

VAKOLAn tiedote

70/95



Hannu Borén Jukka Pietilä

Hakkeen kuivaus imuilmalla

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
Agricultural Research Centre of Finland

VAKOLA

Maatalousteknologian tutkimuslaitos

Osoite	Puhelin
Vakolantie 55	(90) 224 6211
03400 VIHTI	Telefax
	(90) 224 6210

Institute of Agricultural Engineering

Address	Telephone int. +
Vakolantie 55	358-0-224 6211
FIN-03400 VIHTI	Telefax int. +
FINLAND	358-0-224 6210

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	3
2.	POLTTOHAKKEEN KOSTEUDEN AIHEUTTAMAT HAITAT	3
3.	PUUN KOSTEUSTASAPAINO	4
4.	AURINGON LÄMMÖN HYVÄSIKÄYTTÖ HAKKEEN KUIVAUKSESSA	6
5.	HAKEKUIIVURIN RAKENNE	6
5.1	Kuivurin rakenne	6
5.2	Kuivurin sijoittaminen	7
5.3	Runko	8
5.4	Pohja	9
5.5	Imukanava	9
5.6	Puhallin	10
5.7	Katto	10
6.	KUIVURIN KÄYTTÖ	11
7.	IMUKUIIVURIN KANNATTAVUUS	12
8.	IMUKUIIVURIN KÄYTTÖKELPOISUUS	13

1. JOHDANTO

Tämä tiedote pohjautuu VAKOLAssa kesällä ja syksyllä 1994 tehtyyn hakekuivuritutkimukseen. Tutkimuksessa kehitettiin hakkeen kylmäilmakuivuri, jolta edellytettiin seuraavia ominaisuuksia:

- voidaan rakentaa pääosin maatilalta löytyvistä tarvikkeista.
- toimii myös polttohakkeen varastona.
- toimii imuilmalla.
- kuivaa hakkeen tehokkaasti käyttäen apuna auringon lisälämpöä.
- voidaan tyhjentää esimerkiksi traktorin etukuormaajalla.
- hinta ilman puhallinta on enintään 2000 mk.

Lähtökohtana oli kuivata hake imuilmalla, eli imemällä kuivausilma hakkeen läpi. Tällöin saadaan auringonpaisteella kuivausilmaan lisälämpöä ja siten kuivaus on tehokkaampaa. Ajatus hakkeen alipainekuivauksesta syntyi aikaisemmasta VAKOLAn tutkimuksesta, jossa kuivattiin heinää imuilmalla ja tulokset olivat hyviä.

Hakekuutiometrin kuivauskustannus oli työkustannusten kanssa 18 mk ja ilman työkustannuksia 7 mk. Kuivauskustannuksia laskettaessa oletettiin, ettei hakkeen kuivauksesta kerry tuloja. Puhaltimen sähkönkulutus oli noin 10 kWh kuivattua hakekuutiometriä kohti.

Tulosten perusteella hakkeen yli- ja alipainekuivaus ovat teknisesti yhtä hyviä tapoja hakkeen kuivaamiseksi. Hakkeen kuivaustapa kannattaa valita rakennuskustannusten perusteella. Jos tilalla ei ole valmiina hakkeen kuivaukseen sopivaa tilaa, imuilmalla toimiva hakekuivuri on varteenotettava vaihtoehto.

Hannu Borén teki aiheesta opinnäytetyön Joensuun Yliopistossa. Tutkimuksen ohjaajina toimivat MML Jukka Pietilä VAKOLASTa sekä MML Antti Asikainen ja MMT Matti Kärkkäinen Joensuun yliopistossa. Jukka Pietilä kirjoitti opinnäytetyön perusteella tämän tiedotteen. Tutkimuksen rahoitti Maatalouskoneiden tutkimussäätiö.

2. POLTTOHAKKEEN KOSTEUDEN AIHEUTTAMAT HAITAT

Hakkeen polttoarvoon vaikuttavat eniten kosteus ja palakoko sekä näiden vaihtelu. Hyvässä polttohake-erässä kosteuden ja palakoon vaihtelu on pientä. Kosteuteen ja palakokoon vaikuttavat haketettava puulaji ja hakepuun korjuutapa. Hakkeen kosteus vaikuttaa polttotekniikkaan ja lämpöarvoon. Puun kosteus tarkoittaa veden massan ja näytteen kokonaismassan suhdetta, joka ilmoitetaan usein prosentteina. Parhaiten pienkattiloihin sopii hake, jonka kosteus on noin 20 %.

Täysin kuivan puun lämpöarvo on 19 MJ/kg (5,3 kWh/kg). Puun kosteuden lisääntyessä polttoainekilon lämpöarvo alenee 0,2 MJ/kosteusprosenttiyksikkö, koska osa lämmöstä

kuluu puussa olevan veden haihduttamiseen. Polttohakkeen liiallisen kosteuden aiheuttamia haittoja ovat:

- polttoaineen tehollinen lämpöarvo laskee.
- palamislämpötila laskee, jolloin haihtuvat aineet eivät pala täydellisesti ja kattilan teho laskee.
- savukaasujen suuri vesimäärä syövyttää kattilaa.
- kattila pikeentyy, jolloin sen teho laskee.
- kattilan puhdistaminen on vaikeaa.
- nokipalovaara savuhormissa.
- kostea hake jäätyy talvella kylmässä varastossa.
- homepölyriski haketta varastoitaessa ja käsiteltäessä.

Kostea haketta kuluu enemmän kuin kuivaa. Kuivaa haketta on myös helpompi varastoida ja käsitellä.

Vastakaadettu puu on niin kostea (45 - 60 % vettä tuorepainosta), että siitä tehtyä haketta ei voida varastoida. Jos kostea puuta haketetaan, hake alkaa nopeasti lämmetä. Varastoinnin aikana tapahtuvat kuiva-ainetappiot alentavat hakkeen lämpöarvoa. Tavallisesti rankahakekasojen kuiva-ainetappiot ovat kuukaudessa alle 1 %.

