



VAKOLA

Helsinki Rukkila

Helsinki 434812

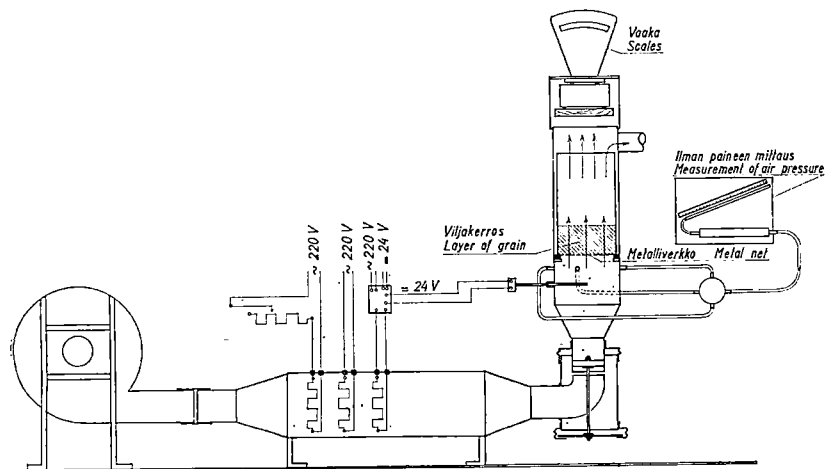
Pitäjänmäki

VALTION MAATALOUSKONEIDEN TUTKIMUSLAITOS  
Finnish Research Institute of Agricultural Engineering

1960

Tutkimusselostus

2



Piirros 1. Tutkimuksissa käytetyn laboratoriokuivurin kaaviokuva.

Figure 1. Schematic drawing of the laboratory dryer used in the tests.

## LIKKUMATTOMAN VILJAN KUIVAUKSESTA LÄMMITETYLLÄ ILMALLA

English summary:

The drying of motionless grain by means of a current  
of preheated air

Ryhmä 113

6059/60/1

Helsinki 1960. Valtioneuvoston kirjapaino

## Liikkumattoman viljan kuivauksesta lämmitetyllä ilmalla

### *Alkusanat*

Vuosina 1955—59 on maatalouskoneiden tutkimuslaitoksella tutkittu viljan kuivausta lämmitetyllä ilmalla. Tutkimustyö on osaltaan suoritettu valtion luonnontieteellisen toimikunnan myöntämän apurahan turvin. Tutkimuksen tarkoituksena on ollut koekellisesti selvittää liikkumattoman viljan kuivumista sekä siihen vaikuttavia tekijöitä, kuten edullisinta viljakerroksen paksuutta sekä ilman lämpötilaa ja ilmavirran nopeutta, viljan aiheuttamaa vastusta ilman virtauksessa, energian kulutusta, kuivauksen vaikutusta viljan itävyyteen, ns. lepoajan vaikutusta viljan kuivumiseen sekä mahdollisuuksia arvioida viljankuivauslaitteiden teho, vaikka viljaa ei kokeessa olisi kuivattu riittävän kuivaksi (varastoisikelpoiseksi).

Kokeet suoritettiin piirroksen 1 esittämällä laitteella, joka rakennettiin näitä tutkimuksia varten. Kuivattavat viljaerät, jotka olivat koko kuivauksen ajan liikuttamattomina, olivat jatkuvasti vaa'assa. Täten voitiin koko ajan seurata kuivauksen edistymistä ilman puhallusta keskeyttämättä. Lämmitetyn ilman puhallus tapahtui viljasäiliön verkkopohjan läpi alhaalta ylöspäin. Ilma lämmitettiin ilmavirtaan sijoitetuilla sähkövastuksilla, joista yhden kytkentä tapahtui säädetävän kontaktilämpömittarin avulla. Täten voitiin ilman lämpötila pitää 1...2 min:n kuluttua kokeen alkamisesta  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  tarkkuudella halutun suuruisena. Ilman paine mitattiin verkkopohjan alta. Se kyettiin kokeiden aikana pitämään n.  $\pm 0.25$  mm vp tarkkuudella vakiona.

Tutkimusten kohteina olleet viljaerät olivat vuosien 1955—58 sadoista ja laadultaan, esim. kosteuden ja itävyyden suhteen, erittäin vaihtelevia.

Laitoksen tutkijainsinööri **K a u k o A h o** on laatinut tutkimusselostuksen.

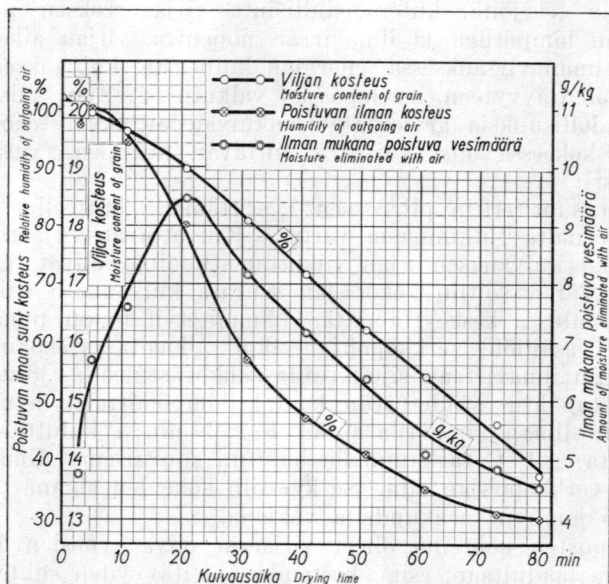
Helsingissä maaliskuussa 1960.

MAATALOUSKONEIDEN TUTKIMUSLAITOS

**A. Reinikainen.**

## Viljan kuivuminen lämmitetyssä ilmavirrassa

Viljan kuivuminen perustuu tunnetusti siihen, että jyvää ympäröivä ilma pystyy sitomaan itseensä jyvistä kosteutta. Panemalla ilma liikkeelle, voidaan saada jyvien ympäristöön jatkuvasti sel-laista ilmaa, joka kykenee sitomaan kosteutta itseensä. Ilman ve-densitomiskykyä voidaan parantaa lämmittämällä ilmaa, jolloin sen suhteellinen kosteus alenee. Piirroksessa 2 nähdään viljassa olevan kosteuden väheneminen kuivausajan funktiona. Samassa piirroksessa näkyy myöskin viljan kautta kulkeneen ilman suhteel-

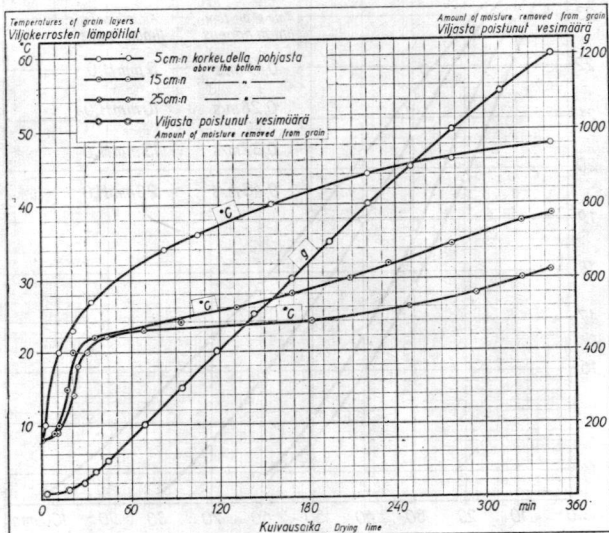


*Piirros 2.* Viljan kuivuminen kuivausajan funktiona. Kokeessa kuivattu ruista 15 cm paksuna kerroksena. Kuivausilman lämpötila on ollut 55° C ja paine vilja-kerroksen alla 20 mm vp vastaten ilman nopeutta 0.2 m/s laskettuna vapaata poikkipintaa kohden.

*Figure 2.* Drying of grain as function of drying time. Rye dried in test as layer 15 cm thick. Temperature of drying air was 55° C and pressure under grain layer 20 mm H<sub>2</sub>O, corresponding to an air flow of 0.2 m/s as calculated per free cross section.

linen (%) ja absoluuttinen (g/kg) kosteus kuivumisen edistyessä. Erityisesti absoluuttisen kosteuden käyrä osoittaa, että kuivuminen alussa on verraten hidasta, vaikkakin ilma poistuu lähes kyllästettynä. Vasta viljan lämmittyy veden haihtuminen tulee voimakkaammaksi.

