



Lämmöneristetyypin vaikutus betonirakenteisten sisäkuorielementtien kuivumiseen

Betonin kuivumisen perusteet

Alkuvaiheessa

- **sitoutumiskuivuminen (hydrataatio) ja**
- **haihtuminen betonin pinnalta merkittävimmät ilmiöt**

Syvemmältä betonissa kosteus siirtyy nesteenä sekä vesihöyrynä

Betonilaadusta riippuen kosteusominaisuudet muuttuvat hydrataation seurauksena

- **esim. matalan vesisementtisuhteen betonilla $< 0,4$ v/s kapilaariverkosto katkeaa ja kosteuden siirtyminen hidastuu merkittävästi**

Pintarakenteiden arviointikriteerit

RT 14-10984 -ohjekortissa on esitetty mittaussuomenetelmät kiviaineisten lattia-, seinä- ja kattorakenteiden kosteuden mittaamiseen.

Päällysteiden yleisiä kriittisiä kosteusraja-arvoja on esitetty julkaisussa Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet (kosteusmittaus arviointisyvyydeltä A sekä $0,4 \cdot A$).

- Useimmilla päällysteillä arviointisyvyydellä A 85 %RH
- Useimmilla vedeneristeillä, vesihöyryä läpäisevillä tekstiilimatoilla ja linoleumi laatoilla A 90 %RH
- Useimmilla pinnoitteilla pinta < 97 %RH
- Kriteeri arviointisyvyydellä $0,4 \cdot A = 75$ %RH

Mitä pintamateriaalin alla oleva kosteus saa olla?

- Höyrynsulkupinnoitteet kuten epoksit kestävät jopa kapilaarista kosteutta
- Vedeneristeet kestävät korkeita kosteuksia hygroskooppisella alueella
- Alustaan liimattavien muovimattojen ja -tapettien alla yleisesti < 85 %RH

Laboratoriokokeet ja laskennalliset tarkastelut

Kuorielementtirakenteen kuivumisen tarkastelu käytettäessä erilaisia eristeitä

Laboratoriokokeet

- Betonin materiaaliominaisuuksien tutkimukset
- **Punnituskokeet** ja kosteusmittaukset
- **Kosteusmittaukset** sekä mittauslaitteiden ja menetelmien tutkiminen

Laskennalliset tarkastelut

- **Hyödynnettiin betonin materiaaliominaisuuksien laboratoriokokeita sekä koekappaleille tehtyjä kosteusmittauksia**
- **Erilaisten eristeiden vaikutus kuivumiseen**
- Kuorielementin sisäpinnalle asennettavan **pintamateriaalin vaikutus betonin kosteusjakaumaan ja kuivumiseen.**



Mittaukset valuuun asennetuista mittaputkista eri mittalaitteilla.

Referenssinä porareikämittaus yleisimmin käytetyllä betonin kosteusmittausanturilla

→ porareikämittausten tulokset laskentamallin kalibrointiin

1.EPS: 150 mm betoni + EPS 60S 200mm
(FF-EPS 60S), $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

2.MV/VILLA: 150 mm betoni + Min.villa 205 mm
(Paroc Cortex One), $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

3.PIR: 150 mm betoni + PIR 150 mm
(FF-PIR PLK, muovikalvo), $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

