

# VAKOLA

JUHA SARIOLA LAURI TUUNANEN  
TUOMO ESKELINEN KYÖSTI LOUHELAINEN TARJA RIPATTI

## VILJANKUIVAUKSEN PÖLYHAITAT

DUST PROBLEMS IN GRAIN DRYING



TUTKIMUSSELOSTUS 61

VIHTI 1992

**VAKOLA**

**VALTION MAATALOUSTEKNOLOGIAN TUTKIMUSLAITOS**  
**STATENS LANTBRUKSTEKNOLOGISKA FORSKNINGSANSTALT**  
**STATE RESEARCH INSTITUTE OF ENGINEERING IN AGRICULTURE AND FORESTRY**

Postiosoite      PPA 1  
03400 VIHTI

Postal address      PPA 1  
SF-03400 VIHTI  
FINLAND

Puhelin                      (90) 224 6211  
Telephone int.      + 358 0 224 6211

Telefax                      (90) 224 6210  
Telefax int.      + 358 0 224 6210

**JUHA SARIOLA LAURI TUUNANEN  
TUOMO ESKELINEN KYÖSTI LOUHELAINEN TARJA RIPATTI**

# **VILJANKUIVAUKSEN PÖLYHAITAT**

**DUST PROBLEMS IN GRAIN DRYING**

**TUTKIMUSSELOSTUS 61**

**VIHTI 1992**

**Summary p. 71**

**Sammanfattning s. 69**

Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri)		Julkaisun laji Tutkimusselostus	
Juha Sariola, Lauri Tuunanen Tuomo Eskelinen, Kyösti Louhelainen Tarja Ripatti		Toimeksiantaja MELA	
Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen) Viljankuivauksen pölyhaitat		Toimielimen asettamispvm 1.11.1989	
Julkaisun osat			
<p><b>Tiivistelmä</b></p> <p>Tutkimuksessa selvitettiin viljankuivaamoissa eri työvaiheissa tapahtuvan pölyaltistuksen määrää. Pölyisimmille työvaiheille pyrittiin löytämään rakenteellisia ja työtekniisiä ratkaisuja pölyaltistuksen vähentämiseksi.</p> <p>Syksyllä 1989 tehtiin kokonaispölymittauksia kuudessa lämminilmakuivaamossa ja kahdeksassa kylmäilmakuivaamossa. Vuonna 1990 mittauksia jatkettiin kolmessa lämmin- ja kylmäilmakuivaamossa. KATTL otti kokonaispölynäytteet kaikissa kuivaamoissa kahta lukuunottamatta. Tutkimuksen aikana kerättiin kaikkiaan 141 pölynäytettä, joista 36 hengitysvyöhykkeeltä ja 105 kiinteistä mittauspaikoista. Kokonaispölynäytteiden lisäksi otettiin ilman sieni-itiöpitoisuusnäytteitä.</p> <p>Yli puolet keskimääräisistä kokonaispölypitoisuuksista viljan käsittelyssä oli yli orgaanisen pölyn HTP<sub>sh</sub>-arvon 5 mg/m<sup>3</sup>. Suurimmat mitatut pitoisuudet ylittivät HTP-arvon kymmeniä kertoja. Ilman sieni-itiöpitoisuudet (10<sup>4</sup> - 10<sup>5</sup> cfu/m<sup>3</sup>) olivat kaikissa tutkituissa kylmä- ja lämminilmakuivureissa korkeampia kuin toimisto- tai asuinhuoneistoissa (10<sup>2</sup> - 10<sup>3</sup> cfu/m<sup>3</sup>) ja samaa suuruusluokkaa kuin aiemmin maatalousympäristöissä mitatut sieni-itiöpitoisuudet. Näiden tulosten perusteella pölyn vähentämiseen tähtäviä toimia tulisi tehdä lähes jokaisella tutkimustilalla. Pölyisissä työvaiheissa on sieni-itiöaltistuksen aiheuttamien terveyshaittojen välttämiseksi työntekijöiden suositeltavaa käyttää P2-luokan suodattimella varustettua hengityksensuojainta.</p> <p>Pölyisimpiä työvaiheita olivat viljan kippaus kaatosuppiloon (pölyä 8 - 125 mg/m<sup>3</sup>), kylmäilmakuivurin tyhjennys (2 - 40 mg/m<sup>3</sup>), varastosiiilojen täyttö (2 - 25 mg/m<sup>3</sup>) ja pölysiilon tyhjennys (200 - 500 mg/m<sup>3</sup> hengitysvyöhykkeellä). Keskimääräiset kokonaissieni-itiöpitoisuudet olivat suurimmat kylmä- ja lämminilmakuivureiden täytössä ja tyhjennyksessä ja matalimmat kuivausvaiheen aikana. Täyttö- ja tyhjennysvaiheen kokonaissieni-itiöaltistus oli kylmä- ja lämminilmakuivauksessa samaa suuruusluokkaa, vaikka kuivurikohtainen vaihtelu niin sienten kokonaispitoisuuksissa kuin myös eri sieniryhmien pitoisuuksissa oli suurta molemmilla kuivausmenetelmillä.</p> <p>Pölyn vähentäminen teknisillä toimenpiteillä vuonna 1990 tutkimuksessa mukana olleissa viljankuivaamoissa onnistui kohtalaisen helposti. Useimmissa tapauksissa pölypitoisuuksia voitiin pienentää alle HTP-tason. Tutkimuksessa hyväksi koettuja ratkaisuja ovat mm. kaatosuppilon varustaminen kohdepoistolaitteella sekä kaatosuppilon osastoiminen. Varastosiiiloja täytettäessä voidaan käyttää esimerkiksi siirrettävää kohdepoistoa varastosiiilojen täyttöaukoissa tai pölynpoistomuria elevaattorin tyhjennysputkissa.</p> <p>Kylmäilmakuivurin laarien täytössä ja tyhjennyksessä kuivauspuhaltimen käyttäminen "takaperin" osoittautui erittäin tehokkaaksi menetelmäksi vähentää kokonais- ja hienopölyä. Ilmalla tyhjennettävissä kylmäilmakuivureissa tulisi viljan siirto järjestää siten, että kuivurissa ei tarvitse oleskella tyhjennyksen aikana. Muutenkin pölyiset työvaiheet pitäisi mahdollisuuksien mukaan ajoittaa siten, että pölyhuiput ovat lyhyitä eikä työntekijän tarvitse itse olla pölyisessä tilassa. Rakenteiden kaikinpuolinen tiiviys on myös tärkeää.</p>			
Avalnsanat (asiasanat)			
viljapöly, pöly, viljankuivaus, kuivuri, mikrobit viljankuivauksessa			
Muut tiedot			
Saatavana Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitokselta (VAKOLA) puh. (90) 224 6211 telefax (90) 224 6210			
Sarjan nimi ja numero VAKOLAn tutkimusselostus 61		ISSN 0782-0054	ISBN
Kokonaisilvumäärä	Kieli suomi tiivist. englantia, ruotsi	Hinta	Luottamuksellisuus Julkinen
Jakaaja VAKOLA, PPA 1, 03400 VIHTI		Kustantaja	

State Research Institute of Engineering  
in Agriculture and Forestry  
VAKOLA

Date of publication  
1992-03-13

Authors (if organ: name of organ, chairman, secretary)  Juha Sariola, Lauri Tuunanen Tuomo Eskelinen, Kyösti Louhelainen Tarja Ripatti	Kind of publication <b>Study report</b>	
	Comissioned by <b>MELA</b>	
	Date of setting up of organ <b>1989-11-01</b>	
English and Swedish titles of publication  Dust problems in grain drying		
Parts of publication		
Abstract  Dust concentrations were measured during different work stages in dryers. Solutions to reduce the worker's exposure dust were studied. In the autumn of 1989 dust concentrations were measured in six heated air dryers and eight ambient air dryers. Next year three heated air and ambient air dryers were measured. Totally 141 dust samples were taken including 36 samples taken in breathing zone and 105 samples in fixed spots. Additional samples were taken to determine fungal species. More than half of the measured total dust concentrations were above the Threshold Limit Value of organic dust (HTP <sub>9h</sub> ), 5 mg/m <sup>3</sup> . The highest concentrations were tens of times higher than HTP <sub>9h</sub> . Fungal spore concentrations were higher in all ambient air and heated air dryers (10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> cfu/m <sup>3</sup> ) than in office and residential buildings (10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup> cfu/m <sup>3</sup> ) and on the same level as fungal spore concentrations measured earlier in agricultural environment. According to these results some measures should be taken to reduce dust concentrations in most of the drying plants in this study. Under dusty conditions use of a breathing mask equipped with class P2 dust filter is recommended. The highest total dust concentrations were measured during tipping to intake pit (8 - 125 mg/m <sup>3</sup> ), during unloading of cold air dryer (2 - 40 mg/m <sup>3</sup> ), during filling of storage bins (2 - 25 mg/m <sup>3</sup> ) and during unloading of dust bin (200 - 500 mg/m <sup>3</sup> in breathing zone). The total fungal spore concentrations were highest during filling and unloading and lowest during the drying period in both heated air and ambient air dryers. On the whole there was about the same amount of dust in ambient air and heated air dryers although concentrations of both fungal spores totally and of different strains of fungal spores varied considerably in individual dryers. It was relatively easy to reduce dustiness with simple technical measures in dryers which participated in the study in 1990. In most cases it was possible to reduce dust concentrations under HTP <sub>9h</sub> . Fitting a dust exhaustion chamber and a fan to the intake pit or separating the intake pit with a wall from the rest of the building were proved to be good solutions to reduce dustiness. Storage bins can be equipped with a portable dust exhaust system or a dust exhausting fan can be installed to the top of the elevator to reduce dustiness during filling of storage bins. The total dust concentration in traditional ambient air dryers was reduced considerably when the drying fan was run backwards during filling and unloading. In dryers which are unloaded with air sweep floor should the grain conveyor system be able to work without a worker's attendance. Dusty work stages should be arranged so that they are as short as possible and a worker's presence is not needed during these. It is also important that the components of the dryer are dust tight.		
Key words  grain dust, dust, grain drying, dryer, microbial flora in grain drying		
Additional information VAKOLA PPA 1 SF-03400 VIHTI FINLAND		Telephone +358-0-224 6211 Telefax +358-0-224 6210
Name of series, number VAKOLAn tutkimusselostus 61		ISSN 0782-0054
Pages	Language Finnish, Tables and figures: English, Summaries: English, Swedish	
Sold by VAKOLA, PPA 1, SF-03400 VIHTI, FINLAND		Price FIM

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>ALKUSANAT</b> .....	7
<b>JOHDANTO</b> .....	9
<b>1. KIRJALLISUUSKATSAUS</b> .....	10
1.1. Termistö .....	10
1.2. Kuivaamotyypit .....	12
1.2.1. Lämminilmakuivaamo .....	12
1.2.2. Kylmäilmakuivaamo .....	13
1.2.3. Yhdistelmäkuivaamo .....	15
1.3. Viljalajien pölyävyys ja pölyävät työvaiheet .....	15
1.3.1. Viljan pölyävyys .....	15
1.3.2. Pölyiset työvaiheet .....	15
1.3.3. Kuivauksen työmäärä .....	17
1.4. Altistuminen orgaanisille ja biologisille pölyille .....	18
1.4.1. Altistuminen orgaanisille pölyille .....	18
1.4.1.1. Orgaaninen pöly .....	18
1.4.1.2. Biologinen pöly eli sieni-itiöt viljankui- vauksessa .....	18
1.5. Viljapölyn aiheuttamat oireet ja taudit .....	20
1.5.1. Yleistä .....	20
1.5.2. Krooninen bronkiitti .....	22
1.5.3. Allerginen alveoliitti eli homepölykeuhko .....	22
1.5.4. ODDS eli viljakuume .....	23
1.6. Työturvallisuushaitat .....	23
1.7. Toimenpiteet pölyämisen vähentämiseksi .....	24
<b>2. ANALYYSIMENETELMÄT</b> .....	25
2.1. Kokonaispöly .....	25
2.2. Pölymittarit .....	25
2.3. Painonmukainen hiukkaskokojoukauma .....	26
2.4. Pölyävyystestaus .....	27
2.5. Sieni-itiöt .....	27
<b>3. TYÖHYGIEENISET VERTAILUARVOT</b> .....	28

<b>4.</b>	<b>TUTKIMUSAINEISTO</b>	29
4.1.	Johdanto	29
4.2.	Lämmin- ja kylmäilmakuivaamot	30
4.2.1.	Kylmäilmakuivaamot	30
4.2.2.	Lämminilmakuivaamot	36
<b>5.</b>	<b>TULOKSET</b>	40
5.1.	Olosuhteet mittausten aikana	40
5.2.	Kokonaispölypitoisuudet lämmin- ja kylmäilmakuivureissa	40
5.3.	Viljalajien pölyävyys	44
5.4.	Sieni-itiöpitoisuudet	46
5.5.	Toteutetut pölynvähentämiskäsit	47
5.5.1.	Kylmäilmakuivaamot	47
5.5.2.	Lämminilmakuivaamot	55
5.6.	Pölyn vähenemisen vaikutus sieni-itiöpitoisuuksiin	61
<b>6.</b>	<b>TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	62
6.1	Kokonaispölyt	62
6.2	Ilman sieni-itiöpitoisuudet	65
<b>7.</b>	<b>TIIVISTELMÄ</b>	67
<b>8.</b>	<b>SAMMANFATTNING</b>	69
<b>9.</b>	<b>SUMMARY</b>	71
	<b>KIRJALLISUUSLUETTELO</b>	74
	<b>LITTEET</b>	

## **ALKUSANAT**

Maatalousyrittäjien eläkelaitoksen rahoittamana käynnistettiin vuonna 1989 tutkimus viljankuivauksessa esiintyvien pölyhaittojen suuruuden määrittämiseksi ja pölyhaittojen vähentämiskeinojen löytämiseksi. Tutkimus tehtiin kiinteässä yhteistyössä Kuopion aluetyöterveyslaitoksen kanssa.

Tutkimuksessa mitattiin vuonna 1989 eri työvaiheiden pölyisyyttä lämmin- ja kylmäilmakuivaamoissa. Maatiloilla tehtyjen mittausten lisäksi tutkittiin erilaisten kylmäilmakuivurin täyttö- ja tyhjennysmenetelmien pölyisyyttä tutkimusta varten rakennetussa koekuivurissa. Mittaustulosten perusteella tehtiin osaan mittauksissa mukana olleista kuivaamoista pölyisyyttä vähentäviä muutoksia, joiden vaikutusta tutkittiin vuonna 1990.

Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos kiittää Maatalousyrittäjien eläkelaitosta ja tutkimukseen osallistuneita viljelijöitä, joiden kuivaamoissa mittauksia ja pölyisyyttä vähentäviä muutoksia tehtiin.

Vihdissä, maaliskuussa 1992

**VALTION MAATALOUSTEKNOLOGIAN TUTKIMUSLAITOS**



## JOHDANTO

Maanviljelijöillä on muuta ammatissa toimivaa väestöä runsaammin työperäisiä keuhkosairauksia, kuten homepölykeuhkoa ja erityisesti pitkällistä keuhkoputken tulehdusta. Viljapölyaltistuksen oireita ovat krooninen yskä, liman eritys, hengenahdistus sekä joskus myös kuumeilu ja aivastelu. Tyypillisesti viljapöly aiheuttaa myös ihoärsytystä.

Pöly aiheuttaa lattialle ja rakenteiden päälle kerrostuessaan palo- ja tapaturma vaaraa. Myös valaistus heikkenee, kun pöly tarttuu ikkunoiden ja valaisimien pinnalle. Pöly on myös merkittävä epämukavuustekijä.

Viljavarastoissa, joissa käsitellään suuria viljamääriä, tapahtuu joskus pölyräjähdyksiä. Pölyräjähdykset alkavat tavallisesti viljansiirtolaitteista ja leviävät ketju-reaktiona räjähdyksen nostaessa uutta pölyä ilmaan. Suomessa pölyräjähdykset ovat erittäin harvinaisia, mutta esimerkiksi USA:ssa on tapahtunut useita tuhoisia pölyräjähdyksiä.

Viljankorjuuaikana maanviljelijät joutuvat suuren työpaineen alle, koska korjuu-aika on lyhyt ja sato on saatava nopeasti varastoon. Hetkellisten suurten pölypitoisuuksien ja työhuipun aiheuttaman stressin takia ärsytysoireet ovat yleisiä, vaikka vuotuinen kuivaamoissa saatu pölyannos on melko pieni.

Vuonna 1989 Suomen peltoalasta noin 53 % käytettiin viljan viljelyyn. Harvoja erikoistuneita tiloja lukuunottamatta viljaa viljellään lähes jokaisella tilalla. Vuosina 1971 - 1980 tuotettiin vuosittain noin 3100 miljoonaa kg viljaa /53/, josta valtaosa kuivataan. Kun viljan siirtoon kuivaamossa kuluu 10 - 28 minuuttia viljatonna kohden, tarkoittaa se sitä, että viljan käsittelyyn kuluu työaikaa keskimäärin noin 1 h/ha. Suurissa lämminilmakuivaamoissa viljatonna kohden kuluu vähemmän aikaa kuin pienissä, koska vilja käsittely on pitemmälle automatisoitua ja viljasiirtolaitteet ovat tehokkaampia. Tilakoon kasvaessa tulevaisuudessa viljapölylle altistuvien määrä pienenee, mutta jäljelle jäävät viljelijät altistuvat enemmän.

Työterveyttä koskevan tiedon lisääntyessä myös viljelijäväestö on alkanut kiinnittää huomiota työoloihin ja työympäristön laatuun. Tästä syystä myös viljankuivauksen pölyisyyden vähentäminen on koettu tarpeelliseksi.

## 1. KIRJALLISUUSKATSAUS

### 1.1. Termistö

Epäselvyyksien välttämiseksi on syytä määritellä joitakin viljakuivaukseen ja työhygieniaan liittyviä nimityksiä. Sopivilta osiltaan nimitykset ovat standardin SFS 4102 mukaisia.

**Viljankuivaamo** on rakennus, jossa kuivataan ja usein myös varastoidaan viljaa.

**Viljankuivuri** on laite, jolla kuivataan viljaa. Tavallisimpia viljankuivurityyppejä ovat siilokuivuri, lavakuivuri ja kylmäilmakuivuri.

**Etutila** on kaatosuppilon edessä oleva viljan jatkokäsittely ja kuormausta sekä joskus myös työkoneiden talvivarastointia varten rakennettu tila.

**Läpiajettava kuivaamo** on kuivaamo, jossa varastosiilojen alla on niin korkea kuivaamon läpi jatkuva käytävä, että siilot voidaan tyhjentää valuttamalla vilja siilon alle ajettuun perävaunuun. Jos käytävä ei jatku kuivaamon läpi, puhutaan **alleajettavasta** kuivaamosta.

**Imupainelietso** on kuljetin, joka kuljettaa viljaa putkessa ilman avulla. Lietso imee viljan putkeen, josta se edelleen siirtyy syklonin ja injektorin tai kammiosyöttölaitteen kautta lietson painepuolelle. Tyhjennyspuolella vilja erottuu kuljetusilmasta syklonissa. Jos imuosa puuttuu nimitetään kuljetinta **painelietsoksi**.

**Esipuhdistin** on laite, joka ilmavirran avulla poistaa viljasta pölyä ja kevyitä roskia.

**Ilmapohjatyhjennys** on tyhjennystapa, jossa viljalaari tai -siilo tyhjenetään puhaltamalla ilmaa kaltevan, suomulevystä tehdyn tai ilmavirtaa suuntaavilla ilmararjoilla varustetun laarin tai siilon pohjan läpi.

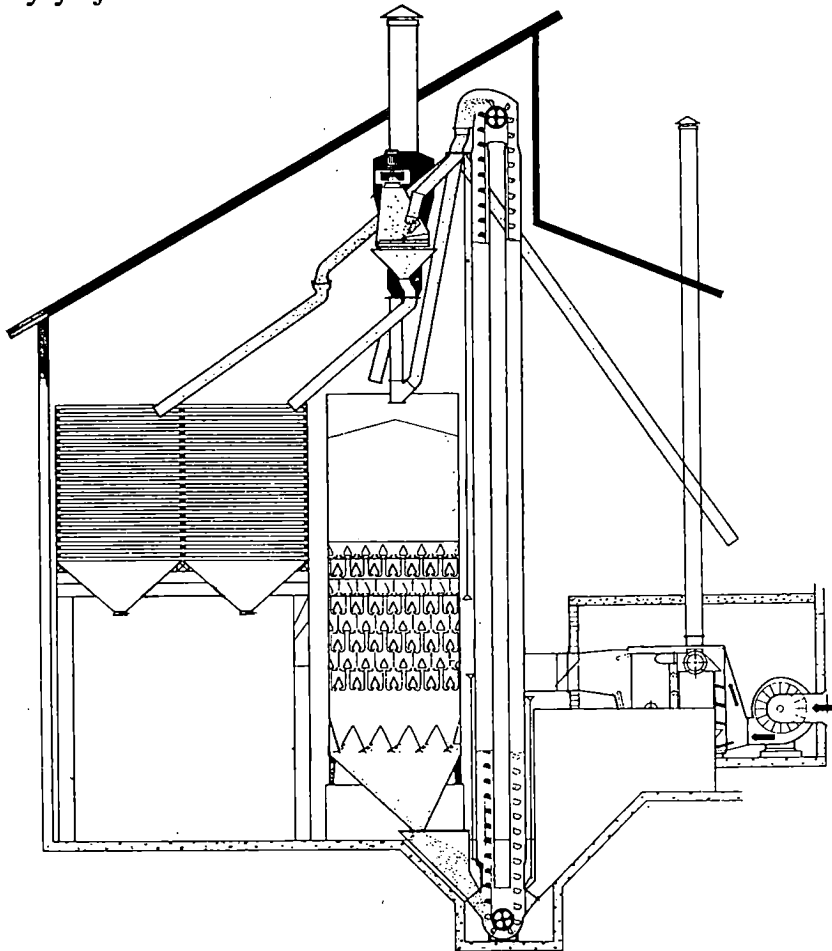
**Jakolaite** on laite viljan ohjaamiseksi haluttuun viljaputkiston osaan.

<b>Kohdepoisto</b>	on menetelmä, jolla poistetaan epäpuhtauksia sisältävä ilma epäpuhtauksia synnyttävän kohteen välittömästä läheisyydestä.
<b>Osastoinnilla</b>	tarkoitetaan rakennuksen jakamista seinillä toisistaan eristettyihin tiloihin. Osastointia tarvitaan esimerkiksi ilmanvaihto- ja paloturvallisuussyistä.
<b>cfu/m<sup>3</sup></b>	eli colony forming unit/m <sup>3</sup> tarkoittaa pesäkkeen muodostavaa yksikköä kuutiometrissä ilmaa. Pesäke muodostuu elatusalustalle kerätessä sieni-itiöitä ilmasta tarkoitusta varten tehdyllä keräimellä.
<b>HTP</b>	on haitalliseksi tunnettu ilman epäpuhtauden pitoisuus, jota pienempien pitoisuuksien aiheuttamaa vaaraa pidetään vähäisenä. Suomessa työsuojeluhallitus on antanut luettelon eri aineiden HTP-arvoista.

## 1.2. Kuivaamotyypit

### 1.2.1. Lämminilmakuivaamo

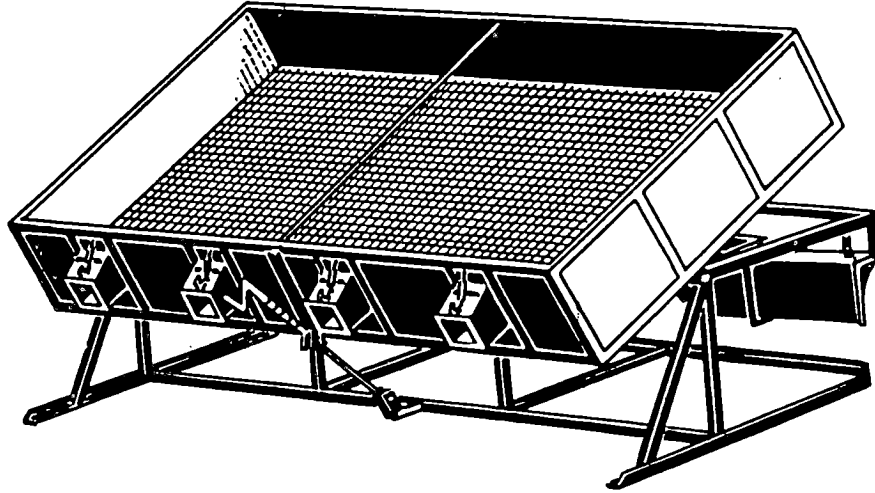
Yleisin lämminilmakuivurityyppi Suomessa on siilokuivuri, jollaisesta on esitetty periaatepiirros kuvassa 1. Kuivurin osat ovat kuivuriuuni, yläsäiliö, kuivaustila ja jalusta. Lisäksi kuivurin toiminta vaatii elevaattorin ja viljanjakoputkiston sekä sähkökeskuksen, jossa on kuivurin sähkölaitteiden katkaisijat sekä kuivurin turvallisuuteen ja automatisointiin liittyvät toiminnot. Yleensä kuivuri on lisäksi varustettu esipuhdistimella ja ns. jalustaimurilla. Esipuhdistin sijaitsee elevaattorin poistoyhteen ja yläsäiliön välissä ja sen tehtävä on poistaa kuivattavasta viljasta roskat. Jalustaimurilla, joka sijaitsee jalustassa syöttölaitteen alapuolella poistetaan jalustasta vesihöyryä ja roskia.



**Kuva 1.** Lämminilmakuivaamo, jossa on tyypillinen siilokuivuri varusteineen.  
**Picture 1.** Typical Finnish drying plant with a recirculating batch dryer working with heated air.

Lavakuivuri on toinen Suomessa käytössä oleva lämminilmakuivurityyppi. Lava-kuivuri, joka on esitetty kuvassa 2, koostuu kuivuriuunista, lavasta sekä lavan tyhjennyslaitteistosta. Kuvasta 2 puuttuvat lavan täyttämistä ja viljan siirtoa varten

tarvittava elevaattori tai ruuvikuljetin. Kuivuri tyhjenetään kallistamalla lavaa, jolloin vilja voidaan valuttaa lavan toisessa reunassa olevien tyhjennysaukkojen kautta säkkeihin tai tyhjennyskaukaloon, josta se edelleen siirretään elevaattorilla tai ruuvikuljettimella varastosiiloon.

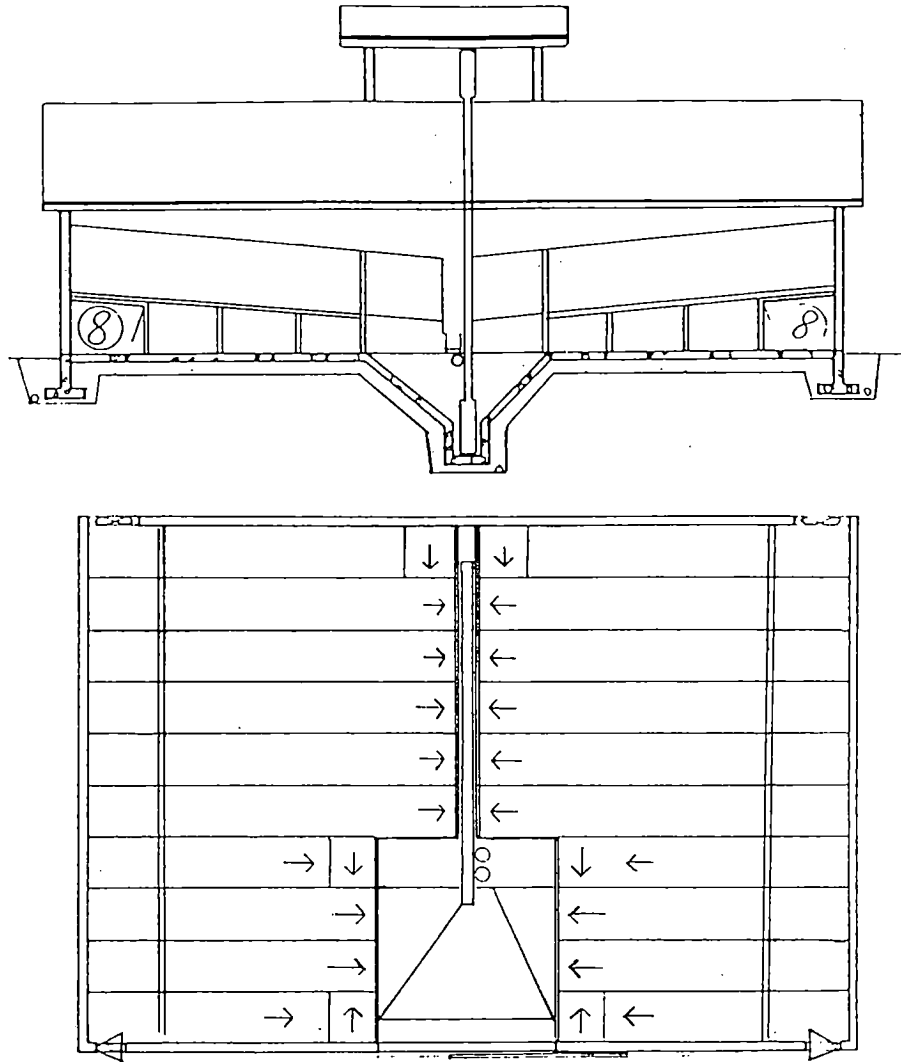


**Kuva 2.** Tyypillinen lavakuivuri. Kuvasta puuttuvat viljansiirtolaitteet sekä lämmönlähde. /1/  
**Picture 2.** Typical heated air tipping-tray batch dryer. Grain conveyor and heater are not shown in the picture.

### 1.2.2. Kylmäilmakuivaamo

Kylmäilmakuivurit voidaan toimintaperiaatteensa perusteella jakaa kahteen tyyppiin. Ns. perinteisissä kylmäilmakuivureissa, joita myöhemmin nimitetään pelkästään kylmäilmakuivureiksi, kuivattavan viljakerroksen paksuus on alle 1,2 metriä. Viime vuosina Suomeen on tullut siilomallisia kylmäilmakuivureita, joissa kuivattavan viljan kerrospaksuus on selvästi suurempi, tavallisesti 1,5 - 3 metriä.

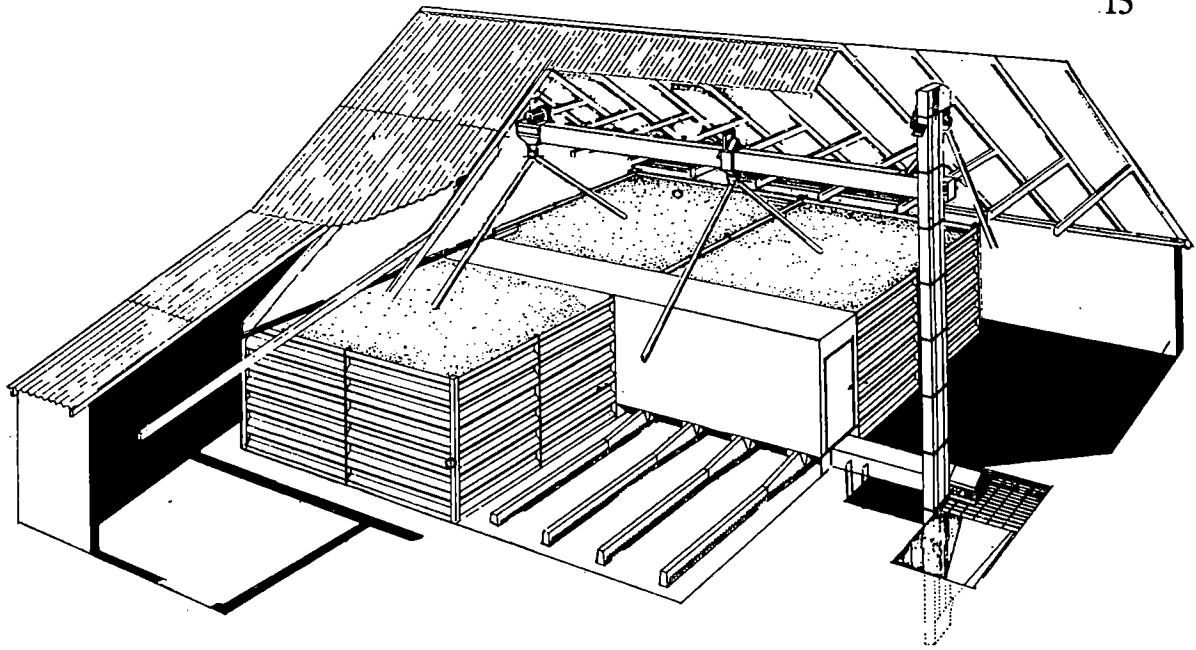
Perinteiset kylmäilmakuivurit ovat ylivoimaisesti yleisin kylmäilmakuivurityyppi Suomessa. Niissä kuivaus tapahtuu puhaltamalla lämmittämätöntä ilmaa rei'itetystä levystä tehdyn pohjan kautta kuivattavan viljakerroksen läpi. Jos kuivattavaa viljaa on paksult, viljaa joudutaan sekoittamaan ajoittain kuivauksen aikana. Sekoittaminen tapahtuu tavallisimmin talikolla tai porakoneeseen liitetyllä ruuvilla. Sekoittaminen on tarpeellista kostean viljan kuorettumisen estämiseksi. Kuivuri täytetään tavallisesti elevaattorilla ja tasokuljettimella, mutta myös ruuvikuljettimia käytetään varsin yleisesti. Koska laarien pinta-ala on suuri suhteessa tilavuuteen, on täytössä yleensä paljon käsityötä. Laarien tyhjennystapoja on monia. Suurin osa kylmäilmakuivureista on suunniteltu tyhjennettäväksi ns. ilmapohjatyhjennyksellä. Muita tyhjennysmenetelmiä ovat ruuvikuljettimen käyttö, pohjassa olevien reikien kautta valuttaminen, lapiointi jne. Perinteinen kylmäilmakuivuri toimii usein viimeisen kuivauserän varastona. Tällöin laareista otetaan viljaa tarvittaessa.



