



# MITÄ RISKEJÄ ENERGIANSÄÄSTÖ AIHETTA RAKENTEILLE – JA KEINOT VÄLTTÄÄ NE

10.10.2012

Tutk.joht. Juha Vinha

TTY, Rakennustekniikan laitos

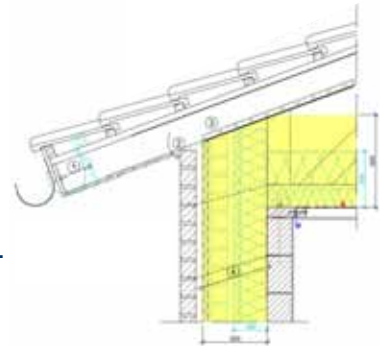
Korjausrakentaminen murroksessa, FinnBuild 2012, Helsinki 10.10.2012

## LÄMMÖNERISTYKSEN LISÄYKSEN VAIKUTUKSET

- Lämmöneristykseen 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.
- Rakennusosien kosteusteknisen toiminnan kannalta ei ole löydettävissä kriittisiä U-arvotasoja. Lämmöneristykseen 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

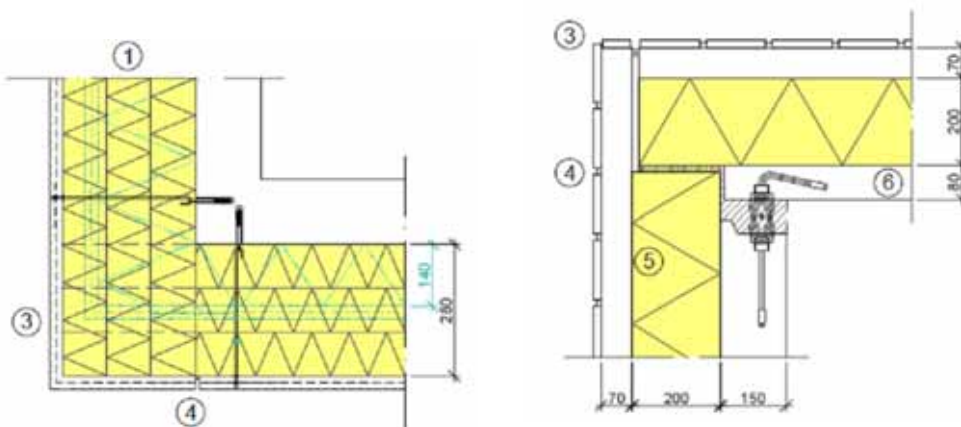


Kaikessa rakentamisessa rakennusaikaisen kosteudenhallinnan merkitys korostuu!

# RAKENNERATKAISUJEN JA TOTEUTUSTAPOJEN MUUTTUMINEN

## Rakenteen dimensiot muuttuvat

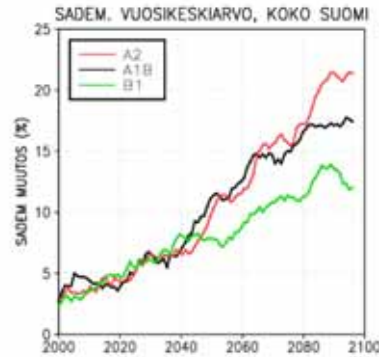
- Runkopaksuudet kasvavat → ylimitoitus → uusia runkotyyppejä  
Eristeen läpi tehtyjen kannatusten ja ripustusten momenttirasitus kasvaa  
→ Paksummat kappaleet → kylmäsiltaavaikutus  
Paksumpien eristekerrosten kokoonpuristuminen ja liikkeen hallinta  
→ Liitosten ja liikuntasauvojen mitoitus



# ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET

## Lämpötilan ja sademäärän muutos Suomessa tulevina vuosikymmeninä

Lämpötila



Sademäärä

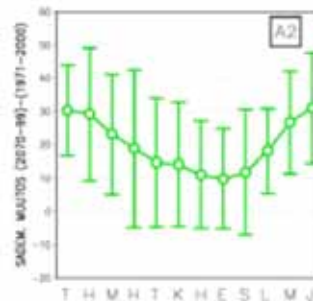
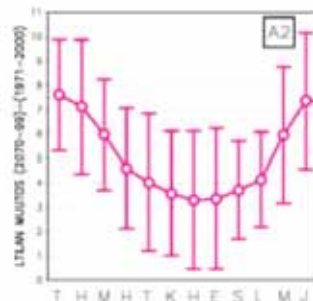
Kuvat: Ilmatieteen laitos

