

CO₂OL Bricks, avoin seminaari
Helsinki 9.5.2012

Jukka Lahdensivu

Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos

RAKENNUSFYSIKKA JA SÄILYTETTÄVÄT RAKENNUKSET



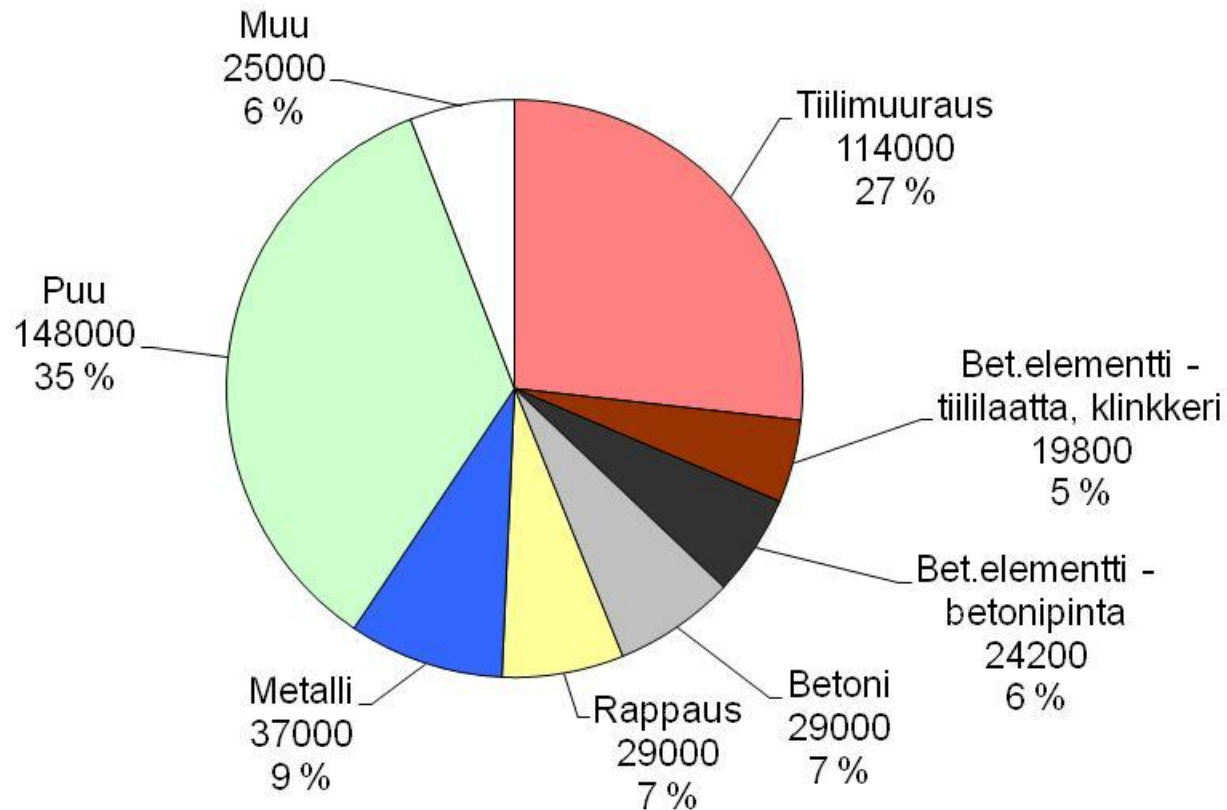
RAKENNUSFYSIKKA JA SÄILYTETTÄVÄT RAKENNUKSET

SISÄLTÖ:

- Suomalainen rakennuskanta
- Tyypilliset muuratut seinärakenteet ja käytetyt materiaalit
- Rakenteiden ja materiaalien vaurioituminen
- Lämpö- ja kosteustekninen toimivuus
- Suomen ilmasto nyt ja tulevaisuudessa
- Yhteenveto

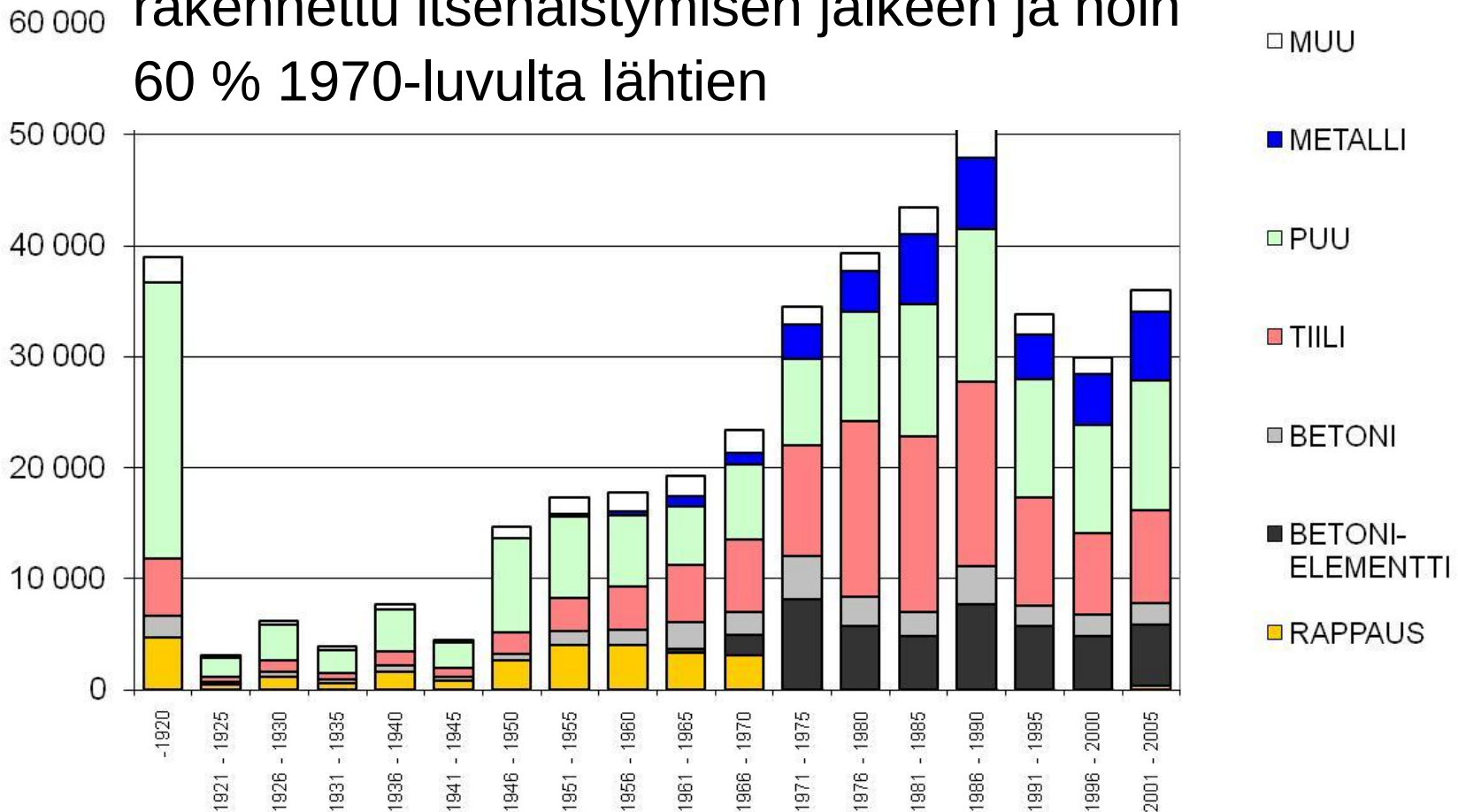


SUOMALAINEN RAKENNUSKANTA



SUOMALAINEN RAKENNUSKANTA

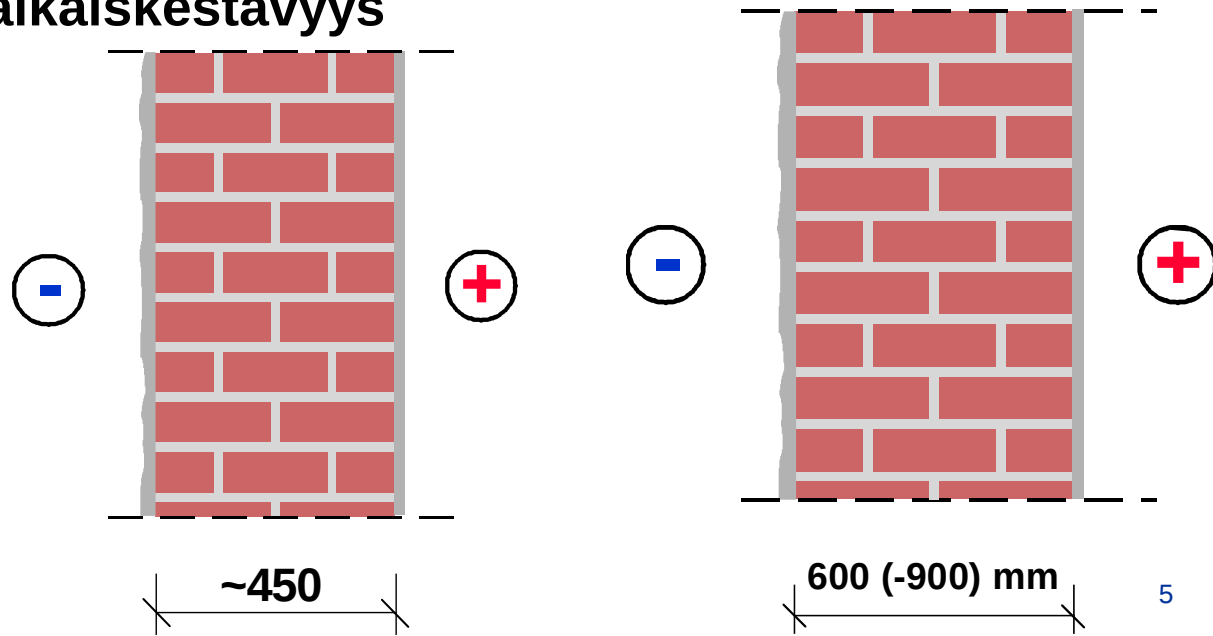
Yli 90 % Suomen rakennuskannasta on rakennettu itsenäistymisen jälkeen ja noin 60 % 1970-luvulta lähtien

