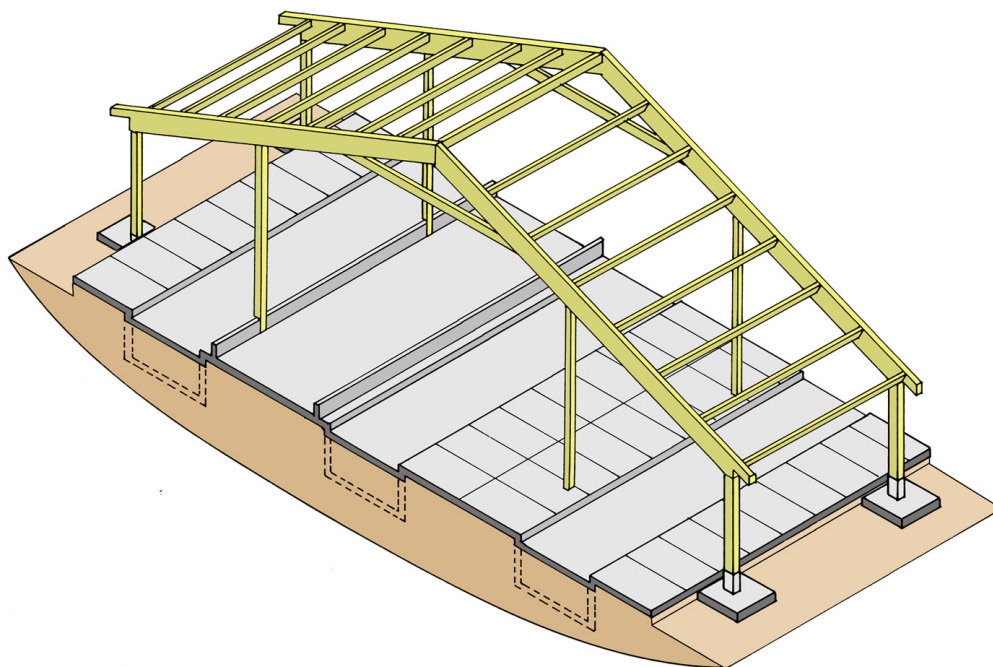


Suurten maatalousrakennusten puurunkoratkaisut

Olosuhdemittaukset ja toiminnalliset mallit

Tapani Kivinen



MTT:n selvityksiä 35
61 s.

Suurten maatalousrakennusten puurunkoratkaisut

Olosuhdemittaukset ja toiminnalliset mallit

Tapani Kivinen

ISBN 951-729-757-2 (Painettu)
ISBN 951-729-758-0 (Verkkajulkaisu)
ISSN 1458-509X (Painettu)
ISSN 1458-5103 (Verkkajulkaisu)
www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts35.pdf

Copyright

MTT

Tapani Kivinen

Julkaisija ja kustantaja

MTT

Jakelu ja myynti

MTT maatalousteknologian tutkimus (Vakola), 03400 Vihti

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

sähköposti: julkaisut@mtt.fi

Julkaisuvuosi

2003

Kannen kuva

Piirtänyt Tapani Kivinen

Painopaikka

Data Com Finland Oy

Suurten maatalousrakennusten puurunkoratkaisut

Olosuhdemittaukset ja toiminnalliset mallit

Tapani Kivinen¹⁾

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

Tiivistelmä

MTT on tehnyt tämän tutkimuksen yhteistyössä VTT:n rakennus- ja yhdyskuntatekniikan kanssa. Tutkimuksessa selvitettiin yhdeksän lypsykarjapihatton ja kolmen sikalarakennuksen kosteus- ja lämpötilaolosuhteita vuoden kestäneellä mittauksella. Olosuhdeselvityksen tarkoituksena oli saada tietoa siitä, millaisiin sisäilmastorasituksiin uusien suurten kotieläinrakennusten rakenteet ja pintamateriaalit joutuvat. Sisäolosuhteisiin näyttivät vaikuttavan kunkin kohteen ilmanvaihtojärjestelmän tekninen toimivuus ja toimintaperiaate. Ilmanvaihdon määrässä oli tuntuvia puutteita. Kotieläinrakennusten ullakko-onteloiden tuulettumisessa oli puutteita. Tutkimuksessa todettiin, että etenkin talviolosuhteissa suhteelliset sisäkosteudet olivat niin suuria, että homeen synty ja esiintyminen oli todennäköistä. Lahovaurioiden syntyrisä oli vähäinen.

Tutkimuksen toisessa vaiheessa kehitettiin konehallien, lypsykarjapihatton ja sikaloitten toiminnalliset pohjaratkaisumallit, jotka vastaavat kotieläintilojen lähitulevaisuuden rakennustarpeita. Pohjaratkaisuihin tutkittiin ja määriteltiin uusia, vähän käytettyjä puumateriaaleihin perustuvia runkorakennemalleja. Uusiksi runkotekniikoiksi konehalleihin suositeltiin naulalevytekniikkaan perustuvaa kolminivelristikkokehää sekä amerikkalaisperäistä post-frame -runkoa. Pihatoihin ja sikaloihin suositeltiin kerto- tai liimapuista kolminivelkehää, vetotangollista ansaristikkoa sekä liimapuista, kolmiaukkoista pilari-palkkirunkoa. Kehitetyt runkorakennejärjestelmät ovat teollisesti esivalmistettavia tyyppiratkaisuja, jotka voidaan tarvittaessa toimittaa tuoteosatoimituksena valmiiksi asennettuna. Kaikki kehitetyt runkotyypit ovat itsensä jäykistäviä, jolloin niitä voidaan käyttää pitkissä rakennuksissa ilman poikittaisia väliseiniä tai jäykistereivauksia.

Avainsanat: leveä maatalousrakennus, konehalli, sikala, pihatto, puurakenteet, naulalevyristikko, kolminivelkehä, kertopuu, liimapuu

Wooden constructions for wide span agricultural buildings

Indoor climate survey and new functional models

Tapani Kivinen ¹⁾

¹⁾MTT Agrifood Research Finland, Agricultural Engineering Research (Vakola), Vakolantie 55, FIN-03400 Vihti, Finland, tapani.kivinen@mtt.fi

Abstract

Agrifood Research Finland has done this study in cooperation with VTT Technical Research Centre of Finland, Building and Transport. In the first phase the indoor climate conditions, relative humidity and temperature, carbon dioxide and ammonia emissions were studied in nine dairy barns and swineries. Conditions seemed to correlate strongly with the ventilation system and its functionality. The ventilation rate was considerably low in most barns. A one year long measurement revealed that the indoor humidity was between 80 – 100 % for long periods especially during the wintertime. The humidity seemed to enable the mould growth on wall and ceiling surfaces. The risk of wood decay was not obvious.

In the second phase new functional wide span lay-outs were designed for machine halls, swineries and dairy barns. The lay-outs were constructed with new wooden load bearing building frames. These new constructions were three hinge trusses and beam frames, Ker-to-wood and gluelaminated post and beam solutions. Characteristic for these frames is also the industrial production line before site operations. A new wooden solution for a self made builder is a post frame system for simple uninsulated machine halls.

Keywords: wide span agricultural buildings, machine halls, swineries, dairy barns, wooden building frame

Alkusanat

Maa- ja metsätalousministeriö rahoitti vuosina 2000 – 2002 maatilatalouden kehittämisrahastosta (Makera) maatalousrakentamiseen kohdentuvaa rakennustutkimusta, joka nimettiin Laturi-ohjelmaksi. Siihen sisältyi yhteensä seitsemän eri tutkimushanketta, joista nyt käsillä oleva tutkimuskokonaisuus keskittyi laajarunkoisten maatalousrakennusten runkokonsepteihin. Tutkimuksen on tehnyt MTT maatalousteknologian tutkimus (Vakola) yhteistyönä VTT rakennus- ja yhdyskuntatekniikan kanssa.

Tutkimustulokset on julkaistu sekä MTT:n että VTT:n julkaisusarjoissa yhteisellä otsikolla *suurten maatalousrakennusten puurunkoratkaisut*. Tämän julkaisun alaotsikko on *olosuhdemittaukset ja toiminnalliset mallit*. VTT:n alaotsikkona on *esivalmistetut runkojärjestelmät*. MTT:n julkaisussa on keskitytty valittujen pihattojen ja sikaloiden olosuhdemittausten tuloksiin sekä uusien konehallien, lypsykarjapihattojen ja sikaloiden pohjaratkaisuihin ja niiden runkorakennemalleihin yleisellä tasolla. MTT:n julkaisu on tarkoitettu kaikille uusista puurunkoratkaisusta kiinnostuneille rakentajille ja suunnittelijoille. VTT:n julkaisu on keskittynyt valittujen runkoratkaisujen rakennustekniikkaan ja mitoitustilanteisiin detajitasolla. VTT:n julkaisu on tarkoitettu rakennus- ja rakennesuunnittelijoille.

Maatalouden rakennemuutoksen myötä yksikkökoko on kasvanut sellaisiin mittoihin, että maatalousrakennuksia voidaan hyvällä syyllä kutsua teollisuusrakennuksiksi. Teollisuusrakennusten kriteerit täyttyvät monella tapaa: kohteet ovat leveitä halliratkaisuja, joihin teollisesti esivalmistetut runko- ja vaippajärjestelmät soveltuvat hyvin. Markkinoilta on puuttanut juuri maatalousrakennuksiin tutkittujen puurunkoratkaisujen esimerkkejä, mistä syystä niitä ei juurikaan ole käytetty käytännön rakentamisessa. Tämä tutkimusaineisto pyrkii paikkaamaan tilannetta ja voimistamaan puuratkaisujen yleistymistä.

MTT:n tutkimusraportin laatimiseen ovat allekirjoittaneen lisäksi osallistuneet rakennusinsinööri Veli-Matti Westman sekä DI Juha Kurkela VTT:ltä. Kiitän heitä mukavasti sujuneesta yhteistyöstä. Olosuhdemittausten kohdetiloille esitän lämpimät kiitokset vuoden pituisesta mittausyhteistyöstä.

Vihdissä 15.2.2003

Arkkitehti Tapani Kivinen

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	7
1.1	Tutkimuskokonaisuus	8
1.2	Olosuhdemittaukset.....	8
1.3	Toiminnalliset mallit.....	8
2	Olosuhdemittausten tulokset	9
3	Tulosten tarkastelu	32
4	Toiminnalliset pohjaratkaisumallit.....	39
4.1	Konehallit.....	39
4.2	Sikalat.....	45
4.3	Lypsykarjapihatot.....	48
5	Lypsykarjapihattojen ja sikaloiden rakenteelliset haasteet	50
6	Lypsykarjapihattoihin ja sikaloihin soveltuvat runkoratkaisut	52
6.1	Kolminivelkehät.....	52
6.2	Vetotangolliset ansarakenteet.....	54
6.3	Liimapuinen pilaripalkkikehä	55
7	Tuotantorakennusten arkkitehtuuri.....	56
8	Yhteenveto.....	59
9	Kirjallisuus	61

1 Johdanto

Laajenevat kotieläintilat ja rakennusten suunnittelijat elävät muutoksen tilassa, jossa uusille rakennuksille haetaan jatkuvasti optimikokoa ja muotoa. Suunnittelijat ovat selvästi ilmaisseet hyvien, tutkittujen esimerkkien puutteen aiheuttavan epävarmuutta rakenneratkaisujen valinnassa. Tilanne on synnyttänyt eri rakennustuotevalmistajien ja erilaisiin materiaaleihin perustuvien konstruktiomallien vapaan kilpailun. Näiden rakenneratkaisujen toiminnasta rakennuksen rasittavissa ympäristöolosuhteissa elinkaaren ajalta ei ole tutkittua tietoa.



Kuva 1. Tyypillinen sikalatyömaa, jossa kantavat seinät ovat betonielementtejä ja kattorakenne naulalevyristikkoa.

Viimeaikaisissa suurissa rakennuskohteissa kattoratkaisuna on käytetty pääasiallisesti naulalevyristikkoa. Tästä rakennusratkaisusta syntyy tilavuudeltaan suuria ullakko-ontelotiloja. Leveärunkoisten tuotantorakennusten ullakkotilojen massavaikutelma muodostuu usein suuremmaksi kuin itse käyttötilan, ja näin luo arkkitehtonista epäsuhtaa.

Tämä tutkimus tuo esiin uusia puurakennustekniikoita kotieläinrakennusten tavanomaisten ratkaisujen vaihtoehdoiksi. Olosuhdemittaukset osoittivat, että puu joutuu vaikeisiin sisä-kosteusolosuhteisiin etenkin talvella. Tilanne ei estä puun laajamittaista käyttöä, jos rakennuksen ilmanvaihdon määrä suunnitellaan riittäväksi ja rakenteet ovat muutoin oikein suunniteltuja.

1.1 Tutkimuskokonaisuus

Tutkimushanke on ollut yhteistutkimus VTT:n Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan kanssa. MTT maatalousteknologian osuutena hankkeessa olivat olosuhdemittaukset yhdeksässä kotieläinrakennuksessa. Tällä tutkimuksella selvitettiin pääasiassa uusien karjarakennusten kosteus- ja lämpötilaolosuhteita sen kokoluokan rakennuksissa, joita hankkeen mallinnusvaiheessa suunniteltiin.

Ensiksi yhdeksässä karjarakennuksessa tehtiin vuoden mittainen olosuhdekartoitus, jolla selvitettiin rakennusten sisäolosuhteita puurakenteiden rasittumisen näkökulmasta. Toisena osana laadittiin konehallien, emakko- ja lihasikaloiden sekä lypsykarjapihatoiden toiminnalliset pohjaratkaisumallit. Malleilla haettiin sitä tulevaisuuden rakennusmuotoa ja mittaamaailmaa – erityisesti jänneväliä - jolla todennäköisesti tullaan seuraavien 10 – 20 vuoden aikana mainittuja rakennustyyppjä toteuttamaan.

1.2 Olosuhdemittaukset

Olosuhdeselvitykseen valittiin yhdeksän eri ikäistä ja kokoista kotieläinrakennusta Lounais-Suomen ja Pirkanmaan alueilta. Tutkimuskohteista kuusi oli lypsykarjapihattoja ja kolme sikalaa. Sikaloista yksi oli emakkosikala ja kaksi purupohjalihasikalaa. Olosuhdeselvityksessä kohteissa seurattiin noin vuoden ajan lämpötilaa ja suhteellista kosteutta Tinytag Ultra TGU 1500 -tiedonkeruuloggereilla. Mittauspisteet olivat sisätilassa, ulkona ja yläpohjan ontelotilassa. Kohteissa käytiin kolme kertaa: viikolla 32/2000 (mittauksen aloitus), viikolla 50/2000 (välitulokset) ja viikolla 32/2001 (mittauksen lopetus). Välitulosten purkamisen yhteydessä kohteissa mitattiin hiilidioksidi- ja ammoniakkipitoisuudet Dräger-diffuusioputkella yhden tunnin mittauksena. Lisäksi mitattiin eläintilojen melutaso. Käyntikerroilla tehtiin myös havaintoja rakenteiden kunnosta. Pihattokohde 6:n mittausajankohta alkoi muista kohteista poiketen vasta viikolla 50 vuonna 2000 ja päättyi viikolla 52 vuonna 2001. Tiedonkeruu tapahtui aluksi Datataker 200 -mallisella 25-kanavaisella tiedonkeruuloggerilla, johon lämpötilatiedot kerättiin termopariantureilla ja kosteustiedot Vaisalan HMP 45A -kosteusanturilla. Viikolla 30/2001 Datataker vaihdettiin Tinytag Ultra -loggereihin.

1.3 Toiminnalliset mallit

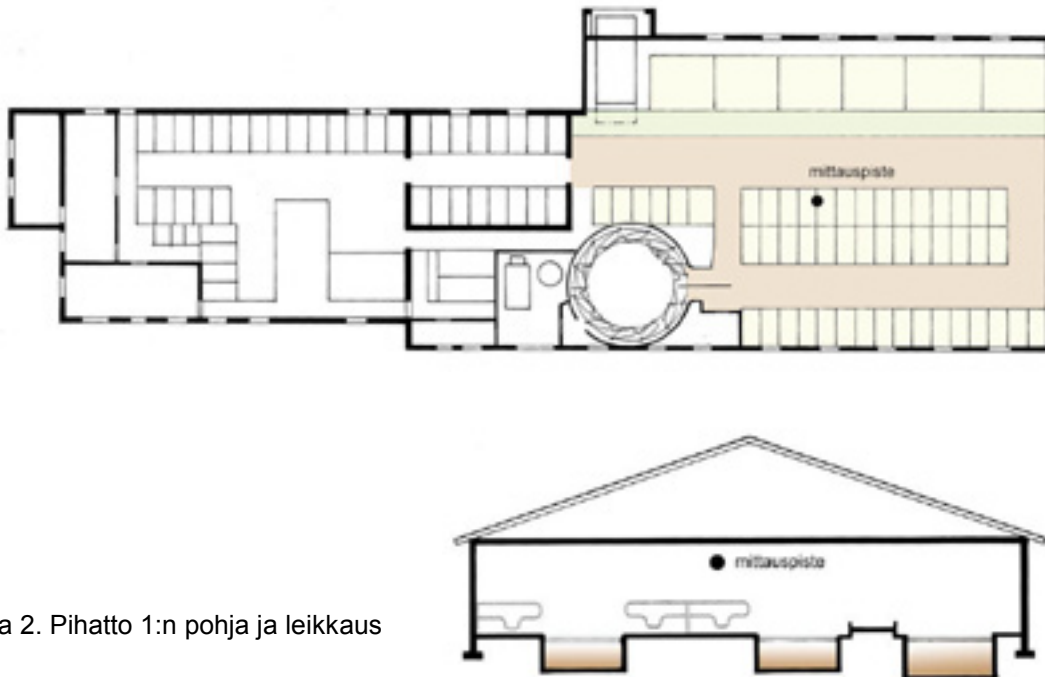
Konehallien, lypsykarjapihatoiden sekä sikaloiden toiminnallisissa pohjaratkaisumalleissa haettiin kotieläinrakennusten lähitulevaisuuden todennäköisiä jännevälejä, joille sitten suunniteltiin uusia, aikaisemmin vähän käytettyjä puisia runkorakenteita. Mallit kehiteltiin yhteistyössä VTT:n rakennus- ja yhdyskuntatekniikan kanssa.

2 Olosuhdemittausten tulokset

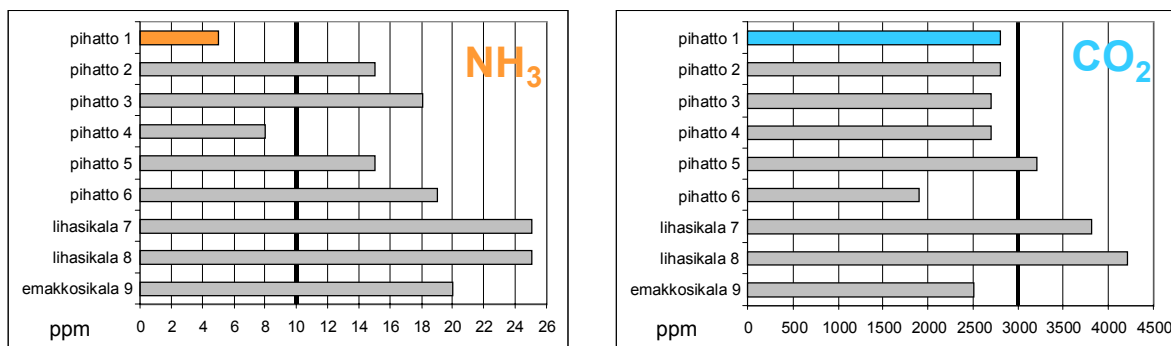
Pääpiirustuksista selvitettiin seurantakohteiden rakennetyypit ja niitä verrattiin toteutettuihin rakenteisiin. Pohjapiirroksissa värillä on osoitettu se alue, jossa mitatut olosuhteet tyyppillisesti vallitsivat. Tiedonkeruulaite asennettiin yleensä keskelle eläntilaa lähelle kattoa, rakennuksen ilmanvaihtoa ohjaavan lämpötila-anturin viereen.

PIHATTO 1

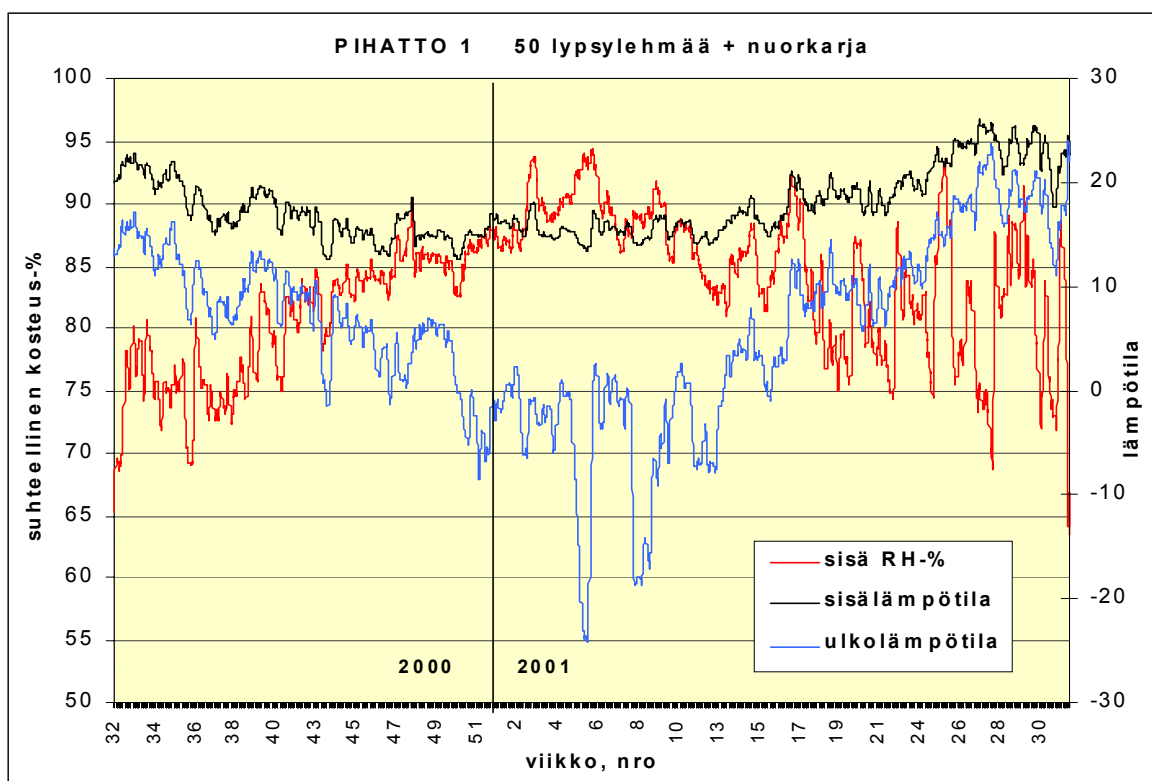
Kohde:	lypsykarjapihatto 50 lehmälle ja nuorkarjalle.
Rakennusvuosi:	1911, 1996 ja 2000.
Pinta-ala:	viimeisimmän laajennuksen ala 900 m ² .
Rakenne:	betonielementtiseinät, paksuus 280 mm, naulalevyristikkokatto, selluvillaeriste 250 mm, sisäkatto alumiinipeltiä, betonilattiat 140 mm + 50 mm solumuovieriste, vapaa sisäkorkeus n. 3 m.
Ilmanvaihto:	alipaineinen ilmanvaihto, 3 huippuimuria, korvausilma tulee tekstiilikanavalla ruokintapöydän yläpuolelle, osapoisto liete-kanavista, ei erillistä lämmityslaitetta.



Kuva 2. Pihatto 1:n pohja ja leikkaus



Kuva 3. Pihatto 1:n hiilidioksidi- ja ammoniakkipitoisuudet joulukuussa 2000.



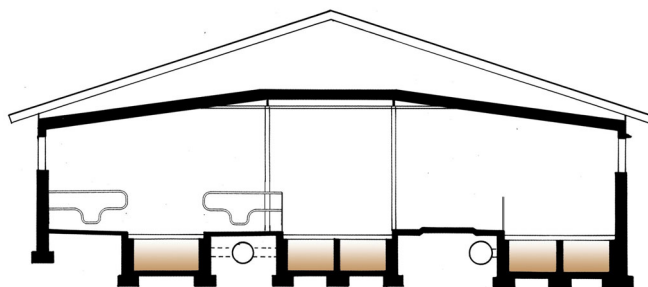
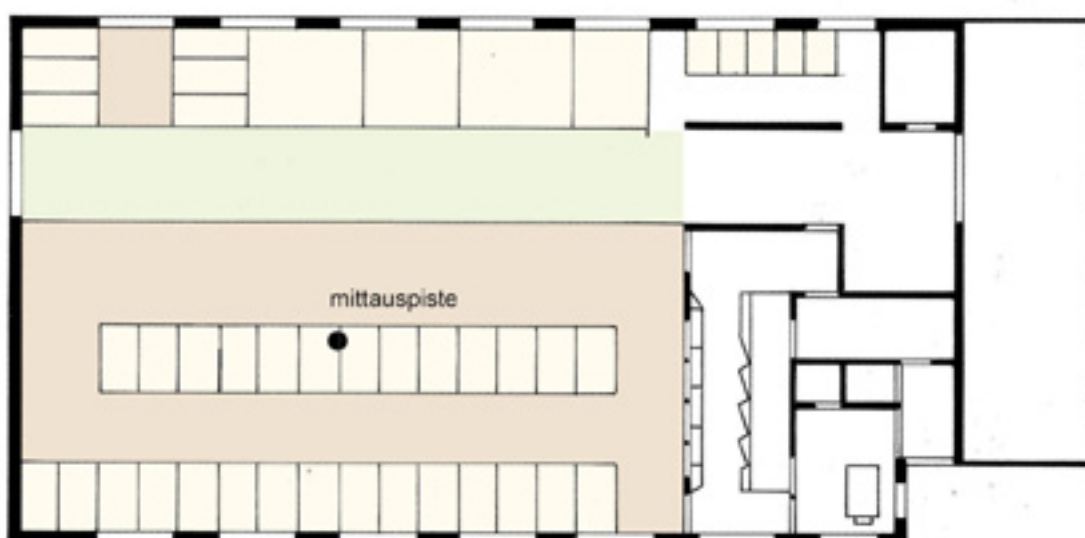
Kuva 4. Pihatto 1:n kosteus- ja lämpötiläkäyrät.

