

Työmaan olosuhdetiedon hyödyntäminen pinnoitettavuuspäätöksissä

Jarno Hovi, DI

Toimitusjohtaja, Serviz Oy
jarno.hovi@serviz.fi

Juha Heinämäki,

Rakennusterveysasiantuntija, Serviz Oy
juha.heinimaki@serviz.fi

Betonin kuivumisaikalaskennan päivittyminen reaaliajassa

Rakennushankkeissa betonirakenteiden päällystettävyyden merkittävässä osassa aikataulujen suunnittelun ja toteutumisen kannalta. Ennakoon laadittavat kuivumisaika-arviot ovat yleisesti käytössä ja hyvä lähtökohta aikataulujen suunnitteluun. Kuivumisaika-arvioiden kehittämiseen on myös viime aikoina tullut uusia malleja, kuten tammikuussa 2021 julkaistu *by 2020 Betonin kuivumisaika-arvio* -ohjelmisto. Kuivumisaika-arviot laaditaan kuitenkin usein staattisilla tai korkeintaan hyvin harvoin ja hitaasti muuttuvilla olosuhteilla. Tosiasiassa olosuhteiden vaihtelu työmaalla on nopeaa ja suurta ja olosuhdehallinta, eli ilmanvaihto, kuivatus ja lämmitys sekä ulkovaipan tiiviys sekä eristyskyky muuttuvat jatkuvasti. Niinpä kuivumisaika-arviot vanhenevat käytännössä heti kuivumisen alettua, kun malli alkaa erkanemaan todellisuudesta.

Pinnoitettavuuspäätöksissä yleisesti luotettavina pidettyjen porareikä- ja näytepalamittausten luotettavuus on pitkälti riippuvainen mittaajan huolellisuudesta, mikä on todettu jo toistakymmentä vuotta sitten *Tarja Merikallion* väitöskirjassa (Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa, 2009). Mittausvirhettä esiintyy erityisesti alaspäin, mikäli mittaaja on huolimaton mittaukseen liittyvissä tiivistyksissä. Mittausten tarkkuus on uuden RT 10333 ohjeen mukaan parhaissakin olosuhteissa $\pm 2\%$ -yksikköä. Mittausten onnistuminen vaatii mittaajalta

huolellisuutta ja erityisesti työmaaoiloissa $\pm 2\%$ -yksikön mittaustarkkuuteen voi olla haastavaa tai jopa mahdotonta päästä muuttuvien olosuhteiden vuoksi. Betonin sisään asennettavien suhteellisen kosteuden anturien käyttö on nyt otettu mukaan RT-kortin tarkkoihin mittauksiin, mutta niidenkin osalta on haasteena työmaan muuttuvat olosuhteet. Näistä seikoista johtuen työmailla on edelleen tarve menetelmälle, jonka perusteella erityisesti paikalla valettujen betonilattioiden kuivumista voidaan seurata ja ennen kaikkea ennakoita. Ennakoinnin avulla voidaan olosuhteisiin vaikuttaa ajoissa, varmistaminen betonin kuivuminen aikataulussa mahdollisimman taloudellisella tavalla.

Artikkelissa esiteltävän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voidaanko työmaan lämpö- ja kosteusolosuhteiden perusteella laskea paikalla valetun betonirakenteen reaaliaikainen rakennekosteus arvostelusyvyvyydeltä, kun tiedetään rakenteen tyyppi ja betonimassan vesi/sementti -suhde ja valupäivä. Laskennan lisäksi rakenteen kuivumista pyrittiin ennustamaan toteutuneiden olosuhteiden perusteella ja ennustetta vertaamaan 2,5 kuukautta myöhemmin tehtyyn porareikämittaukseen.

Tutkimusmenetelmä

Laskennallisen menetelmän luotettavuutta pyrittiin selvittämään soveltamalla sitä uudisrakennuskohteessa, jossa seurattiin työmaan sisäilman lämpö- ja kosteusolosuhteita etälähetävillä antureilla. Näiden tietojen perus-

1 Artikkelissa esitelty tutkimushanke suoritettiin vuoden 2020 aikana Firan toteuttamassa uudisrakennuskohteessa Espoon Tapiolassa. Kohde on kahdeksankerroksinen liike- ja asuinrakennus, joka on osin paikallavalu- ja osin elementtirakenteinen.





