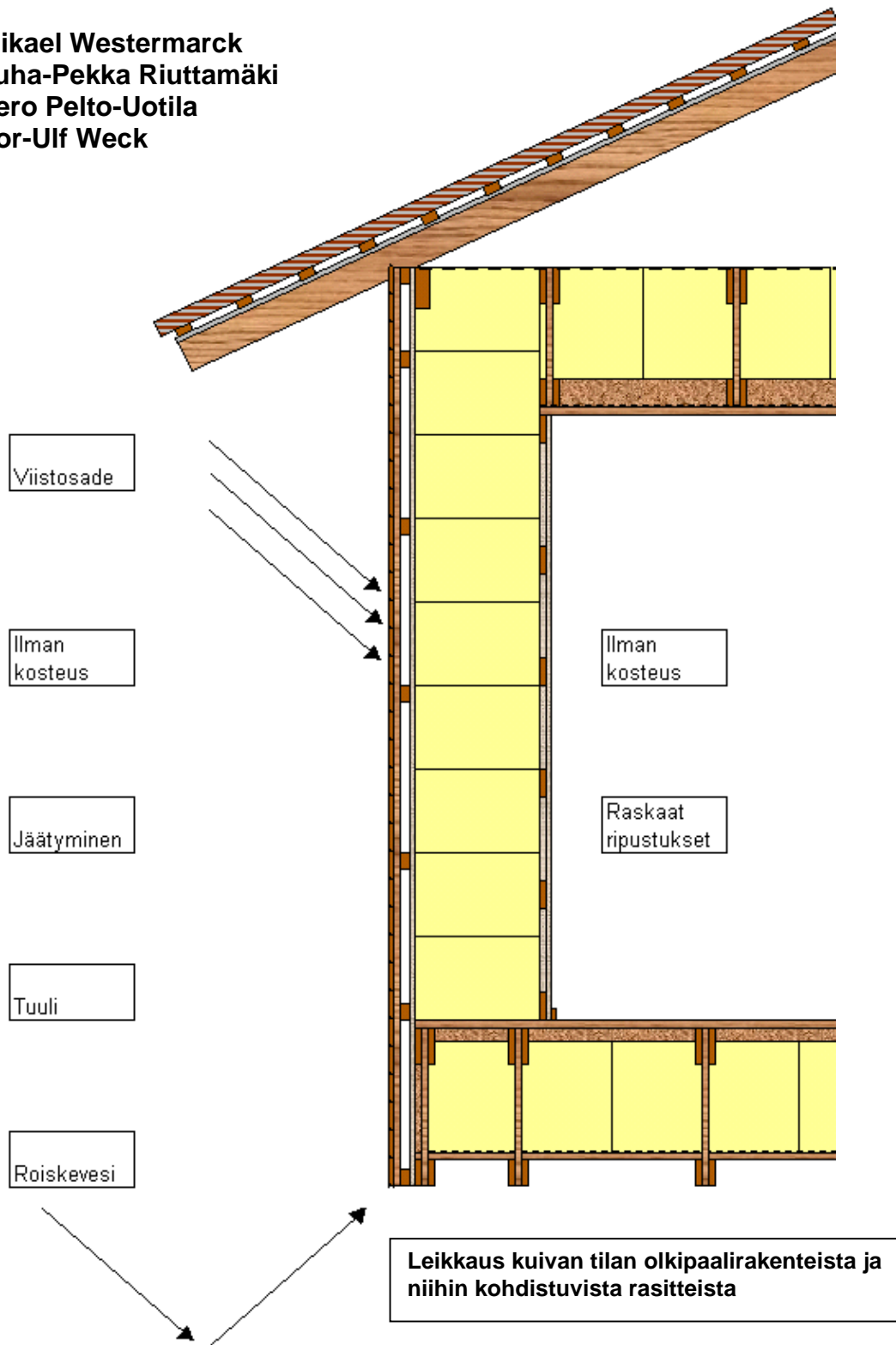


OLKIPAALIT RAKENNUSAINEENA MAATILOJEN PUURAKENNUKSISSA

Mikael Westermarck
Juha-Pekka Riuttamäki
Tero Pelto-Uotila
Tor-Ulf Weck



**TEKNILLINEN KORKEAKOULU
ARKKITEHTIOSASTO
Rakennetekniikka
Luonnonmukaisen rakentamisen tutkimusyksikkö LRT**

OLKIPAALIT RAKENNUSAINEENA MAATILOJEN PUURAKENNUKSISSA

Selvitys

**Mikael Westermarck
Juha-Pekka Riuttamäki
Tero Pelto-Uotila
Tor-Ulf Weck**

ISBN 951-22-5806-4

Teknillinen korkeakoulu 2002

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| Tiivistelmä | 4 |
| 1 Yleistä | 6 |
| 2 Liittyminen muihin hankkeisiin | 7 |
| 3 Tavoitteet | 7 |
| 4 Tutkimusmenetelmät | 7 |
| 5 Tulokset | 8 |
| 5.1 Maatilarakennusten rakenteiden tekninen selvitys | 8 |
| 5.1.1 Yleistä | 8 |
| 5.1.2 Lämpötekniisiä ominaisuuksia | 9 |
| 5.1.3 Palotekniisiä ominaisuuksia | 9 |
| 5.1.4 Sisätiloista tulevia kosteusrasituksia | 11 |
| 5.2 Olkipaalirakenteiden tekninen selvitys | 13 |
| 5.2.1 Yleistä | 13 |
| 5.2.2 Lämpötekniisiä ominaisuuksia | 13 |
| 5.2.3 Palotekniisiä ominaisuuksia | 16 |
| 5.2.4 Kosteustekniisiä ominaisuuksia | 17 |
| 5.3 Vesihöyryn läpäisevyyksien laskelmat | 22 |
| 5.3.1 Rakenteiden ja ulko-olosuhteiden määrittely | 22 |
| 5.3.2 Sisätilan olosuhteiden määrittely | 23 |
| 5.3.3 Laskelmien tulokset | 25 |
| 5.4 Rakennesuunnitelmat | 26 |
| 5.4.1 Yleistä | 26 |
| 5.4.2 Seinät | 27 |
| 5.4.3 Ala- ja yläpohjat | 30 |
| 5.5 Rakenteiden kustannuslaskelmat | 30 |
| 5.6 Yhteenveto rakenteista, vertailu ja johtopäätökset | 33 |
| 6 Tulosten arviointi | 34 |
| 6.1 Tulosten luotettavuusarviointi | 34 |
| 6.2 Tulosten käytännön sovellutuskelpoisuus | 34 |
| 6.3 Tulosten tieteellinen merkitys ja lisätutkimustarpeet | 34 |
| Lähteet | 35 |
| Liitteet | 36 |
| Liite 1. Rappausten vesihöyryn läpäisevyyden tutkimustulokset | 36 |
| Liite 2. Lämmönjohtavuuden koemenetelmä ÖNORM B 6015 | 36 |
| Liite 3. Paksun seinärakenteen lisäkustannukset | 37 |
| Liite 4. Kontakttilista | 37 |

TIIVISTELMÄ

Identifiointi- ja sisältötiedot

Hankkeen nimi on *Olkipaali-puu -rakenteiden käyttövaatimukset maatalousrakennuksissa, The application requirements of strawbale-wood -structures in agricultural buildings*. Projektin vastuuhenkilö oli professori Tor-Ulf Weck ja yhteyshenkilö arkkitehti Mikael Westermarck. Projekti toteutettiin kokonaisuudessaan Teknillisen korkeakoulun arkkitehtiosastolla vuoden 2001 aikana.

Tilaaaja: Maa- ja metsätalousministeriö

Julkaisija: Teknillisen korkeakoulun arkkitehtiosasto

ISBN numero: 951-22-5806-4

Avainsanat: Olkipaalirakentaminen, luonnonmukainen rakentaminen, ekorakentaminen, puurakentaminen

Kieli: Suomi

Sivuja: 40

Rahoitusyhteenvedo

Projektin kokonaiskustannukset oli 90 000 mk (ei sis. alv), josta maa- ja metsätalousministeriön Maatilatouden kehittämisrahaston osuus oli 80 000 mk ja TKK:n osuus 10 000 mk.

Tavoitteet

Tavoitteena oli tutkia, miten puurunkoiset olkipaaleilla lämpöeristetyt rakenteet soveltuisivat maatalousrakennusten asettamiin vaatimuksiin Suomessa. Rakenteina tutkittiin lämmitettävien rakennusten (eläin- ja asuinrakennukset sekä tuotantohallit) ulkoseiniä sekä ala- ja yläpohjia. Tutkimuksessa keskityttiin kosteus-, lämpö- ja paloteknisiin ominaisuuksiin sekä rakennejärjestelmiin. Myös rakennuskustannuksia sivuttiin tässä tutkimuksessa.

Tulokset

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin, mitä kohteena olevien rakenteiden teknisiltä ominaisuuksiltaan vaaditaan. Lämmöneristävyyskerroin on oltava alimmillaan $0,21 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ja rakenteiden on kestettävä paloa enintään 60 minuuttia sekä korkeaa ilmankosteutta, lattialla seisovaa vettä ja seiniin aiheutuvaa mekaanista kulutusta ja vesipesua. Tämän lisäksi rakenteet ja varsinkin ulkoseinät ovat alttiina ilmaston rasituksille.

Olkipaalirakenteiden selvityksessä ilmeni, että paalien tiheysvaihtelut ja sitä kautta ominaisuuksien vaihtelut ovat vielä suuria ja suoritettavat testit ovat lähinnä esikoetyyppisiä. Kuitenkin voidaan jo sanoa jotain niille hyvin soveltuvista käyttöalueista. Käyttöalueita ei näytä rajoittavan ainakaan olkipaalien palo-ominaisuudet, eikä lämmönjohtavuus, vaan päinvastoin nämä ominaisuudet ovat olkipaalirakenteiden vahvoja alueita (tavallisesti u -arvot = $0,10 - 0,12 \text{ W/m}^2 \text{ K}$). Olkipaalirakenteiden lujuusominaisuudet on riippuvaisia puurakennetkaisuista ja pinnoitusvalinnoista, sillä olkipaali on vain rakenteen lämmöneriste.

Kantava puurakenne sopii olkipaalirakentamiseen hyvin, vaikkakin olkipaalin leveys aiheuttaa muutoksia totuttuihin puurakenteisiin. Rankarakenteissa puurungon on parempi olla tikasrakenteinen tavanomaisen pilari-palkkirakenteen sijaan. Tavanomaiseen hirsirakentamiseen olkipaalit sopivat huonosti, mutta 2-lautahirsirakenne yhdistettynä olkipaalien käyttöön voisi tuoda aivan uuden mielenkiintoisen rakennejärjestelmän. Mikäli suurten jännevälien halleista halutaan lämpimiä, olkipaalirakentaminen voisi myös tarjota siihen varsinkin edullisen ratkaisun.

Olkipaalin käyttöä rakenteessa rajoittaa lähinnä sisätilan kosteus ja vesi. Käyttämällä höyrynsulkukerrosta ja vedenpitäviä ratkaisuja rakenteiden sisäpinnoissa, voidaan ongelmat toki varmasti välttää. Olkipaalirakentamisen kustannusarvot ovat vielä hyvin karkeita, mutta olemassa olevan kokemuksen ja laskelmien perusteella olkipaalirakenteiden ja varsinkaan vaakarakenteiden ei tarvitse paksuudestaan ja hyvästä lämmöneristävyydestään huolimatta olla juurikaan tavanomaisia rakenteita kalliimpia. Parhaiten olkipaalit sopivat kuivien asuintilojen ja eläinrakennusten rakenteisiin. Rakennuspaalin kehitystyön päätavoitteeksi olisi otettava paalin helppo asennettavuus ja pinnoitettavuus, niin, että työtä ja kustannuksia kertyisi asentamisesta mahdollisimman vähän.

Tulosten arviointi

Olkipaalien ja olkipaalirakenteiden testaaminen suurella tarkkuudella ei ole vielä relevanttia, sillä tiheyden ja olkityyppien hajonta voi aiheuttaa epävarmuutta lämmönjohtavuuden sekä vesihöyryn- ja ilmanläpäisevyyden arvoihin. Hajonta ei ilmeisesti ole kuitenkaan niin suurta, että sillä olisi merkitystä paloteknisiin ominaisuuksiin, kapilaarisuuteen tai homehtuvuuteen. Olemassa olevan tiedon perusteella voitiin kuitenkin tehdä vesihöyryn läpäisevyyyslaskelmien riittävällä tarkkuudella ja sen indikoimaa ongelmaa, jos kosteissa tiloissa ei käytetä kunnollista vesihöyrnsulkua, voidaan pitää suuruusluokaltaan oikeina. Olkipaalirakenteen kustannuslaskelmaa ei voi pitää kovin luotettavana sillä pienetkin heilahdukset työmenekissä, joita ei tähän mennessä ole virallisesti mitattu, aiheuttavat heti useiden kymmenien markkojen heilahduksia kustannuksissa. Kustannuslaskelma antaa tällä hetkellä vain suuruusluokan.

Tutkimus toimii esiselvityksenä suunnitellulle EU tai TEKES -projektille, jossa kehitetään oljesta koostuvia rakennuspaaleja ja niiden tuotantolinjaa. Projektin jälkeen maanviljelijät ja muut maaseudun yrittäjät voivat nostaa paaliensa jalostusastetta tekemällä niistä rakennuskäyttöön paremmin sopivia. Omatoimirakentajat ja rakennusyritykset voivat hyödyntää tutkimuksen tuloksia rakentamisessa ja rakentaa teknisesti oikeaoppisia rakenteita. Rakennuslupaa hakiessaan rakennuttajat voivat esittää raporttiin kerättyjä tutkimustuloksia rakennusviranomaisille. Esitetyt rakennejärjestelmät voivat parhaassa tapauksessa myös innostaa perustamaan uutta yritystoimintaa alalle.

Tässä vaiheessa olennaisinta olisi tehdä maaseudun ja muidenkin omatoimirakentajien käyttöön kunnollinen ohjekirja siitä rakennuskonseptista, johon olkipaalirakentaminen kiinteästi liittyy, eli paikallisten resurssien ja rakennusperinteen hyödyntämisestä maatilarakentamisessa. Tärkeää olisi myös aloittaa olemassa ja käytössä olevien olkipaalirakenteiden kosteusseurantatutkimus ja laajentaa sitä, kun uusia rakennuskonseptin mukaisia rakennuksia nousee.

Kiitokset

Tutkimusryhmä haluaa kiittää ystävällisestä tutkimusaineiston toimittamisesta seuraavia henkilöitä:

- Markus Piringer, GLOBAL 2000, Itävalta
- Hannes Hohensinner, Gruppe Angepasste Technologie / Technische Universität Wien, Itävalta
- Rob Jolly, Department of Civil Engineering and School of Architecture, University of Waterloo, Canada
- John Straube, Canada

Lisäksi kiitoksen ansaitsee aktiivisesta tutkimustulosten kommentoinnista ja lähdeaineiston toimittamisesta tämän projektin ohjausryhmä, joka koostui tutkimusryhmän lisäksi seuraavista henkilöistä:

- Pertti Toivari, Maa- ja metsätalousministeriö / Maaseutu- ja luonnonvaraosasto / Rakentamisyksikkö
- Jorma Jantunen, Maa- ja metsätalousministeriö / Maaseutu- ja luonnonvaraosasto / Rakentamisyksikkö
- Tapani Kivinen, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus

Julkaisutilaukset

Tämä julkaisu on ilmaiseksi ladattavissa osoitteessa

<http://www.hut.fi/Yksikot/LRT/Olkipaalirakentaminen>

1 YLEISTÄ

Nebraskassa, Pohjois-Amerikassa on rakennettu olkipaalirakennuksia 1800-luvun lopulta lähtien, ja vanhimmat yhä käytössä olevat rakennukset ovat yli 100-vuotiaita. Olkipaalirakentaminen on yleistynyt viimeaikoina ympäri maailman seinärakenteen ekologisuuden, hyvän lämmöneristävyyden ja edullisuuden takia (ks. liite 4). Käyttämällä maatalojen omia raaka-aineita ja omaa työtä voidaan rakentaa hyvin pienellä rahalla ja paksut rakenteet eristävät hyvin. Suomessa olkipaaleja on käytetty sotien jälkeen pihanavettojen rakentamisessa, ja viimevuosina kiinnostus olkipaalirakentamiseen on virinnyt täälläkin uudestaan. Merkittävimpiä uusia rakennuksia Suomessa ovat Snellman korkeakoulun uusi ateljeerakennus Jollaksessa Helsingissä (n. 300 m²), Mikko Kylämarkulan majoitusrakennus *Pellavista* ja Rami Reunasan omakotitalo Humppilassa, Arndt Reuterin 3 majoitusmökkiä Paraisilla sekä Tapani Marjamaan rakennukset Orivedellä ja Sonkajärvellä (ks. kuva 1). Tämän lisäksi olkipaaleista on rakennettu mökkejä, varastoja sekä meluaitoja.



Asuintalo Nebraskassa (US), 1936



Talo rakenteilla Uudessa Meksikossa (US), 1995



Ekoateljee Jollaksessa, 1999-2000



Talo *Pellavista* rakenteilla Humppilassa, 1996



Asuintalo rakenteilla Grazissa (AT), 1999 /4/



Paritalo Wienin lähistöllä, 2000 /Liite 4, asbn/

Kuva 1 Olkipaalirakennuksia Yhdysvalloissa, Suomessa ja Itävallassa

Huolellisella rakennussuunnittelulla on tiheitä olkipaaleja voitu käyttää kantavana rakenteena, mutta Suo-

messä keskitytään lumikuormien takia rakenteisiin, joissa paaleja käytetään kantavan puurungon välissä. Seinärakenne koostuu päällekkäin pinotuista olkipaaleista. Paalikerrokset voidaan tapittaa toisiinsa rauta- tai puusauvoilla, jotka lävistävät kaksi tai kolme alempaa kerrosta. Olkipaalit on myös voitu kiinnittää muuramalla, kun paalit on ensin kieritetty laastissa siten, että niihin on muodostunut kova kuori. Tyypillisin seinärakenne pinnoitetaan rappaamalla, mutta se voidaan myös laudoittaa tai levyttää. Rappaamisessa on käytetty kalkki-, sementti- ja savilaasteja joko sellaisenaan tai vahvistamalla se paalien sivupinnoille sidotulla metallisella rappausverkolla tai harvalla juuttikankaalla.

Olkipaalirakentamisesta alkaa olla paljon kirjallisuutta sekä muuta opastavaa aineistoa, ja koerakentamisesta on saatu paljon kokemusperäistä tietoa. Tieteellinen selvitys olkipaalirakentamisen soveltumisesta Suomen oloihin ja varsinkin maatilarakentamiseen on kuitenkin puuttunut. Selvityksen jälkeen tarvitaan luonnollisesti myös rakentajan ohjekirja.

2 LIITTYMINEN MUIHIN HANKKEISIIN

Itävallassa on meneillään tutkimushanke *Renewable resources in the building sector*, jossa itävaltalainen ympäristöjärjestö *GLOBAL 2000* on tehnyt olkipaalirakentamisesta mittavan kansainvälisen kartoituksen /3/. Wien'in teknillisen yliopiston (TU-Wien) tutkimusryhmä *Gruppe Angepasste Technologie* on tehnyt samassa hankkeessa tutkimuksen *Wandsystem aus nachwachsenden Rohstoffen*, jossa on suoritettu tärkeitä lämmöneristävyys- ja palotestejä olkipaaleille. Mukana hankkeessa on myös *Itävallan olkipaali -networkin*, jonka internetsivuilla on julkaistu tutkimusten tuloksia (ks. liite 4). Näitä tutkimustuloksia ja selvityksiä on esitelty jo tässä julkaisussa.

Valmisteilla olevassa EU (CRAFT) -projektissa pyritään kehittämään oljesta **rakennuspaali**, jonka parametrit (tiheys, mitat, sidoslankojen määrä, olkilaji) optimoidaan teknisten koetulosten perusteella. Parametreiltään standardoituun rakennuspaaliin oletetaan päästävän, sillä, että olki kerätään mahdollisimman tehokkaasti ja hyvälaatuisena pellolta (suur- ja pyöröpaalit) ja kuljetetaan tuotantotilaan, jossa paaleja tuotetaan hallitusti projektissa kehitetyllä tuotantolinjalla. Tämä edellyttää mm. paalaajan edelleen kehittämistä, mutta oljen purku linjalle, ja kuljetus linjalla on olemassa olevaa teknologiaa. Projektissa on tarkoitus myös kehittää eri ilmasto-olosuhteisiin ja rakennustyyppeihin sopivia rakenneratkaisuja.

3 TAVOITTEET

Tavoitteena on tutkia, miten puurunkoiset olkipaaleilla lämpöeristetyt rakenteet soveltuisivat maatalousrakennusten asettamiin vaatimuksiin Suomessa. Rakenteina tutkitaan lämmitettävien rakennusten (eläin-, tuotanto- ja asuinrakennukset) ulkoseiniä sekä ala- ja yläpohjia.

Tutkimuksessa keskitytään kosteus-, lämpö- ja paloteknisiin ominaisuuksiin sekä rakennejärjestelmiin. Myös rakennuskustannuksia sivutaan tässä tutkimuksessa.

Pitkän ajan tavoitteena on, että maanviljelijät ja muut maaseudun yrittäjät voivat nostaa sivutuotteena pidetyn oljen jalostusastetta tekemällä siitä rakennuskäyttöön paremmin sopivia paaleja.

4 TUTKIMUSMENETELMÄT

- 1 Selvitetään lämmitettävien tai lämpöeristettävien eläinrakennusten, tuotantohallien ja asuinrakennusten em. tekniset vaatimukset
- 2 Selvitetään GLOBAL 2000 tekemästä kartoituksesta sekä muista lähteistä, mitä tarvittavia testituloksia on saatavilla ja kuinka ominaisuudet täyttävät asetetut vaatimukset. Lisäksi arvioidaan testitulosten luotettavuus ja käyttökelpoisuus Suomessa sekä listataan tarvittavat lisäkokeet.
- 3 Selvitetään kuinka hyvin rakennuspaali soveltuu käytettäväksi näissä erilaisten rakennustyyppien yleisimmässä puurakenteissa ja toisaalta, mitkä puurakenteet soveltuvat erityisen hyvin paalirakentamiseen.

Työ tehdään valtaosaltaan kirjallisuuskartoituksena, laskelmina ja piirustuksina.