Sisälämpötila pysyi talvikuukausina suhteellisen tasaisesti + 15 C-asteen tuntumassa. Lämpötiläkäyrä osoittaa, kuinka tarkasti lämpötila ohjautuu ilmanvaihdon määrää säättämällä. Kesällä lämpötila seuraili ulkolämpötilää. Sisäilman suhteellinen kosteus oli talvikuukausina keskimäärin 85 %:n tuntumassa ja helmikuussa kohosi yli 90 %:n. Talvikuukausina sisäilman suhteellinen kosteus nousi selvästi silloin, kun ulkolämpötila laski – 10 C-asteen alapuolelle. Talvella seinien sisäpinnoissa oli havaittavissa lievää kosteuden kondensoitumista. Kesäkuukausina sisäilman suhteellinen kosteus laski keskimäärin, mutta vuorokautinen vaihtelu oli suurta ja samalla normaalia.

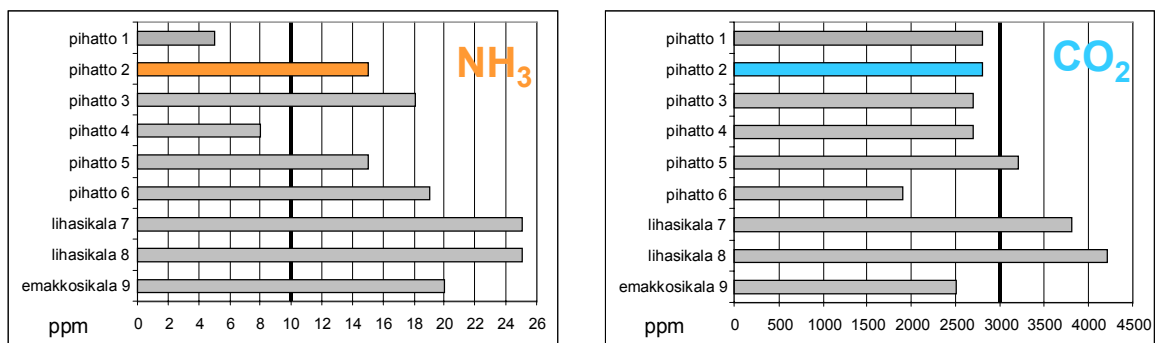
Rakennus on otettu käyttöön kesällä 2000. Tämän vuoksi vaurioita tai muutoksia ei ollut havaittavissa esimerkiksi naulalevyissä. Silmämääräisessä tarkastelussa katto-ontelotilan rakenteet olivat virheettömässä kunnossa.

PIHATTO 2

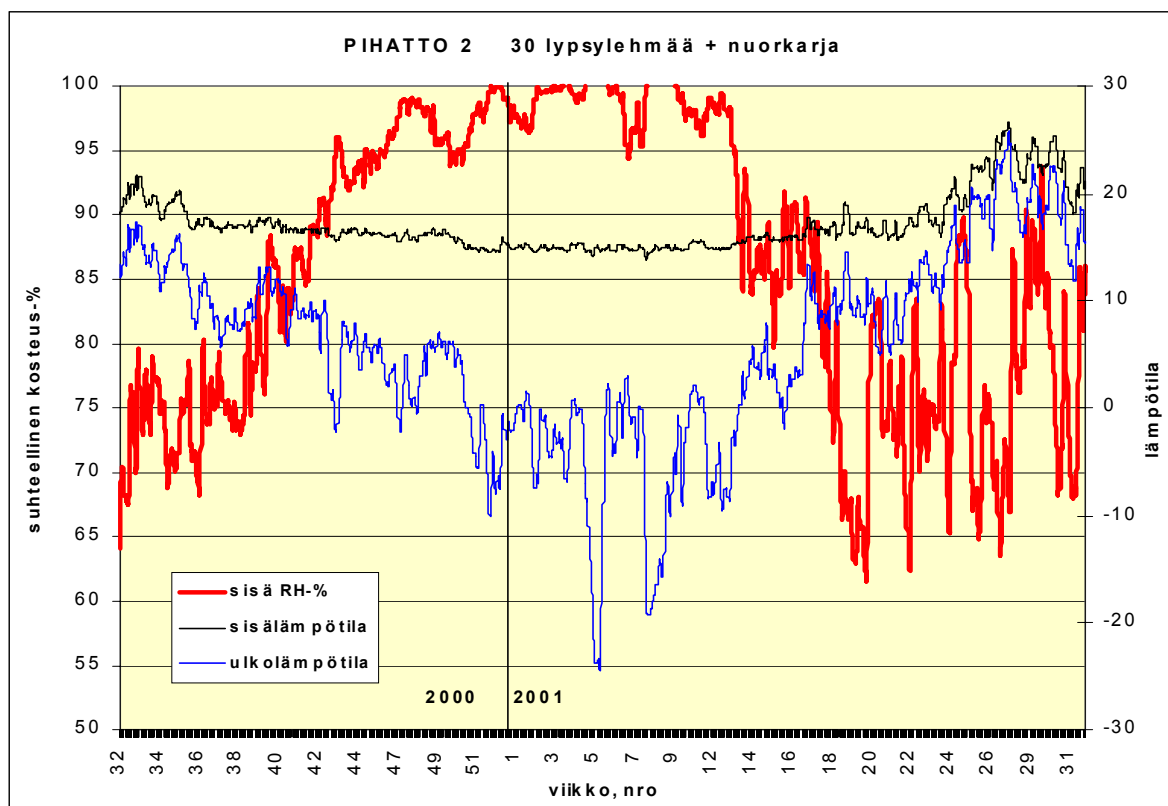
- Kohde: lypsykarjapihatto 30 lehmälle ja nuorkarjalle.
- Rakennusvuosi: 1988.
- Pinta-ala: eläntilat 430 m² , eläntilan jatkona on eristämätön reuhalli.
- Rakenne: seinien alaosat kevytsoraharkkoa, yläosa eristettyä sahatavara-runkoa, naulalevyristikkokatto, jännemitta 16 m, selluvillaeriste 250 mm, sisäkatto alumiinipeltiä, betonilattiat 120 mm + 50 mm solumuovieriste lehmien parsien kohdalla, vapaa sisäkorkeus n. 3 m.
- Ilmanvaihto: alipaineinen ilmanvaihto, pääosa poistosta lietekanavien kautta ns. alapoistona, kesällä käytössä myös huippuimuri, korvausilma tulee venttiilien kautta ullakko-ontelosta, pihatossa on erillinen lämmityslaite, joka kytkeytyy päälle kun ulkolämpötila laskee - 20 C-asteeseen.



Kuva 5. Pihatto 2:n pohja ja leikkaus



Kuva 6. Pihatto 2:n hiilidioksidi- ja ammoniakkipitoisuudet.



Kuva 7. Pihatto 2:n kosteus- ja lämpötiläkäyrät.

Sisälämpötila pysyi talvikuukausina hyvin tasaisesti + 15 C-asteen tuntumassa. Kesälämpötila käyttäytyi normaalisti ulkolämpötilan mukaan. Sisäilman suhteellinen kosteus nousi jo marraskuun alussa yli 90 %:n ja pysyi lähes kastepisteessä maaliskuun puoliväliin asti. Talvella seinäpintoissa oli havaittavissa kosteuden kondensoitumista. Kesällä suhteellinen kosteus laski, ja vuorokautinen vaihtelu oli suurta ja samalla normaalia.

Silmämääräisessä tarkastelussa ontelotilan rakenteet olivat virheettömässä kunnossa joskin naulalevyissä oli vähäisessä määrin valkoruostetta. Satunnaisesta kohdasta tarkistettuna yläpohjan eristeen sisällä olevan NR-rakenteen solmukohdassa puuosat ja naulalevy olivat virheettömiä.



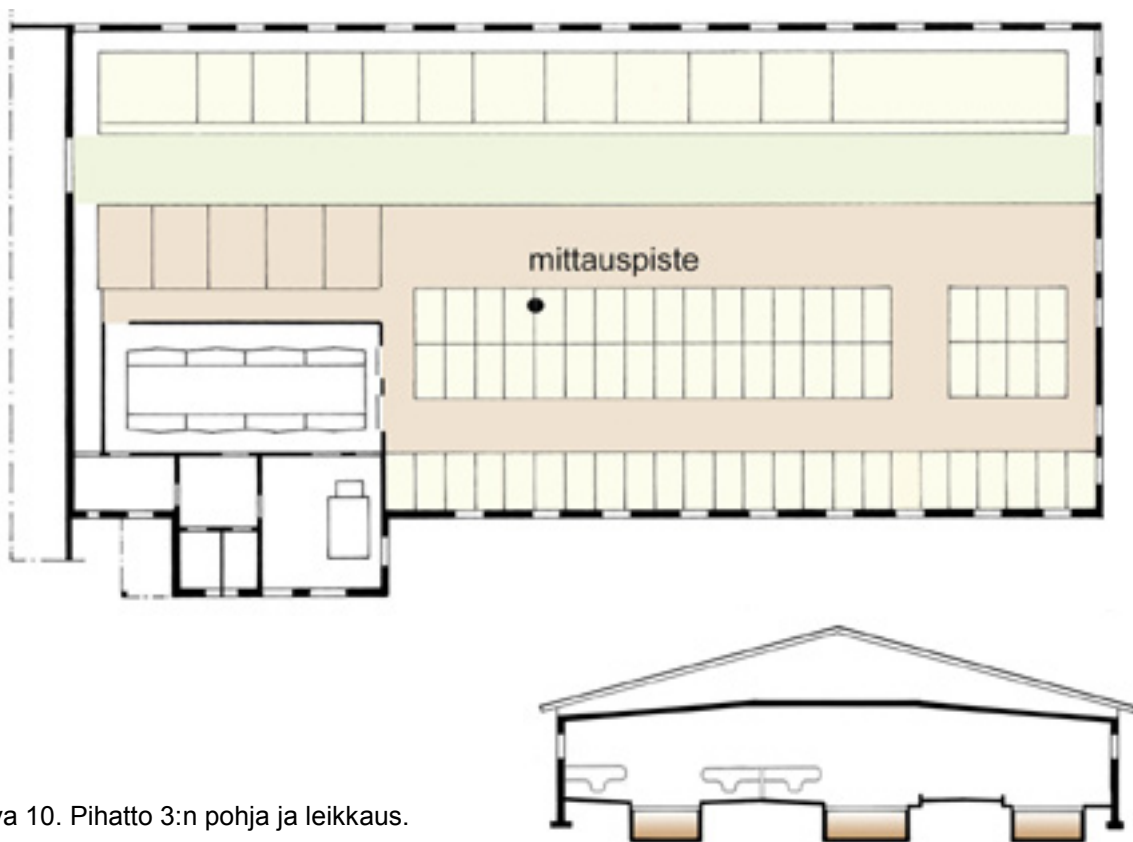
Kuva 8. Ulkokuva pihatosta 2. Alapoiston ulkokanavat ja imurit näkyvät rakennuksen päädyssä. Kesäilmanvaihdon poistokanava on katon harjalla.



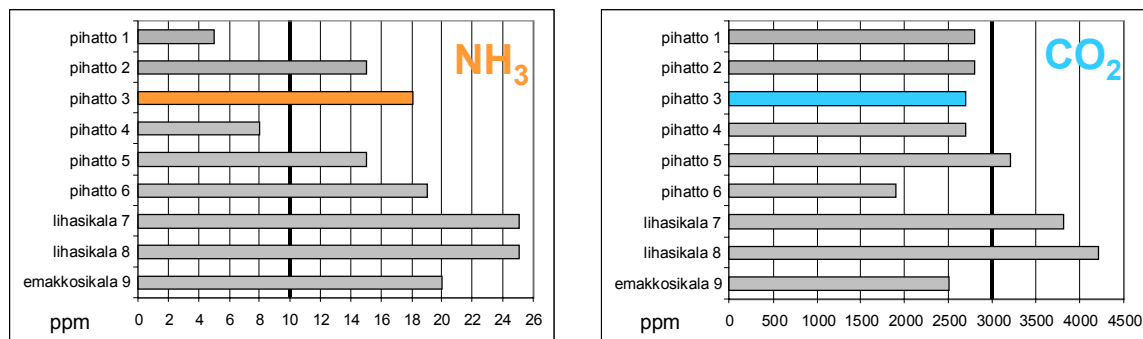
Kuva 9. Sisäkuva pihatosta 2.

PIHATTO 3

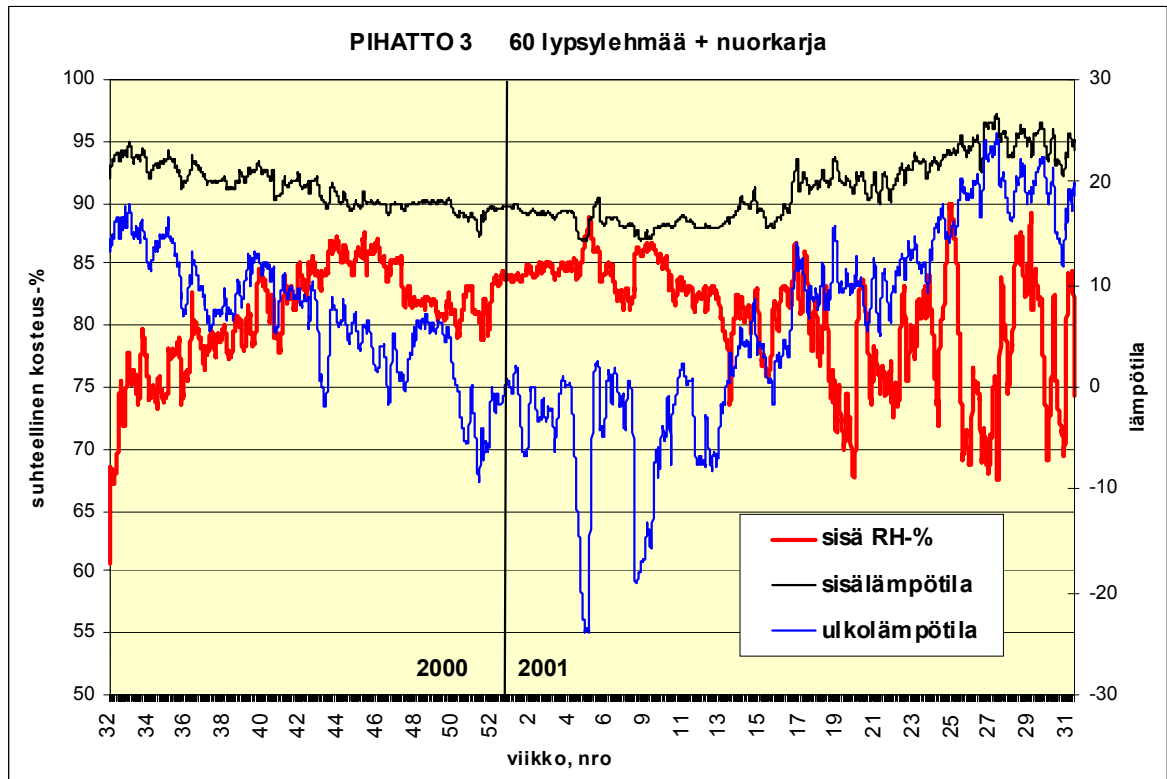
- Kohde: lypsykarjapihatto 60 lehmälle ja nuorkarjalle.
Rakennusvuosi: 1999.
Pinta-ala: eläintilat 970 m², eläintilan jatkona on eristämätön rehuhalli.
Rakenne: seinät betonielementtiä, paksuus 280 mm, naulalevyristikkokatto, jännemitta 21 m, selluvillaeriste 250 mm, sisäkatto alumiinipeltiä, betonilattiat 120 mm + 50 mm solumuovieriste, vapaa sisäkorkeus n. 3,3 m.
Ilmanvaihto: alipaineinen ilmanvaihto, katossa 4 kpl tulo- ja poistoilmalaitteita, lietekanavista osa alapoistona, ei erillistä lämmityslaitetta.



Kuva 10. Pihatto 3:n pohja ja leikkaus.



Kuva 11. Pihatto 3:n hiilidioksidi- ja ammoniakkipitoisuudet.

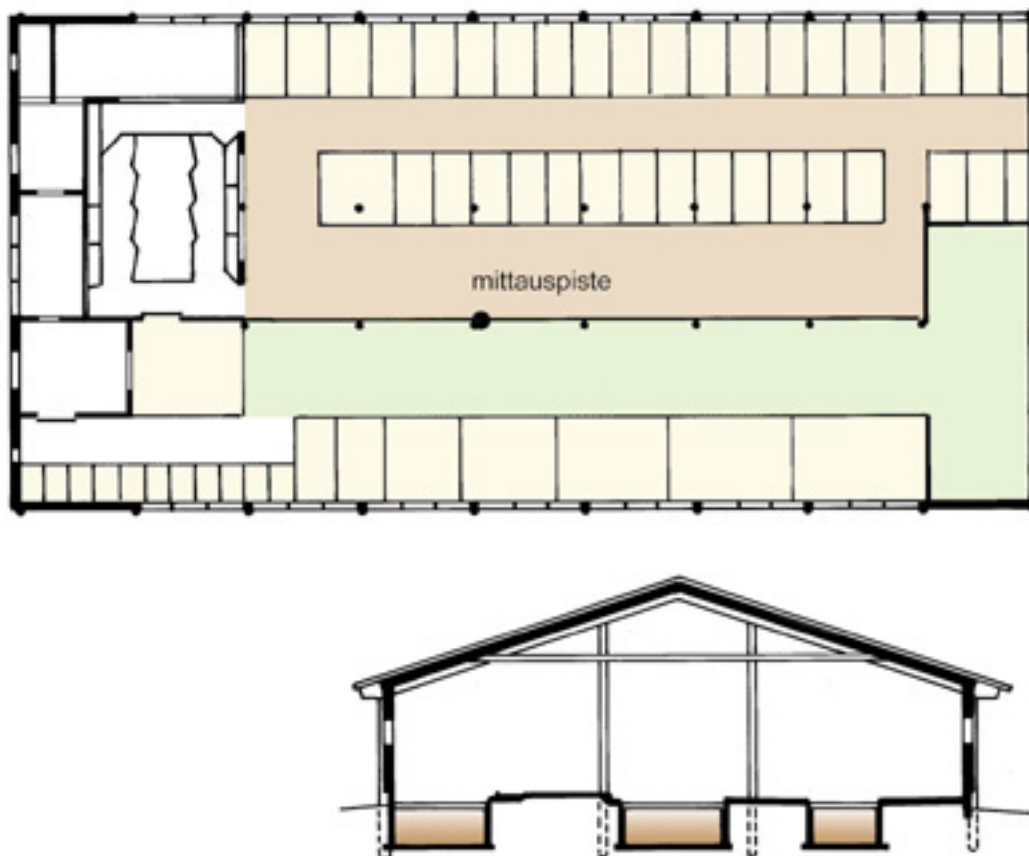


Kuva 12. Pihatto 3:n kosteus ja lämpötiläkäyrät.

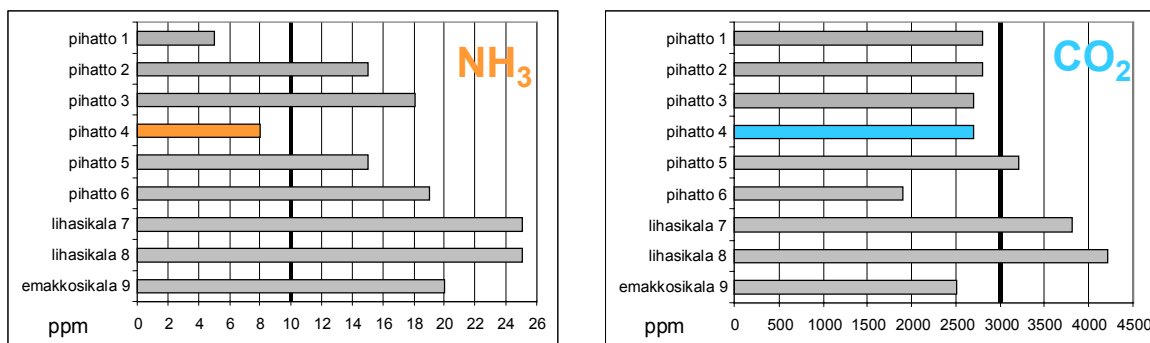
Lämpötila oli talvikuukausina vertailukohteita korkeampi + 17 ja + 19 C-asteen tuntumassa. Sisäilman suhteellinen kosteus nousi talvikuukausina keskimäärin 85 %:n tuntumaan ja pysyi siinä. Kosteuden kondensoitumista pinnoille ei ollut havaittavissa talvella. Silmä-määräisessä tarkastelussa ontelotilan rakenteet olivat virheettömässä kunnossa. Satunnai-sesta kohdasta tarkistettuna yläpohjan eristeen sisällä olevan NR-rakenteen solmukohdan puuosat ja naulalevy olivat virheettömiä.

PIHATTO 4

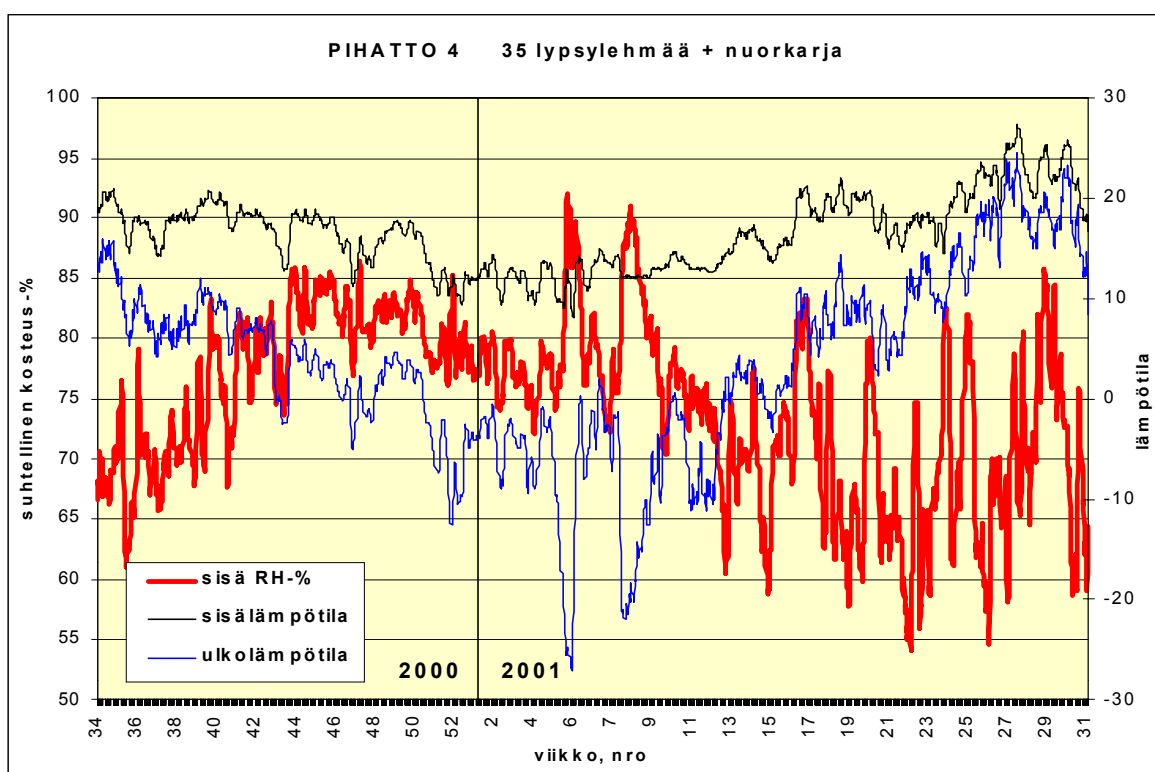
- Kohde: lypsykarjapihatto 35 lehmälle ja nuorkarjalle.
Rakennusvuosi: 1991.
Pinta-ala: eläintilat 544 m².
Rakenne: runkojärjestelmänä kantavat puupilarit ja palkit, vesikatto ja ulkoseinät ovat puurakenteisia elementtejä, eristepaksuus 150 mm, jännemitta 16 m, sisäkatto puuelementin maalattu lauta, alapohja 120 mm betonivalu, 50 mm solumuovieriste.
Ilmanvaihto: alipaineinen IV lietekanavien kautta alapoistona, korvausilma tuodaan hallin yläosaan pituussuuntaisella kanavalla, kesällä huippuimuri käytössä, ei erillistä lämmityslaitetta.



Kuva 13. Pihatto 4:n pohja ja leikkaus.



Kuva 14. Pihatto 4:n hiilidioksidi- ja ammoniakkipitoisuudet.



Kuva 15. Pihatto 4:n kosteus- ja lämpötiläkäyrät.

