

# COMBI

COMPREHENSIVE DEVELOPMENT OF  
NEARLY ZERO-ENERGY  
MUNICIPAL SERVICE BUILDINGS



---

# **RAKENNETEKNIIKAN YHTEENVETO**

**Rakennusosien toimivuus ja kosteustekniset rasitukset sekä suositukset  
rakennusfysikaaliseen suunnitteluun**

Eero Tuominen, Tampereen yliopisto

# Sisällys

---

## **Rakennusosien toimivuus ja kosteustekniset rasitukset sekä suositukset rakennusfysikaaliseen suunnitteluun**

Olevat rakennukset

-rakenteiden tila

-sisäilman olosuhteet

-paine-erot

Laboratoriotutkimukset ja laskenta

-Kalsiumsilikaattieristeet

-Sisäkuori- ja ontelolaattabetonit

-Puhallusvillaeristetyt yläpohjat

Terveen talon toteutuksen kriteeristö

Suosituks

# Sisällys

## Rakennusosien toimivuus ja kosteustekniset rasitukset sekä suositukset rakennusfysikaaliseen suunnitteluun

Olevat rakennukset

-rakenteiden tila

-sisäilman olosuhteet

-paine-erot

Laboratoriotutkimukset

-Kalsiumsilikaattieristeet

-Sisäkuori- ja ontelolaattabetonit

-Puhallusvillaeristetyt yläpohjat

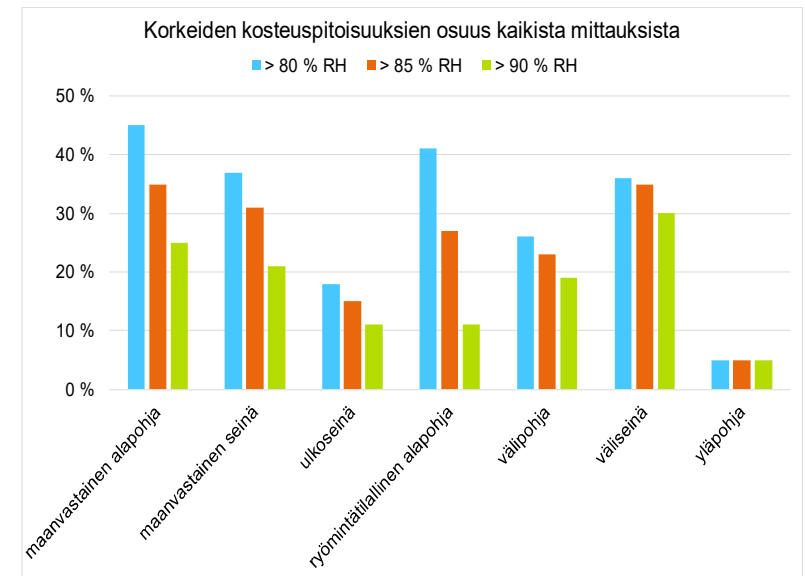
Terveen talon toteutuksen kriteeristö

Suosituks

- 168 kuntotutkimusaineiston raportin analysointi
- Palvelurakennuksissa tehdyt kenttämittaukset 24 eri kohteessa

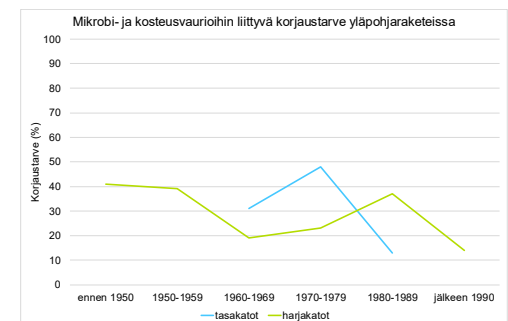
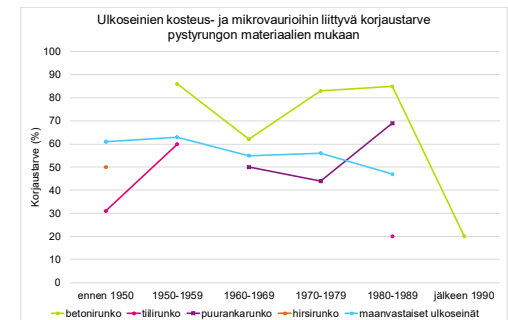
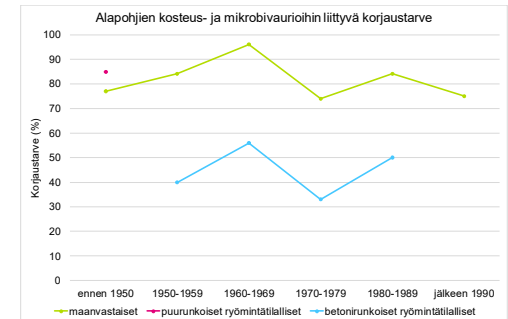
# Rakennusosien kosteuspitoisuudet kosteus- ja sisäilmateknisissä kuntotutkimuksissa

- Kosteus- ja sisäilmateknisissä kuntotutkimuksissa kuntotutkijan tulee tehdä valinta käytettävästä tutkimusmenetelmästä tapauskohtaisesti. Aineiston perusteella kosteusmittaukset kohdistetaan pääsääntöisesti maanvastaisiin rakennusosiin sekä ulkoseiniin.
- Rakennusmateriaalivalinnoista tai rakennuksen iästä riippumatta kaikista Suomessa käytetyistä rakennetyypeistä on mitattu korkeita kosteuspitoisuuksia, eikä riskitöntä rakennetta siten ole löydettävissä.
- Korkeaksi kosteuspitoisuudeksi on katsottu yli 80 % suhteellinen kosteus, joka pitkään jatkuessaan mahdollistaa herkimpien rakennusmateriaalien mikrobivaurioitumisen.



# Palvelurakennusten kosteus- ja mikrobivaurioituminen

- Sisäilmaongelmien sekä kosteus- ja mikrobivaurioiden korjaustarve ovat usein osa palvelurakennusten peruskorjaushankkeita.
- Rakennukset ovat moniongelmaisia, eli korjattavaa löytyy useasta rakennusosasta, mutta vauriot ovat luonteeltaan enemmän pistemäisiä kuin laaja-alaisia. Mitä vanhempi rakennus sitä enemmän keskimääräisesti on kosteus- ja mikrobivaurioihin liittyvää korjaustarvetta.
- Rakennusmateriaalivalinnoista tai rakennuksen iästä riippumatta kaikista Suomessa käytetyistä rakennetyypeistä löytyy kosteus- ja mikrobivaurioita, eikä riskitöntä rakennetta siten ole löydettävissä. Ongelmat ovat yleisimpiä maanvastaisissa rakennusosissa.
- Jokainen rakennus on kuitenkin aina yksilöllinen, eikä vaurioitumista voi perustaa yksistään tilastolliseen aineistoon. Syntyneitä aineistoa voidaan kuitenkin käyttää hyödyksi kosteus- ja sisäilmateknisen kuntotutkimuksen suunnittelussa, joka on välttämätön osa onnistumiseen tähtäävää korjaushanketta.



