COMBI

COMPREHENSIVE DEVELOPMENT OF
NEARLY ZERO-ENERGY
MUNICIPAL SERVICE BUILDINGS

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Aalto-yliopisto

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

BUSINESS FINLAND

Euroopan unioni

Vipuvoimaa EU:lta 2014–2020

RAKENNUSFYSIKAALISET KOSTEUSOMINAISUUDET

Laboratoriomittausten kehittäminen

Olli Tuominen, Tampereen teknillinen yliopisto

Sisällys

RAKENNUSFYSIKAALISET KOSTEUSOMINAISUUDET
Laboratoriomittausten kehittäminen

Tausta

Tasapainokosteuskokeen kehittäminen

- Tasapainottumisen todentaminen
- Kokeen nopeuttaminen

Painelevykokeen kehittäminen

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

Johtopäätökset

Tausta

Tasapainokosteuskäyrien mittaaminen osoittautui betoneilla haasteelliseksi tehtäväksi. Kosteuden siirtyminen on betonin huokosverkostossa erittäin hidasta, minkä vuoksi koeajat olivat huomattavan pitkiä sekä tasapainokosteus- että painelevykokeessa. Kokeita määrittävien standardien mukaiset keskeytysrajat johtivat mittausten liian aikaiseen päättämiseen.

Kokeissa aiheutuu virhettä koekappaleiden uunikuivauksesta. Korkeassa lämpötilassa kuivaaminen muuttaa betonin rakennetta.

Kaoliinisavea käytetään painelevykokeessa koekappaleiden ja keraamisen painelevyn välissä kapillaarisen yhteyden luomiseksi. Saven lisääminen on aikaa vievä työvaihe ja se voi lisätä painekammion täytön aikana haihtumisesta aiheutuvaa virhettä.

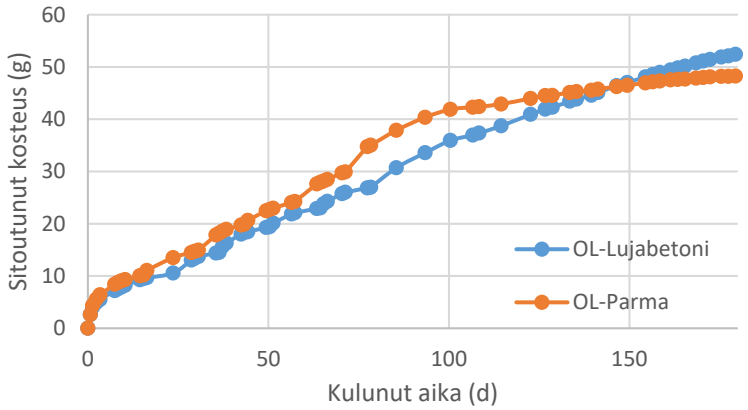
Betonista poistuu painelevykokeen aikana niin vähän vettä, että se haihtuu hyvin helposti ja sen punnitseminen ei ole toimiva tasapainottumisen seurantatapa. Koekappaleiden punnitseminen kokeen aikana ei ole mahdollista.

Ennen painelevykoetta tehtävällä koekappaleiden vakuumikyllästämisellä ei saavutettu betoneilla maksimikosteuspitoisuutta, vaan koekappaleiden paino jatkoi nousemista kun niitä pidettiin vakumoinnin jälkeen veteen upotettuina.

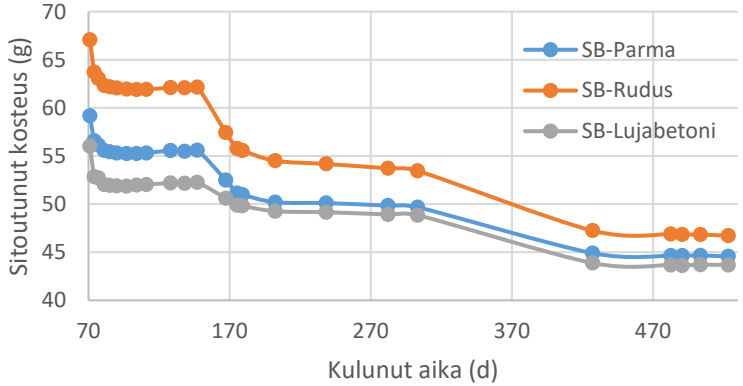
Tasapainokosteuskoe – tasapainottumisen todentaminen

