



**VAKOLA**

PPA 1  
03400 VIHTI  
90-224 6211

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

**VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS NRO 51**

**P. KAPUINEN - J. KARHUNEN**

**PIENTEN PIHATOIDEN  
ILMANVAIHDON ERITYISVAATIMUKSET**

**SPECIAL REQUIREMENTS FOR THE VENTILATION  
IN SMALL FREE STALLS**

VIHTI 1988

**VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS NRO 51**

**P. KAPUINEN - J. KARHUNEN**

**PIENTEN PIHATOIDEN  
ILMANVAIHDON ERITYISVAATIMUKSET**

**SPECIAL REQUIREMENTS FOR THE VENTILATION  
IN SMALL FREE STALLS**

VIHTI 1988

Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri)		Julkaisun laji	
KAPUINEN, Petri & KARHUNEN, Jorma		Tutkimusselostus	
		Toimeksiantaja	
		Maatilatalouden kehittämisrahasto	
		Toimielimen asettamispyvm	
Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)			
Pienten pihatoiden ilmanvaihdon erityisvaatimukset			
Julkaisun osat			
Tiivistelmä			
<p>Yleisimmät pihatoiden kostumiseen johtaneet virheet ovat: merkittävä ala pihatön sisäpiiristä liian huonosti lämmöneristetty (41 % tapauksista), painekyllästämättömän puun ja muiden kosteutta kestävämmien materiaalien käyttö sisäverhouksessa (6 %), ilmanvaihtolaitteiden karkeat käyttövirheet (24 %), pihatön lämmöntuotannon pienuus pakkaskaudella (12 %), poikkeuksellisen suuri kosteudentuotanto (29 %), tuloilman kulkeutuminen poistoaukkoon (18 %) ja rakennuksen liiallinen koko miehitykseen nähden (35 %).</p> <p>Normaalisti eristetyillä rakenteilla eläinten lämmöntuotannon ja sisäpinnan pinta-alan suhteen tulisi olla vähintään 40 W/m<sup>2</sup>. Kosteudentuotannon nousu lämpötilan noustessa johtuu pääasiassa kosteudentuotannon lisääntymisestä kosteilta pinnoilta. Liiallista kosteutta tulisi ensisijaisesti rajoittaa itse kosteudentuotantoa rajoittamalla. Rehujen sulatusta pihatossa tulee ehdottomasti välttää. Kosteuden ja lämmöntuotannon suhde ei saisi ylittää arvoa 700 g/kWh. Lypsyasema tulisi erottaa omaksi tilakseen ja varustaa omalla ilmanvaihdolla. Mikäli lämpötilan laskeminen tai kosteudentuotannon rajoittaminen ei onnistu tai ole enää mahdollista on hankittava lisälämpöä. Lämmönvaihtimen hankkiminen kannattaa, mikäli lisälämmön-tarvetta esiintyy jo pienillä pakkasilla (noin -10 °C).</p> <p>Pihatön sisäkorkeuden tulisi olla vähintään 2,8 m. Rakennuksen keskimääräinen lämmönläpäisy ei saisi ylittää arvoa 0,45 W/m<sup>2</sup>K. Yläpohjassa ei voida hyväksyä arvoja yli 0,35 W/m<sup>2</sup>K. Kosteiden pintojen ala saa olla korkeintaan 15 % sisäpiirin pinta-alasta. Ikkunoiden ja ovien ala ei saisi ylittää 5 % sisäpiirin pinta-alasta. Ovien eristämiseen olisi kiinnitettävä nykyistä enemmän huomiota. Lattiat tulisi eristää koko alaltaan. Lämmitettävät lattiat tulisi eristää merkittävästi nykyistä, 10 cm polystyreeniä, paremmin. Vasikoille voidaan tehdä erillinen juottamo, jos sen ilmanvaihto ja lämmitys voidaan järjestää riittävän hyvin.</p>			
Avainsanat (asiasanat)			
Syy pihatön kosteuteen, ilmanvaihtolaitteet, pihatön rakenteille asetettavat vaatimukset, vasikoiden sijoittaminen, rehun sulatus, lypsyasemat, lisälämmön tarve pihatoissa			
Muut tiedot			
Saatavissa Valtion maatalousteknologian laitokselta (VAKOLA), puh. (913)462 11			
Sarjan nimi ja numero		ISSN	ISBN
Vakolan tutkimusselostus N:o 51		0782-0054	
Kokonaissivumäärä	Kieli	Hinta	Luottamuksellisuus
	suomi	15 mk	
Jakaja		Kustantaja	

## ALKULAUSE

Aikaisemmin tehtyjen tutkimusten yhteydessä on todettu, että erityisesti pienissä pihatoissa ilmanvaihdon suhteen on ongelmia. Suuri ilman suhteellinen kosteus ja vasikoiden sijoittaminen pihatossa katsottiin olevan tärkeä tutkimuksen kohde, jotta tulevaisuudessa pihattoratkaisuissa voitaisiin jo suunnittelun yhteydessä tehdä parempia tilankäyttö- ja ilmastointiratkaisuja.

Maatilahallitus myönsi tämän tutkimuksen tekemiseen vuonna 1987 53 000 mk maatilatalouden kehittämisrahastosta. Tutkimuksessa selvitettiin pihatoissa kehittyvän vesihöyryn määrä ja sen vaikutus ilmanvaihdon mitoitukseen ja tekniseen järjestykseen ottaen huomioon eläinten epäsymmetrinen sijainti rakennuksessa. Tutkimus suoritettiin tekemällä mittauksia 17 pihatoissa ja vertaamalla saatuja tuloksia aikaisempiin parsinavetoista tehtyihin ilmanvaihto normeihin. Tutkimuksen alussa on kirjallisuusselvitys ja tutkimuspihatoiden rakennus-, lannanpoisto- ja ilmanvaihtoratkaisujen esittely.

Tutkimuksen valvojakunnan puheenjohtajana oli 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. Päättäjänä oli agr., MMK Petri Kapuinen. Suurta apua tutkimuksen kannalta oli myös Dr.sc.agr. Winfried Schäferin tekemästä laskentaohjelmasta.

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

Vihdissä 14. lokakuuta 1988

## SISÄLLYSLUETTELO

KUVAILELLEHTI	
ALKULAUSE	i
SISÄLLYSLUETTELO	ii
1. JOHDANTO	1
1.1. Tutkimuksen tarkoitus	1
1.2. Mittauskohteet	2
1.3. Navetan ilmastonin periaatteet	6
1.3.1. Lämpötasapaino	6
1.3.2. Lämpötila ja suhteellinen kosteus	6
1.3.3. Ilmavirran suuruus pihatoissa	9
1.3.4. Ilmanvaihtojärjestelmät	11
1.3.5. Eläimistä ja kosteilta pinnoilta syntyvä vesihöyry	16
1.4. Kosteuden aiheuttamat ongelmat pihatoissa	20
1.4.1. Kosteuden aiheuttamat haitat	20
1.4.2. Kosteusvaurioiden syntymisen mekanismi	21
1.5. Pihatton kuivanapitäminen taloudelliselta kannalta tarkasteltuna	21
1.6. Pihatton rakenteiden lämmöneristykselle asetettavat vaatimukset	25
2. MENETELMÄT	28
2.1. Tietojen keruu	28
2.2. Lämpötilan mittaukset	28
2.3. Kosteuden mittaus	29
2.4. Ilmavirran mittaus	29
2.5. Kaasupitoisuuden mittaus	30
2.6. Jatkuvan mittauksen ongelmia	30

2.7.	Tietojen käsittely	31
2.8.	Käsitteet	32
2.8.1.	Lämpöteho	32
2.8.2.	Ikkunoiden ja ovien ala	33
2.8.3.	Sisäkorkeus	33
2.8.4.	Rakennuksen lämmönläpäisy ja eläinten tuottama lämpö	34
2.8.5.	Rakennuksen painotettu k-arvo	34
2.8.6.	Kosteiden pintojen alan osuus	35
2.8.7.	Eläinten tuottama kosteus	36
2.8.8.	Kokonaiskosteuden tuotanto	36
2.8.9.	Kokonaiskosteuden tuotanto ja eläinten tuottama lämpö	36
2.8.10.	Säilörehun käyttö	37
2.8.11.	Lisälämmöntarve	37
2.9.	Mittaukset	38
2.9.1.	Kertamittaukset	38
2.9.2.	Jatkuvat mittaukset	39
2.9.2.1.	K-arvon määrittäminen pihatoissa 16	39
2.9.2.2.	Jatkuva mittaus pihatoissa 9	40
2.9.2.3.	Jatkuva mittaus pihatoissa 11	41
2.9.2.4.	Jatkuva mittaus pihatoissa 16	43
3.	TULOKSET	45
3.1.	Ikkunoiden ja ovien, seinien ja katon ja kosteiden pintojen alojen osuudet pihatoissa	45
3.2.	Pihatoiden sisäkorkeus	46
3.3.	Säilörehun käyttö tutkimuspihatoissa	48
3.4.	Rakenteiden lämmönläpäisy mitatuissa pihatoissa	49

3.5.	Haitallisten kaasujen pitoisuudet tutkimuspihatoissa	51
3.6.	Kosteudentuotanto mittauksen kohteina olleissa pihatoissa	51
3.7.	Ilmanvaihtolaitteiden sijoittelu ja toiminta, lämmöntuotannon jakaantuminen sekä vasikoiden sijoitus	69
3.8.	Lisälämmöntarve tutkimuspihatoissa	74
4.	TULOSTEN TARKASTELU	78
4.1.	Yleiset syyt pihatoiden kosteuteen	78
4.2.	Ilmanvaihtolaitteet	80
4.3.	Rakennukselle asetettavat vaatimukset	81
4.5.	Vasikoiden sijoittaminen	84
4.6.	Rehujen sulatus	84
4.7.	Lypsyasemien rakenteet, ilmanvaihto ja lämmitys	85
5.	TIIVISTELMÄ	87
6.	SAMMANFATTNING	89
7.	CONCLUSIONS	91
8.	LÄHDELUETTELO	93
	LIITTEET	

## 1. JOHDANTO

### 1.1. Tutkimuksen tarkoitus

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää onko pihattonavetoissa kosteudentuotanto suurempi kuin vastaavissa parsinavetoissa ja tehdä tarvittavat korjaukset normeihin. Eräissä aikaisemmin tehdyissä tutkimuksissa on havaittu, että jotkut pihatot ovat olleet varsin kosteita. Toisaalta pihatoiden koko nautayksikköä kohti ei ole ollut merkittävästi suurempi kuin parsinavetoiden, joten liikkakosteuden syynä ei ole ollut pihatoiden suurempi koko parsinavetoihin nähden. Sarinin /1/ mukaan makuuparsipiha-toissa lattiapinta-ala on ollut keskimäärin  $10,5 \text{ m}^2/\text{ny}$  vaihtelualueen ollessa  $7,7 - 14,3 \text{ m}^2/\text{ny}$ . Vastaavasti vapaaparsipiha-toissa lattiapinta-ala on ollut keskimäärin hieman suurempi eli  $11,3 \text{ m}^2/\text{ny}$  vaihtelualueen ollessa  $9,3 - 14,6 \text{ m}^2/\text{ny}$ . Pihatoiden lattia-alat olivat keskimäärin  $10,2 \text{ m}^2$  nautayksikköä kohti vaihteluvälin ollessa  $5,6 - 14 \text{ m}^2 /2/$ . Vakolan parsinavettatutkimuksen mukaan lattia-alat olivat parsinavetoissa keskimäärin  $9,4 \text{ m}^2/\text{ny}$  vaihtelualueen ollessa  $6,5 - 21 \text{ m}^2/\text{ny} /2/$ . Pihatoiden tilavuus nautayksikköä kohden oli Karhusen /3/ mukaan keskimäärin  $32,4 \text{ m}^3$  vaihteluvälin ollessa  $12 - 44 \text{ m}^3 /2/$ . Vastaavasti parsinavetoissa tilavuudet nautayksikköä kohden olivat keskimäärin  $25,2 \text{ m}^3$  vaihteluvälin ollessa  $15 - 61 \text{ m}^3$ . Pihatot olivat näin ollen keskimäärin hieman suurempia nautayksikköä kohti kuin parsinavetat, mutta parsinavetoissa oli sekä suurin että pienin lattia-ala nautayksikköä kohti. Karhusen ym. /3/ mukaan pihatoiden keskimääräinen kosteus  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  pakkasella oli ilmanvaihtoa automaattisesti ohjattaessa  $87 \%$ , kun se vastaavasti oli parsinavettatutkimuksen /2/ mukaan parsinavetoissa ainoastaan  $78 \%$ . Siten pihatoiden suurempaan kosteuteen on syynä suurempi kosteiden pintojen ala.

Tutkimuksen yhteydessä selvitetään kosteiden pintojen ja rehunsulatuksen vaikutus ilmanvaihdon ja lisälämmön tarpeeseen tutkimustiloilla. Tavoitteena on saatujen tulosten pohjalta tarkistaa rakentamismormeja pihatoiden ilmanvaihdon osalta ja



antaa ohjeita ilmanvaidon- ja lisälämmöntarpeeseen vaikuttavien tilaohjelmien laatimiseen.

Koska karjarakennuksen kosteuteen vaikuttaa ratkaisevasti rakennuksen lämmöneristyskyky, eräästä Maatilahallituksen koerakentamiskohteesta selvitettiin vastaako käytännön rakenteet niiden teoreettista eristyskykyä.

## 1.2. Mittauskohteet

Mittauskohteiksi valittiin yhteensä 17 pihattoa eri puolilta Suomea. Mahdollisia kohteita tiedusteltiin Maatalouskeskuksilta ja -piireiltä. Tässä yhteydessä havaittiin, että suurin osa uusista pihatoista sijaitsi Ylivieskan maatalouspiirin alueella. Tämän vuoksi tämä alue valittiin kertamittausten painopiste-alueeksi (7 kpl tutkimuspihatoista). Alueen sisällä pihatot valittiin kuitenkin satunnaisesti, sen mukaan keihin satuttiin ensinnä saamaan yhteys. Muut pihatot sijaitsevat Iisalmen, Porvoon ja Hämeenlinnan ympäristössä. Edellä mainittu Maatilahallituksen koerakentamiskohde sijaitsi Loimaan maalaiskunnassa. Jatkuvan mittauksen kohteet valittiin ensimmäisen kertamittauskierroksen perusteella. Valintaperusteena oli niiden sijainti niin lähellä Vakolaa, että mittauskalusto voitiin huoltaa ja tiedostot sekä piirturitulostukset noutaa Vakolasta käsin. Ensimmäisessä jatkuvan mittauksen kohteessa mittauskalusto oli kolme viikkoa, toisessa kuusi ja kolmannessa yhden viikon ajan. Alunperin kaikissa kohteissa oli tarkoitus mitata kolmen viikon ajan, mutta kolmas kohde valmistui niin myöhään keväällä, että siellä ehdittiin tehdä ainoastaan yksi mittaus. Kolmanneksi kohteeksi haluttiin nimeenomaan juuri tämä pihatto, koska se oli myös k-arvomittauksen kohteena. Ensimmäisen ja toisen kohteen mittauksista jatkettiin tähän ajankohtaan saakka.

Mittauskohteina oli sekä ali- että tasapaineilmanvaidolla varustettuja pihatoita. Myös lämmönvaihtimet olivat edustettuina. Osassa pihatoista oli pelkkä yläpoisto. Poistojen lukumäärä vaihteli yhdestä kolmeen. Osassa tutkimuspihatoista oli tuloil-

malaitteina pelkät aukot. Tutkimuspihatoiden ilmanvaihto oli huomattavasti parempi kuin suomalaisissa navetoissa keskimäärin. Esimerkiksi Sonkajärveläisissä ja Varkautelaisissa navetoissa oli vain 25 - 30 %:ssa koneellinen ilmanvaihto. /5/.

Mittauskohteisiin sisältyi sekä uudisrakennus, peruskorjaus ja laajennuskohteita. Osa oli puurakenteisia ja osa kivirakenteisia, mutta myös sekarakenteisia ilmeni. Joukossa oli yksi kuivikepohjainen pihatto ja yksi pihatto, josta lanta poistettiin puoli-kiinteänä. Muissa pihatoissa oli joko ritiläpohjainen tai kiinteälattiaainen lietelantajärjestelmä.

TAULUKKO 1. Mittauskohteiden rakennus-, lannanpoistoratkaisut.  
 Tabell 1. Bygg-, utgödslingsystem i de undersökta stallarna.  
 Table 1. Building and manure evacuation systems of the research stalls.

	Pihatton numero																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
a) Uudisrakennus	x		x	x		x	x	x	x		x		x	x	x	x	x
b) Peruskorjaus		x			x					x		x					
c) Laajennus		x			x					x		x					
d) Puu						x							x	x		x	x
e) Harkko/tiili	x	x		x	x	x	x	x	x	x		x	x			x	
f) Betoni			x				x				x				x		
g) Paikalla	x	x	x		x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x
h) Elementti			x	x		x	x				x				x		
i) Liete	x	x	x	x				x	x	x	x		x	2	x	x	x
j) Kiinteä													1				
k) Kuivikepohja							x										

1 = lietteeseen lisättin niin paljon turvetta, että se oli lähes kiinteän veroista  
 torv tillsattes tills gödseln blev fast  
 peat was added to the slurry until it was like solid manure  
 2 = avokouru ja raapat  
 skrapor i öppen gödselkanal  
 open channel and scrapers

a = nybygge, newbuilding. b = grundrenovering, renovation. c = tillbyggnad, enlargement. d = trä, wood. e = block/tegel, block/brick. f = betong, concrete. g = byggd på plats, built on spot. h = element, prefabricated. i = flytgödsel, slurry. j = fastgödsel, solid. k = ströbädd, bedding.

Jatkuvan mittauksen kohteeksi valittiin pihatoita, joissa oli vain yksi säätyvänopeuksinen poisto, koska mittauskalustoa ei riittänyt useampaan. Alapoistolla varustettuja pihatoita vältettiin ottamasta jatkuvan mittaukseen, koska ilmavirtaan ei näissä yleensä pystytty mittaamaan puhaltimen imupuolelta, mikä on ehdoton edellytys edes kohtuulliselle mittaustarkkuudelle. Kolmas jatkuvaan mittaukseen valittu kohde oli kuitenkin varustettu alapoistolla, mutta sen poistoilmavirta pystyttiin poikkeuksellisesti mittaamaan puhaltimen imupuolelta.

TAULUKKO 2. Mittauskohteiden ilmanvaihtoratkaisut.  
 Tabell 2. Ventilationssystem i de undersökta stallarna.  
 Table 2. Ventilation system of the research stalls.

	Pihatton numero																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
a) Jatkuvan mittauksen kohde								x		x							
b) Alipaine	x	x	x	x	x	9		x	x	x		x				x	x
c) Tasapaine							10				x		x	10	x		
d) Tuloaukot				x	x	x				x		x		9			
e) Kiertoilmapuhallin	x	x	x				x	x	x		x	x				x	x
f) Lämmönvaihdin						x	x						x		x		
g) Kosteudenpoistaja															x		
h) Yläpoisto	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	12		x	x
i) Alapoisto	x			x						x						14	14
j) Seinäilmanvaihtolaite							x								x		
k) Kierrosluvun säätö (aut.)	x	x	x	x	1	x	2	x	x	x	4	x	8	x	13	x	x
l) Luukkujen säätö (sis. kierto)							3				3				x		
m) Lisälämmitys		6	5	5	6		6						11			7	
n) Lypsypaikan lisälämmitys	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x

- 1 = käsin tapahtuva kierrosluvun säätö  
 2 = kierrosluvun säätö tapahtui käsin, automaattinen myös mahdollinen  
 3 = kiertoilmaluukkujen säätö käsin  
 4 = pihatossa oli alaraja- ja varsinainen termostaatti säädetty niin suurelle arvolla, että puhaltimet seisoivat pitkiä aikoja  
 5 = lämpöpuhallin vasikkatilassa  
 6 = lämpölamppu vasikkatilassa  
 7 = vesipatteri vasikkatilassa  
 8 = portaittainen säätö  
 9 = kanavaimastointi  
 10 = poisto- ja tulopuolen puhaltimia säädettiin erikseen, jolloin sisälle saatiin haluttaessa joko ali-, yli- tai tasapaine

- 11 = varauduttu, ei jatkuvassa käytössä
- 12 = osa poistoilmasta poistui lantakanavan kautta ylipaineen takia
- 13 = ns. on/off -säädin
- 14 = pääasiallinen poisto alakautta

- 1 = manuell varvtalskontroll
- 2 = manuell varvtalskontroll med möjlighet till automatisk kontroll
- 3 = manuell kontroll av circulationsluckorna
- 4 = minimi- och reglertermostaten hade ställts in på ett så högt värde att fläktarna stod i långa perioder
- 5 = värmefläkt i kalvstallet
- 6 = värmelampa i kalvstallet
- 7 = radiator i kalvstallet
- 8 = intervallreglering
- 9 = inblåsningsrör
- 10 = inblåsnings- och evakueringsfläktarna reglerades separat, så att under-, över- eller likatryck kunde erhållas
- 11 = i reserv, inte i gång
- 12 = en del av luften evakuerades via gödselkanalen p.g.a. övertryck
- 13 = on/off kontroll
- 14 = huvudsaklig evakuering via gödselkanalen

- 1 = manual revolving control
- 2 = manual revolving control with automatic option
- 3 = manual adjustment of the air circulation lid
- 4 = minimum and regular thermostats adjusted too high temperature so that the fans did not operate for long periods
- 5 = heat fan in the calf department
- 6 = heat lamp in the calf department
- 7 = water radiator in the calf department
- 8 = adjustment step by step
- 9 = ventilation with ducts
- 10 = outlet and inlet fans controlled separately, so that underpressure, overpressure or ballance could be selected
- 11 = additional heat ready, not contionally used
- 12 = part of the outlet air through the slurry channel due to overpressure
- 13 = on/off control
- 14 = outlet mainly through slurry channel

a = kontinuerlig mätning, continuous measurement. b = undertryck, vacuum. c = neutraltryck, balance. d = luftintag, inlet openings. e = fläkt för luftcirkulering, air circulation fan. f = värmväxlare, heat exchanger. g = dehumidifier. h = överevakuering, outlet overhead. i = underevakuering, outlet down. j = ventilationsdon i vägg, wall mounted ventilator. k = varvtalsreglering (aut.), revolutions control (automatic). l = reglering av luckor (circulationsluft), closed circulation control. m = tilläggsvärme, additional heat. n = tilläggsvärme i mjölkningsstället, additional heating at milking stall.

### 1.3. Navetan ilmastoinnin periaatteet

#### 1.3.1. Lämpötasapaino

Useimpien karjasuojien ilmanvaihtoa ohjataan lämpötilan perusteella, joskin myös kosteuden ja lämpötilan sekä kosteuden yhteisvaikutusta käytetään ilmanvaihdon ohjaukseen. Painovoimaisista ilmanvaihtoa tuskin enää käytetään uusissa karjarakennuksissa.

Lämpötilaohjausta käytettäessä pihaton lämpötila pyrkii pysymään vakiona. Se, kuinka vakiona se pysyy, riippuu säätimen vertoalueesta. Mikäli vertoalue on verraten kapea, lämpötila pysyy hyvin pienellä alueella. Myös säätimen tuntoelimen paikalla on vaikutusta. Paras tuntoelimen paikka olisi lähellä poistoaukkoa, jolloin tuntoelin reagoi nopeasti lämpötilan muutoksiin. Poistoaukon lähellä vallitseva lämpötila edustaa myös varsin hyvin koko pihaton lämpötilaa. Jos käytetään portaallista säädintä, lämpötila vaihtelee hieman enemmän kuin kapeata vertoaluetta käytettäessä. Lämpötilan vaihtelu riippuu luonnollisesti portaiden lukumäärästä.

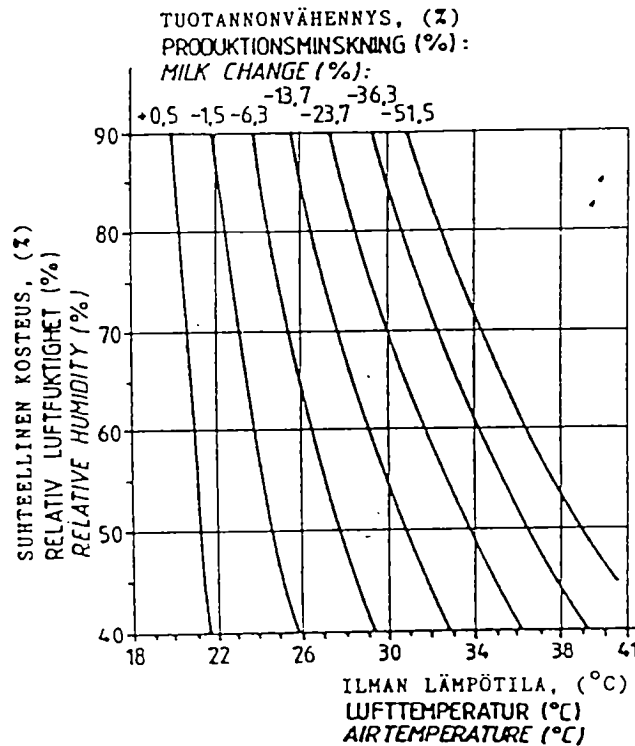
Lämpötilaan perustuvaa säätöä käytettäessä pihaton kosteus vaihtelee ulkoilman absoluuttisen vesisisällön perusteella, mikä useimmiten tarkoittaa vaihtelua ulkolämpötilan mukaan. Nollan pinnassa oleva kostea ilma aiheuttaa kuitenkin tähän poikkeuksen. Tämä tilanne voi syntyä silloin, kun maassa on vielä lunta, ja siitä haihtuu voimakkaasti kosteutta ilmaan.

#### 1.3.2. Lämpötila ja suhteellinen kosteus

Eläimet, pihatossa työskentelevät ihmiset, rakenteet ja tekniset varusteet asettavat pihaton ilmalle tietyt vaatimukset /14/. Ne esitetään mm. standardissa DIN 18910 ja Maatilahallituksen rakentamisohteissa /23/. Lämpötila- ja kosteusvaatimukseen vaikuttavat ulkoilman kosteus ja lämpötila sekä tuotantomuoto.

Lämpötilan vaihtelulla välillä +4 - +24 ° C ei ole merkittävää vaikutusta lehmien maidontuotokselle. Korkeissa lämpötiloissa lehmät reagoivat kuitenkin voimakkaammin korkeaan suhteelliseen kosteuteen. Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden yhteisvaikutusta on selvitetty kuviossa 1.

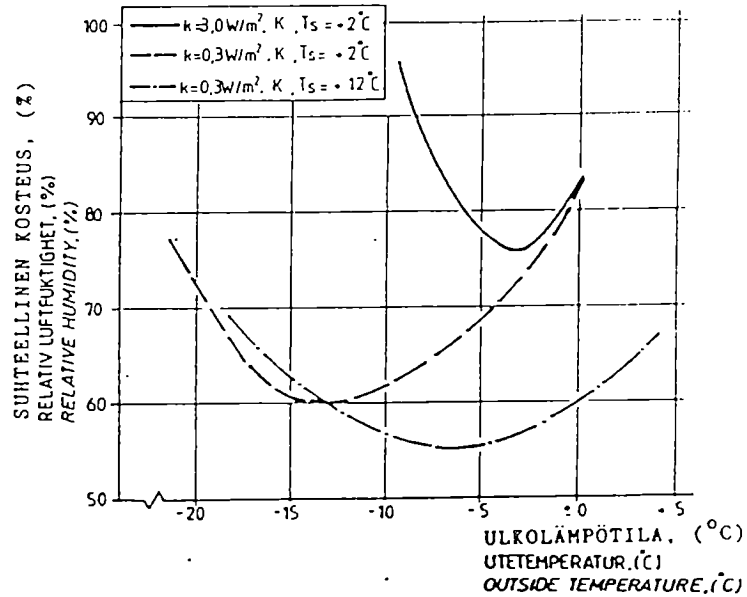
Maidontuotanto alkaa laskea, kun lämpötila nousee 21 - 23 °C, varsinkin korkeilla suhteellisen kosteuden tasoilla, koska lehmien lämmönluovutuskyky heikkenee. Tätä pienemmissä lämpötiloissa suuresta suhteellisesta kosteudesta ei ole suoranaista haittaa lehmille /11/. Maatilahallituksen mitoituslämpötila navetoille on 12 °C. Buchmannin /15/ mukaan lämpötila voi vaihdella navetassa välillä 0 - +20 °C. Optimaalinen alue on kuitenkin välillä +4 - +8 °C /15/.



KUVIO 1. Ilman lämpötilan ja kosteuden vaikutus maidontuotantoon korkeissa lämpötiloissa /11/.

Figur 1. Betydelsen av lufttemperatur och fuktighet för mjölkproduktionen vid höga lufttemperaturer /11/.

Figure 1. The effect of high air temperature and relative humidity on the milk yield of cows /11/.



KUVIO 2.

Laskennalliset suhteellisen kosteuden arvot erilaisilla pihaton sisäilman lämpötiloilla (+ 2 °C ... + 12 °C) ja erilaisilla eristysasteilla ( $k = 3,0 \dots 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) nuorkarjapihatossa eri ulkolämpötiloilla, kun pihaton koko lämmöntuotanto tapahtuu eläinten lämmönluovutuksena. Ulkoilman suhteellisen kosteuden on oletettu olevan 90 %. /11/.

Figur 2.

Beräknad relativ luftfuktighet vid olika stalltemperaturer (+ 2 °C verrattuna +12 °C) och vid olika isoleringsgrader ( $k = 3,0$  respektive  $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) i ett stall för rekryteringsdjur vid olika utetemperaturer då stallets hela värmeproduktion utgörs av djurens värmeavgivning. Uteluftens relativa fuktighet har antagits vara 90 %. /11/.

Figure 2.

Calculated effect of two inside temperatures (+ 2 °C and + 12 °C) and two insulation levels ( $k = 3.0$  and  $0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) on the relative humidity in a stable for replacement heifers when the building is heated by the animal warmth only. Outside relative humidity is 90 %. /11/.

Alle kolmen päivän ikäisten vasikoiden alempi kriittinen lämpötila (vasikka alkaa polttaa rehua lämmöntuottamiseksi) on 13 °C, ja se laskee noin 0,2 °C vuorokaudessa /11/. Vasikka tarvitsee siten noin viikon ikään saakka norminmukaista navettalämpötilaa (12 °C) korkeampaa lämpötilaa. Lisälämpöä on helpoimmin järjestettävissä lämpölampulla tai säteilylämmittimellä.

Jos kaikki pihattoon tuotava lämpö tulee eläinten lämmönluovutuksesta, ja pihatton sisäilman lämpötila pyritään säilyttämään vakiona, pihatton sisäilman kosteus vaihtelee ulkoilman lämpötilan mukaan. Kuivimmillaan rakennus on lievillä pakkasilla, ulkoilman lämpötilan noustessa tai laskiessa suhteellinen kosteus nousee. Suhteellisen kosteuden taso määräytyy pääasiassa pihatton rakennusosien keskimääräisten k-arvojen perusteella, siten että suurilla k-arvoilla rakennus on suhteellisesti kosteampi kuin pienillä k-arvoilla. Rakennuksessa pidettävä sisälämpötila määrää sen ulkolämpötilan, jossa sisäilman suhteellinen kosteus on alimmillaan. Nämä seikat käyvät ilmi kuviosta 2.

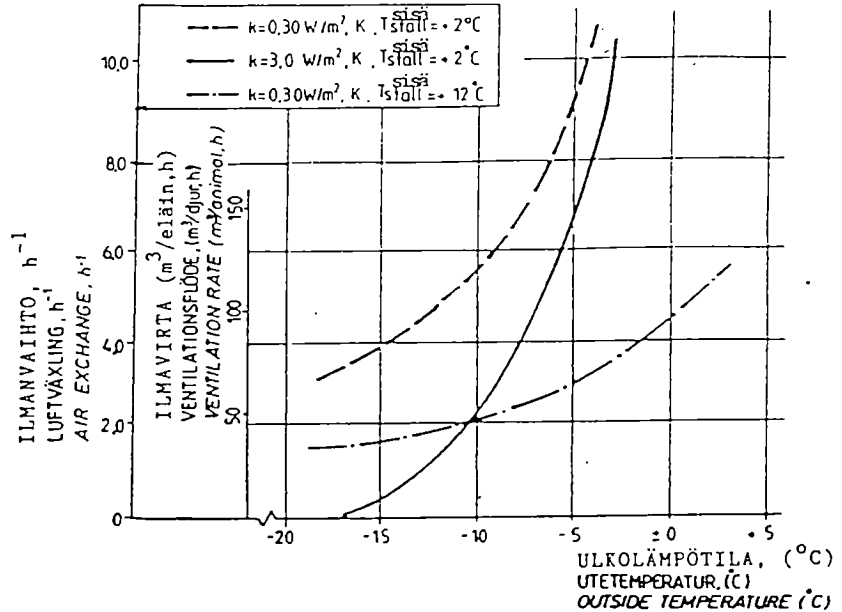
Lisälämmitys vaikuttaa samoin tavoin kuin rakennuksen k-arvon parantaminen. Pihatton sisäilman kosteus asettuu lämmitettäessä alemmalle tasolle kuin ilman lisälämmitystä. Tämä tapahtuu siten, että tuotaessa lisälämpöä pihattoon sen sisälämpötila pyrkii kohoamaan, jolloin ilmanvaihdon lämpötilaohjaus säätää ilmanvaihdon korkeammalle tasolle. Samalla kun rakennuksen sisäilman kosteus asettuu alemmalle tasolle myös haitallisten kaasujen pitoisuus pihatton ilmassa laskee.

### 1.3.3. Ilmavirran suuruus pihatossa

Kuviossa 3 on esitetty ulkoilman lämpötilan vaikutus ilmavirran määrään eläintä (=ny) kohti, kun rakennuksen rakenteiden keskimääräinen lämmönläpäisy (k-arvo) ja pihatossa pidettävä lämpötila vaihtelee. Lämpimällä (> 0 °C) ilmamäärät lämmönpoiston perusteella ovat samat rakennuksen lämpöeristyksen eroista



huolimatta. Sen sijaan talvella kovilla pakkasilla ilmamäärät lämmönpoiston perusteella ovat kutakuinkin samat yhtä hyvin eristetyissä rakennuksissa.



KUVIO 3. Laskennallinen ilmavirta erilaisilla pihaton sisälämpötiloilla (+2 °C ... +12 °C) ja erilaisilla eristysasteilla ( $k = 3,0 \dots 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) nuorkarjapihatossa eri ulkolämpötiloilla, kun pihaton koko lämmöntuotanto tapahtuu eläinten lämmönluovutuksena /11/.

Figur 3. Beräknade ventilationsflöden vid olika stalltemperaturer (+2 °C respektive 0,3 W/m<sup>2</sup>K) i ett stall för rekryteringsdjur vid olika utetemperaturer då stallets hela värmeproduktion utgörs av genom djurens värmeavgivning /11/.

Figure 3. Calculated effect of two inside temperatures (+2 °C and +12 °C) and two insulation levels ( $k = 3.0$  and  $0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) on the ventilation rate in a stable for replacement heifers when the building is heated by the animal warmth only /11/.

Kuten kuviosta 3 nähdään rakennuksessa, jonka rakennusosien keskimääräiset k-arvot ovat niinkin suuret kuin  $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  ja sisällä pyritään pitämään lämpötilaa + 2 °C, ei voida vaihtaa

ilmaa lainkaan yli 17 °C pakkasilla ilman lisälämmitystä. Kun nautayksiköllisen nautaeläimiä vaatima minimi-ilmanvaihto on noin 50 m<sup>3</sup>/h, tällaisen rakennuksessa ei selvitä ilman lisälämmitystä yli -10 °C pakkasilla /11/. Samankaltaisen tilanteeseen päädytään rakennuksessa, jonka rakennusosien keskimääräiset k-arvot ovat niinkin hyvät kuin 0,3 W/m<sup>2</sup>K, mutta jossa yritetään pitää 12 °C lämpötilaa. Pakkasten kiristytessä lisälämmityksen määrä on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin ensin mainitussa tapauksessa. Mikäli jälkimmäisessä rakennuksessa yritetään pitää ainoastaan + 2 °C lämpötilaa, lisälämmityksen tarpeen voidaan ekstrapoloida (arvioida) alkavan noin -20 °C lämpötilasta. Tarve on tällöinkin hyvin pieni. Mitä suurimmalla todennäköisyydellä tässä tapauksessa lisälämmittimen hankkiminen onkin taloudellisesti edullisempaa kuin lisäeristäminen tai lämmönvaihtimen hankkiminen.

#### 1.3.4. Ilmanvaihtojärjestelmät

Periaatteessa ilmanvaihtojärjestelmiä on kolmenlaisia nimittäin ali-, yli- ja tasapaineilmanvaihtoja. Näistä käytännön sovellutuksia ovat ensinnä ja viime mainitut. Alipaineilmanvaihdon erikoistapaus on väistyvä järjestelmä painovoimainen ilmanvaihto. Ylipaineilman vaihtoa ei yleensä käytetä, koska se saattaisi aiheuttaa rakennuksen tuhoutumisen rakenteisiin tunkeutuvan kosteuden takia. Eläinsuojien ilmanvaihto toimii laimennusperiaatteella, jolloin tuloilma sekoittuu navetta-ilmaan ja poistoilman koostumus on osapuilleen sama kuin navetta-ilman keskimäärin /10/.

Ilmanvaihtolaitteet voivat olla sijoitettu kattoon, seinään tai lietekanavaan. Yksinkertaisin ja toimiva ratkaisu on sijoittaa laitteet kattoon. Järjestelmän onnistuminen on tällöin todennäköisempää kuin monimutkaisemmilla järjestelmillä, joiden suunnittelussa vaaditaan huomattavaa ammattitaitoa, eikä tulos ole siitä huolimatta taattu. Monimutkaisten järjestelmien rakentaminen ei usein ole taloudellisestikaan järkevää.

Alapoistojen avulla yritetään imeä lantakaasut pois alakautta niiden joutumatta lainkaan navettailmaan. Sen onnistuminen edellyttää kuitenkin sitä, että suurin osa ilmasta poistetaan alakautta. Samalla on kiinnitettävä suurta huomiota tuloaukkojen sijoitteluun. Alapoistolle tyypillinen virhetoiminto on, että se imee korvausilman jonkin oven alta tai suoraan yhdestä tuloaukosta lietekanavaan ja sitä kautta suoraan ulos, jolloin ilma ei muualla vaihdu. Seurauksena on kostea ja myrkyllisiä kaasuja sisältävä navettailma. Alapoistojen yhteydessä tulisikin käyttää tuloilmalaitteita, jotka sekoittavat navettailmaa, sekä pitää niiden aukot riittävän pieninä. Erityisen vaarallinen alapoisto on, jos sen puhallin pysähtyy. Tähän tilanteeseen voidaan joutua sähkökatkoksen tai laiteaurion takia. On olemassa myös ns. alarajatermostaatilla varustettuja järjestelmiä, jotka pysäyttävät koko laitteiston lämpötilan laskettua rajalämpötilan alapuolelle. Karjasuojien potkuripuhaltimet ovat varsin pienipaineisia, ja voi olla, että huolimatta puhaltimen käynnistä se ei poista lainkaan ilmaa. Tällöin tuloilmaa tulee lantakanavan kautta, ja lantakaasut nousevat rakolattian alta navettailmaan. Tämä tulisi estää esimerkiksi perhosläpällä. Ilmanvaihdon pysäyttäminen on jo sinällään virhemenettely, koska se johtaa lämpötilajen kerrostumiseen, ja seinien alaosien kastumiseen. Samalla rakennuksen ns. kylmissä nurkissa tilanne pahenee entisestään. Alapoistot vievät myös jonkin verran enemmän sähköä johtuen luonnon vastaisesta virtaussuunnasta ja usein sokkeloisista vastusta lisäävistä kanavista.

Ilmanvaihdon tulee saada aikaan sellainen ilmanliike, että eläinten haihduttama kosteus ja lämpö jatkuvasti kulkeutuvat pois eläinten oleskelualueelta /9/. Alipaineilmanvaihto voi olla varustettu tuloilmalaitteilla tai korvausilma-aukoilla. Tuloilmalaitteet ovat varmatoimisia ja niihin liittyvät kiertoilmalaitteet huolehtivat siitä, että tuloilma jakaantuu tasaisesti kaikkialle pihattoon. Korvausilman säätöläppien säädöstä on kuitenkin pidettävä huolta. Erillisten tuloaukkojen ongelmana on niiden jäätyminen ensimmäisten pakkasten sattuessa, minkä jälkeen niitä ei enää voida säätää, vaan ne jäävät koko talveksi

kyseiseen asentoon. Lisäksi korvauilman sekoittuminen koko navettailmaan ei ole yhtä varmaa kuin käytettäessä kiertoilmalaitteita.

Tuloilman määrän on oltava suhteessa koko rakennuksen miehityksen lisäksi suhteessa kyseisen rakennusosan miehitykseen. Kun rakennuksessa on lisäksi kunnolliset tuloilman sekoituslaitteet, vallitsee pihatossa tasainen lämpötila. Tuloilmalaitteiden on oltava sellaiset, että ne eivät aiheuta vetoa eläinten oleskelualueelle. Erityisesti on varottava tuloaukkoja, joista ilma virtaa suoraan lietekanavaan ja aiheuttaa lantakaasujen nousun pihattoilmaan. Kaikki muut kuin varsinaiset tuloaukot ovat yleensä ei-toivottuja, koska ne useimmiten aiheuttavat vetoa. Näitä ei toivottuja tuloaukkoja ovat muun muassa ikkunoiden, ovien ja rehunpudotusluukujen raot sekä lantakanavat. Tuloaukkojen koon on oltava suhteessa maksimi-ilmanvaihtoon alipainetason hallitsemiseksi. Sopiva alipainetaso on 10 - 30 Pa. Kesäaikaan on rajoitettava tuloilman lämpiämistä rakennuksen pinnoilla. /11/.

