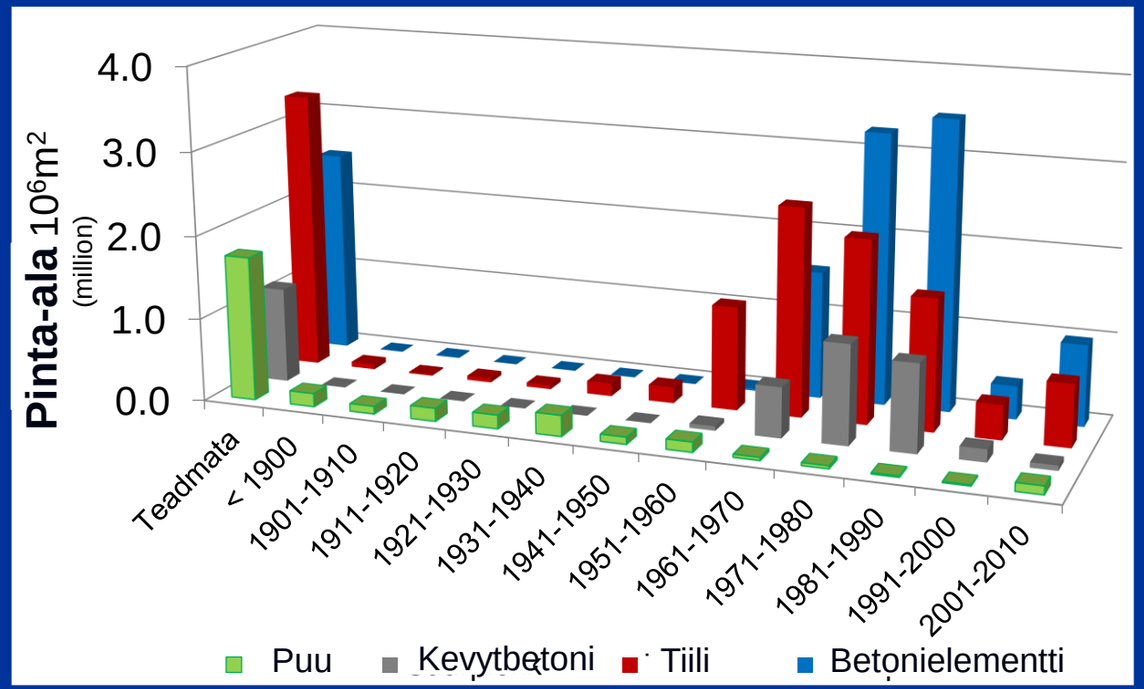
# Renovation of facades in Estonia - challenges and solutions in terms of building physics

Targo Kalamees

Tallinn University of Technology, Estonia

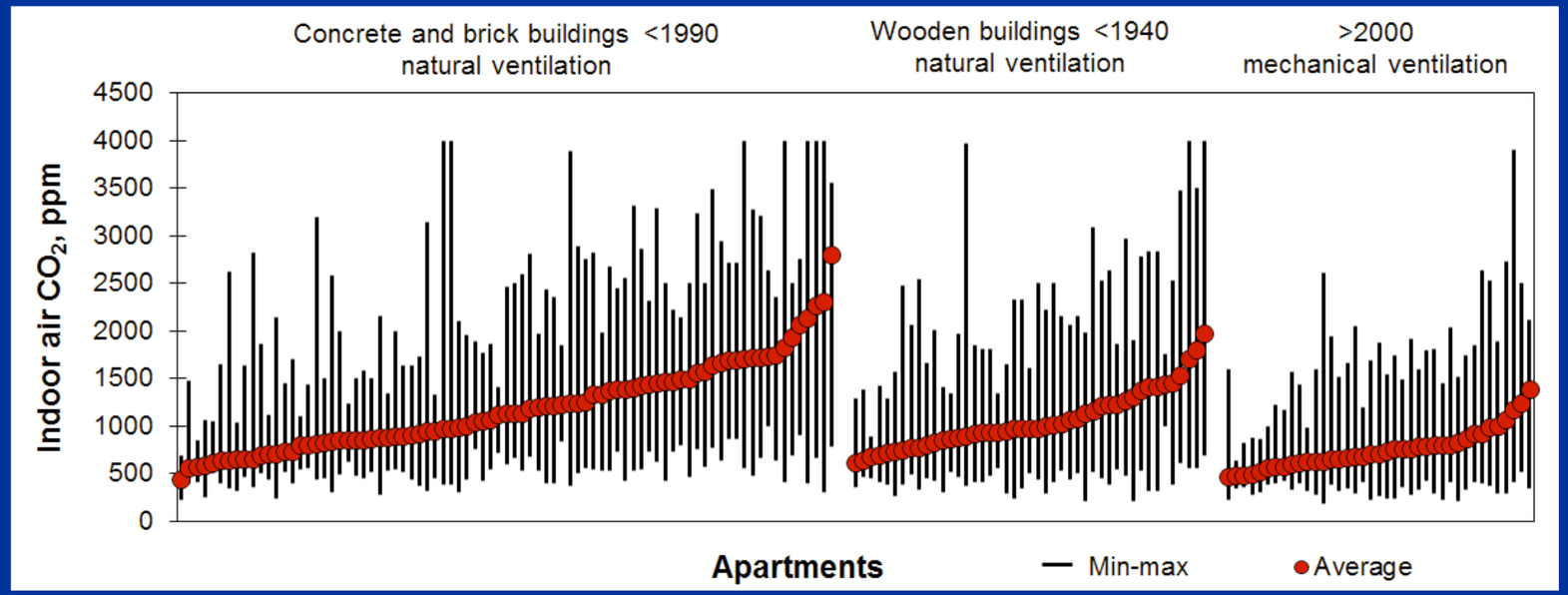
# Kerrostalojen rakennuskanta

- Tiili: 37%,
- Betonielementti: 36%,
- Kevytbetoni: 12%,
- Puu: 8%

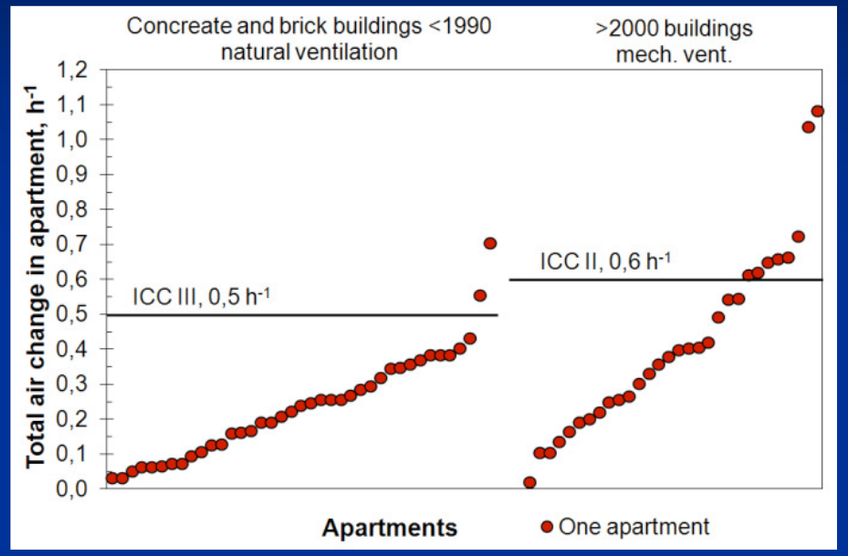


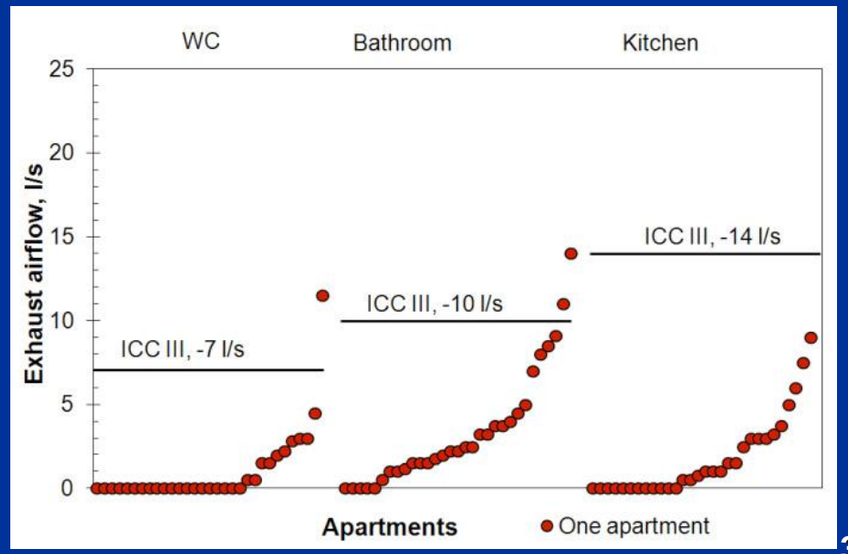
# Sisäilmasto

- Painovoimainen ilmavaihto:
  - Kokonais-ilmanvaihto 0.24 $h^{-1}$, 0.17 l/(s·m²)
  - Makuuhuoneessa 4.4 l/s, (2.9 l/(s·henk.))
  - III luokka 22% lämmityskausi, 44% kesällä



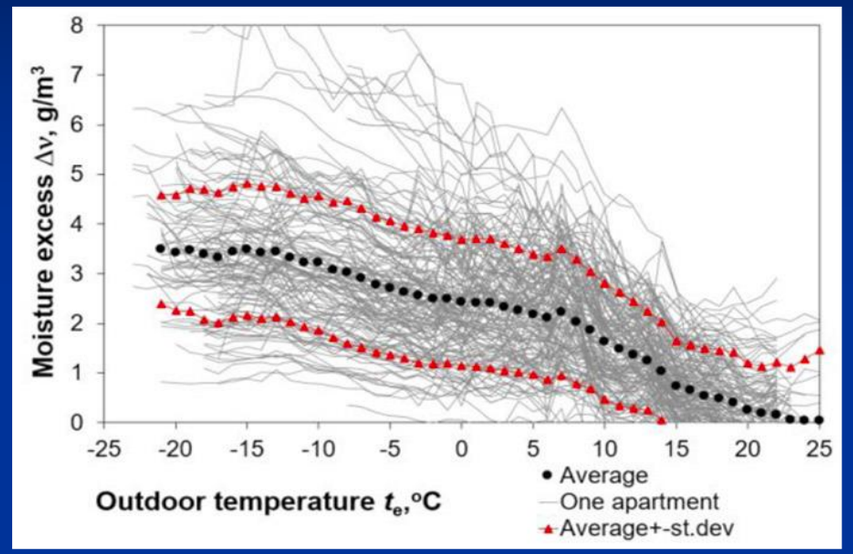

Mikola, A.; Kalamees, T.; Kõiv, T.-A. (2017). Performance of ventilation in Estonian apartment buildings. *NSB2017, Trondheim, Norway, 11-14 June 2017* DOI: **10.1016/j.egypro.2017.09.681**.

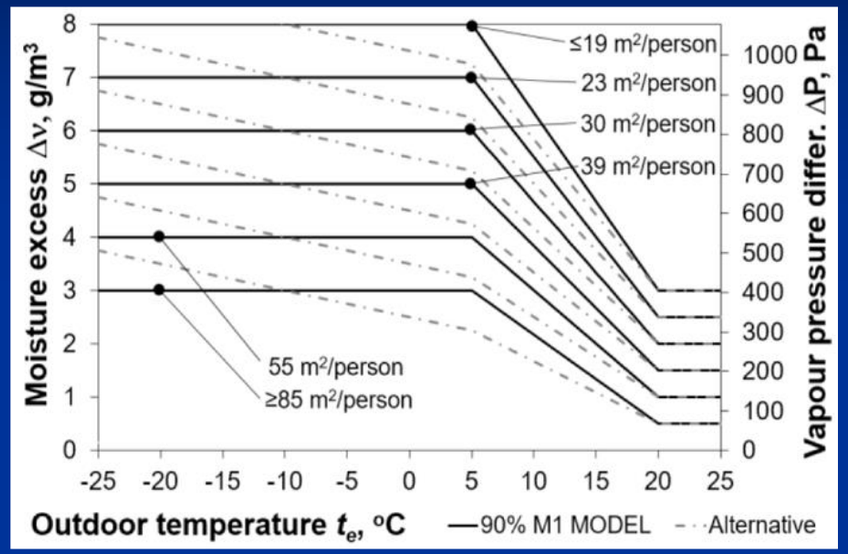


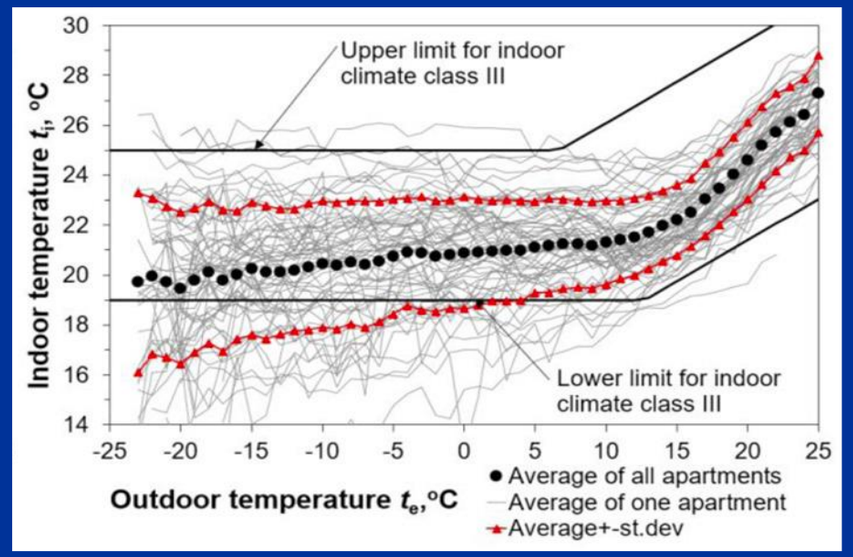



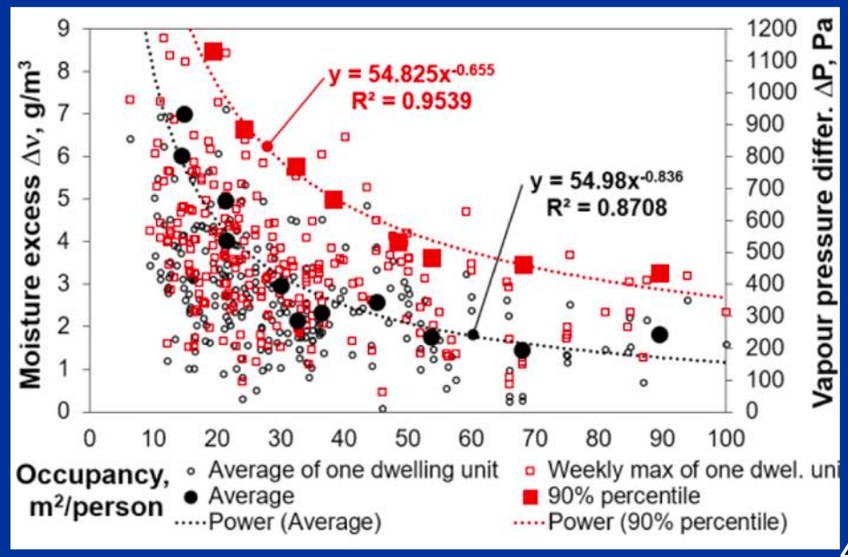
# Sisäinen kosteuskuorma

- Kenttämittaukset:
  - 180 asuntoa,
    27 m²/henk. (9 – 85 m²/henk.)
  - 57 pientaloa,
    5 m²/henk. (16 – 103 m²/henk.)
- $\Delta\nu_{talvella} = 3 – 8\ g/m^3$



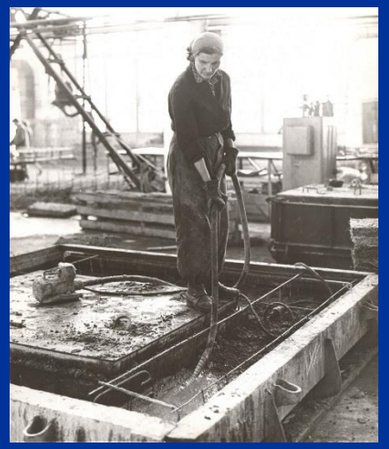



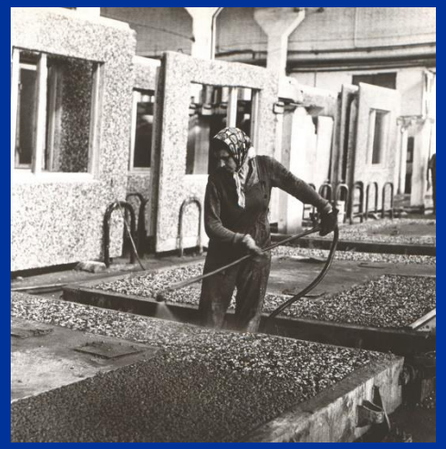




Ilomets, S.; Kalamees, T.; Vinha, J. (2017). Indoor hygrothermal loads for the deterministic and stochastic design of the building envelope for dwellings in cold climates. Journal of Building Physics, 1–31. **DOI: 10.1177/1744259117718442.**

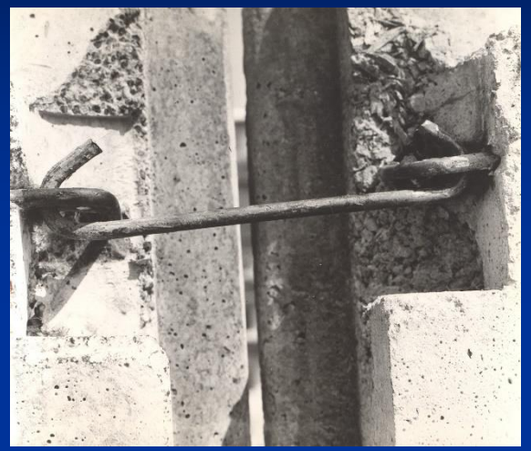
# Betonielementti kerrostalojen historiaa

- Teknologian Camukselta Ranskasta: automaattinen annostelu, betonin pumppaus, lämpökäsittelytilojen elektroninen ohjaus jne.;
- Ensimmäinen kerrostalo 1961;
- Kahden tehtaan kapasiteetti saavutti 200 000 $m^2$ asuintilaa vuodessa.



