



VAKOLA

PPA 1
03400 VIHTI
913-46 211

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

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS No 36

J. KARHUNEN - U. MYKKÄNEN - L. NIEMINEN -
R. WIKSTÉN - H. SALONIEMI

LÄMMÖNVAIHTIMET ELÄINSUOJIIEN ILMASTOINNISSA

HEAT EXCHANGERS IN LIVESTOCK HOUSING
VENTILATION

VIHTI 1983

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS No 36

J. KARHUNEN - U. MYKKÄNEN - L. NIEMINEN -
R. WIKSTÉN¹⁾ - H. SALONIEMI²⁾

LÄMMÖNVAIHTIMET ELÄINSUOJIEIN ILMASTOINNISSA

HEAT EXCHANGERS IN LIVESTOCK HOUSING
VENTILATION

- 1) VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS
- 2) ELÄINLÄÄKETIETEELLINEN KORKEAKOULU,
KOTIELÄINHYGIENIAN LAITOS

VIHTI 1983

ISSN 0506-3841

ESIPUHE

Maatilahallitus myönsi 1978 maatilatalouden kehittämisrahaston tutkimusmäärärahoista 121 800 mk Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitokselle käytettäväksi tähän noin 3,5 vuotta kestäneeseen tutkimukseen, jossa selvitettiin mitä mahdollisuuksia on korvata eläinsuojien lämmityslaitteet lämmönvaihtimilla. Tutkimuksessa selvitettiin myös lämmönvaihtimien käyttö jäähdytykseen ja kaasujen poistoon.

Tutkimuksen valvojakunnan puheenjohtaja oli yliarkkitehti Pertti Luostarinen ja jäsenenä agronomi Henrik Blomqvist, dipl.insinööri Jorma Puustinen, toimistopäällikkö Eero Väänänen ja professori Erkki Äikäs.

Tutkimuksessa seurattiin neljän lämmönvaihtimen toimintaa käytännön oloissa eri sikaloissa. Kolme lämmönvaihdinta oli tyypiltään ilmasta-ilmaan ja yksi maasta-ilmaan. Lisäksi rakennettiin mittauksia varten yksi maaputkivaihdin. Rakentamisen teki mahdolliseksi Maatalouskoneiden tutkimussäätiöltä saatu 6 920 mk suuruinen lahjoitus.

Tutkimuksen johtajana oli maatalouskoneiden tutkimuslaitokselta agronomi Lasse Nieminen ja tutkijoina pääasiassa dipl.ins. Jorma Karhunen ja tekn. Unto Mykkänen. Selostuksen painokuntoon saattamisessa avusti agronomi Jussi Esala. Maaputken teoreettiset laskelmat suoritti dipl.ins. Ralf Wikstén valtion teknillisestä tutkimuskeskuksesta. Lämmönvaihtimista kerätyllä vedellä teki kasvatuskokeen rotilla el.lääk.tri Hannu Saloniemi eläinlääketieteellisen korkeakoulun kotieläinhygienian laitokselta.

Maatalouskoneiden tutkimuslaitos kiittää maatilahallitusta, tutkimuksen valvojakuntaa, tutkimussikaloiden isäntäväkeä ja henkilökuntaa, valtion teknillistä tutkimuskeskusta, eläinlääketieteellisen korkeakoulun kotieläinhygienian laitosta, maatalouskoneiden tutkimussäätiötä ja kaikkia muita tutkimukseen osallistuneita.

Vihti 22.2.1983

Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos

SISÄLLYSLUETTELO	Sivu
ESIPUHE	I
TIIVISTELMÄ	V
SAMMANFATTNING	VII
CONCLUSIONS	IX
JOHDANTO	1
1. KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET	2
2. TUTKITTAVIEN LAITTEIDEN JA SIKALOIDEN ESITTELY	4
2.1 Enerpak	4
2.2 Kukkurainen	4
2.3 Lämpö-Sampoo	5
2.4 Moisio	9
2.5 Maaputki	9
2.6 Vertailuosasto	9
3. MITTAUSTEN SUORITUSTAPA	10
4. MITTAUSTEN TULOKSET	11
4.1 Lämmönvaihtimien hyötysuhteet	11
4.2 Sikaloissa saavutetut lämpötila- ja kosteusolosuhteet	25
4.3 Ilmanvaihtolaitteiden energian kulutus	28
4.4 Sikaloiden ammoniakki- ja hiilidioksidi pitoisuudet	30
4.5 Lämmönvaihtimiin tiivistynyt vesi	32
4.6 Haju	32
5. LÄMMÖNVAIHTIMIEN HANKINNAN KANNATTAVUUS	34
5.1 Lämmönvaihtimien avulla saatava vuotuinen energian säästö	34

IV

	5.2	Lämpökerroin	35
	5.3	Hinta	37
	5.4	Investoinneille saatava korko	38
6.		LÄMMÖNVAIHTIMIEN VERTAILU	42
7.		LÄMMÖNVAIHTIMIEN SOVELTAMINEN ERILAISIIIN ELÄINSUOJIIN JA HAJUJEN POISTOON	46
	7.1	Ilmanvaihdon mitoitusperusteet	46
	7.2	Lämmönvaihtimien optimihyötysuhde	50
	7.3	Lämmönvaihtimien soveltaminen hajujen poistoon	52
		KIRJALLISUUSLUETTELO	53
LIITE	1	Wikstén, R., Eläinsuojan raitisilman lämmitys tai jäädytys maaperässä olevan putkiston avulla	55
ANNEX	1	Wikstén, R., Heating or cooling of livestock ventilation air by means of subterranean pipe system	64
LIITE	2	Maaputken mitattu tehokkuuskerroin	65
ANNEX	2	Measured underground pipe effectiveness	
LIITE	3	Kirjallisuustietoja ilmaston vaikutuksesta sikojen kasvattamisen kannattavuuteen	67
ANNEX	3	Literature review of the climatic influence on profitableness of pig breeding	
LIITE	4	Lämmönvaihtimien nykyarvokertoimet	69
ANNEX	4	Present value coefficients of heat exchangers	
LIITE	5	Energian kulutus eläinsuojissa	72
ANNEX	5	Energy consumption in livestock buildings	
LIITE	6	Maaputken rakentamishjeita	76
ANNEX	6	Construction advices for underground pipe	
LIITE	7	Saloniemi, H., Lämmönvaihtimien kondenssi- vesi ja eläinten terveys	78
ANNEX	7	Saloniemi, H., Heat exchanger condensation	

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa mitattiin neljän eri lämmönvaihtimen hyötysuhde, energian kulutus ja vaikutus sikalan ilmastollisiin oloihin sekä laskettiin hankinnan kannattavuus. Tutkitut lämmönvaihtimet olivat Enerpak, Lämpö-Sampo, Kukkurainen-prototyyppi ja Moisio-maaputkivaihdin. Lisäksi selvitystä varten rakennettiin Vakolaan Olkkalaan maaputki, jonka avulla mitattiin maasta saatava lämpömäärä, joka myös laskettiin teoreettisesti. Saatujen tulosten perusteella on arvioitu eri vaihtimien ominaisuuksia sekä esitetty tärkeimmät lämmönvaihdinhankintaan liittyvät laskentaperusteet.

Eri lämmönvaihtimien poistoilmasta talteenottamissa energiamäärissä, eli hyötysuhteissa oli selvä ero. Enerpak-vaihtimen hyötysuhde oli parhaimmillaan 24 %, Lämpö-Sammon 66 %, Kukkuraisen 18 %. Moisio-maaputkivaihtimen hyötysuhdetta ei voitu määrittää vertailukelpoisella tavalla. Olkkalan maaputken tehokkuuskerroin oli 45...75 %, mikä vastaa sellaista lämmönvaihdinta, jonka hyötysuhde on 30...37 %. Jokaisen vaihtimen hyötysuhdetta voitiin säätää tarvittaessa pienemmäksi.

Enerpak ja Lämpö-Sampo tarvitsivat muita enemmän sähköenergiaa. Jos ilmaa vaihdetaan vähän, ne saattavat tarvita käyttöenergiaa enemmän kuin tavanomaisessa sikalassa kuluisi kaikkiaan lämmitykseen ja ilmanvaihtoon. Tavallisesti ilmaa vaihdetaan niin paljon, että lämmönvaihtimilla voidaan säästää energiaa. Vuotuseksi lämpökertoimeksi sikalakäytössä saatiin 2...5.

Lämmönvaihdinsikaloissa pystyttiin lämpötila pitämään talviaikana lähempänä optimilämpötilaa kuin tavanomaisilla laitteilla varustetussa vertailusikalassa. Suhteellinen kosteus oli lämmönvaihdinsikaloissa selvästi pienempi kuin vertailusikalassa. Haitallisten kaasujen pitoisuuksissa ei ollut niin selviä eroja.

Enerpak- ja maaputkivaihtimien avulla voidaan eläinsuojia kesäällä jäädyttää. Enerpak vaihtimeen tarvitaan tällöin kylmää vettä. Maaputkivaihtimen avulla jäädytys ei ole energiataloudellisesti kannattavaa, ellei eläinsuojaa pyritä jäädyttämään enemmän kuin tavanomaisen ilmanvaihdon avulla.

Kahden henkilön suorittamissa hajumittauksissa ei koesikalan ja vertailusikalan välillä ollut sanottavaa eroa. Mittaukset eivät kuitenkaan olleet edustavia eri henkilöiden tekemien mittausten välisen suuren hajonnan vuoksi. Lämmönvaihdin vähentää hajuhaittoja pitämällä sikalan kuivana, jakamalla ilman eläinsuojaan tavallista paremmin ja suodattamalla osan sikalasta ulkoilmaan pyrkivistä hajuista.

Pienihyötysuhteinen lämmöntalteenotto- ja ilmanvaihtolaitte ei ole paljonkaan kalliimpi kuin tavanomainen ilmanvaihto- ja lämmityslaite, jossa on suora sähkölämmitys. Hyötysuhteen suurenessa hinta nousee voimakkaasti. Lämmönvaihdinlaitteiden kannattavuuteen vaikuttavat ilmanvaihtomäärän lisäksi eläinsuojan koko ja eristeet. Pienen ja huonosti eristetyn eläinsuojan energian kulutus on suhteellisesti suurempi verrattuna suureen ja hyvin eristettyyn. Lämmönvaihdin on sitä kannattavampi, mitä suurempi on energian kulutus.

Lämmönvaihtolaitteet saattavat vaatia huoltotoimenpiteitä viikottain, esim. kennon pesua tai suodattimien vaihtoa, mitkä vievät aikaa noin puoli tuntia. Jotkut vaihtimet saattavat jäätyä haitallisessa määrin, jos pakkasta on -25°C tai enemmän. Koska kovin pakkaneen on yleensä öisin, riittää useimmiten vaihtimen sulattaminen aamulla. Näin kovaa pakkasta on harvoin, Etelä- ja Keski-Suomessa keskimäärin 1...2 vuorokautta vuodessa.

SAMMANFATTNING

Verkningsgraden, energiåtgången och inverkan på svinhusets klimatförhållanden mättes för fyra olika värmeväxlare samt investeringens lönsamhet beräknades. De undersökta värmeväxlarna var Enerpak, Lämpö-Sampo, Kukkurainen-prototyp och Moisiso-markrörsväxlare. Dessutom byggdes i Vakola Olkkala för denna utredning ett markrör, med vilket man bestämde den värmengd, som man kan få ur marken. Den beräknades också teoretiskt. På basen av de erhållna resultaten har man uppskattat de olika värmeväxlarnas egenskaper samt framfört de viktigaste kalkyleringsgrunderna vid anskaffandet av värmeväxlare.

Det var en tydlig skillnad i de energimängder, som värmeväxlarna kunde tillvarata, alltså verkningsgraderna. Verkningsgraden för Enerpak-växlaren var som bäst 24 %, för Lämpö-Sampo 66 % och för Kukkurainen 18 %. Verkningsgraden för Moisiso-markrörsväxlaren kunde inte bestämmas på ett jämförbart sätt. Effektivitetskoefficienten för Olkkalas markrör var 45...75 %, vilket motsvarar en värmeväxlare med verkningsgraden 30...37 %. Verkningsgraden för varje växlare kunde vid behov ställas mindre.

Elåtgången för Enerpak och Lämpö-Sampo var större än för de andra. Vid ringa luftväxling kan deras driftsenergi överstiga den totala energimängden som skulle gå åt till uppvärmning och ventilation i ett vanligt svinhus. I allmänhet är luftväxlingen dock så stor, att man kan spara energi med värmeväxlare. Den årliga värmekoefficienten för svinhusbruk uppgick till 2...5.

I svinhus utrustade med värmeväxlare kunde temperaturen vintertid hållas närmare optimumtemperaturen än i svinhus med konventionell ventilationsutrustning. Den relativa fuktigheten i svinhus med värmeväxlare var tydligt mindre än i referenssvinhusen. Skillnaderna var inte så tydliga för menliga gaser.

Med Enerpak- och markrörsväxlarna kan man sommartid avkyla husdjursbyggnader. För detta ändamål kräver Enerpak-växlaren kallt vatten. Med markrörsväxlaren är avkylningen inte energiekonomiskt lönsam, om man inte strävar att avkyla byggnaden mera än med konventionell ventilation.

I luktämätningar utförda av två personer kunde det inte finnas nämnvärd skillnad mellan försöksobjekten och referenssvinhuset. Mätningarna var dock inte representativa på grund av den stora spridningen mellan de två personernas mätningar. Värmeväxlaren minskar luktolägenheterna genom att hålla svinhuset torrt, genom att fördela luften bättre än vanligt och genom att filtrera en del av de gaser, som annars skulle hamna i uteluften.

Ett värmestillvaratagnings- och ventilationsaggregat med liten effekt är inte mycket dyrare än ett konventionellt ventilations- och värmeaggregat med direkt elvärmning. Priset stiger kraftigt då verkningsgraden ökar. Lönsamheten av värmeväxlarna påverkas förutom av ventilationsmängden även av husdjursbyggnadens storlek och isolering. Den relativa energiåtgången för en liten och dåligt isolerad husdjursbyggnad är större än för en stor och väl isolerad byggnad. Värmeväxlaren är desto lönsammare, ju större energiåtgången är.

Värmeväxlarna kan kräva serviceåtgärder varje vecka, tex. tvätt av elementet eller byte av filter. Dessa åtgärder tar ungefär en halv timme tid. Vissa växlare kan frysa i menlig grad, om utetemperaturen är -25°C eller mera. Då den starkaste kölden i allmänhet förekommer nattetid är det oftast tillräckligt att smälta växlaren på morgonen. Så stark kyla förekommer sällan, i södra och mellersta Finland i medeltal 1...2 dygn om året.

CONCLUSIONS

The efficiency, energy consumption and influence on swine house climatic conditions was measured with four different heat exchangers and their investment profitability was calculated. Enerpak, Lämpö-Sampo, Kukkurainen-prototype and Moisio underground-pipe heat exchangers were studied. For the study also an underground pipe was constructed in Vakola Olkkala. It was used to record the heat energy collected from the ground, which was also calculated theoretically. The characteristics of different heat exchangers are evaluated on the basis of the results obtained and the most important calculation basis relating to heat exchanger installation is presented.

Great variations in the energy levels, i.e. efficiencies, of the from the exhaust air collected heat were noted with different heat exchangers. The best recorded efficiency rates were: Enerpak 24%, Lämpö-Sampo 66%, Kukkurainen 18%. It was not possible to determine the efficiency of the Moisio exchanger with a comparable manner. The effectiveness of the Olkkala-underground pipe was 45...75%, corresponding to efficiency rate on 30...37% with heat exchangers. It was possible to reduce the efficiency rate of each exchanger.

With Enerpak and Lämpö-Sampo the need of energy was higher than with the others. In case the ventilation need is low, they may need more energy for their operation than is needed altogether for heating and ventilation in a conventional housing. Normally the need of ventilation is so high that the heat exchangers can save energy. The annual heat coefficient of the heat exchangers in pig housing was 2...5.

It was possible to maintain the swine house temperature closer to the optimum in houses equipped with heat exchangers than in the reference house. Relative humidity was clearly lower in the heat exchanger houses than in the reference house. Clear differences in content of injurious gases in different houses were not found.

With Enerpak-exchanger the livestock houses can be cooled in the summertime. Cold water is needed for this. Cooling by means of an underground pipe gives an unprofitable energy balance, if one tends not to cool a swine house more than with conventional ventilation apparatus.

There were no clear differences in odor concentrations measured by two persons with a direct reading olfactometer. The results were not statistically reliable due to great variations between the result obtained by each person. The heat exchangers reduce the odor complaints by means of keeping livestock house dry, distributing incoming air better than normally and by filtering part of the outgoing odours gases.

A low efficiency heat exchanger is not much more expensive than the conventional system with direct electrical heating. With increasing efficiency the price also increases strongly. The livestock unit size and the insulation as well as the ventilation extend have an influence on the profitability of a heat exchanger. The energy consumption of a small and poorly insulated house is relatively higher than that of a bigger and better insulated house. A heat exchanger is the more profitable the greater is the energy consumption.

Heat exchangers may need weekly service, for example washing the element or changing filters, which take about half an hour. Some exchangers may get frosted in harmful extent, if the outside temperature is below -25°C . Because the coldest time of a day is usually on nights, it is sufficiently to melt the exchanger in the morning. So cold-weather occurs seldom, on the average 1...2 days in a year in south- and middle-Finland.

JOHDANTO

Eläinsuojien kunnossapidämiseksi sekä eläinten tuotoksien vaatimien optimiolojen ja eläinten hoitajien asianmukaisten työolojen luomiseksi on eläinsuojia yleensä talvella lämmitettävä, koska useiden kotieläinten tuottama lämpö ei riitä rakennusosien ja ilmanvaihdon kautta häviävän lämmön korvaamiseen.

Eläinten tuottamaa lämpöä talteen ottavia laitteita, lämmönvaihtimia on olemassa, mutta niiden käyttökelpoisuus eläinsuojissa on suurelta osin selvittämättä. Maan lämmön hyväksi käyttöä lämmittämiseen on jo myös Suomessa muutamissa tapauksissa kokeiltu ns. maaputkia käyttämällä. Tiedot maaputkien ominaisuuksista oloissamme puuttuvat.

Tutkimuksessa seurattiin neljän tuloilmaa lämmittävän lämmönvaihtimen toimintaa käytännön oloissa eri sikaloissa. Kolme lämmönvaihdinta oli tyypiltään ilmasta-ilmaan ja yksi maasta-ilmaan. Lisäksi rakennettiin mittauksia varten yksi maaputkivaihdin. Mittausten ja havaintojen perusteella arvioitiin laitteiden soveltuvuus eläinsuojien lämmitykseen, jäähdytykseen ja kaasujen poistoon sekä niiden kannattavuus.

1. KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

En	=	Enerpak-lämmönvaihdin, tai sillä varustettu sikala - Enerpak heat exchanger
Ku	=	Kukkurainen-lämmönvaihdin, tai sillä varustettu sikala - Kukkurainen heat exchanger
Ls	=	Lämpö-Sampo-lämmönvaihdin, tai sillä varustettu sikala - Lämpö-Sampo heat exchanger
Mo	=	Moisio-lämmönvaihdin, tai sillä varustettu sikala - Moisio heat exchanger
Mp	=	maaputkivaihdin - underground pipe
Ve	=	vertailuosasto Porlammin sikalassa reference swine unit in Porlammi
m_h	=	ilmanvaihdon mukana poistuva vesihöyryvirta - outcoming water vapour flow
m_{hE}	=	sikojen hengityksessä ja hikoilussa luovuttama vesihöyryvirta lähteen /1/ mukaan - moisture respired per animal by evaporation in accordance with source /1/
m_n	=	ilmanvaihtolaitteen nimellisilmavirta - nominal air flow of ventilation system
m_s	=	sisääntuleva ilmavirta - incoming air flow
m_u	=	ulosmenevä ilmavirta - outcoming air flow
i_s	=	sisäilman entalpia, lämpösisältö - inside air enthalpy
i_u	=	ulkoilman entalpia - outside air enthalpy

i_v	=	vaihtimesta sisääntulevan ilman entalpia - incoming air enthalpy after exchanger
y_i	=	vaihtimen entalpiahyötysuhde, energia- hyötysuhde - energy efficiency of exchanger
y_h	=	vaihtimen kosteushyötysuhde - moisture efficiency.
$\bar{\phi}_i$	=	vaihtimen energiahyötysuhde, kun $m_s = m_u$ - exchanger efficiency, when $m_s = m_u$
$\bar{\phi}_h$	=	vaihtimen kosteushyötysuhde, kun $m_s = m_u$ - exchanger moisture efficiency, when $m_s = m_u$
t_s	=	sisälämpötila - inside temperature
t_u	=	ulkolämpötila - outside temperature
∞	=	äärettömän suuri - infinite

2. TUTKITTUJEN LAITTEIDEN JA SIKALOIDEN ESITTELY

2.1 Enerpak-lämmönvaihdin

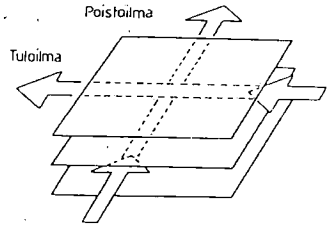
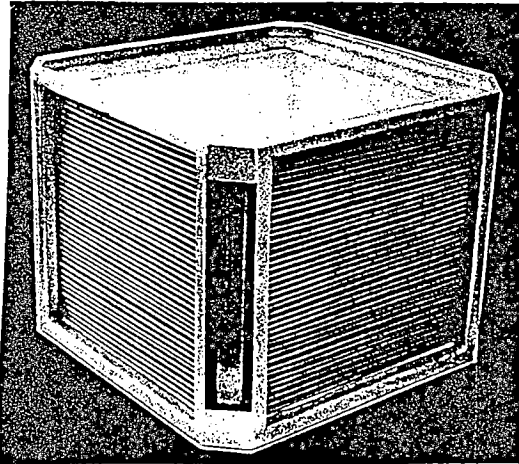
Enerpak-lämmönvaihdin, kuva 1, oli asennettu 425 lihastian sikalaan, jossa oli jaksottainen tuotanto. Siat tuotiin sikalaan 35 kiloa painavina. Lämmönvaihtimeen kuului kaksi puhallinta, jako- ja poistoputki, sisääntuloilman hajottimet sekä yksi lämmönvaihtokenno. Laite toimi tasapaineperiaatteella ja oli mitoitettu 17 000 m³/h ilmanvaihdolle. Keskelle sikalaa sijoitettu termostaatti sääti puhaltimille normaalin tai alennetun nopeuden sekä pysäytti tulopuhaltimen kokonaan kovilla pakkasilla estäen vaihtimen jäätyksen. Sikalan lämpötilan kohotessa liiaksi termostaatti muutti poistopuhaltimen pyörimissuunnan niin, että se puhalsi ilmaa sikalaan päin. Termostaatin ohjaukseen voitiin liittää myös muita puhaltimia. Mittausten alkuvaiheessa lämmönvaihtimen kenno vaihdettiin uuteen, jolloin hyötysuhde aleni. Poistopuhallin korvattiin samalla tehokkaammalla mallilla. Vaihtimen hinta oli v. 1980 noin 20 000 mk ilman asennusta.

2.2 Kukkurainen-lämmönvaihdin

Lämmönvaihdin, kuva 2, oli rakennettu 48 emakon sikalaan. Isäntä oli tehnyt vaihtimen laudasta ja alumiinista, ja se oli vielä prototyyppiasteella. Vaihdin toimi alipaineperiaatteella ja oli mitoitettu 14 000 m³/h ilmanvaihdolle. Termostaatti sääti puhaltimen pyörimisnopeuden ilmanvaihdon tarvetta vastaavaksi. Kesäkäytössä lämmönvaihtokennon poistopuoli voitiin ohittaa irrottamalla kaksi laudanpätkää puhaltimien vierestä. Lämmönvaihtimen lisäksi sikalassa oli 5 kW tehoinen lattialämmitys. Lämmönvaihtimen omakustannushinta oli v. 1980 n. 4 000 mk.

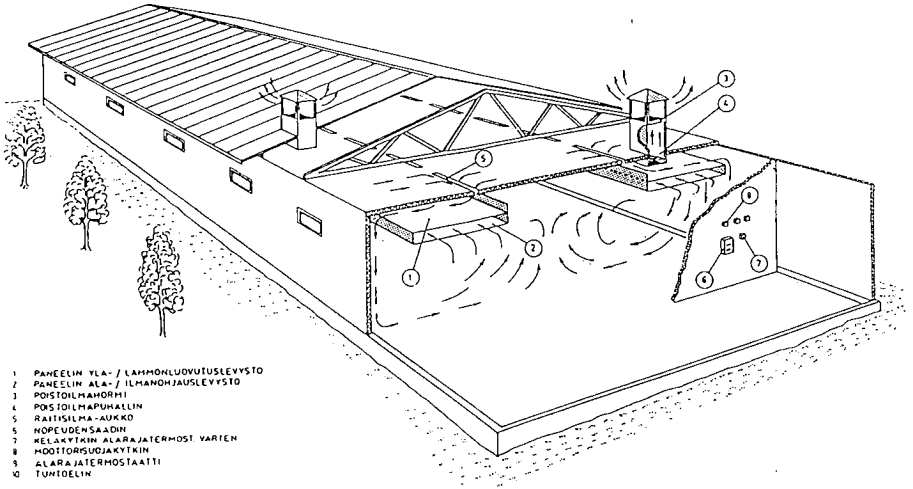
2.3 Lämpö-Sampo-lämmönvaihdin

Lämpö-Sampo-lämmönvaihdin, kuva 3, oli asennettu 425 lihasian sikalaan, jossa oli jaksottainen tuotanto. Siat tuotiin sikalaan 35 kiloa painavina. Tämä ja kohtien 2.1 sekä 2.6 sikalat ovat saman rakennuksen eri osastoja. Lämmönvaihtimeen kuului kaksi puhallinta ja lämmönvaihtokenoa, kolme olki- ja kaksi mattosuodatinta, sisääntuloilman hajottimet sekä tarvittavat jako- ja imuputket. Laite toimi tasapaineperiaatteella ja oli mitoitettu 8 000 m³/h ilmanvaihdolle. Termostaatti ohjasi vaihtolaitteen toimintaa. Poisto- ja tuloilma kulki vuorotellen kennoston läpi lämmittäen ja jäädyttären sitä, vaihtoajan ollessa 1... 14 min välillä. Lämmönvaihtimen hinta oli v. 1980 n. 60 000 mk ilman asennusta.

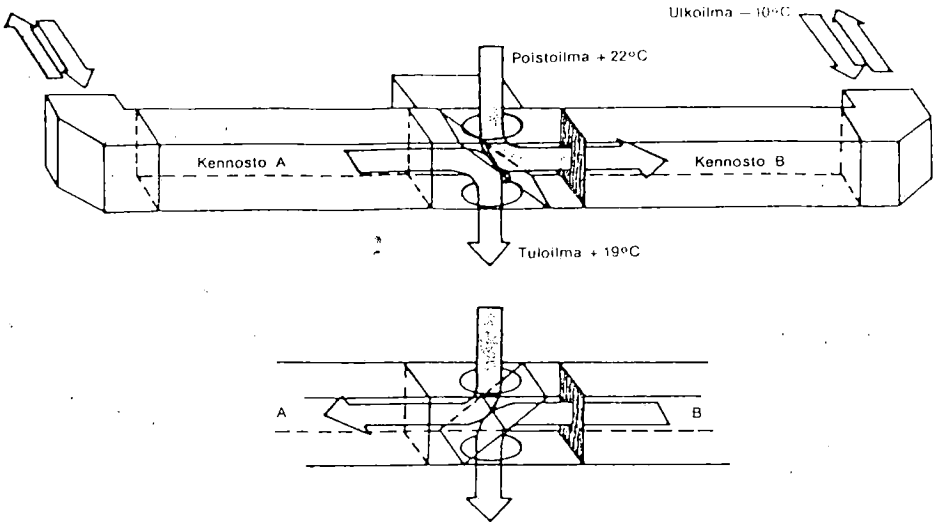


Enerpak EPR-lämmöntalteenottolaitteet koostuvat useista, lähelle toisiaan sijoitetuista alumiinilevyistä. Levyjen väliin jäävissä ilmasolissa joka toisessa virtaa poistoilmaa ja joka toisessa tuloilmaa, jolloin lämmönsiirto tapahtuu levyjen läpi poistoilmasta tuloilmaan.

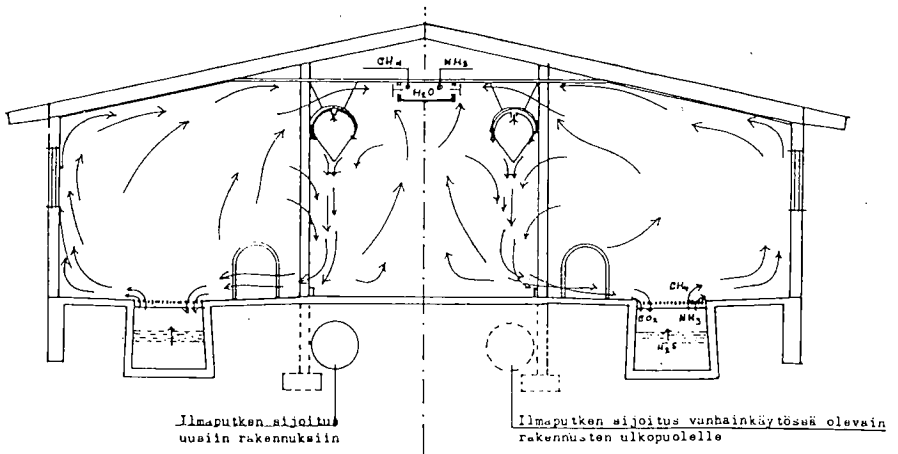
Kuva 1. ENERPAK-lämmönvaihdin
ENERPAK-heat exchanger



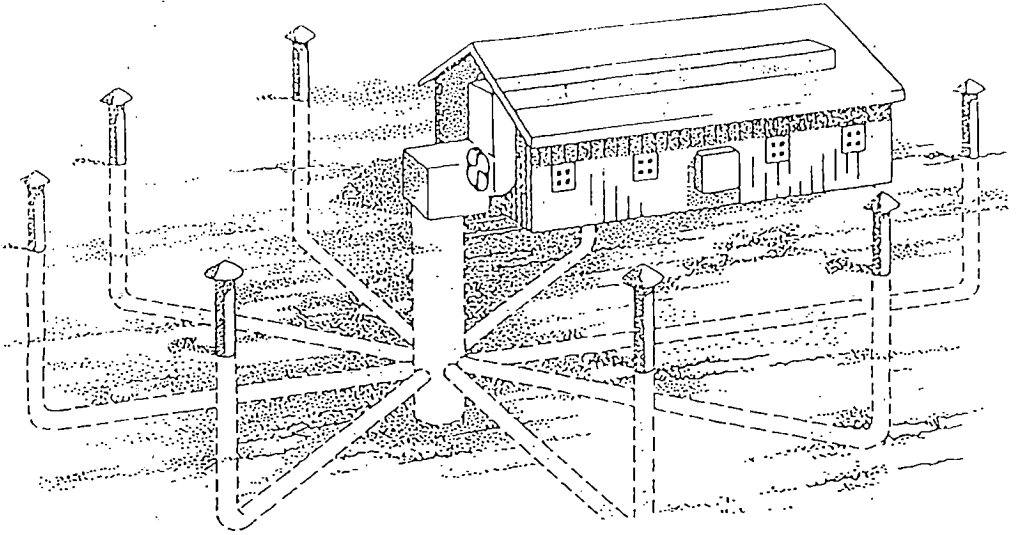
Kuva 2. Kukurainen-lämmönvaihdin
Kukurainen-heat exchanger



Kuva 3. LÄMPÖ-SAMPO-lämmönvaihdin
LÄMPÖ-SAMPO-heat exchanger



Kuva 4. MOISIO/VIRRANKOSKI-lämmönvaihdin
MOISIO/VIRRANKOSKI-heat exchanger



Kuva 5. Maaputkivaihdin. Olkkalaan rakennettiin yksi putkihaara.

Subterranean heat exchanger. One pipe of such was constructed in Vakola Olkkala.

2.4 Moisio-lämmönvaihdin

Sikalassa oli 72 emakkoa. Moisio-lämmönvaihdin, kuva 4, oli rakennettu pääosin sikalan lattian alle ja mitoitettu 13 500 m³/h ilmanvaihtoon. Laite toimi ylipaineperiaatteella. Laitteeseen kuului kaksi maahan kaivettua 55 m pitkää \varnothing 0,6 m betoniputkea sekä kaksi puhallinta. Mit- tausten aikana alunperin maaperän lämpöä hyväksikäyttävä ilmanvaihtojärjestelmä muutettiin maata lämpövarastona käyttäväksi, koska sikalan alla kulkevat ilmaputket jää- dyttivät maan ja rikkoivat lattian. Talvella uusi järjes- telmä toimi Lämpö-Sampon tapaan; maaputki oli vuoroin tuloputkena, vuoroin poistoputkena. Ilmavirran suunta vaihtui puolen tunnin välein. Kesällä maaputkia käytet- tiin sikalan jäähdytykseen.

2.5 Maaputki

Vakolassa kaivettiin maahan n. 2 m syvyyteen 47 m pitkä ja läpimitaltaan 20 cm PVC-muoviputki. Se on osa kuvan 5 mukaista ilmanvaihtojärjestelmää. Tilavuusvirta mitoitet- tiin olemaan talvella 340 m³/h ja kesällä 680 m³/h. Puhal- lin oli imupuolella. Tämän putken avulla laskettiin Moi- sio-tyyppisellä lämmönvaihtimella maasta saatava lämpömää- rä. Putki maksoi v. 1981 78 mk/m ja asennus 11 mk/m. Pu- haltimen hinta oli 1 300 mk. Mitoitusohjeita esitetään liitteessä 6.

2.6 Vertailuosasto

Vertailuosasto oli samassa sikalassa kuin Enerpak ja Läm- pö-Sampo lämmönvaihtimet. Osastossa oli 470 sikaa ja ta- vallinen alipaineilmanvaihto. Tarvittava lisälämpö saa- tiin vesikeskuslämmityspatterista. Erityyppisillä lämmön- vaihtimilla saavutettuja sikalan olosuhteita verrattiin vertailuosastossa valinneisiin sisäilmaston oloihin.

3. MITTAUSMENETELMÄT

Lämmönvaihtimien suorituskky selvitettiin mittaamalla niiden läpi kulkevat ilmamäärät sekä poisto- ja tuloilman lämpötila ja suhteellinen kosteus ennen vaihdinta ja vaihtimen jälkeen. Tilavuusvirrat mitattiin poisto- ja tuloilman aukoista monipistemenetelmällä. Menetelmävirheeksi arvioidaan $\pm 10 \%$. Suhteellinen kosteus mitattiin Vaisala HMI-11 -mittarilla, arvioitu virhe $\pm 5 \%$ -yksikköä. Lämpötila mitattiin termoelementtimittarilla, arvioitu virhe $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Ilmanvaihtolaitteiden energian kulutus mitattiin kWh-mittareilla, virhe valmistajan ilmoituksen mukaan alle $0,5 \%$. Tehontarve mitattiin samoilla mittareilla sekuntikellon avulla.

Sikaloiden lämpötila ja suhteellinen kosteus mitattiin mekaanisilla piirtureilla, joiden arvioitu tarkkuus on $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$ ja $\pm 2,5 \%$ -yksikköä. Haitallisten kaasujen pitoisuudet mitattiin Dräger-kaasuntoteamislaitteella.

Hajua mitattiin TO-4-olfaktometrillä.

Lämmönvaihtimiin tiivistynyt vesi analysoitiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä.

4. MITTAUSTEN TULOKSET

4.1 Lämmönvaihtimien energiahyötysuhteet ja niiden säätyminen tarvetta vastaavaksi

Lämmönvaihtimien näennäishyötysuhde $\bar{\eta}_i$, jota laskettaessa oletetaan ulosmenevä ja sisääntuleva ilmavirta massaltaan yhtäsuureksi, on taulukossa 1. Lämmönvaihtimien kannalta on kuitenkin oikeampi hyötysuhde

$$y_i = \frac{m_s \times i_v - m_s \times i_u}{m_u \times i_s - m_s \times i_u} = \frac{i_v - i_u}{i_s \left(\frac{m_u}{m_s}\right) - i_u}$$

missä	m_s	=	aikayksikössä sisälle tuleva ilmavirta, esim. kg/s
	m_u	=	aikayksikössä ulos menevä ilmavirta
	i_u	=	ulkoilman lämpösisältö
	i_s	=	poistoilman lämpösisältö
	i_v	=	vaihtimesta sisälle tulevan ilman lämpösisältö

Molemmat hyötysuhteet on esitetty taulukossa 1. Lämmönvaihtimen hyötysuhde y_i saattaa suurentua, kun sisääntuleva ilmavirta kasvaa suuremmaksi kuin poistoilmavirta. Tämä kuitenkin jouduttaa lämmönvaihtimen jäätymistä kovalla pakkasella. Yleensä poistoilmavirta pyritäänkin pitämään suurempana kuin tuloilmavirta, esim. suhde $m_s/m_u = 0,95$. Ilmavirran suuruus vaikuttavaa myös jonkin verran hyötysuhteeseen. Esim. Enerpak II -kennon hyötysuhde vaihteli m_s -määrästä riippuen noin 5 %-yksikköä ja m_s/m_u -suhteesta riippuen noin 13 %-yksikköä. Kohdan 3 mukaisten mitausvirheitten vallitessa saadaan todennäköiseksi keskimääräiseksi y_i :n virheeksi $\pm 1...2$ %-yksikköä.

Ilmanvaihtopuhaltimien moottorien lämpöä voi jäädä rakennukseen enemmän tai vähemmän riippuen puhaltimien sijoituksesta. Tämä lämpö voidaan laskea yhteen lämmönvaihtimen talteenottaman lämmön kanssa, jolloin lämmönvaihtimen hyötysuhde suurenee. Piirroksissa 1-4 on esitetty kahden esimerkkisikalan kosteuden poistoon tarvittava ilmanvaihto ja lämmön talteenoton hyötysuhde ulkoilman lämpötilan muuttuessa sekä eri lämmönvaihtimien toiminta-arvot. Sikojen kosteuden tuottona on laskelmissa käytetty mitattua arvoa, taulukko 1. Lämmöntuotto on otettu lähteestä 9; taulukko 10. Rakennusten lämpöhäviöiksi on laskelmassa otettu lihasikalassa 0,88 W/K sikaa kohden ja emakkosikalassa 6,6 W/K emakkoa kohden. Porlamin sikalan lämpöhäviöt ovat rakennuksen suuresta koosta johtuen pienemmät, 0,69 W/K sikaa kohden. Laskelmissa käytetty ulkoilman kosteus on esitetty kohdassa 5.1.

Piirroksista 1-4 nähdään, että tarvittava hyötysuhde pienenee jyrkästi, kun ulkoilman lämpötila nousee. Lämmönvaihtimen hyötysuhdetta pitäisi voida pienentää käyrän mukaisesti. Ellei tämä onnistu sikalan lämpötila nousee liian korkeaksi ulkoilman lämpötilan noustessa, tai joudutaan asentamaan mutkikkaita säätöjärjestelmiä, joiden avulla lämmönvaihdin voidaan ohittaa tai sen toimintaa muuten muuttaa.