Talvella tuloilmaa kannattaa lämmittää jonkin verran, koska tuloilman heittopituus lyhenee voimakkaasti, jos ulko- ja sisäilman lämpötilaero on suurempi kuin 12 °C /12/. Lämmittämisen avulla saadaan ilmavirtojen suunnat pysyviksi siten, että ne eivät vaihtele ulkoilman lämpötilan mukaan. Tuloilmalaitteilla saavutetaan tasainen vedoton ilmanvaihto. On kuitenkin varottava ilmavirtauksia häiritseviä sisustusratkaisuja, koska ne saattavat aiheuttaa vetoa eläinten oleskelualueelle /12/.

Kokonaan uutta ajattelutapaa edustaa ns. dynaaminen eristäminen. Kun perinteisissä eristemateriaaleissa periaatteena on ollut ilman pysyttäminen paikallaan rakenteessa, dynaamisessa eristyksessä korvausilma otetaan rakenteiden läpi, jolloin ulospäin johtuva lämpö siirtyy sisään tulevaan ilmaan. Rakenne toimii siten eräänlaisena lämmönvaihtimena. Tämän avulla voidaan ilmanvaihtoa lisätä verrattuna perinteiseen tapaan eristettyyn rakenteeseen, koska rakennuksen rakenteiden läpi johtuva lämpö

pienenee. Dynaamista eristystä voidaan käyttää nimenomaan pihatton kaltaisessa rakennuksessa, jossa ilmanvaihtotarve on verraten suuri. /11/.

Markkinoilla olevista seinäilmanvaihtolaitteista osa on alipaine- ja osa tasapaineperiaatteella toimivia. Lisäksi osa on varustettu lämmönvaihtimilla. Ne toimivat samalla poisto- että tuloilmalaitteina. Eräät järjestelmät on varustettu laitteilla, jotka myös sekoittavat navettailmaa tuloilmaan. Poistoilma imetään yleensä alakautta, ja sisäilmaan sekoittunut korvausilma tulee ylhäältä kulkeutuen kattoa pitkin vastakkaiselle seinällä saakka. Seinäilmanvaihtolaitteet tulee sijoittaa rakennuksen pitkälle sivulle.

Tasapaineilmanvaihdon etuna on sisällä vallitseva pieni alipaine. Tämän takia ovien alta ja muista pienistä aukoista ei virtaa kylmää ilmaa sisään, vaikka ulkona vallitsisikin kylmä ilma. Ovet eivät edellä mainitusta syystä myöskään jäädy. Tasapaineilmanvaihdon edut tulevatkin esille lähinnä vanhoissa rakennuksissa. Siten niitä voikin suositella lähinnä peruskorjauskohteisiin niiden alipaineilmanvaihtolaitteita korkeammasta hinnasta huolimatta. Tasapaineilmanvaihdon sähkönkulutus ei ole merkittävästi korkeampi kuin kiertoilmalaitteilla varustetun alipaineilmanvaihdon. On huomattava, että rakennuksessa ei saa koskaan vallita ylipainetta tasapainejärjestelmässäkään, vaan pieni alipaine /11/.

Pihatto pysyy periaatteessa kuivana ilman lisälämmitystä. Tämä edellyttää kuitenkin, että rakennus on kunnolla lämpöeristetty, ja että sen ilmanvaihto on hoidettu asianmukaisesti ja että pihatossa on riittävästi eläimiä. Lämmönvaihtimetkaan eivät ole pihatossa tarpeen. Mikäli kuitenkin jostain syystä halutaan pitää pihatossa normaalia (12 °C) korkeampaa (15 °C) lämpötilaa, tulevat lämmönvaihtimet aikaa myöten halvemmiksi kuin lisälämmitys. Lisälämmitys voi olla myöskin tarpeen, mikäli pihatossa on vajaamiehitys. Tällaiseen tilanteeseen voidaan joutua varsinkin silloin, kun kevätpoikiva karja on kovilla pakkasilla

yhtä aikaa ummessa, eikä pihatossa kasvateta kaikkia omia vasikoita teuras- tai pitoeläimiksi. Lämmönvaihtimen energiahyötysuhteen ei tarvitse olla suurempi kuin noin 30 %. Jos se on korkeampi saattaa lämmönvaihtimen poistopuoli jäätyä pakkasilla pidettäessä pihatossa normaalia 12 °C lämpötilaa. Kierrätysluukkujen säätöä suositeltavampi säätötapa saattaisi olla puhallinmoottorien kierrosluvun säätö, koska tällöin lämmönvaihtimen lämpötilahyötysuhde saattaisi laskea kovilla pakkasilla verrattuna luukkujen säätöön, eikä jäätymistä tapahtuisi. Tällöin luukkujen säätö voidaan suorittaa käsin siten, että hyötysuhde pidetään riittävän korkeana kuitenkin siten, että jäätymistä ei tapahdu. Lämpötilahyötysuhdetta voidaan kasvattaa lisäämällä sisäistä kiertoa lämmönvaihdinelementissä säätämällä kierrätysluukkuja käsin. Tällöin poistoilman lämpötila laskee nollan alapuolelle edellä mainituin seurauksin.

Eräät ilmanvaihtolaitteet on varustettu ns. alarajatermostaattilla, joka katkaisee ilmanvaihdon sisäilman lämpötilan laskettua alarajatermostaattiin säädettyä lämpötilaa alemmaksi. Kuten jo aikaisemmin tässä raportissa todetaan, menettely on virheellinen ja erityisesti alapoistojen yhteydessä jopa vaarallinen. Oikea menettely olisi käyttää kyseistä alarajatermostaattia lisälämmityksen ohjaamiseen. Tällöin ei lämmitettäisi turhaan, vaan lisälämmitys olisi päällä ainoastaan tarvittaessa. Lisälämmittimet ovat hankintahinnaltaan suhteellisen edullisia, mutta niiden käyttäminen pitempiaikaisesti tulee kalliiksi kalliin sähkön takia. Tosin myös muita, esimerkiksi polttoöljyllä toimivia lämmittimiä, on saatavilla, mutta niiden hankintahinta kilovattia kohti on suurempi verrattuna sähkölämmittäjiin. Mikäli tilalla on valmis lämpökeskus tai se tulee rakennettavaksi pihaton yhteyteen myös muuta käyttöä kuin pihaton lisälämmitystä varten, lisälämmitykseen kannattaa käyttää tilalla kertyvää jätepuuta. Lisälämmittimen käyttö on taloudellisesti perusteltua, jos sen avulla rakennus pysyy kunnossa pidempään ja korjausmenot pysyvät alhaisena.

Lisälämmitystä voidaan pihattoon järjestää myös lämmönvaihtimen avulla. Poistoilman lämpöä ei kannata kuitenkaan yrittää hyödyntää liikaa. Luonnonlaeista johtuen lämmönvaihdin jäätyy sitä matalammilla pakkasilla mitä suurempi sen energiahyötysuhde on. Poistoilman jäähtyessä alle 0 °C siinä oleva kosteus jäätyy lämmönvaihtimen poistopuolelle. Tämä pienentää lämmönvaihtimen hyötysuhdetta, mutta ei kuitenkaan riittävästi estääkseen poistopuolen jäätymistä umpeen vähitellen. Jäätyminen pienentää poistoilmavirtaa korvausilmavirtaan nähden eteenkin ns. vastavirtalämmönvaihtimia käytettäessä, jolloin rakennukseen syntyy ylipaine. Tällöin kosteus tunkeutuu rakenteisiin tuhoten ne toisaalta eristeiden kastumisen toisaalta lahoamisen kautta. Lämmönvaihdinta ei pidäkään ostaa sillä perusteella, että siinä on suuri hyötysuhde. Lämmönvaihdinta ei pidä myöskään mitoittaa suuremmalle ilmamäärälle kuin 50 % yli pihatton minimi-ilmanvaihdon. /16/ .

### 1.3.5. Eläimistä ja kosteilta pinnoilta syntyvä vesihöyry

Siikosen /9/ mukaan kosteutta syntyy lattioidelta ja kouruista lähes yhtä paljon kuin eläinten hengityksestäkin. Hänen laskelmiensa mukaan vettä haihtuu ilmaan 10 - 15 kg/vrk nautayksikköä kohti. Olkipohjaisessa pihatossa muualta kuin eläinten hengityksestä syntyvä kosteus saattaa olla kaksinkertainen verrattuna eläinten hengityksestä syntyvään /21/.

Yleisesti tiedetään, että DIN 18910 antaa hieman liian pieniä arvoja nautojen lämmön ja kosteuden luovutukselle /15/.

Käytäntö on osoittanut, että todelliset arvot ovat olleet 1 160 W ja 1 000 g/h eläintä kohden (tuotostaso 6000 l/vuosi) /19/. Suomalaiset ohjeet ovat lämmöntuotannon osalta noin 10 % korkeammat kuin DIN -normin mukaiset. Ilmanvaihdin kannalta merkittävämpää on kuitenkin kosteuden ja lämmöntuotannon suhde kuin niiden taso. DIN -normeissa se 360 g/kWh lypsylehmille, kun taas suomalaisissa normeissa nuorkarja tuottaa kosteutta 520 g/kWh ja lypsylehmätkin 451 g/kWh.

TAULUKKO	3.	DIN 18910 mukaiset nautojen kosteuden- ja lämmönluovutukset navetoissa /19 /.
Tabell	3.	Fukt- och värmeavgivning hos nötkreatur i stallar enligt DIN 18910 /19/.
Table	3.	Moisture and heat emission of cows i stall by DIN 18910 /19/.

Eläimen paino Djurvikt Animal weight kg	Kosteudentuotanto eläintä kohden Fuktavgivning per djur Moisture emission per animal g/h	Lämmöntuotanto eläintä kohden Värmeavgivning per djur Heat emission per animal W
500	322	887
600	356	986
700	378	1050
800	400	1114

Suomalaisten normien pohjalta voidaankin päätellä, että nuorkarja vaatii lisälämmitystä enemmän kuin lypsykarjalla. Vasikoilla lisälämmitys on tarpeen jo lämpötilan takia. Myöhemmässä vaiheessa nuorkarja tulee kuitenkin toimeen samassa lämpötilassa kuin lypsylehmätkin. Useissa pihatoissa kokonaiskosteudentuotanto suhteessa lämmöntuotantoon on kuitenkin suurempi, kuin mitä tämä suhde nuorkarjalla on. Tällöin lisäämällä nuorkarjan määrää voidaan eläinten tuottamaa lämpö määrää sisäpiirin (seinät, katto ja lattia) pinta-alaan nähden lisätä. Tämä on suhteellisen tehokas lisälämmön lisäys tapa, koska nuorkarja luovuttaa lämpöä elopainokiloa kohti enemmän kuin lypsylehmät. Lisäksi ne vaativat vähemmän tilaa. Lisääntyneestä eläinten lämpötehosta rakennuksen lämmönläpäisyyden nähden on seurauksena sisäilman kuivuminen.



TAULUKKO	4.	Suomessa käytössä olevat ohjeet nautojen kosteuden- ja lämmönluovutuksesta /4/ mukaan.
Tabell	4.	I Finland använda regler om fukt- och värmeavgivning hos nötdjur /4/.
Table	4.	In Finland used instructions of moisture and heat emission of cows by Tuunanen and Karhunen /4/.

Eläimen paino Djurvikt Animal weight kg	Kosteudentuotanto eläintä kohden Fuktighetsupp- låtelse per djur Moisture emission per animal g/h	Lämmöntuotanto eläintä kohden Värmeupplåtelse per djur Heat emission per animal W
Nuorkarja (rekryteringsdjur, heifers):		
150	172	329
200	220	420
300	306	585
400	383	732
500	452	866
Lypsykarja 15 kg maitoa päivässä (mjölkande ko 15 kg/dag, milking cow 15 kg/d):		
400	403	893
500	445	986
600	485	1074

Lattioilta syntyvä kosteus (fuktighetsproduktion från golv, humidity production on floor) voidaan laskea kaavasta:

$$W = (25 + 19 * V) * (XS - Xi) / 19/$$

jossa

- W = lattioilta syntyvä kosteus, g/hm<sup>2</sup>  
fuktighetsproduktion från golv  
humidity production on floor
- V = ilman nopeus lattian läheisyydessä, m/s  
lufthastighet nära golvytan  
speed of air near by floor
- XS = vesihöyryllä kyllästetyn ilman absoluuttinen kosteus, g/kg  
absolut fuktighet av luft vid mättningspunkt  
absolute humidity of air by saturate point
- Xi = ilman absoluuttinen kosteus, g/kg  
luftens absoluta fuktighet  
absolute humidity of air

Øklandin ja Lillengin /20/ mukaan kosteudentuotanto (fuktighetsproduktion från fuktiga ytor, humidity production on wet surface) kosteilta pinnoilta on seuraava:

$$E_m = K_m * (5,0 + 30 * v^{0,7})$$

Jossa  $E_m$  = kosteudentuotanto, g/hm<sup>2</sup>  
 fuktighetsproduktion  
 humidity production

$v$  = ilman nopeus 5 mm korkeudella pinnasta, m/s  
 lufthastigheten 5 mm ovan för golvytan  
 speed of air 5 mm over the floor surface

$K_m$  = pinnasta riippuva kerroin  
 en av ytan beroende faktor  
 surface dependent factor

Yhtälö on annettu vesihöyryn kyllästymisvajeen ollessa 1,5 - 2,5 mbar. Tekijä  $K_m$  on riipuvainen luovuttavasta pinnasta seuraavasti:

Vesi (vatten, water)	1,00
Sahanpuru (sågspån, saw dust)	0,90
Betoni (betong, concrete)	0,90
Tuore säilörehu (färsk ensilage, fress silage)	0,75

Ensinnä esitetty kaava on käyttökelpoisempi, koska kyllästymisvajaus on ilmoitettu absoluuttisena kosteutena. Jälkimäisen kaavan kertoimen  $K_m$  perusteella voidaan päätellä, että puhtaasta vedenpinnasta haihtuminen saadaan, kun ensimmäinen kaava kerrotaan luvulla 1,11, ja säilörehunpinnan kosteudentuotanto saadaan, kun ensimmäinen kaava kerrotaan luvulla 0,83.

Taulukossa 5 esitetään kosteuden tuotanto lämpötiloilla 10, 11, 12, 13, 14 ja 15 °C ja ilman nopeuksilla 0,2 ja 0,3 m/s.

Nostettaessa lämpötilaa 12 °C:sta 15 °C:een kasvaa kosteudentuotanto kostealta betonilattialta 22,7 %. Vastaavasti laskettaessa lämpötilaa 10 °C:een kosteudentuotanto vähenee 12,1 %. Ilman nopeuden kasvu 0,2 m/s:sta 0,3 m/s:iin nostaa kosteudentuotantoa 6,6 %.

TAULUKKO	5.	Kosteudentuotanto betonilattioilta eri lämpötiloilla ja ilmannopeuksilla /19/ /20/.
Tabell	5.	Fuktproduktion från betonggolvet under olika temperatur och lufthastigheter /19/ /20/.
Table	5.	Moisture production from concrete floor by different temperature and speed of air /19/ /20/.

Pihatön lämpötila Temperatur i stall Temperature of stall °C	Kosteudentuotanto (W), g/hm <sup>2</sup> RH 85 % Fuktproduktion Moisture production	
	Ilman nopeus Lufthastighet Speed of air	0,2 m/s 0,3 m/s
10	30,07	32,05
11	32,14	34,26
12	34,21	36,47
13	36,59	39,00
14	39,14	41,72
15	41,99	44,76

#### 1.4. Kosteuden aiheuttamat ongelmat pihatossa

##### 1.4.1. Kosteuden aiheuttamat haitat

Yli 85 %:n suhteellinen kosteus aiheuttaa kosteudentiivistymisongelmia, mutta tiivistymistä tapahtuu jo pienemmissäkin kosteudessa ikkunoihin ja muihin kylmiin pintoihin /4/. Poistohormi on valmistettava kosteutta kestävästä materiaalista, ja se on lämpöeristettävä, jotta poistoilman kosteus ei tiivistyisi sen seinämiin ja tuhoaisi rakenteita /10/. Jos pihatön kosteus on pidemmän aikaa yli 80 %, nousee puurakenteiden kosteus 20 %:iin, ja lahottajasienet alkavat kasvaa /4/. Tämän vuoksi ei ainakaan puurakenteisten pihatöiden kosteus saa nousta yli 80 % muutoin kuin hetkellisesti. Kosteuden aiheuttamat muutokset ovat muodon ja tilavuuden muutoksia, mekaanista ja biologista korroosiota ja tiivistyneen veden aiheuttamaa turpoamista /18/. Eläimille kosteudesta ei ole kovin suurta haittaa. Lämpötilan ja kosteuden noustessa yhtäaikaisesti kovin suureksi maidontuotos kuitenkin laskee /4/.

Runsas kosteus johtaa helposti eristeiden kastumiseen, mitä seuraa entistä huonompi lämpötalous ja sitä kautta yhä suurempi kosteusongelma. Eristeiden kastuminen on estettävä jo rakennusvaiheessa tekemällä kunnolliset höyrysulut ja tuuletusraot.

#### 1.4.2. Kosteusvaurioiden syntyminen mekanismi

Kosteusongelmia syntyy, ellei rakennuksessa syntyvä lämpö mahdollista riittävään ilmanvaihtoa. Riittämätöntä ilmanvaihtoa seuraa suhteellisen kosteuden nousu pihatossa.

Suurin syy lämmön riittämättömyyteen on huonot rakenteet, jotka läpäisevät tavallista enemmän lämpöä. Tähän taas voi olla syynä se, että rakennus on jo alunperin ollut huonosti lämpöeristetty, tai lämpöeristeet ovat myöhemmin tuhoutuneet. Lämpöeristeiden tuhoutumiseen suurimpana syynä on kosteus ja nimenomaan pihatton sisäilman liiallinen kosteus. Puurakenteisissa pihatoissa ei voida hyväksyä 80 %:a suurempaa suhteellista kosteutta /4/. Kosteus ja rakennuksen tuhoutuminen muodostavat siten kiihtyvän noidankehän, jonka katkaisemiseen tarvitaan merkittävästi lisälämpöä. Pitkällä aikavälillä päästään edullisimpaan ratkaisuun, kun jo alusta asti käytetään riittävästi lisälämpöä.

#### 1.5. Pihatton kuivanapitäminen taloudelliselta kannalta tarkasteltuna

Pihatton pitäminen kuivana ei ole sinänsä mikään ongelma. Tavoitteeseen päästään aina riittävällä lisälämmityksellä ja ilmanvaihdolla. Se voi kuitenkin tulla kalliiksi, jos rakenteet ovat huonot ja rakennus tarpeettoman suuri. Tärkeintä on, että eläinsuojassa on mahdollisimman vähän seinä-, katto- ja lattiapinta-alaa eläintä kohden /9/. Rakennuksen sisäkorkeuden tulisi kuitenkin olla vähintään 2,8 metriä ilmanvaihdon toimi-

vuoden varmistamiseksi, koska muutoin on vaarana, että tuloilma poistuu suoraan sekoittumatta navettailmaan /10/.

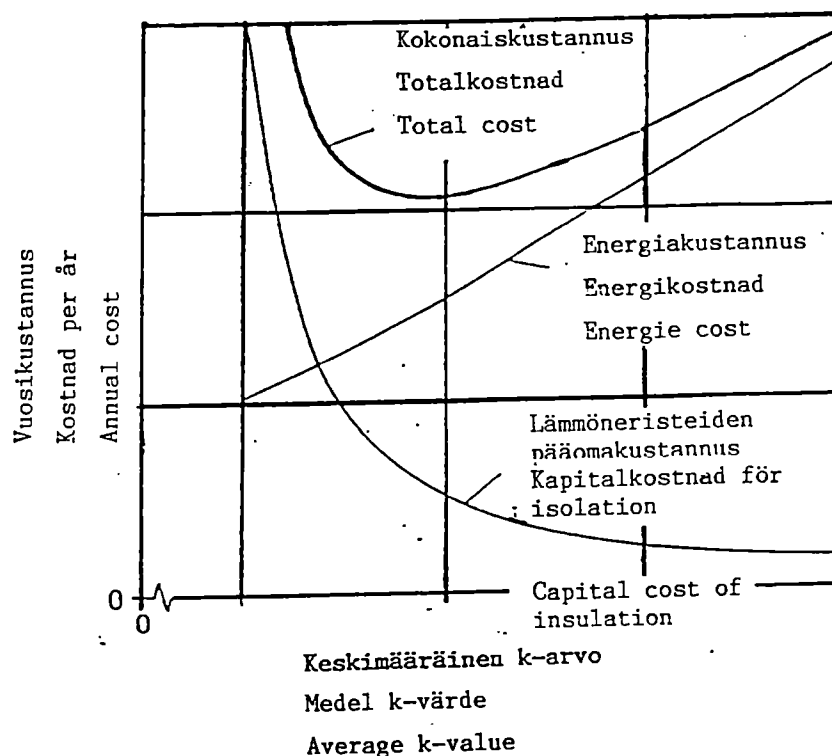
Mikäli oletetaan, että rakennuksen k-arvo ( $W/m^2K$ ) on tavanomaista puolet suurempi myös lämpövirta rakennuksen läpi on kaksinkertainen. Vastaava määrä lämpöä on tuotettava lisälämmityksen avulla. Jos tarvittava lisälämpö olisi esimerkiksi 5 kW, niin vuorokauden kulutus olisi 120 kWh. Jos vuodessa olisi keskimäärin 100 vuorokautta, joiden aikana tuo lisälämmitys tarvitaan, olisi vuotuinen kulutus 12 000 kWh. Sähkön hinnan ollessa 30,5 p/kWh (Vihdin Sähkö Oy 09.06.1988) maksaa vuoden lisälämpö 3 660 mk. Pihaton normaali poistoaika on 20 vuotta. Pääomittamalla lisäkustannus 8 % korkokannan mukaan ja lisäämällä siihen lisälämmittimen hinta 2000 mk saadaan kunnollisen lisäeristykseen kannattavan hankintahinnan suurimmaksi arvoksi noin 38 000 mk.

Saksalaisessa DIN 18 910 normissa rakennuksen navetan k- arvoksi esitetään  $0,98 W/m^2K$ , kun mitoituslämpötilat ovat  $10\text{ }^\circ\text{C}$  ja  $-16\text{ }^\circ\text{C}$  /19/. Suomessa navetan rakenteiden lämmönläpäisyyn tulee kuitenkin olla merkittävästi pienempi, koska suomalainen ilmasto on keskimäärin kylmempi.

Kuviossa 4 tarkastellaan, miten eristepaksuuden muuttaminen vaikuttaa vuotuisiin kustannuksiin. Energiakustannusta kuvaavan käyrän kulmakerrointa edustaa energian yksikköhinta. Lämmöneristykseen kustannukset kasvavat jyrkästi k-arvon pienentyessä. K- arvon lähestyessä nolaa on vuosikustannus lähestyy ääretöntä. Energian hinta ei merkittävästi vaikuta kannattavaan eristystasoon eristystason ollessa järkevissä puitteissa.

Mitä korkeampi energian hinta on sitä paksummaksi eristeet kannattaa rakentaa. Jos tilalla on määrättömästi käytettävissä markkinatonta polttoainetta, esimerkiksi puujätettä, voidaan eristeet rakentaa ohuemmaksi. Energian hinnan nousun varalta olisi rakennus, kuitenkin rakennettava siten, että sen lämpöeristeiden lisääminen on myös jälkeen päin energian hinnan noustessa

mahdollista. Tällaiseksi seinärakenneratkaisuksi soveltuu parhaiten seuraavassa kappaleessa 1.6. esitetty rakenne.



KUVIO 4. Rakenteiden lämmönläpäisevyyden taloudelliset vaikutukset.  
 Figur 4. K-värdet som ekonomiskt problem av konstruktioner.  
 Figure 4. Heat permeate of building constructions as economical problem.

Yläpohja tulisi olla päältä auki, jotta sinne voidaan jälkepäin lisätä eristettä esimerkiksi puhallusvillaa. Pohjan eristeiden lisääminen jälkikäteen on vaikeaa. Siksi ne tulisi mitoittaa jo rakennusvaiheessa sellaisiksi, että ne riittävät koko rakennuksen käyttöajan. Suhteellisesti edullisimmin alapohjan eristys tehdään asettamalla vaahthuovilevyt pystyyn perusmuurin ulkopuolelle vähintään routasyvyyteen asti. Lähempänä maanpintaa eristys kannattaa tehdä paksummaksi. Lämpimän pihaton kivijalka kannattaa tehdä kevytsoraharkosta, jolloin se toimii eristeenä alapohjan kautta tulevaa lämpövirtaa vastaan. Katkaisemalla samalla suoranainen yhteys harkolla lattialaatan ja ulkoilman väliltä estyy lämmön johtuminen betonilattian kautta tehokkaasti. Alapohjan eristäminen asettamalla solumuovieriste lattialaatan alle on suhteellisesti ottaen kalliimpi toimenpide. Kuitenkin

vaikka alapohjan alla oleva solumuovieriste olisi vain 5 cm paksu, se nostaa merkittävästi betonilattian lämpötilaa. Eristyksen vaikutusta betonilattian lämpövastukseen on esitetty taulukossa 6.

Pelkästään oljen käyttäminen kuivikkeena tai 19 mm rakennuslevyn käyttäminen eristeenä nostaa betonilattian lämpövastuksen yli viisinkertaiseksi. 60 mm polyuretaanieristeen käyttäminen nostaa betonilattian lämmönvastuksen peräti lähes kolmikymmenkertaiseksi.

TAULUKKO	6.	Eristyksen vaikutus betonilattian lämpövastukseen 0,47 x 1,0 m <sup>2</sup> suuruisella alalla /11/.
Tabell	6.	Det termiska motståndets beroende av värmeisoleringen i ett 0,47 x 1,0 m <sup>2</sup> stort betonggolvt /11/.
Table	6.	The effect of insulation on heat resistance on a 0.47 x 1.0 m <sup>2</sup> area of concrete floor /11/.

---

Lattiamateriaali	L mm nvastus, m <sup>2</sup> K/W
Golvmaterial	Termisk motst nd
Floor material	Heat resistance

---

betoni (betong, concrete)	0,06
betoni ja olki (halm, straw)	0,33
betoni ja 19 mm levy (skiva, board)	0,35
betoni ja 60 mm polyuretaani (polyuretan)	1,77

---

Lisälämpö kannattaa tuottaa säteilylämmittimillä varsinkin pikkuvasikoille ja muille pienialaisille kohteille. Tällöin sisäilmanlämpötilaa voidaan pitää 20 - 25 % alhaisempana kuin tavanomaisella lämmityksellä. Lämpöhukka rakenteiden läpi muodostuu tällöin ilmanlämpötilan perusteella, vaikka eläimet tuntevat lämpötilan korkeampana. Rakenteiden läpi menevä lämpö on noin 15 % pienempi kuin tavanomaisella lämmityksellä. Alennettu ilman lämpötila aiheuttaa myös sen, että ilmanvaihdon mukana menevä lämpömäärä pienenee noin 5 %. /14/.

## 1.6. Pihaton rakenteiden lämmöneristykselle asetettavat vaatimukset

Pihaton rakenteisiin kannattaa kiinnittää erityistä huomiota, sillä on esitetty arvioita, joiden mukaan maidontuotannon kokonaiskustannuksista rakennuksen osuus on jopa 30 - 40 %.

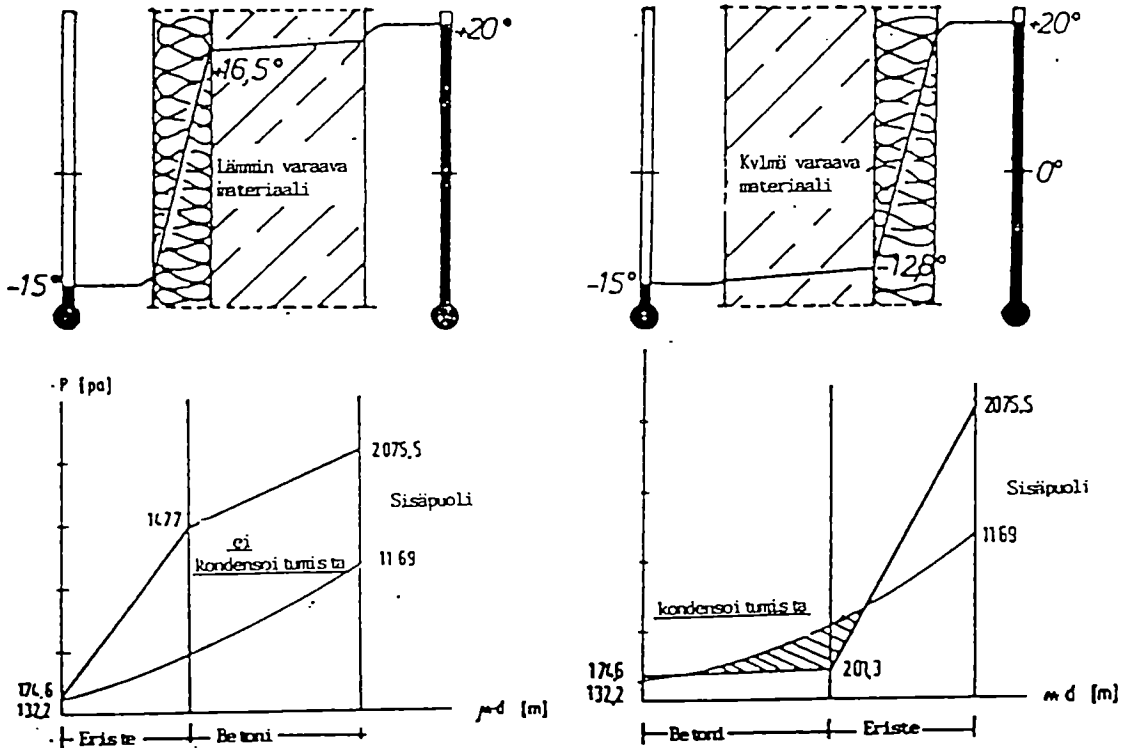
Pihaton rakenteiden lämmönläpäisylle on asetettava seuraavat vaatimukset:

- 1) Rakennuksessa on pystyttävä säilyttämään lämpötasapaino ilman lisälämmitystä lyhyitä ajan jaksoja lukuunottamatta.
- 2) Yksittäisten rakenneosien lämmönläpäisy ei saa olla niin suuri, että sisäilman kosteus tiivistyessään näille pinnoille tuhoaa niiden läheisyydessä olevia lahoamiselle arkoja rakenteita, kuten ikkunanpuitteita.

Seinän lämmöneristeet kostuvat, mikäli ne pääsevät suoranaisesti tekemisiin pihaton sisäilman kanssa. Tämän estämiseksi seinät on varustettava kosteussuluilla sisältä päin tulevaa kosteutta vastaan. Puisia rakenteita tulee välttää pihaton sisäilman kanssa suoraan tekemisiin joutuvilla pinnoilla. Mikäli omaa puutavaraa halutaan käyttää, tulisi se sijoittaa seinän ulkopinnalle samoin kuin lämmöneristekin. Sisäpuoli tulisi mielellään vuorata massiivisella kivirakenteella, joka samalla muodostaa ulkoilman vaihteluita tasaavan puskurin ja kosteutta kestävä pinnan sisäilmaa vastaan. Seinän pintalämpötila säilyy tasaisempana kuin kevytrakenteisimmissä ratkaisuissa, eikä kosteuden tiivistymistä tapahdu seinien pinnoille. Lämmöneristeet säilyvät myös kuivina, koska seinän sisälle ei muodostu tiivistymisvyöhykettä, mikä taasen johtaisi eristeiden tuhoutumiseen ja rakennuksen lämpötalouden romahtamiseen. Jos lämmöneristeen vesipitoisuus nousee (1) yhdellä tilavuusprosenttiyksiköllä, sen lämmöneristyskyky alenee 10 %. Kosteuden tiivistämiseksi rakennukseen voidaan kuitenkin järjestää sopiva määrä kylmiä pintoja, joihin tiivistyvä kosteus johdetaan viemäriin tai lantakouruun.



Samalla höyrystyslämpö vapautuu sisäilmaan. Näiden pintojen tulee kuitenkin olla kosteutta kestäviä, eikä niiden ala saa olla liian suuri. Seinien oikea ja virheellinen rakene on esitetty kuvissa 1 ja 2. /7/ /9/ /10/ /17/.



KUVA 1. Pihaton ulkoseinän oikea rakenne  
Bild 1. Riktig konstruktion av yttervägg.  
Pic. 1. The correct construction of outer wall.

KUVA 2. Pihaton ulkoseinän virheellinen rakenne.  
Bild 2. Felaktig konstruktion av yttervägg.  
Pic. 2. The non correct construction of outer wall.

Massiivisen sisäseinän ulkopuolella oleva eristekerros on suojattava ulkopuolelta esimerkiksi bituliittilevyllä. Muutoin tuuli pääsee tunkeutumaan eristekerrokseen, ja lämpö siirtyy kuljettamalla alentaen seinärakenteet lämmöneristyskykyä voimakkaasti.

Riittävän hyviä seinärakenteita ovat esimerkiksi ns. sandwich -rakenne, jonka ulkokuoren paksuus on vähintään 45 mm, eriste vähintään 100 mm ja kantava sisäkuori vähintään 70 mm. Eristekyvyltään vastaavia rakenteita ovat muun muassa 290 mm leveä kevytsoraharkko ja 250 mm leveä höyrykarkaistu kevytsoraharkko.  
/8/.

Massiivisen kantavan rakenteen sijoittamista sisäpuolelle puoltaa myös se seikka, että mahdollisen betonisen välikaton yhteys ulkoilmaan voidaan katkaista. Välipohjan lämmönläpäisevyys ei saa ylittää arvoa  $0,35 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} /9/$ .

Vaikka ovien osuus seinän kokonaisalasta ja rakennuksen kokonaislämmönläpäisystä onkin pieni, niiden eristämiseen olisi kiinnitettävä enemmän huomiota. Varsin yleisesti ulkoilmaa vastaan olevat ovet ovat eristepaksuudeltaan 5 cm:n luokkaa. Runkorakenteena on käytetty soiroa. Runko ja eristeet on verhottu sisäpuolelta vanerilla ja ulkopuolelta pontatulla ja höylätyllä laudalla.

Ikkunat läpäisevät yksittäisistä rakennusosista eniten lämpöä. Niiden pinta-ala on yleensä myös suurempi kuin ovien. Puitteiden materiaalina on perinteisesti ollut puu. Se onkin lämpötaloudellisesti paras materiaali. Kyllästämättömän puun kestävyys pihatossa, jossa kosteus tiivistyy ikkunaruudun pintaan ja juoksee alas kastaen myös puitteet, on kyseenalainen. Paras rakenteellinen, mutta myös kallis ratkaisu on puite, jonka ytimen muodostaa puu ja joka on verhottu alumiiniprofiililla. /18/. Täysin tyydyttävä ja halvempi ratkaisu on käyttää ikkunapuitteiden materiaalina painekyllästettyä eli kestopuuta.

Rakennusosien lämmönläpäisevyyden lisäksi rakennuksen muodolla on suuri merkitys sen lämpötaloudelle. Jos tarvittava lattia-ala on  $100 \text{ m}^2$ , rakennettaessa se suorakaiteen muotoon 5 m x 20 m neliömuodon 10 m x 10 m sijasta seinien pinta-ala kasvaa 25 %. Jos rakennuksen lämpöhukasta seinien osuus on 18 % on lämpöhukka rakenteiden läpi suorakaideratkaisussa 4,5 % suurempi kuin neliöratkaisussa. /18/. Tämän vuoksi lämmin eläintila tulisi rakentaa mahdollisimman neliön malliseksi. Sen sijaan kylmät tilat, kuten heinä- ja säilörehuvarastot voidaan sijoittaa siipirakennukseen.

## 2. MENETELMÄT

### 2.1. Tietojen keruu

Mittauksista pidettiin pöytäkirjaa. Mittauspöytäkirjoista laskettiin jäljempänä esitettävät asiat vartavasten kehitetyn ohjelman ja taskulaskimen avulla.

Eläinten tuottaman lämmön ja kosteuden määrittämistä varten eläimistä kerättiin tarvittavat tiedot: massa, maidontuotos ja tiineysaika keruulomakkeelle. Vastaavasti kerättiin tiedot rakennusten rakenteista ja eri rakennusosien pinta-aloista lämmönläpäisyn laskemista varten. Lämmönläpäisyn laskemisessa noudatettiin Sisäasianministeriön säännöstiedoston /13/ ohjeita soveltuvin osin.

Pihattojen arvioinnissa aistinvarainen arviointi antaa varsin hyvän tuloksen. Aistinvaraisesti huonoksi arvioitu on myös yleensä mittaustulostenkin perusteella huono. Aistinvaraisesti voidaan myös resurssien ollessa rajalliset valita mitattavaksi vain olennaiset asiat. Kun tarpeetomilta mittauksilta vältytään, voidaan keskittyä enemmän tarkempaa mittausta vaativiin kohteisiin.

Sisäilman ja ulkoilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden sekä ilmavirran mittauservot on esitetty liittäessä 2. Ne kuvaavat hetkellisiä olosuhteita pihatossa eivätkä sellaisenaan riitä arviointiperusteiksi.

### 2.2. Lämpötilan mittaukset

Lämpötilojen jatkuvaan mittaukseen käytettiin pääasiassa Pt100-tyyppisiä vastusantureita. Anturit liitettiin tiedonkeruulaitteeseen 1,5 mm<sup>2</sup> sähkökaapeleilla. Mittaus suoritettiin kaksilankamittauksena. Välijohdojen vastukset mitattiin tarkkuuslämpömittarilla. Tiedonkeruuhjelmaa modifioitiin ottamaan huomioon nämä

vastukset ja Pt100 -antureiden ominaiskäyrät. Sisälämpötilaa mitattiin myös sähköisen psykrometrin lämpötila-anturilla, joka oli myös samaa tyyppiä. Sen käyttämällä lähettimellä oli kuitenkin virtaviesti, joten tämä mittaus oli epätarkempi kuin suorat Pt100 -anturimittaukset. Mittaukset varmistettiin Lambrecht-lämpötila- ja kosteuspiirtureilla.

Kertamittaukset suoritettiin sähköisellä psykrometrilla, kuuma-lanka-anemometrilla tai räikkäpsykrometrillä. Poistoilman lämpötilanmittaukseen käytettiin myös Lambrecht -piirturia.

### 2.3. Kosteuden mittaus

Kosteutta mitattiin jatkuvan mittauksen kohteissa sähköisellä psykrometrilla ja Lambrecht -piirturilla. Sähköisen psykrometrin toiminta oli hyvin kosteissa oloissa varsin epävarmaa. Sen tähden mittaukset varmistettiin Lambrecht -piirtureilla. Kertamittauksissa käytettiin lisäksi räikkäpsykrometria.

Ulkoilman kosteus mitattiin Lambrecht -piirturilla tai arvioitiin 80 %:ksi, mikäli ulkona oli pakkasta, koska psykrometria ei tällöin voitu käyttää.

### 2.4. Ilmavirran mittaus

Ilmavirran mittaukseen käytettiin jatkuvan mittauksen kohteissa mittasiipeä. Vaikka tähän menetelmään sisältyy varsin suurta epätarkkuutta, se on tarkin menetelmä ilmavirran jatkuvassa mittauksessa. Mittasiiven valmistaja ilmoittaa menetelmän ominaistarkkuudeksi 5 %. Mittasiiven paine-eroviesti muunnettiin mikromanometrilla jänniteviestiksi, joka taas muunnettiin tiedonkeruuhjelman avulla massavirraksi.

Kertamittaukseen käytettiin siipipyöräänemometriä. Se on toistaiseksi tarkin väline tähän tarkoitukseen. Ilmavirrat mitattiin

(50) viidenkymmenen sekunnin keskiarvona, mitä varten laitteessa itsessään oli laskentarutiini. Siipipyöräänemometrin avulla myös kalibroitiin mittasiiven näyttämä.

Ilmavirta vaihtelee erittäin voimakkaasti ilmanvaihtojärjestelmissä, joissa puhaltimen kierroslukua ohjataan automaattisesti lämpötilan perusteella. Näissä tapauksissa kertamittauksen tulos on varsin epätarkka. Tarkka mittaus edellyttää tällöin käytännössä jatkuvaa mittausta riittävien havaintomäärien saamiseksi.

## 2.5. Kaasupitoisuuksien mittaus

Kaasupitoisuudet mitattiin, mikäli oli syytä epäillä niiden korkeaa pitoisuutta Dräger -kaasuntoteamislaitteella. Pihatossa satunnaisesti käyvä yleensä haistaa tavallisuudesta poikkeavat kaasupitoisuudet. Kaasupitoisuudet on arvioitu Tuunasen ja Karhusen /4/ esittämien tietojen perusteella.

## 2.6. Jatkuvan mittauksen ongelmia

Jatkuvan mittauksen suurimpia ongelmia olivat psykrometrin toiminnan epävarmuus suhteellisen kosteuden noustessa yli 90 %. Suhteellinen kosteus saatiin kuitenkin mitattua mekaanisilla piirtureilla näissäkin olosuhteissa. Tällöin kuitenkin arvot jouduttiin syöttämään käsin tietokonekäsittelyä varten, mikä oli varsin työläs operaatio. Tiedonkeruulaite on myöskin epävarma kosteissa olosuhteissa ja varsinkin kylmällä ilmalla. Keruu onnistuu kuitenkin, jos keruulaite sijoitetaan erilliseen lämmitettävään tilaan ja suljetaan laatikkoon, jossa se lämmittää itse itseään tuottamallaan lämmöllä. Tiedostojen siirto levyille on kuitenkin aina epävarmaa kylmällä ilmalla. Keruulaite oli Hewlett-Packard -merkkinen. Ilmavirran mittaus on jatkuvan mittauksen suurin ongelma. Mittasiiven toimintaa vaikeuttaa kosteissa oloissa pölyntyminen, jolloin siivikon rei'ät umpeutu-

vat kahdessa vuorokaudessa. Sen seurauksena siivikko antaa liian pientä mittauspainetta. Lisäksi käytettyjen mikromanometrien toiminta oli epävarmaa. Niille tyypillistä oli lukeman ryömiminen, mutta myös systemaattinen virhe. Edellisestä johtuen mittaukset ovat kohtuullisen luotettavia ainoastaan kahden ensimmäisen vuorokauden aikana mittauksen alusta lukien. Vaikeuksia aiheutti lisäksi pieni dynaaminen paine-ero, joka usein on vain 15 Pa, kun sen tulisi olla vähintään 20 Pa, jotta mittaus olisi tarkka. Virtausnopeuden ja sitä kautta paine-eron kasvattaminen ei kuitenkaan aina ole mahdollista, koska karjatilojen puhaltimet ovat verrattain pienipaineisia ja koska niiden virtaus kärsii huomattavasti virtausaukon kuristamisesta. Tarkempaa mittausmenetelmää ei kuitenkaan ole toistaiseksi olemassa.

