

COMBI

COMPREHENSIVE DEVELOPMENT OF
NEARLY ZERO-ENERGY
MUNICIPAL SERVICE BUILDINGS



BETONIN RAKENNUSFYSIKAALISET KOSTEUSOMINAISUUDET JA MITTAUSMENETELMIEN KEHITYSTYÖ

Olli Tuominen, Tampereen yliopisto

Sisällys

Betonin rakennusfysikaaliset kosteusominaisuudet ja mittausmenetelmien kehitystyö

Taustaa

Tutkitut betonit ja materiaaliominaisuudet

Viimeisimmät tulokset ja mittausmenetelmien kehitys

Yhteenveto COMBI-hankkeessa tehdyistä betonien materiaalikokeista

Taustaa

Rakenteiden kosteusteknisen toiminnan mallintaminen

Betonilaatujen rakennusfysikaaliset kosteusominaisuudet heikosti tunnettuja

- Ontelolaattabetonien väliset erot
- Sisäkuoribetoneita ei ollut aiemmin tutkittu

Lähtötietoja COMBI:n laskennallisiin kuivumistarkasteluihin

Aiemmin tehdyistä kokeista uusittiin epäonnistuneita ja tuloksilta puutteelliseksi jääneitä.

Betoni hankala materiaali tasapainokosteuskäyrien määrittämisen kannalta.

Tutkitut betonit ja materiaaliominaisuudet

Tutkitut materiaaliominaisuudet:

- Veden imeytymisominaisuuksien kehittyminen ajan funktiona
 - Veden imeytymiskerroin
 - Veden tunkeutumiskerroin
 - Kapillaarinen kyllästyskosteuspitoisuus
- Hygroskooppinen ja kapillaarinen tasapainokosteuskäyrä
 - (Maksimikosteuspitoisuus)

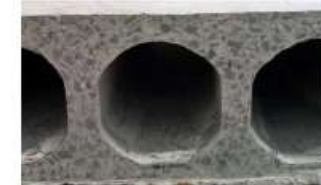
Materiaalit:

Ontelolaattabetonit



Lujabetoni

Lujuus: C50/60
Maksimiraekoko: 16 mm
Vesimenttisuhde: 0,472
Lisäaineet: ei



Parma

Lujuus: C50/60
Maksimiraekoko: 16 mm
Vesimenttisuhde: 0,486
Lisäaineet: ei

Sisäkuoribetonit

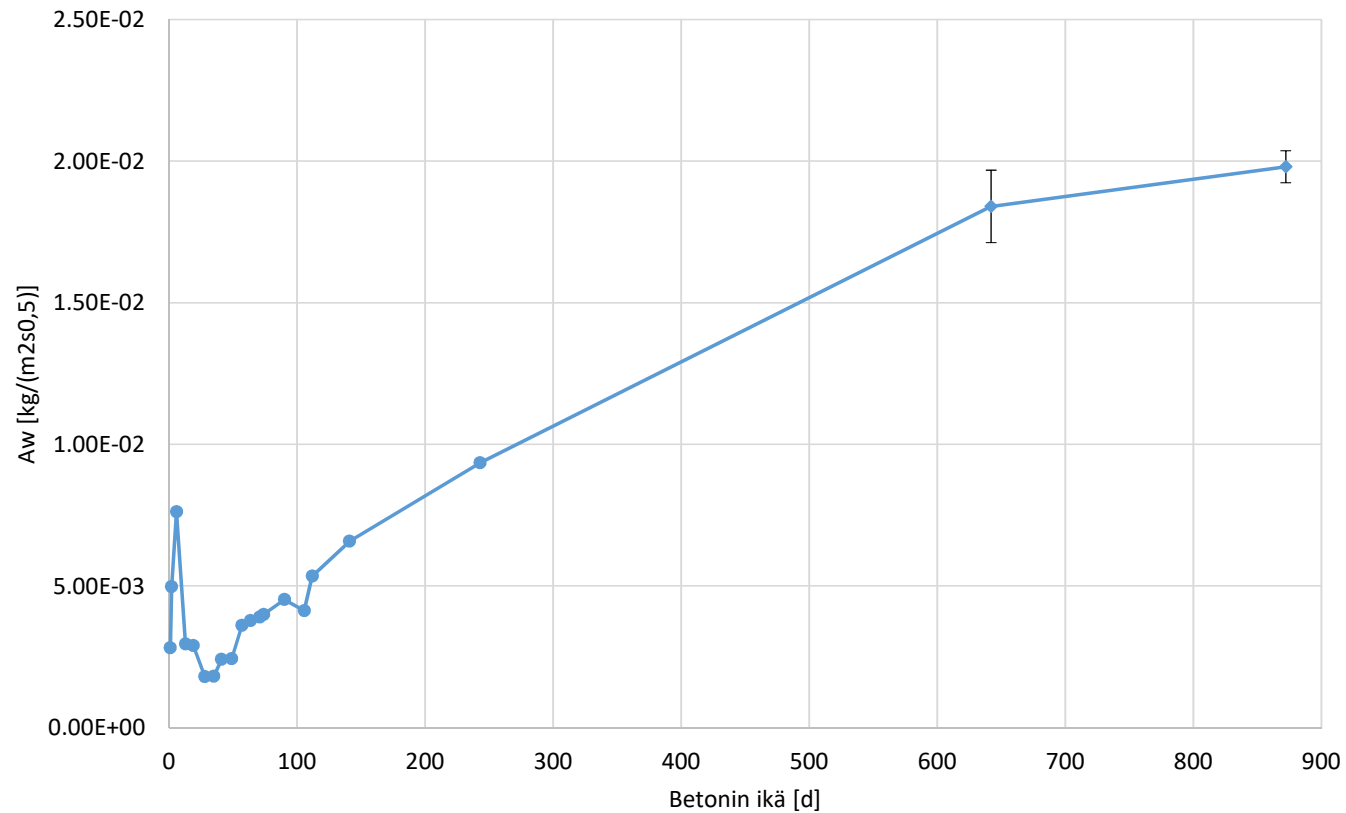
Sisäkuoribetonit			
Valmistaja	Parma Oy, Forssa	Lujabetoni Oy, Hämeenlinna	Rudus Oy, Tampere
Valupäivä	11.2.2016	19.11.2015	20.4.2016
Nimellislujuus	K40	K50	K50 (K40)
W/C-suhde	0,48	0,39	0,45
Sementtilaatu	pikasementti	52,5 N	2/3 R, 1/3 N
Suurin raekoko	16 mm	16 mm	16 mm (32 mm)
Lisäaineet	notkistin, huokostin	notkistin, huokostin	notkistin

