

by2020 Betonin kuivumisaika-arvio - työkalu tarkempiin arvionteihin

Pauli Sekki¹, Pasi Marttila² ja Mirva Vuori³

¹ Vahanen Rakennusfysiikka Oy

² Paju Applications

³ Suomen Betoniyhdistys ry

Tiivistelmä

Betonin kuivumisaika-arvioiden tekoon on julkaistu uusi laskentaohjelma. Ohjelmaa voidaan lisäksi hyödyntää tarkempaan kosteudenhallinnan suunnitteluun esimerkiksi päällystämisen riskiarvio- ja työmaamittausten dokumentointi ominaisuuksien avulla. *by2020 Betonin kuivumisaika-arvio* julkaistiin tammikuussa 2021, ja on otettu käyttöön usean suuren rakennusalan toimijan sekä lukuisten yksittäisten käyttäjien toimesta, joilta kerätään käyttökokemuksia ja tulevaisuudessa ohjelmaa tullaan päivittämään käyttäjien toiveet huomioiden. Tässä artikkelissa esitellään ohjelman toimintoja yleisellä tasolla sekä esimerkkien avulla.

1. Johdanto

Rakennusfysiikka 2019 seminaarissa esiteltiin [1] tavoitteita kehitteillä olleen *by2020 Betonin kuivumisaika-arvio* -ohjelman toteutukseen. Tässä esityksessä läpikäydään lyhyesti, mitä saatiin aikaan, kun ohjelma valmistui ja saatiin yleiseen käyttöön viimein tammikuussa 2021. Ohjelman toimintojen kuvaukset perustuvat ohjelman version 1.1 käyttöohjeeseen [2]. Tämän lisäksi kuvataan yleisesti ja esimerkin avulla ohjelman käyttömahdollisuuksia mm. kuivumisaajan arviointiin, päällystämisen riskiarviointiin sekä työmaalla tehtävien seurantamittausten dokumentointiin. Ohjelma on käytössä jo usealla suurella rakennusalan toimijalla sekä lukuisilla yksittäisillä käyttäjillä. Käyttökokemuksia kerätään ja ohjelmaa tullaan päivittämään käyttäjien toiveet huomioiden.

2. Betonin kuivumisaika-arvion käyttömahdollisuudet ja rajoitteet

2.1 Ohjelman käyttäjälle [2]

by 2020 Betonin kuivumisaika-arviota voidaan käyttää talonrakentamisen rakennusprojektien kosteudenhallinnan suunnitteluun ohjaamaan betoni- ja päällystemateriaalivalintoja sekä työmaan aikataulutusta ja olosuhdehallintaa. Työkaluina on betonirakenteiden kuivumisaika-arvio sekä päällystettävien rakenteiden riskiarvio. Ohjelmalla saatavan arvion perusteella ei tule tehdä päällystettävyysspäätöksiä, vaan betonirakenteen todellinen kuivuminen ja päällystettävyysspäätös edellyttävät rakennekosteusmittauksia. Ohjelmaa voidaan kuitenkin lisäksi hyödyntää työmaalla tehtävien seurantamittausten dokumentointiin tai kuivumisen edistymisen ennakkointiin vertaamalla mittausta arviioon.

Suomen Betoniyhdistys ry:n (BY) vanhassa Excel-pohjaisessa by 1021 kuivumisaika-arviossa tarkastellaan kuivumista vakiokuivumisolosuhteissa, jolloin voidaan verrata eri rakenteiden tai olosuhteiden vaikutusta arviioon. Uusi FEM-pohjainen ohjelma mahdollistaa huomattavasti monipuolisemman arvioinnin. Kuivumisaika-arvio tehdään valusta todellisen aikataulun mukaisesti, sisältäen mahdolliset pintavalut ja tasoitukset. Päällystettävyyden riskiarvioinnissa

hyödynnetään arvioitavaa kohdetta vastaavia rakenne-, olosuhde- ja aikataulutietoja sisältäen päällysteen arvioitua asennusajankohdan. Riskiarviointi tehdään tapauskohtaisesti tarkastellen päällysteen alapuolelle tasaantuvaa suhteellista kosteutta verraten pintamateriaalin kosteudensietokykyyn. Riskiarvion laskennan perusteella nähdään, miten suhteellinen kosteus uudelleen jakaantuu päällystämisen jälkeen, ja millä vaihtoehdoilla on olemassa ilmeinen riski, että kosteus päällysteen alapuolella nousee vaurioitumisen kannalta kriittisen korkeaksi. On kuitenkin ymmärrettävä, että kyseessä on arvio. Todellinen kuivumisaika sekä päällysteen alapuolinen suhteellinen kosteus voivat poiketa arviosta huomattavasti monesta eri syystä johtuen eikä vähiten betonin työmaalla toteutuneista ominaisuuksista, joita ei voida arvioida tarkasti. Päällystämisen riskiarvio tulee ymmärtää suuntaa antavana työkaluna kosteudenhallinnan suunnitteluun.