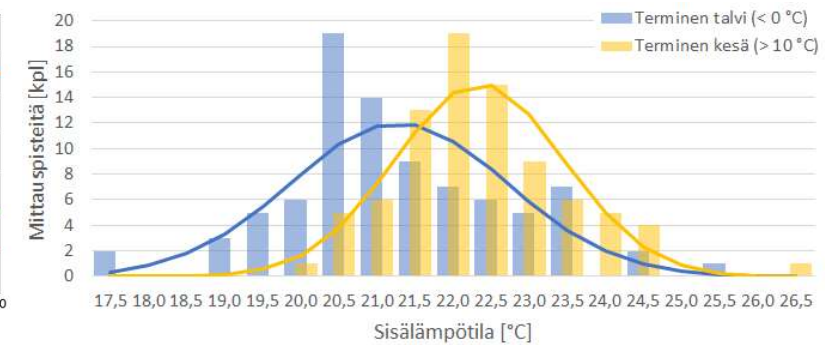
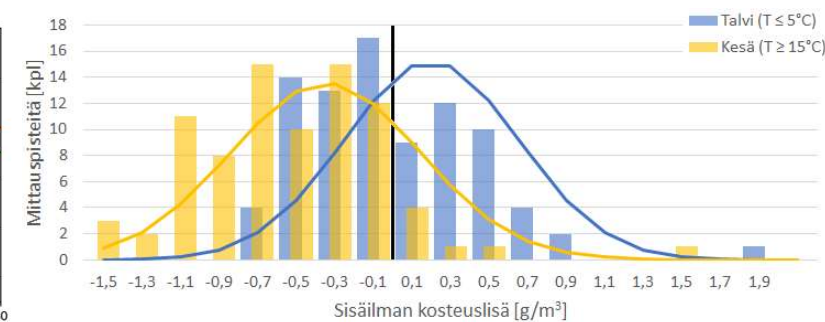
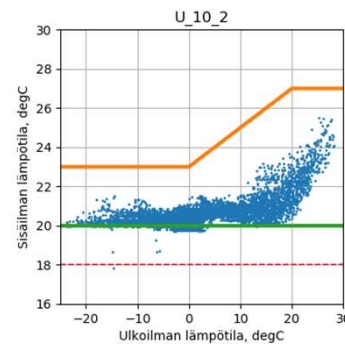
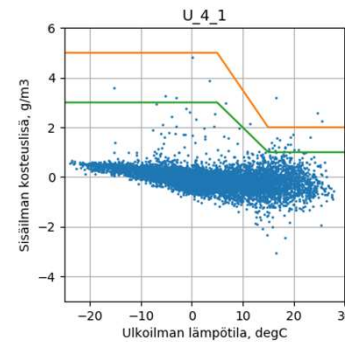
# Sisäilman kosteuslisä ja lämpötilan sisäilmastoluokka kouluissa ja päiväkodeissa

Tuloskortissa esitetään tuloksia uusien ja korjattujen palvelurakennusten sisäilman kosteuslisästä ja sisäilmastoluokituksesta lämpötilan osalta

Tutkittuja kohteita Pirkanmaan ja Helsingin seudulta oli yhteensä 24

Sisäilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan ensimmäiset mittaukset aloitettiin heinäkuussa 2016 ja viimeiset päätettiin elokuussa 2018

Mittauksia suoritettiin kahden eri laitevalmistajan RH/T-mittareilla



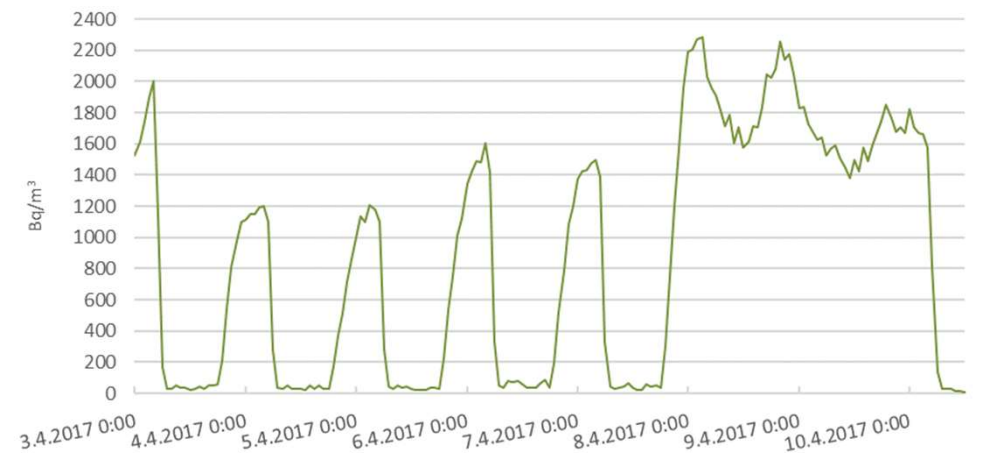
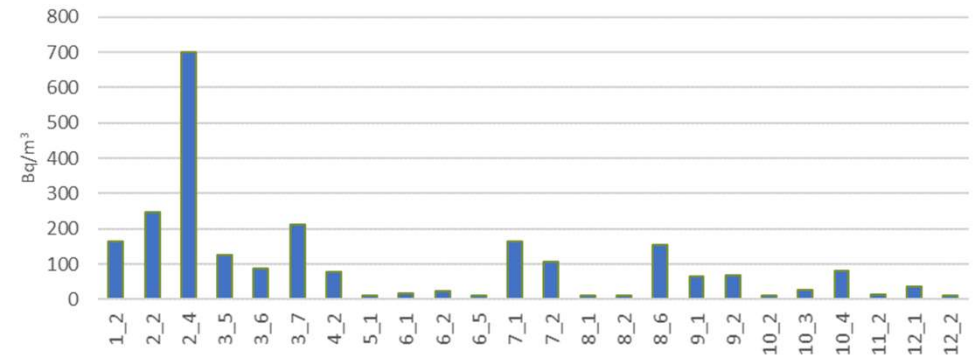
# Sisäilman radonpitoisuudet palvelurakennuksissa

Tuloskortissa esitetään uusista ja korjatuista palvelurakennuksista mitattuja radonpitoisuuksia

