupesällä automaattisin täyttölaittein | 55 000 mk |
| - | uunihuoneen laajennus ja siilon suojakatos | 20 000 mk |
| - | lämmitystyö 45 min/10 t kuivattavaa viljaa | |

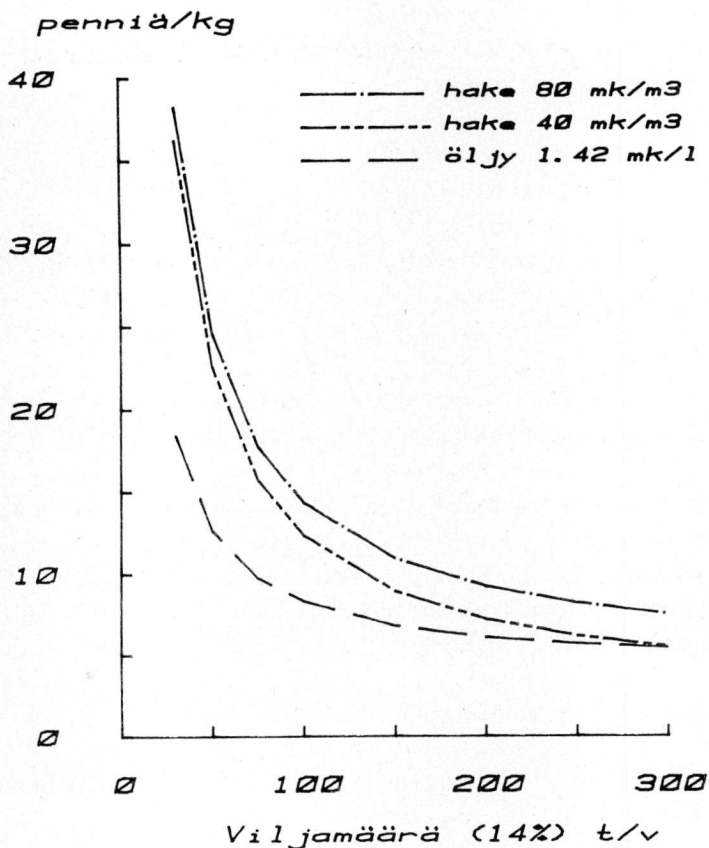
Kuvassa 19 ovat vuotuiset kuivauskustannukset ja kuvassa 20 kuivauskustannukset kuivattua viljakiloa kohti.

KUIVAUSKUSTANNUKSET



Kuva 19. Kuivauskustannukset lämmityksen osalta 250 kW tehoisella öljyuunilla ja muutettuna uuni hakkeella toimivaksi. Hakekäytössä uuniin on liitetty etupestä ja automaattinen syöttölaite. Lisäksi polttoainesillon ympärille on rakennettu paloaestävä rakennus.

KUIVAUSKUSTANNUKSET



Kuva 20. Kuivauskustannukset lämmityksen osalta viljakiloa kohti 250 kW tehoisella öljyuunilla ja muutettuna uuni hakekäyttöiseksi.

Kuvista nähdään, ettei etupesän hankkiminen ole taloudellisesti kannattavaa. Jo pelkät laitteistokustannukset ovat sellaiset, että kuivatun viljamäärän pitäisi olla 150 t/v, jotta etupesä jollain lailla olisi järkevä. Tämäkin tietäisi vielä ilmaista haketta. Ratkaisevana kuivauskustannuksissa on automaattisen polttoaineen syöttölaitteen hinta. Se on kuitenkin välttämätön työ määrää ja sitovuutta aiatellen.

5.2.2 Öljyuuni ja alapaloinen halkouuni

Vertailussa 165 kW tehoinen öljyuuni ja samantehoinen alapaloinen halkouuni.

| | | |
|---|--|-----------------------|
| - | Öljyuunin hinta | 22 000 mk |
| - | halkouunin hinta | 30 000 mk |
| - | Halkojen hinta | |
| | omakustannushintaan | 60 mk/m ³ |
| | ja ostopuuna | 120 mk/m ³ |
| - | Lämmitystyö 2,5 h/10 t kuivattavaa viljaa. | |

Kuvassa 21 ovat vuotuiset kuivauskustannukset ja kuvassa 22 kuivauskustannukset kuivattua viljakiloa kohti.

Jos kuivattu viljamäärä on yli 30 t/v, silloin alapaloinen halkouuni on kannattava sijoitus. On huomattava, että halkouunin edullisuus perustuu 2...4 tunnin paloaikoihin. Lämmitystyö on tällöin lämmittäjää osittain sitovaa, mitä öljykäytössä ei ole.

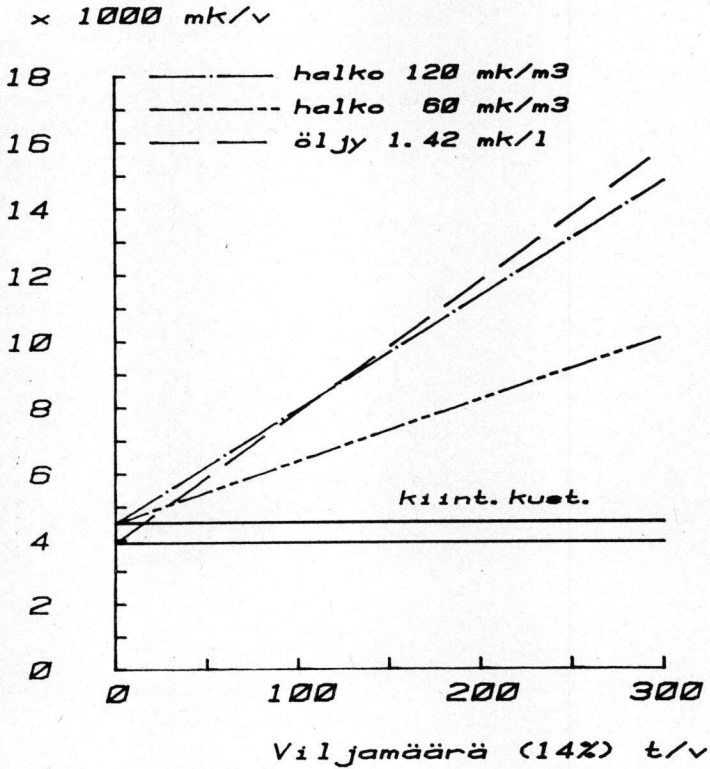
5.2.3 Öljyuuni ja hakepoltinuuni

Vertailussa 150 kW öljyuuni ja samantehoinen hakepoltinuuni.

