



VAKOLA

PPA 1
03400 VIHTI
913-46 211

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

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS 48

M. PUUMALA - J. KARHUNEN -
K. LOUHELAINEN - P. VILHUNEN

JAUHATUKSEN TILANTARVE JA PÖLYHAITTOJEN VÄHENTÄMINEN

REQUIREMENT OF SPACE IN GRINDING AND
MEANS TO REDUCE THE INJURIOUS
EFFECTS OF DUST

VIHTI 1987

ISSN 0782-0054

ALKUSANAT

Maatiloilla käytännön olosuhteissa suoritetuissa mittauksissa on viljan jauhatuksessa todettu syntyvän huomattavia jopa terveydelle haitallisia pölypitoisuuksia, joiden torjuntamenetelmien tutkimista laboratorio-olosuhteissa on pidetty tärkeänä. Tätä tutkimusta varten maatilahallitus myönsi valtion maatalousteknologian tutkimuslaitokselle (VAKOLA) 100.000 mk:n suuruisen määrärahan. Samalla se määräsi tutkimukselle valvojakunnan, johon kuuluivat puheenjohtajana toiminnanjohtaja Gunnar Wickström sekä jäsenenä professori Osmo Kara, tutkimusjohtaja Markku Nevala ja agronomi Hannu Heikkilä.

Tutkimus suoritettiin 16.3.-16.9.1987. Tutkimuksen johtajana toimi VAKOLasta tarkastaja Jorma Karhunen ja tutkijana dipl.ins. Maarit Puumala, lisäksi jauhatuskokeissa avusti tutkimusteknikko Unto Mykkänen. Jauhatuskokeet ja pölymittaukset suoritettiin yhteistyössä Kuopion aluetyöterveyslaitoksen (KATTL) kanssa, josta tutkimukseen osallistuivat työhygieenikko Kyösti Louhelainen ja tutkija Pekka Vilhunen.

VAKOLA kiittää maatilahallitusta, valvojakuntaa sekä KATTL:ta ja työhön osallistuneita tutkijoita.

Vihdissä 16.9.1987

VALTION MAATALOUSTEKNOLOGIAN TUTKIMUSLAITOS

SISÄLLYSLUETTELO		Sivu
TIIVISTELMÄ		I
SAMMANFATTNING		III
SUMMARY		V
1.	Jauhatuksen tarpeellisuus	1
2.	Viljan jauhatuksen tilantarpeet ja vaatimukset rakenteille	1
2.1	Myllyt	1
2.2	Rehusekoittimet	9
2.3	Siilot	15
2.4	Viljan ja tiivisteiden annostelu- ja siirtolaitteet	18
2.5	Automatisointi	25
3.	Pölyn määrä ja sen torjunta	27
3.1	Pölyn määrä	27
3.2	Pölyn torjunta	34
3.2.1	Toimenpiteet pölyn muodostumisen vähentämiseksi	35
3.2.2	Toimenpiteet pölyn leviämisen estämiseksi	37
3.2.3	Erilaisia mahdollisuuksia pölyn keräämiseksi ja palauttamiseksi rehuun	46
4.	Suosituksset rakenteille ja jauhatuksen järjestetyille	47
4.1	Esimerkkejä jauhatuksen järjestelyistä	47
4.1.1	Valssimyllyjen jauhatusjärjestelyjä	49
4.1.2	Vasaramyllyjen jauhatusjärjestelyjä	51
4.2	Rehunvalmistusketjujen pölyntorjunta	56
4.3	Rehunvalmistusketjujen kustannuksia	58

KIRJALLISUUSLUETTELO

LIITTEET	1 Luettelo markkinoilla olevista myllyistä
	2 Kuopion aluetyöterveyslaitoksen lausunto myllyjen pölymittauksista

TIIVISTELMÄ

Kotieläinten ruokinnassa on erilaisten käsittelytapojen vaikutukseen rehun maittavuuteen, sulavuuteen ja hyväksikäyttöön alettu kiinnittää aikaisempaa enemmän huomiota. Viljan jauhatus rehuksi on tarpeellista ainakin nautakarjalle ja sioille. Maatiloilla jauhatukseen käytetään pääasiassa vasaramyllyjä. Valssimyllyjen osuus on noin 20 %, näistä pääosa nautakarjatiljoilla.

Rehunvalmistuslaitteita on markkinoilla useanlaisia. Laitteisto tulee valita kunkin tilan tarpeiden mukaan, jolloin lähtökohdina ovat karjan koko, tarvittavien rehuseosten määrä ja tyyppi sekä viljavaraston muoto ja sijainti ruokintapaikkaan nähden. Lisäksi laitteiston tulee täyttää seuraavat vaatimukset: hyvä käyttövarmuus, rehu tasalaatuista ja sopivan karkeusasteista, rehuseosten valintamahdollisuudet riittävät ja muuntelu joustavaa, valvonta suhteessa tilan resursseihin ja toivomuksiin, sekä pölyn leviäminen estettävä ja häiritsevää melua vähennettävä mahdollisimman hyvin.

Pölyä syntyy jauhatuksessa aina. Sen määrään voidaan vaikuttaa suunnittelemalla ja sijoittamalla laitos oikein. Pölyn muodostumista voidaan vähentää minimoimalla viljan ja jauhon siirrot jauhatustilassa. Tutkimusten mukaan valssimylly pölyää vähemmän kuin vasaramylly, vaikka VAKOLAn kokeissa ei tällaista havaittu. Lisäksi kostea vilja pölyää vähemmän kuin kuiva. Tällöin happokäsitelty tai kosteana ilmatiiviisti säilötty vilja ovat käyttökelpoisia.

Tehokas pölynleviämisen estämiskeino on tiivistää laitteiden väliset liitokset ja putkien saumat huolellisesti tai koteloida pölynlähde. Tiivistämisessä ovat vaseliini ja ilmastointiteippi käyttökelpoisia, koteloinnissa rakennuslevyt, pahvi ja muovi.

Puhallusmyllyn yhteydessä on käytettävä syklonia, milloin ei voida suoraan puhaltaa siiloon, ja pölyn-suodattimia. Pelkkä sykloni ei riitä, koska se ei erota hienojakoista pölyä. Pölyn-suodattimen pinta-alan on oltava riittävän suuri suhteessa myllyn tehoon, 1,2-1,5 m²/kW. Suodattimen sijasta sykloniin

voidaan liittää tiivis putki, joka johtaa pölyn jauhatustilasta ulkoilmaan. Pölyn johtamista muualle esim. jauhatustilan vintille ei suositella, koska muodostuvat pölykerrokset aiheuttavat tulipalovaaraa.

Kaikkea pölyä ei voida koskaan saada pois. Jos kokonaispölypitoisuus nousee yli hygieenisen raja-arvon 5 mg/m^3 , on henkilökohtaisten suojainten käyttö suositeltavaa. Suojaimiksi sopivat P1-luokan kertakäyttösuojaimet tai ko. vaatimukset täyttävät suodattimet puoli- tai kokonaamarissa. Myös pölynsoojakypärän käyttö on mahdollista.

Pölyntorjuntatoimenpiteiden kustannukset eivät ole suuria verrattuna koko jauhatuslaitoksen kustannuksiin. Laitos maksaa 20.000-60.000 mk ja kallein kaupallinen pölynsuodatusyksikkö noin 1000 mk.

SAMMANFATTNING

Vid utfodring av husdjur har man börjat fästa allt mera uppmärksamhet på inverkan av olika hanteringsmetoder på smaken, smältandet och utnyttjandet av kraftfoder. Det är nödvändigt att mala spannmålen till foder för nötboskap och svin. På gårdarna användes huvudsakligen slagkrysskvarnar. Krossarnas andel är ca 20 %, huvudsakligen på gårdar med nötboskap.

På marknaden finns många olika maskiner för beredning av kraftfoder. Man bör välja anläggningen till sin gård enligt behov med utgångspunkterna: antal djur, antal och slag av behövliga kraftfoderblandningar samt form och läge av spannmålslager med hänsyn till utfodringsplats. Dessutom måste anläggningen fylla följande krav: god driftsäkerhet, jämn kvalitet och lämplig grovhet på kraftfodret, tillräckligt varianter i recepten och att det är lätt att variera recepten, arbetsinsatsen är lämplig med hänsyn till tillgänglig arbetskraft och önskemål, dammspridningen måste förhindras och störande buller måste minskas så väl som möjligt.

Damm uppstår alltid vid malningen. Man kan inverka på dammkoncentrationen genom att planera och placera anläggningen rätt. Dammbildningen kann minskas genom att minimera transporten av spannmål och mjöl i foderberedningsutrymmet. Enlig undersökningar är dammbildningen vid krossning av korn mindre än vid malning, fastän proven utförda på VAKOLA inte har visat något sådant. Dessutom dammar vått korn mindre än torrt korn vid malning. Således är syrabehandlat eller vacuumkonserverat korn fördelaktiga alternativ.

En effektiv möjlighet att förebygga dammspridningen är att täta förbindelserna mellan de olika delarna och transportörens fogar eller kapsla in dammkällan. Till tätning används lämpligast vaselin och luftkanalstejp, vid inkapsling används byggskivor, kartong och plastfolie.

Vid malning med kvarnar utrustade med fläkt måste man alltid använda cyklon och dammfilter, om det är inte möjligt att blåsa mjölet direkt in i silon. Användandet av enbart cyclon

är inte tillräckligt eftersom den inte avskiljer de minsta dammpratinklarna. Dammfiltrets yta måste vara tillräckligt stor i förhållande till kvarnens effekt, ca. 1,2-1,5 m²/kW. Ett alternativ till filter är ett dammtätt rör från cyklonen som för dammet ut från foderberedningsutrymmet. Att föra dammet till något annat utrymme tex. till vinden ovanför foderberedningsutrymmet rekommenderas inte, eftersom dammlagringarna förorsakar brandfara.

Helt dammfritt kan det aldrig bli. Om dammkoncentrationen stiger över det hygieniska gränsvärdet 5 mg/cm³ rekommenderas man använda personlig skyddsutrustning. Lämpliga är formpressade engångsfiltermasker av klass P1 eller filter av samma klass infästa i en halv- eller helmask. Det är också möjligt att använda dammskyddshjälm.

Dammreduceringsåtgärderna förorsakar inte stora kostnader i förhållande till hela foderberedningsanläggningen, som kostar 20.000-60.000 mk och den dyraste komerciella dammfiltringsenheten ca. 1000 mk.

SUMMARY

In feeding of farm animals more attention than earlier has been paid to the appetizing, digestion and utilization of the feed. It is necessary to grind the cereals at least for cattle and pigs. Mainly hammer mills are in use on farms. The share of roller mills is about 20 %, mainly on cattle farms.

There is a great variety of feed processing plants on the market. The installation must be chosen according to the needs of the farm. Then the starting-points are the amount of the herd, number and type of the needed rations and the shape of the cereal store and its situation in relation to the feeding place. Besides this the mixing machinery must fill up the following requirements: great reliability in operation, the produced feeding-stuff is well-proportioned and the fineness of grain is correct, wide range of variations of rations and variation is easy, labour requirement is in relation to the farms capacity and wishes, and to prevent dust to spread and reduce the disturbing noise as much as possible.

Grinding always springs up dust. One can influence on the quantity of dust by planning and placing the feed processing plant correctly. To prevent dust production the transfer of grain and meal must be minimized. According to the study the roller mills spring up less dust than hammer mills although this was not noticed during the research in VAKOLA. Besides grinding of humid grain springs up less dust than that of dry grain. In that case acid storing of grain or sealed airtight storage are good solutions.

An efficient mean to prevent dust to spread is to seal all connections between conveyors, bin outlets and other equipment or to put the dust source into a casing. In sealing vaseline and tape, used for air-conditioning fittings, are suitable and for casing hardboard, cardbord and plastic are proper materials.

With hammer mill, where pneumatic conveying is used, a cyclone and filter socks are needed, if the meal can not be conveyed

directly to a bin. Cyclone alone is not enough, because it can not separate small particle dust. Filters should have a 1,2-1,5 m² sock area for every kW of the mill size. Instead of a filter there can be a tight tube connected to the cyclone so that dust can get out that way. It is not recommended to blow dust elsewhere e.g. to the space above the grinding room because it creates a fire risk.

Dust can never be entirely eliminated in a feed processing plant. If percentage of dust arises above the hygienic limit of 5 mg/m³, it is recommended to use personal protectors. P1-type disposable masks and half or full masks with filters meeting the respective requirements make good safety equipment. Also use of dust helmets with air filters is possible.

The costs of the dust prevention are not very high compared with those of a whole feed processing plant. A plant can cost 20.000-60.000 mk while the filter sock equipments cost about 1000 mk.

1. JAUHATUKSEN TARPEELLISUUS

Sikojen ja siipikarjan rehusta keskimäärin 75-80 % on viljaa. Myös märehitijöiden ruokinnassa viljan osuus on lisääntynyt muodostaen lypsylehmillä noin 40 % ja lihanauodoilla väkirehuun perustuvassa ruokinnassa jopa 90 % energian saannista. Viljan käytön lisääntyessä kotieläinten ruokinnassa erilaisten käsittelytapojen vaikutukseen rehun maittavuuteen, sulavuuteen ja hyväksikäyttöön on alettu kiinnittää aikaisempaa enemmän huomiota.

Lampaille ja vuohille voidaan syöttää kokonaista viljaa. Nautakarjalle syötettävä vilja on käsiteltävä, joko jauhettava tai litistettävä, ennen ruokintaa riittävän hyvän sulavuuden varmistamiseksi. Myös sioille vilja on jauhettava, mutta liian hienoksi jauhamista on vältettävä.

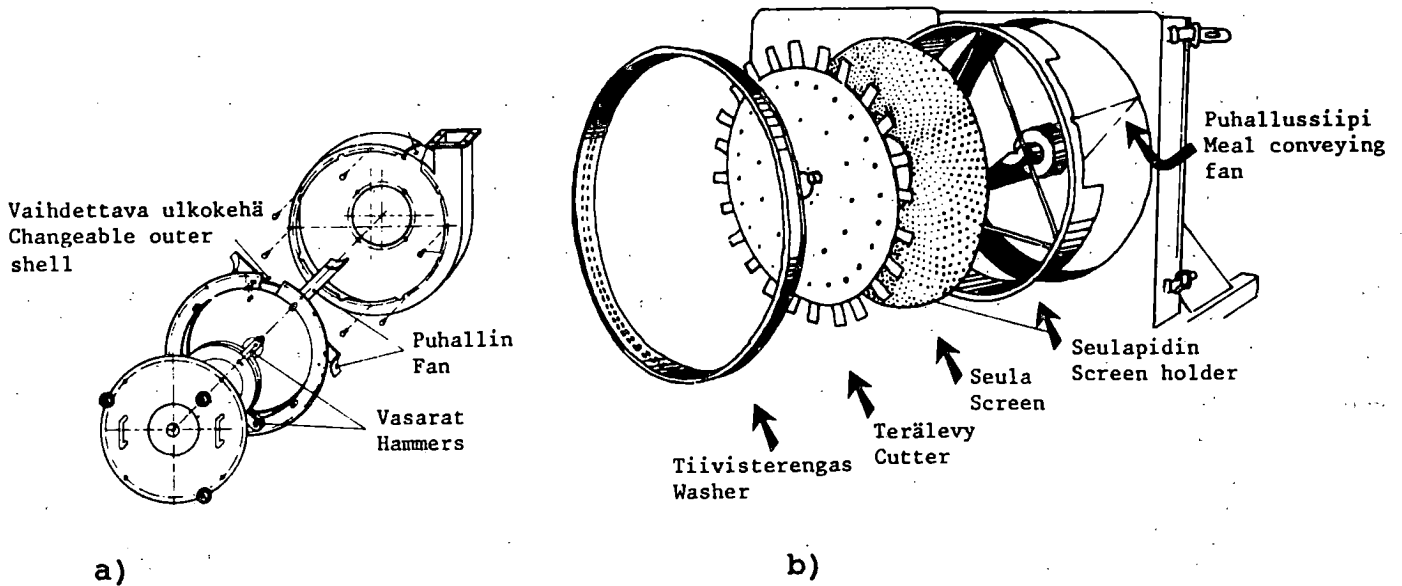
Pölyn suhteen litistetty vilja tuntuu ennakolta paremmalta vaihtoehdolta kuin jauhettu. Silmämääräisesti arvioiden litistetyssä viljassa näyttää olevan huomattavasti vähemmän irtonaista hienoa jauhoa kuin jauhetussa viljassa.

2. VILJAN JAUHATUKSEN TILANTARPEET JA VAATIMUKSET RAKENTEILLE

2.1 Myllyt

Työtehoseuran v. 1984 tekemän tutkimuksen mukaan n. 75 % käytössä olevista myllyistä oli vasaramyllyjä. Kivi- ja valsmyllyjä oli käytössä vain nautakarjatiljoilla. Suomessa nykyisin myydyistä myllyistä n. 85 % on vasaramyllyjä, mikä vastaa n. 1300 kpl/vuosi. Valssimyllyjä myydään n. 100 kpl/vuosi ja teräslevymyllyjä n. 80 kpl/vuosi.

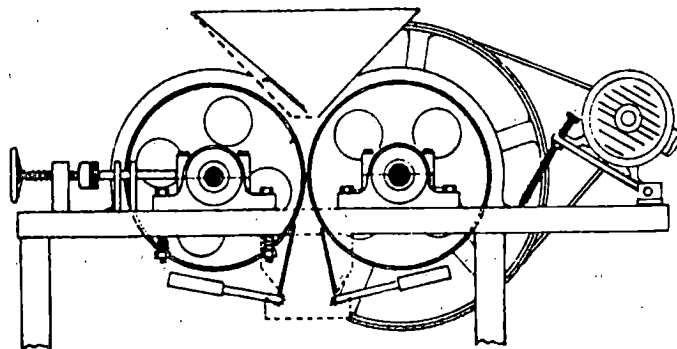
Vasaramyllyssä hienontuminen tapahtuu jauhatuskammiossa. Siellä nopeasti pyörivät ja vapaasti riippuvat vasarat suorittavat jauhamisen. Jauhatuskammion seulan reikäkoko valitaan halutun jauhon karkeusasteen mukaan. Jauhatuskammion takana on puhallin, jossa on 2-8 siipeä. Puhallin saa aikaan imu- ja painevaikutuksen, joka imee jauhettavan viljan myllyyn ja puhalttaa jauhot siiloon. Vasaramyllyn rakenne on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Vasaramyllyn periaatekuva
a) tavanomainen vasaramylly (Skiold)
b) ns. puukkomylly (Haukka)

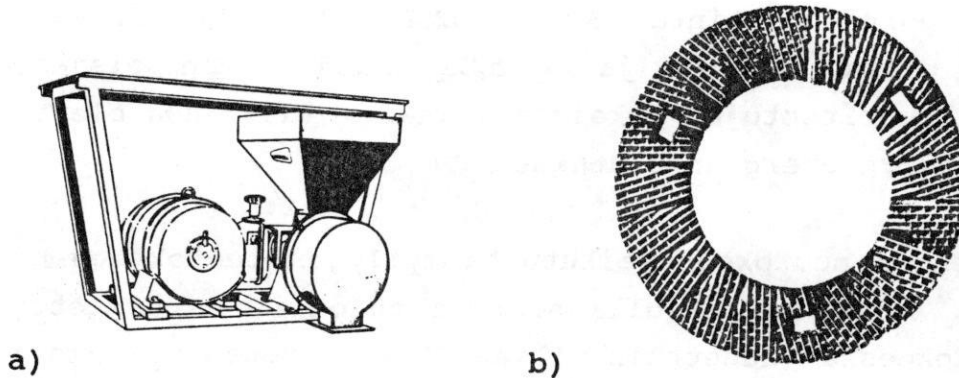
Figure 1. The principle of hammer mill
a) typical hammer mill (Skiold)
b) so-called knife mill (Haukka)

Valssimyllyissä, kuva 2, on 1-3 teräksistä tai valurautaista valssia, jotka ovat joko uritettuja tai sileitä. Valssit voivat olla joko saman kokoisia tai erikokoisia. Valssimyllyssä voivat kaikki valssit olla vetäviä tai kahden valssin tapauksessa vain toinen on vetävä. Jauhojen hienous määrätään valssien väliä säätämällä tai valssien välisen jousen kireyttä muuttamalla.



Kuva 2. Valssimylly, jossa yhtäsuuret valssit. /3/
Figure 2. Roller mill with rollers of the same diameter. /3/

Teräslevymylly vastaa toiminnaltaan kivimyllyä. Siinä vilja jauhaantuu hiottujen teräslevyjen välissä. Jauhatusaste määräytyy levyjen väliä säätämällä. Myllyä valmistetaan puhaltimella ja ilman puhallinta. Teräslevymylly ja jauhinlevy on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. a) teräslevymylly kattokannattimessa (Cormall)
 b) erikoisteräksinen jauhinlevy
 Figure 3. a) plate mill in a ceilingstand (Cormall)
 b) grinding plate made of special steel

Valssimyllyt jauhavat noin neljä kertaa tehokkaammin kuin vasaramyllyt. Sen vuoksi saman jauhatustehon aikaan saamiseksi riittää esimerkiksi 11 kW:n vasaramyllyn tilalle 3 kW:n valssimylly. Kuitenkin 7,5 kW ja 11 kW tehoiset valssimyllyt ovat eniten myytyjä. Syynä saattaa olla suurentuneen teho vaatimuksen lisäksi se, että vanha moottori halutaan käyttää hyväksi myllyä uusittaessa.

Taulukossa 1 on esitetty tutkimuksessa mukana olleiden myllyjen teknisiä tietoja. Taulukossa 2 ja 3 on esitetty eri jauhatusolosuhteissa saavutetut jauhatustehot. Tutkimuksessa mukana olleiden myllyjen jauhatustehot vaihtelivat melko paljon koejärjestelyistä johtuen. Taulukossa 1 ilmoitettu teho on keskimääräinen, mikäli ko. myllyllä on suoritettu useampi ajo. Energiankulutus on laskettu hyötysuhteella 0,88/11 kW moottori ja 0,85/7,5 kW moottori. Energiankulutuksia verrattaessa on otettava huomioon, että vasaramyllyjen osalta siihen sisältyy viljan imu myllyyn ja puhallus siiloon tai säkkiin, kun valssimyllyillä energian kulutus on pelkän jauhamisen

tarvitsema energia. Energiankulutuksen ero verrattaessa pelkkiä vasaramyllyjä keskenään ei ole taloudellisesti merkitsevä, koska 3 Wh/kg rahallinen ero on n. 90 mk jauhettaessa 100 000 kg viljaa. Samoin valssimyllyjen keskinäisen energiankulutuksen eroilla ei ole taloudellista merkitystä.

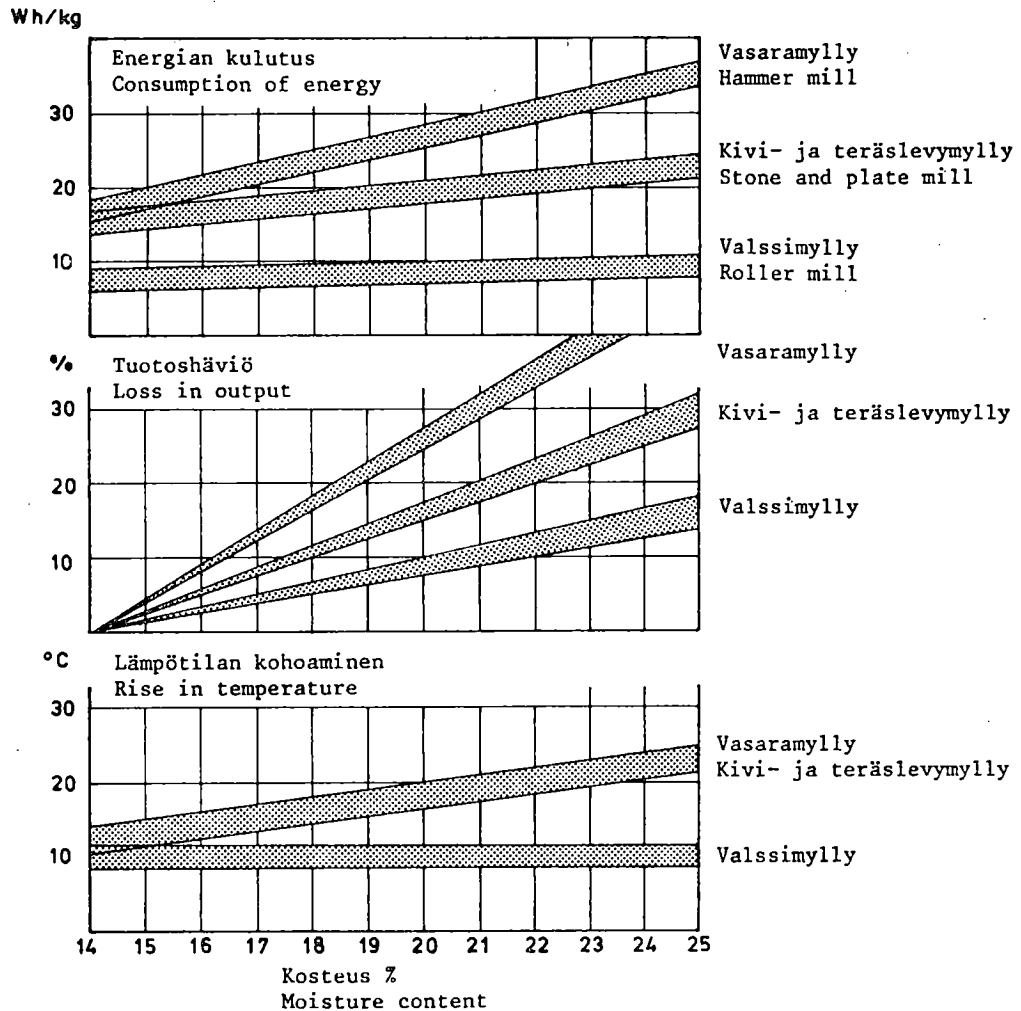
Haukka HMS -myllyllä säkkiin jauhettaessa saatiin energiankulutukseksi 16 Wh/kg, kun pölynsuodatin oli kiinni ja 15 Wh/kg ilman pölynsuodatinta. Skjold BM2 HF2 -myllyllä vastaavat arvot olivat 16 Wh/kg ja 17 Wh/kg. Suodattimen poisjättämisellä ei suoritettujen kokeiden mukaan voida sanoa olevan vaikutusta myllyn energiankulutukseen.

Viljan kosteuden muutoksen vaikutusta myllyjen tuotokseen on tutkittu mm. Tanskassa. Siellä saatuja tuloksia on esitetty kuvassa 4. Kokeessa jauhettiin viljaa 50 % hienousasteiseksi; merkitsee, että 50 % jauhoista ohittaa seulan, jonka reikien läpimitta on 1 mm. Tällöin todettiin, että kosteus-%:n nouseminen vaikutti eniten vasaramyllyn tehonkulutukseen ja vähiten valssimyllyihin. Kivi- ja teräslevymyllyjen välillä ei huomattu eroja.

Kosteusprosentin kohoaminen 15:sta 25:een aiheutti vasaramyllyillä 50 % tuotoshäviön, kivi- ja teräslevymyllyille n. 30 % häviön ja valssimyllyille n. 10 % häviön. Tuotosta rajoittavana tekijänä oli poikkeuksetta moottorin koko. Tehonkulutuksen noustessa kostean viljan takia, syntyi tuotostappioita.

VAKOLAn ryhmäkoetuksessa valssimyllyjen tuotos pieneni eri myllyillä 16...55 %, keskimäärin 35 %, jauhettavan viljan kosteusprosentin kasvaessa 14:sta 24:ään.

Jauhon lämpötilan kohoaminen kosteusprosentin noustessa oli tanskalaisessa kokeessa yhtä suurta vasaramyllyille sekä kivi- ja teräslevymyllyille, eli lämpötila nousi melko voimakkaasti. Valssimyllyllä jauhettaessa kosteuden muutoksen ei huomattu vaikuttavan jauhun lämpötilaan. VAKOLAssa valssimyllyille tehdyissä kokeissa jauhot lämpenivät alle 7 °C.



Kuva 4. Viljan kosteuden vaikutus myllyjen energiankulutukseen ja tuotokseen sekä jauhetun viljan lämpötilan muutokseen. Jauhettu vilja ohra. /3/
Figure 4. The effect of grain moisture content on consumption of energy on output of the mill and on change of temperature in meal. Grinding barley. /3/

Melu mitattiin 1 m etäisyydeltä myllystä. Taulukon 1 luvut ovat myllyn eri puolilta saatujen mittaustulosten keskiarvoja. Myllyjen melu viljaa jauhettaessa vaihteli 90-106 dB(A) välillä. Vasaramyllyillä vaihteluväli oli 90-94 dB(A) ja valssimyllyillä 94-106 dB(A). Kaikkien myllyjen kohdalla melu on niin kovaa, että kuulosuojainten käyttö on pakollista.

Liitteessä 1 luetellaan myllynvalmistajia ja heidän tuotteitaan.