Tutkittuja kohteita Pirkanmaan ja Helsingin seudulta oli yhteensä 24

Radonia mitattiin marras-huhtikuussa 2016-2017 ja 2017-2018

Mittauksia suoritettiin radonpurkeilla ja dynaamisilla radonmittareilla





# Uusien ja korjattujen palvelurakennusten paine-erot

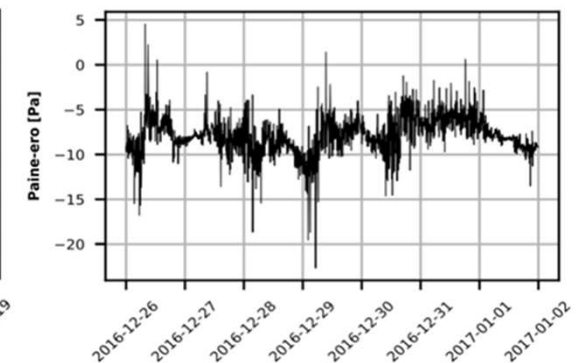
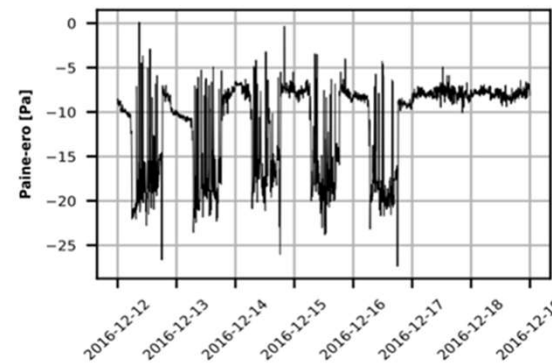
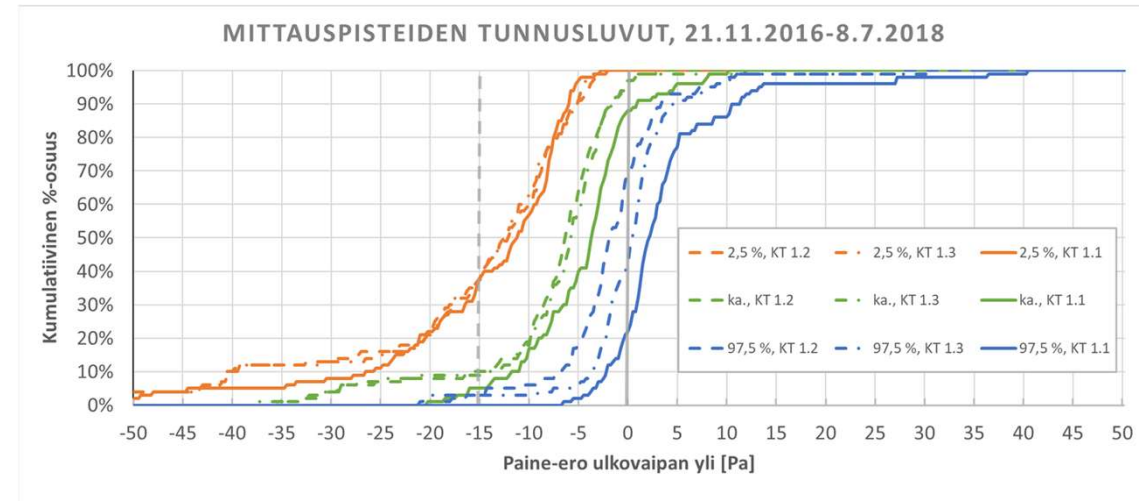
Tuloskortissa esitetään tuloksia uusien ja korjattujen palvelurakennusten paine-eroista ulkovaipan yli

Tutkittuja kohteita Pirkanmaan ja Helsingin seudulta oli yhteensä 24

Paine-eroja mitattiin 2016 syksystä kesään 2018 asti

Mittaustuloksia tarkasteltiin 21.11.2016-8.7.2018 väliseltä ajalta

Käyttö- ja lomakausien eroja tutkittiin talvikaudelta 2016-2017 ja kevät/kesäkaudelta 2018



# Sisällys

## Rakennusosien toimivuus ja kosteustekniset rasitukset sekä suositukset rakennusfysikaaliseen suunnitteluun

Olevat rakennukset

-rakenteiden tila

-sisäilman olosuhteet

-paine-erot

Laboratoriotutkimukset ja laskenta

-Kalsiumsilikaattieristeet

-Sisäkuori- ja ontelolaattabetonit

-Puhallusvillaeristetyt yläpohjat

Terveen talon toteutuksen kriteeristö

Suosituks

- Tyypillisten rakennusfysikaalisten materiaaliominaisuuksien tutkiminen valituille materiaaleille
- Valittujen rakenteiden kosteusteknisen toiminnan mallintaminen ja mallin kehittäminen
- Eri materiaaleilla eristettyjen sisäkuoribetonien kuivumisen mittaaminen
- Sisäisen konvektion merkittävyys yläpohjarakenteessa

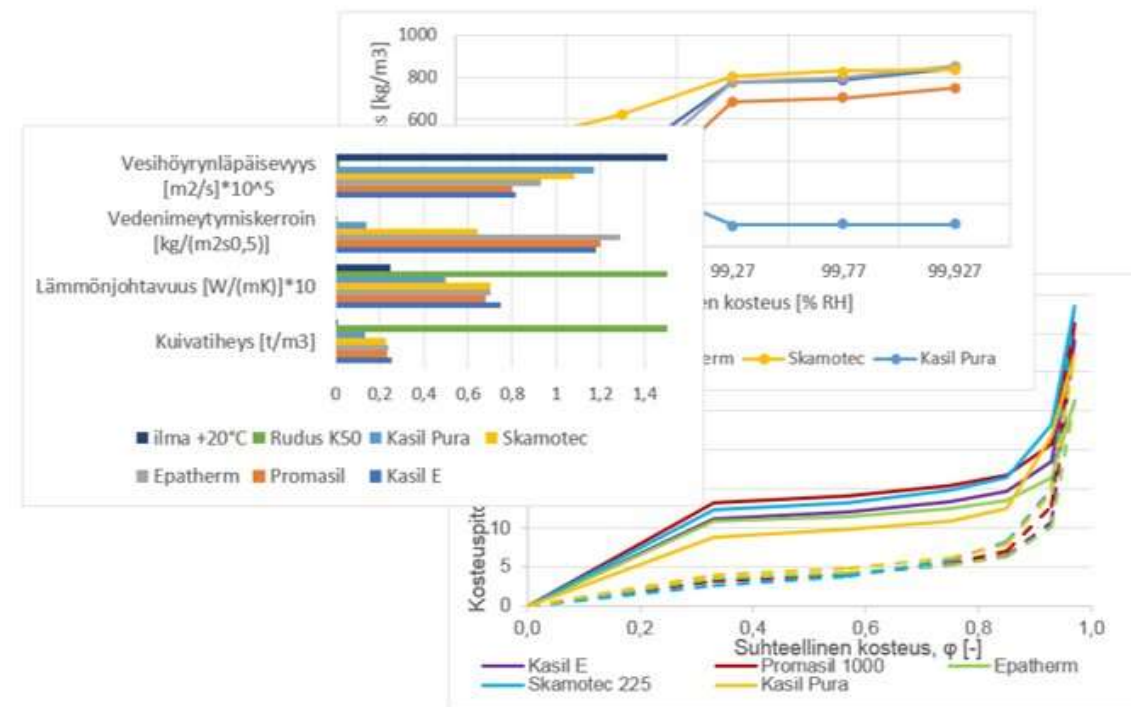
# Kalsiumsilikaattieristeiden rakennusfysikaaliset materiaaliominaisuudet

