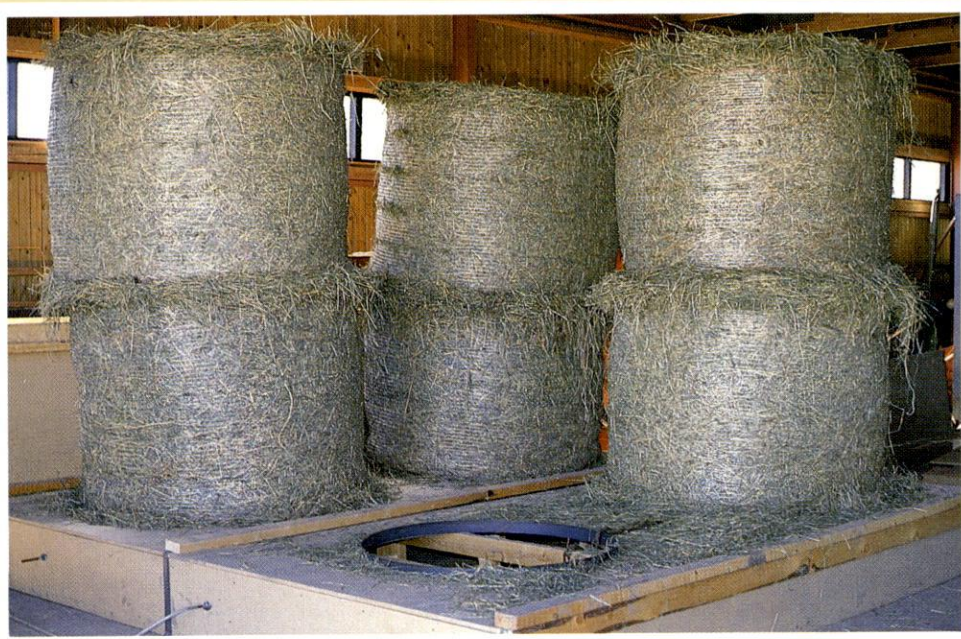


VAKOLA

ANTTI SUOKANNAS

HEINÄN VARASTOKUIVAUS

DRYING HAY IN BARN DRYER



TUTKIMUSSELOSTUS 60

VIHTI 1991

VAKOLA

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

Osoite: PPA 1, 03400 VIHTI

Puhelin: (90) 224 6211

Telefax: (90) 224 6210

ANTTI SUOKANNAS

HEINÄN VARASTOKUIVAUS

DRYING HAY IN BARN DRYER

TUTKIMUSSELOSTUS 60

VIHTI 1991

Summary p.50

Sammanfattning s. 48

SISÄLLYSLUETTELO

KUVAILULEHDET

ALKULAUSE	7
JOHDANTO	9
1. VARASTOKUIVAUKSEN PERIAATE	10
1.1. Tasapaino ilman kosteuden ja heinän vesipitoisuuden välillä	11
1.2. Poistuvan vesimäärän laskeminen	12
1.3. Irtoheinän kuivaus	13
1.4. Pienpaalien kuivaus	15
1.4.1 Paalien tiukkuus	16
1.4.2 Kuivurin täyttäminen	16
1.5. Pyöröpaalaus	16
1.6. Ilmamäärä ja vastapaine	17
1.6.1 Kuivurin vastapaine	17
1.6.2 Ilmamäärä	18
2. KOEJÄRJESTELYT	19
3. KUIVAUSILMAN VIRTAVASTUS	21
3.1. Ilmamäärän vaikutus	21
3.2. Heinän kerrospaksuuden vaikutus	23
3.3. Heinän vesipitoisuuden vaikutus	24
4. KUIVAUSILMAN VIRTAVASTUUSNOPEUDET	25
5. HEINÄN KUIVUMISNOPEUS	26
6. VARASTOKUIVURIN MITOITUS JA APULAITTEET	27
6.1. Lisälämmön käyttö varastokuivauksessa	27
6.1.1 Lisälämpölaitteen valinta	28
6.1.1.1. Aurinkolämpö heinäkuivauksessa	28
6.2. Puhaltimen ohjaustavat	29
6.3. Varastokuivurin mitoitus	30
6.3.1 Ritiiläkuivuri	31
6.3.2 Kolmioritiiläkuivuri	31
6.3.3 Pyöröpaalikuivuri	32
6.3.3.1. Kotelomallinen pyöröpaalikuivuri	33
6.3.3.2. Ajonkestävä pyöröpaalikuivuri	34
6.3.3.3. Pyöröpaalikuivurin tyyppien valinta	35
6.3.4 Muita kuivuri- ja rakenneratkaisuja	35
6.3.4.1. Norjalainen ajonkestävä pyöröpaalikuivuri	35
6.3.4.2. Kärppä-ritilä	36
6.3.4.3. Heinän ja oljen kuivausperävaunu	36
6.3.5 Puhaltimen ominaisuudet	37
6.3.5.1. Puhallintyyppit	37
6.3.5.2. Puhaltimen valinta	38
6.3.5.3. Puhaltimen melu	39

7. TILAKÄYNNIT	40
8. HEINÄKUIVURIN MITOITUSOHJEET	43
8.1 Kuivurin mitoittaminen	43
8.1.1 Irtoheinä ja pienpaalit	43
8.1.2 Pyöröpaalit	44
8.2 Puhaltimen valinta	44
8.3 Kuivurin rakenne ja tyyppi	44
8.3.1 Pyöröpaalikuivurin tyyppin valinta	45
8.4 Heinänkorjuu ja kuivurin käyttö	45
9. TIIVISTELMÄ	46
10. SAMMANFATTNING	48
11. SUMMARY	50
KIRJALLISUUSLUETTELO	53

Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri)		Julkaisun laji	
Suokannas Antti		Tutkimusselostus	
		Toimeksiantaja	
		Maatilatalouden kehittämisrahasto	
		Toimielimen asettamispvm	
		13.5.1988	
Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)			
Heinän varastokuivaus			
Julkaisun osat			
Tiivistelmä			
<p>Tutkimuksessa selvitettiin eri tavoin paalattujen heinien ja väkiheinän varastokuivauksessa tarvitsemat ilmamäärät korjuukosteuden, heinän tiheyden ja kuivurin täyttökorkeuden vaihdellessa. Lisäksi tehtiin tilakäyntejä, jolloin haastateltiin viljelijöitä heidän käyttökokemuksistaan heinän varastokuivauksesta ja seurattiin kuivureiden toimivuutta. Tutkimuksen tuloksena esitetään erilaisia varastokuivurin mitoitusvaihtoehtoja ja käyttöön liittyviä ohjeita.</p> <p>2,4 m:n heinäkerros aiheutti väkiheinää kuivattaessa keskimäärin 100 Pa:n ja 150 Pa:n vastapaineet, kun ilmamäärät olivat 2000 m³/h ja 2500 m³/h heinätonnia kohti. Vastapaineet olivat 120 Pa:a ja 160 Pa:a kerrospaksuuden ja ilmamäärien ollessa samat kuin edellä, kun kuivattiin pienpaaleja, jotka ladottiin leikattu puoli alaspäin. Lappeelleen ladottaessa vastapaineet olivat 250 Pa:a ja 350 Pa:a. Vastaavasti kiinteäkammioisen pyöröpaalaimen paalit aiheuttivat 180 Pa:n ja 230 Pa:n vastapaineet sekä muuttuvakammioisen paalit 510 Pa:n ja 710 Pa:n vastapaineet. Mittausten mukaan ilmamäärällä ja vastapaineella on yhtälön $p = aV^2 + bV + c$ mukainen riippuvuus, kun ilmamäärä on 0 - 2000 m³/m²h. Yhtälössä p on heinäkerroksen vastapaine (Pa), V on ilmamäärä pohjan pinta-alaa kohti tunnissa (m³/m²h) ja a, b, c vakioita, joiden arvot vaihtelevat kerrospaksuuden, pinoamistavan ja heinän vesipitoisuuden sekä tiheyden mukaan.</p> <p>Kuivausilman lämmittäminen jo 2 - 3 asteella lisää heinäkuivurin kuivaustehoa. Siten kuivaus onnistuu lähes kaikissa olosuhteissa, ja kuivausaika lyhenee. Kuivaus lopetetaan heinän vesipitoisuuden laskiessa alle 18 %:n.</p>			
Avalnsanat (asiasanat)			
Kuivausilman virtausvastus, ilmamäärä ja vastapaine, varastokuivurin mitoitus ja apulaitteet, kuivuri- ja rakenneratkaisu, puhaltimen valinta.			
Muut tiedot			
Saatavana Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitokselta (VAKOLA),		puh.	(90) 224 6211
		telefax	(90) 224 6210
Sarjan nimi ja numero		ISSN	ISBN
Vakolan tutkimusselostus nro 60			
Kokonaissivumäärä	Kieli	Luottamuksellisuus	
	Suomi	Julkinen	
	Tiivistelmät: englanti, ruotsi		
Jakaja	Kustantaja		
VAKOLA, PPA1, 03400 VIHTI			

State Research Institute of Engineering
in Agriculture and Forestry (VAKOLA)

Date of publication
25.3.1991

Authors (if organ: name of organ, chairman, secretary) Suokannas Antti	Kind of publication Study report	
	Comissioned by	
	Date of setting up of organ 13.5.1988	
English and Swedish titles of publication BARN - DRYING OF HAY SKULLTORKNING		
Parts of publication		
Abstract <p>Air volume needed in drying hay baled in different ways and loose hay were examined, when water content of hay in harvesting, density and hay bed depth were varying. Visits on farms were also made to interview farmers about their experiences of drying hay in barn-dryer. Besides, the dryers' ability to function was followed. As a result of this research is presented different alternatives for dimensioning barn-dryers and instructions how to use a dryer in the right way.</p> <p>Drying young loose hay in a 2.4 m layer caused on the average 100 Pa and 150 Pa static pressures, when air volumes were 2000 m³/h and 2500 m³/h per ton of hay. Static pressures were 120 Pa and 160 Pa, when drying small bales piled cut side downwards and when hay bed depth and air volumes were the same as above. When piling small bales flat-ways static pressures were 250 Pa and 350 Pa. Correspondingly round bales of fixed-chamber baler caused 180 Pa and 230 Pa static pressures and round bales of variable chamber baler caused 510 Pa and 710 Pa static pressures. The relationship between air volume and static pressure was found to agree with the equation $p = aV^2 + bV + c$ when air volume was under 2000 m³/m² per hour. In the equation $p =$ static pressure (Pa), $V =$ air volume per floor area and hour and a, b, c constants which depend on bed depth, way of piling, water content of hay and density of hay.</p> <p>Heating of drying air even by 2 - 3 °C increases drying rate of barn-dryer. In that way drying is successful almost in all conditions. At the same time the drying time is reduced. Drying is stopped, when water content of hay is under 18 %.</p>		
Key words Air volume and static pressure, dimensioning and auxiliary devices of barn-dryer, type of barn-dryer, choice of fan		
Additional information VAKOLA PPA 1 Telephone + 358 - 0 - 224 6211 SF - 03400 VIHTI, FINLAND Telefax + 358 - 0 - 224 6210		
Name of series, number Vakolan tutkimusselostus nro 60		ISSN
Name of series, number Vakolan tutkimusselostus nro 60		ISBN
Pages	Language Finnish, Tables and figures: English, Summaries: English, Swedish	
Sold by VAKOLA, PPA1, SF - 03400 VIHTI		Price FIM

ALKULAUSE

Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitoksella tutkittiin vuosina 1988 - 1990 nurmisadon käsittelyä ja varastointia. Tutkimuksessa oli kaksi osaa: heinän varastokuivaus sekä säilörehun jäätyminen ja sen estäminen. Tämä tutkimusselostus käsittelee heinän varastokuivausta. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää eri tavoin paalattujen heinien ja väkiheinän aiheuttamat vastapaineet eri täyttökorkeuksia käytettäessä ja kuivauksessa tarvittavat ilmamäärät. Lisäksi tehtiin tilakäyntejä, jolloin seurattiin kuivureiden toimivuutta ja tarkasteltiin eri rakenneratkaisuja.

Tutkimusta varten saatiin Maatilatalouden kehittämisrahastolta määräraha. Tutkimuksen valvojakunnan puheenjohtajana toimi osastopäällikkö Lauri Pölkki sekä jäsenenä rakennusmestari Tuija Alakomi, osastopäällikkö Kari Kolehmainen, päätoimittaja Tarmo Luoma ja osastopäällikkö Hannu Seppänen.

Tutkimuksen johtajana toimi osastopäällikkö Henrik Sarin ja päätutkijana agr. Antti Suokannas sekä tutkimusapulaisina kesällä 1988 agr.yo Erkki Kemppi ja agr.yo Timo Lehtiniemi, kesällä 1989 mekaanikko Jouko Hämäläinen ja kesällä 1990 agr.yo Jyrki Kervinen.

Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos kiittää maatilahallitusta, tutkimuksen valvojakuntaa ja kaikkia muita tutkimuksen onnistumista edesauttaneita, erityisesti tutkimukseen osallistuneita tiloja.

Vihdissä, joulukuussa 1990

VALTION MAATALOUSTEKNOLOGIAN TUTKIMUSLAITOS

JOHDANTO

Epävarmat säät haittaavat heinän kuivausta pellolla varsin paljon. Määrän ja laadun kannalta pitäisikin vakavasti harkita koneellisia kuivausmahdollisuuksia, jolloin heinä esikuivattaisiin pellolla ja loppukuivaus tapahtuisi joko varastossa tai ulkona kevyesti rakennetussa kuivurissa.

Ruotsissa on varastokuivatun heinän osuus yli puolet heinäalasta ja kuivureita on runsaalla puolella karjataloista. Islannissa varastokuivaus on yleinen ja lisääntymässä myös Norjassa. Keski-Euroopassa varastokuivaus on käytössä useimmilla karjataloilla.

Suomessa varastokuivatun heinän osuus on vielä vähäinen, mutta viljelijöiden kiinnostus siihen on viime vuosina lisääntynyt. Kaikesta huolimatta varastokuivureiden määrä ei ole kasvanut menetelmällä saavutettaviin etuihin nähden toivotusti. Korjattavasta heinästä vain noin 10 % kuivataan varastossa.

Nykyisin varastokuivausmenetelmää käytettäessä heinä korjataan pellolta useimmin joko irtoheinänä tai kovapaaleina. Irtoheinän käsittelyketju pellolta kuivuriin on paremmin koneellistettavissa kuin pienpaalien käsittelyketju. Toisaalta paaliheinää käytettäessä siirto ruokintapöydälle ja ruokintamäärän seuranta on helpompaa kuin irtoheinää käytettäessä. Lisäksi melko uutena vaihtoehtona on pyöröpaaleina korjatun heinän kuivaus varastokuivurissa. Ensimmäiset käytännön kokemukset menetelmästä ovat lupaavia.

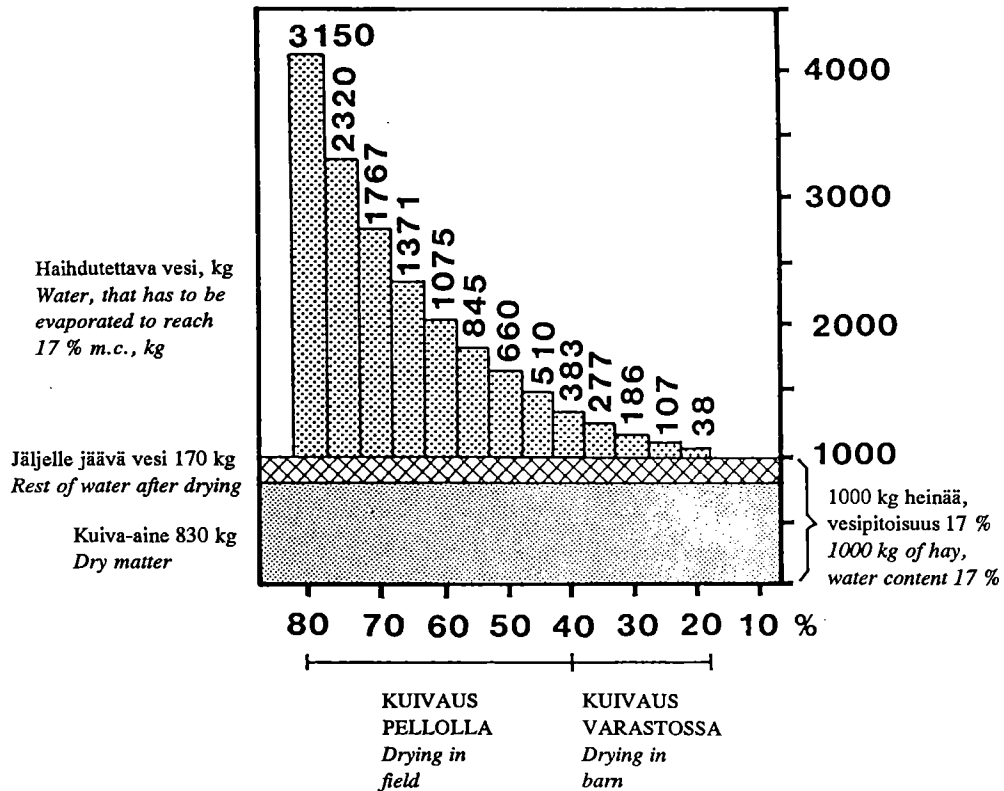
Varastokuivaus on suositeltava heinäkorjuumenetelmä, kun tavoitteena on säärisikin ja varisemistappioiden väheneminen sekä heinän laadun paraneminen. Varastokuivurissa kuivaus voi tapahtua irtoheinänä tai kova- tai pyöröpaalattuna.

Keskeisiä tekijöitä kuivauksessa ovat ilmamäärä ja vastapaine. Irtoheinää kuivattaessa vastapaineeseen vaikuttavat ilman nopeus, heinän tiheys, kasvilaji ja korjuuaste sekä varastointikorkeus. Edellisten lisäksi paalattua heinää kuivattaessa vastapaineeseen vaikuttaa pinoamistapa. Myös kuivurin rakenteet aiheuttavat pientä vastapaineen nousua. Kuivumisen kannalta oleellista on kuivausilman tasainen jakautuminen kuivurissa, mikä ainakin kova- ja pyöröpaalattua heinää kuivattaessa aiheuttaa ongelmia.

Varastokuivurin suunnittelussa on osattava valita oikean tyyppinen ja kokoinen puhallin ja myös tiedettävä sen käyttäytyminen vastapaineen muuttuessa. Käyttäjän on myöskin hallittava kuivauksen periaate, jonka keskeisin asia on heinän ja sitä ympäröivän ilman kosteustasapaino.

1. VARASTOKUIVAUKSEN PERIAATE

Heinä säilyy varastossa, jos sen kosteus on alle 18 %. Poutasäällä niitetyn heinän vesipitoisuus on noin 80 %. Siitä on poistettava yli 3000 kg vettä säilytyskuivaa heinätonnia kohti.



Kuvio 1. Kosteassa heinässä säilytyskuivaa heinätonnia kohti olevan veden määrä /2/.
 Figure 1. Amount of water in moist hay per ton of conserved hay with 17 % moisture /2/.

Pellolla voi hyvän sään aikana juuri niitetystä heinästä haihtua vettä noin 50 kertaa nopeammin kuin heinästä, joka on jo kuivunut 20 % vesipitoisuuteen. Varastokuivausmenetelmässä heinä kuivuu kahdessa vaiheessa: nopea alkukuivuminen pellolla ja hidas loppukuivaus varastossa. Varastokuivausmenetelmä merkitsee pienempää riippuvuutta säästä, pienempiä varisemis- ja huuhtoutumistappioita sekä samalla hyvää rehun laatua /7/.

Varastokuivauksessa kuivausilmaa puhalletaan heinämassan läpi. Tasainen ilman virtaus koko kuivurissa on erittäin tärkeää ja sen tähden heinän pitäisi olla mahdollisimman tasaisen tiiviinä kerroksena.

