



VAKOLA

PPA 1
03400 VIHTI
90-224 6211

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

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS 56

PETRI KAPUINEN - JORMA KARHUNEN

KOSTEIDEN PINTOJEN KOSTEUDEN- TUOTANTO NAVETOISSA

**HUMIDITY PRODUCTION FROM MOIST
SURFACES IN COW STABLES**

VIHTI 1989

ISSN 0782-0054

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS 56

PETRI KAPUINEN - JORMA KARHUNEN

**KOSTEIDEN PINTOJEN KOSTEUDEN-
TUOTANTO NAVETOISSA**

**HUMIDITY PRODUCTION FROM MOIST
SURFACES IN COW STABLES**

VIHTI 1989

Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri) KAPUINEN, Petri & KARHUNEN, Jorma	Julkaissun laji Tutkimusllostus
	Toimeksiantaja Maatilatalouden kehittämislrahasto
	Toimielimen asettamispyvm

Julkaissun nimi (myös ruotsinkielinen)

Kosteiden pintojen ja rehun kosteudentuotanto navetoissa

Julkaissun osat

Tiivistelmä

Normaaleissa navettaolosuhteissa kosteudentuotanto vesipinnoilta on noin 23 g/m²h. Parsinavetoiden kosteuslämpösuhteeksi laskettiin 397 g/kWh ja pihatoiden vastaavasti hoitotavoista riippuen 452 - 509 g/kWh ilman rakennuksen häviöitä. Vakolasta aikaisemmin annettujen normien mukaan se oli navetoissa yleensä 451 g/kWh. Ilman lisälämmitystä tullaan toimeen -20 °C ulkolämpötilaan saakka, jos kosteuslämpösuhde on alle 328 - 448 g/kWh rakennuksen 20 %:n lämpöhäviöt huomioiden. Kosteudentuotannon kaavaksi saatiin:

$$W = k_m * (10,9 + \frac{x_1}{\tau^{0,2} * x_0^{0,8}}) * 0,078 * 23,0 * v^{1,2} * \Delta p * d$$

W = kosteudentuotanto, g/m²K

Δp = kyllästymislvajaus, mbar (1 mbar = 100 Pa)

x_0 = haihduttavan pinnan alkupisteen etäisyys kostean pinnan reunasta, m

x_1 = haihduttavan pinnan loppupisteen etäisyys kostean pinnan reunasta, m

τ = kinemaattinen viskositeetti, m²/s (yleensä 14,8 * 10⁻⁶ m²/s)

v = ilman nopeus 5 mm haihduttavan pinnan yläpuolella, m/s

k_m = pinnasta riippuva kerroin kts. alla

d = pinnan leveys, m

Vesipinnalla k_m :n arvo on 1, uudella rehupinnalla noin 2,1, vasta kastuneella betonilattialla noin 2,1, vasta kastuneella rakolattialla noin 1,2.

Pihatoiden lattioiden oletettua suurempi lämmönläpäisy ei johdu oletettua suuremmasta täyttömaan kosteudesta. Sen sijaan perustusten rakenteelliset ratkaisut ovat aiheuttaneet kylmäsiltojen muodostumisen lattian, perusmuurin ja ulkoseinän liittymä kohtaan.

Avainsanat (asiasanat)

kostean pinnan kosteudentuotanto, vesipinnan kosteudentuotanto, betonipinnan kosteudentuotanto, rakolattian kosteudentuotanto, rehupinnan kosteudentuotanto, kosteudentuotannon vähentäminen navetoissa, täyttemaan kosteus, navetoiden alapohjan lämpöhäviöt

Muut tiedot

Saatavissa Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitokselta (VAKOLA), puh. (90)2246 211, telefax. (90)2246 210

Sarjan nimi ja numero Vakolan tutkimusllostus N:o 56		ISSN	ISBN
Kokonaissivumäärä	Kieli suomi	Hinta 25 mk	Luottamuksellisuus
Jakaja		Kustantaja	

ALKULAUSE

Tämä tutkimus on jatkoa viime vuonna julkaistulle tutkimukselle Pienten pihatoiden ilmanvaihdon erityisvaatimukset. Sen yhteydessä havaittiin, että tietämys kosteiden pintojen kosteudentuotannosta oli varsin puutteellinen. Lisäksi havaittiin, että pihatoiden lattioiden lämmönläpäisyn suuruus ei ollut luotettavasti laskettavissa normien perusteella. Tämän takia käynnistettiin edellä mainituja seikkoja selvittävä tutkimus, joka sai nimekseen Kosteiden pintojen kosteudentuotanto navetoissa.

Maatilahallitus myönsi tämän tutkimuksen tekemiseen vuonna 1988 67 000 mk maatilatalouden kehittämisrahastosta. Tutkimus tehtiin laboratoriomittauksena VAKOLAn sadonkäsittelyhuoneessa. Lattioiden lämmönläpäisyä koskevat selvitykset tehtiin kuitenkin kolmessa käytännön pihatossa.

Tutkimuksen valvojakunta oli sama kuin edellisessäkin tutkimuksessa, eli puheenjohtajana toimi professori Aarne Pehkonen Helsingin yliopiston maatalousteknologian laitokselta ja jäsenenä professori Osmo Kara Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitokselta sekä rakennusmestari Tuija Alakomi Maatilahallituksesta.

Tutkimuksen johtajana oli tarkastaja, DI Jorma Karhunen. Päättökija oli agr., MMK Petri Kapuinen. Suurena apuna tutkimustyössä oli vanhempi mekaanikko Jouko Hämäläinen.

Valtion maatalousteknologian laitos kiittää Maatilahallitusta, tutkimuksen valvojakuntaa ja kaikkia muita tutkimukseen onnistumista edesauttaneita, erityisesti tutkimukseen osallistuneita tiloja.

Vihdissä 8. elokuuta 1989

VALTION MAATALOUSTEKNOLOGIAN TUTKIMUSLAITOS

SISÄLLYSLUETTELO

KUVAILELLEHTI	i
ALKULAUSE	ii
SISÄLLYSLUETTELO	iii
1. JOHDANTO	1
1.1. Ongelman asettelu	1
1.2. Kosteudentuotannon haitat tuotantorakennuksessa	4
1.3. Kosteudentuotanto erilaisilta pinnoilta	5
1.3.1. Kosteudentuotantoon vaikuttavat tekijät	5
1.3.2. Kosteudentuotannon teoreettinen tausta	6
1.3.3. Kosteudentuotannon energiatalous	11
1.3.4. Reunavaikutus rakolattialla	12
1.3.5. Eläinten tuotostason vaikutus kosteuden- tuotantoon navetoissa	16
1.4. Kosteutta tuottavat pinnat ja niiden määrä pihatossa	25
1.4.1. Lypsyasemat	25
1.4.2. Rakolattiat	25
1.4.3. Erilaisten kosteiden pintojen kuivuminen	30
1.5. Eräitä ratkaisumahdollisuuksia kosteudentuotannon pienentämiseksi	31
2. MENETELMÄT	35
2.1. Tutkimuslaitteisto	35
2.1.1. Koelaitteiston kehittäminen ja toiminta	35
2.1.2. Tutkimushuone ja sen ominaisuudet	36
2.1.3. Koekammio	36
2.1.4. Haihdutusastia	37
2.1.5. Haihduttavan pinnan lämpötilan säätö	38
2.1.6. Koekammion lämpötilan säätö	38
2.1.7. Koekammion suhteellisen kosteuden säätö	39
2.1.8. Ilmavirran säätö	40
2.1.9. Haihdutetun kosteuden mittaus	40
2.2. Suoritetut kokeet	41
2.3. Käytetyn menetelmän arviointi	43

2.4. Tiedon keruun ja tietojen siirto käsittelyyn	49
2.5. Täytemaan lämmönläpäisevyyden määrittäminen	51
3. TULOKSET	54
3.1. Kosteudentuotanto erilaisilta kosteilta pinnoilta	54
3.1.1. Kosteudentuotanto vesipinnalta	54
3.1.2. Kosteudentuotanto muilta pinnoilta	55
3.1.3. Haihduttavan pinnan pituusvaikutuksen huomioon ottaminen	57
3.1.4. Kosteudentuotanto tyyneltä pinnalta	59
3.2. Pohjamaan lämmönläpäisy eräissä pihatoissa	59
3.2.1. Pohjamaan lämmönläpäisy pihatossa numero 1	59
3.2.2. Pohjamaan lämmönläpäisy pihatossa numero 2	62
3.2.3. Pohjamaan lämmönläpäisy pihatossa numero 3	65
4. TULOSTEN TARKASTELU	69
4.1. Saatujen tulosten luotettavuus ja soveltamisalue	69
4.2. Kosteudentuotannon laskeminen karjarakennuksissa	71
4.3. Ilmanvaihdon toimintamahdollisuudet saatujen tulosten perusteella	73
4.4. Vaatimukset rakenteellisille ratkaisuille ja toiminnalliselle suunnittelulle	74
4.5. Ilmanvaihdossa huomioon otettavat seikat	75
5. TIIVISTELMÄ	77
6. SAMMANFATTNING	79
7. CONCLUSIONS	81
8. LÄHDELUETTELO	83
LIITTEET	

1. JOHDANTO

1.1. Ongelman asettelu

Minimi-ilmanvaihdon selvittämiseksi on selvitettävä eläinten kosteudentuotannon lisäksi myös muista lähteistä navetta-ilmaan syntyvän kosteuden määrä. Käytännössä tämä merkitsee kosteiden pintojen kosteudentuotannon selvittämistä. Kosteita pintoja ovat tapauksesta riippuen käytävät, rakolattia, kiinteälattiainen lantakäytävä, lypsyaseman lattia, ruokintapöytä ja rehu. Joissain tapauksissa saattavat myös seinät olla puutteellisesta ilmanvaihdosta johtuen kosteita pintoja.

Tähän asti pihatot ovat olleet varsin harvinaisia ratkaisuja. Kuitenkin 80 -luvulla niitä on alettu rakentaa yhä enenevässä määrin. Tietyillä alueilla, esimerkiksi Ylivieskan maatalouspiirissä niiden rakentamisen osuus ylittää jo parsinavetoiden määrän. Kun navetan olosuhteet, joihin pyritään, on määritelty suhteellisen tarkasti, ja niihin on myös päästy, on parsinavetoiden osalta päästy riittävään tarkkuuteen kokonaiskosteudentuotannossa lisäämällä eläinten kosteudentuotantoon tietty prosenttikeruus. Menettelyssä on kaksi puutetta. Ensinnäkin lypsylehmien kosteudentuotanto muuttuu niiden tuotostason mukaan, ja toiseksi lehmien vaatima lattia-ala pysyy samana eläinten tuotostasosta riippumatta ja siten myös lattioilta tapahtuva kosteudentuotanto eläinten tuotostasosta riippumatta. Lypsylehmien kosteudentuotanto riippuu siten niiden tuotannon ja ylläpidon vaatimasta energiasta ja toisaalta niiden vaatimasta lattialan tarpeesta, joka on suoraan verrannollinen eläinten painoon. Lämpötilan noustessa 10 °C:sta 15 °C:een ja suhteellisen kosteuden ollessa 85 % eläinten kosteudentuotanto nousee 11,9 % (STRØM 1978 s. 6 - 15), kun vastaavasti kosteiden pintojen kosteudentuotanto nousee 39,6 % (BENNINGER 1979 s. 1).

Rakennuksen toiminnallisen suunnittelun kannalta on näin ollen tärkeää selvittää yksittäisten kosteutta tuottavien pintojen kosteudentuotanto ja sen minimointi erikseen, jotta minimi-

ilmanvaihto voidaan saada mahdollisimman pieneksi tavoitteena suhteellisen kosteuden tason laskeminen ja jotta lisälämmitystä ei tarvita lyhyitä huippupakkaskausia lukuunottamatta. Jos lypsylehmien kosteudentuotantoon tehdään prosentuaalinen korotus, se tulee liittää eläimen painosta riippuvaan osaan, eikä tiineysaikaan ja maidontuotannon määrään liittyvään osaan. Tämäkin tapa antaa virheellisen tuloksen, koska kosteudentuotanto kosteilta pinnoilta kasvaa nopeammin lämpötilan kasvaessa kuin eläinten kosteudentuotanto ja riippuu lisäksi suhteellisesta kosteudesta, pinnan lämpötilasta ja ilman nopeudesta.

Lypsylehmien lämmöntuotanto Q_e on (STRØM 1978 s. 6):

$$Q_e = f_t * (Q_y + Q_m + Q_t) \quad (1)$$

jossa Q_e = lypsylehmien lämmöntuotanto, W
total heat production by animals, W
 $Q_y = 5,6 * m^{0,75}$, W
 $Q_m = 22 * m_m$, W
 $Q_t = 1,6 * 10^{-5} * t_t$, W
 t_t = tiineysaika, vrk
duration of pregnancy, days
 $f_t = 4 * 10^{-5} * (20 - t_s)^3 + 1$
 t_s = sisälämpötila, °C
inside temperature, °C
 m = eläimen massa, kg
weight of animal, kg
 m_m = maidontuotos vuorokaudessa, kg/d
milk production per day, kg/d

Sidotun lämmön osuus (L_e) edellä olevasta kokonaislämmöstä saadaan kaavalla (STRØM 1978 s. 13):

$$L_e = 0,2 + 1,85 * 10^{-7} * (t_s + 10)^4 \quad (2)$$

jossa L_e = sidotun lämmön osuus
portion of latent heat

Tämä on ainoastaan se osa sidotusta lämmöstä, joka tulee eläimistä. Tämän lisäksi on otettava huomioon sidotun lämmön osuuden kasvu kosteilta pinnoilta tapahtuvan kosteudentuotannon takia. Sen yhtälö on kuitenkin tämän tutkimuksen kannalta vielä tuntematon. Se on funktio tietyistä tekijöistä, jotka seuraavassa esitetään (BENNINGER 1979 s. 1, ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 2,

Shiba ja Ueda Ref. ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 3 sekä Yamamoto Ref. ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 8).

$$L_k = f(\Sigma(k_m, v, p, A, Q_e)) \quad (3)$$

jossa L_k = sidotun lämmön osuuden kasvu kosteilta pinnoilta tapahtuvan kosteudentuotannon takia
addition of latent heat by humidity production from humid surfaces
 k_m = pinnasta riippuva kerroin (0,75 - 1)
surface dependent factor
 v = ilman nopeus pintojen läheisyydessä, m/s
speed of airflow near by surfaces, m/s
 p = kyllästysvajaus, mbar
saturation deficiency, mbar
 A = kosteiden pintojen ala, m²
humid surface area, m²
 Q_e = eläinten lämmöntuotanto, W
total heat production by animals, W

Sidotun lämmön osuus saadaan, kun lasketaan yhteen eläinten sidotun lämmön osuus (L_e) ja kosteiden pintojen aiheuttama lisäys sidotun lämmön osuuteen (L_k).

$$L = L_e + L_k \quad (4)$$

L = sidotun lämmön osuus
portion of latent heat
 L_e = eläinten sidotun lämmön osuus
portion of latent heat from animals
 L_k = kosteiden pintojen aiheuttama lisäys sidotun lämmön osuuteen
addition to portion of latent heat by humidity production from humid surfaces

Mikäli rakennuksessa on lisäksi lisälämmittämiä, edellä mainittua sidotun lämmön osuutta (L) on korjattava kertoimella, jolloin saadaan rakennuksen sidotun lämmön kokonaisosuus.

$$L_{kok} = ((Q_1 + Q_e)/Q_e) * L \quad (5)$$

jossa L_{kok} = sidotun lämmön kokonaisosuus
total portion of latent heat
 Q_1 = lisälämmityksen teho, W
power of extra heat, W

Lämmönvaihtimen teho voidaan ottaa huomioon lisälämmityksen tehossa (Q_1), mutta tällöin on tiedettävä lämmönvaihtimen

energiahyötysuhteen funktio, joka riippuu ainakin ulko- ja sisälämpötiloista ja kosteuksista.

Tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään kosteilta pinnoilta aiheutuva sidotun lämmön osuuden funktio (L_k). Kosteudentuotanto (G) saadaan seuraavasta kaavasta:

$$G = 1,47 * L_{\text{kok}} * (Q_l + Q_e) \quad (6)$$

$$G = \text{kosteudentuotanto, g/h}$$

total moisture production in the cow stable, g/h

Kerroin 1,47 on 0,68:n käänteisluku, koska 1 g:n vettä haihduttamiseen navettalämpötiloissa vaaditaan 0,68 Wh energiaa. Pienillä lämpötilan muutoksilla ei ole suurta merkitystä.

1.2. Kosteudentuotannon haitat tuotantorakennuksessa

Klinkkeri-, lasi-, muovi-, metalli- ja muihin vastaaviin täysin veden pitäviin rakennusmateriaaleihin ei vesi eikä vesihöyry imeydy. Sen sijaan näiden pinnalle tiivistyy kosteutta, mikäli pinnan lämpötila on kastepisteen alapuolella. Tästä seuraava haitta on lähinnä esteettinen ja hygieeninen. Lisäksi metallipinnat saattavat syöpyä (BAGGE 1972 s. 1). Eläinten ja hoitajien terveyden kannalta sekä puisen rakennuksen suojelemiseksi lahoamiselta ylin sopiva raja ilman suhteelliselle kosteudelle on 80 % (HALL 1983 s. 6, TUUNANEN ja KARHUNEN 1984 s. 3 ja KAPUINEN ja KARHUNEN 1988 s. 20).

Puun kosteuden noustessa noin 20 %:iin alkaa lahottajasienien rihmasto kasvaa. Tämä tuhoaa nopeasti puupohjaiset rakenneosat. Myös fenoliliimatun koivuvanerin, kosteuden kestävästi liimatun lastulevyn ja puolikovan kuitulevyn lahoaminen alkaa, kun niiden kosteus nousee noin 20 %:iin. Puun kosteus nousee 20 %:iin, mikäli ilman suhteellinen kosteus on pitkään yli 80 % (TUUNANEN & KARHUNEN 1984 s. 3).

Eristysaineet, kuten vuori- ja lasivilla, joiden kuidut eivät sinänsä pilaannu veden vaikutuksesta, menettävät suuren osan eristyskyvystään kostuessaan, josta on seurauksena ulkoseinän pinnan lämpötilan aleneminen ja veden tiivistyminen seinänsisäpinnalle siihen liittyvine muine seurauksineen (BAGGE 1972 s. 1).

Rakenteiden lievien ilmavuotojen eristeitä kastava vaikutus voidaan estää ylläpitämällä jatkuvaa alipainetta koneellisen ilmanvaihdon avulla, mikäli eristeet on tuuletettu ulospäin (BAGGE 1972 s. 1).

1.3. Kosteudentuotanto erilaisilta pinnoilta

1.3.1. Kosteudentuotantoon vaikuttavat tekijät

Kosteudentuotantoon vaikuttavat rakennuksen kosteilla pinnoilla tapahtuva kosteudentuotanto ja rakennuksessa harjoitettava tuotanto. Kosteiden pintojen laatu, koko ja muoto, ilman lämpötila ja kosteus, lämpötilaero pinnan ja ilman välillä sekä ilman nopeus pinnan läheisyydessä ovat kosteudentuotantoon vaikuttavia tekijöitä (ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 2, BÖRJESSON 1984 s. 30, KIRSCHNER ym. 1976 s. 32). Myös ruokinta ja kuivikkeiden käyttö vaikuttavat kosteudentuotantoon. Käytettäessä kuivaruokintaa ja kuivikkeetonta lannanpoistojärjestelmää päästään pienempään kosteudentuotantoon kuin käytettäessä märkäruokintaa ja kuivikkeellista lannanpoistojärjestelmää (MOTHES ja KLINK, 1969). RANDALLin (1983 s. 456) mukaan likaiset ja kosteat lattiat lisäävät suhteellista kosteutta. Hänen esimerkkisikalassaan suhteellinen kosteus oli 72 % lattioiden ollessa puhtaat ja kuivat, ja 82 % niiden ollessa märät ja likaiset. Ilman nopeuden vaikutukset ovat vähäiset alle 0,2 m/s ilman nopeuksilla (BAGGE 1972 s. 2). Eläinsuojissa ilman nopeus on juuri näillä main, kuten eräät standardit osoittavat. TGL 29084 -normin (ANON. 1981 s. 5) mukaan ilman nopeuden päivittäinen keskiarvo ei saa ylittää 0,3 m/s, jos lämpötila on alle 10 °C, eikä 0,4 m/s, jos lämpötila on yli 12 °C. Brittiläisen standardin mukaan ilman no-

peus ei saa ylittää 0,25 m/s eläinten oleskelutasossa (ANON. 1981a s. 1). Myös PLETINCKXin ja ALIXin (1978 s. 4) mielestä ilman nopeus ei saa talvikaudella ylittää 0,25 m/s, sillä suuremmat nopeudet voivat aiheuttaa muun muassa utaretulehdusta. Koska ilman nopeudet eivät ilmastoinnin toimiessa voi merkittävästi alittaa 0,2 m/s eivätkä myöskään ylittää sitä ilman haitallista vetoa, ilmannoisuus voidaan aina muita normeja laadittaessa olettaa olevan 0,2 m/s. Edellä mainitut rajoitukset koskevat ainoastaan talvea. Kesäilmanvaihdossa ilman nopeudet voivat olla jopa 3 m/s.

1.3.2. Kosteudentuotannon teoreettinen tausta

Kirjallisuudessa on esitetty useita arvioita lattioilta ja muilta kosteilta pinnoilta syntyvästä kosteudesta. Suurin osa niistä perustuu vesihöyryn osapaine-eroon ilman ja haihduttavan pinnan välillä sekä ilman nopeuteen haihduttavan pinnan yläpuolella. Muun muassa BENNINGERin (1979 s. 1) mukaan se saadaan kaavasta:

$$\text{jossa } W = (25 + 19 * v) * (X_s - X_i) \quad (7)$$

- W = lattioilta syntyvä kosteus, g/hm²
 moisture production from floors, g/hm²
 v = ilman nopeus lattian läheisyydessä, m/s
 speed of airflow near by floors, m/s
 X_s = vesihöyryllä kyllästetyn ilman absoluuttinen kosteus pinnan lämpötilassa, g/kg
 absolute humidity of saturated air in temperature of the surface, g/kg
 X_i = ilman absoluuttinen kosteus, g/kg
 absolute humidity of air, g/kg
 (X_s - X_i) = 0,65 * Δp, g/kg, mbar

jossa

- Δp = vesihöyryn osapaine-ero, mbar
 saturation deficiency, mbar

Kyllästymisvajeen osapaine-eron ja painoeron yhteyden perusteella kaava voidaan kirjoittaa muotoon:

$$W = (16,25 + 12,35 * v) * \Delta p \quad (8)$$

Kaavassa kosteudentuotanto lasketaan, kuten aikaisemmin mainittiin, vesihöyryn osapaine-erosta ja ilman nopeudesta. Vesihöyryn osapaine-ero on otettu huomioon kaikissa kaavoissa suoraviivaisesti vaikuttavana tekijänä. Ilman nopeus sen sijaan on useimmissa tapauksissa korotettu potenssiin 0,7 - 1,0 kaavasta ja tapauksesta riippuen. Tässä mielessä edellä mainittua kaavaa voidaan pitää puutteellisena, koska käsitystä siitä, että potenssi on ykköistä (1) pienempi tukevat useat käytännön mittaukset (ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 8, 23 - 26). Kun potenssi on pienempi kuin yksi (1), kosteudentuotanto ei enää merkittävästi kasva suurilla ilman nopeuksilla.

ØKLAND ja LILLENG (1980 s. 19) ovat ottaneet huomioon tämän ja esittävät, että kosteudentuotanto kosteilta pinnoilta on seuraavan kaavan mukainen:

$$W = K_m * (5,0 + 30 * v^{0,7}) * \Delta p \quad (\text{kaava a})(9)$$

jossa K_m = pinnasta riippuva kerroin
surface dependent factor

Kaava pätee silloin kun etäisyys haihduttavan pinnan reunasta on suurempi kuin 2 - 3 m. Tekijä K_m riippuu luovuttavasta pinnasta seuraavan asetelman mukaisesti:

	$\frac{K_m}{-}$
vesi (water)	1,00
sahanpuru (saw dust)	0,90
betoni (concrete)	0,90
tuore säilörehu (fresh unwilted silage)	0,75

Sahanpuru on täysin vedellä kyllästetty, ja betoni on näkyvästi kostea. RANDALLin (1983 s. 452) mukaan käytännön mittaukset ovat osoittaneet, että todelliset arvot ovat 10 - 25 % suuremmat kuin edellä esitetystä kaavasta 9 saadaan.

Mikäli kosteutta tuottavan pinnan lämpötilaa ei tiedetä, saadaan kosteudentuotanto ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 31) mukaan kaavasta:

$$W = K_m * (4 + 20 * v^{0,72}) * \Delta p \quad (\text{kaava b})(10)$$

Tekniikan käsikirjassa esitetään yhtälö (ANON. 1975a s. 216, ANON. 1975b s. X - XII ja 634 - 635 ja ANON. 1975c s. 38):

$$W = (1455,7 / (273,15 + t)) * (4 + 2,4 * v) * \Delta p \quad (11)$$

jossa $t =$ lämpötila, °C
 $t =$ temperature, °C

Normaaleissa navettaolosuhteissa lämpötila (t) on 12 °C, jolloin kaava voidaan kirjoittaa muotoon:

$$W = (20,42 + 12,25 * v) * \Delta p \quad (12)$$

Yamamoto (Ref. ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 8) on ottanut kosteudentuotannon kaavassa huomioon myös nesteen kineettisen viskositeetin ja pinnan pituuden ilmavirran suunnassa:

$$W = (8,05 + 113,4 * v^{0,8} * (\tau/x)^{0,2}) * \Delta p \quad (13)$$

jossa $W =$ kosteudentuotanto, g/m²h
 humidity production, g/m²h
 $\tau =$ kinemaattinen viskositeetti, m²/s
 kinematic viscosity
 $x =$ pinnan pituus ilmavirran suunnassa, m
 length of surface in direction of airflow, m
 $\tau =$ / (viskositeetti/tiheys), m²/s
 / (viscosity/density), m²/s

Viskositeetti saadaan kaavasta:

$$= 17,02 * 10^{-6} * (1 + 0,00329 * t + 0,000007 * t^2) \quad (14)$$

kg/ms

Kaavaa ei voida kuitenkaan käyttää reunavaikutuksen arvioimiseen, vaan kinemaattisen viskositeetin arvo 12 °C lämpötilassa on $14,8 * 10^{-6}$ m²/s. Metrin (1 m) etäisyydellä kostean pinnan reunasta kaava voidaan kirjoittaa muotoon:

$$W = (8,05 + 12,20 * v^{0,8}) * \Delta p \quad (15)$$

Ilman nopeuden eksponentille on saatu myös arvot 0,72 ja 0,77 (Yamamoto Ref. ØKLAND ja LILLENG 1950 s. 8).

TAULUKKO 1.

Eri lähteiden mukaisten kaavojen antamia kosteudentuotannon arvoja ilman nopeuden ollessa 0,2 m/s ja paine-eron 2 mbar => $t_h = 12$ °C ja RH 85 % (BENNINGER 1975 s. 1, ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 19, 31, Yamamoto Ref. ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 8, ANON. 1975a s. 216, ANON. 1975b s. X - XII, 634 - 635 ja ANON. 1975c s. 38).

Table 1.

The moisture production calculated according to the formulas given in different sources, when the speed of airflow is 0.2 m/s and saturation deficiency 2 mbar => inside temperature 12 °C and RH 85 % (BENNINGER 1975 s. 1, ØKLAND and LILLENG 1980 s. 19, 31, Yamamoto Ref. ØKLAND and LILLENG 1980 s. 8, ANON. 1975a s. 216, ANON. 1975b s. X - XII, 634-635 and ANON. 1975c s. 38).

Lähde Source	g/m ² h
Benninger	37,44
Økland ja Lilleng a	29,44
Økland ja Lilleng b	20,55
Yamamoto	22,83
Tekniikan käsikirja	45,70

BENNINGERin (1975 s. 1) kaava antaa normaaleissa olosuhteissa (12 °C, 85 % ja 0,2 m/s) 27 % ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 19) kaavaa a suuremman tuloksen. ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 31) kaavassa b ei oteta huomioon pinnan lämpötilaa, vaan täysin kylläistä tilaa vastaava vesihöyryn osapaine lasketaan ilman lämpötilan mukaan. Taulukossa 1 esitetyt vertailut on esitetty tilassa, jossa pohjan lämpötila muiden kuin ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 31) kaavan b osalta on sama kuin ilman. Näin ollen on luonnollista, että yhtälö 10 antaa muita pienempiä arvoja kosteudentuotannolle, koska se ottaa jo kertoimissa huomioon pinnan lämpötilan laskun, joka riippuu haihtumisen määrästä ja eräistä muista tekijöistä. Tekniikan käsikirjan (ANON. 1975a s. 216, ANON. 1975b s. X - XII, 634 - 635 ja ANON. 1975c s. 38) esittämässä kaavassa kertoimet ovat lähes yhtä suuret kuin BENNINGERin (1979 s. 1) esittämässä lämpötilan ollessa 12 °C. BENNINGERin (1979 s. 1) kaavan kerroin on vain 0,8 % suurempi kuin Tekniikan käsikirjan (ANON. 1975a s. 216, ANON. 1975b s. X

- XII, 634 - 635 ja ANON. 1975c s. 38) mukainen. Vakio-osasta aiheutuu kuitenkin, että Tekniikan käsikirjan (ANON. 1975a s. 216, ANON. 1975b s. X - XII, 634 - 635 ja ANON. 1975c s. 38) esittämä kaava antaa 4,17 g/m²h mbar suurempia arvoja. Lämpötilan ollessa 9,4 °C ilmannopeuden verrannollisuuskerroin olisi sama molemmissa kaavoissa.

