

Vähähiilisen rakennetun ympäristön ohjelma

Vähähiiliset ja toimivat betonilattiat -rakennusaikaisen kuivattamisen optimointi

VN/5412/2023

Loppuraportti 19.2.2025

Sisälllys

1. Tiivistelmä /Summary	2
2. Hankkeen tausta ja tavoitteet.....	2
2.1 Tausta	2
2.2 Tavoitteet.....	4
3. Hankkeen osapuolet ja menetelmät	4
3.1 Osapuolet.....	4
3.2 Menetelmät	5
4. Hankkeen tulokset	6
5. Hankkeen vaikuttavuus.....	10
6. Viestintä.....	10
7. Talousraportti	11
8. Jatkoitoimenpiteet.....	11
9. Yhteenveto hankkeen päätuloksista (suomi ja englanti).....	12

1. Tiivistelmä / Summary

Hankkeen tavoitteena oli luoda uusi menetelmä betonilattioiden kuivattamisen optimointiin. Kosteusvaurioiden välttämiseksi betonilattioiden tulee kuivua riittävästi ennen päällystys- tai pinnoitustöitä. Vähähiilisyystavoitteet ovat muuttaneet betonilaatua ja niiden kosteuskäyttäytymistä. Perinteiset kuivumisteoriat eivät täysin päde vähähiilisiin betoneihin, mikä aiheuttaa haasteita kosteudenhallinnassa. Nykyiset kosteudenhallintakäytännöt voivat johtaa tarpeettoman pitkiin kuivatustoimenpiteisiin, mikä vaikuttaa työmaan aikatauluun, kustannuksiin ja hiilidioksidipäästöihin.

Hanke koostui laajoista laboratoriotutkimuksista betonien kosteudensiirtoluokkien määrittämiseksi sekä betonilattioiden kosteudenhallinnan menettelytavan kehittämiseksi. Hankkeessa saatiin määriteltyä uusi menettelytapa, joka perustuu betonien luokitteluun niiden kosteudensiirt ominaisuuksien mukaan sekä pintarakennejärjestelmien luokitteluun sen mukaan, miten ne läpäisevät ja sietävät betonissa olevaa kosteutta. Menetelmä ohjaa kuivattamaan lattiarakenteita riittävästi kosteusvaurioiden välttämiseksi, mutta ei liikaa. Optimaalinen kuivatus vähentää työmaan hiilidioksidipäästöjä, parantaa aikataulun hallintaa ja lopputuotteen laatua sekä toiminnan tuottavuutta. Uuden menettelytavan saaminen kansallisesti hyväksytyksi tavaksi toimia vaatii suunnitellun ja systemaattisesti johdetun pilotointi- ja jalkautusvaiheen.

Hanke on saanut tukea ympäristöministeriöltä Vähähiilisen rakennetun ympäristön ohjelmasta, jonka rahoitus tulee EU:n kertaluonteisesta elpymisvälineestä (RRF).

Summary

The aim of the project was to create a new method for optimizing the drying of concrete floors. To avoid moisture damage, the concrete floors must be sufficiently dry before paving or coating work. Low-carbon targets have changed concrete grades and their moisture behavior. Traditional drying theories do not fully apply to low-carbon concrete, which poses challenges in moisture management. Current moisture management practices can lead to unnecessarily long drying procedures, which affect the construction site schedule, costs and carbon dioxide emissions.

The project consisted of extensive laboratory studies to determine the moisture transfer classes of concrete and the development of the moisture management procedure for concrete floors. The project defined a new procedure based on the classification of concrete according to their moisture transfer properties and the classification of surface structure systems according to how they permeate and tolerate moisture in the concrete. This method guides to drying floor structures enough to avoid moisture damage, but not too much. Optimal drying reduces site carbon dioxide emissions, improves schedule management and end-product quality and increases operational productivity. Getting a new procedure as a nationally accepted way of acting requires a planned and systematically managed piloting and implementation phase.

The project has received support from the Ministry of the Environment under the Low Carbon Built Environment Programme, which is funded by the EU's one-off Recovery Facility (RRF).

2. Hankkeen tausta ja tavoitteet

2.1 Tausta

Rakennusaikana betonilattioiden tulee kuivua riittävästi ennen lattian päällystys- tai pinnoitustyöhön ryhtymistä. Riittävä kuivuminen tarkoittaa, että betoniin on sekä sitoutunut että siitä on haihtunut niin paljon kosteutta, ettei jäljelle jääneestä kosteudesta ole haittaa betonin pinnassa oleville muille materiaaleille.

Nykykäytännön ohjeiden ja määräysten mukaan betonilattiarakenteen riittävä kuivuminen varmistetaan rakenteesta tietyltä syvyydeltä tehtävällä kosteusmittauksella. Tämä ns. päällystettävyyden arviointisyvyys riippuu muun muassa rakenteen paksuudesta. Kosteusmittaustuloksen tulee puolestaan alittaa rakenteen pintaan tulevan päällysteen tai pinnoitteen kosteusraja-arvo. Ennakoivana kosteudenhallintatoimenpiteenä betonilattiarakenteelle voidaan arvioida kuivumisaikoja eri betoni- ja olosuhdevaihtoehdoilla esimerkiksi *by2020 Betonin kuivumisen arviointi ohjelmalla*. Arviot vaikuttavat muun muassa siihen, paljonko rakenteen kuivumiselle varataan aikaa työmaan aikatauluun. Kuivatusaikataulussa pysyminen pyritään varmistamaan työmaan olosuhdehallintatoimenpitein (esim. lämmittämällä ja/tai kuivattamalla sisäilmaa) ja kuivumisen etenemistä seurataan rakennekosteusmittauksin.

