Betonin kuivuminen ulkoseinäelementeissä

Pauli Sekki[1] ja Juha Vinha[1]

[1] Tampereen Yliopisto

Tiivistelmä

Betonisen ulkoseinäelementin kuivuminen voi olla varsin hidasta. Betonirakenteen ulkopuolinen eristysmateriaali rajoittaa joissakin tapauksissa rakenteen kuivumista ulospäin ja tällöin sisäpuolisen pintamateriaalin alle voi muodostua haitallisen korkea kosteus. Tutkimuksessa tarkasteltiin mineraalivilla, EPS ja PIR eristettyjen betonisten seinäelementtien kuivumista sekä kosteusteknistä toimivuutta pintamateriaalin asennuksen jälkeen kohtalaisen hyvin vesihöyryä läpäisevän sekä vesihöyrytiiviin pintamateriaalin tapauksessa. Laboratoriomittauksin tutkittiin rakennekoekappaleiden kuivumista punnituskokein sekä kosteusmittauksin ajasta riippuen. Laskennallisesti tarkasteltiin rakenteiden kuivumista ja toimivuutta tarkasteltiin käytännön aikataulua ja kosteusolosuhteita vastaavassa tilanteessa. Tutkimuksen perusteella rakenteen sisäpinnan puolelle muodostuva kosteusjakauma on lähes identtinen riippumatta ulkopuolisesta eristemateriaalista. Ulkoseinäelementtien ulkopuolisella eristysmateriaalilla on kuitenkin merkitystä betonin sisäpinnan loppukosteuteen pintamateriaalin asennuksen jälkeen, mutta suurempi merkitys on pintamateriaalin vesihöyrynvastuksella. Seinärakenteissa yleisesti käytettävien materiaalien vesihöyrynvastus on kuitenkin yleensä niin alhainen, että riski vaurioitumisen kannalta on vähäinen.

1. Johdanto

Betonirakenteiden kuivumista arvioitaessa keskitytään usein betonilattiarakenteisiin. Ulkoseinärakenteiden tarkastelu on kuitenkin tarpeen, koska ulkoseinärakenteet voivat olla varsin paksuja, ja rakenteen kuivuminen siitä johtuen varsin hidasta. Myös betonirakenteen ulkopuolisen eristysmateriaali voi rajoittaa merkittävästi rakenteen kuivumista ulospäin ja toisaalta seinärakenteiden kosteusmittausten arviontisyvyyksiä määrittäessä tulee tietää betonirakenteen ulkopuolisen eristeen vesihöyrynvastus; vesihöyrytiiviillä eristeillä yhteen suuntaan kuivuvassa tapauksessa tulee käyttää suurempia arviointisyvyyksiä kuin kahteen suuntaan kuivuvalla rakenteella. Esimerkiksi vesihöyrytiiviillä kalvolla pinnoitetut solumuovieristeet estävät rakenteen kuivumisen ulospäin, kun taas mineraalivillaeristys (MV) mahdollistaa rakenteen kuivumisen ulospäin. EPS-eriste on jonkin verran vesihöyryä läpäisevä, mutta käytännössä se yleisimmin mielletään vesihöyrytiiviiksi eristeeksi.

Tutkimus liittyy jo päättyneeseen COMBI-hankkeeseen, jossa tutkittiin kuorielementtien kuivumista vakio-olosuhteissa. Hankkeessa määritettiin lisäksi kuorielementeissä käytettyjen betonilaatujen kosteusteknisiä ominaisuuksia. Kokeellisesti selvitettiin kosteusmittauksin 150 mm paksujen eristettyjen kuorielementtien kuivumista vakio-olosuhteissa sekä laskennallisesti eri lämmöneriteiden vaikutusta betonirakenteen kuivumiseen ja kosteusolosuhteisiin pinnoittamisen jälkeen. Tarkasteltujen eristeiden vesihöyrynvastuskertoimet (μ) ovat mineraalivillalla (MW), μ = 1, EPS-eristeellä μ = 30…40 ja PIR-eriste tiiviillä muovilaminaatilla $\mu \sim 1100$. Elementtien eristepaksuus valittiin siten, että rakenteen U = 0,17 W/m^{2}K (MV ja EPS 200 mm ja PIR 150 mm). Tulosten perusteella arvioitiin, aiheuttaako kuorielementin rajoitettu kuivuminen riskejä rakenteen toimivuuden kannalta. Artikkeli perustuu osin COMBI-hankkeen tuloksiin [1][2].

