

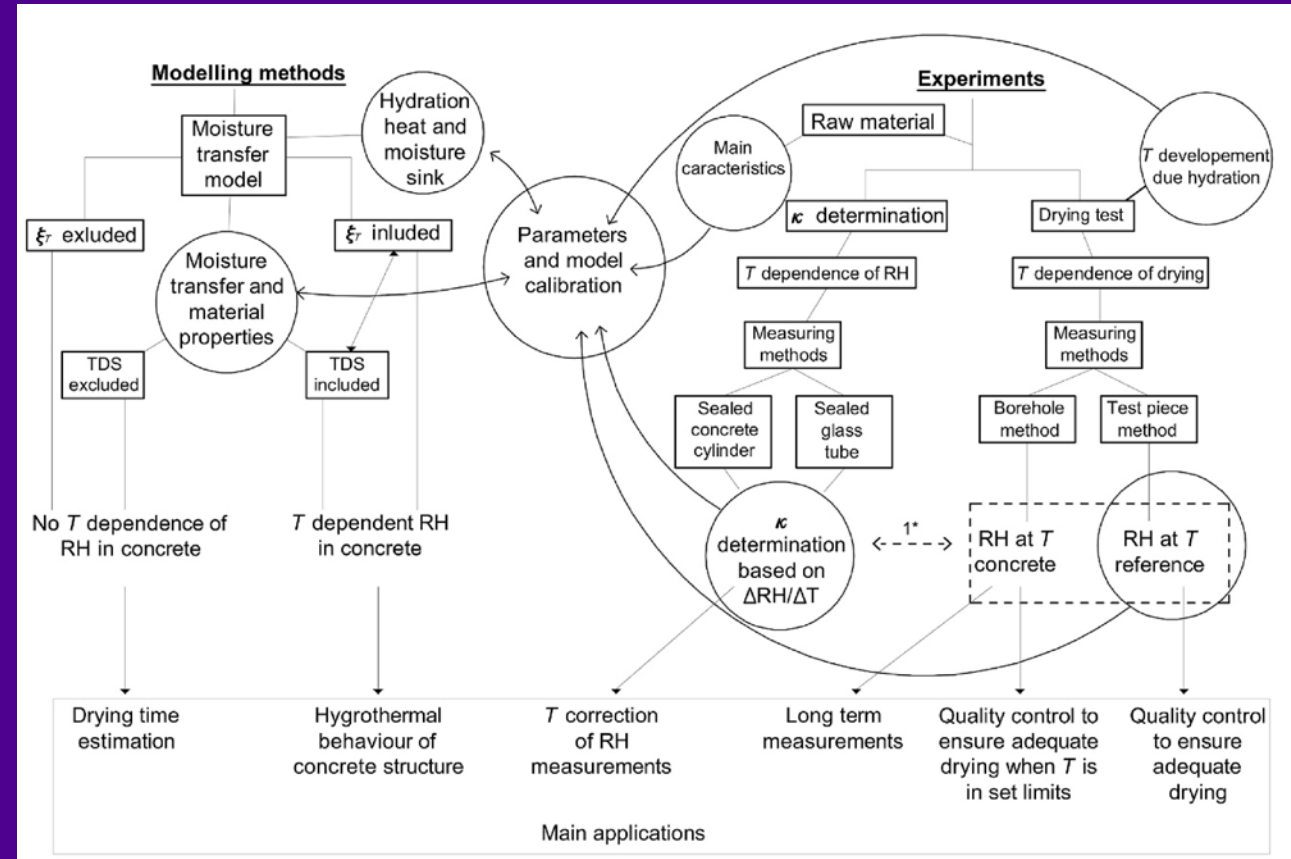
Modelling early-age moisture transfer in concrete for practical applications

Väitöskirjatutkimusten päätuloksia

Pauli Sekki, 20.11.2024

Esityksen sisältö

- Tutkimuksen esittely
- Päätulokset
- Jatkotutkimustarpeet



Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on tarkastella varhaisvaiheen betonin mallinnusmenetelmiä

Arviointi käytännössä RH:n perusteella

→ mallin tulee kuvata RH muutos huomioiden käytännön kannalta oleelliset seikat

Tutkimuskysymykset ja -menetelmät

1. Onko mahdollista arvioida varhaisen iän betonin kosteudensiirtomallin materiaaliparametreja ja ominaisuuksia vain betonireseptin päätietojen ja kuivumisajan T/RH-mittausten perusteella?
2. Miten betonihuokosilman RH:n lämpötilariippuvuutta voitaisiin arvioida laskennallisesti paremmin?
3. Mitkä ovat vaatimukset koesarjalle, kun kalibroidaan kosteudensiirtomallia RH-mittausten perusteella?