Kaavat toimivat myös toisin päin. Esimerkiksi kun lämpötila laskee voimakkaasti, suhteellinen kosteus nousee 100 %:iin, ja kosteutta alkaa tiivistyä kosteille pinnoille, ja niiden ala kasvaa.

TAULUKKO 2.

Kosteudentuotanto kostealta pinnalta normaaleissa navettaolosuhteissa (t=12 °C, RH=85 % => Δp=2 mbar) ilman nopeuden ollessa 0,0 m/s eräiden tutkijoiden mukaan (BENNINGER 1975 s. 1, ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 19, 31, Yamamoto Ref. ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 8, ANON. 1975a s. 216, ANON. 1975b s. X - XII, 634 - 635 ja ANON. 1975c s. 38 sekä Shiba ja Ueda Ref. ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 3).

Table 2.

Moisture production counted from formulas by various scientist in normal conditions of a cow stable (t=12 °C, RH=85 % => Δp=2 mbar but with speed of air 0.0 m/s (BENNINGER 1975 s. 1, ØKLAND and LILLENG 1980 s. 19, 31, Yamamoto Ref. ØKLAND and LILLENG 1980 s. 8, ANON. 1975a s. 216, ANON. 1975b s. X - XII, 634 - 635 and ANON. 1975c s. 38 and Shiba and Ueda Ref. ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 3).

Lähde Source	g/m ² h
Benninger	32,50
Økland ja Lilleng a	8,00
Økland ja Lilleng b	10,00
Yamamoto	16,10
Tekniikan käsikirja	40,84
Shiba ja Ueda	8,16

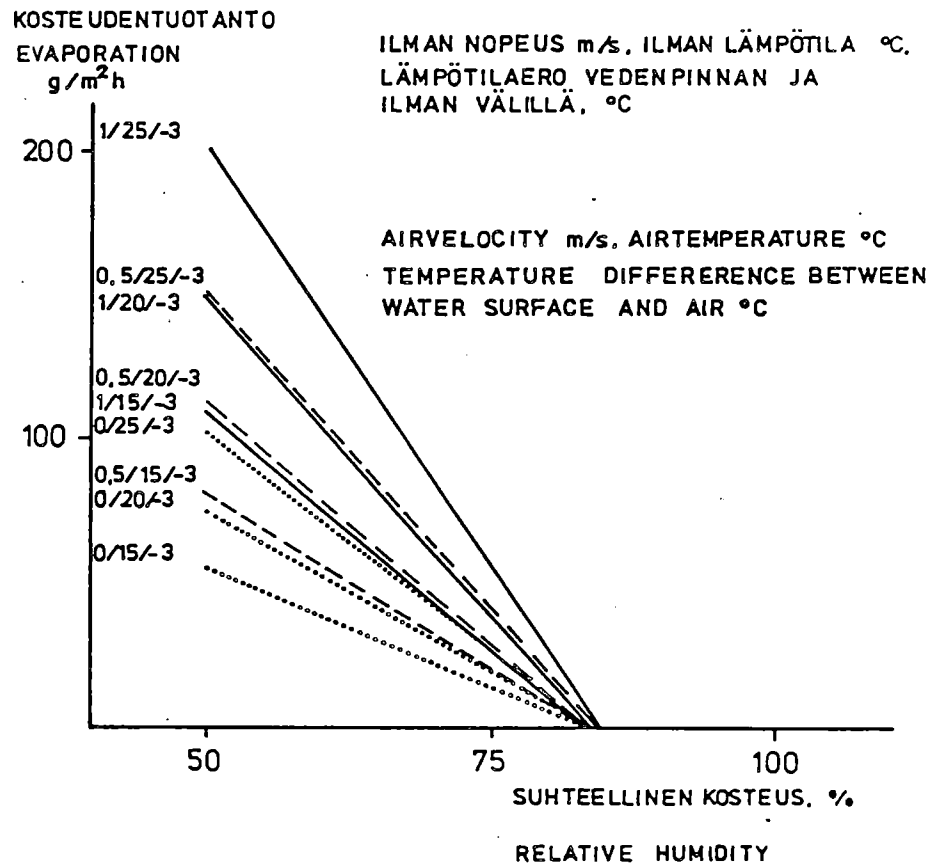
Käsitykset kosteudentuotannosta tyynessä tilassa vaihtelevat suuresti. Taulukossa 2 on esitetty muutamien tutkijoiden arviot kosteudentuotannosta tyynessä tilassa.

ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 19, 31) sekä Shibana ja Uedan (Ref. ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 3) esittämät kosteudentuotantoluvut tyyneltä pinnalta ovat lähellä toisiaan. Yamamoton (Ref. ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 8) kaavan mukainen kosteudentuotanto asettuu keskivälille eri arvioita. BENNINGERin (1979 s. 1) ja Tekniikan käsikirjan (ANON. 1975a s. 216, ANON. 1975b s. X - XII, 634 - 635 ja ANON. 1975c s. 38) mukainen kosteudentuotanto sen sijaan on varsin suuri. Se johtunee siitä, että kumpikaan lähde ei ole ottanut huomioon kaavoissaan ilman nopeutta ykköstä pienempänä eksponenttifunktiona, vaan lineaarisena riippuvuutena, jolloin pienillä ilman nopeuksilla saadaan suuria kosteudentuotannon arvoja, mikäli nämä arvot asetetaan täsmäämään suurilla ilman nopeuksilla.

1.3.3. Kosteudentuotannon energiatalous

Lämpönsä kosteudentuotanto sitoo pääasiassa pinnan yli kulkevasta ilmasta. Pienempi osa tulee johtamalla itse pintaan rakenteiden kautta, ja pinnan kylmeneminen ei ole siten merkittävä. Tämä johtaa pinnan yläpuolella olevan ilman kylmenemisen ja paine-eron pienemisen kautta kosteudentuotannon pienemiseen. Koska kuitenkin kosteudentuotanto ottaa lämpönsä viime kädessä haihduttavasta pinnasta, on sen lämmönjohtavuudella ja lämpökapasiteetilla suuri merkitys kosteudentuotantoon. (ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 2.) Tämän takia olisi eduksi, jos kosteutta tuottavan pinnan lämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuus olisivat pienet. Eläinten kulkeminen haihduttavalla pinnalla asettaa kuitenkin suuria vaatimuksia pinnan mekaaniselle kestävyydelle samoin kuin virtsa, lanta ja rehu kemialliselle kestävyydelle, Paras ratkaisu on pintojen pitäminen kuivana.

Kuten kuviosta 1 näkyy kosteudentuotanto vesipinnasta pysähtyy 85 %:n suhteellisessa kosteudessa riippumatta ilman nopeudesta tai lämpötilasta, kun haihduttava pinta on 3 °C alle ilman lämpötilan. Näin ollen kosteudentuotanto kosteilta pinnoilta saadaan pysähtymään myös navetoissa laskemalla pinnan lämpötila 3 °C ilman lämpötilan alle.



KUVIO 1.

Kosteudentuotanto vesipinnasta ilman lämpötiloilla 15, 20 ja 25 °C, ilman nopeuksilla 0, 0,5, ja 1 m/s haihduttavan pinnan ollessa 3 °C ilman lämpötilaa kylmempi (BÖRJESSON 1984 s. 32).

Figure 1.

Humidity production from a water surface at the temperatures 15, 20 and 25 °C and air speeds 0.5 and 1 m/s, when the temperature of the wet surface is 3 °C colder than the air (BÖRJESSON 1984 s. 32).

1.3.4. Reunavaikutus rakolattialla

Rakolattiasta vain osa on varsinaista haihduttavaa pintaa. Rakolattian alla oleva ilma on yleensä sen verran viileämpää, että kosteutta ei rakolattian alta nouse navettailmaan muutoin kuin varsinaisen ilmavirtauksen mukana. Tämän kaltainen ilmiö on tyypillinen alapoistojärjestelmille, joissa tuloaukot on

säädetty liian suuriksi ilmanvaihtoon ja ulkoilman lämpötilaan nähden (KAPUINEN ja KARHUNEN 1988 s. 2). Näin ollen rakolattiapalkkien välit eivät periaatteessa haihduta kosteutta. Rakolattiapalkkiin liittyy kuitenkin reunavaikutus, jonka ansiosta kosteudentuotanto rakolattiapalkeilta on lähes, jollei täysin yhtä suuri kuin, jos haihduttavaksi pinnaksi laskettaisiin koko rakolattia-ala, mikäli ilmavirtausta rakolattiapinnan päällä ei esiinny (ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 2 - 5).

ØKLAND ja LILLENG (1980 s. 3) esittävät kosteudentuotannolle pinnalta, jolla ei ole ilmavirtausta (humidity production in calm air) kaavan:

$$W_0 = (1/\delta) * a_0 * \Delta p * K_m \quad (16)$$

jossa $a_0 = (6,509 + 0,019 * (t - t_0)) * (1,013/p) * 10^{-2} \text{ g/m}^2\text{h mbar}$
 $t_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ (17)

Mikäli lämpötila on välillä 9 - 21 °C, kaavan voidaan arvioida olevan (ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 6):

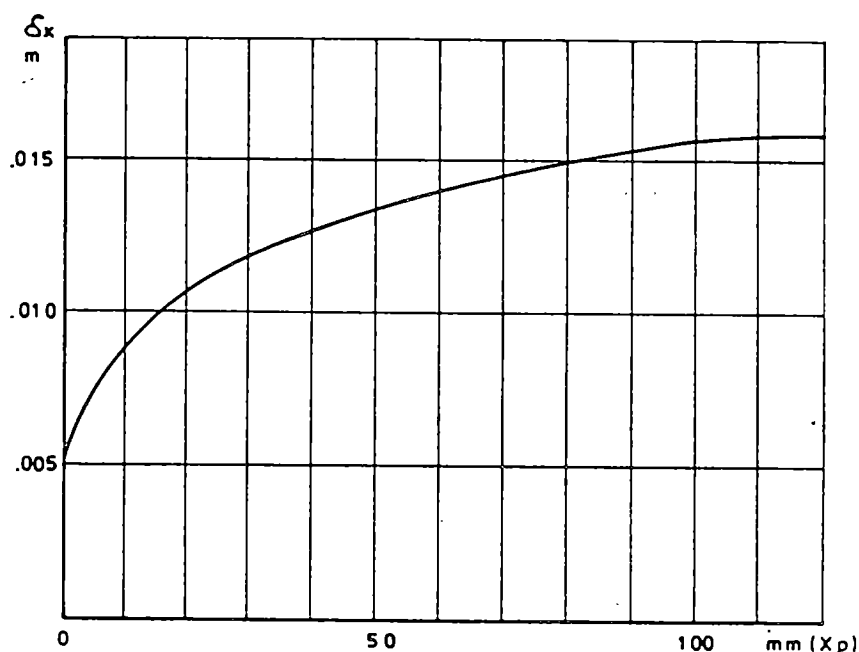
$$a_0 = 6,509 * 10^{-2} \text{ g/m}^2\text{h mbar} \quad (18)$$

ØKLAND ja LILLENG (1980 s. 13) olivat saaneet a_0 :lle myös arvon $7,75 * 10^{-2} \text{ g/m}^2\text{h mbar}$. Se, että arvo on suurempi saattaa kuitenkin heidän mukaansa johtua siitä, että lämmönsiirtyminen on ollut heidän kokeessaan mahdollisesti suurempi ja siitä, että tyyni ilma on varsin epämääräinen käsite.

δ_x :n arvo määräytyy etäisyydestä haihduttavasta pinnasta. Sen lineaaristen osien jatkeiden leikkauskohdasta katsotaan etäisyys pinnasta. Tämä luku on tehollinen etäisyys haihtumispinnasta. Kuviosta 2 voidaan nähdä, että reunavaikutus loppuu 10 cm päässä haihdutusastian tai haihduttavan pinnan särmästä. Suurimmillaan reunavaikutus tekee kosteudentuotannon kolminkertaiseksi.

ØKLAND ja LILLENG (1980 s. 21) olivat mitanneet ja laskeneet, että astian koolla ei ollut merkittävää vaikutusta kosteudentuotantoon, kun se oli halkaisijaltaan vähintään 5 m ilman

nopeuden ollessa 0,2 m/s. Tätä ja lähes tämän kokoisten kosteiden yhtenäisten pintojen kosteudentuotantoa arvioitaessa ei reunavaikutusta tarvitse ottaa huomioon käytännön karjarakennuksissa. ØKLAND ja LILLENG (1980 s. 13) olivat mitanneet reunavaikutuksen olevan hieman suuremman kuin, mitä Shiban ja Uedan (Ref. ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 13) mukaan se olisi. Se saattoi kuitenkin heidän mielestään johtua siitä, että Shiba ja Ueda (ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 13) eivät olleet ottaneet huomioon sitä kosteudentuotantoa, joka kulkeutui reunojen ulkopuolelle.



KUVIO 2.

Tehollisen etäisyyden (δ_x) riippuvuus etäisyydestä x_p (mm) haihduttavasta pinnasta (Shiba & Ueda Ref. ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 5).

Figure 2.

The dependence of the efficient distance (δ) on distance x_p (mm) from the evaporative surface (Shiba & Ueda Ref. ØKLAND and LILLENG 1980 s. 5).

δ_x :n arvo pätee ainoastaan tyynellä pinnalla. Ilmavirran kasvaessa etäisyyden vaikutus δ_x :hen häviää vähitellen. Reunavaikutus voidaan arvioida myös muiden kuin Shiban ja Uedan (Ref. ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 3) esittämän kaavan yhteydessä. Tällöin se on kuitenkin liitettävä kaavojen eteen suhteellisuuskertoimena (relative factor) seuraavassa muodossa:

$$k_\delta = 0,016/\delta_x \quad (19)$$

Käytännön arvioimistapauksissa riittävän tarkkaan tulokseen päästään asettamalla suorakaiteen muotoisen alan mitat 1,75 cm suuremmiksi kuin ne todellisuudessa ovat. Laboratoriomittauksissa yksinkertaisin tapa laskea reunavaikutus lienee sen linearisointi jakamalla reunat 1 cm:n vyöhykkeisiin 10 cm:n leveydeltä. Haihdutuspinnan kosteudentuotanto saadaan tällöin kertomalla kunkin vyöhykkeen ala kaavasta $k_{\delta} = 0,016/\delta_x$ saadulla luvulla, ja lisäämällä ne keskialueen pinta-alaan. Mitattaessa kosteudentuotantoa pieneltä alalta saadaan jatkuvan pinnan kosteudentuotanto kyseisissä olosuhteissa kertomalla saatu kosteudentuotanto todellisen pinta-alan ja edellä esitetyllä tavalla lasketun tehollisen pinta-alan suhteella.

Tehollisen pinta-alan (efficient area) laskeminen:

$$\begin{aligned}
 k_{\delta 1} * a_1 &= 0,016/\delta_{x1} * a_1 \\
 k_{\delta 2} * a_2 &= 0,016/\delta_{x2} * a_2 \\
 k_{\delta 3} * a_3 &= 0,016/\delta_{x3} * a_3 \\
 k_{\delta 4} * a_4 &= 0,016/\delta_{x4} * a_4 \\
 k_{\delta 5} * a_5 &= 0,016/\delta_{x5} * a_5 \\
 k_{\delta 6} * a_6 &= 0,016/\delta_{x6} * a_6 \\
 k_{\delta 7} * a_7 &= 0,016/\delta_{x7} * a_7 \\
 k_{\delta 8} * a_8 &= 0,016/\delta_{x8} * a_8 \\
 k_{\delta 9} * a_9 &= 0,016/\delta_{x9} * a_9 \\
 k_{\delta 10} * a_{10} &= 0,016/\delta_{x10} * a_{10} \\
 \frac{k_{\delta k_e} * a_{k_e}}{A_{teh}} &= 0,016/\delta_{x_{k_e}} * a_{k_e}
 \end{aligned} \tag{20}$$

a_x = x:nnen 1 cm:n levyisen vyöhykkeen reunasta lukien pinta-ala
area of the x^{th} 1 cm wide zone from an edge
 a_{k_e} = yli 10 cm reunasta olevan vyöhykkeen pinta-ala
area of zone over 10 cm from an edge

Jatkuvan pinnan kosteudentuotannon laskeminen:

$$W_{\text{jat}} = (A_{\text{tod}}/A_{\text{teh}}) * W_{\text{mit}} \tag{21}$$

jossa W_{jat} = jatkuvan pinnan kosteudentuotanto, $\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
humidity production from a continuous surface,
 $\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
 W_{mit} = koepinnalta mitattu kosteudentuotanto, $\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
humidity production from the experiment surface,
 $\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
 A_{tod} = koepinnan todellinen ala, m^2
real area of experiment surface, m^2
 A_{teh} = koepinnan tehollinen pinta-ala, m^2
efficient area of experiment surface, m^2

Esimerkiksi tässä tutkimuksessa käytettävältä 0,5 m * 0,5 m pinnalta haihtuva kosteus on kerrottava luvulla 0,94, jotta saataisiin jatkuvan pinnan kosteudentuotanto.

1.3.5. Eläinten tuotostason vaikutus kosteudentuotantoon navetoissa

Strømmin ja Feenstran (Ref. MÜLLER 1985 s. 125) mukaan navetoissa syntyy talvikautena 25 % enemmän kosteutta kuin naudat DIN 18910 -normin (ANON 1974 s. 12) mukaan tuottavat 10 °C lämpötilassa.

TAULUKKO 3. Kokonaiskosteudentuotanto lypsylehmää kohti eri tuotostasoilla verrattuna DIN 18910 -normin mukaiseen lypsylehmän kosteudentuotantoon (Strøm ja Feenstra Ref. MÜLLER 1985 s. 137 ja ANON. 1974 s. 12).

Table 3. Total humidity production per milking cow on different milk production levels compared to the humidity production of a milking cow according to the DIN 18910 norm (Strøm and Feenstra Ref. MÜLLER 1985 s. 137 and ANON. 1974 s. 12).

Lehmän paino Weight of cow kg	Kosteudentuotanto, g/h lehmä Humidity production, g/h cow			(by) DIN 18910 mukaan
	Maidontuotanto, l/vuosi lehmä Milk production, l/year cow			
	4000	5000	6000	
400	387	425	463	280
500	423	461	499	322
600	457	493	533	356
700	490	528	566	378
800	521	559	597	400

Taulukoissa 3 ja 4 esitetään vertailu navetoissa tehtyjen mittausten ja DIN 18910 -normin mukaisesti laskettujen kosteudentuotantojen välillä (Strøm ja Feenstra Ref. MÜLLER 1985 s. 137 ja ANON. 1974 s. 12). Kuten taulukoista 3 ja 4 voidaan nähdä poikkeavat lypsylehmien mitatut ja DIN 18910 -normin (ANON. 1974 s. 12) mukaiset kosteudentuotannot merkittävästi toisistaan. Sen sijaan nuorkarjan kohdalla tämä ero ei ole merkittävä.

TAULUKKO 4. Kokonaiskosteudentuotanto nuorkarjaan kuuluvaa eläintä kohden verrattuna DIN 18910 -normin mukaiseen vastaavan nautaeläimen kosteudentuotantoon (Strøm ja Feenstra Ref. MÜLLER 1985 s. 137 ja ANON. 1974 s. 12).

Table 4. Total humidity production of young cattle compared to the humidity production of young cattle according to the DIN 18910 norm (Strøm and Feenstra Ref. MÜLLER 1985 s. 137 and ANON. 1974 s. 12).

Eläimen paino Weight of animal kg	Kosteudentuotanto, g/h eläin Humidity production, g/h animal	
	Päiväkasvu, 700 g/vrk Day growth, 700 g/day	DIN 18910 -normi (norm)
50	60	-
100	105	106
150	145	140
200	183	172
250	218	-
300	251	230
350	282	-
400	312	280
450	340	-
500	367	322

TAULUKKO 5. DIN 18910 -normin ylittävä kosteudentuotanto, g/h lypsylehmää kohti eri tuotostasoilla sekä muun kosteuden tuotannon osuus, % DIN 18910-normista (ANON. 1974 s. 12).

Table 5. Humidity production exceeding DIN 18910 norm, calculated on different milk production levels and its proportion relative to total humidity production in g/h per cow and in percentages (ANON. 1974 s. 12).

Lehmän paino Weight kg	Muun kosteudentuotanto ja sen aiheuttama lisäys DIN 18910 -normin mukaiseen kosteudentuotantoon Humidity production exceeding DIN 18910, in g/h per cow and in percentages					
	Maidontuotanto, l/vuosi		Milk production, l/year			
	4000 g/h	%	5000 g/h	%	6000 g/h	%
400	107	38,2	145	51,8	183	65,3
500	101	31,4	139	43,2	177	55,0
600	101	28,4	137	38,5	177	49,7
700	112	29,6	150	39,7	188	49,7
800	121	30,2	159	39,8	197	49,2

Taulukossa 5 on esitetty kullakin tuotostasolla se muu kosteus, joka ylittää DIN 18910 -normin (ANON. 1974 s. 12) mukaisen kosteudentuotannon absoluuttisena lukuna tuntia ja eläintä kohden, mutta myös suhteellisena osuutena DIN 18910 -normista (ANON. 1974 s. 12).

Taulukon 5 luvuista voidaan päätellä, että DIN 18910 -normin (ANON. 1974 s. 12) mukaiset lypsylehmien kosteudentuotannon arvot vastaavat lähinnä keskimääräistä suuremman, mutta vähätuotoksisen lypsylehmän arvoja.

TAULUKKO 6. DIN 18910 -normin ylittävä kosteudentuotanto, g/h nuorkarjaan kuuluvaa eläintä kohden verrattuna DIN 18910 -normin mukaiseen vastaavaan nautaeläimen kosteudentuotantoon ja muun kosteudentuotannon aiheuttama lisäys DIN 18910 -normiin (ANON. 1974 s. 12).

Table 6. Humidity production exceeding DIN 18910 norm, calculated in g/h per unit of young cattle and in percentages (ANON. 1974 s. 12).

Muu kosteudentuotanto ja sen aiheuttama lisäys prosentteina DIN 18910 -normin mukaiseen kosteudentuotantoon
Humidity production exceeding DIN 18910, in g/h per unit of young cattle cow and in percentages

Päiväkasvu 700 g/vrk

Day growth 700 g/day

Eläimen paino
Weight of animal

Eläimen paino
Weight of animal

kg	g/h	%	kg	g/h	%
50	-	-	300	21	9,1
100	1	0,9	350	-	-
150	5	3,6	400	32	11,4
200	11	6,4	450	-	-
250	-	-	500	45	14,0

Taulukosta 6 voidaan todeta, että kosteudentuotanto ylittää 200 kg painavalla naudalla DIN 18910 -normin (ANON. 1974 s. 12) noin 6 %:lla, kun se painavammilla eläimillä on 9 - 14 % suurempi. Kaikilla nuoren karjan eläimillä ylitys on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin lypsykarjalla, jolla ylitys on noin 22 - 40 %.

Kosteudentuotanto ei sinänsä ole ratkaiseva ilmanvaihdon kannalta, vaan tärkeämpi on kosteudentuotannon ja lämmöntuotannon suhde, koska se määrää sen, pystytäänkö kosteus poistamaan navetasta ilmanvaihdon avulla ilman lisälämmitystä. Tätä varten seuraavassa esitetään lypsylehmien ja nuoren karjan lämmöntuotanto ja lasketaan kosteuslämpösuhde. Taulukoissa 7 ja 8 on esitetty lypsylehmien ja nuoren karjan lämmöntuotanto eri tuotostasoilla (Strøm ja Feenstra Ref. MÜLLER 1985 s. 133 ja ANON. 1974 s. 12).

TAULUKKO 7. Kokonaislämmöntuotanto lypsylehmää kohti eri tuotostasoilla verrattuna DIN 18910 -normin mukaiseen kokonaislämmöntuotantoon (Strøm ja Feenstra Ref. MÜLLER 1985 s. 133 ja ANON. 1974 s. 12).

Table 7. Total heat production per milking cow on different milk production levels compared to total heat production from a milking cow according to the DIN 18910 norm (Strøm and Feenstra Ref. MÜLLER 1985 s. 133 and ANON. 1974 s. 12).

Lehmän paino Weight of cow kg	Kokonaislämmöntuotanto, W/lehmä Total heat production, W/cow			
	Maidontuotanto, l/vuosi lehmä Milk production, l/year cow			DIN 18910 -normi (norm)
	4000	5000	6000	
400	1009	1109	1208	766
500	1102	1202	1301	887
600	1190	1290	1389	986
700	1276	1376	1475	1050
800	1357	1457	1557	1114

Taulukossa 7 nähdään, että navetoista mitatut lämmöntuotannon määrät ovat huomattavasti suuremmat kuin DIN 18910 -normin mukaan lasketut (Strøm ja Feenstra Ref. MÜLLER 1985 s. 133 ja ANON. 1974 s. 12). Niin kuin kosteudentuotannonkin osalta oli todettavissa, nuoren karjan lämmöntuotanto käytännön mittauksien mukaan ei merkittävästi ylitä DIN 18910 -normin (ANON. 1974 s. 12) mukaista lämmöntuotantoa.

- TAULUKKO 8. Kokonaislämmöntuotanto nuorkarjaan kuuluvaa eläintä kohden verrattuna DIN 18910 -normin mukaiseen vastaavan nautaeläimen lämmöntuotantoon (Strøm ja Feenstra Ref. MÜLLER 1985 s. 134 ja ANON. 1974 s. 12).
- Table 8. Total heat production of young cattle compared to the heat production of heifers according to the DIN 18910 norm (Strøm and Feenstra Ref. MÜLLER 1985 s. 134 and ANON. 1974 s. 12).

Eläimen paino Weight of animal kg	Kokonaislämmöntuotanto, W/eläin Total heat production, W/animal	
	Päiväkasvu 700 g/vrk Day growth 700 g/day	DIN 18910 -normi (norm)
50	156	-
100	273	261
150	379	360
200	477	452
250	568	-
300	654	621
350	735	-
400	812	766
450	886	-
500	957	887

- TAULUKKO 9. DIN 18910 -normin ylittävä lämmöntuotanto, W lypsylehmää kohti eri tuotostasoilla sekä muun lämmöntuotannon aiheuttama lisäys, % DIN 18910 -normiin (ANON. 1974 s. 12).
- Table 9. Heat production exceeding DIN 18910 norm on different milk production levels in W and in percentages (ANON. 1974 s. 12).

Lehmän paino Weight of cow kg	Muu lämmöntuotanto ja sen aiheuttama lisäys DIN 18910 -normin mukaiseen kokonaislämmöntuotantoon Heat production exceeding DIN 18910 in W per cow and in percentages					
	Maidontuotanto, l/vuosi Milk production, l/year					
	4000		5000		6000	
	W	%	W	%	W	%
400	243	31,7	343	44,8	442	57,7
500	215	24,2	315	35,5	414	46,7
600	204	20,7	304	30,8	403	40,9
700	226	21,5	326	31,0	425	40,5
800	243	21,8	343	30,8	443	39,8

Taulukosta 9 voidaan todeta, että DIN 18910 -normin (ANON. 1974 s. 12) mukainen lämmöntuotos vastaa lähinnä suhteellisen suuren, mutta vähätuotoksisen lehmän lämmöntuotantoa navetoissa suoritettujen mittauksien mukaan. Tilanne oli samanlainen kosteudentuotannon suhteen, mutta kosteudentuotanto erosi DIN 18910 -normista (ANON. 1974 s. 12) jonkin verran enemmän.

TAULUKKO 10. DIN 18910 -normin ylittävä lämmöntuotanto, W nuorkarjaan kuuluvaa eläintä kohden verrattuna DIN 18910 -normin mukaiseen vastaavaan nautaeläimen lämmöntuotantoon ja muun lämmöntuotannon aiheuttama lisäys DIN 18910-normiin (ANON. 1974 s. 12).

Table 10. Heat production exceeding DIN 18910 norm calculated in W per unit of young cattle and in percentages (ANON. 1974 s. 12).

Muu lämmöntuotanto ja sen aiheuttama lisäys DIN 18910-normin mukaiseen kokonaislämmöntuotantoon Heat production exceeding DIN 18910, in W/animal and in percentages					
Päiväkasvu 700 g/vrk			Day growth 700 g/d		
Eläimen paino Weight of animal			Eläimen paino Weight of animal		
kg	W	%	kg	W	%
50	-	-	300	33	5,3
100	12	4,6	350	-	-
150	19	5,3	400	46	6,0
200	25	5,5	450	-	-
250	-	-	500	70	7,9

Taulukosta 10 voidaan todeta, lämmöntuotos eroaa nuorella karjalla vielä vähemmän DIN 18910 -normista (ANON. 1974 s. 12) kuin kosteudentuotanto.