| | | |
|---|--|-----------|
| - | Öljyuunin hinta | 18 000 mk |
| - | Hakepoltinuunin hinta | 33 000 mk |
| - | Lämmitystyö poltinuunilla 1 h/10 t kuivattavaa viljaa. | |

Kuvassa 23 ovat vuotuiset kuivauskustannukset ja kuvassa 24 kuivauskustannukset kuivattua viljakiloa kohti.

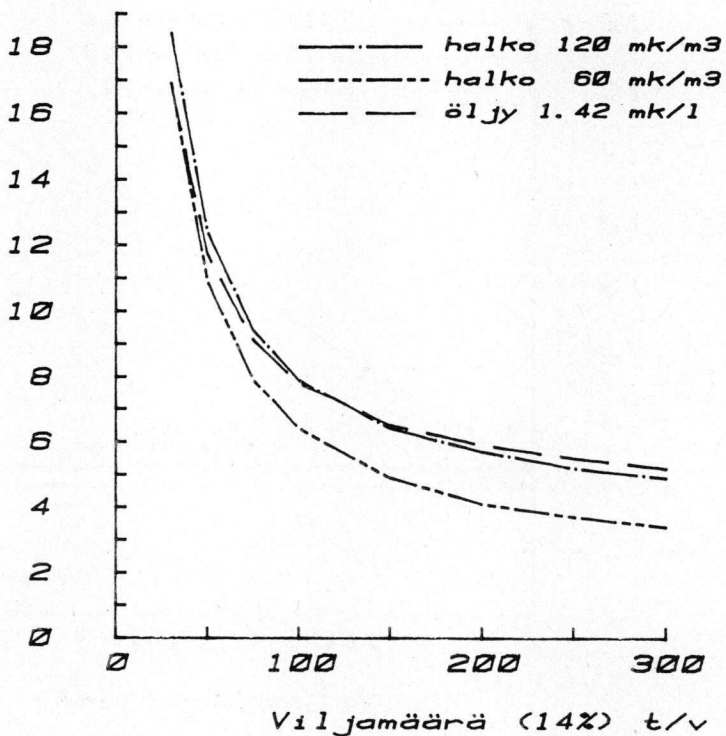
KUIVAUSKUSTANNUKSET



Kuva 21. Kuivauskustannukset lämmityksen osalta 165 kW tehoisella öljyuunilla ja samantehoisella alapaloisella halkouunilla.

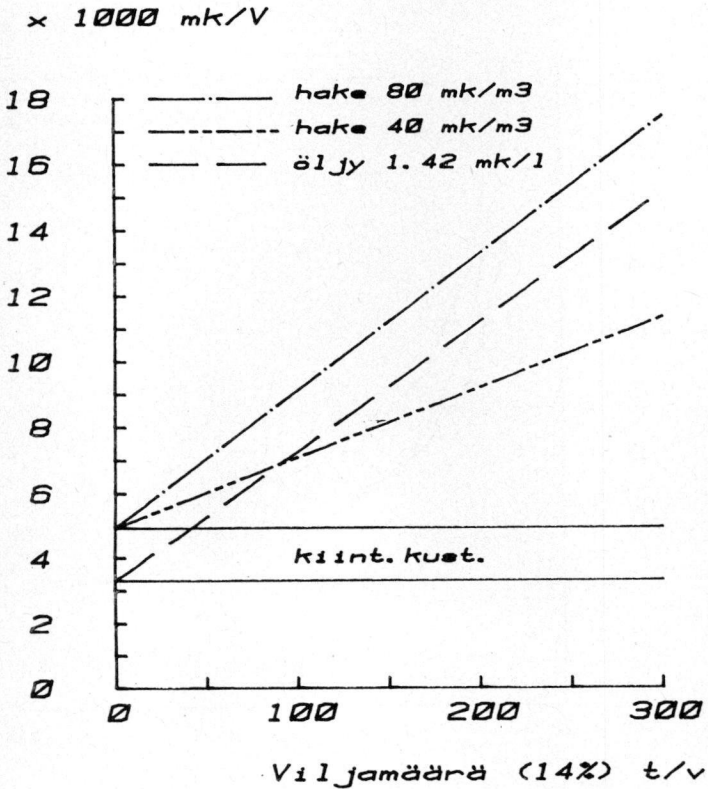
KUIVAUSKUSTANNUKSET

penniä/kg



Kuva 22. Kuivauskustannukset lämmityksen osalta kuivattua viljakiloa kohti 165 kW tehoisella öljyuunilla ja samantehoisella alapaloisella halkouunilla.