- 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

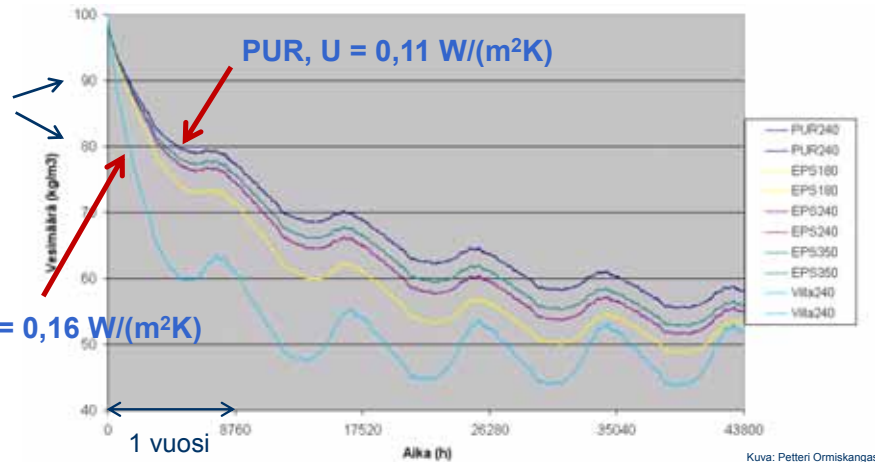
Kuvat: Ilmatieteen laitos

- 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 kivrakenteiden pakkasrapautumiselle lisääntyy.

# RAKENNUSAIKAISEN KOSTEUDEN KUIVUMINEN BETONIELEMENTIN SISÄKUORESTA

Kosteuspitoisuuden lukuarvot vastaavat betonilla karkealla tarkkuudella myös huokosilman RH:ta.

Mineraalivilla,  $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



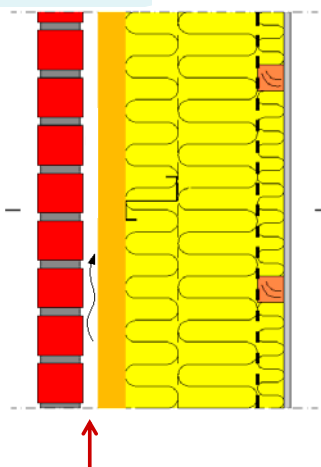
Kuva: Petteri Ormiskangas

- Solumuovieristeitä käytettäessä sisäkuoren kuivumisaika pinnoituskosteuteen (tiivittä pinnoitteita käytettäessä) voi pidentyä 2 – 4 kk verrattuna mineraalivillaeristeeseen.
- Solumuovieristeen paksuuden kasvattaminen lisää myös kuivumisaikaa.
- Polyuretaanieristettä käytettäessä kuivumisaika on pisin. Alumiinipinnoite lisää kuivumisaikaa edelleen, koska pinnoite estää kosteuden kuivumisen ulospäin kokonaan.

Korjausrakentaminen murroksessa, FinnBuild 2012, Helsinki 10.10.2012

Juha Vinha 7

## TIILIVERHOTTU PUURANKASEINÄ Yhteenveto tuloksista



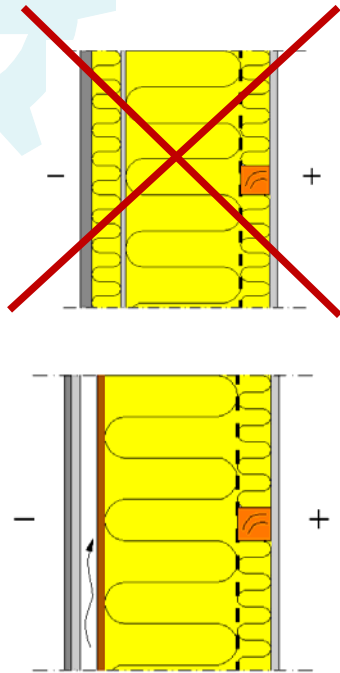
Korkeissa rakennuksissa (yli 10 m) tiiliverhouksen taakse tulee laittaa kummaltakin puolelta tuuletettu höyrynsulkerros (esim. teräsohutelevy).