Sisälämpötila vaihteli talvikuukausina 10 – 20 C-asteen välillä. Kesällä lämpötila seuraili normaalisti ulkolämpötilää. Sisäilman suhteellinen kosteus pysyi talvella keskimäärin 83 %:n tuntumassa. Kaksi lyhytaikaista kosteuspiikkiä johtuivat kohteessa meneillään olleesta laajennustyömaasta, minkä vuoksi eläinhalli oli ajoittain auki työmaata vasten. Talvikaudella rakenteissa ei näkynyt kondenssipintoja, mutta rehunkäsittelytilan katto oli homopilkuston tummentama alhaisemman lämpötilan ja puutteellisen ilmanvaihdon vaikutuksesta. Kesäkuukausien suhteellisen kosteuden vaihtelut olivat normaaleja.



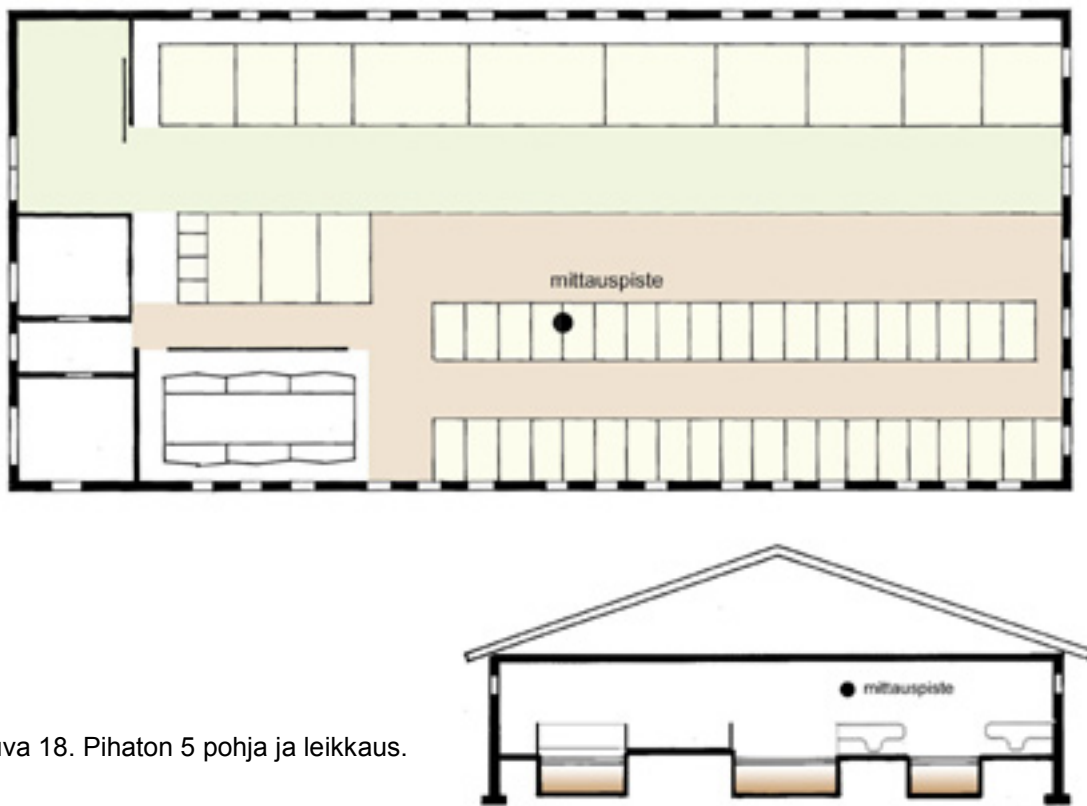
Kuva 16. Sisäkuva pihatosta 4. Keskellä eläintilaa ja rehutilaa jakava seinä. Oikealla eläintilan lautoitettujen seinät ja katto ovat lähinnä pölyisiä, mutta eivät homeessa. Vasemmalla rehutilan vastaavat pinnat ovat tumman homepilkkuston peitossa. Syynä tähän on lämpökuorman (eläinten) puuttuminen tilasta. Samalla ilman kierto ja vaihtuminen rehutilassa on puutteellinen.



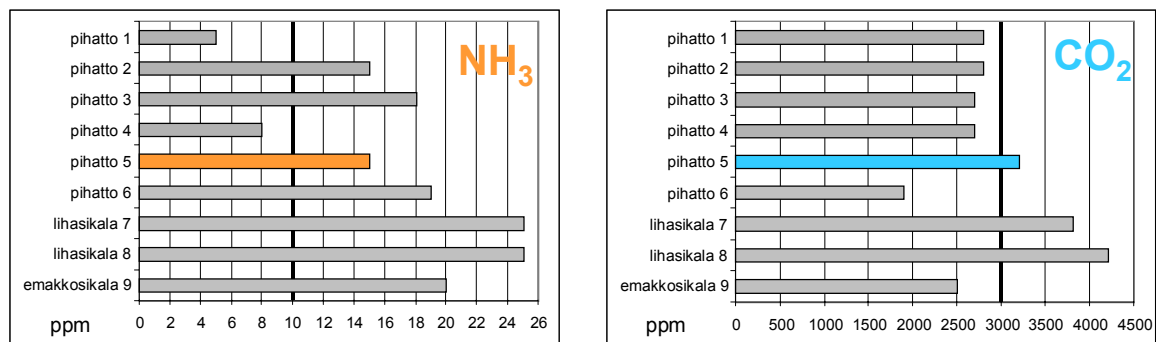
Kuva 17. Sisäkuva pihatosta 4, katon yläosassa näkyvät tuloilman jakokanavat.

PIHATTO 5

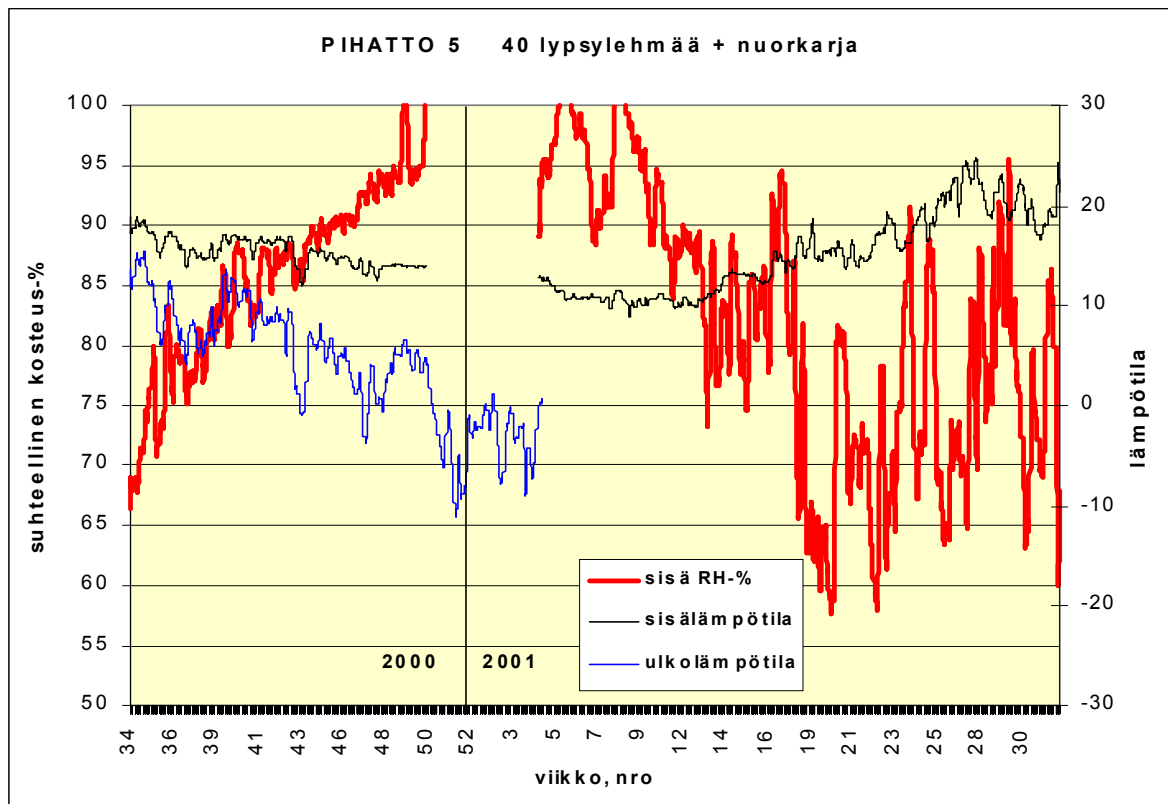
- Kohde: lypsykarjapihatto 40 lehmälle ja nuorkarjalle.
 Rakennusvuosi: 1999.
 Pinta-ala: eläintilat 800 m².
 Rakenne: seinät betonielementtejä, paksuus 280 mm, naulalevyristikko-katto, jännemitta 19 m, selluvillaeriste 200 mm, sisäkatto maalattu jäykistävä vaneri, betonilattiat 120 mm + 50 mm solumuovieriste, vapaa sisäkorkeus n. 3,3 m.
 Ilmanvaihto: alipaineinen ilmanvaihto, huippumurit + sekoittavat tuloilma-laitteet, osapoisto lietekanavien kautta alapoistona, talvella alapoisto toimii pääasiallisena poistona, ei erillistä lämmityslaitetta.



Kuva 18. Pihatton 5 pohja ja leikkaus.



Kuva 19. Pihatton 5:n hiilidioksidi- ja ammoniakkipitoisuudet.



Kuva 20. Pihatto 5:n kosteus- ja lämpötilakäyrät.

Sisälämpötilan ja kosteuden mittausdatassa on kahden kuukauden katkos talvella 2000/2001. Samoin ulkolämpötiladatasta puuttuu kevät 2001 kokonaan. Katkosten syynä on mitta-antureiden paristojen tyhjentyminen ja vajaatoiminta pakkasessa.

Sisälämpötila pysyi alkutalvesta noin + 15 C-asteen tuntumassa. Kevättalvella sisälämpötila laski + 11 C-asteen tuntumaan. Kesän lämpötilaolosuhteet olivat normaalit. Sisäilman suhteellinen kosteus nousi jo marraskuun alussa yli 90 % ja pysyi lähes kastepisteessä maaliskuun puoliväliin asti.

NR-ristikoiden naulalevyissä vähäisissä määrin valkoruostetta. Sisäkatossa (maalattu vaneri) oli homepilkkustoa rehun purkutilassa. Ulko-ovien sisäpinnoissa (filmi-vaneri) oli talvella havaittavissa homepilkkujen lisäksi kondensoitumista.



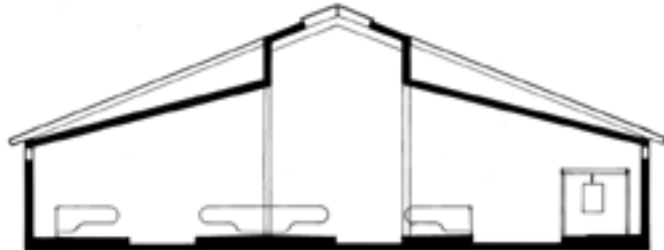
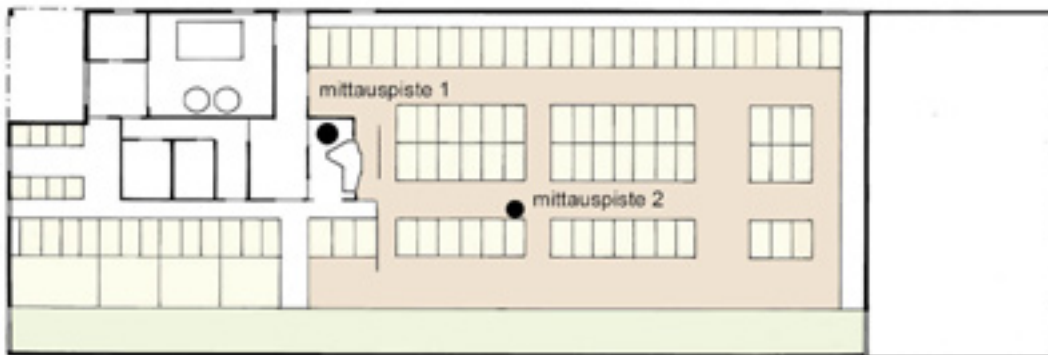
Kuva 21. Sisäkuva pihatosta 5. Maalattu vanerikatto on siisti.



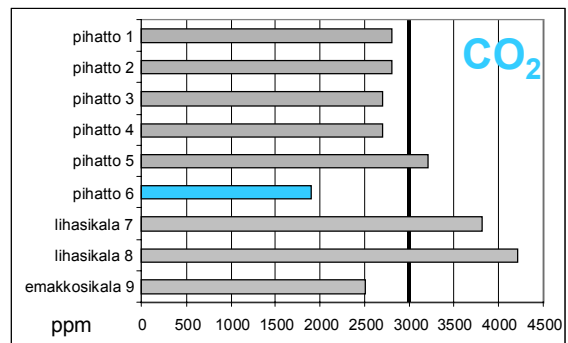
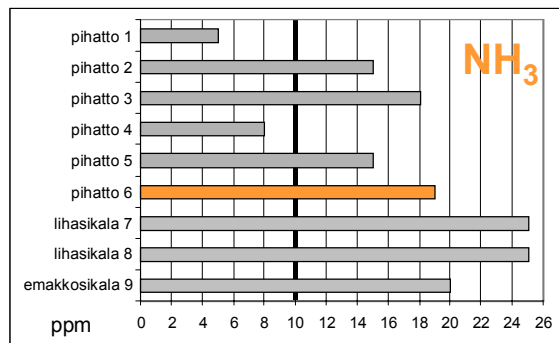
Kuva 22. Sisäkuva pihaton 5 rehunpurkutilasta. Maalattu vanerikatto on homepilkuston peittämä.

PIHATTO 6

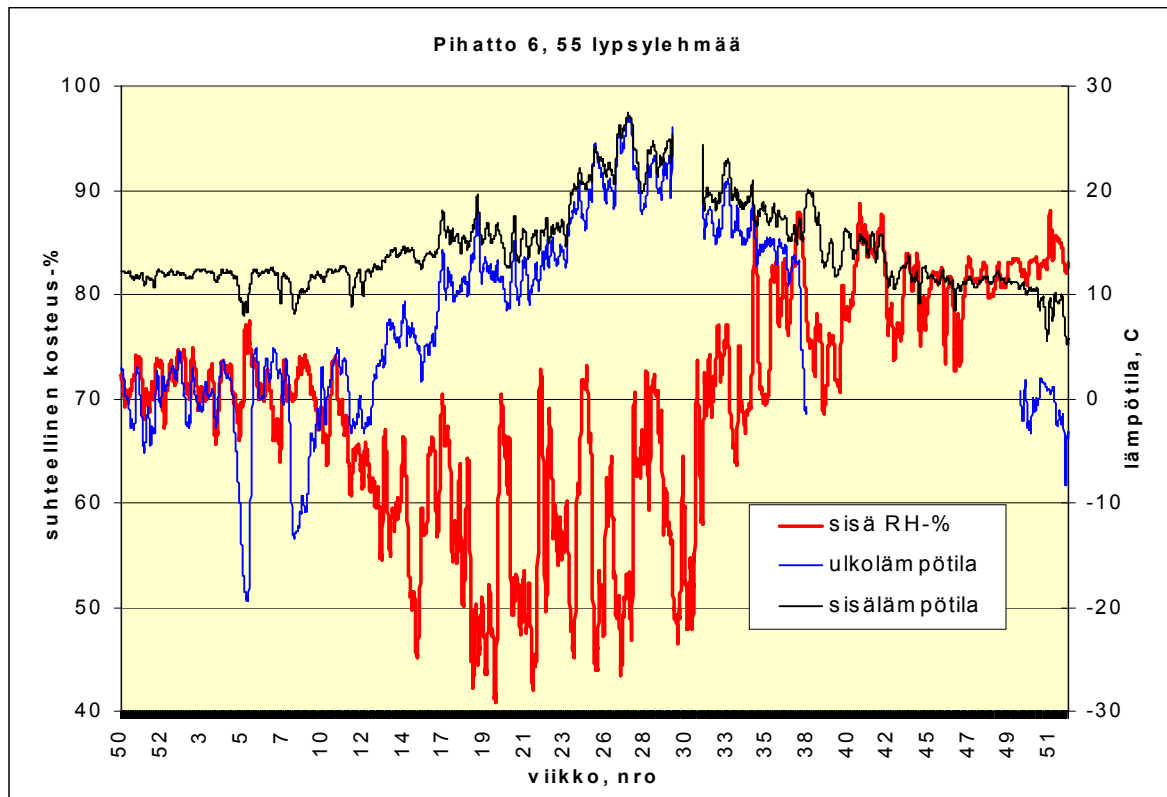
- Kohde: lypsykarjapihatto 55 lehmälle.
Rakennusvuosi: 2000.
Pinta-ala: eläintilat 1544 m².
Rakenne: seinät kantavia betonielementtejä, paksuus 280 mm, naulalevyristikkokatto, joka tuettu teräspilarien ja liimapuupalkkien vaaraan, jännemitta 22 m, selluvillaeriste 200 mm, sisäkatto alumiinipelti, betonilattiat 120 mm + 50 mm solumuovieriste.
Ilmanvaihto: painovoimainen, ei erillistä lämmityslaitetta.



Kuva 23. Pihatto 6:n pohja ja leikkaus.



Kuva 24. Pihatto 6:n hiilidioksidi- ja ammoniakkipitoisuudet



Kuva 25. Pihatto 6:n kosteus- ja lämpötiläkäyrät.

Lämpötila- ja kosteus seuranta ajoittuivat tässä kohteessa muista kohteista poiketen joulukuusta 2000 joulukuuhun 2001. Mittauspiste 1 oli lypsrobotin läheisyydessä elokuuhun 2001 asti ja siirrettiin loppukaudeksi pisteeseen 2. Ilman laatu parametrit mitattiin tammi-kuussa 2001. Mittausdatassa on katkos heinäkuussa 2001, mikä johtui ukkosen aiheuttamasta häiriöstä. Ulkolämpötiladataa puuttuu, mikä johtuu antureiden paristojen vajaatoiminnasta.

Lämpötila pysyi talvikuukausina tasaisesti + 13 C-asteen tuntumassa. Pakkaskausina lämpötila laski tilapäisesti + 6 C-asteeseen, ja kosteus kondensoitui ja jäättyi tulo- ja poistoikkunoiden pinnoille. Kondenssia ei ollut havaittavissa seinä- tai kattopinnoilla. Jää sulii heti pakkokausien hellitettävä. Kesällä lämpötila kohosi + 20 C-asteeseen ja seuraili ulkolämpötilää. Sisäilman suhteellinen kosteus pysyi keskimäärin 73 %:n tuntumassa mittausjakson ensimmäisenä talvena eli joulukuusta 2000 maaliskuuhun 2001. Kesällä kosteuskäyttäytyminen oli normaalia vuorokausivaihtelua. Mittausjakson toisena talvena eli marraskuusta joulukuuhun 2001 suhteellinen kosteus kohosi keskimääräisesti 80 %:iin. Katon ristikkotilassa havaittiin kohonneita kosteusarvoja, joiden arveltiin johtuvan ontelotilan puutteellisesta tuuletuksesta. NR-ristikoiden naulalevyissä oli valkoruostetta jo työmaavaiheessa.



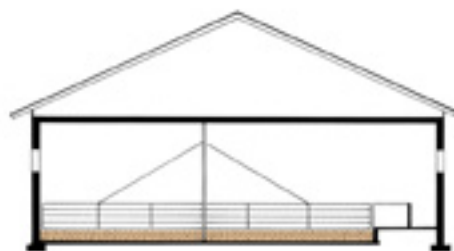
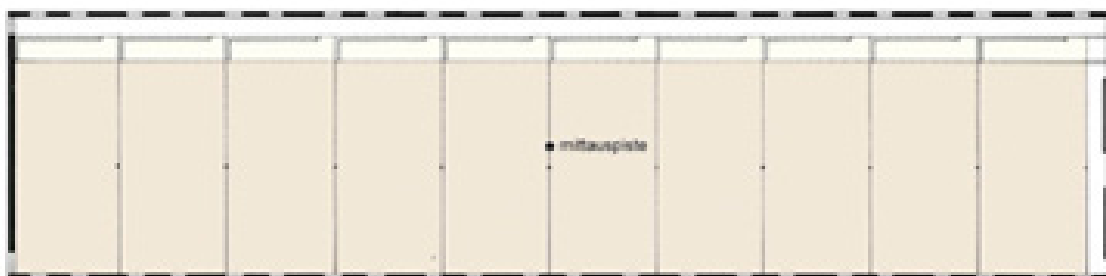
Kuva 26. Pihatto 6:n vesikaton ristikkotilan tuulettuminen harjalle on estynyt, koska kuvassa oikealla oleva eristeen suojana oleva tuulensuojalevy liittyy suoraan vesikaton aluskatteeseen. Katso myös leikkausta kuvassa nro 23.



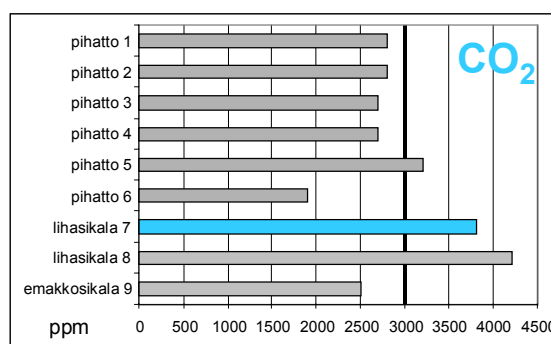
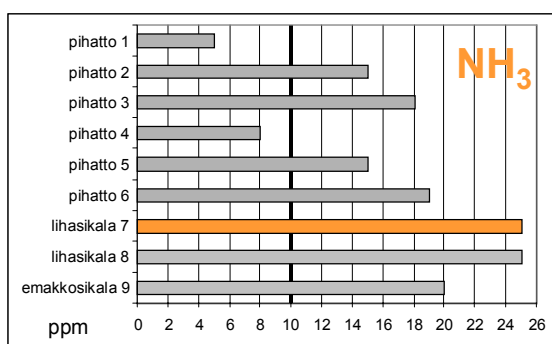
Kuva 27. Pihatto 6:n ullakko-ontelon tuulettuvuutta on parannettu päätyihin tehdyillä säleikoilla, joiden kautta ilma pääsee liikkumaan rakennuksen pituussuunnassa.

LIHASIKALA 7

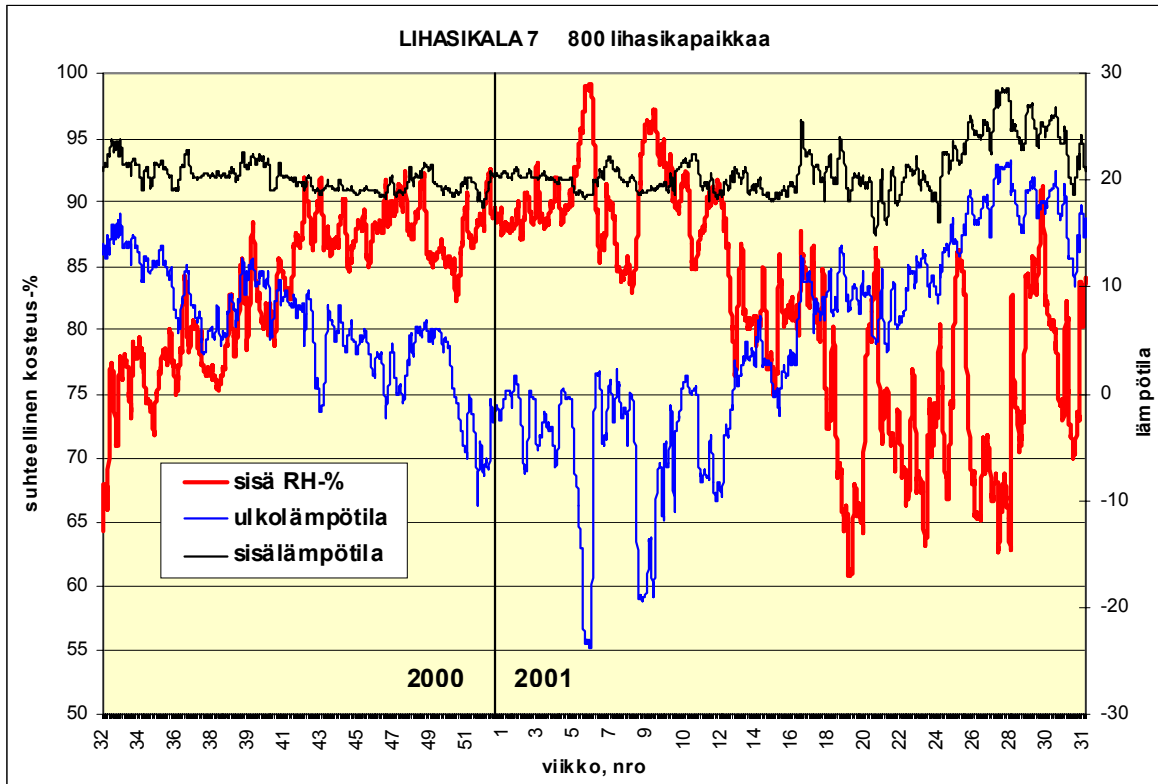
- Kohde: purupohjasikala 800 lihaskialle.
Rakennusvuosi: 1995.
Pinta-ala: eläintilat 960 m².
Rakenne: seinät kantavia kevytsoraelementtejä, paksuus 300 mm, päädyt kevytsoraeristeharkkoja, naulalevyristikkokatto, jännemitta 15,5 m, kutterinlastu- ja sahanpurueriste 400 mm, sisäkatto höylälätty puupaneli, betonilattiat 100 mm.
Ilmanvaihto: neljä huippuimuria, korvausilma seinäluukuista, hakelämpö, vesikiertopatterit, huippupakkasilla lisäksi puhallinpatterit.



Kuva 28. Lihaskalan 7:n pohja ja leikkaus.



Kuva 29. Pihatto 6:n hiilidioksidi- ja ammoniakkipitoisuudet.