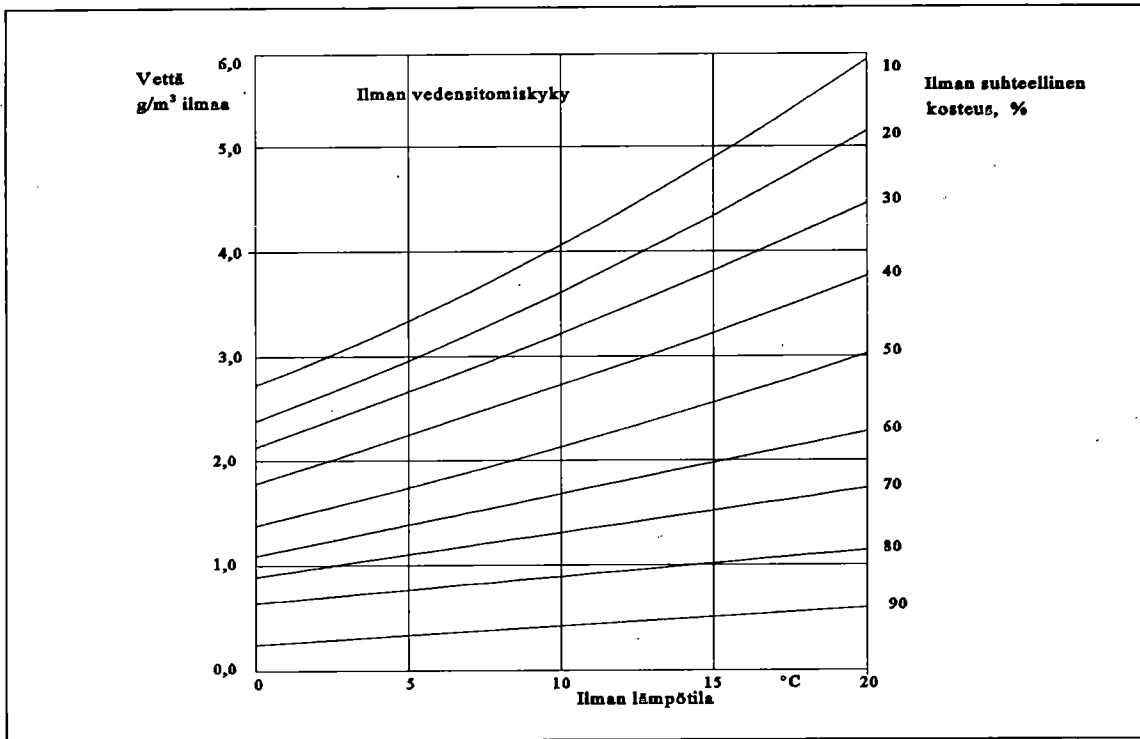
Puuta lahottavat sienet kasvavat nopeimmin puun kosteuden ollessa 25 - 60 %, joten käsiteltäessä kosteana varastoitua haketta on aina olemassa homepölyvaara. Homesienten itiöt voivat kestää pitkäänkin kuivia kausia. Hakkeen homehtumisen estämiseksi hakevaraston tulee olla viileä, korkea ja hyvin ilmastoitu ja varastoitavan hakkeen on oltava kuivaa.

3. PUUN KOSTEUSTASAPAINO

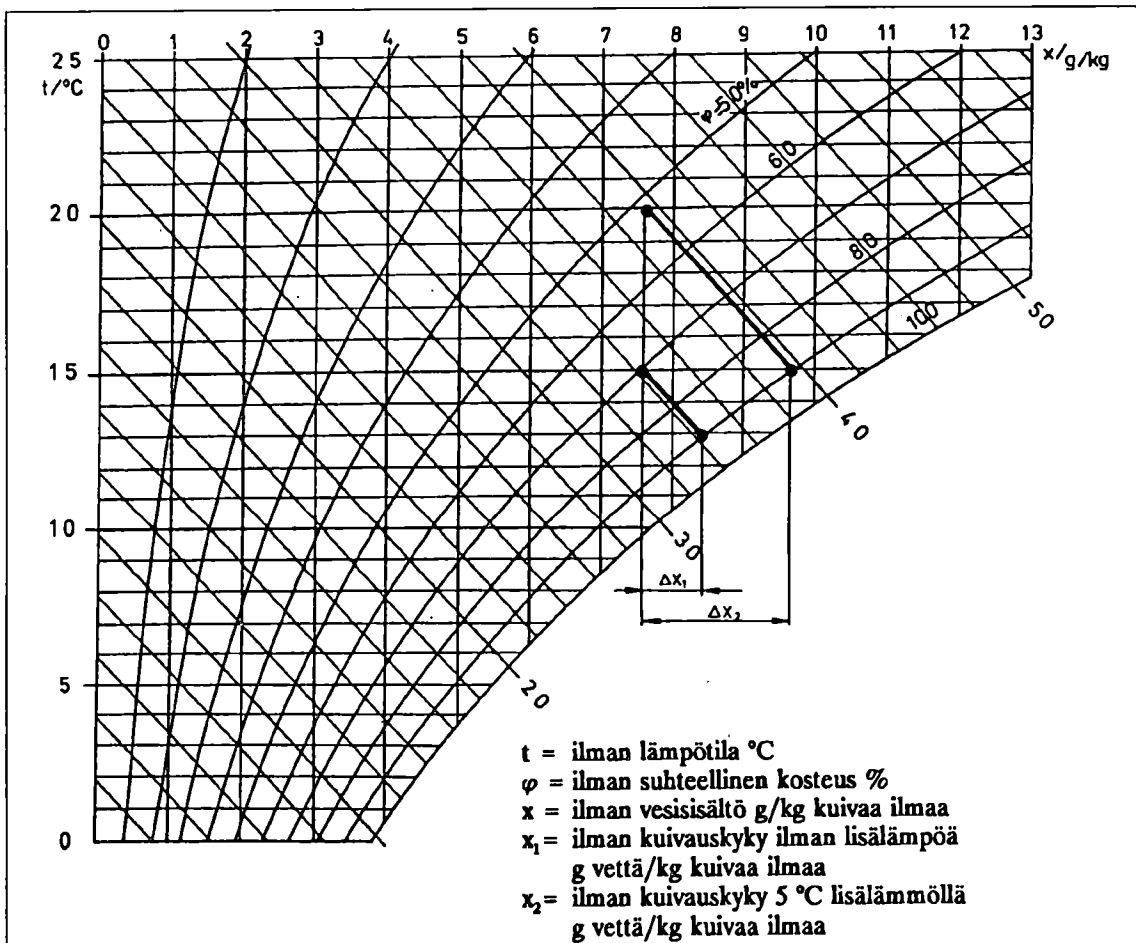
Puun kosteus muuttuu, kun ilman suhteellinen kosteus muuttuu. Puu joko sitoo kosteutta ilmasta tai luovuttaa sitä ilmaan aina tiettyyn tasapainotilaan asti. Kun puun sitoman veden vesihöyryn osapaine on suurempi kuin ympäröivän ilman, eli puun kosteus tasapainotilaa suurempi, puu luovuttaa vettä vesihöyrynä ilmaan ja päinvastoin. Lämpötila vaikuttaa ilman suhteelliseen kosteuteen. Nyrkkisääntö on, että ilman lämmittäminen 1 °C:lla alentaa sen suhteellista kosteutta 5 % ja vastaavasti ilman jäähdyttäminen 1 °C:lla lisää ilman kosteutta 5 %.