5 TULOKSET

Tässä raportissa ei ole ryhdytty selittämään rakennusfysiikan perusasioita tai luokituksia vaan lukijan oletetaan olevan niistä perillä. Teksti on kuitenkin pyritty tekemään niin kansantajuiseksi kuin mahdollista. Tiivistettyä perustietoa rakennusfysiikallisista ilmiöistä on luettavissa mm. osoitteessa

<http://www.ofw.fi/siikaranta/internetopiskelu/opinnet/korjausrakentaminen/rakfysiikka.html>. Rakennusmääräyksistä löytyy tietoa Ympäristöministeriön sivulta <http://www.vyh.fi/raken/rakmk/index.htm>, josta edelleen pääsee hakemaan tietoa mm paloluokituksista

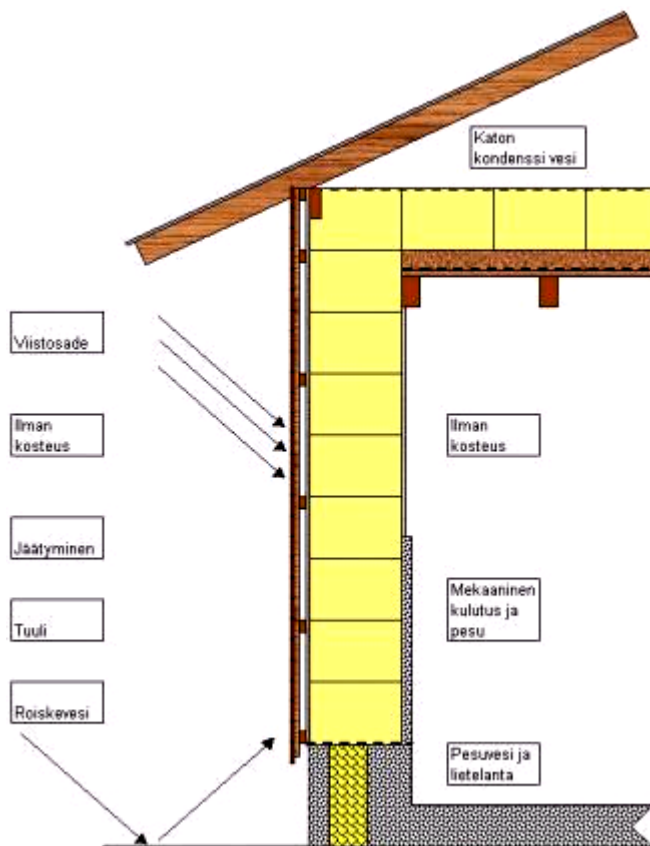
- E1 Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet <http://www.tothepoint.fi/extra/finlex/pdf/1923-e1.pdf>
- E2 Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus, ohjeet <http://www.tothepoint.fi/extra/finlex/pdf/1936-e2.pdf>

Tutkimuksen rajauksen mukaisesti tekniset selvityksetkin koskettavat vain puurakenteita.

5.1 Maatilarakennusten rakenteiden tekninen selvitys

5.1.1 Yleistä

Kotieläin-, tuotanto- ja asuinrakennuksissa on tärkeää pystyä luomaan sellainen huoneilmasto, jossa ihmiset ja eläimet voivat hyvin, eläinten aineenvaihdunta toimii oikein ja eläinten hoitajien työskentelyolosuhteet ovat sopivat. Rakennusten ulkovaipan tehtävänä on muodostaa tila, jossa olosuhteita voidaan säädellä ihmisten ja eläinten kannalta tarkoituksenmukaiseksi. Tämä säätely tapahtuu sovittamalla yhteen ihmisten, eläinten ja koneiden oma lämmönluovutus, rakennuksen vaipan läpi tapahtuva lämmönsiirtyminen ja näiden erotuksena lisälämmityksen tarve sekä ilmanvaihto.



Kuva 2 Leikkaus eläinrakennusten ulkovaipan rakenteista ja niihin kohdistuvista rasitteista

Lisäksi sekä sisä-, että ulkopintojen materiaalivalinnoissa on otettava huomioon erilaisten epäpuhtauksien mahdolliset kemialliset vaikutukset. Oikea ulkopintojen materiaalivalinta vaikuttaa ratkaisevasti siihen, miten rakennus sopeutuu ympäröiviin rakennuksiin ja ympäröivään maisemaan.

5.1.2 Lämpötekniisiä ominaisuuksia

Eläin ja tuotantorakennusten lämmönläpäisykertoimia

Maatilojen eläin- ja tuotantorakennusten lämmönläpäisykertoimien eli u -arvojen (entinen K -arvo) ylärajoista saa hieman erilaista tietoa eri lähteistä. Maa- ja metsätalousministeriön ohjeen MMM-RMO-C2.2 mukaan lämpimien ja lämmitettyjen eläintilojen rakenteiden u -arvot tulee olla ulkoseinissä enintään 0,4 W/m²K ja yläpohjassa 0,24 - 0,30 W/m²K riippuen paikkakunnan mitoituslämpötiloista /9/. Rakennuksissa joissa ei ole lämmitysjärjestelmää, voidaan edellä mainitut arvot ylittää. Esimerkiksi hevostallin ja navetan ulkoseinärakenteena voidaan käyttää massiivirakennetta, joka on u-arvoltaan enintään 0,7 W/m²K. Maa- ja metsätalousministeriön rakentamishojeissa esitetyn tuotantorakennuksen ulkoseinärakenteen ulkoseinän rakennetyypin u-arvo on 0,38 W/m²K ja yläpohjien arvot vaihtelevat välillä 0,22 - 0,32 W/m²K /9/. Rakennusmääräyskoelmassa RakMK C3 tuotantorakennuksille annetaan seuraavia enimmäisarvoja /20/:

| Ulkoilmaa tai lämmittämätöntä tilaa vastaan olevan rakennusosan lämmönläpäisykerroin | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Rakenne | Lämmin tila W/m² K | Puolilämmin tila W/m² K |
| Seinä | 0,45 | 0,65 |
| ylä- ja alapohja | 0,36 | 0,65 |
| Maata vastaan olevan rakennusosan lämmönläpäisykerroin | | |
| Alapohja ja seinä | 0,36 | 0,65 |

Asuinrakennusten lämmönläpäisykertoimia

Maa- ja metsätalousministeriön rakentamishojeissa esitettyjen asuinrakennuksen ulkoseinärakenteiden u-arvo vaihtelee välillä 0,26 - 0,59 W/m²K. Yläpohjan rakennetyyppien u-arvot vaihtelevat välillä 0,18-0,21 W/m²K /11/. Rakennusmääräyskokoelmassa RakMK C3 asuinrakennuksille annetaan seuraavia enimmäisarvoja /20/:

| Ulkoilmaa tai lämmittämätöntä tilaa vastaan olevan rakennusosan lämmönläpäisykerroin | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Rakenne | Lämmin tila W/m² K | Puolilämmin tila W/m² K |
| Seinä | 0,28 | 0,45 |
| ylä- ja alapohja | 0,22 | 0,45 |
| Maata vastaan olevan rakennusosan lämmönläpäisykerroin | | |
| Alapohja ja seinä | 0,36 | 0,45 |

5.1.3 Palotekniisiä ominaisuuksia

Yleistä

Koska olkipaalirakenteet eivät ole palamattomia tai lähes palamattomia, tässä osassa käsitellään vain rakenteita, joissa hyväksytään palavia eristeitä. Maatalousrakennukset ovat harvoin yli 2 -kerroksia, joten tässä on keskitytty vain enintään 2 -kerroksisiin rakennuksiin. Huomioon pantavaa on, että ympäristöministeriö on antanut ns. yleiset paloturvallisuusmääräykset, ja maa- ja metsätalousministeriö näitä tarkemmat omat lisämääräyksensä, jotka koskevat MMM:n tukemaa rakentamista.

Yksikerroksiset kotieläinrakennukset ja rehuvarastot 2000 m² asti kuuluvat paloluokkaan P3, tosin MMM:n omat suositukset suosittavat 800 m² osastokokoa. Yli 2000 m² suuruiset (esim. suursikalat) ja kaksikerroksiset (harvinaiset) eläinrakennukset kuuluvat luokkaan P2. Enintään kaksikerroksisten asuinrakennusten paloluokka on P3. Tuotantorakennusten P2-luokan rakennuksien kantavat ja runkoa jäykistävät rakenteet suunnitellaan luokkaan R 30. Asuinrakennusten kantaville rakenteille ei aseteta erityisvaatimuksia palonkeston suhteen.

Tuotantorakennusten sisäpuolisten pintakerrosten syttymisherkyys- ja palonlevittämisloukkavaatimus on 1/I P2-luokan rakennuksille ja 1/- P3-luokan rakennuksille. Lisäksi P2-luokan rakennusten lattian pintakerroksen tulee olla L-luokiteltu. P2 -luokan rakennusten yläpohjan yläpinta tulee olla luokan 1/I materiaalia. P3-luokan rakennusten yläpohjan yläpinnan materiaalien tulee olla luokan 2/- materiaalia, jos kyseessä on käyttöullak-

ko. Muussa tapauksessa yläpinnan materiaaleille ei ole asetettu luokkavaatimuksia. Asuinrakennusten sisäpuolisten pintakerrosten syttymisherkkyys- ja palonlevittämisloukkavaatimus on 2/-.

Verhoilulevyjen palotekniset vähimmäispaksuudet maatalousrakennusten seinä- ja sisäkattopinnoissa on esitetty taulukossa 1 /10/.

TAULUKKO 1 VERHOILULEVYJEN MINIMIPAKSUUDET

| Minimipaksuus seinä- ja välipohjarakenteissa [mm] | | | |
|---------------------------------------------------|---|---------------------|----|
| PALAMATON / VAIKEASTI SYTTYVÄ | | PALAVA | |
| Kuitusementtilevy | 8 | Filmivaneri | 9 |
| Kipsilevy | 9 | Lastulevy V313 | 9 |
| Puukipsilevy | 9 | Puukuitulevy | 9 |
| | | Pontattu puupaneeli | 15 |

Ulkoseinien palonkestovaatimuksia

Enintään kaksikerroksisissa P2 -luokan ja P3 -luokanrakennuksissa ulkoseinät saa tehdä palavista rakennustarvikkeista. Tuotantorakennusten P2-luokan rakennuksien ulkoseinien kantavat rakenteet suunnitellaan luokkaan R 30. Asuinrakennusten ulkoseinien kantaville rakenteille ei aseteta erityisvaatimuksia palonkeston suhteen.

Osastoivien väliseinien ja välipohjien palonkestovaatimuksia

Eläintila

Lämmöneristetty eläinhalli tulee tehdä omaksi palo-osastoksi. Tähän palo-osastoon voi kuulua maituhuone, wc, pesutiloja ja muita vastaavia tiloja. Osastoivien seinien tulee tällöin olla vähintään EI 60-luokkaa. Henkilökuntatilat voidaan erottaa EI 30-luokan seinin.

Lattiasvatukseen perustuvissa siipikarjarakennuksissa voidaan toiminnallisista syistä sallia suurempia osastokokoja kuin muissa eläintiloissa. Tällöin sosiaali- ja huoltotilat tulee osastoida eläintilasta EI 60-luokan rakentein.

Eläintilat joilla on omat erilliset ilmanvaihto- ja lannanpoistojärjestelmät, tulee osastoida toisistaan vähintään 60 minuutin osastoivilla rakenteilla.

Rehutilat erotetaan vähintään EI 30-luokan rakentein muista tiloista ja rakennuksista lukuun ottamatta eläintiloja, joista ne on erotettava EI 60-luokan rakentein.

Suuret ullakotilat tulee palo-osastoinnin lisäksi jakaa pienempiin, enintään 400 m², osiin. Tämä jako osiin, joka ei ole sama kuin varsinainen palo-osastointi, tehdään EI 15 luokan rakentein.

Muut maatalouteen liittyvät tuotanto-, varasto- ja huoltotilat ja -rakennukset

Palon leviämisen pienentämiseksi ja vahinkojen rajaamiseksi on suositeltavaa erottaa käyttö- tarkoitukseltaan erilaiset tilat erillisiksi palo-osastoiksi.

Henkilöstötilat osastoidaan EI 30-luokan seinin muista tiloista ja rakennuksista. Hygieniatilat voivat sisältyä eläintilan palo-osastoon. Käytännössä esim. navetan tai sikalan henkilöstötilat ovat sama asia kuin hygieniatilat.

Kattilahuone erotetaan muista tiloista EI 60- tai EI 30-luokan rakentein riippuen kattilan tehosta. Jos kattilahuone sijaitsee kellarissa tulee osastoivien rakenteiden olla palamattomista materiaaleista. Sisäpuolisten pintakerrosten syttymisherkkyys- ja palonlevittämisloukkavaatimus on 1/I. Lattian pintakerroksen tulee palamatonta ainetta.

Polttoainevarasto osastoidaan EI 30-luokan rakentein, kun kyseessä on P2- tai P3-luokan rakennus. Sellaisien polttoainevarastojen, jotka sijaitsevat pääosin maan pinnan alapuolella, osastoivuusvaatimukset ovat P2-luokassa EI 60 ja P3-luokassa EI 30.

Kiinteän polttoaineen varastossa seinä- ja kattopintojen tulee kuulua syttymisherkkyys- ja palonlevittämisloukkaan 2/- (P3-luokan varasto) tai 1/I (P2-luokan varasto). Lattiapinnan tulee olla P2-luokan varastossa palamaton, P3-luokan varastossa lattiapinnalle ei ole vaatimusta palonlevittämisloukkavaatimukseen. Jos varastoidaan öljyä, seinien ja kattopintojen tulee olla 1/I ja lattiapintojen palamattomia ja tiiviitä.

Lämpökeskuksen osastoivuusvaatimukset riippuvat sen etäisyydestä muusta rakennuksesta. Jos etäisyys on alle 8 metriä, lämpökeskuksen tilat tulee osastoida samoin kuin jos ne olisivat osa toisesta rakennuksesta. Jos etäisyys on yli 8 metriä, osastoidaan polttoainevarasto ja kattilahuone EI 30-luokan seinällä P2-luokan rakennuksessa. Jos lämpökeskus sijaitsee pääosin maan pinnan alapuolella, asetetaan osastoivalle seinälle vielä palamattomuusvaatimus. Jos kyseessä on P3-luokan rakennus, kattilahuoneen ja polttoainevaraston väliselle seinälle ei aseteta muita vaatimuksia kuin pölyn leviämisen estäminen.

Maatilakorjaamo, konesuoja ja tila polttomoottorille erotetaan eläintiloista EI 60-luokan rakentein, muista tiloista ja rakennuksista EI30-luokan rakentein. Korjaamon seinien ja yläpohjien verhousmateriaalien tulee olla syttymistä hidastavia ja pintakerroksen tulee kuulua 1/I-luokkaan. Lattian tulee olla vähintään L-luokkaisesta rakennusmateriaalista.

Maatalous- ja asuinrakennusten paloteknisten vaatimusten yhteenveto on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2 MAATALOUS- JA ASUINRAKENNUSTEN PALOTEKNISIÄ VAATIMUKSIA

| Tilat | Paloluokka | Kantavien rakenteiden luokitus | Osastovien seinien luokitus | Syttymisherkkyyks-/ palonlevittämislukka |
|----------------------------------------------------|------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|
| Eläintila 1 krs 200 m ² asti | P3 | R 30 | EI 60 | 2/- |
| Eläintila 1 krs yli 200 m ² tai 2 krs | P2 | R 30 (eristeet palavia) | EI 60 | seinät: 1/I lattiat: palamaton ja tiivis |
| Polttoainevarasto (öljy) (P2) | | Rakennuksen paloluokan mukaan | EI 30 | seinät ja katto: 1/I lattia: palamaton |
| Kiinteän polttoaineen varasto (P3) | | Rakennuksen paloluokan mukaan | EI 30 | seinät ja katto: 2/- |
| Maatilakorjaamo, konesuoja, tila polttomoottorille | P3 | R 30 | EI 30 (eläintila EI 60) | seinät ja katto: 1/I lattia: L |
| Asuinrakennus enintään 2 krs | P3 | --- | --- | 2/- |

5.1.4 Sisätiloista tulevia kosteusrasituksia

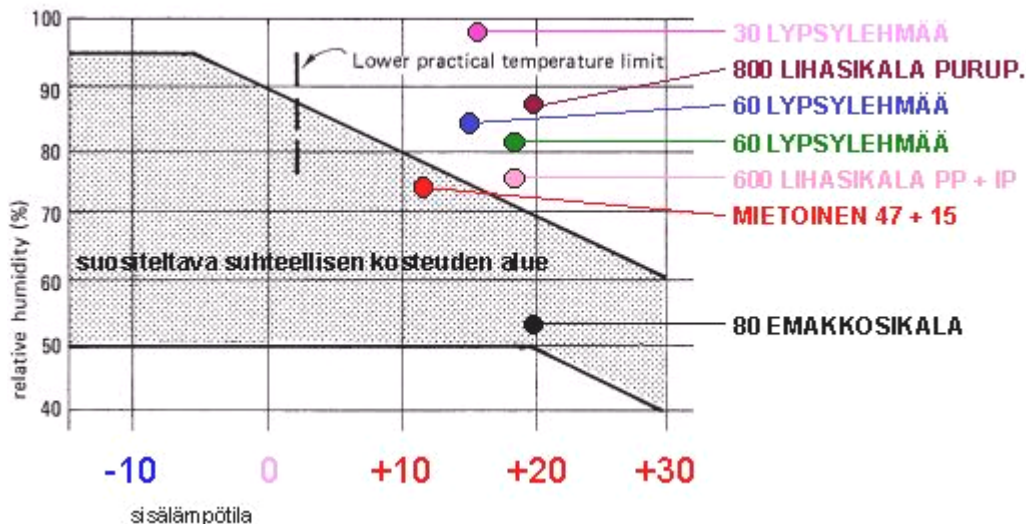
Ilmankosteus

Ilman suhteellisen kosteuden tulisi pääsääntöisesti olla korkeintaan 80 % rakennuksen käyttötarkoituksesta riippumatta. Korkea ilmankosteus yhdessä korkean lämpötilan kanssa lisää rakenteiden kemiallista ja biologista rasitusta. Pysyvä liian suuri ilman suhteellinen kosteus, yli 80 %, saattaa aiheuttaa rakenteiden vaurioitumista, kuten puurakenteiden ja muiden orgaanisten rakenneosien lahoamista ja korroosiota metallirakenteissa. Homeen kasvu puupinnalla ja puun lahoaminen voi alkaa jos lämpötila on yli 0°C ja ilman suhteellinen kosteus yli 80 % /14/ (ks. myös osa 5.2.4 "Homehtuvuus"). Liiallinen homeitiöiden määrä sisätilassa aiheuttaa myös ihmisillä ja eläimillä allergisia reaktioita ja huonontaa yleiskuntoa. Korkeissa lämpötiloissa liiallinen ilman suhteellinen kosteus vaikeuttaa eläinten lämmönluovutusta ja siten alentaa niiden tuotosta. Toisaalta taas liian alhainen suhteellinen kosteus (alle 40 %) aiheuttaa ilman pölypitoisuuden kasvamista ja ärsyttää sekä eläinten, että ihmisten hengityselimiä ja kuivattaa ihoa.

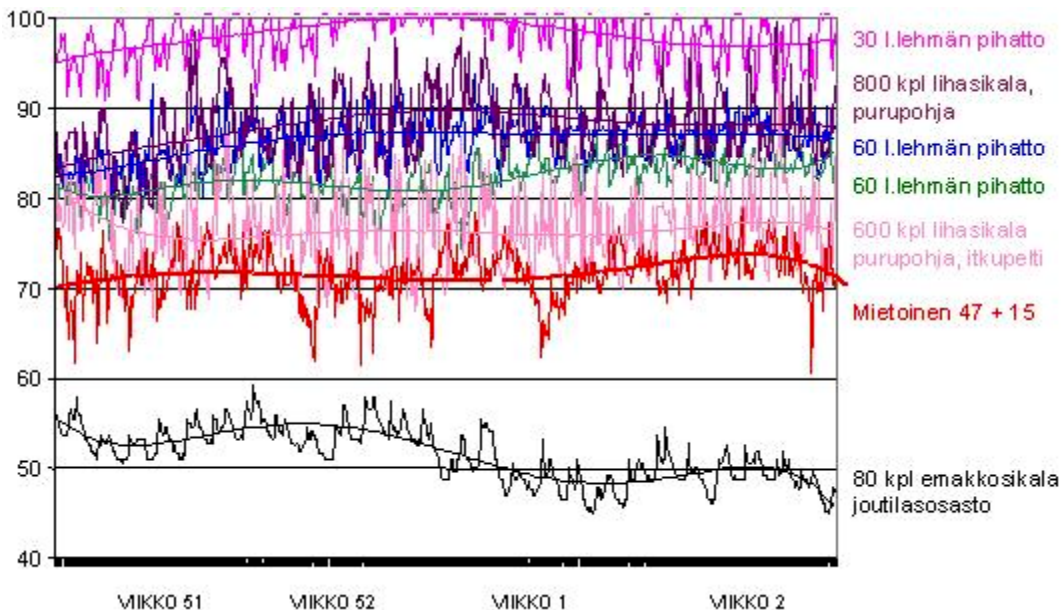
Eläinrakennusten osalta on olemassa erilaisia ilmankosteuden suosituksia. Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräyksissä ja ohjeissa (MMM-RMO-C2.2) on mainittu seuraavia suositeltavia ilman lämpötilan arvoja ja suhteellisten kosteuksien maksimi arvoja (ongelmana on useimmiten juuri liiallinen kosteus):

- Nautakarjarakennusten suurin suositeltu ilman suhteellinen kosteus on 80-85 %. Suosituslämpötila on 12 °C.
- Sikaloiden suurin suositeltu ilman suhteellinen kosteus on 80 %. Suosituslämpötila on 12(täysikasvuiset)-22(porsaas) °C.
- Tallien suurin suositeltu ilman suhteellinen kosteus on 80 %. Suosituslämpötila on 10-14 °C.
- Kanaloiden suurin suositeltu ilman suhteellinen kosteus on 70-75 %. Suosituslämpötila on 18-34 °C.
- Lampoloiden suurin suositeltu ilman suhteellinen kosteus on 80 %. Suosituslämpötila on 10 °C.

CIGR (International Commission of Agricultural Engineering) on määritellyt kosteuden ylä- ja alarajan riippuvuuden lämpötilasta (ks. kuva 3). Kuvassa x on myös näytetty suositusten ja suomalaisten eläinrakennusten todellisten ilmastokosteuksien välinen ristiriita. Näistä Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) uusista mittaustuloksista näkyy, että eläinrakennusten ilmastokosteus on keskitalvella erittäin korkealla, joissain tapauksissa jopa 100 % (ks. kuva 4) /7/.



Kuva 3 Eläinrakennusten ilmastokosteuden suositeltava vaihteluväli eläintyyppistä riippumatta CIGR:in mukaan sekä MTT:n tutkijain eläinrakennusten kosteusprosentit joulukuun lopussa



Kuva 4 MTT:n tutkijain eläinrakennusten kosteusprosenttien vaihtelut vuoden vaihteen tienoilla /7/

MTT:n tutkijain 30 lehmän pihatosta 800 ja 80 sian sikaloista ja niiden kosteusprosenttien ja lämpötilojen vaihteluista on tarkempi kuvaus osassa 5.3

Eläinrakennuksissa syntyy poikkeuksetta paljon pölyä, josta suurin osa on orgaanista ja peräisin eläimistä sekä rehuista ja kuivikkeista. Rakennuksen pölyiset sisäpinnat rupeavat helposti kasvamaan homeita, kun kosteusprosentit ovat korkeat (ks. kuva 4) ja tuloksena on lisää pölyä; homeesta. Maatalouden ammattilaajista kirkkijöillä ovat juuri pölyt. MTT:n tutkimuksessa käytiin läpi kaikkien edellä kuvattujen kohteiden ullakko-ontelot ja tukittiin kattoristikoiden kunnnot, naulalevyjen tilanteet ja höyrösulkujen kunnnot. Höyrösulut olivat pääsääntöisesti kunnossa eikä ristikoissa itsessään näkynyt vaurioitumista. Sen sijaan naulalevyjen leikkauspintoissa oli havaittavissa ruostetta ja jonkin verran sinkkihärmettä.