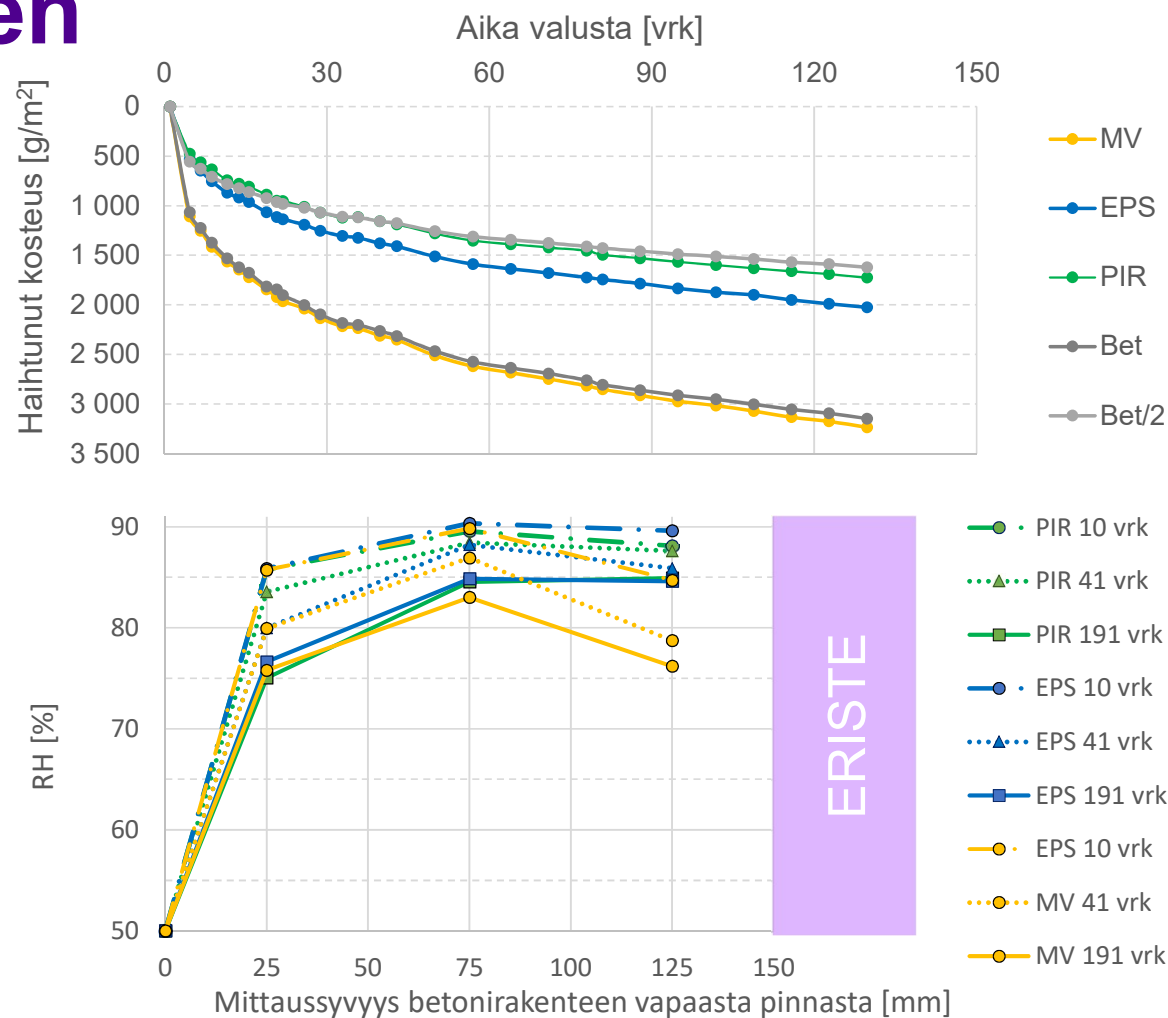
Laboratoriomittausten tulokset

MV-koekappaleesta poistui kosteutta yhtä paljon kuin kahteen suuntaan kuivuvasta betonikoekappaleesta (Bet).

PIR-koekappaleesta poistui noin puolet kyseisestä vesimäärästä. EPS-koekappaleesta poistui kosteutta hieman nopeammin PIR-koekappaletta nopeammin.

PIR- ja EPS-eristetyissä kosteusjakaumat ovat lähes identtiset. Kuivuminen tapahtuu pääosin yhteen suuntaan.

MV-eristetty myös kosteusmittausten perusteella selkeästi kahteen suuntaan kuivuva. Koekappale on kuivunut myös eristeen puolelta keskipistettä kuivemmaksi