**Kuva 3.** Kylmäilmakuivuri. Laarien tyhjennys tapahtuu ilmapohjan avulla tasokuljettimelle, joka vie viljan kaatosuppiloon./2/

**Picture 3.** Ambient air dryer with air-sweep floor. The grain is conveyed to the intake pit with a horizontal auger.

Siilomallisissa kylmäilmakuivureissa kuivaus tapahtuu samalla tavalla kuin perinteisissä kylmäilmakuivureissa. Näissä kuivureissa viljan kierrätys on kuitenkin välttämätöntä ainakin kuivauksen alkuvaiheessa. Kierrätys tapahtuu siirtämällä viljaa laarista toiseen. Kuivurissa on yksi tyhjä laari, johon sekoitettavan laarin sisältö voidaan siirtää. Koska viljan kierrättäminen kuivauksen kuluessa on välttämätöntä, täytyy viljansiirtolaitteiden olla sellaiset, että kuivurin täytössä ja tyhjenyksessä on vähän käsityötä. Laarien täyttö tapahtuu tavallisesti elevaattorin ja tasokuljettimen avulla ja tyhjennys imun tai paineen avulla tasokuljettimelle ja sillä edelleen elevaattorille. Kuivauksen loputtua vilja jätetään yleensä laariin, koska tämän tyyppiset kuivurit on kuivauksen hitauden vuoksi mitoitettava niin, että koko sato mahtuu kerralla kuivuriin.



**Kuva 4.** Siilomallinen kylmäilmakuivuri.  
**Picture 4.** Deep bed ambient air dryer.

### 1.2.3. Yhdistelmäkuivaamo

Yhdistelmäkuivaamoissa on samaan rakennukseen tehty sekä lämmin- että kylmäilmakuivuri. Kuivurityyppien parhaimmat ominaisuudet on yritetty yhdistää toimivaksi kokonaisuudeksi. Tällaisessa kuivaamossa kylmäilmakuivurin tehtävä on toimia vastaanottovarastona. Lämminilmakuivurin tehtävä on varmistaa kuivauksen onnistuminen sääolosuhteista riippumatta. Jotta yhdistelmäkuivaamo toimii tehokkaasti, täytyy kuivaamon viljansiirtolaitteiston toimia tehokkaasti myös märkää viljaa siirrettäessä. Kylmäilmalaareja voidaan tarvittaessa käyttää viljan varastointiin ja jäähdyttämiseen.

## 1.3. Viljalajien pölyävyys ja pölyvät työvaiheet

### 1.3.1. Viljan pölyävyys

Viljan pölyävyyteen vaikuttavat viljan kasvu- ja korjuuolosuhteet sekä viljalaji ja viljan kosteus. Viljelijöiden keskuudessa ohraa pidetään yleisesti viljana, joka pölyää eniten ja jonka pöly on ärsyttävintä. Kirjallisuudesta ei kuitenkaan löydy tietoja eri viljalajien pölyävyydestä eikä kosteuden vaikutuksesta pölyävyyteen. Viljan kasvu- ja korjuuolosuhteet vaikuttavat lähinnä siihen, kuinka paljon jyvien pinnalla on maa-ainesta ja homeita.

### 1.3.2. Pölyiset työvaiheet

#### **Kaatosuppilon täyttö**

Viljan kippaaminen kaatosuppiloon on kuivaamon pölyisin työvaihe. Vilja kipataan

kuivaamossa ritilällä suojattuun kaatosuppiloon. Kippauksen aikana vilja saa suuren nopeuden, joka aiheuttaa voimakkaan ilmavirtauksen kaatosuppilosta ylöspäin. Työteknisesti kippaus voidaan jakaa kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa avataan perävaunun takalaita, jolloin osa viljasta valuu kaatosuppiloon ja aiheuttaa pöllähdyksen. Perälaudan avaamisen jälkeen kuljettaja siirtyy traktoriin ja nostaa kippiä ylöspäin. Pölypitoisuus kasvaa nopeasti huippuunsa ja alkaa laskea kuorman tyhjentyessä ja kaatosuppilon täytyessä. Kippauksen aikana pölyä pääsee ilmaan suoraan kuormasta viljan liikkeen seurauksena, viljan pudotessa kuormasta kaatosuppilon ritilälle ja viljan pudotessa kaatosuppilon pohjalle. Eniten pölyä vapautuu viljan pudotessa kaatosuppilon pohjalle. Kippauksen aikainen pölyn leviäminen kuivaamossa riippuu suuresti kaatosuppilon sijainnista. Pölyn leviämisen estämiseksi on edullista osastoida kaatosuppilo. Niin sanottu etutila hidastaa pölyn tuulettumista ulkoilmaan kippauksen jälkeen.

### **Viljan siirto kuljettimella**

Elevaattorit ja ruuvikuljettimet ovat yleensä tiiviitä ja hyvin koteloituja, joten pölyä pääsee ilmaan lähinnä elevaattorin tai ruuvikuljettimen ylä- ja alapäästä. Vaakakuljettimet ovat sen sijaan huonommin koteloituja. Koteloimattomista vaakakuljettimista vähiten pölyä aiheuttaa hihnakuljetin, koska siinä vilja ei liiku hinnan suhteen kuljetuksen aikana. Hyvin koteloituissa vaakakuljettimissa pölyä pääsee ilmaan vain kuljettimen päistä.

### **Viljasiirron epäjatkuvuuskohdat**

Viljan kulun epäjatkuvuuskohtia kuivureissa ovat esimerkiksi elevaattorin ja jakolaitteen sekä elevaattorin ja tasokuljettimen yhtymäkohdat. Pölyä vapautuu aina, kun vilja putoaa vapaasti, tai kun viljan liikesuunta muuttuu. Pöly pääsee leviämään kuivaamon ilmaan, jos epäjatkuvuuskohta on huonosti koteloitu.

Varastosiilon täyttö on tärkein viljansiirron epäjatkuvuuskohta pölyn leviämisen kannalta. Viljan pitkä vapaa putoaminen varastosiilon aiheuttaa voimakasta pölyämistä. Mikäli siilot eivät ole ilmatiiviitä pöly pääsee leviämään siilon ulkopuolelle. Vapaasta viljan putoamisesta aiheutuu pölyämistä myös varastosiilojen tyhjennyksessä.

### **Tuuletussiilojen ja kylmäilmakuivureiden tyhjennys**

Tuuletussiilojen ja kylmäilmakuivureiden tyhjennys tapahtuu varsin usein ns. ilmapohjatyhjennystä käyttäen. Tyhjennyksessä tarvitaan suuria ilmamääriä ja varsinkin tyhjennyksen loppuvaiheessa pölyä muodostuu erittäin paljon. Myös kuivauksen ja tuuletuksen aikana pääsee pölyä ilmaan muun muassa sen takia, että tyhjiin laareihin pääsee puhallusilmaa epätiiviiden sulkuläppien kautta. Tästä syystä kuivausilmapuhallin pysäytetään usein laarin täytön ajaksi.



### Pölysiilon tyhjennys

Pölysiilon tyhjennys on hyvin pölyinen työvaihe. Pölysiilolla tarkoitetaan siiloa, johon on yhdistetty esipuhdistimelta ja jalustaimurilta tulevat ilmakehanavat tarkoituksena estää roskien leviäminen kuivaamon ympäristöön. Tavallisesti myös kuivurin poistoilma menee pölysiilon läpi niin, että osa pölystä ja roskista jää pölysiiloon. Pölysiilo tyhjenetään yhdestä kahteen kertaan kuivauskaudessa.

#### 1.3.3. Kuivauksen työmäärä

Viljan kuivaukseen käytetty työaika ja työn rasittavuus riippuvat varsin paljon kuivaustavasta ja kuivaukseen liittyvän viljan siirron koneellistamisasteesta. Myös viljan kosteus vaikuttaa, varsinkin kylmäilmakuivauksessa työmäärään.

Siilokuivaamoissa viljan käsittely on järjestetty niin, että käsityötä on vähän. Vilja siirtämiseksi kaatosuppilosta kuivuriin ja edelleen varastosiiloihin tarvittava käsityö rajoittuu elevaattorin käynnistämiseen ja sulkupeltien avaamiseen ja jakolaitteen kääntämiseen oikeaan asentoon. Lavakuivureissa viljan käsittely on työläämpää, koska lavakuivurissa viljakerros joudutaan tasoittamaan käsin. Myös lavakuivurin tyhjennyksessä on jonkin verran käsityötä.

Kylmäilmakuivaamoissa työmäärä riippuu viljan alkukosteudesta. Mitä kosteampaa vilja on sitä työläämpää kuivaus on, koska kostean viljan kerrospaksuudet ovat ohuempia ja viljaa on sekoitettava kuivumisen tasaisuuden varmistamiseksi ja kuorettumisen estämiseksi.

Taulukossa 1 on esitetty eri kuivurityyppien täyttö- ja tyhjennysaikoja.

**Taulukko 1.** Eri tyyppisten kuivureiden täyttö- ja tyhjennysaikoja /3/.  
**Table 1.** Filling and unloading times of different types of dryers.

Kuivuri tyyppi <i>Type of dryer</i>	Täyttö <i>Filling</i> min/t	Tyhjennys <i>Unloading</i> min/t
Siilokuivuri <i>Recirculating batch dryer</i> 130 hl	7,1	3,5
Lavakuivuri <i>Tipping-tray batch dryer</i> 45 hl	16	1,7
Kylmäilmakuivuri <i>Ambient air dryer</i>	14	14

Taulukossa 1 mainitut luvut kertovat kuivurin täyttöön ja tyhjennykseen kuluvan ajan, eivät sitä, kuinka kauan ihmisen läsnäoloa vaaditaan ja kuinka työlästä itse kuivaus on. Taulukon laskelmissa on siilokuivurin täyttöajan ajateltu olevan kuivurin koosta riippumatta 60 minuuttia. Tästä ajasta voidaan arvioida neljännek-

sen olevan sitä aikaa, jolloin kuivaamon hoitaja valvoo täyttöä. Tyhjennyksessä valvonta-aika lienee jonkin verran pienempi. Lava- ja kylmäilmakuivurissa kuivaamon hoitaja on kuivaamossa lähes koko täyttö- ja tyhjennysajan. Taulukossa 1 oleva lavakuivurin tyhjennysaika sisältää ainoastaan lavan tyhjentämisen lavan vieressä olevaan suppiloon. Kokonaistyhjennysaikaan lienee syytä lisätä viljan siirtoon suppilosta varastosiiloon tarvittava aika, joka on saman suuruinen kuin lavan täyttöön kuluva aika.

Kylmäilmakuivauksessa viljan kuivauksen aikaiseen sekoittamiseen kuluva aikaa on vaikea arvioida, koska se riippuu oleellisesti viljan kosteudesta, kuivattavan kerroksen paksuudesta ja kuivausolosuhteista. Jossakin tapauksessa sekoitukseen kuluva aika voi olla yhtä suuri kuin täytön ja tyhjennyksen yhteenlaskettu aika.

#### **1.4. Altistuminen orgaanisille ja biologisille pölyille**

##### **1.4.1. Altistuminen orgaanisille pölyille**

Viljan ja jauhon käsittelyssä esiintyvä pöly sisältää erilaisia komponentteja. Tutkimuksissa on analysoitu mm. homeita ja bakteereita /4 - 11/, bakteereista peräisin olevia endotoksiineja /4, 12, 13/ ja tiettyjen bakteerilajien mykotoksiineja kuten aflatoksiini /14, 15/. Lisäksi viljapöly voi sisältää punkkeja /16, 17/, kvartsia /18/ ja torjunta-aine- tai kärytejämiä /19, 20/. Viljapölyn hivenaine- ja metallikoostumusta sekä proteiini- ja hiilihydraattikoostumusta on myös tutkittu /21 - 23/. Punkkien esiintymisestä viljavarastoissa, myllyissä, mallastamoissa ja leipomoissa Suomessa on ilmestynyt ensimmäinen laaja tutkimus vuonna 1987 /24/.

##### **1.4.1.1. Orgaaninen pöly**

Viljan puinnissa ja kuivauksessa mitatut kokonaispölypitoisuudet ovat olleet pieniä /25, 26/. Kaikki hengitysvyöhykkeeltä kuivurin tyhjennyksen ja viljan siirron aikana mitatut pitoisuudet olivat yli HTP-arvon (taulukko 2).

Kylmä- ja lämminilmakuivureiden pölypitoisuuksilla ei ole ollut merkittäviä eroja. Kummassakin on pölyisiä työvaiheita.

##### **1.4.1.2. Biologinen pöly eli sieni-itiöt viljankuivauksessa**

Viljankäsittelytyön aikaisia ilman sieni-itiöpitoisuuksia on mitattu viljatililla (puinti, viljan siirto kuivuriin, kuivaus, kuivurin tyhjennys, viljan varastointi), viljavarastoissa, myllyissä, mallastamoissa ja leipomoissa. Taulukossa 3 on esitetty viljatililla mitattuja sieni-itiöpitoisuuksia.

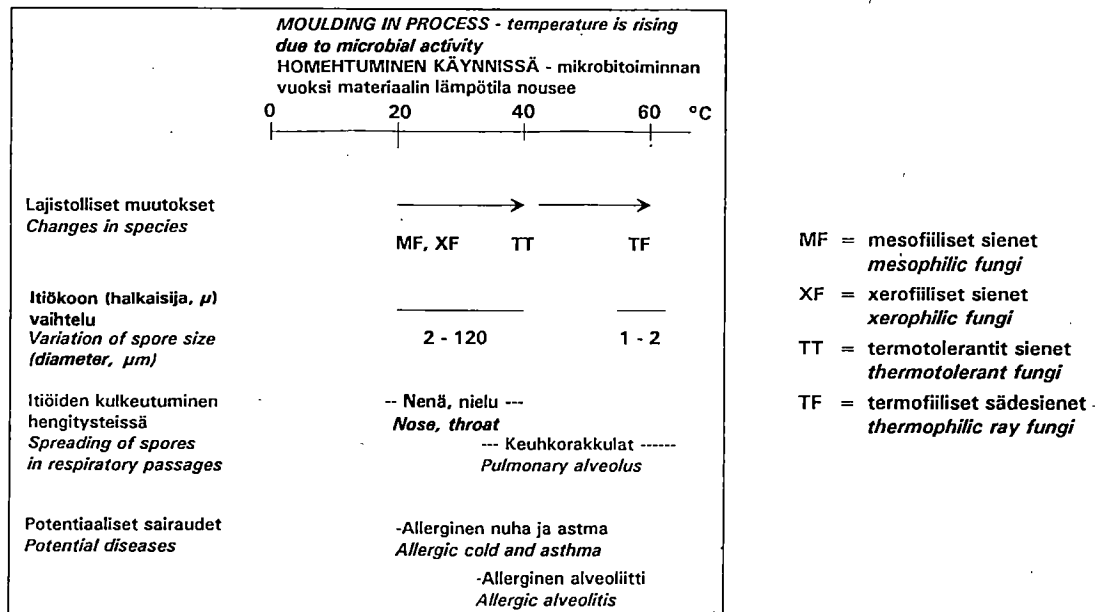
*Cladosporium*- ja *Alternaria*-sienisukujen itiöiden tiedetään aiheuttavan allergista nuhaa ja astmaa /28/. Allergista alveoliittia aiheuttaviin sieniin kuuluvat mm. monet *Penicillium*- ja *Aspergillus*-lajit (*P. frequentas*, *A. fumigatus*, *A. umbrosus*)

sekä aktinomykeeteistä eli "sädesienistä" mm. *Thermoactinomyces vulgaris* ja *Micropolyspora faeni* /28/. Kuvassa 6 on havainnollistettu homehtumisen aikana eloperäisen materiaalin sienikasvustossa tapahtuvia muutoksia, niihin liittyvää itiökoon vaihtelua ja sen vaikutusta itiöiden kulkeutumiseen hengitysteissä ja siten myös mahdollisesti ilmeneviä allergisia reaktioita joko ylä- tai alahengitysteissä.

**Taulukko 2.** Eri työvaiheiden kokonaispölypitoisuuksia viljailoilla.

**Table 2.** Total dust concentrations during different work stages on grain farms.

Työ, pölymittaustapa <i>Work stage, dust measurement place</i>	Kokonaispölypitoisuus <i>Total dust concentration</i> mg/m <sup>3</sup>	
	keskiarvo <i>mean</i>	vaihtelu <i>variation</i>
Viljan puinti, hengitysvyöhyke <i>Combine harvesting, breathing zone</i>	2,5	0,5 - 10
Viljan kuivaus, kiinteä mittausta <i>Grain drying, fixed spot</i>	1,4	0,1 - 16
Kuivurin tyhjennys, viljan siirto, <i>Unloading of dryer, grain transportation,</i> - hengitysvyöhyke <i>breathing zone</i> - kiinteä mittausta <i>fixed spot</i>	20	5,6 - 47
	6,0	0,5 - 26



**Kuva 5.** Homehtumisen aikana eloperäisen materiaalin sienilajistossa tapahtuvien muutosten yhteys allergisiin hengityselinsairauksiin.

**Picture 5.** The connection between respiratory diseases and changes in fungal species.

**Taulukko 3.** Viljankäsittelyssä esiintyviä sienisukuja (cfu/m<sup>3</sup>) /27, 9, 26/.  
**Table 3.** Species of fungi found in air during grain handling (cfu/m<sup>3</sup>) /27,9,26/.

Sieni-itiöpitoisuus <i>Fungal spore concentration</i>	Työvaihe <i>Working stage</i>	Valtasuvut <i>Predominant genera</i>
2,0-3,7x10 <sup>6</sup>	Ohran puinti <i>Combine harvesting of barley</i>	<i>Fusarium, Aureobasidium, Cladosporium</i>
8,2-9,9x10 <sup>5</sup>	Kauran puinti <i>Combine harvesting of oats</i>	<i>Cladosporium, hiivat, yeasts, Aureobasidium, Penicillium</i>
3,5x10 <sup>5</sup>	Puinti <i>Combine harvesting</i>	<i>Cladosporium, Rhodotorula ja muut hiivat, and other yeasts, Alternaria</i>
6,0x10 <sup>4</sup>	Viljan siirto <i>Grain conveying</i>	<i>Cladosporium, hiivat, yeasts, Alternaria, Aspergillus</i>
3,4x10 <sup>4</sup>	Kylmäilmakuivaus <i>Ambient air drying</i>	<i>Penicillium, Alternaria, Cladosporium, Aspergillus, Aureobasidium</i>
8,6x10 <sup>4</sup>	Lämminilmakuivaus <i>Heated air drying</i>	<i>Cladosporium, hiivat, yeasts, Aspergillus, Alternaria</i>
8,9x10 <sup>3</sup>	Kylmäilmakuivaus <i>Ambient air drying</i>	<i>Cladosporium, Rhodotorula ja muut hiivat, and other yeasts, Penicillium</i>
1,3x10 <sup>5</sup>	Kuivaus <i>Drying</i>	<i>Cladosporium, Rhodotorula ja muut hiivat and other yeasts, Penicillium</i>
4,4x10 <sup>5</sup>	Kuivurin tyhjennys <i>Unloading of dryer</i>	<i>Cladosporium, Rhodotorula ja muut hiivat, and other yeasts, Penicillium</i>

## 1.5. Viljapölyn aiheuttamat oireet ja taudit

### 1.5.1. Yleistä

1700-luvulta alkaen orgaanisen pölyn haitallisuudesta on julkaistu monia tutkimuksia. Tällöin Ramazzini kuvasi leipurien jauhopölyastmaa. Viljapölyaltistuksen oireita ovat pitkällinen yskä, limaneritys, hengenahdistus, aivastelu ja kuumeilu. Viljankäsittelijöiden on havaittu kärsivän suorista ärsytysreaktioista ja välittömistä yliherkkyysoireista. /29 - 33/.

Viljapölyn aiheuttamat oireet ja vaikutukset ovat monentyypisiä, taulukko 4. /34/. Vaikka viljapölyä on tutkittu runsaasti, siitä ei ole löydetty mitään yksittäistä altistetta, joka aiheuttaisi tietyn taudin /34/.

Kroonista bronkiittia pidetään yleisimpänä viljapölyaltistuksen aiheuttamista taudeista. Sen syntymiseen vaikuttaa ratkaisevasti altistumisen kesto.

Ohran pöly on pahin hengityselinoireiden aiheuttaja /35/, mutta myös kauran pöly aiheuttaa oireita /36/. Suomalaisten viljanviljelijöiden kokemia oireita (yskä,

hengityksen vinkuminen, kuume ja vilunväreet) tutkittaessa ohra osoittautui haitallisimmaksi. Seuraavaksi haitallisimpia olivat kaura ja vehnä /26/. Vain muutamissa tutkimuksissa on selvitetty viljapölypitoisuuksien ja hengityselinoireiden välistä yhteyttä. Enarsonin ym. tutkimuksessa havaittiin, että hengityselintoiminnot eivät muuttuneet alle 5 mg/m<sup>3</sup> pölypitoisuudessa /55/. Huyn ym. tutkimuksessa yli 4 mg/m<sup>3</sup> viljapölypitoisuudet aiheuttivat selvästi enemmän hengityselinoireita ja hengitystoimintojen huononemista kuin alle 4 mg/m<sup>3</sup> pitoisuudet /56/. Työntekijöillä, jotka ovat työskennelleet alle 5 mg/m<sup>3</sup> pölypitoisuuksissa, ei ole todettu hengityselinoireita enempää kuin pölytöntä työtä tekevillä. Sen sijaan yli 10 mg/m<sup>3</sup> viljapölypitoisuudet ovat lisänneet hengityselinoireita /37,38/. Näyttää siis siltä, että alle 4 - 5 mg/m<sup>3</sup> pölypitoisuuksissa hengitystoiminnot pysyvät normaalitasolla verrattuna suurempiin pölypitoisuuksiin.

**Taulukko 4.** Viljapölyn aiheuttamia terveyshaittojen yleisyys.  
**Table 4.** Frequency of health hazards inflicted by grain dust.

Vaikutus ja oireet <i>Effects and symptoms</i>	Yleisyys <i>Frequency</i>
akuutti tulehdusreaktio hengitysteissä <i>acute inflammation on respiratory tract</i> * nenän tukkoisuus, karhea kurkku <i>blocked nose, dry throat</i> * akuutti keuhkoputken tulehdus <i>acute bronchitis</i>	hyvin yleinen <i>very common</i> yleinen <i>common</i>
astma <i>asthma</i>	varsin yleinen <i>relatively common</i>
krooninen hengityselintauti <i>chronic respiratory disease</i> - krooninen keuhkoputkentulehdus <i>chronic bronchitis</i> - palautumaton hengitysteiden obstruktio <i>irreversible obstruction on respiratory tract</i>	yleinen <i>common</i> ei yleinen <i>not common</i>
akuutti kuume, ODTS <i>acute fever, ODTS</i>	yleinen <i>common</i>
homepölykeuhko <i>farmers lung</i>	harvinainen <i>rare</i>
muut ärsytysreaktiot <i>other irritation symptoms</i> - silmä-ärsytys <i>eye irritation</i> - ihotulehdus <i>skin inflammation</i>	hyvin yleinen <i>very common</i> satunnainen - yleinen <i>occasional - common</i>

### 1.5.2. Krooninen bronkiitti eli pitkäaikainen keuhkoputken tulehdus

Kroonisessa bronkiitissa keuhkoputkiin kohdistuvat erilaiset ärsykkeet aiheuttavat limakalvon verekkyyttä ja turpoamista sekä liman eritystä ja ilmaita ahtaavaa sileiden lihasten supistumista /39, 40/. Ärsytystilan jatkuessa värekarvakerros vaurioituu ja keuhkojen puhdistumiskyky heikkenee. Kroonisen bronkiitin kehittymiseen vaikuttava pääasiassa tupakointi, mutta myös ulkoilman ja työympäristön ilman epäpuhtaudet. Tupakoimattomien krooninen bronkiitti on lähes aina seurausta ilman epäpuhtauksista työympäristössä. Puuvillatyöntekijöiden ja viljankäsittelijöiden on havaittu kärsivän usein kroonisen bronkiitin oireista /41/.

Laajassa kotimaisessa tutkimuksessa karjanhoitoon osallistuneista viljelijöistä 8,3 %:lla oli krooninen bronkiitti. Tuotantosuunnalla oli selvä vaikutus taudin yleisyyteen: nautatiloilla sairastuvuus oli 8,9 %, sikatiloilla 12,9 %, kanatiloilla 5,8 % ja viljatioilla 5,3 % /42/. Säkkipuimurin käyttäjillä oli enemmän kroonisen bronkiitin oireita kuin säiliöpuimurin käyttäjillä.

Viljanviljelijöitä ja elintarviketeollisuutta koskevassa tutkimuksessa kroonista bronkiittia esiintyi 6,5 %:lla viljanviljelijöistä /26/. Määrä oli noin 2 %-yksikköä pienempi kuin esimerkiksi leipomoissa ja kauppamylyissä työskentelevillä.

Viljatyöntekijöitä koskeneessa tutkimuksessa on selvitetty mm. työn ja tupakoinnin vaikutusta krooniseen bronkiittiin /43/. Pölyistä työtä tekevien työntekijöiden riski saada bronkiitti tai nuha työssä oli 4,4 ja 4,8 -kertainen verrattuna niihin työntekijöihin, jotka eivät työssään altistuneet pölylle, mutta riski saada tupakasta bronkiitti tai nuha olivat vain 2,9 ja 1,9 kertainen. Pölyisen työn vaikutus bronkiititiriskiin oli suurempi kuin tupakoinnin.

### 1.5.3. Allerginen alveoliitti eli homepölykeuhko

Allergisiin alveoliitteihin kuuluvaa viljelijöiden homepölykeuhkoa on tutkittu Suomessa runsaasti. Useat työntekijäryhmät voivat altistua hienojakoiselle (hal-kaisijaltaan alle 5  $\mu\text{m}$ :n) orgaaniselle pölylle, joka pääsee keuhkorakkuloihin saakka. Allergisen alveoliitin aiheuttajia tunnetaan useita eri työaloilla.

Äkillisen allergisen alveoliitin oireet alkavat noin 4-8 tuntia allergeenille altistumisesta. Hengitystieoireina ovat rasituksessa korostuva hengenahdistus, ahtauden tunne rinnassa ja kuiva yskä. Tavallisimmat yleisoireet ovat kuume, vilunväristykset, päänsärky, lihas- ja nivelkivut, ruokahaluttomuus ja painonmenetyt. Oireet ilmenevät yleensä työpäivän jälkeen illalla tai yöllä ja lievittyvät muutamassa vuorokaudessa. Altistumisen toistuessa kohtaukset uusiutuvat ja muuttuvat rajummiksi /44/. Toistuvat kohtaukset johtavat taudin kroonistumiseen. Sille on ominaista pysyvä hengenahdistus, joka saattaa pahentua vaikka homepölyaltistus ei ole jatkuvaa.

Homepölykeuhko on viljelijöiden yleisimpiä ammattitauteja. Taudin aiheuttajia on tutkittu Suomessa maatalousympäristössä varsin runsaasti /27, 45, 46, 47 ja 42/.

Kirjallisuudessa on vähän tutkimustietoa homepölykeuhkon esiintyvyydestä viljankäsittelyn yhteydessä /34/. Donhamin mukaan tauti on harvinainen. Suomessa homepölykeuhkoa esiintyi 1,7 %:lla naudatilallisista ja 0,8 %:lla sikatilallisista. Kanatilallisilla ei havaittu homepölykeuhkoa. Homepölykeuhkon yleisyyttä viljanviljelijöillä ei analysoitu /42/. Elintarviketeollisuuden tutkimuksessa ei viljanviljelijöillä ollut homepölykeuhkon oireita /26/.

#### 1.5.4. ODTS eli viljakuume

Orgaanisen pölyn aiheuttama kuume (ODTS eli organic dust toxic syndrome) aiheuttaa osittain samankaltaisia oireita kuin allerginen alveoliitti. Niitä ovat mm. kuume ja puistatus, jotka muistuttavat influenssan oireita. Oireet tulevat yleensä illalla muutama tunti altistuksen jälkeen ja häviävät vuorokauden kuluessa /48/. Kuume liitetään yleensä kohonneeseen endotoksiinialtistukseen.

ODTS-nimi on vakiintunut kuvaamaan epäselviä kuumereaktioita, joihin liittyy myös yskää ja hengenahdistusta. DoPicon tutkimuksessa /37/ altistettiin viljatyöntekijöitä ja kontrollihenkilöitä korkeille viljapölypitoisuuksille (viljatyöntekijät noin 138 mg/m<sup>3</sup>, kontrollihenkilöt noin 50 mg/m<sup>3</sup>) ja tutkittiin viljakuumeen oireita ja hengitysfunktioita. Kaikki saivat oireita, joista osa kesti yli 24 tuntia. Yleisimmät oireet olivat "flunssan oireita": pahoinvointia, väsymystä, kuumetta, vilunväireitä sekä punoittava kasvojen iho. Muina oireina oli mm. yskää, hengenahdistusta ja puristusta rinnassa.

Suomalaisia maanviljelijöitä koskevassa tutkimuksessa ODTS:n esiintyvyydeksi saatiin 13 % /49/. Elintarviketeollisuustutkimuksen mukaan noin joka viides (21,7 %) viljanviljelijä kärsi ODTS:n oireista /26/.

Koska oireet häviävät pian, tämän taudin esiintyvyys todellisuudessa on todennäköisesti yleisempää kuin tutkimustulokset ilmoittavat.

## 1.6. Työturvallisuushaitat

Korkea pölypitoisuus voi aiheuttaa räjähdysvaaran, pölyn laskeutuminen portaisiin ja kulkuteille aiheuttaa liukkautta ja pölyn kerrostuminen ikkunoiden ja valaisimien pinnoille huonontaa kuivaamon valaistusta.

Alimmat räjähdysten mahdollistavat vilja- ja rehupölyn pitoisuudet ovat 25 g/m<sup>3</sup>:sta (vehnätrökö) 55 g/m<sup>3</sup>:aan. Pinnoille laskeutuneen pölyn pöllähtäminen ilmaan aiheuttaa erittäin suuria pölypitoisuuksia. Esimerkiksi kaksi millimetriä paksun pölykerroksen sekoittuminen metrin paksuiseen ilmakerrokseen aiheuttaa noin 1200 g/m<sup>3</sup> pölypitoisuuden /54/. Pölyräjähdykset alkavat tavallisesti paikallisena pienenä leimahduksena, joka nostaa lisää pölyä ilmaan ja aiheuttaa voimakkaan räjähdysten. Tuhoisat pölyräjähdykset ovat ongelma suurissa viljavarastoissa. Suomessa pölyräjähdykset ovat kuitenkin olleet erittäin harvinaisia.