Voidaankin olettaa, että DIN 18910 -normi (ANON. 1974 s. 12) on sekä lämmön- että kosteudentuotannon osalta liian alhainen nykyisille lehmillä. Sen sijaan eläinten kosteuden- ja lämmöntuotannon suhteen voidaan normin olettaa olevan oikea. Suurempi lämmöntuotanto johtunee korkeammasta tuotannosta ja osittain suuremmista eläimistä. Eläinten kosteudentuotannon voidaan

olettaa kasvavan suhteessa eläinten lämmöntuotannon nousuun. Sen sijaan, jos navetan lämpötila nousee, kasvaa eläinten kosteudentuotanto verrattuna eläinten lämmöntuotantoon, koska suurempi osa lämmöstä haihdutetaan sitomalla se haihdutettavaan kosteuteen (TUUNANEN & KARHUNEN 1984 s. 34).

Jotta DIN 18910 -normin (ANON. 1974 s. 12) mukainen kosteuslämpösuhde voisi pitää paikkansa, tulee navetoiden suhteessa lämmöntuotantoon suurempi kosteudentuotanto syntyä muualta kuin eläimistä. Näin ollen lämmöntuotannon eroa suurempi kosteudentuotannon ero syntyy lattioilta ja muilta kosteilta pinnoilta.

Kosteudentuotanto, joka tapahtuu kosteilta pinnoilta, saadaan lisäämällä DIN 18910 -normin (ANON. 1974 s. 12) kosteudentuotantoon muuta lämmöntuotantoa vastaava osuus ja vähentämällä summa navetoissa saatujen mittausten mukaisista arvoista taulukoiden 11 ja 12 mukaan.

TAULUKKO 11. Muista kuin eläimistä syntyvä muu kosteus lypsylehmillä verrattuna DIN 18910 -normiin (ANON. 1974 s. 12).
Table 11. Extra humidity produced from other sources than cows relative to DIN 18910 norm (ANON. 1974 s. 12).

Lehmän paino Weight of animal kg	Muu kosteudentuotanto- lehmää kohti navetoissa eri maidontuotanto- tasoilla, 1/vuosi Extra humidity production per cow in cow-sheds on different levels of milk production, 1/year					
	4000		5000		6000	
	g/h	%	g/h	%	g/h	%
400	18,3	6,5	19,6	7,0	21,3	7,6
500	23,2	7,2	24,8	7,7	26,7	8,3
600	27,4	7,7	27,4	7,7	31,3	8,8
700	30,6	8,1	32,9	8,7	34,8	9,2
800	33,6	8,4	36,0	9,0	37,6	9,4

DIN 18910 -normin (ANON. 1974 s. 12) mukainen kosteuslämpösuhde on 359 - 366 g/kWh siten, että suuremmilla eläimillä se on pienempi kuin pienillä eläimillä. CIGR -työryhmän (ANON. a) ehdotuksen mukaan kosteuslämpösuhdeeksi tulisi 362 - 368 g/kWh riippumatta eläimen koosta tai tuotostasosta. Sitä vastoin TGL 29084 -normin (ANON. 1981b s. 6 ja 9) mukaan kosteuslämpösuhde olisi 315 - 523 g/kWh siten, että suuremmilla eläimillä se on pienempi, päin vastoin kuin DIN 18910 -normissa (ANON. 1974 s. 12). TGL 29084 -normissa (ANON. 1981b s. 6 ja 9) on otettu huomioon kosteudentuotanto myös lattioilta ja muilta kosteilta pinnoilta. Edellä mainitut kolme normia poikkeavat toisistaan niin vähän, että niiden välillä ei ole merkittävää eroa. TGL 29084 -normi (ANON. 1981b s. 6 ja 9) arvioi kuitenkin kosteuslämpösuhteen huomattavasti suuremmaksi kuin Strøm ja Feenstra (Ref. MÜLLER 1985 s. 133 - 137) olivat käytännön mittauksissa saaneet. Kummassakin normissa lämpötila on 10 °C. Navetoissa tehdyissä mittauksissa 10 °C lämpötilassa kosteuslämpösuhde on ollut 381 - 384 g/kWh (Strøm ja Feenstra Ref. MÜLLER 1985 s. 133 - 137). Kosteuslämpösuhde on siten ollut keskimäärin 5,5 % suurempi kuin se DIN 18910 -normin (ANON. 1974 s. 12) mukaan olisi. Ruotsalaisissa normeissa lypsylehmien kosteuslämpösuhde on 425 - 427 g/kWh ja hiehojen 422 - 425 g/kWh lämpötilan ollessa 12 °C ja suhteellisen kosteuden 85 % (ANON. 1980 s. 7). Suomessa tehtyjen mittausten mukaan se vaihteli 17 pihatossa suoritetuissa mittauksissa välillä 260-1 210 g/kWh keskiarvon ollessa 617 g/kWh ja keskihajonnan 251 g/kWh (KAPUINEN ja KARHUNEN 1988 liite 1c). Ero DIN 18910-normiin (ANON. 1974 s. 12) on tilastollisesti merkittävä riskitasolla 5 % (hylkäysraja 532,1 g/kWh). Näin ollen suomalaisissa pihatoissa kosteutta syntyy lämpöön nähden enemmän kuin DIN 18910 -normin (ANON. 1974 s. 12) perusteella voisi päätellä. Pihaton rakenteella on selvästi erittäin suuri vaikutus kosteuslämpösuhteeseen. Tämän vuoksi eläinten ja lattioiden kosteudentuotanto on aina arvioitava erikseen.

Kuten taulukosta 11 näkyy, muu kosteudentuotanto lehmää kohti on varsin samanlainen saman painoisilla lehmillä riippumatta maidontuotannon eroista. Tästä voidaan päätellä, että korkeampi

maidontuotanto ei voi olla vakiolämpötilassa korkeamman kosteuslämpösuhteen syynä. Sen sijaan eläinten koon kasvaessa muu kosteudentuotanto kasvaa siten, että se on noin kaksinkertainen 800 kg:n lehmällä verrattuna 400 kg:n lehmään. Muu kosteudentuotanto kasvaa siten suorassa suhteessa eläimen painoon. Oletettavaa onkin, että lehmä vaatii ritiläalaa suorassa suhteessa painoonsa, millä voidaan selittää muun kosteudentuotannon kasvu lehmän painon funktiona. Kun lehmä tuottaa kosteutta suhteessa lämmöntuotantoonsa ja lämmöntuotanto on taasen suhteessa maidontuotantoon, kosteuslämpösuhde kasvaa pienituottoisilla samanpainoisilla eläimillä, koska niiden vaatima rakolattia-ala on yhtä suuri kuin suurempituottoistenkin.

TAULUKKO 12.	Muista kuin eläimistä syntyvä muu kosteus nuorella karjalla verrattuna DIN 18910 -normiin (ANON. 1974 s. 12).
Table 12.	Extra humidity produced from other sources than young cattle compared to the DIN 18910 norm (ANON. 1974 s. 12).

Muu kosteudentuotanto eläintä kohden nuorena karjassa navetoissa päiväkasvun ollessa 700 g/pv
Extra heat production per unit of young cattle in cow stables day growth being 700 g/d

Eläimen paino Weight of animal			Eläimen paino Weight of animal		
kg	g/h	%	kg	g/h	%
50	-	-	300	8,7	3,8
100	-3,6	-3,7	350	-	-
150	-1,8	-1,7	400	13,4	5,4
200	0,9	0,9	450	-	-
250	-	-	500	16,1	6,1

Kuten taulukosta 12 voidaan todeta, muu kuin eläimistä syntyvä muu kosteudentuotanto kasvaa eläimen massan kasvaessa. Se ei ole kuitenkaan suoraan verrannollinen massan kasvun kuten lypsylehmillä, vaan kasvu pienee eläimen massan kasvaessa. Muualta kuin eläimistä syntyvä muu kosteus saavuttaa suurimmat arvonsa 400 - 500 kg:n painoisilla eläimillä. Ilmeisesti alle 200 kg painavia eläimiä pidetään niin hyvillä kuivikkeilla,

että niiden karsinoista ei paljoa muuta kosteutta synny. Yli 300 kg painavilla eläimillä muualta kuin eläimistä tuleva muu kosteudentuotanto ei enää suhteellisesti kasva. Tästä voisi päätellä, että niitä pidetään tämän jälkeen suhteellisen suuressa ssamanlaisessa tilassa, kunnes ne teurastetaan tai siirretään tuotantoon.

1.4. Kosteutta tuottavat pinnat ja niiden määrä pihatossa

1.4.1. Lypsyasemat

Varsin vaihteleva kosteuden lähde on lypsyaseman lattia. Ensinnäkin sen lattia-ala lypsylehmää kohti vaihtelee suuresti riippuen ratkaisun onnistuneisuudesta. PYYKKÖSEN (1987 s. 8) mukaan lypsypaikkaa kohti yksipuoleisessa lypsyasemassa on pinta-alaa 4,85 - 7,17 m² ja kaksipuoleisessa 4,58 - 7,80 m². Toiseksi se voi olla samassa tilassa varsinaisen pihatton kanssa tai erillisessä tilassa. Jälkimmäisessä tapauksessa ilmanvaihto voi olla erillinen tai yhteinen. Pienimmäksi kosteudentuotanto saadaan pitämällä lypsyasema lypsyjen välillä +5 °C:n lämmössä, ja järjestämällä sille oma ilmanvaihto. Lypsyn aikana kosteudentuotanto on voimakasta (1 364 g/kWh eli noin 1 350 g lypsypaikkaa kohti) (BENNINGER 1979 s. 1, KAPUINEN ja KARHUNEN 1988 s. 85), kun se lypsyjen välillä on vain 50 g/h lypsypaikkaa kohti (KAPUINEN 1989).

1.4.2. Rakolattiat

Rakolattiat toimivat PYYKKÖSEN (1987 s. 10) mukaan hyvin, kun raon ja palkkien suhde on 1:3 ja rakolattia-ala korkeintaan 4 m² nautayksikköä kohti. Edelleen PYYKKÖNEN (1987 s. 10) on sitä mieltä, että palkin leveys ei saa olla yli 140 mm.

KAPUISEN ja KARHUSEN (1988 s. 37) mukaan kosteuslämpösuhde saa olla korkeintaan 700 g/kWh eläinten tuottamaa lämpöä ja kun DIN 18910 -normin (ANON. 1974 s. 12) mukaan kosteuslämpösuhde on

noin 360 g/kWh. Erotus on 340 g jokaista eläinten tuottamaa kilovattituntia. Tämä edellyttää kuitenkin, että rakennuksen lämmönläpäisy on korkeintaan 20 % eläinten tuottamasta lämmöstä. Tällöinkin eläinten lämmöntuotannon lisäksi on synnyttävä kuivaa lämpöä noin 40 % kokonaislämmöntuotannosta ja noin 60 % eläinten lämmöntuotannosta. Tämä on tilanne KAPUISEN ja KARHUSEN (1988 s. 33 - 37) esittämän luokituksen mukaan tyydyttävässä pihatossa, jossa on lypsykone, tilatankki ja niiden pesuautomaatti, koneellinen ilmanvaihto, kunnollinen valaistus sekä lypsyasemassa lattialämmitys. TUUNASEN ja KARHUSEN (1984 s. 105) esittämien kosteuden- ja lämmöntuotantoarvojen perusteella kosteuslämpösuhde on lypsylehmillä 451 g/kWh, jolloin muulle kosteudelle jää sijaa jokaista kilovattituntia kohti 249 g. Nuorkarjan kosteuslämpösuhde on TUUNASEN ja KARHUSEN (1984 s. 105) antamien tietojen mukaan 520 g/kWh, jolloin muulle kosteudelle jää sijaa 180 g/kWh.

Kun kosteudentuotanto vesipinnalta normaaleissa pihatto-oloissa neliötä kohti BENNINGERin (1979 s. 1) mukaan on 37,44 g/m²h sekä ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 18) mukaan noin 29,44 g/m²h.

Seuraavassa asetelmassa on esitetty navetoiden suurimmat mahdolliset rakolattia-alat (the biggest possible slatted floor area) ottaen huomioon, että nautayksikön lämmöntuotanto KAPUISEN (1989) on keskimäärin noin 1 kW ja eläinten sekä kosteiden pintojen kosteudentuotanto on laskettu asetelmassa mainittujen lähteiden mukaan.

Vesipinnan kosteudentuotanto Moisture production from water surfaces	Eläinten kosteudentuotanto Moisture production from animals		
Lähde Source	Lähde Source		
Lähde Source	DIN 18910 (1979 s. 1)	TUUNANEN ja KARHUNEN (1984 s. 105)	lehmät nuorkarja cows young cattle
	m ²	m ²	m ²
BENNINGER (1979 s. 1)	9,1	6,6	4,8
ØKLAND ja LILLENG (1980 s. 18)	11,4	8,4	5,5

Toisaalta nautayksikön lämmöntuotanto voi olla niinkin pieni kuin 650 W. Tämän oletuksen mukaiset suurimmat mahdolliset rakolattia-alat (the biggest possible slatted floor area) on ilmoitettu seuraavassa asetelmassa laskettuna eri lähteiden mukaan.

Vesipinnan kosteuden- tuotanto Moisture production from water surfaces	Eläinten kosteudentuotanto Moisture production from animals	
Lähde Source	Lähde Source	
Lähde Source	DIN 18910 (1979 s. 1)	TUUNANEN ja KARHUNEN (1984 s. 105) lehmät cows
	m ²	m ²
BENNINGER (1979 s. 1)	5,9	4,3
ØKLAND ja LILLENG (1980 s. 18)	7,5	5,5

Edellä esitetyt luvut edellyttävät, että kosteilta pinnoilta tapahtunut haihtuminen on sitonut haihtumislämpönsä haihduttavasta pinnasta, esimerkiksi lämmitetystä lypsyaseman lattiasta, eikä sen päällä olevasta ilmakerroksesta. Sen sijaan muiden kosteiden pintojen osalta haihtumislämpö sidotaan haihduttavan pinnan päällä olevasta ilmakerroksesta. Kun lattiaa lämmitetään, sen lämpötila on lähes riippumaton haihtumisen määrästä, jolloin haihtuminen ei pienennä itseään sen pintaan kohdistuvasta jäähtytuksesta huolimatta. Sen sijaan jos pintaa ei lämmitetä, jäähtyy pinta alilämpötilaan haihtumisen takia, ja osittain jäähtyy myös pinnan päällä oleva ilmakerros, jolloin vesihöyryn kyllästymisvajaus pienenee ja haihtuminen hidastuu.

Varsin totuudenmukainen kuva kosteilta pinnoilta haihtuvasta kosteudesta saataneen ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 31) esittämän kaavan avulla ja ottamalla vielä kertoimeksi 0,9, koska suurin osa haihduttavista pinnoista on betonipintoja. Tällöin kosteudentuotanto normaaleissa pihatto-oloissa on vain 18,5 g/m²h. Kun lisäksi ratkaistaan analyyttisesti yhden vesihöyry-

gramman siirtämiseen sisältä ulos tarvittava energia, kun sisälämpötila on 12 °C ja ulkolämpötila -20 °C sekä suhteellinen kosteus kummassakin 85 %, ja kun normaalin pihatton lämmönläpäisy on näissä olosuhteissa 20 % eläinten tuottamasta lämmöstä, saadaan, että keskimääräisen nautayksikön tuottamaa lämpöä (1 ny = 1 kWh) kohti saa syntyä kosteutta 328 - 448 g/kWh riippuen haihtumislämmön lähteestä, jotta suhteellinen kosteus ei nouse sisällä. Kun nautaeläimet tuottavat pääsääntöisesti 360 g/kWh kosteutta ei ole mahdollista, että haihtuva kosteus sitoo kaiken haihtumislämpönsä haihduttavan pinnan päällä olevasta ilmasta. Sen sijaan, jos kaikki haihtumislämpö saadaan haihduttavasta pinnasta, voisi kosteaa pintaa olla nautayksikköä kohti 4,7 m², joka on täysin riittävä. Kun normaalisti hoidetussa pihatossa syntyy kyseistä 20 %:a vastaava teho, joka esimerkiksi 20 lehmän pihatossa nuorine karjoineen on noin 8 kW, kosteutta voi syntyä jopa 394 - 538 g/kWh riippuen haihtumislämmön lähteestä. Tämä merkitsee, että kosteaa pintaa voi olla 1,8 - 9,6 m² nautayksikköä kohti. Tällöin, jos tavoitellaan 4 m²:n kosteaa rakolattiapintaa, yli puolet haihtumislämmöstä voi sitoutua ilmasta ilman, että suhteellinen kosteus alkaa nousta.

Rakolattian toimiminen edellyttää, että sen ala on pienempi kuin se kosteudentuotannon perusteella normien mukaan saisi olla. Sen vuoksi rakolattian maksimialana voidaan normaaleissa pihatton-olosuhteissa pitää 4 m². Tämä edellyttää kuitenkin, että ruokintapöytä ja lypsyasema pidetään kuivana.

Kuten taulukosta 14 voidaan todeta, brittiläisen standardin mukaiset suurimmat suositellut rakolattia-alat lihanauoille ovat huomattavasti suomalaisia suosituksia pienemmät (ANON. 1981a s. 3 ja PYYKKÖNEN 1987 s. 10). Sama koskee lypsykarjaa, kuten taulukosta 13 voidaan todeta. Makuupartta vastaavan kuivitetun makuualueen alat brittiläisessä standardissa ovat verraten suuret normaaliin suomalaiseen makuuparsipihatton nähden, jossa parsipaikka on vain 2,52 m². Tämä ala on riittävä jopa 800 kg:n painoiselle eläimelle. Kokonaisala vastaa brittiläisessä standardissa kokonaan kuivitetun eli kuivikepohjaisen pihatton suositeltua lattia-alaa eläintä kohden. Kuivitetulla

makuualueella ei voida suorassa suhteessa korvata oleskelu ja ruokailualueetta, koska niiden kosteudentuotanto on varsin erilaista.

TAULUKKO 13. Suurimmat suositellut lattia-alat lypsykarjaa varten brittiläisen standardin mukaan (ANON. 1981a s. 3).

Table 13. Area allowance for dairy cattle according to British Standard (ANON. 1981a s.3).

Eläimen paino Weight of animal kg	Kuivitettu makuualue /eläin Bedded area /head m ²	Oleskelu ja ruokailualue /eläin Loafing and feeding area /head m ²	Kokonais-ala /eläin Total area /head m ²
200	2,00	1,00	3,00
300	2,75	1,20	3,95
400	3,50	1,40	4,90
500	4,25	1,60	5,85
600	5,00	1,80	6,80
700	5,75	2,00	7,75
800	6,50	2,20	8,70

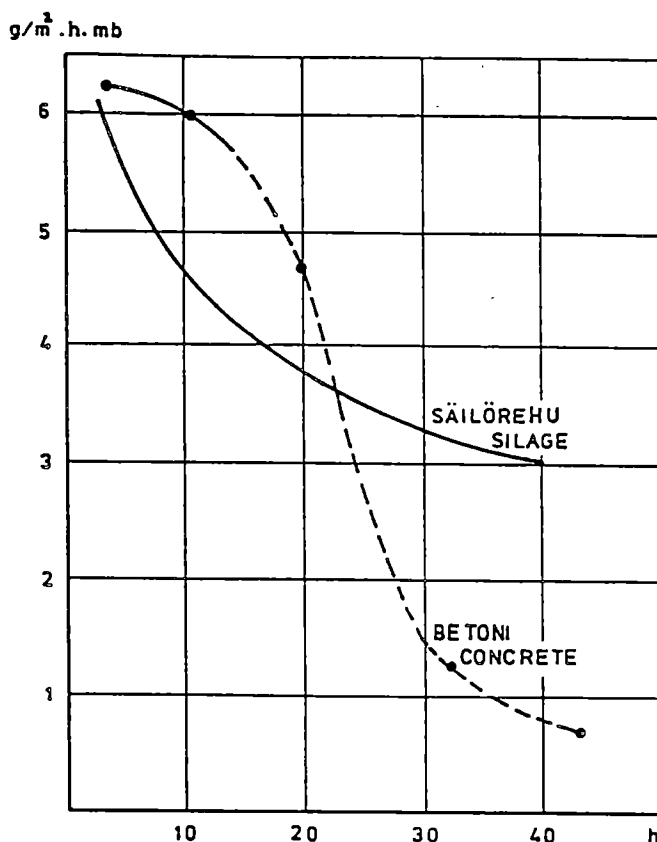
TAULUKKO 14. Suurimmat suositellut rakolattia-alat lihanautoja varten brittiläisen standardin mukaan (ANON. 1981a s. 3).

Table 14. Slatted floor area allowance for beef cattle according to British Standard (ANON. 1981a s. 3).

Eläimen paino Weight of animal kg	Rakolattia-ala eläintä kohden Slatted floor area per head m ²
200	1,1
300	1,5
400	1,8
500	2,1
600	2,3
700	2,5

1.4.3. Erilaisten kosteiden pintojen kuivuminen

Kuten kuviosta 3 nähdään, betonilattia haihduttaa alussa enemmän kuin säilörehu, mutta kuivuu nopeasti, ja kosteudentuotanto pienenee noin 1/7 -osaan alkuperäisestä parin vuorokauden kuluessa. Säilörehupinnan kosteudentuotanto sen sijaan laskee hyvin nopeasti alussa ja asettuu sen jälkeen 1½ vuorokauden jälkeen noin puoleen alkuperäisestä. Lypsypaikkaa kastellaan tavallisesti neljä kertaa päivässä. Säilörehukakun pinta-ala sen sijaan ei pienene, eikä kosteudentuotanto neliömetriltäkään pienene kuin puoleen alkuperäisestä. Rehun kosteudentuotannosta on seurauksena myös se, että rehu sulaa hitaasti, koska höyrystyminen sitoo lämpöä rehusta.



KUVIO 3.

Kosteudentuotannon kehittyminen ajan funktiona betoni- ja tuoreelta säilörehupinnalta (ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 30)

Figure 3.

Amount of humidity production from a concrete surface and a surface of fresh unwillted silage as function of time (ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 30).

Kuvion 3 kokeet on tehty 8 mbar paine-erolla, mikä merkitsee 12 °C lämpötilassa vain noin 45 %:n suhteellista kosteutta. Tämä vastaa tilannetta lähinnä kesällä. Talviolosuhteissa paine-ero on noin 2 mbar, joten kuivumisajat voidaan olettaa tällöin noin nelinkertaisiksi.

1.5. Eräitä ratkaisumahdollisuuksia kosteudentuotannon pienentämiseksi

Pitämällä kosteat pinnat riittävän kylmänä esimerkiksi ohuemman eristyksen avulla voidaan kosteudentuotanto kosteilta pinnoilta pysäyttää kokonaan ja periaatteessa jopa tiivistää niihin kosteutta (ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 19). Toisaalta tällä tavoin ei voida ratkaista kovin suurien pinta-alojen kosteudentuotannon lopettamista, koska rakenteiden läpi menevä lämpö kasvaa kohtuuttomaksi ja vaikeuttaa sitä kautta ilmanvaihdon järjestämistä. Sen sijaan kaikki pintoja kastava toiminta on keskitettävä mahdollisimman pienelle alueelle, joka pidetään viileänä. Pinnan kylmentämiseksi rakolattiapalkit voitaisiin yrittää tehdä siten, että niissä olisi päällimmäisenä ohut huonosti lämpöä johtava ja varastoiva kerros, mutta tämä ei liene toteuttamiskelpoinen ajatus edellämainitun suuren mekaanisen rasituksen takia.

Taulukosta 15 voidaan nähdä, että levittämällä kostealle pinnalle sahanpurua kosteudentuotantoa voidaan vähentää pinnan lämpötilan alenemisen myötä. Toisaalta jos kuivikkeita ei käytetä riittävästi, ne likaantuvat ja kastuvat ja lisäävät tällöin kosteudentuotantoa, kuten jo aikaisemmin on todettu kohdassa 1.3.1.

Kiinteälattiaisilla lantakäytävillä varustetussa pihatossa lattian lämpötilan alentaminen onnistuu talvella käyttämällä kiinteiden lantakäytävien kohdalla niin huonoa eristettä, että lattioiden lämpötila laskee. Tästä on myös se etu, että eläimet eivät viihdy makuulla kylmällä lattialla eivätkä siten likaa itseään. Rakolattiapalkit asettuvat sen sijaan huoneen lämpötilaan niiden päitä lukuunottamatta. Koska niiden lämpötilaa näin ollen ei voida laskea alle ilman lämpötilan, ainoiksi vaihtoehdoiksi rakolattian ollessa kyseessä jää rakolattiapalkkien

pitäminen niin kuivana kuin mahdollista, niiden pinta-alan rajoittaminen, ilman nopeuden rajoittaminen sekä ilman lämpötilan laskeminen. Sekä kosteiden pintojen pinta-alan rajoittaminen että puhtaus palvelevat samaa tarkoitusta. Nimittäin kun rakolattia-alaa on eläintä kohden alle 4 m^2 , pysyy rakolattia puhtaana ja sen pinta-ala on suhteellisen pieni. Puhtaalta rakolattialta myös virtsa valuu ja haihtuu nopeasti pois, ja kosteiden pintojen ala pysyy kohtuullisena.

- TAULUKKO 15. Pintalämpötilan aleneminen ilmavirran ansiosta vesi- ja sahanpurupinnalla eri ilmannopeuksilla kuivan ja märän lämpötilamittarin näyttämäeron ollessa $6 \text{ }^\circ\text{C}$ (ØKLAND ja LILLEND 1980 s. 22).
- Table 15. Reduction of surface temperature caused by airflow on water and saw dust surfaces as a function of the speed of the airflow, when the difference between dry and wet bulb is $6 \text{ }^\circ\text{C}$ (ØKLAND and LILLEND 1980 s. 22).

Pinnan laatu Surface type	Haihduttavan pinnan lämpötilan muutos, $^\circ\text{C}$ Change in the temperature of the surface, $^\circ\text{C}$		
	Ilman nopeus, m/s Speed of air, m/s		
	≈ 0	0,06 - 0,15	0,15 - 0,55
vesi water	-0,7	-1,2	-1,5
sahanpuru saw dust	-1,2	-2,1	-3,1

Huom ! Kuuden ($6 \text{ }^\circ\text{C}$) asteen lämpötilaero $12 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa kuivan ja kostean lämpömittarin välillä merkitsee 40 %:n suhteellista kosteutta.

Attention ! Difference of $6 \text{ }^\circ\text{C}$ between dry and wet bulb in a dry temperature of $12 \text{ }^\circ\text{C}$ means a relative humidity of 40 %.

Kosteudentuotantoa rakolattialta ei voida estää alapoiston avulla, koska niin suuria ilmamääriä, että pystysuora ilmavirtaus ylöspäin kokonaan estyisi, voidaan lihasikaloissakin käyttää ainoastaan kesällä (Sjarp, Sällvik ym., Pedersen, Albrechtsen Ref. JEPSSON 1987 s. 7) ja navetoissa ei silloinkaan (KARHUNEN 1984 s. 7). Kun lypsylehmää kohti saa olla korkeintaan 4 m^2 rakolattiaa, raon ja palkkien suhde on 1:3 (4 cm rakoa ja 12 cm palkkia) ja maksimi-ilmanvaihto on $250 \text{ m}^3/\text{h}$, saadaan suurim-

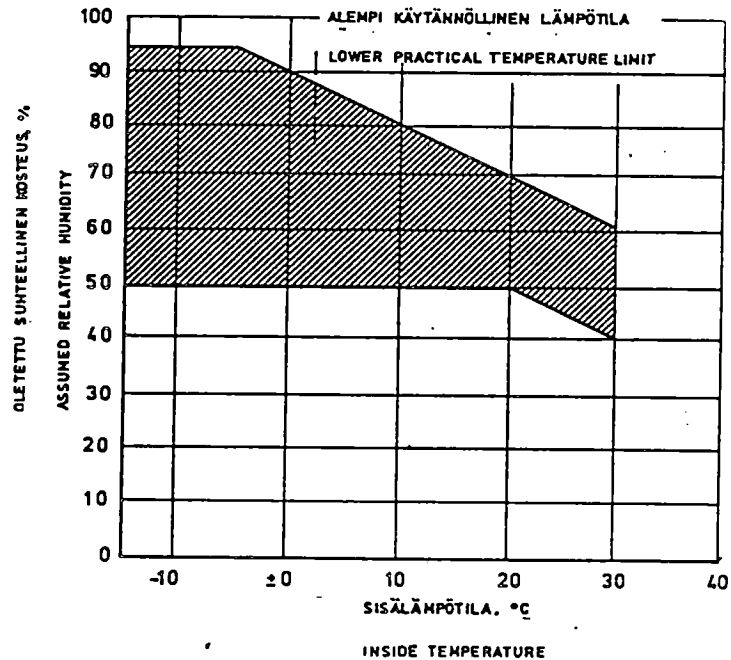
maksi mahdolliseksi ilman nopeudeksi raoissa 0,07 m/s. Jos rakolattia-ala pudotetaan 3 m²:iin lehmää kohti saadaan muiden tekijöiden ollessa vakioita ilman nopeudeksi 0,09 m/s. Rakolattian toiminnan kannalta ei ole suotavaa pienentää raon ja palkin suhdetta. Minimi-ilmanvaihdon vallitessa ilmanvaihto on 50 m³/h lehmää kohti, ilman nopeus raoissa kylmällä ilmalla on suurimmillaan viides osa edellisistä eli 0,01 - 0,02 m/s. Sällvikin ja Skarpin (Ref. GUSTAFSSON 1986 s. 233) mukaan ilmannopeus rakolattian läpi tulee olla vähintään 0,2 m/s, jotta ilman nouseminen rakolattian läpi voidaan kokonaan estää. Edellisestä voidaan päätellä, että alapoistolla ei voida osoittaa olevan mitään etua kosteusongelmien torjumisen kannalta.

