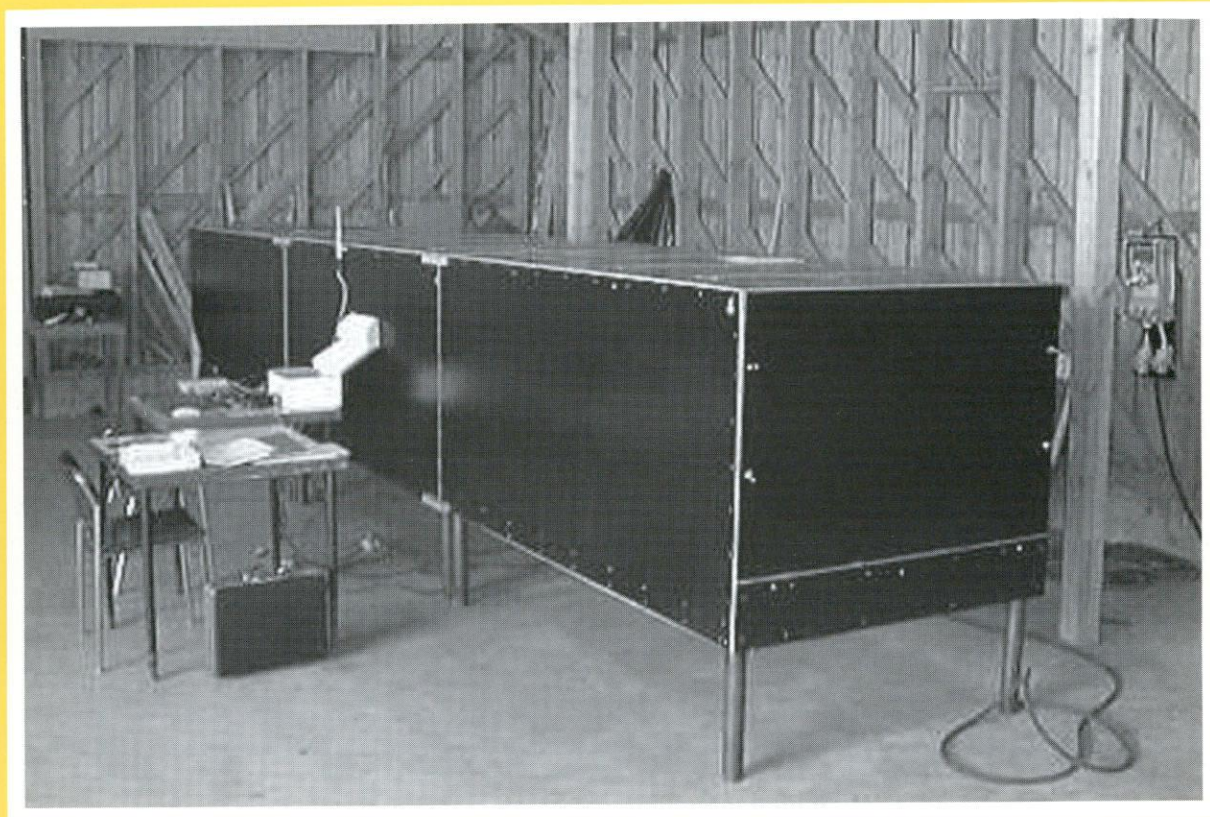


VAKOLAn tiedote

77/98



Markus Pyykkönen

**Bertalan Galambosi, Jukka Havento, Antti Hovi, Arto Huhtala, Jorma Karhunen,
Kirsti Pääkkönen, Risto Sinisalo, Seppo Sorsa**

Yrttikuivurin suunnittelu ja käyttö

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
Agricultural Research Centre of Finland

VAKOLA

Maatalousteknologian tutkimus

Osoite	Puhelin
Vakolantie 55	(09) 224 251
03400 VIHTI	Telekopio
	(09) 224 6210

Agricultural Engineering Research

Address	Telephone int.
Vakolantie 55	+358 9 224 251
FIN-03400 VIHTI	Telefax int.
FINLAND	+358 9 224 6210

Kansikuva: Infrapunakuivuri mittalaitteineen.

ISSN 0355-1415

SISÄLLYSLUETTELO

JOHDANTO	3
KUIVAUKSEN PERUSTEITA	4
KUIVAUSKOKEISSA KÄYTETYT KUIVURIT	5
Lavakuivurit	5
Kaappikuivurit	6
Infrapunakuivuri	7
KOEKASVIT	7
MITTAUSJÄRJESTELYT	8
TULOKSET	8
Aromiöljypitoisuudet	10
Bakteriologiset tulokset	11
LAVAKUIVURIN MITOITUSOHJEITA	11
Tekniset tiedot	11
Esimerkkilaskelma lavakuivurin mitoituksesta	12
Lavakuivurin käyttöä koskevia ohjeita	12
YHTEENVETO	13
KIRJALLISUUS	14

JOHDANTO

Maa- ja metsätalousministeriö myönsi vuonna 1995 kolmivuotisen tutkimusmäärärahan hankkeelle "Viljeltävien yrttikasvien ja luonnonkasvien kuivaustekniikoiden kehittäminen". Hakemuksessa hankkeen tavoitteeksi asetettiin korkealaatuisten lopputuotteiden tuottamisen mahdollistavat yrtti- ja aromikasvien kuivausmenetelmät, jotka toimivat sekä ilmakehakuivaustekniikkaa että infrapunatekniikkaa käyttäen. Menetelmien tuli myös olla sovellettavissa suurehkoille, vähintään 1 - 2 ha, viljelmille sekä myös sienten, marjojen ym. luonnokasvien kuivaukseen. Tutkimussuunnitelma sisälsi sekä tiloilla tehtäviä mittauksia että laboratorioskokeita.

Ensimmäisen tutkimusvuoden aikana tehtiin mittauksia tiloilla. Tiloilla kuivurit olivat lavakuivureita, joissa oli lisälämmönlähde. Mittausten perusteella yrttien kuivausaika tiloilla vaihteli 16 tunnista 60 tuntiin ja energiakustannus noin 2,5 markasta 17 markkaan kuivattua yrttikiloa kohti. Näiden mittausten perusteella päätettiin, että laaditaan lavakuivurin mitoitusohjeet laboratoriomittausten perusteella.