Ohjelma sisältää lisäksi toiminnot työmaalla tehtävien kosteusmittausten sekä olosuhdemittausten tallennukseen, jolloin kosteusmittauksia voidaan verrata helposti aiemmin tehtyyn arvioon. Näin ollen ohjelma on hyödynnettävissä kokonaisvaltaisesti hankesuunnittelun kuivumisaika-arvioista työmaan kosteudenhallintaan liittyvien laadunvarmistusmittausten dokumentointiin ja rakentamisen aikaiseen toimenpiteiden ohjaamiseen ja päätöksentekoon. Projektin loppudokumentointi voidaan toteuttaa esimerkiksi tulostamalla tilakohtaiset raportit työmaalla toteutuneista kosteustapahatumista ja -mittauksista.

Arvioinnin kannalta on oleellista, että ohjelman käyttäjä ymmärtää rakenteiden kosteuskäyttäytymistä, jotta hän pystyy hyödyntämään tuloksia parhaalla mahdollisella tavalla. Ohjelman käyttö ei vaadi kuitenkaan kokemusta mallinnusohjelmien käytöstä.

Ohjelmaa suositellaan hyödyntämään rakennushankkeissa kosteudenhallinnan työkaluna, tekemällä ns. herkkyysanalyysijä tarkasteltaessa eri toteutusvaihtoehtojen vaikutuksia rakenteiden kuivumiseen tietyn aikataulun puitteissa. Herkkyysanalyysissä voidaan esimerkiksi muuttaa betonilaatua tai olosuhteita, jolloin nähdään mitä suuruusluokkaa muutos kuivumisaikaan on. Päällystämisen riskiarvion herkkyysanalyysissä voidaan esimerkiksi tarkastella, miten läpäisevä pintarakenteen tulisi olla, jotta tietyllä rakenteella ja toteutusaikataululla rakenne todennäköisimmin on toimiva.

Ohjelmassa valittavana olevat betonilaadut vastaavat tällä hetkellä Suomessa käytössä olevia tavanomaisia betoneja, joissa pääasiallisena sideaineena on CEMII/B-M 42,5 sisältäen joissain tapauksissa CEM I 42,5R / 52,5R sementtejä.

Ohjelman pdf-muodossa oleva käyttöohje löytyy ohjelman asennuksen kohdekansista dokumentaation alta. On suositeltavaa, että ohjelman toimintoihin tutustutaan käyttöohjeen kautta, vaikka ohjelman info-avustekuvakkeiden avulla saakin tiedot perustoiminnoista.

2.2 Kuivumisaika-arvio, betonilaadun, rakenteen ja lämpötilan vaikutus kuivumiseen ohjelmassa

Kuivumisaika-arvio on suositeltava vaihtoehto, jos ei tiedetä tarkemmin hankkeen tai rakenneosan toteutuksen tavoiteltavaa aikataulua eikä tulevia pintarakenteita. Kuivumisaika-arvio on muussakin tapauksessa suositeltavaa tehdä ensimmäisenä tarkasteluna ennen tarkempaa päällystämisen riskiarvion tekoa.

Ohjelmaan sisällytettiin seitsemän eri betonilaatua (C25/30, v/s 0.75; C25/30, v/s 0.70; C30/37, v/s 0.65; C30/37, v/s 0.60; C25/30 NP, v/s 0.55; C35/45, v/s 0.50; C32/40, v/s 0.45). Ohjelman

