



Kylmäpihattojen toimivuus Suomessa ja Virossa

Tapani Kivinen, Jukka Ahokas, Väino Poikalainen,
Frederick Teye, Mikko Hautala, Petro Tamminen,
Imbi Veermäe, Aime Pajumägi



MTT:n selvityksiä 155
64 s.

Kylmäpihattojen toimivuus Suomessa ja Virossa

Tapani Kivinen, Jukka Ahokas, Väino Poikalainen,
Frederick Teye, Mikko Hautala, Petro Tamminen,
Imbi Veermäe, Aime Pajumägi



ISBN 978-952-487-159-4 (Painettu)

ISBN 978-952-487-160-0 (Verkkajulkaisu)

ISSN 1458-509X (Painettu)

ISSN 1458-5103 (Verkkajulkaisu)

www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts155.pdf

Copyright

MTT

Tapani Kivinen, Jukka Ahokas, Frederick Teye, Mikko Hautala, Petro Tamminen,

Väino Poikalainen, Imbi Veermäe, Aime Pajumägi

Julkaisija ja kustantaja

MTT

Jakelu ja myynti

MTT Kotieläintuotannon tutkimus, 03400 Vihti

Puhelin (09) 224 251, telekopio (09) 224 6210

Sähköposti: julkaisut@mtt.fi

Julkaisuvuosi

2008

Kannen kuva

Tapani Kivinen

Painopaikka

Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print

Kylmäpihattojen toimivuus Suomessa ja Virossa

Tapani Kivinen¹⁾, Petro Tamminen¹⁾, Jukka Ahokas²⁾, Frederick Teye²⁾, Mikko Hautala²⁾,

Väino Poikalainen³⁾, Imbi Veermäe³⁾, Aime Pajumägi⁴⁾

¹⁾MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus) Kotieläintuotannon tutkimus, Vakolantie 55, 03400 Vihti, tapani.kivinen@mtt.fi

²⁾Helsingin Yliopisto, Agroteknologian laitos, Koetilantie 3, 00000 Helsingin yliopisto, jukka.ahokas@helsinki.fi, frederick.kwamete@helsinki.fi, mikko.hautala@helsinki.fi, petro.tamminen@helsinki.fi

³⁾Eesti Maaülikool, Veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituut, Kreutzwaldi 62, Tartu 51014 Eesti, vaino.poikalainen@emu.ee, imbi.veermäe@emu.ee

⁴⁾Eesti Maaülikool, Metsandus ja Maaehitusinstituut, Kreutzwaldi 5, Tartu 51014 Eesti, aime.pajumagi@emu.ee

Tiivistelmä

Lypsykarjaa on Suomessa perinteisesti pidetty lämpöeristetyissä tuotantorakennuksissa. Kylmäpihatto lehmien pitoympäristönä nousi tutkimuksen kohteeksi 1990- luvun alkupuolella. Intensiivisestä tutkimus- ja kehitystoiminnasta huolimatta kylmäpihatot eivät saavuttaneet varauksetonta vastaanottoa. Kylmäpihattojen osuus kaikista EU-jäsenyyden aikana tehdyistä navettainvestoinneista on vain 15 %. EU-jäsenyyden myötä rakennusinvestointien taso säilyi varsin hyvänä. Tämä ohjasi maidontuottajia valitsemaan perinteisen lämpöeristetyn tuotantorakennuksen. Viron maidontuotanto on alkanut merkittävä rakenteellinen muutos EU-jäsenyyden jälkeisenä aikana. Virossa keskituotos kasvaa, pienet navetat luopuvat ja tuotanto siirtyy uusiin suuriin kylmäpihatoihin. Viron lypsylehmistä jo kolmannes on 300 – 1200 –paikkaisissa kylmäpihatoissa, joita on jo noin 90 kpl.

Käsillä olevassa yhteistutkimuksessa on selvitetty 50 suomalaisen ja 5 virolaisen kylmäpihattotilan rakenteellisia ominaisuuksia, talviolosuhteiden toimivuutta, pihattojen kaasumaisia päästöjä sekä työn kuvaa ja työntekijöiden työtyytyväisyyttä. Lisäksi selvitettiin kylmäpihattorakentamisen kustannuksia. Suomalaisissa kohteissa lypsylehmiä oli yhteensä 1980 kpl, ja pihatton keskikoko oli noin 40 lehmää. Virolaisissa kohteissa lehmiä oli yhteensä 3400 kpl, ja vastaavasti keskikoko oli 680 lehmää. Edellä kuvattujen kohdetilojen lisäksi selvitettiin 142 –paikkaisen suomalaisen pihatton rakentamisen ekotehokkuutta erilaisilla vaihtoehtoisilla runkorakennejärjestelmillä. Selvityksessä käytettiin saksalaista MIPS-menetelmää.

Kylmäpihatot ovat lehmien hyvinvoinin ja tuotoksen kannalta hyviä tuotantoympäristöjä. Pihatton kaasusta ammoniakkipäästöt ovat kylmäpihatossa pienempiä lämminpihattoon verrattuna. Toimivuuden kannalta ongelmatilanteet näyttivät tämän tutkimuksen aineistossa syntyvät -15 °C pakkasasteen alapuolella, jolloin lantakäytävät alkoivat merkittävästi jäätyä. Suomalaiset maidontuottajat olivat pääosin tyytyväisiä kylmäpihatoihinsa ja sitoutuneita sen toimintatapaan. Kylmäpihattokonsepti, joka sisältää kylmät eläinhallit ja lämpöeristetyn erillisen lypsykeskuksen, tarjoaa toimivan mallin uusia suuria, yli 300 lehmän tuotantoyksiköitä varten. Rakennukset suunnitellaan vapaaehtoisesti korkeintaan 2000 m² kokoisiksi yksiköiksi, jotka yhdistetään palamattomilla käytävänivelillä. Näin suuretkin karjakokoyksiköt voidaan toteuttaa paloteknisesti hyväksyttävällä tavalla kustannustehokkaasti. Eläinhallien runkorakenneteratkaisuissa puupilari-palkki ja puukehäratkaisut tuottavat ekotehokkaimman lopputuloksen. Talviaikaisen kondenssisuojauksen ja kesäaikaisen säteilylämpösuojauksen vuoksi kattoon suositellaan ohutta, enintään 5 cm paksuista lämpöeristyskerrosta.

Avainsanat: kylmäpihatto, viileäpihatto, verhoseinäilmanvaihto, ekotehokkuus, ammoniakkipäästö, toimivuus, isot maidontuotantotilat

Functionality of uninsulated dairy barns in Finland and Estonia

Tapani Kivinen¹⁾, Petro Tamminen¹⁾, Jukka Ahokas²⁾, Frederick Teye²⁾, Mikko Hautala²⁾, Väino Poikalainen³⁾, Imbi Veermäe³⁾, Aime Pajumägi⁴⁾

¹⁾MTT (Agrifood Research Finland) Animal Production Research, Vakolantie 55, 03400 Vihti, tapani.kivinen@mtt.fi

²⁾University of Helsinki, Institute of Agrotechnology, Koetilantie 3, 00000 Helsingin yliopisto, Finland jukka.ahokas@helsinki.fi, mikko.hautala@helsinki.fi, frederick.kwameteeye@helsinki.fi, petro.tamminen@helsinki.fi

³⁾Estonian University of Life Sciences, Institute of Veterinary Medicine and Animal Sciences, Kreutzwaldi 1, Tartu 51014 Estonia, vaino.poikalainen@emu.ee, imbi.veermae@emu.ee

⁴⁾Estonian University of Life Sciences, Institute of Forestry and Rural Engineering, Kreutzwaldi 5, Tartu 51014 Eesti, aime.pajumagi@emu.ee

Abstract

Dairy cows have traditionally been kept in thermally insulated buildings. Uninsulated building became into a research focus in the 1990's. In spite of the intensive research and development uninsulated barns never became a success among milk producers. The share of uninsulated barns built under Finland's EU membership is only 15 % of all built dairy barns. Due to reasonable subsidy levels milk producers were encouraged to invest on traditional insulated buildings. On the contrary the development in Estonia turned out into a different direction after EU membership. Small herds are disappearing and milk production is concentrating on large units with uninsulated buildings. Today already 30 % of all Estonian dairy cows are in uninsulated buildings for 300 – 1200 dairy cows. There are 90 large units and the number is increasing.

This cooperational research has surveyed 50 Finnish and 5 Estonian uninsulated dairy barn units. There were 1980 milking cows in Finnish barns and 3400 cows in Estonian barns. The monitored features were constructional concepts, wintertime functionality, barn gas emissions, work load and satisfaction in barn work. The building costs were monitored, too. The eco efficiency was evaluated in a Finnish model barn with MIPS-method.

Uninsulated barn buildings are ideal production environments both from cow health's and production's point of view according to this research. Ammonia emissions are smaller in uninsulated barns compared to insulated barns. The functionality problems usually emerge under the -15 °C temperature when the manure alleys start to freeze. Finnish milk producers are devoted to their choice of uninsulated buildings. They also seem to be satisfied with the work load and the amount of work. The only disadvantage is roughly a month long period with frozen manure handling.

Uninsulated building concept is cost efficient in large dairy units for more than 300 milking cows. According to the Finnish fire code E2 the building in the minimum requirement category P3 shall be fire sectioned into not larger than 2000 m² units. The large dairy unit shall then be a collection of independent 2000 m² units connected into each others with fire proof corridors. This is preferable also for landscape reasons when large units are visually split into smaller units.

Keywords: uninsulated barn, dairy barn, low ammonia emissions, curtain wall ventilation ecological constructions, large dairy units

Alkusanat

Tämä tutkimus on ollut yhteistyöhanke Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT), Helsingin yliopiston (HY) ja Eestin maatalousyliopiston (EMÜ) kesken. Suomen puolella tutkimuksen kohteena on ollut 50 kylmäpihattoilaa ja Viron puolella 5 tilaa. MTT on toiminut hankkeen koordinoijana ja laatinut tämän loppuraportin muiden toimijoiden kanssa yhteistyössä. Hankkeen tuloksina on syntynyt tieteellisiä artikkeleita sekä opinnäytetöitä Suomessa ja Virossa. Tutkimustyössä on syntynyt 2 väitöskirjaa sekä 4 gradu- ja maisterityötä.

MTT:n kotieläintuotannon tutkimusyksikössä hankkeen vastuullisena johtajana on toiminut Tapani Kivinen. Teemu Ala-Kleme on tehnyt pääosan analyysien avustavista töistä. Petro Tamminen vastasi rakenteiden ekologiaselvityksen laatimisesta. HY:n agroteknologian laitoksella Jukka Ahokas on vastannut tutkimuksen ohjauksesta. Frederick Teye on tehnyt pääosan analyysitöistä, joita Mikko Hautala on ohjannut. Hannu Gröhn laati kaa-suemissioden mittausteitympäristön. Kalle Mattila selvitti verhoseinäilmanvaihdon toimivuutta. Eestin maatalousyliopistossa Väino Poikalainen on vastannut tutkimuksen ohjauksesta. Imbi Veermäe ja Jaan Praks ovat tehneet tutkimustyöt. Eugen Kokin on vastannut mittaustekniikasta. Aime Pajumägi on tehnyt ilmanvaihtoon liittyvät tutkimustyöt. Aino Nõmmeots on toiminut tutkimuksen avustavissa tehtävissä.

Hankkeella oli ohjausryhmä, jonka puheenjohtajana toimi Aarne Pehkonen HY:sta ja jäseninä Eugen Kokin EMÜ:sta, Timo Mattila MTT:stä, Juha K. Mäkinen ja Markku Kuusinen Uudenmaan TE-keskuksesta sekä Väino Takala Pellonpaja Oy:stä. Ohjausryhmä on koontunut yhteensä 7 kertaa.

Hankkeen päärahoitus on tullut Etelä-Suomen ja Viron Interreg III A –ohjelmasta. Suomen kansallisena vastinrahoittajana on toiminut Uudenmaan TE-keskus. Suomen puolella yritysrahoitusta on saatu Pellonpaja Oy:stä, Maatalouskoneiden tutkimussäätiöltä sekä tutkimuskohteissa viljelijöiden työpanostuksina seurantatutkimuksessa. Viron kansallinen vastinrahoitus on tullut Viron opetusministeriöltä.

Tutkimusryhmä kiittää rahoittajia, ohjausryhmän jäseniä sekä taustaorganisaatioita, joiden avulla hanke vietiin menestyksekkäästi läpi. Lisäksi lämmin kiitos niille suomalaisille ja virolaisille karjatiloilta, joiden myötävaikutuksella ja yhteistyökyyvällä kenttämittaukset saatiin tehdyiksi.

Helsingissä maaliskuussa 2008

Tapani Kivinen
MTT

Jukka Ahokas
HY

Väino Poikalainen
EMÜ

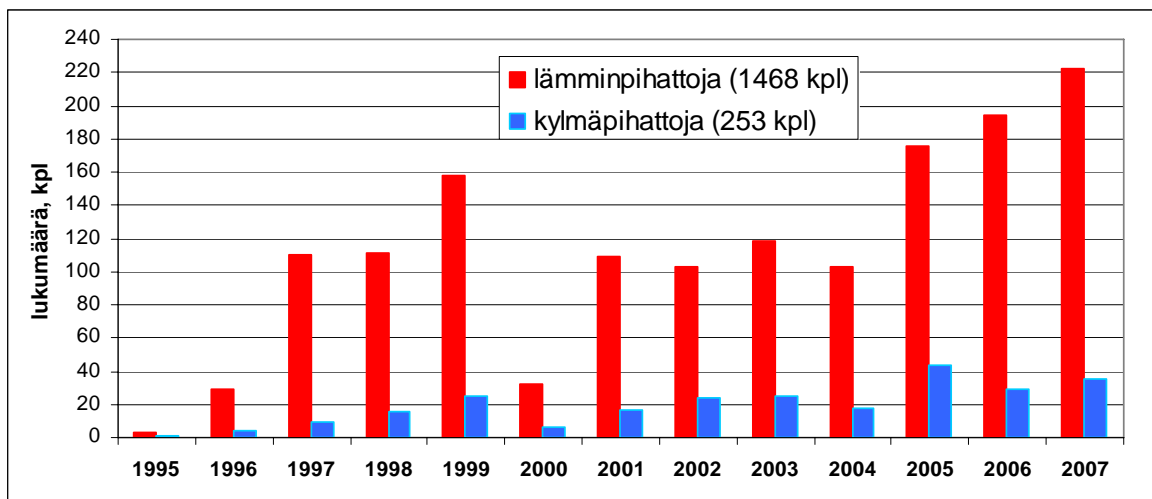
Sisällysluettelo

1	Johdanto	8
2	Tutkimustilat Suomessa ja Virossa	11
2.1	Tutkimustilat Suomessa	11
2.2	Tutkimustilat Virossa	13
3	Kylmäpihattojen rakenteelliset ominaisuudet	15
3.1	Rakennustekniikka	15
3.1.1	Suomalaiset rakennukset	15
3.1.2	Virolaiset rakennukset	16
3.2	Lannanpoisto ja lantalat	18
3.2.1	Suomalaiset tilat	18
3.2.2	Virolaiset tilat	18
3.3	Lypsyasemat ja niiden lämmitys	20
3.4	Kylmäpihaton toimivuuskokemuksia Suomessa	21
3.5	Kylmäpihaton toimivuuskokemuksia Virossa	23
4	Kylmäpihattojen sisäilmasto	28
4.1	Ilmanvaihdon yleisperiaatteet	28
4.2	Olosuhdemittaukset Suomessa	30
4.3	Emissiot ja niiden hallinta	33
4.4	Ilmanvaihdon määrä ja laatu	35
4.4.1	Suomalaiset tulokset	35
4.4.2	Virolaiset tulokset	36
5	Kylmäpihattojen rakennusmateriaalien ekologisuus	42
5.1	Ekotehokkuus ja MIPS	42
5.2	Laskentatyökalu	43
5.3	Verrokipihatto	43
5.4	Lasketut runkovaihtoehdot	44
5.4.1	Betonielementtipihatto / lämmin	44
5.4.2	Täysbetonielementtipihatto / lämmin	44
5.4.3	Teräksinen kolminivelkehärunko / kylmä	45
5.4.4	Naulalevyristikko / viileä	45
5.4.5	Tiheä puupilari-palkkirunko / kylmä ja lämmin	46

5.4.6	Harva puupilari-palkkirunko / kylmä ja lämmin	46
5.4.7	Liimapuukolminivelkehä / kylmä.....	47
5.5	Ympäristövaikutukset	47
5.5.1	MIPS, raaka-aineiden kulutus.....	47
5.5.2	Energian kulutus	48
5.5.3	Syntyvien jätteiden määrä	49
5.5.4	Hiilidioksidipäästöt.....	50
5.6	Ekologinen pihattomalli	50
6	Kylmäpihattojen kustannusrakenne	51
6.1	Kustannuksia Suomessa.....	52
6.2	Kustannuksia Virossa.....	53
7	Tulevaisuuden kylmäpihatot	54
8	Loppupäätelmät	59
9	Kirjallisuus	61

1 Johdanto

Lypsy- ja lihakarjaa on Suomessa perinteisesti pidetty lämpöeristetyissä tuotantorakennuksissa. Maamme maantieteellinen sijainti ja siitä johtuva talven ankaruus ovat ohjanneet rakentajien ajattelutapaa luomaan siedettävä toimintaympäristö kotieläimelle ja sitä hoitavalle ihmiselle. Kylmäpihatto lehmien pitoympäristönä nousi tutkimuksen kohteeksi 1990-luvun alkupuolella Suomen aloittaessa EU-jäsenyysneuvottelut. Pelkona oli Suomen kansallisten rakennusinvestointitukien mahdollinen leikkautuminen tulevassa EU-jäsenyytilanteessa. Tällöin odotettiin maatalouden tukirakenteen muuttuvan siinä määrin, että uusia halvempia rakennustapoja oli kehiteltävä. Koerakentamista – tai oikeammin mallirakennusten suunnittelua – tehtiin maatilahallituksessa, maa- ja metsätalousministeriössä ja maatalouden tutkimuskeskuksessa MTT:ssä. Uusista avauksista huolimatta kylmäpihattonkonsepti ei saavuttanut varauksetonta vastaanottoa. Kylmäpihatto synnytti epäluuloisia asenteita jo pelkästään terminä. Kylmäpihattojen rakentaminen jäi lukumääräisesti marginaaliseksi. EU-jäsenyyden myötä rakennusinvestointien taso säilyi varsin hyvänä ja jopa hieman kasvoi, mikä ohjasi maidontuottajia valitsemaan perinteisen lämpöeristetyn tuotantorakennuksen kaikkine siihen kuuluvine teknisine järjestelmineen.



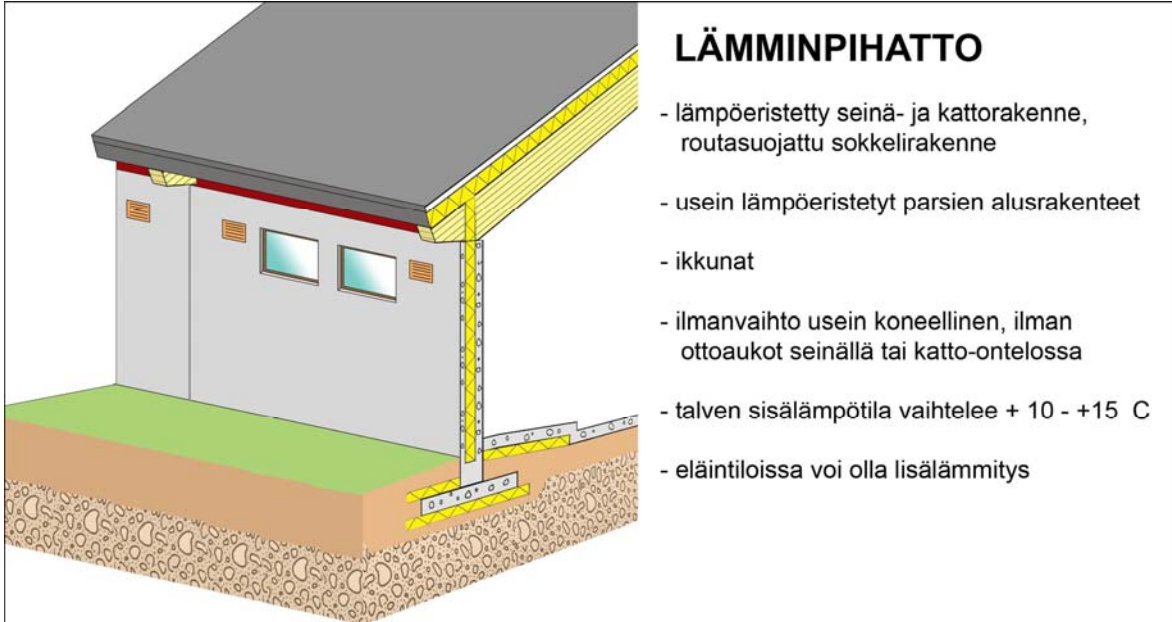
Kuva 1. Maidontuotantorakennusten rakentaminen EU-jäsenyyden aikana Suomessa.

Pihattorakentamisessa on 2000-luvulla tapahtunut joukko muutoksia, jotka ovat vaikuttaneet pihattorakennuksen muotoon. Aivan vuosituhannen alussa asennettiin ensimmäinen lypsyrobotti, ja nyt niitä on jo noin 300 kpl 250 navetassa. Samalla pihatton koko on vakioitunut robottiyksikön suuruiseksi eli noin 60 lypsylehmään. Useampirobotittiset tilat ovat kasvaneet 60:n kerrannaisiksi eli 120 – 180 – 240 kokoisiksi. Rakennustekniikassa perinteisistä naulalevyristikkokatoista on siirrytty massiivipuupalkkiratkaisuihin samalla kun navettahallin sisäkatto noudattelee vesikaton lapekulmaa eikä ole enää vaakasuuntainen. Kolmas uusi tekniikka on ollut painovoimainen verhoseinäilmanvaihto, jonka myötä on syntynyt sisäilmastoltaan uudenlainen viileäpihatto. Edellisten lisäksi uusia tekniikkaratkaisuja on syntynyt rehumenetelmiin ja rehujakoon. Lannan jälkikäsittelyyn on tulossa tekniikoita, joilla vähennetään kuljetettavan lannan määrää tai pyritään hyödyntämään lantaa energiaraaka-aineena.

Seuraavassa luodaan lyhyt katsaus, jossa eri pihattomallien perusominaisuudet määritellään mahdollisimman tarkasti.

Lämminpihatto

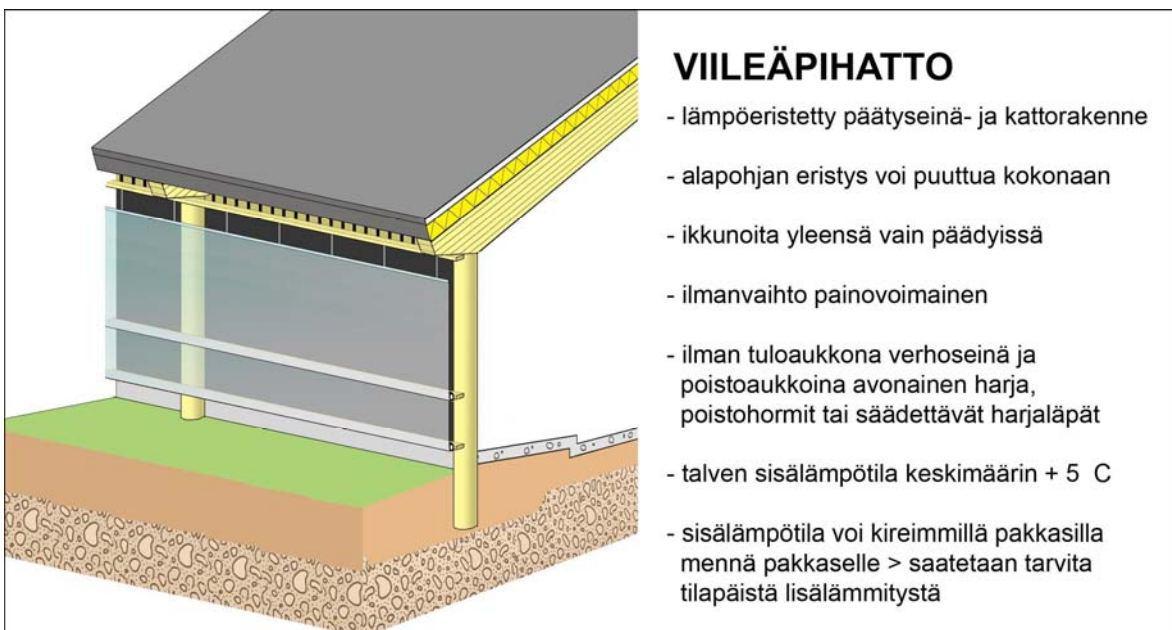
Lämminpihattoa pidetään lämmöneristyksen näkökulmasta lämpöeristettynä teollisuusrakennuksena, jonka u-arvolle ei aseteta vaatimuksia tuotannon luonteesta johtuen. Yleisesti lämminpihaton u-arvot ovat olleet puolilämpimään rakennukseen verrattavia. Lämminpihatot on Suomessa yleensä varustettu koneellisella ilmanvaihdolla.



Kuva 2. Lämminpihaton keskeisimmät ominaisuudet.

Viileäpihatto

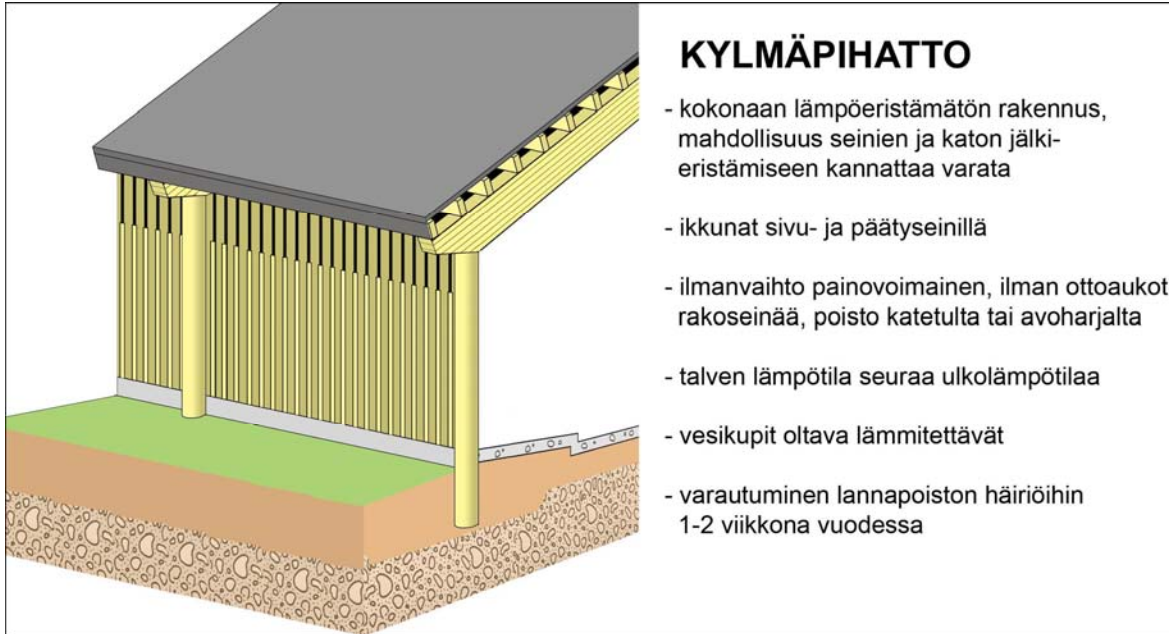
Viileäpihatto on rakennus, jonka katto ja päätyseinät – sekä Suomessa usein pitkien sivuseinien alaosat – on eristetty samaan lämmöneristystasoon kuin lämminpihaton vastaavat rakenteet, mutta ilmanvaihdon veroseinän ansiosta suurehko osa seinien u-arvosta menetetään verhon olemattoman u-arvon vuoksi. Tästä syystä pihatton sisälämpötila saattaa hetkittäin laskea alle nollarajan talven kireimmillä pakkasilla. Verhoratkaisusta johtuen ilmanvaihtokerroin ja ilman laatu ovat hyviä koneelliseen ilmanvaihtoon verrattuna.



Kuva 3. Viileäpihatton keskeisimmät ominaisuudet.

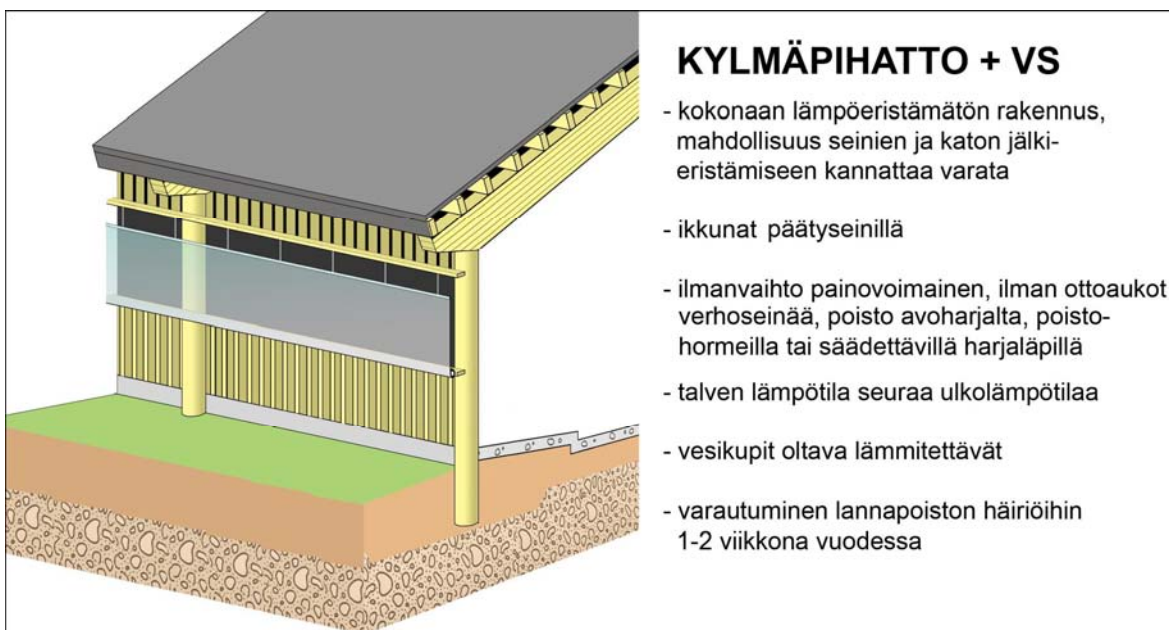
Kylmäpihatto

Kylmäpihatto tarkoittaa rakennusta, jossa yleensä eläintila on lämpöeristämätön, mutta lypsy-, sairas- ja poikimatilat järjestetään eristettyyn ja lämmitettyyn tilaan. Viimemainitut voivat sijaita myös kylmäpihaton puolella, mutta erityisesti poikimisten ja vasikoiden tilat pitää tehdä vedolta suojaetuiksi, hyvin kuivitetuiksi ja varustaa esimerkiksi säteilylämmittimin.



Kuva 4. Kylmäpihaton keskeisimmät ominaisuudet.

Kylmäpihattoa voisi rakennuksena verrata tuuli- ja sadesuojaan, jossa ilma vaihtuu riittävästi aiheuttamatta lämpötilaan nähden haitallista vetoa lehmille. Tämä tarkoittaa sitä, että talvella vedon on oltava hyvin pieni, kun taas kesällä se voi olla selvästi suurempi. Suomalaisissa kylmäpihatoissa ilman sisääntuloaukkoina on perinteisesti käytetty ns. rakoseinää, jossa julkisivulaudoituksen yläosan raot toimivat tuloaukkoina.



Kuva 5. Kylmäpihaton keskeisimmät ominaisuudet, kun käytössä on verhoseinä.