Sekki, P. & Vinha, J. (2019) Betonin kuivuminen ulkoseinäelementeissä. Julkaisussa: Vinha, J. & Raunima, T. (2019) Rakennusfysiikka 2019. Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut. 28.-30.11.2019 Tampere. Seminaarijulkaisu 6, osa 1(2).

2. Pintarakenteiden arviointikriteerit

RT 14-10984 –ohjekortissa [3] on esitetty mittausmenetelmät kiviaineisten lattia-, seinä- ja kattorakenteiden kosteuden mittaamiseen sekä ohjeet kosteusmittauksen arviointisyvyyksien määrittämiseen. Kahteen suuntaan kuivuvilla rakenteilla arviointisyvyys A on 20 % rakennepaksuudesta ja yhteen suuntaan kuivuvilla rakenteilla A on 40 % rakennepaksuudesta kuitenkin niin, että maksimisyvyys on 70 mm. Lisäksi tulee täyttyä pintarakenteen kriteeri, joka on 40 % arviointisyvyydestä. Päällysteiden yleisiä kriittisiä kosteusraja-arvoja on esitetty julkaisussa Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet [4].

- 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*A = 75 %RH

Pintamateriaalin alla oleva kosteus ei saa nousta siten, että pinnoite, päällyste tai sen kiinnitysliima vaurioituu kosteuden vaikutuksesta. Pintamateriaalista riippuen kosteus kriittinen kosteustaso vaihtelee merkittävästi. Höyrynsulkupinnoitteet kuten epoksit kestävät hyvin korkeita kosteuksia ja kapilaarialueella pinnoitteen vaurioituminen aiheutuu lähinnä kapilaaripaineesta johtuen, mikä irrottaa pinnoitteen alustasta. Myös vedeneristeet kestävät korkeita kosteuksia hygroskooppisella alueella. Alustaan liimattavien päällysteiden kuten muovimattojen ja -tapettien alla pidetään yleisesti kriittisenä arvona < 85 %RH.

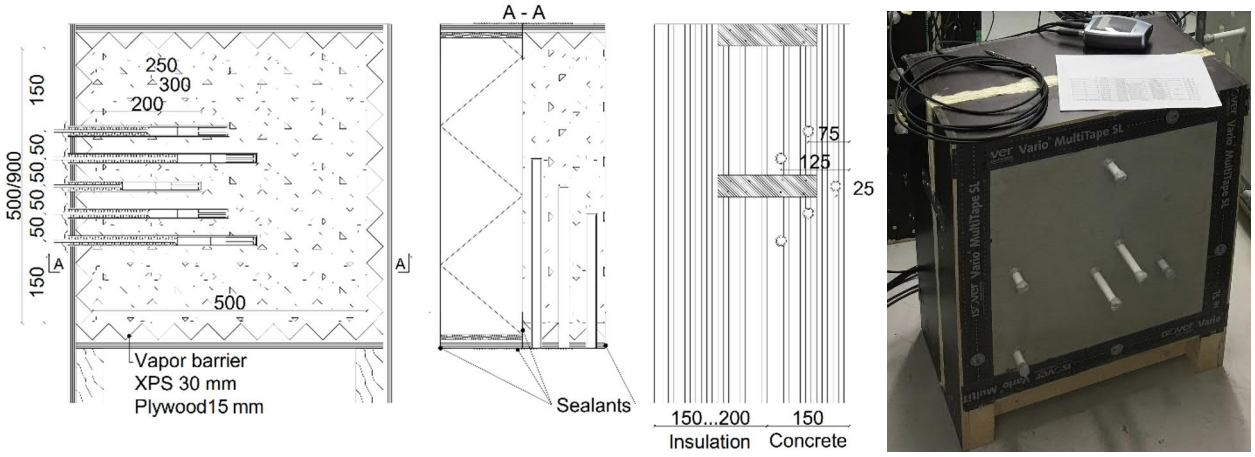
3. Betonisten ulkoseinäelementtien tutkimukset

Laboratoriokokein tutkittiin koekappaleiden kosteustilan muutosta ajasta riippuen punnituskokein ja kosteusmittauksin. Laskennalliset tarkastelut toteutettiin hyödyntäen betonin materiaaliominaisuuksien laboratoriokokeita sekä koekappaleille tehtyjä kosteusmittauksia. Laskennallisessa tarkastelussa tutkittiin erilaisten eristeiden vaikutus kuivumiseen sekä kuorielementin sisäpinnalle asennettavan pintamateriaalin vaikutus betonin kosteusjakaumaan ja kuivumiseen. Laskenta tehtiin betonin hydrataation huomioivalla FEM-laskentamallilla, joka esitellään tarkemmin julkaisussa [5].