Tutkitut ominaisuudet

- Vesihöyrynläpäisevyys
- Vedenimeytymiskerroin
- Lämmönjohtavuus
- Hygroskooppinen tasapainokosteuskäyrä
- Kapillaarinen tasapainokosteuskäyrä
  - Maksimikosteuspitoisuus
- Ominaislämpökapasiteetti

Koemenetelmien kehitystyö

- Kapillaarinen tasapainokosteuskäyrä
  - Painelevylaitteiston peruskäyttö ja toimintatapaohjeistus
  - Vakuumikyllästyslaitteen testaus



# Maanvastaisten seinien lämmön- ja kosteudeneristys

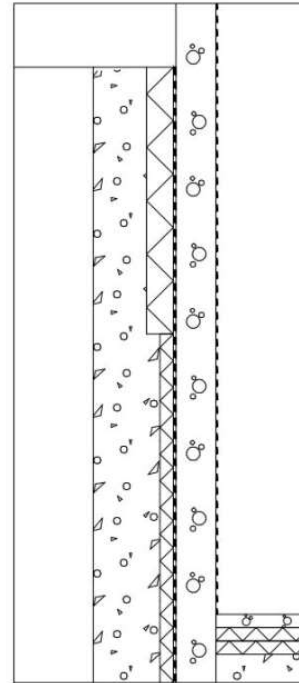
Jo pelkkä vesihöyryn diffuusio maaperästä riitti synnyttämään homeen kasvulle otolliset olosuhteet useisiin sisäpuolelta lämmöneristettyihin maanvastaisiin seiniin.

Maanvastaisten seinien lämmön- ja kosteudeneristys on suositeltavaa tehdä kantavan rakenteen ulkopuolelle.

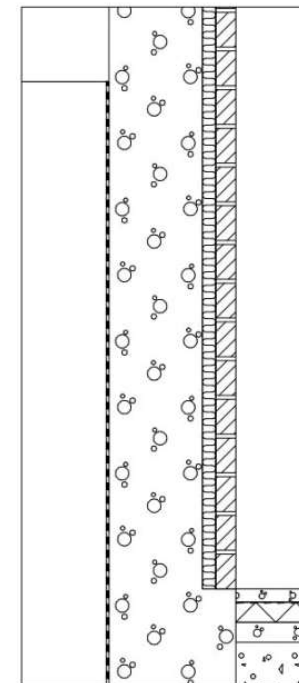
Sisäpuolista lisälämmöneristystä käytettäessä ohut, kapilaarisesti kosteutta tehokkaasti siirtävä lämmöneristemateriaali oli suositeltavin vaihtoehto.

Jos rakenteen ulkopuolella on olemassa toimivat lämmöneriste- ja kosteussulkukerrokset, on mahdollista käyttää tapauskohtaisesti myös muita sisäpuolisia lämmöneristysratkaisuja.

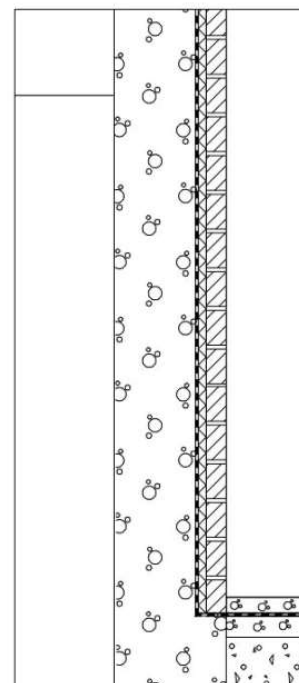
KS 1990



KS 1963



KS 1958

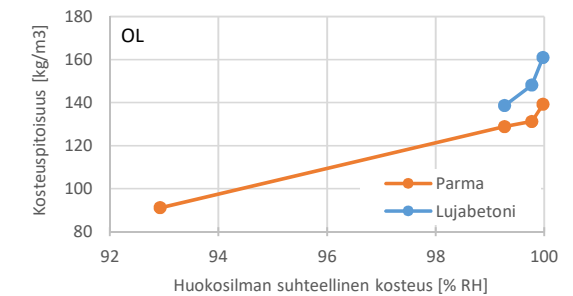
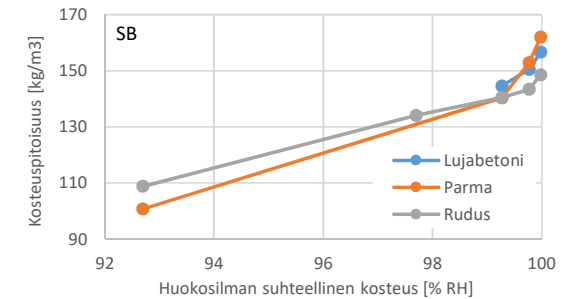
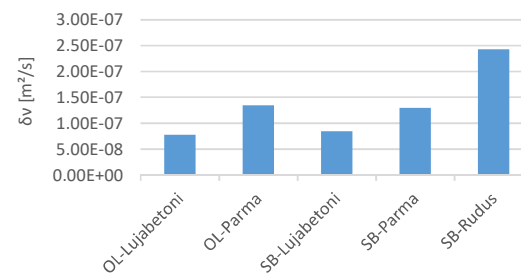
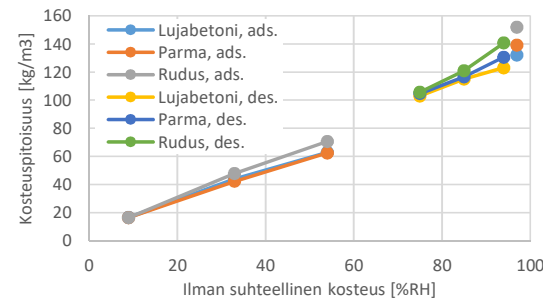
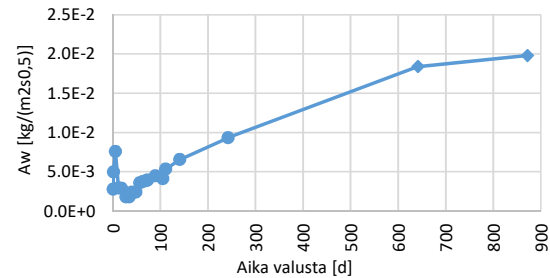


Tyypillisiä vanhoja kellarinseinärakenteita

# Sisäkuori- ja ontelolaattabetonien rakennusfysikaaliset kosteusominaisuudet

## Materiaalikoeket ja tutkitut ominaisuudet

- Veden imeytymiskoe
  - Veden imeytymiskerroin
  - Veden tunkeutumiskerroin
  - Kapillaarinen kyllästyskosteuspitoisuus
  - Veden imeytymiskertoimen kehittyminen
- Tasapainokosteuskoe
  - Hygroskooppinen tasapainokosteuskäyrä
- Painelevykoe
  - Kapillaarinen tasapainokosteuskäyrä
  - Maksimikosteuspitoisuus
- Märkäkuppikoe
  - Vesihöyrynläpäisevyys



