

# COMBI

COMPREHENSIVE DEVELOPMENT OF  
NEARLY ZERO-ENERGY  
MUNICIPAL SERVICE BUILDINGS



---

# COMBI-HANKKEEN MATERIAALI- JA RAKENNEKOEET

Katsaus tuloksiin ja kokeiden nykytilaan

Eero Tuominen, Tampereen teknillinen yliopisto

# Sisällys

---

## Katsaus COMBI-hankkeen materiaali- ja rakennekokeisiin

### Materiaalikokeet

- Testausmenetelmien kehitystyö

### Kuorielementtikokeet

- Mitta-antureiden testaus

### Yläpohjakokeet (Henna)

- Sisäinen konvektio paksuissa eristekerroksissa

# Materiaalikoheet

## Tutkitut materiaalit

- Kalsiumsilikaattieristeet
- Ontelolaattabetonit
- Seinäelementtibetonit

## Tutkitut materiaaliominaisuudet

- Vesihöyrynläpäisevyys
- Vedenimeytymis- ja tunkeutumiskerroin
- Hygroskooppinen ja kapillaarinen tasapainokosteuskäyrä
  - Kapillaarinen kyllästyskosteuspitoisuus, maksimikosteuspitoisuus

## Valinnan taustalla

- Kosteustekninen toiminta
- Heikosti tunnettu betonilaatu
- Rakennekokeiden taustatieto

## Materiaaliominaisuuksien testauksen kehitystyö

- Elina Manelius 2010-2013
- Eero Tuominen 2014-2015
- Maarit Vainio, Kari Vänntinen ja Olli Tuominen 2015-2018

# Vedenimukertoimen kehittyminen

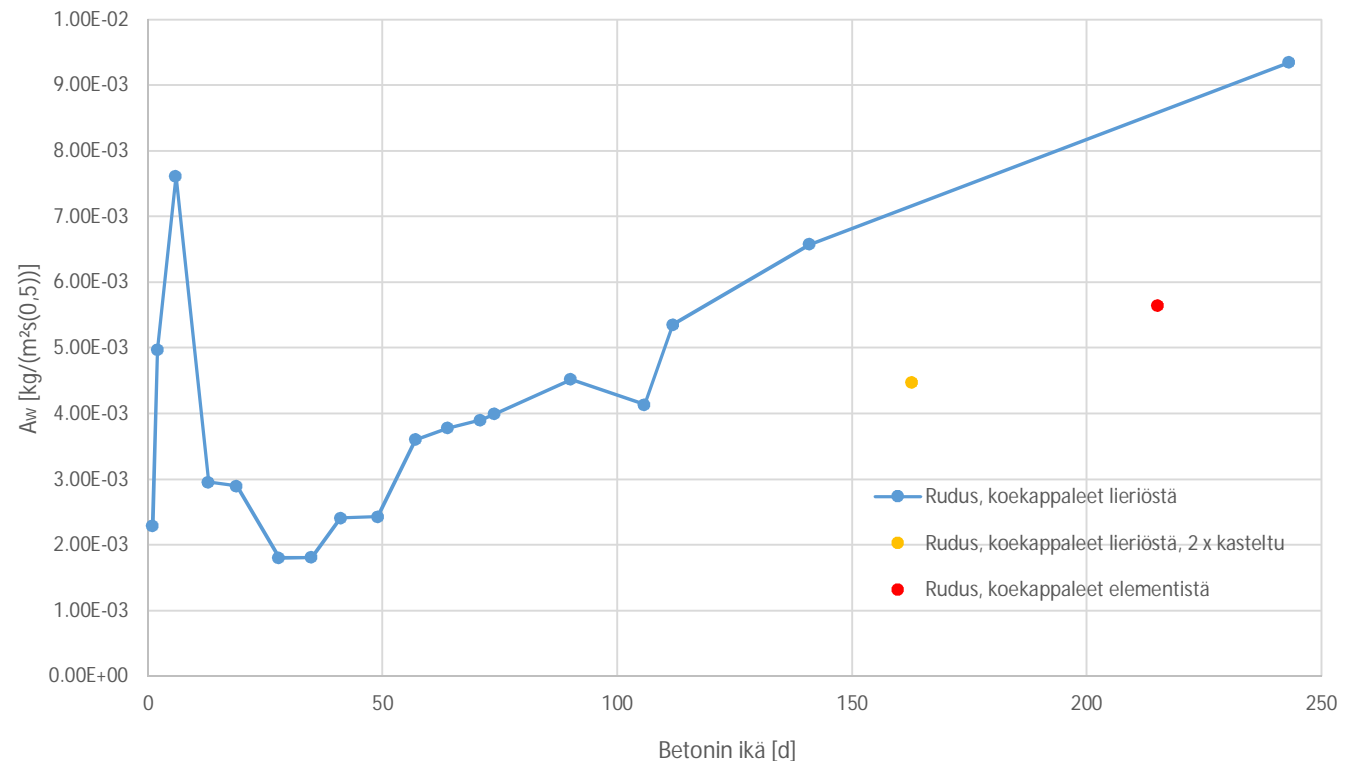
Vedenimukerroin kasvanut koko tutkimusajan

