

Rakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta muuttuvassa ilmastossa



Professori Juha Vinha
Rakennetekniikan päivä 24.3.2026

1

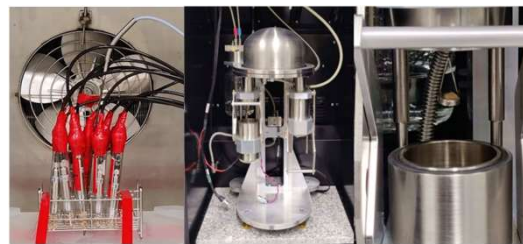
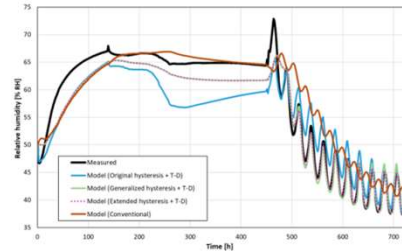
Esityksen sisältö

1. Puupohjaisten rakenteiden mallintaminen, *Petteri Huttunen*
2. Betonirakenteiden kuivumistarkastelut, *Pauli Sekki*
3. Kenttämittausdatan hyödynnettävyyden parantaminen, *Anssi Laukkarinen*
4. Tuuletettujen yläpohjien kosteustekninen toiminta, *Ilkka Valovirta*
5. Tuuletettujen yläpohjien sisäinen konvektio, *Teemu Jokela*
6. Tuuletettujen yläpohjien lisäeristämisen vaikutukset, *Sami Haapaniemi*
7. Lämmöneristyksen lisäyksen vaikutus puurunkoisissa ulkoseinissä, *Jaakko Hietikko*
8. Ilmavuotojen vaikutus puurunkoisissa ulkoseinissä, *Jaakko Hietikko*
9. Kevytsavirakenteisen ulkoseinän toiminta, *Juha Päätaalo*
10. Kutterinlastueristeen ja savetuksen toiminta puurunkoisissa ulkoseinissä
11. Bio- ja savipohjaisten vähähiilisten rakennusmateriaalien kehitystyö

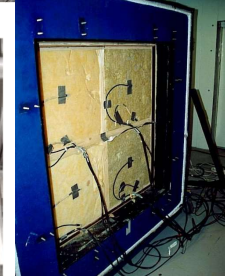
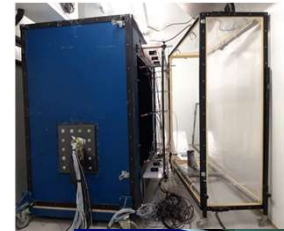
2

1. Puupohjaisten rakenteiden mallintaminen

- **Puun tasapainokosteus**
 - Lämpötilariippuvuus
 - Merkittävä vaikutus kylmissä lämpötiloissa
 - Hystereesi
- Sorption dynaamisuus huokoisissa puumateriaaleissa (lokaali epätasapaino)
- Uudentyyppisten materiaalikokeiden ja mallintamismenetelmien kehitys
- Aiemmin tehtyjen rakennekokeiden hyödyntäminen vertailusimuloinneissa



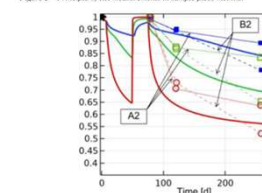
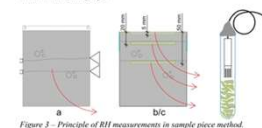
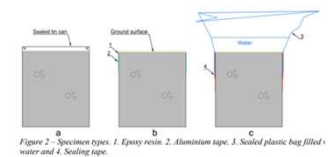
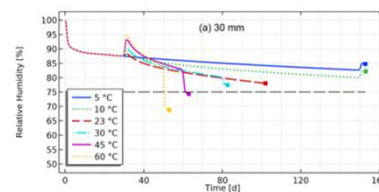
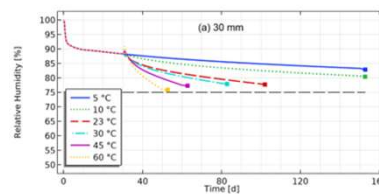
**Petteri
Huttunen**



3

2. Betonirakenteiden kuivumistarkastelut

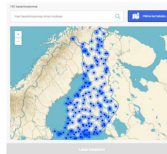
- **Betonin varhaisvaiheen kuivumisen tarkastelu**
- Laskentamalli, joka huomioi tavoitellut näkökulmat:
 - Itsestään kuivuminen
 - Lämpötilariippuvuus
- Kuivumisaika-arvioinnit myös ajoittaisissa kastumistilanteissa
- Ehdotus kuivumiskokeiden koejärjestelyksi mallin lähtötietoja varten
- Mallin pohjalta on kehitetty mm. Betoniyhdistyksen BY2020 kuivumisaika-arvio-ohjelmisto
 - Kuivumisaika-arvio
 - Päälystämisen riskiarvio