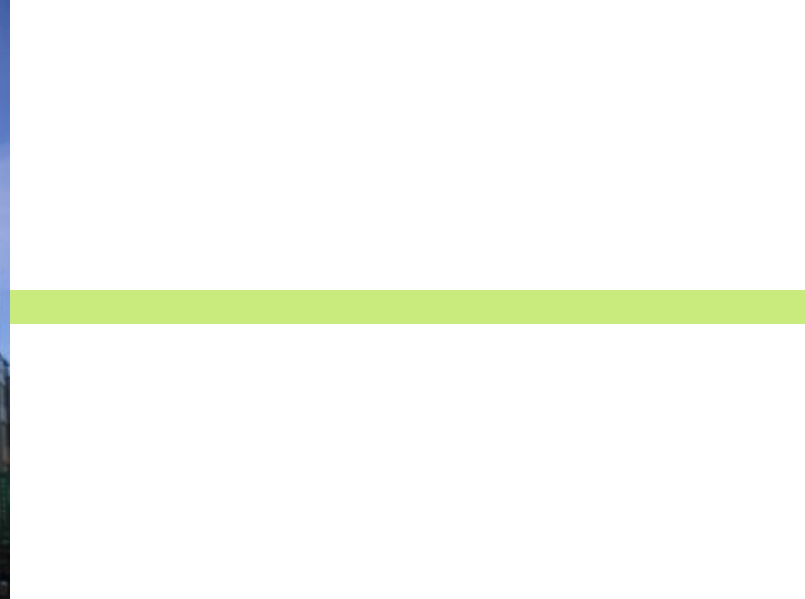


TYYPILLISET MUURATUT RAKENTEET JA MATERIAALIT

MASSIIVINEN TIILISEINÄ:

- Poltetut savitiilet, kennotiiliä (1940 =>)
- Sisäpinta rapattu ja maalattu
- Ulkopinnat yleensä rapattuja
- Käytössä yleisesti 1200 – 1940 (-1960)
- Laastit kalkkilaasteja, myöhemmin muurauslaastia
- Yleisesti riittävä lämmöneristyskyky ($U \sim 1 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Erinomainen pitkäaikaiskestävyys

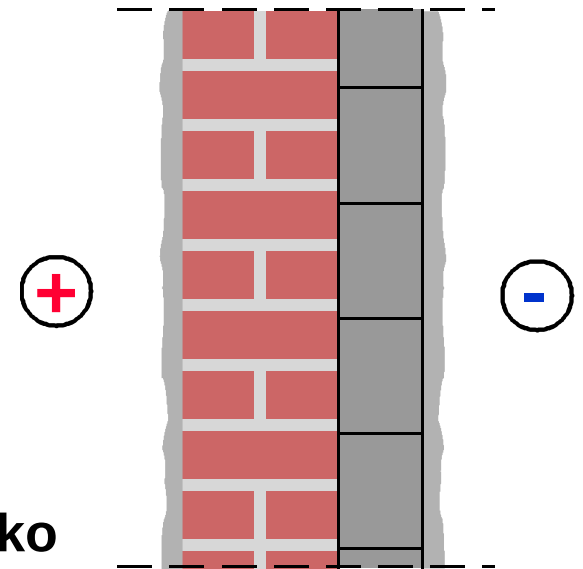




Tyypilliset muuratut rakenteet ja materiaalit

TIILI-KEVYTBETONISEINÄ:

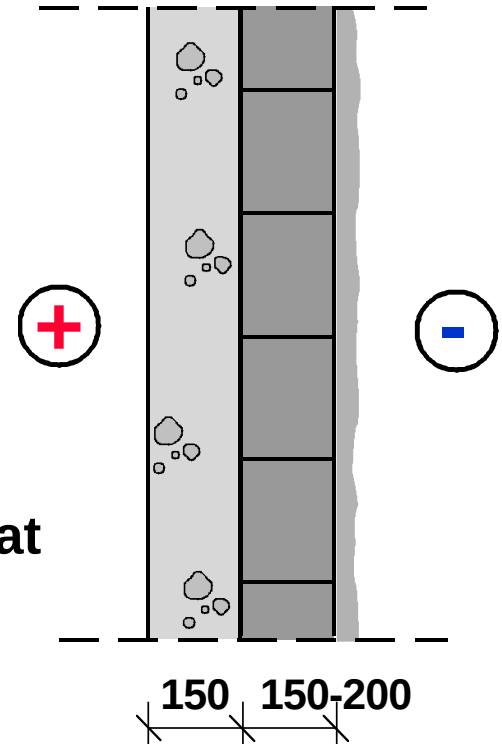
- 1 kiven kantava tiilimuuraus
 - Kevytbetoni- tai KS-harkko 150-200 mm
 - Molemmat pinnat aina rapattuja
 - K- ja KS-laasteja
 - Käytössä 1930 - 1960
-
- Harkkojen kiinnitys tiilimuuriin usein heikko
 - Harkkojen lujuus ja pakkasenkestävyys voivat olla heikot
 - Kevytbetoni ja KS-harkko heikkoja rappausalustoina.



Tyypilliset muuratut rakenteet ja materiaalit

BETONI-KEVYTBETONISEINÄ:

- Kantava betoniseinä
- Yleensä kevytbetonihiharkot
- Harkot kiinni betonin tartunnalla
- Ulkopinnat yleensä rapattuja, KS-laasteja
- Käytössä 1950 - 1970
- Harkkojen lujuus ja pakkasenkestävyys voivat olla heikot
- Kevytbetoni ja KS-harkko heikkoja rappausalustoina.
- Harkot voivat vettyä, jos rappaus huonokuntoinen

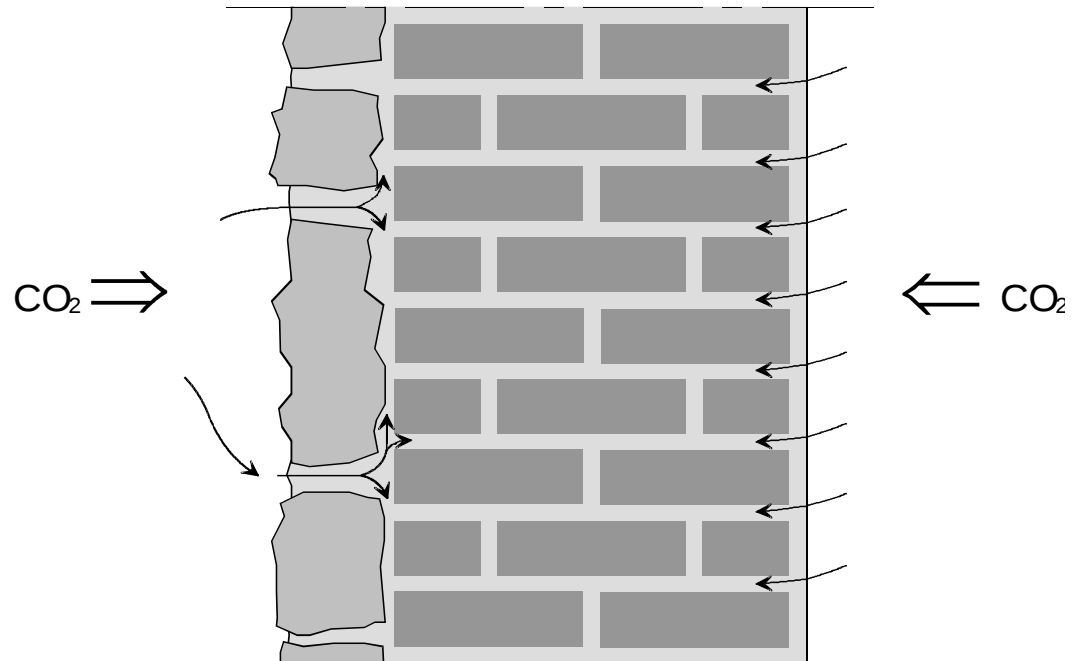




Tyypilliset muuratut rakenteet ja materiaalit

LUONNONKIVIVERHOTTU MASSIIVITIILISEINÄ:

- Kantava tiilimuuraus 450-600 mm (jopa 1500 mm)
- Laastit kalkkilaastia
- Julkisivussa paksu kiviverhous ilman tuuletusväliä
- Sisäpinnassa rappaus ja maali
- K- ja KS-laasteja
- Käytössä 1930 – 1960



