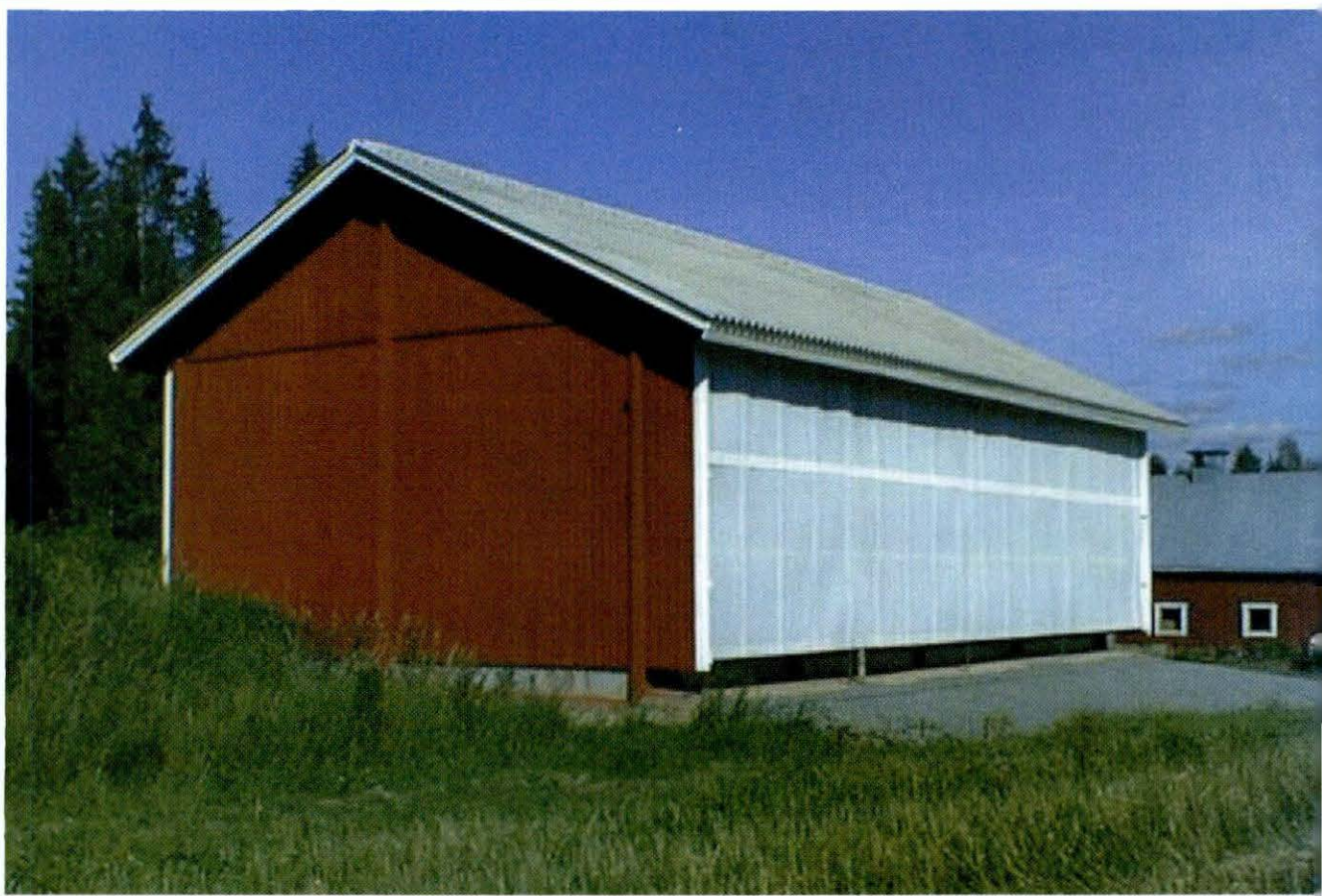


VAKOLAN RAKENNUSRATKAISUJA

Tuija Alakomi
Tapani Kivinen
Hannu Mikkola
Henrik Sarin



**AJONKESTÄVÄ MONIKÄYTTÖINEN
KYLMAILMAKUIVURI**

VAKOLAN RAKENNUSRATKAISUJA -sarjassa julkaistaan ehdotuksia käytäntöön soveltuviksi rakennusratkaisuuksi. Esitetyt piirustukset ja muu informaatio ovat tarkoitettuja suunnittelun apuvälineiksi. Ne perustuvat yleensä tutkimus- ja testaustuloksiin, koerakennuskokemuksiin tai kirjallisuudessa esitettyihin ratkaisumalleihin. Ehdotukset ovat yleisluonteisia, joten niiden soveltaminen edellyttää tapauskohtaista suunnittelua. Vastuu lopullisesta mitoituksesta ja rakennusratkaisuista on aina suunnittelijalla.

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
Agricultural Research Centre of Finland

VAKOLA

Maatalousteknologian tutkimus

Osoite
Vakolantie 55
03400 VIHTI

Puhelin
(09) 224 251
Telekopio
(09) 224 6210

Agricultural Engineering Research

Address
Vakolantie 55
FIN-03400 VIHTI
FINLAND

Telephone
+358 9 224 251
Telefax
+358 9 224 6210

Sisällysluettelo

Johdanto	2
Suunnittelun lähtökohdat	2
Toiminnalliset tavoitteet	2
Kuivattavat materiaalit	2
Muunneltavuus ja monipuolinen käyttö	2
Kuivurin mitoitus	3
Koneellinen täyttö ja tyhjennys	3
Tuotteiden laatu	3
Aurinkoenergian hyödyntäminen	3
Työterveys	3
Ympäristöhaitat	3
Taloudelliset tavoitteet	3
Pieni työmäärä	3
Alhaiset käyttökustannukset	3
Alhaiset rakennuskustannukset	4
Rakennustekniset ratkaisut	4
Paikan valinta	4
Kantavat rakenteet pyöreästä puusta	4
Laarien mitoitus	5
Ajonkestävä laarinpohja	5
Laarien seinärakenteet	5
Laarien etuseinän rakenne	6
Ilmamäärät	6
Puhaltimet	6
Ilmakanavien mitoitus	6
Aurinkokeräin	7
Puhaltimien äänenvaimennus	7
Rakentaminen	7
Rakennuskustannukset	8
Kustannusarvio ja toteutuneet kustannukset	8
Toimintaan liittyvät mittaukset	9
Tulevan säteilyn mittaus	9
Ilman lämpötilan mittaus, aurinkokeräimen hyötysuhde	9
Puhaltimien puhaltama ilmamäärä	10
Melun mittaus	10
Loppupäätelmät	10
Toiminnallisuus ja rakennuskustannukset	10
Aurinkokeräimen hyötysuhde	10
Melu	11
Käyttökokemuksia	11
Kirjallisuus	12
Liitteet	13 - 16

Johdanto

Kylmäilmakuivureita on kaikista kuivureista alle 10 prosenttia. Energiakriisin jälkeen 70-luvulla kiinnostus kylmäilmakuivausta kohtaan lisääntyi ja tuolloin kehitettiin ratkaisuja, joissa pyrittiin vähentämään työmäärää ja parantamaan kuivaustulosta. Suosittuja olivat esimerkiksi vinopohjaiset kuivurit, jotka täytettiin kippaamalla vilja yläpäästä suoraan laariin. Tyhjennys tapahtui alapäästä viljaruuviin tai, jos kuivuri oli rakennettu riittävän jyrkkään rinteeseen, suoraan alle ajettuun perävaunuun. Kuivaustulosta parannettiin esilämmittämällä kuivausilmaa, joko aurinkokeräimillä tai lisälämpölaitteilla. Myös pölyn vähentämiseen kiinnitettiin huomiota.

Energiakriisin seurauksena alettiin kehittää hakelämmitystä, joka toi tullessaan hakkeen kuivaustarpeen. Siirryttäessä heinän seiväskuivauksesta paalaukseen syntyi myös tarve heinän koneelliseen kuivaukseen. Nämä tarpeet johtivat ajatukseen monikäyttöisestä kylmäilmakuivurista. Monikäyttöisyys ja työmäärän minimoiminen johtivat puolestaan vaatimukseen ajonkestävästä laarinpohjasta.

Vuonna 1999 oli TE-keskusten maaseutuosastoilla hyväksytyjen maaseutuelinkeinohallinnon tuilla rahoitettavien kylmäilmakuivureiden osuus kaikista kuivurisuunnitelmista 7,3 %. Jos öljyn hinta jatkaa voimakasta nousuaan, saattaa kiinnostus kylmäilmakuivaukseen lisääntyä huomattavasti.

Keväällä 1999 suunniteltiin "Viljasadon korjuu ja varastointi"-projektiin liittyvänä koerakennuskohteena ajonkestävä monikäyttöinen kylmäilmakuivuri. Rakennustyöt aloitettiin välittömästi suunnitelmien valmistuttua ja kuivuri otettiin käyttöön saman vuoden syksyllä.