Viljakerroksen lämpenemistä ja kuivumista selvittää myös piirros 3. Samaan koordinaatistoon on piirretty viljaerästä poistunut vesimäärä. Piirroksesta käy ilmi, että vasta n. 40 min kuluttua kuivaus on tässä tapauksessa päässyt täyteen vauhtiin. Tällöin koko viljamäärä on lämminnä näissä olosuhteissa kuivausta varten riittävän lämpimäksi. Tämä lämpötila on sama, kuin viljasta poistuvassa ilmassa olevan kostutetun lämpömittarin lukema. Tämän jälkeen kuivuminen jatkuu tasaisella nopeudella, kunnes viljaker-



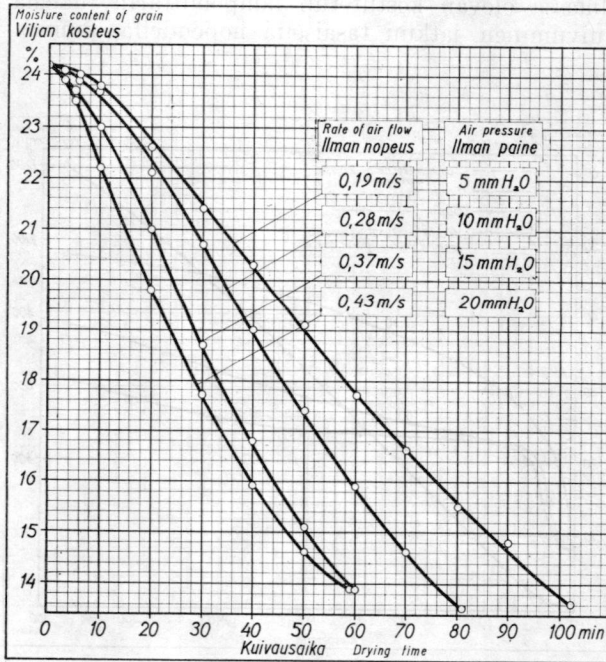
Piirros 3. Viljan lämpiäminen ja kuivuminen. Ko-  
keessa kuivattu vehnää 30 cm paksuna kerroksena.  
Kuivausilman lämpötila on ollut 50° C ja paine vilja-  
kerroksen alla 10 mm vp vastaten ilman nopeutta n.  
0.1 m/s laskettuna vapaata poikkipintaa kohden.

Figure 3. Heating and drying of grain. Wheat dried  
in test as layer 30 cm thick. Temperature of drying  
air was 50° C and pressure under grain layer 10 mm  
H<sub>2</sub>O, corresponding to air flow of approx. 0.1 m/s  
calculated per free cross section.

roksen yläpinnalla olevan viljan lämpötila on alkanut jälleen voimakkaammin nousta, jolloin kosteuden poistuminen on alkanut hieman hidastua. Lämpötilan pitää verraten muuttumattomana kosteuden haihtuminen jyvistä. Viljasta poistuvan ilman lämpötila seuraa likimain ylimmän viljakerroksen lämpötilaa.

### Ilmavirran nopeuden vaikutus viljan kuivumisnopeuteen

Piirroksesta 4 havaitaan, että mitä suurempi on ilmavirran nopeus sitä nopeammin vilja kuivuu.<sup>1)</sup>



Piirros 4. Ilmavirran nopeuden vaikutus viljan kuivumisnopeuteen. Kokeessa kuivattu vehnä 12 cm paksuna kerroksena, kuivausilman lämpötilan ollessa 65° C.

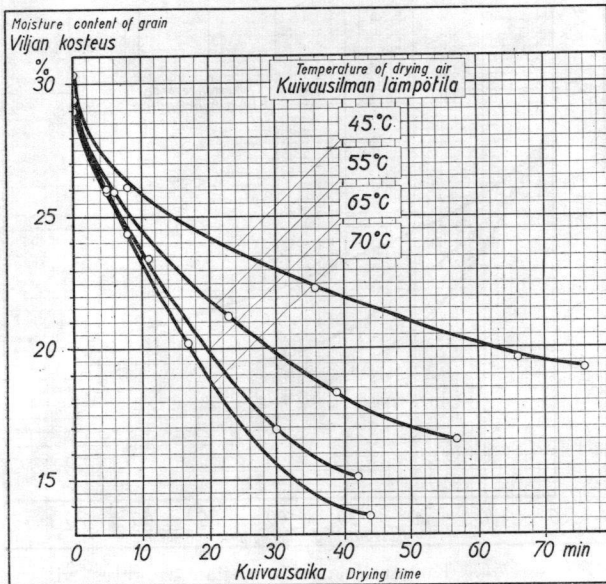
Figure 4. Effect of velocity of air current on rate of drying of grain. Wheat dried in test as layer 12 cm thick, temperature of drying air being 65° C.

<sup>1)</sup> Piirroksen 4 kahta ylintä käyrää on siirretty lähteviksi samasta pisteestä (alkukosteudesta) kuin alemmat käyrät. Vehnäerien alkukosteudet ovat olleet 24.6 ja 24.2 %.

Taulukkoon 1 on laskettu ne ilmamäärät, jotka on tarvittu, kunnes kukin koe-erä on keskimäärin kuivunut 15 %:n kosteuteen.

Taulukko 1. Piirrosta 4 vastaavissa kokeissa tarvittu ilmamäärät, kunnes vilja on kuivunut 15 %:n kosteuteen

Ilman paine vilja-kerroksen alla mm vp	Ilmavirran nopeus m/s	Ilmamäärä m <sup>3</sup>
5	0.19	59
10	0.28	68
15	0.37	70
20	0.43	75



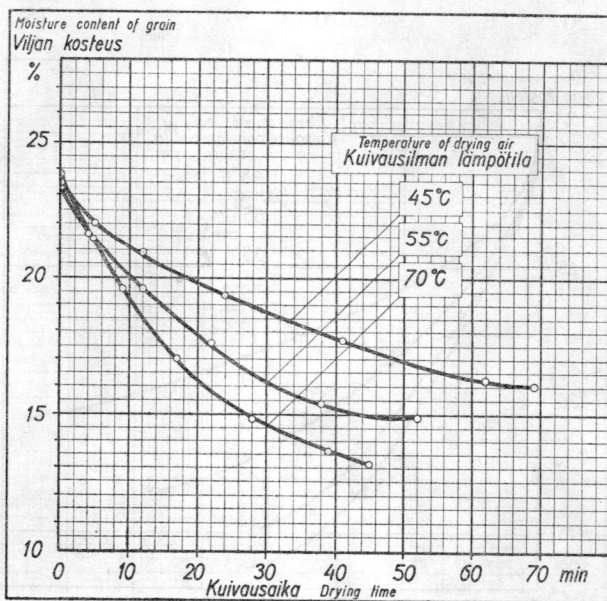
Piirros 5 a. Kuivausilman lämpötilan vaikutus viljan kuivumisnopeuteen. Kokeessa kuivattu vehnää 20 cm paksuna kerroksena. Ilman paine on ollut viljakerroksen alla 5 mm vp vastaten ilman nopeutta n. 0.15 m/s laskettuna vapaata poikkipintaa kohden.

Figure 5 a. Effect of temperature of drying air on the rapidity of drying process. Wheat dried in test as layer 20 cm thick. Pressure of air under layer of grain was 5 mm H<sub>2</sub>O, corresponding to air flow of about 0.15 m/s calculated per free cross section.

Taulukosta 1 havaitaan, että mitä voimakkaammin ilmaa puhalletaan viljan läpi sitä suurempi ilmamäärä tarvitaan viljaerän kuivaukseen.

### Kuivausilman lämpötilan vaikutus viljan kuivumisnopeuteen

Piirroksista 5a ja 5b käy ilmi, että kuivausilman lämpötilan kohoaminen on erittäin tehokas keino kuivauksen kiihdyttämiseksi. Lisäksi havaitaan kuitenkin, että ilman lämmittämisellä  $45^{\circ}\text{C}$ :stä  $55^{\circ}\text{C}$ :een on paljon suurempi vaikutus kuivumisnopeuteen kuin ilman lämmittämisellä edelleen  $55$ :stä  $65 \dots 70^{\circ}\text{C}$ :een.



Piirros 5 b. Kuivausilman lämpötilan vaikutus viljan kuivumisnopeuteen. Kokeessa kuivattu vehnää 20 cm paksuna kerroksena. Ilman paine on ollut viljakerroksen alla 5 mm vp vastaten ilman nopeutta n. 0.12 m/s laskettuna vapaata poikkipintaa kohden.