Ilman vedenpidätyskyky saadaan ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden avulla. Kuvasta 1 voidaan lukea, paljonko 1 m³ ilmaa sitoo itseensä vesihöyryä. Piirros on laadittu siten, että haihtumiseen tarvittava lämpöenergia otetaan kuivattavasta ilmasta.

Mollier-diagrammi esittää, kuinka lisälämmön vaikuttaa kuivausilman vedenpidätyskykyyn. Kun ilmaa lämmitetään, sen absoluuttinen kosteus pysyy vakiona, mutta suhteellinen kosteus laskee. Tällöin ilman vedensitomiskyky kasvaa. Ilman kuivauskyky lasketaan vähentämällä tuloilman absoluuttisesta kosteudesta poistoilman absoluuttinen kosteus.



Kuva 1. Ilman potentiaalinen vedensitomiskyky sen lämpötilan ja suhteellisen kosteuden muuttuessa (Kares ja Linna 1983).



Kuva 2. Mollier-diagrammi ja lisälämmön vaikutus ilman kuivauskykyyn (Ahokas ym. 1990).

Tarkastellaan kuvan 2 esimerkkiä viljankuivauksesta. Tuloilman suhteellinen kosteus on 70 % ja lämpötila 15 °C. Jos poistoilman suhteellinen kosteus on 90 % saadaan jokaista ilmakiloa kohti poistumaan 0,87 g vettä. Kun ilmaa lämmitetään 5 °C lämpötila nousee 20 °C:een ja suhteellinen kosteus laskee noin 51 %:iin. Tällöin jokaista ilmakiloa kohti poistuu 2,1 g vettä. Kuivauskyky paranee siis $(2,1 - 0,87) : 0,87 \times 100 \% = 140 \%$. Kuvasta 2 nähdään myös toinen huomion arvoinen seikka. Esimerkkitapauksessa 5 °C lämmitys nostaa poistoilman lämpötilan lähelle ulkoilman lämpötilaa. Jos poistoilman lämpötila nousee korkeammaksi kuin rakennuksen sisällä olevan ilman lämpötila, osa poistoilman vedestä voi tiivistyä uudelleen kuivattavan materiaalin pintaan. Näin voi käydä, koska ilman absoluuttinen kosteus ja lämpötila vaikuttavat sen suhteelliseen kosteuteen. Näin ollen ilman nopea jäähtyminen johtaa veden tiivistymiseen.

4. AURINGON LÄMMÖN HYVÄKSIKÄYTTÖ HAKKEEN KUIVAUKSESSA

Aurinkoenergiaa voi hyödyntää hakkeen kuivauksessa. Paras kuivausajankohta on touko-kuusta elokuuhun. Periaatteena on, että auringonsäteily lämmittää kuivurin tai tasokerääjän pintaa, joka edelleen lämmittää kuivausilmaa. Vain lämpimään pintaan koskettava ilma lämpiää. Hyvin toimivan keräimen pinnan on oltava tumma, sille on tultava mahdollisimman paljon auringonsäteilyä ja ilman on virrattava hallitusti tämän pinnan ohi.

Aurinkoenergian hyväksikäytöllä saavutetaan seuraavia etuja:

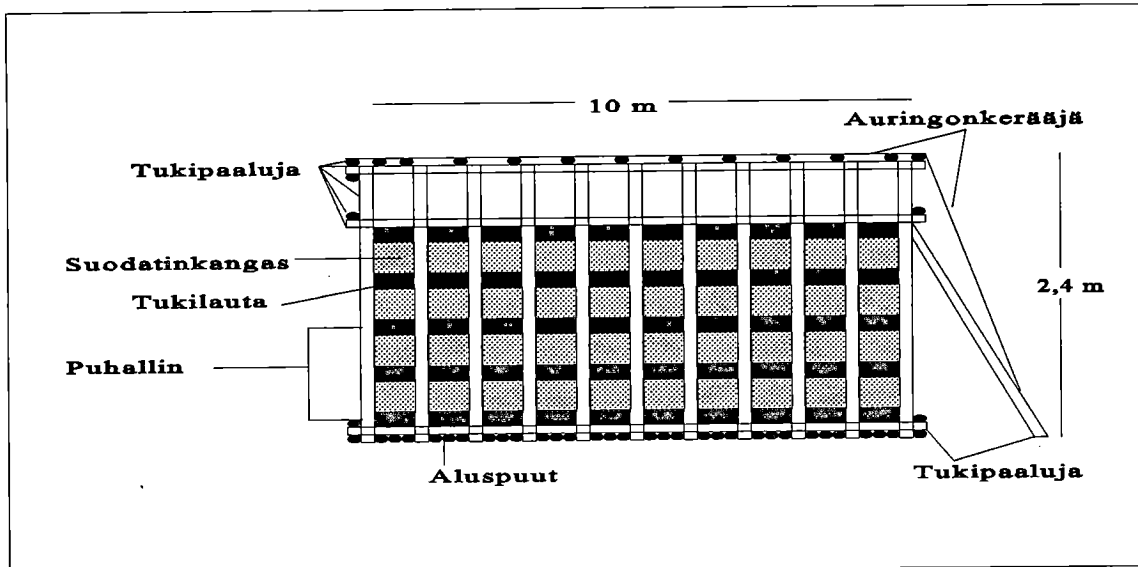
Kuivausilman suhteellinen kosteus määrää kuivattavan hakkeen tasapainokosteuden. Kuivausilman lämpötilan nousu 1 °C asteella alentaa ilman suhteellista kosteutta noin 5 %. Tämä alentaa hakkeen tasapainokosteutta. Vielä merkittävämpää on auringonkerääjän avulla saatu ilman kuivauskyvyn parantuminen tietyinä hetkenä sekä pitempi päivittäinen kuivausaika, jolloin hake saadaan kuivaksi nopeammin. Auringonkeräimen tehoa ei pidä kuitenkaan yliarvioida, sillä 1 °C lämmön nousu lisää ilman vedensitomiskykyä noin 0,3 g/m³. Vaikka haketta kuivattaisiinkin lämmitetyllä ilmalla, tulee ilmamäärän olla riittävän suuri, vähintään 250 m³/h/hakekuutiometri, jotta saavutettaisiin tasainen kuivaustulos.