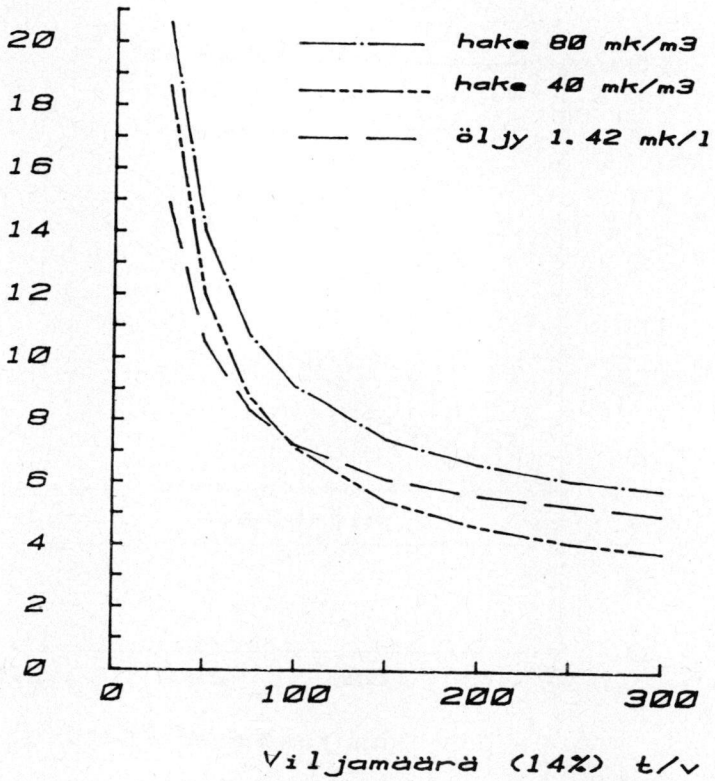
KUIVAUSKUSTANNUKSET



Kuva 23. Kuivauskustannukset lämmityksen osalta 150 kW tehoisella öljyuunilla ja samantehoisella hakepoltinuunilla.

KUIVAUSKUSTANNUKSET

penniä /kg



Kuva 24. Kuivauskustannukset lämmityksen osalta kuivattua viljakiloa kohti 150 kW tehoisella öljyuunilla ja samantehoisella hakepoltinuunilla.

Hakepoltin on 150 kW teholla kannattava kuivattavan viljamäärän ollessa yli 100 t/v. Halkouuniin verrattuna työmäärä ja työn sitovuus ovat huomattavasti vähäisemmät ja varmuus parempi.

Suurempia tehoja käytettäessä hakepoltin on suhteellisesti halvempi, koska syöttölaite riittää suuremmallekin teholle. Ainoastaan uunin ja polttimen tehoa pitäisi suurentaa.

3.3 Kotimaisen polttoaineen taloudellisuus viljankuivauksessa

Viljankuivauksessa vuotuinen käyttötuntimäärä on 100...250 tuntia. Tästä johtuen pääomakustannukset ovat suhteellisesti suuret. Lisäksi kuivuriuunien lämpötehot ovat suuret, joten kotimaisen polttoaineen käytössä polttoaineen syöttö on usein automatisoitava, jos halutaan vähäistä työmäärää ja vähäistä sitovuutta lämmitystyöhön.

Kuvassa 19 on vertailtu vuotuisia kuivauskustannuksia käytettäessä öljyuunia tai varustettaessa se etupesällä. Pääomakustannuksia rasittaa tällöin uunihuoneeseen tehtävät muutokset sekä etupesän ja syöttölaitteiston hankintahinnat. Kustannukset on laskettu uusien laitteiden mukaan. Vasta kuivattavan viljamäärän ollessa enemmän kuin 320 t/v etupesä olisi kannattava. Vanhoihin öljyuuneihin asennettuina 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 21. On huomattava, että polttoainesäiliöllisen paloajan pitäisi olla 2...4 tuntia, jotta alapaloisa kuivuriuunia kannattaa harkita.

Nykyisillä rakenteilla tämä merkitsee n. 150 kW tehoista uunia. Alapaloinenkin uuni on kuitenkin kannattava vasta vanhaa uunia uusittaessa tai uusissa kuivaamoissa.

Automaattisyöttöisen hakepolttimen ja öljyuunin vertailu on esitetty kuvassa 23. 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...300 kW tehoilla.

5.4 Yhteiskunnan tuki kotimaisen polttoaineen käytön edistämiseksi viljankuivauksessa

Koska kotimaisen polttoaineen käyttö lämmitykseen on kansantaloudellisesti kannattavaa, on yhteiskunnan taholta järjestetty julkista rahoitusta edistämään tähän lämmitystapaan siirtymistä. Lähinnä rahoitus on investointitukea, avustusta tai lainaa. Lainan korko on normaalia alempi ja takaisinmaksuaika yleistä käytäntöä pitempi.

Maatilahallitus on määrännyt kotimaista polttoainetta käyttävän viljankuivaamon lämpökeskuksen ohjekustannuksen korkeammaksi kuin ulkomaisen polttoaineen käyttöön perustuvan lämpökeskuksen ohjekustannuksen. Tällöin lainan määrä muodostuu suuremmaksi. Maatilahallitus voi määrätyn perusteella myöntää rakentamislainaa enintään 60 % ja korkotukilainaa enintään 50 % rakennuskustannuksista.

Maatilahallitus voi ohjailta työllisyysvaroja kotimaisten polttoaineiden käyttöön perustuvien maatilojen, kasvihuoneviljelmien ja muiden vastaavien tilojen lämpökeskusten ja lämpökanavien rakentamiseen ja entisten lämpökeskusten muuttamiseen kotimaisille polttoaineille. Avustuksia maatilahallitus myöntää enintään 20 % hyväksyttävistä rakentamiskustannuksista. Avustuksia hoitavat maatalouskeskukset.

