



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

# **FRAME-PROJEKTI PÄÄTTY – MITÄ OPITTIIN?**

**27.11.2012**

**Tutk.joht. Juha Vinha**

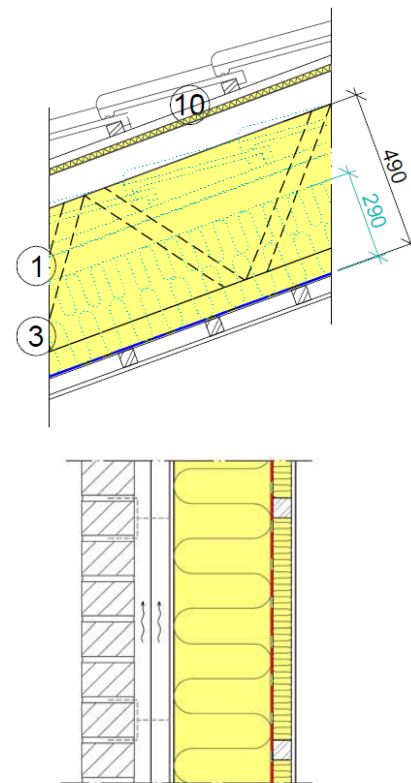
**TTY, Rakennustekniikan laitos**

# LÄMMÖNERISTYKSEN LISÄYKSEN VAIKUTUKSET

- Lämmöneristysten lisääminen heikentää monien vaipparakenteiden kosteusteknistä toimintaa:
  - Ulko-osat viilenevät, jolloin kosteuden kondensoituminen ja homeen kasvulle suotuisat olosuhteet lisääntyvät rakenteissa.
  - Rakenteiden vikasietoisuus heikkenee samasta syystä.
  - Lämmöneristekerroksen vesihöyrynvastuksen kasvaessa eristeen sisäpuolisten kivirakenteiden kuivuminen hidastuu.
- Kriittistä eristyspaksuutta ei ole löydettävissä. Lämmöneristysten kasvaessa tilanne muuttuu vain pikku hiljaa huonommaksi.
- Rakenteiden kosteusteknistä toimintaa voidaan parantaa merkittävästi rakenteita muuttamalla ja liitoksien ja detaljien erilaisella toteutuksella.
- Korjausrakentamisen puolella rakenteiden lisäeristäminen voi edellyttää rakenteellisten muutosten lisäksi myös teknisten laitteiden käyttöä (lämmitin, kuivain, ohjattu koneellinen ilmanvaihto).
- Eristepaksuuksien lisääminen aiheuttaa myös rakennuksen jäähdytystarpeen lisääntymisen, jolloin eristämisen hyöty energiankulutuksen kannalta vähenee merkittävästi.

# RAKENNERATKAISUJEN JA TOTEUTUSTAPOJEN MUUTTUMINEN

- Lämmöneristepaksuuksien lisääminen muuttaa vaipparakenteita monessa tapauksessa niin paljon, että rakenteiden toteutustavat ja tuotantotekniikat muuttuvat.
  - kokemusperäinen tieto uusista rakenteista puuttuu
  - suunnittelu- ja asennusvirheet kasvavat
- Rakenteiden rakennusfysikaalisen toiminnan kokonaisvaltainen suunnittelu ja toteutus ovat haastavia tehtäviä, jotka vaativat kokemusta ja laajaa asiantuntemusta.
  - koulutusta tarvitaan paljon lisää
- Suuret muutokset yhdistettynä tiukkaan aikatauluun
  - puutteellinen suunnittelu
  - liian lyhyet kuivumisajat
  - virheiden merkitys korostuu vikasietoisuuden heikentyessä

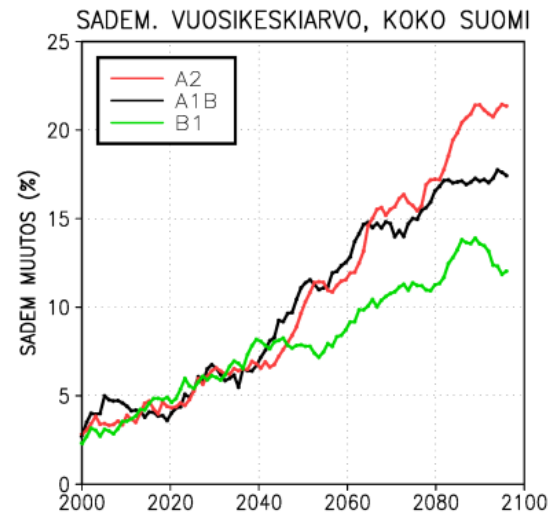
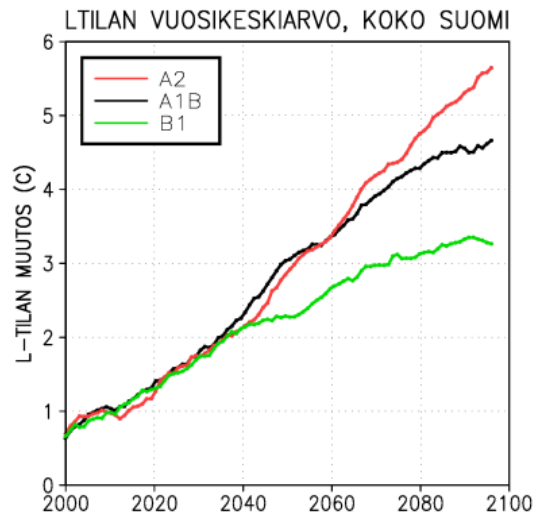