Nykyiset käytännöt johtavat monenlaiseen epävarmuuteen sekä hukkaan, kuten turhan pitkäaikaisiin tai järeisiin kuivatustoimenpiteisiin, joilla on vaikutusta sekä työmaan aikatauluun että kustannuksiin. Kuivatukseen käytettävän energiamuodon mukaan vaikutukset näkyvät myös vaihtelevasti työmaan hiilidioksidipäästöissä. Kohtuuttoman pitkät kuivatusajat sekä erityisesti hallitsematon hajonta kuivatusaikojen välillä aiheuttaa merkittäviä haasteita yhä useammassa rakennuskohteessa tuotannonohjausmenetelmänä käytettävään tahtituotantoon. Tahtituotannon on todettu lyhentävän työmaan läpimenoaikaa, parantavan laatua sekä pienentävän työmaan kustannuksia ja ympäristövaikutuksia (materiaalihukkaa, hiilidioksidipäästöjä). Tahtituotannon yhtenä suurimmista haasteista pidetään tällä hetkellä betonilattiarakenteiden kuivumisajan vaihtelua.

Oman haasteena työmaan kosteudenhallintaan on tuonut betonilaatujen ja erityisesti niiden sisältämien sideaineiden muutokset. Betonin vähähiilisyystavoitteiden myötä osa perinteisestä sementistä on korvattu erilaisilla seosaineilla, jotka vaikuttavat eri tavoin betonien kosteuskäyttäytymiseen. Nykyiset betonin kuivumisteoriat sekä esimerkiksi kuivumisenarviointiohjelmat perustuvat perinteisistä sementeistä (Portland-sementistä) valmistettujen betonien kosteuskäyttäytymiseen. Vähähiiliset betonit eivät kuitenkaan toimi perinteisten betonien tavoin. Esimerkiksi vesi-sideainesuhteen (v/s) vaikutus siihen, miten betoni sitoo kosteutta ja miten kosteus siinä siirtyy, voi olla hyvin erilainen eri sideaineita sisältävillä betoneilla.

Kiristyvät vaatimukset liittyen rakentamisen vähähiilisyyteen ja samalla tuottavuuden parantamiseen laatuvaatimuksia unohtamatta edellyttävät betonilattiarakenteiden kosteudenhallinnan menettelyihin merkittäviä muutoksia. Vähähiilisyys- ja tuottavuustavoitteiden saavuttaminen vaatii sekä betonin koostumuksen, kuivatusolosuhteiden että kuivatusajan optimointia.

Betonit, joiden kuivuminen ei perustu niinkään sideaineiden aiheuttamaan kemialliseen kuivumiseen vaan haihtumiskuivumiseen, vaativat kuivuakseen erityisesti hyviä olosuhteita eli riittävästi lämpöä (n. + 20 °C) ja riittävän alhaisen suhteellisen kosteuden (< 50 % RH). Hyvien kuivumisolosuhteiden luominen vaatii puolestaan erilaisia toimenpiteitä (työtä) sekä energiaa, millä on oma vaikutuksensa työmaan kustannuksiin ja hiilidioksidipäästöihin. Työmaan päästöjen ja kustannusten sekä aikataulun hallitsemiseksi on ensiarvoisen tärkeää, ettei betonilattioita kuivateta liikaa. Toisaalta kosteusvaurioiden välttämiseksi on oleellista, ettei kuivattaminen jää puutteelliseksi. Tärkeintä onkin pystyä määrittämään kunkin betonilattiarakenteen optimaalinen kuivatus.

Kuivatustarpeeseen vaikuttaa merkittävästi myös se, miten riittävä kuivuminen määritetään. Nykyiset betonilattioiden päällystämiseen ja pinnoittamiseen liittyvät ohjeet ja vaatimukset johtavat monissa tapauksissa kosteudenhallinnan kannalta turhan pitkiin tai kohtuuttoman järeisiin kuivatuksiin. Nykyisissä käytänteissä ei oteta riittävässä määrin huomioon betonin kosteudensiirto-ominaisuuksia eikä pintarakennejärjestelmän ominaisuuksia liittyen niiden kosteudenläpäisy- ja sietokykyyn, vaan

päällystettävyysepäätös tehdään yleisten kosteusraja-arvojen ja kosteusmittausohjeiden pohjalta. Tämän menettelyn on todettu sisältävän hallitsematonta hajontaa johtuen muun muassa epävalideista mittaussyvyyksistä ja kosteusraja-arvoista. Liian tarkasti kuvatut mittausmenetelmät ja määräykset ovat saattaneet johtaa ylilyönteihin ja virheellisiin johtopäätöksiin.

Digitaalisten ratkaisujen ja sensoriteknikan kehittymisen myötä mahdollisuudet työmaan olosuhteiden seurantaan ja ohjaamiseen ovat parantuneet viime vuosina merkittävästi. Nämä luovat yhdessä betonien ja pintarakennejärjestelmien kosteuskäyttäytymiseen liittyvien tutkimusten kanssa mahdollisuuden kehittää uudenlaisen menettelytavan betonilattioiden kosteudenhallintaan. Menettelytapa antaa aikaisempaa paremmat mahdollisuudet rakenteiden kuivumisen ja sitä kautta työmaan aikataulun hallintaan.

Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinnan menettelytavan muutoksen ajureina ovat muun muassa:

- vähähiiliset betonit; sideaineet muuttuneet ja sitä myöten kosteuskäyttäytyminen muuttunut
 - vaikutukset kemialliseen kuivumiseen ja haihtumiseen
 - muutostarpeet betonien kuivumisaika-arvioihin (by2020 ohjelmaan)
- vähähiilinen työmaa
 - vähähiilisten betonien vaatimat olosuhdetoimenpiteet
 - työmaa kuivatus- ja lämmitystoimenpiteet ja -menetelmät (energiamuodot ja niiden päästöt)
- tuottavuuden parantaminen; työmaiden läpimenoajan lyhentäminen
 - tahtituotannon edellyttämä hallittu (vakio) kuivatusaika
 - turhan kuivattamisen vähentäminen (esim. turhan alhaiset kosteusraja-arvot, liian syvät mittauspisteet).

2.2 Tavoitteet

Hankkeen tavoitteena oli luoda uusi menetelmä päällystettävien/ pinnoitettavien betonilattioiden työmaa-aikaisen kuivattamisen optimointiin. Menetelmä ohjaa kuivattamaan lattiarakenteita riittävästi kosteusvaurioiden välttämiseksi, mutta ei kuitenkaan liikaa. Optimaalisella kuivattamisella saadaan vähennettyä työmaan hiilidioksidipäästöjä (optimoimalla betonin sementtimäärää sekä työmaan olosuhteita), hallittua aikaisempaa paremmin työmaan aikataulua sekä parannettua merkittävästi lopputuotteen laatua sekä toiminnan tuottavuutta.