Taulukko 1. Tutkimuksessa mukana olleiden myllyjen teknisiä tietoja
Table 1. Technical data about mills of this research

Myllyn nimi ja malli Mill, name and model	Esa Junkkari MJ/KE	Haukka HMS	Skiold BM2HF2	Bioteräs -	Junkkari VMJ1000	Skiold KB250/2	Haukka HM-103
tyyppi type	vasara hammer	vasara hammer	vasara, hammer	valssi, roller 2 kpl	valssi, roller 2 kpl	valssi, roller 2 kpl	valssi, roller 3 kpl
pituus length	83	89	74	116	120	169	174
leveys width	69	82	70	84	51	73	60
korkeus height	103	94	83	150	145	148	157
paino moottoreineen weight with motor	190	180	165	180	210	580	480
moottorin nimellisteho kW nominal efficiency of motor kW	11	11	7,5	4	4	7,5	11
moottorin nimellisvirta A nominal current of motor A	21	21	15,5	8,85	8,7	16,5	23
melu jauhettaessa dB(A) noise during milling dB(A)	94	94	90	98,2)	106,2)	94,2)	101,2)
jauhatusaste kg/h ohra kosteus 14 % output kg/h barley moisture 14 %	476	532/415 ¹⁾	480	900	1125	1123	1800
energiankulutus Wh/kg consumption of energy Wh/kg	17	19/16 ¹⁾	16	4,92)	3,92)	3,72)	4,12)

1) jauhatus siiloon/säkkiin
milling into a hopper/bag

2) arvo saatu valssimyllyjen ryhmäkoetuksen -87 tuloksista
figures have been taken from the results of group test of roller mills in 1987

Taulukko 2. Jauhettut viljamäärät, vasaramyllyt (3 kpl)
 Table 2. Amount of milled grain, hammer mills (3 pieces)

Koe n:o Test number	Tyyppi Type	Virran kulutus Consumption of current	Kokeen kesto Length of test min	Jauhettu viljamäärä Amount of milled grain kg	Jauhatus- teho Output kg/h	Jauhatus- järjestely Grinding arrangement	Huomautuksia Remarks
1	Junkkari Esa MJ/KE 11	14 A	34	270	476,5	siiloon into a hopper	pölynsuodatin kiinni with dust socks closed
2	Haukka HMS 11	15 A	30	300	600,0	syklonin kautta siiloon through cyclone into a hopper	pölynsuodatin kiinni with dust socks closed
3	--	19 A	31	240	464,5	syklonin kautta siiloon through cyclone into a hopper	ed. kokeessa havaitut pöly- vuodot tukittu dust leaks discovered during previous test sealed
4	--	10	80	480,0	syklonin kautta suursäkkiin through cyclone to a big bag	syklonin kautta suursäkkiin through cyclone to a big bag	puhallussiipiä 4, pölynsuodatin kiinni 4 blades with dust socks
5	--	10	70	420,0	syklonin kautta suursäkkiin through cyclone to a big bag	syklonin kautta suursäkkiin through cyclone to a big bag	ed. kokeessa havaitut pöly- vuodot tukittu dust leaks discovered during previous test sealed

6	-"-		15	80	320,0	syklonin kautta suursäkkiin through cyclone to a big bag	kuten edellä puhallusputkessa ø 50 mm supistuslevy as above ø 50 mm throttle in pneumatic pipe
15	-"-	12 A	18	130	433,3	syklonin kautta suursäkkiin	puhallussiipiä 2, pölynsuodatin kiinni, ø 50 mm supistuslevy puhallusputkessa 2 blades with dust socks ø 50 mm throttle in pneumatic pipe
16	-"-	11 A	17	120	423,5	syklonin kautta suursäkkiin through cyclone to a big bag	ei pölynsuodattina as above without dust socks
10	Skiold BM2HF2 7,5	14 A	30	240	480,0	syklonin kautta paperisäkkiin through cyclone to a paperbag	pölynsuodatin kiinni with dust socks
11	-"-	14 A	32	270	506,3	syklonin kautta paperisäkkiin through cyclone to a paperbag	ed. kokeen pölyvuodot tukittu dust leaks discovered during previous test sealed
12	-"-	14 A	30	230	460,0	syklonin kautta paperisäkkiin through cyclone to a paperbag	ei pölynsuodattina as above without dust socks

Taulukko 3. Jauhetut viljamäärät, valssimyllyt (4 kpl)
Table 3. Amount of crushed grain, roller mills (4 pieces)

Koe n:o Test number	Tyyppi Type	Virran kulutus Consumption of current	Kokeen kesto Length of test min	Jauhettu viljamäärä Amount of crushed grain kg	Jauhatus-teho Output kg/h	Huomautuksia Remarks
7	Bioteräs	8.4 A	16	240	900,0	Jauhatus saaviin To a tub
8	—	7.5 A	31	310	600,0	Ed. kokeen pölyvuodot Dust leaks discovered during previous test sealed
9	Junkkari VMJ 1000	8 A	16	300	1125,0	Jauhatus saaviin To a tub
13	Skiold KB-250		31	580	1122,6	Jauhatus saaviin To a tub
14	Haukka HM-103		32	960	1800,0	Jauhatus saaviin 3-valssinen To a tub, 3-rollers

Jauhettu vilja kuumailmakuivurissa kuivattua ohraa, kosteus 14%.

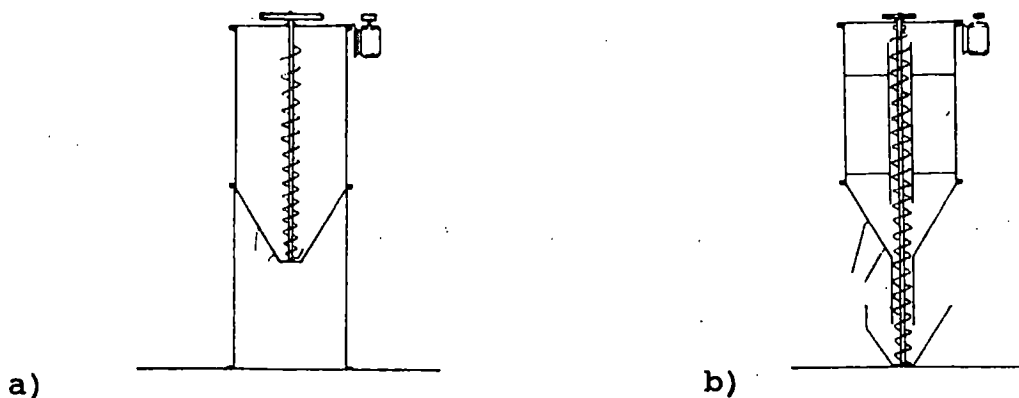
Crushed grain was barley, m.c. 14 %, dried in a hot air dryer.

2.2 Rehusekoittimet

Eläimen kannalta viljan ja valkuaisrehun sekoittaminen ei ole tarpeellista. Työn vähentämisen kannalta rehun sekoittamisella on merkitystä, joskin nykyään on saatavana rehuvaunuja, joilla eri rehunosat voidaan jakaa yhdellä rehunjakokierroksella. Parhaiten sekoituslaitteiden käyttö soveltuu lihasikaloihin, missä voidaan käyttää yhtä tai kahta seosta koko kasvatuskauden.

Rehun sekoittaminen voidaan suorittaa kahdella eri tavalla; erinä tai jatkuvatoimisesti. Eräsekoituksessa aineosat lisätään annoksina, jotka muodostavat yhdessä tietyn suuruisen valmisrehuerän. Sekoittamisessa käytetään eräsekoittimia, jotka sekoittavat rehun jonkin tyyppisen liikkuvan kuljettimen avulla. Sekoitettavat erät voivat olla pieniä, 100 kg tai suuria, 3000 kg. Suuria sekoittimia käytetään yleensä myös valmisrehusiiloina, kun taas pienillä valmistetaan vain kerralla tarvittava rehumäärä. Jatkuva sekoittaminen tarkoittaa sitä, että aineosat lisätään yhtäaikaan tietyssä suhteessa seokseen. Usein sekoittaminen tapahtuu jauhamisen tai murskaamisen yhteydessä.

Eräsekoittimet: Eräsekoittimet jaetaan kolmeen eri periaatteella toimivaan sekoittimeen: pystysekoitin, vaakasekoitin ja diagonaalisekoitin. Pystysekoittimia on kahta tyyppiä; päältä täytettävä ja pohjasta tyhjennettävä sekä päältä ja pohjasta täytettävä ja sivusta tyhjennettävä, kuva 5.

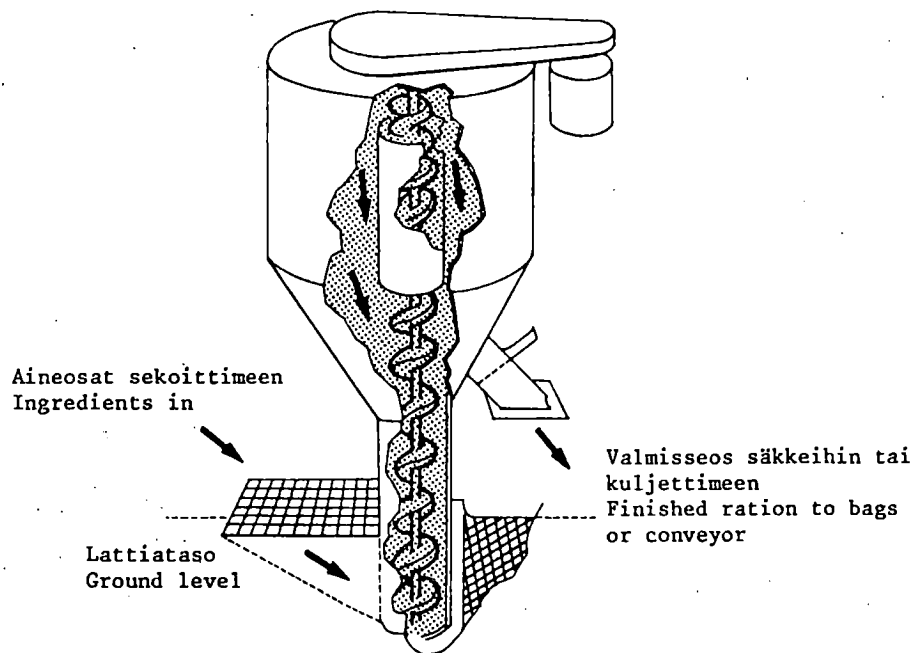


Kuva 5. Pystysekoittimia
 a) päältä täytettävä, pohjasta tyhjennettävä vapaasekoitin
 b) päältä ja pohjasta täytettävä ja sivusta tyhjennettävä pakkosekoitin

Figure 5. Vertical mixers
 a) top filling with bottom unloading free mixer
 b) top and bottom filling with side unloading forced mixer

Ensin mainittua pystysekoitinta käytetään tilanteissa, joissa yläkerroksessa voidaan säilyttää vilja ja tiivisteet. Sekoitin sijoitetaan yleensä siten, että alakerroksessa purkuputki on sopivalla korkeudella säkin tai rehuvaunun täyttöä varten.

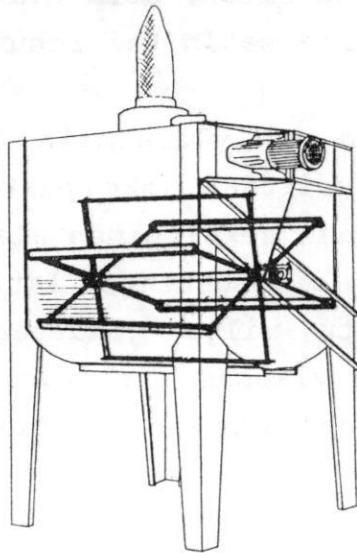
Jälkimmäinen sekoitin on yleisimmin käytössä maataloilla. Sekoitin voi olla tyyppiltään joko pakko- tai vapaasekoitin. Siinä tiiviste kaadetaan sekoittimen alaosassa olevaan suppiloon mikä voi olla sijoitettuna lattiataason alapuolelle. Tavallisimmin jauhettu vilja johdetaan paineella suoraan myllystä sekoittimeen yläosassa olevan aukon kautta. Kuvassa 6 on esitetty periaatekuva pakkosekoittimesta.



Kuva 6. Pakkosekoitintyyppinen pystysekoitin. Tiiviste lisätään lattiaan upotetun suppilon kautta. /1/
 Figure 6. Forced mixer type vertical mixer. Concentrates are added from a hopper below ground level. /1/

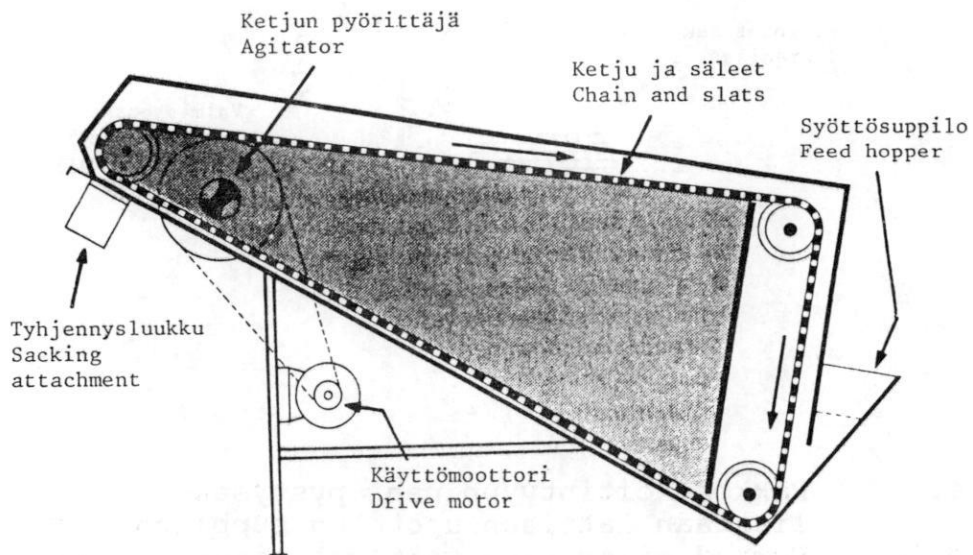
Vaakasekoittimen poikkileikkaus on tavallisesti U:n muotoinen kuva 7. Sekoittajan siivekkeet ovat kiinni akselissa, joka pyörii hitaasti. Sekoitin voidaan täyttää joko käsin tai

koneellisesti. Se tyhjentyy pohjassa olevan luukun kautta, tai siihen on asennettu tyhjennysputki.



Kuva 7. Vaakasekoittimen periaate (Rehujussi)
Figure 7. The principle of horizontal mixer. (Rehujussi)

Diagonaalisekoitin täytetään kaatosuppilon kautta. Siinä on päättymätön sälehihna tai ruuvi, joka kuljettaa ja sekoittaa rehunaineosat, kuva 8. Tällainen sekoitin soveltuu erityisesti litistetyin viljan sekoittamiseen. Valssimylly voidaan asentaa suoraan ko. sekoittimen yläpuolelle, jolloin ei tarvita viljan siirtoa.

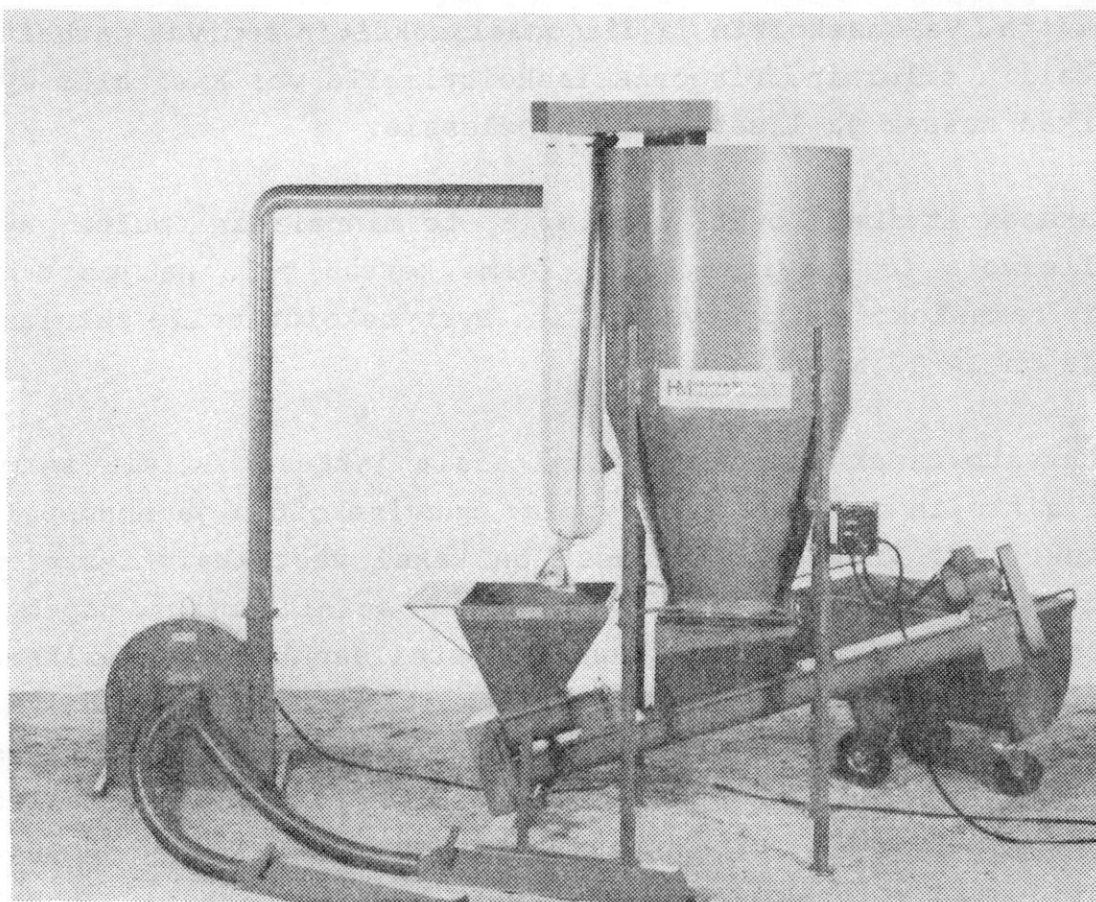


Kuva 8. Sälehihnatyyppinen diagonaalisekoitin. /1/
Figure 8. Slatted conveyor mixer. /1/

Pystysekoittimet tarvitsevat vähiten lattiatilaa koosta riippumatta. Vaakasekoitin ja diagonaalisekoitin sopivat parhaiten mataliin tiloihin. Diagonaalisekoittimella voi käsitellä myös märkää massaa ja lisätä rehuun melassia.

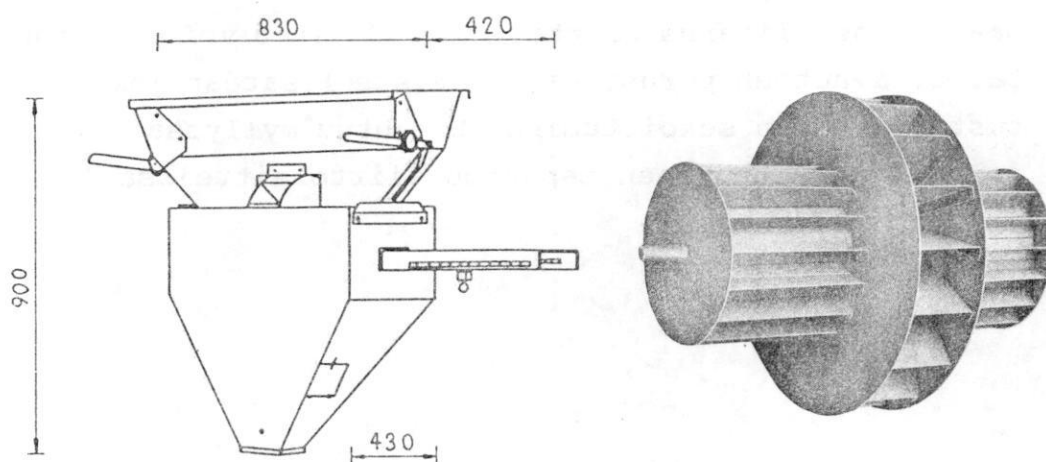
Vaakasekoittimet ovat nopeimpia toiminnaltaan mutta myös kalleimpia ja tarvitsevat n. kolme kertaa niin paljon tehoa kuin samankokoinen pystysekoitin. Pystysekoittimella sekoitus-aika on 10-15 min.

Jatkuvatoiminen sekoitin. Varsinaisia jatkuvatoimisia sekoituslaitteita on kahta päätyyppiä: ruuvisekoitin ja annostelijasekoitin. Ruuvisekoittimessa on kaksi vastakkaiskierteistä ruuvia, jolloin tiivisteiden ja jauhon sekoittuminen tapahtuu tehokkaasti. Tiiviste ja jauho annostellaan kumpikin erikseen sekoittimeen, kuva 9. Annostelijasekoittimessa on suurihalkaisiminen siipiras, jonka molemmiin puoliin on pienempi ratas, jolloin voidaan annostella kolmea eri aineosaa kerrallaan ennen jauhatusta. Pienempien ratasten siivekkeiden asentoa muuttamalla voidaan sekoitussuhdetta muuttaa, kuva 10. Annostelijasekoittimessa ei ole erillistä voimanlähdettä kuten ruuvisekoittimessa, vaan sen käyttövoimana on läpi virtaava vilja. Annostelijasekoitin on varustettu kierroslaskimella, jolloin haluttu rehumäärä voidaan etukäteen säätää. Myös annostelijaa käyttämällä voidaan rakentaa nk. jatkuvatoiminen sekoitin. Tällöin sekä vilja että lisättävä tiiviste kulkevat oman annostelijansa kautta, kuva 11. Tämä voi olla joko painoon tai tilavuuteen perustuva. Tiiviste lisätään joko ennen jauhatusta, jolloin sekoittuminen tapahtuu myllyssä tai sen jälkeen jolloin sekoittuminen tapahtuu siirtolaitteissa.



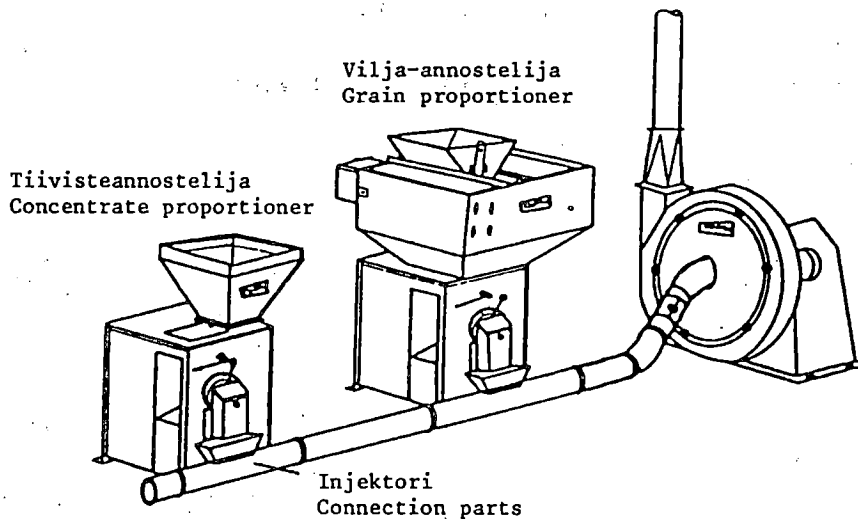
Kuva 9. Jatkuvatoiminen ruuvisekoitin asennettuna jauho-
siilon alle. Tiivisteen annostelija täytetään
suoraan säkistä. (Haukka HM-10)

Figure 9. Continuous auger mixer under a meal hopper.
Concentrate feeder is filled directly from bags.
(Haukka HM-10)



Kuva 10. Annostelijasekoitin, pääpyörän viljavirta pyörit-
tää laitetta, säätö pääpyörällä 6,5-1360 kg.
(Cormall, contimix)

Figure 10. Force-feed proportioning unit with grain flow
drive, adjustment on main wheel 6,5-1360 kg.
(Cormall, contimix)



Kuva 11. Tilavuuteen perustuvat annostelijat vasaramyllyn imuputkeen asennettuna. (Cormall, multimeter)
Figure 11. Volumetric proportioners installed to suction pipe of a hammer mill. (Cormall, multimeter)

Ohjeena eräsekoittimien ja jatkuvatoimisten sekoittimien valinnan välille voidaan esittää seuraavaa:

Eräsekoitin mahdollistaa tarvittaessa pienet laitteistot ja sekoitin sopii hyvin monien ainesten sekoitukseen.

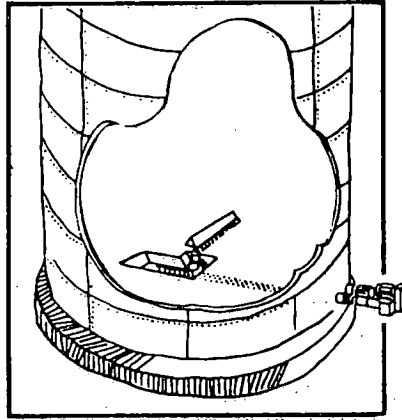
Jatkuvatoiminen sekoitin mahdollistaa työn automatisoinnin joko kokonaan tai osittain, ruokinta voidaan automatisoida ja rehujen siirtolaitteistot voivat olla pitkät.

2.3 Siilot

Siiloja voidaan käyttää kokonaisen viljan, tiivisteiden, jauhetun viljan tai valmiin rehuseoksen varastointiin. Siilot voivat olla tasapohjaisia tai kartiomaisia. Jauhamaton vilja, jos se on puhdasta ja kuivaa, valuu melko helposti, jolloin pohjan kaltevuudeksi riittää 45°. Rikkoutumaton rakeistettu rehu ja pelletit voidaan varastoida samanlaisissa säiliöissä.

Jauhettu vilja ja valmis rehuseos sekä jauhemaiset tiivisteet valuvat huonommin ja vaativat tyhjentyäkseen siilon pohjan kaltevuudeksi 60°. Jos tyhjentyäessä esiintyy hankaluuksia, voidaan siilon kylkeen asentaa sähköinen tärustin, mikä helpottaa tyhjentymistä.

Em. ainesten sekä litistetyin viljan varastointiin voidaan käyttää myös tasapohjaista säiliötä, joka tyhjentyy ruuvikulkijettimen avulla, kuten kuvassa 12 on esitetty. Siilon materiaali voi olla muovia, peltiä, lastulevyä tai kangasta.



Kuva 12. Periaatekuva tasapohjaisen siilon tyhjentämisestä.
Figure 12. Principle of unloading a flatbottomed silo.

Väkirehujen varastointilaitteille on asetettava määrättyjä vaatimuksia rehujen hyvän säilyvyyden takeeksi varastoinnin aikana. Tärkeimmät rehusiiloille asetettavat vaatimukset ovat:

- rehusiilon täytön ja tyhjentymisen on tapahduttava siten, että rehun koostumus ja laatu eivät muutu
- siilon on oltava ehdottoman vesitiivis ja säilöttävä rehu sopivassa lämpötilassa ja kosteudessa
- siiloon ei saa kiinnittyä rehun jätteitä
- siilon on oltava helposti tarkastettavissa ja puhdistettavissa
- siilon on oltava kestävä, helppo huoltaa ja täytettävä määrättyt työturvallisuusnormit.

Seuraavissa taulukoissa (taulukot 4 ja 5) on esitetty jauhamattoman ja jauhetun viljan sekä valmiin rehun ja tiivisteen vaatimia tilavuuksia lajeittain eriteltyinä. On kuitenkin otettava huomioon, että saman viljalajin eri erät saattavat tarvita erisuuria säilytystiloja niiden hehtolitrarapainon vaihdellessa. Erityisesti kannattaa huomata, että jauhettu vilja tarvitsee huomattavasti enemmän tilaa kuin jauhamaton.

Täysrehun tilantarpeen arvioiminen voidaan suorittaa kaavalla:
 $2 \times \text{rehumäärä tonneina} + 20\% \text{ puhallusvaraa}$ eli 10 tn rehua
 vaatii 24 m^3 :n siilon.

Taulukko 4. Arvio säilytystilan tarpeesta eri viljalajeilla.
 Farm feed processing. /1/

Table 4. Approximate space occupied by cereals. Farm feed
 processing. /1/

Vilja- laji Crop	Jauhamaton $\text{m}^3/1000 \text{ kg}$ Unmilled m^3/tonne	Jauhettu x) $\text{m}^3/1000 \text{ kg}$ Meal x) m^3/tonne
Ohra Barley	1.4	2.0
Kaura Oats	1.9	2.4
Vehnä Wheat	1.3	1.9
Herne Peas	1.3	1.7

x) Litistetty vilja saattaa tarvita huomattavasti esitettyä
 enemmän varastotilaa.

x) Rolled as opposed to ground material may occupy more space
 than these figures indicate

Taulukko 5. Arvio säilytystilan tarpeesta eri rehuseoksilla.
Farm feed processing. /1/

Table 5. Approximate space occupied by various other
feeding stuffs. Farm feed processing. /1/

Tiiviste ja rehuseostyyppi Feeding stuff	m ³ /1000 kg m ³ /tonne
Tiivisteet: jauheinen Concentrates: meal form	1.7-1.8
rakeinen pelleted	1.4-1.5
Valmiit seokset: jauheinen/mureinen Finished rations: meal/mash	1.7-2.2
rouhe/rakeinen pellets/cubes	1.4-1.8
seos, jossa paljon litistettyjä aineosia Mixture containing large percentage of rolled material	1.9-2.8
Valmisteet: kalajauho "Straights": fish meal	1.7
soijapapujauho Soya bean meal	2.4
Kivennäinen Mineral supplements	0.8-0.9

2.4 Viljan ja tiivisteiden annostelu- ja siirtolaitteet

Rehuseokset yhdistetään useasta aineosasta. Näiden ravintosisältöjen perusteella laaditaan halutunlainen rehun valmistusohje. Rehuseokseen tarvittavien aineosien annostelu on tärkeää etenkin niiden aineosien osalta, joita tulee hyvin vähän tai jotka sisältävät runsaasti valkuaista. Annostelussa käytetään kahta perusmittaustapaa: tilavuusmittaus ja painon mukainen mittaus.