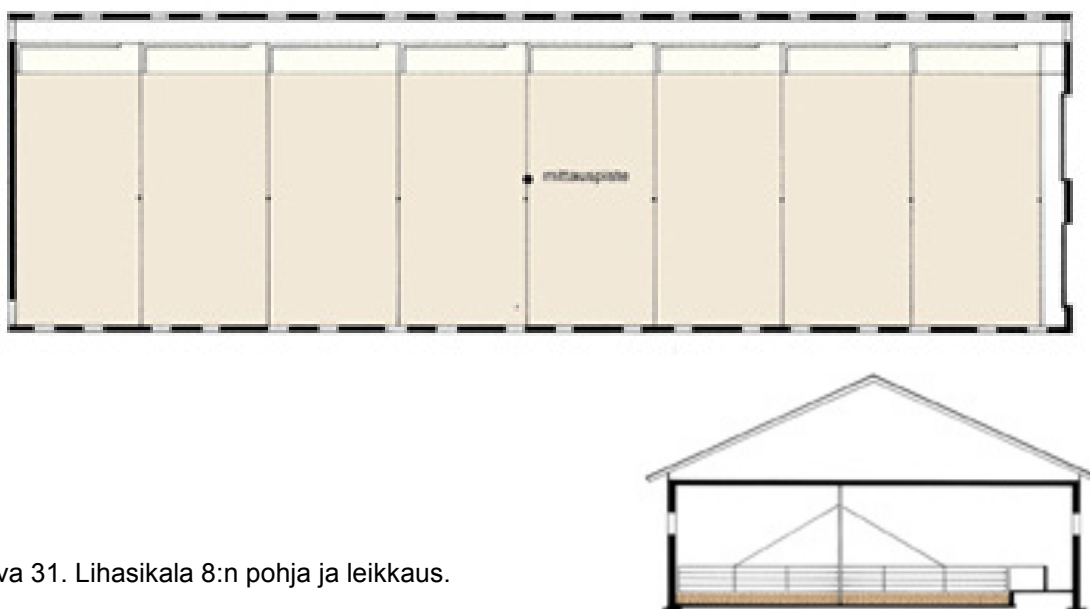


Kuva 30. Lihasikala 7:n lämpötila- ja kosteuskäyrät.

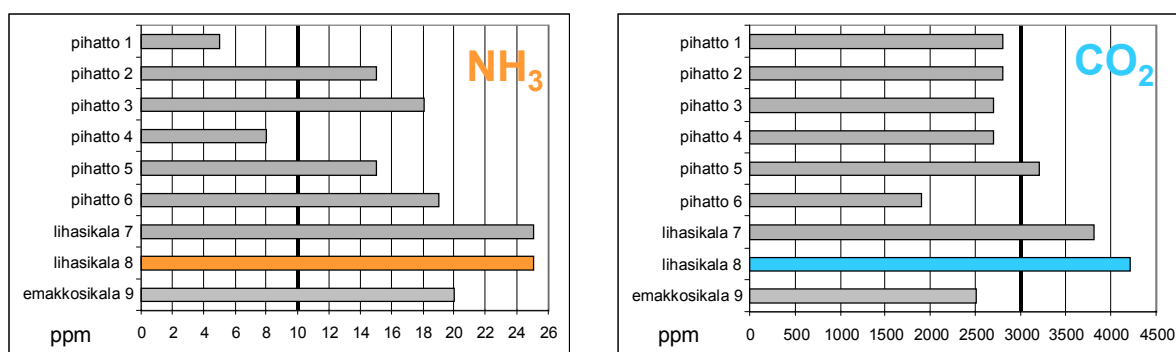
Lämpötila pysyi talvikuukausina tasaisesti noin + 20 C-asteessa. Keväällä ja kesällä sisälämpötila seurasi ulkolämpötiloja. Kesähelteillä lämpötila nousi tilapäisesti jopa yli + 30 C-asteen. Sisäilman suhteellinen kosteus nousi jo marraskuun alussa 90 %:n tuntumaan ja oli ajoittain jopa 100 %. Kosteuden kondensoitumista oli talvikuukausina havaittavissa seinien kylmissä kohdissa, kattopinnoilla lähellä ulko-ovia sekä ovien pielirakenteissa. Kattopinnoilla oli havaittavissa lievää homeen muodostumista Ullakko-ontelossa nr-ristikoiden harja-alueen naulalevyissä oli runsaasti valkoruostetta. Ontelotilan tuuletus vaikutti puutteelliselta. Kutterinlastu-sahanpurueriste oli puhdasta ja kuivaa. Eristeen sisässä olevat ristikoiden puuosat olivat virheettömiä.

LIHASIKALA 8

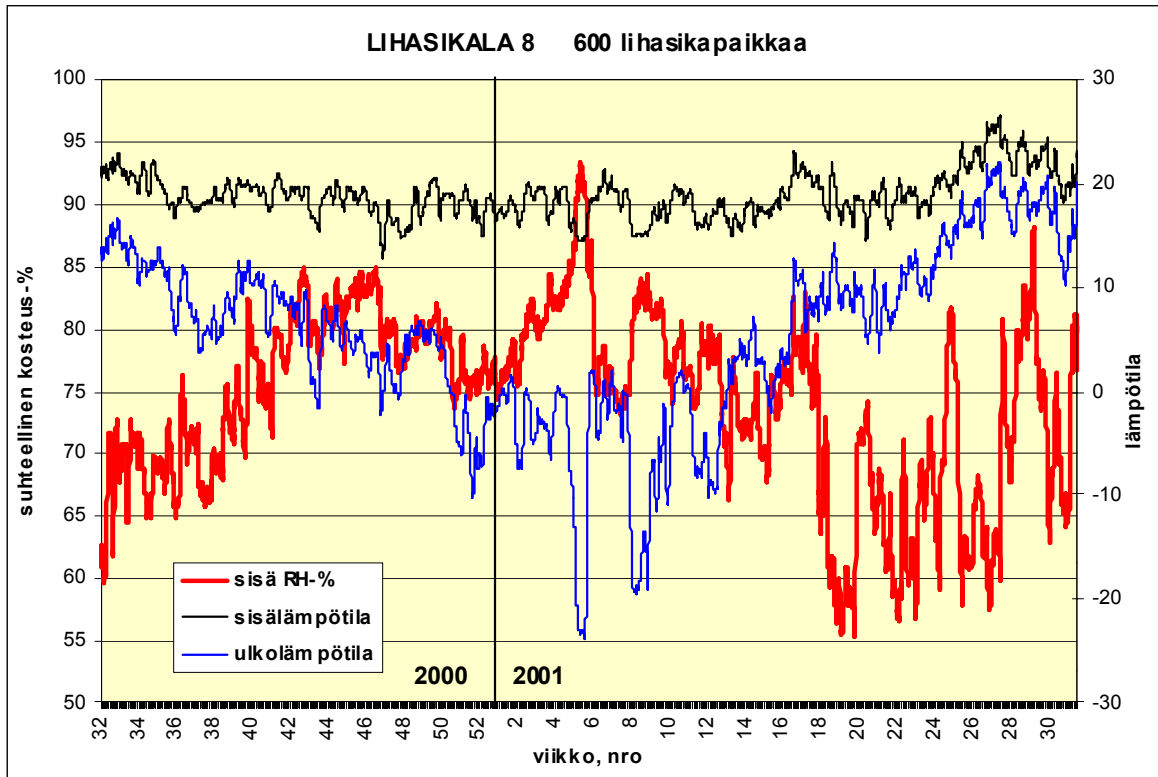
- Kohde: purupohjasikala 600 lihaskialle.
Rakennusvuosi: 1998.
Pinta-ala: eläintilat 750 m².
Rakenne: seinät kantavia betonielementtejä, paksuus 300 mm, naulalevyristikkokatto, jännemitta 15 m, selluvillaeriste 200 mm, sisäkatto höylätty puupaneli, betonilattiat 100 mm.
Ilmanvaihto: kolme huippuimuria, korvausilma seinäluukuista itkupintatuloilmalaitteen kautta, hakelämpö, vesikiertopatterit, huippupakkasilla lisäksi puhallinpatterit.



Kuva 31. Lihaskala 8:n pohja ja leikkaus.



Kuva 32. Lihaskala 8:n hiilidioksidi- ja ammoniakkipitoisuudet



Kuva 33. Lihasikala 8:n lämpötila- ja kosteuskäyrät.

Lämpötila pysyi talvikuukausina tasaisesti noin + 18 C-asteen tuntumassa, vaihteluväli oli +13 - +21 °C. Sisäilman suhteellisessa kosteuskäyrässä on havaittavissa itkupintatuloilmalaitteen kosteutta alentava vaikutus talvikautena, jolloin kosteus oli keskimäärin 80 %. Korkeimmillaan kosteus kävi 93 %:ssa erittäin kylmän pakkasjakson aikana. Hetkelliset kohoumat kosteudessa johtuvat täytepohjan sekoittamisen ajaksi avattujen päätyovien aiheuttamasta lämpötilan laskusta.

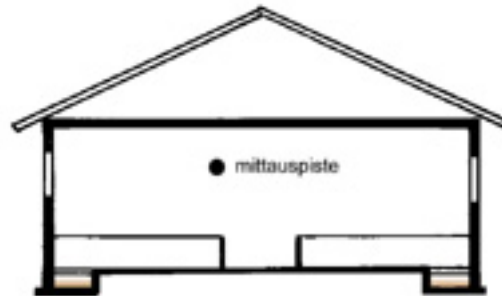
Silmämääräisessä tarkastelussa ontelotilan rakenteet olivat virheettömässä kunnossa. Satunnaisesta kohdasta yläpohjan eristeen sisällä tarkastellun nr-rakenteen solmukohtaan puuosat ja naulalevy olivat virheettömiä. Naulalevyissä esiintyi valkoruostetta. Eristekerroksen pinnalla oli näkyvissä katepellistä valuvan kondenssiveden tippumisjälkiä. Ontelotilan tuuletus vaikutti puutteelliselta.



Kuva 34. Lihaskala 8:n sisäkuva. Seinän ja katon liittymäkohdassa on itkupintatuloilmalaite. Katto-
paneloinnin pinta on puhdas ja virheetön.

EMAKKOSIKALA 9

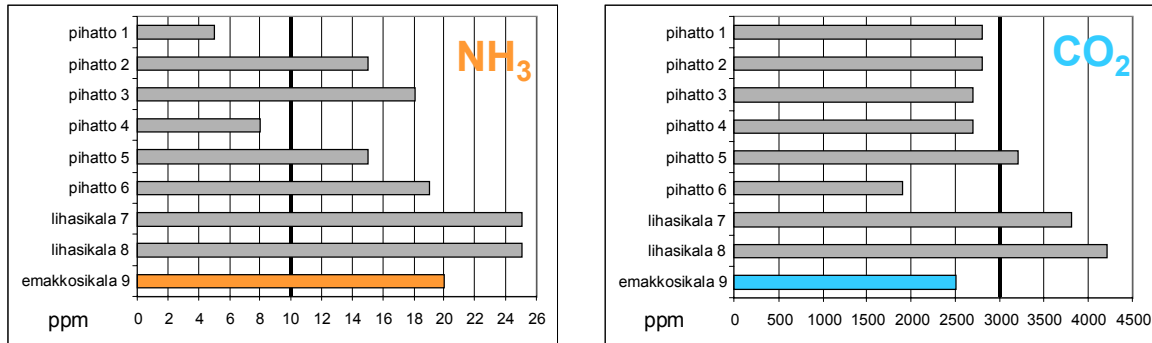
Kohde:	emakkosikala 80 emakolle.
Rakennusvuosi:	1990.
Pinta-ala:	eläintilat 543 m ² .
Rakenne:	seinät kantavia puuelementtejä, paksuus 200 mm, naulalevyristikkokatto, jännemitta 9,4 m, selluvillaeriste 200 mm, sisäkatto alumiinipeltiä, betonilattiat 100 mm + 50 solumuovieriste karsinoiden kohdalla.
Ilmanvaihto:	huippumurit, korvausilma seinäluukuista, hakelämpö, vesikiertopatterit, lattialämmitys karsinoiden makuualueiden alla.



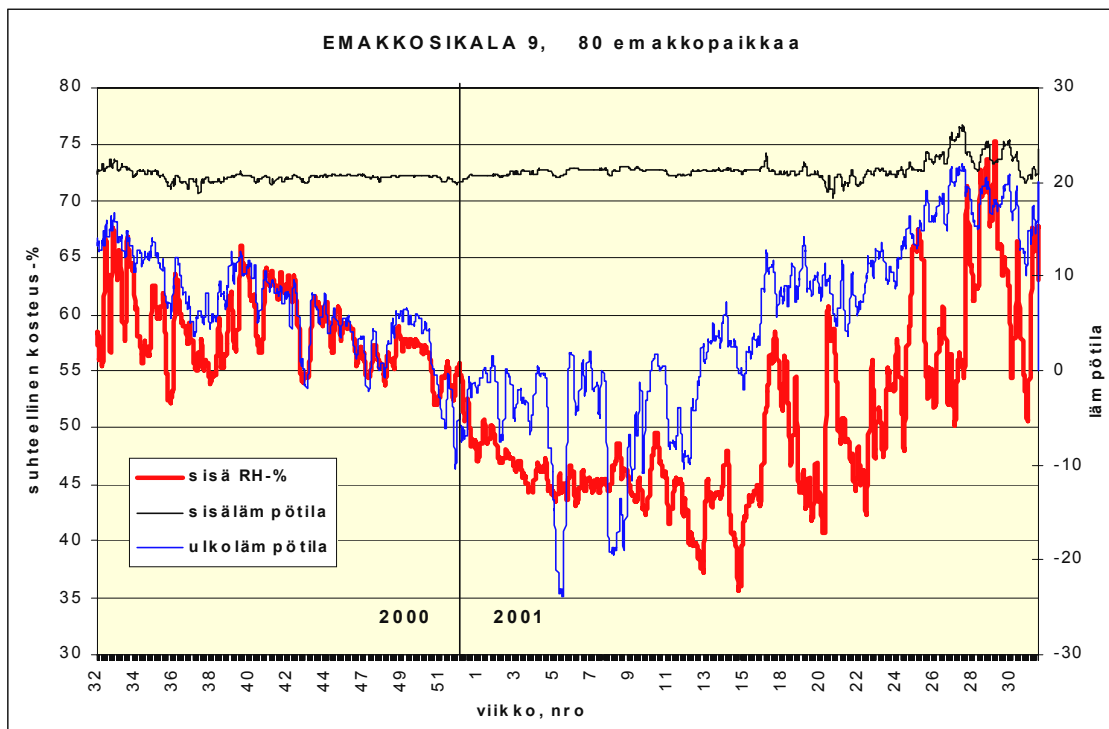
Kuva 35. Emakkosikala 9:n pohja ja leikkaus.



Kuva 36. Sisäkuva emakkosikala 9:n porsitusosastolta, jonka lämpötila oli hyvin tasainen ja sisäkosteus yllättävän alhainen koko seurantajakson ajan.



Kuva 37. Emakkosikala 9:n hiilidioksidi- ja ammoniakkipitoisuudet. Ilman laatu mitattiin kaikista kolmesta osastosta erikseen. Kuvassa esiintyvät arvot ovat keskimmäisestä porsitusosastosta. Vierotusosastossa hiilidioksidipitoisuus oli 3000 ppm ja ammoniakkipitoisuus 10 ppm. Joutilasosastossa hiilidioksidipitoisuus oli 2800 ppm ja ammoniakkipitoisuus 35 ppm (tiedot eivät ole kuvassa mukana).



Kuva 38. Emakkosikala 9:n lämpötila- ja kosteuskäyrät. Sisäolosuhteiden lämpötila ja kosteusanturi oli sijoitettu rakennuksen keskimäiseen porsitusosastoon.

Lämpötila pysyi seurantajakson talvikuukausina erittäin tasaisesti + 20 °C:ssa. Kesäkuukausina lämpötila kohosi ulkolämpötilaa seuraten. Sisäilman suhteellinen kosteus laski kesäkuukausien 60 %:sta talvikuukausiksi keskimäärin 45 %:iin. Ilmiölle ei ole selkeää selitystä. Oletettavasti eläinten lukumäärä huonetilavuuteen nähden on sopiva tai jopa väljä. Putkipatterien lisäksi karsinoissa oli lattialämmitys eläinten makuualueiden kohdalla, mikä osaltaan on vaikuttanut tasaisen lämpötilan ja kuivan sisäilman syntyyn.

Silmämääräisessä tarkastelussa ontelotilan rakenteet olivat virheettömässä kunnossa. Satunnaisesta kohdasta tarkistettuna yläpohjan eristeen sisällä olevan kattotuolirakenteen solmukohdan puuosat ja naulalevyt olivat virheettömiä. Yläpohjan ontelon tuuletus oli hyvin järjestetty. Tuuletusrako räystäällä oli noin 100 mm.

3 Tulosten tarkastelu

Naulalevyristikoiden naulalevyissä havaittu ns. valkoruoste on valkeaa sinkkihydroksidia ($Zn(OH)_2$). Sinkkioksidihydroksidikerros on tilava, huokoinen ja huonosti kiinni sinkin pinnassa. Näin ollen se ei kykene suojaamaan sinkin pintaa vedessä olevan hapen vaikutukselta. Siksi korroosioprosessi voi jatkua niin kauan kuin pinnoilla on kosteutta jäljellä. Kun pinnat pääsevät kuivumaan, syöpyminen lakkaa ja ilman päästessä vapaasti sinkin pinnalle muodostuu korroosiotuotteista normaali suojakerros (Suomi-Lindberg ym. 1999).

Valkoruostetta syntyy naulalevyn pinnalle, jos naulalevy on kosteissa, tuulettamattomissa olosuhteissa. Käytännössä valkoruostetta voi syntyä levyihin jo ristikoiden varastointivaiheessa, mikäli ristikot ovat tiiviissä nipussa ja kosteudelle alttiina. Toinen mahdollinen syy valkoruosteen syntymiselle on tuulettamaton ja kostea yläpohjan ontelotila. Olosuhdeselvityskohteissa ainakin pihaton 6:n tapauksessa valkoruoste on muodostunut ristikoiden varastointivaiheessa, sillä kyseinen pihatto oli mittauksien alkaessa vielä rakenteilla. Muissa kohteissa ei voida aukottomasti todeta missä vaiheessa valkoruoste on syntynyt levyn pinnoille (Kurkela ym. 2003).



Kuva 39. Naulalevyssä olevaa valkoruostetta jo työmaavaiheessa pihatossa nro 6.

Voidaan kuitenkin todeta että ontelotilojen huono tuulettuminen ja mahdollinen sisätilan kosteuden kulkeutuminen ontelotilaan luo suotuisat olosuhteet valkoruosteen syntymiselle. Toisissa kohteissa oli valkoruostetta havaittavissa myös kattoruoteiden kiinnityksessä käytetyissä sinkityissä lankanauloissa. Tämä on merkki ontelotilan huonosta tuuletuksesta. Lihaskala 8:ssä korvausilma otetaan ontelotilasta ja tietyissä olosuhteissa -esimerkiksi

silloin kun ovet ovat auki täytempurun vaihdon tai lisäämisen vuoksi- ilman kulkusuunta kääntyy päinvastaiseksi eli sisätilasta virtaa kosteaa ilmaa ontelotilaan (Kurkela ym. 2003).

Tehdyistä havainnoista voidaan vetää johtopäätös, että ontelotilan tuulettumiseen ei kiinnitetä riittävästi huomiota suunnitteluvaiheessa. Muut merkittävät havainnot eli homepilkut ja kondensoituminen taas kertovat sisätilan liian korkeasta suhteellisesta kosteudesta. Havainnot tukevat mittaustuloksia. Runsaimmin homepilkustoa esiintyi pihatto 5:n rehtilan katossa, jossa katon sisäpintana oli maalattu vaneri. Vaneri oli valittu sisäpinnan materiaaliksi rakenteellisista syistä. Vanerilevykenttä toimii rakennuksen jäykistävänä osana. Muissa kohteissa katon sisäpinnan materiaali oli joko alumiinipelti tai lautaverhous (Kurkela ym. 2003).

Kun sisätilan olosuhteiden merkitystä tarkastellaan rakenteiden kestävyyskannalta, voidaan esittää raja-arvot, joissa sisäilman lämpötilan ja kosteuden kuuluisi olla, jotta puurakenteisiin ei syntyisi laho- tai homevaurioita.

Taulukko 1. Homeen ja lahon synnylle otolliset kosteus- ja lämpötilaolosuhteet vaikutusajan suhteen (Kokko ym. 1999).

	Home	Laho
RH (%), vaikuttava kosteusalue	> 75 – 95	> 90 – 95
C (°), vaikuttava lämpötila-alue	0 – 55	5 – 50
T (aika), RH:n ja C:n vaikutusaika	vrk – vko – kk	vko – kk – v

Ongelmien kehittymiseen ja puun säilyvyyteen vaikuttavat olennaisesti sekä kosteus ja lämpötila että niiden vaikutusaika. Homeen kehittymiseen tarvittava ilman suhteellinen kosteus on alempi ja vaikutusaika huomattavasti lyhyempi kuin vastaava lahon kehittymiseen tarvittava aika. Laho kehittyy lähinnä vain silloin, kun ilman suhteellinen kosteus on hyvin pitkään yli 95 % ja puun kosteus lähellä puun syiden kyllästymispistettä (puun kosteus 25 - 30 %). Alle 90 - 92 %:n ilman suhteellisessa kosteudessa ei lahon kehittymistä ole havaittu otollisissakaan lämpötiloissa. Olosuhteiden vaihtelevuudella on merkittävä vaikutus homesienien kehittymiselle (Kokko ym. 1999). Taulukkoon 2 on koottu mitattujen kohteiden vuotuisia olosuhdetietoja. Erilaisten olosuhteiden kesto esitetään %-lukuna vuotuisesta ajasta, olosuhteet on jaoteltu seuraavasti:

Taulukko 2. Kosteus- ja lämpötilatekijöiden vaikutusalueiden luokittelu.

Vaikutusalue	Suhteellinen kostus-%.	Lämpötila (°C)	
A	≥ 90	≥ 20	vastaa olosuhteita, jotka hyvin pitkään jatkuessaan mahdollistavat lahon synnyn
B	≥ 90	≥ 15	
C	≥ 80	≥ 20	vastaa olosuhteita, jotka jatkuessaan mahdollistavat homeen synnyn
D	≥ 80	≥ 15	

Taulukko 3. Tutkittujen kohteiden olosuhteiden jakaantuminen erilaisiin olosuhdeluokkiin ajan perusteella. Taulukon luku kertoo prosentteina, kuinka suuri osuus ajasta kuuluu kyseiseen olosuhdeluokkaan. Taulukon olosuhdeluokat: A ($R_h \geq 90\%$ ja $t \geq 20\text{ °C}$), B ($R_h \geq 90\%$ ja $t \geq 15\text{ °C}$), C ($R_h \geq 80\%$ ja $t \geq 20\text{ °C}$), D ($R_h \geq 80\%$ ja $t \geq 15\text{ °C}$). Taulukossa n (kpl) on mittaushavaintojen lukumäärä ja t (vrk) mittauksen kesto aika. Tummennetut arvot edustavat vaativimpia olosuhteita.

Kohde	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	N (kpl)	t (vrk)
Pihatto 1	2,4	9,5	11,7	52,8	8748	365
Pihatto 2	0,9	31,1	4,1	52,2	8712	363
Pihatto 3	0,5	0,6	14,4	60,7	8721	364
Pihatto 4	0,1	0,2	3,1	15,8	3279	342
Pihatto 5	0,7	3,5	2,2	21,1	7757	323
Pihatto 6	0,0	0,1	0,3	6,2	9000	375
Lihaskala 7	6,8	15,5	29,2	63,0	8689	362
Lihaskala 8	0,2	1,3	5,9	22,0	8689	362
Emakkosikala 9	0,0	0,0	0,0	0,0	8689	362

Emakkosikalan olosuhteita ei ole syytä verrata muihin kohteisiin, koska rakennuksen toiminnalliset ominaisuudet poikkeavat muista kohteista: eläintiheys ja siten kosteuden tuotto on alhaisempi ja lattialämmitys edistää sisäilman kuivumista. Taulukon tummennetut arvot edustavat rankimpia olosuhteita.

Taulukosta voidaan vetää mm. seuraavat johtopäätökset:

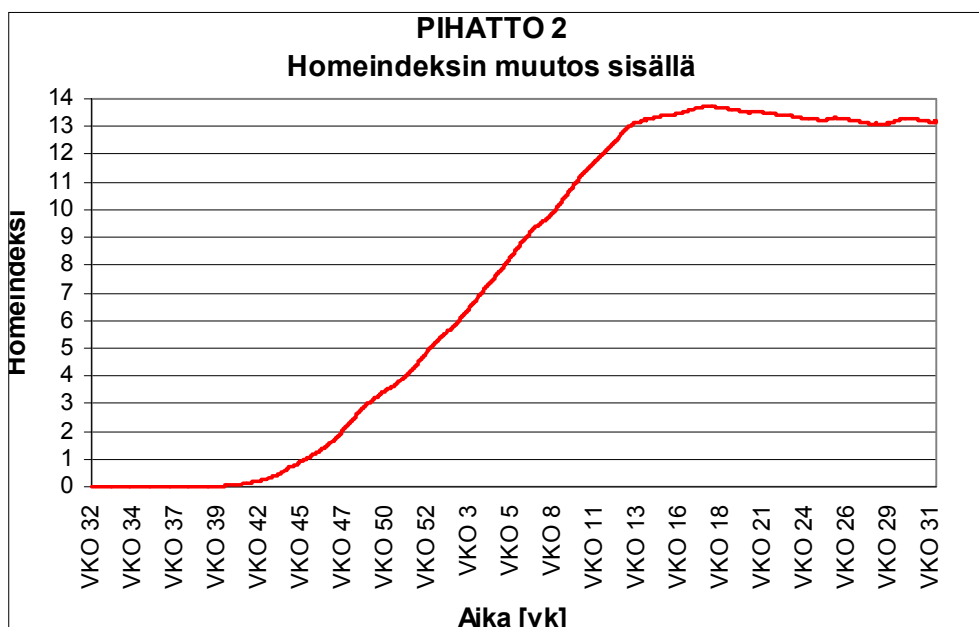
- lahoriskiä ei ole missään seurantakohteessa poislukien paikalliset lahovauriot, jotka aiheutuvat esimerkiksi väärästä rakenteiden detaljisuunnittelusta
- homeriski vähintään mahdollinen puolessa kohteissa (tummennetut arvot)

Homeen synnylle on olennaista myös kasvualusta, esimerkiksi pihatton nro 4 lautakatossa, pihatton nro 5 vanerikatossa ja lihasikalan 7 paneelikatossa havaittiin homepilkkuja. Vastaavasti muissa kohteissa ei tehty merkittäviä homehavaintoja. Kuitenkaan taulukon 3 perusteella pihatot 4 ja 5 eivät kuuluisi riskiryhmään.