3. Hankkeen osapuolet ja menetelmät

3.1 Osapuolet

Hankkeen koordinoinnista vastasi BY-Koulutus Oy.

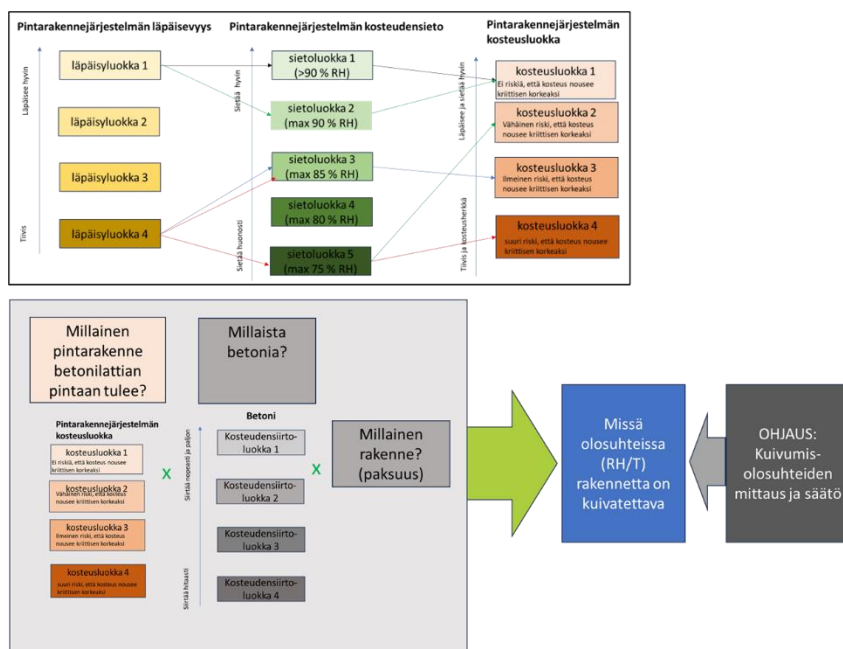
Hankkeen varsinaisesta tutkimus ja kehitystyöstä vastasi työryhmä, johon kuului seuraavat henkilöt; Mirva Vuori (BY-Koulutus Oy/Betoniyhdistys ry), Tarja Merikallio (Vison Oy) sekä Sami Niemi, Pauli Sekki ja Aaro Happonen (AFRY Finland Oy).

Lisäksi hankkeella oli ohjausryhmä, joka kokoontui 2–3 kk välein. Ohjausryhmän jäseniä olivat Jani Kempainen (Talorakennusteollisuus, pj.), Jussi Mattila ja Ari Mantila (Betoniteollisuus ry) sekä Tomi Tehomaa (Lattian- ja seinänpäällysteliitto). Työryhmän jäsenet osallistuvat myös ohjausryhmän kokouksiin täysimääräisinä jäseninä.

3.2 Menetelmät

Hanke koostui laajoista laboratoriotutkimuksista betonien kosteudensiirtoluokkien määrittämiseksi sekä uuden betonilattioiden kosteudenhallinnan menettelytavan kehittämiseksi.

Työryhmän toimesta hankkeessa kehitettävälle menetelmälle laadittiin alkuvuodesta 2023 teknisen ratkaisun periaatekuvaus (kuva 1), jonka pohjalta suunniteltiin ja toteutettiin laaja laboratoriokeasarja.



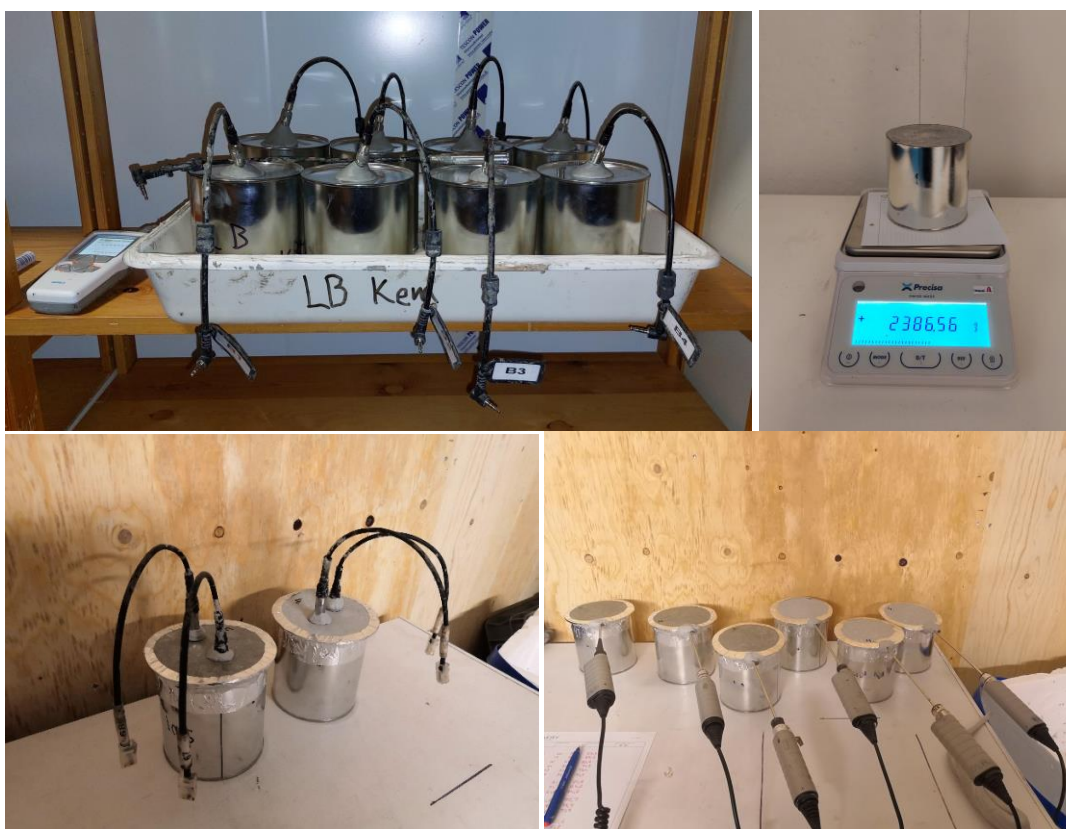
Kuva 1. Hankkeen alkuvaiheessa laadittu periaatekuvaus kehitettävälle menetelmälle.