5.5 Verotus

Verotuksessa maatilán omista polttoaineista puun kantohinta on vähennyskelpoinen meno siltä osin kuin puuta käytetään tuotantotoimintaan. Näitä ovat mm. tuotantorakennusten lämmitys ja viljankuivaus. Maatalouden tuottamat muut polttoaineet, olki ja turve ovat maatalouden tuotteita, joista ei voida tehdä kantohintaa muistuttavaa vähennystä. Näiden polttoaineiden tuottamiseen käytettyjen koneiden hankinta ja käyttökustannukset ovat vähennyskelpoisia menoja, ei kuitenkaan yksityistalouteen kohdistuvan käytön osalta. Jos polttoaineen tuottamiseen käytetään vierasta työvoimaa, saadaan palkkakustannukset vähentää maataloudessa käytettyjen polttoaineiden osalta maatalouden menoina.

Kotimaisen polttoaineen hinta muodostuu näiden tuottamisesta aiheutuvista kustannuksista. Verrattuna tuontipolttaineeseen tämä hinta saattaa olla huomattavasti pienempi. Nykyinen verotuskäytäntö pienentää tätä polttoaineiden hintaeron vaikutusta. Mitä kalliimpaa polttoainetta käytetään, sitä suuremmat ovat vähennykset. Marginaaliveron ollessa 50 % vähenee kalliimman ja huokeamman polttoaineen kustannusero puoleen. Mitä suurempi on tilan puhdas tuotto, sitä pienemmäksi tulee huokeammasta polttoaineesta saavutettu hyöty tuotantotoiminnassa. Tämä heikentää kotimaisen polttoaineen käytön kannattavuutta maataloudessa.

Nykyisen verojärjestelmän mukaan kaikissa kotimaisten polttoaineiden, tuotantokoneiden sekä kattiloiden ja uunien hinnoissa on mukana liikevaihtovero. Samansuuruista liikevaihtoveroa kannetaan myös tuontipolttaineista.

Kotimaiselle polttoaineelle suunnitellut lämpökeskuksen rakentamiskustannus on yleensä öljylämmityslaitosta suurempi. Näin liikevaihtovero nostaa kotimaiselle polttoaineelle rakennetun lämmityslaitoksen markkamääräistä hintaa sekä myös lämmityskustannuksia enemmän kuin öljylaitoksen kohdalla /1/.

6. KOTIMAISTA POLTTOAINETTA KÄYTTÄVIEN KUIVURIUUNIEN PALOTURVALLISUUS

Kotimaisen polttoaineen käyttöön liittyy enemmän paloturvallisuusriskejä kuin muihin lämmitystapoihin. Kiinteästä olo-tilasta johtuen polttoainetta lisätään määräkannoksina. Täytön yhteydessä joudutaan avaamaan täyttöluukku, jolloin uunin toiminta saattaa häiriytyä. Tämä aiheuttaa toistuvan vaaratilanteen. Usein toistuva täyttöluukun avaaminen voidaan poistaa automaattisilla täyttölaitteilla. Nämä nostavat kuitenkin laitekustannuksia ja saattavat kaksinkertaistaa lämmityslaitteen hankintahinnan. Lisäksi laitteet ovat alttiita toimintahäiriöille, mikäli syötettävä polttoaine ei ole tasalaatuista. Uunista on tällöin myös yhteys varastopesää suurempaan polttoainevarastoon, jonne tuli voi edetä, elleivät palosulkulaitteet toimi.

Polttoaineen palaessa syntyvä kipinäinti asettaa vaatimukset palotilan ja savuhormiston sekä savukaasumurin rakenteiden ja liitosten tiiviydelle.

Kuivuriuunien tehot ovat suuria ja samoin virtaavat kaasumäärät. Siksi häiriötilanteissa reaktiot ovat voimakkaampia kuin keskuslämmityspienkattiloissa. Varsinkin etupesissä tapahtuu virheellisesti lämmitettäessä häkäpoksahduksia, jolloin uunin luukuista saattaa tulla palavia kekäleitä.

Oikein suoritettulla ja huolellisella lämmityksellä palovaa-
raa voidaan pienentää ratkaisevasti. Uunihuone ja lämmitys-
laitteet on pidettävä puhtaina pölystä ja roskista. Uuni-
huoneessa ei saa säilyttää palavia materiaaleja lämmityksen
aikana. Lämmityksessä tulee noudattaa valmistajan antamia
käyttöohjeita.

Kiinteän polttoaineen uuneille on syytä antaa erityismää-
räyksiä lisänä öljylämmitteisistä uuneista. Liitteessä 1 on
ehdotus erityismääräyksiksi.

7. YHTEENVETO

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

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

Olkea käytettäessä asuinrakennusten lämmitykseen tarvitaan 8...12 ha oljet. Yhden hehtaarin olkiasadolla pystytään kuivaamaan seitsemän hehtaarin viljasato. Olkea ei voida kuitenkaan käyttää viljankuivaukseen, koska ei ole olemassa olkiuuneja, joilla saataisiin riittävä lämpöteho kohtuullisella lämmitystyömäärällä.

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 jäähdytystä varten tai sähkökatkoksen takia.

Pienissä, alle 150 kW, kuivuriuuneissa voidaan käyttää käsityttöisiä 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 etupesitä.

Pieniä kotimaista polttoainetta käyttäviä kuivuriuuneja voidaan käyttää kylmäilmakuivurin lisälämmönlähteenä. Uuni sijoitetaan siten, että uunissa lämmennyt ilma johdetaan kylmäilmakuivurin ilmanottoaukkoon. Asennuksessa on noudatettava kylmäilmakuivurin lisälämpölaitteista ja uunihuoneesta annettuja paloturvallisuusmääräyksiä.

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

Kotimaisen polttoaineen käyttöä ajatellen paloturvallisuusmääräyksiä pitää tältä osin täsmentää.