Suunnittelun lähtökohdat

Mallirakentamisen kohteena oli Keski-Suomessa sijaitseva 30 hehtaarin luomutila, jonka peltopinta-alasta noin 20 ha on vuosittain viljalla. Suunnittelun lähtökohtina olivat viljelijän tarpeet, edellä mainittuun tutkimukseen liittyvät tavoitteet sekä taloudelliset ja toimivat rakennustekniset ratkaisut. Suunnittelu aloitettiin kokouksella, jossa suunnittelijat ja viljelijä selvittivät tavoitteitaan ja jossa näiden pohjalta laadittiin alustava hahmotelma rakennusteknisestä ratkaisusta. Suunnittelijat kävivät myös rakennuspaikalla. Samalla sovittiin myös tarvittavasta rakennustyön aikaisesta kirjanpidosta. Suunnittelutyö kesti noin kaksi kuukautta, minkä aikana rakennuksen lopullinen mitoitus ja eri yksityiskohtien tekniset ratkaisut saivat lopullisen muotonsa. Koko suunnitteluprosessin aikana oli suunnittelijoiden ja viljelijän välillä tiivis yhteistyö.

Toiminnalliset tavoitteet

Kuivattavat materiaalit

Tilalla on monipuolista tuotantoa ja hyvin erilaisten materiaalien kuivaustarvetta. Kuivurissa on voitava kuivata kaikkia viljalajeja, haketta, sahatavaraa, heinää, piensiemeniä (lisävarusteena kangas tai viira pellin päällä) ja puutarhatuotteita kuten esimerkiksi sipulia.

Muunneltavuus ja monipuolinen käyttö

Kuivurissa on tarkoitus kuivata ja varastoida ominaisuuksiltaan hyvin erilaisia tuotteita. Kuivattavat määrät voivat myös vaihdella huomattavasti. Lisäksi kuivuria tullaan käyttämään konevarastona.

Kuivurin mitoitus

Moninaisten tarpeiden vuoksi kuivurin koon määrittämisessä turvauduttiin laskemisen lisäksi myös arviointiin. Näin päädyttiin 100 m²:n laaripinta-alaan. Tämä haluttiin edelleen jakaa neljään erilliseen laariin, joihin voidaan puhaltaa ilmaa toisistaan riippumatta. Rakennusta mitoittaessa tuli ottaa huomioon, että koneilla ajetaan sisään laareihin ja traktoriperävaunu tulee voida tyhjentää laariin kippaamalla. Vapaata korkeutta tulisi olla noin 5 metriä.

Koneellinen täyttö ja tyhjennys

Laarit halutaan täyttää kippaamalla suoraan laariin. Jos kuivattava materiaali on sen luonteista, että sitä ei voida kipata, tulee laariin kuitenkin voida ajaa traktorilla ja perävaunulla. Traktoria ja perävaunua raskaammalle akselikuormalle laarin pohjaa ei kuitenkaan tarvitse mitoittaa. Irtotavaran, kuten viljan ja hakkeen tyhjennys laarista on tarkoitus tehdä traktorin etukuormaimella.

Tuotteiden laatu

Tuotteiden hygieeninen laatu ei saa huonontua kuivauksen ja varastoinnin aikana. Tämä tarkoittaa käytännössä, että kuivaustehon on oltava riittävä homehtumisen estämiseksi. Koska kuivattavat tuotteet tuodaan laareihin perävaunulla, on kuran ja muun lian tulo laariin pyörien mukana estettävä. Myös lintujen ja jyrsijöiden pääsy kuivuriin tulisi estää mahdollisuuksien mukaan.

Aurinkoenergian hyödyntäminen

Kuivaustehon parantamiseksi hyödynnetään auringon säteilyenergiaa mahdollisuuksien mukaan.

Työterveys

Kylmäilmakuivurin suurimmat terveysriskit liittyvät raskaaseen viljan lapiointiin sekä varsinkin tyhjennysvaiheessa esiintyvään runsaaseen pölyyn. Nämä haitat pyritään minimoimaan täyttö- ja tyhjennysmenetelmän valinnalla.

Ympäristöhaitat

Ympäristöhaitat muodostuvat yleensä pölystä, rakennuksen ulkonäöstä ja ennen muuta puhaltimien aiheuttamasta melusta. Suurin huomio kiinnitetään meluhaittojen vähentämiseen.

Taloudelliset tavoitteet

Pieni työmäärä

Viljan ja muiden siementen kuivauksessa tulisi kuivurin täyttö voida tehdä nopeasti ilman suurta lapiotyötä. Työmäärä vähenee, kun vilja voidaan kipata suoraan laariin. Kippaaminen vaatii kuitenkin taitoa, koska viljakerroksen paksuutta ei voida kippauksen jälkeen muuttaa kuin lapiotyönä. Kun laarit tyhjennetään etukuormaimella, jää käsityöksi ainoastaan laarien puhtaaksi harjaus.

Kylmäilmakuivurin huoltotyöt ovat lähinnä siivousta, joten rakennustekniset ratkaisut vaikuttavat huomattavasti työn tarpeeseen ja tarvittavan työn helppouteen.

Alhaiset käyttökustannukset

Käyttökustannukset muodostuvat lähes yksinomaan puhaltimien käyttämästä sähköstä. Sähkönkulutusta poistettua vesimäärää kohti voidaan vähentää mitoittamalla puhaltimet mahdollisimman optimaalisesti, minimoimalla kanavien ilmanvastukset sekä pyrkimällä hyvään kuivausilman laatuun. Hyvä kuivausilma on mahdollisimman kuivaa ja lämmintä. Ilman laatuun vaikuttaa ratkaisevasti kuivurin sijainti ja mahdollinen ilman lämmitys.

Alhaiset rakennuskustannukset

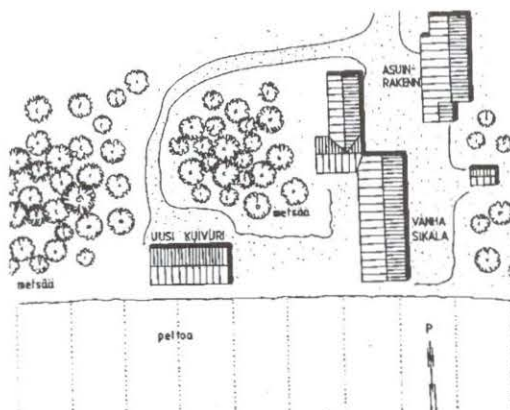
Alhaisiin rakennuskustannuksiin pyritään käyttämällä omaa puutavaraa, suosimalla yksinkertaisia rakennusteknisiä ratkaisuja sekä tekemällä mahdollisimman paljon itse.

Rakennustekniset ratkaisut

Rakennusteknisissä ratkaisuisa pyritään yhdistämään edellä luetellut toiminnalliset ja taloudelliset tavoitteet. Osa tavoitteista on sellaisia, että ne toimivat toisiaan vastaan ja niitä ei voida yhtäaikaan toteuttaa parhaalla mahdollisella tavalla, vaan joudutaan tekemään kompromisseja. Tällöin on erittäin tärkeää, että valinnat tehdään harkiten ja ennen kaikkea rakennuksen käyttäjää tyydyttävällä tavalla. Suurimmat vaikeudet syntyvät yleensä pyrittäessä mahdollisimman alhaisiin rakennuskustannuksiin.

Paikan valinta

Kylmäilmakuivurin sijainnilla maastossa on suuri merkitys kuivaustulokseen. Tämä johtuu mikroilmaston suurista vaihteluista varsin lyhyilläkin etäisyyksillä. Tavoitteena tulee aina olla löytää paikka, jossa ilma on mahdollisimman lämmintä ja kuivaa. Tässä tapauksessa paikaksi valittiin kuiva pellonreuna, johon aurinko paistaa koko päivän.



Kuvat 1–2. Rakennuksen sijainnin valinnalla vaikutetaan ratkaisevasti aurinkoenergian hyödyntämiseen.

Kantavat rakenteet pyöreästä puusta

Seinien kantavat rakenteet muodostuvat painekyllästetyistä "sähkötolpista" ja pyöreistä kannatinpalkeista, kurkihirstistä ja kattotuoleista. Katon kannatinratkaisussa vältettiin tarkoituksella ristikkorakennetta, jotta lintujen levähdyspinnat jäisivät minimiin ja siten viljan laatu pysyisi mahdollisimman hyvänä.

Pilareiden suurin etäisyys on 4 m, jolloin kattorakenteiden pyöreät palkit ja kattotuolit voidaan mitoittaa käsittelyn kannalta kohtuullisen pieniksi (läpimitta noin 200 - 250 mm). Rakennus muodostuu tarvittavasta määrästä 4 x 4 metrin neliöitä, joiden kussakin kulmassa on pilari. Siksi myös rakennuksen sisällä on pilarit neljän metrin välein.