Kosteudentuotanto neliötä kohti pienenee, kun suhteellinen kosteus kasvaa samassa lämpötilassa, siis kyllästymisvajaus pienenee, mutta samalla kosteiden pintojen ala kasvaa. Näin ollen kosteudentuotanto lattioilta kokonaisuudessaan riippuu kosteiden pintojen ominaiskosteudentuotannon pienenemisen ja kosteiden pintojen alan kasvusta (KIRSCHNER ym. 1976 s. 36). Kosteudentuotanto lattioilta riippuu myös pinnan rakenteesta (BÖRJESSON 1984 s. 29).

Kosteudentuotanto pienenee samassa suhteellisessa kosteudessa siirryttäessä kylmempään sisälämpötilaan, koska tällöin kosteusvajaus pienenee, eläimet sietävät suurempaa ilman suhteellista kosteutta. Kuviossa 4 on esitetty CIGR -työryhmän (ANON. a s. 5) suositus suhteellisesta kosteudesta eri lämpötiloissa.

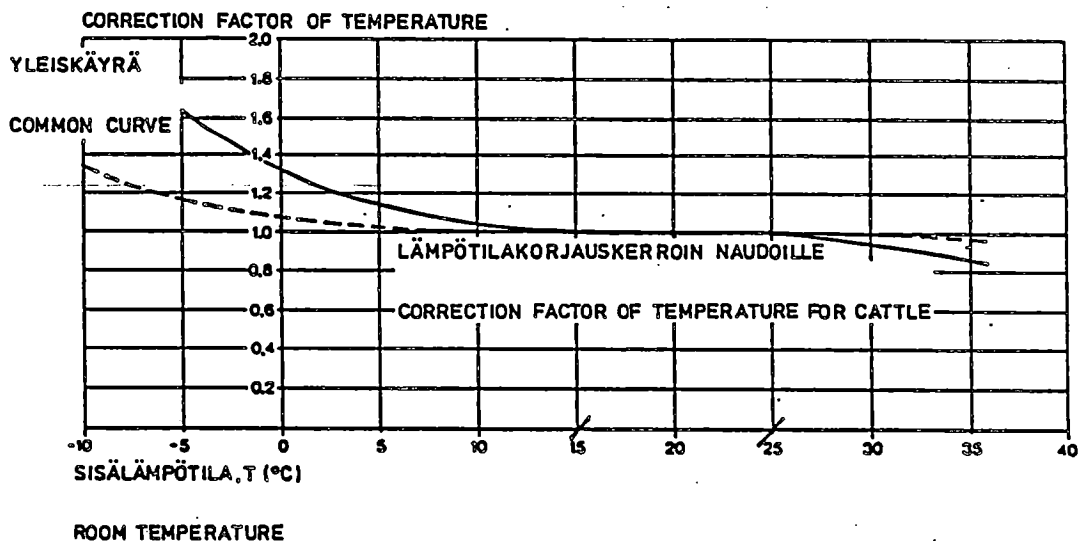
Nautaeläimet eivät myöskään luovuta enempää lämpöä eli kuluta enempää rehua, vaikka lämpötila lasketaan aina 8 °C asti, kuten kuvioista 5 näkyy (STRØM 1978 s. 11). Vasikoiden ja työntekijöiden takia lämpötila joudutaan yleensä kuitenkin pitämään korkeampana. Tämä voidaan kuitenkin välttää erillisellä lypsyasemalla silloin, kun on kysymys pihatosta. Tällöin lypsyaseman lämpötila voidaan pitää lypsytyön kannalta miellyttävämpänä eli 12 °C. Vasikat voidaan myös sijoittaa eri tilaan, jossa voidaan pitää muuta navettaa korkeampaa lämpötilaa. Tällöin on kuitenkin pidettävä erityistä huolta juottamon ilmanvaihdosta. Samassakin

tilassa voidaan vasikoita pitää tavallista pari astetta kylmem-
mässä lämpötilassa, jos käytetään riittävästi olkia kuivikkeina
ja lämpölamppua ensimmäisinä päivinä tai viikkoina.



KUVIO 4. CIGR -työryhmän suositus suhteelliseksi kosteudeksi eri sisälämpötiloissa (ANON. a s. 5).
Figure 4. Recommendation by CIGR work group for relative humidity in different inside temperatures in animal houses (ANON. a s. 5).

LÄMPÖTILAKORJAUSKERROIN, F_T



KUVIO 5. Navetan lämpötilan vaikutus eläinten lämmönluovutukseen (STRØM 1978 s. 11).
Figure 5. The heat production of the animals as a function of the temperature in the stable (STRØM 1978 s. 11).

2. MENETELMÄT

2.1. Tutkimuslaitteisto

2.1.1. Koelaitteiston kehittäminen ja toiminta

Tutkimuksen mittaukset tehtiin huoneessa, jossa suhteellinen kosteus ja lämpötila olivat asetettavissa toisistaan riippumatta. Se oli tätä tarkoitusta varten varustettu lämmitys-, jäähdytys- ja kostutuslaitteistolla. Alkuperäisessä koesuunnitelmassa kosteutta yritettiin haihduttaa venymäliuska-anturin varaan ripustetusta 0,5 m x 0,5 m haihdutusastiasta. Se oli lisäksi varustettu lauhdutusastialla. Lauhdutusastian ja sitä kautta haihduttavan pinnan jäähdytys ja lämmitys tehtiin lauhdutusyksikössä kierrätettävän veden avulla, jonka lämpötila oli vakioitu maidon jäähdytykseen tarkoitettussa suorajäähdytteisessä tilasäiliössä. Ilmavirran astiaa heiluttava vaikutus samoin kuin lauhdutusveden aiheuttama vaihtelu haihdutusastian painossa yhdistettynä koehuoneen laitteiston epävarmaan toimintaan saivat aikaan niin suuren hajonnan mittaustuloksiin, että tilastollisesti merkitseviä eroja oli mahdotonta tällä menetelmällä saada esille.

Koehuoneen koneisto oli rikkoontunut ja valvojakunnan kokouksen päätettyä, että menetelmä on muutettava tarkemmaksi, korjaustöiden aikana menetelmää kehiteltiin valvojakunnan esittämään suuntaan siten, että olosuhteet haihduttavan pinnan ympäristössä olivat helpommin kontrolloitavissa. Rakennettiin koehuoneen sisälle erillinen metallinen koekammio, joka tasoitti lämpötilan vaihteluita koehuoneessa, ja samalla voitiin suhteellista kosteutta säätää tiivistyspatterin avulla (kuva 1). Merkittävin parannus kuitenkin oli lauhdutusastian painonvaihtelun aiheuttaman hajonnan poistaminen mittaustuloksista. Enää ei punnittu haihduttavaa pintaa, vaan tiivistyspatterin pinnalle tiivistyvää kosteutta. Kun olosuhteet olivat koekammiossa tasoittuneet, kosteutta tiivistyi patteriin sitä mukaa, kun sitä haihduttavalta pinnalta syntyi. Olosuhteiden vakioiminen kesti kuitenkin varsin kauan. Olosuhteiden vaihtamiseen meni koko työpäivä,

vaikka muutokset tehtiin siten, että ne aiheuttivat mahdollisimman pienen häiriön koekammion ilmastoon.

2.1.2. Tutkimushuone ja sen ominaisuudet

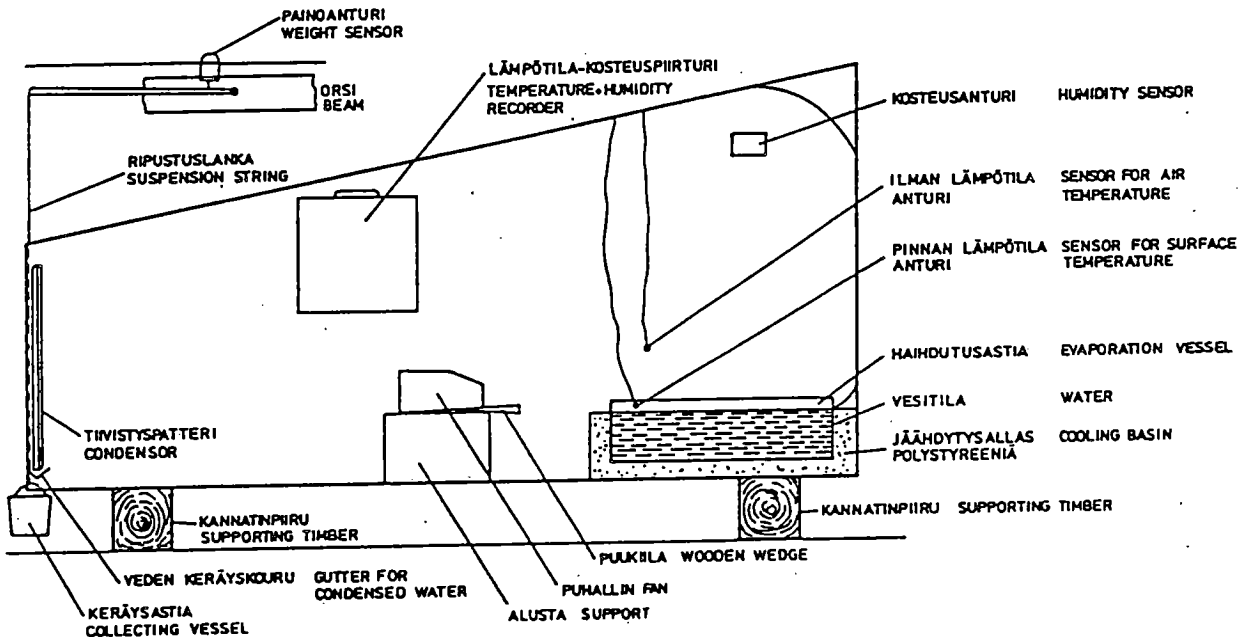
Tässä tutkimuksessa olosuhteiden kontrollointiin käytetyn huoneen pituus oli 700 cm, leveys 490 cm ja korkeus 220 cm. Tämän päällä oli vielä 45 cm korkea ilmankierrätystila. Huoneen seinät olivat ikilevyä ja lattia betonia. Huoneessa kiertävä ilma tuli katosta reikälevyn läpi ja poistui yhdestä kulmasta. Huoneen ilmanvaihto ei ollut täysin eristetty muusta rakennuksen ilmanvaihdosta. Tästä oli seurauksena, että rakennuksen ilmanvaihtolaitteiden pysähtyminen yöksi muutti olosuhteita jonkin verran. Pysähtymiset ja käynnistymiset ajoittuivat työajan ulkopuolelle, eikä niitä sen tähden voitu kompensoida säätöjä muuttamalla. Siten olosuhteita ei saatu täysin halutuiksi, vaikka ne säilyivätkin suhteellisen vakioina.

2.1.3. Koekammio

Koekammio oli 200 cm pitkä ja 80 cm leveä. Sen korkeus oli toisesta päästä 90 cm ja toisesta päästä 60 cm. Sen runko oli tehty kulmaraudasta, ja seinälevyt sekä pohjalevy metallilevystä. Kansi oli läpinäkyvää akryylimuovia, jossa oli sen keskivaiheilla 80 cm x 77 cm oleva läpinäkyvä luukku (kuva 1). Koekammio oli nostettu lattiasta irti 150 mm x 150 mm piirujen päälle, jotta lämpöä ei johtuisi laitteistosta lattiaan ja toisaalta sitä siirtyisi tasaisesti joka puolelta koekammioon.

Tiivistyspatteri oli koekammion matalammassa päässä, ja sen alle oli sijoitettu kulmaraudasta tehty kouru, jota pitkin tiivistynyt vesi juoksi ulkopuolella olevaan astiaan. Haihdutusastia oli sijoitettu korkeampaan päähän solumuovilla eristetyin lauhdutusastian päälle. Lauhdutus- ja haihdutusastiana käytettiin samoja astioita, joita oli käytetty jo alkuperäisen suunnitelman mukaisessa järjestelyssä. Puhallin oli sijoitettu

koekammion keskivaiheille alustan päälle, jota siirrettiin tarpeen mukaan.



KUVA 1. Koekammion rakenne.

Pic. 1. Construction of the experimental chamber.

2.1.4. Haihdutusastia

Haihdutusastia oli valmistettu sinkitystä teräslevystä. Lisäksi pinnat maalattiin syöpymisen estämiseksi. Haihdutusastian koko oli 0,5 m x 0,5 m. Astioiden reunan korkeus oli 5 cm. Astia täytettiin reunoja myöten vesipinnalta tapahtuvaa mittausta varten, jolloin reunat eivät estäneet ilmavirtausta. Astia täytettiin tarpeen vaatiessa.

Betonilaatta, rakolattia ja säilörehu asetettiin edellä mainittuun haihdutusastiaan asianomaisessa mittauksessa. Betonilattian ja rakolattian jäljitelmän kostutus järjestettiin näissä mittauksissa automaattiseksi lappoperiaatteella.

2.1.5. Haihduttavan pinnan lämpötilan säätö

Haihdutusastian lämpötilaa säädettiin tilasäiliöön varastoidun vesimassan avulla. Tilasäiliön tilavuus oli vajaat 900 litraa. Vesi kierrätettiin haihdutusastian alla olevassa lauhdutusaltaassa uppopumpun avulla, jolloin haihdutusastian lämpötila asettui varsin lähelle tilasäiliön veden lämpötilaa, varsinkin silloin kun lämpötilaeroa lauhdutusaltaan ja huoneilman lämpötilan välillä ei ollut. Mikäli lämpötilat erosivat toisistaan tilasäiliössä olevan veden lämpötila jouduttiin asettamaan 1 - 2 °C suuremmaksi tai pienemmäksi sen mukaan oliko haihdutusaltaan lämpötilan tarkoitus olla suurempi vai pienempi kuin huoneen lämpötila vastaavassa järjestyksessä. Pumppu pyrki lämmittämään lauhdutusaltaassa kiertävää vettä, jolloin sen lämpötila kohosi varsinkin silloin, kun lauhdutusastiassa oleva vesi oli koekammion ilman lämpötilaa kylmempi, mutta näin tapahtui myös silloin, kun lauhdutusveden lämpötila oli yhtä suuri tai suurempi kuin koekammion ilman. Lämpiyminen oli kuitenkin tällöin hitaampaa. Lämpiyämisestä oli haittaa lähinnä silloin, kun liikuttiin tilasäiliön termostaatin käyttöalueen ulkopuolella (> 8 °C). Tällöin tilasäiliössä olleen veden lämpötila jouduttiin säätämään käsin, ja se pääsi nousemaan mittauksen aikana asteen taikka pari. Tästä ei ollut kuitenkaan ratkaisevaa haittaa tulosten käsittelytavan takia.

2.1.6. Koekammion lämpötilan säätö

Koekammion lämpötilaa säädettiin koehuoneen lämpötilaa säätämällä. Koska koekammio oli tehty metallista, lämpötila sen sisällä asettui varsin lähelle koehuoneen lämpötilaa. Koehuoneen lämpötila jouduttiin kuitenkin jossain tapauksissa asettamaan koekammion

tavoitelämpötilaa suuremmaksi tai pienemmäksi sen mukaan, oliko tiivistyspatteri kylmempi tai yhtä lämmin kuin kammion ilma ja oliko haihdutuspinna kylmempi, yhtä lämmin tai lämpimämpi kuin koekammion ilma. Lämpötilaa seurattiin koekammioon asetetulla Lambrecht -lämpötila-kosteuspiirturilla. Piirturissa oli viikon paperi, jolloin siitä oli helppo seurata muutosten suuntaa ja säätää koehuoneen lämpötilaa tarpeen mukaan. Samalla se toimi tiedonkeruun varajärjestelmänä.

Varsinainen koekammion lämpötilan mittaus oli järjestetty Pt100-tyyppisellä vastusanturilla, joka oli edelleen yhdistetty tiedonkeruulaitteistoon. Mittaukseen jouduttiin käyttämään Pt100 -antureita, koska termoelementtien mittaustarkkuus ei ollut riittävä. Pt100 -antureiden keskinäinen näyttämäero oli alle 0,1 °C.

2.1.7. Koekammion suhteellisen kosteuden säätö

Koekammion suhteellista kosteutta kontrolloitiin koekammion toisessa päässä olleen tiivistyspatterin avulla. Asettamalla tiivistyspatterin lämpötila koekammion ilman lämpötilaa pienemmäksi voitiin suhteellista kosteutta laskea 100 %:sta alaspäin, siten että suhteellinen kosteus oli 100 %, kun tiivistyspatterin lämpötila oli sama kuin koekammion. 4 - 6 °C lämpötilan pudotus vastasi 10 %-yksikön suhteellisen kosteuden alennusta. Lämpötilaa pudotettiin kierrättämällä glykolivettä tavallisessa keskuslämmityspatterissa, joka siis toimi tiivistyspatterina. Glykolivesi jäädytettiin uppojäädyttimellä saavissa, josta sitä kierrätettiin uppopumpun kanssa tiivistyspatteriin. Suhteellista kosteutta tarkkailtiin Lambrecht -kosteusanturilla sekä edellä kohdassa 2.1.6. mainitulla Lambrecht -lämpötila-kosteuspiirturilla.

Suhteellinen kosteus mitattiin Lambrecht- kosteusanturilla. Sen toiminta perustui Pernix-kuidun pituuden muutokseen. Toimintaperiaate on sama kuin hiuskosteusmittarilla. Virtaviestin lisäksi siinä oli analoginen suhteellisen kosteuden näyttö. Käytännön

syiden takia viesti muutettiin kuitenkin vastuksen avulla jänniteviestiksi.

2.1.8. Ilmavirran säätö

Haihduttavan pinnan yli puhalleettiin ilmaa. Oikea ilman nopeus saatiin aikaan siirtämällä puhallinta sopivaan paikkaan koekammi-
on sisällä. Se oli sijoitettu alustan päälle noin 10 cm haihdut-
tavan pinnan yläpuolelle ja 0 - 0,5 metrin etäisyydelle ilman
nopeudesta riippuen. Puhallussuuntaa voitiin säätää vaakasuunnas-
sa kääntämällä puhallinta ja pystysuunnassa säätämällä puhaltimen
ja alustan välille asetettua puukiilaa. Ilmavirran nopeus
mitattiin kuumalanka-anemometrillä useiden mittausten keskiarvona
5 mm haihduttavan pinnan yläpuolelta ja tasaisesti useasta
kohdasta.

2.1.9. Haihdutetun kosteuden mittaus

Haihtuva kosteus kerättiin talteen tiivistämällä se edellä
kohdassa 2.1.7. mainitulla tavalla. Tiivistyvän kosteuden keruu
ja kosteuden säätö toimivat siten yhdessä. Tiivistyspatterilta
vesi valui kulmaraudasta tehtyyn kouruun ja edelleen sitä pitkin
putken kautta punnitusastiaan. Punnitusastia riippui venymälius-
ka-anturista, joka välitti edelleen tiedon astian painosta
keruulaitteelle.

Venymäliuska-anturi oli Raute -merkkinen, ja sen nimelliska-
pasitetti oli 20 kg. Erottelukyky 10 V:n syöttöjännitteellä oli
yksi gramma (1 g). Erottelukykyä parannettiin rakentamalla
välitys, joka kymmenkertaisti astian painon. Tämä oli mahdolis-
ta, koska astia painoi suurimmillaan ainoastaan 2 kg. Anturin
viesti oli suurimmillaan 20 mV. Siitä saatiin astian paino
0,1 g:n tarkkuudella.

2.2. Suoritetut kokeet

Koekammion lämpötiloina käytettiin 8, 12 ja 16 °C. Suhteellisen kosteuden arvoina käytettiin 70, 85 ja 95 %. Haihduttavan pinnan lämpötilan arvoina käytettiin -3, 0 ja 3 °C:n lämpötilaa koekammion lämpötilaan nähden. Ilman nopeutena käytettiin 0,2 ja 0,3 m/s. Mittaukset tehtiin kaikilla olosuhdeparametrien yhdistelmillä vain puhtaalla vedellä. Tuoreen säilörehun, betonilattian ja rakolattian mittaukset tehtiin vain perusolosuhteissa eli koekammion lämpötilassa 12 °C, 85 % suhteellisessa kosteudessa, ilman nopeudella 0,2 m/s sekä pohjan lämpötilan ollessa sama kuin koekammion. Mittausten aikana kuitenkin havaittiin, että 70 %:n suhteellista kosteutta ei voitu saada aikaan ja samalla mitata tiivistyvää kosteutta, mikäli koekammion ilman lämpötila oli vain 8 °C. Jos lisäksi pinnan lämpötila oli 3 °C alle koekammion ilman lämpötilan, 95 %:n suhteellista kosteutta ei voitu saada aikaan, koska kosteutta ei tällöin synny haihduttavasta pinnasta, vaan sitä tiivistyy haihduttavaan pintaan. Näissä kohdissa mitattiin vain kahdessa suhteellisessa kosteudessa. Ensin mainitussa tapauksessa toinen mittaus tehtiin niin pienessä kosteudessa kuin mahdollista, toinen 95 %:n suhteellisessa kosteudessa. Jälkimmäisessä tapauksessa suhteellinen kosteus pidettiin vastaavasti niin suurena kuin se oli mahdollista.

Mittausten ja alustavien analyysien perusteella selvisi, että kosteudentuotanto oli yleistettävyyden parantamiseksi syytä selvittää myös suuremmalla ilmannopeudella kuin mitä tutkimussuunnitelmassa alunperin oli tarkoitus tehdä. Sen vuoksi mitattiin kosteudentuotanto 12 °C lämpötilassa ja 85 %:in suhteellisessa kosteudessa vesipinnalla myös ilman nopeudella 1,0, 1,9 ja 3,55 m/s.

Edellisistä mittausjaksoja kertyi yhteensä 54 kappaletta. Mittaukset tehtiin siten, että päivän aikana muutettiin olosuhteita ja varsinainen mittaus tapahtui yöllä. Mittausjaksoa kohti havaintoja kertyi noin 250 kpl. Havaintojakson pituus oli

yleensä viisi minuuttia. Yhden mittausjakson kesto oli siten vajaat 21 tuntia.

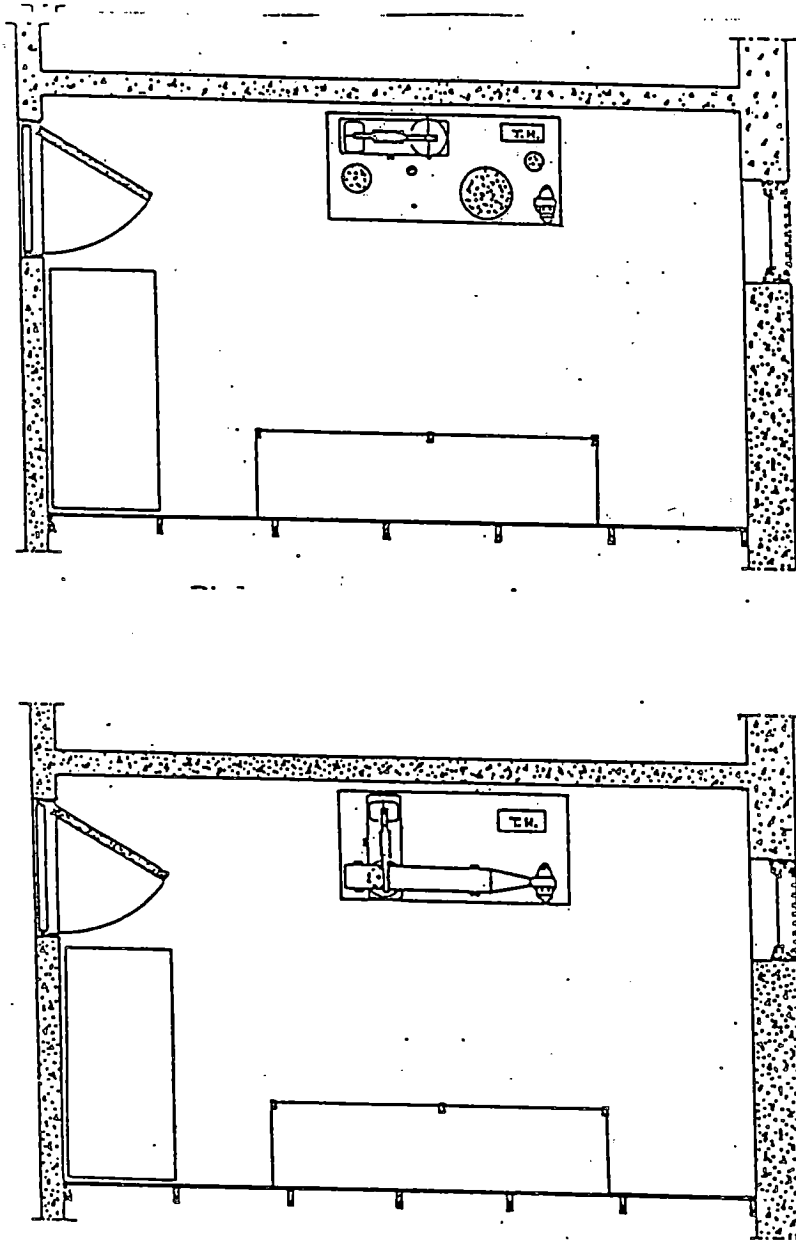
Mittausolosuhteiden muuttaminen edellytti useiden pienten korjausten tekemistä päivän kuluessa. Mittausolosuhteita järjestettäessä ei aina ollut mahdollista päästä täysin tavoitteena olleisiin arvoihin. Sillä ei ollut kuitenkaan tutkimuksen kannalta merkitystä. Tärkeintä oli olosuhteiden säilyminen mahdollisimman tasaisina koko mittausajanjakson ajan. Hidas muuttuminenkaan ei vaikuttanut tuloksiin, koska olosuhteet mitattiin automaattisesti jokaisena havainnontekoajankohtana, siis yleensä kerran viiden (5) minuutin aikana.

2.3. Käytetyn menetelmän arviointi

BURRAGE ym. (1988 s. 203 - 204) olivat saaneet sienten kasvatus-tunnelissa tietokoneohjatulla säätöjärjestelmällä ilman lämpötilan pysymään rajoissa ± 1 °C käyttämällä yläpuolista höyrykierukalämmitystä ja rajoissa $\pm 0,2$ °C käyttämällä seinälle kiinnitettyjä lämmitysputkia sekä kasvatusalustan lämpötilan rajoissa ± 2 °C sekä suhteellisen kosteuden rajoissa ± 3 %-yksikköä asetetuista arvoista. Willitsin ym. (Ref. BURRAGE ym. 1988 s. 204) mukaan tietokoneohjatulla säätöjärjestelmällä oli päästy kasvihuoneessa lämpötilan vaihtelualueelle $\pm 1,6$ °C asetetusta arvosta ja Staffallin ja Marshallin (Ref. BURRAGE ym. 1988 s. 205) mukaan vastaavalla järjestelmällä, mutta kiertoilman lämmityksellä varustettuna $\pm 0,4$ °C vaihtelurajoihin. Käytettävissä ollut laitteisto oli käsittänyt seinällä olevat lämmitysputket, yläpuolisen höyrylämmityskierukan, jäähdytyskoneen ja yläpuolisen höyrystimen sekä ilmanvaihdon säätöläpän. Ohjaukseen oli käytetty tavallista mikrotietokonetta, ja ohjelmointikielenä oli ollut Basic. Ohjelma oli toiminut kahden minuutin syklillä. Laitteistolla oli pyritty ilman lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja hiilidioksidipitoisuuden sekä kasvualustojen lämpötilan vakioimiseen asetettuihin arvoihin. Tilanne oli täysin verrannollinen tässä tutkimuksessa käytettyyn koejärjestelyyn. Tässä

tutkimuksessa ei kuitenkaan säädetyssä tilassa syntynyt niin paljon kosteutta, että ilmanvaihtoa olisi jouduttu säätämään.