Taulukko 1. Sikalan olosuhteiden ja lämmönvaihtimien suoritus-
kyvyn mittauksia vuosina 1980-1981
Table 1. Results of swine house climate conditions and heat
exchanger measurements in 1980-1981

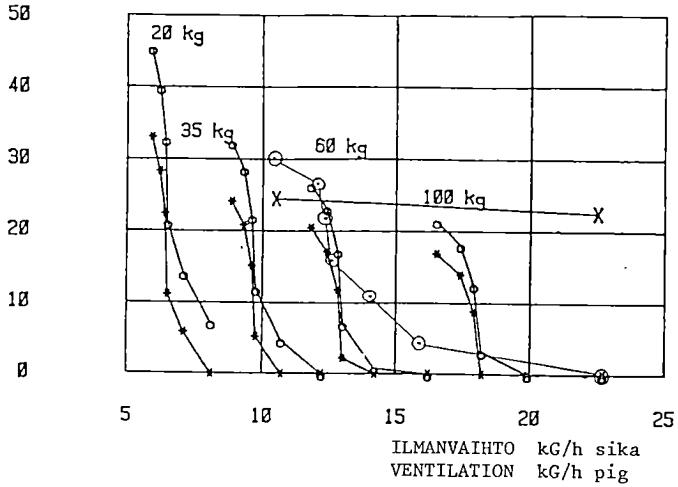
pvm	$t_{u_{OC}}$	$t_{s_{OC}}$	m_s/m_n %	m_s/m_u %	m_h/m_{hE} %	$\bar{\theta}_i$ %	y_i %	$\bar{\theta}_h$ %	y_h %
Enerpak, kenno I - Enerpak, comb I								0	0
22.1.	- 8	18	99	139	114	21	28		
4.2.	- 7	14	106	159	-	17	26		
11.2.	-16	11	101	170	71	26	36		
12.2.	-20	13	83	130	76	24	28		
12.2.	-20	13	25	38	-	31	12		
Enerpak, kenno II - Enerpak, comb II								0	0
19.2.	- 1	13	95	98	91	19	19		
5.3.	-10	8	105	153	41	27	36		
11.3.	- 3	15	91	96	123	21	20		
19.3.	- 5	16	95	106	147	21	23		
20.3.	-14	13	49	91	66	26	25		
20.3.	-14	13	94	95	109	24	24		
27.3.	- 1	10	44	96	63	25	24		
1.4.	+ 4	11	90	127	-	21	26		
20.2.	-12	17	102	137	134	-	-		
26.2.	-12	17	113	153	-	22	31		
2.3.	-13	16	107	150	101	21	29		
Lämpö-Sampo									
22.1.	- 8	16	116	115	82	49	55	47	54
29.1.	-10	16	55	107	48	64	68	56	60
4.2.	- 7	12	103	111	62	61	67	55	64
5.2.	- 8	21	62	71	185	63	46	57	38
11.2.	-18	11	107	121	54	60	67	46	57
12.2.	-23	9	26	41	78	66	39	53	21
19.2.	- 2	15	133	97	98	68	66	62	59
26.2.	- 3	16	108	83	96	64	52	61	48
5.3.	- 9	16	119	100	60	67	67	62	62
5.3.	- 6	17	128	109	71	65	70	57	63
11.3.	- 5	19	114	113	56	61	69	57	65
19.3.	- 5	22	108	94	127	62	59	56	53
20.3.	-13	17	115	94	77	72	69	65	61
2.4.	+ 5	17	109	97	-	59	57	56	53
20.2.	-12	13	115	115	47	61	68	56	66
Kukkurainen								0	0
4.3.	- 5	17	23	91	140	17	16		
12.3.	- 7	16	28	107	145	17	18		
20.3.	-20	13	21	109	128	22	21		
1.4.	+ 3	20	35	97	-	9,6	9,2		
10.4.	+ 4	19	34	100	-	9,1	9,1		
17.4.	+ 6	19	46	145	-	4,8	9,6		
Moisio									
9.1.	- 4	16	-	-	-	40		42	
31.1.	-19	12	26	156	46	42		23	
10.3.	-12	15	43	152	78	34		24	
28.3.	- 1	14	48	158	31	33		30	

4.1.1 Enerpak

Piirroksesta 1 nähdään miten Enerpak lämmönvaihtimen hyötysuhde vastaa tarvittavaa hyötysuhdetta eri oloissa. Enerpakin toimintaa kuvaavan janan vasen piste osoittaa kenno II:n pienemmän pyörimisnopeuden hyötysuhteeksi 24 %. Ilmavirta oli tällöin noin 11 kg/h sikaa kohden. Oikean pään piste puolestaan vastaa tilannetta, jolloin puhallin käy suuremmalla nopeudella. Ilmavirta on tällöin noin 23 kg/h sikaa kohden ja hyötysuhde 21 % sekä suhde $m_s/m_u = 0,95$. Tulopuhaltimen lämpö tulee rakennukseen ja suurentaa lämmönvaihtimen hyötysuhdetta suuremmalla pyörimisnopeudella 1,5 %-yksikköä ja pienemmällä pyörimisnopeudella 0,5 %-yksikköä. Kovilla pakkasilla jäätyminen estotermostaatti pysäyttää tulopuhaltimen tarvittaessa, jolloin ilmamäärä- ja hyötysuhdelukemat laskevat suurin piirtein käynnissä/pysähdyksissä-aikojen suhteessa.

Siat tulevat Porlammin sikalaan 35 kiloa painavina. Lämmönvaihtimen hyötysuhde on tällöin tilanteeseen sopiva, lämpötehovaajausta jää vain 4 kW - 25°C pakkasella, kokonaislämmöntarpeen ollessa 24 kW. Sikojen painon ollessa 100 kg ja ulkolämpötilan 0°C muodostuu 32 kW liikalämpöä. Lämmönvaihtimen säätölaite muuttaa yllilämpötapauksessa poistopuhaltimen pyörimissuunnan, jolloin vaihtimen hyötysuhde on ± 0 %. Porlammin sikalassa tätä ei voitu sellaisenaan soveltaa, koska sikalassa ei ollut avattavia ikkunoita. Säätölaite muutettiin sellaiseksi, että pyörimissuunnan muuttuessa käynnistyi lämmönvaihtimen lisäksi sikalassa ennestään olevia poistopuhaltimia. Mitoitetun ilmanvaihdon, 17 000 m³/h, vallitessa sisälämpötila nousee kesällä noin 6°C ulkolämpötilaa suuremmaksi. Jos kylmää vettä on käytettävissä, sikalan lämpötila saadaan eräissä tapauksissa jopa alemmaksi kuin ulkoilman lämpötila /18/.

HYÖTYSUHDE y_i %
EFFICIENCY



Piirros 1.

Tarvittava lämmönvaihtimen hyötysuhde ja ilmanvaihdon määrä 425 sian sikalassa eri ulkolämpötiloissa, kun sisälämpötila on 16...18°C ja suhteellinen kosteus 85 %. Käyrät 20...100 kg on määritetty erikokoisten sikojen kosteuden ja lämmöntuoton mukaan.

Käyrä o - o = tavanomaisesti eristetty sikala, 0,88 W/K sikaa kohden

käyrä * - * = Porlamin sikala, jossa lämpöhäviöt ovat 0,69 W/K sikaa kohden

Käyrien pisteet ovat 5°C välein siten, että ylin piste vastaa -25°C ja alin 0°C ulkolämpötilaa. Käyrä o - o kuvaa 25 m pitkän maaputkivaihtimen ja jana X - X Enerpak-lämmönvaihtimen kahdella puhaltimen nopeudella saatuja arvoja.

Figure 1.

Required heat exchanger efficiency in house of 425 swines when inside temperature is 16...18°C, inside relative humidity 85 %, outside temperature -25...± 0°C, pig weight 20...100 kg.

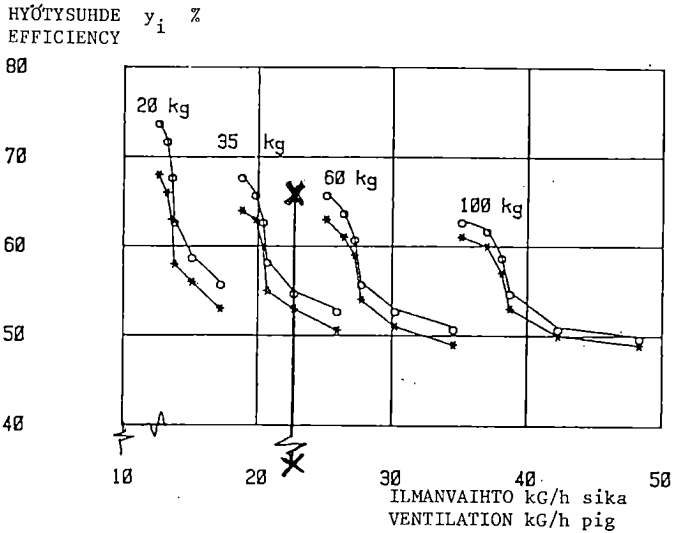
- o - o = insulation 0,88 W/K per pig
- * - * = 0,69 W/K per pig
- ⊙ - ⊙ = 25 m long underground pipe and
- X - X = Enerpak-exchanger

4.1.2 Lämpö-Sampo

Piirroksesta 2 nähdään Lämpö-Sampo lämmönvaihtimen mitattu ilmavirta ja hyötysuhde verrattuna rakennuksesta ja eläinmäärästä johtuviin vaatimuksiin. Jana X - X kuvaa 0...66 % hyötysuhdetta ilmavirran ollessa 23 kg/h sikaa kohden, suhteen m_g/m_u ollessa 0,95. Lämmönvaihtimen toimintajakson pituus oli pienimmillään n. 1 min. Tulopuhaltimen kehittämä lämpö ja kennon talteenottama osa poistopuhaltimen lämpöä tulee rakennukseen ja suurentaa lämmönvaihtimen hyötysuhdetta 6 %-yksikköä.

Osa poistoilmassa olevaa kosteutta palaa takaisin sisälle, kosteushyötysuhde $y_h = 53$ % toimintajakson ja ilmääärän ollessa edellämainitut. Jotta rakennuksessa syntävä vesi saataisiin poistetuksi ilmanvaihdon on oltava 2,13ertainen tavanomaiseen verrattuna.

Hyötysuhde ja ilmanvaihtomäärä ovat 35 kiloisille sioille sopivat yllämainitussa sikalassa, -25° pakkasella tarvittaisiin lisälämpöä vain 4 kW, kokonaislämmöntarpeen ollessa 110 kW. Sikojen ollessa 100 kg painavia ja ulkolämpötilan ollessa 0°C liikalämpöä muodostuu 20 kW jos lämmönvaihdin toimii 15 min käyntijaksoin; sen hyötysuhde on silloin 11 %. Jos vaihtokoneisto pysäytetään lämpöä muodostuu 13 kW liikaa. Liikalämmön poistamiseen on käytettävä lisäpuhaltimia, koska mitoitettu ilmanvaihto, 8 000 m³/h ei siihen riitä.



Piirros 2.

Lämpö-Sampo lämmönvaihdin, tarvittava lämmönvaihtimen hyötysuhde ja ilmanvaihdon määrä 425 sian sikalassa eri ulkolämpötiloissa, kun sisälämpötila on 16...18°C ja suhteellinen kosteus 85 % sekä talteenoton vesihyötysuhde 53 %.

Käyrä o - o = tavanomaisesti eristetty sikala, 0,88 W/K sikaa kohden

käyrä * - * = Porlammin sikala, jossa lämpöhäviöt 0,69 W/K sikaa kohden.

Pisteet on merkitty 5°C välein siten, että ylin vastaa -25°C ja alin 0°C ulkolämpötilaa. Jana X kuvaa Lämpö-Sampo lämmönvaihtimen hyötysuhdetta mitoitusilmamäärällä eri lämpötiloissa.

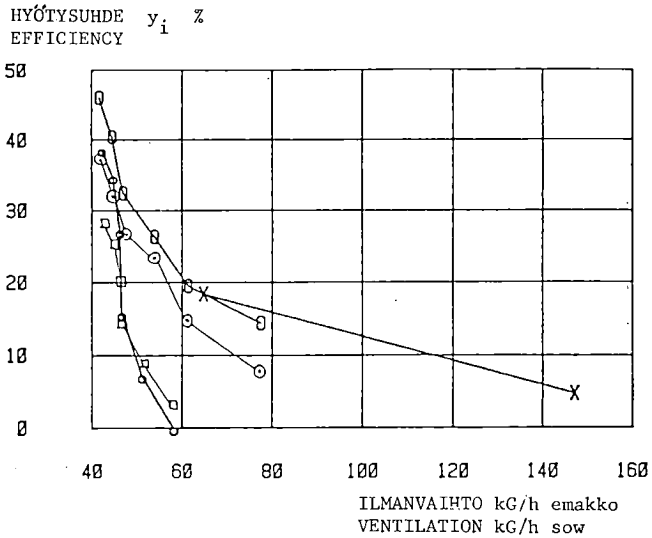
Figure 2.

Required efficiency when moisture efficiency is 53 % and Lämpö-Sampo-exchanger in the same swinery as in Figure 1.

4.1.3 Kukkurainen

Piirroksessa 3 verrataan Kukkurainen lämmönvaihtimen hyötysuhdetta rakennuksen ja eläinmäärän asettamiin vaatimuksiin. Lämmönvaihtimen hyötysuhde η_1 oli 18...4,8 % ilmanvaihtomäärän ollessa 2700...6100 m³/h ja suhteen m_g/m_u 0,95.

Viidenkymmenen emakon sikalassa tarvittava hyötysuhde on 38...46 % ja 20 emakon sikalassa 54...61 %, kun sisällä pyritään pitämään lämpötilaa 16...18°C. Pienissä sikaloissa rakennushäviöiden määrä ilmanvaihdon häviöihin nähden on suuri, koska mm. ovien ja ikkunoiden pinta-ala saattaa olla 17...23 % seinäpinta-alasta. Kukkuraisen ilmanvaihtomäärä oli sikamäärään nähden liian suuri. Kun ilmanvaihto on oikeassa suhteessa sikamäärään, tarvitaan 50 emakon sikalassa lämmönvaihtimen lisäksi lisälämpöä 7,5...11 kW -25°C pakkasella, kokonaislämmöntarpeen ollessa 14...19 kW. Leudollakaan säällä ei muodostu liikaa lämpöä, koska vaihtimen hyötysuhde on silloin sopivan pieni ja ilmamäärää voidaan tarvittaessa lisätä. Mitoitettu ilmanvaihto 14 000 m³/h on suuri. Kesällä sisälämpötila nousee enintään kolme astetta ulkolämpötilaa suuremmaksi.



Piirros 3.

Kukkurainen lämmönvaihdin, tarvittava lämmönvaihtimen hyötysuhde ja ilmanvaihdon määrä 50 emakon sikalassa, kun sisälämpötila on 18°C ja suhteellinen kosteus 70...85 % (O - O), tai vastaavasti 16...18°C ja 85 % (o - o). @ - @ = 47 m maaputkivaihdin, □ - □ = 25 m maaputkivaihdin. Pisteet on merkitty 5°C välein siten, että ylin vastaa -25°C ja alin 0°C ulkolämpötilaa. X - X Kukkurainen lämmönvaihtimen toiminta-alue talvella.

Figure 3.

Required efficiency in 50 sow farrowing house when outside temperature is $-25 - \pm 0^{\circ}\text{C}$.

O - O = inside temperature 18°C, relative moisture content 70...85 %

o - o = inside temperature 16...18°C, relative moisture content 85 %

□ - □ = 25 m long underground pipe

@ - @ = 47 m long underground pipe

X - X = Kukkurainen heat exchanger

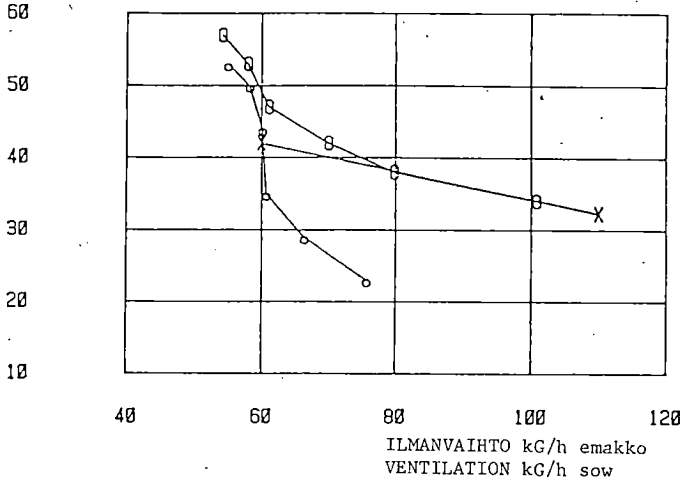
4.1.4 Moisio

Piirroksessa 4 esitetään Moisio lämmönvaihtimen hyötysuhde verrattuna rakennuksesta ja eläinmäärästä johtuviin vaatimuksiin. Lämmönvaihtimen kautta tuli sisälle aina 1,5 kertaa niin paljon ilmaa kuin sen kautta meni ulos. Tämän vuoksi lämmönvaihtimen hyötysuhdetta ei voitu määrittää kun $m_s/m_u = 0,95$. Lämmönvaihtimen hyötysuhde, y_i , oli 46...55 % ja kosteushyötysuhde, y_h , on 37...62 %. Näitä hyötysuhteita on hankala käyttää sikalan energiansäästölaskelmissa, koska lämmönvaihtimen ohi menevä poistoilma täytyisi laskea erikseen. Sen vuoksi laskelmissa on käytetty vastaavia näennäishyötysuhteita $\bar{\phi}_i = 32...42$ % ja $\bar{\phi}_h = 23...30$ %.

Kun kosteushyötysuhde on keskimäärin 25 %, tarvitaan ilmanvaihtoa 1,3 -kertainen määrä syntyvän kosteuden poistamiseksi.

Ilmanvaihto oli sikamäärään nähden melko sopiva. Lisälämpöä tarvitaan 50 emakon sikalassa 5...7 kW -25°C pakkasella, jos sisälämpötilaa halutaan pitää 16...18°C. Lämmön tarve kokonaisuudessaan on silloin 26...30 kW. Leudolla säällä ei muodostu liikalämpöä. Mitoitettu ilmanvaihto 13 500 m³/h antaisi tavanomaisia laitteita käytettäessä neljän asteen eron sisä- ja ulkolämpötilan välille. Maa-putken ansiosta ero pienenee noin kahteen asteeseen.

HYÖTYSUHDE y_i %
EFFICIENCY



Piirros 4.

Moisio lämmönvaihdin, tarvittava lämmönvaihtimen hyötysuhde ja ilmamäärä 50 emakon sikalassa, kun sisälämpötila on 18°C ja suhteellinen kosteus 70...85 % (0 - 0) tai vastaavasti 16...18°C ja 85 % (o - o). Pisteet on merkitty 5°C välein siten, että ylin vastaa -25°C ja alin 0°C ulkolämpötilaa. x - x kuvaa Moisio lämmönvaihtimen hyötysuhteen muuttumista.

Figure 4.

Required efficiency in farrowing house when moisture efficiency is 25 %.

x - x = Moisio-exchanger

4.1.5 Maaputki

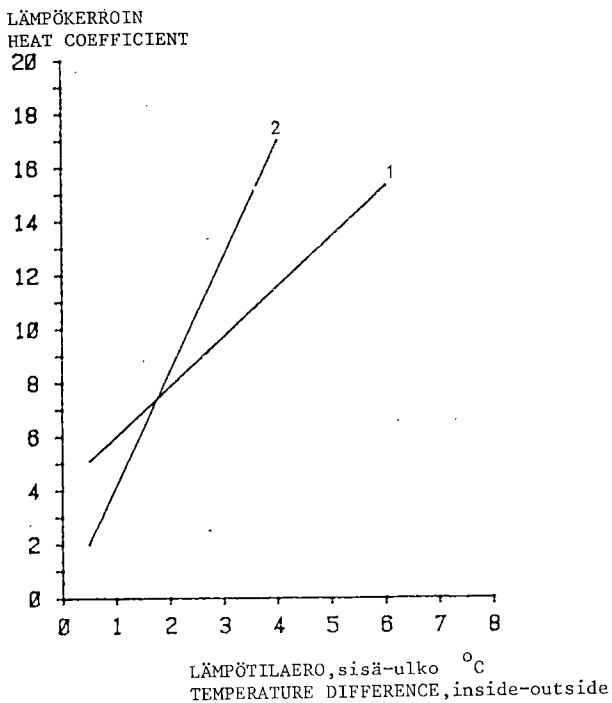
Maaputken teoreettiset laskelmat on suorittanut R. Wikstén VTT/LVI-tekniikan laboratorion, ne on esitetty liitteessä 1: Eläinsuojan raitisilman lämmitys tai jäähdytys maaperässä olevan putkiston avulla. Siinä on esitetty myös putken avulla vuosittain saatava energian säästö ja eräitä käytännön johtopäätöksiä.

Vertailu lämmönvaihtimiin:

Maaputken lämmitys- tai jäähdytysteho voidaan ilmaista tehokkuuskertoimen E avulla. E on putkessa virtaavassa ilmassa tapahtunut lämpötilan muutos / ulko- ja maan lämpötilojen erotus. Scott'in /11/ mittauksen mukaan putken alkiosa on lämmön siirtymisen kannalta tehokkainta, liite 2.

Olkkalan maaputkella saavutettava tehokkuuskerroin riippuu mm. maan- ja ulkolämpötilan erosta, putken pituudesta ja ilman nopeudesta, liite 2. Kun ilman nopeus on 6 m/s nousee 25 m putken tehokkuuskerroin n. 30 %:sta 50 %:iin ja 47 m putken n. 50 %:sta 70 %:iin ulkolämpötilan ja maan lämpötilan eron noustessa $10^{\circ}\text{C} \rightarrow 25^{\circ}\text{C}$. Jos ilman nopeus on vain 3 m/s, ovat vastaavat tehokkuuskertoimien muutokset 45 % \rightarrow 60 % ja 60 % \rightarrow 75 %. Sikaloissa käytetäessä 47 m pitkä putki vastaa lämmönvaihdinta, jonka hyötysuhde $\eta_1 = 34...37\%$ ja 25 m pitkä putki vaihdinta, jonka hyötysuhde = 25...30 %. Putken hyötysuhdeominaisuudet ovat sikalakäytössä lähes ihanteelliset, piirroksat 1 ja 3. Hyötysuhdekäyrä on muodoltaan samanlainen kuin tarvittavaa hyötysuhdetta osoittava käyrä.