5. HAKEKUIIVURIN RAKENNE

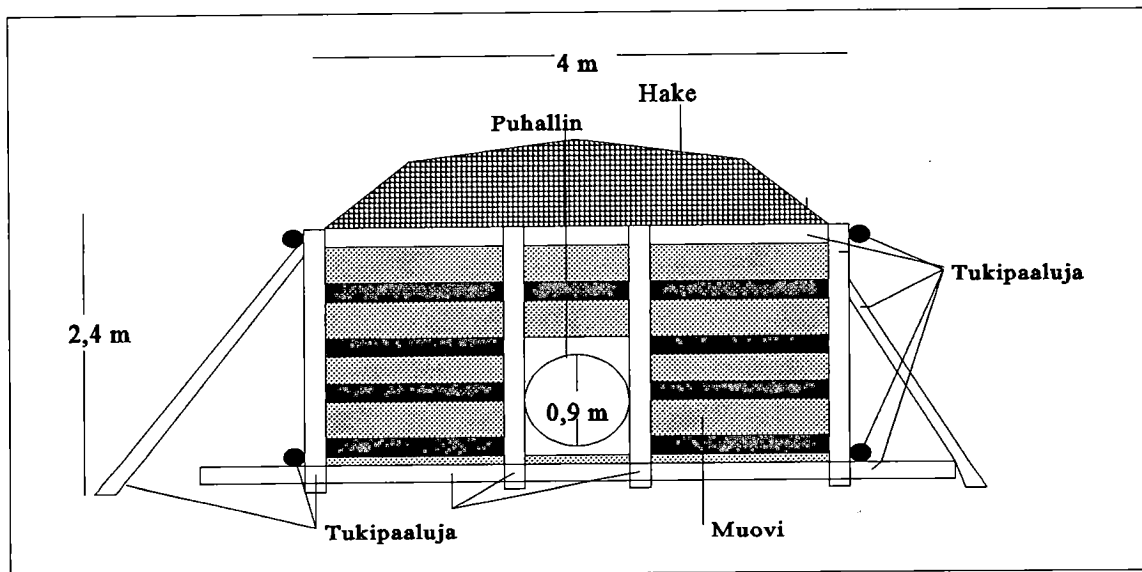
5.1 Kuivurin rakenne

Seuraava ehdotus rakenne- ja rakentamisedotus pohjautuu koekuivureista saatuihin kokemuksiin. Ehdotusta kannattaa pitää ohjeena ja tehdä näihin muutoksia, mikäli olot ja tarpeet ovat erilaisia. Tärkeintä on, että kuivausilman määrä on riittävä ja että ilma kiertää

kaikkialla kuivurissa. Koekuivureihin tehtiin katto, joka toimi samalla auringonkeräimenä. Kokeiden aikana kävi kuitenkin ilmi, että kevyt ja halpa peite ei kestänyt kattona ruoteiden varassa eikä katto lämmittänyt ilmaa toivotulla tavalla. Jos hake kuivataan keväällä tai alkukesällä, sää on todennäköisesti melko sateetonta, eikä auringonkeräinkattoa kannata tehdä. Kuivissa 3 ja 4 on esitetty kuivurin rakenne pääpiirtein.



Kuva 3. Kuivuri, jossa on katto, pohjoispuolelta katsottuna.



Kuva 4. Kuivuri, jossa ei ole kattoa, edestä katsottuna.

5.2 Kuivurin sijoittaminen

Kuivurin sijoittamisessa pitää ottaa huomioon muutama kuivurin toimintaan ja käyttökelpoisuuteen vaikuttava perustekijä.

Ensinnäkin kuivuri pitää sijoittaa aurinkoiseen paikkaan niin, että ainakin keski- ja iltapäivän paiste osuu siihen. Kuivuri toimii parhaiten aukealla paikalla. Kuivurin ympärille pitää varata riittävästi tilaa haketettaville puille, hakkurille ja kuivurin tyhjentämiseen.

Vähintään 3 - 4 metriä kuivurin toisella sivulla ja takana riittänee. Ilman puhallussuuntaan tilaa pitää olla ainakin kymmenen metriä, jotta poistoilma kulkeutuisi riittävän kauaksi ja jotta imukanavan poisto onnistuu. Toisen sivun voi rakentaa hyvinkin lähelle seinustaa tai muuta estettä. Kuivuri sijoitetaan itä-länsisuuntaisesti, jolloin pitkä kylki tulee etelään. Näin auringon säteitä ja lämpöä sitova pinta kasvaa. Puhallin sijoitetaan joko itä- tai länsipäätyyn.

Hakkeen kuljetusreitit kattilahuoneeseen pitää olla lyhyt. Kuivurin alusmaan pitäisi läpäistä vettä tai olla ainakin sellainen, ettei vesi jää siihen seisomaan. Hiekka- tai sorapohja on hyvä. Näin varmistetaan se, että maa kestää liikkumista myös kelirikon aikana. Puhaltimen käyttämiseen tarvitaan kolmivaihevirtaa. Sähköjohto pitää sijoittaa niin, ettei sen päältä ajeta eikä sitä muutoinkaan rikota. Puhaltimen melu on häiritsevää. Suurin melu suuntautuu puhallussuuntaan.