Laskennallinen tarkastelu

Laskentamalli kehitetty Vahanen Rakennusfysiikka Oy / Comsol Oy toimesta ja esitelty NSB2017 seminaarissa

linkki julkaisuun: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.015>

Hydrataatio

- **Lämmöntuotto + kosteusnielu**

Diffusiviteetti, kosteuden siirtyminen nesteenä

- **Perustuu mitattaviin ja erikseen arvioitaviin parametreihin**

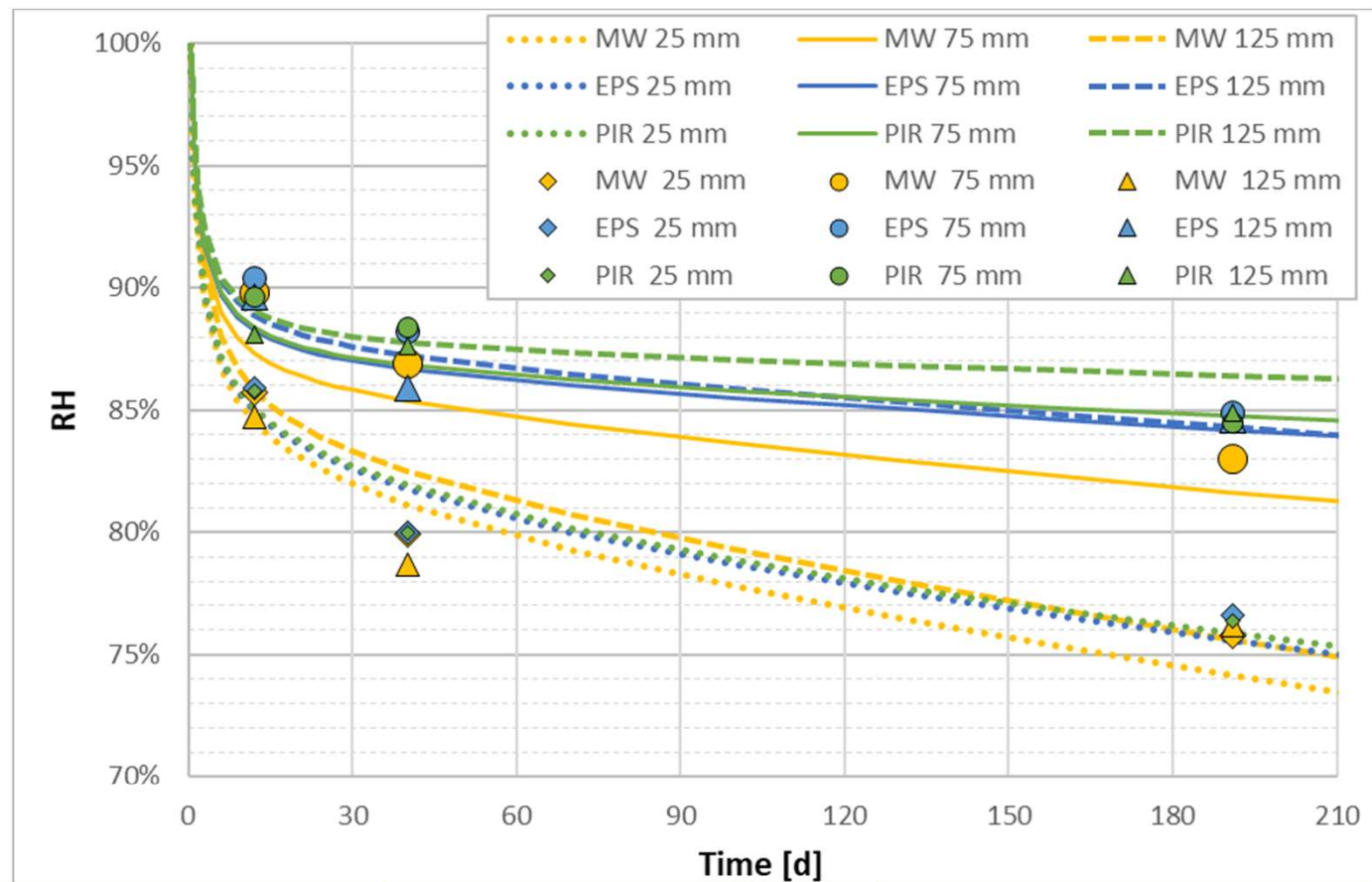
Vesihöyryn läpäisevyys

- **Vakioarvo (alkuvaiheen kuivumisessa vähäinen merkitys)**

Sorptio

- **Sorptio mallinnettu verraten laboratoriomittauksiin. Ei mallinneta hystereesiä.**

Kosteus- mittaukset ja mallin kalibrointi



Mittaus	MW			EPS			PIR			
	syvyys	25 mm	75 mm	125 mm	25 mm	75 mm	125 mm	25 mm	75 mm	125 mm
virhe maks [%-yks.]		1.2	0.0	3.8	1.7	0.0	1.3	1.9	0.3	1.5
virhe min [%-yks.]		-1.6	-2.5	-0.5	-1.0	-2.1	-0.7	-0.7	-1.5	0.0

Laskennallinen tarkastelu: Eristevertailut



Rakennusvaiheen mallinnus

Kuivumistarkastelu käytännön aikataulua ja kosteusolosuhteita (ei sadetta) vastaavassa tilanteessa (tapaukset C1-C3).

