

COMBI

COMPREHENSIVE DEVELOPMENT OF
NEARLY ZERO-ENERGY
MUNICIPAL SERVICE BUILDINGS



KAPASITIIVISTEN KOSTEUSANTUREIDEN KÄYTTÄYTYMINEN BETONISEINIEN KUIVUMISEN SEURANNASSA

COMBI tulokortin esittely 24.1.2019

Tuomas Raunima, tutkimusapulainen, TkK, Tampereen yliopisto

Sisällys

Kapasitiivisten kosteusantureiden käyttäytyminen betoniseinien kuivumisen seurannassa

- Tausta
- Kapasitiivisen kosteusanturin rakenne ja toiminta
- Mittalaitteet
- Mittalaitteiden kalibrointi
- Koejärjestelyt
- Mittaukset
- Mittausmenetelmien vertailu ja virhetarkastelu
- Johtopäätökset

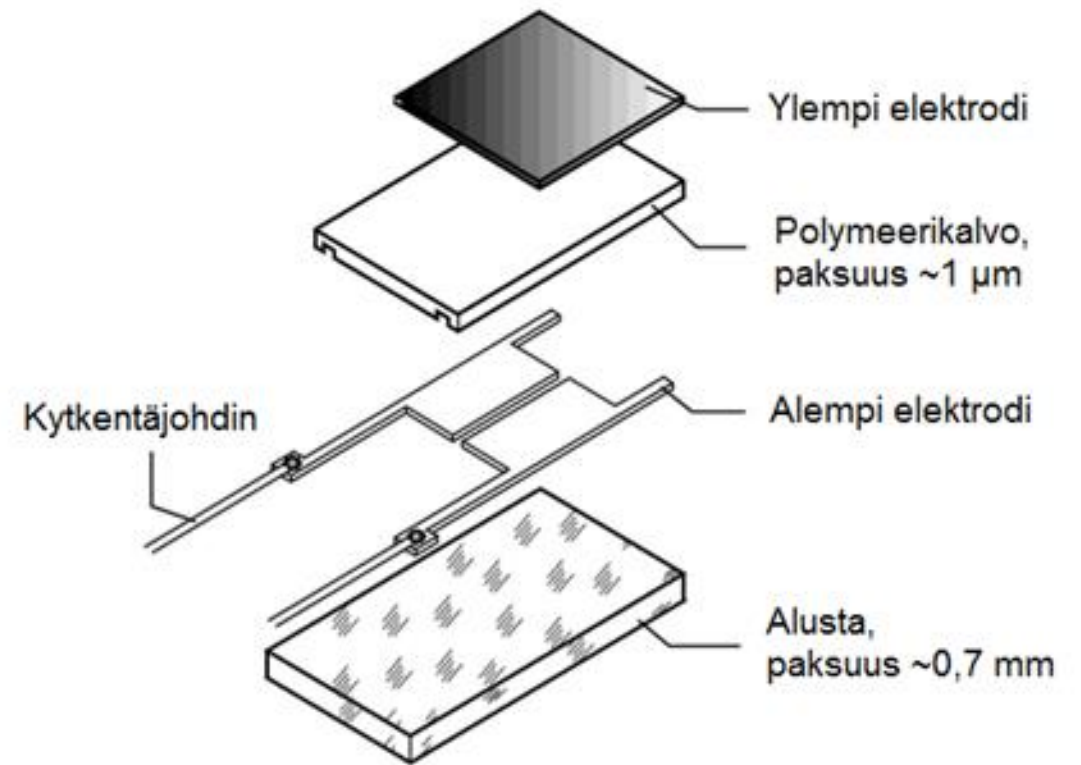
Tausta

Paikalla valettujen pinnoitettavien betonirakenteiden kuivumisen arviointi on kriittinen osa rakennusvaihetta. Kuivumisajoilla on merkittävä vaikutus rakennusaikatauluihin, sillä pitkittyvä kuivuminen viivästyttää rakennusvaiheen valmistumista, mutta toisaalta rakenteen riittävä kuivuminen ennen pinnoitusta on varmistettava. Tampereen teknillisellä yliopistolla tutkittiin aiemmin betoniseinien kuivumista (Korhonen 2018) osana COMBI-hanketta. Tutkimuksessa seurattiin valettujen seinärakenteiden kuivumista kapasitiivisilla kosteusantureilla valumuottiin asennetuista mittausputkista jatkuvatoimisina mittauksina. Tutkimuksen aikana mittaustuloksissa havaittiin epä johdonmukaisia ilmiöitä, jotka herättivät epäilyjä mittaustulosten luotettavuudesta.

Korkeissa kosteuspitoisuuksissa tehdyissä jatkuvatoimisissa mittauksissa antureista saatavien lukemien havaittiin sisältävän virhettä jopa yli 10 % RH. Aiemmassa tutkimuksessa havaittujen ongelmien vuoksi tässä tutkimuksessa keskitytään tarkastelemaan kapasitiivisten kosteusantureiden käyttäytymistä saman kaltaisissa koejärjestelyissä. Tavoitteena on selvittää kapasitiivisten kosteusantureiden käyttäytymistä betoniseinien kuivumisen seurannassa vertailemalla rinnakkain kahden eri tunnetun laitevalmistajan mittapäitä ja näiden eri suodatinvaihtoehtoja.