Kaikessa rakentamisessa rakennusaikaisen kosteudenhallinnan merkitys korostuu!

# ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET

## Lämpötilan ja sademäärän muutos Suomessa tulevina vuosikymmeninä

Lämpötila



Sademäärä

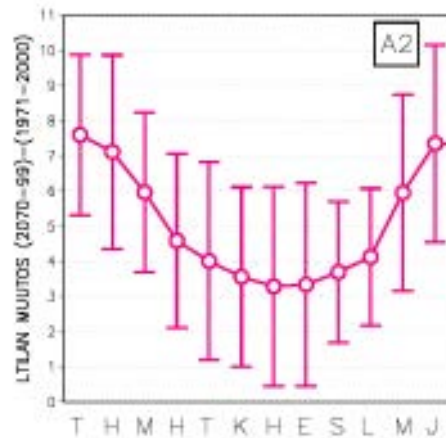
Kuvat: Ilmatieteen laitos

- Viistosaderasitus julkisivupinnoille kasvaa.
- Homeen kasvulle otolliset olosuhteet lisääntyvät rakenteiden ulko-osissa.
- Kosteuden siirtyminen ulkoa sisälle päin lisääntyy varsinkin julkisivuissa, joihin imeytyy sadevettä.
- Kesäaikana homehtumis- ja kondenssiriski lisääntyy näissä rakenteissa myös rakenteiden sisäpinnan lähellä.

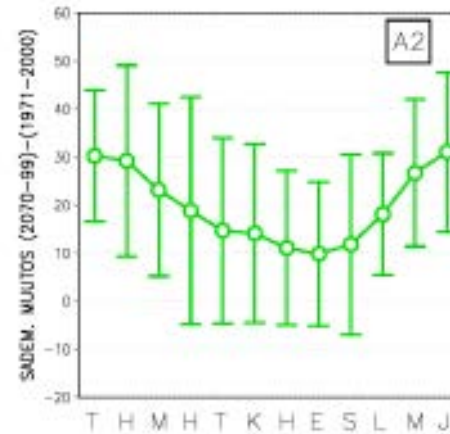
# ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET

Lämpötilan ja sademäärän muutos Suomessa eri kuukausina vuosina 2070 - 2099 verrattuna vuosiin 1971 - 2000

Lämpötila



Sademäärä



Kuvat: Ilmatieteen laitos

- Homeen kasvulle otolliset olosuhteet lisääntyvät varsinkin syksyllä ja talvella.
- Rakenteiden kuivuminen hidastuu syksyllä ja talvella.
- Myös pilvisuus lisääntyy syksyllä ja talvella, jolloin kuivuminen hidastuu entisestään.
- Sulamis-jäätymissyklit lisääntyvät talvella, jolloin riski kivirakenteiden pakkasrapautumiselle lisääntyy.

# VAIPPARAKENTEIDEN TARKASTELUT FRAME-HANKKEESSA

| Rakennusosa                       | Tutkimusmetodi |             |        |
|-----------------------------------|----------------|-------------|--------|
|                                   | Laskenta       | Laboratorio | Kenttä |
| 1. Betonirakenteiset ulkoseinät   | X              |             |        |
| 2. Rankarakenteiset ulkoseinät    | X              |             |        |
| 3. Massiivirakenteet              | X              |             |        |
| 4. Rakenteiden sisäinen konvektio | X              | X           |        |
| 5. Tuulettetut yläpohjat          | X              |             | X      |
| 6. Ryömintätilaiset alapohjat     | X              |             | X      |
| 7. Ikkunat                        | X              |             |        |

# VAIPPARAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNISEN TOIMINNAN ANALYSOINTIMENETELMÄ

Ilmatieteen laitoksen REFI -hankkeessa tehty kehitystyö (yhteistyöprojekti FRAME:n kanssa)

FRAME -hankkeessa tehty kehitystyö





# ANALYSOINTIMENETELMÄN UUTUUSARVOT

- Ulkoilman olosuhteina käytetään rakenteiden kosteusteknisen toiminnan kannalta kriittisiä testivuotia (**Vantaa 2007** ja **Jokioinen 2004**), joiden valinnassa on otettu huomioon kaikki keskeiset ulkoilman olosuhdetekijät. Nykyilmaston testivuodet ovat todellisia toteutuneita vuosia.
- Testivuodet on valittu nykyilmaston lisäksi myös vuosien 2050 ja 2100 ilmastoista (**Vantaa 2067**, **Vantaa 2097**, **Jokioinen 2064** ja **Jokioinen 2094**). Tulevaisuuden testivuodet on määritetty A2 päästöskenaarion perusteella.
- Menetelmä soveltuu erityyppisten vaipparakenteiden tarkasteluun. Ulkoilman testivuosi valitaan tarkasteltavan rakenteen mukaisesti.
- Rakenteiden homehtumisriskin arvioinnissa käytetään VTT-TTY homeriskimallia, joka on kehittynein homeen kasvua kuvaava laskentamalli maailmassa. Mallin avulla voidaan arvioida konkreettinen homeen kasvun määrä halutussa tarkastelukohdassa.
- Sisäilman lämpötila- ja kosteusolosuhteiden mitoitusarvot perustuvat suomalaisissa asuinrakennuksissa mitattuihin arvoihin.
- Rakennusmateriaalien rakennusfysikaalisina ominaisuuksina käytetään valtaosin Suomessa käytettävien materiaalien arvoja.

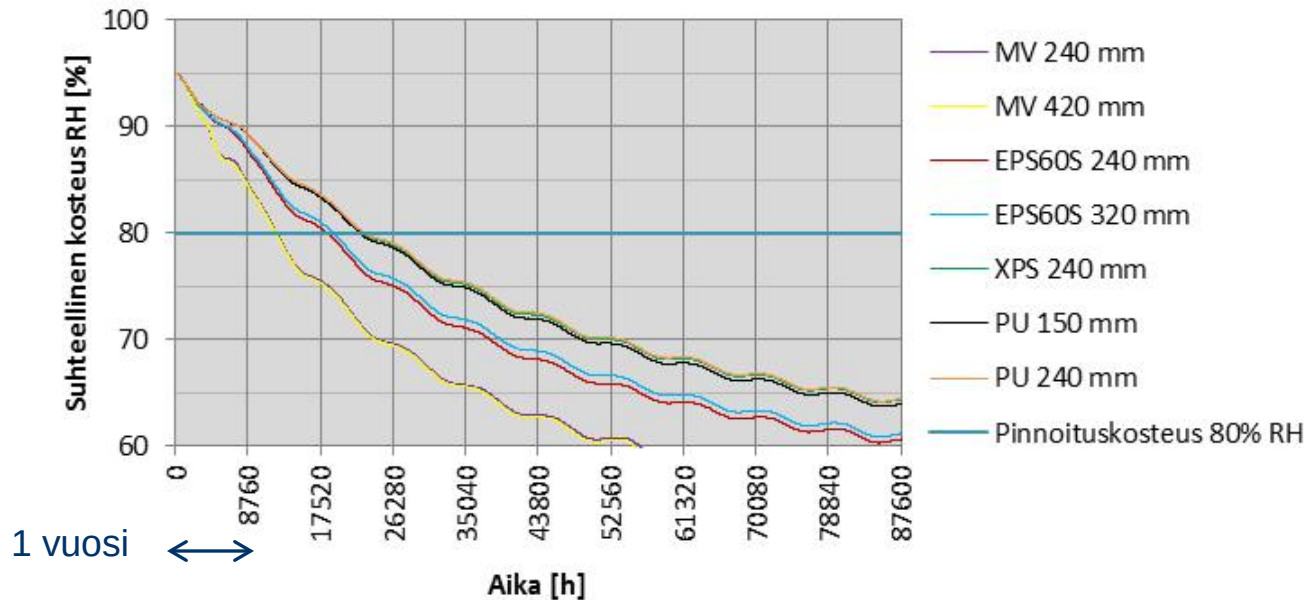


# BETONIJULKISIVUJEN TOIMINTA

- Pakkasrapautumisvaurioita saattaa alkaa esiintyä vanhassa rakennuskannassa myös sisämaassa ilmastonmuutoksen myötä.
- Pakkasenkestävyyden suhteen nykyinen vaatimustaso on riittävä myös tulevaisuudessa. **Betonin lisähuokoistuksen on onnistuttava aina!**
- Raudoitteiden 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!