Lisäksi tarkasteltiin eri pintarakenteiden (S1 ja S2) vaikutusta betonirakenteeseen muodostuvaan kosteusjakaumaan.

Laskennan vaiheet ja reunaehdot olivat seuraavat:

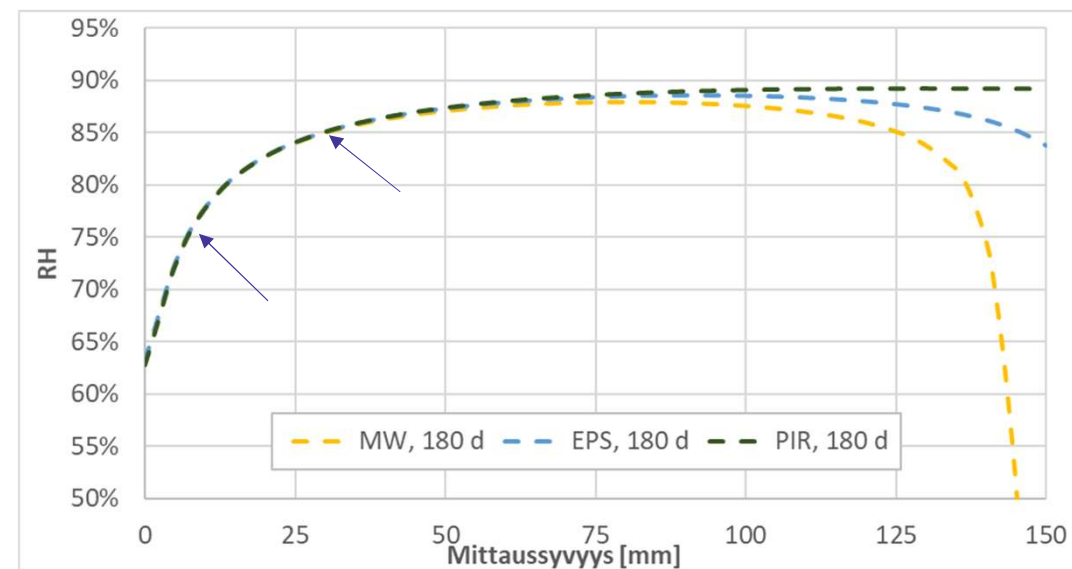
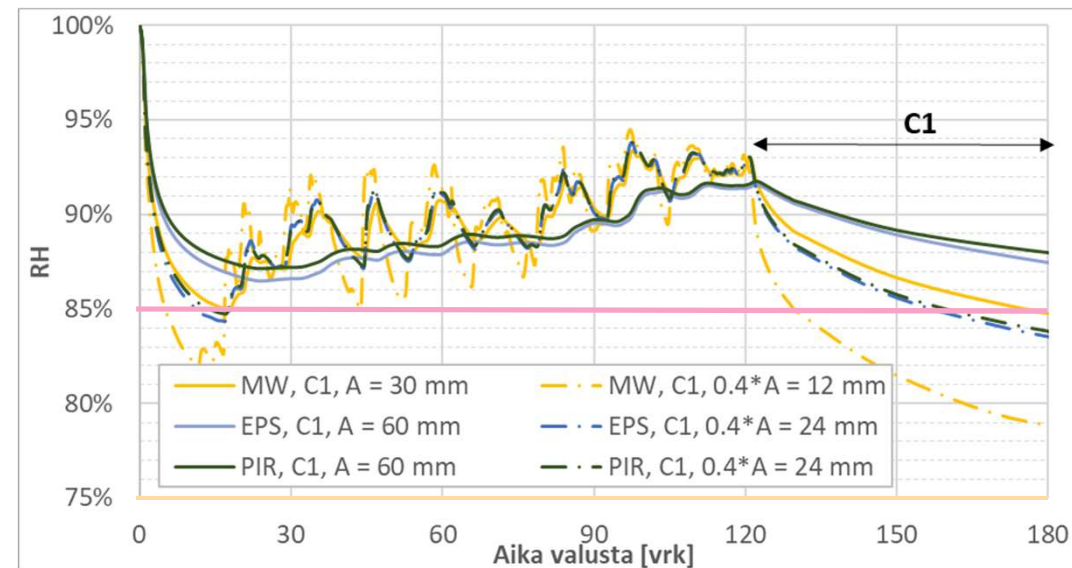
1. Kastumisjakson pituus 4 kk (C1 ja C2) ja 3 kk (C3)
2. Kuivatusjakson (20 °C / 60 %RH) pituus 2 kk (C1), 4 kk (C2) ja 3 kk (C3)
3. Kuivatusjakson jälkeen rakenteen sisäpintaan asennetaan tavanomainen vedeneriste S1 ($S_d = 6$ m) tai hyvin tiivis pintamateriaali S2 ($S_d = 100$ m). Olosuhteena päällystyksen jälkeen on 20 °C ja 50 %RH. $S_d = 6$ m vastaa vedeneristettä