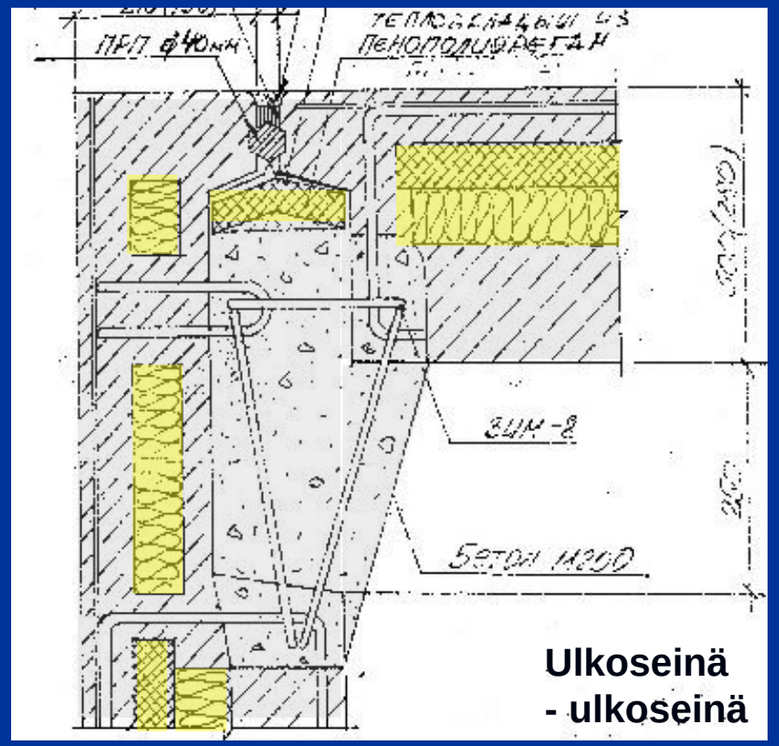


# Betonielementti kerrostalojen historiaa

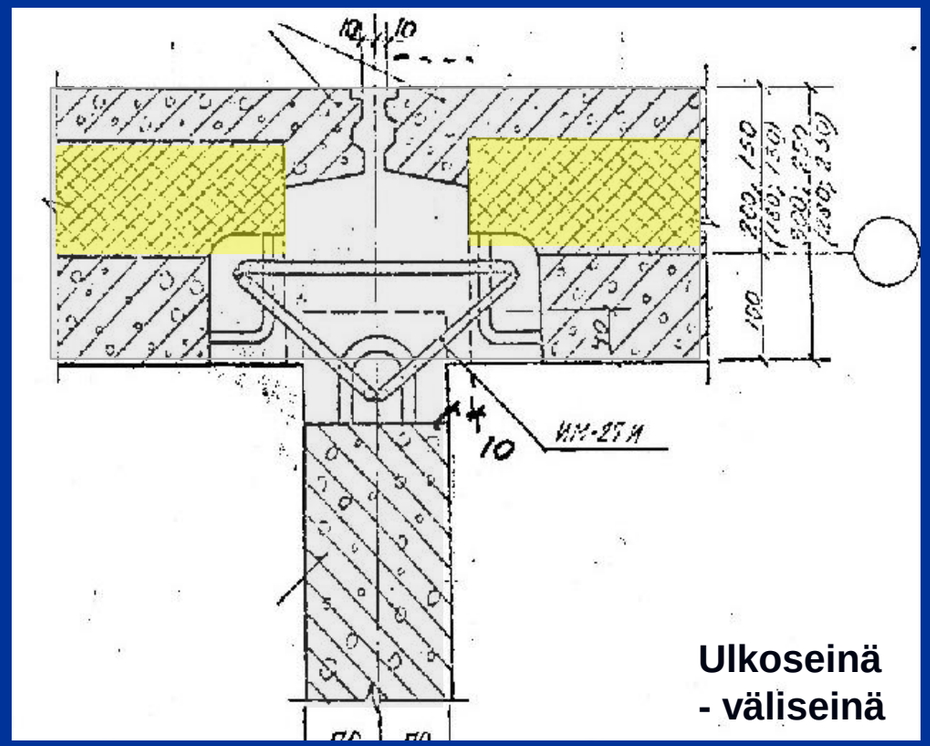


# Betonielementti kerrostalojen ulkoseinä

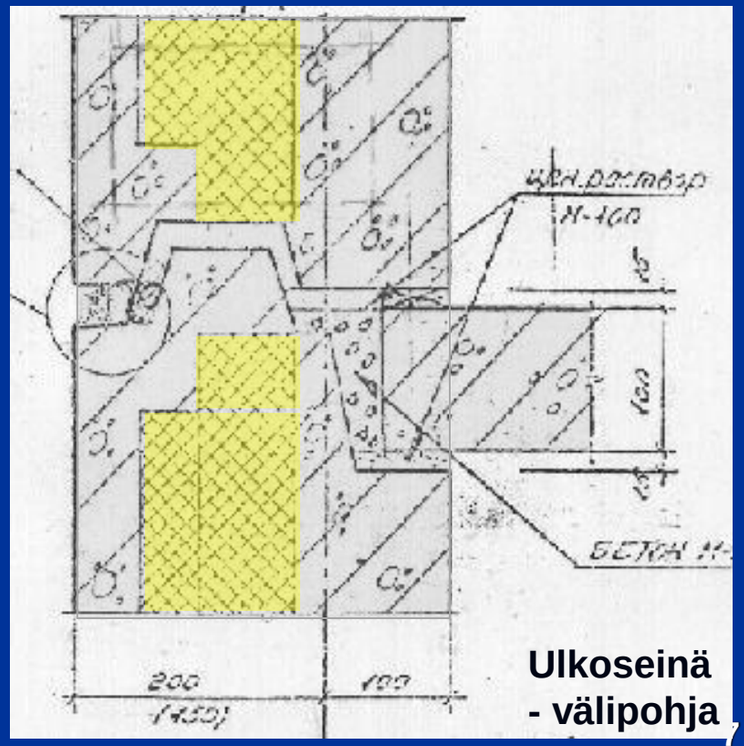
- Paksuus 230, 250, 280 ja 300 mm:
  - Ulkokuori 50, 60 mm;
  - Eriste 100 – 125 mm (mineraalivilla, fibroliittilevy, fenoplasti, styroksi);
  - Sisäkuori 75, 80, 125, 130 mm.




Ulkoseinä
- ulkoseinä

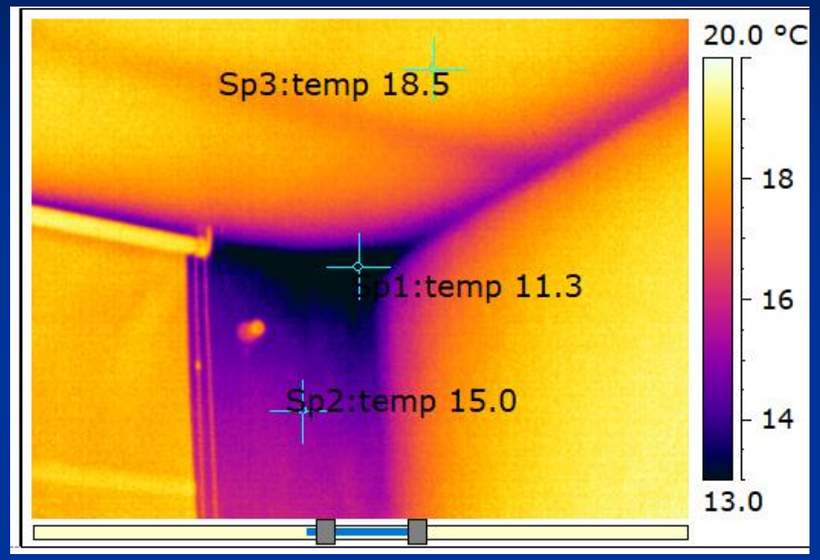


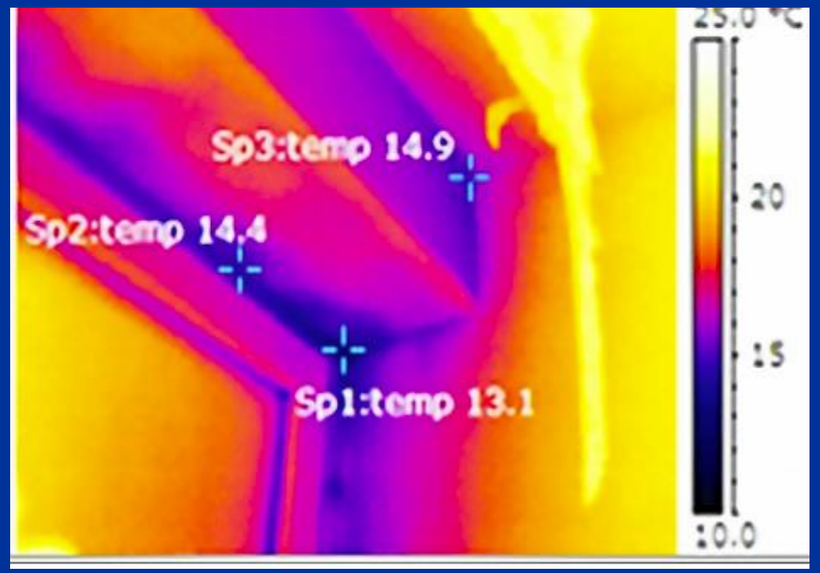
Ulkoseinä
- väliseinä



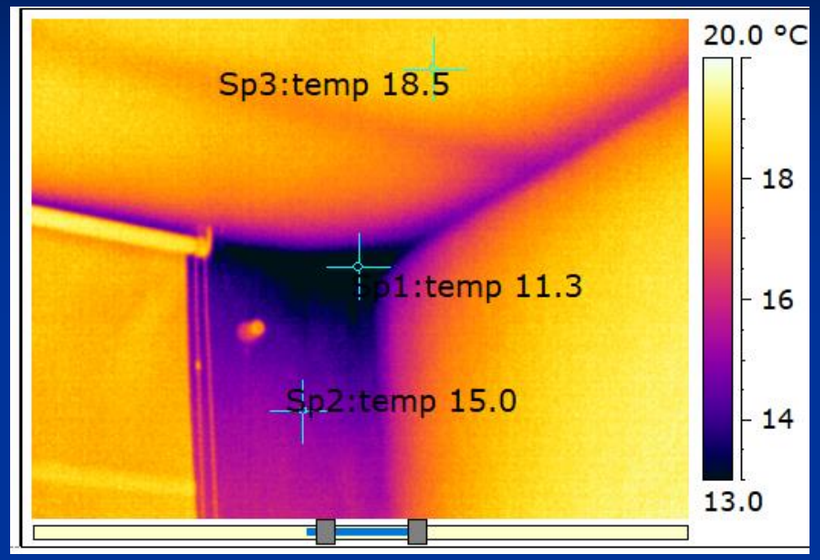
Ulkoseinä
- välipohja

# Kylmäsillat



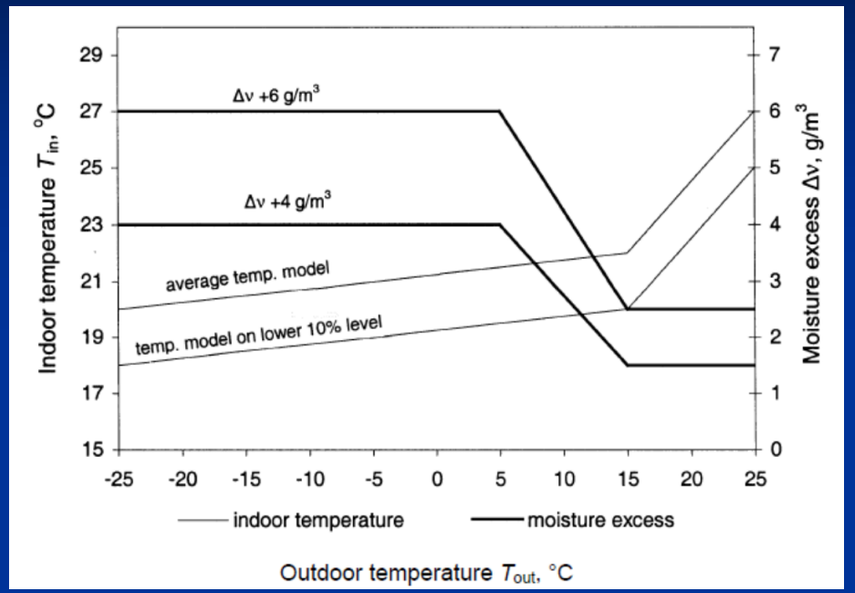


# Kriittinen lämpötilaindeksi

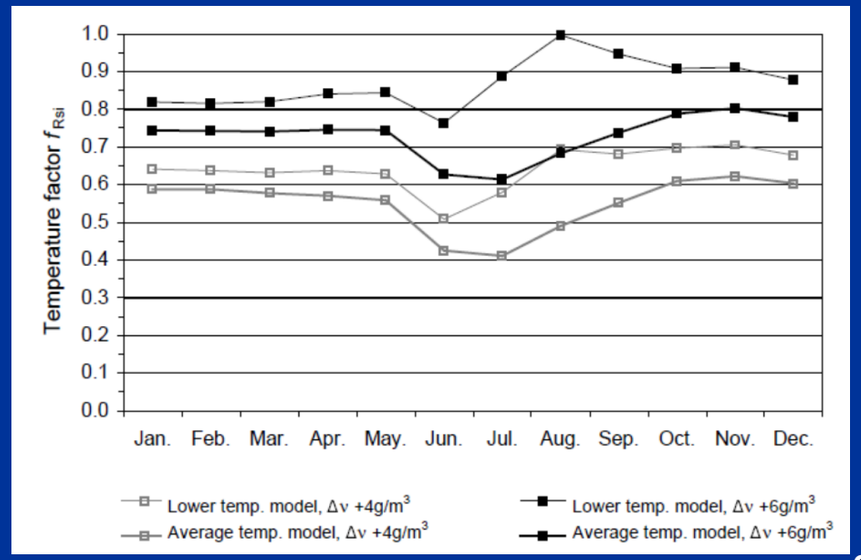



TI = (Tsp - To) / (Ti - To)*100 %,

$$f_{Rsi} = \frac{t_{sin} - t_{out}}{t_{in} - t_{out}}$$

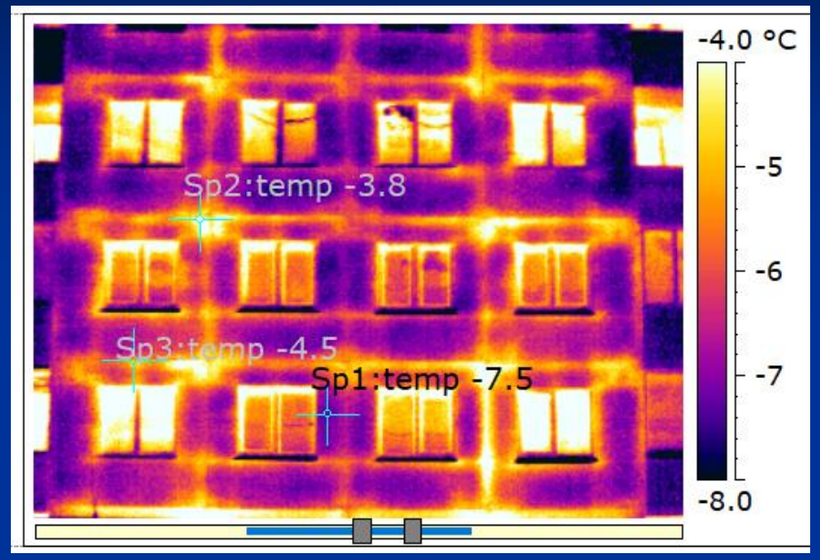


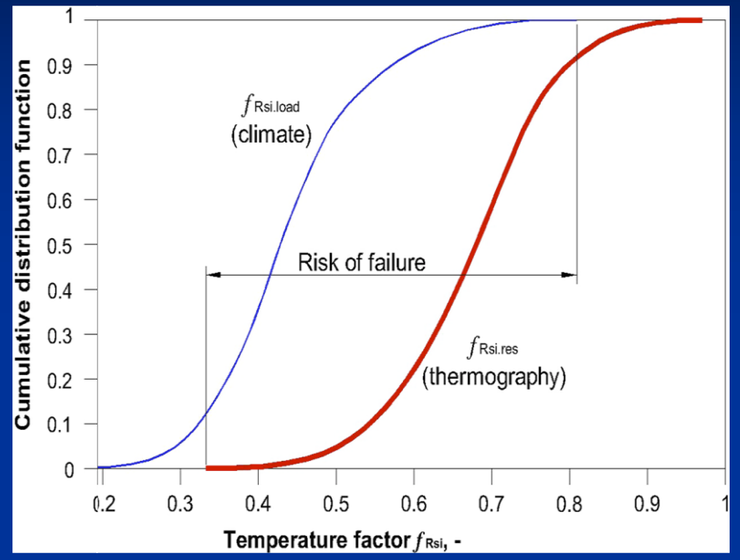

| EVS EN 137988 Kosteusluokka | Lämpötilaindeksi $f_{Rsi,min}$ / TI | | |
|---|---|---|---|
| | Ulkovaippa yleensä | | Ikkunan liitos |
| | Uudet asunnot | Peruskorjaus | (kondenssi kriteeri) |
| 3 (Δv = 6 g/m³) | ≥ 0,8 | ≥ 0,8 | ≥ 0,7 |
| 2 (Δv = 4 g/m³) | ≥ 0,8 | ≥ 0,65 | ≥ 0,55 |

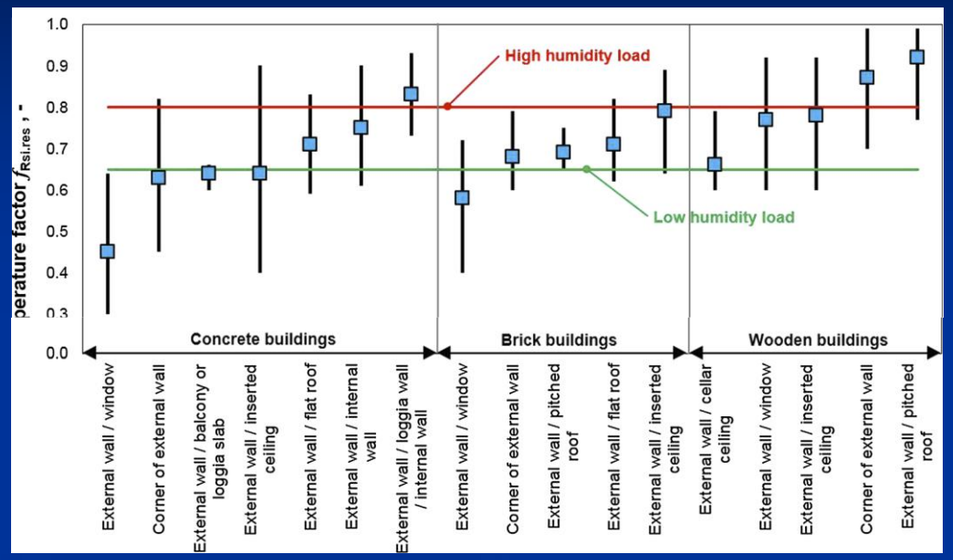



Kalamees, T (2006). Critical values for the temperature factor to assess thermal bridges. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Engineering, 12, 218–229.

# Kylmäsiltojen kriitillisyys

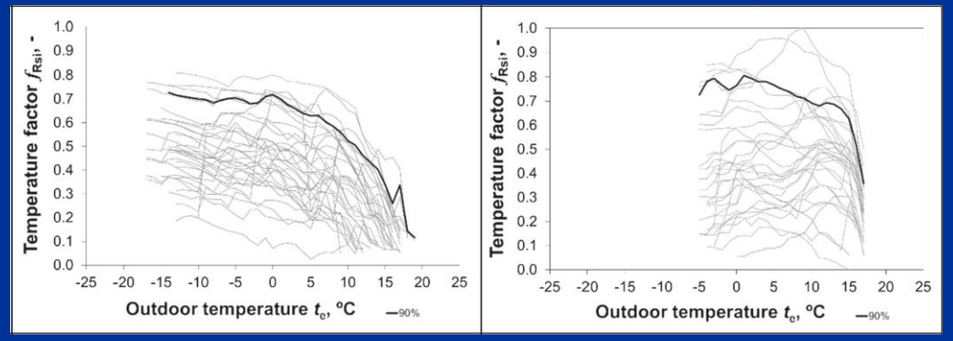



$$f_{Rsi.res} = (t_{si} - t_e)/(t_i - t_e)$$

- Pintakondenssiriski on ≈50% kerrostaloissa.
- Homeen kasvun riski 55 – 45 % kerrostaloissa
- Havaittu homeen kasvu 28 – 46% tutkituissa asunnoissa vahvistaa lasketut tulokset

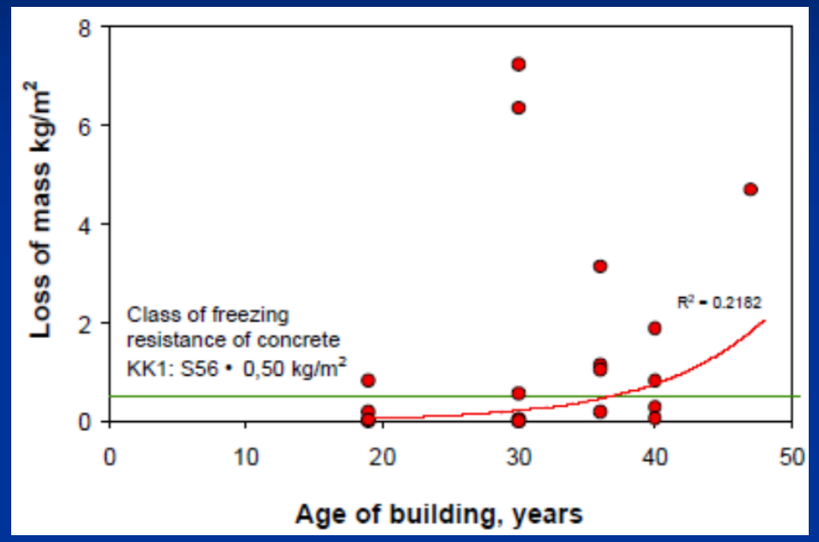


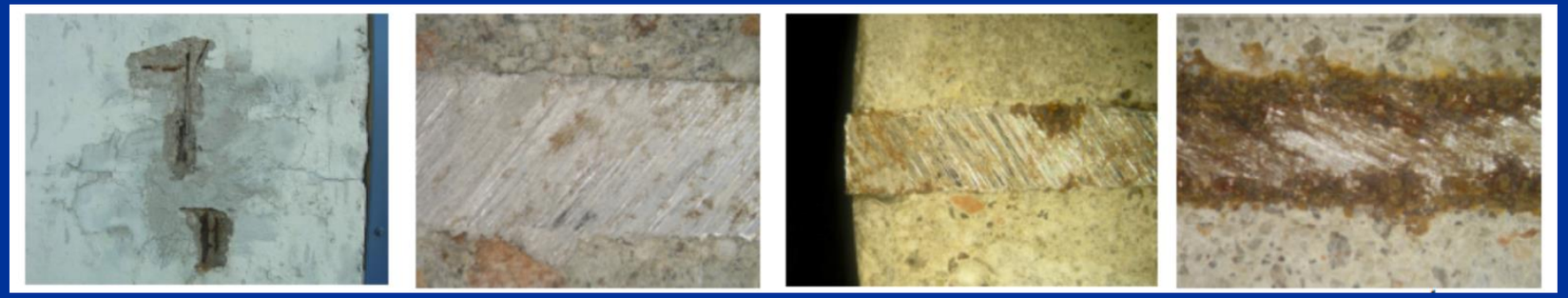

$$f_{Rsi.load(cond.mould)} = (t_{si.crit(cond.mould)} - t_e)/(t_i - t_e)$$

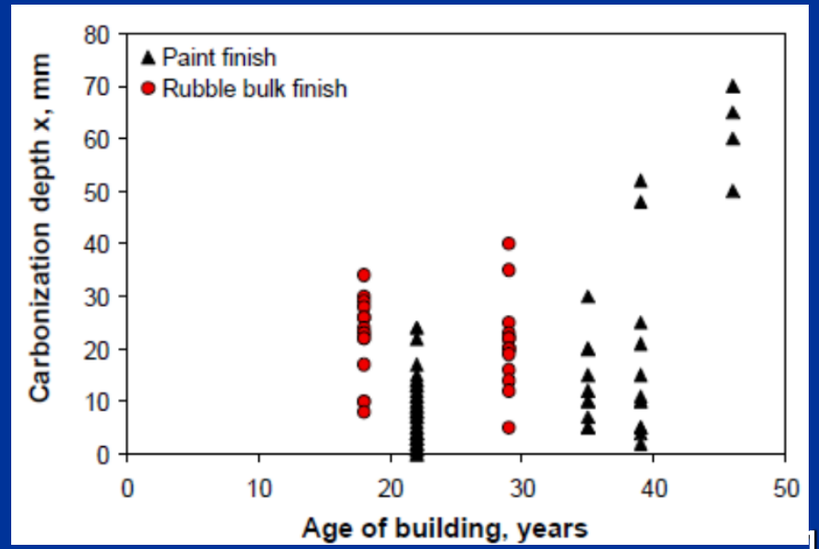

Ilomets, S.; Kalamees, T. (2016).
Evaluation of the criticality of thermal bridges.
Journal of Building Pathology and Rehabilitation, 1 (1),
1−13. **DOI: 10.1007/s41024-016-0005-6.**