## 2.7. Tietojen käsittely

Tietojen käsittelemiseksi Dr.sc.agr. Winfried Schäfer laati ohjelman HP 200/300 - laitteistolle (liite 2). Sen avulla voidaan laskea rakennuksen rakennusosien sekä koko rakennuksen lämmönläpäisy. Tuntemattomien rakenteiden lämmönläpäisykerroin eli k-arvo voidaan selvittää rakenteen eri kerrosten perusteella. Samainen ohjelma laskee eläinten lämmönläpäisyyden ja kosteudentuotannon teorian pohjalta. Pihatton sisäilman ja ulkoilman lämpötilan ja kosteuden sekä ilmanpaineen mitattujen tai annettujen arvojen perusteella ohjelma laskee ilmanvaihdon mukana menevän lämmön eri ilmanvaihdon arvoilla. Se kykenee laskemaan myös lämmön-, vesihöyryn- ja hiilidioksidin poistamiseen tarvittavan ilmavirran. Ohjelma laskee myös rakenteen suurimman sallitun lämmönläpäisevyyden annetuilla tiedoilla sekä tietyn rakenteen kastepistelämpötilan. Ohjelma antaa myöskin annetuilla tiedoilla vallitsevan entalpian, tiheyden, absoluuttisen kosteuden sekä vesihöyryn osapaineen sisä- ja ulkoilman osalta. Jatkuvan mittauksen tiedostoja käsiteltäessä se laskee lämpö- ja vesitaseen.

Ohjelma ottaa huomioon ainoastaan eläimistä syntyvän laskennallisen lämmön ja kosteuden. **Lämpötaseenvajaus** merkitsee sitä, että eläimet ovat luovuttaneet teoreettista laskelmaa enemmän lämpöä, tai pihatossa on ollut lisälämmönlähteitä taikka ilmavirranmittaus on antanut todellista suurempia arvoja. On myöskin mahdollista, että rakenteet on arvioitu liian huonoiksi. **Lämpötaseenylijäämä** merkitsee taasen päinvastaisia asioita. **Kosteustaseenvajaus** merkitsee, että eläimet ovat haihduttaneet teoreettisia laskelmia enemmän kosteutta tai sitä on syntynyt muuta kautta taikka ilmavirranmittaus on antanut todellista suurempia arvoja. **Kosteustaseenylijäämä** taasen merkitsee sitä, että eläimet ovat haihduttaneet teoreettisia laskelmia vähemmän kosteutta.

## 2.8. Käsitteet

### 2.8.1. Lämpöteho

Eläinten tuottama lämpö laskettiin edellä mainitulla ohjelmalla. Jotta pihatoiden miehitystasetta voitaisiin vertailla, määriteltiin käsite **neliöeläinlämpöteho**. Sillä tarkoitetaan eläinten tuottamaa lämpötehoa ( $W$ ) jaettuna sisäpinnan pinta-alalla ( $m^2$ ). Lisäksi määriteltiin käsite **kokonaisneliölämpöteho**, jossa on huomioitu myös käytössä olevien lisälämmönlähteiden teho. Se on siis kokonaislämpöteho ( $W$ ) jaettuna sisäpinnan pinta-alalla ( $m^2$ ). Alhainen miehitystas johtaa alhaiseen eläinneliölämpöön ja rakennuksen kostumiseen tai lisälämmön tarpeeseen. Neliöeläinlämmön ja kokonaisneliölämmön arviointi esitetään taulukossa 7.

TAULUKKO	7.	Neliöeläinlämmön ja kokonaiseläinlämmön arviointi.
Tabell	7.	Bedömning av värmeproduktion från djur och total värmeproduktion per m <sup>2</sup> av inneyta.
Table	7.	Assessment of heat production on animal and total heat production per m <sup>2</sup> of inner circle.

> 45,0	W/m <sup>2</sup>	erittäin hyvä	mycket god	very good
43,0 - 45,0	"	hyvä	god	good
40,0 - 42,9	"	tyytyttävä	nöjaktig	satisfactory
37,0 - 39,9	"	välttävä	försvarlig	fair
< 37,0	"	huono	dålig	poor

### 2.8.2. Ikkunoiden ja ovien ala

Varsinkin ikkunoiden lämmönläpäisy on huomattavasti muuta seinärakennetta korkeampi. Kaksinkertaisella erillislaseilla varustettu ikkuna läpäisee lämpöä noin (9x) yhdeksänkertaisesti sen, mitä hyvä seinärakenne. Vastaavasti kolmikertaisilla erillislaseilla varustettu ikkuna läpäisee noin (6x) kuusiker-  
 taisesti sen, mitä hyvä seinärakenne. Ikkunoiden ja ovien alaosuuden määrittämiseksi määriteltiin käsite ovi-ikkunaprosentti. Se tarkoittaa ikkunoiden ja ovien osuutta sisäpinnan pinta-  
 alasta prosentteina. Ikkunoiden ja ovien suuri osuus selittää rakennuksen suurta lämmönläpäisyä. Ikkunat toisaalta toimivat tiivistuspintoina, joihin pihattoilman kosteus tiivistyy luovut-  
 taen myös lämpöä. Näin ilmanvaihtamismahdollisuus lisääntyy, mutta myös ilmanvaihdon tarve vähenee. Kohtuullista ikkuna-alaa ei voida pitää edellä mainitusta syystä pihatton lämmönpuutteen syynä.

### 2.8.3. Sisäkorkeus

Sisäkorkeudella on suuri merkitys ilmanvaihdon onnistumisen kannalta. Mikäli käytetään varsin tavallista järjestelmää, jossa on alipaineilmanvaihto poistopuhaltimella ja kiertoilma-  
 laitteilla katossa, vähimmäiskorkeutena voidaan pitää 2,8 m /1/. Tuloaukoilla varustetussa ja vastaavasti alapoistolla



varustetussa järjestelmässä voidaan käyttää hieman matalampiakin rakennuksia. Toisaalta liian korkeasta rakennuksesta on haittaa suurempien lämpöhäviöiden muodossa. Suhteellisen edullinen kompromissi on taitekatto.

#### 2.8.4. Rakennuksen lämmönläpäisy ja eläintentuottama lämpö

Rakennuksen lämpötasapainon kannalta suurin merkitys on rakennuksen lämmönläpäisyllä eläinten tuottamaa lämpö määrää kohti. Se kertoo onko rakennus riittävästi miehitetty lämmönläpäisevyytensä nähden, ja onko rakennus riittävän hyvin eristetty. Jäljempää tarkoituksia varten määritellään käsite lämmönläpäisyprosentti. Sillä tarkoitetaan rakennuksen läpäisemän lämmön osuutta eläinten tuottamasta lämmöstä, kun sisälämpötilaksi ja -kosteudeksi oletetaan 12 °C ja 85 % ja ulkolämpötilaksi ja -kosteudeksi vastaavasti -20 °C ja 80 %. Lämmönvaihtimella varustetuissa rakennuksissa oletetaan kuitenkin sisälämpötilaksi 15 °C. Mikäli rakennuksen lämmönläpäisy kasvaa liian suureksi eläinten tuottamaan lämpö määrään nähden, on seurauksena, jos lämpötilaa yritetään pitää vakiona pihatton kostuminen. Tätä haittaa voidaan pienentää lisälämmityksellä. Se on kuitenkin suuressa määrin toteutettuna kallista, jollei lisälämmitykseen käytetä lämmönvaihdinta. Erityisesti lämmönvaihtimilla varustettujen pihattojen vertaamiseksi toisiin pihatoihin on syytä määritellä kokonaislämmönläpäisyprosentti. Se kertoo kuinka suuri osuus eläinten ja lisälämmityksen tuottamasta lämmöstä menee rakenteiden läpi edellä mainituissa oloissa. Tässä kappaleessa määritellyillä käsitteillä voidaan vertailla rakennuksen hyvyttä ja miehitystasetta sekä lisälämmitystä yhdessä.

#### 2.8.5. Rakennuksen painotettu k-arvo

Pelkästään rakennuksen hyvyyden mittaamiseksi määritellään käsite rakennuksen painotettu k-arvo. Sillä tarkoitetaan rakennuksen läpäisemää lämpöä 32 °C lämpötilaerolla jaettuna tällä lämpötila-

erolla ja rakennuksen sisäpinnan alalla. Lämmönvaihtimella varustetuissa pihatoissa se on kuitenkin laskettu 35 °C lämpötilaerolla. Koska lattian lämmönläpäisevyyden laskenta poikkeaa muiden rakennusosien lämmönläpäisyn laskennasta käsite on määriteltävä tietyille lämpötilaerolle tietyllä sisälämpötilalla (normaalisti 12 °C ja 15 °C lämmönvaihtimella). Huonostakin rakennuksesta saadaan suhteellisen kuiva lisälämmityksellä. Se on kuitenkin kallista. Lisäksi rakennuksen ulkoseinien sisäpinnat kastuvat ja jäätyvät, mikäli rakenteet ovat lämmöneristyskyvyltään huonoja ja pintalämpötilaltaan alhaisia. Painotetun k-arvon arvostelu esitetään taulukossa 8.

TAULUKKO	8.	Pihattorakennusten painotetun k-arvon arviointi.
Tabell	8.	Bedömning av vägt k-värde i stall.
Table	8.	Assessment of weighted heat permeate on stall.

<	0,25	W/m <sup>2</sup> K	erittäin hyvä	mycket god	very good
	0,25 - 0,34	"	hyvä	god	good
	0,35 - 0,44	"	tyytyttävä	nöjaktig	satisfactory
	0,45 - 0,54	"	välttävä	försvarlig	fair
>	0,55	"	huono	dålig	poor

#### 2.8.6. Kosteiden pintojen osuus

Kosteutta syntyy eläinten lisäksi kosteilta pinnoilta ja esimerkiksi painepesurin käytöstä. Epätavallisen suuren muun kosteuden synnyn selvittämiseksi määritellään käsite kosteiden pintojen osuus. Sillä tarkoitetaan kosteiden pintojen pinta-alan osuutta sisäpinnan kokonaisalasta prosentteina. Kosteiksi pinnoiksi on laskettu rakolattiat, varsinaisen eläintilan kanssa samassa ilmanvaihdossa olevat lypsyasemat sekä muut selvästi kosteat pinnat.

### 2.8.7. Eläinten tuottama kosteus

Eläinten tuottama kosteus ilmaistaan yksikössä (kg/h) kilogrammaa tunnissa. Se on voimakkaasti riippuvainen eläinten määrän lisäksi eläinten iästä ja tuotostasosta, mutta jonkin verran myös sisäilman lämpötilasta.

### 2.8.8. Kokonaiskosteuden tuotanto

Kokonaiskosteuden tuotanto ilmaistaan yksikössä (kg/h) kilogrammaa tunnissa. Kokonaiskosteudentuotanto saadaan, kun ilmanvaihdon mukana poistettavasta kosteudesta vähennetään tuloilman mukana tuleva kosteus. Vähentämällä näin saadusta erotuksesta laskennallisesti saatu eläinten tuottama kosteus saadaan muista lähteistä syntyvä kosteus. Muista lähteistä syntyvää kosteutta voidaan verrata eläinten haihduttamaan kosteuteen jakamalla ensin mainittu jälkimäisellä (=lisäkosteuskerroin).

### 2.8.9. Kokonaiskosteuden tuotanto ja eläinten tuottama lämpö

Ilmanvaihdon onnistuminen edellyttää, että kosteutta ei synny liikaa eläinten tuottamaan lämpöön nähden, koska tietyllä lämpö määrällä voidaan poistaa ainoastaan tietty määrä kosteutta rakennuksesta. Ainoat ratkaisut ongelmaan ovat kosteudentuotannon hillitseminen ja lisälämmitys. Pihatoiden vertailemiseksi suorittamiseksi määritellään käsite kosteuslämpösuhde. Se ilmaistaan yksikössä (hg/kWh) hehtogrammaa kilovattituntia kohti. Se on parempi ilmaisutapa kuin esimerkiksi (kg/ny) kilogrammaa nautayksikköä kohti, koska nautayksikön lämmön tuotanto vaihtelee voimakkaasti eläimen iän ja tuotostason mukaan.

Kosteuslämpösuhteen arvioinnissa on käytetty taulukossa 9 esitettyä asteikkoa.

TAULUKKO	9.	Kosteuslämpösuhteen arviointi.
Tabell	9.	Bedömning av relation mellan total fuktproduktion och djurens värmeproduktion.
Table	9.	Assessment of relation between total humidity production and heat production of animal.

alle	400 g/kWh	erittäin hyvä	mycket god	very good
400 - 499	"	hyvä	god	good
500 - 699	"	tyytyttävä	nöjaktig	satisfactory
700 - 899	"	välttävä	försvarlig	fair
yli	900	huono	dålig	poor

Kosteuslämpösuhdetta voidaan pitää hyvänä, mikäli se on alle 500 g/kWh. Sen sijaan 1 000 g/kWh on aivan liikaa. Mikäli rakennus ei läpäise tavallista enemmän lämpöä, voidaan olettaa, että pihatto pysyy kuivana, jos kosteuslämpösuhte on pienempi kuin 700 g/kWh. Rakennuksen ja vesitalouden hyvyyttä arvosteltaessa ei pidä ottaa huomioon lisälämmönlähteitä. Kokonaisuutta ja järjestelmän toimivuutta arvosteltaessa ne kuitenkin pitää ottaa huomioon.

#### 2.8.10. Säilörehun käyttö

Käytettävät säilörehun määrät vaihtelevat pihatoittain. Suurimmat erot kosteudentuotannossa ovat tuoreella ja esikuivatetulla säilörehulla. Toinen eroa aiheuttava tekijä on rehun jäätyneisyys. Jos rehu ei ole jäätynyttä, se ei vaadi sulattamista pihatton eläintiloissa, vaan eläimet voivat syödä sen saman tien. Tällöin siitä vapautuva kosteus vähenee. Kosteuden tuotannon lisäksi jäätyneestä rehusta on se haitta, että se sitoo runsaasti lämpöä pihatton eläintiloista.

#### 2.8.11. Lisälämmön tarve

Lisälämmön tarvetta voidaan arvioida lisäämällä lisäkosteusker-toimeen yksi ja kertomalla saadulla luvulla ilmanvaihdontarve

kosteudenpoiston perusteella vähennettynä ilmanvaihdolla lämmönpoiston perusteella sekä sisä- ja ulkoilman entalpioiden (kokonaislämpösisältö) erotuksella.

$$W_1 = (l_k + 1) * (V_k - V_1) * \acute{U}E$$

jossa  $W_1$  = lisälämmöntarve, W  
 behov av extra värme, W  
 need of extra heat, W  
 $l_k$  = lisäkosteuserroin  
 tillägsfuktsfaktor  
 factor of extra humidity  
 $V_k$  = ilmavirta kosteuden poiston perusteella, kg/h  
 luftväxling efter fuktproduktion, kg/h  
 ventilation rate calculated according to humidity production, kg/h  
 $V_1$  = ilmavirta lämmönpoiston perusteella, kg/h  
 luftväxling efter värmeproduktion, kg/h  
 ventilation rate calculated according to heat production, kg/h  
 $\acute{U}E$  = sisä- ja ulkoilman entalpioiden erotus, K  
 temperaturdifferense mellan in- och utluft, K  
 difference of temperature between internal outer air, K

## 2.9. Mittaukset

### 2.9.1. Kertamittaukset

Kertamittauksia tehtiin 17 pihatossa. Jatkuvaan mittaukseen niistä valittiin ensimmäisen kertamittauksen perusteella kolme. Jatkuvaan mittaukseen otettiin kaikkiaan kolme kohdetta. Kertamittauksia tehtiin paria pihattoa lukuunottamatta kahteen otteeseen.

## 2.9.2. Jatkuvat mittaukset

### 2.9.2.1. K-arvon määrittäminen pihatossa 16

Rakennuksen k-arvon määrittämiseksi mitattiin Loimaan maalaiskunnassa sijaitsevasta Mäkisen pihatosta rakenteiden lämmönläpäisy ennen rakennuksen käyttöön ottamista. Mittausperiaate oli varsin samanlainen kuin muissakin jatkuviissa mittauksessa. Ilmavirta oli kuitenkin varsin pieni vain 102 kg/h, jotta rakennuksen lämmönläpäisy saatiin esille. Tämä pieni ilmanvaihto oli lähinnä maalauksen aikana tapahtuvaa tuuletusta varten, ja poistoilma johdettiin kattopuhaltimen aukon kautta. Toisaalta voidaan olettaa, että se lisäsi mittauksena sikäli, että näin kaikki vaihtuva ilma poistui juuri tarkoitetusta aukosta, ja tämä ilmavirta oli määriteltävissä. Pihatossa olleet kiertoilmapuhaltimet olivat mittauksen aikana päällä, jolla saatiin aikaan lämpötilan tasaisempi jakautuminen eläintilaan.

Eläinten sijasta lämpö tuotettiin pihattoon kahden lämpöpuhaltimen ja lattialämmityksen avulla. Niiden yhteenlaskettu teho oli pelkästään lämpöpuhaltimia käytettäessä 11 302 W ja myös lattialämmitystä käytettäessä 15 802 W. Lämpöpuhaltimien teho tarkistettiin kWh -mittarilla. Lattialämmitys toimi lattiassa kiertävää vettä lämmittävällä sähkövastuksella, jonka tehoksi asentaja ilmoitti 4,5 kW. Lämmityslaitteiden teho pyrittiin asettamaan vastaamaan rakennuksen arvioitua keskimääräistä lämmönläpäisyyttä. Toisaalta teho pidettiin vakiona, ja sisäilman lämpötila vaihteli lämmöntarpeen mukaan. Lämpötila mitattiin sisältä Pt100 -antureilla.

Mittauspisteitä oli varsinaisessa eläintilassa noin puoli metriä katosta, lattiatasossa ja lypsyasemalla. Lypsytilan lämpötila mitattiin, koska lämmitysteho kohdistui siihen varsin voimakkaasti. Sen lämpötila olikin mittauksen aikana muuta rakennusta korkeampi. Lattiataason lämpötila mitattiin, jotta voitiin todeta lämpötilaero katto- ja lattiataason välillä. Ulkoilman lämpötila mitattiin myöskin Pt100 -anturilla, joka oli sijoitettu ulkona

sijainneeseen sääkoppiin. Kosteudet mitattiin Lambrecht- piirtureilla, joiden avulla samalla varmistettiin lämpötilamittaukset. Lambrecht -piirtureita oli yksi ripustettuna kattoon varsinaiseen eläintilaan ja toinen ulkona sijainneessa sääkopissa. Lämmönläpäisy laskettiin varsinaiselle eläintilalle, mutta myös pihatön lämpimille aputiloille.

#### 2.9.2.2. Jatkuva mittaus pihatossa 9

Ensimmäiseksi jatkuvan mittauksen kohteeksi valittiin Askolassa sijainnut pihatto. Se oli otettu osittain käyttöön jo edellisenä talvena. Mittaushetkellä rakennus oli täydessä käytössä. Se oli kuitenkin osittain keskeneräinen. Muun muassa kaikki väliovet puuttuivat ja rehunsulatustilan väliseinä oli vain osittain tehty. Mittauksia tehtiin kyseisessä pihatossa kolmen viikon ajan. Ilmavirranmittaus tuotti suuria ongelmia, koska käytetyn mikromanometrin näyttämän havaittiin ryömivän mittauksen jatkues- sa useampia tunteja. Mikromanometri vaihdettiin parempaan. Se näyttämän ryömiminen oli kohtuullinen. Tosin absoluuttisesti ottaen arvo ei välttämättä ollut oikea. Siksi mittaus jouduttiin kalibroimaan käyttäen apuna siipipyöräänemometriä.

Syynä tämän pihatön valintaan jatkuvan mittauksen kohteeksi oli sen maantieteellinen läheisyys Vakolaan nähden ja ilmanvaihtojärjestelmän yksinkertaisuus, mikä oli tarkoituksen mukaista mittausjärjestelyn kannalta. Lisäksi kyseessä oli uudisrakennus- kohde, jolloin lattian alla olevista rakenteista oli parempi tieto kuin vastaavista peruskorjauskohteiden lattioiden raken- teista. Peruskorjauskohteiden seinärakenteetkin ovat useasti varsin epämääräiset.

Pihatön ilmanvaihto oli järjestetty yhdellä katossa olevalla tapahtuvalla poistolla ja kahdella katossa olevalla tuloilmalait- teella. Poistopuhallin oli varustettu lämpötilaohjauksella, joka sääti poistopuhaltimen kierroslukua. Se sääti myös tuloilma- laitteiden kiertoilmapuhaltimien kierroslukua. Tuloilmalaittet saivat korvausilman vaihtoehtoisesti joko suoraan ulkoa tai

vesikaton alta. Tuloilmalaitteiden heittopituutta säädettiin myös säätämällä tuloilmalaitteiden aukkoja. Poistoilma-aukko oli suorakaiteen mallinen ja sen sivujen pituudet olivat 530 mm x 515 mm. Tähän aukkoon noin 30 cm syvyydelle oli asennettu halkaisijaltaan 500 mm oleva puhallin. Valitettavasti samaiseen aukkoon puhaltimen eteen oli asennettu kytkinkotelo, joten puhaltimen kokoista mittasiipeä ei voitu käyttää. Ilman nopeus mitattiin Halton MSD 400 -mittasiivellä. Ilmavirta laskettiin nopeudesta korjauskertoimien avulla. Virtausnopeudet tämän pihaton poistopuhaltimessa olivat varsin pienet, ja siten myös paine-erot. Järjestely aiheutti tavallista suurempaa virhettä mittaukseen.

Poistoilman lämpötila mitattiin sähköisen psykrometrin lämpötilanturilla. Psykrometri oli asetettu poistoaukon eteen. Lattianrajan, vasikkankarsinan, rehun ja ulkoilman lämpötilat mitattiin Pt100 -anturilla. Rehunlämpötila mitattiin sijoittamalla Pt100-anturi sulamaan tuotiin rehuannokseen. Ulkolämpötilaa mitattiin pihaton ulkopuolelle sijoitetusta sääkojasta. Poistoilman ja ulkoilman lämpötilan mittaus oli varmistettu Lambrech -piirturilla.

Poistoilman kosteutta mitattiin psykrometrilla. Poiketen toisesta jatkuvan mittauksen kohteesta psykrometrimittaukset onnistuivat tässä pihatossa hyvin. Tämä johtui lähinnä siitä, että suhteellinen kosteus oli huomattavasti alhaisempi kuin toisessa jatkuvan mittauksen kohteessa. Myös suhteellisen kosteuden mittaukset varmistettiin Lambrecht -piirtureilla.

Tämän pihaton kohdalla tiedonkeruulaitteiden tiedostoja pystyttiin käyttämään suoraan hyväksi ilmanvaihdon mittauksen korjauksia lukuunottamatta.

### 2.9.2.3. Jatkuva mittaus pihatossa 11

Toinen jatkuvan mittauksen kohde oli Janakkalassa sijaitseva pihatto. Se oli ollut käytössä jo useita vuosia. Mittauksia



vaikeutti se, että siellä vallitsi lähes jatkuvasti yli 90 % suhteellinen kosteus. Psykrometrimittaukset epäonnistuivat sen takia lähes täydellisesti. Ilmavirran mittaukset onnistuivat ensimmäistä kohdetta paremmin, koska virtausnopeudet olivat suuremmat ja koska mittasiipi voitiin valita koko poistoaukon kokoiseksi sekä koska mikromanometri toimi paremmin sijoitettuna muovipussiin.

Pihatossa oli tasapaineilmanvaihtojärjestelmä. Poistopuhallin oli sijoitettu lypsykarjaosan keskelle noin 2 m harjalinjalta sivuun. Tuloilmayksiköt oli sijoitettu samalle linjalle kumpikin yhtä kauas tuloilmalaitteesta. Kaikki ilmanvaihtoyksiköt sijaitsivat ruokintapöydän toisella reunalla. Tuloilmalaitteet toimivat myös niin sanottuina kiertoilmalaitteina. Tuloilmalaitteet otti puhaltimen yläpuolella sijaitsevasta luukuista pihatton sisäilmaa ja palautti sen pihattoon tuloilmaan sekoittuneena. Tasapaine säilytettiin siten, että poistoilma- ja tuloilmayksiköiden puhaltimet pyörivät toisiinsa nähden tietyssä kierroslukusuhteessa. Ilmanvaihdon määrää ohjattiin lämpötila-anturilla. Kiertoilman määrää säädettiin tuloilmalaitteessa olevilla luukuilla. Suljettaessa korvausilma-aukkoa avautuivat kiertoilma-aukot ja samalla poistoilmalaitteessa oleva läppä kuristi poistoaukkoa. Laitteiden pysähtyttyä myös sisäilman kierrätys pysähtyi, ja pihattoon alkoi muodostua lämpötilakerrostumia.

Ilmanvaihtoa ohjaava termostaatti oli asetettu arvoon 22 °C ja ns. alarajatermostaatti arvoon 17 °C. Mittausten aikana ei saatu selville oliko kyseiset arvot todellisia asetusarvoja vai vain säätönupin kalibroinnin puutteesta johtuvia. Alarajatermostaatti kuitenkin katkaisi ilmanvaihdon varsin lähellä asetettua arvoa. Jo kymmenen asteen pakkasilla ilmanvaihto saattoi seistä puolet ajasta yhtäjaksoisten pysähdysten ollessa noin puoli tuntia. Ns. kiertoilma oli säädetty varsin pienelle, mikä oli yhtenä syynä pitkiin pysähdysjaksoihin. Ilmanvaihdon pysähtyttyä ilmaa poistui myös tuloaukkojen kautta. Korvausilma tuli ilmeisesti ovien alta.

#### 2.9.2.4. Jatkuva mittaus pihatossa 16.

Kolmantena jatkuvan mittauksen kohteena oli Loimaan maalaiskunnassa sijainnut pihatto. Se valmistui pääsiäiseksi 1988 siten, että ainoastaan ulkoseinien yläosan laudoitus ja eräitä muita viimeistely töitä oli vielä kesken. Nuorkarja tuotiin rakennukseen pääsiäisen alusviikolla ja lypsylehmät pääsiäisen jälkeisellä viikolla. Alunperin pihaton piti valmistua huomattavasti aikaisemmin. Koska kuitenkin tässä rakennuksessa oli suoritettu k-arvon mittaus, haluttiin sitä mitata myös eläimet sisällä valmistumisajankohdan myöhäisyydestä riippumatta. Mittauksia tehtiin ainoastaan yhden viikon ajan. Tämä aika oli kuitenkin riittävä, koska mittaus onnistui muutoin hyvin. Suurimpana syynä tähän lienee ollut pihaton pienehkö suhteellinen kosteus, jolloin mittauslaitteet toimivat tavallista paremmin.

Pihaton ilmanvaihto oli alipaineilmanvaihto, joka oli toteutettu käyttäen kahta alapoistoa ja yhtä yläpoistoa sekä neljää Venticuloilmalaitetta. Poistopuhaltimet imivät ilmansa erillisten lantakanavan vieressä kulkevien ilmakeinien ja niihin johtavien ilmarakojen kautta. Toinen poistopuhaltimista pyöri vakionopeudella vieden noin  $2\ 100\ \text{m}^3/\text{h}$ . Toinen puhallin oli varustettu kierrosnopeuden säätimellä, jota ohjattiin pihaton lämpötilalla. Kolmas poistopuhallin sijaitsi katossa ja käynnistyi, kun säätyvänopeuksinen puhallin kävi täysillä. Lämpötila-anturi oli kiinnitetty lypsyaseman ja varsinaisen eläintilan väliseen seinään.

Mittaus suoritettiin mekaanisin ja sähköisin piirturein, koska tiedonkeruulaite rikkoontui ennen mittauksia. Pihatosta mitattiin lämpötila ja suhteellinen kosteus sisällä katon rajassa roikkuvalla Lambrecht -piirturilla. Samanlainen piirturi oli sijoitettu pihaton erilliseen juottamoon ja rehunsulatustilaan. Ulkona lämpötila ja suhteellinen kosteus mitattiin sääkojuun sijoitetulla Lambrecht -piirturilla. Ilmavirran mittaukseen käytettiin Halton MSD 500 -mittasiipeä, joka oli sijoitettu alapoiston nousukanavaan ennen puhallinta. Nousukanava oli kooltaan noin  $600\ \text{mm} \times 600\ \text{mm}$ . Siihen mittasiipi kiinnitettiin käyttäen apuna

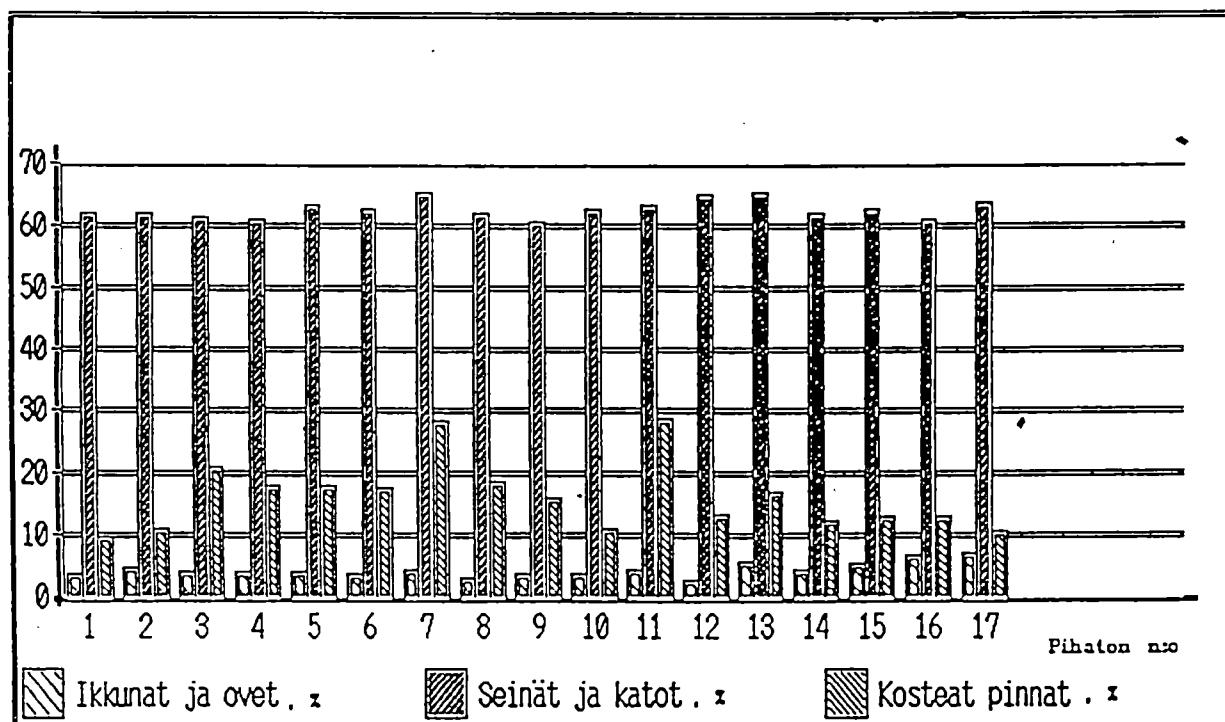
polystyreenilevyä, johon oli tehty reikä mittasiipeä varten ja jolla kanava myös kuristettiin mittasiiven kokoiseksi. Tässä ei liene ollut mittaustarkkuudelle haittaa, sillä puhallin oli vielä pienempi ollen halkaisijaltaan 400 mm. Kattopuhaltimen poisto mitattiin imupuolelta siipipyöräänemometrillä. Vakiokierroksisen puhaltimen poisto jouduttiin mittaamaan poistopuolelta. Virtaus oli kuitenkin tasainen puhaltimen poistoaukon eri kohdissa, joten mittausta voidaan pitää luotettavana mittaustavasta huolimatta.

Lypsyasema oli erillinen tila, jossa oli myös jonkin verran muuta pihattoa korkeampi lämpötila. Samoin oli laita lämpökeskuksen, maitohuoneen ja sosiaalitilojen laita. Laskelmien helpottamiseksi oletettiin, että näitä vastaan olevien seinien läpi ei mene lämpöä. Koska lypsyasema erotettiin eri tilaksi, ei sen lattialämmitystä tarvinnut ottaa huomioon. Kokonaisilmanvaihto saatiin lisäämällä säätyväkierroksisen puhaltimen poistoon vakiokierroksisen puhaltimen poisto sekä katossa olevan puhaltimen poisto silloin, kun säätyväkierroksinen puhallin kävi täysillä. Vasikoita pidettiin erillisessä juottamossa, joka oli erotettu muusta eläintilasta liukuovella. Juottamon ilmanvaihto oli kuitenkin toteutettu siten, että se sai korvausilmansa liukuoven alta muusta eläintilasta ja toisaalta poisti sen pienen keittiöpuhaltimen avulla takaisin muuhun eläintilaan. Näin se oli periaatteessa samaa tilaa muun eläintilan kanssa. Siellä vallitsi kuitenkin muuta eläintilaa korkeampi lämpötila lähinnä kahdesta syystä. Tilassa oli noin 300 W -tehoinen vesikeskuspatteri ja ilmanvaihto oli alimittainen ollen noin  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ , jolloin se vastasi ainoastaan tilan minimi-ilmanvaihtoa ( $8,1 \text{ m}^3/\text{h}$  / vasikka 50 kg). Kyseisessä tilanteessa olisi pitänyt käyttää maksimi-ilmanvaihdon mitoitusarvoja, jotka vallinneella lämpötilaerolla  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  ovat  $29 \text{ m}^3/\text{h}$  vasikkaa kohden /4/. Viidellä vasikalla tarvittaisiin siten ainakin  $150 \text{ m}^3/\text{h}$  ilmanvaihto. Ilmanvaihdon vaje näkyikin siten kohonneena ammoniakki ( $\text{NH}_3$ ) pitoisuutena (20 ppm).

### 3. TULOKSET

#### 3.1. Ikkunoiden ja ovien, seinien ja katon ja kosteiden pintojen alojen osuudet pihatoissa

Pihatoiden ilmanvaihdon onnistumiseen vaikuttaa voimakkaasti sen lämpötalouden tasapaino. Toisaalta vaikka rakennus olisi lämpötaloudeltaan hyvä, holtiton vesihöyryn tuottaminen pihattoon voi aiheuttaa vesitalouden vinoutuman ja suhteellisen kosteuden nousun. Parempi rakennus sallii kuitenkin vapaamman veden käytön, kuten kuviosta 5 käy ilmi. Seinien ja katon, rakennusten lämpötaloudeltaan edullisten rakennusosien osuus on varsin samankaltainen kaikissa tutkimuksen kohteena olleissa pihatoissa.



KUVIO 5.

Ikkunoiden ja ovien, seinien ja katon sekä kosteiden pintojen osuudet tutkimuspihatoissa prosentteina.

Figur 5.

Areaförhållandena i procent mellan fönster och dörrar, väggar och mellantak samt fuktiga ytor i försöksstallarna.

Figure 5.

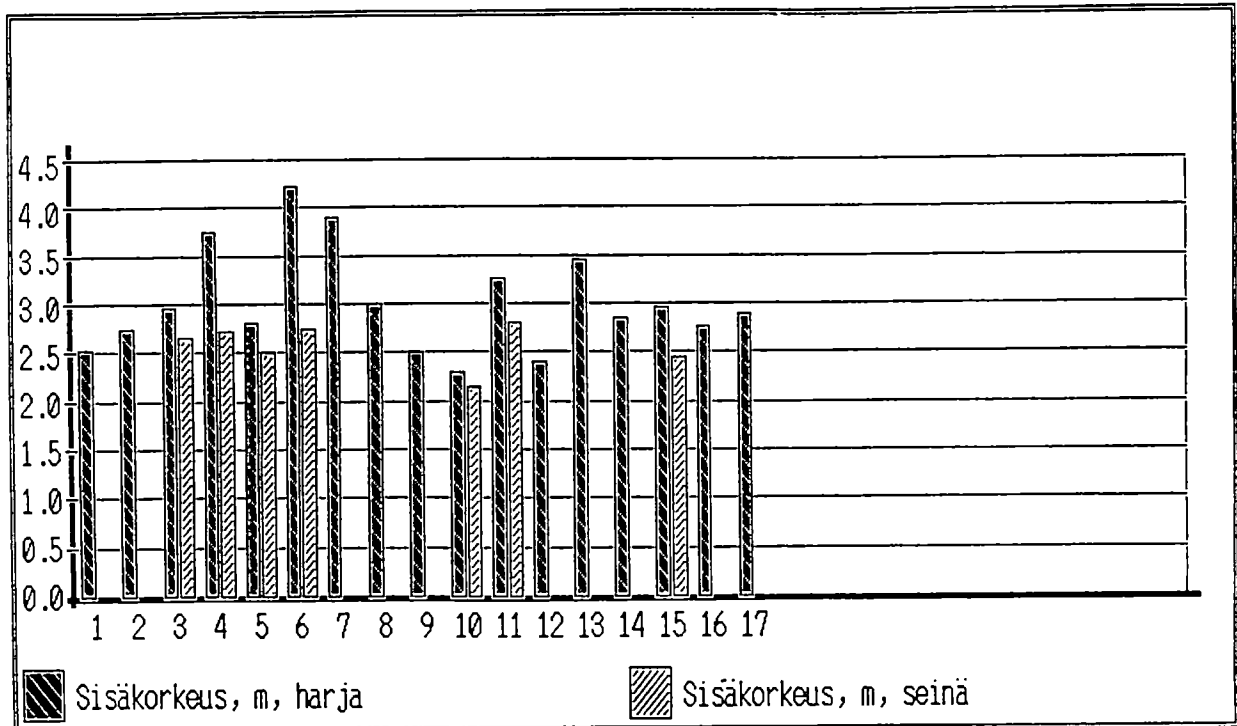
Areal share of windows and doors, walls and ceiling and humid surfaces in research stalls in terms of percentage.

Ikkunoiden ja ovien osuus sisäpiirin alasta ei myöskään vaihtelee kovin paljoa. Pihatoiden 13, 15, 16 ja 17 kohdalla niiden ala on kuitenkin tavallista suurempi. **Ovi-ikkunaprosentin** lisäksi lämpötalouteen vaikuttaa niiden lämmönläpäisevyys. Kyseiset pihatot olivat varsin uusia, ja niiden ikkunoiden lämmönläpäisevyydet pieniä, joten ikkunoiden läpi virtaavaa lämpöä ei voida pitää kohtuuttomana. Sen sijaan kosteiden pintojen osuus vaihtelee voimakkaasti eri pihatoiden välillä.

Kosteiden pintojen ala on toisissa pihatoissa suuri luonnostaan, koska niiden lietekanavat ovat suuremmat kuin toisissa. Tästä ovat esimerkkinä pihatot numero 3, 4, 5, 6, 8. Pihatto 7 on tyypiltään kuivikepohjapihatto. Siten on luonnollista, että sille kertyy runsaasti kosteaa pintaa, koska miltei koko lattia on luettava kosteaksi pinnaksi. Pihatossa 11 käytettiin hyvin märkää rehua, tuoretta säilörehua ja sokerijuurikkaan naattia. Lisäksi käytettiin esikuivatettua rankkia. Ruokintapöytä oli suurimman osan ajasta märkä. Siksi koko ruokintapöytä oli laskettava kosteaksi pinnaksi. Hyvin vesipitoisesta rehusta johtuen eläimet olivat koko ajan lievällä ripulilla. Tämän takia noin puoli metriä seinän alaosasta oli lietteistä ja märkää, ja se oli siksi laskettava mukaan kosteaksi pinnaksi. Kosteat pinnat ovat sekä seurausta että syytä liiallisesta kosteudentuotannosta. Ne muodostavat noidankehää kiihdyttävän kosteusvaraston, josta on vaikeaa päästä eroon ilman merkittävää lisälämmitystä.

### 3.2. Pihatoiden sisäkorkeus

Pihatoiden sisäkorkeutta voidaan pitää riittävänä, jos se on vähintään 2,8 metriä. Riittävänä sitä voidaan pitää myös taitekattojen osalta, mikäli sisäkorkeus rakennuksen keskellä ylittää tämän arvon. Toisaalta rakennuksen ei pidä olla sisäkorkeudeltaan liian suuri. Ulkoseinien korkeuden ei tulisi ylittää arvoa 3,5 metriä, koska seinien pinta-ala kasvaa tällöin kohtuuttomaksi. Taitekaton harja sen sijaan voi olla korkeammallakin.



KUVIO 6. Tutkimuksessa mukana olleiden pihatoiden sisäkorkeudet.

Figur 6. Innerhöjden i undersökningsstallar.