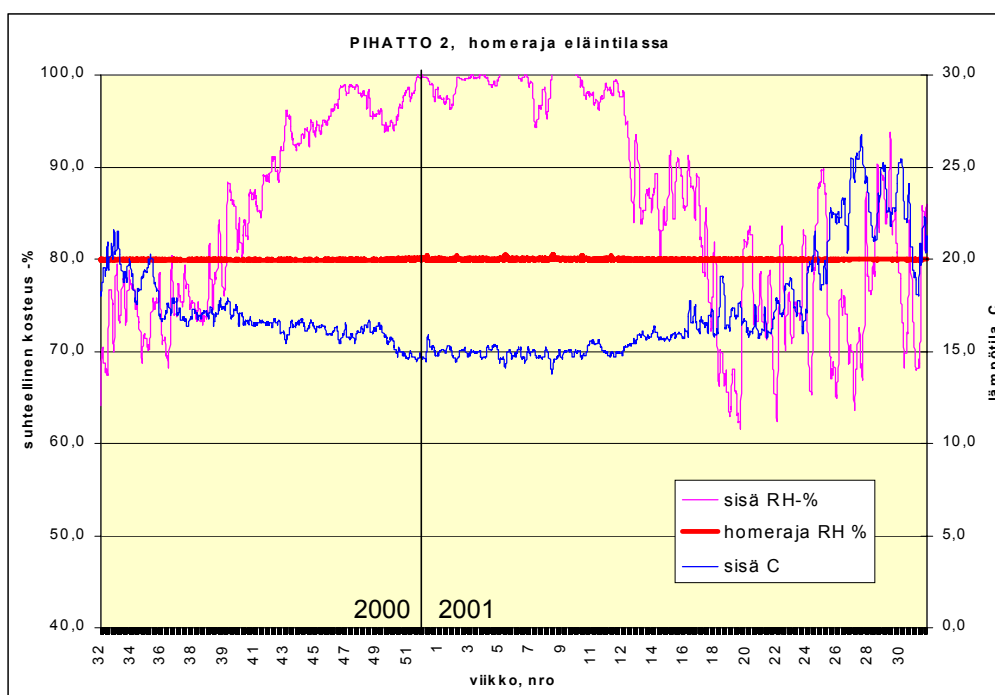
Kokko ym. (1999) on esittänyt mallin ja rajaolosuhteet homeen kasvulle muuttuvissa olosuhteissa. Mallissa homeen määrää kuvataan homeindeksillä *M*. Suosiolliset homeolosuhteet kasvattavat indeksiä ja kuivat jaksot pienentävät indeksiä. Menetelmässä homeindeksin mukainen homeen määrä on seuraava:

- 0 = ei kasvua,
- 1 = mikroskoopilla havaittavaa kasvua,
- 2 = selvä mikroskoopilla havaittava kasvu,
- 3 = ensimmäiset visuaaliset havainnot,
- 4 = selvä silmin havaittava kasvu,
- 5 = runsas silmin havaittava kasvu,
- 6 = erittäin runsas kasvu.

Kuvassa 40 on esitetty homeindeksin M muutos edellä kuvatulla menetelmällä laskettuna pihatto 2:n eläntilassa. Lähtötilanteena laskelmassa on käytetty homeetonta ($M = 0$) tilannetta. Laskelman mukaan kyseisissä olosuhteissa pihatto 2:ssa on erittäin runsasta homeen kasvua. Homeindeksi ylittää nopeasti erittäin runsaan kasvun rajan ($= 6$). Kuvissa 41 ja 42 on esitetty pihatto 2:n eläntilan ja ullakkotilan suhteellisen kosteuden raja, jonka yläpuolella homekasvu on mahdollista. Sisätilassa homeraja on kaiken aikaa noin 80 %, koska lämpötila pysyttelee tasaisena ja homeen kasvulle otollisella tasolla. Ullakko-ontelossa raja vaihtelee, koska se riippuu voimakkaammin ulkolämpötilan muutoksista.



Kuva 40. Pihaton 2 sisäilman homeindeksin M ($3 =$ silmin havaittavaa kasvua, $6 \geq$ erittäin runsasta kasvua) kehittyminen mittausaikana.

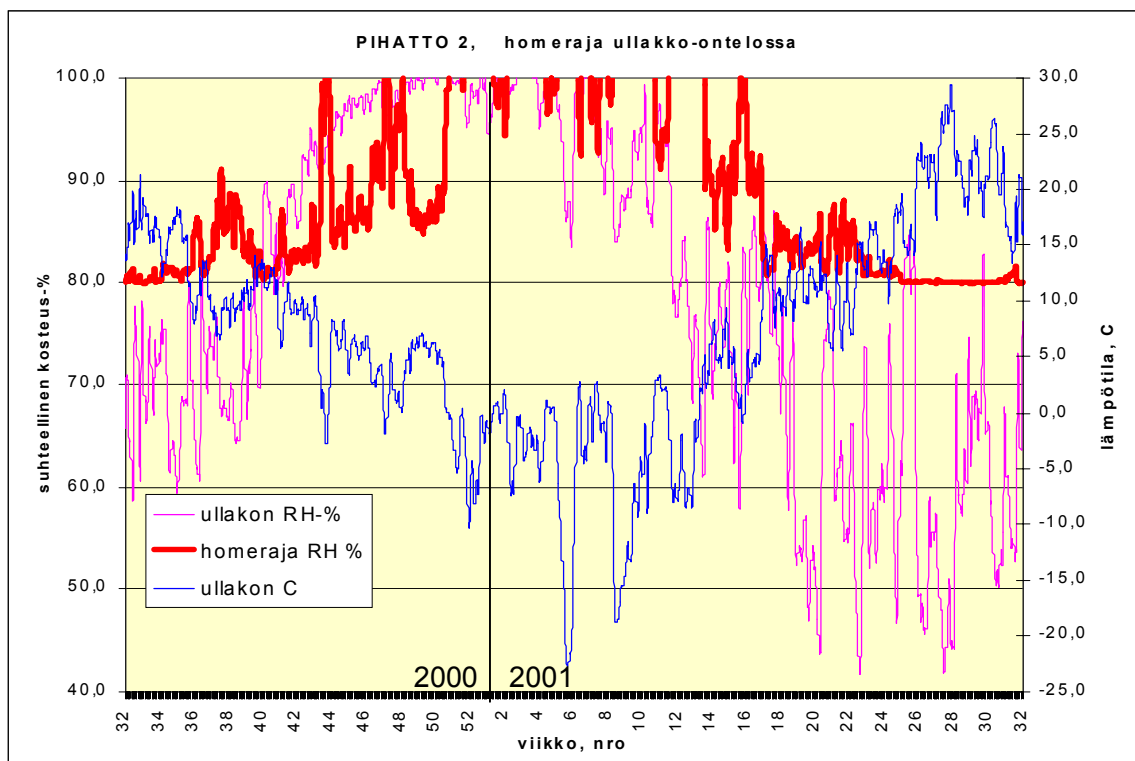


Kuva 41. Pihatto 2:n sisäilman olosuhteet ja suhteellisen kosteuden raja, jonka yläpuolella homekasvu on mahdollista.

Ilmanvaihdon toimivuudella on suurin merkitys sisätilan olosuhteisiin. Merkittävä havainto on täytepohjasikaloiden 7 ja 8 erot sisätilan olosuhteissa. Näissä kohteissa ilmanvaihtojärjestelmät vastaavat toisiaan paitsi, että kohteessa 8 on lisäksi ns. itkupintajärjestelmä, jolla sisätilan kosteus saadaan pienemmäksi. Erot mittaustuloksissa ovat huomattavat.

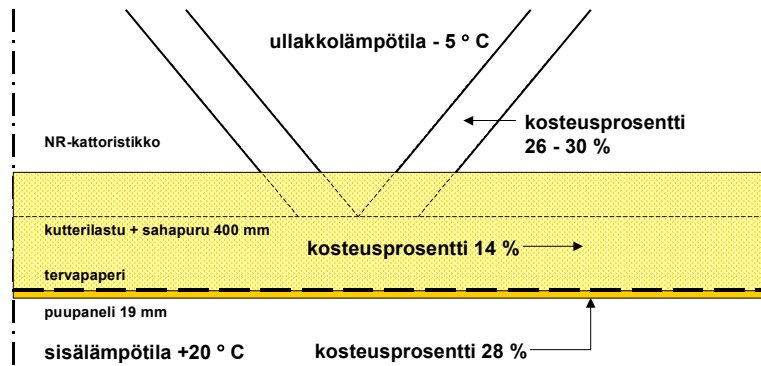
Seurantakohteiden kosteus- ja lämpötiläkäyristä voidaan nähdä, kuinka sisätilan suhteellinen kosteusprosentti on riippuvainen ulkolämpötilasta, kun sisäolosuhdetta säädellään sisälämpötilan ohjauksella. Lämpötilaohjaus vaikuttaa talviolosuhteissa voimakkaasti ilmanvaihdon määrään. Kun ulkoilma kylmenee, ilmanvaihdon määrää pienennetään ja sisäolosuhteissa tapahtuu muutos kohti korkeampaa suhteellista kosteuspitoisuutta.

Mittausten perusteella parhaimmat sisäolosuhteet ovat pihatoissa 4 ja 6. Molemmissa kohteissa sisäkatto on lappeen suuntainen ja pihatot ovat sisätiloiltaan korkeita ja avaria. Näin tehtynä saadaan rakennuksen sisätilavuus suuremmaksi kuin tavanomaisessa vaakasuoran sisäkaton ratkaisussa. Koska tilaan mahtuva eläinmäärä on riippuvainen vain lattiapinta-alasta eli eläinmäärä on vakio riippumatta kattoratkaisusta, korkean sisätilan rakennuksissa yhtä eläintä kohti oleva ilmatilavuus on kymmeniä prosentteja suurempi kuin tasaisen sisäkaton rakennuksissa. Tällä saattaa olla merkitystä sisätilan edullisiin olosuhteisiin. Pihatto 6 poikkeaa myös ilmanvaihtojärjestelmän kannalta muista kohteista. Pihatossa on ns. harjailmanvaihto, jossa tuloilma otetaan rakennuksen seinälinjojen yläreunoissa olevien aukkojen kautta ja ilma poistuu harjalla olevien aukkojen kautta. Aukkojen kokoa säädellään tuuliolosuhteiden mukaan. Erillistä koneellista ilmanvaihtoa ei ole.



Kuva 42. Pihatto 2:n ullakko-ontelon olosuhteet ja suhteellisen kosteuden raja, jonka yläpuolella homekasvu on mahdollista.

Kuva 43. Valokuva ja leikkaus lihasikala 7:n ullakko-ontelosta. 5 vuoden toiminnan jälkeen sahanpurukutterilasteriste näytti puhtaalta. Rakenteen höyrynsulkuna on käytetty tiiviin muovikalvon sijasta tervapaperia, joka näytti toimineen tarkoitustaan vastaavasti. Eristekerroksen sisässä olevat ristikoiden alapaarteet, vinosauvojen osat ja naulalevyt olivat uuden veroisia. Eristekerroksen yläpuolella naulalevyissä oli lievää valkoruostetta ja mestopinnoilla esiintyi paikoin ruostetta. Leikkauskuvassa on esitetty puusta mitatut absoluuttiset kosteuspitoisuudet sekä lämpötilat joulukuussa 2000. Eläintilan kattopanelointi on lahoamisen kannalta vaaravyöhykkeessä.



Kuva 44. Edellisessä kuvassa nro 43 esitetty katto eläintilasta nähtynä. Kattopaneloinnin pinnassa on havaittavissa valkeata homemuodostusta.



Karjarakennusten hiilidioksidi on peräisin pääasiassa eläinten hengityksestä. Hiilidioksidimittauksissa lähes kaikki kohteet alittivat eläinsuojille asetetun 3000 ppm rajan. Hiilidioksidin määrä korreloi eläinmäärään ja siksi lihasikaloissa 7 ja 8 raja-arvot ylittyivät. Kohoneilla arvoilla ei ole rakenteiden kannalta suurta merkitystä ellei sellaiseksi lueta hiilidioksidin vaikutusta betonirakenteiden karbonatisoitumiseen eli hitaasti tapahtuvaan rapautumiseen. Eläinsuojassa paljaita betonipintoja esiintyy lähinnä seinien sisäpinnoissa, jolloin karbonatisoituminen voi tapahtua näillä pinnoilla, jos ne eivät ole maalattuja. Lattiat ovat yleensä kosteita lannan ja toistuvien pesujen vaikutuksesta, jolloin karbonatisoituminen ei juurikaan pääse vaikuttamaan niihin pintoihin.

Ammoniakkimittauksissa pihatot 1 ja 4 erottuivat alhaisten pitoisuuksiensa vuoksi. Tämä johtui ilmanvaihdon alapoistomenetelmästä, jolloin ammoniakkikaasut poistuivat suureksi osaksi alakautta. Muut kohteet ylittivät eläinsuojille asetetun 10 ppm rajan, mikä mitä ilmeisimmin johtui talven minimi-ilmanvaihdon määrästä. Ammoniakki on peräisin lannasta ja se edistää väkevinä yhdisteinä teräksen ruostumista. Navetta- tai sikalakalusteiden kuluminen onkin voimakkainta juuri lattianrajassa. Ammoniakkikaasujen vaikutusta naulalevyjen tai muiden kantavien rakenteiden teräsosien ajalliseen kestävyys on vaikea arvioida. Teräsosat on joka tapauksessa suojattava ruostumista vastaan maalauksella, sinkityksellä tai valitsemalla ruostumattomia teräslaatuja.

Olosuhdeselvityksistä ja tarkastuksista voidaan vetää seuraavat johtopäätökset (Kurkela ym. 2003):

- Sisäilmaolosuhteet eivät aiheuta puurakenteiden lahoriskiä.
- Navetoissa ja sikaloissa, joissa on kostea ja riittävän lämmin sisäilma, on merkittävä homeriski. Hometta ei ole kuitenkaan aina havaittavissa, koska se sekoittuu pölyyn ja likaan.
- Homeutumisherkkyyteen vaikuttavat osittain sisäpintojen materiaalit. Pinnan materiaalit on valittava olosuhteiden perusteella. Vähän orgaanista materiaalia ja siten huonoimman kasvualustan sisältävät pinnat homehtuvat huonoimmin. Tällainen pinta on esimerkiksi pelti. Kuitenkin kaikki pintamateriaalit ovat sopivia, jos olosuhteet riittävät kuivat (suhteellinen kosteus alle 85 %).
- Ullakkotilojen tuuletuksessa ja höyrynsuluissa on usein puutteita. Huono tuuletus saa aikaan kondensoitumista, homekasvua ja sinkittyjen teräsosien valkoruostetta. Ullakon ontelotilojen tuuletuksen ollessa riittävä ullakossa ei ole kosteusongelmia.
- Hyvällä ilmanvaihdolla saadaan kaikissa tapauksissa ilman kosteus pienemmäksi ja olosuhteet paremmiksi. Ilmanvaihdon puutteellisuus on merkittävin syy sisäilman kosteuteen ja kosteusvaurioihin. Myös erilaiset ilman kosteutta alentavat järjestelmät, esimerkiksi itkupintajärjestelmä, ovat hyödyllisiä.
- Korkea sisätila parantaa mahdollisesti sisäilman olosuhteita. Tutkituissa kohteissa sisäilman kosteus-, lämpö- ja kaasukonsentraatioarvot olivat parhaimmat pihatoissa, joissa oli korkea sisätilan. Tämä tutkimus ei kuitenkaan selitä tarkemmin, mistä tämä johtuu. Asian selvittämiseksi tarvitaan lisätutkimuksia laajemmasta otannasta.
- Puurakenteille optimaaliset olosuhteet ovat likimain samoja kuin työntekijöille ja eläimille. Laho-, home- ja korroosio-ongelmia ei synny, jos ilman suhteellinen kosteus on suurimman osan vuodesta alle 80 %.

4 Toiminnalliset pohjaratkaisumallit

Tutkimuksen toisessa osassa tarkasteltiin konehalleissa, sikaloissa ja lypsykarjapihatoissa tapahtuvan toiminnan aiheuttamia vaatimuksia rakenteille, erityisesti jänneväleille, toisin sanoen tulevaisuuden rakennusmuotoja, joita lähitulevaisuudessa rakennetaan. Näille rakennustyypeille kehitettiin puun käyttöön perustuvia uusia runkoratkaisuja. Tästä syystä tämä tutkimusraportti ei käsittele tällä hetkellä tavallisesti käytössä olevia runkotekniikoita.

Toimintaa tarkastelemalla kehitettiin pohjaratkaisuja, joiden uusille rakenteille asetettiin seuraavia tavoitteita:

- isoja, yli 19 m leveitä pihattoja ja sikaloita varten piti löytää rakennetyyppejä, jotka soveltuvat pohjaratkaisun vaatimuksiin,
- poikittainen jäykistys saadaan aikaan itse rakenteella,
- kalteva yläpohja ja tästä syntyvä korkeus lisää tilan avaruutta, valoisuutta ja sillä voi olla ilman laatua parantavia ominaisuuksia,
- helposti asennettavat sekundääri- ja vaipparakenteet, tällöin voidaan käyttää tarvittaessa elementtejä,
- vaipparakenteiden moitteeton rakennusfysikaalinen toiminta,
- rakennuksen helppo laajennettavuus pituussuunnassa ja
- rakenteiden sopivuus teolliseen esivalmistukseen, jolloin rakenneosat tuodaan työmaalle ja kootaan paikalleen, tämän jälkeen voidaan tehdä helpoimmat työt paikalla rakentaen.

Tutkimuksessa kehitettiin seuraavat uudet tyyppirakenteet:

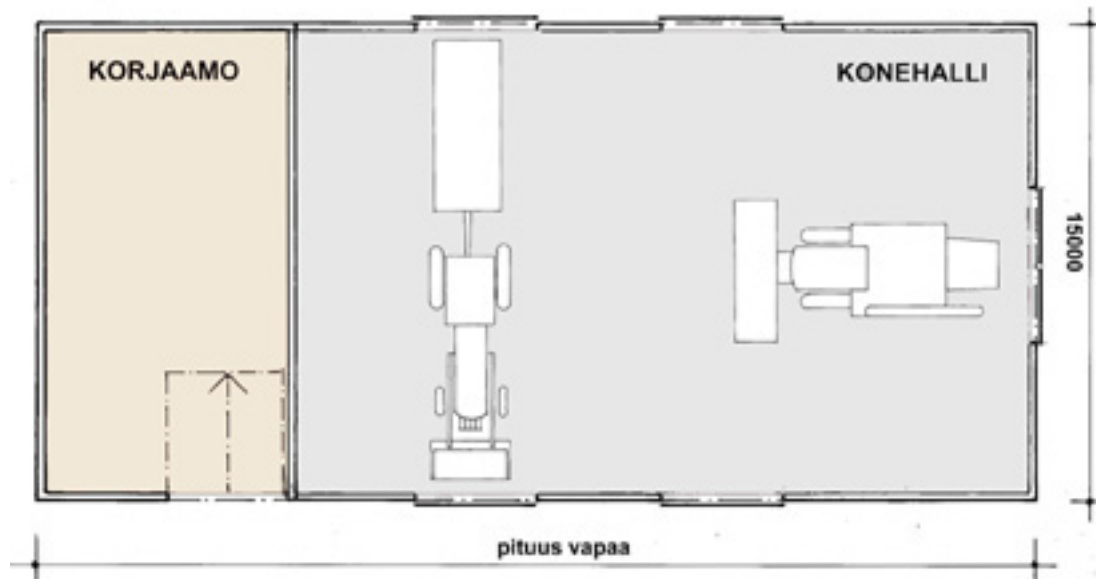
- nr-kehä ja postframe-rakenne konehalliin, leveys 15,
- kolmilaivainen liimapuupalkkihalli, leveys 33,6 m,
- kolminivelkehähalli, leveys 22 m ja
- vetotangollinen liimapuukehä, leveys 19,5 m.

4.1 Konehallit

Maatilojen puurunkoisissa konehalleissa on viime vuosina käytetty tavallisimmin 12 m jänneväliä. Kantavat seinät on tavallisesti tehty kk 600 mm jaolla olevia puurankaseiniä. Koneet ja koneyhdistelmät ovat kuitenkin suurentuneet leveys- ja korkeussuunnassa. Pitkien hallien jäykistys on ongelmallista ja hallin jatkaminen vapaana tilana on vaikeaa, jos päädyt ovat jäykisteseiniä. Konehallien uuden puurunkokonseptin lähtökohdaksi otettiin 15 m jänneväli vaatimus. Sen mitoituksellisena perusteena on suuri traktori ja siihen kytketty etukuormain sekä peräkärri, joiden tulee yhtäaikaaisesti mahtua halliin. Ovien leveyden tulee olla 3,6 – 4 m sekä korkeuden vähintään 4 m. Päädyissä ovileveyttä voidaan tarvita 5 x 5 m suurimpia leikkuupuimureita varten.

Konehallin toiminnallisuuden kannalta suunnittelussa pitää varautua siihen, että oviaukkoja voidaan tehdä vapaasti haluttuihin seinän kohtiin. Sisäkorkeus räystäällä määräytyy pitkälti ovikorkeuden ja sen yläpuolisen palkin rakennekorkeuden vaatimasta tilasta. Tällöin

vapaa sisäkorkeus on noin 4,5 m. Lisäkorkeus ei ole haitaksi mutta ei ehdoton vaatimus. Rakennerratkaisuissa on varauduttava myös siihen, että osa hallia voidaan lämpöeristää esimerkiksi koneiden huolto- ja korjaustilaksi. Käyttötarpeiden muuttuessa on varauduttava myös koko hallin lämpöeristämiseen.



Kuva 45. Konehallin pohja.

NR-kehähalli

Rakenne on kolminivelkehä. Kehän kumpikin puolisko koostuu kolmesta toisiinsa liitetystä naulalevyrakenteesta. Kehän puoliskot kootaan valmiiksi työmaalla ja asennetaan paikalleen. Pääkannattimen mitoituksen tekee NR-suunnittelija annettujen lähtötietojen perusteella. NR-suunnittelija vastaa rakenteen tason suuntaisesta kestävyydestä ja määrittelee rakenteen vaatimat poikittaistuennat. Poikittaistuentoja vaativat rakenteen ylä- ja alapaarteiden puristetut osat sekä mahdollisesti puristetut uumasauvat.

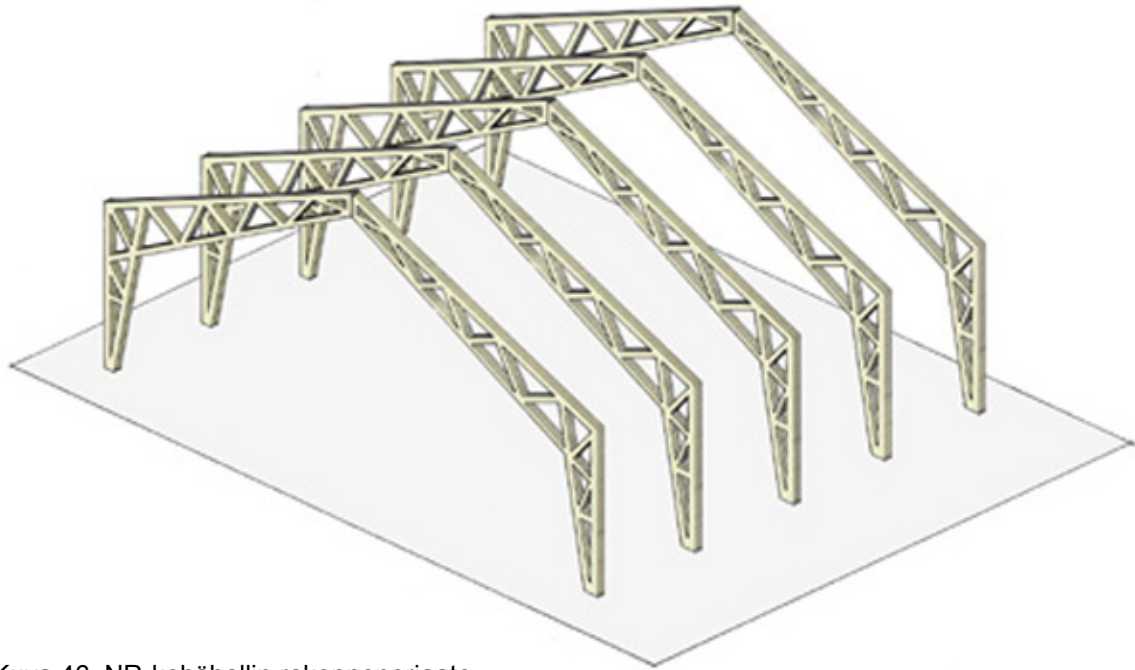
Katon toisiokannattajina toimivat puiset PI-palkit ja vesikatteena profiilipelti. Mahdollinen lämmöneristys voidaan sijoittaa PI-palkin uumatilaan. Seinät ovat sahatavarakenteisia elementtejä. Rakennuksen pituussuuntainen jäykistys hoidetaan yläpohjan profiilipellillä sekä ulkoseinälinjojen nurkka-alueiden vinoreivauksilla. Hallissa on maanvarainen teräsbetonilaatta. Kehärakenteen vaakatuivoimat voidaan siirtää tarvittaessa lattiarakenteelle.