Poistoaukkoina on käytetty avoharjaa tai poistohormeja. Perinteisen kylmäpihaton luonteen on kuulunut ominaisuus, jonka mukaan ilman tuloaukkoja ei ole voinut säätää, mutta poistoaukkoja on joissain tapauksissa säädetty poissa/päällä –menetelmällä. Kylmäpihatto voidaan rakentaa myös verhoseinillä toimivaksi rakennukseksi. Tällöin perinteinen ilmanvaihtotapa muuttuu säädettäväksi, jolloin rakennuksen käyttäjältä vaaditaan taitoa ohjata ilmanvaihdon määrää eri vuodenaikoina oikeassa suhteessa ilmanvaihdon tarpeeseen näiden.

2 Tutkimustilat Suomessa ja Virossa

Ydinlöydökset

Tutkimukseen saatiin Suomessa mukaan kylmäpihattotiloja, joiden keskikoko oli 40 lypsylehmää. Rakennukset olivat yleensä laajennuksia olemassa oleviin vanhoihin lämminpihattotiloihin. Näissä vanhoissa tiloissa sijaitsivat lypsyasema sekä poikima- ja sairaskarsinat. Lypsylehmät sijaitsivat tyypillisesti uudessa kylmäpihatossa. Rakennusten sijoittelu oli usein tehty pihapiirin muiden talous- ja tuotantorakennusten ja näiden välisten kulkuväylien sanelemin ehdoin. Tästä syystä pohjaratkaisut olivat usein sokkeloisia ja epätarkoitukseenmukaisia. Suurin osa pihatoista oli rakennettu 1996 – 2000. Kohteet olivat kaikki perheviljelmiä, joissa töitä teki 1- 2 henkilöä ja perheen lapset toimivat ajoittain aputyövoimana.

Tutkimuksen virolaiset kohteet oli rakennettu ja/tai laajennettu 2002 – 2005. Pienimmässä kohteessa oli 530 ja suurimmassa 1200 lehmää. Tilat ovat järjestäytyneet osakeyhtiöiksi vanhojen kolhoosien pohjalle, joiden pelto- ja rakennusomaisuutta on voitu hyödyntää. Maidontuotantoyhtiöillä voi olla toimintaa useilla paikkakunnilla ja toimintaan voi liittyä maidontuotannon lisäksi esimerkiksi sianlihan tai broilerinlihan tuotantoa. Yhtiöiden omistajat pääsääntöisesti työskentelevät tilalla, mutta osassa toimivat vain pelkkinä investoijina. Työntekijät ovat yleensä palkattuja.

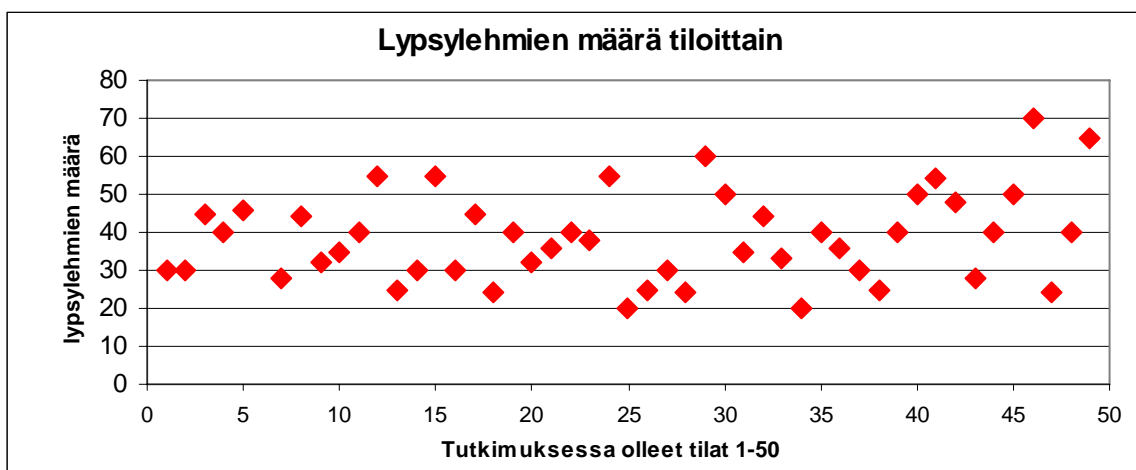
2.1 Tutkimustilat Suomessa

Suomen EU-jäsenyyden aikaisen tilastoinnin perustella oli tiedossa, että kylmäpihattoja oli rakennettu vuoden 1995 jälkeen runsaat 200 kpl. Sitä vastoin EU-jäsenyyttä edeltäneiden vuosien kylmäpihattotilastot eivät olleet tarkkoja. Eri tietolähteitä yhdistelemällä tehdyn oletaman mukaan maidontuotantoon tarkoitettuja kylmäpihattoja arveltiin olevan kaikkiaan noin 330 kpl. Lopulta noin 200 maidontuotannon kylmäpihattotilalle lähetettiin kutsukirje tutkimukseen osallistumiseksi. Myönteisiä vastauksia tuli 50. Tilat sijaitsivat tasaisesti eri puolilla maata. Vapaaehtoisesti tutkimukseen osallistuneet tilat olivat mukana vaihtelevalla menestyksellä. Kaikilta tiloilta ei saatu yhteismitallisesti samoja tietoja. Kaikilta tiloilta saatiin vastaus perustietokyselyyn, jolla selvitettiin rakennukseen, karjaan, työmenetelmiin ja työtyytyväisyyteen liittyviä kokemuksia. Lisäksi viljelijät pitivät päiväkirjaa pihaton tapahtumista talvella 2006.

Suomalaisilla tiloilla oli keskimäärin 40 lypsylehmää, ja kylmäpihatto oli tyypillisesti rakennettu laajennuksena olemassa olleeseen parsinavettaan. Pohjaratkaisujen kirjo osoitti yksilöllisten ratkaisujen moninaisuutta. 10 % tiloista oli luomutuotannossa.



Kuva 6. Suomalaisten kylmäpihattotilojen toiminnallisia kaavioita (punainen = lehmät, vaalean punainen = nuorkarja, vihreä = reutilaa, sininen = lypsytilaa). Kaaviot eivät ole täysin samassa mittakaavassa keskenään. Kuvasarja edustaa otantaa tutkimuksessa mukana olleista kylmäpihatoista. Pohjaratkaisut olivat valtaosaltaan laajennuksia olemassa oleviin vanhoihin parsinavetoihin. Ratkaisuja leimasi sokkeloisuus ja toiminnallinen mosaiikkimaisuus.

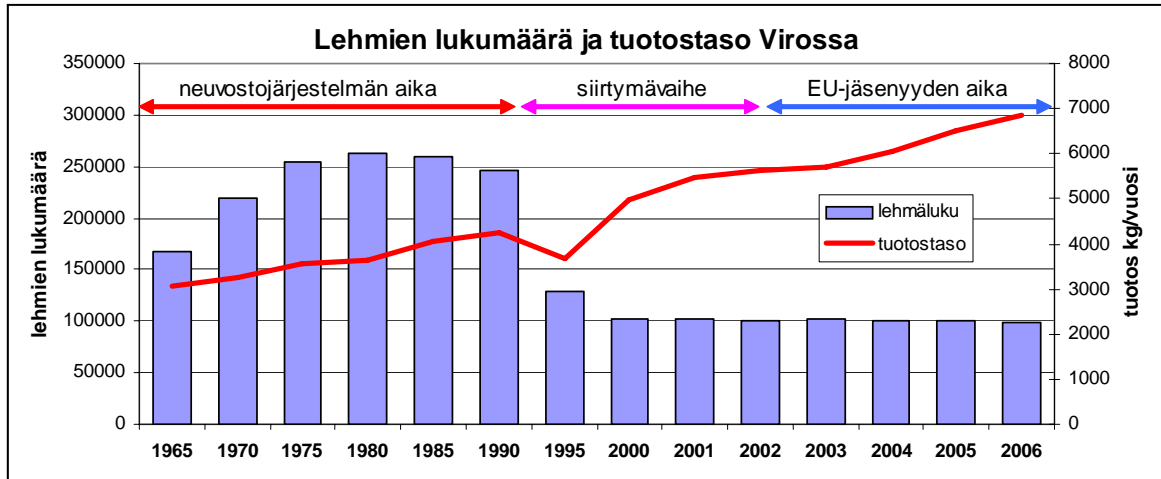


Kuva 7. Tutkimuksessa mukana olleiden suomalaisten kylmäpihattotilojen lypsylehmämäärät.

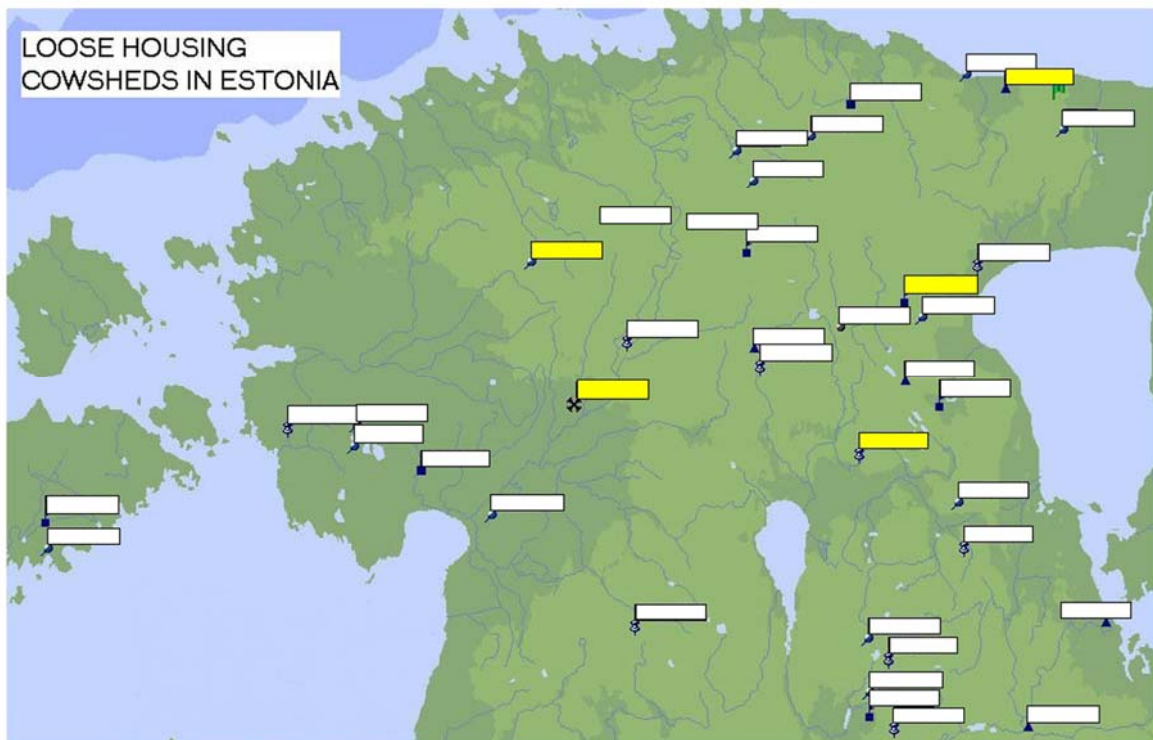
2.2 Tutkimustilat Virossa

Viron maidontuotantosektori on läpikäynyt rakennemuutosta siinä missä Suomikin. Neuvostoliiton loppuaikoina lehmäluku oli noussut hieman yli 250000:een. Itsenäisyyden alussa lukumäärä leikkautui 100000 lehmän tasoon, missä se on pysynyt jo useita vuosia. Viron maitosektorilla oli noin 10 vuoden siirtymävaihe, jolloin toiminta haki muotoaan.

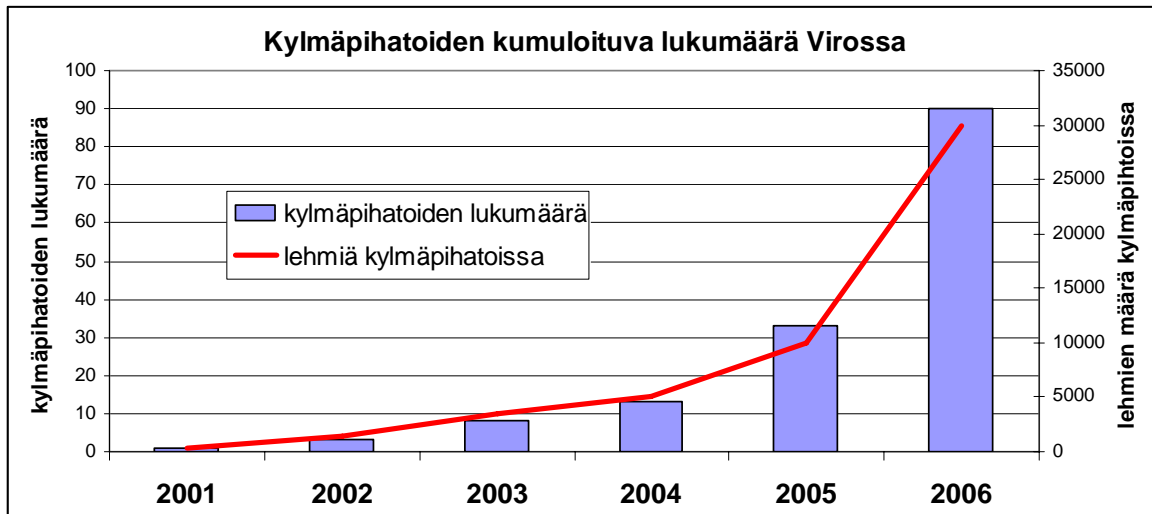
Alussa maidontuotantoa yritettiin siirtää pienille perheviljelmille, jolloin kylmäpihattoja rakennettiin erityisesti niiden edullisten rakennuskustannusten vuoksi. Lehmien tuotostasossa oli pieni notkahdus itsenäisyyden alkuvuosina, mutta määrätietoisen jalostuksen ja ruokinnan tehostuttua tuotostasot lähtivät nousuun.



Kuva 8. Lehmämäärä ja tuotostaso Virolaisessa maidontuotannossa 40 vuoden aikana.

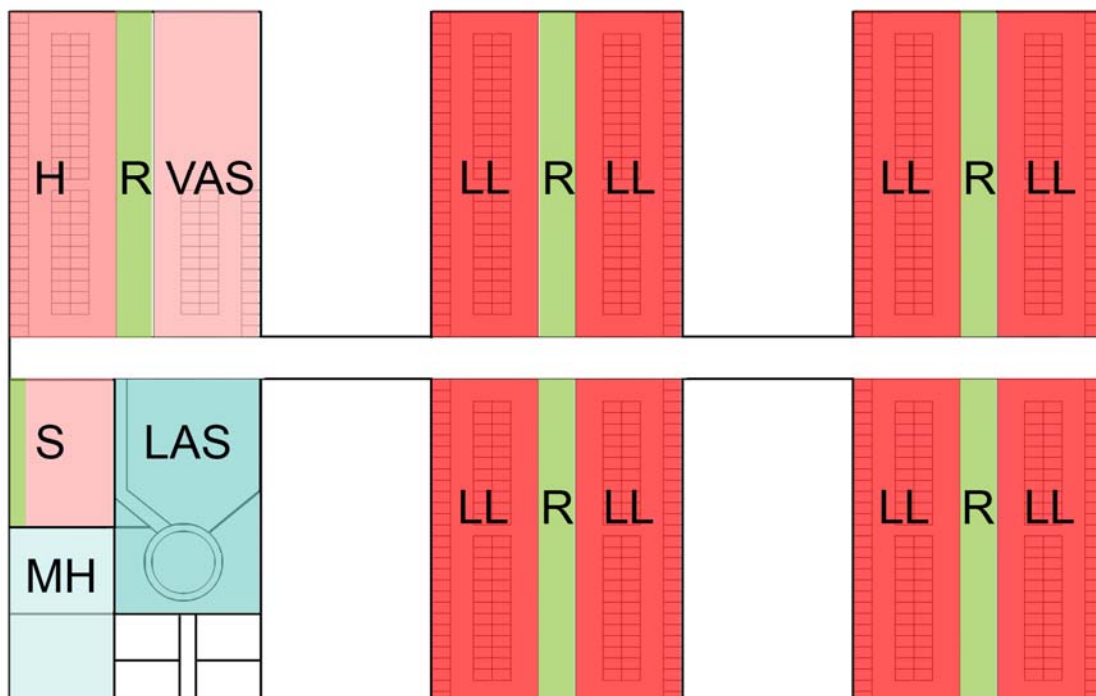


Kuva 9. Viron kylmäpihattojen levinneisyys vuonna 2005. Keltaisella merkityt kohteet olivat tutkimuksen seurantatiloja.



Kuva 10. Viron uusien suurten kylmäpihattojen kasvuvauhti.

Uusien pihattojen pohjaratkaisut on suunniteltu ulkomaisten esimerkkien pohjalta. Eläinhalleissa on keskeinen läpiajettava ruokintapöytä ja yleensä 3 + 3 parsiriviä. Lypsykeskus on toteutettu joko kokonaan erillisenä rakennuksena tai kohtisuoraan eläinhalliin liittyvänä siipirakennuksena. Eläinhalleja ja lypsykeskusta yhdistää kevytrakenteinen nivelosa, joka muodostaa hallien välisen pääliikenneväylän. Tämän poikkikäytävän alla sijaitsee myös lannan pääkokoojakanaali sekä lannan pumppaamo. Lypsykeskuksesta itse lypsyasema, maito huone ja tekniset tilat sekä henkilöstötilat ovat lämpöeristetyissä tiloissa. Lehmien odotustila ja poikima- ja sairastilat ovat rakennuksen eristämättömissä osissa.



Kuva 11. Tyypillisen Virolaisen kylmäpihatojen toiminnallinen kaavio (punainen = lehmät, vaaleanpunainen = nuorkarja, sairaat ja vasikat, vihreä = rehupöytä, sininen = lypsytila).

3 Kylmäpihattojen rakenteelliset ominaisuudet

Ydinlöydökset

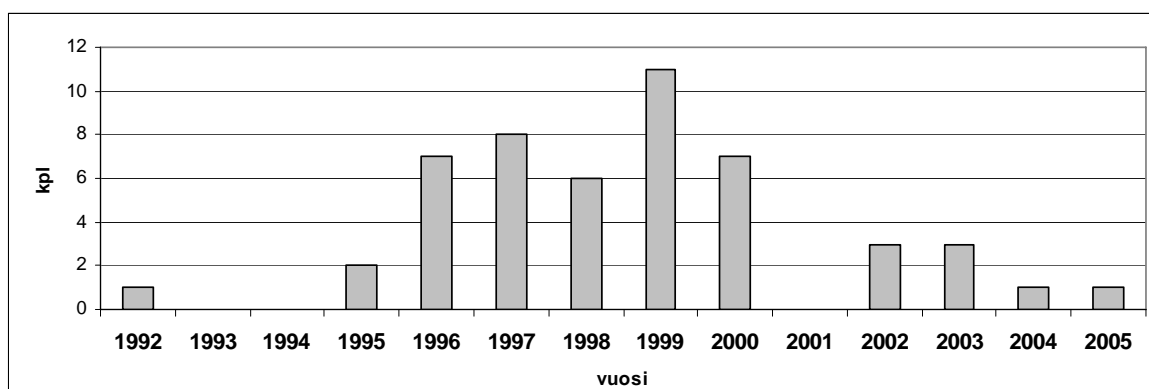
Suomalaiset kylmäpihatot ovat pääosin puurunkoisia ja puuverhoiltuja rakennuksia, jotka usein ovat luonteeltaan laajennuksia olemassa oleviin vanhoihin lämpöeristettyihin rakennuksiin. Lypsyasemat, poikima- ja sairaskarsinat olivat pääsääntöisesti lämpöeristetyissä tiloissa. Lanta käsiteltiin kuivalantana ja lannanpoisto tapahtui traktorin työntölevyllä. Lantakäytävät olivat betonisia avokouruja, ritiläpalkistoja ei esiintynyt lainkaan. Suomalaisilla kylmäpihattotiloilla syntyy pääsääntöisesti kuivalantaa, joka poistetaan ja siirretään traktorilla betoniseen kuivalantalaan.

Virolaisista kylmäpihatoista yksi oli puurunkoinen ja muut teräsrunkoisia. Eläinhallien julkisivut olivat sekä puu- että peltiverhoiltuja. Ilmanvaihto oli painovoimainen ja perustui verhoseiniin ja avoharjaan tai poistohormeihin. Virolaisilla kylmäpihattotiloilla syntyy pääsääntöisesti lietelantaa, joka poistetaan traktorilla ja työntölevyllä lannan kokoojakanaaliin, josta se edelleen pumpataan teräs-, betoni tai laguunilantaloihin.

3.1 Rakennustekniikka

3.1.1 Suomalaiset rakennukset

Tutkimuksessa olleet suomalaiset kylmäpihatot oli rakennettu vuosina 1991 – 2005. Suurin osa kohteista oli valmistunut 1996 – 2000. Kohteet olivat suureksi osaksi laajennuksia olemassa oleviin pieniin parsinavetoihin tai pihatoihin. Tästä johtuen rakennusten kantavat rungot olivat 60 %:sti puuta ja 30 %:sti terästä. Loput 10 % jakautui erilaisiin seka- ja yhdistelmä rakenteisiin, joissa oli mm. kevytsora- tai betoniharkkoa yhtenä komponenttina. Lämpöeristetyistä pihatoista tuttuja betonielementtejä ei esiintynyt lainkaan. Runkoleveydet olivat perinteisiä, eikä järeitä liima- tai kertopuurakenteita esiintynyt. Kantavat pystyrakenteet olivat kyllästettyjä pyöreitä puupöllejä tai puurankaseiniä. Vesikaton kantavat rakenteet olivat naulalevyristikoita tai sahatavarapalkkeja. Julkisivut olivat liki 95 %:sti puuverhoiltuja. Peltiverhous oli 3 %:lla ja harkkoverhous 2 %:lla. Lantakäytävät olivat pääsääntöisesti betonipintaisia avokouruja, ritiläpalkkiratkaisuja ei ollut. Muutamassa kohteessa oli asfalttikäytävät.



Kuva 12. Tutkimuksessa mukana olleiden suomalaisten kylmäpihattojen rakennusvuodet.



Kuva 13. Pilarihallina toteutettu suomalainen kylmäpihatto, jonka vesikatto- ja osin seinärakenteissa on käytetty pieniläpimittaista pyöreätä puuta (harvennuspuuta, sellupuuta). Lisäksi rakennuksen eteläsuuntauksella ja kattoikkunalla pyritään hyödyntämään auringon passiivinen lämmitysvaikutus.

3.1.2 Virolaiset rakennukset

Tutkimuksessa oli mukana 5 virolaista isoa kylmäpihattokohdetta. Yhdessä pihatossa kantava pystyrunko ja vesikatto perustui puurakenteeseen. Muissa neljässä kohteessa kantava pystyrunko oli terästä pilari-palkkiratkaisuina tai kolminivelkehinä. Vesikaton toisiokannattajat olivat yleisesti puuta, ja vesikatteena joko profiilipelti tai kuitusementtikatelevy. Sivuseinät olivat kokonaan verhoa neljässä kohteessa. Yhdessä kohteessa verhoseinä oli vain noin metrin korkuinen ja sen alapuolella oleva seinäosuus oli umpilautaa ja yläosa rakoseinää. Päädyt olivat joko lautaverhoiltuja tai profiilipeltiä. Lattiat olivat betonia, lantakäytävät kiinteitä avokouruja. Ritiäpalkkeja ei ollut eläinhallien lantakäytävillä, mutta yhdyskäytävän kohdalla oli osittaisia ritiäpalkkialueita sekä varsinainen lannan pudotusaukko. Ilmanvaihdon poistoaukkona oli kolmessa kohteessa avoharja, jonka leveys vaihteli 40 -80 cm. Yhdessä kohteessa avoharja oli katettu vesisadetta vastaan ja yhdessä kohteessa harjalla oli tiheä poistohormirivistö.

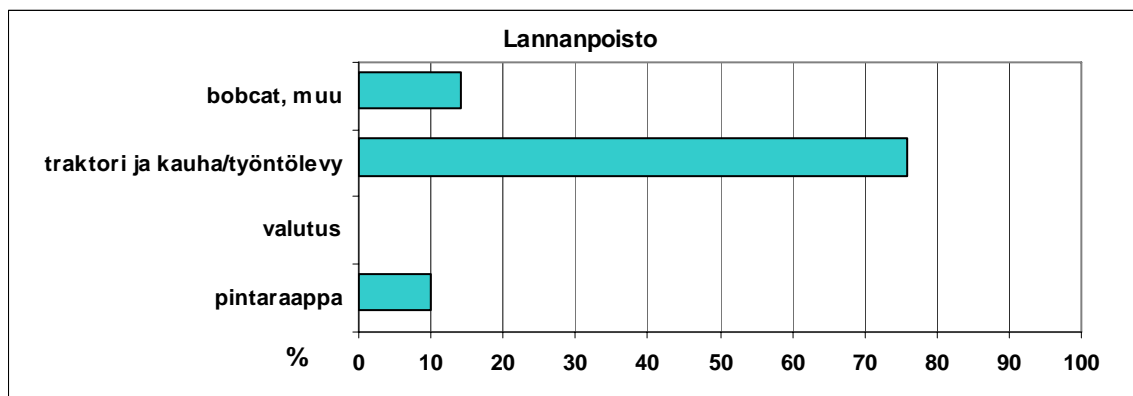


Kuva 14. Virolaisen kylmäpihaton tavanomainen rakennuskonsepti: teräspilarit ja palkit, toisiopuukannattajat, profiloitu kattopelti, kondenssisuojana 25 mm mineraalivilla, joka on muovitettu molemmin puolin, verhoseinät, piiput tai avonainen harja, päätyseinät profiilipeltiä.

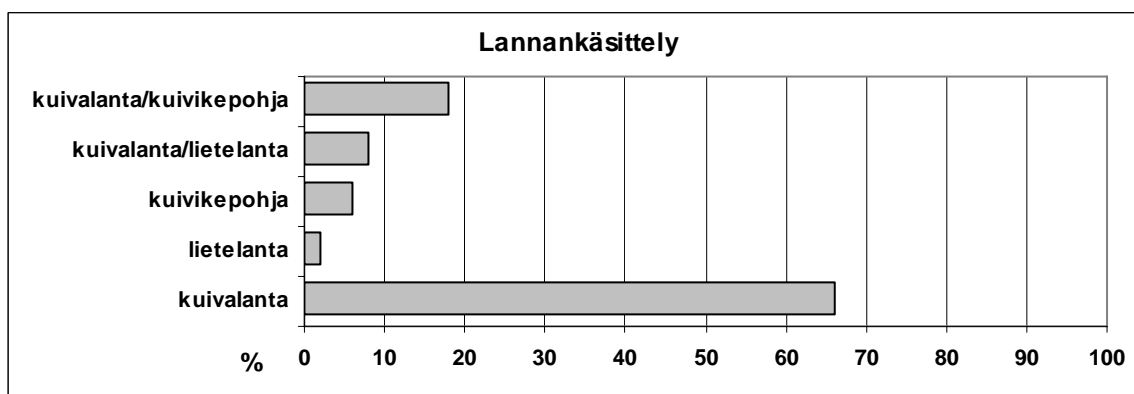
3.2 Lannanpoisto ja lantalat

3.2.1 Suomalaiset tilat

Suomalaisilla tiloilla lanta syntyi suurimmaksi osaksi kuivalantana ja poistettiin traktorin tai bobcatin kauhalla tai työntölevyllä kuivalantalaan. Lietelanta ja sen raappapoisto ovat harvinaisia. Täyskuivikepohja on myös harvinainen, joskin sitä esiintyy osassa kohteita sairas-, poikima- ja nuorkarjakarsinoiden alustoina.



Kuva 15. Tutkimuksessa mukana olleiden suomalaisten kylmäpihattojen lannanpoiston tekniikat.



Kuva 16. Tutkimuksessa mukana olleiden suomalaisten kylmäpihattojen lannankäsittely.

3.2.2 Virolaiset tilat

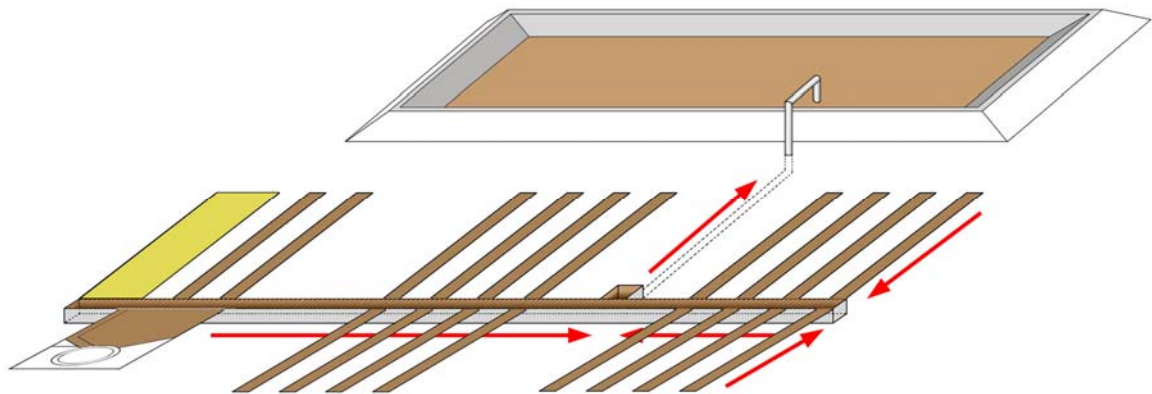
Kaikissa tutkimuksessa mukana olleissa kylmäpihatoissa lanta oli lietemuodossa. Se poistettiin kahdessa kohteessa raapalla ja kolmessa kohteessa traktorin tai pienkuormaajan työntölevyllä. Eläinhallit on kallistettu molemmista päädyistä keskustaa kohden 1-2 % kaadolla. Hallin keskialueella sijaitsee poikkittainen yhdyskäytävä, joka on osittain rakopalkkilattiaa. Poikkikäytävän alla on lantakanaali, johon kaikki lanta kaavitaan. Sinne ohjautuvat myös kaikki lypsyaseman ja odotustilan pesuedet ja lantaa kierrätetään kanaalisessa, jotta se pysyisi mahdollisimman homogeenisena lietteenä ja olisi helppo pumpata varsinaiseen lantavarastoon. Lantavarastoista yksi oli kokonaan maapäällinen terässäiliö, yksi maahan puolittain upotettu betonisäiliö ja kolme laguunia.



Kuva 17. Tutkimuksessa mukana olleiden kohteiden lantavarastoista laguuneja oli 3 kpl, betonisäiliöitä 1 kpl ja terässäiliöitä 1 kpl.



Kuva 18. Lannanpoisto tapahtui yleisimmin traktorilla tai pienkuormaajalla, jonka työntölevyllä lanta kerättiin hallin keskialueella sijaitsevaan pudotusluukkuun. Lantaa kierrätettiin keskikanaalissa jäätymisen estämiseksi ja samalla pumpattiin varsinaiseen lantavarastoon.



Kuva 19. Virolaisten kylmäpihattojen lannanpoiston yleisperiaate: lanta ja nesteet kerätään hallin keskelle kanaaliin, jossa lietettä kierrätetään. Kanaalista lanta pumpataan lantavarastoon.



Kuva 20. Pienkuormaajan käyttöä talvella – 15 °C (vasen kuva) ja kesällä + 25 °C (oikea kuva).