Tämä on valinta, joka jossain määrin rajoittaa rakennuksen käyttöä. Tällainen rakenne on kuitenkin käyttökelpoinen silloin, kun toiminta voidaan suunnitella tapahtuvaksi pilareiden välissä. Pilarit ovat samalla hyviä kiinnityskohtia tukevuutta vaativille rakenteille ja laitteille.



Kuvat 3 – 4. Vasemmalla viljaa kuivumassa, oikealla yhtä laaria käytetään konevarastona.

Laarien mitoitus

4 x 4 metrin ruutujärjestelmään sovitettiin neljä laaria ja kaksi pääkanavaa. Rakennuksen päihin tuli laarit, joiden koko on 3295 x 7620 eli 25,1 m². Keskelle rakennusta kanavien väliin mahtui kaksi hieman isompaa laaria kooltaan 3485 x 7620 eli 26,6 m². Nämä mitat ovat ilman laarien väliin tarvittaessa rakennettavaa väliseinää eli keskimmäiset laarit muodostavat yhden 53,2 m²:n laarin. Kaikkien laarien yhteispinta-ala on 103,3 m² ja teoreettinen tilavuus 103,3 m³. Rakennuksen sisällä olevista pilareista kaksi on ilmakehien kohdalla ja yksi ison laarin keskellä. Rakennuksen pohjoisen puoleisella seinällä on suuret liukuovet, joiden kautta on suora pääsy kaikkiin laareihin.

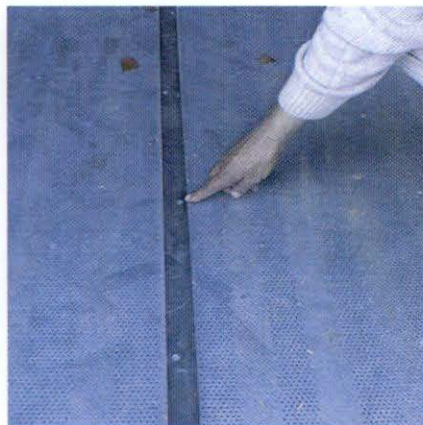
Ajonkestävä laarinpohja

Laarien pohjarakenteita suunniteltaessa joudutaan sovittamaan yhteen vastakkaisia vaatimuksia, joita ovat kuivatusilman kulku, pohjan mekaaninen lujuus ja kustannukset. Ilmankulun kannalta edullisin rakenne olisi mahdollisimman kevyt ja väljä. Ajonkestävyys taas edellyttää massiivista pohjarakennetta ja taloudellisuus helppoa rakennettavuutta ja mahdollisimman vähäistä raaka-ainemenekkiä. Teoreettiseksi ilmamääräksi valittiin 550m³/m²h sekä kestävyysvaatimukseksi enimmillään 5600 kg/m². Pystysuoran kuormituksen lisäksi pohjan tulee kestää jarrutuksista ja kiihdytyksistä johtuvat vaakasuuntaiset nykäykset. Jotta reikäpelti kestäisi tyhjennyksen etukuormaimella, kiinnitettiin pellin päälle lattateräkset, joita vasten kauha liikkuu. Tyhjennys tulee tehdä lattaterästen suuntaisesti.

Laarien seinärakenteet

Laarien seinien korkeus riippuu kuivattavasta materiaalista, eli siitä kuinka paksu kerros kuivattavaa materiaalia enintään voi olla. Jos laareja käytetään kuivauksen lisäksi varastotilana, voi korkeusvaatimus olla suurempi. Tässä tapauksessa laarien seinät mitoitettiin viljan kuivauksen mukaan metrin korkuisiksi. Alle metrin korkuisia seinä ei kannata tehdä. Toisaalta, jos seinärakenteessa käytettyjen levyjen korkeus on esimerkiksi 1200 -1500 mm, niitä ei kannata ruveta sahaamaan, vaan tehdään levyjen korkuiset seinät. Seinien lujuus tulee mitoittaa siten, että viljanpaineen lisäksi rakenne kestää kohtuullisia kolhuja. Niitä tulee väistämättä, kun laareja tyhjennetään etukuormaimella. Rakenteita suunniteltaessa tulisi suosia umpinaisia rakenteita, joissa on mahdollisimman vähän jyrksijöille mieluisia koloja ja vähän siivottavaa.

Kuvat 5 – 6. Vasemmalla ilman tulokanava voidaan puolittaa sekä pituus- että poikittaissuunnassa, jolloin kuivausilmaa voidaan ohjata yksittäisiin 4 x 4 m kuivauslohkoihin. Oikealla suomulevyn päälle kiinnitetty lattarauta, joka toimii ohjurina tyhjennysvaiheessa ja samalla suojaa suomulevyä rikkoutumiselta.



Seiniin kohdistuva viljanpaine vaihtelee ja se on suurimmillaan täytön ja tyhjennyksen aikana.

Suoraan laariin kippaamalla tehdyn täytön ja etukuormaimella tehdyn tyhjennyksen aiheuttamia paineita ei tiettävästi ole mitattu. Karkeasti arvioiden seinän alaosaan kohdistuva paine voi nousta ainakin 10 kN/m².

Jos koneilla törmätään päin seinää, voi pistekuoma sillä kohdin nousta niin suureksi, että seinä rikkoutuu.

Laarien etuseinän rakenne

Koska laareihin ajetaan koneilla, laarin etuseinä ei voi olla kiinteä. Periaatteessa etuseinää ei välttämättä tarvita lainkaan, mutta tällöin laarin koko tilavuutta ei voida hyödyntää ja ilma karkaa laarin etuosasta, johon jää ohuempi kerros kuivattavaa materiaalia.

Ilmamäärät

Teoreettiseksi ilmamääräksi valittiin 550 m³/h laarineliömetriä kohti vastapaineella 540 Pa (55 mmvp). Tämä on yleisesti Suomessa käytetty mitoitusohje, kun suunnitellaan viljan kylmäilmakuivureita. Monikäyttöisyydestä johtuen katsottiin parhaaksi ratkaisuksi käyttää kahta puhallinta, jotka kumpikin puhaltavat yhteen tai kahteen laariin säätöluukkujen asennosta riippuen. Kumpikin puhallin palvelee 51,67 m² laaripinta-alaa. Mitoitusmääräksi tuli siten puhallinta kohti 28 400 m³/h (7,89m³/s).

Puhaltimet

Puhaltimiksi valittiin kaksi 7,5 kW:n potkuripuhallinta (∅100 cm ja 1400 r/min). Puhaltimien valmistajan mukaan ilmamäärä 540 Pa:n vastapaineella täyttää asetetun mitoitusarvon.



Ilmakanavien mitoitus

Rakennusteknisistä ja taloudellisista syistä kanavat kannattaa yleensä mitoittaa mahdollisimman pieniksi. Jotta ilmanvastus kanavissa ei kasvaisi liian suureksi, kanavat on kui-

Kuvat 7 – 8. Tuloilman esilämmitysontelo (aurinkokeräin) ja puhallin. Kuvat on otettu ennen kuin ontelotila maalattiin tummaksi



tenkin tehtävä niin väljiksi, että ilman nopeus ei ylitä 5,0 m/s kanaviston missään osassa. Alan kirjallisuudesta löytyy tosin ilman nopeussuosituksia 3,0 m/s asti riippuen kanavan laadusta ja sijainnista järjestelmässä, mutta tässä päädyttiin käyttämään edellä mainittua 5,0 m/s suositusta.

Ilmanvastukseen vaikuttavat ilman nopeuden lisäksi kanavien mutkat ja sisäpinnan rakenne. Tässä tapauksessa kanavien alkupäät ovat kuitenkin niin väljät ja lyhyet, että näiden tekijöiden vaikutus jää pieneksi.

Puhaltimen edessä olevan imuaukon ja vapaan ilmatilan on oltava riittävä suuri. Imuaukon teoreettiseksi alaksi tuli tässä tapauksessa 1,58 m². Keskellä imuaukkoa on pilari, joka saattaa aiheuttaa haitallista turbulenssia imupuolella.

Pääkanavan tasaisen osan alkupäässä ilman nopeus on 5,0 m/s eli aivan suosituksen yläraja. Pääkanavan läpi kulkevan keskipilarin kohdalla nopeus on 5,8 m/s ja ylittää suosituksen. Tämän ei kuitenkaan katsottu heikentävän kuivaustulosta oleellisesti. Laarin alla olevissa kanavissa ilman nopeus on enintään 4,7 m/s ja reikäpellin vapaassa reiässä (laari tyhjä) 2,1 m/s.