Ensimmäisen tutkimusosiossa ontelolaattabetonien siirrot kosteustasosta toiseen tehtiin tasapainokosteuskokeessa standardin SFS-EN ISO 12571 painonmuutoksen raja-arvon 0,1 %/vrk mukaisesti. Painonnousukuvaajasta kuitenkin nähtiin selvästi, että painonmuutos ei ollut oikeasti hidastunut juurikaan ennen siirtoja.

Myöhemmissä tasapainokosteuskokeissa todentaminen tehtiin painonmuutoskuvaajien perusteella ja koekappaleet siirrettiin seuraavaan kosteustasoon tai koe lopetettiin vasta, kun tasaantuminen oli selvästi nähtävissä. Painonmuutosnopeus oli lopetettaessa myöhemmissä tasapainokosteuskokeissa kokonaisilla koekappaleilla pääosin n. 0,001 %/vrk.



Ontelolaattabetonien puutteellinen tasapainottuminen adsorptiossa uunikuivasta kosteuteen 97 % RH. Yhteensä 6 kosteustasoa.



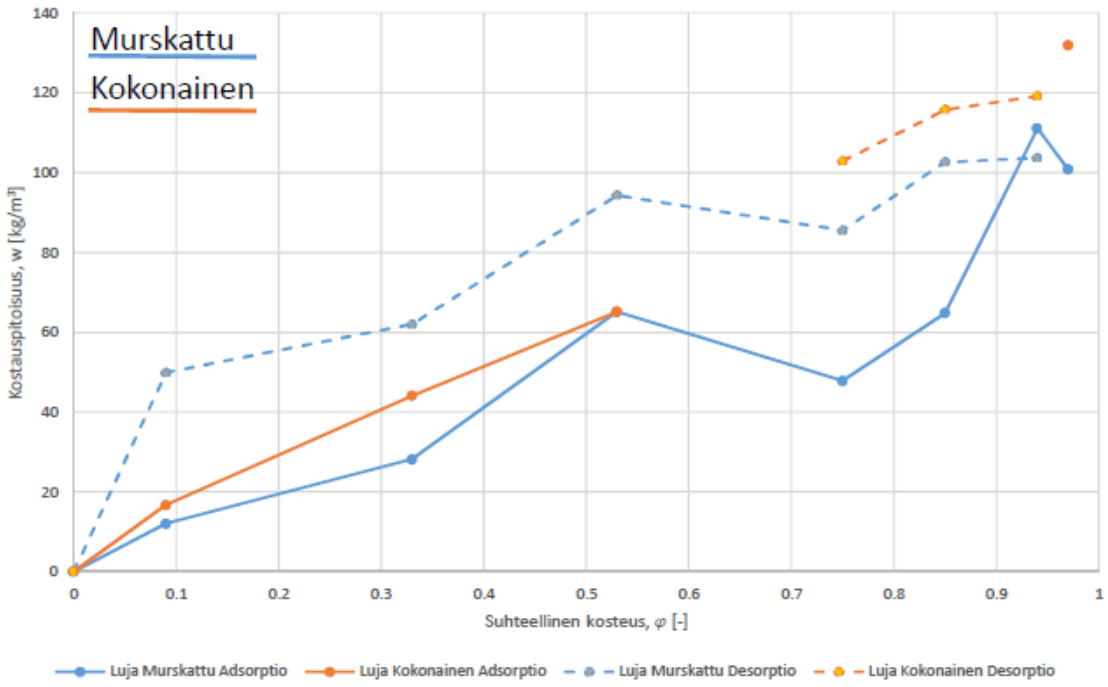
Sisäkuoribetonien tasapainottuminen 97 % RH -> 94 % RH -> 85 % RH -> 75 % RH.

Tasapainokosteuskokeen nopeuttaminen 1

Sisäkuoribetonien tasapainokosteuskokeiden nopeuttamista kokeiltiin toisessa tutkimusosiossa murskaamalla koekappaleet. Kuvassa esimerkki Lujabetonin tasapainokosteuskäyristä.