Laboratoriomittaukset osoittivat varsin nopeasti, että yrttien kuivaus ilman lisälämpöä ei ole mahdollista, sillä kuivausaika venyy liian pitkäksi. Vaikka lisälämpöä käytetäänkin, niin kuivausaika on lähes 2 vuorokautta, mikä selvästi ylittää tavoitteeksi asetetun vuorokauden kuivausajan. Toisaalta yrttien laatu säilyi hyvänä, vaikka kuivausaika olikin lähes 2 vuorokautta. Tämän raportin lopussa olevassa lavakuivurin mitoitusohjeessa kuivurin lämmönlähde on mitoitettu siten, että laskennallinen kuivausaika on 24 tuntia, jos tuoretta yrttiä on 45 kg/m^2 .

Infrapunakuivurin kehitystyössä tavoitteena oli lähes tilamittakaavan prototyyppi. Kahden ensimmäisen koevuoden aikana haettiin kokeilemalla infrapunalampuille sopiva asennuskorkeus ja kytkentäajan jaksotus. Kolmantena vuotena oli tarkoitus kuivata hieman suurempia koe-eriä. Toteutunut tekninen ratkaisu mahdollisti vain vajaan 15 kilon koe-erien käytön. Kuivausaika oli lyhyt, vain 3,2 tuntia, mutta energiaa kului poistettua vesikiloa kohti enemmän kuin muissa kuivureissa. Infrapunakuivurin energiankulutusta on mahdollista pienentää parantamalla kuivurin rakennetta ja valitsemalla kuivuriin puhaltimet, jotka sietävät kohtuullisesti vastapainetta. Mittaukset osoittivat kuitenkin selvästi, että infrapunakuivaus on eräs vaihtoehto yrttien kuivaukseen, jos infrapunakuivurin rakenne saadaan optimoitua. Nykyisellään infrapunakuivurin käyttö on perusteltua, jos kuivaustarve on vähintään 3000 kg tuoretta yrttiä vuodessa.

Mittauksia laajennettiin alkuperäisestä suunnitelmasta siten, että toisena koevuotena mukaan otettiin kaksi kaappikuivuria. Näin tutkimuksen tuloksia voidaan suoraan verrata nykyisin käytössä olevaan tekniikkaan. Mittaukset osoittivat, että kaappikuivureita on kehitettävä siten, että kuivaus tapahtuu entistä tasaisemmin ja niin, että kuivauslämpötila ei kuivurin missään kohdassa nouse liian korkeaksi.

Mittaukset osoittivat selvästi, että kuivaus ei ole yrttien korjuun keskeisin ongelma. Eri kokoisia kuivureita voidaan helposti rakentaa tarpeen mukaan, mutta huomattavasti vaikeampaa on koota sellainen yrttien korjuuketju, joka mahdollistaa yrttien nopean korjuun ja tarpeellisen esikäsittelyn ennen kuivausta. Myös kuivan yrtin varastointi ja

jälkikäsitteily jää usein kuivausta suunniteltaessa varsin vähälle huomiolle. Tässä tutkimuksessa yrttien bakteriologinen laatu heikkeni nimenomaan korjuun ja esikäsitteilyn aikana. Kuivauksessa yrttien laatu säilyi kuivaustavasta riippumatta muuttumattomana.

KUIVAUKSEN PERUSTEITA

Kasvimateriaali kuivuu vaiheittain, erotettavissa on kaksi päävaihetta. Nopean kuivumisen vaihe, jolloin kosteus poistuu vakionopeudella ja hitaan kuivumisen vaihe kuivauksen lopussa, jolloin kuivuminen vähitellen hidastuu (kuva 1).

Kuivauksessa kasvissa olevan veden määrä alennetaan tasolle, jossa ei tapahdu mikrobien kasvua. Kuivattujen yrttien vesipitoisuus ilmoitetaan prosentteina joko tuorepainosta (%tp.) tai kuivapainosta (%ka.). Kuivattujen yrttien vesipitoisuuden optimaarivona pidetään 8 - 9 % kuiva-aineesta. (Dalfsen ym., 1992)

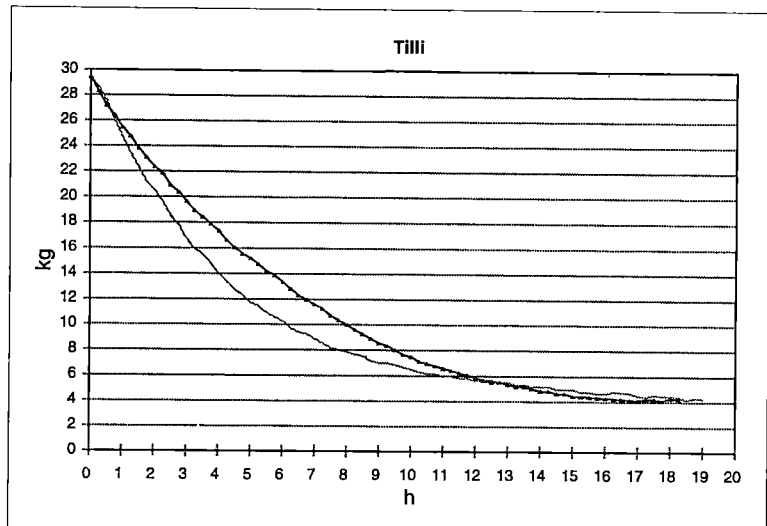
Kuivauksessa lopputuotteen laatu on riippuvainen paitsi kuivausolosuhteista myös kuivausta edeltävästä

käsittelystä ja säilytyksestä (Dalfsen ym., 1992). Parasta olisi, että yrttien korjuuketju toimisi siten, että kuivaus alkaisi välittömästi sadonkorjuun ja mahdollisen esikäsitteilyn jälkeen ilman välivarastointia.

Kuivattujen yrttien mikrobiologinen laatu on ensisijaisesti riippuvainen käytetyn raaka-aineen laadusta (Pääkkönen ym., 1990a,b). Matalakasvuisissa yrteissä, kuten timjamissa ja meiramissa alkusaastuminen on usein suurempaa kuin tillissä (Deans ym., 1991).

Yrttien kuivauksessa lämpötilan tulisi olla 30 - 50 °C, jotta aromiöljyjen hävikki pysyisi kohtuullisen pienenä. Kuivauslämpötilan alentaminen pidentää kuitenkin kuivausaikaa (Müller, 1992). Huoneen lämpötilassa (27 - 30 °C) kuivatussa mintussa on noin 90 % enemmän eteerisiä öljyjä kuin 60 asteessa kuivatussa mintussa (Shalaby ym., 1988a). Kuivauslämpötilan noustessa yli 40 asteen haihtuvien öljyjen pitoisuus pienenee basilikassa, meiramissa, rosmariinissa, salviassa, kyntelissä ja rakuunassa mutta ei juuri timjamissa (Deans ja Svoboda, 1992).