Pölyn kerääntyminen sähkölaitteisiin ja liikkuvien osien läheisyyteen aiheuttaa palovaaran. Pöly huonontaa lämmön siirtymistä ja aiheuttaa toimintahäiriöitä.

### 1.7. Toimenpiteet pölyämisen vähentämiseksi

Pölyä syntyy aina, kun viljaa käsitellään. Pieninkin liike hioo jyvää toisiaan vasten, jolloin jyvien pintaan tarttunut pöly irttaa. Samaan aikaan syntyy uutta pölyä jyvien hioutumisen seurauksena /50/. Pölyä pääsee ilmaan viljan ja viljasiirtolaitteiden aiheuttamien ilmavirtauksien seurauksena. Mitä avoimemmassa tilassa viljan käsittely tapahtuu ja mitä voimakkaampaa käsittely on sitä enemmän pölyä leviää ympäröivään ilmaan. Pölyn aiheuttamia haittoja voidaan vähentää käyttämällä henkilökohtaisia suojaimia, vähentämällä viljan pölyävyyttä, siirtämällä pölyistä ilmaa pois sieltä, missä se on haitaksi tai koteloidimalla pölyn lähde.

Henkilökohtaisilla suojaimilla tarkoitetaan käytännössä hengityksensuojaimia ja suojaavaa vaatetusta. Pölyltä suojautuminen vaikuttaa vain yksittäisen ihmisen saamaan pölyaltistukseen. Suojaimien käyttö ei vähennä pölyn muodostumista eikä leviämistä eikä se vähennä työympäristön pölyyntymistä. Henkilökohtaiset suojaimet ovat nopea, tehokas ja edullinen tapa vähentää pölyaltistuksen terveystarpeita. Tehokkaita suojaimia on tarjolla, mutta lähinnä asenteista johtuvista syistä suojainten käyttö ei ole niin yleistä kuin olisi suotavaa.

Viljan pölyävyyttä voidaan vähentää lisäämällä viljaan pölyä sitovia aineita. Tällaisia aineita ovat esimerkiksi vesi ja öljy. Sumuttamalla juuri ennen viljan siirtoa vettä noin 0,2 % viljan massasta saadaan pölypitoisuutta vähenemään merkittävästi /50/. Lisäämällä viljaan noin 0,05 % soija- tai mineraaliöljyä saadaan pölynmuodostuminen vähenemään vaikuttamatta leivonta- tai jauhatusominaisuuksiin /51/. Pölyn muodostumista voidaan vähentää myös muotoilemalla viljan kulkutiet niin, että virtaus on mahdollisimman tasaista. Käytettäessä tyhjennysputkea, jossa on hyvin suunniteltu suutin, pölyn leviäminen vähenee lähes 90 % /52/.

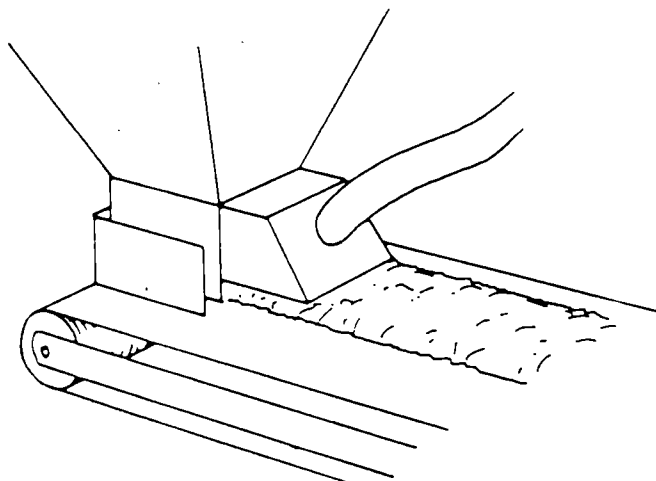
Pölylähteen koteloidiminen ja pölyn johtaminen pois tutkittavasta tilasta ovat useimmiten toisiaan täydentäviä toimenpiteitä. Kohdepoistossa koteloinnin tehtävä on muodostaa pölynlähteen ympärille osittain suljettu tila. Vapaaksi jäävään aukkoon tulee niin suuri ilman nopeus, että pöly ei pääse kotelosta ulos. Esimerkki kohdepoistosta on kuvassa 6, jossa kohdepoiston tarkoituksena on vähentää pölyä, joka muodostuu viljan pudotessa hihnakuljettimelle. Kun kotelon reunojen alapuolelle jäävä ilmaväli on riittävän pieni, pöly ei pääse leviämään ympäristöön.

Pelkkä kotelointi tarkoittaa yleensä joko osastointia tai sitä, että viljan käsittelyssä käytettävät laitteet ovat rakenteeltaan suljettuja. Esimerkiksi siilokuivurissa kuivaus tapahtuu koteloidussa tilassa, eikä viljan jatkuva kierrättäminen kuivauksen aikana aiheuta sen vuoksi kovinkaan suuria pölyhaittoja.



**Kuva 6.**  
Hihnäkuljettimeen liitetty  
kohdepoisto. /54/

**Picture 6.**  
*Dust exhaust system for  
belt conveyor.*



## 2. ANALYYSIMENETELMÄT

### 2.1. Kokonaispöly

Kokonaispölynäytteet kerättiin ja analysoitiin standardin SFS 3860 mukaisesti /57/. Työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä pölynäytteet kerättiin kannettavilla pumpuilla (SKC 224) kalvosuodattimille (Millipore Filter AAWP 037). Suodatinkotelo (Millipore MAWG 037 AO) kiinnitettiin työntekijän kantamiin valjaisiin olkapään etupuolelle. Näytteenkeräyspumput oli kalibroitu saippuakuplamenetelmällä tilavuusvirralle 2 - 2,5 l/min.

Pölyn leviämistä ilmaan mitattiin keräämällä näytteitä kiinteistä mittauspisteistä kalvopumpuilla (Reciprotor 406 G), joiden tilavuusvirta oli 10 - 20 l/min. Ilmämäärä luettiin pumpussa olleesta laskurista. Mittauksissa käytettiin samanlaisia kalvosuodattimia ja suodatinkoteloita kuin hengitysvyöhykemittauksissa.

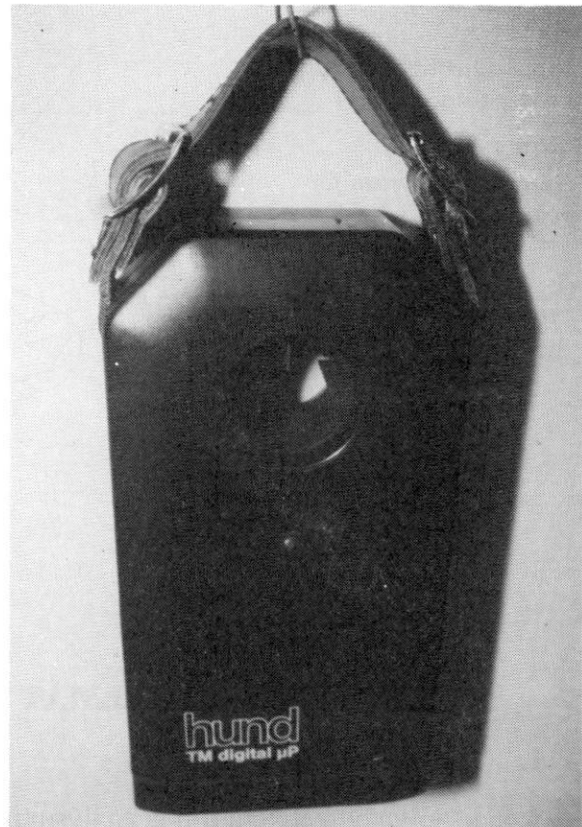
### 2.2. Pölymittarit

Pölypitoisuuden vaihtelua työjakson aikana mitattiin pölymittarilla (Sibata P-2). Pitoisuudet on ilmoitettu counts per minute -yksiköissä (CPM), mikä kuvaa laitteen rekisteröimien optiselta halkaisijaltaan pääasiassa alle 10  $\mu\text{m}$ :n hiukkasten määrää. Tulosta ei voida suoraan verrata standardin SFS 3860 mukaisesti määritettyihin kokonaispölypitoisuuksiin.

Yksittäisiä hienopölypitoisuuksia mitattiin Hund-TM -mittarilla. Mittari perustuu hienojakoisen pölyn (optiselta halkaisijaltaan pääasiassa alle 3,5  $\mu\text{m}$ ) aiheuttamaan valon sirontaan ja tulos ilmoitetaan massapitoisuutena ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

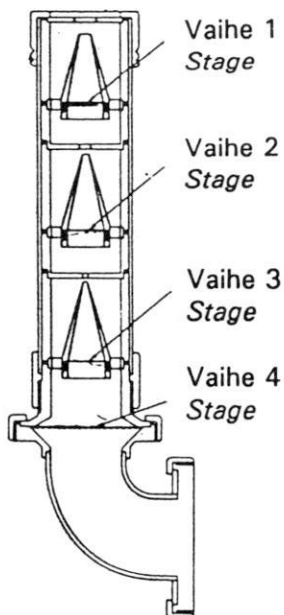
**Kuva 7.**  
HUND-TM-hienopölymittari.

*Picture 7.*  
*HUND-TM fine dust meter with digital display.*



### 2.3. Painonmukainen hiukkaskokojaukauma

Pölyn painonmukainen hiukkaskokojakauma määritettiin 4-vaiheisella jaottelevalla hiukkaskeräimellä (4 Stage Cascade Centripeter, Bird and Tole) otetuista näytteistä. Keräyspumppuna käytettiin tyhjiöpumppua (Neuberger N 037,1 ANE). Keräysnopeus (30 l/min) säädettiin virtausmittarilla.



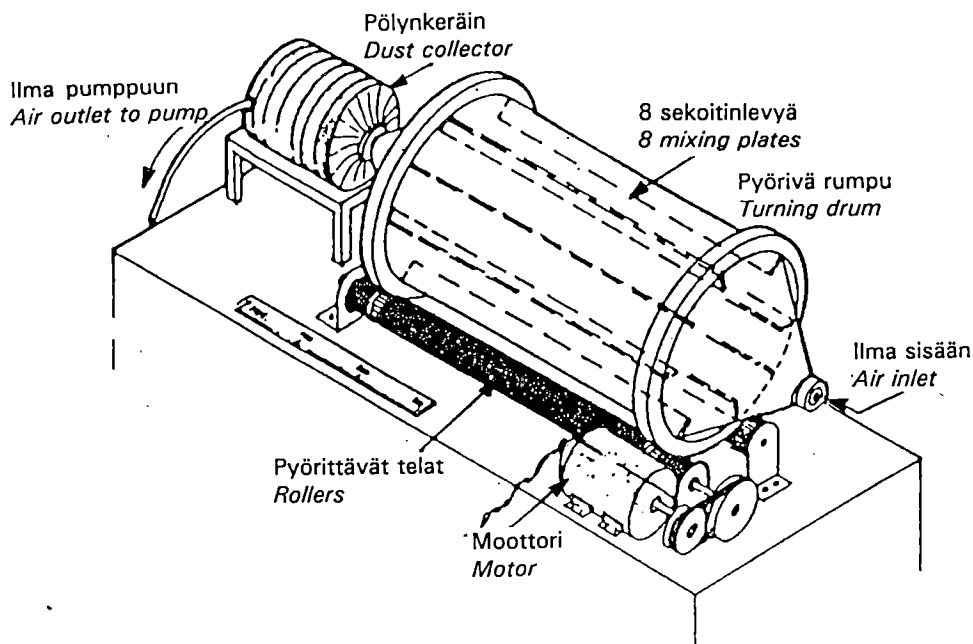
**Kuva 8.**

Hiukkaskeräimen poikkileikkaus. Keräimessä on neljä jaosta, joista ensimmäinen kerää karkeaa yli  $12,5 \mu\text{m}$  pölyä, toinen  $12,5 - 3,8 \mu\text{m}$ :n, kolmas  $3,8 - 1,4 \mu\text{m}$ :n ja neljäs hienoa alle  $1,4 \mu\text{m}$ :n pölyä.

*Picture 8.*

*Cross section of a particle collector. The collector divides dust in four fractions. In the top fraction the particle size is more than  $12,5 \mu\text{m}$ , in the second fraction  $12,5 - 3,8 \mu\text{m}$ , in the third fraction  $3,8 - 1,4 \mu\text{m}$  and in the bottom fraction less than  $1,4 \mu\text{m}$ .*

## 2.4. Pölyävyystestaus



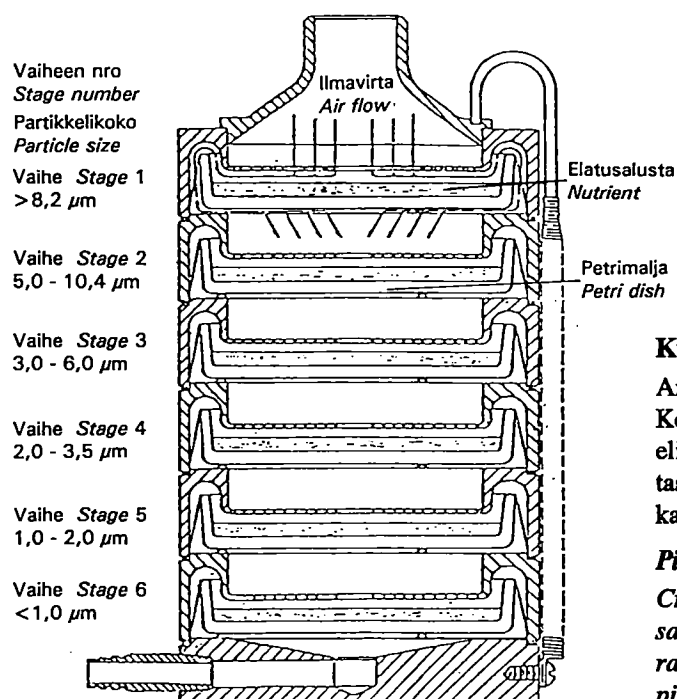
**Kuva 9.** Viljan pölyävyyttä mitattaessa käytetty pölyävyystestauslaite.  
**Picture 9.** Apparatus for testing dust emission of grain.

Eri viljalajien pölynmuodostusta tutkittiin pölyävyystestin avulla syksyllä 1989 ja 1990. Pölyävyysskoheet tehtiin pyörivällä rummulla, jonka on kehittänyt englantilainen Warren Spring Laboratorio. Keräimenä käytettiin Andersen-impaktorin asemesta kaksivaiheista Harwell-impaktoria; lasikuitusuodattimilta (Whatman GF/A) määritettiin ainoastaan kokonaispöly. Rumpuun annosteltiin viljanäytettä 100 - 200 grammaa. Näytettä kerättiin 5 minuuttia virtausnopeuden ollessa 35 l/min. Rumpu pyöri 32 kierrosta minuutissa. Lämminilmakuivureiden pölysiiloista otetuista pölynäytteistä kerättiin myös 1 minuutin näytteet. Viljanäytteiden kosteus määritettiin ennen pölyävyysskoheeta.

## 2.5. Sieni-itiöt

Ilmanäytteet kerättiin fraktioivalla impaktorilla (malli 10-800, Andersen Inc., Georgia, USA, kuva 11). Näytteitä kerättiin kaikissa mittauspaikoissa kolmelle eri elatusalustalle: 1) mesofiiliset sienet määritettiin Hagen-agarilta (inkubointi +20 °C:ssa), 2) termotolerantit 1. lämpökestoiset ja viljan lämpenemistä osoittavat sienet Hagen-agarilta (inkubointi +40 °C:ssa) ja 3) *Aspergillus glaucus* -ryhmän sekä muut kuivassa viihtyvät sienet NaCl-mallasuute -agarilta (inkubointi +20 °C:ssa). Kasvatuksen jälkeen syntyneiden pesäkkeiden määrät laskettiin ja ne

tyypitettiin valomikroskooppisesti. Saatujen pesäkelukujen perusteella laskettiin ilman mikrobipitoisuudet. Tulokset ilmoitetaan pesäkkeitä muodostavien yksiköiden määränä ilmaukuutiometrissä ( $\text{cfu}/\text{m}^3$ ) (colony forming unit).



**Kuva 10.**

Andersen-keräimen poikkileikkaus. Keräimeen kuuluu kuusi keräilyalustaa eli petriمالjaa. Kuvassa on esitetty eri tasojen keräysalueet hiukkasen halkaisijan suhteen.

**Picture 10.**

Cross section of Andersen sampler. The sampler consists of six stages. Sampling ranges of the stages are shown in the picture in relation to particle diameter.

Yhdestä pölysiilon tyhjennyksen yhteydessä otetusta pölynäytteestä tehtiin viljelyt edellä mainittujen elatusainealustojen lisäksi myös tryptoniglukoosiekstrakti-agarille mesofiilisten bakteerien (inkubointi +20 °C:ssa) ja puolivahvalle ravintoagarille termofiilisten aktinomykeettien (inkubointi +55 °C:ssa) määrittämiseksi. Kasvatuksen jälkeen mikrobikasvun runsaus arvioitiin ja tulokset ilmoitetaan suhteellisella asteikolla.

### 3. TYÖHYGIEENISET VERTAILUARVOT

Mittaustuloksia verrataan työsuojeluhallituksen turvallisuustiedotteessa 25/87 "HTP-arvot 1987" annettuihin haitallisiksi tunnettuihin pitoisuuksiin (HTP), joka on orgaaniselle pölylle  $5 \text{ mg}/\text{m}^3_{8 \text{ h}}$  ja  $10 \text{ mg}/\text{m}^3_{15 \text{ min}}$  /58/.

$\text{HTP}_{8 \text{ h}}$  = aineen 8 tunnin vaikutusajalle arvioitu haitalliseksi tunnettu keskipitoisuus. Tähän verrataan altistuksia, joiden katsotaan esiintyvän kokonaisen työpäivän ajan.

$\text{HTP}_{15 \text{ min}}$  = 15 minuutin vaikutusajalle arvioitu haitalliseksi tunnettu keskipitoisuus. Tähän verrataan altistuksia, joiden kesto aika on hyvin lyhyt.

Orgaaniselle hienopölylle eli halkaisijaltaan alle 5  $\mu\text{m}$ :n pölylle ei ole määritelty haitalliseksi tunnettua pitoisuutta.

Työympäristön mikrobeille ei ole olemassa suositusarvoa, minkä vuoksi työympäristössä mitattuja pitoisuuksia verrataan asuinhuoneistoilman mikrobiohjearvoihin. Lääkintöhallituksen julkaisemien asuntojen terveydellisiä olosuhteita koskevien ohjeiden mukaan suurimpana tavanomaisena sisäilman sieni-itiöpitoisuutena talviolosuhteissa voidaan pitää 500 cfu/m<sup>3</sup> ja muina aikoina 2500 cfu/m<sup>3</sup> /59/.

Termotolerantteja eli lämpöä sietäviä sieniä ja termofiilisiä eli lämpimässä viihtyviä aktinomykettejä ei esiinny normaalisti työilmassa. Ne ovat merkinä materiaalin lämpiämisestä ja pilaantumisesta. Niiden ryhmään kuuluvat homepölykeuhkon todennäköisimmät aiheuttajat.

## 4. TUTKIMUSAINEISTO

### 4.1. Johdanto

Tutkimukseen valittiin alustavasti 14 lämminilmakuivaamo ja 14 kylmäilmakuivaamo. Tilakohteet valittiin VAKOLAn ympäristöstä Vihdin ja Karkkilan alueelta. Osa tilakohteista löytyi Uudenmaan maatalouskeskuksen avustuksella ja osa valittiin täysin sattumanvaraisesti. Valintamenetelmä tuotti varsin kirjavan valikoiman eri ikäisiä ja tyyppisiä kuivaamoja, niin kuin oli tarkoituskin. Lämminilmakuivaamot olivat kuitenkin niin tyyppiltään kuin tekniseltä tasoltaankin tasalaatuisempia kuin kylmäilmakuivaamot. Tämä on varsin luonnollista, koska lämminilmakuivuri koostuu lähes kokonaan valmiista standardiosista.

Tilakohteisiin käytiin tutustumassa maaliskuu- ja huhtikuussa 1989. Kohteissa valokuvattiin tutkimuksen kannalta mielenkiintoisia yksityiskohtia ja isäntiä haastatteleamalla pyrittiin selvittämään mahdollisia pölyongelmia. Jäljempänä esitetyt numerotiedot kuivaamoista perustuvat yleensä tilalla saatuun muistinvaraiseen tietoon. Suhtautuminen tutkimukseen oli myönteistä ja kaikki tutkimukseen mukaan pyydettyt myös suostuivat siihen osallistumaan. Pölyongelmien vakavuus miellettiin varsin erilaiseksi eri tiloilla. Tähän näyttivät vaikuttavan kuivaamossa työskentelevien henkilöiden "pölynsietokyky", erilaiset allergiset oireet, ym. syyt. Kuivaamoiden pölyisyyttä yritettiin arvioida silmämääräisesti tutustumiskäyntien aikana. Pölyisyyden arviointi kuivurin käyttökauden ulkopuolella osoittautui vaikeaksi, koska siisti kuivaamo voi olla vain merkki hyvin tehdystä siivouksesta kuivauskauden jälkeen.

Pölymittauksia tehtiin syksyn ja talven 1989 aikana kuudessa lämminilmakuivaamossa ja kahdeksassa kylmäilmakuivaamossa. Vertailukelpoisten ja luotettavien tulosten varmistamiseksi Kuopion aluetyöterveyslaitos vastasi kokonaispölynäytteiden keräämisestä ja analysoinnista kaikissa kuivaamoissa kahta lu-

kuunottamatta. Hienopölymittauksia tehtiin kaikissa kohteissa.

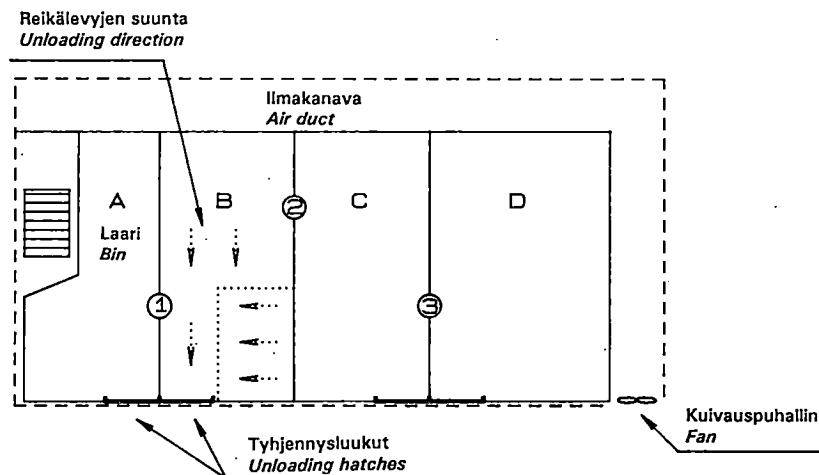
VAKOLAan rakennettiin yksinkertainen koekuivuri (kylmäilmakuivuri). Koekuivurissa tehtiin kesän 1989 aikana koesarja, jossa selvitettiin erilaisten kylmäilmakuivurin täyttö- ja tyhjennysmenetelmien pölyisyyttä sekä kokeiltiin joitakin keinoja pölyisyyden vähentämiseksi. Koekuivurissa tehtyjen kokeiden pölymittaukset tehtiin ja analysoitiin VAKOLAssa.

## 4.2. Lämmin- ja kylmäilmakuivaamot

Kappaleissa 5.2.1 ja 5.2.2 on lyhyt esittely tilakohteista. Maininta "kuivuri vanhas- sa rakennuksessa" tarkoittaa, että kuivuri on sijoitettu talousrakennukseen, joka voi olla esimerkiksi lato tai käytöstä poistettu navetta. Vastaavasti "uusi rakennus" tarkoittaa varta vasten kuivaamoksi rakennettua rakennusta. Kuivaamon pölyisyy- teen vaikuttavat esipuhdistimien ja erilaisten imurien käyttö, kaatosuppilon malli, kuivurin täyttö- ja tyhjennystapa sekä rakenteiden tiiviys. Rakenteiden tiivyyttä on vaikea arvioida silmämääräisesti. Kuivurin käyttäjien mukaan pahimmat pölyon- gelmat ilmenivät kylmäilmakuivurien tyhjennyksessä ja joskus myös täytössä. Kylmäilmakuivureista puuttuu yleensä esipuhdistin. Lämminilmakuivaamojen pölyisimmät työvaiheet ovat viljan kippaus kaatosuppiloon sekä varastosiilojen täyttö ja tyhjennys. Lämminilmakuivureissa oli yhtä lukuunottamatta esipuhdistin. Kolmessa kuivaamossa oli pölysiilo, joka vähentää pölyn ja roskien leviämistä kuivaamon ympäristöön. Isännät, joiden kuivaamossa oli pölysiilo, pitivät sitä tarpeellisena.

### 4.2.1. Kylmäilmakuivaamot

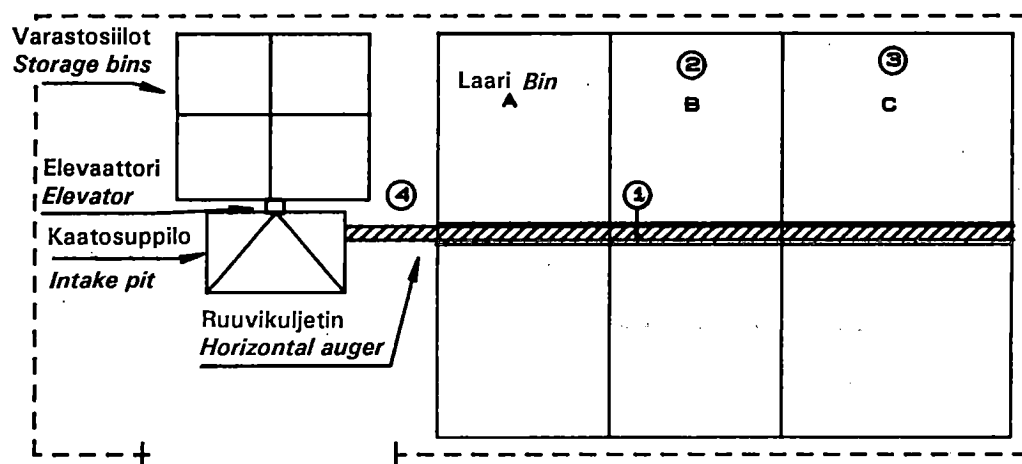
#### Tila 1



**Kuva 11.** Tilan 1 kylmäilmakuivaamo. 1989 mittauskohdat on merkitty numeroilla.  
**Picture 11.** Ambient air dryer on farm 1. The location of dust collectors in 1989 is marked with numbers.

Kaltevapohjainen kuivuri vanhan rakennuksen yläkerrassa. Kuivurin laariala on noin 80 m<sup>2</sup> ja laarien pohjat suomulevyä. Kuivausilmapuhaltimena on 11 kW:n aksiaalipuhallin. Kuivaamon lounaisseinällä on aurinkokeräin. Kuivaamossa on kaatosuppilo, josta vilja siirretään kiinteää viljaputkistoa pitkin kuivuriin sähkökäyttöisellä painelietsolla. Vilja valutetaan laareihin sykloneilla, joista puhallusilma ohjataan rakennuksen ulkopuolelle. Laarit tyhjenetään ilmapohjatyhjennyksellä. Laarien alareunassa on avattavat luukut, joista vilja valuu lyhyttä kanavaa pitkin kuivurin ulkoseinän läpi traktorin perävaunuun.

## Tila 2



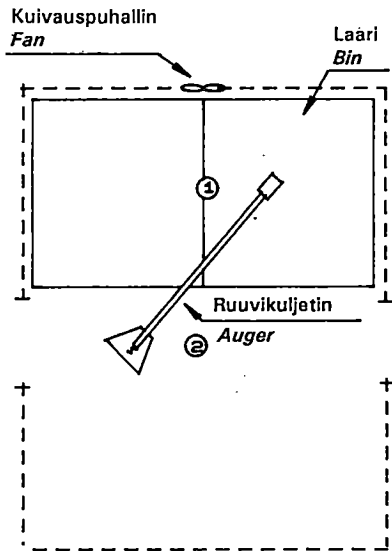
**Kuva 12.** Tilan 2 kylmäilmakuivaamo. 1989 mittauskohdat on merkitty numeroilla.

**Picture 12.** Ambient air dryer on farm 2. The location of dust collectors in 1989 is marked with numbers.

Kuivaamoksi tehdyssä rakennuksessa on tasapohjainen kuivuri. Laarien pohjamateriaali on suomulevyä. Kuivurin laariala on 150 m<sup>2</sup>. Lisäksi kuivaamossa on varastosiiloja. Kuivurissa on kaksi 7,5 kW:n aksiaalipuhallinta, joita ohjataan automaattisella ohjauslaitteella. Kuivaamon katto ja eteläseinä toimivat aurinkokeräiminä. Kuivatuksen aikana käytetään tarvittaessa lisälämpöä. Kuivaamossa on kaatosuppilo, josta vilja siirretään elevaattorilla vaakakuljettimelle (ketjukuljetin), joka puolestaan siirtää viljan laareihin. Kuivuri voidaan tyhjentää ilmapohjatyhjennyksellä tasokuljettimelle (ruuvikuljetin), joka kuljettaa viljan kaatosuppiloon. Elevaattorin yhteydessä on esipuhdistin, mutta se on tilanpuutteen vuoksi jouduttu sijoittamaan niin alas, että sitä ei voi käyttää laareja täytettäessä.

## Tila 5

Kaltevapohjainen kuivuri on vanhassa rakennuksessa. Laarien pohjat on tehty suomulevystä. Kuivurin laariala on noin 30 m<sup>2</sup>. Kuivurissa on 5,5 kW:n aksiaalipuhallin.

**Kuva 13.**

Tilan 5 kylmäilmakuivuri. Mittauspaikat on merkitty numeroilla.

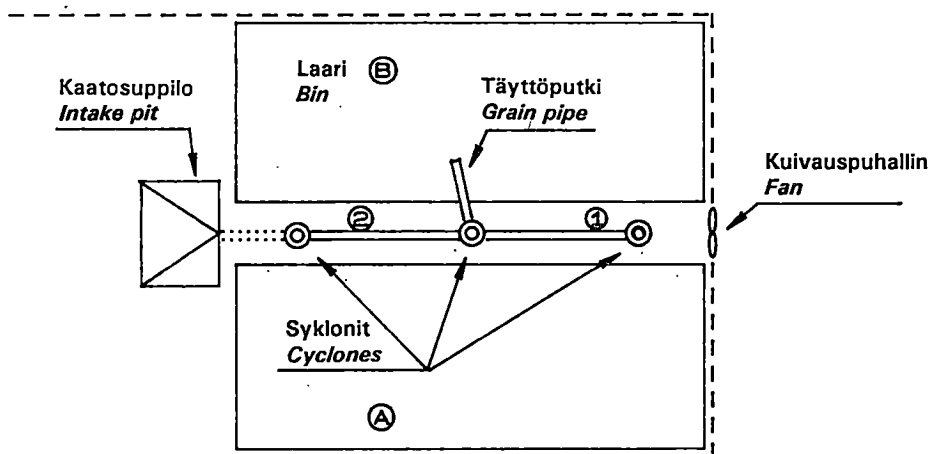
**Picture 13.**

Ambient air dryer on farm 5. The location of dust collectors is marked with numbers.

Kuivuri täytetään ruuvikuljettimella. Kuivuri tyhjenetään ilmapohjatyhjennyksellä siirrettävään suppiloon ja siitä ruuvikuljettimella perävaunuun. Kuiva vilja varastoidaan kuivurissa.