Murskatuilla kappaleilla saadut tulokset eivät ole yhteneväisiä kokonaisilla 15-16 mm kappaleilla mitattujen kanssa. Tasapainokosteuskäyrän muoto ei ole murskatuilla kappaleilla oikeanlainen.

Koeajat olivat keskimäärin n. puolet lyhempiä kokonaisiin verrattuna. Murskatuilla ehdittiin mitata kaikki kosteustasot, koska jokaiseen tehtiin oma koekappalesarja.

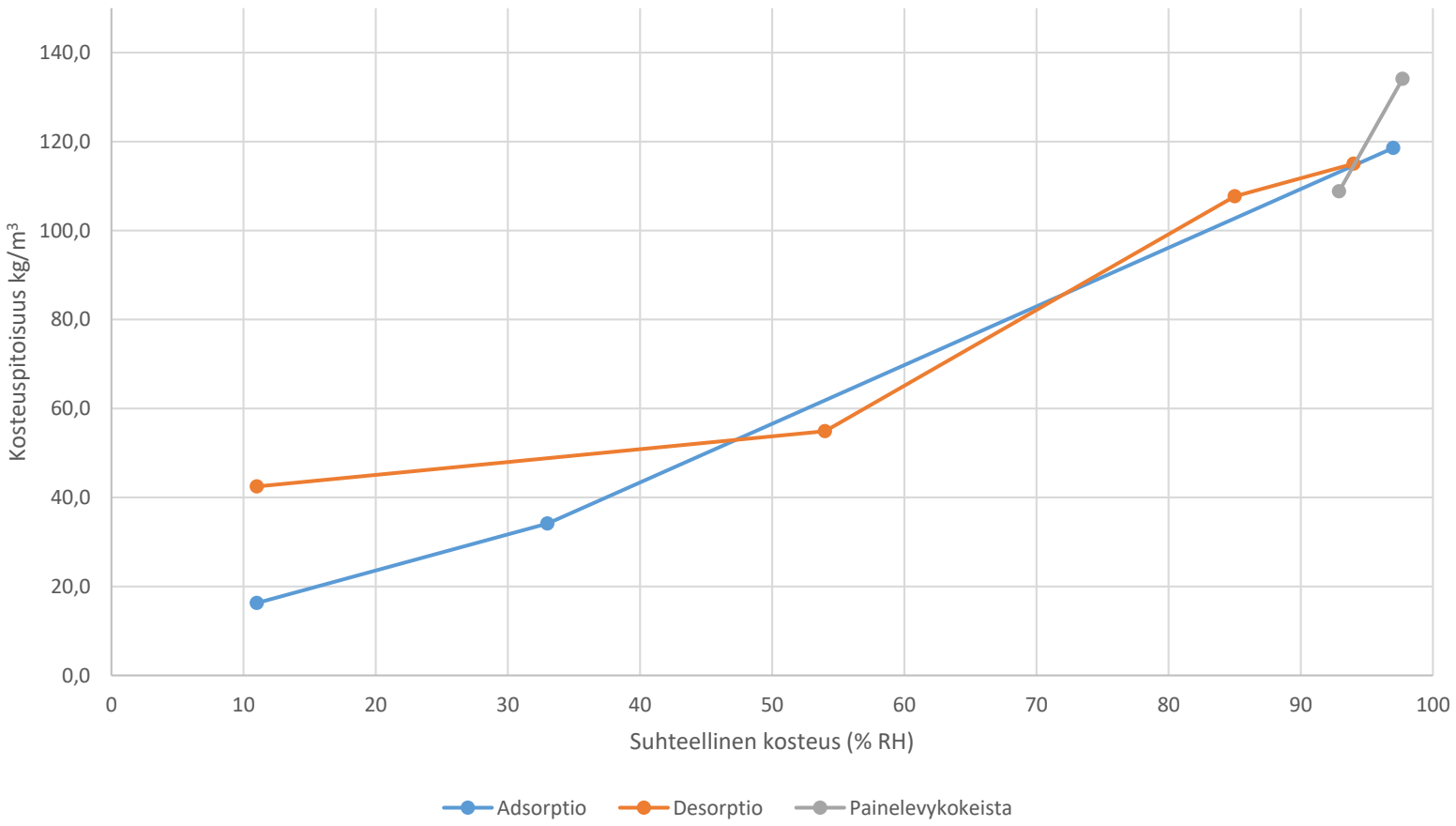


Tasapainokosteuskokeen nopeuttaminen 2

Kolmannessa tutkimusosiossa kokeiltiin aikaisempia ohuempia (n. 15-16 mm -> n. 4-5 mm) kokonaisia kappaleita.