Hankkeen ensimmäiset kuukaudet menivät tarkemman koesuunnitelman laadintaan ja kokeiden järjestelyyn. Materiaalien kosteudensiirtoluokkien määrittämiseksi laadittiin tarkempi koeohjelma, valettiin tutkimuksessa käytettävät koekappaleet (n.1500 kpl) ja käynnistettiin varsinaiset mittaukset. Koekappaleet ja mittaukset toteutti AFRY Finland Oy (kuvat 2 ja 3). Laboratoriokeiden lisäksi betonivalmistajat (4 eri yritystä) ovat valmistaneet tutkimusryhmän laatimien ohjeiden mukaisesti omia ns. kenttäkoekappaleita, joilla testattiin sekä heidän omia betoneitaan että kyseisen menetelmän soveltuvuutta käytäntöön.

Syksyn 2024 aikana kaikki mittauks tulokset on koottu, analysoitu ja niiden pohjalta on luotu ensimmäinen versio uudeksi kosteudensiirtoluokitukseksi. Tutkimustuloksista analysointiin eri betonien kemiallista kuivumista (kyky sitoa kemiallisesti kosteutta, kemiallisen reaktion nopeutta ja lämpötilan vaikutusta), kosteuden haihtumista betonista ($\text{g/m}^2/\text{Vs}$) eri olosuhteissa sekä erityisesti, miten kosteus käyttäytyy päällystämisen jälkeen, kun muuttujina käytettiin eri olosuhteita ja tiiviydeltään (tiivis S_d90 ja läpäisevä S_d7) erilaisia päällysteitä.



Kuva 2. Kokeellista osuutta varten valmistettiin n. 1500 koekappaletta, joista selvitettiin mm. erilaisten betonien kemiallista kuivumista ja kosteuden haihtumisnopeutta sekä päällysteiden vaikutusta kosteuden uudelleen jakautumiseen.



Kuva 3. Kokeelliseen osuudessa mitattiin mm. betonien kemiallista kuivumista, betoneista haihtuvan veden määrää (punnitus) sekä koekappaleiden kosteusjakamaa ennen ja jälkeen päällystämisen.

4. Hankkeen tulokset

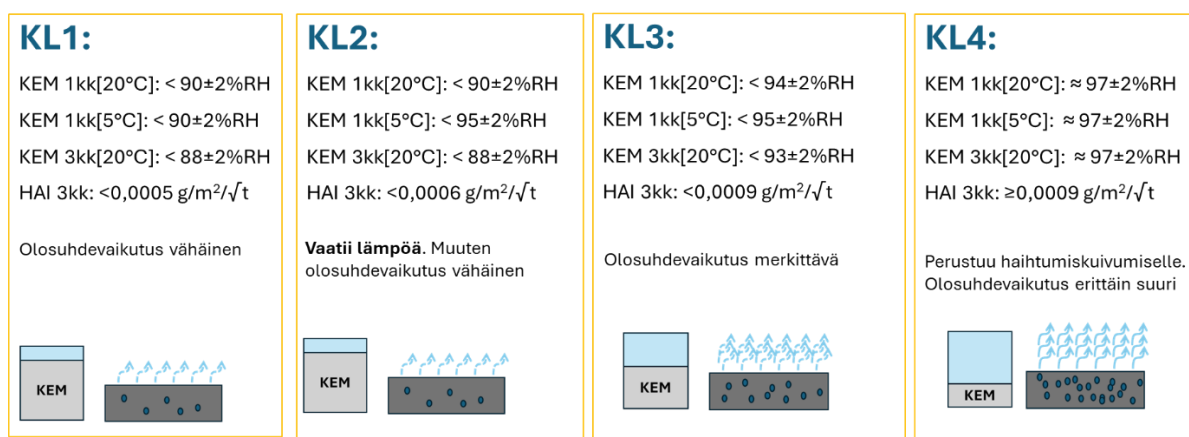
Hankkeessa saatiin määriteltyä uusi menettelytapa päällystettävien ja pinnoitettavien betonilattioiden kosteudenhallintaan. Menettely perustuu betonien luokitteluun niiden kosteudensiirto-ominaisuuksien mukaan (kuva 4) sekä pintarakennejärjestelmien luokitteluun (taulukko 1) sen mukaan, miten ne läpäisevät ja sietävät betonissa olevaa kosteutta (kuva 5).

Betonien kosteudensiirtoluokat ovat seuraavat (kuva 4):

1. luokka (KL1): Kuivuu kemiallisesti ($< 90 \pm 2$ %RH). Olosuhdevaikutus kosteuskäyttäytymiseen vähäinen. Kosteuden siirtyminen ja haihtuminen vähäistä ($< 0,0005 \text{ g/m}^2/\text{vt}$).