Veden imeytymiskertoimen A_w kehittyminen

Rudus Oy:n sisäkuoribetonin veden imeytymisominaisuuksien kehittymisen seuranta jatkettiin lähes 2,5 vuoden ikäiseksi asti. Viimeiset 2 mittausta on tehty vuoden 2018 aikana.

Veden imeytymiskerroin (imeytymisnopeus) on kasvanut jatkuvasti, mutta kasvunopeus näyttäisi viime mittausten perusteella hidastuneen.

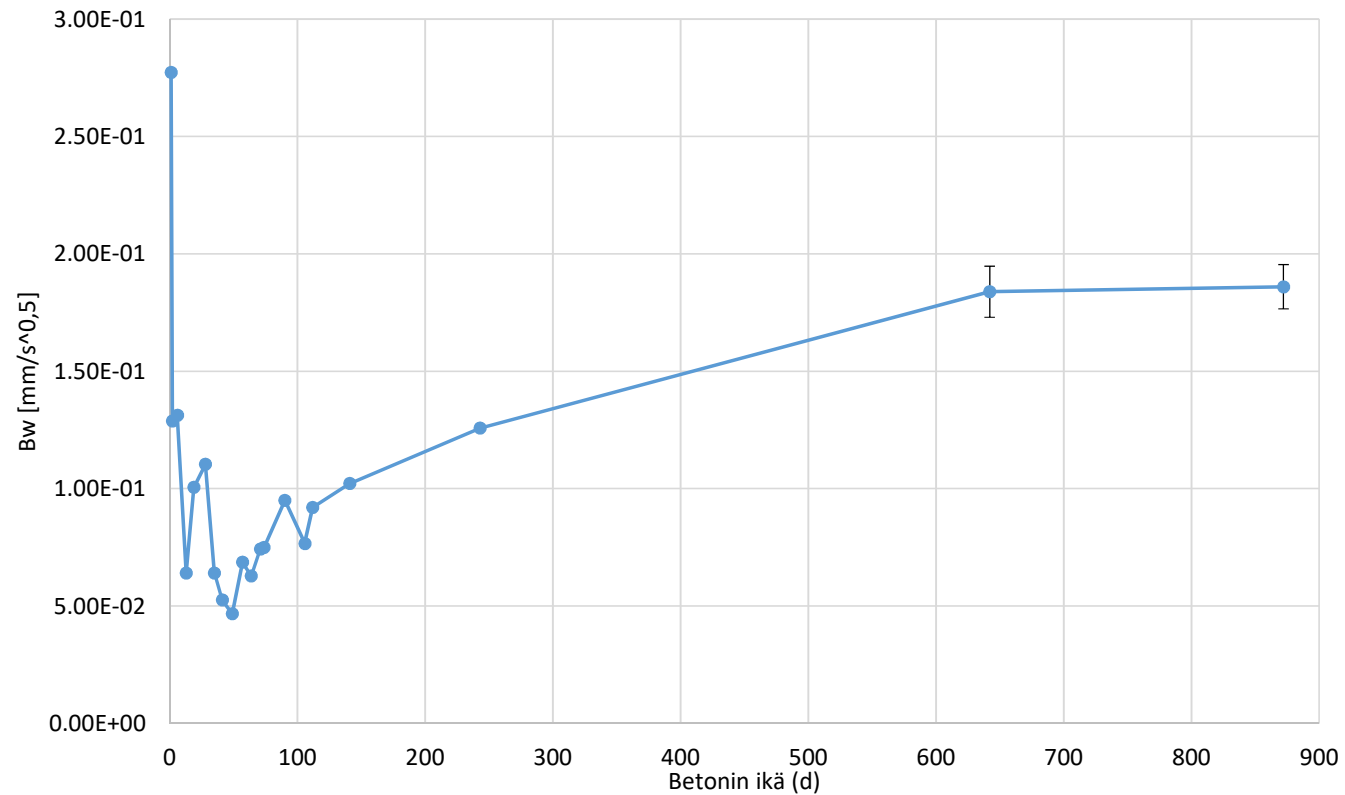
Viimeisimmät tulokset vastaavat jo kohtalaisen hyvin kirjallisuudessa veden imeytymiskertoimelle esitettyjä arvoja.