Reunaehtona RF-testivuosi (Vantaa) ja laskennan aloitus 1.9.

Päällystettävyyden arviointisyvyyden tarkastelu

Mineraalivillan tapauksessa saavutetaan päällystettävyyden arviointisyvyyksillä selkeästi alhaisemmat kosteudet.

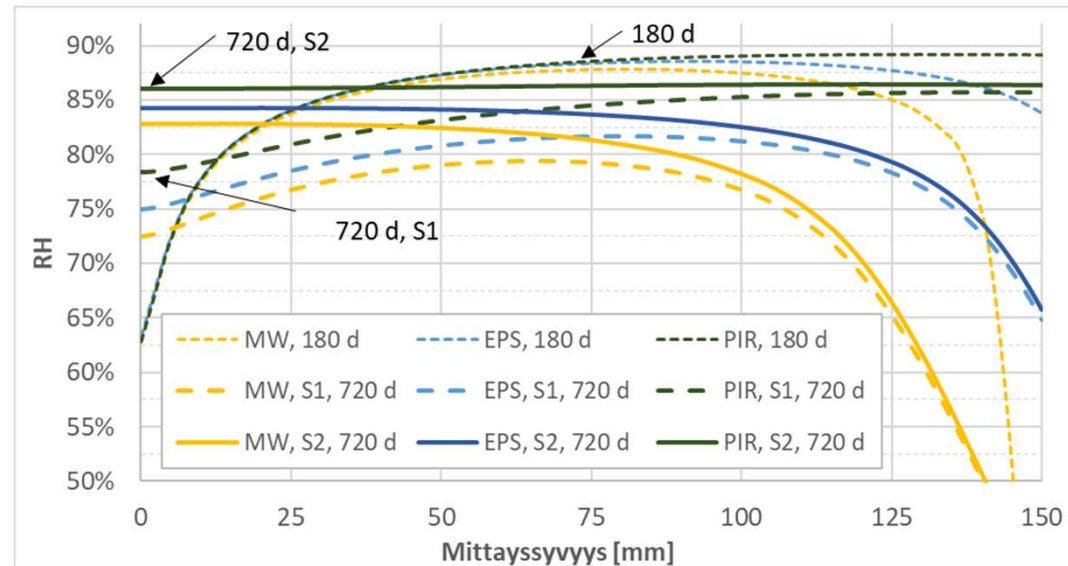
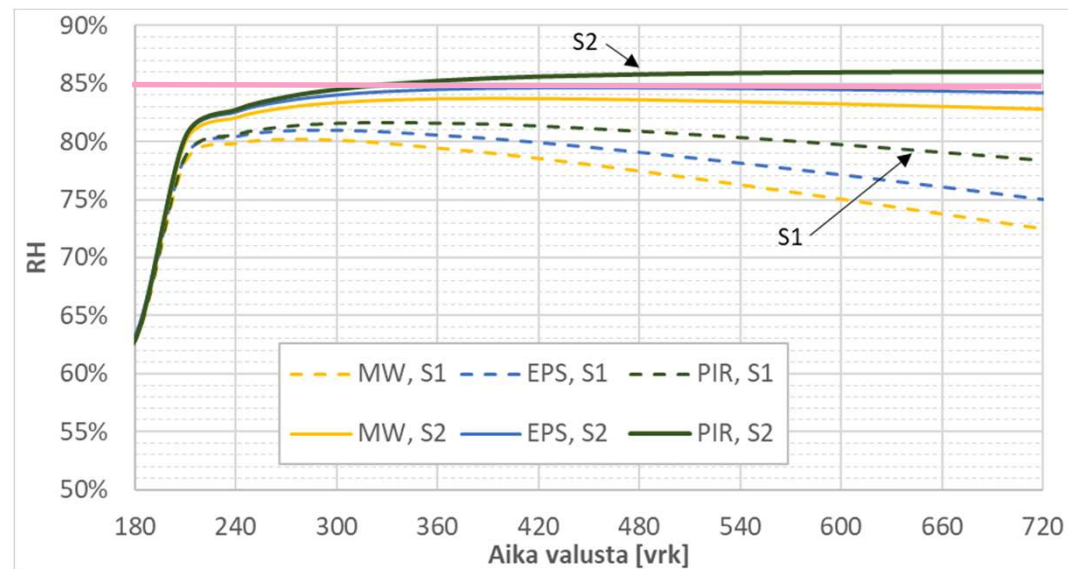
Kosteusjakauksissa rakenteen sisäosassa ei ole kuitenkaan käytännössä eroa.