Kokeita jatketaan edelleen

Ensimmäisen kuukauden aikana alkukosteuspitoisuus on epämääräinen ja saattaa olla taustasyynä muusta datasta poikkeavaan mittaustulokseen

Hydrataatioasteen vaikutus nähtävissä; keltainen ja punainen piste eri tavalla jälkihoidetuista koekappaleista

Kapillariteettikertoimen  $A_w$  kehittyminen Rudus Oy:n betonilla



# Hygroskooppinen tasapainokosteuskäyrä

Kokonaiset vrt murskatut koekappaleet

- Kokonaiset sahattu valetusta d185 mm lieriöstä ja hiottu 15-16 mm paksuuteen
- Murskatut kappaleet lieriöporattu d70 mm poralla 150 mm paksusta seinäelementistä ja sahattu 12-18 mm paksuuteen

Murskaukseen testattiin eri menetelmiä:

- Kankaan välissä vasaralla
- Teräsmortteli
- **Leukamurskain**

à Tavoitteena hävikin ja hienoainesmäärän minimointi.



Kuvat: Sisäkuoribetonin rakennusfysikaaliset kosteusominaisuudet, Diplomityö, Kari Vanttinen

# Hygroskooppinen tasapainokosteuskäyrä

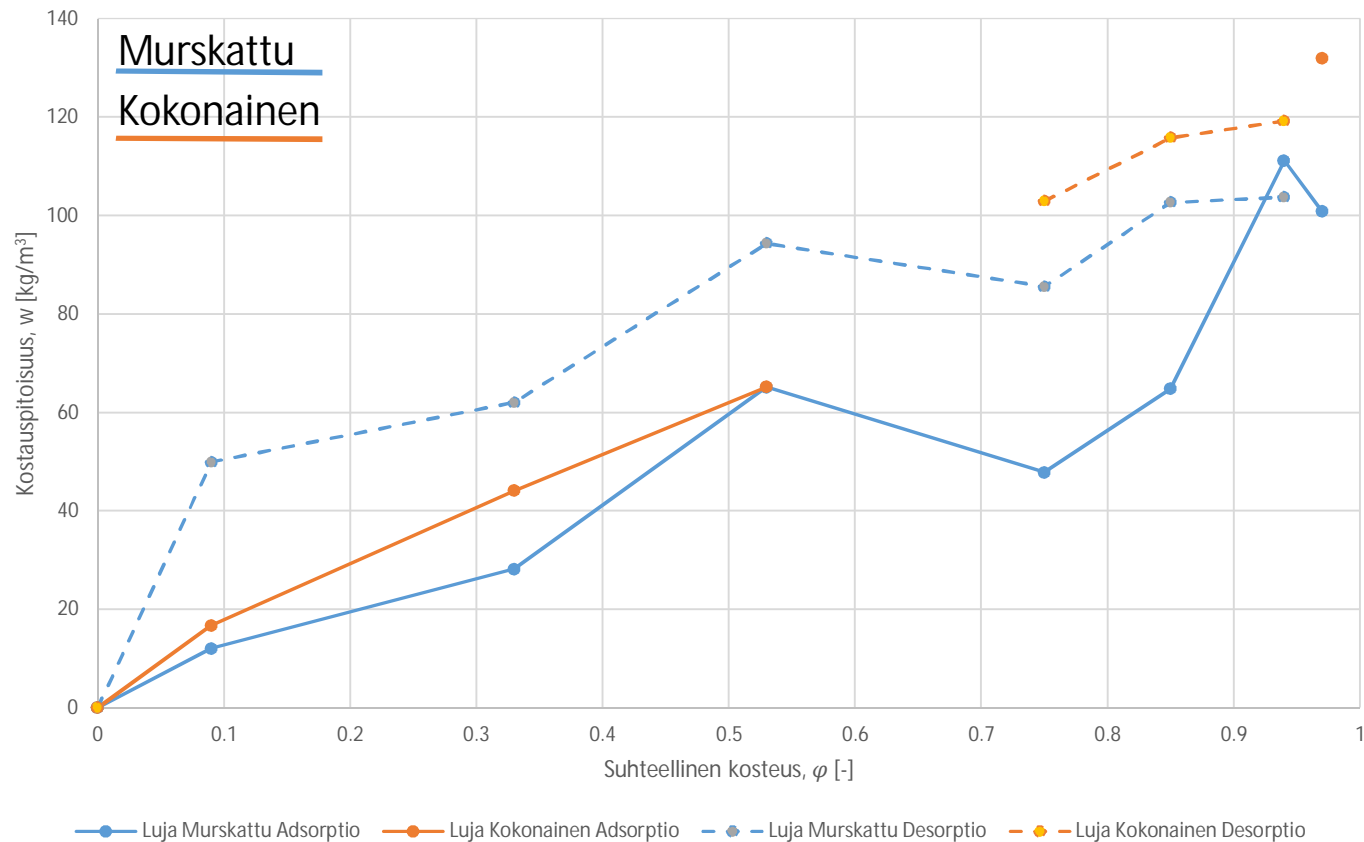
Esimerkkinä Lujabetonin tähän mennessä määritetyt tasapainokosteuskäyrän pisteet.