2



3



4



5

2 Osittain paikallavalu- ja elementtirakenteisena rakennetun asuinkerrostalon kylkeen tehtiin liikuntasaumalla erotettu kaksikerroksinen liiketilarakennelma.

3 Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voidaanko työmaan lämpö- ja kosteusolosuhteiden perusteella laskea paikallavaletun betonirakenteen reaaliaikainen rakennekosteus.

4 Anturit asennettiin asuntojen märkätiloihin noin 1500 mm korkeudelle.

5 Tutkimuksessa olleen rakennuksen välipohjat ovat massiivisia paikallavalettuja teräsbetonilaattoja, joiden paksuus on 300 mm.

teella laadittiin teoreettinen rakennekosteus välipohjien rakennekosteudesta arviointisyvyydeltä. Näitä laskennallisia kosteuslukemia verrattiin kunkin tilan välipohjista suoritettuihin RT 14-10984 mukaisiin porareikämittauksiin (mittauksia tehtäessä voimassa ollut RT-kortti).

Rakennekosteuden laskennan lisäksi pyrittiin ennustamaan kosteuden kehitystä rakenteessa ja vertaamaan ennustetta porareikämittausten tuloksiin 30 päivän aikavälillä.

Tutkimuskohde

Tutkimus suoritettiin vuoden 2020 aikana Firan toteuttamassa uudisrakennuskohteessa Espoon Tapiolassa. Kohde on kahdeksankerroksinen liike- ja asuinrakennus, joka on osin paikallavalu- ja osin elementtirakenteinen.

Tutkimukseen otettiin yhteensä 16 eri asunnon märkätilaa. Asunnot sijaitsevat kerroksissa 2 ja 3. 2. kerroksen lattia oli valettu 15.2.2020 ja 3. kerroksen lattia 28.2.2020 eli noin 4–6 viikkoa ennen olosuhdemittauksen ja laskennan aloitusta. Tämän vuoksi anturien tuottaman tiedon perusteella tehtävä rakennekosteuden laskenta aloitettiin 26.3.2020 suoritettujen lähtötietomittausten (näytepalamittaukset) perusteella, jotta ennen laskennan aloittamista tapahtunut kuivuminen saatiin huomioon.

Välipohjat ovat massiivisia paikallavalettuja teräsbetonilaattoja, joiden paksuus on 300 mm

ja ne kuivuvat esteettä ylös- ja alaspäin. Vesi-sementtisuhde on 0,55.

Olosuhdemittaukset ja rakennekosteuden laskenta

Olosuhdemittauksissa hyödynnettiin työmaalle olosuhdehallinnan seuraamiseksi tarkoitettujen anturien tuottamaa tietoa. Anturit asennettiin asuntojen märkätiloihin noin 1500 mm korkeudelle. Anturit lähettävät mittaustiedot verkkopalveluun, josta niiden perusteella voitiin suorittaa laskentaa betonin kuivumisesta. Anturien ilmoitettu mitta-alue on lämpötilan osalta $-40 - 60^{\circ}\text{C}$ ja kosteuden osalta $0 - 95\% \text{ RH}$. Ilmoitettu mittaustarkkuus on lämpötilalle $0,2^{\circ}\text{C}$ ja kosteudelle 2% -yksikköä.

Betonin kuivumisen laskentaa varten laadittiin kaava, jolla arvioitiin rakennekosteuden kehittymistä sisäilmasta saadun mittaustiedon perusteella arviointisyvyydellä 50 mm. Laskenta päivittyi jokaisen mittaustuloksen tallennuttua tietokantaan.

Vertailumittaukset

Vertailumittaukset suoritettiin 25.5. sekä 8.7. RT14-10984 suositushjeen mukaisina porareikämittauksina. Mittauksiin ei todettu liittyvän tekijöitä, jotka lisäisivät mittauserävarmuutta. Mittaussyvyyden suhteen vertailumittausten

Taulukko 1

25.5.2020 suoritettujen mittausten tulos ja mittauspäivän mukainen laskennallinen rakennekosteus arviointisyvyydeltä 50 mm.