VÄLIPOHJAT

Lukuisia erilaisia vuosikymmenten kuluessa:

- **Puuvälipohja, joka tukeutuu ulkoseinään**
- **Muurattuja kappaholveja teräskiskoilla**
- **Erilaisia betonivälipohjia**
- **Betonin ja puun yhdistelmiä.**

- **Puurakenteen upotus ulkoseinän sisään johtanut välipohjapalkkien lahoamiseen**
- **Muuratut välipohjaratkaisut usein ns. palopermantoina**
- **Kaksoislaattavälipohjissa muottilaudoitus edelleen paikoillaan**
- **Erilaiset välipohjien täytteet sisältävät haitallisia aineita**
- **Välipohjat usein epätiiviitä.**



Esivalmisteisia kipsi-
koristeita, jotka on kiinnitetty
rappaukseen kipsillä

2-kiven täystiilimuri
molemmiin puolin rapattuna.
Paksuus noin 60 cm

Tervattu puutiili ikkunakarmin
kiinnitystä varten

Puuvasat noin 15 cm x 30 cm,
kk 50–60 cm. Vasojen päät on
suojattu kosteudelta tervalla ja
tervapaperilla tai tuohella

Yksinkertaiset listat
ja kasetit on muotoiltu
tiilestä ja rappauksesta

Ankkurivasa muuripilarin
kohdalla. Noin joka 3. – 5.
puuvasa on ankkuroitu
molemmista päistä
tiilimuriin

Ikkuna-aukon päällä 1½
kiveä korkea suora tiiliakaari

Rautabetoniin perustuvia välipohjarakenteita (1.20):

Johann Plachetkan sellikatto (1908).

Juho Tapanin välipohja (1913).

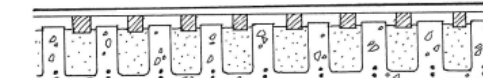
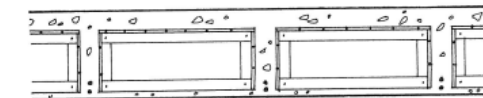
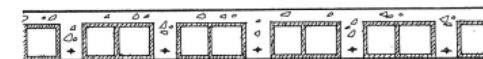
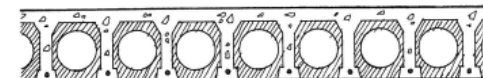
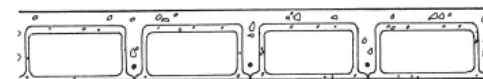
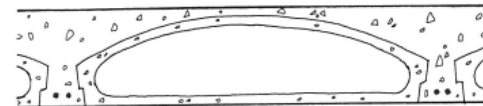
Otto Weyerstallin välipohja (1908).

Julius Kahnin välipohja (1909).

Silenda-järjestelmä (1915).

Castrén-Helanderin laatikkokatto (1908).

Paavo Kyreniuksen vakokatto (1911).





YLÄPOHJAT

- Yleensä ns. palopermanto ylimpänä rakenteena joko muurattuna tai myöhemmin betonia
- Lämmöneristeiden materiaalissa laaja kirjo
- Puurakenteet tuettu tiilimuurauksen päältä / upotettu tiilimuurin sisään
- Puurakenteen upotus ulkoseinän sisään johtanut välipohjapalkkien lahoamiseen
- Yläpohjien tuuletus usein puutteellista
- Paljon savupiippujen läpivientejä
- Lämmöneristepaksuudet voivat vanhoissa rakenteissa olla pieniä
- Sadevesivuodot.



Vapaakantoinen ruotsalainen kattotuoli, kk noin 120 cm. Kattotuolin osat on liitetty toisiinsa loveusliitoksia ja puutapein. Selkäpuu 6" x 6"

Kontti 6" x 6"

Käpälä 6" x 6"

Puuvastat noin 15 cm x 30 cm, kk 50–60 cm. Vastojen päät on suojattu kosteudelta tervalla ja tervapaperilla tai tuohella

Esivalmisteisia kipsikoristeita, jotka on kiinnitetty rappaukseen kipsillä

Palopermantona lapetiliimuuraus

Aluslaudoitus

Koroke

Jalasorsi 6" x 6"

Muurattu räystäslista, jota on vahvistettu lattaraudalla

Ankkurivasa. Noin joka 3. – 5. vasa on kiinnitetty molemmista päistä tiilimuriin. Ulkoseinässä kiinnitykseen käytettiin taottua ankkurirautaa, jonka poikkileikkaukseltaan suorakulmainen vetotanko on 50–60 mm x 10 mm ja pyöreä pystytanko 20–25 mm



Tyypilliset muuratut rakenteet ja materiaalit

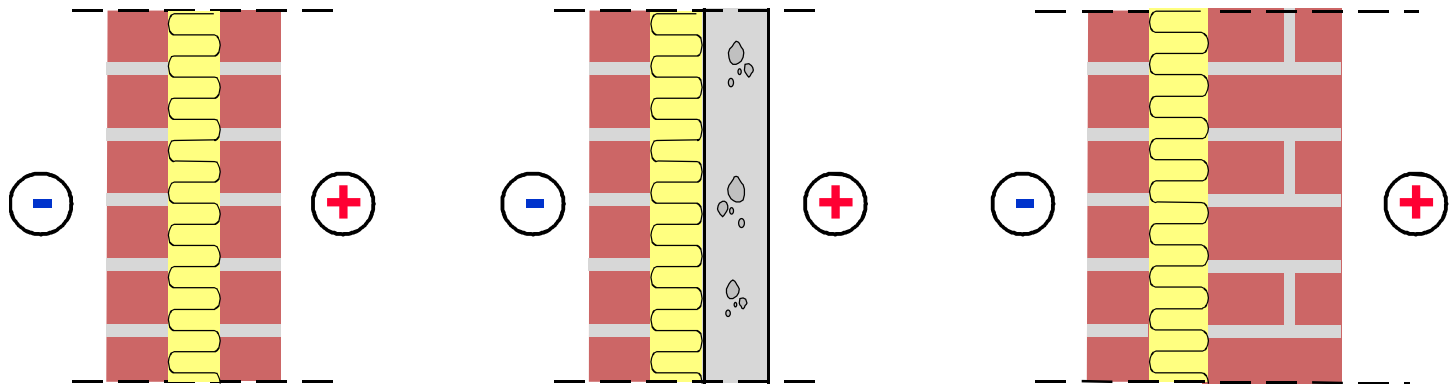
KUORIMUURISEINÄ:

- Yleensä 130 mm kuorimuuri
- Lämmöneristeenä yl. mineraalivilla
- Ulkopinta puhtaaksimuurattu tai rapattu
- Käytössä 1950 -
- Eristepaksuudet voivat vanhoissa rakenteissa olla pieniä
- Kuorimuurin halkeiluherkkyys
- Ulkopinnassa ankarampi pakkasrasitus kuin massiivisessa rakenteessa
- Hankalat nauhamaisten muurin kannatustavat
- Sadevesivuodot.



Tyypilliset muuratut rakenteet ja materiaalit

KUORIMUURISEINÄ



Tuuletusraolla tai ilman!

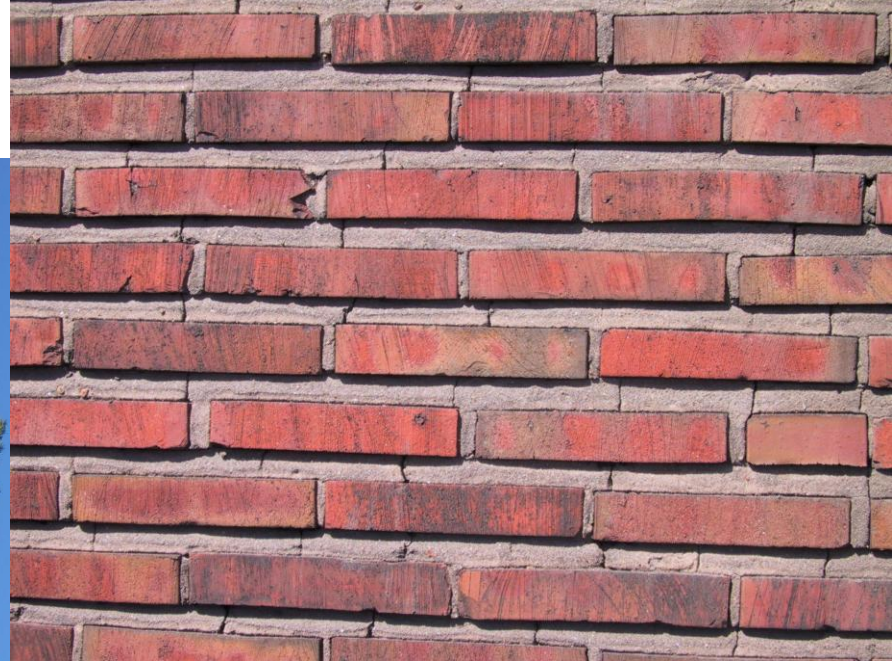


TYYPILLINEN VAURIOITUMINEN/KORJAUSTARPEET

PUHTAAKSIMUURATUT SEINÄT:

- Muurin halkeilua perustusten tai tukien painumisesta johtuen
- Tiilen rapautuminen
- Saumalaastin rapautuminen
- Rapautumavaurioihin syynä usein paikallinen korkea kosteusrasitus sekä materiaalien puutteellinen pakkasenkestävyys