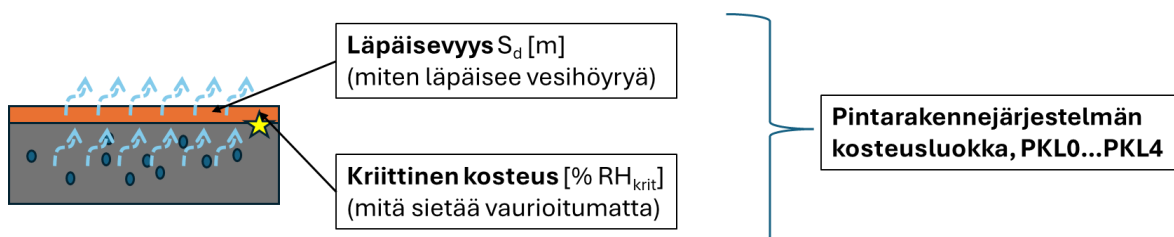
2. luokka (KL2): Kuivuu kemiallisesti ($< 90 \pm 2 \%RH$), mutta kemiallinen reaktio voi olla KL1:tä hitaampaa ja vaatii lämpöä. Muuten olosuhdevaikutus kosteuskäyttäytymiseen vähäinen. Kosteuden siirtyminen ja haihtuminen vähäistä ($< 0,0006 \text{ g/m}^2/\sqrt{t}$).
3. luokka (KL3): Kuivuu jonkin verran kemiallisesti ($< 94 \pm 2 \%RH$). Siirtää luokkia 1 ja 2 enemmän kosteutta ($< 0,0009 \text{ g/m}^2/\sqrt{t}$). Olosuhteet (T/RH ja kastuminen) vaikuttavat kosteuskäyttäytymisen merkittävästi.
4. luokka (KL4): Kuivuminen perustuu haihtumiskuivumiselle (haihtumisvakio $\geq 0,0009 \text{ g/m}^2/\sqrt{t}$). Kosteuden siirtyminen merkittävää. Olosuhdevaikutus kosteuskäyttäytymiseen erittäin suuri.

Eri kosteussiirtoluokkaan kuuluvien betonien kosteuskäyttäytymiseen liittyvät ominaisuudet vaihtelevat merkittävästi ja siten myös niihin vaativat kosteudenhallintatoimenpiteet. Betonin kosteudensiirtoluokan määrittäminen kuuluu betonivalmistajan vastuulle.



Kuva 4. Betonit jaetaan neljään kosteudensiirtoluokkaa (KL1...KL4) betonin kemiallisen kuivumisen (KEM) ja kosteuden haihtumisnopeuden (HAI) perusteella.

Pintarakennejärjestelmän kosteusluokka vaikuttaa merkittävästi muun muassa siihen, minkä kosteudensiirtoluokan betoni kyseiseen rakenteeseen kannattaa valita ja millaisia kosteudenhallintatoimenpiteitä esimerkiksi työmaa-aikana tulee tehdä. Pintarakennejärjestelmän kosteusluokka tulee määrittää jo suunnitteluvaiheessa pintarakennejärjestelmän valinnan jälkeen. Jotta suunnittelijat pystyvät tämän määrittämisen tekemään, heillä tulee olla käytettävissään kunkin materiaalin vesihöyrynvastus sekä kriittisen suhteellisen kosteuden arvo. Kunkin materiaalin valmistajan/toimittajan tulee pystyä ilmoittamaan tuotteensa vesihöyrynvastus S_d sekä kriittinen suhteellisen kosteuden raja-arvo RH_{krit} .



Kuva 2. Pintarakennejärjestelmät jaetaan kosteusluokkiin se perusteella, miten ne läpäisevät kosteutta S_d [m] ja miten korkeaa kosteutta ne kestävät vaurioitumatta [% RH_{krit}].

Taulukko 1. Alustava esitys pintarakennejärjestelmien kosteusluokista, niiden kriteereistä ja kullekin kosteusluokalle tyypillisistä kosteusteknisistä ominaisuuksista.

Pintarakennejärjestelmän kosteusluokka (PKL)	Kriteerit	
	Vesihöyrynvastus S_d [m] *	Kriittinen kosteus [%RH] **
PKL0: $S_d < 1$ ja/tai kosteutta kestävä. Sietää kapillaarikosteutta	Ei vaikutusta	97
PKL1: Vesihöyryä hyvin tai melko hyvin läpäisevä, ei erityisen herkkä kosteudelle	$S_d < 5$ $S_d < 8$	85 90
PKL2: Vesihöyryä melko hyvin läpäisevä, mutta herkkä kosteudelle (esim. jotkut puulajit, puun kosteusliikkeet)	$S_d < 8$	75
PKL3: Tiivis, vesihöyryä hitaasti läpäisevä. Pintamateriaalit kestävätkin melko korkeaa kosteutta.	$S_d \gg 10$	85
PKL4: Tiivis, vesihöyryä hitaasti läpäisevä. Pintamateriaalit tavallista herkempiä kosteudelle.	$S_d \gg 10$	$\ll 85$

* Vesihöyrynvastus (S_d). Mitä pienempi S_d -arvo on, sitä paremmin materiaali läpäisee vesihöyryä.

** Välttämättä päällysteen tai pinnoitteen alla

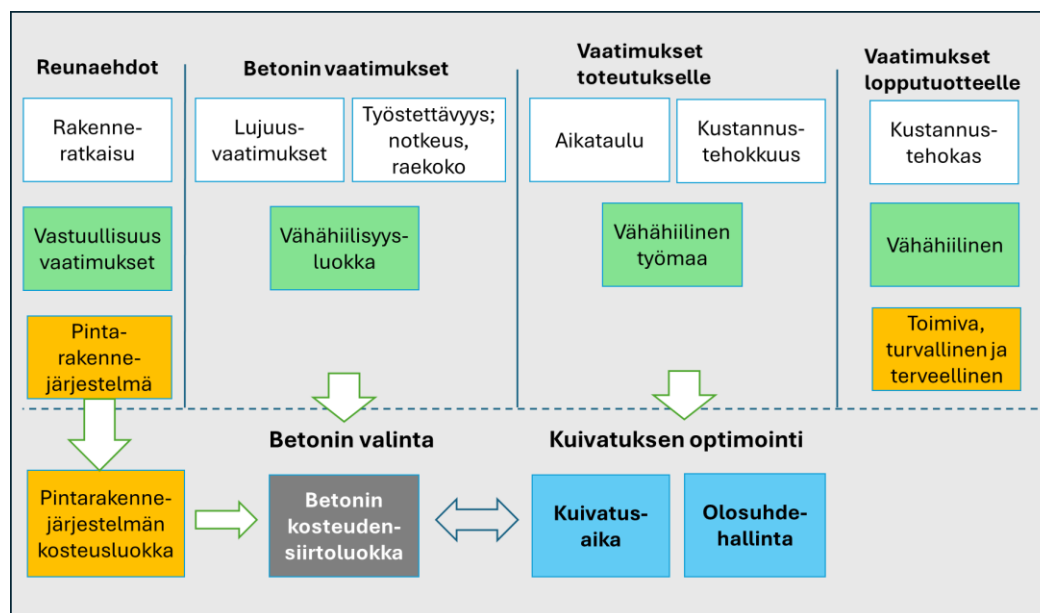
Kosteudenhallinnan näkökulmasta betonin kosteudensiirtoluokkien voidaan ajatella olevan niin sanotussa paremmuusjärjestyksessä, sillä luokan 1 betonit vaativat vähiten toimenpiteitä ja kuivatusaikaa, kun taas luokan 4 betonit voivat vaatia huomattavia eniten. Pintarakennejärjestelmällä kosteusluokka on puolestaan sitä korkeampi, mitä tiiviimpi ja herkempi kosteudelle pintarakennejärjestelmä on.