5.3 Runko

Koekuivureiden runko oli 10 m pitkä, 4 m leveä ja 1,5 m korkea. Kehikon rakentaminen alkoi pystyttämällä kehikon ulkoreunaan metrin välein rankoja, joiden läpimitta oli noin 10 cm ja pituus 3 m. Rangat katkaistiin myöhemmin eteläsivulta 1,9 m korkeudelta ja pohjoissivulta 2,3 m korkeudelta maanpinnasta. Mikäli kattoa ei tehdä, rangat katkaistaan kummaltakin sivulta noin 2 m korkeudelta. Kehikon leveyssuunnassa maahan asetettiin 4 - 5 m pituisia rankoja, joista osa sidottiin 4 mm rautalangalla pystypaaluihin kiinni. Tämän jälkeen sidottiin rautalangalla rangoista sivujuoksut kehikon alareunan ulkopuolelle sekä 1,5 m korkeudelle kuivurin tulevasta pohjasta. Lisäksi sidottiin muutamia kattorakenteisiin kuuluvia poikkirankoja tukemaan kehikkoa rakennusvaiheen ja haketuksen ajaksi. Kuvassa 5 on kuivuri runkovalmiina.



Kuva 5. Hakekuivuri runkovalmiina, katto ja seinän verhoilu puuttuvat.

Kuivauskehikon etelä- ja pohjoisseinät (sivut) voidaan tehdä monista eri materiaaleista. Yksi tapa on päällystää harva laudoitus maanrakennuksessa käytettävällä suodatinkankaalla. Toinen vaihtoehto on harva laudoitus 2 - 3 cm välein. Itä- ja länsiseinät (päädyt) peitetään muovilla, lastulevyillä tai muulla ilmaa läpäisemättömällä levyllä. Päätyjen ilmanpitävyys on tärkeää, jotta ilma saadaan pakotetuksi kulkemaan hakkeen läpi. Koska kuivurin tyhjennys aloitetaan takaosasta, olisi takaosan seinä syytä tehdä yhdestä tai kahdesta elementistä, jotta takaseinä voidaan poistaa nopeasti.

5.4 Pohja

Kuivurin pohja tehdään hakerangoista, jotka ladotaan poikittain kuivurin pohjalle. Rankojen päälle levitetään kosteuseristeeksi muovi. Esimerkiksi suursäkit sopivat hyvin. Muovien päälle kannattaa levittää pituussuuntaan lautoja puolen metrin välein, jotta muovit pysyvät paikallaan. Laidoista on hyötyä erityisesti silloin jos kuivuri tyhjennetään etukuormajalla.



Kuva 6. Hakekuivurin pohjan rakenne. Alla on hakerangoja, jotka on peitetty suursäkeillä. Päätyseinässä on muovi, joka ohjaa ilman virtausta. Kuvassa näkyy myös kaksi seinävaihtoehtoa. Vasemmalla on lautaseinä. Oikealla harva laudoitus on peitetty maanrakennuskankaalla.

5.5 Imukanava

Imukanavasta tehdään suorakulmio, joka on puhaltimen potkurin levyinen. Imukanavan korkeus on noin 2/3 hakepatjan paksuudesta. Jos hakepatjan keskimääräinen korkeus on 2,0 m, imukanavan korkeus on 1,4 m. Puhallin koteloidaan jollain levyllä niin, että se on suojassa vedeltä ja sateelta. Kotelo kannattaa ulottaa metri imukanavaan päin, sillä näin saadaan ilman virtaus kuivurin peräosassa suuremmaksi. Puhallinta ei tule sijoittaa lattiatasoon, vaan puhaltimen akselin tulisi olla imukanavan puolella välissä.

Imukanavan runko tehdään betoniverkosta, jonka päälle sidotaan rappausverkko. Kanavan katto tehdään rappausverkosta, joka päällystetään tiukaksi pingotetulla suodatinkankaalla. Myös muuta riittävän tiheää ja ilmaa läpäisevää ainetta voi käyttää. Kanavalle on syytä tehdä laudasta jalakset, jotka sidotaan betoniverkkoon tiukasti kiinni. Kun kanavasta tekee kaksiosaisen, se on helpompi poistaa kuivurista. Kanavan kasaanpainuminen estetään kanavan seinien välille laitetuilla tukipalikoilla tai kuivauskehikon seiniin pingotettujen tukinarujen avulla.



Kuva 7. Imukanavan rakenne. Betoniverkko on päällystetty rappausverkolla, jonka päälle kiinnitetään suodatinkangas. Langat pitävät kanavan muodossaan kuivuria täytettäessä.

5.6 Puhallin

Imukuivauksessa voidaan suositella samaa ilmamäärää kuin puhalluskuivauksessa eli 500 m^3 ilmaa hakekuutiometriä ja tuntia kohden. Puhaltimen tuottamaa ilmamäärää voi arvioida ominaiskäyrän avulla käyttämällä staattisena vastapaineena 250 Pa. Mikäli puhaltimen ominaiskäyrää ei tunneta, voidaan olettaa, että 5 kW puhallin riittää 50 hakekuutiometrin kuivaamiseen (0,1 kW kuivattavaa hakekuutiota kohti). Jos puhaltimen ilmamäärä ei riitä, kannattaa kuivurin tilavuutta pienentää tai tehdä kaksi kuivuria.

5.7 Katto

Kuivuri voi olla päältä avoin tai katettu. Mikäli katto tehdään, se toimii myös auringonkeräimenä.

Katottoman kuivurin seinistä tehdään tasakorkuiset ja se täytetään hakkeella siten, että reunoilla hake on seinien tasalla ja keskellä hake on reunoja korkeammalla. Imuilma ja suora haihdunta kuivaavat hakkeen, kun aurinko lämmittää hakekasaa. Tällöinkin on oltava

peitteitä sateisten jaksojen varalta. Kun hake on kuivunut, kuivuri peitetään. Tällöin vesi valuu kuivurin päältä pois ja katosta saadaan tiivis sitomalla peitteet tiukasti seiniin kiinni.

Koekuivureissa käytettiin kattona pressua, joka pingotettiin ruoteiden päälle. Kattopeitteen täytyy olla ehjä ja painava. Tutkimuksessa käytettyä kevytpeitettä ei voida suositella. Mikäli peitteet riittävät, niistä voi rakentaa auringonkerääjän, joka lämmittää hakkeeseen imettävää kuivausilmaa. Keräimen tulee olla eteläsivulla 45° asteen kulmassa ja kuivurin päällä noin 5° - 10° asteen kulmassa vaakatasoon nähden. Kuivurin pohjoispuolella peite kiinnitetään kuivauskehikon seinään kiinni. Peite ei saa kuitenkaan olla liian kaukana hakkeesta, sillä muuten kuivausilma ei kosketa peitteen pintaa eikä siksi lämpene.