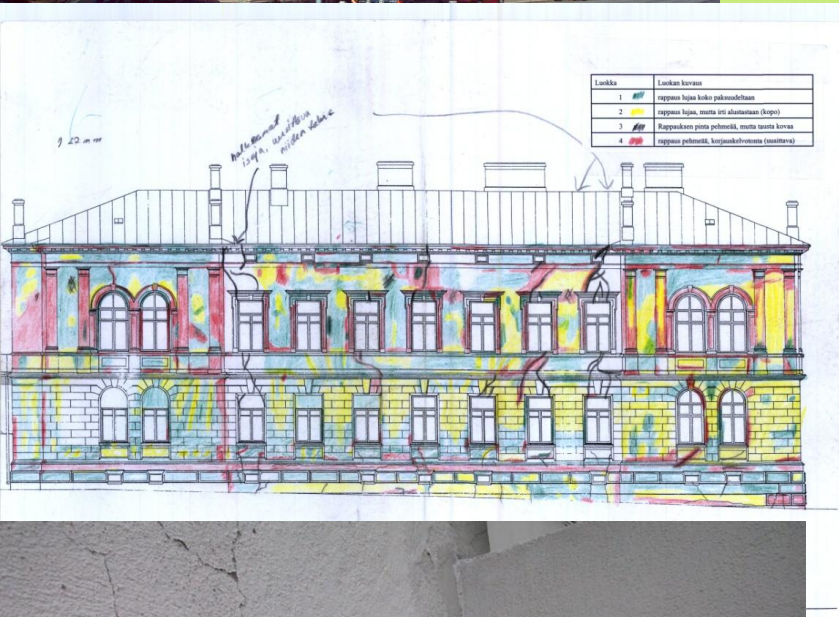
Tyypillinen vaurioituminen/korjaustarpeet

RAPATUT SEINÄT:

- Halkeamat alustan liikkeistä johtuen
- Rappauslaastin pakkasrapautuminen
- Rappauksen irtoaminen alustastaan (kopo)
- Pintakäsittelyn vaurioituminen

- Rappausalustan liikkeet näkyvät välittömästi rappauspinnassa
- Rapautumavaurioiden syynä yleisimmin rappauslaastin puutteellinen pakkasenkestävyys sekä tiiviit pinnoitteet
- Paikalliset vauriot syntyneet yleensä huonon kosteusteknisen toiminnan seurauksena, jolloin rakenteeseen on tullut keskittynyt korkea kosteusrasitus





Tyypillinen vaurioituminen/korjaustarpeet

LUONNONKIVIVERHOTUT MASSIIVITIILISEINÄT:

- Perustusten epätasaisesta painumisesta aiheutunut halkeilu
- Sauma- ja taustalaastin pakkasrapautuminen
- Alustan pakkasrapautuminen
- Kosteuskertymät rakenteeseen
- Lähtökohtaisesti laastin lujuus on alhainen
- Kivien kiinnitysvarmuus puutteellinen

- Laastien ja tiilen puutteellinen pakkasenkestävyys
- Kalkkilaasti ei pääse karbonatisoitumaan kivien takana
- Puutteellisesti toimivat detaljit aiheuttavat keskittynyttä kosteusrasitusta.



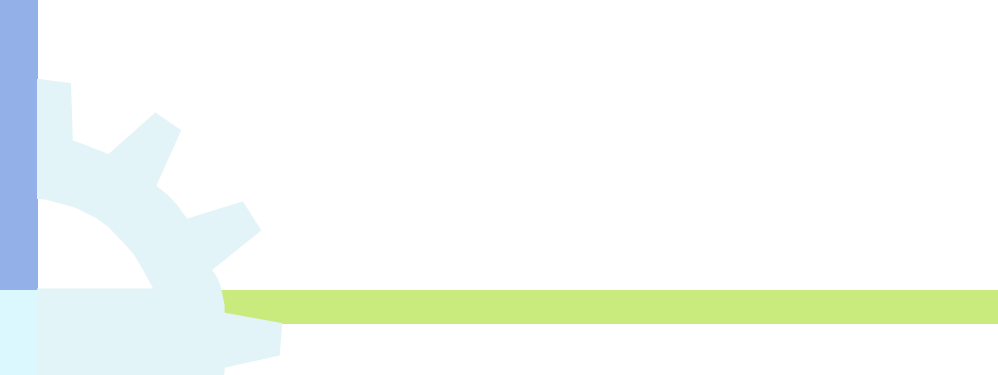






Kantavassa muurauksessa vettä huokosrakenteeseen
sitoutuneena 150-450 l/m³.





Vesi laajenee 9 % jäätyessään.

Jäällä on suuret lämpöliikkeet.

Jää adsorboi itseensä lisää vettä tiilen ja laastin huokosrakenteesta.



Tyypillinen vaurioituminen/korjaustarpeet

LIITTYVÄT RAKENTEET:

- Välipohjapalkkien kastuminen ja lahoaminen
- Yläpohjan vesivuodot kastelevat yläpohjan puurakenteet
- Ikkunoiden kiinnitykset tiilirakenteisiin lahoavat
- Puurakenteet tyypillisesti suoraan kiinni kivirakenteissa
- Tiiliseinän sisään upotetut palkkien päät usein kylmiä ja kapillaarivesille alttiina
- Kuivumismahdollisuudet puutteellisia



Esivalmisteisia kipsi-
koristeita, jotka on kiinnitetty
rappaukseen kipsillä

2-kiven täystiilimuuri
molemmiin puolin rapattuna.
Paksuus noin 60 cm

Tervattu puutiili ikkunakarmin
kiinnitystä varten

Puuvasat noin 15 cm x 30 cm,
kk 50–60 cm. Vasojen päät on
suojattu kosteudelta tervalla ja
tervapaperilla tai tuohella

Yksinkertaiset listat
ja kasetit on muotoiltu
tiilestä ja rappauksesta

Ankkurivasa muuripilarin
kohdalla. Noin joka 3. – 5.
puuvasa on ankkuroitu
molemmista päistä
tiilimuriin

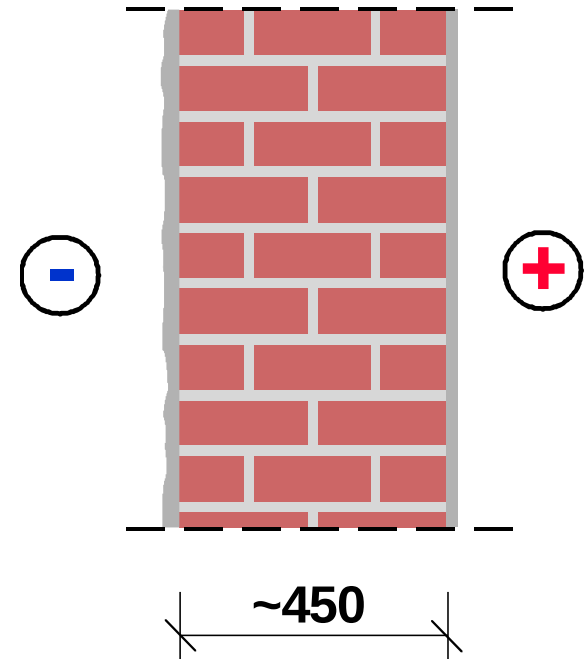
Ikkuna-aukon päällä $1\frac{1}{2}$
kiveä korkea suora tiilikaari