Uuden menetelmän mukaisessa betonilattioiden kosteudenhallintaprosessissa betonin kosteudensiirtoluokan määrittää joko suunnittelija (suunnittelu-/kehitysvaiheessa) tai työmaa osana työmaan kosteudenhallintasuunnitelmaa. Kun betonin kosteudensiirtoluokka määritetään suunnitteluvaiheessa, työmaan tehtäväksi jää vaatimuksenmukaisen betonin lopullinen valinta ja tilaus, betonin valu ja jälkihoito, tarkoituksenmukaisten olosuhteiden ylläpito sekä laadunvarmistus. Suunnitteluvaiheessa määritettävä pintarakennejärjestelmän kosteusluokka ja työmaavaiheen tavoiteaikataulu ohjaavat betonin kosteusluokan valintaa yhdessä muiden betonin valintaan vaikuttavien vaatimusten (esim. lujuus, notkeus, säilyvyys, vähähiilisyys jne.) kanssa. Betonin kosteusluokan valinnalla voidaan merkittävästi vaikuttaa siihen, miten kauan rakenteen kuivattamiseen tulee varata aikaa ja millaiset olosuhteet kuivattaminen vaatii (kuvat 6 ja 7). Joillakin betoni- ja pintarakennejärjestelmävalinnoilla työmaa-aikainen kuivattamisaika voidaan saada hyvinkin lyhyeksi, kun taas joillakin toisilla se voi muodostua hyvinkin pitkäksi vaatien samalla merkittäviä olosuohdehallintatoimenpiteitä.

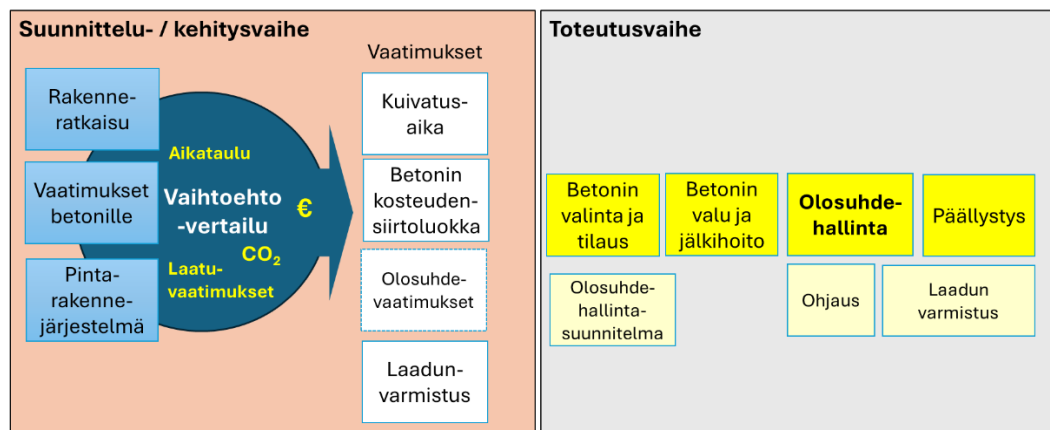
Betonin valintaa ohjaa enenevässä määrin betonin vähähiilisyysvaatimukset. Hankkeessa tehdyt tutkimukset osoittivat, että vähähiilisten betonien kosteuskäyttäytymisissä voi olla merkittäviä eroja eivätkä ne siten kuulu automaattisesti samaan luokkaan. Tutkimuksessa olleet vähähiiliset betonit kuuluivat luokkiin KL1...KL3. Vähähiilinen, terveellinen ja turvallinen betonilattia on siten mahdollista saavuttaa kohtuullisessa aikataulussa ilman erikoistoimenpiteitä, kun siihen ohjaavat valinnat tehdään ajoissa jo suunnitteluvaiheessa.

Betonilattioiden turhaa kuivattamista voidaan merkittävästi vähentää, kun laadunvarmistuksessa otetaan huomioon sekä betonin kosteudensiirtoluokka että pintarakennejärjestelmän kosteusluokka. Lähtökohtaisesti vain kosteudensiirtoluokan 4 betonia ja kosteusluokan 3 tai 4 pintarakennejärjestelmän yhdistelmälle on tarkoituksenmukaista käyttää nykyisen RT *Betonin suhteellisen kosteuden mittaus* -ohjekortin mukaisia kosteusmittausvyykyksiä. Useimmilla betoni-

pintarakenneyhdistelmillä rakennekosteusmittauksista voidaan viimeistään siirtymävaiheen (pilotointien) jälkeen luopua ja laadunvarmistustoimenpiteeksi riittää betonointipöytäkirja sekä dataa valun jälkeisistä olosuhteista.



Kuva 3. Rakennushankkeen suunnittelu- tai kehitysvaiheessa määritetään erilaisia betonilattioihin ja niiden valmistamiseen liittyviä vaatimuksia, jotka vaikuttavat sekä betonin valintaan että työmaa-aikaiseen kuivattamiseen.



Kuva 7. Betonilattian kosteudenhallintaprosessi, missä betonin kosteudensiirtoluokka määritetään suunnittelu-/kehitysvaiheessa.