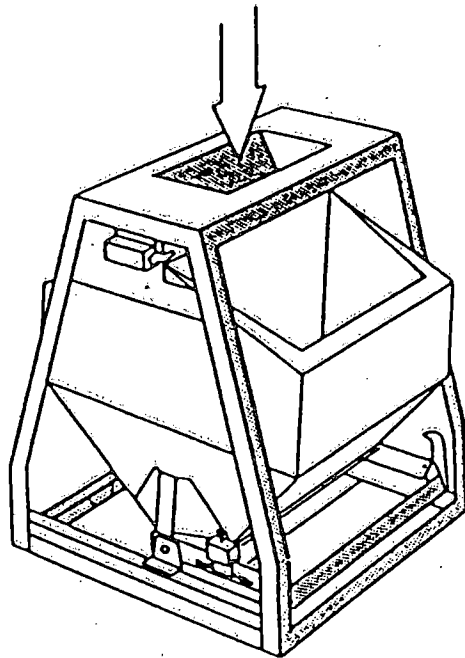
Annostelutavan valinta riippuu mm. raaka-aineiden kosteudesta, tasaisuudesta ja valmistusominaisuuksista sekä minkäasteista mittaustarkkuutta vaaditaan. Yleisesti painonmukaiseen annosteluun vaikuttavat raaka-aineiden muuttuvat ominaisuudet vähemmän kuin tilavuusperustaiseen ja siksi painonmukainen annostelu on täsmällisempää ja varmempaa. Tilavuusperustainen

annostelu vaatii säännöllistä laitteen kalibrointia, jotta riittävä tarkkuus säilyy ja edellyttää siten enemmän valvontatyötä. Lisäksi valmistusohjeen kilomäärät on muutettava litroiksi, sekunneiksi, kierrosluvuiksi jne. Painoon perustuvan annostelijan haittapuolena on kuitenkin, että se on usein kalliimpi kuin tilavuusannostelija.

Painoon perustuvien annostelijoiden tarkkuus on yleensä parempi kuin ± 2 %. Tilavuusannostelijoiden käytännön tarkkuutta on vaikeampi määritellä, koska siihen vaikuttavat ratkaisevasti aineosien ominaisuudet ja valvonnan tehokkuus. Suotuisissa olosuhteissa voidaan päästä ± 5 % tarkkuuteen, mutta poikkeamat voivat helposti olla merkittävästi suurempia jopa yli 10 %.

Painon mukaisessa mittauksessa aineosat voidaan punnita joko erinä tai jatkuvatoimisesti. Maatilalla tapahtuva aineosien punnitus liittyy melkein poikkeuksetta eräsekoitukseen. Eräsekoittimen yhteydessä yksinkertaisin painon mukainen mittaus-tapa on käyttää tietyn painoisiin säkkeihin pakattua tiivistettä. Myös jauhettava vilja voidaan punnita etukäteen. Tämä menetelmä soveltuu pienten erien mittaukseen.

Aineosien punnitus erilaisilla vaa'oilla on kuitenkin eniten käytetty menetelmä. Punnitus tapahtuu kahdella pääasiallisella tavalla. Toinen tapa on käyttää läpivirtausvaakaa. Näistä tavanomaisin on vippavaaka, (kuva 13), jossa on joko kaksi vaakakuppiä, jotka täyttyvät ja tyhjentyvät vuoron perään tai vain yksi vaakakuppi, jolloin läpivirtaus katkeaa tyhjentyksen ajaksi. Eräpunnitukset ovat pieniä, 5-30 kg, koska tarvittavan määrän porrastus on riippuvainen eräkoosta. Punnituksen tarkkuus huononee eräkoon pienentyessä ja siksi punnituserän suuruus valitaan yleensä sekä porrastuksen että täsmällisyyden vaaatimuksista tinkien. Läpivirtausvaa'at ovat yleensä mekaanisia laitteita, joskin sähköisiä vaakoja on äskettäin tullut markkinoille.



Kuva 13. Läpivirtausvaaka tai vippavaaka. Vaa'assa on kaksi vaakakuppia, jotka täyttyvät ja tyhjäntyvät vuorotellen siten, että vaaka kallistuu eteenpäin ja palaa takaisin.

Figure 13. Weigher with grain going through. There are two scales which are filled up one after the other so that the weigher leans ahead and comes back.

Toinen tapa on käyttää koko erän kerrallaan punnitsevaa vaakaa. Punnitussiilona toimii tällöin joko eräsekoitin tai erillinen vaakasiilo. Punnitussiilo voi olla sijoitettuna joko vaa'an päälle tai riippua vaa'an alapuolella. Aineosat punnitaan toinen toisensa jälkeen siilossa, kunnes erä on valmis, mikä mahdollistaa pienien ainemäärien käytön, jopa 1 % koko seosmäärästä, tyydyttävällä tarkkuudella. Koko erän punnitseva vaaka voi olla joko käsin tai automaattisesti ohjattu.

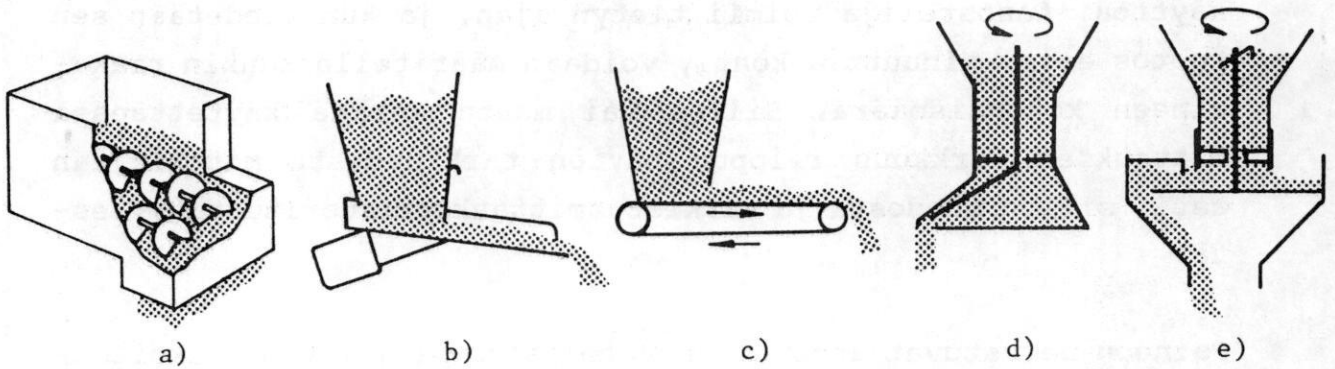
Eräsekoittimien yhteydessä käytettävä tilavuuteen perustuva mittaus on joko tilavuudeltaan tunnetun siilon tms. säilytys-

astian käyttöä tai erilaisten aikaohjattujen annostelijoiden käyttöä. Annostelija toimii tietyn ajan, ja kun tiedetään sen tuotos esim. minuuttia kohti, voidaan määritellä kunkin raaka-aineen kokonaismäärä. Siiltoa tai muuta astiaa käytettäessä mittauksen tarkkuus riippuu täytön tarkkuudesta mittarajaan asti, siilon muodosta ja tarkistusmittauksen suoritustiheydestä.

Painoon perustuvat annostelumenetelmät ovat jatkuvan sekoituksen yhteydessä hyvin harvinaisia maataloilla. Perinteinen nauhavaaka on käyttökelpoinen, mutta sen korkea hinta on esteenä käytölle.

Tilavuusannostelussa käytetään laitteita, joiden tuotosta voidaan säätää. Käytettäviä laitteita ja säätimiä on useita, niistä eräitä seuraavassa:

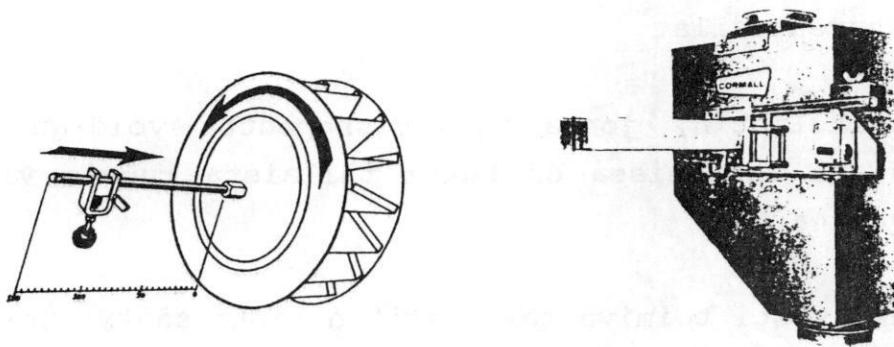
- Ruuvikuljetin, jonka alapään syöttöaukkoa voidaan säädellä sulkurenkaalla.
- Ruuvikuljetin, jonka pyörimisnopeutta voidaan säädellä. Eräissä laitteissa on kaksi tällaista ruuvia vierekkäin, kuva 14a.
- Sähköisesti toimiva tärinäsyötin, joka säätyy joko tärinän amplitudin mukaan, syöttöputken kallistuskulman vaihtelun mukaan tai syöttöportin korkeuden mukaan, kuva 14b.
- Hihnakuljetin, kuva 14 c.
- Lautanen, joka on varustettu kuorimella, kuva 14 d.
- Pyörivä levy, kuva 14e.
- Suurihalkaisiminen siipiras, jonka käyttövoimana on sen läpi virtaava vilja. Säätö suoritetaan kierroslaskimen avulla, kuva 15.



Kuva 14.

Annostelijoita, joiden syöttötehoa voidaan säädellä. a) kaksoisruuvi, b) tärustin, c) hihna, d) kuorimella varustettu lautanen, e) pyörivä levy
 Proportioners which deliver a predetermined quantity of material in a given unit of time.
 a) double auger with variable speed drive
 b) vibratory feeder c) belt d) plate provided with a peeler e) spinning plate.

Figure 14.



Kuva 15.

Siipipyörä, jossa annostelu tilavuuden mukaan. Pyörää käyttää sen läpi valuva viljavirta, säätö 1-200 kierrosta vastaa n. 10-2000 kg ohraa. (Cormall, contimeter)

Figure 15.

Volumetric paddle - wheel with grain flow drive. Adjustment 1-200 revolutions reply to about 10-2000 kg of barley. (Cormall, contimeter)

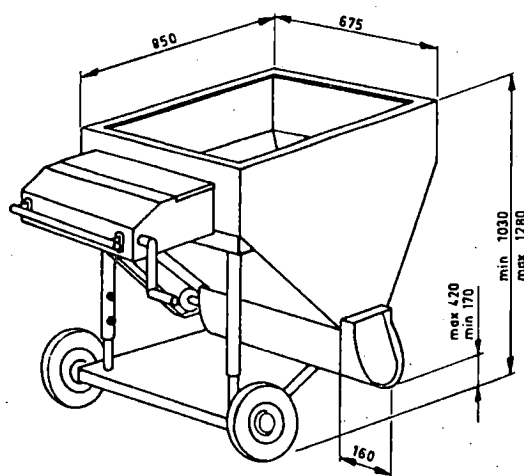
Rehun valmistuksessa käytetään kuljettimia kolmessa vaiheessa: viljan siirrossa myllyyn, jauhetun viljan ja tiivisteen siirrossa sekoittimeen ja valmiin rehun siirrossa syötäväksi. Kuhunkin vaiheeseen käytettävän kuljettimen valintaan vaikuttaa ratkaisevasti kerralla kuljetettavan viljan ja tiivisteen määrä sekä työn toistumistiheys.

Yleisimmät maataloudessa käytettävät kuljettimet ovat siiloruuvi ja ketjuelevaattori pystytason siirroissa sekä tasoruuvi ja ketjukuljetin vaakatasoissa. Suuria vilja- ja rehumääriä siirrettäessä voidaan käyttää imupainelietsoa.

Jos myllyä ei ole asennettu siten, että vilja valuu suoraan varastosiilosta myllyn suppiloon, voidaan syöttäminen suorittaa viljaruuvilla tai elevaattorin avulla. Useat vasaramyllyt ovat varustetut imuletkulla, jolloin vilja voidaan imeä suoraan varastokasasta.

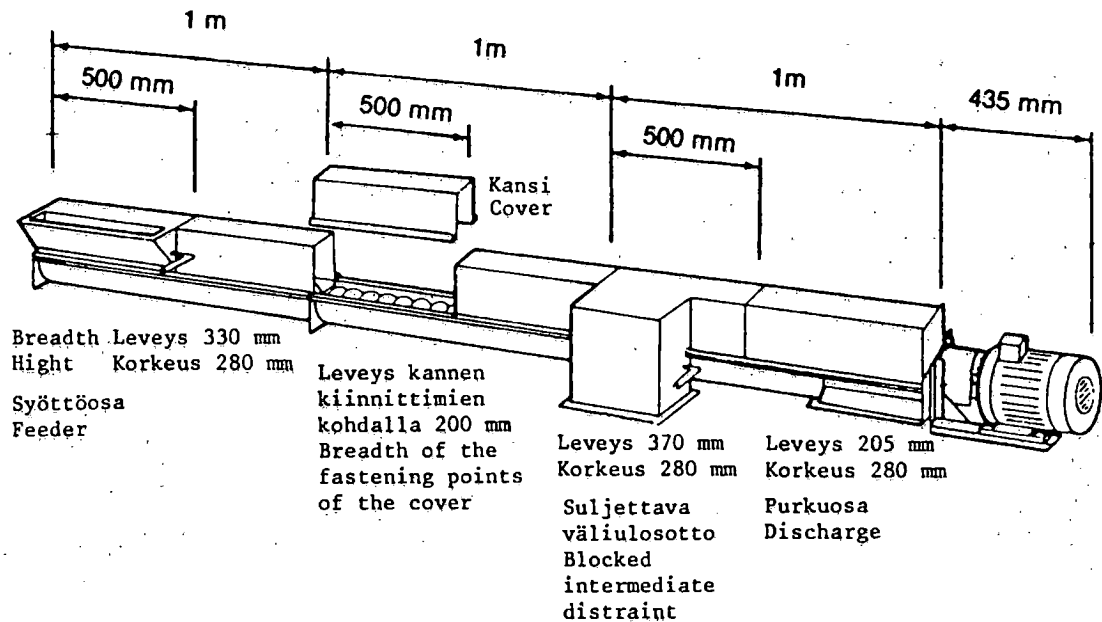
Jauhettu vilja voidaan siirtää sekoittimeen myös viljaruuvilla tai elevaattorilla. Vasaramyllyä käytettäessä mylly puhalttaa jauhon eteenpäin sekoitettavaksi. Yleisin tapa lisätä tiivisteet sekoittimeen on kaataa ne suoraan säkistä. Suurempien sekoituserien yhteydessä käytetään ruuvikuljetinta tai elevaattoria.

Sekoittimesta väkirehu voidaan purkaa suoraan ruokintavaunuun, kuva 16, tai siirtää erilliseen varastosiiloon elevaattorin, ruuvilla tai puhaltimen avulla. Rehuvaunua käytettäessä väkirehua ei välttämättä tarvitse sekoittaa valmiiksi vaan eri rehunosiille on vaunussa oma tilansa. Tällöin voidaan yhdellä ruokintakerralla jakaa sekä jauho, proteiini että kivennäiset ja haluttaessa antaa eläimille eri suuria annoksia kutakin.



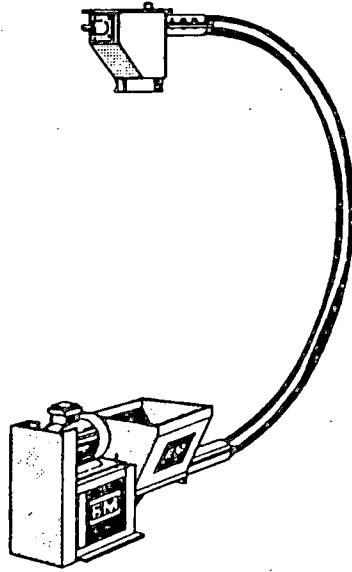
Kuva 16. Rehunkuljetusvaunu, annostelu tapahtuu kammesta vääntämällä. (Trional)
 Figure 16. Feed trolley, proportioning goes by winding from the winch. (Trional)

Kun rehujen kuljetusmatkat välivarastoon tai ruokintapaikalle ovat pitkät, puhallin on ollut tavallisesti yksinkertaisena ja halpana käytetyin rehujen siirtoväline. Puhaltimen haittapuolena on vaikeus sitoa riittävästi pölyä ja jos rehut puhalletaan varastosiiloon suurta nopeutta käyttäen, rehut saattavat lajittua voimakkaasti. Rehujen kuljetuksessa ruuvi on osoittautunut sopivaksi, koska siinä pölyäminen on vähäistä ja koska syöttöpaikkoja on mahdollista järjestää ruuviin useaan kohtaan. Ruuvi voi kuljettaa esim. murskeviljaa hyvin sääste-
liäästi sitä lisää hienontamatta, kuva 17.



Kuva 17. Tasoruuvikuljetin (Haukka U-60)
Figure 7. Horizontal auger (Haukka U-60)

Uutena kuljetusvälineenä on markkinoille tullut taipuisa ruuvikuljetin, kuva 18. Siinä siirto tapahtuu muoviputkeen asennetun teräksisen spiraalikierukan avulla. Tarvittavat kulmat taivutetaan etukäteen. Etuna tavalliseen ruuviin nähden on, että erillisiä kulmavaihteita ei tarvita.



Kuva 18. Taipuisa ruuvikuljetin (BM)
Figure 18. Flexible auger (BM)

2.5 Automatisointi

Maatiloilla sähkön käyttö rehun valmistuksen käyttövoimana mahdollistaa monen toiminnon automatisoinnin. Käytettävät kojeet voivat olla hyvin yksinkertaisia tiettyyn laitteeseen kohdistettavia tai monimutkaisia sarjakojeita. Taulukossa 6 on esitetty erilaisia kytkimiä ja niiden käyttötarkoituksia.

Taulukko 6. Erilaisia kytkimiä ja niiden käyttötarkoituksia.
Table 6. Different automatic controls and their function.

Kytkin Control	Toiminta Function
Mikrokytkin Microswitch	<ul style="list-style-type: none"> - laite päälle ja pois - on-off
Painekytkin Pressure diaphragm switch	<ul style="list-style-type: none"> - myllyn sammutus - shut down a mill - kuljettimen käynnistys ja sammutus - turn on and shut off a conveyor - toimintahäiriö - operating failure - täyttöraja katkaisin, - high and low level switch in bins - "tasovartija", tai käynnistin - levelguard or starter
Kosketuskytkin Flap switch	<ul style="list-style-type: none"> - täyttöraja katkaisin tai - high and low level switch in bins - käynnistin - starter
Aikakytkin Time switch	<ul style="list-style-type: none"> - kuljetinvirtaustunnistin - sensing flow from conveyors - toimintojen aloitus - switch on power - toiminta-aika - run equipment for pre-set time
Releet ja kontaktorit Relays and contactors	<ul style="list-style-type: none"> - hidastusrele esim. mylly käy 1/2 min annostelijan pysähtymisen jälkeen - switch equipment on and off indirectly
Keskuskaappi Electric exchange	<ul style="list-style-type: none"> - erilaisia kytkimiä ryhmiteltynä - different kind of switches in groups - amperimittari - ampere meter

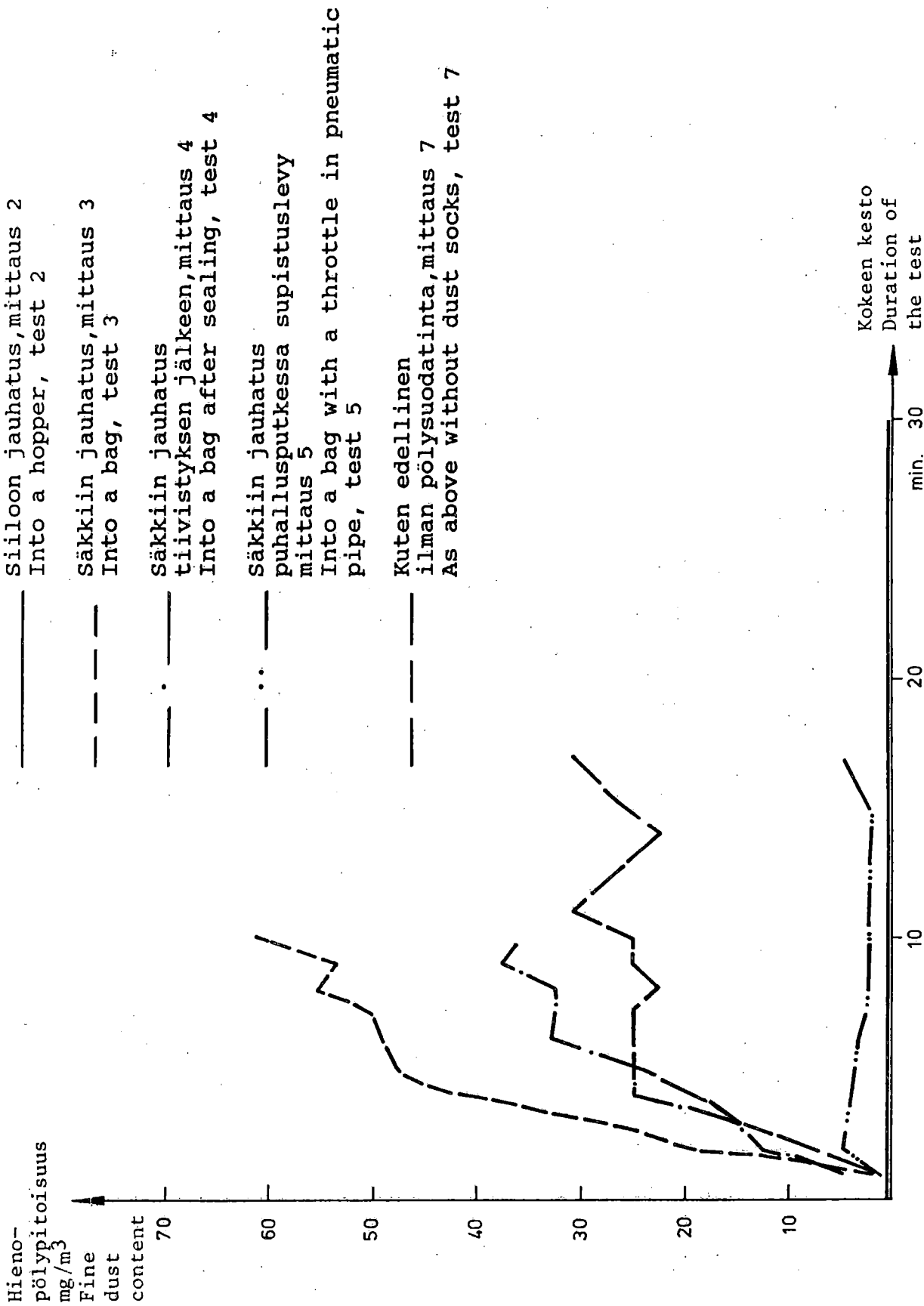
3. PÖLYN MÄÄRÄ JA SEN TORJUNTA

3.1 Pölyn määrä

Jauhatusessa syntyvän pölyn määrää mitattiin yhteistyössä Kuopion aluetyöterveyslaitoksen kanssa. Kokeet suoritettiin VAKOLAN testitiloissa, jonne mittauksia varten oli rakennettu muoviseinäinen 60 m³ suuruinen jauhatushuone. Jauhettava vilja oli lämminilma kuivurissa kuivattua ohraa, jonka kosteus oli 14 %.

Kokonaispölypitoisuuden mittaukset tehtiin suodatinmenetelmällä (standardin SFS 3860 mukaisesti). Pölyn painonmukainen hiukkaskokojakauma mitattiin neljävaiheisella jaottelevalla hiukkaskeräimellä. Viljan jauhatuksen aikana mittauksia tehtiin myös kahdella suoraan osoittavalla pölymittarilla (Sibata P-2 ja Hund-TM). Koska käytetyt suoraan osoittavat mittarit mittaavat vain hienopölyn määrää (Sibata $\phi < 10 \mu\text{m}$ ja Hund-TM $< 3 \mu\text{m}$), ei niillä saatujen mittaustulosten perusteella voi sanoa tarkkaa kokonaispölypitoisuutta. Pölypitoisuuden vaihtelun seurantaan, erilaisten työtapojen pölyisyyden keskinäiseen vertailuun sekä myös parhaan pölyn torjuntatoimenpiteen valintaan mittareiden antamia tuloksia voidaan hyvin käyttää. Koska mittarit mittaavat erilaista osaa pölyn hiukkaskokojakaumasta, eivät mittareiden antamat tulokset ole myöskään keskenään vertailukelpoisia.

Saadut mittaustulokset vasaramyllyjen osalta on esitetty taulukossa 7 ja kuvassa 19 sekä valssimyllyjen osalta taulukossa 8. Kuopion aluetyöterveyslaitoksen lausunto myllyjen pölymittauksista on liitteenä 2. Taulukoissa 7 ja 8 esitetty hienopölypitoisuus, jonka hiukkaskoko on 0,1-3 μm käsittää terveydelle kaikkein haitallisimman hienon pölyn. Kuopion aluetyöterveyslaitoksen suodatinmenetelmällä mitaama kokonaispölypitoisuus on noin kymmenkertainen Hund-TM -mittarilla mitattuihin hienopölypitoisuuksiin verrattuna.



Kuva 19. Jauhatusjärjestelyn vaikutus hienopölypitoisuuteen Haukka-vasaramyllyllä (11 kW) tehdyissä kokeissa. Mittarina Hund-TM. Jauhettu: ohraa, kosteus 14 %
Figure 19. Variation of fine dust content during different grinding arrangements with Haukka-hammer mill. Dust meter: Hund-TM, grinding of barley, moisture content 14 %

Taulukko 7. Kokeissa mitatut pölypitoisuudet eri jauhatusjärjestelyillä vasaramyllyillä. Jauhettu ohraa, kosteus 14 %.

Table 7. Dust content recorded with different grinding arrangements when milling barley with hammer mill, m.c. 14 %.

Myllyteho Mill efficiency kW	Jauhatusjärjestely Grinding arrangement	Pölynpoistojärjestely Arrangement for preventing dust to spread	Kokonaispölypitoisuus ¹⁾ Total dust content ¹⁾ mg/m ³	Hienopölyä ²⁾ Fine dust content ²⁾ mg/m ³	Paine Pressure Pa	Paineen mittauskohhta Point where pressure measured
Junkkari, 11	siiloon to a hopper	pölynsuodatin kiinni with dust socks	0,8	0,1	1100-1500	mylly/siilo mill/hopper
Haukka, 11	syklonin kautta siiloon through cyclone to a hopper	4-siipinen puhallus, pölynsuodatin kiinni 4-blade with dust socks	32	1-2	550-700	mylly mill
"	syklonin kautta siiloon through cyclone to a hopper	ed. kokeessa havaitut pölyvuodot tukittu dust leaks discovered during previous test sealed	0,2	0,4	700-900	mylly mill
"	syklonin kautta suursäkkiin through cyclone to a big bag	puhallus-siipiä 4, pölynsuodatin kiinni 4-blade with dust socks	700	50-60	300	mylly mill
"	syklonin kautta suursäkkiin through cyclone to a big bag	ed. kokeessa havaitut pölyvuodot tukittu dust leaks discovered during previous test sealed	380	35	350-400	mylly mill

"	syklonin kautta suursäk- kiin through cyclone to a big bag	puhallusput- kessa ø 50 mm supistuslevy as above ø 50 mm throttle in pneumatic pipe	67	2	200	sykloni cyclone
"	syklonin kautta suursäk- kiin through cyclone to a big bag	puhallus- siipiä 2, pölynsuodatin kiinni, ø 50 mm supistuslevy puhallusput- kessa 2-blade with dust socks ø 50 mm throttle in pneumatic pipe	70	3-5	70-100	sykloni cyclone
"	syklonin kautta suursäk- kiin through cyclone to a big bag	ei pölyn- suodatinta as above without dust socks	320	25-30	20-25	sykloni cyclone
Skiold, 7,5	syklonin kautta paperi- säkkiin through cyclone to a paperbag	pölynsuoda- tin kiinni with dust socks	71	15	750	mylly mill
"	syklonin kautta paperi- säkkiin through cyclone to a paperbag	ed. kokeen pölyvuodot tukittu dust leaks discovered during previous test sealed	8,7	1	700-900	mylly mill

"	syklonin kautta paperi- säkkiin through cyclone to a paperbag	ei pölyn- suodatinta as above without dust socks	160	30	750	mylly mill
---	--	--	-----	----	-----	---------------

- 1) Suodatinmenetelmällä mitattu. Suomessa Työterveyslaitos käyttää haitallisuuskriteerinä kokonaispölypitoisuutta. Measured with filter method. Työterveyslaitos in Finland determines the injurious effects of dust with total dust content.
- 2) Hund-TM-mittarilla mitattu. Hienopöly on terveydelle vaarallisin osa pölystä. Measured with Hund-TM -meter. Fine dust makes up the most injurious part of dust.