Rakenteen edut verrattuna perinteisiin rakenteisiin:

- suurempi hyödynnettävä korkeus, tila on avarampi,
- oviaukkojen vapaa sijoittelu kehien väliin, erillisiä aukkopalkkeja ei tarvita,
- tason suuntainen jäykistys hoituu itse rakenteella ja
- rakennuksen jatkamisen helppous, päätyseinässä ei ole jäykisteitä.

Rakenteen huonot puolet:

- kehän kohdalle ei voi tehdä oviaukkoa, tällä ei kuitenkaan ole suurempaa merkitystä,
- sisäseinäpinta ei ole suora, tämä vähentää hyötypinta-alaa ja lisäksi kaltevaan kehän paarteeseen törmää helposti työkoneella ja
- perustukset pitää mitoittaa vaakavoimille.

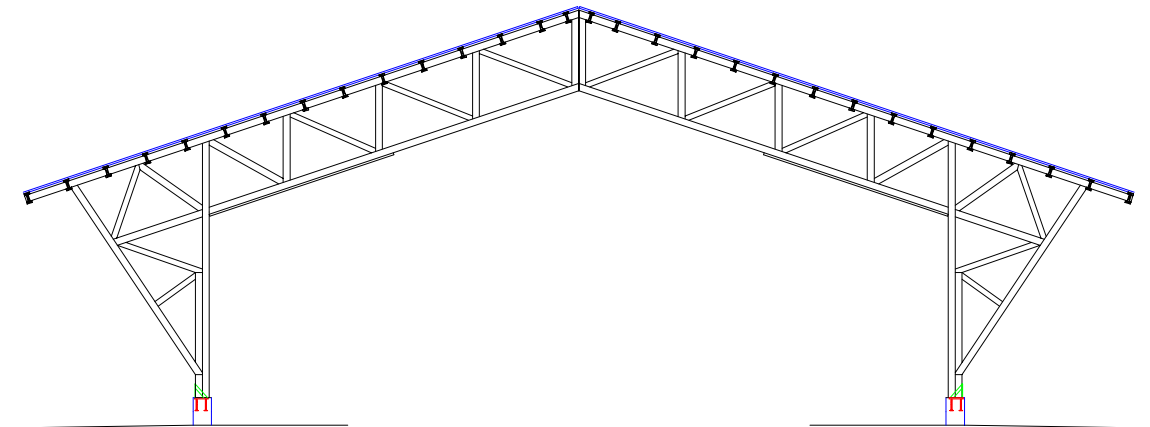


Kuva 46. NR-kehähallin rakenneperiaate.



Kuva 47. NR-kehien asennusta konehallityömaalla. Katon toisiokannattajat voidaan tehdä sahatavarasta, jos kehäväli eli ylitä 4 m. Tässä kohteessa kehäväli on 5 m, ja toisiokannattajina käytetään uudentyyppisiä puurakenteisia PI-palkkeja. Palkit valmistetaan normaalista sahatavarasta puristamalla ylä- ja alalaipat naulalevynauhan välityksellä uumalankkuun. Kuvassa PI-palkit ovat nipussa hallin keskiosassa.

Kuvassa 48 on vaihtoehtoinen kehämalli, jossa seinän sisäpinta on suora. Kehän jalkaosa tulee siten seinäpinnasta ulos ja luo voimakkaan rakenteellisen vaikutelman julkisivuihin



Kuva 48. Esimerkki vaihtoehtoisesta NR-kehästä. Räystäään alle syntyvää katettua tilaa voidaan käyttää koneiden tai materiaalien tilapäiseen varastointiin.

Postframe runkorakenne

Postframe rakentamistapa on peräisin Pohjois-Amerikasta. Runkojärjestelmä on pilaripalkkisysteemi, joka soveltuu hyvin maatalousrakentamiseen, erityisesti konehalleihin. Postframe rakennuksen perusosia ovat pilari, pääkannatin ja jäykistävä kate.

Pilari, joka lähtee anturan päältä, on koottu kyllästetyistä soiroista, pääkannattimena NR-ristikko ja jäykistävä rakenteena katon profiilipelti. Pilari on kiinnitetty jäykästi perutuksiin.

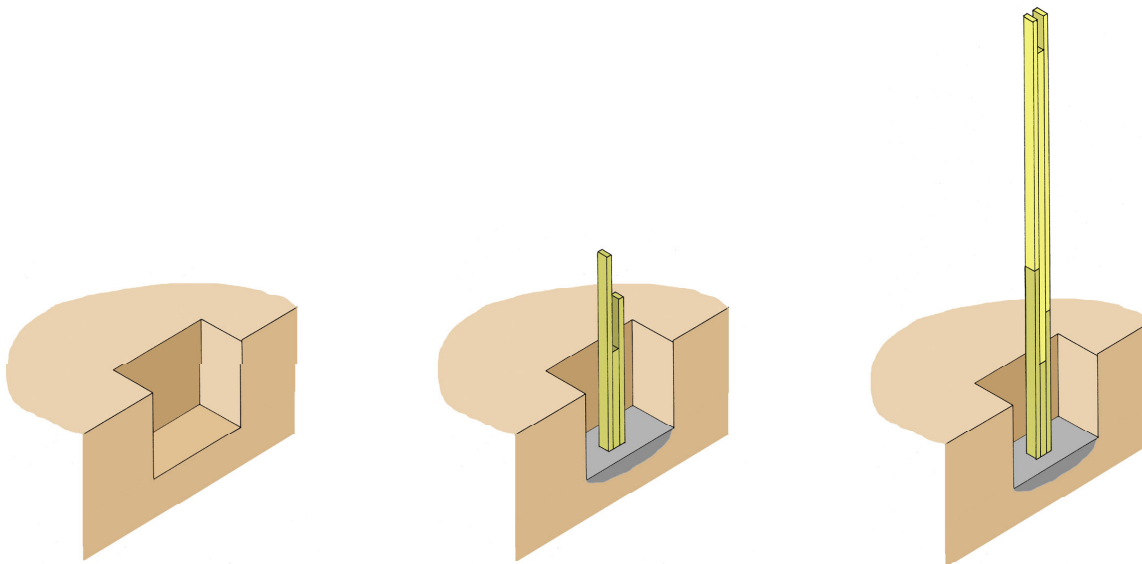
Perustus tehdään kaivamalla maahan kaivanto, jonka pohjalle pilariantura valetaan. Mikäli maaperä ei ole kivistä, niin maakaira on sovelia tapa tehdä reiät pilareille. Näin täyttö jää mahdollisimman pieneksi ja samalla perusmaan häiriintyminen minimoidaan. Pilarianturan kovetuttua asennetaan sen päältä lähtemään kyllästetty puupilari. Peruskaivanto tai reikä täytetään ja tiivistetään huolellisesti. Täyttömateriaalina voidaan käyttää betonia, sepeliä, soraa, hiekkaa tai kaivettua perusmaa-ainesta, mikäli se tiivistetään vähintään alkuperäiseen tilavuuteen ja se on routimatonta sekä siitä on poistettu kaikki orgaaninen aines.

Mikäli täyttömateriaalina käytetään betonia niin tästä on etua pilarin kantavuutta tarkasteltaessa mutta toisaalta kustannukseltaan betoni on kallein täyttöaines. Täyttömateriaalin laatuun ja tiivistämiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota, sillä sen toiminnalla on huomattava vaikutus pilarin vakavuuteen.

Pilari joutuu maakosketuksen vuoksi ankariin olosuhteisiin. Tämän vuoksi on syytä käyttää vain maakosketukseen tarkoitettua painekyllästettyä puutavaraa. Konehallien aukkomitotus määräytyy työkoneiden mukaan (aukon leveys väh. 4,5 m ja korkeus väh. 4 m) ja tämä määrää pilareiden k-jaon.

Pilarin lamellit voivat olla limittäin jatkettuja, jolloin pilarin alaosa tehdään kyllästetystä ja yläosa kyllästämättömästä puutavarasta. Jatkokset ja lamellien toisiinsa kiinnittäminen

tehdään naulaamalla. Kyllästetyllä osalla käytetään ruostumattomasta teräksestä tehtyjä nauloja. Toinen vaihtoehto on käyttää kyllästettyjä yksimittaisia lamelleja. Lamellien jatkaminen ja siitä aiheutuva kustannustekijä jää pois, mutta toisaalta materiaalikulut kasvavat kun lamellit ovat kokonaan kyllästettyä puutavaraa.



Kuva 49. Kuvasarja postframe-rungon rakentamisesta. Pilareita varten kaivetaan kuopat haluttuun syvyyteen Paineekyllästetystä sahatavarasta tehty pilarikanta istutetaan valettuun betoniin. Pilarijatko tehdään normaalista sahatavarasta.

Mahdollisia muita pilarivaihtoehtoja ovat massiivipuu, liimapuu ja kertopuu. Massiivipuun etuja on edullisuus, yksimittaisuus ja hyvät lujuus- ja jäykkyysominaisuudet. Toisaalta massiivipuun läpikyllästäminen ei ole mahdollista. Liima- ja kertopuupilarit ovat kustannuksiltaan selvästi kalliimpia ja niiden edut eivät riittävästi kompensoi korkeampaa hintaa.

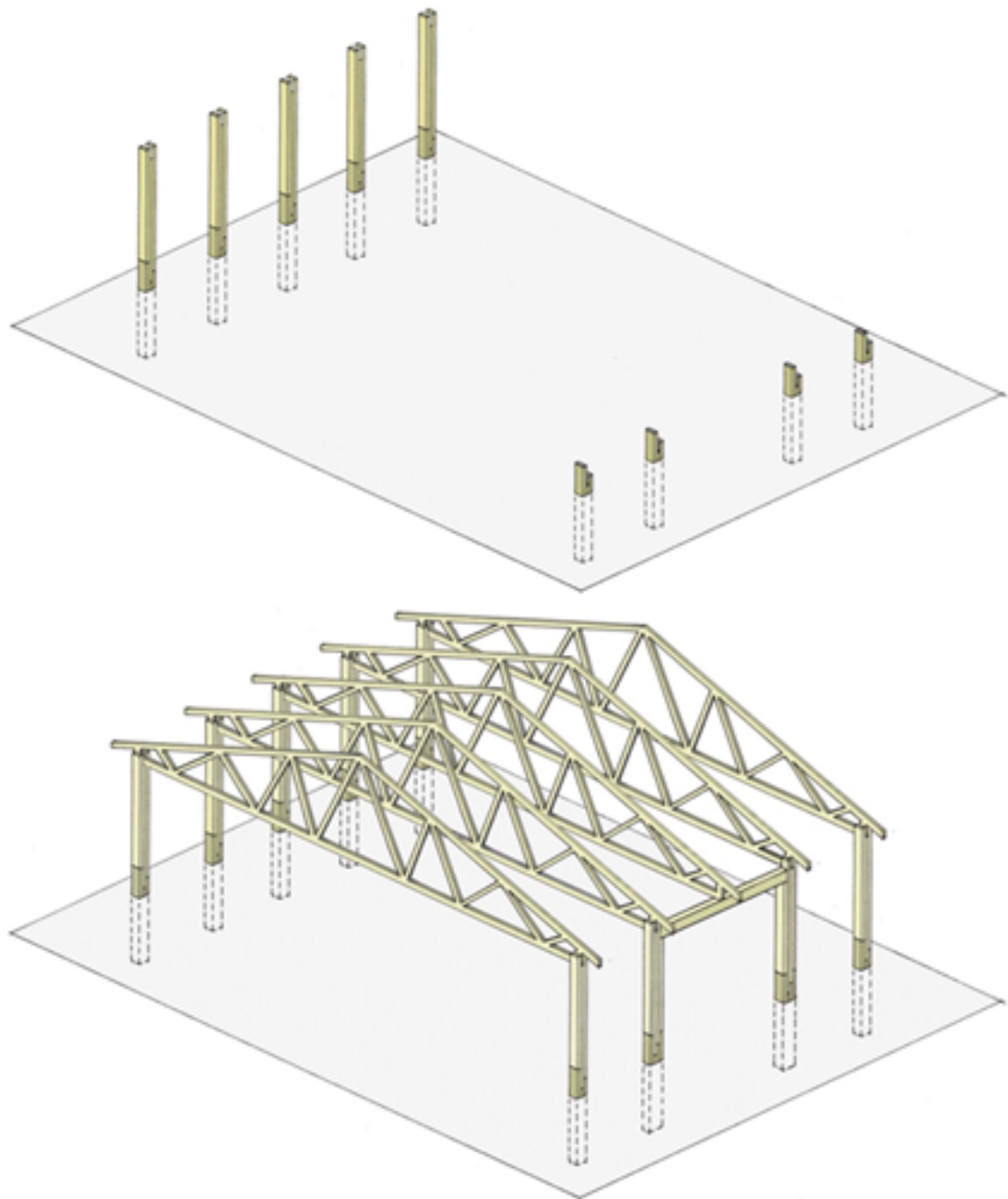
Yleisin pääkannatintyyppi postframe-rakennuksissa on tehdasvalmisteinen naulalevyristikko. Tarvittaessa käytetään kahta NR-ristikkoa rinnakkain. Tällöin myös orsien kiinnitys on helpompaa, kun NR-ristikoiden yläpaarteet sidotaan toisiinsa niiden päälle kiinnitettävällä soirolla. Pilarin lamelleista yksi tai kaksi lamellia jätetään muuta lyhyemmäksi, näin syntyyneeseen hahloon NR-ristikot on helppo asentaa sekä kiinnittää. Katon toisiokannattajina käytetään jatkuvia sahatavaraorsia, joiden k-jako määräytyy kantavuuden ja profiilipellin vaatimuksien mukaan. Profiilipelti mitoitetaan toimimaan rakennuksen jäykistävänä osana.

Postframe -rakenteen edut verrattuna perinteisiin rakenteisiin:

- vähemmän kantavia pystyrakenteita,
- järjestelmällinen rakentamistapa,
- tason suuntainen jäykistys hoituu tolvilla ja levyjäykistyksellä ja
- mastopilarien ansiosta perinteinen, jatkuva betonisokkelirakenne jää kokonaan pois.

Rakenteen huonot puolet:

- kyllästetyt pilarit,
- pilarin jäykkä kiinnitys perustuksiin ja
- levyjäykistyksen käyttö aiheuttaa hiukan lisäkustannuksia, mikä johtuu tiheämmästä ruuvauksesta ja mahdollisesta tiheämmästä orsituksesta.



Kuva 50. Kuvasarja postframe-rungon rakentamisesta. Pilareista muodostuu säännöllinen 2,4 m modulilla rakentuva pilarikenttä. Pilareiden yläpäiden haarukkaan pujotetaan naulalevyristikkopari. Ovien kohdalla 4,8 m aukkoon tehdään palkki. Aukon pieluspilarit vahvistetaan yhdellä tai useammalla sahatavarasoivilla. Lopuksi kantavaan päärunkoon rakennetaan vaakakoolaukset julkisivuverhoiluja varten.



Kuva 51. Postframe-halli rakenteilla

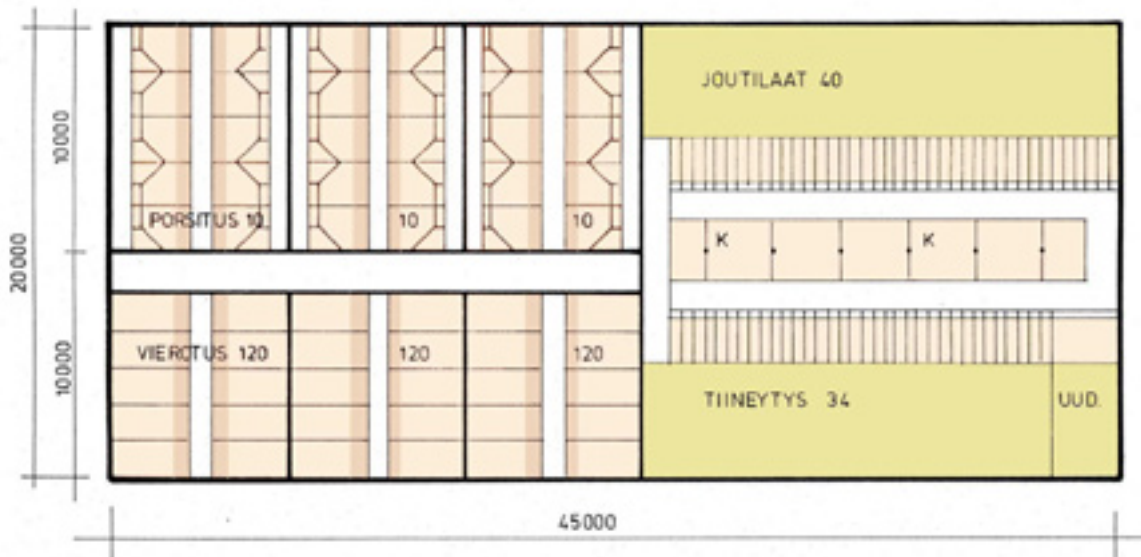


Kuva 52. NR-kehät tai postframe-runko ei rajoita konehallin julkisivusuunnittelua vaan antaa runsaat mahdollisuudet vapaaseen ovisijoitteluun ja ikkuna-aukotukseen.

4.2 Sikalat

Sikaloiden toimintaan perustuvat mallit pyrittiin sovittamaan perheviljelmien kokoluokkiin, joissa porsassikala on 100- tai 200-paikkainen ja lihasikala noin 1000-paikkainen. Viime aikoina yleistyneet 600 – 800 emakon ”suursikalat” jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Näin siksi, että tämän kokoisia sikaloita ei synny suurina sarjoina ja ne vaativat erikoisrakenteita ja yksilöllistä suunnittelua. Sikalamalleissa haluttiin keskittyä monistettavaan ja modulaarisesti - vaiheittain tai yksiköittäin – laajennettavaan rakennustyyppiin.

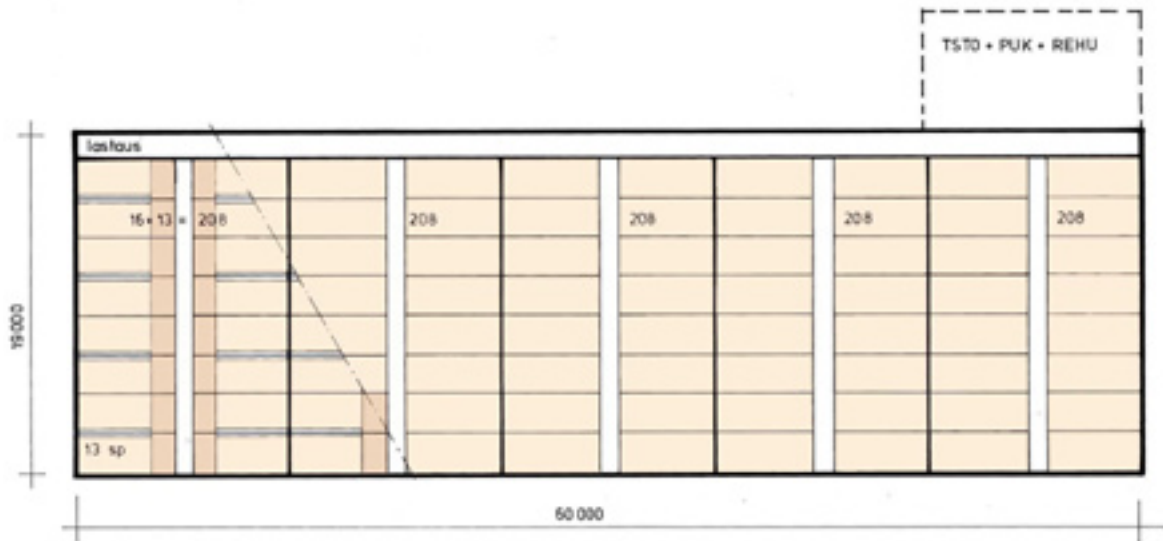
Sikaloiden pohjamalleissa on keskitytty suurten linjojen ratkaisuihin, jotta rakennukseen soveltuva, toistuva rakennejärjestelmä saataisiin esiin. Pohjamalleissa ei ole menty detaljitasolle ja esimerkiksi aputilojen, kuten toimisto- ja pukutilojen, rehu- ja teknisten tilojen sijoittelu on ajateltu tapahtuvaksi päämassan sivuun tai pätyyn siten, että sen sijoittelu ei estä päärakenteen laajentamista pituussuuntaan.



Kuva 53. 100-paikkainen emakkosikala, rakennuksen leveys on 20 m ja kerrosala 900 m². Eläinryhmät on osastoitu kiintein väliseinän. Tässä mallissa joutilaat ja tiineytys on sijoitettu pihattoon, jonka rakenteena on kolminivelkehä. Pohjaratkaisu sallii kantavat apupilarit rakennuksen keskiliinjan, jolloin peruskehiä voidaan hoikentaa ja samalla halventaa. Sama rakenne voi jatkua porsitus- ja vieroitusosastolla, mutta jos sisäkatto halutaan tehdä vaakasuorana on eriste sijoitettava laske-
tun katon tasoon.



Kuva 54. 200-paikkainen emakkosikala, rakennuksen leveys on 25,4 m ja kerrosala 1432 m². Eläinryhmät on osastoitu kiintein väliseinän. Rakennuksen pituussuuntainen keskiseinä voi olla kantava ja samalla palo-osastoiva seinä.



Kuva 55. 1040-paikkainen lihasikala, rakennuksen leveys 19 m ja kerrosala 1140 m². Toiminnallisuus perustuu nk. sivukäytäväratkaisuun, jolloin rakennuksen keskilinjalla ei ole pituussuuntaista seinää. Rakenteena voidaan käyttää kolminivelkehää korkeana sisätilana tai vaakasuoralla alakatolla. Toinen rakennukseen sopiva rakenne on puisella vetotangolla varustettu ansasrakenne, jossa vaakasuora ja samalla eristetty katto syntyy luontevasti alapaarteena toimivan vetotangon tasoon. Lietelantaratkaisussa lietekanaavat ovat rakennuksen poikkitaissuunnassa, jolloin alapohja voidaan raudoittaa perustusten vaakakuormia varten.

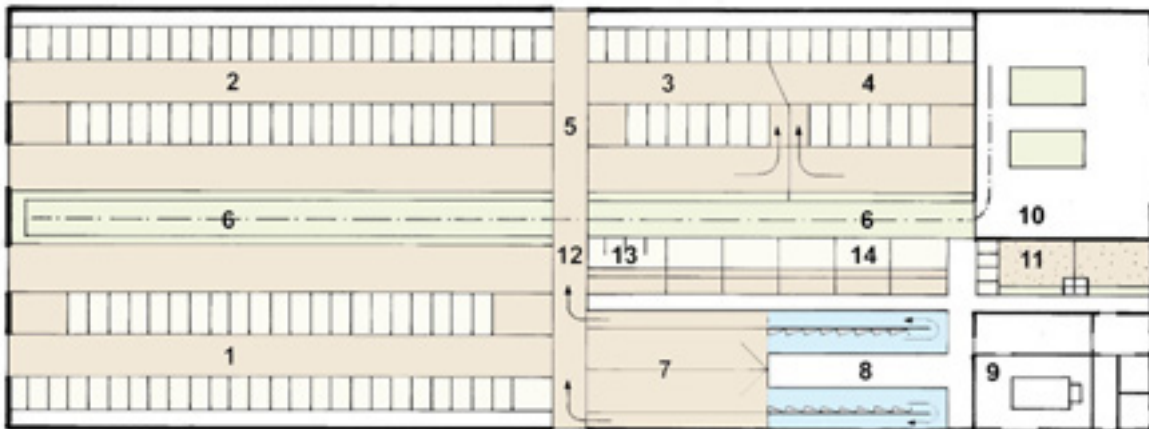


Kuva 56. 1080-paikkainen lihasikala ja kerrosala 1240 m². Toiminnallisuus perustuu keskikäytäväratkaisuun, jolloin rakennuksen keskilinjan pituussuuntainen seinä voi toimia kantavana seinänä. Poikittainen keskiseinä voi toimia palo-osastoivana seinänä. Rakenteena voidaan käyttää kolminivelkehää joko korkeana sisätilana tai vaakasuoralla alakatolla. Toinen rakennukseen sopiva rakenne on puisella vetotangolla varustettu ansasrakenne, jossa vaakasuora ja samalla eristetty katto syntyy alapaarteena toimivan vetotangon tasoon.