Tasapainottaminen todennettiin painonnousukuvaajien perusteella ja kokeiden annettiin jatkua kunnes kosteuspitoisuudet olivat varmasti tasaantuneet. Koe kuitenkin nopeutui, koska jokaisessa kosteustasossa käytettiin erillistä koekappalesarjaa. Osassa kosteustasoista lopulliseen tasapainottumiseen meni hyvin pitkä aika ja kolmannes kokeista (lähinnä adsorptiokäyrän mittauksia) oli käynnissä yhä lähes vuoden päästä niiden aloittamisesta (12/2018).

Koekappaleiden kuivaaminen tehtiin 105 °C sijaan kosteustasossa 11,3 % RH ja tasapainokosteudet olivat luultavasti osaksi sen vuoksi aiempia kokonaisilla koekappaleilla mitattuja alhaisempia. Tulokset sopivat kohtalaisen hyvin yhteen painelevykokeessa mitattujen kapillaarisen tasapainokosteuskäyrän tulosten kanssa.



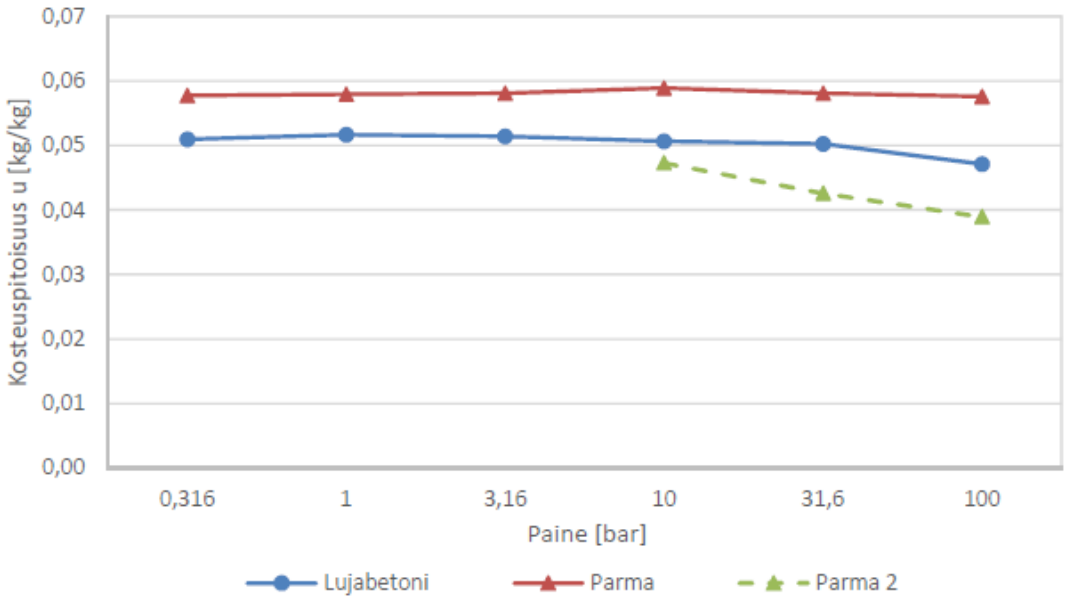
Ruduksen sisäkuoribetonille ohuilla koekappaleilla mitattu tasapainokosteuskäyrä. Mukana 93 ja 97 % RH painelevykokeen tulokset.