Veden tunkeutumiskertoimen B_w kehittyminen

Viimeisten 2 mittauksen perusteella veden tunkeutumiskerroin ei ole enää kasvanut.

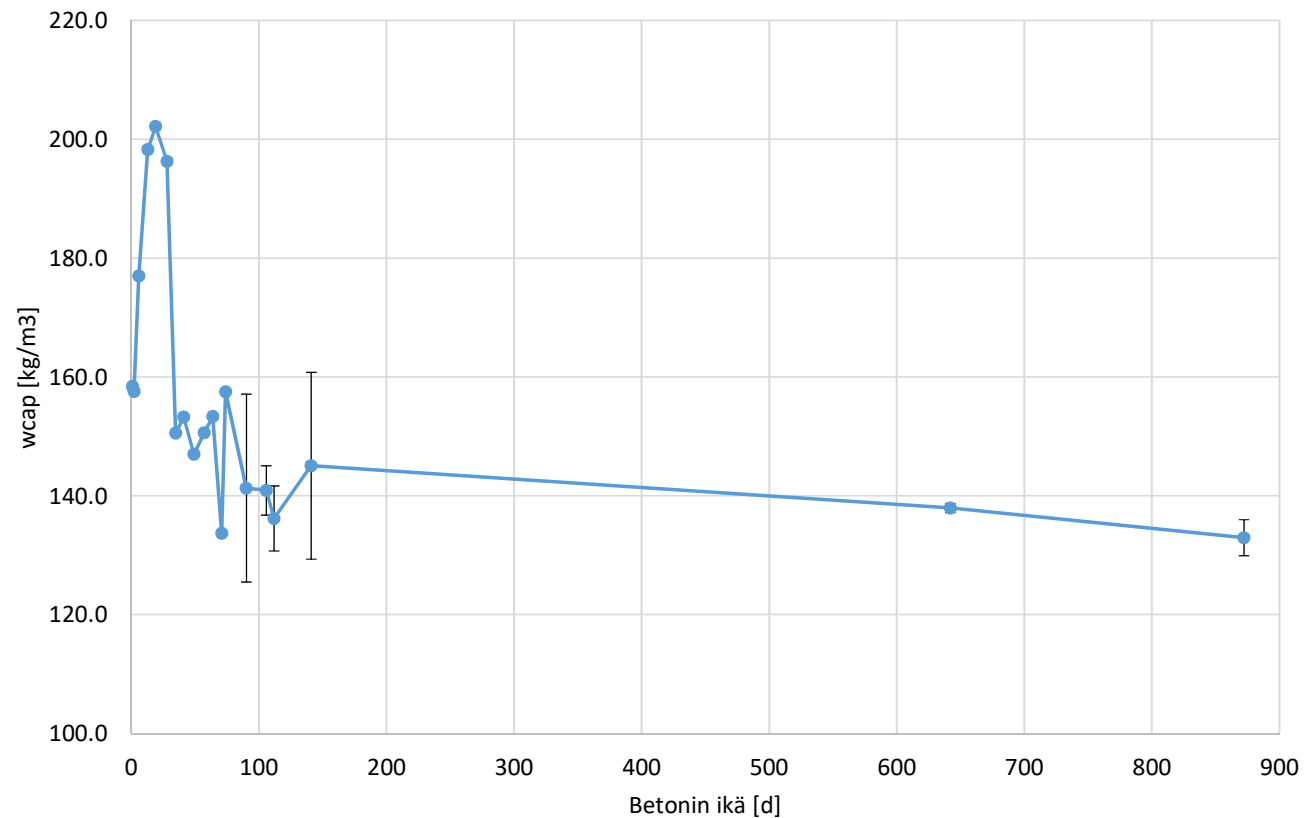
Myös veden tunkeutumiskertoimen viimeisimmät tulokset ovat samaa suuruusluokkaa kuin kirjallisuudessa esitetyt.



