



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

FRAME-PROJEKTIN YHTEENVETO

8.11.2012

Tutk.joht. Juha Vinha

TTY, Rakennustekniikan laitos

VAIPAN ILMANPITÄVYYS

Vaipan ilmanpitävyyden parantamisella on lähes pelkästään positiivisia vaikutuksia ja se on keskeinen edellytys matalaenergiarakentamiselle

- 1) Erilaisten haitallisten aineiden ja mikrobien virtaus sisäilmaan vähenee.
- 2) Kosteuden virtaus vaipparakenteisiin vähenee.
- 3) Vaipparakenteiden sisäpinnat eivät jäähdy ulkoa tulevien ilmavirtausten seurauksena.
- 4) Rakennuksen energiankulutus vähenee ilmanvaihdon tapahtuessa LTO:n kautta.
- 5) Rakennuksen käyttäjien kokema vedon tunne vähenee.
- 6) Ilmanvaihdon säätäminen ja tavoiteltujen painesuhteiden säätäminen helpottuu, mutta toisaalta säätöjen tekeminen on vielä aiempaakin tärkeämpää.

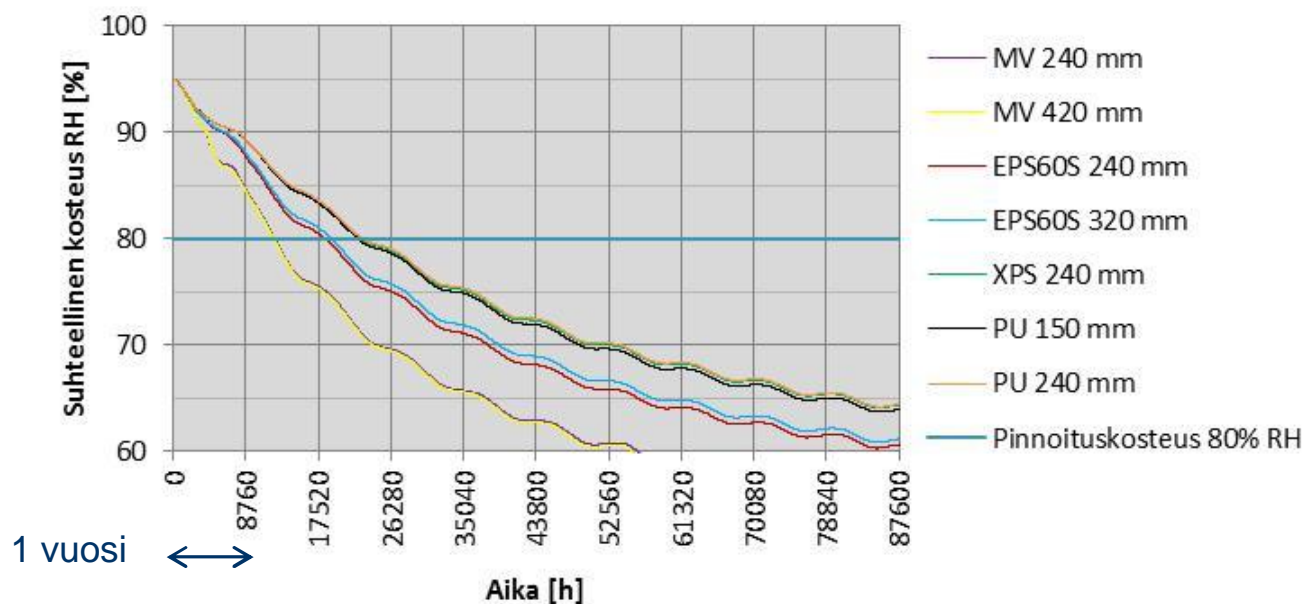
- **Riittävän ilmanvaihdon takaaminen ensiarvoisen tärkeää!**
- Ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmavirtojen säätäminen on erittäin tärkeää. Erityisesti, jos rakennuksen ilmanvuotoluku q_{50} on alle $0,4 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$.