Tutkimuskysymyksiä tutkittiin kokeellisesti yhdistämällä laboratoriomittauksia ja matemaattista mallinnusta

- Tarkasteltiin eri betonilaatuja
- Kuivuminen hydrataation vaikutuksesta
- Kuivuminen eri olosuhteissa (T/RH/kastuminen)
- RH:n lämpötilariippuvuus
- Tutkittiin myös hieman materiaaliparametrien estimointia laskennallisesti
- Lisäksi tutkittiin materiaaliominaisuuksien määrittämistä laboriokokein

Päätulokset

Kuivumiskokeiden mallinnus

Ensimmäisten tulosten perusteella todettiin, että menetelmällä päästään oikealle hehtaarille!

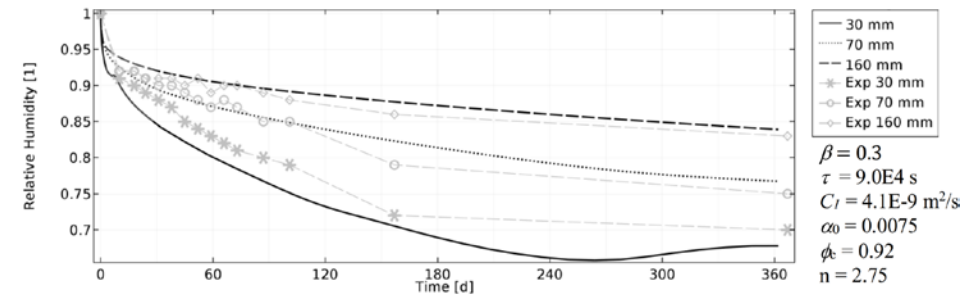
Puutteita kuitenkin on eikä tutkimuksen parametriestimoinnin avulla saavutetut arvot vastaa välttämättä parhaalla tavalla käytäntöä.

Sekki, P., & Karvinen, T. (2017). Numerical simulation and measurements of drying of Finnish concrete grades. 11th Nordic Symposium on Building Physics. Energy Procedia (pp. 729–734). doi:10.1016/j.egypro.2017.10.015

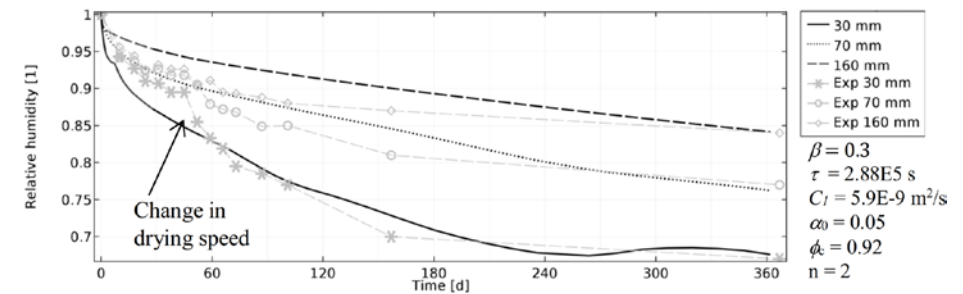


Fig. 1. (a) Concrete samples. O = open surface, S = sealed surfaces; (b) Schematic drawing of measuring boreholes in open surface sample.

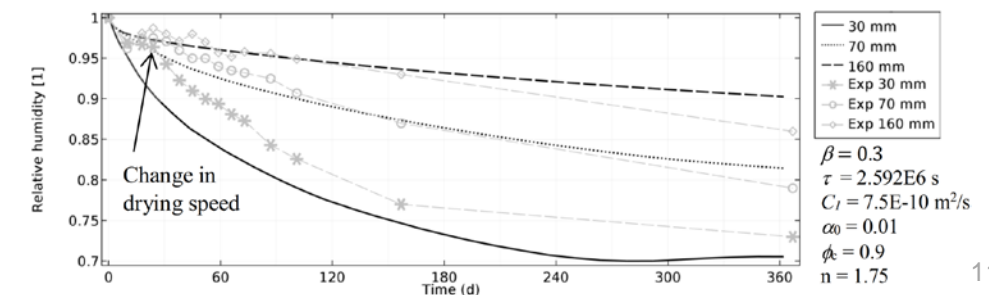
CONCRETE W/C 0.45



CONCRETE W/C 0.52



CONCRETE W/C 0.76



Mallin jatkokehitys ja soveltaminen käytäntöön

Sisäkuorielementin eristemateriaalin vaikutusta arvioitiin kosteustekniseen toimivuuteen ja kosteusriskiin.