Peitekaton heikkoutena on se, ettei sitä saa pingotettua tarpeeksi tiukasti ruoteiden ylle. Tällöin ruoteiden väliin syntyy vesitaskuja, joista vesi alkaa vuotaa hakkeen joukkoon ennemmin tai myöhemmin. Katon voi myös tehdä pellistä tms. levystä, mutta tällöin kustannukset nousevat. Levyt ovat kalliita ja ne vaativat tukevat alusrakenteet, jotta ne pysyisivät paikallaan myrskylläkin.



Kuva 8. Auringonkerääjäkatto sidottuna kuivurin päälle. Katto jatkuu eteläpuolella melkein maahan asti muodostaen ilmaa lämmittävän tilan ja pinnan.

6. KUIVURIN KÄYTTÖ

Ennen kuivurin täyttöä kokeillaan ja varmistetaan, että puhallin toimii ja että se puhaltaa ilmaa kuivurista ulos. Kuivuri täytetään hakettamalla rangat suoraan kuivuriin. Täytön aikana hakkuria siirrellään ja haketorvea käännellään, sillä hakkeen siirtely lapiolla on raskasta. Siirrettyyn hakkeeseen jää myös helposti löyhempiä paikkoja, joista ilma virtaa karkuun kuivaamatta haketta. Haketettavat puut jaetaan tasaisesti kuivurin viereen, jotta

vältytään ylimääräiseltä puunsiirtelyltä. Kuivurin täytetään ripeästi, jotta kuivaus saadaan nopeasti alkuun.

Hakkeen kuivaamiseksi puhallinta pitää käyttää kaikkiaan 60 - 80 tuntia. Pienempi tuntimäärä riittää alkukesästä, hyvien säiden aikana ja jos haketettu puu on kuivahtanut. Jos puut ovat kaatotuoreita tai ilma kosteaa, kuivausaika on pidempi. Puhallinta käytetään ilmojen salliessa koko ajan kello 9 - 19 välillä. Mikäli ilma on sateista, puhallinta käytetään 2 - 3 kertaa päivässä parin tunnin ajan.

Koekuivureissa kuivatun hakkeen loppukosteus oli 17 %. Kuivauksen jälkeen koekuivureissa oli kosteaa haketta 15 % hakkeen kokonaismäärästä. Hake jäi kosteaksi kuivurin peräosassa noin metrin korkeudella lattiatasosta. Kaksi kuukautta kuivauksen jälkeen kosteus oli tasoittunut. Hakkeen kosteus tasoittui jopa kuivurin sisäosissa, vaikka imukanava otettiin pois heti kuivauksen päätyttyä. Jos kuivurin tyhjentämisen aloittaa perästä, mahdollinen kostea hake tulee käytettyä ensin.

Mikäli imukanavaa ei tarvita samana kesänä, sen voi jättää kuivurin sisään, jolloin hake tuulettuu ja kosteus tasoittuu. Kanava on kuitenkin otettava pois ennen pakkasten tuloa. Mikäli hake on kosteaa, imukanava voi jäättyä kiinni hakkeen keskelle, eikä sitä tällöin saa vetämällä pois.

7. IMUKUIVURIN KANNATTAVUUS

Kuivurin rakentamiseen kuluu kahdelta mieheltä kolme päivää. Työkustannukset ovat 2000 mk ja materiaalikustannukset noin 2200 mk. Kuivurissa voidaan kuivata haketta noin 70 irtokuutiometriä (30 kiintokuutiota). Jos hakkeen alkukosteus on 40 % ja loppukosteus 20 %, puhallinta pitää käyttää 80 tuntia. Tähän kuluu sähköä 440 kWh, joka maksaa 155 mk. Jos hakkeen alkukosteus on 35 % tai 30 %, joudutaan puhallinta käyttämään 51 h ja 27 h, jotta hake saavuttaisi tavoitekosteuden. Sähköön kuluu rahaa tällöin 99 mk ja 52 mk.

Kuivaamalla hake saadaan säästöä, sillä kuivasta puusta saadaan enemmän lämpöenergiaa kuin märästä. Lisäksi kuiva puu palaa paremmalla hyötysuhteella kuin märkä. Hakkeen kuivauksen kannattavuutta laskettaessa käytettiin seuraavia lähtöarvoja:

- korkokanta 5 % ja kuoletusaika viisi vuotta.
- kuivurin perushankintameno on 4200 mk ja kuivauksen työkustannukset vuodessa ovat 400 mk.
- kustannuksiin ei lueta puhaltimen hintaa, vaan puhaltimen oletetaan olevan maatilalla valmiina.
- kuivurissa voidaan haketta kuivata 70 irtokuutiota haketta.
- lämpöenergian hinta on 0,1 mk/kWh.
- hakkeen kosteuden ollessa 20 %, 30 %, 35% ja 40 % oletettiin polton hyötysuhteeksi 70 %, 65 %, 60 % ja 55 %.
- kuivaustyön kustannukset ovat 400 mk/v.

Kuivuri-investointi kannattaa, jos kuivaamalla alennetaan hakkeen kosteutta 20 prosenttiyksikköä. Kun verrataan lämmityskustannuksia kuivatulla ja kuivaamattomalla hakkeella, nettotuottojen ja kulujen erotuksen nykyarvo on 5448 mk. Jos hakkeen kosteus ilman kuivausta on 30 %, ei kuivuri ole enää kannattava investointi, sillä tuottojen ja kulujen erotuksen nykyarvo on 1969 mk. Investointi ei ole tällöin kannattava, vaikka isäntä ei laskisi kuivurin rakentamisen työpalkkaa itselleen. Vaikkei hakkeen kuivaus aina kannata taloudellisesti, se kannattaa tehdä homepölyvaaran ehkäisemiseksi.

Kuivauskustannukset ovat 18 mk/hakekuutiometri työkustannusten kanssa ja ilman työkustannuksia 7 mk, kun hakkeen alkukosteus on 40 % ja loppukosteus 20 %.

8. IMUKUIVURIN KÄYTTÖKELPOISUUS

Imukuivureiden käyttökelpoisuutta heikentävät tutkimuksessa esille tulleet kolme ongelmaa. Pahimman ongelman aiheutti auringonkerääjänä toimiva peite. Koekuivureissa auringonkerääjänä käytetty kevytpeite ei kestänyt. Ongelman voi ratkaista jättämällä katon ja auringonkeräimen tekemättä. Tällöin voi tulla paljonkin ylimääräistä peitteen siirtelyä, mikäli kuivauskausi on sateinen. Säästöä taas syntyy siitä, että kuivurin rakentaminen nopeutuu ja kattopitteet kestävät paremmin.