BETONIJULKISIVUJEN TOIMINTA

- Pakkasrapautumisvaurioita saattaa alkaa esiintyä vanhassa rakennuskannassa myös sisämaassa ilmastonmuutoksen myötä.
- Pakkaskestävyyden suhteen nykyinen vaatimustaso on riittävä myös tulevaisuudessa. **Betonin lisähuokoistuksen on onnistuttava aina!**
- Raudotteiden sijainti normien ja toleranssien mukaisiksi, eli riittävästi välikkeitä! Ruostumattomien terästen käyttö julkisivuissa on suositeltavaa (erityisesti pieliteräkset). Peitepaksuusvaatimustaso on riittävä.
- **Liitosten ja detaljien toimivuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota.** Näiden toiminnalla ratkaistaan koko rakenteen toimivuus!



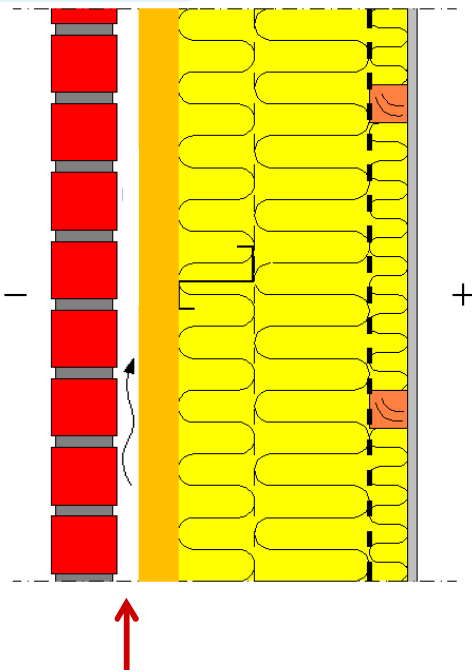
RAKENNUSAIKAISEN KOSTEUDEN KUIVUMINEN BETONIELEMENTIN SISÄKUORESTA



- Solumuovieristeitä käytettäessä sisäkuoren kuivumisaika pinnoituskosteuteen (tiivitä pinnoitteita käytettäessä) voi pidentyä seuraavasti verrattuna mineraalivillaeristeeseen:
 - 2 – 4 kk kuivumistaso 90 % RH
 - 6 – 12 kk kuivumistaso 80 % RH
- Solumuovieristeen paksuuden kasvattaminen lisää myös kuivumisaikaa.
- Polyuretaanieristettä käytettäessä kuivumisaika on pisin. Alumiinipinnoite lisää kuivumisaikaa, koska pinnoite estää kosteuden kuivumisen ulospäin kokonaan.

TIILIVERHOTTU PUURANKASEINÄ

Yhteenvedo tuloksista

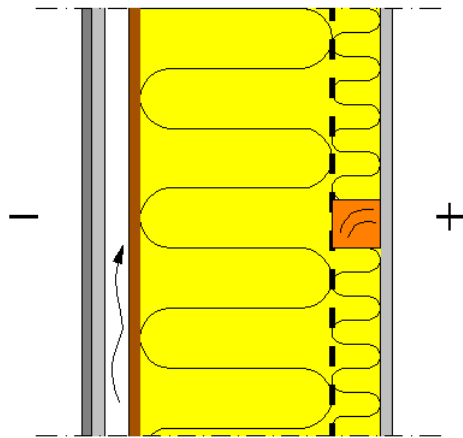
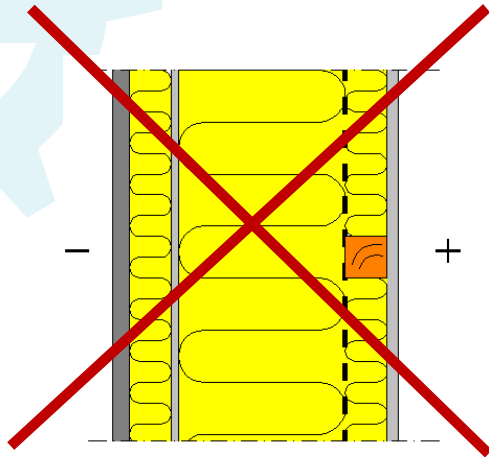