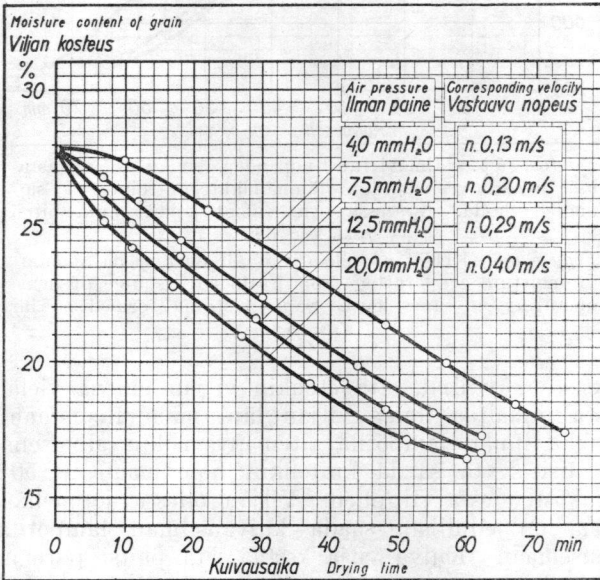
Figure 5 b. Effect of temperature of drying air on rate of drying of grain. Wheat dried in test as layer 20 cm thick. Air pressure under grain layer was 5 mm  $\text{H}_2\text{O}$ , corresponding to air flow of approx. 0.1 m/s calculated per free cross section.



**Puhaltimen kuristamisen vaikutus kuivaustehoon haluttaessa tällä toimenpiteellä kohottaa kuivausilman lämpötilaa**

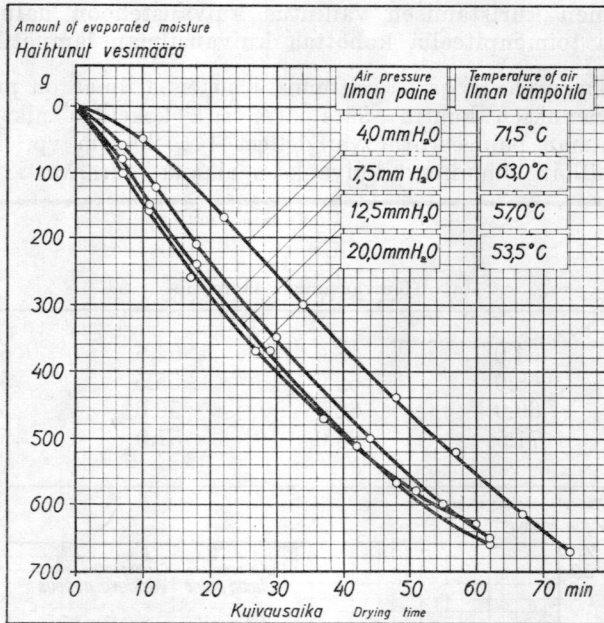
Piirroksien 6a, 6b ja 6c esittämissä kokeissa ilmaa on puhallettu lämmitysvastuksen kautta säätämättä sitä kokeiden aikana. Eri kokeissa ilman paineet ovat vaihdelleet 4...20 mm vp. Kuivausilma on tällöin lämminnyt kuivauksen aikana seuraavasti:

Aika min	Ilmanpaine mm vp			
	4	7,5	12,5	20
Kuivausilman lämpötila °C				
10	64.0	58.0	54.5	52.5
20	68.0	62.0	55.5	53.0
30	69.0	62.5	56.0	54.0
60	71.5	63.0	57.0	53.5



Piirros 6 a. Ilmavirran nopeuden vaikutus viljan kuivumiseen lämmönlähteen toimiessa kaikissa tapauksissa samalla teholla. (Puhallinta kuristettu.) Kokeissa kuivattu vehnää 12 cm paksuna kerroksena.

Figure 6 a. Effect of velocity of air current on drying of grain with source of heat operating in all cases at same level. (Ventilator throttled). Wheat dried in test as layer 12 cm thick.

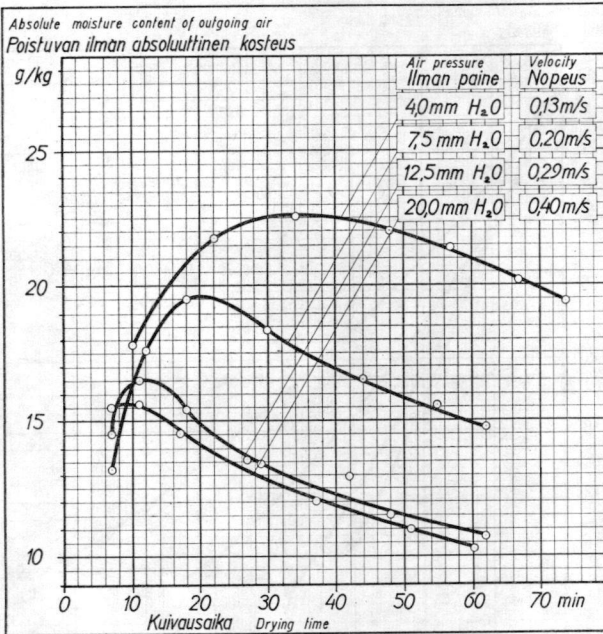


Piirros 6 b. Ilmavirran nopeuden vaikutus viljasta haihtuvaan vesimäärään lämmönlähteen toimiessa samalla teholla. Kyseessä ovat samat kokeet kuin piirroksessa 6 a.

Figure 6 b. Effect of velocity of air current on amount of moisture evaporating from grain with source of heat operating at same level. Same tests performed as in fig. 6 a.

Piirroksista käy ilmi, että etenkin viljan ollessa vielä kosteaa, on edullista puhaltaa ilmaa viljan läpi mahdollisimman voimakkaasti, vaikka ilman lämpötila siten pysyisikin alhaisena. Ilman lämpötila olisi syytä saada kuitenkin nousemaan n. 50...55° C viljan alkukosteudesta riippuen. Viljan ollessa jo melkein varastointikuivaa, on edullista saada kuivausilman lämpötila jonkin verran nousemaan. Kuiva vilja kestää sitä paitsi paremmin kuumuutta kuin kostea.

Piirroksesta 6c nähdään poistuvan ilman absoluuttinen kosteus lausuttuna grammoina viljan läpi puhallettua ilmakilogrammaa kohden. Kuuma ilma tuo enemmän kg kohden kosteutta kuin viileämpi. Tämä johtuu osaksi myös pienemmästä ilman nopeudesta.



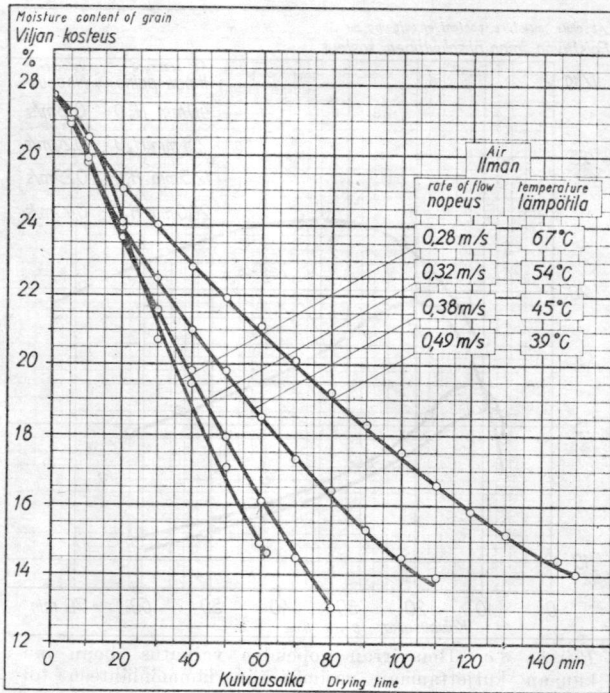
Piirros 6 c. Ilmavirran nopeuden vaikutus ilman mukanaan kuljettamaan vesimäärään lämmönlähteen toimiessa samalla teholla. Kyseessä ovat samat kokeet kuin piirroksessa 6 a.

Figure 6 c. Effect of velocity of air current on humidity of air with source of heat operating at same level. Same tests performed as in fig. 6 a.

Piirroksien 6d ja 6e esittämissä kokeissa on myös käytetty erilaisia ilmavirran nopeuksia. <sup>1)</sup> Näissä kokeissa ilmaa on lämmitetty kussakin neljässä tapauksessa aikayksikössä samalla lämpömäärällä (n. 780 kcal/h). Tällöin on kuivumisnopeus saatu sitä suuremmaksi mitä pienemmällä paineella, toisin sanoen mitä kuumempaa ilmaa on puhallettu.