Myös imukanavan poisto aiheutti ongelmia, vaikka kanava lähtikin helposti pois traktorilla vetämällä. Betoniverkko saattaa revetä ja näin imukanavan käyttöikä lyhenee. Vetoköysi tulisi kiinnittää kanavan "suksina" toimiviin lankkuihin. Kanavan mukana tuleva hake on lapioitava takaisin kuivuriin.

Hakkeen alipainekuivauksessa on seuraavia etuja verrattuna ylipainekuivaukseen. Kuivauskehikon koko ulkopintaa toimii auringonkerääjänä, mutta keräin lämmittää ilmaa vain aurinkoisella säällä. Pienemmän vastapaineen vuoksi alipainekuivauksessa sama puhallin tuottaa suuremman ilmamäärän kuin ylipainekuivauksessa. Kuivuri täytetään hakettamalla, joka säästää työtä. Alipainekuivurin voi myös tehdä halvalla, koska siinä ei tarvita ilman jakamiseen sopivia pohjarakenteita ja kuivuri voidaan kuitenkin tyhjentää esimerkiksi etukuormaajalla.

Hakkeen ylipainekuivauksella on myös etuja verrattuna alipainekuivaukseen. Ensinnäkin puhaltimen hukkalämpö lämmittää kuivausilmaa, mikä parantaa ilman kuivauskykyä. Hakekerroksen kuivuttua sen päälle voidaan levittää uusi hakekerros, mikä voidaan kuivata, sillä ensimmäinen hakekerros ei sido enää vettä. Imukuivureissa ei käytännössä ole mahdollista kuivata uutta hakekerrosta vanhan kuivuttua. Useimmissa hakkeen varastokuivureissa on myös mahdollista pöyhiä haketta, jolloin hakkeen kosteuserot tasoittuvat. Tämän tutkimuksen kuivureissa ei pöyhintä ole käytännössä mahdollista, mutta hake sekoittuu, kun imukanava otetaan pois. Hakkeen ali- ja ylipainekuivauksen kuivauskyky ja sähköenergian kulutus ovat kuivaustavasta riippumatta melkein samat. Siksi kannattaakin valita kuivuri, joka on pääomakustannuksiltaan halvin.

KIRJALLISUUTTA

AHOKAS, J., PAAVOLA, J., SARIOLA, J. & TUUNANEN, L. 1990. Kylmäilmakuivurin mitoitus ja käyttö. Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos. Tutkimusselostus 57. Vihdin Kirjapaino Oy. 90 s.

BORÉN, H. 1995. Alipaineella toimiva hakkeen kenttäkuivuri. Metsäteknologian syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Moniste.

AITTOMÄKI, S. 1963. Tutkimuksia polttihakkeen ja pilkkeiden kuivauksesta ulkoilman avulla. Pienpuualan Toimikunnan julkaisu 151. 38 s.

- 1965. Tutkimuksia sahajauhon kuivaamisesta ulkoilman avulla. Summary: Studies of the drying of sawdust by means of surrounding air. Pienpuualan Toimikunnan julkaisu 174. 64 s.

ALHOJÄRVI, P. 1981. Hakkeen keinokuivaus. Työtehoseura. Työtehoseuran metsätiedotus 15/1981. Forssan Kirjapaino Oy. 6 s.

- 1982. Hakkeen kylmäilmakuivaus. Teho 1982:1. s. 8 - 11.

FLINKMAN, M. & THÖRNQVIST, T. 1986. Lagring av buntade träddeklar och hyggesrester. Summary: storage of bundled unlimbed pulpwood and logging residuals. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. Rapport 180. 49 s.

GRØNLIEN, H. 1991. Tørkning av brenselflis i universaltørke med solfanger. Norsk institut for skogforskning, Skogforsk no 2. 17 s.

JÄRVENPÄÄ, M., Pehkonen, A. & Sarin, H. 1983. Opas aurinkoenergian hyväksikäytöstä kylmäilmakuivauksessa. Helsingin yliopisto. Maatalousteknologian laitos. Tutkimustiedote no 42. Helsinki. 46 s.

KARES, M. 1981. Hakkeen kuivuminen ja kuivatuksen tehostaminen, osa 1. Koneviesti 29 (1981) 3.

- 1981. Hakkeen kuivuminen ja kuivatuksen tehostaminen, osa 2. Koneviesti 29 (1981) 5.

KARES, M. & LINNA, V. 1983. Polttihakkeen puhallinkuivatus pientaloissa ja maataloilla. Kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosasto, kotimaisten polttoaineiden alueellinen hyväksikäyttö, tutkimusraportti no 25B. Helsinki. 81 s.

KETOLA, T. 1979. Kotimaiset polttoaineet, niiden käyttöön soveltuvat kattilatyypit ja kattiloiden koetusmenetelmä. Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos. Tutkimusselostus no 21. 27 s.

KOLLMAN, F. & CÔTE, W. 1968. Principles of wood science and technology. I. Solid wood. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg-New York. 592 s.

KÄRKKÄINEN, M. 1985. Puutiede. Sotkamo. Sallisen kustannus Oy. 415 s.

LINNA, V. & JÄRVINEN, T. 1983. Hakkeen keinokuivatuksen tekniset ratkaisut ja taloudellisuus. Kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosasto, kotimaisten polttoaineiden alueellinen hyväksikäyttö. Tutkimusraportti no 25A. Helsinki. 114 s.

NISULA, P. 1980. Näkökohtia polttohakkeen kuivaamisesta. Abstract: Aspects of the drying of fuel chips. Folia Forestalia 440. 14 s.

- 1988. Tuuliturbiini polttohakkeen kuivauksessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja no 298. Metsäteknologian tutkimusosasto, Metsätyötieteen tutkimussuunta. Helsinki. 43 s.

NURMI, J. 1987. Polttohakkeen kuivatus traktorikonteissa. Summary: Drying of fuel chips and chunks in wooden bins. Folia forestalia 687. Helsinki. 40 s.

- 1990. Polttohakkeen varastointi suurissa aumoissa. Summary: Longterm storage of fuel chips in large piles. Folia forestalia 767. Helsinki. 18 s.