Ilman suhteellisen kosteuden tavoitetaso asuinrakennuksissa on 30-40 %, mutta kosteuden vaihteluväli on laaja luonnollisesti asunnoissakin /15/. Sisäilman suhteellinen kosteus riippuu ulkoilman suhteellisesta kosteudesta, erilaisten toimintojen kosteustuotosta, ilmanvaihdosta ja rakenteista. Sisäilman mitoittavana talvi-kauden kosteuspitoisuutena voidaan pitää ulkoilman kosteuspitoisuutta lisättynä määrällä 4 g/m^3 /14/. Tuotantohallien ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan.

Edellä on puhuttu lähinnä liian korkean ilman kosteuspitoisuuden aiheuttamista haitoista. Liian alhainen suhteellinen kosteus aiheuttaa myös ongelmia kasvattamalla ilman pölypitoisuutta mikä ärsyttää sekä eläinten, että ihmisten hengityselimiä ja kuivattaa ihoa.

Vesi

Lähes kaikissa eläinrakennuksissa sekä asuinrakennusten ja tuotantohallien kosteissa tiloissa pestään ainakin seinien alaosa silloin tällöin runsaalla vedellä tai jopa painepesurilla. Näiden seinärakenteen osien pintakerroksissa tulee käyttää veden kestäviä ratkaisuja, sillä vesi ei luonnollisestikaan saa päästä lämmöneristykseen asti. Vesipesu lisää myös hetkellisesti ilman suhteellista kosteutta. Edellä mainituissa tiloissa on parasta, että seinä on tehty alaosaan läpensä veden kestävästä aineista esim. 10 cm korkeuteen, ettei lattialla seisova vesi missään tapauksissa pääse orgaanisiin rakennusaineisiin (ks. kuva 2). Eläinrakennuksissa kosteudenlähteenä lattiatasossa on usein eläinten lietelanta ja virtsa.

5.2 Olkipaalirakenteiden tekninen selvitys

5.2.1 Yleistä

Olkipaalien ja olkipaalirakenteiden testaaminen suurella tarkkuudella ei ole vielä relevanttia, sillä paalien tiheys, olkityyppi ja kosteus vaihtelevat usein suuresti. Vasta sitten kun paaleja voidaan valmistaa rakennuskäyttöön, niin, että niiden ominaisuuksien hajonta liikkuu hyvin rajatulla alueella, on aika tehdä viralliset mitaukset. Tällaisen tarkkuuspaalaajan rakentamiseen tähtäävän projektin suunnittelu on jo aloitettu. TKK:lla Olkipaalirakenteiden lämmönläpäisykertoimet ja vesihöyrynläpäisevyyydet ym. voidaan toki jo laskea jollakin tarkkuudella, mutta olennaisinta on, että nyt rakennetaan mahdollisimman hyvin käyttäen suhteellisen tiiviitä ja tasamittaisia paaleja. Näin vältetään suuria ilmarakoja, jotka voivat pilata rakenteiden laskennalliset hyvät tekniset ominaisuudet.

Osien 5.2.2-5.2.3 tiedot on Itävaltalaisen ympäristöjärjestön Global 2000 ja Tu-Wien/GrAT -tutkimusyksikön vuosina 2000-2001 tekemistä selvityksistä /3/ ja /4/, jollei muuta lähdeä ole mainittu. Kirjoittajan omat lisäykset ja kommentit on merkitty tähdellä *.

5.2.2 Lämpötekniisiä ominaisuuksia

Lämmönjohtavuus

Olkipaalirakenteista puhuttaessa mainitaan usein niiden hyvä lämmön eristävyys. Parhaimmillaan se on luonnollisesti kantavissa paalirakenteissa, joissa ei ole puurunkoa eikä näin olkea huonommin eristäviä kohtia eli kylmäsiltoja.

Vaikka puun lämmönjohtavuus onkin olkea suurempi, ei puurunko kuitenkaan merkittävästi huononna olkipaalirakenteen lämmöneristävyyttä. Lisäksi puurunkoisissa olkipaalirakenteissa puu menee hyvin harvoin massiivisena läpi rakenteen, mikä edelleen vähentää kylmäsilta vaikutusta. Puun pinnalle mahdollisesti kondensoitunut vesi imeytyy normaalitapauksessa puun tai oljen huokosiin ja poistuu sieltä lämpimänä vuoden aikana *.

Joseph C. McCabe oli ensimmäinen, joka mittasi olkipaalin lämmönjohtavuutta nyky menetelmillä. Mittaus tehtiin Arizonan yliopiston Ympäristötutkimuksen laboratorioissa Tucsonissa (U.S) vuonna 1993 /13/. Mittaukset suoritettiin vehnän oljella sekä oljen suuntaan, että olkea vastaan kohtisuoran (paali oli kantillaan). Lisäksi tutkittiin riisin olkea. Testausmenetelmänä oli ASTM:n (American Society for Testing and Materials) 1991 laatima ohje C 177 - 85 1991, jossa testataan testattavasta materiaalista koottua nippua $n = 110 \times 110 \times 110 \text{ cm}$, niin, että lämmönlähde on nipun sisällä. Testimenetelmää oli muutettu niin, että nippua ympäröivä "kylmä levy" oli korvattu peltilevyllä, joka oli huonelämpötilassa. Lisäksi lämpölevyn reunasuojaus oli korvattu eristävällä materiaalilla. Testi osoitti, että lämmönjohtavuus on pieni ja, että oljen suuntainen johtavuus on pienempi kuin olkea vastaan kohtisuora johtavuus (ks. taulukko 3).

TAULUKKO 3 MCCABEN LÄMMÖNJOHTAVUUSKOKEIDEN TULOKSET

| Olkityyppi / paalin paksuus | Tiheys kg/m ³ | Suhteellinen kosteus RH | Lämmönjohtavuus W/mK |
|------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|
| Vehnä / 41 cm | 133 | 8,4 % | 0,048 |
| Vehnä / 41 cm (mittaus matalassa lämpötilassa) | 133 | 8,4 % | 0,045 |
| Vehnä / 57 cm (paali kantillaan) | 133 | 8,4 % | 0,060 |
| Riisi / 41 cm | 133 | 8,2 % | 0,045 |

Sandia National Laboratorioissa, Albuquerqueassa, Uudessa Meksikossa (U.S.) testattiin vuonna 1994 kolme vehnäolkipaalia. Paalien paksuus oli 46 cm, suhteellinen kosteus 4,5 % ja testaus tehtiin työntämällä paaleihin mittausensorit (thermal probe method). Lämmönjohtavuudeksi saatiin 0,054 W/mK.

Oak Ridge National Laboratory Tennesseessä (U.S.) suoritti "Guarded hot box" testin (ASTM C-236, jossa rakenne on kuumennettavan ja mittaavan kammion välissä). Testiseinä oli rakennettu Tucson/Arizona -olkipaalilain mukaisesti. Vain yksi puoli seinästä oli rapattu, sillä toinen puoli oli peitetty kipsilevyllä, joka oli ruuvattu puurunkoon. Tulos oli hämmästyttävän huono (0.15 W/mK) /1/.

Nova Scotiassa (Ship Harbour) testattiin olemassa olevan olkipaalirakennuksen seinä vuonna 1995 käyttäen lämpöensensoreita (ASTM C 1155-90 ja 1046-91). Seinä oli rapattu ja sen paksuus oli 46 cm sekä suhteellinen ilman kosteus 8 %. Rakenteen tiheydestä ei ole tietoa, mutta sen lämmönjohtavuudeksi saatiin 0,065 W/mK.

Architectural Testing Inc. Of Fresno tekemät "Guarded hot box" testit vuonna 1998 päättyivät lämmönjohtavuusarvoihin 0,07-0,13 W/mK korren suuntaisesti mitattuna /1/. Testiseinän purun yhteydessä huomattiin, että olki oli hyvin kostea ja, että seinän yläosassa oli tyhjiä kohtia sekä erittäin löysään pakattua olkea.

Koska edellä esitetyt testitulokset ovat hyvin vaihtelevia ja ne eivät ole erilaisista testimenetelmistä johtuen suoraan vertailukelpoisia Eurooppalaisiin arvoihin ja vaatimuksiin (ÖNORM, DIN, ISO) mitattiin Wien:in teknillisen korkeakoulun (TU-Wien) projektissa olkipaalien lämmöneristävyyttä eurooppalaisin normein /4/. Kokeissa testattiin puuraamien sisään puristettua vehnän olkea, jonka kosteuspitoisuus oli tasapainokosteudessa ÖNORM:in mukaisesti (ks. kuva 5 ja taulukko 4). Kokeen suoritti MA39-VFA (Versuchs- und Forschungsanstalt der Stadt Wien) ja menetelmänä oli lämpövirran mittaus ÖNORM B6015 mukaisesti (ks. liite 2). Ensimmäisessä kokeessa koekappaleita tehtiin kolmea eri tiheyttä.



Kuva 5 Lämmönjohtavuuden koekappaleet /4/

TAULUKKO 4 TU-WIEN:IN 1. LÄMMÖNJOHTAVUUSKOKEEN TULOKSET

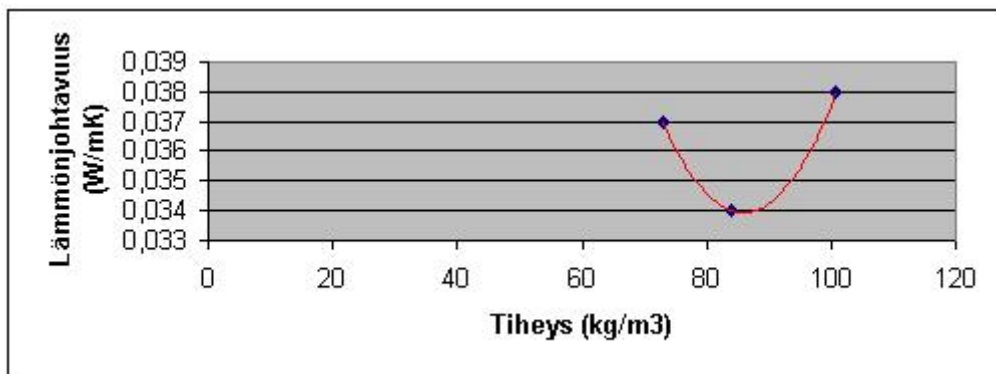
| Paksuus Cm | Tiheys Kg/m ³ | Lämmönjohtavuuden koearvo λ ₁₀ W/mK |
|------------|--------------------------|------------------------------------------------|
| 12,6 cm | 73 | 0,037 |
| 11,3 cm | 84 | 0,034 |

Eurooppalaisten normien mukaisesti tehtiin vielä jatkokokeita eri keskilämpötiloissa (ks. taulukko 5). Koekappaleiden tiheys oli 100,8 kg/m³ sekä paksuus 10,1 cm.

TAULUKKO 5 TU-WIEN:IN 2. LÄMMÖNJOHTAVUUSKOKEEN TULOKSET

| Testityyppi | Lämmönjohtavuuden koearvot W/mK |
|-------------|------------------------------------|
| Lambda 10 | 0,038 |
| Lambda 20 | 0,039 |
| Lambda 30 | 0,041 |

Taulukossa 5 esitetystä λ_{10} (lambda 10) koearvosta on TU-Wien laskenut λ_n -arvo (normaalisen lambdan) lisäämällä siihen 20 %. Tämän oletetaan vastaavan koetilannetta kosteammassa tilassa eli normaalissa rakenteessa olevan olkipaalin lämmönjohtavuutta, ja tätä arvoa käytetään edelleen rakenteen u -arvon (lämpönsäilyvyyden) laskelmissa. Tutkimus päättyi siihen, että 100 kg kuutiolta painavien vehnäolkipaalien (ja muidenkin viljanolkipaalien) lämmönjohtavuus normaalissa käyttökosteudessa on 0,045 W/mK. Näiden kokeiden perusteella lämmönjohtavuuden kannalta optimitiheys saattaisi olla 80 - 90 kg/m³ (ks. kuva 6). Olkipaalin lämmönjohtavuus suurenee tiheyden laskiessa tästä, kun sen sisäinen ilmankierto samalla suurenee, mutta jossain vaiheessa myös tiheyden kasvaessa, lämmönjohtavuus alkaa kasvaa. Luotettavan käyrän piirtäminen vaatisi kuitenkin standardoidun olkipaalin ja paljon lisää kokeita. Tiheyden vaikutusta olkipaalin ilmanläpäisevyyteen ei tiettävästi ole vielä tutkittu *.



Kuva 6 Arvio olkipaalin lämmönjohtavuuden (λ_{10}) ja tiheyden riippuvuudesta Itävaltalaisen tutkimustulosten perusteella

Itävaltalaiset lämmönjohtavuustulokset ovat samaa suuruusluokkaa kuin McCaben tulokset ja tarkkaan ottaen jopa pienempiä. On loogista, että olkipaalin lämmönjohtavuus on samaa luokkaa kuin muiden uusiutuvien huokoisten materiaalien, kuten ruokomaton, pellavavillan, korkkimaton, lampaanvillan sekä puukuitueristeen lämmönjohtavuus. Mielenkiintoista on myös huomata, että tämän perusteella olkipaalin lämmönjohtavuus on samaa suuruusluokkaa kuin mineraalivillan, jonka normaali lambda-arvo on tiheydestä riippuen (10 -300 kg/m³) 0,037 - 0,055 W/mK *.

Rakenteen lämmönläpäisykerroin

Itävaltalainen yritys "Stroh Tec" käyttää rakenneratkaisua, jossa 34 cm paksun olkipaalin molemmilla puolilla on laudoitus ja rappaukset. Tämän rakenteen u -arvoksi on TU-Wien laskennallisesti saanut 0,12 W/m²K (ks. taulukko 6). Suomessa paalinleveys on usein yli 40 cm, joten vertailun vuoksi tehtiin laskelma suomalaisesta rakenteesta, jossa ei ole ko. laudoituksia vaan pelkät rappaukset (ks. taulukko 6). Rakenteen läpi menevien puuosien arvioidaan huonontavan kerrointa, joten TU-Wien arvioi laskemansa rakenteen tehollisen kerroimen olevan 0,14 W/m²K, joka on yhä ns. Passiivitalostandardin alapuolella (0,15 W/m²K).

TAULUKKO 6 U -ARVOLASKELMIA. TU-WIEN:IN LASKELMA VASEMMALLA JA TKK:N LASKELMA OIKEALLA

| Rakennekerrokset | Rakenteen paksuus | λ_n | ma |
|-----------------------------|-------------------|-------------|------|
| Seisova sisäilma | | | 0,17 |
| Savirappaus | 0,025 | 0,800 | 0,03 |
| Laudoitus | 0,020 | 0,130 | 0,15 |
| Olkipaali | 0,350 | 0,045 | 7,78 |
| Laudoitus | 0,020 | 0,130 | 0,15 |
| Kalkkirappaus | 0,025 | 0,870 | 0,03 |
| Seisova ulkoilma | | | 0,17 |
| Yhteensä, M | | | 8,49 |
| U -arvo, W/m ² K | | | 0,12 |

| Rakennekerrokset | Rakenteen paksuus | λ_n | ma |
|-----------------------------|-------------------|-------------|------|
| Seisova sisäilma | | | 0,13 |
| Savirappaus | 0,030 | 0,800 | 0,04 |
| Olkipaali | 0,430 | 0,045 | 9,56 |
| Savi-kalkkirappaus | 0,020 | 1,000 | 0,02 |
| Seisova ulkoilma | | | 0,04 |
| Yhteensä, M | | | 9,74 |
| U -arvo, W/m ² K | | | 0,10 |

Kuinka hyvin rakenteille lasketut lämmönpidättävyydet vastaavat todellisia oloja rakennuksessa riippuu paljon mm. siitä, miten ilmatiivis rakennus on. Rakenneosien liitoksista sekä ikkunoiden ja ovien karmien ympäriltä sisään pääsevä tuuli kylmentää talon nopeasti vaikka siinä olisi hyvätkin eristeet. Myös olkipaalirakennusten ilmatiiviyyttä pitäisi tutkia /19/ (ks. myös osa 5.2.4 Kosteusvaurioiden syyt ja ehkäisy).

5.2.3 Paloteknisiä ominaisuuksia

Hajallaan oleva olki palaa helposti, mutta tiukkaan pakattu olki huonosti, kuten paperi palaa hyvin, mutta kirja huonosti. Canada Mortgage and Housing Corporation ylin rakennusviranomaisen totesi, että "Olkipaalissa on kylliksi ilmaa tekemään siitä hyvän lämmöneristeen, mutta liian vähän jotta se palaisi hyvin" /4/. Niukasti ilmaa sisältävä tiheä olkipaali alkaa lämpötilan noustessa hiiltymään, mikä edelleen hidastuttaa lämmön johtumista syvemmälle paaliin ja myös rakenteen puuosiin. Olkipaalirakentamisen aikana on oltava varovainen, sillä rakentamisessa syntyy paljon irrallista olkea, joka on paloaltista.

Olkipaalirakenteiden paloturvallisuudesta on paljon hyviä kokemuksia mm. USA:sta /16/. Rapatut olkipaalirakennukset ovat selvinneet tulipaloista, kun puutalot ovat palaneet maan tasalle ja teräsrakennukset sulaneet /6/. Hyvä eurooppalainen esimerkki tästä on Pommritzissä (Saksa) 1995 rakennettu olkipaalitalo, jossa syttyi tulipalo talvella 1999-2000. Huonekalut ja puinen katto paloivat, mutta seinät olivat suurimmaksi osin vahingoittumattomia. Palokunta kaatoi seinät turvallisuus syistä ja olki käytettiin hyväksi läheisessä puutarhassa.

Palotestit olivat osa Itävaltalaisen TU-Wien/GrAT:in tutkimusprojektia /4/. Testit suoritti MA39-VFA (Versuchs- und Forschungsanstalt der Stadt Wien) ja menetelmänä oli ÖNORM B3800. Kokeen tulosten mukaan jopa käsittelemätön vehnäolkipaali (tiheydet 90 ja 150 kg/m³) täyttää sikäläisen paloluokka B2:en vaatimukset. Asuinrakennuksissa vaadittu 30 minuutin palonkesto saavutetaan jo rakenteessa kuin rakenteessa rappauksella tai esim. kipsilevyllä, mutta tontin rajassa kiinni olevalta seinältä vaaditaan yleensä 90 minuutin palonkestoa. Tämä F90 luokka saavutettiin standardikokeissa kuvan 7 mukaisella rakenteella, jossa olkipaalien paksuus oli 35 cm.



Kuva 7 TU-Wien:in rakentama koeseinäke palokoetta varten. Sisäpinnassa 2 cm savirappaus ja ulkopinnassa 2 cm kalkkirappaus, molemmat ruokomattoon rapattuna /4/

Uudessa Meksikossa (U.S.) tehty ASTM -palotesti osoitti, että jopa rappaamaton ja palosuojaaamaton (kanta-va) olkipaalisena kestää paloa 35 minuuttia. Kun polttoa oli pidetty yllä 30 minuuttia oli polttokammion lämpötila 922 astetta celsiusista ja vastakkaisen puolen pinta oli lämmennyt vasta 12 astetta. Rapattu olkipaalisena kesti polttoa yli 2 tuntia. Polttokammion ylin lämpötila oli 1061 astetta ja vastakkaisen puolen lämpötila nousi vain 18 astetta.

Olkipaalien syttymisherkkyys ja palonlevittäminen eivät ole olennaisia materiaaliominaisuuksia, sillä paalit jäävät pinnoitteiden taakse näkymättömiin, kuten muutkin lämmöneristeet. Edellä mainitut rappaus ja kipsilevy ovat hyviä pintamateriaaleja siellä, missä sisäpinnan on oltava vaikeasti syttyvä, mutta moneen kohteeseen käy myös lautaverhoilu.

5.2.4 Kosteusteknisiä ominaisuuksia

Diffuusio ja kosteussulku

Olkipaalien vesihöyryn läpäisevyyttä eli diffuusiota ei ole tiettävästi mitattu, mutta se on arvioitavissa. Taulukossa 7 on esitetty olkea sisältävien ja muiden huokoisten rakennusmateriaalien vesihöyryn läpäisevyyksiä ja sen perusteella voidaan olkipaalin vesihöyryn läpäisevyydeksi karkeasti arvioida $\delta_p = 10 - 80 \times 10^{-12} \text{ kg/m}^3 \text{ Pa}$. Kohdassa 5.3 tehty laskelma osoittaa, että tarkalla vesihöyryn läpäisevyyden arvolla ei ole kovin suurta merkitystä laskelman lopputulokseen eli tiivistyneeseen vesimäärään.

TAULUKKO 7 ERI MATERIAALIEN VESIHÖYRYNLÄPÄISEVYYKSIÄ

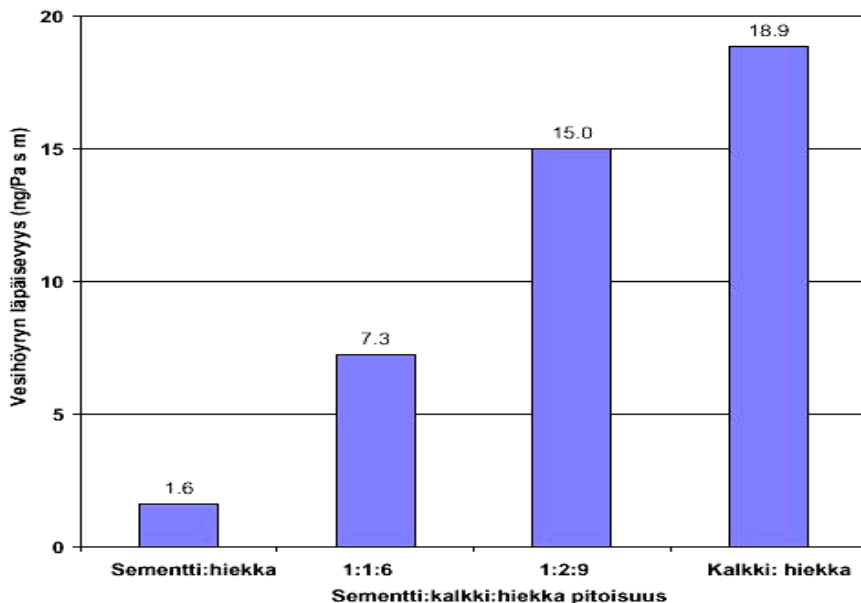
| Materiaali | Tiheys Kg/m ³ | Vesihöyryn läpäisevyys $\Delta p = x \cdot 10^{-12} \text{ kg/Pa s m}$ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Savi-hamppu-puusilppuharkko, joka on rapattu molemmin puolin savirappauksella UCBP projektin mukaan /18/ | 600 | 40 |
| Savi-olkiharkko ThZ mukaan/2/ | 440-300 | 44 |
| Puukuitueriste | 50-25 | 50-100 |
| Huokoinen puukuitulevy | 340 | 20-30 |
| Sementti-lastuvilla-levy (kuitusementtilevy) | 400 | 35-100 |
| Karkaistu kevytbetoniharkko (Siporex) | 400 | 15-42 |
| Ilma | | 185 |
| Kuusi ja mänty | 500 | 1-3 |

Koska olkipaalin arvioitu vesihöyryn läpäisevyys on suuri, määrääviksi tekijöiksi nousevat paalirakenteen

ulko- ja sisäpintojen läpäisevyydet. Useiden pinnoitteiden vesihöyryn läpäisevyydet tunnetaan kuitenkin huonosti. Suomen oloissa tärkeintä on sisältä kulkeutuva vesi, sillä ulkoa tuleva vesi voidaan estää pitkällä räystäillä, varsinkin sisämaassa ja tietenkin tuuletetulla ulkoverhouksella. Jos kuitenkin ulkopinta on rapattu ja se on alttiina piiskaavalle sateelle on olennaista tietää ulkorappauksen kyky imeä ja varastoida kosteutta, sillä sadevesi (ja sulamisvesi) voi sitä kautta helposti kulkeutua rakenteeseen diffuusion (ja kapillaarisuuden) avulla*.