Korkeissa rakennuksissa (yli 10 m) tiiliverhouksen taakse tulee laittaa **kummaltakin puolelta tuuletettu höyrynsulkukerros (esim. teräsohutlevy).**

- Tiiliverhotussa puurankaseinässä homehtumisriski rakenteen ulko-osissa on erityisen suuri, koska tiiliverhoukseen kerääntynyt kosteus siirtyy sisään diffuusiolla.
→ **tuulensuojan tulee olla hyvin lämpöä eristävä** ja homehtumista kestävä
→ Vaihtoehtoisesti puurungon ulkopinnassa voidaan käyttää esim. teräsprofiilista tehtyä ristikoolausta
- Vuoden 2050 ilmastossa (rakenteen U-arvo $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) tuulensuojan lämmönvastuksen tulee olla vähintään **$1,6 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$** (esim. 50 mm mineraalivillalevy) ja vuoden 2100 ilmastossa **$2,7 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$** (esim. 100 mm mineraalivillalevy).
- Voimakasta homehtumisriskiä esiintyy myös höyrynsulun sisä- ja ulkopuolella pystyrungon kohdalla, jos sisäpuolella käytetään ristikoolausta ja tuulensuojan lämmönvastus ei ole riittävä.
- Tiiliverhotun rakenteen päällystäminen vesitiiviillä pinnoitteella ei ole suositeltavaa. Kaikkia rakoja ei kyetä tukkimaan, jolloin vesi valuu tiiliverhouksen vuotokohtiin ja seurauksena voi olla puurungon lahovauriot rakenteen alaosassa tai tiilen pakkasrapautuminen vuotokohdissa.

ERISTERAPATTU RANKASEINÄ

Yhteenveto tuloksista



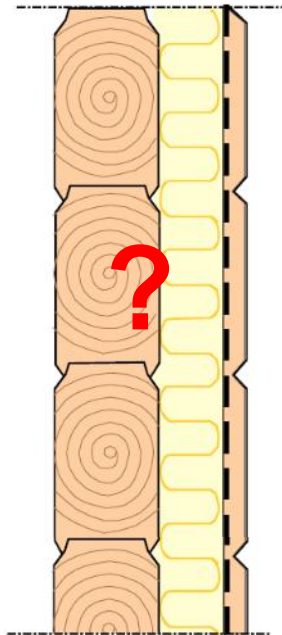
- Eristerapattujen puu- ja teräsrankaseinien kastuminen saumakohtien kosteusvuotojen seurauksena sekä kosteuden hidas kuivuminen aiheuttavat homeen kasvua rakenteen ulko-osissa.
- EPS-eristeen käyttö rapatussa rankaseinässä pahentaa tilannetta entisestään, koska ulkopinnan vesihöyrynvastus kasvaa ja näin ollen rakenteen kuivuminen heikkenee.
- Paksurapattu rakenne ei toimi hyvin edes ideaalitulanteessa, koska se kerää sadevettä samalla tavoin kuin tiiliverhottu seinä.

→ **Rapattu pintarakenne tulee erottaa sisemmästä seinäosasta kuivumisen mahdollistavalla tuuletusraolla esim. levyrappauksella.**

Puurakenteen päälle tehdyissä eristerappausrakenteissa on todettu erittäin paljon kosteusvaurioita Ruotsissa ja Pohjois-Amerikassa.