# Julkisivun tilanne

- Betonijulkisivu:
  - Pieni pakkaskestävyys
  - Betonin karbonatisoituminen
  - Teräksen korroosio
- Tiili julkisivu:
  - Pieni pakkaskestävyys

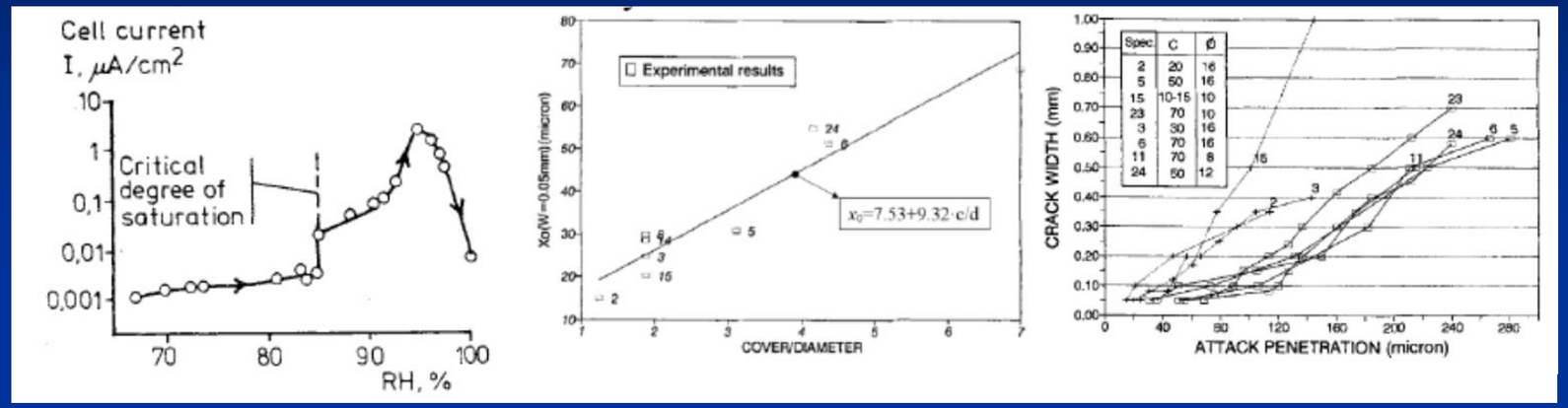


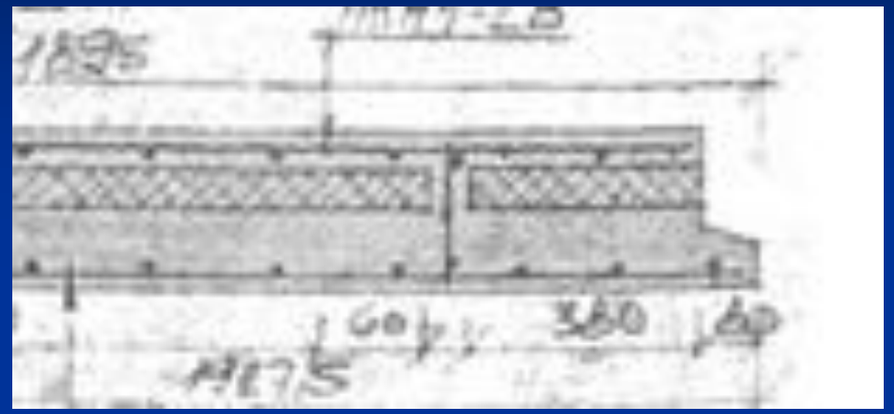



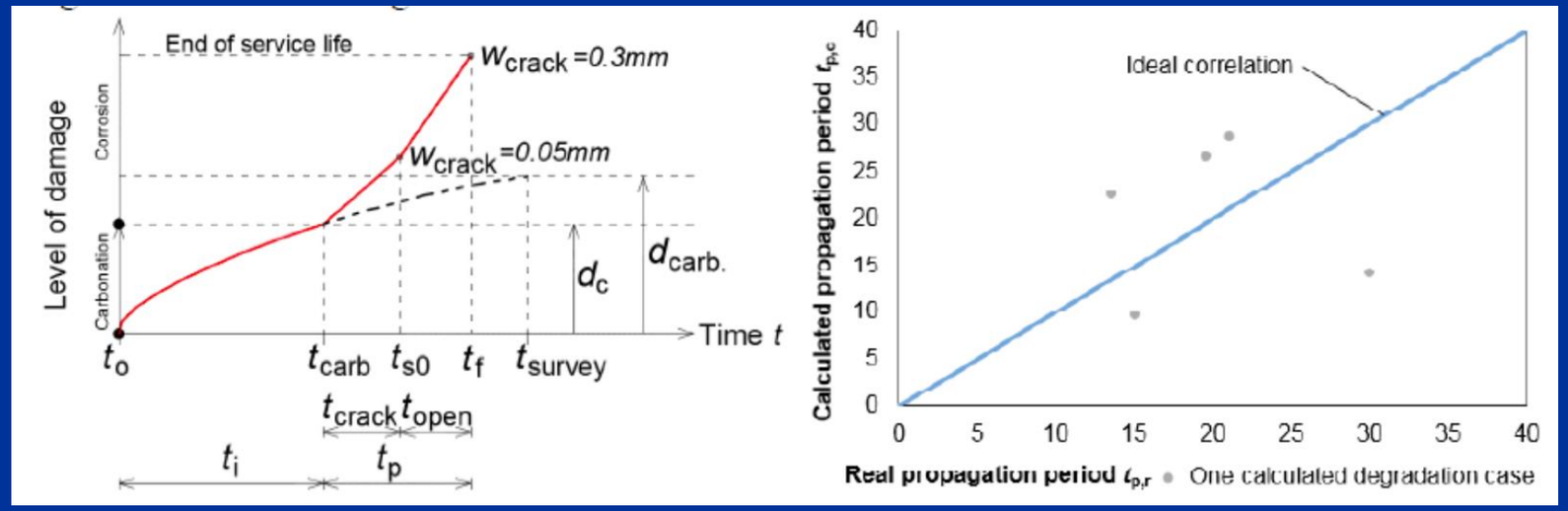



Ilomets, S.; Kalamees, T.; Agasild, T.; Õiger, K.; Raado, L.-M. (2011). Durability of concrete and brick facades of apartment buildings built between 1960-90 in Estonia.
XII DBMC. Portugal, Porto, 1171−1178.

# Betonijulkisivun korroosio



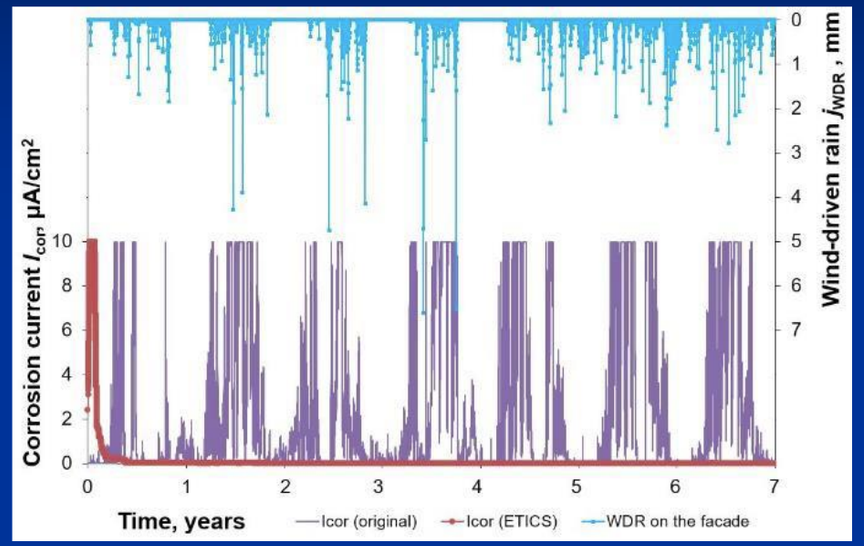


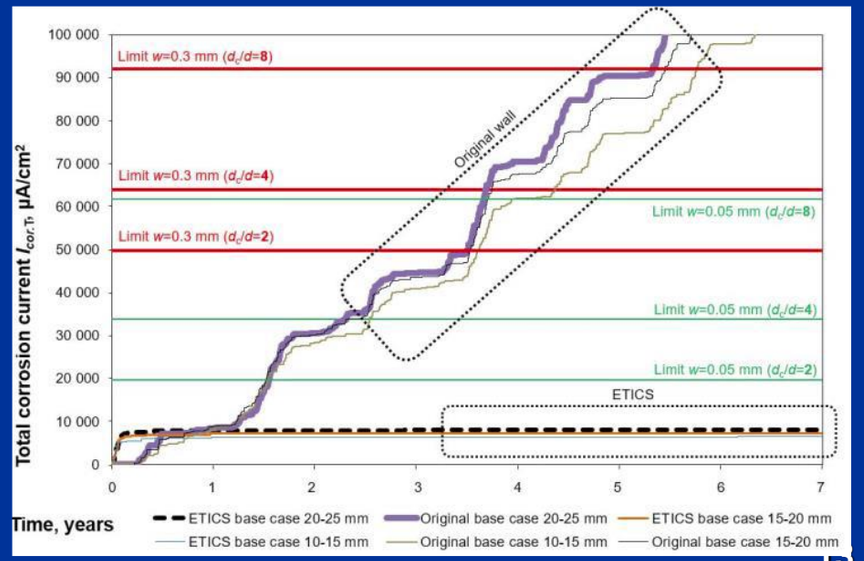
Ilomets, S.; Kalamees, T.; Lahdensivu, J. (2016). Validation of the method to evaluate the corrosion propagation stage by hygrothermal simulation. CESB16, 1113−1120.

# Betonijulkisivun korroosio

- Viistosadeelle altistetun suojaamaton betonijulkisivun korroosion etenemisaika on noin kolmesta kuuteen vuoteen sen jälkeen, kun betonin karbonatisoitumisen syvyys on ulottunut raudoituksen.

- Vanhan betonijulkisivun suojaaminen on välttämätöntä lisävaurioiden estämiseksi

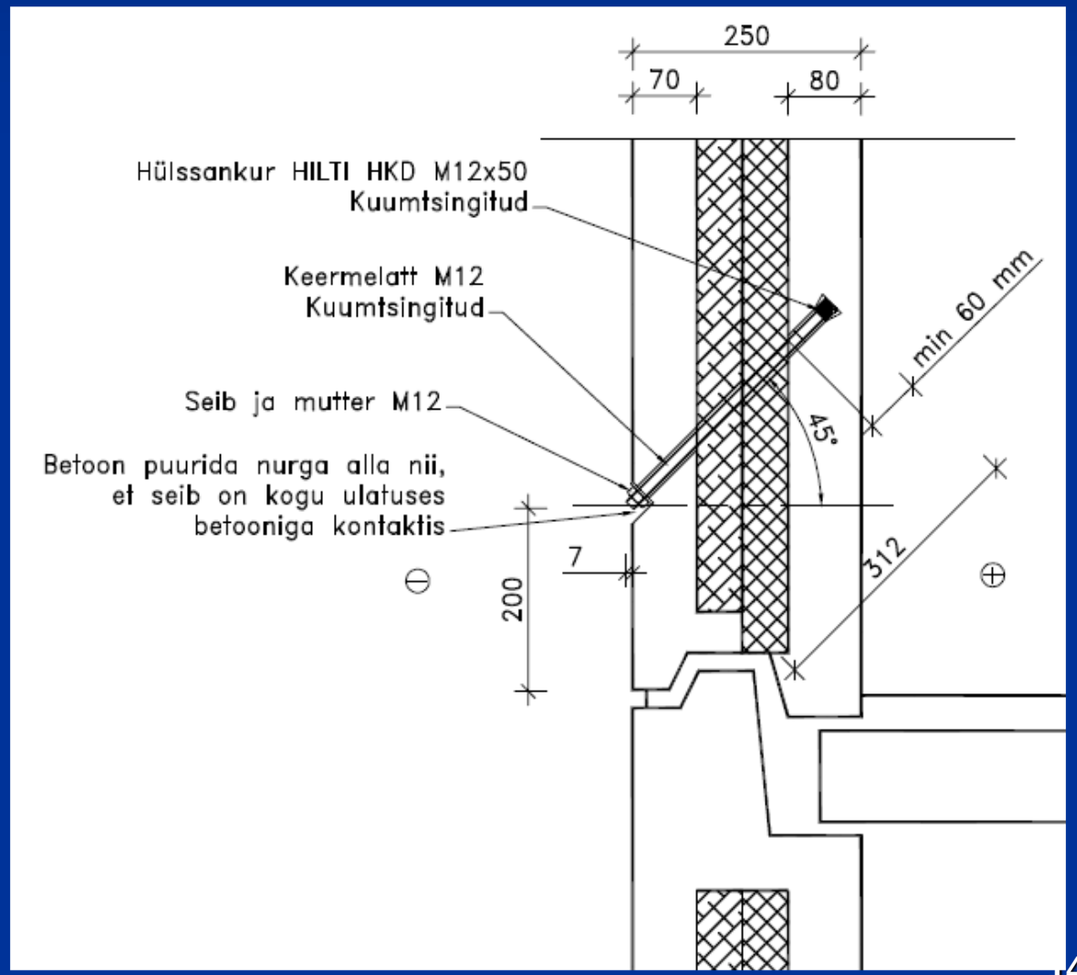



Ilomets, S.; Kalamees, T.; Lahdensivu, J.; Klõšeiko, P. (2016). Impact of ETICS on corrosion propagation of concrete facade. SBE16; Build Green and Renovate Deep, Tallinn and Helsinki. DOI:10.1016/j.egypro.2016.09.101.

# Betonijulkisivun vahvistus

- Ulkokuoren ankkurointi kantavaan seinään on tarpeellista ja todettu luotettavammaksi ratkaisuksi kuin tilastollisesti luotettavan raudoituksen tilanteen tutkiminen saadakseen selville, voiko vahvistuksesta joissakin paikoissa luopua.



# Parvekkeen ja katoksen tilanne ovat vakavia

- Tilanne on erittäin vakava:
  - Raudoituksen korroosio ja betonin vaurioituminen;
  - Katoksen putoaminen (2016);

# Parvekkeen ja katoksen tilanne ovat vakavia

- Tilanne on erittäin vakava:
  - Raudoituksen korroosio ja betonin vaurioituminen;
  - Katoksen putoaminen (2016);
  - Parvekkeen kaiteen putoaminen (2012).

# Yhteenveto julkisivujen peruskorjaus tarpeesta

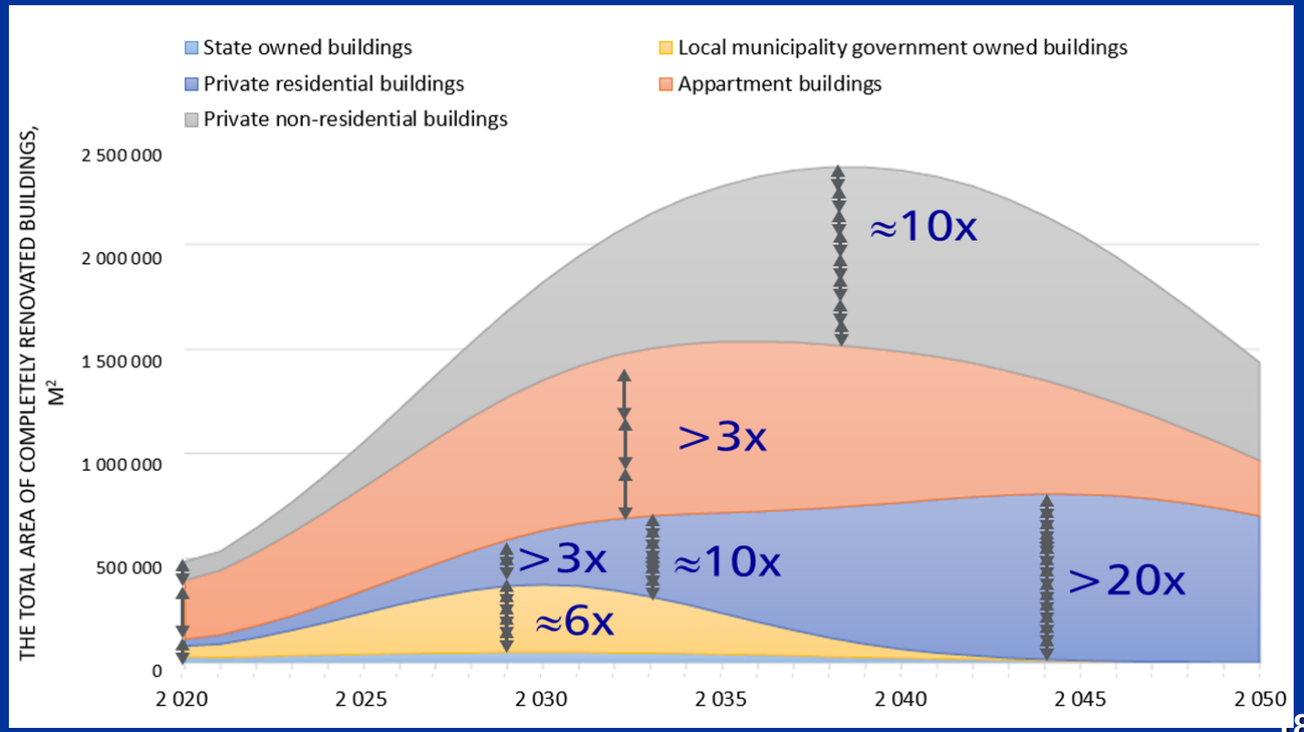
- Iso sisäinen kosteuskuorma (puutteellinen ilmavaihto, iso asumistiheys);
- Ulkovaipassa paljon kriittisiä kylmäsiltoja;
- Betoni ja tiili julkisivun pieni pakkaskestävyys;
- Betonin karbonatisoitumisrintama on saavuttanut raudoituksen;
- Raudoitteiden peitepaksuudet ovat työvirheiden seurauksena lähelle pintaa;

- Julkisivun suojaos ja lisälämmönesitys on Virossa välttämätön:
  - kylmäsiltojen poistamiseksi;
  - rappeutuvan julkisivun suojamiseksi;
  - parveke ja markiisi on ehkä purettava ja rakennettava uudelleen;
  - julkisivun ulkokuoren purkaminen ei ole mahdollista, koska se on sidottu sisäkuoreen.

- Kysymys ei ole "onko se tarpeellista”, vaan "miten”.