Etenkin suurilla kosteuspitoisuuksilla murskatut antavat alempia arvoja.

- Yksittäisten koekappaleiden erot ovat tosin samaa luokkaa.

Murskattujen tasapainottumisajat luokkaa puolet kokonaisten tasapainottumisajoista.

- Riippuu kosteustasosta ja osin erot vain joitain päiviä.



# Kapillaarinen tasapainokosteuskäyrä

Standardista poikkeavien mittaustapojen testaus

- Uunikuivauksen lämpötila 105 °C tai 60 °C
- Vakumointi- ja vesiupotusaika
- Kapillaarikontaktiin kaoliinisavi tai tarkka hionta
- Koekappaleiden kosteuspitoisuus ennen koetta
- Tasapainotusaika 0,05 ml / 48 h tai 14 vrk tai vielä pidempään?

Tavanomaiset virhelähteet

- Punnitusten aikana tapahtuva haihtuminen
- Hydratoituminen kokeen aikana

Koekappaleet

- Elementistä poratut d52 mm lieriöt, jotka sahattiin ja hiottiin 6-9 mm kiekkoiksi
  - Koekappaleita 3 sarjaa / tutkittu materiaali
  - Koekappaleita 12 kpl / koesarja
- à 36 koekappaletta / materiaali



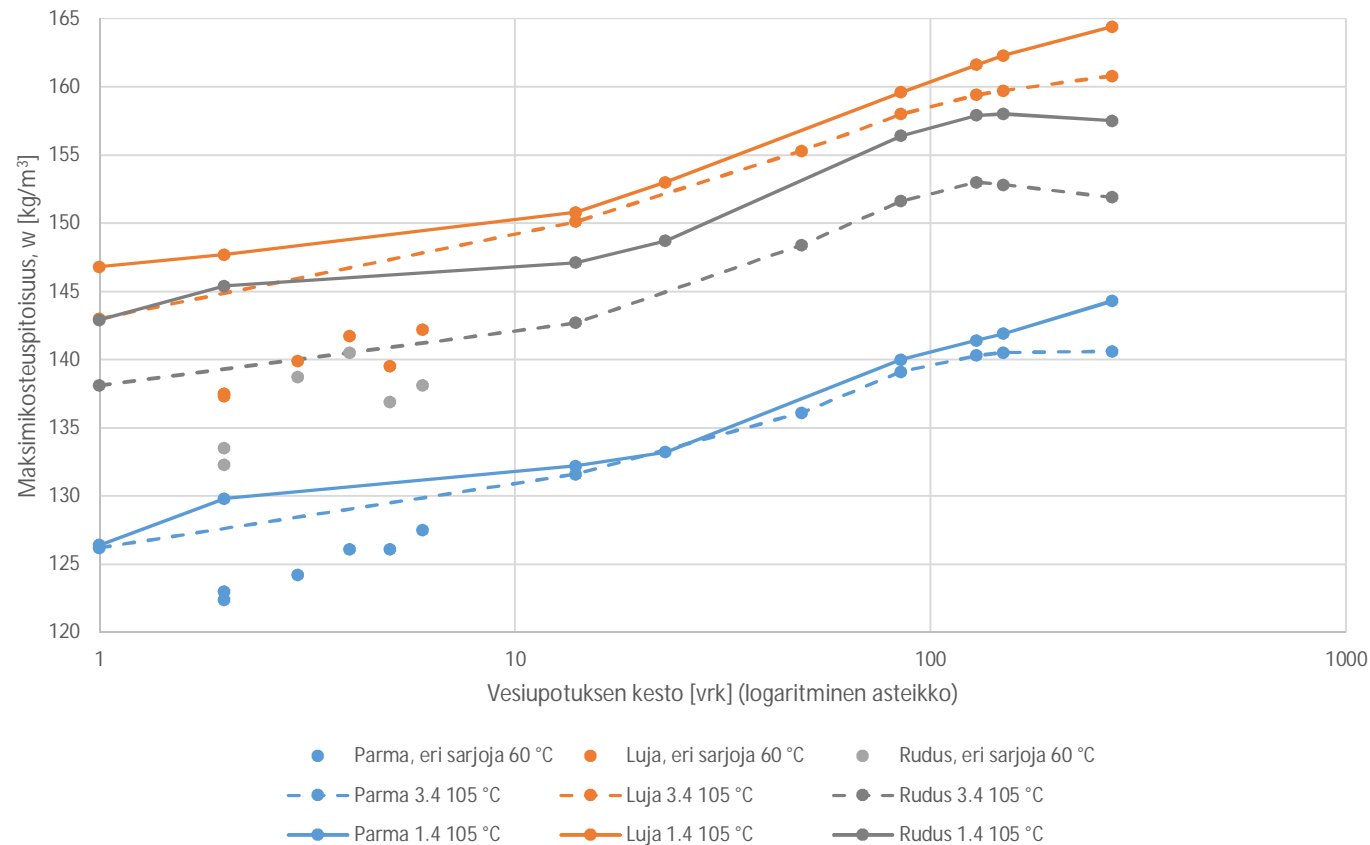
# Kapillaarinen tasapainokosteuskäyrä, esivalmistelut

