



25 vuotta rakennusfysiikkaa Tampereella – historiaa, nykypäivää ja tulevaisuutta

28.10.2019

Prof. Juha Vinha

Rakennustekniikka, Rakennusfysiikka

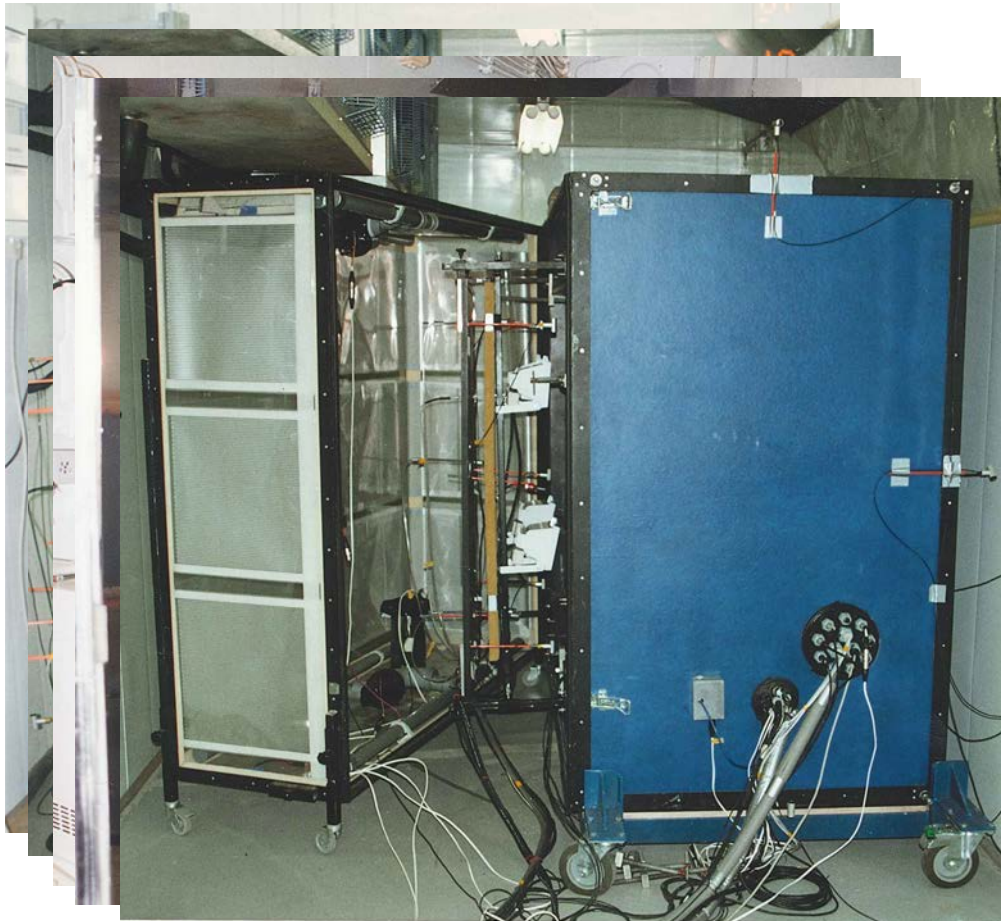
Alussa oli pakkahuone, tietokone ja Jussi... 1994



Tutkimustoiminta alkoi

- Tutkimuslaitteistojen rakentaminen ja kehittäminen
- Rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta hallituissa olosuhteissa laboratoriossa
- Pitkäjänteinen tutkimus ja suuremmat tutkimusprojektit

Seinärakenteiden rakennusfysikaalisen tutkimuslaitteiston toteutus 1994–1998



Laitteiston ominaisuudet

- Rakenteiden sisä- ja ulkopuolen lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja paine-eron tarkka hallinta
- Kokeen ohjaus ja seuranta automaattisesti
- Rakenteiden U-arvon mittaus
- Rakenteiden ilmanläpäisykertoimen mittaus

Koerakennusalueen rakentaminen ja koetalojen energiankulutusmittaukset

1996–1999 rakentaminen

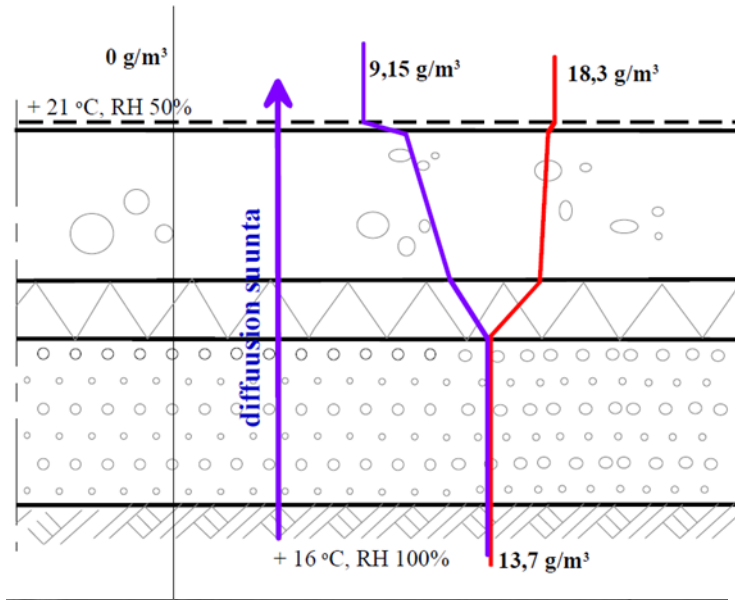
1999–2009 mittaukset



Tutkimusten painopisteet

- Seinärakenteiden vaikutus energiankulutukseen
- Massiivisen seinän ja hyvin lämpöeristetyin seinän erot
- Energiankulutusmittaukset 10 vuoden ajanjaksolla
- Ilmavuotojen vaikutukset energiankulutukseen
- Tutkimuksen johtajana [Ralf Lindberg](#) ja päätutkijoina [Minna Teikari](#), [Hannu Keränen](#) sekä [Augustino Binamu](#).

Maanvastaisten alapohjarakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta 1999–2006



Tutkimusten painopisteet

- Maanvastaisen alapohjan vaikutus lämpötilakenttään ja energiankulutukseen
- Maanvastaisen alapohjan kosteusolosuhteet ja kosteustekninen toiminta
- Lattialämmitetyn alapohjalaatan toiminta
- Maanvastaisen alapohjan mikrobiologinen toiminta
- Tutkimuksen johtajana [Ralf Lindberg](#) ja päätutkijoina [Virpi Leivo](#) ja [Jukka Rantala](#).

Puurunkoisten ulkoseinärakenteiden kosteustekninen toiminta 1998 →

**Tämä
seinä
hengittää**

**Läpihengittävä puutalo
ei pölyä eikä homehdu**

Puukuitu haastaa mineraalivillan

**Höyrinsulku pois
- homehtumattomuus
takuu 50 v.**

Mitä hengittävyydellä tarkoitetaan?

**"Hengittävä"
rakenne hämää
maallikko-
rakentajia**

Uusi vaihtoehto muoviselle höyrinsululle

**Auta taloasi
hengittämään oikein**

Muoviton rakentaminen?

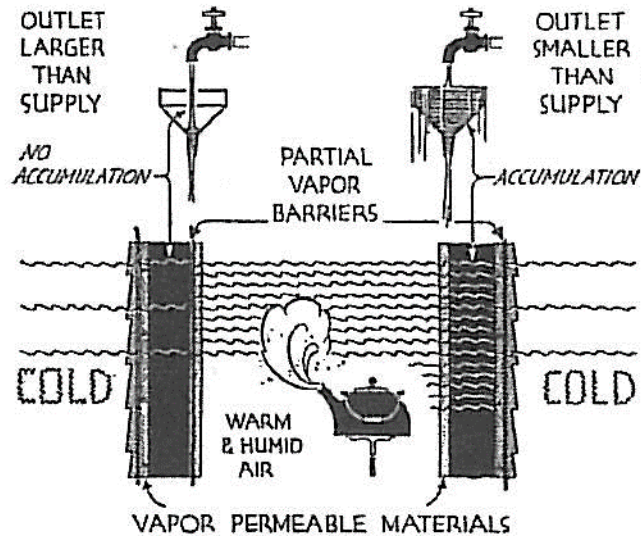
Ekologisia vaihtoehtoja

Rakenteilla säädellään sisäilmaa

**Ekorakentamista
syytetään home-
taloista Ruotsissa**

**Rakenteilla ^vHöyrinsulkua tarvitaan
päinvastaisista väitteistä huolimatta**

Puurunkoisten ulkoseinärakenteiden kosteustekninen toiminta 1998 →



(Rogers, T.S., Preventing condensation in insulated structures. Architectural Record, March 1938, pp. 109-119)

- Höyrönsulun tarpeesta puurunkoisissa seinärakenteissa oli tehty tutkimusta jo ennen toista maailmansotaa.
- Aiheesta oli tehty 2000-luvun alkuun mennessä jo lähes 100 tieteellistä tutkimusta.
- **Muovin käyttö puurakenteiden höyrönsulkuna on ollut suurin rakennusfysiikan kiistakysymys tutkijapiireissä ja rakennusalalla.**

HALUAMMEKO ASUA TERMOSPULLOSSA?

PUURAKENNUSTEN SEINÄMIEN HÖYRYTIIVEYDEN TARKASTELUA

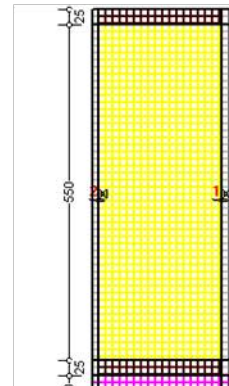
(Koiso-Kanttila, E., Rakennustaito n:o 9, 1964)

Puurunkoisten ulkoseinärakenteiden kosteustekninen toiminta 1998 →

Väitöskirja 1998–2007

- 1) Puurunkoisten ulkoseinärakenteiden laboriokokeet (8 + 56 = 64 koerakennetta)
- 2) Kenttäkokeet todellisessa rakennuksessa ja TTY:n koerakennusalueella
- 3) Rakennusmateriaalien materiaaliominaisuuksien määrittäminen (44 rakennusmateriaalia)
- 4) Laboratorio- ja kenttäkokeiden laskennallinen vertailu (validointi) **Eroja löytyy!**
- 5) Puurunkoisten ulkoseinärakenteiden laskennalliset tarkastelut **Puutteelliset toimintakriteerit!**

Kokonaisvaltainen tarkastelu eri tutkimusmenetelmillä tärkeää!