Yleensä kuivuri täytetään kerroksittain sisäänajon yhteydessä ja korjuun edistyesä. Jokaisessa kerroksessa kuivumisen on tapahduttava niin nopeasti, ettei heinää

pilaavaa mikro-organismien kasvua tapahdu /7/. Heinä, jonka vesipitoisuus korjuussa on 40 %, on kuivattava varastointikelpoiseksi 12 päivän kuluessa. Kuten taulukosta 1 näkyy, kuivumisen on tapahduttava sitä nopeammin, mitä suurempi on heinän vesipitoisuus kuivuriin tuotaessa. Myös kuivausilman lämpötilan lisääminen vaikuttaa siten, että heinän on kuivuttava lyhyemmässä ajassa, jotta homeitiöitä ei pääse muodostumaan.

Taulukko 1. Eri vesipitoisuudessa korjatun heinän pisimmät kuivausajat varastokuivurissa /4/.

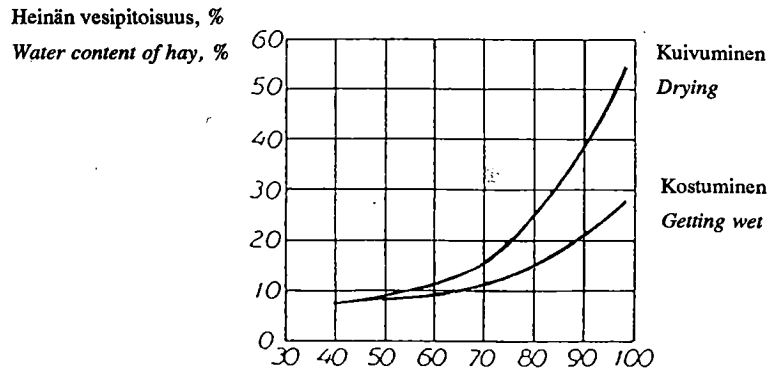
Table 1. Longest acceptable drying times of hay in dryer, with regard to the risk of microbial growth.

Kuivaustapa <i>Drying with</i>	Vesipitoisuus kuivuriin tuotaessa <i>Water content when brought into dryer</i> %	Pölyn ja huonon hajun syntyminen alkaa, vrk <i>Number of days before dust and bad smell appears</i>	Näkyvän homeen muodostuminen alkaa, vrk <i>Number of days before visible mould appears</i>
Kylmäilmakuivaus <i>Cold air</i>	60	7 - 10	10 - 12
	50	10 - 12	12 - 14
	40	12 - 15	15
	30	-	-
Kylmäilmakuivaus + lisälämpö 5 °C <i>Cold air + supplemental heat 5 °C</i>	60	6 - 9	9
	50	7 - 10	10 - 14
	40	-	15
	30	-	-

1.1. Tasapaino ilman kosteuden ja heinän vesipitoisuuden välillä

Varastokuivauksen lopussa saavutettava heinän kosteus sekä kuivauksen kesto riippuvat ratkaisevasti kuivausilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta. Lämpötila ei ole ratkaiseva, mutta lämpötila vaikuttaa ilman suhteelliseen kosteuteen ja tätä kautta ilman kykyyn sitoa vesihöyryä.

Ilman kosteus ja heinän vesipitoisuus saavuttavat tietyn tasapainon, jos ilma ja heinä ovat riittävän kauan tekemisissä toistensa kanssa. Kun heinään sitoutuneen veden höyrynpaine on suurempi kuin ympäröivässä ilmassa olevan vesihöyryn osapaine, heinä luovuttaa vesihöyryä ilmaan ja kuivuu. Vettä siirtyy, kunnes höyrynpaine-erot ovat tasoittuneet ja on syntynyt tasapainotila, jota kutsutaan tasapainokosteudeksi. Tasapaino voidaan lukea tasapainokosteuskäyrältä tietyssä lämpötilassa. Jos heinään sitoutuneen veden höyrynpaine on pienempi kuin ympäröivän ilman vesihöyryn osapaine, heinä kostuu. Tällöin tasapainotilassa heinän vesipitoisuus on pienempi verrattuna siihen, että tasapainotila olisi saavutettu heinää kuivaten, kuten kuvasta 2 näkyy. Kuivumis- ja kostumistilojen eroavuutta kutsutaan hystereesivaikutukseksi /3/.



Kuva 2.
Picture 2.

Heinän tasapainokosteuskäyrät.
Equilibrium moisture content of hay.

1.2. Poistuvan vesimäärän laskeminen

Heinän kuivumisnopeuteen varastokuivurissa vaikuttavat kuivausilman lämpötila ja suhteellinen kosteus, heinän vesipitoisuus sekä käytettävä ilmamäärä suhteessa kuivattavan heinän massaan.

Kun tunnetaan kuivausilman ominaisuudet ja kuivattavan heinän tasapainokosteus, voidaan Mollier-diagrammista lukea kunkin ilmakilon mukana poistuva vesimäärä grammoina. Esimerkissä kuivausilman lämpötila on 20 °C ja suhteellinen kosteus 55 %. Kuivattavan heinän vesipitoisuus on 30 %, jolloin tasapainotilaa vastaava ilman suhteellinen kosteus on 85 %, kuva 2. Täten kuivuriin puhallettava ilma on ominaisuuksiltaan pisteen A mukaista. Kulkiessaan heinäkeroksen läpi se kostuu tasapainokosteuteen 85 %, piste B. Tällöin on ilman vesisisältö kasvanut 8,0 grammasta 9,7 grammaan ilmakiloa kohti. Täten yksi kilo ilmaa poistaa heinästä 1,7 grammaa vettä. Kun yksi kilo ilmaa on noin 0,83 m³, poistaa yksi kuutio ilmaa $1,7 : 0,83 = 2,0$ g. Poistuvan ilman suhteellinen kosteus on siis 85 % ja lämpötila 15,8 °C. Jos puhaltimen tuottama ilmamäärä on 30 000 m³/h, poistuisi heinästä 60 kg vettä tunnissa. Edellä oleva laskelma ei kuitenkaan käytännössä pidä paikkansa, koska kuivurissa on aina jonkin verran ilmavuotoa.

Poistuvan veden määrä saadaan yksinkertaisemmin lasketuksi seuraavan kaavan avulla:

$$m = \varphi V (b - a)$$

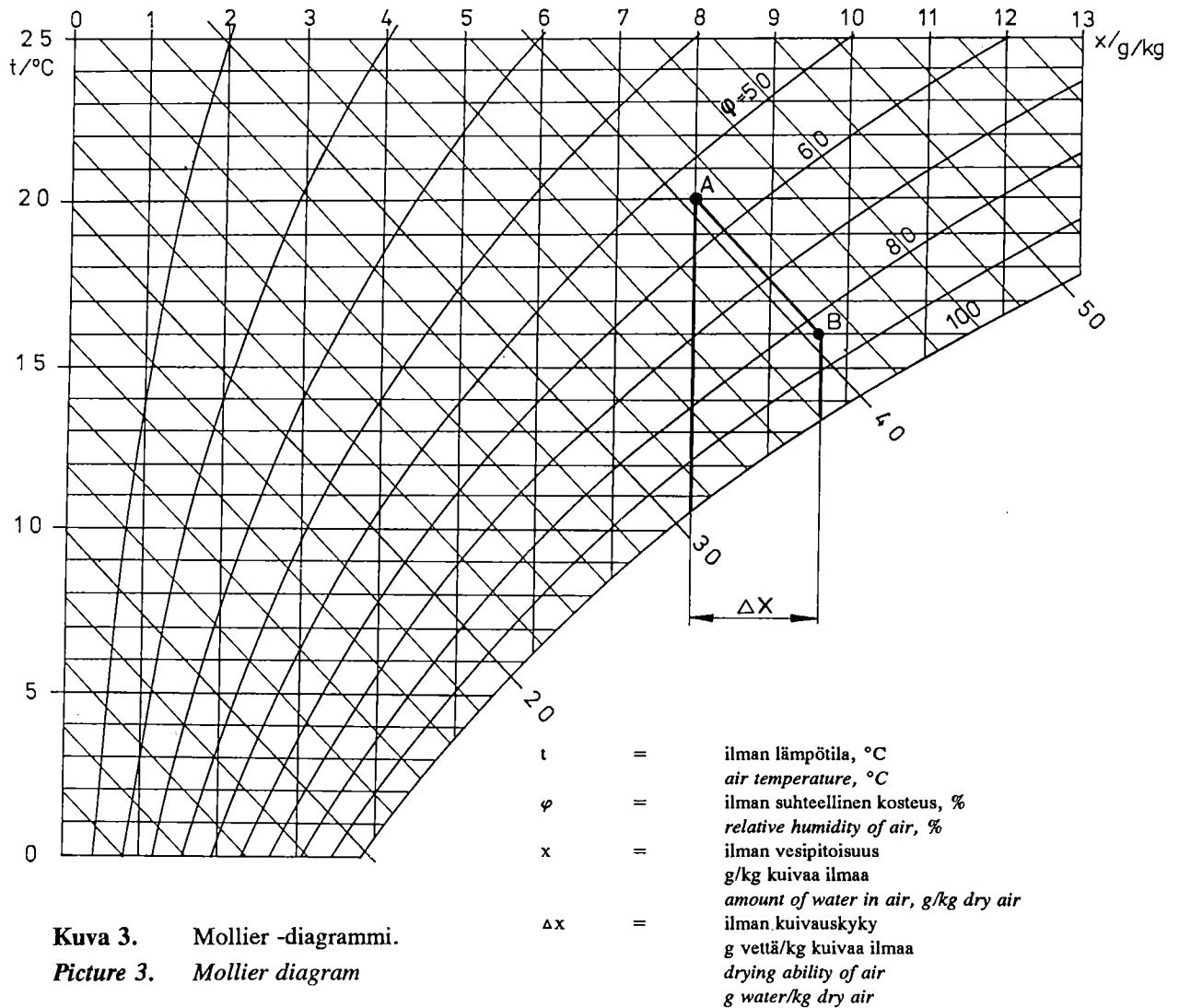
jossa m = poistuvan veden massavirta, g/h

φ = kuivausilman tiheys, kg/m³

V = ilmamäärä, m³/h

b = poistuvan ilman vesipitoisuus, g/kg

a = tulevan ilman vesipitoisuus, g/kg



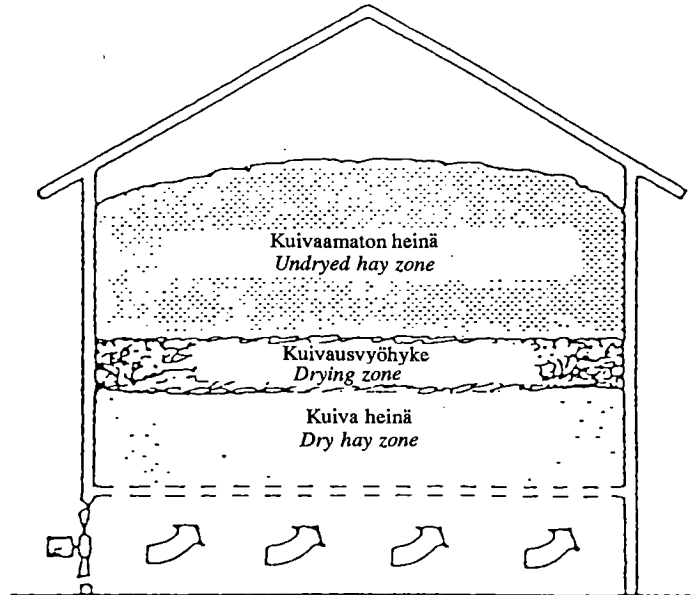
Kuva 3. Mollier -diagrammi.

Picture 3. Mollier diagram

1.3. Irtoheinän kuivaus

Irtoheinän kuivauksessa voidaan koko heinämassaa tarkastella yhtenä kokonaisuutena. Kokonaisuuden sisällä on suuria tiheyden vaihteluja, sillä heinänsäätteen tiheys kuivurin pohjalla on huomattavasti suurempi kuin heinäkerroksen pinnalla. Lisäksi tiheys on alhaisempi seinien vieressä. Toisaalta huonosti pellolla kuivunut hei-

nätukko voi nostaa tiheyttä paikallisesti. Kuitenkin on huomattava, että oikein täytetyssä kuivurissa tiheys eri kohdissa kuivuria tietyn etäisyyden päässä pohjasta on suurin piirtein sama. Tasainen tiheys aikaansaa kuivausilman tasaisen jakautumisen.



Kuva 4. Periaatekuva irtoheinän kuivumisesta varastokuivurissa. Kuivassa vyöhykkeessä heinän vesipitoisuus ja kuivausilman suhteellinen kosteus ovat tasapainossa. Kuivausvyöhykkeessä kuivausilman lämpötila laskee, koska vettä haihtuu siihen, mutta sen sijaan ilman suhteellinen kosteus kasvaa. Kuivaamattomassa vyöhykkeessä kuivausilma on lähes täysin veden kyllästämää /3/.

Picture 4. Principle of drying loose hay in a barn dryer. In the dry hay zone water content of hay and relative humidity of drying air are equilibrium. In the drying zone air temperature goes down, because water evaporates into it, but instead the relative humidity of the air increases. In the undried zone the air is almost completely saturated with water /3/.

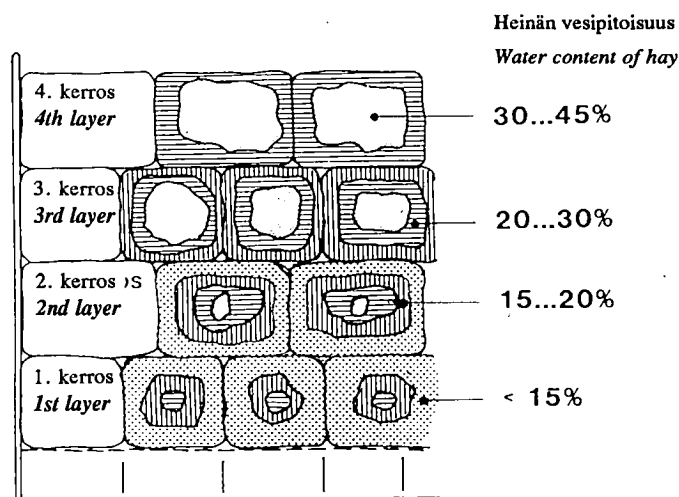
Kuivuminen alkaa kuivausilman puhallussuunnasta, yleensä altapäin, jolloin heinään muodostuu kuivumisen jatkuessa kolme vyöhykettä, kuva 4. Kuivausilma sitoo nopeasti ja lyhyen matkan aikana suurimman osan kosteudesta, joka kyseisessä lämpötilassa on mahdollista. Kuivuminen rajoittuu pääosin kapeaan kuivumisvyöhykkeeseen, joka hitaasti siirtyy samaan suuntaan kuin kuivausilma. Kuivumisvyöhykkeen alapuolella heinä on kuivaa ja sen yläpuolella kostea.

Irtoheinä- ja pienpaalikuivureissa kuivuri täytetään vaiheittain sen mukaan kuin korjuu edistyy. Yleensä täyttövaiheita tulee 3 - 5 kappaletta korjuun kestäessä pisimmillään noin 10 päivää. Huono korjuuajan sää luonnollisesti pitkittää kuivurin täyttöaikaa.

1.4. Pienpaalien kuivaus

Paalattun heinän kuivuminen poikkeaa irtuheinän kuivumisesta, sillä kuivausilma kulkee helpommin paalien välistä kuin niiden läpi. Tiheyden vaihtelu kuivurin pohja- ja pintakerroksen välillä riippuu heinäpaalien tiheydestä. Tiukat paalit säilyttävät muotonsa hyvin ja sen johdosta kasassa ei tapahdu mainittavaa tiivistymistä. Jos paalit sen sijaan ovat löysiä, seurauksena on lähes samantyyppiset tiheysvaihtelut kuin irtuheinää kuivattaessa.

Tiheys vaihtelee paalissa ja myöskin paalien kesken on tiheysvaihtelua. Paalien välissä olevilla raoilla on suuri vaikutus ilman jakautumiseen kuivurissa, sillä siihen vaikuttaa eniten paalien muodon kestävyys ja huolellisuus kuivurin täytössä. Löysien paalien muoto muuttuu helposti yläpuolelta tulevan painon vaikutuksesta: se levittää alapuolen paaleja, jolloin raot paalien välillä pienenevät. Suurin paine on pohjakerroksessa, joten sen tiiviys on paras. Mitä ylemmäksi mennään, sitä pienemmäksi käy tiivistysvaikutus. Sen sijaan tiukoissa paaleissa ei tapahdu mainittavaa tiivistymistä ja täten kuivurin täytössä syntyneet raot säilyvät koko kuivauksen ajan.



Kuva 5. Paalien ladontajärjestys kuivuriin ja kuivumisen edistyminen [2/].

Picture 5. Piling order of bales and the way bales dry in a barn dryer [2/].

Kun kuivausilma aina seuraa pienintä vastapainetta, on ilman tasainen jakautuminen pääosin riippuvainen heinän tiheydestä. Suuret tiheysvaihtelut vaikeuttavat paalattun heinän kuivausta enemmän kuin irtuheinän kuivausta. Tiheysvaihtelu riippuu useasta eri tekijästä kuten paalin muodosta ja pinoamisesta, jotka vaihtelevat huomattavasti. Sen tähden ei voi tehdä mitään yksiselitteistä kuvausta ilman jakautumisesta kuivurissa.

Suurin osa kuivausilmasta menee paalien välistä. Tämä korostuu sitä enemmän mitä tiukempia paalit ovat ja mitä ylempänä ne kasassa sijaitsevat. Raoista menevä ilma kuivaa ainoastaan paalin pintakerrosta, jolloin veden poistuminen paalin sisäosasta tapahtuu hitaasti. Jokaisessa yksittäisessä paalissa kuivumista tapahtuu sivuilta keskustaa kohti. Mitään varsinaisia kuivauskerroksia ei ole kuten irtoheinää kuivattaessa, vaan sen sijaan kuivumista tapahtuu samanaikaisesti eri puolilla kasaa koko kuivumisjakson ajan. Kuitenkin tiettyä hidastumista kuivumisessa on mentäessä alhaalta ylöspäin. Sitä paitsi ilma läpäisee tasaisemmin kuivurin pohjalla olevat paalit tiivistysvaikutuksen johdosta. Tiukoissa paaleissa heinä kuivuu kuvan 5 mukaisesti.

1.4.1. Paalien tiukkuus

Koska tiukat paalit säilyttävät hyvin muotonsa, ei paalien välien tiivistymistä juuri tapahdu. Jotta tiivistymistä tapahtuisi, pitäisi paalien olla sopivan löysiä. Paalattaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, että paalien tiheys pysyy vakiona. Pitkä paalirata saattaa aiheuttaa ongelmia, koska silloin paaleista voi tulla liian tiukkoja.

1.4.2. Kuivurin täyttäminen

Tiukat paalit on pinottava tiiviisti, koska latomisessa syntyvät raot säilyvät koko kuivausajan. Pystysuunnassa olevilta raoilta vältytään, kun paalikerrokset ladotaan ristikkäin. Ulkomaiset tutkimukset suosittelevat yleensä kovapaalattujen pienpaalien latomista leikattu sivu alaspäin. Kuivausilma virtaa silloin heinäkorsien suuntaisesti, josta seuraa pienempi vastapaine ja tasaisempi ilman jakautuminen kuin lappeelleen ladottaessa. Kuitenkin erään JTI:n tutkimuksen mukaan ilmavuodot lisääntyivät, kun paalit ladottiin syrjälleen leikattu puoli alaspäin. Tutkimuksen mukaan syrjälleen ladotut paalit säilyttivät paremmin muotonsa kuin lappeelleen ladotut. Lisäksi syrjälleen latominen on työläämpää, eikä se ruotsalaisten tutkimustulosten mukaan ole perusteltua /7/.