SISÄPUOLELTA ERISTETTY MASSIIVIRAKENNE

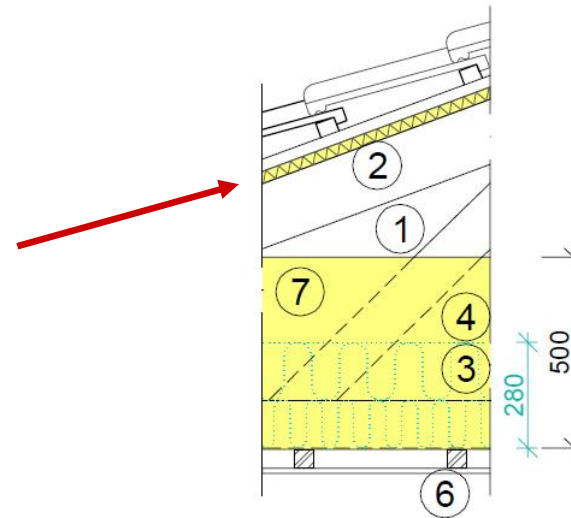
Sisäpuolelta lisäeristetyin massiivirakenteen toiminnan edellytyksiä:



- **Ilmavuodot sisältä eristeen taakse on estettävä!**
- Rakenteessa on oltava aina myös riittävä höyrynsulku eristeen lämpimällä puolella.
- Avohuokoisia lämmöneristeitä käytettäessä muovikalvon tai muovitiivistyspaperin käyttö on paras ratkaisu.
- Solumuovieristeitä käytettäessä eristeen oma vesihöyrynvastus muodostaa riittävän höyrynsulun lämmöneristettä lisättäessä.
- **Kevytbetonirakenne on rapattava** ulkopuolelta, jotta viistosade ei pääse kastelemaan seinää.
- **Hirsiseinässä on estettävä viistosateen tunkeutuminen saumojen kautta eristetilaan** (esim. paisuvat saumatiivisteet)
- Rakenteen on päästävä kuivumaan riittävästi ennen sisäpuolisen lämmöneristyksen ja höyrynsulun laittoa.
- Kosteutta läpäisevän ilmansulun käyttö ei paranna avohuokoisella lämmöneristeellä eristetyn rakenteen kuivumista sisäänpäin.