Kasvin varsi kuivuu huonosti ja paljon hitaammin kuin lehdet. Esimerkiksi tillin varsien silppuaminen lyhentää kuivausaikaa 50 % verrattuna silppuamattoman kuivaamiseen. Vaikka varret silputaankin, niin varret ovat vasta kuivumisen alussa, kun lehdet ovat kuivia (kosteus 10 %) (Taulukko 1).



Kuva 1. Esimerkki kuivumiskäyrästä. Käyrän muoto on tyypillinen, aluksi kosteus poistuu nopeasti hidastuen kuivauksen lopulla.

Myös piparmintun varret ovat vielä kosteita (kosteus 30 - 40 %), kun piparmintun lehdet ovat jo kuivia. Jos varret kuivataan 10 % kosteuteen yhdessä lehtien kanssa, joudutaan lehtiä kuivaamaan liikaa, mikä saattaa huonontaa lopputuotteen laatua. Kuivauskustannukset pienenevät noin 30 %, jos lehtiyrtit silputaan ennen kuivausta (Rust 1991).

Taulukko 1. Esimerkki tillin keskimääräisestä kosteudesta ja kosteuden jakaantumisesta varsien ja lehtien kesken.

	Keskimääräinen kosteus %	Varsien kosteus %	Lehtien kosteus %
Näyte 1	22,5	48,8	6,4
Näyte 2	24,2	51,7	6,0
Näyte 3	40,1	66,2	8,8

Lehtimassan erottaminen varsista onnistuu alkukuivauksen jälkeen helpommin kuin ennen kuivausta. Tällöin kuivat lehdet murenevät ja irtoavat varsin helposti varsista. Erottelu voidaan toteuttaa sopivalla seulalla tai kevyellä jauhatuksella. Kasvien kuivausominaisuudet vaihtelevat hieman. Tauluk-

koon 2 on koottu kirjallisuudesta tietoa kasvien kuivumis-ominaisuuksista. Hyvin lehtevät kasvit, kuten esimerkiksi väinöputki ja sileälehtinen persilja, voivat jonkin verran kuivuttuaan painua niin tiiviisti paakuksi, ettei ilma pääse virtaamaan kuivattavan yrttikerroksen läpi. Tällöin kuivuriin jää kohtia, jotka eivät kuivu normaalissa kuivausajassa.

Taulukko 2. Esimerkkejä kasvien kuivumisominaisuuksista ja kuivumisajoista eri lämpötiloissa.

Kasvi	Kuivuminen	Tarvittava esikäsittely	Lämpötila °C	Kuivumisaika, h
Nokkonen	Hyvin nopea	Silputtava	30 40	24 12
Nukula	Hyvin nopea	Silputtava	25	72
Piparminttu	Hidas	Silputtava	40	24
Keto-orvokki	Hidas	Silputtava		
Tilli	Hyvin nopea	Silputtava	30 40	24 20
Anisiisoppi	Nopea		40	24

KUIVAUSKOKEISSA KÄYTETYT KUIVURIT

Kesän 1996 kuivauskokeissa käytettiin neljää kuivuria, kahta kaappikuivuria ja kahta lavakuivuria. Kesällä 1997 käytettiin vain kokeita varten rakennettua infrapunakuivuria. Kaikista kuivauseristä kuivattiin vertailunäytteet laboratoriokäyttöön tarkoitetussa kuivauskaapissa.

Lavakuivurit

Kokeita varten rakennettiin kaksi pientä vanerista lavakuivuria (LK1 ja LK2), joiden pinta-ala oli 0,36 m². Kuivureiden pohja oli muovista hyönteisverkkoa. Puhaltimen tuottama ilmamäärä oli toisessa kuivurissa, LK1 150 - 200 m³/h ja toisessa, LK2, 250 - 300 m³/h, mutta sitä voitiin säätää pienemmäksi puhaltimen pyörimisnopeutta pienentä-

mällä. Ilman nopeus kuivauseroksessa oli 0,12 - 0,23 m/s. Lämmitysvastuksilla kuivausilman lämpötilaa nostettiin noin 10 astetta. Kuivauserä oli 12 - 19 kg yrttiä eli noin 30 - 50 kg/m². Kerrospaksuus tuoreena oli 30 - 40 cm.

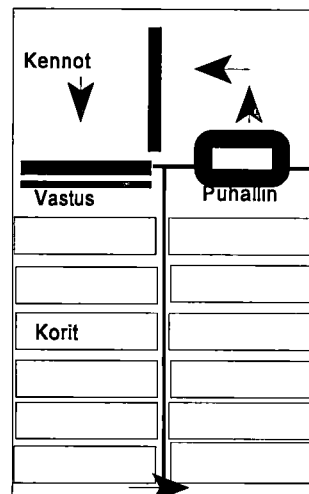
Kaappikuivurit

Toinen kokeissa käytetty kaappikuivuri, KK1 (Dryfinn Y250), toimi lauhdutinkuivausperiaatteella. Kuivausilmasta poistettiin kosteutta kierrättämällä ilma jäähdytys- ja lämmityskennostojen läpi. Jäähdytyskennostoon tiivistyvä vesi poistui putkea pitkin kuivurin ulkopuolelle. Jäähdytyskompressorin teho oli 1,5 kW. Kuivausilmaa kierrätettiin kaapin sisällä 0,3 kW:n tehoisella puhaltimella. Ilmankierron alussa oli 1 kW:n tehoinen lämmitysvastus, jolla kierrätettävä ilma lämmitettiin haluttuun lämpötilaan. Lämmönsäätö tapahtui säätimellä, jolla lämpötila voitiin valita asteen tarkkuudella. Liikalämmön poistamiseen oli kuivauskaapin sivulla poistopuhallin. Kuivatavia yrtejä varten kaapissa oli 12 reikäpohjaista muovista koria (60 cm · 40 cm · 14 cm). Korien yhteistilavuus oli 300 l ja niihin sopii 20 - 50 kg tuoreita yrtejä. (Kuva 2)

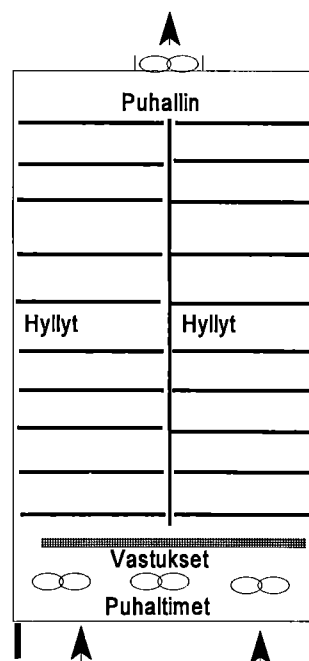
Toisena kaappikuivurina (KK2) oli lämminilmakuivuri (Iso Orakas), jossa peltipintaisen kaapin alaosaan oli neljä lämmitysvastusta, yhteensä 6 kW, ja viisi puhallinta, yhteensä 165 W. Puhallimet olivat avoimessa tilassa, jossa ilma pääsi pyörteilemään.