Kapillaarisen kyllästyskosteuspitoisuuden w_{cap} kehittyminen

Kapillaarinen kyllästyskosteuspitoisuus on pienentynyt johdonmukaisesti.

Aiempiin tuloksiin verrattuna koekappaleiden välinen hajonta on ollut kahdessa viimeisessä mittauksessa erittäin vähäistä.



Hygroskooppinen tasapainokosteuskäyrä

Kokonaisten d=185 mm koekappaleiden v. 2016 aloitettuja mittauksia jatkettiin. Kokeet jatkuvat edelleen.

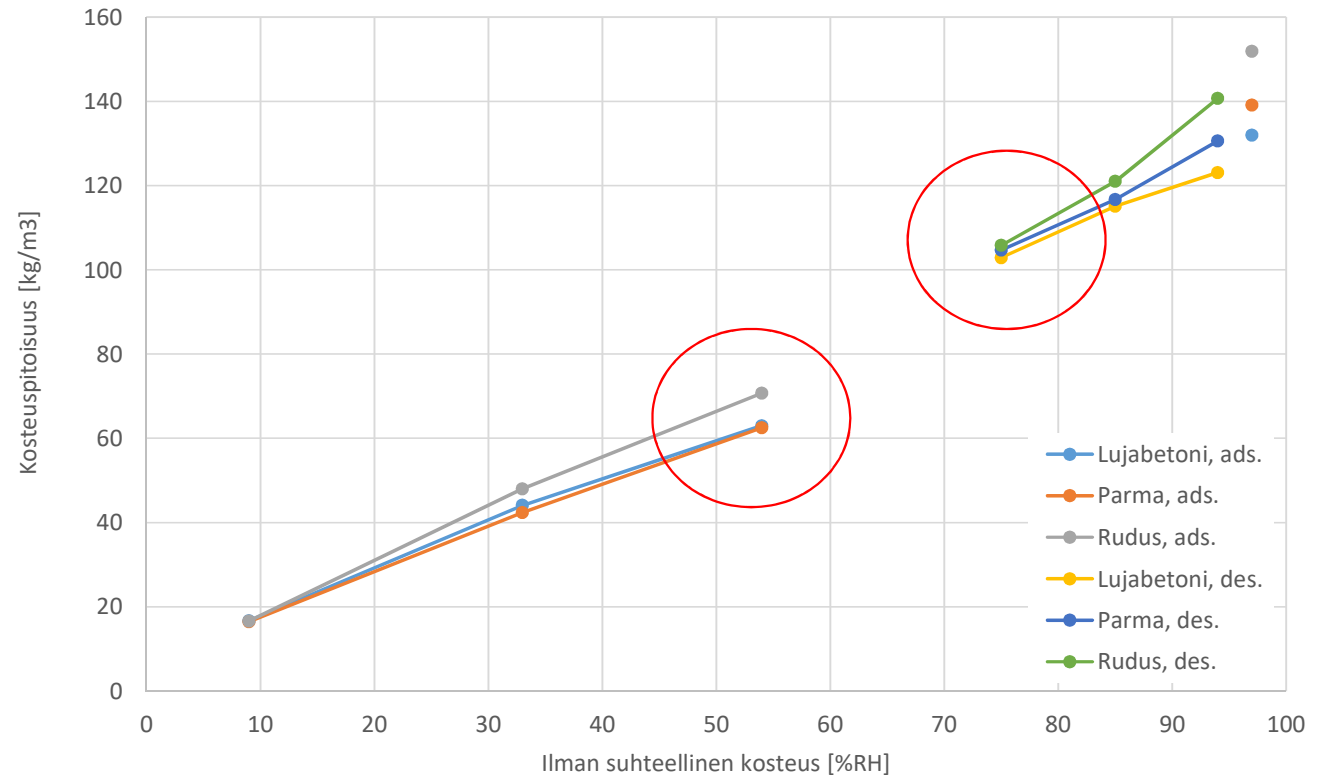
Sisäkuoribetonit:

Viimeisen vuoden aikana yksi uusi piste desorptio- ja adsorptiokäyrille.

Ontelolaattabetonit:

Kokonaisilla d=185 mm kappaleilla desorptiokäyrän RH94 ja RH85 tulokset.

RH	Tasapainokosteuspitoisuus [kg/m ³]	
	Parma	Lujabetoni
94 %	101,1	95,0
85 %	98,4	91,0



Sisäkuoribetonien kokonaisilla d=185 mm kappaleilla mitatut tasapainokosteuskäyrät.