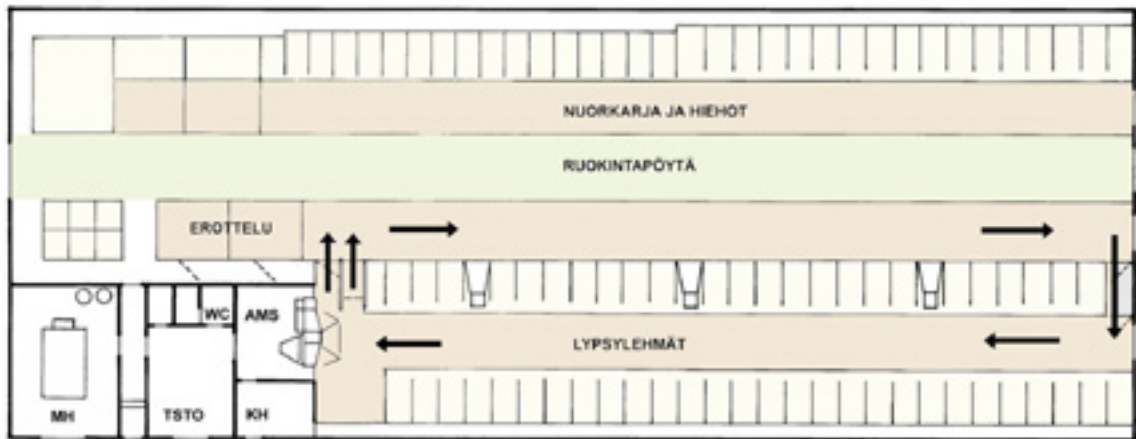
4.3 Lypsykarjapihatot

Maidontuotantorakennuksissa on meneillään sukupolvenvaihdos. Perinteisistä parsinave-toista ollaan siirtymässä pihattoihin, joissa lehmät liikkuvat vapaasti makuualueilta ruokin-tapöydän ääreen sekä ohjatusti lypsyasemalle. Uusin lypsytekniikka asettaa eläinliikenteel-le tiettyjä vaatimuksia, jotka heijastuvat pohjaratkaisuun. Tässä tutkimuksessa esitetyt poh-jaratkaisut perustuvat yksinomaan pihattoon eläinympäristönä.

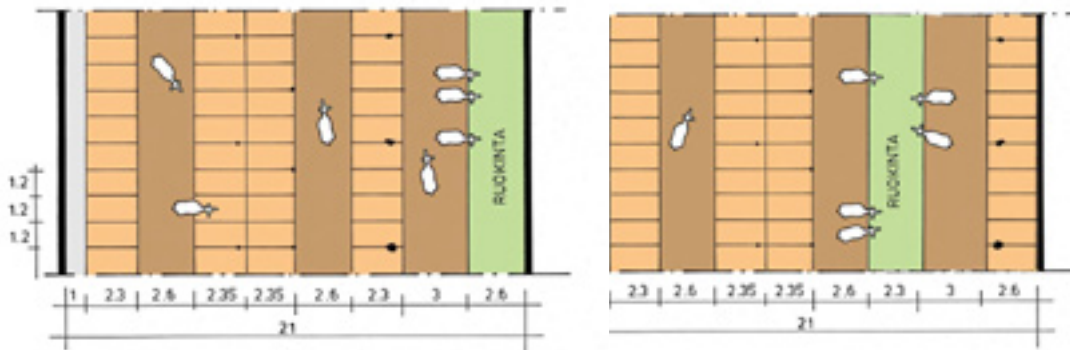
Maidontuotantorakennusten runkoleveys määrittyy osaksi lehmäluvun perusteella, mutta eniten valittavien makuuparsirivien määrästä. Rivien määrästä on olemassa erilaisia käsi-tyksiä, kun puhutaan lehmien hyvinvoinnista. Tällaisia seikkoja ovat esimerkiksi lauma-käyttäytymisen huomioon ottaminen pohjaratkaisussa siten, että lehmillä on mahdollisuus häiriytymättömään ruokailuun ja lepoon. Nämä seikat heijastuvat pohjaratkaisussa riittävi-nä parsipituuksina ja käytäväleveyksinä. Rakennuksen jännevälin määrittymiseen vaikutta-vat lisäksi valittava ruokintatekniikka ja sen vaatima ruokintapöydän leveys. Lisäksi oleel-lista on se, kasvatetaanko uudistuskarja samassa vai eri rakennuksessa. Jäljempänä on esi-merkkejä erilaisten riviratkaisujen vaikutuksesta rakennuksen leveysmittaan. Lypsykarja-rakennusten suunnittelussa tulisi pyrkiä selkeään ja toistuvaan runkoon, jota voidaan tarvit-taessa jatkaa toiminnan laajentuessa.



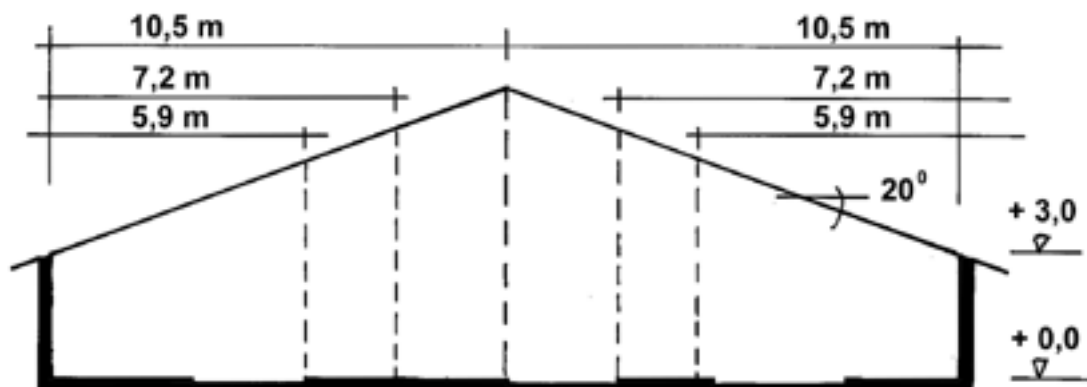
Kuva 57. 2 + 2 –rivinen pihatto 84 lypsylehmälle sekä nuorkarjalle. Rakennuksen leveys on 21 – 23 m kun ruokinta tapahtuu jakosukkulalla kapealle pöydälle.



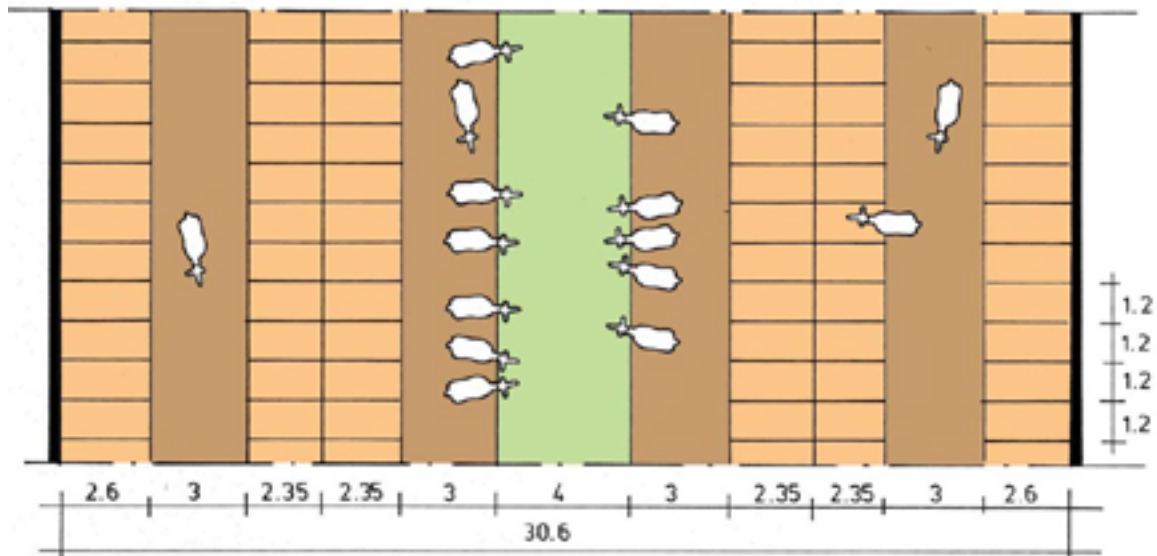
Kuva 58. 2 + 1 –rivinen pihatto 60 lypsylehmälle sekä nuorkarjalle. Rakennuksen leveys on 19 m kun ruokinta tapahtuu apevaunulla leveälle ruokintapöydälle.



Kuva 59. Lypsykarjapihaston leveys määrittyy käytettävien makuuparsirivien määrästä ja sijoittelusta, käytettävistä lantakäytäväleveyksistä sekä ruokintapöydän leveydestä. Vasemmalla sivupöydällinen 4-rivinen pohjaratkaisu. Oikealla keskipöydällinen 3 + 1 -rivinen ratkaisu. Runkoleveys molemmissa sama.



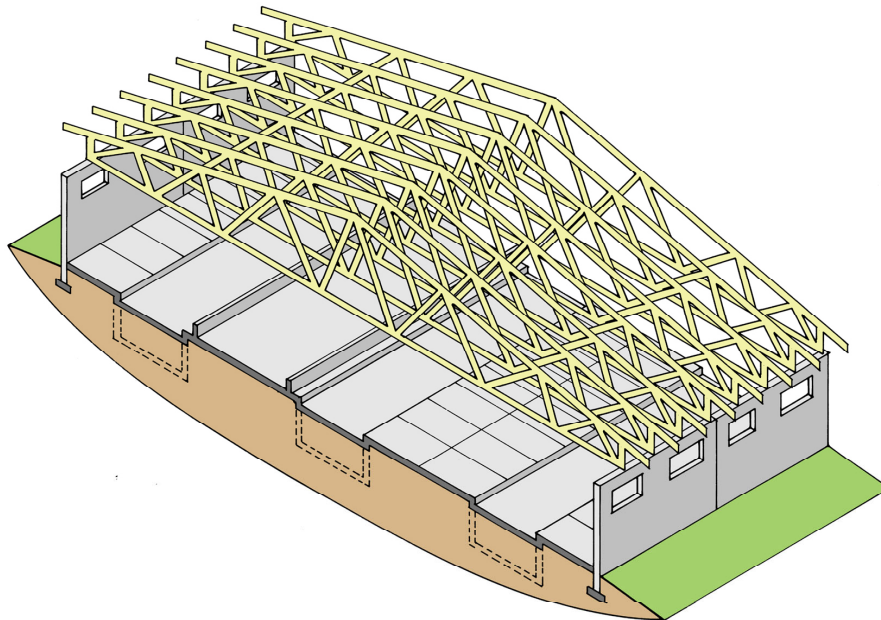
Kuva 60. Lypsykarjapihastossa pilareiden sijoitukselle on useita vaihtoehtoja kehän suunnassa. Rakennuksen pituussuuntainen moduuli on tyypillisesti 1,2 m kerrannainen.



Kuva 61. Pääasiassa lypsylehmillä tarkoitettu 3 + 3 –rivinen ratkaisu.

5 Lypsykarjapihattojen ja sikaloiden rakenteelliset haasteet

Kuvassa 62 on havainnekuva lypsykarjapihatoiden ja sikaloiden yleisesti käytetystä rakennjärjestelmästä. Siinä katon kantavana rakenteena on naulalevyristikko, joka tukeutuu kantaviin seiniin, jotka voivat olla puu- tai betonielementtejä tai kokonaan paikalla rakennettuja lämpöeristettyjä puuseiniä. Yläpohjan eristeenä on yleensä puhallus- tai mineraalivilla ja vesikatteena tavallisesti värillinen profiilipelti.



Kuvat 62. Esimerkki kotieläinrakennuksissa käytetyistä tavanomaisista kantavista seinä ja kattorakenteista.

Pihatot on pyritty rakentamaan pilarittomina, jolloin sisätila on voitu järjestellä vapaasti. Sikaloissa toiminnallinen tavoite ei ole mahdollisimman suuri vapaa sisätila, vaan tilaa päinvastoin halutaan osastoida pienemmiksi yksiköiksi eläinten erilaisten tuotantovaiheiden perusteella. Sikaryhmien terveys- ja hygieniakysymykset ovat keskeisiä osastointiperusteita. Viime mainitusta syystä myös ilmanvaihtoratkaisuista tulee osastokohtaisia. Näistä seikoista johtuen sikaloissa voi ja saa esiintyä pituus- ja poikittaissuuntaisia kantavia seinälinjoja. Vaatimukset uusista kattoratkaisuista ovat pihatoita vähäisemmät, koska vesikattorakenteet voidaan ratkaista naulalevyristikoilla taloudellisesti.

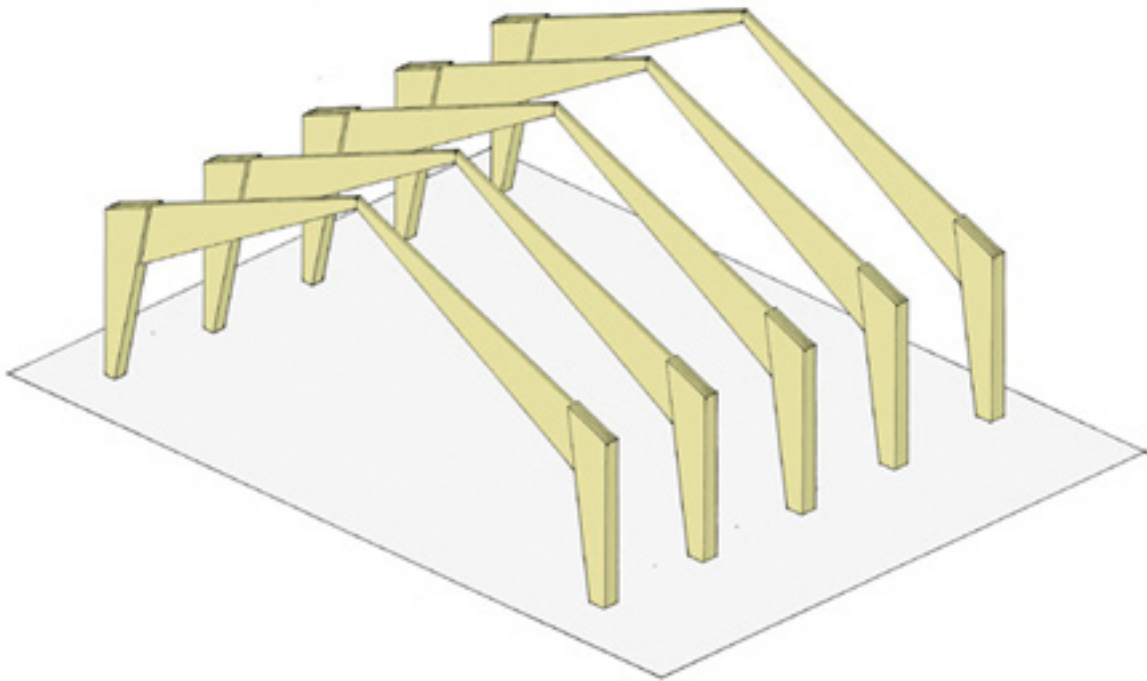
Käytetyn naulalevyristikko-betonielementtiseinä-rakenteen kehitystarve kohdistuu seuraaviin seikkoihin:

- Kyseistä rakennustapaa on käytetty aikaisemmin pienemmissä rakennuksissa. Rakennusten koko on kuitenkin viime vuosina kasvanut. Suuremmissa rakennuksissa ei voida kuitenkaan käyttää sellaisenaan samanlaisia rakenneratkaisuja – jäykistevoimat kasvavat toisessa potenssissa.
- Pitkät jännevälit vaativat kestävyuden takia korkean ristikon. Tästä rakennusratkaisusta syntyy tilavuudeltaan muhkeita ullakko-ontelotiloja, jotka suurissa rakennuksissa tulee paloteknisesti osastoida 400 m² osiin.
- Pitkissä rakennuksissa rakennuksen poikittainen jäykistys kaatavaa tuulikuormaa vastaan on ongelmallista.
- Jäykistävät päätyseinät hankaloittavat myöhempiä laajentamista.
- Kattorakenteissa on stabiliteettiongelmia. Isot ristikot vaativat kunnolliset koko ristikon ja puristussauvojen tuennat. Ristikot ja niiden yläpaarteet on asennettava aivan suoraan.
- Asennusaikainen rungon ja NR-ristikoiden tuenta ja jäykistäminen ovat vaativa ja aikaavievä työvaihe. Erillinen asennussuunnitelma tulee laatia aina, jos NR-ristikon jänneväli on yli 12 m. Pitkien ristikoiden nostaminen on vaikeaa; ne eivät saa vääntyä nostoissa. Erillistä nostopalkkia on käytettävä aina, jos ristikon pituus on yli 18 m.
- Naulalevyristikoilla ei ole palonkestävyyttä. Mahdollisessa ullakkopalossa katto sortuu 5-10 min kuluttua siitä, kun palo on alkanut.
- Vaakasuora sisäkatto ei ole kaikissa tapauksissa ilmanvaihdon kannalta paras mahdollinen, varsinkin kun rakennuksen leveys on suuri.
- Puutteellisesti tuuletettujen yläpohjien ja/tai vuotavien höyrynsulkujen tapauksissa naulalevyt ruostuvat.
- Laajat ullakkotilat aiheuttavat myös rakennuksen ulkonäköhaittoja.
- Rakenne on mielikuvitukseton, rakenteen soveltaminen erilaisiin tapauksiin ja vaatimukseen on vaikeaa.

6 Lypsykarjapihattoihin ja sikaloihin soveltuvat runkoratkaisut

6.1 Kolminivelkehät

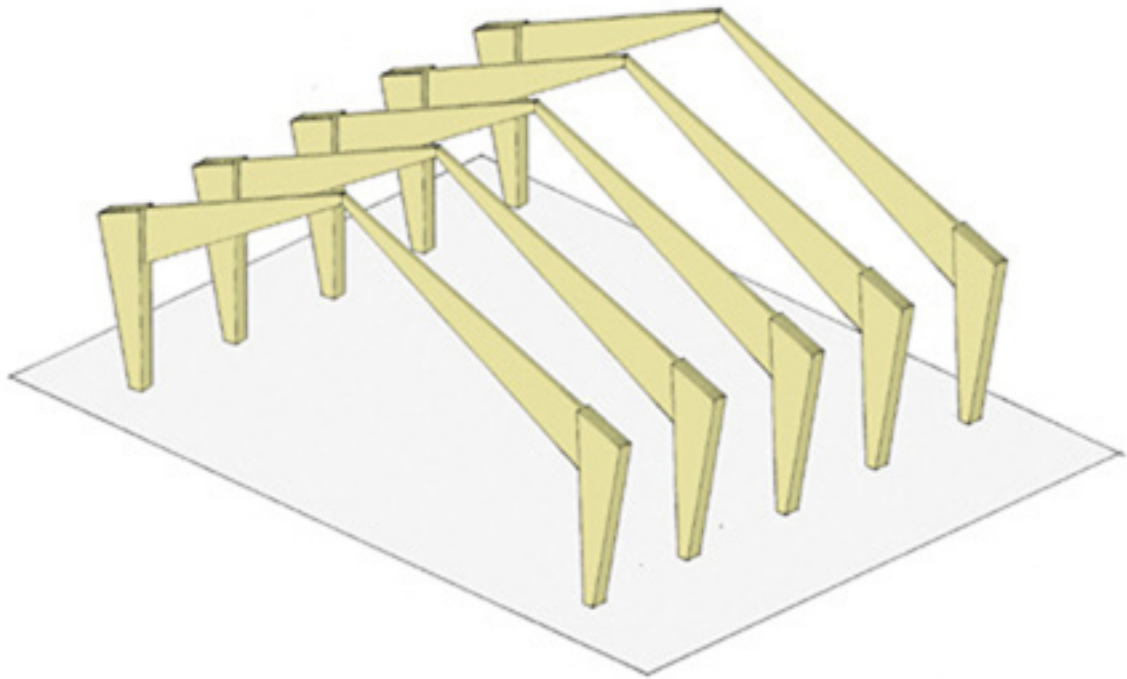
Rakenteen pääkannatin on yhdistetty kertopuinen kolminivelkehä. Kehä koostuu palkkiosasta ja kaksiosaisesta jalkaosasta, jotka on yhdistetty työmaalla toisiinsa tappivaarnaliitoksilla. Kuvassa 63 on periaatekuva kolminivelkehästä. Rakennuksen leveys on 22 m. Palkin k-väli on 4800 mm. Kehäjako voi tyypillisesti vaihdella 3,6 – 7,2 m riippuen siitä, mitä toisiorakennetta katossa käytetään. Kolminivelkehä jäykistää rakennuksen kehän suunnassa. Yläpohjan toisiorakenteena ovat jatkuvat sahatavaraorret.



Kuva 63. Kolminivelkehä, jalkaosan ulkopinta pystysuora.

Rakenne sopii hyvin lypsykarjapihattoihin. Kehän jalka voidaan tehdä myös siten, että sisäreuna on pystysuora kuvan 64 mukaisesti. Seinä sijoitetaan tällöin joko kehän ulko- tai sisäpuolelle. Jos kehä jää seinän ulkopuolelle, se on suojattava hyvin kosteudelta ja kuivumismahdollisuus on varmistettava. Puutteellisesti suojatuissa kehien päissä laho- ja homevaurioriski kasvaa.

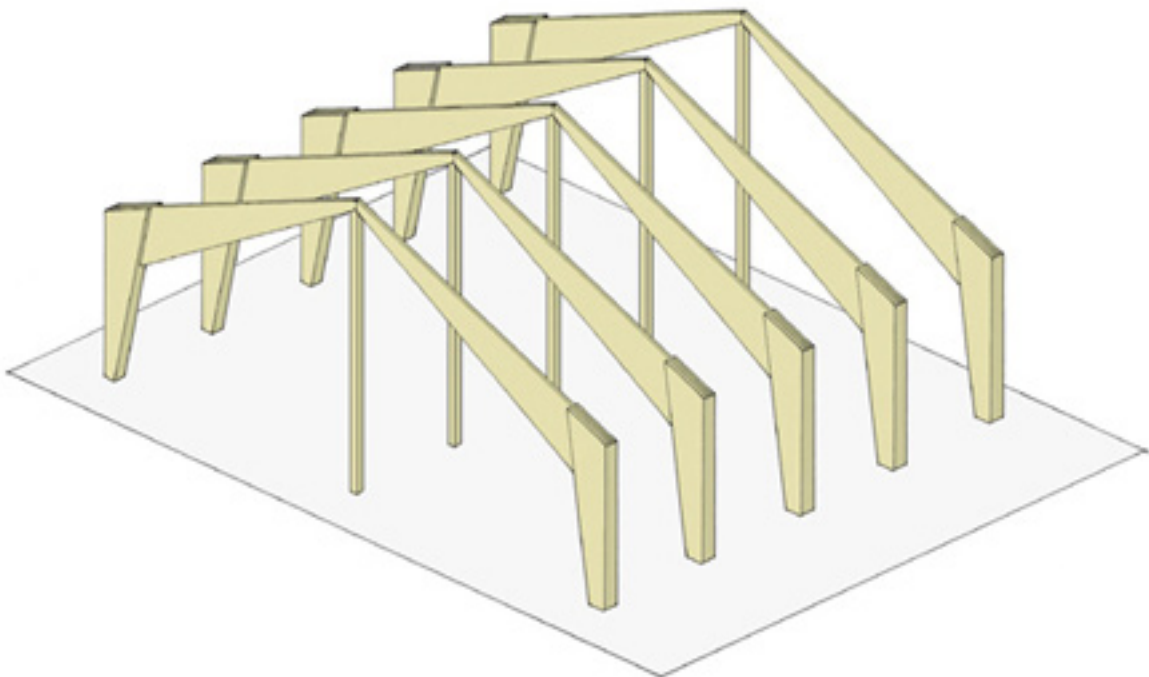
Kehäpalkkien dimensio on luokkaa $137 - 500 \times 75 \text{ mm}^2$ ja kehäpilarin $2 \times (1375 - 430 \times 63 \text{ mm}^2)$. Pilarina käytetään laatuna Kerto-Q ja palkeissa Kerto-S. Kehäpalkin ja kehäpilarin nurkkaliitos tehdään tappivaarnoin (pulteilla). Liitosalueet voidaan myös vahvistaa jatkuvilla naulalevynauhoilla. Tällöin liitoskapasiteetti on 2...3-kertainen pelkkiin tappivaar-noihin verrattuna ja tarvittavat liitinmäärät pienemmät. Naulalevyt myös vähentävät kertopuun kosteusmuodonmuutoksia (pulttireiät, liitosalueen halkeilu).



Kuva 64. Kolminivelkehä, jalkaosan sisäpinta pystysuora.

Kehän materiaali voi olla myös liimapuuta. Paineekyllästetty kertopuu ja ruostumattomat naulalevyt ovat myös mahdollisia.

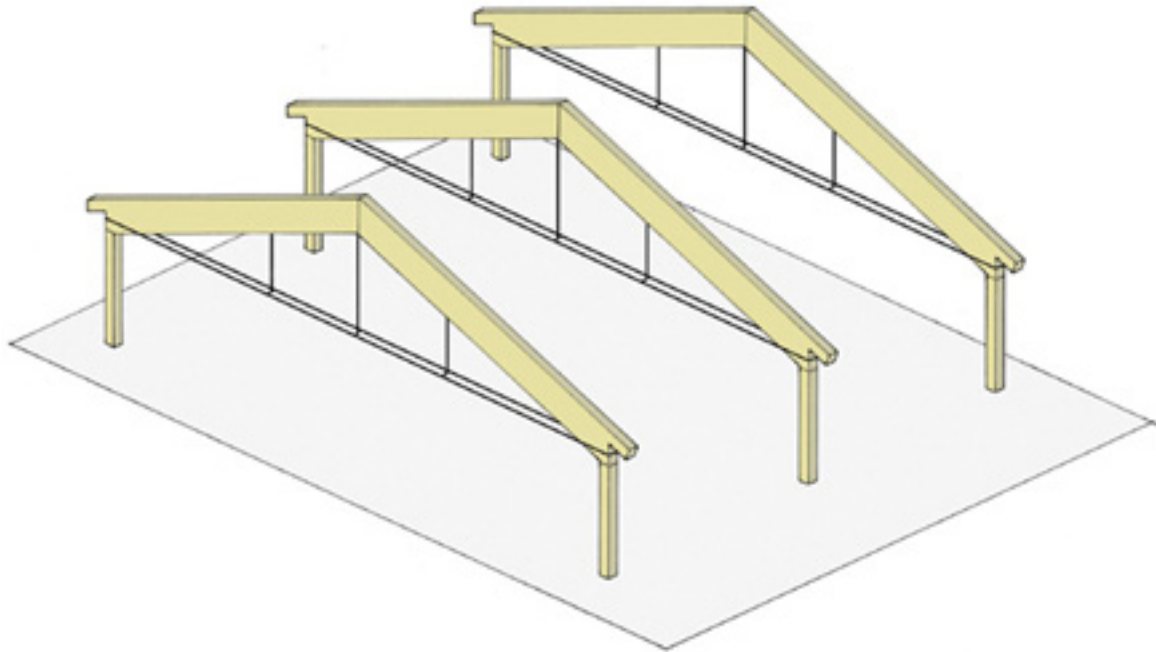
Kuvassa 65 on kertopuinen kolminivelkehä, jonka keskilinjaan on sijoitettu apupilari. Pilarin sijoitus on mahdollinen vain jos toiminnan vaatimukseen perustuva pohjaratkaisu sen sallii. Apupilarin vaikutuksesta keharakennetta voidaan tuntuvasti hoikentaa, jolloin myös rakenteen kustannus alenee.