Soveltaminen käytäntöön vaatii mallin kalibroinnin tarkastelun betonilaadulle.

Mallia voidaan soveltaa sisäkuorielementin tarkasteluihin, kun oletetaan ettei se pääse kastumaan.

Kemiallinen kuivuminen on suuressa roolissa erityisesti vesihöyrytiivillä muovieristeellä, joten itsestään kuivuminen on syytä ottaa huomioon.

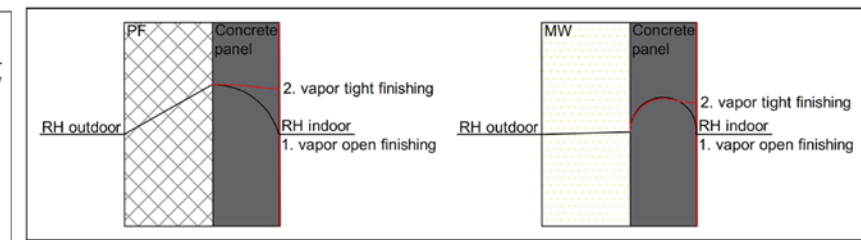
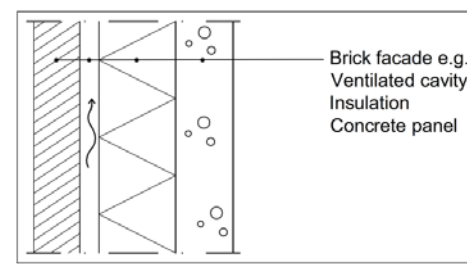


Figure 2. Schematic drawings of moisture profiles with PF (a) and MW (b) insulated concrete panel. Moisture profile in concrete at the end of the drying phase (1). If vapor tight surface material is installed, moisture level on the interior surface of the concrete panel increases (2) whereas with vapor open finishing material, moisture level decreases in time.

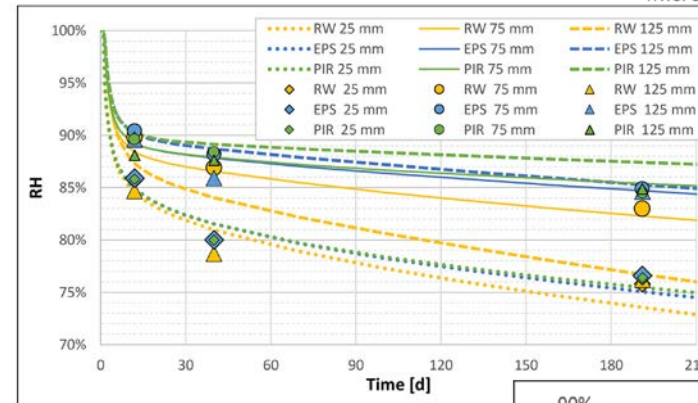


Figure 12. Relative humidity development in measured depths.