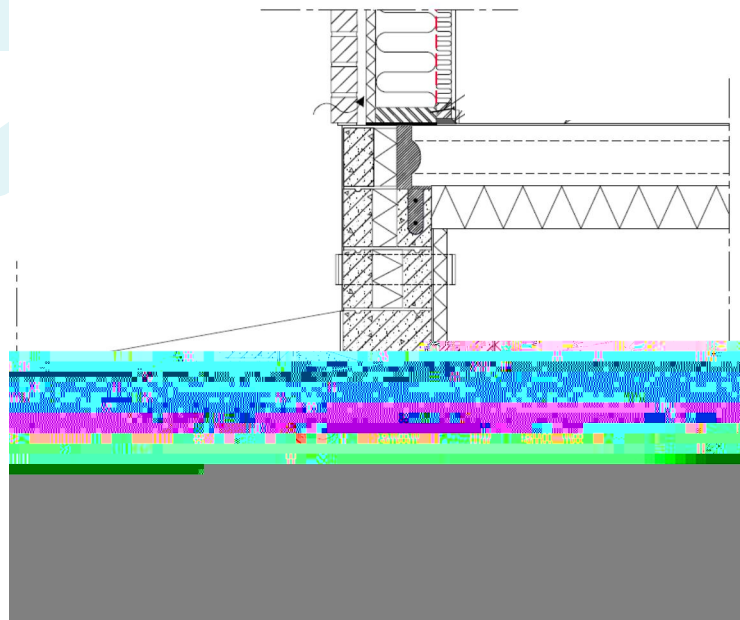
PUURAKENTEINEN TUULETETTU YLÄPOHJA

- Homehtumisriski lisääntyy voimakkaasti puurakenteiden ulko-osissa ilmastonmuutoksen ja lämmöneristysten lisäyksen vaikutuksesta.
- Uusissa rakennuksissa tuuletustilan toimintaa kannattaa parantaa ensisijaisesti **lämpöä eristävällä aluskatteella**.
- Vuoden 2050 ilmastossa riittävä aluskatteen lämmönvastus on n. **0,5 m²K/W** (esim. 20 mm XPS-eristettä).
- Vuoden 2100 ilmastossa vastaava arvo on **1,0 m²K/W** (esim. 40 mm XPS-eristettä).
- Yläpohjaa tulee tuulettaa kohtuullisesti.
Suositeltava ilmanvaihtokerroin on 0,5 – 1,0 1/h.
- **Yläpohjan ilmatiiviys on erittäin tärkeä.**
- Vinoissa yläpohjissa lämmöneristys toteutetaan puupalkkien yläpuolelle laitettavalla tuulensuojalla.
- Vanhoissa rakennuksissa yläpohja on pyrittävä saamaan **ilmatiiviiksi** aina, kun lämmöneristystä lisätään.
Tarvittaessa yläpohjaa voidaan myös lämmittää.



Kuva: Hedtec Oy, Olosuhdevahti

RYÖMINTÄTILAINEN ALAPOHJA

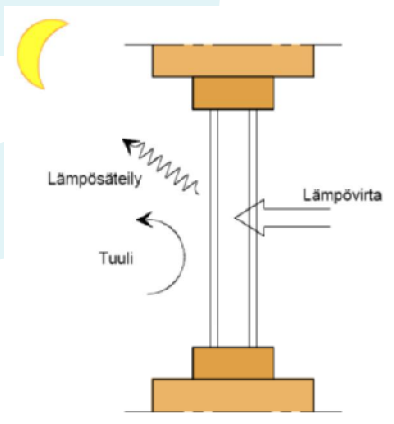


Alapohjan toimivuuden edellytyksenä on lisäksi monet aiemmin korostetut asiat:

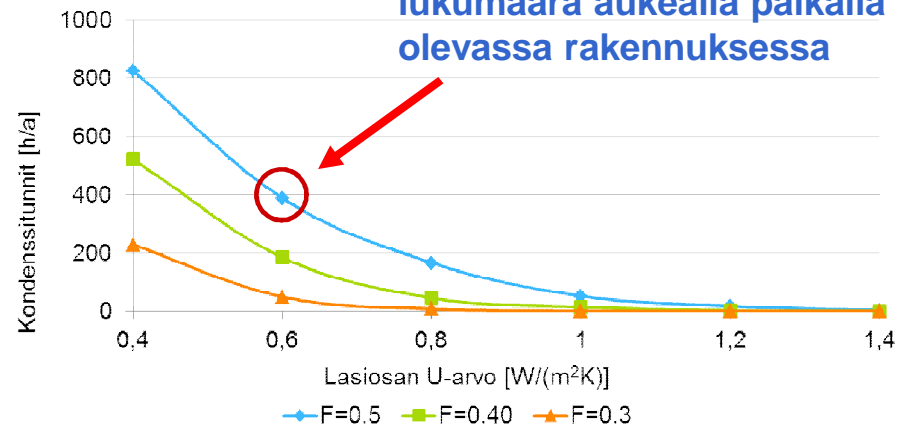
- Eloperäinen materiaali tulee poistaa ryömintätilasta.
- Maapohja ei saa olla monttu.
- Salaojasorakerros perusmaan päälle ja perusmaan pinnan kallistus ulospäin salaojiin.

- **Ryömintätilan pohja tulee lämpöeristää** varsinkin puurakenteista alapohjaa käytettäessä.
 - lämmöneristys vähentää maan viilentävää vaikutusta ryömintätilassa
 - lämmöneristys alentaa maapohjan lämpötilaa, jolloin diffuusiolla maasta haihtuvan kosteuden määrä vähenee
- Vuoden 2050 ilmastossa maan pinnan lämmönvastus tulee olla vähintään **1,3 m²K/W** (esim. 50 mm EPS tai 150 mm kevytsoraa).
- Puuvasojen alapuolelle tarvitaan hyvin lämpöä eristävä tuulensuoja, jonka lämmönvastus on vähintään **0,4 m²K/W**. Tuulensuojan tulee olla hyvin kosteutta kestävä.
- **Alapohjarakenteen ilmatiiviys on erittäin tärkeä.**
- Ryömintätilaa tulee tuulettaa kohtuullisesti. Suositeltava ilmanvaihtokerroin on 0,5 – 1,0 1/h.
- Koneellinen kuivatus tai lämmitys ei ole välttämätön, jos alapohja tehdään muuten rakenteellisesti oikein.