Rakenteiden kosteusteknisen toiminnan analysointimenetelmä 2000 →



- Menetelmän avulla rakenteiden kosteusteknisen toiminnan kriittisyyttä voidaan arvioida ja rakenteet voidaan mitoittaa kestävämmälle kohdistuvat kosteusrasitukset samalla periaatteella, kuin rakenteiden lujuustarkasteluissa.
- Kehitystyötä tehtiin useissa eri projekteissa vuosina 2000–2012. Kehitystyö jatkuu edelleen.
- Tutkimuksissa pyrittiin varmistamaan menetelmän luotettava toiminta Suomen olosuhteissa ja Suomessa käytetyillä rakennusmateriaaleilla.

Rakenteiden kosteusteknisen toiminnan analysointimenetelmä 2000 →

Ilmatieteen
laitos

ULKOILMAN OLOSUHTEET

Rakennusfysikaalisten testivuosien määrittäminen Suomen nykyisessä ja tulevaisuuden ilmastossa, 2010 →

LASKENTAOHJELMAT
Rakennusfysikaalisten laskentaohjelmien toiminnan validointi ja vertailu koetuloksiin, 2001 →

MATERIAALI- OMINAISUUDET

Suomessa käytettävien rakennusmateriaalien ominaisuuksien määrittäminen, 2000 →

SISÄILMAN OLOSUHTEET

Sisäilman mitoituslämpötilojen ja kosteuslisien määrittäminen eri rakennustyypeissä, 2002 →

TOIMINTAKRITEERIT
Suomalaisen homemallin kehitystyö, 2005 →
Kondensoituvan kosteuden laskennallinen määrittäminen, 2001 →

TKK

VTT

Rakennusfysikaaliset testivuodet Suomen ilmastossa

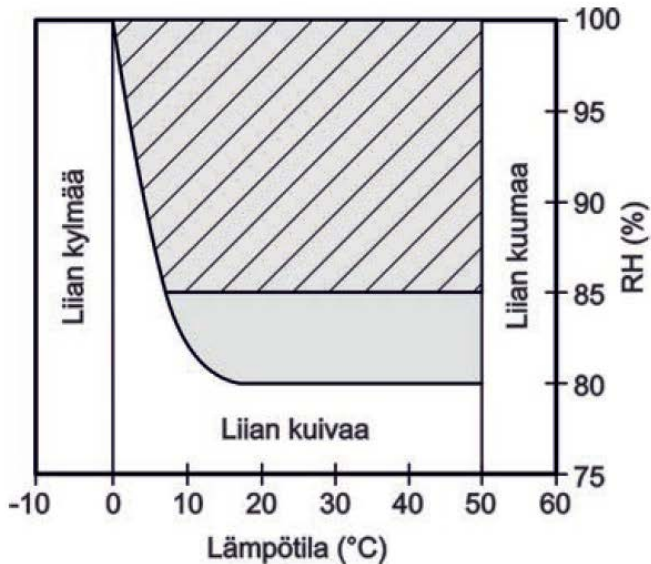
Rakennetyypit	Testivuosi		
	Nykyilmasto	2050 ilmasto	2100 ilmasto
<p>Rakenteet, joissa vain ulkoilman suhteellinen kosteus vaikuttaa merkittävästi niiden sisäosan kosteustekniseen toimintaan.</p> <p><u>Esimerkkirakenteita:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - puu- ja metalliverhotut ulkoseinät - betonisandwich-rakenteet ¹ - harkkorakenteet ¹ - sisäpuolelta eristetyt massiivirakenteet - yläpohjat, joissa on vesikate - ryömintätilaiset alapohjat 	<p>Jokioinen 2004</p> <p>ilmansuunta seinärakente-tarkasteluissa: <i>pohjoinen</i> ²</p>	<p>Jokioinen 2050</p> <p>ilmansuunta seinärakente-tarkasteluissa: <i>pohjoinen</i> ²</p>	<p>Jokioinen 2100</p> <p>ilmansuunta seinärakente-tarkasteluissa: <i>pohjoinen</i> ²</p>
<p>Rakenteet, joissa sekä sade että ulkoilman suhteellinen kosteus vaikuttavat merkittävästi niiden sisäosan kosteustekniseen toimintaan.</p> <p><u>Esimerkkirakenteita:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - tiiliverhotut ulkoseinät - eristerapatut ulkoseinät - betonisandwich-rakenteet ¹ - harkkorakenteet ¹ - käännetyt katot 	<p>Vantaa 2007</p> <p>ilmansuunta seinärakente-tarkasteluissa: <i>etelä</i></p>	<p>Vantaa 2050</p> <p>ilmansuunta seinärakente-tarkasteluissa: <i>etelä</i></p>	<p>Vantaa 2100</p> <p>ilmansuunta seinärakente-tarkasteluissa: <i>etelä</i></p>

¹ Rakenteesta riippuen kumpi tahansa testivuosisista voi olla kriittisempi. Rakenteen toiminta on syytä tarkistaa kummallakin testivuodella.

² Rakenteen ulkopinnan kosteusteknistä toimintaa tarkasteltaessa kriittisin ilmansuunta voi olla myös joku muu kuin pohjoinen.

Suomalainen homemalli

Homeen kasvun kannalta suotuisa lämpötila ja RH-alue

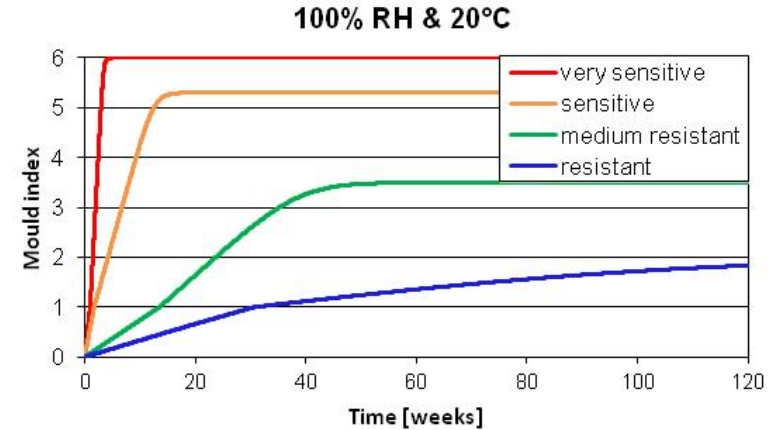


Homehtumis-herkkyysluokkien HHL1 ja HHL2 materiaalit
 Homehtumis-herkkyysluokkien HHL3 ja HHL4 materiaalit

Homeindeksi M

kuvaa tarkasteltavan pinnan homehtumista:

- 6 = pinta täysin homeen peitossa
- 3 = pinnalla silmin nähtävää hometta
- 1 = homeen kasvu alkaa pinnalla

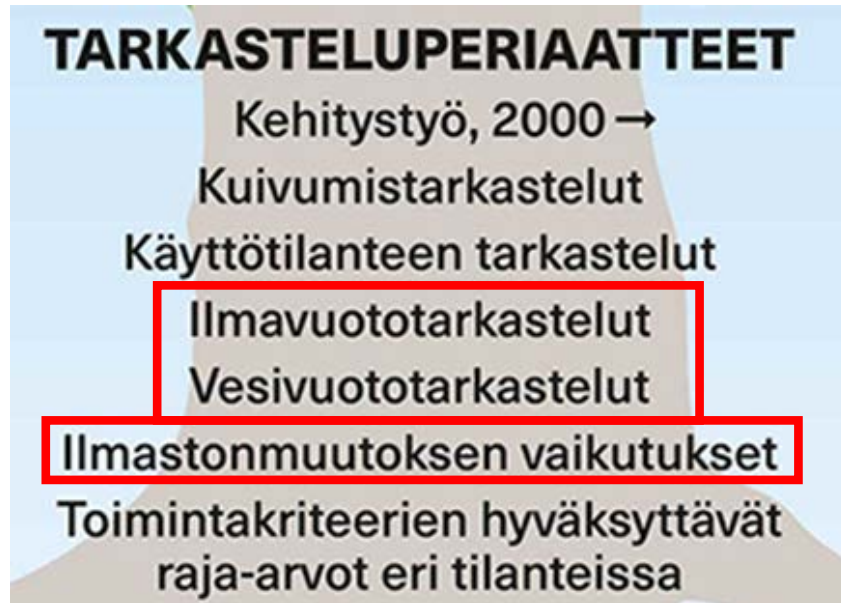


Homeindeksin maksimiarvot

- HHL 1: 6,0
- HHL 2: 5,3
- HHL 3: 3,5
- HHL 4: 2,0

Homehtumis-herkkyysluokka	Rakennusmateriaalit
Hyvin herkkä HHL1	karkeasahattu ja mitallistettu puutavara (mänty ja kuusi), höylätty mänty, koivuvaneri, käsittelemätön huokoinen kuitulevy, kartonkipintainen kipsilevy
Herkkä HHL2	höylätty kuusi, paperipohjaiset bitumoidut/ käsitellyt tuotteet ja kalvot, puupohjaiset liimatut levyt, havuvaneri, bitumoitu/ käsitelty huokoinen kuitulevy
Kohtalaisen kestävä HHL3	mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiilet
Kestävä HHL4	lasi ja metallit, alkalinen uusi betoni, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit

Rakenteiden kosteusteknisen toiminnan analysointimenetelmä 2000 →



- Eri ohjelmien käyttöön liittyvät asiat (laskenta-aikojen pituus, laskentaverkon toteutus, virheherkkyys, vaikeat laskentatapaukset, puuttuvat ominaisuudet, havaitut erot koetuloksiin, käytettävät yhtälöt)
- Alkuolosuhteiden valinta (erityisesti kuivumistarkastelut)
- Sisä- ja ulkoilman olosuhteiden valinta (testivuodet ja ilmastonmuutos)
- Ilmansuuntien ja rakennuksen korkeuden vaikutus (erityisesti viistosaderasitus)
- Olosuhteiden tasoittumisajat ja tarkastelujen kesto
- Materiaaliominaisuuksien valinta
- Homeindeksin laskentaperiaatteet ja hyväksyttävät raja-arvot eri kohdissa rakenteita

Rakenteiden toiminnan tarkastelut analysointi- menetelmällä (ilmastonmuutos, lämmöneristyksen lisäys, ylipaine) 2012 →

- Peltisandwich-paneelit hallien ulkoseinien korjaamisessa
Antti Tiittanen 2019
- Tiili-villa-tiiliseinät
Juuso Parkkinen 2019
- Solumuovieristetyt betoniseinät
Pauli Sekki 2018–2019
- Ryömintätilaiset alapohjat
Juha Salo 2016–2017
Anssi Laukkarinen 2012–2013
- Maanvastaiset sisäpuolelta eristetyt ulkoseinät
Roosa Heiskanen 2016
- Puuelementit betonijulkisivujen korjaamisessa
Joonas Salonen 2015
- Teräsprofiilirunkoinen suurjulkisivuelementti
Petteri Huttunen 2014
- Ruiskutettavalla polyuretaanilla toteutetut korjaukset
Matti Kiljunen 2013–2014
- Puurakenteiset tuulettavat yläpohjat
Hannanoora Junntila 2015
Anssi Laukkarinen 2013–2015
- Eristerapatut rakenteet
Marko Kiili 2014
Mikael Mäkitalo 2012
- Sisäpuolelta lisäeristetyt hirsi- ja kevytbetoniseinät
Sakari Nurmi 2012
- Puurunkoiset ulkoseinät
Topi Moisio 2018–2019
Teemu Jokela 2018
Mikael Mäkitalo 2012

Ilmastonmuutoksen eteneminen



- Homehtumisriski ulkoilmassa on noussut voimakkaasti viime vuosina pelkästään lämpötilan ja RH:n muutosten seurauksena.
- Homehtumisriski on kasvanut samalla myös rakenteiden ulko-osissa.
- Rakennusfysikaaliseksi testivuodeksi valittiin FRAME-tutkimuksessa Jokioisen 2004 ulkoilman olosuhteet, joka kuvasi erittäin rasittavia kosteusolosuhteita ulkoilmassa.
- Tämän jälkeen olleina kahdeksana vuotena 2010–2017 ulkoilman olosuhteet ovat olleet kuitenkin kuutena vuotena tätä testivuotta kriittisemmät homeen kasvun kannalta!
→ Ilmastonmuutos etenee voimakkaasti!

Homeindeksi M

kuvaa tarkasteltavan pinnan homehtumista:

6 = pinta täysin homeen peitossa

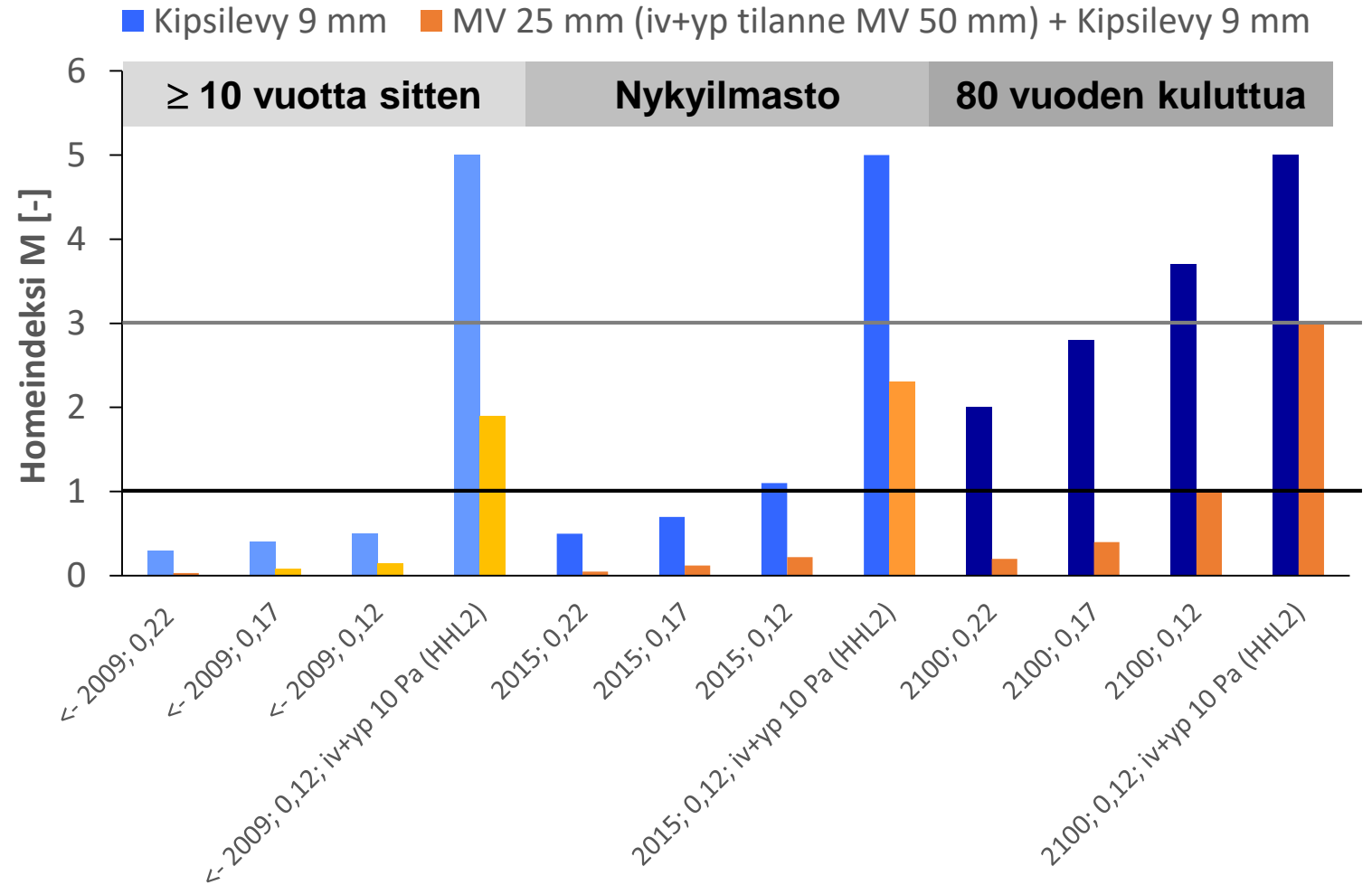
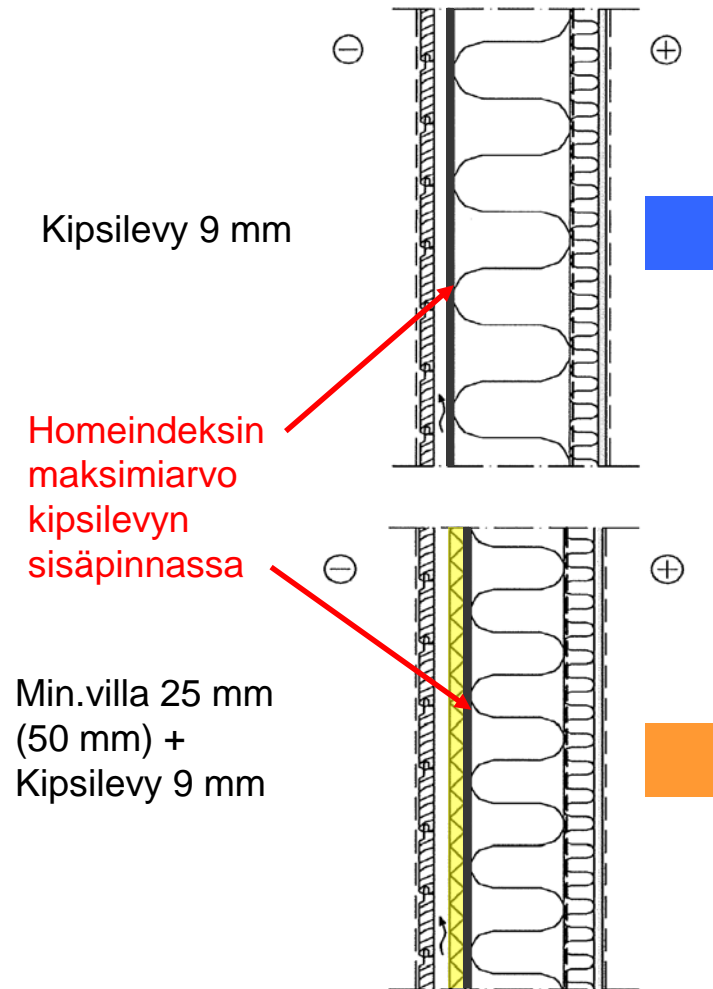
3 = pinnalla silmin nähtävää hometta