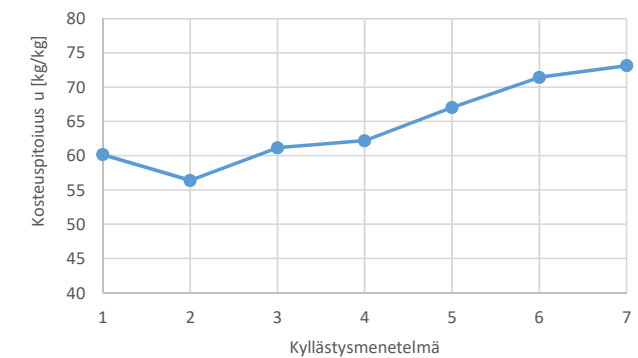
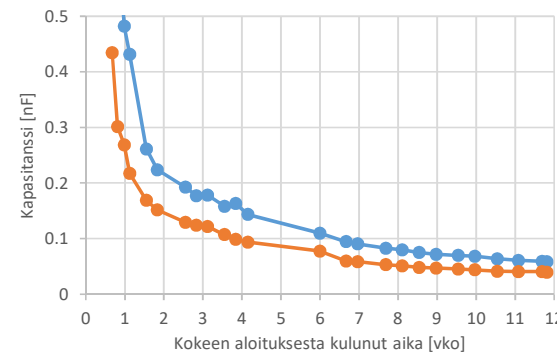
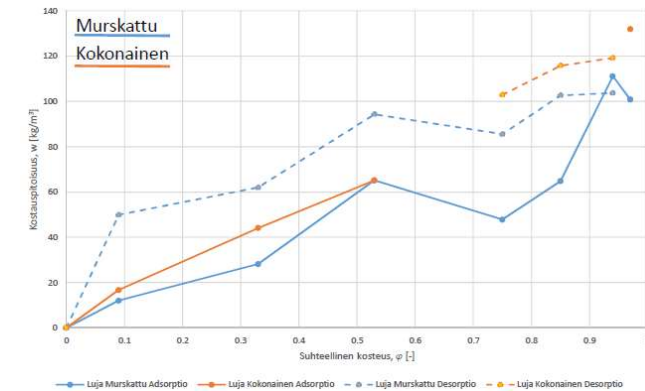
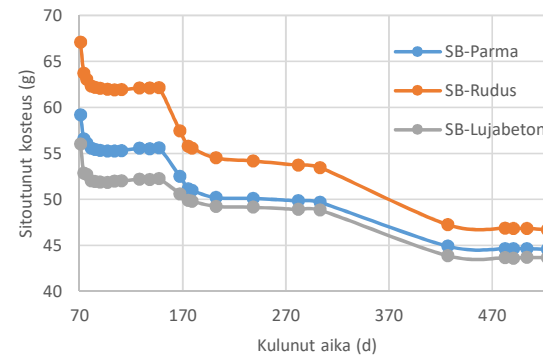
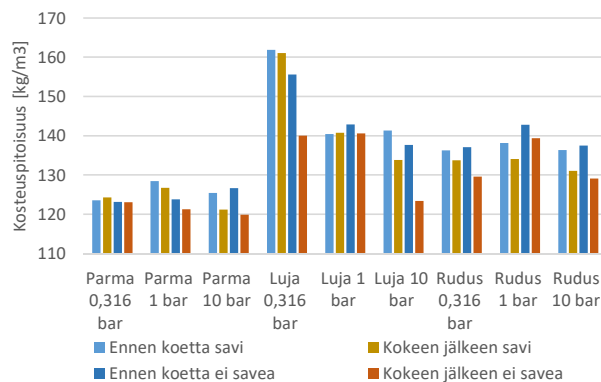
# Rakennusfysikaalisten kosteusominaisuuksien laboratoriomittausten kehittäminen

## Tasapainokosteuskokeen kehittäminen

- Tasapainottumisen todentaminen
- Kokeen nopeuttaminen

## Painelevykokeen kehittäminen

- Vakuumikyllästetyt koekappaleet betonien kokeissa
- Kaoliinisaven tarpeellisuuden testaus
- Kapasitanssimittaukset
- Koekappaleiden vakuumikyllästysmenetelmien testaus



# Betonirakenteisten sisäkuorielementtien kuivuminen: seurantamittaukset

## Punnitukset/haihtunut kosteus:

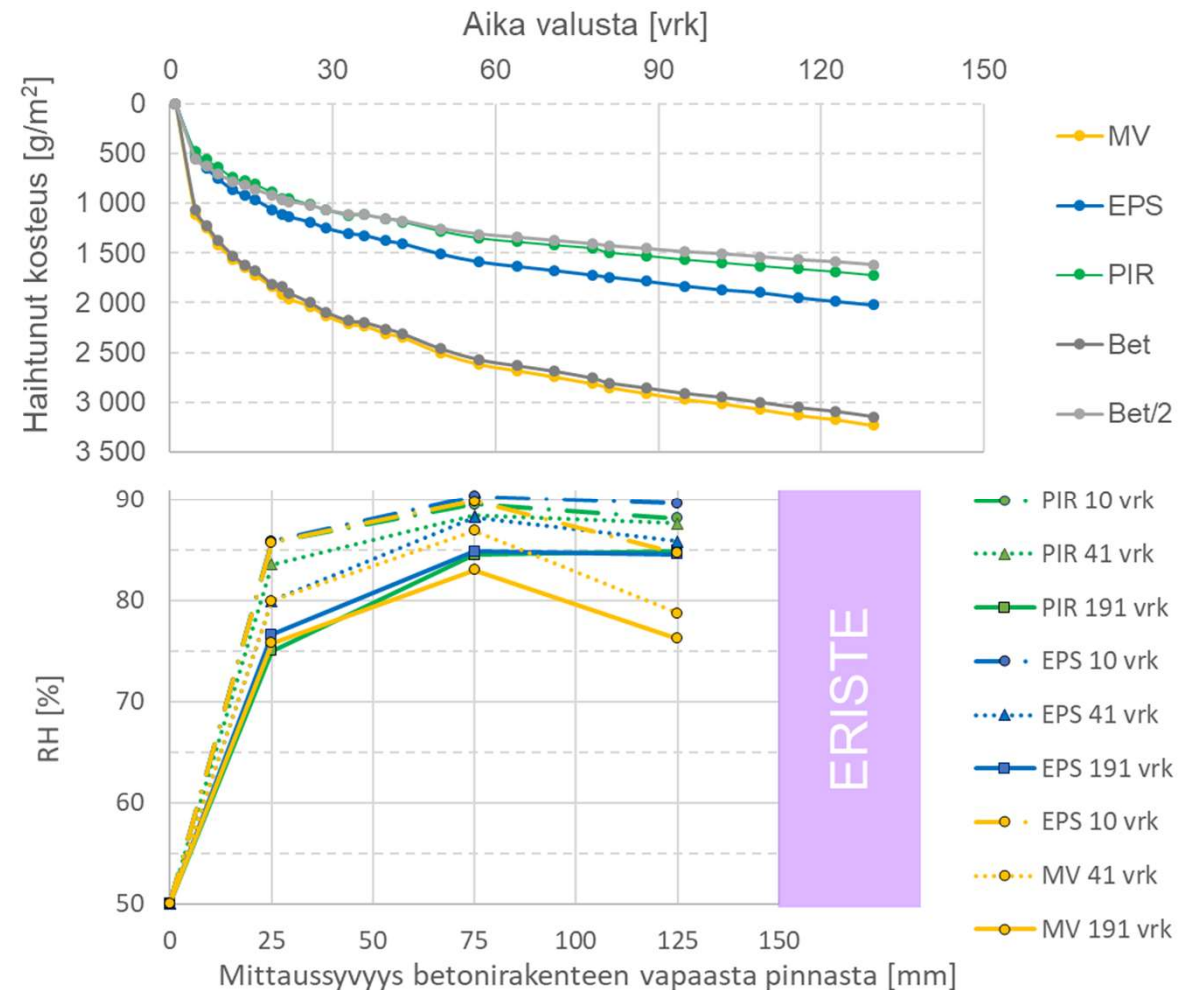
MV-koekappaleesta poistui kosteutta yhtä paljon kuin kahteen suuntaan kuivuvasta betonikoekappaleesta (Bet).