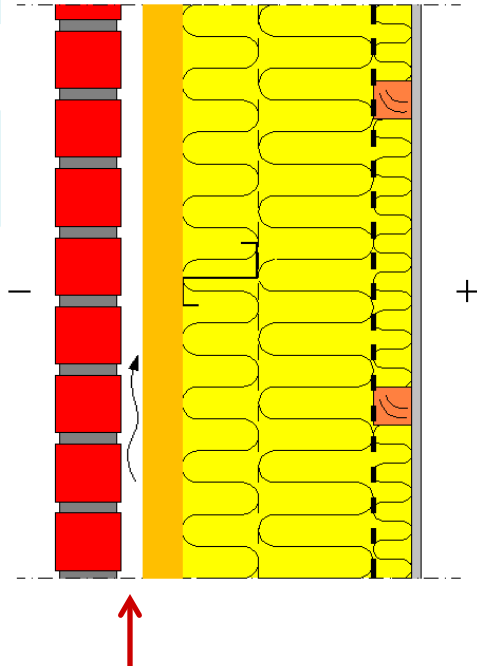
# RAKENNUSAIKAISEN KOSTEUDEN KUIVUMINEN BETONIELEMENTIN SISÄKUORESTA



- 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

## Yhteenveto tuloksista

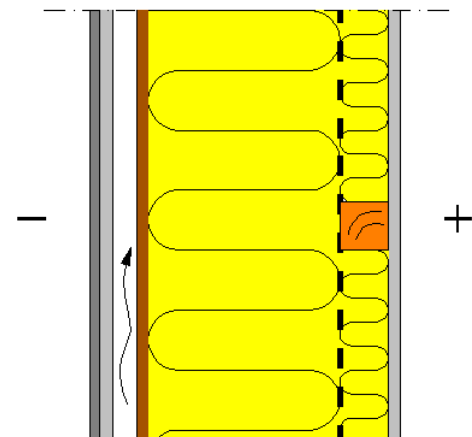
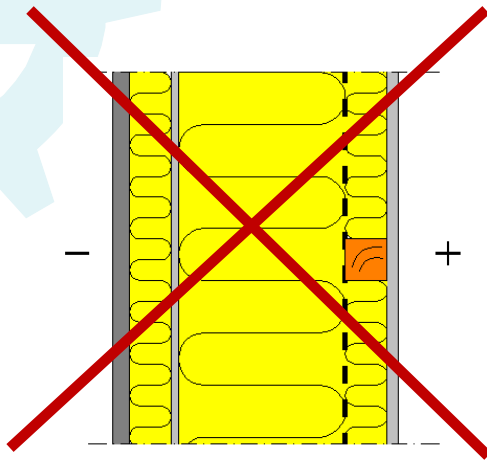


Korkeissa rakennuksissa (yli 10 m) tiiliverhouksen taakse tulee laittaa **kummaltakin puolelta tuuletettu höyrynsulkukerros (esim. teräsohutlevy).**

- Tiiliverhotussa puurankaseinässä homehtumisriski rakenteen ulko-osissa on erityisen suuri, koska tiiliverhoukseen kerääntynyt kosteus siirtyy sisäänpäin 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



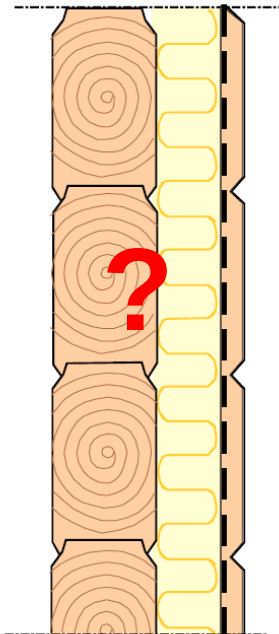
- Eristerapattujen puu- ja teräsrankaseinien kastuminen saumakohtien kosteusvuotojen seurauksena sekä kosteuden hidas kuivuminen aiheuttavat homeen kasvua rakenteen ulko-osissa.
- EPS-eristeen käyttö rapatussa rankaseinässä pahentaa tilannetta entisestään, koska ulkopinnan vesihöyrynvastus kasvaa ja 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