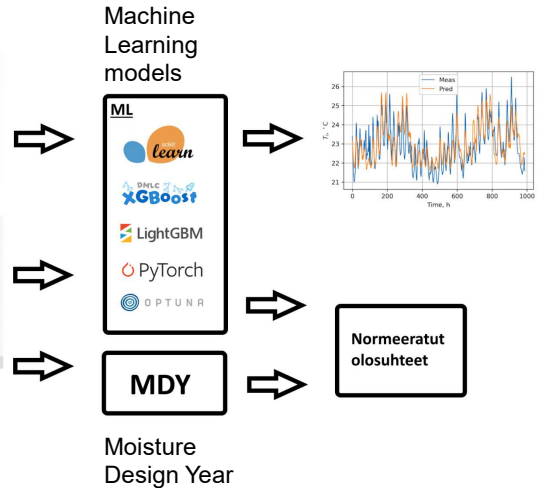
4

3. Kenttämittausdatan hyödynnettävyyden parantaminen

- Mitta-antureiden saatavuus ja nykyaikaiset pilvipalvelut mahdollistavat aiempaa kattavamman tiedon keräämisen.
- Rakenteista tehty laadukkaat kenttämittaukset** antavat luotettavaa tietoa niissä vallinneista olosuhteista. Mittausdatan analysointi on keskeinen vaihtoehto simuloinneille.
- Eri vuosina ja eri paikkakunnilta tehty **mittaukset eivät kuitenkaan ole suoraan vertailukelpoisia keskenään**. Mittausdatasta itsestään ei myöskään näe sitä, miten ilmastonmuutos vaikuttaa rakenteen käyttäytymiseen.
- Työssä tutkitaan **koneoppimismenetelmien** käyttöä tulosten analysoimiseen: Kuinka hyvin mittausdatalla koulutettu koneoppimismalli pystyy ennustamaan mittauspisteen olosuhteet verrattuna perinteisiin rakennusfysikaalisiin simuloointeihin?



FMI DATA



Anssi
Laukkarinen

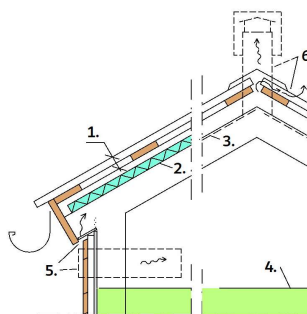
5

4. Tuuletettujen yläpohjien kosteustekninen toiminta

Tutkimusta tehdään sekä koerakennuksissa että laskennallisilla mallinnuksilla

Yläpohjan tuuletus on syytä optimoida maksimoinnin sijasta

- Tuuletusilma on suurin yläpohjan kosteuslähde.
- Tällöin lämpöä eristävällä aluskatteella tms. parannetaan yläpohjan kosteusolosuhteita.
- Liiallinen tuuletus voi olla tulevaisuuden lämpenevässä ilmastossa haitallista.
- RIL107-2022 suositussarvoja tuuletusaukkojen koosta on tarvetta muuttaa.



1. Profiilipeltikate + ruoteet
2. Lämpöä eristävä aluskate, XPS 30 mm, päällä korokerimat 22 x50
3. Kalvoaluskate, päällä korokerimat 50x50 mm
4. Lämmöneriste, mineraalivilla, selluvilla tai sahanpuru-kutterinlastuseos 1:1
5. Tuloilmareitti, tuuletusrako räystäällä tai 2 kpl tuuletusputkia
6. Poistoilmareitti, tuuletusrako harjapellin alla tai 2 kpl tuuletusputkia

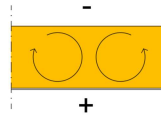
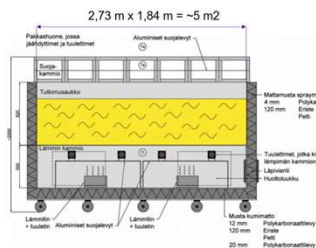