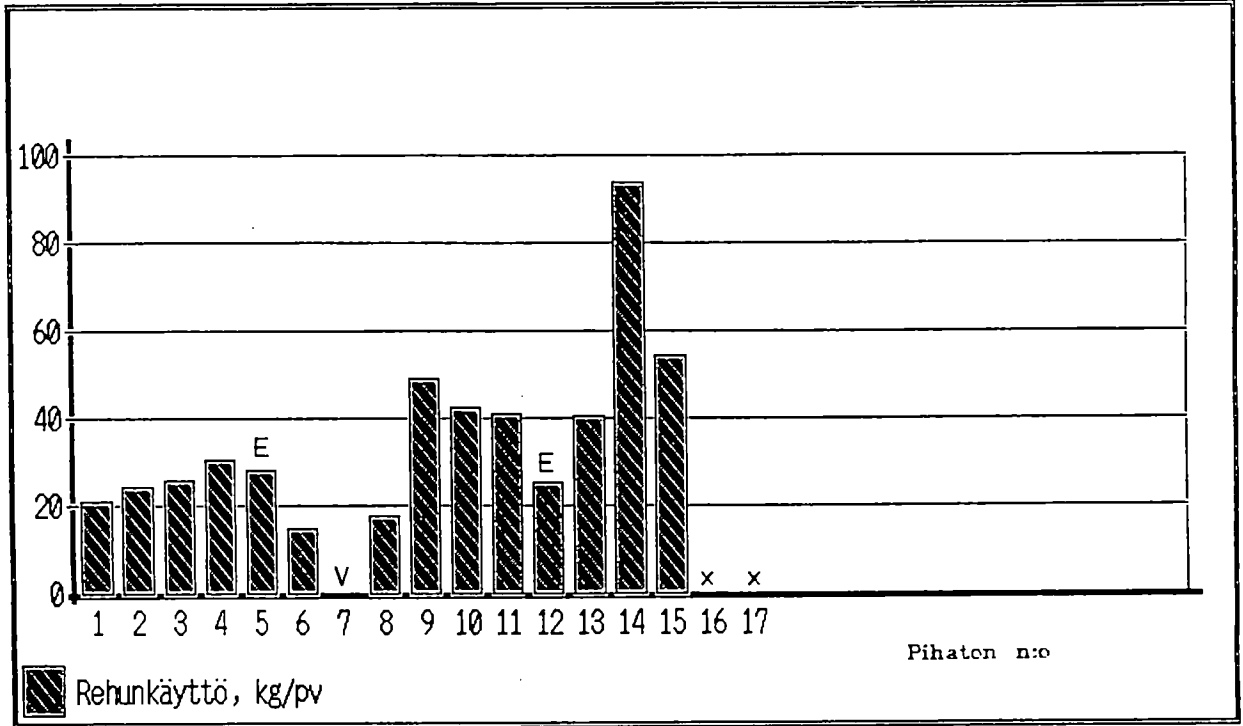
Figure 6. Internal height of research stalls.

Pihatoista ainoastaan 1, 9, 10 ja 12 ovat suositusta merkittävästi matalammat. Pihatossa 1 mataluudesta johtuvia haittoja oli vähennetty osittaisella alapoistolla. Sulkemalla kiertoilmalaitteen aukot poistoaukon suunnalta saatiin tuloilman kulkeutuminen suoraan poistoaukkoon estettyä. Pihatto 9 oli niin pitkä suhteessa leveyteen, että tuloilman joutuminen suoraan poistoaukkoon oli onnistuttu estämään. Pihatossa 10 oli tuloaukot katossa ja osittainen alapoisto. Tuloilman jako oli kuitenkin onnistunut suhteellisen hyvin. Pihatossa 12 kiertoilmalaitte oli toisessa päässä rakennusta kuin poistoaukko, jolloin tuloilma ei kulkeutunut suoraan poistoaukkoon.

Kaikissa edellä mainituissa tilanteissa mataluuden aiheuttama ongelma oli pystytty ratkaisemaan tyydyttävästi. Pieni sisäkorkeus aiheuttaa kuitenkin normaalia suuremmat vaatimukset ilmanvaihtolaitteiden sijoittelun suunnittelulle, ja epäonnistumisen riski on suuri.

### 3.3. Säilörehun käyttö tutkimuspihatoissa

Tutkimuspihatoista ainoastaan kolmessa käytettiin esikuivatettua säilörehua. Tuoreen säilörehun käyttäjistä yksi käytti lisäksi sokerijuurikkaannaattia ruokinnassa.

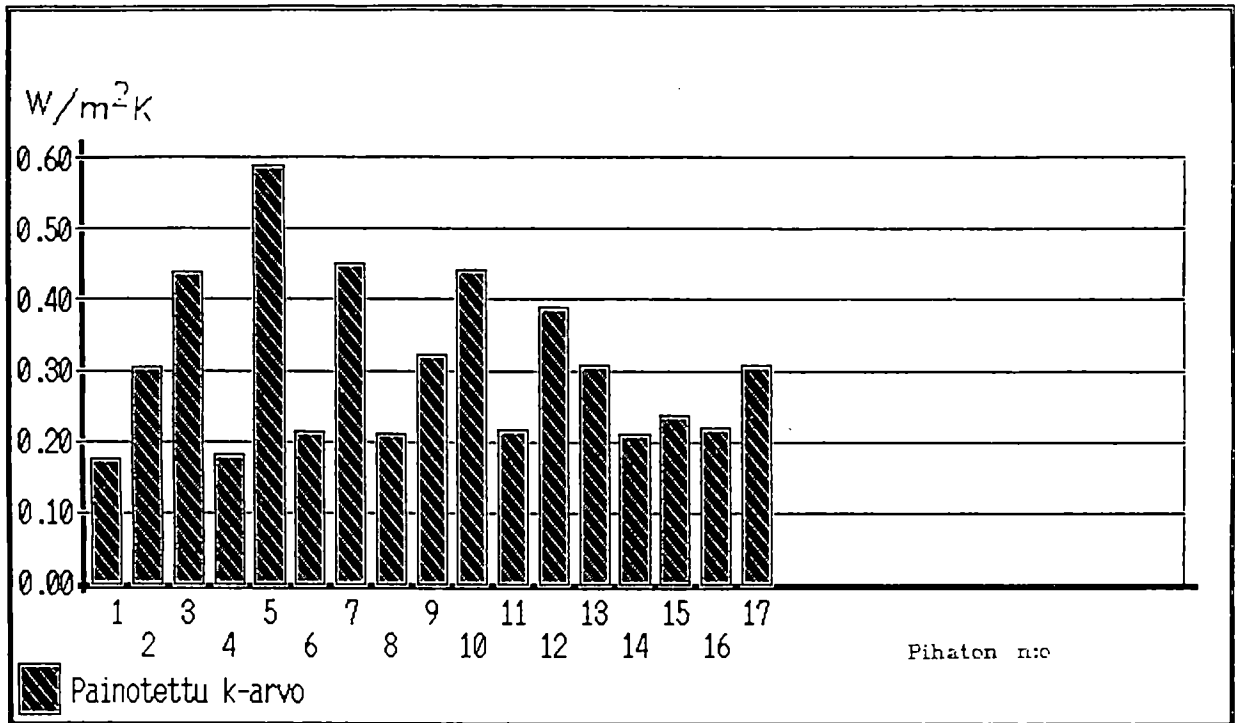


KUVIO 7. Säilörehun käyttö tutkimuspihatoissa.  
 Figur 7. Användning av ensilage i försöksstallar.  
 Fig. 7. Consumption of silage in research stalls.

- x) tieto puuttuu, data saknas, data missing  
 E) esikuivatettu säilörehu, förtorkad ensilage, vilted silage  
 V) väkiheinä, kraftfoder, strong fodder  
 ainoastaan säilörehujen käyttö esitetty, bara ensilage, only silage

Kuviossa 7 on esitetty säilörehun käyttömäärät eläinten lämmön-  
 tuottoa kohden tutkimuspihatoissa yksikössä kg/kW vrk. Se  
 tarkoittaa käytännössä varsin samaa kuin kg/vrk nautayksikköä  
 kohti. Se ottaa kuitenkin paremmin huomioon eläinten tuotostason  
 kuin kg/ny vrk.

## 3.4. Rakenteiden lämmönläpäisy mitatuissa pihatoissa



KUVIO 8. Tutkimuksessa mukana olleiden pihatoiden rakenteiden painotetut k-arvot.  
 Figur 8. Konstruktionernas vägda k-värden i undersökningsstallarna.  
 Figure 8. Weighted heat permeate coefficient in research stalls.

Rakenteiden lämmönläpäisy oli pienin uusissa pihatoissa, kuten odottaa saattaa, mutta täysin tyydyttäviin arvoihin oli päästy myös peruskorjauksien kohdalla. Pihatoiden rakenteiden lämmönläpäisy arvioitiin kohdassa 2.8.5. esitetyllä tavalla. Huonoksi arvosteltuja eristykseltään löytyi vain yksi pihatto. Tosin senkin kohdalla on mittaustulosten perusteella oletettava, että rakenteet olivat todellisuudessa paremmat erityisesti katon osalta, kuin teoreettiset laskelmat osoittavat. Välttäväksi arvosteltuja löytyi ainoastaan kaksi. Pihatossa 7 siltanosturin aukko vuoti merkittävästi lämpöä kuljettamalla, joten rakennus läpäisee merkittävästi enemmän lämpöä kuin teoreettiset laskelmat osoittavat. Tyydyttäviä rakennuksia löytyi kolme kappaletta. Nämä kaikki kuuluivat selkeästi tähän ryhmään myös silmämääräisen



arvion perusteella. Hyviä rakennuksia oli neljä kappaletta. Myös nämä kuuluivat selkeästi tähän ryhmään silmämääräisen arvion perusteella. Erittäin hyviksi luokiteltavia oli peräti kahdeksan kappaletta. Nämä kaikki olivat uudisrakennuksia. Miltei kaikissa lopuissakin uudisrakennuksissa olisi varsin pienin eristystöin päästävässä tähän luokkaan. Tyydyttävä luokka on kaikkien tutkimuksessa mukana olleiden pihatoiden kohdalla saavutettavissa varsin pienin töin. Myös parhaat peruskorjauskohdeet pystytään eristämään suhteellisen pienin kustannuksin luokkaan hyvä. Ennestään siihen kuului yksi peruskorjauskohde.

Pihatossa 16 mitattiin rakennuksen painotettu  $k$ -arvo ennen kuin eläimet oli tuotu sisälle. Tarkoituksena oli tarkistaa pitävätkö teoreettiset laskelmat rakenteiden lämmönläpäisystä paikkansa. Mittauksessa rakennuksen painotetuksi  $k$ -arvoksi saatiin  $0,501 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Teoreettisissa laskelmissa painotetuksi  $k$ -arvoksi saatiin  $0,280 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Todellinen lämmönläpäisy oli siten  $78,9 \%$  laskelmia suurempi. Lämpötaseen vaihtelu eri ulkoilmanlämpötiloilla antoi kuitenkin vahvaa todistusta siitä, että laskelmia suurempi lämmönläpäisy tapahtui pääosin lattioiden kautta. Lattioiden lämmönläpäisy oli mittauksen aikana vallinneiden keskimääräisten olosuhteiden aikana (sisälämpötila  $16,1 \text{ }^\circ\text{C}$ , sisäilman suhteellinen kosteus  $68,9 \%$ , ulkoilman lämpötila  $-5,1 \text{ }^\circ\text{C}$ , oletettu ulkoilman suhteellinen kosteus  $90 \%$ )  $1110 \text{ W}$ . Todellisuudessa ne läpäisivät  $5656 \text{ W}$  eli  $5,1$  kertaa sen mitä teoreettiset laskelmat osoittavat.  $k$ -arvomittauksen loppupuolella oli kytkettynä myös  $4,5 \text{ kW}$ :in lattialämmitys. Kahden mittausjakson aikana lattialämmityksen tehosta  $2/3 - 3/4$  näytti menevän suoraan maahan lämmittämättä ollenkaan pihattoilmaa. Loppu tehosta eli  $1/4 - 1/3$  vapautui pihattoilmaan. Ulkoilman lämpötilan vaikutusta maahan johtuvan lämmön osuuteen ei saadusta aineistosta voida todeta. Sen sijaan mittausjaksolla, jolla sisäilmanlämpötila oli suurempi, ilmaan johtuvan lämmön osuus oli suurempi kuin mittausjaksolla, jolla sisäilmanlämpötila oli pienempi.

Rakennuksen hyvyys ei pelkästään ole riittänyt takaamaan pihatton pysymistä kuivana. Esimerkiksi pihatto 11 kuuluu rakenteidensa

puolesta selkeästi luokkaan erittäin hyvä. Kuitenkin se oli tutkimuspihatoista selkeästi kostein ilmanvaihtolaitteiden virheellisen käytön ja ruokinnan takia. Toisaalta esimerkiksi pihatossa 10 on pystytty pitämään pihattoilman suhteellinen kosteus alhaalla laskemalla lämpötilaa ja riittävällä ilmanvaihdolla sekä välttämällä ylimääräistä kosteudentuotantoa.

### 3.5. Haitallisten kaasujen pitoisuudet tutkimus pihatoissa

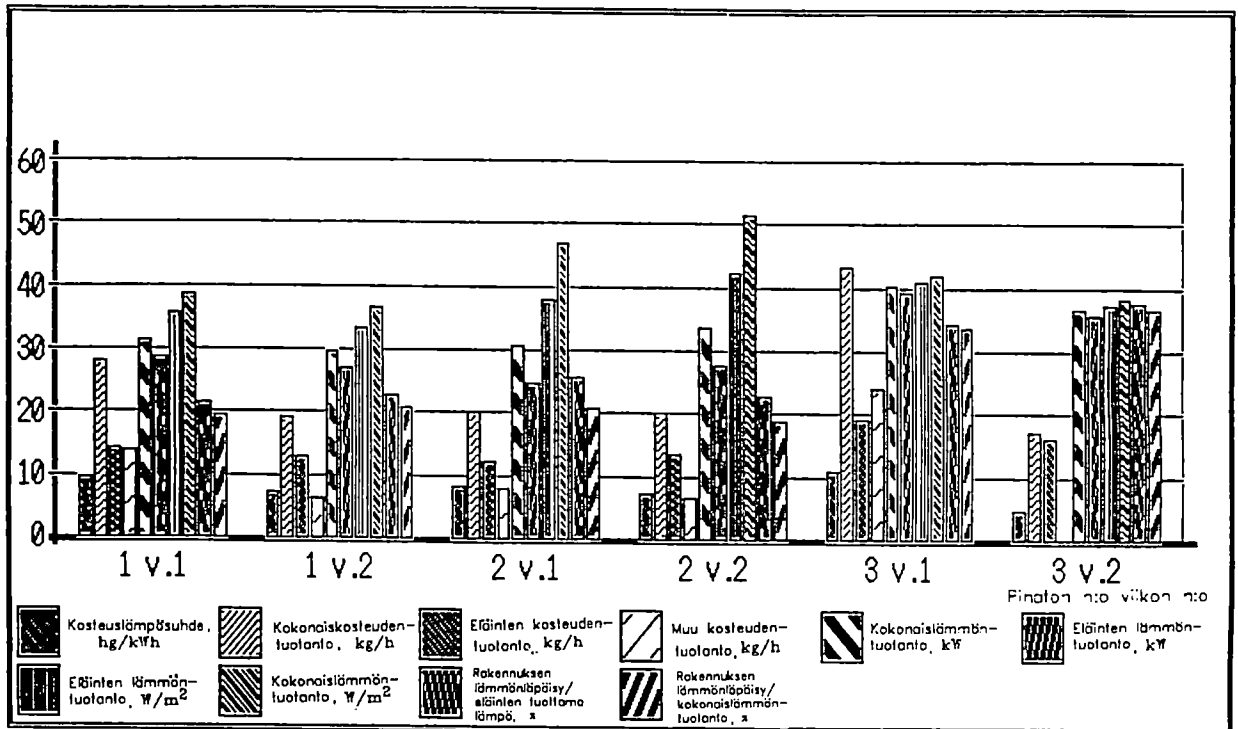
Haitallisten kaasujen pitoisuus ei ylittänyt sallittuja arvoja muutoin kuin parissa poikkeustapauksessa. Kumpikin näistä koski erillistä juottamoita.

Pihatossa 3 vasikat oli sijoitettu erilliseen juottamoon, mutta kuitenkin lantakanavan päälle. Lantakanavaa ei oltu peitetty. Juottamoon oli järjestetty erillinen lämmitys ja ilma poistui luonnonvedolla katon rajasta muuhun pihattoon. Tällöin lantakaasut pääsivät nousemaan lantakanavasta juottamoon, jolloin ammoniakki ( $\text{NH}_3$ ) -pitoisuus nousi 40 ppm :ään.

Pihatossa 16 juottamon tuloilma otettiin muusta pihatosta oven alta ja poistettiin samaan tilaan puhaltimella. Muussa pihatossa jo ennestään likaantuneen ilman ammoniakki ( $\text{NH}_3$ ) -pitoisuus nousi 20 ppm:ään.

### 3.6. Kosteudentuotanto mittauksen kohteina olleissa pihatoissa

Seuraavissa kuvioissa esitetään kosteudentuotanto mittauksen kohteena olleissa pihatoissa sekä siihen olennaisesti vaikuttaneet muut seikat. Kuvioihin on kerätty pihatoiden kosteutta selittäviä tunnuslukuja. Tässä luvussa selostetaan mittaustuloksia ja niiden pohjalta saatuja tunnuslukuja. Kuvioissa 9 - 16 on esitetty mm. kokonaiskosteudentuotanto (hg) hehtogrammoina eläinten tuottamaa (kWh) kilovattituntia kohti.



KUVIO 9.

Kokonaiskosteudentuotanto eläinten tuottamaa kilovattituntia ( $\text{hg/kWh}$ ), eläinten ja muiden lähteiden tuottama kosteus tuntia kohden ( $\text{kg/h}$ ), kokonaislämmöntuotanto ja eläinten tuottama lämpö ( $\text{W}$ ), eläinten tuottama että kokonaislämmöntuotanto sisäpinnan neliometriä kohti ( $\text{W/m}^2$ ) sekä rakennuksen lämmönläpäisyn osuus  $32^\circ\text{C}$ :n lämpötilaerolla eläinten tuottamasta ja kokonaislämmöntuotannosta (%) pihatoissa 1, 2 ja 3.

Figur 9.

Total fuktproduktion per kilowattimme värme från djur ( $\text{hg/kWh}$ ), fuktproduktion från djur och andra källor per timme ( $\text{kg/h}$ ), total värmeproduktion och värmeproduktion från djur ( $\text{W}$ ), värmeproduktion från djur och totalvärmeproduktion per kvadratmeter ( $\text{W/m}^2$ ) samt andel värmeigenomgång vid  $32^\circ\text{C}$  temperaturdifferens av djurens värmeproduktion och total värmeproduktion (%) i stallar 1, 2 och 3.

Figure 9.

Total moisture production per kilowatthour heat produced by animals ( $\text{hg/kWh}$ ), moisture production by animals and by other sources per hour ( $\text{kg/h}$ ), total heat production and heat produced by animals ( $\text{W}$ ), heat produced by animals and total heat production per square meter ( $\text{W/m}^2$ ) and amount of heat produced by animals and of total heat production passing through the constructions with temperature difference of  $32^\circ\text{C}$  (%) in stalls 1, 2 and 3.

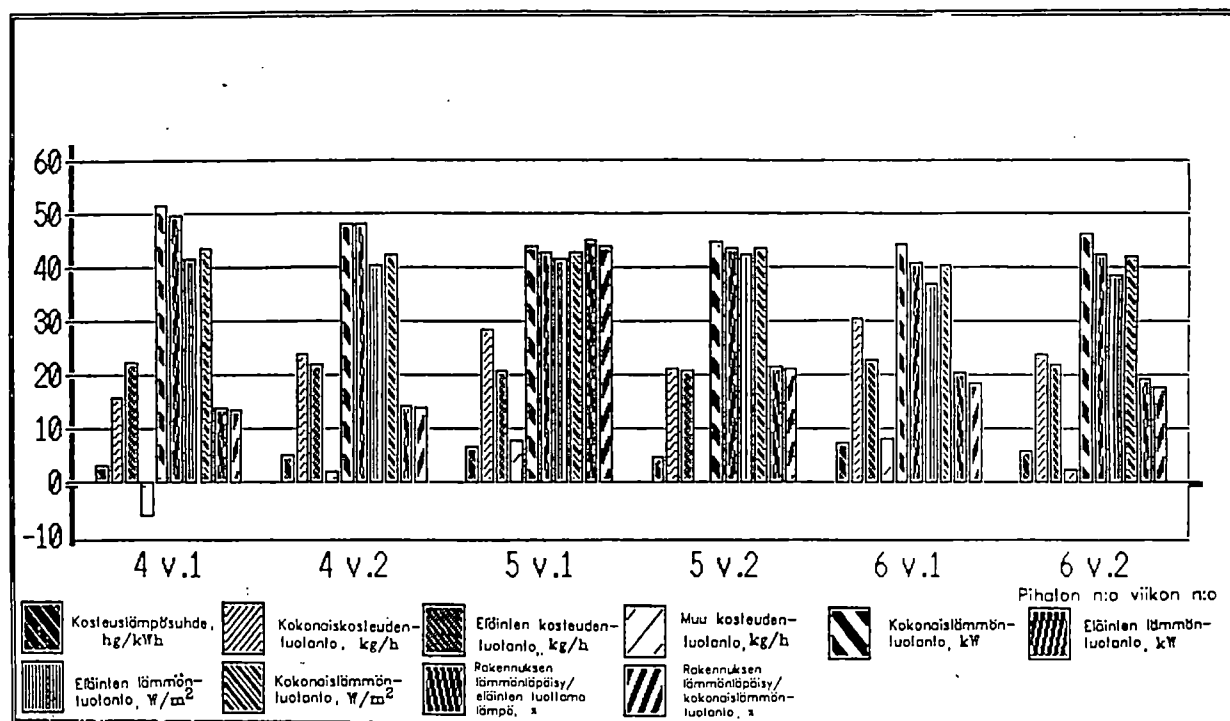
Pihatossa 1 vallitsi ensimmäisellä mittauskerralla normia (12 °C) korkeampi lämpötila, 13,3 °C. Sen tähden kosteudentuotanto on varsin suurta. Toisella mittauskerralla lämpötila oli normin mukainen, ja siten kosteudentuotantokin pysyi kohtuullisena. Rakennus oli verraten hyvä (painotettu k-arvo 0,177), joten suhteellinen kosteus pysyi alhaalla (79 % ja 86 %). Ensimmäisen tuloksen pienuus on alemman ulkolämpötilan, hyvän rakennuksen ja lisälämmityksen ansiota. Eläinten lämmöntuotanto on erittäin pieni rakennuksen sisäpiirin pinta-alaa kohti (35,5 W/m<sup>2</sup> ja 33,4 W/m<sup>2</sup>) eikä se lisälämmitys huomioon ottaenkaan ole kovin suuri (38,7 W/m<sup>2</sup> ja 36,6 W/m<sup>2</sup>). Rakennuksen hyvä eristys kuitenkin pelastaa tilanteen. Karjan lypsylehmien poikiminen painotui varsin voimakkaasti kevääseen. Mittaushetkellä suuri osa lehmistä oli ummessa, jolloin lehmien lämmöntuotos oli verraten pieni. Tilannetta helpotti kuitenkin nuorkarjan suuri määrä.

Pihatossa 2 tilanne oli varsin samankaltainen. Ensimmäisellä mittauskerralla tässäkin pihatossa vallitsi normia suurempi lämpötila (13,7 °C). Niinpä kosteudentuotanto oli jonkin verran normia suurempaa. Toisella kerralla lämpötila sen sijaan oli lähempänä normia (12,8 °C). Kosteudentuotanto olikin tällöin varsin kohtuullista. Rakennuksen sisäpinnan pinta-ala oli eläinmäärään nähden jonkin verran ensimmäistä tapausta pienempi. Lypsyasema on jonkin verran suurempi, joten sen lämmitettävästä lattiasta kertyy jonkin verran enemmän lämpöä kuin ensimmäisessä pihatossa. Toisaalta, kuten tässä tutkimuksessa myöhemmin todetaan, lattialämmitys lämmittää ensisijaisesti juuri lattiaa ja pitää sen kuivana. Lattian lämmönluovutus itse pihattoon olisi selvitettävä erillisessä tutkimuksessa. Ottaen huomioon, että tämä pihatto on peruskorjauskohde, on sen lämpö- ja kosteustasapaino pystytty ratkaisemaan hyvin. Kummankin pihatton kuivana pitämistä edesauttaisi poikimisten siirtäminen enemmän syksyyn.

Pihatton 3 kosteuden syynä oli ensimmäisellä mittauskerralla liiallinen lypsyaseman pesu. Ensimmäisellä mittauskerralla

lämpötila oli normia suurempi (13,7 °C), joten eläinten kosteudentuotantokin oli jonkin verran normia suurempi. Karja oli korkeassa tuotannon vaiheessa eli selvästi syyspoikivampi kuin kaksi edellistä. Siksi, vaikka osassa rakennusta ollut elementtikatto läpäisi verraten paljon lämpöä (42,8 W/m<sup>2</sup>K, dt 32 K), lämpötalous oli hallinnassa. Tilannetta helpotti toisella mittauskerralla normia alempi lämpötila (10,6 °C) ja muun kosteudentuotannon saaminen kuriin. Rakennuksessa on muihin tutkimuksessa mukana olleisiin pihatoihin nähden varsin paljon tilaa, mikä lisää lämpöhukkaa rakenteiden läpi. Ulkolämpötila kummallakin mittauskerralla oli nollan tuntumassa (+ 1,4 °C ja 0 °C). Rakennuksen suuren lämmönläpäisevyyden (painotettu k-arvo 0,438) perusteella voidaan olettaa, että rakennuksessa on kovilla pakkasilla kosteusongelmia. Pihatossa oli erillinen juottamo, joka oli periaatteessa tarpeeton edellä mainituilla sisälämpötiloilla. Kovilla pakkasilla sen sijaan pihaton lämpötila saattaa laskea, jolloin se saattaa tulla tarpeelliseksi.

Pihatossa 4 kosteuslämpösuhde oli tutkimuspihatoiden pienimpiä. Suurimpana syynä siihen on pihaton alhainen lämpötila (9,9 °C ja 10,2 °C). Kosteuslämpösuhdetta voidaankin pitää tämän pihaton kohdalla erittäin hyvänä. Se sallisi jo merkittäviä puutteita pihaton rakenteiden lämmöneristyksessä. Rakennuksen painotettu k-arvo oli kuitenkin erittäin hyvä 0,180. Rakenteet sallisivat merkittävästi korkeamman lämpötilan käytön, sillä rakennuksen lämmönläpäisy oli 32 °C lämpötilaerolla ainoastaan 13,8 % ja 14,3 % eläinten lämmöntuotannosta ja 13,3 ja 13,7 % kokonaislämmöntuotannosta. Tämän pihaton kohdalla lämpötilaa pidettiin kuitenkin tarkoituksellisesti alhaalla sairauksien vähentämiseksi. Karjan poikiminen oli verrattain syyspainotteista, joten neliöeläinlämmöt olivat tyydyttävät 41,7 W/m<sup>2</sup> ja 40,5 W/m<sup>2</sup>. Pihaton ilmanvaihtojärjestelmä oli varustettu lantakanavaimurilla. Se oli kuitenkin siksi pienipaineinen, että varsinkaan toisella mittauskerralla se ei kyennyt poistamaan ilmaa pihaton korkeasta alipaineesta.



KUVIO 10.

Kokonaiskosteudentuotanto eläinten tuottamaa kilovattituntia ( $\text{hg/kWh}$ ), eläinten ja muiden lähteiden tuottama kosteus tuntia kohden ( $\text{kg/h}$ ), kokonaislämmöntuotanto ja eläinten tuottama lämpö ( $\text{W}$ ), eläinten tuottama että kokonaislämmöntuotanto sisäpinnan neliometriä kohti ( $\text{W/m}^2$ ) sekä rakennuksen lämmönläpäisyn osuus  $32\text{ }^\circ\text{C}$ :n lämpötilaerolla eläinten tuottamasta ja kokonaislämmöntuotannosta (%) pihatoissa 4, 5 ja 6.

Figur 10.

Total fuktproduktion per kilowattimme värme från djur ( $\text{hg/kWh}$ ), fuktproduktion från djur och andra källor per timme ( $\text{kg/h}$ ), total värmeproduktion och värmeproduktion från djur ( $\text{W}$ ), värmeproduktion från djur och totalvärmeproduktion per kvadratmeter ( $\text{W/m}^2$ ) samt andel värmegenomgång vid  $32\text{ }^\circ\text{C}$  temperaturdifferens av djurens värmeproduktion och total värmeproduktion (%) i stallar 4, 5 och 6.

Figure 10.

Total moisture production per kilowatthour heat produced by animals ( $\text{hg/kWh}$ ), moisture production by animals and by other sources per hour ( $\text{kg/h}$ ), total heat production and heat produced by animals ( $\text{W}$ ), heat produced by animals and total heat production per square metre ( $\text{W/m}^2$ ) and amount of heat produced by animals and of total heat production passing through the constructions with temperature difference of  $32\text{ }^\circ\text{C}$  (%) in stalls 4, 5 and 6.

Pihaton sisälämpötila oli verraten viileä pikkuvasikoita ajatellen. Ongelma olikin ratkaistu erillisellä juottamalla, jossa oli 2 kW -tehoisen lämpöpuhallin, jota ohjattiin termostaatilla. Vasikkatilassa vallitsi ensimmäisellä mittauskerralla lattiatasolla 10 °C lämpötila, ja ylempänä 12 °C. Toisella mittauskerralla lukemat olivat vastaavasti 11,4 °C ja 17,3 °C. Ensimmäisellä mittauskerralla ulkona oli + 2 °C, mutta toisella kerralla vallitsi -11 °C pakkanen. Lämmitin oli sijoitettu seinälle silmän korkeudelle, jolloin se kylmällä kelillä lämmitti voimakkaasti vasikkatilan yläosaa. Samalla ilmankierto tilassa jäi pieneksi. Parempi ratkaisu olisi sijoittaa lämmitin lattialle, jolloin ilma kiertäisi paremmin ja tilassa vallitsisi tasaisempi lämpötila.

Pihatossa 5 vallitsi ensimmäisellä mittauskerralla 13,7 °C lämpötila ja toisella 13,6 °C. Rakennuksen painotettu k-arvo on varsin suuri (0,587) johtuen lähinnä katon huonosta eristyksestä. Rakennus läpäiseekin laskennallisesti 32 °C lämpötilaerolla 45,1 % eläinten tuottamasta lämmöstä. Neliöeläinlämpö oli kuitenkin mittauspihatoista suurin kummallakin mittauskerralla. Siitä huolimatta rakennus oli yllättävän kuiva. Suhteellinen kosteus olikin ensimmäisellä mittauskerralla 84 % ja toisella 72 %. Oletettavaa onkin, että laskettu arvo katon eristyskyvystä on liian huono. On myös mahdollista, että katto toimii lämmönvaihtimena, jos sen läpi tulee ilmaa. Toisella mittauskerralla vallitsi ulkona kovempi pakkanen. Siitä huolimatta saatiin alempi suhteellinen kosteus. Tämä johtuu kuitenkin siitä, että toisella mittauskerralla oli toinen, pysähdyksissä ollut poistokanava tukittu, jolloin ilman tulo tätä kautta ja poistuminen tätä lähellä olevan toisen poistopuhaltimen kautta estyi. Kuten kuviosta 10 näkyy, kosteuslämpösuhde oli kummallakin mittauskerralla hyvä.

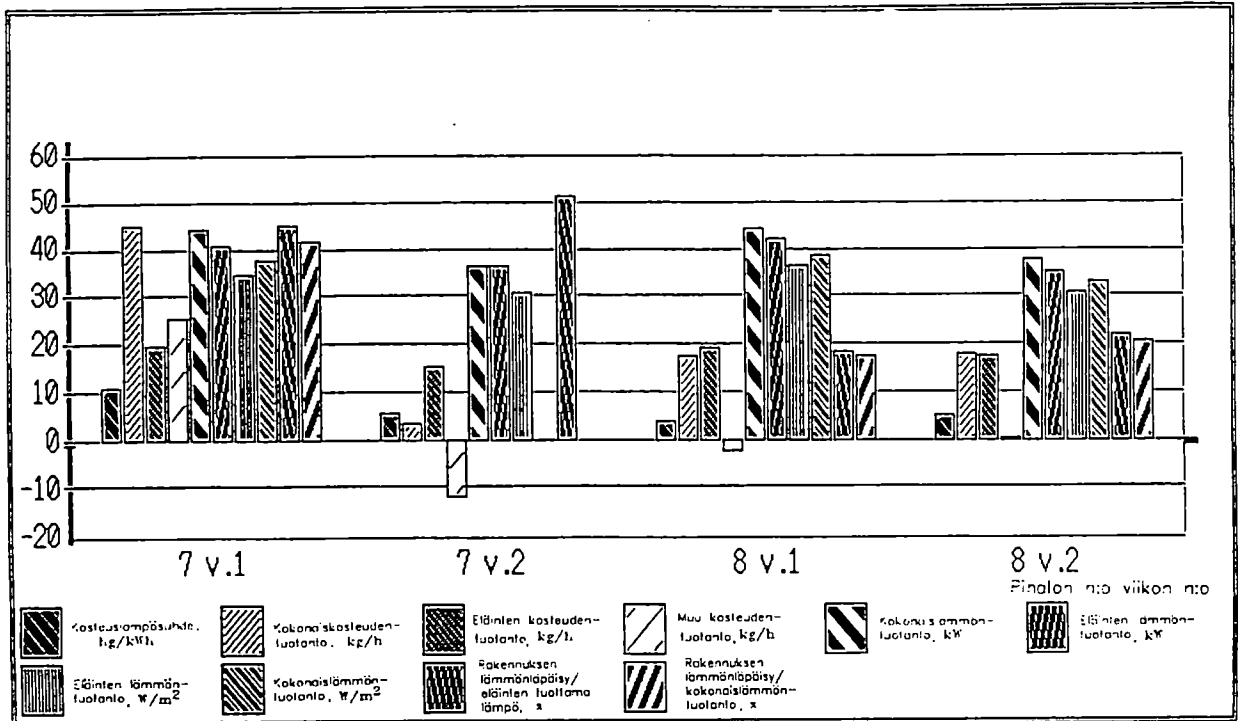
Pihatossa 6 pidettiin varsin korkeaa lämpötilaa. Ensimmäisellä mittauskerralla 17,2 °C ja toisella 15,4 °C. Tästä johtuen eläinten kosteudentuotanto oli tavallista suurempaa. Muu kosteudentuotanto sen sijaan oli kohtuullista, koska pihatossa

käytettiin esikuivattua säilörehua, ja rakolattia oli korkean lämpötilan vuoksi varsin kuiva. Korkeamman lämpötilan ylläpitämisen mahdollisti itse tehty kanavavilmaistointi-lämmönvaihdinjärjestelmä (energiahyötysuhde noin 7 %) sekä hyvin eristetty rakennus. Painotettu k-arvo oli vain 0,213. Pihatön suhteellinen kosteus oli pieni jo ensimmäisellä kerralla (81 %). Toisella kerralla sisäilman lämpötilaa oli laskettu lähes parilla asteella sen ansiosta suhteellinen kosteus oli laskenut 70 %:iin.

Pihatossa 7 vallitsi ensimmäisellä mittauskerralla 12,5 °C lämpötila, mutta toisella mittauskerralla se oli vain 6,5 °C. Tämä selittyy sillä, että toisella mittauskerralla ulkona oli -5,7 °C pakkasta, kun ensimmäisellä mittauskerralla ulkolämpötila oli 1,5 °C, ja sillä, että rakennuksen painotettu k-arvo oli niinkin korkea kuin 0,442. Tämä on seurausta katon heikosta eristyksestä. Painotetussa k-arvossa ei ole vielä arvioitu päädyssä ollutta siltanosturin kulkuaukkoa, joka oli tukittu, mutta vuoti runsaasti.

Toisen mittauskerran kosteudentuotoksen arvoihin ei voi luottaa, koska ilmanvaihto ei toiminut tarkoitetulla tavalla. Kosteuslämpösuhde oli ensimmäisellä mittauskerralla varsin suuri, kuten kuivikepohjapihatolta saattaa jo kirjallisuusselvityksen pohjalta olettaakin. Muista kuin eläimistä tuleva kosteudentuotanto oli jopa suurempaa kuin eläimistä tuleva. Pihatön ilmanvaihto oli varustettu lämmönvaihtimilla, mutta ne eivät toimineet tyydyttävästi. Lämmönvaihtimen energiahyötysuhteeksi saatiin ensimmäisellä mittauskerralla 10,4 %. Eläimet poikivat varsin tasaisesti ympäri vuoden, ja koska vasikat kasvatettiin itse, oli lämmöntuotos myös talvella kohtuullinen. Rakennuksen sisäpinta-ala oli lämmöntuotokseen nähden suuri varsinkin toisella mittauskerralla ottaen huomioon rakennuksen suuren painotetun k-arvon. Neliöeläinlämmöt olivat huonot 34,7 W/m<sup>2</sup> ja 30,7 W/m<sup>2</sup>. Ensimmäisellä mittauskerralla saatu kokonaisneliölämpö ei ollut paljoa parempi (37,6 W/m<sup>2</sup>).





KUVIO 11.

Kokonaiskosteudentuotanto eläinten tuottamaa kilovattituntia ( $\text{hg/kWh}$ ), eläinten ja muiden lähteiden tuottama kosteus tuntia kohden ( $\text{kg/h}$ ), kokonaislämmöntuotanto ja eläinten tuottama lämpö ( $\text{W}$ ), eläinten tuottama että kokonaislämmöntuotanto sisäpinnan neliometriä kohti ( $\text{W/m}^2$ ) sekä rakennuksen lämmönläpäisyyden osuus  $32\text{ }^\circ\text{C}$ :n lämpötilaerolla eläinten tuotannosta ja kokonaislämmöntuotannosta (%) pihatoissa 7 ja 8.

Figur 11.

Total fuktproduktion per kilowattimme värme från djur ( $\text{hg/kWh}$ ), fuktighetsproduktion från djur och andra källor per timme ( $\text{kg/h}$ ), total värmeproduktion och värmeproduktion från djur ( $\text{W}$ ), värmeproduktion från djur och totalvärmeproduktion per kvadratmeter ( $\text{W/m}^2$ ) samt andel värmegenomgång vid  $32\text{ }^\circ\text{C}$  temperaturdifferens av djurens värmeproduktion och total värmeproduktion (%) i stallar 7 och 8.

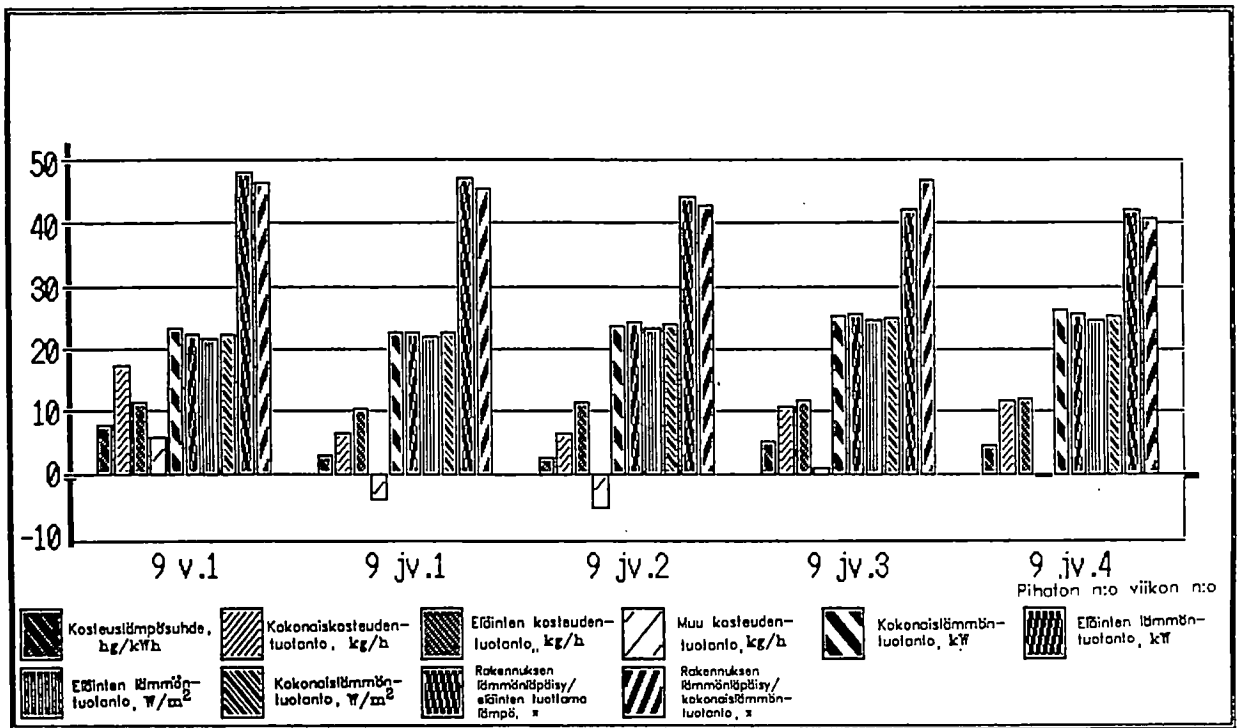
Figure 11.

Total moisture production per kilowatt-hour heat produced by animals ( $\text{hg/kWh}$ ), moisture production by animals and by other sources per hour ( $\text{kg/h}$ ), total heat production and heat produced by animals ( $\text{W}$ ), heat produced by animals and total heat production per square metre ( $\text{W/m}^2$ ) and amount of heat produced by animals and of total heat production passing through the constructions with temperature difference of  $32\text{ }^\circ\text{C}$  (%) in stalls 7 and 8.

Pihatossa 8 lämpötila oli ensimmäisellä mittauskerralla 11,0 °C. Toisella mittauskerralla lämpötila oli normia korkeampi (13,5 °C). Eläinten kosteudentuotanto oli sen tähden toisella kerralla jonkin verran normia suurempi. Muu kosteudentuotanto oli kuitenkin varsin olematonta. Tämän takia kosteuslämpösuhde muodostui hyväksi ja erittäin hyväksi. Rakennuksen painotettu k-arvo oli vain 0,211. Sen tähden ilmaa pystyttiin vaihtamaan runsaasti ja suhteellinen kosteus pitämään alhaalla (82 % ja 68 %). Varsin suuri osa lehmistä oli ensimmäisellä mittauskerralla tiineyden viimeisellä kuukaudella. Maitomäärä oli kuitenkin ainoastaan kolmanneksen pienempi kuin viimeisellä kerralla. Tämän vuoksi lämmön- ja kosteudentuotos olivat suuremmat ensimmäisellä mittauskerralla toisen mittauskerran suuremmasta maitomäärästä huolimatta. Eläinten suurin lämmöntuotos sijoittui siis varsin hyvin vuoden kylmimpään ajankohtaan.