IKKUNOIDEN KONDENSOITUMISRISKIN LISÄÄNTYMINEN



Kondenssituntien lukumäärä aukealla paikalla olevassa rakennuksessa



- Ikkunoiden kondensoitumista esiintyy eniten aamuyön tunteina syksyllä.
- Ikkunan lasiosan U-arvoa ei tule enää pienentää (nykyisin tasolla n. $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) ellei ulkopinnan emissiviteettiä alenneta.
- Varjostukset vähentävät kondensoitumista ja ikkunan ulkopinnan matalaemissiviteettipinta (selektiivipinta) poistaa sen kokonaan.
- Ikkunan U-arvoa voidaan parantaa myös karmin U-arvoa parantamalla.

Matalaemissiviteettipintojen (selektiivipinta) lisääminen ikkunaan

heikentää matkapuhelimien kuuluvuutta

osassa rakennuksista (mm. betonirakenteiset sekä tiiviillä alumiinilaminaattipinta-aisilla polyuretaanieristeillä toteutetut rakennukset).

ULKOSEINIEN SISÄINEN KONVEKTIO

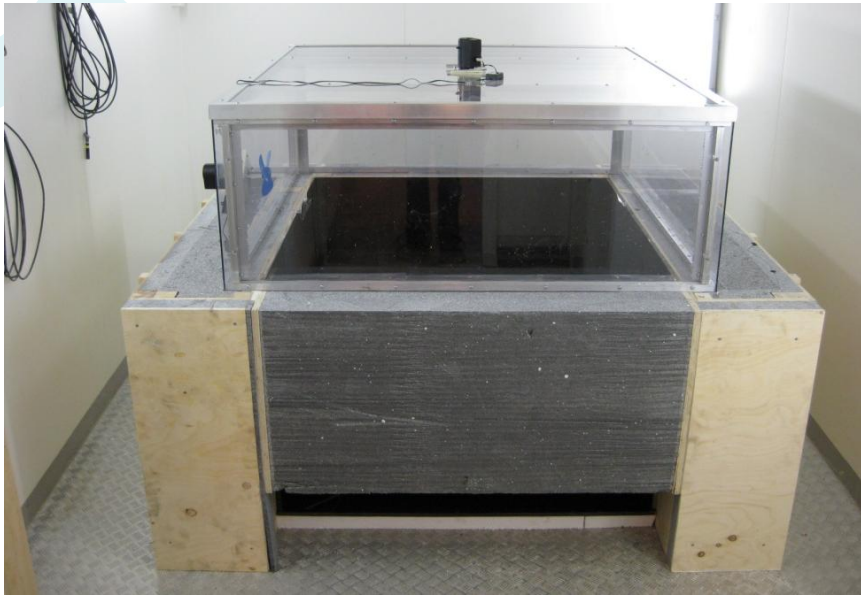
TTY:n rakennusfysikaalinen tutkimuslaitteisto:



- Ulkoseinärakenteissa sisäinen konvektio ei ole merkittävää, jos lämmöneristekerroksen paksuus on enintään 200 mm.
- 300 mm paksulla yhtenäisellä eristeellä sisäinen konvektio lisää lämpöenergian kulutusta keskimäärin n. 10 %.
- Lämmöneristyskerrokseen laitettava pystysuuntainen konvektiokatko vähentää konvektiota, mutta ei välttämättä poista konvektion vaikutusta kokonaan.
- Uudessa RakMK C4:ssä annetut U-arvon laskentaohjeet ottavat sisäisen konvektion vaikutuksen kohtuullisen hyvin huomioon ulkoseinärakenteissa.