LÄMPÖ- JA KOSTEUSTEKNINEN TOIMIVUUS

Ulkoseinän U-arvo noin $1 \text{ W/m}^2\text{K}$

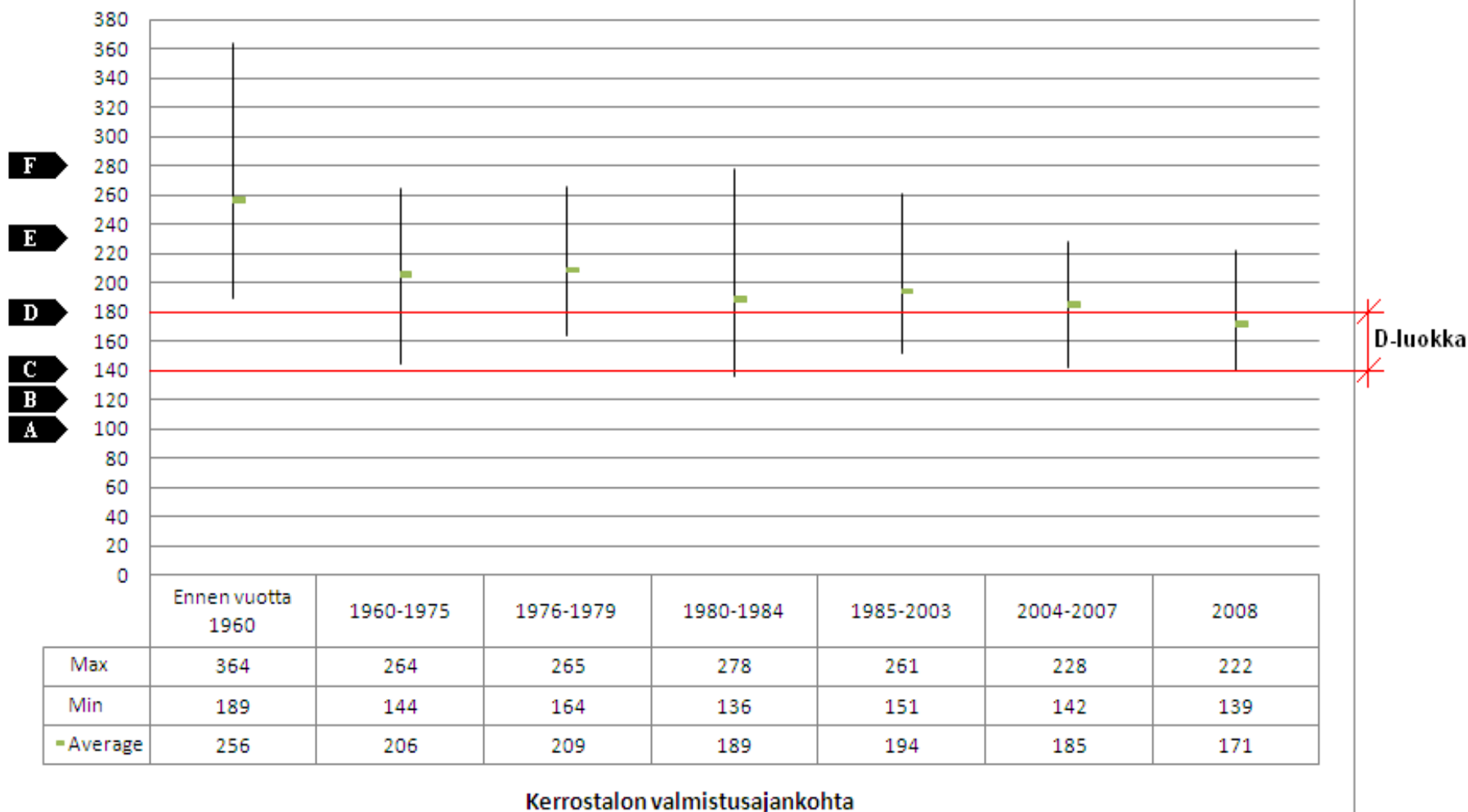
Kaksilasisen ikkunan U-arvo noin $4 \text{ W/m}^2\text{K}$



Lämpö- ja kosteustekninen toimivuus, energiatehokkuus

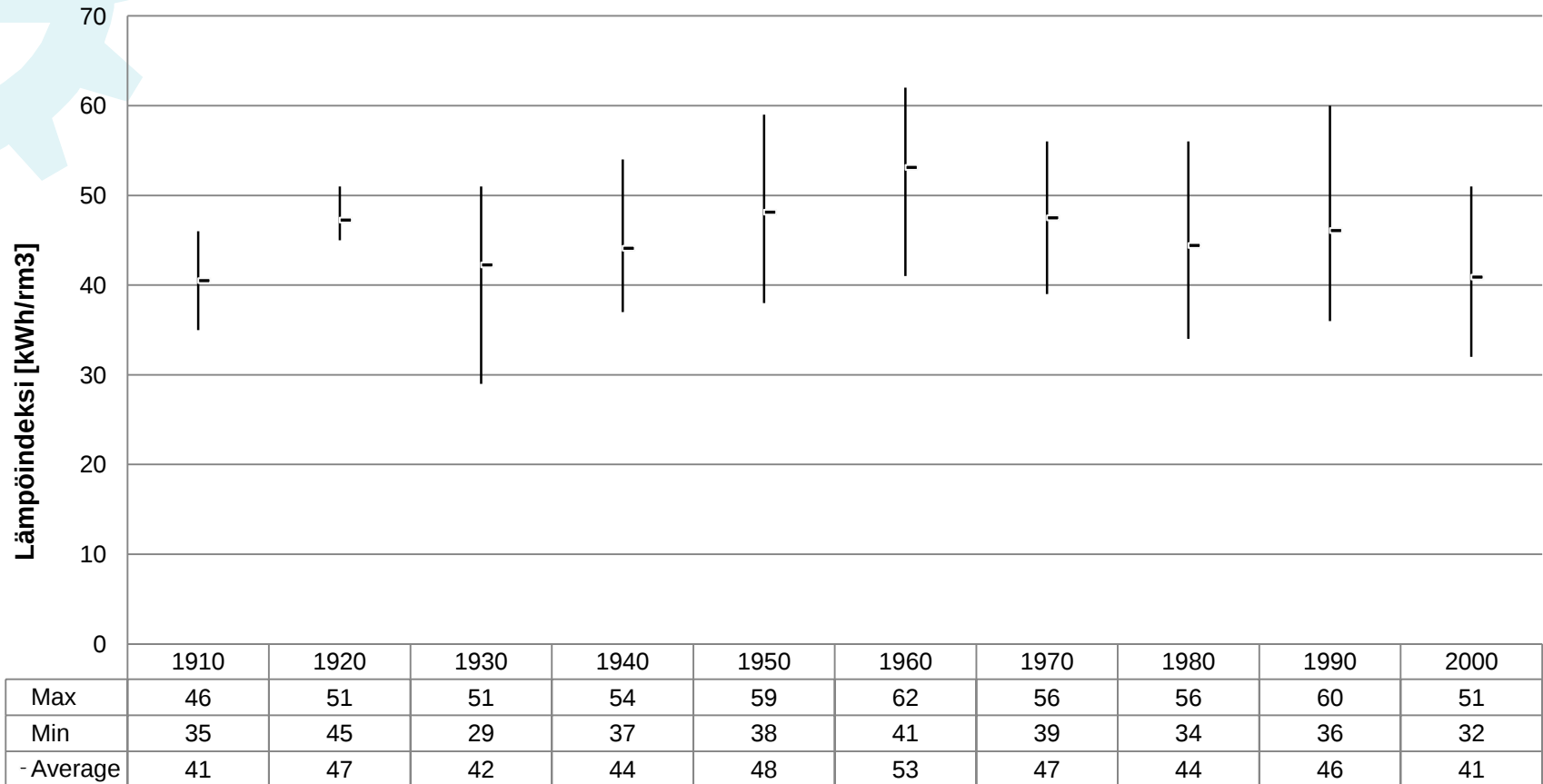
Energiankulutus ja ET-luokka

Energiankulutus [kWh/rm²]

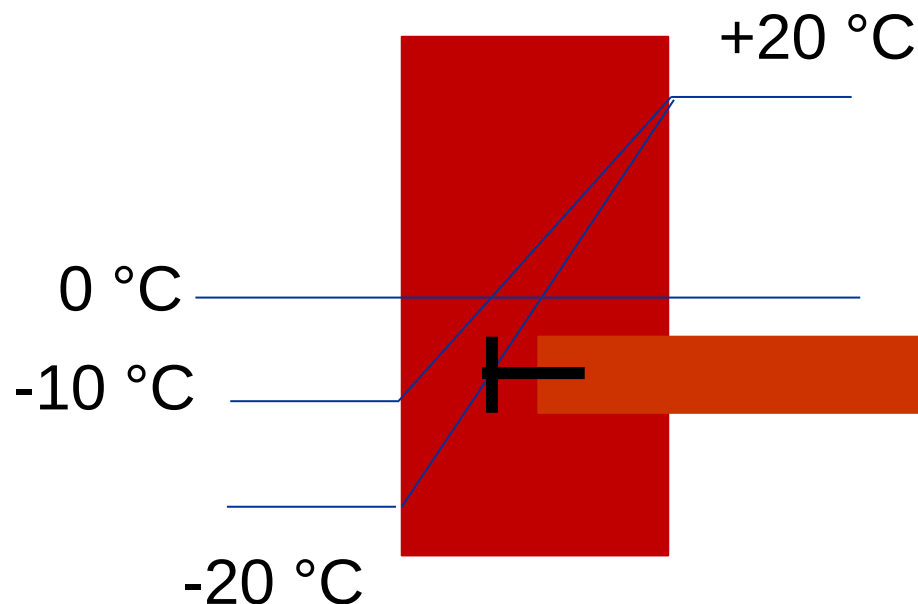
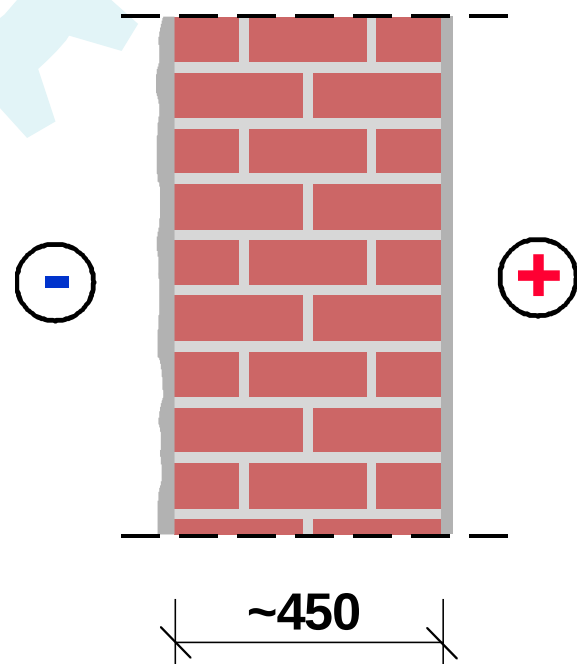