kehittämisen yhteydessä tehdyissä laboratorikokeissa testattiin kolmen eri vesisementtisuhteen betonit, joiden perusteella muiden betonilaatujen ominaisuudet määritettiin. Kemiallinen kuivuminen 20 °C lämpötilassa tuottaa pinnoiltaan suljetussa tapauksessa betonilaadusta, v/s 0,45-0,75, riippuen loppukosteudet 91-97 %RH vastaavassa järjestyksessä ilmoitettuna. Laboratorikokeissa suurin vaihtelu tuloksissa oli pienen vesisideainesuhteen betonilla, jolla 9 kk testissä saavutettiin kahdella eri koesarjalla loppukosteudet ~ 85-88 %RH. Koska käytännössä on todettu, että pienen vesisideainesuhteen betoneilla ei läheskään aina saavuteta äärimmäisen tehokasta kuivumista, asetettiin ohjelmaan materiaaliarvot siten, että pienen vesisideainesuhteen betoneilla kemiallisen kuivumisen vaikutus on joihinkin tapauksiin verrattuna aliarvioitu. Tällöin ei kuitenkaan aiheuteta tilannetta, jossa ajateltaisiin pienen vesisideainesuhteen olevan niin sanotusti oikotie onnistumiseen ja erittäin nopeaan kuivumiseen. Lisäksi vastaavilla betoneilla tehdyissä kuivatuskokeissa (kappaleen yläpinta avoin) koesarjojen välillä todettiin merkittäviä eroja kuivumisen etenemisessä pidemmällä aikavälillä, mikä kertoo siitä, että betonin reseptillä ja mm. valun toteutuksella voi olla hyvin merkittävä vaikutus kuivumiseen, eikä vesisideainesuhdetta tule ajatella betonin ominaisuuksia täysin määräävänä tekijänä.

Kuivumisaika-arviossa voidaan huomioida myös tasoitteen vaikutus. Tietyissä tapauksissa tasoitteen kuivumisaikataulun arvioiminen voi olla haastavaa, ja toisaalta tasoitteiden ominaisuuksissa on niin paljon vaihtelua, että voi olla mielekkäämpää tarkastella ainoastaan betonirakenteen kuivumista. Tällöin tasoitteen vaatima kuivumisaika tulee huomioida kokonaisaikataulussa. Tasoitteen huomioiminen päällystämisen riskiarviossa on kuitenkin suositeltavaa.

Lämpötilan vaikutus kuivumiseen on määritetty kokeellisesti siten, että matalat lämpötilat hidastavat ja korkeat lämpötilat nopeuttavat kuivumista laboratorikokeissa todetussa suuruusluokassa. Lähtötietoina lämpötilan vaikutukseen käytettiin Timo Korkalan diplomityössään tuottamaa dataa [3]. On huomattava, että laskentaohjelmassa pyritään kuvaamaan betonin suhteellista kosteutta ns. referenssilämpötilassa, joka vastaa tavanomaista huoneenlämpötilaa 21 °C (vrt. näytepalakosteusmittaus). Toisin sanoen, vaikka laskennan lämpötila kuivatusjaksolla poikkeaisi referenssilämpötilasta, laskentaohjelman tulosteessa esitetty suhteellisen kosteuden arvo pyrkii kuvaamaan kosteuslukemaa 21 °C lämpötilassa. Tämä tulee huomioida esimerkiksi, jos verrataan arviota jatkuvatoimiseen seurantamittaukseen, jossa lämpötila poikkeaa merkittävästi tavanomaisesta huoneenlämpötilasta. Tällöin esimerkiksi kylmän rakenteen suhteellinen kosteus voi olla merkittävästi alhaisempi kuin arvioitu kosteus.

2.3 Päällystämisen riskiarvio

Päällystämisen riskiarviossa tarkastellaan tietyllä aikataululla tehtävää toteutusta, kun tunnetaan rakenteet ja olosuhteet. Tällöin tutkitaan, mille tasolle suhteellinen kosteus nousee käytön aikana pintamateriaalin alapuolella. Riskiä arvioidaan suhteessa päällysteen kosteudensietokykyyn. Tarkastelussa on aina suositeltavaa tehdä herkkyystarkastelu esimerkiksi seuraavien periaatteiden mukaisesti:

- Kiinnitetty aikataulu: Muuttujina käytetään kuivatusolosuhdetta sekä rakennetta
- Kiinnitetty rakenne: Muuttujina kuivatusolosuhde sekä aikataulu
- Kiinnitetty rakenne pintamateriaalia lukuun ottamatta: Edellisen lisäksi tarkastellaan eri pintamateriaalien vaikutusta

Käytännössä tulee tapauskohtaisesti pohtia hankkeessa mahdolliset vapausasteet ja tehdä herkkyystarkastelu sen mukaan.