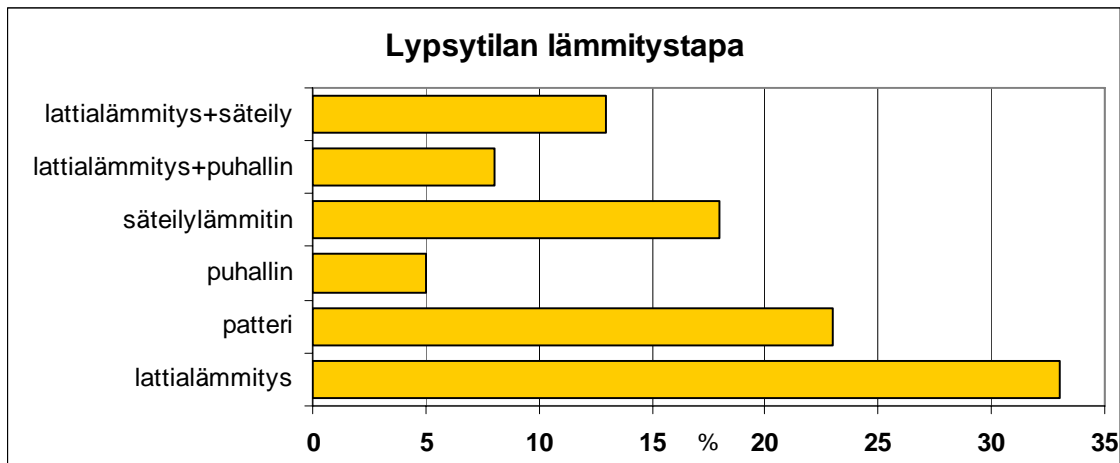


Kuva 21. Lannanpoistossa esiintyi ongelmia sellaisilla tiloilla, joissa lannanpoisto perustui pelkääntään raappaan. Ongelmat aiheutuivat esimerkiksi rakennuksen ulkopuolelle sijoitetuista vaijerien kääntöpyöristä, jotka jäätyivät pakkasessa. Kuvista näkee, että raappojen jumiuduttua lantakäytävälle on jouduttu ajamaan traktorilla tyhjennystä varten.

3.3 Lypsyasemat ja niiden lämmitys

Suomalaisten maitotilojen lypsyasemat sijaitsivat pääsääntöisesti lämpöeristetyissä ja myös lämmitetyissä tiloissa. Vain yhdessä kohteessa lypsyasema oli eristämättömässä tilassa. Lypsyasemat olivat yleisesti 4-6 -paikkaisia tandem- tai kalanruotoasemia. Lypsyasemien lämmitys tapahtui usealla eri tekniikalla, joista yleisimmät olivat vesikiertoinen lattialämmitys tai sähköpatteri. Myös säteilylämmitin oli yleinen. Lisäksi esiintyi edellisten yhdistelmiä. Lypsyasemina kohteissa oli 40 % tandemasemia ja 40 % kalanruotoasemia. 20 % oli muita ratkaisuja. Näistä osassa lypsy tapahtui vanhassa parsinavetassa, osassa oli läpikulkuasema. Yhdessä kohteessa oli lypsyrobotti. Odotustilojen luonne vaihteli suuresti. Yleisimmin odotustilana toimi eläinhallin lantakäytäväalue, josta lehmät tulivat yksitellen tai pikku ryhmissä lypsyasemaan vetoa vähentävän muovisen suikaleverhon läpi.

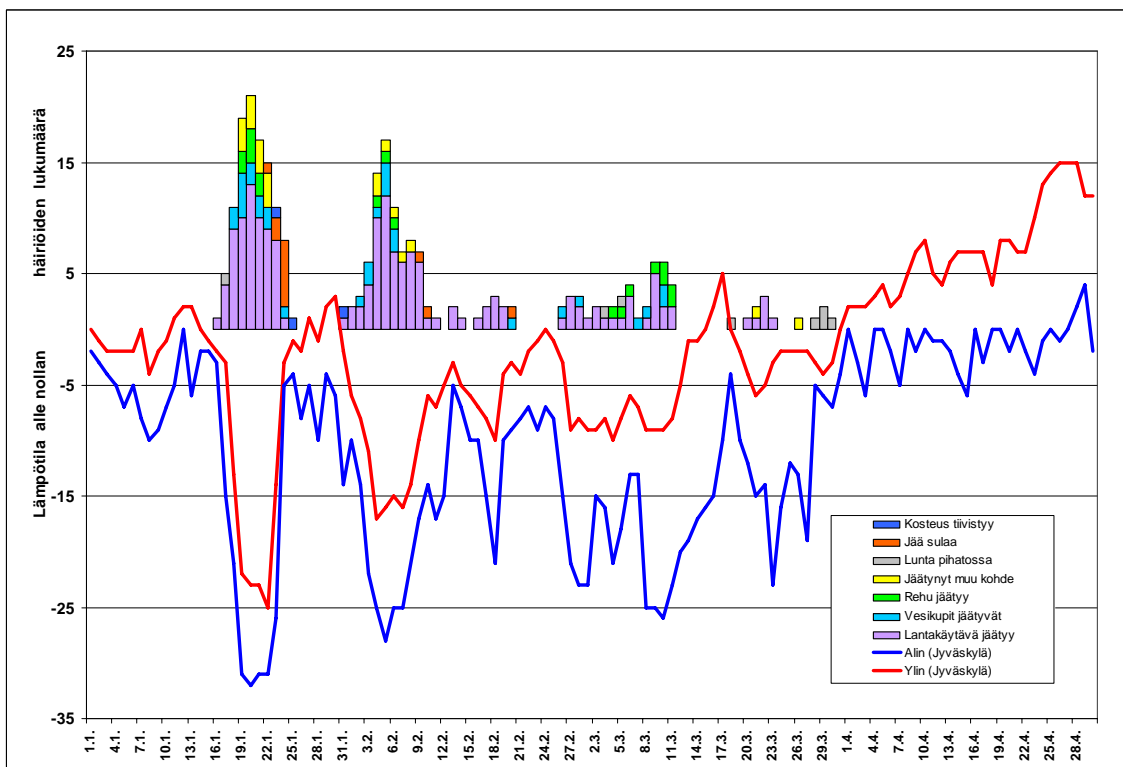
Virolaiset lypsyasemat olivat joko takalypsyasemia tai karuselleja. Lypsyasemia samoin kuin muita lämpimiä tiloja lämmitettiin sähköllä, öljyllä tai hakkeella.



Kuva 22. Tutkimuksessa mukana olleiden suomalaisten kylmäpihattojen lypsyasemien lämmitystekniikoita

3.4 Kylmäpihaton toimivuuskokemuksia Suomessa

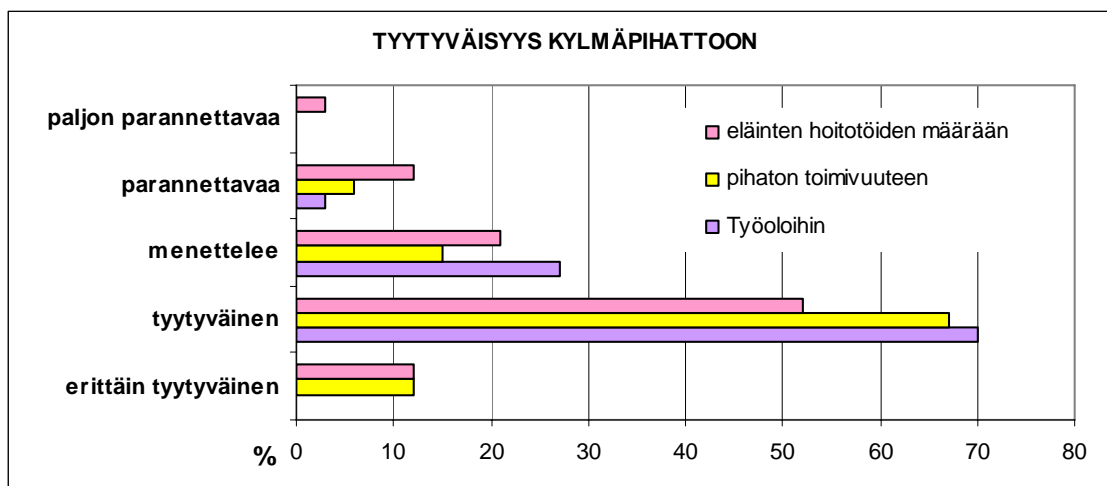
Talviajan toimivuutta seurattiin alkutalvesta 2006, jolloin tuntuja pakkasia esiintyi sekä Suomessa että Virossa. Suomalaisten viljelijöiden tekemiä havaintoja kyseiseltä ajanjaksoilta on esitetty kuvassa 23. Kylmäpihaton sisälämpötila seuraa ulkolämpötilaa, mutta on siitä riippuen 2- 5 °C korkeampi, koska lehmät tuottavat jatkuvasti lämpöä rakennukseen.



Kuva 23. Kylmäpihaton häiriötilanteiden esiintyvyys ulkolämpötilan suhteen suomalaisilla tutkimus-tiloilla. Kaaviossa nollan yläpuolella on häiriöiden lukumäärä ja alapuolella vuorokautiset maksimi- ja minimilämpötilat Jyväskylän havaintopisteessä.

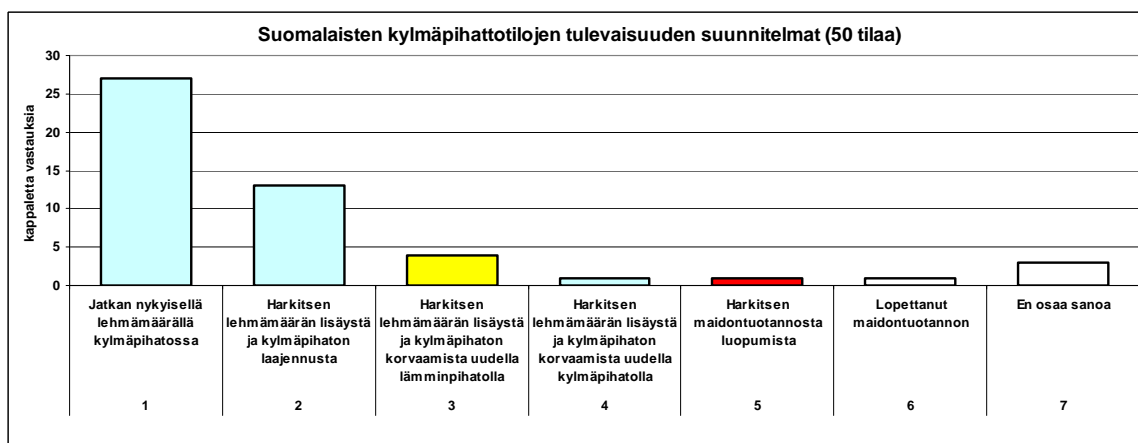
Kylmäpihaton hyvälämpötila-alue on -5 ja -10 °C asteen välillä, jolloin jäätymistä ei vielä esiinny, lehmät voivat hyvin ja lehmien hoitotyö sujuu. Ongelmat alkavat ulkolämpötilan painuessa -15 °C asteen alapuolelle. Ensiksi lanta alkaa jäätyä käytäville, jonka jälkeen vesikupprien pinta saattaa mennä riitteeseen. Pakkasen kiristyessä rehun jäätyminen voi olla

seuraava ongelmakohta. Ongelmat näyttivät häviävät nopeasti tahdissa ulkolämpötilan kohotessa -15 °C yläpuolelle. Jäätäneet lantakäytävät olivat pinnaltaan epätasaisia ja saattoivat olla lehmille jopa vaarallisia liikkua. Jäätynyttä lantaa oli yleensä vaikea poistaa kireän pakkasen aikana, mutta lauhtumisen yhteydessä lanta yleensä irtosi käytävän pinnasta isompina alueina. Jotkut viljelijät käyttivät silputtua olkea lantakäytävällä muodostamaan laakeripintaa betonikäytävän ja jäätyneen lantakerroksen välissä.



Kuva 24. Viljelijöiden tyytyväisyys kylmäpihaton toimivuuteen, työoloihin ja eläinten hoitotöiden määrään.

Suomalaisilta viljelijöiltä kysyttiin heidän omaa arviotansa pihaton toimivuuteen, eläinten hoitotöiden määrään sekä työoloihin. Vastaukset kussakin kolmessa kategoriassa olivat saman suuntaisia ja tuntuivat vahvistavan toisiaan. Noin 70 % vastaajista oli tyytyväinen tai erittäin tyytyväinen kysytyihin pihaton ominaisuuksiin. Noin 20 % oli sitä mieltä, että kylmäpihatto ”menettelee”, ja noin 10 % koki kylmäpihaton tarvitsevan parannettavaa tai paljon parannettavaa toimiakseen viljelijän odottamalla tavalla. Vastauksista voidaan päätellä, että suuri osa kylmäpihaton valinneista viljelijöistä on oppinut toimimaan kylmäpihaton ehdoilla ja on sitoutunut sen toimintatapaan.



Kuva 25. Suomalaisten kylmäpihattotilojen tulevaisuuden suunnitelmat.

Viljelijöiltä kysyttiin myös tulevaisuuden suunnitelmia. Yli puolet vastaajista aikoo jatkaa nykyisellä lehmämäärällä kylmäpihatossa. Noin viidennes aikoo lisätä lehmämäärää kylmäpihatossa. Neljä vastaajaa 50:stä harkitsi lehmämäärän lisäystä ja samalla kylmäpihaton vaihtamista lämminpihatoksi. Lisäksi vastaajien joukossa oli muutamia maidontuotannon lopettamista harkitsevia. Vastaukset tukivat toimivuus- ja työtyytyväisyyskysymysten antamaa kuvaa siitä, että kylmäpihattoon oltiin tyytyväisiä.

3.5 Kylmäpihaton toimivuuskokemuksia Virossa

Virolaisten pihatoiden toimivuudesta saatiin yksityiskohtaiset tiedot kustakin viidestä kohteesta. Navetan työnjohtohenkilöstöä haastateltiin kysymyssarjalla, joka jäljempänä tekstissä on osoitettu kursiivilla.

Kylmäpihattokohde Raplassa, yleiskuvaus



Rapla

- rakennettu 2003, laajennettu 2005
- lehmiä 1060 kpl
- työntekijöitä 13 kpl, vuorossa 12 kpl

- puurakenteinen halli
- verhoseinät (koko seinäkorkeus) ja avoharja
- kiinteät lantakourut, lannapoisto traktorilla
- laguunilantala

Navetta on suunniteltu amerikkalaisten mallien mukaan. Rakennusmateriaalina käytettiin puutavaraa, joka saatiin omasta metsästä. Toisen navetan pystyttämisen yhteydessä tehtiin vain pieniä muutoksia: ruokintapöydän rehunpudotusalueella käytettiin kaakelilaattoja, navetan päätyseinien viereen jätettiin välikäytävä eläinten siirtoja varten

Uudessa navetassa on erillinen poikimaosasto. Entiset (vanhat, neuvostoaikaiset) navetat peruskorjattiin vasikoille. Kylmäpihaton viereen on omistajalla tarkoitus rakentaa ”vasikoiden kasvihuone” – puusta ja muovikalvosta amerikkalaisten esimerkkien mukaan. Kalvon etuna on se, että vasikat saavat runsaasti luonnollista valoa. Navettakompleksin viereen on rakenteilla uusi säilörehuvarasto jossa myös viljan säilöntä on mahdollista.

Navetassa hyvin toimivat ratkaisut: Käsien tehtävät työt ovat OK. Sahapurun käyttö ja levitys seosrehuvaunulla > ei tukkeudu.

Navetan sivuseinä ei ole auki maahan asti. Ilmastointi liiankin hyvä. Paikoittain täytyy jopa sulkea ovia ja ikkunoita vedon välttämiseksi

Työtyytyväisyys: Neutraali suhtautuminen

Eniten tyytymättömyyttä aiheuttaneet seikat: pakkanen, ilman suuri kosteus

Häiriöt työssä: Lypsyyn liittyviä häiriöitä esiintyi silloin tällöin. Häiriöiden aiheuttajana oli lypsyjärjestelmä. Lypsyhäiriöt luokiteltiin luonteeltaan oleellisiksi.

Huonosti toimivat seikat: Ensimmäisen ja toisen navetan väliin syntyy tuulta, toinen navetta on vähemmän eristetty, se jäähtyy nopeammin. Lantakanavan aukoilta syntyy jäätä.

Rakenteellisia muutoksia käyttöönoton jälkeen: Kohdetta on laajennettu vuonna 2005. Lypsyasemaa on sen jälkeen pidennetty vielä erikseen uusilla lypsypaikoilla.

Kuluneisuus, rakenteelliset virheet, kehittämistarpeet: Lehmien makuupaikat ovat epätaoiset. Lannanpoisto traktorilla tulisi vaihtaa automaattiseksi lannanpoistoksi (raapalla).

Pakkasesta johtuvat erikoisseikat: Ensimmäisen ja toisen navetan väliin syntyy tuulta, toinen navetta on vähemmän eristetty, se jäähtyy nopeammin. Lantakanavan aukoilta syntyy jäätä.

Miksi päätitte rakentaa kylmäpihaton? vanhat parsinavetat olivat tulleet huonoon kuntoon. Pihatto on halpa ja käytännöllisempi.

Kylmäpihattokohde Kohtla-Järvellä, yleiskuvas



Kohtla-Järve

- rakennettu 2003, laajennettu 2006
- lehmä 530 kpl
- työntekijöitä 15 kpl, vuorossa 15 kpl

- teräsrakenteinen halli
- verhoseinät (korkeus 1 m) ja avoharja
- seinän alaosa umpinainen, yläosa rakoseinää
- kiinteät lantakourut, lannapoisto raapoilla
- laguunilantala

Navetassa hyvin toimivat ratkaisut: Voimakas ilman liike estää karpäset

Työtyytyväisyys: Työtyytyväisyydessä oli selvästi parannettavaa.

Eniten tyytymättömyyttä aiheuttaneet seikat: Laitteet kestäneet huonosti käyttöä.

Häiriöt työssä: Lypsyyn liittyviä häiriöitä esiintyi noin kerran viikossa. Häiriöiden aiheuttajana oli lypsyjärjestelmä. Lypsyhäiriöt luokiteltiin luonteeltaan oleellisiksi. Häiriöitä esiintyi myös seosrehuruokinnassa ja lannanpoistossa.

Rakenteellisia muutoksia käyttöönoton jälkeen: Uutta on rakennettu ja paljon on muutettu. Uusi navetta: sairaat, poikivat ja ummessa olevat lehmät sekä vasikat. Raapan vetoketju vaihdettiin vajeriin. Avoin kattoharja on vaihdettu tuuletuspiippuihin. Muutettu on lehmäryhmien kokoa. Ruokintapöydän esteet olivat suunniteltu huonosti. Pallojuottolaitteet vaihdettiin juottoaltaisiin. Lattiapintaa on toistuvasti muutettu karkeammaksi.

Kuluneisuus, rakenteelliset virheet, kehittämistarpeet: Eläinten ja ihmisten liikennealueet ovat huonosti suunniteltuja: navetan henkilökunta siirtyy navetasta olutiloihin lehmien (lypsyasemalta) poistoalueen kautta – lanta tarttuu jalkineisiin ja kantautuu olutiloihin. Lypsyaseman lämpöeristys huono. Lypsyaseman lypsymontussa väärä korkeus lypsäjää ajatellen. Rakentamisen laatu huono, sen valvonta on ollut riittämätön. Ruokintapöydän esteet vinot. Lypsyaseman odotusalue liian pieni. Laitteet pysyvät kunnossa noin vuoden, kaikkia töissä käytettäviä menetelmiä/laitteita tulisi kehittää.

Pakkasesta johtuvat erikoisseikat: Työntekijät stressaantuvat.

Miksi päätitte rakentaa kylmäpihaton? Rakentamisen edullisuus ja halpuus



Kuva 26. Lehmistä vapautuva lämpö on sulattanut kattolumia, joka edelleen on valunut jääpuikoiksi räystäälle. Puikkojen pituudesta voi päätellä pihaton eri osissa vallinnutta lämpöintensiteettiä.

Kylmäpihattokohde Tormassa, yleiskuvaus



Torma

- rakennettu 2002, laajennettu 2005
- lehmä 530 kpl
- työntekijöitä 7 kpl, vuorossa 6 kpl
- teräksinen kolminivelkehähalli
- verhoseinät (korkeus 1,5 m) ja katettu harja
- seinän alaosa umpinainen,
- kiinteät lantakourut, lannapoisto raapoilla
- terässäiliölantala

Navetan piirustukset ovat Tanskasta. Kohde oli Viron ensimmäinen uusi kylmäpihatto, ja toteutuksen budjetti oli pieni. Samasta syystä varauduttiin laajentamiseen ja uusimiseen. Samalla luovuttiin liiallisista kustannuksista. Lypsyasema ostettiin käytettynä.

Navetassa hyvin toimivat ratkaisut: Seosrehuvaunu EUROCOMP on hyvin kestänyt. Samoin on hyvin toiminut lantaraappa. Ilmastointi on hyvä, lypsyasema on OK.

Työtyytyväisyys: Työtyytyväisyys oli erittäin hyvä.

Eniten tyytymättömyyttä aiheuttaneet seikat: Talvella pakkanen, kesällä lypsyaseman ilmastointi ei riitä – liian kuuma

Häiriöt työssä: Lypsyyn liittyviä häiriöitä esiintyi noin kerran viikossa. Häiriöiden aiheuttajana oli lypsyjärjestelmä. Lypsyhäiriöt luokiteltiin luonteeltaan oleellisiksi. Häiriöitä esiintyi myös seosrehuruokinnassa ja lannanpoistossa.

Huonosti toimivat seikat: Lannanpoistolaitteet jäätyvät talvella. Strangkon ohjelmisto vaatii täydentämistä

Rakenteellisia muutoksia käyttöönoton jälkeen: Navettaa on rakennettu pitemmäksi, lehmäryhmien kokoa on muutettu. Traktorin käyttö lannanpoistossa on vaihdettu lantaraappaan.

Aiempi olkikuivike on vaihdettu makuualustojen käytöksi. On rakennettu uusi lietelantasäiliö. Kiinteälle lannalle on rakennettu myös uusi säilytyspaikka. Uusittiin vasikkanavetta – nyt ovat vasikat omassa vasikkapihatoissa. Vasikoiden juotto tapahtuu ”maitotaksilla” (juottoautomaatilla).

Kuluneisuus, rakenteelliset virheet, kehittämistarpeet: Lypsyyvennyksen lattia liian matalalla, sitä korotettiin ritilällä. Pakkasella on seiniltä kuoriutunut maali pois – sitä on korjattu. Pakkassäällä ovat lattiat liukkaita. Lattian kaltevuudet eivät aina ole kohdallaan. Lantakäytävien seinien vierustat jäätyvät helposti. Eläinliikenne huono.

Pakkasesta johtuvat erikoisseikat: Lehmien ajolaite lypsyaseman odotusalueella, lantaraappa, lypsykoneet, poistokäytävät ja odotusalueen lattia jäätyvät. Silloin tarvitaan jatkuvaa tarkistusta.

Miksi päätitte rakentaa kylmäpihaton? Ratkaisu on parempi eläinten terveyden kannalta, ja myös halpa.

Kylmäpihattokohde Säreveressä, yleiskuvaus



Sävere

- rakennettu 2005
- lehmiä 1200 kpl
- työntekijöitä 20 kpl, vuorossa 11 kpl
- teräsrakenteinen halli
- katossa kondenssieristevilla 3 cm
- verhoseinät (koko seinän korkeus) ja hormit
- kiinteät lantakourut, lannapoisto traktorilla
- laguunilantala

Navetassa hyvin toimivat ratkaisut: Lannanpoisto (traktorilla). Henkilökunnan tilat ovat erittäin hyvät.

Työtyytyväisyys: Työtyytyväisyys oli hyvä.

Eniten tyytymättömyyttä aiheuttaneet seikat: Talvella pakkanen, ilman suuri kosteus, kesällä lypsyaseman ilmastointi ei riitä – liian kuuma.

Häiriöt työssä: Satunnaiset sähkökatkokset

Rakenteellisia muutoksia käyttöönoton jälkeen: Eläinryhmien täyttävyyssaste ei saisi olla enemmän kuin 90% alunperin suunnitellusta, tämä mahdollistaa kitkattoman lehmien siirron ryhmien välillä. Ryhmäkoko on vähennetty.

Poikimaosaston makuualueen ja lantakäytävän väli on purettu. Poikimakarsinat on uudelleenrakennettu (eläimet juutuivat kiinni ihmisille tarkoitettuihin läpikulkuaukkoihin). Jalakasairauksia sairastuneille lehmille erotettiin oma lantapatja-makuualue. Navettaan asennettiin kiinteä sorkkahoitoteline. Lypsyaseman odotusalueen seinien alaosa peitettiin pesua kestäväällä vanerilla. Juottoalueille asennettiin kumimatot (eläinten kaatuessa sen loukkautumisen vaaran pienentämiseksi). Väliaitoja on lisätty

Kuluneisuus, rakenteelliset virheet, kehittämistarpeet: Lattian kaltevuudet. Lypsyasemalla vesi lammikoituu nurkkaan. Ovet eivät toimi kunnolla. Pakkasvauriot. Kylmällä säällä on lattiat liian liukkaita: kuivitus

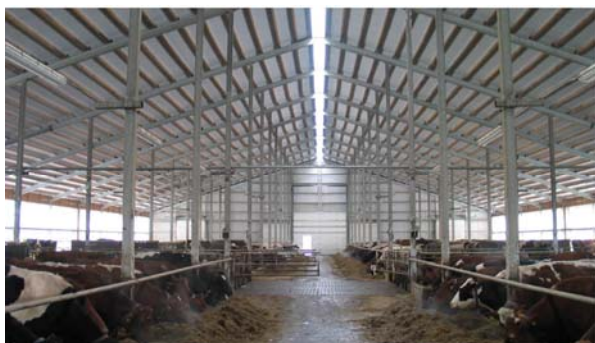
Pakkasesta johtuvat erikoisseikat: Työntekijöitä stressaa. Ei tee mieli lähteä navettaan silloin.

Miksi päätitte rakentaa kylmäpihaton? Nykyaikainen ja halpa.



Kuva 27. Sävereren kohde talvi- ja kesäasussa samasta pisteestä kuvattuna.

Kylmäpihattokohde Tartossa, yleiskuvaus



Tarto

- rakennettu 2004
- lehmiä 600 kpl
- työntekijöitä 20 kpl, vuorossa 12 kpl

- teräsrakenteinen halli
- verhoseinät (koko seinän korkeus) ja avoharja
- kiinteät lantakourut, lannapoisto traktorilla
- betonisäiliölantala

Navetassa hyvin toimivat ratkaisut: Seosrehuvaunu, lietelantapumppu, pienoistraktori lannan poistossa ovat olleet varmoja. Hyvä ratkaisu on myös sahapurun käyttö. Järjestelmä kokonaisuudessaan toimii hyvin

Työtyytyväisyys: Työtyytyväisyys oli hyvä.

Eniten tyytymättömyyttä aiheuttaneet seikat: Pakkanen, betonilattiat

Häiriöt työssä: Satunnaiset sähkökatkokset

Rakenteellisia muutoksia käyttöönoton jälkeen: Suuria muutoksia ei ole tehty. Agregaatti on vaihdettu. Käyttöön on otettu uudet tunnistimet (elektroninen numero kiinnitetty korviin kaulapantojen asemesta). Uudet juottolaitteet. Uudentyyppiset puhdistusharjat

Kuluneisuus, rakenteelliset virheet, kehittämistarpeet: Lypsytysvennyksen lattia liian matalalla, vaatii korottamista. Poikimaosasto on lypsyksi liian viileä. Lypsytaseman odotusalueen lattialle muodostuu lammikko. Esiintyy lypsylle siirtyvien lehmien kaatumisia (kaltevuus liian suuri). Joskus on lehmä jäänyt erotteluportin veräjän väliin. Seinäverhoja ja ovia säädellään käsin, ovien avaamiseen tarvittaisiin kauko-ohjaus.

Pakkasesta johtuvat erikoisseikat: Työntekijöitä stressaa.

Miksi päätitte rakentaa kylmäpihaton? Kesäisin on lämpöeristetty navetta liian kuuma kun lehmiä pidetään sisällä – laitumen käyttö kesäisin on vaikea, syksyllä vaikeuttaa laiduntamista karjakujen kuraisuus. Lämpöeristämättömässä navetassa kestää pakkaskausi kuitenkin enintään vain 2 viikkoa. Ihmisen työskentely on vähemmän työläistä pihatossa.



Kuva 28. Lehmien poikima- ja sairasosasto Tarton kohteessa kesällä.

4 Kylmäpihattojen sisäilmasto

Ydinlöydökset

Kylmäpihattojen sisäilma on usein hieman lämpöeristettyä pihattoa parempi. Harvan rakenteen ansiosta ilmanvaihto toimii hyvin sekä lämpimällä että myös kylmällä säällä. Lämpimissä rakennuksissa ilmanvaihtoa usein vähennetään pakkasilla, jolloin sisäilman tila huononee.

Koneellista ilmanvaihtoa ohjataan usein lämpötilan perusteella tai ohjaus on käsikäyttöinen. Navetan olosuhteiden kannalta hiilidioksidipitoisuuden avulla tapahtuva ohjaus antaisi paremman sisäilman laadun. Lämpötilaohjaus aikaansaa helposti liian kostean sisäilman ja myös kaasupitoisuudet ovat korkeat.

Eläinten aiheuttamat päästöt riippuvat suuremmaksi osaksi ruokinnasta. Ainoastaan ammoniakkin päästöihin voidaan vaikuttaa lannan käsittelyllä ja lantalan rakenteella.

4.1 Ilmanvaihdon yleisperiaatteet

Tuotanto- ja asuinolosuhteet vaativat hyvää ilmanvaihtoa. Sitä tarvitaan seuraavien syiden takia:

- Hengitysilma pidetään hyvänä. Ihmiset ja eläimet tarvitsevat happea ja tuottavat hiilidioksidia. Lisäksi lehmät tuottavat metaania ja lannasta erottuu ammoniakkaa ja rikkivetyjä. Nämä kaasut pitää poistaa rakennuksesta ja tilalle pitää tuoda raitista ilmaa.
- Ilmanvaihdolla vältetään veden tiivistymistä rakennuspinoille. Vesihöyry yhdessä kaasujen kanssa tiivistyy kylmille pinoille ja valuu rakenteita pitkin. Korkea ilman kosteuspitoisuus suosii myös homeiden kasvua. Ilmanvaihdon avulla poistetaan vettä, jottei tiivistymistä tapahtuisi.
- Ilmanvaihdon avulla siirretään lämpöä rakennuksesta pois. Lämpimällä ilmalla on tärkeää poistaa eläinten tuottama lämpö rakennuksesta, jotta lämpötilat pysyisivät kohtuullisena.

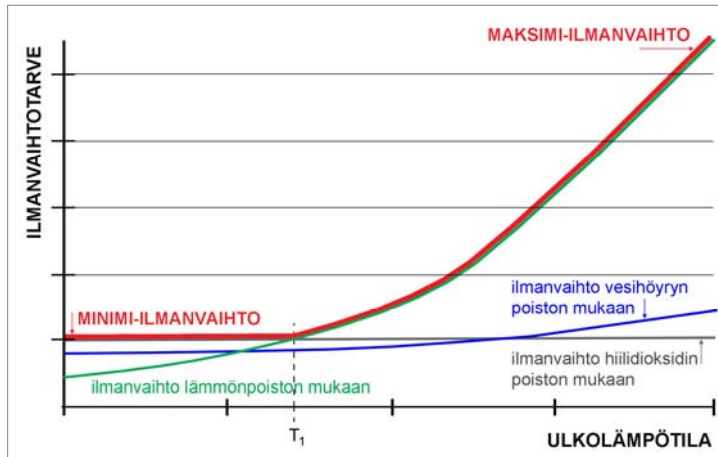
Kuvassa 29 on esitetty ilmanvaihdon tarve ulkolämpötilan mukaan. Hiilidioksidin poisto eli raikkaan hengitysilman saanti on ratkaisevana tekijänä kylmillä ilmoilla ja vastaavasti tietyn lämpötilan (T_1 kuvassa 29) jälkeen liiallisen lämmön poisto ratkaisee ilmanvaihdon tehokkuuden. Eläimistä ja tilojen rakenteesta johtuen kylmällä säällä ilmanvaihdon määrävänä tekijänä voi hiilidioksidin sijasta olla vesihöyryn ja kaasujen poisto.