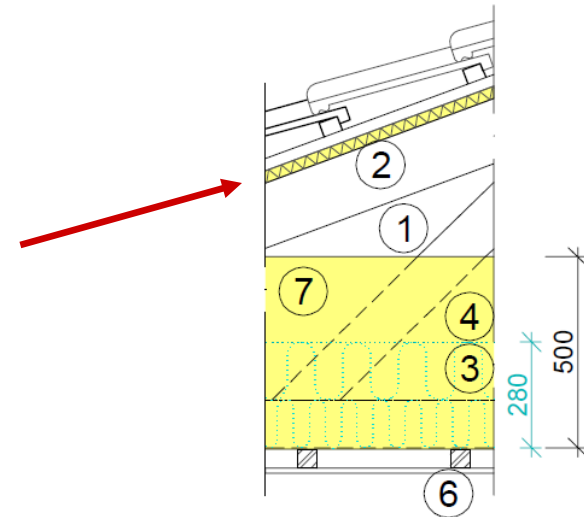
Sisäpuolelta lisäeristetyin massiivirakenteen toiminnan edellytyksiä:



- **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 lämmöneristeyksen ja höyrynsulun laitoa.
- Kosteutta läpäisevän ilmansulun käyttö ei paranna avohuokoisella lämmöneristeellä eristetyin rakenteen kuivumista sisäänpäin.

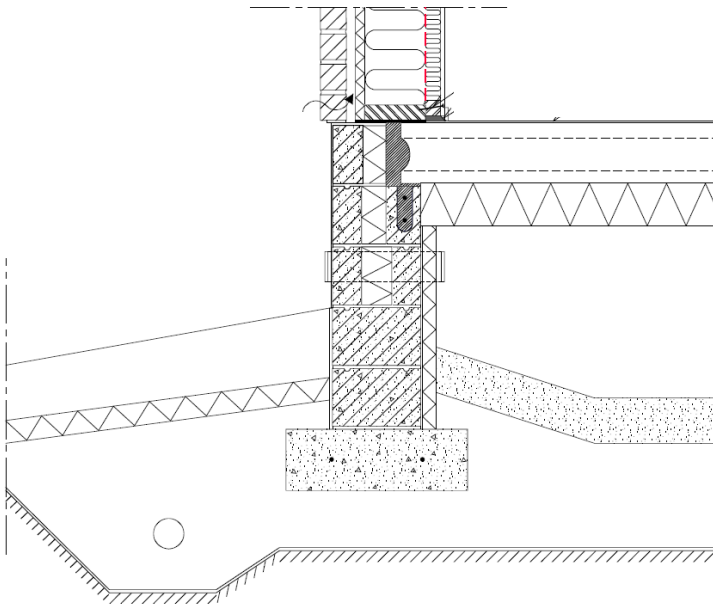
# PUURAKENTEINEN TUULETETTU YLÄPOHJA

- 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 m<sup>2</sup>K/W** (esim. 20 mm XPS-eristettä).
- Vuoden 2100 ilmastossa vastaava arvo on **1,0 m<sup>2</sup>K/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



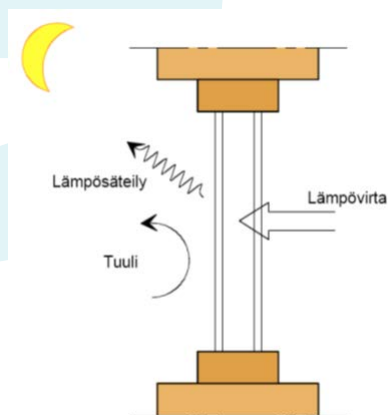
Alapohjan toimivuuden edellytyksenä on lisäksi monet aiemmin korostetut asiat:

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

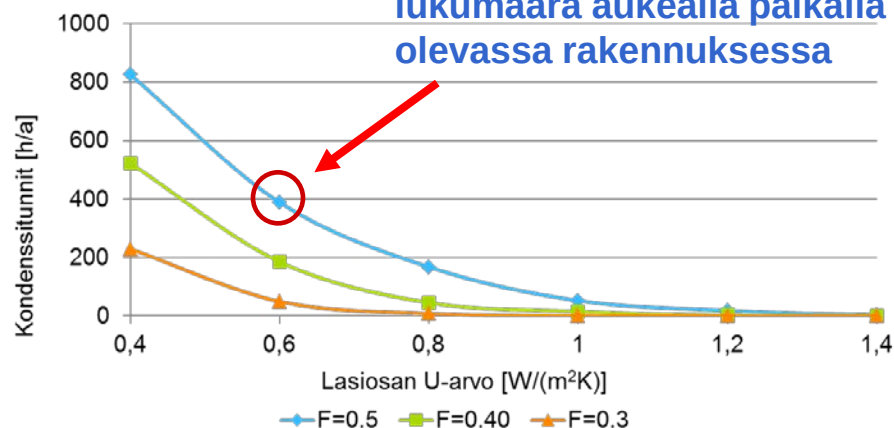
- **Ryömintätilan pohja tulee lämpöeristää** varsinkin puurakenteista alapohjaa käytettäessä.
  - lämmöneristys vähentää maan viilentävää vaikutusta ryömintätilassa
  - lämmöneristys alentaa maapohjan lämpötilaa, jolloin diffuusiolla maasta haihtuvan kosteuden määrä vähenee
- Vuoden 2050 ilmastossa maan pinnan lämmönvastus tulee olla vähintään **1,3 m<sup>2</sup>K/W** (esim. 50 mm EPS tai 150 mm kevytsoraa).
- Puuvasojen alapuolelle tarvitaan hyvin lämpöä eristävä tuulensuoja, jonka lämmönvastus on vähintään **0,4 m<sup>2</sup>K/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