Päällystämisen riskiarvio on tarkoitettu nimenomaan päällysteille, joiden kosteudensietokyky on rajallinen. Pinnoitteille, jotka eivät ole herkkiä kosteudelle, ei ole useinkaan tarpeen tehdä vastaavia tarkasteluja. Yleisesti ohjelman käyttäjän on syytä perehtyä päällysteiden sekä pinnoitteiden ominaisuuksiin siinä määrin, että ymmärtää pintamateriaalin asettamat kriteerit alustan kosteudelle.

2.4 Työmaamittausten dokumentointi

Ohjelmaan voidaan tallentaa rakennekosteusmittausten tuloksia sekä olosuhdetietoja. Tiedot tallennetaan ajasta riippuen laskettuna päivää valusta. Jäljempänä olevassa esimerkissä kuvataan, kuinka tiedot voidaan tuoda yksinkertaisesti kopioimalla Excelistä. Tässä ohjelmaversiossa ainoastaan rakennekosteusmittaukset tulostuvat raporttiin samaan kuvaajaan arvostelusyvyyksien ajasta riippuvassa suhteenkosteuden kanssa. Muut tiedot voi tulostaa ohjelmasta erikseen. Tiedot voidaan myös säilyttää tallentamalla malli. Alustana olevan ohjelman rajoitteista johtuen tallennus voidaan tehdä ainoastaan exe-tiedostona. Tallennettu tiedosto avautuu tallennetuilla syöttötiedoilla sisältäen laskentatulokset. Ohjelma on toteutettu siten, että laskentaa ei voi kuitenkaan tehdä uudestaan eikä syöttötietoja muuttaa, vaan ainoastaan lisätä työmaan mittaustietoja.

3. Esimerkki by2020 ohjelman käytöstä

Tarkastellaan tilannetta, jossa arvioidaan maanvastaisen betonirakenteen kuivumisaikaa sekä mahdollisia pintamateriaaliratkaisuja hankkeen tiukka aikataulu huomioiden.

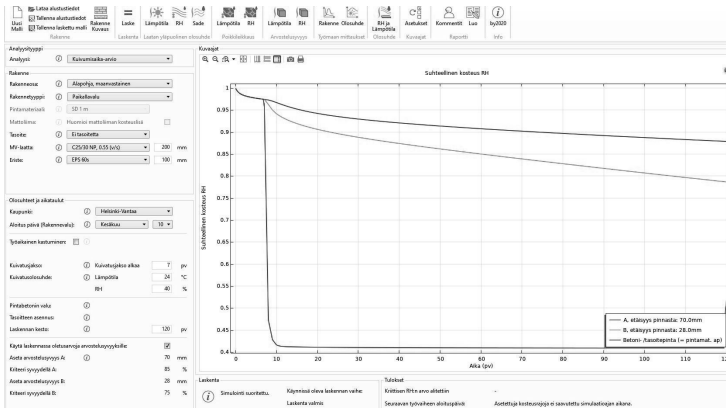
- 200 mm MV-laatta, eps 100 mm eristeellä
- Valu katon alla ja järjestetään hyvä kuivatusolosuhde 24 °C / 40 %RH
- Betonilaatu NP v/s 0.55
- Tavoitellaan päällystystä ~ 120 pv, valupäivä 10.6.2019

Kuvassa 1 on esitetty ohjelman antama kuivumisaika-arvio tilanteessa. Arvion perusteella 120 päivän tarkastelussa ei saavuteta 85 %RH kosteutta, mikä mahdollistaisi useimmat päällystevaihtoehdot. Monille päällystemateriaaleille asetettu 90 %RH kuitenkin saavutetaan. Tosin ylemmällä arviontisyvyydellä ei saavuteta kriteeriä 75 %RH.