Taulukko 8. Kokeissa mitatut pölypitoisuudet eri jauhatusjärjestelyillä valssimyllyillä. Jauhettu ohraa, kosteus 14 %.

Table 8. Dust content recorded with different grinding arrangements when milling barley with roller mill, m.c. 14 %.

Mylly, teho Mill, efficiency	Jauhatusjärjestely Grinding arrangement	Pölyn- torjunta- järjestely Arrangement for preventing dust to spread	Kokonais- pölypitoi- suus ¹⁾ Total dust content ¹⁾ mg/m ³	Hieno- pöly ²⁾ Fine dust content ²⁾ mg/m ³
Bioteräs, 4 kW	Jauhatus saaviin To a tub	-	52	2-4
Bioteräs, 4 kW	Jauhatus saaviin To a tub	Raot ylöspäin tiivistetty jalkojen ympärillä lattiaan ulottuva pahvi, etusivulla muovi Slots upwards sealed, round stands a cardboard cover reaching floor, on front side a plastic cover	4,6	0,4-0,7
Junkkari, 4 kW VMJ-1000	Jauhatus saaviin To a tub	-	75	12-15
Skiold, 7,5 kW KB-250	---	-	32	3-4
Haukka, 11 kW HM-103	---	-	31	11-13

1) Suodatinmenetelmällä mitattu
Measured with filter method

2) Hund-TM-mittarilla mitattu
Measured with Hund-TM -meter

Suoritettut kokeet osoittavat, että pelkkä sykloni vasaramyllyn puhallusputkiston jatkona ei yksin riitä pölyntorjuntamenetelmäksi, vaan siihen on liitettävä pölynsuodatin tai johdettava tiivis putki syklonin yläpäästä ulkoilmaan (Skiold 2. ja 3. mittausta).

Tuloksista voi päätellä, että vähiten pölyä syntyy jauhettaessa vasaramyllyllä suoraan siiloon. Tällöin tiiviiden liitosten merkitys on suuri, koska puhalluksen aiheuttama paine purkautuu pienistäkin raoista. Esimerkiksi Haukka-myllyllä puhallusputken pistehitsausseamat vuosivat ja polynerottimen ja siilon liitos ei pitänyt ilman erillistä tiivistämistä (Haukka 1. ja 2. mittaus). Vain Junkkarin mylly-siilo-yhdistelmä oli tehdastoimituksena ohjeiden mukaan koottuna niin tiivis, ettei siihen tarvinnut tehdä minkäänlaisia lisäpölyntorjuntatoimenpiteitä.

Vasaramyllyllä säkkiin jauhettaessa pölypitoisuudet olivat selvästi siiloon jauhatusta suuremmat. Suurimpana syynä tähän oli suuri ilmavirran nopeus puhallusputkistossa, jolloin säkkiä ei pystytty kiinnittämään säkityslaitteeseen riittävän tiiviisti. Kiinnitystä vaikeutti lisäksi se, että säkitysteliin kiinnityslaitteet olivat kehnot, jolloin säkit jouduttiin sitomaan kiinni narulla tai rautalangalla. Pölypitoisuus laski selvästi, kun ilmavirran nopeutta pienennettiin puhallusputkeen asennetulla supistuslevyllä noin puoleen alkuperäisestä, 28 m/s → 15 m/s, (Haukka 4. ja 5. mittaus). Puhallussiipien määrän vähentämisellä 4:stä 2:een ei havaittu olevan vaikutusta myllyn pölyämiseen eikä ilman liikenopeuteen puhallusputkistossa (Haukka, 5. ja 6. mittaus).

Skiold-myllyssä syklonin säätöluukun akseli oli kiinnitetty siten, että sekä ylä- että alapuolelta ko. kohdassa vuosi pölyä silminnähdessä. Kun akselin päät tiivistettiin vaseliinilla ja ilmastointiteipillä, pölypitoisuus aleni huomattavasti. Tähän vaikutti myös kuitukankaisten pölysukkien tiivistyminen 1. ajon aikana (Skiold 1. ja 2. mittaus). Skiold-myllyn käyttöohjeessa on annettu ohjeeksi syklonin säätöluukuun oikeasta asennosta seuraavaa: kun laitteisto käy täydellä teholla, suljetaan tätä luukua vähitellen samalla tarkkailen, ettei jauhoa jää putkistoon. Tämän voi kuulla, kun varovasti koputtelee putkea. Säätöpeltiä suljetaan kunnes jauhoa alkaa jäädä putkistoon ja avataan sen jälkeen n. 1 cm.

Valssimyllyllä jauhettaessa suurin osa pölystä tulee valssien välistä myllyn alta sekä kotelon raoista ylöspäin. Laittamalla jalkojen suojaksi peite esimerkiksi pahvi ja tukkimalla ylöspäin olevat raot, saadaan pölypitoisuus alenemaan 85 %- 95 %. (Bioteräs 1. ja 2. mittaus).

Viljan ja jauhun pöly on pääasiassa orgaanista pölyä. Kokonaispölylle määritetty haitalliseksi tunnettu pitoisuus on pitkän altistumisen ajalle 5 mg/m^3 (HTP_{8n}) ja hyvin lyhyen altistumisen ajalle 10 mg/m^3 (HTP_{15min}). Ruotsissa on orgaanisen pölyn kokonaispölypitoisuuden raja-arvo 5 mg/m^3 ja hienopölyn raja-arvo $2,5 \text{ mg/m}^3$. Suomessa ei hienopölyn raja-arvoa ole erikseen määritetty, vaan ainoana pölykriteerinä on pidetty kokonaispölypitoisuutta.

Sekä vasara- että valssimyllyillä jauhettaessa kokonaispölypitoisuus kohosi useassa tapauksessa orgaanisen pölyn raja-arvon 5 mg/m^3 yläpuolelle. Vasaramyllyllä syklonin kautta säkkiin jauhettaessa ylitettiin ko. raja-arvo pölyntorjuntatoimenpiteistä huolimatta. Kaikki suoritettut pölyntorjuntatoimenpiteet olivat helppoja suorittaa ja kustannuksiltaan pieniä.

Taulukossa 9 on vertailtu VAKOLAN suorittamissa kokeissa ja Kuopion aluetyöterveyslaitoksen käytännön jauhatusolosuhteissa maatiloilla mitattuja kokonaispölypitoisuuksia. Tuloksista voidaan huomata, että koeolosuhteissa pölypitoisuudet nousivat maatiloilla mitattuja pitoisuuksia korkeammiksi sekä kiinteissä mittauspaikeissa, että hengitysvyöhykkeellä. Tähän vaikuttaa koehuoneen tiiviys ja ilmanvaihdon puuttuminen. Käytännön olosuhteissa pöly leviää yleensä jauhatushuoneen ulkopuolelle, jolloin pitoisuudet itse myllytilassa pienenevät. Koeolosuhteissa mitattujen suuruisia pölypitoisuuksia voi esiintyä myös käytännön olosuhteissa, jos jauhatusala on pieni, tiivis ja ilmanvaihdoton. Koeolosuhteissa saatu pölypitoisuus kuvaa pölyn suhteen ehdottomasti huonoimmassa käytännön olosuhteessa vallitsevaa pitoisuutta.

Taulukko 9. Koeolosuhteissa mitatut ja maatiloilla käytännön tilanteissa havaitut kokonaispölypitoisuudet.
Table 9. Total dust content recorded at test conditions and on a farm in practice

Jauhatus-järjestely Grinding arrangement	Pölyntorjunta-toimenpide Arrangement to prevent dust	Kokonaispölypitoisuus mg/m ³ Total dust content mg/m ³				Hengitysvyöhykkeellä ²⁾ At halation zone			
		Kiinteässä mittauspai- kassa Fixed measuring point		Maatilalla ¹⁾ On a farm		Koeolosuhteissa At test conditions		Maatilalla ¹⁾ On a farm	
		ennen torjuntaa before rejection	torjunnan jälkeen after rejection	ennen torjuntaa before rejection	torjunnan jälkeen after rejection	ennen torjuntaa before rejection	torjunnan jälkeen after rejection	ennen torjuntaa before rejection	torjunnan jälkeen after rejection
Vasaramyllyllä säkkiin With a hammer mill to a bag	Pölynsuodatin syklonissa Dust filter connected to a cyclone	160	71	44,5	19,4	114	80	40,3	69,7
Vasaramyllyllä säkkiin With a hammer mill to a bag	Putkiliiitosten ym. pölyvu- dot tukittu Dust leaks from connections between conveyors eq. sealed	8,7					31		
Vasaramyllyllä silloon With a hammer mill to a hopper	Pölynsuodatin sillossa Dust filter connected to a hopper	32		25,4	3,9				
Vasaramyllyllä silloon With a hammer mill to a hopper	Putkiliiitosten ym. pölyvuodot tukittu Dust leaks from connections be- ween conveyors eq. sealed	0,2							

1) Tutkimuksen lypsykarjan ja sikojen hoitotöiden pölyt ja pölyaltistumisen vähentäminen /10/ tuloksia
Results from the research lypsykarjan ja sikojen hoitotöiden pölyt ja pölyaltistumisen vähentäminen /10/

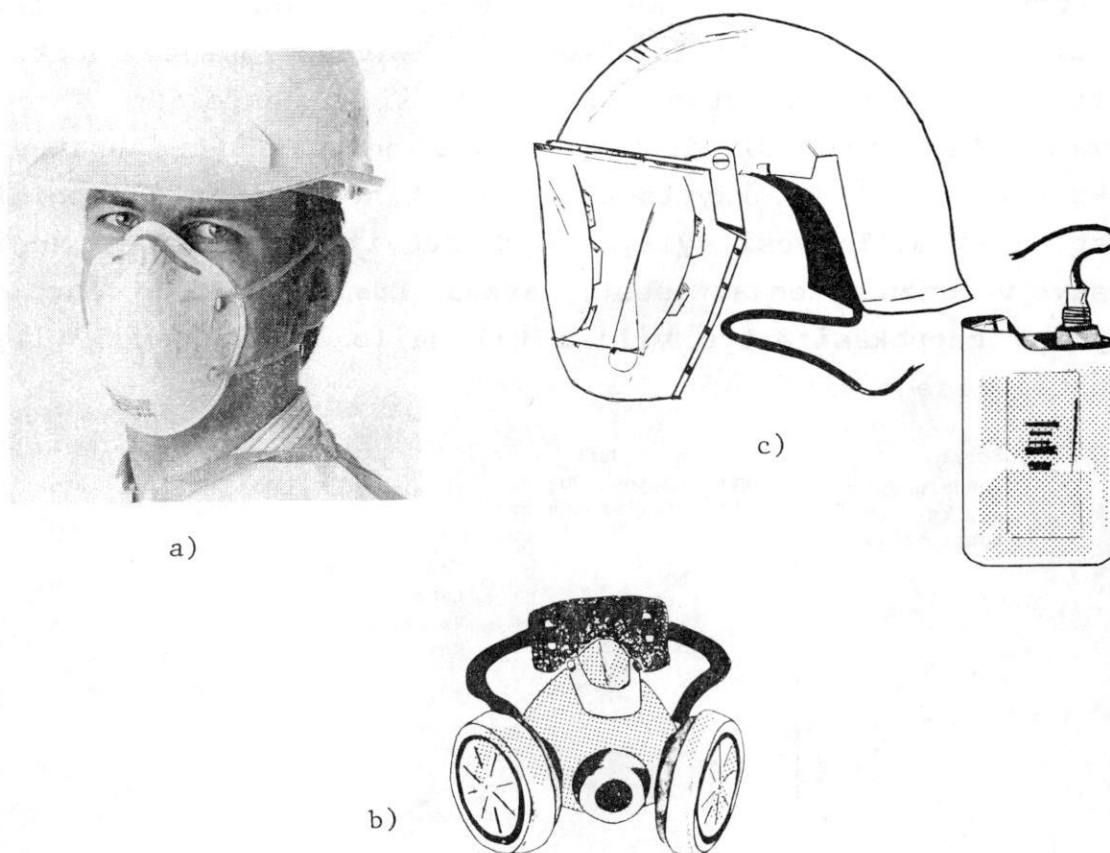
2) Pölysuodatin kiinnitetty jauhattajan rintaan.
Dustfilter was fastened on the millers breast.

3.2 Pölyn torjunta

Jauhatuksen pölynvähentämistoimenpiteet voidaan periaatteessa jakaa kolmeen ryhmään:

- vähentää pölyn muodostumista
- estää pölyn leviäminen
- kerätä pöly talteen ja palauttaa rehuun

Pölyn vähentäminen teknisin tai rakenteellisin keinoin ei aina ole mahdollista. Tällöin tulevat käyttöön henkilökohtaiset suojaimet. Väkirehun valmistuksessa ja käsittelyssä tulee käyttää P1-luokan (aikaisemmin IIA-) hengityssuojainta. Jos vilja on jouduttu varastoimaan kosteana, ja siinä voidaan olettaa olevan homeetta, on käytettävä P2-luokan suojainta. Suodatin voidaan kiinnittää joko puoli- tai kokonaamariin tai käyttää muotoon puristettuja kertakäyttösuojaimia. Viime vuosina on tullut käyttöön myös suojakypärä, johon on rakennettu ilmansuodatus ja -puhallus. Sen etuna on hengittämisen helppous koska hengitysvastusta ei synny, haittapuolena on kypärän paino, joskin suhteellisen keveitä mallejakin on markkinoilla. Kuvassa 20 on esitetty vaatimukset täyttäviä henkilökohtaisia hengityssuojaimia.



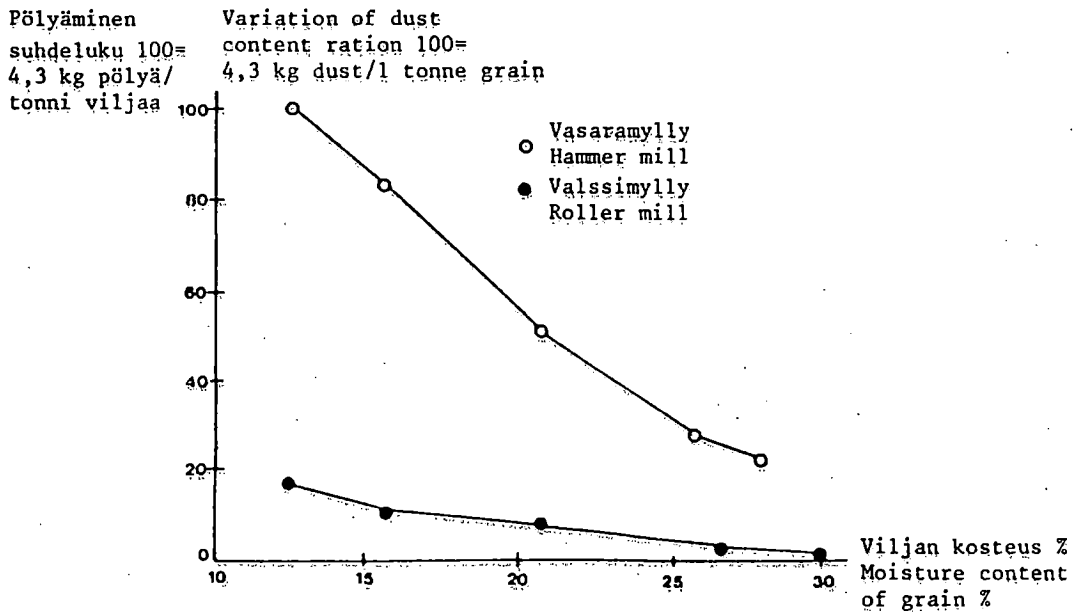
Kuva 20. Henkilökohtaisia hengityssuojaimia, mitkä täyttävät jauhopölyn torjunnan vaatimukset.
 a P1-luokan kevytsuojain
 b pölynsuodattimella varustettu puolinaamari (Silner 12, Kemira Oy)
 c pölynsuojakypärä (Airstream, Liitin Oy)

Figure 20. Personal respiratory protectors which fill up the demand of meal dust rejection
 a grade P1 disposable protector
 b half mask with dust filter (Silner 12, Kemira Oy)
 c helmet with dust filter (Airstream, Liitin Oy)

3.2.1 Toimenpiteet pölyn muodostumisen vähentämiseksi

Jauho pölyää sitä enemmän mitä hienommaksi se jauhetaan. On tärkeää, että jauhamiskarkeus määritetään kullekin eläinlajille sopivaksi. Eräissä tutkimuksissa on todettu, että pölynmuodostus on jauhatuksessa 5 kertaa niin suuri kuin murskaamisessa käsiteltäessä kuivaa viljaa. Jauhamisessa ja murskaamisessa syntyvän pölymäärän eroja on esitetty kuvassa 21. VAKOLASSA suoritetuissa kokeissa ei myllytyypillä havaittu olevan merkittävää vaikutusta varsinaisen jauhatustyön pölyisyyteen.

Viljan vesipitoisuuden nostamisella on todettu olevan hyvä vaikutus pölyn vähentämiseen. Kun Ruotsissa Jordbrukstekniska Institutetin (JTI) tekemissä kokeissa kosteusprosentti nostettiin 12:sta 28:aan, putosi pölymäärä viidenteen osaan, kuva 22. Viljan vesipitoisuutta voidaan nostaa ennen jauhatusta joko erä kerrallaan käyttäen eräsekoitinta tai jatkuvatoimisesti lisäämällä vesi myllyn täyttöruuviin. Tarvittava vesilisäys voidaan matemaattisesti laskea. Edellisen vaihtoehto on käyttää happokäsiteltyä viljaa tai säilöä kuivaamaton vilja ilmatiiviiseen silloon.



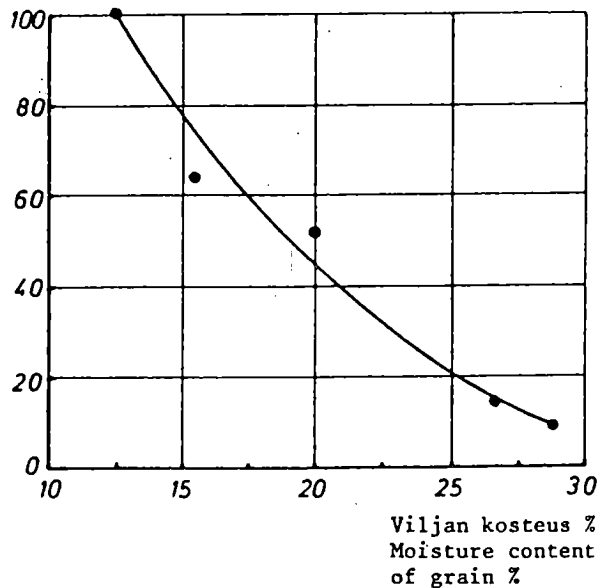
Kuva 21.

Viljan litistys valssimyllyllä vähentää pölyämisen viidesosaan vasaramyllyllä jauhamiseen verrattuna. /5/

Figure 21.

Crushing of grain with a roller mill reduces dust to the fifth compared with milling with a hammer mill. /5/

Pölyäminen, suhdeluku
Variation of dust content
ration



Kuva 22. Pölyäminen ohran murskaamisessa eri kosteuspro-
enteilla. Suhdeluku 100 = kuivan ohran (12,5 %) pölyäminen murskaamisessa. /6/
Figure 22. Variation of dust contents in crushing barley with different grain moisture contents. Ration 100 = dust content when crushing dry barley (12,5 %). /6/

3.2.2 Toimenpiteet pölyn leviämisen estämiseksi

Tehokas tapa vähentää pölyn leviämistä on tiivistää eri käsittelylaitteiden väliset liittymäkohdat. Sekä koeolosuhteissa että käytännön kokeissa maataloilla tiivistämisestä on saatu hyviä tuloksia (JTI). Tiivistämiseen ovat käyttökelpoisia ilmastointiteippi ja erilaiset tiivistysmassat.

Tiivistämisen ohella kotelointi on hyvä pölyämisen estäjä. Koteloinnin ongelmana on usein löytää ratkaisu, mikä mahdollistaa laitteen tarkastamisen ja puhdistamisen tarvitsematta purkaa koko rakennelmaa. Peltikoteloissa tulee olla helposti avattava luukku ja suojakangaskotelot pitää varustaa vetoketjulla tai pikakiinnitteisillä reunalistoilla tms.

Tilanteissa, joissa kotelointi voi aiheuttaa toimintahäiriöitä pölynkerääntymisen takia, tai joissa sopivan tiivistystavan löytäminen on vaikeaa, on koteloinnin ja pölynpoisimisen yhdistelmä usein toimiva. Pölynimemisessä on käytettävä riittävää ilmannopeutta, jollainen on imuputkissa tavallisesti 6-10 m/s (JTI).

Puhaltimella varustetut myllyt ovat hyvin tavallisia nykyään. Näissä pääasiallinen pölyn purkautuminen tapahtuu syklonista, siilosta, ruokintalaitteesta jne. Ilman ja rehun seossuhde vaikuttaa pölyämiseen; mitä enemmän ilmaa rehun siirtoon käytetään sitä enemmän syntyy pölyä.

Rehun ja ilman sekoitussuhde myllylaitoksissa on tavallisesti 150-200 l ilmaa yhtä kuljetettua jauholitraa kohti. Taulukossa 10 on esitetty JTI:n saamia tuloksia ilman ja rehun seossuhteen vaikutuksesta pölynleviämiseen syklonista.

Käytännössä tulokset tarkoittavat sitä, että myllylaitosta tulisi käyttää kaiken aikaa maksimiteholla, jotta pölyäminen olisi mahdollisimman pientä. Vaihtoehtoisesti puhallusputkeen voidaan asentaa supistuslevy, mikä pienentää ilmapvirtausta putkistossa tai syklonin säätöpelti, kuten Skiold-myllylaitoksen pölymittaustulosten yhteydessä on esitetty.

Taulukko 10. Pölyäminen syklonista erilaisilla rehun ja ilman seossuhteilla.

Dammreducerande åtgärder vid kraftfoderhantering.
/6/

Table 10. Spreading of dust from a cyclone with different feed-air mixtures. Dammreducerande åtgärder vid kraftfoderhantering /6/.

Puhallusvasaramylly; 3,5 mm seula

Kuljetusputkisto: 33 m, 3 kpl 90° kulmia, ø 100 mm

Vilja: ohra, kosteus 12,3 %

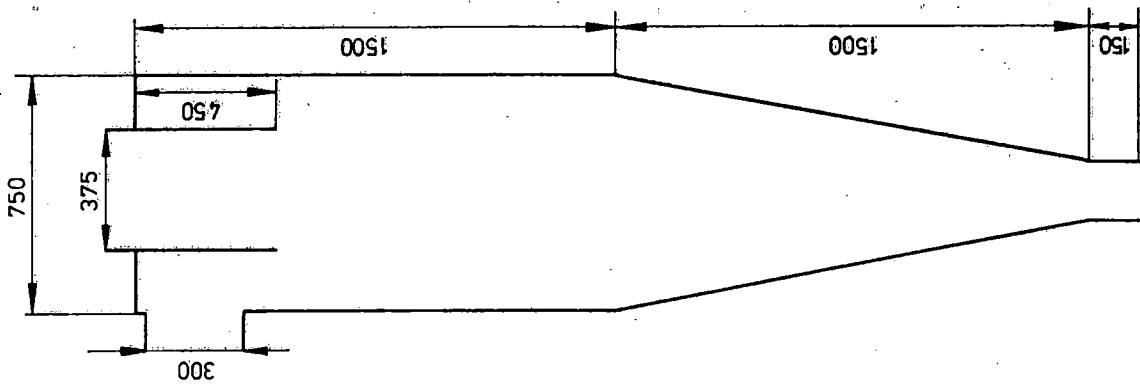
Hammer mill with fan; Screen 3,5 mm

Conveyorpipes: 33 m, 3 pieces of 90° angles, ø 100 mm

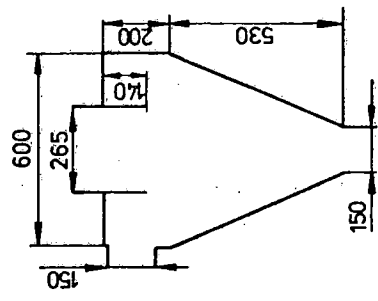
Grain: barley, moisture content 12,3 %

Tehon tarve	Ilman- nopeus	Ilma- määrä	Tuotos	kg rehua/ kg ilmaa	Pölyäminen syklonista g/kg suhdeluku jauhoja	
Requi- rement of effi- ciency kW	Speed of air m/s	Amount of air kg/h	Output kg/h	kg feed/ kg/air	Spreading of dust from a cyclone g/kg meal ratio	
12,2	22	770	792	1,03	0,18	100
11,0	22	770	684	0,89	0,19	106
9,0	22	770	570	0,74	0,22	122
7,8	22	770	528	0,69	0,27	150
6,8	22	770	319	0,41	0,41	228

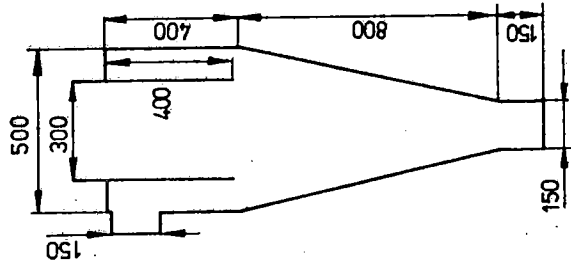
JTI on tutkinut erilaisten syklonien pölynerotuskykyä erisuurilla ilmannopeuksilla. Tutkittujen syklonien mitat on esitetty kuvassa 23 ja saadut tulokset taulukossa 11. Kuvassa 23 on vertailun vuoksi mukana USA:ssa puuvillapölyn erottamisessa tehokkaaksi todettu sykloni. Sen mitat poikkeavat merkittävästi vilja- ja jauhatuspölyn erottamisessa käytettävistä sykloneista. Pölymäärä syklonista, jonka ilman ulostuloaukko on suhteellisen pieni, ø 150 mm, oli huomattavasti pienempi kuin suurempi aukkoisen, ø 250-300 mm. Syklonityypit 1 ja 2 antoivat samansuuntaisia ja pieniä pölymääriä, kun taas pölyäminen syklonilla 3 oli 6 kertaa suurempaa. Sykloni 4 oli selvästi muita huonompi. Syklonin vastapaine on useimmissa tapauksissa pölynerotuskyvyn mitta; mitä suurempi paine, sitä parempi pölynerotuskyky. Parhaissa sykloneissa oli JTI:n tutkimuksissa 600-800 Pa paine.



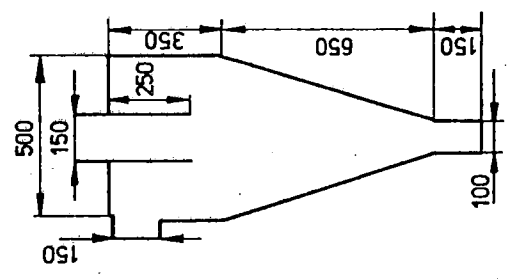
JTI 4



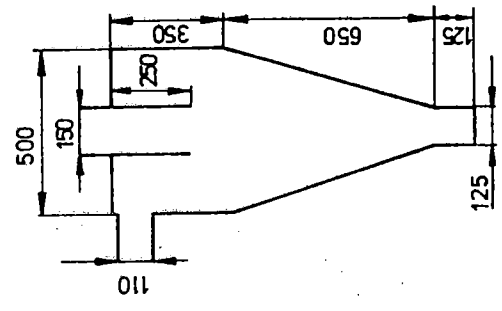
JTI 3



JTI 2



JTI 1



Kuva 23. JTI:n tutkimuksessa mukana olleet syklonityypit /6/ sekä USA:ssa puuvillalla tutkittu sykloni/Gintrash collection efficiency of small-diameter cyclones, ARS 42-133, 1967/.
Figure 23. Cyclone types which were examined in Sweden by Jordbrukstekniska institutet (JTI) /6/ and a cyclone examined with cotton in USA/Gintrash collection efficiency of small-diameter cyclones, ARS 42-133, 1967/.

Taulukko 11. Pölyäminen erilaisissa sykloneissa.

Dammreducerande åtgärder vid kraftfoderhantering.

/6/

Table 11. Spreading of dust from different kind of cyclones.