PIR-koekappaleesta poistui noin puolet kyseisestä vesimäärästä. EPS-koekappaleesta poistui kosteutta hieman nopeammin kuin PIR-koekappaleesta.

## Kosteusmittaukset/kosteusjakauma:

PIR- ja EPS-eristetyissä kosteusjakaumat ovat lähes identtiset. Kuivuminen tapahtuu pääosin yhteen suuntaan.

MV-eristetty myös kosteusmittausten perusteella selkeästi kahteen suuntaan kuivuva. Koekappale on kuivunut myös eristeen puolelta keskipistettä kuivemmaksi.



# Betonirakenteisten sisäkuorielementtien kuivuminen: laskennalliset tarkastelut

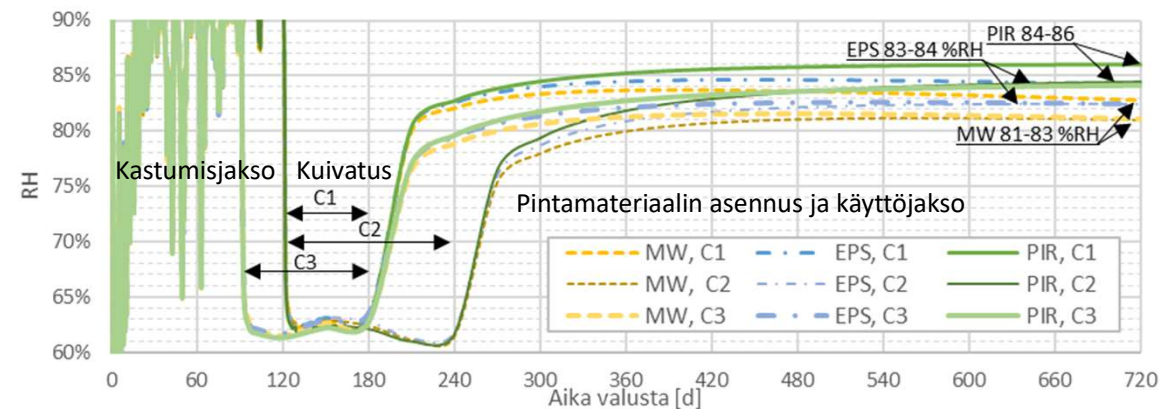
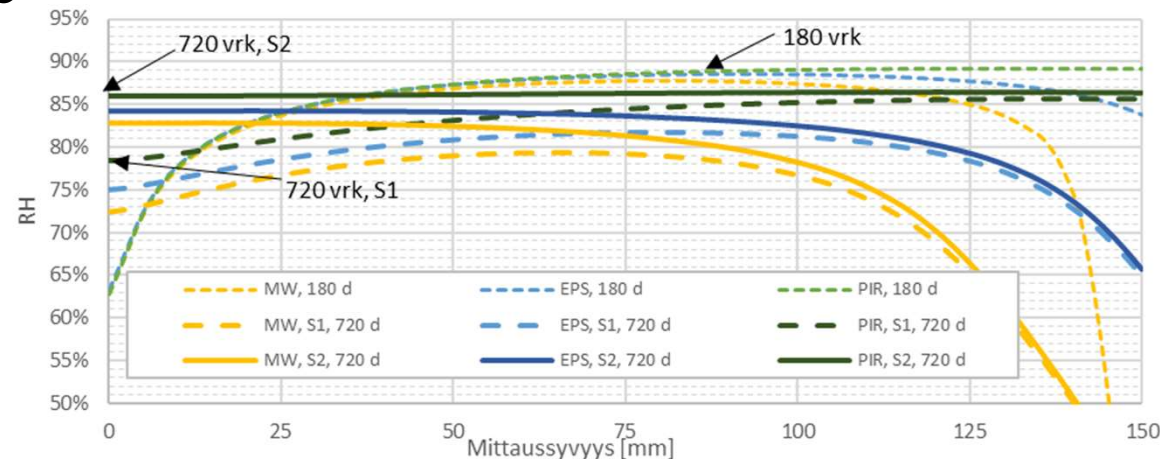
## Kosteusjakauma:

Mikäli käytetään vesihöyrytiiviitä ja kosteuserkkiä pintamateriaaleja tai pintarakenteita, on suositeltavaa käyttää kosteusavointa ulkopuolista eristemateriaalia rakenteen kuivumiskyvyn varmistamiseksi; käytettäessä vesihöyrytiivistä eristettä, on sisäpuolisen pintamateriaalin oltava riittävän vesihöyryvoin rakenteen kuivumiskyvyn varmistamiseksi.

## Kastumis- ja kuivumisjakson vaikutus:

Tarkastelu tehtiin tiiviillä pintamateriaalilla.

Rakenteen kastumisajan lyhentäminen on tehokkain tapa saavuttaa rakenteelle määritetty tavoitekosteus ja siten pintamateriaalin alle alhaisin kosteus lopputilanteessa.





# Sisäisen konvektion vaikutus puhallusvillaeristeisissä yläpohjissa

Yläpohjakokeissa on tutkittu puhallusvillaeristeisiä yläpohjia.