Kapasitiivisen kosteusanturin toiminta

Kapasitiivisen kosteusanturin toiminta perustuu kondensaattorielektrodien välisen polymeerikalvon kosteuspitoisuuden vaihtelun aiheuttamien kapasitanssin muutosten havaitsemiseen. Polymeerikalvoon ympäristöstä absorboituvan veden määrä on riippuvainen ympäristön kosteudesta ja lämpötilasta. Tämän seurauksena kondensaattorin suhteellinen permittiivisyyden ϵ_r ja siten myös kapasitanssin arvo muuttuu. Muuttunutta kapasitanssin arvoa verrataan kuivan tilan kapasitanssin arvoon ja näin saadaan epäsuorasti mitattua ympäristön suhteellinen kosteus.



Kapasitiivisen kosteusanturin rakenne, perustuu lähteeseen (Wernecke 2014 s.81)

Mittalaitteet

- Rotronic HC2-S
 - Käytössä aiemmissa tutkimuksissa betoniseinien kuivumisen seurannassa.
 - Ei aiempaa käyttökokemusta betonirakenteiden kuivumisen seurannasta Tampereen yliopistolla
 - Käytetään polyeteenisuodattimella (PE) ja teflonsuodattimella (PTFE).
- Vaisala HMP110
 - Vaisalan ”vakio” mittapää, joka on ollut laajassa käytössä kentällä muun muassa betonirakenteiden porareikämittauksissa ja saatu johdonmukaisia mittaustuloksia.
 - Käytetään teflonsuodattimella (PTFE) ja sintratulla suodattimella (S)
- Vaisala HMP230
 - Vaisalan vanhempi mittapää, joka otettiin mukaan tutkimukseen lisäarvon vuoksi, koska niitä oli Tampereen yliopiston rakennusfysiikan tutkimusryhmässä valmiina saatavilla.



Mittalaitteiden kalibrointi

- Vaisala HMP110 ovat uusia ja tehdaskalibroituja.
- Rotronic HC2-S hankittiin uusina edellistä tutkimusta varten. Ennen käyttöönottoa kalibroitiin suolaliuoksia käyttäen neljän referenssikosteuden perusteella.
- Vaisala HMP230 on vanhempi mittapää, joka on vuosien aikana ollut käytössä muissa tutkimuksissa. Ennen käyttöönottoa kalibroitiin suolaliuoksia käyttäen neljän referenssikosteuden perusteella.

Kalibroinnissa käytetyt referenssikosteudet 20 °C lämpötilassa:

- 97 % RH (K_2SO_4)
- 85 % RH (KCl)
- 57 % RH (NaBr)
- 33 % RH ($MgCl_2$)

Antureiden annettiin tasaantua referenssikosteuteen vähintään 8...12 tuntia. Anturit tarkistettiin tutkimuksen mittausjaksojen välissä säännöllisesti kahden referenssikosteuden perusteella. Tarvittaessa mittapää vaihdettiin tuoreeltaan kalibroituun yksilöön.

Koejärjestelyt

Koekappaleet

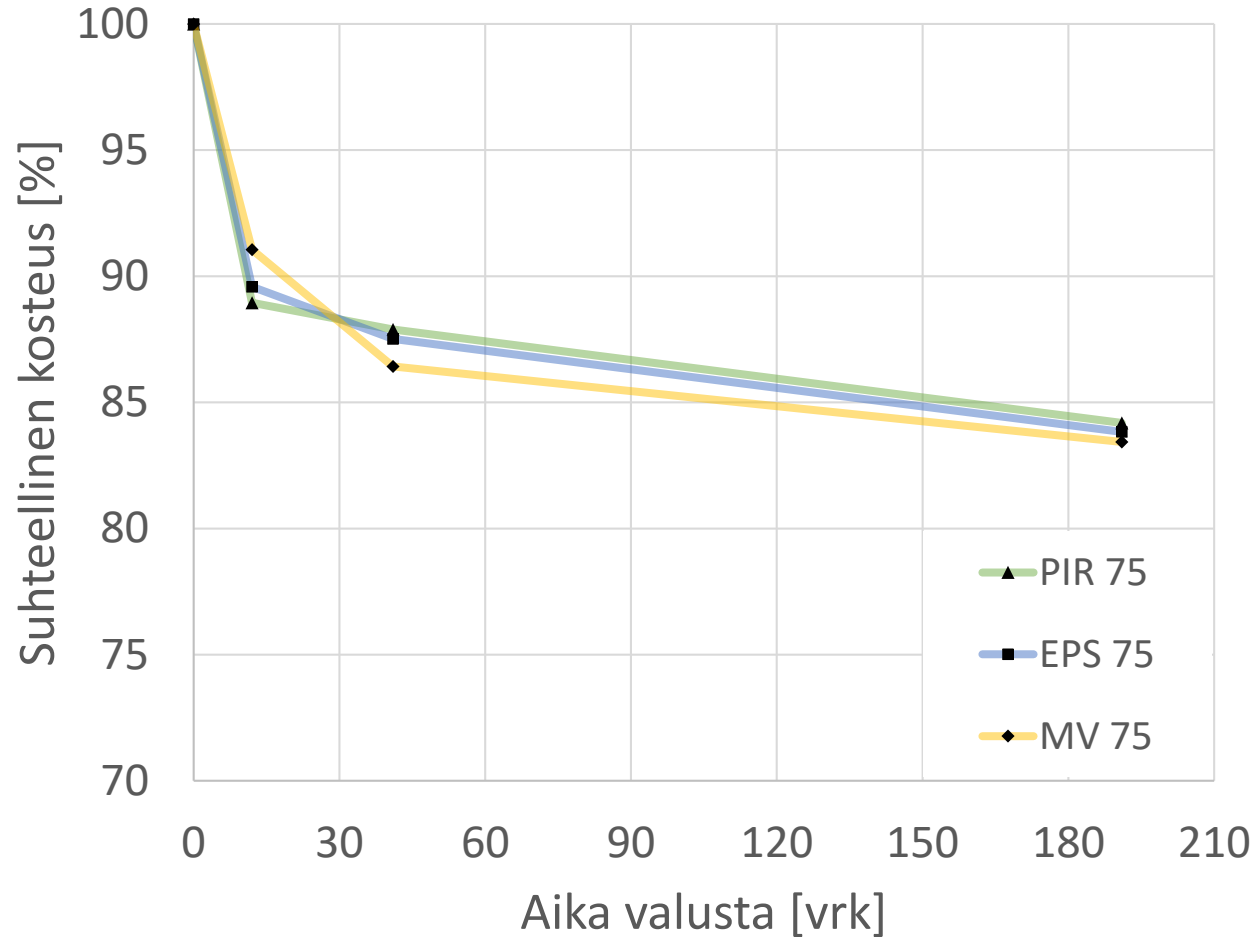
- Betonin kerrospaksuus 150 mm.
- Eristeet: PIR 150 mm, EPS 200 mm, mineraalivilla 205 mm.
- Jokaisella eristeellä kaksi kappaletta: mittaussputkilla varustettu kappale ja porareikämittauskappale.
- PIR:llä ja EPS:llä eristetyt kappaleet osoittautuivat yhteen suuntaan kuivuviksi ja mineraalivillalla eristetyt kappaleet kahteen suuntaan kuivuviksi.
- Mittaussyvyudet: 25 mm, 75 mm ja 125 mm.