Dammreducerande åtgärder vid kraftfoderhantering

/6/

Puhallusvasaramylly; 3,5 mm seula, 12,2 kW

Kuljetusputkisto: 33 m, 3 kpl 90° kulmia, ø 100 mm

Vilja: ohra, kosteus 12,3 %

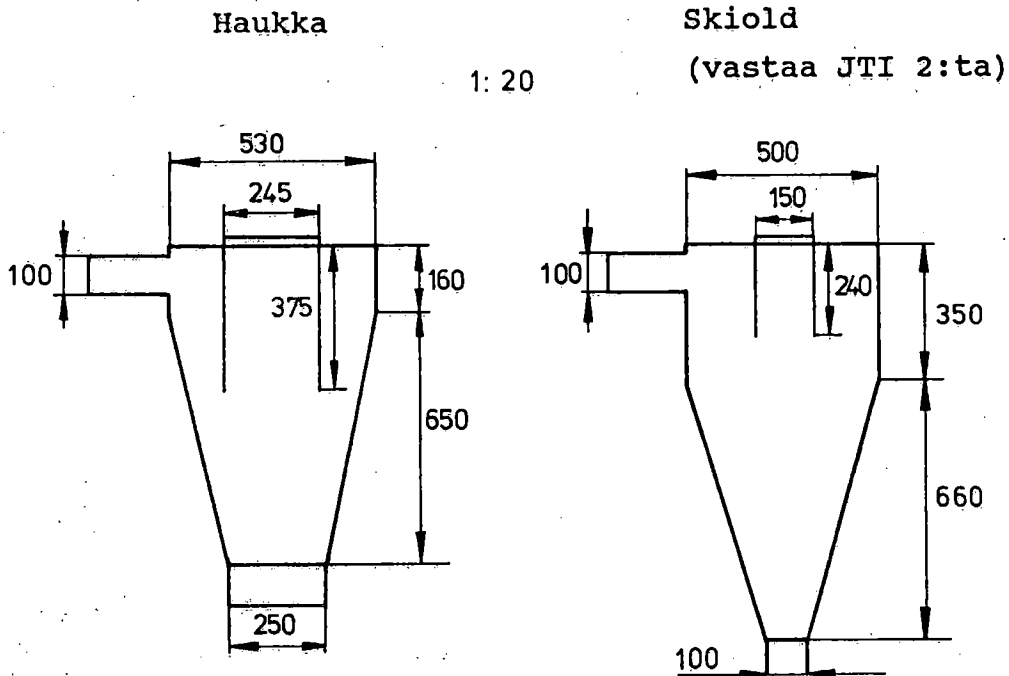
Hammer mill with fan; Screen 3,5 mm, efficiency 12,2 kW

Conveyorpipes: 33 m, 3 pieces of 90° angles, ø 100 mm

Grain: barley, moisture content 12,3 %

Sykloni- tyyppi Type of cyclone	Ilman nopeus Speed of air	Ilma- määrä Amount of air	Vasta- paine Counter- pressure	Tuotos kg/rehua kg/ilmaa Output kg/feed kg/air		Pölyäminen syklonissa Spreading of dust from a cyclone	
	m/s	kg/h	Pa	kg/h		g/kg	g/h
1	22	770	777	718	0,93	0,15	108
	26	910	881	645	0,71	0,11	71
2	22	770	630	792	1,03	0,18	143
	26	910	829	774	0,85	0,16	124
3	22	770	155	795	1,03	0,76	604
	26	910	225	697	0,77	1,09	760
4	22	770	104	803	1,04	5,71	4585
	26	910	121	728	0,80	7,59	5525

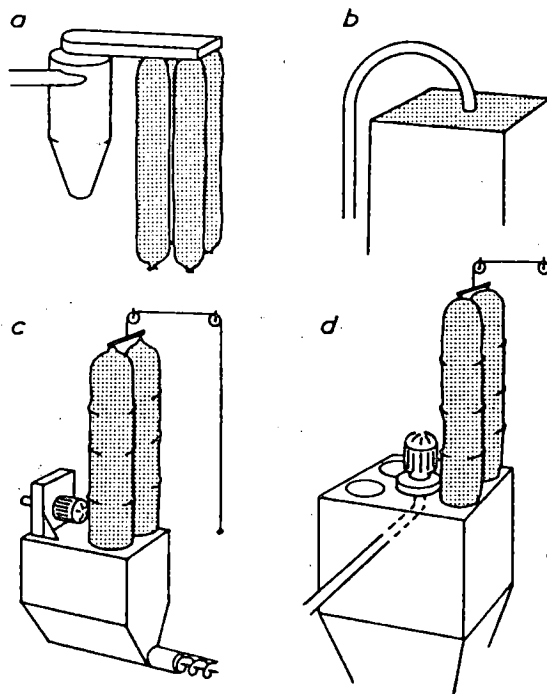
VAKOLAssa suoritetuissa kokeissa käytettiin kuvan 24 mukaisia sykloneja. Saadut tulokset ovat saman suuntaiset kuin JTI:n. Syklonin paineen noustessa sen pölynerotuskyky parani ja parhaat tulokset saatiin 600-900 Pa:n paineella siiloon jauhettaessa. Säkkiin jauhatuksen yhteydessä todettiin, että liian suurella ilmannopeudella (n. 28 m/s) puhallettaessa suurikaan syklonin paine ei erota pölyä tehokkaasti. Kun ilmannopeutta alennettiin puhallusputken supistusrenkaalla ja puhallussiipiä vähentämällä 15 m/s:ssa, saatiin verrattain pienellä syklonin paineella, 150-200 Pa, melko alhaisia pölypitoisuuksia, taulukko 7.



Kuva 24. Pölytutkimuksessa mukana olleet syklonit.
Figure 24. Cyclones which were examined in VAKOLA

Oikein mitoitettu sykloni (kuva 21, JTI 1 ja 2) erottaa tehokkaasti pölyä, jonka hiukkaset ovat suurempia kuin noin $10 \mu\text{m}$, mutta kaikkein pienimpien hiukkasten erottamiseen on käytettävä suodatinta. Kuvassa 25 on esitetty erilaisia suodatin vaihtoehtoja. Tavallisin suodatin muodostuu pyöreistä sukista, joiden halkaisija on 150-300 mm ja pituus 1-5 m. Sukan alapää on solmittu kiinni ja se tyhjenetään aika ajoin. VAKOLAn kokeissa todettiin pölynsuodattimien vähentävän jauhatustilan pölypitoisuutta huomattavasti (taulukko 7). Tärkeää on, että suodattinsukka on tarpeeksi tiivistä kangasta. Puuvillakankainen suodatin todettiin VAKOLassa tehokkaimmaksi. Junkkari-myllyssä, kuva 26, ei ollut syklonia ollenkaan ja siitä huolimatta pölypitoisuus oli pieni. Suodattimien painehäviö oli suuri, 1100-1500 Pa, taulukko 7.

Suodattimen sijasta sykloniin voidaan liittää tiivis putki, joka johtaa pölyn jauhatustilasta ulkoilmaan. Pölyn johtamista muualle esim. jauhatustilasta vintille ei suositella, koska muodostuvat pölykerrokset aiheuttavat tulipalovaaraa.



Kuva 25.

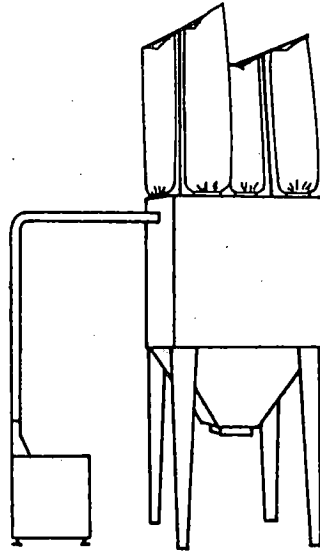
Esimerkkejä erilaisista suodatinjärjestelyistä pölyn erottamiseksi. /6/

- a) Syklonin jälkeen riippuvat suodattimet tyhjennetään käsin tai yhdistetään automaattiseen pölynpalautusjärjestelyyn
- b) Siilon kansi suodatinkangasta, siilon täyttö irtorehuautosta
- c) Pystyasennossa olevat suodattimet myllyn välivaraston päällä, suodattimet ovat itse-tyhjentyviä ja niitä voidaan ravistella ripustusvaijerin avulla
- d) Pystyasennossa siilon kannella olevat suodattimet vieressä imevä mylly, puhdistuvat samoin kuin C-kohdassa

Figure 25.

Examples of different kind of filters for preventing dust to spread. /6/

- a) Hanging filter socks after a cyclone will be emptied by hand or are connected to an automatic dust returning system
- b) Cover of a hopper made of filter, filling from bulk feed lorry
- c) Vertical filters above an intermediate storage bin for milled grain. Filters are self emptying and they can be shaken with a hanging cable.
- d) Vertical filters on a hopper next to a mill with suction, they are emptied like in section c



Kuva 26. Junkkari-mylly ja siilo, jonka päällä itsetyhjentyvät suodattimet.
Figure 26. Mill (Junkkari) and a hopper, selfemptying filters above the hopper.

VAKOLassa on tutkittu myös valssimyllyjen pölyn leviämistä ja tiivistyksen ym. toimenpiteiden vaikutusta siihen. Kuvassa 27 on esimerkki valssimyllyn tiivistys- ja kotelointitavasta, raot ylöspäin on teipattu ilmastointiteipillä ja jalkojen ympärillä on pahvi ja muovi. Saadut tulokset on esitetty taulukoissa 8 ja 12. Taulukon 12 kokonaispölypitoisuus on arvioitu mitatun hienopölypitoisuuden perusteella vertaamalla arvoja taulukon 8 arvoihin. Tuloksista voi päätellä, että halvoilla ja yksinkertaisilla toimenpiteillä saadaan aikaan merkittävä pölypitoisuuden aleneminen.

Taulukko 12. 3 kW Raju-valssimyllyllä tehdyissä kokeissa mitatut pölypitoisuudet eri jauhatusjärjestelyillä.

Table 12. Dust content in tests with Raju (3 kW) roller mill during different grinding arrangements.

Jauhatusjärjestely Grinding arrangement	Pölyn- torjunta- toimenpide Arrangement for preven- ting dust to spread	Hieno- pölyä Fine dust content mg/m ³	Arvioitu kokonais- pölymäärä Estimated total dust content mg/m ³	Huomautuksia Remarks
Saaviin, jyvät ammennettu sangolla tai valutettu myllyn syöttösuppilosta To a tub, grain scooped with a pail or ran down from a feeding hopper	-	5-6	80	Jyvien kosteus 14% Moisture content 14
- " -	-	1,8	30	Jyvien kosteus 24% Moisture content 24
Tiiviiseen säkkiin jyvät suppilosta To a tight bag, grain from a feeding hopper	mylly sekä myllyn ja säkin väli hyvin tii- vistetty roller mill and connec- tion bet- ween mill and bag care- fully sealed	0,25	2,5	Jyvien kosteus 14% Moisture content 14
Tiiviiseen säkkiin jyvät ammennettu sangolla To a tight bag, grain scooped with a pail	- " -	0,30	0,30	Jyvien kosteus 14% Moisture content 14



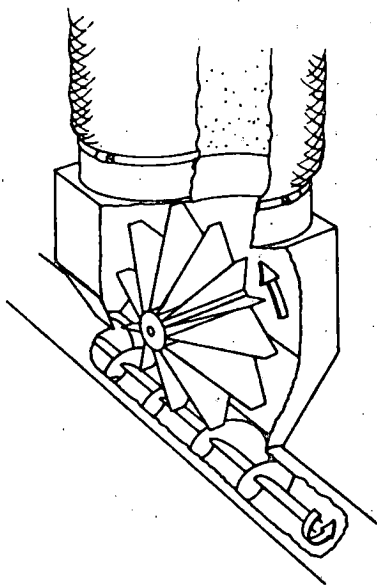
Kuva 27. Valssimyllyn tiivistäminen ja kotelointi (Bioteräs)
Figure 27. Sealing and casing a roller mill. (Bioteräs)

3.2.3 Erilaisia mahdollisuuksia pölyn keräämiseksi ja palauttamiseksi rehuun

Pölyn rehuarvo on tutkimusten mukaan periaatteessa verrattavissa normaaliin rehuun. Sen vuoksi pölyämisen vähentäminen ja muodostuneen pölyn johtaminen takaisin rehuun on tärkeää myös taloudellisesti.

Yksinkertaisin tapa palauttaa pöly rehuun on käyttää itsetyhjentyviä pussisuodattimia. Suodatin saadaan itsetyhjentyväksi, kun se ripustetaan riippumaan pohjastaan esim. siilon päälle (kuva 25 c-d).

Pölyn palauttamiseksi rehuun voidaan pölysuukien päät johtaa ruuvikuljettimen syöttölaatikkoon. Ruuvi kuljettaa pölyn rehun sekaan takaisin. Pölyn holvaantumisen estämiseksi voidaan syöttölaatikkoon asentaa siipipyörä, jota ruuvikuljetin pyörittää ja joka saa aikaan tarvittavan ilmavirran, kuva 28.



Kuva 28. Pölyn holvaantumisen estämiseksi voidaan syöttölaatikkoon asentaa siipipyörä. /6/

Figure 28. To prevent dust to vault a paddlewheel can be installed in a feeding box. /6/

Pölyn keräämiseksi voidaan käyttää pölykammiota. Siinä ilman nopeus laskee hyvin voimakkaasti heti sisääntuloaukon jälkeen, jolloin pölyhiukkaset laskeutuvat alas. Kammion huonoja puolia ovat sen suuret mittasuhteet, jos halutaan hyvä pölynerotustulos, sekä sen puhdistamisen ja hoitamisen epämiellyttävyyys.

4. SUOSITUKSET RAKENTEILLE JA JAUHATUKSEN JÄRJESTELYLLE

4.1 Esimerkkejä jauhatuksen järjestelyistä

Työtehoseuran tekemän tutkimuksen mukaan maatiloilla jauhamisvaiheen työ tehtiin siten, että yleisimmin rehu siirrettiin myllyyn kantamalla irtotavarana eli mylly täytettiin käsityövälinein. Jauhaminen tapahtui omalla vasaramyllyllä kerran viikossa. Jauhaminen kesti viljelijöiden arvion mukaan 1-3 h/kerta. Rehun sekoittamisvaiheen yleisin työmenetelmä oli jauhettujen viljojen ja tiivisteen kantaminen säkissä sekoituspaikalle, joka oli navetan yhteydessä varsinaisen eläintilan ulkopuolella sijaitseva eteinen. Sekoitus tapahtui kauhalla astiassa ja rehut sekoitettiin joka ruokintakerta. Rehun jakovaiheessa yleisin työketju oli rehun siirto kauhalla navettarakennuksen yhteydessä olevasta laarista sankoon, rehun siirto sangolla ruokintapöydälle ja jako sangolla eläimille.

Koska käytännön olosuhteet vaihtelevat tavattomasti, on rehunvalmistamoiden suunnittelu tilakohtaista. Suunnittelun lähtökohtia ovat:

1. Karjan koko
2. Rehuseosten määrä ja tyyppi
3. Viljavaraston muoto ja sijainti ruokintapaikkaan nähden

Maatilan rehunvalmistamoa suunniteltaessa on otettava huomioon seuraavat vaatimukset:

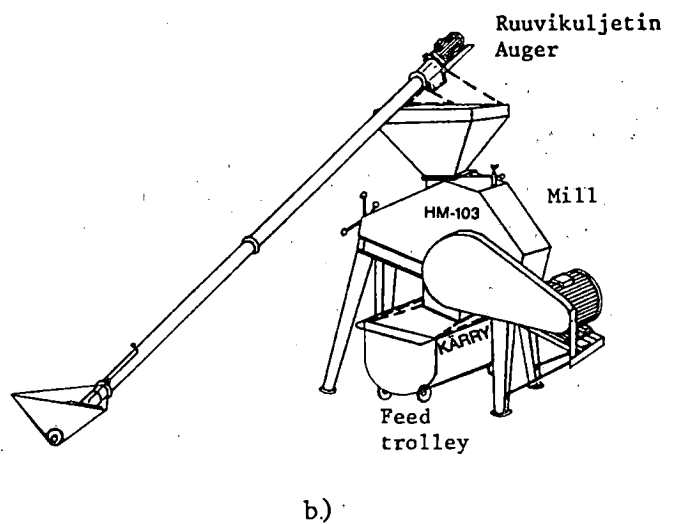
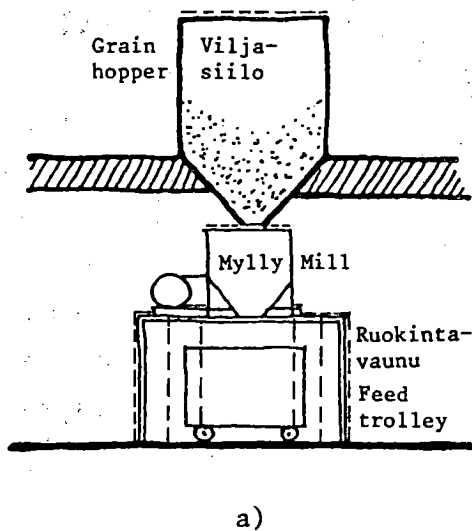
1. Hyvä käyttövarmuus
2. Valvonta tarpeetonta tai hyvin vähäistä
3. Laitteiston valmistaman rehun on oltava tasalaatuista ja kullekin eläinlajille rakenteeltaan sopivaa.
4. Rehukomponenttien valintamahdollisuudet on oltava riittävät ja valinnan on tapahduttava joustavasti.
5. Pölyn leviäminen estettävä ja häiritsevää melua on vältettävä tai vähennettävä mahdollisimman paljon.

Valssi- tai vasaramyllyn valinnalle ei voida esittää yksiselitteisiä perusteluja. Molemmilla on omat hyvät ominaisuutensa ja valintaan vaikuttavat ratkaisevasti kunkin yksittäisen tilan tarpeet. Taloudellisesti laskettuna voidaan esittää seuraava valintaperuste: Valssimyllyn energian kulutukseksi arvioidaan 4,5 Wh/kg ja vasaramyllyn 18 Wh/kg. Jos jauhetaan 100 000 kg vuodessa ja energian hinta on 22,5 p/kWh, tulee vasaramyllyllä jauhaminen 405 mk kalliimmaksi vuodessa kuin valssimyllyllä jauhaminen. Oletetaan inflaatio 6 % suuruiseksi ja laitteen takaisinmaksuaika 10 vuodeksi. Tällöin valssimyllystä kannattaa maksaa 3000 mk enemmän kuin vasaramyllystä.

Seuraavassa on esitetty jauhatuksen järjestelyn esimerkkejä sekä valssi- että vasaramyllylaitoksille. Kuvissa esitetään pölyntorjuntakohteet katkoviivoin.

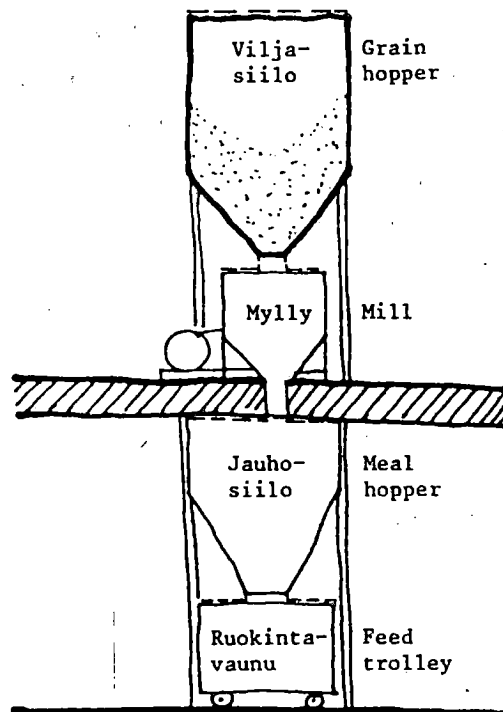
4.1.1 Valssimyllyjen jauhatusjärjestelyjä

Yksinkertainen käsittelyketju väkirehun valmistukseen on esitetty kuvassa 29 a ja b. Kuvassa 29 a vilja on varastoituna ylemmälle tasolle, josta se valutetaan myllyyn. Kuvassa 29 b vilja on varastoitu samaan tasoon myllyn kanssa, jolloin se siirretään viljaruuvilla myllyyn. Molemmissa tapauksissa rehu jauhetaan joka ruokintakerta ja tiivisteet sekä kivennäisaineet jaetaan erikseen. Varustamalla kuvan b laitos myllyn alapuolisella suppilolla ja siihen liitetyllä kuljetusruuvilla voidaan jauho siirtää siiloon ja jauhaa useamman päivän tarve kerrallaan. Tällöin voidaan laitosta myös automatisoida varustamalla jauhosiilo rajakytkimellä, joka pysäyttää myllyn ja viljaruuvit, kun haluttu jauhomäärä on jauhettu.



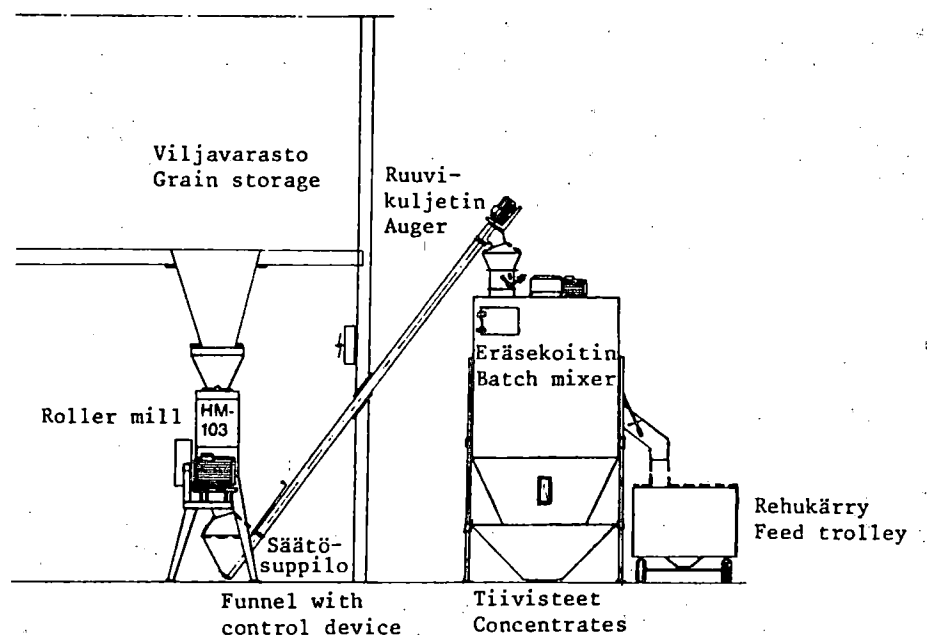
Kuva 29. Yksinkertainen ja halpa väkirehun käsittelyketju. Rehu jauhetaan joka ruokintakerta. /14/
 Figure 29. A simple and cheap feed processing plant. Feed will be grinded every feeding time. /14/

Kuvassa 30 on esitetty yksinkertainen käsittelyketju. Sillä voidaan jauhaa 2-4 päivän rehuntarve kerralla siilon tilavuudesta riippuen. Ratkaisumalli vaatii korkeamman rehustamotilan, kuin edellisen kuvan järjestelyt. Samoin yläpuolisen varastotilan tulee olla korkeampi, jotta siilo voidaan nostaa tarpeeksi korkealle myllyyn syöttöä varten. Laitosta voidaan automatisoida määräsuuruisten siilojen, kellolaitteen tai rajakytkimen avulla.



Kuva 30. Yksinkertainen väkirehun käsittelyketju, jossa jauhaminen tapahtuu 2-3 kertaa viikossa. /14/
 Figure 30. A simple feed processing plant where grinding taken place 2-3 times a week. /14/

Kuvassa 31 on esitetty moniosaisempi väkirehun käsittelyketju. Siinä jauhettava vilja valutetaan myllyyn ja johdetaan jauhetuna eräsekoittimeen. Haluttu määrä valkuaisrehua ja kivennäisiä lisätään sekoittimen alaosassa olevaan suppiloon. Kerralla voidaan valmistaa 2-3 päivän väkirehut sekoittimen koosta riippuen. Laitosta voidaan automatisoida esim. siten, että haluttu rehuvaaran "kippauskertojen" määrä ilmoitetaan etukäteen ja laskin pysäyttää myllyn ja ruuvikuljettimen, kun haluttu määrä on saavutettu.

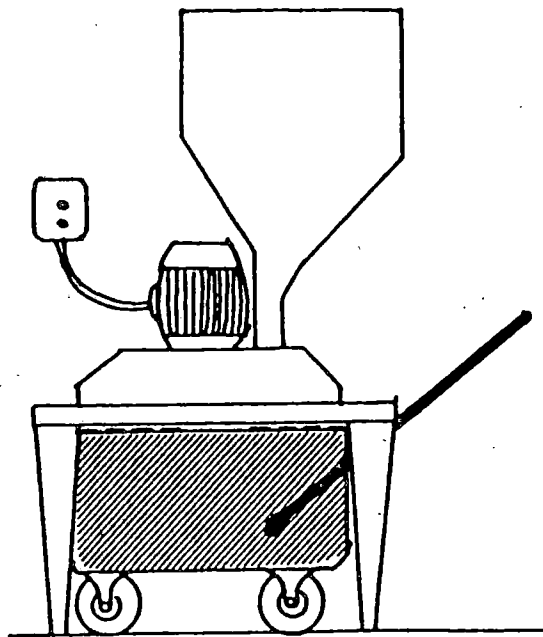


Kuva 31. Väkirehun käsittelyketju valmiin rehuseoksen valmistukseen. (Haukka-Metalli Oy)
Figure 31. A feed processing plant to make a ready ration. (Haukka-Metalli Oy)

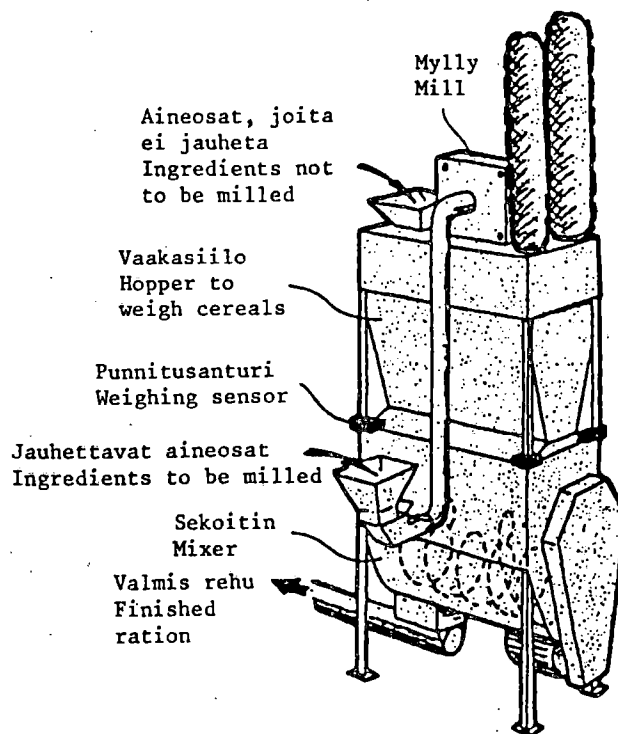
4.1.2 Vasaramyllyjen jauhatusjärjestelyjä

Yksinkertainen vasaramyllyn jauhatusjärjestely on esitetty kuvassa 32. Vasaramylly, jossa ei ole puhallusta, on sijoitettu sopivalle korkeudelle rehuvaunuun jauhamista varten. Vilja johdetaan myllyyn joko valuttamalla yläkerran viljavarastosta tai viljaruuvilla varastotilasta tai siilosta. Kerralla voidaan jauhaa vain ruokintakerran tarve ja tiivisteeet annostellaan eläimille erikseen. Vasaramyllyn sijasta voidaan käyttää myös teräslevymyllyä.

Ko. ratkaisun käyttöä voidaan helposti automatisoida esimerkiksi määrätalavuuksisten vilja- ja jauhosiilojen kellolaitteen tai tasovartijan avulla.



Kuva 32. Yksinkertainen vasaramyllyn jauhatusjärjestely.
/18/
Figure 32. A simple feed processing plant with a hammer mill. /18/



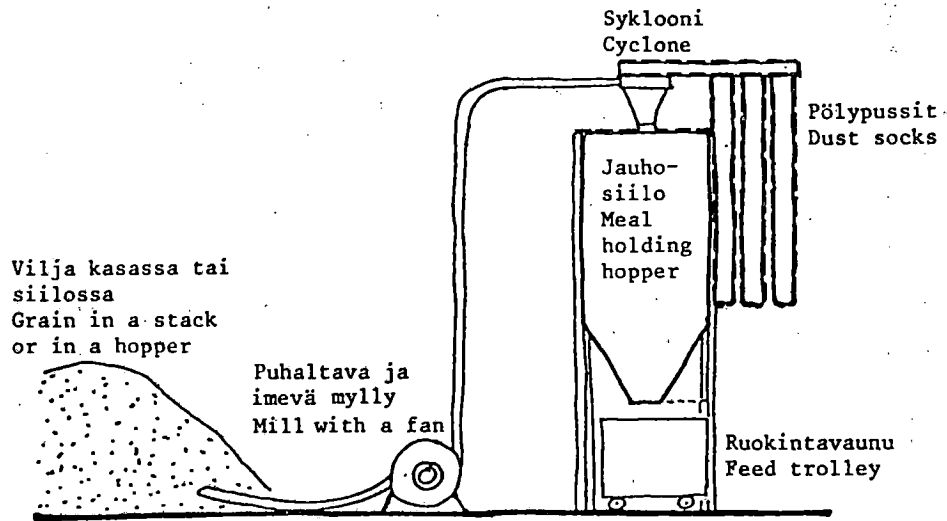
Kuva 33. Esimerkki vaakasekoittajaa käyttävästä myllylaitoksesta. /7/
Figure 33. An example of feed processing plant with a horizontal mixer. /7/

Kuvan 33 myllylaitokseen vilja ja tiivisteet johdetaan esimerkiksi ruuvikuljettimella. Vaaka punnitsee tiivisteiden ja jauhon erikseen. Sekoittumisen jälkeen valmis rehu siirretään ruuvikuljettimella siiloon tai ruokintavaunuun. Laiteketjun toimintaa voidaan automatisoida ilmoittamalla tiiviste- ja jauhomäärät, jolloin sähkövaaka pysäyttää myllyn ja siirtoruuvit, kun haluttu määrä on punnittu. Laitteisto vaatii melko korkean rehustamotilan, koska pölysuodattimet ovat pystyasennossa vaa'an päällä.