Lypsylehmä tuottaa 600 – 1000 W lämpötehon, vasikka n 100 W lämpötehon. Kylmällä säällä eläinten lämmöntuotto lämmittää rakennusta, kuumalla ilmalla tämä lämpö on poistettava rakennuksesta, jottei sisälämpötila kohoaisi liiaksi. Lehmien sopiva lämpötila on 5-15 °C ja kriittinen lämpötila – 15 °C. Lämmittämättömät tilat suunnitellaan siten, että rakennuksessa olisi täysi eläinmäärä. Jos eläimiä on vähemmän, niistä tuleva lämmöntuotto on myös alempi ja rakennus jäähtyy kylmällä ilmalla. Seurauksena voi olla lannan ja veden jäätyminen ja sitä kautta tulee toimintahäiriöitä.

Eläinten tuottama lämpö määrittelee ilmanvaihdon suuruuden vain lämpimällä ilmalla. Kylmällä säällä eläinten vesihöyryn tuotto ja hengityksessä syntyvä hiilidioksidi määrittävät ilmanvaihdon tarpeen. Näistä kosteuden poisto on useimmiten määrävänä ja mitoitus

tapahtuu sen mukaisesti. Lehmä tuottaa vesihöyryä 400 – 500 g/h ja vasikka 75 g/h. Lisäksi rakennukseen tulee vettä esimerkiksi pesu- ja puhdistustöistä. Liiallinen rakennuksen vesihöyry tiivistyy kylmille pinnoille ja aiheuttaa homeiden kasvua sekä rakenteiden mätänemistä ja ruustumista. Kylmillä ilmoilla rakennuksen lämpöhäviöt lisääntyvät ja sisälämpötila laskee. Koska eläinten vesihöyryn tuotto pysyy samansuuruisena, ilmanvaihdon tarve säilyy lähes samana. Jos lämpötilan alenemisen takia ilmanvaihtoa vähennetään, vesihöyryä ei saada poistetuksi ja rakenteet kostuvat.

Hyvä ilmanvaihto ei voi toimia jatkuvasti samalla voimakkuudella, vaan sen tehoa on muutettava tilanteen mukaan. Myöskään lämpötila ei ole sopivin ohjaussuure, vaan ohjaus pitäisi tapahtua kosteuden tai hiilidioksidin perusteella.



Kuva 29. Ilmanvaihdon tarpeen muutos ulkolämpötilan muuttuessa.

Ilmanvaihtotavat

Rakennuksissa voidaan käyttää joko painovoimaista (luonnollista) tai koneellista ilmanvaihtoa. Painovoimaisen ilmanvaihdon ongelmana on ollut sen heikko säädettävyys, jolloin ilmanvaihtomäärä ei aina ole ollut oikea. Koneellisen ilmanvaihdon etuna on sen samanlainen toiminta riippumatta esim. sääolosuhteista. Sen hankinta- ja käyttökustannukset ovat selvästi painovoimaista korkeampia. Koneellisen ilmanvaihdon avulla voidaan tarkemmin säätää ilmanvaihdon määrää ja jakautumista. Painovoimaisen ilmanvaihdon hyvänä puoleena on sen halpuus ja 'käyttövarmuus'. Se soveltuu eläimille, jotka pystyvät olemaan kylmässä, kuten esim. lehmät. Karjakoon kasvaessa siirrytään usein kylmiin pihattoihin alhaisempien rakennuskustannusten ja paremman työn järjestelyn takia. Painovoimainen ilmanvaihto soveltuu karjarakennuksissa etenkin lehmille, koska ne sietävät hyvin kylmää ja kompensoivat kylmän ilman hieman suuremmalla rehun tarpeella.

Koneellisessa ilmanvaihdossa erotetaan kolme erilaista toimintatapaa, alipaine-, ylipaine- ja tasapainoilmanvaihto. Alipaineilmanvaihdossa puhallin imee ilmaa rakennuksesta ja aiheuttaa sinne lievän alipaineen ulkoilmaan verrattuna. Ilmanpaine työntää tällöin ilmaa sisääntuloaukoista rakennukseen. Ylipaineilmanvaihdossa tilanne on päinvastainen, puhallin aikaansaa lievän ylipaineen rakennukseen ja ilma virtaa poistoaukoista ulos. Tasapainoilmanvaihdossa sekä sisääntulossa että ulosmenossa on puhaltimet ja ne pitävät rakennuksen sisäpaineen ulkoilmapaineen kanssa samana.

Alipaineilmanvaihto on helppo toteuttaa, ilman sisääntuloaukot voidaan sijoittaa melko vapaasti seinille ja järjestelmässä ei tarvita ilmaputkistoja. Jos tuloilmaa halutaan lämmitellä lämmönvaihtimen kanssa, silloin alipaineilmanvaihto ei sovellu tähän kovin hyvin, koska lämmönvaihtinpatteristo aiheuttaa suuren virtausvastuksen. Kylmässä ilmastossa alipaineilmastointi aiheuttaa usein tuloilma-aukkojen kohdalle kylmiä kohtia, koska kylmä

ulkoilma tulee aukoista suoraan sisään. Tuuli vaikuttaa myös ilmanvaihtoon muuttaen ilmanvaihtomääriä tuulen suunnasta ja voimakkuudesta riippuen.

Ylipaineilmanvaihdossa tarvitaan ilmanjakokanavat rakennukseen, jolloin hankinta- ja huoltokustannukset lisääntyvät. Toisaalta ilmanjako saadaan hyväksi ja järjestelmään on helppo lisätä lämmönvaihdin. Ilmanvaihtomäärä ei myöskään ole herkkä tuulen vaikutukselle. Ylipaineilmanvaihdon yhtenä ongelmana on kylmän tuloilman kondensoituminen kanavistoon ja rakenteisiin.

Tasapainoilmanvaihto on kalliimpi suuremman puhallinmäärän ja säätöjärjestelmän takia. Se ei ole herkkä tuulen vaikutukselle, koska säätöjärjestelmä pitää paineen rakennuksessa ulkoilmaan verrattuna tasaisena.

Luonnollinen ilmanvaihto

Luonnollisen ilmanvaihdon saa aikaiseksi joko ilman tiheyseroista johtuva noste tai tuuli. Kuuman ilman tiheys on pienempi kuin kylmän ja se nousee ylöspäin. Tuuli aikaansaa rakennuksen eri osiin yli- ja alipainetta, mikä aikaansaa ilman liikkeen rakennuksessa. Luonnollisessa ilmanvaihdossa on muutama perusasia, joka pitää olla kunnossa, että se toimisi. Poistoaukon pitää olla ylhäällä rakennuksen ylimmässä kohdassa ja katon kaltevuuden pitää olla vähintään 1:4 (14°), jotta ilma nousisi ylös. Katon sisäpinnan pitäisi myös olla sileän. Kylmissä pihatoissa voidaan aikaansaa tuulen avulla tehokas ilmanvaihto kesäisin, jos ulkoseinät ovat avattavissa tai ne ovat verhoseiniä (1 - 1,5 m korkeita). Talvea varten tarvitaan vain 0,1 - 0,2 m korkeat aukot. Kylmän pihatton harjalla olevan poistoaukon suositus on 0,15 m, jos rakennus on korkeintaan 12 m leveä ja leveämmissä rakennuksissa aukon pitäisi olla 5 cm leveämpi jokaista 3 m leveyden lisäystä kohti. (Albright 1990)

Avonaisten poistoaukkojen ongelmana on se, että sade ja linnut pääsevät niistä sisälle. Saateen mukana tuleva vesimäärä on kuitenkin pieni verrattuna eläinten tuottamaan vesimäärään (hikoilu, virtsa), ettei se haittaa rakennuksen toimintaa.

Tuuli vaikuttaa luonnolliseen ilmanvaihtoon joko puhaltamalla suoraan rakennukseen tai se vaikuttaa muuttamalla painesuhteita rakennuksen ympärillä, jolloin myös ilmanvaihtomäärä muuttuu. Rakennusten maasto, puusto ja läheiset rakennukset vaikuttavat tuulen 'purevuuteen' ja suuntaan ja sen takia tuulen vaikutus voi olla eri tilanteissa hyvin erilainen. Tämän takia luonnollisella ilmanvaihdolla ei saada tasaisena pysyvää ilmanvaihtoa, vaan se vaihtelee ja sen seurauksena sisäolosuhteet myös vaihtelevat.

4.2 Olosuhdemittaukset Suomessa

Karja ja sen lanta tuottavat erilaisia päästöjä, jotka leviävät rakennuksesta ympäristöön. Ongelmallisina nähdään ammoniakkin ja metaanin tuotto. Rakennusten kaasupitoisuudet kertovat vain sisäilmaston tilan. Ilmanvaihto vie mukanaan kaasuja ulos. Kun poistoilman pitoisuus ja ilman virtausmäärä tiedetään, tästä voidaan laskea päästömäärät. Tyypillisesti karjasuojista mitataan ainakin säädelyjen kaasujen pitoisuudet (Taulukko 1).

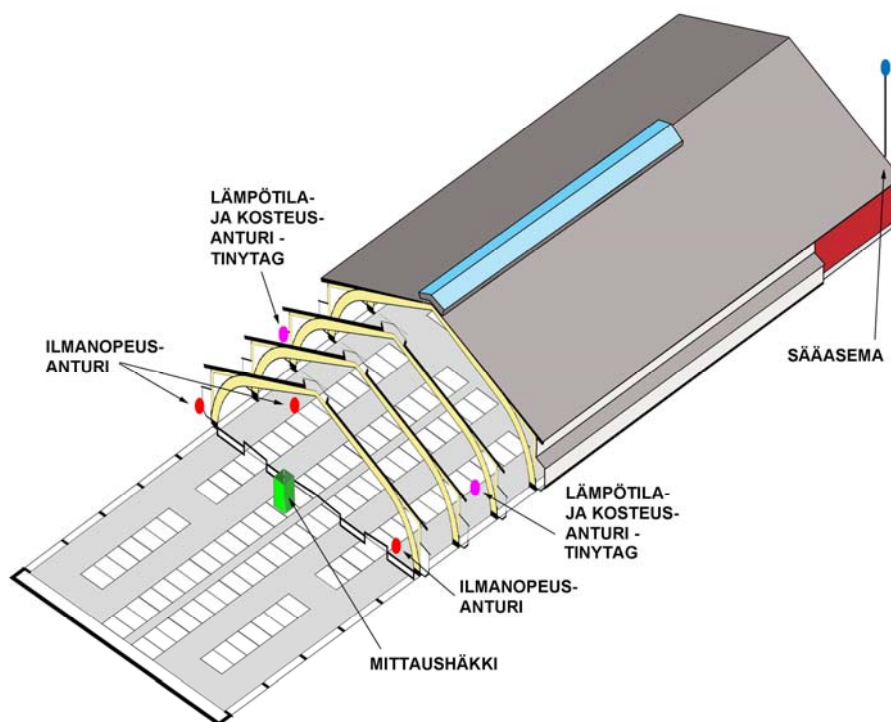
Karjasuojien päästöt voivat aiheuttaa päänsärkyä, huonovointisuutta ja voi hyvin korkeina pitoisuuksina johtaa tajuttomuuteen ja kuolemaan. Eri kaasujen vaikutuksesta ihmisiin saa tietoa esim. internetosoitteesta <http://www.ttl.fi/internet/ova/index.html>. Eläinten raja-arvot poikkeavat ihmisten raja-arvoista ja maa- ja metsätalousministeriö on antanut taulukon 1 mukaiset enimmäisarvot, jotka saadaan ylittää vain lyhytaikaisesti.

Taulukko 1. Eläinsuojien ja työtilojen sallitut kaasupitoisuudet.

Kaasu	Eläinsuojan raja-arvo (ppm)	Työtilan raja-arvo (ppm)
Hiilidioksidi, CO ₂	3 000	5000 (8 h)
Ammoniakki, NH ₃	10	20 (8 h), 50 (15 min)
Rikkivety, H ₂ S	0,5	10 (8 h), 15 (15 min)
Häkä, CO	5	30 (8 h), 75 (15 min)
Metaani, CH ₄		1000 ppm
Orgaaninen pöly	10 mg/m ³	-

Karjarakennusten sisäilman mittauksia tehtiin hankkeen aikana sekä Virossa että Suomessa. Yhden rakennuksen eläinmäärät vaihtelivat 30 – 600 välillä ja mittauksia tehtiin sekä kesällä että talvella siten, että ulkolämpötila oli – 30 °C- +30 °C väliltä. Tyypillinen mittauspisteiden sijainti näkyy kuvassa 27.

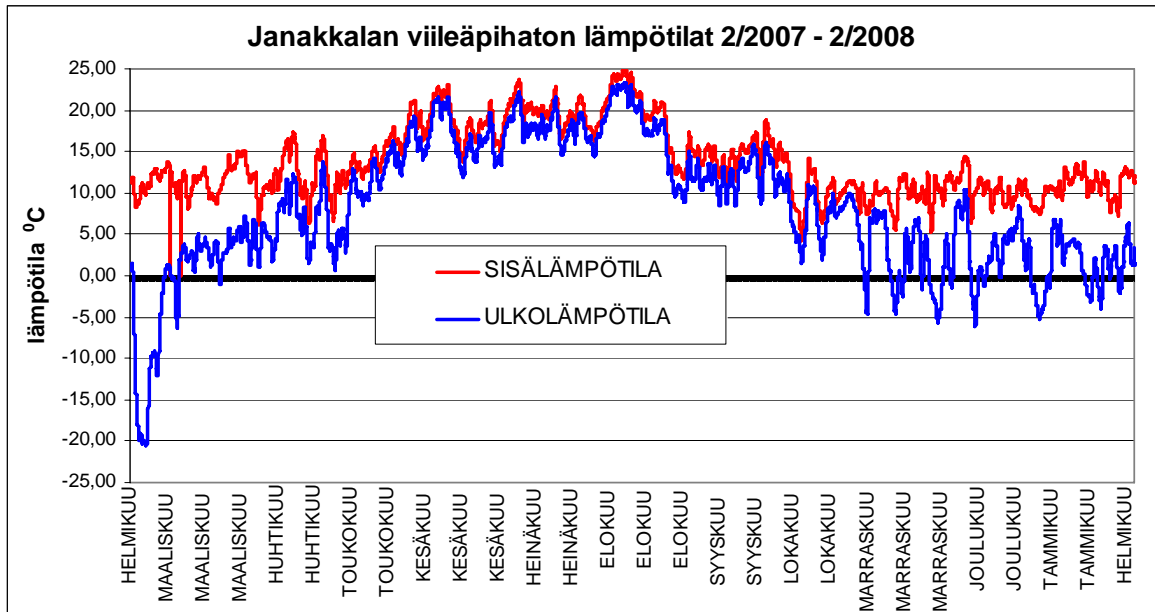
Mittauksissa käytettiin sekä pitkäaikaista mittausta että lyhytaikaista tarkkaa kartoitusta. Pitkäaikaisessa mittauksessa rakennukseen asennettiin tiedonkeruulaitteisto, joka tallensi mittaus tulokset usean kuukauden ajalta. Lyhytaikainen mittaus kesti tyypillisesti puoli päivää ja siinä mitattiin eri kaasukomponenttien pitoisuuksia, lämpötiloja ja kosteuksia rakennusten eri osista.



Kuva 30. Esimerkki ilmanvaihdon mittauksessa käytetyistä antureista.

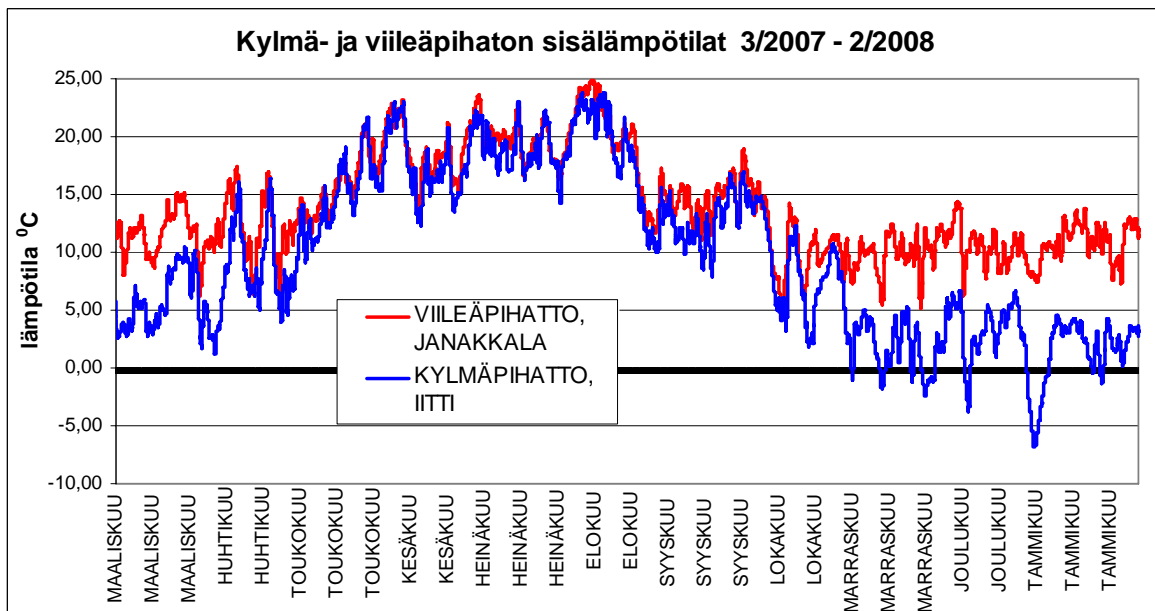
Lämpötila ja kosteus

Karjasuojien lämpötilan suosituksena on lypsylehmille 5-15 °C, nuorkarjalle 10-20 ja pikku vasikoille 15-25 °C. Tämän lisäksi eläimille on määritetty kriittiset lämpötilat, joiden alarajat ovat, lehmille – 15 °C (- 25 °C), nuorkarjalle 0 °C (-15 °C) ja lihakarjalle -15 °C (- 35 °C). Näiden rajojen alapuolella eläin käyttää suuremman osan ravinnosta lämmön tuottamiseen ja normaali tuotos heikkenee. Vastaavasti ylimmät kriittiset lämpötilat ovat 23 – 30 °C. Korkea lämpötila aiheuttaa eläimelle lämpöstressin, koska se ei voi poistaa kehostaan riittävästi lämpöä. (MMM RMO C2.2).



Kuva 31. Sisä- ja ulkolämpötilojen suhde viileäpihatossa (90 lehmää) vuoden mittaisessa seurannassa. Käyrät kuvaavat vuorokauden liukuvia keskiarvoja.

Mittauksissa vertailtiin kylmäpihaton ja viileäpihaton sisälämpötilojen käyttäytymistä toistensa suhteen vuoden pituisella mittauksella. Kuvassa 32 on esitetty Janakkalassa ja Iitissä sijainneiden kohteiden lämpötilakäyrät 2007-2008. Janakkalan käyrä on sama kuin kuvassa 31 esiintyvä sisälämpötila, mutta alkaen vasta maaliskuusta 2007. Iitin kylmäpihaton sisälämpötila seuraa aika tarkasti ulkolämpötilaa. Kesäaikana viileäpihatossa on lievästi alempi sisälämpötila, mikä johtuu katon eristävästä vaikutuksesta. Talvella viileäpihatto puolestaan on pysynyt jatkuvasti nollarajan yläpuolella.



Kuva 32. Sisälämpötilojen suhde Janakkalan viileäpihatossa ja Iitin kylmäpihatossa 11 kuukautta kestäneessä seurannassa. Käyrät kuvaavat vuorokauden liukuvia keskiarvoja. Kylmäpihaton sisälämpötila on lähes sama kuin vallitseva ulkolämpötila.

Suhteellisen kosteuden osalta suositellaan 50 – 85 % suhteellista kosteutta. Alhainen kosteus aiheuttaa pölyämistä ja hengitysteiden ärsytystä. Liian suuri kosteus aiheuttaa kosteuden tiivistymistä rakenteisiin (MMM RMO C2.2). CIGR suosituksissa kosteuspitoisuus riippuu lämpötilasta siten, että 0 °C lämpötilassa raja on 50 – 90 % ja 30 °C lämpötilassa se on 40 – 60 %. (CIGR 1984)

Taulukko 2. Mitattujen rakennusten laajuustiedot ja ominaisuudet mittaushetkellä.

LP= lämminpihatto, VP = viileäpihatto, KP = kylmäpihatto

paikkakunta	mittausaika	rakennus	lehmä, kpl	sisätilavuus, m ³	lantakäytävien pinta-ala, m ²	sisälämpötila, °C	ulkolämpötila, °C	ilman nopeus sisällä, m/s
Viikki	maaliskuu	LP	70	3000	665	8	-8	0,1
Hämeenkyrö	huhtikuu	LP	60	5000	735	12	1	0,3
	toukokuu	LP	60	5000	735	19	18	1,0
Sääksmäki	tammikuu	VP	50	13000	1800	1	-1	0,3
Ähtäri	helmikuu	VP	95	5000	924	4	-12	0,1
Janakkala	helmikuu	VP	110	7000	924	10	-20	0,2
	kesäkuu	VP	110	7000	924	22	19	0,2
Lieksa	helmikuu	KP	55	12000	1333	-17	-26	0,1
Ruotsinpyhtää	helmikuu	KP	50	3000	413	6	3	0,1
	heinäkuu	KP	50	3000	413	29	26	0,2
Iitti	maaliskuu	KP	66	4000	593	11	7	0,3
	kesäkuu	KP	66	4000	593	22	19	0,2

Taulukko 3. Mitattujen rakennusten kaasupitoisuudet mittaushetkellä

LP= lämminpihatto, VP = viileäpihatto, KP = kylmäpihatto

paikkakunta	mittausaika	rakennus	lehmä, kpl	Rh % sisällä	Rh % ulkona	CO2 sisällä (ppm)	NH3 (ppm)	CH4 sisällä (ppm)
Viikki	maaliskuu	LP	70	73	75	1673	5,4	114
Hämeenkyrö	huhtikuu	LP	60	76	80	1595	10,0	90
	toukokuu	LP	60	55	47	807	4,6	24
Sääksmäki	tammikuu	VP	50	82	68	1576	17,4	46
Ähtäri	helmikuu	VP	95	85	86	1979	9,0	120
Janakkala	helmikuu	VP	110	80	73	2925	9,4	201
	kesäkuu	VP	110	48	42	1063	3,4	19
Lieksa	helmikuu	KP	55	85	83	1006	2,2	43
Ruotsinpyhtää	helmikuu	KP	50	92	86	700	3,3	21
	heinäkuu	KP	50	46	41	784	6,7	22
Iitti	maaliskuu	KP	66	56	64	688	3,4	15
	kesäkuu	KP	66	48	42	595	3,5	13

4.3 Emissiot ja niiden hallinta

Tarkasteltaessa taulukon 3 tuloksia, nähdään, että hiilidioksidipitoisuus on Janakkalan tapauksissa ollut lähellä 3000 ppm rajaa. Koska kyseessä on mittausten keskiarvo, arvot ovat olleet pidempään kuin väliaikaisesti yli rajan, ohjeiden (MMM RMO C2.2) mukaan väliaikainen ylitys sallitaan. Vastaavasti samassa paikassa metaanipitoisuus on ollut korkea ja ammoniakkipitoisuus on ollut myös lähellä raja-arvoa. Syynä tähän on riittämätön ilman-

vaihto, rakennuksessa syntyneitä kaasuja ei ole pystytty poistamaan. Hiilidioksidi ja metaani tulevat eläimistä ja niiden pitoisuudet seuraavat toisiaan eli hiilidioksidin lisääntyessä myös metaani lisääntyy. Metaanin määrään voidaan vaikuttaa lähinnä ruokinnalla. Ammoniakki on peräisin lannasta ja siihen vaikuttaa ruokinta sekä lannan käsittely. Lannan lämpötila, avoin lantapinta-ala, lannan pH-pitoisuus ja ilmavirtaukset lannan pinnalla vaikuttavat ammoniakkipäästöihin. Niihin voidaan siten vaikuttaa siten myös lannankäsittelyllä. Kokonaisuudessa pitää ottaa huomioon vielä lannan käsittely navetan jälkeen, lannan leviytkestäkään ei saisi aiheutua ammoniakkipäästöjä. Taulukon 3 mukaan ammoniakkipitoisuudet ovat olleet joissakin tapauksissa jopa suosituksia korkeampia. Ihmisille ammoniakki aiheuttaa hengitysteiden ärsytystä, ja jonka haittavaikutus alkaa 20 - 25 ppm:n pitoisuudessa. Välittömästi hengitysteitä ja silmiä voimakkaasti ärsyttävä pitoisuus on 400 - 700 ppm (<http://www.ttl.fi/internet/ova/ammoni.html>).

Rakennustyyppien vertailu on hieman hankalaa, koska tulokset sisältävät kesä ja talvimitauksia. Tulokset kuitenkin osoittavat, että eristämättömissä rakenteissa kaasumaiset pitoisuudet ovat olleet muita alhaisempia. Tämä johtuu paremmasta ilmanvaihdosta, rakenteita ei saada missään tilanteessa täysin suljettua, jolloin ilmanvaihto olisi vähistä ja ne saadaan avattua vastaavasti paljon paremmin kuin muut rakenteet tuuletusta varten esimerkiksi kuumina kausina.

Lämpötila ja kosteus

Mittausjaksoihin sisältyi sekä kylmiä että helteisiä jaksoja. Eristämättömissä rakenteissa pitkät kylmät sääjaksot ovat ongelmallisia, koska sisälämpötila seuraa ulkolämpötilaa. Normaalisti sisälämpötila on 3 -10 asteen ulkolämpötilaa korkeampi. Pakkaskaudella kylmissä rakennuksissa voi olla myös hyvin kylmää. Lypsäville lehmille tämä ei ole ongelmallista, koska ne tulevat toimeen hyvinkin kylmässä. Ongelmallista kylmä on vasikoille, lypsylle sekä juomaveden ja lannan jäätymiselle. Puolieristetty tila saadaan sopivilla eristeillä pidettyä 0 asteen yläpuolella, jolloin näitä ongelmia ei ole.

Kun lämpötila lähenee +30 °C astetta, tämä aiheuttaa lehmille lämpöstressiä. Lehmän lämmöntuotto on suuri ja pienen ruumiin ja ilman lämpötilaeron takia ne eivät saa siirrettyä lämpöä pois kehosta. Tämä johtaa lämpöstressiin. Meillä näitä erittäin kuumia päiviä on vähän, jolloin lämpöstressi ei ole normaalisti ongelmana. Avonainen eristämätön tai puolieristetty rakenne mahdollistaa tehokkaamman ilmanvaihdon kuin suljetut rakenteet ja siten myös lämpötilat ovat niissä alhaisempia

Kosteuden vaikutus riippuu myös lämpötilasta. Siinä mielessä CIGR suositus on parempi kuin maa- ja metsätalousministeriön suositus, koska se ottaa huomioon myös lämpötilan. Kosteaa ja lämmintä tilannetta on varottava, koska silloin homeet ja mikrobit lähtevät kasvamaan ja aiheuttavat rakenteiden lahoamista. Myös korroosio on nopeampaa näissä olosuhteissa. Kylmyys ja kosteus eivät ole vaarallisia, koska silloin mikrobitoiminta ja korroosio ovat hitaita. Eläinsuojat ovat tyypillisesti kosteita kylmillä ilmoilla, kun myös ulkoilman suhteellinen kosteus korkea.

Kosteutta voidaan hallita ilmanvaihdon avulla. Nykyiset ilmanvaihtolaitteet toimivat joko käsiohjattuina tai lämpötilan perusteella. Rakennuksen sisäilmaston ohjaukseen nämä soveltuvat huonosti ja parempi ohjaus saataisiin esim. hiilidioksidipitoisuuden avulla. Hiilidioksidin, metaanin ja kosteuden tuotto riippuvat toisistaan, jolloin ohjaus hiilidioksidipitoisuuden mukaan aikaansaisi myös kaasumaisten päästöjen ja kosteuden suhteen paremmat olosuhteet.

Päästömäärät

Taulukossa 4 on esitetty rakennuksista mitatut päästömäärät. Päästömäärät saadaan kertomalla kaasupitoisuus ilmanvaihtomäärällä. Tällöin korkea kaasupitoisuus ei välttämättä tarkoita suurta päästöä, koska jos ilmanvaihto on vähäinen, myös päästö on vähäinen. Ammoniakki- ja metaanipäästöjen suuruusluokka on kaikissa rakennustyypeissä sama. Rakennustyyppi vaikuttaa lähinnä ammoniakkipäästöihin, mutta siinäkin lannan käsittelytapa vaikuttaa eniten.

Lypsylehmillä ammoniakkipäästöt ovat olleet kirjallisuuden mukaan 0,3 – 1,8 g/h eläintä kohti (Groot Koerkamp ym. 1998). Tässä tutkimuksessa päästöjen suuruusluokka oli sama. Vastaavasti metaanipäästöt ovat olleet 8 – 16 g/h eläintä kohti (Jungbluth ym. 2001). Myös nämä mittaustulokset ovat yhteneviä kirjallisuuden kanssa. Päästöt ovat suurimmaksi osaksi lehmistä johtuvia, jolloin suuruusluokissa ei voi ollakaan eroja.

Taulukko 4. Rakennuksista mitattuja päästömääriä.

LP= lämminpihatto, VP = viileäpihatto, KP = kylmäpihatto

paikkakunta	mittausaika	rakennus	lehmiä, kpl	sisätilavuus, m ³	NH ₃ päästö g/m ² /h	NH ₃ päästö g/lehmä tunnissa	CH ₄ päästö g/m ² /h	CH ₄ päästö g/lehmä tunnissa
Viikki	maaliskuu	LP	70	3000	0,06	0,54	1,16	11,03
Hämeenkyrö	huhtikuu	LP	60	5000	0,08	0,98	0,73	8,93
	toukokuu	LP	60	5000	0,08	0,96	0,46	5,66
Sääksmäki	tammikuu	VP	50	13000	0,05	1,92	0,13	4,81
Ähtäri	helmikuu	VP	95	5000	0,08	0,76	0,96	9,37
Janakkala	helmikuu	VP	110	7000	0,03	0,21	1,17	9,80
	kesäkuu	VP	110	7000	0,03	0,26	0,33	2,81
Lieksa	helmikuu	KP	55	12000	0,02	0,49	0,36	8,82
Ruotsinpyhtää	helmikuu	KP	50	3000	0,15	1,20	0,89	7,32
	heinäkuu	KP	50	3000	0,20	1,63	0,68	5,63
Iitti	maaliskuu	KP	66	4000	0,11	0,97	0,54	4,87
	kesäkuu	KP	66	4000	0,08	0,75	0,57	5,16

4.4 Ilmanvaihdon määrä ja laatu

4.4.1 Suomalaiset tulokset

Taulukossa 5 on esitetty tutkimuksessa olleiden rakennusten ilmanvaihtomäärät eläintä kohti ja ilman vaihtuvuus. Maa- ja metsätalousministeriön suosituksena on 55 – 360 m³/h ilmanvaihtomäärä eläintä kohti. Kaikki mitatut arvot ovat tämän suosituksen rajoissa ja usein sen yläpuolella. Eristämättömien rakennusten ilmanvaihto on hieman suurempi kuin muiden ja lisäksi kesäaikana ilmanvaihto on luonnollisesti suurempaa.