Kesäaikana maaputken tehokkuuskerroin oli pienempi kuin talvella, liite 2. Laskettaessa sikalan kesäaikaiselle tuuletukselle lämpökerroin, piirros 5, havaitaan, että maaputkivaihdin vie vähemmän sähköenergiaa kuin tavallinen ilmanvaihto vasta kun pyritään pienempään kuin kahden asteen lämpötilaeroon sisä- ja ulkolämpötilan välillä. Tavallisesti tyydytään suurempaan lämpötilaeroon. Maatilahallituksen rakentamisohjeiden mukainen 30...45 m³/h lihasikaa kohden vastaa noin kuuden asteen lämpötilaeroa. Tällöin puhaltimet käyvät täydellä tehollaan 3200 tuntia vuodessa Etelä-Suomen oloissa, jos pyritään pitämään sika-lassa +18°C lämpötila. Optimilämpötila ylitetään tällöin noin 13000 astetunnin ajan. Suuremmasta lämpötilasta johutuva sikojen kasvun pieneneminen ja rehunkulutuksen suureneminen aiheuttavat tällöin 6...15 markkan suuruisen tappion tuotettua lihasikaa kohden. Tappio on arvioitu kirjallisuustietojen perusteella, liite 3.



Piirros 5.

Lihaskalan jäähtytyksessä saavutettava lämpökerroin eli poistettu lämpömäärä/kulutettu sähköenergia.

Maaputki = 1, tavallinen ilmanvaihto = 2.

Figure 5.

Heat coefficient, removed energy/used energy, when ventilating pig fattening house.

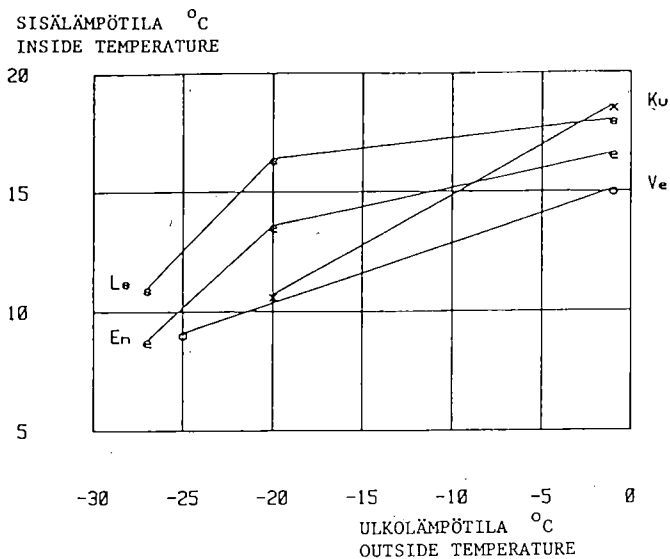
Underground pipe = 1, conventional ventilation = 2.

4.2 Sikaloissa saavutetut lämpötila- ja kosteusolosuhteet

Eri sikaloissa talvella mitatut lämpötilat ulkoilman lämpötilan muuttuessa on esitetty piirroksessa 6 ja suhteelliset kosteudet piirroksessa 7. Mitatut arvot ovat vuorokautisia keskiarvoja 8-11 viikon ajalta. Lämpötila pyrittiin pitämään eläinten tasolla 15...17°C:ssa.

Vertailuosaston lämpötila oli kaikkein alhaisin huolimatta siellä olleesta 38 kW tehoisesta lämmittimestä, koska osa lämmittimen tuottamasta lämpöenergiasta karkasi poistoilman mukana. Puhaltimien vaihtamaa suurta ilmamäärää jouduttiin pienentämään sikojen ollessa pieniä pysäyttämällä puhaltimet ja avaamalla ovet viereisiin osastoihin.

Lämpö-Sampo ja Enerpak-sikaloitten lämpötilat olivat korkeimmat. Kovalla pakkasella näidenkään teho ei riittänyt pitämään sikalan lämpötilaa haluttuna. Liitteessä 3 esitetään tietoja olosuhteiden vaikutuksesta eläinten tuotomääriin.



Piirros 6. Sikaloiden lämpötilat talvella 1980

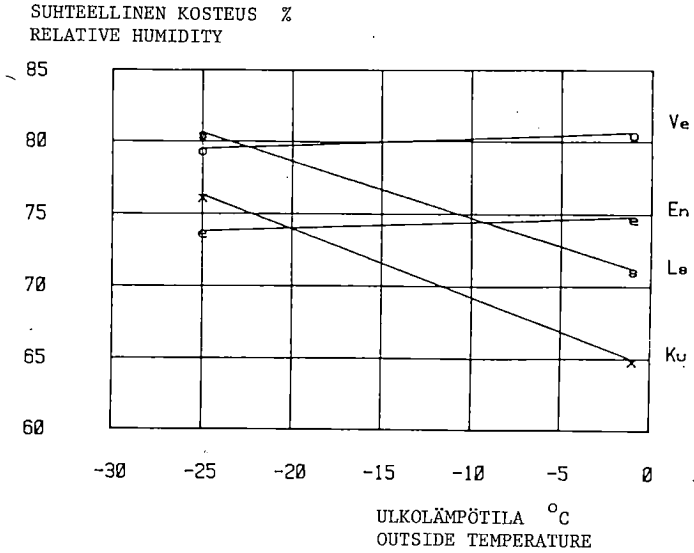
Ku = emakkosikala, talteenottohyötysuhde $y_1 = 0...19 \%$,
sähkölämmitys 4 kW, alipaine, 48 emakkoa á 19 m³

Ls = lihasikala, talteenottohyötysuhde $y_1 = 0...66 \%$,
 $y_h = 0,53$, tasapaine, 425 lihasikaa á 2,3 m³

En = lihasikala kuten edellä, talteenottohyötysuhde
 $y_1 = 0...24 \%$

Ve = lihasikala, puhallinpatterilämmitys 0...38 kW,
alipaine, 470 sikaa á 2,7 m³

Figure 6. Swine house temperatures in winter 1980.



Piirros 7. Sikaloiden kosteudet talvella 1980

Ku = emakkosikala, talteenottohyötysuhde $y_1 = 0...19\%$ +
sähkölämmitys 4 kW, alipaine, 48 emakkoa á 19 m³

Ls = lihasikala, talteenottohyötysuhde $y_1 = 0...66\%$,
 $y_h = 0,53$, tasapaine, 425 lihasikaa á 2,3 m³

En = lihasikala kuten edellä, talteenottohyötysuhde $y_1 =$
0...24 %

Ve = lihasikala, puhallinpatterilämmitys 0...38 kW, ali-
paine, 470 sikaa á 2,7 m³

Figure 7. Swine house relative humidity contents in
winter 1980.

4.3 Ilmanvaihtolaitteiden energian kulutus

Ilmaa siirtävä potkuripuhallin saattaa kuluttaa sähköenergiaa esimerkiksi 1 Wh/20 kg siirrettyä ilmaa toimiessaan täydellä teholla. Kun puhallin liitetään ilmastointilaitteisiin sen energiayksikköä kohti tuottama ilmämäärä pienenee, koska ilmanavissa syntyy aina painehäviöitä.

Alipaineilmanvaihdon energian kulutus riippuu myös eläinsuojassa vallitsevasta alipaineesta eli tuloaukkojen painehäviöstä. Jos karjasuojassa on vähän tuloaukkoja ja ilmanvaihto on suhteellisen suuri, saattaa alipaine olla talvellakin 50 Pa. Näin on esim. broilerikanalassa, jossa ilma vaihtuu n. 4 kertaa tunnissa. Kun rakennuksessa on tavanomainen määrä ovia ja ikkunoita, saattaa alipaine olla 25 Pa rakennuksen ollessa uusi ja 5...10 Pa rakennuksen ollessa vanha /16/. Alipaine on pieni myös silloin, kun tuloaukot ovat suuret eikä niitä säädetä.

Lämmönvaihtimin varustetuissa ilmanvaihtolaitteissa on lämmönvaihtimen lisäksi putkia ja suuttimia, joissa syntyy painehäviöitä. Lämmönvaihtimen imu- tai painepuolen painehäviö voi olla 150 Pa, putkiston 100...500 Pa ja suotimien 400...500 Pa. Tällaiset ilmanvaihtolaitteet kuluttavat tavanomaista enemmän energiaa. Ero tulee selvästi esille kesäaikaisessa ilmanvaihdossa, jolloin ilmanvaihdon määrä on suuri. Jos laitteet toimivat vuoden lämpimänä aikana, lämpötila +5...+25°C, esimerkiksi 83 vrk 80 %-teholla ja 146 vrk 100 %-teholla, muodostuu 8000 m³/h ilmanvaihdon puhaltimien energian kulutukseksi taulukossa 2 esitetyt.

Taulukko 2. Puhaltimien energian kulutus eri ilmanvaihtolaitteissa kesällä

Table 2. Ventilation system energy consumption in summer

	Energian- kulutus Energy consumption	Lähde Source
Alipainelaite, kun alipaine on 40 Pa Negative pressure system	3090 kWh	eri kirjall. literature
Kiertoilmalaite " Recirculated air system	3510 "	Vakolan mitt. measured
Tasapainelaite Fistamat Arctic Equilibrium system	7230 "	kirjallisuud. literature
Enerpak-lämmönvaihdinlaitteet Enerpak-system	12620 "	Vakolan mitt. measured
Lämpö-Sampo - Lämpö-Sampo-system	31090 "	"
Kukkurainen - Kukkurainen-system	3290 "	"
Maaputkilaitteet, Olkkala Underground pipe system	11750 "	"

Maaputkivaihtimella ja Enerpak-vaihtimella voidaan kesällä jäähdyttää, joten todellisuudessa niillä ei tarvita näin suurta ilmamäärää. Jos sisä- ja ulkolämpötilan eroksi esimerkiksi pyritään saamaan enintään 3°C, riittää maaputkivaihtimella ilmamääräksi noin 4000 m³/h.

Talviaikainen energian kulutus voidaan laskea vastaavalla tavalla. Lähtökohdaksi on otettu minimi-ilmanvaihto, 60 kg:n lihasika 9,5 m³/h ja emakko porsaineen 35,3 m³/h, sekä oletettu 136 vuorokautta pitkä ajanjakso, jolloin lämpötila on välillä -25...0°C. Kun sisälämpötilana pidetään 16...18°C ja suhteellisena kosteutena 85 % ovat eri ilmanvaihtolaitteiden puhaltimien sähköenergian tarpeet taulukossa 3 esitetyn suuruiset. Enerpak-, Lämpö-Sampo- ja maaputkilämmönvaihtimen puhaltimien energian kulutukset ovat muiden laitteiden energian kulutusta suuremmat. Ero johtuu puhaltimilta tarvittavasta suuremmasta paineesta.

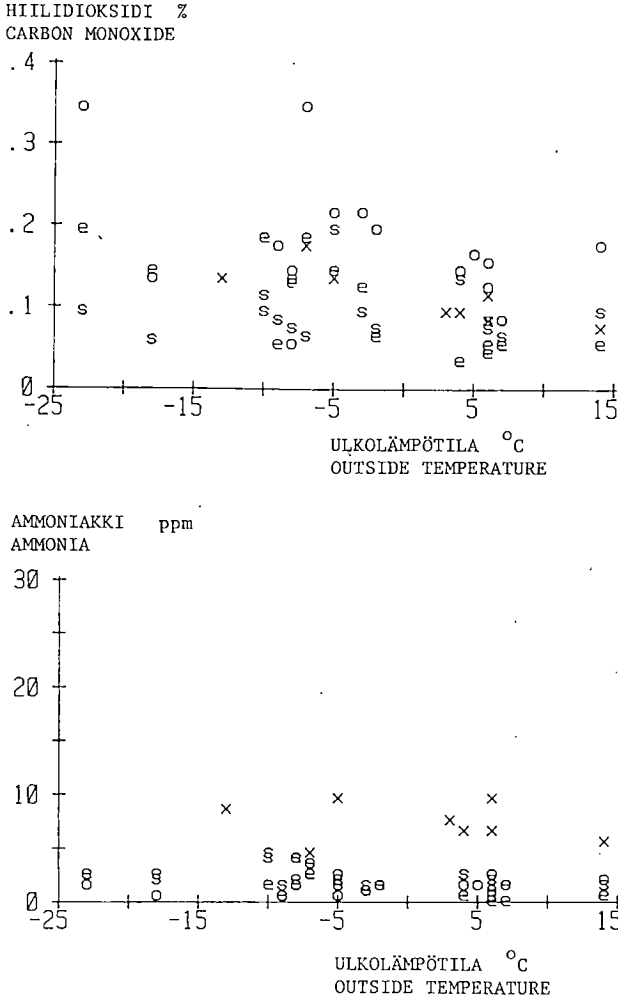
Taulukko 3. Puhaltimien talviaikainen energiankulutus eri ilmanvaihtolaitteissa

Table 3. Ventilation system energy consumption in winter

	Energian kulutus Energy consumption	
	425 lihasikaa à 60 kg 425 fattening pigs	50 emakon sikala porsaineen 50 sow farrowing house
Alipainelaite, kun alipaine on 40 Pa Negative pressure system	2672 kWh	1390 kWh
Kiertoilmalaite " Recirculated air system	5154 "	2445 "
Tasapainelaite Pistamat Arctic Equilibrium system	5154 "	2445 "
Enerpak-lämmönvaihdinlaitteet Enerpak-system	9385 "	3227 "
Lämpö-Sampo - Lämpö-Sampo-system	22915 "	9664 "
Kukkurainen - Kukkurainen-system	2073 "	585 "
Maaputkilaitteet, Olkkala Underground pipe system	6455 "	2985 "

4.4 Sikaloiden ammoniakki- ja hiilidioksidipitoisuudet

Pitoisuuksia mitattiin 7-11 kertaa, tulokset on esitetty piirroksessa 8. Ammoniakkipitoisuuksissa oli selvä ero liha- ja emakkosikaloiden välillä. Hiilidioksidipitoisuuksissa ei vastaavaa eroa havaittu. Hiilidioksidipitoisuus riippuu lähinnä ilmanvaihdon määrästä. Ammoniakkipitoisuuksien eroon vaikuttaa ilmanvaihdon yleinen toteutus ja mm. lannanpoistotapa. Ulkoilman lämpötila, eli käytännössä ilmanvaihdon määrä vaikutti vain vähän kaasujen määrään, joka oli kohtalaisen pieni. Vain vertailuosastossa mitattiin suurehkoja hiilidioksidipitoisuuksia, lähinnä silloin kun puhaltimet oli pysäytetty pakkasen takia.



Piirros 8.

Ulkoilman lämpötilan, käytännössä ilmanvaihdon määrän, vaikutus ammoniakkin ja hiilidioksidin esiintymiseen eri sikaloissa. O = vertailuosasto, e = Enerpak-sikala, s = Lämpö-Sampo-sikala ja x = Kukkurainen-sikala.

Figure 8.

Ammoniak and carbon monoxide concentrations in swineries, O = reference swinery, e = Enerpak, s = Lämpö-Sampo and x = Kukkurainen.

4.5 Lämmönvaihtimiin tiivistynyt vesi

Enerpak ja Lämpö-Sampo lämmönvaihtimiin tiivistyneestä vedestä otettiin näytteet ja lähtettiin Viljavuuspalvelu Oy:n analysoitavaksi. Analyysin tulokset esitetään taulukossa 4.

Taulukko 4. Enerpak ja Lämpö-Sampo lämmönvaihtimiin tiivistyneen veden analyysitulokset

Table 4. Analysis of condensated water from Enerpak and Lämpö-Sampo heat exchangers

Näyte Sample	pH	Cl mg/l	-SO ₄ mg/l	NH ₄ -N mg/l	NO ₃ -N mg/l	NO ₂ -N mg/l	H ₂ S mg/l
LS 2620	2,85	14,2	247	1340	30	<0,01	0
E 2628	6,70	21,3	8,8	550	3	<0,01	0

Koska Lämpö-Sampo vaihdin palautti osan kosteutta takaisin sikalan ilmaan ja lämmönvaihtimiin tiivistynyttä vettä voi joutua sikojen ulottuville, vedellä tehtiin kasvatuskoe. Vesi ei vaikuttanut haitallisesti rottien kasvuun. Kokeen tulokset kokonaisuudessaan on esitetty liitteessä 7.

4.6 Haju

Hajumittauksia tehtiin kahdessa sikalassa olfaktometriä käyttäen kahden henkilön voimin. Tulokset ovat taulukossa 5.

Taulukko 5. Hajumittaukset
Table 5. Odor measurements

	Koesikala Trial swinery			Vertailusikala Reference swinery					Keski- arvo A Mean value A
	Ve	En	Ls						
Haju, I-mitt. Odor, I-measurer	7	2,1	2,3	3,0	2,5	3,0	5,5	5,5	3,9 ± 2
Haju, II-mitt. Odor, II-measurer	5,5	6,5	22	7,0	5,5	18	10	7,0	10 ± 6
Keskiarvo B Mean value B	6,3	4,3	12	5,0	4,0	12	7,8	6,3	

Hajunumero tarkoittaa sitä hapen ja sikalailman laimennus-
suhdetta, O₂/ilma, joka tarvitaan hajukynnyksellä, eli
silloin, kun koehenkilö ei haista enää hajua. Täten haju
voimistuu numeron suuretessa.

Koehenkilöiden herkkyydessä oli huomattava ero, keskiarvo
A. Lisäksi muutamissa mittauksissa eri koehenkilöiden saa-
mien arvojen välinen hajonta oli suurempi kuin ± 50 % kes-
kimääräisestä. Hajonta ei saa olla tätä suurempaa, jotta
olfaktometrimittauksella saadaan edustavia ja toisiinsa
verrattavia tuloksia. Tämän mittauksen perusteella ei
siis voida tehdä päätelmiä sikaloiden välisistä eroista,
haistajia olisi pitänyt olla useampia. Yleensä tarvitaan
vähintään 2-3 henkilöä hajumittauksiin.

5. LÄMMÖNVAIHTIMEN HANKINNAN KANNATTAVUUS

5.1 Lämmönvaihtimien avulla saavutettava vuotuinen energian säästö

Lämmitysenergian tarve ja lämmönvaihtimien avulla saavutettava säästö on hyvin eristetyssä sikalassa taulukon 6 mukainen. Hyvin eristetty sikala on laskelmassa seuraavanlainen: Lattian ja perusmuurin eristyspaksuus on 5 cm, seinien 12,5 cm ja yläpohjan 22,5 cm. Ikkunat ovat kolmilasiset ja ovet parioivia. Lämmitystehon tarpeeksi saadaan 530 m²:n lihasikalassa 269 W/K + 2150 W ja 403 m²:n emakosikalassa 225 W/K + 1850 W. Eri sikaloita ja olosuhteita vastaavat luvut on laskettu lämmönvaihtimien hyötysuhdemittausten perusteella.

Säätila on oletettu seuraavan asetelman mukaiseksi

Lämpötila, °C	-25	-20	-15	-10	- 5	0
suht.kosteus %	90	90	90	90	87	85
lämpösisältö, kJ/kg	-24	-19	-13	-6,3	0,42	0,80
vesisisältö, g/kg	0,3	0,6	0,9	1,4	2,1	3,2
pysyvyys, tuntia						
vuodessa,						
Keski-Suomi	48	96	264	504	840	1512
Etelä-Suomi	24	96	288	528	792	1872

Lämmönvaihtimet on laskettu Keski-Suomen olojen perusteella.

Taulukko 6. Vaihtimen tuoma lämmitysenergian säästö
Table 6. Heating energy saving through exchanger

Sikala Swinery	Sisälämpö- tila ja suhteell. kosteus Inside temp. and rel.hum.	Lämmitys- energian tarve kWh Energy require- ment	Vaihtimella saatava säästö, % Energy saving			
			Enerpak	Lämpö- Sampo	Kukku- rainen	Oikka- lan maa- putki Under- ground pipe
425 liha- sikkaa, ä 60 kg, 530 m ² 425 fatte- ning pigs	16...18°/ 85 % 18°/85-70 %	8751 39749	100 99	100 100	94 95	100 (25m) 93 (47m)
50 emakkoa + porsaas 403 m ² 50 sow far- rowing house	16...18°/ 85 % 18°/85-70 %	8613 23252	95 95	98 97	85 78	100 (25m) 67 (47m)

Taulukon 6 laskelmasta huomataan, että lämmönvaihtimilla saatava lisälämpö riittää kattamaan lämmitysenergian tarpeen melko hyvin. On kuitenkin muistettava, että jäävä vajuus yleensä keskittyy koville pakkaspäiville, jolloin sikalan lämpötila voi laskea huomattavasti. Moniin vaihtimiin tarvitaan lisäksi pieni lisälämmön lähde, jos halutaan pitää sisälämpötila vakiona.