### Tila 6

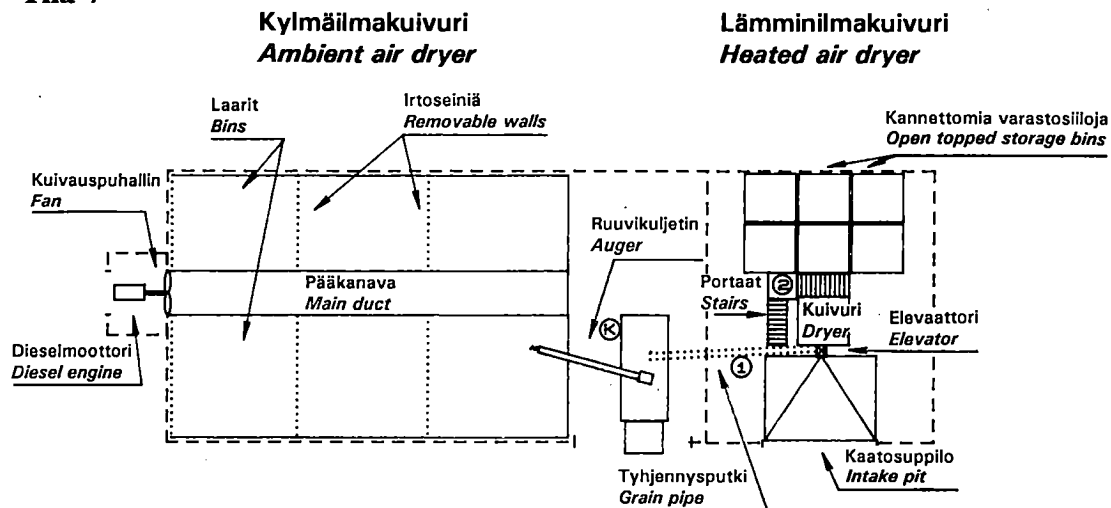
Tasapohjainen kuivuri on vanhan rakennuksen yläkerrassa. Laarien pohjat on tehty reikälevystä. Kuivurin laariala  $130 \text{ m}^2 + 120 \text{ m}^2$ . Kuivurissa on kaksi dieselkäyttöistä kaksoispuhallinta. Kuivurissa on kaatosuppilo, josta vilja siirretään kuivurin lavoille traktorikäyttöisellä imupainelietsolla. Lietsoa varten on kuivamoon asennettu kiinteät viljaputkistot. Vilja valutetaan laareihin syklonien kautta, mutta puhallusilmaa ei johdeta rakennuksen ulkopuolelle. Laarien pohjissa on tyhjennystä varten reiät, joista vilja valutetaan traktorin perävaunuun tai alakerran lattialle.

**Kuva 14.** Tilan 6 kylmäilmakuivaamo. Mittauspaikat on merkitty numeroilla.

**Picture 14.** Ambient air dryer on farm 6. The location of dust collectors is marked with numbers.



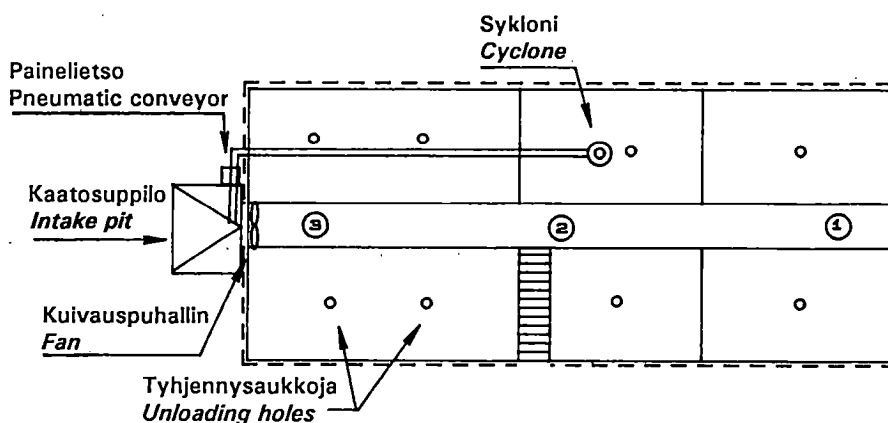
## Tila 7



**Kuva 15.** Tilan 7 kuivaamo. Mittauspaikat on merkitty numeroilla.  
**Picture 15.** Dryer on farm 7. The location of dust collectors is marked with numbers.

Kuivaamoksi tehdyssä rakennuksessa on tasapohjainen kuivuri. Laarien pohjat ovat reikälevyä. Kuivurin laariala on noin 125 m<sup>2</sup>. Kuivurissa on dieselkäyttöinen kaksoispuhallin. Kuivaamon katto toimii aurinkokeräimenä. Laareissa on irrotettavat väliseinät, joten laarit voi täyttää suoraan traktorin perävaunusta kippaamalla. Lavat tyhjenetään traktorikäyttöisellä imupainelietsolla tai viljaruuvilla. Kylmäilmakuivaamon viereen on rakennettu lämminilmakuivuri, jonka elevaattorilta on mahdollisuus valuttaa viljaa kylmäilmakuivuriin. Viljan siirtoon käytetään kuivurissa myös ruuvikuljetinta.

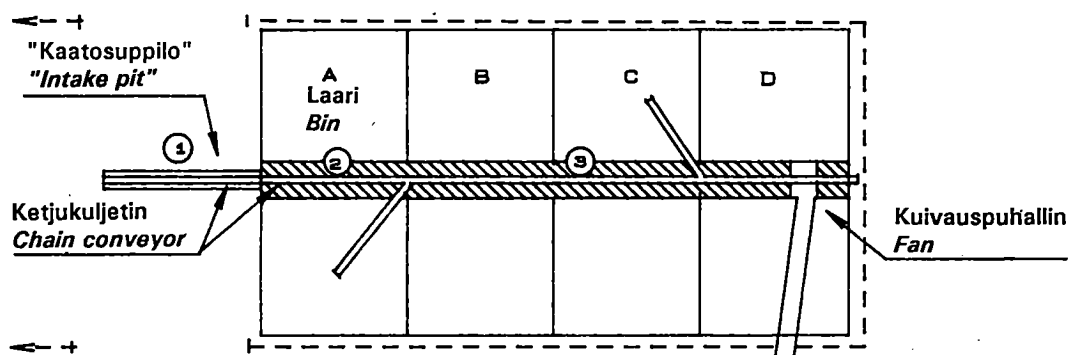
## Tila 8



**Kuva 16.** Tilan 8 kylmäilmakuivaamo. Mittauspaikat on merkitty numeroilla.  
**Picture 16.** Ambient air dryer on farm 8. The location of dust collectors is marked with numbers.

Tasapohjainen kylmäilmakuivuri on vanhan rakennuksen yläkerrassa. Laarien pohjat ovat reikälevyä. Kuivurin laariala on noin 115 m<sup>2</sup>. Kuivurissa on 11 kW:n aksiaalipuhallin. Kuivauksen aikana käytetään lisälämpöä. Kuivurissa kuivataan useita eriä, joista viimeinen varastoidaan kuivurissa. Kuivaamossa on kaatosuppilo, josta vilja nostetaan ruuvikuljettimella esipuhdistimeen, josta vilja siirretään painelietsolla laareihin. Vilja valutetaan laareihin syklonin kautta, mutta puhallusilmaa ei johdeta rakennuksen ulkopuolelle. Kuivuri tyhjenetään valuttamalla vilja alakertaan lattiasa olevista aukoista. Rakennuksen alakerta käytetään viljavarastona. Alakerta tyhjenetään traktorikäyttöisellä imupainelietsolla. Kuivuri voidaan tyhjentää myös imupainelietsolla suoraan yläkerrasta.

### Tila 9



**Kuva 17.** Tilan 9 kylmäilmakuivaamo. Mittauspaikat on merkitty numeroilla.

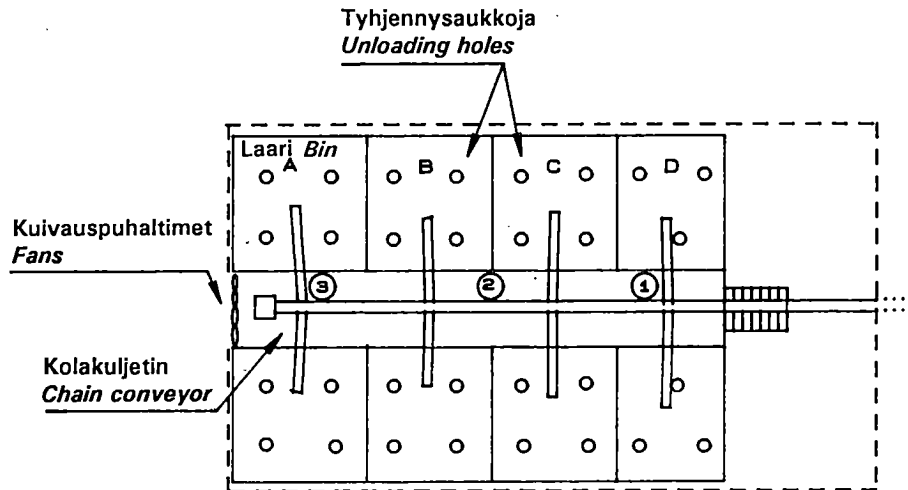
**Picture 17.** Ambient air dryer on farm 9. The location of dust collectors is marked with numbers.

Siilomallinen kuivuri on vanhassa rakennuksessa. Kuivurin tilavuus on noin 150 m<sup>3</sup>. Siilojen syvyys on 2,5 m. Kuivurissa on 11 kW:n keskipakoispuhallin. Kuivurissa on ketjukuljetin, joka kiertää kuivurin ympäri ilmanakanavan yläpuolella ja pohjalla. Kuivuri täytetään kippaamalla viljaa traktorin perävaunusta ketjukuljettimen päällä olevaan matalaan kaatokuiluun, josta kuljetin siirtää viljan siiloihin. Tyhjennys tapahtuu kuivauspuhalltimen imun avulla: vilja imetään ilmanakanaan, mistä ketjukuljetin siirtää sen edelleen toiseen siiloon tai traktorin perävaunuun. Tyhjennyksen aikana puhallin toimii myös esipuhdistimena imien pölyä viljasta.

### VAKOLAN kylmäilmakuivuri

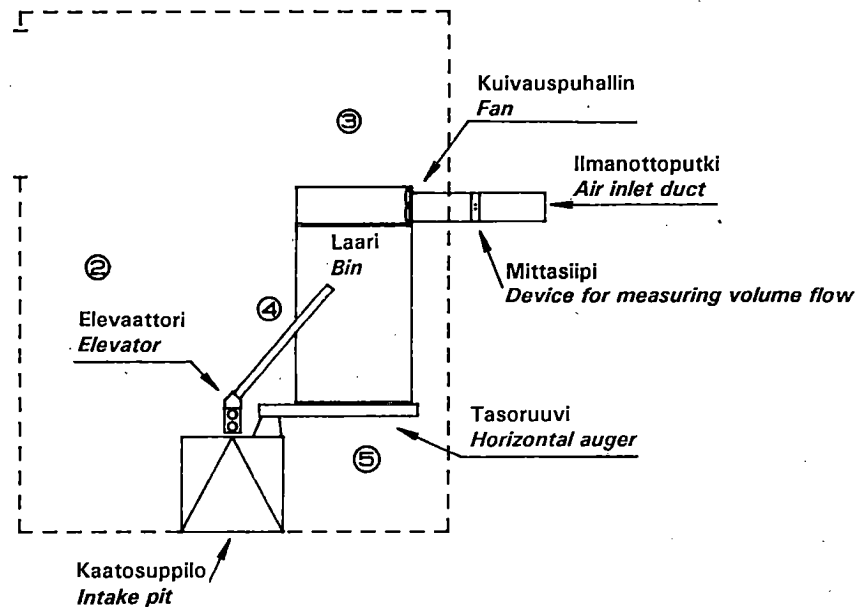
Kuivaamoksi tehdyssä rakennuksessa on tasapohjainen kuivuri. Laarien pohjat ovat reikälevyä. Kuivurin laariala on noin 110 m<sup>2</sup>. Kuivurissa on 7,5 ja 11 kW:n aksiaalipuhallimet. Kuivurin täytössä käytetään vieressä olevan lämminilmakuivu-

rin kaatosuppiloa ja elevaattoria. Elevaattorilta vilja siirretään tasokuljettimella (ketjuelevaattori) kuivurin laareihin. Kuivaamo on rakennettu rinteeseen siten, että kuivaamon alle pääsee ajamaan. Laarien pohjissa on tyhjennysaukot, joista vilja pudotetaan traktorin perävaunuun. Kuivuria käytetään pääasiassa lämminilmakuivurin puskurivarastona, jolloin viljan loppukuivaus tehdään lämminilmakuivurissa.



**Kuva 18.** VAKOLAn kylmäilmakuivaamo. Mittauspaikat on merkitty numeroilla.  
**Picture 18.** Ambient air dryer at VAKOLA. The location of dust collectors is marked with numbers.

### Koekuivuri

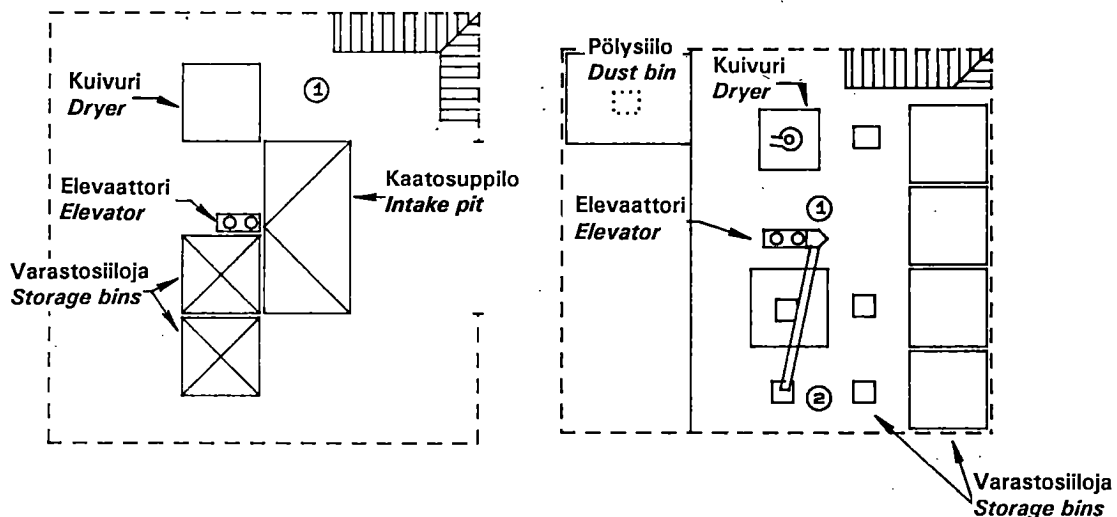


**Kuva 19.** Pölyntorjuntakokeita varten rakennettu koekuivuri. Mittauspaikat on numeroitu.  
**Picture 19.** Experimental dryer built for testing dust reduction methods. The location of dust collectors is marked with numbers.

VAKOLAan rakennettu koekuivuri on 2 x 4 m:n suomulevypohjainen lava, jonka kallistuskulmaa voidaan säätää portaattomasti. Kuivauspuhaltimenä on 4 kW:n aksiaalipuhallin. Puhaltimen kierroslukua ja samalla kuivausilman määrää voidaan säätää portaattomasti taajuusmuuttajan avulla. Ilmamäärän mittausta varten kuivausilma otettiin mittaputken kautta. Kuivuri voidaan täyttää ja tyhjentää eri tavoin. Täyttö voidaan tehdä elevaattorilla, ruuvikuljettimella tai imupainelietsolla. Tyhjennuksessa voidaan käyttää puhaltimen ilmaa ja vaakakuljetinta, ruuvikuljetinta tai imupainelietsoa.

#### 4.2.2. Lämminilmakuivaamot

##### Tila 3



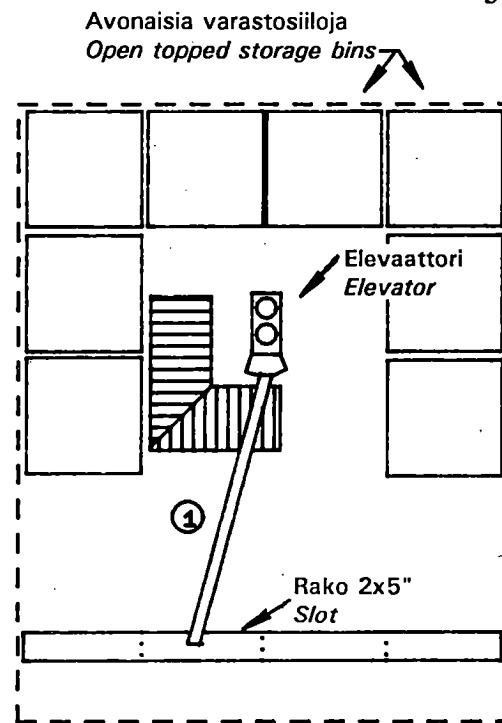
**Kuva 20.** Tilan 3 lämminilmakuivaamo. Mittauskohdat on merkitty numeroilla.

**Picture 20.** Heated air dryer on farm number 3. The location of dust collectors is marked with numbers.

Lämminilmakuivaamo on valmistunut 80-luvun puolivälissä ja siinä on 165 hl:n kuivuri. Kuivuri ja varastosiiot on sijoitettu suhteellisen väljästi puiseen uudisrakennukseen. Kartiopohjaiset varastosiiot ovat täysin katetut. Kuivurissa on jyrkkäreunainen, valettu kaatosuppilo. Kuivaamossa on pölysiilo, jonka kautta kuivurin poistoilma ja esipuhdistimen sekä imurien poistoilmat johdetaan ulkoilmaan. Myös kuivaamossa olevalle lajittimelle on oma pölysiilo. Varastosiiot tyhjenetään elevaattorilla torvea pitkin kaatosuppilon edessä olevan ajoneuvon lavalle. Kuivaamossa tehdään jonkin verran rahtikuivausta.

##### Tila 4

Kuivaamo on alleajettava ja rakennettu 70-luvulla. Kuivurin tilavuus on 110 hl. Kuivurissa on jyrkkäseinäinen valettu kaatosuppilo. Puset, kartiopohjaiset varastosiiot ovat osittain katetut.



**Kuva 21.**

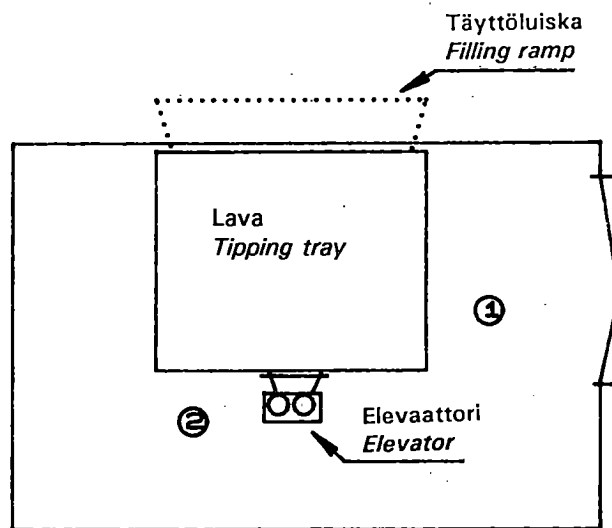
Tilan 4 lämminilmakuivaamo. Mittauskohdat on merkitty numeroilla.

*Picture 21.*

*Heated air dryer on farm 4. The location of dust collectors is marked with numbers.*

### Tila 5

20 hl:n lavakuivuri on vanhassa rakennuksessa. Kuivuri täytetään kippaamalla traktorin perävaunusta vilja kaltevalle levyille, jota pitkin se valuu lavalle. Kuivuri tyhjennetään lavaa kallistamalla, jolloin vilja valuu elevaattoriin. Vilja siirretään rakennuksen yläkerrassa oleviin varastosiiiloihin tai lastattavaan ajoneuvoon elevaattorilla. Kuivurissa ei ole esipuhdistinta.



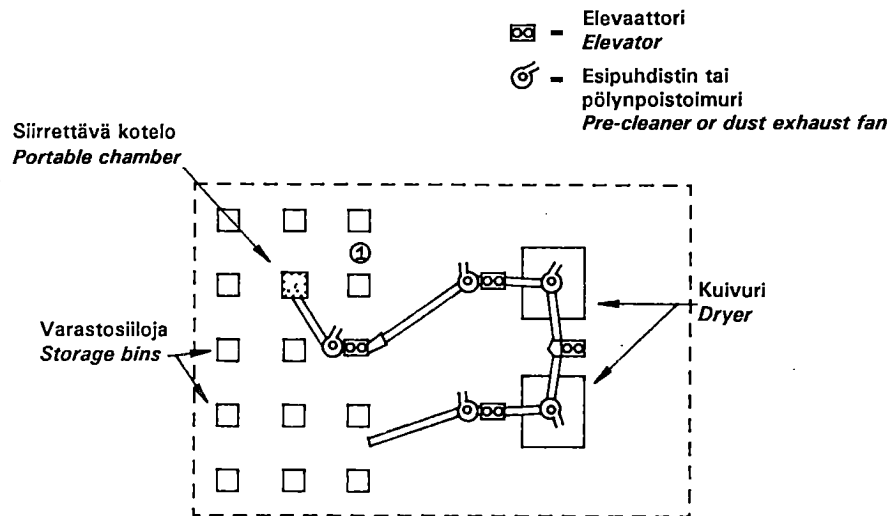
**Kuva 22.** Tilan 5 lämminilmakuivaamo. Mittauskohdat on merkitty numeroilla.

*Picture 22.* Heated air dryer on farm 5. The location of dust collectors is marked with numbers.

### Tila 7

Uusi, vielä viimeistelemätön lämminilmakuivaamo, jonka tilavuus on 100 hl (kuva 15). Kartiopohjaiset varastosiilot ovat kattamattomia. Varastosiilojen alapuolella on vaakakuljetin, joka siirtää viljan vanerista tehtyyn kaatosuppiloon. Siiloja tyhjentäessä vilja valutetaan elevaattorilta putkea pitkin viereisessä kylmäilmakuivaamossa olevaan tilaan, johon lastattava ajoneuvo voidaan peruuttaa.

### Tila 10



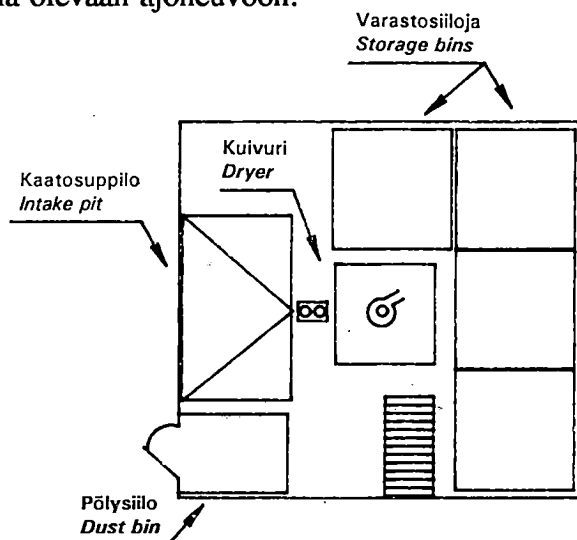
**Kuva 23.** Tilan 10 lämminilmakuivaamo. Mittauskohdat on merkitty numeroilla.  
**Picture 23.** Heated air dryer on farm 10. The location of dust collectors is marked with numbers.

Uusi, pari vuotta käytössä ollut lämminilmakuivaamo, joka on kahden tilan yhteiskäytössä. Kuivaamossa on kaksi kuivurikoneistoa, joiden yhteinen tilavuus on noin 500 hl. Kuivaamossa on kierrätyselevaattorien lisäksi erillinen täyttöelevaattori sekä siirtoelevaattori, jolla vilja siirretään kuivaamon perällä oleviin varastosiiloihin. Elevaattoreihin on lisätty pölynpoistimurit kuvan osoittamalla tavalla. Varastosiilot on mitoitettu niin, että molempien kuivurien vilja mahtuu yhteen siiloon. Kaatosuppilo on mitoitettu samalla periaatteella. Pölyämisen vähentämiseksi kaatosuppilo on eristetty muusta rakennuksesta väliseinällä. Kuivaamo on läpiajettavaa tyyppiä eli varastosiilojen alta pääsee ajamaan rekka-autolla.

### Tila 11

Vuonna 1978 rakennettu pienviljelijäyhdistyksen kuivaamo, jonka kuivurin tilavuus on 75 hl. Kartiopohjaiset, puurakenteiset varastosiilot ovat kattamattomat. Kuivurissa on esipuhdistin ja pohjaimuri. Kuivaamossa on pölysiilo, johon esipuhdisti-

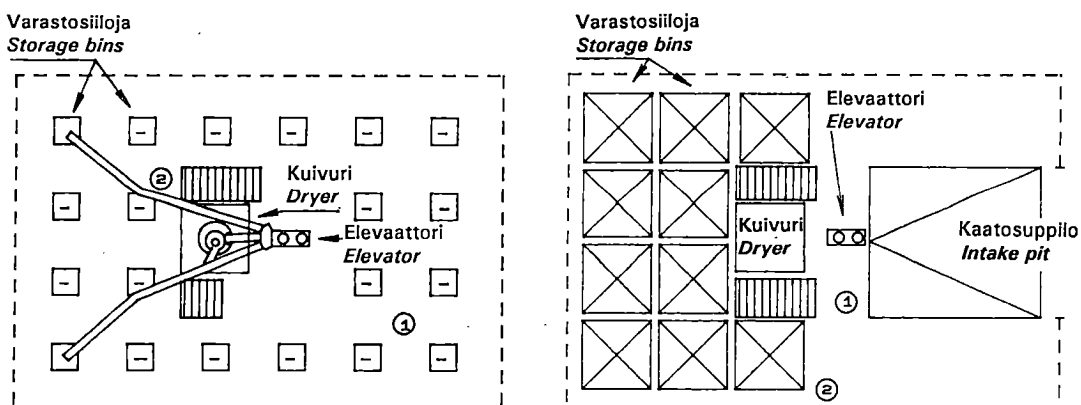
men ja kuivurin poistoilman pölyt johdetaan. Kuivuri on osittain alleajettava. Osa siiloista tyhjenetään kuivaamon sivuseinän läpi menevien torvien avulla kuivaamon ulkopuolella olevaan ajoneuvoon.



**Kuva 24.** Tilan 11 lämminilmakuivaamo. Mittauskohdat on merkitty numeroilla.  
**Picture 24.** Heated air dryer on farm 11. The location of dust collectors is marked with numbers.

### VAKOLAN lämminilmakuivuri

Kuivaamo on 70-luvun lopussa valmistunut, läpiajettava pakettikuivaamo. Koneiston tilavuus on 210 hl. Kartiopohjaiset varastosiiot ovat täysin katetut. Kuivurissa on melko jyrkkäseinäinen teräksinen kaatokuilu. Kuivaamossa on pölysiilo, jonka kautta kuivurin ja esipuhdistimen sekä imurin poistoilma johdetaan.



**Kuva 25.** VAKOLAN lämminilmakuivaamo. Mittauskohdat on merkitty numeroilla.  
**Picture 25.** Heated air dryer at VAKOLA. The location of dust collectors is marked with numbers.

## 5. TULOKSET

### 5.1. Olosuhteet mittausten aikana

Puintikausi vuonna 1989 kesti Vihdissä heinäkuun lopusta syyskuun alkupuolelle. Puintikausi oli keskimääräistä parempi. Kesä oli kuiva ja heinäkuun lopun puintipäivät olivat lämpimiä (23 - 26 °C). Elokuun ensimmäinen viikko oli sateinen. Tällöin satoi noin 50 mm, kun koko kuukauden sademäärä oli 73 mm. Syysviljat olivat lakoisia. Vuoden 1989 mittaukset tehtiin pääasiassa elokuun aikana, jolloin viljojen puintikosteudet olivat enimmäkseen alle 25 %.

Vuonna 1990 puintikausi alkoi elokuun alussa ja päättyi syyskuun puolivälissä. Puintikausi oli jälleen keskimääräistä parempi. Elokuun alun puintipäivät olivat lämpimiä (23 - 24 °C) ja poutaisia. Ennen kuun puoliväliä oli sadejakso, mutta koko kuukauden sademäärä oli vain 67 mm. Rukiin ja vehnän puintikosteudet olivat yleensä alle 25 % ja ohran puintikosteus jäi selvästi alle 20 %:n. Syysviljat olivat lakoisia. Vuoden 1990 mittaukset tehtiin 14 - 23.8. välisenä aikana.

### 5.2. Kokonaispölypitoisuudet lämmin- ja kylmäilmakuivureissa

Tutkimuksen aikana kerättiin kaikkiaan 141 pölynäytettä, joista 36 hengitysvyöhykkeeltä ja 105 kiinteistä mittauspaikeista.

Taulukoissa 5 ja 6 esitetään kokonaispölypitoisuudet kiinteissä mittauspaikeissa ja hengitysvyöhykkeellä kuivureiden täytön sekä tyhjennyksen aikana. Lämminilmakuivurin täytöllä tarkoitetaan käytännössä viljan kippausta kaatosuppiloon.

Kuivurin täytön ja tyhjennyksen lisäksi mitattiin kolmella tilalla pölysiilon tyhjennyksen aikaista pölyisyyttä. Pölysiilon tyhjennyksen aikana hengitysvyöhykkeeltä mitatut pölypitoisuudet olivat 230 mg/m<sup>3</sup> (VAKOLAn lämminilmakuivuri), lähes 500 mg/m<sup>3</sup> (tila 3) ja 39,5 mg/m<sup>3</sup> (tila 11). Kaksi ensin mainittua lukua ylittävät monikymmenkertaisesti orgaanisen pölyn HTP-arvon. Näin suuria pölypitoisuuksia ei mitattu missään muussa työvaiheessa. Tilalla 11 pölypitoisuus oli muita selvästi pienempi, mutta kuitenkin liian suuri. Muita pienempi pölypitoisuus johtunee erilaisesta pölysiilon tyhjennysmenetelmästä. Mittaustulokset on esitetty kuivurityypeittäin taulukoissa 5 ja 6. Tilakohtaiset tulokset ovat taulukoissa 7 ja 8.



**Taulukko 5.** Kokonaispölypitoisuudet ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) hengitysvyöhykkeellä kuivurin täytön ja tyhjennyksen aikana.

**Table 5.** Total dust concentrations ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) in the breathing zone during filling and unloading of the dryers in the study.

Kuivurityyppi <i>Dryer type</i>	Täyttö <i>Filling</i>		Tyhjennys <i>Unloading</i>	
	Keskiarvo <i>Mean</i>	Keskihajonta <i>Standard deviation</i>	Keskiarvo <i>Mean</i>	Keskihajonta <i>Standard deviation</i>
Kylmäilma <i>Ambient air</i>	8,3	4,9	22,6	11,1
Lämminilma <i>Heated air</i>	3,8	3,2	13,4	15,0

**Taulukko 6.** Kokonaispölypitoisuudet ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) kiinteissä mittauspaikeissa kuivurin täytön ja tyhjennyksen aikana.

**Table 6.** Total dust concentrations ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) on fixed measuring spots during filling and unloading of the dryers in the study.

Kuivurityyppi <i>Dryer type</i>	Täyttö <i>Filling</i>		Tyhjennys <i>Unloading</i>	
	Keskiarvo <i>Mean</i>	Keskihajonta <i>Standard deviation</i>	Keskiarvo <i>Mean</i>	Keskihajonta <i>Standard deviation</i>
Kylmäilma <i>Ambient air</i>	10,0	7,1	18,2	29,8
Lämminilma <i>Heated air</i>	9,3	11,6	5,4	7,9

**Taulukko 7.** Kokonaispölypitoisuudet kiinteissä mittauspaikoissa ja hengitysvyöhykkeellä kylmäilmakuivurin täytössä ja tyhjennyksessä.

**Table 7.** Total dust concentrations on fixed measuring spots and in the breathing zone during filling and unloading of the ambient air dryers in the study.