Hygroskooppinen tasapainokosteuskäyrä

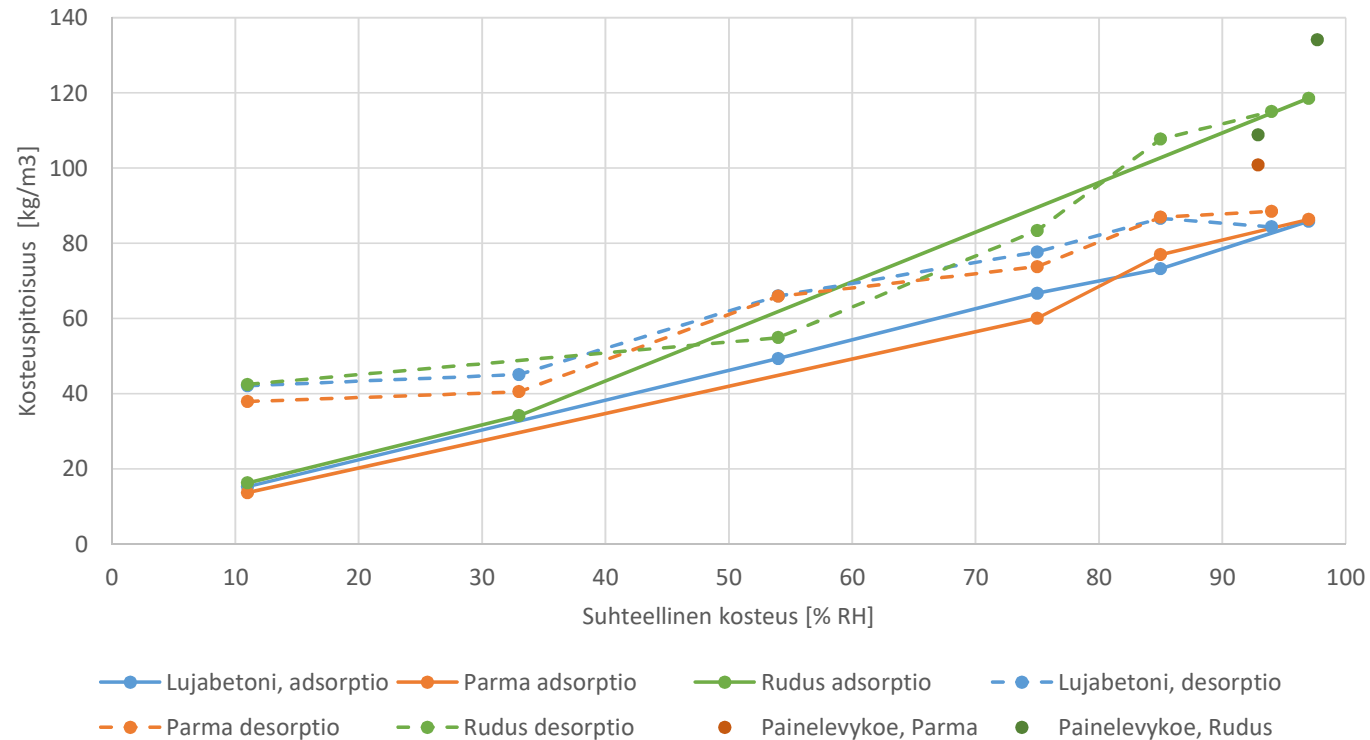
Kokeen nopeuttaminen ohuemmillä koekappaleilla; sisäkuoribetonikappaleiden paksuus n. 4-5 mm, d=100 mm.

Kuivaus RH11% kosteudessa.

Tasapainokosteudet olivat n. 10–40 % alhaisempia kuin suuremmilla kappaleilla mitatut.

Tasaantuminen oli ohuillakin koekappaleilla hidasta (etenkin adsorptiossa) ja kolmasosa mittauksista on edelleen käynnissä.

Ontelolaattabetoneilla ohuilla kappaleilla ei ehditty saamaan tuloksia.



Sisäkuoribetonien ohuilla koekappaleilla mitatut tasapainokosteuskäyrät.

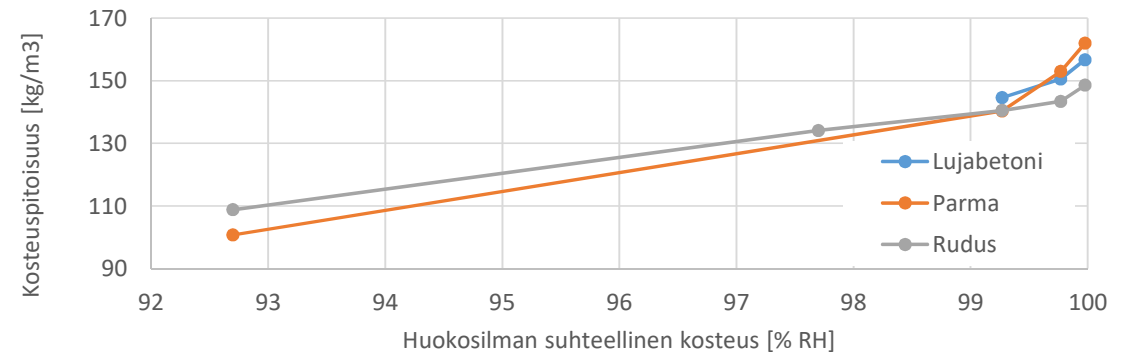
Kapillaarinen tasapainokosteuskäyrä

0,316; 3,16; 10; 31,6 ja 100 baarin kokeet uusittiin. Kaikkia painetasoja ei ehditty tekemään kaikille betonilaaduille pitkistä tasaantumisajoista johtuen.