Lämpö- ja kosteustekninen toimivuus, energiatehokkuus

Kerrostalojen lämpöindeksit vuosikymmenittäin



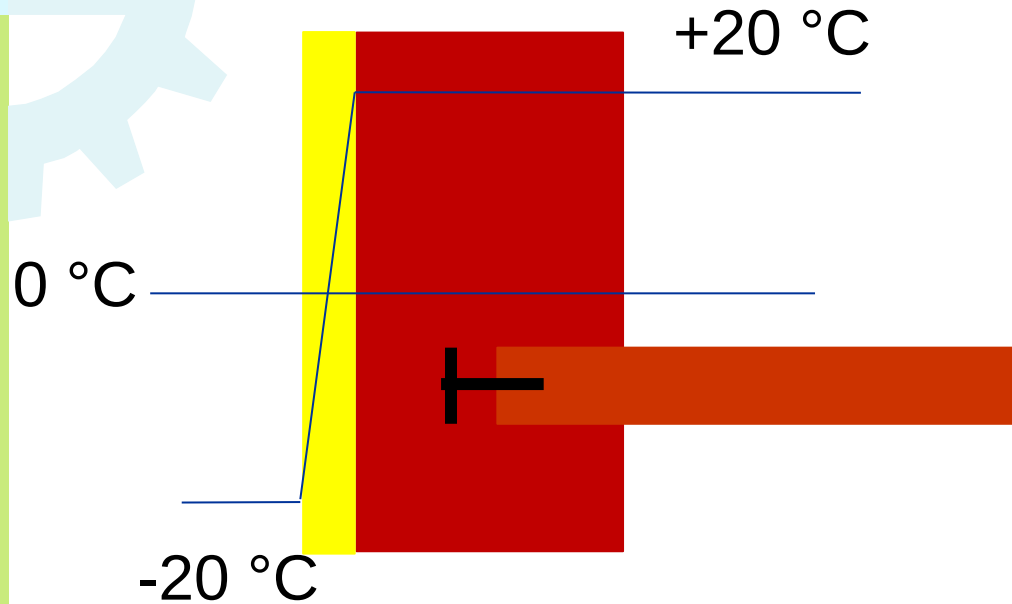
Lämpö- ja kosteustekninen toimivuus, lämpötilajakauma



**Talvikaudella seinän uloin kolmannes pitkiä
aikoja pakkasen puolella.
Ikkunan pielessä varsin kylmää talvella.**

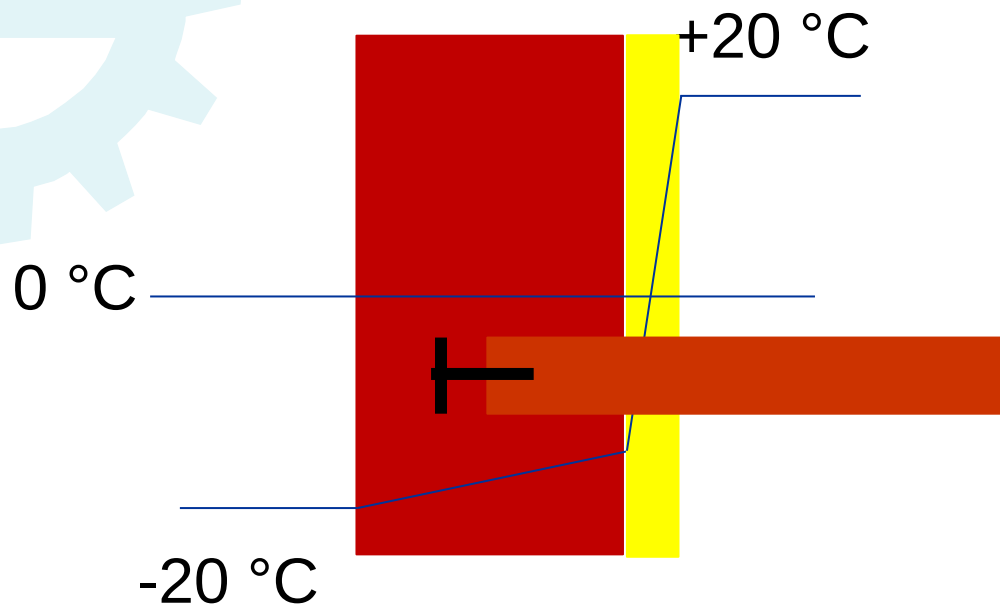


Lämpö- ja kosteustekninen toimivuus, lisäeristys ulkopinnassa



- + Vanha seinärakenne aina lämpimänä
- + Lämmin seinärakenne alkaa kuivua
- + Seinään upotetut puurakenteet kokonaan lämpimässä
- + Ikkunanpielestä mahdollista saada lämmin
- Julkisivun ulkonäkö muuttuu alkuperäisestä

Lämpö- ja kosteustekninen toimivuus, lisäeristys sisäpinnassa



Ei orgaanisia materiaaleja!

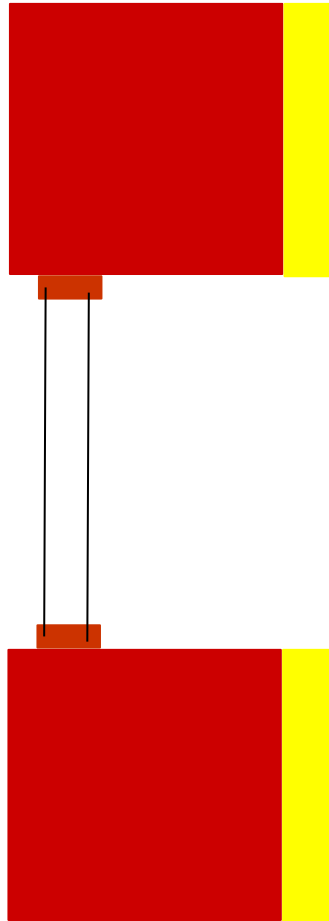
+Julkisivu säilyy entisellään

- Vanha seinärakenne aina kylmässä
- Kosteuden poistuminen rakenteesta entistä hitaampaa
- Julkisivun vaurioituminen nopeutuu
- Ikkunoiden ja muiden aukkojen reunat entistä ongelmallisempia
- Tiilirakenteeseen upotetut puurakenteet tuhoutuvat muutamassa vuodessa
- Lämmöneristyksen yhtenäisyys ongelmallista saavuttaa välipohjien kohdalla





Lämpö- ja kosteustekninen toimivuus, lisäeristys sisäpinnassa



Aukkojen pielet hankalia eristää sisäpuolelta

- Ikkunan ja seinän rajapinnassa nurkat selvästi kylmempiä kuin muu seinä
- Riskinä sisäilman kondensssi
- Seinä usein märkä ulkopuolisesta saderasituksesta johtuen





Kosteuslähteet

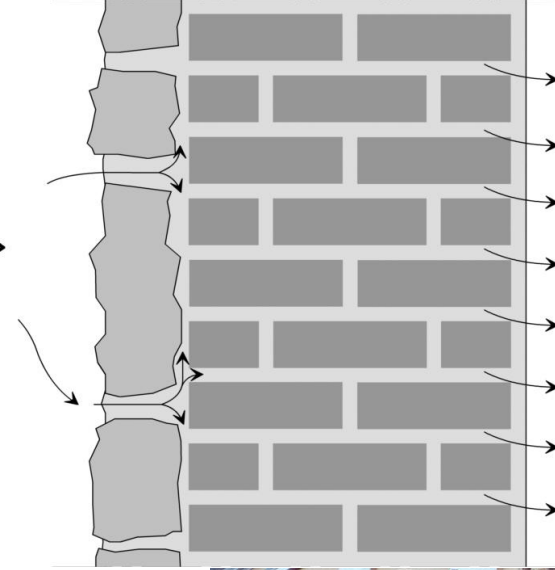
Ulkoisia kosteuslähteitä

- Viistosade!
- Huonosti toimivat liitokset
- Puutteelliset pellitykset
- Vedenpoistojärjestelmän puutteet

Sisäisiä kosteuslähteitä

- Sisäilman kosteus
- Rakennuksen kostutus

Kastuminen ⇒



⇒ Kuivuminen



SUOMEN ILMASTO

Jokainen vuosi ei ole toisinto edellisestä, vaan vaihtelua tapahtuu

- Ulkolämpötiloissa
- Sateisuudessa
- Suhteellisessa kosteudessa.