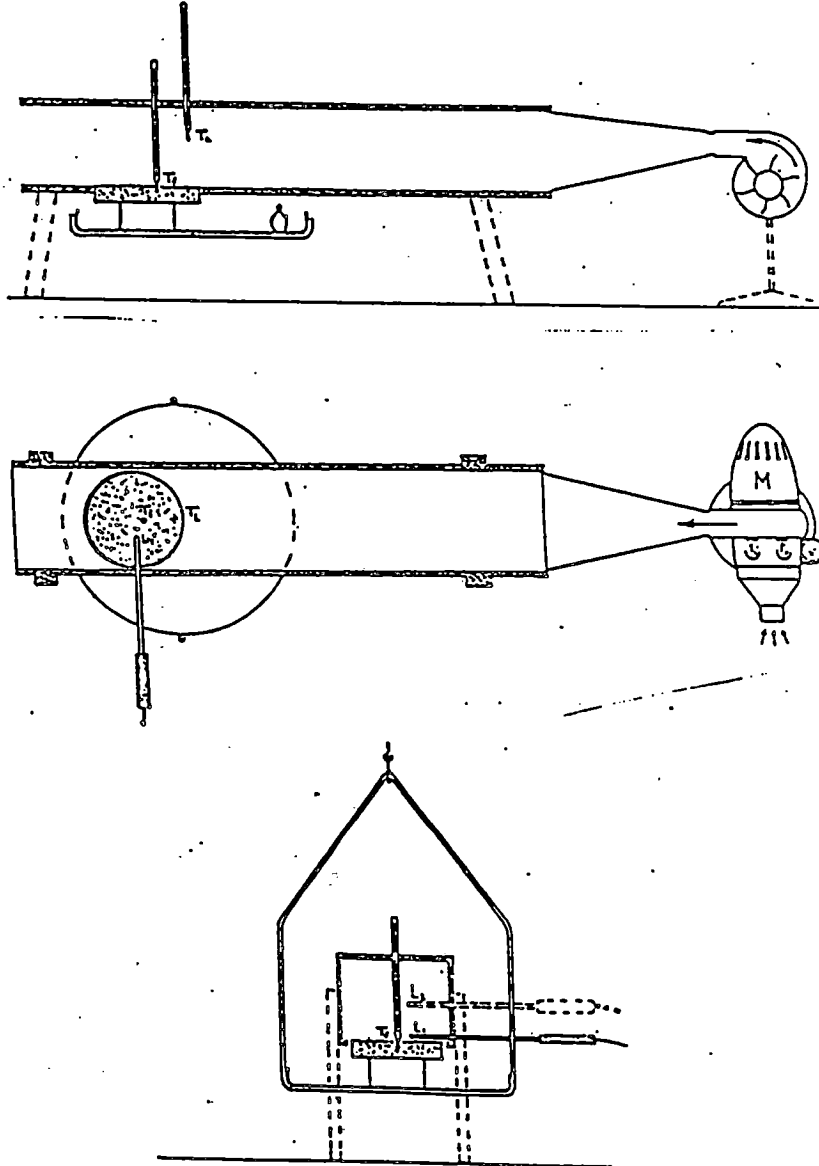
ØKLAND ja LILLENG (1980 s. 10 - 11) tutkivat kosteudentuotanto kuvan 2 mukaisella laitteistolla.



KUVA 2. ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 10 - 11) käyttämä laitteisto kosteudentuotannon mittaamiseksi.

Pic. 2. Implement used by ØKLAND and LILLENG (1980 p. 10 - 11) for measuring humidity production.

ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 10 - 11) kokeessa käyttämä laitteisto oli ollut sijoitettu metrin (1 m) korkealle pöydälle huoneessa, jonka mitat olivat: 2,2 m x 3,7 m x 2,2 m. Huoneen seinistä kolme oli ollut betonista ja yksi seinä maavallia vastaan. Huoneen lämpötilaa oli säädetty kahdella lämmittimellä, joista toinen oli ollut jatkuvasti toiminnassa (300 W) ja toista (250 W) oli ohjattu termostaatilla.



KUVA 3. ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 11) käyttämä mittauskanava.
 Picture 3. Measuring tube used by ØKLAND ja LILLENG (1980 p. 11)

Lämpötilan ØKLAND ja LILLENG (1980 s. 11) olivat mitanneet psykrometrilla ja sauvalämpömittareilla kanavasta puhaltimen jälkeen sekä haihduttavasta pinnasta, kuten kuvasta 3 nähdään. Tässä tutkimuksessa lämpötilat mitattiin vastusantureilla. ØKLANDin ja LILLENGin (1980) tutkimuksessa kosteus oli mitattu sähkökäyttöisellä psykrometrillä. Ilmavirran synnyttävänä puhaltimena oli toiminut psykrometrin puhallin. Ilmavirran nopeus oli mitattu kuumalanka-anemometrilla. Mittaus oli tapahtunut 5 mm ja 35 mm haihduttavan pinnan yläpuolella. Näistä 5 mm:n korkeus oli valittu vertailujen pohjaksi.

Tässä tutkimuksessa olosuhteiden säätelyyn käytettiin koehuonetta, joka oli varustettu kiertoilmalämmityksellä ja -jäähdytyksellä. Kostutinta ei käytetty. Järjestelyn tarkkuus voidaan olettaa Staffalin ja Marshallin (Ref. BURRAGE ym. 1988 s. 205) järjestelyn suuruiseksi eli $\pm 0,4$ °C. Seinälle kiinnitettävällä lämmitys- ja jäähdytysputkistolla olisi ilmeisesti saavutettu suurempi tarkkuus. Tähän ei kuitenkaan tutkimuksessa ollut mahdollisuutta.

BURRAGE (1988 s. 204) oli säätänyt kasvatusalustan lämpötilaa välillisesti ilman lämpötilan avulla, joten sen säätötarkkuus ei ole verrattavissa tämän tutkimuksen haihdutusastian lämpötilan säädön tarkkuuteen. Tässä tutkimuksessa haihdutusastian lämpötilan vaihteluun vaikutti lähinnä lauhdutusastian lämpötilan vaihtelu.

Tässä tutkimuksessa ilman suhteellista kosteutta säädettiin käsin tiivistyspatterin avulla ilman varsinaista säätöjärjestelmää. Suhteellisen kosteuden vaihtelun syynä oli tällöin lähinnä vaihtelut muissa olosuhdeparametreissa.

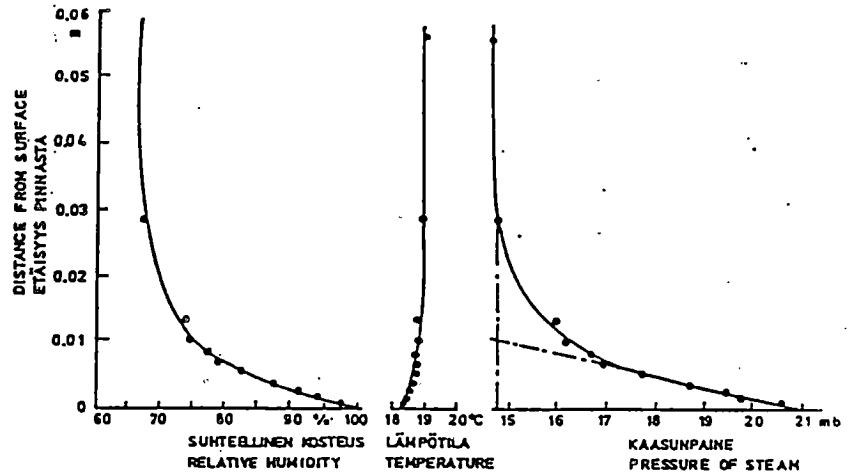
BURRAGE ym. (1988 s. 197) olivat todenneet, että suhteellisen kosteuden mittaamiseen sienien kasvatuksen vaatimassa korkeassa suhteellisessa kosteudessa soveltuu psykrometri paremmin kuin kapasitiiviset anturit. Suhteellinen kosteus vaihteli luolassa välillä 90 - 95 % riippuen kasvatusvaiheesta. Suuren suhteellisen kosteuden lisäksi kapasitiiviset anturit ovat herkkiä ilman epäpuhtauksille. Näin ollen sienten kasvatusympäristön olosuhte-

ta voidaan pitää karjarakennusten kaltaisina, ehkä hieman vaativimpinakin, koska osan aikaa luolan lämpötila oli yli 20 °C. ØKLAND ja LILLENG (1980 s. 12) käyttivät kosteuden mittaukseen sähkökäyttöistä psykrometria, joka samalla antoi haihduttavalle pinnalle tarvittavan ilmavirtauksen. Heidän tutkimuksessaan suhteellinen kosteus oli kuitenkin pieni, vain 42 - 56 % (ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 12). Olosuhteiden kehitystä he seurasivat lämpötilakosteuspiirurilla, jonka sijoitus selviää kuvasta 2. KAPUISEN ja KARHUSEN (1988 s. 29) mukaan sähköisten psykrometrioiden toiminta oli epävarmaa erittäin kosteissa (suhteellinen kosteus yli 90 %) oloissa. Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa päädyttiin käyttämään hiuskosteusanturia, jossa oli sekä analoginen viisarinäyttö, että sähköinen viestilähetin automaattista tiedonkeruuta varten. Anturi toimi hyvin kosteissa olosuhteissa hyvin, ja sen näyttämä vastasi myös räikkäpsykrometrin antamia arvoja, joten niitä voidaan pitää luotettavina. Hiuskosteusanturissa ei myöskään ole kuluvia osia, joten se voidaan jättää ilman valvontaa pitkäksi aikaa, toisin kuin sähköinen psykrometri, jolla ongelmana on lisäksi kostean lämpömittarin veden syötön järjestäminen. Vaikein mittaustulos on suhteellinen kosteus välillä 90 - 100 %.

Tässä tutkimuksessa ilmavirran synnyttämiseen käytetty puhallin huolehti kosteuden tasaisesta jakautumisesta koekammiossa. Koska koekammio oli suhteellisen pieni navetan mittoihin nähden paluuvirtaus yläkautta tiivistyspatterille oli suhteellisen nopea verrattuna navetatiloihin. Tämä oli kuitenkin tarkoituksellinen ominaisuus. Ilmavirran virtausnopeutta tiivistyspatterilla lisättiin tarkoituksellisesti tekemällä tämä pää koekammiota matalammaksi. Hyvästä sekoittumisesta oli kaiken kaikkiaan tuloksena tasainen lämpötila ja suhteellinen kosteus koko koekammiossa. Tämä todettiin sijoittamalla kammioon useita piirtureita. Piirtureiden välillä ei ollut havaittavaa eroa.

Kosteusanturi oli sijoitettu koekammion yläosaan poraamalla sille aukko koekammion kylkeen. Kuten kuviosta 5 voidaan todeta kosteusanturin tulee sijaita vähintään 5 cm haihduttavan pinnan

yläpuolella. Tässä tutkimuksessa se sijoitettiin 65 cm:n korkeudelle (kts. kuva 1)..



KUVIO 5.

Suhteellinen kosteus (%), lämpötila (°C) ja kaasunpaine (mbar) etäisyyden (m) funktiona haihduttavasta pinnasta (ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 4).

Figure 5.

Relative humidity (%), house temperature (°C) and pressure of steam (mbar) as function of distance (m) to humidity producing surface (ØKLAND and LILLENG 1980 p. 4).

Tässä tutkimuksessa ilmavirran mittaus oli täysin samanlainen kuin ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 12) tutkimuksessa. Ilmavirran säätö tehtiin edellä mainituista tutkimuksista poiketen muuttamalla puhaltimen paikkaa eikä nopeutta. Ilman nopeuden säätömenetelmillä ei liene merkittävää eroa. Tässä tutkimuksessa käytettiin kuitenkin myös ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 25) käyttämää enintään 0,55 m/s suurempaa ilman nopeutta aina 3,55 m/s saakka, joten ilman nopeuteen liittyvät parametrit b ja c (kohta 2.4.) tulivat periaatteessa tarkemmin määritetyksi.

Painon muutoksien mittaamiseksi ØKLAND ja LILLENG (1980 s. 12) olivat sijoittaneet haihdutusastiat vaa'alle. Vaa'an mittausalue oli ollut 0 - 20 g ja tarkkuus 0,05 g. Aika, jolta painon muutos oli mitattu, oli ollut 3 - 12 tuntia. Haihduttavia pintoja oli kasteltu 1 - 2 kertaa päivässä. Tässä tutkimuksessa vaa'an erottelukyky oli 0,1 g mittaussjärjestelyn takia. Haihduttava ala oli kuitenkin huomattavasti suurempi (0,25 m²) kuin ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 23) käyttämä (0,0003 - 0,06 m²) eli enimmillään neljäsos edellisestä, jolloin yksikössä g/m²h *

mbar lausuttuna punnituksesta johtuva virhe tässä tutkimuksessa oli varmasti pienempi. Jotta ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 12) vaa'an tarkkutta voitaisiin verrata tämän tutkimuksen vaa'an tarkkuuteen, ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 12) vaa'an tarkkuus on kerrottava ainakin neljällä. Tällöin verrannollinen tarkkuus olisi tarkimmillaankin 0,2 g. Verrattuna vaa'an kapasiteettiin (2 kg) tässä tutkimuksessa vaa'an tarkkuus eli suhteellinen tarkkuus oli merkittävästi parempi. Tässä tutkimuksessa mittaukset samoissa olosuhteissa kestivät noin 21 tuntia, kun ne ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 12) tutkimuksessa olivat kestäneet vain 3 - 12 tuntia.

ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 23) tarkoituksena oli ollut mitata reunavaikutus ja ilman nopeuden vaikutus kosteudentuotantoon kosteilta pinnoilta. Kyllästysvajaus oli laskettu ilman ja pinnan lämpötilan sekä ilman suhteellisen kosteuden perusteella tarkoituksena yleistää tulokset myös muihin ilmasto-olosuhteisiin, aivan kuten tässäkin tutkimuksessa. Mittausten aikana lämpötila oli vaihdellut 11,5 - 21 °C välillä ja suhteellinen kosteus välillä 42 - 56 %. Lämpötila-aluetta voidaan pitää hyvänä vertailukelpoisuuden kannalta tähän tutkimukseen verrattaessa. Sen sijaan suhteellinen kosteus oli ollut verraten alhainen tämän tutkimuksen kannalta kuin myös käytännön navetoiden olosuhteisiin verrattaessa. Näin ollen laajennettaessa ØKLANDin ja LILLENGin (1980) tutkimuksen tuloksia navetoille tyypilliselle alueelle saattaavat virheet tulla liian suuriksi, koska kosteudentuotanto olosuhteissa on huomattavasti ØKLANDin ja LILLENGin (1980) tutkimuksen mittausten tuloksia pienempi suuremman suhteellisen kosteuden ja sitä kautta pienemmän kyllästymisvajauksen takia.

BÖRJESSON (1983 s. 29) oli tutkinut samankaltaista kosteudentuotanto-ongelmaa kasvihuoneissa kuin mitä navetoissakin esiintyy. Koska kasvihuoneissa suhteellista kosteutta säädetään haihduttavien pintojen pinta-alalla ja pinnan tyypillä, oli niiden haihduttamien vesimäärien selvittäminen ollut tärkeää. Hän oli verrannut kahta haihdutusmattoa kontrollipintana olleeseen vesipintaan. Hän oli mitannut jatkuvasti painonmuutoksen,

ilman lämpötilan ja -kosteuden, veden ja sen pinnan lämpötilan sekä ilman nopeuden. Hänen käyttämänsä haihdutuspinta oli ollut 1 m² ja siinä oli ollut 2 cm:n reunat. Alue oli ollut näin ollen nelikertainen tämän tutkimuksen haihdutuspintaan nähden. Sen sijaan astian reunat olivat olleet matalammat. Tällä ei kuitenkaan pitäisi olla merkitystä, koska astiat olivat kaiken aikaa täynnä. ØKLAND ja LILLENG (1980 s. 9) sijoittivat kosteutta tuottavat astiat noin metrin korkeudella olevalle pöytätasolle sijoitetulle vaa'alle. ØKLAND ja LILLENG (1980 s. 9) käytti haihduttavana pintana puhdasta vettä, sahanpurua, betonia, olkea ja säilörehua. Tässä tutkimuksessa haihduttavina pintoina käytettiin vapaata vesipintaa, betonilattiapintaa, rakolattiapintaa ja säilörehupintaa.

2.4. Tiedon keruu ja tietojen siirto käsittelyyn

Tiedonkeruulaitteistona käytettiin HP 71B pienoistietokoneeseen liitettyä tiedonkeruulaitetta ja HP:n tiedonkeruuhjelmistoa "Strip Chart". Kaikki mittausarvot johdettiin tiedonkeruulaitteelle jännite- tai vastusviesteinä ja muunnettiin edelleen käsittelyä varten. Siten talletettava tiedosto koostui matriisista, jonka rivit muodostuivat havainnoista ja sarakkeet olivat: aika (s) mittauksen alusta, ilman lämpötila 20 cm haihduttavan pinnan yläpuolella (°C), koehuoneen lämpötila (°C), koekammion suhteellinen kosteus (%), haihduttavan pinnan lämpötila (°C) ja haihdutusastian paino (kg). Alkuperäisistä HP71B ASCII -tiedostoista näkyy myös havainnontekohetki sekunnin tarkkuudella päivämäärineen. Aikatiedon avulla voidaan tehdä vertailuja mekaanisen piirturin ja tiedostojen välillä.

Muunnosohjelmien avulla tiedostot muunnettiin ensin desimaalimuotoisista ASCII -tiedostosta heksadesimaalimuotoisiksi ASCII-tiedostoiksi ja sitten heksadesimaalimuotoisiksi BDAT -tiedostoiksi tiedostojen käsittelemiseksi HP 200/300 -sarjan tietokoneella ja sen tilasto-ohjelmistolla.

Haihdutusajanjakson olosuhteina pidettiin sen päättymishetkenä vallinneita olosuhteita. Koska mittausväli oli lyhyt (5 min) tästä ei aiheutunut merkittävää virhettä, ja lisäksi mahdolliset virheet kumosivat toisensa. Haihdutettuna vesimääränä pidettiin havaintohetkeä edeltäneen havaintohetken ja havaintohetken välillä tiivistynyttä vesimäärää.

Edellä johdannossa esitetyn teorian pohjalta oletettiin, että kosteudentuotanto on muotoa:

$$W = k_m * (a + b * v^c) * \Delta p \quad (22)$$

- jossa
- k_m = pinnasta riipuva kerroin (0,75 - 1,00)
surface dependent factor
 - a = kosteudentuotanto ilman nopeuden ollessa 0 m/s
humidity production when speed of air is 0 m/s
(4,0 - 20,4)
 - b = ilman nopeuden verrannollisuuskerroin (12,2 - 30)
coefficient factor of speed of air
 - v = ilman nopeus 5 mm:n etäisyydellä haihduttavasta
pinnasta ($\approx 0,2$)
speed of air at 5 mm distance from the evaporating
surface
 - c = ilman nopeuden eksponentti (0,7 - 1,0)
exponent of speed of air
 - Δp = kyllästysvajaus, mbar (≈ 2 , $t=12$ °C, RH 85%)
saturation deficiency

Vastauksen tutkimusongelmaan oletettiin siten löytyvän edellä esitetystä haarukasta. Yhtälön parametrit laskettiin epälineaarisen regressioanalyysin avulla tutkimusaineistosta. Tätä varten tehtiin Basic -ohjelman pätkä, joka laski koekammion lämpötilan ja suhteellisen kosteuden sekä haihduttavan pinnan lämpötilan perusteella kyllästysvajauksen. Ohjelma sijoitti kyseisen arvon havaintomatriisiin huoneenlämpötila -nimisen muuttujan tilalle, koska sitä ei enää tarvittu. Tiedostot pätkittiin kyllästymisvajauksen perusteella siten, että suurin piirtein samansuuruisen kyllästysvajauksen omaavat peräkkäiset mittaukset tulivat samaan tiedostoon. Kyseisistä tiedostoista laskettiin kosteudentuotannon keskiarvo ja hajonta. Saaduista keskiarvoista muodostettiin tiedostot erikseen kullekin pintatyyppille. Näille tiedostoille suoritettiin edellä mainittu epälineaarinen regressioanalyysi. Tähän tiedostoon hyväksyttiin mittaukset, joiden kyllästymisvajauksen 95 %:n luottamusväli oli pienempi kuin 0,2 mbar. Muiden

kuin vesipinnalta tapahtuneiden mittausten tiedostoihin hyväksyttiin kuitenkin mittaukset, joiden vastaava luottamusväli oli 0,3 mbar. Kosteudentuotannon kaava selvitettiin erikseen puhtaalle vedelle. Tähän liittyvien parametrinen selvittyä asetettiin muut kuin k_m kiinteäksi ja laskettiin k_m jäännössumman ollessa mahdollisimman pieni. Vastaavalla tavalla verrattiin muissa tutkimuksissa esitettyjen kaavojen sopivuutta tässä tutkimuksessa saatuun aineistoon.

2.5. Täytemaan lämmönläpäisevyyden määrittäminen

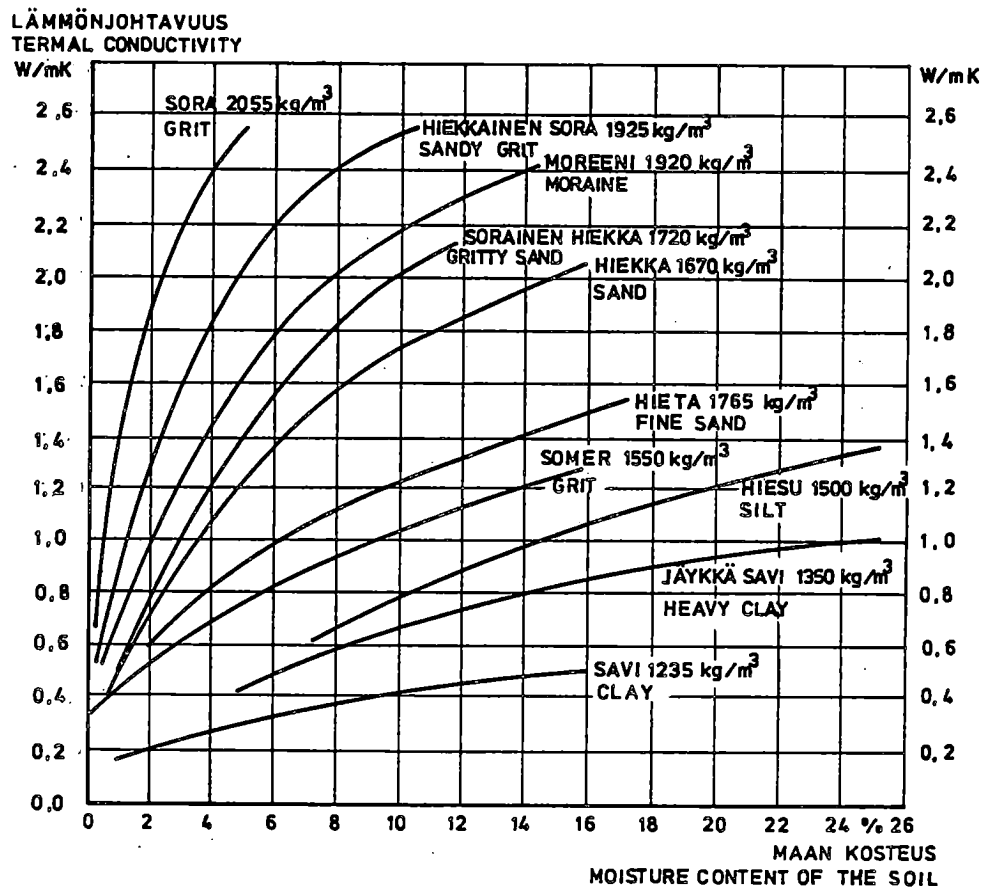
Erillisenä kokeena selvitettiin pohjamaan kosteus kolmesta (3) pihatosta tarkoituksena selvittää, johtuuko eräiden navetoiden lattian oletettua suurempi lämmönläpäisy oletettua kosteammasta, ja siten enemmän lämpöä läpäisevästä täytemaasta. Tämän suuntaisia epäilyksiä oli herännyt Pienten pihatoiden erityisvaatimukset -nimisen tutkimuksen (KAPUINEN ja KARHUNEN 1988 s. 81 - 82) aikana.

Tätä varten porattiin kolmen pihatton ruokintapöytäan noin 15 cm läpimittainen reikä täytemaahan asti. Täytemaahan upotettiin 10 cm läpimittainen ja 80 cm pitkä teräsputki, josta täytemaata imuroitiin kerroksittain (vyöhyke) ylös ja suljettiin muovipussiin kosteuden määrittystä varten. Samassa yhteydessä mitattiin lämpötiloja eri kerrosten rajapinnoissa termoelementtilämpömittarilla. Pihatton sisälämpötila samoin kuin ulkolämpötila oli mitattu Lambrecht -lämpötilakosteuspiirturilla viikon ajan ennen mittauksia. Lisäksi määritettiin lattioiden lämmönläpäisy säteilymittarilla. Määrittäykset tapahtuivat 0, 0,5, 1, 2, 3, 4, 5 ja niin edelleen metrin etäisyydellä seinästä ruokintapöytää pitkin niin pitkälle kuin säteilyn havaittiin pienenevän. Yhdessä pihatossa sama mittaus voitiin suorittaa myös poikkisuunnassa ruokintapöytäan nähden.

Kairausrei'ästä saaduista näytteistä määritettiin niiden kosteus painoprosentteina (p-%) kuivapainosta sekä niiden tilavuuspaino. Näytteet kuivattiin 95 °C lämpötilassa neljän vuorokauden ajan.

Yhdestä näyte-erästä varmistettiin, että näytteet eivät enää kuivaneet viidennen vuorokauden aikana.

Kosteuden ja tilavuuspainon perusteella voidaan maan lämmönjohtavuus todeta kuviosta 6 (VUORELAINEN 1972).



KUVIO 6.

Erilaisen tilavuuspainon omaavien maalajien lämmönjohtavuuden riippuvuus maan kosteudesta painoprosentteina kuivapainosta (VUORELAINEN 1972).

Figure 6.

The thermal conductivity of various soil types with different densities as a function of the moisture content of the soil, the moisture content is expressed in per cent of the dry weight (VUORELAINEN 1972).

Näin saatua lämmönjohtavuutta verrattiin normissa Sisäasiainministeriön rakennusohjeessa (ANON. 1979 s. 7) käytettyihin arvoihin, jotka selviävät taulukosta 16.

- TAULUKKO 16. Eräiden täytemaalajien normaalin lämmönjohtavuus sisäasiainministeriön ohjeen mukaan (ANON. 1979 s. 7).
- Table 16. Normal thermal conductivity of some soil types used for filling under foundations by an instruction of the Ministry of the Interior (ANON. 1979 p. 7).

	normaalinen lämmönjohtavuus, W/mK normal thermal conductivity, W/mK
savi, salaojitettu hiekka ja sora clay, drained sand and grit	1,4
hiesu, hieta ja moreeni sekä salaojittamaton hiekka ja sora silt, fine sand, moraine and undrained sand and grit	2,3
kallio rock	3,5

Mitattujen pihatoiden lattioiden lämmönläpäisevyydet laskettiin säteily- ja lämpötilamittausarvojen perusteella sekä sisäasiainministeriön rakennusohjeen mukaan (ANON. 1979), ja saatuja arvoja verrattiin keskenään sekä TUUNASEN ja KARHUSEN (1984 s. 23) esittämiin arvoihin. Lämpötilaerona käytettiin porausta edeltäneen viikon lämpötilan keskiarvoa mitattuna kolmen tunnin välein.

Mittausten perusteella saatujen lämmönvastusten (M-arvo) arvot ilmoitettiin ja niiden perusteella laskettiin lämmönjohtavuudet (k-arvo) kunkin vyöhykkeen keskiarvona. Lisäksi mitattuja lämmönvastuksia verrattiin sisäasiainministeriön rakennusohjeen (ANON. 1979) mukaisiin arvoihin kyseisen rakennusohjeen mukaisilla vyöhykkeillä.

3. TULOKSET

3.1. Kosteudentuotanto erilaisilta kosteilta pinnoilta

3.1.1. Kosteudentuotanto vesipinnalta

Tehtyjen mittausten perusteella edellä luvussa kaksi kuvatulla menetelmällä saatiin kosteudentuotannon kaavaksi kosteilla pinnoilla:

$$W = k_m * (10,9 + 18,4 * v^{1,2}) * \Delta p \quad (23)$$

jossa W = kosteudentuotanto kostealta pinnalta, g/m^2h
 humidity production from humid surface, g/m^2h
 v = ilman nopeus 5 mm kosteutta tuottavan pinnan
 yläpuolella, m/s
 speed of air at 5 mm above moisture producing
 surface, m/s
 Δp = kyllästymisvajaus, $mbar$
 saturation deficiency, $mbar$
 k_m = pinnasta riippuva kerroin (vesipinnalla 1)
 surface dependent factor (1 on water surfaces)

TAULUKKO 17. Kaavan 22 mukaisten parametrien k_m , a , b ja c
 95 %:n luottamusvälit saadussa kaavassa 23.
 Table 17. 95 % confidence intervals of parameters k_m ,
 a , b and c according to formula 22 in the
 studied formula number 23.

Parametri kaavassa Parameter in formula 22 23	Yksi kerrallaan l.v. One-at-a time c.i.	Yhtäaikainen l.v. Simultaneous c.i.
k_m (1,0)	- 1,4 - 3,4	- 2,9 - 4,9
a (10,9)	-16,2 - 38,0	-32,2 - 54,0
b (18,4)	-28,8 - 65,5	-56,6 - 93,4
c (1,2)	0,6 - 1,8	0,2 - 2,2

Arvioitu keskihajonta (s) jäännösvirheiden neliöiden perusteella oli $24,54 \cdot g/m^2h$.

Taulukossa 17 on esitetty kaavassa 22 esitetyjen parametrien k_m , a , b ja c yksi kerrallaan ja kaikki kerrallaan luottamusvälit. k_m :n luottamusvälit on ilmoitettu vesipinnalle. Vertaamalla

aikaisemmissa tutkimuksissa saatuja parametrien arvoja kyseisiin luottamusväleihin saadaan selville eroavatko kyseisten yksittäisten parametrien lukuarvot tässä tutkimuksessa saaduista parametrien lukuarvoista.

Taulukosta 18 selviää tulosten tarkastelussa käytettävien muuttujien vaihtelualue, jolla kaavaa (23) voidaan soveltaa tekemättä merkittävää virhettä.

TAULUKKO 18. Mittausalue tässä tutkimuksessa.
Table 18. Interval of studied independent variables.