5.2 Lämpökerroin

Lämmönvaihtimen lämpökerroin lasketaan jakamalla hyötyenergia kulutetulla energialla. Leudolla säällä kaikkea talteenotettua energiaa ei voida käyttää hyödyksi, koska sisälämpötila nousisi liiaksi. Sen vuoksi lämpökerroin on laskettava jakamalla tavanomaisen sikalan lämmitys- ja tuuletusenergian kulutus lämmönvaihdin-sikalan vastaavilla

arvoilla. Kun sikalassa ylläpidetään kohdassa 5.1 mainittuja olosuhteita, eri lämmönvaihtimien lämpökertoimet ovat taulukon 7 mukaiset. Kummankin sarakkeen vasemmanpuoleinen lukema on laskettu vastaamaan tilannetta, jossa sikalan sisälämpötila on 16...18°C ja suhteellinen kosteus 85 % ja oikeanpuoleinen vastaavasti 18°C ja 70 %... 85 %.

Taulukko 7. Lämpökertoimet
Table 7. Heat coefficients

Vaihdin Exchanger	Sikala Swinery	Vuosikäyttö All year use	Vuosikäyttö, kesällä alipaineilmanvaihto All year use, negative pressure system in summer
Enerpak	emakot sows	1,2...2,1	3,1...5,0
	lihasiat fattening pigs	0,8...1,7	1,7...3,5
Lämpö- Sampo	emakot	0,64...1,2 ¹⁾	1,5...2,7
	lihasiat	0,4...0,94 ¹⁾	0,93...2,0
Kukku- rainen	emakot	2,5...3,1	
	lihasiat	2,1...4,8	
Maaputki Underground pipe	emakot	2,0...2,0	
	lihasiat	1,3...2,8	

1) Kesällä lisäpuhallin - Additional fan in summer

Energiaa säästäviä laitteita käytettäessä pyritään yleensä lämpökertoimeen, joka on suurempi kuin 2,5...3. Taulukkoa tarkasteltaessa todetaan seuraavaa.

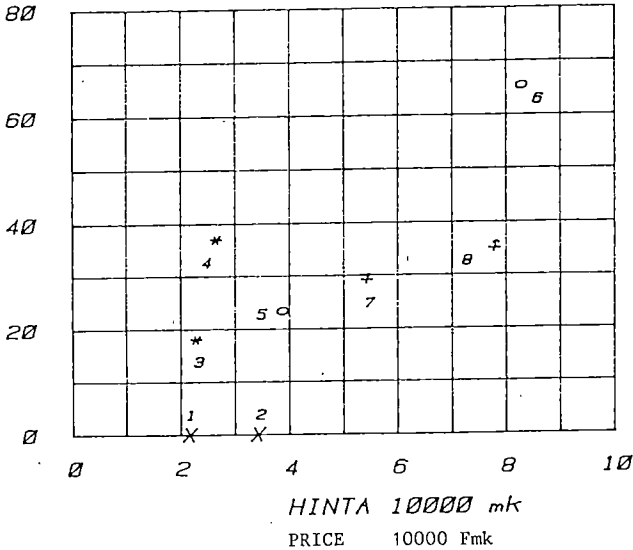
- Jos ilmanvaihto pidetään minimissään, millään laitteella ei vuosikäytössä päästä näin hyvään lämpökertoimeen, vasemmanpuoleinen lukema

- parempi lämpökerroin saavutetaan, jos ilmanvaihton määrää nostetaan, oikeanpuoleinen lukema, ja lisäksi kesällä tuuletetaan muilla laitteilla, Enerpak ja Lämpö-Sampo.

5.3 Hinta

Sikalan ilmanvaihto- ja lämmityslaitteiden hintoja on esitetty piirroksessa 9. Pienihyötysuhteinen lämmönvaihdin ei yleensä nosta hankintakustannuksia verrattaessa tavanomaisiin laitteisiin.

HYÖTYSUHDE [%]
EFFICIENCY



Piirros 9.

425 lihasian sikalaan tarvittavien ilmanvaihto- ja lämmityslaitteiden hintoja v. 1981. Mitoitusperusteena on -25°C ulkolämpötila, 16°C sisälämpötila ja 85 % suhteellinen kosteus.

Figure 9.

Prices of heating and ventilating equipment for 425 fattening pigs in year 1981. Calculation basis was: outside -25°C, inside 16°C and 85 % relative humidity.

- x1 = alipaineilmanvaihto: puhaltimet 19000 m³/h ja niiden säädin yhteensä 7700 mk. Hintaan sisältyvät myös tehdastekoiset ilmantuloaukot. Lattia- tai patterilämmitys 470 mk/kW ja säädin 500 mk
Negative pressure system
- x2 = tasapaineilmanvaihto Fistamat Disco ja lämmyys Equilibrium system Fristamat Disco
- x3 = Kukkurainen lämmönvaihdin lisälämmityksineen. Hinta sisältää myös asennuksen.
- x4 = Moision lämmönvaihdin. Hinnassa asennus ilman sähköttöitä.
- x5 = Enerpak lämmönvaihdin
- x6 = Lämpö-Sampo lämmönvaihdin
- x7 = Olkkalan maaputkivaihtoehto, pituus 25 m
Olkkala underground pipe, length 25 m
- x8 = Olkkalan maaputkivaihtoehto, pituus 47 m

5.4 Laitteinvestoinnille saatava korko

Lämmönvaihtimen hankinnan kannattavuutta voidaan tarkastella sisäisen koron avulla. Se on korkokanta, jolla investoinnin tuotto- ja kustannuserien nykyarvot tulevat yhtäsuuriksi. Sisäinen korko voidaan ratkaista lähteen /12/ mukaisesti yhtälöistä:

$$\left\{ \begin{array}{l} I + k\beta_1 = K\beta_2 \\ \beta = \frac{\left(\frac{1+i}{1+p}\right)^n - 1}{\left(\frac{1+i}{1+p}\right)^n \left(\frac{1+i}{1+p} - 1\right)} \end{array} \right.$$

- I = investointi
k = vuotuinen käyttökustannus
K = vuotuinen energian säästö
β = nykyarvokerroin
i = sisäinen korkokanta
p = energian tai tuotantokustannusten vuotuinen hinnanmuutos
n = käyttöikä, laskenta-aika

Lämmönvaihtimien osalta voidaan merkitä $\beta_1 = \beta_2$,
tällöin yhtälö sievenee muotoon:

$$\beta = \frac{I}{K-k} = \frac{\text{investointi}}{\text{säästö}}$$

Lämmönvaihtimien nykyarvokerroin on laskettu siten, että vaihtimen aiheuttama lisäkustannus on jaettu vuotuisella energian säästön hinnalla. Hinnat ovat vuodelta 1981, jolloin maataloudelle myydyin sähkön keskihinta oli 31 p/kWh. Esimerkkeinä laskuista ovat taulukot 1 ja 2, liitteessä 4.

Taulukossa 8 esitetyt sisäiset korot on laskettu nykyarvokertoimien ja liitteessä 4 esitetyn korkotaulukon avulla. Laitteiden laskettu käyttöikä oli laskelmassa 10 v. Talvikäytön korkolaskelmissa on lämmönvaihtimen aiheuttama lisäkustannus = vaihtimen ja mahdollisen lisälämmityksen hinta. Se kuvaa tilannetta, jolloin sikalan lämmityslaitteet korvataan lämmönvaihtimilla. Vuosikäytössä vaihtimen lisäkustannus = lämmönvaihtimilaitteiden ja tavanomaisten laitteiden hinnan erotus ja se vastaa tilannetta, jolloin sikalaan hankitaan kaikki ilmanvaihtolaitteet.

Taulukko 8. Lämmönvaihdinlaitteiden nimellinen sisäinen korko, %
Table 8. Nominal interest on heat recovery investment

Vaihdin Exchanger	Sikala 1) Swinery	Talvikäyttö Winter use	Vuosikäyttö All year use	Vuosikäyttö, kesällä ali- paineilmanv. All year use, negative pressure system in summer
Enerpak	emakko sow	0...26	26...80	34...47
	liha fattening	-12...32	---...180	47...100
Lämpö- Sampo	emakko	---...8	---...-2	2...15
	liha	---...7	---...---	---...15
Kukku- rainen	emakko	63...160	yli 200	
	liha	59...yli 200	yli 200	
Olkkalan maaputki Underground pipe	emakko	2...7	40...26	
	liha	-11...11	0...24	

1) sikalat ovat kohdassa 5.1 esitettyjä.

Todellinen korko voidaan sitten laskea kaavasta:

$$i_r = \frac{i_n - i_i}{1 + i_i}$$

i_n = nimellinen korko

i_i = inflaatio

Inflaatio oli vuosina 1971-1980 keskimäärin 11,4 %.

Yleensä vaaditaan, että nimellisen koron täytyy olla inflaatiota suurempi. Taulukon 8 avulla voidaan määrittää eri lämmönvaihtimille suositeltavat käyttöolosuhteet:

1. Lämmityslaitteen korvaaminen, pieni ilmanvaihto =
Kukkurainen
2. Lämmityslaitteen korvaaminen, normaali ilmanvaihto =
Kukkurainen, Enerpak
3. Uusi sikala, pieni ilmanvaihto = Kukkurainen,
Enerpak, jossa on kesällä alipaineilmanvaihto
4. Uusi sikala, normaali ilmanvaihto = kaikki vaihtimet,
kuitenkin niin, että Lämpö-Sammossa on kesällä ali-
paineilmanvaihto.

6. LÄMMÖNVAIHTIMIEN VERTAILU

Seuraavassa esitetään eri lämmönvaihtimien hyviä (+) ja huonoja (-) puolia. Arvioinnit perustuvat suoritettuihin mittauksiin ja laskelmiin sekä sikaloissa tehtyihin havaintoihin.

Enerpak

- + Laitteen hinta on edullinen.
- + Laitteen lämpökerroin on sikalakäytössä tyydyttävä, keskimäärin 1,9. Lämpökerroin paranisi, jos kesäksi hankittaisiin toiset ilmanvaihtolaitteet. Se ei ole kuitenkaan taloudellisesti kannattavaa, koska korko silloin pienenesi.
- + Laitteella voidaan jäähdyttää kesällä, jos on saatavana kylmää vettä. Jäähdytyksestä saatavaa hyötyä ei ole otettu mukaan edelläolevaa korkoa laskettaessa.
- Vaihdin ei tukkeudu pölyn vaikutuksesta kovin helposti, vaan vaatii aikaa 1...2 kk. Vaihtimen poistoilmamäärä kuitenkin pienenee vaihtimen pölyntyessä, joten kenno olisi pestävä noin viikon välein. Vaihtimessa on suihkuputki pesua varten. Kennon tarkastusta varten pitäisi olla hoitosilta, josta päästään kennon yläpuoliselle tarkastusluukulle.

- Vaihtimen lisäksi tarvitaan kovilla pakkasilla pienehko lisälämmitin. Se voidaan järjestää edullisesti vaihtimen yhteyteen.
- Vaihdin saattaa jäätyä, kun pakkasta on -25°C tai enemmän. Jäätymisalttiutta pienentää em. lisälämmitys. Kun pakkasen on jatkuvasti kova ja vaihdin jäätyy, se on sulatettava joka päivä. Tällaista jatkuvaa pakkasta on kuitenkin hyvin harvoin.
- Säättötapa, jossa puhaltimien pyörimisnopeutta muutetaan portaallisesti tai portaattomasti, muuttaa tuloilman nopeutta ja samalla eläinsuojan ilmavirtoja.

Lämpö-Sampo

- Laitteen hinta on korkea.
- Lämpökerroin on sikalakäytössä tyydyttävä, keskimäärin 2,4, joka sekin edellyttää kuitenkin kesäksi toista ilmanvaihtolaitetta.
- + Laitteen puhaltaman ilmamäärän on oltava suuri, jotta kosteus poistuisi, täten sikalan haitallisten kaasujen pitoisuus on pieni koko talven.
- + Suuresta ilmamäärästä johtuen ilma voidaan puhalttaa kauas ja ilmavirrat säilyvät likimain vakiona.
- + Vaihtimen yhteydessä ei yleensä tarvita lisälämmitystä tai sitä tarvitaan vain vähän.

- Laitteessa on 3 olki- ja 2 mattosuodatinta, jotka on puhdistettava 1...2 viikon välein.
- Kenno oli osittain tukossa jäätyminen takia, kun pakkasta oli -24°C . Osittain se saattoi johtua sikalassa vallitsevasta alipaineesta, jolloin tuloilmavirta oli suurempi kuin poistoilmavirta. Kennot voidaan sulattaa käyttämällä vaihdinta käsikäyttöisesti tai kellolaitteen avulla niin, että vaihtolämpän vaihto aika on esim. puoli tuntia.

Kukkurainen

- + Omatoimisesti tehty laite on halpa.
- + Lämpökerroin on hyvä, keskimäärin 4,0. Lämpökerroin ja korko on laskettu tarpeellinen lisälämmitysenergia mukaan lukien. Hallitsematon ilmanvaihto voi kuitenkin lisätä energian kulutusta itsetoimivaa lisälämmityksen säätötapaa käytettäessä, mikä pienentää laitteen tuomaa säästöä. Myös säädettäessä lisälämmitystä käsin voi energiaa tuhlaantua tai sikalan lämpötila alentua pakkasella liian alas.
- Laite vaatii lisälämmityksen. Vaihtimesta on tehty parannettu malli, jonka hyötysuhde on suurempi. Se vaatii lisälämmitystä vain pienissä tai huonosti eristetyissä sikaloissa.
- + Laitteen huollontarve on vähäistä. Vaihdin ohitetaan kesikäytössä avaamalla kaksi luukkuu. Lisäksi avataan tarpeellinen määrä muita tuloaukkoja. Vaihhdinta ei ole tarvinnut puhdistaa vielä kuuden ensimmäisen käyttövuoden aikana.

Vaihtimeen tiivistyneen veden poisjohtamista ei ole vielä järjestetty parhaalla tavalla. Kun pakkasta oli enemmän kuin -20°C , tippui sikalaan muutamain paikoin vettä.

Maaputki, Olkkala

- Laite on kalliinlainen.
- Laitteen lämpökerroin on sikalakäytössä tyydyttävä, keskimäärin 2,4.
- + Laitteella voidaan kesällä jäähdyttää. Jäähdytyksen vaikutusta korkoon ja lämpökertoimeen ei ole laskettu.
- + Laitteen hyötysuhdeominaisuudet ovat hyvät, lämpötehoa riittää tuuletustarvetta vastaavasti. Kesällä riittää ilmanvaihdoksi puolet tavanomaisesta määrästä, mikäli ei pyritä jäähdyttämään.
- + Vaihdin ei tukkeudu pölyn vaikutuksesta, koska ilma menee aina ulkoa sisälle. Ensimmäisen vuoden kokemusten perusteella vaihdin kuitenkin jäätyy umpeen, jos sinne pääsee vuotamaan talvela vettä. Siksi ei voida käyttää salaoja- eikä pieniä betoniputkia. Muutamat isoilla betoniputkillilla, ϕ 60 cm, varustetut sikala- ja navetta-vaihtimet ovat kuitenkin toimineet jo muutamia vuosia tyydyttävästi.
- + Laitteen ilmamäärää ei tarvinne kovin usein säätää, talvella on yksi tilavuusvirta ja kesällä toinen, kaksi kertaa suurempi. Täten sikalan ilmapvirrat on mahdollista säilyttää pienin järjestyin vakiona.

7. LÄMMÖNVAIHTIMIEN SOVELTAMINEN ERILAISTEN ELÄINSUOJIIEN LÄMMITYKSEEN JA HAJUJEN POISTOON

7.1 Ilmanvaihdon mitoitusperusteet

Eläinsuojan optimi-ilmaston säilyttäminen vaatii aina ilmanvaihtoa ulkolämpötilasta riippumatta. Talvella tarvittava minimi-ilmanvaihto mitoitetetaan eläinten tuottaman vesihöyryn määrän mukaan. Eläinsuojassa syntyvän vesihöyryn määrään vaikuttavat monet tekijät, kuten taulukosta 9 näemme. Lannapoistojärjestelmällä ja eläinsuojan kosteudella on suurin suhteellinen vaikutus.

Taulukko 9. Eläinsuojassa syntyvän vesihöyryn määrään vaikuttavia tekijöitä

Table 9. Factors influencing moisture production in livestock buildings

Tekijä Factor	Muutos Change	Vesihöyryn määrä lisääntyy suhteessa Water vapour is increasing in proportion
Lannapoisto- järjestelmä Dunging system	rakolattia → osarakolattia slatted floor partially slatted floor	1:2
	osarakolattia → kiint. lattia part. slatted solid floor floor	1:1,2
	kiint.lattia → kiint. lattia solid floor + kuiv. solid floor + litter	1:1,3
	kiint.lattia + kuiv. solid floor + litter → olkipohja deep litter	1:2,3
Ilman suht. kosteus Relative humidity	85 → 50 %	1:3,3
Ilman nopeus Air movement	0,2 → 0,8 m/s	1:1,7
Ilman lämpötila Air temperature	10 → 20°C	1:1,2...1,9

Syntyvän kosteuden poistamisen lisäksi on eläinsuojassa talvella pyrittävä pitämään riittävän korkea lämpötila, tarvittaessa tuomalla lisälämpöä. Kesällä syntyvä liikalämpö poistetaan lisäämällä ilmanvaihdon määrää. Kesällä tarvittava maksimi-ilmanvaihto mitoitetaan usein esimerkiksi ulkolämpötilan $+25^{\circ}\text{C}$ mukaan ja sallimalla sisällä $4\dots6^{\circ}\text{C}$ ulkolämpötilaa korkeampi lämpötila.

Eläinsuojan ilmanvaihdon laskentaperusteita on esitetty esim. normissa SS 95 10 50 ja 51, /13, 14/, taulukko 10. Tämän tutkimuksen ja aikaisempien navettatutkimusten /4, 8/ perusteella arvioitu vedentuotto oli parsinavetoissa 1,1 -, pihatoissa 1,3 - ja sikaloissa 1,2 -kertainen em. ruotsalaiseen normiin verrattuna. Kertoimien perusteella navetoiden ja sikaloiden vedentuotto lattianeliometriä kohden on laskettu taulukkoon 10, sarake 7. Em. normin mukainen vedentuotto on sarakkeessa 6.

Häkkikanaloiden vedentuotto neliometriä kohden on otettu em. normista ja lattiakanaloiden vedentuotto on arvioitu lähteen /1/ mukaan. Se on suuruudeltaan 1,2 -kertainen em. normiin verrattuna. Emakkosikalan tuotokset on laskettu sellaiselle sikalalle, missä on vain pienet porsaas emakkojen lisäksi, eli alle 3 porsasta/emakko. Lämmöntuotto on otettu lähteestä /9/, se on eläinten tuottama kokonaislämpö.

Erilaisten eläinsuojien energian kulutus voidaan laskea taulukon 10 tietojen perusteella. Laskentatulokset esitetään taulukossa 11 ja liitteessä 5.