Uunikuivaus 105 °C viivoitetut sarjat, 60 °C pelkät pisteet

- Korkeammalla lämpötilalla korkeammat kyllästyskosteudet nopeammin.

Vakumointiaika yhtenäisen viivan sarjalla 3+1 h ja katkoviiva -sarjalla 1 d

- Painon nousua jopa 275 vrk.
- Vesiupotuksen jatkaminen vakumoinnin jälkeen tuottanut korkeamman kosteuden lyhyemmästä kuivana vakumoinnista huolimatta.



# Kaoliinisaven vaikutus

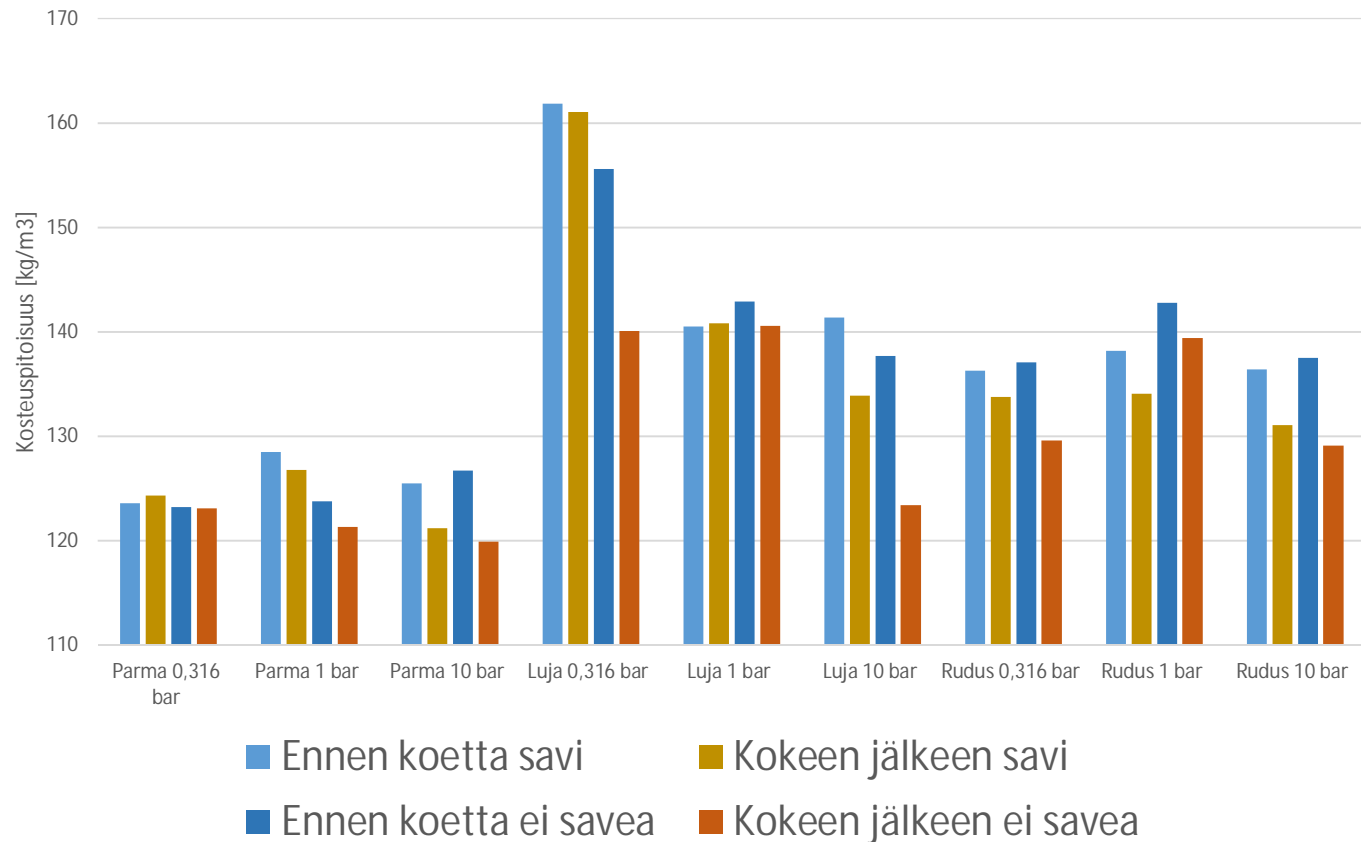
Painelevyn ja koekappaleen välisen kapillaarikontaktin varmistamiseen käytetään kaoliinisavea