Muuttuja Variable	Vaihtelualue Interval
paine-ero saturation deficiency	- 2,3 - 8,9 mbar
kosteudentuotanto humidity production	- 0,3 - 167,9 g/m ² h
ilman nopeus speed of air	0,2 - 3,6 m/s

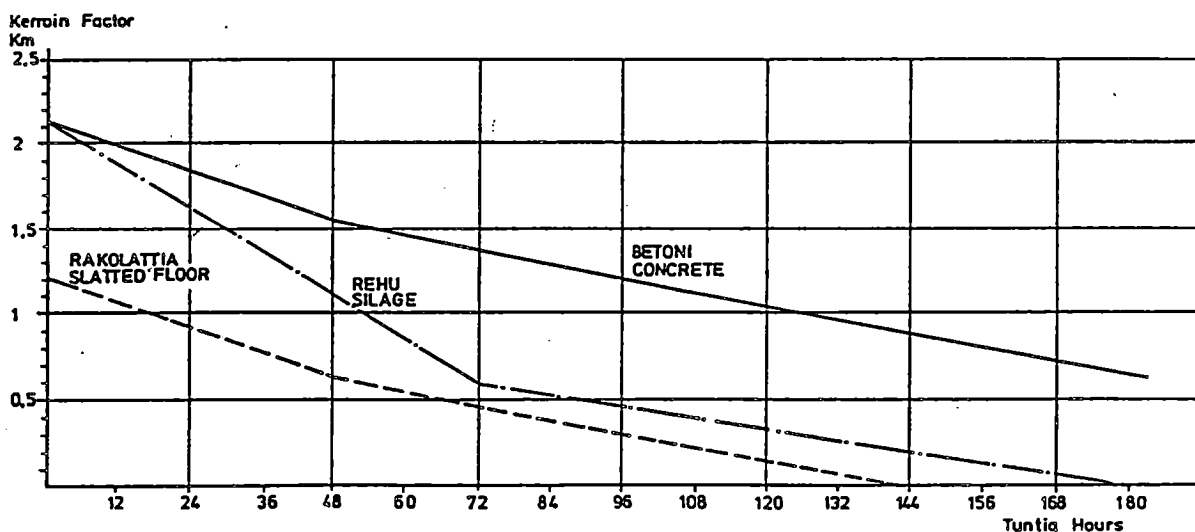
Vesipinnalta mitatun aineiston perusteella saadaan ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 19) mukaisella kaavalla keskimäärin 9,7 % suurempia arvoja. BENNINGERin (1979 s. 1) mukaisella kaavalla saadaan keskimäärin 24,1 % suurempia arvoja, kun taas Yamamoton (ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 8) antamalla kaavalla saadaan 9,4 % pienempiä arvoja. Tekniikan käsikirjan (ANON. 1975a s. 216, ANON. 1975b s. X - XII ja 634 - 635 ja ANON. 1975c s. 38) mukaisella kaavalla taasen saadaan kaikkein eniten poikkeavia arvoja. Sen antamat arvot ovat tämän tutkimuksen aineistoon verrattuna keskimäärin 50,5 % suurempia.

3.1.2. Kosteudentuotanto muilta pinnoilta

Rehupinnalla k_m :n arvoksi saatiin keskimäärin 0,48. Parametrin arvioitu 95 %:n luottamusväli oli -0,08 - 1,05. Luottamusväliä suurentaa pinnan kuivuminen kokeen aikana. Arvioitu keskihajonta jäännösvirheiden neliöiden perusteella oli 16,96 g/m²h.

Vastaavasti betonilattialla k_m :n arvoksi saatiin keskimäärin 1,36. Parametrin arvioitu 95 %:n luottamusväli oli 0,93 - 1,79. Arvioitu keskihajonta jäännösvirheiden neliöiden perusteella oli $18,95 \text{ g/m}^2\text{h}$.

Vastaavasti rakolattialla k_m :n arvoksi saatiin keskimäärin 1,03. Parametrin arvioitu 95 %:n luottamusväli oli -1,39 - 3,46. Arvioitu keskihajonta jäännösvirheiden neliöiden perusteella oli $16,96 \text{ g/m}^2\text{h}$.



KUVIO 7. k_m :n ajan funktio betoni-, rakolattia- ja rehupinnalla ($t_s=12 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{RH}=85 \text{ } \%$ ja $v=0,2 \text{ m/s}$ $\Delta p \Rightarrow 2 \text{ mbar}$).

Figure 7. k_m as a function of time on concrete, slatted floor and silage surfaces ($t_s=12 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{RH}=85 \text{ } \%$ and $v=0,2 \text{ m/s}$ $\Delta p \Rightarrow 2 \text{ mbar}$).

Vesipinnalla k_m :n arvo on yksi. Kuviossa 7 on merkitty k_m ajan funktiona betonilattialla yhtenäisellä viivalla ja rakolattialla katkoviivalla sekä säilörehulla pistekatkoviivalla. Määritykset on tehty $12 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $85 \text{ } \%$:n suhteellisessa kosteudessa pinnan lämpötilan ollessa myös $12 \text{ }^\circ\text{C}$ sekä ilman nopeuden $0,2 \text{ m/s}$. Tällöin k_m :n arvon muuttuminen ei ole sama erilaisissa olosuhteissa, koska pinnan kosteus ei muutu samalla nopeudella erisuuresta haihtumisnopeudesta johtuen. Sen sijaan, jos pintaa

jatkuvasti kastellaan, k_m :n arvona voidaan pitää arvoa, joka sillä on kuivumisen alussa.

Tämän tutkimuksen aikana ei ole ollut mahdollista selvittää mittauksilla pinnan kosteuden kehityksen vaikutusta k_m :n arvoon. Voidaan kuitenkin olettaa perustellusti, että k_m :n funktio on kääntäen riippuvainen kyllästymisvajauksesta.

$$k_m = f(\Delta p, t) = g(t_2) = g(t_1 * \Delta p / 2 \text{ mbar}) \quad (24)$$

$g(t_2)$ nähdään kuviossa 7. Kuviossa 7 kaikki k_m :n arvot on redusoitu vastaamaan tilannetta, jossa kyllästymisvajaus on 2 mbar.

3.1.3. Haihduttavan pinnan pituusvaikutuksen huomioon ottaminen

Kosteudentuotanto Yamamoton (Ref. ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 8) mukaan saatiin kaavasta:

$$W = (8,05 + 113,4 * v^{0.8} * (\tau/x)^{0.2}) * \Delta p \quad (13)$$

tai

$$W = (8,05 + 12,2 * v^{0.8}) * \Delta p \quad (15)$$

redusoituna 12 °C:n lämpötilaan ja 1 m:n päähän reunasta.

0,5 m pitkä astiaa vastaava kerroin saadaan integroimalla pinnan yli. Integroituvan osan, $(\tau/x)^{0,2}$, määrätty integraali 0 - 0,5 metriin on:

$$\int_0^{0,5} ((\tau^{0,2}/-0,2 + 1) * x^{-0,2+1})$$

ja edelleen

$$\int_0^{0,5} ((\tau^{0,2}/0,8) * x^{0,8})$$

edelleen

$$(14,8 * 10^{-6})^{0,2} * 0,5^{0,8}/0,8 = 0,078$$

Kun se kerrotaan alkuperäisellä kertoimella (113,4) saadaan 8,805. Tällöin kerroin vastaa metrin leveän ja puoli metriä pitkän pinnan ilmavirran suunnassa olevan alaltaan puolen neliömetrin pinnan kosteudentuotantoa. Kun luku kerrotaan vielä kahdella saadaan yhtälöön 15 sijoitettava kerroin. Sen arvo on siis 17,611. Sijotetaan kerroin yhtälöön 15, jolloin saadaan:

$$W = (8,05 + 17,61 * v^{0,8}) * \Delta p \quad (25)$$

Tässä muodossa kaavaa voidaan verrata tämän tutkimuksen aineistoon. Asiaa on tarkasteltu lähemmin kohdassa 4.1.

Sen sijaan reunavaikutusta ei tässä tapauksessa tule ottaa huomioon, koska ilma ei ole tyyni yhdessäkään mittauksessa. Jatkuvan pinnan kosteudentuotantoa ei ole järkevää ilmoittaa, koska pituusvaikutuksen aiheuttama kerroin ilman nopeuden lineaarisuustekijälle ei lähesty järkevillä pinnan pituuksilla riittävän lähelle asymptoottiaan. Näin ollen pinnan kosteudentuotanto on syytä ilmoittaa koko pinnalle integraalimuodossa. Edellä mainittuja tietoja voidaan soveltaa myös tämän tutkimuksen tuloksen mukaiseen kaavaan. Kosteudentuotanto on tällöin täydellisessä muodossa, kun pinnan päällä vallitsee ilmavirtaus:

$$W = k_m * (10,9 + \frac{x_1}{x_0} \tau^{0,2} * x_0^{0,8}) * 0,078 * 23,0 * v^{1,2}) * \Delta p * d \quad (26)$$

jossa x_0 = pinnan alkupisteen etäisyys kostean pinnan reunasta, m
 x_1 = pinnan loppupisteen etäisyys kostean pinnan reunasta, m
 k_m = saadaan kuviosta 7 s. 56.
 d = pinnan leveys, m
 τ = kinemaattinen viskositeetti, m²/s

Leveyssuunnassa kosteudentuotanto on vakio, kun etäisyys pinnan reunaan ilmavirtauksen suunnassa on vakio. Täten pinnan leveyden vaikutus saadaan yksinkertaisesti kertomalla pinnan leveydellä.

3.1.4. Kosteudentuotanto tyyneltä pinnalta

Kun ilma ei liiku ($v \approx 0,0$ m/s), lasketaan kosteudentuotanto ottaen huomioon reunavaikutus. Kaavan 26 mukaan pituusvaikutusta ei tällöin esiinny. Kaava on tällöin:

$$W_{mit} = (A_{teh}/A_{tod}) * k_m * (10,9 + 18,8 * v^{1,2}) * \Delta p \quad (27)$$

eli kerroin on kaavan 21 käänteisluku, koska edetään laskennassa toiseen suuntaan. Tehollinen pinta lasketaan kaavan 20 mukaan. Tyynen pinnan kosteudentuotantoa tosin joudutaan selvittämään varsin harvoin, koska sellaista tilannetta ei ainakaan karjasuojissa pitäisi esiintyä. Käytännön laskelmien kannalta reunavaikutuksella ei ole juuri muutoinkaan merkitystä, koska kuten jo aikaisemmin on todettu, yli viisi (5) metriä läpimitaltaan olevien pintojen kohdalla reunavaikutuksella ei ole merkitystä, ja niinkin pienillä aloilla kuin mitä tämän tutkimuksen koeala oli vaikutus on vain 6 % (kerroin 0,94 tai 1,06 suunnasta riippuen).

3.2. Pohjamaan lämmönläpäisy pihatoissa

3.2.1. Pohjamaan lämmönläpäisy pihatossa numero 1.

Reiästä painettiin maahan noin 10 cm halkaisijaltaan oleva 80 cm pitkä putki, josta näyte imuroitiin kerroksittain. Näyte otettiin kolmena kerroksena. Näiden päällä ollut betonivalu oli 20 cm paksu. Toisesta kerroksesta tuli lyhyt, koska sen kohdalla törmättiin savipaakkuun, jonka oletettiin kuuluvan pohjamaahan. Imuroinnin yhteydessä mitattiin lämpötila lattiasta ja kunkin maakerroksen alapäästä. Koska hiekkakerros jatkui huomattavasti oletettua syvemmälle, ei oltu osattu varautua riittävän pituiseen putkeen, jolla olisi ulotuttu pohjamaahan asti, ja saatu siitäkkin näyte.

Taulukon 19 kerros IV otettiin käsin näytteenottorei'ästä näytteenottoputken poistamisen jälkeen tarkoituksena tarkistaa vaikuttiko imurointi maan kosteuteen. Käsin otettu näyte oli yhtä kuiva kuin imurilla otettu. Näin ollen ei voida olettaa, että imuroinnilla on vaikutusta näytteen kosteuteen. Eri kerranteiden välillä kosteus vaihteli niin paljon, että kosteuksilla ei ollut tilastollista eroa 95 %:n merkitsevyystasolla paitsi I ja III:n kerroksen välillä.

TAULUKKO 19. Maan kosteus paino-% kuivasta maasta (somero) eri syvyyksillä ja vastaava maan lämmönjohtavuus pihatossa 1.
 Table 19. Moisture content of the soil (grit) as per cent of the dry weight at various depths under floor and the corresponding heat conductivity in cubicle cow stable 1.

Kerros Layer	Kerros- paksuus Depth of layer cm	Kosteus, paino-% Moisture, weight-% ka	Lämmönjohtavuus Heat conductivity W/mK
I	35	2,1	0,2
II	5	4,8	0,4
III	45	2,6	0,3
IV	-	2,0	0,2

Maanäytteiden tiheys määritettiin punnitsemalla puoli litraa näyttemaata kuivana. Sen tiheydeksi saatiin 1500 kg/m^3 . Se vastaa kuvion 6 mukaan someron tai hiesun tiheyttä. Silmämääräisen arvion perusteella maa todettiin someroksi. Sisäasianministeriön rakentamisohjeiden (ANON. 1979) mukaan saven sekä salaojitettun hiekan ja soran lämmönjohtavuus on $1,4 \text{ W/mK}$. Näin ollen alapohjien oletettua suurempi lämmönläpäisy ei voi johtua ainakaan hiekkatäytön oletettua suuremmasta kosteudesta. Pohjamaan lämmönjohtavuus oli niin ikään ainoastaan $0,2 - 0,4 \text{ W/mK}$. Samalla selvitettiin alapohjan lämmönläpäisy. Se mitattiin säteilymittarilla, joka kalibroituina huoneen lämpöiseen levyyn antoi säteilyn nettomääräisenä yksikössä W/m^2 . Betonilattian ja huoneen lämpötila oli mittaushetkellä $14 \text{ }^\circ\text{C}$.

Puolitoista viikkoa ennen mittausta pihatton sisälle puoli metriä katosta oli asetettu lämpötilapiirturi. Vastaavana ajankohtana pihatton pohjoispuolelle sääkoppiin sijoitettiin samanlainen lämpötilapiirturi. Tarkoituksena oli selvittää mittaushetkeä edeltäneen viikon keskilämpötila, koska sitä voidaan pitää todellisena vaikuttaneena ulkolämpötilana mittaushetkellä. Lattian alalla olevan maan lämpötila laski yllättävän vähän. Välittömästi betonilattian alla lämpötila oli 14,5 °C. Ensimmäisen kerroksen pohjalla eli 55 cm betonilattian alapuolella lämpötila oli 12,2 °C, toisen kerroksen lämpötila oli 12,6 °C ja kolmannen kerroksen pohjalla eli 85 cm betonilattian alapuolella lämpötila oli 12,5 °C.

Mittauslinja oli 5 m toisesta ulkoseinästä keskellä ruokintapöytää. Rakennuksen lattioiden rakenteesta johtuen mittaus ei ollut mahdollista muusta kohtaa. Lattian pinta-ala on 385 m², joten lattian lämmönläpäisyn pitäisi TUUNASEN ja KARHUSEN (1984, s. 23) mukaan olla keskimäärin 6 W/m². Suoritettujen mittausten mukaan se oli 3,2 -kertainen TUUNASEN ja KARHUSEN (1984, s. 23) esittämään arvioon nähden (kts. liite 1). Vastaavasti sisäasiainministeriön antamiin ohjeisiin (ANON. 1979) nähden se oli 10,4 -kertainen. Mitattu keskimääräinen nettosäteily oli 19,5 W/m². Eli lämpö kulki ulospäin. Sitä suurensi kuitenkin normeihin nähden 12 °C suurempi lämpötilaero. Sisäasiainministeriön rakentamismääräysten (ANON. 1979) mukaan laskettuna se olisi ollut vain -1,9 W/m². Mittausten mukaan keskimääräinen lämmönläpäisevyys (k-arvo) alapohjassa oli 1,4 W/m²K. Sisäasiainministeriön rakentamismääräysten (ANON. 1979) mukaisen uloimman vyöhykkeen lämmönläpäisevyydeksi (k-arvo) saatiin vastaavasti 2,2 W/m²K ja sisemmän 1,3 W/m²K. Suuruusluokaltaan nämä olivat kymmenkertaiset laskennallisiin arvoihin nähden. Näiden vyöhykkeiden sisäpuolelle jäävän alueen lämmönläpäisevyydeksi (k-arvo) saatiin mittausten mukaan 0,1 W/m²K. Uloimman vyöhykkeen lämmönläpäisevyys oli mittausten mukaan suhteessa suurempi kuin sisemmän vyöhykkeen verrattaessa Sisäasiainministeriön rakentamismääräysten (ANON. 1979) ohjeita. Näiden vyöhykkeiden sisäpuolelle jäävän alueen lämmönläpäisy oli myös näiden mittausten mukaan olematon uloimman ja sisemmän vyöhykkeen lämmönläpäisyyden

nähdän. Saatuja arvoja voidaan soveltaa tavanmukaisesti eristettyihin pihatoiden alapohjiin.

TAULUKKO 20. Lämpösäteily rakennuksen sisällä eri etäisyyksillä rakennuksen ulkopinnasta betonilattian läpi pihatossa numero 1.
Table 20. Heat emission through the concrete floor at various distances to the outer surface of the building in cubicle cow stable 1.

Etäisyys seinän ulkopintaan Distance to the outer surface m	Nettosäteily Netto emission W/m ²
0	-45
0,5	-27
1	-24
2	-19
3	-18
4	-17
5	-15
6	-12
7	-11
8	-11

3.2.2. Pohjamaan lämmönläpäisy pihatossa numero 2

Pihatossa 2 maan kosteus selvitettiin vastaavalla tavalla kuin ensimmäisessäkin pihatossa. Näyte otettiin neljänä (4) kerroksesta, joiden paksuus oli 10 cm lukuunottamatta toista kerrosta ylhäältä päin, jonka paksuus oli 20 cm. Näyteenotto reikä porattiin ruokintapöytään kuusi (6) metriä ruokintapöydän päässä olevan säilörehun välivaraston seinästä ja 5,6 metriä pitkistä ulkotilaa vastaan olevasta seinästä.

Taulukossa 21 esitettyjen kerrosten välillä erot ovat 5 %:in riskitasolla tilastollisesti merkittäviä lukuun ottamatta kerrosten III - IV välistä eroa. Huolimatta kosteudessa olevista eroista lämmönjohtavuudessa ei ole suurta eroa, vaan se on kaikissa kerroksissa 0,4 - 0,5 W/mK.

- TAULUKKO 21. Maan kosteus paino-% kuivasta maasta (somero) eri syvyyksillä ja vastaava maan lämmönjohtavuus pihatossa 2.
- Table 21. Moisture content of the soil (grit) as per cent of the dry weight at various depths under floor and the corresponding heat conductivity in cubicle cow stable 2.

Kerros Layer	Kerros- paksuus Depth of layer cm	Kosteus, paino-% Moisture, weight-% ka	Lämmönjohtavuus Heat conductivity W/mK
I	10	5,4	0,5
II	30	3,4	0,4
III	40	4,6	0,4
IV	75	4,9	0,4

Maa-aineksen ominaispainoksi saatiin $1\,480\text{ kg/m}^3$. Se vastaa kuvion 6 mukaan someron tai hiesun ominaispainoa, kuten ensimmäisenkin pihatön kohdalla. Silmävaraisen arvion perusteella tämäkin todettiin someroksi. Koska Sisäasiainministeriön rakentamismääräysten (ANON. 1979) mukaan lämmönjohtavuus savella sekä salaojitetulla hiekalla ja soralla on $1,4\text{ W/mK}$, alapohjien oletettua suurempi lämmönläpäisy ei voi johtua hiekkatäytön oletettua suuremmasta kosteudesta.

Ruokintapöydän kummallakin puolella oli lietelantakanava. Pöydän leveys oli siltä puolen, jolta säteilymittaus suoritettiin 250 cm . Lietekuilujen syvyys mittauskohdassa oli ruokintapöydän pinnasta lukien 175 cm . Ruokintapöytä oli rakennettu siten, että alle oli tehty ensin ns. täytevalu, jonka paksuus oli 7 cm . Sen päällä oli joko 10 cm polystyreenilevyä tai kevytsoraa. Koerei'än kohdalla eriste oli polystyreeniä. Edellä mainittujen kerrosten päällä oli 8 cm betonivalua. Ruokintapöydän leveys oli 240 cm , ja sen reunoilla oli keraamiset ruokintakourut. Rakennuksen seinä ja perusmuuri oli tehty yhtenäisestä elementistä. Se rakenne oli sisältä päin lukien 12 cm betonia, 12 cm polystyreenieristettä ja 8 cm betonia. Sokkeliosassa eriste oli kuitenkin vain $7,5\text{ cm}$ paksu. Alapohjan lämmönläpäisy selvitettiin

kuten ensimmäisessäkin pihatossa. Säteilymittari kalibroitiin tyhjän vasikkakarsinan vaneriseen seinälevyyn, jonka voitiin olettaa olevan huoneen lämpötilassa. Betonilattian lämpötila oli 12,7 °C. Huoneen lämpötila oli 12 °C. On kuitenkin huomattava, että huoneen lämpötila oli nopeassa laskussa, koska ilmanvaihtoa oli lisätty päiväksi käsisäätöisesti. Ilmanvaihdon lämpötila-anturi oli rikki, ja yöllä ei uskallettu pitää niin suurta ilmanvaihtoa kuin päivällä. Sen tähden ei voida tehdä kovin pitkälle meneviä vertailua ilman lämpötilan ja lattian lämpötilan välillä. Tämän lattian kohdalla lämpötila laski lattian alla olevassa maassa nopeammin kuin ensimmäisessä pihatossa. Tämä lienee johtunut siitä, että lattia oli kauttaaltaan hyvin eristetty. Ensimmäisen kerroksen pohjalla eli 35 cm pöydän pinnan alapuolella lämpötila oli 11,4 °C, toisen eli 55 cm pöydän pinnan alapuolella 10,9 °C, kolmannen eli 65 cm pöydän pinnan alapuolella 10,6 °C ja neljännen eli 75 cm pöydän pinnan alapuolella 10,5 °C. Tämän kerroksen alla oli samaa someroa noin 120 cm, ja sen alla oli kallio. Pohja oli samanlainen koko pihaton alalla. Sen syvyys kuitenkin vaihteli.

TAULUKKO 22.	Lämpösäteily rakennuksen sisällä eri etäisyyksillä rakennuksen ulkopinnasta betonilattian läpi pihatossa 2.
Table 22.	Heat emission through the concrete floor at various distances to the outer surface of the building in cubicle cow stable 2.

Etäisyys seinän ulkopintaan Distance to the outer surface m	Nettosäteily Netto emission W/m ²
0	-13
0,5	- 9
1	- 8
2	- 7
3	- 5
4	- 4
5	- 2
6	- 2

Mittauslinja oli 13 metriä säilörehun välivaraston seinästä rakennuksen keskikohdalla pituussuunnassa. Mittauslinjan keskellä oli edellä mainittu lietekanava. Sen päällä oli muun lattian kanssa yhteen valettu betonilaatta. Se oli taulukon 22 mittauskohtien 2 - 4 metriä kohdalla. Sillä ei näytä olevan säteilyä vinouttavaa vaikutusta taulukon 22 mukaan. Mittauskohta oli paras mahdollinen, joka tämän tyyppisessä rakennuksessa voi olla ehkä lietekanavan kohtaa lukuunottamatta. Lattia pinta-ala oli ulkomitoin välivarastoa lukuunottamatta 348 m², joten lattian lämmönläpäisyn pitäisi TUUNASEN ja KARHUSEN (1984, s. 23) mukaan olla keskimäärin 6 W/m² (kts. liite 2). Sitä se oli myös mittauskohtien mukaan. TUUNASEN ja KARHUSEN (1979 s. 23) esittämän arvion voidaankin katsoa vastaavan suhteellisen hyvin eristetyn lattian lämmönläpäisyyttä. Tätä vastaava eristystaso karjasuojien alapohjassa on harvinaista. Sisäasiainministeriön rakentamismääräyksiin nähden lämmönläpäisy oli 4,8 -kertainen. Lattian keskimääräiseksi k-arvoksi saatiin 0,7 W/m²K. Uloimman 1 m leveän vyöhykkeen k-arvoksi saatiin 1,1 W/m²K. Sen sisäpuolella olevan 5 m:n kaistaleen k-arvoksi saatiin 0,5 W/m²K. Verrattaessa Sisäasiainministeriön rakennusmääräysten (ANON. 1979) mukaisiin arvoihin sisemmän vyöhykkeen lämmönläpäisy oli suhteessa suurempi. Uloimman vyöhykkeen k-arvo on suhteessa suurempi laskennallisiin kuin sisemmän myös tässä tapauksessa. Näitä lukuja voidaan pitää erittäin hyvin eristetyn lattian arvoina.

3.2.3. Pohjamaan lämmönläpäisy pihatossa numero 3.

Pihatto 3 oli peruskorjauskohde, jossa parsinavetta oli muutettu pihatoksi. Ainoastaan ruokintapöytään oli mahdollista porata näytteenottoreikä. Ruokintapöytä sijaitsi paikalla, jossa parsinavetan aikaan oli ollut käytävä. Tältä ajalta ruokintapöydän alla oli vielä jäljellä käytävän pintavalu. Näytteenottorei'än sijainti oli 105 cm lämpimän eläintilan päästä sisämitoin ja 27 cm viereisestä ulkoseinästä. Vanhan käytävän pinta oli 40 cm uuden ruokintapöydän pinnan tasoa alempana. Uuden valun paksuus oli 10 cm. Tämän alla oli näin ollen 30 cm:n

hiekkatäyttö. Vanhan käytävän valu oli 16 cm paksu. Sen alla oli jostain syystä tyhjää tilaa 9 cm.

TAULUKKO 23. Maan kosteus paino-% kuivasta maasta (hiekkä) eri syvyyksillä ja vastaava maan lämmönjohtavuus pihatossa 3.

Table 23. Moisture content of the soil (sand) as per cent of the dry weight at various depths under floor and the corresponding heat conductivity in cubicle cow stable 3.

Kerros Layer	Kerros- paksuus Depth of layer cm	Kosteus, paino-% Moisture, weight-% ka	Lämmönjohtavuus Heat conductivity W/mK
I	11	3,9	1,1
II	10	2,3	0,8
III	14	3,0	1,0
IV	10	2,1	0,8
V	10	2,7	0,9

Taulukossa 23 olevat erot kerrosten välillä ovat 95 %:in merkitsevyydellä merkittäviä lukuunottamatta väliä I - III ja II - IV.

Täyttemaan ominaispainoksi saatiin 1 690 kg/m³. Se vastaa kuvion 6 mukaan hiekan tilavuuspainoa. Siltä se myös näytti silmämääräisen arvion perusteella. Otettujen näytteiden lämmönjohtavuus on noin 2/3 -osaa sisäasianministeriön rakentamishjeiden (ANON. 1979) mukaisesta salaojitetun hiekan ja soran lämmönjohtavuudesta 1,4 W/mK. Tässä pihatossa alapohjan lämmönläpäisyn pitäisi olla 2/3 -osaa normien mukaisesta.

Perusmuurin ulkopuoli oli täyttämättä kyseisen näytteenottorei'än kohdalta, joten lämpötiloilla ei ollut kovin suurta merkitystä. Huoneen lämpötila oli näytteenottohetkellä 10 °C. Myös ruokintapöydän pinnan lämpötila oli 8,1 - 10,0 °C. Sen sijaan näytteenottorei'än kohdalla vanhan käytävän pinnan lämpötila oli 6,4 - 7,8 °C. Ensimmäisen kerroksen pohjalla lämpötila oli 7,5 °C, toisen 6,0 °C, kolmannen 6,4 °C, neljännen 6,3 °C ja viidennen 6,2 °C. Lämpötila rei'ässä laski nopeasti lopulliselle tasolle.

Tähän oli syynä varsin selvästi se, että lähellä olevaa perusmuuria ei oltu täytetty ulkopuolelta, eikä siinä ollut varsinaista lämpöeristystä.

Mittauslinjan etäisyys ulkoseinästä oli 0,5 metriä, koska pihatön rakenteen takia sitä ei muusta kohdasta voitu tehdä. Sen tähden on yllättävää, että säteily pienenee taulukossa 24 esitetyllä tavalla etäisyyden kasvaessa päätyseinästä. Taulukon 24 pohjalta ei voida tehdä varauksettomia vertailuja normeihin. Nettosäteilyn keskiarvo nousee kuitenkin taulukon 24 perusteella TUUNASEN ja KARHUSEN (1984 s. 23) esittämän 6 W/m^2 yli.

TAULUKKO 24. Lämpösäteily eri etäisyyksillä rakennuksen ulkopinnasta rakennuksen sisällä betonilattian läpi pihatossa 3.
Table 24. Heat emission through the concrete floor at various distances to the outer surface of the building in cubicle cow stable 3.

Etäisyys seinän ulkopintaan Distance to the outer cover m	Nettosäteily Netto emission W/m^2
0	-43
0,5	-32
1	-28
2	-22
3	-17
4	-16
5	-13
6	-10

Ulkolämpötila oli kokeen loppupuolella runsaat $3 \text{ }^\circ\text{C}$ ja keskimäärin jopa $6,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Kun maassa ei ollut samanaikaisesti lunta lämpötilaero on laskettava ulkolämpötilan, eikä nollan perusteella. Tällöin mitatut lämmönläpäisyt ovat jonkin verran normaalia talvitilannetta pienemmät. Mitattu keskimääräinen nettosäteily oli 3,4 -kertainen verrattuna TUUNASEN ja KARHUSEN (1984, s. 23) esittämään arvioon, eli samaa luokkaa kuin ensimmäisessä pihatossakin. Lämpötilaero oli kuitenkin vain $5,2 \text{ }^\circ\text{C}$, joten verrannollinen lämmönläpäisy olisi lähes kahdeksankertainen.