Canadalainen John Straube tutki erilaisia olkipaalirakenteissa yleisesti käytettyjä rappauksia maalattuna ja ilman /17/. Strauben vesihöyryn läpäisevyyden koetulokset on esitetty liitteessä 1. Kokeiden perusteella hän teki seuraavia johtopäätöksiä:

1. Sementti-hiekka rappaukset läpäisevät kosteutta suhteellisen huonosti. Itse asiassa 40 mm paksu rappauskerros toimii kosteussulkuna.
2. Kalkin lisäyksellä on dramaattinen vaikutus rappauksen vesihöyryn läpäisevyyteen (ks. kuva 8). Puhtaiden kalkki-hiekka rapauksen vesihöyryn läpäisevyys on korkea.
3. Öljymaali vähentää vesihöyryn läpäisevyyttä niin paljon, että se toimii kosteussulkuna.
4. Lateksimaali ei vähennä vesihöyryn läpäisevyyttä niin paljon kuin öljymaali.
5. Hydraulisen ja ei-hydraulisen kalkkilaastin välillä ei ollut suuria eroja
6. Elastomeerit vaikuttavat läpäisevän hyvin vesihöyryä, mutta hidastavan veden kapillaarista imeytymistä. Näiden tuotteiden toimivuutta ulkorappauksen pinnoitteena olisi kuitenkin hyvä seurata todellisissa oloissa vuoden tai kaksi.
7. Silaaneilla ei näyttänyt olevan juurikaan vaikutusta sementtirappauksen vesihöyryn läpäisevyyteen vaikka se lähes eliminoi kapillaarisen veden imun.
8. Pellavaöljy ei ollut kovin tehokas vesieriste, eikä vähentänyt vesihöyryn läpäisevyyttä. Paksumpien ja useampien kerrosten vaikutusta olisi vielä hyvä tutkia.
9. Kalsiumstearaatti sementin lisäaineena vähentää vesihöyryn läpäisevyyttä, mutta sillä on vain pieni vaikutus veden kapillaariseen imeytyvyyteen



Kuva 8 Kalkkipitoisuuden vaikutus rappauksen vesihöyryn läpäisevyyteen /17/

Raportissaan Straube kirjoittaa, että materiaalien vesihöyryn läpäisevyyden määrittämistä vaikeuttaa useat seikat:

- Vesi-sementtisuhte vaikuttaa rappauslaastien huokosrakenteeseen. Mitä suurempi vesipitoisuus sitä enemmän jää avoimia huokosia ja sitä suurempi on rappauksen vesihöyryn läpäisevyys ja veden kapillaarinen imu
- Rappauksen pinnan viimeistely metallilastalla tiivistää laastia huomattavasti enemmän kuin puulastalla hiertäminen ja pienentää avoimien huokosten määrää
- Materiaalien ja varsinkin orgaanisten materiaalien vesihöyryn läpäisevyys on voimakkaasti riippuvainen materiaalin kosteuspitoisuudesta. Kosteaa puu esim. läpäisee vesihöyryä huomattavasti paremmin kuin kuiva puu.

Suurin riski rakenteiden kastumiselle diffuusion takia on lämmityskaudella, jolloin ulkoseinän (tai ala- ja yläpohjan) sisä- ja ulkopuolilla vallitsee suurimmat erot lämpötilan, vesihöyrypitoisuuden ja ilmanpaineen suh-

teen. Yleisen ohjesäännön mukaan rakenteen lämpimän ja kostean puolen pinnan vesihöyryvastus (ei - sulkua) pitäisi olla 5 kertaa suurempi kuin viileän ja kuivan puolen. Tähän päästään asentamalla sisäpintaan diffuusiota rajoittava materiaali (ponttilauta, rakennuspaperi, tapetti, maali tms.), mutta näitä ohjeita on myös vastustettu. GLOBAL 2000 tekemässä kyselyssä osa vastaajista on sitä mieltä, että on käytännössä mahdotonta saada kuivan tilan olkipaalirakenteeseen kondensoitumaan talvella niin paljon kosteutta, että se aiheuttaisi kosteusvaurioita. Tämän suuntaisia tuloksia saatiin myös tämän projektin laskelmissa (ks. osa 5.3) *.

On esitetty, että diffuusiota hidastavia materiaaleja ei pitäisi käyttää, koska suurimmassa osassa olkipaalirakenteita niitä ei ole käytetty eikä kosteusongelmia niiden pois jättämisen takia ole esiintynyt /6/. Hannoverin yliopisto laski savirapattuun olkipaalirakenteeseen kertyvän kosteuden DIN4108:n mukaan. Tulos osoittaa, että Pohjois-Saksan ilmastossa vesi kondensoituu seinärakenteeseen, mutta tämä määrä vettä poistuu myös rakenteesta ongelmitta seuraavan haihtumisjakson (kesä) aikana. Homeen kasvuun tarvittava määrä kosteutta ja lämpötila (14 astetta C) eivät toteudu rakenteessa yhtä aikaa. Myös Rob Jolly päätyi raportissaan siihen, että pohjoisissa ilmastoissa, joissa on vähän tai kohtuullinen sademäärä, voidaan olkipaalirakenteet rakentaa käyttämättä höyrysulkua /5/. Eläinrakennusten korkea ilmankosteus asettaa rakenteet kuitenkin asuinrakennuksia kovemmalle rasitukselle, minkä takia tätä asiaa selvitettiin erikseen kohdassa 5.3 *.

Kapilaarisuus

Olkipaalien kapilaarisuutta ei ole tiettävästi tutkittu sen enempää kuin niiden vesihöyryn läpäisevyyttäkään. On selvä, että korsien seinämät imevät pienistä soluista koostuvan rakenteensa vuoksi nestemäistä vettä, mutta itse paali koostuu suurimmaksi osaksi suurista huokosista (korsien välillä), jotka eivät ime vettä. Näin ollen on oletettavissa, että olkipaalin veden imukyky eli kapilaarisuus on pieni ja paali saavuttaa nopeasti tasapainotilan, jossa kastuminen ja kuivuminen tapahtuu samalla nopeudella /17/.

Vesi tunkeutuu olkipaalirakenteisiin eri nopeuksilla riippuen mistä suunnasta ja millä paineella se tulee. Vuotavasta katosta tai tulvivasta altaasta valuva vesi pääsee painovoimaisesti alempana oleviin olkipaalirakenteisiin helposti, mutta vaakatasoinen sadevesi ei tunkeudu paaliin helposti kapilaarisesti. Tästä on osoituksen mm. Ruedi Kunzin (Sveitsi) rappaamaton olkipaalirakennus, joka on kestänyt säätä 12 vuotta ilman vaurioita. Kuitenkin monien mielestä viistosade on vakava ongelma ja olkipaalirakenteet pitäisi suojata niin pian kuin mahdollista. Myös Rob Jollyn tutkimuksessa on huomattu, että suurin osa olkipaalirakennusten kosteusvauriosta on aiheutunut juuri seiniin osuneesta viistosateesta.

Vaarallisin tilanne on silloin, kun kosteutta on joutunut huolimattoman rakentamisen tai vesionnettomuuden takia olkipaalirakenteiden sisälle, koska huonosti kapilaarisena aineena kosteuden ulossaaminen voi kestä kauan. Kosteusvahingon korjaamisessa ongelmallinen kohta muodostuu silloin usein seinän alapäähän, jos siellä on kosteussulku, joka estää veden valumisen pois rakenteesta. Esimerkiksi asuinrakennuksissa tämä ongelma voidaan välttää rakentamalla talo perustuspilareille, jotka sijaitsevat hieman talon ulkolinjaa sisempänä (ks. kuva 9). Näin ulkoseinien alapäässä ei tarvita kosteudensulkua.



Kuva 9 Oikeaoppinen olkipaalirakennuksen perustus ja tuuletettu alapohjarakenne

Olkipaalirakenteiden kapilaarisuudesta puhuttaessa on olennaista kiinnittää huomiota ulkorappauksen kapilaarisuuteen. Huokoiset hydrogeeniset aineet imevät hyvin nestemäistä vettä. Sateen aikana vesi, joka virtaa rappauspintaa pitkin imeytyy siksi helposti rappaukseen sisälle. Tämä vesi voi varastoitua rappaukseen ja jossain määrin kapilaarisesti imeytyä olkipaaliin. On myös mahdollista, että se ei tunkeudu paaliin vaan

haihtuu rappaudesta ulospäin auringon lämmittäessä. On hyvä muistaa, että veden haihtuminen sitoo aina energiaa ja siten kylmentää rappausta ja huonontaa hetkeksi rakenteen lämmöneristystä. Siksi rappauspinnan käyttö ulkopinnoissa on kylmissä ja sateisissa maissa hieman epätaloudellista*.

John Strauben tekemässä tutkimuksessa kävi ilmi, että rappauksen kalkkipitoisuuden noustessa sen kapillaarisuus lisääntyi. Puhdas sementtilaasti imi vettä vain neljänneksen siitä, mitä puhdas kalkkilaasti. Maalattavilla pinnoitteilla voidaan kuitenkin vaikuttaa veden imeytymiseen rappauksiin, kuten edellisessä osassa (diffuusio) kävi ilmi.

Homehtuvuus ja rakennekosteuden seuranta

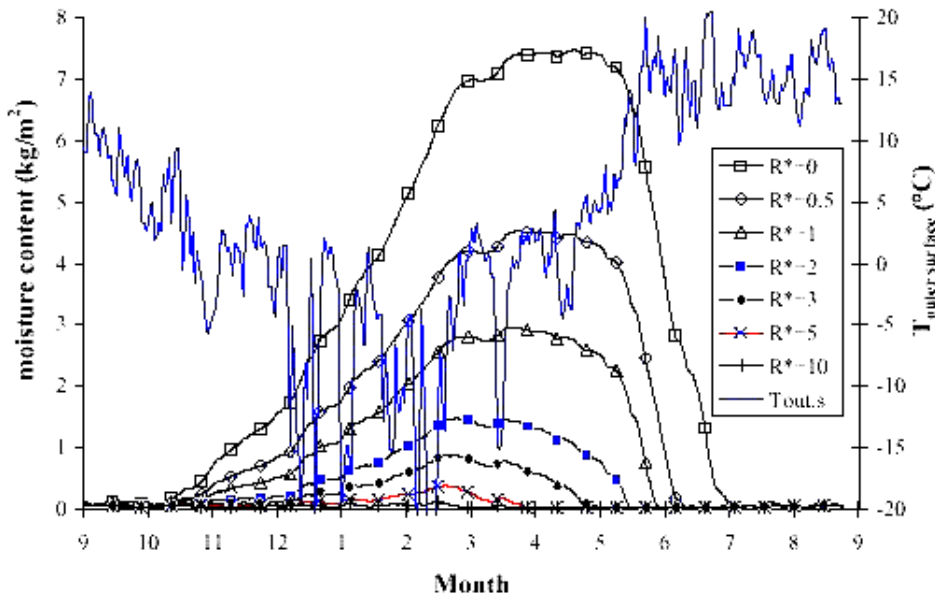
Jos olkipaalirakenteet ovat pitkään liian kosteina ja sopivassa lämpötilassa, ne ovat vaarassa homehtua ja lahota. Yleisesti sanotaan, että 20 painoprosentin kosteuspitoisuus (vastaa noin 80 % ilmankosteutta) ja vähintään 10 lämpöastetta on kriittinen raja jossa homehtuminen alkaa. Olkipaalien homehtuminen voi kuitenkin alkaa sääoloista riippuen 16 - 20 painoprosentin kosteudessa, ja toisaalta mainittua korkeampikin ilmankosteus voi olla aiheuttamatta vaurioita, jos se on hetkellistä.

Yksi kattavimmista olkipaalirakenteiden kosteuteen ja homehtuvuuteen liittyvistä tutkimuksista on Kanadalaisen Rob Jollyn tekemä kosteusseuranta /5/. Hänen tutki yhdeksää asuinrakennuksen olkipaalirakennetta yhteensä 70:llä ilman suhteellista kosteutta mittaavilla kosteusanturilla 2 - 3 vuoden ajan. Suurin osa rakenteista oli ilmastossa, joiden keskilämpötila oli +2 - 4 astetta Celssiusta ja sademäärä 370-570 mm. Vertailun nimissä Etelä-Suomessa keskilämpötila on +5 astetta ja sademäärä mm 600 - 700 mm*. Mukaan oli otettu myös yksi kohde Pohjois-Amerikan länsirannikolta (ks. kuva 10), jossa keskilämpötila on 9,9 astetta ja korkea kosteus (vuotuinen sademäärä 950 mm).



Kuva 10 Yksi kosteusmittauksissa käytetyistä taloista Pohjois-Amerikan länsirannikolla, tutkimuskeskus "Aprovecho" /<http://www.efn.org/~apro/strawbale.html>/

Tarkkaillaissa rakenteissa korkein kosteuspitoisuus mitattiin yleensä kesäisin sateesta ja ilman kosteudesta johtuen. Muiden orgaanisten rakennusaineiden tavoin olkipaalit pystyvät imemään ja luovuttamaan huomattavan määrän kosteutta ilman homehtumisriskiä (ks. kuva 11). Näissäkin olosuhteissa on pyrittävä välttämään sitä, että seinän ulkopinta (rapattuna) on alttiina piiskaavalle sateelle. Tutkimuksessa jäi vielä epäselväksi, kuinka suuri homehtuvuusriski on olkipaalirakenteilla pohjoisilla erittäin sateisilla alueilla. Näillä alueilla on vähintäänkin arveluttavaa käyttää rapattuja ulkoseinäpintoja pohjoisseinissä, koska ne eivät juurikaan saa auringon kuivaavaa lämpösäteilyä.



Kuva 11 Diagrammi kosteuden kertymisestä ja poistumisesta puukuitueristeisessä seinässä. Kertoimen R on sisäpinnan vesihöyrynläpäisevyyden suhde ulkopinnan vesihöyrynläpäisevyyteen. Sinine käyrä on ulkolämpötila ja sen arvot on oikeassa pystyakselissa /Simonson,VTT, Moisture, Thermal and Ventilation Performance of Tapanila Ecological House, ISSN 1455-0865, <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>

Seurannassa olleet rakenteet olivat hyvin erilaisia mutta useimmissa ei ollut ongelmia kosteuden kanssa. Suurimmassa osassa rakenteita olkipaalin ulkopinnoitteena oli rappaus, mikä on hyvä muistaa testituloksia lukiessa. Eteläseinät olivat pääsääntöisesti paljon muita seiniä kuivempia, eivätkä kärsineet ulkoa tulevasta kosteudesta kuten muut seinät. Sisätilan ilman kosteuspitoisuudella näytti olevan hyvin vähän merkitystä paalien kosteuspitoisuuteen. Suuret ilman kosteuspitoisuuden vaihtelut, joissa voi olla korkeitakin piikkejä (98 % RH) eivät näyttäneet aiheuttavan kosteusongelmia. Sen sijaan pitkät jaksot, joissa RH oli yli 85 % yleensä kertoivat kosteusongelmasta. Riskirajalla olevia tai ei-hyväksyttäviä mittausravot saivat lähinnä sellaiset rakenneratkaisut, joissa oli kaksi tai useampi seuraavista virheistä:

- Minimaaliset tai puuttuvat räystäät
- Veden nousua kapillaarisesti perustuksen rappauksesta olkipaalisoinän rappaukseen ei oltu katkaistu
- Rakenteet saivat kosteutta märistä sisätiloista, joita ei oltu viemäröity
- Rakenteissa käytetty ala-arvoisia paaleja
- Riittämätön sateen roiskeveden suojaus
- (rapatut) pohjoisseinät jätetty alttiiksi säälle

Nämä suomalaisesta ehkä alkeelliselta kuulostavat rakennusvirheet selittyvät osittain sillä, että koerakennukset sijaitsivat hieman leudommassa ilmastossa, jossa myös standardit ovat matalammat. Lisäksi olkipaalinrakentajat eivät ole niitä, jotka tiukimmin seuraavat totuttuja rakennustapoja vaan käyttävät mielikuvitustaan myös rakennusten muotoilussa ja rakenneratkaisuissa*.

Myös Suomessa on käynnissä olkipaalinrakenteiden seuranta tutkimuksia. Ensimmäinen aloitettiin jo vuonna 1996 Urpolan kartanossa Humppilassa, jossa on pellavankorsipaaleista rakennettu majoitusrakennus. Seinä- ja kattorakenteet yhdistyvät holvimaisessa rakenteessa, ja ne on molemmiin puolin rapattu sementtilaastilla (ks. kuva 1). Toinen tarkkailtava kohde on Helsingin Jollakseen rakennetun koulurakennuksen ulkoseinä, jota on seurattu vuodesta 2000 lähtien. Sen sisäpinnoituksena on savirappaus ja kalkkimaali ja ulkorappaus koostuu kolmesta kerroksesta, joista ensimmäinen on puhdas savirappaus, keskimmaisessä kerroksessa on mukana hieman kalkkia ja uloin kerros on puhdas kalkkirappaus (ks. kuva 1)*.

Kosteusvaurioiden syyt ja ehkäisy

Yleisesti myönnetään, että kosteus on tärkein haaste olkipaalinrakennusten kestävyydelle ja toimivuudelle. Rakenteiden pitäminen kuivana on erityisen tärkeää alueilla, joilla on korkea suhteellinen kosteus, koska pahasti kostuneiden rakenteiden kuivuminen on siellä hidasta tai jopa mahdotonta. Jopa seinien ulko- ja sisärappauksilla voi olla näillä alueilla kuivumisongelmia varsinkin syksyllä ja talvella. Tähän mennessä raportoiduissa kosteusongelmissa aiheuttajana on aina ollut vesi ei vesihöyry /6/. Suurimpia syitä veden aiheuttamiin ongelmiin on ollut huolimaton olkipaalin suojaus varastoinnin ja rakentamisen aikana niin, että sa-

devesi on pääsy paaleihin. Olkipaalirakennuksissa on oltava vesikatto ennen paalien asentamista, sillä kosteissa ilmastoissa rakennusvaiheessa kastuneet paalit eivät mahdollisesti kuivu koskaan.

Ilmankosteudesta diffuusion kautta aiheutuvaa rakenteiden kostumista ja sen estämisen tarpeellisuutta on käsitelty aikaisemmin kohdassa "Diffuusio" ja osassa 5.3. Yksi oletettavimmista syistä vesihöyryn aiheuttamiin kosteusongelmiin asuinrakennuksissa olisi (hallitsematon) ilmavuoto rakenteessa eli konvektio. Laskennallisesti rappauksessa oleva 1,5 mm x 1,2 m halkeama voi johtaa 20 kilogramman kondensoitumiseen rakenteeseen. Rob Jolly totesi kuitenkin tutkimuksessaan, että "*On mielenkiintoista huomata, että savirappauksessa oli lukuisia halkeamia, joista suodattuu varmasti melkoinen määrä kosteutta. Sen ei huomattu aiheuttavan ulkopintaan mitään kosteuden muodostumista*" /5/. Kosteuden ja ilman sulun (muovi tai rakennuspaperi) käyttäminen rakenteen sisäpinnassa on yleisesti sanottu olevan turha turvatoimi konvektiota vastaan, sillä niissä kohdissa, jossa ilmavuotoja pelätään vaihtuu myös usein pintamateriaali ja sen alla olevassa ilmasulussa on usein epäjatkuvuuskohta. Myös rappausverkkoa käytettäessä se on kiinnitettävä paaleihin jollain tavoin, ja kosteussulkua lävistämättä se on vaikeaa.

Nestemäisen veden tunkeutuminen rakenteeseen voidaan estää seuraavilla perinteisillä tavoilla, jotka ovat vanhastaan tunnettuja hyvän rakennustavan periaatteina:

- Katossa on pitkät räystäät ja vesikourut
- Maantasoviettä rakennuksesta pois päin ja vesi johdetaan myös maan alla mahdollisimman hyvin pois rakennuksen lähetyviltä
- Kosteuden kapilaarinen nousu perustuksista estetään kosteussululla tai rakenteellisilla ratkaisuilla.
- Viistosateelle alttiina olevat seinäpinnat suojataan hyvin. Tuuletettu ulkovuoraus on hyväksi todettu pinnoitus Suomessa, mutta kalkkirappauskin on toiminut hyvin*. Tuulensuojauksen, homeeneston ja paloturvallisuuden takia kaikkien olkipaalirakenteiden ulkopinnat on kuitenkin hyvä slammata.
- Ikkuna ja ovi aukkojen toteuttamiseen kiinnitetään erityistä huomiota, niin, että mm. ikkunoista valuva vesi ei pääse valumaan seinää pitkin tai karkaamaan ikkunalaudan alle rakenteeseen.
- Lumien sulamisvesien valuminen rakenteisiin estetään riittävän korkeilla perustuksilla (tuuletettu alapohja) tai kellarin kiviseinillä.
- Vesi- ja viemäriputket pyritään pitämään pois rakenteista*.
- Kosteiden tilojen vesieristys on tehty erittäin huolellisesti ja esim. tiskipöydän kaato on jyrkästi altaisiin päin*.

Ovien ja ikkunoiden ympärillä oleviin yksityiskohtiin on kiinnitettävä huomiota kuten myös sähköasennuksiin sekä seinien ja ala- ja yläpohjan liitoksiin. Hannoverin yliopisto ehdottaa, että olkipaalirakenteiden liitoksissa, LVIS -asennuksissa ja muissa kriittisissä kohdissa käytettävät yksityiskohdat pitäisi standardoida. Tätä asiaa ollaan kehittämässä itävaltalaisessa projektissa *Wandsystem aus nachwachsenden Rohstoffen* /4/. Mikäli olkipaalirakenteen rapattu ulkopinta aiheuttaa ongelmia keräämällä sadevettä rakenteeseen, sekä Jolly, että Straube suosittelevat raporteissaan pinnoittamaan hydrofobisella (kosteutta hylkivä) pinnoitteella, joka vähentää olennaisesti kapilaarisuutta pienentämättä kuitenkaan vesihöyryn läpäisevyyttä. Ongelmana on tällöin se, että rakenteessa jo oleva liiallinen kosteus ei pääse poistumaan kapilaarisesti (mutta diffuusion kautta kylläkin). Sisäpinnassa oleva (muovinen) kosteussulku poistaa molemmat kuivumismahdollisuudet.