Tutkittiin kolmea eri rakennetta:

1. EPS: 150 mm betoni + EPS 60S 200mm (FF-EPS 60S), U = 0,15 W/(m2K)
2. MV: 150 mm betoni + Min.villa 205 mm (Paroc Cortex One), U = 0,16 W/(m2K)
3. PIR: 150 mm betoni + PIR 150 mm (FF-PIR PLK, muovikalvo), U = 0,14 W/(m2K)

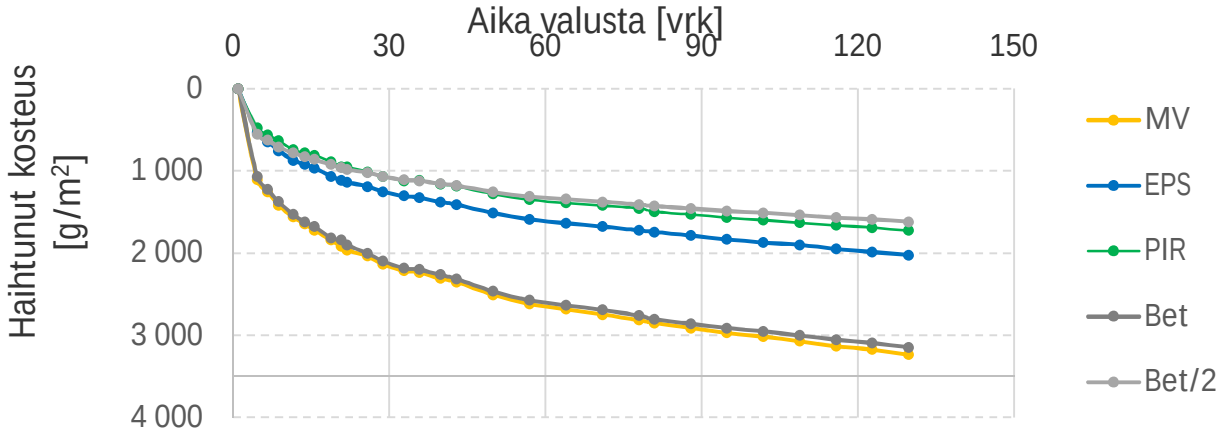
Kuvassa 1 on esitetty yhden XPS eristetyn koekappaleen kosteusmittausten toteutuksen periaatteet sekä valmis koekappale.



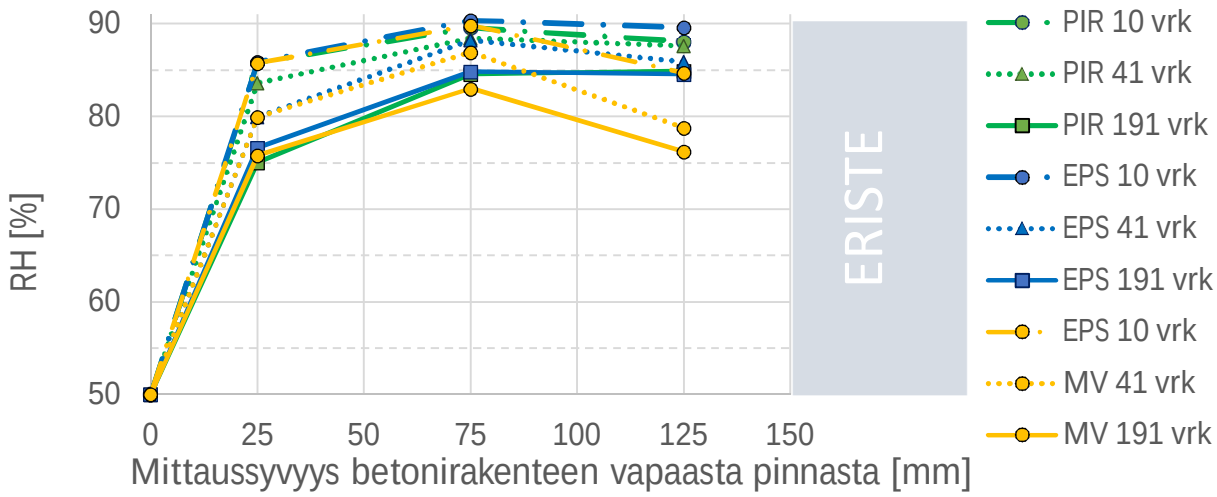
Kuva 1. Kosteusmittauskoekappaleiden toteutusperiaatteet sekä valmis koekappale.