Hankkeen yllättävin tulos oli eri side- ja seosaineista tehtyjen vähähiilisten betonien toisistaan paikoin paljonkin eroava kosteuskäyttäytyminen. Tämä vaikutti osaltaan siihen, että hankkeen yhtenä tavoitteena ollut BY2020 kuivumisenarviointiohjelman edelleen kehittämisen jäi hankkeen aikana tekemättä. Sideaineinen toisistaan poikkeavan käyttäytymisen vuoksi ohjelmakehitys tulee vaatimaan arvioitua isomman muutoksen eikä se ollut tämän hankkeen aikataulun ja resurssoinnin puitteissa mahdollista toteuttaa.

Myös toteutuneiden rakennushankkeiden olosuohde- ja kuivumistiedot jäivät suunnitelmista poiketen hankkeen aikana keräämättä. Syynä tähän oli hankkeen aikatauluun ja resursseihin nähden erittäin laajat laboratoriokokeet, jotka työllistivät asiantuntijoita suunniteltua enemmän.

5. Hankkeen vaikuttavuus

Hankkeessa syntyi uutta ja merkittävää tietoa erityisesti vähähiilisten betonien kosteuskäyttäytymisestä. Hankkeen yhteydessä tehdyt laboratoriotutkimukset osoittivat, että betonilattian nopea kuivuminen on mahdollista saavuttaa myös vähähiilistä betonia käytettäessä ilman lisäkuivatustoimenpiteitä. Tämä tieto tulee lisäämään vähähiilisten betonien käyttöä.

Kaikki vähähiiliset betonit eivät kuitenkaan kuulu samaan kategoriaan, vaan niiden kosteuskäyttäytymisissä voi olla merkittäviä eroja. Hankkeessa kehitetty kosteudensiirtoluokkamenettely ohjaa sekä betonin valmistajia kehittämään ja lisäämään tuotevalikoimaansa nopeasti kuivuvia vähähiilisiä betoneja, että betonin tilaajia (urakoitsijoita) käyttämään lattiarakenteissa entistä enemmän vähähiilisiä betoneja. Tämä vähentää merkittävästi betonilattioiden CO₂-päästöjä hilliten siten omalta osaltaan ilmastonmuutosta.

Hankkeessa kehitetty uusi kosteudenhallinnan prosessi mahdollistaa betonin valmistuksesta johtuvien CO₂-päästöjen pienenemisen lisäksi rakennusvaiheen kuivatuksesta aiheutuvien päästöjen vähenemisen. Lisäksi uusi menettelytapa mahdollistaa rakennusvaiheen läpimenoajan lyhenemisen ilman lisäkustannuksia parantaen merkittävästi toiminnan tuottavuutta.

Hankkeessa kehitetty uusi kosteudenhallinnan menettelytapa ohjaa tarkoituksenmukaisesti materiaalivalintoihin jo suunnitteluvaiheessa ja siten mahdollistaa vähähiilisten betonien käytön betonilatioissa ilman riskiä hitaan kuivumisen aiheuttamista aikatauluhaasteista tai myöhemmin syntyvistä kosteusvaurioista. Menetelmä ohjaa myös turvallisiin ja terveellisiin materiaalivalintoihin.

Hankkeessa saadut tulokset muuttavat betonin kosteuteen liittyvää teoriaa sekä kosteudenhallinnan käytäntöjä. Nämä muutokset vaikuttavat merkittävästi kansallisiin ohjeisiin ja johtavat mm. siihen, että Betoniyhdistyksen tulee päivittää kaikki tekniset ohjeensa, joissa käsitellään betonin kosteudenhallintaa. Hankkeen tulokset vaikuttavat myös *by2020 Betonin kuivumisen arviointi* ohjelmaan, johon joudutaan tekemään alkuperäistä suunnitelmaa suurempi muutos.

Uuden menettelytavan saaminen kansalliseksi tavaksi toimia tulee vaatimaan Betoniyhdistykseltä merkittävää panostamista uuden menettelytavan hyötyjen osoittamiseen (pilotointeja) sekä jalkauttamiseen.

6. Viestintä

Hankkeen tavoitteista ja toimenpiteistä on viestitty seuraavasti:

- Tiedote hankkeen alkamisesta, tavoitteesta ja sisällöstä Betoniyhdistyksen jäsenkirjeessä 14.6.2023
- Tietoa hankkeesta BY:n kotisivuilla
- Hankkeesta kerrottu 9.11.2023 Jokka-lehden artikkelissa ”Betonirakenteiden kosteudenhallinta on tietolaji”. Jokka on Rakennusteollisuus RT:n lehti kestävästä rakentamisesta.
- Hankkeesta kerrottu Rakennustarkastajayhdistyksen (RTY:n) lehdessä
- Hanke esillä Betonityönjohtajien pätevyyskoulutuksen vähähiilisyysluennolla syksyllä 2023.
- Seminaariesitys hankkeen teemasta Rakennustietosäätiön pyöreän pöydän keskustelutilaisuudessa 25.1.2024.
- Seminaariesitys valvojien ja vastaavien mestarien ajankohtaispäivässä Jyväskylässä 14.3.2024 aiheena ”Miten hallitsemme betonilattioiden kosteutta tahtituotannossa.
- Hankkeen tulosten esittelyä Betonitutkimusseminaarissa 20.11.2024. Kaksi 20 minuutin esitelmää. Luentodiat katsottavissa BY:n kotisivuilla.

Merkittävä osa hankkeen tulosten viestinnästä tulee tapahtumaan hankkeen päättymisen jälkeen. Tulevat viestintätoimenpiteet (2025):

- Julkaisun *by76 Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen* päivitys
- 13.1.2025 *Betonivartti*: esitys hankkeen tuloksista ja uudesta systeemistä
- 28.1.2025 *Työmaan tärpit* -webinaarissa luento aiheesta
- 11.3.2025 *Sisäilmaseminaarissa* luento aiheesta
- 15.5.2025 *Betonityönjohtajan ajankohtaispäivä* -koulutuksessa luento aiheesta
- 21.5.2025 *Kosteudenhallintakoordinatorikoulutuksessa* luento
- 28.-29.10.2025 *Rakennusfysiikkapäivässä* luento
- Tiedotusta BY:n kotisivuilla, jäsenkirjeessä ja LinkedIn-kanavalla
- Tiedotusta Betoni.com sivustolla
- Tiedotusta Talonrakennusteollisuuden kanavilla
- Tiedotusta Lattian- ja seinänpäällysteliiton kanavilla.
- Artikkelit *Betoni*-lehdessä.