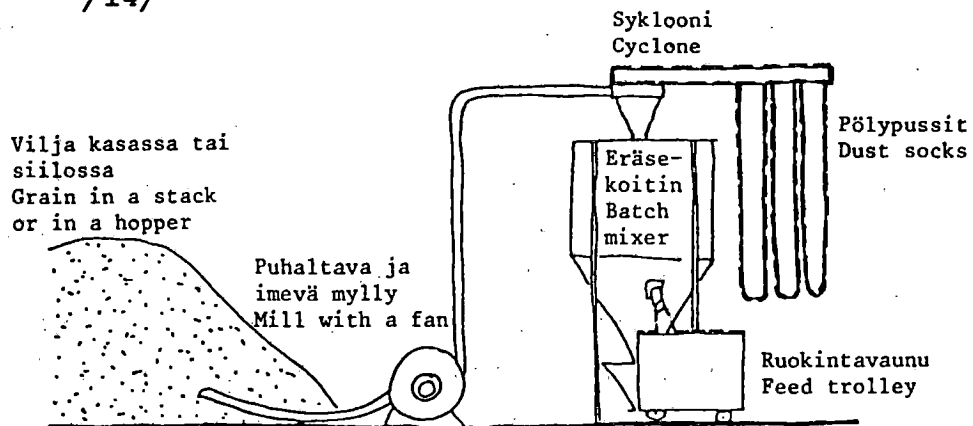
Puhaltimella varustetun vasaramyllyn käyttöesimerkkejä on esitetty kuvissa 34, 35, 36 ja 37. Kuvassa 34 mylly imee viljan varastokasasta tai siilosta ja puhalttaa sen jauhosii-
loon, josta se jaetaan ruokintavaunuun. Kerralla voidaan jauhaa usean päivän tarve. Jauhatuksen aikana ihmistyön tarve on vähäinen lähinnä käynnistys ja pysäytys. Tiiviste annostellaan tässäkin tapauksessa käsin. Syklonin jälkeen, siilon tilalla voidaan käyttää säkityslaitetta, jolloin tarvitaan mylläri koko jauhatuksen ajan. Tällöin syntyy pölyä huomattavasti enemmän kuin siiloon jauhettaessa. Pölynsuodatus voidaan vaihtoehtoisesti järjestää siilon päälle pystyasentoon asennettavilla pölysukilla. Tässä tapauksessa ei tarvita myöskään syklonia, vaan jauhot voidaan puhalttaa suoraan siiloon. Järjestelyn edellyttämä vapaa korkeus on 1-1,5 m enemmän kuin jos pölyukat riippuvat alaspäin. Laitos voidaan automatisoida siiloon asennettavalla rajakytkimellä, mikä pysäyttää myllyn, kun siilo on täynnä.

Kuvassa 35 on edellä kuvattuun järjestelmään lisätty eräsekoitin, jolloin tiivisteet lisätään sekoittimen kaatosuppiloon. Kerralla voidaan jauhaa ja sekoittaa useamman päivän rehun tarve. Ihmistyön osuus on vähäinen tässäkin järjestelmässä. Sitä voidaan helposti automatisoida lisää määrätilavuuksisen viljasiilon ja kellolaitteen avulla. Pölynsuodatus voidaan nytkin järjestää vaihtoehtoisesti eräsekoittimen päälle pystyasentoon asennettavilla pölysukilla. Tässäkin tapauksessa tarvittava vapaakorkeus kasvaa noin 1 m:llä.

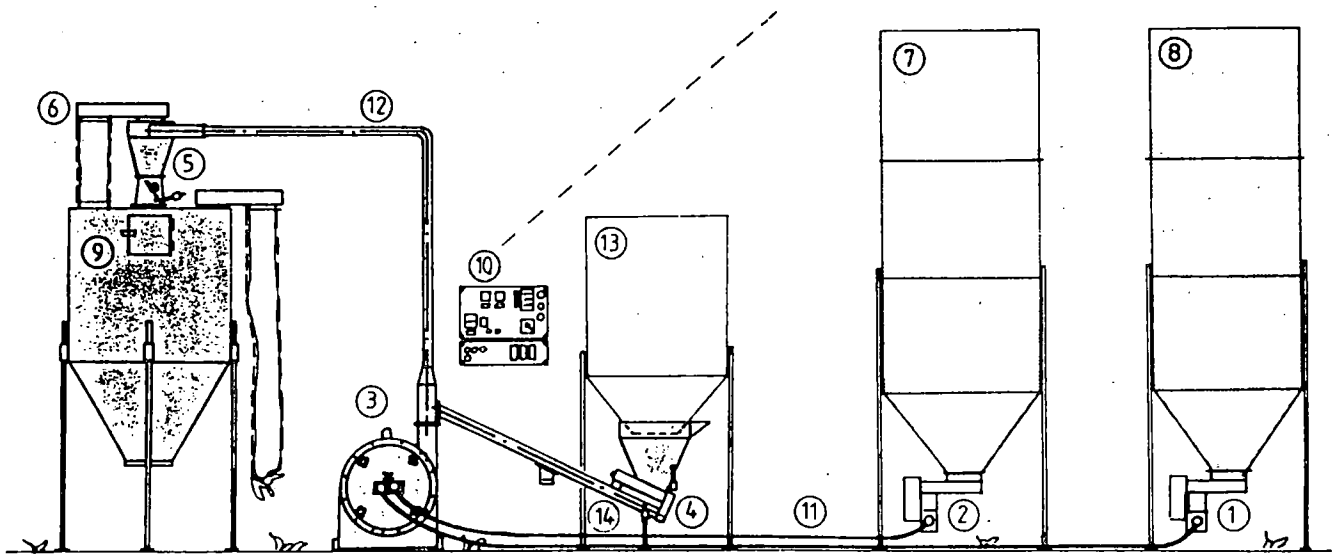
Kuvassa 36 on esitetty täysin automatisoitu jatkuvatoiminen rehunvalmistuslaitos. Vilja ja tiiviste on varastoituna siiloihin, joista ne annostelijoiden kautta kulkeutuvat myllyyn. Valmis rehuseos johdetaan rehusiiloon. Valmistetun rehumäärän mittaamiseksi ja rehun erottumisen estämiseksi säiliön päälle on asennettu rehuvaaka, joka tyhjentyy tietyin kilovälein (esim. 5 kg) siiloon. Kaikki toiminnot säätyvät ohjauskeskuksesta. Varastosilojen takia järjestely vaatii melko paljon vapaata korkeutta.



Kuva 34. Imevällä ja puhaltavalla myllyllä voidaan jauhot siirtää tarvittaessa jopa kymmenien metrien päähän. /14/
Figure 34. With a suction mill with pneumatic conveyor meal can be transferred even dozens of meters. /14/



Kuva 35. Eräsekoittimessa sekoitetaan mitatut aineosat toisiinsa 15-20 minuutissa. /14/
Figure 35. A batch mixer measured ingredients are mixed in 15-20 minutes. /14/

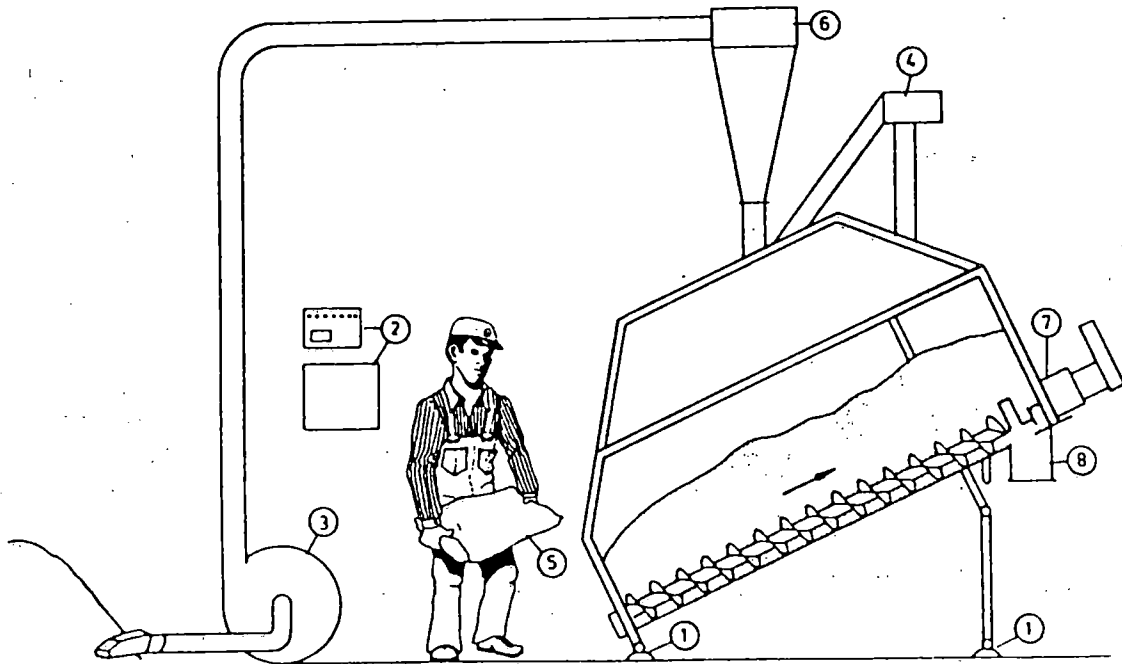


- | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|--|
| 1. Viljan annostelija (ohra) | 6. Paineentasausputkisto | 11. Imuletkut ($\varnothing 75\text{mm}$) |
| 2. Viljan annostelija (kaura) | 7. Viljasiilo (kaura) | 12. Puhallusputki ($\varnothing 100\text{mm}$) |
| 3. Imupuhallusmylly | 8. Viljasiilo (ohra) | 13. Tiivistesiilo |
| 4. Tiivisteanostelija | 9. Rehusäiliö | 14. Lisäaineannostelija (lisävaruste) |
| 5. Rehuvaaka (5 kg) | 10. Ohjauskeskus | |
| 1. Grain proportioner (barley) | 6. Pipeline to damping pressure | 11. Suction pipeline ($\varnothing 75 \text{ mm}$) |
| 2. Grain proportioner (oats) | 7. Grain hopper (oats) | 12. Conveyor pipeline ($\varnothing 100 \text{ mm}$) |
| 3. Mill with a fan | 8. Grain hopper (barley) | 13. Concentrate hopper |
| 4. Concentrate proportioner | 9. Feed hopper | 14. Additive proportioner (accessory) |
| 5. Feed scales | 10. Steering gear | |

Kuva 36. Täysin automatisoitu rehunvalmistuslaitos. Imevällä ja puhallettavalla myllyllä voidaan sekoittaa tarvittaessa kaikki aineosat. (Haukka-HM-20)

Figure 36. Fully automated milling and mixing system. With a suction mill with pneumatic conveyor can all ingredients be mixed when necessary. (Haukka HM-20)

Kuvassa 37 on esitetty automatisointijärjestely, joka soveltuu matalampaan tilaan kuin edellinen. Siinä vilja imetään varastokasasta. Diagonaalisekoitin on varustettu sähkövää'alla, joka punnitsee halutun määrän jauhoa ja tiivistettä. Kivennäiset lisätään käsin sekoittimeen. Jauhon ja tiivisteen suhde määrätään halutuksi, samoin sekoitusaika ja ohjauskeskus hoitaa työn ja pysäyttää laitteet. Sekoitin tyhjenetään joko rehuvaunuun tai kuljettimeen joka siirtää rehun varastosiiloon.



1. Punnitusanturi
2. Ohjauskeskus
3. Mylly
4. Tiivistaruuvi

5. Säkitetyt aineosat
6. Sykloni + pölynsuodatin
7. Sekoitinruuvi
8. Tyhjennys

1. Weighing sensor
2. Steering gear
3. Hammer mill
4. Concentrate auger

5. Bagged ingredients
6. Cyclone + dust filter
7. Mixing auger
8. Ration outlet

Kuva 37. Suhteellisen mataliin tiloihin soveltuva rehunvalmistuslaitos. /16/

Figure 37. Milling and mixing system that suits to a relatively low rooms. /16/

4.2 Rehunvalmistusketjujen pölyntorjunta

Pölyntorjuntatoimenpiteet on esitetty katkoviivoin rehunvalmistusketjukuvissa. Valssimyllyä käytettäessä suurin pölyn muodostuminen tapahtuu itse myllystä sekä viljan ja jauhon putoamisesta. Pölyntorjumiseksi tehokkaasti tulee myllyn olla koteloitu. Eri valmistusketjun osien liitokset toisiinsa tulee tehdä tiiviiksi; siiloihin kannet, joissa täyttöreikä, ruokintavaunun ja siilon väliin esimerkiksi syöttöputki ja vaunun päälle kansi. Kun ruokintavaunu on suoraan myllyn

alapuolella, kuten kuvassa 29a, voidaan pölyä torjua tehokkaasti laittamalla myllyn jalkojen ymäri esim. pahvi- tai kovalevyhelmat ja etupuolelle rehuvaunun allelaittamista ja poisottamista varten muovinen oviverho (kuva 27).

Vasaramyllylaitokseen, jossa ei ole puhallinta soveltuvat valssimyllyjä koskevat ohjeet. Puhalluksella varustetuissa vasaramyllyissä pölyn purkautuminen on suurinta syklonissa ja siilossa. Jonkinverran pölyä vuotaa myös puhallusputkistosta, mikäli se ei ole liitoksistaan hyvin tiivistetty. Syklonista purkautuvan pölyn keräämiseksi syklonin päälle asennetaan pölynsuodatusyksikkö, jossa on puhallustehoon nähden tarpeellinen määrä pölypusseja, esimerkiksi 1,2-1,5 m²/kW. Siilon tulee olla umpinainen ja liitoksen sykloniin tiivis. Ruokintavaunun ja siilon väliin lisätään syöttöputki ja vaunuun tiivis kansi. Eräsekoittimeen pätevät samat ohjeet kuin siiloon.

Täysin automatisoidussa laitoksessa on syklonin lisäksi pölynsuodatusyksikkö myös siilon päällä, koska vaaka pudottaa rehun tietyin väliajoin siiloon, jolloin putoaminen aiheuttaa huomattavan pölyämisen siilossa. Annostelijoiden kiinnitys siiloon tulee olla hyvin tiivistetty samoin myllyn imuletkun liitoksen annostelijaan.

Mataliin tiloihin soveltuvassa rehunkäsittelylaitoksessa pölyämistä tapahtuu eniten eräsekoittimen tyhjennysputkesta. Tämä tulee johtaa joko kannella varustettuun rehuvaunuun tai liittää tiiviisti rehukuljettimeen. Pölyä syntyy myös säkittyjen aineosien lisäämisestä sekoittimeen, mutta sitä ei voida vähentää muutoin kuin suorittamalla työ rauhallisesti.

Kaikilla esitetyillä rehunvalmistusketjuilla on mahdollisuus päästä 5 mg/m³ alittaviin kokonaispölypitoisuuksiin, kun esitetyt pölyntorjuntatoimenpiteet suoritetaan.

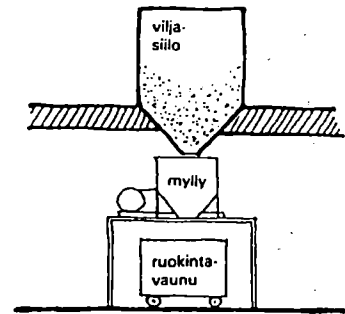
4.3 Rehunvalmistusketjujen kustannuksia

Seuraavassa on laskettu esitetyille rehun valmistuksen koneketjuille kustannuksia. Saadut kustannukset eivät ole suoraan vertailukelpoisia, koska laskennassa on käytetty erisuuria myllyjä ja silloja eri ketjuissa. Ko. laitteiden suuruudet on ilmoitettu erikseen. Tilakohtaisesti voidaan tarvita lisäksi erilaisia liitos- ja sovitusosia sekä pidempiä putkistoja tai sähkötekniisiä liitostöitä. Näitä ei ole erikseen arvioitu, joten laskelmia ei voida suoraan käyttää maatalojen omissa kustannusarvioissa. Useimmat esitetyt pölyntorjuntatoimenpiteet ovat sellaisia, jotka isäntä pystyy itse tekemään esim. jostakin levystä tai suojakankaasta. Näille ei kustannuksia ole laskettu, koska niillä ei ole taloudellista merkitystä. Kustannuksia laskettaessa käytetyt hintatiedot ovat ohjevähittäishintojen keskihintoja huhti-toukokuulta 1987.

Esimerkkiketjuihin on laskettu lisäksi vuosikustannukset valmistettaessa 50, 100 ja 200 tonnin rehumäärä vuosittain. Vuosikustannus muodostuu kolmesta osakustannuksesta; pääoma-, huolto- ja energiakustannus. Pääomakustannusta laskettaessa on laitteiston käyttöiäksi oletettu 10 vuotta ja reaalikorko 5 %:ksi, jolloin annuiteettimenetelmän kertoimeksi saadaan 0,1295. Huoltokustannus muodostuu kiinteästä osasta, joka on 1 % investointikustannuksista ja muuttuvasta osasta, joka on 4,4 mk/valmistettu rehutonni. Energiakustannus on laskettu 22,5 p/kWh yksikköhinnalla sekä valssimyllyille energiankulutuksella 4,5 Wh/kg ja vasaramyllyille 18 Wh/kg. Siirtoruuvien, annostelijan ja automatisointilaitteen on kunkin arvioitu lisäävän energiankulutusta noin 5 % sekä sekoittimen noin 10 %. Vuosikustannusta laskettaessa ei ole arvioitu ihmistyön osuutta eikä siitä johtuvia kustannuksia.

Kustannusten lisäksi mukaan on kerätty tärkeimpiä teknisiä tietoja kuten keskimääräinen jauhatusteho, myllyn koko (suurin markkinoilla oleva ko. kW-luokassa) ja saavutettavissa oleva pölypitoisuus, kun käytetään pölynsuodattimia ja/tai liitokset eri osien välillä on huolellisesti tiivistetty.

Viljasiilo, 5,5 m ³	4500,-
Valssimylly, 4,0 kW	6700,-
Ruokintavaunu tiivistesäiliöllä	3400,-
Käsiikäyttöisenä	14600,-



Pölyntorjuntatoimenpiteet eivät aiheuta mainittavia lisäkustannuksia.

Vuosikustannukset

- pääomakustannus (14600,- x 0,1295)	1890,-
- huoltokustannus, kiinteäerä (14600,- x 1 %)	150,-
- huoltokustannus, muuttuva erä (4,40 x 50 tn)	220,-
(4,40 x 100 tn)	440,-
(4,40 x 200 tn)	880,-
- energiakustannus (50 tn : 225 kWh x 22,5 p)	60,-
(100 tn : 450 kWh x 22,5 p)	110,-
(200 tn : 900 kWh x 22,5 p)	210,-

Jauhettava rehumäärä tn/vuosi	50	100	200
vuosikustannus mk	2320	2590	3130

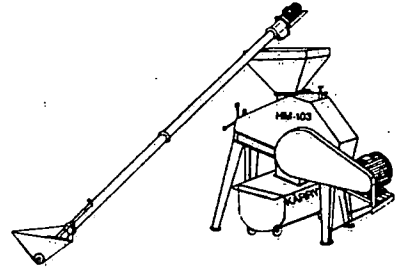
Jauhatusteho

900 kg/h

Myllyn pituus x leveys x korkeus 116 x 84 x 150 cm

Saavutettavissa oleva kokonaispölypitoisuus 2,1 mg/m³

Viljaruuvi 4 m + syöttösuppilo	2400,-
Valssimylly, 7,5 kW	14000,-
Ruokintavaunu tiivistesäiliöllä	<u>3400,-</u>
Käsi­käyt­to­i­senä	19800,-



Lisävarustus:

Suppilo + siirtoruuvi 4 m	3000,-
Jauhosiilo 1,5 m ³	<u>2600,-</u>
Yht.	5600,-

Automatisointimahdollisuus:

Rajakytkin	800,-
Ohjaustaulu	<u>3000,-</u>
	3800,-

Automatisoituna yhteensä 25800,-

Pölyntorjuntatoimenpiteet eivät aiheuta mainittavia lisäkustannuksia.

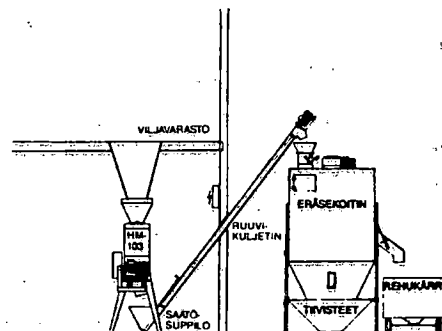
Jauhettava rehumäärä tn/vuosi	50	100	200
Vuosikustannus käsi­käyt­to­i­senä mk	3060	3330	3870
Vuosikustannus mk automatisoituna	3910	4180	4750

Jauhatusteho 1650 kg/h

Myllyn pituus x leveys x korkeus 169 x 73 x 148 cm

Saavutettavissa oleva kokonaispölypitoisuus 2,5 mg/m³

Valssimylly, 11 kW	15000,-
Ruuvikuljetin, 4 m	2100,-
Rehuvaaka	3100,-
Eräsekoitin 1500 kg	15000,-
Rehukärry käsin jakelu	800,-
Käsiikäyttöisenä	36000,-



Yhdyspöly varastosta myllyyn tehdään itse.

Automatisointimahdollisuus:

Laskin	1800,-
Ohjaustaulu	3500,-
Yhteensä	5300,-

Automatisoituna yhteensä 41300,-

Pölyntorjuntatoimenpiteet eivät aiheuta mainittavia lisäkustannuksia.

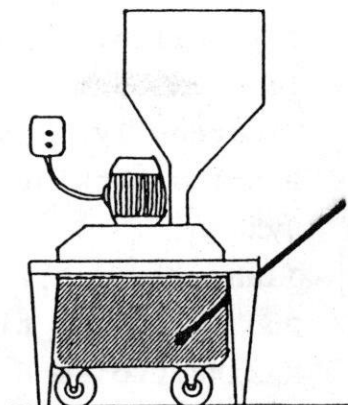
Jauhettu rehumäärä tn/vuosi	50	100	200
Vuosikustannus käsiikäyttöisenä mk	5320	5600	6160
Vuosikustannus mk automatisoituna	6070	6360	6930

Jauhatusteho	2400 kg/h
Myllyn pituus x leveys x korkeus	172 x 62 x 179 cm
Eräsekoitin max.	ø 135 cm korkeus 350 cm
Saavutettavissa oleva kokonaispölypitoisuus	2,5 mg/m ³

Viljaruuvi 4 m	2100,-
Vasaramylly, 5,5 kW, ei puhallinta	3500,-
Ruokintavaunu tiivistesäiliöllä	<u>3400,-</u>
Yhteensä	9000,-

Automatisointimahdollisuus:

Vilja- ja jauhosiiot \dot{a} 2,3 m ³	6400,-
Tasovartija	800,-
Ohjaustaulu	<u>2000,-</u>
Yhteensä	9200,-



Automatisoituna yhteensä 18200,-

Pölyntorjuntatoimenpiteet eivät aiheuta mainittavia lisäkustannuksia.

Jauhettava rehumäärä tn/vuosi	50	100	200
Vuosikustannus käsikäyttöisenä mk	1690	2110	2950
Vuosikustannus mk automatisoituna	3000	3440	4320

Jauhatusteho 300 kg/h
 Myllyn pituus x leveys x korkeus 70 x 66 x 87 cm
 Saavutettavissa oleva kokonaispölypitoisuus 2,5 mg/m³

Kuvan 33 järjestelylle ei ole laskettu kustannuksia, koska varsinaisia vaakasekoittimia ei ole markkinoilla. Saatavissa on sitä vastoin diagonaalisekoittimia, joiden päälle on asennettavissa mylly. Tällöin järjestely vastaa kuvan 37 esimerkkiä ja on kustannuksiltaan samaa suuruusluokkaa.

Viljasiilo, 10 m ³	5600,-
Imuputki 5 m	660,-
Vasaramylly, 7,5 kW	7900,-
Puhallusputkisto, 6 m	450,-
Sykloni	900,-
Jauhosiilo, 1,7 m ³	3700,-
Ruokintavaunu tiivistesäiliöllä	<u>3400,-</u>
Käsi käyttöisenä	22610,-

Automatisointimahdollisuus:

Rajakytkin	800,-
Ohjaustaulu	<u>3000,-</u>
	3800,-

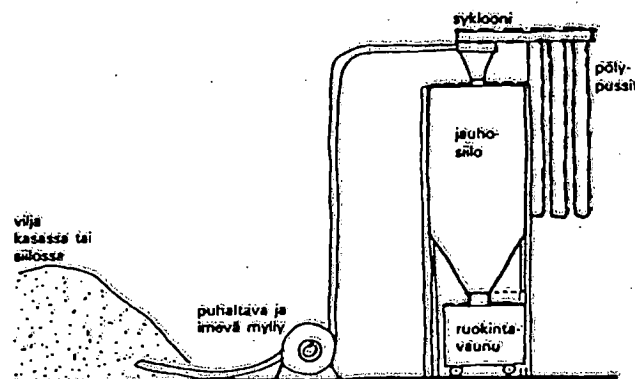
Automatisoituna yhteensä 26410,-

Pölyntorjunta:

Suodatusyksikkö	850,-
-----------------	-------

Jauhettava rehumäärä tn/vuosi	50	100	200
Vuosikustannus käsi käyttöisenä mk	3720	4140	4980
Vuosikustannus mk autonomisoituna	4260	4700	5580

Jauhatusteho	420 kg/h
Myllyn pituus x leveys x korkeus	74 x 70 x 83 cm
Siilon + syklonin korkeus max.	430 cm (105 x 105)
Viljasiilon korkeus max.	500 cm (205 x 205)
Pölynsuodattimen korkeus	25 cm
Saavutettavissa oleva kokonaispölypitoisuus	0,4 mg/m ³



Imusyöttölaite	400,-
Imuletku, 5 m	660,-
Vasaramylly, 5,5 kW	5900,-
Puhallusputkisto, 6 m	450,-
Sykloni	900,-
Eräsekoitin 1000 kg	14200,-
Ruokintavaunu	<u>800,-</u>
Käsi­käyt­­töisenä	23310,-

Automatisointimahdollisuus:

Määrätilavuuksinen sillo, 1,7 m ³	4800,-
Rajakytkin	800,-
Ohjaustaulu	<u>2000,-</u>
	7600,-

Automatisoituna yhteensä 30910,-

Pölyntorjunta:

Suodatusyksikkö 850,-

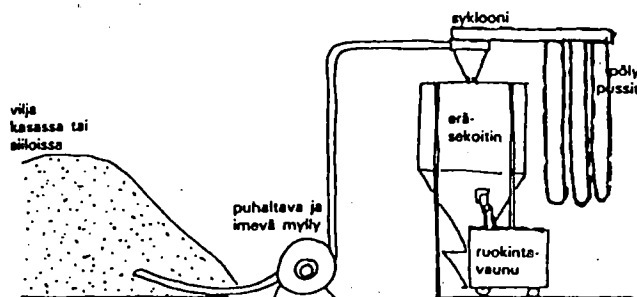
Jauhettava rehumäärä tn/vuosi	50	100	200
Vuosikustannus käsi­käyt­­töisenä mk	3830	4270	5150
Vuosikustannus mk automa­ti­soi­tu­na	4910	5350	6250

Jauhatusteho 300 kg/h

Myllyn pituus x leveys x korkeus 70 x 66 x 87 cm

Eräsekoitin + sykloni max. ø 135, korkeus 400 cm

Saavutettavissa oleva kokonaispölypitoisuus 0,8 mg/m³



Viljasiilo 2 kpl à 11,5 m ³	12000,-
Vilja-annostelija 2 kpl	8800,-
Imuletku, 5 m 2 kpl	1320,-
Vasaramylly 11 kW	10400,-
Tiivistesiiilo, 1,5 m ³	2600,-
Tiivisteannostelija	4700,-
Kivennäisannostelija	3350,-
Puhallusputki, 6 m	450,-
Sykloni	900,-
Rehuvaaka	2500,-
Rehusäiliö, 1,7 m ³	3800,-
Ruokintavaunu/tasokuljetin, 5 m	800,-/5000,-
Ohjauskeskus	<u>9000,-</u>
Automatisoituna yhteensä	60620,-/64820,-