Mittausten mukaan nettosäteilyksi saatiin $-20,6 \text{ W/m}^2$, mutta myös siihen vaikuttaa normeihin nähden pieni lämpötilaero pienentävästi. Keskimääräiseksi lämmönläpäisevyydeksi (k-arvo) saatiin $4,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, kun sen sisäasiainministeriön laskentaohjeen (ANON. 1979) mukaan olisi pitänyt olla vain $0,2 \text{ W/m}^2$. Näin ollen mitatut lämmönläpäisevyydet olisivat olleet 20 -kertaiset kyseiseen normiin nähden. Keskimääräiseen lämmönläpäisevyyteen tulee kuitenkin suhtautua tässä tapauksessa varauksellisesti, kuten jo mainittiin, koska mittauslinjaa ei saatu kauemmaksi kuin 0,5 metriä seinästä. Sisäasiainministeriön rakentamismääräysten mukaisen (ANON. 1979) uloimman vyöhykkeen k-arvoksi saatiin mittausten mukaan $6,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vastaavasti sisemmän vyöhykkeen k-arvoksi saatiin $3,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Kummatkin saadut arvot olivat noin 15 -kertaiset laskennallisiin nähden. Niiden suuruussuhteet olivat toisiinsa nähden Sisäasiainministeriön rakentamismääräysten (ANON. 1979) mukaiset. Se ei kuitenkaan vielä tee niistä luotettavia arvoja. Saadut arvot edustavat huonosti eristetyn alapohjan arvoja. Mikäli arvot ovat tämän suuruisia, mittauksia on tehtävä useasta kohdasta, ja silloinkin niiden luotettavuus on kyseenalainen, koska lämpötilat vaihtelevat voimakkaasti sekä karjasuojan ilmassa että alapohjassa.

4. TULOSTEN TARKASTELO

4.1. Saatujen tulosten luotettavuus ja soveltamisalue

Kuten taulukosta 17 selviää saatujen parametrien 95 %:n luottamusvälit ovat niin suuret, että ei tämän eikä minkään aikaisemmankaan tutkimustulosten mukaisten yksittäisten parametrien lukuarvoja voida tämän tutkimuksen aineiston perusteella pitää toisia parempana. Tarkastaeltaessa muiden kuin vesipinnan pinnasta riippuvan kertoimen k_m eroavuutta toisistaan tämän tutkimuksen osalta voidaan todeta betonipinnan ja säilörehupinnan keskimääräisten k_m :n arvojen eroavat tilastollisesti 95 %:n merkitsevyystasolla toisistaan. Tällä tiedolla ei ole kuitenkaan suurta käytännöllistä merkitystä. Kuivumisen alussa k_m :n arvot olivat betoni- ja säilörehupinnalla tässä tutkimuksessa yli kaksinkertaiset verrattuna ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 22) esittämiin. Ainoastaan betonin keskimääräinen k_m :n arvo on tilastollisesti 95 % merkitsevyystasolla ØKLANDin ja LILLENGin (1980 s. 22) esittämää suurempi. Koska pintojen alkuperäisestä kosteudesta ei ole kovin tarkkaa tietoa ja kuivumisajat sekä nopeudet olivat erilaiset tämän ja ØKLANDin ja LILLENGin (1980) tutkimuksen välillä, ei tulosten perusteella voida vetää kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Verrattaessa kuvioiden 3 ja 7 käyrien muotoja niin betoni- kuin säilörehupinnan osalta voidaan todeta, että kuivumisen vaikutus kosteudentuotannon suuruuteen on molemmissa kuvioissa molempien pintojen osalta yhtenevä jopa käyrien muodon osalta. Kuviossa 7 betonipinnan kosteudentuotanto ei ole kuitenkaan pienentynyt kuivumisen loppuvaiheessa säilörehun kosteudentuotantoa pienemmäksi kuten kuviossa 3 edes 160 tunnin kohdalla joka vastaa 40 tuntin kohtaa kuviossa 3.

Puhtaalle vedelle lasketun kokonaismallin keskihajonta oli 24,5 g/m²h. Keskiarvon keskivirhe oli 3,16 g/m²h. Kun kosteudentuotanto lasketaan vesipinnalle 12 °C lämpötilassa ja 85 %:n suhteellisessa kosteudessa tutkimuksen tuloksena saadulla kaavalla 23, saadaan tulokseksi 27,1 g/m²h. Tällöin ei pituusvaikutusta ole otettu huomioon, kuten ei pidäkään, kun tehdään vertailuja taulukkoon 1, jossa pituusvaikutus on huomioitu

ainoastaan Yamamoton (Ref. ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 8) arviossa. Kaavoista 15 ja 25 voidaan ilman nopeuden lineaarisuustekijöiden perusteella laskea pituusvaikutuksen suuruus Yamamoton (Ref. ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 8) arviossa sijoittamalla edellä mainitut arvot kyseisiin yhtälöihin ja laskemalla saatujen tulosten erotus. Erotus, joka on $2,98 \text{ g/m}^2\text{h}$, lisätään Yamamoton arvioon, jolloin vertailukelpoiseksi luvuksi saadaan $25,81 \text{ g/m}^2\text{h}$. 95 %:n luottamusväli saadaan kertomalla keskiarvon keskivirhe luvulla 2 (HERVA ym. 1983 s. 2). Tulos on $27,13 \pm 6,32 \text{ g/m}^2\text{h}$ eli $20,31 - 33,45 \text{ g/m}^2\text{h}$. Näin ollen Tekniikan käsikirjan mukainen ja Benningerin arvio taulukossa 25 poikkeaa tilastollisesti muista navetoille tyypillisissä olosuhteissa.

TAULUKKO 25.

Eri lähteiden mukaisten kaavojen ja saadun kaavan 23 antamia kosteudentuotannon arvoja ilman nopeuden ollessa $0,2 \text{ m/s}$ ja paine-eron $2 \text{ mbar} \Rightarrow t_h = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ ja RH 85 % (BENNINGER 1975 s. 1, ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 19, 31, Yamamoto Ref. ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 8, ANON. 1975a s. 216, ANON. 1975b s. X - XII, 634 - 635 ja ANON. 1975c s. 38).

Table 25.

The moisture production calculated according to the formulas given in different sources and by formula 23, when the speed of airflow is 0.2 m/s and saturation deficiency $2 \text{ mbar} \Rightarrow$ inside temperature $12 \text{ }^\circ\text{C}$ and RH 85 % (BENNINGER 1975 s. 1, ØKLAND and LILLENG 1980 s. 19, 31, Yamamoto Ref. ØKLAND and LILLENG 1980 s. 8, ANON. 1975a s. 216, ANON. 1975b s. X - XII, 634 - 635 and ANON. 1975c s. 38).

Lähde Source	$\text{g/m}^2\text{h}$
Kaava 23	27,13
Benninger	37,44
Økland ja Lilleng a	29,44
Økland ja Lilleng b	20,55
Yamamoto	25,81
Tekniikan käsikirja	45,70
95 %:n luottamusväli kaavassa 23 95 % confidence interval in formula 23 20,31 - 33,45	

Edellisen perusteella voidaan suositella kosteudentuotannon arvioimiseen joko tämän tutkimuksen tuloksen mukaista kaavaa tai Yamamoton (Ref. ØKLAND ja LILLENG 1980 s. 8) kaavaa. Tämän tutkimuksen tulos on mitattu nimenomaisesti navettaolosuhteita varten. Käytännössä kaikki eläinsuojat kuuluvat mitattuun olosuhdealueeseen. Esimerkiksi sikaloissa kyllästymisvajausta on noin 3,5 mbar (16 °C ja 80 % RH) eli 47,47 g/m²h (ensimmäinen puoli metriä reunasta keskimäärin). Pituusvaikutus pienentää kyllästymisvajausta siten, että esimerkiksi 5 metrin päässä reunasta se on sikalassa noin 8,4 g/m²h pienempi kuin ensimmäisellä puolella metrillä keskimäärin. Vastaavasti navetassa kosteudentuotanto pienenee noin 4,8 g/m²h.

4.2. Kosteudentuotannon laskeminen karjarakennuksissa

Kyllästymisvajausta selviää lämpötilan ja suhteellisen kosteuden perusteella esimerkiksi liitteenä 4 olevasta Mollier-diagrammasta. Siihen on valmiiksi merkitty kyllästymisvajausta selvittäminen, kun navetan lämpötila on 12 °C ja suhteellinen kosteus 85 %. Kuten kohdista 3.2.1. - 3.2.3. selviää lattiat eivät ole yleensä merkittävästi kylmempiä kuin navetan ilma. Sen vuoksi pinnan kylmyyttä ei pidä ottaa huomioon, ellei ole siitä täysin varma. Arvionvaraisesti pinnan kylmyys tulee otetuksi huomioon kaavassa 10 (ØKLAND JA LILLENG 1980 s. 31).

Taulukoissa 26 ja 27 on annettu suuntaa antavat arvot kosteudentuotannolle vesipinnalta tyypillisissä karjasuojien olosuhteissa. Taulukossa 26 kosteudentuotanto on laskettu siten, että haihtuminen itsessään ei aiheuta haihduttavan pinnan lämpötilan laskua. Tilanne on tämän kaltainen silloin kuin haihduttavan pinnan lämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuus ovat suuret. Toinen äärimäisyys on että, haihduttava kappale ei saa ympäristöstään lämpöä ja jäähtyy. Tämän tilanteen mukaiset kosteudentuotannon arvot saadaan taulukosta 27. Kaavassa 22 esiintyviä parametrejä a ja b on tällöin pienennetty kaavassa 23 esitetyistä numeroarvoista samassa suhteessa kuin kaavan 10 vastaavat parametrit ovat kaavan 9 vastaavia parametreja pienemmät. Kosteudentuotanto

on tällöin pienempi kuin taulukon 26 mukaiset. Todelliset arvot käytännön navetassa ovat tapauksesta riippuen näiden väliltä. Lämmitetyssä lattiassa ne ovat suuremmat. Kummassakin taulukossa kosteudentuotannon arvot on ilmoitettu kahdelle talvikaudelle tyypilliselle ilman nopeudelle. Taulukoita 26 ja 27 tulkitessa on otettava huomioon, että arvot ovat 0,5 metriä ilmanvirran suunnassa leveälle pinnalle annettuja. Suuremmilla pinnoilla kosteudentuotannon arvot ovat merkittävästi pienemmät. Esimerkkinä kohdassa 4.1. esitetty vähennyksen arvo merkitsee 17,7 %:n vähennystä kosteudentuotantoon 5 m:n päässä reunasta verrattuna taulukoissa 26 ja 27 esitettyihin arvoihin.

TAULUKKO 26. Kosteudentuotanto vesipinnalta $\text{g/m}^2\text{h}$ kaavan 23 mukaan, kun ilman ja haihdutuspinnan lämpötila-eroa ei ole.
 Table 26. Humidity production from water surface according to formula 23, when no temperature difference exists between air and humid surface.

Kosteudentuotanto, $\text{g/m}^2\text{h}$ Humidity production, $\text{g/m}^2\text{h}$		0,2 m/s			0,3 m/s		
Ilman nopeus Speed of air		Suhteellinen kosteus, % Relative humidity, %			Suhteellinen kosteus, % Relative humidity, %		
Lämpötila, °C Temp., °C		70	85	95	70	85	95
8		42,6	21,4	7,2	47,9	24,0	8,1
10		49,0	24,6	8,3	55,0	27,6	9,3
12		56,0	28,0	9,3	62,9	31,4	10,5
14		64,0	32,0	10,8	71,9	36,0	12,1
16		73,1	36,7	12,3	82,1	41,2	13,8

Tärkeintä on huomata vaikutusten suunta ja suuruusluokka. Suhteellisen kosteuden nousu pienentää kosteudentuotantoa, jolloin saavutetaan suhteellisessa kosteudessa ilmanvaihdon määrästä riippuva tasapaino, jolloin suhteellinen kosteus ei enää kasva. Ilman nopeuden kasvu ei normaalilla alueella aiheuta kovinkaan suurta kasvua kosteudentuotantoon. Sen sijaan lämpötilan noustessa kosteudentuotanto kasvaa merkittävästi. Lämpötila onkin syytä pitää niin alhaalla kuin muut seikat vain sallivat.

- TAULUKKO 27. Kosteudentuotanto vesipinnalta g/m²h kaavan 23 mukaan, kun ilman ja haihdutuspinnaan lämpötilaero on arvioitu ØKLANDin ja LILLENGin (1980) mukaan.
- Table 27. Humidity production from water surface according to formula 23, when temperature difference between air and humid surface is estimated by ØKLAND and LILLENG (1980).

Kosteudentuotanto, g/m ² h Humidity production, g/m ² h						
Ilman nopeus Speed of air		0,2 m/s			0,3 m/s	
Lämpötila, °C Temp., °C	Suhteellinen kosteus, % Relative humidity, %			Suhteellinen kosteus, % Relative humidity, %		
	70	85	95	70	85	95
8	33,0	16,6	5,6	36,5	18,3	6,2
10	37,9	19,0	6,4	41,9	21,0	7,1
12	43,3	21,7	7,2	47,9	24,0	8,0
14	49,5	24,8	8,4	54,8	27,4	9,3
16	56,6	28,4	9,5	62,6	31,4	10,5

4.3. Ilmanvaihdon toimintamahdollisuudet saatujen tulosten perusteella

Voidaan arvioida taulukon 27 perusteella, että kosteudentuotanto navetoissa on keskimäärin noin 23 g/m²h, kun olosuhteet navetassa ovat normaalit (sisälämpötila = 12 °C, suhteellinen kosteus = 85 % ja ilman nopeus = 0,25 m/s). Seuraavassa asetelmassa on esitetty arvio pihatoissa tuotetusta kosteudesta eläinten tuottamaan lämpöön nähden eli kosteuslämpösuhde huomioimatta rakennuksen lämpöhäviöitä:

rakolattia	4 m ² x 23 g/m ² h	= 92 g/h
säilörehu	1 m ² x 23 g/m ² h	= 23 g/h
		115 g/h
lypsyasema	1,5 m ² x 23 g/m ² h	= 34 g/h
		149 g/h
eläimen kosteudentuotanto		360 g/h
		509 g/h

eläinten lämmöntuotanto 1 kW

kosteuslämpösuhde 509 g/kWh

Eläinten hoitotavasta riippuen kosteuslämpösuhteeksi pihatossa saadaan 452 - 509 g/kWh ilman rakennuksen lämpöhäviöitä. Tämä on samaa suuruutta kuin se, mitä TUUNANEN ja KARHUNEN (1984 s. 105) olivat johtaneet parsinavettoja varten. Parsinavetassa ritilää on lehmää kohti ainoastaan 0,6 m² ja lypsyasemaa ei ole, jolloin kosteuslämpösuhteeksi jää 397 g/kWh ilman rakennuksen lämpöhäviöitä. Tällöin on muistettava, että pihatton koko rakolattia-ala ei välttämättä ole märkä eli ei tuota kosteutta. Näin on silloin, kun sen pinta-ala lypsylehmää kohti on mahdollisimman pieni ja se toimii hyvin ja pysyy kuivahkona. Lisäksi jos lypsyasema on eri ilmanvaihdossa ei sekään välttämättä tuota kosteutta pihatton ilmaan. Lisäksi säilörehun peittämä ala voi olla huomattavasti pienempi, jos ruokintapaikkoja on vain puolet lehmien lukumäärään nähden. Näin ollen kosteuslämpösuhde voi pihatossa olla laskelmissa esitetyn parsinavettamallin mukaisia. Toisaalta parsinavetassa voi olla hoitotottumuksista riippuen jopa enemmän kosteita pintoja kuin pihatossa. Tärkeintä onkin suunnittelussa karsia mahdolliset kosteat pinnat mahdollisimman vähin ja kiinnittää suurta huomiota hoitotottumuksiin.

4.4. Vaatimukset rakenteellisille ratkaisuille ja toiminnalliselle suunnittelulle

Yleisenä suosituksena voidaan pitää, että lypsyasema rakennetaan erikseen ja omaan ilmanvaihtoon sekä että rakolattia-alaa on korkeintaan 4 m² nautayksikköä kohti. Hoitotottumusten osalta on todettava, että rehuja ei missään tapauksessa pidä sulattaa eläintiloissa, ja pintojen kastelua on vältettävä.

Jo Pienten pihatoiden ilmanvaihdon erityisvaatimukset -tutkimuksessa (KAPUINEN ja KARHUNEN 1988) päädyttiin siihen ratkaisuun, että lattiat läpäisevät lämpöä enemmän kuin mitä normit sallivat. Kyseisessä tutkimuksessa arvioitiin, että syynä olisi ollut täyttömaan oletettua suurempi kosteus, ja siitä johtuva suurempi lämmönjohtavuus. Taulukoissa 19, 21 ja 23 esitetyt tulokset osoittavat, että täyttömaa ei ole yleisesti oletettua kosteampaa.

Kiistatta voitiin mitata normaalia suurempia lämmövuotoja alapohjan kautta, kuten taulukoista 20, 22 ja 24 sekä liitteistä 1 - 3 ilmenee. Ainoaksi järkeväksi selitykseksi jää, että ylimääräinen lämpö ei kuljekaakaan täyttömaan kautta, vaan kulkeutuu huonosti eristetyissä rakenteissa suoraan lattialaattaa pitkin ulkoseinään ja perusmuuriin ja sitä kautta ulos lämpimästä tilasta. Tutkitun elementtirakenteisen rakenteen (pihatto 2) lämmönläpäisy oli huomattavasti lähempänä sisäasiainministeriön rakentamisohjeen mukaisia arvoja. Tässäkin tapauksessa mitatut arvot olivat noin viisin (5) kertaiset laskettuihin nähden. Sen sijaan TUUNASEN ja KARHUSEN (1984 s. 23) esittämä arvio, joka on alunperin maatilahallituksen ohjeista peräisin, oli tässä tapauksessa oikea. Edellisestä voidaan päätellä, että kylmäsiltojen estämiseen on navettojen perusmuurin ja lattialaatan yhtymäkohdassa kiinnitettävä nykyistä huomattavasti suurempaa huomiota.

Nyrkkisääntönä talvikautisesta lämpöhävikistä voidaan soveltaa taulukon 28 mukaisia arvoja.

TAULUKKO 28. Alapohjan keskimääräiset lämpöhävikit tavanomaisessa perusmuuriratkaisussa sekä seinän ja perusmuurin muodostaessa yhtenäisen eristetyin kokonaisuuden.

Table 28. Average heat loss through the floor in ordinary foundation constructions and when the wall and the foundation are made with compact insulation.

Lattia-ala Floor area	tavanomainen ratkaisu ordinary solution	yhtenäinen eriste seinässä ja perusmuurissa compact insulation
m ²	W/m ²	W/m ²
50	45,5	13,0
100	35,0	10,0
200	24,5	7,0
300	21,0	6,0

4.5. Ilmanvaihdossa huomioon otettavat seikat

Ilmanvaihtoon on kiinnitettävä erityistä huomiota. Lämpötila olisi laskettava mielellään aina 8 °C:een. Tämä pienentää

kyllästymisvajausta ja rakennuksen lämpövuotoja, ja helpottaa kosteustilannetta navetassa. Lämpötilan alentaminen on erityisesti mahdollista pihatossa, koska eläimet ovat vapaana, ja kun lypsyasema rakennetaan erilleen ja käytetään erillistä juottamoaa. Vaikka lämmönvaihdin ei ole välttämätön, sen käyttö on eräs vaihtoehto, koska se sallii varsin suuria mitoitusvirheitä ja vaihteluita eläinten lämmöntuotannossa suhteessa rakennuksen kokoon. Lisäksi ilmamäärien ollessa lämmönvaihtimen avulla tavallista ilmanvaihtoa suuremmat, ja tuloilman huomattavasti tavallisen ilmanvaihdon tuloilmaa lämpimämpää tuloaukkojen sijoittelulle kohdistuu pienempiä vaatimuksia. Jo 20 %:n energiahyötysuhde on riittävä pihaton lämmönvaihtimelle.

Navetoissa syntyy yleensä liikaa kosteutta lämmöntuotantoon nähden. Ilmanvaihdolla pyritään talvikaudella (ulkolämpötila alle + 5 °C) suhteellisen kosteuden pitämiseen kurissa. Käytännössä ilmanvaihdon säätö tehdään sisäilman lämpötilan mukaan (KAPUINEN ja KARHUNEN, 1988). Tällä saavutetaan tyydyttävä tulos, mikäli rakennus on riittävän hyvä toteutukseltaan. Perusteet säädölle on saatavissa muun muassa Vakolan tutkimusselostuksesta 51 (KAPUINEN & KARHUNEN, 1988). Tällöin ilmanvaihto seuraa ulkoilman lämpötilan vaihtelua ja käytännössä myös sen absoluuttista kosteutta. Ilmanvaihtoa voitaisiin periaatteessa ohjata myös sisäilman suhteellisen kosteuden mukaan, mutta kelvolliset anturit olisivat kohtuuttoman kalliita. Lämpötila pidettäisiin tällöin vakiona lisälämmityksen avulla. Lämpimällä säällä ilmanvaihto jouduttaisiin kuitenkin säätämään lämpötilan perusteella, koska muutoin lämpötila nousisi kohtuuttomasti. Navetta ei ole käytännössä koskaan liian kuiva, joten kostutin on tarpeeton. Sikaloissa se sen sijaan on tarpeen runsaan lämmityksen takia. Sikalan ilmanvaihtoa tuleekin aina ohjata lämpötilan perusteella, ja kosteusanturia käytetään kostuttimen ohjaamiseen. Lisälämmityksen ohjaaminen suhteellisen kosteuden alentamiseksi sikalassa ei liene tarpeellista, joskin mahdollista.

5. TIIVISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa selvitettiin erilaisten kosteiden pintojen kosteudentuotanto navettaolosuhteissa. Mittaukset tehtiin kevään 1989 kuluessa laboratoriossa. Lisäksi selvitettiin syytä pihatoiden alapohjien oletettua suurempaan lämmönläpäisyyseen. Lämmönläpäisyä tutkittiin yhteensä kolmessa pihatossa, jotka sijaitsivat Loimaan maalaiskunnassa, Anjalankoskella ja Lohjan maalaiskunnassa.

Laboratoriokokeissa mittausolosuhteet vaihtelivat seuraavasti: lämpötila 8:sta 16 °C:een, suhteellisen kosteuden 70:stä 95 %:iin. Pohjan lämpötila oli ± 3 °C ilman lämpötilasta. Ilman nopeus oli 5 mm pinnan yläpuolella 0,2 - 3,55 m/s. Haiduttavina pintoina käytettiin vesipintaa, betonilattiajäljitelmiä, rakolattiajäljitelmiä sekä tuoretta säilörehupintaa. Syntyvä kosteus mitattiin tiivistämällä se kylmän patterin pinnalle.

Tutkimuksen perusteella normaaleissa navettaolosuhteissa kosteudentuotanto kosteilta pinnoilta on noin 23 g/m²h. Parsinave-
toiden kosteuslämpösuhteeksi laskettiin 397 g/kWh eläinten tuottamaa lämpöä ja pihatoiden vastaavasti hoitotavoista riippuen 452 - 509 g/kWh eläinten tuottamaa lämpöä. Vakolasta aikaisemmin annettujen ohjeiden mukaan se oli navetoissa yleensä 451 g/kWh eläinten tuottamaa lämpöä. Ilman lisälämmitystä tullaan toimeen -20 °C ulkolämpötilaan saakka, jos kosteuslämpösuhde on alle 328 - 448 g/kWh ottaen huomioon 20 %:n lämpöhäviöt rakenteiden läpi. Kosteudentuotannon kaavaksi saatiin:

$$W = k_m * \left(10,9 + \frac{x_1}{x_0} \right)^{0,2} * x_0^{0,8} * 0,078 * 23,0 * v^{1,2} * \Delta p * d \quad (26)$$

jossa W = kosteudentuotanto, g/m²K
 Δp = kyllästymisvajausta, mbar (1 mbar = 100 Pa)
 x_0 = haihduttavan pinnan alkupisteen etäisyys kostean pinnan reunasta, m
 x_1 = haihduttavan pinnan loppupisteen etäisyys kostean pinnan reunasta, m
 τ = kinemaattinen viskositeetti, m²/s
 v = ilman nopeus 5 mm haihduttavan pinnan yläpuolella
 k_m = pinnasta riippuva kerroin
 d = pinnan leveys, m

Vesipinnalla k_m :n arvo oli 1. Vasta otetun rehun k_m :n arvo oli noin 2,1. Vasta kastuneella betonipinnalla se oli myös noin 2,1. Vasta kastuneella rakolattialla k_m :n arvo oli noin 1,2.

Lattioiden lämmönläpäisyä tutkittiin poraamalla lattioihin reikä, josta otettiin kerroksittain maanäytteitä. Näytteiden kosteus ja ominaispaine mitattiin. Kosteuden ja maalajimäärityksen avulla selvitettiin täyttömaan lämmönjohtavuus ja verrattiin normeihin. Samalla mitattiin säteilymittauksena lattian pinnan läpi menevä lämpö eri etäisyyksillä rakennuksen seinästä. Säteilymittauksien ja lämpötilaerojen perusteella laskettiin lattioiden lämmönläpäisykertoimet (k-arvot) eri etäisyyksillä ulkoseinistä. Saaduista tuloksista tehtiin johtopäätöksiä, joiden perusteella annettiin suosituksia perustusten rakenteista.

Tutkimustulosten perusteella voitiin osoittaa, että pihatoiden lattioiden oletettua suurempi lämmönläpäisy ei johdu oletettua suuremmasta täyttömaan kosteudesta. Sen sijaan saatiin viitteitä siitä, että perustusten rakenteelliset ratkaisut ovat aiheuttaneet kylmäsiltojen muodostumisen lattian, perusmuurin ja ulkoseinän liittymäkohtaan.

6. SAMMANFATTNING

I undersökningen studerades fuktproduktionen (avdunstningen) från olika slags fuktiga ytor i ladugårdsförhållanden. Mätningarna gjordes i laboratorium våren 1989. Dessutom undersöktes orsaken till att värmeförlusten genom golven i lösdriftsladugårdar är större än vad man tidigare har antagit. Golvens värmegenomgång undersöktes i sammanlagt tre lösdriftsladugårdar, vilka låg i Loimaa landskommun, Anjalankoski och Lojo kommun.

Mättingsförhållandena under fuktproduktionsmätningarna varierades för temperaturens del mellan 8 och 12 °C, och för den relativa luftfuktighetens del mellan 70 och 95 %. Golvet temperatur varierade mellan 3 °C kallare än luften och 3 °C varmare än luften. Lufthastigheten var 0,2 - 3,55 m/s på 5 mm höjd över ytan. Som avdunstande ytor användes vattenyta, betonggolvsimitation, spaltgolvsimitation samt direktskördat ensilage. Den producerade fukten mättes efter att ha kondenserats på ett kallt element.

Enligt resultaten är fuktproduktionen från fuktiga ytor i normala ladugårdsförhållanden ca 27 g/m²h. Förhållandet mellan producerad fuktmängd och den värmemängd som djuren producerar uträknades för båsladugårdar till 397 g/kWh, och för lösdriftsladugårdar till 452 - 509 g/kWh beroende på skötselmetoderna och med byggnadens värmeförluster obeaktade. Enligt tidigare givna anvisningar från Vakola var förhållandet 451 g/kWh utan specifikation för ladugårdstyp. Om förhållandet är under 328 - 448 g/kWh klarar man sig utan tilläggsuppvärmning i ladugården ner till - 20 °C utetemperatur, när man beaktar 20 %:s värmeförluster genom byggnadskonstruktionerna. För fuktproduktionen erhöles följande formel :

$$W = k_m * (10,9 + \frac{x_1}{x_0} 0,2 * x^{0,8}) * 0,078 * 23,0 * v^{1,2}) * \Delta p * d \quad (25)$$

W = fuktproduktion, g/m²K
 k_m = en av ytan beroende koefficient

- x_0 = avståndet i luftströmmens riktning från den fuktiga ytans kant till begynnelsepunkten av den delyta vars fuktproduktion uträknas, m
 x_1 = avståndet i luftströmmens riktning från den fuktiga ytans kant till slutpunkten av den delyta vars fuktproduktion uträknas, m
 τ = vattnets kinematiska viskositet, m^2/s
 (vanligen $14,8 \cdot 10^{-6} m^2/s$)
 v = lufthastigheten på 5 mm höjd över ytan, m/s
 Δp = skillnaden mellan vattenångans deltryck på den fuktiga ytan och i luften, mbar (1 mbar = 100 Pa)
 d = ytans bredd vinkelrätt mot luftströmmens riktning

För vattenyta var k_m :s värde 1. För direktskördat ensilage som just tagits ur silon var k_m :s värde ca 2,1. För just fuktad betongyta var värdet också ca 2,1. För just fuktat spaltgolv var k_m :s värde ca 1,2.