Huoneisto	Mittaussyvyys mm.	Laskennallinen rakennekosteus %RH	Porareikä-mittauksen tulos %RH	Poikkeaman itseisarvo %RH
A1	60	87,5 %	86,4 %	1,1 %
A2	60	88,0 %	86,6 %	1,4 %
A3	60	87,9 %	88,1 %	0,2 %
A4	60	88,0 %	83,1 %	4,9 %
A5	60	87,5 %	84,4 %	3,1 %
A6	60	88,0 %	87,7 %	0,3 %
A7	60	87,0 %	80,2 %	6,8 %
A8	60	87,5 %	88,3 %	0,8 %
A9	60	86,4 %	89,7 %	3,3 %
A10	60	86,6 %	89,4 %	2,8 %
A11	60	86,7 %	89,9 %	3,2 %
A12	60	86,2 %	87,2 %	1,0 %
A13	60	86,7 %	91,0 %	4,3 %
A14	60	86,7 %	90,9 %	4,2 %
A15	60	86,0 %	94,5 %	8,5 %
A16	60	86,0 %	88,8 %	2,8 %

Taulukko 2

8.7.2020 suoritettujen mittausten tulos ja mittauspäivän mukainen laskennallinen rakennekosteus arviointisyvyydeltä 50 mm.

Huoneisto	Mittaussyvyys mm.	Laskennallinen rakennekosteus %RH	Porareikä-mittauksen tulos %RH	Poikkeaman itseisarvo %RH
A1	50	82,3 %	82,8 %	0,5 %
A2	50	83,1 %	82,5 %	0,6 %
A3	50	82,9 %	81,8 %	1,1 %
A4	50	83,2 %	79,5 %	3,7 %
A5	50	82,4 %	79,6 %	2,8 %
A6	50	83,1 %	77,2 %	5,9 %
A7	50	81,9 %	82,7 %	0,8 %
A8	50	82,4 %	76,1 %	6,3 %
A9	50	78,4 %	75,4 %	3,0 %
A10	50	81,7 %	78,0 %	3,7 %
A11	50	81,6 %	75,3 %	6,3 %
A12	50	81,8 %	78,8 %	3,0 %
A13	50	81,4 %	78,5 %	2,9 %
A14	50	82,0 %	83,6 %	1,6 %
A15	50	81,0 %	73,3 %	7,7 %
A16	50	81,1 %	80,7 %	0,4 %

Taulukko 3

25.4. annettu ennuste päivälle 8.7. ja kyseisenä päivänä tehdyt porareikämittaukset.

Huoneisto	25.4. annettu ennuste päivälle 8.7.	Mittaustulos porareistä 8.7. %RH	Poikkeaman itseisarvo %RH
A1	82.6 %	82.8 %	0.2 %
A2	84.3 %	82.5 %	1.8 %
A3	83.0 %	81.8 %	1.2 %
A4	83.5 %	79.5 %	4.0 %
A5	82.8 %	79.6 %	3.2 %
A6	84.1 %	77.2 %	6.9 %
A7	82.4 %	82.7 %	0.3 %
A8	82.9 %	76.1 %	6.8 %
A9	81.9 %	75.4 %	6.5 %
A10	82.2 %	78.0 %	4.2 %
A11	82.5 %	75.3 %	7.2 %
A12	82.7 %	78.8 %	3.9 %
A13	82.0 %	78.5 %	3.5 %
A14	83.8 %	83.6 %	0.2 %
A15	81.8 %	73.3 %	8.5 %
A16	81.7 %	80.7 %	1.0 %



6

6 Julkisivudetalji.



7

7 As Oy Espoon Kulttuurimajakan Tapiolassa on suunnitellut Arkkitehtitoimisto Sarc Oy ja rakenne-suunnittelusta vastasi IdeaStructura Oy.

välillä on 10 mm ero. 25.5. suoritettujen mittaukset tehtiin 60 mm syvyydeltä, tulkiten rakenne kahteen suuntaan kuivuvaksi massiiviseksi betonilaataksi. Toisella mittauskerralla huomioitiin massiivisen betonilaatan päälle asennettava kelluva lattiarakenne, jonka vuoksi mittaukset suoritettiin 50 mm syvyydeltä.