Pölyntorjunta

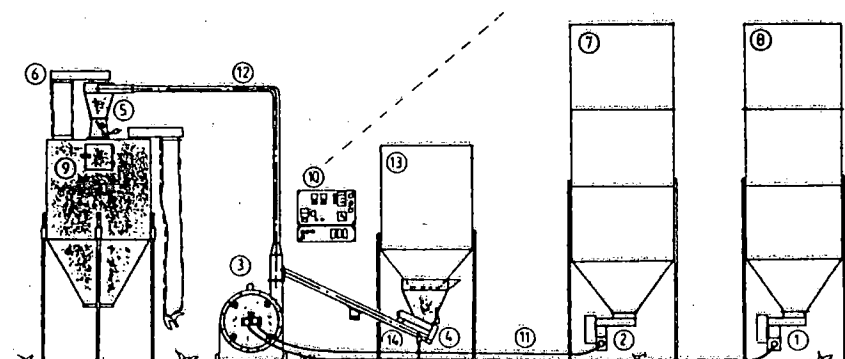
Suodatusyksikkö 850,-

Jauhettava rehumäärä tn/vuosi	50	100	200
Vuosikustannus ruokintavaunulla mk	9060	9530	10470
Vuosikustannus mk tasokuljettimella	9660	10140	11100

Jauhatusteho

600 kg/h

Myllyn pituus x leveys x korkeus	89 x 82 x 94 cm
Viljasiilo max. korkeus	510 cm (205 x 205)
Tiivistesiiilo max. korkeus	300 cm (105 x 105)
Rehusiiilo + vaaka + sykloni, max. korkeus	350 cm (130 x 130)
Saavutettavissa oleva kokonaispölypitoisuus	1,0 mg/m ³



Imuputki, 5 m	660,-
Imusyöttölaite	400,-
Vasaramylly 7,5 kW	7900,-
Puhallusputki 8 m	600,-
Sykloni	900,-
Tiivistesuppilo	800,-
Tiivisteruuvi	1500,-
Eräsekoitin 1000 kg	18000,-
Punnitusanturi 3 kpl	8750,-
Rehuvaunu	800,-
Ohjauskeskus, tietokone	<u>22300,-</u>
Automatisoituna yhteensä	62610,-

Lisäksi tarvitaan vahvavirtasähkökeskus

Pölyntorjunta:

Suodatusyksikkö 850,-

Jauhettava rehumäärä tn/vuosi	50	100	200
Vuosikustannus mk	9330	9790	10710

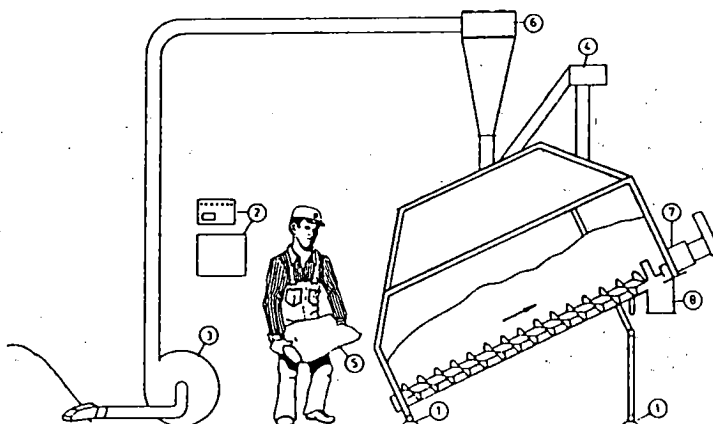
Jauhatusteho 420 kg/h

Myllyn pituus x leveys x korkeus 74 x 70 x 83 cm

Diagonaalisekoitin esim. 330 x 110 x 280 cm

Syklonin korkeus max. 120 cm

Saavutettavissa oleva kokonaispölypitoisuus 1,0 mg/m³



LÄHDEKIRJALLISUUS

- /1/ Farm feed processing. Mechanisation Booklet 25. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Middlesex 1981.
- /2/ Foderblandning. Meddelelse nr 1150. Statens Redskabsprøver. Bygholm, Horsens 1973.
- /3/ Formaling of korn og baelgsaed. Meddelelse nr 1084. Statens Redskabsprøver. Bygholm, Horsens 1972.
- /4/ Huhtanen, P., Väkirehun käsittelyn ja ruokintatavan vaikutus rehun hyväksikäyttöön eri eläimillä. Tiedote no 2. Kotieläintieteen laitos. Helsingin Yliopisto. Helsinki 1984.
- /5/ Joki-Tokola, E., Nisula, H., Märehtijöille litisteviljaa, Karjatalous 9/1984, s. 6-7.
- /6/ Larsson, K., Dammreducerande åtgärder vid kraftfoderhantering. Meddelande nr 399. Jordbrukstekniska institutet, Uppsala 1983.
- /7/ Larsson, K., Foder till svin - några utvecklingstendenser i gårdstekniken. Teknik för lantbruket 2 c(1985). Jordbrukstekniska institutet, Uppsala 1985.
- /8/ Larsson, K., Teknik för gårdsberedning av foder med utgångspunkt från enskilda foderingredienser. Jordbrukstekniska institutet, Uppsala 1985.
- /9/ Larsson, L-E., Damreducerande åtgärder vid spannmåls- hantering. Meddelande nr 393. Jordbrukstekniska institutet, Uppsala 1982.

- /10/ Louhelainen, K., Vilhunen, P., Terho, E.O., Kangas, J., Husman, K., Kalliokoski, P., Lypsykarjan ja sikojen hoitotöiden pölyt ja pölyaltistumisen vähentäminen. Työolosuhteet 59. Työterveyslaitos, Helsinki 1987.
- /11/ Maatalouden hengityksen suojaimet. Maa- ja metsätalouden työsuojelututkimusta edistävä neuvottelukunta (MTTN) 1985.
- /12/ Nieminen, L., Rehujen sekoitus, moniste, julkaisematon.
- /13/ Nieminen, L., Väkirehun valmistus ja käsittely tilalla, moniste, julkaisematon.
- /14/ Nurmisto, U., Väkirehun valmistus tilalla, Teho 5/1985, s. 16-18.
- /15/ Pokki, J., Alanko, A., Nurmisto, U., Holma, M., Väkirehun valmistus ja käsittely maataloilla. Työteho-seuran julkaisuja 264. Työteho-seura ry. Helsinki 1984.
- /16/ Svensson, K-E., Ny serieprovning på foderberedare, Lantmannen 2/1984, s. 11-21.
- /17/ Työpaikan ilman epäpuhtaudet. Turvallisuustiedote 3. Työsuojeluhallitus. Tampere 1981.
- /18/ Vahala, J., Eroon pölyävistä jauhosäkeistä. Käytännön Maamies. 2/84, s. 46-50.

Valmistaja/ Maahantuoja	Tyyppi	Tuotenimi malli	Tehontarve kW	Myyjä
Bioteräs Oy	Valssi	Bioteräs	2.2, 4.0	Valmistaja
Haukka-metalli	Valssi	Haukka HM102	11	SOK
	"	HM103	11	
	Vasara	Haukka HM5	7.5, 11	
	"	HM6	Hihnakäyttöinen	
	"	HM7	Traktorikäyttöinen	
	"	Haukka HM1	7.5	
	"	HM2	Hihnakäyttöinen	
	"	HM3	Hihnakäyttöinen	
	"	HM4	Traktorikäyttöinen	
Junkkari Oy	Valssi	Junkkari VMJ 1000	4.0	Kesko
	"	Junkkari VMJ 2000	7.5	Hankkija
	Vasara	Maatilamyllly	7.5, 11	
	"	Puukko-Junkkari	7.5	
	"	Pyörre-Junkkari	min. 11	
Kone Oy Trional	Valssi	Cross 1000	4.0	Valmistaja
Kortteen Konepaja	Valssi	Murska K100	1.5	SOK
	"	K200	3.0	Hankkija
	"	K220	Traktorikäyttöinen	
	"	700	Traktorikäyttöinen	
	"	Raju 180	3.0	
	"	350	Traktorikäyttöinen	
T:mi Kyrklund	Valssi	Hafer Boy	3.0	Maahantuoja
Maannos Oy	Vasara	Meton	7.5	Maahantuoja
Munakunta	Teräslevy	Cormall	5.0-15.0	Maahantuoja
	Vasara	Cormall HD	7.5-30.0	
	Olkimylly	Cormall HDH-40	15.0-25.0	
Myllykonepaja Pehrsson	Vasara	Pehrsson	15.0-22.0	Tuko
Nipere Oy	Vasara	Rivakka	7.5, 11	Valmistaja
Saeby Jernstøbei & Maskinfabrik A/S	Valssi	Skiold KB 150	4.0	SOK
	"	KB 250	7.5	
	Vasara	Skiold BM 2	5.5, 7.5	
	"	CM 3	11.0, 15.0	
Vitaprotein ky	Vasara	BM I	7.5 - 25	Maahantuoja
	"	BM III	7.5 - 20	
Tapani Saxlin ky	Valssi	Primoplex Diamant	4.0, 11.0	Maahantuoja

Louhelainen/Vilhunen/14231

24.6.1987

Valtion maataloustekno-
logian tutkimuskeskus
PPA 1

03400 VIHTI

Tarkastaja Jorma Karhunen

MYLLYJEN PÖLYMITTAUKSET 17.-25.3.1987

1. Yleistä

Mittauksilla selvitettiin vasara- ja valssimyllyjen pölyävyyttä. Lisäksi tutkittiin joidenkin pölyntorjuntatoimenpiteiden tehokkuutta.

2. Mittausmenetelmät

Kokonaispölypitoisuus mitattiin standardin SFS 3860 mukaisesti. Standardista poiketen myös yli 100 mg/m³ pölypitoisuudet ilmoitetaan lukuarvoina, mikä on perusteltua tutkimusasetelman vuoksi. Pölyn painonmukainen hiukkaskokojakauma mitattiin 4-vaiheisella jaottelevalla hiukkaskeräimellä. Pölypitoisuuden vaihtelua työjakson aikana mitattiin suoraanosoittavalla pölymittarilla (Sibata P-2), jolloin pölypitoisuus on ilmoitettu CPM (counts per minute) -yksikköinä. Laite mittaa alle 10 um:n pölyä ja tulos ei ole suoraan vertailukelpoinen gravimetrinen mittausmenetelmän antaman tuloksen kanssa.

3. Olosuhteet mittausten aikana

Mittaukset tehtiin Valtion maatalousteknologian tutkimuskeskukseen rakennetussa testitilassa, jonka tilavuus oli noin 150 m³. Testitilassa ei ollut erillistä ilmastointia. Mittausten aikana kaikilla myllyillä jauhettiin lämminilmakuivattua ohraa. Vasaramyllyllä jauhettaessa ohraa imettiin testitilan ulkopuolelta suursäkeistä. Valssimyllykokeissa ohra otettiin sangolla myllyn vieressä olevasta laarista.

Mittauspaikkojen sijainti vasara- ja valssimyllyillä tehdyissä mittauksissa on esitetty kuvassa 1.

4. Työhygieeniset vertailuarvot

Mittaustuloksia verrataan Työsuojeluhallituksen turvallisuustiedotteessa 3/81 "Työpaikan ilman epäpuhtaudet" annettuun haitalliseksi tunnettuun

Louhelainen/Vilhunen/14231

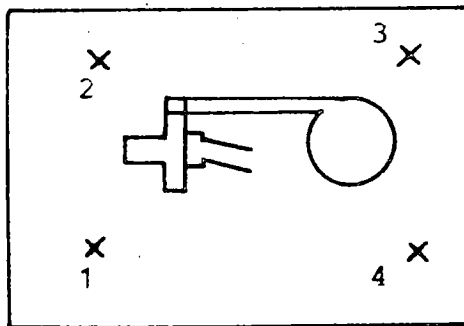
24.6.1987

pitoisuuteen, joka on orgaaniselle pölylle 5 mg/m^3 (HTP_{8 h}) ja HTP_{15 min} -arvo 10 mg/m^3 . Työsuojeluhallituksen HTP-työryhmä esittää 1. osamietinnössään jauhopölyn HTP_{8 h} -arvoksi 5 mg/m^3 ja HTP_{15 min} -arvoksi 10 mg/m^3 .

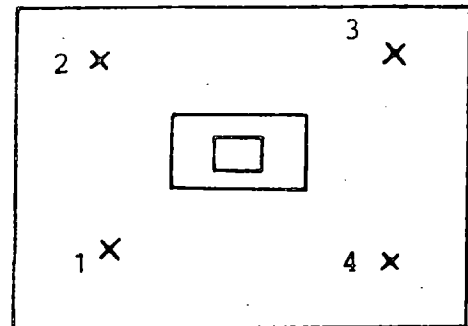
HTP_{8 h} = aineen 8 tunnin vaikutusajalle arvioitu haitalliseksi tunnettu keskipitoisuus. Tähän verrataan altistuksia, joiden katsotaan esiintyvän kokonaisen työpäivän ajan.

HTP_{15 min} = 15 minuutin vaikutusajalle arvioitu haitalliseksi tunnettu keskipitoisuus. Tähän verrataan altistuksia, joiden kesto aika on hyvin lyhyt.

KUVA 1. Mittauspaikkojen sijainti mittaustilassa.



vasaramylly



valssimylly

5. Mittaustulokset

Kiinteissä paikoissa mitattujen kokonaispölypitoisuuksien keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty taulukoissa 1-7. Taulukoihin on myös merkitty näytteenkeräysaika ja mittausaikana jauhettu viljamäärä sekä kokeiltu pölyntorjuntatoimenpide. Yksityiskohtaiset tulokset on esitetty liitteessä 1.

Pölyn painonmukainen hiukkaskokojakauma on esitetty liitteessä 2. Vasaramyllyjen pölyn massasta 16 % ja valssimyllyjen pölyn massasta 14 % on hienopölyä ($< 5 \text{ um}$).

Suoraan osoittavalla mittarilla tehtyjen mittausten tulokset ovat liitteissä 3-9.

Louhelainen/Vilhunen/14231

24.6.1987

Taulukko 1. Haukka-vasaramylly

mittaus n:o	työtapa, muutokset myllyssä, pölyntorjuntatoimenpiteet	kokonaispölypitoisuus, mg/m ³ keskiarvo ± keskihajonta	näytteenkeräysaika, min.	jauhettu viljamäärä, kg
1.	jauhatusta siiloon, jauhoputkien saumat tiivistetty silikonilla, kaupallinen pölynsuodatin	32 ± 39	30	300
2.	jauhatusta siiloon, jauhoputkien saumat tiivistetty vaseliinilla, kaupallinen pölynsuodatin, pölynsuodatusyksikön ja siilon välinen sauma tiivistetty vaseliinilla	0,2	31	240
3.	jauhatusta syklonin kautta suursäkkiin, kaupallinen pölynsuodatin	700 ± 170	10	80
4.	jauhatusta syklonin kautta suursäkkiin sulkuläpän ja syklonin väliset saumat tiivistetty ilmastointiteipillä, kaupallinen pölynsuodatin	380 ± 100	10	70
5.	4. mittauksen toimet ja lisäksi jauhoputken 1. sauma kuristettu ø 5 cm suuruisiksi (alkuperäinen ø 9,5 cm)	67 ± 46	15	80
6.	5. mittausta vastaava tilanne, lisäksi 4-siipinen puhallinsiipi vaihdettu 2-siipiseen	70 ± 37	14	130
7.	6. mittausta vastaava tilanne, mutta kaupallinen pölynsuodatin poistettu	320 ± 77	17	120

Taulukko 2. Junkkari-vasaramylly, 11 kW

mittaus n:o	työtapa, muutokset myllyssä, pölyntorjuntatoimenpiteet	kokonaispölypitoisuus, mg/m ³ keskiarvo ± keskihajonta	näytteenkeräysaika, min.	jauhettu viljamäärä, kg
1.	jauhatusta siiloon kaupallinen pölynsuodatin	0,8 ± 0,5	31	270

Louhelainen/Vilhunen/14231

24.6.1987

Taulukko 3. Skiold-vasaramylly, 7,5 kW

mittaus n:o	työtapa, muutokset myllys- sä, pölyntorjuntatoimen- piteet	kokonaispöly- pitoisuus, mg/m ³ keskiarvo ± keskihajonta	näytteen- keräysaika, min.	jauhettu viljamäärä, kg
1.	jauhatus syklonin kautta paperisäkkiin, kaupallinen pölynsuodatin, uudet puhtaat suodatussukat	71 ± 3	31	240
2.	1. mittausta vastaava tilanne, mutta suodatus- sukat tiivistyneet 1. mittauksen aikana	8,7 ± 1,8	31	270
3.	1. mittausta vastaava tilanne, mutta ei kaupal- lista pölynsuodatinta	160 ± 19	31	230

Taulukko 4. Bio-teräs-valssimylly (4 kW)

mittaus n:o	työtapa, muutokset myllys- sä, pölyntorjuntatoimen- piteet	kokonaispöly- pitoisuus, mg/m ³ keskiarvo ± keskihajonta	näytteen- keräysaika, min.	jauhettu viljamäärä, kg
1.	jauhatus saaviin, ei pölyntorjuntaa	52 ± 49	17	240
2.	jauhatus saaviin, myllyn alaosan kattaminen pah- villa, jauhajan puoleiseen seinään avattava muoviverho saavin vaihtoa varten	4,6 ± 2,2	30	310

Taulukko 5. Junkkari-valssimylly (4 kW)

mittaus n:o	työtapa, muutokset myllys- sä, pölyntorjuntatoimen- piteet	kokonaispöly- pitoisuus, mg/m ³ keskiarvo ± keskihajonta	näytteen- keräysaika, min.	jauhettu viljamäärä, kg
1.	jauhatus saaviin	75 ± 8,2	15	300

Louhelainen/Vilhunen/14231

24.6.1987

Taulukko 6. Skiold-valssimylly (11 kW)

mittaus n:o	työtapa, muutokset mylllyssä, pölyntorjuntatoimenpiteet	kokonaispölypitoisuus, mg/m ³ keskiarvo ± keskihajonta	näytteenkeräysaika, min.	jauhettu viljamäärä, kg
1.	jauhatus saaviin	37 ± 13	32	580

Taulukko 7. Haukka-valssimylly (HM-103)

mittaus n:o	työtapa, muutokset mylllyssä, pölyntorjuntatoimenpiteet	kokonaispölypitoisuus, mg/m ³ keskiarvo ± keskihajonta	näytteenkeräysaika, min.	jauhettu viljamäärä, kg
1.	jauhatus saaviin	200 ± 43	31	960

6. Tulosten tarkastelua

Valssi- ja vasaramyllyjen testauksessa kokonaispölypitoisuus ylitti orgaanisen pölyn HTP-arvon lähes jokaisessa mittauksessa. Kiinteissä mittauspaikoissa suurimmat pölypitoisuudet olivat lähes 200-kertaisia ja hengitysvyöhykkeellä 34-kertaisia orgaanisen pölyn HTP_{8 h}-arvoon verrattuna. Vain yhden myllyn pölypitoisuus oli HTP-arvoa pienempi ilman pölyntorjuntatoimenpiteitä.

Vasara- ja valssimyllyjen pölyt olivat hiukkaskokojakauden suhteen lähes samanlaisia.

Mittaustulokset osoittavat, ettei myllytyypillä ole kovin paljon vaikutusta jauhatustyön pölyisyyteen. Sekä vasara- että valssimyllyissä on paljon ja vähän pölyäviä merkkejä. Eniten pölypitoisuuteen vaikuttavat myllyssä olevat vuotokohdat, työskentelymenetelmä ja pölyntorjuntatoimet.

6.1. Vasaramyllyt

Vasaramyllyllä jauhatusta siiloon osoittautui työskentelymenetelmistä vähiten pölyäväksi (ks. taulukko 2). Siiloon jauhettaessa putkiliitokset voivat olla vuotokohtia. Pölypitoisuudet vähenivät selvästi, kun liitokset tiivistettiin vaseliinilla (taulukko 1, mittaukset 1 ja 2).

Ne kaksi vasaramyllyä, joissa oli puuvillakankaasta valmistettu pölynsuodatin, pölyivät vähiten. Yhdessä myllyssä pölynsuodatin oli harvaa kuituista kangasta, joka puhtaana läpäisi pölyä (taulukko 3, mittaus 1).

Louhelainen/Vilhunen/14231

24.6.1987

Jauhamisen aikana pölynsuodattimet tiivistyivät pölyn kertyessä suodattimen sisäpintaan. Toisen mittauksen pölypitoisuus oli noin 12 % ensimmäisen mittauksen pitoisuudesta (taulukko 3, mittaus 2). Pölyn väheneminen näkyy myös suoraanosoittavan pölymittarin tuloksissa, liite 5.

Säkkiin jauhettaessa keskimääräiset kokonaispölypitoisuudet olivat selvästi korkeampia kuin siiloon jauhettaessa (taulukko 1). Yhtenä syynä on myllyn suuri teho (11 kW), mistä johtui ilman suuri nopeus (28 m/s) sykloniin johtavassa putkessa. Kyseinen sykloni oli liian pieni myllyn tilavuusvirtaan nähden, ja pölyä tuli runsaasti syklonin alapään raoista ja myös säkin läpi. Tiivistämällä syklonin sulkuläpän ja syklonin väliset saumat, pölypitoisuus väheni 46 % (taulukko 1, mittaukset 3 ja 4).

Tilavuusvirran pienentämiseksi myllystä lähtevän putken ensimmäiseen liitokseen asennettiin kuristinkiekkokko, jonka halkaisija oli 5 cm alkuperäisen halkaisijan ollessa 9,5 cm. Ilman liikenopeus pieneni n. 18 metriin sekunnissa. Tämä muutos vaikutti selvästi keskimääräiseen kokonaispölypitoisuuteen, joka väheni 83 % (taulukko 1, mittaukset 4 ja 5). Pölypitoisuus oli kuitenkin yli 10-kertainen orgaanisen pölyn HTP-arvoon verrattuna. 2-siipisen puhaltimen vaihto ei vaikuttanut pölypitoisuuteen, koska tilavuusvirta ei muuttunut (taulukko 1, mittaukset 5 ja 6).

Mittausten mukaan kaupallinen pölynsuodatin vähentää jauhatustilan pölypitoisuutta huomattavasti, vaikka sykloni olisi alimitoitettu myllyn tehoon verrattuna (taulukko 1, mittaukset 6 ja 7).

6.2. Valssimyllyt

Valssimyllyjen pöly tulee suurimmaksi osaksi myllyn alta valssien välistä sekä valssien ja kotelon/kuoren välistä. Kattamalla valssimyllyn alaosa ja tukkimalla aukot kuoren ja valssien välistä voidaan pölypitoisuutta pienentää huomattavasti. Tällaisin toimenpitein aleni yhden valssimyllyn aiheuttama pölypitoisuus mittaustemme mukaan 6 %:iin alkuperäisestä (taulukko 4).

Mylläriin hengitysvyöhykkeellä pölypitoisuus väheni 90 % em. toimenpiteiden vaikutuksesta.

7. Yhteenveto ja suositukset

Valssi- ja vasaramyllyillä jauhettaessa kokonaispölypitoisuudet ylittivät useasti orgaanisen pölyn HTP-arvon 5 mg/m³. Myllytyypillä ei ollut vaikutusta pölyävyyteen. Pölyntorjuntatoimien avulla pölypitoisuutta kyettiin merkittävästi alentamaan, mutta kokonaispölypitoisuudet jäivät usein HTP-arvon yläpuolelle. Pölyntorjuntatoimenpiteiden kustannukset olivat pieniä.

Louhelainen/Vilhunen/14231

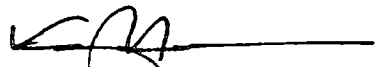
24.6.1987

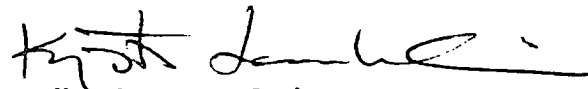
Viljan jauhatuksessa pölypitoisuuksien vähentämiseksi suositamme seuraavia ratkaisumalleja:

- vilja jauhetaan vasaramyllyllä siiloon. Putkiliitokset tiivistetään esim. vaseliinillä.
- siilosta tuleva ilma suodatetaan puuvillakankaista pölysuodatinta käyttäen.
- säkkiin jauhettaessa on myllyn oltava sopivatehoinen syklonin kokoon verrattuna. Syklonin yläpäästä tuleva ilma on suodatettava puuvillakankaisella pölynsuodattimella. Syklonin ja sulkupellin väliset raot on tiivistettävä.
- jauhettaessa valssimyllyllä jauho ohjataan siiloon tai muuhun suljettuun tilaan. Myllyn alaosa katetaan pölyn leviämisen estämiseksi. Myllyn kotelon aukot tiivistetään.
- työntekijän altistuminen pölylle oli merkittävää jauhettaessa vasaramyllyllä säkkiin ja valssimyllyllä saaviin. Näin suurissa pölypitoisuuksissa työntekijän tulisi käyttää työsuojeluhallituksen hyväksymää vähintään P1-luokan hengityksensuojainta. Jos vilja on homehtunutta, työntekijän tulisi käyttää vähintään P2-luokan kevytsuojainta tai P2-luokan pölynsuojaimella varustettua puolinaamaria.

Kunnioittavasti

KUOPION ALUETYÖTERVEYSLAITOS


Kaj Husman
johtaja


Kyösti Louhelainen
työhygieenikko

LIITTEET

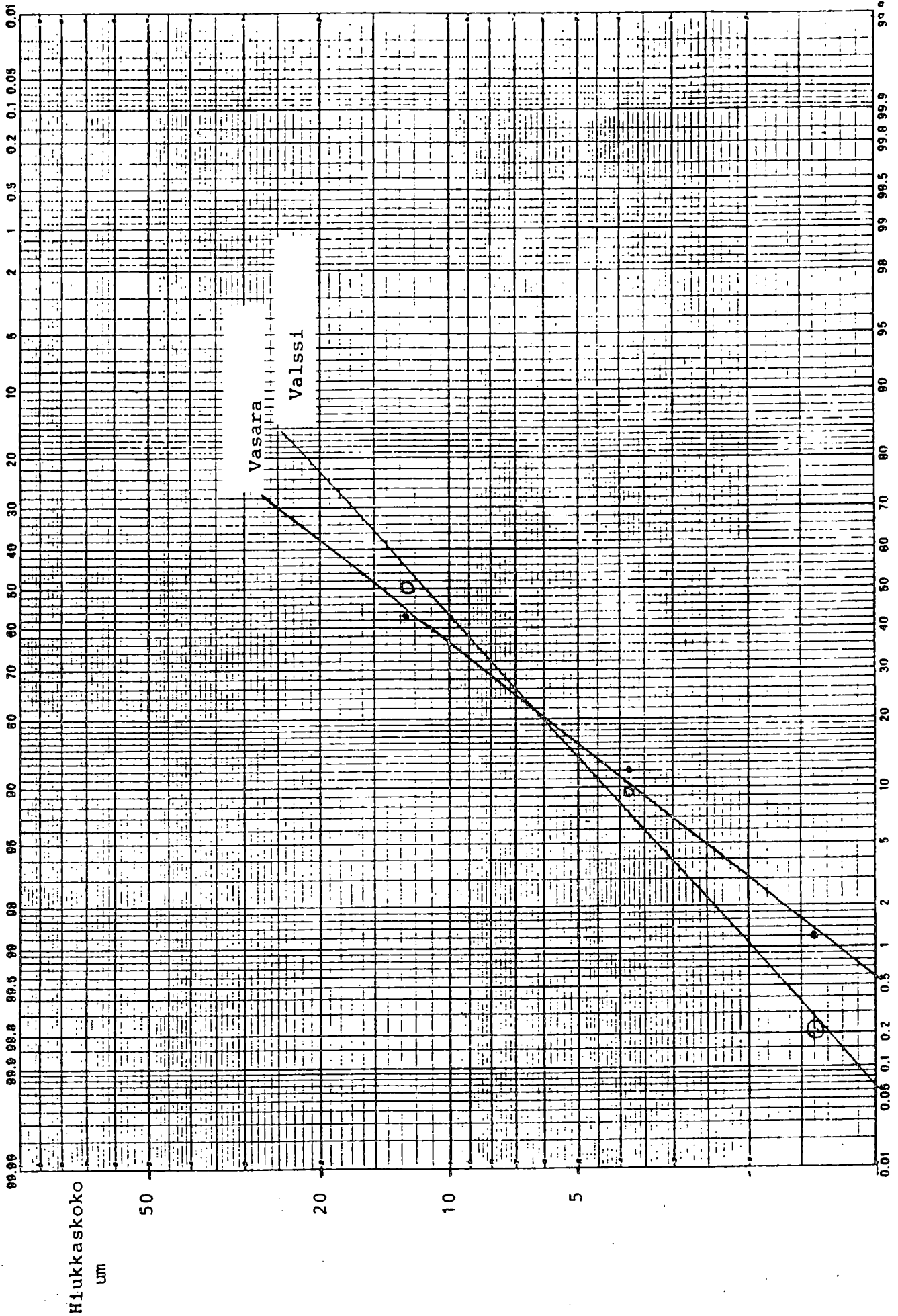
9 kpl

KOKONAISPÖLYPITOISUUDET YKSITTÄISISSÄ KIINTEISSÄ MITTAUSPAIKOISSA JA HENGITYSVYÖHYKKEELLÄ (HV)