# Rakennusten peruskorjaustarve

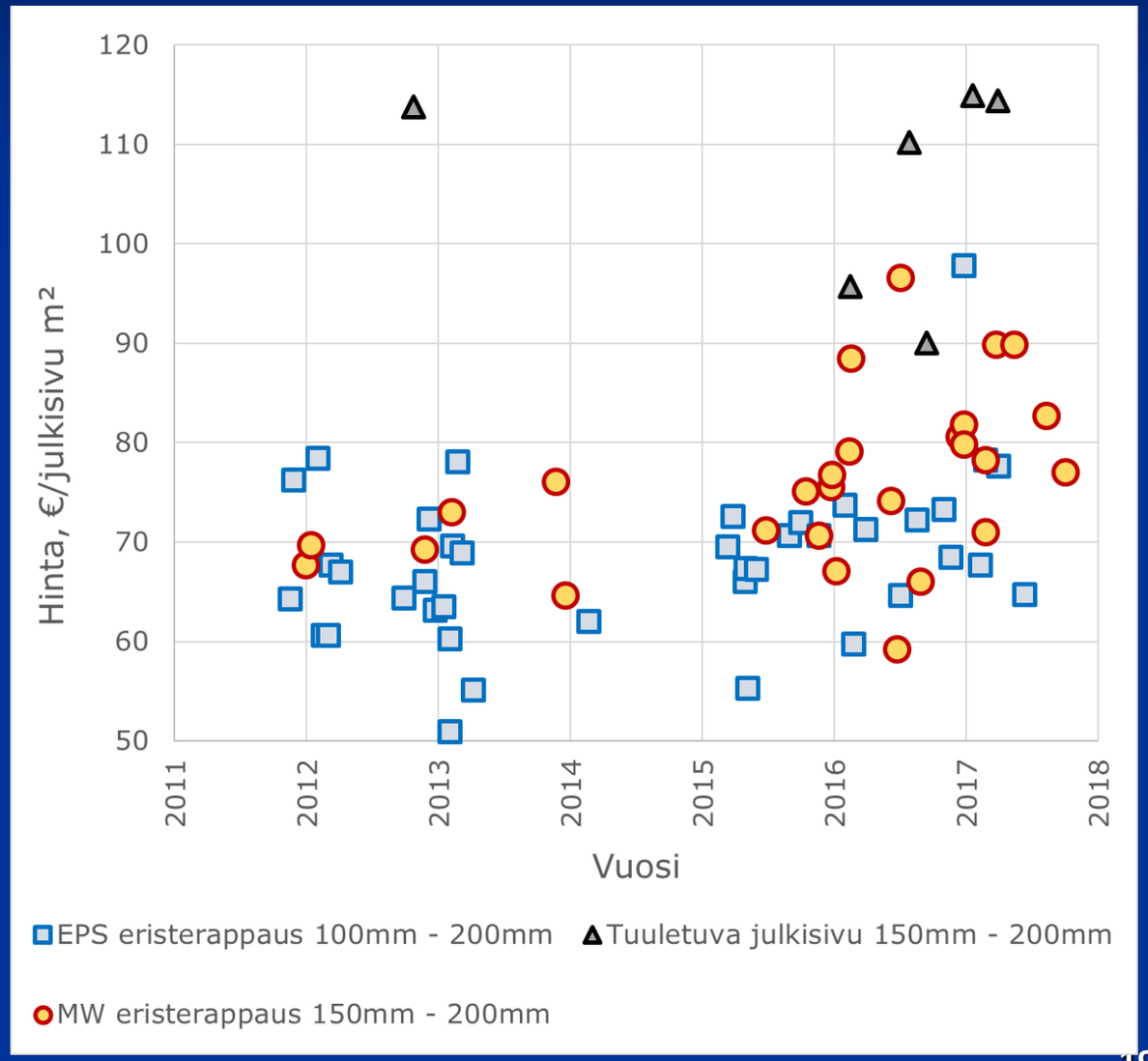
- Viron rakennusten pitkän aikavälin peruskorjausstrategia:
  - tavoite peruskorjattu rakennuskanta (vastaa uuden talon energiatehokkuuden minimivaatimukseen vuonna 2018)
    - 2030 22%,
    - 2040 64%,
    - 2050 100%.
  - ennustaa, että:
    - vuoden aikana peruskorjauksen määrä on noustava keskimäärin viisi kertaa,
    - pientalojen peruskorjauksen määrä on noustava 10-20 kertaa (suurin haaste).
- Peruskorjausstrategia on erittäin suuri haaste, mutta määräaika on pitkä.



# Eristerappaus

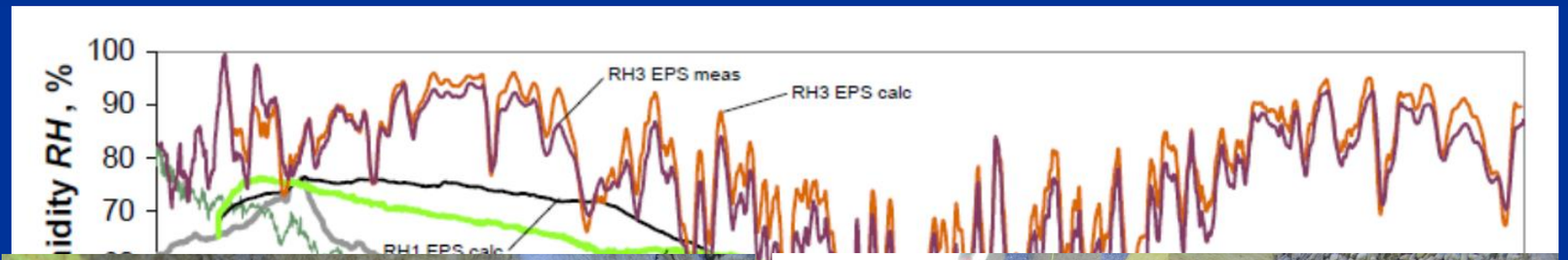
- Yksi yleisimmistä lisäeristysratkaisuista
  - EPS ETICS 70 €/m²
  - MW ETICS 80 €/m²
  - MW Tuulettuva 100 €/m²

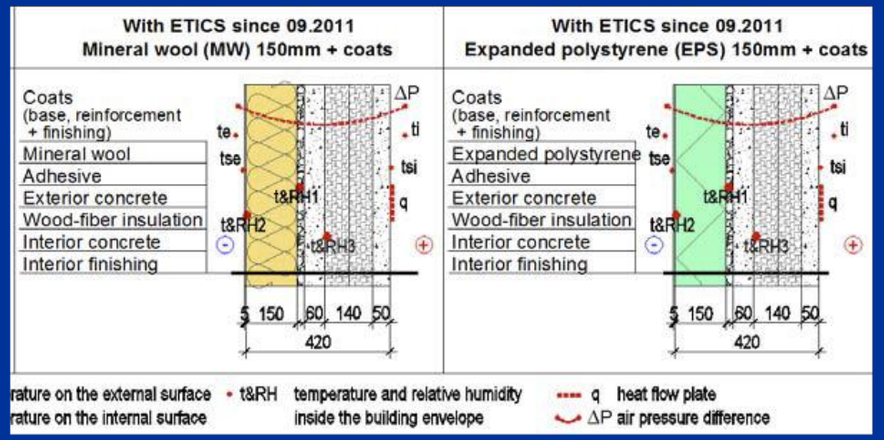
Miller, G.; Lihtmaa, L..; Kalamees, T. (2022). Dynamics of Apartment Building Renovation Investment Costs Based on Estonian Renovation Grant Scheme. CESB22

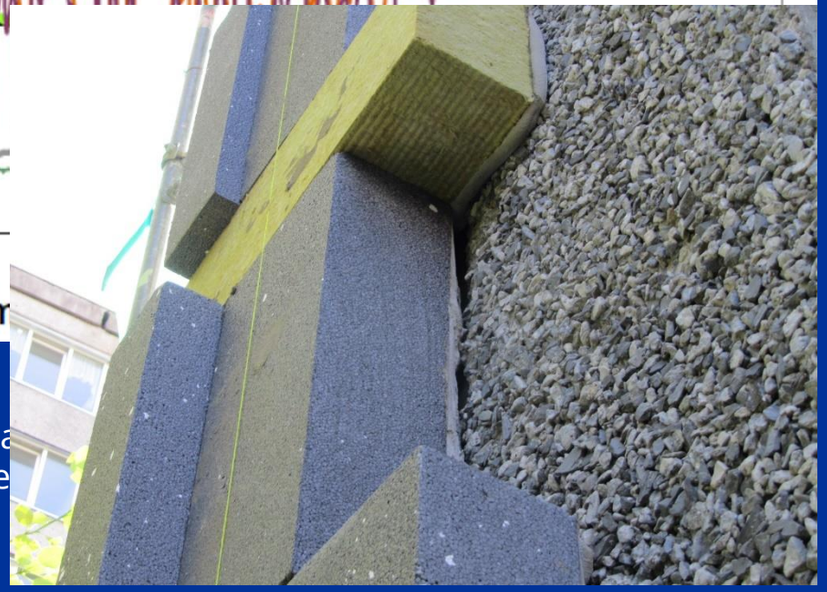


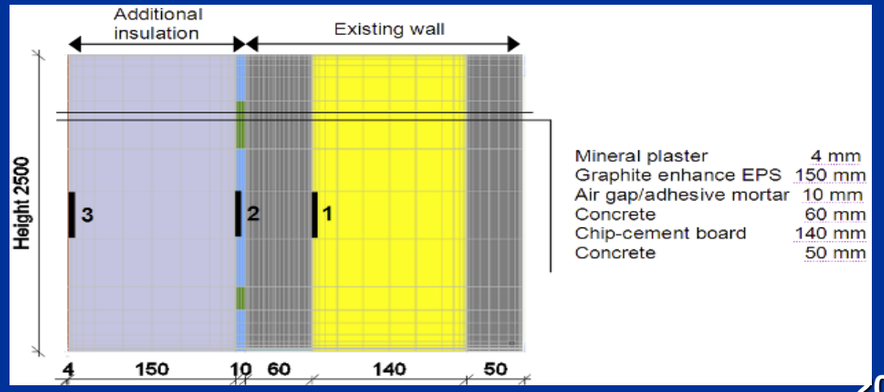
# Eristerappauksen kosteustekninen toimivuus

- Rakentamisen jälkeen (ei rakoja rappauksessa) tilanne hyvä;
- Rakennuskosteus kuivui puolet lämmityskaudesta, noin 3-4 kuukaudessa;



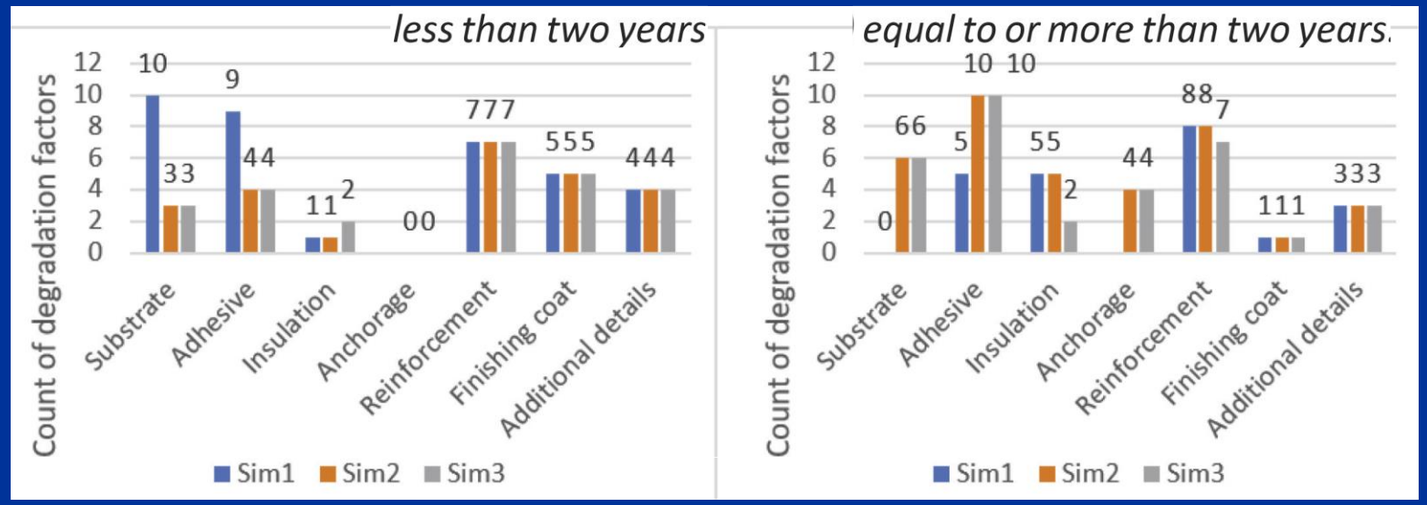







# Eristerappauksen työikä

- Vaatii (perus)korjausta 10-15 vuoden välein
- Tulosten mukaan:
  - 56% näkyviä hajoamismerkkejä näkyy kahden vuoden aikana rakentamisen jälkeen
  - 90% paljastuu viiden vuoden aikana.



Sulakatko, V. 2019 Modelling Construction Process Impact Factors on Degradation of Thin Rendered Facades Doctoral thesis. Tallinn University of Technology

# Eristerappauksen ongelmat

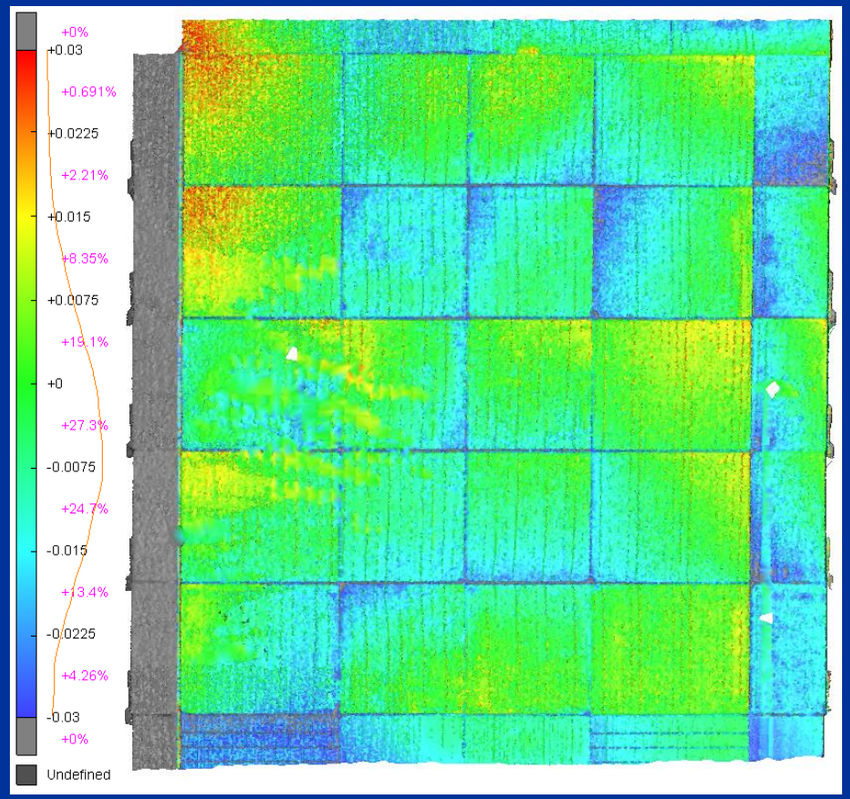
- Sateen aikana vesi valuu alas julkisivun pintaan;
- Kun vesi löytää halkeaman ohutrappauksessa (ja niitä löytyy), valuu vesi rappauksen taakse, eristykseen.
- Ongelmalliset pellitykset ja liitokset.

# Eristerappauksen ongelmat

- Riskirakenne puuseinälle;
- Tuloksena voi olla uuden rakennuksen peruskorjaus heti valmistumisen jälkeen.

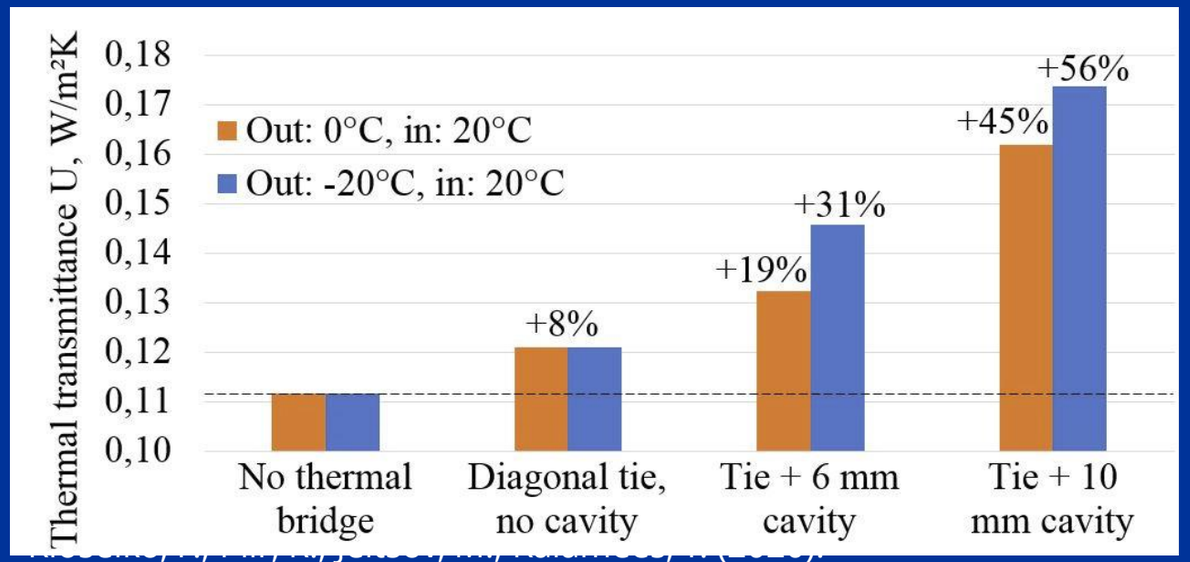
# Eristerappauksen ongelmat

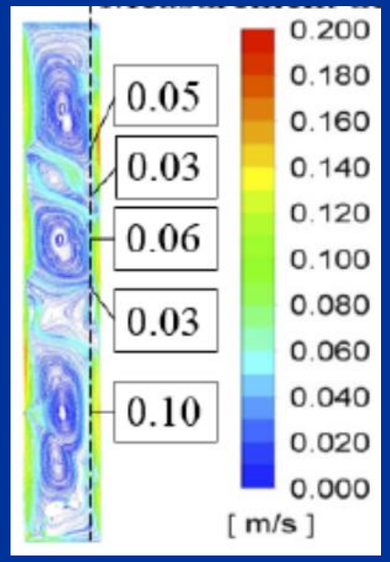
- Ilmarako eristeen ja vanhan seinän välissä



# Eristerappauksen ongelmat

- Ilmaraot eristeen välissä lisäävät lämpöhäviöitä (konvektio, säteily);
- Sama ongelma betonielementeissä.