1.5. Pyöröpaalaus

Suhteessa muihin heinänkorjuumenetelmiin on pyöröpaalaimien käyttö Suomessa vielä vähäistä, mutta lähivuosina pyöröpaalaus tulee voimakkaasti yleistymään. Esikuivatun säilörehun pyöröpaalaus ja paalien kiedonta ovat osaltaan lisänneet pyöröpaalaimien myyntiä. Tulevaisuudessa pyöröpaalaus tulee todennäköisesti olemaan yleisin heinänkorjuumenetelmä. Suurin osa pyöröpaalaimella korjattavasta heinästä paalataan varastointikuivana. Pyöröpaalien varastokuivaus on vielä

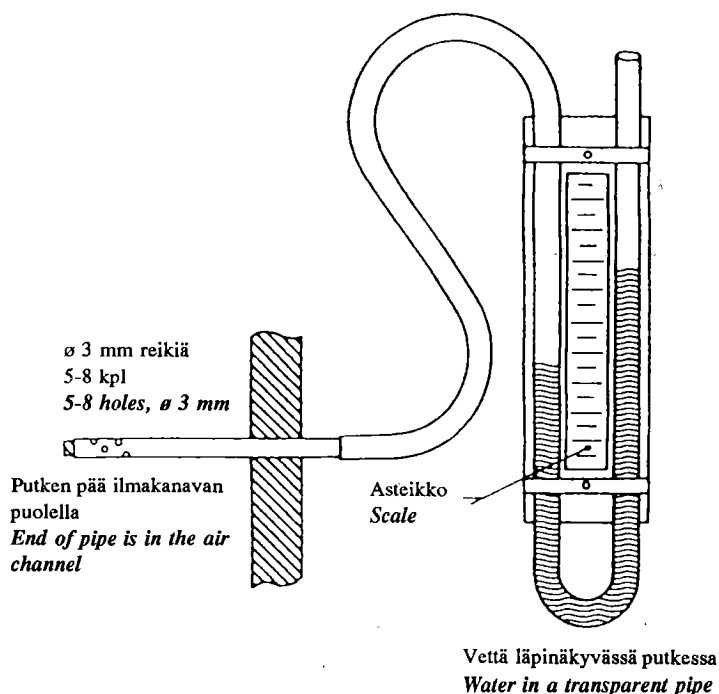
harvinaista. Yleisempää jopa Ruotsissakin on pyöröpaalien purkaminen ja kuivaaminen irtoheinänä.

Pyöröpaalaus on tehokas, täysin koneellinen heinäkorjuumenetelmä, jossa ihmistyö on pääasiassa koneiden käyttöä. Menetelmän ongelmana on kuitenkin huono korjuusää. Vain harvoina korjuukausina sää on niin suotuista, että pyöröpaalatun heinän laatuun voidaan olla tyytyväisiä. Tämän vuoksi onkin herännyt ajatuksia ja keskustelua pyöröpaalien varastokuivauksen tarpeesta. Ongelmana on kuitenkin ollut kuivauksen teknillinen toteutus, sillä pyöröpaalia ei voida kuivata samoin menetelmin kuin irtoheinää ja pienpaaleja. Koska pyöröpaali on lieriömäinen, aiheuttaa se ongelmia paalin asettelussa kuivuriin, jotta saataisiin tasainen ilmanvirtaus joka kohtaan paalissa. Tästä johtuikin, että pyöröpaalien kuivaukseen on kehitetty omia menetelmiä.

1.6. Ilmamäärä ja vastapaine

1.6.1. Kuivurin vastapaine

Kuivauksessa puhallin työskentelee kuivurin ja heinän aiheuttamaa painetta vastaan. Tämän vastapaineen suuruuteen vaikuttavat käytettävä ilmamäärä, ilmanavien väljyys, kerrospaksuus, heinälaji, heinän vesipitoisuus ja pienpaalien pinoamistapa.



Kuva 6. Paine-eromittari.

Picture 6. Pressure difference gauge.

Paine-eromittarin voi tehdä itse kuvan ohjeiden mukaan. Läpinäkyvän muoviletkun toinen pää on vapaasti ilmassa ja toinen pää kuivurin pääilmakanavassa lähellä loppupäätä.

Paineen mittayksikkö on nykyisin SI-järjestelmän mukaan pascal (Pa). Käytännössä esiintyvät myös mittayksiköt ilmakehä, millimetriä vesipatsasta (mmvp) ja bar. Näiden keskinäiset suhteet ovat:

$$1 \text{ ik} \approx 10\,000 \text{ mmvp} \approx 1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa} = 0,1 \text{ MPa}.$$

Niin heinän- kuin viljankuivauksessakin ilmanpaine mitataan paine-erona ulkoilmaan. Paine-erot ovat pieniä, joten yksiköt mmvp ja Pa ovat käyttökelpoisia.

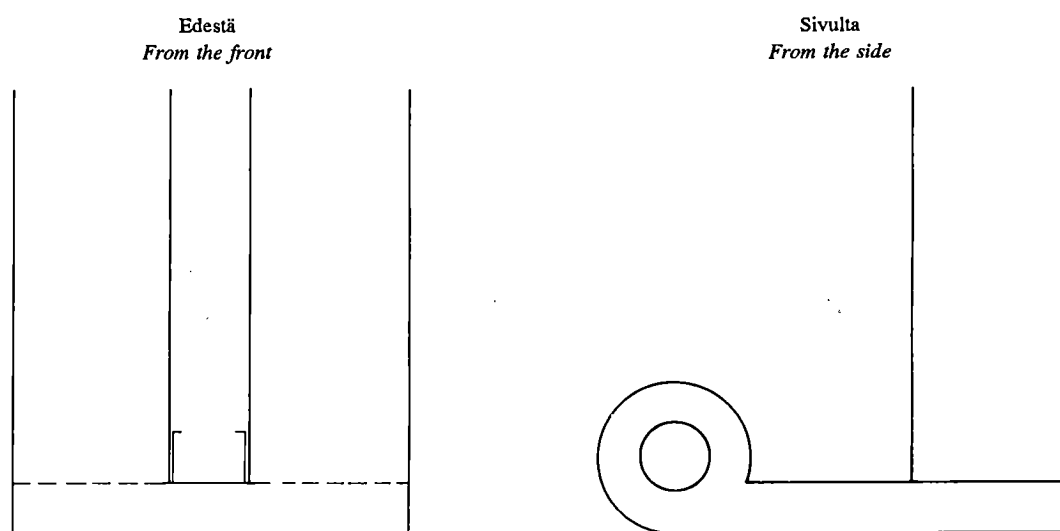
1.6.2. Ilmamäärä

Ne ilmamäärät, joita esimerkiksi JTI /4/ suosittelee irtoheinän kuivaukseen, edellyttävät tietyn suuruista kuivausilman vedensitomiskykyä. Paalien kuivauksessa on aina jonkin verran ilmavuotoa. Sen tähden poistunut vesimäärä ilmakuutiometriä kohti on pienempi kuin irtoheinän kuivauksessa. Irtoheinän ilmamääränormit eivät päde paalien kuivauksessa. Siten on otettava huomioon vuotojen määrä ja tehtävä laskennallinen korjaus irtoheinän kuivausilmamääriin. Korjauksen suuruuteen ei voi antaa yleistä ohjetta, koska ilmavuotojen määrä voi vaihdella huomattavasti riippuen paalien latomistavasta, paalien muodon kestävydestä, paalityypistä ja varastointikorkeudesta.

Kun kuivausilma menee paalिकासan raoista, on vastapaine pienempi kuin ilman kulkiessa paalin läpi. Tästä seurauksena vastapaine on pienempi pienpaalien kuivauksessa kuin vastaavan tiheyden omaavaa irtoheinää kuivattaessa. Vastapaineen aleneminen lisää puhallettavaa ilmamäärää. Tämä lisäys ei ole kuitenkaan riittävä tarvittavaan ilmamäärän lisäykseen nähden, mutta tilanne voidaan korjata hankkimalla suurempi puhallin. Toisaalta puhaltimen ollessa aivan ylimitoitettu, voi seurauksena olla jyrkkä vastapaineen nousu ja huomattava tehon kulutus. Joissakin tapauksissa joudutaan tilan pääsulakkeita suurentamaan, joka voi tulla kalliiksi. Lisäksi ilmamäärän lisääminen aiheuttaa suuremmat painehäviöt kuivurin ilmanjakokanavissa. Haitoista johtuen toisena mahdollisuutena on ilmamäärän tarpeen pienentäminen. Siihen voidaan vaikuttaa vähentämällä kerralla sisään ajettavaa heinämäärää ja sen vesipitoisuutta.

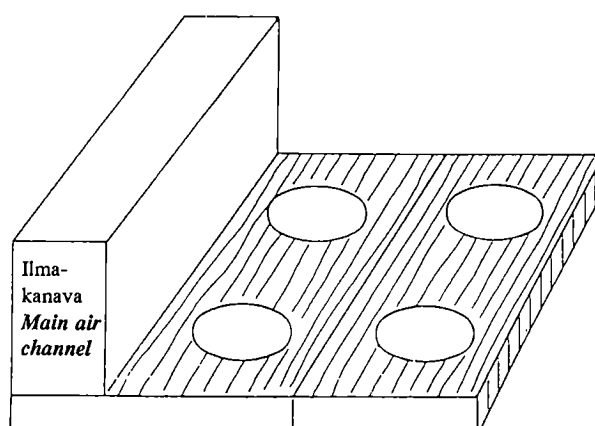
2. KOEJÄRJESTELYT

Irtoheinän ja pienpaalien kuivauskokeet tehtiin kuvan 7 mallisessa koekuivurissa, jonka pohjan pinta-ala oli 1 m². Kuivuriin oli kytketty keskipakoispuhallin, jonka pyörimisnopeutta voitiin säätää portaattomasti. Kokeissa mitattiin ilmamääriä ja vastapaineita korjuukosteuksien ja kerrosmäärien vaihdellessa. Kuivausolosuhteita, kuivausilman ja poistoilman lämpötilaa sekä suhteellista kosteutta mitattiin jatkuvasti. Paalien latomistavan vaikutusta ilmamäärään ja vastapaineeseen kokeiltiin myös. Paalit ladottiin joko leikattu puoli alaspäin tai lappeelleen. Lisäksi kuivauserän heinä punnittiin ennen ja jälkeen kuivauksen, jotta saatiin laskettua poistunut vesimäärä ja heinän tiheys. Myöskin ilman virtausta mitattiin kuivauskerroksen pinnalta.



Kuva 7. Irtoheinän ja pienpaalien koekuivuri.

Picture 7. *Experimental dryer for loose hay and conventional bales.*

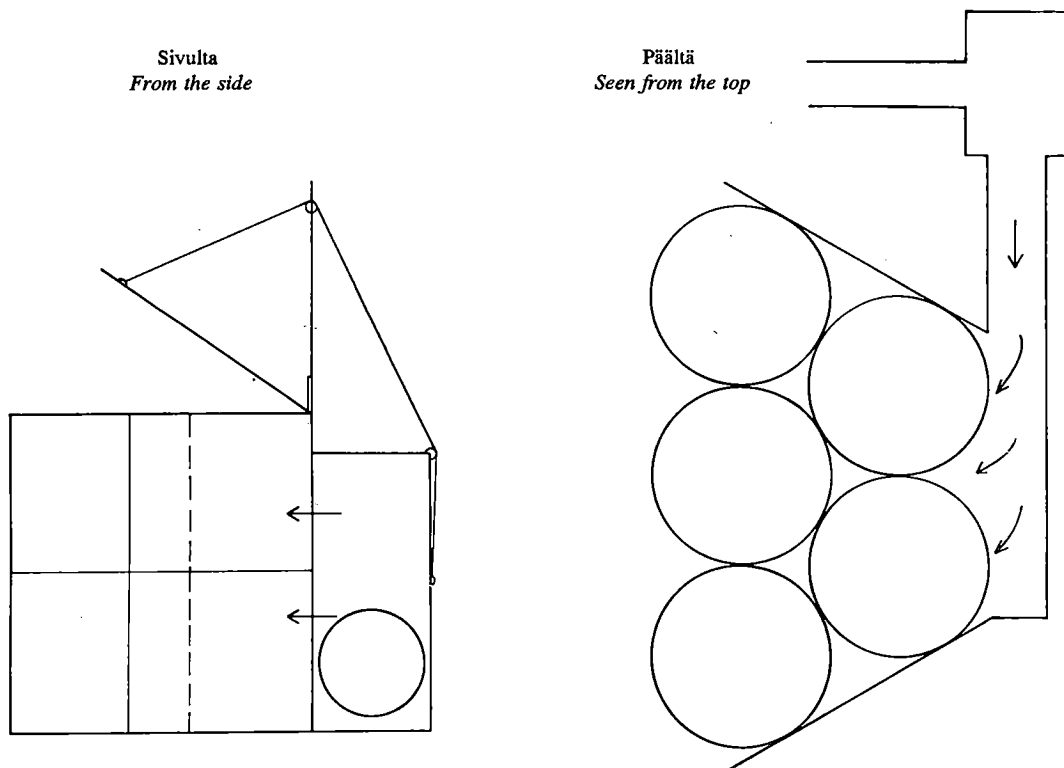


Kuva 8. Kotelomallinen pyöröpaalien koekuivuri.

Picture 8. *Case type experimental dryer for round bales.*

Kesinä 1989 ja 1990 kuivattiin pyöröpaaleja kahdessa eri tyyppisessä koekuivurissa: kotelomallisessa, kuva 8, ja sivulta puhaltavassa kuivurissa, kuva 9. Kuivureissa tehtiin samat mittaukset kuin irtuheinää ja pienpaaleja kuivattaessa, mutta lisäksi kotelomallisessa kuivurissa seurattiin kahdessa paalissa lämpötilan muutoksia koko kuivausjakson ajan. Paaleja pinottiin kotelomalliseen kuivuriin yleensä kaksi päällekkäin, mutta myös yhtä paalikerrosta kuivattaessa mitattiin ilman virtausnopeuksia paalin pinnasta eri ilmamääriä käytettäessä. Yhdessä kokeessa pinottiin kolme paalia päällekkäin. Kotelomallisessa kuivurissa aukon halkaisijana kokeiltiin 100 ja 115 cm:ä.

Kuivausilman ja poistoilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta mitattiin lämpötila- ja kosteuspiirturilla. Ilman virtausnopeuden mittaukseen käytettiin WALLAC-monitoimimittaria, jolla myös seurattiin lämpötilan muutoksia heinäkerroksen sisällä. Puhaltimen imupuolella oli HALTON-mittasiipi, josta mitattiin paine-ero ALNOR-mikromanometrillä, ja vastapaine mitattiin RIXEN-painemittarilla. Heinän kosteusnäytteitä otettiin lyhyin väliajoin kuivauseristä. Myös pikakosteusmittari oli apuvälineenä heinän vesipitoisuuden seurannassa. Pyöröpaalien kuivauksessa heinän lämpötilaa seurattiin paalin eri kohdissa termoelementeillä, jotka oli yhdistetty HP-tiedonkeruulaitteeseen ja tietokoneeseen.



Kuva 9. Sivulta puhaltava pyöröpaalien koekuivuri.

Picture 9. Experimental dryer for round bales, where the air is blown in from the side.

Kesällä 1988 pienpaaleina korjattu heinä oli timoteinurminataa ja korjuuasteeltaan vanhaa. Heinä niitettiin lautasniittokoneella ja pöyhittiin kaksi kertaa ennen paalausta. Myös kesän 1989 kokeissa heinä oli timoteinurminataseosta ja korjuuasteeltaan normaalia eli noin 50 % timoteista oli tähkällä. Pyöröpaaleina korjattu heinä oli niitetty iskukelamurskaimella varustetulla lautasniittokoneella ja pöyhitty kaksi kertaa ennen paalausta. Vuoden 1990 kokeiden heinä sisälsi timoteita, nurminataa, koiranheinää ja hiukan apilaa. Korjuuasteeltaan se oli irttoheinänä korjattaessa erittäin nuorta eli väkiheinää ja pyöröpaalattaessa nuorehkoa. Heinä niitettiin ja pöyhittiin samoin kuin edellisenä vuotena. Kaikkina kolmena kesänä heinä pöyhittiin ja karhotettiin kelaharavapöyhintä käyttäen.

3. KUIVAUSILMAN VIRTAVASTUS

3.1. Ilmamäärän vaikutus

Ilmamäärän vaikutusta vastapaineeseen tutkittiin heinän eri kerrospaksuuksia käyttäen siten, että kuivuri täytettiin pienpaaleja kuivattaessa vaihteittain, jolloin kerrospaksuus lisääntyi 0,3 metristä 2,4 metriin ja heinän aiheuttama vastapaine mitattiin joka vaiheessa eri ilmamääriä käyttäen. Mittaus tapahtui välittömästi sen jälkeen, kun paalit oli siirretty kuivuriin. Väkiheinää kuivattaessa meneteltiin samoin muuten, paitsi silloin kerrospaksuudet olivat 1,8 ja 2,5 metriä.

Pyöröpaaleja kuivattaessa oli kaksi eri kerrospaksuutta: 1,2 ja 2,4 metriä. Kuivurin ilmakehien aiheuttama vastus väkiheinää, pienpaaleja ja pyöröpaaleja kuivattaessa oli niin pieni, että sitä ei otettu erikseen huomioon laskelmissa.

Ilmamäärä tunnissa voidaan ilmoittaa joko kuivurin pohjan pinta-alaa kohden, m^3/m^2 tai kuivattavaa heinätonnia kohden, m^3/t . Käytännössä asiaa on hiukan helpompi tarkastella kuivurin pohjan pinta-alaa kohden, koska se on helposti laskettavissa irttoheinä- ja pienpaalikuivureissa. Pyöröpaalien kuivauksessa on otettava huomioon, että ilmamäärä on laskettu kotelon aukon pinta-alaa kohden.

Mittausten mukaan ilmamäärän ja vastapaineen välillä on alueella 0 - 2000 m^3/m^2 tunnissa kuvan 10 mukainen riippuvuus, joka voidaan esittää yhtälöllä:

$$p = aV^2 + bV + c,$$

jossa p = heinäkerroksen vastapaine, Pa

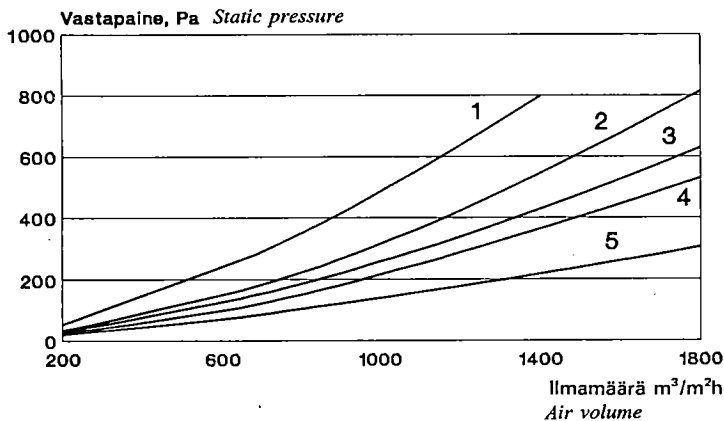
V = ilmamäärä kuivurin pohjapinta-alalle tunnissa, $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$

a, b, c = vakiokertoimia

Taulukko 2. 2,4 m:n paksuinen heinäkerros aiheutti seuraavat vastapaineet ilmamäärän ollessa 600 m³/m²h ja 1000 m³/m²h.

Table 2. A 2,4 m high hay layer caused following static pressures when air volume was 600 m³/m²h and 1000 m³/m²h.