Vakuumikyllästetyt koekappaleet betonien kokeissa

Ensimmäisissä ontelolaattabetonien painelevykokeissa koekappaleet siirrettiin aluksi standardin mukaisesti painetasosta toiseen. Koekappaleita säilytettiin siirron aikana vesiupotuksessa. Tulokset eivät vastanneet hygroskooppisen tasapainokosteuskäyrän tuloksia.

Kapillaarisen yhteyden arveltiin heikkenevän siirron aikana, joten ontelolaattabetoneilla testattiin osa painetasoista uudelleen vakuumikyllästetyillä koekappaleilla (kuvassa Parma 2).

Kosteuspitoisuudet olivat alhaisempia ja 31,6 bar kokeen tulos vastasi hyvin 97 % RH hygroskooppisen tasapainokosteuskokeen tulosta.

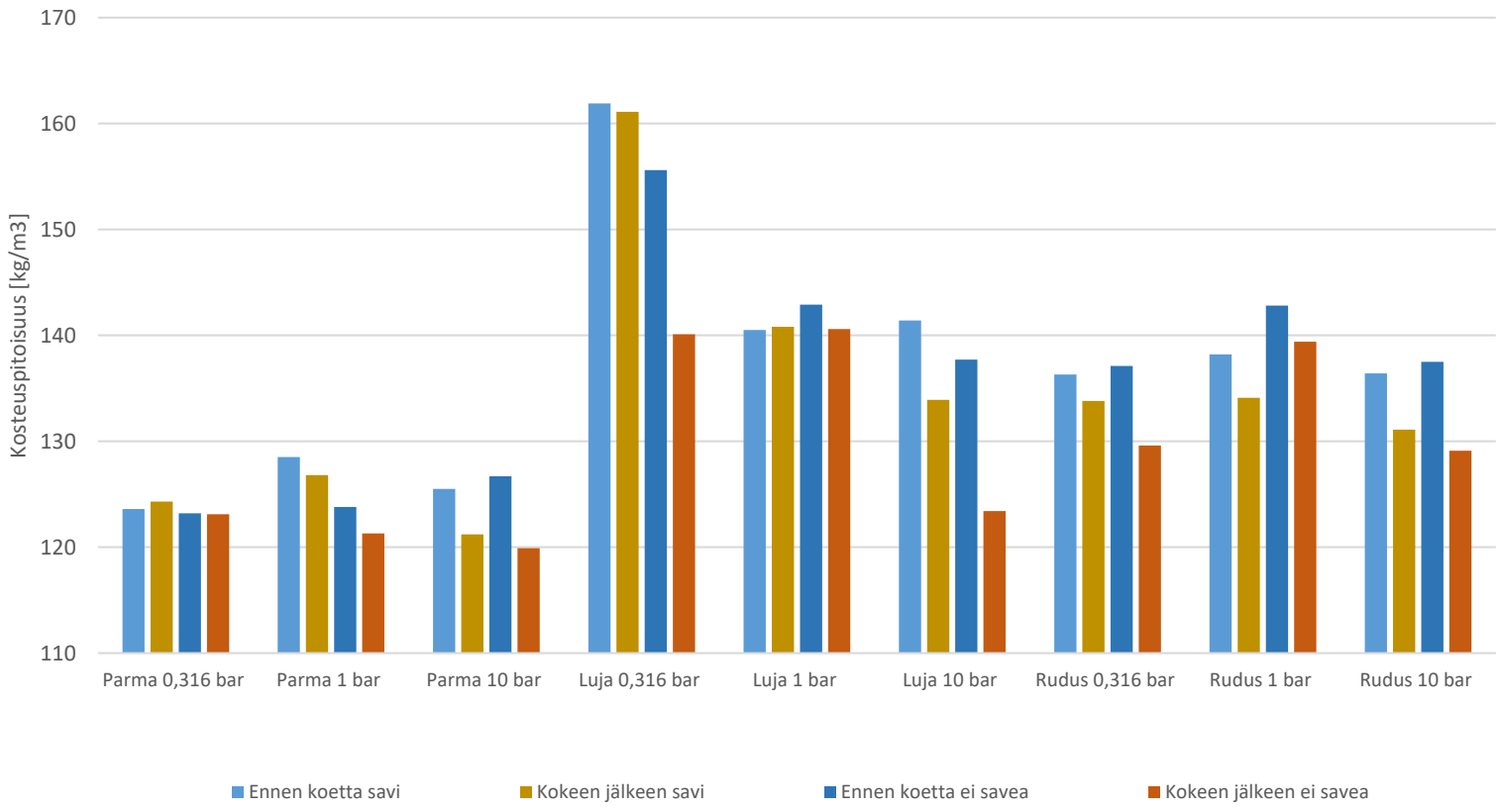