OINAS, H. 1989. Loppuraportti hake-erän kuivaamisesta VAPOn haketusterminalilla. Kenttäkuivuri ky. Rovaniemi. Julkaisematon.

SI-mittayksikkösuositus metsäteollisuudelle. 1974. Paperi ja puu 56 (10):752-780.

SILTANEN, T. & RANTATALO, E. 1984. Polttohakkeen laadulle asetettavat vaatimukset pientalolämmityksessä. Kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosasto, kotimaisten polttoaineiden alueellinen hyväksikäyttö. Tutkimusraportti no 34. Helsinki. 81 s.

SKAAR, C. 1988. Wood-water relations. Springer series in wood science. Springer-Verlag. New York. 283 s.

SOLMIO, H. 1990. Hakkeen korjuu ja käyttö maatiloilla. Työtehoseura. Työtehoseuran julkaisuja no 314. Helsinki. 139 s.

TANNER, R. 1993. Hakkeen kuivauksen merkitys. Koneviesti no 5. s 11.

THÖRNQVIST, T. 1982. Torkning av bränsleflis med solfångareuppvärmd luft. Summary: Drying of fuel chips with solar panel warmed air. Sveriges Lantbrukuniversitet, Institutionen för virkeslära. Rapport 126. 56 s.

TURKKILA, K. 1984. Maailojen hakevarastojen homepöly. Työtehoseura. Työtehoseuran julkaisuja no 263. Helsinki. 111 s.

VAKOLAn tutkimuseloituksia

51. KAPUINEN, P. & KARHUNEN, J. 1988. Pienten pihatoiden ilmanvaihdon erityisvaatimukset
52. PUUMALA, M., MANNI, J. & SARIN, H. 1988. Tuotantorakennusten suunnittelu ja rakentaminen käytännössä
53. MATTILA, T. & VIROLAINEN, V. 1989. Hellävarainen perunankorjuu
54. MIKKOLA, H. 1989. Syyskyntöä korvaavien muokkausmenetelmien vaikutus kevätvehnän satoon 1975-1988
PITKÄNEN, J. 1989. Pitkääikäisen aurattoman viljelyn vaikutukset hiesusaven rakenteeseen ja viljavuuteen
55. Ei julkaisua
56. KAPUINEN, P. & KARHUNEN, J. 1989. Kosteiden pintojen kosteudentuotanto navetoissa
57. SARIOLA, J., TUUNANEN, L., PAAVOLA, J. & AHOKAS, J. 1990. Kylmäilmakuivurin mitoitus ja käyttö
58. MÄKELÄ, J. & LAUROLA, H. 1990. Leikkuupuimurin kulkukyky vaikeissa olosuhteissa
59. KAPUINEN, P. & KARHUNEN, J. 1990. Lietelantajärjestelmien toimivuus
60. SUOKANNAS, A. 1991. Heinän varastokuivaus
61. SARIOLA, J., TUUNANEN, L., ESKELINEN, T., LOUHELAINEN, K. & RIPATTI, T. 1992. Viljankuivauksen pölyhaitat
62. SUOKANNAS, A. 1991. Säilörehun siirto ja käsittely talvella
63. KAPUINEN, P. 1992. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset
64. KERVINEN, J. & SUOKANNAS, A. 1993. Kiedotun pyöröpaalisäilörehun valmistustekniikka ja laatu
65. SARIOLA, J. & LEPPÄLÄ, J. 1993. Hellävarainen perunan kauppakunnostus
66. KAPUINEN, P. 1993. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset II
67. PUUMALA, M. & LEHTINIEMI, T. 1993. Betonit ja muovit navetan lattiamateriaaleina
68. KAPUINEN, P. 1994. Lannankäsittelyn taloudellisuuden ja lannan ravinteiden hyväksikäytön parantaminen
69. AHOKAS, J. 1994. The effect of ground profile and plough gauge wheel on ploughing work with a mounted plough

VAKOLAn rakennusratkaisuja

- 1/1994 ALAKOMI, T., KAPUINEN, P., PUUMALA, M. & SARIN, H. 1994. Kylmä osakuivikepohjainen emolehmäkasvattamo

VAKOLAn tiedotteita

- 54/93 JANTUNEN, J. 1993. Maaseudun koerakentamisen ohjelmointi
- 55/93 SUOKANNAS, A. 1993. Pyöröpaalisäilörehun korjuu, varastointi ja laatu
- 56/93 JANTUNEN, J. 1993. Maaseuturakentamisen ideakilpailu
- 57/93 VIROLAINEN, V. 1993. Syyskylvöjen varmentaminen
- 58/93 KAIJA, J. & KOSKIAHO, J. 1993. Maatilan ja maatilamatkailun jätehuolto
- 59/93 HUOTELIN, R. 1993. Maatilamyymälätoiminta vanhassa maatilan asuinrakennuksessa
- 60/93 SALMINEN, K. & ALAKOMI, T. 1993. Tyhjen maatilarakennusten uusi käyttö
- 61/94 MIKKOLA, H. 1994. Lietelannan varastointi ja levitys
- 62/94 PUUMALA, M. 1994. Tuotantorakennusten alapohjia ja piha-alueiden päällysrakenteita
- 63/94 SARIOLA, J., PIETILÄ, J. & MÄKELÄ, O. 1994. Turvallinen puunpilkonta
- 64/94 KARHUNEN, J. 1994. Itkupinta-tuloilmalaitteen vaikutus eläinsuojassa
- 65/94 LÖTJÖNEN, T., MÄKELÄ, O. & PIETILÄ, J. 1994. Oksainen hake pienpolttimissa.
- 66/94 ELONEN, E. 1994. Pako- ja savukaasujen analysointi
- 67/94 MIKKOLA, H. 1994. Käyttökokemuksia jyräkylvö-lannoittimista
- 67S/94 MIKKOLA, H. 1995. Brukserefarenheter av vätkombisämaskiner
- 68/94 SCHÄFER, W., RAHKONEN, J. & SARIOLA, J. 1994. Käsikäyttöisten liekittimien käyttöominaisuuksia
- 69/95 ELONEN, E., ALAKUKKU, L. & KOSKINEN, P. 1995. Renkaiden vaikutus traktorin vetokykyyn ja maan tiivistymiseen
- 70/95 BORÉN, H. & PIETILÄ, J. 1995. Hakkeen kuivaus imuilmalla