Mittaukset

- Porareikämittaukset (RT 14-10984) referenssinä
- Mittaukset valuun asennetuista mittaussputkista:
 - Pistemäiset alle 60 min tasaantumisaian mittaukset yli 90 % RH betonin huokosilman kosteudessa.
 - Jatkuvat mittaukset, kun betonin huokosilman kosteus alittaa 90 % RH.

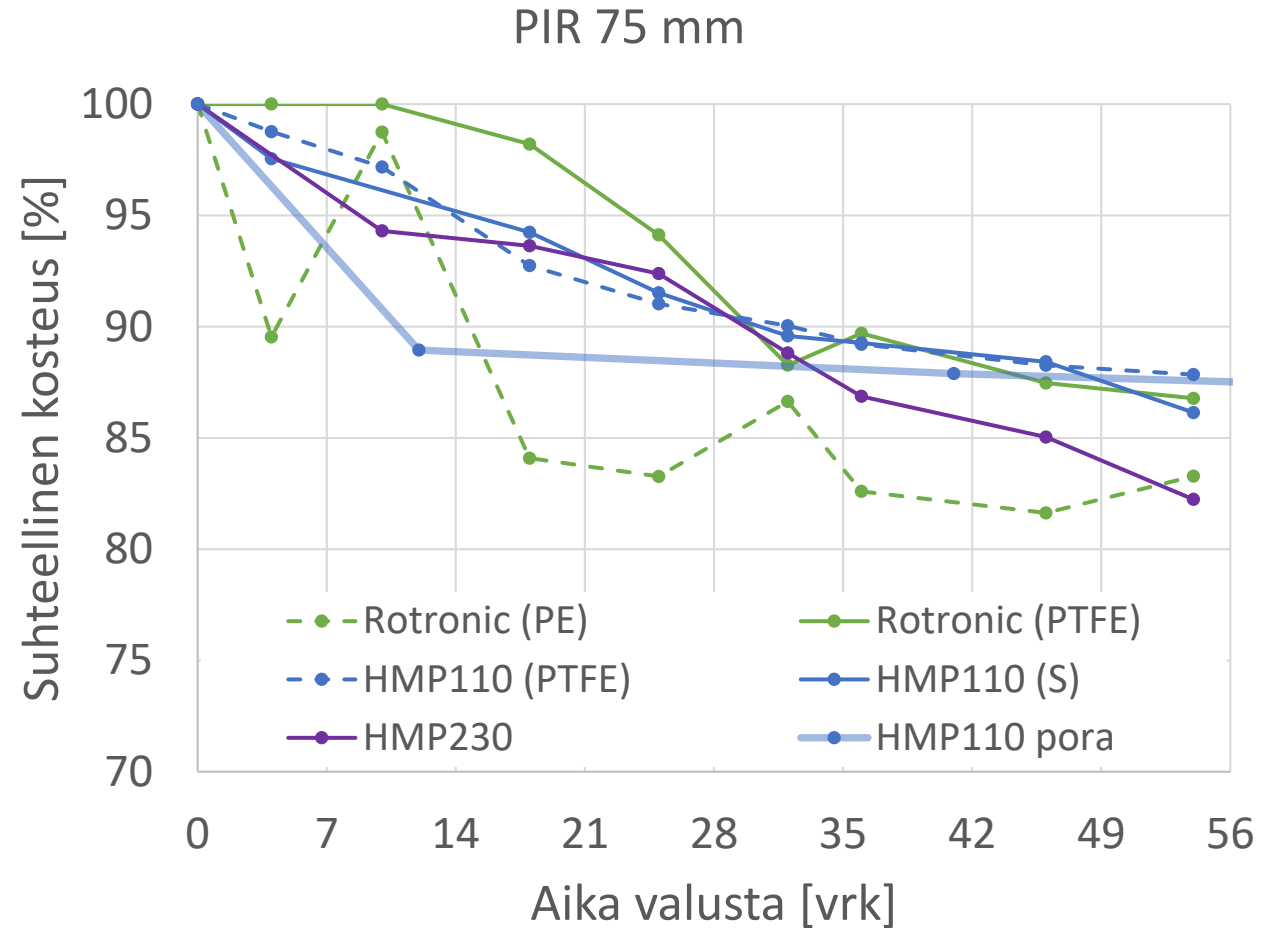
Mittaukset – Porareikämittaukset

- Porareikämittaukset suoritettiin RT-kortin mukaan ja niitä käytettiin referenssinä valuun asennetuista mittausputkista tehdyille mittauksille.
- Mittausten suoritus:
 - Mittaukset samoilta syvyyksiltä kuin mittausputkista
 - Putkitetut kappaleet:
 - 1 reikä/syvyys/mittauskerta
 - Porattavat kappaleet:
 - PIR: 3 reikää/syvyys/mittauskerta
 - EPS: 3 reikää/syvyys/mittauskerta
 - MV: 2 reikää/syvyys/mittauskerta
 - Mittaukset HMP110-mittapäillä
- Mittaukset 12 vrk, 41...42 vrk ja 191 vrk valusta.
- Mittausten perusteella määritettiin referenssikäyrät.



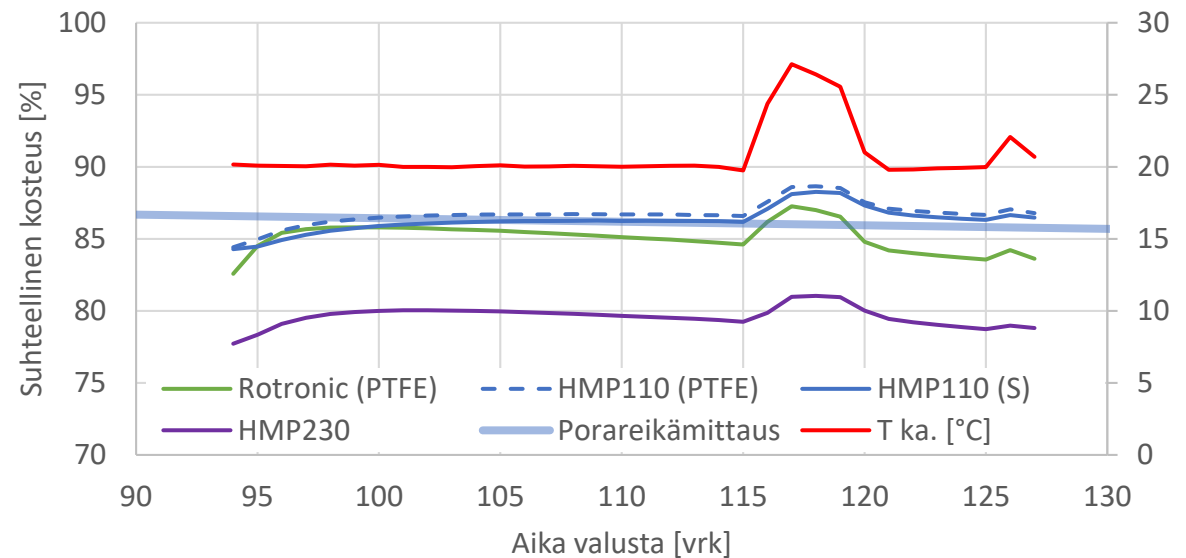
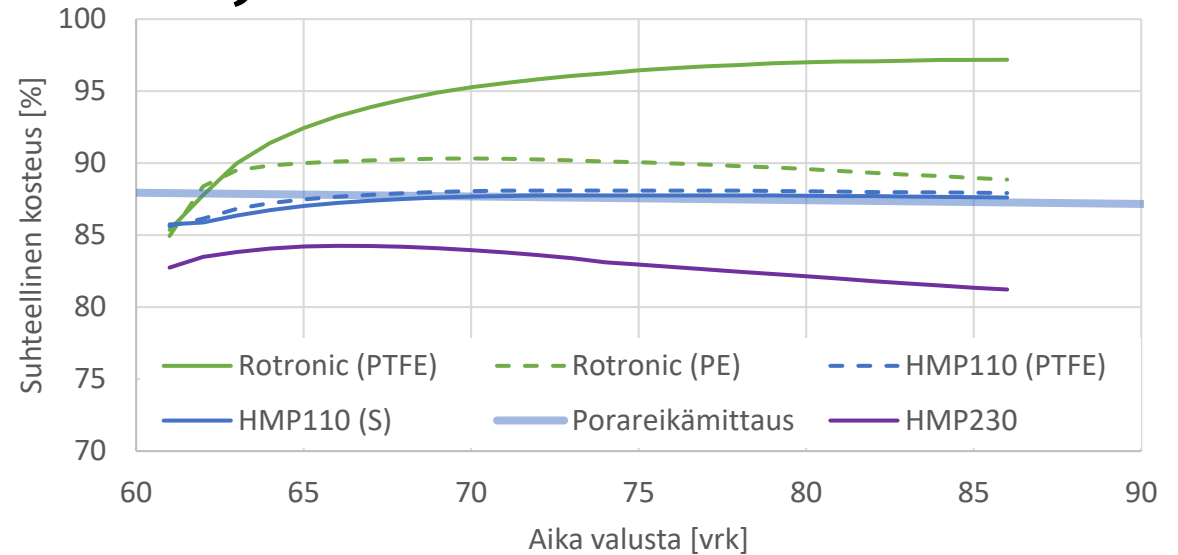
Mittaukset – Pistemäiset putkimittaukset