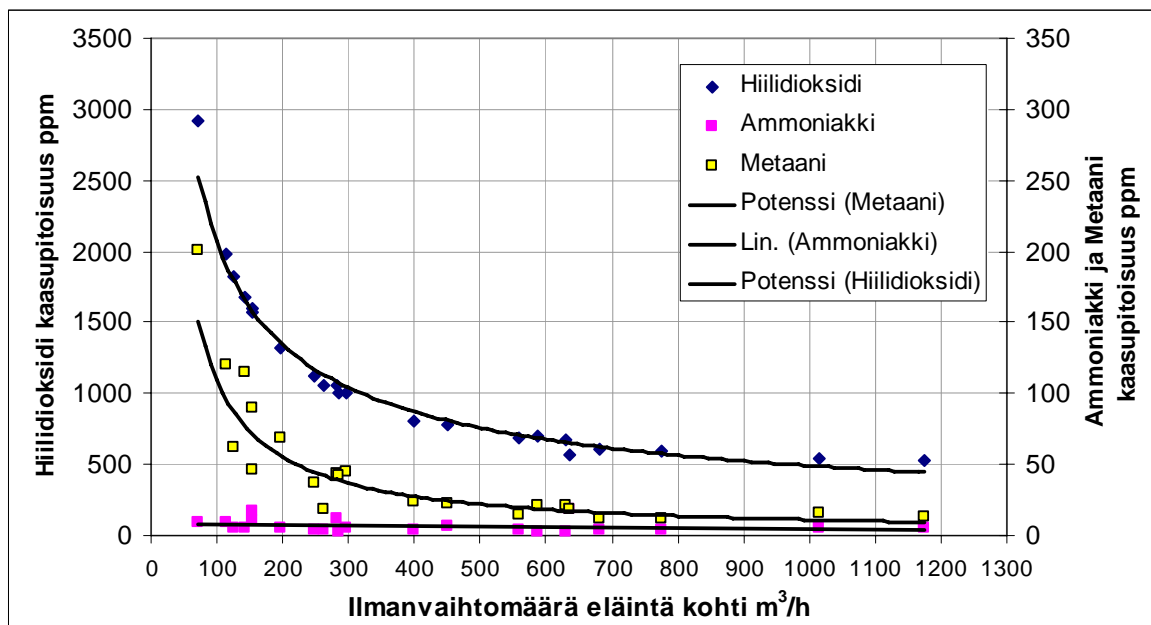
Kun kaasupitoisuudet piirretään ilmanvaihdon funktiona, saadaan kuvan 33 mukaiset kuvaajat. Kuvan ilmanvaihto on laskettu hiilidioksidipitoisuuden avulla, mistä syystä ilmanvaihdon ja hiilidioksidipitoisuuden välinen riippuvuus on hyvä. Maa- ja metsätalousministeriön ohje 55 m³/h nautaa kohti merkitsisi yli 3000 ppm hiilidioksidipitoisuuksia ja yli 200 ppm metaanipitoisuuksia. Eläimille metaanin raja-arvoja ei ole, mutta ihmisille raja-arvona on 100 ppm. Jos halutaan olla tämän rajan alapuolella, se merkitsee vähintään 100 m³/h nautaa kohti olevaa ilmanvaihtomäärää kuvan 30 mukaisesti. Teye ja Hautalan (2007) mu-

kaan ilmanvaihdon pitäisi olla vähintään 100 m³/h nautaa kohti, jotta hiilidioksidipitoisuus olisi alle 3000 ppm.

Taulukko 5. Mitattujen rakennusten ilmanvaihto.

LP= lämminpihatto, VP = viileäpihatto, KP = kylmäpihatto

paikkakunta	mittausaika	rakennus	lehmä, kpl	sisätilavuus, m ³	sisälämpötila, °C	ulkolämpötila, °C	ilman nopeus sisällä, m/s	ilmanvaihto, m ³ /h/lehmä	ilmanvaihto, kertaa tunnissa
Viikki	maaliskuu	LP	70	3000	8	-8	0,1	143	4
Hämeenkyrö	huhtikuu	LP	60	5000	12	1	0,3	154	2
	toukokuu	LP	60	5000	19	18	1,0	399	5
Sääksmäki	tammikuu	VP	50	13000	1	-1	0,3	155	1
Ähtäri	helmikuu	VP	95	5000	4	-12	0,1	114	2
Janakkala	helmikuu	VP	110	7000	10	-20	0,2	72	1
	kesäkuu	VP	110	7000	22	19	0,2	263	4
Lieksa	helmikuu	KP	55	12000	-17	-26	0,1	284	1
Ruotsinpyhtää	helmikuu	KP	50	3000	6	3	0,1	586	10
	heinäkuu	KP	50	3000	29	26	0,2	449	8
Iitti	maaliskuu	KP	66	4000	11	7	0,3	558	9
	kesäkuu	KP	66	4000	22	19	0,2	774	13



Kuva 33. Pihatton kaasupitoisuuksien riippuvuus ilmanvaihdon määrästä.

4.4.2 Virolaiset tulokset

Kaasut

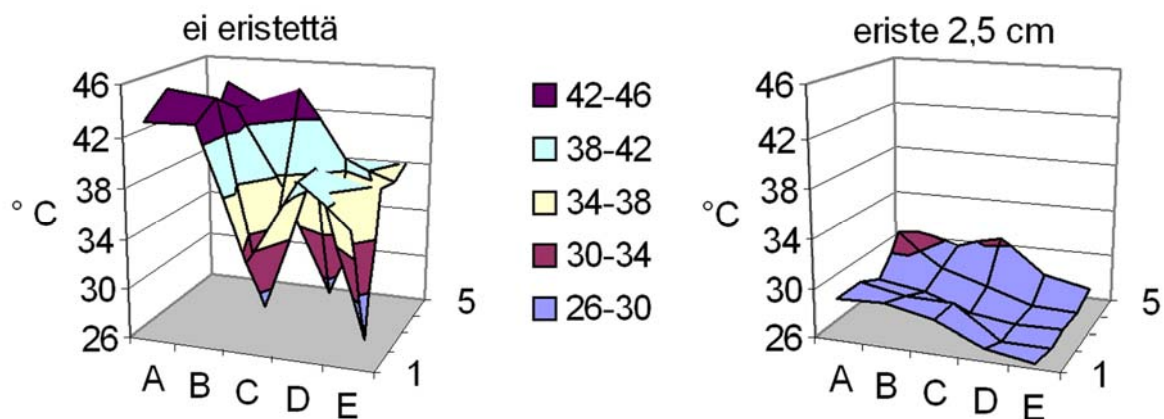
Taulukosta 7 ilmenee, että CO₂ pitoisuus navetan ilmassa jäi noin 2,5-5 kertaa alle sallitun tason (3000 ppm). Ammoniakkipitoisuus ylitti kesällä 10 ppm kahdessa navetassa. Metaanin pitoisuus navetan ilmassa jäi 12...68 ppm väliin.

Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus

Talvella oli ulkoilmalämpötila keskimäärin -4...-1°C. Sisälämpötila oli 1...4°C (0...2°C korkeampi). Puolieristetyssä (25 mm) navetassa oli sisä- ja ulkoilmalämpötilan ero 4°C.

Kesäiset mittaukset suoritettiin kuumana kautena. Silloin ilman lämpötila kohosi ylempään kriittisen lämpötilan tienoille. Sisälämpötila (27...30°C) jäi silloinkin -1...2 °C ulkoilma-
lämpötilaa (27...32°C) alemmaksi.

Katon alapuolen pintalämpötila oli puolieristetyssä navetassa keskimäärin 28 (24.9...31.4)°C sekä eristämättömässä (asbestivapaa kuitu-sementtilevy – kohta 3) 38 (26.7...45.1)°C, varioimalla vastaavasti 6.5 ja 18.4 °C.



Kuva 34. Vesikaton alapinnan lämpötila eristämättömässä ja puolieristetyssä navetassa kesällä. Kirjaimet A-E ja numerot 1-5 kuvaavat pihatton pohjapinta-alaa, joka on jaettu mittaushokoihin. Mittaus on tehty saman päivänä hellejakson aikana kesäkuussa 2006.

Ilman suhteellinen kosteus navetassa oli sovussa CIGR, 1984 suositusten kanssa, talvisin 86..91 % (ilman lämpötila -1...2°C) sekä kesällä 38...47 % (27...30°C).

Homehtumisen vaaraa ei mittaustuloksilla pystytty päätelemään, sillä talvella lämpötila oli matala (alle 5°C). Kesäisten mittausten aikana päivällä ilman suhteellinen kosteus oli alhainen – 30...48 % ulkona ja 38...47 % sisällä.

Taulukko 6. Mitattujen rakennusten laajuustiedot ja ominaisuudet mittaushetkellä.

KP = kylmäpihatto, VP = kylmäpihatto, jossa ohut kondenssieristys katossa

paikkakunta	mittausaika	rakennus	lehmä, kpl	sisä-tilavuus, m ³	lantakäytävien pinta-ala, m ²	sisälämpötila, °C	ulkolämpötila °C	ilman nopeus sisällä, m/s
Rapla	tammikuu	KP	480	22000	3686	-1	-2	0,2
	kesäkuu	KP	460	22000	3686	28	27	0,6
Särevere	tammikuu	VP	500	33000	4002	1	-3	0,1
	kesäkuu	VP	500	33000	4002	27	27	0,3
Torma	tammikuu	KP	500	27000	4000	2	-1	0,1
	kesäkuu	KP	500	27000	4000	29	29	0,3
Kohtla-Järve	tammikuu	KP	600	32000	4178	0	-4	0,1
	kesäkuu	KP	600	32000	4178	28	28	0,6
Tartu	kesäkuu	KP	500	26000	3500	30	32	0,7

Taulukko 7. Mitattujen rakennusten kaasupitoisuudet mittaushetkellä.

KP = kylmäpihatto, VP = kylmäpihatto, jossa ohut kondenssieristys katossa

paikkakunta	mittausaika	rakennus	lehmä, kpl	Rh % sisällä	Rh % ulkona	CO ₂ sisällä (ppm)	NH ₃ (ppm)	CH ₄ sisällä (ppm)
Rapla	tammikuu	KP	480	91	74	672	3,1	21
	kesäkuu	KP	460	39	38	605	3,6	12
Särevere	tammikuu	VP	500	89	72	1125	3,6	38
	kesäkuu	VP	500	46	41	1051	11,7	43
Torma	tammikuu	KP	500	87	91	1322	5,3	68
	kesäkuu	KP	500	45	37	525	5,0	13
Kohtla-Järve	tammikuu	KP	600	86	85	1004	5,2	45
	kesäkuu	KP	600	47	48	562	19,0	18
Tartu	kesäkuu	KP	500	38	30	547	4,6	15

Taulukko 8. Mitattujen rakennusten päästöt mittaushetkellä.

KP = kylmäpihatto, VP = kylmäpihatto, jossa ohut kondenssieristys katossa

paikkakunta	mittausaika	rakennus	lehmä, kpl	sisä-tilavuus, m ³	NH ₃ päästö g/m ² /h	NH ₃ päästö g/lehmä tunnissa	CH ₄ päästö g/m ² /h	CH ₄ päästö g/lehmä tunnissa
Rapla	tammikuu	KP	480	22000	0,13	0,97	1,21	9,28
	kesäkuu	KP	460	22000	0,17	1,40	0,49	3,91
Särevere	tammikuu	VP	500	33000	0,07	0,57	0,76	6,05
	kesäkuu	VP	500	33000	0,26	2,08	0,87	6,95
Torma	tammikuu	KP	500	27000	0,09	0,69	1,12	8,97
	kesäkuu	KP	500	27000	0,40	3,19	0,85	6,81
Kohtla-Järve	tammikuu	KP	600	32000	0,13	0,87	1,28	8,89
	kesäkuu	KP	600	32000	1,10	7,68	0,93	6,50
Tartu	kesäkuu	KP	500	26000	0,34	2,36	0,65	4,52

Taulukossa 9 ovat ilmanvaihdon määrät eläintä kohti sekä ilmanvaihtokertoimet. Laskennat perustuvat CO₂ sisältöön ilmassa. Ilmamäärät vaihtelevat rajoissa 196... 1176 m³/h eläintä kohti. Ilma vaihtui navetassa talvella noin 4 kertaa ja kesällä 22 kertaa tunnissa.

Taulukko 9. Mitattujen rakennusten ilmanvaihto

paikkakunta	mittausaika	rakennus	lehmä, kpl	sisä-tilavuus, m ³	sisälämpötila, °C	ulkolämpötila, °C	ilman nopeus sisällä, m/s	ilmanvaihto, m ³ /h/lehmä	ilmanvaihto, kertaa tunnissa
Rapla	tammikuu	KP	480	22000	-1	-2	0,2	629	14
	kesäkuu	KP	460	22000	28	27	0,6	681	14
Särevere	tammikuu	VP	500	33000	1	-3	0,1	248	4
	kesäkuu	VP	500	33000	27	27	0,3	284	4
Torma	tammikuu	KP	500	27000	2	-1	0,1	196	4
	kesäkuu	KP	500	27000	29	29	0,3	1176	22
Kohtla-Järve	tammikuu	KP	600	32000	0	-4	0,1	295	6
	kesäkuu	KP	600	32000	28	28	0,6	634	12
Tartu	kesäkuu	KP	500	26000	30	32	0,7	1015	19

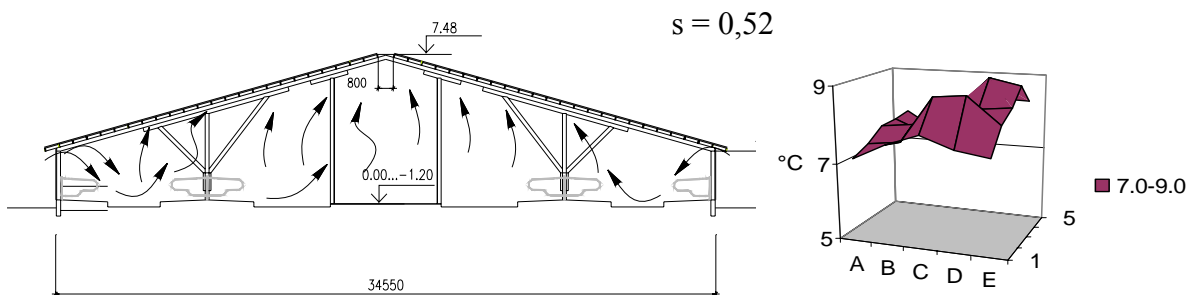
Ilmanvaihtoa voidaan vaihtoehtoisesti arvioida myös sisäilman lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja ilman nopeuden arvojen jakaantumisen perusteella navetassa. Sen hahmottaminen on mahdollista sekä graafisesti että tilastotieteellisin (em. raja-arvot, hajonta) arvin. Myös ilmavirtauksien kaava antaa kuvan ilmanvaihdosta navetassa.

Ilman virtauskaavojen sekä ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden standardisoidun keskihajonnan vertauksista eri mittauspisteissä ilmeni, että mitä pienemmät olivat lämpötilaerot ja hajonta, sitä tasaisempi ja selvempi oli ilmavirtausten kaava. Tutkimuksen tuloksena otettiin käyttöön navetan ilmanvaihdon arviointiasteikko joka perustuu ilman lämpötilaeroihin navetan eri pisteissä. Siinä laskettavana suurena käytetään ilman lämpötilan keskihajonnan arvoja:

- $s \leq 0,8$ – ilmastointi on hyvä, arvoaste 1;
- $s = 0,9 \dots 1,3$ – ilmastointi on tyydyttävä (eläimiä on vähän tai viileämpänä kautena aukot ovat liian suuret, ilman liike ei käynnisty), arvoaste 2;
- $s \geq 1,4$ – ilmastointi riittämätön (ilmastoinnin kannalta oleelliset aukot ovat suljettuina), arvoaste 3.

Silloin kun keskihajonnan arvo on 0,8 tai enemmän, ilmavirtaukset toteutuvat tasaisen kaavan mukaisesti. Kesäisin kun navetan seinäaukot ovat auki tai verhot ovat kokonaan poistettu, vaikuttaa ilmavirtauksiin navetassa myös tuulen suunta. Silloinkin voidaan ilmanvaihtoa pitää navetassa hyvänä, sillä ilma vaihtuu jatkuvasti ja sen lämpötila navetan eri pisteissä on tasainen.

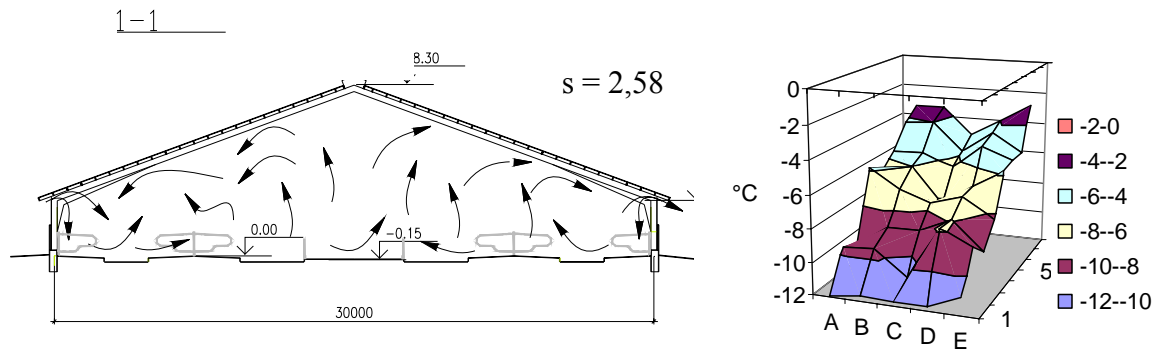
Kylmempänä kautena, kun seinät ja seinäaukot ovat peitetyjä, pääsee ilma navettaan pääasiallisesti räystäään seinän liitoksessa olevan raon kautta, sekoittuu navetan ilmaan sekä poistuu kattoharjassa olevan raon kautta. Silloin ilmanvaihdon kaava on klassinen ja ilman liike käynnistyy hormivaikutuksen ansiosta.



Kuva 35. Ilmavirtausten kaava ja lämpötila navetassa syystalven aikana. Sivuseinät ovat suljettu- ja räystääs ja kattoharja ovat auki.

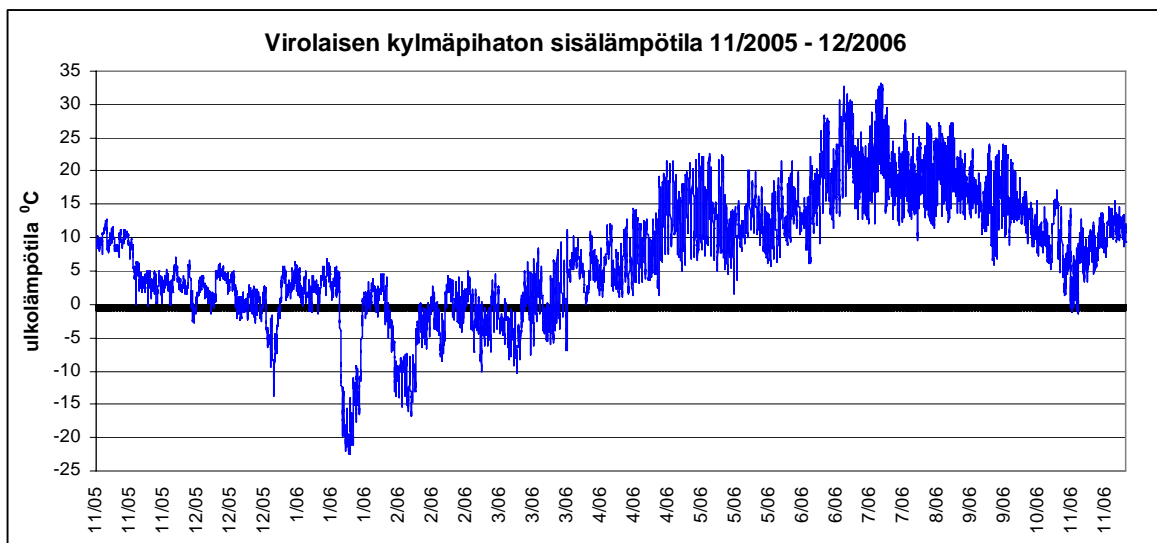
Mikäli rakojen leveys ei ole optimi tai navetassa ei riitä eläimiä, syntyy ilmavirtauskaavaan häiriöitä. Silloin esiintyy vastakkaisia virtauksia ja ilmastointi on tyydyttävä.

Ilmavirtausten kaava on monimutkainen, kun navetta-ilmän lämpötilojen keskihajonta on 1,4. Silloin raittiin ilman sisäänpääsy on riittämätön ja ilmastointi epätydyttävä. Tämä tilanne saattaa syntyä, kun kattorako suljetaan kokonaan (kuva 36). Pakkasella (-2. -11.9 °C) navetassa ei ole tippuvaa kondensoitunutta vettä ja tämä tilanne voidaan sallia väliaikaisesti. Lämpimänä aikana sama tapaus tiivistää vettä katon sisäpinnoille, jolloin ruoteet kostuvat. Puun kosteus saattaa nousta jopa yli 50 %.



Kuva 36. Navetan ilmanvaihdon kaava talvella. Kattoharja ja sivuseinä ovat suljettuina, räystäään rako on 2-3 cm leveä

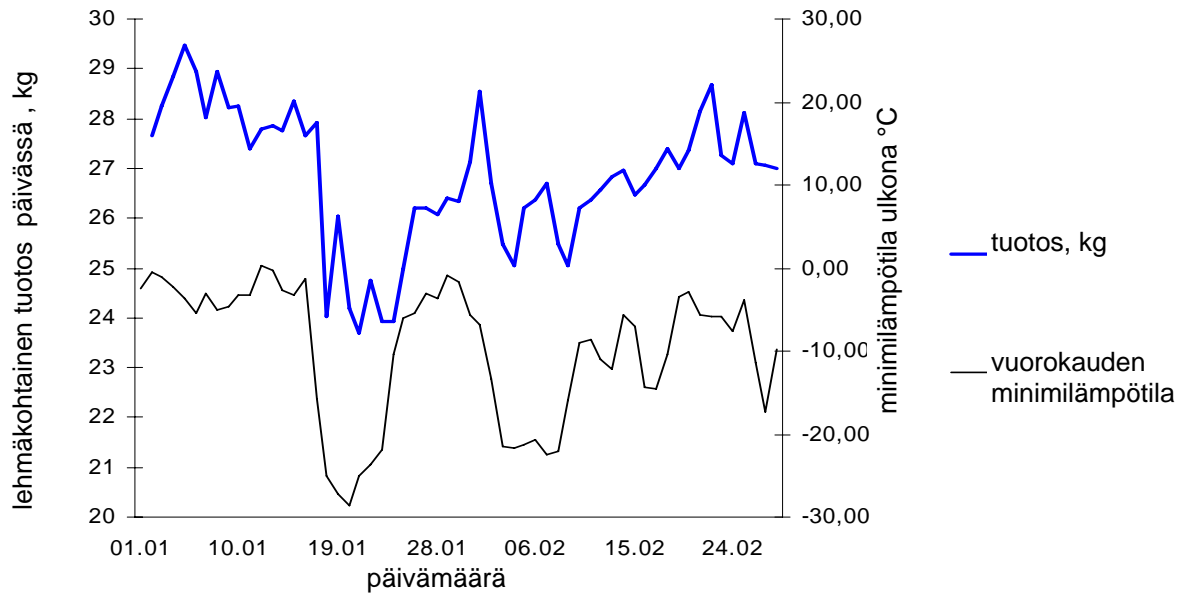
Eläinten hyvinvoinnin kannalta on tärkeä taata jokaiselle vuodenajalle optimi ilmanvaihto. Ilmastoinnin arvioimiseksi ja säätämiseksi on navettailman lämpötilan jakauman käyttö halvin ja yksinkertaisin vaihtoehto. Halpana vaihtoehtona on tehdä joitakin mittauksia navetan eri osissa, laskea keskihajonta sekä tarvittaessa säätää ilmastointiaukkoja. Kalliimpi vaihtoehto perustuu vastaavaan automaattiseen säätöjärjestelmän asentamiseen jossa tarvittava tieto mitataan vakinaisia lämpötila-antureita käyttäen.



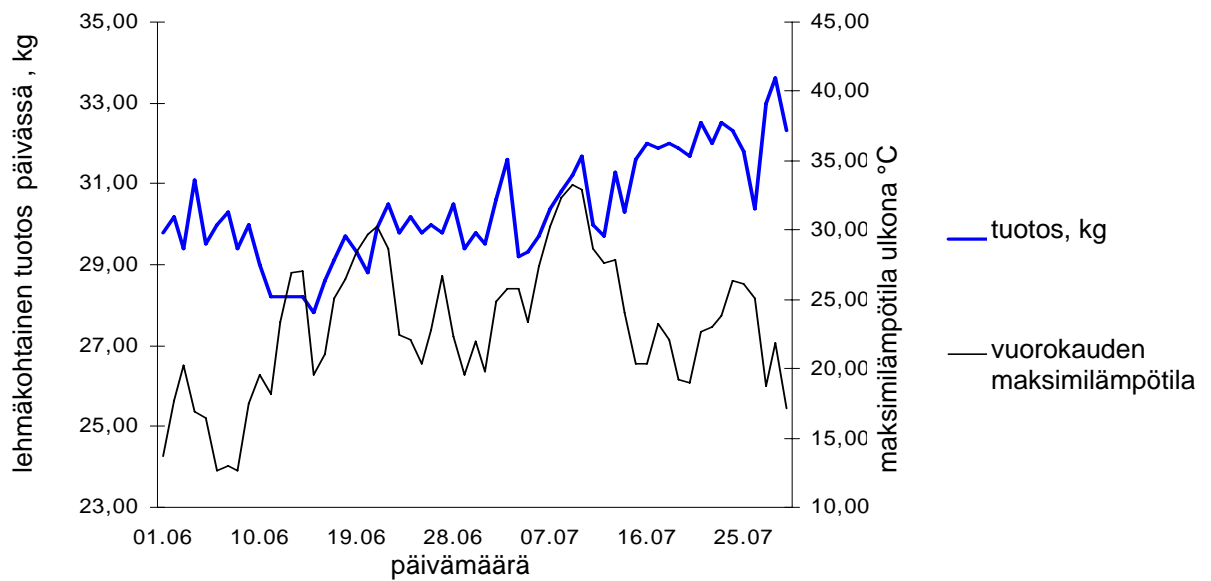
Kuva 37. Yhden mittauskohteena olleen virolaispihaton sisälämpötila 2005 – 2006.

Navetan sisäolosuhteiden vaikutus maidontuotukseen

Ilman lämpötilan vaikutus tuotukseen ilmeni silloin kuin lämpötila laski viihtyvyysrajan alle tai kohosi sen yli. Kahden kovan pakkasjakson aikana (tammi- ja helmikuussa 2006) kun vuorokauden minimilämpötila laski $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ alapuolelle, aleni myös lehmien keskituotos 3-4 kiloa. Parin kilon keskituotoksen lasku ilmeni myös vuorokauden maksimilämpötilan nopean kohoamisen yhteydessä lähelle $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ kesä-heinäkuussa 2006. Hellekauden jatkuessaan melkein kuukauden ajan lehmät adaptoituivat siihen ja tuotos vakiintui piakkoin entiselle tasolle, josta jatkoi nousua sään viiletessään jonkun verran. Kummassakin tapauksessa lehmät olivat ilmeisesti stressaantuneita ympäristön lämpötiloista jotka jäivät viihtyvyysalueen ulkopuolelle.



Kuva 38. Pakkasajankohdan vaikutus maitotuotokseen.



Kuva 39. Hellejakson vaikutus maitotuotokseen.



Kuva 40. Kesäolosuhteissa lehmät voivat kokea lämpöstressiä sisällä pihatossa. Kuvassa verhoseinän alaverho on pääosin kiinni, jotta se suojaa parressa makaavia lehmiä suoralta auringonpahteelta. Alaverhon alareuna on hieman auki, jotta ilma pääsee virtaamaan suoraan lehmän hengityskorkeudelle.

5 Kylmäpihattojen rakennusmateriaalien ekologisuus

Ydinlöydökset

Luonnonvarojen eli rakennusmateriaalien tarve vaihteli 30 – 37 tonnin välillä yhtä lehmäpaikkaa kohden. Luku sisältää kaikki rakennuksen rungon osat ja myös pohjarakentamisen maansiirrot. Eniten luonnonvaroja kului täysbetoniseen rakennukseen ja vähiten teräskolminivelkehärakennukseen. Eniten uusiutumattomia luonnonvaroja kului täysbetoniseen rakennukseen.

Luonnonvarojen käytön optimaalisuus – vähiten kokonaiskiloja ja eniten uusiutuvia materiaaleja – toteutui parhaiten eristämättömissä puurunkoisissa rakennuksissa.

Rakennusmateriaalien valmistuksen ja rakennusvaiheen aikainen energiakulutus vaihteli vajaasta 8000 megajoulesta liki 1400 megajouleen parsipaikkaa kohden. Eniten energiaa kulutti täysbetonirakennus ja vähiten teräskolminivelkehärakennus.

Energiakäytön optimaalisuus – vähiten kokonaisenergiaa, josta eniten uusiutuvaa energiaa – toteutui parhaiten eristämättömissä puurunkoisissa rakennuksissa.

Rakennusmateriaalien valmistuksessa ja rakennusvaiheessa syntyvän jätteen määrä vaihteli vajaasta 60 kg:sta liki 140 kg:aan parsipaikkaa kohden. Eniten jätettä syntyi täysbetonirakennuksesta ja vähiten liimapuisesta kolminivelkehärakennuksesta. Jätteiden minimointi toteutui parhaiten eristämättömissä puurunkoisissa rakennuksissa

Rakennusmateriaalien valmistuksessa ja rakennusvaiheessa syntyvien hiilidioksidipäästöjen määrä vaihteli vajaasta 800 kg:sta liki 2200 kg:aan parsipaikkaa kohden. Eniten päästöjä syntyi täysbetonirakennuksesta. Pienimmät hiilidioksidipäästöt syntyivät eristämättömistä puurunkoisista rakennuksista

5.1 Ekotehokkuus ja MIPS

MIPS (Material Input Per Service Unit) on ekotehokkuuden indikaattori. Ekotehokkuus voidaan määritellä monella tavalla, mutta OECD:n käyttämän vakiintuneen määritelmän mukaan "Ekotehokkuus on tuotteiden ja palvelujen arvo jaettuna ympäristöön kohdistuvien paineiden summalla" (OECD 1998). Ympäristöön kohdistuville paineille on monta mittaria. Tällä hetkellä keskustelun keskiössä on hiilidioksidipäästöjen laskeminen. Muita tyypillisiä mitattavia seikkoja ovat happamoitumista aiheuttavat päästöt yhtä hyvin kuin pölypäästötkin. Kulloinkin etualalla olevat ympäristövaikutukset vaihtelevat. Vielä 80-luvulla yläilmakehän otsonia tuhoavat yhdisteet olivat suuren huomion kohteena.

Päästöjen ohella merkityksellistä on tarkastella myös materiaalivirtoja. Materiaalivirtatarkastelun kantava ajatus on, että minimoimalla ihmisen toimesta systeemiin sisään otetun materiaalin määrä minimoidaan samalla myös syntyvän jätteen ja vaikutusten määrä (Schmidt -Bleek 2000).

MIPS mittaa materiaalivirtoja ja jakaa ne palvelusuoritteella. Materiaalien mittari on MI, joka yleensä ilmoitetaan kilogrammoina tai tonneina. MI saadaan laskettua Wuppertal-Instituutin julkaisemien MI-kerrointen avulla. Yksinkertaisimmillaan laskenta menee niin, että kulutettu materiaalmäärä, olkoon se vaikkapa betoni, kerrotaan betonin piilovirtakerroimella, joka ilmoitetaan neljässä eri kategoriassa, abioottisessa (uusiutumattomat luonnonvarat, kuten maaperä), bioottisessa (uusiutuvat luonnonvarat, eli useasti orgaaniset tuot-

teet), vedessä ja ilmassa. Usein mukaan lasketaan viidentenä myös eroosio, jota ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa ole huomioitu.

Kun uusiutumattomat ja uusiutuvat luonnonvarat sekä eroosio summataan, saadaan TMR (Total Material Requirement), eli materiaalien kokonaiskäyttö. Kokonaisainevirtoja voi laskea myös muilla tavoilla. Kansakunnan tasolla sitä on tehnyt Ilmo Mäenpää, joka on laskenut Suomen ainetaseet (Mäenpää 2005). Ekologinen selkäreppu on läheistä sukua MIPS-menetelmälle. Siinä tuotteen kokonaisuomavirtoista vähennetään tuotteen oma paino.