Tila Farm	Työvaihe Working stage	Kokonaispölypitoisuus, mg/m <sup>3</sup> Total dust concentration, mg/m <sup>3</sup>			
		Kiinteä mittauspaikka Fixed spot measurement		Hengitysvyöhyke Breathing zone	
		Keskiarvo Mean	Vaihtelu Variation	Keskiarvo Mean	Vaihtelu Variation
1	Täyttö lietsolla <i>Filling with pneumatic conveyor</i>	14,9	3,5-22,5	16,3	
	Tyhjennys ilmalla <i>Unloading with air sweep floor</i>	42,4	10,7-133	20,4	6,7-34
2	Tyhjennys ilmalla ja kolalla <i>Unloading with air sweep and pusher</i>	5,5	1,3-16,9		
	Täyttö ja tyhjennys <i>Filling and unloading</i>			5,6	2,3-8,9
5	Täyttö ruuvikuljettimella <i>Filling with auger</i>	8,1	1,8-14,4	3,2	
6	Täyttö lietsolla ja viljan sekoitus talikolla <i>Filling with pneumatic conveyor and stirring with fork</i>	0,3	0,1-0,4	4,3	
7 <sup>3</sup>	Tyhjennys viljaruuvilla <i>Unloading with auger</i>	7,5		10,0	4,0-16,0
8	Täyttö lietsolla <i>Filling with pneumatic conveyor</i>	9,3	5,6-16,6	6,2	
	Tyhjennys rei'istä, laarien siivous <i>Unloading through holes in the floor, sweeping of bins</i>	8,7	8,2-9,1	18,8	14,4-23,5
9	Tyhjennys ja täyttö ilmalla ja ket- juelevaattorilla (laarin kääntöä) <i>Unloading and filling with air sweep and chain conveyor (stirring grain)</i>	2,3	0,2-4,7	3,1	1,2-4,8
K <sup>1</sup>	Tyhjennys ilmalla <i>Unloading with air sweep floor</i>	13,7	6,4-29,2	7,9	<0,5-14,2
	Täyttö elevaattorilla <i>Filling with bucket elevator</i>	5,3	0,2-11,7	2,4	<0,5-7,5
V <sup>2</sup>	Tyhjennys rei'istä <i>Unloading through holes in the floor</i>	4,6	1,5-8,5	14,2	1,4-37,3
	Täyttö kolakuljettimella <i>Filling with chain conveyor</i>	5,3	1,0-17,4	9,8	2,0-19,8

<sup>1</sup> VAKOLAn koekuivuri

<sup>2</sup> VAKOLAn kylmäilmakuivaamo

<sup>3</sup> VAKOLAn mittaus

<sup>1</sup> VAKOLA experimental dryer

<sup>2</sup> Ambient air dryer in VAKOLA

<sup>3</sup> Measured by VAKOLA

**Taulukko 8.** Kokonaispölypitoisuudet kiinteissä mittauspaikoissa ja hengitysvyöhykkeellä lämminilmakuivurin täytössä ja tyhjennyksessä.

**Table 8.** Total dust concentration on fixed spots and in the breathing zone during filling and unloading of the heated air dryers in the study.

Tila <i>Farm</i>	Työvaihe <i>Working stage</i>	Kokonaispölypitoisuus, mg/m <sup>3</sup> <i>Total dust concentration, mg/m<sup>3</sup></i>			
		Kiinteä mittauspaiikka <i>Fixed spot measurement</i>		Hengitysvyöhyke <i>Breathing zone</i>	
		Keskiarvo <i>Mean</i>	Vaihtelu <i>Variation</i>	Keskiarvo <i>Mean</i>	Vaihtelu <i>Variation</i>
3	Kuivaus <i>Drying</i>	0,2			
	Täyttö (kippaus) <i>Tipping to intake pit</i>	126	1,7-290		
	Kuivurin tyhjennys <i>Unloading of dryer</i>	2,2	0,6-2,8	7	
	Tyhjennys <sup>(1)</sup> <i>Unloading <sup>(1)</sup></i>	8,0	7,2-8,7	494	
4	Kuivurin tyhjennys <i>Unloading of dryer</i>	14,1			
5	Kuivurin tyhjennys <i>Unloading of dryer</i>	25,9	23,6-28,1	34,6	
7	Kuivurin tyhjennys <i>Unloading of dryer</i>	1,3	0,7-1,8	3,5	
	Varastosiilon tyhjennys <sup>(3)</sup> <i>Unloading of storage bin <sup>(3)</sup></i>	7,4		30,0	13,7-46,3
10	Kuivurin tyhjennys <i>Unloading of dryer</i>	4,2	1,2-7,2	0,5 <sup>(2)</sup>	
	Täyttö (kippaus) <i>Tipping to intake pit</i>	32,1			
11	Tyhjennys <sup>(1) (3)</sup> <i>Unloading <sup>(1) (3)</sup></i>			39,5	
VAKOLAn lämminilmakuivuri <i>Heated air dryer at VAKOLA</i>	Täyttö (kippaus) <i>Tipping to intake pit</i>	8,1	0,2-32		
	Kuivurin tyhjennys <i>Unloading of dryer</i>	2,4	0,2-5,6	2,2	
	Varastosiilon tyhjennys <i>Unloading of storage bin</i>			13,3	13,1-13,5
	Tyhjennys <sup>(1)</sup> <i>Unloading <sup>(1)</sup></i>	68,4		228	

<sup>(1)</sup> Pölysiilon tyhjennys

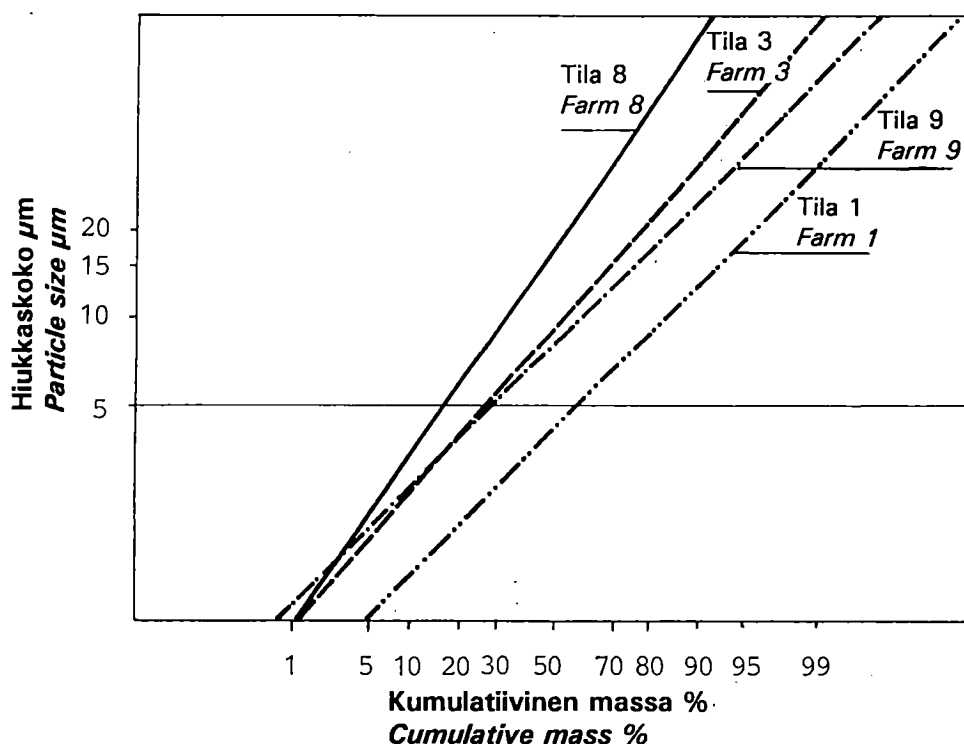
<sup>(1)</sup> *Unloading of dust bin*

<sup>(2)</sup> Täyttö ja tyhjennys

<sup>(2)</sup> *Filling and unloading*

<sup>(3)</sup> VAKOLAn mittaus

<sup>(3)</sup> *Measured by VAKOLA*



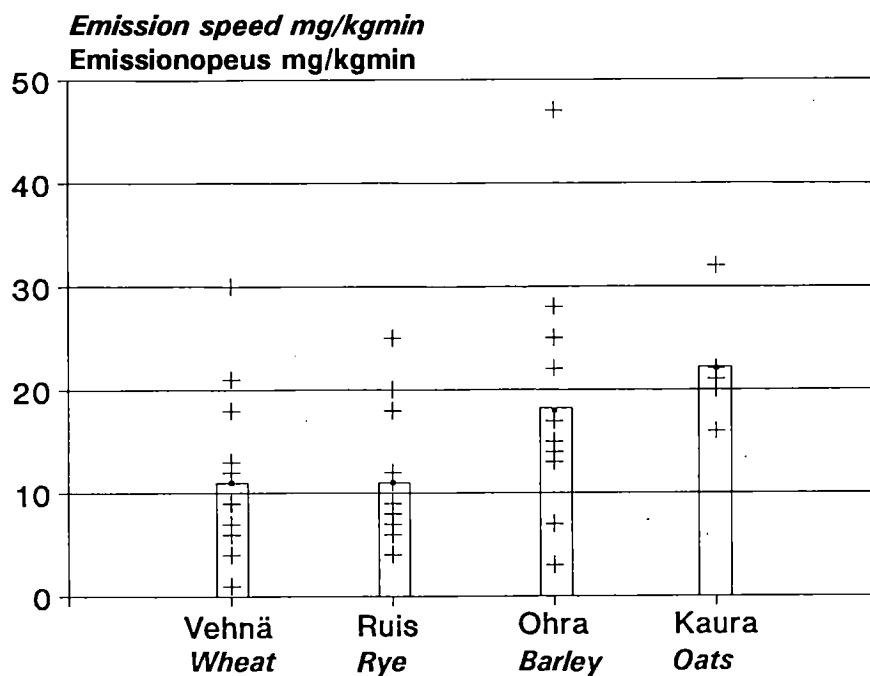
**Kuva 26.** Pölyn hiukkaskokojakaumat.  
**Picture 26.** Size distribution of grain dust.

### Hiukkaskokojakauma

Pölyn hiukkaskokojakaumia mitattiin neljällä tilalla. Kuvassa 26 on esitetty kokojakaumat graafisesti. Kuvasta laskettuna pölyn keskimääräinen hiukkaskoko ( $d_{50}$ ) oli rukiin siirtelyssä  $4,5 \mu\text{m}$  (tila 1), vehnän kuivauksessa  $9,5 \mu\text{m}$  (tila 3), kylmäilmakuivurin täytössä  $17 \mu\text{m}$  (tila 8) ja rukiin siirtelyssä  $8,0 \mu\text{m}$  (tila 9). Hienopölyn (alle  $5 \mu\text{m}$ :n pölyn) osuus em. pölynäytteistä oli vastaavasti 58 %, 28 %, 18 % ja 29 %. Tilakohtaiset erot olivat suuria sekä hiukkasten kokojakauman että hienopölyn prosentiosuuden suhteen. Hienopölyn osuuksien avulla voidaan arvioida hengityksen mukana keuhkoihin ja keuhkoputkiin tulevan pölyn määrää.

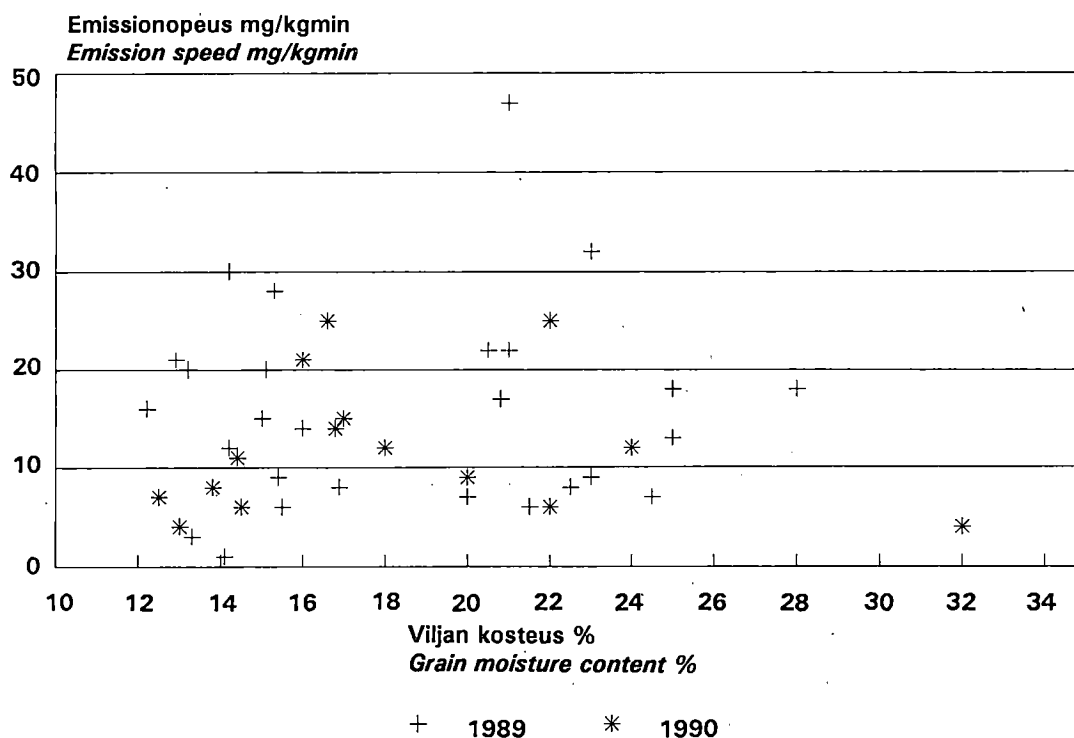
### 5.3. Viljalajien pölyävyys

Viljan pölyävyyden selvittämiseksi tiloilta otettiin viljanäytteitä. Pölyävyytulokset on esitetty kuvassa 27. Emissionopeuden keskiarvot eri viljalajeilla olivat seuraavat: vehnä  $0,011 \text{ g/kgmin}$ , ruis  $0,011 \text{ g/kgmin}$ , ohra  $0,018 \text{ g/kgmin}$  ja kaura  $0,022 \text{ g/kgmin}$ . Ohran ja kauran emissionopeudet ovat suurimmat, mutta aineiston suuren hajonnan takia erot eivät ole tilastollisesti merkitseviä. Kauran pölyemissionopeus näyttää poikkeavan hieman muista, mutta havaintojen vähäisen määrän takia tulos on epävarma. Viljan pölyävyydessä ei ollut eroja vuosien 1989 ja 1990 välillä. Viljan kosteus ei myöskään näyttänyt vaikuttavan pölyävyyteen (kuva 28).



Pylväs osoittaa emissionopeuden keskiarvon.  
*The bars show mean values of emission speed.*

**Kuva 27.** Pölyn emissionopeus eli eri viljalajien pölyämien.  
**Picture 27.** *Dust emission speed of cereals; mg of dust per kg handled grain per minute.*



**Kuva 28.** Viljan kosteuden vaikutus pölyämiseen vuosina 1989 ja 1990.  
**Picture 28.** *The effect of grain moisture content on dust emission in 1989 and 1990.*

#### 5.4. Sieni-itiöpitoisuudet

Tutkimuksen ensimmäisen vaiheen aikana otettiin ilman sieni-itiöpitoisuuden määrittämiseksi näytteitä 11 tilalla (liite 1). Taulukossa 9 on esitetty kylmä- ja lämminilmakuivaamoissa mitattuja sieni-itiöpitoisuuksia.

Korkeimmat keskimääräiset sieni-itiöpitoisuudet mitattiin kuivureiden täytön ja tyhjennyksen aikana (lämminilmakuivurissa täyttö tarkoittaa kippausta kaatosuppiin). Kuivurityyppi ei vaikuttanut sieni-itiöpitoisuuteen.

**Taulukko 9.** Sieni-itiöpitoisuuksien keskiarvot kylmä- ja lämminilmakuivureissa (cfu/m<sup>3</sup>).

**Table 9.** Average fungal spore concentrations (cfu/m<sup>3</sup>) in the ambient air dryers and heated air dryers in the study.

Työvaihe <i>Working stage</i>	Täyttö <i>Filling</i>		Kuivaus <i>Drying</i>		Tyhjennys <i>Unloading</i>	
	K (n=4)	L (n=0)	K (n=1)	L (n=1)	K (n=4)	L (n=4)
Sieniryhmä <i>Fungal group</i>						
Mesofiiliset sienet <i>Mesophilic fungi</i>	227500	ND	41000	42000	187500	265000
Xerofiiliset sienet <i>Xerophilic fungi</i>	170250	ND	77000	20000	134000	65750
Termotolerantit sienet <i>Thermotolerant fungi</i>	84063	ND	26000	22000	25875	5100
Yhteensä <i>Total</i>	481813	ND	144000	84000	347375	335850

K = kylmäilmakuivuri, L = lämminilmakuivuri  
*ambient air dryer heated air dryer*

ND = ei määritetty  
*not determined*

*C. cladosporioides* ja hiivat (*R. glutinis* ja muut hiivat) olivat hallitsevina lajeina molemmissa kuivurityypeissä. *Penicillium*-pitoisuudet olivat lämminilmakuivureissa pääsääntöisesti korkeampia kuin kylmäilmakuivureissa. Molemmissa kuivurityypeissä esiintyneistä *Penicillium*- ja *Aspergillus*-lajeista valtaosa oli huonelämpötilassa kasvavia lajeja. Esimerkiksi termotoleranttien *Penicillium*-sienten osuus tyhjennysvaiheen kaikista *Penicillium*-sienistä oli molemmissa kuivurityypeissä vain 1 - 3 %. Lähes kaikki näytteissä tavatuista lämpökestoisista sienistä olivat hiivoja tai steriilejä sieniä (liite 2).

Muissa keräyspaikoissa esiintyi lähinnä *C. cladosporioides*, hiivoja ja steriilejä sieniä. Pölysiilon tyhjennyksestä ja sisältä otetuissa näytteissä esiintyi pääasiassa *Penicillium*-lajeja ja *Aspergillus fumigatus*. Myös pölysiilon tyhjennyksestä otetussa pölynäytteessä esiintyi runsaasti kyseisiä sieniä (liite 3).

## 5.5. Toteutetut pölynvähentämiskäytännöt

Vuoden 1990 kesällä tehtiin kolmeen kylmäilmakuivaamoon ja kahteen lämminilma-kuivaamoon muutoksia, joiden avulla kuivaamon pölyisyyttä pyrittiin vähentämään. Kohteiksi valittiin sellaiset kuivaamot, joissa muutokset oli suhteellisen helppo toteuttaa ja joissa oli odotettavissa selvää parannusta vallitsevaan tilanteeseen.

Niissä kuivaamoissa, joihin tehtiin muutoksia, mitattiin syksyllä 1990 pölypitoisuuksia uudelleen. Mittaukset tehtiin mahdollisuuksien mukaan niin, että niissä kuivaamoissa, joissa käytettiin kohdepoistoa, kokonaispölypitoisuus mitattiin myös kohdepoistomurinin ollessa pois käytöstä. Vertailun aikana mittauksissa pyrittiin käyttämään keskenään samanlaista viljaa. Edellä mainittujen kuivaamojen lisäksi mitattiin pölypitoisuuksia yhdellä tilalla, jossa isäntä oli omatoimisesti tehnyt pölyisyyttä vähentäviä muutoksia.

Pölyhaittoja pyrittiin vähentämään sekä pölynpoistoratkaisuilla että parantamalla kuivurin toimivuutta niin, että käsityö vähenee. Pölyisimpiä työvaiheita tiloilla olivat viljan kippaus kaatosuppiloon, kylmäilmakuivurin tyhjennys, varastosiilojen täyttö ja pölysiilon tyhjennys.

Viljan kippauksen aikana ja varastosiilojen täytössä syntyvän pölyn leviämistä pyrittiin vähentämään kohdepoistolla. Kylmäilmakuivurin ilmapohjatyhjennyksen pölyhaittoja pyrittiin vähentämään tyhjennyksen toimivuutta parantamalla. Lisäksi kokeiltiin millainen vaikutus pölyämiseen on sillä, että kuivausilmapuhaltimen pyörimissuunta vaihdetaan kylmäilmakuivurin täytön ja tyhjennyksen ajaksi.

### 5.5.1. Kylmäilmakuivaamot

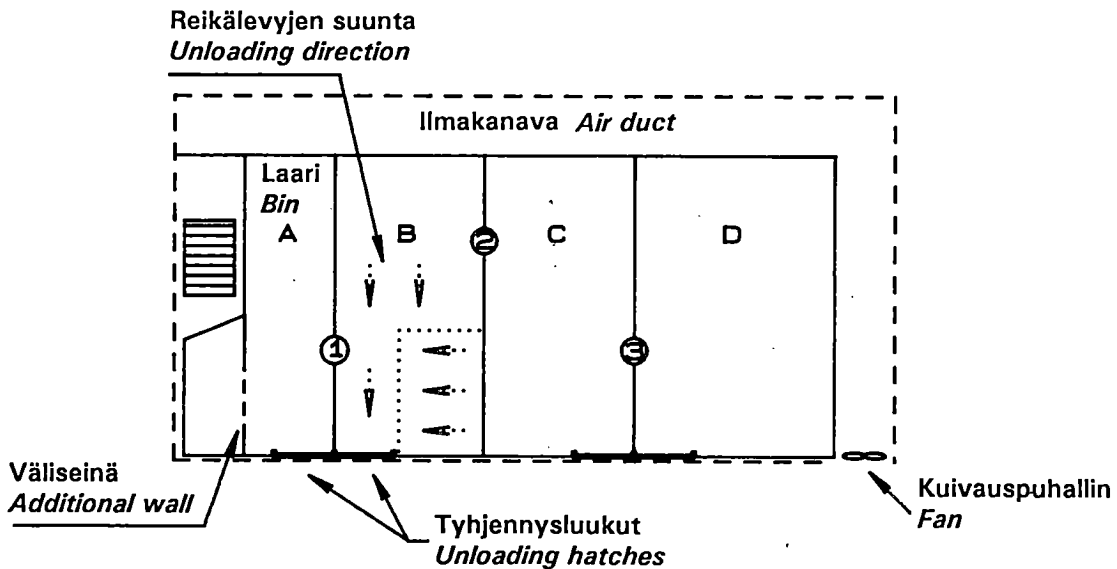
#### Tila 1

Kylmäilmakuivuri (kuva 29) tyhjenetään ilmapohjatyhjennyksellä. Laarit eivät kuitenkaan tyhjentyneet kunnolla, vaan viljelijän oli autettava lapiolla tyhjennyksen loppuvaiheessa. Lapiointi edellyttää työskentelyä laarissa tyhjennyksen aikana. Kuivaamon ilma oli tyhjennyksen aikana erittäin pölyistä. Viljelijä käytti tyhjennyksen aikana moottoroitua hengityksensuojainta.

Laarien huono tyhjentyminen näytti johtuvan siitä, että tyhjennysluukut olivat kapeampia kuin laari. Luukkujen leventäminen laarien levyisiksi helpottaisi tyhjentymistä. Samalla myös osa suomulevyistä jouduttaisiin kääntämään 90°. Kyseessä on melko paljon työtä vaativa toimenpide mutta se parantaisi todennäköisesti kuivurin toimivuutta huomattavasti.

Edellä mainittuja muutostöitä ei tutkimuksen aikana kuitenkaan ollut mahdollista toteuttaa. Mittauksia varten kuivurin yksi laari (laari A) jaettiin väliseinällä siten, että saatiin tyhjennysluukun levyinen osasto (kuva 29). Ennen muutosta ja muutoksen jälkeen mitatut kokonaispölypitoisuudet on ilmoitettu taulukossa 10. Tuloksia tarkasteltaessa on huomattava, että tyhjennykseen kulunut aika oli muutosten

jälkeen tehdyissä mittauksissa huomattavasti lyhyempi kuin ennen muutoksia. Lyhentynyt tyhjennysaika johtui pääasiassa pienemmästä viljamäärästä, mutta osittain myös parantuneesta tyhjennyksen toiminnasta. Alkuvaiheen pöllähdys voi korostua tuloksissa, kun tyhjennysaika on lyhyt. Pölyntorjunnan kannalta on huomattava, että muutoksen jälkeen laari tyhjieni kokonaan puhaltimen ilmalla. Kun laarissa ei enää tarvitse tyhjennyksen aikana olla, niin pölylle altistuminen vähenee.



**Kuva 29.** Tilan 1 kylmäilmakuivaamo muutosten jälkeen. Syksyn 1990 mittauspaikat on merkitty numeroilla.

**Picture 29.** Ambient air dryer on farm 1 after modifications. The location of measuring spots in 1990 is marked with numbers.

**Taulukko 10.** Kokonaispölypitoisuudet kiinteissä mittauspaikoissa tilan 1 kuivurissa (1989 rukiin kosteus 15,9 %, 1990 rukiin kosteus 14,4 %).

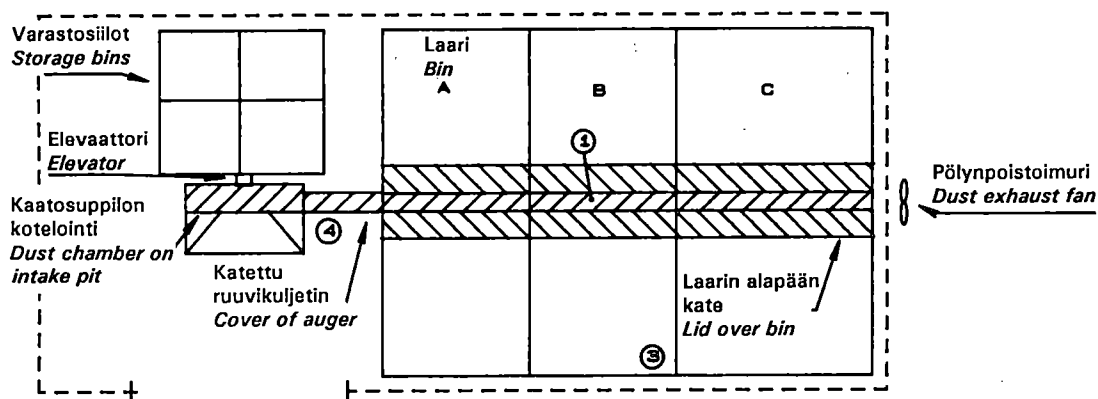
**Table 10.** Total dust concentrations on fixed spots on farm 1 (in 1989 the moisture content of rye was 15.9 %, in 1990 the moisture content of rye was 14.4 %).

Työvaihe Working stage	Mittauspaikka Measurement place	Kokonaispölypitoisuus Total dust concentration mg/m <sup>3</sup>	
		Ennen muutoksia (1989) Before modifications	Muutosten jälkeen (1990) After modifications
Tyhjennys Unloading	2	45,5	133
	3	10,7	70,1



## Tila 2

Kylmäilmakuivurissa (kuva 13) ilmatyhjennys toimi hyvin, mutta jyvät saavuttivat tyhjennyksessä niin suuren nopeuden, että osa niistä sinkoili toisiin laareihin. Koska tilalla viljellään siemenviljaa, ei jyvien sekoittumista voida sallia. Tämän vuoksi viljelijä tyhjensi laarit kolalla kuivurin keskellä olevalle vaakakuljettimelle. Ruuvikuljetin nostatti melkoisesti pölyä kuivaamon ilmaan.

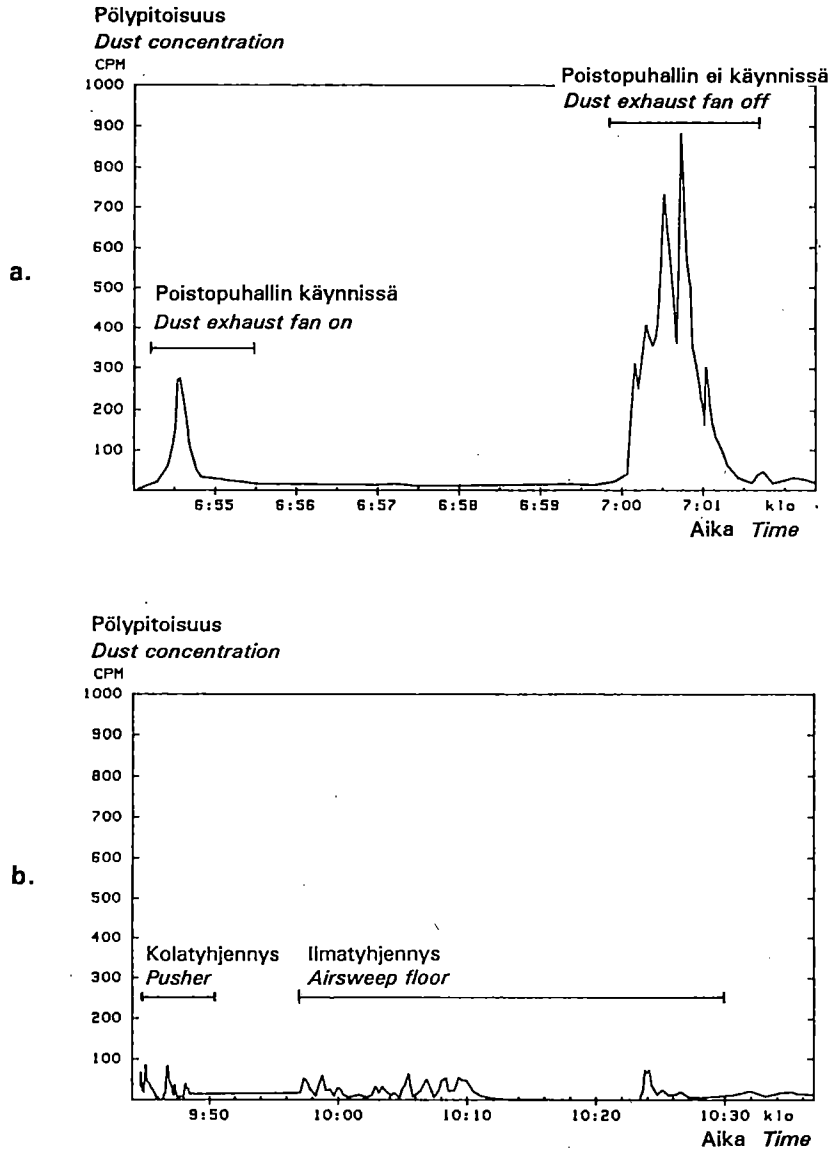


**Kuva 30.** Tilan 2 kylmäilmakuivuri muutosten jälkeen. Muutoksien sijainti on merkitty vinoviivoituksella. Vuoden 1990 mittauspaikat on merkitty numeroilla.

**Picture 30.** Ambient air dryer on farm 2 after modifications. Modifications are marked with diagonal pattern. The location of measuring spots in 1990 is marked with numbers.

Kuivuriin tehtiin kuvan 30 mukaiset muutokset. Ruuvikuljetin koteloitiin ja näin muodostuneen tunnelin toiseen päähän asennettiin puhallin. Laarien tasokuljettimen puoleiseen päähän tehtiin kuvan mukaiset "roiskesuojat" estämään jyvien sinkoilua. Kaatosuppilon takaosaan rakennettiin huuva, joka peitti noin kolmasosan kaatosuppilon pinta-alasta. Ruuvikuljettimen kotelo yhdistettiin huuvaan niin, että se toimii kippauksen aikana huuvan imukanavana. Nämä parannukset olivat suhteellisen helppoja toteuttaa. Katteet ja huuva tehtiin paksusta kovalevystä ja laudasta. Imurina käytettiin vanhassa kylmäilmakuivurissa ollutta 7,5 kW:n potkuripuhallinta. Muutostyön kustannukset jäivät varsin alhaisiksi. Suurimman menoerän muodosti tässä tapauksessa sähköistys.

Muutosten jälkeen ruuvikuljettimen aiheuttama pölyäminen väheni huomattavasti. Kaatosuppiloon kipattaessa pölyä levisi myös huomattavasti vähemmän (kuva 31a). Ilmatyhjennystä käytettäessä jyviä ei enää lentänyt laarista toiseen. Poistomuri on voi olla käynnissä myös ilmatyhjennyksen aikana. Kuvassa 31b on kuvattu hienopölypitoisuuden vaihtelua kuivaamossa kola- ja ilmatyhjennyksen aikana.



- Kuva 31.** a) Poistopuhallin vähensi selvästi pölyisyyttä kippauksessa kaatosuppiloon.  
b) Hienopölypitoisuuden vaihtelua kola- ja ilmatyhjennyksen aikana poistomurin käydessä. Ilmatyhjennyksessä hienopölypitoisuus verrattuna kolatyhjennykseen ei kohonnut, mutta karkeaa pölyä oli runsaasti ilmassa.
- Picture 31.** a) Use of a dust extraction fan clearly reduced the dust concentration when tipping grain to the intake pit.  
b) Variation of fine dust concentration during unloading with pusher and air sweep floor. A dust extraction fan is in use in both cases. The fine dust concentration seemed to be on the same level with both unloading methods, but there was much more coarse dust in the air when air sweep floor was used.