Saven käyttö lisää runsaasti valmisteluihin kuluva-aikaa

Koneella sileäksi hiotut koekappaleet istuvat hyvin painelevyille

à Testaukset kaoliinisaven hyödyistä hyvin hiotuilla koekappaleilla

à Paineistuksen aikana poistuva kosteus määrä on samaa suuruusluokkaa riippumatta saven käytöstä.



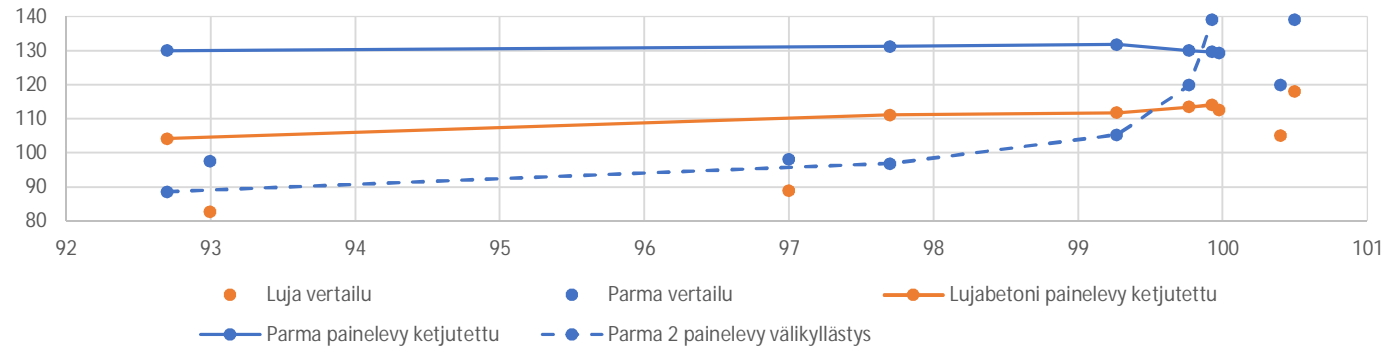
# Tasapainottuminen painelevylaitteessa

Kosteuspitoisuus ennen painelevylaitteeseen asentamista

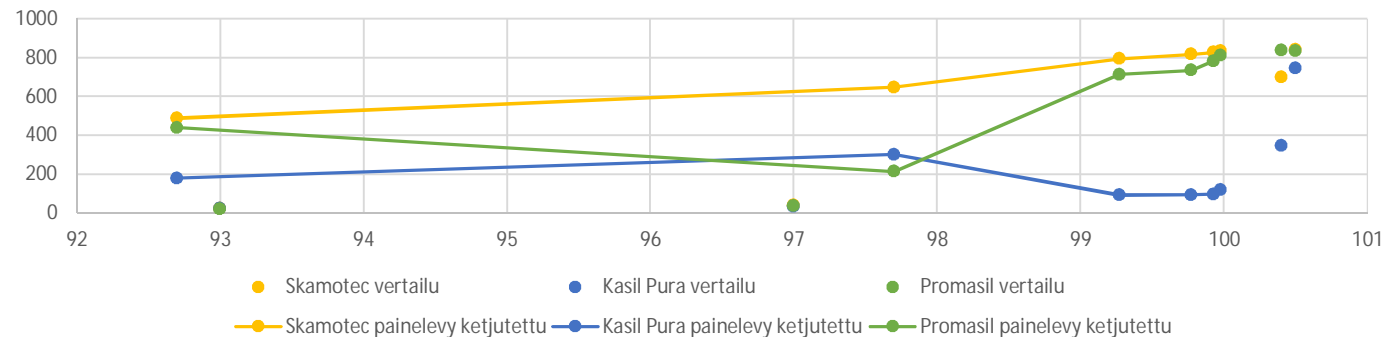
- Erilaisia tuloksia ja epäsäännöllisiä tuloksia kokeita ketjutettaessa.
- Tulokset vaikuttivat luotettavammilta kun tehtiin kyllästys ennen joka painetasoa.