- Mittapäät tiivistettiin mittaosputkiin ja niiden annettiin tasaantua 40...60 min.
- Tavoite oli 60 min, mutta Rotronicin noustessa $\geq 100\%$ RH lukemaan mittaukset keskeytettiin kaikilla mittapäillä.
- Tarkoituksena suojella antureita välttämällä pitkäaikaista altistusta yli 90% RH kostealle betonille, mikä aiheutti ongelmia edellisen tutkimuksen perusteella.
- Antureiden tarkistukset:
 - 14 vrk valusta
 - 38 vrk valusta
 - 88 vrk valusta
 - 129...141 vrk valusta (palautumisen seuranta)
 - 181...184 vrk lopputarkastus



Mittaukset – Jatkuvien mittausten jaksot

- Aloitettiin, kun betonin mitattu huokosilman suhteellinen kosteus alitti lukeman 90 % RH.
- Kaksi mittausjaksoa:
 1. 61...86 vrk valusta
 2. 94...127 vrk valusta
- Käytettiin referenssinä porareikämittausten perusteella piirrettyä suoraa.
- Vakio-olosuhdehuoneen jäähdytyslaitteiston toimintahäiriön aiheuttama lämmön nousu aiheutti häiriötä mittauksissa toisella mittausjaksolla.

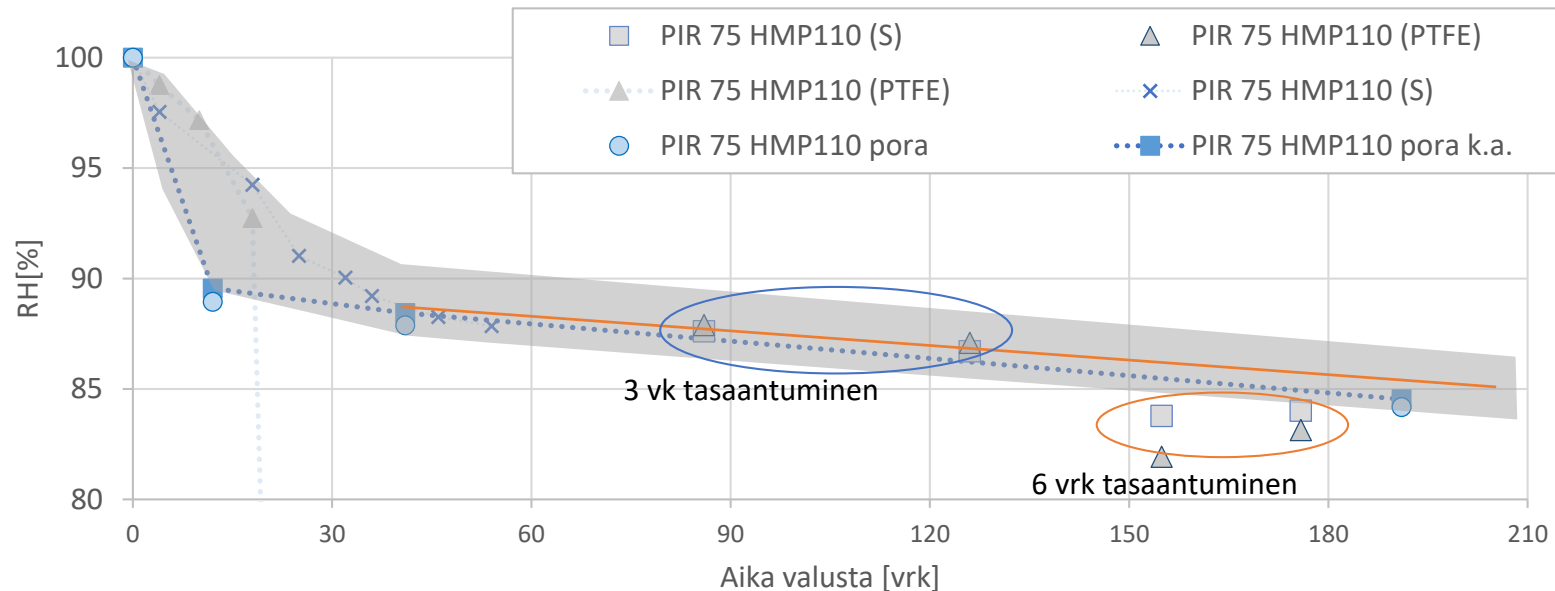
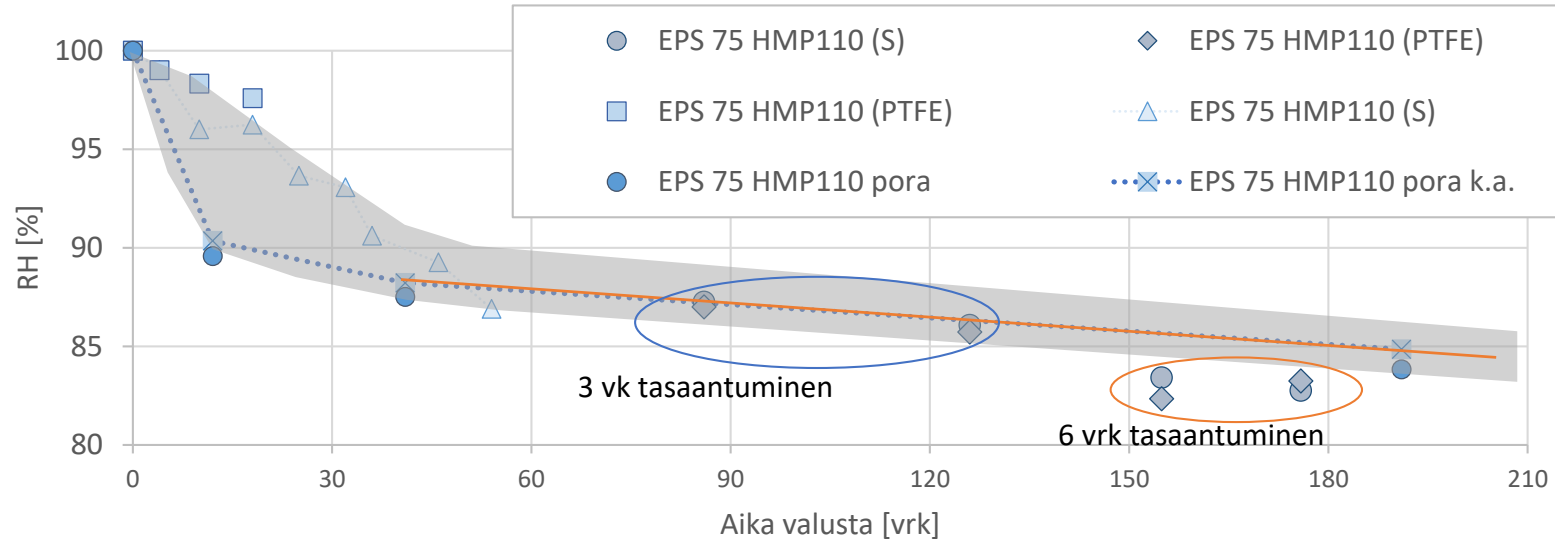