1 = homeen kasvu alkaa pinnalla

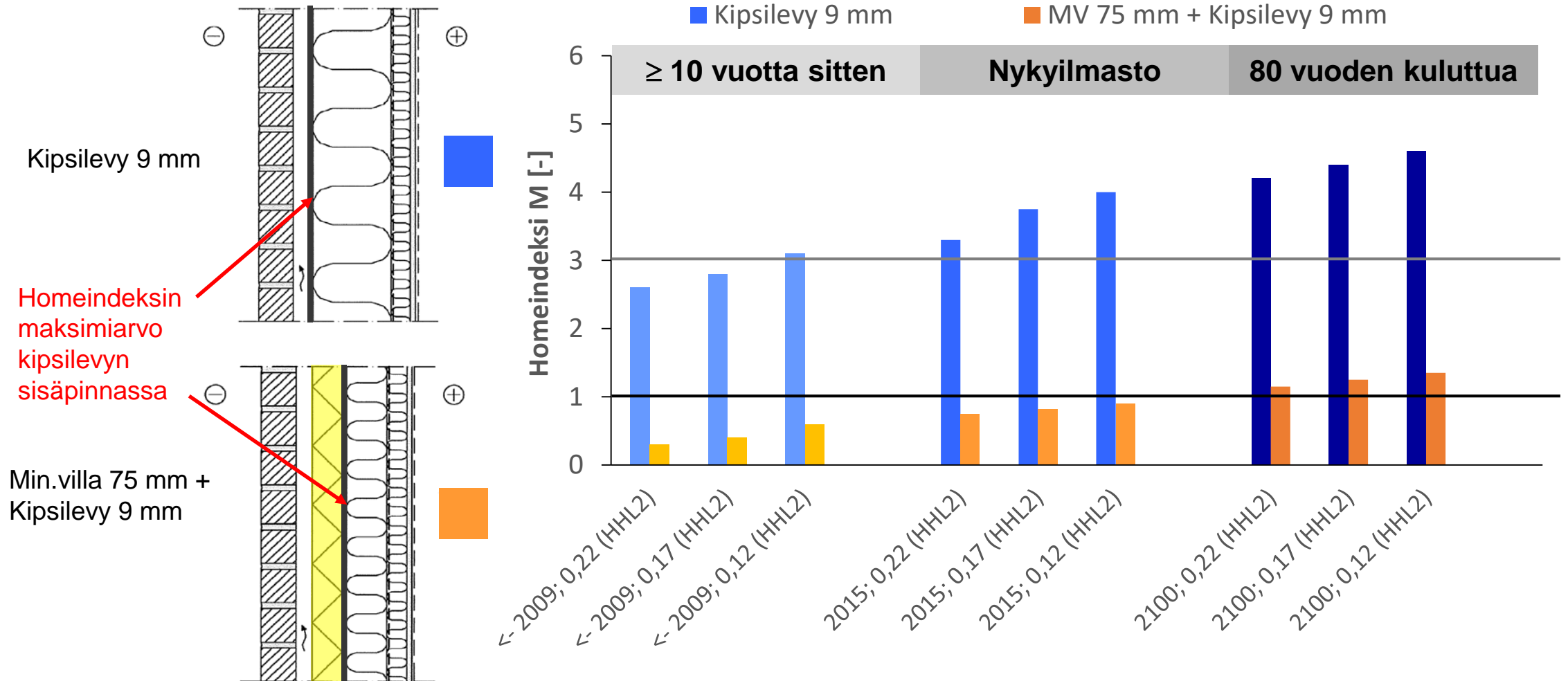
Rakennusfysikaalinen testivuosi

Vähintään 90 % vuosista vähemmän kriittisiä homeen kasvun suhteen, tarkasteluajanjaksona oli 30 vuoden mittausdata vuosina 1980–2009

Esimerkki 1: tuulensuojan vaikutus lautaverhotun puurunkoisen ulkoseinän toimintaan



Esimerkki 2: tuulensuojan vaikutus matalan tiiliverhotun puurunkoisen ulkoseinän toimintaan



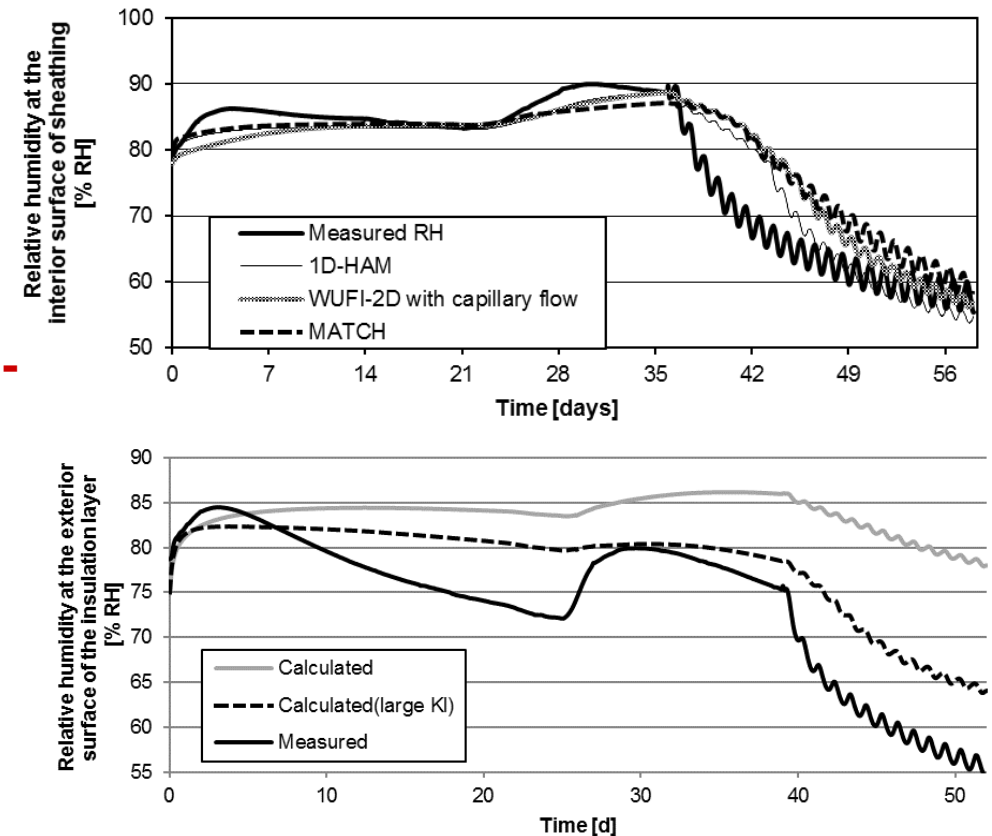
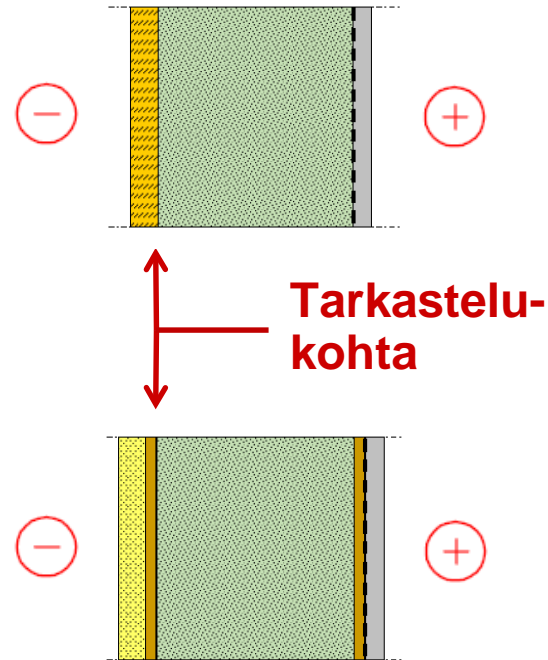
Ilmastonmuutoksen, lämmöneristyksen lisäyksen ja ylipaineen haitallisuus



Laskennallisen mallinnuksen puutteet

Virheitä aiheuttavat mm.

- Hygroσκοoppiset materiaalit
 - Kosteuden siirtyminen huokosilman ja materiaalin välillä
 - Kosteuspitoisuuden hystereesi kostumis-kuivumistilanteissa
 - Kapillaarinen kosteuden siirto korkeissa kosteuspitoisuuksissa
- Konvektiovirtaukset (erityisesti kosteuden konvektio)
- Tiivistyvän kosteuden jäätyminen ja valuminen rakenteessa
- Suomalaisen homemallin puutteet
- Mikroilmaston aiheuttamat paikalliset olosuhde-erot



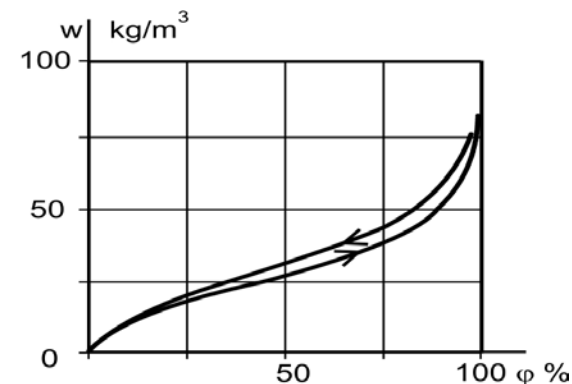
- Kokeellista tutkimusta tarvitaan jatkossakin, koska laskennan ja koetuloksen välillä on aina eroja.
- Laskennassa ja/tai suunnittelussa tulee käyttää rakenteiden kosteusteknisen toiminnan osalta lisävarmuutta.

Dynaaminen sorptio kuitumaisissa rakennusmateriaaleissa 1/2

- Nykyisissä laskentaohjelmissa on oletus **hygroskooppisesta tasapainosta** huokosilman RH:n ja materiaaliin sitoutuneen kosteuspitoisuuden välillä.
- Tämän malli toimii puutteellisesti varsinkin luonnonkuitumateriaaleille (esim. puu, puukuitumateriaalit, puukuitueristeet).
- Syyinä on **kosteuden tunkeutumisen hitaus kuitujen sisään** (ns. ”ei-Fickiaaninen diffuusio”).
- Ilmiön huomioon ottaminen ohjelmissa edellyttää uusien materiaaliparametrien määrittämistä, joka on hyvin haasteellista.
- Tavoitteena löytää parannettu malli ja menetelmä materiaaliparametrien määrittämiseksi.