Kuivurin KK2 puhallinten ja vastusten yläpuolella oli verkkopohja, jonka läpi ilma puhallettiin kaappiin. Kaapin yläosassa oli yksi puhallin (teho 33 W), joka poisti ilmaa kaapista. Kaapin sisäpinta ja verkkopohjaiset korit olivat alumiinia. Koreja (82 cm · 41 cm · 4 cm) oli 20 kpl ja niitä oli 10 kpl päällekkäin ja kaksi rinnakkain. (Kuva 3.) Rinnakkaisien korien välissä oli seinä. Korien yhteistilavuus oli 180 l ja niihin sopi 20- 40 kg tuoreita yrtejä. Kaapin takaseinässä korien kohdalla oli pellistä taivutettu este, jota vasten työnnettynä korit olivat sitä edempänä, mitä ylempänä ne olivat. Ilma kulki osittain korien läpi alhaalta ylös, osittain oven vieressä ylöspäin korien ohi tai niiden välissä vaakasuoraan takaseinälle ja takaseinän viertä ylös ja ulos.

Kuivurissa KK2 lämpötilan säätö tapahtui lämpövastuksien termostaatin avulla. Lisäksi lämmitystehoa voitiin rajoittaa kytkemällä lisävastukset pois kuivurin käyttökatkaisimella. Säätönupilla valittiin haluttu asetusarvo, jonka lämpötilan termostaatti pyrki pitämään.



Kuva 2. Periaatekuva kaappikuivurin KK1 rakenteesta. Ilman kiertosuunta on merkitty nuolilla.



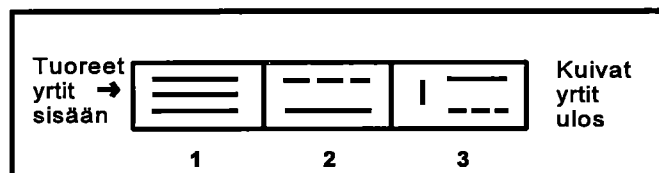
Kuva 3. Periaatekuva kaappikuivurin KK2 rakenteesta. Ilman kiertosuunta on merkitty nuolilla.

Infrapunakuivuri

Infrapunakuivuri, IPK, oli yleisrakenteeltaan kolmesta kammio-osasta yhteenliitetty tunneli, jonka sisälle kuivattavat yrtit laitettiin yhdeksässä teräsverkkokorissa (korin mitat 90 · 60 · 10 cm). Korien yhteistilavuus oli 490 l ja niihin mahtui 10 - 30 kg tuoreita yrttejä. Kuivurin molemmat päädyt olivat avattavia, minkä lisäksi keskimmäisen kammion toisella sivulla oli huoltohuukku. Kuivuri oli runkorakenteeltaan puuta, joka oli sisäpuolelta vuorattu alumiinipellillä ja ulkopuolelta päällystetty vanerilla. Alumiininen kuivauskäytävä oli sisämitoiltaan 6 m · 1 m · 0.75 m. Kammioiden liitoskohtiin oli asennettu katosta roikkuvat 35 cm korkeat alumiinilevyt estämään kammioiden välisiä pituussuuntaisia heijastumisia. Kuivurissa oli kuljetinrata, jolla korit saatiin siirrettyä ulos kuivurista. Kuljettimen siirtonopeus oli portaattomasti säädettävissä.

Kuivaustunnelissa oli 12 puhallinta kuljetusradan kummallakin puolella, jotka imivät tuloilman kuivattavan yrttikerroksen läpi. Puhaltimien yhteenlaskettu teho oli 456 W ja niiden tuotto oli noin 580 m³/h. Ilman tuloaukot (80 cm · 10 cm), joita oli yhdeksän, olivat kuivaustunnelin katossa. Poistoaukot olivat puolestaan mitoiltaan 40 cm · 23 cm, ja ne sijaitsivat joka kammiossa keskellä pohjalevyä.

Jokaisessa kammiossa oli käytetty hieman toisistaan poikkeavaa infrapunaelementtien sijoitustapaa. Kuvassa 4 on esitetty koko kuivurin lamppujen sijoitusjärjestely ylhäältä päin katsottuna. Lamput roikkuivat 100 mm:n päässä katosta. Käytössä oli kolmentyyppisiä elementtejä: 500, 1000 ja 1500 mm pitkiä, jotka erottuvat kuvasta pituuksiensa perusteella. Mitä pidemmät elementit, sitä suurempi aallonpituusalue niillä oli. Pisimmillä lampuilla säteilyalue ulottui aina 4 - 5 μm, kun taas lyhimmillä se jäi alle 2 μm. Säteilijöiden jaksotus oli säädettävissä erikseen kammioille yksi ja kammioille kaksi ja kolme, joita käsiteltiin yhtenä kokonaisuutena. Jaksotuksessa oli mahdollista säätää infrapunalamppujen toiminta- ja tauko-aikaa sekä kokonaistoiminta-aikaa. Säteilijöiden nimellisteho kammiossa yksi oli 13 kW ja kammiossa kaksi ja kolme 9 kW.



Kuva 4. Periaatekuva infrapunaelementtien sijoituksesta infrapunakuivuriin.

KOEKASVIT

Kuivureiden suorituskyky mitattiin kesällä 1996 kuivaamalla 12 erilaista yrttiä. Kaappikuivureissa kuivattiin kummassakin 27 erää ja lavakuivureilla 17 erää kummallakin. Nokkosta, tilliä ja persiljaa oli tarjolla enemmän kuin ehdittiin kuivata. Koivunlehtiä, nukulaa, puolalaista ja bulgariaalaista minttua, keto-orvokkia, anisiisoppia, perillaa, hurtanminttua ja väinönputkea riitti kuivattavaksi vain 2 - 3 erää kuivuria kohti. Yhteensä kuivattiin yli 1600 kg kasveja, joista kaappikuivureilla noin 600 kg kummallakin ja kahdella pienellä lavakuivurilla noin 200 kg kummallakin.