	Vesipitoisuus % Water content %	Tiheys kg/m ³ Density kg/m ³	Vastapaine, Pa Static pressure, Pa	
			600 m ³ /m ² h	1000 m ³ /m ² h
Väkiheinä Young loose hay	47	90	140	300
Pienpaali Conventional bales				
-leikattu puoli alaspäin -cut side downwards	36	130	120	250
-lapeellaan -flat side downwards	36	130	220	470
Pyöröpaalityyppi Round big bale				
-kiinteäk. paalaimen -fixed chamber type	25	150	70	140
-muuttuvak. paalaimen -variable chamber type	32	150	90	210



Irtoheinä ja pienpaalit Pyöröpaalit Tiukat pyöröpaalit
Loose hay and conventional bales Round bales Tight round bales

1. Pienpaali lapeellaan
Conventional bale
flatways
2. Väkiheinä
Young loose hay
3. Pienpaali leikattu
alas
Conventional bale cut
side downwards
4. Pyöröpaali muuttuva
Round bale variable
chamber
5. Pyöröpaali kiinteä
Round bale fixed
chamber

Kuva 10. Ilmamäärän vaikutus 2,4 m:n korkuisen heinäkerroksen aiheuttamaan vastapaineeseen eri tavoin korjattua heinää kuivattaessa. Vesipitoisuus ja tiheys näkyvät taulukosta 2.

Picture 10. The effect of air volume on static pressure caused by a 2,4 m high hay layer when drying hay harvested in different ways. Water content and density of hay are shown in table 2.

Kuvassa 10 näkyy irtoheinän, pienpaalien, pyöröpaalien ja tiukkojen pyöröpaalien käytännön kuivureissa käytettävät ilmamäärät. Ilmamäärän on oltava irtoheinää ja pienpaaleja kuivattaessa vähintään 400 m³/m² tunnissa. Pyöröpaalien kuivausta

keskenään verrattaessa havaittiin kuivausilman läpäisevän paremmin kiinteäkammioisen paalaimen paalit kuin muuttuvakammioisen. Kuitenkin paine-ero niiden välillä on vain 70 Pa ilmamäärän ollessa 1000 m³/m² tunnissa.

Taulukossa 3 on esitetty vastapaineet heinätonnia kohden käytettäessä kahta eri ilmamäärää.

Taulukko 3. 2,4 m:n paksuisen heinäkerroksen aiheuttamat vastapaineet ilmamäärän ollessa 2000 m³/th ja 2500 m³/th.

Table 3. A 2,4 m high hay layer caused following static pressures, when air volume was 2000 m³/th and 2500 m³/th.

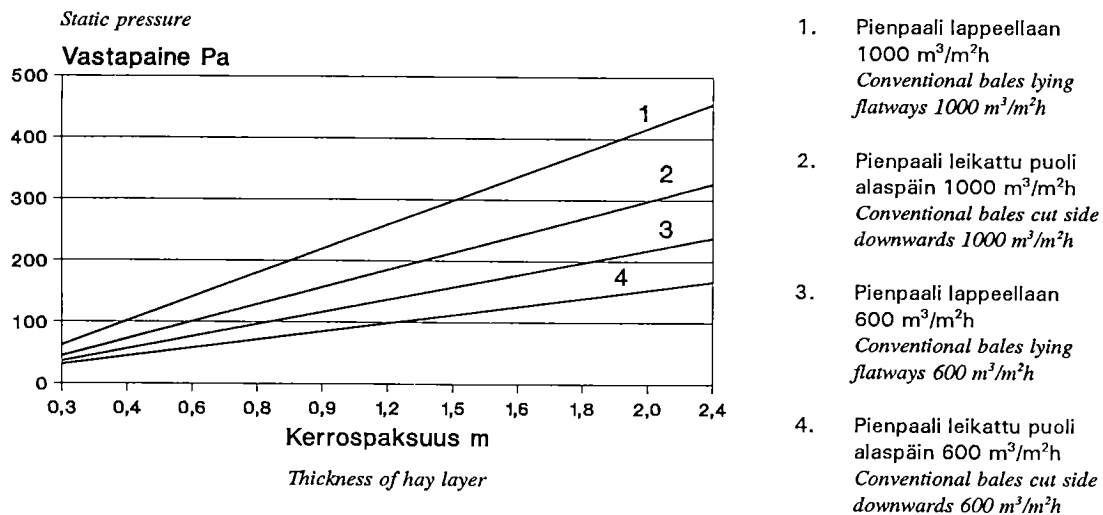
	Vesipitoisuus % Water content %	Tiheys kg/m ³ Density kg/m ³	Vastapaine, Pa Static pressure, Pa	
			2000 m ³ /th	2500 m ³ /th
Väkiheinä Young loose hay	47	90	100	150
Pienpaali Conventional bales -leikattu puoli alaspäin -cut side downwards -lapeellaan -flat side downwards	36	130	120	160
	36	130	250	350
Pyöröpaalityyppi Round big bale -kiinteäk. paalaimen -fixed chamber type -muuttuvak. paalaimen -variable chamber type	25	150	180	230
	32	150	510	710

Tuloksista havaitaan vastapaineiden olevan alhaisia melko isoillakin ilmamäärillä. Latomistavan vaikutus näkyy pienpaaleja kuivattaessa erittäin selvästi, mutta sillä ei ole käytännössä merkitystä ilmamäärän ollessa alle 1000 m³/m² tunnissa, koska kuivurissa käytettävän potkuripuhaltimen ilmamäärä pysyy suurena vielä 500 Pa:n vastapaineessa. Kiinteäkammioisen paalaimen paalin kuivauksessa voidaan käyttää jopa 2500 m³/h heinätonnia kohden vastapaineen nousematta liian suureksi, mutta vastaavaa ilmamäärää ei voida suositella muuttuvakammioisen paalaimen paaleja kuivattaessa, kun käytetään potkuripuhallinta.

3.2. Heinän kerrospaksuuden vaikutus

Kerrospaksuuden ja latomistavan vaikutusta vastapaineeseen selvitettiin pien- ja pyöröpaaleilla mittaustuloksista laskennallisesti johtamalla. Jokaiseen mitattuun

heinäkerroksen ilmamäärä-vastapaine-yhtälöön sijoitetaan haluttu ilmamäärä ja siten saadaan lasketuksi kyseisen heinäkerroksen aiheuttama vastapaine.



Kuva 11. Heinäkerroksen paksuuden ja latomistavan vaikutus vastapaineeseen kahta eri ilmamäärää käytettäessä, kun paalit ladotaan joko leikattu puoli alaspäin tai lappeelleen. Heinän vesipitoisuus on 36 % ja tiheys 130 kg/m³.

Picture 11. The effect of hay layer thickness and piling method on static pressure with two different air volumes, when conventional bales are piled either cut side downwards or flat side downwards. Water content of hay is 36 % and density 130 kg/m³.

Kuvaa 10 ja 11 tarkasteltaessa voidaan tehdä se johtopäätös, että kuivattaessa heinää missä muodossa tahansa ilmamäärän ollessa alle 1000 m³/m² tunnissa, tullaan yleensä toimeen tavallisella potkuripuhaltimella. Kuitenkin tarvittaessa hyvin suuria ilmamääriä, pitää kuivuriin hankkia kaksi tai useampia potkuripuhaltimia.

3.3. Heinän vesipitoisuuden vaikutus

Heinän vesipitoisuuden vaikutusta vastapaineeseen tutkittiin vertaamalla vesipitoisuukseltaan erilaisia pien- ja pyöröpaalattuja koe-eriä ja niissä saatuja ilmamäärä-vastapaine-yhtälöitä keskenään. 2,4 m:n pienpaalikerroksen, jonka tiheys oli 95 kg/m³ ja vesipitoisuus 36 % ja joka oli pinottu leikattu puoli alaspäin, vastapaine oli 35 Pa ilmamäärän ollessa 400 m³/m²h. Vastaavasti vesipitoisuuden laskiessa 26 %:iin vastapaine aleni 30 Pa:iin. Ero ei ole merkittävä. Sama suuntaus havaittiin niin väki- kuin pyöröpaaliheinää kuivattaessa.

Vastapaine laskee heinän kuivuessa, mikä johtuu heinän tiheyden alenemisesta ja siitä, että silloin heinään muodostuu paremmin ilmatiehyitä. Toisin sanoen heinäkerros läpäisee kuivausilmaa paremmin heinän vesipitoisuuden laskiessa.

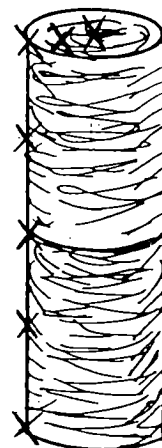
Lisäksi vastapaineeseen vaikuttaa korjattava heinälaji ja kasvuaste. Putkilomainen koiranheinä toimii hyvänä ilmatiehyenä kuivurissa. Jos heinä korjataan nuorena, on sen tiheys suurempi kuin vanhan. Sen tähden nuorta heinää kuivattaessa on kerrospaksuutta hiukan alennettava, jotta vastapaine ei nousisi liian suureksi.

4. KUIVAUSILMAN VIRTAAUSNOPEUDET

Kuivausilman virtausnopeuksia mitattiin ALNOR-virtausmittarilla. Mitattaessa ilmamääriä säädettiin siten, että ne olivat 400 - 2500 m³/m² tunnissa. Mittauspisteet olivat väkiheinää ja pienpaaleja kuivattaessa heinäkerroksen pinnalla. Erityisesti seurattiin ja etsittiin mahdollisia vuotokohtia kuivurin reunoista ja kulmista. Pyöröpaalien osalta mittauspisteet sijaitsivat kuvan 12 osoittamissa paikoissa.

Irtoheinää ja pienpaaleja kuivattaessa kerrospaksuuden ollessa 2,4 metriä ja ilmamäärän 600 m³/m² tunnissa, virtausnopeus kuivurin reunoissa ja kulmissa oli 0,5 - 1,0 m/s. Seinän viereen jää aina hiukan rakoa ja siitä aiheutuu ilmavuotoa. Paalien välissä oli myöskin hiukan ilmavuotoa. Sen sijaan irtoheinän ja paalin keskellä edellä mainittua ilmamäärää käytettäessä virtausnopeus oli 0,3 - 0,5 m/s, mikä on riittävä kuivumisen kannalta. Kuivausilma läpäisi paalit riippumatta siitä, ladottiinko ne lappeelleen vai leikattu puoli ilman tulosuuntaa vastaan.

Kuva 12. Virtausnopeuden mittauspisteet pyöröpaaleissa.
Picture 12. Measuring points of air speed in round big bales.



Pyöröpaalien kuivauksessa vuotokohtia olivat kotelon pinnan ja alimmaisen paalin väli sekä ensimmäisen ja toisen paalin väli. Niissä ilman virtausnopeus oli 0,2 - 0,4 m/s. Kun ilmamäärä oli 500 - 1000 m³/m² tunnissa ja paalien tiheys yli 150 kg/m³, ei toisen paalikerroksen päällä havaittu lainkaan virtausta. Sen sijaan virtausnopeus oli yhtä kerrosta kuivattaessa vastaavia ilmamääriä käytettäessä 0,1 m/s. Kun ilmamäärä oli 1500 m³/m² tunnissa ja kuivattiin kahta kerrosta, onnistui kiinteäkammioisella paalaimella tehtyjen tiheydeltään yli 150 kg/m³ olevien paalien kuivaus, sillä virtausnopeus paalin päällä oli vähintään 0,1 m/s. Vastaavassa koejärjestelyssä ei toisen kerroksen paaleista mennyt ilmaa läpi, jos paalit oli tehty muuttuvakammioisella paalaimella.

Mittaustuloksista voidaan tehdä seuraavia johtopäätöksiä: sekä muuttuva- että kiinteäkammioisella paalaimella tehtyjen pyöröpaalien kuivaus onnistuu kotelomallisessa kuivurissa kahta paalia päällekkäin kuivattaessa ilmamäärän ollessa 600 - 1000 m³/m² tunnissa, jos paalin tiheys on alle 150 kg/m³ ja vesipitoisuus 30 - 35 %. Kun pyöröpaalien tiheys on yli 150 kg/m³, tarvitaan 1500 m³/m² tunnissa kiinteäkammioisella paalaimella tehtyjen paalien kuivaamiseksi. Muuttuvakammioisella paalaimella tehtyjen paalien kuivaus ei enää onnistu edellä mainitussa tilanteessa, mutta kuivattaessa yhtä kerrosta paali kuivuu, jos ilmamäärä on 800 - 1000 m³/m² tunnissa.

Sivulta puhaltavassa pyöröpaalikuivurissa oli vuotoilman määrä aivan liian suuri. Kuivausilma karkasi seiniä myöten, mutta myös paalien välistä mitattiin ilmavuotoa. Lopputuloksena oli se, että sivulta puhallettaessa kuivausilma ei läpäisyt paaleja. Täten kuivaus ei onnistunut kuvan 9 (s.15) mallisessa kuivurissa.

Kiinteäkammioisen paalaimen tekemissä paaleissa virtausnopeus oli paalikerroksen päältä mitattaessa keskiosassa suurempi kuin reunoilla. Se johtui siitä, että kiinteäkammioisella paalaimella tehdyissä paaleissa keskiosa on löyhempi kuin muu osa paalia. Muuttuvakammioisella paalaimella tehdyissä paaleissa ilman virtausnopeus oli paalikerroksen päällä paalin keskiosassa sama kuin reunoilla. Se johtui siitä, että muuttuvakammioisella paalaimella tehdyt paalit ovat tasatiukkoja.

5. HEINÄN KUIVUMISNOPEUS

Kuivauskokeissa puhallin pyöri kaksi ensimmäistä vuorokautta yhtäjaksoisesti ja sen jälkeen aamusta klo 8:sta iltaan klo 10:een. Heinän kuivausolosuhteet kuivurissa olivat kaikissa koe-erissä erittäin hyvät, sillä kuivausilman lämpötila vaihteli päivisin 20 - 26 °C:een ja suhteellinen kosteus 50 - 65 %:iin. Käytetyt ilmamäärät olivat ylisuuria, jos verrataan suositeltuihin ilmamääriin, mutta toisaalta siten kokeita saatiin hiukan nopeutettua. Pienempiä ilmamääriä käytettäessä kuivausaika olisi ollut 8 - 12 vrk. Koska heinäkorjuukausi oli lyhyt, ei ollut mahdollista kuivata kaikkia koe-eriä varastointikelpoisiksi.

Taulukosta nähdään, että neljännen erän kuivauksessa oli ongelmia, koska toisen kerroksen neljästä paalista kahdessa vesipitoisuus oli 30 - 35 % vielä kuivauksen päättyessä. Siihen oli syynä paalien liian suuri tiheys ja vesipitoisuus kuivuriin tuotaessa.

Taulukko 4. Heinän vesipitoisuus, tiheys, kuivausaika, kuivausolosuhteet ja käytetty ilmamäärä.
Table 4. Water content and density of hay as well as drying time, drying conditions and air volume in the study.

Erä Batch	Vesipitoisuus Water content		Tiheys kg/m ³ Density kg/m ³	Kuivaus- aika vrk Drying time days	Kuivausilman Drying air		Ilma- määrä m ³ /hm ² Air volume m ³ /hm ²
	paalaus % when baled %	kuivana % after drying %			lämpö- tila °C tempera- ture °C	suht. kosteus % relative humidity %	
1	36	15	130	7	24	55	1000
2	36	19	150	4	23	55	1500
3	33	19	150	4	23	55	1500
4	43	*20	170	6	25	55	1800
5	25	15	150	3	24	60	1200

1 erä pienpaali, pinottu leikattu puoli alaspäin

1st batch, conventional bales, piled cut side downwards

2 erä kiinteäkammioisen paalaimen pyöröpaali

2nd batch, round big bale made with fixed chamber baler

3 erä muuttuvakammioisen paalaimen pyöröpaali

3rd batch, round big bale made with variable chamber baler

4 erä kiinteäkammioisen paalaimen pyöröpaali

4th batch, round big bale made with fixed chamber baler

5 erä kiinteäkammioisen paalaimen pyöröpaali

5th batch, round big bale made with fixed chamber baler

* toisen kerroksen kahdessa paalissa vesipitoisuus oli kuivauksen päättyessä vielä 30-35 %.

* In two bales of second layer the water content was still 30-35 % at the end of drying.

6. VARASTOKUIVURIN MITOITUS JA APULAITTEET

6.1. Lisälämmön käyttö varastokuivauksessa

Yleensä heinän varastokuivauksessa olosuhteet ovat juhannuksen tienoilla huomattavasti paremmat kuin viljan kylmäilmakuivauksessa elokuussa. Kuitenkin esimerkiksi kuivurin ollessa hieman alimitoitettu, jolloin on pakko kuivata enemmän kuin yksi erä, on tarvetta tehostaa kuivausta. Kuivaus tehostuu merkittävästi, jos kuivausilmaa vähän lämmitetään. Nyrkkisääntönä pätee, että ilman lämmittäminen 1 °C:lla alentaa sen suhteellista kosteutta 5 %-yksikköä. Jo 2 - 3 asteen lämmön nousu varmistaa kuivauksen lähes kaikissa olosuhteissa ja lyhentää kuivausaikaa. Korjattaessa kaksi heinäsattoa korjuukaudessa lisälämpö on tarpeen nimenomaan

toista satoa elokuun puolenvälin tienoilla kuivattaessa. Kuitenkin kuivattaessa yksi sato kasvukaudessa tullaan yleensä toimeen ilman lisälämpöä.

6.1.1. Lisälämpölaitteen valinta

Lisälämmönlähteenä voi olla öljykäyttöinen siirrettävä rakennuslämmitin, mutta myös auringonsäteilyä voidaan hyödyntää. Jos puhaltimen voimanlähteenä on dieselmoottori, saadaan sen hukkalämmöstä 3 - 4 astetta lisälämpöä. Hyvin pienessä kuivurissa on mahdollista käyttää sähkölämmitintä. Monikäyttökuivurissa aurinkokeräimen rakentaminen on paremmin perusteltavissa kuin pelkässä heinän varastokuivurissa.

Lisälämpölaitteita käytettäessä on muistettava nykyiset paloturvallisuusmääräykset, joten kuivuria suunniteltaessa pitää ottaa yhteyttä paikalliseen palopäällikköön.