Aurinkokeräin

Pienikin kuivausilman lämmönousu lisää kuivaustehoa. Kuivurin eteläseinä, josta ilma otetaan puhaltimelle, varustettiin yksinkertaisella aurinkokeräimellä. Keräimen muodostaa räystäään alle rakennettu pleksiseinä, jonka läpi aurinko paistaa lämmittäen kuivurin seinää. Seinä puolestaan lämmittää puhaltimelle menevää ilmaa. Pleksiseinä on koko rakennuksen mittainen ja noin 30 cm maasta irti.

Keräimen ala on 56 m². Kirkasta pleksiä käytettäessä arvioitiin keräimen hyötysuhteeksi 40 % kokonaissäteilystä. Tällöin keräimen teho olisi 13 kW säteilyn ollessa 600 W/m² ja ilman lämpötilan nousu 0,2 C°. Keräimeen asennettiin kuitenkin valkoinen pleksi, jonka hyötysuhde on kirkasta huonompi. Tällaisen keräimen hyötysuhteesta ei ole mittaustuloksia. Kuivaustilanteessa ilmamäärä on kuitenkin useassa tapauksessa laskelmissa käytettyjä pienempi, joten ilman lämpötila nousee edellä esitettyä enemmän kirkkaana päivänä.

Puhaltimien äänenvaimennus

Puhaltimet pitävät yleensä korkeataajuista vinkuvaa ääntä, joka saattaa olla erityisen häiritsevää, jos puhaltimia käytetään öiseen aikaan. Äänen vähentämiseksi puhaltimet sijoitettiin pääkanavien sisälle eikä suoraan ulkoseinään. Puhaltimien edessä oleva aurinkokeräin vaimentaa myös ääntä jonkin verran. Lisäksi puhaltimet ovat seinällä, joka suuntautuu asuinrakennuksesta pois päin.

Rakentaminen

Rakentaminen aloitettiin 5.6.1999 pintamaan poistolla. Rakennuspaikan maaperä on kivistä moreenia. Pintamaan poiston jälkeen kaivettiin kuopat runkotalppien perustuksia varten. Koska maa oli suurikivistä moreenia, varsinaisia perustuksia ei tehty, vaan kaivaminen lopetettiin sopivan kiven kohdalle 1,5 - 1,8 m syvyyteen. Tämän jälkeen tolpan pää asetettiin kiven päälle, tuettiin ja kuoppa täytettiin soralla.

Talppien pystytyksen jälkeen ajettiin alueelle 300 - 500 mm täytehiekkää, joka tiivistettiin. Tässä vaiheessa tolpat asennettiin tarkasti pystyasentoon.

Tiivistetyn hiekan päälle asetettiin kosteuseristykseksi muovikalvo, jonka päälle valettiin 100 mm paksu betonilaatta. Raudoituksena on 8 mm teräsverkko.

Seuraavaksi tehtiin kantavat rakenteet ja vesikatto. Katemateriaaliksi valittiin MINERIT-VARTTI/RANCH sen vähäisen kondenssiveden muodostuksen takia. Mineritin alle ei kylmässä rakennuksessa tarvitse asentaa aluskatetta. Runkotyöt ja vesikatto valmistuivat 16.7.1999.

Katon valmistuttua laudoitettiin seinät ja aloitettiin laarinpohjien ja ilmekanavien teko.

Elokuun loppuun mennessä oli tehty sähköasennukset, rakennettu liukuovet ja aurinkokeräin, joten kuivuri voitiin ottaa käyttöön. Kuivuri oli ensimmäistä kertaa käytössä 20.9.1999, jolloin aloitettiin rukiin kuivaus. Syksyllä 1999 kuivurissa kuivattiin myös sipulia.

Rakennustöistä jäi seuraavaan kesään laarien etuseinien rakentaminen, maalaus, murskeen levittäminen aurinkokeräimen eteen ja vesikourujen asennus.

Rakennuskustannukset

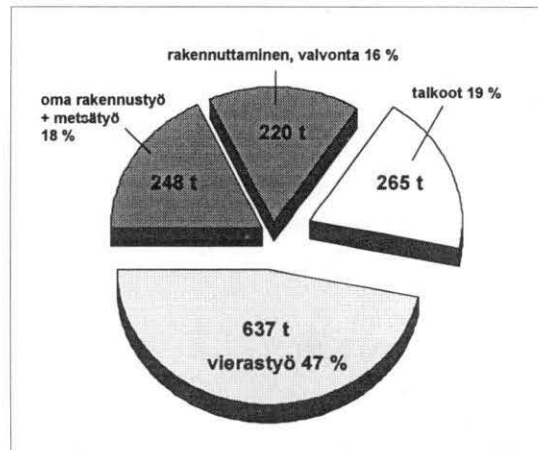
Kustannusarvio ja toteutuneet kustannukset

Hankkeen kustannusarvio on tehty 28.5.1999 MMM-RMO E2 mukaan käyttäen arvonlisäverottomia hintoja. Kustannusarvion loppusumma oli 242 627 mk. Rakentamisessa seurattiin työtuntien menekkiä sekä materiaalihankintojen rahakuluja päivittäisellä kirjanpidolla. Lopulliset kustannukset olivat 201 500 mk eli kustannusarvio alitettiin noin 17 %:lla.

Investoinnin edullisuuteen pyrittiin vaikuttamaan siten, että tilalta ulos maksettavat rahasuoritukset minimoitiin vain välttämättömiin materiaali- ja työpanoksiin samalla kun tilan oma työpanos maksimoitiin. Työpanokset ovatkin merkittävästi vaikuttaneet toteutuneisiin rakennuskustannuksiin. Kuvassa 9 on esitetty työpanosten jakauma.

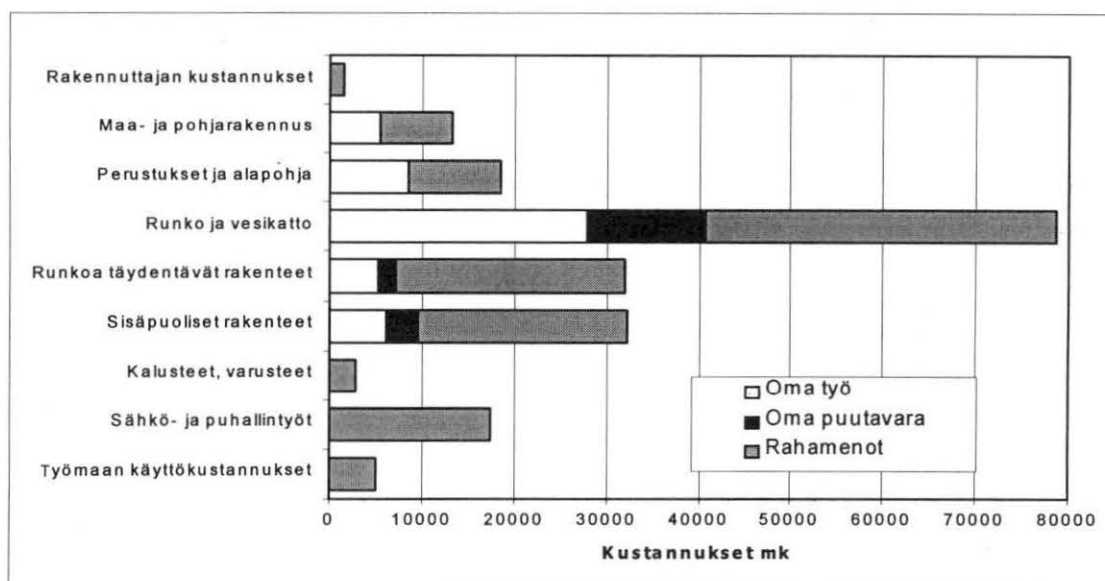
Työtunteja on kohteessa kulunut kaikkiaan 1370. Ulkopuolisella työvoimalla on tehty 637 tuntia ja niiden osuus on ollut 47 % kaikista työtunneista. Ulkopuolisesta työstä on maksettu todellinen markkinahinta.

Rakennuttajan omana työnä ja talkootyönä on tehty 733 tuntia, ja niiden osuus on ollut 53 % kaikista työtunneista. Oman ja talkootyön hintana kustannuslaskelmassa on käytetty 70 mk/tunti. Talkoita on ollut yhteensä 265 tuntia. Rakennuttajan aktiivinen rakennustyö - joka myös sisältää puutavarahankinnan hakkuu-, korjuu- ja sahaustyöt - on ollut 248 tuntia. Tämän lisäksi isäntä on erikseen tehnyt nk. rakennuttajan töitä, joiksi on laskettu rakennusmateriaalien hankinta sekä työmaan yleiset järjestely- ja valvontatyöt. Rakennuttamisen osuus on ollut 220 tuntia.



Kuva 9. Työtuntien jakauma.