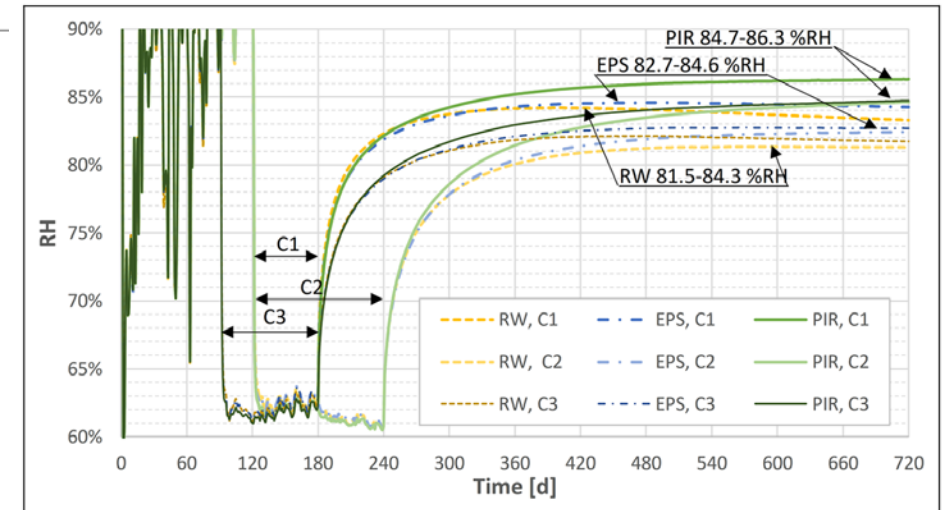


Figure 19. Relative humidity development of the concrete surface during building phase, drying phase, and after applying the surface material in studied conditions. Surface material type S2.

Lämpötilan vaikutus

Betonin huokosilman RH on lämpötilariippuva.

Vaikutus tulee huokosjakaumasta, mutta vaikutuksen absoluuttisen tarka arviointi ei ole tällä hetkellä mahdollista.

Lämpötilakorjaus voidaan tehdä kaavalla

$$\varphi_T = \varphi + \kappa \Delta T$$

,jossa φ_T on lämpötilakorjattu RH

$$\kappa \text{ on kerroin } \kappa = \Delta\varphi/\Delta T$$

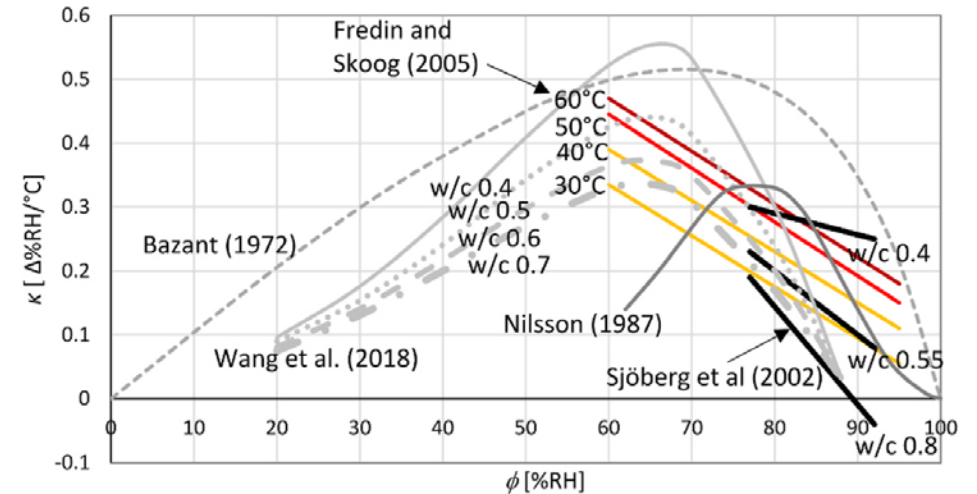


Fig. 1. Influence of estimations of κ on RH in concrete under changes in temperature [18,24–27].

Lämpötilan vaikutus laskentamallissa

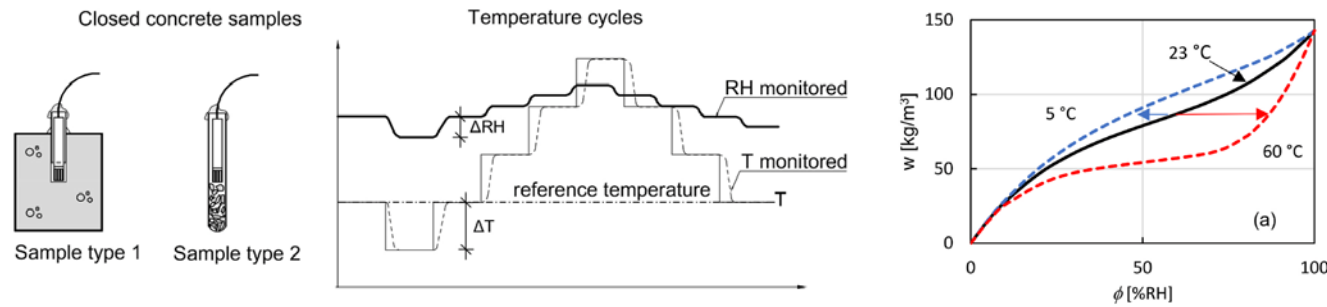


Fig. 6. Sample type 1 = sealed concrete cylinder (diameter approximately 100 mm). Sample type 2 = test piece method (approximately 20–25 g of concrete pieces with no fine dust allowed).