Kesällä 1997 aikana kuivattiin piparminttua, anisiisoppia, persiljaa sekä väinönputken lehtiä ja juuria. Kasvit kuivattiin silputtuina ja niistä seulottiin kuivauksen jälkeen lehdet ja varret erikseen. Väinönputken juurista seulottiin puolestaan hieno ja karkea silppu erikseen. Tarkoituksena oli tehdä kokeita myös tillillä, mutta kuivuri valmistui tillinkorjuuta ajatellen hieman liian myöhään. Infrapunakuivurilla kuivattiin yhteensä 29 erää.

MITTAUSJÄRJESTELYT

Koekuivauksilla pyrittiin selvittämään tutkittavien kasvien kuivumista, eri tekijöiden vaikutusta kuivumisprosessiin sekä prosessiin kulutetun energian määrää. Kuivurit oli ripustettu punnitusantureille, joten veden poistumisesta johtuva painonmuutos nähtiin heti. Ympäristön ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta mitattiin jatkuvasti. Lavakuivureissa mitattiin sisäänmenevän ilman lämpötila lisälämmönlähteen jälkeen sekä poistoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus. Kaappikuivurista KK2 mitattiin myös poistoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus. Kuivureiden jokaisen kuivausjakson energiankulutus mitattiin kilowattituntimittareilla. Lisäksi kuivauskaappien sisälämpötiloista tehtiin mittauksia. Kuivattavan materiaalin alku- ja loppupaino varmistettiin punnitsemalla se tarkkuusvaa'alla. Materiaalin alku- ja loppukosteus määritettiin kuivausuunin avulla.

Ennen infrapunakuivurilla tehtyjä koekuivauksia päätettiin yrttikerroksen paksaus, infrapunalamppujen toiminta- ja taukoajkojen jaksotus sekä kokonaiskuivausaika. Kaikki korit täytettiin samaan kerrospaksuuteen ja asetettiin paikoilleen kuivuriin. Lopuksi sopivien asetusarvojen löydyttyä tehtiin kuivauksen toistettavuuden varmistamiseksi kerranteita siten, että jokaista kasvia kuivattiin vähintään kaksi onnistunutta koetta.

Jokaisesta kuivauserästä otettiin näytteet alku- ja loppukosteuden määrittämistä varten. Lisäksi kuivauseristä otettiin näytteet, jotka kuivattiin laboratoriokäyttöön tarkoitettussa kuivauskaapissa 40 asteessa. Tästä näytteestä ja kuivureista kuivauksen jälkeen otetuista näytteistä määritettiin aromiöljypitoisuudet tislamalla.

TULOKSET

Koekuivureiden mitatut tekniset ominaisuudet on ilmoitettu taulukossa 3. Kaappikuivureissa kuivattavien yrttien kerrospaksuus on niiden korien yhteenlaskettu kerrospaksuus, joiden aiheuttama vastus puhaltimien oli voitettava. Taulukossa kompressorin kuivausilmaa lämmittävä muunnettu teho on laskettu kertomalla kompressorin ottoteho lämpökertoimella ja puhallusteho on laskettu kertomalla puhaltimen ottoteho puhaltimen hyötysuhteella.

Lavakuivureissa yrttien kuivausaika venyi kohtuuttoman pitkäksi, kun lisälämpöä ei käytetty. Infrapunakuivurin kuivausnopeus oli suurin mitatuista kuivureista. Kesällä 1996 mitatuissa kuivureissa veden poistumisnopeus jäi keskimäärin alle yhteen haihdutettuun vesikiloon tunnissa, kun taas infrapunakuivurilla päästiin yli kolmeen vesikiloon tunnissa. Infrapunakuivurissa veden poistumisnopeus oli siis lähes nelinkertainen kaappikuivureihin verrattuna ja noin kymmenkertainen lavakuivureihin verrattuna, vaikka lavakuivureissa

käytettiin lisälämpöä. Infrapunakuivurilla kuivaus vei kuitenkin melko paljon energiaa, joskin monissa kokeissa ulkoiset olosuhteet (alhainen lämpötila ja korkea ilman suhteellinen kosteus) lisäsivät energiankulutusta. Kuivauslämpötila oli infrapunakuivurissa selvästi tasaisempi kuin kaappikuivureissa, sen jälkeen kun lamppujen jaksotus oli säädetty sopivaksi. Taulukossa 4. on esitetty kuivureiden kuivausominaisuudet kaikkien kokeiden keskiarvona.

Taulukko 3. Teknisiä tietoja koekuivureista.

LK = lavakuivuri, KK = kaappikuivuri, IPK = infrapunakuivuri.

Kuivuri		LK1	LK2	KK1	KK2	IPK
Vetoisuus	kg	16,1	16,1	31,7	31,7	13,5
Pohjan ala	m ²	0,36	0,36	0,24	0,66	4,86
Yhteenlaskettu kerrospaksuus	cm	30	30	88	32	3
Lämmitysvastus	kW	2,0	2,0	1,0	6,0	31
+kompressori	kW	-	-	1,5	-	-
+puhaltimet	kW	0,07	0,03	0,30	6 x 0,03	24 x 0,02
-kokonaisteho	kW	2,07	2,03	2,80	6,20	31,5
Muunnettu kokonaisteho	kW	2,07	2,03	6,60	6,20	31,5
..	W/kg	128	126	209	196	2333
Liitäntäteho	kW	-	-	3,5	6,5	32
Puhallusteho	W	14,2	4,3	91,2	30,0	68,4
..	W/kg	0,88	0,27	2,87	0,94	5,07
..	W/m ²	39,4	12,1	380	44,4	14,1
Tilavuusvirta	m ³ /h	250	180	640	506	577
..	m ³ /h·m ²	694	500	2667	757	119
Ilman nopeus kuivauskerroksessa	m/s	0,19	0,14	0,74	0,21	0,03

Taulukko 4. Mitattu veden poistumisnopeus ja energian kulutus eri kuivureissa. Erän kuivausaika on laskettu olettaen, että alkukosteus on 80 %. Kuivauskustannus on laskettu olettaen, että satokaudella kuivataan noin 1000 kg tuoreita yrttejä. LK = lavakuivuri, KK = kaappikuivuri, IPK = infrapunakuivuri.