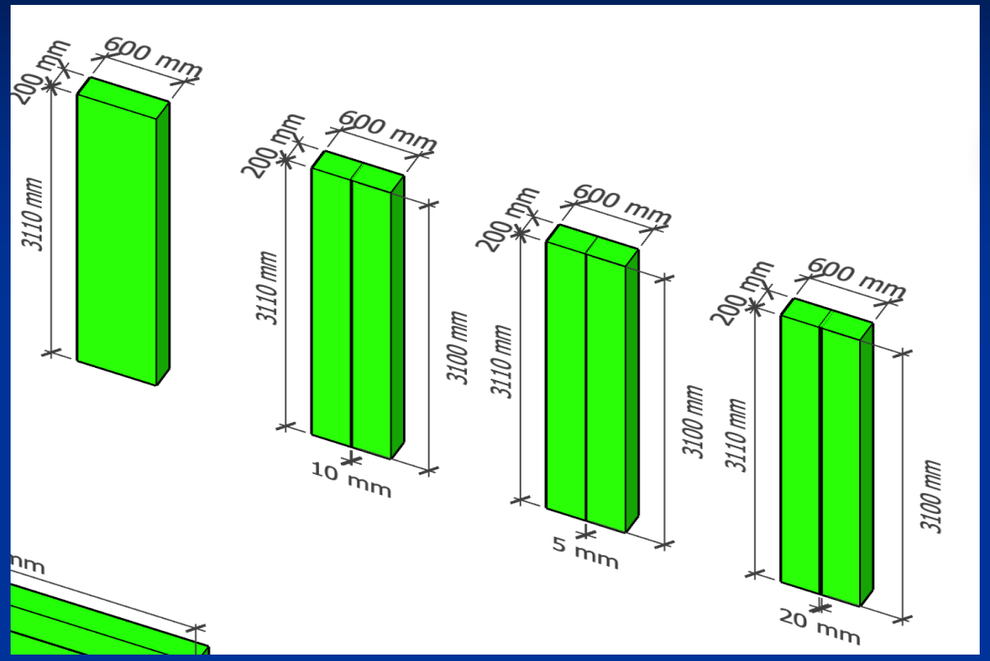


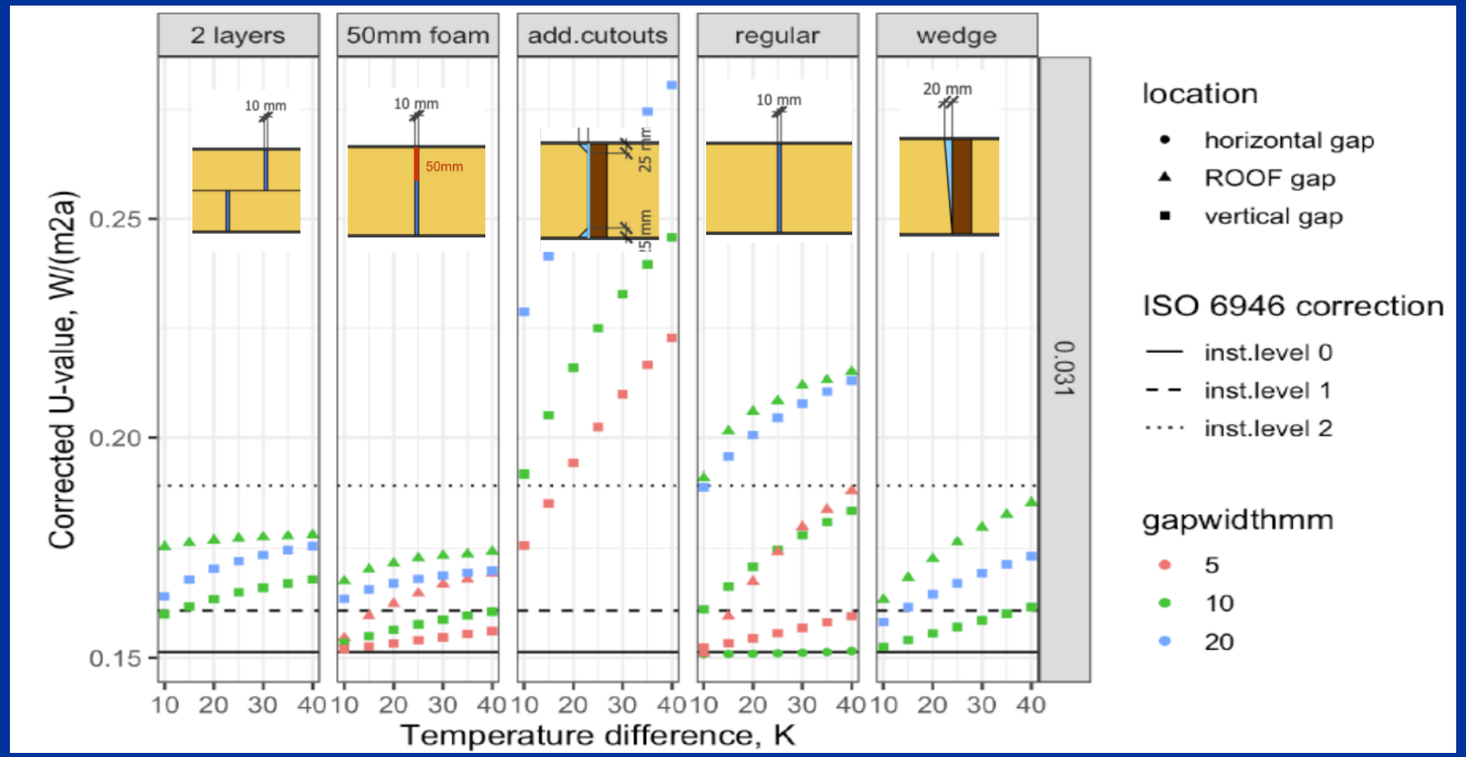



Thermal bridge effect of vertical diagonal tie connectors in precast concrete sandwich panels: an experimental and computational study. NSB 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202017208001.

# Ilmarako eristyksessä

- Ilmaraot eristeen välissä lisäävät lämpöhäviöita
- Laskennallinen analyysi:
  - 3 lämmönjohtavuutta λ 0,019; 0,032; 0,04 W/(m·K);
  - 5 eri raon muotoa ja 3 raon leveyttä.



# Ilmarako eristyksessä

| Raon leveys | Lämmönläpäisykertoimen korjaukset (riipumaton lämmönjohtavuudesta) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Ilmarako on eristeen läpi | | Raossa ~50mm eristevaahdo | |
| | Seinä | Katto | Seinä | Katto |
| 0mm | Rako on mahdotonta rakentajan laadusta riippumatta | | | |
| <5mm | 1 | 2 | 1 | 1 |
| <10mm | 2 | ISO 6946 ulkopuolella | 1 | 2 |
| <20mm | ISO 6946 ulkopuolella | ISO 6946 ulkopuolella | 2 | ISO 6946 ulkopuolella |

**SFS-EN ISO 6946**

**RAKENNUSKOMPONENTIT JA -OSAT. LÄMMÖNJOHTAVUUS JA LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN. LASKENTAMENETELMÄ**

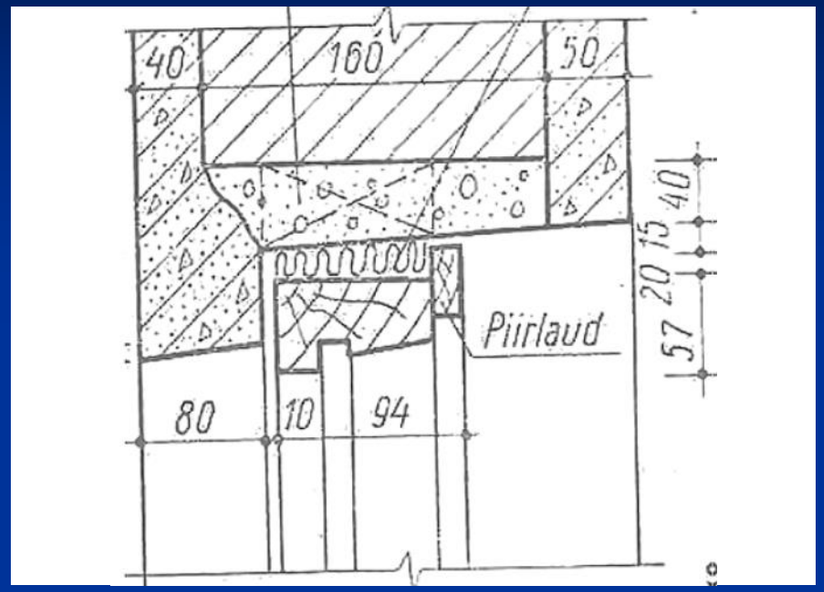
Korjaustekijä $\Delta U_g$ lasketaan kaavasta (D.3)

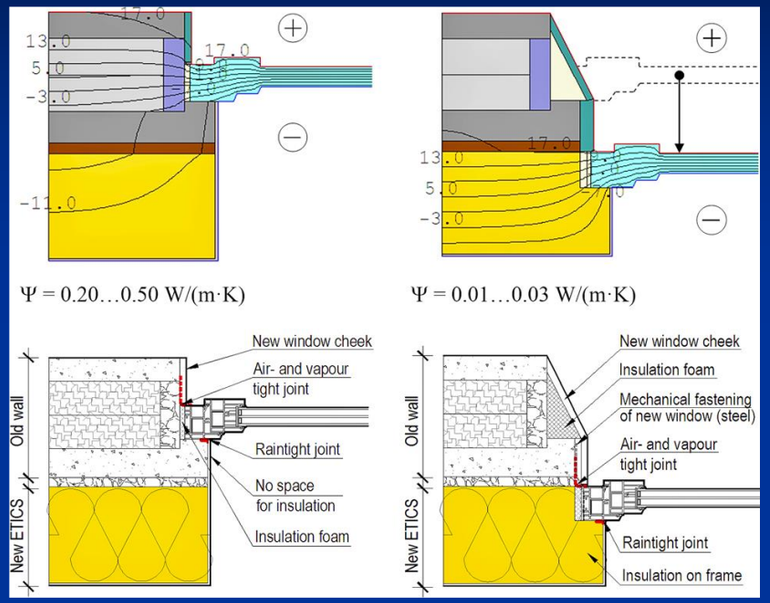
$$\Delta U_g = \Delta U'' \left(\frac{R_I}{R_T}\right)^2 \qquad \text{(D.3)}$$

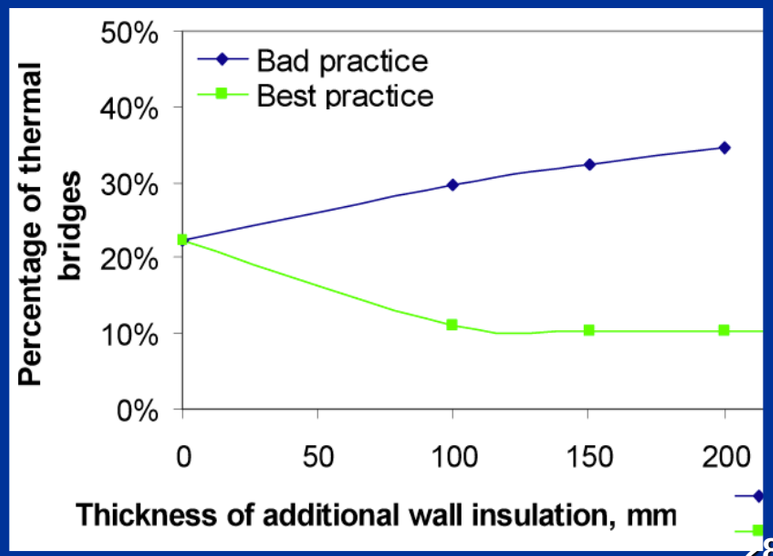
| Taso | $\Delta U''$ W/(m$^2$ K) | Ilmaraon kuvaus |
|---|---|---|
| 0 | 0,00 | Eriste on asennettu siten, että ilman virtaaminen eristeen lämpimällä puolella ei ole mahdollista. Eristekerrosta läpäiseviä ilmarakoja ei ole. |
| 1 | 0,01 | Eriste on asennettu siten, että ilmavirtauksia eristeen lämpimällä puolella ei esiinny. Eristekerrosta läpäiseviä ilmarakoja voi esiintyä. |
| 2 | 0,04 | Ilmavirtaukset eristeen lämpimällä puolella ovat mahdollisia. Eristekerrosta läpäiseviä ilmarakoja voi esiintyä. |

# Ikkunan sijainti eristerappauksessa

- Ikkunan ja seinän liittymässä on kriittinen kylmäsilta;
- Ikkunan reunan lisäeristämiseksi ei ole tila;
- Ikkunoita vaihdettaessa ne on asetettava lisälämpöeristykseen.






Ilomets, S.; Kuusk, K.; Paap, L.; Arumägi, E.; Kalamees, T. (2016). Impact of linear thermal bridges on thermal transmittance of renovated apartment buildings. Journal of Civil Engineering and Management, 1−9. DOI: 10.3846/13923730.2014.976259.

# Rakennusten peruskorjaus

- Valtion tuki 25% tai 35/40% riippuen energiatehokkuudesta
- Alku oli hidasta. Noin kaksi vuotta päästä tasolle 30 hakemusta kuukaudessa.
- Kasvava volyymi – uudet ongelmat:
  - työntekijöiden ja rakennusmateriaalien puute,
  - korjauskustannusten nousu

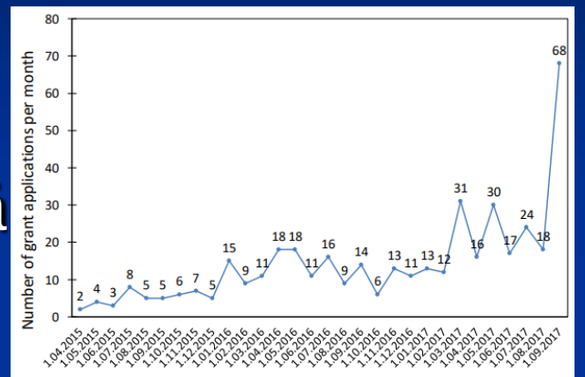
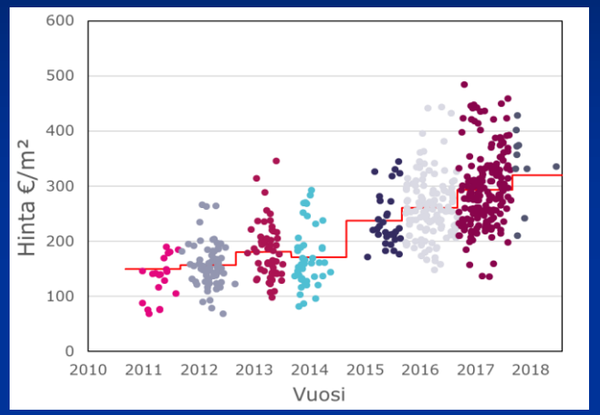
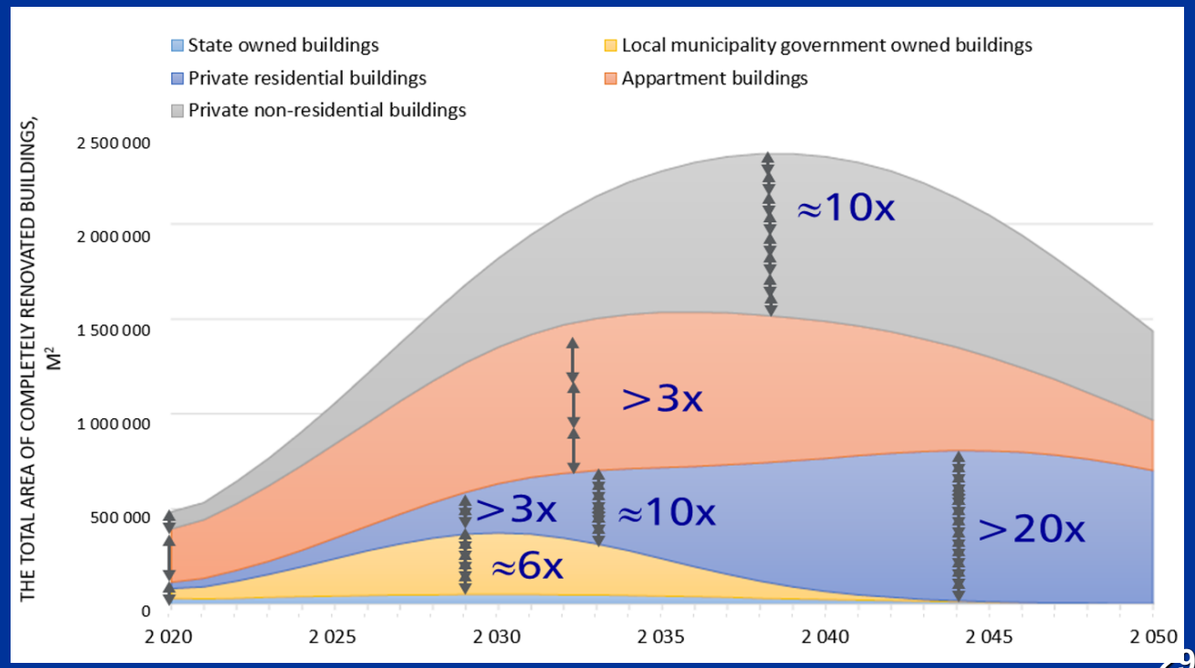



**Fig. 4.** Number of grant applications per month.




Kuusk, K.; Pihelo, P.; Kalamees, T. (2019). Renovation of apartment buildings with prefabricated modular panels. 13th HVAC World Congress, CLIMA 2019. DOI: 10.1051/e3sconf/201911103023.

# Kysyntä - kustannukset

- Käsityö –
  kysynnän kasvaessa tilauksia ei voida täyttää, kustannukset kasvavat
- Teollinen tuotanto – tilausten kasvu sopii, mittakaavaetu vähentää kustannuksia
- Vallankumousta tarvitaan julkisivun korjaukseen

Pääsiäinen, 1900
5th Avenue, New York

Pääsiäinen, 1913
5th Avenue, New York

MORE—
CONNECT
ÕPPEAUTODELE
2017
Akadeemia 5a
Tallinn, Estonia

DRIVE
MANITOU

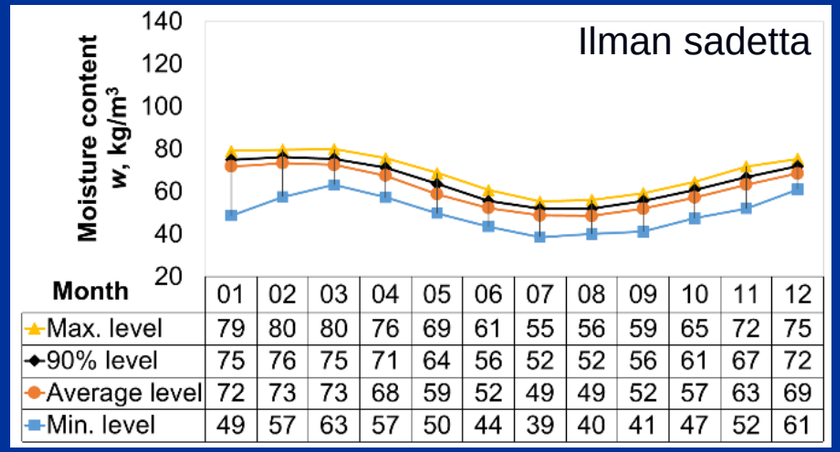
Genie Z-51/30J
MANITOU

# Peruskorjaus 2017

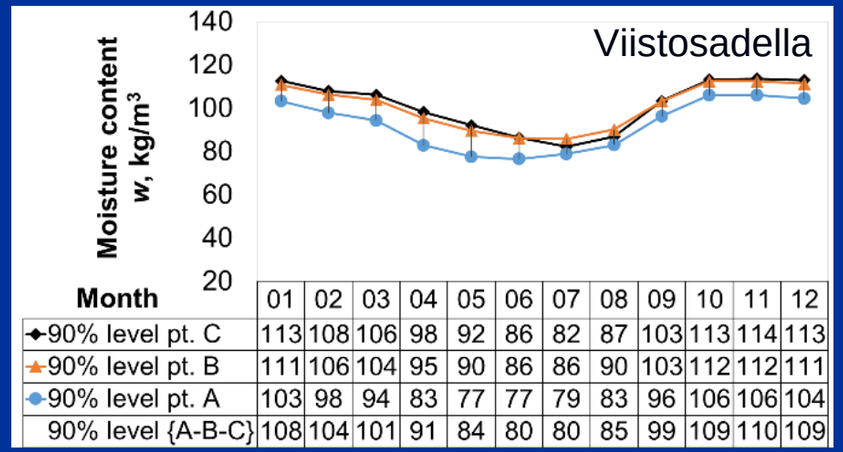
- 2 tarjousta (sisältää ALV):
  - 3,46 milj €
  - 3,56 milj €
- Kustannusten jakautuminen
  - 822€/m$^2$ netopindala kohti, sisältää ALV (kaikki työt)
    - 251€/m$^2$ (sisustus, sisätyöt, 31%)
    - 121€/m$^2$ (kellari, jms, 15%)
    - **334€/m$^2$ (energiatehokkuus, sisäilmasto, 41%)**
    - 116€/m$^2$ (lähesnollaenergiatalo, tutkimusvalmius, 14%)
- Kesto
  - Koko rakennusprosessi: tammikuu - marraskuu 2017
  - Julkisivun valmistelu: toukokuu
  - Elementtien asennus: kesä - elokuu

# Kriittisten jaksojen ja kosteuskuormien arviointi

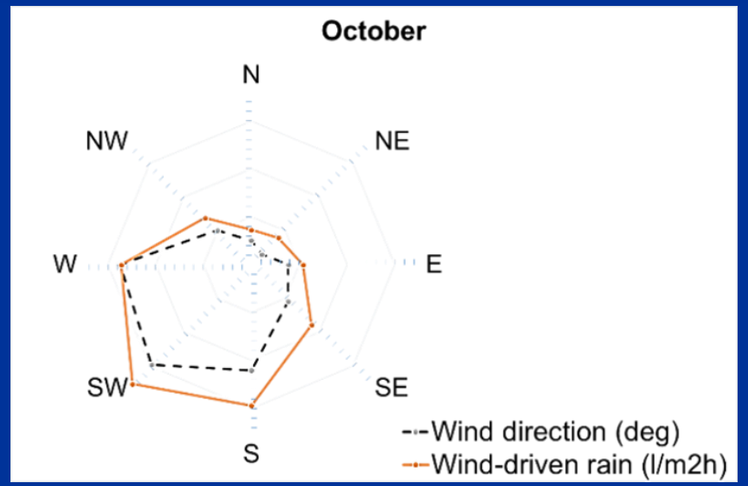
- Lounaissuuntaisen seinän kosteuspitoisuus on noin 20 % korkeampi;
- Kriittisimmät ovat vuoden viimeinen neljännes ja ensimmäiset kuukaudet, jolloin ulkoisen betonilaatan kosteuspitoisuus on korkein:
  - Max. 137 kg/m³,
  - 90% 110 kg/m³