Kaoliinisaven tarpeellisuus

Toisen tutkimusosion painelevykokeiden yhteydessä testattiin, onko kaoliinisavella vaikutusta kokeen tuloksiin.

Kokeet tehtiin sileäksi timanttihioituilla sisäkuoribetonikoekappaleilla, jotka asettuivat hyvin keraamista levyä vasten.

Kosteuspitoisuuden muutos oli keskimäärin samansuuruinen käytettiin savea tai ei.



Kosteuspitoisuudet ennen ja jälkeen sisäkuoribetonien painelevykoetta kaoliinisaven kanssa ja ilman.

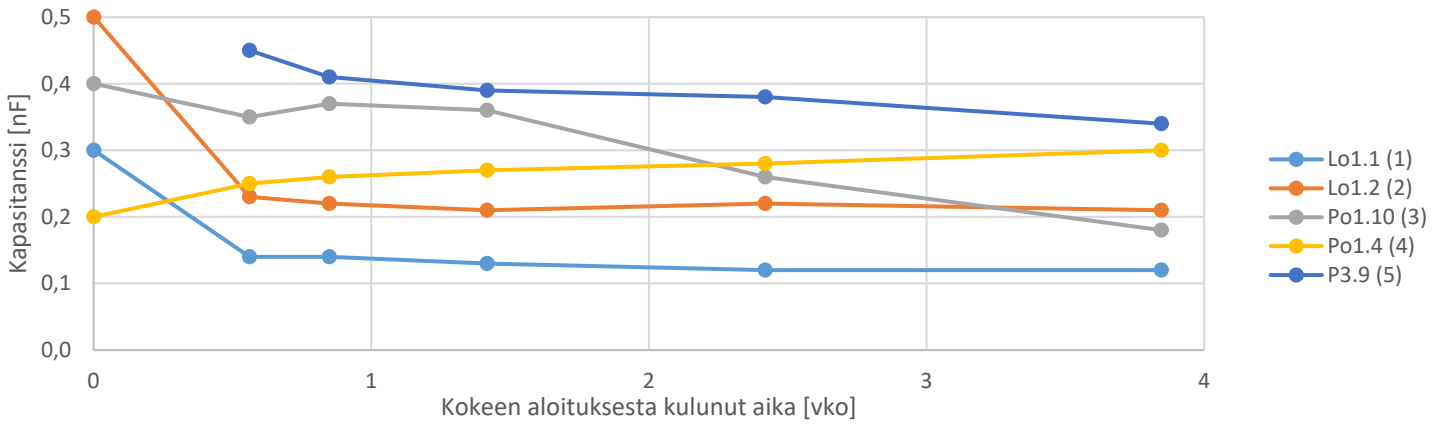
Kapasitanssimittaukset

Huokoisen materiaalin kosteuspitoisuuden muutoksesta voidaan saada tietoa mittaamalla kahden metallijohtimen välistä kapasitanssia siten, että materiaali on väliaineena.