5.3 Vesihöyryn läpäisevyyksien laskelmat

5.3.1 Rakenteiden ja ulko-olosuhteiden määrittely

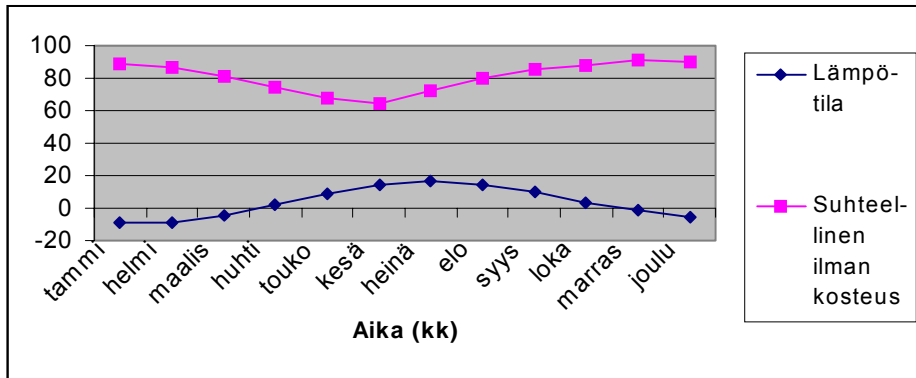
Tutkimuksessa käsiteltiin kolmea erilaista seinärakennetta, joissa kaikissa oli eristeenä olkipaali, jonka laskennalliseksi paksuudeksi otettiin 43 cm. Ulkopinnassa kaikissa tapauksissa oli kalkki-savirappaus, kuten Jollaksen rakennuksessa. Ensimmäinen kerros on puhdas savirappaus, keskimmaisessa kerroksessa on mukana hieman kalkkia ja uloin kerros on puhdas kalkkirappaus. Tuuletusraon ulkopuolella oleva rakenne voi olla mitä tahansa, koska se ei vaikuta rakenteen lämpö- tai kosteuseristysominaisuuksiin. Sisäpuolella tarkasteltiin kolmea eri mahdollisuutta, joiden oletetaan eroavan selvästi toisistaan kosteusominaisuuksiltaan:

- Ensimmäisenä vaihtoehtona oli olkipaalineristeen tasoittaminen savirappauksella, jonka päälle asetetaan sisäpuolinen betonielementti (50 mm) eläinten mekaanista kulutusta vastaan.
- Toisena vaihtoehtona tarkasteltiin rakennetta, jossa sisäpuolella savirappauksen päällä on mahdollisimman hyvin vesihöyryä pidättävä maalikerros (vesihöyryn vastus $10 \times 10^9 \text{ m}^2 \text{ s Pa / kg}$).
- Kolmantena vaihtoehtona tarkasteltiin rakennetta, jossa sisäpuolella savirappauksen päällä on mahdollisimman hyvin vesihöyryä pidättävä maalikerros (alkydimaalia tai polyuretaanimaalia) ja tämän päällä vielä puukuitulevykerros.

Neljäntenä vaihtoehtona tarkasteltiin rakennetta, jossa sisäpuolella savirappauksen päällä on ohut 0,09 mm polyeteenimuovikalvo ja sen suojana rakennuslevy.

Rakennusten lämmöneristys on kaikissa tapauksissa riippuvainen olkieristeen paksuudesta. Muilla rakennekerroksilla ei ole merkittävää vaikutusta. Käytetyllä 43 cm:n eristepaksuudella rakenteen u-arvoksi saadaan 0,10 W/m²K, joka alittaa tulevatkin ympäristöministeriön rakennuksen ulkovaipalle asettamat lämmöneristävyyden vaatimukset.

Kosteusominaisuuksia tarkasteltiin käyttämällä ulkoilman olosuhteina Jyväskylän seudulla vallitsevia keskimääräisiä lämpötila- ja kosteusolosuhteita (ks. kuva 12).



Kuva 12 Keskimääräiset lämpötilat ja ilman suhteelliset kosteudet Jyväskylässä

5.3.2 Sisätilan olosuhteiden määrittely

Sisätilan olosuhteina käytettiin kolmea erilaista rakennustyyppiä, joiden ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan vaihteluiden sekä muut tiedot saatiin MTT:n tuoreesta tutkimuksesta /7/. Nämä rakennukset olivat:

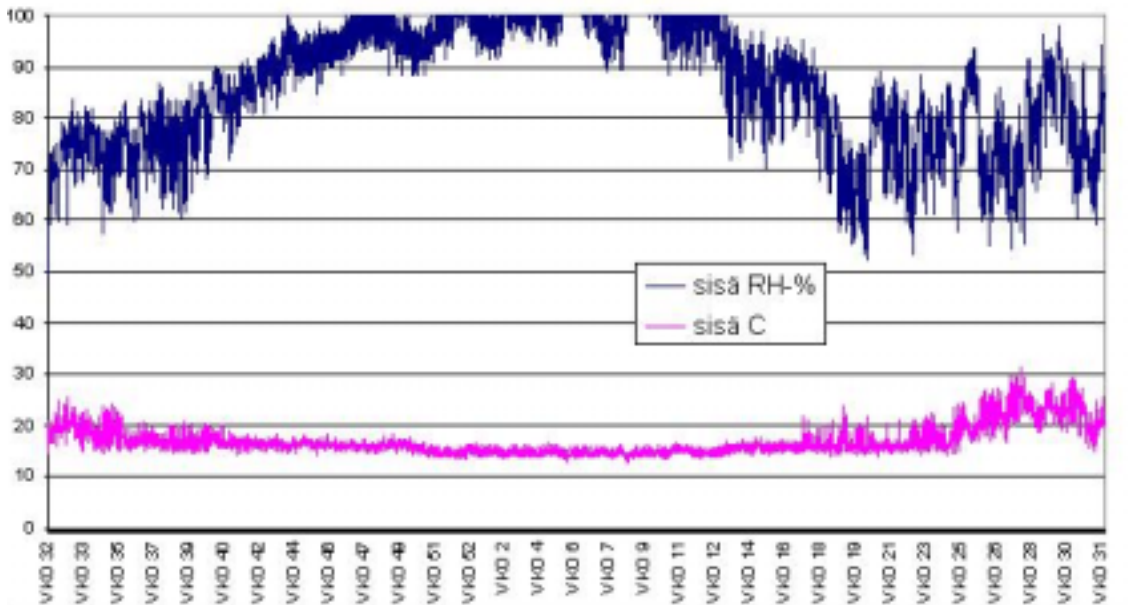
- Lehmäpihatto (30 lehmää), jonka olosuhteet on esitetty kuvassa 13
- Lihasikala (800 sikaa), jonka olosuhteet on esitetty kuvassa 14
- Emakkosikalan porsitusosasto (80 emakkoa), jonka olosuhteet on esitetty kuvassa 15.

Emakkosikalan porsitusosaston olosuhteet ovat hyvin lähellä asuinrakennuksen olosuhteita, joten näitä tuloksia voidaan hyvin käyttää myös tarkasteltaessa asuinrakennuksen kosteusolosuhteita.

Lehmäpihatto

Loimaalla sijaitsevan 30 lehmän pihatton ikä on noin 15 vuotta. Seinät on eristeharkoista ikkunan alalinjaan asti, josta ylöspäin puurunko. Sisäpinnassa on maatilavaneri ja oletettavasti muovinen höyrysulku. Eristeenä on todennäköisesti mineraalivillaa 120 - 150 mm sekä ulkopinnassa tuulensuojalevy ja puuverhous. Yläpohjan sisäpinnassa on alumiinipelti sekä höyrysulkumuovi ja rakennetta kantaa puukattoristikot, joissa on eristeenä noin 20 cm puhallusvillaa. Katteena on pelti ilman aluskatetta.

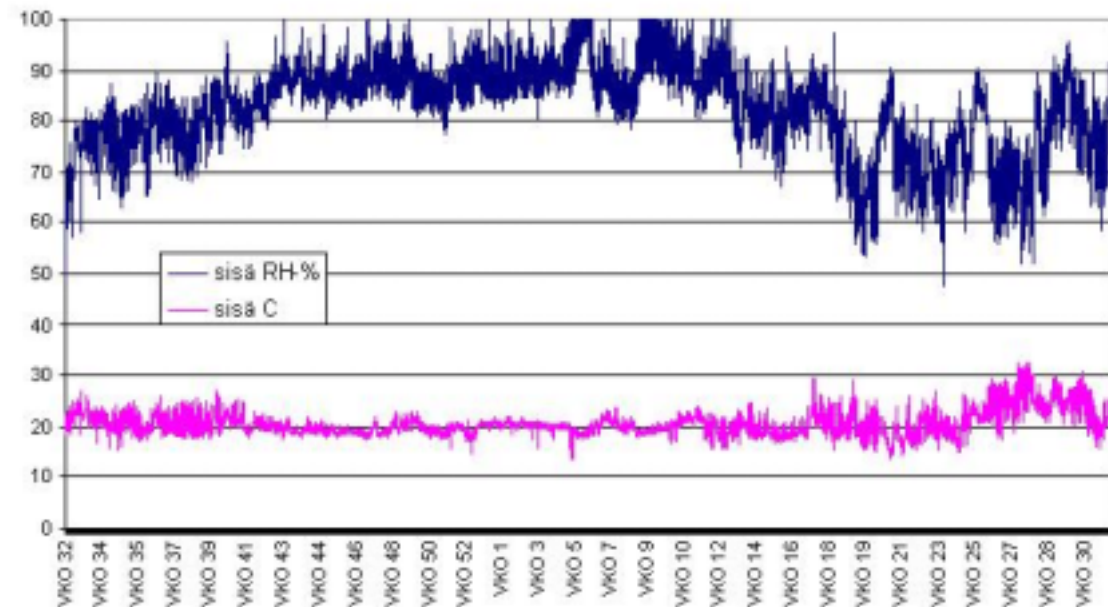
Kuten kuvasta 13 on nähtävissä pihatto on aivan liian kostea. Syynä on ilmanvaihdon alimitoitus erityisesti talvella. Kohteessa on ns. alapoisto eli ilmaa poistetaan pääasiassa lantakanaalien kautta, jotta saataisiin ammoniakit ja hiilidioksidit minimoitua. Kesän ilmanvaihtoa varten pihatossa on katossa iso puhallin, korvausilma otetaan sekä kesällä, että talvella ullakon ontelotilasta, tuloaukot ovat seinien vierustoilla. Pihatossa ei ole lisälämpöä, vaan kaikki lämpö on peräisin lehmistä.



Kuva 13 Pihaton sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila /7/

Lihasikala

Somerossa sijaitsevan 800 sian lihasikalan ikä on noin 4 vuotta. Seinät on tehty 300 mm paksuista Siporex -lankuista, jotka on saatu puretusta tehdashallista. Rakennuksen päädyt on rakennettu 300mm paksuista eristettyjä Leca -harkoista. Yläpohjan sisäpinnassa on puupanelointi sekä tervapaperi höyrysulkuna joiden yläpuolella on puukattoristikot ja eristeenä noin 40 cm kutterilastua ja sahanpurua. Katto on pellistä ilman aluskatetta.

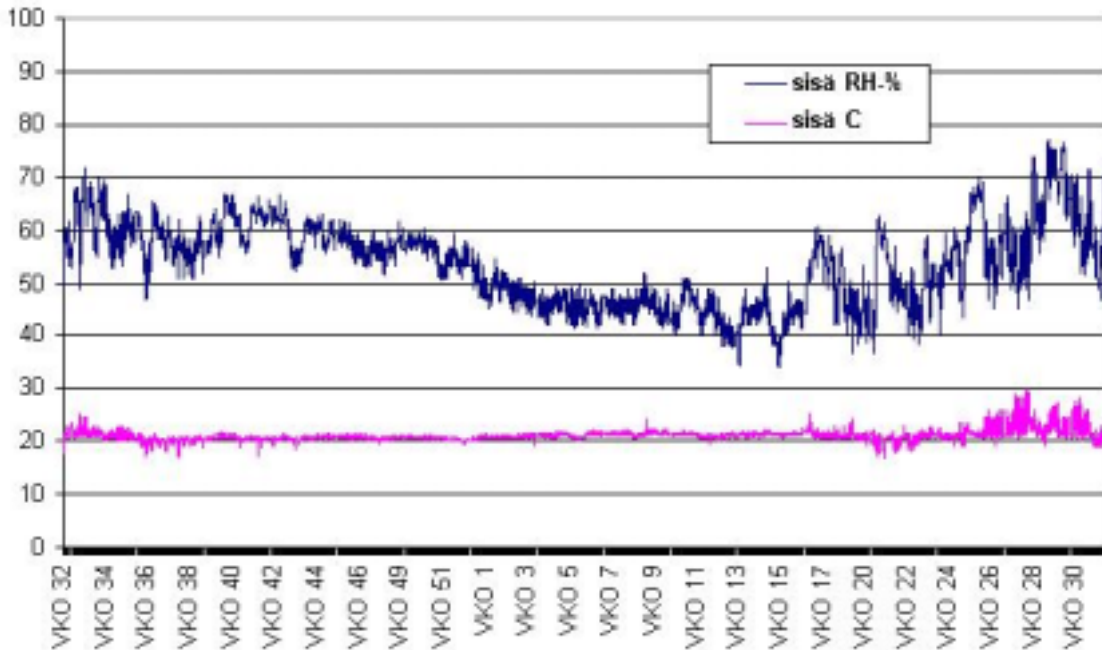


Kuva 14 Lihasikalan sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila /7/

Kuvasta 14 voidaan nähdä, että sikalan ilman suhteellinen kosteuspitoisuus on aivan liian korkea. Tarkemmassa tutkimuksessa huomattiin mm., että kattotuolien naulalevyjen leikkauspinnat ovat jo ruosteessa. Sikalaa lämmitetään talvella ja lämpötila on suhteellisen tasainen + 20. Ilmanvaihto perustuu katossa oleviin huippuimureihin, jotka säätyvät lämpötilan mukaan. Korvausilma otetaan seinäluukuista suoraan hallitilaan. Kosteutta tuottavat eläinten normaalien elintoimintojen lisäksi se, että sikalassa käytetään nk. liemiruokintaa eli ruoka jaetaan nestemäisessä muodossa (vähän kuin velliä) ja sikojen oleskelualue on 60 cm paksuudelta sahanpurua, johon ne tekevät tarpeensa. Toisin sanoen sahanpurupatja toimii kompostialustana, sitä käännellään viikoittain ja vaihdetaan noin 3-4 kk välein. Tällaisesta patjasta haihtuu koko ajan nesteitä.

Emakkosikalan porsitusosasto

Somerossa sijaitseva 80 emakon sikalan ikä on noin 10 vuotta. Seinät: on itse tehty puuelementeistä, jossa on sisäpintana maatilavaneri ja höyrysulkumuovi sekä eristeenä mineraalivilla 120 mm. Ulkopinnassa on tuulensuojalevy ja puuverhous. Yläpohjan sisäpinnassa on alumiinipelti sekä höyrysulkumuovi jonka yläpuolella on itse tehdyt puukattotuolit ja eristeenä puhallusvillaa n. 20 cm. Katto on pellistä ilman aluskatetta.



Kuva 15 Emakkosikalan porsitusosaston sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila /7/

Kuten kuvasta 15 nähdään emakkosikala on todella kuiva, jopa niin kuiva, että se voi olla sioille jopa liian kuiva aiheuttaen yskää yms. Kuivuus johtunee useasta tekijästä: lantakäytävien pinta-ala on pieni suhteessa muuhun lattia-alaan ja ruokinta perustuu kuivamuonaan. Ilmanvaihto perustuu katossa oleviin huippuimureihin, jotka säätyvät lämpötilan mukaan.

5.3.3 Laskelmien tulokset

Kaikilla materiaaleilla vesihöyryn läpäisevyyksien mittaustulokset vaihtelevat paljon. Kuten kohdassa 5.2.4 todettiin olkipaalille voidaan käyttää mitä tahansa arvoa $10 - 80 \times 10^{-12} \text{ kg/m s Pa}$. Laskelmissa olkipaalin vesihöyryn läpäisevyydelle päätettiin käyttää arvoa $40 \times 10^{-12} \text{ kg/m s Pa}$. Koska pelkän ilman arvo on $185 \times 10^{-12} \text{ kg/m s Pa}$, voidaan todeta vesihöyryn kulkevan melko esteettä olkipaalin läpi ja jäävän ulkopinnan tiiviimpään kerrokseen. Kalkki-savirappauksen vesihöyryn läpäisevyytenä käytettiin arvoa $15 \times 10^{-12} \text{ kg/m s Pa}$, joka saattaa olla liian suuri arvo. Pienemmän arvon käyttö vähentäisi jonkin verran ulkorappaukseen kertyvää vesimäärää. Ongelman muodostaa se, että olkipaalin pinnalla on (lähes aina) jokin sitä tiiviimpi materiaali, johon kosteus tiivistyy. Parasta olisi, jos olkipaali voisi suoraan päättyä tuuletusrakoon, jolloin voisi käydä niin, ettei tiivistymistä itse olkiin paljoakaan tapahtuisi. Tosin tästä ei tiettävästi ole vielä tutkimuksia.

Laskelmien tulokset on esitetty taulukossa 8. Mikäli olkipaalien vesihöyryn läpäisevyys olisi vain puolet laskelmissa oletetusta, mikä eräiden tutkimusten mukaan on mahdollista, olisi tuloksena rakenteeseen kertynyt vesimäärä, joka olisi puolet tai eräissä tapauksissa jopa $\frac{1}{4}$ taulukossa esitetyistä arvoista. Näin ollen on ratkaisevaa joko tuntea tarkkaan paalien vesihöyryn läpäisevyys tai rakenteessa varautua melko suureen vesihöyryn läpäisevyysarvoon.

TAULUKKO 8 RAKENTEISIIN LÄMMITYSKAUDEN AIKANA KERTYNYT VESIMÄÄRÄ g/m^2

| Sisäpinnan materiaalikerroksia | Lehmäpihatto | Lihasukkala | Emakkosikalan porsitusosasto/ Asuinrakennus |
|-----------------------------------|--------------|-------------|------------------------------------------------|
| Rappaus + betonielementti | 730 | 580 | 220 |
| Rappaus + maalikerros | 640 | 510 | 190 |
| Rappaus + maalikerros + kuitulevy | 590 | 470 | 170 |
| Muovikalvo + rakennuslevy | 0 | 0 | 0 |

Kuten tuloksista huomataan lehmäpihaton ja lihasikalan kaltaisissa vaikeissa olosuhteissa vettä kertyy lämmityskauden aikana yleensä yli puoli litraa neliömetrille. Vaikka osa siitä kevään aurinkoisina päivinä haihtuu, on kosteus liian suuri, jotta se riskittä voitaisiin sallia. Ohuttakin muovikalvoa käytettäessä kosteuden siirtyminen seinään estyy tehokkaasti. Kuivista tiloista, kuten asuinrakennuksista, ulkovaipan rakenteisiin kertyvä vesimäärä sen sijaan ehtii poistumaan rakenteesta kevään ja kesän aikana, kuten tiedetään sahanpuru- ja puukuitueristeisistä taloista. Sisäpinnan vesihöyrynläpäisevyyttä on kuitenkin näissäkin hyvä pyrkiä pienentämään esim. rakennuslevyjen/rappausten, maalien ja tapettien avulla (ks. kansikuva).

Mikäli rakenteen luonnonmukaisuuden nimissä muovikalvoa ei haluta kosteiden eläinrakennusten olkipaali-rakenteisiin, tarkasteltiin tässä tutkimuksessa vaadittavan sisäpuolisen höyrysulkukerroksen vähimmäisarvoa, jolloin todettiin riittävän vesihöyryn vastuksen olevan luokkaa $40 \times 10^9 \text{ m}^2 \text{ s Pa/kg}$.

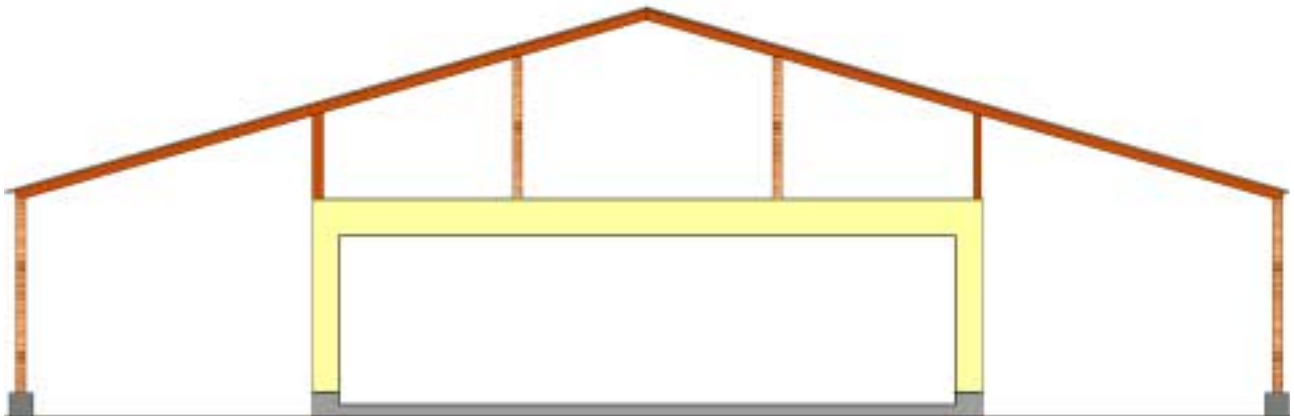
5.4 Rakennesuunnitelmat

5.4.1 Yleistä

Tässä osassa esitellään olkipaalien soveltuvuutta erityyppisiin ulkovaipan puurakennejärjestelmiin, joita on käytössä maatalousrakennuksissa. Yleensä ottaen olkipaalit soveltuvat asennustapansa puolesta samoihin kohteisiin kuin yleisesti käytetyt levymäiset lämmöneristeet, mikäli suuremmasta rakennepaksuudesta ei ole haittaa. Tässä käsiteltäviä rakennetyyppejä ovat:

- Rankarakenne seinissä ja ylä- ja alapohjissa
- Hirsirakenteet
- Suurten jänneväliden hallirakenteet

Rakennusten muotoilulla ja varsinkin räystäiden pituudella voidaan vaikuttaa siihen miten paljon vesi rasittaa seinien ulkopintoja mm. sateen sekä roiskeveden ja lumien sulamisvesien muodossa. Pitkät räystäät ja riittävä korkea sokkeli säästävät ulkoseinäpintoja ja voivat tuoda myös taloudellisia säästöjä, kun seinien ulkopinnoissa tarvitaan vähemmän suojaavia materiaalikerroksia (ks. kuva 16). Tällaisen rakennuksen olkipaali-liseiniä ei tarvitsisi pinnoittaa tai ne voitaisiin pinnoittaa ruiskuttamalla niihin savilaasti. Olkipaalirakennukset tulisi aina rakentaa niin, että vesikate on valmiina päällä, ennen kuin olkipaaleja aletaan asentamaan runkoon. Erityistä huomiota on myös kiinnitettävä siihen, ettei paalit pääse kastumaan varastoinnin aikana.