Värmegenomgången genom golven undersöktes genom att borra hål i golven, genom vilka togs jordprover skiktvis. Provernas fukthalt och specifika vikt bestämdes. Med hjälp av fukthalten och den jordartsbestämning som också gjordes, fastställdes fyllnadsjordens värmekonduktivitet (W/mK), vilken sedan jämfördes med normerna. Samtidigt mättes med hjälp av strålningsmätning hur mycket värme som avleddes genom golvytan på olika avstånd från ytterväggen. På basen av strålningsmätningarna och skillnaderna mellan inne- och utetemperatur beräknades golvens värmegenomgångskoefficienter eller k -värden (W/m^2K) på olika avstånd från ytterväggen. Av de erhållna resultaten drogs slutsatser, på basen av vilka gavs rekommendationer för hur grundkonstruktioner bör göras.

På basen av resultaten kunde det påvisas, att orsaken till att värmeförlusterna genom lösdriфтsladugårdarnas golv är större än man antagit, inte beror på att det underliggande fyllnadsmaterialet vore fuktigare än man antagit. Däremot erhöles häntydningar på, att lösningarna för grundkonstruktionen har skapat köldbryggor i anslutningen mellan golv, sockel och yttervägg.

7. SUMMARY

The humidity production (evaporation) from different moist surfaces in conditions corresponding the ones in cow stables was measured in a laboratory study. The measurements were done in spring 1989. It was also investigated why the heat losses through the floor in cubicle cow stables are higher than earlier has been assumed. The heat conductivity of the floors was studied in three cubicle stables in southern Finland.

The temperature during the evaporation measurements was varied between 8 and 12 °C and the relative humidity between 70 and 95 %. The temperature of the floor varied between 3 °C colder than the air and 3 °C warmer than the air. The airflow velocity was 0.2 - 3.55 m/s at 5 mm height above the surface. Water surface, concrete floor imitation, slatted floor imitation and unwilted silage were used as evaporating surfaces. The humidity produced from the moist surfaces was condensed on a condenser and measured.

The results showed that the humidity production from moist surfaces in normal cow stable conditions is about 27 g/m²h. The ratio of produced humidity to the amount of heat that the animals produce was calculated as 397 g/kWh for stanchion barns, and 452 - 509 g/kWh for cubicle stables depending on the managing methods and when heat losses of the building are not considered. According to earlier norms by Vakola the ratio was 451 g/kWh without specification for type of stable. If the ratio is less than 328 - 448 g/kWh, no extra heating in the stable is needed unless the outside temperature is below - 20 °C, when 20 % heat losses of the building are considered. The following formula for the humidity production was obtained:

$$W = k_m * (10.9 + \frac{x_1}{x_0} (10^{0.2} * x^{0.8}) * 0.078 * 23.0 * v^{1.2}) * \Delta p * d \quad (25)$$

W = humidity production, g/m²K
 k_m = surface dependent factor

- x_0 = distance in the direction of the airflow from the edge of the moist surface to the starting point of the part surface whose evaporation is to be calculated, m
 x_1 = distance in the direction of the airflow from the edge of the moist surface to the end of the part surface whose evaporation is to be calculated, m
 τ = kinematic viscosity of water, m^2/s (usually $14.8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)
 v = speed of air at 5 mm height above the surface, m/s
 Δp = saturation deficiency, mbar (1 mbar = 100 Pa)
 d = width of the surface perpendicularly to the direction of the airflow

For water surface the value of k_m was 1. For unwilted silage just brought from the silo the value of k_m was about 2.1. For just wetted concrete surface it was also about 2.1. For just wetted slatted floor the value of k_m was about 1.2.

The thermal conductivity of the floors was investigated by drilling a hole through the floors, through which samples were taken from different strata of the filling earth under the floor. The moisture content, the density and the earth type of the samples were determined. The thermal conductivity (W/mK) of the filling earth was calculated on the basis of moisture content and earth type and was compared to the norms. The heat permeate of the floor surface at various distances from the outer wall was measured by radiation measuring. The heat permeate or U-value ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) of the floor at different distances from the outer wall was calculated on the basis of the radiation measurements and the differences between inside and outside temperatures. Conclusions were drawn from the results obtained and recommendations were given for how foundations should be constructed.

The results show, that the reason why the heat losses through the floor of cubicle stables are higher than has earlier been assumed, is not that the filling earth under the floor would be moister than assumed. Instead we got indications of that the solutions for the foundations have created thermal bridges in the connection between the floor, the plinth and the outer wall.

8. LÄHDELUETTELO

- ANON. 1974. Klima in geschlossenen Ställen. Deutsche Normen
DIN 18910: 1 - 13.
- ANON. 1975a. Tekniikan käsikirja 1: 1 - 568. Jyväskylä.
- "--- 1975b. Tekniikan käsikirja 2: 1 - 777. Jyväskylä.
- "--- 1975c. Tekniikan käsikirja 5: 1 - 711. Jyväskylä.
- "--- 1979. Lämmöneristys. Ohjeet. Suomen rakentamismääräysko-
koelma säännöstiedosto RT RakMK-20183: 1 - 9.
- "--- 1980. Lantbruksbyggnader - Venttilationsbehov och värmeba-
lans i djurstallar - Beräkningsgrunder. Byggstandar-
diseringen. Svensk standard SS 95 10 50: 1 - 10.
- "--- 1981a. British Standard Code of practice for design of
buildings and structures for agriculture. Part 2.
Special considerations. Section 2.2. Livestock buil-
dings. British Standards Institution. 17 s.
- "--- 1981b. Stallklimagestaltung. Fachbereichstandard TGL 29084.
12 s. Leipzig.
- "--- a. Climatization of Animal Houses. CIGR -working group.
16 s.
- BAGGE, J. 1972. Pientalojen uimaallashuoneen ilmanvaihto.
Eripainos LVI -lehestä 3: 1 - 7. Helsinki.
- BENNINGER, D. 1979. Klimatisierung im Melkstand. Landtechnik 9:
418 - 420.
- BURRAGE, S.W., VARLEY, M.J., NOBLE, R. & PERRIN, P.S.G. 1988. A
Microcomputer-Based Environmental Control System for
Mushroom Cropping Tunnels. Computer and Electronics in
Agriculture 2: 193 - 207. Amsterdam.
- BÖRJESSON, L. 1984. Fuktproblem i växthus. Inst. f. lantb.
byggnadsteknik. Trädgårdsbyggnader 10: 1 - 41. Lund.
- GUSTAFSSON, G. 1988. Luft- och värmebalanser i djurstallar.
Sveriges lantbruksuniversitet. Inst.f.lantbrukets
byggnadsteknik. Avdelningen för jordbrukets byggnads-
och klimatteknik. Repport 59: 1 - 385. Summary: Air
and heat balance in animal houses.
- HALL, J. 1983. Modellbyggnad och simulering av klimat i stall-
byggnader. Sveriges lantbruksuniversitet. Inst.f.lant-
- KAPUINEN, P. & KARHUNEN, J. 1989. Kosteudentuotanto kosteilta pinnoilta
navetoissa. Vakolan tutkimuslöstus N:o 56.

- brukets bygnadsteknik. Undervisningsavdelningen. Examenarbete 48: 1 - 87. Lund.
- JEPSSON, K-H. 1987. Lokalt gödselgasavsug för spaltgolv i slaktsvinstall. Sveriges lantbruksuniversitet. Inst.-f.lantbrukets bygnadsteknik. Forsknings- och undervisningsavdelningen. Examenarbete 61: 1 - 51. Uppsala.
- KAPUINEN, P. 1989. Älä sulata rehua pihatossa. Pellervo 2. Kotieläinliite: 11.
- KAPUINEN, P. & KARHUNEN, J. 1988. Pienten pihatoiden ilmanvaihdon erityisvaatimukset. Vakolan tutkimusselostus 51: 1-94 + 19 liitettä. Conclusions: Special requirements for the ventilation in small free stalls.
- KARHUNEN, J. 1984. Eläinsuojien ilmanvaihto. Luentomoniste. 14 s. + 17 liitettä. Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos.
- KIRSCHNER, K., KOSBAD, H., LANGNER, O., PAULS, J., PETEREIT, H-H., RASIM, W. & RUMP, W. 1976. Klimatechnik in der Tierproduction. 131 s. Berlin.
- MOTNES, E. & KLINK, G. 1969. Stallklima- Umweltanforderungen, Wärme-, Wasserdampf- und Gasabgabe der Tiere. Schriftenreihe Bauforschung, Reihe Landwirtschaftsbau Heft 9. Verlag Deutsche Bauinformation. Berlin.
- MÜLLER, W. 1985. Zur Frage des Wärme-, Wasserdampf- und CO₂-Anfalls in Milchvieh- und Schweineställen. 1. Mitteilung: Vorläufige Planungsdaten für den Einsatz von Wärmepumpen in Nutztierställen, Tierärztl. Grundlagen für die Stallklimaberechnung in der Diskussion. Umschau.
- PLETINCKX, A. & ALIX, G. 1978. Air conditioning of livestock buildings: modern equipment and development trends. United Nations' Economic commission for Europe. AGRI/MECH Report 73: 1 - 29. New York.
- PYYKKÖNEN, M. 1987. Miten pihatot toimivat? Karjatalous 2: 8-10.
- RANDALL, J.M. 1983. Humidity and water vapour transfer in finishing piggeries. J. agric. Engng Res. 28: 451 - 461.
- STRØM, J.S. 1978. Varmeafgivelse fra kaeg, svin og fjerkræ som grundlag for varmetekniske beregninger. Statens Byggeforskningsinstitut. SBI -lantbruksbyggeri 55: 1 - 47.
- KAPUINEN, P. & KARHUNEN, J. 1989. Kosteudentuotanto kosteilta pinnoilta navetoissa. Vakolan tutkimusselostus N:o 56.

Summary: Heat loss from cattle, swine and poultry as basis for design of environmental control systems in livestock buildings.

TUUNANEN, L. & KARHUNEN, J. Eläinsuojien ilmanvaihdon mitoitus.

Vakolan tutkimuslöstus 39: 1 - 112. Conclusions: Dimensioning of ventilation in animal houses.

VUORELAINEN, O. 1972. LVI-tekniikka 1. 2. painos. s. 334.

Otaniemi

ØKLAND, H. & LILLENG, H. 1980. Fordamping fra fuktige flater i husdyrrrom. Norges lantbrukeskole. Institutt for bygningsteknikk. Stensiltrykk 167.

KAPUNEN, P. & KARHUNEN, J. 1989. Kosteudentuotanto kosteilta pinnoilta navetoissa. Vakolan tutkimuslöstus N:o 56.

LIITE 1. Lattioiden nettosäteily, säteilyteho, k-arvo ja m-arvo vyökykkeittäin sekä säteilyn, k-arvon ja m-arvon vertailu sisäilma- ja lämmönministeriön ohjeeseen pihatossa numero 1.

Etäisyys rakennuksen reunasta, m	Nettosäteily vastaavassa kohdassa, W/m ²	Pinta-ala seuraavaan vyökykkeeseen saakka, m ²	Säteilyteho W	Keskimääräinen k-arvo vyökykkeellä W/m ² * K	m-arvo vyökykkeellä m ² * K/W
0,0	-45,0	42,2	-1517,4	2,6	0,4
0,5	-27,0	40,2	-1023,8	1,8	0,5
1,0	-24,0	74,3	-1597,5	1,5	0,6
2,0	-19,0	66,3	-1226,6	1,3	0,8
3,0	-18,0	58,3	-1020,3	1,3	0,8
4,0	-17,0	50,3	-804,8	1,1	0,9
5,0	-15,0	42,3	-571,1	1,0	1,0
6,0	-12,0	34,3	-394,5	0,8	1,2
7,0	-11,0	25,2	-276,9	0,8	1,3
Yhteensä 433,3			-8432,7		

Keskimääräinen säteily, W/m ²	Vastaavat laskennallisesti rakennusohje	Mitatut rakennusohje	Mitatut T&K -ohje	
Keskimääräinen säteily, W/m ²	-19,5	-1,9	10,4	3,2
Keskimääräinen lämmönläpäisevyys (k-arvo) W/m ² * K	1,4	0,1		
Keskimääräinen lämmönvastus (M-arvo), m ² * K/W	0,7	7,4		
Sisäilma- ja lämmönministeriön rakennusohjeen mukaisen uloilman vyökykkeen k-arvo				
- k-arvo, W/m ² * K	2,2	0,2	13,1	
- M-arvo, m ² * K/W	0,5	5,9		
Sisäilma- ja lämmönministeriön rakennusohjeen mukaisen sisäilman vyökykkeen k-arvo				
- k-arvo, W/m ² * K	1,3	0,1	10,7	
- M-arvo, m ² * K/W	0,8	8,4		
Edellä mainittujen vyökykkeiden sisäpuolelle jäävien alueiden keskimääräinen k-arvo, W/m ² * K				
- k-arvo, W/m ² * K	0,1			
- M-arvo, m ² * K/W	10,2			
		ääretön		

LIITE 2. Irttojen nettosäteily, säteililyteho, k-arvo ja m-arvo yöyökkettäin sekä säteilyn, k-arvon ja m-arvon vertailu sisäilma- ja lämpöenergian ohjeeseen pihatoissa numero 2.

Etäisyys rakennuksen reunasta, m	Nettosäteily vastaavassa kohdassa, W/m ²	Pinta-ala seuraavaan yöyökkeseen saakka, m ²	Säteily teho W	Keskimääräinen k-arvo yöyökkellä W/m ² * K	m-arvo yöyökkellä m ² * K/W
0,0	-13,0	40,0	-440,0	1,2	0,8
0,5	-9,0	38,0	-323,0	0,9	1,1
1,0	-8,0	70,0	-525,0	0,8	1,2
2,0	-7,0	62,0	-372,0	0,6	1,6
3,0	-5,0	54,0	-243,0	0,5	2,1
4,0	-4,0	46,0	-138,0	0,3	3,1
5,0	-2,0	38,0	-76,0	0,2	4,6
	Yhteensä	348,0	-2117,0		

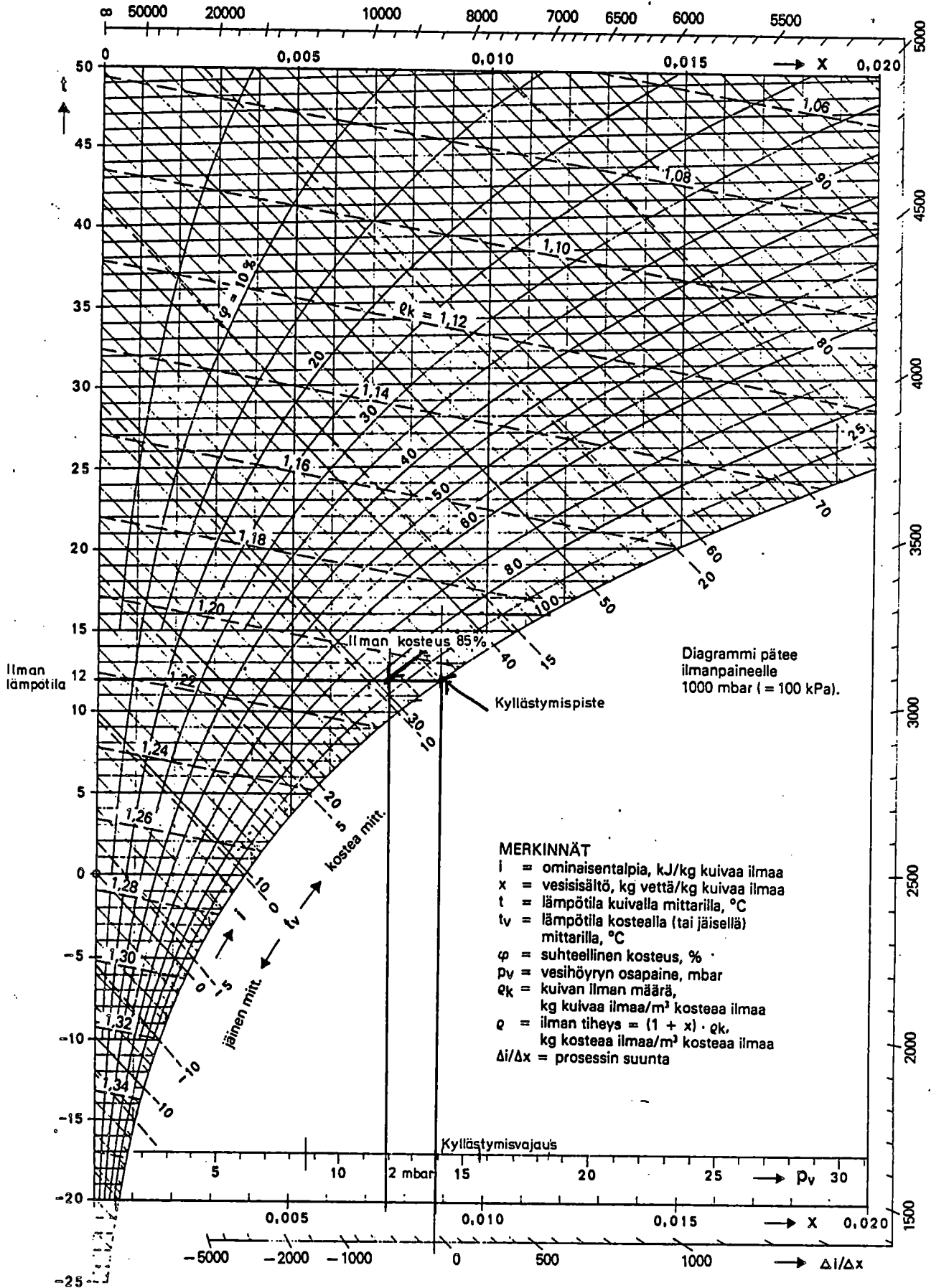
	Vastaavat laskemallisesti	Mitatut/ lasketut	Mitatut/ T&K -ohje
Keskimääräinen säteily, W/m ²	-6,1	4,8	1,0
Keskimääräinen lämpöläpäisevyys (k-arvo) W/m ² * K	0,7		
Keskimääräinen lämmönsäily (M-arvo), m ² * K/W	1,5		
Sisäilma- ja lämpöenergian ohjeeseen mukaisen uloimman yöyökkien k-arvo	1,1	5,8	
- k-arvo, W/m ² * K	1,0		
- M-arvo, m ² * K/W	5,5		
Sisäilma- ja lämpöenergian ohjeeseen mukaisen sisemmän yöyökkien k-arvo	0,5	4,3	
- k-arvo, W/m ² * K	1,9		
- M-arvo, m ² * K/W	7,9		

LIITE 3. Lattioiden nettosäteily, säteililyteho, k-arvo ja m-arvo vyöhykkeittäin sekä säteilyn, k-arvon ja m-arvon vertailu sisäsluainministeriön ohjeeseen pihatossa numero 3.

Etäisyys rakennuksen reunasta, m	Nettosäteily vastaavassa kohdassa, W/m ²	Pinta-ala seuraavaan vyöhykkeeseen saakka, m ²	Säteily teho W	Keskimääräinen k-arvo vyöhykkeellä W/m ² * K	m-arvo vyöhykkeellä m ² * K/W
0,0	-43,0	40,0	-1500,0	7,3	0,1
0,5	-32,0	38,0	-1140,0	5,8	0,2
1,0	-28,0	70,0	-1750,0	4,8	0,2
2,0	-22,0	62,0	-1209,0	3,8	0,3
3,0	-17,0	54,0	-891,0	3,2	0,3
4,0	-16,0	46,0	-667,0	2,8	0,4
5,0	-13,0	38,0	-437,0	2,2	0,4
6,0	-10,0	40,0	-400,0	1,9	0,5
		<u>Yhteensä 388,0</u>	<u>-7994,0</u>		

Vastaavat laskemallisesti	Mitatut/ lasketut	Mitatut/ T&K -ohje
-1,3	16,1	3,4
0,2		
4,0		
0,4	14,7	
2,2		
0,2	16,2	
4,9		

Keskimääräinen säteily, W/m²
 Keskimääräinen lämmönläpäisevyys (k-arvo) W/m² * K
 Keskimääräinen lämmönvastus (M-arvo), m² * K/W
 Sisäministeriön rakennusohjeen mukaisen uloimman vyöhykkeen k-arvo
 - k-arvo, W/m² * K
 - M-arvo, m² * K/W
 Sisäministeriön rakennusohjeen mukaisen sisemän vyöhykkeen k-arvo
 - k-arvo, W/m² * K
 - M-arvo, m² * K/W



Kuva 7a. Kosteaa ilmaa i,x-diagrammi

LIITE 5. Kyllästymisvajauksen laskemiseen käytetty Basic -ohjelma

```

10 DIM Tiedosto(0:5,1:1100),Vn$(1:50)[10],Sn$(1:20)[10]
20 CALL Tiedostonlataus(No,Nv,Tiedosto(*),Sn$(*),Vn$(*))
30 FOR J=1 TO No
40 INPUT "Suhteellinen kosteus, kuivalämpö",Suhtko,Kui
50 Suhtko=Tiedosto(3,J)
60 Kui=Tiedosto(1,J)
70 INPUT "Pohjan lämpötila",Poh
80 Poh=Tiedosto(4,J)
90 Abskot=FNAbstkost(100,Poh)
100 Absko=FNAbstkost(Suhtko,Kui)
110 Abskoero=Abskot-Absko
120 PRINT USING "28A,3D.D,3X,3D.2D";"Suht. kosteus, Kuivalämpö: ",Suhtko,Kui
130 PRINT USING "28A,3D.2D";"Pohjan lämpötila: ",Poh
140 PRINT USING "28A,2D.2D,6A";"Absoluuttinen kosteus ";Absko*1000;" g/kg
150 PRINT USING "28A,2D.2D,6A";"Absoluuttinen kosteusero ";Abskoero*1000;" g
/kg"
160 Tiedosto(2,J)=Abskoero
170 NEXT J
180 IDEALLOCATE Tiedosto(*)
190 CALL Tiedtallennus(No,Nv,Tiedosto(*),Sn$(*),Vn$(*))
200 END
210 DEF FNKaasupaine(T)
220 IF T<=273.16 THEN
230 Ps=EXP(31.9602-(6270.3605/T)-.46057*LOG(T))
240 ELSE
250 READ R,A,B,C,D,E,F,G
260 DATA 22105649.25,-27405.526,97.5413,-.146244,.12558E-3,-.48502E-7
270 DATA 4.34903,.39381E-2
280 Ps=R*EXP((A+B*T+C*T^2+D*T^3+E*T^4)/(F*T-G*T^2))
290 END IF
300 RETURN Ps
310 FNEND
320 !
330 DEF FNAbstkost(Kost,T)
340 TO=273.15+T !Kelvin ASTEINA
350 Rh=Kost/100
360 Ps=FNKaasupaine(TO)
370 H=.6219*Rh*Ps/(101330-Rh*Ps)
380 RETURN H
390 IOHJELMA MUUTTAA SUHTEELLISEN KOSTEUDEN ABS KOSTEUDEKSI
400 ITULOS LAATUA kg H2O/KG ILMAA
410 IRh=SUHT KOST %,T=C, H=ABS KOST
420 FNEND
430 !
440 SUB Tiedostonlataus(No,Nv,Tiedosto(*),Vn$(*),Sn$(*))
450 ALLOCATE Sc(1:20)
460 ASSIGN @Levy TO "DATA:,704"
470 ENTER @Levy;T$,No,Nv,Vn$(*),Ns,Sc(*)
480 ALLOCATE A(0:Nv,1:No)
490 IALLOCATE Tiedosto(0:3,0:No)
500 ENTER @Levy,2
510 ENTER @Levy;A(*)
520 ASSIGN @Levy TO *
530 FOR I=1 TO No
540 Tiedosto(0,I)=A(0,I)
550 Tiedosto(1,I)=A(1,I)
560 Tiedosto(2,I)=A(2,I)
570 Tiedosto(3,I)=A(3,I)
580 Tiedosto(4,I)=A(4,I)
590 Tiedosto(5,I)=A(5,I)
600 NEXT I
610 IDEALLOCATE A(*)
620 SUBEND
630 SUB Tiedtallennus(No,Nv,Tiedosto(*),Vn$(*),Sn$(*))
640 ALLOCATE Sc(1:20)

```



```

650 ASSIGN @Levy TO "DATA:,704"
660 OUTPUT @Levy;T$,No,Nv,Vn$(°),Ns,Sn$(°),Sc(°)
670 ALLOCATE A(0:5,1:No)
680 !ALLOCATE Tiedosto(0:3,0:No)
690 OUTPUT @Levy,2
700 !ASSIGN @Levy TO °
710 FOR I=1 TO No
720 A(0,I)=Tiedosto(0,I)
730 A(1,I)=Tiedosto(1,I)
740 A(2,I)=Tiedosto(2,I)*1562.5
750 A(3,I)=Tiedosto(3,I)
760 A(4,I)=Tiedosto(4,I)
770 A(5,I)=Tiedosto(5,I)
780 NEXT I
790 OUTPUT @Levy;A(°)
791 !ASSIGN @Levy TO °
800 !DEALLOCATE A(°)
810 SUBEND

```

LIITE 6. Havaintomatriisi erilaisilla kosteilla pinnoilla

Tässä asetelmassa on esitetty analyysissa käytetty vesipinnan havaintotiedoston sisältämä havaintomatriisi kaikkien muunnosten jälkeen.

Havaintomatriisi vesipinnan mittaustuloksista.
Matrix of measuring observations on water surface.

Havainto Observation	Paine-ero Saturation deficiency mbar	Painoero Difference in weight g/m ² h	Ilm nopeus Speed of air m/s
1	-1.95840		
2	-2.14010	-.20400	
3	-1.91120	-.13300	.20000
4	-1.89390	-.15000	.20000
5	-1.81930	-.07500	.20000
6	-.88380	-.18200	.20000
7	-1.89090	6.75900	.20000
8	3.30830	-3.00000E-03	.20000
9	3.92490	57.77500	.20000
10	4.36990	57.94500	.20000
11	8.90810	64.95000	.20000
12	6.37530	167.88900	.20000
13	8.44530	119.14500	.20000
14	3.90190	92.97200	.20000
15	4.44170	78.60000	.20000
16	6.58670	87.85000	.20000
17	7.60590	118.74000	.20000
18	7.98910	137.27800	.20000
19	.75040	92.18800	.20000
20	.87050	39.62200	.20000
21	.92880	46.59200	.20000
22	4.25960	47.21100	.20000
23	.61730	38.93000	.20000
24	-1.89910	7.44800	.20000
25	-2.20450	-.22800	.20000
26	-2.30460	-.23300	.30000
27	-.86780	-.12100	.30000
28	2.81710	11.65000	.30000
29	.93060	-.06200	.30000
30	.97340	-24.24200	.30000
31	1.03800	29.31300	.30000
32	.36120	29.70700	.30000
33	2.34490	-.29000	.30000
34	4.65000	21.52200	.30000
35	4.84320	29.38800	.30000
36	5.01600	26.64000	.30000
37	2.55070	80.10000	.30000
38	4.15230	36.61800	.30000
39	5.41940	59.23300	.30000
40	.16920	73.08000	.30000
41	-2.06150	3.91200	.30000
42	-.37280	-.20000	.30000
43	1.23370	6.58300	.30000
44	4.28250	47.18900	.30000
45	5.22520	68.07400	.30000
46	6.06650	76.59800	.30000
47	4.97690	86.35800	.30000
48	7.03940	77.84500	.30000
49	.81270	87.84700	.30000
50	2.26750	-.17000	.30000
51	1.87580	-.01900	.30000
52	5.72260	0.00000	.30000
53	7.16820	60.82300	.30000
54	2.22620	115.45500	.30000
55	2.65970	98.55800	1.00000
56	1.65930	105.45100	1.00000
57	2.49450	111.77400	1.90000
58	1.02210	133.94800	1.90000
59	.87920	100.69700	3.55000
60	1.45760	88.46500	3.55000
		115.61500	3.55000

Tässä asetelmassa on esitetty analyysissa käytetty betonipinnan havaintotiedoston sisältämä havaintomatriisi kaikkien muunnosten jälkeen.

Havaintomatriisi betonipinnan mittaustuloksista.
Matrix of measuring observations on concrete surface.

Havainto Observation	Paine-ero Saturation deficiency mbar	Painoero Difference in weight g/m ² h	Ilmannoepus Speed of air m/s
1	2.41290	69.11200	
2	1.89540	56.18500	.20000
3	2.09190	50.12500	.20000
4	2.01590	39.50700	.20000
5	2.16860	49.03800	.20000
6	3.23770	63.79900	.20000
7	3.63450	74.57700	.20000

Tässä asetelmassa on esitetty analyysissa käytetty rakolattia havaintotiedoston sisältämä havaintomatriisi kaikkien muunnosten jälkeen.

Havaintomatriisi rakolattian mittaustuloksista.
Matrix of measuring observations on slatted floor.

Havainto Observation	Paine-ero Saturation deficiency mbar	Painoero Difference in weight g/m ² h	Ilmannoepus Speed of air m/s
1	2.09700	54.54200	.20000
2	2.90750	5.36700	.20000
3	2.57150	55.21000	.20000

Tässä asetelmassa on esitetty analyysissa käytetty rehupinnan havaintotiedoston sisältämä havaintomatriisi kaikkien muunnosten jälkeen.

Havaintomatriisi rehupinnan mittaustuloksista.
Matrix of measuring observations on silage surface.

Havainto Observation	Paine-ero Saturation deficiency mbar	Painoero Difference in weight g/m ² h	Ilmannopeus Speed of air m/s
1	1.65030	38.78900	.20000
2	1.29600	22.01000	.20000
3	1.82540	7.88900	.20000
4	2.36930	17.90900	.20000
5	4.93590	19.65900	.20000