Kaksi lähestymistapaa (vertaa ns. ‘kosteusmittausanalogialla’)

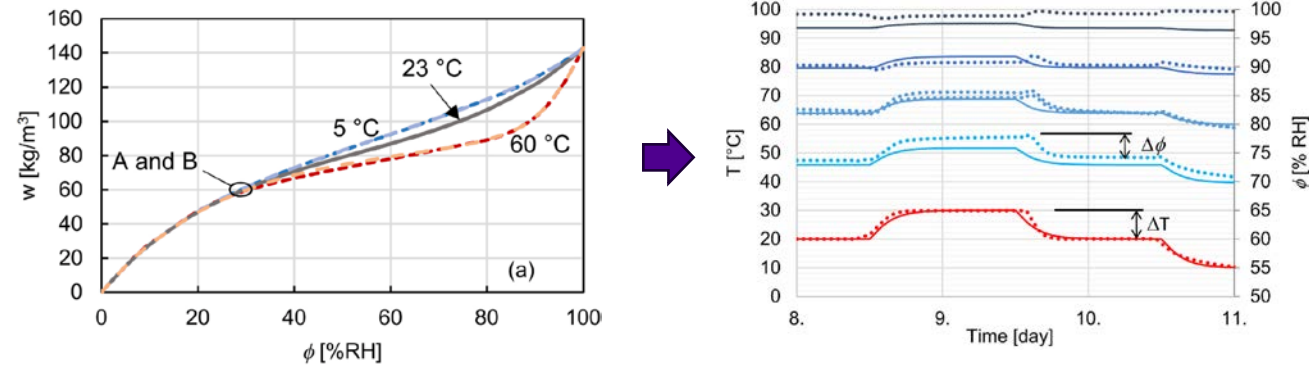
1. Laskennan RH vastaa referenssilämpötilan tulosta ~ ‘näpa’
 → Lämpötilariippuvuus kosteudensiirtotermeissä

2. Laskennan RH on lämpötilariippuva ~ ‘pora’
 → Määritetään lämpötilariippuva sorptio sekä huomioidaan kosteudensiirtotermeissä

$$w(\alpha, \varphi, T) = \left[G_1(\alpha) \left[1 - \frac{1}{e^{10(\delta_1 \alpha_w) \varphi}} \right] + K_1(\alpha) \left[e^{10(\delta_1 \alpha_w - \alpha)} \varphi - 1 \right] \right] w_T(\varphi, T) \Rightarrow w_T(\varphi, T) = \begin{cases} 1 - d_1 \left(\frac{1}{1 + \varphi^{a_1}} - \frac{1}{1 + \varphi^{b_1}} \right) \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) 10^{c_1} & T < 23 \text{ }^\circ\text{C} \\ 1 - d_2 \left(\frac{1}{1 + \varphi^{a_2}} - \frac{1}{1 + \varphi^{b_2}} \right) \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) 10^{c_2} & T > 23 \text{ }^\circ\text{C} \end{cases}$$

Table 2 Model parameters for δp , D_w , α , and $w(\alpha, \varphi, T)$.