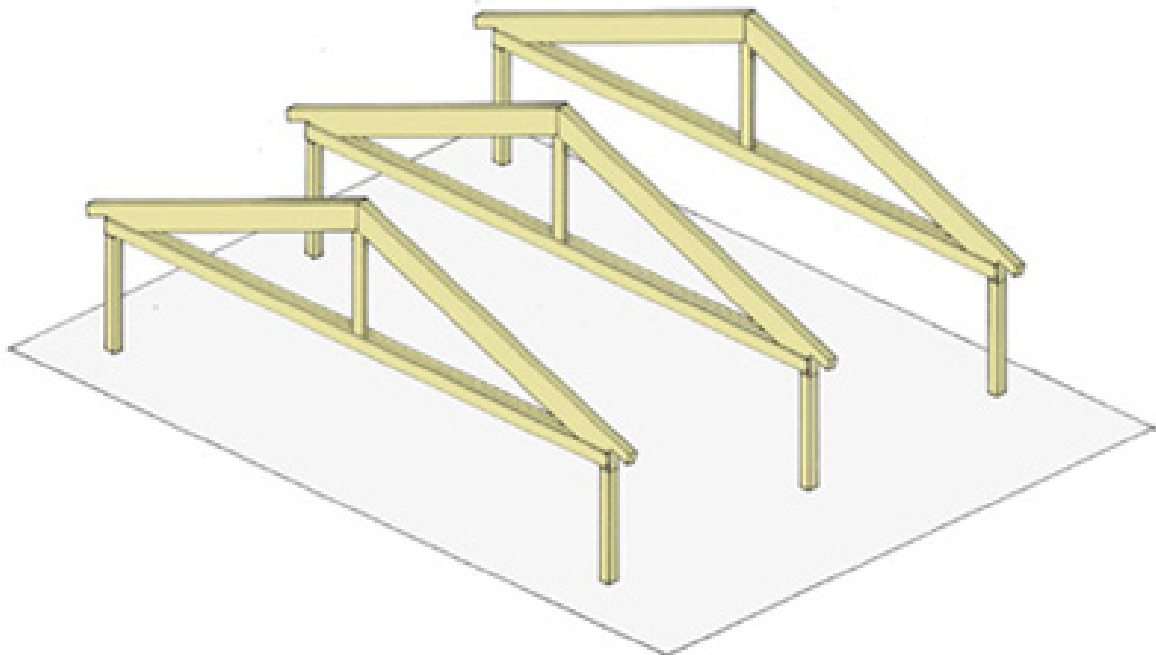
Kuva 65. Apupilarillinen kolminivelkehä.

6.2 Vetotangolliset ansarakenteet

Pääkannatin on teräsvetotangoilla toteutettu liimapuukehä. Liimapuukehä tukeutuu seinälinjoilla mastojäykkiin pilareihin. Rakennuksen leveys on 19,5 m. Palkin k-väli on 4800 mm ja kaltevuus 18,4°. Kattokulma on valittavissa vapaasti, mutta se on syytä suhteuttaa rakennuksen leveyteen sopusuhtaisen ulkonäön saavuttamiseksi.



Kuva 66. Vetotangollinen ansarakenne.



Kuva 67. Ansarakenne, jossa vetotankona kertopuinen palkki.

Rakenne sopii lypsykarjapihatoihin ja sikaloihin. Tosin sikaloissa käyttöä rajoittavat vetotangot, jotka hankaloittavat väliseinien tekoa.

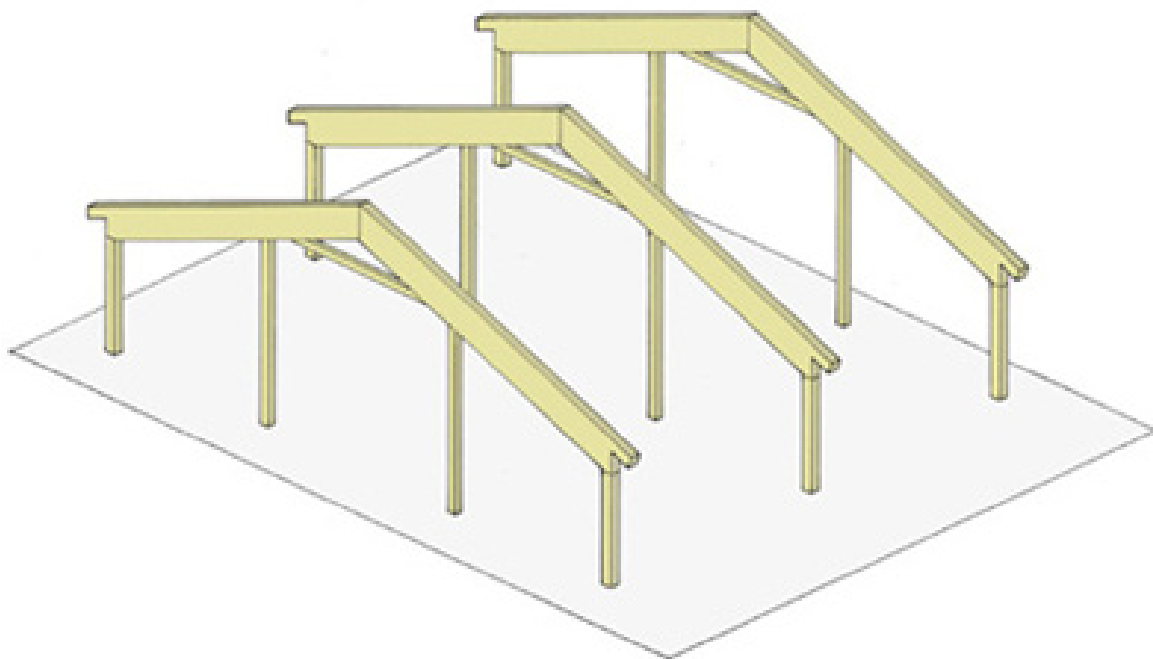
Palkkiosien dimensio on kokoluokkaa 165x675 mm² ja pilareiden 165x315 mm². Liimapuu on lujuusluokkaa GL32. Vetotangot, 2 kpl, ovat harjaterästä A500HW Ø 25 mm. Liimapuuosien liitokset toteutetaan vinotankoliitoksilla. Kaikki teräsosat ovat kuumasinkittyjä. Liitososat mitoitetaan valmistajan tuoteselosteen perusteella.

Rakenne voidaan toteuttaa myös kertopuisena, jolloin myös vetotangot ovat kertopuuta (ansaspalkki). Kertopuinen vetotanko kiinnitetään tappivaarnaliitoksilla palkin kylkeen. Yläpohjan sekundäärirakenne on kolmiaukkoinen SPU-elementti, joka asennetaan kehän päälle. Jos sisäkatosta halutaan vaakasuora, voidaan eristekerros sijoittaa kertopuisen vaakapalkin tasoon. Tällöin sekundäärikoolausten määrä on suurempi, koska eristekerros ja vesikatetaso joudutaan koolaamaan erikseen.

6.3 Liimapuinen pilaripalkkikehä

Rakenne on kolmilaivainen liimapuinen pilaripalkkiratkaisu. Rakenteessa keskimmäinen aukko on yleensä suurempi kuin reunimmaisat. Keskipilarilinjojen paikka voidaan valita melko vapaasti. Rakennuksen leveys on 33,6 m. Palkin k-väli on 4800 mm ja kaltevuus 15°.

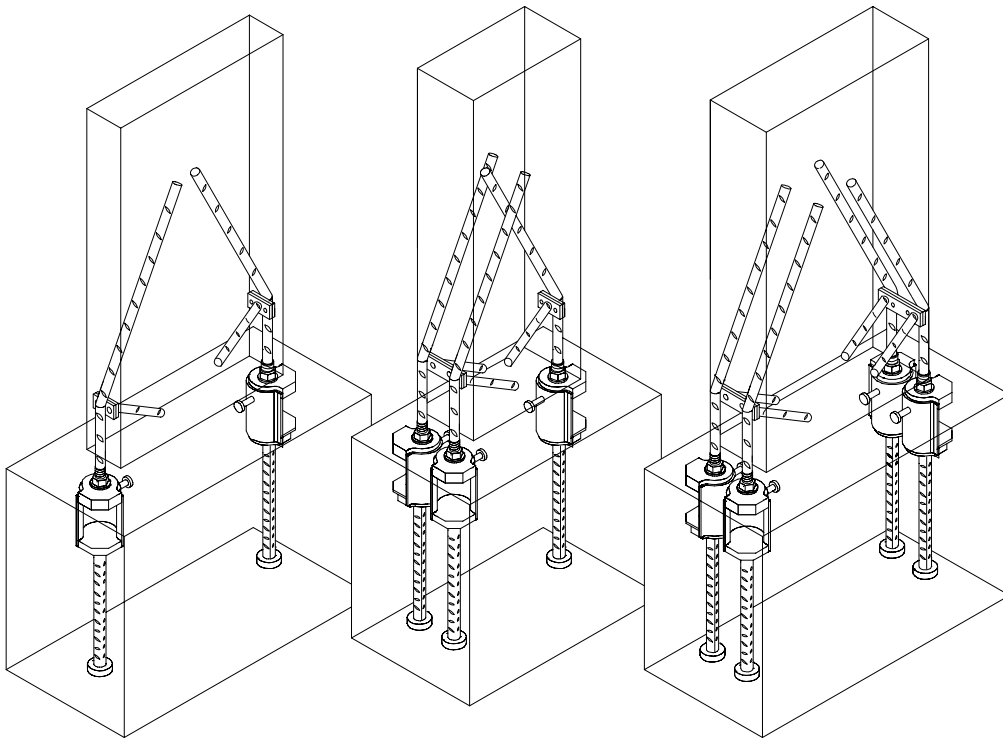
Rakenne sopii hyvin leveisiin lypsykarjapihatoihin, joissa pohjaratkaisu sallii pilarilinjat kahdessa kohtaa.



Kuva 68. Kolmilaivaisen liimapuupalkkihallin rakennepiirite.

Mastopilarit jäykistävät rakennuksen kehän suunnassa. Kehässä on neljä pilaria, joista kaksi on mastopilaria ja kaksi vastaavasti nivelpilareita. Vaakasiirtymien ja voimasuureiden kannalta edullisin tapa on tehdä reunapilarit mastojäykiksi ja keskipilarit nivelkiinnityksin.

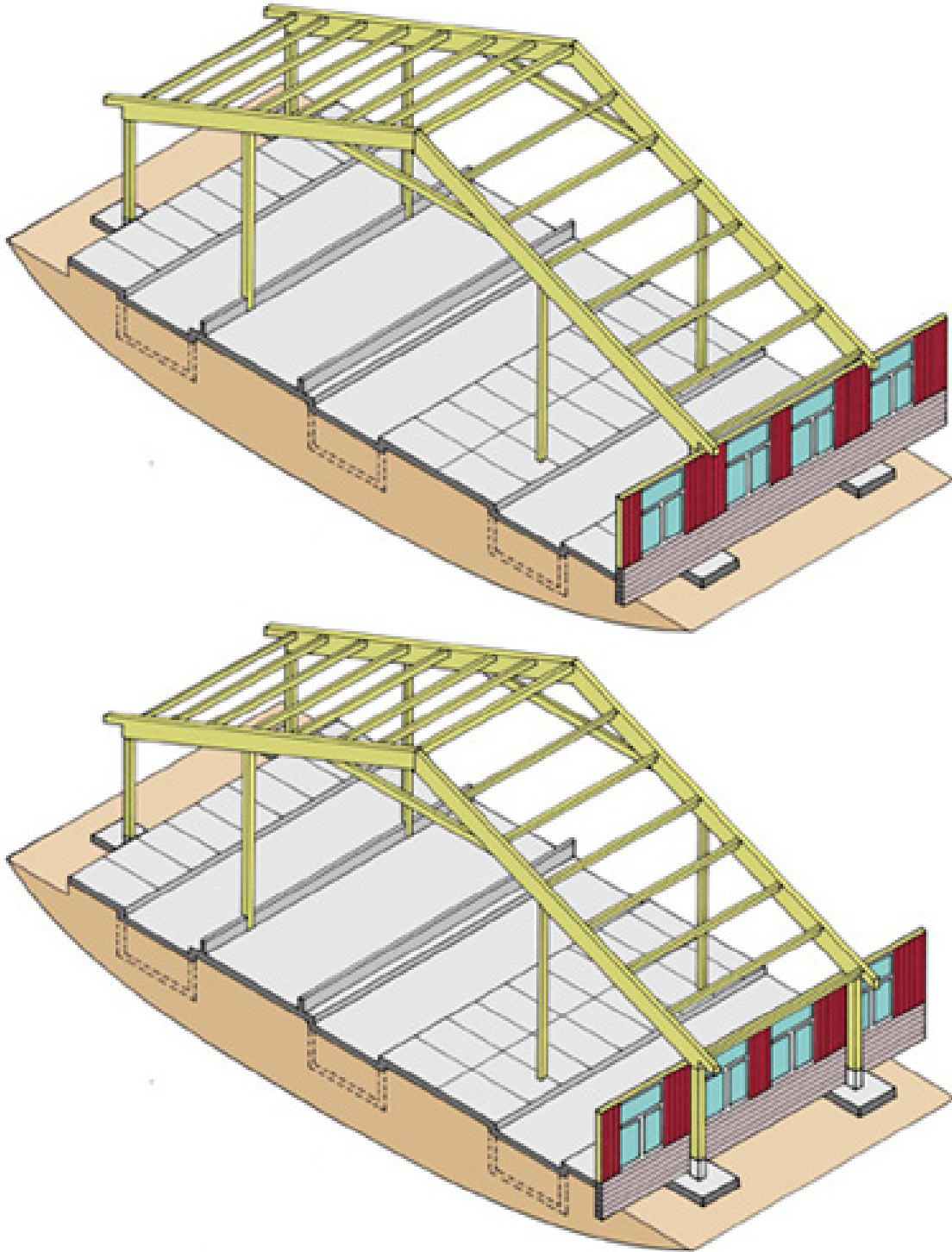
Lapepalkkien tyypillinen dimensio on $165 \times 570 \text{ mm}^2$. Lapepalkit yhdistetään keskiaukossa toisiinsa kahdella liimapuisilla vetotangolla, joiden dimensiot ovat luokkaa $42 \times 225 \text{ mm}^2$. Mastopilareiden tyypillinen dimensio on $165 \times 315 \text{ mm}^2$ ja keskilinjojen nivelpilareiden $165 \times 350 \text{ mm}^2$. Liitokset toteutetaan kuumasinkityillä naulauslevyillä, paitsi jäykät perustusliitokset, jotka tehdään vinotankoliitoksilla.



Kuva 69. Puisten mastopilarien kiinnityksissä käytetään uudenlaista tekniikkaa. Puupilariin porataan vinot reiät, joihin kuormia siirtävät teräspuikot liimataan, jolloin pilari saa jäykkyytensä.

7 Tuotantorakennusten arkkitehtuuri

Kotieläinrakennusten puurunkoratkaisut antavat tilaa myös vaipparakenteiden puuverhouksille. Puurakennus saa näyttää rehellisesti puurakennukselta. Julkisivuarkkitehtuurin keinoaranto voi hyödyntää kantavan puurakenteen ja kevyen, ei kantavan vaippaelementin sijoittelumahdollisuuksien tuomaa kirjoa. Tämä tuo suurimittakaavaisiin, hallimaisiin tuotantorakennuksiin uusia positiivisia mahdollisuuksia, joilla juuri mittakaavakysymyksiä voidaan hallita sommittelullisin keinoin.



Kuvat 70. Pilarihalli aksonometrisenä näkymänä, yläkuvassa kantava rakenne on eristetyn ulkoseinärakenteen sisäpuolella ja alakuvassa seinärakenteen ulkopuolella. Kantava linja voi sijaita myös seinän sisällä. Valinta riippuu siitä, suojellaanko pilaria enemmän sisä- vai ulko-olosuhteilta ja miten kantavaa rakennetta voidaan huoltaa ja korjata.



Kuva 71. Sikala tai lypsykarjapihatto toteutettuna pilarihallina, jossa kantava rakenne on jätetty eristetyn ulkoseinärakenteen ulkopuolelle. Seinärakenteen alaosa on muurattu eristetyistä harkoista ikkunakorkeuteen ja yläosa on puurakennetta.



Kuva 72. Sama pilarihalli, mutta koko seinärakenne on toteutettu puurakenteisena joko paikalla rakentaen tai elementtinä. Ikkuna-aukotuksen määrä, muoto ja sijoitus on kevyessä puuseinäelementissä lähes vapaata. Eläinten turvallisuus on tietysti otettava huomioon niin, etteivät ne pääse kosketuksiin lasipintojen kanssa.



Kuva 73. Sikala tai lypsykarjapihatto toteutettuna kolminivelkehillä, joiden pystyrakenne on eristetyin seinälinjan ulkopuolella. Rakenne luo julkisivuun voimakkaan sommitteluaiheen, joka jäsentää seinäpintaa ja samalla pienentää rakennuksen mittakaavallista kokoa.

8 Yhteenveto

Muutos suomalaisten kotieläintilojen tuotanto-olosuhteissa ja -määrissä on aiheuttanut rakennusten koon kasvua ja rakenteiden muutostarvetta. Suuriin yksiköihin soveltuvien hyvien ja tutkittujen rakenneratkaisujen puute on aiheuttanut epävarmuutta rakenneratkaisujen valinnassa. Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää uusia toiminnallisia pohjaratkaisuja, toimivia rakenneratkaisuja ja tyyppirakenteita erilaisiin käyttökohteisiin.

Tutkimuksessa selvitettiin yhdeksän lypsykarjapihaton ja kolmen sikalarakennuksen kosteus- ja lämpötilaolosuhteita vuoden kestäneellä mittauksella. Olosuhdeselvityksen tarkoituksena oli saada tietoa siitä, millaisiin sisäilmastorasituksiin uusien suurten kotieläinrakennusten rakenteet ja pintamateriaalit joutuvat. Sisäolosuhteiden erot näyttivät korreloivan kunkin kohteen ilmanvaihtojärjestelmän tekniseen toimivuuteen ja toimintaperiaatteen. Ilmanvaihdon määrässä oli tuntuvia puutteita. Kotieläinrakennusten ullakkoonteloiden tuulettumisessa oli puutteita. Tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että etenkin talviolosuhteissa suhteelliset sisäkosteudet olivat sellaisella tasolla, missä homeen synty ja esiintyminen oli todennäköistä. Sisäilman kosteudesta johtuvien lahovaurioiden syntyriski oli kuitenkin vähäinen.

Maatalousrakennukset ovat nykyään yhä enemmän teollisuusrakennuksen kaltaisia mittakaavan ja ulkonäkönsä puolesta. Tämä suuntaus tulee jatkumaan. Teollisuushalleille on tyyppillistä merkittävät, insinöörilaskentaa edellyttävät rakenteet, joiden suunnittelu tai rakentaminen ei onnistu kotitarverakentajalta. Tähän ei ole tarvettakaan, sillä maataloudessa

viljelijän työaika menee tuotannon hoitoon ja ylläpitoon. Tässä tilanteessa rakentaminen kannattaisi ulkoistaa rakennustyön osaaville toimijoille. Esiteolliset järjestelmät nopeuttavat rakennusprosessia ja näin mahdollistavat mittavan investoinnin saamisen nopeasti tuotantotoimintaan. Teollinen rakentamistapa ei silti estä maatilan oman puutavaran käyttöä täydentävissä rakenteissa, kuten sisä- ja ulkoverhoilut ja erilaiset koolausrakenteet

Puurakenteiden käytön esteinä ovat olleet aikaisemmin todetut tutkittujen esimerkkien puute. Toinen este on saattanut olla suunnittelijoiden asenteissa, sillä puu on sekä palava että lahoava materiaali. Puurakenteita voidaan maataloudessa käyttää kun detaljit suunnitellaan oikein. Puuta ei tarvitse käyttää kaikissa rakennuksen osissa. Puun täsmäkäytössä puurakenne suunnitellaan ja sijoitetaan niin, ettei toistuva pesuvesi tai muu kosteusrasitus pääse suoraan vaikuttamaan rakenteeseen. Myös rakennuksen toiminnallisella ratkaisulla voidaan vaikuttaa siihen, että puu ei joudu kaikkein kovimpiin rasituksiin. Detaljisuunnittelussa tulee erityishuomiota kiinnittää puun lattialiitoksiin sekä eläinkontaktiin.

Rakenteita rasittavia pitkäaikaisvaikutuksia voidaan minimoida rakennuksen ilmanvaihtotarpeen riittävillä mitoituksilla ja teknisellä toteutuksella. Naulalevyristikollisissa kotieläinrakennuksissa tulee huolehtia siitä, että eläintilan kostea ilma ei minään vuoden aikana pääse ristikkotilaan. Itse ristikkotilan tuuletus pitää rakentaa toimivaksi riittävillä korvausilma- ja poistoaukoilla. Eläintilan kattorakenteiden höyrysulkumuovi tulee asentaa saumattomasti. Ullakkotilan läpi vietävät ilmavaihtokanavat eivät saa vuotaa sisäilmaa ristikkotilaan.

9 Kirjallisuus

Kokko, E., Ojanen, T., Salonvaara, M., Hukka, A., Viitanen, H. Puurakenteiden kosteustekninen toiminta. VTT Tiedotteita 1991. Espoo: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. 1999. 160 s. ISBN 951-38-5499

Kurkela, J., Kivinen, T., Westman, V-M., Kevarinmäki, A. Suurten maatalousrakennusten puurunkoratkaisut, esivalmistetut rakennusjärjestelmät. VTT Tiedotteita 2003. Espoo: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. 115 s. ISBN 951-38 ([URL:http://www.inf.vtt.fi/pdf/](http://www.inf.vtt.fi/pdf/))

Post-Frame Building Design Manual. NFBA. 2000.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL, RIL 162-1, Puurakenteet I. Helsinki: 1987. 248 s. ISBN 951-758-143-2

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL, RIL 205-1997, Puurakenteiden suunnittelu, Euronormi. Helsinki: 1997.

Suomi-Lindberg, L., Viitaniemi, P., Häkkä-Rönholm, E., Ritschkoff, A. Metalliliittimien korrosio puurakenteissa, Biokorrosio. VTT Julkaisuja 839. Espoo: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. 1999. 50 s. ISBN 951-38-5016-1

Walker, J., N., Woeste, F., E. Post-Frame Building Design. ASAE. 1992. 358 s. ISBN 0-929355-29-6

Virta, J., Koponen, S. Maatilan tuotantorakennuksiin soveltuvien runkojärjestelmien kustannusarviovertailu. Teknillisen korkeakoulun talonrakennustekniikan julkaisuja 113. Espoo: 2001. 30 s. ISBN 951-22-5348-2.

Julkaisun kaikki kuvat Tapani Kivinen, paitsi

VTT, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka kuvat nro 48, 51, 69.

MTT:n selvityksiä -sarjan Teknologia-teeman julkaisuja

- 35 Suurten maatalousrakennusten puurunkoratkaisut. Olosuhdemittaukset ja toiminnalliset mallit. *Kivinen*. 61 s. Hinta 20 €.
- 23 Esiselvitys kotieläintalouden ympäristökuormitusta vähentävien menetelmien ja tekniikoiden kustannuksista ja tehokkuudesta. *Kallioniemi*. 51 s., 2 liitettä. (verkkojulkaisu osoitteessa: www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts23.pdf).
- 21 Suomalaisen maatalouskoneteollisuuden tulevaisuuden haasteet. *Manni & Riipinen*. 208 s., 9 liitettä. Hinta 25,00 €.
- 18 Sata vuotta tutkittua maataloustekniikkaa. *Kallioniemi (toim.)*. 61 s. Hinta 20,00 €.
- 17 Pihaton lypsyjärjestelmät. *Manninen ym.* 53 s., 2 liitettä. (verkkojulkaisu osoitteessa: www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts17.pdf).
- 16 Parsinavetan lypsykone: Hankitaanko uusi vai korjataanko vanhaa? *Manninen & Nyman*. 10 s., 4 liitettä. (verkkojulkaisu osoitteessa: www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts16.pdf).
- 5 Riskienhallinnan menetelmät elintarvikeketjussa. *Suutarinen & Mattila*. 16 s. (verkkojulkaisu osoitteessa: www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts5.pdf).
- 4 Laatu ja riskit elintarviketaloudessa -menetelmät ja välineet: seminaari 29.11.2001, Olkkalan kartano, Vihti. *Mattila & Suutarinen (toim.)*. 21 s. (verkkojulkaisu osoitteessa: www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts4.pdf).