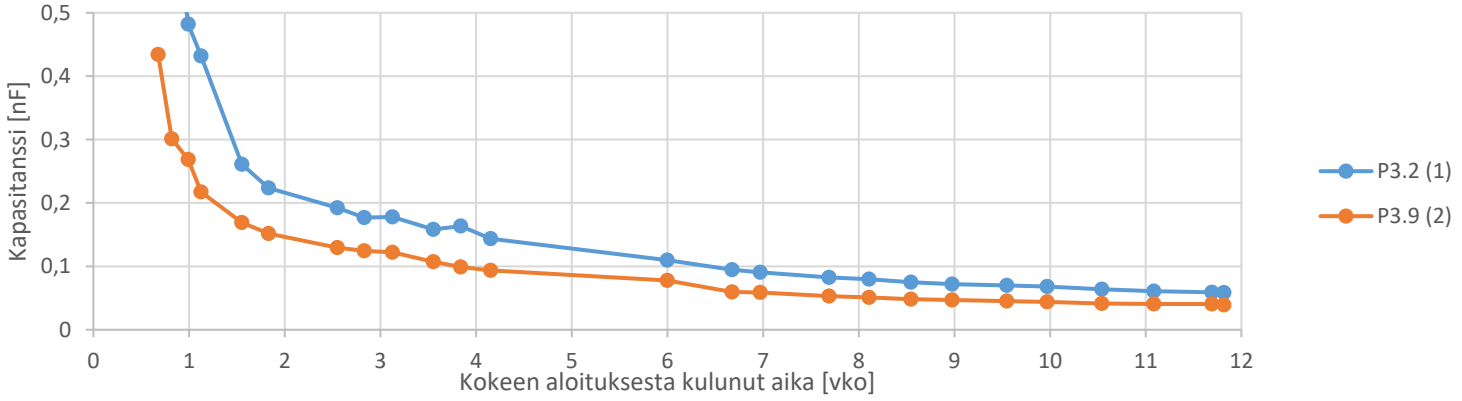
Kapasitanssin kuvaajat olivat selkeimpiä 100 baarin painekammiossa tehdyissä kokeissa. Matalissa paineissa käytettävien keraamisten painelevyjen kosteuspitoisuuden vaihtelu todennäköisesti vaikuttaa mittauksiin ja muutos ei ole havaittavissa yhtä selkeästi 5 ja 15 baarin kammioissa mitatuissa käyrissä.

Kalsiumsilikaateilla kapasitanssin mittauksesta ei ollut yhtä suurta hyötyä tasapainottumisen seurannassa. Ulospurkautuvan veden määrä on niillä suuri ja helpommin mitattavissa.

Betoneilla painelevykokeen sopiva kesto on arviolta n. 1-2 kk.



Kapasitanssien kehittyminen betonien 10 baarin painelevykokeen aikana.



Kapasitanssien kehittyminen betonien Parman sisäkuoribetonin 100 baarin painelevykokeen aikana.

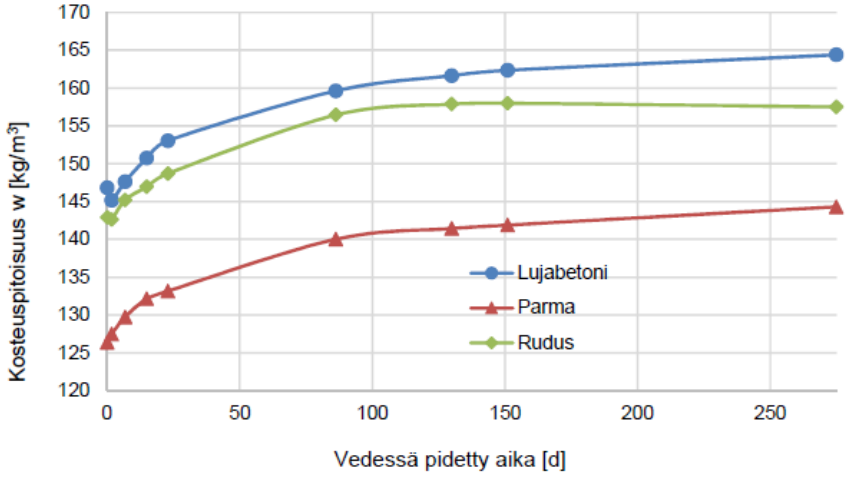
Vakuumikyllästysmenetelmien testaus

Kyllästysmenetelmiä testattiin toisessa ja kolmannessa tutkimusosiossa. Tavoitteena oli saada koekappaleet kyllästettyä maksimikosteuspitoisuuteen ilman pitkää vesiupotusta.