3.1 Punnituskokeet ja kosteusmittaukset

Mittaukset toteutettiin valuun asennetuista mittaputkista eri mittalaitteilla. Referenssinä käytettiin porareikämittausta yleisimmin käytetyllä betonin kosteusmittausantureilla. Punnituskokeiden tulokset on esitetty kuvassa 2 ja kosteusmittausten tulokset jakaumana eri ajanhetkillä määritettynä kuvassa 3.



Kuva 2. Koekappaleiden punnituskokeiden tulokset.



Kuva 3. Koekappaleiden suhteellisen kosteuden jakaumat eri ajanhetkinä määritettynä.

Punnituskokeiden perusteella 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. Kosteusmittausten perusteella PIR- ja EPS-eristetyissä rakenteissa kosteusjakaumat ovat lähes identtiset. Kuivuminen tapahtuu pääosin yhteen suuntaan. MV-eristetty rakenne on kosteusmittausten perusteella selkeästi kahteen suuntaan kuivuva.

3.2 Laskennalliset tarkastelut

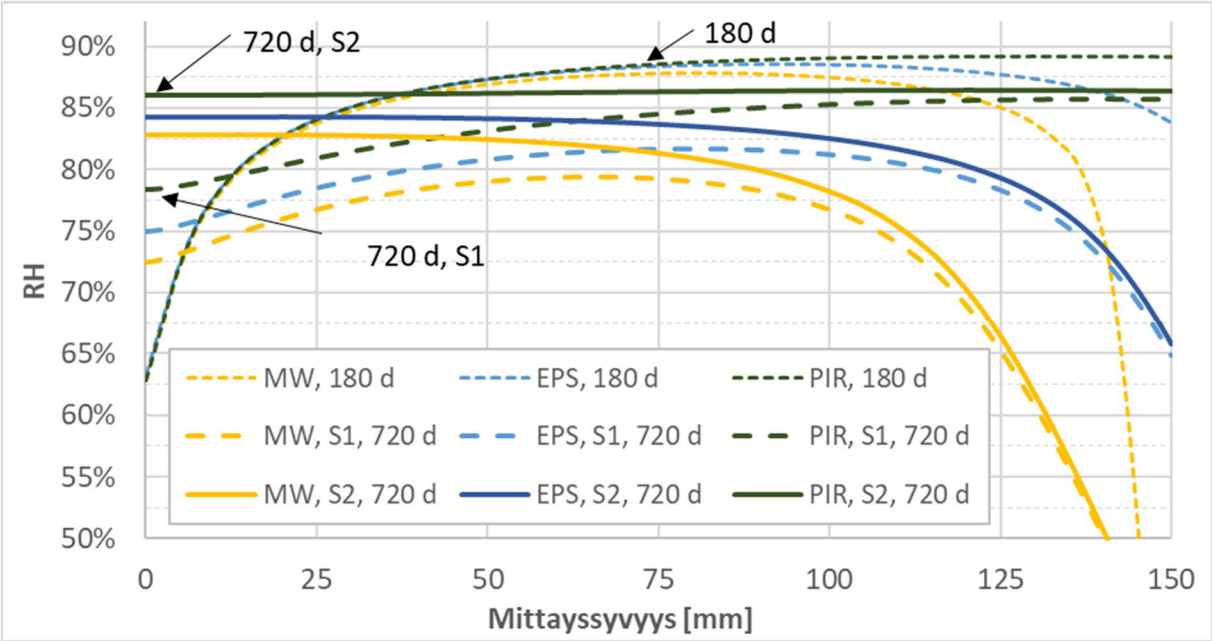
Laboratoriossa tehtyjen koekappaleiden kuivumiskokeiden perusteella kosteudet olivat kaikissa tapauksissa sisäpintaa lähinnä olevan mittauspisteen (25 mm) osalta kaikkina ajanhetkinä yhden %-yksikön sisällä. Keskipisteen 75 mm osalta MW kuivui lopputilanteessa 2 prosenttiyksikköä solumuovieristettyjä kuivemmaksi. Eristeenpuoleisen mittauspisteen 125 mm kosteudet olivat lopputilanteessa EPS- ja PIR-koekappaleilla odotetusti selkeästi korkeammat kuin MW:lla (EPS/PIR 85 %RH ja MW 76%RH). Laskentamallin vastaavuus kosteusmittauksiin verrattuna saatiin kohtalaisen hyväksi. Erot laskennan ja mittausten välillä on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Laskennan ja mittausten vertailu.