- Tiiliverhotussa puurankaseinässä homehtumisriski rakenteen ulko-osissa on erityisen suuri, koska tiiliverhoukseen kerääntynyt kosteus siirtyä sisäänpäin diffuusiolla.
  - tuulensuojan tulee olla hyvin lämpöä eristävä ja homehtumista kestävä
  - Vaihtoehtoisesti puurungon ulkopinnassa voidaan käyttää esim. teräsprofiilista tehtyä ristikoolausta
  - Höylätyn kuusen käyttö runkomateriaalina vähentää myös homehtumisriskiä.
- 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.

Korjausrakentaminen murroksessa, FinnBuild 2012, Helsinki 10.10.2012

Juha Vinha 8

## ERISTERAPATTU RANKASEINÄ Yhteenveto tuloksista

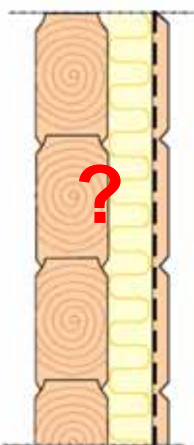


- Eristerapattujen puu- ja teräsrankaseinien kastuminen saumakohtien kosteusvuotojen seurauksena sekä kosteuden hidas kuivuminen aiheuttavat homeen kasvua rakenteen ulko-osissa.
- EPS-eristeen käyttö rapatussa rankaseinässä pahentaa tilannetta entisestään, koska ulkopinnan vesihöyrynvastus kasvaa ja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

Massiivisten seinärakenteiden (hirsi-, kevytbetoni- ja täystiilirakenteet) toteutus ilman lisäeristystä on jatkossa hyvin hankalaa.



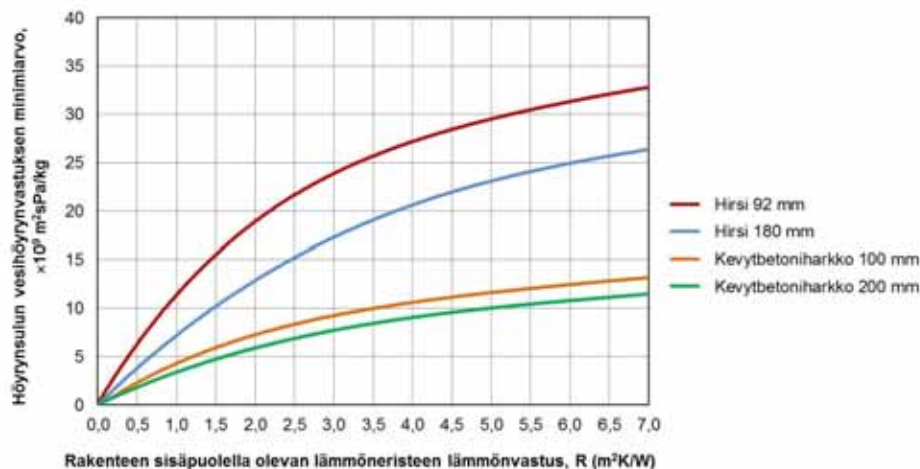
### Sisäpuolinen lisäeristys heikentää seinärakenteen lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa:

- Seinän kuivuminen hidastuu.
- Eristeen ulkopinnassa herkästi kosteuden tiivistymisriski ja homeen kasvulle otollisia olosuhteita – varsinkin hirsiseinässä.
- Sisäpuolinen lämmönvarauskyky menetetään.
- Massiivirakenteen kosteuspitäisyys nousee ja lämmönjohtavuus kasvaa jonkin verran.

Massiivirakenne tai vanha puruseinärakenne on suositeltavaa lisäeristää ulkopuolelta hyvin vesihöyryä läpäisevällä lämmöneristeellä.

# RAKENTEEN SISÄPINNALLTA VAADITTAVA VESIHÖYRYNVASTUS SISÄPUOLISTA LÄMMÖNERISTYSTÄ KÄYTETTÄESSÄ

11



- Ilmastonmuutoksella ei ole suurta vaikutusta rakenteen sisäpinnalta vaadittavaan vesihöyrynvastukseen.
- Esimerkiksi 25 mm hirsipaneelia ja paperipohjaista ilmansulkukalvoa käytettäessä ( $Z_{p,yht} \approx 10 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$ ) turvallinen sisäpuolisen mineraalivillaeristeen paksuus on 180 mm hirsiseinällä enintään 50 mm ( $R \approx 1,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ ).