Pihatto 9 oli yksi jatkuvan mittauksen kohteista. Ensimmäisellä kertamittauskerralla pihatossa oli varsin korkea lämpötila 15,7 °C. Tästä oli seurauksena eläinten korkea kosteudentuotanto. Kosteuslämpösuhde oli tyydyttävä 0,781 kg/kWh. Eläinten lämmöntuotos (21,6 W/m<sup>2</sup>) oli erittäin pieni johtuen maidontuotannon matalasta vaiheesta. Suuri osa lehmistä oli poikimassa lähiaikoina. Viimeisellä kuukaudella oli kuitenkin vain vajaa neljännes. Tämän lisäksi tilalla kasvatettiin nuorkarjaa vain omaan uudistustarpeeseen, mikä omalta osaltaan piti lämmöntuotoksen pienenä. Rakennuksen katon lämmönläpäisevyys oli suuri, koska katon eriste oli liian ohut (15 cm). Oletettavaa onkin, että kovilla pakkasilla lämpövajaus tulisi olemaan suuri.

Pihatossa 9 näytti muu kosteudentuotanto olevan suurinta lähellä nollaa olevissa lämpötiloissa. Vastaavasti se oli pienintä ulkolämpötilan ollessa -10 °C tienoilla. Sisäilman lämpötilaa oli laskettu jatkuvien mittauksen aikana (keskimäärin 11,9-12,3 °C). Tällä voidaan selittää kertamittauksista pienempi kosteudentuotanto. Ulkolämpötilaan nähden kosteudentuotanto käyttäytyi tässä pihatossa täysin päin vastoin kuin myöhemmin esitettävässä pihatossa 11.



KUVIO 12.

Kokonaiskosteudentuotanto eläinten tuottamaa kilovattituntia (hg/kWh), eläinten ja muiden lähteiden tuottama kosteus tuntia kohden (kg/h), kokonaislämmöntuotanto ja eläinten tuottama lämpö (W), eläinten tuottama että kokonaislämmöntuotanto sisäpinnan neliometriä kohti (W/m<sup>2</sup>) sekä rakennuksen lämmönläpäisyn osuus 32 °C:n lämpötilaerolla eläinten tuottamasta ja kokonaislämmöntuotannosta (%) pihatossa 9.

Figur 12.

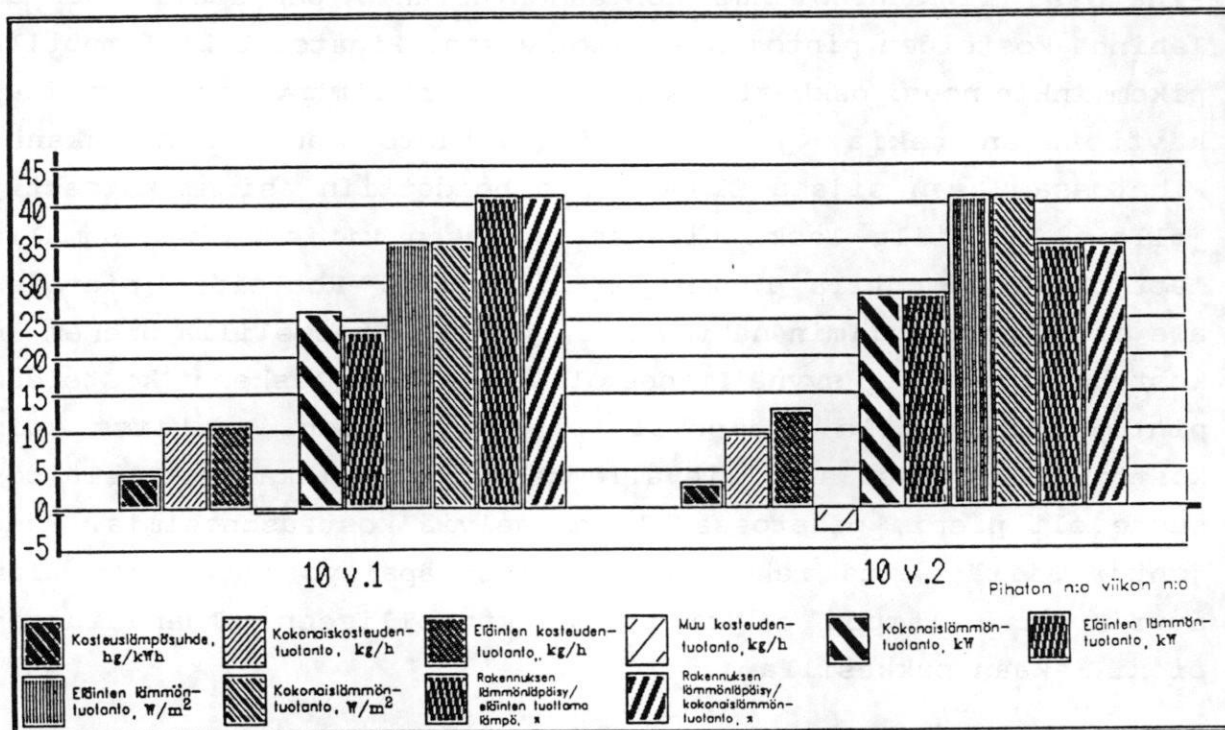
Total fuktproduktion per kilowattimme värme från djur (hg/kWh), fuktighetsproduktion från djur och andra gällor per timme (kg/h), total värmeproduktion och värmeproduktion från djur (W), värmeproduktion från djur och totalvärmeproduktion per kvadratmeter (W/m<sup>2</sup>) samt andel värmegenomgång vid 32 °C temperaturdifferens av djurens värmeproduktion och total värmeproduktion (%) i stall 9.

Figure 12.

Total moisture production per kilowatthour heat produced by animals (hg/kWh), moisture production by animals and by other sources per hour (kg/h), total heat production and heat produced by animals (W), heat produced by animals and total heat production per square metre (W/m<sup>2</sup>) and amount of heat produced by animals and of total heat production passing through the constructions with temperature difference of 32 °C (%) in stall 9.

Pihatossa 11 suurentunut kosteudentuotanto pakkasella johtui lähinnä kosteiden pintojen alan kasvusta. Pihatossa 11 lämpötila pikemminkin nousi pakkasten kasvaessa juuri ilmanvaihtolaitteiden käyttötavan takia, ja kosteudentuotanto nousi sen mukana. Pihatossa 9 sen sijaan ilmanvaihto hoidettiin asianmukaisesti, jolloin lämpötila laski hivenen pakkasen kiristyyessä. Samalla lattioiden lämpötila laski jonkin verran. Kosteiden pintojen ala ei kasvanut silmin nähtävästi, joten pakkaskelillä pienemmän kosteudentuotannon syynä lienee ollut lievästi laskenut kosteiden pintojen lämpötila. Lämpötilalla oli suurempi merkitys kuin kosteiden pintojen alan lievällä kasvulla. Vaikka kosteuslämpösuhte oli pieni, pihatossa ilmeni selviä kosteusongelmia. Tämä johtui siitä, että rakennuksen lämmönläpäisyn osuus oli niin suuri, että lämpöä ei riittänyt kunnolliseen ilmanvaihtoon pienilläkään pakkasilla.

Pihatossa 10 lämpötila oli kummallakin mittauskerralla varsin lähellä normia. Ensimmäisellä kerralla se oli 12,7 °C toisella 11 °C. Kosteuslämpösuhdetta voidaan tämän pihaton kohdalla pitää erittäin hyvänä. Ensimmäisellä kerralla se oli 0,452 kg/kWh ja toisella 0,345 kg/kWh. Tämä johtuu osaltaan norminmukaisesta lämpötilasta, mutta myös pienestä (10,7 %) kosteiden pintojen alasta. Rakennuksen lämmönläpäisy oli kuitenkin suuri. Sen painotettu k-arvo oli 0,587 kg/kWh. Eläinliönlämpö oli ensimmäisellä mittauskerralla välttävä 35,2 W/m<sup>2</sup> ja toisella mittauskerralla tyydyttävä 40,8 W/m<sup>2</sup>. Alempi lämpötila summattuna suurempaan lämmöntuotokseen ja normia alempaan kosteudentuotantoon aikaansai alemman suhteellisen kosteuden toisella kerralla (78 % ja 75 %) kovemmassa pakkasesta huolimatta. Mittaustulosten valossa rakennuksen lämmöneristyskyvyn laskelmien täytyy osoittaa liian huonoja arvoja.



KUVIO 13.

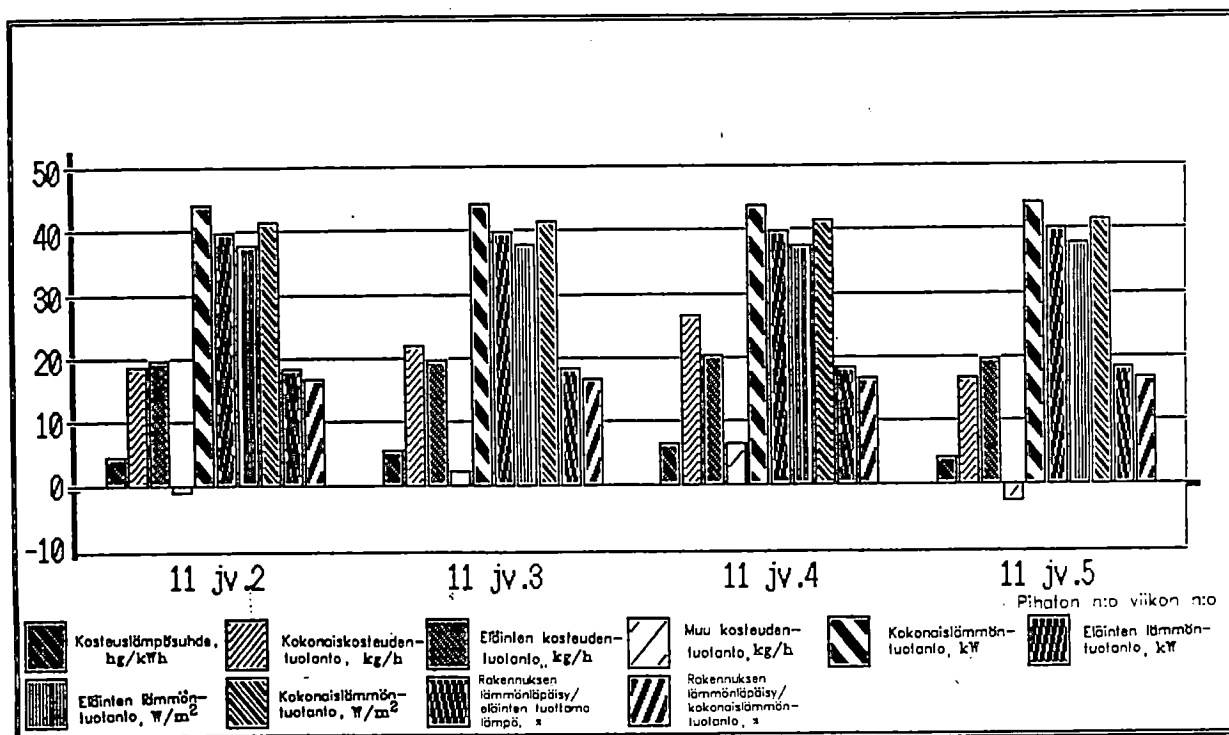
Kokonaiskosteudentuotanto eläinten tuottamaa kilovattituntia (hg/kWh), eläinten ja muiden lähteiden tuottama kosteus tuntia kohden (kg/h), kokonaislämmöntuotanto ja eläinten tuottama lämpö (W), eläinten tuottama että kokonaislämmöntuotanto sisäpinnan neliometriä kohti (W/m<sup>2</sup>) sekä rakennuksen lämmönläpäisyn osuus 32 °C:n lämpötilaerolla eläinten tuottamasta ja kokonaislämmöntuotannosta (%) pihatossa 10.

Figur 13.

Total fuktproduktion per kilowattimme värme från djur (hg/kWh), fuktighetsproduktion från djur och andra källor per timme (kg/h), total värmeproduktion och värmeproduktion från djur (W), värmeproduktion från djur och totalvärmeproduktion per kvadratmeter (W/m<sup>2</sup>) samt andel värmegenomgång vid 32 °C temperaturdifference av djurens värmeproduktion och total värmeproduktion (%) i stall 10.

Figure 13.

Total moisture production per kilowatthour heat produced by animals (hg/kWh), moisture production by animals and by other sources per hour (kg/h), total heat production and heat produced by animals (W), heat produced by animals and total heat production per square metre (W/m<sup>2</sup>) and amount of heat produced by animals and of total heat production passing through the constructions with temperature difference of 32 °C (%) in stall 10.



KUVIO 14.

Kokonaiskosteudentuotanto eläinten tuottamaa kilovattituntia (hg/kWh), eläinten ja muiden lähteiden tuottama kosteus tuntia kohden (kg/h), kokonaislämmöntuotanto ja eläinten tuottama lämpö (W), eläinten tuottama että kokonaislämmöntuotanto sisäpinnan neliometriä kohti (W/m<sup>2</sup>) sekä rakennuksen lämmönläpäisyn osuus 32 °C:n lämpötilaerolla eläinten tuottamasta ja kokonaislämmöntuotannosta (%) pihatossa 11.

Figur 14.

Total fuktproduktion per kilowattimme värme från djur (hg/kWh), fuktighetsproduktion från djur och andra källor per timme (kg/h), total värmeproduktion och värmeproduktion från djur (W), värmeproduktion från djur och totalvärmeproduktion per kvadratmeter (W/m<sup>2</sup>) samt andel värmegenomgång vid 32 °C temperaturdifferens av djurens värmeproduktion och total värmeproduktion (%) i stall 11.

Figure 14.

Total moisture production per kilowatthour heat produced by animals (hg/kWh), moisture production by animals and by other sources per hour (kg/h), total heat production and heat produced by animals (W), heat produced by animals and total heat production per square metre (W/m<sup>2</sup>) and amount of heat produced by animals and of total heat production passing through the constructions with temperature difference of 32 °C (%) in stall 11.

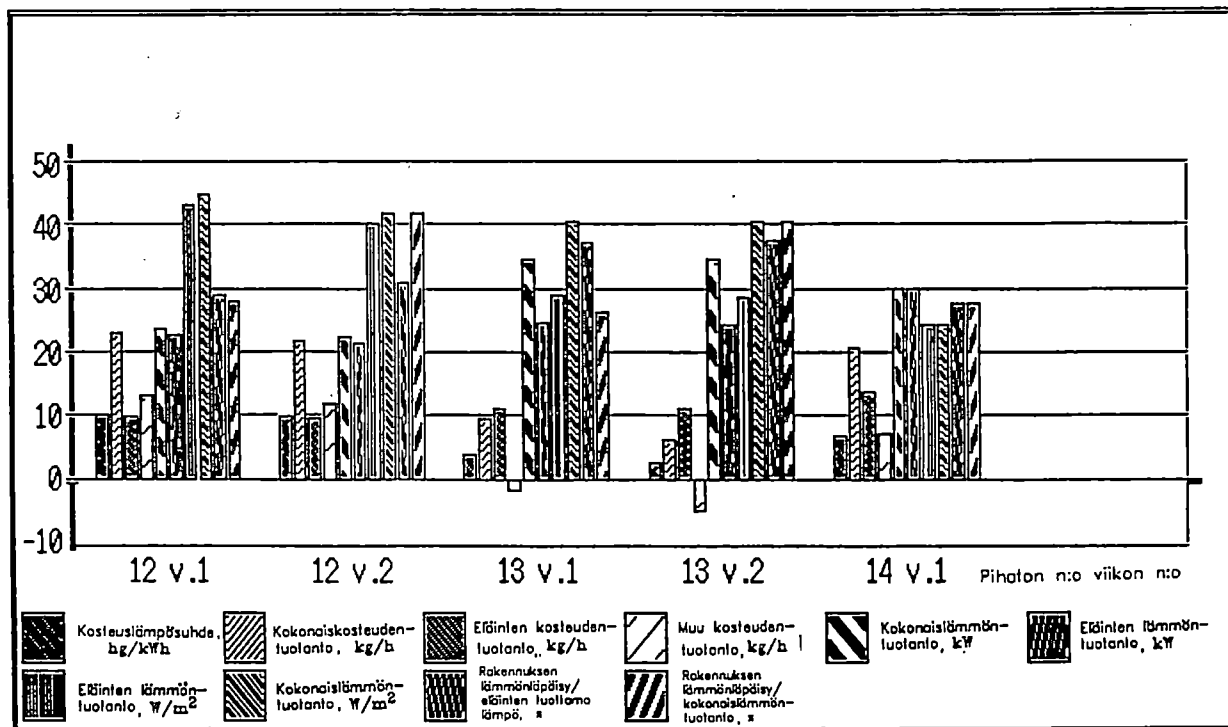
Pihatto 11 oli toinen jatkuvan mittauksen kohde. Pihatossa pyrittiin pitämään varsin korkeaa lämpötilaa. Ensimmäisellä kertamittauskerralla se oli 15,1 °C. Tarkoituksena oli sulattaa rehuja ruokintapöydällä. Rakennuksen kosteuslämpösuhde ei salli kuitenkaan niin suuren lämpötilan ylläpitämistä. Kosteudentuotanto voisi olla hieman pienempi, jos kiertoilmalaitteet toimisivat koko ajan. Ne kuitenkin pysähtyivät pitkiksi ajanjaksoiksi säätimien korkean lämpötilan asetusarvon takia. Korkean kosteudentuotannon lisäksi neliöeläinlämpö oli pieni (36,8 W/m<sup>2</sup>). Rakennuksen lämpötalous oli siis retuperällä. Tilannetta auttoi kuitenkin rakennuksen hyvä lämmöneristys. Rakennuksen painotettu k-arvo oli ainoastaan 0,217. Lehmät poikivat verrattain tasaisesti ympäri vuoden, ja koska nuorta karjaa oli myös kohtuullisesti, lämmöntuotos oli kohtuullinen. Jatkuvan mittauksen pohjalta on tehtävissä se johtopäätös, että muu kuin eläimien kosteudentuotanto on verrannollinen ulkolämpötilaan. Ensimmäisellä onnistuneella jatkuvan mittauksen kerralla kosteuslämpösuhde oli 0,470 kg/kWh ja ulkoilmanlämpötila keskimäärin - 1,9 °C, toisella 0,555 kg/kWh ja -3,4 °C, kolmannella 0,670 kg/kWh ja -9,9 °C ja neljännellä 0,420 kg/kWh ja 0 °C. Kosteuslämpösuhteen kasvu ei kuitenkaan johdu suoraan ulkoilmanlämpötilasta, vaan kosteiden pintojen alan kasvusta ja siten muun kosteudentuotannon kasvusta. Kosteita pintoja ei kuitenkaan pystytty tutkimuksessa selvittämään niin tarkkaan, että ne voitaisiin erotella eri mittauskertojen välillä. Lisäksi kosteuden haihtuminen on erilaista erilaisilta kosteilta pinnoilta. Jatkuvan mittauksen arvoja voidaan pitää luotettavimpina kuin kertamittausten, koska ne perustuvat noin 200 havintoon. Siten vaikka ilmavirranmittaukseen sisältyy suuria epätarkkuuksia johtuen lähinnä tulosten suuresta hajonnasta, on virheet näin suurilla havaintomäärillä pystytty eliminoimaan. Jatkuvan mittauksen aikana eläinten tuottama lämpö vaihteli hyvin vähän, joten eri mittauskerrat ovat täysin vertailukelpoisia toisiinsa nähden. Voidaankin tehdä se johtopäätös, että pihatton suureen suhteelliseen kosteuteen oli syynä ennen kaikkea kosteiden pintojen suuri pinta-ala. Se oli kuitenkin ainoastaan välitön syy. Kosteiden pintojen syntymisen pääasiallisena syynä oli yritys pitää yllä liian

suurta lämpötilaa ja sisäilman pieni kierrätys. Toiseksi suurimpana alkusyynä voidaan pitää tuorerahun suurta kosteuspitoisuutta ja jäätyneisyyttä varastossa. Neliöeläinlämmöt olivat ainoastaan välttävää tasoa. Ottaen huomioon rakennuksen hyvän lämmöneristyskyvyn olisi neliöeläinlämpöjen pitänyt kuitenkin tullut riittävä, mikäli lämpötila olisi ollut normaali, sillä laskelmien mukaan pihatton lisälämmön tarve 20 °C pakkasilla oli pienimpiä 8,9 kW.

Pihatossa 12 pidettiin varsin matalaa lämpötilaa (7,7 °C ja 10 °C). Mikä olikin eduksi, koska rakennuksen painotettu k-arvo ei ollut kovikaan hyvä (0,389). Kosteuslämpösuhde oli korkea (1,01 kg/kWh ja 1,00 kg/kWh). Pihatto ei ollut vielä täysin valmis, ja se oli vajaasti miehitetty. Rakennus oli varsin suuri siellä olevien eläinten määrään nähden. Muista kuin eläimistä tuleva kosteudentuotanto oli suurempaa kuin eläimistä tuleva. Kun kosteiden pintojen ala ei ollut normaalia suurempi, kosteudentuotantoa on vaikea selittää.

Pihatossa 13 lämpötila oli verraten normaali (11,2 °C ja 11,3 °C). Koska pihatossa oli lämmönvaihdin, olisi odottanut, että siellä olisi pystytty pitämään lämpimämpääkin. Neliöeläinlämmöt ovat kuitenkin erittäin alhaiset (28,9 W/m<sup>2</sup> ja 28,7 W/m<sup>2</sup>). Lämmönvaihtimen ja lisälämmityksen avulla saavutetaan normaalia neliöeläinlämpöä vastaavat kokonaisneliölämmöt (40,6 W/m<sup>2</sup> ja 40,4 W/m<sup>2</sup>), joten korkeamman lämpötilan pitäminen ei olekaan mahdollista. Eläinten tuotos on keskitasoa, koska karja on ympäri vuoden poikiva. Koska rakennuksessa onkin vähän eläimiä rakennuksen kokoon nähden, lämmönvaihdinta voidaan pitää välttämättömänä, ellei eläinmäärää voida lisätä. Käytetyn lämmönvaihtimen tehoa voidaan pitää riittävänä. Sen energiahyötysuhteeksi saatiin ensimmäisessä mittauksessa 16 %.





KUVIO 15.

Kokonaiskosteudentuotanto eläinten tuottamaa kilovattituntia (hg/kWh), eläinten ja muiden lähteiden tuottama kosteus tuntia kohden (kg/h), kokonaislämmöntuotanto ja eläinten tuottama lämpö (W), eläinten tuottama että kokonaislämmöntuotanto sisäpinnan neliometriä kohti (W/m<sup>2</sup>) sekä rakennuksen lämmönläpäisyn osuus 32 °C:n lämpötilaerolla eläinten tuottamasta ja kokonaislämmöntuotannosta (%) pihatoissa 12, 13 ja 14.

Figur 15.

Total fuktproduktion per kilowattimme värme från djur (hg/kWh), fuktighetsproduktion från djur och andra källor per timme (kg/h), total värmeproduktion och värmeproduktion från djur (W), värmeproduktion från djur och totalvärmeproduktion per kvadratmeter (W/m<sup>2</sup>) samt andel värmegenomgång vid 32 °C temperaturdifferens av djurens värmeproduktion och total värmeproduktion (%) i stallar 12, 13 och 14.

Figure 15.

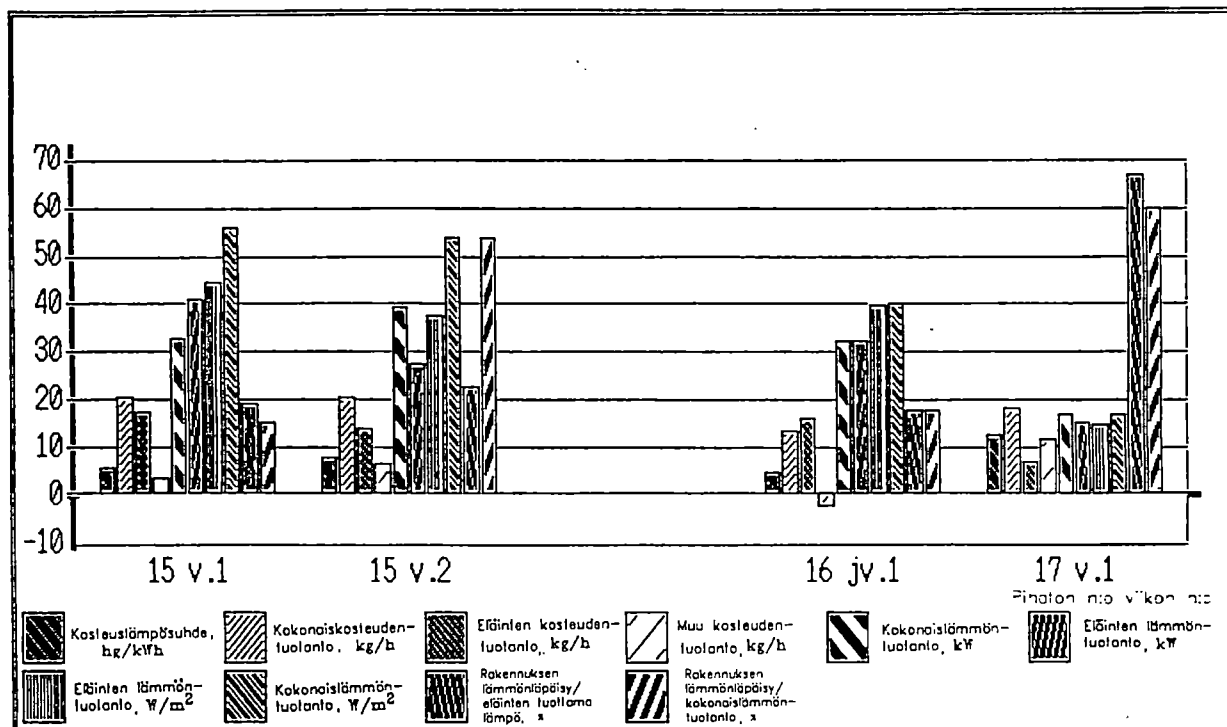
Total moisture production per kilowatthour heat produced by animals (hg/kWh), moisture production by animals and by other sources per hour (kg/h), total heat production and heat produced by animals (W), heat produced by animals and total heat production per square metre (W/m<sup>2</sup>) and amount of heat produced by animals and of total heat production passing through the constructions with temperature difference of 32 °C (%) in stalls 12, 13 and 14.

Pihatossa 14 lämpötila oli normin mukainen. Rakennuksen lämmön-eristykset olivat hyvät, sillä painotettu k-arvo oli ainoastaan

0,212. Rakennuksessa oli avokourut, jonka vuoksi kosteudentuotanto oli tavallista suurempi. Kosteuslämpösuhde olikin välttävä 0,700 kg/kWh. Tosin rakolattialla varustetuissa pihatoissa tavattiin yhtä suuria arvoja. Suurimpana ongelmana oli kuitenkin eläinten pieni lämmöntuotos rakennuksen sisäpinta-alaan nähden. Neliöeläinlämpö oli ainoastaan 24,4 W/m<sup>2</sup>. Syynä tähän oli se, että nuoren karjan kasvatukseen tarkoitettut tilat olivat vajaimiehitetyt, koska tila toimitti lihaeläimet toiselle tilalle jatkokasvatukseen. Tilanne pysyi kurissa rakennuksen hyvän lämmöneristyksen takia. Pihatossa oli lisäksi kosteudenpoistaja, joka ei kuitenkaan ollut mittaushetkellä käytössä.

Pihatossa 15 kasvatettiin lihaeläimiä. Lämpötila oli ensimmäisellä mittauskerralla 13,2 °C. Koska eläinten lämmöntuotos oli pienentynyt huomattavasti, lämpötila oli toisella kerralla vain 10,3 °C. Kosteuslämpösuhde oli ensimmäisellä mittauskerralla tyydyttävä 0,530 kg/kWh ja toisella mittauskerralla välttävä 0,739 kg/kWh. Neliöeläinlämpö oli ensimmäisellä mittauskerralla hyvä (44,3 W/m<sup>2</sup>), mutta toisella kerralla ainoastaan välttävä 37,2 W/m<sup>2</sup>. Tämä johtui siitä, että eläinmäärä oli toisella mittauskerralla merkittävästi pienempi kuin ensimmäisellä. Kokonaisneliölämmöt sen sijaan olivat riittävät kummallakin kerralla. Rakennuksen painotettu k-arvo oli hyvä (0,237). Lämmönvaihtimen käyttöä voidaan pitää välttämättömänä tässä pihatossa.

Pihatossa 16 lämpötila oli normia korkeampi 14,0 °C ja suhteellinen kosteus normia pienempi 74,6 %. Kosteuslämpösuhde oli hyvä 422 g/kWh. Rakennus läpäisi ainoastaan 17,7 % eläinten tuottamasta lämmöstä. Rakennuksen painotettu k-arvo oli erittäin hyvä 0,220. Lypsyasema oli eroitettu muusta pihatosta, joten kosteudentuotanto jäi siltä osin tavallista pienemmäksi.



KUVIO 16.

Kokonaiskosteudentuotanto eläinten tuottamaa kilovattituntia (hg/kWh), eläinten ja muiden lähteiden tuottama kosteus tuntia kohden (kg/h), kokonaislämmöntuotanto ja eläinten tuottama lämpö (W), eläinten tuottama että kokonaislämmöntuotanto sisäpinnan neliometriä kohti (W/m<sup>2</sup>) sekä rakennuksen lämmönläpäisyn osuus 32 °C:n lämpötilaerolla eläinten tuottamasta ja kokonaislämmöntuotannosta (%) pihatoissa 15, 16 ja 17.

Figur 16.

Total fuktproduktion per kilowattimme värme av djur (hg/kWh), fuktighetsproduktion från djur och andra källor per timme (kg/h), total värmeproduktion och värmeproduktion från djur (W), värmeproduktion från djur och totalvärmeproduktion per kvadratmeter (W/m<sup>2</sup>) samt andel värmeigenomgång vid 32 °C temperaturdifference av djurens värmeproduktion och total värmeproduktion (%) i stallar 15, 16 och 17.

Figure 16.

Total moisture production per kilowatthour heat produced by animals (hg/kWh), moisture production by animals and by other sources per hour (kg/h), total heat production and heat produced by animals (W), heat produced by animals and total heat production per square metre (W/m<sup>2</sup>) and amount of heat produced by animals and of total heat production passing through the constructions with temperature difference of 32 °C (%) in stalls 15, 16 and 17.

Pihatossa 17 lämpötila ja suhteellinen kosteus olivat normin mukaiset. Mittausten perusteella kosteuslämpösuhdeksi saatiin 1,212 kg/kWh. Koska rakennuksessa ei ollut merkittävää lisä-

lämmitystä, sisäilman ollessa normien mukainen, saatu arvo ei voi olla mahdollinen. Mittaus ajankohtana lantakanavat olivat täynnä, ja lantakanavasta ilmansa saava poistoilmapuhallin mitä ilmeisemmin saikin osittain ilmansa suoraan ulkoa.

Rakennuksen k-arvon ollessa kohtuullinen ja neliöeläinlämmönkin erittäin pieni kosteudentuotanto voidaan arvioida korkeintaan normaaliksi. Neliöeläinlämpö ( $14,7 \text{ W/m}^2$ ) ja kokonaisneliölämpö ( $16,5 \text{ W/m}^2$ ) olivat todella pienet. Rakennuksen painotettu k-arvo oli hyvä mutta ei kuitenkaan parhaita. Rakennus läpäisee lämmöntuotannosta liian suuren osuuden. Oletettavaa on, että nykyisellä miehityksellä kosteusongelmat ovat todella pahoja kovilla pakkasilla.

### 3.7. Ilmanvaihtolaitteiden sijoittelu ja toiminta, lämmöntuotannon jakaantuminen tutkimuspihatoissa sekä vasikoiden sijoitus.

Pihatossa 1 katossa sijainnut poistoaukko ja kiertoilmalaitteet olivat liian lähellä toisiaan. Tästä seurasi tuloilman kulkeutuminen osittain suoraan poistoaukon kautta ulos. Tilannetta pystyttiin auttamaan sulkemalla osa kiertoilmalaitteen puhallusaukoista. Pihatto oli myöskin jonkin verran liian matala kiertoilmalaitteiden käytön kannalta. Ongelmaa helpotti osaltaan osittainen alapoisto. Vasikoiden sijoitus oli täysin tyydyttävä varsinkin ottaen huomioon rakennuksen hyvän eristyksen, jolloin merkittäviä lämpötilaeroja ei päässyt syntymään. Ruokintapöydän päässä sijainnut pudotusluukku vuosi jonkin verran aiheuttaen vetoa ja muuta pihattoa kylmemmän alueen luukun alapuolelle. Lypsyasema oli yksipuolinen, ja eläinten käynti asemalle ja sieltä pois oli järjestetty suoraan lantakäytävältä, jolloin kosteiden pintojen ala oli siltä osin minimoitu. Lisäksi lypsyaseman lattia oli lämmitetty, joten se kuivui nopeasti. Nuorkarjalle oli järjestetty parret. Se lisäsi jonkin verran lattia-alan tarvetta. (liite 3).

Pihatossa 2 ilmanvaihtolaitteiden sijoittelu oli onnistunut hyvin. Vasikat olivat sen sijaan turhan syrjässä, koska niiden sijoittaminen keskemälle olisi ollut mahdollista. Nuorkarjan sijoittaminen lietekanavan alkupäähän aiheutti myös ongelmia lietteen juoksemisessa. Nuorkarjan sijoittaminen lietekanavan loppupäähän olisi ollut lannanpoistojärjestelmänkin kannalta edullisempaa. Kuitenkin tämä pihatto oli peruskorjatuista tutkimuspihatoista parhaiten onnistunut ilmanvaihdon osalta. Suurimpana syynä lienee riittävä korkeus (2,75 m) ja riittävän alhainen lämpötila. Lämmöneristys oli peruskorjauskohteista paras (painotettu k-arvo 0,303) ja päihitti muutaman uudisrakennuksenkin. Lypsyasema oli hieman suurempi kuin edellisessä. Toiminnallisesti kuitenkin samanlainen kuin edellisessä. Lantakäytäviä oli suhteessa eläinmäärän enemmän, jolloin kosteiden pintojen ala oli jonkin verran suurempi. (liite 4).

Pihatossa 3 ilmanvaihtolaitteet olivat sijoitetut tyydyttävästi. Lypsyaseman vieressä sijainnut kiertoilmalaite olisi voinut olla lähempänä eläintilaa, jolloin sitä olisi voitu käyttää tuloaukona myös talvella. Vasikat oli sijoitettu erilliseen juottamoon, joka oli kuitenkin sijoitettu lantakanavan päälle. Lantakaasut nousivat juottamoon, koska se oli muuta pihattoa lämpimämpi. Kiinteä lattia olisikin juottamossa parempi ratkaisu. Juottamo oli riittävän lämmin vasikoiden kannalta. Sen ilmanvaihtoon tulisi kuitenkin kiinnittää enemmän huomiota. Lypsyasema oli kaksipuolinen, joka olikin tarpeen eläinmäärän nähden. Muutoin rakennuksessa oli turhan paljon tilaa eläinmäärään nähden, mikä näkyikin lämmön puutteena. Suurimman ongelman lämpötasapainon kannalta aiheutti kuitenkin vanhan osan ontelolaatasta tehty elementtivälikatto. Sen eristyskyky ei ollut riittävä, varsinkaan silloin, kun päällä olleiden rehujen määrä oli kevättalvesta jo pieni. (liite 5).

Pihatossa 4 kattoimurit oli sijoitettu hyvin. Alapoiston imuri oli kuitenkin liian pienipaineinen. Sen toiminta varsinkin suurilla ilmanvaihtomäärillä lienee arveluttava, varsinkin kun rakennus oli tiivis ja alipainetaso tavallista suurempi. Tuloauk-

kojen jäätyminen esti aukkojen säätämisen. Ne oli säädetty kylmien ilmojen varalta, joten lämpimällä ilmalla ne jäivät liian pieniksi. Vasikat oli sijoitettu umpilattiaseen juot-tamoon. Ilma oli siellä kohtuullinen. Lämmitin oli kuitenkin sijoitettu liian ylös, jolloin lämpötilaerot olivat liian ylä- ja alaosan välillä. (liite 6).

Pihatossa 5 poistoilma-aukot oli sijoitettu suhteellisen lähelle toisiaan. Tuloilma tuotiin seinän vieressä katossa sijainneista tuloaukoista. Niissä ei ollut erillistä säätöä, ja niiden toiminta oli epävarmaa. Vasikat oli sijoitettu kahteen paikkaan. Toinen paikka sijaitsi rehusiilojen välissä pihaton toisessa päässä ja toinen makuuparsirivistössä. Siilojen välinen tila oli varsin kylmä ja sopimaton vasikoille. (liite 7).

Pihatossa 6 oli kanavaimastointi ja siihen liittyvä omatekoinen lämmönvaihdin. Poistoaukot oli sijoitettu järkevästi kattoon. Talvella keskimmäisen aukon sulkeminen olisi kuitenkin ollut eduksi, koska se olisi tehostanut lämmönvaihtimen toimintaa. Tuloilma-aukot oli sijoitettu hyvin. Ne kaipasivat kuitenkin jonkinlaista säätöä erityisesti ilmamäärien suhteuttamiseksi toisiinsa ja toisaalta ilmavirran suunnan muuttamiseksi katon suuntaiseksi ja nopeuttamiseksi. Kanavien kokosuhteet eivät myöskään olleet loppuun saakka harkittuja. Vasikat oli sijoitettu nurkkaan erillisen lypsyaseman päähän. Kulma oli muuhun pihattoon nähden kylmempi, mutta koska pihatton lämpötila oli korkea, se ei haitannut. (liite 8).

Pihatossa 7 ilmanvaihtolaitteet oli sijoitettu oikealle kohdalle, mutta niiden toiminta oli epämääräistä. Seinäilmanvaihtolaitteet eivät enää toimineet tarkoitetulla tavalla, kun niihin oli liitetty puhaltimet myös tulopuolelle. Suurimpana syynä toimimattomuuteen oli se, että tulo- ja poistopuhaltimia säädettiin erillään toisista, jolloin niiden ilmamäärät eivät enää olleet suhteessa toisiinsa. Toinen syy oli tämän seinäilmanvaihtolaitteen kiertoilmalaite, jonka toimintaperiaate ei olisi sallinut ilmanvaihtolaitteen käyttämistä tällä tavalla. Vasikat

oli sijoitettu pihatton ladon puoliseen päähän. Kyseinen pääty oli lämpimämpi kuin toinen. Niille oli varattu lämpölamppu, mutta kovalla pakkasella lämpötila laski verraten alas. Tähän oli syynä katon huono eristys, mutta myös siltanosturin aukon huono tiivistäminen, jolloin kylmää ulkoilmaa tuli runsaasti rakenteen läpi. (liite 9).

Pihatossa 8 ilmanvaihtolaitteiden sijoittelu oli hyvä. Lypsyasemalla kiertoilmalaitte olisi ehkä voinut olla kauempana lypsyasemasta, jotta sitä olisi pystytty käyttämään tuloaukkona myös talvella. Vasikoiden sijoitus oli hyvä, sillä ne oli sijoitettu kiinteälle lattialle nuorkarjan makuuparren yhteyteen. Rehunpudotusluukun tiivistys voisi olla parempi tässäkin pihatossa. (liite 10).

Pihatossa 9 ilmanvaihtolaitteiden sijoitus oli hyvä. Vasikoiden sijoitus oli myös hyvä. Kiertoilmalaitteiden pyörimisnopeus oli suhteessa poistopuhaltimen kierroslukuun, mikä ei ole hyvä ratkaisu. Välivarasto olisi kaivannut oman poiston. (liite 11).

Pihatossa 10 ilmanvaihtolaitteet oli sijoitettu suhteellisen hyvin. Poistopuhaltimen aukot olivat oikeilla paikoillaan. Tuloilma tuli seinän viereen kattoon sijoitetuista aukoista, joissa ei ollut mitään erityistä säätöä. Pienet vaikeudet ilmanvaihdon alueellisessa jakamisessa johtuvat lähinnä rakennuksen mataluudesta. Vasikat oli sijoitettu toiseen päähän. Vasikoiden ja nuorkarjan tilassa ilma ei kiertänyt riittävästi. Tästä oli seurauksena paikallista kostumista vasikkatilassa. (liite 12).

Pihatossa 11 ilmanvaihtolaitteiden sijoittelu oli painottunut lypsykarjaosastoon. Tasapaineilmanvaihtolaitteen molemmat tuloyksiköt ja poistoyksikkö olivat tällä alueella. Nuorkarja ja vasikkaosasto olisivat kaivanneet jonkin verran ilman liikuttelua. Vasikoiden sijoittaminen nuorkarjaosastoon ei ollut täysin onnistunut, koska lämmöntuotanto oli keskittynyt lypsykarjaosastoon. Pihatossa pidettiin kuitenkin yllä niin

korkeaa lämpötilaa, että se oli riittävä myös vasikoille nykyiselläkin paikalla. (liite 13).

Pihatossa 12 kiertoilmalaite oli sijoitettu ruokintapöydän päälle lähes toiseen päähän rakennusta. Vielä keskeneräiseen toiseen päähän tuloilma oli tarkoitus tuoda tuloilma-aukoilla. Poistopuhallin oli rakennuksen yhdessä kulmassa. Peruskorjauksen ollessa vielä kesken tämä saattaa olla perusteltukin sijoitus. Rakennuksen tullessa täyteen käyttöön olisi kuitenkin eduksi, jos poistoaukko sijoitettaisiin keskelle rakennusta ja myös toinen pää varustettaisiin kiertoilmalaitteella. Vasikat oli sijoitettu yhteen kulmaan. Poistoaukon läheisyyden vuoksi vasikkatila ei kuitenkaan ollut muuta pihattoa kylmempi. Pihatossa pidetyn tavallista alemman lämpötilan takia lämpölamput olivat tarpeen vasikoiden pitämiseksi lämpimänä. (liite 14).

Pihatossa 13 ilmanvaihtolaitteiden sijoittelu oli painottunut toiseen päähän. Toinen tasapainelaitteyksiköistä olisi voitu sijoittaa lähemmäksi toista päätä. Kyseisessä pihatossa sijoittelu ei kuitenkaan näyttänyt haittaavan ilmanvaihdon toimivuutta. Vasikat oli sijoitettu yhteen kulmaan. Lämpötila oli kuitenkin lähes sama kuin muussakin pihatossa. Lämmönvaihtimet olivat perustellut alhaisen lämmöntuotoksen takia. (liite 15).