YLÄPOHJIEN SISÄINEN KONVEKTIO

TTY:n yläpohjarakenteiden tutkimuslaitteisto:



- Yläpohjarakenteissa sisäinen konvektio voi lisätä paksujen (600 mm) puhalluseristeiden läpi siirtyvää lämpövirtaa enimmillään jopa 30 - 50 %. Lämmöneristepaksuutta lisättäessä konvektion suhteellinen osuus lisääntyy.
- Hyvin vesihöyryä läpäisevän tuulensuojan käyttö lämmöneristeen yläpinnassa ei vähennä sisäistä konvektiota puhalletussa lasivillaeristeessä. Puhalletussa puukuitueristeessä konvektio vähenee jonkin verran.
- 100 mm levyeristeen käyttö puhalletun lasivillaeristeen alapuolella vähentää sisäistä konvektiota.
- Sisäisen konvektion vaikutusta voidaan vähentää oleellisesti pienentämällä puhalluseristeen ilmanläpäisevyyttä tai korvaamalla puhalluserite levyeristeellä.
- Nykyiset U-arvon laskentaohjeet eivät ota sisäisen konvektion vaikutusta huomioon riittävästi yläpohjarakenteissa.



ILMASTONMUUTOKSEN JA LÄMMÖNERISTYKSEN LISÄYKSEN VAIKUTUKSET RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUKSESSA

- Vaikka tilojen jäähdytystarve katettaisiin ensisijaisesti passiivisilla jäähdytysratkaisuilla, tutkittujen vaipparakenteiden (US, YP ja AP) **lämmöneristyksen lisääminen v. 2010 määräysten mukaisesta vertailutasosta ei ole kerrosaloissa ja toimistoissa kannattavaa**, koska ostoenergiansäästö on marginaalinen. **Pientaloissa asia riippuu siitä, kuinka pitkä takaisinmaksuaika lisäeristämiseksi voidaan hyväksyä.**
- Kerrostaloissa ja toimistorakennuksissa jo vuoden 2008 rakentamismääräysten mukaiset U-arvotasot tutkittujen vaipan osien osalta olisivat olleet energiansäästön kannalta varsin riittäviä.
- Tulevaisuudessa rakennusten lämmitystarve vähenee ja jäähdytystarve kasvaa.
- Lämmöneristystason lisäämisellä saavutettava energiansäästö tulee ilmastonmuutoksen myötä edelleen pieneneeseen.
- Rakennusten energiankulutusta voidaan hieman pienentää hyödyntämällä rakenteiden termistä massaa.
- Rakennusten energiankulutusta voidaan jatkossa pienentää erityisesti energia-
tehokkailla lämmitys- ja jäähdytysratkaisuilla sekä passiivisilla jäähdytystavoilla.



YHTEENVETO TUTKIMUSTULOKSISTA (rakenteiden kosteustekninen toiminta)

- Kosteusvaurioiden riski lisääntyy monissa tavanomaisissa vaipparakenteissa **ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutuksesta**. Toisaalta on myös monia rakenteita, joissa nämä tekijät eivät vaikuta merkittävästi rakenteiden toimintaan.
- Rakenteissa tapahtuvien olosuhteiden muuttumisen lisäksi rakenteiden kosteusriskit lisääntyvät myös **rakenneratkaisujen, rakenteiden dimensioiden ja toteutustapojen muutosten seurauksena**.
- Lähes kaikki vaipparakenteet saadaan toimiviksi myös seuraavan 100 vuoden aikana rakenteellisten muutosten ja toteutusohjeiden muutoksien avulla.
- Puurakenteiden kosteusteknistä toimintaa voidaan parantaa merkittävästi laittamalla kantavien rakenteiden ulkopuolelle lämmöneristystä.
- Betoni- ja kivirakenteiden kuivumiseen on varattava lisää aikaa, jos niiden ulkopuolella käytetään lämmöneristeenä solumuovieristeitä.
- Matalaenergiarakentamisen mukanaan tuomat uudet rakenneratkaisut ja toimintatavat edellyttävät **paljon lisää koulutusta**.