Tulosten erilaisuuteen — verrattaessa piirroksia 6a, b ja c piirroksiin 6d ja e — on lähinnä kaksi syytä: 1) Kokeissa 6a, b ja c, puhallettaessa ilmaa suuremmalla nopeudella lämmitysvastuksen

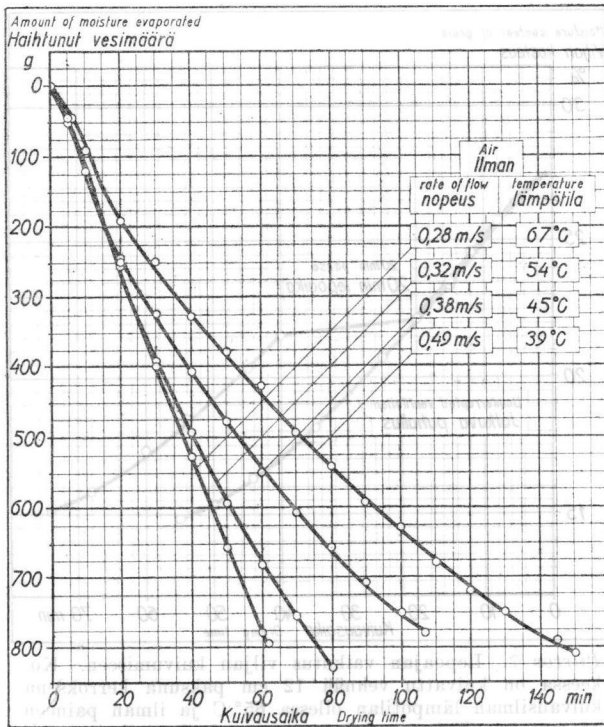
<sup>1)</sup> Piirroksen 6d ylintä käyrää (ilman nopeus 0,49 m/s) on siirretty lähteväksi samasta pisteestä (alkukosteudesta) kuin alemmat käyrät. Vehnäerien alkukosteudet ovat olleet 31,5 ja 27,7 %.



*Päirros 6 d.* Ilmavirran nopeuden vaikutus viljan kuivumiseen lämmitettäessä ilmaa kaikissa tapauksissa samalla lämpömäärällä, kokeissa n. 780 kcal/h. Kokeissa kuivattu vehnä 12 cm paksuna kerroksena.

*Figure 6 d.* Effect of velocity of air current on rate of drying of grain while air is heated in all cases with same amount of heat — in tests approx. 780 kcal/h. Wheat dried in tests as layer 12 cm thick.

kautta ilma on myös saanut enemmän lämpöä kuin pienemmällä nopeudella puhallettaessa. Kokeissa 6d ja e on sen sijaan lämmitetty ilmaa etukäteen lasketulla samalla lämpömäärällä. 2) Kokeissa 6d ja e ilman lämpötilat ovat olleet kahdessa epäedullisimmassa tapauksessa alle 50° C. Sen sijaan kahdessa muussa tapauksessa, joissa kuivausilman lämpötilat ovat olleet 54 ja 67° C, ero myös kuivausnopeudessa on ollut vähäinen, jopa se on kuivauksen alkuvaiheessa ollut 54° C lämpötilaa ja suurempaa ilman nopeutta käytettäessä hieman edullisempikin.

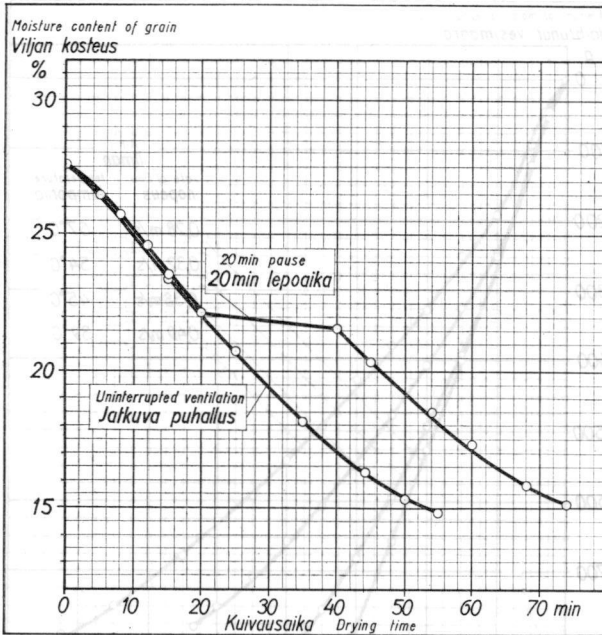


Piirros 6 e. Ilmavirran nopeuden vaikutus viljasta haihtuvaan vesimäärään lämmitettäessä ilmaa samalla lämpö määrällä, kokeissa n. 780 kcal/h. Kyseessä ovat samat kokeet kuin piirroksessa 6 d.

Figure 6 e. Effect of velocity of air on magnitude of water evaporation while amount of heat supplied remains constant — in tests approx. 780 kcal/h. Same tests as in fig. 6 d involved.

### Lepoajan vaikutus viljan kuivumiseen

Kysymyksen selvittämiseksi pysäytettiin lämpimän ilman puhallus 20 min kuivauksen jälkeen (piirros 7). Lepoaika kesti 20 min eli 37 % koko puhallusajasta. Lepoajan jälkeen jatkettiin lämpimän ilman puhallusta 34 min, jolloin viljan kosteus oli alentunut n. 15 %:iin. Vertailukokeessa vastaava kuivaus ilman lepoaika kesti 54 min. Tulosten perusteella voidaan päätellä, ettei lepoajalla voida havaita olevan puhallusaikaa lyhentävää vaikutusta, eikä kosteuden haihtumisnopeus lisääntynyt lepoajan jälkeen.



Piirros 7. Lepoajan vaikutus viljan kuivumiseen. Kokeessa on kuivattu vehnää 12 cm paksuna kerroksena kuivausilman lämpötilan ollessa 65° C ja ilman paineen 15 mm vp. Toisessa kokeessa on puhallus ollut pysäytettyä 20 min eli 37 % puhallusajasta.

Figure 7. Effect of pause in operations on rate of drying of grain. Wheat dried in test as layer 12 cm thick with temperature of drying air at 65° C and air pressure at 15 mm H<sub>2</sub>O. In second test ventilator ceased to blow air for 20 min, or 37% of blowing time.

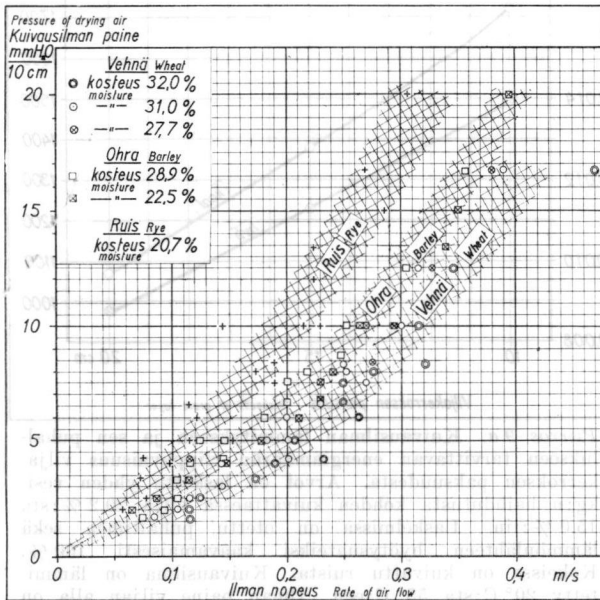
### Viljan aiheuttama ilman vastus

Vastusmittauksissa käytetyn viljan ominaisuuksia esitetään taulukossa 2. Tulokset on laskettu viljakerroksen paksuuden 10 cm kohden ilmavirran nopeuden funktiona (piirros 8). Ilmavirran nopeus on laskettu olettamalla, ettei kuivurissa olisi laisinkaan viljaa. Todellisuudessaan ilma joutuu virtaamaan jyvien väleistä ja sen todellinen nopeus on huomattavasti suurempi. Tämän välitilan erilaisuudesta (viljan roskaisuus, kosteus, hl-paino, 1000 jyvän paino jne.) lähinnä johtuvat ne suuret erot, mitä esiintyy eri viljarien aiheuttamissa ilman vastuksissa. Kuitenkin on huomattava,

Taulukko 2. Vastusmittauksissa käytetyn viljan ominaisuuksia

Vilja	hl-paino kg/hl	1 000 jyvän paino g	Kosteus %
Vehnä 1	59.0	43.0	32.0
” 2	61.0	36.0	31.0
” 3	65.0	31.9	27.7
Ohra 1	61.0	47.5	28.9
” 2	66.0	ei m. 1)	22.5
Ruis 1	65.0	ei m.	20.7

1) ei m = ei mitattu.