Ilkka
Valovirta

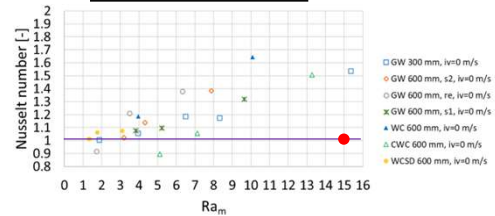
6

5. Tuuletettujen yläpohjien sisäinen konvektio

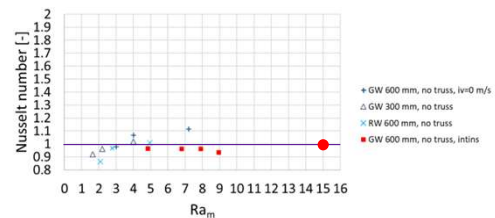
- Sisäinen konvektio heikentää puhallettavien yläpohjaeristeiden lämmöneristävyyttä.
- Tähän asti saatujen tulosten perusteella kattoristikoiden kanssa sisäinen konvektio on ollut selvästi suurempaa kuin ilman kattoristikoida tehdyissä mittauksissa.
- Lämpövirta sisäisen konvektion vaikutuksesta lisääntyi enimmillään 68 %, kun lämpötilaero oli 35 °C.
- Nykyisiä EN-standardin raja-arvoja sisäisen konvektion syntymiselle tulisi korjata varsinkin kattoristikoiden kanssa.



Kattoristikot mukana



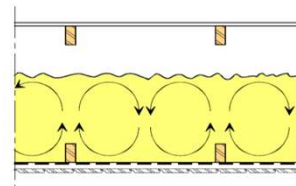
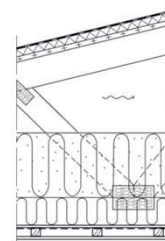
Ei kattoristikoida



7

6. Tuuletettujen yläpohjien lisäeristämisen vaikutukset

- Vanhassa lämmöneristeessä voi esiintyä sisäistä konvektiota varsinkin kattoristikoiden kanssa.
- Biopohjainen, hygroskooppinen lisäeriste on tiheämpää, jolloin siinä ei tapahdu merkittävästi sisäistä konvektiota. Se ei myöskään sekoitu merkittävästi vanhaan eristeeseen.
- Vanha eriste painuu kasaan ja se vaikuttaa mm. sen lämmönjohtavuuteen ja ilmanläpäisevyyteen – painuminen on epätasaista.
- Kuinka paljon lisäeristettä tarvitaan eri tilanteissa, että yhdistetyn rakenteen U-arvo täyttää U-arvovaatimukset ja sisäinen konvektio poistuu?



8

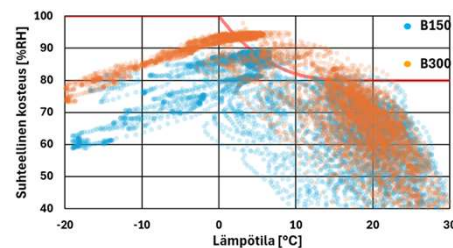
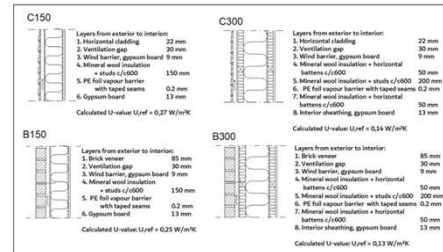
7. Lämmöneristysten lisäyksen vaikutus puurunkoisissa ulkoseinissä



Jaakko
Hietikko

Koerakennusmittauksissa havaittiin, että **lämmöneristysten lisäyksellä on heikentävä vaikutus rakenteen kosteustekniseen toimintaan ohuen kipsituulensuojan kanssa tehdyillä rakenteilla.**

- Tuulensuojalevyn sisäpinnan lämpötila alenee ja suhteellinen kosteus nousee.
- Siellä esiintyy ajoittain homeen kasvulle otollisia olosuhteita.
- Aikaisemmat laskentatarkastelut osoittavat, että ilmastonmuutos heikentää näiden rakenteiden toimintaa lisää.
- Lämmöneristekerroksen ulkopuolelle tulisi laittaa lämpöä eristävä tuulensuoja.



9

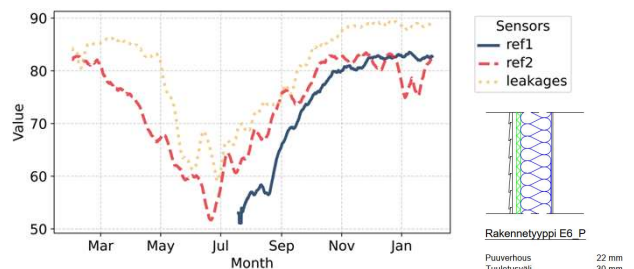
8. Ilmavuotojen vaikutus puurunkoisissa ulkoseinissä



Jaakko
Hietikko

Koerakennuksilla koerakenteiden sisäpintaan tehtiin ilmavuotoreiät, jotka mahdollistivat kostean sisäilman vuodot rakenteen sisälle.