Kosteustilan muutos pintamateriaalin asentamisen jälkeen

MV eristeellä kuivuminen tehokasta ulospäin. EPS eristeellä ulospäin kuivuminen hitaampaa.

PIR eristeellä kuivuminen tapahtuu sisäänpäin läpäisevämmällä pintamateriaalilla (S1). Tiiviillä sisäpinnan materiaalilla (S2) kuivuminen on erittäin hidasta.

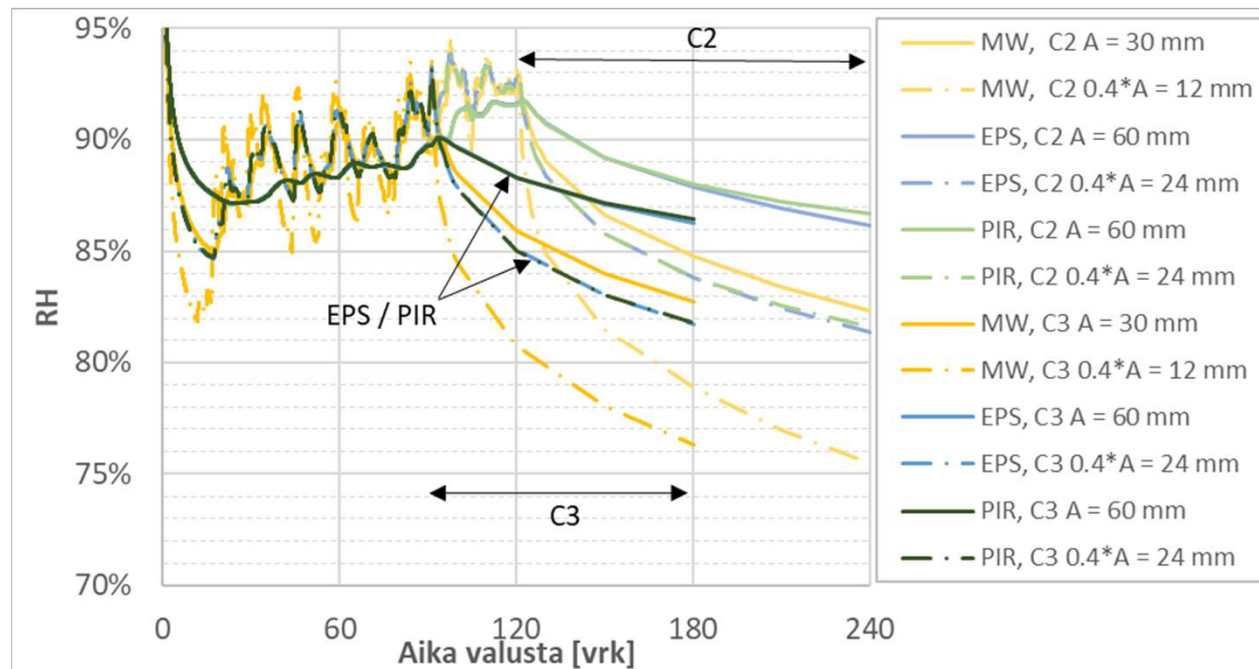


Kastumisjakson ja kuivumisolosuhteen vaikutus

C2: 4 kk kastuminen ja 4 kk kuivatus

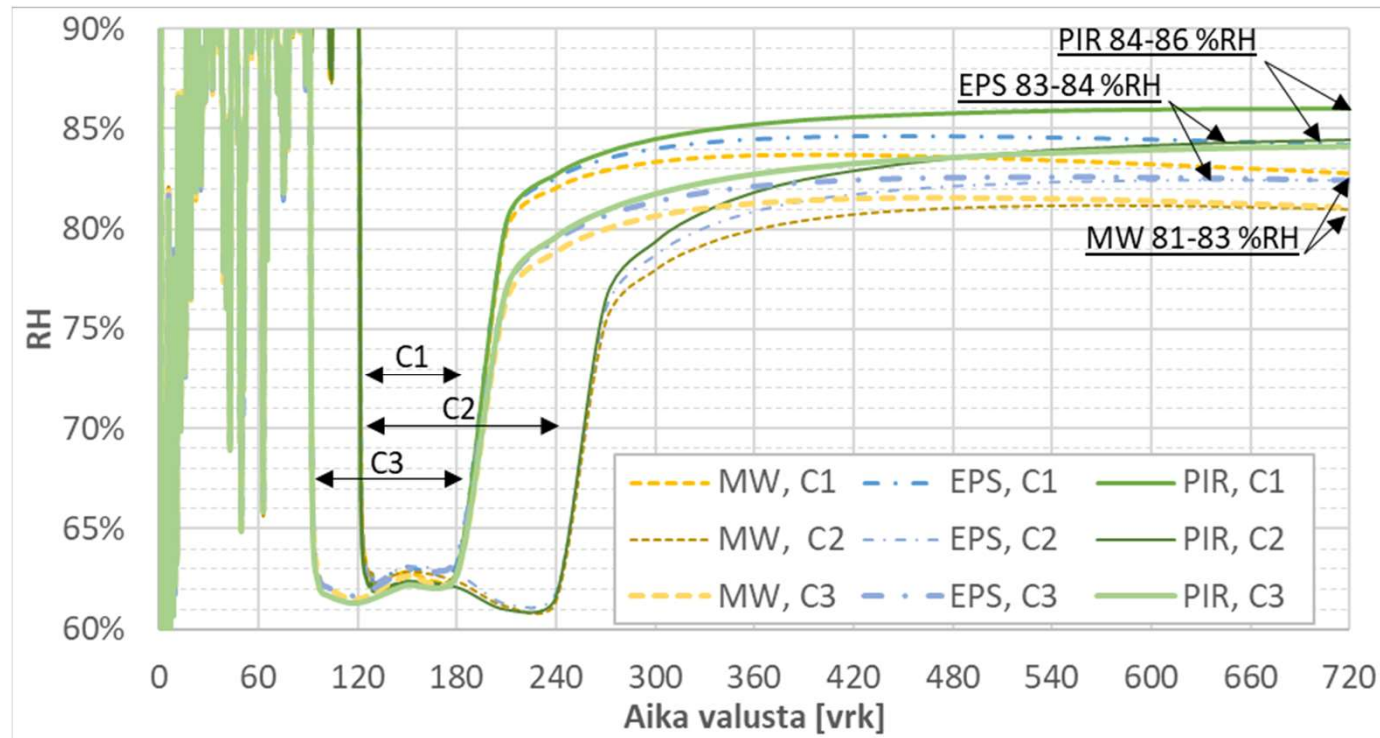
C3: 3 kk kastuminen ja 3 kk kuivatus

Saavutetaan lähes toisiaan vastaavat kosteudet arviointisyvyyksillä!