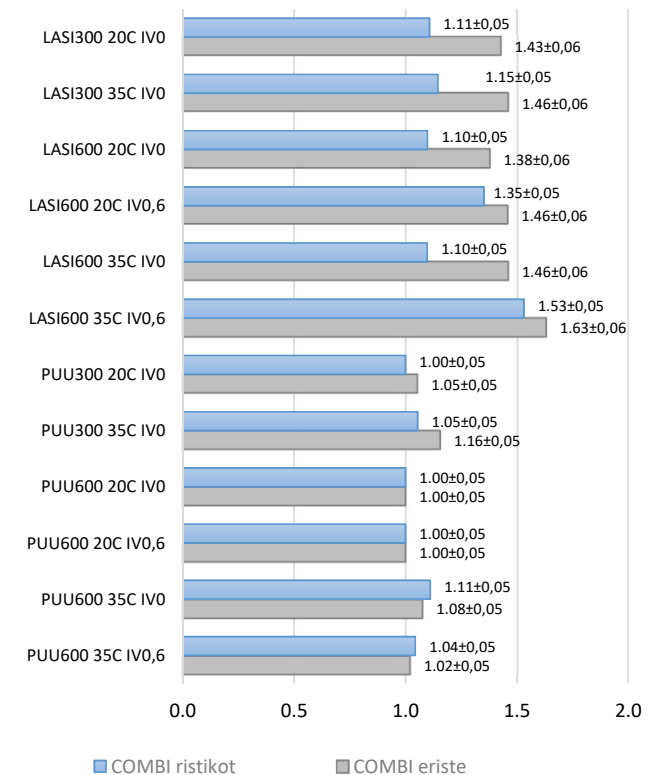
Muuttujina ovat olleet seuraavat suureet:

- Puhallusvillat: Puukuitu- ja lasipuhallusvilla
- Eristepaksuudet: 300 mm ja 600 mm
- Lämpötilaero: 20 °C ja 35 °C
- Tuuletusilmavirta:
  - 300 mm:n eristepaksuudella ~0 m/s
  - 600 mm: eristepaksuudella ~0 m/s ja ~0,6 m/s
- Kattoristikot: pelkkä eristekerros ja eristekerros + kattoristikot k900-jaolla

Sisäinen konvektio heikentää ilmaa läpäisevällä eristeellä eristetyn rakenteen lämmöneristävyyttä ja tietyissä tilanteissa kosteusteknistä toimintaa.

Puukuitueristeellä suurin yksittäinen sisäistä konvektiota kasvattava tekijä oli lämpötilaeron kasvattaminen. Lasipuhallusvillalla suurimmat yksittäisen muuttujan vaikutukset saatiin ilmavirtauksen kasvattamisella ja poistamalla kattoristikot.

Taulukossa on esitetty eri koevaiheissa saadut Nusseltin luvut, jotka kuvaavat sisäisen konvektion tapahtumista. Nusseltin luvun ollessa yli 1 rakenteessa tapahtuu sisäistä konvektiota. Koetilanteen nimessä on ilmoitettu eristeen tyyppi, mittauksessa käytetty lämpötilaero ja tuuletusilmavirran nopeus.



# Sisällys

## Rakennusosien toimivuus ja kosteustekniset rasitukset sekä suositukset rakennusfysikaaliseen suunnitteluun

Olevat rakennukset

-rakenteiden tila

-sisäilman olosuhteet

-paine-erot

Laboratoriotutkimukset ja laskenta

-Kalsiumsilikaattieristeet

-Sisäkuori- ja ontelolaattabetonit

-Puhallusvillaeristetyt yläpohjat

Terveen talon toteutuksen kriteeristö

Suosituks

- Tyypillisten rakennusfysikaalisten materiaaliominaisuuksien tutkiminen valituille materiaaleille
- Valittujen rakenteiden kosteusteknisen toiminnan mallintaminen
- Eri materiaaleilla eristettyjen sisäkuoribetonien kuivumisen mittaaminen
- Sisäisen konvektion merkittävyys yläpohjarakenteessa

# Terveen talon toteutuksen kriteerit korjausrakentamiseen

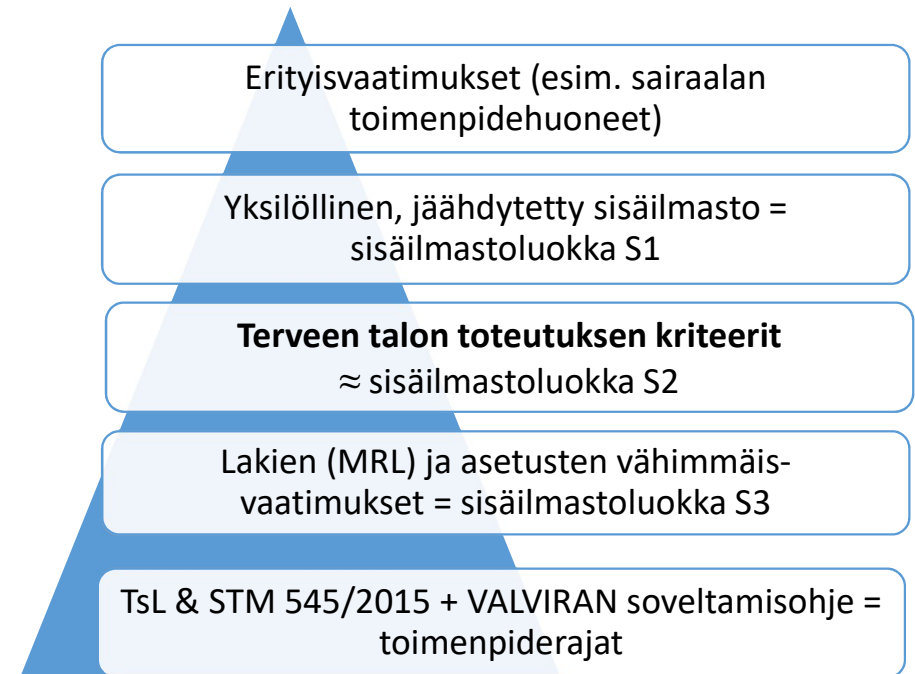
**Korjausrakentaminen on usein monimutkaisempaa kuin uudisrakentaminen**

→ siihen tarvitaan omat yhtenäiset, selkeät, yleispätevät ja käytännönläheiset kriteerit

uudisrakentamiseen suunnattujen toimintamallien soveltaminen saattaa jättää oleellisia korjausrakentamisen erityispiirteitä huomioimatta

**Päivitetty suppea kriteeristö täydentää muita olemassaolevia laajoja toimintamalleja**

Tietoa tiivistämällä voidaan saavuttaa parempaa vaikuttavuutta rakentamisen yleiseen laatuun ja ohjata tarkempaa tietoa tarvitsevia viimeisimmän tiedon lähteille



Määräysten minimitasoin mukainen rakennuskin tulee rakentaa toimivaksi, turvallisiksi ja terveelliseksi, mutta

**Terveen talon toteutuksen kriteereillä pyritään korkeampaan sisäilmaston laatuun ja kosteuteen liittyvien riskien minimointiin**

# Suosituks

Rakennuksen suunnitteluratkaisujen perustelut tulisi dokumentoida siten, että niistä saa riittävät lähtötiedot ratkaisujen toimivuuden arviointiin.

Kuntotutkimuksia olisi perusteltua tehdä ylläpidon näkökulmasta jo ennen epäilyä sisäilmaongelmasta.

Vaikeasti havaittavien ilmiöiden seuranta kriittisissä paikoissa tulisi helpottaa esimerkiksi tarkastusluukuin- ja pistein.