Pihatossa 14 oli pääasiallisesti käytetty kanavailmastointia. Nuorkarjaosastoon oli kuitenkin sijoitettu tuloilmalaite. Poisto tapahtui kahden puhaltimen avulla. Ilmanvaihtolaitteiden sijoittelu oli kutakuinkin onnistunut. Kapea nuorkarjaosasto, jonka perällä kulman takana oli vielä vasikkaosasto, aiheutti kuitenkin ongelmia. Vasikat oli sijoitettu kylmimmälle mahdolliselle paikalle. Mahdollinen lisälämpö tulisikin johtaa tähän tilaan. Sitä oli yritettykin siirtämällä kosteudenpoistajan lämmittämää ilmaa vasikkatilaan. (liite 16).

Pihattoon 15 oli aluperin suunniteltu asennettavaksi kaksi tasapainelaitetta. Kolmas oli kuitenkin jälkeinpäin lisätty toisen pään oveen. Parempi ratkaisu olisi ollut sijoittaa ne



kaikki samalle seinälle. Se ei kuitenkaan ollut mahdollista betonielementtirakenteen vuoksi. Ilmanvaihtolaitteiden ongelmana oli jäätyminen, koska poistoilman lämpötila laski alle nollan. Ongelman olisi ratkaissut hyötysuhteen laskeminen. Tämä olisi saattanut tapahtua pienentämällä kierrätystä lämmönvaihtimessa ja laskemalla puhaltimien kierroslukua. (liite 17).

Pihatossa 16 ilman poisto tapahtui pääasiallisesti alakautta lietekanavasta. Kattoon oli sijoitettu lisäksi yksi puhallin, joka toimi maksimi-ilmanvaihdon aikana. Kiertoilmalaitteet oli sijoitettu hyvin. Vasikat oli sijoitettu omaan osastoon, jota lämmitettiin vesipatterilla. Ilma poistettiin muuhun pihat-totilaan ja otettiin oven alta muusta pihattotilasta. Parempi ratkaisu olisi ottaa puhdasta ilmaa lypsyasemalta, mikä olikin suunnitteilla. (liite 18).

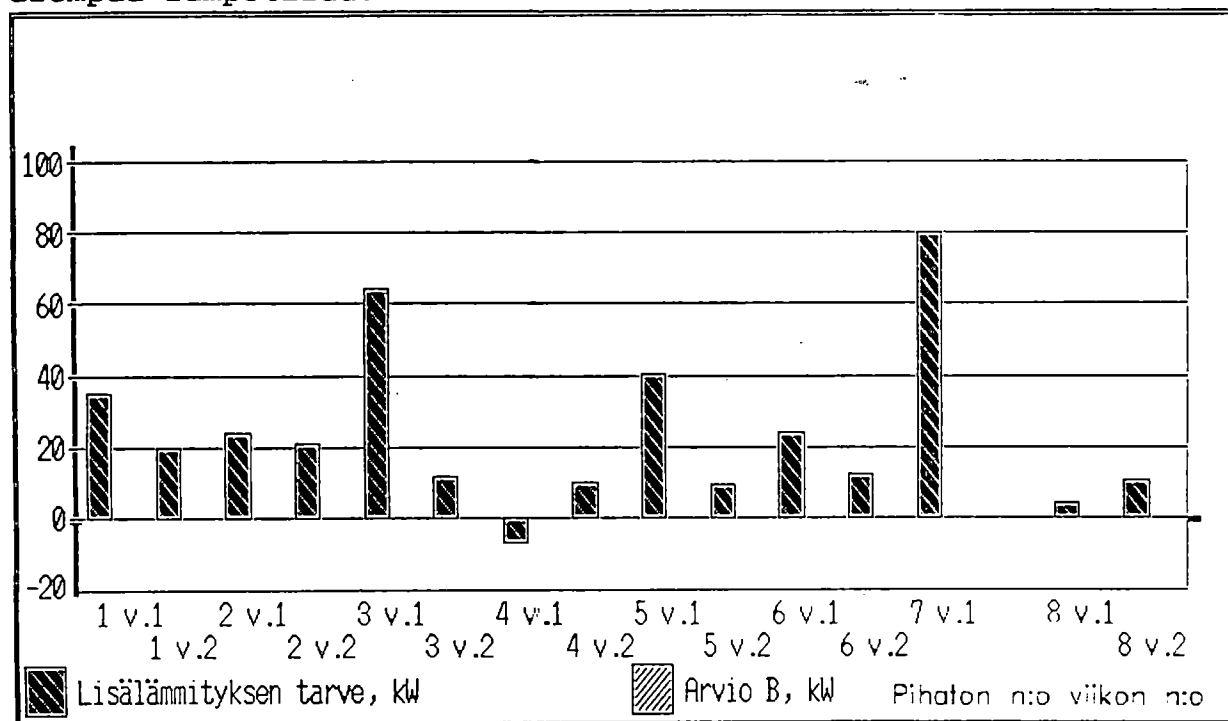
Pihatossa 17 poistoilmapuhallin oli sijoitettu lietekanavaan. Lisäksi välivaraston seinässä oli poistopuhallin, joka kävi maksimi-ilmanvaihdon aikana. Tuloilma otettiin kiertoilmalaitteilla katosta. Välivaraston poistopuhallin olisi pitänyt asentaa vaakatasoon. Nyt se oli pystysuorassa, eikä siinä asennettuna olleet perhosläpät toimineet. Siten se toimi tuloaukona pysähdyksissä ollessaan. Vasikat olisi voinut sijoittaa keskemälle, joskaan nykyinenkään paikka ei ollut kovin huono. (liite 19).

### 3.8. Lisälämmöntarve tutkimuspihatoissa

Seuraavissa kuvioissa 17 - 19 esitetty lisälämmöntarve on laskettu tutkimuksessa käytetyn teorian pohjalta. Jatkuvan mittauksen kohteista on esitetty arvio B, koska niissä saatiin viitteitä siitä, että lattioiden lämmönläpäisy olisi viisinkertainen teorian antamaan nähden. Arvio B tarkoittaa siten lisälämmityksen tarvetta, jos lattioiden lämmönläpäisy oletetaan viisinkertaiseksi. Lisälämmöntarpeet on ilmoitettu silloin, kun ulkona vallitsee 20 °C pakkaneen ja sisällä 12 °C lämpötila ja 85 % suhteellinen kosteus. Mikäli lisälämmön tarve on alle 10 kW, lisälämmitykseen tulisi varautua lisälämmittimillä. Lisäläm-

mityksen tarpeen ollessa 10 - 20 kW lisälämmitykseksi kannattaa valita lisäksi lämmönvaihdin. Mikäli lisälämmöntarve on tätäkin suurempi, tulisi rakennuksen lämmönläpäisyä pienentää.

Pihatoista 1 - 8 lisälämmöntarvetta esiintyy kaikissa. Kaikkiin lisälämpöä oli myös jonkin verran hankittu. Pihatot 1, 2 ja 6 kaipaivat lämmönvaihdinta. Pihatossa 6 se jo olikin. Pihatoissa 3, 4, 5 ja 8 selvittäisiin lämmityksestä asianmukaisella lisälämmittimellä. Ainakin pihatossa 8 lisälämmitystä oli ennestään jo riittävästi. Pihatossa 7 sen sijaan pitäisi rakennusta parantaa. Kuivikepohja tuottaa niin paljon kosteutta, että lämmönvaihtimien käyttöä voidaan pitää välttämättömänä. Sen lisäksi tarvitaan myös muuta lämmitystä. Kuivikepohjan kosteudentuotannon hillitsemiseksi pihattoon voidaan myös suositella tavallista alempaa lämpötilaa.



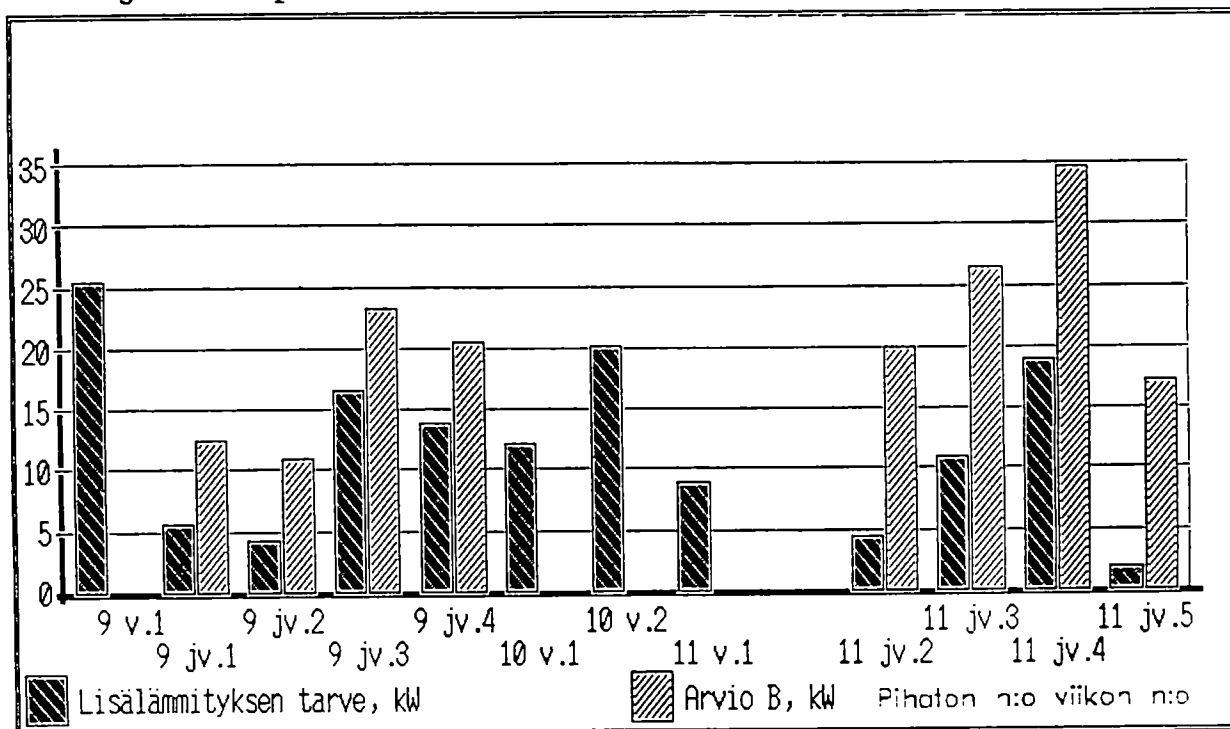
KUVIO 17. Tutkimuspihatoiden 1 - 8 lisälämmöntarve eri mittauskertojen perusteella.

Figur 17. Behov av extravärme i försöksstallar 1 - 8 enligt olika mätningstillfällena.

Fig. 17. Need of extra heat in research stalls 1 - 8 based on separate measurements.

Pihatossa 9 lisälämmityksen tarve on vähäinen, kylläkin suhteessa eläinten lämmöntuotantoon suuri. Alkuperäisen lattian lämmönlä-

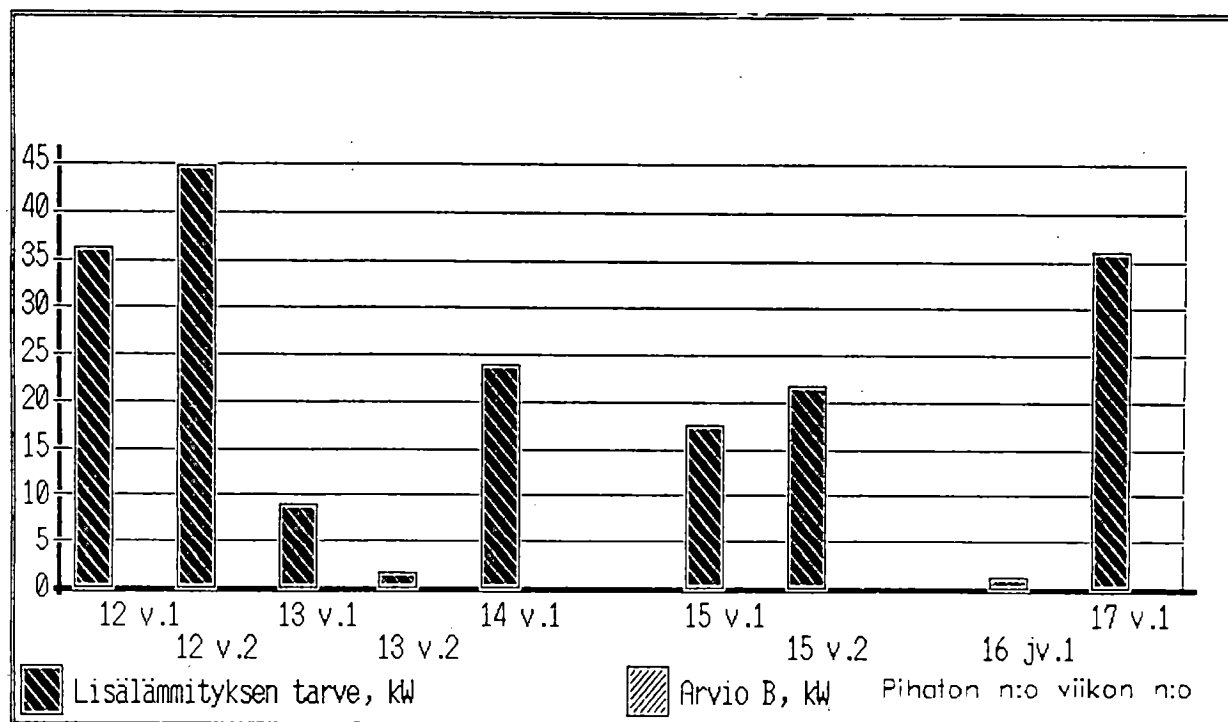
päisyarvion perusteella oltaisiin lämmönvaihtimen hankinnan ja hankkimatta jättämisen rajamailla. Arvio B kuitenkin kallistaa ratkaisun lämmönvaihtimen puolelle. Pihatossa 10 lämmönvaihtimen käyttö on varsin tarpeellista. Pihatossa 11 kosteudentuotanto on niin suurta, että mikään lämmitystapa ei tuo tulosta, jollei kosteudentuotantoa merkittävästi hillitä. Oletettavaa on, että tämän jälkeen pihatossa ei tarvittaisi edes lämmönvaihdinta.



KUVIO 18. Pihatoiden 9 - 11 lisälämmityksen tarve eri mittauskertojen perusteella.  
 Figur 18. Behov av extravärme i försöksstallar 9 - 11 enligt olika mätningstillfällen.  
 Fig. 18. Need of extra heat in research stalls 9 - 11 based on separate measurements.

Pihatossa 12 lisälämmityksen tarve on erittäin suuri. Ongelman ydin on siinä, että pihatto ei ole vielä täysin miehitetty. Lypsyaseman erottaminen omaksi tilaksi ja oman ilmanpoiston järjestäminen olisi toivottavaa. Pihatossa 13 olisi tultu toimeen lisälämmittimelläkin. Lisälämmöntarve oli kuitenkin ratkaistu lämmönvaihtimella. Ratkaisua ei voida pitää huonona, varsinkin kun lämmönvaihtimet eivät olleet olleet merkittävästi muuta järjestelmää kalliimmat. Pihatossa 14 lämmönvaihdin sekä lisälämmitys oli tarpeen. Rakennuksen eristeet olivat riittävän hyvät. Ongelman ytimenä oli tuotantomuoto ja vajaa miehitys.

Pihatossa kannattaisi pitää enemmän nuorkarjaa. Pihatto 15 oli tehty lihakarjan kasvattamiseen. Se oli tutkimuksessa mukana lämmönvaihdintyyppin takia. Nuorkarjan kosteuslämpösuhde on luonnostaan hieman suurempi kuin lypsykarjan. Pihatossa lämmönvaihdinta voidaan pitää riittävänä lisälämmönlähteenä. Niiden toimintaa häyttasi kuitenkin niiden jäätyminen. Erilaisella säätöjärjestelmällä ilmanvaihto olisi saattanut toimia hyvin. Toisin sanoen jäätyminen olisi estynyt. Pihatossa 16 lisälämmityksentarve oli vähäinen. Sekin oli entuudestaan tyydytetty. Pihatton 17 kohdalla tilanteen ratkaisu ole mahdollista ilman suurempaa miehitystä. Miehityksen ollessa normaali vallitsevaa lisälämmityksen tarvetta on vaikea arvioida aineiston pohjalta. Se edellyttäisi tietoa siitä, kuinka paljon nuortakarjaa rakennukseen voidaan ja saadaan sijoittaa. Sekä siitä mihin lehmien tuotostaso asettuu.



KUVIO 19. Pihatoiden 12 - 17 lisälämmityksen tarve eri mittauskerroilla.  
 Figur 19. Behov av extravärme i försöksstallar 12 - 17 enligt olika mätningstillfällen.  
 Fig. 19. Need of extra heat in research stalls 12 - 17 based on separate measurements.

#### 4. TULOSTEN TARKASTELU

##### 4.1. Yleiset syyt pihatoiden kosteuteen

Pihatot sinänsä eivät ole kosteampia kuin vastaavat parsinavetat. Niiden suunnittelu ei kuitenkaan ole vielä parsinavetoiden suunnittelun tasolla. Niinpä pihatoissa ilmenee karkeita virheitä, jotka eivät vielä ole karsiutuneet pois. Osin nämä virheet ovat jo itse rakennuspiirustuksissa, osa syntyy rakentajan käytännön toteutuksessa. Samat virheet toistuvat, koska suunnittelijat eivät ehdi tutustua jo rakennettuihin kohteisiin, joissa he oppisivat virheistä. Eri osakokonaisuuksien yhteen sovittaminen on myöskin lapsen kengissä. Yksi näistä osa-alueista on ilmanvaihtolaitteet, joita ei ole otettu riittävästi huomioon rakennusta suunniteltaessa.

Yleisimmät virheet, jotka aiheuttavat pihatton kostumisen ovat:

- 1) Merkittävä ala pihatton sisäpiiristä on liian huonosti lämmöneristetty (esiintymistiheys 41 %).
- 2) Paineekyllästämättömän puun ja muiden kosteutta kestävämmien materiaalien käyttö sisäverhouksessa, mikä johtaa kyseisten rakennusosien ja niiden eristeiden tuhoutumiseen (6 %).
- 3) Ilmanvaihtolaitteiden karkeat käyttövirheet: liian korkeaan lämpötilaan pyrkiminen, ilmanvaihdon osaaikainen pysähtyminen, tuloaukkojen säädön laiminlyönti ja lämmönvaihtimien osalta liian hyvään hyötysuhteeseen pyrkiminen (24 %).
- 4) Pihatton lämmöntuotannon pienuus pakkaskaudella. Se johtuu kevätpoikivasta karjasta, jossa ei kasvateta kaikkia vasikoita pitoeläimiksi tai teuraaksi taikka ne kasvatetaan eri tilassa (12 %).
- 5) Poikkeuksellisen suuri kosteudentuotanto, kuten liiallinen pesu eteenkin painepesurilla ja suuret kosteat pinnat (29 %).

- 6) Tuloilman kulkeutuminen suoraan poistoaukkoon (18 %).  
 7) Rakennuksen liiallinen koko miehitykseen nähden (35 %).

TAULUKKO 10. Syyt tutkimuksessa olevien pihatoiden kosteusongelmiin.  
 Tabell 10. Orsakena till fuktighetsproblem i stallar.  
 Table 10. Reasons to humidity problems in stalls.

Syy numero Orsakens nummer Number of reason	Pihatton numero Stallens nummer Number of stall																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1			x		x		x		x	x		x					x
2																	x
3							x				x				x		x
4									x					x			
5			x				x				x						
6	x		x		x												
7									x			x	x	x	x		x
Syiden lukumäärä Antal orsaker Amount of reasons	1	0	3	0	2	0	3	0	3	1	2	2	1	2	2	0	4

Taulukossa 10 on esitetty kunkin pihatton kohdalta ne p asialliset syyt, joiden perusteella pihatoissa on esiintynyt liiallista kosteutta ja/tai voidaan lähitulevaisuudessa olettaa esiintyvän.

Tutkimusaineistosta voidaan päätellä, että kosteudentuotannon nousu lämpötilan noustessa ei johdu eläinten korkeammasta kosteudentuotannosta, koska eläinten kosteudentuotanto ei merkittävästi nouse lämpötilan noustessa, vaan kosteudentuotannon lisääntymisestä kosteilta pinnoilta. Tälläkään ei ole suurta merkitystä, jos kosteiden pintojen ala pihatossa on kohtuullinen. Korkeasta lämpötilasta aiheutuvia ongelmia lisää myös rakenteiden suurempi lämmönläpäisy. Suuren sisälämpötilan käytöstä on enemmän haittaa, kuin suuresta keskimääräisestä lämpötilaerosta sinänsä, koska kosteudentuotanto kosteilta pinnoilta nousee merkittävästi.

Lypsyasema tulee tämän tutkimuksen perusteella erottaa omaksi tilakseen ja varustaa omalla ilmanvaihdolla.

#### 4.2. Ilmanvaihtolaitteet

Normaalissa tapauksessa kunnollinen ja riittävä ilmanvaihto saadaan aikaan sijoittamalla poistopuhallin tai puhaltimet kattoon ja käyttämällä kiertoilmalaitteita, taikka tuloaukkoja katossa seinän vieressä, mikäli rakennuksen korkeus on rakentajasta riippumattomista syistä esimerkiksi peruskorjauksen yhteydessä matalampi kuin 2,8 m. Poistopuhallinta ohjataan termostaatilla, joka sijoitetaan sisäseinälle mieluiten poistoaukon läheisyyteen. Lämpötilaksi asetetaan 12 °C. Minimipyörimisnopeus asetetaan minimi-ilmanvaihdon mukaan. Mikäli säätimessä on vertoalueen säätö, asetetaan se verraten pienelle alueelle, esimerkiksi 4 °C. Alueen toisessa päässä puhaltimet käyvät täysillä toisessa päässä asetetulla minimipyörimisnopeudella.

Mikäli alapoistoa halutaan käyttää on, pääosa ilmasta poistettava alakautta. Maksimi-ilmanvaihtoa varten kattoon sijoitetaan yksi poistoimuri. Alapoistoa ei saa milloinkaan pysäyttää tarkoituksellisesti, ei edes alarajatermostaatilla. Sähkökatkojen varalta alapoisto on varustettava perhosläpällä. Katkon ajaksi avataan myös kattoimurin perhosläppä, jolloin luonnollinen ilmanvaihto toimii. Alapoisto on harkitsemisen arvoinen vaihtoehto, mikäli rakennus on alle 2,8 metriä korkea. Kiertoilmalaitteet asennetaan samalla tavalla kuin yläpoistonkin yhteydessä ja niiden käyttö on alapoiston yhteydessä mahdollista hieman matalammissakin rakennuksissa.

Lämmönvaihtimen käyttö on tarpeellista, mikäli eläinten lämmöntuotos on alhainen sisäpinnan alaan nähden tai eristys on huono. Lämmönvaihtimet ovat käytännössä ainoa järkevä lisälämmityksen muoto, jos lisälämpöä tarvitaan jo pienillä pakkasilla ja suurimman osan talviajasta. Niiden hyötysuhde ei kuitenkaan saa olla liian suuri, koska se saattaa johtaa pihaton normilämpötilassa (12 °C) lämmönvaihtimen poistupuolen jäätymiseen. Sopiva

energiahyötysuhde on enintään 30 %, mikä vastaa likimain lämpötilahyötysuhdetta 50 %.

Lisälämmitystä ohjataan termostaatin avulla. Termostaatin asetusarvoksi valitaan noin 0,5 °C pienempi arvo kuin pihatossa vallitsee puhaltimien pyöriessä asetetulla minimikierrosluvulla. Termostaatit voivat sijaita itse lämmittimissä, mutta parempi ratkaisu olisi niiden sijaitseminen ilmanvaihtoa ohjaavan termostaatin yhteydessä siten, että lisälämmitys kytkeytyy päälle vertoalueen alarajalla.

#### 4.3. Rakennukselle asetettavat vaatimukset

Rakennuksen keskimääräinen lämmönläpäisy ei saisi ylittää arvoa 0,45 W/m<sup>2</sup>K. Yläpohjassa ei voida kuitenkaan hyväksyä arvoja yli 0,35 W/m<sup>2</sup>K, mikä edellyttää noin 15 cm mineraalivillakerrosta. Suositeltavaa olisi kuitenkin, ettei arvo olisi 0,25 W/m<sup>2</sup>K suurempi. Yksittäisten voimakkaasti lämpöä läpäisevien rakennusosien kuten ikkunoiden pinta-alan osuus ei saa nousta kohtuuttomaksi. Niiden ja niiden läheisyydessä olevien rakenteiden tulee olla kosteutta kestäviä. Ikkunoiden ja ovien yhteinen ala ei saisi ylittää 5 % koko rakennuksen sisäpiirin alasta. Sisäpiirin ala pyritään saamaan mahdollisimman pieneksi.

Ovien eristykseen tulisi kiinnittää nykyistä enemmän huomiota. Nykyinen 5 cm paksu eriste on selvästi huonompi kuin seinärakenteiden. Ovien eristystä voitaisiin parantaa ainakin talviaikaan lisäämällä sisäpinnalle 5 cm polystyreenilevy tai vastaava. Niiden ovien eteen, joista ajetaan talvella rehut sisään traktorilla tulisi kiinnittää verho ainakin yläosaan. Se estäisi lämmintä ilmaa karkaamasta ajokertojen välillä ulos.

Lattia on rakennuksen osa, jonka eristys on muita huonompi. Tutkimuksessa on saatu viitteitä, että pelkästään ulkoseinien viereen pystyyn ja perusmuurin alatasolle vaakasuoraan asetettava eriste ei riitä, vaan eristeen olisi ainakin 5 cm paksuisena ulotuttava koko lattian alalle. Huonoon eristykseen saattaa

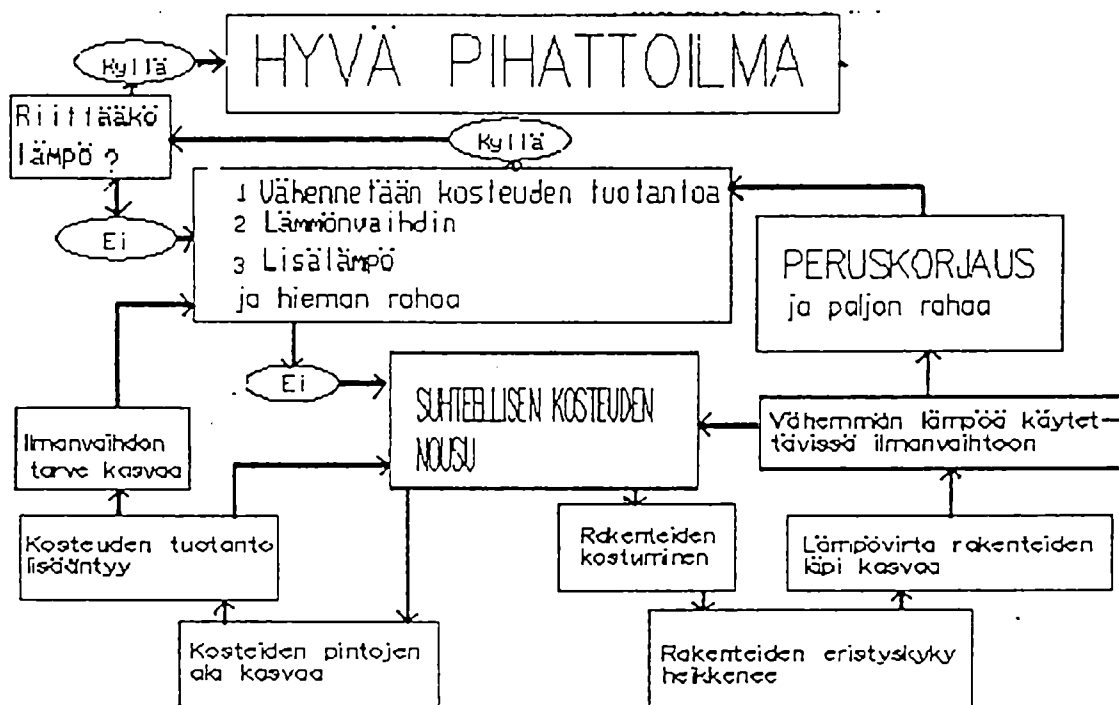


olla syynä se, että peruskaivannon täyttämiseen käytetyn soran lämmönjohtavuus on oletettua suuremman kosteuden takia huomattavasti suurempi kuin mitä sen normien mukaan pitäisi olla. Jatkuvan mittauksen kohteiden perusteella on saatu viitteitä siitä, että lattioiden lämmönläpäisy saattaa olla (5) viisinkertainen normiin nähden. Ensisijaisesti on pyrittävä varmistautumaan salaojituksen riittävydestä ja täyttömaan laadusta. Mikäli on syytä olettaa, että salaojitus tai täyttömaa ei täytä normien pohjana olevia vaatimuksia, on koko alapohja eristettävä edellä mainitulla tavalla. Erityisesti lämmitettävien lattioiden eristykseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Lattian alla olevan sorakerroksen lämpökapasiteetti ja johtavuus ovat niin suuret, että jos eristys ei ole merkittävästi nykyisiä (noin 10 cm) paksumpi, vähintään puolet lämmöstä johtuu maahan koskaan lämmittämättä pihaton ilmaa. Lattia saattaa tästä huolimatta tuntua lämpimältä. Lattian ja ilman välisen pienen lämpötilaeron, ilman pienestä lämpökapasiteetista ja lämmönjohtavuuden vuoksi lämpö kulkeutuu kuitenkin ensisijaisesti alaspäin.

Kosteilla pinnoilla on suuri merkitys pihaton kosteuteen varsinkin silloin kuin pihaton lämpötila on normaalia korkeampi. Vaikka pihatossa ei olisi neliötäkään kosteaa pintaa, pihatossa ei voida pitää normia suurempaa 12 °C lämpötilaa suhteellisen kosteuden ollessa 85 % ilman merkittävää lisälämmitystä. Kosteiden pintojen alaa voidaan pitää sekä syynä liialliseen kosteudentuotantoon että seurauksena liiasta kosteudentuotannosta. Tämä näkyy esimerkiksi pihatossa 11, jossa lämpövajeen kasvaessa pakkasen kiristyessä kosteudentuotanto oli suurempaa kuin leudolla säällä. Oletettavasti kosteiden pintojen ala vaihteli ulkolämpötilan mukaan. Kosteiden pintojen ala saa olla korkeintaan 15 % sisäpiirin pinta-alasta, mieluummin kuitenkin lähellä 10%. Kuivikepohjien yhteydessä on käytettävä tavallista pienempää lämpötilaa kosteudentuotannon hillitsemiseksi. Kosteudentuotanto ja lämpövaje muodostavat kuviossa 20 esitettävät noidankehät.

Liiallista kosteutta voidaan vähentää ensisijaisesti itse kosteudentuotantoa rajoittamalla. Ensisijainen keino on lämpöti-

lan alentaminen muuttamalla termostaatin asetusta. Lämpötilan nostaminen yli 12 °C johtaa pihatoissa, jotka eivät ole varustettu lämmönvaihtimella tai merkittävällä lisälämmityksellä kosteusongelmaan, vaikka rakennuksen lämmöneristys olisikin hyvä. Jos sitä ei enää voida alentaa, hankitaan lämmönvaihdin. Kun sen hyötysuhde on käytetty hyväksi jäätymiseen saakka, hankitaan lisälämmitin. Eläinten lämmöntuotanto riittää periaatteessa niistä ja lattioiden syntyvän kohtuullisen kosteuden poistamiseen. Lämmönvaihtimen tuottama lämpö riittää korvaamaan lähinnä sitä lämpöä, joka kulkeutuu rakenteiden läpi eri ulkoilmanlämpötiloilla.



KUVIO 20.  
Figur 20.

Kosteudentuotannon ja lämpövajeen noidankehät.  
Den ondacirkeln av fuktproduktion och underproduktion av värme.  
Fig. 20. Fairy ring of humidity production and under production of heat.

Toisen rakennusta tuhoavan noidankehän katkaiseminen on vaikeampaa, koska jo syntyneitä vahinkoja ei voida korjata muuten kuin peruskorjauksella, joka on kallista. Siten mitä pidempään kierre jatkuu sen kallimaksi eristeiden vaurioiden korvaaminen lisälämmityksellä tulee.

Tasapainelaitteita kannattaa käyttää lähinnä vain epätiiviissä rakennuksissa vedon estämiseksi. Säätö tapahtuu samalla tavalla kuin alipaineilmanvaihdossakin.

#### 4.5. Vasikoiden sijoittaminen

Vasikat tulevat hyvin toimeen pihatton normilämpötilassa (12 °C), kun niille ensimmäisinä päivinä asennetaan lämpölamppu ja käytetään riittävästi kuivikkeita. Vasikkahäkkien tulee sijaita kiinteällä lattialla irti betonilattiasta, jotta lantakaasut eivät pääse nousemaan niihin lietekourusta. Häkkien sijoittamisessa vältetään nurkkia, ulkoseinän vierustoja ja muutoin muuta pihattoa kylmempiä paikkoja.

Pihattoon voidaan tehdä erillinen juottamo, jos sen ilmanvaihto ja lämmitys voidaan järjestää riittävän hyvin. Tuloilma otetaan juottamoon ylhäältä ulkoa tai muuten puhtaasta tilasta riittävän kapean raon kautta mielellään esilämmitettynä, jotta ei aiheutuisi vetoa. Lämpöpuhallin asetetaan lattialle. Samaan tilaan voidaan sijoittaa myös säteilylämmitin. Likainen ilma poistuu muuhun pihattoon seinän ja katon väliin jätettävästä raosta.

#### 4.6. Rehujen sulatus

Rehujen sulatusta pihatossa tulee ehdottomasti välttää. Sitä vastoin olisi kiinnitettävä huomiota rehuvarastoihin, jotta rehu ei jäätyisi. Rehun jäätyminen estämiseksi rehusiilon seinät on eristettävä ja rehu peitettävä lämpöä eristävällä materiaalilla, ja samalla on katkaistava betonista muodostuvat lämpösillat ulkoilman ja rehun väliltä. Jotta rehun tulisi peitetyksi kunnolla on rehuvarasto yleensä rakennettava sisälle. Esikuiva-tettu rehu ei yleensä jäädy ja siinä on muutoinkin vähemmän kosteutta. Jäätyminen estäminen on ehdottomasti halvin keino vähentää rehusta haihtuvan kosteuden ja sen lämmittämiseen kuluvan energian määrää.

Erillisen välivaraston käyttö on suurien karjojen yhteydessä hankalaa, koska rehumäärä on niin suuri, että sitä ei pystytä sulattamaan. Rehun siirtäminen kahteen kertaan on lisäksi niin työlästä, ettei siihen helposti ryhdytä.

Välivaraston ei tarvitse eikä se saa olla kovin lämmin. Hieman nollan yläpuolella oleva lämpötila on riittävä. Riittävästä lämmityksestä ja ennen kaikkea ilmanvaihdosta on pidettävä huolta. Rehu sulaa parhaiten lämmön siirtyessä siihen johtumalla lattiasta matalassa lämpötilassa. Säteily kohdistuu lähinnä rehun pintaan ja kuivattaa siihen eristyskerroksen, joka estää lämmön siirtymisen rehuun.

#### 4.7. Lypsyasemien rakenteet, ilmanvaihto ja lämmitys

Kosteudentuotanto lypsyasemalla on muuta pihattoa suurempi kahdesta syystä. Eläimet ovat aktiivisempia kuin muualla pihatossa ja lypsyasemat kastellaan pesun helpottamiseksi ennen lypsyä sekä pestään lypsyn jälkeen ulosteista ja muista lypsyn aikana syntyneistä jätteistä.

Benniger /22/ arvioi lypsyasemalla kosteudentuotannon olevan 1 364 g/kWh eli noin 1 350 g lypsettävää lehmää kohti tunnissa. Se on näin ollen (3) kolminkertainen verrattuna lypsylehmän normin /4/ mukaiseen kosteudentuotantoon. Kosteudentuotannon ollessa näin voimakasta lypsyaseman eristäminen muusta pihatosta on perusteltua. Lypsyasemaa on myös lypsyjen välillä turha lämmittää. Lypsyjen välillä lämpötila saa laskea aina 5 °C saakka, mutta suhteellisen kosteuden tulisi kuitenkin pysyä alle 80 %. Lypsyn aikana lämpötila on +12 - +15 °C /22/. Rakenteet mitoitetetaan siten 15 °C mukaan. Lypsyaseman ja muun pihatton välinen seinä eristetään 7 °C lämpötilaeron mukaan.

Lypsyn aikana lypsyasemaa lämmitetään voimakkaasti. Esimerkiksi 2 x 4 tyyppisellä lypsyasemalla lisälämmityksen tarve on noin 19 kW. Lisälämmittimenä käytetään lämpöpuhallinta, koska sillä

lämpötila voidaan nostaa nopeasti. Lypsyjen välillä lisälämmit-  
timen termostaatti säädetään arvoon 5 °C. Lypsyt ajaksi se  
asetetaan arvoon 12 °C. Lattioiden kuivattamiseksi voidaan  
käyttää lattialämmitystä. Lattialämmitykseksi riittää 2 - 3 kW,  
joka voidaan vähentää kokonaislisälämmöntarpeen tehosta.

Ilma vaihdetaan katossa olevalla imurilla. Sen aukko on mitoitet-  
tava siten, että se kykenee huolehtimaan lypsyjen välillä  
tapahtuvasta (noin 50 m<sup>3</sup>/h lypsypaikkaa kohti). Torven koon  
mitoitussarvot on saatavissa kirjallisuudesta /10/. Tuloilma  
otetaan välikaton päältä läheltä seinää. Imuri voi olla yk-  
sinopeuksinen ja sen tehoksi valitaan 165 m<sup>3</sup>/h lypsypaikkaa  
kohden. Tämä tekee siten edellä mainitussa 2 x 4 -lypsyasemassa  
noin 1300 m<sup>3</sup>/h. Yhtä hyvin voidaan käyttää ilmanvaihtolaitetta,  
jossa on sekä tulo- että poistoyksikkö samassa.

## 5. TIIVISTELMÄ

Mittaukset suoritettiin 17 pihatossa eri puolilla Suomea. Mittausten painopistealue oli Ylivieskan maatalouspiirin alueella (7 kpl). Jatkuvan mittauksen kohteet olivat etelä-Suomessa. Painopistealueiden sisällä mittauskohteet valittiin satunnaisesti. Mittauskohteisiin sisältyi sekä uudisrakennus-, peruskorjaus- ja laajennuskohteita. Yleisesti ottaen pihatot edustivat maamme navettojen parhaimmistoa. Kahdesti suoritettujen kertamittausten lisäksi suoritettiin jatkuvia mittauksia kolmessa pihatossa.

Tutkimuksessa noudatettiin Vakolan ohjeita eläinten lämmön- ja kosteudentuotannon laskemisen sekä Sisäasiainministeriön ohjeita rakenteiden lämmönläpäisyn laskemisen osalta.

Yleisimmät pihatoiden kostumiseen johtaneet virheet ovat: merkittävä ala pihaton sisäpiiristä on liian huonosti lämmöneristetty (41 % tapauksista), painekyllästämättömän puun ja muiden kosteutta kestävämmien materiaalien käyttö sisäverhouksessa (6 %), ilmanvaihtolaitteiden karkeat käyttövirheet (24 %), pihaton lämmöntuotannon pienuus pakkaskaudella (12 %), poikkeuksellisen suuri kosteudentuotanto (29 %), tuloilman kulkeutuminen poistoaukkoon (18 %) ja rakennuksen liiallinen koko miehitykseen nähden (35 %). Yhdessä pihatossa voi olla useita vikoja.

Normaalisti eristetyissä rakennuksissa eläinten lämmöntuotannon ja sisäpinnan pinta-alan suhteen tulisi olla vähintään  $40 \text{ W/m}^2$  normaalisti eristetyillä rakenteilla, jotta kosteusongelmilta vältyttäisiin. Kosteudentuotannon nousu lämpötilan noustessa ei johdu pelkästään eläinten korkeammasta kosteudentuotannosta, vaan kosteudentuotannon lisääntymisestä kosteilta pinnoilta. Korkeasta lämpötilasta aiheutuvia ongelmia lisää myös rakenteiden suurempi lämmönläpäisy. Liiallista kosteutta tulisi ensisijaisesti rajoittaa itse kosteudentuotantoa rajoittamalla. Rehujen sulatusta pihatossa tulee ehdottomasti välttää. Kosteuden ja lämmöntuotannon suhde ei saisi ylittää arvoa  $700 \text{ g/kWh}$ . Lypsasema tulisi erottaa omaksi tilakseen ja varustaa omalla

ilmanvaihdolla. Mikäli lämpötilan laskeminen tai kosteudentuotannon rajoittaminen ei onnistu tai ole enää mahdollista on hankittava lisälämpöä. Lämmönvaihtimen hankkiminen kannattaa mikäli lisälämmöntarvetta esiintyy jo pienillä pakkasilla (noin -10 C).

Pihaton sisäkorkeuden tulisi olla vähintään 2,8 m. Rakennuksen keskimääräinen lämmönläpäisy ei saisi ylittää arvoa 0,45 W/m<sup>2</sup>K. Yläpohjassa ei kuitenkaan voida hyväksyä arvoja yli 0,35 W/m<sup>2</sup>K. Kosteiden pintojen ala saa olla korkeintaan 15 % sisäpiirin pinta-alasta. Ikkunoiden ja ovien ala ei saisi ylittää 5 % sisäpiirin pinta-alasta. Ovien eristämiseen olisi kiinnitettävä nykyistä enemmän huomiota. Isojen kulkuovien eteen olisi asennettava verho lämmön karkaamisen estämiseksi. Lattiat tulisi eristää koko alaltaan, koska täyttömateriaalin lämmönjohtavuus saattaa vaihdella voimakkaasti riippuen kivilajista ja kosteudesta. Lämmitettävissä lattioissa ei nykyisin yleisesti käytetty 10 cm polystyreenieristys ole riittävä, eristystä pitää parantaa huomattavasti.