Hankkeen rahalliset investoinnit eli tilalta ulos maksetut suoritteet olivat 129 900 mk, joka on 64 % toteutuneista kustannuksista. Oman työn osuus oli 53 200 mk (27 %) ja oman puutavaran osuus 18400 mk (9 %). Puutavaran kustannus sisältää raaka-aineen kantohinnan ja kenttäsahaustuksen kustannuksen. Oman puutavaran hankinnan aiheuttaman kustannukset on sisällytetty oman työn osuuteen. Oman puutavaran kokonaiskustannukseksi tulee 34 640 mk, kun huomioon otetaan kantohinta, sahaus ja metsätyöt yhteensä.



Kuva 10. Kustannusten jakautuminen oman työn, oman puutavaran ja rahamenojen osuuksiin

Toimintaan liittyvät mittaukset

Mittausten tavoitteena oli saada arvio koerakennuskohteena olevan kylmäilmakuivurin aurinkokerääjän tehosta ja hyötysuhteesta. Mittaukset tehtiin hyvissä kuivausoloissa 28.8.2000. Samassa yhteydessä mitattiin myös puhaltimien aiheuttama melu.

Tulevan säteilyn mittaus

Tuleva säteily mitattiin M-80 pyranometrillä, joka ottaa huomioon suoran auringonsäteilyn lisäksi tasopinnalle tulevan heijastuneen ja hajasäteilyn. Mittaushetkellä 28.8.2000 klo 13.30 - 14.30 taivas oli kirkas ja vaakasuoralle pinnalle tuleva säteily vaihteli välillä 590 - 640 W/m². Aurinkoa vasten kohtisuoralle pinnalle tuleva säteily oli samaan aikaan 930 W/m². Auringonsäteiden ja maanpinnan välinen kulma oli kyseiseen aikaan Lapualla 36 - 38° (Aulis Peltomaa, Ilmatieteen laitos, puhelintiedonanto 30.10.2000). Kuivurin aurinkokerääjälle tuleva säteily oli siten: $\cos 37^\circ \times 930 \text{ W/m}^2 \approx 740 \text{ W/m}^2$.

Ilman lämpötilan mittaus, aurinkokeräimen hyötysuhde

Ilman lämpötilaa mitattiin kolmessa paikassa kuivurin ulkopuolella sekä molempien puhaltimien edestä. Mittaukset tehtiin käyttäen anturina Cu-Co -termoelementtiä ja Fluke-yleismittaria. Muutaman minuutin tasaantumisjakson jälkeen lämpötilaa mitattiin jatkuvana mittauksena viiden minuutin ajan ja lämpötila merkittiin muistiin minuutin välein. Lämpötilaksi katsottiin viiden mittauksen keskiarvo. Mittauksen tavoitteena oli selvittää, miten paljon kuivuriin menevä ilma on ympäröivää ulkoilmaa lämpimämpää ja mikä osuus lämpötilan noususta on aurinkokeräimen ja mikä kuivurin sijainnin seurausta.

Kuivuriin menevä ilma oli keskimäärin yhden asteen lämpimämpää kuin ulkoilma noin sadan metrin päässä kuivurista ja keskimäärin 0,3 astetta lämpimämpää kuin ilma kuivurin välittömässä läheisyydessä. Yhden C-asteen lämpötilaeron mukaan laskettu aurinkokerääjän hyötysuhde olisi 0,65 ja 0,3 C-asteen mukaan 0,20. Jälkimmäistä arvoa on pidettävä oikeampana, koska huomattava osa lämpötilan noususta on luettava kuivurin sijainnin ansioksi.

Puhaltimien puhaltama ilmamäärä

Aurinkokeräimen tehon laskemiseksi on tunnettava kuivuriin menevän ilman massavirta. Puhaltimien (2 kpl 7,5 kW potkuripuhaltimia, \varnothing 100 cm, 1400 r/min) puhaltama ilmamäärä määritettiin epäsuorasti mittaamalla ilmanjakokanavan staattinen vastapaine mikromanometrillä. Mittauksen perusteella määritettiin puhaltimien ominaiskäyrästä ilmamäärä. Ilmamäärän suora mittaus ei olisi ollut mahdollista kuivurin rakenteen vuoksi.

Staattinen vastapaine oli toisessa pääkanavassa 171 Pa ja toisessa 157 Pa. Puhaltimien valmistajan (Insinööritoimisto R. Action, Eurajoki) mukaan ilmamäärä muuttuu seuraavasti vastapaineen muuttuessa:

Vastapaine, Pa	Ilmamäärä, m ³ /h
100	42 000
200	40 000
300	37 000
400	33 000

Edellisen perusteella pääteltiin kummankin puhaltimen ilmamäärän olevan noin 41 000 m³.

Melun mittaus

Puhaltimien aiheuttama melu mitattiin kuivurin sisällä ja sillä seinustalla, jossa puhaltimet ja aurinkokeräjä ovat.

Mittauspaikka	Melu dBA
Kuivurin sisällä	86
1 m etäisyydellä seinästä	92
30 m etäisyydellä seinästä	65
50 m etäisyydellä seinästä	61
100 m etäisyydellä seinästä	49

Loppupäätelmät

Toiminnallisuus ja rakennuskustannukset

Rakennus on monitoiminen kuivuri-konehalli. Rakennusta on käytetty sekä koneiden varastointiin että viljan ja sipuleiden kuivaukseen. Liukuovien ansiosta ajo jokaiseen laariin on esteetön. Sisäkorkeus on riittävä. Rakenteet ovat yksinkertaisia. Rakentaminen ei vaatinut kallista ulkopuolista nostokalustoa.

Rakennuksen neliöhinnaksi tuli 1490 mk. Rakennuksen edullisuutena pidetään lopputuotteen käyttökelpoisuuden ja laadun suhdetta syntyneisiin kustannuksiin. Edullisuus on syntynyt pitkälti oman työn, talkootöiden ja tilan oman puutavaran käytöllä. Niiden osuus oli 36 % ja rahamenot olivat 64 % kokonaiskustannuksista. Tämän lisäksi kustannusarvio kyettiin alittamaan 17 %.

Aurinkokeräimen hyötysuhde

Kooltaan 56 m²:n aurinkokeräin on melko pieni verrattuna kuivurin laaripinta-alaan ja puhaltimien ilmamäärään, eikä sen voi siksi olettaa nostavan kovin paljoa kuivausilman lämpötilaa. Jos aurinkokeräimellä halutaan saada aikaan tuntuva lämpötilan nousu, sen pitää olla pinta-alaltaan vähintään kaksi kertaa kuivurin laaripinta-alan suuruinen (Mikkola 1982). Keräin on tehty päällystämällä etelänpuoleinen seinä vaalealla muovilevyllä. Ilmaväli seinän ja keräimen välissä

on 100 cm. Ilmamäärä keräin-m² kohden on varsin suuri (1 460 m³/h), mikä teorian mukaaifi parantaa keräimen hyötysuhdetta.

Mittauksissa todetusta lämpötilan noususta voidaan katsoa 1/3 aurinkokeräimen ansioksi ja 2/3 kuivurin edullisen sijainnin ansioksi. Kuivuri on rakennettu aukealle paikalle, siinä on tummahko katto, seinät ovat tummanpunaiset ja kuivurin ympärillä maassa on sepelikerros. Nämä tekijät yhdessä luovat kuivauksen kannalta edullisen mikroilmaston kuivurin ympärille. Sarin et. al. (1983) toteavat, että kuivurin sijainnilla maastossa ja ilmanottoaukkojen suuntauksella saattaa olla tietyissä tapauksissa yhtä suuri vaikutus kuin varsinaisella keräimellä. Tässä tapauksessa vaikutus näyttäisi olevan vieläkin suurempi, mikä johtuu oletettavasti aurinkokeräimen pintamateriaalista, joka on heikentänyt aurinkokeräimen tehoa.

Keräimen melko vaatimaton hyötysuhde johtunee ensisijaisesti siitä, että vaalea, kiiltävä muovilevy heijastaa tehokkaasti saapuvaa auringonsäteilyä, kun sen pitäisi joko päästää säteilyä lävitseen tai absorboida sitä. Keräimen sisällä saattaa myös olla kohtia, joissa ilma ei virtaa lainkaan tai virtaa selvästi huonommin kuin pitäisi. Keräimen hyötysuhde on silti samaa tasoa kuin 80-luvun alussa tutkittujen kiinteiden, muovikatteisten kerääjien hyötysuhde keskimäärin (Sarin et. al. 1983). On kuitenkin jokseenkin varmaa, että nyt käytössä olevien muovilevyjen korvaaminen vaikkapa läpinäkyvällä muovikalvolla parantaisi keräimen hyötysuhdetta. Sarinin et. al. (1983) tulosten mukaan tämän tyyppisellä keräimellä on saavutettavissa hyötysuhde 0,3, jopa 0,4.