**Kondenss tuntien  
lukumäärä aukealla paikalla  
olevassa rakennuksessa**



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

Matalaemissivitetettipintojen (selektiivipinta) lisääminen ikkunaan

**heikentää matkapuhelimien kuuluvuutta**

osassa rakennuksista (mm. betonirakenteiset sekä tiiviillä alumiinilaminaattipintailla polyuretaanieristeillä toteutetut rakennukset).



# ULKOSEINIEN SISÄINEN KONVEKTIO

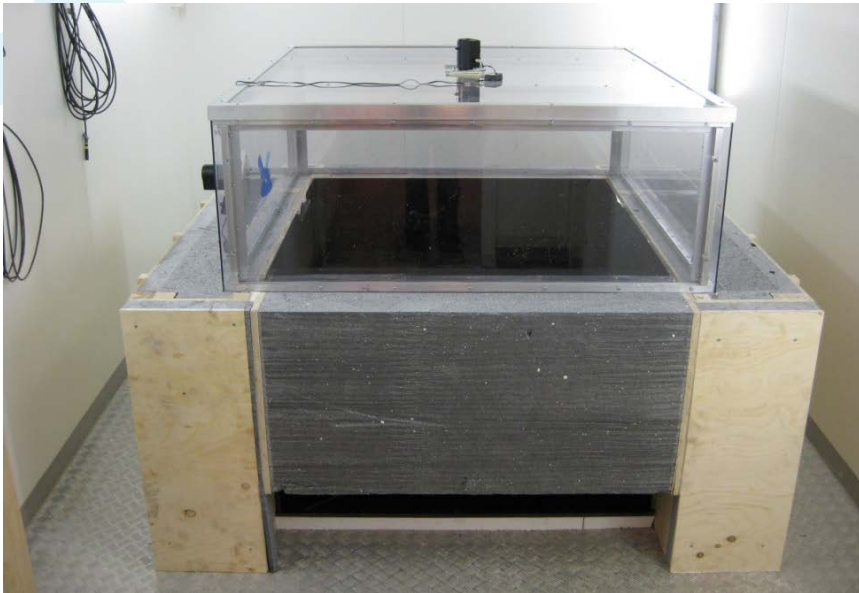
TTY:n rakennusfysikaalinen tutkimuslaitteisto:



- 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 lisääessä 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 levyristeen käyttö puhalletun lasivillaeristeen alapuolella vähentää sisäistä konvektiota.
- Sisäisen konvektion vaikutusta voidaan vähentää oleellisesti pienentämällä puhalluseristeen ilmanläpäisevyyttä tai korvaamalla puhalluserite levyristeellä.
- Nykyiset U-arvon laskentaohjeet eivät ota sisäisen konvektion vaikutusta huomioon riittävästi yläpohjarakenteissa.