Muutosten vaikutus kokonaispölypitoisuuksiin on esitetty taulukossa 11. Vuoden 1989 mittauksissa viljana oli vehnä ja 1990 mittauksissa ruis. Ilmatyhjennystä ei mitattu vuonna 1989.

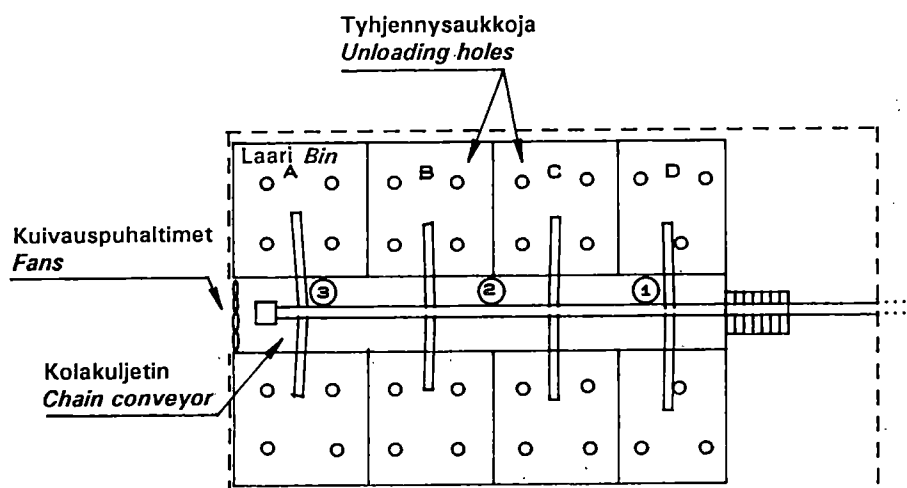
**Taulukko 11.** Kokonaispölymittausten tulokset tilalla 2 kiinteissä mittauspaikoissa ja hengitysvyöhykkeellä ennen ja jälkeen muutoksia. Vuoden 1989 mittauksissa on rukiin kosteus ollut 13,2 % ja vuoden 1990 mittauksissa vehnän kosteus on ollut 13 %.

**Table 11.** Total dust concentrations on farm 2 on fixed spots and in the breathing zone before and after modifications. In 1989 the moisture content of rye was 13.2 % and in 1990 the moisture content of wheat was 13 %.

Työvaihe Working stage	Mittauspaikka Measurement place	Kokonaispölypitoisuus Total dust concentration mg/m <sup>3</sup>		
		Ennen muutoksia (kolatyhj. 1989) Before modifications (pusher 1989)	Muutosten jälkeen (kolatyhj. 1990) After modifications (pusher 1990)	Muutosten jälkeen (ilmatyhj. 1990) After modifications (airsweep floor)
Tyhjennys Unloading	1	1,4	0,1	3,8
	3 <sup>1)</sup>	4,5	1,9	7,5
	4	15,6	1,5	16,9
	Hengitysvyöhyke Breathing zone	8,9	2,3	18,8

<sup>1)</sup> Sama kuin mittauspaikka 2 1989  
Same as measurement spot 2 in 1989.

## VAKOLAn kylmäilmakuivuri



**Kuva 32.** VAKOLAn kylmäilmakuivuri. Mittauspaikat on merkitty numeroilla.  
**Picture 32.** Ambient air dryer on VAKOLA farm. The location of measuring spots is marked with numbers.

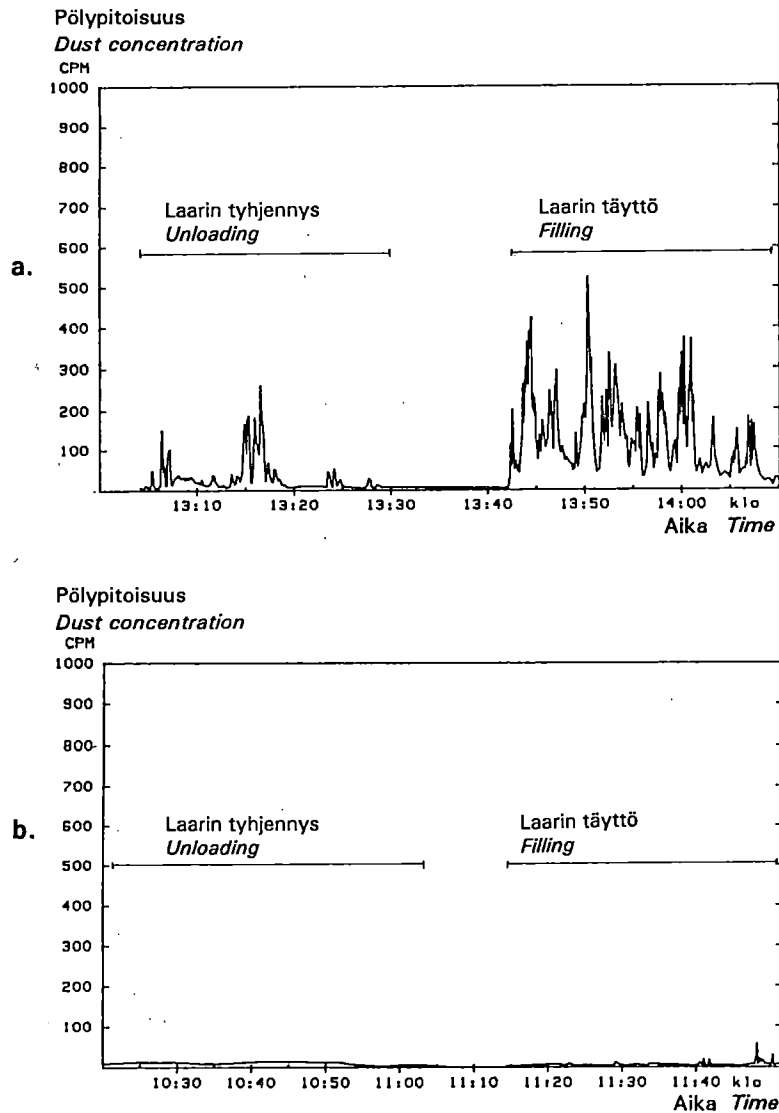
Kuivuri (kuva 32) täytetään vaakakuljettimella (ketjuelevaattori). Kuljettimen jakoputkia pidennetään ja lyhennetään täytön aikana, jotta laarit täyttyisivät tasaisesti. Lisäksi viljaa tasataan kolalla. Työvaihe on hyvin pölyinen. Kuivuri tyhjenetään laarien pohjassa olevien tyhjennysluukkujen kautta. Koska kuivurin alapuolinen tila on avoin, pääsee tuuli puhaltamaan alakautta tyhjennysaukkojen läpi, jolloin ilmapirta nostattaa pölyä työntekijöiden silmille. Kuivurin alapuolisessa tilassa on liukuovet, jotka kuitenkin yleensä ovat tyhjennyksen aikana auki, koska traktori ja perävaunu eivät muuten sovi tyhjennysluukkujen kohdalle.

Pölyämistä kuivurin täytössä olisi voitu jonkin verran vähentää sopivilla työjärjestelyillä. Esimerkiksi kuivurin täyttö voitaisiin järjestää siten, että vilja lavoilla tasoitettaisiin vasta sitten, kun kaikki vilja on ensin siirretty lavalle. Tämä ratkaisu ei kuitenkaan vähentäisi pölyämistä kuivuria tyhjenettäessä. Kuivurissa päätettiinkin käyttää kuivauspuhaltimia pölynpoistimureina. Tämä ratkaisu toteutettiin asentamalla kuivauspuhaltimiin suunnanvaihtokytkimet, jolloin puhaltimia voitiin laarien täytön ja tyhjennyksen aikana pyörittää "väärinpäin". Kuivauspuhaltimet osoittautuivat varsin tehokkaiksi pölynpoistimureiksi. Vaikutus kokonaispölypitoisuuksiin on esitetty taulukossa 12. Kuvissa 33a ja 33b nähdään pohjaimun vaikutus hienopölypitoisuuteen laarin tyhjennyksen ja täytön aikana.

**Taulukko 12.** Kokonaispölypitoisuudet kiinteissä mittauspaikoissa ja hengitysvyöhykkeellä VAKOLAn kylmäilmakuivurissa 1990. Mittauksissa ohran kosteus on ollut 16,6 %.

**Table 12.** Total dust concentrations measured on fixed spots and in breathing zone in VAKOLA's ambient air dryer in 1990. The tested cereal was barley whose moisture content was 16.6 %.

Työvaihe <i>Working stage</i>	Mittauspaikka <i>Measurement spot</i>	Kokonaispölypitoisuus <i>Total dust concentration</i> mg/m <sup>3</sup>	
		Ennen muutoksia <i>Before modifications</i>	Muutosten jälkeen <i>After modifications</i>
Täyttö <i>Filling</i>	3	17,4	1,8
	Hengitysvyöhyke <i>Breathing zone</i>	19,8	2,0
Tyhjennys <i>Unloading</i>	3	3,0	1,5
	Hengitysvyöhyke <i>Breathing zone</i>	3,9	1,4



**Kuva 33.** Pohjaimu vähentää selvästi pölypitoisuutta sekä kuivurin tyhjennyksessä että täytössä. a) imuri ei käytössä, b) imuri käytössä.

**Picture 33.** Suction of air through the perforated floor of the bins in an ambient air dryer during filling and unloading of the bins clearly reduces the dust concentration. a) suction off, b) suction on.

### Koekuivuri

VAKOLAan rakennetussa koekuivurissa (kuva 19, sivu 34) kokeiltiin erilaisten kuivurin täyttö- ja tyhjennystapojen vaikutusta pölyävyyteen. Koekuivurissa testattiin myös pölynvähentämiskäytännöt etukäteen pienessä mittakaavassa ennen niiden soveltamista käytäntöön.

Koekuivurissa on kuivurin täyttöä varten pieni kaatosuppilo ja elevaattori. Elevaattorissa ei kuitenkaan ole esipuhdistinta. Lisäksi kuivuri voidaan täyttää suoraan traktorin peräkärriästä joko tavallisella ruuvikuljettimella tai imupainelietsoilla. Imupainelietson sykloni on kiinnitetty rakennuksen kattoon, josta vilja ohjataan putkella kuivuriin. Lietson puhallusilma menee suoraan ulos. Kuivuri

voidaan tyhjentää kuivauspuhaltimen ilmalla vaakakuljettimelle, joka vie viljan edelleen kaatosuppiloon. Viljaruuvia tai imupainelietsoa käytettäessä vilja menee suoraan traktorin peräkärriin.

Taulukossa 13 on vertailtu erilaisten kuivurin täyttö- ja tyhjennystapoja keskenään. Pölypitoisuudet on mitattu VAKOLAn laitteilla. Kiinteä mittauspaiikka oli täytettävän laarin yläpuolella noin kahden metrin korkeudessa. Mittauksissa käytetty kaura ei ole samaa viljaerää, joten tuloksissa voi olla tästä johtuvaa hajontaa. Esimerkiksi elevaattorilla täytettäessä vilja on ollut selvästi kuivempaa kuin muita täyttömenetelmiä käytettäessä.

Kiinteissä mittauspaiikoissa mitatut pölypitoisuudet olivat yhtä (tyhjennys imupainelietsoilla) lukuunottamatta moninkertaisia haitallisiksi tunnettuihin pitoisuuksiin nähden. Hengitysvyöhykkeeltä mitatut pölypitoisuudet kuvaavat paitsi työntekijän pölyaltistuksen määrää myös sitä aikaa, jonka työntekijä joutuu olemaan pölylähteen lähellä. Tästä johtuvat ristiriitaisilta näyttävät tulokset, kun kuivuri on tyhjennetty ruuvikuljettimella tai ilmapohjatyhjennyksellä (suomulevy). Sekä kuivurin täytössä että tyhjennyksessä mitattiin pienimmät pölypitoisuudet imupainelietsoa käytettäessä. Mikäli lietson puhallusilma jäisi huonetilaan, pölypitoisuudet kasvaisivat huomattavasti.

**Taulukko 13.** Kokonaispölypitoisuus koekuivurissa erityyppisä viljansiirtolaitteita käytettäessä.

**Table 13.** Total dust concentration in VAKOLA's experimental dryer when using different grain conveyors.

Työvaihe, viljalaji ja kosteus <i>Working stage, cereal and moisture content</i>	Kuljetin <i>Type of conveyor</i>	Kokonaispölypitoisuus, mg/m <sup>3</sup> <i>Total dust concentration, mg/m<sup>3</sup></i>	
		Kiinteä mittausta <i>Fixed spot</i>	Hengitysvyöhyke <i>Breathing zone</i>
Täyttö, kaura 13 % <i>Filling, oats 13 %</i>	Elevaattori <i>Elevator</i>	71,8	42,9
Täyttö, kaura 19 % <i>Filling, oats 19 %</i>	Ruuvikuljetin <i>Auger</i>	50,8	35,1
Täyttö, kaura 22 % <i>Filling, oats 22 %</i>	Imupainelietso <i>Pneumatic conveyor</i>	20,4	4,5
Tyhjennys, kaura 13 % <i>Unloading, oats 13 %</i>	Suomulevy <i>Airsweep floor</i>	120,8	19,6
Tyhjennys, kaura 15 % <i>Unloading, oats 15 %</i>	Ruuvikuljetin <i>Auger</i>	33,3	53,1
Tyhjennys, kaura 14 % <i>Unloading, oats 14 %</i>	Imupainelietso <i>Pneumatic conveyor</i>	4,3	5,8

Koekuivurissa kokeiltiin kuivauspuhaltimen käyttöä pölynpoistoimurina kuivurin täytön aikana eli kuivauspuhallin kytkettiin täytön ajaksi pyörimään takaperin.

Kokeessa kuivuri täytettiin elevaattorilla, mutta muut täyttömenetelmät olisivat sopineet yhtä hyvin. Samoin pohjaimua voitaisiin käyttää myös kuivurin tyhjennyksessä ellei sitten tyhjenettä puhaltimen ilmalla. Kokeen tulokset on esitetty taulukossa 14. Kokonaispölypitoisuudet olivat muutosten jälkeen selvästi alle orgaanisen pölyn HTP-arvon  $5 \text{ mg/m}^3$ . Nämä mittaukset on tehnyt KATTTL.

**Taulukko 14.** Kokonaispölypitoisuudet kiinteissä mittauspaikoissa ja hengitysvyöhykkeellä VAKOLAn koekuivurissa.

**Table 14.** Total dust concentration on fixed measuring spots and in the breathing zone in the experimental dryer at VAKOLA.

Työvaihe, viljalaji ja kosteus <i>Working stage, cereal and moisture content</i>	Mittauspaikka <i>Measuring spot</i>	Kokonaispölypitoisuus, $\text{mg/m}^3$ <i>Total dust concentration, <math>\text{mg/m}^3</math></i>	
		Ennen muutoksia <i>Before modifications</i>	Muutosten jälkeen <i>After modifications</i>
Täyttö elevaattorilla, vehnä 14,5 % <i>Filling with elevator, wheat 14,5 %</i>	3	9,1	0,2
	4	8,5	1,7
	5	11,7	0,5
	hengitysvyöhyke <i>breathing zone</i>	1,1	< 0,5
		7,5	< 0,5

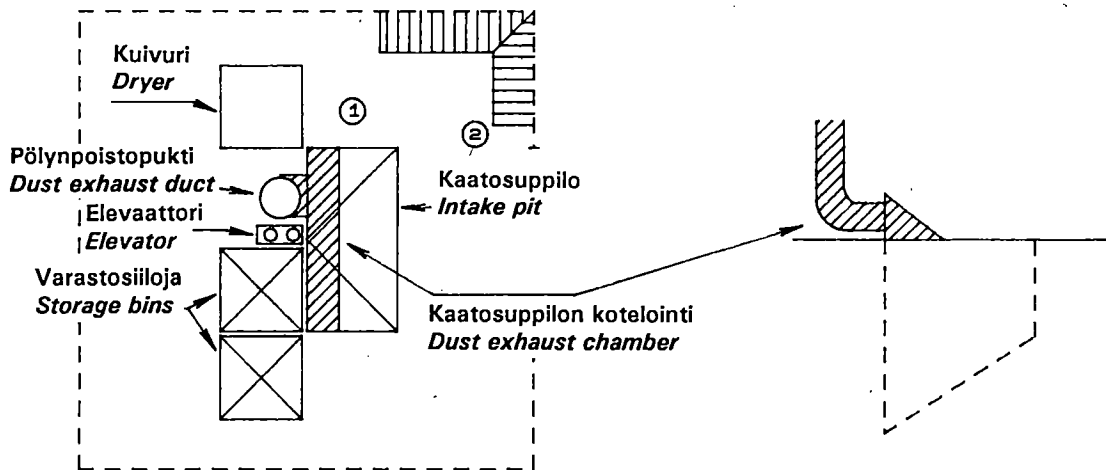
### 5.5.2. Lämminilmakuivaamot

#### Tila 3

Tilan lämminilmakuivurissa (kuva 20) mitattiin suuria pölypitoisuuksia kaatosuppiloon kipattaessa ja pölysiiloa tyhjennettäessä. Tyhjennettäessä kuivuria pääsee pölyä leviämään kuivuriin varastosiilon avonaisesta luukusta. Pahin ongelma on kuitenkin pölysiilon tyhjennys, koska viljelijä joutuu menemään siilon sisälle lapioimaan pölyä ulos tyhjennysluukusta. Tässä työssä mitattiin erittäin suuret pölypitoisuudet hengitysvyöhykkeeltä (taulukko 8). Tilanteen korjaamiseksi pölysiilon rakenne olisi muutettava sellaiseksi, että siiloon ei tyhjennyksen yhteydessä tarvitse mennä. Tämä onnistuisi esimerkiksi johtamalla kuivurin pölyt konttiin, jolloin erillistä tyhjennettävää pölysiiloa ei tarvittaisi. Näin laajoja muutostöitä ei kuitenkaan tutkimuksen kestäessä voitu tehdä.

Pölyämistä kaatosuppiloon kipattaessa pyrittiin vähentämään rakentamalla suppilon takaosaan kuvan 34 mukainen huuva. Huuva tehtiin pellistä taivuttamalla. Pölyt johdettiin 500 mm kierresaumaputkella kuivurin yläkertaan ja sieltä takaseinän läpi ulos. Pölynpoistomurina käytettiin 4 kW:n potkuripuhallinta, joka sijoitettiin kuivurin takaseinälle. Pölynpoiston vaikutus kokonaispölypitoisuuksiin kaatosuppiloon kipattaessa on esitetty taulukossa 15. Taulukossa viimeisenä olevan

rukiin kippauksen pölypitoisuus kaatosuppilon vieressä (mittauspaikka 1) on selvästi muita suurempi. Tähän vaikutti todennäköisesti viljan pölyisyyden lisäksi muita suurempi kippausnopeus. Kauempana kaatosuppilosta (mittauspaikka 2) pölyn määrä oli kuitenkin vähäinen. Tämä kertoo siitä, että imuri on estänyt pölyn leviämistä kuivaamoon, vaikka ei ole pystynyt imemään kaikkea pölyä pois kaatosuppilon ympäriltä. Jotta imuri toimisi hyvin, kaatosuppiloon pitäisi kipata hieman normaalia pienemmällä nopeudella.



**Kuva 34.** Kaatosuppilon kotelointi tilan 3 lämminilmakuivaamossa. Mittauspaikat on numeroitu.

**Picture 34.** A dust exhaust chamber was fitted to the intake pit in the heated air dryer on farm 3. The location of measuring spots is marked with numbers.

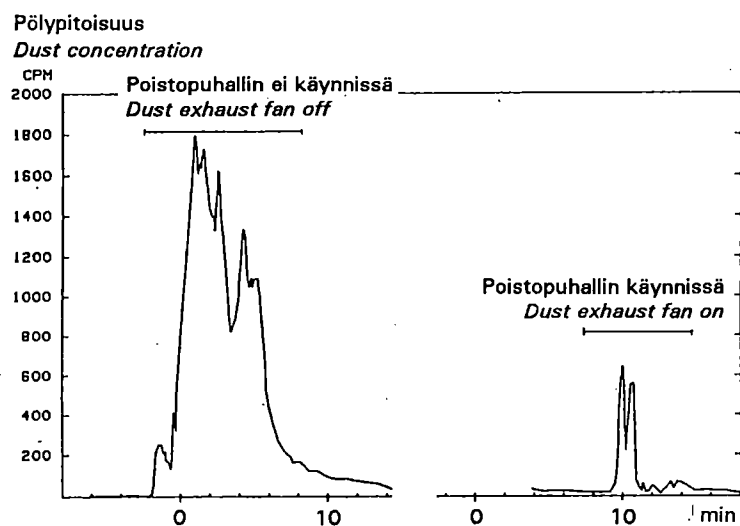
**Taulukko 15.** Kokonaispölypitoisuudet kiinteissä mittauspaikoissa tilan 3 lämminilmakuivurissa kaatosuppilon ympärillä.

**Table 15.** Total dust concentrations on fixed spots near the intake pit of the heated air dryer on farm 3. Before and after the dust exhaust in picture 34 was fitted.

Työvaihe, viljalaji- ja kosteus Working stage, cereal and moisture content	Mittauspaikka Measuring place	Kokonaispölypitoisuus, mg/m <sup>3</sup> Total dust concentration, mg/m <sup>3</sup>	
		Ennen muutoksia Before modifications	Muutosten jälkeen After modifications
Kippaus, vehnä 16 % (ennen muutoksia) ja 22 % (muutosten jälkeen) Tipping to intake pit, wheat 16 % (before modifications) and 22 % (after modifications)	1	228	1,7
Kippaus, ohra 16,8 % Tipping to intake pit, barley 16.8 %	1	344	3,4
	2	124	0,6
Kippaus, ruis 21 % Tipping to intake pit, rye 21 %	1	-	290
	2	-	3,1



Pölynpoiston vaikutus hienopölypitoisuuteen nähdään kuvassa 35. Kuvassa on malliltaan tyypillinen kaatosuppiloon kippauksessa syntyvä käyrä. Käyrästä nähdään myös, että vaikka kippaus kestää vain pari minuuttia, niin hienopölypitoisuus pysyy korkeana paljon pitemmän ajan. Pölynpoistoimurin käyttö sekä vähentää että lyhentää pölyämistä.



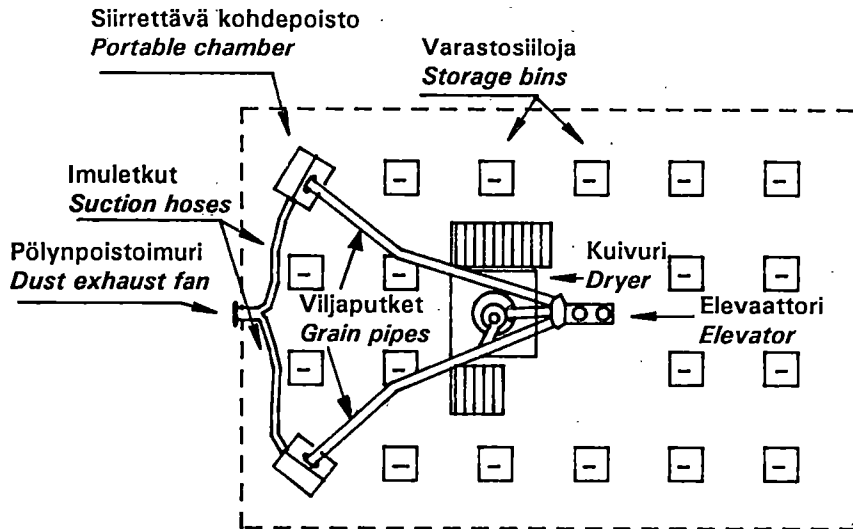
**Kuva 35.** Pölynpoistopuhaltimen vaikutus hienopölypitoisuuteen kaatosuppiloon kippattaessa.  
**Picture 35.** Fine dust concentration when tipping to the intake pit without and with dust extraction (picture 34).

Pölyämistä varastosiiloja täytettäessä voitaisiin vähentää järjestämällä varastosiiloihin kohdepoisto. Kohdepoistoon käy sama 4 kW imuri kuin kaatosuppilon pölynpoistossa, mutta imuputkeksi riittää 100 - 200 mm putki. Putkituksen voi toteuttaa joko kiinteällä tai haitariputkella (vertaa VAKOLAn lämminilmakuivuri). Putki voidaan liittää kaatosuppilon pölynpoistoputkeen sopivassa kohdassa. Lisäksi putkeen on hyvä lisätä sulkuventtiili, jotta voidaan valita poistetaanko pölyä varastosiiloista vai kaatosuppilosta.

### VAKOLAn lämminilmakuivaamo

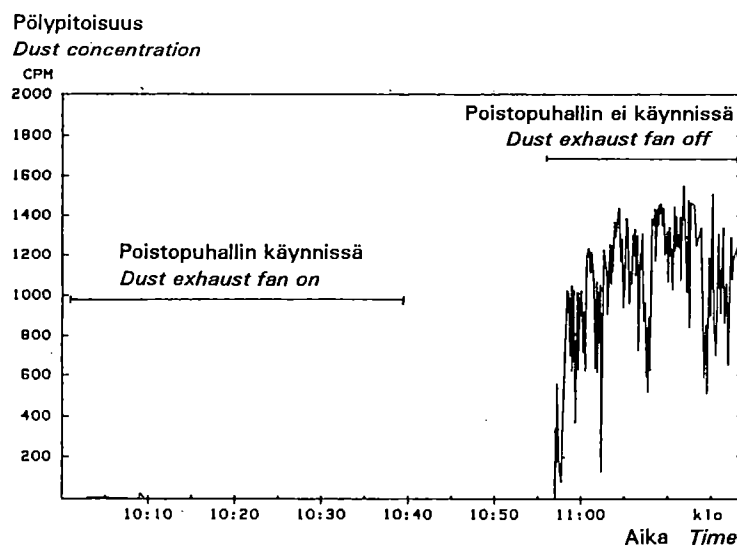
Pölyongelmat VAKOLAn lämminilmakuivaamossa ovat hyvin samantapaisia kuin tilan 3 kuivaamossa. Varastosiiloja täytettäessä kuivaamon yläkertaan leviää pölyä. Suuresta ja syvästä kaatokuilusta leviää pölyä koko kuivurirakennukseen viljaa kuiluun kippattaessa. Osa varastosiiloista on kaatosuppilon yläpuolella ja tyhjenetään suoraan kaatosuppiloon. Muodostunut sakea pölypilvi pysyy kauan kuivurin ilmassa. Pölysiilon tyhjennys muodostaa ongelman myös tässä kuivaamossa. Pölysiilo on tavallinen kartiopohjainen viljasiilo. Pohjakartion yhteen sivuun on tehty luukku, josta siilo tyhjenetään kolan avulla traktorin perävaunun lavalle. Siiloa tyhjenettäessä mitattiin tassäkin kuivaamossa erittäin suuret pölypitoisuudet

hengitysvyöhykkeeltä (taulukko 8). Pölysiilon pölyämisen vähentäminen vaatisi samantapaisia toimenpiteitä, mitä esitettiin edellisen kuivaamon yhteydessä.



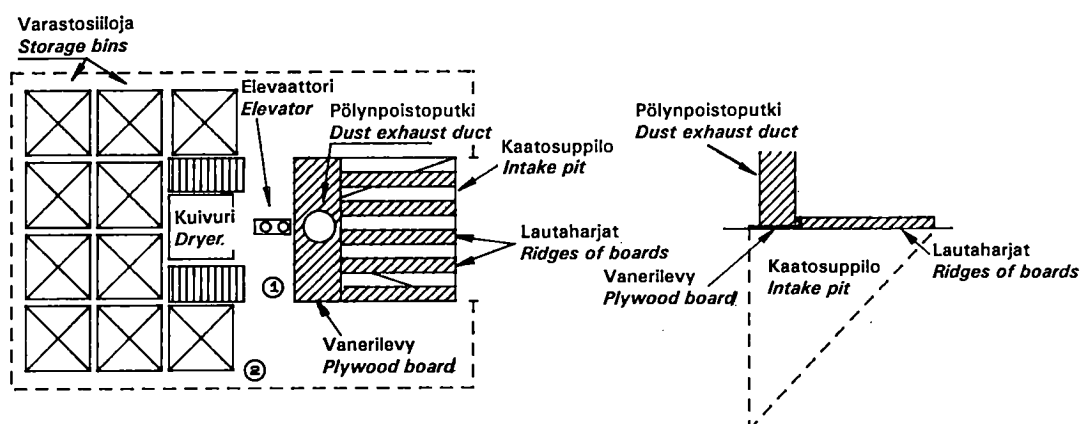
**Kuva 36.** Pölynpoistolaitteisto varastosilojen täyttöä varten.  
**Picture 36.** Dust extraction system for filling of storage bins.

Pölyämisen vähentämiseksi varastosiilon täytössä rakennettiin siilojen täyttöaukkojen päälle sopivat siirrettävät kotelot (kuva 36). Kotelot yhdistettiin taipuisalla 100 mm:n haitariletkulla noin 0,5 kW keskipakoispuhaltimeen, joka puhalsi pölyt suoraan ulkoilmaan. Kuvassa 37 nähdään koteloinnin vaikutus alle  $10\ \mu\text{m}$  hienopölyn määrään varastosiloja täytettäessä. Mittaus on tehty noin puolen metrin päästä siilon täyttöaukosta. Kuvan vasemmanpuoleisessa osassa imuri on ollut käynnissä, jolloin ilma on ollut varsin pölytöntä. Kuvan oikeanpuoleisessa osassa imuri ei ole ollut käynnissä, jolloin pölypitoisuus on noussut nopeasti.



**Kuva 37.** Kohdepoiston vaikutus pölyisyyteen kuivurin varastosiloja täytettäessä.  
**Picture 37.** Effect of dust extraction on dust emission when filling storage bins.

Kaatosuppilon takaosaan asennettiin suora vanerilevy, jonka alta imettiin ilmaa 4 kW:n potkuripuhaltimella. Tilan puutteen vuoksi ei tässä tapauksessa voitu käyttää koteloa (kuva 38). Imurin tehoa yritettiin parantaa pienentämällä suppilon pinta-alaa laudoista tehdyillä harjoilla. Nämä osoittautuivat kuitenkin hankalakäyttöisiksi. Puhallin sijoitettiin kuivaamon yläkertaan. Imuputkena käytettiin aikaisemmin muuhun käyttöön hankittua 600 mm kierresaumaputkea. Näin paksu putki osoittautui asennuksen ja tilan käytön kannalta hankalaksi. Taulukossa 16 on esitetty pölynpoistomurin vaikutus kokonaispölypitoisuuksiin kuivurin kaatosuppilon ympärillä. Imuria käytettäessä pölypitoisuudet jäivät alle HTP-arvon.



**Kuva 38.** Pölynpoisto kuivurin kaatosuppilossa. Mittauspaikat on numeroitu.

**Picture 38.** Dust extraction system for the intake pit in VAKOLA's dryer. The measuring spots are marked with numbers.

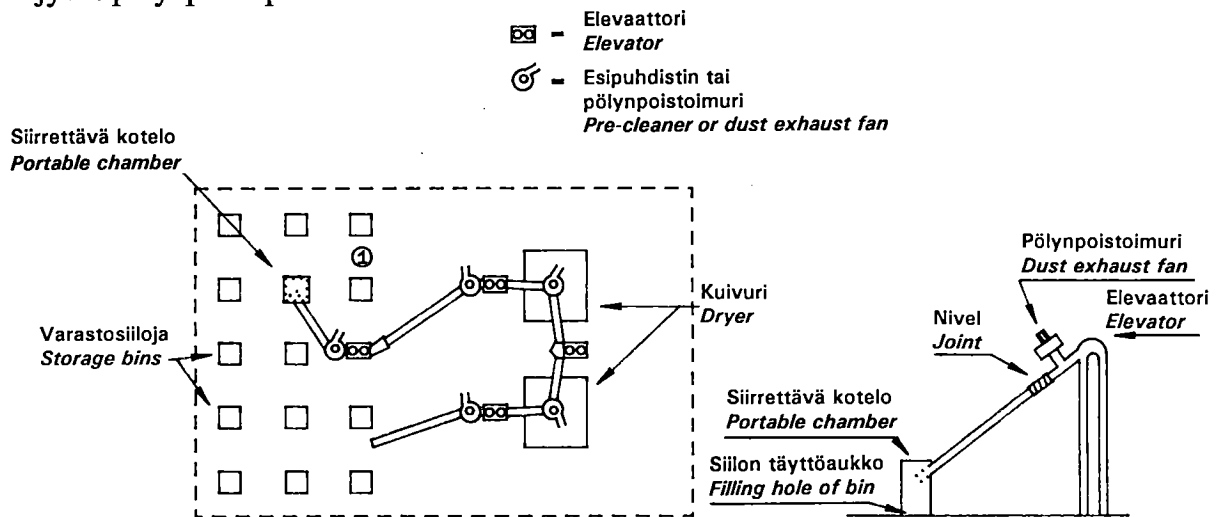
**Taulukko 16.** Kokonaispölypitoisuudet kiinteissä mittauspaikoissa VAKOLAn lämminilmakuivurin kaatosuppilon ympärillä.