Taulukko 10. Eläinsuojan ilmanvaihdon suunnittelutietoja talvikaudeksi

Table 10. Informative material for livestock ventilation in winter

Eläinlaji Animal	Paino Weight kg	Lämpötila, °C		Jasken- tape- ruste Basis for fi- guring	Kost. % las- kenta- per. Rel. humi- dity, basis for fi- guring	Tuotos eläintä ja lattianeliometriä kohti Moisture and heat pro- duktion per animal and			
		kriit- tinen Temp., °C critical	optimi optimum			g/h/ eläin	g/hm ²	W/ eläin	W/m ²
vasikka calf	50	10	15...20	12	80	70		125	
nuorkarja growing cattle	75			"	"			185	
"	100			"	"			240	
"	200		12...15	"	"	290		405	
"	300			"	"			565	
"	400			"	"			725	
lehmä cow	500	2	10...15	"	85	445		1190	
parsin- tying stall				"	"		58		125
pihatto free stall				"	"		45		82
porsas piglet	1	25	30	32	70	17			
"	2			27	"	20		35	
"	5			22	"	30			
"	15		18...22	22	"	42		80	
lihasika fattening pig	25	18	15...22	18	80	58		110	
"	50			16	"	85	92	170	152
"	70			"	"	105		210	
"	90			"	"	120		240	
emakko, sow	175	10	10...15	"	"				
joutilas dry				"	"	113	[40	290	[72
imettävä farrowing				"	"	175		440	
broileri broiler	0,05	32	33	32	60	2,1		0,8	
"	0,1	20	27	27	"	3,1		1,6	
"	1	15	20	20	"	5,0		10	
"	1,5	15	18	20	70	6,2		12	

Eläinlaji Animal	Paino Weight kg	Lämpötila, °C			Kost. % las- kenta- per. Rel. humidi- ty, basis for fi- guring	Tuotos eläintä ja lattianeliömetriä kohti Moisture and heat production per animal and area			
		kriit- tinen Temp., cri- tical	optimi Temp., optimum	lasken- tape- ruste Basis for fi- guring		g/h/ eläin	g/hm ²	W/ eläin	W/m ²
kana poultry	2	7	12...15	20	75	6,0	90	13	194
häkki battery									
lattia litter	"	"	"	"	"	"	42	"	76
deep litter									
kana poultry	3,5					7,8		15	
"	4,5					8,3		16	
lammas sheep	4		10...17	10	80	10		25	
"	25					35		60	
"	40		8...17			50		60...120	
"	65					90		90...180	
hevonen horse	500		8...12	12	80	190		710	
"	700					250		920	
Sarake Column	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Taulukko 11. Energian kulutus hyvin eristetyssä eläinsuojassa, vrt. taulukko 12, liite 5

Table 11. Heating energy consumption in well insulated livestock building, cf. table 12, annex 5

Rakennus Building	Pinta-ala Area m ²	Lisälämmön tarve Energy need kWh/a·m ²	Eläinten lukumäärä Number of animals	Optimi- hyötysuhde Optimum efficiency % ¹⁾
Parsinavetta Tying stall	235	6,4	28 ny = 20 lehmää cows	
	565	3,0	66 ny = 48 lehmää	
Pihattonavetta Free stall	235	32	18 ny = 13 lehmää cows	21
	565	19	44 ny = 32 lehmää	17
Emakkosikala Sow stall	235	37	36 emakkoa sows	20
	565	19	87 emakkoa	16
Lihasikala Fattening house	235	44	196 sikaa pigs	13
	565	29	471 sikaa	11
Häkkikanala Poultry in batteries	235	0,7	3500 kanaa hens	
	565	0,1	8400 kanaa	
Lattiakanala Poultry in deep litter	235	35	1400 kanaa hens	21
	565	15	3300 kanaa	17

1) kohdasta 7.2. - from part 7.2.

7.2 Lämmönvaihtimien optimihyötysuhde

Lämmönvaihtimen avulla voidaan energian kulutuksesta säästää taulukossa 12, liite 5, esitetyt prosenttimäärät. Taulukosta nähdään muunmuassa, että kun hyötysuhde on 30 %, hyvin eristetyssä, eristys III, eläinsuojassa säästetään yli 90 % tarvittavasta lämmitysenergiasta. Vertailun vuoksi samaan taulukkoon on laskettu se osa vaihtimen talteenottamasta energiasta, joka eläinsuojan lämmitykseen pystytään kuluttamaan. Tällöin on ajateltu vaihtimen toimivan koko talvikauden parhaimmalla hyötysuhteellaan.

Lämmönvaihtimen oma energian kulutus suurenee voimakkaasti, kun hyötysuhde suurenee, eikä kulutus paljonkaan pienene, jos hyvähyötysuhteisen vaihtimen hyötysuhdetta säädetään pienemmäksi. Edellämainitusta seuraa, ettei lämmönvaihtimen hyötysuhdetta kannata tehdä liian suureksi, koska energian säästöprosentti ei siitä paljonkaan voi suurenta, eikä läheskään kaikkea lämpöä ei pystytä kuluttamaan. Kun säästöprosentti ja hyödyntämisprosentti kerrotaan keskenään, tulon suuruus antaa kuvan lämmönvaihtimen hyödyllisyydestä. Tämä tulo on esitetty piirroksessa 10, liite 5, ja sitä nimitetään siinä kokonaishyötysuhteeksi. Piirroksessa olevien käyrien huippukohdissa on vaihtimen eräänlainen optimihyötysuhde. Erilaisissa eläinsuojissa tarvittava optimihyötysuhde on esitetty piirroksessa 11, liite 5, ja merkitty myös taulukkoon 11. Piirroksen 11 mukaan samanlaisen lämmöntarpeen omaavissa navetoissa, emakkosikaloissa ja kanaloissa voidaan käyttää esimerkiksi sellaista vaihdinta, jonka hyötysuhde $y_1 = 16...21$ %. Jos vaihdin palauttaa vesihöyryä sisälle, eli y_h on suurempi kuin nolla, em. energiahyötysuhde voi olla vastaavasti suurempi. Lihasukaloissa vastaava hyötysuhde voi olla esimerkiksi 12 %. Häkkikanaloiden ja parsinavetoiden lämmöntarve on niin pieni, että vain pienissä navetoissa voidaan talteenottoa katsoa tarvittavan.

7.3 Lämmönvaihtimien soveltaminen hajujen poistoon

Sikalan, samoin kuin muidenkin eläinsuojien hajun aiheuttavat lukuisat pieninä pitoisuuksina esiintyvät kaasumaiset aineet ja yhdisteet, joiden hajukynnys on yleensä alle 10^{-9} tilavuusprosenttia. Hajua antavia aineita syntyy lähinnä eläinten ulosteiden anaerobisen hajoamisen tuloksena sekä rehun jätteiden pilaantuessa. Voimakkaasti haisevien kaasujen muodostumisnopeus riippuu lämpötilasta ja kosteudesta. Eräässä kokeessa haju oli pieni, kun lämpötila oli $+20...25^{\circ}\text{C}$ /6/. Suurimpana syynä tällöinkin hajun pienuuteen pidettiin pientä suhteellista kosteutta, joka vaikutti kaasuja synnyttävien bakteerien toimintaan ja sikojen käyttäytymiseen.

Lämmönvaihtimien avulla suhteellinen kosteus voidaan pitää pienenä. Sikojen käyttäytymiseen vaikuttaa voimakkaasti ilman jako sikalaan. Kun ilma jaetaan putkiston avulla sopivalla tulonopeudella, tuloilma leviää hyvin koko sikalaan, jolloin siat pysyvät puhtaina. Puhtaat siat haisevat likaisia vähemmän.

Sikalan ympäristön hajurasitus pienenee, kun osa hajunkantajina toimivista pölyhiukkasista jää lämmönvaihtimeen tai suotimeen ja osa haisevista kaasuista tiivistyy lämpötilan alenemisen johdosta lämmönvaihtimeen. Jos ilmaa vaihdetaan tavanomaista enemmän, haju myöskin laimenee.

KIRJALLISUUSLUETTELO

1. Controlled Environment. A Guide To the Practical Design of Installations. The Electricity Council, Farm Electrification Handbook N:o 10. Lontoo 1970, 144 s.
2. Esmay M.L. Principles of animal environment. Westport, The Avi Publishing Company, 1969. 325 s.
3. Holopainen V., Putki- ja laite-eristysten mitoitus standardin SFS 3977 ja sisäisen koron avulla. LVI 5 1982, s. 88-90.
4. Karhunen J. ym.; Pihattotutkimus 1976...1978. Helsinki 1979. Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos. Vakolan tiedote 29/79. 34 s.
5. Korhonen P., Kannattavuuslaskelmat ja hankinnat. Otava. Helsinki 1962. 115 s.
6. Missfeld B. 1974. Geruchsminderung durch Haltungsverfahren. KTBL-Schrift 183. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. 61 Darmstadt-Kranichstein.
7. Palm J., Eläinsuojien lämmöntalteenottolaitteille asetettavat vaatimukset. Espoo 1982 Valtion teknillinen tutkimuskeskus. LVI-tekniikan laboratorio. Tiedotteita 67/1982.
8. Parsinavettatutkimus 1973...75. Helsinki 1975. Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos. Vakolan tiedote 24/75. 41 s.
9. Pedersen J., Pedersen S. Staldklimatetik. DSR-forlag, 1979. 228 s.
10. Rakentamisohjeet, numero C. Maatilahallitus, rakennustoimisto, Helsinki 1978.

11. Scott N.R., Parsons R.A. and Koehler T.A. 1965. Analysis and performance of an earth-air heat exchanger. ASAE-paper n:o 65-840. 46 s.
12. Silventoinen O., Energiainvestointien kannattavuuslaskelmat. LVI 5 1982, s. 65-68.
13. SIS. Svensk standard SS 95 10 50. Lantbruksbyggnader - Ventilationsbehov i djurstallar - Beräkningsgrunder. 1980. 10 s.
14. SIS. Svensk standard SS 95 10 51. Lantbruksbyggnader - Ventilationsbehov i djurstallar - Tillämpningar. 1982. 5 s.
15. Structures and Environment Handbook. Ames, Midwest Plan Service. Iowa State University. 1972. 320 s.
16. Trional-ilmanvaihtolaite. Vihti 1981. Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos. Koetusselostus n:o 1047.
17. Vuorelainen O., LVI-tekniikka I₁. 3. painos. Otaniemi, Otakustantamo, 1972. 334 s.
18. Enerpak EPR-3A-50-lämmönvaihdin ja ilmanvaihtolaite. Helsinki 1979. Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos. Koetusselostus n:o 995. 11 s.

LIITE 1
ANNEX 1

ELÄINSUOJAN RAITISILMAN LÄMMITYS TAI JÄÄHDYTYKSEN MAAPERÄSSÄ OLEVAN PUTKISTON AVULLA.
HEATING OR COOLING OF LIVESTOCK VENTILATION AIR BY MEANS OF SUBTERRANEAN PIPE SYSTEM.

Ralf Wikstén
VTI/LVI-tekniikan laboratorio

Taustaa

Suurin osa Suomen eläinsuojista on ilman erillistä lämmityslaitetta. Eläinsuojan lämpötila pysyy suurimman osan vuotta sopivana eläinten luovuttaman lämmön avulla. Kovilla pakkasilla esiintyy kuitenkin lisälämmitystarvetta. Samaten saattaa kesällä sellaisissa eläinsuojissa, jotka ovat käytössä kesäaikaan, esiintyä jäähdytystarvetta.

Sekä lämmitystarve että jäähdytystarve on poistettavissa esilämmittämällä tai -jäähdyttämällä eläinsuojaan tuotava raitisilma. Esilämmitys tai -jäähdytys on mahdollista suorittaa kuljettamalla raitisilma putkistossa, joka on eläinsuojaa ympäröivässä maaperässä. Maaperän keskilämpötila on talvella ulkoilmaa korkeampi ja vastaavasti kesällä alhaisempi. Näin raitisilma lämpenee talvella ja jäähtyy kesällä. Siten voidaan samalla laitteistolla suorittaa raitisilman sekä lämmitys että jäähdytys. Muita käyttökuluja ei ole kuin mitä puhallin kuluttaa.

Viime vuosina on edellä mainittua järjestelmää asennettu koe-mielessä muutamaan eläinsuojaan. Samalla on tehty mittauksia järjestelmän toiminnan analysoimiseksi ja arvostelemiseksi. Mittaustulosten analysointi helpottuu jos tuloksia voidaan verrata teoreettisten laskelmien antamiin tuloksiin. Toisaalta voidaan teoreettisen mallin avulla helpommin arvioida järjestelmän eri osatekijöiden vaikutuksia.

Teoreettisen mallin käytön edellytys on, että se riittävän tarkasti kuvaa todellista tilannetta. Seuraavassa on tarkoitus selostaa erästä teoreettista mallia ja verrata sen antamia tuloksia mittaustuloksiin.

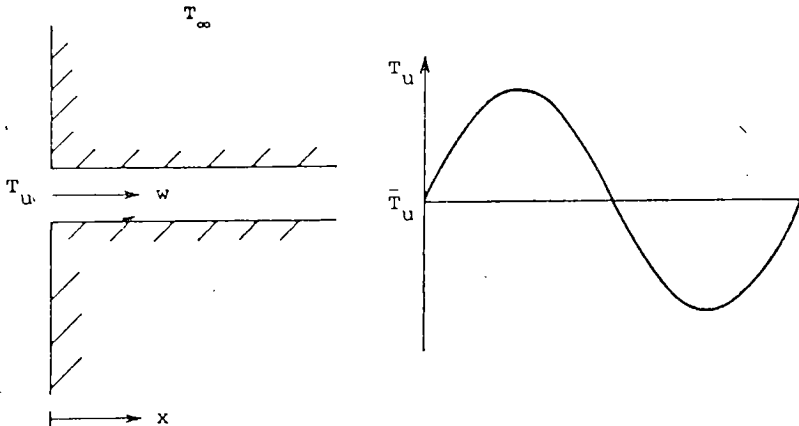
Teoreettinen malli

Verrattain lähellä maan pintaa oleva putki, jonka läpi johdetaan ulkoilmaa, aiheuttaa ympäristössään lämpötilankentän, joka muuttuu:

- putken poikkileikkaustasoissa (kaksi dimensiota)
- putken pituussuunnassa (yksi dimensio)
- ajan myötä, ulkoilman lämpötilan vaihtelun vuoksi.

Tarkasteltava lämpötilakenttä on siis kolmiulotteinen ja ajan suhteen muuttuva (epästationäärinen). Näin yleistä laatua oleville lämpötilakentille kenttien differentiaaliyhtälöiden analyttinen ratkaiseminen ei ole mahdollista. Numeerinen ratkaisu on periaatteessa mahdollinen, mutta tavattoman suuritekoisen, myös nykyaikaisia tietokoneita käyttäen. Järkevin vaihtoehto on siis sellaisen yksinkertaistuksen teko, että analyttinen ratkaisu tulee mahdolliseksi.

Jos putken oletetaan olevan äärettömän suuressa kappaleessa ja ulkoilman lämpötilan vuotuisen vaihtelun olevan sinifunktion mukainen, on ratkaisu analyttisessä muodossa mahdollinen [1]. Putken malli on silloin kuvan 1 mukainen.



Kuva 1. Putki puoliäärettömässä kappaleessa. Ulkoilman lämpötilan vaihtelu sinifunktion muotoinen.
Figure 1. Pipe in an half endless body. Variation of outside temperature is sinewave in form.

Mallin yksinkertaistukset ovat siis:

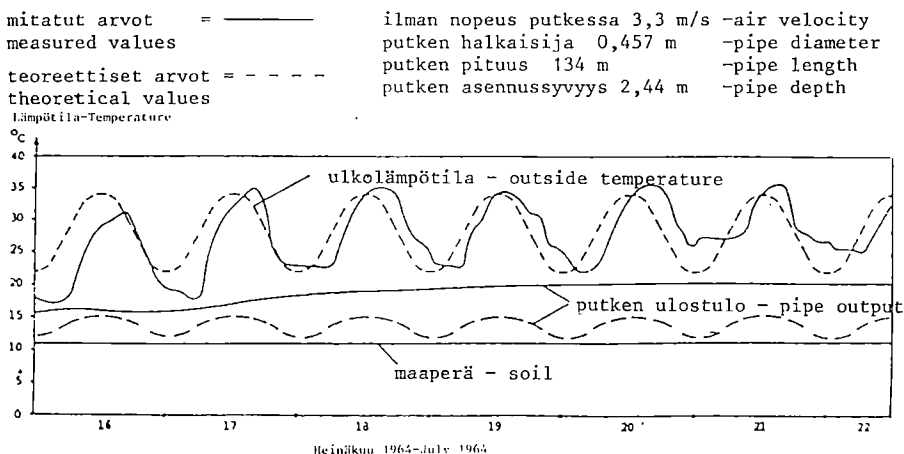
- ulkoilman lämpötila vaihtelee sinimuotoisesti
- lämpötilat putken ympäristössä ovat symmetrisiä putken poikki-leikkauksen suhteen.

On ilmeistä, että malli antaa sitä tarkempia tuloksia, mitä syvemmillä putki todellisuudessa on. Mallin suurin puute on ehkä, että ei voida tarkastella putken asennussyvyyden vaikutusta lämpötiloihin.

Yksinkertaistuksista johtuvat poikkeamat todellisista arvoista voidaan arvioida vain vertaamalla laskettuja ja mitattuja tuloksia.

Vertailu mittaustuloksiin

Riittävän laajoja mittauksia maaputken käyttäytymisestä on varsin niukasti. Yhdysvalloissa tehtiin 1960-luvun puolivälissä kokeita, joiden avulla voidaan vertailla mitattuja ja laskettuja tuloksia /2/. Kuvassa 2 on vertailun tulokset.

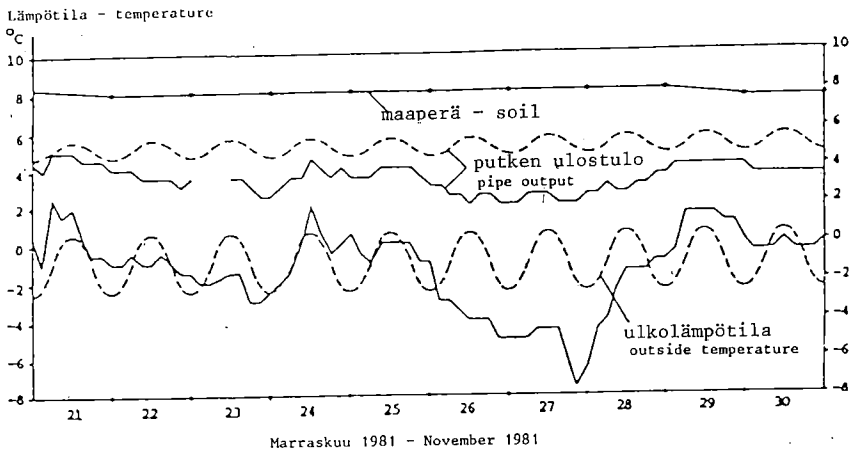


Kuva 2. Vertailu mitattuihin ja laskettuihin tuloksiin. Mittaukset tehty Cornell Poultry Research Farmilla Yhdysvalloissa.

Figure 2. Comparison between measured and calculated results. Measurements has been made on Cornell Poultry Farm in US.

Suomessa tehtiin syksyllä 1981 samanlaisia mittauksia ja kokeita. Vertailu laskettuihin tuloksiin on kuvassa 3.

mitatut arvot = —————	ilman nopeus putkessa 6 m/s	-air velocity
measured values	putken halkaisija 0,2 m	-pipe diameter
	putken pituus 47,5 m	-pipe length
teoreettiset arvot = - - - - -	putken asennussyvyys 2 m	-pipe depth
theoretical values		



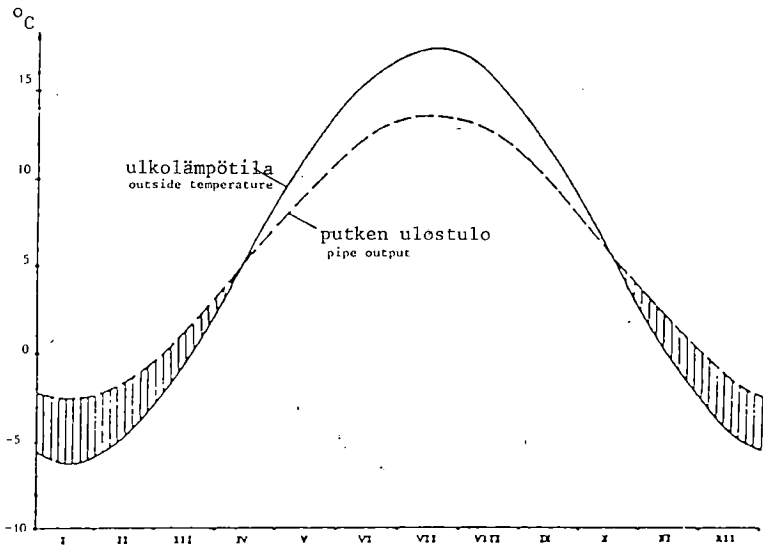
Kuva 3. Vertailu mitattuihin ja laskettuihin tuloksiin. Mittaukset tehty Olkkalassa Vihdissä.
Figure 3. Comparison between measured and calculated results. Measurements has been made in Olkkala Vihti.

Kuvien 2 ja 3 mitatut ja lasketut lämpötilakäyrät sattuvat melko hyvin yhteen. Putken teoreettinen ulostulolämpötila on lähempänä maaperän lämpötilaa kuin todellisuudessa. Tämä johtuu siitä, että teoreettinen malli ei ota huomioon maan pinnan ja putken välistä lämpövirtaa. Mallia voidaan kuitenkin käyttää putken-hyödyn arviointiin. Lisäksi malli antaa ylärajan säästetylle lämpöenergialle.