Kuva 16 Kaavamainen leikkauspiirros eläinrakennuksesta, jonka yläkerroksessa on parvi/varasto ja sivuilla pitkän räystään suojaamat konesusojat.

Kuten muutkin rakenteet myös olkipaalirakenteet tulee suunnitella siten, että ne ovat riittävän ilmatiiviitä, lämmöneristäviä, paloturvallisia ja toimivat vesihöyrynläpäisevyyden suhteen oikein. Kylmäsiltoja tulee välttää kondensoitumisen ehkäisemiseksi. Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi maatalousrakennusten osalta sitä, että sähkötyöt tehdään mieluiten pinta-asennuksina ja putkistot asennetaan kannatteiden alapuolelle. Tässä raportissa ei käsitellä ikkuna- ja oviratkaisuja eikä rakenteiden liitoskohtia, mutta niiden onnistumisen suhteen ei ole ongelmia, kuten Helsingin Viikkiin valmistumassa oleva olkipaaleista rakennettava rivitalo on osoittanut.

Rankarakenteisten olkipaalirakenteiden puiset pysty- ja vaakarakenteet on edullista sekä käytännöllistä rakentaa tikkakaiksi 25 x 100 - 125 mm lautaa käyttäen (ks. kuva 17). Puuta ei tällöin kulu normaalirakennetta enempää. Laudan ja varsinkin vajaan kanttisen laudan kuutiohintaa on kuitenkin halvempi kuin 50 mm leveän puutavaran.



Kuva 17 Viikissä rakenteilla oleva olkipaaleilla eristettävä rivitalo (vas.) ja olkipaalirakenteissa tarvittava puinen tikasrakenne pysty- ja vaakarakenteisiin (oik.)

5.4.2 Seinät

Tuuletetun ulkoverhoilun hyvänä puolena on, että se jakaa säärasitukset kahdelle pinnalle. Tuuletettu verhoisuus eliminoi sateen vaikutuksen, kun taas itse rakenteen pintakerros estää tuulen pääsyn rakenteeseen. Näin tuuletusvälin rakenteen pintakerros voi olla hyvinkin huokoinen ja hyvin vesihöyryä läpäisevä. Tuuletettu ulkoverhoisuus on suositeltava pinnoitustapa Suomen viileässä ja kosteassa ilmastossa vaikka ulkomaisissa lähteissä olkipaalirakennusten ulkopinnat on lähes poikkeuksetta pinnoitettu rappauksella. Kuivan tilan sisäpinnassa rappaus on hyvä vaihtoehto vaikkakin arvokkaampi, kuin levytys tai laudoitus. Suurimmassa osassa asuintiloja voidaan käyttää kuivan tilan pinnoitusta, mutta kosteissa eläinrakennuksissa on turvallisempaa suojata paalit kosteudelta höyrysululla ja levytyksellä tai laudoituksella (taulukko 9). Rapattaessa puupintojen yli on käytettävä rappausverkkoa, mutta muutoin verkkoa ei kokemusten mukaan tarvita savilaastin kanssa. Sementti- ja kalkkilaastit sen sijaan tarttuvat olkeen huonosti ja tarvitsevat rappausverkon yli koko paalipinnan. Olkipaalit jäykistävät hyvin runkoa, mutta rakenteiden tuulijäykkyys on hyvä vielä varmistaa, mikä onnistuu helpoimmin asentamalla paalin ja levytyksen/laudoituksen väliin metallinauhasta diagonaalituet. Saman asian ajaa myös vinoon laitettu rimoitus levyn, puupaneloinnin tai rappauksen alla (ks. kuvat 7 ja 18).



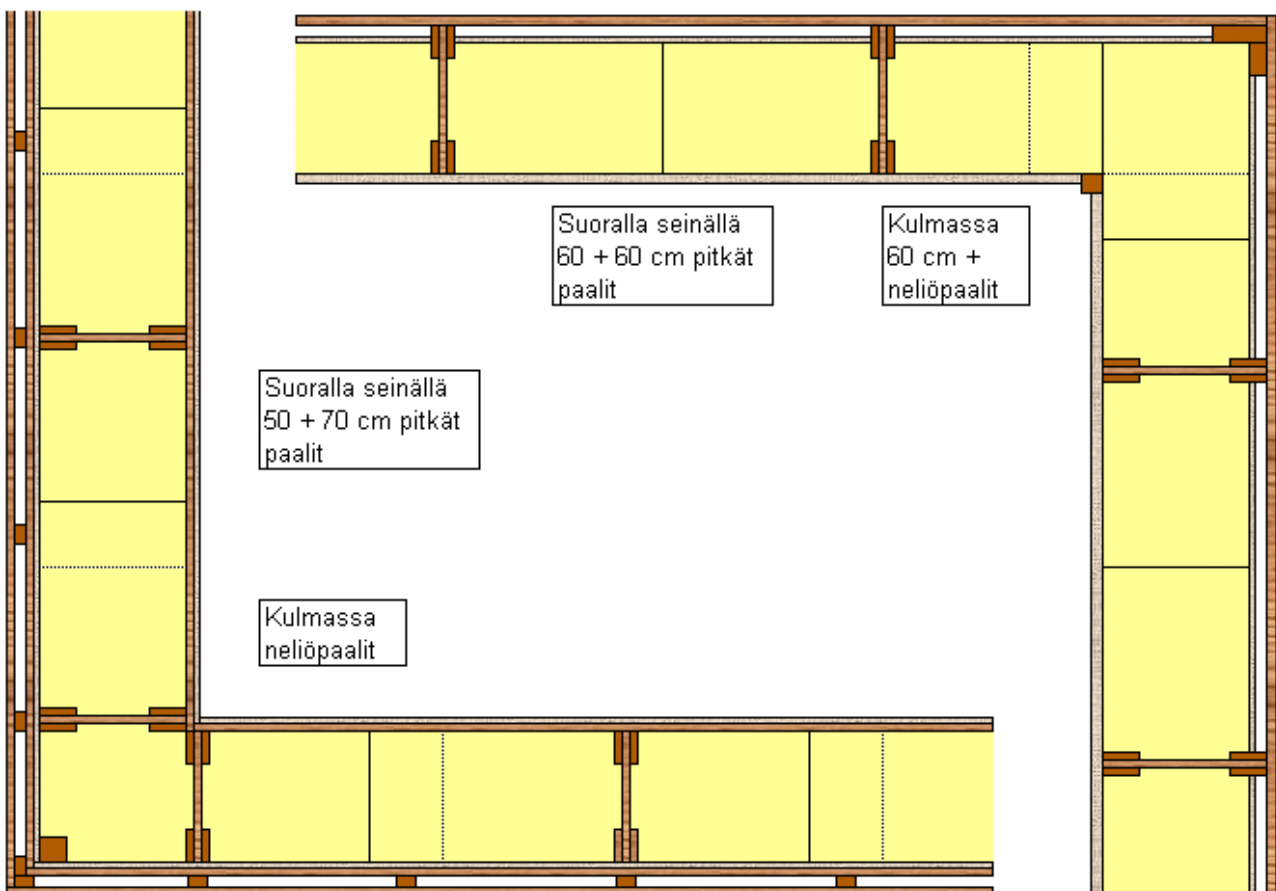
Kuva 18 Olkipaalin asentaminen puurunkoon, teräsnauhalla jäykistetty rakenne ja puurunkoinen seinäelementti /asbn, <http://www.baubiologie.at/>

TAULUKKO 9 PINNOITUSSUOSITUKSIA SEINÄRAKENTEILLE. KERROKSET OLKIPAALISTA PINTAAN PÄIN

| Vaihtoehdot | Kuivan tilan sisäpinta | Kosteian tilan sisäpinta | Ulkopinta |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | <ul style="list-style-type: none"> Rappaus (savi) (Maali) | <ul style="list-style-type: none"> Höyrynsulku Levy, laudoitus (tai betonielementti eläintilassa) Maali | <ul style="list-style-type: none"> Slammaus (savi) tai tuulensuojalevy Tuuletusväli ja rimoitus Laudoitus (+ maali) |
| 2 | <ul style="list-style-type: none"> (Rakennuspaperi tai slammaus) Rimoitus + levy tai ponttilaudoitus Maali tai tapetti | | <ul style="list-style-type: none"> Rappaus (savi-kalkki) (Kalkkimaali) |

Puurankarakenne

Tavalliseen puurankarakenteeseen (50 x 100 - 150 mm pystytolpat 60 cm jaolla) verrattuna olkipaalirakenteessa on usein kaksinkertainen tolppaväli (ks. kuva 19). Tikkaiden väleihin survotut paalit saavat tasaisen tuen päistään eivätkä mene kaarelle. Paalirakenteen tukevuutta on parannettu vielä käyttämällä 50 + 70 cm pitkiä paaleja kahden 60 cm pitkän tilalta ja lyömällä usean paalikerroksen yhdistäviä puutikkuja ylhäältä paalien lävitse. Jos pinnoituksina käytetään ulkona ja sisällä levyä tai lautaa nämä varmistustoimenpiteet lienevät kuitenkin turhia, koska paali ei pääse kuitenkaan liikkumaan sivusuunnassa. Olkipaalien jäykkyyden ja epämääräisen muodon vuoksi levyrakenteiden ja olkipaalien väliin jää mahdollisesti onteloita, mutta nämä seisovat ilmatilat eivät sinänsä huononna rakenteen lämpö- ja kosteusteknistä toimivuutta, jos ontelot eivät kierrä yhtenäisinä kylmältä lämpimälle puolelle. Levyn ja olkipaalin väliin jäävät rimat (kk 400 mm) katkaisevat myös ilmatilan, jolloin seisova ilmatila toimii lähinnä lisälämmöneristeenä. Rimojen välit voidaan myös rapata umpeen (ks. kansikuva). Mikäli tuuletetulla verhouksella varustetun olkipaalirakenteen tuulensuojana on vain slammaus on käytettävä tarpeeksi paksua ulkoverhouslautaa, että se pysyy suorana koko 1,2 metrin kiinnitysvälin.

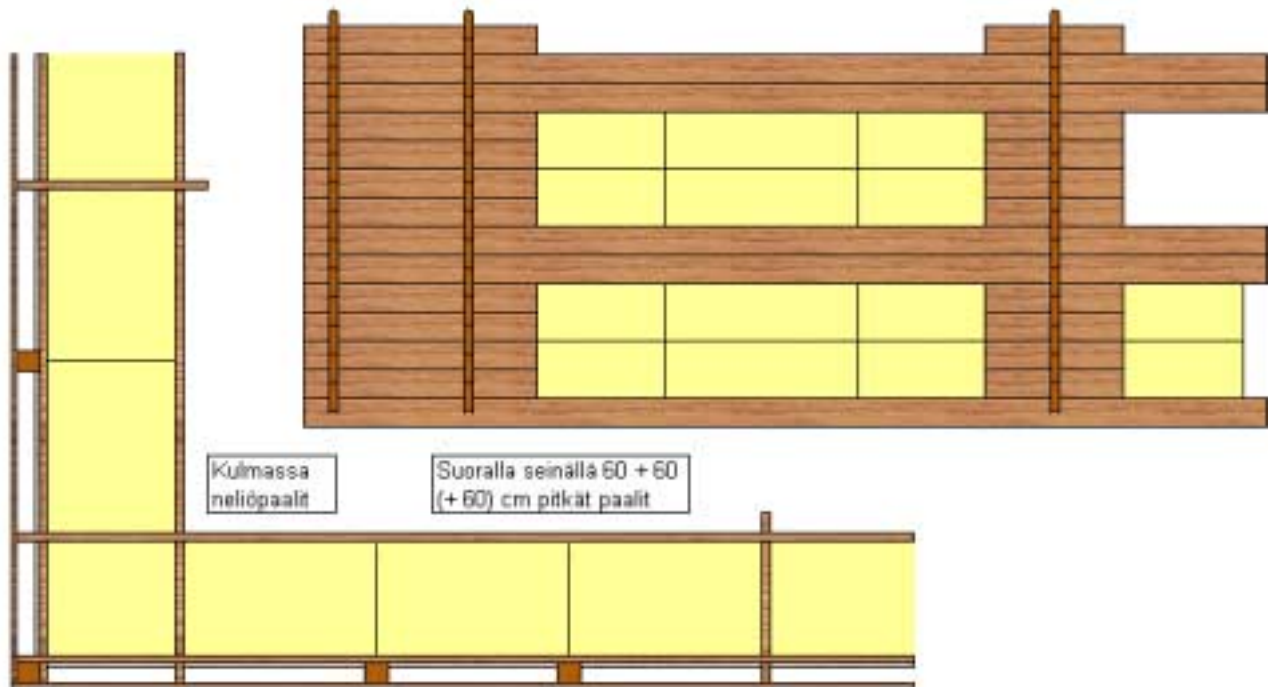


Kuva 19 Vaakaleikkaus vaihteoisista puurankaisen seinän rakenneratkaisuista. Tikasväli molemmissa 1,2 m suoralla seinällä

Hirsirakenne

Lisäeristettäessä oikeaa hirsiseinää olkipaaleilla esiin tulevia ongelmia ovat suuri rakenteen paksuus ja kustannukset, sillä toista pintaa varten pitäisi kuitenkin järjestää koolaus paalien paikallaan pitämiseksi. Tässä tutkimuksessa kehitettiin uusi rakenneratkaisu, jossa kantava puu on hirsirakenteiden tapaan vaakasuunnassa. Ratkaisu perustuu 2 -kertaiseen lautahirsirunkoon, jonka sisälle laitetaan olkipaali eristeeksi (ks. kuva 20). Rungon rakennetaan höylätystä tukevasta ponttilaudasta, niin, että ulko- ja sisäpintalautoja yhdistävät välipuut normaalisti 1,2 tai 1,8 metrin (2-3 olkipaalin) välein. Nykyään markkinoilla olevissa lautahirsiaitoissa väli on jopa pidempi ilman riskiä lautojen kieroutumisesta. Rungon ulkopintaan jää aukkoja (40 cm korkea), joista olkipaalit voidaan pujottaa paikoilleen. Kulmaolkipaalit asennetaan rungon noustessa ja suojataan hyvin sateelta. Rankarakentamiseen verrattuna sen etuja olisivat:

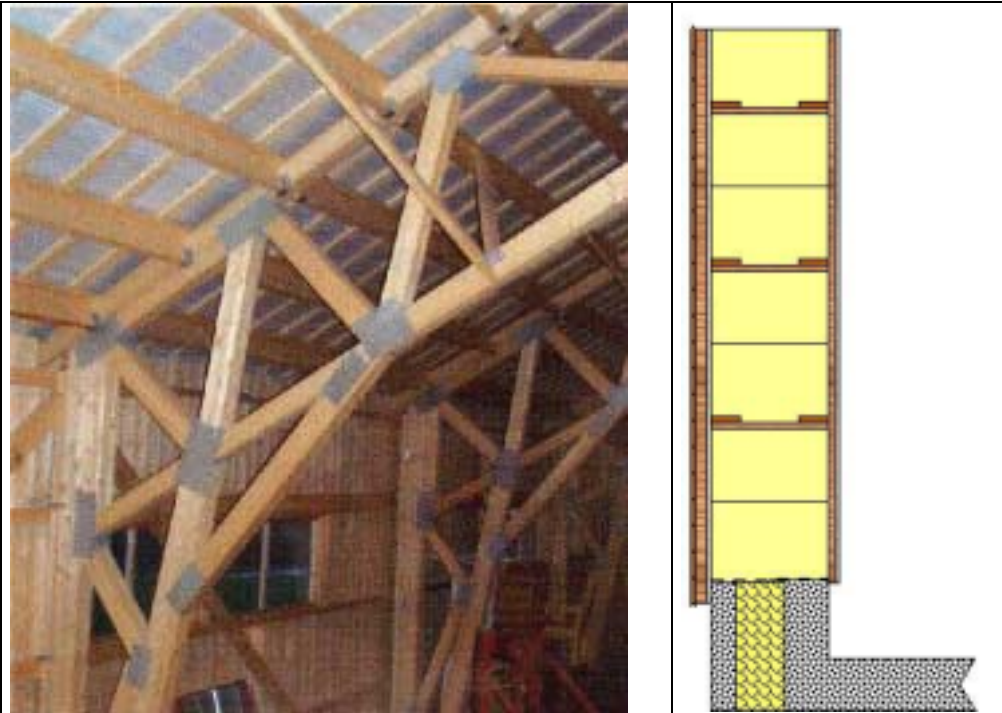
- Rungon rakentaminen on erittäin helppoa jopa ei-ammattilaiselle (valmiiksi leikatuista ja lovetuista laudoista)
- Rungon pinta on sinänsä valmis sisäpinta ja se kantaa painavatkin ripustukset. Se on kuitenkin hyvä pinnoitta vielä maalilla tai tapetilla.
- Jättämällä muutamia välipuuta aluksi pitkiksi niiden varaan voidaan ripustaa rakennustelineetasot
- Paalien asentaminen on nopeaa eikä vaadi "jälkitrimmausta" kuten näkyvien rappauspintojen alustat
- Paalin pää saa tulla suorana välipuuta vasten (vrt. seinätikas), joten tilkittäviä koloja jää vähemmän



Kuva 20 Vaakaleikkaus 2 -lautahirsirungosta, joka on eristetty olkipaaleilla (vas.) sekä rakenteen ulkopinta ennen kuin se on tuulisuojattu, koolattu ja laudoitettu (oik.)

Suurten jännevälien hallirakenteet

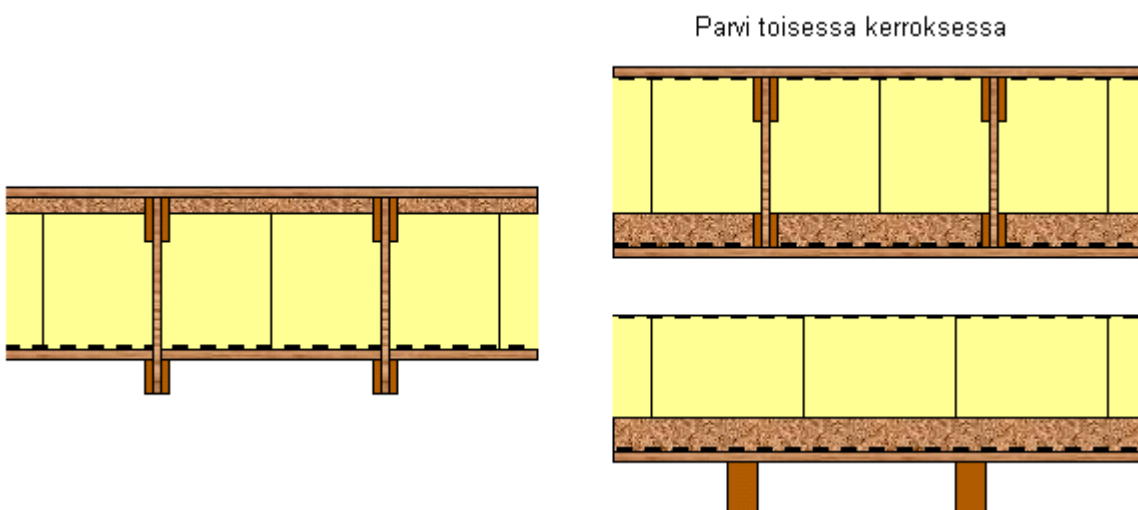
Hallirakenteissa pystysuorat kuormat johdetaan alas 3 -nivelkehillä tai muilla pilari-palkkirakenteilla, joiden etäisyys toisistaan voi olla useita metrejä. Näiden pilareiden välillä ei siis juurikaan tarvita kantavia pilareita, mutta vaakasuuntaisia tukia kylläkin ulko- ja sisäpinnoituksen kiinnittämiseen, ja rakenteen jäykistämiseksi ettei tuuli puhalla seinää "pussille". Lisäksi tarvitaan tietenkin kantavien rakenteiden välille diagonaalitukia, ettei tuuli kaada rakennusta. Jos tällainen halli halutaan lämpöeristää olkipaaleilla tarvitaan siis vaakasuoria tikkaita esimerkiksi joka toiseen paaliväliin, niin asennettuna, että tikkaat eivät kannu paaleja, vaan koko seinärakenteen kuorma tulee alla olevalle lattia- tai perustusrakenteelle (ks. kuva 21). Vaakatikkaisiin voidaan normaalisti kiinnittää sisä- ja ulkopinnoitus.



Kuva 21 Normaali lämpöeristämätön hallirakenne (vas.) ja pystyleikkaus olkipaalilla eristetyistä hallirakenteesta (oik.)

5.4.3 Ala- ja yläpohjat

Olkipaalit soveltuvat erittäin hyvin asennettavaksi vaakasuuntaiselle alustalle eli, ylä- ja alapohjan eristeiksi. Laittamalla paali kyljelleen tai lappeelleen voidaan valita haluttu eristystaso (ks. kuva 22). Muiden orgaanisten eristeiden (puukuitueriste, sahanpuru, turvesilppu) tapaan ne eivät painu, mutta niiden alle/päälle on hyvä laittaa kerros sahanpurun ja höylälästun sekoitetta, tasoitekerrokseksi. Oljella ja purulla voidaan myös tasoittaa onkaloita, esimerkiksi silloin kun palkki erottaa kaksi paalia toisistaan. Yläpohjan lämpimään pintaan on syytä laittaa ilman kosteutta huonosti läpäisevä materiaalikerros varsinkin kosteissa tiloissa. Tuulisuojaus on tarpeellinen sekä ylä-, että alapohjan kylmissä pinnoissa ja muutenkin rakenteet voidaan verhoata tavallisilla materiaaleilla.



Kuva 22 Olkipaaleilla ja purulla/lastulla eristetty alapohjarakenne (vas.) ja 2 variaatiota yläpohjarakenteesta (oik.)

5.5 Rakenteiden kustannuslaskelmat

Olkipaalirakenteen pintakerrokset voivat olla pitkälti samoja, kuin esim. tavallisen mineraalivillaeristeisen

rakenteen, sillä erotuksella, että kuivan tilan olkipaalirakenteessa ei tarvita muovikalvoa höyrysulkuna (vrt. puru- ja puukuitueristeiset rakenteet), mutta kylläkin rimoitus sisustuslevyn alla. Olkipaalirakenteilla pyritään ns. matalaenergia ratkaisuihin (u -arvo = 0,10 - 0,12 W/m²K) ja olkipaalit ovat luonnostaan suhteellisen leveyttä, joten olkipaalirakenteen kustannuslaskelma tässä päädyttiin tekemään 400 mm eristepaksuudella (ks. taulukko 10). Rakennetyypiksi valittiin kuivan tilan rankarakenteinen ulkoseinä, koska se soveltuu sekä asuinrakennuksiin, lämpimiin tuotantohalleihin, että joihinkin eläinrakennuksiin. Rakenteissa on sisäpinnassa kipsilevy ja ulkopinnassa tuuletettu lautaverhous. Tarkemmat tiedot selviää laskelmasta. Vertailurakenteeksi valittiin Maatilahallituksen mallirakenneohjeesta MRO F1 rakenne 350 020, jota kuvataan näin: Lautaverhous + tuulensuoja + runko 50 mm / mineraalivillaeriste 50 mm + runko 125 mm / mineraalivillaeriste 125 mm + höyrysulkumuovi + sisäverhouslevy (ks. kuva 23). Viimeistelykerroksia kuten maaleja, tapetteja ym. ei ole laskelmassa huomioitu eikä rungon ala- ja yläjuoksuja.