Mittausmenetelmien vertailu ja virhetarkastelu 1/2

75 mm syvyydeltä tehtyjen mittausten perusteella tuloksissa on eniten epävarmuutta ensimmäisten 30 vrk aikana, kun kosteus on yli 90 % RH

Putkimittausten tulokset asettuvat 75 mm syvyydellä samaan linjaan 40...190 vrk porareikämittausten kanssa, kun tasaan tasaantumisaika on 21 vrk. Kuuden vuorokauden tasaantumisajalla putkimittaukset jäävät hieman porareikämittausten alapuolelle.

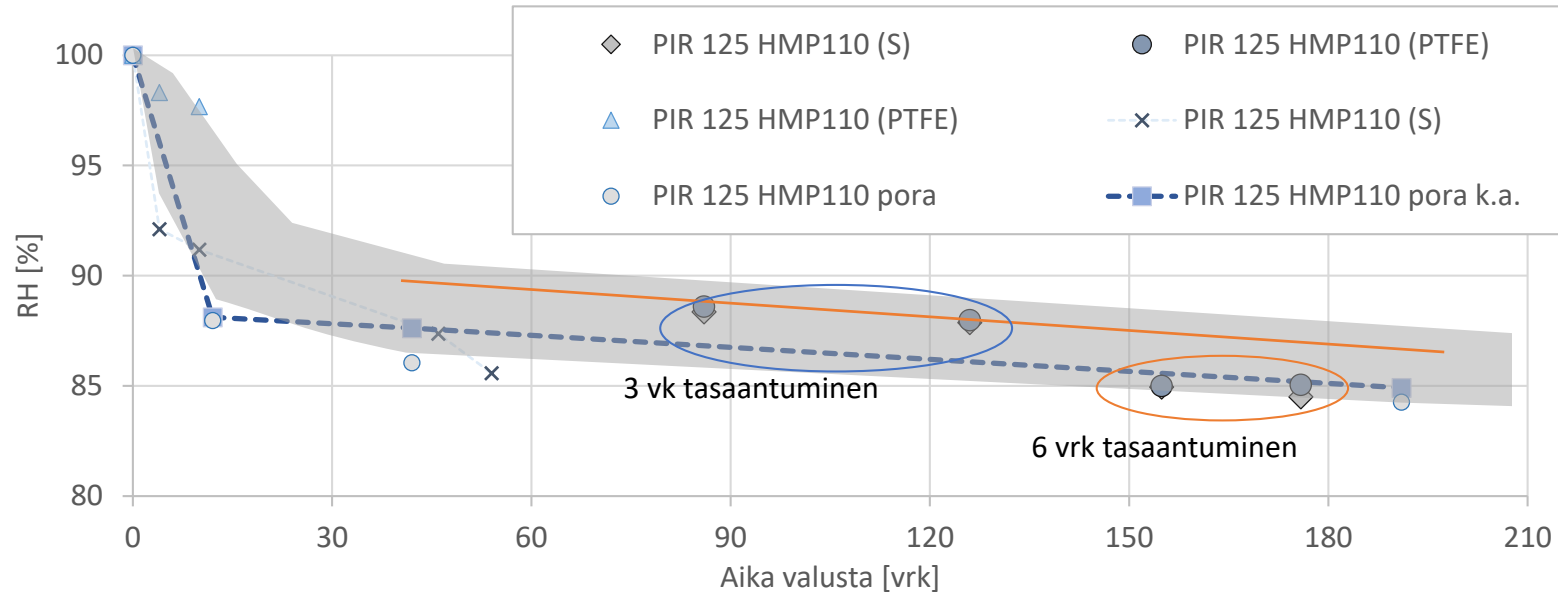
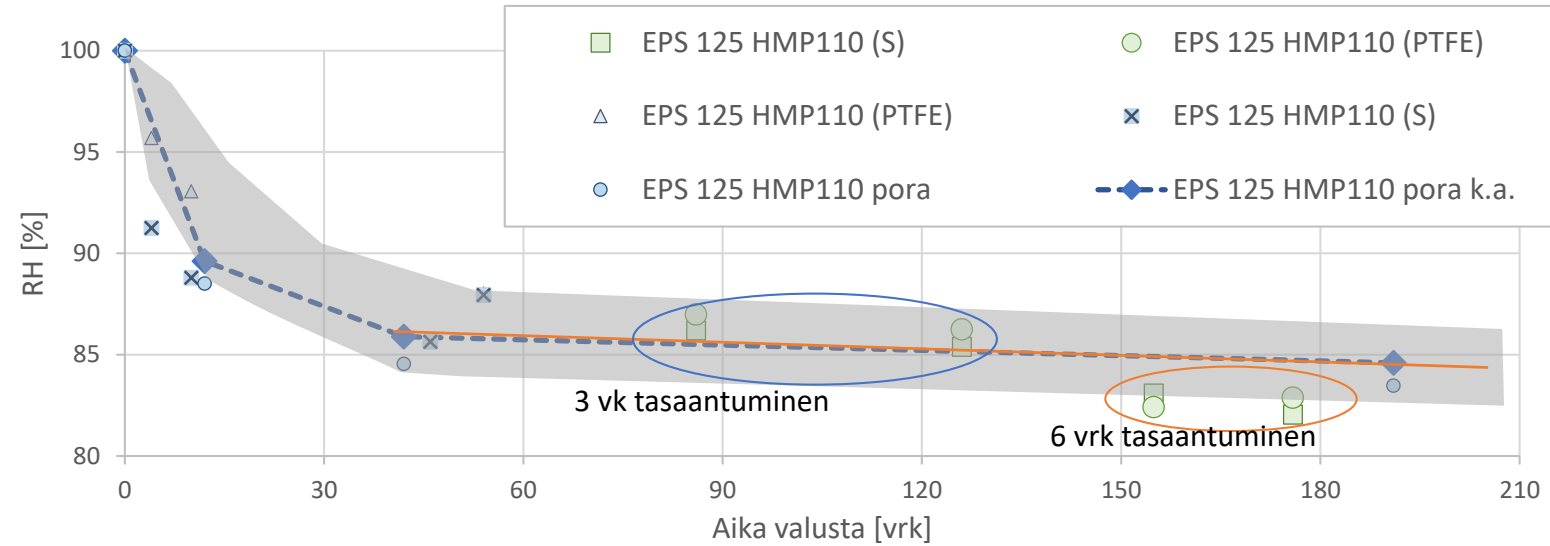
Ns. todellinen kosteus harmaalla alueella