Kuivuri		LK1	LK2	KK1	KK2	IPK
Veden poistumisnopeus	kg H ₂ O/h	0,285	0,321	0,872	0,861	3,26
Energian kulutus	kWh/kg H ₂ O	2,45	3,09	2,53	6,85	4,60
Erän kuivausaika	h	43,9	39,0	28,3	28,6	3,2
Hinta	mk	4 000	4 000	19 000	16 500	115 900
Kustannukset kiinteät	mk	560	560	2 660	2 310	16 230
energia		1 040	1 310	1 070	2 900	1 950
yhteensä		1 600	1 870	3 730	5 210	18 180
Kuivan yrtin hinta	mk/kg	45 p/kWh	13,8	16,1	32,1	44,8
kun energian hinta on	16,8 p/kWh	8,2	9,0	26,3	29,2	146,0
Viikossa voi kuivata	kg	50	65	160	160	530

Kuivauskokeiden keskeisenä tavoitteena oli yrttien nopea ja tasainen kuivuminen. Näin kerrospaksuus infrapunakuivurissa saattoi kokeissa olla energian käyttöä ja kuivausnopeutta ajatellen liian pieni. Kasvikohtaisesti kerrospaksuutta tarkentamalla kuivausta voitaisiin todennäköisesti vielä tehostaa. Tähän viittaa väinönputkella tehty koe, jossa koria kohti käytettiin 2,5 kg silputtua väinönputken juurta tavallisesti käytetyn 1,5 kg asemesta. Kun koria kohti oli 2,5 kg yrttiä, energiankulutus oli 3,3 kWh/kg H₂O ja kuivausnopeus oli 4,6 kg H₂O/h, joten kuivausnopeutta voisi lisätä kasvikohtaisella optimoinnilla ehkä noin 30 %, jolloin energiankulutus pienenesi vastaavasti.

Kaappikuivureissa ongelmana oli yrttien epätasainen kuivuminen. Lämmönlähteen lähellä olevissa koreissa yrtit kuivuvat selvästi nopeammin kuin ilmankierron loppupuolella olevissa koreissa. Kuivumisen epätasaisuutta lisäsi myös se, että ilmaa pääsi kulkemaan korien ohi. Ohivirtaus oli suurinta, jos kasvit kuivuessaan muodostivat tiiviin kerroksen korin pohjalle. Monesti lämmönlähteen lähellä olevissa koreissa yrtit olivat jo kuivia, kun muissa koreissa korin keskellä olevat yrtit olivat vielä täysin märkiä. Yrtit kuivuisivat tasaisemmin, jos korien järjestys kuivurin sisällä vaihdettaisiin päinvastaiseksi parin tunnin kuluttua kuivauksen aloituksesta, mikä kuitenkin lisäisi kuivaukseen tarvittavaa työtä.

Kaappikuivureissa lämpötilan säätö oli varsin karkea. Lämpötila vaihteli kaapin eri kohdissa ja lämmönlähteen lähellä lämpötila nousi kuivattaessa helposti liian korkeaksi, mitä arat yrtit eivät kestä.

Energiataloudellisesti kaappikuivurin KK2 rakenne oli huono. Kaapissa oli viisi tulopuhallinta ja yksi poistopuhallin. Tämän takia kaappiin syntyi tulopuhaltimille vastapainetta, ja osa lämmitetystä ilmasta kiertyi pohjan kautta pois kuivurista sitomatta itseensä lainkaan yrteistä poistuvaa kosteutta. Kaapin taloudellinen toiminta vaatisi tulo- ja poistopuhaltimien mitoittamista paremmin toisilleen sopiviksi sekä pohjan sulkemista puhaltimien ympäriltä. Kuivureiden kokonaiskustannuksia laskettaessa on energiakustannusten lisäksi otettu huomioon hankintahinnasta aiheutuva kiinteä kustannus. Infrapunakuivurin korkea hankintahinta ja melko korkeat energiakustannukset tekevät siitä muita kuivausmuotoja selvästi kalliimman. Toisaalta infrapunakuivurin kapasiteetti on merkittävästi parempi kuin muiden kuivureiden. Nykyisellään infrapunakuivurin käyttö on perusteltua, jos kuivaustarve on vähintään 3000 kg tuoretta yrttiä vuodessa.

Aromiöljypitoisuudet

Havainnollisemman kuvan saamiseksi aromiöljypitoisuudet on muutettu suhteellisiksi arvoiksi siten, että laboratorion kuivauskaapissa 40 asteen lämpötilassa kuivattujen yrttien aromiöljypitoisuus on saanut arvon 100.

Kuivausilman lämpötila ylitti kuivureissa KK1 ja KK2 osassa hyllyjä asetetun lämpötilan noin 15

Taulukko 5. Yrttien suhteellinen aromiöljypitoisuus. Laboratorion kuivauskaapissa 40 asteen lämpötilassa kuivattujen yrttien aromiöljypitoisuus = 100.

LK = lavakuivuri, KK = kaappikuivuri, IPK = infrapunakuivuri.

Kuivuri	LK1	LK2	KK1	KK2	IPK
Anisiiso	94	92	69	62	87
Persilja	65	70	83	85	62
Piparminttu	87	82	82	87	100
Väinönputki lehti	76	76	76	76	100
juuri	-	-	-	-	73
Tilli	78	62	65	57	-

asteella. Jotta aromiöljyjen haihtuminen pysyisi kohtuullisena, voi asetuslämpötila näissä kuivureissa olla enintään 25 - 35 °C.

Lavakuivureissa öljyhäviöt olivat pienet nopeasti kuivuvasta anis- iisopista, mutta olivat suuremmat kuin kaappikuivureissa hitaasti kuivuvasta persiljasta. Täten hitaasti kuivuvista kasveista esimerkiksi kolminkertaiseksi pidentynyt kuivausaika saattaa haihduttaa öljyjä enemmän kuin korkeassa lämpötilassa tapahtunut lyhytaikainen kuivaus.

Bakteriologiset tulokset

Bakteripitoisuudet kaappikuivureista KK1 ja KK2 otetuissa näytteissä olivat samaa tasoa kuin laboratorion kuivauskaapissa kuivatuissa näytteissä. Lavakuivureissa (LK1 ja LK2) bakteerimäärät olivat suuremmat kuin kaappikuivureissa. Kaappikuivurinäytteissä todetut verraten korkeat ($5 \cdot 10^6$) bakteeripitoisuudet johtuivat sadonkorjuuseen ja esikäsittelyyn liittyvistä ongelmista. Infrapunakuivurissa kuivattujen yrttien bakteeripitoisuudet olivat samaa tasoa kuin kasvustonäytteiden bakteeripitoisuudet.

LAVAKUIVURIN MITOITUSOHJEITA

Nämä yrttikuvurin mitoitusohjeet on laadittu kuivauskokeista saatujen mittaustulosten ja käytännön kokemusten perusteella.