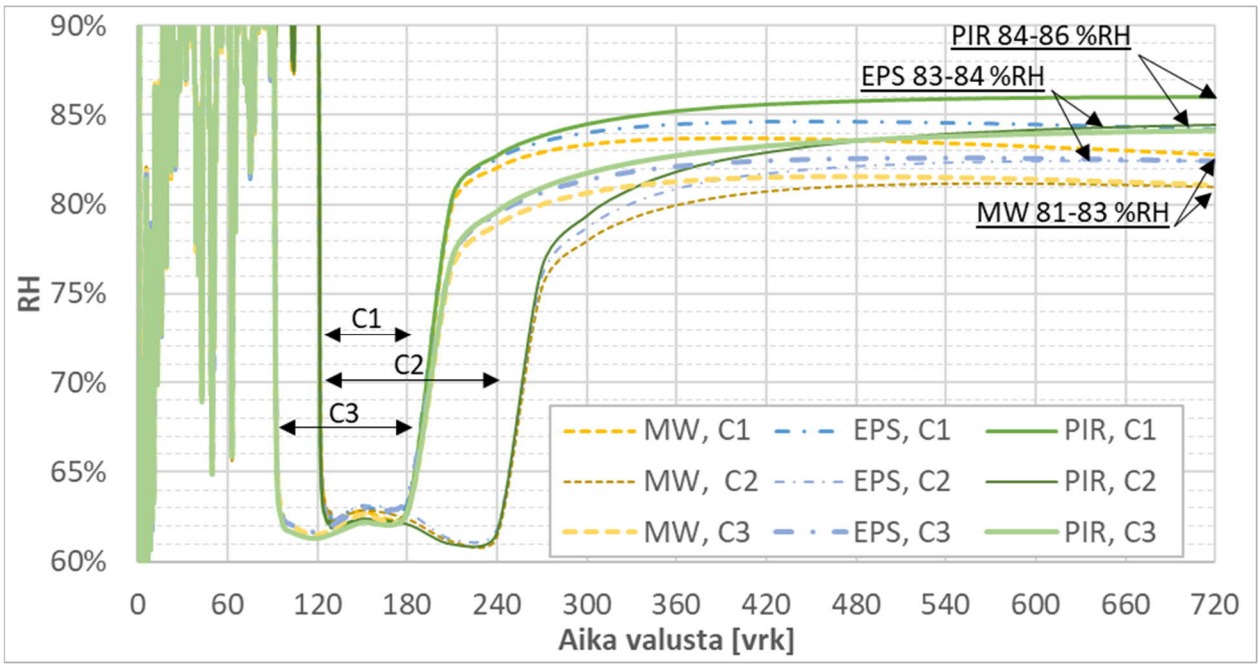
Mitt.	**Mitt.**	**MW**			**EPS**			**PIR**		
vrk	**mm**	**25**	**75**	**125**	**25**	**75**	**125**	**25**	**75**	**125**
12	mitattu	86	90	85	86	90	90	86	90	88
	laskettu	84	87	85	85	88	89	85	89	89
40	mitattu	80	87	79	80	88	86	80	88	88
	laskettu	81	86	82	82	87	88	82	87	88
191	mitattu	76	83	76	77	85	85	76	85	85
	laskettu	74	82	75	76	85	85	76	85	87
virhe maks.		**1.4**	**-1.1**	**3.6**	**2.1**	**-0.1**	**2.1**	**2.2**	**0.9**	**2.2**
virhe min.		**-2.0**	**-2.5**	**-1.1**	**-0.9**	**-1.9**	**-0.4**	**-0.8**	**-1.0**	**0.9**

Ulkoseinäelementtirakenteiden kuivumista tarkasteltiin käytännön aikataulua ja kosteusolosuhteita vastaavassa tilanteessa (tapaukset C1-C3) sekä eri pintarakenteilla (S1 ja S2). Tapausten kastumisjaksojen pituudet olivat neljä kuukautta (C1 ja C2) ja kolme kuukautta (C3) sekä kuivatusjaksot kaksi (C1), neljä (C2) ja kolme (C3) kuukautta. Kastumisjakson aikana rakenne on alttiina ulkoilman kosteudelle muttei sateelle (sateen vaikutuksen mallintamiseen ei ollut käytettävissä verrokkiaineistoa). Ulkoilman reunaehtona käytettiin rakennusfysiikan testivuotta (Vantaa 2007). Kuivatusjakson aikana vallitsi vakio-olosuhteet 20 °C ja 60 %RH. 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. Laskennan aloitus oli 1.9.