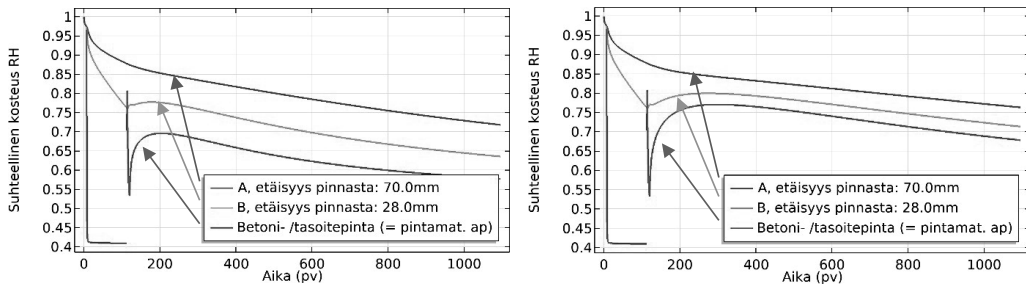
Tarkastellaan seuraavaksi mahdollisia pintamateriaalivaihtoehtoja. *Julkaisun Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen* [4] mukaan 90 %RH kriteerillä voidaan asentaa täyssynteettisiä tekstiilimattoja ilman alusrakennetta tai laattoina asennettavia tiiviitä päällysteitä. Tarkastellaan seuraavia vaihtoehtoja:

1. Tekstiilimatto, ilman alusrakennetta (herkkyystarkastelu, koska S_d = arvio)
 - a. $S_d \sim 1$ m, tarraliimaus – ei huomioida liiman vaikutusta
 - b. $S_d \sim 3$ m, tarraliimaus – ei huomioida liiman vaikutusta
2. Tekstiilimattolaatta, tiivis alusrakenne (herkkyystarkastelu, koska S_d = arvio)
 - a. $S_d \sim 10$ m, tarraliimaus – ei huomioida liiman vaikutusta
 - b. $S_d \sim 20$ m, tarraliimaus – ei huomioida liiman vaikutusta
3. Tekstiilimattolaatta, tiivis alusrakenne (herkkyystarkastelu, koska S_d = arvio)
 - a. $S_d \sim 10$ m, liimaus kauttaaltaan – ei huomioida liiman vaikutusta
 - b. $S_d \sim 20$ m, liimaus kauttaaltaan – ei huomioida liiman vaikutusta

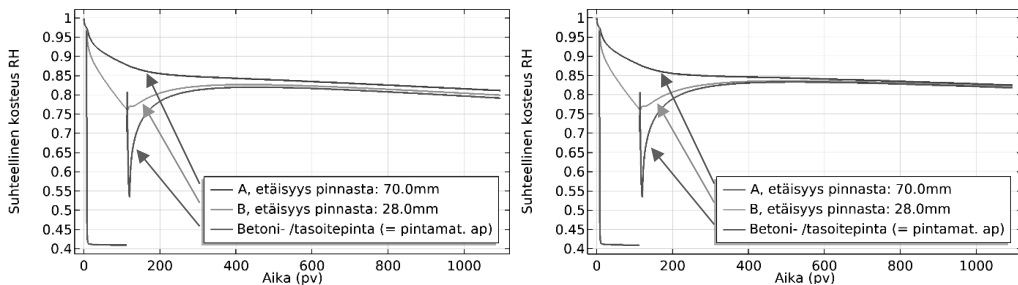
Kaikissa vaihtoehtoissa on 5 mm paksu tasoite, joka asennetaan 7 päivää ennen päällysteen asennusta. Tarkastelun kokonaiskestona on kolme vuotta. Tulokset on esitetty kuvissa 2-4.



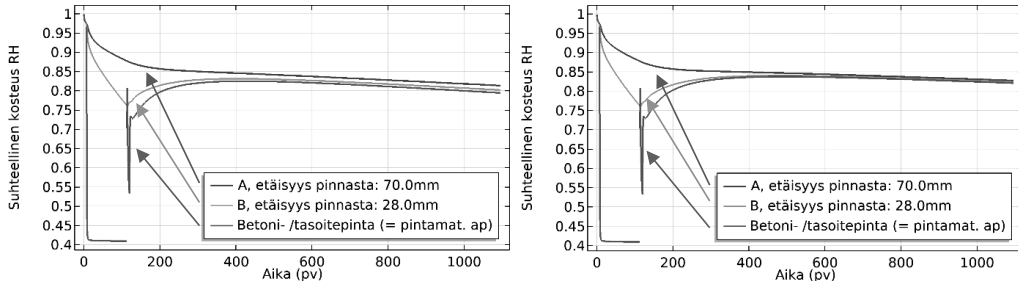
Kuva 1. Yleisnäkymä ohjelmasta. Kuvaajassa on esitettyä kuivuminen tarkasteluvyvyksillä laskentajakson 120 pv aikana.