Tekniset tiedot

Aloitettaessa kuivurin suunnittelu tarvitaan määrätyt perustiedot, kuten kerralla kuivattavien yrttien määrä ja vuotuinen yrttimäärä. Kerralla kuivattavien yrttien määrä riippuu sadonkorjuun kapasiteetista. Kuivuri on mitoittettava siten, että päivän aikana korjattavat yrtit saadaan suoraan esikäsittelystä kuivuriin.

Yrttien tasainen ja nopea kuivuminen edellyttää, että kuivattavat yrtit eivät muodosta liian paksua kerrosta kuivuriin. Jos kerrospaksuus on 30 cm, voidaan neliöllä kuivata 45 kg tuoretta yrttiä. Jotta ilman nopeus yrttikerroksessa olisi 0,25 - 0,3 m/s, ilman tilavuusvirran on oltava 985 m³/h kuivurin pinta-alan neliometriä kohti, kun vastapaine on 400 Pa.

Yrttikerroksen aiheuttama vastapaine on 100 - 150 Pa sekä kuivurin kanavien ja verkkoritilän aiheuttama vastapaine 250 - 300 Pa.

Jos puhaltimen valinnan perusteena käytetään puhallustehoa, niin lavakuivurissa tarvitaan puhallustehoa noin 2,8 W kuivattavaa yrttikiloa kohti eli 127 W/m². Puhallusteho lasketaan kertomalla ottoteho puhaltimen hyötysuhteella. Pienten puhaltimien hyötysuhde on 0,2 - 0,3 ja suurten puhaltimien, joiden ottoteho on yli 5 kW, 0,5.

Kokonaistehon mitoituksen määrää se, kuinka nopeasti yrtit pitää kuivata. Jos vaaditaan, että yrtit pitää kuivata alle vuorokaudessa säilytyskelpoisiksi, niin lämmitystehoa tarvitaan noin 200 W tuoretta yrttikiloa kohden eli 9 kW kuivurin pinta-alan neliötä kohti. Tällä kokonaisteholla kuivausilman lämpötila voidaan pitää 35 - 40 C-asteisena, kun vuorokauden alin lämpötila on noin 5 °C.

Lämmittimen teho saadaan vähentämällä kokonaistehosta puhallinteho. Näin lämmittimen tehoksi neliötä kohti saadaan $8,5 \text{ kW}$ ($9 \text{ kW} - (0,127 \text{ kW}/0,3) = 8,5 \text{ kW}$). Lämmitystapa valitaan liitântätehon, energian kulutuksen tai kokonaiskustannusten perusteella. Lämmityslaitteen tehon lisäksi kuivaukseen voidaan käyttää likimain kaikki kuivurin sähköverkosta ottama teho, kun puhaltimet ja lauhdekuivurissa kompressori sijoitetaan kuivuriin menevään ilmavirtaan. Kompressorin kuivausilmaa lämmittävä muunneltu teho saadaan kertomalla kompressorin ottoteho lämpökertoimella, jonka arvona laskelmissa voi käyttää 3,5.

Ainakin $1,5 \text{ kW}$:n puhallinkokoon asti kuivausilman lämpötila kannattaa säätää ohjaamalla puhaltimen tilavuusvirtaa portaattomasti kuivausilman lämpötilan mukaan. Säätimellä voidaan lisäksi lämmitysvastuksen tehoa. Lämmitysvastukseksi valitaan sellainen, jonka teho voidaan vähintään puolittaa.

Esimerkkilaskelma lavakuivurin mitoituksesta

Oletetaan, että päivässä korjataan 2000 kg tuoreita yrtejä, joten tarvitaan kuivuri, jonka pinta-ala on 45 m^2 ($2000 \text{ kg}/45 \text{ kg/m}^2$). Tarvittava ilmamäärä on $44325 \text{ m}^3/\text{h}$ ($45 \text{ m}^2 \cdot 985 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$). Tämä ilman tilavuusvirta edellyttää, että puhallusteho on vähintään $5,6 \text{ kW}$ ($2,8 \text{ W/kg} \cdot 2000 \text{ kg}$). Jos puhaltimen hyötysuhde on 0,5 niin tarvitaan puhallin, jonka ottoteho on $11,2 \text{ kW}$ ($5,6 \text{ kW}/0,5$).

Jos yrtit halutaan vuorokaudessa kuiviksi, niin kokonaistehoa tarvitaan 405 kW ($9 \text{ kW/m}^2 \cdot 45 \text{ m}^2$). Kun puhaltimen teho on $11,2 \text{ kW}$, niin tarvitaan lämmityslaite, jonka teho on $393,8 \text{ kW}$ ($405 \text{ kW} - 11,2 \text{ kW}$). Tällaisella kuivurilla yrttien kuivauksen energiakustannus on vähintään $4,68 \text{ mk}$ yrttikiloa kohti, jos polttoöljyn hinta on $1,8 \text{ mk/l}$ ja sähkön hinta $0,45 \text{ mk/kWh}$.

Lavakuivurin käyttöä koskevia ohjeita

Vuonna 1995 yrttien kuivausta mitattiin myös tiloilla. Yrttierien kuivausaika vaihteli 16 - 60 tuntiin ja energiakustannus kuivattua yrttikiloa kohti oli pienimmillään 2 mk 40 p . Suurin mitattu energiakustannus oli 17 mk kuivattua yrttikiloa kohti. Koska kuivauksen energiakustannus voi nousta varsin suureksi, nämä lavakuivurin käyttöohjeet on laadittu niin, että tavoitteena on energiankäytöltään tehokas ja edullinen kuivaus. Ohjeet perustuvat kesällä 1995 tiloilla tehtyihin mittauksiin ja kuivureilla vuosina 1995 - 1997 tehtyihin kokeisiin.

Ensimmäinen puoli vuorokautta puhallinta kannattaa käyttää täydellä teholla, sillä aluksi kosteuden poistuminen on nopeata. Suuri puhallinteho varmistaa, että ilmamäärä riittää kosteuden poistamiseen eikä kuivumiskerrokseen pääsee syntymään kastepistettä. Jos kuivattavan kasvin alkukosteus on korkea ja olosuhteet ovat kuivat ja lämpimät, kannattaa kasvien pintakosteus puhaltaa pois ilman lisälämpöä.