Melu

Melu kuivurin sisällä puhaltimien käydessä on sen verran voimakasta, että pitkäaikainen oleskelu edellyttäisi kuulosuojainten käyttöä. Toisaalta kuivurin hoitaminen vaatii vain satunnaisia tarkastuskäyntejä silloin tällöin, eikä melusta ole haittaa. Melu kuivurin ulkopuolella on häiritsevän voimakasta vielä yli 100 metrin etäisyydellä seinästä, jolla puhaltimet sijaitsevat (Rakennusmääräyskokoelma, määräykset ja ohjeet 1998). Koska kuivuri sijaitsee noin 70 m etäisyydellä asuinrakennuksesta ja koska kuivurin ja asuinrakennuksen välissä on vanha navetta, melu ei ole häiritsevää. Lisäksi melu suuntautuu asuinrakennuksesta pois päin, eikä kuivurin käyntiääni kuuluu asuinrakennuksen pihaan kuin vaimeana huminana.

Käyttökokemuksia

Viljelykaudella 2000 kuivurissa on kuivattu 20 tn ruista, 5 tn kauraa ja esikuivattu 15 tn sipulia. Rukiin alkukosteus oli noin 35 %. Ruis levitettiin kaikkiin 4 laariin noin 30 cm patjaksi, jonka jälkeen puhaltimet toimivat taukoamatta noin viikon ajan. Ensimmäisen viikon aikana rukiin kosteus laski 20 %:iin. Sen jälkeen neljän laarin viljat yhdistettiin kahteen laariin ja kuivausta jatkettiin vielä viikon verran. Toisella viikolla ruislaarien puhallin toimi vain päivisin klo 10 – 18 välillä, jolloin ulkoilma oli lämpimintä. 2 viikon kuivauksen jälkeen rukiin loppukosteus oli 14 %.

Kahdessa vapautuneessa laarissa kuivattiin kauraa 2 viikon ajan samalla periaatteella kuin ruista. Kauran alkukosteus oli 25 % ja loppukosteus 14 %. Sipulia on esikuivattu viikon ajan.

Syksyn 2000 kuivaustoiminnoissa on kulunut puhallinenergiaa 5000 kWh. Kun sähkön verollinen hinta on ollut 44 p/kWh on viljankuivauksen energiakustannus ollut 2200 mk eli 8,8 penniä/kg. Vastaavan vesimäärän poistaminen edellä mainituista viljaeristä lämminilmakuivurissa olisi kuluttanut 1030 litraa polttoöljyä, jonka energiakustannus olisi ollut noin 3200 mk (verollinen hinta 3,05 mk/l, syksy 2000). Tämän lisäksi on otettava huomioon rakennuksen pääomakustannus, joka jakautuu viljan lisäksi muille kuivattaville tuotteille sekä konevarastotoiminnoille.

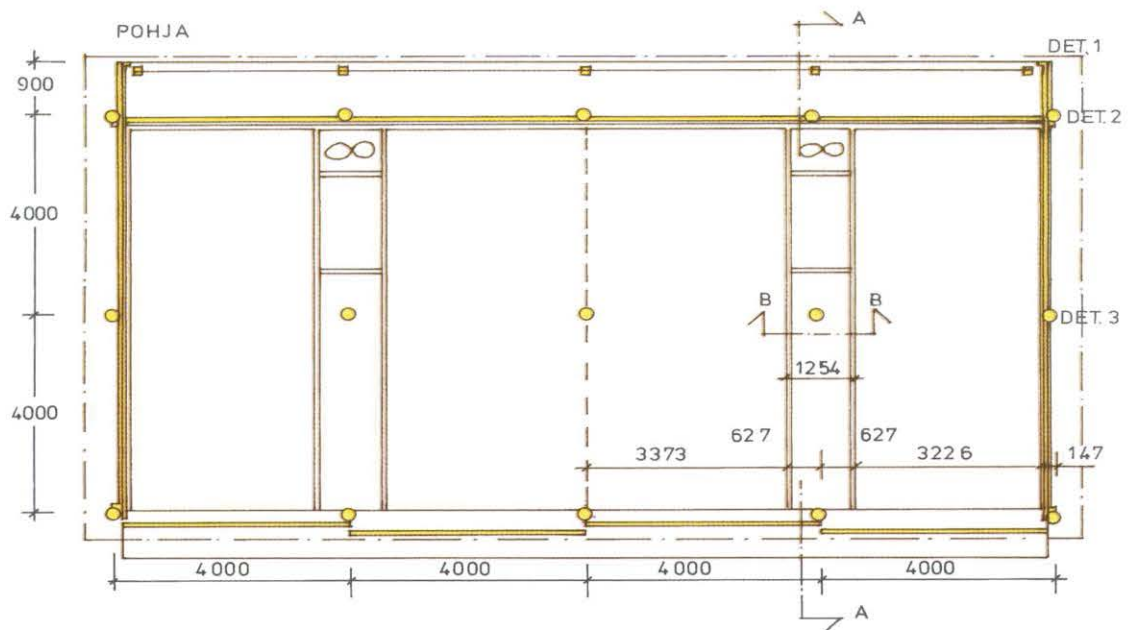
Kirjallisuus

MIKKOLA, H. 1982. Aurinkoenergian hyväksikäytöstä koneellisessa kylmäilmakuivatuksessa. Helsingin yliopiston maatalousteknologian laitos. Laudaturtyö, 75 p., 13 liitettä.

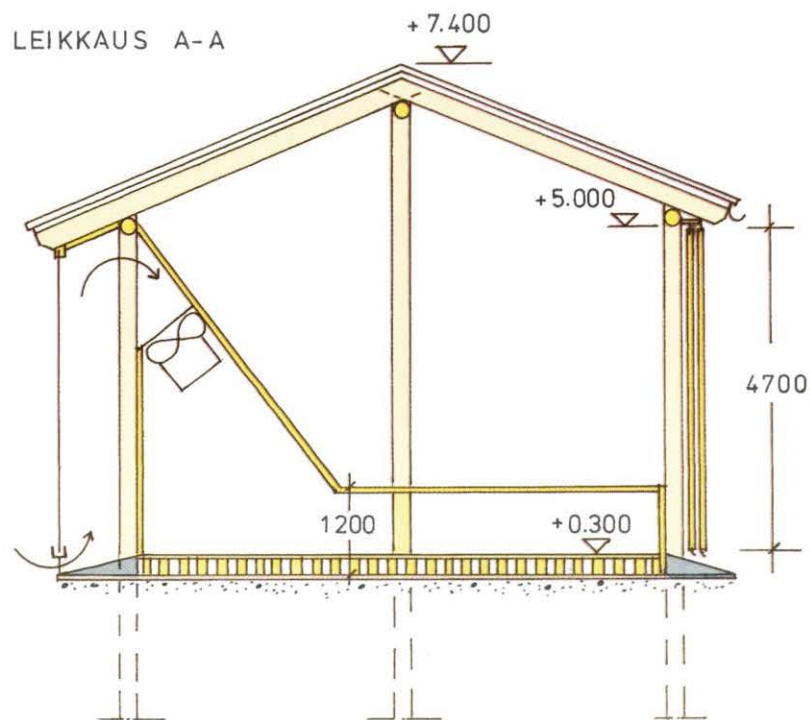
SARIN, H., JÄRVENPÄÄ, M., MIKKOLA, H. & PEHKONEN, A. 1983. Tutkimus aurinkoenergian hyväksikäytöstä kylmäilmakuivauksessa. Helsingin yliopisto, maatalousteknologian laitos, tutkimustiedote 41. 134 p.

Suomen Rakennusmääräyskokoelma, osa C1, Äänieristys ja meluntorjunta rakennuksessa, määräykset ja ohjeet 1998. (RT RakMK-21090), 8 p.