Yhteiskunnan tuki on välttämätön edistämään siirtymistä tuontipolttoaineen käytöstä kotimaisen polttoaineen käyttöön. Siirtymistä voitaisiin tehostaa ja kotimaisen polttoaineen kannattavuutta lisätä poistamalla liikevaihtovero kotimaisen polttoaineen käyttöön perustuvista laitteista sekä lisäämällä halpakorkoisia lainoja. Kotimaista polttoainetta käyttävien lämminilmakuivurien lämmityslaittehankintoihin pitäisi myöntää avustuksia.

On huomattava, että maa- ja metsätalouden kokonaisuutta ajatellen on maatilalla järkevää käyttää kotimaista metsästä saatavaa polttoainetta. Metsänhoidossa poistettavat taimiston perkaus- ja harvennushakkuujätteet tulevat hyödynnetyiksi omalla tilalla ja samalla metsän hoitotyöstä johtuvat kustannukset ovat vähennyskelpoisia maatalouden verotuksessa tuotantorakennusten lämmitykseen ja viljankuivaukseen käytetyn puun osalta. Tällöin metsän hoitotyöstä johtuvat kustannukset eivät rasita metsätaloutta.

8. VIITTEET

- /1/ Sippola, J.: Maatilatalouden energiareservien käyttö. SITRA B 59, Helsinki 1980.
- /2/ Högnäs, T., Rajala, P.: Pienpuun ja hakkuutähteiden korjuu maataloilla. SITRA A 63.
- /3/ Asplund, O., Solantausta, Y.: Puun käyttö polttoaineena I. Kirjallisuuskatsaus, VTT/POV, Tiedonanto 24. Espoo 1979.
- /4/ Koistinen, Rautoja: Oljen käyttö polttoaineena. Mikkeli 1980.
- /5/ Fuel properties of barkning refuse from Finnish tree species. Ekono sarja 89. Helsinki 1964.
- /6/ Kallio-Mannila, R., Ritala, R., Kettunen, P.: Turvetuotanto maataloilla. SITRA A 65. Helsinki 1980.
- /7/ Maltry, W., Pötke, El, Schneider, B., Landwirtschaftliche Trocknungstechnik, 2. painos, VEB Verlag Technik, Berlin, 1975, 69...153, 423.
- /8/ Piltti, M.: Energian tarpeen vähentämisestä ja kotimaisen energian käytöstä viljan kuivauksessa. VAKOLAn tutkimus-selostus n:o 19.

TÄYDENNYSOSA VILJANKUIVUREIDEN PALOTURVALLISUUDESTA KIINTEILLÄ
POLTTOAINEILLA LÄMMITETTÄVIEN KUIVURIUUNIEN OSALTA

Sisältö

JOHDANTO

1:

MÄÄRITELMÄT

- 1.1 Kiinteä polttoaine
- 1.2 Polttoainevarasto
- 1.3 Varastosillo
- 1.4 Varastopesä
- 1.5 Etupesä
- 1.6 Poltin
- 1.7 Tuhkanerotinsykloni
- 1.8 Savukaasuumuri

2. LÄMPÖLAITTEET

- 2.1 Kiinteillä polttoaineilla lämmitettävä uuni
 - 2.1.1 Lämpötilan valvontalaite
 - 2.1.2 Varastopesällisen uunin ja poltinuunin lisävarolaite
 - 2.1.3 Sähkökytkennät
- 2.2
 - 2.2.1 Palamiskaasujen lämpötila
 - 2.2.2 Savukaasuumuri ja kipinänsammutin
 - 2.2.3 Savuhormi
 - 2.2.4 Tuhkanerotinsyklonin eristys

3. KUIVAUSILMAHORMI

- 3.1 Kuivausilmahormin imupuoli

- 4. KUIVURIUUNIN LISÄLAITTEIDEN ASENNUS JA SIJOITUS
 - 4.1 Automaattiset syöttölaitteet ja kuljettimet
 - 4.1.1 Materiaalit
 - 4.1.2 Kuljettimien katkaisu
 - 4.1.3 Umpinaisen kuljettimen sammutusjärjestelmä
 - 4.1.4 Avoin kuljetin
 - 4.2 Varastosillo
 - 4.2.1 Varastosillon materiaalit
 - 4.2.2 Sillon sijoitus
 - 4.3 Polttoainevarasto
 - 4.3.1 Varaston sijoitus
- 5. TOIMINTAVARMUUS JA KOKEET
 - 5.1 Normaali kuivaus ja häiriötilanteet
- 6. LIITTEET
 - 6.1 Varastosillo suojarakennuksessa
 - 6.2 Varastosillo ulkotilassa
 - 6.3 Kuljettimen sammutusjärjestelmä

VILJANKUIVURIEN PALOTURVALLISUUS

JOHDANTO

Sisäasiainministeriö on rakennusasetuksen (266/59) 1 §:n 2 momentin, palo- ja pelastustoimesta annetun asetuksen (1089/75) 1 §:n sekä sisäasiainministeriöstä annetun asetuksen (636/78) 11 §:n nojalla laatinut viljankuivureiden paloturvallisuutta koskevat määräykset 18.5.1981.

Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitoksella järjestettiin 12.11.1981 näytös hakkeella toimivan kuivuriuunin toiminnasta.

Näytöksen yhteydessä pidetyssä neuvottelussa päätettiin, että tutkimuslaitos laatii ehdotuksen kotimaisella polttoaineella toimivien viljankuivurien paloturvallisuusmääräyksistä perustuen tutkimuslaitoksella saatuihin kokemuksiin käyttökokeissa.

Tämä ehdotus on laadittu täydentämään sisäasiainministeriön 18.5.1981 antamaa ehdotusta viljankuivurien paloturvallisuudesta kiinteää polttoainetta käyttävien laitosten osalta.