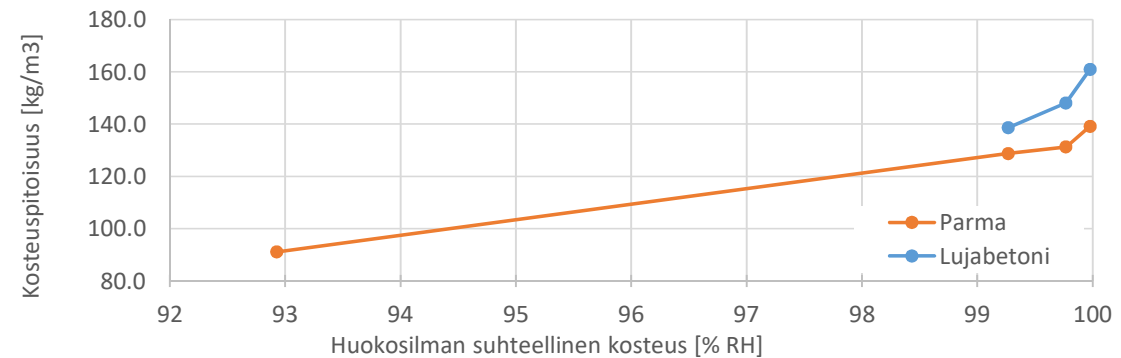
Tasaantumista seurattiin kapasitanssimittausten avulla.

Pienimmällä ylipaineella veden kerääntymistä koekappaleiden pinnoille.

Toistuva kyllästäminen on aiheuttanut betonien huokosrakenteen muuttumista. Tasapainokosteudet todellisia korkeampia.



Sisäkuoribetonien kapillaariset tasapainokosteuskäyrät.