Talotekniikkaa koskeva kuntotutkimus olisi syytä linkittää rakenne- ja sisäilmatekniseen kuntotutkimukseen siten, että näiden vuorovaikutus tulee huomioitua kokonaisuuden arvioinnissa.

Virheettömiä rakenneratkaisuja ei tilastoista löydy ja siksi ratkaisujen vikasietoisuutta tulee lisätä vaurioiden välttämiseksi.

Rakenteiden yli vallitsevat suuret paine-erot aiheuttavat riskin rakenteille ja sisäilman laadulle.

Paine-erojen poistaminen ei ole mahdollista, mutta seurantamittausten avulla vallitsevat paine-erotasot voitaisiin minimoida.

Rakennuksen todellisen käytön ja ilmanvaihdon käyttötilanteiden tulisi vastata toisiaan kokonaisvaltaisesti käyntiajoista paine-ero-osastointeihin.

Ilmanvaihdon kokonaisvaltainen toimivuus ja paine-erojen hallinta tulisi varmistaa kaikissa eri käyttötilanteissa.

Yksinkertaisten seurantamittausten avulla saataisiin helposti tietoa myös muiden taloteknisten järjestelmien toimivuudesta, mutta tulosten käsittelyyn tulee varata resursseja.

# Suosituks

Rakenneratkaisujen vikasietoisuuden kehittäminen on tarpeen ja rakennusfysikaalinen mallintaminen on tässä hyvä työkalu.

Luotettavien tulosten edellytys on todellisuutta vastaavat lähtötiedot niin rasiusten kuin materiaaliominaisuuksien osalta.

Materiaaliominaisuuksien saatavuudessa on puutteita ja yksittäisen materiaaliryhmän sisälläkin vaihtelu voi olla suurta; epävarmojen lähtötietojen osalta on tehtävä herkkyytarkastelua.

Kellarin seinän sisäpuolinen lämmöneristäminen on riskialtista ja tulee toteuttaa vain osana kokonaisuutta, jossa koko maanvastaisten rakenteiden kosteustekninen toiminta varmistetaan.

Betonirakenteiden suhteellisen kosteuden seuranta jatkuvatoimisilla mittareilla on haastavaa ellei mahdotonta.

Matalan vesisementtisuhteen betoneilla kosteudensiirto on hyvin hidasta ja

-kuiva pintakerros voi peittää alleen hyvin merkittävän määrän kosteutta, joka tasoittuessaan kastelee koko rakenteen.

-diffuusiotiiviiden eristeiden ja pinnoitteiden käytössä tulee huomioida paitsi hidas kuivuminen, myös tästä seuraava hidas kuivumiskutistuminen.

Sisäinen konvektio on hyvin ilmaa läpäisevillä puhallusvillaeristeillä merkittävä lämmönläpäisyyn vaikuttava tekijä ja tulee ottaa huomioon rakenneratkaisujen suunnittelussa ja energiatehokkuuden määrittämisessä.

# Suosituks

Rakennusratkaisujen vikasjetoisuuden  
Rakennuksen suunnitteluratkaisujen  
kehittäminen on tarpeen ja  
perustelut tulisi dokumentoida siten, että  
rakennusfysikaalinen mallintaminen on tassa  
niistä saa riittävät lähtötiedot ratkaisujen  
hyvä työkalu.  
toimivuuden arviointiin.  
Luotettavien tulosten edellytys on  
Kuntotutkimuksia olisi perusteltua tehdä  
todellisuutta vastaavasti ja riittävästi  
ylläpidon näkökulmasta ja huomioida  
rasitusten kuin materiaalilominaisuuksien  
sisäilmaongelmasta.  
Vaikeasti saavutettavissa tiloissa  
Materiaalilominaisuuksien saatavuudessa on  
kriittisissä paikoissa tulisi helpottaa  
puutteita ja yksittäisen materiaaliryhmän  
esimerkiksi tarkastusluokki- ja pistelin-  
sisälläkin vaihtelu voi olla suurta,  
eräerojen lähtötietojen osalta on tehtävä  
eräerojen koskeva kuntotutkimus  
herkkyystarkastelu  
Kokonaista rakenne- ja sisäilmatekniseen  
kuntotutkimukseen siten, että näiden  
vuorovaikutus tulee huomioida  
lämmön eristämisen on riskialtista ja tulee  
kokonaisuuden arvioinnissa  
toteuttaa vain osana kokonaisuutta, jossa  
koko materiaalin rakenteiden  
koneellista rakennusratkaisua ei tilastoista  
kosteus- ja sisäilman vikasjetoisuutta tulee  
lisätä vaurioiden välttämiseksi.

## LUE: COMBI-hankkeen suositukset – energiatehokkaaseen rakentamiseen – COMBI 8

Betonirakenteiden suhteellisen kosteuden  
Rakenteiden yli vallitsevat suuret paine-erot  
seuranta jatkuvatoimisilla mittareilla on  
aiheuttavat riskin rakenteille ja sisäilman  
haastavaa ellei mahdotonta.  
laadulle.  
Matalan vesisementtisuhteen betoneilla  
Paine-erojen poistaminen ei ole mahdollista,  
kosteudensiirto on hyvin hidasta ja  
mutta seurantamittausten avulla vallitsevat  
kita ne eivät ole välttämättä hyvin  
merkittävän määrän kosteutta, joka  
Rakennuksen todellisen käytön ja  
talon ilmastusta ja sisäilman tilasta  
ilmantuvuuden käyttötilan tilasta vastata  
-diffuusiväestämisen väestämisen  
lämpö- ja kosteusero- ja huoneiden  
kuivuminen, myös tästä seuraava hidas  
Ilmanvaihdon kokonaisvaltainen toimivuus ja  
kulumiskutistuminen.  
paine-erojen hallinta tulisi varmistaa kaikissa  
Sisäilmanvaihdon on hyvin ilmaa  
läpäisevillä puhallusvillaeristeillä merkittävä  
Yksinkertaisten seurantamittausten avulla  
lämmönläpäisyyden vaikuttava tekijä ja tulee  
saataisiin helposti tietoa myös muiden  
ottaa huomioon rakennusratkaisujen  
taloteknisten järjestelmien toimivuudesta,  
suunnittelussa ja energiaterokkuuden  
mutta tulosten käsittelyyn tulee varata  
maarityksessä.  
resursseja.

# Kiitos!

## Lisätietoja esityksen sisällöstä

Eero Tuominen

Tampereen yliopisto

eero.tuominen@tuni.fi

040 742 1652

Tuloskortit ja taustajulkaisut löydät [COMBI-hankkeen internetsivuilta](#).

## Lisätietoja COMBI-hankkeesta

Juha Vinha

Tampereen teknillinen yliopisto

juha.vinha@tuni.fi

040 849 0296

<https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/tutkimusprojektit/combi>

Tämän teoksen suhteen noudatetaan lisenssiä Creative Commons Nimeä-JaaSamoin 4.0 Kansainvälinen.

Lisenssiin voit tutustua osoitteessa <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.fi>