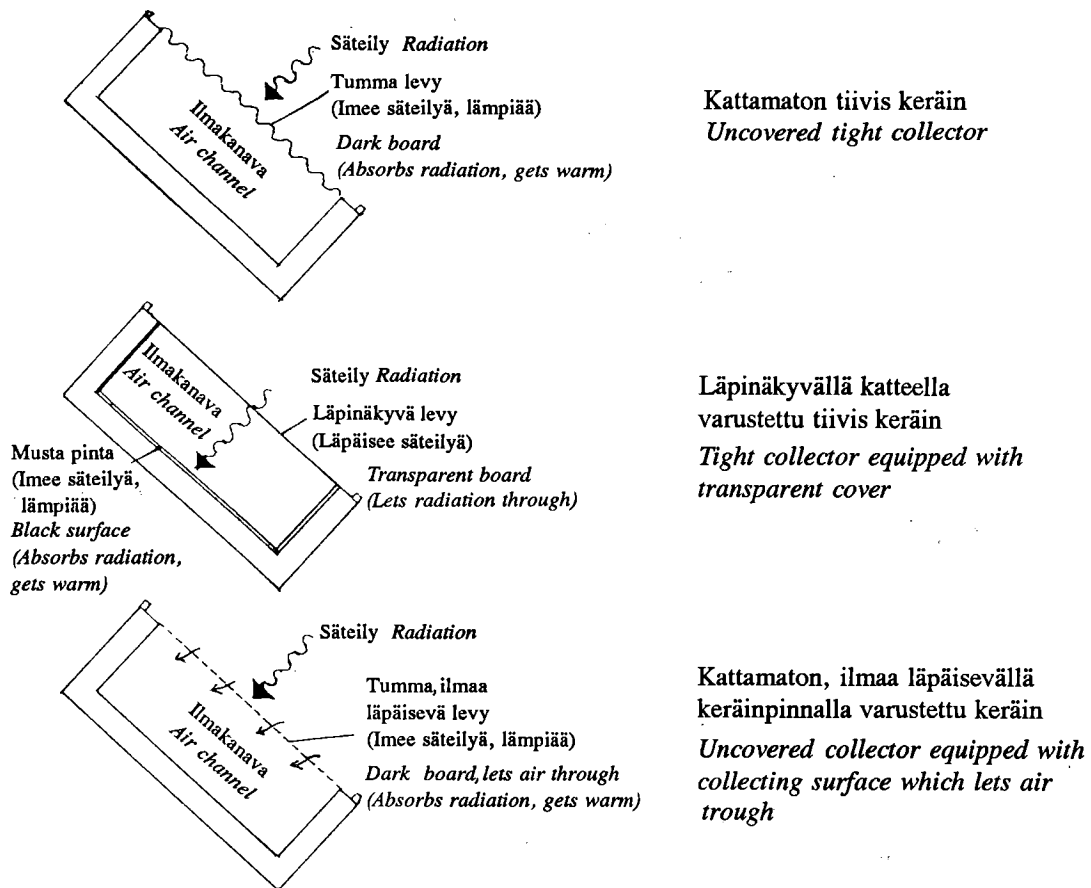
6.1.1.1. Aurinkolämpö heinäkuivauksessa

Auringon lämmittämän päivälman kuivauskyky on parempi kuin yöilman. Yksinkertaisilla keräinrakenteilla voidaan päivällä puhaltimelle menevän ilman lämpötilaa nostaa vielä 2 - 3 astetta.

Aurinkoenergiaa hyödynnetään ilman lämmittämässä siten, että auringon säteily lämmittää tumman tai mustan pinnan ja ilma ohjataan kyseisen pinnan läpi tai ohi, jolloin lämpö siirtyy pinnan kautta ilmaan.

Heinäkuivuriin ja monikäyttökuivuriin ei kannata aurinkolämmön takia rakentaa kovin monimutkaisia ja kalliita rakenteita, koska niiden vuotuinen käyttöaika on lyhyt. Toisaalta hyvään lopputulokseen päästään yksinkertaisillakin rakenteilla, koska tarvittava lämmön nousu on vähäinen. Keräin kannattaa yhdistää rakennuksen seinä- ja kattorakenteisiin, jolloin kustannukset alenevat.

Aurinkokeräimen etuja lisälämpölaitteisiin nähden ovat: 1) energia on ilmaista ja 2) keräin on paloturvallinen, eikä tarvitse säätöä ja huoltoa. Haittana on keräimen tehon riippuminen säästä.



Kuva 13. Lisälämmönlähteenä käytettävän aurinkokeräimen toimintaperiaate /6/.
Picture 13. Principle of a sun collector used as supplemental heat source.

6.2. Puhaltimen ohjaustavat

Heinän varastokuivureissa puhallinta ohjataan yleensä käsin. Käsiohjauksessa käyttäjä tekee päätöksen puhaltimen käynnissäolosta. Menetelmä vaatii säännöllistä kuivurin seuranta etekin kuivauksen loppuvaiheessa, koska silloin heinä kuivuu vain osan kokonaisajasta. Käsiohjauksessa kaikkia edullisia sääjaksoja ei tule hyödynnetyksi, mikä tulee esille nimenomaan heikoissa kuivausolosuhteissa, kuten toista heinäsattoa kuivattaessa loppukesällä.

Automaattisessa ohjauksessa anturi tunnustelee jatkuvasti kuivausilman laatua ja ohjaa mittausarvon perusteella puhaltimen käyntiä. Automaattiohjauslaite seuraa kuivurin toimintaa mittaamalla joko 1) kuivausilman suhteellista kosteutta, 2) tulo- ja poistoilman suhteellista kosteutta, 3) tulo- ja poistoilman lämpötilaa tai 4) tulo- ja poistoilman absoluuttista kosteutta /1/.

Automaattinen ohjauslaite vähentää valvontatyötä käsiohjaukseen verrattuna. Toinen saavutettava etu on se, että kuivaukselle soveliaat sääjaksot tulevat tarkem-

min hyödynnetyiksi. Automaattiohjausta käytettäessä puhaltimen käyntiaika yleensä lisääntyy. Kuitenkin automaattisen ohjauslaitteen hankinta lisää kustannuksia, eikä se ole taloudellisesti kannattavaa paitsi jos kuivuria käytetään myös viljan kuivaukseen.

6.3. Varastokuivurin mitoitus

Kuivuria suunniteltaessa on aluksi laskettava korjattava heinämäärä ja selvitettävä jatkossa käytettävä heinäkorjuumenetelmä. Heinän keskisato vaihtelee 4000 kg:sta 5000 kg:aan hehtaaria kohden. Kun korjattava heinämäärä jaetaan tiheydellä, saadaan heinän vaatima tilavuus kuivurissa. Laskelmissa irtoheinän tiheys on 70 kg/m³ ja pienpaalien 110 - 130 kg/m³. Heinäkasan korkeus täyttövaiheen lopussa on niin irtoheinää kuin pienpaaleja kuivattaessa 4 - 6 m. Täten kuivurin pohjan pinta-ala on tilavuus jaettuna täyttökorkeudella ($A = V/h$).

Jos kuivuri rakennetaan vanhaan rakennukseen, määrää rakennus tavallisesti kuivurin koon ja mallin. Tällöin kuivurin rakentamiskustannukset jäävät alhaisemmiksi kuin mitä uutta rakennusta tehtäessä. Toisaalta vanhaan rakennukseen tehdyn kuivurin toiminnallisuudesta ja koosta joudutaan usein tinkimään.

Kanavisto mitoitetaan siten, että ilman nopeus siinä ei nouse suuremmaksi kuin 5 m/s. Ilman nopeus voidaan laskea seuraavasti:

$$v = \frac{\text{puhaltimen antama ilmamäärä, m}^3/\text{h}}{\text{kanaviston poikkileikkauksen ala, m}^2 \times 3600 \text{ s/h}}$$

Ilmakanavan kaventaminen niin, että ilman nopeus ylittää 5 m/s, aiheuttaa suuren painehäviön. Pääkanavaa suunniteltaessa on otettava huomioon puhaltimen koko ja tämän mukaan kanavan poikkileikkausala nähdään seuraavasta taulukosta 5.

Taulukko 5. Pääkanavan poikkileikkausalan mitoitus puhaltimen koon mukaan.

Table 5. Dimensioning of the crosscut area of the main channel according to the fan size.

Puhaltimen koko kW <i>Size of fan kW</i>	Kanavan poikkileikkausala m ² <i>Crosscut area of channel m²</i>
2,2	1,1
4,0	1,2
5,5	1,8
7,5	2,2
11,0	2,8

Pääkanava voidaan sijoittaa lattian alle, jolloin se tulee yleensä seinän viereen, tai lattian päälle, jolloin pääkanava tulee joko keskelle kuivuria tai seinän viereen. Yleensä ritiläkuivurissa pyritään pääkanava ja ritiläpohja sijoittamaan siten, että ilman kulku on mahdollisimman suoraviivainen. Täten pääkanava sijaitsee usein kuivurin pitkän sivun suuntaisesti.

Ilmanjakolaitteet pääkanavassa niin, että voidaan käyttää vain osaa kuivurista, ovat alle 80 m² kokoisessa kuivurissa usein turhia. Jos kuivuriin tuleva heinäerä on hyvin pieni, kannattaa irtoheinä tasata ohueksi kerrokseksi tai paalit latoa yhteen tai kahteen kerrokseen niin, että kuivurin pohja peittyy.

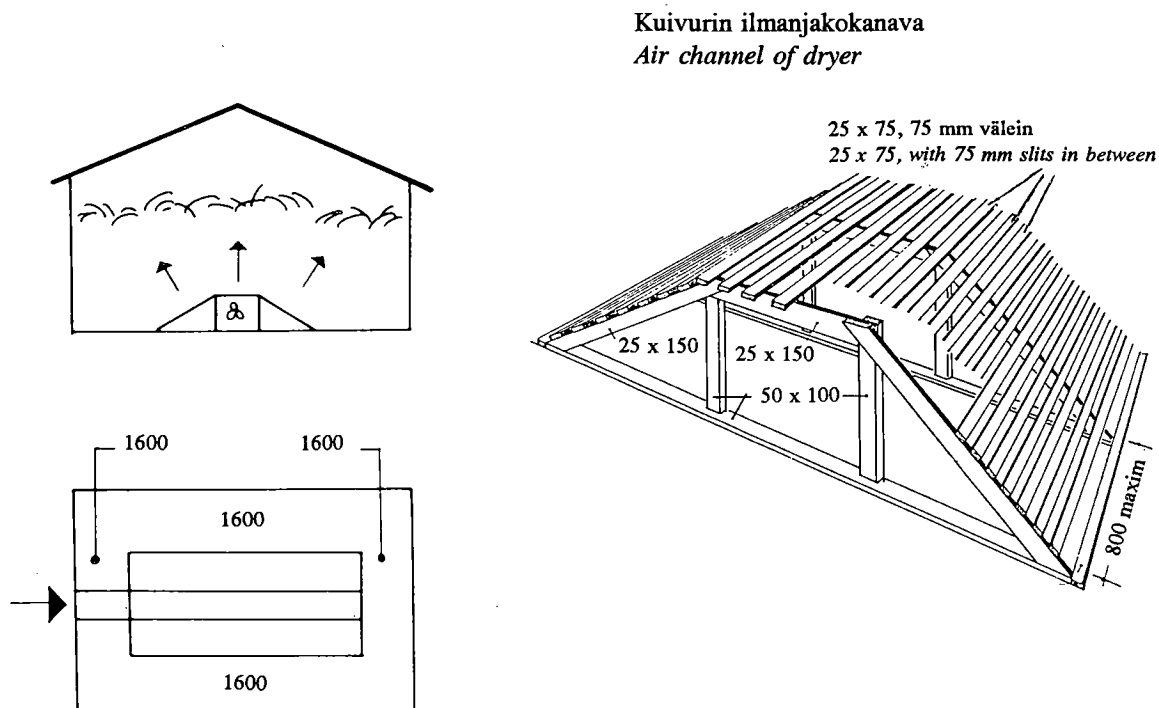
6.3.1. Ritiläkuivuri

Ritiläkuivurissa on varattava 25 - 30 cm ilmatilaa ritilän alle. Ritiläpohjaa ei kannata ainakaan pienpaaleja kuivattaessa porrastaa siten, että ilmatila etäämpänä pääkanavasta on pienempi kuin sen vieressä, koska porrastuskohdassa paaleja ei onnistuta pinoamaan riittävän tiiviisti ja seurauksena on ilmavuotoa. Kuitenkin ritiläpohjan jatkuessa hyvin etäälle pääkanavasta, voidaan ilmaväliä ritilän alla asteittain pienentää. Ritiläpohjan voi tehdä myös irrallisista yksiköistä, jolloin kuivurin täyttö ja tyhjennys on helpompi toteuttaa. Lisäksi heinää syötettäessä vapautuvan tilan voi käyttää muuhun tarkoitukseen. Ritiläelementtien koko voi olla esimerkiksi 3 m × 1 m, jolloin kaksi henkilöä pystyy hyvin niitä siirtämään. Ritiläpohja voidaan tehdä joko seinään saakka tai siten, että ritilän ja seinän väliin jätetään 80 - 100 cm vapaata tilaa. Jos ritiläpohja tehdään seinään saakka, on ritilän reunimmainen lauta lyötävä seinään kiinni, jotta ilma ei pääse vuotamaan suoraan seinän ja paalien väliin jäävästä raosta. Jos taas ritilän ja seinän väliin jätetään vapaata tilaa, on ritilän alareuna jätettävä avoimeksi noin 50 mm korkeudelta, jotta kuivausilmaa virtaa myös seinän viereen.

Kuivurin seiniin asennetaan esimerkiksi kovalevyt vähintään kahden metrin korkeuteen asti ja siten tiivistetään kolme sivua. Täyttöä varten voi puhaltimen vastakkainen sivu olla avoin, jolloin paalit muodostavat seinämän. Tällöin paalipinon täytyy ulottua rakolattian ulkopuolelle vähintään kahden paalin leveyden verran.

6.3.2. Kolmioritiläkuivuri

Kolmioritiläkuivuri on yksikanavainen kuivuri. Siinä puhallin sijoitetaan suoraan kolmiomaisen kanavan päähän. Kolmioritiläkuivuri on tarkoitettu irtoheinälle ja se soveltuu parhaiten pitkiin ja kapeisiin rakennuksiin.

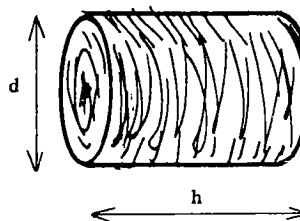


Kuva 14. Kolmioritiläkuivuri ja -kuivurin ilmanjakokanava. Mitat ovat millimetreinä.
Picture 14. Triangle type dryer and its air channel. The measurements are in mm.

6.3.3. Pyöröpaalikuivuri

Pyöröpaalikuivuria suunniteltaessa on aluksi laskettava korjattava heinämäärä ja jaettava se paalin painolla. Täten saadaan selville arvio paalien lukumäärästä. Jos paalin painoa ei tiedetä, voidaan se laskea seuraavasti: paalin tilavuus kertaa paalin tiheys. Yleensä pyöröpaalin tiheys vaihtelee 120 - 150 kg/m³.

Pyöröpaali $V = A \times h = \pi d^2/4 \times h$
 V = tilavuus
volume
 A = pohjan pinta-ala
area of bottom
 d = paalin läpimitta
diameter of bale
 h = paalin korkeus
height of bale



Kuivuriin pinotaan kaksi paalia päällekkäin, joten paalien lukumäärä on jaettava vielä kahdella, jotta saadaan aukkojen määrä. Jos toisaalta kuivurissa kuivataan kaksi erää heinänkorjuuaikana, voidaan kuivurin koko pienentää puoleen. Aukon koko nähdään taulukosta 6.

Taulukko 6. Pyöröpaalikuivurin lattia-aukkojen mitoitus paalin halkaisijan mukaan.
Table 6. *Dimensioning of the floor openings in a round bale dryer according to the bale diameter.*

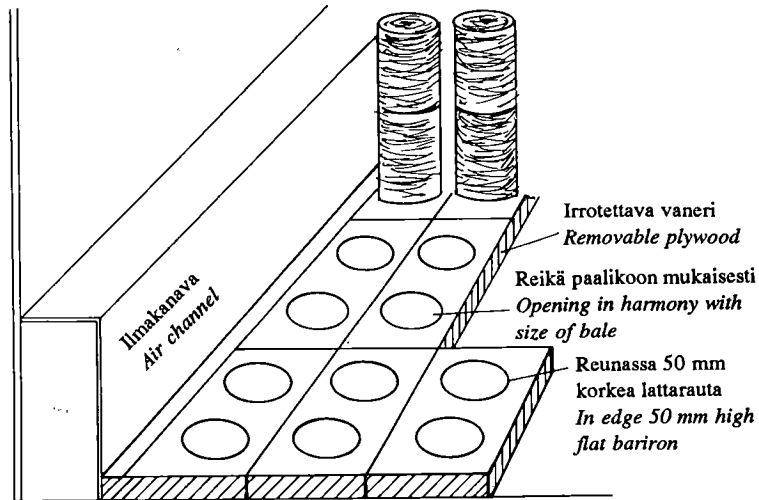
Paalin halkaisija cm <i>Diameter of bale</i> cm	Aukon halkaisija cm <i>Diameter of opening</i> cm
125	90
145	100
165	120

Aukot, joiden päälle paali asetetaan, on sijoitettava riittävän etäälle toisistaan, jotta paalit eivät painaudu toisiaan vasten, vaan niiden väliin jää noin 10 cm vapaata tilaa. Jos paalit ovat kiinni toisissaan, kosteus tiivistyy kosketuspintaan ja voi aiheuttaa heinän homehtumista.

Pyöröpaalikuivuri voi olla kotelomallinen koottava tai päälleajettava malli. Kotelomallisesta koottavasta kuivurista voidaan tehdä myös päälleajettava, mutta silloin kotelon rakenteen täytyy olla hyvin vahva.

6.3.3.1. Kotelomallinen pyöröpaalikuivuri

Kotelomallinen kuivuri on yksinkertainen ja helppo rakentaa. Kotelo voidaan tehdä vanerista tai kovalevystä. Vaneri on kalliimpi vaihtoehto, mutta toisaalta tukevampi kuin kovalevy. Kuivurin pääkanava mitoitetaan vastaavasti kuten pienpaalien kuivauksessa. Pääkanava kannattaa osastoida, koska silloin pientäkin paalimäärää päästään heti kuivaamaan. Lisäksi jos käytettävissä on kaksi puhallinta, kannattaa pientä paalimäärää kuivattaessa käyttää vain yhtä puhallinta. Sivukanavan eli koteloiden korkeus on oltava vähintään 30 cm. Koteloon tehdään paaliaukko taulukko 5:n mukaan. Lisäksi aukon ympärille taivutetaan 50 mm leveästä latta-raudasta kaulus, ettei kuivausilma pääse vuotamaan kotelon pinnan ja paalin välistä.



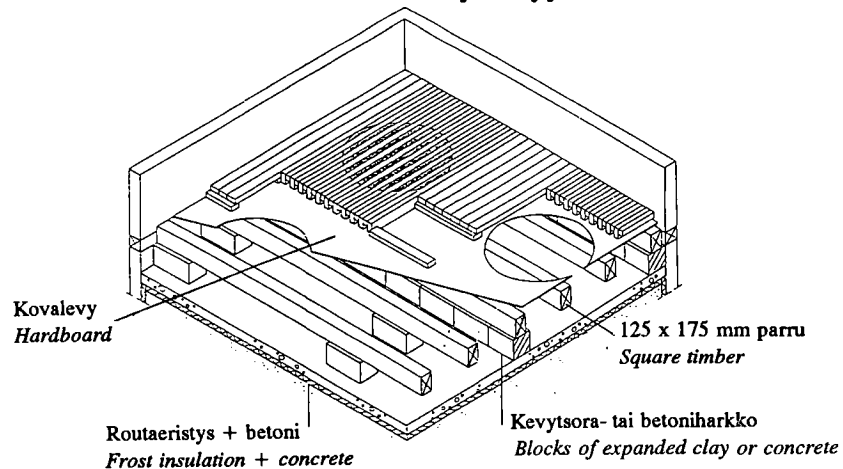
Kuva 15. Kotelomallinen pyöröpaalikuivuri.
Picture 15. Case type round bale dryer

6.3.3.2. Ajonkestävä pyöröpaalikuivuri

Pyöröpaalien kuivauksessa ajonkestävä kuivuri on harkinnan arvoinen vaihtoehto, koska tällöin talvella vapautuvaa tilaa voidaan helposti käyttää muuhun tarkoitukseen. Pyöröpaalikuivuriin rakennetaan ajonkestävä lattia siten, että siinä on ilmaa läpäiseviä pyöreitä alueita, joista kuivausilma pääsee paaliin.

Ajotaso voidaan tehdä 50 x 100 mm:n lankuista, jotka reiän kohdalla ovat kyljellään. Lankkujen välissä on rako, josta ilma nousee paaleihin. Reikien välisellä vyöhykkeellä lankut ovat lappeellaan korotettuna siten, että lattian pinta on tasainen.

Päälleajettava pyöröpaalikuivuri on kalliimpi kuin kotelomallinen, mutta toisaalta päälleajettavan kuivurin etuna on sen monikäyttöisyys.



Kuva 16. Pyöröpaalikuivurin päälleajettava lattiarakenne /5/.
Picture 16. Floor structure of a round bale dryer, whose floor stands tractor driving.