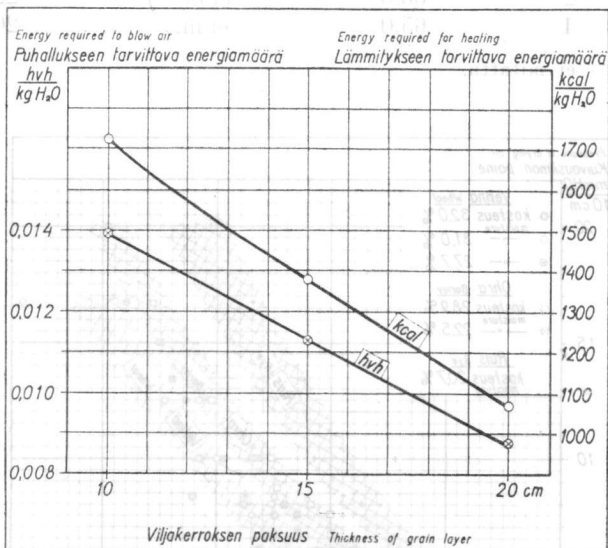
Piirros 8. Viljan aiheuttama ilman vastus viljakerroksen paksuuden 10 cm kohden ilman nopeuden funktiona. Viljakerroksen paksuus oli mittauksissa 5...30 cm. Ilman nopeus on laskettu vapaata poikkipintaa kohden.

Figure 8. Air resistance caused by grain per 10 cm of thickness of the grain layer as function of velocity of air. Thickness of grain layer was measured to be 5...30 cm. Velocity of air current was calculated per free cross section.

että lämminilmakuivureissa, joissa viljakerrokset ovat verraten ohuita, viljakerros muodostaa tavallisesti vain n. 60...10 % ilman kokonaisvastuksesta kuivurissa. Kuumailmakamiinassa ja ilmakana-  
vissa, joissa ilman nopeus on suuri, aiheutuu suuria vastuksia.

### Viljakerroksien edullisin paksuus puhallus- ja lämmitysenergian käytön kannalta

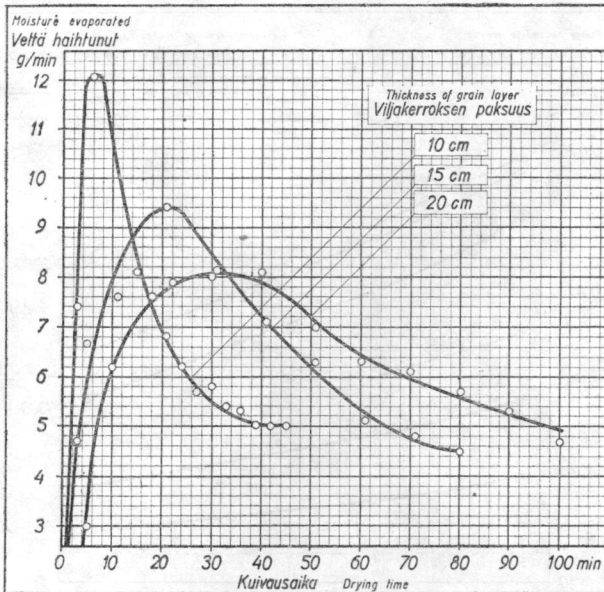
Asiaa tutkittiin kuivaamalla ruista ja ohraa. Ruista kuivattaessa käytettiin 10, 15 ja 20 cm paksuja viljakerroksia. Ilman paine oli kaikissa ruiskokeissa 20 mm vp ja kuivausilman lämpötila 55° C.



*Piirros 9 a.* Kuivausilman lämmitykseen ja sen puhallukseen tarvittavan energiamäärän riippuvaisuus viljakerroksen paksuudesta. Arvot on laskettu yhden vesikg:n haihdutusta kohden kuivattaessa vilja 20.2 %:sta 15.0 %:iin. Laskelmissa on otettu puhaltimen sekä lämmönlähteen hyötysuhteiksi kaavamaisesti 100 %. Kokeissa on kuivattu ruista. Kuivausilma on lämmitetty 20° C:sta 55° C:een. Ilman paine viljan alla on ollut kaikissa kokeissa 20 mm vp.

*Figure 9 a.* Dependence of amount of energy required for heating and blowing drying air on thickness of grain layer. Values calculated per one kg of water evaporated in drying grain from 20.2 % to 15.0 %. In the calculations the efficiency was formally taken as 100 %. Rye was dried in tests. The drying air was heated from 20° C to 55° C. Air pressure under grain was in all tests 20 mm H<sub>2</sub>O.



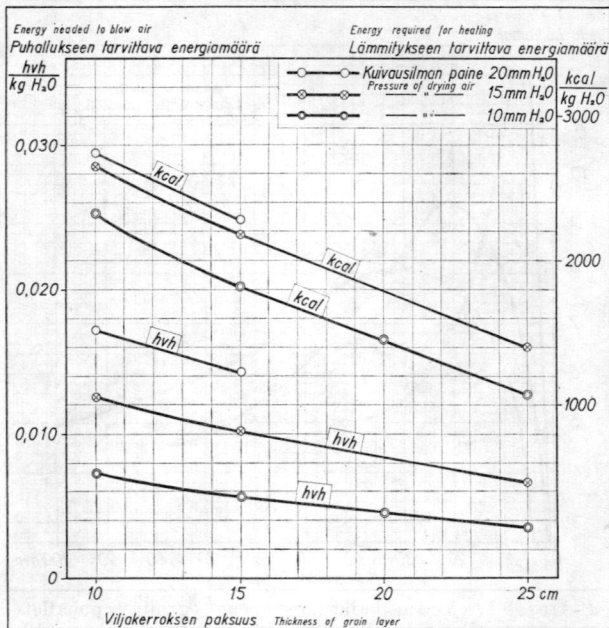


Piirros 9 b. Veden haihtumisnopeus (g/min) puhallettaessa samalla paineella (20 mm vp) kuivausilmaa 10, 15 ja 20 cm paksun viljakerroksen läpi. Kuivausilman lämpötila 55° C. Kyseessä ovat samat kokeet kuin piirroksessa 9 a.

Figure 9 b. Rate of evaporation of moisture (g/min) upon blowing at same pressure (20 mm H<sub>2</sub>O) drying air through grain layer 10, 15 and 20 cm thick. Temperature of drying air 55° C. Same tests involved as in fig. 9 a.

Piirros 9 a esittää niitä energiamääriä, jotka on tarvittu yhden vesikilon haihduttamiseen viljasta kyseisissä olosuhteissa. Viljaerät on kuivattu 20.2 %:sta 15.0 %:n kosteuteen. Ilmaa on laskettu lämmitetyn 35° C. Energiamäärät on laskettu olettaen puhalluksen ja ilman lämmityksen hyötysuhteet kaavamaisesti 100 %:ksi. Piirroksesta 9 a käy ilmi, että mitä paksumpi viljakerros on sitä vähemmällä energiamäärällä vilja saadaan kuivaksi. Piirros 9b esittää em. kokeiden aikana koekuivurista poistuneita vesimääriä minuuttia kohden.

Ohraa kuivattaessa otettiin muuttujaksi myös käytetty ilman paine (viljakerroksen läpi puhallettavan ilmapvirran nopeus). Käytetyt ilmanpaineet olivat 10, 15 ja 20 mm vp. Lisäksi tehtiin vielä



Piirros 9 c. Kuivausilman lämmitykseen ja puhallukseen tarvittavan energiamäärän riippuvuus viljakerroksen paksuudesta ja kuivausilman paineesta viljan alla. Arvot on laskettu yhden vesi-kg:n haihdutusta kohden kuivattaessa vilja 23.0 %:sta 15.0 %:iin. Laskelmissa on otettu puhaltimen ja lämmönlähteen hyötysuhteiksi kaavamaisesti 100 %. Kokeissa on kuivattu ohraa. Kuivausilma on lämmitetty 15° C:sta 55° C:een.