Alkukuivauksen jälkeen on puhallintehoa rajoitettava. Näin saadaan lämpötila kohoamaan lämmitystehon pysyessä samana. Ohjeina puhallintehon rajoittamisessa voidaan pitää seuraavia seikkoja:

- Poistoilman suhteellinen kosteus ei saa nousta yli 90 prosentin. Tällä varmistetaan, että kosteus ei tiivisty uudestaan yrttikerrokseen.

- Toisaalta korkeahko suhteellinen kosteus kertoo, että yrteistä lähtevä kosteus ehtii sitoutua kuivausilmaan. Kuivauksen lopulla ilman suhteellinen kosteus saa olla enintään 55 %, jotta yrtit kuivuisivat 10 % loppukosteuteen.
- Lämmitysteho ja ilmamäärä on säädettävä siten, että kasvikohtainen suurin sallittu kuivauslämpötila ei ylity.
- Puhallintehon rajoittamisen jälkeenkin on ilmamäärän riitettävä kuivurin koko pohjapinta-alalle. Ilman tasainen jako on kuivurin tehokkaan toiminnan ehdoton edellytys.

Kuivureissa, joissa kerrospaksuus on yli kymmenen senttiä, yrtit kuivuvat nopeammin pohjalla kuin pinnalla. Tämä johtuu kuivausilman jäähtymisestä ja kyllästymisestä sen kulkiessa yrttikerroksen läpi. Suurten kerrospaksuuksien kuivumisessa on ilmamäärän oltava riittävä, jottei kerroksen yläosaan pääse syntymään kastepistettä, joka pitää pintakerroksen märkänä. Jos ensisijaisena tavoitteena on saada yrtit nopeasti säilytyskelpoisiksi, kuivuri kannattaa säätää siten, että kuivausilman lämpötila on koko ajan lähellä kasvin kestämiä maksimilämpöä ja ilmamäärä sellainen, että poistoilman suhteellinen kosteus on alle 50 % pääosan kuivausajasta.

YHTEENVETO

Lavakuivureissa yrttien kuivausaika venyi kohtuuttoman pitkäksi, kun lisälämpöä ei käytetty. Infrapunakuivurissa veden poistumisnopeus oli nelinkertainen kaappikuivureihin verrattuna ja noin kymmenkertainen lavakuivureihin verrattuna, vaikka lavakuivureissa käytettiin lisälämpöä. Kuivausajalla on merkitystä, sillä hitaasti kuivuvista kasveista esimerkiksi kolminkertaiseksi pidentynyt kuivausaika haihdutti öljyä enemmän kuin korkeassa lämpötilassa tapahtunut lyhytaikainen kuivaus.

Kuivuri on mitoitettava siten, että päivän aikana korjattavat yrtit saadaan suoraan esikäsitteilyä kuivuriin, lisäksi yrttien tasainen ja nopea kuivuminen edellyttää, että kuivattavat yrtit eivät muodosta yli 30 cm paksua kerrosta kuivuriin. Näin neliöllä voidaan kuivata 45 kg tuoretta yrttiä. Sopiva ilman nopeus yrttikerroksessa on 0,25 - 0,3 m/s, joten ilman tilavuusvirran on oltava 985 m³/h kuivurin pinta-alan neliometriä kohti, kun vastapaine on 400 Pa.

Jos vaaditaan, että yrtit pitää kuivata alle vuorokaudessa säilytyskelpoisiksi, niin lämmitystehoa tarvitaan noin 200 W tuoretta yrttikiloa kohden eli 9 kW kuivurin pinta-alan neliötä kohti. Tällä kokonaisteholla kuivausilman lämpötila voidaan pitää 35 - 40 C-asteisena, kun vuorokauden alin lämpötila on noin 5 °C.

KIRJALLISUUS

DALFSEN, K.B., BAILEY, W.G. ja GUO, Y., 1992 Influence of airflow, loading rates and size sorting on the drying of American ginseng. Kirjassa: Drying '92, Mujumdar, A.S. (toim.), Elsevier Science publisher B.V. s. 1370-1378.

DEANS, S.G. ja SVOBODA, K. P., 1992. Effect of drying regime on volatile oli and microflora of aromatic plants. Acta Hort. 306: 450-452.

DEANS, S.G., SVOBODA, K. P. ja BARTLETT, M.C., 1991. Effect of microwave oven and warm air drying on the microflora and volatile oil profile of culinary herbs. J. Ess. Oil Res. 3: 341-347.

MÜLLER, J. 1992. Trocknung von Arzneipflanzen mit Solarenergie. Hohenheimer Arbeiten. Eugen Ulmer GmbH. Hohenheim.

PÄÄKKÖNEN, K., MALMSTEN, T. ja HYVÖNEN, L., 1990a. Drying, packaging and storage effects on quality of dill (*Anethum graveolens* L.). J. Food Sci. 54(6): 1485-1487, 1497.

PÄÄKKÖNEN, K., MALMSTEN, T. ja HYVÖNEN, L., 1990b. Drying, packaging and storage effects on quality of basil, marjoram and wild marjoram. J. Food Sci. 55(5) 1374-1377.

RUST, H., 1991. Trocknungsanlage Nöbdenitz. Drogenrort 4(5): 55-63.

SHALABY, A.S., EL-GAMASY, A.M., EL-GENGAIHI, S.E. ja KHATTAB, M.D., 1988. Post harvest studies on herb and oil of *Mentha arvensis* L. Egypt. J. Hort. 15(2): 213-224.

VAKOLAn tutkimuslustoja

47. Lannoitteenlevityksen tasaisuus. 1987.
48. Jauhituksen 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. Syyskylvöä 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. Varattu
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 parnerottimet.
- 4/1996 Perustamistapojen hintavertailu.
- 5/1997 Havaintoja kylmäpihattojen lannankäsittelystä.
- 6/1997 Kalustohallista toimiva sikala

VAKOLAn tiedotteita

- 49/91 Betonit ja muovit navetan lattiamateriaaleina
- 50/91 Pölyn ja roskien talteenotto lämminilmakuivaamossa
- 51/92 Viherkesannon perustaminen ja hoito
- 52/92 Kaasut ja pöly eläinsuojien ilmanvaihdossa
- 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 jätahuolto
- 59/93 Maatilanmyymälätoiminta 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 jyrskylvölannoittimista
- 67S/94 Bruksfarenheter av vältkombisåmaskiner
- 68/94 Käsikäyttöisten liekittimien käyttöominaisuuksia
- 69/95 Renkaiden vaikutus traktorin vetokykyyn ja maan tiivistymiseen
- 70/95 Hakkeen kuivaus imuilmalla
- 71/95 Klapiattiloiden 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 Yrttikuivurin suunnittelu ja käyttö