5.2 Laskentatyökalu

Rakennusten kokonaisuomavirrat laskettiin taulukkolaskentaohjelmaan pohjautuvalla työkalulla. Laskennan pohjana oli lista rakennusmateriaaleista, joille kullekin oli määritelty MI-arvot. Mukaan otettiin eri lähteistä myös hiilidioksidikertoimet, raaka-ainemenekki, tuotannossa syntyneen jätteen määrä sekä vaadittu energia jaettuna uusiutuvaan ja uusiutumattomaan. Vertailtujen pihattojen runkorakenteet analysoitiin rakenneosiksi ja edelleen yksittäisiksi materiaaleiksi, jolloin saatiin tieto kyseisen materiaalin määrästä rakennuksessa. Pääasiallisena lähteenä rakennusosien materiaalmäärissä oli Rakennustietosäätiön ja Rakennustieto Oy:n rakennusten ja rakennusosien ympäristöselosteet. Mittojen mukaan materiaaleille laskettiin tiheyden kautta massat. Massalla kerrottiin kunkin materiaalin päästökertoimet, jotka summaamalla tuloksena oli rakennusosayksikköä kohden ilmoitetut ympäristövaikutukset. Suurin osa rakennusosista oli helpointa laskea neliömetreinä.

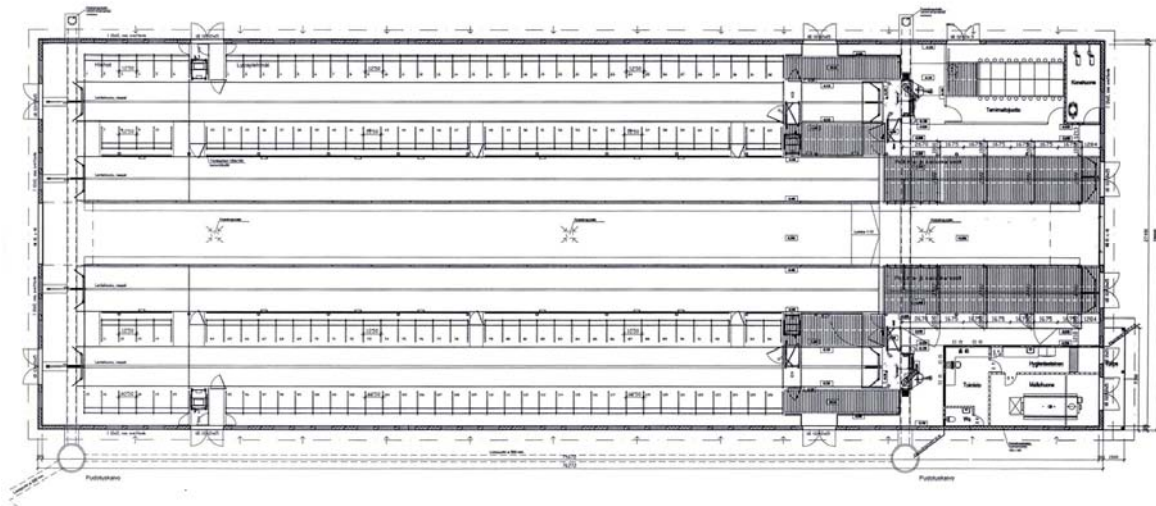
Wuppertal-Instituutti julkaisee MI-kerroinlistoja, joita käytettiin pääasiallisina kerrointen lähteinä. Kerrointen puuttuessa ne laskettiin ainesosien perusteella. Jos tämä ei ollut mahdollista, käytettiin jonkin vastaavan tuotteen MI-kertoimia. Näin toimittiin esim. kevytsoran kanssa, jolle ei ole määritelty MI-kerrointa. Kevytsora laskettiin tiilen kertoimella, koska molemmat materiaalit tehdään savesta polttamalla.

Kaikille materiaaleille ei löydetty kertoimia raaka-aineiden ja jätteen määrälle. Näissä pääasiallinen lähde olivat Rakennustietosäätiön julkaisemat RT-ympäristöselosteet, jotka kuitenkin kattavat kaikki päärakennusaineet. Muiden kuin MI-kerrointen osalta tutkimus on siis jossain määrin vaillinainen, jos kohta erittäin hyvin suuntaa antava. Kaikille tärkeimmille rakennusaineille kertoimet kuitenkin saatiin.

5.3 Verrokkipihatto

Materiaalitehokkuuden laskentakohteeksi valittiin pohjaratkaisultaan 2+2 –rivinen 146 parsipaikkainen 2-robottinen pihatto (kuva 41). Rakennus edustaa kokoluokaltaan sitä pihattomallia, jota tulevaisuudessa tullaan rakentamaan. Valinta ei ota kantaa mallikohteessa käytettyyn lypsytekniikkaan, vaan määräävänä oli lehmämäärä ja rakennuksen dimensiot. Rakennuksen leveys on 27 m ja pituus 72 m, kerrosalaa yhteensä 2130 m². Rakennuksen tilavuus on 6100 m³.

Rakennusten sisustus eli lypsy- ja rehujärjestelmät, lannanpoiston koneet ja parsikalusteet oletettiin kaikissa vaihtoehdoissa samoiksi, joten niiden MIPS-vaikutukset olisivat olleet samoja. Tästä syystä sisustusrakenteet rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Lasketuissa malleissa tarkasteltiin pelkästään rakennuksen vaippaa (lattia, seinät, katto). Pihaton betonilattian lantakäytävät ovat kiinteitä avokouruja, jossa toimii pintaraappa. Vertailut runkojärjestelmät oletettiin rakennettavaksi hyvin kantavalle maapohjalle ilman paalutusta ja 40 cm paksun maatyön päälle.

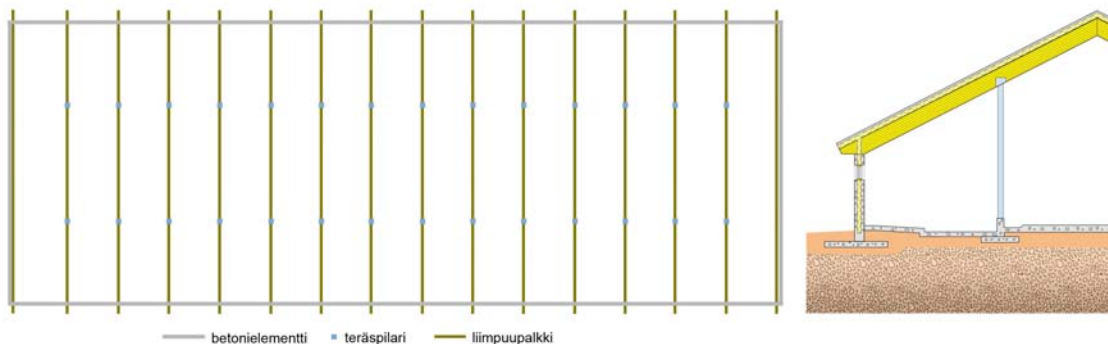


Kuva 41. Laskennassa käytetyn suomalaisen 146 -paikkaisen pihaton pohjakuva.

5.4 Lasketut runkovaihtoehdot

5.4.1 Betonielementtipihatto / lämmin

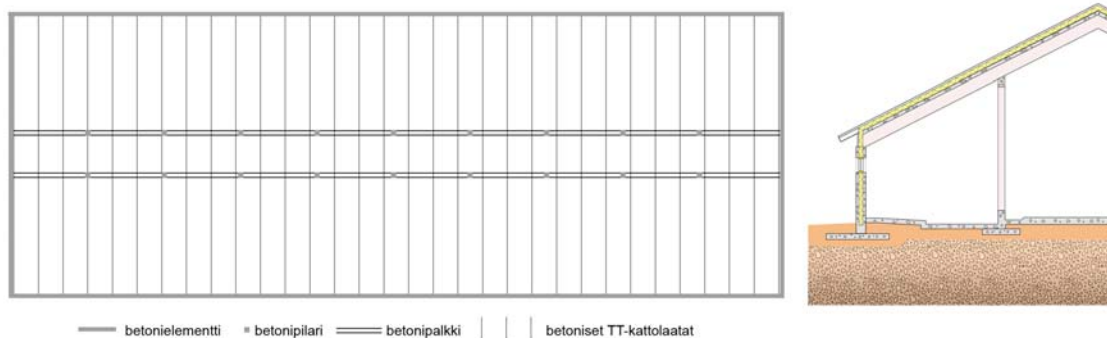
Lämpöeristetty betonielementtipihatto edustaa Suomessa tällä hetkellä hyvin yleistä rakennustapaa. Kantavat ulkoseinät ovat eristettyjä betonielementtejä, jotka on perustettu isohkojen betonilaatta-anturoiden varaan. Vesikatto rakentuu puu- tai teräspilarien varaan, jotka kannattavat liimapuisia kattopalkkeja. Vesikaton eristeenä on Termisol-elementti, jonka päällä on tuuletustila ja erillinen vesikattopelti. Lattiat ovat betonia, lantakourut kiinteitä avokouruja, hoitoparsien kohdalla korotettu rakopalkkiosuus. Ilmanvaihtoratkaisu on koneellinen. Betonielementtipihatosta laskettiin vain eristetty vaihtoehto



Kuva 42. Lämpöeristetyt betonielementtipihaton pohja- ja leikkauskuva.

5.4.2 Täysbetonielementtipihatto / lämmin

Täysbetonielementtiratkaisu on muuten sama kuin edellinen malli, mutta vesikatto rakentuu betonipilareiden ja -palkkien varaan, jotka kannattavat TT-laattoja. Vesikaton eristeenä on kova mineraalivilla, jonka päällä on yksikerrosvesikate (Protan Oy). Lattiat ovat betonia, lantakourut kiinteitä avokouruja, hoitoparsien kohdalla korotettu rakopalkkiosuus. Ilmanvaihtoratkaisu on koneellinen. Täysbetonielementtipihatosta laskettiin vain eristetty vaihtoehto



Kuva 43. Lämpöeristetyt täysbetonielementtipihaton pohja- ja leikkauskuva.

5.4.3 Teräksinen kolminivelkehärunko / kylmä

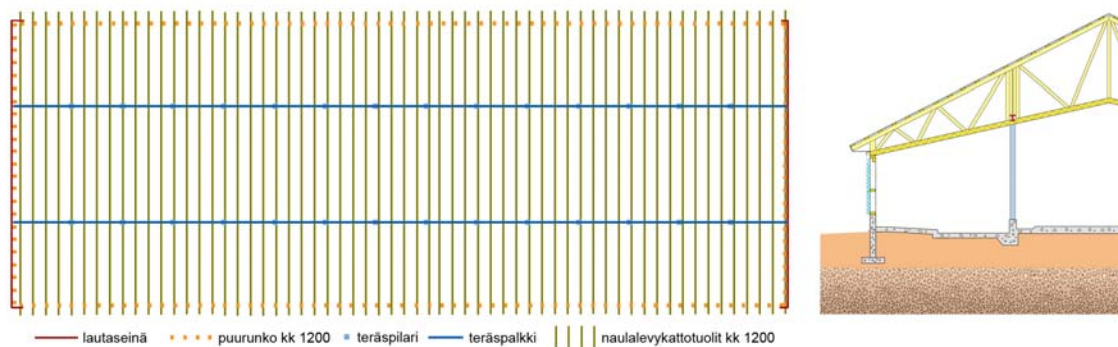
Teräksinen kolminivelkehäratkaisu on tavanomainen tanskalaisissa lypsykarjarakennuksissa. Vastaavaa rakennetta käytetään myös Ruotsissa ja Virossa. Teräskolminivelkehät kantattelevat puisia toisiokattopalkkeja, joiden varaan on kiinnitetty poimutetut kuitusementtilevyt. Sivuseinät ovat avonaisia, ja niissä on tuuliverkko sekä verhoseinä. Päädyissä on kuitusementtilevyä, puuta tai peltiä. Sokkelina on eristämätön betonielementti noin 1 m korkeuteen asti. Ilmanvaihto perustuu luonnolliseen kiertoon, ilma poistuu harjaluukuista tai raosta.



Kuva 44. Teräskolminivelkehäpihaton pohja- ja leikkauskuva.

5.4.4 Naulalevyristikko / viileä

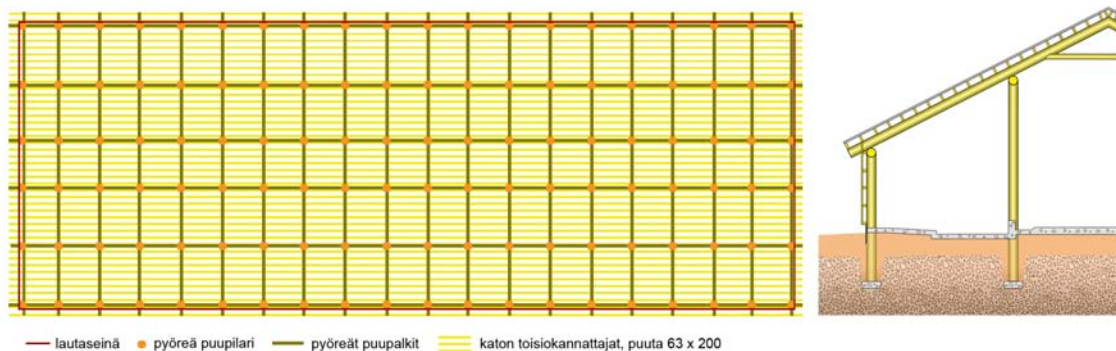
Naulalevyristikot ovat olleet tavanomaisia ratkaisuja suomalaisissa pihatoissa, mutta ne ovat menettäneet ”markkinaosuutta” järeämmille palkkiratkaisuille. Naulalevyristikkomallissa kantavana pystyrakenteena ovat puutolpat ulkoseinillä ja keskialueella teräpilarit. Teräspilarit kantavat teräspalkkia, johon ristikot tuetaan ulkoseinälinjan lisäksi. Sivuseinät ovat avonaisia ja niissä on yleensä koko seinän korkuiset verhot. Lämmöneriste sijaitsee ristikoiden alapaarteessa. Myös päädyt ovat eristetyt eli kyseessä on nk. viileäpihatto. Ratkaisu on erittäin yleinen kanadalaisissa pihatoissa.



Kuva 45. Naulalevyristikkopihaton pohja- ja leikkauskuva.

5.4.5 Tiheä puupilari-palkkirunko / kylmä ja lämmin

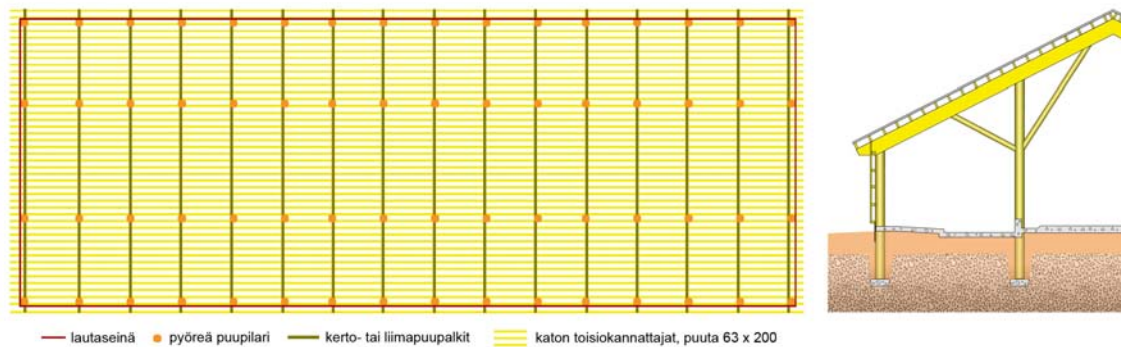
Suomessa käytetty omatoimisen rakentamisen runkomalli, jossa puupilarit ovat tiheässä moduulissa (4 x 4 m). Pilareita on tässä mallipihatossa on yhteensä 120 kpl. Paineekyllästetyt pilarit upotetaan maahan 1,5 -2 m syvyyteen, ja ne toimivat jäykkinä mastoina. Kattopalkit ja toisiokannattajat voivat olla pyöreätä puuta tai järeää sahatavaraa. Seinät ovat lautaverhottuja ja haluttaessa sivuseinät tai osa seinästä voidaan korvata verholla. Rakennus laskettiin myös kokonaan eristettynä, jolloin seinän koolaus- ja vesikaton toisiokannattajaväli oli eristetty.



Kuva 46. Tiheän puupilari-palkkirunkoisen pihaton pohja- ja leikkauskuva.

5.4.6 Harva puupilari-palkkirunko / kylmä ja lämmin

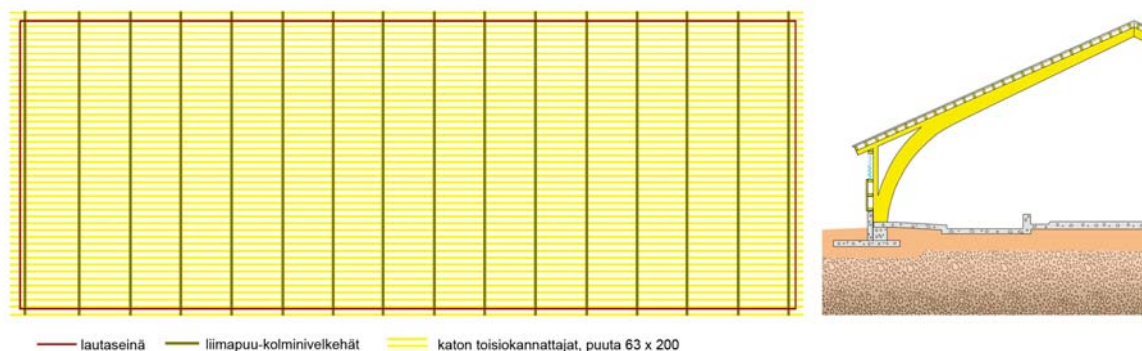
Suomessa käytetty omatoimisen rakentamisen runkomalli, jossa puupilarien määrä on optimoitu 64 kappaleeseen. Kattopalkkeina käytetään liima- tai kertopuupalkkeja, jolloin päästään suurempiin jänneväleihin. Pilareissa käytetään tarvittaessa apuna vinotukia, ja toisiokannattajat ovat normaalia sahatavaraa. Seinät ovat lautaverhottuja ja haluttaessa sivuseinät tai osa seinästä voidaan korvata verholla. Rakennus laskettiin myös kokonaan eristettynä, jolloin seinän koolaus- ja vesikaton toisiokannattajaväli oli eristetty.



Kuva 47. Harvan puupilari-palkkirunkoisen pihaton pohja- ja leikkauskuva.

5.4.7 Liimapuukolminivelkehä / kylmä

Mallissa käytettiin viime vuosina yleistynyttä liimapuista kaarijalallista kolminivelkehää. Vesikaton toisiokannattajat ovat normaalia sahatavaraa. vesikatteenä on profiilipelti, joka on alapuolelta eläntilaan päin eristetty 5 cm paksulla alumiinifoliopintaisella mineraalivillalla kondenssin minimoimiseksi. Päätty- ja sivuseinät ovat puuverhoiltuja ja sivuseinillä on metrin korkuinen verhoalue. Mallista laskettiin vain kylmäpihattoversio.



Kuva 48. Liimapuisen kolminivelkehäpihaton pohja- ja leikkauskuva.

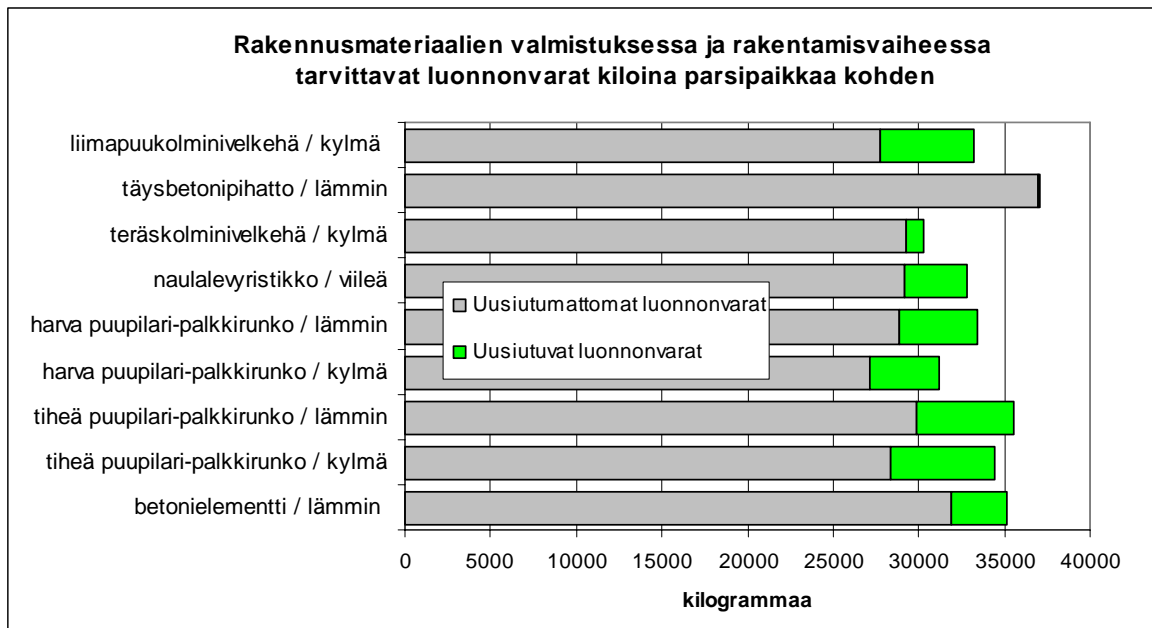
5.5 Ympäristövaikutukset

5.5.1 MIPS, raaka-aineiden kulutus

Raaka-aineiden kulutus kuvaa kaikkia niitä ainemääriä, mitä tarvitaan lopputuotteen eli tässä tapauksessa kokonaisen pihaton aikaan saamiseen. Siihen sisältyvät myös ne välilliset aineosat, joita rakennustuoteteollisuus tarvitsee jonkun tuotteen, esimerkiksi kattopellin valmistukseen, mutta jotka eivät välttämättä päädy valmiiseen rakennukseen. MIPS-menetelmä korostaa voimakkaasti maansiirtoja ja -täyttöjä. Tästä syystä rakennusosien lisäksi raaka-aineiden kulutusluku sisältää myös tontilta poistettujen maamassojen sekä pohja- ja alusrakenteisiin tarvittujen uusien soratäyttöjen osuudet.

Luonnonvaroja tarvitaan tarkastelluissa yhdeksässä runkovaihtoehdossa 30 – 37 tonnia parsipaikkaa kohden. Koko rakennusta kohden tarvitaan siten 4380 – 5402 tonnia materiaalia. Luonnonvarojen kulutuksessa täysbetonirakennus nousee joukosta muita ylemmäs. Sen TMR koostuu lähes kokonaan uusiutumattomista materiaaleista. Myös lämpöeristetyllä betonielementtirakennuksella ja tiheän puupilariston rakennuksella on vertailussa korkea TMR-luku. Vertailun pienimmät TMR-luvut ovat kylmäpihatoilla, joissa on teräksinen

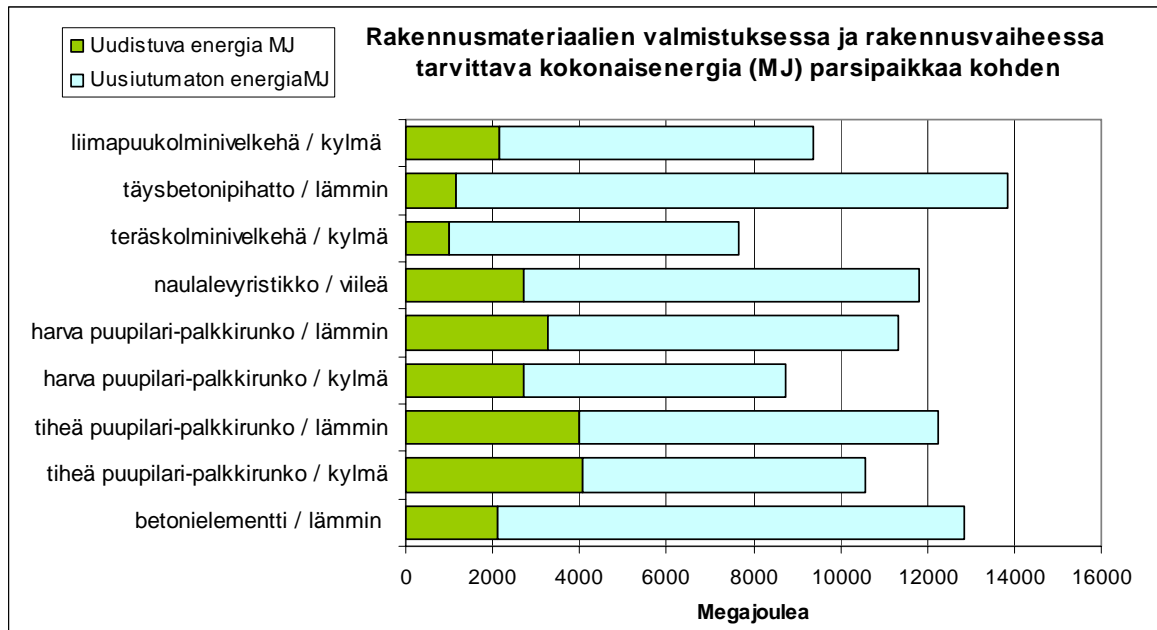
kolminivelkehä ja harva puupilari-palkkirunko. Luonnonvarojenkäytön minimoimisen näkökulmasta nämä vaihtoehdot ovat parhaita. Näistä harva puupilari-palkkirunko on toivottava vaihtoehto, koska siinä uusiutuvien luonnonvarojen osuus on suurempi kuin teräsrunkovaihtoehdossa.



Kuva 49. Luonnonvarojen kulutus kiloina parsipaikkaa kohden.

5.5.2 Energian kulutus

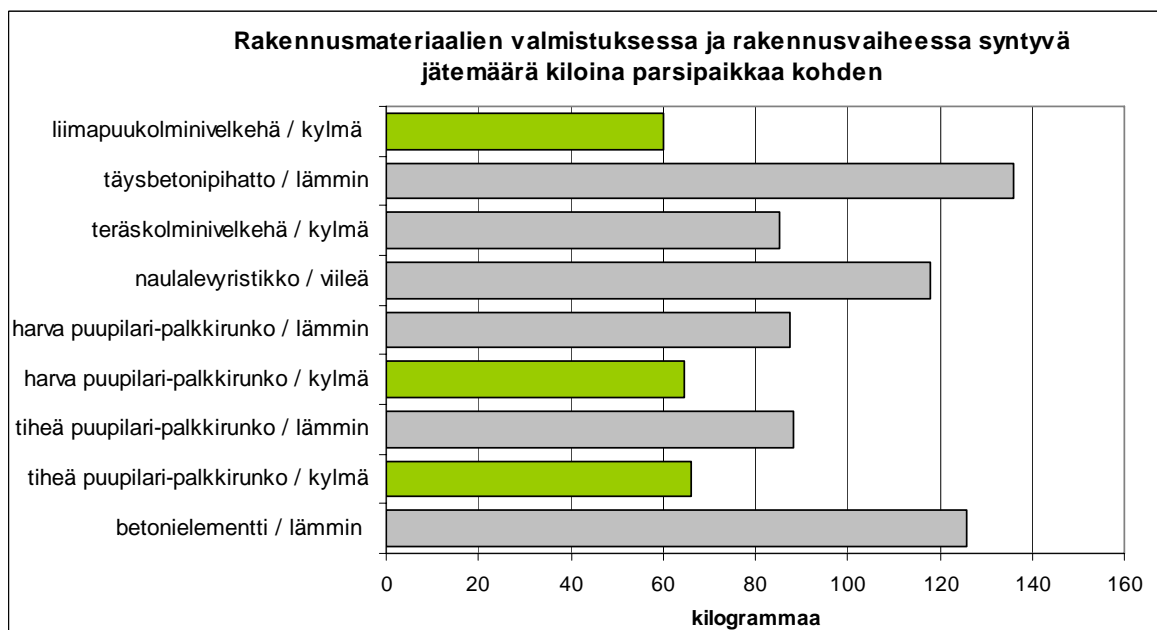
Energian kulutus kuvaa kaikkia energioita, joita tarvitaan lopputuotteen aikaansaamiseksi. Siihen sisältyvät siten energiakulutukset kaivannaisteollisuudesta rakennustuoteteollisuuden valmistusprosesseihin, kuljetuksiin ja asennuksiin itse työmaalla. Tarkastelluissa yhdeksässä runkovaihtoehdossa energiakulutus vaihteli 6630 – 12713 megajoulen välillä parsipaikkaa kohden. Betonielementtirakennuksiin kuluu eniten energiaa. Lämpöeristämätön teräskolminivelkehä- ja harva puupilari-palkkirakennus kuluttivat vähiten energiaa. Pienikulutuksinen vaihtoehto on edellisen lisäksi liimapuinen kolminivelkehä. Optimaalisin vaihtoehto on harva puupilari-palkkirakennus, koska siinä energiakulutus on pieni ja uusiutuvan energian osuus samalla mahdollisimman suuri. Puurakennusten energiankulutus näyttäisi vieläkin paremmalta, jos huomioon otettaisiin energia, joka niistä saadaan purkuvaiheessa polttamalla. Nyt sitä ei ole huomioitu, koska tarkastelu on tietoisesti rajattu vain rakennusvaiheeseen.



Kuva 50. Uusiutuvan ja uusiutumattoman energian kulutus megajouleina parsipaikkaa kohden.

5.5.3 Syntyvien jätteiden määrä

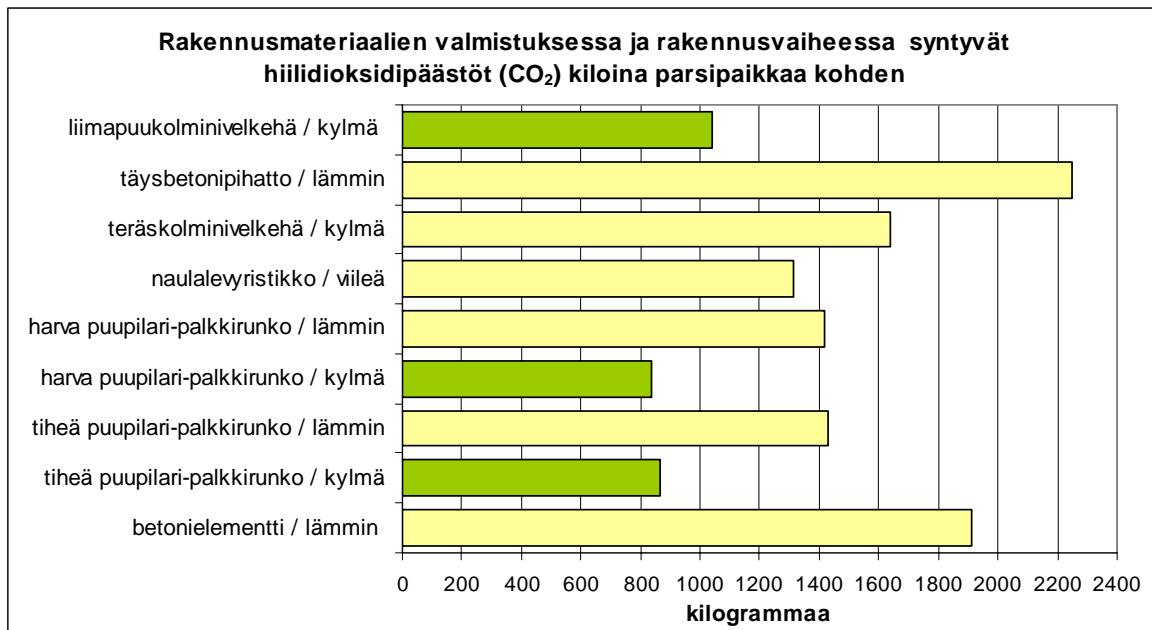
Jätteiden määrä kuvaa kaikkia jätteitä, joita syntyy lopputuotteen aikaan saamiseksi. Siihen sisältyvät siten jätejakeet kaivannaisteollisuudessa, rakennustuoteollisuuden valmistusprosessissa, kuljetuksissa ja työmaavaiheessa. Tarkastelluissa yhdeksässä runkovaihtoehdossa jätettä syntyi 60 – 136 kiloa parsipaikkaa kohden. Jäteintensivisimpiä olivat betonielementtirakennukset. Vähiten jätettä syntyi lämpöeristämättömistä puupilari-palkki tai liimapuu rakennuksista.