6.3.3.3. Pyöröpaalikuivurin tyypin valinta

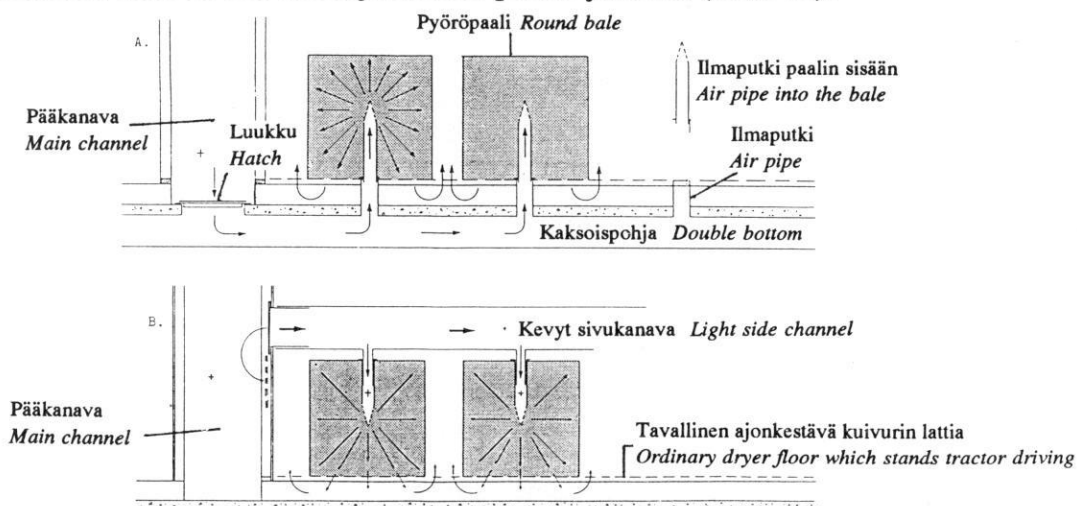
Mikäli pyöröpaalikuivurissa aiotaan kuivata useita eriä kesän aikana, kannattaa harkita päälleajettavaa kuivuria, koska sen täyttö ja tyhjennys ovat nopeita. Myös tilan muu käyttö onnistuu hyvin. Kotelomallinen kuivuri on järkevä valinta, mikäli kuivurissa kuivataan ainoastaan yksi erä kesässä ja se halutaan tehdä edullisesti. Myös kotelomallisen kuivurin vapautuvaa tilaa voidaan käyttää muuhun tarkoitukseen kuivauksen jälkeen.

Kuivurityypin valintaan vaikuttaa myös tila, johon kuivuri aiotaan sijoittaa. Jos kuivurissa varastoidaan paalit ruokintaan saakka, tulisi se sijoittaa mahdollisimman lähelle tuotantorakennusta, esimerkiksi navetan ullakolle. Valintaan vaikuttaa myös rakennuksen lattian kunto. Mikäli rakennuksen lattiarakenne on huono, kannattaa harkita kuivuria, jossa on kantava lattiarakenne, koska tällöin lattia tehdään lähes kokonaan uudestaan. Kotelorakenteinen kuivuri asettaa lattialle kovemmat vaatimukset, sillä kotelot eivät muodosta kantavaa rakennetta.

6.3.4. Muita kuivuri- ja rakenneratkaisuja

6.3.4.1 Norjalainen ajonkestävä pyöröpaalikuivuri

Norjassa kehitetyssä monikäyttökuivurissa kuivataan paaleja siten, että erillisen ilmakanaviston avulla ilmaa johdetaan paalin ytimeen (kuva 17).



Kuva 17. Ehdotus pyöröpaalien kuivaamiseksi monikäyttökuivurissa. Putki, jossa on reijitetty kärki, ohjaa kuivausilman paalin ytimeen /5/.

A = Kuivurin lattian alla on kaksoispohja, jonka avulla tuloilma ohjataan paalin kohdalle ja putken avulla paalin ytimeen. Poistoilma poistuu paalista joka puolelta, myös pohjan kautta.

B = Kuivurin lattia on tavanomainen ajonkestävä lattia. Kuivausilma johdetaan paalin kohdalle erillisellä kevytrakenteisella sivukanavalla.

Picture 17. Suggestion for drying round bales in a multipurpose dryer. The sharp point of the air pipe has been perforated and it leads dry air to core of bale /5/.

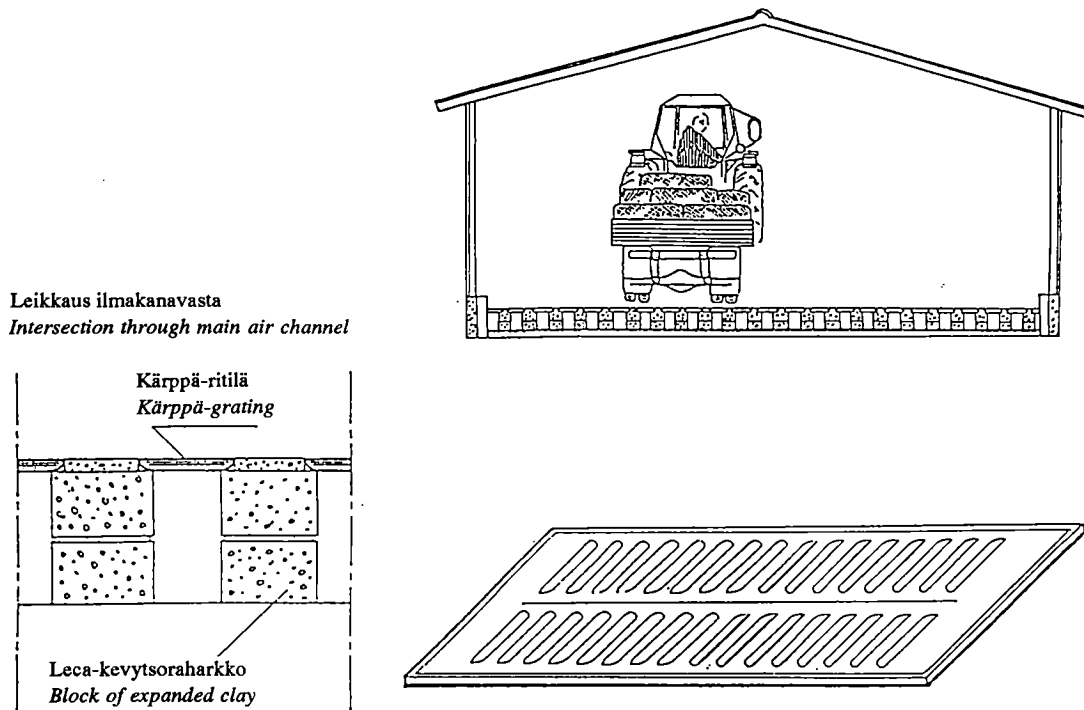
A = Under the floor is a double bottom, through which air is lead under the bales and further through a pipe into the core of the bale. Moist air exits bale from every side, also through bottom.

B = The floor is an ordinary dryer floor on which can be driven. The air is lead to the bales through a separate channel over the bales.

6.3.4.2. Kärppä-ritilä

Kärppä-ritilä on kotimainen tuote, josta voidaan rakentaa monitoimikuivurin lattia. Ritilä on kooltaan 90 x 280 mm ja niitä menee 13 kappaletta neliömetrille. Ritilät asennetaan ilmakehän päälle. Ilmakehät muodostuvat betonilattian päälle ladottujen kevytsoraharkkojen väliin. Ritilä on ajonkestävä, sillä se kestäää 5000 kg akselipainon. Vastaavia tuotteita on saatavilla muiltakin valmistajilta, lähinnä Pohjoismaista ja Englannista.

Yksi edellämainitulla periaatteella rakennettu pienpaalikuivuri sijaitsee Varsinais-Suomen maatalouskeskuksen alueella.



Kuva 18. Kärppä-ritilä
Picture 18. Kärppä-grating

6.3.4.3. Heinän ja oljen kuivausperävaunu

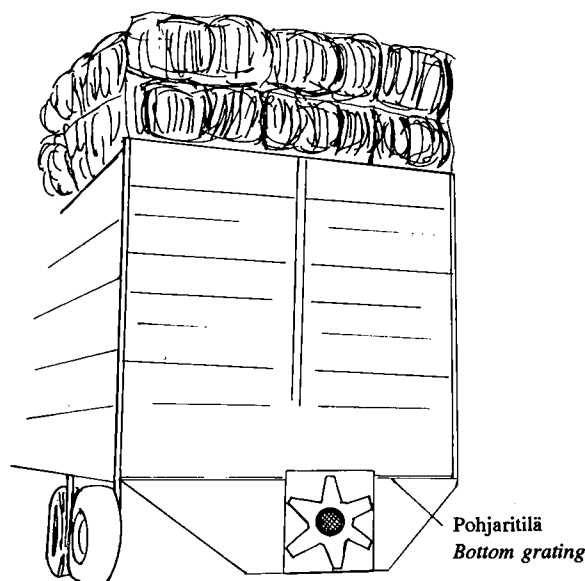
Iittilänen maanviljelijä Pauli Bethman on suunnitellut ja kehittänyt perävaunun, jossa voidaan kuivata kovapaalattua heinää tai olkea. Perävaunun sisämitat ovat 250 x 515 cm ja laitakorkeus on 225 cm paitsi edessä, jossa se on 100 cm paalattaessa, mutta kuljetusta varten etulaidan korkeus voidaan korottaa 175 cm:iin. Perävaunun pohjan keskiosassa on ilmakehä, jonka poikkileikkausala on 0,75 m² ja jonka päällä on ritiläpohja. Puhaltimena on 2,2 kW:n potkuripuhallin.

Perävaunu on vakaa ajettava teliakseliston ja leveän raidevälin ansiosta. Siihen voidaan tehdä yli 4 m:ä korkeita kuormia turvallisesti, koska kuormista tulee

tukevia korkeiden laitojen ansiosta. Kuormaan sopii 380 - 420 paalia, kun ne ladotaan huolellisesti. Paalit on ladottava siten, että niiden saumakohtat tulevat ristikkäin.

Heinän paalauskoosteuden ollessa alle 25 % kuivaus onnistuu hyvin täyden kuorman kuivussa 1 - 3 päivässä kuivausolosuhteista riippuen. Vastapaine on ollut 150 - 250 Pa ladontatavasta ja heinän vesipitoisuudesta riippuen. Paalit voidaan latoa joko lappelleen tai leikattu puoli alaspäin. Paalien vesipitoisuuden ollessa suuri ja nuorta heinää kuivattaessa kannattaa ne latoa leikattu puoli alaspäin. Kuivumista voidaan myös nopeuttaa kuivaamalla matalampi erä kerrallaan.

Kuva 19. Kuivausperävaunu.
Picture 19. Trailer for drying hay.



6.3.5. Puhaltimen ominaisuudet

6.3.5.1. Puhallintyyppit

Potkuripuhallin on halpa ja rakenteeltaan yksinkertainen. Se tuottaa suuren ilmamäärän pienellä vastapaineella, mutta toisaalta vastapaineen kasvaessa ilmamäärä pienenee paljon. Heinän varastokuivureissa vastapaine yleensä vaihtelee 150 - 400 Pa. Kuivaukseen tarkoitettujen potkuripuhaltimien hyötysuhde on parhaimmillaan vastapainealueella 400 - 500 Pa. Puhaltimen häviöenergia saadaan hyödyksi lämpönä.

Kaksoispuhallin on yhdistelmä, jossa on kaksi potkuripuhallinta peräkkäin. Se tuottaa vastaavan ilmamäärän kuin yksi potkuripuhallin, mutta paine on suurempi. Heinän varastokuivauksessa kaksoispuhallin soveltuu isoihin kuivureihin. Kaksoispuhalltimen voimanlähteenä on yleensä dieselmoottori, koska niistä saadaan tehoa riittävästi. Dieselmoottorista saadaan mekaanisen tehon lisäksi lämpöä, joka tehostaa kuivausta merkittävästi.

Kolmantena puhallintyyppinä on keskipakopuhallin. Se on potkuripuhallinta suurempi ja maksaa noin kolme kertaa niin paljon kuin potkuripuhallin. Vastapaineen kasvaessa keskipakopuhaltimen ilmamäärä ei juuri pienene. Toisaalta alhaisella paineella ilmamäärä ei juuri lisääny.

Käytettäessä suuria ilmamääriä kuten heinäkuivauksessa on tarpeen, on taloudellisinta hankkia potkuri- tai kaksoispuhallin. Ennen suuren puhaltimen hankintaa on selvitettävä sähköverkon kestokyky. Linjojen vahvistaminen voi tulla hyvin kalliiksi ja tällöin kannattaa harkita dieselmoottorikäyttöistä kaksoispuhallinta.

6.3.5.2. Puhaltimen valinta

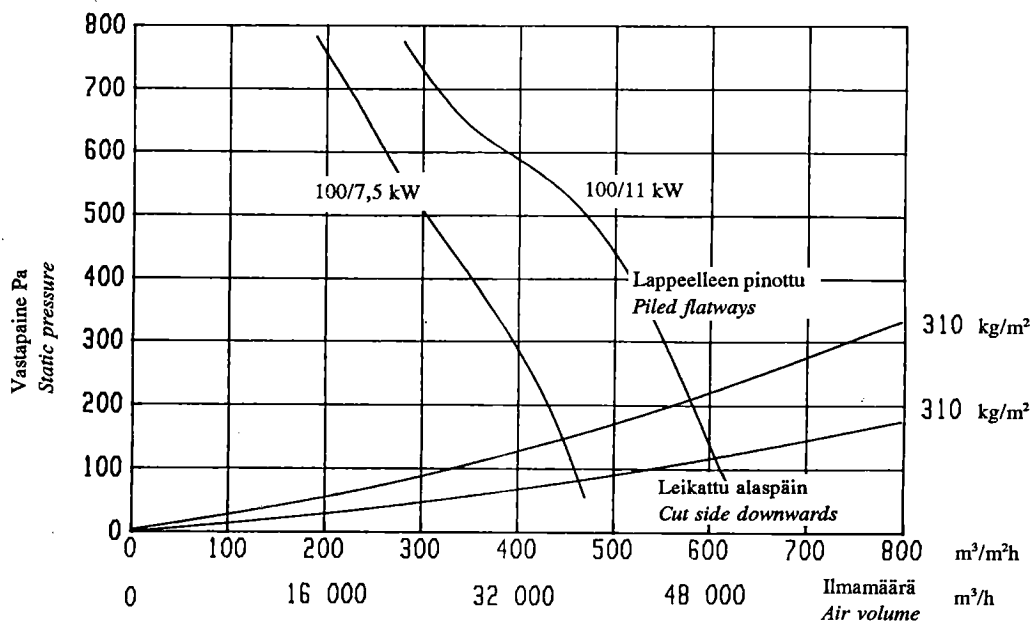
Puhallinta valittaessa kannattaa olla yhteydessä maatalouskeskuksen koneneuvojaan. VAKOLAn testaamista puhaltimista on saatavissa ominaiskäyrät, joista ilmenee puhaltimen tuottama ilmamäärä eri vastapaineilla. Pelkkään heinäkuivuriin valitaan ominaiskäyrää tutkimalla puhallin, joka tuottaa 400 Pa paineella tarvittavan ilmamäärän. Tarvittava ilmamäärä (m³/h) lasketaan seuraavasti:

$$\frac{\text{poistettava vesimäärä, kg} \times 1000 \text{ g/kg}}{\text{kuivausaika, h} \times \text{ilman kuivauskyky, g/m}^3} = \text{ilmamäärä, m}^3/\text{h.}$$

Poistettava vesimäärä lasketaan seuraavasti:

$$\text{vesimäärä, kg} = \frac{\text{alkukosteus} - \text{loppukosteus, \%}}{100 - \text{alkukosteus, \%}} \times \text{kuiva-aine, kg}$$

Kuivausaika riippuu 1) poistettavasta vesimäärästä, 2) käytetystä ilmamäärästä ja 3) kunkin ilma-kuu- tion mukana poistuvasta vesimäärästä. Kuivausaika on yleensä 150 - 250 tuntia. Ilman kuivauskyky vaihtelee riippuen kuivausolosuhteista.



Kuva 19. Paalattun heinän vastapainekäyrät ja potkuripuhaltimen ominaiskäyrät. Heinän kosteus oli paalattaessa 36 % ja tiheys 130 kg/m³. Kuivurin pohjan ala on 80 m².
Picture 19. Static pressure graph of baled hay and air volume graphs of axial flow fans. Water content of hay was 36 % when baled and density 130 kg/m³. Size of dryer is 80 m².

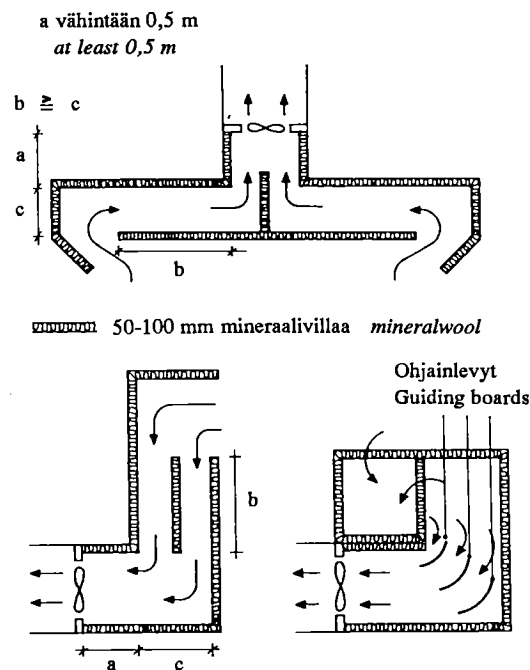
Kuvassa 19 on heinän vastapainekäyrien lisäksi kahden eri potkuripuhaltimen ominaiskäyrät. Pienempi puhallin on teholtaan 7,5 kW ja suurempi 11 kW. Kummankin puhaltimen siivikon halkaisija on 100 cm. Kuivattava heinämäärä on 25 t. Kuvasta nähdään, että molemmat puhaltimet ovat riittävän isoja, koska vastapaine on vain noin 100 - 200 Pa ilmamäärän ollessa 450 - 650 m³/m² tunnissa. Kun 7,5 kW puhallin vaihdetaan 11 kW puhaltimeen, nähdään kuvasta (pisteet 1 - 3 ja 2 - 4) kuinka ilmamäärä kasvaa noin 150 m³/m² tunnissa ja samoin vastapaine kasvaa hiukan. Puhaltimissa ja moottoreissa saattaa olla yksilöllisiä eroja, joten pieni ylimitoitus on paikallaan.

6.3.5.3. Puhaltimen melu

Etenkin potkuripuhaltimen ja kaksoispuhaltimen melu on voimakas ja saattaa erityisesti lähellä asuinrakennuksia muodostua kiusalliseksi. Puhaltimen hyötysuhde, vastapaine ja käyttöolot vaikuttavat melun laatuun ja voimakkuuteen. Melu syntyy pääosin puhaltimen siipien liikkeestä. Ääniaaltojen tielle osuvat esteet taittavat, heijastavat ja imevät melua. Koska ääniaallot etenevät ilmassa, vaikuttaa tuuli voimakkaasti niiden kulkeutumiseen. Myötätuulussa ääniaallot painuvat alaspäin ja vastatuulussa ylöspäin. Tuulen aiheuttamat luonnon äänet peittävät tehokkaasti melua.