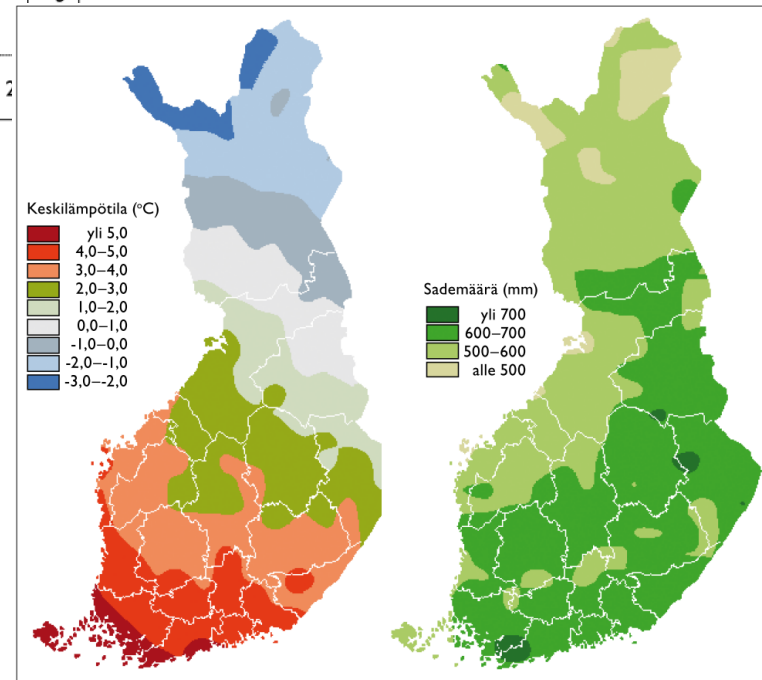
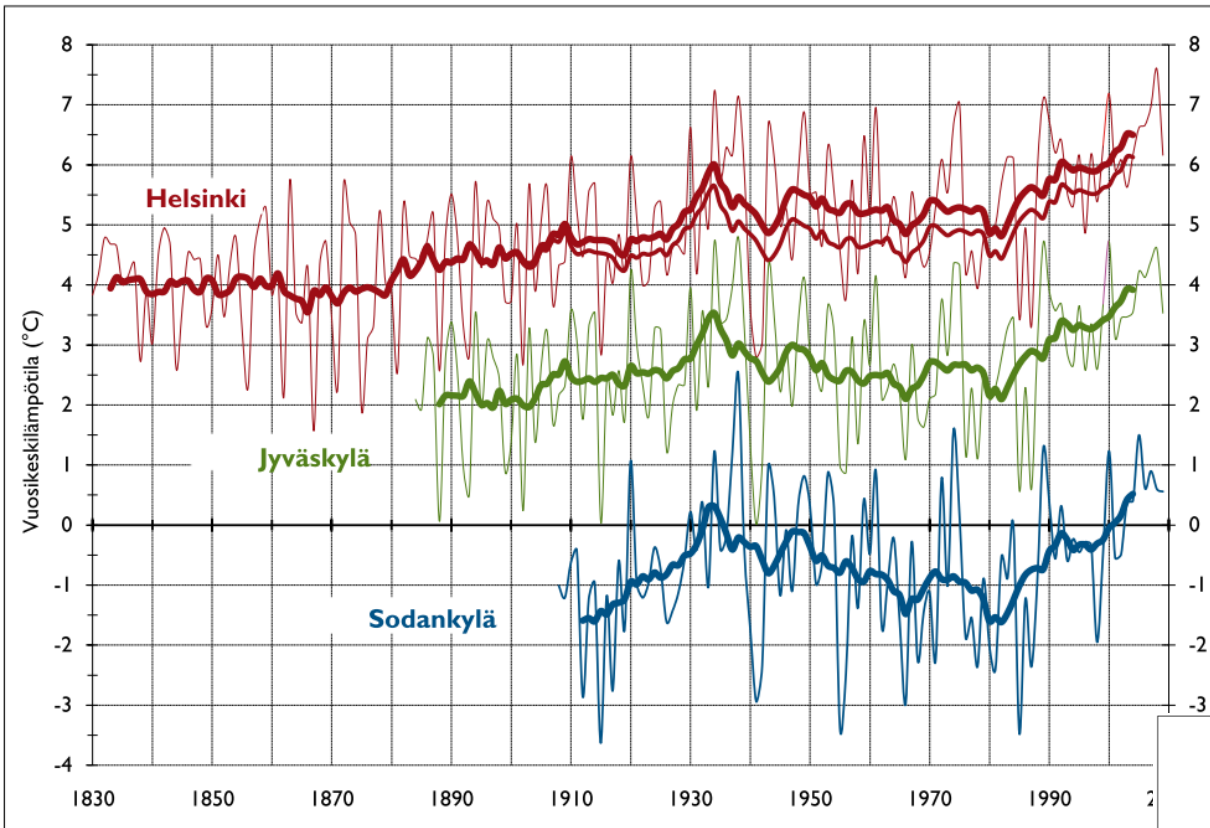
Sääolosuhteet ovat erilaiset sekä valtakunnan tasolla että paikallisesti

- Rannikolla enemmän viistosadetta
- Jäätymissulamissyklit
- Rakennuspaikan avoimuus/suojaisuus

Rakenteiden säilyvyyden kannalta rannikolla ja sen läheisyydessä ilmasto-olosuhteet ovat ankarimmat.

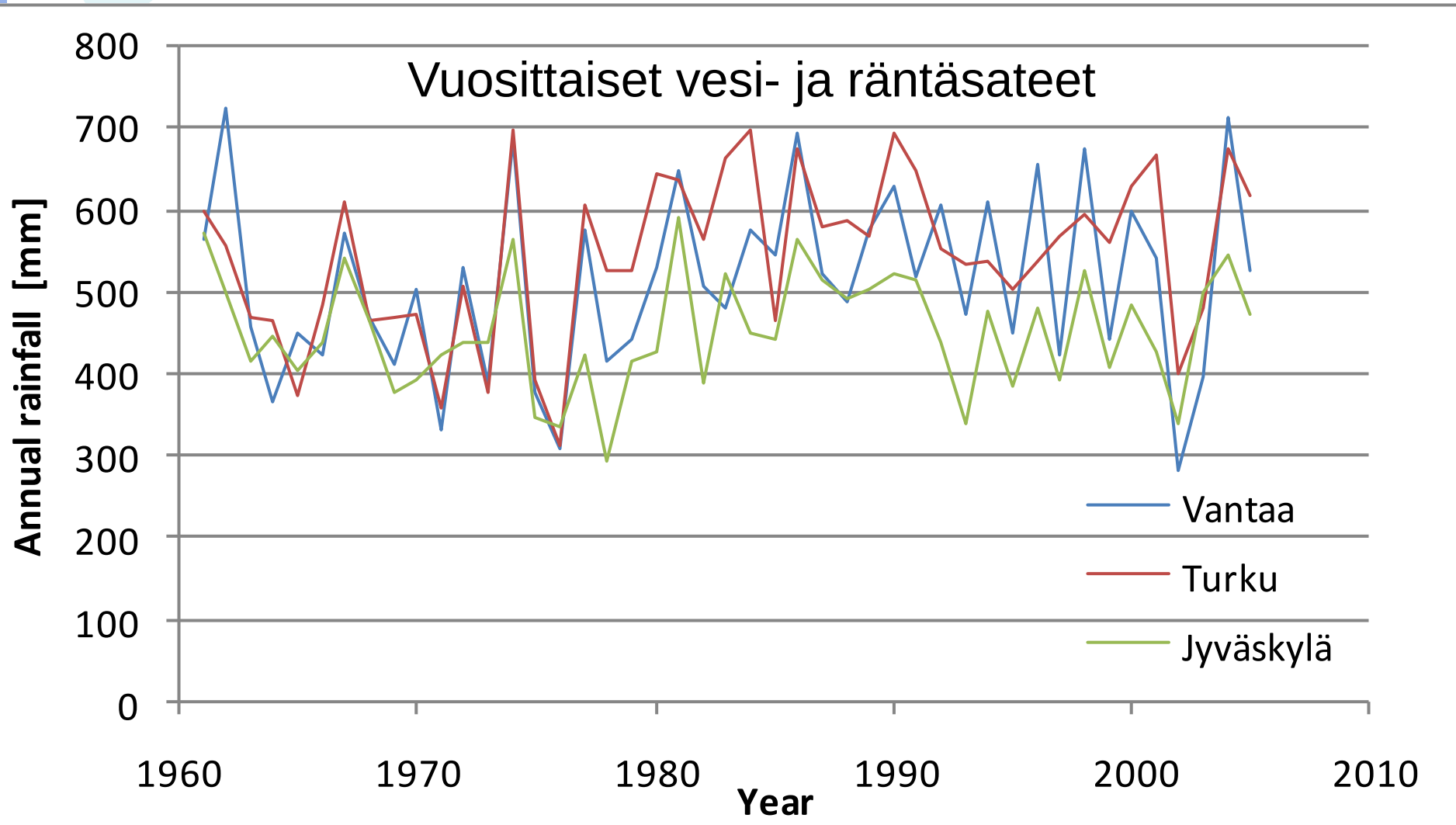
Merkittävää vaurioitumista on tapahtunut vaikka olosuhteet ovat olleet melko tasaiset koko mittaushistorian ajan.





Kuva 5. Vuoden (tammi–joulukuu) keskilämpötila ja sademäärä laskettuna vuosien 1971–2000 havainnoista (Ilmatieteen laitos 2010).





Suomen ilmasto,

Vuosittaiset jäätymissulamissyklit (Jyväskylä 1960-2009)

0 °C Jäätymissulamissyklejä 62 – 138/vuosi (51-150/vuosi Hki-Vantaa)

-5 °C Jäätymissulamissyklejä 15 – 52/vuosi (13-34/vuosi Hki-Vantaa)

-10 °C Jäätymissulamissyklejä 5 – 26/vuosi (2-17/vuosi Hki-Vantaa)

Huokoinen materiaali pakkasrapautuu vain, jos huokosrakenne on täytynyt yli kriittisen vedellä täyttymisasteen (Fagerlund 1977).