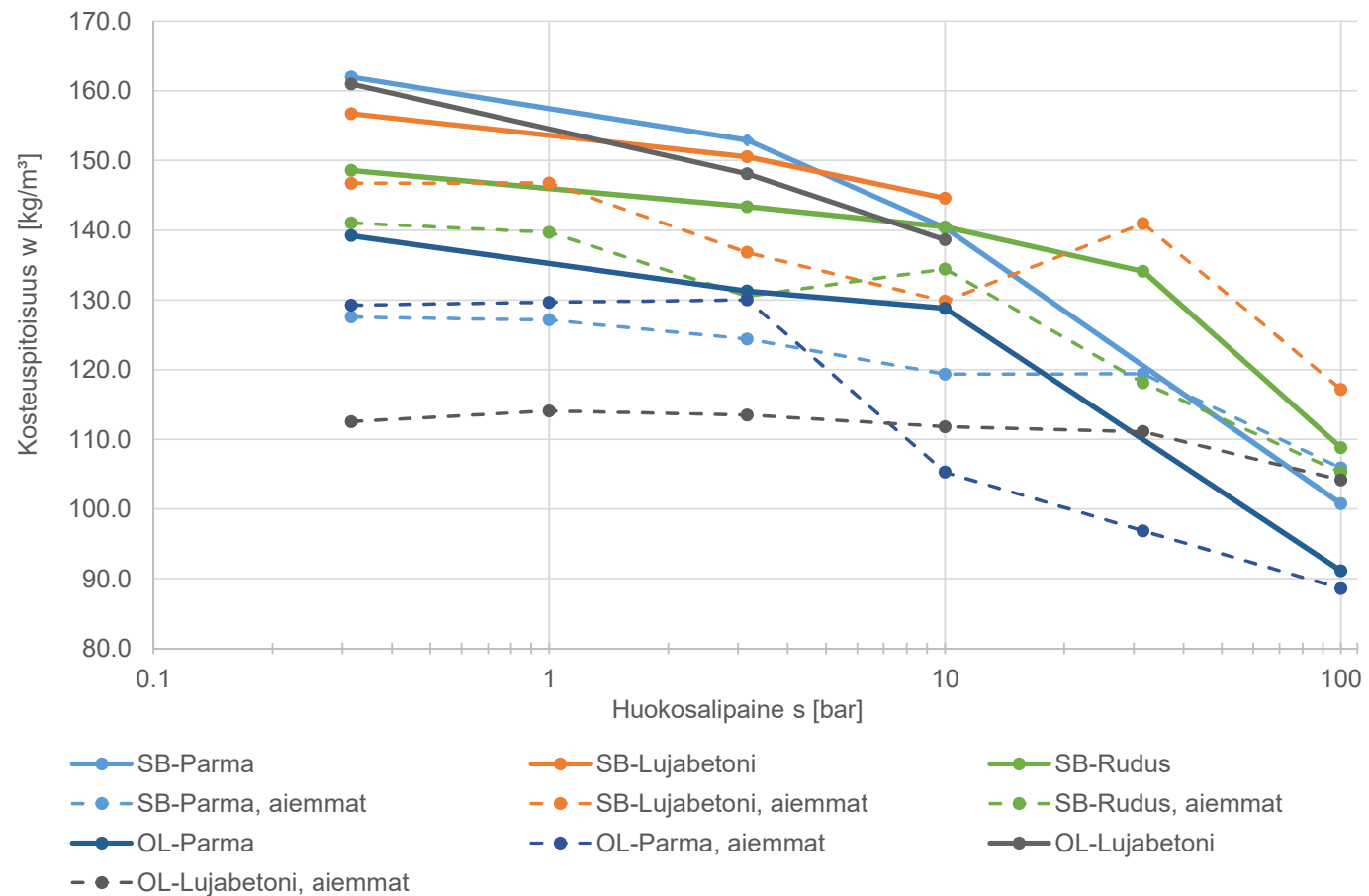


Ontelolaattabetonien kapillaariset tasapainokosteuskäyrät.

Kapillaarinen tasapainokosteuskäyrä

Vertailu aiemmin mitattuihin tasapainokosteuskäyriin; lähes jokaisessa painetasossa uusi tulos on aiempaa korkeampi.

Korkeimpien ylipaineiden tuloksiin betonin rakenteen muuttumisella ei ole ollut yhtä paljon vaikutusta.



Kyllästysmenetelmän kehittäminen

Kyllästysmenetelmien testausta jatkettiin uudella vakuumointilaitteistolla.

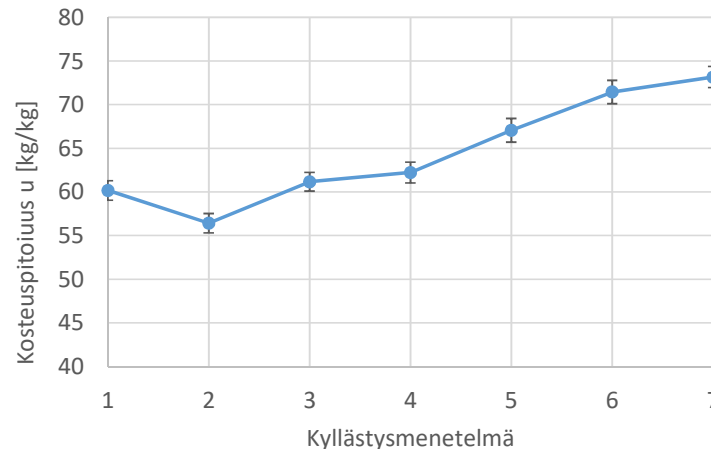
Testattiin yksi muuttuja kerrallaan yhdellä koekappalesarjalla. Kuivausaika mahdollisimman vakio, 6-7 d. Vain tyhjiöinnin ja vesiupotuksen kestoja muutettiin.

Toistuva kyllästäminen aiheutti maksimikosteuspitoisuuden kasvua.

Vesiupotusajan merkitys kuitenkin nähtävissä. Sillä ei vaikuta olevan merkitystä tapahtuuko vesiupotus alipaineessa vai ei (vrt. menetelmät 5 ja 6).

Kokeiltiin kuivausta tyhjiöimällä (menetelmä 7) -> korkein kosteuspitoisuus.

Kyllästysmenetelmä	Uunikuivaus	Vakuumointiaika	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



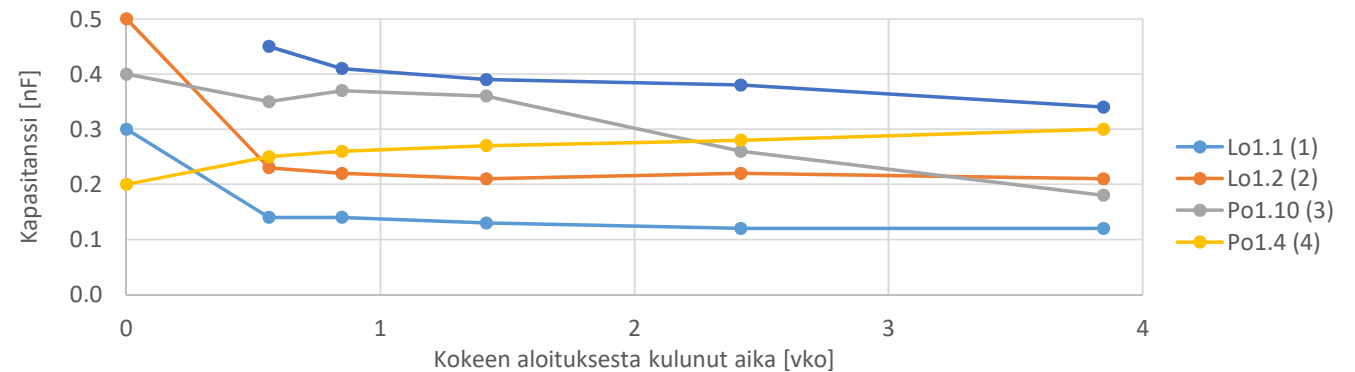
Tasaantumisen seuranta kapasitanssimittauksilla