Puhaltimen meluhaittoja voidaan vähentää seuraavien keinojen avulla:

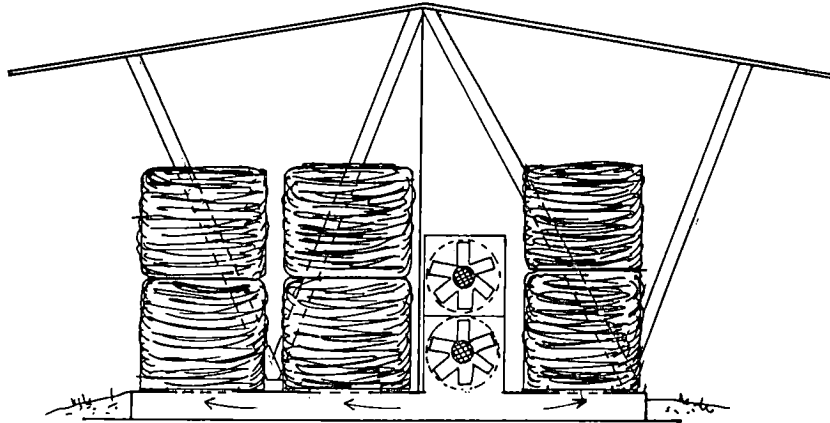
- vältetään yökäyttöä,
- suunnataan kuivurin ilmanottoaukko siten, että se ei ole asuinrakennuksia kohti tai niin, että väliin jää jokin este kuten pensasaita tai talousrakennus,
- upotetaan puhallin seinäpinnan sisäpuolelle ja tehdään sen eteen suppilomainen laajennus,
- auringon säteilyenergian kerääjällä voidaan alentaa ja suunnata melua pois häiritsevältä suunnalta,
- rakennetaan suojaseinä puhaltimen eteen,
- tehdään äänenvaimennin puhaltimen eteen (kuva 20).



Kuva 20. Puhaltimen eteen rakennettavia äänenvaimentimia.
Picture 20. Silencer can be built in front of fan.

7. TILAKÄYNNIT

Kesinä 1988 ja 1989 käytiin 15 tilalla. Kaikki tilat sijaitsivat Etelä-Suomessa. Tiloista kymmenellä oli pienpaalikuivuri, kolmella väkiheinäkuivuri ja kahdella pyöröpaalikuivuri. Kaikissa pienpaalikuivureissa oli joko kiinteä tai koottava ritiläpohja lukuunottamatta yhtä, jossa oli päälleajettava Kärppä-ritilästä tehty lattia. Irtoheinälle tehdyissä väkiheinäkuivureissa oli joko kiinteä tai koottava ritiläpohja. Pyöröpaalikuivureista toinen oli kiinteä kotelomallinen (kuva 21) ja toinen viljelijän itse suunnittelema ja rakentama kevytrakenteinen kuivuri (kuva 22).



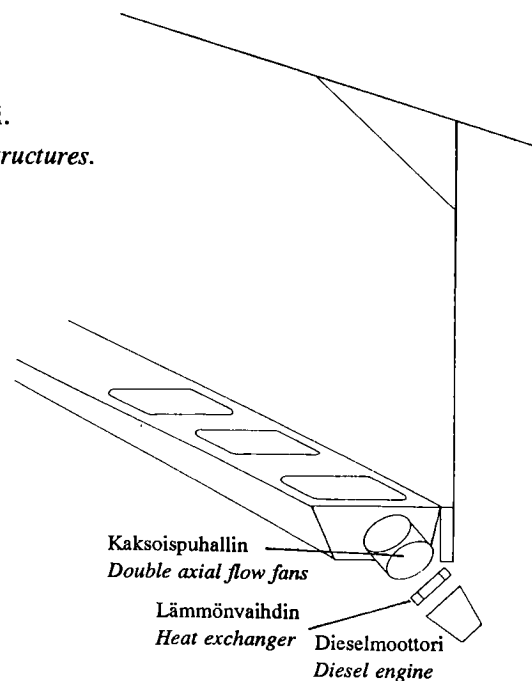
Kuva 21. Kotelomallinen pyöröpaalikuivuri.

Picture 21. Case type round bale dryer.

Pienpaalikuivureissa oli yleensä potkuripuhallin. Kahdessa kuivurissa oli keskikopuhallin. Dieselmoottorikäyttöinen kaksoispuhallin oli kahdessa väkiheinäkuivurissa ja yhdessä pyöröpaalikuivurissa. Kolmannessa väkiheinäkuivurissa oli potkuripuhallin, samoin myös toisessa pyöröpaalikuivurissa. Dieselmoottorikäyttöisen puhaltimen käytössä on muistettava, että puhaltimen suurin sallittu pyörimisnopeus on se, minkä puhaltimen valmistaja ilmoittaa. Jos se ylitetään, seurauksena on puhaltimen rikkoutuminen. Kaikilla tiloilla puhallin oli sijoitettu joko koilliseen, itään tai etelään päin. Vaikka kuivausilman imuaukon sijoittaminen koilliseen tai itään ei ole tehokkaan kuivauksen kannalta paras vaihtoehto, on se etenkin vanhaan rakennukseen joskus ainoa vaihtoehto, jotta kuivurin muu toiminnallisuus ei kärsisi.

Kuva 22. Kevytrakenteinen pyöröpaalikuivuri.

Picture 22. Round bale dryer built with light structures.



Korjattava heinä oli yleensä timoteinurminataseosta, lisäksi seoksessa saattoi olla hiukan puna-apilaa. Heinän vesipitoisuus oli pienpaaleina korjattaessa 30 - 35 %, väkiheinänä korjattaessa 35 - 45 % ja pyöröpaaleina korjattaessa 25 - 40 %. Heinää, jonka vesipitoisuus oli 35 - 40 %, kuivattiin pyöröpaaleina monta erää samasta sadosta kuvan 22 esittämässä kuivurissa. Pyöröpaaleina korjattu heinä oli korjuuasteeltaan nuorta eli väkiheinää. Usein vesipitoisuus pääteltiin sormituntumalla, mutta osa viljelijöistä käytti apuna pikakosteusmittaria.

Irtoheinäkuivurit täytettiin lietson ja teleskooppijakajan tai siltanosturin avulla. Siltanosturin käytössä tuli esille oikean työtekniikan tarve. Heinätaakkaa tyhjennettäessä on koura pidettävä liikkeessä, jotta heinäkasaa ei syntyisi liian tiiviitä kohtia. Myös puhaltimen käynnistäminen välittömästi, kun kuivurin pohja on heinän peitossa, estää irtoheinää tiivistymistä liiaksi. Kuivattavan heinäkerroksen pitää olla tiheydeltään tasalaatuinen. Pienpaalikuivurit täytettiin käsin, ja paalit ladottiin joko leikattu puoli alaspäin tai lappeelleen. Moni isäntä oli sitä mieltä, että lappeelleen latominen on kätevämpää ja helpompaa kuin latominen leikattu puoli alaspäin. Pienpaalikuivureiden täyttöä käsin pidettiin melko raskaana työvaiheena, kun sen sijaan pyöröpaalikuivurin täyttö tapahtui koneellisesti joko traktorin etu- tai takakuormaimen avulla. Kuitenkin pyöröpaalien asettelu kuivuriin on tehtävä erittäin huolellisesti.

Yhdessä irtoheinä-, yhdessä pienpaali- ja yhdessä pyöröpaalikuivurissa oli pääkanavassa ilmanjakomahdollisuus, joka katsottiin tarpeelliseksi ja jonka toimivuuteen oltiin tyytyväisiä. Kaikki ilmanjakomahdollisuudella varustetut kuivurit olivat kooltaan suurehkoja.

Yhdessä monikäyttökuivurissa oli lisälämmönlähteenä aurinkokeräin. Yhdessä pyöröpaalikuivurissa hyödynnettiin puhallinta käyttävän dieselmoottorin hukkalämpöä. Näin kuivausilman lämpötila saatiin nousemaan 3 - 5 °C.

Kuivauksen alkuvaiheessa puhallin pyöri kahdesta neljään päivään yhtäjaksoisesti, jonka jälkeen puhallinta käytettiin vain kuivalla ilmalla. Kuivaus on päättynyt, kun heinän vesipitoisuus on laskenut alle 18 %:n. Hyvänä keinona kuivauksen lopettamisen määrittämiseksi koettiin se, että aamulla puhaltimen käynnistyksen jälkeen nuuhkitaan kuivurista tulevaa poistoilmaa. Kuivausta jatketaan, mikäli poistoilma on kostea ja hajultaan hiukan imelää. Muussa tapauksessa otetaan varmuudeksi näytteitä eri kohdista heinäkerroksen pintaa. Mikäli heinä tuntuu käsissä kuivalta, lopetetaan kuivaus. Heinän vesipitoisuus voidaan varmistaa vielä pikakosteusmittarilla.

Pienpaalikuivureihin täytettiin 2 - 4 erää paaleja noin 10 päivän kuluessa. Myös pyöröpaalikuivureiden täyttöön kului aikaa noin 10 päivää. Väkiheinää irtoheinänä korjattaessa täytettiin kuivuria noin viikko ensimmäistä satoa korjattaessa, mutta toisen sadon korjuu kesti jopa kaksi viikkoa.

Vastapaine oli pienpaalikuivureissa aina alle 300 Pa, vaikka kuivattavan heinä-

kerroksen paksuus oli yli neljä metriä. Väkiheinää irtotavarana kuivattaessa vastapaine oli enimmillään 400 Pa, mutta yleensä se oli 250 - 350 Pa. Kotelomallissa pyöröpaalikuivurissa vastapaine oli 410 Pa kuivattaessa paaleja kahdessa kerroksessa. Sen sijaan kuvan 22 mallisessa pyöröpaalikuivurissa vastapaine oli enimmillään hyvin märkää ja kasvuasteeltaan nuorta heinää kuivattaessa 650 Pa.

Osa viljelijöistä sulki pääilmakanavan ilmanottoaukon syksyllä, mutta toiset jättivät sen sulkematta. Avonaisesta ilmanottoaukosta on kostean ilman mahdollista siirtyä pääilmakanavaa pitkin heinäkerroksen alaosaan. Sen seurauksena on heinän kostuminen, homehtuminen ja pölyäminen.

Pienenä ongelmana isännät mainitsivat irtuheinäkuivurin nurkat, joissa heinä jäi kuivauksen päättyessä hiukan kosteaksi. Myös kattotuolien tukirakenteiden kohdalta ilma karkaa heinäkasaa läpi, joten vinotukien kohdalta kuivuri on täytettävä erittäin huolellisesti. Pienpaaleja paalattaessa osa isännistä sanoi paalien tulevan liian tiukoiksi, vaikka paalikanava oli säädetty mahdollisimman väljäksi. Tiukkuus johtui pitkästä paaliradasta ja siinä olevien paalien painosta. Yhteenvetona tilakäynteistä voidaan todeta, että varastokuivureiden pienistä puutteista huolimatta viljelijät olivat joko tyytyväisiä tai erittäin tyytyväisiä niiden toimintaan.

8. HEINÄKUIVURIN MITOITUSOHJEET

8.1 Kuivurin mitoittaminen

8.1.1. Irtoheinä ja pienpaalit

Ilmamäärän on oltava vähintään 400 m³/m² tunnissa, joka merkitsee noin 1500 m³/h heinätonnia kohti, jos kuivataan 3,5 metrin irtoheinäkerrosta. Pienpaaleja kuivattaessa suositeltava ilmamäärä on noin 1800 m³/h heinätonnia kohti. Vastapaine on yleensä alle 300 pascalia irtoheinää ja pienpaaleja kuivattaessa.

Taulukko 7. Pääkanavan poikkileikkausalan mitoitus puhaltimen koon mukaan.

Table 7. Dimensioning of the crosscut area of the main channel according to the fan size.

Puhaltimen koko kW	Kanavan poikkileikkausala m ²
2,2	1,1
4,0	1,2
5,5	1,8
7,5	2,2
11,0	2,8

Kuivurin koko: heinän keskisato on 4000 - 5000 kg/ha ja varastoon ajettaessa irtoheinän tiheys on 70 kg/m³ ja pienpaalien 110 - 130 kg/m³. Täyttövaiheen

lopussa heinää on 4 - 6 metrin kerros. Kuivurin pohjan pinta-ala on tilavuus jaettuna täyttökorkeudella.

8.1.2. Pyöröpaalit

Muuttuva- ja kiinteäkammioisen paalaimen paaleja kuivattaessa sopiva ilmamäärä on vähintään 2000 m³/h heinätonnia kohti. Kiinteäkammioisen paalaimen paaleja kuivattaessa voidaan käyttää jopa 2500 m³/h heinätonnia kohti vastapaineen nousematta liian suureksi, mutta vastaavaa ilmamäärää ei voida suositella muuttuvakammioisen paalaimen paaleja kuivattaessa, kun käytetään potkuripuhallinta. Ilmakanaviston mitoitus on sama kuin irtuheinä- ja pienpaalikuivureissa.

Kuivurin koko: pyöröpaalien tiheys on 120 - 150 kg/m³ ja kuivuriin pinotaan kaksi paalia päällekkäin, joten paalien lukumäärä on jaettava vielä kahdella, jotta saadaan aukkojen määrä. Oikea aukon koko saadaan, kun paalin halkaisijasta vähennetään 40 cm:ä. Lisäksi on varattava riittävä tila sivusuunnassa paalikerrosta kohti. Vapaata tilaa on jätettävä noin 10 cm:ä paalien välille.

8.2. Puhaltimen valinta

Käytettäessä suuria ilmamääriä, kuten heinäkuivauksessa on tarpeen, on taloudellisinta hankkia potkuri- tai kaksoispuhallin. Yleensä potkuripuhallin on sopivin heinän varastokuivaukseen. Yksittäistapauksissa kannattaa harkita myös kahden puhaltimen käyttö. Isoissa kuivureissa käytetään kaksoispuhallinta tai teollisuuspuhallinta.

8.3. Kuivurin rakenne ja tyyppi

Irtuheinää ja pienpaaleja kuivattaessa ritilärakenne on kiinteä tai moduleista koottava. Modulirakenteen etu: kuivurin tyhjentyessä modulit voidaan pinota päällekkäin ja täten vapautuvaa tilaa käyttää muuhun tarkoitukseen.

Modulirakenteisen kuivurin ritiläelementin koko voi olla esimerkiksi 3 m × 1 m, jolloin kaksi henkilöä pystyy niitä siirtämään. Ilmanjakoratkaisut, joiden avulla vain osa kuivurin pinta-alasta on käytössä, ovat käyttökelpoisia isoissa irtuheinä-, pienpaali- ja pyöröpaalikuivureissa.

Pyöröpaalikuivurin reiän ympärille suositellaan laitettavaksi lattaraudasta taivutettu vanne, korkeus noin 50 mm, jonka avulla estetään ilmavuoto paalin ja vanerin välistä.

8.3.1. Pyöröpaalikuivurin tyypin valinta

Pyöröpaalikuivuri on joko kasattava kotelomallinen tai päälleajettava kuivuri. Jos kuivurissa kuivataan useita eriä kesän aikana, kannattaa harkita päälleajettavaa kuivuria, koska sen täyttö ja tyhjennys ovat nopeammin ja helpommin tehtävissä kuin kotelomallisen pyöröpaalikuivurin. Lisäksi mikäli rakennuksen lattian kunto on huono, kannattaa harkita kuivuria, jossa on kantava lattiarakenne, koska tällöin lattia tehdään kuitenkin lähes kokonaan uudestaan.

Mikäli kuivurissa kuivataan ainoastaan yksi erä heinäkorjuuajana ja kuivuri tehdään mahdollisimman edullisesti, on kotelorakenteinen kuivuri järkevä valinta.

8.4. Heinäkorjuu ja kuivurin käyttö

Heinän varastokuivausta suunniteltaessa kannattaa ottaa huomioon seuraavat asiat:

- säätilastojen mukaan heinänteko on varminta 15.6. - 25.6., silloin myös yö on lyhimmillään ja kasteen määrä pienimmillään.
- paaleja on käsiteltävä huolellisesti. Kuljetuksessa pyöröpaalit säilyttävät pystyyn pinottaessa parhaiten muotonsa.
- irtoheinällä kuivuri on täytettävä siten, että heinä on mahdollisimman tasaisen tiiviinä kerroksena.
- pienpaalit voidaan latoa joko leikattu puoli alaspäin tai lappeelleen. Lappeelleen latominen on työteknisesti helpompaa. Toisaalta paalit leikattu puoli alaspäin ladottaessa kuivuvat nopeammin kuin lappeelleen ladottaessa.
- kiinteäkammioisen paalaimen paali soveltuu varastokuivaukseen paremmin kuin muuttuvakammioisen.
- yhtä satoa korjattaessa ja sitä yhdessä erässä kuivattaessa tullaan yleensä toimeen ilman lisälämpöä, mutta kuivattaessa kaksi satoa, tehostaa lisälämmön käyttö toisen sadon kuivausta huomattavasti.
- sopiva paalin tiukkuus:

pienpaalit	110 - 130 kg/m ³
pyöröpaalit	120 - 150 kg/m ³
- sopiva vesipitoisuus korjuussa:

irtoheinä	35 - 40 %
pienpaalit	30 - 35 %
pyöröpaalit	n. 30 %
- kuivuria kannattaa käyttää niin, että kuivauksen alkuvaiheessa puhallin on käynnissä 2 - 4 vuorokautta yhtäjaksoisesti, jonka jälkeen puhallinta käytetään vain kuivalla ilmalla.
- heinää on kuivattava riittävän kauan, jotta vesipitoisuus on vähintään alle 20 %:n, mielummin alle 18 %:n.
- hyvä keino kuivauksen lopettamisajankohdan määrittämiseksi on se, että aamulla puhaltimen käynnistyksen jälkeen nuuhkitaan kuivurista tulevaa poistoilmaa. Mikäli se on kostea ja hajultaan hiukan imelää, jatketaan kuivausta. Heinän vesipitoisuuden määrittäminen on kuitenkin varminta pikakosteusmittarilla.
- puhaltimen ilmanottoaukko suljetaan ennen syksyn kosteita ilmoja.

9. TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin eri tavoin paalattujen heinien ja väkiheinän varastokuivauksessa tarvitsemat ilmamäärät korjuukosteuden, tiheyden ja kuivurin täyttökorkeuden vaihdellessa. Lisäksi tehtiin tilakäyntejä, jolloin haastateltiin viljelijöitä heidän käyttökokemuksistaan heinän varastokuivauksesta ja seurattiin kuivureiden toimivuutta. Tutkimuksen tuloksena esitetään erilaisia varastokuivurin mitoitusvaihtoehtoja ja käyttöön liittyviä ohjeita.

Heinän kuivumiseen varastokuivurissa vaikuttavat muunmuassa kuivausilman määrä, sen lämpötila ja suhteellinen kosteus, heinäkerroksen paksuus, heinän tiheys ja vesipitoisuus, huolellisuus kuivurin täytössä sekä paalien latomistapa.

Ilmamäärän vaikutusta vastapaineeseen mitattiin pienpaaleja kuivattaessa vaihtelevan kerrospaksuuden ollessa 0,3 metristä 2,4 metriin. Väkiheinää kuivattaessa kerrospaksuus oli 1,8 ja 2,5 metriä sekä pyöröpaaleja kuivattaessa 1,2 ja 2,4 metriä. Ilmamäärän ja vastapaineen välisen riippuvuuden ilmoittaa yhtälö $p = aV^2 + bV + c$ ilmamäärän ollessa 0 - 2000 m³/m² tunnissa. Yhtälössä p on heinäkerroksen vastapaine (Pa), V on ilmamäärä pohjan pinta-alaa kohti tunnissa (m³/m²h) ja a, b, ja c vakioita, joiden arvot vaihtelevat kerrospaksuuden, pinoamistavan ja heinän vesipitoisuuden sekä tiheyden mukaan.