Jäätyminen 3 vrk:n sisällä sateesta

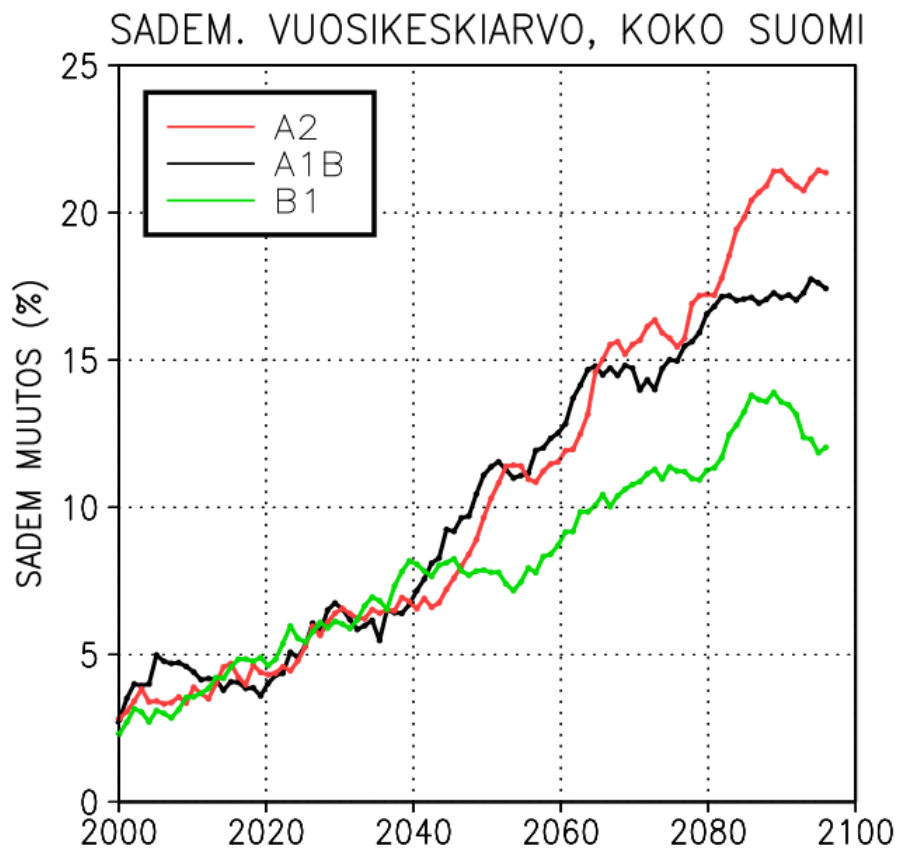
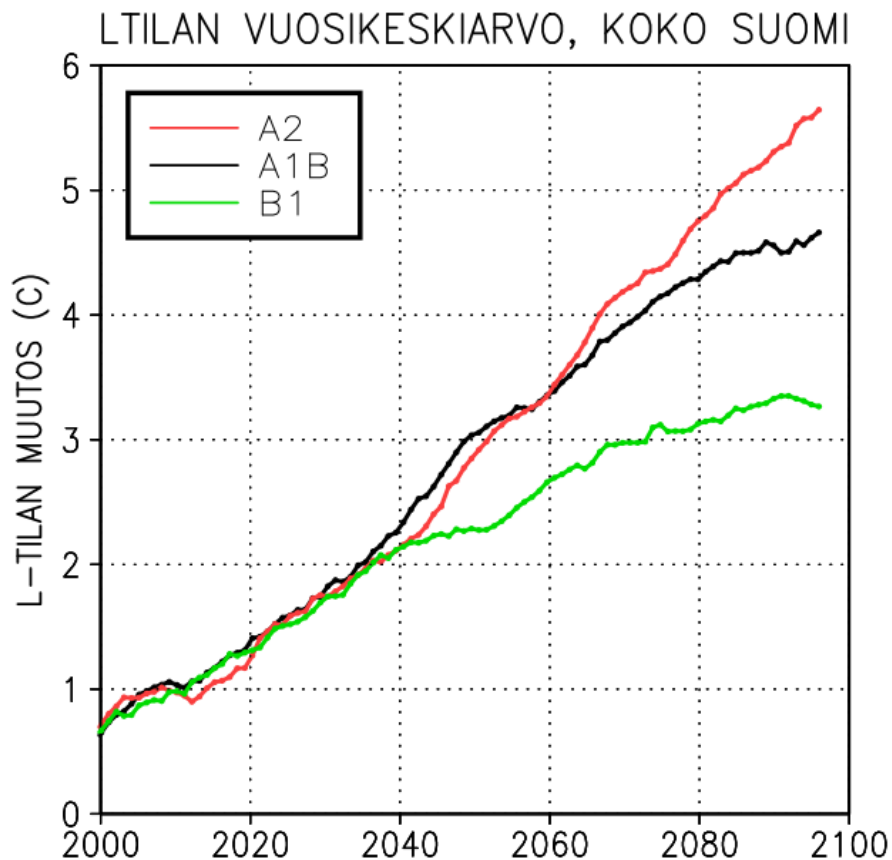
0 °C Jäätymissulamissyklejä 18 – 37/vuosi (11-36/vuosi Hki-Vantaa)

-5 °C Jäätymissulamissyklejä 8 – 25/vuosi (4-20/vuosi Hki-Vantaa)

-10 °C Jäätymissulamissyklejä 2 – 15/vuosi (2-12/vuosi Hki-Vantaa)



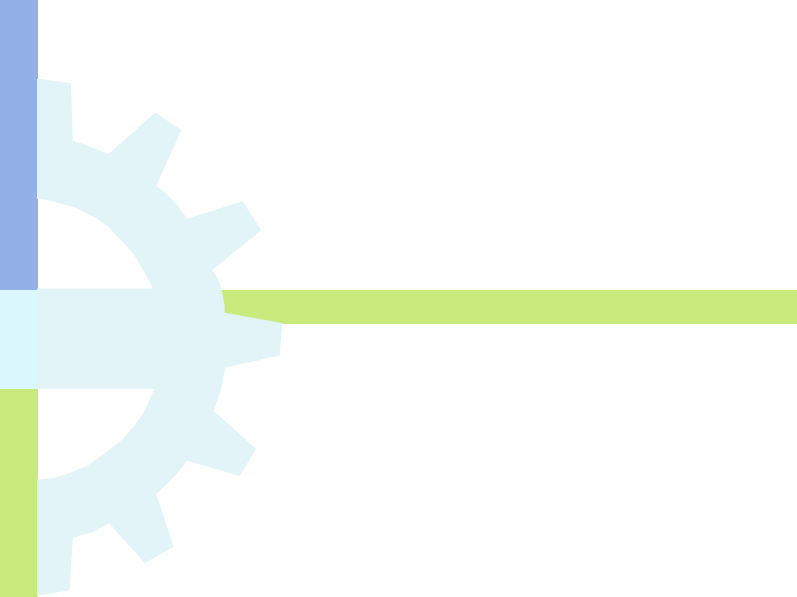
Suomen ilmasto, ilmastomuutosennusteet



Ilmastonmuutosennusteet

- Keskilämpötilat nousevat talvella 3-9 °C, kesällä 1-5 °C
- Sademäärät lisääntyvät talvella 10-40 %, kesällä 0-20 %. Muutos on pohjoisessa suurempi kuin etelässä. Sateesta yhä suurempi osa tulee vetenä myös talvella. Rankkasateiden osuus kasvaa.
- Jäätymissulamissykliä tulee aluksi lisääntymään lämpötilojen noustessa.
- Lämpötilan nousu, pilvisyyden lisääntymien sekä sateisuuden kasvaminen nostavat ilman kosteuspitoisuutta, josta on seurauksena homeenkasvulle suotuisten ajanjaksojen lisääntyminen sekä rakenteiden kuivumisen heikentyminen.





SUOMEN YMPÄRISTÖ 17 | 2010

Julkisivujen ja parvekkeiden kestävyys muuttuvassa ilmastossa

Jukka Lahdensivu

RAKENNETTU
YMPÄRISTÖ





YHTEENVETO

- Rakennusten energiatehokkuudessa esiintyy merkittäviä eroja käyttötottumuksista riippuen. Rakenteiden U-arvot eivät siten pelkästään ratkaise.
- Kaikkien rakenteiden ja rakennusmateriaalien merkittävää vaurioitumista on esiintynyt kautta historian.
- Rakenteiden saama ulkopuolinen kosteusrasitus on keskeinen tekijä vaurioitumisen toteutumiseen ja rakenteiden todelliseen korjaustarpeeseen
- Ikkunoiden uusimisella paremmin eristäviin ja siihen liittyen oikeilla lämpötilan ja ilmanvaihdon säädöillä mahdollisuus energiansäästöön.





Yhteenveto

- Julkisivun lisälämmöneristys tulee tehdä aina vanhan rakenteen ulkopuolelle.
- Sisäpuolisella lisälämmöneristyksellä on vain haitallisia vaikutuksia vanhojen rakenteiden rakennusfysikaaliseen toimintaan.
- Ilmastonmuutoksella tulee olemaan ainoastaan haitallisia vaikutuksia rakennusten säilyvyyteen.
- Kiinteistöjen ylläpidon ja aktiivisen huollon merkitys korostuu entisestään tulevaisuudessa.





Kiitos mielenkiinnosta!

jukka.lahdensivu@tut.fi