Figure 9 c. Dependence of amount of energy required for heating and blowing drying air on thickness of grain layer and pressure of drying air under grain. Values calculated per kg of water evaporated in drying grain from 23.0 % to 15.0 %. In the calculations the efficiency and the source of heat of the ventilator was formally taken as 100 %. Barley was dried in tests.

Drying air was heated from 15° C to 55° C.

pari koetta edellisiä paksumpaa, 25 cm:n, viljakerrosta käyttäen. Piirros 9c esittää yhden vesikilon haihduttamiseen tarvittavia energiamääriä kyseisissä olosuhteissa. Viljaerien alkukosteus on ollut 23.0 % ja loppukosteus 15.0 %. Ilmaa on laskettu lämmitetyn 40° C. Piirroksista 9c käy ilmi samoin kuin piirroksista 9a, että viljakerroksen paksuuden lisäys vähentää energian tarvetta. Sama

vaikutus on piirroksen mukaan myös ilman paineen pienentämisellä. *Energian käytön kannalta olisi siis edullista käyttää paksua viljakerrosta ja pientä ilman painetta.* Nämä seikat kannattaa ottaa huomioon, erityisesti silloin, kun käytetään kallista polttoainetta tai ei esim. haluta rakentaa kovin suurta vesi- tai höyrypatteria ja kattilaa kuivausilman lämmittämiseksi. Kuivurin tehoon ei viljakerroksen paksuudella ole sanottavasti vaikutusta, jos ilman paine pidetään samana. Tosin viljakerroksen paksuuden lisääminen vähentää ilmamäärää, mutta toisaalta ilma poistuu kosteampana. Suoritetuissa kokeissa paksut viljakerrokset osoittautuvat tässäkin suhteessa hieman ohuita edullisemmiksi. Ennen kaikkea energian tarve saattoi vähetä jopa n. 40 %:iin epäedullisimmasta tapauksesta.

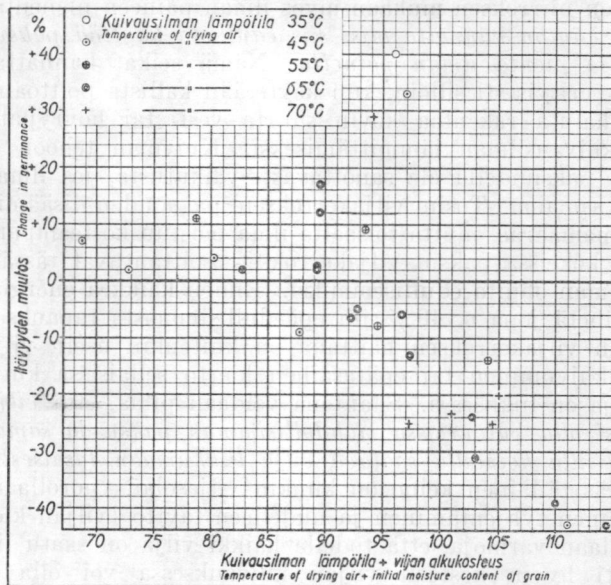
Paksun viljakerroksen haittana on kuitenkin usein viljan epätasainen kuivuminen tai epätasainen kierto sellaisissa kuivureissa, joissa vilja on liikkeessä. Sääntönä voidaan pitää, että *viljakerroksen pitäisi olla kuivureissa mahdollisimman paksu ja samalla olisi rakenteellisilla keinoilla saatava vilja liikkumaan tasaisesti kuivurissa.* Eräs tällainen keino on kunkin viljasolan vuorollaan tapahtuva erillinen tyhjentyminen ja uudelleen täyttö (viljan kierrätys). Silloin ollaan varmoja, että todella kaikki vilja on saatu liikkeelle. Erityisesti hyvin kostean viljan kuivauksessa voi olla vaikeata saada vilja kiertämään tasaisesti.

### **Kuivausilman lämpötilan ja viljan alkukosteuden vaikutus viljan itävyyteen**

Viljan lämmönkestokyky riippuu tunnetusti sen kosteudesta. Koska kuitenkin viljan lämpötilan mittaaminen käytännön kuivauksen yhteydessä tuottaa suuria vaikeuksia, on näissä kokeissa pyritty löytämään yhteys suurimman sallitun kuivausilman lämpötilan ja viljan kosteuden välille. Laboratoriokokeissa vilja on koko kuivauksen ajan ollut liikkumatta. Itävyytäytteet on otettu kuivausilman tulopuolelta.

Piirroksissa 10 a ja 10 b itävyyden muuttuminen kuivauksessa on esitetty viljan alkukosteuden ja kuivausilman lämpötilan summan funktiona. Sekä laboratoriokokeista (piirros 10 a) että käytännössä vuosina 1953—58 suoritetuista kuivurikokeista (piirros 10 b) saadut tulokset ovat hyvin samansuuntaiset. Molemmista voidaan päätellä, että *viljan alkukosteuden ja kuivausilman lämpötilan summa saa olla enintään n. 90 itävyyden vielä säilyessä.*

Laboratoriokokeita suoritettiin yhteensä 31. Viljan alkukosteus vaihteli niissä 61...23 %. Kokeissa kuivattiin kevätvehnää, jota

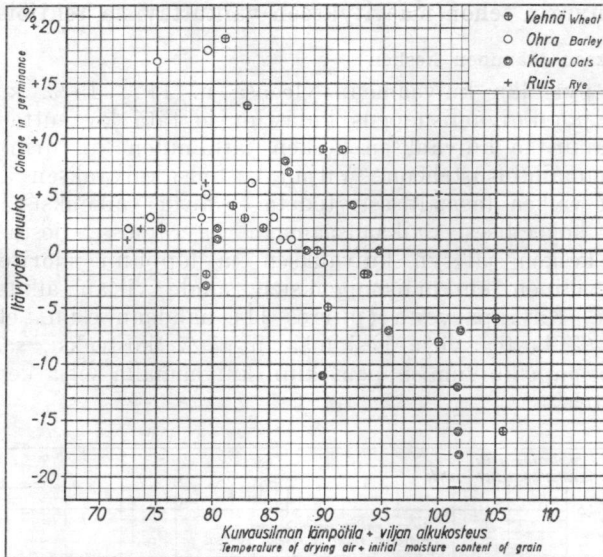


Piirros 10 a. Kuivausilman lämpötilan ja viljan alkukosteuden vaikutus itävyyteen. Kokeissa kuivattu laboratoriokuivurissa vehnää, jonka alkukosteus vaihteli 61...23 %. Näytteet on otettu ilman tulopuolelta.

Figure 10 a. Effect on germination of temperature of drying air and initial moisture content of grain. Wheat with initial moisture content varying between 61 and 23 % was dried in tests in laboratory drying apparatus. Samples were taken from air inlet.

oli puitu eri tuleentumisasteisena 13.8...5.10.56 välisenä aikana. Tuleentumisasteella ei voitu havaita olleen vaikutusta itävyyden säilymiseen kuivauksessa. 31 kokeesta suoritettiin 12 siten, että alkukosteuden ja kuivausilman lämpötilan summa oli alle 90. Näistä 10 tapauksessa itävyys parani. 19 kokeessa summa oli yli 90. Näistä 4 tapauksessa itävyys vielä parani ja 15 tapauksessa huononi.

Käytännön kuivurikokeissa vastaavat luvut olivat seuraavat: Kokeita oli yhteensä 46, niistä 31, joissa summa oli alle 90. Näissä 31 kokeessa itävyys parantui 25 tapauksessa, pysyi samana 2 tapauksessa ja huonontui 4 tapauksessa. Kokeissa, joissa summa oli



Piirros 10 b. Kuivausilman lämpötilan ja viljan alkukosteuden vaikutus itävyyteen. Tulokset ovat käytännössä vuosina 1953—58 suoritetuista viljankuivurien kokeista.

Figure 10 b. Effect of temperature of drying air and initial moisture content of grain on germination. Results are from practical tests of grain dryers carried out in years 1953—58.

yli 90, itävyys parantui 3 tapauksessa, pysyi samana 1 tapauksessa ja huonontui 11 tapauksessa.