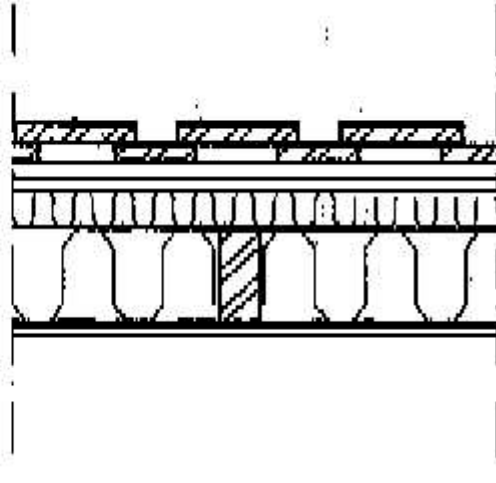
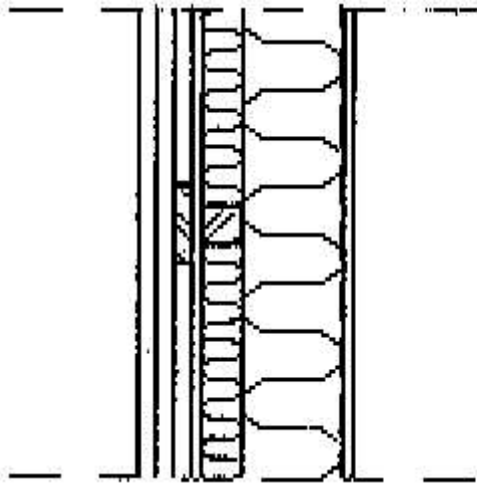
TAULUKKO 10 MINERAALIVILLALLA JA OLKIPAALILLA ERISTETYT ULKOSEINÄRAKENTEIDEN KUSTANNUSLASKELMAT NELIÖMETRILLE (ILMAN ALV). HUOMAA ERILAISET ERISTYSPAKSUUDET

| Mineraalivillalla eristetty ulkoseinärakenne MRO F1 / 350 020, ERISTEPAKSUUS 175 mm | Materiaali, mk | Työ | | Olkipaaleilla eristetty ulkoseinärakenne, ERISTEPAKSUUS 400 mm | Materiaali, mk | Työ | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|---------------|----------------------------------------------------------------|----------------|---------------|---------------|
| | | Työmenekki h | Kuvaus | | | Työmenekki, h | Kuvaus |
| Kipsilevy, 13 mm | 11,1 | 0,30 | Levytys | Kipsilevy, 13 mm | 11,1 | 0,30 | Levytys |
| Polyeteenikelmu, 0,2 mm | 10,9 | 0,10 | Asennus | Lauta, 22x100 mm, k 400 | 3,3 | 0,15 | Rimotus |
| Soiro, 50x125 mm, k 600 | 21,5 | 0,35 | Puurunkotyö | Puutikas 400 mm, 25x100 mm laudasta, k 1200 | 10,0 | 0,21 | Kokoaminen |
| Rima, 50x50 mm, k 600 | 5,0 | 0,15 | Rimotus | Olkipaali 400 mm | 33,3 | 0,52 | Asennus |
| Mineraalivilla, pehmeä 125 mm | 31,8 | 0,12 | Asennus | Kuitulevy, bitumikyllästetty, 12 mm | 10,5 | 0,15 | Levytys |
| Mineraalivilla, pehmeä 50 mm | 15,8 | | | | | Kaikki naulat | 20,0 |
| Kuitulevy, bitumikyllästetty, 12 mm | 10,5 | 0,15 | Levytys | Lauta, 22x100 mm, k 600 | 2,4 | 0,15 | Rimotus |
| Kaikki naulat | 20,0 | | | Lauta, 22x100 mm, k 200 | 16,3 | 0,40 | Lautaverhoilu |
| Lauta, 22x100 mm, k 600 | 2,4 | 0,15 | Rimotus | Lauta, 22x100 mm, k 200 | 16,3 | | |
| Lauta, 22x100 mm, k 200 | 16,3 | 0,40 | Lautaverhoilu | Materiaalit | 123,2 | 2,0 | |
| Lauta, 22x100 mm, k 200 | 16,3 | | | | | Työ | 161,4 |
| Materiaalit | 161,5 | 1,7 | | Yhteensä | 284,6 | | |
| Työ | 137,6 | | | | | | |
| Yhteensä | 299,1 | | | | | | |

Vihreällä merkityt työmenekit on Suomessa tehdyn koerakentamisen perusteella tehtyjä arvioita. Arvioiden mukaan 2 työntekijää pystyy työpäivän (7,5 h) aikana tekemään 20 tikasta tai pystyttämään 30 tikasta tai täyttämään 8 tikasväliä paaleilla. Tikkaiden väli on 1,2 m ja korkeus 3 m eli 3,6 seinäneliömetriä.

Olkipaalin hinnaksi on tässä laskelmassa laitettu 6 mk/paali ja kun paalin kooksi määriteltiin 60 cm pituus, 40 cm leveys ja 30 cm korkeus sekä tiheydeksi 150 kg/m³ saadaan oljen kilohinnaksi n. 60 penniä/kg. Tämä on lähellä ulosmyydyn oljen hintaa nykyään, mutta todellisuudessa oljen hinta tulee katettua viljan myyntihinnalla, joten omia olkipaalia käytettäessä materiaalin hinta on olematon. Jos olkipaalin arvo asetetaan nolllaksi saadaan ko. olkipaalirakenteen hinnaksi n. 50 mk/m² vähemmän kuin mineraalivillaeristeisen seinän, jonka u -arvo on 0,26 W/mK. Toisaalta, jos huomioon otetaan olkipaalirakenteen vaatima ala- ja yläpohjan lisäala on kustannuksiin lisättävä noin 80 mk/seinäneliömetri (ks. liite 3). Ylä- ja alapohjassa tällaisia kustannuslisä ei tule. Mikäli kipsi- tai/ta kuitulevyjen sijasta valitaan savirappaus ja -slammaus nousee työn arvo, mutta jälleen materiaalin hinta on olematon, sillä se saadaan esim. omista ojan kaivutöistä. Myös vaakarakenteissa tarvittavat sahapuru ja höylälästu saadaan paikallisilta sahoilta ja höylämöilta hyvin edullisesti.

Sen perusteella, mitä olkipaalin lämmönjohtavuudesta on tähän mennessä saatu tutkimustuloksia ovat mineraalivillan ja olkipaalin lämmönjohtavuudet hyvin lähellä toisiaan (normaalinen lambda = 0,05 W/mK). Näin ollen jos halutaan vertailla olkipaaleilla ja mineraalivillalla eristettyjen rakenteiden kustannuksia pitäisi myös niiden eristekerrosten paksuudet olla samat. On mahdollista rakentaa kaksoistolpparakenteella mineraalivillaeristeinen seinä, jonka eristepaksuus olisi 400 mm, mutta se olisi paljon olkipaaliseen kalliimpi eikä teknis-taloudellisesti järkevä. Toisaalta nykyisillä olkipaaleilla ei voida rakentaa vertailurakenteen kaltaista seinää, jonka eristepaksuus olisi vain 175 mm. Hyvin erityyppisistä rakenneratkaisuista johtuen suora vertailu on vaikeaa ja riippuu loppujen lopuksi kuitenkin paljon siitä, kuinka paljon omia raaka-aineita on käytettävissä.



Kuva 23 Mineraalivillalla eristetyn puuseinärakenteen pystyleikkaus (vas.) ja vaakaleikkaus (oik.)/12/

Kaikissa maatalousrakennuksissa ei kuitenkaan tarvita matalaenergiarakenteita vaan huonomminkin lämpöä eristävä seinärakenne riittää, jolloin määrääväksi tekijäksi nousee rakenteen hinta. Taulukossa 11 on esitetty yleisimpien puurakenteisten ja lämmöneristettyjen maatalousrakennusten rakenteiden hintoja.

TAULUKKO 11 MAATALOUSRAKENNUSTEN LÄMPÖERISTETTYJEN PUURAKENTEIDEN YKSIKKÖKUSTANNUKSIA (ILMAN ALV) /8/

| Nimike | Yks. | Hinta mk/yks | Nimike | Yks. | Hinta mk/yks |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------------|
| ULKOSEINÄRAKENTEET | | | ULLAKON JA YLÄPOHJAN RAKENTEET ILMAN VESIKATETTA | | |
| *asuinrakennukset, | | | Puurak. yläpohja (ristikot / eriste 250mm + hs + koolaus + sisäverhouslevy) | m2 | 226 |
| Lautaverhous + tuulensuoja + runko 50 / er 50 + runko 125 / er125 + hs + sisäverhouslevy | m2 | 346 | Puurak. yläpohja, vino sisäkatto (korokerimat + tuulensuojalevy + palkisto 200 / er 200 + hs+ rimat 50 / er 50 + sisäverhouslevy) | m2 | 229 |
| Lautaverhous + tuulensuojavilla 30 tai huok.kuitul. 25 + runko 125 / er 125 + hs + sisäverhouslevy | m2 | 332 | -paneli, lisäkustannus | m2 | 31 |
| *tuotantorakennukset, | | | Puurak. yläpohja tuotantorakennus (ristikot / er 150 +hs + koolaus + sahalautaverhous) | m2 | 201 |
| Lautaverhous + tuulensuojapaperi + runko 125 / er125 + hs + sahalautaverhous | m2 | 340 | -filmivaneri 9mm, lisäkustannus | m2 | 21 |
| * sisäpintana filmivaneri tai kuitusementtilevy, lisähinta | m2 | 41 | -alumiinipelti, lisäkustannus | m2 | 5 |
| Lautaverhous + tuulensuojapaperi +runko125 / er 125 + hs + betoniharkko 125 | m2 | 374 | | | |
| SEINIEN PINTARAKENTEET | | | KANTAVAT ALAPOHJAT | | |
| Seinä maalaus tai lakkaus | m2 | 25 | Puurakenteinen tuuletettu alapohja, alapuolinen verhous + palkisto 200 / er 200 + koolaus 100 / er 100 + hs + pintarak. ponttilauta 28 (kuivat tilat) | m2 | 345 |
| Seinän laatoitus | m2 | 200 | -lastulevy 18, vähennys | m2 | -41 |
| Seinän tapetti normaali | m2 | 30 | LATTIAN PINTARAKENTEET | | |
| Oikaisurappaus | m2 | 44 | Muovimatto (huopapohjainen) | m2 | 53 |
| Rappaus, karkea | m2 | 27 | Vinyylimuovilaatta | m2 | 67 |
| Seinätaasoite | m2 | 23 | Neulehuopatekstiilimatto | m2 | 67 |
| Seinä, slammaus | m2 | 13 | Mosaiikkiparketti | m2 | 175 |
| Seinä, muovimatto | m2 | 62 | Muovimatto (kost. tila) | m2 | 107 |
| Seinän panelointi ja koolaus | m2 | 120 | Keraaminen laatta, kost. tila | m2 | 250 |

5.6 Yhteenvedo rakenteista, vertailu ja johtopäätökset

Olkipaali ei ole vielä missään mielessä huippuunsa kehitetty rakennusaine, sillä paalien tiheysvaihtelut ja sitä kautta ominaisuuksien vaihtelut ovat vielä suuria ja suoritettavat testit ovat lähinnä esikoetyyppisiä. Kuitenkin voidaan jo sanoa jotain niille hyvin soveltuvista käyttöalueista. Käyttöalueita ei näytä rajoittavan ainakaan olkipaalien palo-ominaisuudet, eikä lämmönjohtavuus, vaan päinvastoin nämä ominaisuudet ovat olkipaalirakenteiden vahvoja alueita. Olkipaalirakenteiden lujuusominaisuudet on riippuvaisia puurakennerratkaisuista ja pinnoitusvalinnoista, sillä olkipaali on vain rakenteen lämmöneriste.

Kantava puurakenne sopii olkipaalirakentamiseen hyvin, vaikkakin olkipaalin leveys aiheuttaa muutoksia totuttuihin puurakenteisiin. Rankarakenteissa puurungon on parempi olla tikarakenteinen tavanomaisen pilari-palkkirakenteen sijaan. Tavanomaiseen hirsirakentamiseen olkipaalit sopivat huonosti, mutta 2- lauta-hirsirakenne yhdistettynä olkipaalien käyttöön voisi tuoda aivan uuden rakennejärjestelmän, jossa on monia hyviä puolia muihin järjestelmiin verrattuna. Mikäli suurten jänneväliden halleista halutaan lämpimiä, olkipaalirakentaminen voisi myös tarjota siihen varsin edullisen ratkaisun.

Olkipaalin käyttöä rakenteessa rajoittaa lähinnä sisätilan kosteus ja vesi sekä paksusta seinärakenteesta mahdollisesti aiheutuvat välilliset kustannukset (ks. taulukko 12). Käyttämällä höyrynsulkukerrosta ja vedenpitäviä ratkaisuja rakenteiden sisäpinnoissa, voidaan ongelmat varmasti välttää, mutta tämä vaatii jo rakentajalta huolellisuutta ja tällaisiin uusiin käyttökohteisiin olisi hyvä liittää seurantatutkimus. Olkipaalirakentamisen kustannusarviot ovat vielä hyvin karkeita, mutta olemassa olevan kokemuksen ja laskelmien perusteella varsinkaan vaakarakenteiden ei tarvitse paksuudestaan ja hyvästä lämmöneristäväyydestään huolimatta olla juurikaan tavanomaisia rakenteita kalliimpia. Paksu seinärakenne aiheuttaa kuitenkin välillisiä kustannuksia, joiden kanssa seinärakenne voi tulla hiukan tavanomaista kalliimmaksi, jos omasta takaa ei ole materiaaleja. Parempi lämmöneristävyys (paksuus yli 400 mm) maksaa kustannukset kuitenkin pienessä ajassa takaisin säästyneinä lämmityskuluina.

TAULUKKO 12 KARKEA JAOTTELU OLKIPAALIRAKENTEIDEN SOVELTUMISESTA ERI TILOJEN JA RAKENNUSTEN RAKENNUSAINEEKSI

| Tilat ja rakennukset | Ulkoseinät | Yläpohjat | Alapohjat | |
|--------------------------|------------|-----------|-----------|--------------|
| Kosteat eläinrakennukset | K-/L- | K- | | |
| Kuivat eläinrakennukset | K+/L- | K+ | | Suosittelava |
| Asuntojen kosteat tilat | K-/L+ | K- | K- | Hyvä |
| Asuntojen kuivat tilat | K+/L+ | K+ | K+ | Harkittava |

Kosteaa eläinrakennus/tila = Tila, jossa ilman kosteus on pitkään yli 80 RH, tai jossa käsitellään vettä
 K- ja K+ = Kosteudesta voi aiheutua/ei aiheudu ongelmaa
 L- ja L+ = Hyvästä lämmöneristäväydestä ei kannata/kannattaa maksaa

Olkipaalin kosteusteknisiin ominaisuuksiin tuskin voidaan paljoa vaikuttaa tuotekehityksen keinoin, mutta sen asennettavuuteen ja sitä kautta rakenteen kustannuksiin kylläkin. Rakennuspaalin kehitystyön päätavoitteeksi olisi otettava paalin helppo asennettavuus ja pinnoitettavuus, niin, että työtä ja kustannuksia kertyisi asentamisesta mahdollisimman vähän. Pieni tiheyshajonta ja mittatarkkuus sekä mahdollisimman suorat reunat paalissa ovat tässä asiassa ensisijaisen tärkeitä. Asennusnopeuteen voidaan luonnollisesti vaikuttaa myös puurakenteella.

6 TULOSTEN ARVIOINTI

6.1 Tulosten luotettavuusarviointi

Kuten osan 5 alussa todettiin, olkipaalien ja olkipaalirakenteiden testaaminen suurella tarkkuudella ei ole vielä relevanttia, sillä maatalouskoneilla puristettujen paalien tiheyttä eikä kosteuttakaan voida aina hallita tarpeeksi hyvin. Lisäksi voi olla vaikeaa saada juuri haluamansa viljalajin oljista puristettuja paaleja, jos ei tilaa paaleja tarpeeksi ajoissa. Käytännössä tämä tiheyden ja olkityyppien hajonta voi aiheuttaa epävarmuutta lämmönjohtavuuden sekä vesihöyryn- ja ilmanläpäisevyyden arvoihin. Hajonta ei ilmeisesti ole kuitenkaan niin suurta, että sillä olisi merkitystä paloteknisiin ominaisuuksiin, kapilaarisuuteen tai homehtuvuuteen.

Olkipaalirakentamisen kirjallisuusselvityksessä luotettavimmilta vaikuttavia ja käyttökelpoisimpia lähteitä olivat itävaltalaisen TU-Wien:in tutkimusraportit ja GLOBAL 2000:n selvitys. Pohjoisamerikkalaiset kosteustutkimukset (Jolly ja Straube) ovat myös tieteellisesti arvokkaita lähteitä tälle julkaisulle, mutta lämmöneristävyydetutkimukset (McCabe ym.) eivät ole kovin käyttökelpoisia jo pelkästään ei-eurooppalaisten mittausmenetelmien takia. Erittäin tärkeä lähde oli MTT:n uusi dokumentointi eläintilojen kosteusolosuhteista, joka oli osaltaan vaikuttamassa siihen, että tässä tutkimuksessa panostettiin juuri vesihöyryn läpäisevyysselvityksiin.

Tehtyjen vesihöyryn läpäisevyysselvitysten luotettavuutta laskee mainitun tiheyshajonnan lisäksi se, että minkään paalin vesihöyrynläpäisevyyttä ei ole tutkittu. Läpäisevyyden arvo voidaan kuitenkin arvioida riittäväällä tarkkuudella ja se on joka tapauksessa suuri verrattuna ulkopinnoitteeseen. Näin ollen vesihöyrynläpäisevyyden laskelmaa ja sen indikoimaa ongelmaa, jos kosteissa tiloissa ei käytetä kunnollista vesihöyrynsulkua, voidaan pitää suuruusluokaltaan oikeina. Olkipaalirakenteen kustannuslaskelmaa ei voi pitää kovin luotettavana pienetkin heilahdukset työmenekissä, joita ei tähän mennessä ole virallisesti mitattu, aiheuttavat heti useiden kymmenien markkojen heilahduksia kustannuksissa. Kustannuslaskelma antaa tällä hetkellä vain suuruusluokan.

6.2 Tulosten käytännön sovellutuskelpoisuus

Tutkimus toimii esiselvityksenä suunnitellulle EU tai TEKES -projektille, jossa kehitetään oljesta koostuvia rakennuspaaleja ja niiden tuotantolinjaa. Projektin jälkeen maanviljelijät ja muut maaseudun yrittäjät voivat nostaa paaliensa jalostusastetta tekemällä niistä rakennuskäyttöön paremmin sopivia.

Omatoimirakentajat ja rakennusyrietykset voivat hyödyntää tutkimuksen tuloksia rakentamisessa ja rakentaa teknisesti oikeaoppisia rakenteita. Rakennuslupaa hakiessaan rakennuttajat voivat esittää raporttiin kerättyjä tutkimustuloksia rakennusviranomaisille. Esitetyt rakennejärjestelmät voivat parhaassa tapauksessa myös innostaa perustamaan uutta yritystoimintaa alalle.

Olkipaalirakenteisen seinän ympäristövaikutukset ovat huomattavan pieniä useimpiin muihin rakenteisiin verrattuna, ja sen hyvän lämmönpidättävyyden takia normaalilla paalileveydellä (40-45 cm) myös rakennuksen käytön aikainen energian kulutus (ja ympäristön kuormittaminen) on normaalia pienempää.

6.3 Tulosten tieteellinen merkitys ja lisätutkimustarpeet

Tämä raportti on luonteeltaan selvitys enemmän kuin tieteellinen tutkimus. Selvityksen tulokset antavat kuitenkin ja suuruusluokkatietoja, jotka jo riittävät siihen, että pahimmat rakennusvirheet voidaan välttää. Selvityksestä käy myös ilmi, että olkipaalirakenteiden teknisiä ja varsinkin rakennusfysikaalisia ominaisuuksia samoin kuin niiden kustannuksiin ja terveellisyyteen liittyviä asioita olisi selvitettävä ja tutkittava paljon lisää, jotta olkipaalirakentaminen voisi tasaväkisesti kilpailla nykyisillä rakennusmarkkinoilla. Näiden tutkimusten aika on kuitenkin vasta sitten kun on ensin kehitetty tuotantomenetelmä, joka takaa pienen hajonnan olkipaalien perusparametrien suhteen.

Tässä vaiheessa olennaisinta olisi tehdä maaseudun ja muidenkin omatoimirakentajien käyttöön kunnollinen ohjekirja siitä rakennuskonseptista, johon olkipaalirakentaminen kiinteästi liittyy, eli paikallisten resurssien ja rakennusperinteen hyödyntämisestä maatalarakentamisessa. Rakenteet vaihe vaiheelta esittävän ohjekirjan avulla maatilat voisivat hyödyntää paremmin raaka-aineitaan ja rakentaa entistä terveellisemmin, edullisemmin ja ympäristöystävällisemmin. Olennaista on, että konseptiin liitetään rakenteiden ja materiaalien lisäksi lämmitys ja ilmanvaihto sekä mallit rakennussuunnitelmista.

Tärkeää olisi myös aloittaa olemassa ja käytössä olevien olkipaalirakenteiden kosteusseurantatutkimus ja laajentaa sitä, kun uusia rakennuskonseptin mukaisia rakennuksia nousee. Näin voitaisiin myös todeta myös olkien vedenimukyvyyn (kansankielellä hengittävyys) merkitys rakenteen todelliselle toiminnalle sekä nähtäisiin mahdollisen ulkorappauksen ensimmäisissä kerroksissa olevan saven kyky imeä vettä ja kestää pakkasrasitusta lievästi kosteana.