Vasikoille voidaan tehdä erillinen juottamo, jos sen ilmanvaihto ja lämmitys voidaan järjestää riittävän hyvin. Vasikat tulevat hyvin toimeen pihatton normilämpötilassa (12 C), kun niille ensimmäisinä päivinä asennetaan lämpölamppu ja käytetään riittävästi kuivikkeita. Vasikkahäkkien tulee sijaita kiinteällä lattialla irti betonilattiasta, jotta lantakaasut eivät pääse nousemaan niihin lietekourusta ritilän raoista. Häkkien sijoittamisessa vältetään nurkkia, ulkoseinän vierustoja ja muutoin muuta pihattoa kylmempiä paikkoja.

## 6. SAMMANFATTNING

Mätningarna gjordes i totalt 17 stallar på olika orter i Finland. En stor del av mätningarna gjordes i Ylivieskas lantbruksdistrikt (7 stycken). De kontinuerliga mätningarna gjordes i södra Finland. I Ylivieska trakten valdes mätningsobjekten slumpmässigt. Mätningsobjekten innefattade både ny- och ombyggnationer. Kontinuerliga mätningar gjordes i tre stallar och i de övriga stallarna gjordes två kortvariga mätningar.

I undersökningen följdes Vakolas anvisningar om beräkning av värme- och fuktproduktion från djur och Inrikesministeriets anvisningar om beräkning av konstruktionernas k-värde.

De vanligaste felen som ledde till kondens i stallar var: att en betydande del av stallets golv-, tak- och väggytor var för dåligt isolerade (41 % av fallen), användning av trä och andra icke-fuktbeständiga material (6 %), grova fel i användningen av ventilationsanläggningarna (24 %), för liten värmeproduktion i stallet under köldperioden (12 %), ovanligt stor fuktproduktion (29 %), strömning av intagsluft direkt till utgångsöppningar (18 %) och byggnadens för stora volym i förhållande till djurmängden (35 %).

Värmeproduktionen från djur bör vara minst  $40 \text{ W/m}^2$  golv-, vägg- och takyta med normalt isolerade konstruktioner, så att fuktighetsproblemet kan undvikas. Då temperaturen stiger ökar fuktigheten p.g.a. att avdunstningen från fuktiga ytor ökar. Ökningen av djurens fuktproduktion är inte i detta fall avgörande. Hög innetemperatur medför också ökade värmeförluster genom konstruktionerna. För hög fuktighet borde begränsas primärt genom att begränsa själva fuktproduktionen. Smältning av foder i stall bör absolut undvikas. Förhållandet mellan den totala fuktproduktionen- och värmeproduktion från djur bör inte överstiga värdet  $700 \text{ g/kWh}$ . Mjölkningsstallet bör skiljas från övriga stallet och utrustas med egen ventilation. Ifall sänkning av temperatur eller fuktproduktion inte är möjlig måste man ha



extra uppvärmning. Anskaffning av värmväxlare lönar sig om tillägsvärme behövs även under mild kyla (ca. 10 °C).

Innerhöjden i stall bör vara minst 2,8 m. Genomsnittliga k-värdet får inte överstiga 0,45 W/m<sup>2</sup>K. I mellantaket kan dock inte accepteras värden över 0,35 W/m<sup>2</sup>K. Arean av ytor som avger fukt får inte överstiga 15 % av alla vägg-, golv- och takytor. Arean av fönster och dörrar får inte överstiga 5 %. Man bör fästa mera uppmärksamhet vid isolering av dörrar. Framför stora dörrar kan monteras plastdukar eller dylikt för att minska värmeförlusterna. Hela golvytan bör isoleras, då k-värdet av fyllningsmaterialet kan variera starkt beroende på stenart och dess fuktighet. Då golvvärme används, bör isoleringen vara avsevärd bättre än den nuförtiden använda 10 cm polystyren.

En skild avdelning för kalvar kan byggas om den förses med tillräcklig uppvärmning och ventilation. Kalvarna klarar sig bra i normal stalltemperatur (12 °C) bara det används värmelampa och tillräcklig med strö under de första dagarna. Boxerna bör placeras på fast golv så att gödselgaserna inte kan stiga in i boxerna från gödselrännorna. Boxerna bör ej heller placeras direkt mot betonggolvet eller vid ytterväggar, i vrår eller på andra platser som är kallare än det övriga stallet.

## 7. CONCLUSIONS

The measurements of the research took place in total of 17 stalls round Finland. The main area of interest of the research was the Agricultural District of Ylivieska (7 cases). The objects for continuing measurements were in the Southern Finland. Within the main areas of interest the measuring objects were random samples. Among the measurement objects there were both new buildings, primary repairs and enlargements. Over all the stalls represented the best stalls in Finland. In addition to measurements performed twice continuing measurements were performed in three stalls.

When calculating results of the research the Vakola instructions of heat and moisture production of animals and instructions of heat permeate efficiency by Ministry of Internal Affairs of Finland were followed.

The most common failures leading to raised humidity in stalls were: too poor insulation of constructions on notable area (41 % of cases), use of untreated wood and other moisture non-tolerate materials in inner lining (6 %), rude misuse and control of the ventilation (24 %), low heat production by animals during cold period (12 %), exceptionally high humidity production (29 %), drift of intake air directly to outlets (18 %) and too large building related to occupation (35 %).

In order to prevent moisture problems the relation between heat production and inner surface area should be at least 40 W/m<sup>2</sup> with normally insulated constructions. A rise in the moisture production following a rise in the temperature is not dependent on higher moisture production by animals but on higher moisture production on moist surfaces. Problems following high temperature are increased by higher heat permeate through the constructions. Inordinate humidity should primarily be limited by limiting the humidity production itself. Defrosting of fodder

should definitely be avoided inside the stall. The relation between humidity and heat production should not exceed 700 g/kWh. The milking station should be separated in to its own space and be equipped with its own ventilation. In case the lowering of temperature or limiting the humidity production does not succeed or is no longer possible extra heat has to be supplied. Procurement of a heat exchanger is economical if the need of extra heat exists even in temperatures higher than about -10 °C.

The inside height of stall should be at least 2.8 m. The average conductivity of heat must not exceed 0.45 W/m<sup>2</sup>K. However concerning the ceiling numbers higher than 0,35 W/m<sup>2</sup>K cannot be accepted. The area of humid surfaces must not exceed 15 per cent of inner lining area. Respectively the area of windows and doors must not exceed 5 per cent. Special attention should be paid on the insulation of doors. A curtain should be installed in front to big doors which are used often in order to prevent warm air of escape through door openings. The floors should be insulated on their whole area because the heat permeate coefficient may have big variations depending on the type of stone and its humidity. Currently used 10 cm polystyrene insulation in heated floors is not enough, but should notably be improved.

A special drinking place for the calves is justified if its ventilation and heating can be arranged well enough. Calves manage well in normal temperature of the stall (12 °C), provided a heat lamp and enough bedding during the first days is provided. The calf cubicles should be placed on solid floor but raised off from concrete floor, so that the manure gases from the slurry channel do not raise to them. Corners, outer wall sides and other places cooler than the stall itself should be avoided when placing the calf cubicles.

## 8. LÄHDELUETTELO

1. SARIN, H., CASTRÉN, H. & PYYKKÖNEN, M. Käyttökokemuksia 80-luvulla rakennetuista kalustovajoista, varastokuivureista ja pihatoista. Vakolan tutkimusselostus 46: 1 - 84.
2. ANON. 1975. Parsinavettatutkimus 1973 - 1975. Vakolan tiedote 24: 1 - 41.
3. KARHUNEN, J. ym. 1979. Pihattotutkimus 1976 - 1978. Vakolan tiedote 29: 1 - 34.
4. TUUNANEN, L. & KARHUNEN, J. 1984. Eläinsuojien ilmanvaihdon mitoitus. Vakolan tutkimusselostus 39. 1 - 112. Sammanfattning. Conclusions: Dimensioning of ventilation in animal houses.
5. SALONIEMI, H. 1985. Navettatutkimuksilla korjataan tuotanto-olosuhteita. Nautakarja -lehti 1: 9 - 11.
6. VÄÄNÄNEN, E. 1976. Navettojen uudistaminen maidon tuotannon turvaamisen edellytyksenä. Karjatalous 52,2: 26 - 31.
7. VÄÄNÄNEN, E. 1983. Maatilarakennusten ulkoseinät. Saroilta 8: 50 - 52.
8. TAKKINEN, T. 1984. Betonirakenteet maataloudessa. Saroilta 1: 18 - 19.
9. SIIKONEN, H. 1951. Pienviljelijän rakennusoppi. Maatalousseurojen keskusliiton julkaisuja 236: 1 -323.
10. TUUNANEN, L. & KARHUNEN, J. 1986. Alipaineilmanvaihto kotieläinsuojissa. Vakolan tutkimusselostus 44: 1 - 65. Sammanfattning. Summary: Fan powered extraction and natural ventilation in animal houses.

11. GUSTAFSSON, G. 1988. Luft- och värmebalanser i djurstallar. Dissertation. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen f. lantbrukets byggnadsteknik. Avdelning f. jordbrukets byggnads- och klimatteknik. Rapport 59: 1 - 385. Summary: Air- and heat balances in animal houses.
12. SÄLLVIK, K. 1979. Principles for mechanical exhaust ventilation systems in animal houses. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Farm Buildings. Report 8. Lund.
13. ANON. 1979. RT RakMK-20183 -säännöstiedosto. Lämmöneristys. Ohjeet. Sisäasiainministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma.
14. BERKNER, F. 1979. Flüssiggas-Infrarot Strahler für die Tieraufzucht. Landtechnik 3: 145 - 149.
15. BUCHMANN, A. 1980.  $Q_{Ti} = Q_{Tr} + Q_L$  oder der Zwang zum ausgeglichenen Wärmehaushalt in Kühställen. Landtechnik 2: 50 - 52.
16. JEKSRUD, W. & STOREHEIER K. 1986. Varme kan kjøpes for dyrt. Norsk Lantbruk 8: 52 - 54.
17. KOCH, F. 1979. Bauphysikalische Probleme bei Wärmedämmmaßnahmen. Landtechnik 9: 405 - 407.
18. KRETSCHMER, H.-J. 1979. Baulich konstruktiver Wärmeschutz im Wohnhaus. Landtechnik 9: 408 - 411.
19. BENNINGER, D. 1979. Klimatisierung im Melkstand. Landtechnik 9: 418 - 420.
20. ØKLAND, H. & LILLENG, H. An investigation of vapor production from wet surfaces in animal rooms. Norges lantbrukeshøgskole. Institutt for bygningsteknikk. IBT-rapport 191.
21. ANON. 1965. Controlled environment. The electrical development association. Farm electrification handbook 10: 1 - 140. London.
22. BENNINGER, D. 1975. Heizanlage im Melkstand - Vernunft oder Luxus? Landtechnik 10: 424 - 427.
23. ANON. 1978. Rakennusohjeet C2. Maatilahallitus. Rakennustoimisto.

Sisäilman ja ulkoilman lämpötilat ja kosteudet sekä ilmavirta eri pihatoissa eri mittauskerroilla.

Pihaton n:o Viikon n:o (pp.v)	Sisäilman lämpötila °C	kosteus %	Ulkoilman lämpötila °C	kosteus %	Ilmavirta kg/h
01.1.	13,3	79	-8,8	97	4905
01.2.	12,0	86	-3,5	94	3976
02.1.	13,7	84	-1,0	93	3897
02.2.	12,0	86	-3,5	94	3976
03.1.	13,7	96	+1,4	94	7568
03.2.	10,6	86	0	*	4243
04.1.	9,9	81	+1,9	95	7235
04.2.	10,2	85	-11,0	*	4389
05.1.	13,7	84	-2,7	93	5256
05.2.	13,6	72	-7,8	*	3829
06.1.	17,2	81	-1,0	93	4351
06.2.	15,4	70	-5,6	*	4216
07.1.	12,5	87	1,5	85	10 774
07.2.	6,5	82	-5,7	*	1240
08.1.	11,0	83	1,5	96	7153
08.2.	13,5	68	-6,4	*	3817
09.1.	15,7	87	3,8	98	3586
09.j1.	11,9	90	-8,3	*	1024
09.j2.	12,3	90	-11,5	**	962
09.j3.	12,0	90	-0,6	**	2861
09.j4.	12,2	95	-9,8	**	1713
10.1.	12,8	78	3,3	**	4650
10.2.	11,0	74	-11,6	*	1947
11.1.	15,1	94	-8,0	*	3287
11.j2.	14,4	93	-1,9	**	2853
11.j3.	14,6	92	-3,4	**	3219
11.j4.	15,2	87	-9,9	**	3433
11.j5.	14,0	92	0	**	2913
12.1.	7,7	89	-7,0	89	5927
12.2.	10,0	88	1,5	92	7189
13.1.	11,2	86	-2,0	95	1584
13.2.	11,2	82	-10,4	*	1130
14.1.	12,0	90	-4,5	90	3802
15.1	13,2	78	2,6	85	5911
15.2.	10,3	84	-9,0	88	4009
16.j1.	14,0	75	-0,8	90	5828

Jatkuvat mittaukset on varustettu tunnuksella j ja mittaukerran numerolla. Jatkuvien mittauksien kohdalla annetut arvot ovat mittausjakson keskiarvoja.

Merkillä \* tarkoitetaan ulkoilman kosteuden arvioimista 80 %:ksi.

Merkillä \*\* tarkoitetaan ulkoilman kosteuden arvioimista 90 %:ksi.

Eräiden laskennallisten ja mittaussuureiden tarkat lukuarvot tutkimuspihatoissa.

Pihatton n:o

	Ikkunoiden ja ovien ala/sisäpiiri, %	Seinien ja katon ala/sisäpiiri, %	Kosteiden pintojen ala/sisäpiiri, %	Rakenteiden palno- tettu k-arvo, W/m <sup>2</sup> K	Sisäkorkeus harja, m	Sisäkorkeus seinä, m	Rehunkäyttö, kg/kW x vrk
1	3.40	61.70	9.20	0.18	2.52		20.90
2	4.50	61.60	10.80	0.30	2.75		24.30
3	3.80	61.00	20.70	0.44	2.95	2.66	25.50
4	3.60	60.60	17.70	0.18	3.75	2.73	30.30
5	3.80	63.10	17.60	0.59	2.80	2.50	28.10
6	3.50	62.50	17.20	0.21	4.22	2.75	14.70
7	4.10	65.00	28.00	0.45	3.90		
8	2.60	61.70	18.50	0.21	3.00		17.80
9	3.20	60.30	15.60	0.32	2.50		48.90
10	3.50	62.20	10.70	0.44	2.30	2.15	42.30
11	3.90	63.00	28.20	0.22	3.25	2.80	41.00
12	2.30	64.70	12.90	0.39	2.40		25.10
13	5.50	64.90	16.70	0.31	3.45		40.50
14	4.00	61.60	12.00	0.21	2.84		93.70
15	5.00	62.20	12.60	0.24	2.95		
16	6.50	60.80	12.70	0.22	2.77	2.45	54.10
17	6.60	63.20	10.30	0.31	2.90		

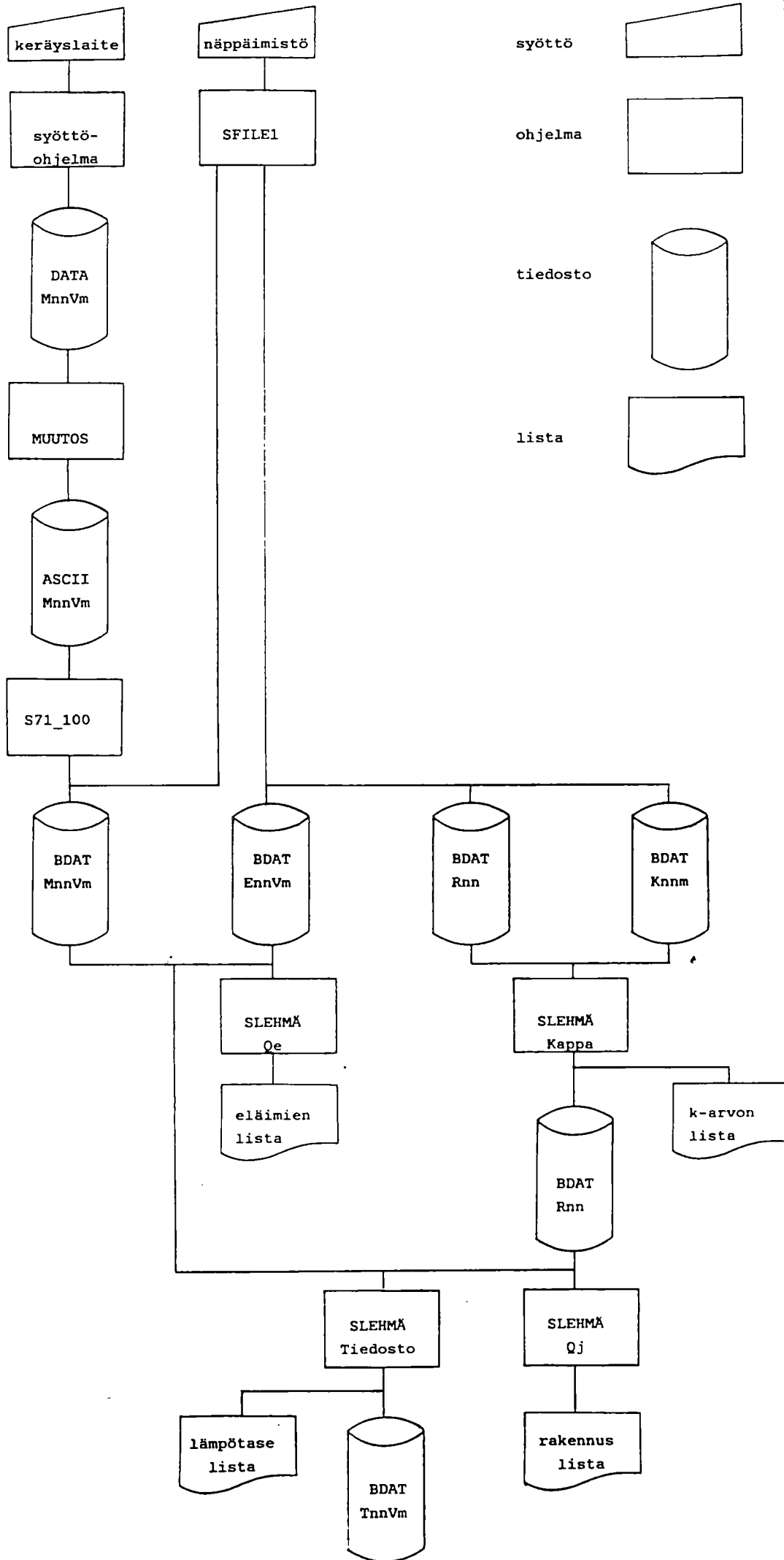
- Sisäpiirillä tarkoitetaan rakennuksen matemaattista sisäpiiriä.
- Rehunkäytön yhteydessä käytetty kg/kW x vrk on kutakuinkin nautayksikön kokoinen.

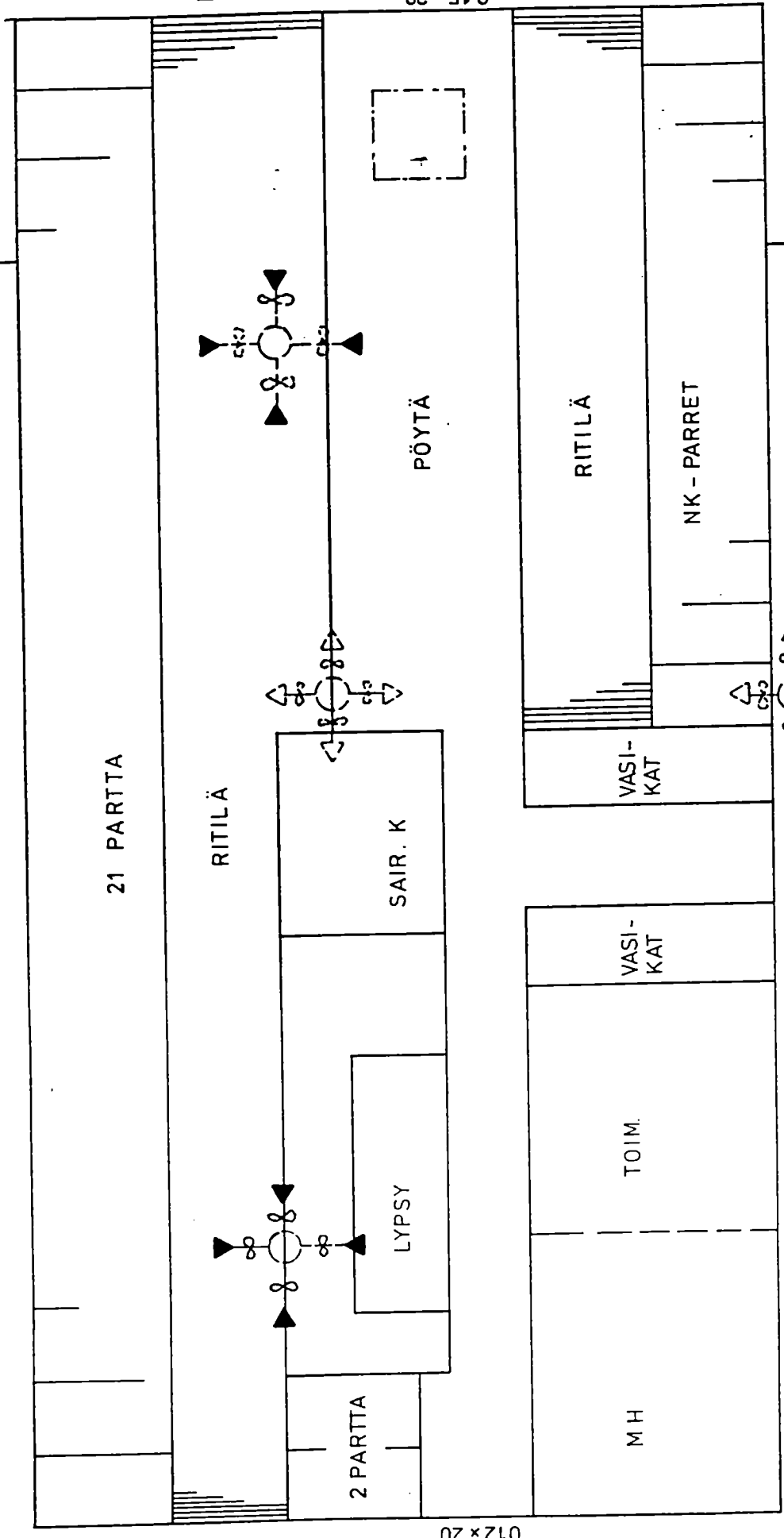
Määritellyille käsitteille saadut tarkat lukuarvot tutkimuspihatoissa.

Pihaton nro Viikon nro	Kosteuslämpö- suhte, kg/kWh	Kokonaiskosteuden- tuotanto, kg/h	Eläinten kosteuden- tuotanto, kg/h	Muu kosteuden- tuotanto, kg/h	Kokonaislämmön- tuotanto, kW	Eläinten lämmön- tuotanto, kW	Eläinten lämmön- tuotanto, kW/m <sup>2</sup>	Kokonaislämmön- tuotanto, kW/m <sup>2</sup>	Kosteuslämmön- tuotanto, MWh/m <sup>2</sup>	Lämmön- tuotanto, MWh	Rakennuksen lämmön- lämpö/kokonais- lämmöntuotanto, %	Rakennuksen lämmön- lämpö/kokonais- lämpö, kW
1 v.1	9.70	27.95	14.09	13.86	31.33	28.74	35.50	38.70	21.40	19.60	19.60	35.40
1 v.2	7.10	19.09	12.76	6.33	29.63	27.04	33.40	36.60	22.70	20.70	20.70	20.10
2 v.1	8.20	20.27	12.35	7.92	30.53	24.69	37.80	46.70	25.60	20.70	20.70	23.80
2 v.2	7.30	20.12	13.59	6.53	33.51	27.66	42.30	51.30	22.90	18.90	18.90	21.30
3 v.1	11.00	43.14	19.14	24.00	40.25	39.25	40.90	41.90	34.30	33.50	33.50	64.30
3 v.2	4.50	17.07	16.06	0.01	36.73	35.73	37.20	38.30	37.70	36.70	36.70	11.60
4 v.1	3.20	15.92	22.26	-6.34	51.58	49.58	41.70	43.40	13.80	13.30	13.30	-7.20
4 v.2	4.90	23.70	21.96	1.74	48.12	48.12	40.50	42.20	14.30	13.70	13.70	9.90
5 v.1	6.60	28.39	20.63	7.76	43.77	42.72	41.70	42.70	45.10	44.00	44.00	40.50
5 v.2	4.80	20.97	20.96	0.01	44.60	43.55	42.50	43.50	21.70	21.20	21.20	9.20
6 v.1	7.50	30.46	22.56	7.90	44.38	40.71	36.90	40.20	20.20	18.60	18.60	24.20
6 v.2	5.70	24.03	21.90	2.13	46.12	42.44	38.50	41.80	19.40	17.80	17.80	12.40
7 v.1	11.00	45.25	19.59	25.66	44.45	41.03	34.70	37.60	45.40	41.90	41.90	80.30
7 v.2	5.70	3.72	15.59	-11.87	36.33	36.33	30.70	30.70	51.30	17.40	17.40	4.30
8 v.1	4.15	17.56	19.55	-1.99	44.61	42.21	36.70	38.80	18.40	18.40	18.40	10.40
8 v.2	5.08	17.94	17.60	0.34	37.69	35.29	30.70	32.80	22.00	20.60	20.60	25.50
9 v.1	7.80	17.57	11.60	5.97	23.30	22.50	21.60	22.30	48.00	46.40	46.40	5.70
9 jv.1	2.81	6.54	10.55	-4.10	22.90	22.90	22.00	22.70	47.20	45.60	45.60	12.40
9 jv.2	2.64	6.45	11.59	-5.14	23.69	24.44	23.40	24.20	44.20	42.80	42.80	4.20
9 jv.3	5.13	10.90	12.03	1.13	25.24	25.65	24.60	25.00	42.10	41.50	41.50	16.50
9 jv.4	4.71	11.82	12.06	-0.24	26.42	25.62	24.60	25.30	42.20	40.90	40.90	13.89
10 v.1	4.50	10.71	11.38	-0.67	26.04	23.66	35.20	35.20	41.30	41.30	41.30	12.10
10 v.2	3.40	9.73	12.81	-3.08	28.21	28.21	40.80	40.80	34.60	34.60	34.60	20.10
11 v.1	7.20	28.26	19.39	8.87	44.99	38.99	36.80	42.50	18.90	16.40	16.40	8.90
11 jv.2	4.70	18.83	19.74	-0.91	44.04	40.04	37.80	41.60	18.40	16.80	16.80	4.40
11 jv.3	5.55	22.21	19.84	2.37	44.02	40.02	37.80	41.60	18.40	16.80	16.80	11.00
11 jv.4	6.70	26.77	20.28	6.49	43.95	39.95	37.70	41.50	18.30	16.70	16.70	34.60
11 jv.5	4.20	16.90	19.64	-2.74	44.11	40.11	37.90	41.70	18.40	16.70	16.70	1.80
12 v.1	10.10	23.12	10.03	13.09	23.71	22.86	43.10	44.70	28.90	27.90	27.90	36.20
12 v.2	10.00	21.66	9.61	11.95	22.25	21.40	40.30	41.90	30.90	41.90	41.90	44.70
13 v.1	3.80	9.51	11.24	-1.73	34.71	24.70	28.90	40.60	37.30	26.50	26.50	9.10
13 v.2	2.60	6.33	11.22	-4.89	34.51	24.50	28.70	40.40	37.60	40.40	40.40	1.50
14 v.1	7.00	20.91	13.75	7.16	29.87	29.87	24.40	24.40	27.80	27.80	27.80	23.90
15 v.1	5.30	20.10	17.14	2.96	32.34	40.69	44.30	55.70	18.80	14.90	14.90	17.50
15 v.2	7.39	20.04	13.73	6.31	39.13	27.14	37.20	53.60	22.30	53.60	53.60	21.80
16 jv.1	4.20	13.40	15.84	-2.44	32.04	32.10	39.40	39.80	17.70	17.70	17.70	1.20
17 v.1	12.10	17.86	6.63	11.23	16.49	14.73	14.70	16.50	66.90	59.80	59.80	36.00

- Merkintä j viikon numeron yhteydessä merkitsee jatkuvaa mittausta.
- Muun kosteudentuotannon ollessa negatiivinen kokonaiskosteudentuotanto on eläinten teoreettista kosteudentuotantoa pienempi.
- Lisälämmityksen tarve on arvioitu 12 °C sisälämpötilalla ja 85 % suhteellisella kosteudella sekä -20 °C ulkolämpötilalla ja 80 % suhteellisella kosteudella. Lämmönvaihtimella varustetuissa sisälämpötilaksi on kuitenkin oletettu 15 °C. Arvio B on laskettu, kun lattioiden lämmönlämpäisy on oletettu (5) viisinkertaiseksi alkuperäiseen teoriaan verrattuna.