- Ilmavuodot nostavat suhteellista kosteutta ja lisäävät homeen kasvulle otollisia olosuhteita tuulensuojalevyn sisäpinnassa.
- Paksumpi lämmöneristys heikentää rakenteen toimintaa ilmavuototilanteessa lisää.
- **Hyvin lämpöä eristävät tiiviisti asennetut tuulensuojalevyt tuovat rakenteelle vikasietoisuutta.**
- Lämmöneristeen suurempi kosteuskapasiteetti hidastaa kosteuden siirtymistä rakenteen ulkosiin.
- Parhaillaan tarkastellaan sitä tilannetta, kun ilmavuotokohta on sisälevyn lisäksi myös tuulensuojalevyssä.



Kuvaaja: Kivillaeristeen ja puukuitutuulensuojallisen koerakenteen tuulensuojan sisäpinnan suhteellinen kosteus ilmavuototilanteessa (2024) ja ehjänä mitattuna ref1 (2022) ja ref2 (2023).



10

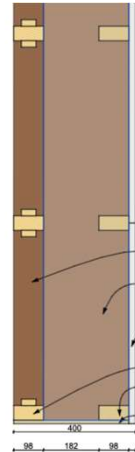
9. Kevytsavirakenteisen ulkoseinän toiminta



Juha Päätaalo

- Tavoite: skaalautuva ja teollinen ratkaisu
- Metodit ja kehityssuunnat
 - materiaalitestit ja lämmöneristävyyden optimointi
 - kosteusteknisen toiminnan simulointi ja mittaus
 - veden määrän rajausta ja kuivumisen optimointi
- Tähänastiset tulokset
 - elementti täyttää Suomen U-arvovaatimukset
 - kerroksittain valmistaminen nopeuttaa kuivumista
- Vielä tulossa
 - mittaukset koerakennuksesta, home- ja palotestit

Tehdään yhteistyössä Tallinnan teknillisen yliopiston kanssa.

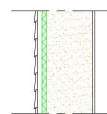


11

10. Kutterinlastueristeen ja savetuksen toiminta puurunkoisissa ulkoseinissä

Koerakennuksilla on tutkittu laajasti kutterinlastueristeen käyttöä ulkoseinärakenteissa.

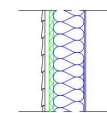
- Korkea kosteuskapasiteetti – lisää vikasietoisuutta myös ilmavuotojen kanssa.
- Ei vaadi muovia rakenteen sisäpintaan – koerakenteissa vaneri todettu riittäväksi höyrynsulukuksi.
- Savetus kasvattaa materiaalin kosteuskapasiteettia entisestään ja **alentaa suhteellista kosteutta lämmöneristeen ulkopinnassa.**
- Kaikki koerakennuksilla tutkitut kutterinlastueristeen rakenteet toimineet vallinneissa olosuhteissa hyvin.



oranssi

Rakennetyyppi E4

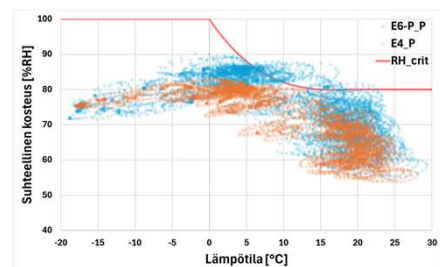
Puuelementti	22 mm
Tuuletusväli	30 mm
Huilton puukuitutuulensuoja	25 mm
Kutterinlastueristys	300 mm
Vaneri	15 mm



sininen

Rakennetyyppi E6 P

Puuelementti	22 mm
Tuuletusväli	30 mm
Huilton puukuitutuulensuoja	25 mm
Kivivillalasteri	200 mm
Vaneri	15 mm



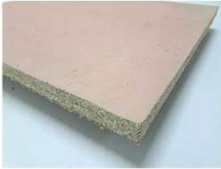
Kuva: Kutterinlastueristeen ja kivivillalasterien koerakenteen tuulensuojalevyn sisäpinnan suhteellinen kosteus lämpötilan funktiona.



12

11. Bio- ja savipohjaisten vähähiilisten rakennusmateriaalien kehitystyö

Savipalonsuojalevy (STALK)



Vaahtorainattu savi-puukuitueriste (BioReno) VTT



Savirappaus/ palonsuojalaasti (ECOSAFE, STALK)



Biopohjaiset ilman- ja höyrynsulkukalvot (BioReno) VTT



Sieni- eli myseelieristeet (LUONTEVA) HY, Luke



13

Kiitos!



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

14