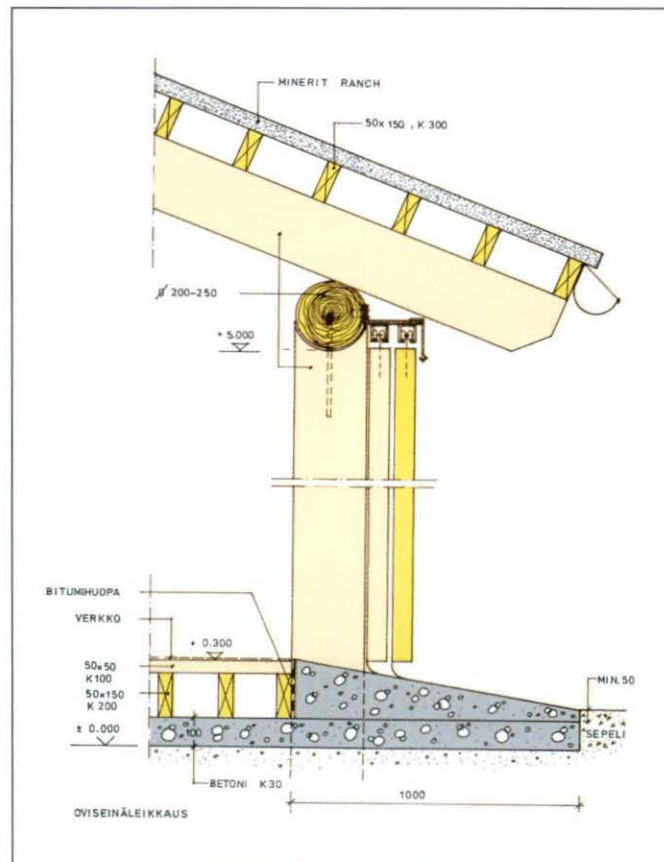
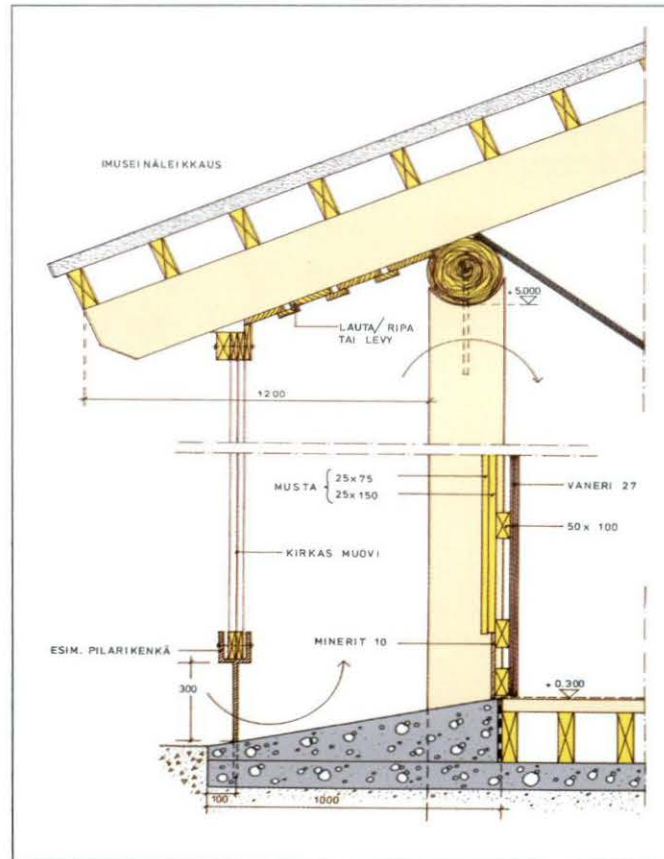
LIITTEET



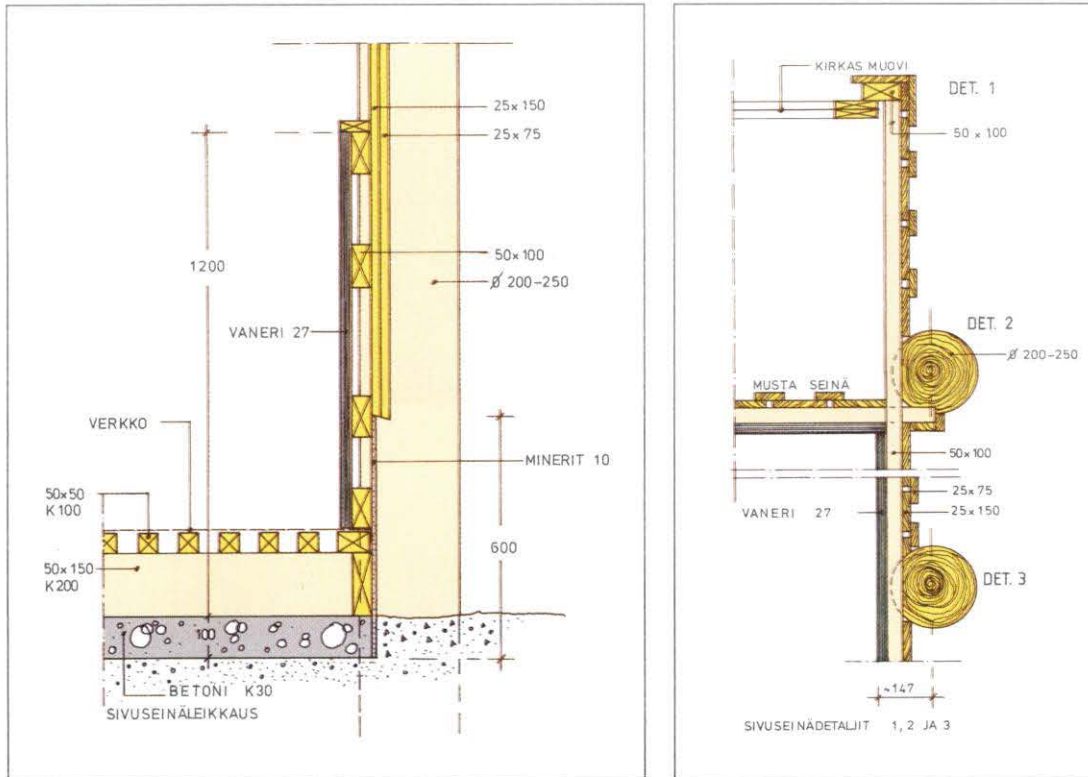
Kuva 11. Päälleajettavan monitoimisen kylmäilmakuivurin pohja.



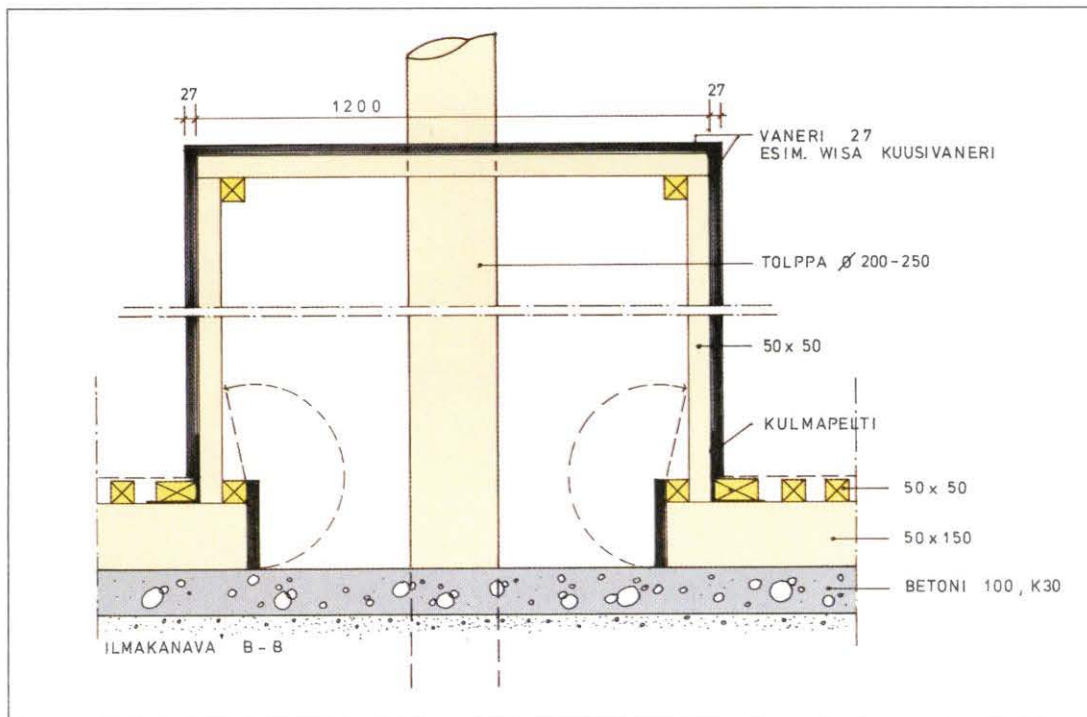
Kuva 12. Päälleajettavan monitoimisen kylmäilmakuivurin leikkaus.



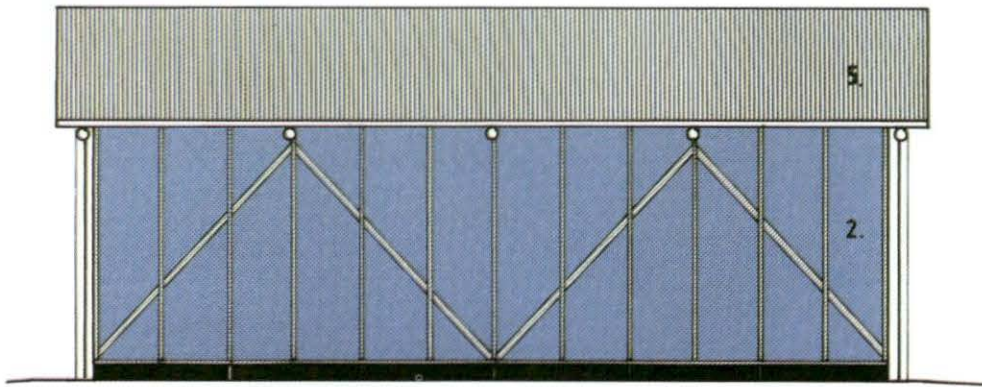
Kuva 13. Leikkaus imuseinän ja oviseinän kohdalta.