Kun Helsingin alueen ulkolämpötilan arvot approksimoidaan kosini-funktiolla, saadaan kuvassa 4 oleva käyrä. Kun putkelle otetaan

- halkaisija 0,2 m
- pituus 47,5 m
- ilman nopeus 6 m/s

saadaan putken ulostulolle kuvassa 4 oleva toinen käyrä. Mikäli oletetaan, että eläinsuojassa esiintyy lämmitystarvetta sen jälkeen kun ulkoilman keskilämpötila on alle 5°C , edustaa viivoitettu alue kuvassa 4 putkella saatua säästöä. Edellä mainitulla putkirakenteella säästö on 2640 kWh vuodessa.



Kuva 4. Helsingin alueen vuotuinen ulkolämpötilan kulku kosinikäyrällä approksimoituna sekä teoreettinen putken ulostulon lämpötilä. Putken pituus 47,5 m, halkaisija 0,2 m ja ilmavirran nopeus putkessa 6 m/s.

Figure 4. Yearly outside temperature in Helsinki district, approximated with cosine wave, and theoretical temperature of outcoming air. Pipe length 47,5 m, pipe diameter 0,2 m and air velocity in pipe 6 m/s.

Eri tekijöiden vaikutus

Maaputken ulostulolämpötilaan vaikuttavat ympäröivän maaperän laatu, putken asennussyvyys, ilman nopeus putkessa, putken halkaisija sekä putken pituus. Asennussyvyyden vaikutusta edellä kuvatulla teoreettisella mallilla ei voida tutkia. Muiden tekijöiden vaikutuksista sitä vastoin saadaan arvio.

Seuraavassa vertailussa pidetään perustapauksena Vihdin Olkkalan maaputkea. Yhtä vaikuttavaa tekijää muutetaan kerrallaan.

Perustapauksessa maaperä oli savi, jossa kosteuspitoisuus kokonaispainosta oli 25 %. Jos saven kosteuspitoisuutta muutetaan arvoon 15 % tai maaperänä on hiekka kosteudeltaan 10 %, saadaan seuraavat arvot energian säästölle vuodessa.

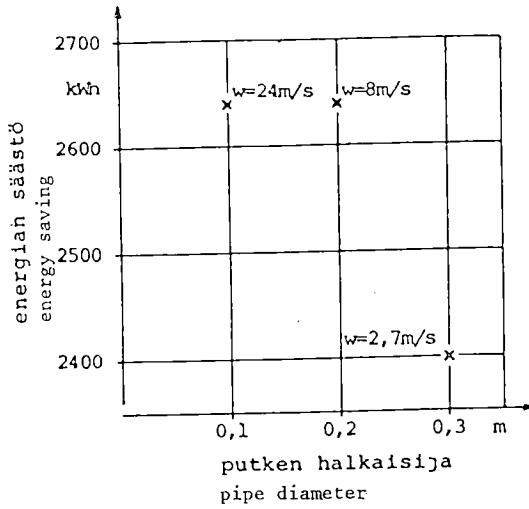
Taulukko 1. Maaperän vaikutus maaputken energian säästöön.
Table 1. Soil influence on underground pipe energy saving.

	maaperä - soil		
	savi clay kosteus 25 % moisture content	savi clay kosteus 15 % moisture content	hiekk sand kosteus 10 % moisture content
energian säästö energy saving	2640 kWh	2081 kWh	3122 kWh

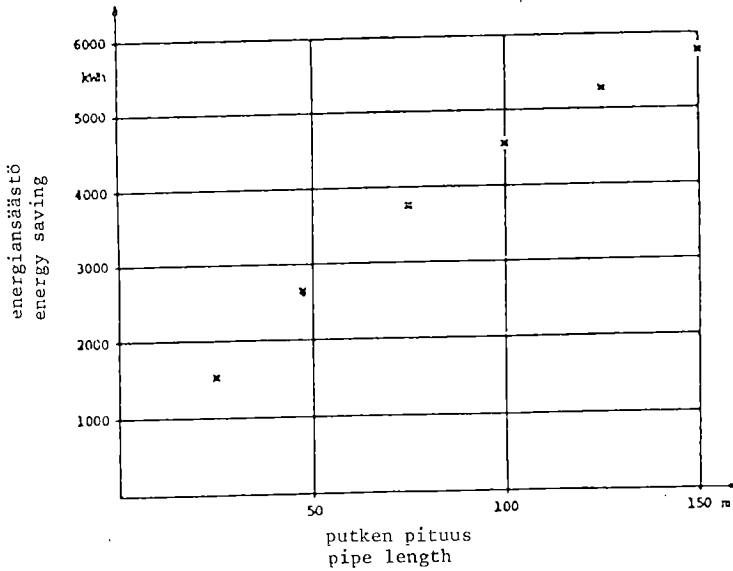
Maaperän laatu vaikuttaa varsin paljon maaputkella saatavaan säästöön. Erot ovat suurimmillaan 50 %:n luokkaa.

Perustapauksessa ilmavirtaus putken läpi oli $680 \text{ m}^3/\text{h}$, ilman nopeus 6 m/s ja putken halkaisija 0,2 m. Jos putken halkaisijaa muutetaan, on ilman nopeutta vastaavasti muutettava, jotta ilmamäärä pysyisi samana. Kuvassa 5 on energian säästö kolmella putken halkaisijalla. Valitulla putken halkaisijalla on jo paljon pienempi vaikutus energian säästöön kuin maaperällä.

Kuvassa 6 on esitetty putken pituuden vaikutus. On selvää, että mitä pidempi putki, sitä suurempi säästö. Säästö kasvaa kuitenkin hitaammin kuin putken pituus. Esimerkiksi putken pituuden kuusinkertaistaminen arvosta 25 m arvoon 150 m suurentaa energian säästöä vain 2,5-kertaiseksi. Koska putken kustannus riippuu lineaarisesti putken pituudesta, löytyy putkelle optimipitoisuus. Tämän määrittäminen edellyttää tietoja putken rakennuskustannuksista eikä siihen tässä puututa.



Kuva 5. Energian säästö maaputkella putken eri halkaisijoilla tilavuusvirran pysyessä samana. w = ilmavirran nopeus putkessa.
Figure 5. Energy saving for different pipe diameters and same air flow. w = air velocity in pipe.



Kuva 6. Putken pituuden vaikutus maaputken energian säästöön.
Figure 6. Influence of pipe length on energy gain of underground pipe.

Käytännön johtopäätöksiä

Maaputken toimintaan vaikuttavista tekijöistä maaperän laadulla on huomattava merkitys. Tähän ei kuitenkaan voida vaikuttaa putken rakentamista harkittaessa. Putken halkaisija ja pituus sitä vastoin ovat valittavissa. Näistä edellisellä on melko pieni vaikutus. Putken halkaisija voidaan siten valita vapaasti käytännön sanelemin rajoituksin. Putken pituutta taas ei kannata määrättömästi lisätä. Jos putken rakentamiskustannukset ovat tiedossa, voidaan valita sellainen pituus, että rakentamiskustannukset ja eläinsuojan lämmityskustannukset saadaan minimiin.

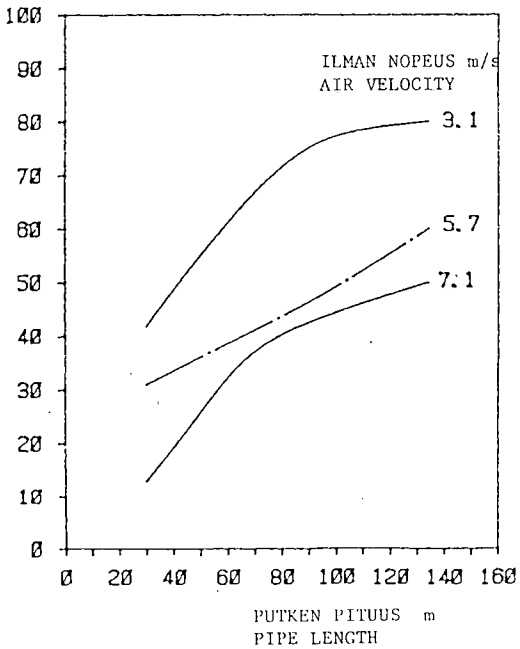
Lähdeviitteet

1. Peavy, B.A., Heating and Cooling of Air Flowing Through an Underground Tunnel. Journal of Research NBS - C. Engineering and Instrumentation 65C(1961)3, s. 157...163.
2. Scott, N.R., Parsons, R.A. & Koehler, T.A., Analysis and performance of an earth - air heat exchanger. The 1965 Winter Meeting. American Society of Agricultural Engineers. Chicago, Illinois, December 7 - 10, 1965. Paper no. 65-840.

LIITE 2
ANNEX 2

MAAPUTKEN MITATTU TEHOKKUUSKERROIN
MEASURED UNDERGROUND PIPE EFFECTIVENESS

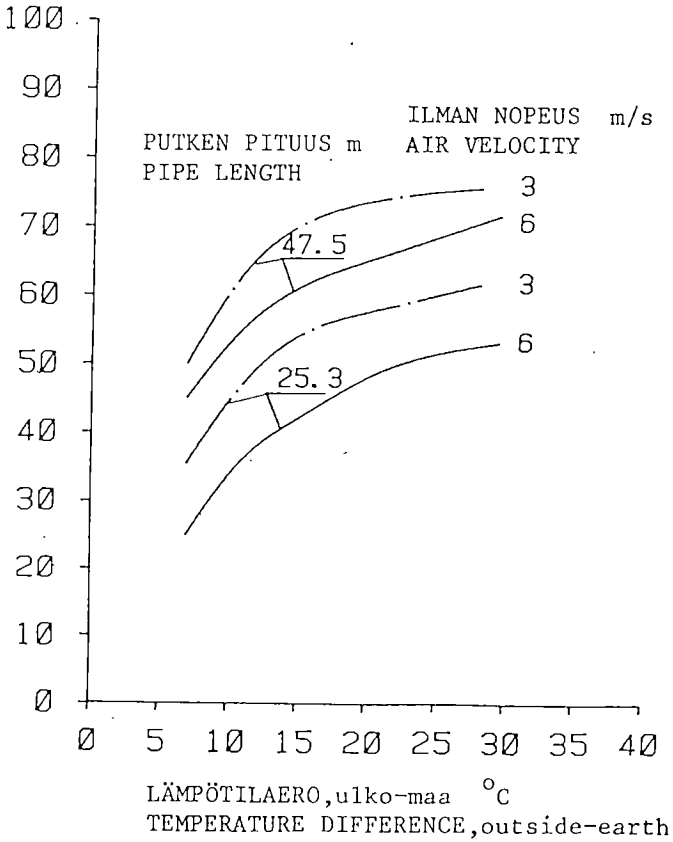
TEHOKKUUSKERROIN E %
EFFECTIVENESS



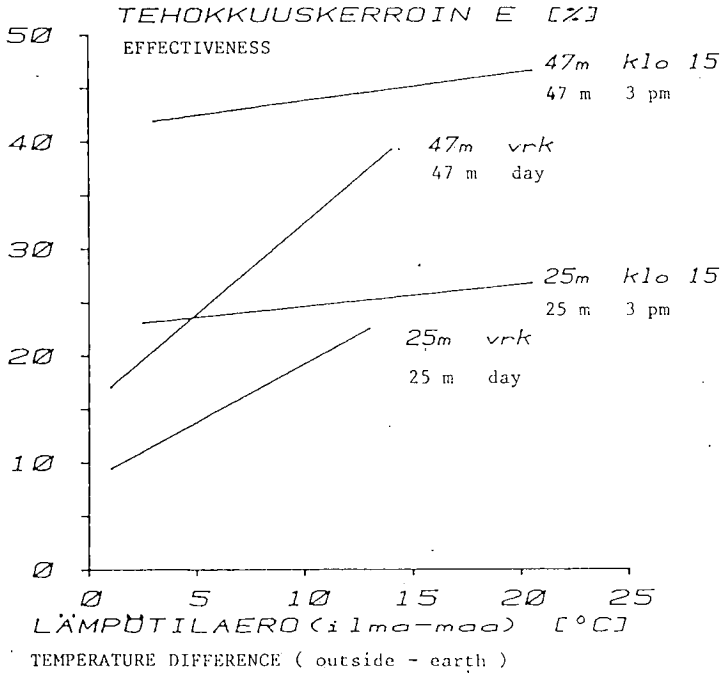
Piirros 1. Maanalaisen putken tehokkuuskerroin jaksottaisessa toiminnassa Scott'in / 11 / mukaan. Putken läpimitta oli 450 mm.

Earth-air heat exchanger effectiveness as a function of pipe length according to Scott / 11 /. Pipe diameter was 450 mm.

TEHOKKUUSKERROIN E %
EFFECTIVENESS



Piirros 2. Olkkalan maaputken mitattu tehokkuuskerroin talvella 1981-82.
Figure 2. Measured Olkkala underground pipe effectiveness in winter 1981-82.



Piirros 3. Olkkalan maaputken tehokkuuskerroin kesällä 1982. Ilman nopeus oli 6 m/s, putken pituus 25 m ja 47 m. Kyseessä ovat vuorokauden keskiarvot ja klo 15 mitatut arvot.

Figure 3. Daily mean and at 3 pm measured Olkkala underground pipe effectiveness in summer 1982 for air velocity 6 m/s and pipe length from 25 to 47 m as a function of temperature difference between air and earth.

LIITE 3
ANNEX 3

KIRJALLISUUSTIETOJA ILMASTON VAIKUTUKSESTA SIKOJEN KASVATTAMISEN KANNATTA-
VUUTEEN.
LITERATURE REVIEW OF CLIMATIC INFLUENCE ON PIG BREEDING PROFITABLENESS.

1.----- Vaikuttavat tekijät

- 1.1. Sikalan tilavuus vaikuttaa ilmanvaihdon järjestelyn vaikeuteen/4/.
Tanskassa tutkittiin 10787 sikaa v. 1974. Kun sioille annettu tila suureni 2,5--> 4,0 m³/ sika, lihotusaika lyheni 133-->121 = 12 vrk, eli lisäkasvu suureni 525-->580 g /vrk. Rehunkulutus pieneni 3,45-->3,17 kg / kg ja sairastavuus pieneni 4,8--> 0,5 %. Rahaksi muutettuna kohdan 2 mukaan ja arvioiden sairastavuuden arvoksi 1/4 kuolleisuuden arvosta, tämän parannuksen arvoksi saadaan:
- | | | | |
|----------------|---------------|----------|------------------------|
| - lisäkasvu | (580-525) | ·1,10/10 | 6,05 mk /tuotettu sika |
| - sairastavuus | (4,8-0,5) | ·4,80/4 | = 5,16 " |
| - rehunkulutus | (3,45-3,17) | ·80·1,50 | =33,60 " |
- 1.2. Taudinaiheuttajien tuhoaminen sikalan ilmasta UV-säteilyn avulla, koe Saksan liittotasavallassa 1979 / 1 /.
- | | | | |
|---------------------|-----------------|----------|-------------------------|
| - lisäkasvu | (668,5-627,7) | ·1,10/10 | = 4,49 mk/tuotettu sika |
| -kuolleisuus | (1,13-0,38) | ·4,80 | = 3,60 " |
| kustannukset olivat | | | = 2,88 " |
| joten hyöty | | | = 5,21 " |
- 1.3. Ilman puhdistaminen otsonilla, koe Belgiassa 1977 /5/.
- | | | | |
|---------------------|------------------|--|--------------------------|
| - rehunkulutus | 0,03·3,5·80·1,50 | | = 12,60 mk/tuotettu sika |
| kustannukset olivat | | | 7,32 " |
| joten hyöty | | | = 5,28 " |
- 1.4. Lämpötilan tasaisuus ja pysyminen lähellä optimia, maaputkisikala Itävallassa, tiedot ajalta 1978-1980 / 2 /.
- | | | | |
|--------------|-------------|----------|---------------------------|
| - lisäkasvu, | (816-672) | ·1,10/10 | = 15,34 mk /tuotettu sika |
|--------------|-------------|----------|---------------------------|
- 1.5. Kustannukset lämpötilan poikkeamisesta optimiarvostaan.
- 1.5.1. Koe Hollannissa 1979 / 3 /.
- | | | | |
|-------------------------|--------------|---------------|----------------|
| - lisäkasvun pieneminen | 13 g/vrk, °C | = 1,43 mk /°C | ·tuotettu sika |
|-------------------------|--------------|---------------|----------------|
- 1.5.2. Koe Saksan demokraattisessa tasavallassa 1979. Optimilämpötila oli 20 °C, poikkeama 7,5 °C / 6 /.
- | | | | | |
|-----------------------|---------------|--------------|--------------|-------------|
| - lisäkasvun pienent. | (915-672) | ·1,10/10·7,5 | = 3,56 mk/°C | ·tuot. sika |
| - rehunkul. suur. | (2,83-2,40) | ·80·1,50/7,5 | = 6,88 " | |

2. Muutosten rahallinen arvo

=====

2.1. Rehun hinnaksi otetaan 1,50 mk / kg.

2.2. Pääviittäinen lisäkasvu hinnoitellaan kohdan 1.2. mukaan, 10 g / vrk
= 0,55 DM = 1,10 mk/ lihotettu sika.

2.3. Kuolleisuuden arvoksi otetaan saman liitteen mukaan 1% = 2,40DM
= 4,80 mk / tuotettu sika.

2.4. Sikoja lihotetaan 20-→100 kg ,noin 4,8 kk.

Kirjallisuusviitteet:

1. Blendl, H.M. 1980. UV-Bestrahlung in der Schweinemast. DLZ n:o 3, 362-382.
2. Gebhart, F. 1980. Luft, die aus dem Boden kommt. Top agrar n:o 5, 14-16.
3. Haartsen, P.I. 1979. Invloed van lage staltemperaturen op de produktiekenmerken van mestvarkens. Publikatie, Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen, Wageningen, n:o 127 62-64. (Ref. Agrig. Eng. Abstracts 1980 Vol. 5 n:o 8, 3253.)
4. Petersen, W.H. 1974. Das nutztiergerechte Stallklima und seine energiesparende Regelung. Bauen auf dem Lande, 4/74. 111-117.
5. Priem, R. 1977. Deodorization by means of ozone. Agrig. Environm. 3, 229-237.
6. Stolpe, J., Bresk, B. 1979. Wechselnde temperaturen in der Mastschweinehaltung. Monatshefte für Veterinärmedizin n:o 34, 337-340. Inst. Angewandte Tierhygiene, Baumannweg, DDR 13 Eberswalde-Finow. (Ref. Agrig. Eng. Abstracts 1980 Vol. 5 n:o 8, 3253.)

LIITE 4
ANNEX 4

LÄMMÖNVAIHTIMIEN NYKYARVOKERTOIMET
PRESENT VALUE COEFFICIENTS OF HEAT EXCHANGERS

Taulukko 1. Lämmönvaihtimien nykyarvokertoimet lihasikalassa. Sikalan lämpötilan on oletettu olevan 18 °C ja suhteellisen kosteuden 70-85 % talvella.
Table 1. Heat exchanger present value coefficients in fattening house. Inside temperature is assumed to be 18 °C and relative humidity 70-85 % in winter.

Järjestelmä System	Alipaine Extraction	Tasapaine Equilibrium	Enerpak	Lämpö-Sampo	Kukkurainen	Maaputki Underground pipe
Hyötysuhde Efficiency	$\frac{y_i}{y_h}$	$\frac{z}{h}$				
Käyttöaika Running time	vuosikäyttö all year	vuosikäyttö all year	vuosikäyttö all year	talvikäyttö winter	vuosikäyttö all year	vuosikäyttö all year
hinta vuonna 1981 vaihdin + puhaltimet exchanger + fans	7700	20250	28000	72000	11700	74600
jakopuikisto distributor pipes	0	0	3000	3000	0	3000
kesäpuhaltimet summer Ventilator	0	0	0	7700	0	0
lämmityslaitteet heating devices	13660	13660	7550	0	10800	0
yhteensä total	21360	33910	38550	82700	22500	77600
Vaihtimen lisäkustannus Exchanger extra expense	mk		4640	48790	1140	43690
Tehontarve Power requirement	kW					
ilmanvaihto ventilation	1,4	3,1	5,6	6,9	1,5	3,0
lämmitys heating	28	28	15	0	22	0
Energian kulutus Energy consumption	kWh/a					
ilmanvaihto ventilation	9060	19120	33240	28790	8120	21012
lämmitys heating	39750	39750	900	0	2500	0
yhteensä total	48810	58870	34140	28790	10620	21012
säästö saving	kWh/a		24730	30080	38190	37858
Säästö Saving	mk/a		7666	9325	11839	11736
Nykyarvokerroin Present value coefficient	a		0,61	5,2	0,1	3,7

Taulukko 2. Lämmönvaihtimien nykyarvokertoimet emakkosikalassa. Sikalan lämpötilan on oletettu olevan 18 °C ja suhteellisen kosteuden 70-85 % talvella.