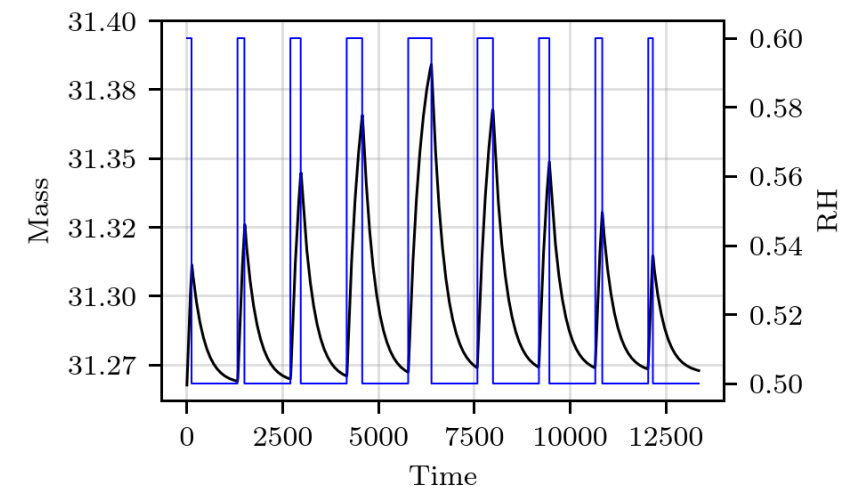
Petteri Huttunen



Dynaaminen sorptio kuitumaisissa rakennusmateriaaleissa

2/2

- Työssä kokeillaan erilaisia **matemaattisia malleja**, joilla on fysikaalinen tulkinta ilmiön kannalta ja määritetään niihin liittyviä **materiaaliparametreja** käyttäen perinteisen optimoinnin sijaan **tilastollista inversiota** lähestymistapana.
- Tutkittavana materiaalina on **huokoinen puukuitulevy** ja materiaaliparametrien määrittämisessä tarvittavaa dataa tuotetaan tekemällä ajasta riippuvia mittauksia hyvin pienille näytteille ns. **dynaamisella sorptioanalysointilaitteella**.
- Parannetulla laskentamallilla tehdään vertailuja laboratorio- ja koerakennusmittauksiin sekä perinteisiin laskentaohjelmiin (WUFI jne.).
- Dynaamista sorptiomallia on mahdollista soveltaa rakenteiden tutkimisessa esim. Comsol Multiphysics Mathematics -moduulin avulla tai muilla vapaasti ohjelmoitavilla työkaluilla (esim. FEM-kirjastoilla).



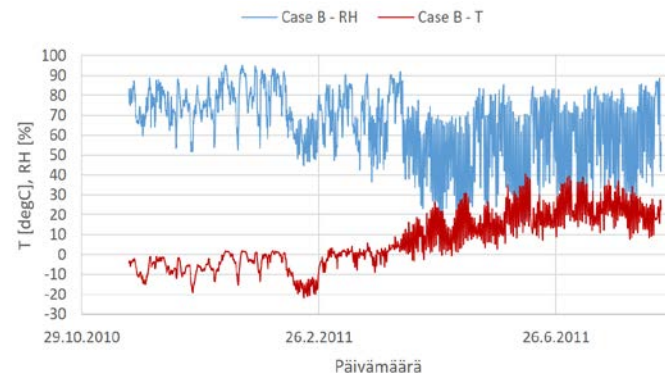
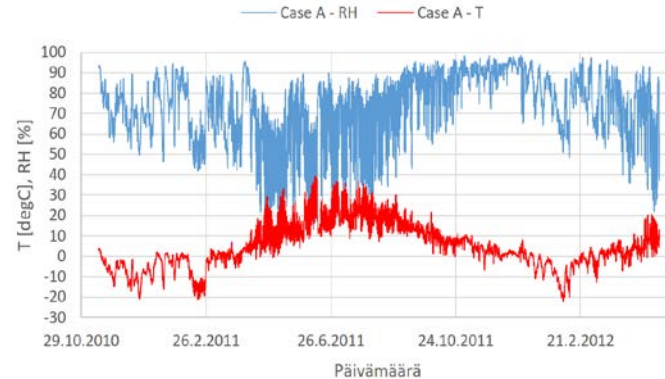
Olemassa olevien vaipparakenteiden arviointimenettely aikasarjamalleilla 1/2

- Rakennusfysikaaliset laskentatarkastelut sisältävät aina yksinkertaistuksia ja muita virhelähteitä
→ Rakenteiden toimivuutta tulee arvioida suunnitteluvaiheen lisäksi myös **käytönaikaisissa olosuhteissa**.
- Rakenteissa esiintyvät olosuhteet vaihtelevat muun muassa peräkkäisten vuosien ja rakennuksen sijainnin mukaan, joten tarvitaan keino **yhteismitallistaa** rakenteista tehtyjä mittaustuloksia eri tekijät huomioon ottaen.
- Väitöskirjan aiheena on tarkastella erilaisten **aikasarjamallien** soveltuvuutta vaipparakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan kuvaamiseen sekä määrittellä **toimintatapa** ja **rajoitteet** keskenään samankaltaisten vaipparakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toimivuuden vertailemiseksi.



Anssi Laukkarinen

Olemassa olevien vaipparakenteiden arviointimenettely aikasarjamalleilla 2/2

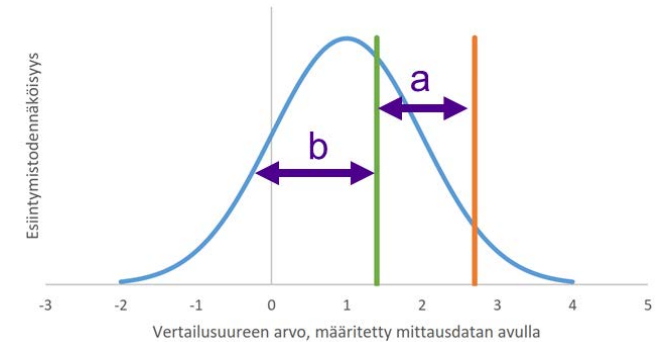


Aikasarja-analyysi

Rakenteen **käyttäytymisen ennustaminen** tulevaisuudessa saadun mittausdatan avulla (uusi malli ja parametrit).

Menetelmää voidaan käyttää jatkossa **toiminnallisen suunnittelun** apuna.

Black box



Menetelmän avulla mahdollistuvat:

- a) Keskinäiset vertailut
- b) Vertailut referenssiaineistoon

Betonin kosteusilmiöiden mallintaminen FEM-laskennalla suomalaisilla betoneilla 1/2

- Nuoren betonin kosteusolojen mallintamiselle FEM-laskennalla ei ole yleisesti hyväksyttyä ohjeistusta.
- Yleisen mallin kehittämisen ongelmana on betonin valmistuksessa käytettävien **raaka-aineiden laaja kirjo**, jotka kaikki vaikuttavat osaltaan tuoreessa betonissa tapahtuviin kemiallisiin reaktioihin ja sitä kautta betonin kosteusominaisuuksiin.
- Tutkimuksen tavoitteena on parantaa olemassa olevia laskentamalleja siten, että saadaan aikaan **betonin ikääntymisen ja hydrataation huomioiva laskentamalli betonin kuivumisen mallintamiseen**.
- Tärkeimpinä selvitettävänä muuttujina ovat betonissa käytettävän **sementin ja vesisementtisuhteen** sekä **kypsymisolosuhteiden (lämpötila ja kosteusolosuhteet)** vaikutus kuivumiseen.

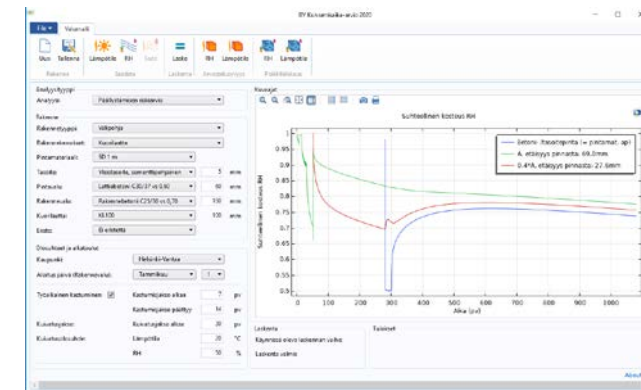
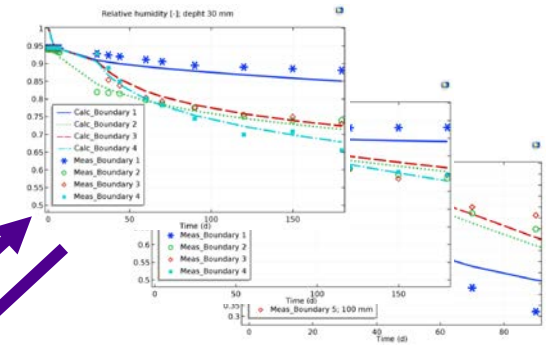
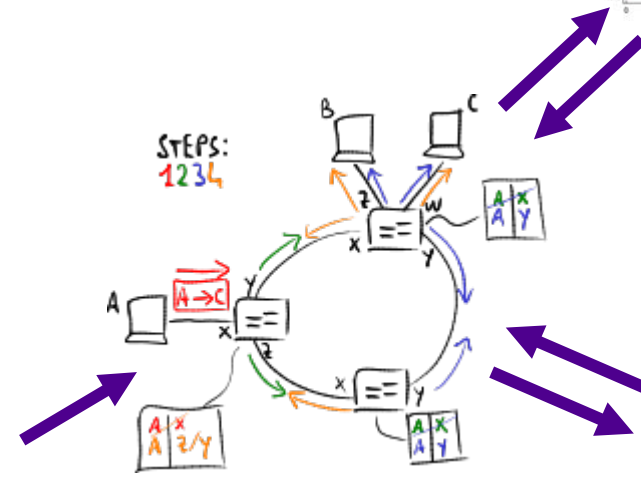
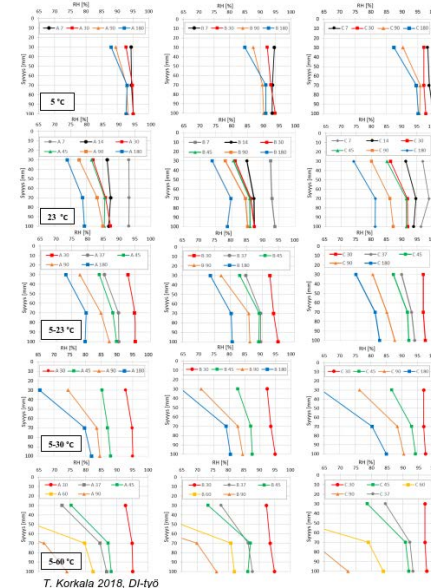