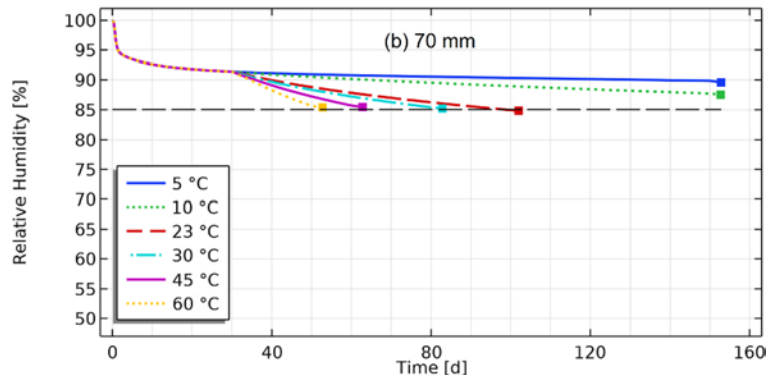
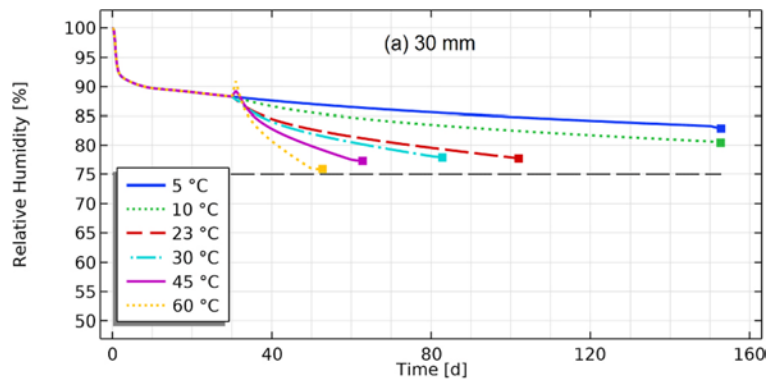
Calibration steps	Utilized test results	Evaluated parameters
1. Initial simulation at constant temperature	Drying tests at 23 °C	$\delta_{a1}, \delta_{a2}, D_1, D_{a1}, \eta_1, \alpha_0, \varphi_c, n, \beta, \tau$
2. Temperature development due hydration	Temperature development measurements	β, τ
3. Temperature-dependent sorption curves	Temperature cycle tests	$a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2, d_1, d_2$
4. Model calibration I	Drying tests at 23 °C, 5 °C and 5 °C–60 °C	$\delta_{a1}, \delta_{a2}, D_1, D_w, \eta_1, \alpha_0, \varphi_c, n, a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2, d_1, d_2$
5. Model calibration II	Drying tests at 23 °C, 5 °C and 5 °C–60 °C	E_a/R estimation
6. Model validation (TDS)	Drying tests in range 5–60 °C	-



Lämpötilan vaikutus laskentatuloksissa ja soveltaminen

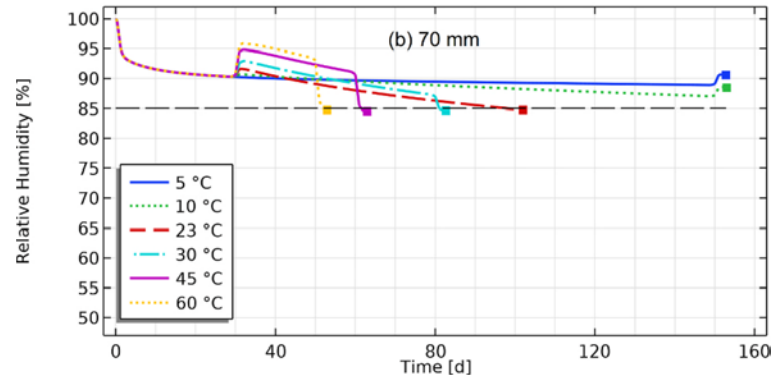
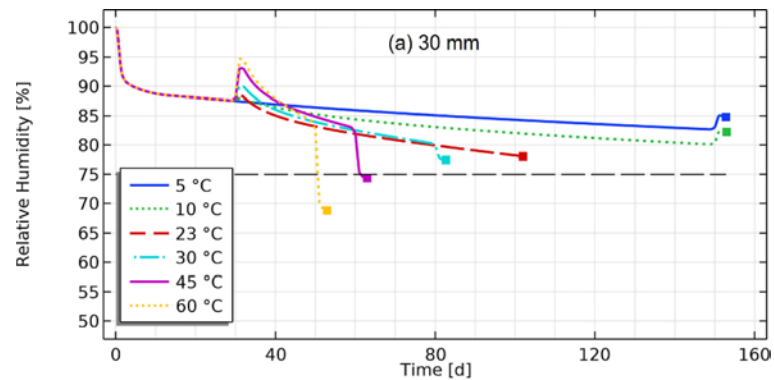
Tapa1

Kuivumisaika-arviot



Tapa2

Esim. käytönaikaisen riskin arvioinnissa, jos oletetaan merkittävä lämpötilamuutos