Tulokset

Alla olevissa taulukoissa on esitetty kunkin tilan porareikämittauksen tulos, sekä laskennallinen rakennekosteus samalta päivältä. Näistä on laskettu poikkeamien itseisarvo, jonka perusteella on arvioitu mittautulosten yhtenäisyyttä.

25.5. suoritettujen vertailumittausten poikkeamien itseisarvojen keskiarvo on 3,0% -yksikköä. Tätä tulosta tulkittaessa tulee huomioida poikkeama mittausvyöhykkeiden ja arviointisyövykkeiden välillä. Keskimääräinen poikkeama oli 0,8% -yksikköä.

8.7. suoritettujen vertailumittausten poikkeamien itseisarvojen keskiarvo on 3,1% -yksikköä. Keskimääräinen poikkeama oli -2,8% -yksikköä.

Toteutuneiden olosuhteiden perusteella laskettiin dynaaminen ennuste, joka huomioi siihen mennessä tapahtuneen kuivumisen ja olosuhteet ja pyrkii ennakoimaan kosteuden kehitystä tulevaisuudessa. 25.4. ennustettiin rakennekosteutta 74 päivää eteenpäin. Tämän ennusteen tuloksia verrattiin 8.7. suoritettujen porareikämittausten tuloksiin. Erot olivat saman kaltaisia kuin vertailussa laskennalli-

seen kosteuteen poikkeamien itseisarvojen keskiarvon ollessa 3,6% -yksikköä. Noin 2,5 kuukautta etukäteen pystyttiin siis ennustamaan kosteus rakennekosteus keskimäärin 3,6% yksikön tarkkuudella.

Tulosten tarkastelu

Laskennallisen menetelmän tarkkuutta tarkasteltaessa on syytä keskittyä 8.7. suoritettuihin vertailumittauksiin ja näiden tulosten analysointiin. Koska 25.5. suoritettujen vertailumittauksen ero arviointisyövytyteen on verrattain alhainen, voidaan näiden tulosten perusteella kuitenkin tehdä vertailevaa analyysiä.

Olennessa tulkinta poikkeamien keskiarvoista 8.7. suoritetuista mittauksista on, että se on pienempi kuin RT 14-10984 ohjeessa ilmoitettu + - 5% -yksikön mittausepävarmuus porareikämenetelmälle ja asettuu uuden RT 103333 mittausepävarmuuksien keskivaiheille. Näin ollen voidaan päätellä, että näissä olosuhteissa ja tällaisella rakennetyypillä ja betonimassalla laskennallisen menetelmän tarkkuus on keskimäärin yhtä hyvä kuin porareikämenetelmän.

Erityisen rohkaisevaa tuloksissa on ennusteen tarkkuus. Kun ajatellaan rakennustyön aikataulua ja siinä pysymisen taloudellisia vaikutuksia yhdessä olosudehyönteiden kustannusten kanssa, liittyy dynaamiseen olosuhteeseen ja massan tietojen pohjalta perustuvaan ennustamiseen merkittävä mahdollisuus.

Yksittäisten mittausten kohdalla poikkeamat ovat keskiarvoa suurempia, jolle on useampia mahdollisia syitä. RT 103333 mukai-

8 Jatkotutkimuksissa tulisi pyrkiä dokumentoimaan työmaan kosteushavainnot ja paikalliset kuivatus-toimet, jotta niihin liittyvien poikkeamien vaikutus voidaan tunnistaa.

set mittausepävarmuudet ovat arvioita, joka koskevat onnistuneita mittauksia. Tyypillinen virhe mittauksen suorituksessa on mittaputken tai mittapään puutteellinen tiivistäminen, minkä johdosta mittaustulos on todellista rakennekosteutta alhaisempi. On mahdollista, että yksittäinen porareikämittaustulos antaa merkittävästikin todellista alhaisemman lukeman, mikäli tiivistäminen on puutteellista. On myös huomioitava, että olosuhdeseuranta ei tunnista vapaan veden pääsyä rakenteisiin. Esimerkiksi kaatunut ämpäri tai paikallinen vesivuoto voi johtaa rakenteen merkittävään kosteuden nousuun nopeasti, ilman että se näkyy juurikaan ilman olosuhteen kautta. Samaten paikallinen rakenteen kuivattaminen esimerkiksi levykuivaimella ei tule esille olosuhdeseurannassa. Toisaalta tämä ei näy myöskään porareikämittauksessa, mikäli mittaustulos suoritetaan alueelta, joka ei ole kastunut.