Betonirakenteeseen muodostuvat kosteusjakaumat tapauksessa C1 180 päivän kohdalla ennen pintamateriaalin asennusta sekä kosteusjakaumat laskennan lopussa pintarakenteilla S1 ja S2 on esitetty kuvassa 4. Rakennusaikataulun vaikutus loppukosteuteen on esitetty kuvassa 5.



Kuva 4. Kosteusjakaumat eristetyissä betonirakenteissa kuivatusjakson lopussa (180 d) sekä laskennan lopussa (720 d) eri pintamateriaalien tapauksessa (S1 ja S2).



Kuva 5. Kastumis- ja kuivumisjakson vaikutus tiiviin pintamateriaalin alapuoliseen kosteustilaan.

Laskennallisen tarkastelun perusteella rakenteen sisäpinnan puolelle muodostuva kosteusjakauma on lähes identtinen riippumatta ulkopuolisesta eristemateriaalista (kuva 4). Ulkoseinäelementtien ulkopuolisella eristysmateriaalilla on merkitystä betonin sisäpinnan loppukosteuteen pintamateriaalin asennuksen jälkeen, mutta suurempi merkitys on pintamateriaalin vesihöyrynvastuksella.

Kastumisjakson ja kuivatusjakson vaikutusta tarkasteltaessa tiiviillä pintarakenteella (kuva 5) voidaan havaita, että matalimmat loppukosteudet saavutetaan mineraalivillaeristeellä (82-83 %RH). EPS eristeellä saavutetaan hieman mineraalivilla eristettä korkeammat loppukosteudet

(83-84 %RH). PIR eristeellä saavutetaan korkeimmat loppukosteudet (84-86 %RH). Mineraalivillaeristeellä on toisin sanoen lähin kuivumisaika pintarakenteen asennuksen kannalta. Tarkastelun perusteella kahteen suuntaan kuivuvan betonirakenteen matalampi päällystettävyyden tarkastelusyvyys on siten perusteltu. Yleisesti betonirakenteiden kuivumiseen liittyen voidaan laskenta tulosten perusteella todeta, että kastumisajan lyhentäminen on tehokkain tapa saavuttaa rakenteelle määritetty tavoitekosteus.

4. Yhteenveto

Tutkimuksen perusteella ulkoseinäelementtien ulkopuolisella eristysmateriaalilla on merkitystä betonin sisäpinnan loppukosteuteen pintamateriaalin asennuksen jälkeen, mutta suurempi merkitys on pintamateriaalin vesihöyrynvastuksella. Seinärakenteissa yleisesti käytettävien materiaalien vesihöyrynvastus on niin alhainen (maalit ja vedeneristeet s_d = 0,1…6 m), että riski vaurioitumisen kannalta on vähäinen. Sisäpuolisten täysin tiiviiden rakennekerrosten tai pintamateriaalin kanssa tulee kuitenkin varmistua rakenteen kuivumiskyvystä, jolloin on suositeltavaa käyttää vesihöyryä hyvin läpäisevää lämmöneristettä. Yleisesti betonirakenteiden kuivumiseen liittyen voidaan tulosten perusteella todetta, että rakenteen kastumisajan lyhentäminen on tehokkain tapa saavuttaa rakenteelle määritetty tavoitekosteus.

Lähdeluettelo

[1] Sekki, P. 2019. COMBI-Tuloskortti 3.9: Betonirakenteisten sisäkuorielementtien kuivuminen – seurantamittaukset. https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/tutkimusprojektit/combi/julkaisut/suunnittelu/

[2] Sekki, P. 2019. COMBI-Tuloskortti 3.10: Betonirakenteisten sisäkuorielementtien kuivuminen – laskennallinen tarkastelu. https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/tutkimusprojektit/combi/julkaisut/suunnittelu/

[3] RT 14-10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus.

[4] Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet. 2008. Suomen Betonitieto Oy. 47 s.

[5] Sekki, P. & Vinha, J. 2019. Moisture behavior of highly insulated precast element walls. Julkaisun kirjoitustyö käynnissä.