Kuva 51. Jätteiden määrä kiloina parsipaikkaa kohden.

5.5.4 Hiilidioksidipäästöt

Hiilidioksidipäästöihin sisältyvät päästöt kaikista tuotannon eri vaiheista kaivannaisteollisuudessa, rakennustuoteteollisuuden valmistusprosesseissa, kuljetuksissa ja työmaavaiheessa. Tarkastelluissa yhdeksässä runkovaihtoehdossa CO₂-päästöjä syntyi 837 – 2252 kiloa parsipaikkaa kohden. Betonielementtirakennusten päästöt olivat suurimmat, mikä johtuu pitkälti niiden materiaali- ja energiaintensiivisyydestä. Pienimmät päästöt syntyvät lämpöeristämättömistä puurakenteisista rakennuksista. Yllättävää oli se, että päästöt lisääntyivät merkittävästi, kun eristämättömiin rakennuksiin lisättiin lämmöneristeet. Tarkastelussa eristeeksi oletettiin tavanomainen mineraalivilla. Sen valmistusprosessi on energiain-
tensiivinen, mikä selittää tätä ilmiötä.



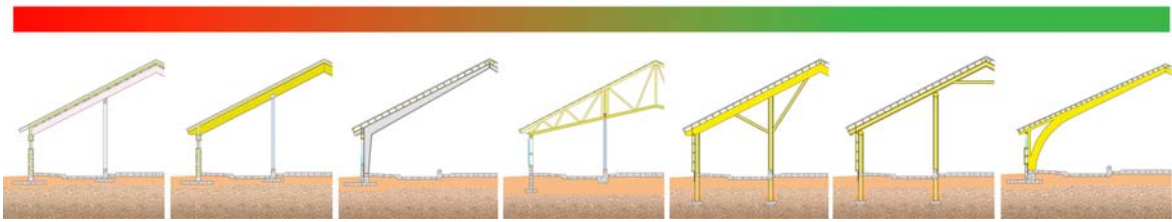
Kuva 52. Hiilidioksidipäästöt kiloina parsipaikkaa kohden.

5.6 Ekologinen pihattomalli

Raaka-aineiden suhteen eri runkovaihtoehdot ovat lähellä toisiaan kokonaiskulutuksien osalta. Energiakulutuksissa, jätteen synnyssä ja hiilidioksidipäästöissä erot tulivat selkeämmin esiin. Ekologisen pihaton kriteereissä pitää ottaa huomioon laskettujen kulutus- ja päästöarvojen lisäksi huomioon myös kotieläinrakennuksen luonne ja käytettävyys. Käytön aikaiset energiakulutukset ja rakennuksen yleinen käytettävyys sekä eläinten terveys, tuottavuus ja hyvinvointi pitkällä aikavälillä vaikuttavat tarkastelukokonaisuuteen. Kokonaisvaltaisesti ekologinen karjarakennus on puurakenteinen kylmäpihatto sillä perusteella, että:

- luonnonvarojen kulutus on pienin, ja samalla uusiutuvien luonnonvarojen osuus kulutuksesta on suurin
- energian kulutus on pienin, ja samalla uusiutuvan energian osuus on suurin
- syntyvä jätemäärä on pienin
- hiilidioksidipäästöt ovat pienimmät
- käytön aikaiset energiakulutukset ovat pienemmät kuin lämminpihatossa
- ilmanvaihto- ja ilman laatu ovat paremmat kuin lämminpihatossa
- lehmien terveys, tuottavuus ja hyvinvointi ovat yhtä hyviä tai parempia kuin lämminpihatossa

- navettakaasuista ammoniakkipäästöt ovat pienemmät kuin lämminpihatossa
- rakennus- ja ylläpitokustannuksiltaan kylmäpihatto on edullisempi kuin lämminpihatto



Kuva 53. Tarkasteltujen runkomallien sijoittuminen ”ekologisuusasteikkoon”, jossa vihreä väri symboloi ekologisesti hyväksyttävää vaihtoehtoa.



Kuva 54. Kuvassa vasemmalla sisäkuva suomalaisesta ja oikealla virolaisesta kylmäpihatosta, joissa kummissakin toteutuvat edellä kuvaillut ekologist kriteerit.

6 Kylmäpihattojen kustannusrakenne

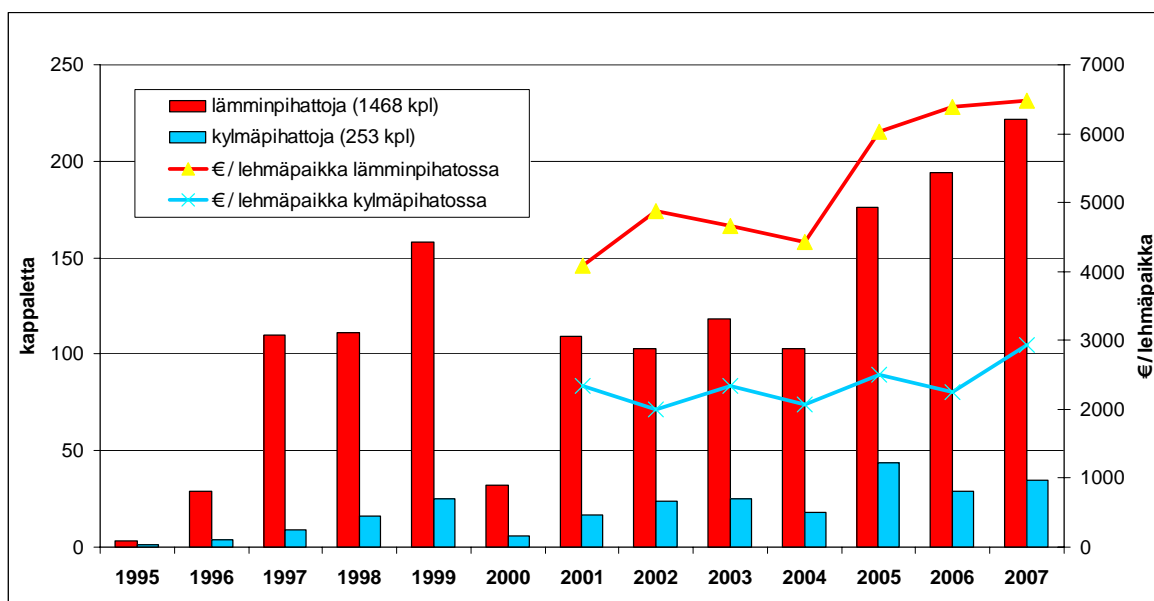
Ydinlöydökset

Suomalaisten kylmäpihattojen kustannukset ovat 2000-luvulla olleet keskimäärin puolet vastaavien uusien lämminpihatoiden kustannuksista. Syynä tähän voidaan arvella olevan se, että uudet lämminpihatot on rakennettu tehokkaasti koneistettuina ja alusta loppuun valmiiksi. Kylmäpihatot ovat usein laajennuksia olemassa oleviin rakenteisiin, jolloin koneistuskustannus on voinut jäädä vähäisemmäksi. Lisäksi maatalouden rakennuskustannukset ovat viime vuosina kasvaneet muuta rakennusala nopeammin.

Virolaisten kohteiden hintatietojen otanta on vain 4 kohteesta, joten kattavaa kokonaiskuvaa tilanteesta ei ole voitu saada. Neljän kohteen kesken lehmäpaikan hinta vaihteli 1300 €:sta 3300 €:oon. Kohteen suuruus ei näyttänyt korreloivan kustannusten määrään. Halvalla tehdyssä kohteessa on ollut normaalia enemmän lisäinvestointitarvetta eli korjauksia ja muutoksia. Puurakenteinen eläinhalli oli selvästi edullisempi kuin teräsrunkoiset hallit. Laajennushallin lehmäpaikkahinta oli vain 80 % samankokoisen alkuperäishallin hinnasta, koska perusinvestoinnit lypsytekniikkaan olivat jo olemassa.

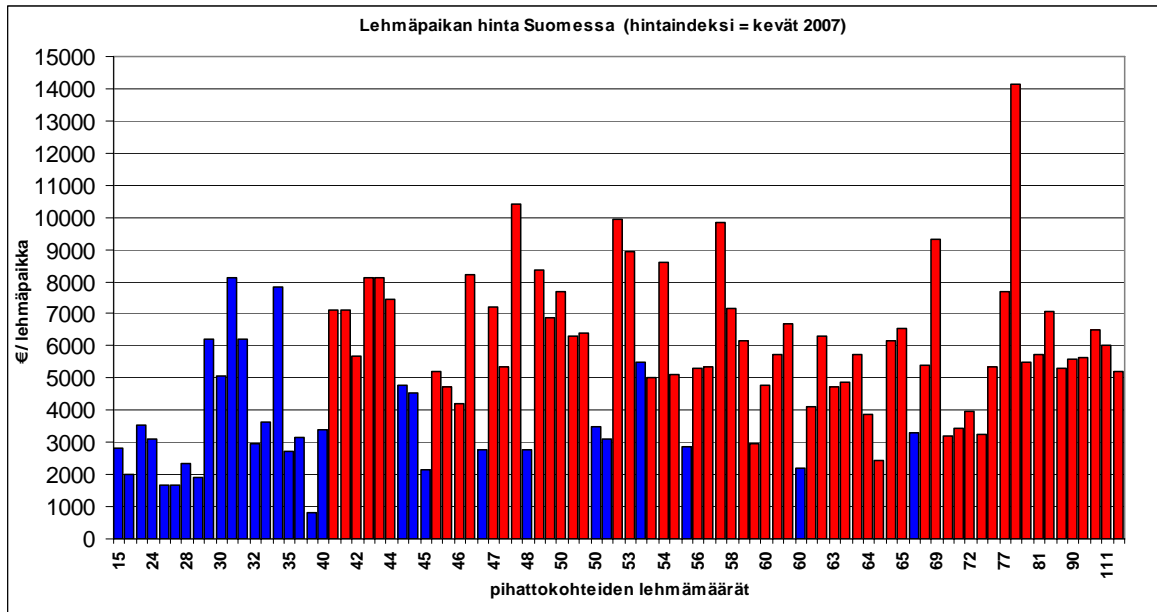
6.1 Kustannuksia Suomessa

Pihattorakentamisen määrä ja jakauma kylmä- ja lämminpihatoihin Suomessa sekä näiden hintakehitys maa- ja metsätalousministeriön tilastojen valossa on esitetty kuvassa 55. Tilastojen perusteella lämminpihattojen hintakehitys on harpannut keskimäärin 4500 €:sta 6500 €:oon parsipaikka kohden. Luku on koko maan keskiarvo. Kalleimmissa kohteissa parsipaikan hinta on jo 10000 € tuntumassa. Kylmäpihattojen investointitaso on ollut 2500 € luokkaa ja viime vuosina lievästi kohonnut. Kylmäpihattojen hintakäyrä vahvistaa sitä käsitystä, että kohteet ovat olleet laajennuksia, jolloin investointi on ollut uusiin suuriin lämminpihattoihin verrattuna maltillisempi.



Kuva 55. Navettarakentamisen määrä ja hintakehitys Suomessa EU-jäsenyysaikana.

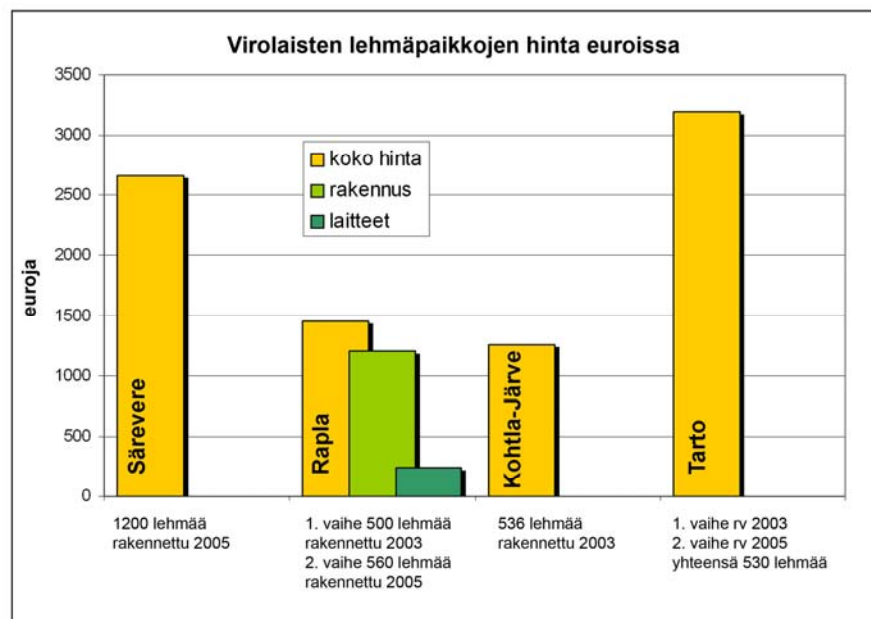
Kuvassa 56 on esitetty tässä tutkimuksessa saadut lehmäpaikkojen kokonaishinnat sinisinä pylväinä. Punaiset pylväät ovat MTT:ssä aikaisemmin tehdyn lämminpihattotutkimuksen tuottamaa kustannustietoa (Kivinen et al. 2007). Kaikki luvut on deflatoitu vuoden 2007 kevään hintoihin ja ovat vertailukelpoisia. Pylväät asettuvat vaaka-akselille kunkin pihatton lehmäluvun mukaiseen nousevaan järjestykseen.



Kuva 56. Siniset tolpat ovat tässä tutkimuksessa saatuja lehmäpaikan kokonaishintoja. Punaiset tolpat edustavat lämmimpihattotutkimuksessa saatuja vastaavia lukuja. Kaikki luvut on deflatoitu vuoden 2007 kevään hintoihin. Vaaka-akselilla on kussakin pihatossa olevien lehmäpaikkojen lukumäärä.

6.2 Kustannuksia Virossa

Virolaisista pihatoista hintatieto saatiin neljästä kohteesta. Hinnat eivät olleet täysin tarkkoja, mutta suuruusluokkaa voidaan pitää luotettavana. Kuvassa 57 on esitetty lehmäpaikkojen euromääräiset hinnat. Ainoastaan **Raplan** hintatieto sisälsi eriteltyinä laitekustannukset sekä itse rakennuksen osuuden rakennusvaiheittain. **Säreveren**, **Kohtla-Järven** ja **Tarton** kohteet ovat teräsrunkorakenteisia ja **Raplan** kohde puurunkoinen pihatto. **Kohtla-Järve** on tehty edullisesti, mutta jälkepäin on jouduttu tekemään olosuhteita ja toimintavarmuutta parantavia lisäinvestointeja, jotka eivät näy esitetystä luvusta.



Kuva 57. Tässä tutkimuksessa mukana olleiden neljän virolaisen kylmäpihaston rakennuskustannukset.

7 Tulevaisuuden kylmäpihatot

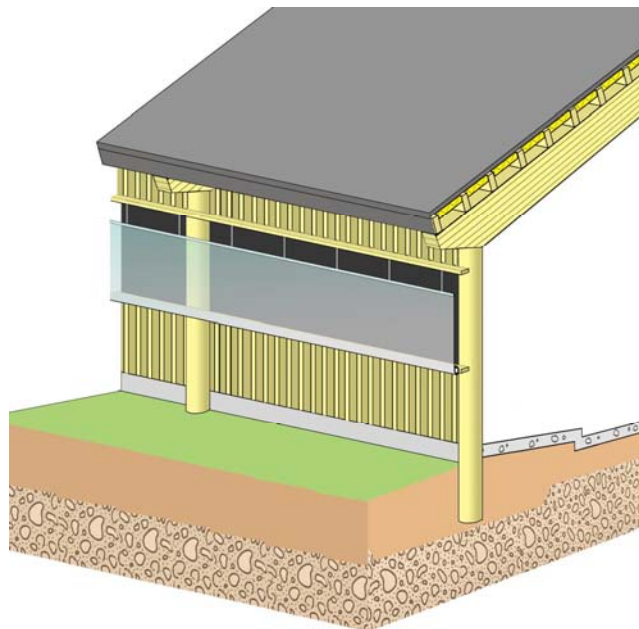
Ydinteetit

Kylmäpihatoratkaisun parhaat ominaisuudet pääsevät esiin uusissa suurissa maidontuotantoyksiköissä, joissa lehmämäärä on yli 300 kpl. Tällaisen yksikön pinta-ala ylittää 4000 krsm², ja mm. palotekniset seikat puoltavat yksikön hajauttamista useampiin kevytrakenteisiin rakennuksiin.

Investoinnin logiikka perustuu siihen, että suuret pinta-alaa vaativat eläinhallit tehdään kustannuksiltaan edullisimmalla rakennustekniikalla P3 paloluokassa, millä myös saavutetaan kestäviä ympäristövaikutuksia. Samalla kalliimmat rakennus- ja navettatekniikan investoinnit keskitetään hyvin varusteltuun lypsykeskukseen sekä poikima- ja sairasosastoihin.

Odotettavissa oleva ilmaston lämpeneminen ja sen seuraukset tukevat ja helpottavat kylmäpihaston toimivuutta maamme talviolosuhteissa.

Tutkimuksen alussa pihattojen rakennustekniset ominaisuudet pyrittiin määrittelemään lämpöeristyksen näkökulmasta. Tehtyjen mittausten ja havaintojen perusteella kylmäpihaston rakennustekniset ongelmakohdat liittyvät korkeaan talviaikaiseen suhteelliseen kosteuteen ja sen vaikutukseen rakenteisiin. Kosteus kondensoituu teräkseen ja imeytyy puuhun. Talviajan hankalia kosteus- ja lämpötilaolosuhteita voidaan kohentaa, jos pihaston katto lämpöeristetään. Eristeen paksuudeksi riittää 5 cm. Sen olisi hyvä sijaita joko vesikatteessa kiinni tai tuulettuvana rakenteena esimerkiksi toisiopalkiston alapuolella. Eriste toimii silloin sekä kondenssisuojana talvella että säteilylämpöeristeenä kesällä. Samalla eristerakennus luo tulo- ja poistoaukkojen välille lämpötila- ja tiheyseroa, joka edistää hormi-ilmiön syntymistä ja ilmanvaihdon toimivuutta talviolosuhteissa.



VERHOSEINÄ- KYLMÄPIHATTO

- lämpöeristämätön rakennus, jossa vesikatteen alla on 3-5 cm eristerakennus. Se toimii kondenssisuojana ja parantaa ilman liikettä tulo- ja poistoaukkojen suhteen.
- ikkunat päätyseinillä, mahdollisesti katossa
- ilmanvaihto painovoimainen ja säädettävä. Verhoseinä toimii tuloaukkona, poistoaukkoina hormit, harjaläpät tai avoharja
- talven lämpötila seuraa ulkolämpötilaa
- vesikupit oltava lämmitettävät
- varautuminen lannapoiston häiriöihin 1-2 viikkona vuodessa

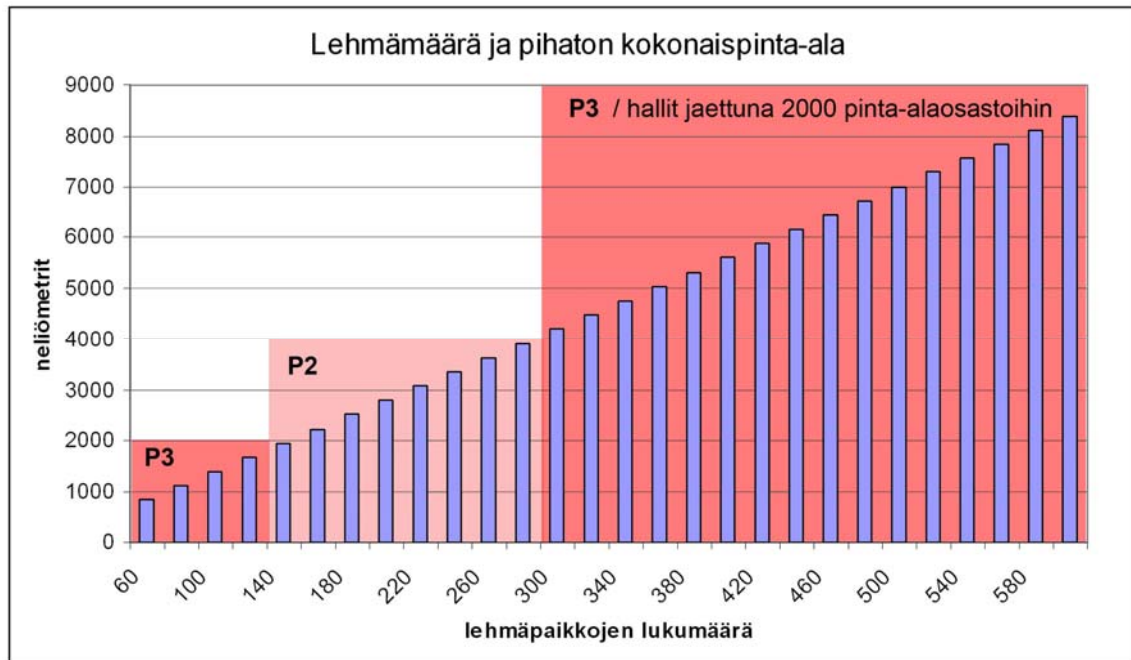
Kuva 58. Verhoseinä-kylmäpihaston malli.

Suomalaisten maidontuotantotilojen rakennemuutos tulee jatkumaan. Robottitilojen määrä kasvaa, ja mukaan tulee myös suomalaisittain nk. suurtilakokoluokka. Tällaiseksi voidaan luokitella jo yli 200 lehmän yksikkö. Tilastojen perusteella suomalaisten pihattojen pinta-

alallinen koko lehmää kohden laskettuna on ollut 14-15 m² luokkaa. Uusimmat tanskalaiset mitoitusohjeet tukevat tätä näkemystä. Pihatoiden kokonaispinta-alan voidaan laskea kasvavan lineaarisesti lehmäluvun suhteessa kuvan 59 tapaan, kun pinta-alamitoituksena pidetään 14 m²/ lehmä. Suurissa, yli 300 lehmän yksiköissä lehmäkohtainen pinta-ala todennäköisesti supistuu hieman, koska lypsy-yksikön pinta-ala ei kasva eläinhallien kasvaessa, vaan sen käyttö tehostuu eli lypsyaika pitenee. Tarkastelu osoittaa, että rakennusten kokoluokat edellyttävät rakennusteknisten vaatimusten lisäksi paloteknistä suunnittelua.

Palotekniset haasteet

Maatalouden tuotantorakennukset kuuluvat Suomen rakennusmääräyskokoelman palomääräysten E1 ja E2 perusteella teollisuus- ja varistorakennusten kategoriaan. Tavallisesti maatalouden tuotantotilat lasketaan keveimpään palovaarallisuusluokkaan 1. Suojaustasot ovat valittavissa 1-3 luokkien välillä. Maatalousrakennuksissa yleensä käytetään suojautasoa 1, mikä merkitsee vaatimattominta alkusammutusvarustusta. Tuotantotilojen osastointi tapahtuu yhtä aikaa kahdella tasolla. Pinta-alaosastoinnissa rakennusta tarkastellaan yhtenä kokonaisuutena ja ratkaisevaa on kokonaispinta-ala. Lisäksi rakennuksen eri tilaryhmiä tarkastellaan niiden käyttötarkoitusten mukaan. Rakennuksen käyttötapaosastoinnissa syttymisherät tai muuten palovaaralliset tilat erotetaan toisistaan osastoivalla seinä- ja ovirakenteella vaikka koko rakennuksen pinta-alaosastointi ei edellyttäisi osastoivia rakenteita. Maidontuotantorakennuksessa käyttötavaltaan yhtenäisiä tiloja ovat eläintilat ja niihin välittömästi liittyvät lypsytilat. Näihin nähden käyttötavaltaan syttymisherkkiä tai muuten suojeltavia tiloja ovat rehutilat, toimisto- ja maitohuoneet, konehuoneet, sähköpääkeskukset ja kattilahuoneet. Näiden tilojen käyttötapaosastointi on yleensä helppoa, koska huoneilat ovat pienehköjä ja ne on erotettu suurista hallitiloista seinillä, jotka voidaan teknisessä mielessä tehdä osastoiviksi. Sitä vastoin eläinhallit, lypsyasemat ja niiden odotustilat ovat käyttötavaltaan yhtenäistä hallitilaa, jota on toiminnallisesti vaikea jakaa seinillä erillisiksi palo-osastoiksi.



Kuva 59. Pihatön pinta-alan kehitys lehmämäärän kasvaessa. P3 on paloa hidastava rakennus (yleensä puurakenteinen), P2 paloa pidättävä rakennus (puurakennus, jossa rakenteet mitoitettu paloa vastaan ja pinnat huonosti syttyviä), sekä P1 palon kestävä rakennus (yleensä betonirakennus).

Kuvan 59 perusteella voidaan sanoa, että 60 – 140 lehmän kokoluokissa (noin 2 robotillista) pihatot voidaan suunnitella paloluokkaan P3, koska kokonaispinta-alan käyttö jää alle 2000 m²:iin ja jossa rakenteellisen palosuojauksen vaatimukset ovat lievimmät. P3 luokan pihatossa suojaustaso on 1, ja se tarkoittaa tavanomaista alkusammutuskalustoa, käsisammutinta tai palopostipisteitä. P3 –luokkainen rakennus voidaan tehdä enintään 4000 m² kokoiseksi, mutta se edellyttää suojaustasoa 2, mikä käytännössä tarkoittaa automaattista palohälytystä suoraan pelastuslaitokselle ja sammutuksen alkamista korkeintaan 10 minuutin kuluttua. Tämä onnistuu yleensä vain kaupunkiympäristöissä eikä onnistune maaseudun pitkillä etäisyyksillä.

Kokoluokassa 150 – 280 lehmää rakennus on mitoitettava paloluokkaan P2, jossa kokonaispinta-ala voi kasvaa 4000 m² saakka. P2 paloluokassa kantavat rakenteet mitoitetaan paloa vastaan ja rakenteina voidaan käyttää massiivipuuta (liima- tai kertopuuta) sekä myös palosuojattua terästä. P2 paloluokka asettaa vaatimuksia sisäpintojen materiaaleille, jolloin tavanomaisia puupohjaisia tuotteita ei voi käyttää. Kylmäpihaton etuna tässä tilanteessa on se, että sisäpinnan materiaali on samalla myös ulkopinnan materiaali. Kylmäpihaton etuna on myös savunpoiston teknisen toteutuksen helppous, koska harjan poistoluu- kut yhdessä seinien tuloaukkojen (verhoseinät) runsauden myötä täyttävät savunpoistolle asetetut aukkopinta-alatavoitteet.

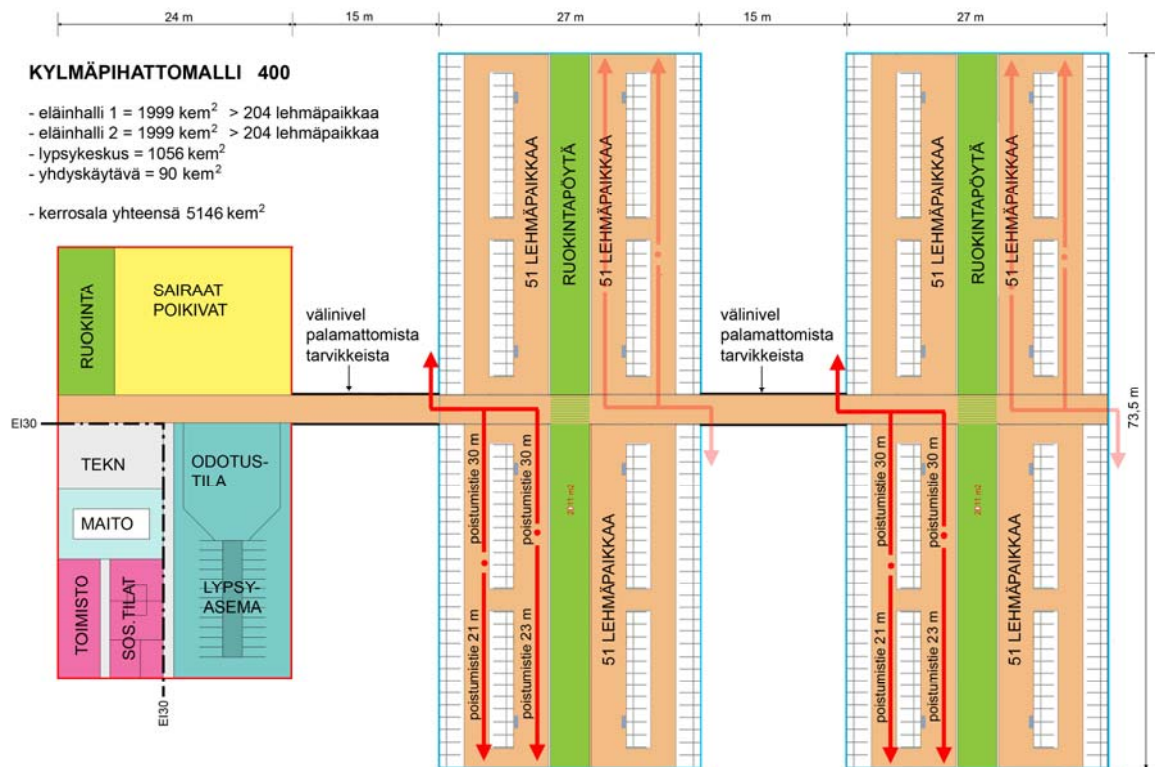
Kun lehmämäärä menee yli 290, pihatton pinta-ala kasvaa yli 4000 m²:n. P2 luokan tuotantorakennus voidaan kyllä tehdä 6000 m² suuruiseksi, jos suojausluokaksi valitaan 2. Tämä suojaustaso edellyttää automaattista palohälytysjärjestelmää ja palokunnan enintään 10 minuutin ajoaikaa kohteeseen. Automaattisten hälytysjärjestelmän pitkäaikainen toimivuus pihatossa on kyseenalainen lämpötilan, kosteuden, pölyn ja navettakaasujen vaikutusten vuoksi. Muutoin yli 4000 m² tuotantohalli joudutaan tekemään P1-paloluokkaan, mikä käytännössä tarkoittaa palamatonta eli betonirakennusta. P1 luokan halli voidaan tehdä 6000 m² asti suojaustasossa 1 ja 12000 m² saakka suojaustasossa 2.

Edellä selostetut 2000/4000/6000 m² pinta-ala rajat ovat rakennusmääräyskokoelman E2:n antamia palo-osastojen pinta-aloja P1-P3 paloluokkiin. Suuri pihattoyksikkö on voitava tehdä yhtä aikaa kustannustehokkaasti ja paloturvallisesti. Tässä tilanteessa ratkaisu uusiin suuriin tuotantoyksiköihin on se, että kohteet suunnitellaan vapaaehtoisesti enintään 2000 m² kokoisiksi erillisrakennuksiksi P3 paloluokassa ja suojaustasossa 1. Rakennukset sijoitetaan riittävälle etäisyydelle toisistaan. Paloteknisesti 8 m on minimi, mutta välipihojen traktorilla ajettavuuden sekä ilmanvaihdon edellyttämän vapaan ilmaliikkeen vuoksi 15 metrin etäisyys on täysin kohtuullinen. Rakennuksia yhdistämään tehdään lehmien kulukäytävä, joka on rakenteellisesti palamatonta (harkkoseinää, teräsrunko + teräsristikot + peltikate) ja toisaalta avonainen (savukaasut ilmaan, ei hallista toiseen). Lypsykeskuksen tiloista käyttötapaosastoidaan EI30 – luokan rakentein ne tilat, joista palo voi alkaa ja levitä tai kääntäen tiloissa on palolta suojattavaa omaisuutta kuten toimisto, tietokoneet, maito- huone jne. Tällainen käyttötapaosastointi syntyy helposti ja luontaisesti, kun huonetilojen seinämateriaaleiksi valitaan osastointivaatimukset täyttävät materiaalit.