Johtopäätökset

Tutkimustulokset ovat lupaavia uuden, työmaan olosuhdetietoa hyödyntävän laskentamenetelmän käyttöönoton kannalta. Sillä ei voida täysin tunnistaa kaikkia rakennekoosteuteen vaikuttavia tekijöitä, minkä vuoksi se ei tule riittämään ainoaksi menetelmäksi. Toisaalta laskennallinen menetelmä mahdollistaa teoreettisen kuivumisen reaaliaikaisen laskennan, seurannan ja ennakkoinnin. Näin seurantamittausten määrää voidaan vähentää. Laskennallisella menetelmällä voidaan myös mahdollisesti tunnistaa epäonnistuneita porareikä- tai näytepalamittauksia, parantaen niiden luotettavuutta entisestään.

Laskennallisen menetelmän kehittämistä ja tutkimista on syytä jatkaa erilaisten rakennetyyppien ja betonimassojen osalta. Jatkotutkimuksissa tulisi pyrkiä dokumentoimaan työmaan kosteushavainnot ja paikalliset kuivatus-toimet, jotta niihin liittyvien poikkeamien vaikutus voidaan tunnistaa. Samoin vertailumittausten luotettavuutta voidaan parantaa tekemällä useampia mittauksia, jolloin niiden

keskinäistä johdonmukaisuutta voidaan paremmin arvioida.

Ennustamisen jatkokehitys ja tarkastelu yhdessä laskennallisen kuivumisen ja mittaustulosten kanssa ovat avainasemassa olosuhdeseurannan hyödyntämisessä.

Lähdeluettelo

1. Sekki P., Marttila P. ja 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), article 04011
2. Merikallio T. (2009) Betonilattian "riittävän" kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa. Väitöskirja TTK-R-VK4, Teknillinen Korkeakoulu
3. RT 14-10984, Betonin suhteellisen kosteuden mittaustulos, (Rakennustietosäätiö RTS, 2010)
4. RT 103333, Betonin suhteellisen kosteuden mittaustulos, (Rakennustietosäätiö RTS, 2021)
5. Raunio T. (2020) Kapasitiivisten kosteusantureiden käyttäytyminen betoniseinien ja kipsivallalattioiden kuivumisen seurannassa. Diplomityö, Tampereen Yliopisto.

Decisions on flooring readiness affected by building site conditions data

The readiness of concrete floor structures for installation of flooring plays a significant role in building projects with respect to overall schedule planning and implementation. The preparation of estimates of the curing time is a commonly used method and provides the required initial basis for schedule planning.

Ambient conditions vary on building sites: ventilation, drying and heating of structures, tightness of external envelope, and insulation capacity change.

Borehole and specimen measurements are commonly considered to provide reliable information for decisions on the readiness of the structures for coating, but their reliability depends on the diligence of the person carrying out the measurement. New methods are also needed on building sites for monitoring and predicting the curing of concrete floors cast in place.

The article describes the reliability of a novel mathematical method in a new building project where the temperature and humidity conditions of the indoor air were monitored on the building site using remote transmitting humidity sensors.

In addition to the calculation of structural moisture, the aim was to also predict the development of moisture in the structure and compare the prediction with the results of borehole measurements over a 30-day interval.

The results of the study are promising for the introduction of a new calculation method that utilises worksite conditions data. It cannot be used to completely predict all factors that affect structural moisture. The mathematical method provides for real-time theoretical calculation, monitoring and prediction of curing. This makes it possible to reduce the number of monitoring measurements. The mathematical method can potentially also identify failures of borehole and specimen measurements and thus improve their reliability.