LÄHTEET

| | |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Environmental Building News, Vol. 7, No 9 - Oct. 1998; http://www.ebuild.com/Archives/Other_Copy/r-value.html |
| 2 | Forschungsgruppe Lehmbau / Eidgenössische Technische Hochschule Zürich Wärmeschutz und Feuchteverhalten von Lehmbaumaterialien, 1994 |
| 3 | Global 2000, Kansainvälinen selvitys TU-Wien /GrAT:in Fördernde und hemmende Faktoren für den Einsatz Nachwachsender Rohstoffe im Bauwesen -projektissa, 2001 Raportin englanninkielinen tiivistelmä: http://www.hausderzukunft.at/results_en.htm?id=1768 Raportti: http://www.hausderzukunft.at/download/wimmer_fuh_endbericht.pdf |
| 4 | Gruppe Angepasste Technologie GrAT / Technische Universität Wien TU-Wien Wandaufbauten aus Nachwachsenden Rohstoffen -projekt, 2001 Raportin englanninkielinen tiivistelmä: http://www.hausderzukunft.at/results_en.htm?id=1777 Raportti: http://www.hausderzukunft.at/download/wimmer_wandsysteme_endbericht.pdf Raportin liitteinä olevat koemenetelmät ja sertifikaatit: http://www.hausderzukunft.at/download/wimmer_wandsysteme_anhang.pdf |
| 5 | Jolly, Rob; Canada Mortgage and Housing Corporation; Strawbale Moisture Monitoring Report, 2000 http://www.cmhc-schl.gc.ca/ |
| 6 | King, Bruce; "Straw-bale construction" in <i>Building Standards</i> , Sept./Oct. 1998 |
| 7 | Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) mittaukset valmisteilla olevaa Laajarunkoiset maatalousrakennukset -projektia varten, 2000-2001 |
| 8 | Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja -ohjeet MMM-RMO E2 2.2 Rakennusosien yksikkökustannukset http://www.mmm.fi/luonnonvarat_maanmittaus/maatilarakentaminen/rakentamisohteet/index.html |
| 9 | Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja -ohjeet MMM-RMO-C2.2 Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto http://www.mmm.fi/luonnonvarat_maanmittaus/maatilarakentaminen/rakentamisohteet/index.html |
| 10 | Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja -ohjeet MMM-RMO-C5 Maatalousrakennusten paloturvallisuus http://www.mmm.fi/luonnonvarat_maanmittaus/maatilarakentaminen/rakentamisohteet/index.html |
| 11 | Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja -ohjeet, MMM-RMO_C2.1 Maatilan lämpöhuolto, asuinrakennusten lämmitys ja ilmanvaihto http://www.mmm.fi/luonnonvarat_maanmittaus/maatilarakentaminen/rakentamisohteet/index.html |
| 12 | Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja -ohjeet, MRO F 1 Maaseuturakennusten taloudelliset rakenteet |
| 13 | McCabe, Joseph, University of Arizona at the Environmental Research Laboratory The Thermal Resistivity of Straw Bales for Construction, 1993 http://solstice.crest.org/efficiency/straw_insulation/straw_insul.html |
| 14 | Rakennusinsinööriliitto, Rakennusten veden- ja kosteudeneritysohjeet, RIL 107-2000 http://www.ril.fi/Resource.phx/kirjakauppa/index.htm#91 |
| 15 | Sisäilmayhdistys ry, Sisäilmaohje, 1997, www.sisailmayhdistys.fi |
| 16 | Steen, Steen, Bainbridge, Eisenberg; The Straw Bale House, Chelsea Green Publishing Company, Vermont, 1994 |
| 17 | Straube, John; Canada Mortgage and Housing Corporation Moisture Properties of Plaster and Stucco for Strawbale Buildings, 2001 http://www.cmhc-schl.gc.ca/ |
| 18 | Teknillinen korkeakoulu, Unburned Clay Building Products, BriteEuram/Craft-project, 1999-2000 http://www.hut.fi/Units/LRT/UCBP |
| 19 | The Last Straw, No. 28 - Winter 1999/2000, page 21, www.strawhomes.com/main/content.html |
| 20 | Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto, Suomen rakentamismääräyskokoelma, Lämmöneristys - Määräykset, RakMK C3, http://pirtti.edita.fi/finlexnormit/doc/normi2.php?normi_id=1919 |

LIITTEET

Liite 1. Rappausten vesihöyryn läpäisevyyden tutkimustulokset

John Strauben tutkimuksen mittaustulokset /17/.

| Koekappale | Paksuus [mm] | Permeance [ng/Pa s m ²] | Läpäisevyys [ng/Pa s m] | Painon lisäys (kg/(m ² s ^{1/2})) |
|-------------------------------|--------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------|
| Sementti:hiekka | | | | |
| 1:3 Datum | 43.5 | 39 | 1.7 | 0.0378 |
| 1:3 Elastomeeri | 39.5 | 40 | -- | 0.0085 |
| 1:3 Silaani | 41.0 | 40 | 1.7 | 0.0004 |
| Sementti:kalkki:hiekka | | | | |
| 1:1:6 Datum | 35 | 295 | 10.3 | 0.0917 |
| 1:1:6 Pellavaöljy | 36 | 223 | 8.0 | 0.0665 |
| 1:1:6 Elastomeeri | 32.5 | 244 | -- | 0.0146 |
| 1:1:6 Silaani | 41 | 203 | 8.3 | 0.0006 |
| 1:1:6 Kalsiumstearaatti | 53.5 | 81 | 4.3 | 0.1005 |
| 1:1:6 Kalsiumstearaatti | 44 | 142 | 6.2 | 0.0833 |
| 1:1:6 Kalsiumstearaatti | 53.5 | 41 | 2.2 | 0.0934 |
| 1:1:6 Latex maali | 36.5 | 203 | -- | 0.0197 |
| 1:1:6 Öljymaali | 40 | 41 | -- | 0.0140 |
| Sementti:kalkki:hiekka | | | | |
| 1:2:9 Datum | 50.5 | 295 | 14.9 | 0.1100 |
| 1:2:9 Pellavaöljy | 50.5 | 259 | 13.1 | 0.1052 |
| Kalkki:hiekka | | | | |
| 1:3 Datum | 33.5 | 565 | 18.9 | 0.1273 |
| 1:3 Datum | 35.5 | 529 | 18.8 | 0.1725 |
| 1:3 Hydraulinen kalkki | 32 | 459 | 14.7 | 0.1608 |

Liite 2. Lämmönjohtavuuden koemenetelmä ÖNORM B 6015

ÖNORM B 6015, Teil 1:ssä on kuvattu mm. itävallassa käytössä oleva lämmönjohtavuuden koemenetelmä. Kolmen levymäisen koekappaleiden väliin laitetaan kaksi levymäistä lämpövirtaa mittaavaa koelaitetta 50 x 50 cm (ks. kuva). Mittaus tapahtuu niin, että näiden levyjen välillä oleva keskilämpötila saatetaan 0 °C, 10 °C ja 20 °C asteisiin. Tarvittaessa voidaan käyttää vain yhtä laitetta kahden koekappaleen välissä. Koekappaleista riippuen mittaus kestää yleensä 2 viikkoa joka sisältää koekappaleiden kosteuspitoisuuden tasaamisen standardin mukaisesti. Tarkempia tietoja menetelmästä saa tilaamalla standardin esim. osoitteesta <http://www.oenorm.at/>



Lämmönjohtavuuden koelaitte ÖNORM B 6015 -kokeseen <http://www.tgm.ac.at/va/vaws/ws.htm/>

Liite 3. Paksun seinärakenteen lisäkustannukset

Lähtökohtana on se, että sisäpinnan asema pysyy samana, joten lisäkustannus tulee suuremmasta alapohjasta ja "leveämmästä" perustuksesta (jos tarpeen), sekä eristetyn yläpohjan ja vesikatteen lisästä. Yläpohjan ja vesikatteen osalta voidaan käyttää yhteishintaa 300.-400 mk/m², samoin tuulettujen alapohjien osalta. Jos on kyseessä betoninen maavarainen alapohja ja perusmuuri sekä antura levenee 100 mm, (esim. KS -harkko 200-> KS -harkko 290 ero 50/m²), niin tästä saadaan lisähinnaksi 500 mk/m² (perusmuurin ja anturan korkeus on 1 m). Tuosta voitaneen vähän säästää huolellisella detaljoinnilla, joten päädytään tuohon samaan 300-400 mk/m² haarukkaan kuin tuuletetulla alapohjalla. Lisäksi on otettava myös huomioon, että ulkopinnan piiri (ja ala) kasvaa hiukan, ja aiheuttaa pidemmät salaojat ja kaivutyöt. Näin ollen karkeasti voidaan arvioida, että seinän paksuntaminen lisää kustannuksia vajaan 1000 mk neliölle. Mikäli rakennuksen koko on 10 x 15 m on sen piiri 50 m ja ulkoseinän paksuntaminen 20 cm lisää rakennusala 10 m², eli 10 000 mk tämän laskelman mukaan. Toisaalta ko. rakennuksen seinien ala lienee n. 120 m², joten seinäneliölle tulisi "lisärasitetta" paksuista seinistä n. 80 mk/seinäneliö.

Liite 4. Kontakttilista

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yhdistyksiä US | |
| California Straw-Bale Association (CASBA) 115 Andelita Avenue, Pacifica, CA 94044 Phone: (800) 549-4244 or (805) 546-4274 | Straw Bale Association of Texas (SBAT) P.O. Box 49381, Austin, TX 78765 Phone: (512) 302-6766 World Wide Web www.io.com/~whtefunk/sbat.html |
| Straw Bale Association of Nebraska (SBAN) 2110 South 33 rd Street, Lincoln, NE 68506-6001 Phone: (800) 910-3019 or (402) 483-5135 Email: jc10508@navix.net World Wide Web: www.strawhomes.com/sban | |
| Olkipaalirakentamisen normeja US | |
| California Department of Housing and Community Development Division of Codes and Standards P.O. Box 1407, Sacramento, CA 95812-1407 Phone: (916) 445-9471 Ref. Code mandate: AB1314, Straw Bale Codes in Cities and Counties. Copies are also accessible from the Web site of the U.S. Department of Energy's Center of Excellence for Sustainable Development at URL: www.sustainable.doe.gov/codes/castraw.shtm | Nevada State Legislature Legislative Building 401 South Carson Street, Room 101, Carson City, NV 89710 Ref. Code mandate: AB171, Straw Bale Guidelines |
| City of Tucson, Arizona 201 North Stone, Tucson, AZ 85701 Ref. Code: City of Tucson and Pima County Arizona Building Code, Appendix Chapter 72, Straw Bale Structures. Copies are also accessible from the Web site of the U.S. Department of Energy's Center of Excellence for Sustainable Development at URL: www.sustainable.doe.gov/codes/azstraw.shtm | New Mexico CID 725 Saint Michaels Drive, Santa Fe, NM 87504 Phone: (505) 827-7030 Ref. Code: New Mexico Straw Bale Code |
| Kirjallisuutta US | |
| Buildings of Earth and Straw: Structural Design for Rammed Earth and Straw Bale Architecture, B. King, Ecological Design Press, 1996. Available from Chelsea Green Publishing Co. (see Organizations below). 169 pp., \$25.00, ISBN 0964471817. | The Last Straw (Quarterly Newsletter), HC 66, Box 119; Hillsboro, New Mexico, 88042; Phone: (505) 895-5400; Fax: (505) 895-3326; World Wide Web: www.strawhomes.com/main/content.html Annual subscription, \$28.00. |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Compact Home Plans for Straw Bale and Super-insulated Construction, E. Hart, Com Eco Design Network, 1997. Available from the American Solar Energy Society, 2400 Central Avenue, Unit G-1, Boulder, CO 80301; Phone: (303) 443-3130; Fax: (303) 443-3212; World Wide Web: www.ases.org . \$15.00.</p> | <p>Straw Bale Construction and the Building Codes, Development Center for Appropriate Technology (DCAT), 1997. Available from DCAT (see Organizations List below). 26 pp., \$10.00.</p> |
| <p>The Natural Builder: Strohbau-Bücher, USA http://naturalbuilder.com/strawbale.html</p> | <p>The Straw Bale House, D. Bainbridge, etal, Chelsea Green Publishing, 1994. Available from Chelsea Green Publishing Company (see Organizations below). 336 pp., \$30.00, ISBN 0930031717.</p> |
| <p>Build It with Bales, Version Two: A Step by Step Guide to Straw Bale Construction, S. MacDonald and M. Myhrman, 1997. Available from InHabitation Services, P.O. Box 58, Gila, NM 88038 or Out on Bale, Ltd. And The Canelo Project (see Organizations below). 149 pp., \$29.95, ISBN0-9642821-1-9.</p> | <p>House of Straw-Straw Bale Construction Comes of Age, United States Department of Energy, 1995. Out of print. Downloadable from the World Wide Web at: www.eren.doe.gov/EE/strawhouse/house-of-straw.html</p> |
| <p>Organisaatioita, ihmisiä ja linkkejä The following organizations and companies have information on straw bale construction and some are sources of the publications listed above</p> | |
| <p>Luonnonmukaisen rakentamisen tutkimusyksikkö LRT / Teknillinen korkeakoulu /Arkk. os. S-posti: LRT@hut.fi, Fax.: 09-439 82857 Osoite: LRT/A-os., PL 6500, 02015 TKK Kotisivu: http://www.hut.fi/Yksikot/LRT</p> | <p>Gruppe Angepasste Technologie GrAT Technische Universität Wien TU-Wien Wiedner Hauptstr. 8-10, A-1040 Wien Tel.: ++43 1 58801 49523, Fax.: ++43 1 586 91 54 http://www.grat.tuwien.ac.at</p> |
| <p>John Straube Dept of Civil Engineering and School of Architecture, University of Waterloo Waterloo, Ontario N2L 3G1 CANADA JFSTRAUB@engmail.uwaterloo.ca</p> | <p>Rob Jolly robjolly@telusplanet.net</p> |
| <p>Auratalot Oy Luonnonmukaisia valmistaloja elementtirakenteisina ja paikanpäällä rakennettuna. Eristeinä olkipaaleja, pellavaa sekä sahanpurua/höylälastua Puh. 040-7056463, S-posti: Info@auratalot.fi, Fax.: 09-439 82857 Osoite: Versokuja 10, 00710 HELSINKI Kotisivu: http://www.auratalot.fi</p> | <p>Development Center for Appropriate Technology (DCAT) P. O. Box 27513, Tucson, AZ 85726-7513 Phone: (520) 624-6628; Fax: (520) 798-3701 Email: dcataz@azstarnet.com World Wide Web: www.azstarnet.com/~dcata/</p> |
| <p>Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA) P.O. Box 3657, Fayetteville, AR 72702 Phone: (800) 346-9140, Fax: (501) 442-9842 Email: askattra@ncatark.uark.edu World Wide Web: www.attra.org/attra-info/attra-faq.html</p> | <p>Natural House Building Center - EcoNest P.O. Box 864 Tesuque, NM 87574-0864 Phone: (505) 989-1813 Email: pbaker@trail.com World Wide Web: www.trail.com/~pbaker</p> |
| <p>Black Range Films Star Route 2, Box 119, Kingston, NM 88042 Phone: (505) 895-5652; Fax: (505) 895-3326 Email: blackrange@zianet.com World Wide Web: www.strawbalecentral.com</p> | <p>Out on Bale, Ltd. 1039 East Linden Street, Tucson, AZ 85719 Phone: (520) 624-1673 Email: dawnaz@earthlink.net World Wide Web: www.greenbuilder.com/dawn</p> |
| <p>Canada Housing Information Centre (CHIC) Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC) CMHC Information Products P.O. Box 35005, Stn BRM B, Toronto, Ontario, M7Y 6E5 Canada Phone: (613) 748-2003; Fax: (613) 748-2016 World Wide Web: www.cmhc-schl.gc.ca</p> | <p>Energy Efficiency and Renewable Energy Clearinghouse (EREC) P.O. Box 3048 Merrifield, VA 22116 Voice (USA only): 800-DOE-EREC (363-3732) Email: doe.erec@nciinc.com</p> |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>The Canelo Project HC1, Box 324, Elgin, AZ 85611 Phone: (520) 455-5548; Fax: (520) 455-9360 Email: absteen@dakotacom.net World Wide Web: www.caneloproject.com http://www.deatech.com/canelo</p> | <p>Chelsea Green Publishing Company P.O. Box 428, White River Junction, Vermont 05001 Phone: (800) 639-4099</p> |
| <p>Center for Maximum Potential Building Systems 8604 FM 969, Austin, TX 78724 Phone: (512) 928-4786; Fax: (512) 926-4418 Email: max_pot@greenbuilder.com World Wide Web: www.GREENBUILDER.com/maxpot/</p> | <p>City of Austin Green Building Program P.O. Box 1088, Austin, TX 78767 Phone: (512) 505-3709/3703; Fax: (512) 505-3711 World Wide Web: www.ci.austin.tx.us/greenbuilder</p> |
| <p>Center for Renewable Energy and Sustainable Technology (CREST) 1200 18th Street NW, Suite 900, Washington, DC 20036 Phone: (202) 530-2202; Fax: (202) 887-0497 Email: info@crest.org The CREST maintains an Internet discussion group on straw bale construction. An archive can be accessed on the World Wide Web at: http://solstice.crest.org/efficiency/strawbale-list-archive/index.html</p> | <p>**Aprovecho Research Center Testing Strawbale-Construction in the soggy Northwest USA, Dean Still & Kim Schramm http://www.efn.org/~apro/strawbale.html</p> |
| <p>asbn - Gruber, Herbert & Astrid, A Österreichisches Strohballen-Netzwerk, Autoren dieser Seiten A-3720 Baierdorf 6, email: asbn@baubiologie.at http://www.baubiologie.at</p> | <p>Community Eco Design Network PO Box 6241, Minneapolis, MN 55406 Phone: (612) 728-0496 Email: erichart@mtn.org World Wide Web: www.cedn.org</p> |
| <p>Global 2000, A Markus Piringner und Freunde beim Strohballenbau-Workshop in Böheimkirchen http://www.global2000.at/tnawaro/fotoroman</p> | <p>Global 2000, A Markus Piringner und Freunde beim Strohballenbau-Workshop in Böheimkirchen http://www.global2000.at/tnawaro/fotoroman</p> |
| <p>Eweleit Sven, D http://members.tripod.de/Sven_E</p> | <p>StrohTec Forschungs-, Entwicklungs- u. VertriebsgmbH, A http://www.baubiologie.at/strohtec</p> |
| <p>***Bainbridge, David (Co-Autor von The Straw Bale House), David's strawbale-Slide-Show http://solstice.crest.org/efficiency/straw_insulation/eip/Bainbridge.html</p> | <p>Dalmeijer, Rene, Strobouw Nederlands, NL http://www.rened.cistron.nl</p> |
| <p>**BDIAE - Belarussian Division of the International Academy of Ecology Evgeny Shirokov, Strohballen-Niedrigenergiehäuser in Weißrußland (sehr langsam) http://www.un.minsk.by/iae/mae/index.html</p> | <p>***Daniel Smith & Associates (DSA) Moderner Strohballenbau der Architektengruppe rund um Dan Smith, Bob Theis & Dietmar Lorenz aus Berkeley http://www.dsaarch.com</p> |
| <p>Insider-Tip I: strawbale-list-archive Das Chat- und Diskussionsforum von Strohbauteilnehmenden. Hier findet man/frau zu beinahe jedem Problem eine Lösung, wenn nicht, wird einfach per email (strawbale-request@crest.org) nachgefragt: http://solstice.crest.org/efficiency/strawbale-list-archive/index.html</p> | <p>Wooley, Tom, Prof. Nordirland Queens University of Belfast, green building digest - eine Sammlung von Strohballenbau-Projekten in England woolley.tom@talk21.com</p> |
| <p>Ecological Design Institute, USA Van der Ryn Architects (Solar Living Center u.a.), siehe auch: Real Goods Trading Company http://www.ecodesign.org</p> | <p>Danish Organisation for Sustainable Building, DK http://www.lob.dk</p> |
| <p>Eisenberg, David siehe DCAT</p> | <p>El Paso Solar Energy Association, USA http://www.txses.org/epsea/</p> |
| <p>***Huff'n Puff Constructions, AUS Strohballenbau-Firma aus Australien http://strawbale.archinet.com.au</p> | <p>**Envirolink Network, USA http://www.envirolink.org</p> |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>**Imagine Straw-Bale Constructions, AUS Š und noch eine Strohballenbau-Firma aus Australien http://users.netwit.net.au/~imagine/intro.htm</p> | <p>Filli & Verhoeven Bouwmeesters NL Niedrigenergiehäuser, auch Strohbau, sehr kreativ http://www.euronet.nl/filenver</p> |
| <p>**International Strawbale-Caravan USA, Mark Piepkorns Galerie der Strohballenbauer http://www2.strawbalecentral.com/sb/strawbaliens/caravan.html</p> | <p>***Out on Bale (un)Ltd, USA Eine der besten Adressen für Strohbau in den USA Judy Knox & Matts Myhrman, 1039 E. Linden St., Tucson, AZ 85719, email: outonbale@aol.com http://www.azstarnet.com/~dcat/outbale.htm</p> |
| <p>Jones Barbara, Amazon Nails, UK engl. Strohballen-Bau, Workshops, sb-Galerie http://www.riva-4di.co.uk/strawbale</p> | <p>***Real Goods Trading Corporation, USA Dokumentation zum Bau des Solar Living Centers. Außerdem: Renewable Energy, Sustainable Living u.a. http://www.realgoods.com/SLC</p> |
| <p>**McCabe, Joe, P.E., USA inkl. "Thermal resistivity testing for bales at the University of Arizona" http://solstice.crest.org/efficiency/straw_insulation/raw_insul.html</p> | <p>Rocky Mountain Institute, USA http://www.rmi.org</p> |
| <p>***Møller, Steen, TV Dänemark, DK dänischer Netzwerker, viele Fotos, Texte leider nur teilweise in englisch, Brandtests, Filme zum "downloaden" u.a., http://www.dr.dk/halmhuset</p> | <p>***San Luis Solar Group (SLSG), USA http://www.ecohome.com/slsq/index.html</p> |
| <p>Strawbale House Structural Components, USA Beschreibung der lasttragenden Bauweise (nur Text) http://www2.whidbey.net/ligthhook/sbparts.htm</p> | <p>Ship Harbour Straw Bale Building http://www.chebuto.ns.ca/~kimt/straw1.html</p> |
| <p>***Strawbalecentral, USA http://www2.strawbalecentral.com/sb/</p> | <p>***Skillful Means Builders http://www.skillfull-means.com</p> |
| <p>Sustainable Building Sourcebook, USA http://www.greenbuilder.com/sourcebook/strawbale.html</p> | <p>***Swarthmore College, USA http://swarthmore.edu/es/strawbale.html</p> |
| <p>Sustainable Business Network (SBN), USA http://sbn.envirolink.org</p> | <p>Wedig, Harald, NL/D holländisch-deutscher Netzwerker, Strohballenbau-Seminare, Workshops, Permakultur, NL-6071 GL Swalmen, Kerkebroekweg 46, email: avantgarden@wxs.nl http://mitglied.tripod.de/Sven_E/bilder1b.htm</p> |
| <p>Surfing Strawbale die größte, wenn auch nicht ganz aktuelle Link-Sammlung zum Strohbau http://mha-net.org/html/sblinks.htm</p> | <p>***DCAT siehe auch Tips, email: strawnet@aol.com http://www.azstarnet.com/~dcat</p> |
| <p>Surfing Strawbale - Igers Supplement USA, neue und brandaktuelle Links. zum Strohbau http://mha-net.org/html/igor.htm</p> | <p>**B4UBuild.com http://www.b4ubuild.com/photos/straw/straw_p01.shtml</p> |