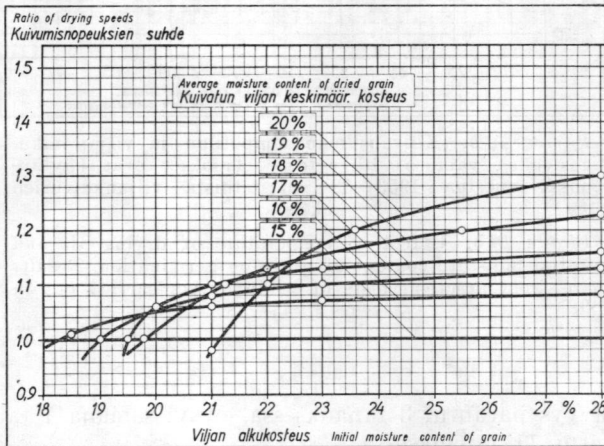
Itävyyden huonontuminen on sattunut pari kertaa niin alhaista ilman lämpötilaa käytettäessä (lämpötila 58° C, kosteus 21.4 % sekä summa 79.4), että näytteen itävyyden alenemista on todennäköisesti pidettävä muusta kuin kuivauksesta johtuvana.

Ottamalla huomioon käytännössä kuivaamattoman viljan kosteuden määrityksessä tapahtuvat virheet ja kosteuden vaihtelut sekä kuivausilman lämpötilan vaihtelut kuivauksen aikana, voidaan siemen-, mallas- ja leipäviljaa kuivattaessa käyttää kuivausilmaa, jonka lämpötila saadaan vähentämällä luvusta 85 kuivaamattoman viljan kosteus.

## Kuivurin tehon määrittämiseen vaikuttavista tekijöistä

### Kuivauksen jääminen kesken

Vilja pyritään kuivaamaan yleensä n. 14...15 % kosteuteen. Koska viljan kuivumisnopeus hidastuu jo tätä kosteutta lähestyttäessä, vaikuttaa kuivauksen kesken jättäminen kuivurin näennäiseen vedenhaihdutustehoon. Viljan kosteus kuivauksen aikana on kuitenkin vaikea täsmällisesti todeta. Näistä vaikeuksista johtuen pyrittiin kokeellisesti aikaansaamaan käyräparvi, josta voidaan arvioida kesken jätetyn kuivauksen ja loppuun suoritettun kuivauksen välinen kuivumisnopeuksien suhde viljan alkukosteuden funktiona. Käyräparvesta (piirros 11) nähdään esim., että jättämällä 24 % kostea vilja keskimäärin 17 % kosteaksi, saadaan n. 10 % suurempi kuivumisnopeus kuin kuivaamalla vilja keskimäärin 15 % kosteaksi.

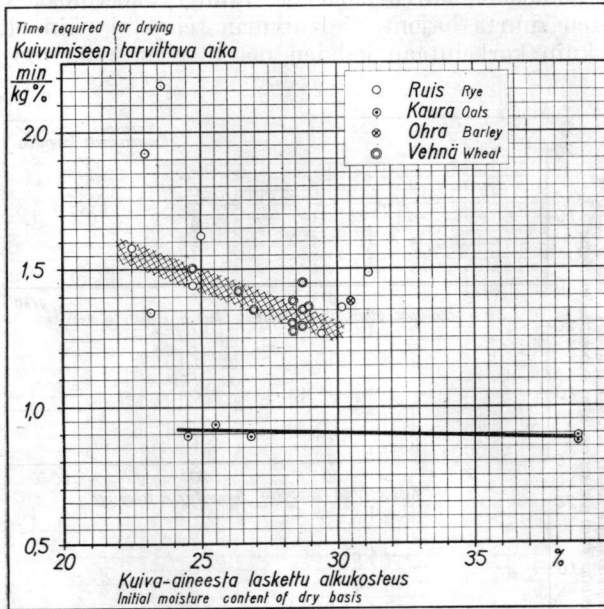


Piirros 11. Kuivauksen kesken jäämisen vaikutus kuivurikokeesta saatuun vedenhaihdutustehoon. Vilja on katsottu riittävästi kuivatuksi, kun sen keskimääräinen kosteus on ollut 15 %. Kokeissa on kuivattu ruista, vehnää, kauraa ja ohraa 22 cm paksuna kerroksena kuivausilman lämpötilan ollessa 50° C ja ilmanpaineen viljan alla 30 mm vp.

Figure 11. Effect of interruption in drying process on rate of evaporation of water as measured during test with drying apparatus. Grain was judged sufficiently dry when average moisture content was 15 %. Rye, wheat, oats and barley were dried in tests as layers 22 cm thick with temperature of drying air at 50° C and air pressure under grain at 30 mm H<sub>2</sub>O.

### Viljan alkukosteuden vaikutus kuivumisnopeuteen

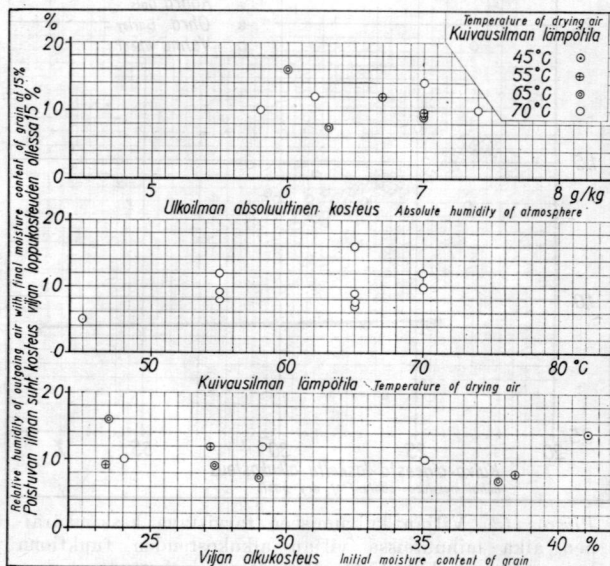
Koska kuivuminen alussa viljan lämpiämisestä johtuen ja lopussa kuivausilman kosteuden ja viljan kosteuden välisen tasapainotilan lähestymisen johdosta on hitaampaa kuin kuivauksen keskivaiheella, on keskimääräinen viljan kuivumisnopeus tietyissä olosuhteissa yleensä sitä suurempi mitä enemmän kosteutta joudutaan



Piirros 12. Viljan kuivumiseen tarvittava keskimääräinen aika minuuteissa viljan alkukosteuden funktiona kuivattaessa vilja 15 % kosteuteen laskettuna kuiva-aine-kg:a ja kuiva-aineen mukaan laskettua kosteusprosenttia kohden. Kokeissa viljaa on kuivattu 22 cm paksuna kerroksena. Kuivausilman lämpötila on ollut 50° C ja ilman paine viljan alla 30 mm vp. 38.8 % kostea kauraerä on ollut keinotekoisesti kostutettua.

Figure 12. Average time in minutes required to dry grain as function of initial moisture content of grain in drying it to 15% moisture content calculated per kg of dry basis and moisture percentage estimated according to dry basis. In tests grain was dried as layer 22 cm thick. Temperature of drying air was 50° C and air pressure under grain 30 mm H<sub>2</sub>O. Oats with moisture content of 38.8% were artificially moistened.

poistamaan eli mitä suurempi viljan alkukosteus on. Piirros 12 esittää tuloksia tätä seikkaa selvittävästä koesarjasta. Siinä on kuivattu eri viljalajeja 22 cm vahvuisena kerroksena 50° C lämpimällä ilmalla. Ilman paine on ollut viljan alla 30 mmvp. Koesarjan mukaan kaura on ollut tuntuvasti helpommin kuivuvaa kuin toiset viljalajit. Piirroksista käy myös ilmi, että vaikka koelosuhteet on voitu pitää huomattavasti paremmin muuttumattomina kuin yleensä varsinaisissa kuivurikokeissa, esiintyy koetuloksissa kuitenkin verraten suurta hajontaa. Kuivurin tehoa ei näin ollen voida ilmoittaa kuin korkeintaan kahden merkitsevän numeron tarkkuudella.



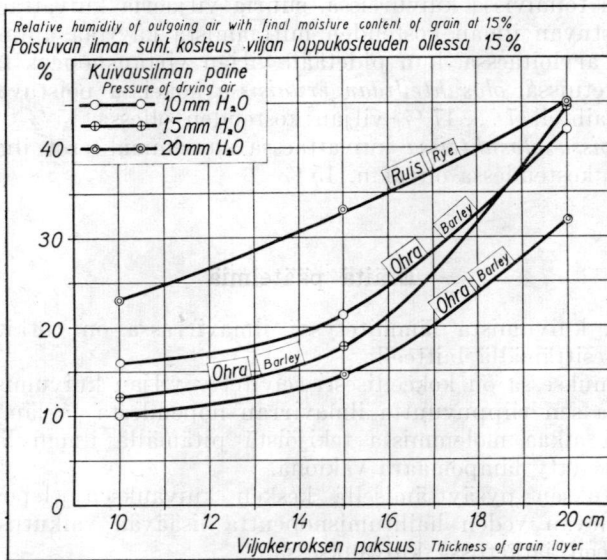
Piirros 13. Ulkoilman absoluuttisen kosteuden (g/kg), kuivausilman lämpötilan ja viljan alkukosteuden vaikutus kuivurista poistuvan ilman suhteelliseen kosteuteen sillä hetkellä, jolloin viljan keskimääräinen kosteus on ollut 15 %. Kokeissa on kuivattu vehnää 5 cm paksuna kerroksena, ilman paineen ollessa viljan alla 5 mm vp.