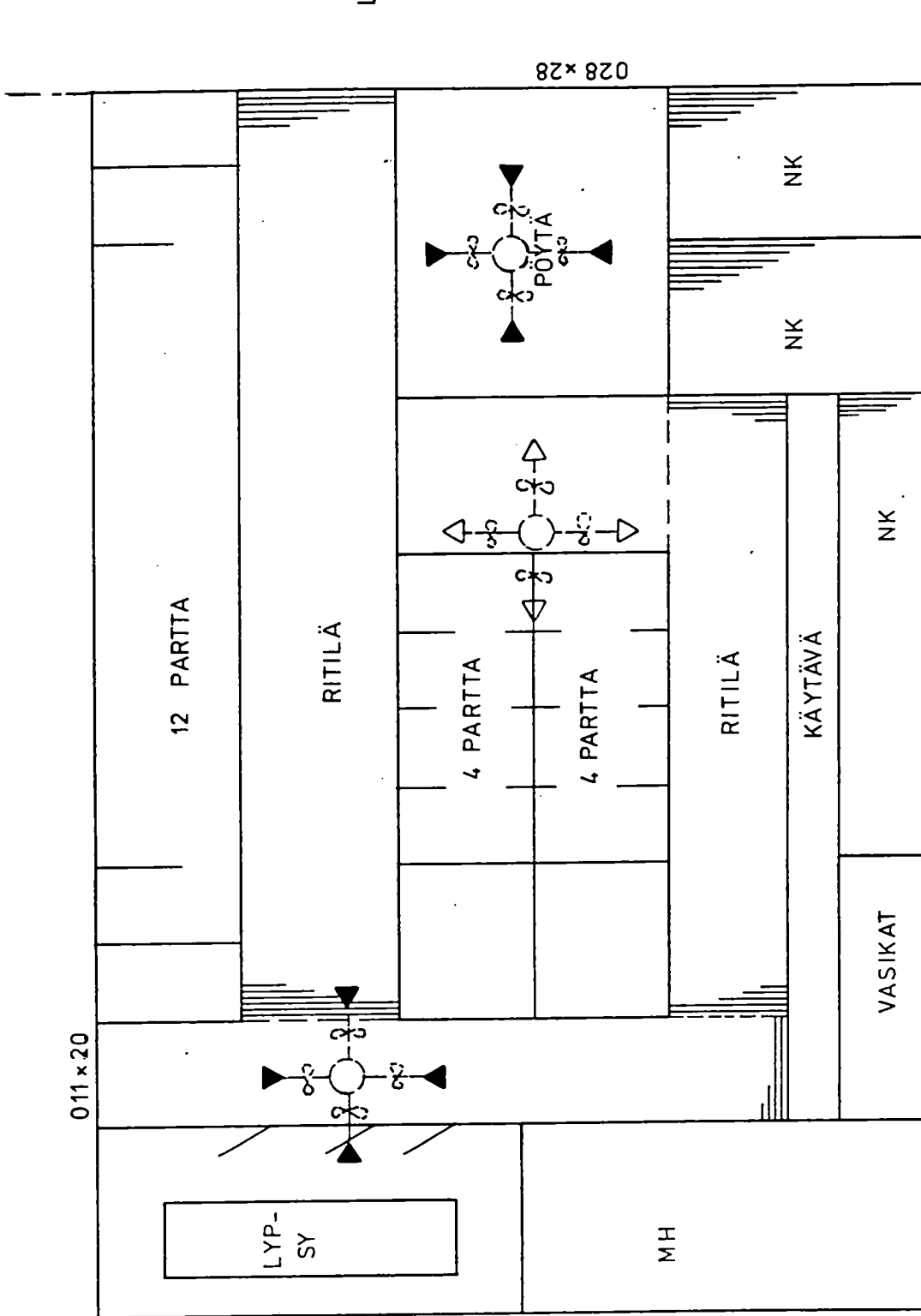






N:o 2

13,2 x 19 m



011 x 20

LATO

028 x 28

011 x 20

LAMPY

MH

12 PARTTA

RITILÄ

4 PARTTA

4 PARTTA

RITILÄ

KÄYTÄVÄ

VASIKAT

NK

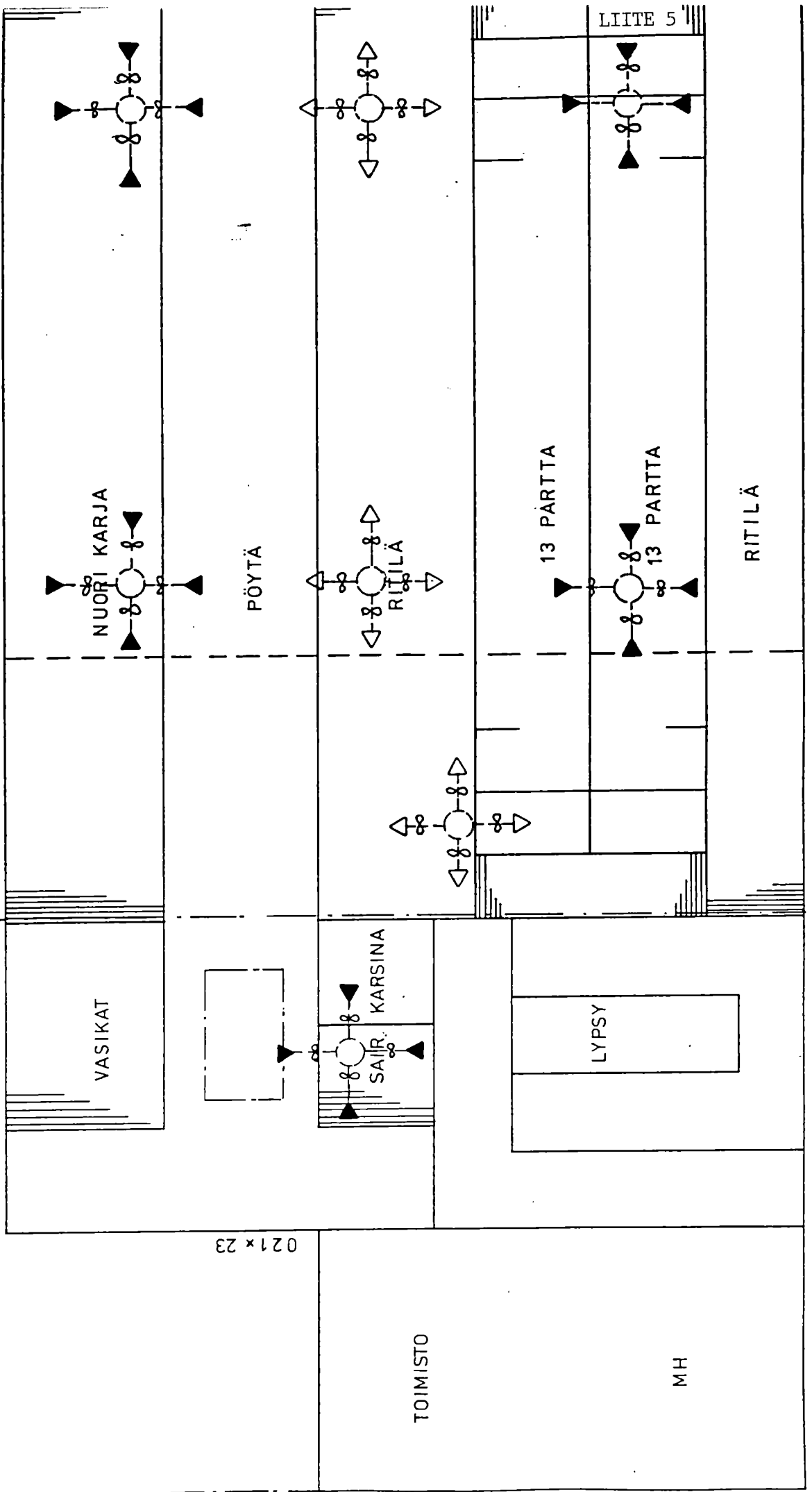
NK

NK

LATO

N:o 3

15,6 x 24 m

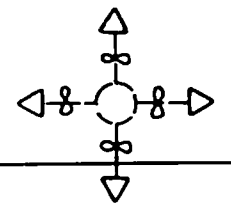


021 x 23

011 x 21

N:o 4

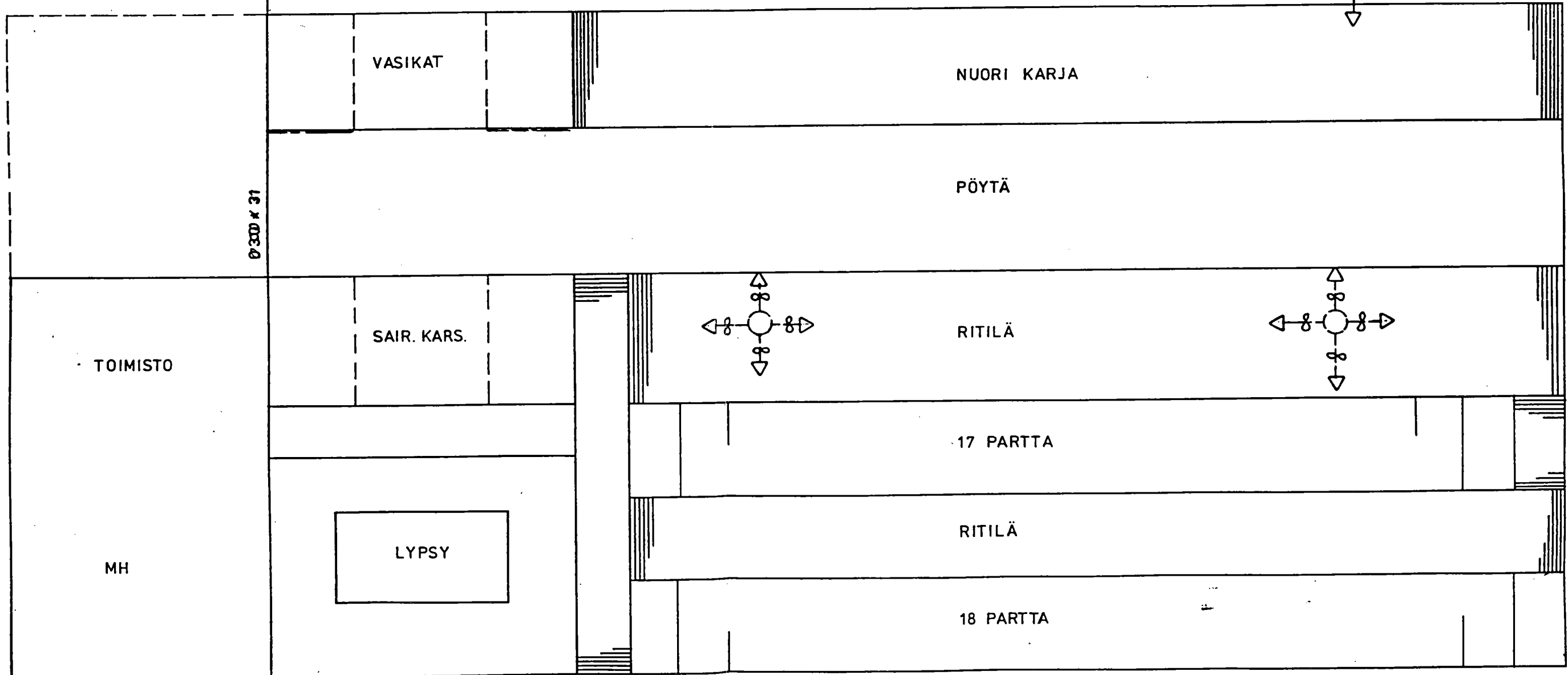
15,4 x 36 m



LATO

Ø 300 x 31

Ø 30 x 31

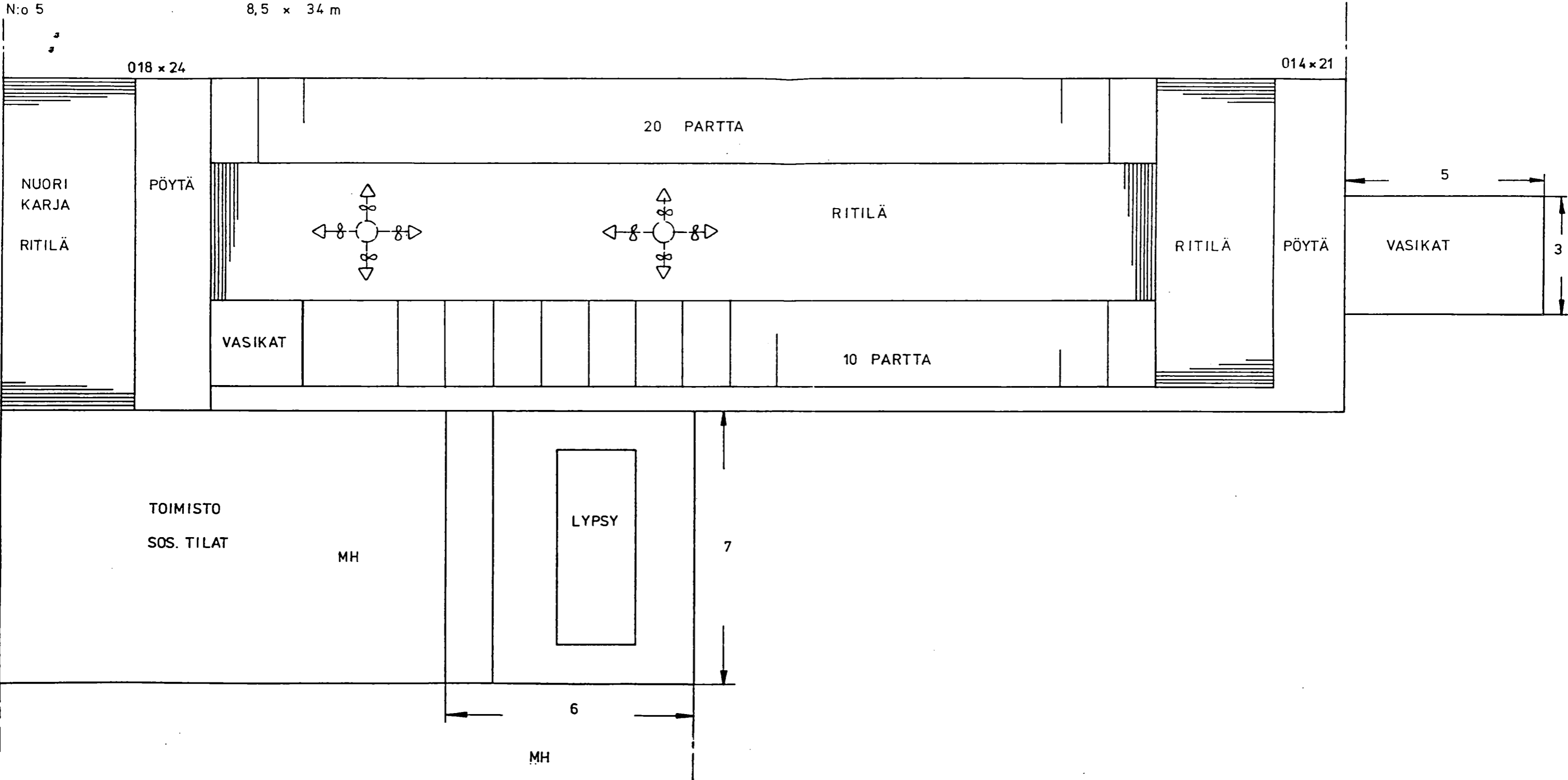


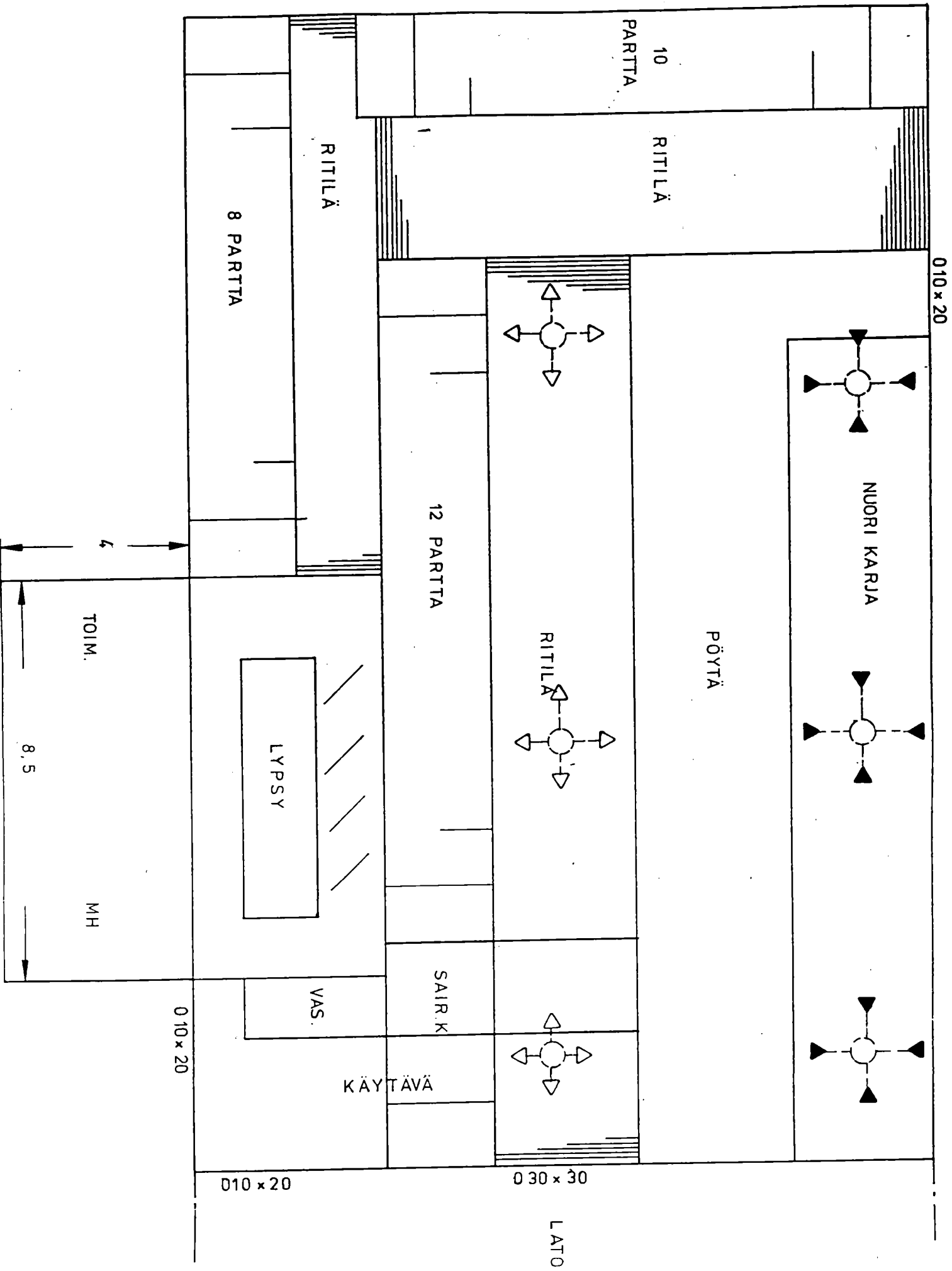
Ø 10 x 20

LATO

N:o 5

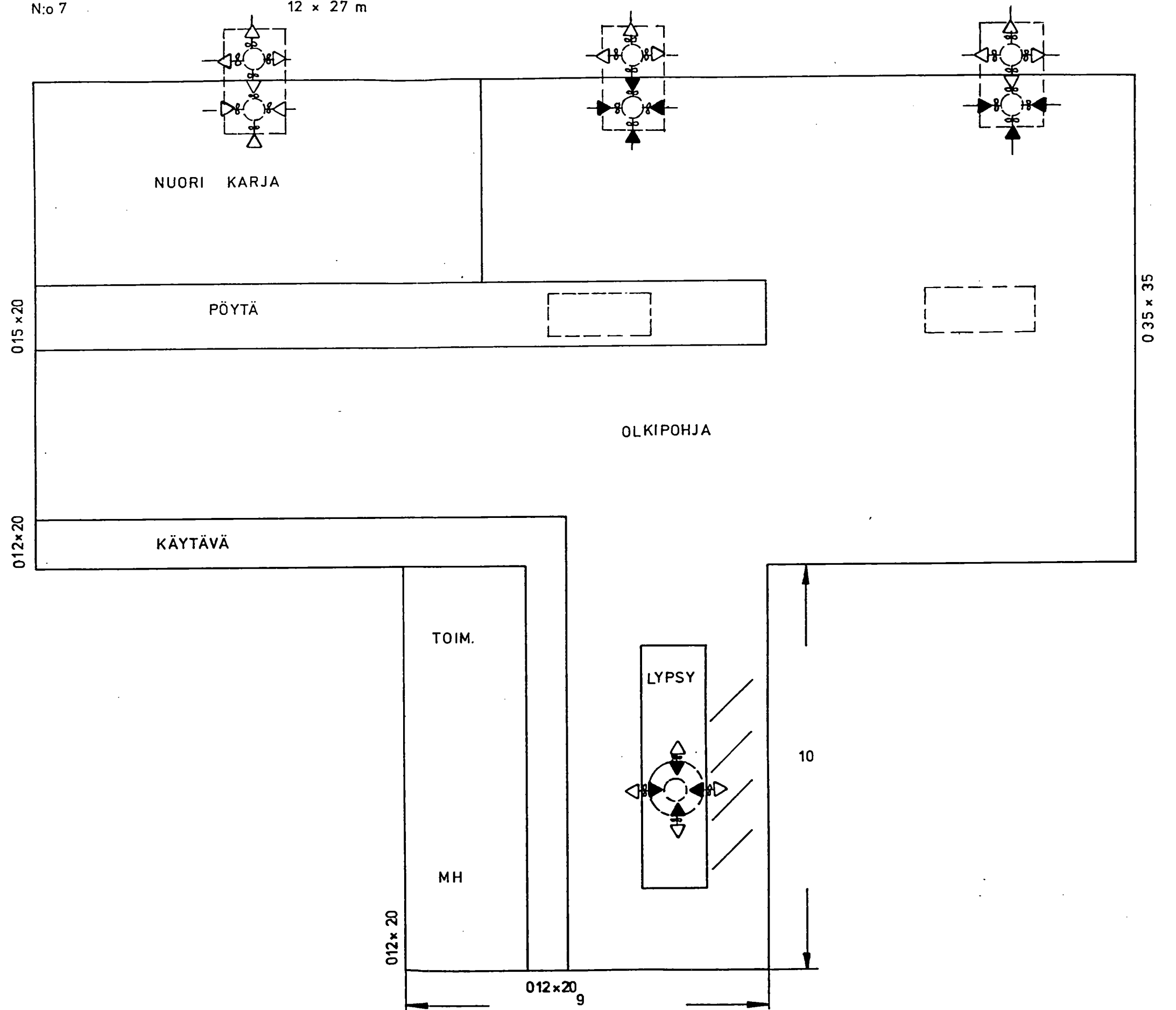
8,5 x 34 m





N:o 7

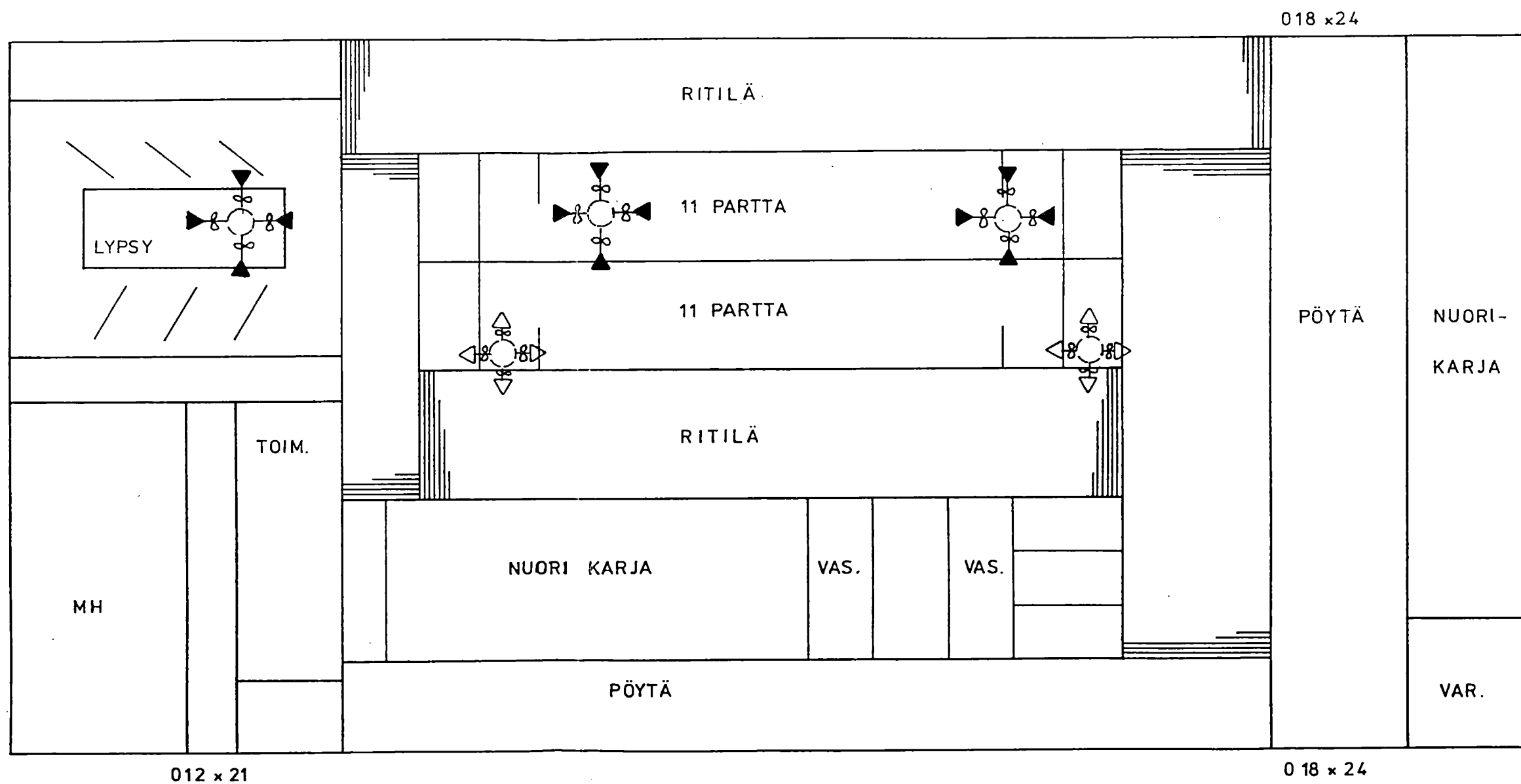
12 x 27 m





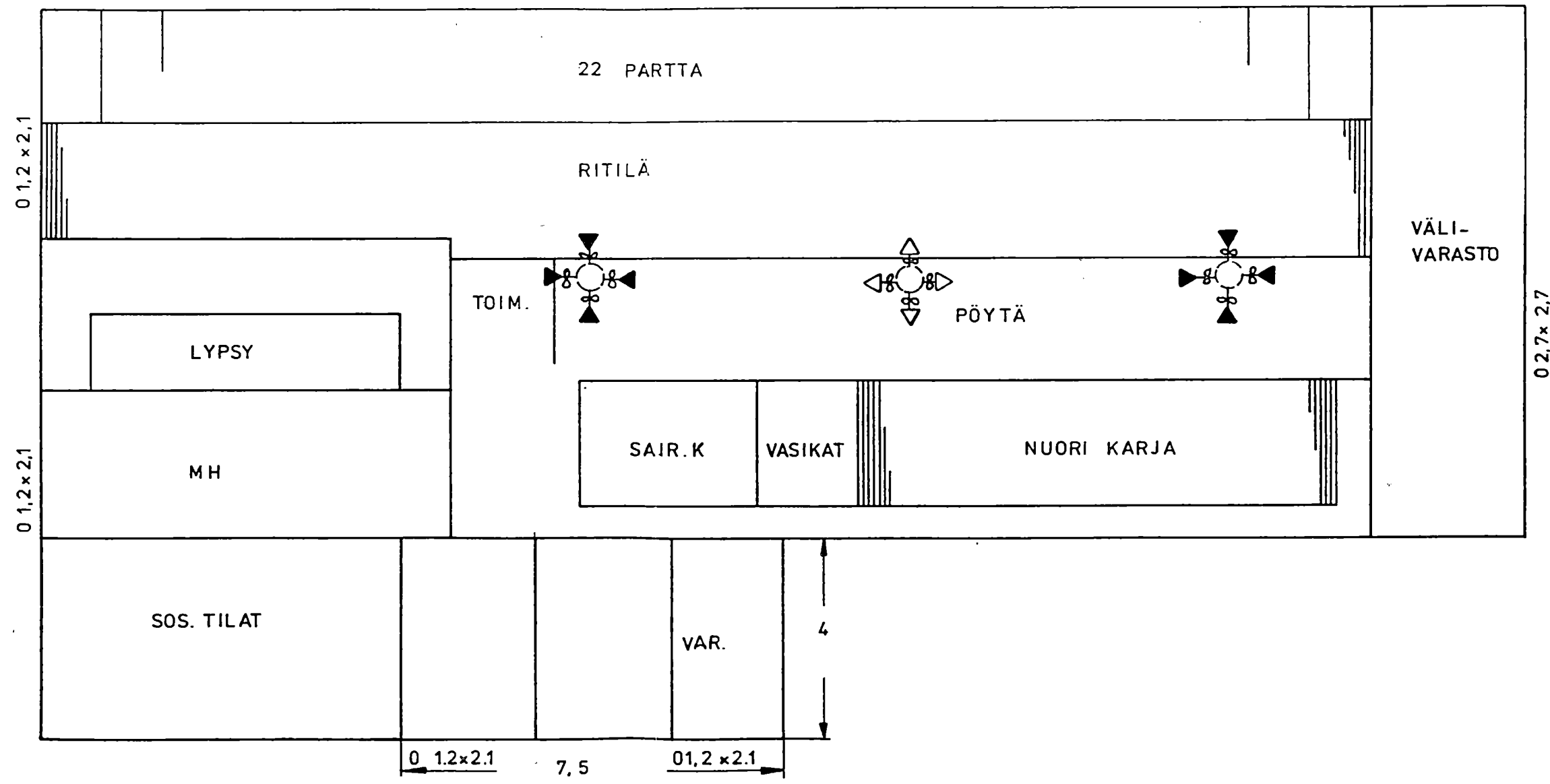
N:o 8

14,4 x 30,6 m



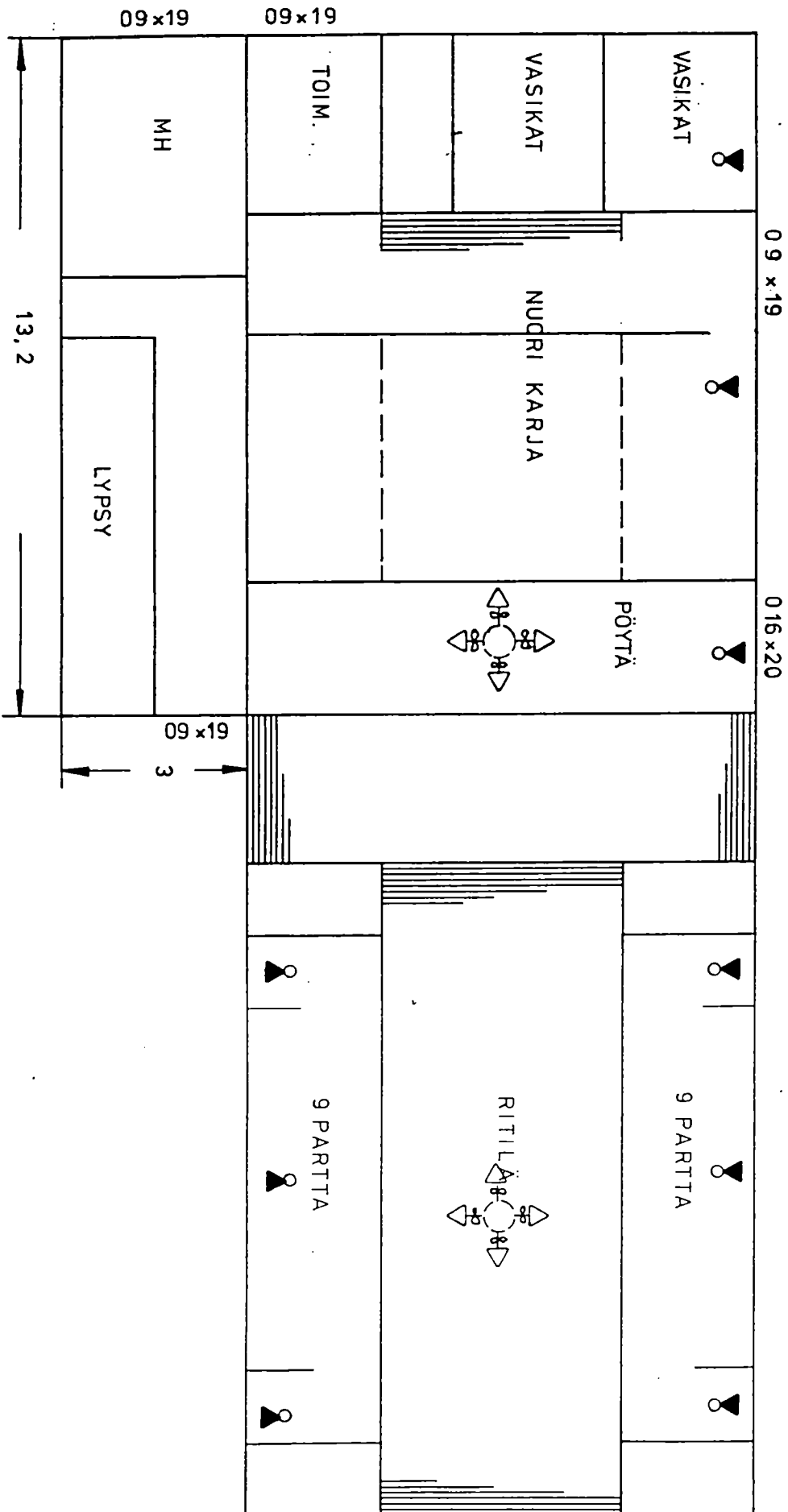
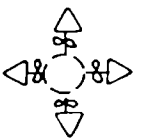
N:o 9

10,4 x 29 m



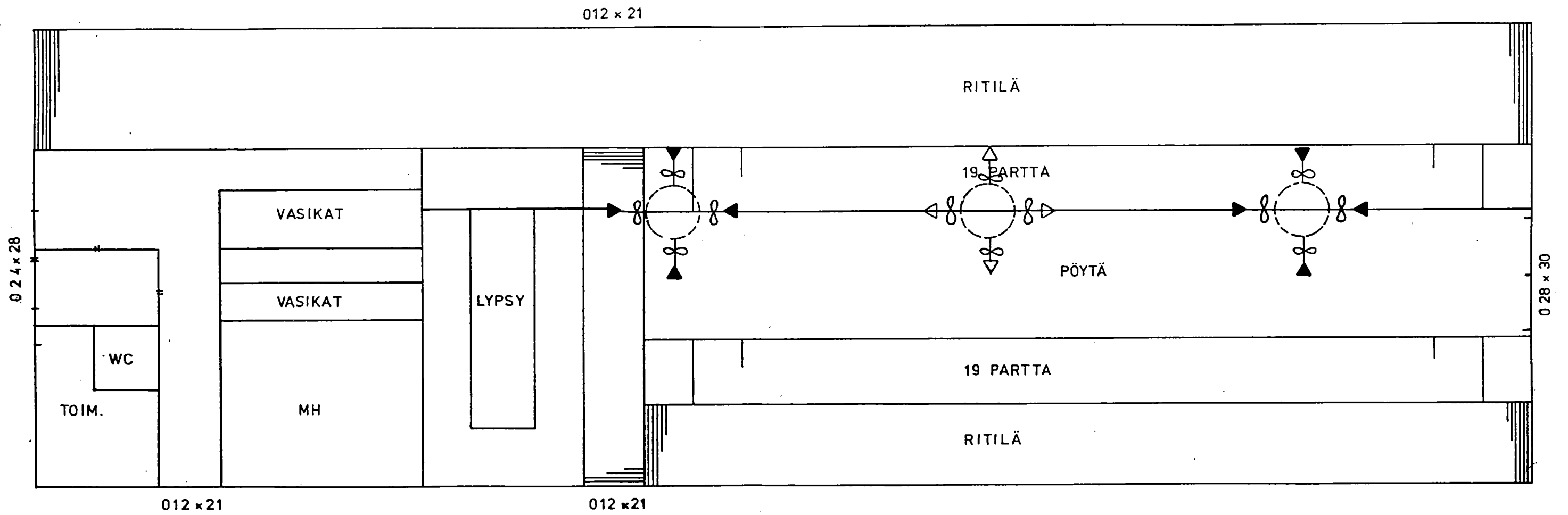
N:o 10

8,4 x 24,4 m



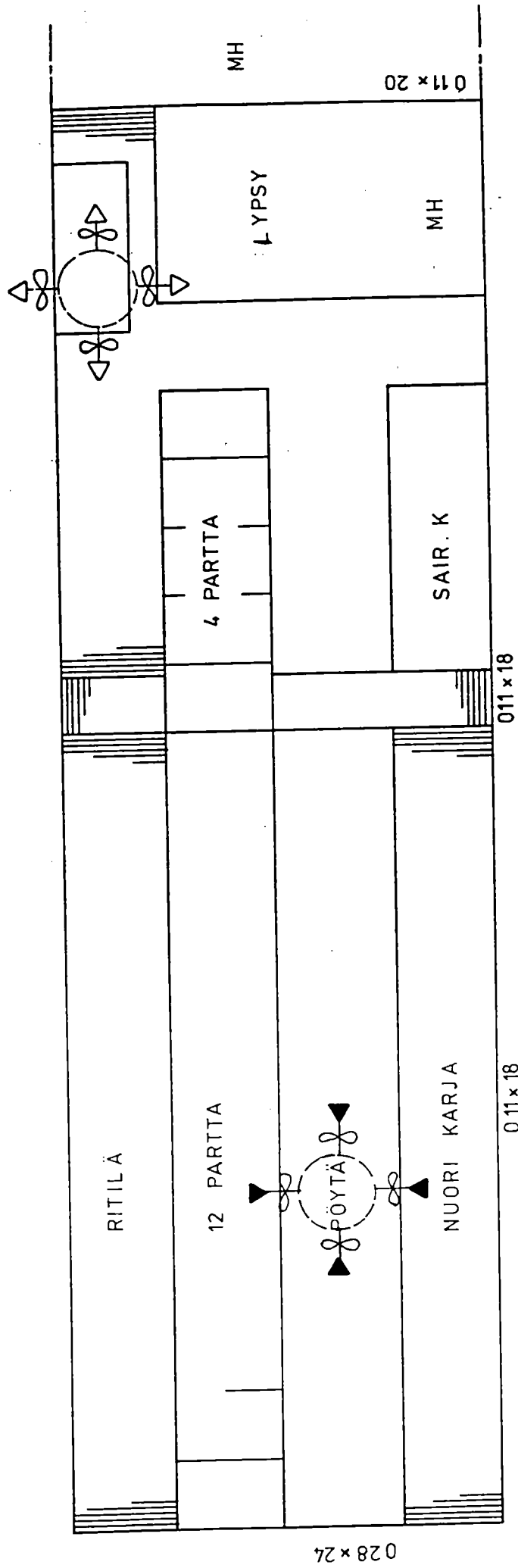
N:o 11

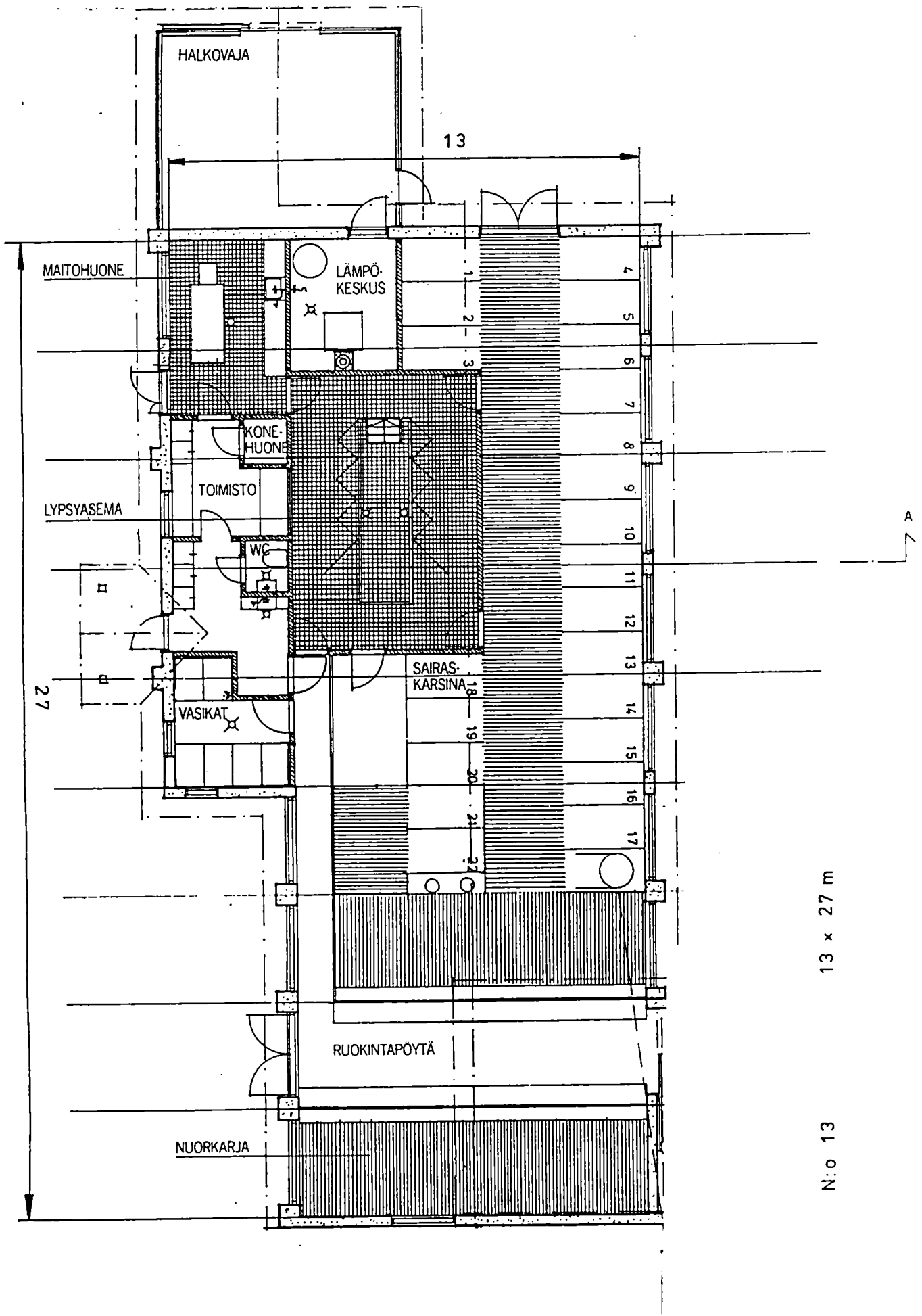
11,4 x 37 m



N:o 12

7,5 x 25 m





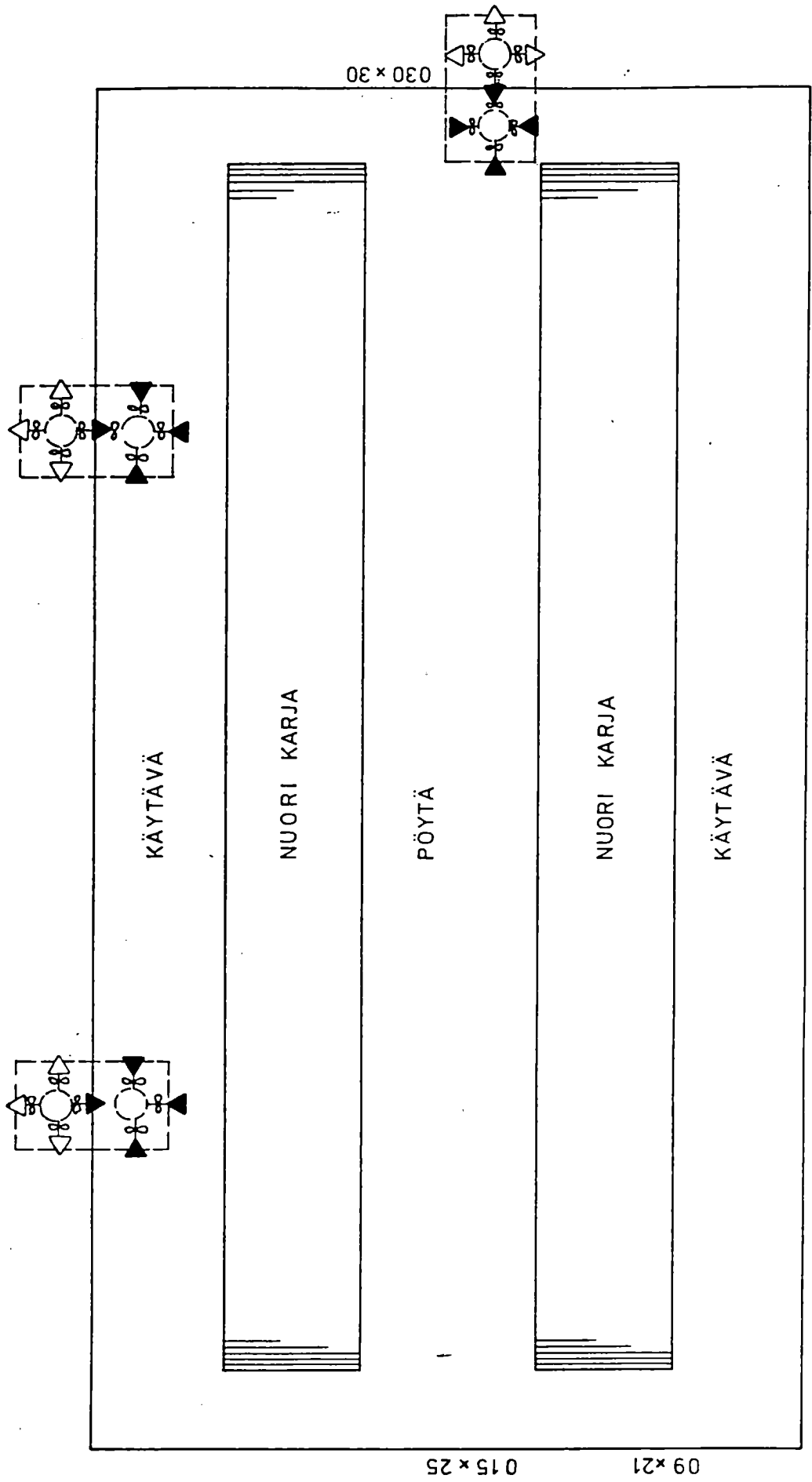
13 x 27 m

N:o 13



N:o 15

12 x 23 m



015 x 25

09 x 21

030 x 30

KÄYTÄVÄ

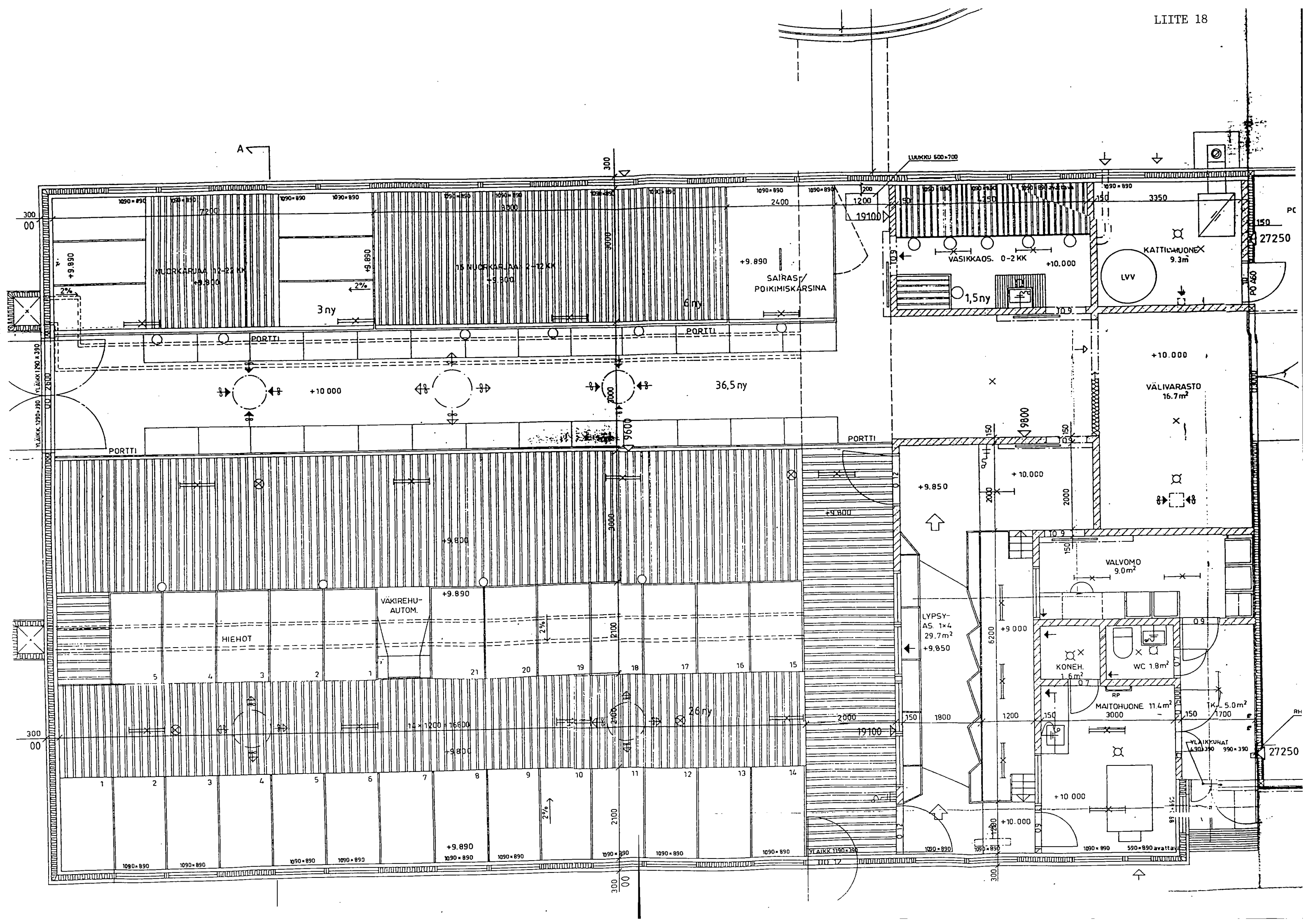
NUORI KARJA

PÖYTÄ

NUORI KARJA

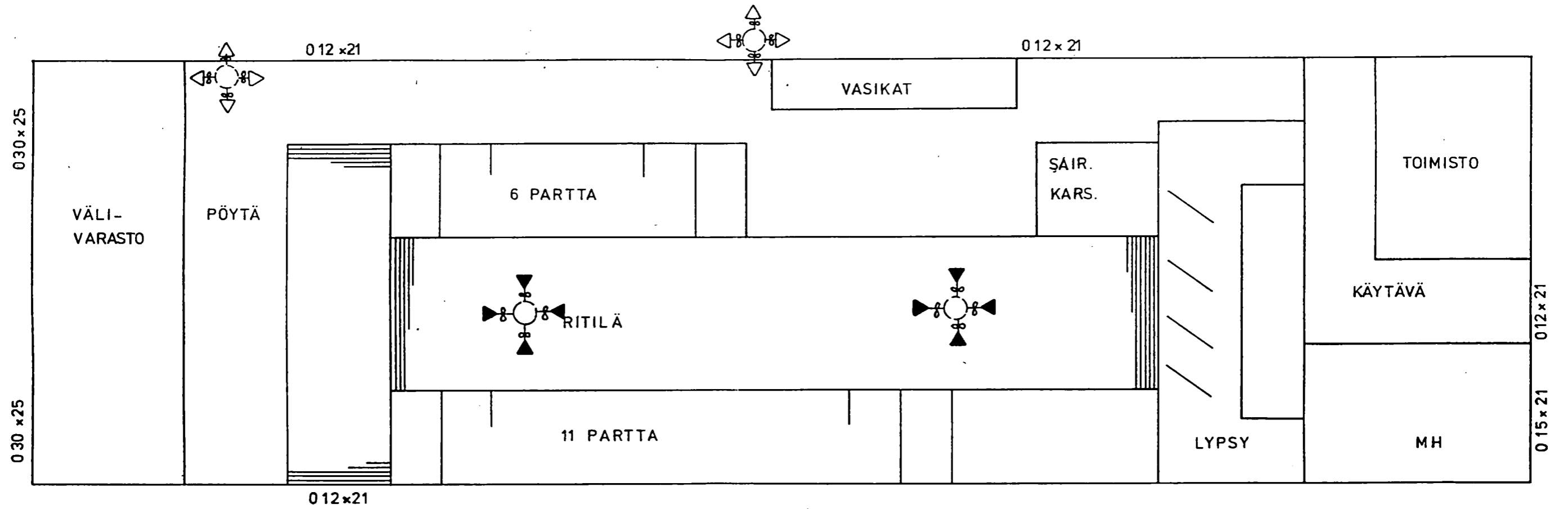
KÄYTÄVÄ





N:o 17

10,5 x 35 m



## VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUKSIA

- | No  | Nimi  |
|-----|---|
| 39. | Karhunen, J., Tuunanen, L., Eläinsuojien ilmanvaihdon mitoitus. 1984.   |
| 40. | Horvath, A., Ståhlberg, P., Wilèn C., Oljen pelletointi ja pellettien käyttö polttoaineena. 1985.   |
| 41. | Aarnio, K., Karhunen, J., Koivisto, K., Lietelannan kompostointilämmön talteenotto. 1986.   |
| 42. | Ahokas, J., Luomi, V., Palva, T., Parmala, S-P., Schäfer, W., Kasviöljyt dieselmoottorin polttoaineena. 1986.                             |
| 43. | Ahokas, J., Mikkola, H., Traktorin polttoaineenkulutukseen vaikuttavia seikkoja. 1986.  |
| 44. | Karhunen, J., Tuunanen, L., Alipaineilmanvaihto kotieläinsuojissa. 1986.  |
| 45. | Kemppainen, E., Koivisto, K., Kompostoinnin vaikutus lietelannan laatuun ja käsiteltävyyteen. 1987.                                       |
| 46. | Sarin, H., Castrèn, H., Pyykkönen, M., Käyttökokemuksia 80-luvulla rakennetuista kalustovajoista, varastokuivureista ja pihatoista. 1987. |
| 47. | Mäkelä, J., Mikkola, H., Lannoitteenlevityksen tasaisuus. 1987.   |
| 48. | Puumala, M., Karhunen, J., Louhelainen, K., Vilhunen, P., Jauhatuksen tilantarve ja pölyhaittojen vähentäminen. 1988.                     |
| 49. | Schäfer, W., Ahokas, J., Maatalouskoneiden tietokanta, 1988.  |
| 50. | Karhunen, J., Aarnio, K., Lannanpoistolaitteiden toiminta ja kestävyys, 1988.   |