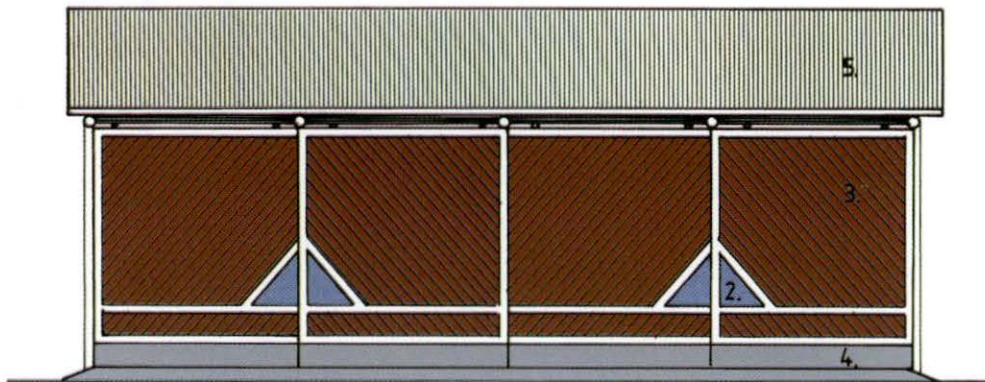
Kuva 14. Vasemmalla päätyseinän pystyleikkausdetalji ja oikealla vaakaleikkausdetalji.



Kuva 15. Puhallinkanavan poikkileikkaus. Pituussuuntaisilla avautuvilla läpillä voidaan ilmaa ohjata haluttuun laariin. Poikittaissuuntaisella nostoläpällä voidaan kuivauslohko puollittaa (ks. kuva 5).



JULKISIVU ETELÄÄN



JULKISIVU POHJOISEEN

1. rimalautoitus, punamulta
2. pvc-muovi, kirkas
3. julkisivupaneli, punamulta
4. kuitusementtilevy, harmaa
5. kuitusementtiaaltolevy, harmaa



PÄÄTY ITÄÄN , LÄNTEEN PEILIKUVANA

Kuva 16. Julkisivut materiaalimerkintöineen.

VAKOLAn tutkimuseloituksia

- 42 Kasviöljyt dieselmoottorin polttoaineena
- 43 Traktorin polttoaineenkulutukseen vaikuttavia seikkoja
- 44 Alipaineilmanvaihto kotieläinsuojissa. 1986.
- 45 Kompostoinnin vaikutus lietelannan laatuun ja käsiteltävyyteen. 1987.
- 46 Käyttökokemuksia 80-luvulla rakennetuista kalustovajoista, varastokuivureista ja pihatoista. 1987.
47. Lannoitteenlevityksen tasaisuus. 1987.
48. Jauhatuksen tilantarve ja pölyhaittojen vähentäminen. 1987.
49. Maatalouskoneiden tietokanta. 1988.
50. Lannanpoistolaitteiden toiminta ja kestävyys. 1988.
51. Pienten pihatoiden ilmanvaihdon erityisvaatimukset. 1988.
52. Tuotantorakennusten suunnittelu ja rakentaminen käytännössä. 1988.
53. Hellävarainen perunankorjuu. 1989.
54. Syyskyntöä korvaavien muokkausmenetelmien vaikutus kevätvehnän satoon 1975-1988.
Pitkäaikaisen aurattoman viljelyn vaikutukset hiesusaven rakenteeseen ja viljavuuteen 1989.
55. Ei julkaisua.
56. Kosteiden pintojen kosteudentuotanto navetoissa. 1989.
57. Kylmäilmakuivurin mitoitus ja käyttö. 1990.
58. Leikkuupuimurin kulkukyky vaikeissa olosuhteissa. 1990.
59. Lietelantajärjestelmien toimivuus. 1990.
60. Heinän varastokuivaus. 1991.
61. Viljankuivauksen pölyhaitat. 1992.
62. Säilörehun siirto ja käsittely talvella. 1991.
63. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset. 1992.
64. Kiedotun pyöröpaalisäilörehun valmistustekniikka ja laatu. 1993.
65. Hellävarainen perunan kauppakunnostus. 1993.
66. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset II. 1993.
67. Betonit ja muovit navetan lattiamateriaaleina. 1993.
68. Lannankäsittelyn taloudellisuuden ja lannan ravinteiden hyväksikäytön parantaminen. 1994.
69. The effect of ground profile and plough gauge wheel on ploughing work with a mounted plough. 1994.
70. Järeän sahatavaran mekaaniset ominaisuudet. 1995.
71. Järeän sahatavaran käyttö rakennuksissa, rakennejärjestelmät ja liitokset. 1997.
72. Lannan levitys kasvustoon. 1996.
Osa 1. Lietelannan sijoituslaitteen rakenteelliset vaatimukset suomalaisissa olosuhteissa.
73. Lannan levitys kasvustoon. 1996.
Osa 2. Lietelannan levitysmahdollisuudet kasvavaan viljanoraaseen.
74. Kylmäkasvattamoiden kuivikepohjien toimivat vaihtoehdot. 1996.
75. Konetöiden turvallisuuden ja tehokkuuden parantaminen. 1996.
76. Laboratorioiden työn ja työympäristön kehittäminen. 1996.
77. Pienmoottoreiden päästöt. 1997

VAKOLAn rakennusratkaisuja

- 1/1994 Kylmä osakuivikepohjainen emolehmäkasvattamo
- 2/1995 Rehtijärven keinokosteikko
- 3/1995 Puurakenteiset ruokinta-aidat ja parrenerottimet
- 4/1996 Perustamistapojen hintavertailu
- 5/1997 Havaintoja kylmäpihattojen lannankäsittelystä
- 6/1997 Kalustohallista toimiva sikala
- 7/1999 Lypsyasema parsinavetassa
- 8/2000 Ajonkestävä monikäyttöinen kylmäilmakuivuri

VAKOLAn tiedotteita

- 53/93 Lannoitteenlevittimien levitystasaisuus
- 54/93 Maaseudun koerakentamisen ohjelmointi
- 55/93 Pyöröpaalisäilörehun korjuu, varastointi ja laatu
- 56/93 Maaseuturakentamisen ideakilpailu
- 57/93 Syyskylvöjen varmentaminen
- 58/93 Maatilan ja maatilamatkailun jätehuolto
- 59/93 Maatilamyymälätoiminta vanhassa maatilan asuinrakennuksessa
- 60/93 Tyhjien maatilarakennusten uusi käyttö
- 61/94 Lietelannan varastointi ja levitys
- 62/94 Tuotantorakennusten alapohjia ja piha-alueiden päällysrakenteita
- 63/94 Turvallinen puunpilkonta
- 64/94 Itkupinta-tuloilmalaitteen vaikutus eläinsuojassa
- 65/94 Oksainen hake pienpolttimissa
- 66/94 Pako- ja savukaasujen analysointi
- 67/94 Käyttökokemuksia jyräkylvölannoittimista
- 67S/94 Brukserefarenheter av vältkombisämaskiner
- 68/94 Käsikäyttöisten liekittimien käyttöominaisuuksia
- 69/95 Renkaiden vaikutus traktorin vetokykyyn ja maan tiivistymiseen
- 70/95 Hakkeen kuivaus imuilmalla
- 71/95 Klapikattiloiden käyttöominaisuudet
- 72/96 EPS-rakeet ja EPS-rouhe sikalan lietesäiliön katteena
- 73/96 Kevytsaviharkkojen kuivuminen ja lujuus
- 74/97 Rikkakasvien torjunta viljoista riviväliharauksella
- 75/97 Öljypellavan leikkuupuinti
- 76/97 Tilasäiliöopas
- 77/98 Yrttikuvurin suunnittelu ja käyttö
- 78/98 Väkilannoitteen sijoituslaitteet nurmiviljelyssä
- 79/98 Lietelannan ilmastus
- 80/00 Lannan aumavarastointi
- 81/00 Pienen pyöreän puun käyttö rakentamisessa I
Pyöreän puun lujuus, mänty ja kuusi
Pyöreän puun liitokset
- 82/00 Pienen pyöreän puun käyttö rakentamisessa II
Suomen rakennuspuuvarat
Rakennuspuun korjuukustannukset
Rakennuspuun tuotantokustannukset
- 83/00 Pienen pyöreän puun käyttö rakentamisessa III
Rakenteet, liitokset, rakennusesimerkit
- 84/00 Perunaviljelmän edullisin koko Suomessa
Sään rajoittama viljelytöiden aika
Viljelmien nykytila kyselyn perusteella