**Table 16.** Total dust concentrations on fixed measuring spots near the intake pit of the heated air dryer on VAKOLA farm. Before and after the dust exhaust in picture 38 was fitted.

Työvaihe, viljalaji ja kosteus Working stage, cereal and moisture content	Mittauspaikka Measuring spot	Kokonaispölypitoisuus, mg/m <sup>3</sup> Total dust concentration, mg/m <sup>3</sup>	
		Ennen muutoksia Before modifications	Muutosten jälkeen After modifications
Kippaus, ruis 32 % (ennen muutoksia) ja 25 % (muutosten jälkeen)	1	32,0	4,1
Tipping to intake pit, rye 32 % (before modifications) and 25 % (after modifications)	2	11,3	4,4

## Tila 10

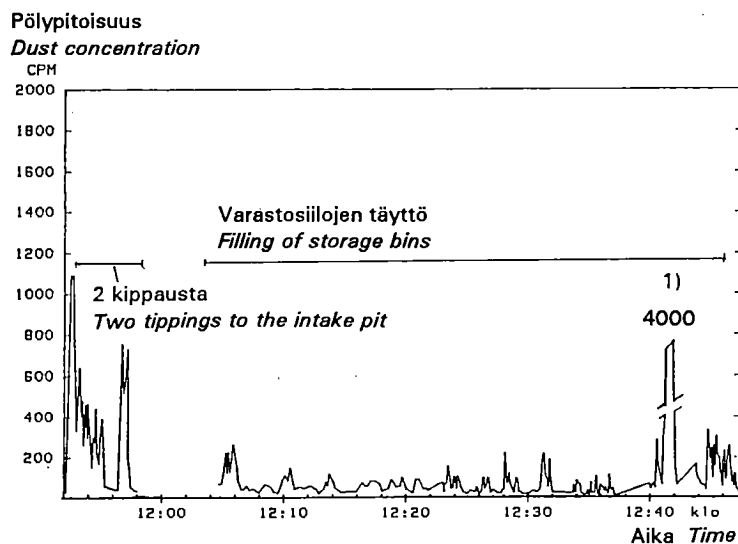
Tilan uudehkoissa lämminilmakuivaamossa oli heti sen valmistuttua havaittu varastosiilojen täytön ja kippauksen kaatosuppiloon olevan erittäin pölyisiä työvaiheita. Tilalla tehtiin tilanteen korjaamiseksi omatoimisia pölynvähentämiskäytöksiä. Kaatosuppilo oli ensimmäisen käyttövuoden jälkeen eristetty muusta rakennuksesta väliseinällä. Tämä ratkaisu estää pölyn leviämisen kuivaamon sisätiloihin. Pölyämisen vähentämiseksi varastosiiloja täytettäessä elevaattorien yläpäihin oli lisätty pölynpoistimurit kuvan 39 osoittamalla tavalla. Pölynpoistimuri on tavallinen lämminilmakuivureissa käytettävä keskipakoispuhallin. Teleskooppinen siilon täyttöputki on liitetty elevaattoriin kumiputkella, joka muodostaa pölytiivin nivelen. Kumiputki on lietelantavaunuissa käytettävää tyyppiä. Täyttöputken halkaisija on oltava tarpeeksi suuri, vähintään 200 mm, jotta imuri ei ime jyyviä pölynpoistoputkeen.



**Kuva 39.** Tilan 10 lämminilmakuivaamon yläkerta. Kuvassa oikealla on kuvattu pölynpoistimurin asennus elevaattoriin.

**Picture 39.** Upper floor of the heated air dryer on farm 10. The mounting of a dust extraction fan on the elevator is shown in the right side of the picture.

Kuivaamossa mitattiin varastosiilojen täytön aikana mittauspaikassa 1 1,2 mg/m<sup>3</sup> kokonaispölypitoisuus. Samaan aikaan kuivurin pohjakerroksessa lähellä elevaattorin alapäätä mitattiin 7,2 mg/m<sup>3</sup> kokonaispölypitoisuus. Pölynpoistimurit kuivaamon yläkerrassa olivat käynnissä mittauksen aikana. Alhainen kokonaispölypitoisuus yläkerrassa on pölynpoistimurien ansiota. Kokonaispölypitoisuus mitattiin ainoastaan imurien käydessä. Kuvassa 40 nähdään, mikä vaikutus pölynpoistimurien pysäyttämällä oli alle 10 µm hienopölyn pitoisuuteen siilon täyttöluukun välittömässä läheisyydessä. Kun pölynpoistimuri on pysäytetty pariiksi minuutiksi pölypitoisuus on välittömästi noussut erittäin suureksi.



**Kuva 40.** Hienöpölypitoisuus kippauksen aikana kaatosuppilon vieressä ja varastosilojen täytön aikana. Pölynpoistimuri oli käytössä varastosilojen täytön aikana paitsi kohdassa 1), jolloin se oli kytketty pois käytöstä.

**Picture 40.** Concentration of fine dust close to the intake pit and during filling of storage bins on farm 10. The dust exhaust fan (picture 39) was running during the filling of storage bins and was turned off only for a short period of time 1).

## 5.6. Pölyn vähenemisen vaikutus sieni-itiöpitoisuuksiin

Tutkimuksen toisen vaiheen aikana selvitettiin erilaisten rakenteellisten ja ilmanvaihdollisten ratkaisujen vaikutusta ilman sieni-itiöpitoisuuksiin kylmä- ja lämminilmakuivureiden täyttö- ja tyhjennysvaiheessa. Viideltä tilalta otettiin yhteensä 21 ilmanäytettä sienten määrittämiseksi. Taulukossa 17 on esitetty kokeilujen vaikutus ilman sieni-itiöpitoisuuksiin ainoastaan VAKOLAn kylmä- ja lämminilmakuivureissa, joissa näytteenottohetkellä käsiteltiin samaa viljalajia.

Imupohja kylmäilmakuivurissa ja kohdepoisto lämminilmakuivurissa laskivat huomattavasti kokonaissieni-itiöpitoisuuksia lämminilmakuivurin täyttövaihetta lukuunottamatta.

Sienilajisto sekä vallitsevina esiintyneet lajit vastasivat tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa otettujen näytteiden lajistoa. *Penicillium*- ja *Aspergillus*-sienten itiöiden suhteelliset osuudet olivat sekä kylmäilma- että lämminilmakuivureissa pienemmät kuin aiemmin otetuissa näytteissä (VAKOLA, tila 1, 2 ja 3) (liite 4).

**Taulukko 17.** Pohjaimun sekä kohdepoiston vaikutus VAKOLAn kylmä- ja lämminilmakuivurin täyttö- ja tyhjennysvaiheen sieni-itiöpitoisuuksiin (%-muutos). Negatiivinen arvo tarkoittaa, että pitoisuus on laskenut.

**Table 17.** The effect of dust extraction systems on the concentration of fungal spores in the ambient and heated air dryers on VAKOLA farm. Negative figures stand for a fall in spore concentration.

Työvaihe <i>Working stage</i>	Pölynpoistokeino <i>Dust prevention method</i>	Sieni-itiöpitoisuuden muutos, % <i>Change in fungal spore concentration, %</i>			
		Mesofiiliset sienet <i>Mesophilic fungi</i>	Xerofiiliset sienet <i>Xerophilic fungi</i>	Termotolerantit sienet <i>Thermotolerant fungi</i>	Kokonaispitoisuus <i>Total concentration</i>
Täyttö (K) <i>Filling</i>	Pohjaimu <i>Suction through floor</i>	- 85	- 64	- 91	- 79
Tyhjennys (K) <i>Unloading</i>	Pohjaimu <i>Suction through floor</i>	- 69	+ 3	+ 8	- 31
Täyttö (L) <i>Filling</i>	Kohdepoisto <i>Dust extraction fan</i>	- 52	+ 57	- 97	+ 4
Tyhjennys (L) <i>Unloading</i>	Kohdepoisto <i>Dust extraction fan</i>	- 82	- 81	- 98	- 81

K = kylmäilmakuivuri      K = ambient air dryer  
L = lämminilmakuivuri      L = heated air dryer

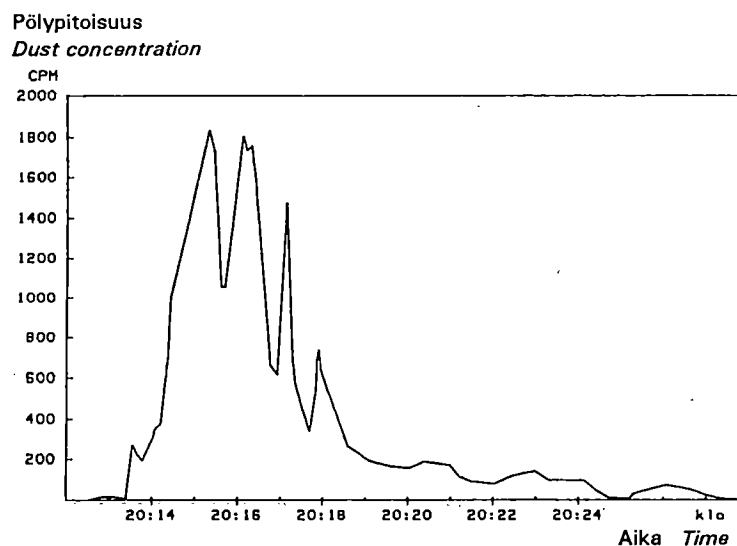
## 6. TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

### 6.1. Kokonaispölyt

Tutkimuksen aikana otetuista noin 140:stä pölynäytteestä yli puolet ylitti orgaanisen pölyn HTP<sub>sh</sub>-arvon 5 mg/m<sup>3</sup>. Näiden tulosten perusteella pölyn vähentämiseen tähtääviä toimia tulisi tehdä lähes jokaisella tutkimustilalla.

Suurimmat pitoisuudet mitattiin pölysiilon tyhjennyksessä ja viljan kippauksessa kaatosuppiloon. Pölysiilon tyhjennyksen aikana hengitysvyöhykkeeltä mitatut pölypitoisuudet olivat jopa 500 mg/m<sup>3</sup>. Kaatosuppilon tyhjennyksessä mitatut pölypitoisuudet vaihtelivat erittäin paljon suurimpien pölypitoisuuksien ollessa lähes 300 mg/m<sup>3</sup>. Kippauksen pölyisyys riippuu paljon kaatosuppilon muodosta, kippausnopeudesta, viljasta ja kaatosuppilon sijainnista kuivaamossa. Kuvassa 41 on esitetty miten pölypitoisuus muuttuu kippauksen aikana. Kippauksen alussa pölypitoisuus nousee nopeasti huippuunsa. Kun lava on tyhjentyt, pölypitoisuus alkaa laskea. Hienoin pöly jää kuitenkin leijumaan pitkäksi aikaa. Kaatosuppilosta

pöly leviää helposti koko kuivaamoon. Kylmäilmakuivurissa pölyisin työvaihe oli kuivurin tyhjennys, kun tyhjennykseen käytettiin ilmapohjaa. Ilmapohjatyhjennyksessä roskaa ja pölyä leviää ilmapvirran kuljettamana joka puolelle kuivuria. Jos kuivuri ei tyhjenny ilman työntekijän apua, pölyaltistus voi olla melkoinen. Pölyaltistuksen kannalta pahimpia ovat sellaiset pitkään työvaiheet, joihin liittyy ruumiillista rasitusta. Tällaisia työvaiheita ovat esimerkiksi laarin tyhjentäminen ruuvikuljettimella, kuivurin siivoaminen sekä viljakuorman ja laarien tasoittaminen. Itse kuivaus on varsin pölytöntä, jos kuivuri on tiivis. Myös kuivurin tyhjennys joko imupainelietsolla tai erikoisrakenteisen kuivauspuhaltimen imun avulla osoittautui pölyämisen kannalta hyväksi ratkaisuksi edellyttäen, että pölyinen imuilma ohjataan rakennuksen ulkopuolelle.



**Kuva 41.** Pölypitoisuus kaatosuppiloon kippauksessa.

**Picture 41.** Dust concentration during tipping to an intake pit without dust exhaust.

Pölyn vähentäminen teknisillä toimenpiteillä viljankuivureissa onnistuu kohtalaisen helposti. Pölyntorjuntaratkaisuille voitiin pienentää pölypitoisuuksia alle HTP-tason. Hyväksi koettuja torjuntatoimia on olemassa lukuisia. Seuraavassa on esitetty muutama torjuntatoimi.

Pölyisten työvaiheiden toteuttaminen siten, että pölyhuiput ovat lyhyitä eikä työntekijän tarvitse olla pölyisessä tilassa. Esimerkiksi kipattaessa viljaa kaatosuppiloon kannattaa kippauksen ajaksi siirtyä edemmäksi kaatosuppilon läheisyydestä. Varastosiiilojen sopiva mitoittaminen poistaa tarpeen valvoa siiilojen täyttymistä.

Lämminilmakuivurin kaatosuppilon osittainen kattaminen ja varustaminen poistopuhaltimella. Kaatosuppilon takaosan peittäminen kohdepoistohuuvalla vähentää kippauksen aiheuttamaa pölyn leviämistä merkittävästi eikä se kuitenkaan oikein toteutettuna vaikeuta kuivurin käyttöä. Joissakin tapauksissa

kohdepoistoa ja ilmakeinavaa on vaikea saada sopimaan vanhaan kuivuriin. Poistopuhaltimen toimintaa auttaa rauhallinen kippaustyylili.

Siirrettävä kohdepoisto varastosiilujen täyttöaukoissa tai pölynpoisto elevaattorin tyhjennysputkesta vastaimulla. Pölynpoisto varastosiilujen täyttövaiheessa estää pölyn leviämisen kuivurin ylätasanteelle. Kohdepoisto voi koostua esimerkiksi kotelosta, haitariletkusta ja keskipakopuhaltimesta. Myös kiinteää putkistoa voi käyttää. Pölynpoistoimuri voidaan myös asentaa elevaattorin yläpäähän, jolloin ilma imetään elevaattorin tyhjennysputken kautta. Tyhjennysputken halkaisijan on oltava tavallista suurempi eikä imurin ja putken välillä saa olla suuria ilma- vuotoja.

Pohjaimun käyttö laarien täytössä ja tyhjennyksessä. Kylmäilmakuivurissa kuivausilmapuhaltimeen voidaan liittää vaiheenkääntäjä, jonka avulla puhaltimen pyörimissuunta voidaan varsin helposti muuttaa täytön ja tyhjennyksen ajaksi. Puhaltimen imu vähentää pölyn leijumista täytettävän tai tyhjennettävän laarin yläpuolella. Tämä on tärkeää varsinkin, jos työntekijän on oltava laarissa. Menetelmä ei sovellu keskipakopuhaltimelle.

Lapioimisen ja harjaamisen välttäminen kylmäilmakuivurissa. Laarien pohjien siivoaminen saattaa olla tyhjennyksen pölyisin työvaihe. Jos harjaaminen ei ole välttämätöntä se kannattaa jättää tekemättä. Viljan lapioinnissa kannattaa käyttää menetelmää, jossa liikkeet ovat mahdollisimman rauhallisia. Esimerkiksi lumikolan käyttö on pölyttömämpää kuin lapion käyttö. Kuivurin siivoamisessa kannattaa harjan sijasta käyttää pölynimuria.

Kylmäilmakuivurissa läsnäolon välttäminen ilmapohjatyhjennyksessä, jolloin pölypitoisuudet ovat korkeita. Ilmapohjatyhjennyksessä ehkä tavallisin ongelma on se, että laarien tyhjennysaukot ovat liian kapeita ja tästä syystä laarit eivät tyhjene kunnolla. Toinen ongelma voi olla kuljettimen tukkeutuminen, jolloin tyhjennysaukkoja täytyy koko ajan säätää. Ensin mainittu ongelma yleensä poistuu tai ainakin pienenee merkittävästi, kun tyhjennysaukot tehdään yhtä leveiksi kuin laarit, jolloin laarissa ei enää tarvitse olla auttamasta tyhjennyksen aikana. Kuljettimen tukkeutuminen voidaan välttää esimerkiksi valitsemalla sellainen kuljetin, joka ei tukkeudu, vaikka viljaa tulee kuljettimelle nopeammin kuin kuljetin kykenee siirtämään. Mahdollisuuksien mukaan kannattaa myös käyttää korkeuseroja hyväksi viljan siirrossa.

Kylmäilmakuivurissa karkean pölyn ja roskien sinkoilua voidaan vähentää laarin osittaisella kattamisella. Ilmapohjatyhjennyksessä ongelmana on usein roskien ja jyvien sinkoilu pitkin kuivaamoaa. Sinkoilu johtuu siitä, tyhjennyksessä osa jyivistä ja roskista törmää suurella nopeudella laarin seinään ja lentää osittain



oman liike-energiansa ja osittain voimakkaan ilmavirtauksen takia ulos laarista. Kun katetaan se puoli laarista, josta vilja valuu ulos, sinkoilu vähenee oleellisesti. Tehdyissä kokeissa jo 60 cm leveä kate laarin reunalla vähensi riittävästi sinkoilua.

Sellainen tyhjennysmenetelmä, jossa laari tyhjenetään imulla. Yhdessä tutkimuskohteista oli korkean viljakerroksen kylmäilmakuivuri, jossa käytettiin imutyhjennystä. Imutyhjennyksen pölyisyys oli hyvin vähäistä. Suuresta viljan kerrospaksuudesta on laarin täytössä se etu, että tasoitustyötä on vähän.

Tiiviskantisten siilojen käyttö. Kannettomia siiloja ei saisi kuivaamoissa käyttää turvallisuus-, hygieni- eikä pölyntorjuntasyistä. Kansi siilon päällä estää karkean pölyn leviämisen kuivaamon ylätasanteelle. Siilojen kannen täyttöaukoissa on oltava luukku.

Pölysiilojen tyhjennys olisi ratkaistava siten, että työntekijän ei tarvitse mennä siiloon tai auttaa tyhjentymistä sohimalla holvaantuvaa roskamassaa. Ylimääräistä pölyaltistumista aiheutui työskentelystä pölysiilon sisällä ja traktorin lavalla, missä tasoitettiin pölylasti lapiolla tai lanalla. Tämän tutkimuksen suurimmat pölypitoisuudet mitattiin näissä työvaiheissa. Pölysiilon on oltava sellainen, että se voidaan tyhjentää esimerkiksi etukuormaimella.

Tutkimuksessa pyrittiin myös selvittämään eri kuivaamoista otettujen viljanäytteen pölyisyyttä. Viljan pölyisyys vaikuttaa myös työilman pölyisyyteen. Tässä tutkimuksessa käytettyä viljan pölyisyyden mittausmenetelmää noudattaen ei havaittu eroja pölypitoisuuksissa käsiteltävän viljan kosteuden vaihdellessa, vaikka teoreettisesti ajateltuna kosteuden vaihtelun pitäisi vaikuttaa pölypitoisuuteen. Käytetty mittausmenetelmä ei liene sopiva viljalle, vaikka se on antanut hyviä tuloksia esimerkiksi paperiteollisuuden jauhemaisia materiaaleja mitattaessa.

Pölyn hiukkaskoko vaikuttaa hengityksen mukana hengitysteihin menevän pölyn määrään. Mitä pienempiä hiukkasia on ilmassa, sitä helpommin niitä menee alempiin hengitysteihin. Tässä tutkimuksessa tehtyjen muutaman hiukkaskokomäärityksen mukaan hiukkaskoko vaihtelee suuresti viljankäsittelyn eri työvaiheissa ja eri viljalajeja käsiteltäessä. Hienojakoisen pölyn vähentäminen teknisesti on vaikeampaa kuin karkean pölyn. Viljankuivureissa käytettävä sykroni eli pyörreerotin ei poista ilmasta alle 10  $\mu\text{m}$ :n pölyä. Hienojakoisen pölyn vähentäminen vaatii suodattimia tai esimerkiksi pölyn johtamista ulos työskentelytilasta.

## 6.2. Ilman sieni-itiöpitoisuudet

Ilman sieni-itiöpitoisuudet ( $10^4 - 10^5$  cfu/m<sup>3</sup>) olivat kaikissa tutkituissa kylmä- ja lämminilmakuivureissa korkeampia kuin toimisto- tai asuinhuoneistoissa ( $10^2 - 10^3$ )

ja samaa suuruusluokkaa kuin aiemmin maatalousympäristöissä mitatut sieni-itiöpitoisuudet /27/, /9/, /26/.

Keskimääräiset kokonaissieni-itiöpitoisuudet olivat suurimmat ( $10^5$  cfu/m<sup>3</sup>) kuivurin täytön ja tyhjennyksen aikana. Tällöin myös ilman pölypitoisuus on suurempi kuin kuivausvaiheen aikana. Täytön ja tyhjennyksen aikana kokonaissieni-itiöaltistus oli kylmä- ja lämminilmakuivauksessa samaa suuruusluokkaa. Sieni-itiöiden kokonaispitoisuudet ja eri sieniryhmien pitoisuudet vaihtelivat eri tiloilla paljon molempia kuivausmenetelmiä käytettäessä. Kuivausvaiheen aikana kokonaissieni-itiöaltistus oli kylmäilmakuivurissa noin kaksi kertaa niin suuri kuin lämminilmakuivurissa. Tulos on yhdenmukainen Mustosen ym. tekemien mittausten kanssa /9/.

Viljankäsittelyssä havaittava sienilajisto ja sienten väliset runsaussuhteet heijastelevat mahdollisen homehtumisen myötä tapahtuvia viljan sienilajiston muutoksia. Kaikissa tutkituissa näytteissä tavattiin runsaasti "peltosieniä", *C. cladosporioidesta* sekä hiivoja /27/. *C. cladosporioides* on korsien, jyvien ja lehtien pinnalla kasvava, runsaasti itiöivä lahottajasieni, jonka itiöiden määrän kasvu ilmassa liittyy aina viljankäsittelyyn. Tässä tutkimuksessa mitatut *C. cladosporioides*-pitoisuudet ( $10^5$  cfu/m<sup>3</sup>) voivat aiheuttaa atooppiselle henkilölle välittömiä allergiaoireita (nuha, astma).

Tunnetuista homepölykeuhkoa aiheuttavista sienistä (*Penicillium*- ja *Aspergillus*-lajeista) *Penicillium*ia tavattiin kaikissa näytteissä. Termofiilisiin aktinomykeetteihin lukeutuvia *Micropolyspora faenia* ja *Thermoactinomyces*-lajeja ei tässä yhteydessä mitattu. Yli  $10^5$  cfu/m<sup>3</sup> *Penicillium*-pitoisuuksia tavattiin vain kuivureiden tyhjennysvaiheessa. *Aspergillus*-lajeista ainoastaan *A. fumigatusta* tavattiin yli  $10^4$  cfu/m<sup>3</sup>-pitoisuutena ja sitäkin ainoastaan yhdessä lämminilmakuivurin tyhjennyksen aikana otetussa näytteessä. Suurina pitoisuuksina esiintyessään *Penicillium*- ja *Aspergillus*-lajit, erityisesti niiden termotolerantit muodot, ilmentävät viljassa tapahtunutta lämpenemistä tai jo alkanutta homehtumista. Kyseisten sienten termotolerantteja muotoja tavattiin kuitenkin vähän eikä niiden pitoisuudessa tapahtunut olennaista muutosta vertailtaessa kylmäilmakuivureiden täyttö- ja tyhjennysvaihetta. *Penicillium*-lajien esiintymistä kaikissa näytteissä selittänee mesofiilisten sienten laaja kasvulämpötilaväli 5 - 40 °C, vaikkakin niiden optimilämpötila on 20 - 30 °C.

On vaikea arvioida, mistä lämminilmakuivureissa todetut kylmäilmakuivureita korkeammat *Penicillium*-pitoisuudet johtuvat. Osin eroa selittänevät kuivurikohtaiset erot ja se, että mittausten aikana käsiteltiin eri viljalajeja. *Penicillium*-lajien esiintyminen valtalajina kylmäilmakuivauksen ja *C. cladosporioides*in lämminilmakuivauksen aikana oli löydöksenä yhdenmukainen Mustosen ym. tulosten kanssa /9/.

Käsiteltävä viljalaji vaikutti sieni-itiöaltistuksen suuruuteen. Pölyävimmäksi

viljalajiksi osoittautui ohra, joka myös puintivaiheessa on Mustosen ym. mukaan kauraa pölyävämpi /9/.

Näiden tulosten perusteella näyttää siltä, että sekä kylmä- että lämminilmakuivurissa työskentelevät altistuvat sieni-itiöille. Kuivattava vilja, sääolot erityisesti kylmäilmakuivauksen aikana, puinnin jälkeinen viljan varastointi perävaunun lavalla ennen kuivausta sekä puhtaasti tila- ja kuivurikohtaiset erot ovat tekijöitä, jotka kuivausmenetelmän lisäksi vaikuttavat sieni-itiöaltistuksen määrään ja laatuun.

Muiden kuin peltosienten määrään viljassa ja siten myös hengitysilmassa voidaan vaikuttaa huolehtimalla siitä, että vilja kuivataan mahdollisimman lyhyen ajan sisällä niin kuivaksi, että homesienten lisääntyminen varastoinnin aikana on vähäistä. Varastointikosteus riippuu varastointiajan pituudesta ja viljan lämpötilasta. Pitkäaikainen varastointi edellyttää viljan kuivaamista 14 % kosteuteen. Viljan kosteus ennen kuivausta oli vähäateisten puintisäiden ansiosta yleensä alle 25 %. Tästä syystä viljaerät kuivuivat suhteellisen nopeasti ja vilja ei todennäköisesti homehtunut ennen kuivausta.

Ilman kokonaissieni-itiöpitoisuuksissa ei ollut eroa niissä kuivureissa, joista otettiin näytteet molempina vuosina. Tutkimuksen toisessa vaiheessa kokonaissieni-itiöpitoisuudet olivat pääsääntöisesti alhaisempia.

Kuivausilmapuhaltimen pyörimissuunnan vaihto VAKOLAn kylmäilmakuivurissa sekä kohdepoiston käyttö saman tilan lämminilmakuivurin varastosilojen täytössä laski kokonaissieni-itiöpitoisuuksia vähintäänkin kolmanneksen lähtötasosta. Kippauksessa kokonaissieni-itiöpitoisuus säilyi lähes muuttumattomana.

Sieni-itiöaltistuksen aiheuttamien terveyshaittojen minimoimiseksi työntekijöiden on suositeltavaa käyttää P2-luokan suodattimella varustettua hengityksensuojainta, jos pölyntorjuntatoimet vaikuttavat riittämättömiltä.

## 7. TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin viljan kuivaamoissa eri työvaiheissa tapahtuvan pölyaltistuksen määrää. Pölyisimmille työvaiheille pyrittiin löytämään rakenteellisia ja työtekniisiä ratkaisuja pölyaltistuksen vähentämiseksi.

Yli puolet viljan käsittelyn aikana mitatuista keskimääräisistä kokonaispölypitoisuuksista oli suurempia kuin orgaanisen pölyn  $HTP_{8h}$ -arvo  $5 \text{ mg/m}^3$ . Suurimmat pitoisuudet olivat kymmeniä kertoja suurempia kuin  $HTP_{8h}$ -arvo. Näiden tulosten perusteella pölyisyyttä tulisi vähentää lähes jokaisella tutkimustilalla.

Pölyisimpiä työvaiheita tiloilla olivat viljan kippaus kaatosuppiloon (pölyä  $8 - 125 \text{ mg/m}^3$ ), kylmäilmakuivurin tyhjennys ( $2 - 40 \text{ mg/m}^3$ ), varastosilojen täyttö ( $2 - 25 \text{ mg/m}^3$ ) ja pölysiilon tyhjennys ( $200 - 500 \text{ mg/m}^3$ ). Pölysiilon pölypitoisuudet on mitattu hengitysvyöhykkeeltä ja kaikki muut kiinteistä mittapisteistä.

Pölyn vähentäminen teknisin toimenpitein on kuivaamoissa kohtalaisen helppoa

ja pölypitoisuuksia saatiin pienennettyä alle HTP-tason. Kaikissa tapauksissa pölyisyyden vähentäminen ei ole mahdollista. Tällöin on turvauduttava hengityksensuojaimiin ja työjärjestelyihin. Yleensäkin pölyiset työvaiheet on yritettävä toteuttaa siten, että pölyhuiput ovat lyhyitä ja ettei työntekijän läsnäoloa tarvittaisi pahimman pölyämisen aikana.

Kuivurin kaatosuppilon varustaminen kohdepoistolaitteella vähensi pölyisyyttä kaatosuppilon läheisyydessä ja varsinkin pölyn leviämistä kuivaamoon merkittävästi. Pölyn leviäminen kuivaamoon voidaan estää myös erottamalla kaatosuppilo väliseinällä erilliseksi osastoksi. Pölyisyyttä varastosilojen täytön aikana voidaan vähentää kohdepoistolla, jonka voi toteuttaa joko siirrettävää huuvaava tai kiinteää putkistoa käyttämällä. On myös mahdollista asentaa pölynpoistomuri elevaattorin yläpäähän ja imeä pöly pois tätä kautta. Tällöin tyhjennysputken on oltava läpimitaltaan tavallista suurempi.

Kylmäilmakuivurissa suurimmat pölypitoisuudet mitattiin ilmatyhjennyksen aikana. Kuivurin viljansiirtoketju olisi tehtävä sellaiseksi, että kuivurissa ei tarvitse olla tyhjennyksen aikana. Karkean pölyn ja siementen sinkoilua voidaan vähentää laarin alaosan osittaisella kattamisella.

Imuun perustuva tyhjennys pölyä vähiten kylmäilmakuivurin tyhjennyksessä. Perinteisessä tasapohjaisessa kylmäilmakuivurissa viljan siirto kolaamalla tai lapioiden avulla on pölyistä työtä. Pölyäminen väheni huomattavasti, kun kuivurin puhallinta käytettiin takaperin laarien täytön ja tyhjennyksen aikana.

Kuivurin siivoaminen on usein hyvin pölyistä työtä. Esimerkiksi kylmäilmakuivurissa laarien harjaamista kannattaa välttää, ellei se ole välttämätöntä. Pölyisyyden kannalta keskuspölynimuri vaikuttaa hyvältä ratkaisulta kuivurin siivouksessa.

Pölysiilot pitäisi rakentaa sellaisiksi, ettei niitä tarvitse tyhjentää ihmisvoimin. Pölysiilo voi olla esimerkiksi siirrettävä kontti, jonka voi tyhjentää kippaamalla. Vaihtoehtoisesti siilo voidaan rakentaa sellaiseksi, että sen voi tyhjentää etukuormaajalla.

Ilman sieni-itiöpitoisuudet ( $10^4 - 10^5$  cfu/m<sup>3</sup>) olivat kaikissa tutkituissa kylmä- ja lämminilmakuivureissa korkeampia kuin toimisto- tai asuinhuoneistoissa ( $10^2 - 10^3$  cfu/m<sup>3</sup>) ja samaa suuruusluokkaa kuin aiemmin maatalousympäristöissä mitatut sieni-itiöpitoisuudet. Sieni-itiöaltistus oli molemmissa kuivurityypeissä kokonaisuudessaan samaa suuruusluokkaa, vaikka kuivurikohtainen vaihtelu olikin suurta. Kuivausvaiheen aikana sieni-itiöpitoisuus oli kylmäilmakuivaamoissa noin kaksi kertaa niin suuri kuin lämminilmakuivaamoissa.