Mittausmenetelmien vertailu ja virhetarkastelu 2/2

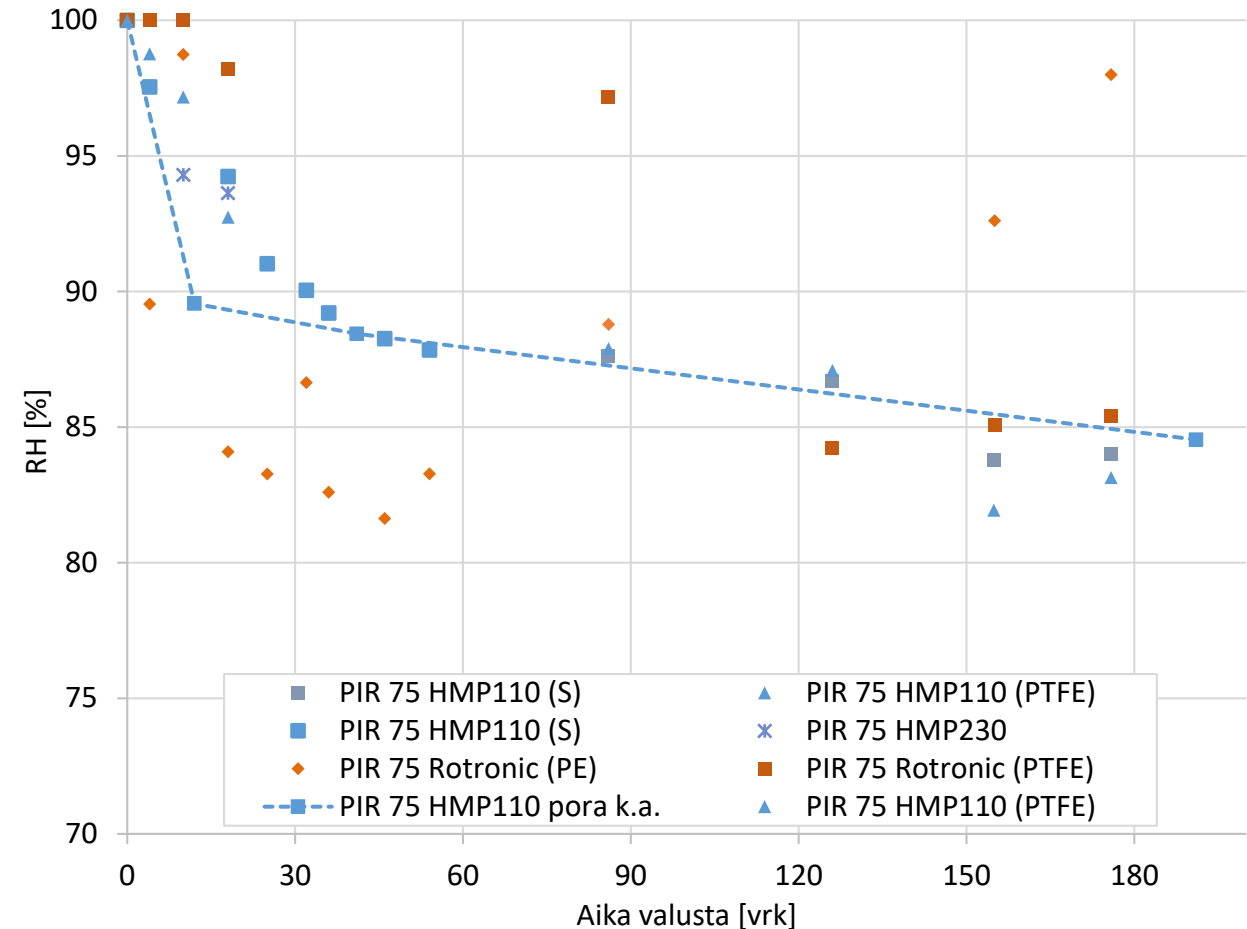
Putkimittausten tulokset asettuvat 125 mm syvyydellä kohtalaisen hyvin samaan linjaan 40...190 vrk porareikämittausten kanssa. Porareikämittausten tulokset osuvat putkimittausten keskelle, johdonmukaisesti kuten 75 mm mittauksissa 21 vrk tasaantumisaajan tulokset ovat porareikämittausten tasoon verrattuna korkeampia ja kuuden vuorokauden tasaantumisaajan tulokset jäävät tason alapuolelle.