Pauli Sekki

Betonin kosteusilmiöiden mallintaminen FEM-laskennalla suomalaisilla betoneilla 2/2

Laskentamallin kehittäminen

- pitkäaikaisia kuivumisen seurantamittauksia eri betonilaaduilla eri olosuhteissa
 - käytännön kohteissa kerättävää aineistoa mallin testausta varten
- kosteusolosuhteiden, kastumisen ja lämpötilan vaikutukset
 → kosteustilan muutos pintamateriaalin asentamisen jälkeen



Rakennusfysiikan tutkimus

Ajurit

- 1 Kosteus- ja homeongelmat
- 2 Ilmastonmuutos
- 3 Energiatehokkuus
- 4 Vähähiilinen rakentaminen

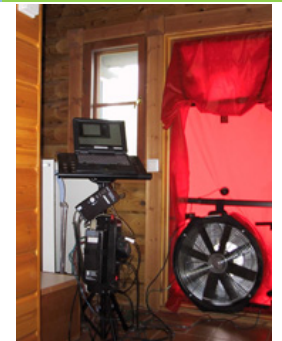
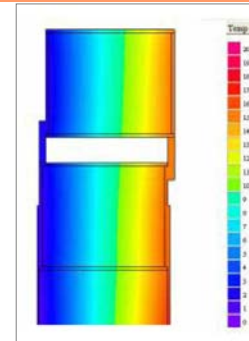
Tutkimuksen painopisteet

- Rakenteiden kosteustekninen analysointimenetelmä
 - Sisä- ja ulkoilman olosuhteet, ilmastonmuutos
 - Materiaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet
 - Laskennallisen mallinnuksen tarkkuuden parantaminen
 - Rakenteiden toimintakriteerit ja raja-arvot, toimintavarmuus
- Rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta
- Rakennusten energiankulutus ja energiaterhokkuus
- Tutkimusmenetelmien ja -laitteiden kehittäminen

Lämpö	Kosteus
Ilma	Energia

Tutkimusmenetelmät

Laskennallinen mallinnus	Laboratoriokokeet	Kenttäkokeet
	Materiaalit	Rakenteet



Tutkimusmenetelmien ja -laitteiden kehittäminen 1/2

- **2013** Lämpövirtalevyalaite materiaalien suurten lämmönjohtavuuksien mittaamiseen
- **2012–2013** Kaksi kosteushuonetta (automattisesti säädettävät)
- **2012** Tarkempi lämpökamera pintalämpötilojen mittausta varten
- **2010** Huokoisten materiaalien ilmanläpäisevyyden mittauslaite
- **2009** Materiaalien vesihöyrynläpäisevyyden mittausvälineistö **Oma kehitystyö**
- **2002** Lämpökamera pintalämpötilojen mittausta varten
- **2002** Blowerdoor-laite rakennusten ilmanpitävyyden mittausta varten
- **2001** Uusi pakkahuone
- **2000–2001** Kosteushuone ja kosteuskammiot (suolalla säädettävät) **Oma kehitystyö**
- **2000** Lämpövirtalevyalaite materiaalien pienten lämmönjohtavuuksien mittaamiseen
- **1996–1999** Koerakennusalue ja koerakennukset energiankulutustutkimuksiin **Oma kehitystyö**
- **1994–1998** Seinärakenteiden rakennusfysikaalinen tutkimuslaitteisto **Oma kehitystyö**

Tutkimusmenetelmien ja -laitteiden kehittäminen 2/2

- **1994** → Eri suureiden mittausanturit (> 1000 kpl) ja -laitteet:
lämpötila, suhteellinen kosteus, kosteuspitoisuus, paine-ero, hiilidioksidipitoisuus, ilman virtausnopeus, ilman tilavuusvirta, lämpövirta, sademäärä, tuuli, auringon säteily
- **2018–2020** Kahden monitoimikoerakennuksen rakentaminen koerakennusalueelle **Oma kehitystyö**
- **2018–2019** Uudet laboratoriotilat materiaalikokeiden tekemiseen
- **2018–2019** Materiaalien vesihöyrynläpäisevyyden mittausvälineistön parantaminen
- **2017–2018** Kosteuskalibraattorin ja vakumointilaitteiston hankinta
- **2017–2018** Blowerdoor-laitteiston toiminnan päivittäminen ja parantaminen
- **2016–2019** Rakennusfysikaalisten tutkimuslaitteistojen kehittäminen ja parantaminen **Oma kehitystyö**
- **2016** Sorptioanalysointilaitteisto materiaalien hygr. tasapainokosteuden ja kosteuden sitoutumisen mittausta varten
- **2014–2016** Yläpohjarakenteiden rakennusfysikaalinen tutkimuslaitteisto **Oma kehitystyö**
- **2014** Painelevylaitteisto materiaalien kapillaarisen tasapainokosteuden määrittämistä varten
- **2014** Vedenimulointilaitteisto materiaalien kapillaarisuusominaisuuksien määrittämistä varten **Oma kehitystyö**

Laskennallinen mallinnus

Rakenteiden lämpö- ja kosteustekniset tarkastelut

- WUFI 1D ja 2D
- Delphin 2D

Rakennusten energiankulutuksen laskenta

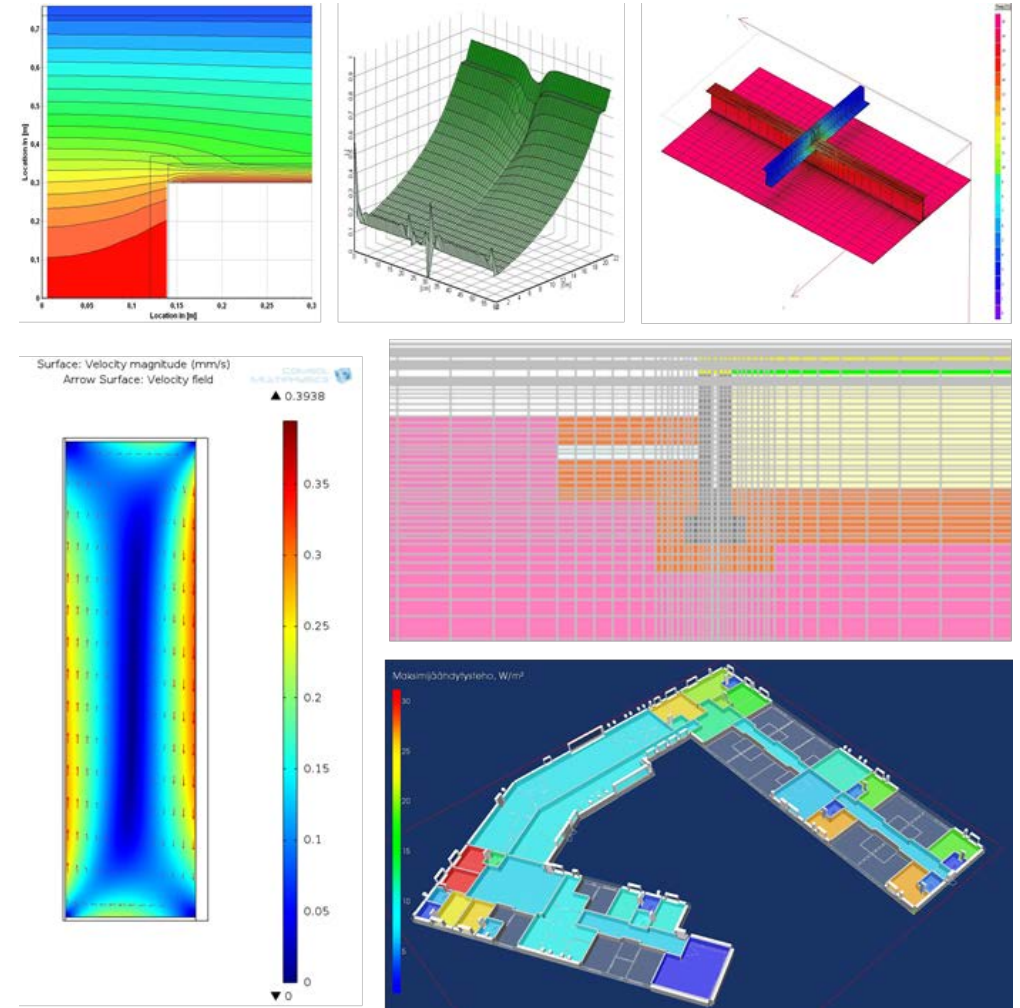
- IDA-ICE 3D

Virtauslaskenta, yhdistetyt lämmön, kosteuden ja ilmavirtausten tarkastelut

- Comsol Multiphysics 3D

Teholaskentayksikkö

- Narvi

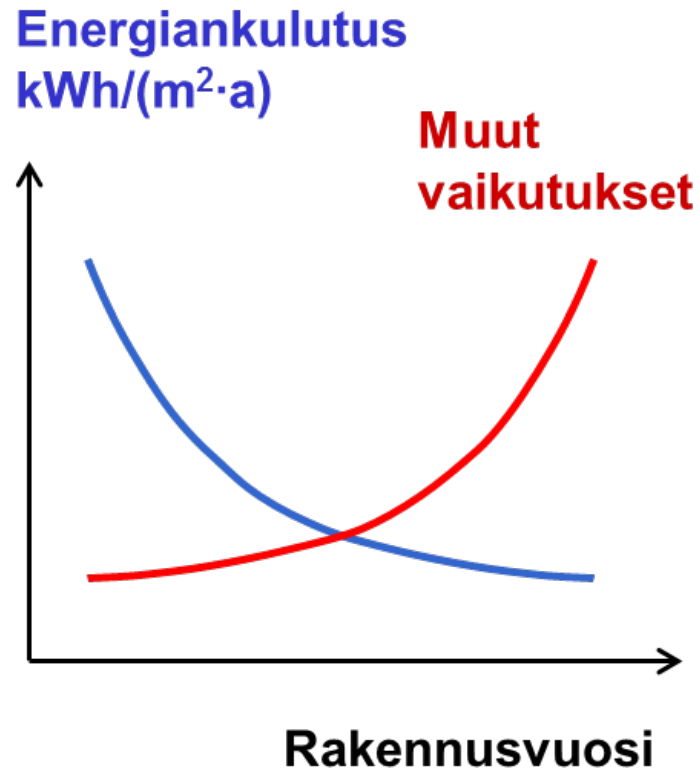


Rakennusfysiikan tutkimuspalvelut

- Materiaaliominaisuuksien määrittäykset
- Rakenteiden U-arvokokeet
- Rakenteiden ilmanläpäisykokeet
- Rakenteiden olosuhdekokeet
- Materiaalien ja rakenteiden säärasituskokeet
- Rakennusten ilmanpitävyyskokeet
- Lämpökuvaukset
- Rakenteiden ja rakennusten laskennallinen mallinnus
- Sisä- ja ulkoilman mitoitusolosuhteiden määrittäykset
- Rakenteiden suunnittelu ja toiminnan arviointi
- Mittausjärjestelmien rakentaminen
- Rakennusten sekä sisä- ja ulkoilman pitkäaikaiset seurantamittaukset