Kuva 2. Vasemmalla tapauksen 1a ($s_D = 1\text{ m}$) laskennan tulokset, jossa päällysteen alle tasaantuva kosteus on noin 70 %RH ja oikealla tapauksessa 1b ($s_D = 3\text{ m}$) noin 77 %RH.



Kuva 3. Vasemmalla tapauksen 2a ($s_D = 10\text{ m}$) laskennan tulokset, jossa päällysteen alle tasaantuva kosteus on noin 82 %RH ja oikealla tapauksessa 2b ($s_D = 20\text{ m}$) noin 83,5 %RH.

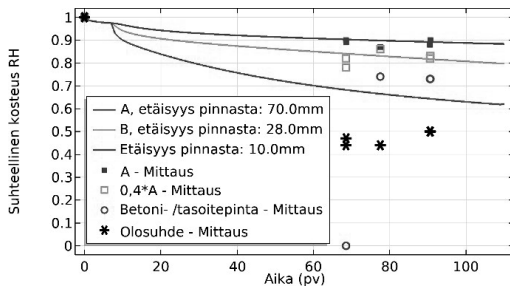


Kuva 4. Vasemmalla tapauksen 3a ($s_D = 10\text{ m} + \text{mattoliima}$) laskennan tulokset, jossa päällysteen alle tasaantuva kosteus on noin 82,5 %RH ja oikealla tapauksessa 3b ($s_D = 20\text{ m} + \text{mattoliima}$) noin 84 %RH.

Esimerkin kohteessa päädyttiin käyttämään erittäin hyvin vesihöyryä läpäisevää päällystettä, jota kuvan 1 tarkastelu edustaa, ja joissa riski on muihin vaihtoehtoihin verrattuna selkeästi vähäisin. Kohteessa oli tiiviistä aikataulusta johtuen toteutettu useita kosteusmittauksia. Alla taulukossa 1 on esitetty esimerkki työmaamittausten tulosten taulukoimiseksi ohjelmaan kopiointia varten. Arvio seurantamittausten kera on esitetty kuvassa 5.

Taulukko 1. Esimerkki työmaamittausten taulukoinnista. Toteutusaikataulu voidaan laskea Excelissä pvm. solujen erotuksena (toteutusvaiheet = valu pvm.-pv.valusta.1 ja mittauspäivät = valu pvm.-pv.valusta.2). Korostetut solut voidaan kopioida suoraan ohjelmaan.

Toteutus	pvm.	pv.valusta.1			
Valu	10.6.2019	0			
Kuivatusjakso alkaa	17.6.2019	7			
Mittaus pvm.	pv.valusta.2	70 mm	28 mm	10 mm	OS
17.8.2019 12:00	68.50	0.90	0.82	0	0.44
26.8.2019 12:00	77.50	0.87	0.86	0.74	0.44
8.9.2019 12:00	90.50	0.88	0.82	0.73	0.50



Kuva 5. Arvio ja seurantamittausten tulokset. Huom. Kuvajaan selitteessä tulisi lukea mittauksen kohdalla: Etäisyys pinnasta: 10.0 mm – Mittaus.

Esimerkin tapauksessa ei aikataulun puitteissa saavutettu B-syvyydellä kriteeriä 75 %RH, mutta käytetyllä päällysteellä riskiarvion perusteella voidaan arvioida vaurioriski vähäiseksi.

4. Yhteenvedo

by2020 Betonin kuivumisaika-arvio -ohjelma on saatu valmiiksi yleiseen käyttöön. Ohjelmaa voidaan hyödyntää kuivumisajan arvioinnin ja päällystämisen riskiarvioinnin lisäksi työmaalla tehtävien seurantamittausten dokumentointiin. Ohjelma on käytössä jo usealla suurella rakennusalan toimijalla sekä lukuisilla yksittäisillä käyttäjillä. Käyttökokemuksia kerätään ja ohjelmaa tullaan päivittämään käyttäjien toiveet huomioiden.

Lähdeluettelo

- [1] Sekki, P., Marttila, P. ja Merikallio T. 2019. ”Uusi työkalu betonilattioiden kuivumisen ja kosteusteknisen toimivuuden tarkasteluun.” Rakennusfysiikka 2019, Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut: 211-216. Tampere, 2019
- [2] by 2020 Betonin kuivumisaika-arvio ver. 1.1 käyttöohje.
- [3] Korkala, T. 2018. Lämpö- ja kosteusolosuhteiden vaikutus betonin kuivumiseen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. 164 s.