Kaikissa tutkituissa näytteissä tavattiin runsaasti "peltosieniä", *C. cladosporioides* sekä hiivoja. Näissä mittauksissa tavatut *C. cladosporioides* -pitoisuudet ( $10^5$  cfu/m<sup>3</sup>) voivat aiheuttaa atooppiselle henkilölle välittömiä allergiaoireita. Tunnetuista homepölykeuhkoa aiheuttavista sienistä *Penicillium*-sieniä tavattiin kaikissa

näytteissä. Yli  $10^5$  cfu/m<sup>3</sup> *Penicillium*-pitoisuuksia tavattiin vain kylmä- ja lämminilmakuivureiden tyhjennysvaiheessa. Viljassa tapahtunutta lämpenemistä tai jo alkanutta homehtumista ilmentäviä *Penicillium*- ja *Aspergillus*-lajien termotolerantteja muotoja tavattiin vain vähän. Viljan kosteus ennen kuivausta oli mittausten aikana yleensä alle 25 %, jolloin viljaerät kuivuivat suhteellisen nopeasti eikä homehtuminen todennäköisesti alkanut ennen kuivausta. Sieni-itiöaltistuksen suuruudessa todettiin eroja eri viljalajien käsittelyssä. Pölyävimmäksi viljaksi osoittautui ohra.

Näiden tulosten perusteella näyttää siltä, että sekä kylmä- että lämminilmakuivureissa työskentelevät altistuvat sieni-itiöille. Viljalaji, sääolot erityisesti kylmäilmakuivauksessa, viljan varastointi traktorin lavalla ennen kuivausta sekä puhtaasti tila- ja kuivurikohtaiset erot vaikuttavat kuivausmenetelmän lisäksi sieni-itiöiden määrään ja laatuun. Muiden kuin "peltosienten" määrään voidaan vaikuttaa huolehtimalla siitä, että vilja kuivataan mahdollisimman nopeasti.

VAKOLAn kuivaamossa todettiin toteutettujen pölynvähentämiskäytösten laskeneen kokonaissieni-itiöpitoisuuksia vähintäänkin kolmanneksen lähtötasosta. Pölyisissä olosuhteissa on terveyshaittojen minimoimiseksi suositeltavaa käyttää P2-luokan suodattimella varustettua hengityksensuojainta.

## 8. SAMMANFATTNING

### Dammproblem i spannmålstorkning

Dammkoncentrationerna under olika arbetsmoment i spannmålstorkar uppmättes. Konstruktionsmässiga och arbetstekniska lösningar för att minska arbetarens exponering för damm i de dammigaste arbetsmomenten studerades.

Över hälften av de genomsnittliga totaldammkoncentrationerna som uppmättes var över det ur hälsosynpunkt rekommenderade gränsvärdet för organiskt damm HTP<sub>8h</sub>, vilket är 5 mg/m<sup>3</sup>. De högsta halterna var tiotals gånger större än HTP<sub>8h</sub>. Enligt dessa resultat borde dammhalterna minska på nästan alla de undersökta gårdarna.

De dammigaste arbetsfaserna var tippning av spannmål i elevatorgrop (8 - 125 mg/m<sup>3</sup>), tömning av kallufttork (2 - 40 mg/m<sup>3</sup>), fyllning av lagersilor (2 - 25 mg/m<sup>3</sup>) och tömning av dammsilo (200 - 500 mg/m<sup>3</sup>). Den sistnämnda halten mättes i andningszonen, de övriga i fasta mätpunkter.

Att minska dammet i torkar är relativt lätt med tekniska åtgärder, och man fick i de flesta fall ned dammhalterna under HTP-nivån. Det är dock inte alltid möjligt att reducera dammet i ett visst arbetsmoment, på grund av ekonomiska eller tekniska orsaker. I dessa fall måste man ty sig till andningsskydd och förbättrade arbetsarrangemang. Även annars bör dammiga arbetsmoment utföras så att arbetarens exponering för damm är kortvarig och att hans eller hennes närvaro inte är nödvändig medan det dammar som värst.

När elevatorgropen försågs med dammutsugning minskade dammandet nära elevatorgropen och i synnerhet dammets spridning till resten av torken betydligt. Dammspridningen till resten av torken kan också hindras genom att skilja av elevatorgropen med en mellanvägg till en skild avdelning. Dammandet vid fyllning av lagersilor kan minskas med punktutsugning. Sugningen kan göras antingen via en flyttbar huva eller låda lagd över silons ifyllningsöppning eller genom själva silorna, som då är förbundna med ett fast rör- eller kanalsystem. Det är också möjligt att installera en dammutsugare i övre ändan av elevatorn. Elevatorns tömningsrör bör då ha större diameter än normalt.

I kallufttorkar uppmättes de största dammkoncentrationerna vid tömning av lårarna med hjälp av golvsveperplåt. Transportkedjan i sådana torkar bör konstrueras så att man inte behöver vistas i torken under tömning. Man kan minska mängden grovt damm och spannmålskärnor som kastas upp i luften genom att täcka över nedre delen av låren.

För tömning av kallufttorkar är tömning baserad på utsugning av spannmålen den minst dammiga metoden. I traditionella planbottnade kallufttorkar är hantering av spannmålen med raka och skovel ett dammigt arbete. Dammandet minskade betydligt när torkfläkten kördes baklänges under fyllning och tömning av lårarna.

Städning av torken är ofta ett mycket dammigt arbete. Exempelvis lönar det sig i kallufttork att undvika sopning av lårarna om det inte är helt nödvändigt. Centraldammsugare verkar vara en god lösning för städning i torkar.

Dammsilor bör byggas så att de inte behöver tömmas manuellt. En dammsilo kan exempelvis utgöras av en flyttbar container som kan tömmas genom tippning. Alternativt kan dammsilon byggas så att man kan tömma den med frontlastare.

Halten av svampsporer i luften var högre i alla undersökta kall- och varmlufttorkar ( $10^4 - 10^5$  cfu/m<sup>3</sup>) än i kontor och bostäder ( $10^2 - 10^3$  cfu/m<sup>3</sup>) och i samma storleksklass som tidigare uppmätta svampsporhalter i lantbruksmiljö. Arbetarens exponering för svampsporer var på det hela taget i samma storleksklass i både kall- och varmlufttorkar, även om det var en stor variation mellan de enskilda torkarna. Under torkningsskedet var halten av svampsporer i luften ungefär dubbelt så stor i kallufttorkar jämfört med i varmlufttorkar.

I alla undersökta prov påträffades rikligt med "fältsvampar", *C. cladosporioides* samt jästsvampar. De halter av *C. cladosporioides* som förekom i dessa mätningar,  $10^5$  cfu/m<sup>3</sup>, kan för en atopisk person ge omedelbara allergisymptom. Av de svampar man känner till som orsakar s.k. farmarlunga (*Penicillium* och *Aspergillus*) påträffades *Penicillium* i alla prov. Halter över  $10^5$  cfu/m<sup>3</sup> av *Penicillium* uppmättes bara under tömning av torkarna. Termotoleranta former av *Penicillium* och *Aspergillus*, vilka visar att spannmålen har tagit värme eller redan börjat mögla, påträffades bara i mycket låga koncentrationer. Spannmålens vattenhalt före torkningen var i allmänhet under 25 %, varför spannmålen torkade relativt

snabbt och någon mögelbildning hann sannolikt inte börja före torkningen. Svampsporhalternas storlek konstaterades vara beroende av sädesslag. Korn konstaterades vara det dammigaste sädesslaget.

Enligt dessa resultat ser det ut som om man utsätts för svampsporer både i kall- och varmlufttorkar. Sädesslag, väderförhållandena i synnerhet i kalllufttorkning, hur lång tid som går mellan tröskning och torkning samt skillnader mellan enskilda gårdar och torkar inverkar förutom val av kall- eller varmlufttorkning på kvantiteten och kvaliteten av svampsporer. Kvantiteten av andra svampar än "fältsvampar" kan man kontrollera genom att så snabbt som möjligt torka spannmålen ner.

De uppmätta halterna av svampsporer efter de tekniska modifieringarna i VAKOLAs tork var åtminstone en tredjedel lägre än före modifieringarna. I dammiga förhållanden rekommenderas användning av andningsskydd försett med filter av klass P2 för att minimera hälsoriskerna.

## 9. SUMMARY

Dust concentrations were measured during different work stages in dryers. Solutions to reduce the worker's exposure to dust were studied.

More than half of the measured total dust concentrations were above the Threshold Limit Value of organic dust ( $HTP_{8h}$ ), which is  $5 \text{ mg/m}^3$ . The highest concentrations were tens of times higher than  $HTP_{8h}$ . According to these results some measures should be taken to reduce dust concentrations on most of the drying plants in this study.

Highest total dust concentrations were measured during tipping to intake pit ( $8 - 125 \text{ mg/m}^3$ ), during unloading of cold air dryer ( $2 - 40 \text{ mg/m}^3$ ), during filling of storage bins ( $2 - 25 \text{ mg/m}^3$ ) and during unloading of dust bin ( $200 - 500 \text{ mg/m}^3$ ). The last dust concentration is measured in breathing zone and the others in fixed spots.

It is relatively easy to reduce dustiness with technical measures. It was possible to reduce dust concentrations under  $HTP_{8h}$  with simple measures. It is not always possible to reduce dustiness of a work stage because of some economical or structural reasons. In these cases individual dust protection must be used. Health hazards can be reduced also by rearranging dusty work stages so that a worker's presence is not needed during these.

When a dust exhaustion chamber and a fan was fitted to the intake pit, dustiness and spreading of dust in dryer was reduced considerably. Spreading of dust can also be avoided by separating the intake pit with a wall from the dryer plant. Storage bins can be equipped with a local dust exhaust system to reduce dustiness during filling. Either a portable dust exhausting chamber or fixed channels can be used for this purpose. It is also possible to install a dust exhausting fan to the top

of the elevator and suck air through the outlet duct. The diameter of the duct has to be larger than what is normally used.

In ambient air dryers the highest dust concentrations were measured when the dryer was unloaded with an air sweep floor. Grain conveyor system in this kind of dryers should be able to work without human interference. Flying of coarse dust and grain can be reduced by covering a section of the lower part of the bin with a lid.

Unloading an ambient air dryer with a suction based method was found to produce the smallest amount of dust in the air. Grain handling with pusher or shovel in traditional ambient air dryers is usually very dusty work. Total dust concentration was reduced considerably when the drying fan was run backwards during filling and unloading.

Brushing or sweeping in the dryer can stir large amounts of dust in the air. For example unnecessary sweeping of grain bins in ambient air dryers should be avoided. A system with central vacuum cleaner might be a good solution for cleaning up dryers.

Dust bins should be thus constructed that they do not have to be emptied manually. For example a container which can be emptied by tipping can be used as a dust bin. Another possibility is to empty a dust bin with a front loader.

Fungal spore concentrations were higher in all ambient air and heated air dryers ( $10^4$ - $10^5$  cfu/m<sup>3</sup>) than in office and residential buildings ( $10^2$ - $10^3$  m<sup>3</sup>) and on the same level as fungal spore concentrations measured earlier in agricultural environment. The total fungal spore concentrations were of about the same magnitude in ambient air and heated air dryers although there was considerable variation between dryers. Fungal spore concentrations during the drying period were twice as high in ambient air dryers compared to heated air dryers.

In all samples there were plenty of field flora, *C. cladosporioides* and yeasts. The concentration of  $10^5$  cfu/m<sup>3</sup> *C. cladosporioides* measured in dryers can cause direct allergic symptoms to an atopic person. Of fungal species known to cause farmers lung (*Penicillium* and *Aspergillus*) *Penicillium* was found in all samples. Concentrations higher than  $10^5$ cfu/m<sup>3</sup> of *Penicillium* were found only during unloading of dryers. Thermotolerant strains of *Penicillium* and *Aspergillus*, which indicate mould growth and heat production in grain, were found only in very low concentrations. The moisture content of grain was generally under 25 % before drying which shortened the time needed for drying and reduced the probability of mould growth in undried grain. Exposure to fungal spores was found to be dependent on variety of grain of which barley was found to be the dustiest.

According to these results one can be exposed to fungal spores both in ambient air and heated air dryers. Variety of grain, weather especially in ambient air drying, the delay between harvesting and drying, and variation in dryers and grain



handling systems have influence on the quantity and quality of exposure to fungal spores. The quantity of other fungal species but field flora can be controlled by drying the grain as fast as possible.

Measured fungal spore concentrations after modifications in VAKOLA dryer were at least one third lower than before modifications. Under dusty conditions use of a breathing mask equipped with class P2 dust filter is recommended.

**KIRJALLISUUSLUETTELO**

1. Oksanen, E.H., Kara, O. 1977. Maamiehen koneoppi 2. Kirjayhtymä. 5. p. Helsinki. 200 s.
2. Pämppi, T. 1976. Varastokuivuriopas. Topi Pämppi Ky. 3. p. Eurajoki. 26 s.
3. Maatalouden työnormit. 1980. Työtehoseuran julkaisuja 222. Helsinki. 156 s.
4. Dutkiewicz, J. 1978. Exposure to dust-borne bacteria in agriculture, I. Environmental studies. Arch. Environ. Health 33: 250-259.
5. Hill, R.A., Wilson, D.M., Burg, W.R., and Shotwell, O.L. 1984. Viable fungi in corn dust. Appl. Environ. Microbiol. 47: 84-87.
6. Lacey, J. 1980. The microflora of grain dusts. Occupational Pulmonary Disease: Focus on Grain Dust and Health. toim. Dosman, J.A., Cotton, D.J. Academic Press, New York. s. 417-440.
7. DeLucca, A.J., Palmgren, M.H., Ciegler, A. 1982. Bacillus thuringiensis in grain elevator dusts. Can. J. Microbiol. 28: 452-456.
8. DeLucca, A.J., Palmgren, M.S. 1987. Seasonal variation in aerobic bacterial populations and endotoxin concentrations in grain dust. Am. Ind. Hyg. J. 48: 106-110.
9. Mustonen, M., Husman, K., Kotimaa, M., O. Kärenlampi, L. 1983. Rehuviljan homeet ja sädesienet. Työterveyslaitoksen tutkimuksia 1: 46-60.
10. Palmgren, M.S., Lee, L.S., Delucca, a.J., II, Ciegler, A. 1983. Preliminary study of mycoflora and mycotoxins in grain dust from New Orleans area grain elevators. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 44: 485-488.
11. Sorenson, W.G., Peach, M.J., III, Simpson, J.P., Olenchock, S.A., Taylor, G. 1980. Size range of viable fungal particles from aflatoxin-contaminated corn aerosols. Occupational Pulmonary Disease: Focus on Grain Dust and Health. toim. Dosman, J.A., Cotton, D.J., Academic Press. New York. s. 527-536.

12. DeLucca, A.J., Godshall, M.S., Palmgren, M.S. 1984. Gram-negative bacterial endotoxins in grain elevator dusts. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 45: 336-339.
13. Olenchock, S.A., Mull, J.C., and Major, P.C. 1980. Extracts of airpathways. *Ann. Allergy* 44: 23-28.
14. Burg, W.R., Shotwell, O.L. 1984. Aflatoxin levels in airborne dust generated from contaminated corn during harvest and at an elevator in 1980. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 67: 309-312.
15. Sorenson, W.G., Simpson, J.P., Peach, M.J., III, Thedell, T.D., Olenchock, S.A. 1981. Aflatoxin in respirable corn dust particles. *J. Toxicol. Environ. Health* 7: 669-672.
16. Warren, C.P.W., Holford-Strevens, V., and Sinha, R.N. 1983. Sensitization in a grain handler to the storage mite *Lepidoglyphus destructor* (Schrank). *Ann. Allergy* 50: 30-33.
17. Revsbach P., Andersen, G. 1987. Storage mite allergy among grain elevator workers. *Allergy* 42: 423-429.
18. Farant, J-P., Moore, C.F. 1980. Dust exposure in the Canadian grain industry. Occupational pulmonary disease. Focus on grain dust and health. *toim.* Dosman, J.A., Cotton, D.J. Academic Press, New York, NY. s. 447-506.
19. Lee, M.H., and Ransdell, J.F. 1984. A farmworker death due to pesticide toxicity: a case report. *J. Toxicol. Environ. Health* 14: 239-246.
20. Peters, H.A., Levine, R.L., Matthews, C.G., Sauter, S.L., Rankin, J.H. 1982. Carbon disulfide-induced neuropsychiatric changes in grain storage workers. *Am. J. Ind. Med.* 3: 373-391.
21. Dashek, W.V., Olenchock, S.A., Wirtz, G.H. 1982. Partial chemical characterization of grain dusts. *Plant Physiol.* 69. 124 s.
23. Dashek, W.V., Olenchock, S.A., Mayfield, J.E., Wirtz, G.H., Wdz D.E., Young, C.A. 1986. Carbohydrate and protein contents of grain dusts in relation to dust morphology. *Environ. Hlth. persp.* 66: 135-143.

24. Lehtinen, P.T., Oksala, I. 1988. Teollisuuden ja kaupan ympäristöjen punkkiallergiat. Loppuraportti. Viljavarastot, myllyt, rehutehtaat ja mallastamot. Turku.
25. Louhelainen, K., Kangas, J., Sorainen, E., Husman, K., Kalliokoski, P. 1983. Viljelijän työympäristö. Työterveyslaitoksen tutkimuksia 202. Työterveyslaitos. Helsinki.
26. Louhelainen, K., Eskelinen, T., Terho, E.O., Husman, K., Kotimaa, M., Sarantila, R., Masalin, K., Himberg, K. 1989. Pölyaltistus, hengityselinoireet ja lämpökuormitus elintarviketeollisuudessa. Raporttisarja 3, Kuopion aluetyöterveyslaitos. 115 s.
27. Kotimaa, M., Tupi, K., Kärenlampi, L., Terho, E.O., Alanko, K., Husman, K. 1978. Homepölyaltistus rehuntuotannossa ja karjanhoitotöissä. Osa 1. TTL:n tutkimuksia nro 141, Helsinki.
28. Lacey, J., Crook, B. 1988. Fungal and actinomycete spores as pollutants of the workplace and occupational allergens. *Ann. Occup. Hyg.* 32: 515-533.
29. Chan-Yeung, M., Ashley, M.J., Crzybowski, S. 1978. Grain dust and the lungs. *Can. Med. Assoc. J.* 118: 1271-1274.
30. Darke, C.S., Knowelden, J., Lacey, J., Ward, A.M. 1976. Respiratory disease of workers harvesting grain. *Thorax* 31: 294-302.
31. doPico, G.A., Reddan, W., Flaherty, D., Tsiatis, A., Peters, M.E., Rao, P., Rankin, J. 1980. Respiratory abnormality among grain handlers. Occupational pulmonary disease. Focus on grain dust and health. toim. Dosman, J.A., Cotton, D.J., Academic Press, New York, NY. s. 207-228.
32. Popendorf, W., Donham, K.J., Easton, D.N., Silk, J. 1985. A synopsis of agricultural respiratory hazards. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 46: 154-161.
33. Tse, K.S., Warren, P., Janusz, M., McCarthy, D.S., Cherniack, R.M. 1973. Respiratory abnormalities in workers exposed to grain dust. *Arch. Environ. Health* 27: 74-77.
34. Donham, K.J. 1986. Hazardous agents in agricultural dusts and methods of evaluation. *Am. J. Ind. Med.* 10: 205-220.

35. Cockcroft, A.E., McDermott, M., Edwards, J.H., McCarthy, P. 1983. Grain exposure - symptoms and lung function. *Eur. J. Respir. Dis.* 64: 189-196.
36. Manfreda, J., Holford-Strevens, V., Cheang, M., Warren, C.P.W. 1986. Acute symptoms following exposure to grain dust in farming. *Envir. Hlth. Persp.* 66: 73-80.
37. doPico, G.A. 1982. Epidemiological basis for dose-response criteria. *Ann. Am. Conf. Gov. Ind. Hyg.* 2: 189-195.
38. doPico G.A., Flaherty, D., Bhansali, P., Charaje, N. 1982. Grain fever syndrome induced by inhalation of airborne grain dust. *J. Allergy Clin. Immun.* 69: 435-443.
39. Huhti, E., Ikkala, J. 1980. A 10-year follow-up study of respiratory symptoms and ventilatory function in middle-aged rural population. *Eur. J. Respir. Dis.* 61: 33-45.
40. Morgan, W.K.C. 1982. Occupational bronchitis. *Eur. J. Respir. Dis. suppl* 123: 117-127.
41. Donham, K.J. 1986. Hazardous agents in agricultural dusts and methods of evaluation. *Am. J. Ind. Med.* 10: 205-220.
42. Vohlonen, I., Tupi, K., Terho, E.O., Husman, K. 1987. Prevalence and incidence of chronic bronchitis and farmer's lung with respect to the geographical location of the farm and to the work of farmers. *Eur. J. Respir. Dis. suppl.* 152: 37-46.
43. doPico, G.A., Reddan, W., Tsiatis, A., Peter, M.E., Rankin, J. 1984. Epidemiologic study of clinical and physiologic parameters in grain handlers of Northern United States. *Am. Rev. Respir. Dis.* 130: 759-765.
44. Nordman, H. 1986. Orgaaniset pölyt. Työterveyshuolto. toim. Rantanen, J., Ylikoski, M. Työterveyslaitos. Helsinki. s. 217-225.
45. Kotimaa, M., Kärenlampi, L., Terho, E.O., Husman, K., Tupi, K. 1981. Homepölyaltistus rehuntuotannossa ja karjanhoitotöissä. Osa 2. TTL:n tutkimuksia nro 142. Helsinki.
46. Terho, E.O. 1980. Allergiset alveoliitit. *Suom. lääk.* 1. 35: 2085-2087.

47. Terho E. O., Husman K., Vohlonen I. 1987. Prevalence and incidence of chronic bronchitis and farmers lung with respect to age, sex, atopy and smoking. *Eur. J Respir. Dis. suppl.* 152: 19-28.
48. Rylander, R. 1986. Lung diseases caused by organic dusts in the farm environment. *Am. J. Ind. Med.* 10: 221-227.
49. Husman, K., Terho, E.O., Notkola V., Nuutinen, J. 1990. Organic dust toxic syndrome among Finnish farmers. *Am. J. Ind. Med.* 17: 79-80.
50. Buré, J. 1988. The characteristics of grain dust and the prevention of grain dust explosions in silos. Preservation and storage of grains, seeds and their by-products. toim. Multon, J.L., Lavoisier. Pariisi. s. 843-886.
51. Lai, F.S., Miller, B.S., Martin, C.R., Storey, C.L., Bolte, L., Shogren, M., Finney, K.F. 1979. Reducing Dust by Use of Additives. Proceedings of the International Symposium on Grain Dust. Kansas State University, Manhattan. s. 243-245.
52. Martin, C.R., Lai, F.S., Chang, C.S., Miller, B.S. 1979. Reducing Dust Emission by Use of Grain Nozzles. Proceedings of the International Symposium on Grain Dust. Kansas State University, Manhattan. s. 443-455.
53. Tietovakka. 1991. Maatalousalan tietokeskus. Helsinki. 25 s.
54. Larsson, L.-E. 1982. Dammreducerande åtgärder vid spannmålshantering. Jordbrukstekniska institutet. Meddelande 393: 1-55.
55. Enarson, D.A., Vedal, S., Chan-Yeung, M. 1985. Rapid decline in FEV<sub>1</sub> in grain handlers relation to level of dust exposure. *Am. Rev. Respir. Dis.* 132: 814-817.
56. Huy, T., De Schipper, K., Chan-Yeung, M., Kennedy, S.M. 1991. Grain dust and lung function. *Am. Rev. Respir. Dis.* 144: 1314-1321.
57. Työpaikan ilman pölypitoisuuden mittaaminen suodatinmenetelmällä. 1980. Standardi 3860. Suomen Standardisoimisliitto. Helsinki.
58. HTP-arvot 1987. Työsuojeluhallituksen turvallisuustiedote 25: 1-43.
59. Asuntojen kuntoa ja hoitoa koskeva opas. Lääkintöhallitus. 1990.

# LIITE 1

Sieni-itiöpitoisuudet kylmä (K)- ja lämminilmakuivureiden (L) täytössä, kuivauksen aikana ja tyhjennyksessä vuonna 1989 (cfu/m<sup>3</sup>).

Tila nro, vilja	Mesof. sienet	Xerof. sienet	Termot. sienet	Yhteensä
<b>Kylmäilmakuivurin täyttö</b>				
5 (kaura)	130000	180000	250	310250
8 (ohra)	320000	210000	230000	760000
9 (ruis)	190000	71000	19000	280000
VAKOLA (ohra)	270000	220000	87000	577000
<b>Kylmäilmakuivaus</b>				
6 (vehnä)	41000	77000	26000	144000
<b>Kylmäilmakuivurin tyhjennys</b>				
1 (ruis)	17000	120000	48000	185000
2 (ruis)	83000	76000	47000	206000
VAKOLA (ohra)	360000	240000	2200	602200
VAKOLA*(ruis)	290000	100000	6300	396300
<b>Lämminilmakuivaus</b>				
3 (vehnä)	42000	20000	22000	84000
<b>Lämminilmakuivurin tyhjennys</b>				
3 (vehnä)	140000	17000	12000	169000
4 (ohra)	210000	58000	2900	270900
5 (kaura)	570000	100000	1300	671300
VAKOLA (kaura)	140000	88000	4200	232200

\* koekuivuri

Sieni-itiöpitoisuudet muissa mittauspisteissä (cfu/m<sup>3</sup>).

Tila nro, näyte	Mesof. sienet	Xerof. sienet	Termot. sienet	Yhteensä
8. a (ohra)	220000	9900	210000	439900
3. b	580000	570000	43000	1193000
3. c	700000	350000	150000	1200000
7. d (rypsi)	22000	11000	50	33050
8. e	9000	4200	22000	35200

a = kylmäilmakuivuri, n. 5m päästä esipuhdistimen poistoputkesta

b = lämminilmakuivuri, pölysiilon tyhjennys, alakerta

c = lämminilmakuivuri, pölysiilon sisältä

d = lämminilmakuivuri, kuivurin tyhjennys

e = ulkoilmanäyte

LIIITE 2

Yksittäisten sienilajien ja -ryhmien pitoisuudet kylmä- ja lämmintilakultivureissa (- ei esiinny, + alle 1000 cfu/m<sup>3</sup>, ++ 1000-10000 cfu/m<sup>3</sup>, +++ 10000-100000 cfu/m<sup>3</sup>, ++++ yli 100000 cfu/m<sup>3</sup>).

Sienilaji tai sieniryhmä	KYLÄMÄILMAKULTIVURIT					LÄMMINTILMAKULTIVURIT								
	5.	8.	9.	VA	Kui-vaus 6.	1.	2.	VA	VA*	Kui-vaus 3.	5.	4.	VA	3.
<i>C. clad.</i>	++++	++++	++++	++++	+++	++++	++++	++++	++++	+++	++++	++++	+++	++++
<i>R. gl./hiivat</i>	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Sporob. sp.</i>	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Alternaria sp.</i>	+	+	++	+	-	+	+	-	+	+	+	++	-	+
<i>B. cinerea</i>	-	+	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-
<i>Ceph. sp.</i>	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	++	+	+
<i>G. candidum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>T. vitide</i>	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhinocl. sp.</i>	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	+
<i>Arthro. sp.</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>A. pullulans</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+
<i>Monoc. sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Hyalod. sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+
<i>Phial. sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Monilia sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>A. corymbifera</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>R. nigricans</i>	+	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	-
<i>Hansfordia sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-
ster. sienet	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>P. varioii</i>	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	+
<i>Macor sp.</i>	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	-	+
<i>Penicillium sp.</i>	+++	++	++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	+++
<i>Aspergillus sp.</i>	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>A. umbronus</i>	-	-	-	-	+	+	-	++	+	+	+	+	+	+
<i>A. fumigatus</i>	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
<i>A. candidum</i>	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	+	++

VA\* = VAKOLAN koekuvuri,

*C. clad.* = *Cladosporium cladosporioides*, *R. gl.* = *Rhodotorula glutinis*, *Sporob. sp.* = *Sporobolomyces sp.*, *B. cinerea* = *Botrytis cinerea*, *Ceph. sp.* = *Cephalosporium sp.*, *G. candidum* = *Geotrichum candidum*, *T. vitide* = *Trichoderma vitide*, *Rhinocl. sp.* = *Rhinocladia sp.*, *Arthro. sp.* = *Arthrobotrys sp.*, *A. pullulans* = *Aureobasidium pullulans*, *Monoc. sp.* = *Monocillium sp.*, *Hyal. sp.* = *Hyalodendron sp.*, *Phial. sp.* = *Phialophora sp.*, *A. corymbifera* = *Asbidia corymbifera*, *R. nigricans* = *Rhizopus nigricans*, *P. varioii* = *Paecilomyces varioii*, ster. sienet = steriilit sienet



## LIITE 3

Mikrobikasvun runsaus pölysiilon tyhjennyksestä otetussa pölynäytteessä.

Mikrobi tai mikrobiryhmä	Kasvun runsaus
<b>Mesofiiliset sienet:</b>	
<i>Penicillium sp.</i>	+++
<i>Rhodotorula glutinis</i> /hiivat	++
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	+
<i>Cephalosporium sp.</i>	+
<i>Hyalodendron sp.</i>	+
<b>Xerofiiliset sienet:</b>	
<i>Penicillium sp.</i>	+++
<i>Rhodotorula glutinis</i> /hiivat	++
<i>Aspergillus umbrosus</i>	+
<b>Termotolerantit sienet:</b>	
<i>Aspergillus fumigatus</i>	+++
<i>Mucor sp.</i>	+
<i>Penicillium sp.</i>	+
<i>Rhizopus nigricans</i>	+
<b>Termofiiliset aktinomykeetit:</b>	
<i>Thermoactinomyces vulgaris</i>	+++
<i>Thermoactinomyces thalpophilus</i>	+
<b>Mesofiiliset bakteerit</b>	+++
<i>Streptomyces sp.</i>	++

## LIITE 4

Sieni-itiöpitouduudet kylmä- (K) ja lämminilmakuivurin (L) täyttö- ja tyhjennysvaiheessa vuonna 1990 (cfu/m<sup>3</sup>).

Tila nro, näyte	Mesof. sienet	Xerof. sienet	Termot. sienet	Yhteensä
<b>Kylmäilmakuivurin täyttö</b>				
VAKOLA (ohra)				
ei pohjaimua	260000	130000	13000	403000
pohjaimu käytössä	38000	47000	1200	86200
<b>Kylmäilmakuivurin tyhjennys</b>				
VAKOLA (ohra)				
ei pohjaimua	61000	65000	3700	129700
pohjaimu käytössä	19000	67000	4000	90000
VAKOLA* (vehnä)				
	260000	85000	52000	397000
1. (ruis)				
	300000	64000	56000	420000
2. (vehnä)				
	3200	12000	100	15300
<b>Lämminilmakuivurin täyttö (kippaus)</b>				
VAKOLA				
ei kohdepoistoa (ruis)	33000	56000	15000	104000
kohdepoisto (ruis)	16000	88000	400	104400
kohdepoisto (vehnä)	15000	58000	200	73200
3.				
ei kohdepoistoa (ruis)	50000	20000	0	70000
ei kohdepoistoa (vehnä)	7400	-	-	21670
kohdepoisto (vehnä)	-	14000	270	-
kohdepoisto (ohra)	47000	160000	56000	263000
<b>Lämminilmakuivurin tyhjennys</b>				
VAKOLA (ruis)				
ei kohdepoistoa	26000	120000	2100	148100
kohdepoisto	4600	23000	50	27650
3. (ruis)				
	6800	30000	2500	39300
10. (ohra)				
2. kerros	10000	39000	550	49550
alakerta	200000	80000	6900	286900
<b>Ulkoilmanäytteet</b>				
16.8.	240	1200	0	1440
23.8. 3 m l-kuivurista	3100	4500	180	7780
23.8. 30 m l-kuivurista	2900	5000	80	7980

\* = VAKOLAn koekuivuri

## VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUKSIA

- | No  | Nimi  |
|-----|---|
| 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.<br>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. Kylmäilma-kuivurin 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.  |
| 61. | SARIOLA, J., TUUNANEN, L., ESKELINEN, T., LOUHELAINEN, K. & RIPATTI, T. Viljankuivauksen pölyhaitat. 1992.  |
| 62. | SUOKANNAS, A. Säilörehun siirto ja käsittely talvella. 1991.  |