Tasapainottumisaika painelevylaitteessa

- Standardin vaatimus 0,05 ml / 48 h



Ontelolaattabetonien tasapainokosteuspitoisuuksia eri menetelmin määritettynä



Kalsiumsilikaattilevyjen tasapainokosteuspitoisuuksia eri menetelmin määritettynä

# Kapillaarinen tasapainokosteuskäyrä

Standardista poikkeavien mittaustapojen testaus

- Uunikuivauksen lämpötila 105 °C tai 60 °C
- Vakumointi- ja vesiupotusaika
  - 3+1 h + 0 d tai Mikä tämän hetken tilanne Olli?
- Kapillaarikontaktiin kaoliinisavi tai tarkka hionta
- Koekappaleiden kosteuspitoisuus ennen koetta
  - Ketjuttaminen tai kyllästys painetasojen välissä
- Tasapainotusaika 0,05 ml / 48 h tai 14 vrk tai ?? vrk Ollilta standardin vaatimus ja nyt saatujen kokeiden alustavat tulokset kapasitanssineulat

Tavanomaiset virhelähteet

- Punnitusten aikana tapahtuva haihtuminen
- Hydratoituminen kokeen aikana

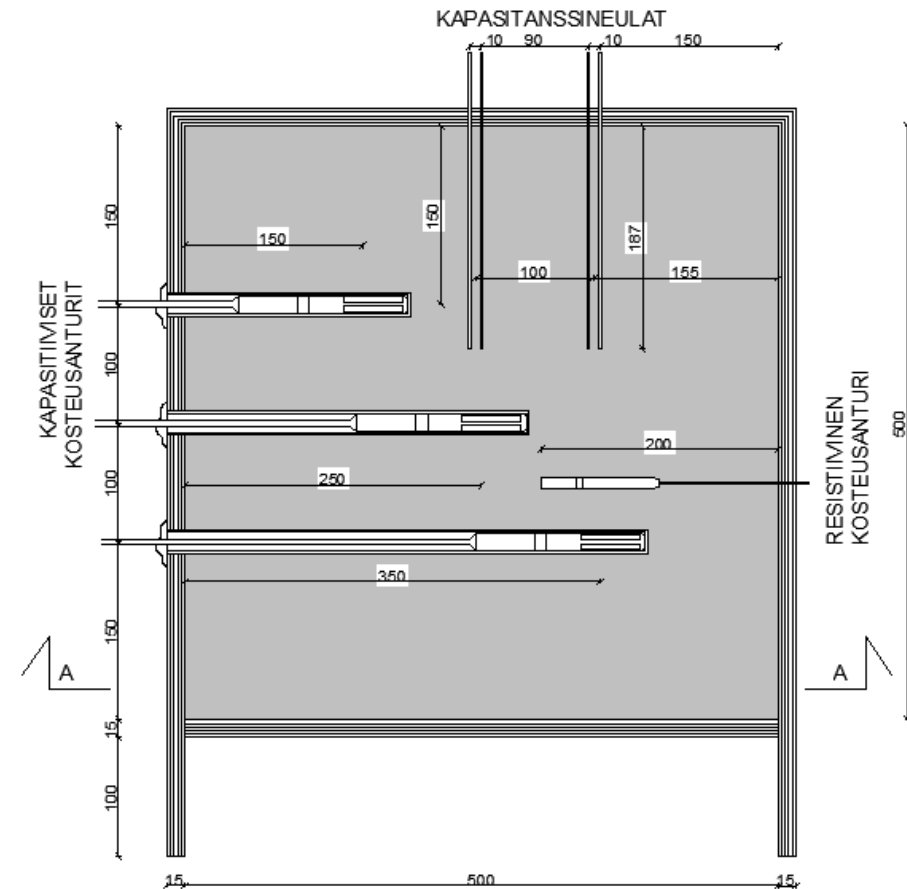
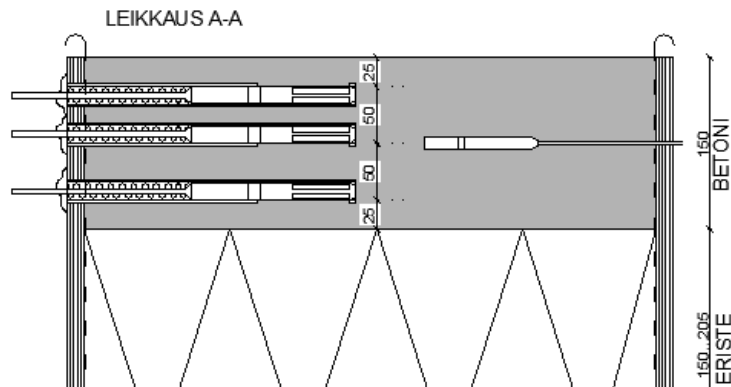
Koekappaleet