Rakennusten energiatehokkuuden parantamisen vaikutukset 2008 →



Muut vaikutukset

Onnistumisen edellytykset

- kokonaisuuden hallinta
- Yhteistyö rakennushankkeen eri osapuolten kesken
- huolellisempi ja virheettömämpi rakentaminen

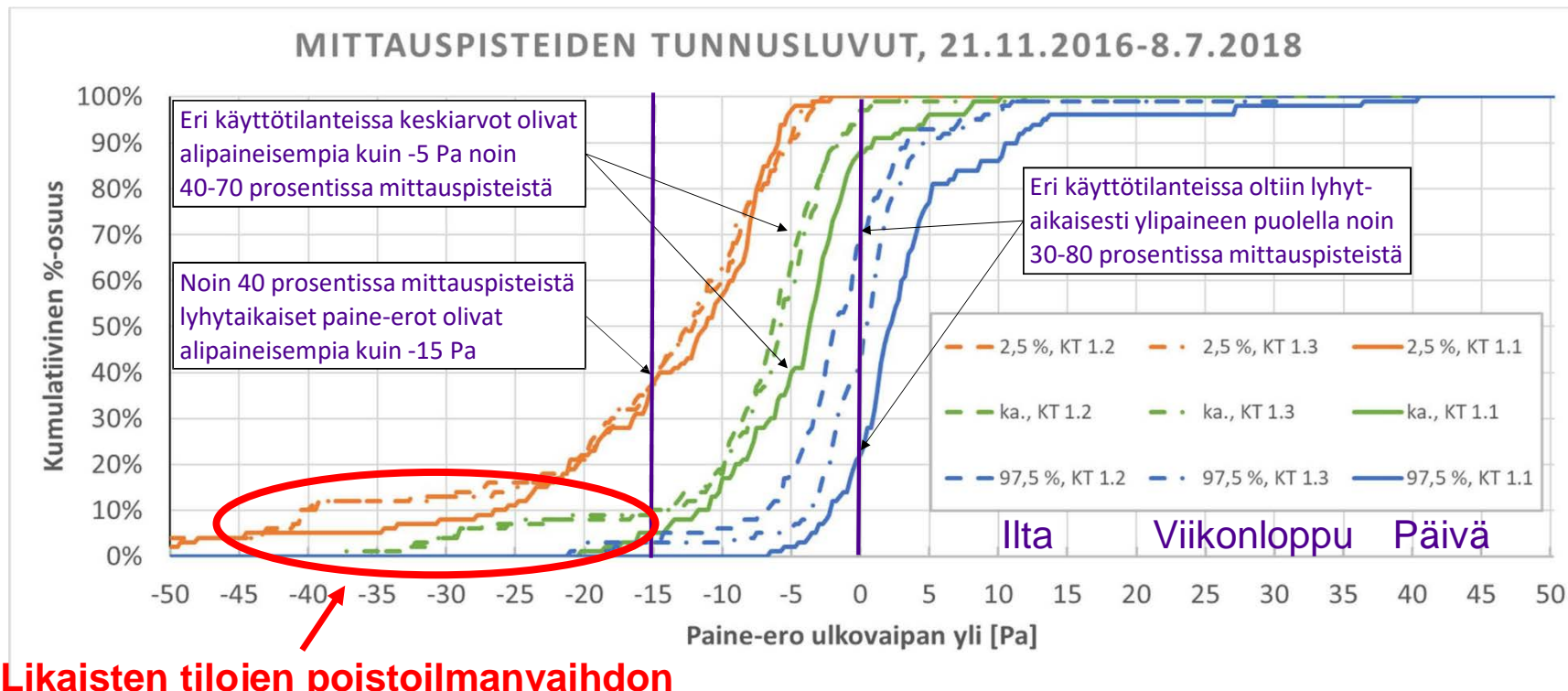
Haasteet ja ongelmat

- Monien rakenteiden kosteustekninen toiminta voi heikentyä.
- Sisäilman laatu voi heikentyä.
- Tekniset järjestelmät monimutkaistuvat ja niiden toiminta tai viat voivat aiheuttaa energiankulutuksen lisäystä tai kosteusriskejä rakenteisiin.
- Toteutunut energiankulutus ei vähene suunnitellulla tavalla
- Kasvihuonekaasupäästöt eivät välttämättä alene tavoitellusti
- Esteettisten ja toiminnallisten tavoitteiden toteuttaminen vaikeutuu
- Kustannukset lisääntyvät ja taloudellisuus heikkenee

Mm. FRAME- ja COMBI-hankkeet

Paine-erojen hallinta rakennuksissa

COMBI-tutkimuksen yhteenvetotulokset 12 uudis- ja 12 korjauskohteesta (koulut ja päiväkodit)



Likaisten tilojen poistoilmanvaihdon synnyttämät alipaineet iltaisin ja viikonloppuina

Kansainvälinen yhteistyö

Kansainväliset järjestöt ja yhteistyöfoorumit

- CIB W40 (Heat and moisture transfer in buildings)
- IEA/ EBC (Energy in Buildings and Communities Programme) Annexit: 41, 55, 58
- IABP (International Association of Building Physics)

Muu yhteistyö

- Konferenssit (IBPC, NSB, CESBP, Buildings)
- Tutkijavierailut
- Yhteistyötutkimukset ja -seminaarit
- Rakennusfysiikkaseminaarit

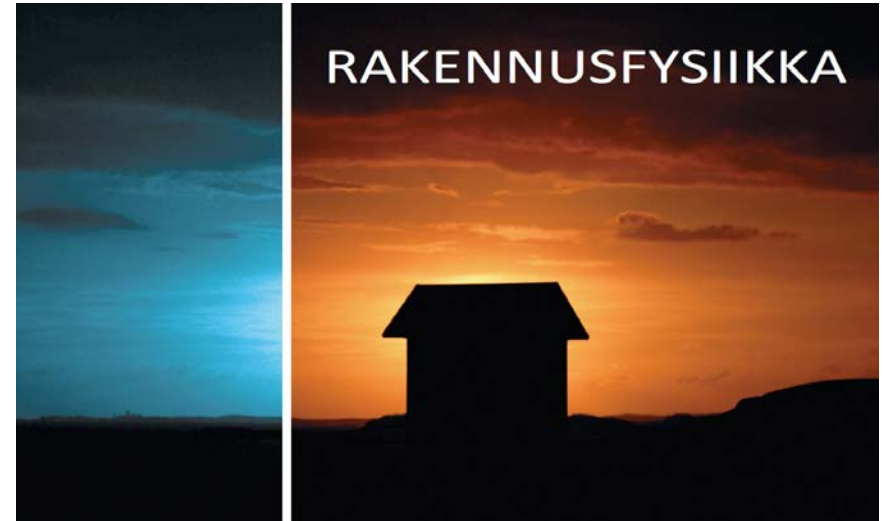


Energy in Buildings and
Communities Programme

IABP

Rakennusfysiikkaseminaarit 2007 →

- Rakennusfysiikkaseminaari pidetään joka toinen vuosi Tampere-talossa.
- Järjestäjinä toimivat Tampereen yliopiston rakennusfysiikan tutkimusryhmä ja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.
- Mukana on kansainvälisiä rakennusfysiikan asiantuntijoita keynote-puhujina.
- Seminaari on järjestetty tähän mennessä **kuusi** kertaa.



Kosteusturvallisen rakentamisen palkinto 2013 →



- Jaetaan Rakennusfysiikka -seminaarissa
- Voittajan valitsee asiantuntijoista koostuva tuomaristo

Palkinnon voittajat:

2013 Termotuote -valesokkelin korjausmenetelmä

(Lamox Oy/ Takotek Oy)

2015 Rakentamisen kosteudenhallinnan parantamisen uudet toimintatapamallit

(Oulun ja Helsingin rakennusvalvonnat)

2017 Rakennustyömaan kosteudenhallintakoulutus

(Työryhmässä 15 eri organisaation edustajia)

2019 ?