1. MÄÄRITELMÄT

- 1.1 Kiinteällä polttoaineella tarkoitetaan tässä yhteydessä lähinnä kotimaisia yleisesti saatavilla olevia kiinteitä polttoaineita; puuta, turvetta ja olkea.
- 1.2 Polttoainevarasto on kuivaamon ulkopuolella sijaitseva avoin tai katettu tila, jonne kuivauksessa tarvittava kiinteä polttoaine varastoidaan.
- 1.3 Varastosilo on uunihuoneessa tai uunihuoneen ulkopuolella sijaitseva palamattomasta rakennusaineesta valmistettu kiinteän polttoaineen säiliö, josta polttoaine siirretään koneellisesti tai painovoimaisesti lämpölaitteelle.
- 1.4 Varastopesällä tarkoitetaan ennen varsinaista tulipesää olevaa arinalla varustettua tilaa, jossa tapahtuu kiinteän polttoaineen primäärinen palaminen ja josta on suora yhteys tulipesään.
- 1.5 Etupesällä tarkoitetaan erillistä arinalla varustettua kiinteän polttoaineen primääriseen palamiseen tarkoitettua tilaa, joka on yhdistetty väliputkella varsinaiseen kuivuriuuniin.
- 1.6 Kiinteän polttoaineen polttimella tarkoitetaan automaattisen syöttölaitteen jatkeena olevaa kyseiselle polttoaineelle soveltuvaa poltinta, jossa polttoaine palaa.
- 1.7 Tuhkanerotinsyklonilla tarkoitetaan savuhormiin liitettyä sykklonia, joka toimii lentotuhkan erottimena ja kipinän sammuttimena.
- 1.8 Savukaasumuri on savuhormiin liitetty puhallin, joka imee savukaasut uunista ja puhaltaa ne savuhormiin.

2. LÄMPÖLAITTEET

2.1 Kiinteillä polttoaineilla lämmitettävä kuivuriuuni

- 2.1.1 Kuivuriuunin tulee olla varustettu lämpötilan valvontalaitteella, joka pysäyttää savukaasumurin ja estää palamisilman virtauksen tulipesään jos kuivausilman lämpötila kuivuriuunin ulostuloaukossa nousee 100 °C:een. Poltinuunissa valvontalaitteen pitää pysäyttää polttoaineen syötin ja mahdollinen savukaasumuri sekä estää palamisilman virtaa polttimelle. Kytkenä tulee suorittaa siten, että toiminnot voivat käynnistyä uudelleen vasta sen jälkeen kun kuivausilman lämpötila on laskenut 60 °C alapuolelle.
- 2.1.2 Varastopesä- ja poltinkuivuriuuni on varustettava laitteella, joka kuivausilmapuhaltimen pysähtyessä ohjaa kuumenneen ilman erilliseen ulosjohtavaan palamattomasta aineesta tehtyyn hormiin ja pysäyttää savukaasumurin sekä estää palamisilman virtauksen tulipesään. Poltinuunissa pysäyttää myös syöttimen.
- 2.1.3 Kuivurin kuivausilmapuhaltimen, savukaasumurin, palamisilmaluukkujen ja polttoaineen syöttimen sähkökytkentä on suoritettava siten, ettei savukaasumuri ja syötin voi toimia eikä palamisilma virrata tulipesään ellei kuivausilmapuhaltimen moottori ole käynnissä. Kuivausilmahormissa tulee uunihuoneen puolella olla lämpömittari, josta voidaan helposti lukea kuivausilman lämpötila.

2.2.1 Palamiskaasujen lämpötila liitinhormissa ei saa kuivuriuunin suurimmalla sallitulla kuormituksella ylittää 350 °C, eikä kuivausilman lämpötilan nousun ollessa 40 °C alittaa 120 °C. Koestettaessa tulee kuivausilman alkulämpötilan olla 20 ± 5 °C ja vastapaineen kuivausilmahormissa 6 mbar (60 mmvp).

2.2 Mikäli laitteistossa on savukaasuimuri, on sen rakenteeltaan oltava sellainen, etteivät kipinät pääse imurista leviämään ympäristöön.

Savukaasuimurilla varustetun uunin savuhormiin tulee liittää kipinänsammutin tai vaihtoehtoisesti tuhkanerotinsyklooni, joka toimii myös kipinänsammuttimena.

2.2.3 Savuhormin tulee olla niin korkea, ettei savukaasujen takaisinvirtaus polttoainesiloon ole mahdollista, vaikka savukaasuimuri olisi pysäytetty.

2.2.4 Tuhkanerotinsyklooni eristetään kuten savupiippu. Uunihuoneessa sijaitsevan syklonin pintalämpötilojen suhteen noudatetaan mitä kuivuriuuneista on määrätty.

3. KUIVAUSILMAHORMI

3.1 Kuivausilmahormin imupuoli tulee rakentaa niin tiiviiksi, ettei kuivausilmapuhallin aiheuta alipainetta uunihuoneeseen.

4. KUIVURIUUNIN LISÄLAITTEIDEN ASENNUS JA SIJOITUS

4.1 Automaattiset syöttölaitteet ja kuljettimet

- 4.1.1 Syöttölaitteet, jotka ovat suoraan yhteydessä kuivuriuuniin tulee valmistaa palamattomista tarvikkeista. Niiden rakenteen on oltava mahdollisimman pölytiivis ja pölyn tarttumista estävä.
- 4.1.2 Tulen leviäminen uunista varastosilloon tulee estää sulkupellein ja/tai katkaisemalla kuljetin käyttämällä kaksoiskuljetinta silloin kun polttoaineen syöttö tapahtuu täysin automaattisesti.
- 4.1.3 Umpinainen syöttökuljetin on varustettava sammutusjärjestelmällä, jossa esimerkiksi vesi painovoimaisesti johdetaan lämpötilan noususta avautuvaan suuttimeen.
- 4.1.4 Polttoaineen syöttö uunille avoimella kuljettimella on suoritettava valvottuna.