Kastumisjakson ja kuivumisolosuhteen vaikutus

C2 ja C3 tapauksissa saavutetaan lähes toisiaan vastaavat kosteudet pintarakenteen alapuolella tarkastelun lopussa



C1: 4 kk kastuminen ja 2 kk kuivatus

C2: 4 kk kastuminen ja 4 kk kuivatus

C3: 3 kk kastuminen ja 3 kk kuivatus

JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuorielementtien betonin vaikutus

Betonin “itsestäänkuivumisella” suuri merkitys.

- **Kuorielementtibetonit kohtaisen pienen vesisementtisuhteen betoneja <math><0,5 v/s</math>**
- **Toisaalta alkuvaiheen nopean kuivumisen jälkeen kuivuminen hidastuu merkittävästi. Kuivuminen 40 vrk → 190 vrk vain noin 5 prosenttiyksikköä.**
- **Käytännössä seinärakenteilla ei useimmiten ole yhtä tiukkoja kriteerejä kuin esim. lattiarakenteilla ja pinnoitettavuus saavutetaankin yleensä kohtalaisen helposti.**

Arviointisyvyydet rakenteen mukaan

Todettiin oletettu; Mineraalivillaeristetty kuivuu tehokkaasti kahteen suuntaan; Muoveristeillä kuivuminen ulospäin hyvin hidasta (EPS) tai lähes olematonta (PIR)

- **Kuivuminen kaikilla eristeillä on sisäpinnasta betonirakenteen puoliväliin lähes yhtä nopeaa**
- **Mineraalivillan tapauksessa arviointisyvyys $A = 0,2 \cdot d$ (bet.paksuus)**
- **EPS ja PIR eristeiden tapauksessa arviointisyvyys $A = 0,4 \cdot d$**
 - **Eri arviointisyvyydellä suurin vaikutus kuivumisaikaan erityisesti, jos käytetään kosteusherkkiä pintamateriaaleja ja kriteerinä esim. 85 / 75 % RH**

Betonin “itsestäänkuivumisella” suuri merkitys.

- **Kuorielementtibetonit kohtaisen pienen vesisementtisuhteen betoneja $< 0,5$ v/s**
- **Tästä syystä käytännössä seinärakenteilla kriteerit saavutetaan yleensä kohtalaisen helposti**

Sisäpinnan materiaalin vesihöyrytiivyyden merkitys

Vedeneristeitä kuvaavan pintamateriaalin $S_d = 6$ m tapauksessa kosteus ei noussut yli päällystettävyysskriteerin, vaikka arviointisyvyydellä $0,4 \cdot A$ ei saavutettu kriteeriä 75 %RH.

- **Läpäisevä pintamateriaali sallii rakenteen tehokkaan kuivumisen sisäänpäin**
- **Vedeneristeet eivät vaurioidu korkeassakaan kosteudessa (ei kapilaarialiueella ilman vesivuotoja) → kriteeri varmalla puolella**
- **Kuivumiskutistuman kannalta on edullista, että rakenne kuivataan mahdollisimman kuivaksi ennen laatoituksia**

Vesihöyrytiivillä pintamateriaalilla $S_d = 100$ m tapauksessa kosteus nousee laskennan perusteella rakenteen pinnassa arviointisyvyyden A tasolle

- **Tiiviillä pintamateriaalilla on erityisen tärkeä varmistua rakenteen riittävästä kuivumisesta. Tarvittaessa määritetään rakenteen kosteusjakauma ns. maksimimitaussyvyyttä (70 mm) syvemmältä.**

Sisäpuolisten eristekerrosten tai lämpöä eristävien rakenneosien vaikutus arvioitava erikseen.

Yhteenveto

Betonirakenteisten sisäkuorielementtien kosteusturvallisuuden parantaminen

- 1. Betonirakenteen ulko- ja sisäpuolisen materiaalin valinta – läpäisevämpi**
- 2. Arviointisyvyys rakenteesta riippuen – oikea valinta ja tarvittaessa kriteerin kiristäminen**
- 3. Kastumisjakso mahdollisimman lyhyeksi – kosteudenhallinta kuntoon**
- 4. Hyvät kuivumisolosuhteet – 15 °C / 60 % RH → 20 °C / 50 % RH**

Valitaan turvallisempi vaihtoehto kaikista kosteusturvallisuutta parantavista tekijöistä, jotta saadaan kokonaisuuden kannalta turvallisin lopputulos.