ILMASTONMUUTOKSEN JA LÄMMÖNERISTYKSEN LISÄYKSEN VAIKUTUKSIA TAVANOMAISISSA VAIPPARAKENTEISSA

Vaatii lisää kuivumisaikaa	Vaatii rakenteellisia muutoksia	Käytöstä tulisi luopua
<p>- solumuovieristeiset betoni-sandwich- ja sisäkuorielementit</p> <p>- ulkopuolelta solumuovieristeillä eristettävät kivirakenteet</p> <p>- sisäpuolelta lisäeristettävät massiivirakenteet</p> <p>Kivirakenteen riittävä kuivuminen on varmistettava, jos rakenne pinnoitetaan sisäpuolelta vesihöyrytiivillä pinnoitteella tai materiaalilla tai peitetään kaapistoilla tai muilla kuivumista rajoittavilla rakenteilla.</p> <p>Sisäpuolelta lämpöeristettyjen massiivirakenteiden riittävä kuivuminen on varmistettava ennen sisäpuolen lämmöneristysten ja höyrynsulun laittamista.</p>	<p>- puurakenteinen yläpohja (lämpöä eristävä aluskate/ tulensuoja, vähemmän ilmaa läp. lämmöneriste)</p> <p>- tiiliverhottu puurankaseinä (lämpöä eristävä tuulensuoja, erillinen höyrynsulkukerros tuuletusrakoon yli 10 m korkeissa seinissä)</p> <p>- sisäpuolelta lisäeristetty hirsiseinä (ilmanpitävä ja riittävä höyrynsulku)</p> <p>- ryömintätilainen alapohja (maanpinnan lämmöneristys, lämpöä eristävä ja kosteutta kestävä tuulensuoja puurakenteis. alapohjassa)</p> <p>- maanvastainen alapohja (routaeristysten lisäys)</p> <p>- ikkunat (ulkolasin ulkopintaan matala-emissiviteettipinta)</p>	<p>- tuulettumaton eristerappaus puurankarakenteen tai massiivipuurakenteen päällä</p> <p>Korvaavana rakenteena voidaan käyttää esim. tuuletetun levyverhouksen päälle tehtyä rappaus- tai muuta ratkaisua, jossa rakenne tuuletetaan.</p>

Taulukossa esitetyt asiat ovat voimassa myös vanhoja rakenteita korjattaessa ja lisäeristettäessä.

JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSIA

- Rakenteiden toiminnan tarkastelut pitkäaikaisissa **kenttäkokeissa**.
- Rakenteiden laskentatarkastelut, kun rakenteisiin aiheutetaan **kosteusvuotoja**.
- Laajemmat **yläpohjarakenteiden konvektiotestit**.
- **Uudentyyppisten** rakenteiden laskentatarkastelut.
- **Analysointimenetelmän jatkokehitys:**
 - Lisätestivuoden määrittäminen joillekin rakenteille
 - Pitkäaaltoisen säteilyn tarkempi huomioon ottaminen laskennassa
 - Uusien laskennallisesti mallinnettujen toimintakriteerien määrittäminen rakenteille (esim. halkeilu, korroosio, emissiot)
 - Rakennusmateriaalien ominaisuuksien määrittäminen

KIITOKSET!

- Tutkijoille – projektiin on osallistunut yli 30 tutkijaa!
- Rakenne- ja liitosjulkaisun työstämiseen osallistuneille yritysten edustajille.
- Johtoryhmän jäsenille ja varahenkilöille.
- Tutkimuksen rahoittajille: Tekes, Ympäristöministeriö, Rakennusteollisuus RT ry:n toimialaliitot sekä yksittäisinä yrityksinä Finnfoam Oy, Suomen Kuitulevy Oy ja Fibratus Oy.



YMPÄRISTÖMINISTERIÖ
MILJÖMINISTERIET
MINISTRY OF THE ENVIRONMENT