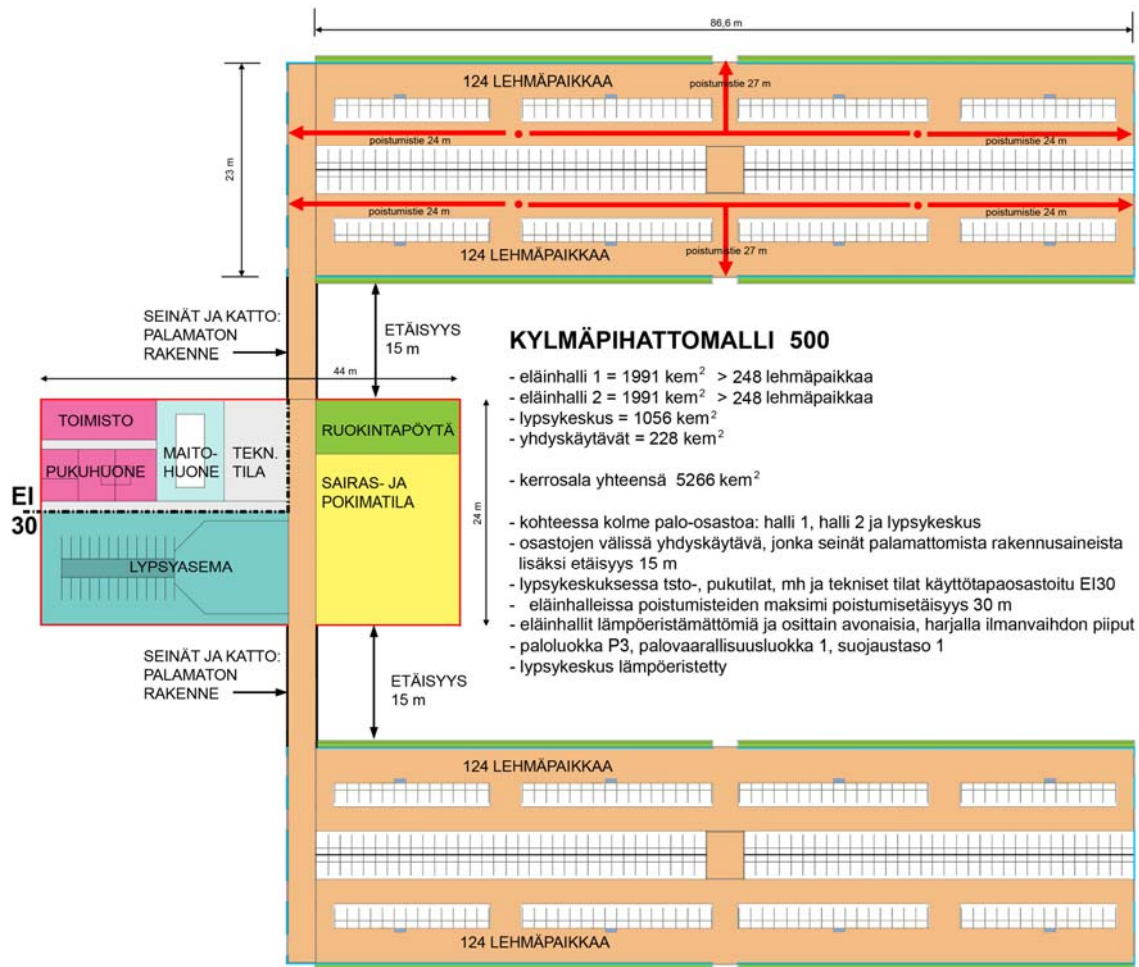
Jos eläinhallien päädyissä olisi erillisiä rehutiloja, ne tulee käyttötapaosastoida eläintiloista EI30- osastoivalla seinärakenteella. Tämä nostaa kustannuksia turhaan, jos rehutilat voidaan ratkaista toisin. Isojen maitotilojen rehukeskus kannattaa toteuttaa erilliseksi yksiköksi pihatton läheisyyteen.



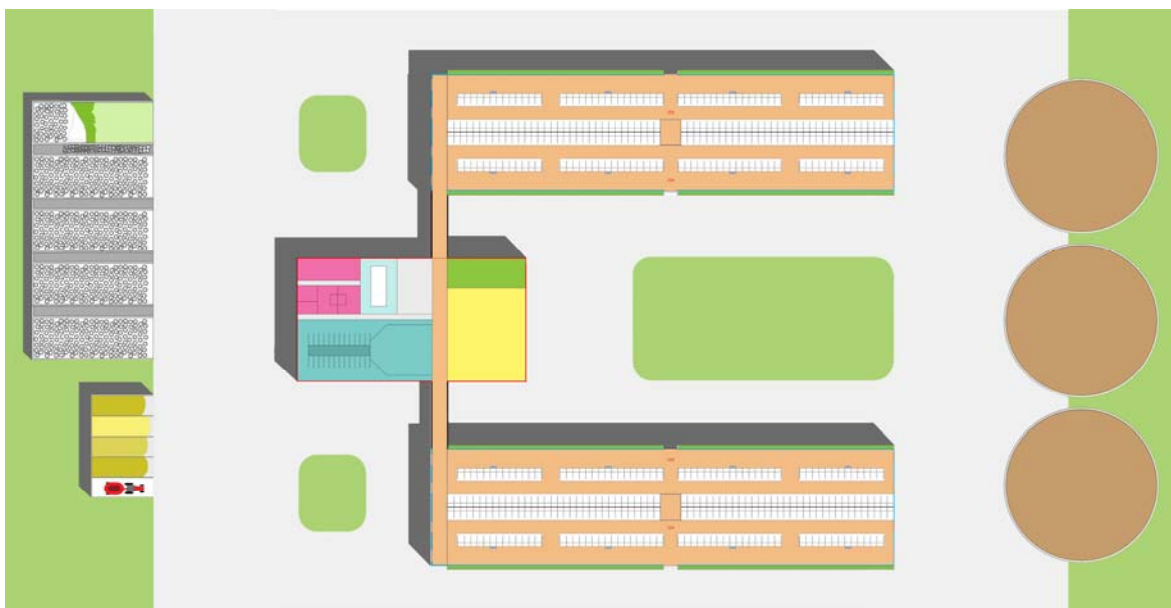
Kuva 60. Hyvä esimerkki virolaisen kylmäpihaton väljästä ja avoimesta yhdyskäytävästä. Hallien välinen etäisyys on enemmän kuin 15 metriä.



Kuva 61. Tulevaisuuden kylmäpihaton toiminnallinen malli 400 lypsylehmälle. Yksittäinen makuuparsihalli on enintään 2000 kem² kokoinen. Uusimmilla parsi- ja käytävämitoituksilla sekä 4 m leveällä läpiajettavalla ruokintapöydällä varustettuna halliin mahtuu noin 200 parsipaikkaa. Kahteen vierekkäiseen halliin mahtuu siten 400 lehmää. Lypsykeskuksen mitoitus tehdään tilatarpeiden mukaan, kunhan pysytään 2000 kem² alapuolella. Poistumistiet ja niiden määrä suunnitellaan siten, että kulkureitin pituus lähimpään uloskäytävään on enintään 30 m. Poistumisalueelta tulee olla vähintään kaksi toisistaan riippumatonta uloskäytävää.



Kuva 62. Tulevaisuuden kylmäpihaton toiminnallinen malli 500 lypsylehmälle. Yksittäinen makuuparsihalli on enintään 2000 kem² kokoinen ja ruokintakaukalo on rakennuksen ulkoseinällä. Tämä säästää lattiapinta-alaa siinä määrin, että uusimmilla parsi- ja käytävämitoituksilla yhteen halliin mahtuu noin 250 parsipaikkaa. Lypsykeskuksen mitoitus tehdään tilatarpeiden mukaan, kunhan pysytään 2000 kem² alapuolella. Tässä mallissa kaksi poistumistietä on sijoitettava hallin keskialueelle, mikä katkaisee ruokintakaukalon yhtenäisen jatkuvuuden.



Kuva 63. 500-paikkaisen kylmäpihaton pihajärjestelykaavio. Harmaa väri osoittaa asfaltoitavaksi suositeltavan piha-alueen laajuuden.

8 Loppupäätelmät

Kylmäpihatto on suurten yksiköiden rakennusratkaisu. Suomen mittakaavassa suuria, yli 300 lehmän maidontuotantoyksiköitä on jo toiminnassa. Sitä suuremmat 500 – 1000 lehmän yksiköt odottavat vielä piirustuspöydillä, mutta niitä tullaan rakentamaan lähivuosina Suomeen. Suurille yksiköille on luontevaa, että ne rakentuvat modulaarisesti laajentuen, vaihe tai eläinhalli kerrallaan. Kylmäpihattohalli eläintilana on toimiva ja kustannustehokas sekä ekologinen ratkaisu modulaariseen karjakuon kasvattamiseen. Lypsykeskus sijoitetaan lähtökohtaisesti lämpöeristettyyn rakennukseen, sairaus- ja poikimatilat voivat sijaita lämpöeristetyyn ja eristämättömän tilan välimaastossa. Modulaarinen rakennejattelu on perusteltua myös maisemanäkökohtien kannalta. Isot rakennusvolyymit saadaan jaetuksi useampiin erillisiin ja maisemassa pienemmältä näyttäviin rakennusyksiköihin. Näin torjutaan vanhan pienimittakaavaisen maaseuturakenteen ja uuden tuotantorakennuskannan välistä mittakaavallista epäsuhtaa.

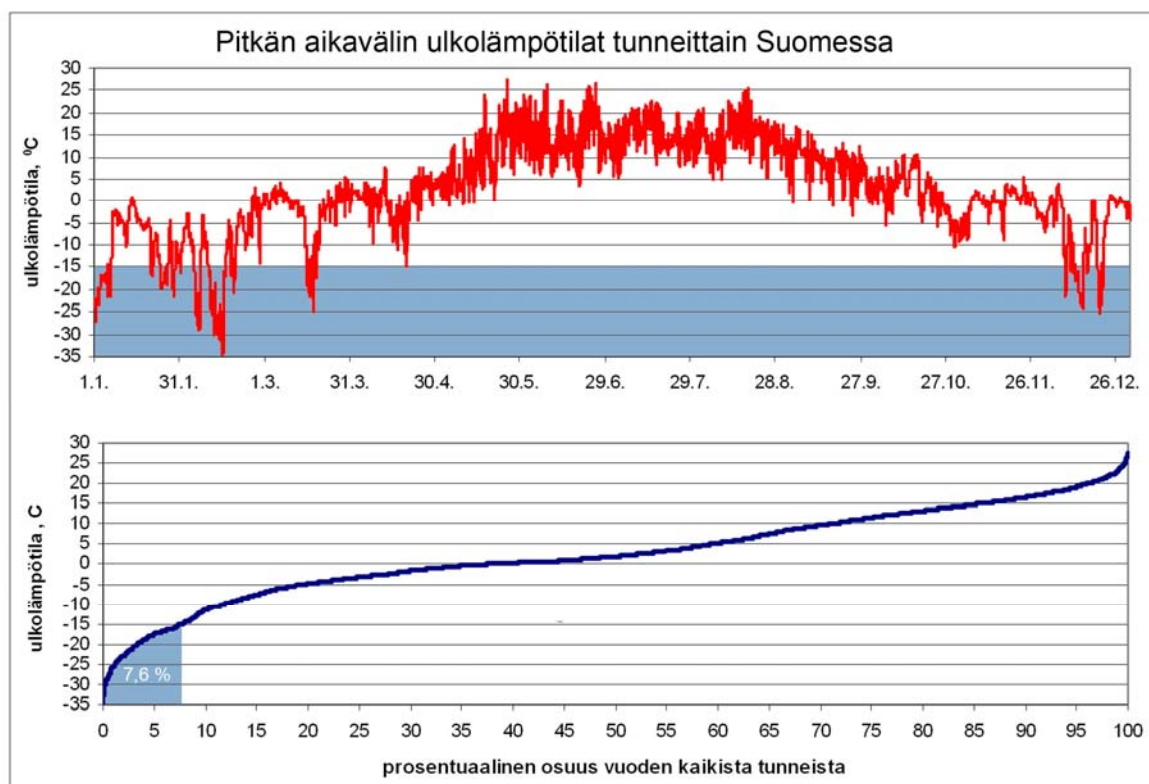
Perinteisen kylmäpihaton ja viileäpihaton risteytys syntyy, kun kylmäpihaton kattorakenne eristetään ohuella eristekerroksella vesikatteen alapuolelta. Siinä eriste ei oleellisesti lisää vesikatton u-arvoa, mutta toimii kondenssia estävänä rakenteena talvella. Kesäolosuhteissa eristekerros suojaa auringon kuumentaman kattomateriaalin säteilylämpövaikutukselta pihatton sisällä. Verhoseinällä varustetun kylmäpihaton ilman laatu ja vaihtuvuus ovat erittäin hyviä kesällä ja hyväksyttäviä talvella.

Kylmäpihatossa korostuu vuodenaikojen mukainen sisäolosuhteiden vaihtelu, mikä aiheuttaa merkittäviä vaihteluita sisälämpötilan ja suhteellisen kosteuden esiintymisessä. Rungon ja vaipan rakenteille sekä myös sisustusvarusteille ja laitteille aiheutuu kosteusrasitusta. Suhteellinen kosteus on talviaikana korkea, mutta toisaalta absoluuttinen määrä on pieni ja lämpötila alhainen. Tällaisissa olosuhteissa puu kostuu, mutta ei lähde lahoamaan. Metallipinnoille voi muodostua kondenssia ja suojaamaton pinta voi alkaa ruostua. Tietyt rungon tai vaipan osat - kuten esimerkiksi julkisivuverhoukset, katteet kantavat rungon osat, ikkunat - voisivat olla kierrätettävissä eli uudelleen käytettävissä jossain toisessa pihattokohteessa. Tai ne voivat sopia varaosiksi samanikäisiin rakennuksiin. Rakennus- ja rakenneteknisissä ratkaisuissa tulisikin pyrkiä entistä vakiomittaisempiin rakennusosiin, joiden liitostekniikat mahdollistavat osien kierrätyksen. Sama koskee rakennuksen moduulimitoitusta. Kylmäpihatto on kustannustehokas rakennusvaiheessa ja myös käyttökustannukset jäävät vastaavan kokoista lämminpihattoa pienemmiksi. Kustannustehokkuus syntyy siitä, että suuria pinta-aloja vaativat eläintilat toteutetaan kevennetyillä rakenteilla materiaaleja optimoiden ja minimoiden. Raskaammat investoinnit sijoitetaan lypsyaseman rakenteisiin, sen teknisiin ominaisuuksiin ja laitteistoihin.

Suurten maidontuotantoyksiköiden pinta-alat kasvavat sellaisiin mittoihin, että Suomen rakennusmääräyskokoelman paloturvallisuusmääräysten E1 ja E2 osien mukaan tuotantoyksikkö on järkevää jakaa useampiin rakennuksiin, kuten aikaisemmin on jo kuvailtu. Rakennusten hajauttaminen pienentää paloriskejä. Eläinhalleissa itsessään on suhteellisen vähän palokuormaa. Yleensä palot ovat alkaneet lypsykeskuksesta, sähköpääkeskuksista tai vastaavista korkeasti koneistetuista huonetiloista.

Ilmaston ennustetaan lämpenevän Skandinaviassa jopa siinä määrin, että vuonna 2020 Etelä-Suomen rannikkovyöhykkeellä saavutetaan Baltian maille tyypillisiä vuosilämpötiloja. Vuonna 2050 koko Etelä-Suomessa vallinnee Etelä-Ruotsin nykytilanteen mukainen ilmasto. Ilmastomuutos ja talvien lauhtuminen avaavat näkökulman, minkä perusteella pihattoja ei tarvitse enää lämpöeristää perinteiseen tapaan. Tässä suhteessa nyt ja lähitulevaisuudessa rakennettavat kylmäpihatot toimivat hyvin vielä 2040 ja pidemmällekin.

Lehmien hyvinvointi on todettu hyväksi kylmäpihatoissa. Lehmien utareterveys on keskimäärin parempi kuin lämminpihatoissa. Infektiopaine on pienempi. Lehmät lypsävät kylmäpihatoissa hyvin. Tyypillisistä navettakaasuista hiilidioksidi ja metaani eivät juuri eroa lämminpihaton vastaavista päästöistä. Sen sijaan ammoniakkipäästöt ovat kylmäpihatoissa pienemmät. Ammoniakin haihtuminen on talvella kylmässä pienempää. Jos lannankäsittelyyn liitetään aktiivista jälkikäsittelyä – separointia, saostusta, kuivamädätystä tai biokaasuokeräystä - saadaan kokonaispäästöt hallitusti pienemmiksi. Tällöin kokonaisketju kylmäpihatto + jälkikäsittely on ammoniakin osalta vähäpäästöisempi kuin vastaava ketju lämminpihaton yhteydessä.



Kuva 64. Pitkän aikaväli säädata ulkolämpötilasta vuoden jokaisena tuntina. Alle -15 0C pakkasasteen lämpötiloja esiintyy muutaman päivän – viikon jaksoina joului-maaliskuussa. Näiden jaksosten osuus vuoden kaksista tunneista on 7,6 %, mikä tarkoittaa 28 päivää.

Kylmäpihatto ei ole ongelmaton tuotantoympäristö. Se on säätilalle ja tuulelle altis rakennus, jossa ilmanvaihto toimii painovoimaperiaatteella vaihtelevasti. Säätilariippuvuus aiheuttaa epävakautta, johon viljelijän on asennoiduttava tosiasiana ja varauduttava sen mukaisesti. Tilanteen hallitsemiseksi on olemassa automatiikkaa, joka ohjaa ilmanottoaukkoja lämpötila-antureiden antaman informaation perusteella. Tässä tutkimuksessa todettiin Suomen talvessa ongelmien alkavan -15 °C kylmemmissä olosuhteissa ja myös palautuvan normaalitasolle, kun lämpötila nousee mainitun lämpötilan yläpuolelle. Suomen pitkäaikaisessa säätilastossa normaalivuonna alle -15 °C pakkasia esiintyy 7,6 % kaikista tunneista eli noin 28 päivänä vuodessa. Kuvasta 60 voidaan havaita, että alle -15 °C asteen pakkaset ajoittuvat lyhyiksi jaksoiksi vuoden lopulle ja alkutalveen. Lämpöeristetyt pihatot on suunniteltu ja rakennettu yhden kuukauden rankimpien sääolojen ehdoilla; 11 kuukauden ajan ne voisivat olla kylmäpihattoja. Kylmäpihaton toimivuudessa kysymys on siitä, miten toiminta saadaan jatkumaan hankalimpien pakkasjaksojen yli ilman kohtuuttomia ongelmia. Ongelmahallinta tarkoittaa yhtäältä voimaa (traktori) ja toisaalta yksinkertaisinta tekniikkaa (traktori ja työntölevy). Kalliit erikoisratkaisut ovat vikaantumisherkkiä eivätkä välttämättä ole kustannustehokkaita. Ongelmansieto yhtenä kuukautena vuodessa palkitsee 11

kuukauden pituisella ideaalitoimivuudella. Sisälämpötilan riittävyys ja ilmanvaihdon toimivuus erityisesti talvella edellyttävät sitä, että eläinpaikkojen vajaatäyttöä ei esiinny. Kylmäpihaton kaikki parsipaikat on oltava käytössä.

Kylmäpihaton ehkä suurin toiminnallinen kipupiste liittyy lantakäytävien jäätymiseen ja lannanpoiston toteuttamiseen poikkeustilanteissa. Lannanpoiston toimintavarmin työkalu on kokemusten mukaan traktori ja työntölevy. Raapparatkaisuilla voi esiintyä ongelmia kireimmillä pakkasjaksoilla. Tällöin on varauduttava vaihtoehtoiseen lannanpoiston menetelmän käyttöön. Jäätyvät lantakäytävät ovat myös liukkaita ja voivat aiheuttaa loukkaantumisia lehmille ja hoitajille.

Kylmäpihattojen yksi haaste liittyy siihen, miten investoivat viljelijät saadaan sitoutumaan kylmäpihaton tuotantokonseptiin. Lämminpihatto on perinteisesti ollut turvallinen valinta, koska se on tuottanut tasalaatuiset olosuhteet talvella ja kesällä. Lämminpihattoa voisi luonnehtia stabiiliksi tuotantoympäristöksi. Ainoa yllätysmomentti on liittynyt sähköjake-lun varmuuteen, mikä sekin on voitu kompensoida varavoimalaitteilla. Kylmäpihatto on sään vaihteluille altis labiili järjestelmä, joka vaatii käyttäjältään suurempaa joustoa ja varautumista vuodenaikojen muutoksiin. Tämän tutkimuksen löydösten mukaan suomalaiset kylmäpihattotuottajat ovat sitoutuneita ja tyytyväisiä järjestelmäänsä. Asenneilmaston muokkautumista tarvitaan ennekuin kylmäpihaton valinta muuttuu pihattorakentajien enemmistön valinnaksi. Toisaalta myös investointitukien mahdollinen supistuminen tulevaisuudessa saattaa automaattisesti ohjata rakentamista siihen suuntaan, että viljelijät ovat valmiimpia ottamaan halvempia ja kustannustehokkaampia rakennusratkaisuja toteutukseen. Pois ei ole suljettu sekään mahdollisuus, että tulevaisuudessa investointeja ohjataan ekotehokkuuden ja energiakäytön vähentämisen kannalta optimaalisimpiin ratkaisuihin ja saatetaan nämä arvot jopa asettaa investointitukien saannin ehdoksi. Tästä näkökulmasta kylmäpihatto on tulevaisuuden toimiva ja ekotehokas tuotantoympäristö.



Kuva 65. Suurella kylmäpihatolla voi olla iloinen ilme ja lämmin väritys.

9 Kirjallisuus

- Albright L.A. Environment Control for Animals and Plants. ASAE Textbook 4, American Society of Agricultural Engineers, 1990, 453 p.
- Building and Environment. 43 (6), 1016–1022.
- CIGR, 1984. Climatisation of animal houses. Report of working group. Scottish Farm Building Investigation Unit, Craibstone, Aberdeen, Scotland
- Conzález M.J., Navarro J.G. Assessment of the decrease of CO₂ emissions in the construction field through the selection of materials: Parctical case study of three houses of low environmental impact. Building and Environment 41 (2006) 902-909
- Ding G. Sustainable construction – The role of environmental assessment tools. Journal of Environmental Management 86 (2008) 451 – 464
- Færevik, G. Simensen, Arnfinn, A, Knut E. Bøe, K.E. Melkeku i uisolert fjøs – resultater fra feltforsøk i Pasvik. Universitetet for miljø- og biovitenskap. UMB-rapport 02/2005. 24 p.
- Groot Koerkamp P.W.G., J.H.M. Metz, G.H. Uenk, V.R. Phillips, M.R. Holden, R.W. Sneath, J.L. Short, R.P. White, J. Hartung, and J. Seedorf. 1998. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. J. Agr. Eng. Res. 70:79-95.
- Hansen, I. Jørgensen, E. Velferd hos kalver i kaldfjøs. Delprosjekt under pilotprosjektet "Landbruksbygg i Arktis" Bioforsk Rapport Vol. 1 Nr. 67 2006. 30 p.
- Hertwich E., et.al. Evaluating the environmental impact of products and production processes: a comparison of six methods. The science of the Total Environment 196 (1997) 13 – 29.
- Hänninen J., Lehtinen T., Viljanen M. Kylmäpihaton lämpö- ja kosteusteknisen suunnittelun perusteet. Teknillinen korkeakoulu talonrakennustekniikan laboratorion julkaisuja 124. 2002, 93 s.
- Jeppson K-H. Aerial Environment in Uninsulated Livestock Buildings. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences. 2000, 123 p.
- Jungbluth, T., Hartung, E and Brose, G. 2001. Greenhouse Gas Emissions from Animal Houses and Manure Stores. Nutrient Cycling in Agroecosystems 60: 133–145.
- Kivinen, T., et al, 2007. Lypsykarjapihaton toiminnalliset mitoitusvaihtoehdot. MTT:n selvityksiä 137: 159 s. <http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts137.pdf>
- Kivinen, T., Mattila, K., Teye, F., Heikkinen, J., Heimonen, I. 2006. Lämpöeristetyn verhoseinäisen lypsykarjapihaton ilmanvaihdon toimivuus. MTT:n selvityksiä 119: 63 s. <http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts119.pdf>
- Kivinen, T., Tamminen, P. 2008. Ekotehokas pihatto - rakennusmateriaalivertailu MIPS-menetelmällä. In: Toim. Leena Rantamäki-Lahtinen. Maataloustieteen Päivät 2008 10.-11.1.2008, Viikki, Helsinki: esitelmä- ja posteritivistelmät. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 24: p. 223.
- Pajumägi A, Poikalainen, V., Veermäe, I., Praks, J. 2008. Spatial distribution of air temperature as a measure of ventilation efficiency in large uninsulated cowshed.
- Pajumägi, A., Veermäe, I., Praks, J., Poikalainen, V., Miljan. 2007. Spatial microclimate patterns in reconstructed and new large uninsulated loose housing cowsheds. Building and Environment. 42 (1), 113-121.
- Veermäe, Imbi; Pajumägi, Aime; Praks, Jaan; Poikalainen, Väino (2007). Kui külm ja kui soe võib olla külmlaut. Maamajandus, 6, 20 - 22.

- Pajumägi, A. 2007. Uninsulated cowsheds: ventilation and aspects of building physics. PhD thesis, Estonian University of Life Sciences, Tartu, Triip.
- Pedersen, S. & Sällvik, K. 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume II Animal Production & Aquacultural Engineering Edited by CIGR–The International Commission of Agricultural Engineering Part I Livestock Housing and Environment. s. 41-43.
- Pedersen, S. & Sällvik, K. 2002. CIGR 4th Report of Working Group on Climatization of Animal Houses Heat and moisture production at animal and house levels. s. 45.
- Pedersen, S, Takai, H, Johnsen, JO, Metz, JHM, Groot Koerkamp, PWG, Uenk, GH, Phillips, VR, Holden, MR, Sneath, RW and Short, JL: (1998) "A Comparison of Three Balance Methods for Calculating Ventilation Rates in Livestock Buildings", *Journal of Agricultural Engineering Research*. 70, pp 25-37.
- Seedorf, J, Hartung, J, Schroder, M, Linkert, KH, Pedersen, S, Takai, H, Johnsen, JO, Metz, JHM, Groot Koerkamp, PWG and Uenk, GH: (1998) "A Survey of Ventilation Rates in Livestock Buildings in Northern Europe", *Journal of Agricultural Engineering Research*. 70, pp 39-47.
- Seppänen, O. 1996. Ilmastointiteknikka ja sisäilmasto. Espoo. 348 s.
- Schmidt-Bleek, F. Luonnon uusi laskuoppi, ekotehokkuuden mittari MIPS. Gaudeamus Oy, Helsinki 2000. 311 p.
- Teye F.K. & Hautala M. Measuring Ventilation Rates in Dairy Building. *International Journal of Ventilation*, Vol. 6, No 3, 2007. pp. 247 – 256.
- MMM 2005a. Maa- ja Metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja ohjeet. Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto
http://www.mmm.fi/maatalous_maaseudun_kehittaminen/maaseudun_rakentaminen/maatilarakentaminen/Uudet/L10-rmoC22-01.pdf
- MMM 2005b. Maa- ja Metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja ohjeet. Kotieläinrakennukset, lypsykarjarakennukset. http://www.mmm.fi/maatalous_maaseudun_kehittaminen/maaseudun_rakentaminen/maatilarakentaminen/Uudet/L2-rmoC121-01.pdf
- Zhuguo L. A new life cycle impact assessment approach for buildings. *Building and Environment* 41 (2006) 1414-1422

Raportin valokuvat ja kaaviot, Tapani Kivinen,

paitsi seuraavat

Frederick Teye (HY): kuva 33

Aime Pajumägi (EMU): kuvat 35 ja 36

Imbi Veermäe (EMU): kuvat 38, 39 ja 60

Risto Maaniittu (DeLaval) ja Raimo Oksanen (RSV-Insinööri): kuva 41

MTT:n selvityksiä -sarjan Teknologia-teeman julkaisuja

- 155 Kylmäpihattojen toimivuus Suomessa ja Virossa. *Kivinen ym.* 64 s. Hinta 20 €
- 152 Kotieläinrakennusten lattiat -opas hyvän lattian tekoon. *Puumala ym.* 31 s.
Hinta 15 €
- 149 Tapaturmien riski-indeksin määrittäminen suomalaisilla maataloilla. *Sinisalo.* 65 s.,
4 liitettä. Hinta 20 €
- 143 Investointiprosessien hallinta ja niiden kriittiset vaiheet maatalousyrittäjissä – Ha-
vaintoja kirjanpitotilojen investointiprosesseista. *Mattila ym.* 37 s. (verkkojulkaisu
osoitteessa www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts143.pdf)
- 138 Letkurikkoventtiilit maatalouskoneissa. *Nysand.* 22 s. (verkkojulkaisu osoitteessa
www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts138.pdf)
- 137 Lypsykarjapihatton toiminnalliset mitoitusvaihtoehdot. *Kivinen ym.* 160 s. Hinta 25 €
- 131 Nautojen käsittelyjärjestelmät –suunnitteluperusteita ja malliratkaisuja. *Puumala.*
28 s. Hinta 15 €
- 129 Maaperän tiivistyminen perunantuotannossa – kirjallisuuskatsaus. *Lötjönen.* 26 s.
(verkkojulkaisu osoitteessa: www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts129.pdf)
- 119 Lämpöeristetyin verhoseinäisen lypsykarjapihatton ilmanvaihdon toimivuus.
Kivinen ym., 62 s. Hinta 20 €
- 110 Kotieläinrakennusten lattioiden pinnan laatu. *Puumala ym.* 77 s. Hinta 20 €
- 108 Käyttöveden riittävyys ja laatu maatalouden suurissa tuotantoyksiköissä. *Sorvala ym.*
34 s. Hinta 15 €
- 107 Maatalousteknologisen tutkimuksen teknologiastrategia. *Manni ym.* 54 s. Hinta 20 €
- 99 Kotieläintilojen huoltovarmuus. *Tertsunen ym.* 35 s. (verkkojulkaisu osoitteessa:
www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts99.pdf)
- 94 Johtamisella hyvinvointia – Viljelijöiden johtamistoimea käsittelevän internet- sivus-
ton sisällön luominen. *Leppälä ym.* 28 s. (verkkojulkaisu osoitteessa:
www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts94.pdf).
- 87 Maatilan talouskeskuksen toiminnallinen ja maisemallinen suunnittelu. *Tapani Kivi-
nen.* 67 s. Hinta 20 €
- 85 Teknologialla tulosta! Toinen teknologiapäivä 11.1.2005. MTT maatalousteknologian
tutkimus (Vakola), Vihti. *Kallioniemi (toim.).* 102 s. (verkkojulkaisu osoitteessa:
www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts85.pdf).
- 78 Benefits of agricultural and forestry machinery standardization in Finland. *Teye ym.,*
93 p. Price 20 €
- 72 Jaloittelutarhat – rakenteet ja varusteet. *Puumala.* 17 s., 7 liitettä. Hinta 15 €