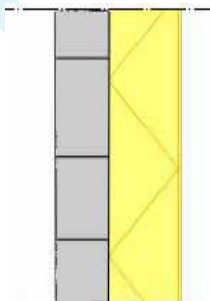
Korjausrakentaminen murroksessa, FinnBuild 2012, Helsinki 10.10.2012

Juha Vinha

11

## SISÄPUOLELTA LISÄERISTETTY ULKOSEINÄ

### Sisäpuolelta lisäeristetyn ulkoseinän 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 lämmöneristykseen ja höyrynsulun laittoa.
- Kosteutta läpäisevän ilmansulun käyttö ei paranna avohuokoisella lämmöneristeellä eristetyn rakenteen kuivumista sisäänpäin.

Korjausrakentaminen murroksessa, FinnBuild 2012, Helsinki 10.10.2012

Juha Vinha

12

# PUURAKENTEINEN TUULETETTU YLÄPOHJA

- Lämmöneristyksen lisääminen alentaa tuuletustilan lämpötilaa.
  - kosteuden tiivistyminen ja homeen kasvulle otolliset olosuhteet yläpohjassa lisääntyvät
  - yläpohjien vikasietoisuus heikkenee
- Kirkkaina öinä taivaalle lähtevä lämpösäteily jäädyttää vesikatteen ulkolämpötilaa kylmemmäksi.
  - kriittisimmät olosuhteet esiintyvät **tuuletustilan yläosassa**
  - kostea lämpimämpi ulkoilma tiivistyy herkemmin vesikatteen alle
- **Samat ongelmat esiintyvät myös katteen suuntaisissa vinoissa yläpohjissa**, mutta niissä puurakenteiden homeutumista ei näe.

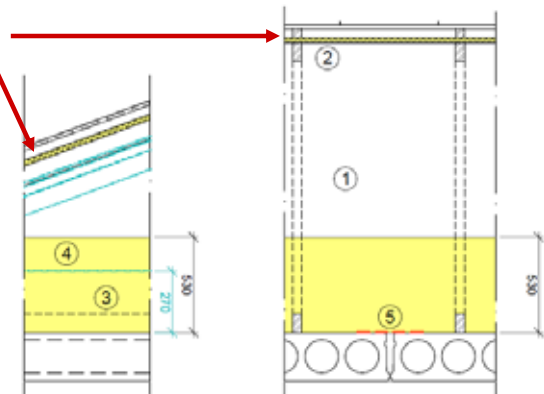
Kosteusvaurioita on havaittu paljon Etelä-Ruotsissa, mutta myös Suomessa.



Kuva: Lars-Erik Harderup & Jesper Arvidsson, Lund, Ruotsi

# PUURAKENTEINEN TUULETETTU YLÄPOHJA

- Homeutumisriski lisääntyy voimakkaasti puurakenteiden ulko-osissa ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen 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).
- Yläpohjan tuuletus kannattaa olla kohtuullisen pieni.
- **Yläpohjan ilmatiiviyys on erittäin tärkeä.**
- Vanhoissa rakennuksissa yläpohja on pyrittävä saamaan **ilmatiiviiksi** aina, kun lämmöneristystä lisätään.
- Vinoissa yläpohjissa lämmöneristys toteutetaan puupalkkien yläpuolelle laitettavalla tuulensuojalla.



## PUURAKENTEINEN TUULETETTU YLÄPOHJA

- Teknisiä laitteita ei tarvitse käyttää, jos aluskatteen lämmöneristystä parannetaan riittävästi.
- Vanhojen rakennusten yläpohjia lisäeristettäessä voidaan yläpohjan kosteusteknistä toimintaa parantaa vaihtoehtoisesti lämmityksen avulla.
- Säädetty koneellinen ilmanvaihto ei ole suositeltava, koska ilmanvaihdon synnyttämät yli- ja alipaineet ovat haitallisia, jos yläpohja ei ole ilmatiivis.

Yläpohjien lämmöneristystä lisättäessä eristepaksuutta täytyy vähentää valmiskiippujen ympärillä tulipaloriskin eliminoimiseksi!