Kosteuspitoisuuden muutoksen seuranta painelevykokeessa kapasitanssineulakappaleiden avulla.

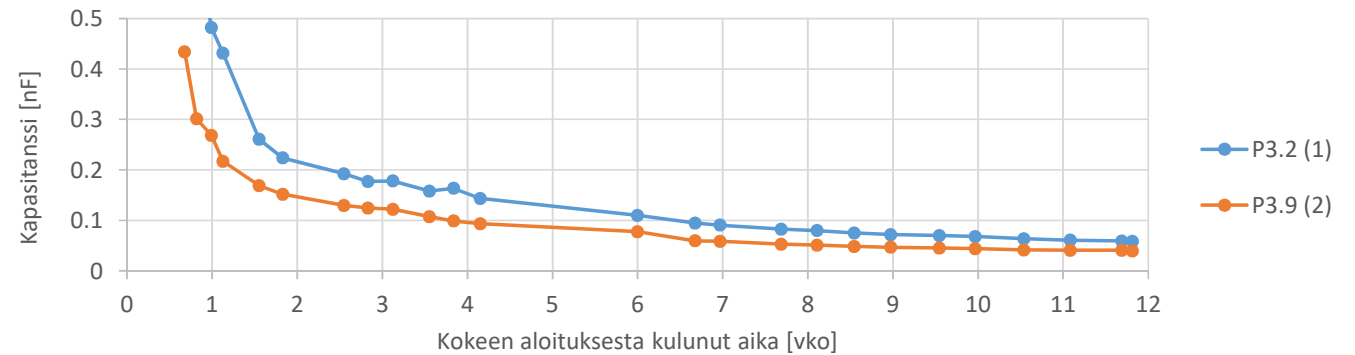
Selkeimmät kuvaajat 100 baarin painekammiossa tehdyissä kokeissa (erilainen painelevy).

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

Esim. alemman kuvaajan koe olisi standardin mukaisen lopetusrajan (0,05 mL /48 h) perusteella lopetettu 6 vrk kohdalla.



Kapasitanssien kehittyminen betonien 10 baarin painelevykokeen aikana.



Kapasitanssien kehittyminen betonien Parman sisäkuoribetonin 100 baarin painelevykokeen aikana.

Yhteenveto COMBI-hankkeen betonien materiaalikokeista

Koko hankkeen aikana betoneista tutkitut kosteusominaisuudet ja mittausmenetelmien kehitystyö:

- Veden imeytymisominaisuudet
 - Veden imeytymis- ja tunkeutumiskertoimet, kapillaariset kyllästyskosteuspitoisuudet
 - Betonin ikääntymisen vaikutus
 - Kosteuspitoisuuden vaikutus
 - Jälkihoidon vaikutus
- Hygroskooppiset tasapainokosteuskäyrät
 - Adsorptio- ja desorptiokäyrät
 - Kokeen nopeuttaminen murskatuilla ja ohuilla koekappaleilla
 - Nopeuttaminen erillisillä koesarjoilla
 - Mittaus ilman alun uunikuivausta
- Kapillaariset tasapainokosteuskäyrät
 - Painelevykokeen toimintatapaohje
 - Kosteuspitoisuus ennen painelevykoetta
 - Kaoliinisaven tarpeellisuus kapillaariyhteyden muodostamiseksi
 - Eri kyllästämismenetelmien toimivuuden testaus
 - Kapasitanssimittaukset kosteuspitoisuuden tasaantumisen seurantamenetelmänä
- Vesihöyrynläpäisevyydet

Kiitos!

Lisätietoja esityksen sisällöstä

Olli Tuominen

Tampereen yliopisto

olli.tuominen@tuni.fi

COMBI-tuloskortti: Sisäkuori- ja ontelolaattabetonien rakennusfysikaaliset kosteusominaisuudet

COMBI-tuloskortti: Rakennusfysikaalisten kosteusominaisuuksien laboratoriomittausten kehittäminen

Kalsiumsilikaattilevyjen ja ontelolaattojen rakennusfysikaaliset kosteusominaisuudet, Maarit Vainio 2016

Sisäkuoribetonin rakennusfysikaaliset kosteusominaisuudet, Kari Vääntinen 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>