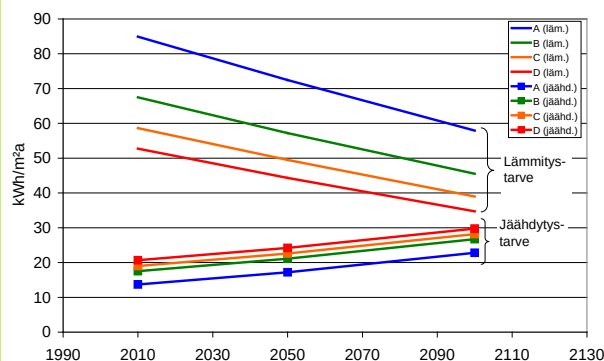
# TILOJEN JA ILMANVAIHDON LÄMMITYS- JA JÄÄHDYTYSTARVE 2010 - 2100

## Lämmöneristystaso:

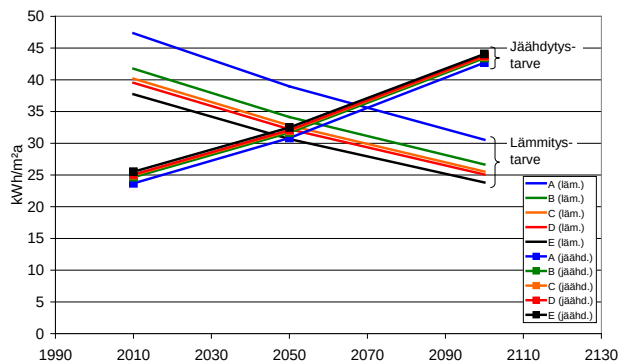
| Rakennus                            | U-arvot, W/m²K |      |      | Lämmöneristystason valintaperuste:     |
|-------------------------------------|----------------|------|------|----------------------------------------|
|                                     | US             | YP   | AP   |                                        |
| Pientalo                            |                |      |      |                                        |
| A                                   | 0.24           | 0.15 | 0.24 | Normitaso C3 (2008)                    |
| B                                   | 0.17           | 0.09 | 0.16 | Normitaso C3 (2010)                    |
| C                                   | 0.12           | 0.08 | 0.07 | Matalaenergiapientalo (RIL 249-2009)   |
| D                                   | 0.08           | 0.07 | 0.10 | Passiivipientalo (RIL 249-2009)        |
| Kerrostalo ja toimisto <sup>1</sup> |                |      |      |                                        |
| A                                   | 0.24           | 0.15 | 0.24 | Normitaso C3 (2008)                    |
| B                                   | 0.17           | 0.09 | 0.16 | Normitaso C3 (2010)                    |
| C                                   | 0.14           | 0.08 | 0.12 | Matalaenergiakerrostalo (RIL 249-2009) |
| D                                   | 0.12           | 0.08 | 0.10 | Passiivikerrostalo (RIL 249-2009)      |
| E                                   | 0.08           | 0.07 | 0.10 | Passiivipientalo (RIL 249-2009)        |

<sup>1</sup> Toimistossa vain US ja YP:n lämmöneristystaso otettu huomioon. (Toimistossa AP:n lämpöhäviöitä ei ole otettu huomioon kellarikerroksessa sijaitsevan paikatustilan vuoksi.)

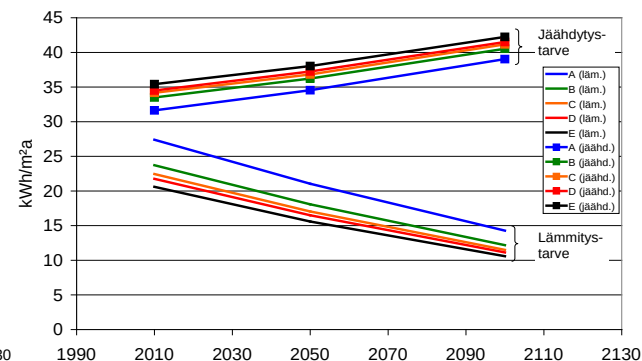
## Pientalo:



## Toimisto:



## Kerrostalo:



# 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 lisäeristämiselle 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 ilmastomuutoksen myötä edelleen pienenemään.
- 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. Betonirakenteiden nykyiset toteutusohjeet raudoitteiden asennuksen ja betonin pakkaskestävyyden suhteen ovat riittäviä.
- 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 on syytä luopua                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- solumuovieristeiset betoni-sandwich- ja sisäkuorielementit</li> <li>- ulkopuolelta solumuovieristeillä eristettävät kivirakenteet</li> <li>- sisäpuolelta lisäeristettävät massiivirakenteet</li> </ul> <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> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- puurakenteinen yläpohja (lämpöä eristävä aluskate/ tulensuoja, vähemmän ilmaa läp. lämmöneriste)</li> <li>- tiiliverhottu puurankaseinä (lämpöä eristävä tuulensuoja, erillinen höyrynsulkukerros tuuletusrakoon yli 10 m korkeissa seinissä)</li> <li>- sisäpuolelta lisäeristetty hirsiseinä (ilmanpitävä ja riittävä höyrynsulku)</li> <li>- ryömintätilainen alapohja (maanpinnan lämmöneristys, lämpöä eristävä ja kosteutta kestävä tuulensuoja puurakenteis. alapohjassa)</li> <li>- maanvastainen alapohja (routaeristysten lisäys)</li> <li>- ikkunat (ulkolasin ulkopintaan matala-emissiviteettipinta)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- tuulettumaton eristerappaus puurankarakenteen tai massiivipuurakenteen päällä</li> </ul> <p>Korvaavana rakenteena voidaan käyttää esim. tuuletetun levyverhouksen päälle tehtyä rappausta tai muuta ratkaisua, jossa rakenne tuuletetaan.</p> |