Figure 13. Effect of absolute humidity of atmosphere (g/kg), temperature of drying air and initial moisture content of grain on relative humidity of air released from drying apparatus at moment when average moisture content of grain was 15%. In tests wheat was dried as layer 5 cm thick with air pressure under grain 5 mm H<sub>2</sub>O.



## Kuivurista poistuvan ilman kosteuden riippuvuus viljan kosteudesta

Tämän kysymyksen selvittämiseksi on tutkittu yhteensä 57 eri vuosina suoritettua koetta. Tutkimuksen perusteella voidaan päätellä, ettei kuivausilman lämpötilalla, ulkoilman kosteudella eikä viljan alkukosteudella ole havaittavaa vaikutusta poistuvan ilman suhteelliseen kosteuteen silloin, kun vilja on 15 % kostea (piirros 13). Sen sijaan viljakerroksen paksuudella ja käytetyllä ilman paineella on selvästi vaikutuksensa tähän seikkaan. Mitä suurempi on ilman paine ja mitä ohuempi on viljakerros, toisin sanoen *mitä suuremmalla nopeudella kuivausilma virtaa viljan läpi sitä kuivempuna ilma poistuu kuivurista* (piirros 14). Ilman paine ja



Piirros 14. Viljakerroksen paksuuden ja viljan alla olevan kuivausilman paineen vaikutus kuivurista poistuvan ilman suhteelliseen kosteuteen sillä hetkellä, jolloin viljan keskimääräinen kosteus on ollut 15 %. Kokeissa on kuivattu ruista ja ohraa kuivausilman lämpötilan ollessa 55° C.

Figure 14. Effect of thickness of grain layer and pressure of drying air under grain on relative humidity of air released from drying apparatus at moment when average moisture content of grain was 15%. Rye and barley were dried in test, with temperature of drying air at 55° C.

viljakerroksen paksuus pysyvät samassa kuivurissa likimain vakioina. Tämän perusteella voitaisiin kokeellisesti määrittää kullekin kuivurille ominainen poistuvan ilman kosteus hetkellä, jolloin vilja olisi kuivaa. Vaikeutena on kuitenkin se, että eri viljalajeilla ja lajikkeilla, samoin kuin viljoilla eri vuosina tuntuu tässä suhteessa olevan hyvin vaihtelevat ominaisuudet. Niinpä aivan samoissa olosuhteissa kuivattaessa likimain yhtä kosteaa ruis- ja vehnäerää poistuvan ilman suhteellinen kosteus kuivauksen lopussa oli vastaavasti 45 ja 32 % ja eräissä toisissa olosuhteissa (viljakerroksen paksuutta ja ilman painetta vaihdettu) vastaavasti 33 ja 16 % ja edelleen kolmansissa olosuhteissa 23 ja 10 %.

Vaihtelut tuntuvat olevan niin suuria, ettei poistuvan ilman kosteutta voida pitää yleensä viljan kosteuden mittana. Sen sijaan jatkuvasti toimivissa kuivureissa, suuria viljaeriä kuivattaessa, voidaan poistuvan ilman kosteuden mittaamista käyttää apuna viljan kosteutta arvioitaessa, kun pidetään viljan virtausnopeus tasaisena.

Suoritetuissa, *olosuhteiltaan erilaisissa* kokeissa poistuvan ilman kosteus vaihteli 7...47 % viljan kosteuden ollessa 15 %. Eri viljoja *samoissa olosuhteissa* kuivattaessa suurimmat erot ilman suhteellisessa kosteudessa olivat n. 15 %.

### Eräitä päätelmiä

Viljan kuivumisesta lämmitetyssä ilmavirrassa on tutkittu piirroksen 1 esittämällä laitteella.

Tutkimuksessa on kokeellisesti selvitetty viljan kuivumisen edistymistä ja sen riippuvuutta ilmavirran nopeudesta ja lämpötilasta sekä yhtä aikaa molemmista tekijöistä pitämällä ilman lämmittämiseen käytetty lämpömäärä vakiona.

Puhalluksen pysäyttämällä kesken kuivauksen (lepoaika) ei todettu olevan veden haihtumisnopeutta lisäävää vaikutusta lepoajan jälkeen jatkettussa kuivauksessa.

Viljan aiheuttama ilman vastus useimmissa lämminilmakuivureissa on vähäinen verrattuna kuivureiden muiden osien aiheuttamiin ilman vastuksiin.

Mitä paksumpaa viljakerrosta ja mitä pienempää ilman nopeutta käytetään sitä vähäisempi on puhallus- ja lämpöenergian tarve. Vaikeutena on viljan tasainen liikkuminen kuivurissa, kun viljakerros on paksu.

Viljan alkukosteuden (%) ja kuivausilman lämpötilan (°C) summa saa olla korkeintaan n. 90 itävyyden vielä säilyessä. Laboratoriokokeet ja käytännön kuivauskokeet antavat tässä samansuun-

taisen tuloksen. Käytännön olosuhteita — kosteuden ja lämpötilan vaihteluja — silmällä pitäen voi em. summa olla kuitenkin korkeintaan n. 85.

Kuivauksen jättäminen kesken tai erittäin kostean viljan käyttäminen kuivurikokeissa antaa näennäisesti normaalia suurempia vedenhaihdutustehoja. Viljalajit ja jossain määrin myös lajikkeet vaikuttavat tulokseen. Esim. kaura kuivuu selvästi muita viljalajeja nopeammin.

Kuivurista poistuvan ilman kosteudesta ei yleensä voida päätellä, koska vilja on riittävän kuivaa. Lähinnä viljan aiheuttamassa ilman vastuksessa esiintyvät eroavaisuudet ovat pahimpana vaikeutena. Selvä vuorosuhde on havaittavissa viljan läpi virtaavan ilman nopeuden ja sen suhteellisen kosteuden välillä, silloin kun vilja on esim. 15 % kostea. Sen sijaan viljan alkukosteudella, kuivausilman lämpötilalla ja ulkoilman kosteudella ei tunnu olevan vaikutusta poistuvan ilman kosteuteen silloin, kun vilja on riittävän kuivaa.

### Conclusions

The drying of grain by means of a current of preheated air has been investigated by using the apparatus presented in figure 1.

The investigation involved experimentally determining the progress of the drying of the grain and its dependence on the rate of flow of the air current and on the temperature as well as on both factors simultaneously by maintaining the amount of heat used in heating the air at a constant level.

Halting the air current during the middle of the drying process (rest period) was not perceived to have the effect of increasing the rate of evaporation during the drying action resumed after the interruption.

The air resistance caused by the grain in most hot air dryers is slight compared to the air resistance caused by other parts of the dryers.

The thicker the grain layer and the lower the velocity of the air current, the smaller is the need of energy to heat and blow the air. A difficulty is to bring about an even motion of the grain in the dryer when the layer is a thick one.

The sum of the initial moisture content of the grain (%) and the temperature of the drying air may be at most about 90 while the power of germination lasts. Laboratory tests and practical drying tests here yield similar results. With practical conditions —

variations in humidity and temperature — in view, the said sum should not, however, exceed about 85.

Interrupting the drying process or using very damp grain by testing the dryers produces seemingly greater than normal rates of evaporation. Results are also affected by the species of grain and to some extent even by the varieties used in the tests. For example, oats dry conspicuously faster than other species of grain.

The moisture content of the air emanating from the dryer is not generally indicative of when the grain is sufficiently dry. In the main, the worst difficulty lies in the air resistance differences caused by the grain. A clear correlation is to be observed between the rate of flow through the grain of the air and its relative humidity when, e. g., the grain has a 15 % moisture content. On the other hand, the initial moisture content of the grain, the temperature of the drying air and the humidity of the atmosphere do not seem to affect the relative humidity of air released from the dryer after the grain has become sufficiently dry.