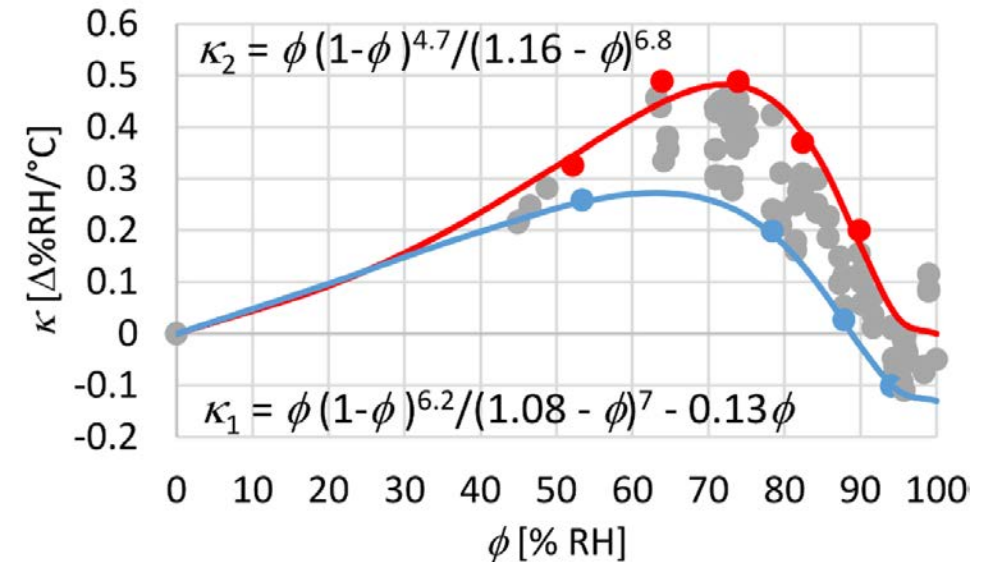


Sekki, P., Huttunen, P., Karvinen, T., & Vinha, J. (2024). Temperature dependence on concrete drying and a method for estimating the effect of temperature on the relative humidity in concrete pores. *Journal of Building Engineering*, 89, 109266, <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2024.109266>.

Lämpötilan vaikutus ja soveltaminen mittauksiin

Ehdotus funktion muodolle, jota voitaisiin soveltaa korjattaessa mittaustuloksia

$$\kappa = \varphi (1 - \varphi)^A / (B - \varphi)^C - D\varphi$$



Huom. Aiheesta myös RTA työ:

Betonin lämpötilan vaikutus betonin suhteelliseen kosteuteen,

Laura Virtanen

Vaatimukset koesarjalle mallin kalibrointiin RH mittausten perusteella

Parametrien määrittämisen kannalta oleelliset testit

- testit hydrataation vaikutukselle
- kuivauskokeet vakioiduissa vertailulämpötiloissa
- kuivauskokeet poikkeavissa lämpötilaolosuhteissa sekä vertailulämpötilan ylä- että alapuolella
- testi kastumisen vaikutuksesta kuivausjakson aikana

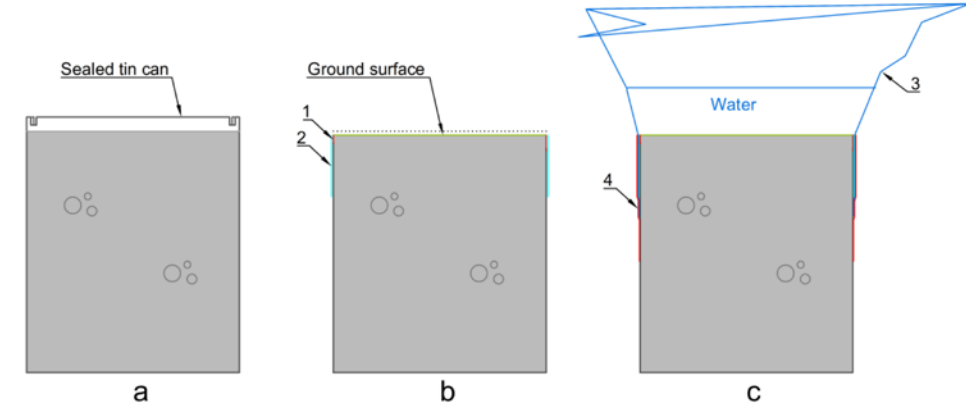


Figure 19. Treatments for specimens as proposed in Paper (iv). 1. Epoxy resin. 2. Aluminum tape. 3. Sealed plastic bag filled with water and 4. Sealing tape.