Ns. todellinen kosteus harmaalla alueella.



Johtopäätökset – Yli 90 %RH kostean betonin mittaaminen

- Tutkimuksen perusteella betonin huokosilman suhteellisen kosteuden luotettava mittaaminen jatkuvatoimisesti yli 90 % RH kosteassa betonissa kapasitiivisilla kosteusantureilla on vaikeaa ja mittaustulokset voivat sisältää merkittäviä virheitä.
- Betonin kuivuttua alle 90 % RH mittaustulosten hajonta alkoi tiivistyä lähelle porareikämittausten referenssikäyrää. Mittapoikkeamaa aiheuttaa mittalaitteen lisäksi käytetty tasaantumisaika sekä mittausmenetelmä ja mittauksen suoritus. Tulosten perusteella valuun asennettujen mittausputkien käyttäminen lisää mittauksen virhetekijöitä.



Johtopäätökset – Mittalaitteet

- Porareikämittauksiin verrattuna Vaisala HMP110 antoi valuun asennettavista putkista samankaltaisimmat mittaustulokset. Eniten poikkeamaa oli mittausten alkuvaiheessa (< 30 vrk). Rotronic HC2-S mittapään peräkkäiset mittaustulokset sisälsivät enemmän hajontaa sekä virheellisiä mittaustuloksia.
- Nyt verrattiin edellisissä tutkimuksessa (Korhonen 2018) käytössä olleita Rotronicin uusiin Vaisala HMP110 mittapäihin. Todetut poikkeamat eivät kuitenkaan selity laitteiden käyttöiällä, koska mitattujen kosteuslukemien epä johdonmukainen nousu korkeissa kosteuspitoisuuksissa havaittiin Rotronicin kohdalla myös edellisessä tutkimuksessa, kun mittapäät olivat uusia.
- Aiempien käyttökokemusten perusteella Rotronic HC2-S soveltuu kuitenkin hyvin muihin käyttötarkoituksiin. Epäjohdonmukainen hajonta mittaustuloksissa liittyy todennäköisimmin hyvin kosteaan alkaliseen betoniin ja anturissa tapahtuvaan kondenssiin mikä on yleinen ongelma kapasitiivisilla antureilla mitattaessa korkeita kosteuksia. Ongelma korostuu erityisesti tehtäessä mittauksia muuttuvissa lämpöolosuhteissa esimerkiksi rakennustyömailla.

Johtopäätökset – Mittausmenetelmät

- Jatkuvatoimisten mittausten hyöty suhteessa luotettavuuteen tutkitulla betonilaadulla on kyseenalaista. Alkuvaiheessa mittausvirhe ja riski kondenssille on suuri ja alkuvaiheen jälkeen kuivuminen on niin hidasta, että mittalaitteiden ryömiminen ylöspäin pahimmillaan kumoaa samaan aikaan tapahtuneen kuivumisen.
- Porareikämittauksissa mitataan esiin poratun betonipinnan kautta haihtuvaa kosteutta tarkasteluhetkellä, eikä tällöin tarvittavalla lyhyemmällä tasaantumisajalla korkea kosteus niin helposti aiheuta virheellisiä mittaustuloksia, ja anturiin tapahtuvan kondenssin riski on pienempi.
- Tutkimuksen perusteella on suositeltavaa käyttää pistemäisiä lyhytaikaisia porareikämittauksia betonin kuivumisen seurannassa jatkuvien putkimittausten sijaan. Mikäli jatkuvatoimisia mittauksia halutaan käyttää suositellaan mittapäiden asennusta vasta, kun rakenteen lämpötila voidaan pitää mahdollisimman vakiona.

Kiitos!

Lisätietoja esityksen sisällöstä

Tuomas Raunima

Tampereen yliopisto

tuomas.raunima@tuni.fi

COMBI-tuloskortti: Kapasitiivisten kosteusantureiden käyttäytyminen betoniseinien kuivumisen seurannassa
Diplomityö: Kapasitiivisten kosteusantureiden käyttäytyminen betoniseinien ja kipsivalulattojen kuivumisen seurannassa (julkaistaan 2019)

Lisätietoja COMBI-hankkeesta

Juha Vinha

Tampereen 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>