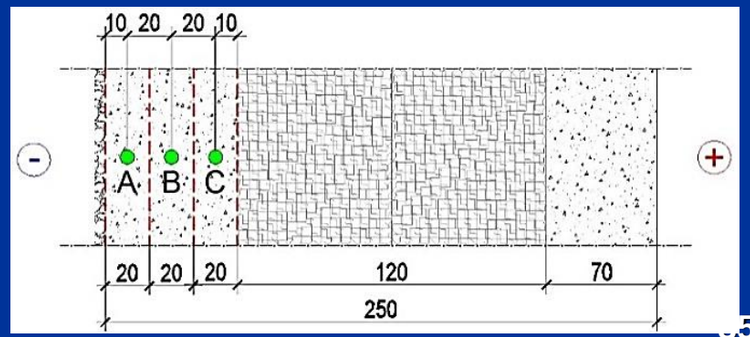



| Month | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Max. level | 79 | 80 | 80 | 76 | 69 | 61 | 55 | 56 | 59 | 65 | 72 | 75 |
| 90% level | 75 | 76 | 75 | 71 | 64 | 56 | 52 | 52 | 56 | 61 | 67 | 72 |
| Average level | 72 | 73 | 73 | 68 | 59 | 52 | 49 | 49 | 52 | 57 | 63 | 69 |
| Min. level | 49 | 57 | 63 | 57 | 50 | 44 | 39 | 40 | 41 | 47 | 52 | 61 |




| Month | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 90% level pt. C | 113 | 108 | 106 | 98 | 92 | 86 | 82 | 87 | 103 | 113 | 114 | 113 |
| 90% level pt. B | 111 | 106 | 104 | 95 | 90 | 86 | 86 | 90 | 103 | 112 | 112 | 111 |
| 90% level pt. A | 103 | 98 | 94 | 83 | 77 | 77 | 79 | 83 | 96 | 106 | 106 | 104 |
| 90% level {A-B-C} | 108 | 104 | 101 | 91 | 84 | 80 | 80 | 85 | 99 | 109 | 110 | 109 |

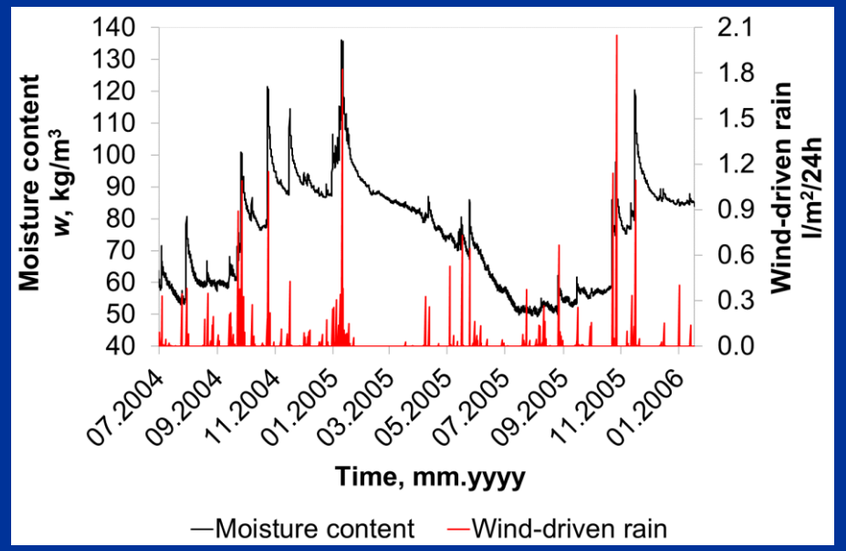


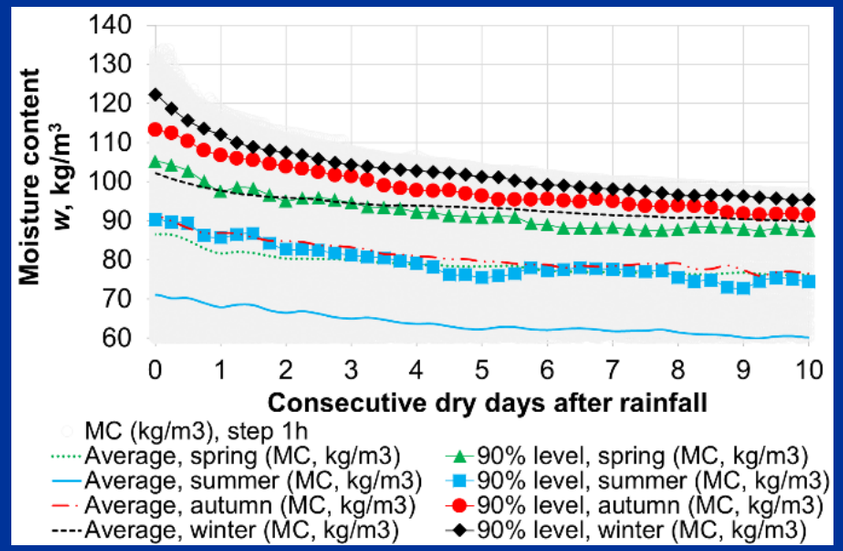



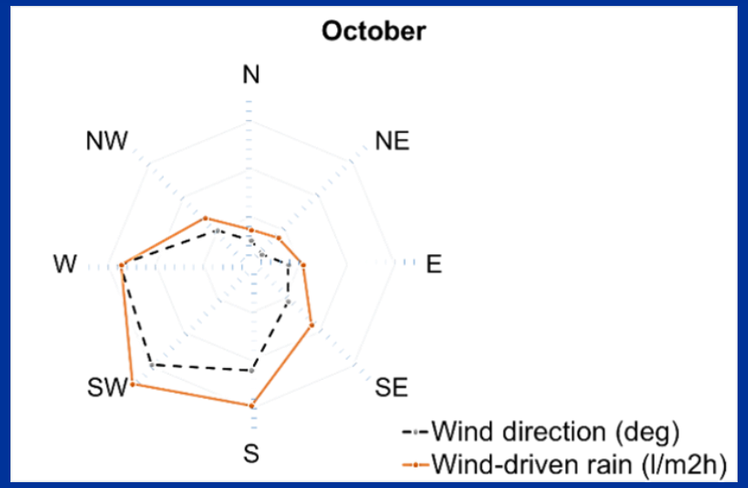

Pihelo, P.; Lelumees, M.; Kalamees, T. (2016). Potential of Moisture Dry-out from Concrete Wall in Estonian Climate. International RILEM Conference Materials, Systems and Structures in Civil Engineering 2016, 289−298.

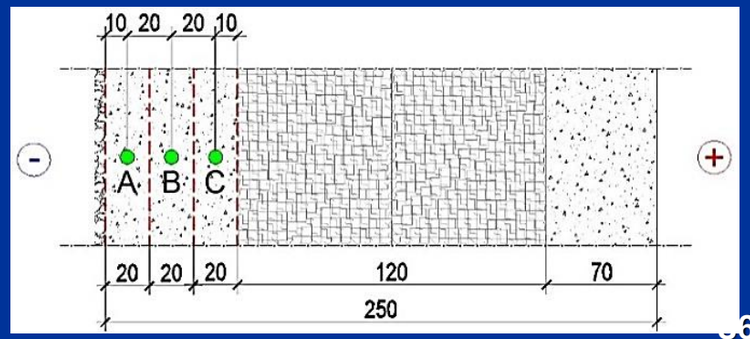
# Kriittisten jaksojen ja kosteuskuormien arviointi

- Betonin kosteuspitoisuus muuttuu huomattavasti sademäärän myötä
- Kuivuminen on suhteellisen nopeaa ensimmäisten 1-2 päivän aikana sateen jälkeen ja käytännössä lähes lakkaa 7-9 päivän kuluttua



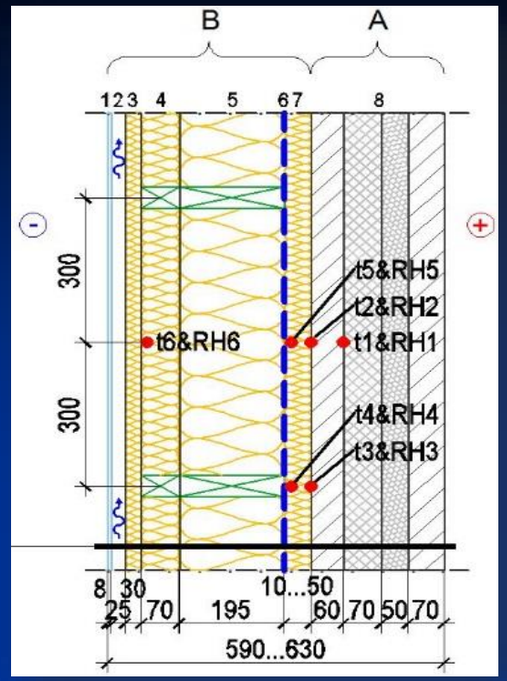



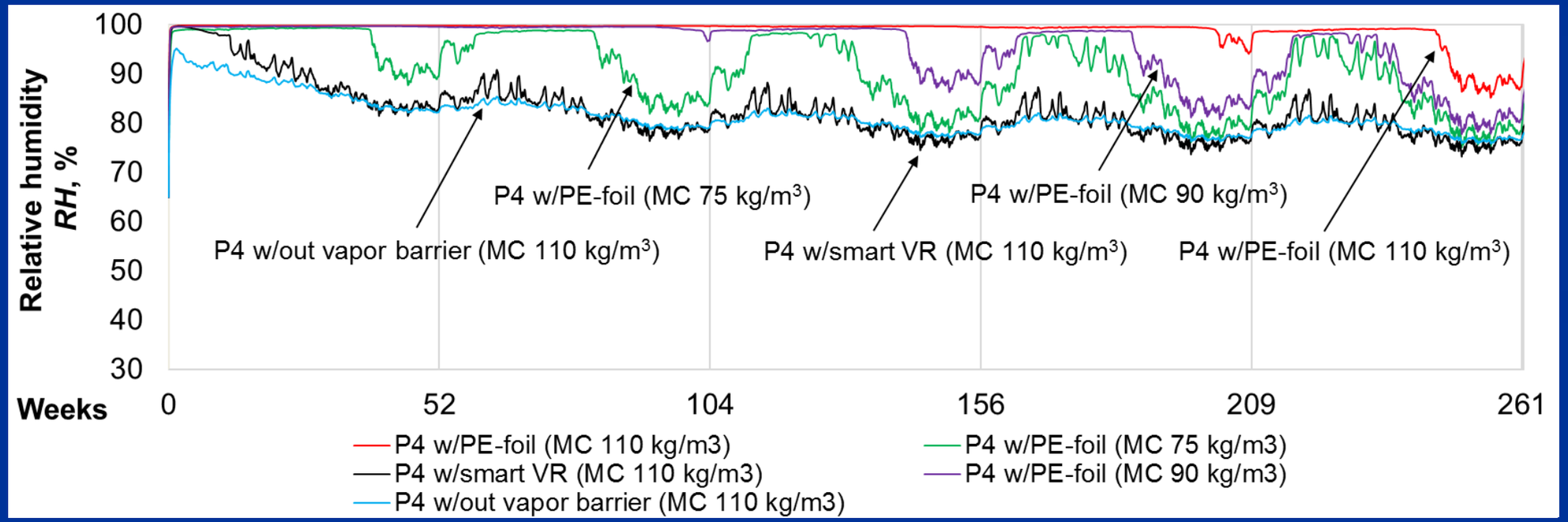



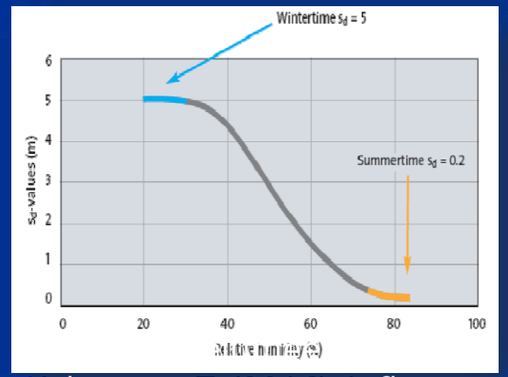

Pihelo, P.; Lelumees, M.; Kalamees, T. (2016). Potential of Moisture Dry-out from Concrete Wall in Estonian Climate. International RILEM Conference Materials, Systems and Structures in Civil Engineering 2016, 289−298.

# Höyry- ja ilmansulku

- Muovi – liian tiivis eristettävä rakenne ei pääse kuivumaan. Sopii jos $w_{bet.} \leq 55$ kg/m$^3$;
- Muuttuva vesihöyryvastus ($0.2\text{m} < S_d < 5\text{m}$) sopii jos $w_{bet.} \leq 110$ kg/m$^3$;
- Puu tai lastulevy 22mm sopii jos $w_{bet} \leq 75$ kg/m$^3$.



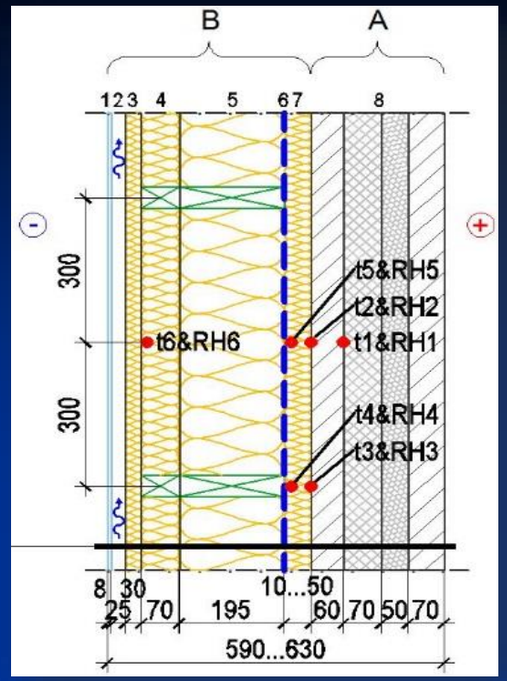




Kalamees, T. (2016). Influence of Moisture Dry-out on Hygrothermal Performance of Prefabricated Modular Renovation Elements. SBE16. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.09.137.

# Kosteustekninen toiminta – betonielementin eristys

- Rakenne on toimiva, jos:
  - betonin kosteuspitoisuus w≤110 kg / m$^3$
  - tuulensuoja on ≥30 mm mineraalivilla, R≥0,8 m$^2$·K/W ja $\delta_p$≥150 × 10$^{-12}$ kg/(m·s·Pa);
  - ilma- ja höyrysulku on kalvo, vaihteleva vesihöyryvastus (0,2m <Sd <5m);
  - homeherkkyjä materiaaleja ei käytetä kosteuskriittisissä paikoissa



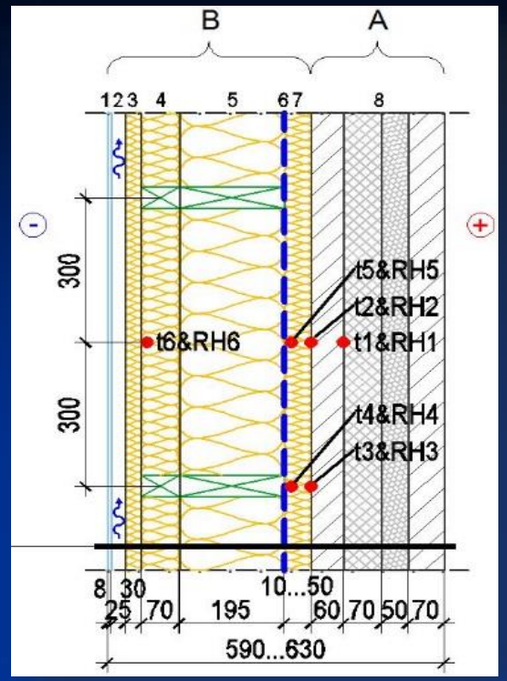

| Analysed point | Installation season of prefabricated insulation elements | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Autumn-Winter | | | Spring | | | Summer | | |
| $S_d$ of vapour barrier (m) | 0 | 0.2 – 5 | ≥50 | 0 | 0.2 – 5 | ≥50 | 0 | 0.2 – 5 | ≥50 |
| Wind barrier – mineral wool board w/special facing 30 mm | | | | | | | | | |
| P3 | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR |
| P4 | S | MR | MR | S | MR | MR | S | MR | MR |
| P5 | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR |
| P6 | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR |
| P7 | S | S | S | S | S | S | S | S | S |
| Wind barrier – fibre cement board 9 mm | | | | | | | | | |
| P3 | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR |
| P4 | S | MR | MR | S | MR | MR | S | MR | MR |
| P5 | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR |
| P6 | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR |
| P7 | S | S | S | S | S | S | S | S | S |

Pihelo, P.; Kuusk, K.; Kalamees, T. (2020). Development and Performance Assessment of Prefabricated Insulation Elements for Deep Energy Renovation of Apartment Buildings. Energies, 13 (7), 1709. DOI: 10.3390/en13071709.

# Kosteustekninen toiminta – betonielementin eristys

- Muut tuulensuojat:
  - D1 – kalvo, D2 - Kipsilevy 9 mm; D3 - kuitusementtilevy 9 mm; D4 - Puukuitulevy 22 mm; D5 - MW tuulensuojalevy 30 mm

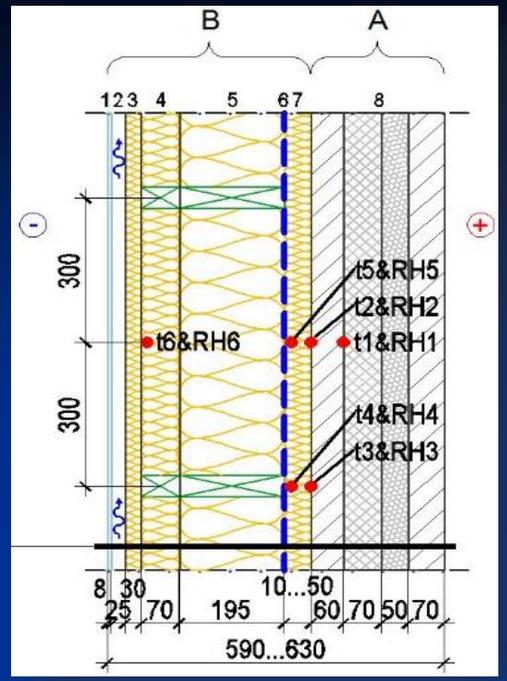
| Wind barrier | Air and vapour barrier | Mould index $M$ (green, yellow, red) with different frame thicknesses at the most critical points (4 or 6) * | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 120 mm | | | 145 mm | | | 195 mm | | |
| | | IMC of the PCLP wall (kg/m$^3$) | | | | | | | | |
| | | 85 | 95 | 110 | 85 | 95 | 110 | 85 | 95 | 110 |
| D1 | B1 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| D2 | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| D3 | 0.2 m ≤ $S_d$ ≤ 5 m | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| D4 | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| D5 | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| D1 | B2 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| D2 | | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| D3 | Without vapour barrier | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| D4 | | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| D5 | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| D1 – D5 | $S_d$ ≥ 50 m | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |




Pihelo, P.; Kuusk, K.; Kalamees, T. (2020). Development and Performance Assessment of Prefabricated Insulation Elements for Deep Energy Renovation of Apartment Buildings. Energies, 13 (7), 1709. DOI: 10.3390/en13071709.