Kuva: Hedtec Oy, Olosuhdevahti



Kuva: Carl-Eric Hagentoft, Chalmers, Ruotsi

## RYÖMINTÄTILAINEN ALAPOHJA

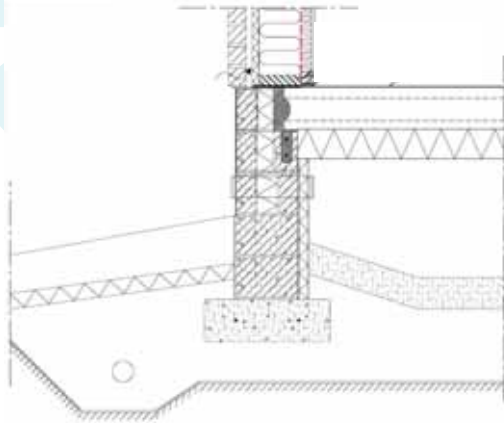


- Maasta haihtuva kosteus pyrkii nostamaan ryömintätilan suhteellista kosteutta
- Maa jäädyttää ryömintätilaa keväällä ja kesällä
- Lattiarakenteen lämmöneristysten lisääminen alentaa lämpötilaa entisestään
  - ulkoa tuleva lämmin ja kostea ilma tiivistyy herkemmin ryömintätilan pintoihin
  - homeen kasvulle ja ajoittain myös laholle otolliset olosuhteet
  - alapohjan vikasietoisuus heikkenee

Ryömintätilainen alapohja on toiminnaltaan vielä haastavampi kuin tuuletettu yläpohja, koska talvella homeet pyrkivät sisällä olevan alipaineen vuoksi sisätiloihin ilmapuotokohdista!



# RYÖMINTÄTILAINEN ALAPOHJA

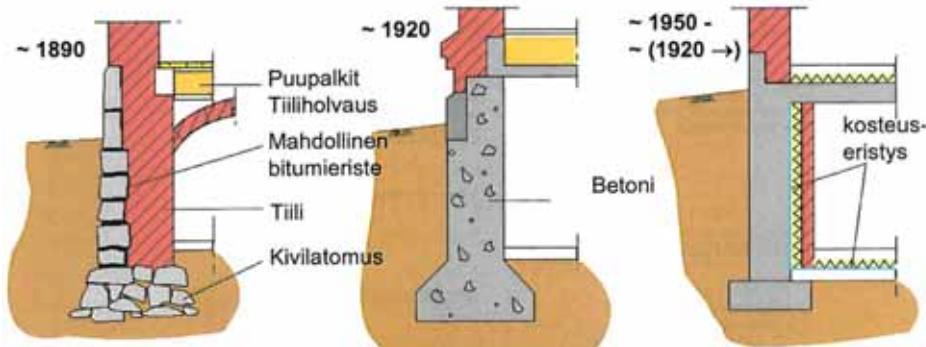


Alapohjan toimivuuden edellytyksenä on lisäksi monet aiemmin korostetut asiat:

- Eloperäinen materiaali tulee poistaa ryömintätilasta.
- Maapohja ei saa olla monttu.
- Salaojasorakerros perusmaan päälle ja perusmaan pinnan kallistus 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 ilmatiiviyys on erittäin tärkeä.**
- Ryömintätilaa tulee tuulettaa kesällä.
- Koneellinen kuivatus tai lämmitys ei ole välttämätön, jos alapohja tehdään muuten rakenteellisesti oikein.

# KELLARIN SEINÄT



Kosteus- ja lämmöneristys puuttuvat yleensä seinän ulkopuolelta.

→ kosteus- ja homeongelmia kellaritiloissa

Sisäpuolelta eristämisessä samat ongelmat kuin muissakin sisäpuolelta eristetyissä seinissä - lisäksi vielä maaperän kosteus.