Kerrospaksuuden ja latomistavan vaikutusta vastapaineeseen pienpaaleja kuivattaessa selvitettiin kahta ilmamäärää käyttäen. 1,2 metrin paksuinen heinäkerros aiheutti ilmamäärien ollessa 600 m³/m²h ja 1000 m³/m²h 55 Pa:n ja 135 Pa:n vastapaineen ladottaessa paalit leikattu puoli alaspäin ja 120 Pa:n sekä 250 Pa:n vastapaineen ladottaessa lappeelleen. Kerrospaksuuden kasvattaminen 1,2 metristä 2,4 metriin lisäsi vastapainetta edellä mainittuja ilmamääriä käytettäessä siten, että vastapaine oli leikattu puoli alaspäin ladottaessa 120 Pa ja 250 Pa sekä lappeelleen ladottaessa 230 Pa ja 480 Pa. Täten pienpaalit lappeelleen ladottaessa aiheuttavat merkittävästi suuremman vastapaineen kuin ladottaessa paalit leikattu puoli alaspäin, mutta lappeelleen latominen on työteknisesti helpompaa.

Mittausten mukaan vastapaine pienenee heinän kuivuessa, mikä johtuu heinän tiheyden pienenemisestä ja siitä, että silloin heinään muodostuu ilmatiehyeyttä. Heinäkerros läpäisee kuivausilmaa paremmin heinän vesipitoisuuden vähentyessä. Lisäksi vastapaineeseen vaikuttaa korjattava heinälaji ja kasvuaste. Putkilomainen koiranheinä toimii hyvänä ilmatiehyenä heinäkerroksessa. Jos heinä korjataan nuorena, on sen tiheys suurempi kuin vanhana korjatun. Nuorta heinää kuivattaessa on kerrospaksuutta hiukan alennettava, jotta vastapaine ei nouse liian suureksi.

Heinäkuivurin tilavuus määritetään korjattavan heinä määrän, kuivauserien määrän ja kuivurityypin mukaan. Heinän keskimääräinen kuiva-ainesato vaihtelee 4000 - 5000 kg:aan hehtaaria kohden. Jos lopullinen kerrospaksuus on 4 metriä ja

tapahtuu 2 - 4 vaiheessa, tilaa irtoheinälle tarvitaan 16 m²/ha ja pienpaaleille 10 m²/ha. Pyöröpaalikuivuria mitoittaessa on aluksi laskettava korjattava heinämäärä ja jaettava se paalin painolla, jolloin saadaan selville arvio paalien lukumäärästä. Pyöröpaalikuivurissa kuivataan kaksi paalia päällekkäin, joten paalien lukumäärä on vielä jaettava kahdella. Pyöröpaalien kuivaukseen on kaksi kuivurityyppiä: kotelomallinen ja päälleajettava kuivuri. Mikäli kuivurissa aiotaan kuivata useita eriä kesän aikana, kannattaa valita päälleajettava kuivuri, koska sen täyttö ja tyhjennys on nopeata ja helppoa. Lisäksi kuivuria voidaan kuivauksen jälkeen käyttää muuhun tarkoitukseen. Kotelomallinen kuivuri on järkevä valinta, jos kuivurissa ei kuivata kuin yksi erä kesässä ja se halutaan tehdä edullisesti.

Kuivuria kannattaa käyttää niin, että kuivauksen alkuvaiheessa puhallin on käynnissä 2 - 4 vuorokautta yhtäjaksoisesti, jonka jälkeen puhallinta käytetään vain kuivalla ilmalla. Kuivaus lopetetaan heinän vesipitoisuuden laskiessa alle 18 %:n. Hyvä keino kuivauksen lopettamisajankohdan määrittämiseksi on se, että aamulla puhaltimen käynnistyksen jälkeen nuuhkitaan kuivurista tulevaa poistoilmaa. Mikäli se on kostea ja hajultaan hiukan imelää, jatketaan kuivausta. Haluttaessa heinän vesipitoisuus voidaan varmistaa pikakosteusmittarilla.

Kun kuivurissa kuivataan enemmän kuin yksi erä, on tarvetta tehostaa kuivausta. Kuivaus tehostuu merkittävästi, jos kuivausilmaa lämmitetään 2 - 3 astetta. Siten kuivaus onnistuu lähes kaikissa olosuhteissa, ja kuivausaika lyhenee. Myös korjattaessa kaksi heinäsattoa kasvukaudessa lisälämmön käyttö helpottaa kuivausta, erityisesti toista sattoa elokuun puolenvälin tienoilla kuivattaessa. Lisälämmönlähteenä voidaan käyttää rakennuslämmittintä, aurinkokeräintä tai puhaltimen voimallähteenä olevan dieselmoottorin hukkalämpöä. Kuitenkin yhtä sattoa korjattaessa tullaan yleensä toimeen ilman lisälämpöä.

Automaattiset valvontalaitteet vähentävät valvontatyötä käsiohjaukseen verrattuna ja samalla soveliaat sääjaksot tulevat tarkemmin hyödynnetyiksi. Automaattiset ohjauslaitteet ovat yleensä kalliita. Niiden käyttö ei ole taloudellisesti kannattavaa, ellei kuivuria käytetä myös viljan kuivaukseen.

Tilakäynneillä havaittiin, että pääilmakanavan ilmanottoaukko on suljettava ennen syksyn kosteita ilmoja. Muuten kostea ilma siirtyy pääilmakanavaa pitkin heinäkerroksen alaosaan ja aiheuttaa siellä heinän homehtumista ja pölyämistä. Vanhoihin rakennuksiin tehdyissä kuivureissa kuivausilma karkaa helposti katto- tuolien vinotukien kohdalta, ellei kuivuria täytetä erittäin huolellisesti. Yhteenvetona tilakäynneistä voidaan todeta, että varastokuivureiden pienistä puutteista huolimatta viljelijät olivat joko tyytyväisiä tai erittäin tyytyväisiä niiden toimintaan.

SAMMANFATTNING

Skulltorkning av hö

Luftmängdsbehovet vid skulltorkning av hö i småbalar och rundbalar samt ungt löshö undersöktes i ett försök med olika inläggningsvattenhalter, inläggningshöjder och tätheter på höet. Dessutom företogs besök på gårdar, på vilka man intervjuade lantbrukarna om deras erfarenheter av skulltorkning samt studerade torkarnas funktionsduglighet. Som resultat av undersökningen presenteras olika dimensioneringsalternativ för hötorkar och anvisningar gällande användningen av dem.

Hur höet torkar i en hötork påverkas av bl.a. luftmängden, lufttemperaturen, luftfuktigheten, höskiktets tjocklek, täthet och vattenhalt, noggrannheten vid fyllningen av torken samt i fråga om balar även det sätt på vilket de staplas.

Luftmängdens inverkan på mottrycket mättes vid olika tjocklek på höskiktet. Vid torkning av vanliga småbalar ökades tjockleken stegvis från 0,3 m till 2,4 m. Vid torkning av ungt löshö var tjocklekarna 1,8 m och 2,5 m och vid torkning av rundbalar 1,2 m och 2,4 m. Förhållandet mellan luftmängd och mottryck befanns följa ekvationen $p = aV^2 + bV + c$, när luftmängden höll sig under 2000 m^3/m^2h . I ekvationen är $p =$ mottryck, $V =$ luftmängd per golvarea och timme (m^3/m^2h) och a , b och c är konstanter vilkas värde beror på höskiktets tjocklek, vattenhalt och täthet samt i fråga om balar även det sätt på vilket de staplas.

Hölagertjocklekens och staplingssättets inverkan på mottrycket vid torkning av vanliga småbalar undersöktes vid två luftmängder. Ett 1,2 m tjockt ballager orsakade vid luftmängderna 600 m^3/m^2h och 1000 m^3/m^2h ett statiskt tryck på 55 Pa respektive 135 Pa när balarna staplades med den skurna sidan nedåt, och ett mottryck på 120 Pa respektive 250 Pa när balarna staplades på flatsidan. Ökning av lagertjockleken från 1,2 m till 2,4 m ökade mottrycket vid ovannämnda luftmängder sålunda, att mottrycket vid stapling med den skurna sidan nedåt var 120 Pa respektive 250 Pa och vid stapling på flatsidan 230 Pa respektive 480 Pa. Således orsakar småbalar ett betydligt mindre mottryck när de stackas med den skurna sidan nedåt än när de stackas liggande på flatsidan, men å andra sidan är det arbetstekniskt lättare att stacka dem på flatsidan.

Enligt mätningarna minskar mottrycket när höet torkar, vilket beror på att dess täthet minskar och på att det då bildas luftpassager i höet. Hölagret släpper igenom torkluften bättre när vattenhalten minskar. Dessutom påverkas mottrycket av höväxtarten och dess utvecklingsstadium. T.ex. hundäxing är grov och pipig och släpper torkluften lätt genom höskiktet. Om höet skördas ungt, är dess täthet större än om det skördas gammalt. Vid torkning av hö som skördats ungt bör lagertjoc-

kleken vara något mindre för att inte mottrycket skall bli för stort.

Hötorkens volym dimensioneras enligt mängden hö som skall torkas, antalet torkningssatser och torktyp. Höets medelskörd varierar mellan 4000 och 5000 kg torrsbstans per hektar i sommarens första skörd. Om första skörden fylls i torken i 3 - 4 omgångar och den slutliga lagertjockleken är 4 m, behövs för löshö 16 m² och för småbalar 10 m² torkarea per hektar. Vid dimensionering av en rundbals-tork måste man först dividera höskördens totalvikt med balvikten, för att få en uppskattning på balantalet. I en rundbalstork torkas två balar på varandra, varför balantalet ytterligare divideras med två. Det finns två typer av rundbalstorkar: sådana med golv av lådformade, vanligen flyttbara luftkanaler och sådana vilkas golv tål att köras på med traktor. Om man skall torka flera satser under sommaren, lönar det sig att välja en tork med körbart golv, eftersom fyllning och tömning av den går snabbt och lätt. Dessutom kan den efter torkningen användas för andra ändamål. En tork av lådbottentyp är ett förnuftigt val, om man bara torkar en sats per sommar och man vill bygga torken billigt.

Torken lönar sig att använda så, att fläkten i början går 2 - 4 dygn oavbrutet, varefter fläkten körs bara vid torrt väder. Torkningen avbryts när höets vattenhalt sjunker under 18 %. Ett gott sätt att avgöra rätt tidpunkt för avbrytande av torkningen är att på morgonen när fläkten startats lukta på luften som tränger ut ur höet. Om den är fuktig och luktar litet sött, fortsätts torkningen. Om man vill kan man också förvissa sig om höets vattenhalt med en snabbmätare.

När man torkar mer än en sats i torken finns det behov att effektivera torkningen. Torkningen effektiveras betydligt, om luften förvärms 2 - 3 °C. På så sätt lyckas torkningen i så gott som alla förhållanden, och torktiden förkortas. Också ifall man bärgar två höskördar om året, säkerställer användning av tillsatsvärme torkningen av i synnerhet återväxten i mitten av augusti, då uteluften i regel är fuktigare än på försommaren. Som tillsatsvärmekälla kan man använda en oljeledad varmluftsblåsare, solfångare eller överskottsvärmen från den dieselmotor som eventuellt används som drivkälla för torkfläkten. Om man bärgar bara en skörd om sommaren kommer man dock vanligen tillräta utan tillsatsvärme.

Anordningar för automatisk styrning, dvs. till- och fränkoppling, av fläkten minskar övervakningsbehovet jämfört med manuell styrning. Dessutom blir perioder med tjänligt väder bättre utnyttjade. Automatiska styrningsanordningar är dock i allmänhet dyra. Det är inte ekonomiskt lönsamt att skaffa sådana, om inte torken också används för spannmålstorkning.

Vid gårdsbesöken noterades, att huvudluftkanalens inloppsöppning bör stängas innan höstens fuktiga väder anländer. Annars kommer fuktig uteluft in genom

huvudkanalen och tränger in i höets underskikt, och orsakar där mögel- och dammbildning. I hötorkar byggda i gamla byggnader som har stöd Stolpar för taket placerade så att de hamnar i höet, läcker luften lätt ut runt dessa stolpar om inte torken fylls mycket omsorgsfullt. Som sammandrag av gårdsbesöken kan konstateras, att trots små brister i hötorkarna var lantbrukarna antingen nöjda eller mycket nöjda med torkarnas funktion.

SUMMARY

Air volume needed in drying timothy hay baled in different ways and loose timothy hay were examined, when water content of hay in harvesting, density and hay bed depth were varying. Visits on farms were made to interview farmers on their experiences of drying hay in barn-dryer. Besides, the dryers' ability to function was followed. As a result of this research is presented different alternatives of dimensioning barn-dryers and instructions how to use a dryer in the right way.

The drying process of hay in a barn-dryer is affected among other factors by air volume, air temperature and relative humidity, hay bed depth, density of hay, water content of hay, carefulness at filling of dryer and also the way of piling small bales.

The relationship between air volume and static pressure was studied at different hay bed depths. When drying small bales hay bed depth was increased stepwise from 0.3 m to 2.4 m. When drying young loose hay bed depth were 1.8 m and 2.5 m. When drying round bales hay bed depths were 1.2 m and 2.4 m. The relationship between air volume and static pressure was found to agree with the equation $p = aV^2 + bV + c$ when air volume was under 2000 m³/m² per hour. In the equation $p =$ static pressure (Pa), $V =$ air volume per floor area and hour and a , b , and c constants which depend on bed depth, way of piling, water content of hay and density of hay.

The effect of bed depth and way of piling on static pressure when drying small bales was studied using two air volumes. A 1.2 m hay layer caused at 600 m³/m²h and 1000 m³/m²h air volume a static pressure of 55 Pa and 135 Pa, respectively, when bales were piled cut side downwards and when bales were piled flatways the static pressure was 120 Pa and 250 Pa, respectively. Increasing bed depth from 1.2 m to 2.4 m raised the static pressure when using the before-mentioned air volumes so, that the static pressure was 120 Pa and 250 Pa, when bales were piled cut side downwards and 230 Pa and 480 Pa when bales were piled flatways. Thus piling bales flatways caused considerably higher static pressure than piling cut side

downwards, but on the other hand piling flatways is easier.

According to the measurements static pressure diminishes as hay dries, which is caused by diminution of density and by the fact that then air passages are formed in the hay. Drying air penetrates the hay layer easier, when moisture content of the hay decreases. Besides, static pressure is affected by hay species and stage of maturity. Coarse orchard grass works like air passages in the hay layer. If the hay is harvested in young stage of maturity, then density of the hay is bigger than if harvested at an old stage. When young hay is dried should the hay bed depth be somewhat smaller, so that the static pressure would not rise too high.

The size of a barn-dryer can be determined according to amount of hay to be harvested, number of batches and type of dryer. Average hay yield varies from 4000 to 5000 kg dry matter per hectare. If the hay of the first cut is filled gradually in the dryer in 2 to 4 phases and the final hay bed depth is 4 m, loose hay needs 16 m²/ha and small bales 10 m²/ha. The size of a barn-dryer for big round bales is determined according to the number of bales. In a round bale dryer bales are placed one on top of the other, so the amount of bales has to be divided by two. There are two different types of dryers for round bales: case type round bale dryer and drive durable round bale dryers with floors on which can be driven by tractor. If one intends to dry several batches during the summer, then it is reasonable to choose drive durable round bale dryer, because the filling and the unloading of it is fast and easy. Besides the dryer can be used after drying for some other purpose. Case type round bale dryer is a sensible choice, if there is only one batch dried per summer and one wants to build the dryer as cheap as possible.

It is recommended to use the dryer so that in the beginning of drying the fan is working 2 - 4 days continuously, and after that the fan is working only in good weather. Drying is stopped, when water content of hay is under 18 %. A good way of determining the right moment to stop drying is to smell the outcoming air in the morning after starting the fan. If it is moist and the smell is a little sweet the drying is continued. Moisture content of hay can also be reliably measured with a quick hay moisture meter.

When there is dried more than one batch in the dryer, then there is need to make drying more effective. Drying becomes considerably more effective, if drying air is heated by 2 - 3 °C. In that way drying is successful almost in all conditions and the drying time is reduced. Also when harvesting two hay crops per growing season the drying is made easier by using supplemental heat, particularly

when harvesting and drying the second crop in the middle of August. As a supplemental heatsource can be used a building heater, a sun collector or waste heat of a diesel-engine used as the power source for the fan. However, when harvesting and drying one crop one can usually manage without supplemental heat.

An automatic control device decreases the need of human control and at the same time favourable weather conditions can effectively be used. The automatic control devices are usually expensive. It is not economically profitable to buy and use these, unless the dryer is used also to dry grain.

On the farm visits was noticed, that the main channel must be closed after drying before damp weather of autumn. Otherwise damp air will move along the main channel to the bottom of the hay layer and there it causes mould and dust in the hay. Barn-dryers made in old buildings are problematic, because in these drying air easily escapes around the struts of the roof framing, unless the dryer is filled very carefully. As summary of the visits on farms can be verified, that in spite of small deficiencies all farmers were either satisfied or very satisfied with the function of their barn-dryers.

KIRJALLISUUSLUETTELO

1. Kylmäilmakuivurin mitoitus ja käyttö. VAKOLAn tutkimusselostus 57:1-90.
AHOKAS, J., PAAVOLA, J., SARIOLA, J. & TUUNANEN, L. 1990.
2. Heinän koneellinen kuivaus. Maatalouden sähkönkäyttö 4:1-49.
ANON. 1986.
3. Skulttorkning. Väderdata och fläktanvändning. Jordbrukstekniska Institutet. Medd. 379:1-48.
JEPPSSON, R. 1979.
4. Skulttorkning. Luftmängdbehov, strömningsmotstånd, energiåtgång. Jordbrukstekniska Institutet. Medd. 384:1-51.
JEPPSSON, R. 1980.
5. Ajonkestävä monikäyttökuivuri. Työtehoseura. 36 s.
KALLIONIEMI, M. & JÄRVENPÄÄ, M. 1989.
6. Tutkimus aurinkoenergian hyväksikäytöstä kylmäilmakuivauksessa. Tutkimustiedote 41:1-134.
SARIN, H., JÄRVENPÄÄ, M., MIKKOLA, H. & PEHKONEN A. 1983.
7. Skulttorkning av balat hö. Jordbrukstekniska Institutet. Meddelande 403:1-35.
SUNDBERG, M. 1984.

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUKSIA

- | No | Nimi |
|-----|---|
| 48. | Puumala, M., Karhunen, J., Louhelainen, K., Vilhunen, P., Jauhatuksen tilantarve ja Pölyhaittojen vähentäminen. 1987. |
| 49. | Schäfer, W., Ahokas, J., Maatalouskoneiden tietokanta. 1988. |
| 50. | Karhunen, J., Aarnio, K., Mykkänen, U., Lannanpoistolaitteiden toiminta ja kestävyys. 1988. |
| 51. | Kapuinen, P., Karhunen, J., Pienten pihatoiden ilmanvaihdon erityisvaatimukset. 1988. |
| 52. | Puumala, M., Manni, J., Sarin, H., Tuotantorakennusten suunnittelu ja rakentaminen käytännössä. 1988 |
| 53. | Mattila, T., Virolainen, V., Hellävarainen perunankorjuu. 1989. |
| 54. | Mikkola, H., Syyskyntöä korvaavien muokkausmenetelmien vaikutus kevätvehnän satoon 1975-1988. 1989.
Pitkänen, J., Pitkäaikaisen aurattoman viljelyn vaikutukset hiesusaven rakenteeseen ja viljavuuteen. 1989. |
| 56. | Kapuinen, P., Karhunen, J., Kosteiden pintojen kosteudentuotanto navetoissa. 1989. |
| 57. | Sariola, J., Tuunanen, L., Paavola, J., Ahokas, J., Kylmäilmakuivurin mitoitus ja käyttö. 1990 |
| 58. | Mäkelä, J., Laurola, H., Leikkuupuimurin kulkukyky vaikeissa olosuhteissa. 1990. |
| 59. | Kapuinen, P., Karhunen, J., Lietelantajärjestelmien toimivuus. 1990. |
| 60. | Suokannas, A., Heinän varastokuivaus. 1991. |