Suosittelavia/mahdollisia lisätestejä

- RH:n lämpötilariippuvuuden määrittäminen kuten esitetty edellä.
- Haihtuvan tai absorboituvan vesimäärän määrittäminen punnitsemalla näyte ja määrittämällä kosteudensiirto- ominaisuudet*.
- RH uudelleenjakautumisen tutkiminen päällystyksen jälkeen → Pinnan sulkeminen kuivumisajan jälkeen materiaalilla, jolla on tunnettu vesihöyrynvastus → mitataan RH pintamateriaalin alta pidemmällä aikavälillä (esim. viiltomittaus).

*Nilsson, L.-O., & Bengström, K. (2020). The tin can method for determining moisture transport properties of concrete. 12th Nordic Symposium on Building Physics, 172, p. 14005.

Jatkotutkimustarpeet

Mitä tietoa edelleen tarvitaan

Jatkotutkimuksia tarvitaan eri betonilaaduille.

Tulisi pyrkiä kehittämään muuttujien/parametrien fyysinen määrittely tai kalibroituville parametreille selkeä vaihteluväli.



Betonin ominaisuudet

Kosteudensiirtoparametrit?
Kosteudensitomiskyky?
Lämpötilan vaikutus?
Hydrataatio
kuivuminen/lämmöntuotto?
Kuivuminen vakio-olosuhteissa?



Malliin asetettavat materiaaliparametrit

Parametrien kalibrointi:
trial-and-error?
Parametrien estimointi?

Julkaisut

Väitöskirjan julkaisut

Sekki, P., & Karvinen, T. (2017). Numerical simulation and measurements of drying of Finnish concrete grades. 11th Nordic Symposium on Building Physics. Energy Procedia (pp. 729–734). doi:10.1016/j.egypro.2017.10.015

Sekki, P., Karvinen, T., & Vinha, J. (2021). Moisture behavior of external insulated precast concrete wall panels. Journal of Building Physics, 44, 409–434. doi:10.1177/1744259120925850.

Sekki, P., Huttunen, P., Karvinen, T., & Vinha, J. (2024). Temperature dependence on concrete drying and a method for estimating the effect of temperature on the relative humidity in concrete pores. Journal of Building Engineering, 89, 109266, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109266>.

Sekki, P., Niemi, S., & Karvinen, T. (2023) Requirements for test series for relative humidity measurements to calibrate drying time simulation model. Nordic Concrete Research, 1, 86–104. doi:10.2478/ncr-2023-0007.

Muita julkaisuja

Sekki, P., Marttila, P., & Merikallio, T. (2020). A new tool for the drying time and the moisture risk estimation in concrete floors. 12th Nordic Symposium on Building Physics (NSB 2020). 172. E3S Web of Conferences. doi:10.1051/e3sconf/202017204011

Sekki, P., Laine, K., Niemi, S., & Komulainen, J. (2022). Study of moisture risk assessment and material emissions of plastic carpets on concrete floor. Indoor Air 2022. Kuopio, Finland: ISIAQ.

Sekki, P., Raunima, T., & Vinha, J. (2023). Measurement and modelling of the moisture distribution in early-age concrete in the joint of composite beam and hollow core slab. 13th Nordic Symposium on Building Physics (NSB-2023) (p. 2654 012045). Aalborg: IOP Publishing. doi:10.1088/1742-6596/2654/1/012045

Kiitokset!

Pauli Sekki

Tampereen yliopisto

Väitöskirjatutkija

Rakennusfysiikan
tutkimusryhmä

pauli.sekki@tuni.fi

research.tuni.fi/rakennusfysiikka/

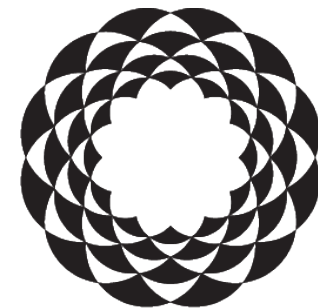
Granlund Oy

Johtava asiantuntija,
Rakennusfysiikka

+358 44 768 8265

pauli.sekki@granlund.fi

www.granlund.fi



Granlund