Mylly ja mittaus	1	2	3	4	HV
Haukka-vasaramylly					
1.	8,2	8,5	99	13	-
2.	0,1	0,3	0,1	< 0,1	-
3.	645	960	708	500	-
4.	265	315	514	422	-
5.	35	28	144	60	-
6.	32	34	102	112	-
7.	238	245	381	408	-
Junkkari-vasaramylly					
1.	1,4	0,8	0,2	-*	-
Skiold-vasaramylly					
1.	69	-*	75	69	80
2.	6,8	-*	8,1	11	31
3.	139	-*	184	156	114
Bio-teräsvalssimylly					
1.	122	-*	9,7	26	125
2.	7,8	-*	2,7	3,6	13
Junkkari-valssimylly					
1.	73	-*	86	66	49
Skiold-valssimylly					
1.	20	-*	52	39	26
Haukka-valssimylly					
1.	137	-*	218	237	171

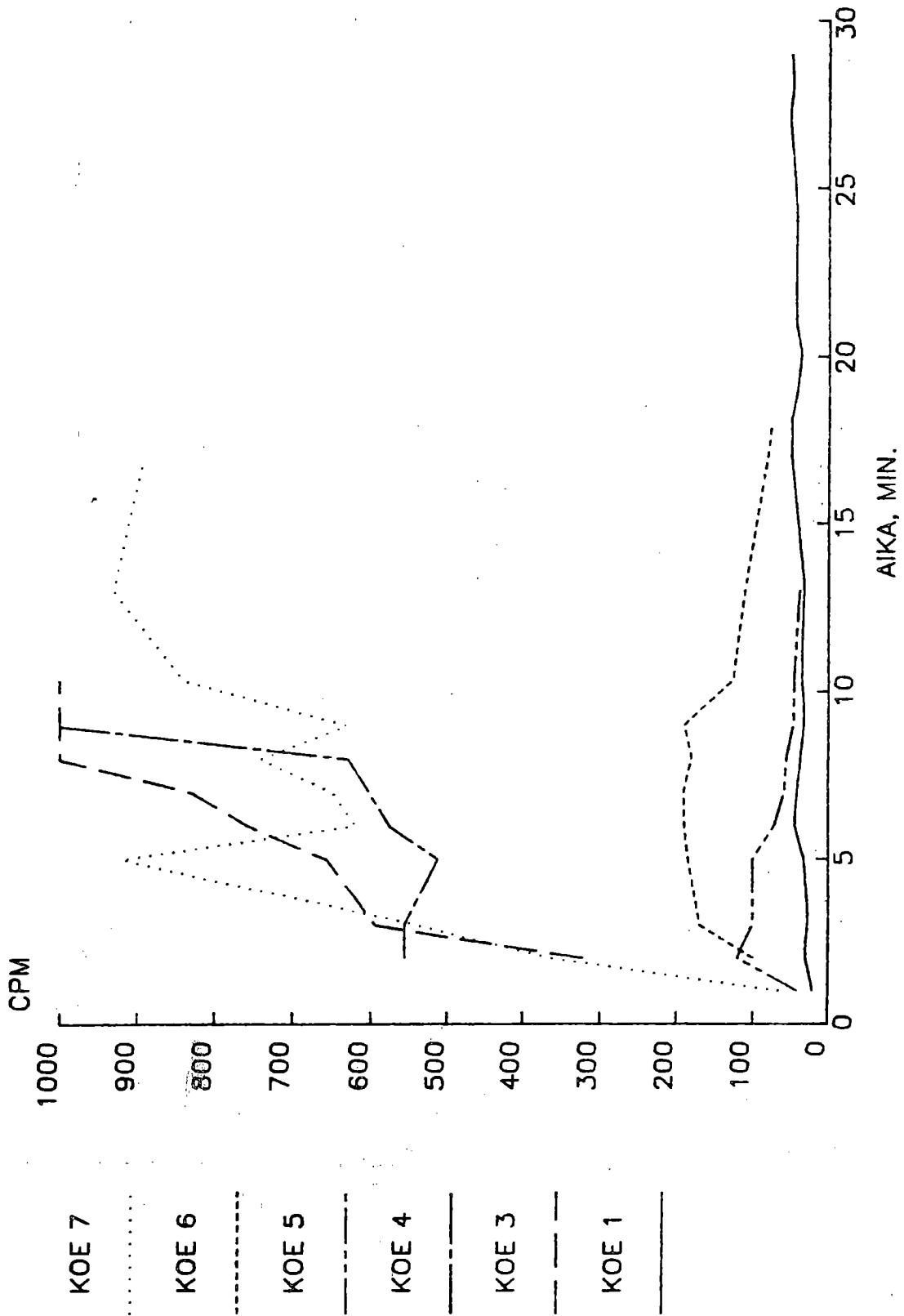
* mittaus epäonnistui

VASARA- JA VALSSIMYLLYJEN PÖLYN HIUKKASKOKOJAUKAUMAT

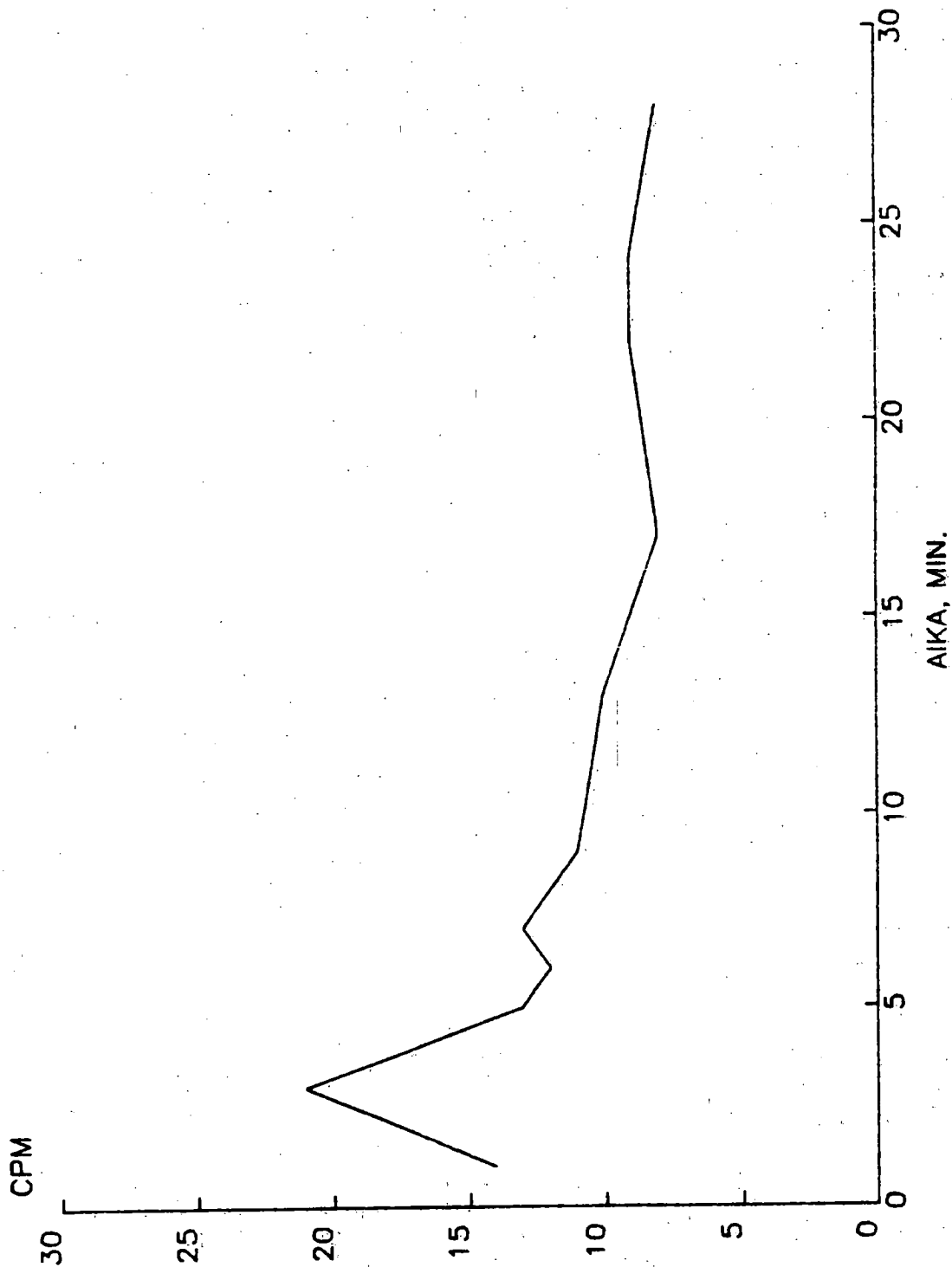


Massan kumulatiivinen summa-%

HAUKKA VASARAMYLLY

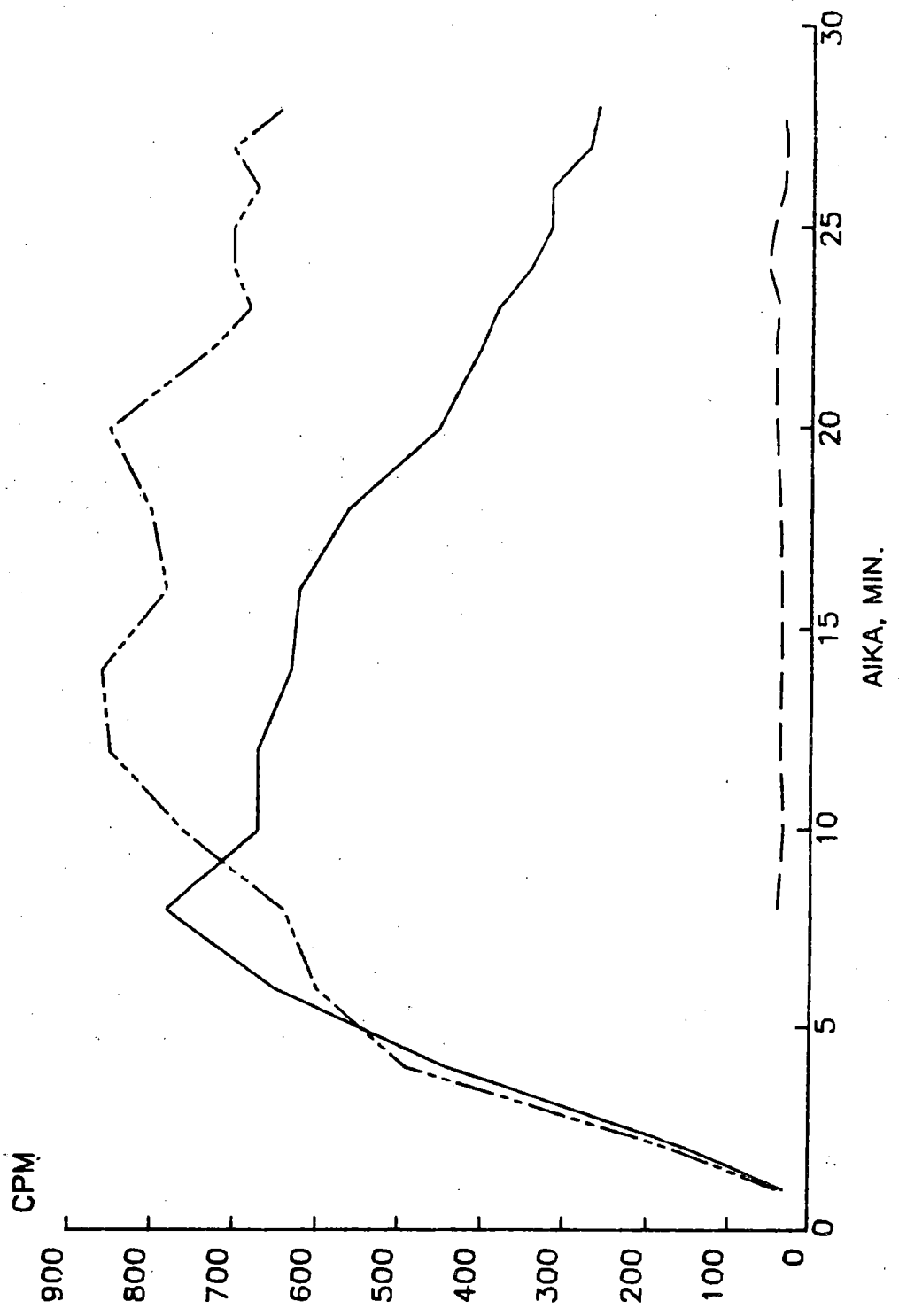


JUNKKARI VASARAMYLLY



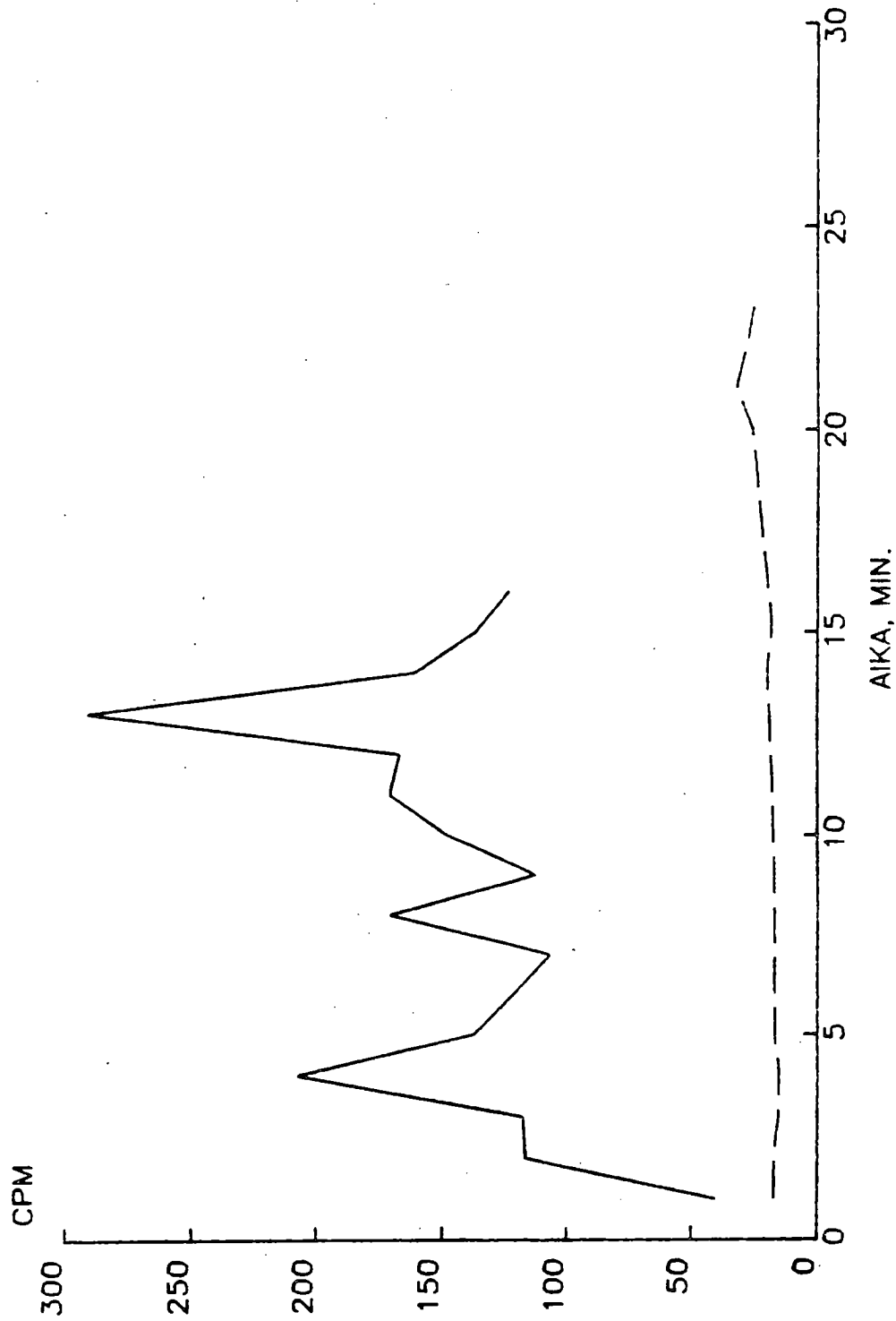
SKIOLD VASARAMYLLY

KOE 1 KOE 2 KOE 3

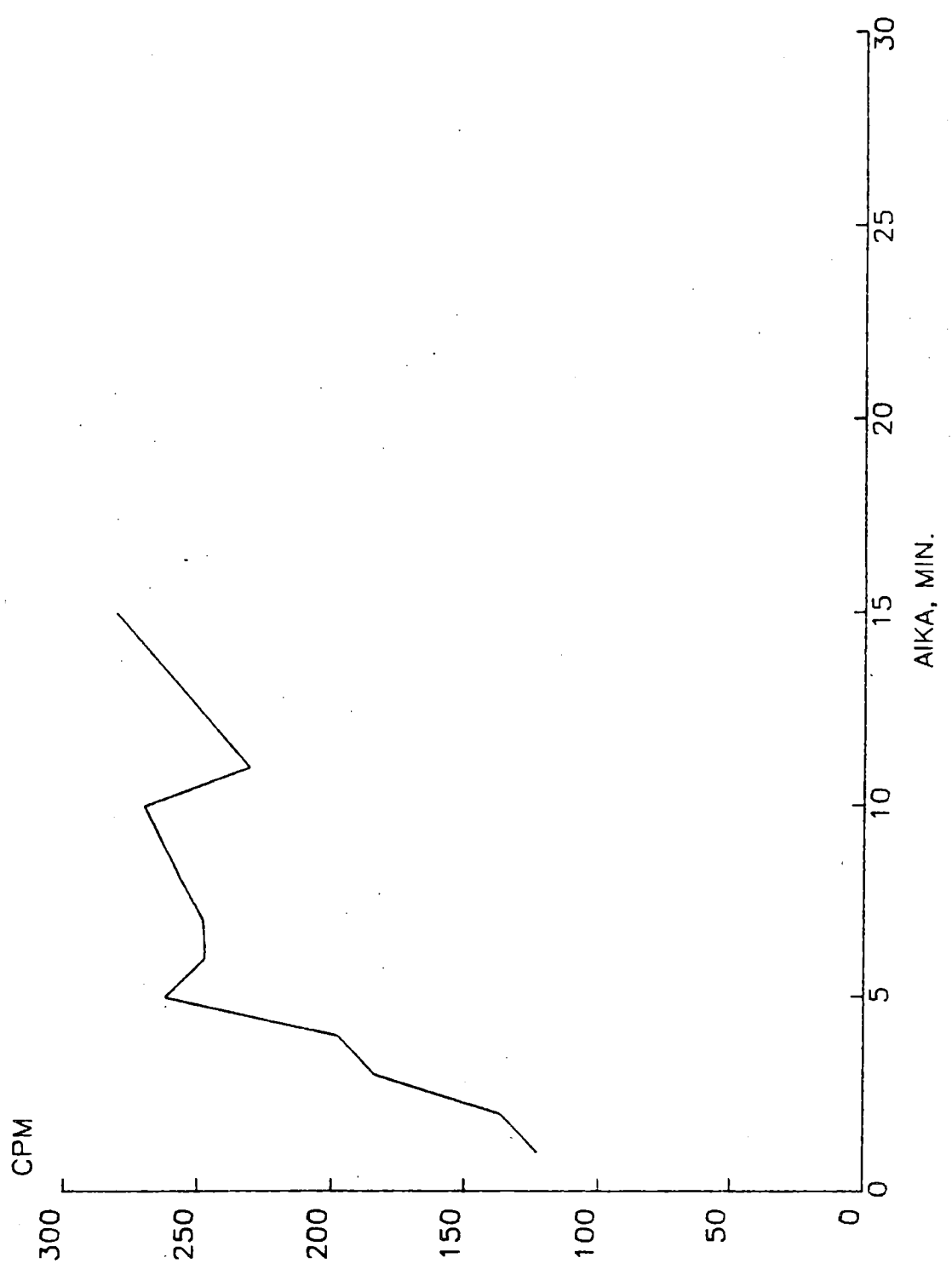


BIO-TERÄS VALSSIMYLLY

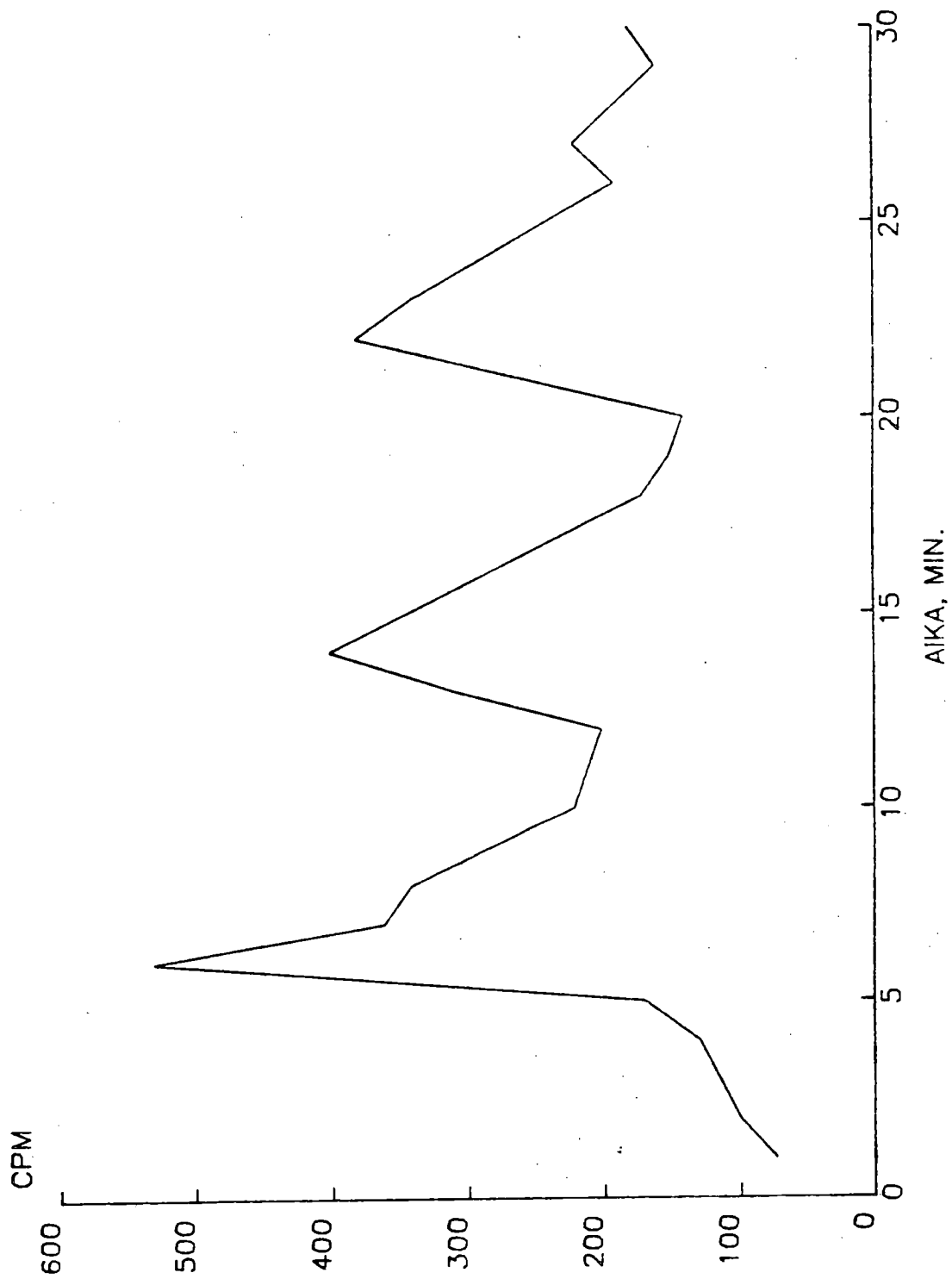
KOE 1 KOE 2
——— - - - -



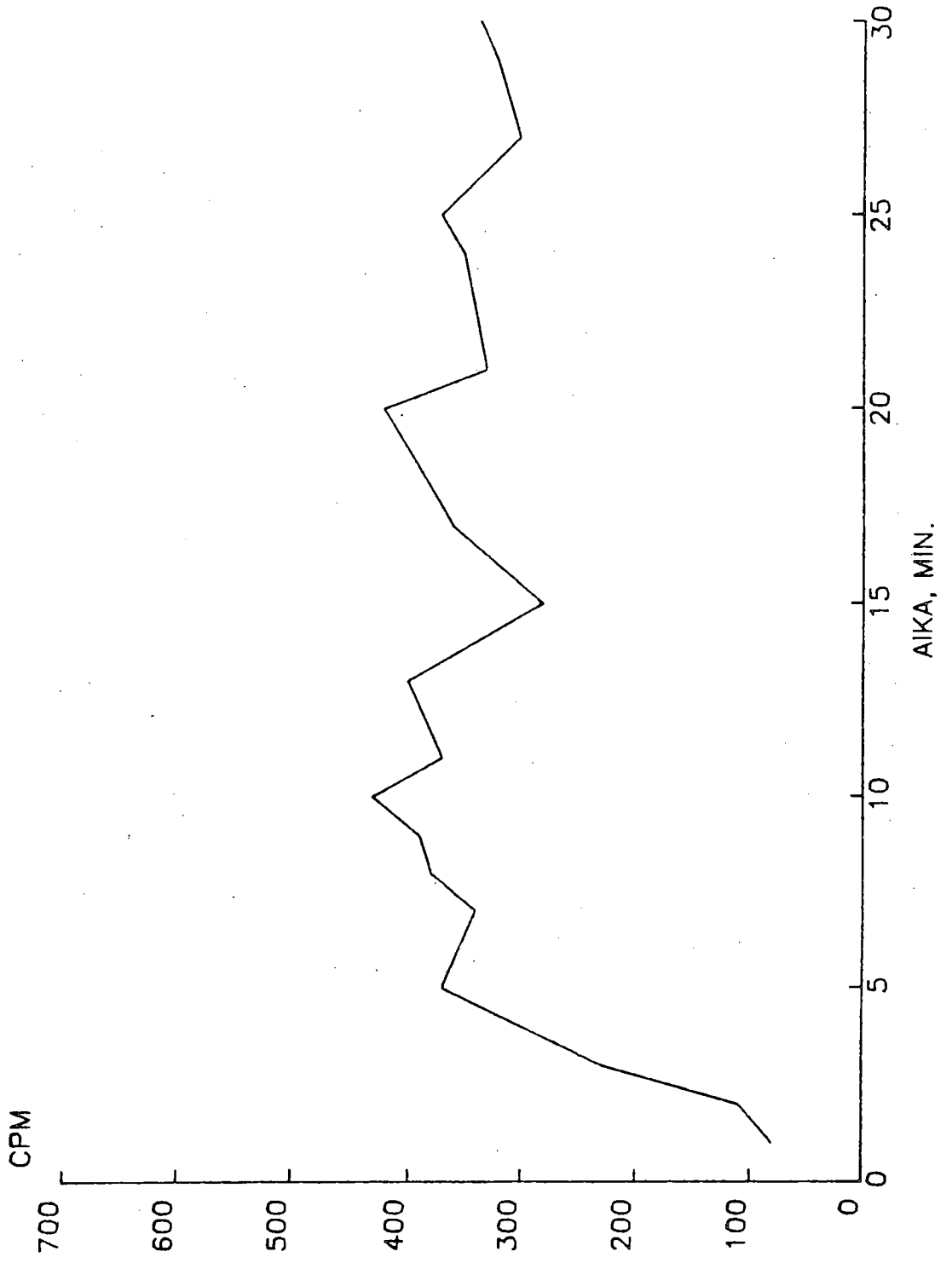
JUNKKARI VALSSIMYLLY



SKIOLD VALSSIMYLLY



HAUKKA VALSSIMYLLY



VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUKSIA

- | No | Nimi |
|-----|---|
| 36. | Karhunen, J., Mykkänen, U., Nieminen, L., Wikstèn, R., Saloniemi, H., Lämmönvaihtimet eläinsuojien ilmastoinnissa. 1983. |
| 37. | Ahokas, J., Keränen, O., Parmala, S-P., Häkäkaasulaitteisto maatalouden polttomoottorikäytössä. 1984. |
| 38. | Haber, P., Traktorin turvakaari. 1984. |
| 39. | Karhunen, J., Tuunanen, L., Eläinsuojien ilmanvaihdon mitoitus. 1984. |
| 40. | Horvath, A., Ståhlberg, P., Wilèn C., Oljen pelletointi ja pellettien käyttö polttoaineena. 1985. |
| 41. | Aarnio, K., Karhunen, J., Koivisto, K., Lietelannan kompostointilämmön talteenotto. 1986. |
| 42. | Ahokas, J., Luomi, V., Palva, T., Parmala, S-P., Schäfer, W., Kasviöljyt dieselmoottorin polttoaineena. 1986. |
| 43. | Ahokas, J., Mikkola, H., Traktorin polttoaineenkulutukseen vaikuttavia seikkoja. 1986. |
| 44. | Karhunen, J., Tuunanen, L., Alipaineilmanvaihto kotieläinsuojissa. 1986. |
| 45. | Kemppainen, E., Koivisto, K., Kompostoinnin vaikutus lietelannan laatuun ja käsiteltävyyteen. 1987. |
| 46. | Sarin, H., Castrèn, H., Pyykkönen, M., Käyttökokemuksia 80-luvulla rakennetuista kalustovajoista, varastokuivureista ja pihatoista. 1987. |
| 47. | Mäkelä, J., Mikkola, H., Lannoitteenlevityksen tasaisuus. 1987. |