# Kosteustekninen toiminta – kevytbetoniseinän eristys

| Analysed point | Installation season of prefabricated insulation elements | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Autumn-Winter | | | Spring | | | Summer | | |
| $S_d$ of vapour barrier (m) | 0 | 0.2 – 5 | ≥50 | 0 | 0.2 – 5 | ≥50 | 0 | 0.2 – 5 | ≥50 |
| **Wind barrier – mineral wool board w/special facing 30 mm** | | | | | | | | | |
| P3 | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR |
| P4 | S | MR | MR | S | MR | MR | S | MR | MR |
| P5 | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR |
| P6 | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR |
| P7 | S | S | S | S | S | S | S | S | S |
| **Wind barrier – fibre cement board 9 mm** | | | | | | | | | |
| P3 | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR |
| P4 | S | MR | MR | S | MR | MR | S | MR | MR |
| P5 | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR |
| P6 | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR |
| P7 | S | S | S | S | S | S | S | S | S |
| **Wind barrier – gypsum board without paper surface 9 mm** | | | | | | | | | |
| P3 | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR |
| P4 | S | MR | MR | S | MR | MR | S | MR | MR |
| P5 | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR |
| P6 | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR |
| P7 | S | S | S | S | S | S | S | S | S |
| **Wind barrier – oriented strand board (OSB) 12 mm** | | | | | | | | | |
| P3 | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR |
| P4 | S | MR | MR | S | MR | MR | S | MR | MR |
| P5 | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR | MR |
| P6 | S | S | S | S | S | S | S | S | S |
| P7 | S | S | S | S | S | S | S | S | S |



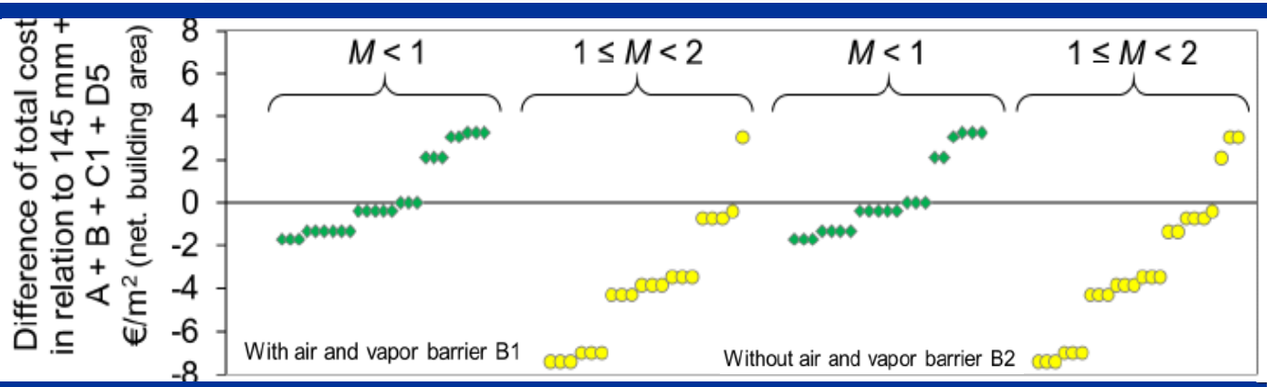

Pihelo, P.; Kalamees, T. (2020). Development of prefabricated insulation elements for buildings with aerated autoclaved concrete walls. 12th NSB 2020 DOI: 10.1051/e3sconf/202017218001.

# Kustannus

- Julkisivu ±13%–15%;
- Tuulensuoja ±5%–6%;
- Eriste ±1%;
- Halvempi tuulisuoja on teknisesti merkittävästi riskialttiimpi kosteusteknisen toiminnan kannalta

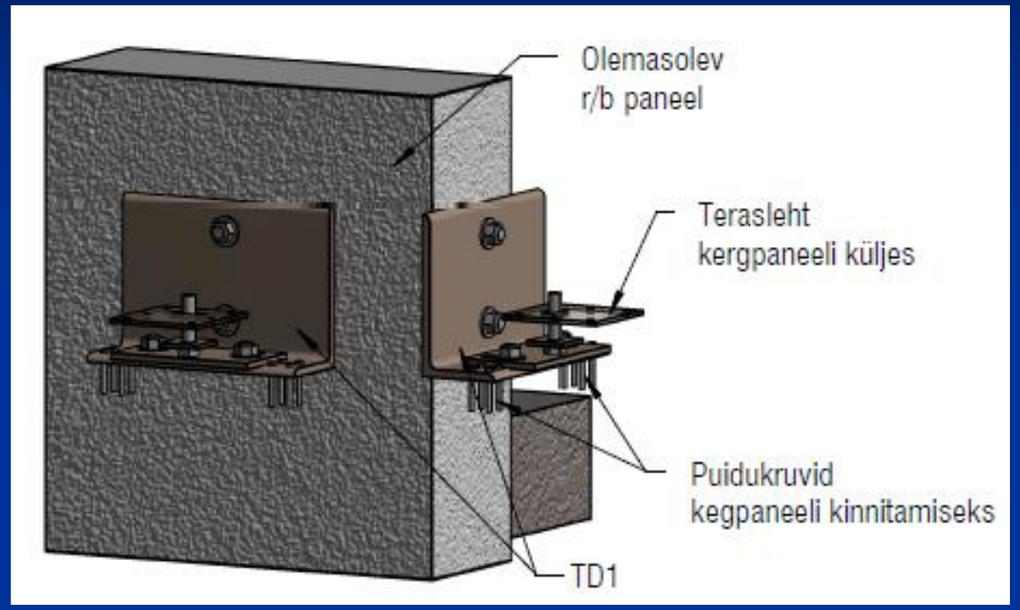
| | Unit Price of Element, €/m² (Frame Thickness, Layer C1 or C2) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 120 mm | | 145 mm | | 195 mm | |
| | MW | CW | MW | CW | MW | CW |
| Kalvo | 88 | 85 | 90 | 87 | 96 | 93 |
| Kipsilevy | 93 | 90 | 95 | 92 | 101 | 98 |
| Kuitusementtilevy | 96 | 93 | 98 | 95 | 105 | 102 |
| Puukuitu | 98 | 95 | 100 | 97 | 107 | 104 |
| Mineraalivilla | 100 | 97 | 102 | 99 | 108 | 105 |

| | Unit Price of Facade, €/m² | Maintenance Cost, €/m² | Maintenance Interval, Years |
|---|---|---|---|
| Puuverhous | 18 | 15 | 15 |
| Muoviverhous | 22 | 5 | 15 |
| Teräslevy | 35 | 15 | 15 |
| Kuitusementtilevy | 54 | 5 | 25 |
| Kivi | 55 | 5 | 25 |
| Rappauslevy | 56 | 15 | 20 |

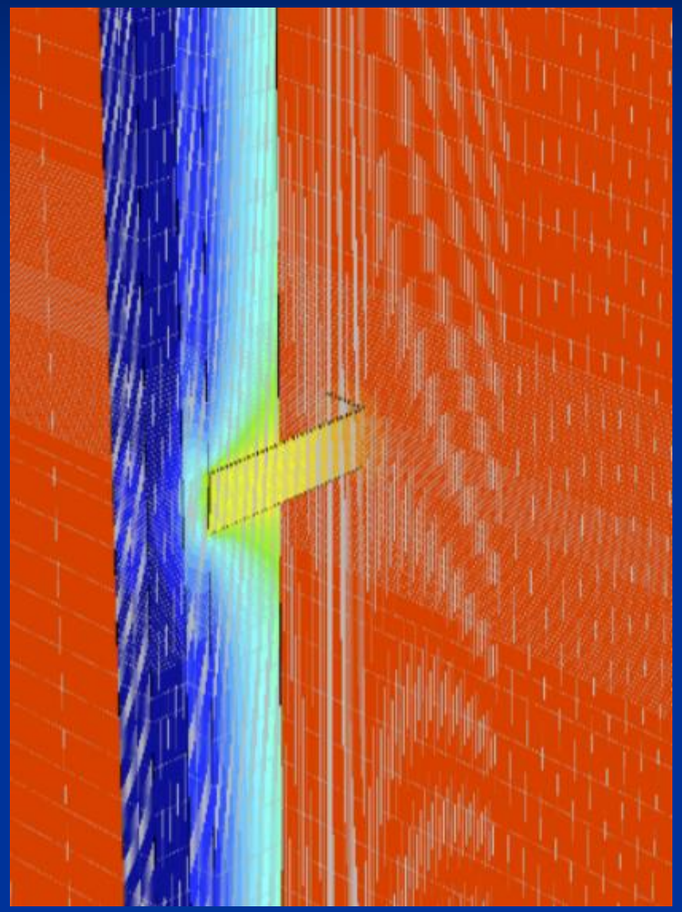


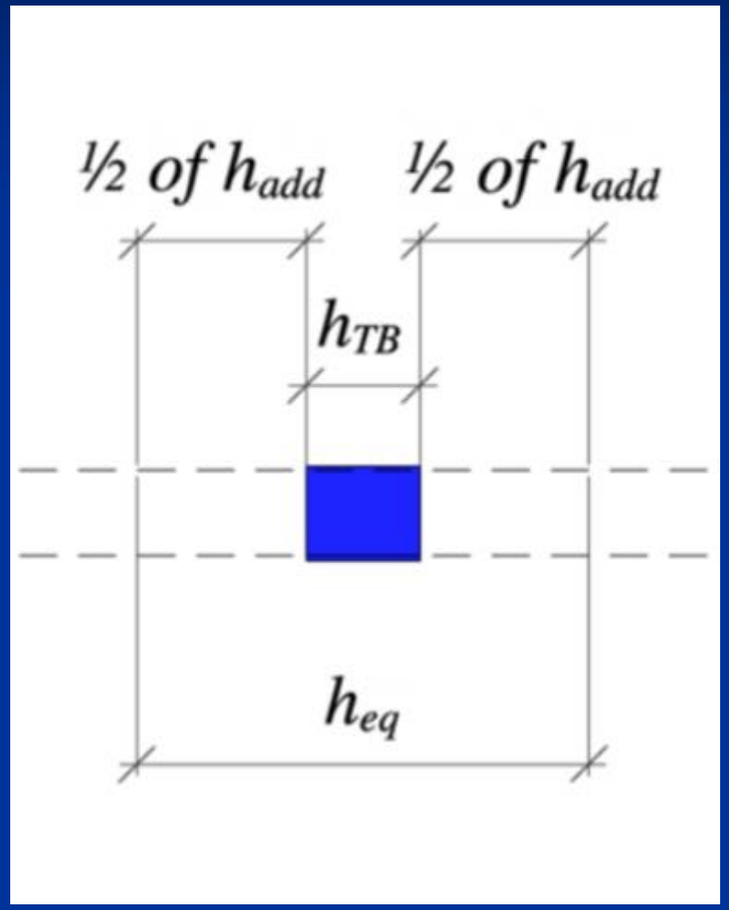

Pihelo, P.; Kuusk, K.; Kalamees, T. (2020). Development and Performance Assessment of Prefabricated Insulation Elements for Deep Energy Renovation of Apartment Buildings. Energies, 13 (7), 1709. DOI: 10.3390/en13071709.

# Kylmäsilta kiinnikeista?



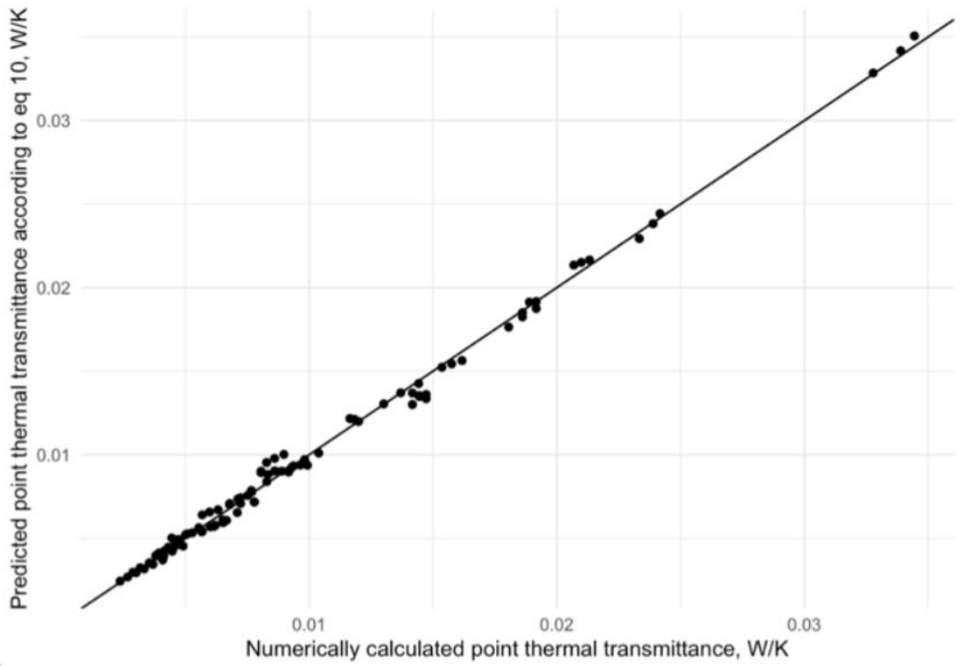
# 3D kiinnikkeen laskenta 2D ohjelmalla






$$\chi = (h_{add} + h_{TB}) \cdot (L_{2D} - L_{2Dref})$$

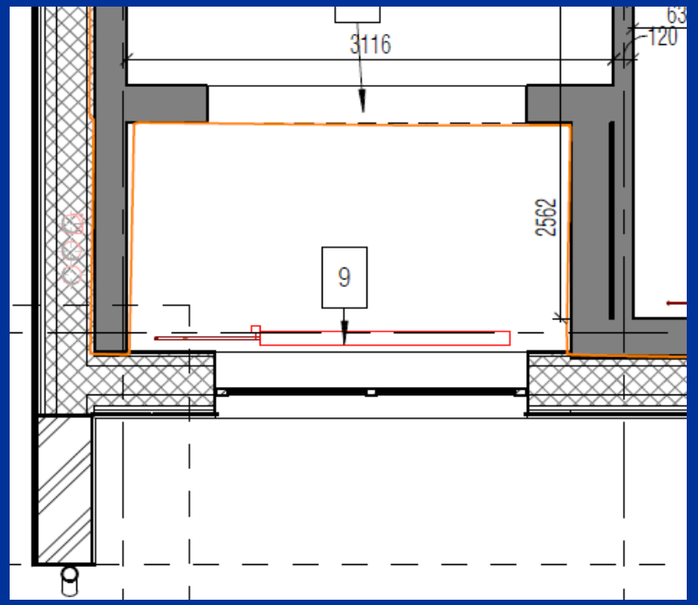
$$h_{add} = -1.078 \cdot 10^{-1} \cdot (L_{2D} - L_{2Dref}) + 1.732 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda_{TB} + 1.480 \cdot 10^{-1} \cdot h_{TB} + 4.162 \cdot 10^{-1} \cdot R_{el} \cdot (L_{2D} - L_{2Dref}) + 2.529 \cdot 10^{-2}$$



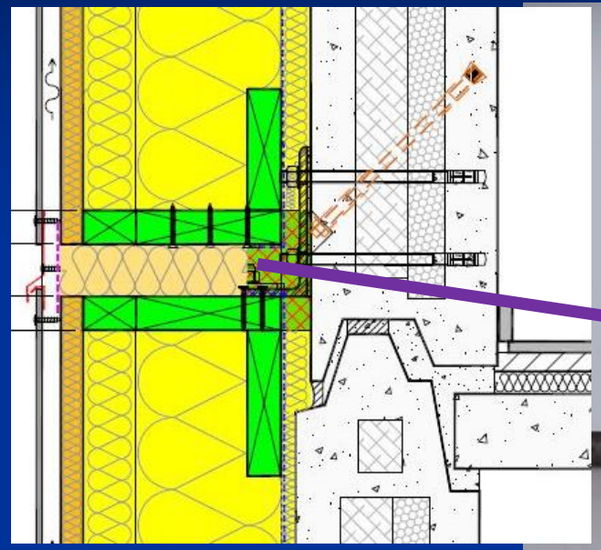

Hallik, J.; Kalamees, T. (2020). A new method to estimate point thermal transmittance based on combined two-dimensional heat flow calculation. 12th NSB 2020, DOI: 10.1051/e3sconf/202017208005.

# Parvekkeesta tulee sisätila

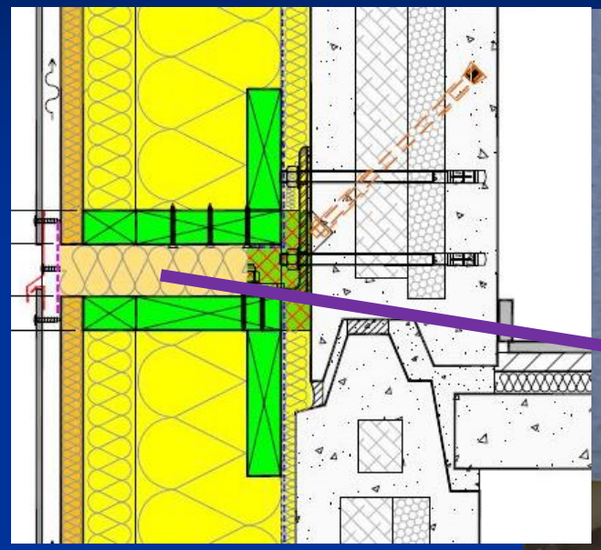
- Teollinen peruskorjaus
- Kylmäsiltojen poistaminen