Keynote-puhujat

Rakennusfysiikka 2007

Prof. Hugo Hens, Belgia
Yli-insinööri Pekka Kalliomäki
Prof. Ralf Lindberg

Rakennusfysiikka 2009

Prof. Carl-Eric Hagendoft, Ruotsi
Dr. Berit Time, Norja
Rakennusneuvos Erkki Laitinen

Nordic Symposium on Building Physics, NSB 2011

Prof. Ingemar Samuelson, Ruotsi
Prof. Svend Svendsen, Tanska
TkT Juhani Pirinen

Rakennusfysiikka 2013

Prof. Jesper Arfvidsson, Ruotsi
Prof. John Grunewald, Saksa
Kansanedustaja Tuija Brax

Rakennusfysiikka 2015

Prof. Mark Bomberg, Kanada
Prof. Anker Nielsen, Tanska
DI Tapani Mäkikyrö
Arkkitehti Kimmo Lylykangas

Rakennusfysiikka 2017

Prof. Stig Geving, Norja
Prof. Thomas Bednar, Itävalta
Architect P. Michael Pelken, Englanti
DI Vesa Pekkola

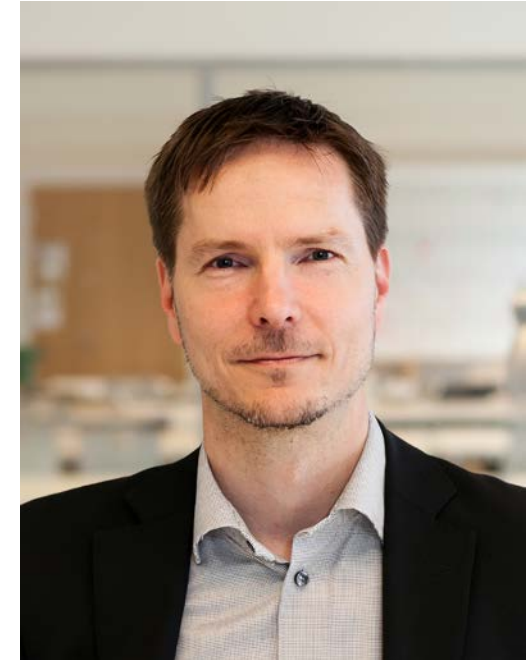
Keynote-puhujat: Rakennusfysiikka 2019



Prof. Hartwig Künzel, Saksa
Ma 28.10. klo 10.30



MSc. Anders Kumlin, Ruotsi
Ti 29.10. klo 8.30



TkT Matti Kuittinen
Ke 30.10. klo 9.30

Rakennusfysiikan opetus ja kurssitarjonta

Rakennusfysiikan sivuaine, 20 op (DI-tutkinto)

RAK-33501 Rakennusfysiikka 7 op

Juha Vinha, Anssi Laukkarinen Kevät 2021 - joka toinen vuosi

RAK-33521 Rakennusten energiatehokkuus 5 op

Juha Vinha, Anssi Laukkarinen Kevät 2020 - joka toinen vuosi

RAK-33550 Rakennusterveys ja sisäympäristö 3 op

Juha Vinha, Veli-Matti Pietarinen Syksy 2019 - joka toinen vuosi

Valinnaiset kurssit:

RAK-13000 Rakennustekniikan erikoistyö – Rak.fys. 5 op

RAK-33590 Rakennusakustiikka ja meluntorjunta 5 op

RAK-33771 Rakennusten korjaustekniikka 5 op

RAK-33730 Kuntotutkimukset 2 op

KEB-40100 Lämpötekniikka 5 op

MOL-12206 Materials for Energy Technologies 5 op

MOL-12210 Materiaalit ja ympäristö 5 op

Kandidaatin tutkinto

RAK-32501 Rakennusfysiikan perusteet 5 op

Juha Vinha, Anssi Laukkarinen Syksy 2019 - joka vuosi

RAK-52410 Talotekniikan perusteet 5 op

Juha Vinha, Eero Kulmala Kevät 2020 - joka vuosi

Lukuja matkan varrelta 1994–2019

12 M€
tutkimusrahoitusta

~80
tutkijaa

n. 150
vertaisarvioitua
tieteellistä inkeräisua

~90
diplomityötä

200 rakennusfysiikan syventävän
kurssin suorittanutta opiskelijaa

~240 tutkimusprojektia

~250
tutkimusselostusta ja
lausuntoa

Rakennustekniikan
suurin projekti
COMBI 2,4 M€

~430
tieteellistä julkaisua

1 NSB + 6 RF
seminaaria

n. 200 organisaatiota
tutkimusten rahoittajana

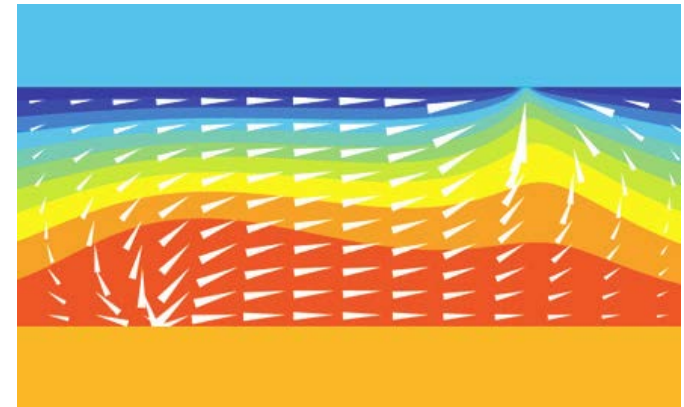
Rakennusfysiikan haasteet ja tavoitteet seuraavaksi 25 vuodeksi

Rakenteiden kosteusteknisen analysointimenetelmän tarkkuuden parantaminen

- Uudet laskentamallit ja -menetelmät
- Rakenteiden kokeet todellisissa olosuhteissa ja vertailu laskentaan
- Testivuosien päivittäminen ilmastonmuutoksen edetessä
- Sisäilman kosteuslisien määrittäminen eri rakennustyypeissä
- Materiaalien rakennusfysikaalisten ominaisuuksien määrittäminen (erityisesti puupohjaiset ja hygroskooppiset materiaalit)

Muita tavoitteita

- Rakenteiden kosteusteknisen toiminnan tarkastelut (erityisesti vikatarkastelut, konvektiotarkastelut ja paine-erojen vaikutukset)
- Suunnittelu- ja laskentaohjeita toimintavarmuuden ja vikasietoisuuden varmistamiseksi (esim. rakenteen tulee kestää 2100-ilmaston olosuhteet)
- Rakennusten ja rakenteiden kokonaisvaltaisten tarkastelujen jatkaminen kosteusturvallisuuden varmistamiseksi (muita ajureita: energiatehokkuus, hiilijalanjälki, luonnonmukaisuus/ ekologisuus, pitkäaikaiskestävyys, kestävät periaatteet)



Rakennusfysiikan tutkimusryhmä

Tutkimusryhmän johtaja

Prof. Juha Vinha, TkT

Tutkijat

Pauli Sekki, DI
 Antti Mikkonen, DI
 Teemu Jokela, DI
 Juho Kantanen, DI
 Iida Kangashaka, DI

Käyttöinsinööri

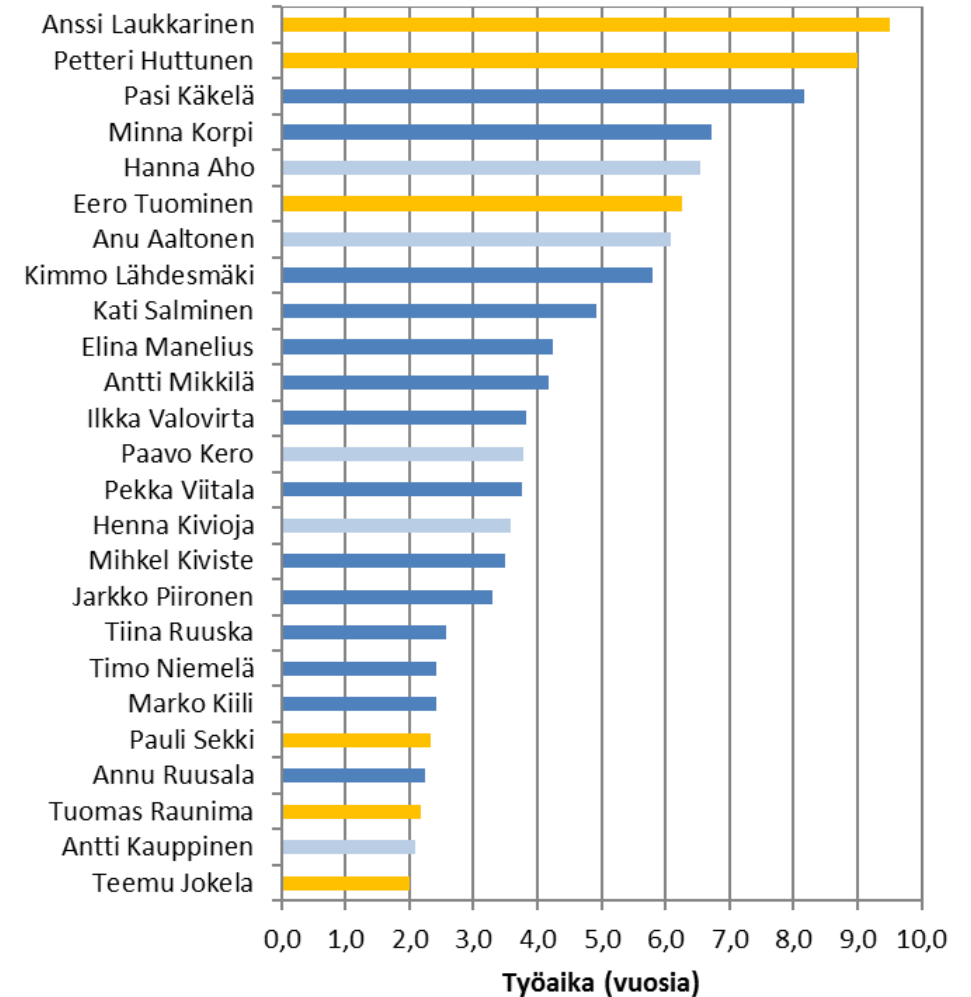
Mikko Viitala

Projektipäälliköt

Anssi Laukkarinen, DI
 Petteri Huttunen, DI
 Eero Tuominen, DI

Tutkimusapulaiset

Tuomas Raunima, TkK
 Antti Tiittanen, TkK
 Juuso Parkkinen, TkK
 Jaakko Hietikko, TkK
 Iina Ruutiainen, TkK



25 henkilöä ollut tutkimusryhmässä vähintään 2 vuotta.
 N. 80 henkilöä yhteensä.

Kiitos!