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

# FRAME -PROJEKTIIN LIITTYVÄT JULKAISUT (TTY rakennetekniikka)

## Tutkimusraportit:

- *Vinha et al.* Ilmastomuutoksen ja lämmöneristykseen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa (julkaistaan joulukuussa 2012)
- *Lahdensivu et al.* Matalaenergia- ja passiivitalojen rakenteiden ja liitosten suunnitteluohjeita. 2012  
[www.tut.fi/fi/yksikot/laitokset/rakennustekniikka/tutkimus/rakennetekniikka/rakennusfysiikka/frame/](http://www.tut.fi/fi/yksikot/laitokset/rakennustekniikka/tutkimus/rakennetekniikka/rakennusfysiikka/frame/)

## Diplomityöt:

- *Mäkitalo, M.* Puurunkoisten ulkoseinien kosteustekninen toimivuus nykyisessä ja tulevaisuuden ilmastossa. 2012
- *Nurmi, S.* Massiivirakenteen sisäpuolisen lisälämmöneristämisen vaikutus rakenteen kosteustekniseen toimintaan. 2012
- *Pakkanen, T.* Sisäisen konvektion vaikutus yläpohjan lämmöneristävyyteen (julkaistaan joulukuussa 2012)
- *Laukkarinen, A.* Tuuletetun yläpohjan lämpö- ja kosteustekninen toiminta nykyisessä ja tulevaisuuden ilmastossa (julkaistaan helmi-maaliskuussa 2013)

## Muiden projektien julkaisut:

- *Aho & Korpi (toim.)* Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. 2009.
- *Vinha et al.* Rakennusmateriaalien ja rakenteiden homehtumisriskin laskennallinen arviointi (julkaistaan tammikuussa 2013)

# FRAME -PROJEKTIIN LIITTYVÄT JULKAISUT (TTY rakennustuotanto ja -talous)

## Diplomityöt:

- *Toivari, O.-P.* Kosteudenhallinnan ja sääsuojauksen taloudellinen tarkastelu. 2011.
- *Hämäläinen, J.* Rakennustyömaan energiatutkimus. 2012.

## Kandidaatintyöt ja erikoistyöt:

- *Lassila A.-P.* Rakentamisen aikainen rakenteiden tehokas kuivattaminen. 2011.
- *Hämäläinen, J.* Energiankäyttö Ruotsin rakennustyömailla. 2011.
- *Pippuri, T.* Vaipan läpi johtuva energia rakennusaikana. 2012.

## Muut julkaisut:

- Kosteuden hallinnan opetusdiasarja
- Työmaan ilmanvaihdon ja lämmityksen suunnittelu
- Tiivis holvi ja sandwich-elementin suojaus  
+ muuta materiaalia

Julkaisut löytyvät TTY/ RTT:n kotisivuilta: [www.tut.fi/site/](http://www.tut.fi/site/)





# FRAME -PROJEKTIIN LIITTYVÄT MUUT JULKAISUT

## Ulkoilman testivuodet:

- Nykyilmasto, 2050-ilmast, 2100-ilmast, yhteensä **6 testivuotta**
- Julkaistu Ilmatieteen laitoksen nettisivuilla (myöhemmin myös TTY:n sivuilla):  
[www.ilmatieteenlaitos.fi/rakennusfysiikan-ilmastolliset-testivuodet/](http://www.ilmatieteenlaitos.fi/rakennusfysiikan-ilmastolliset-testivuodet/)

## Ilmatieteen laitoksen julkaisut:

- *Jylhä, K. et al.* Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten, ACCLIM-hankkeen raportti. Raportti 2009:4. 2009.
- *Jylhä, K. et al.* Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastomuutoksen vaikutuksista. Raportti 2011:6. 2011.
- *Ruosteenoja, K. et al.* Rakennusfysiikan testivuosien sääaineistot suomen muuttuvassa ilmastossa. Raportti 2012/ 2013 (julkaistaan joulutammikuussa)

## FRAME-projektin seminaariaineistot ja julkaisut:

- Julkaistaan Rakennusteollisuus RT:n nettisivuilla:  
[www.rakennusteollisuus.fi/frame/](http://www.rakennusteollisuus.fi/frame/)

## RIL:n julkaisut:

- RIL 107-2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. 2012.
- RIL 225-2013. Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien laskenta. (julkaistaan v. 2013)
- RIL 255-2013. Rakennusfysiikan käsikirja. (pyritään julkaisemaan v. 2013)