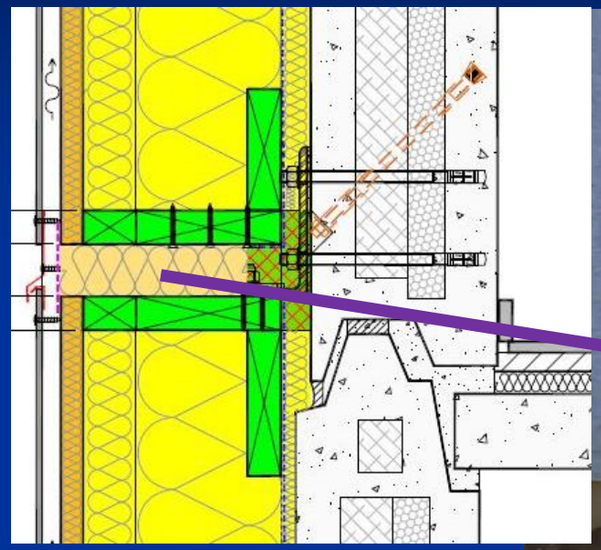
# Saumojen tiivistäminen



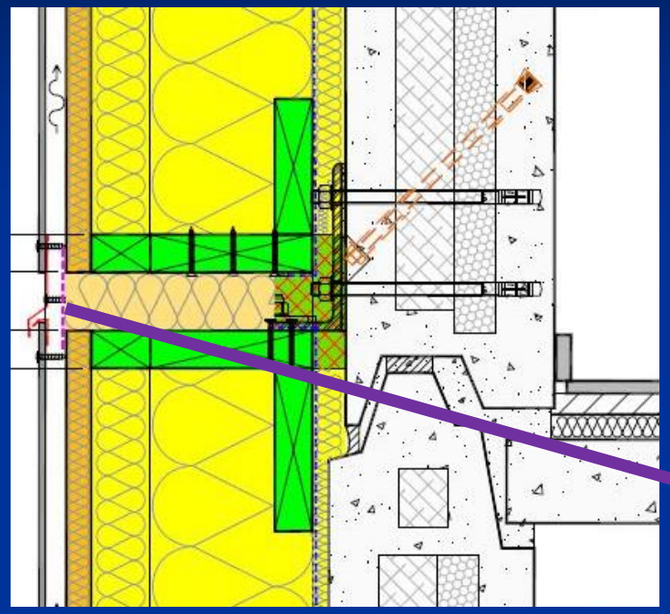
# Saumojen tiivistäminen



# Saumojen tiivistäminen

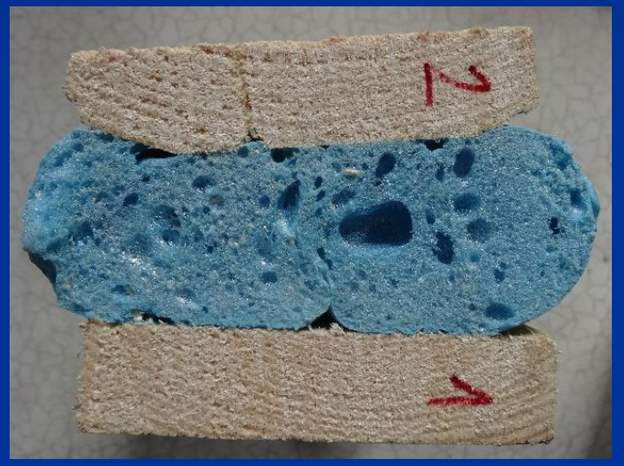


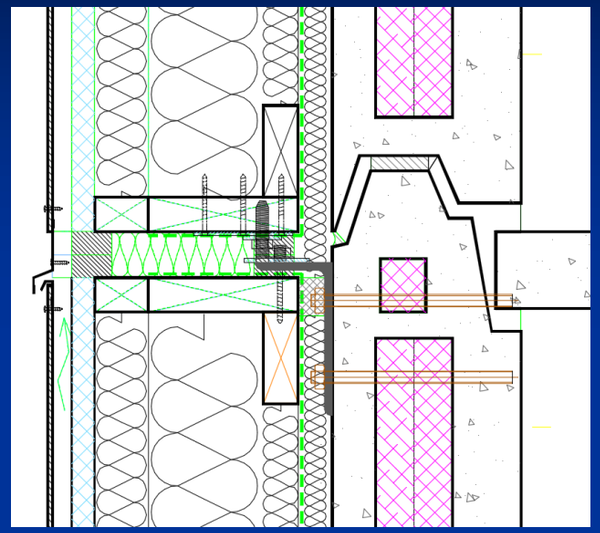
# Saumojen tiivistäminen



# PU vaahton ilmäpitävyys?

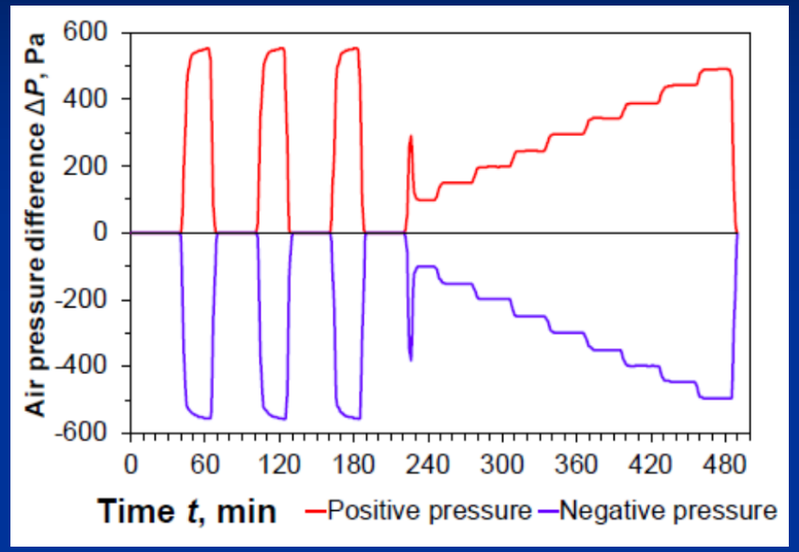
- Paikat, joita ei saa teipata

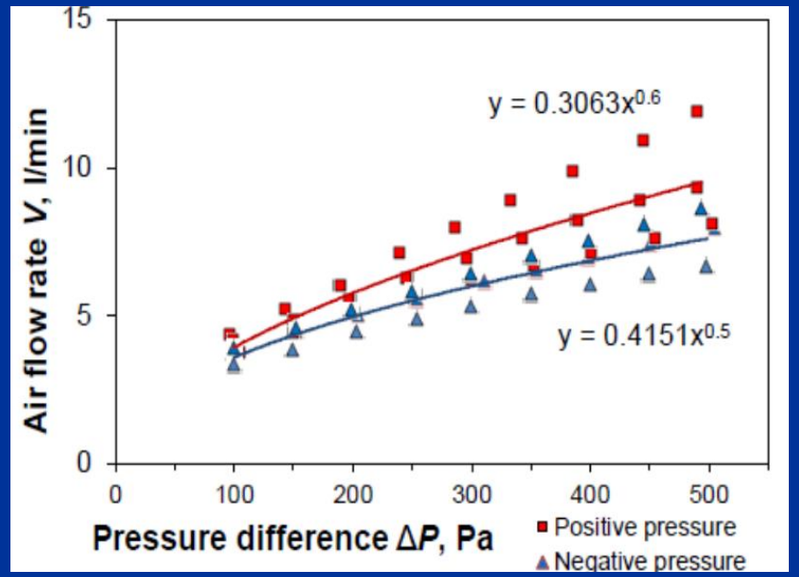




# PU vaahtotetun raon ilmäpitävyys

- 2 raon leveyttä
- 3 raon pintaa
- 3 vaahtoa
- Ammattimaiset työnteijat

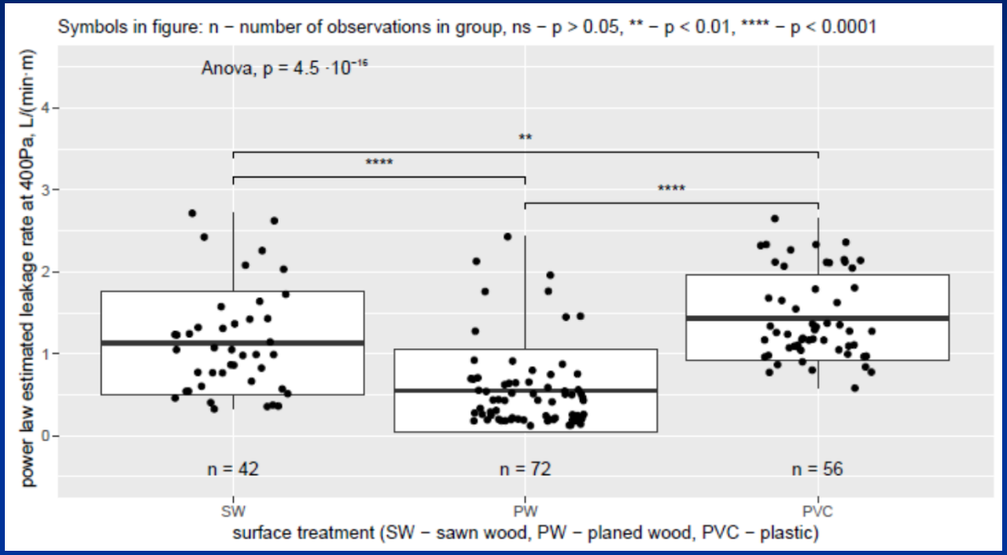


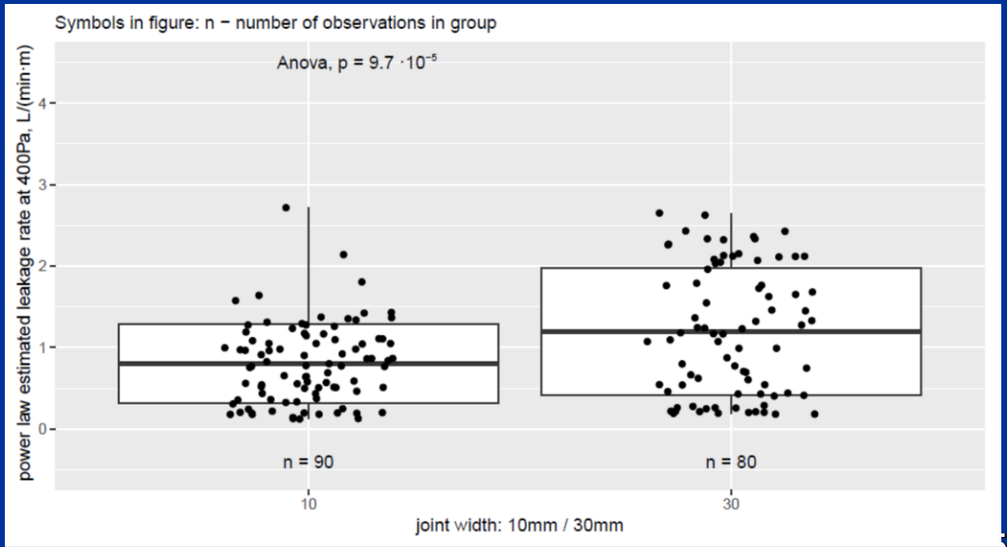


Hallik, J.; Gustavson, H.; Kalamees, T. (2019). Air Leakage of Joints Filled with Polyurethane Foam. Buildings, 9 (7), 172. DOI: 10.3390/buildings9070172.

# PU vaahtotetun raon ilmäpitävyys

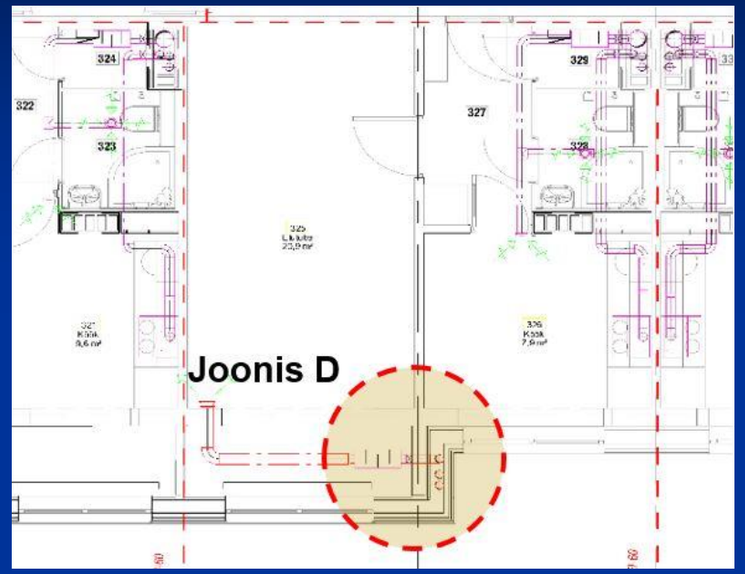
- Sahatavaran pintaviimeistelyllä vaahto-täytettyjen liitosten ilmatiiviys voi olla hyvin vaihtelevaa ja vikaantumisaste jopa 50%;
- Höylättyjen puupintojen vaahtotäytteisten saumojen ilmatiiviys on parempi, ja niille on ominaista paljon alhaisemmat keskimääräiset ilmavuodot ja 0% vikaantumisaste;
- Kapeampi liitosten on ilmatiivimpi;
- Ikääntymisen vaikutuksia ei ole tutkittu.

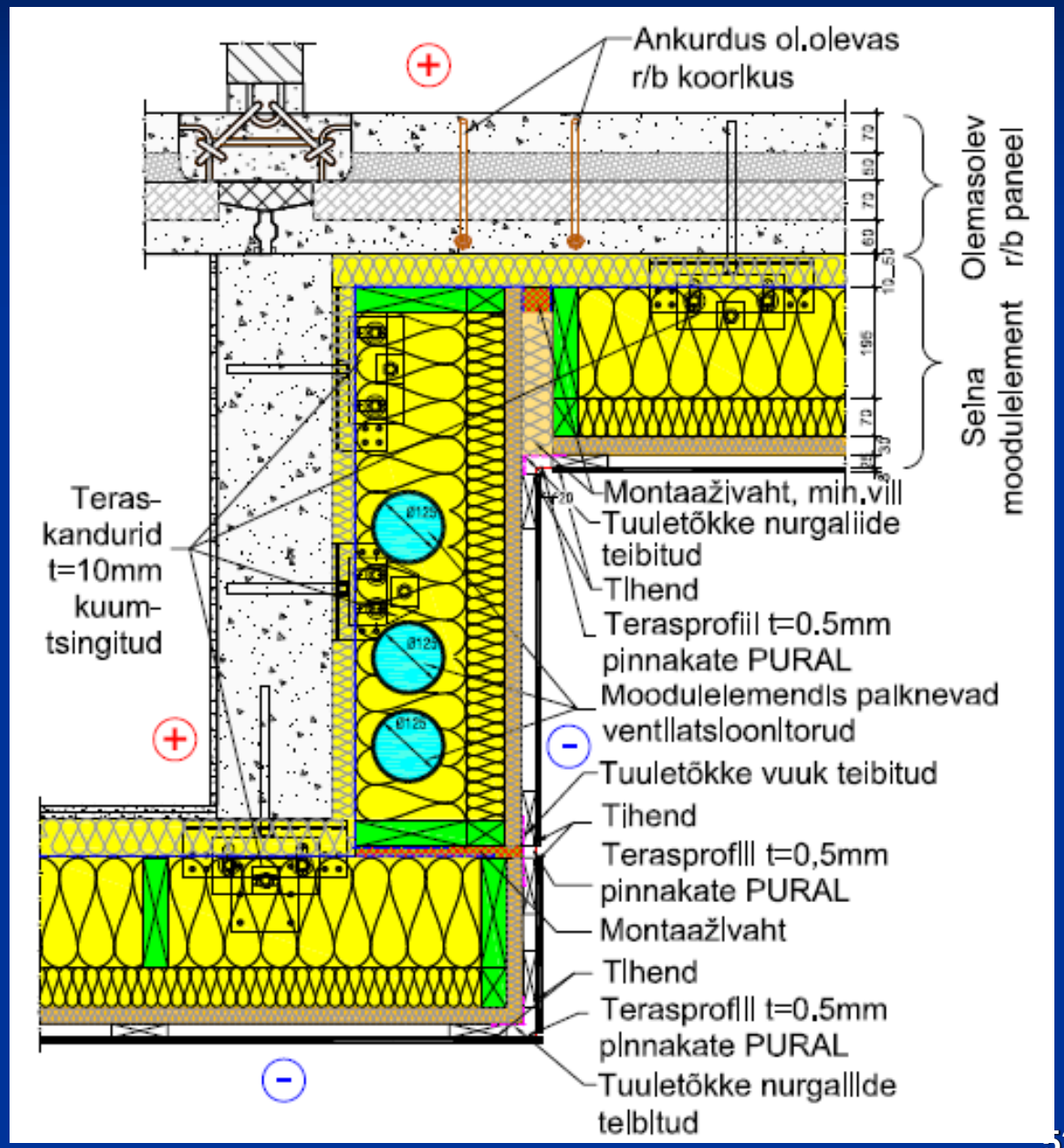


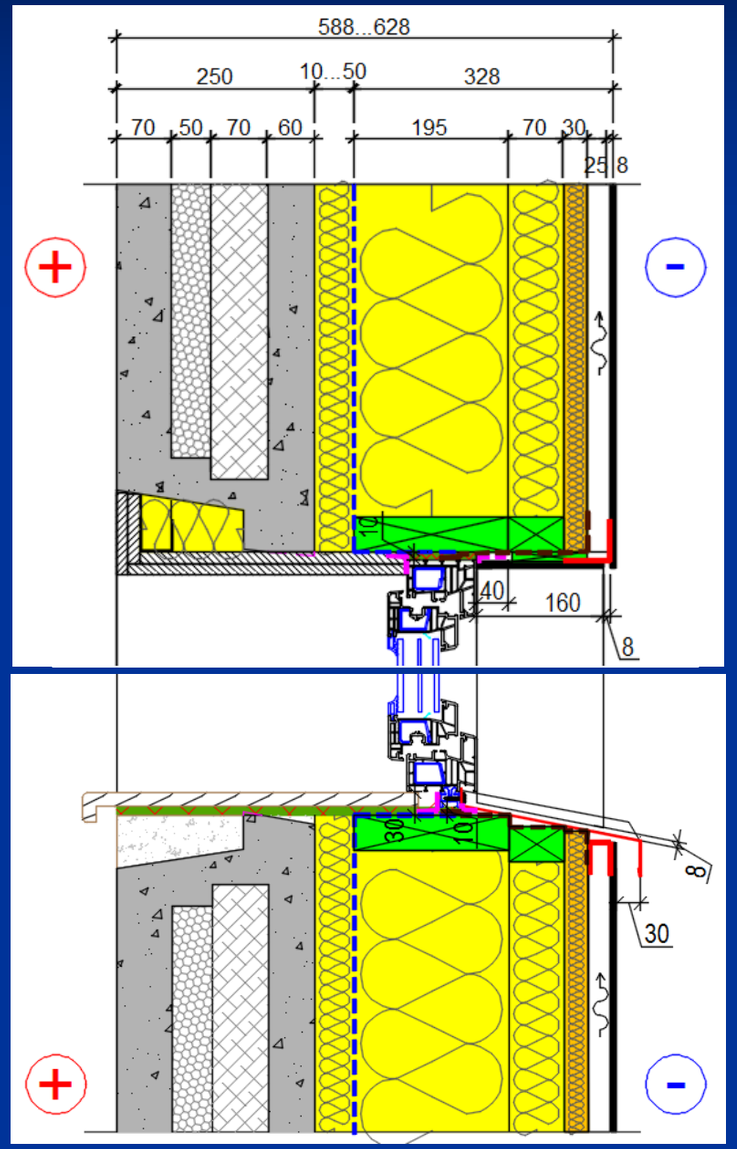

Hallik, J.; Gustavson, H.; Kalamees, T. (2019). Air Leakage of Joints Filled with Polyurethane Foam. Buildings, 9 (7), 172. DOI: 10.3390/buildings9070172.

# Ilmavaihtokanavat esistyspaneleissä

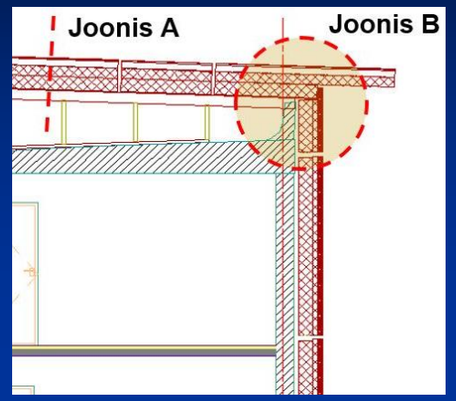


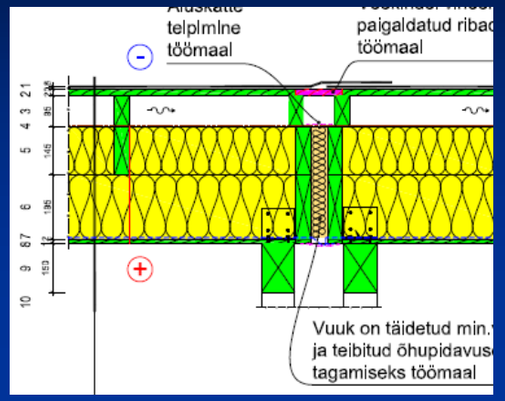


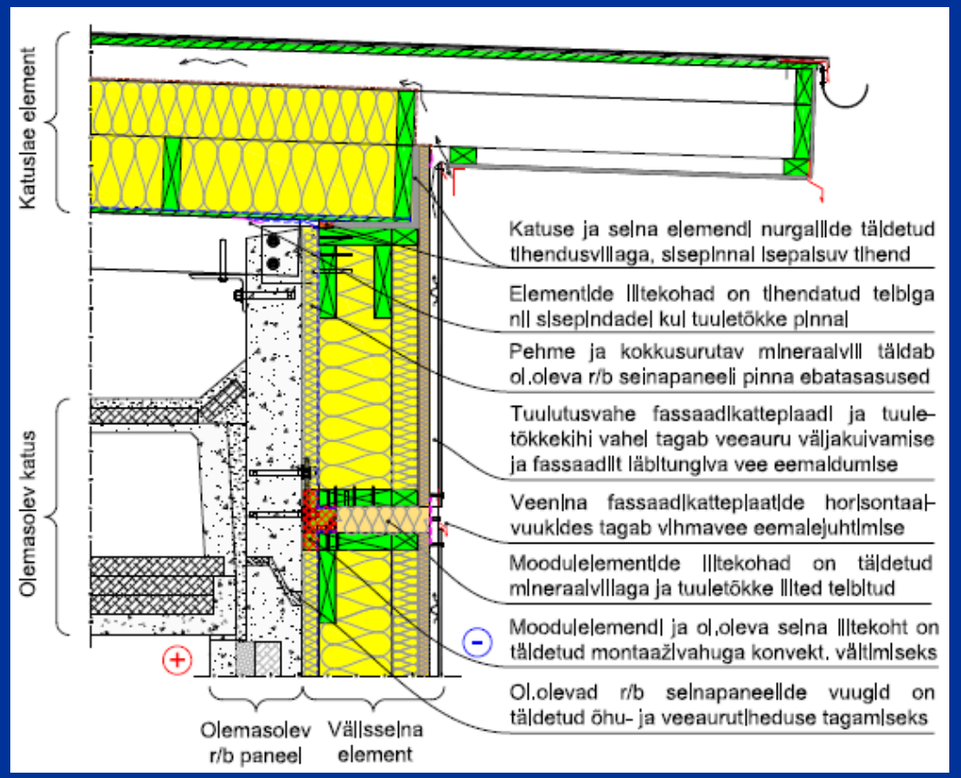
# Ikkunan - seinän liittymä

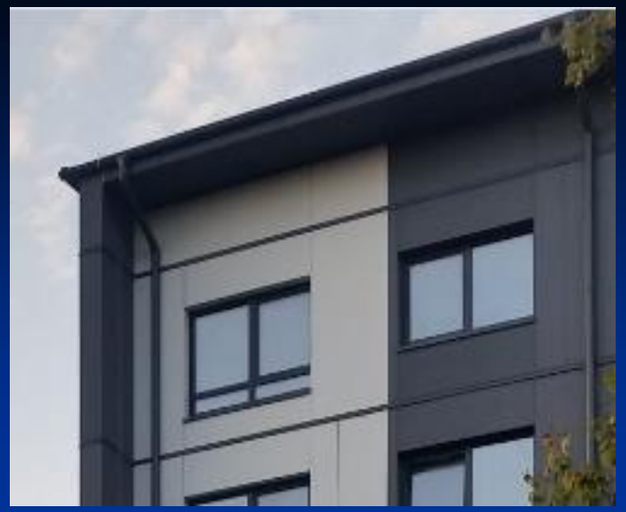


# Katon - seinän liittymä



# Tulevaisuuden haasteet

- Pilvenpiirtäjän (9k) peruskorjaus esivalmistelulla lisälämmöneristys elementeillä

OPEN LAB Genk Tartu Pamplona

Leading the Transition to Positive Energy Neighbourhoods

2021 – 2026