- Elementistä poratut d52 mm lieriöt, jotka sahattiin ja hiottiin 6-9 mm kiekkoiksi
  - Koekappaleita 3 sarjaa / tutkittu materiaali
  - Koekappaleita 12 kpl / koesarja
- à 36 koekappaletta / materiaali

# Kuorielementtien kuivumiskokeet

## Anturityypit

- Putkeen asennettavat kapasitiiviset
  - 2 valmistajaa
  - 2 eri mittapään suojaa
- Valuun asennettavat
  - Resistiiviset
  - Kapasitiiviset
  - Kapasitanssineulat
- Punnituskokeet



# Mitta-anturien testaus

Tavoitteena jatkuva betonin kosteuden mittaaminen kuivumisen aikana.

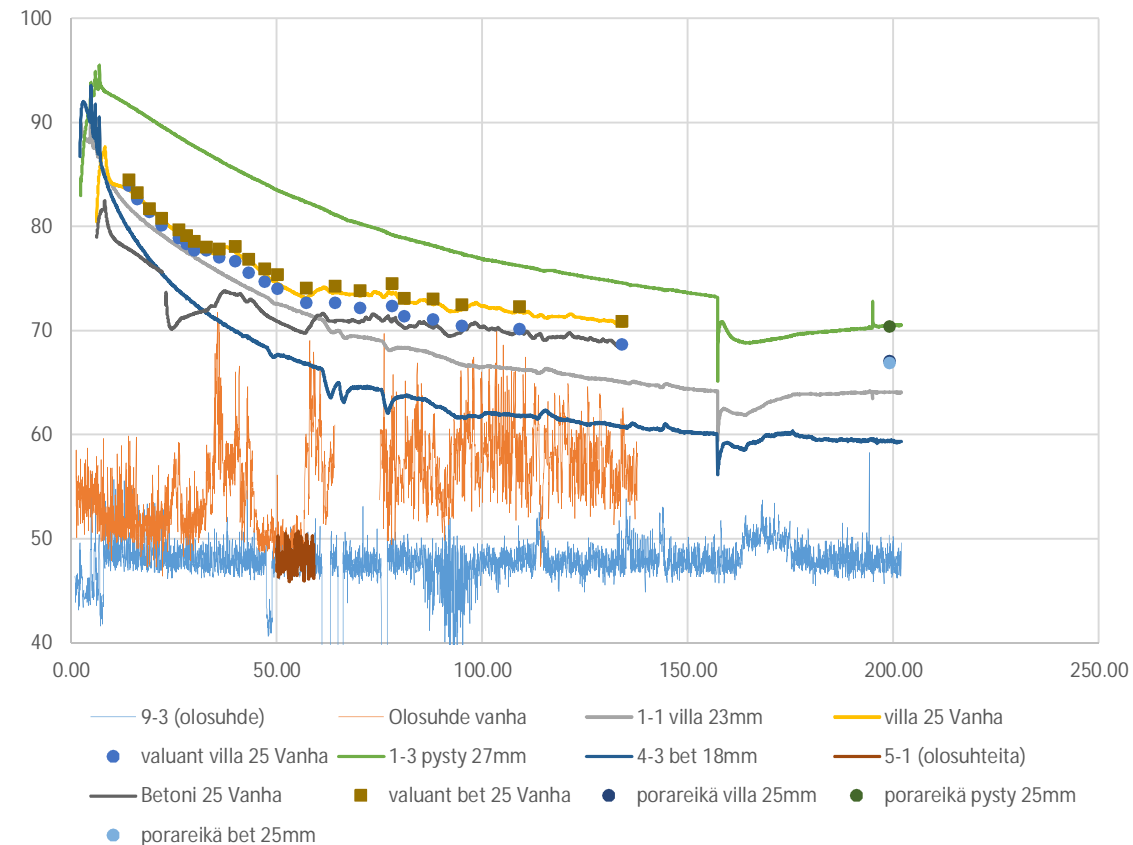
Mittaustekniikan rajoitteet ongelmana:

- Eri mitta-antureilla hyvin toisistaan poikkeavia tuloksia
- Mitta-anturien ryömintä todella voimakasta
- Lukeman tasoittumisajan kyseenalaisuudet

Mittaustavan kehitys

- Silikoni yms. kemikaalit
- Anturin lämmöneristys
- Putken mittauspinta-ala (ja -syvyys)
- Eri mittapään suojausten vaikutus

à Testaukset edelleen käynnissä



# Mitta-anturien testaus

Tavoitteena jatkuva betonin kosteuden mittausta kuivumisen aikana.