4.2 Varastosillo

- 4.2.1 Varastosillo on rakennettava palamattomista materiaaleista.
- 4.2.2 Sillo on varustettava palamattomasta materiaalista valmistetulla kannella, mikäli silloa ei ole sijoitettu erilliseen katokseen, jonka katon sisäpuoli on verhottu syttymisherkkyys-/palonlevittämislukkaa 1/I materiaalilla.

Kannellinen tai katoksella suojattu sillo saadaan sijoittaa vähintään 6 m:n etäisyyteen palonarasta ja 3 m:n etäisyyteen paloestävästä viljankuivaamosta.

Vähintään A 30-luokkaiseksi palosuojattu silloa ympäröivä rakennus saadaan rakentaa kuivaamorakennuksen yhteyteen. Kuivaamosta pois päin suuntautuva seinä voidaan jättää avoimeksi silloin täyttämistä varten.

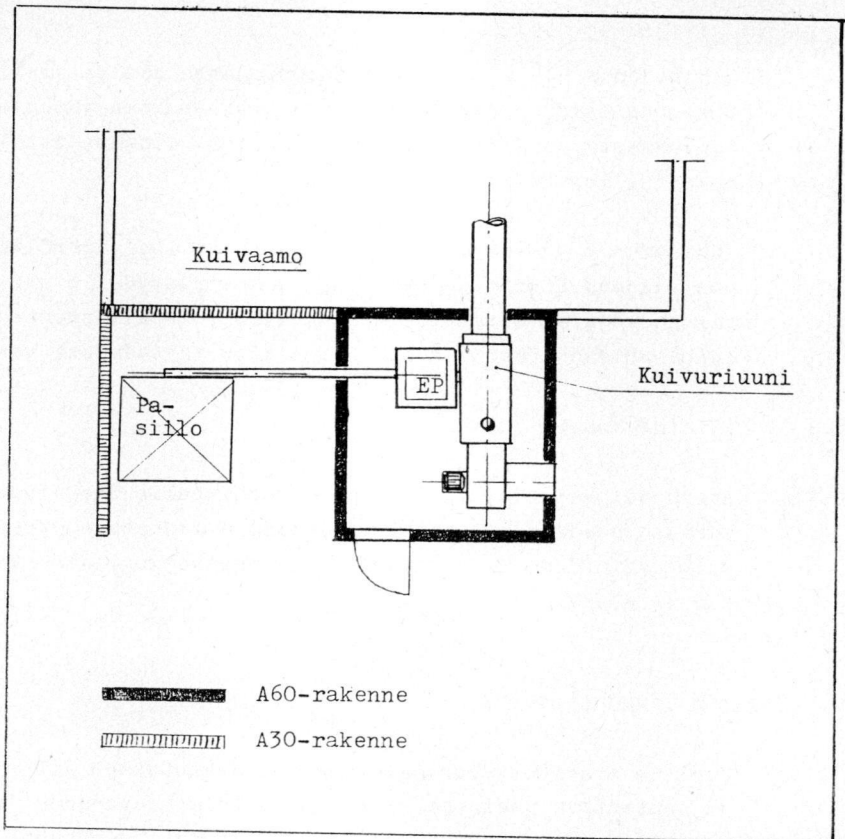
Vähintään B 30-luokkaiseksi suojattu silloa ympäröivä rakennus saadaan sijoittaa vähintään 1 m etäisyydelle kuivaamorakennuksesta. Kuivaamorakennuksesta pois päin suuntautuva seinä voidaan jättää avoimeksi silloin täyttämistä varten.

4.3 Polttoainevarasto

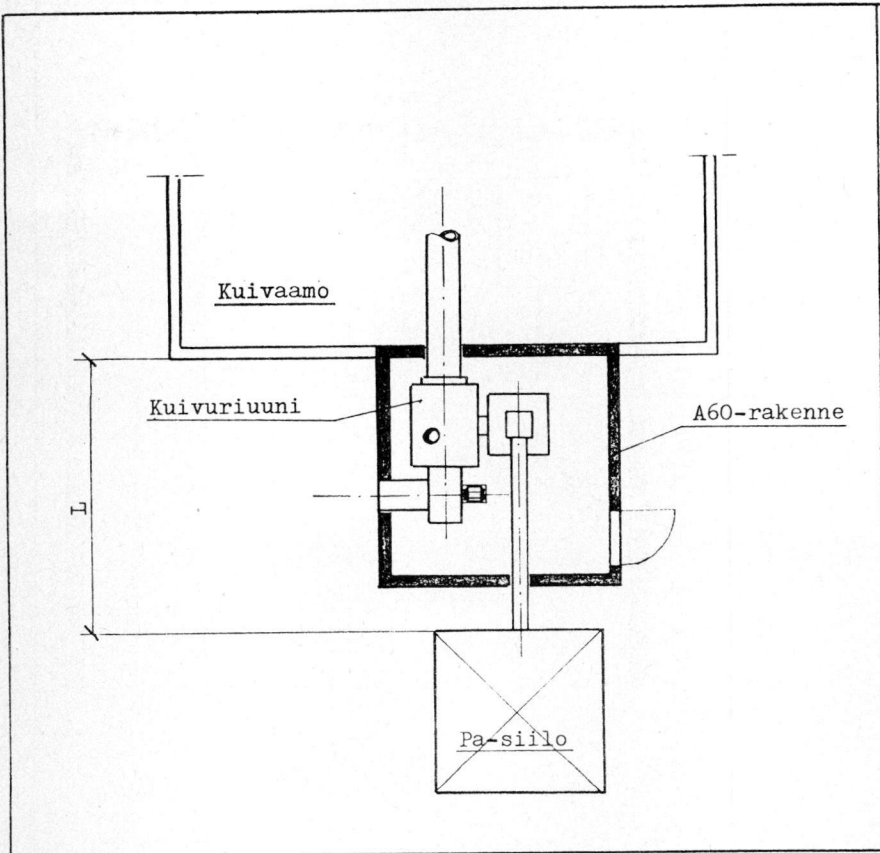
- 4.3.1 Avoin tai katettu kiinteälle polttoaineelle tarkoitettu varasto saadaan sijoittaa vähintään 4 m:n etäisyyteen muun kuin vähintään B-luokkaisesti rakennetun kuivaamorakennuksen seinästä.