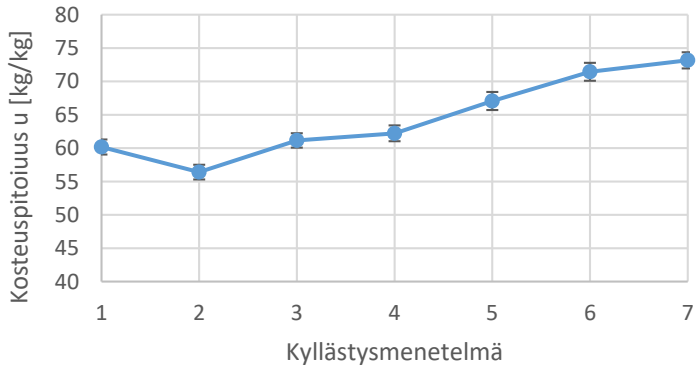
105 °C tuotti korkeammat kosteuspitoisuudet kuin 60 °C ja tyhjiöimällä kuivaaminen korkeimman tuloksen. Lyhyt vesiupotusaika tuotti alhaisimman kosteuspitoisuuden.

Vakuumikyllästämisellä ei millään menetelmällä saavutettu betoneilla maksimikosteuspitoisuutta, vaan lopullinen painonnousu tapahtui vesiupotuksessa. Syynä on todennäköisesti huokosveden ionit, joiden on poistuttava ennen kuin huokonen voi täyttyä kokonaan vedellä.

Kalsiumsilikaateilla kosteuspitoisuus oli lähes sama menetelmästä riippumatta. Painonnousua vesiupotuksessa ei havaittu.



Sisäkuoribetonien kosteuspitoisuuksien kehittyminen vakuumikyllästämisen jälkeen vesiupotuksessa 2. tutkimusosion testauksissa.



Kyllästys-menetelmä	Uunikuivaus	Vakumointi aika	Vesiupotus
1	- / 7 vko	3 h	3 d
2	7 d	3 h	1 h
3	6 d	1 d	3 d
4	6 d	1 vko	3 d
5	7 d	1 d	1 vko
6	6 d	1 d	1 h + 1 vko
7	3 h + 10 vrk 50 %RH	5 d	3 d

3. tutkimusosion vakuumikyllästysmenetelmien testaukset. Parman sisäkuoribetonin keskimääräiset vakuumikyllästämisellä saavutetut kosteuspitoisuudet ja testatut menetelmät.

Yhteenveto

Betonien tasapainokosteuskokeen nopeuttaminen onnistui parhaiten tekemällä erilliset koesarjat jokaiseen kosteustasoon. Koeajat ovat silti pitkiä ja etenkin adsorptiossa tasapainottuminen vie paljon aikaa. Betonin rakennetta muuttavan kuivaustavan käyttö aiheuttaa virhettä tuloksiin.

Painelevykokeessa kannattaa käyttää betoneilla jokaisessa kosteustasossa vakuumikyllästettyjä koekappaleita.

Kaoliinisavi ei ole kapillaarisen yhteyden kannalta välttämätön, kun käytetään sileitä koekappaleita.

Kapasitanssimittauksilla on mahdollista saada tietoa kosteuspitoisuuden muutoksesta. Parhaiten mittaus toimii kammiossa, jossa ei käytetä keraamisia painelevyjä.

Vakuumikyllästämisellä ei todennäköisesti ole mahdollista saavuttaa betoneilla korkeinta mahdollista kosteuspitoisuutta, vaan siihen vaaditaan aina pitkä aika vesiupotuksessa. Kyllästämistapa on syytä valita siten, että betonin rakenne muuttuisi mahdollisimman vähän.

Kiitos!

Lisätietoja esityksen sisällöstä

Olli Tuominen Tampereen yliopisto olli.tuominen@tuni.fi

COMBI-tuloskortti: Rakennusfysikaalisten kosteusominaisuuksien laboratoriomittausten kehittäminen
Kalsiumsilikaattilevyjen ja ontelolaattojen rakennusfysikaaliset kosteusominaisuudet, Maarit Vainio 2016
Sisäkuoribetonin rakennusfysikaaliset kosteusominaisuudet, Kari Vänttinen 2017
Sisäkuori- ja ontelolaattabetonien rakennusfysikaaliset kosteusominaisuudet ja mittausmenetelmien kehitys, Olli Tuominen (tulossa 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