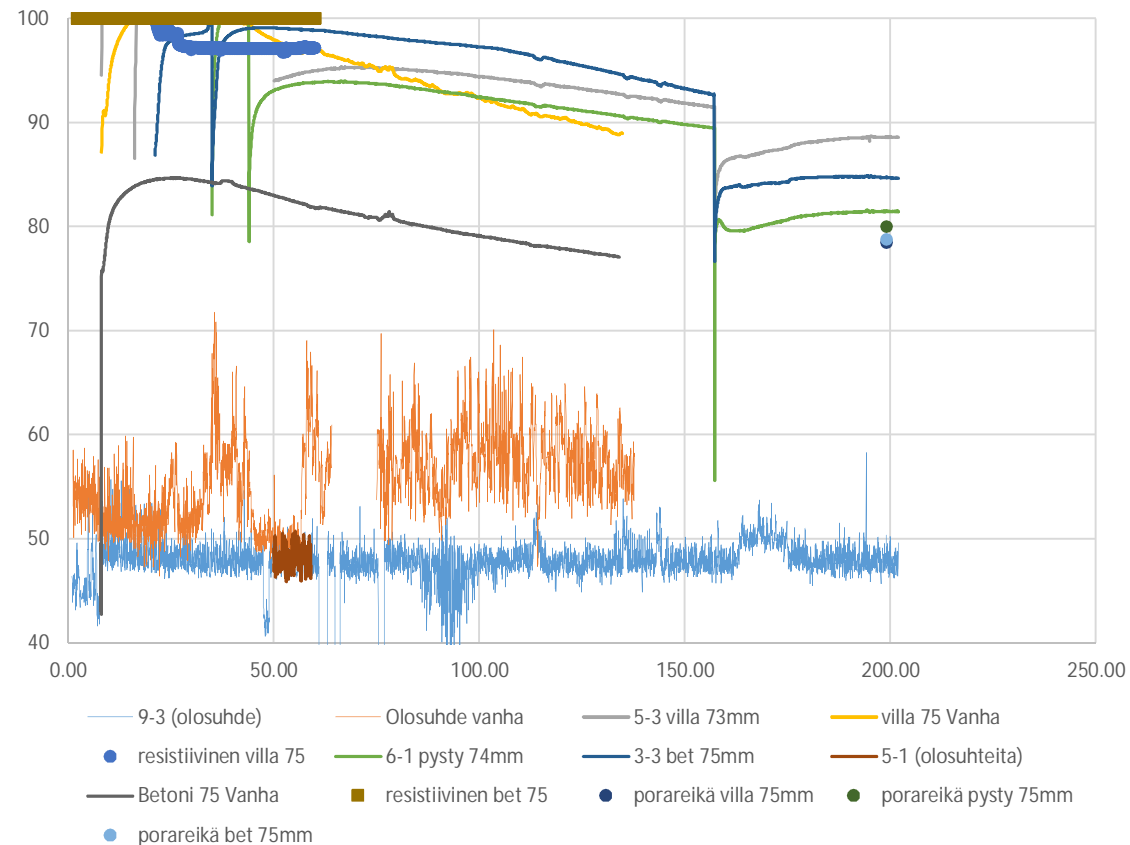
Mittaustekniikan rajoitteet ongelmana:

- Eri mitta-antureilla hyvin toisistaan poikkeavia tuloksia
- Mitta-anturien ryömintä todella voimakasta
- Lukeman tasoittumisajan kyseenalaisuudet

Mittaustavan kehitys

- Silikoni yms. kemikaalit
- Anturin lämmöneristys
- Putken mittauspinta-ala (ja -syvyys)
- Eri mittapään suojausten vaikutus

à Testaukset edelleen käynnissä



# Kiitos!

---

Lisätietoja esityksen sisällöstä

Eero Tuominen                      Tampereen teknillinen yliopisto      eero.tuominen@tut.fi                      040 742 1652

COMBI-tuloskortti; Liittyvän diplomityön tekijä. Muut liittyvät julkaisut löytyvät COMBI-hankkeen internetsivuilta  
Maanvastaisten seinien lämmön- ja kosteudeneristäminen; Roosa Heiskanen

Kalsiumsilikaattieristeiden materiaaliominaisuudet; Maarit Vainio

Ontelolaatta- ja seinäelementtibetonien materiaaliominaisuudet; Maarit Vainio, Kari Vänttinen, Olli Tuominen

Betonirakenteisten sisäkuorielementtien kuivuminen; Lauri Korhonen, Tuomas Raunima

Lisätietoja COMBI-hankkeesta

Juha Vinha                      Tampereen teknillinen yliopisto      juha.vinha@tut.fi                      040 849 0296

[COMBI-hankkeen internetsivut](#)

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>