Table 2. Heat exchanger present value coefficients in farrowing house. Inside temperature is assumed to be 18°C and relative humidity 70-85 % in winter.

Järjestelmä System	Alipaine Extraction	Fasapaine Equilibrium	Energiak Energy	Lämpö-Sampo Winter	Kukkuratinen all year	Maaputki Underground pipe
Hyötysuhde Efficiency	$\frac{y_i}{y_h}$	0	0	66	18	34
Käyttöaika Running time	vuosikäyttö all year	vuosikäyttö all year	vuosikäyttö all year	talvikäyttö winter	vuosikäyttö all year	vuosikäyttö all year
linna vuonna 1981 vaihdin + puhaltimet exchanger + fans	5000	13500	21000	42000	9000	33700
jakoputkisto distributor pipes	0	0	2000	2000	0	2000
kosäpuhaltimet sommert ventilator	0	0	0	5000	0	0
lämmityslaitteet heating devices	6375	6375	3510	2990	4685	1770
yhteensä total	11375	19875	26510	51990	13685	37470
Vaihtimen lisäkustannus Exchanger extra expense			6635	32115	2310	17595
Tehontarve Power requirement						
ilmanvaihto ventilation						
lämmitys heating	16,5	16,5	6,4	5,3	8,9	2,7
Energian kulutus Energy consumption	3295	8970	14352	11510	3595	8300
ilmanvaihto ventilation	23250	23250	1205	395	5090	7750
lämmitys heating	26546	32220	15557	11906	8685	16050
yhteensä total			16663	20314	17860	16170
säästö saving			5166	6297	5537	5013
Säästö Saving			1,3	5,1	0,4	3,5
Nykyarvokerroin Present value coefficient						

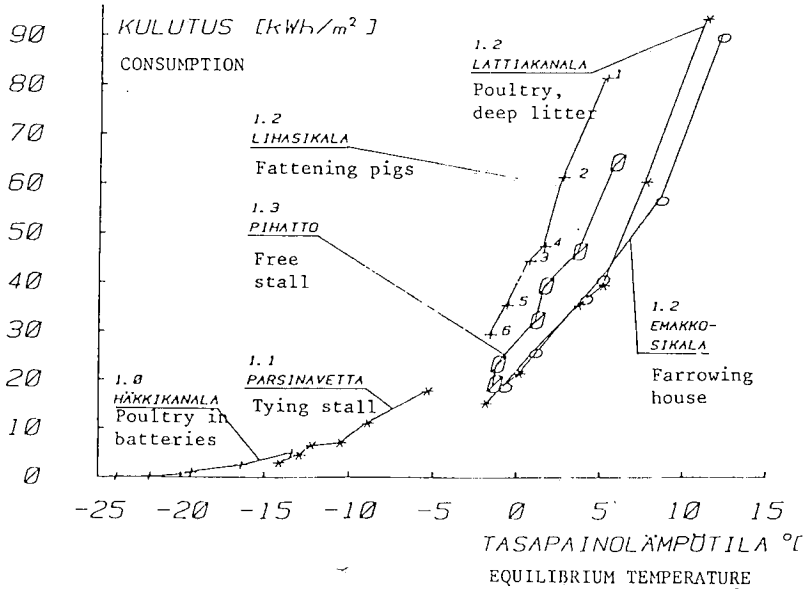
Taulukko 3. Sisäinen korko, % .Energian hinnan nousua ei ole otettu huomioon. n = laitteiden kestoikä, vuotta. Lähde: Holopainen / 3 /.

Table 3. Interest on investment, % .Advance of energy price has been overlooked. n = lasting time of equipment, years. Source: Holopainen / 3 /.

n	NYKYARVOKERROIN (investointi/vuosisäästö) PRESENT VALUE COEFFICIENT (investment/annual saving)											n
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	
5	199	97	60	51	29	20	13	8	4	0	-3	5
10	200	100	66	49	38	31	26	21	18	15	13	10
15	200	100	67	50	40	33	28	24	21	18	16	15
20	200	100	67	50	40	33	28	25	22	19	17	20
30	200	100	67	50	40	33	29	25	22	20	18	30
50	200	100	67	50	40	33	29	25	22	20	18	50
	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10	11	12	
5	-6	-8	-10	-12	-14	-15	-17	-18	-19	-22	-24	5
10	11	9	7	6	4	3	2	1	0	-2	-3	10
15	14	13	11	10	9	8	7	6	6	4	3	15
20	16	14	13	12	11	10	9	8	8	7	5	20
30	16	15	14	13	12	11	11	10	9	8	7	30
50	17	15	14	13	12	12	11	10	10	9	8	50
	13	14	15	16	17	18	19	20	30	40	50	
5	-25	-27	-28	-29	-31	-32	-33	-34	-40	-44	-47	5
10	-5	-6	-7	-8	-9	-9	-10	-11	-16	-20	-22	10
15	2	1	0	-1	-2	-2	-3	-3	-8	-10	-12	15
20	5	4	3	2	2	1	0	0	-4	-6	-7	20
30	7	6	5	5	4	4	3	3	0	-2	-3	30
50	7	7	6	6	5	5	5	4	2	1	0	50

LIITE 5
ANNEX 5

ENERGIAN KULUTUS ELÄINSUOJISSA
ENERGY CONSUMPTION IN LIVESTOCK BUILDINGS



Piirros 1. Tasapainolämpötila ja vuotuinen energian kulutus eläinsuojissa. Nimen yhteydessä oleva luku tarkoittaa laskelmissa käytettyä eläinten vesihöyryn tuottoa verrattuna normiin SS 95 10 50.

Figure 1. Equilibrium temperature and yearly energy consumption in livestock buildings. The figure nearby the name of livestock building means the quantity of produced water vapour, which is used in calculation, compared with quantity in standard SS 95 10 50.

1	=	235 m ²	,eristys I - insulation I
2	=	" "	" II- " II
3	=	" "	" III- " III
4	=	565 "	" I - " I
5	=	" "	" II- " II
6	=	" "	" III- " III

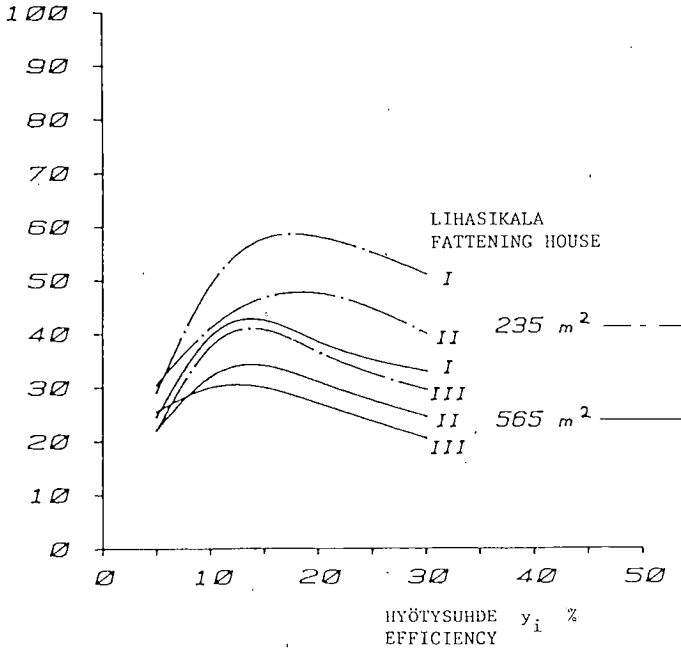
Taulukko 12. Talteenottolaitteen tuoma säästö, sekä hyödynnetty osa siitä, minkä talteenottolaite pystyisi poistoilmaasta talteenottamaan keski-Suomen olosuhteissa.

Table 12. Energy gain of the recovery unit and utilized part of all recovery in middle-Finland.

Eristys I =lattia 0 /seinät 10 / katto 10 cm, 235 m² =252W/K+2250W
 Insulation floor /walls / ceiling 565 " =410 " +3740"
 " II = 5 / 10 / 15 " 235 " =224 " +1400"
 " III= 5 / 12,5/ 22,5 " 235 " =340 " +2240"
 " " " 565 " =163 " +1400"
 " " " " " 565 " =281 " +2240"

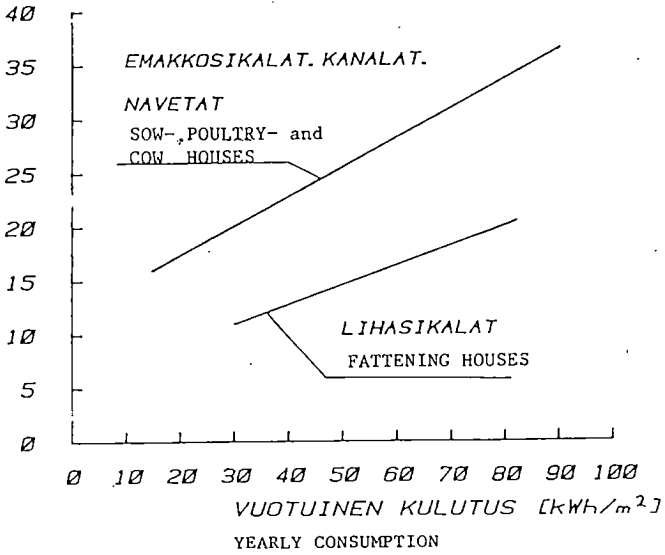
Rakennus, m ² , Building " ,eristys insul.	Säästö % Gain					Hyödynnetty osa % Utilized part				
	Hyötysuhde-Efficiency y _i %									
	5	10	20	30	40	5	10	20	30	40
Pihatto, 235 I	19	38	65	83	92	100	100	85	73	61
Free stall " II	27	44	73	89	96	100	82	68	56	45
" III	27	49	80	92		69	64	52	40	
565 I	26	44	72	85		81	70	57	45	
" II	30	56	84	95		57	52	39	30	
" III	37	59	88	97		57	46	34	25	
Em.sik. 235 I	21	35	66	79	90	100	100	93	74	63
Sow stall " II	22	40	65	83	93	77	71	58	49	41
" III	28	47	77	91	98	65	55	45	36	29
565 I	25	47	75	90	97	65	60	48	39	31
" II	28	51	81	94	99	46	41	33	25	20
" III	31	57	85	96	100	36	33	25	19	14
Lih.sik. 235 I	29	53	82	94		100	92	70	54	
Fattening stall " II	34	56	86	97		89	73	56	42	
" III	34	64	89	99		63	59	41	30	
565 I	35	63	88	99		69	63	44	33	
" II	38	66	91	99		57	49	34	24	
" III	45	70	93	100		56	43	29	21	
Lattia-kanala 235 I	17	35	63	79	89	100	100	91	76	67
Poultry " II	24	41	68	85	94	89	77	63	53	44
on litter " III	30	51	78	92		64	55	42	33	
565 I	26	49	73	90		64	59	45	37	
" II	28	54	82	95		36	35	27	20	
" III	37	58	86	97		35	27	20	15	

SÄÄSTÖ x HYÖDYNTÄMINEN %
GAIN x EXPLOITMENT



Piirros 10. Talteenottolaitteen eräänlainen kokonaishyötysuhde.
Figure 10. A certain total efficiency of recovery unit.

OPTIMIHYÖTYSUHDE %
OPTIMUM EFFICIENCY



Piirros 11. Lämmönvaihtimen optimihyötysuhde.
Figure 11. Optimum efficiency of heat exchanger.

LIITE 6
ANNEX 6

MAAPUTKEN RAKENTAMISOHJEITA
CONSTRUCTION ADVICES FOR UNDERGROUND PIPE

1. Putken tehokkuuserroin voidaan arvioida Scott'in likiarvokaavalla:

$$E = 100 \left(\frac{t_u - t_p}{t_u - t_m} \right), \text{ missä}$$

$$t_p = t_m + \frac{t_u - t_m}{e \left(\frac{U l}{M c} \right)}$$

$$U = \frac{1}{2 \pi R h + \frac{r_{ud}}{k}}$$

- R = 0,2 m = putken läpimitta-pipe diameter
- r_{ud} = 3 m = etäisyys häiriintymättömään maahan-distance to undisturbed soil
- h = lämmön siirtymiskerroin putkesta ilmaan-surface conductance of heat transfer at pipe wall
= 13,5 W/m²K ≈ 1,5 m/s
= 17,5 " ≈ 3,0 "
= 30 " ≈ 6,0 "
- k = 1,05 W/mK = lämmön siirtymiskerroin jäykässä savessa-heavy clay thermal conductivity
- l = putken pituus = 25,3 m ja 47,5 m -pipe length
- M = ilmavirta-air flow, kg/s
- c = ilman ominaislämpö=1006 Ws/kgK=specific heat of air
- t_u = ulkolämpötila-outside temperature, °C
- t_m = maan lämpötila putken syvyydessä = 3-10 °C savimaassa Jokioisissa-undisturbed clay soil temperature at buried pipe depth in Jokioinen
- t_p = putkesta tulevan ilman lämpötila-exit air temperature
- E = tehokkuuserroin-effectiveness, %

2. Putken lasketut ja mitatut tehokkuuskertoimet ja tehot putken pituuden ollessa 47 m:

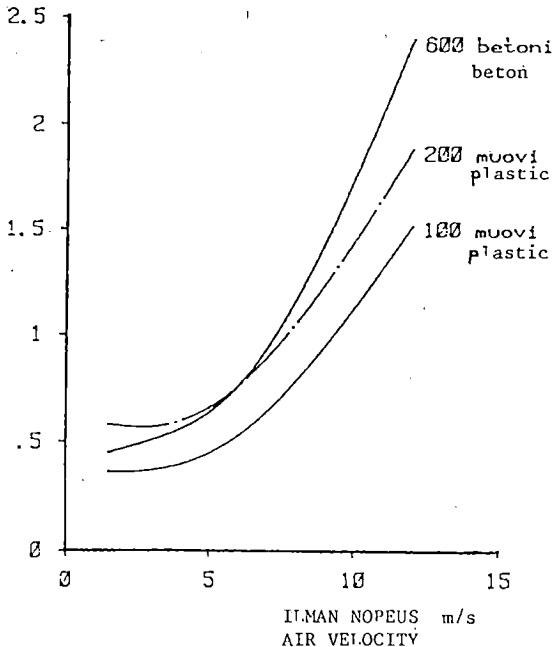
Ilman nopeus Air velocity m/s	Massavirta Mass flow kg/s	Lämpöt.ero Temp. diff. °C	Tehokkuuserroin -Effectiveness E, %		Mitattu teho Measured power W
			laskettu calculated	mitattu-measured talvi winter	
1,5	0,0565		83		
3,0	0,113	5-30	60	44-77	250-2600
6,0	0,226	5-30	38	40-72	460-4900
"	"	4-18			21-46

3. Putkien hinnat olivat vuonna 1981:

Läpimitta Diameter cm	Aine, Material	pituus length m	Hinta-Price putki pipe	asennus ja kaivuu lowering and digging	mk/m asennus ja kaivuu lowering and digging	yhteensä total
60	betoni	0,5	80	47		127
30	muovi plastic	6,0	180	18		198
20	"	"	78	11		89
10	"	-	28	5		33

Laskelmien mukaan Olkkalaan rakennettu 47 m pituinen putki vastaa lämmönvaihdinta, jonka hyötysuhde on 0,3. Mittausten mukaan oikea luku oli 0,35 talvella. Kun otetaan huomioon putken oma energian kulutus, saadaan tällaisen putken kustannuksiksi noin 50 p putken nimellisilmämäärää kohden, piirros 1. Nimellisilmämäärä on kesällä tarvittava määrä, maaputkelle se saa olla puolet tavanomaisen ilmanvaihdon tarvitsemasta määrästä.

VUOSIKUSTANNUS mk / kg/h
YEARLY COST



Piirros 1. Maanalaisen putken vuosikustannus, kun laskettu tehokkuuskerroin on 66 %.

Figure 1. Yearly cost of underground pipe, when calculated effectiveness is 66 %.

LIITE 7
ANNEX 7

Lämmönvaihtimien kondenssivesi ja eläinten terveys
Heath exchanger condensation water and animal health

Hannu Saloniemi

Lämmönvaihtimien koetuksen yhteydessä todettiin runsasta kondenssiveden tippumista siten, että vesi joutui lihasikojen ulottuville. Viljavuuspalvelu Oy:ssä suoritettujen analyysien (no. E 137/24.3.1980) perusteella kondenssivedessä oli runsaasti rikkihapporadikaaleja (n. 250 mg/l $-SO_4$) ja ammoniumtyyppiä (n. 1300 mg/l NH_4 -N). Mahdollisten terveydellisten haittojen toteamiseksi kerätyllä vedellä suoritettiin kasvatuskoe rotilla Eläinlääketieteellisen korkeakoulun kotieläinhygienian laitoksella.

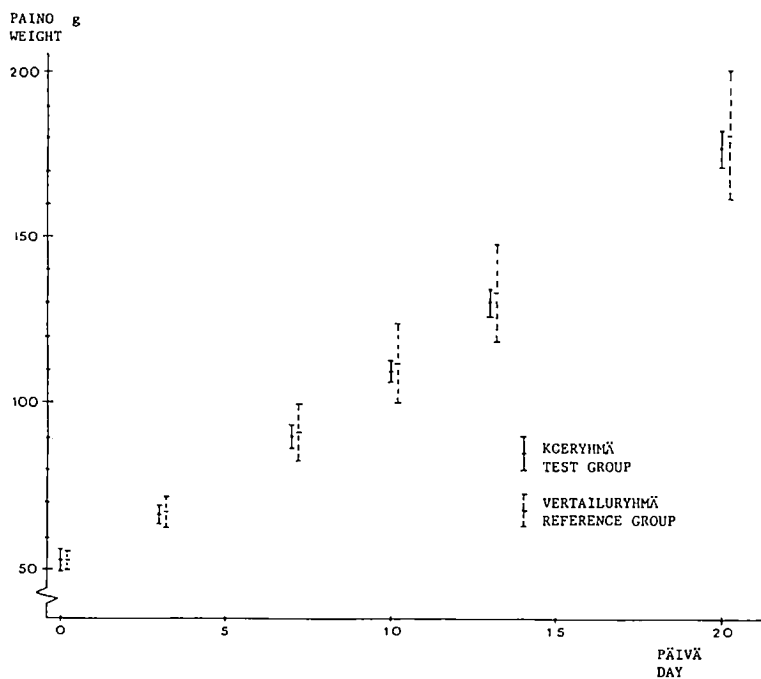
Koejärjestely

16 laboratoriorotan poikasta (Sprague-Dawley -kanta, kolmen viikon ikäisiä urosrottia) jaettiin kahteen samanpainoiseen 8 rotan ryhmään. Toiselle ryhmälle annettiin juomavetenä kondenssivettä ja toiselle tislattua vettä. Muuten ryhmien kasvatusolosuhteet olivat täysin samanlaiset. Kasvua seurattiin 20 vuorokautta. Kokeen lopussa tutkittiin sekä koe- että vertailuryhmästä yhden rotan suolen sisältöä mahdollisten suolistobakteerimuutosten toteamiseksi.

Tulokset ja johtopäätökset

Koeryhmän keskipaino oli alussa 52.7 \pm 3.0 g ja lopussa 175.4 \pm 5.8 g ja kasvu keskimäärin 6.1 g/pv. Vertailuryhmän vastaavat tulokset olivat 52.7 \pm 2.6 g ja 178.9 \pm 19.2 g, kasvu 6.34 g/pv. Kasvu esitetään graafisesti kuviossa 1. Ryhmien elopainojen keskiarvot eivät eronneet missään punnituksessa tilastollisesti merkittävästi toisistaan. Suolistomikrobien suhteen tutkituissa rotissa todettiin kummassakin alfahemolyyttisiä gram-positiivisiä sauvoja.

Koeryhmälle yksinomaисena juomavetenä annettu sikalan lämmönvaihtimen kondenssivesi ei aiheuttanut kasvaville rotille kasvun hidastumista eikä mitään näkyviä sairauden oireita. Kokeen perusteella kondenssiveden liuenneet aineet eivät todennäköisesti aiheuta lihasioille haittaa, vaikka kondenssivettä joutuisikin niiden kaukaloon tai karsinan lattialle, varsinkin koska juomavedestä kondenssiveden osuus pahimmassakin tapauksessa jää hyvin vähäiseksi.



Piirros 1. Rottien kasvu.
Figure 1. Growing up of rats.