**Ulkopuolinen lämmön- ja kosteudeneristys aina kun mahdollista.**

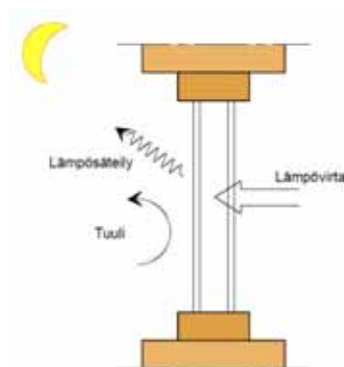
Eristys sisäpuolella: kalsiumsilikaattieriste suosittelavin vaihtoehto tai kevytbetoni- ja kevytsoraharkko, myös solumuovieriste joissakin tapauksissa, **EI PUURUNKOA SISÄPUOLELLE!**

Välipohjan ja ulkoseinän liitosalueen kylmäsililat ovat usein ongelma varsinkin, jos rakenne korjataan ulkopuolisella lämmöneristyksellä.

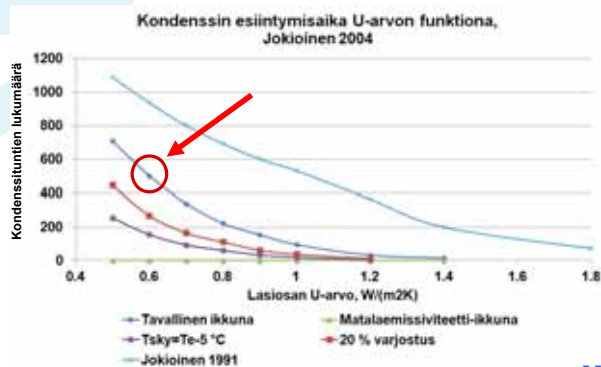
# IKKUNAT

## Lämmöneristysten parantamisen vaikutukset ikkunan lasiosan toimintaan

- Kosteuden kondensoituminen lisääntyy ikkunan ulkopintaan, koska ulkopinta jäähtyy (lämpösäteily taivaalle kirkkaina öinä).
- Ikkunoiden rikkoutumisriskin on todettu lisääntyvän auringon lämmittävän vaikutuksen lisätessä ulkolasiin kohdistuvaa paineen vaihtelua.



## IKKUNOIDEN KONDENSOITUMISRISKIN LISÄÄNTYMINEN



- Ikkunan lasiosan U-arvoa ei tule enää parantaa (nykyisin tasolla n. 0,6 W/(m²K)) 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.

### Matalaemissiviteetipintainen ulkolasi

### Tavallinen ulkolasi



Kuva: ENERGATE/ Ludwig Häußler GmbH

Kuva: Werner A. 2007

Matalaemissiviteetipintojen (selektiivipinta) lisääminen ikkunaan heikentää matkapuhelimien kuuluvuutta osassa rakennuksista (mm. betonirakenteiset sekä tiiviillä alumiinilaminaattipintaisilla polyuretaanieristeillä toteutetut rakennukset).

# 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 kivrakenteet</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 lämmöneristuksen 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>- ryömintätalainen alapohja (maanpinnan lämmöneristys, lämpöä eristävä ja kosteutta kestävä tuulensuoja puurakenteis. alapohjassa)</p> <p>- maanvastainen alapohja (routaeristuksen 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 rappausta tai muuta ratkaisua, jossa rakenne tuuletetaan.</p>

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

## LISÄTIETOA FRAME -PROJEKTISTA

- FRAME -projektilla on Rakennusteollisuuden nettisivustolla omat kotisivut, joille tallennetaan projektissa julkaistut tutkimustulokset: [www.rakennusteollisuus.fi/frame/](http://www.rakennusteollisuus.fi/frame/)
- Projektin yhteydessä on järjestetty yleisöseminaareja, joissa on esitelty yksityiskohtaisemmin projektin tuloksia. Projektin päätösseminaari pidetään TTY:llä **to 8.11. klo 9.00–16.30**. Ilmoittautua voi osoitteessa: [www.webpolsurveys.com/S/F816E61561A96E72.par](http://www.webpolsurveys.com/S/F816E61561A96E72.par)
- Projektin tuloksista laaditaan kaksi loppuraporttia, jotka ovat saatavilla päätösseminaarissa.
- Projektin tuloksia on hyödynnetty jo useissa valmisteilla olevissa rakentamisen ohjeissa: **RakMK C4, RIL 107 ja RIL 225**.
- Tuloksia tullaan julkaisemaan laajasti myös kansainvälisissä konferensseissa ja tieteellisissä julkaisuissa.
- Projektin rahoittajina ovat: Tekes, YM, RT ja rakennusalan yritykset.