7. Talousraportti

Hankkeelle saatiin kerättyä alkuperäistä suunnitelmaa (250 000 €) enemmän rahoitusta (262 162 €). Tästä syystä kustannusarviota muutettiin jo vuoden 2023 väliraportissa.

Asiantuntija- ja laboratoriotyöt olivat tämän hankkeen tärkeintä ydintä, joten niihin haluttiin panostaa. Laboratoriomittauksiin kului materiaalien lisäksi ennakoitua enemmän työaikaa ja siten niistä muodostui paljon kuluja. Hankkeen tavoitetta, kokonaisbudjettia ja ympäristöministeriön maksuosuutta ei kuitenkaan muutettu. Yleiskuluja ei hankkeessa syntynyt.

8. Jatkotoimenpiteet

Hankkeen myötä kehitetty uusi menetelmä poikkeaa merkittävästi nykyisestä. Menetelmän myötä betonilattioiden kosteudenhallintaprosessi tulee muuttumaan. Muutos on systeeminen ja se tulee vaikuttamaan toimintakenttään laajalti.

Uuden menetelmän saaminen kansallisesti hyväksytyksi tavaksi toimia vaatii suunnitellun ja systemaattisesti johdetun siirtymävaiheen (n. 2...3 vuotta), minä aikana

- menetelmää testaan (pilotoidaan) todellisissa kohteissa ja siihen tehdään tarvittavat korjaukset ja lisäykset
- menetelmän hyödyt osoitetaan piloteista kerätyn datan myötä
- menetelmän vaikutukset muihin kansallisiin ohjeisiin (esim. RT-kortit, SisäRYL, kosteudenhallintaohjeet jne.) selvitetään ja niihin tehdään tarvittavat päivitykset
- laaditaan tarvittavat uudet ohjeet
- menetelmästä viestitään laajalti ja siihen liittyvää koulutusta järjestetään alan toimijoille.

Hankkeelle on suunnitteilla jatkohanke kehitetyn menetelmän hyväksyttävyyden ja käyttöönoton varmistamiseksi työnimellä ”**Betonilattioiden kosteudenhallinnan uudet menettelyt käyttöön**” – **projekti**”. Jatkohankkeen tarkempi suunnittelu aloitetaan vuoden 2025 alkupuolella.

9. Yhteenveto hankkeen päätuloksista (suomi ja englanti)

Hankkeessa saatiin määriteltyä uusi menettelytapa päällystettävien ja pinnoitettavien betonilattioiden kosteudenhallintaan. Menettely perustuu betonien luokitteluun niiden kosteudensiirto-ominaisuuksien mukaan sekä pintarakennejärjestelmien luokitteluun sen mukaan, miten ne läpäisevät ja sietävät betonissa olevaa kosteutta.

Suunnitteluvaiheessa määritettävä pintarakennejärjestelmän kosteusluokka ja työmaavaiheen tavoiteaikataulu ohjaavat betonin kosteudensiirtoluokan valintaa yhdessä muiden betonin valintaan vaikuttavien vaatimusten (esim. lujuus, notkeus, säilyvyys, vähähiilisyyys jne.) kanssa. Betonin kosteusluokan valinnalla voidaan merkittävästi vaikuttaa siihen, miten kauan rakenteen kuivattamiseen tulee varata aikaa ja millaiset olosuhteet kuivattaminen vaatii. Joillakin betoni- ja pintarakennejärjestelmävalinnoilla työmaa-aikainen kuivattamisaika voidaan saada hyvinkin lyhyeksi, kun taas joillakin toisilla se voi muodostua hyvinkin pitkäksi vaatien samalla merkittäviä olosuhdehallintatoimenpiteitä. Betonilattioiden turhaa kuivattamista voidaan merkittävästi vähentää, kun laadunvarmistuksessa otetaan huomioon sekä betonin kosteudensiirtoluokka että pintarakennejärjestelmän kosteusluokka.

Betonin valintaa ohjaa enenevässä määrin betonin vähähiilisyyksivaatimukset. Hankkeessa tehdyt tutkimukset osoittivat, että vähähiilisten betonien kosteuskäyttäytymisissä voi olla merkittäviä eroja eivätkä ne siten kuulu automaattisesti samaan luokkaan. Vähähiilinen, terveellinen ja turvallinen betonilattia on siten mahdollista saavuttaa kohtuullisessa aikataulussa ilman erikoistoimenpiteitä, kun siihen ohjaavat valinnat tehdään ajoissa jo suunnitteluvaiheessa.

Hankkeen myötä kehitetty uusi menetelmä poikkeaa merkittävästi nykyisestä. Menetelmän saamin kansallisesti hyväksytyksi tavaksi vaatii systemaattisesti johdetun siirtymävaiheen.

Summary of the main results of the project

The project defined a new procedure for moisture control of concrete floors to be covered or coated. The procedure is based on the classification of concrete according to their moisture transfer properties and to classification of surface structure systems, depending on how they permeate and tolerate moisture in the concrete.

The moisture class of the surface structure system, which is determined during the design phase, and the target schedule for the construction site phase guide the selection of the concrete moisture transfer class, together with other requirements affecting the selection of concrete (e.g. strength, ductility, durability, low carbon, etc.). Choosing the moisture class of the concrete can significantly affect how long the structure should be dried and what conditions are required for drying. With some concrete and surface structure system choices, the drying time during the construction site can be very short, while with others it may become very long, demanding significant environmental management operations. The unnecessary drying of concrete floors can be significantly reduced by taking into account both the moisture transfer class of the concrete and the moisture class of the surface structure system.

The selection of concrete is increasingly controlled by the low -carbon requirements of concrete. Studies in the project showed that there may be significant differences in the moisture behavior of low -carbon concrete and therefore they do not automatically belong to the same category. Thus, a low -carbon, healthy and safe concrete floor can be achieved within a reasonable schedule without special measures, when the guiding choices are made early in the design stage.

The new method developed with the project is significantly different from the current one. Getting the method to become a nationally approved practice requires a systematically managed transition phase.