5. TOIMINTAVARMUUS JA KOKEET

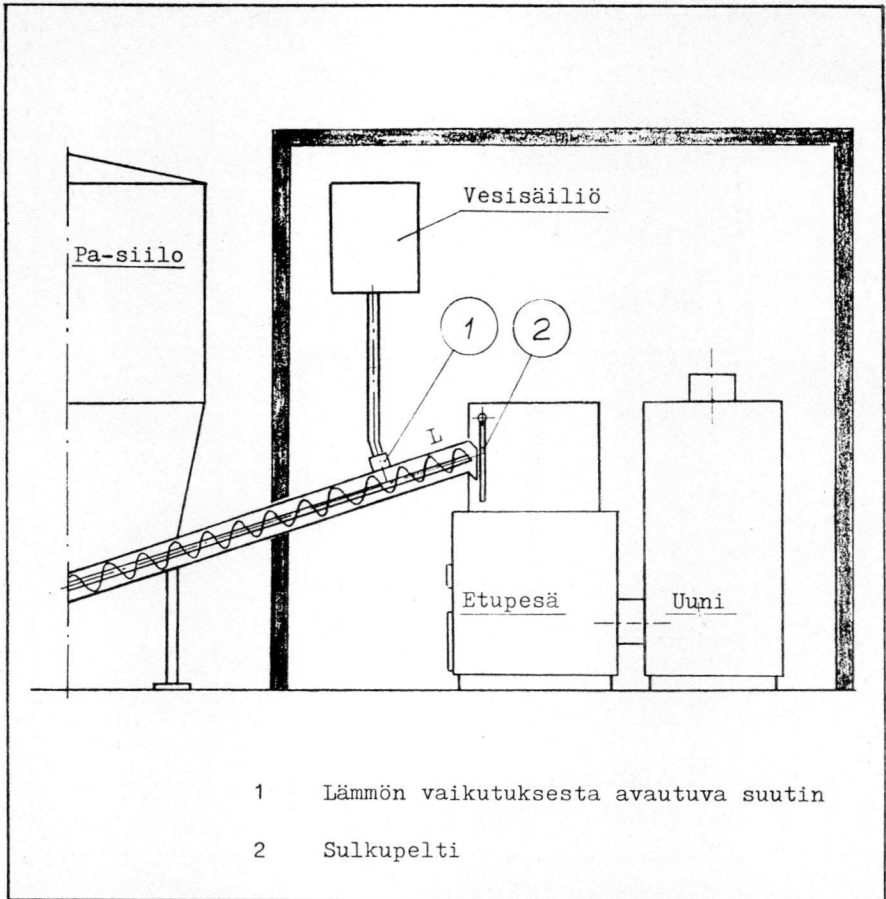
- 5.1 Uunille suoritettavan paloluokitustarkastuksen yhteydessä on testattava uunin ja laitteiston toimintavarmuus ja paloturvallisuus kuivauksessa, jäähdytyksessä ja sähköhäiriötilanteissa.



Kuva 1. Esimerkki kuivuriuunin ja varastosiiilon sijoittamisesta kiinteää polttoainetta käytettäessä. Siihoa ympäröivä rakenne on A30-luokkainen ja rakennettu kuivaamon yhteyteen. Mikäli siihoa ympäröivä rakennus on suojattu vähintään B30-luokkaiseksi, saadaan se sijoittaa vähintään 1 m:n etäisyyteen kuivaamorakennuksesta.



Kuva 2. Esimerkki kuivuriuunin ja varastosiloon sijoittamisesta kiinteää polttoainetta käytettäessä kun sillo on varustettu suljettavalla kannella. Sillo voidaan suojata katoksella, jolloin katon sisäpuoli on verhottava syttymisherkeyys-/palonlevittämislukkaa 1/I materiaalilla. Silloin etäisyys vähintään 3 m paloestävästä ja vähintään 6 m palonarasta viljankuivaamosta. (mitta L)



Kuva 3. Automaattinen polttoaineen syöttö polttoainesiilosta kuivuriuunille:

- Sulkupelti sulkeutuu painovoimaisesti ja estää tulen etenemisen ruuviin sekä ilman virtauksen ruuviin kautta tulipesään.
- Suutin avautuu lämmön vaikutuksesta ja vesi purkautuu ruuviin.
- Suutin suositellaan sijoitettavaksi 0,5 m:n etäisyydelle kuljettimen päästä. (Mitta L).

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 stabiilisuus. 1978. |
| 17 | Turtiainen, K., Kyselytutkimus monitoimikoneen kuljettajien työn rasittavuudesta ja työviihtyvyydestä. 1978. |
| 18 | Turtiainen, K., Vertailututkimus metsurin työhousujen viiltosuojausten 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., Energiansäästö viljankuivauksessa. 1983.
- 32 Mäkelä, O., Ahokas, J., Suurinkeroinen, J., Kotimainen polttoaine viljankuivauksessa. 1983.
- 33 Ahokas, J., Energiantuotanto maatilatalouden omista energialähteistä. 1983.

