

Kymmenen vuoden seurantatutkimus vahvisti: Moni pinnoite toimii hyvinkin kostealla betonilla

Hermann Latvala, nuorempi asiantuntija
Vahanen Yhtiöt
Vahanen Rakennusfysiikka Oy
hermanni.latvala@vahanen.com

Huolellinen pinnoitustyö lujaan betonipintaan on alustan rakennekosteutta tärkeämpi tekijä pinnoitteen tartunnan kehityksen kannalta olettaen, että rakenteeseen ei kohdistu ylimääräistä kosteusrasitusta esim. maaperästä. "Alustabetonin kosteuspiitoisuuden pitkäaikaisvaikutus pinnoittamisessa" seurantatutkimuksessa selvitettiin laboratoriokokein pinnoitteiden tartuntaveto-lujuuksien kehittymistä pitkällä aikavälillä.

Betonimassan sisältämä vesi sekä valmiin betonirakenteen kyky sitoa ja siirtää kosteutta altistavat betoniin liittyviä rakenteita kosteudelle. Pahimmillaan tällainen kosteusrasitus voi aiheuttaa pintarakenteiden vaurioitumista ja jopa sisäilmaongelmia. Kosteuden aiheuttamat päälystevauriot antoivatkin alkusäyksen Betonilattioiden päälystämisen ohjeistus- eli BePO-projektille, jossa tutkittiin kosteuserkempiä päälystemateriaaleja vuosina 2004–2007. Projektin perusteella esitettiin ohjeistuksia betonin kosteuspiitoisuuden määrittämiseen ennen lattiarakenteiden päälystämistä sekä mittausvyykyksiä ja kosteusraja-arvoja eri lattiapäälysteille.

Ohjeistus tarkensi hyvin päälystystä edeltävää kosteustarkastelua ja johti käytännössä monenkin yksityiskohdan muuttumiseen toimivamman päälystämisen varmistamisessa. Esimerkiksi vuoden 2010 betonin kosteusmittauksen RT-korttiin 14-10984 mittausohjeistus otettiin BePO-ohjeesta lähes sellaisenaan ja ohjeilla on pärjätty aivan näihin päiviin saakka. Päivitetty RT-kortti valmistunee alkuvuonna 2021.

BePO-projektissa vähäisemmälle huomiolle jäivät pinnoitteet kuten maalit, epoksit ja polyuretaanimassat. Pinnoitteet, kuten muutkin päälystemateriaalit, valitaan tulevan käyttötarkoituksen asettamien vaatimusten mukaan ja niihin liittyvät ohjeistukset (Betonilattioiden pinnoitusohjeet by54/bly12-2010, sekä Betonilattiat by45/bly7-2018) ovat pohjautuneet pitkälti muiden päälystemateriaalien

yleisiin ohjeistuksiin sekä materiaalivalmistajien omiin ohjeisiin.

Poiketen monista kosteuserkemmiä päälystevaihtoehdoista pinnoitteet tarttuvat suoraan betonin pintaan ilman erillisiä kiinnitysaineita muodostaen näin yhtenäisen valmiin pinnan. Etenkin kostealle alustalle suunniteltujen tartuntapohjusteiden avulla päälystyksiä on uskallettu tehdä varsin kosteillekin alustoille, mutta kuinka kuiva on riittävän kuiva ja miltä syvyydeltä vaadittava kosteustaso tulisikaan todentaa? Eri pinnoitemateriaalien käyttäytymistä korkean rakennekosteuden kanssa ja vastausta edellä mainittuun kysymykseen tutkittiin TKK:n diplomityössä *Alustabetonin kosteuspiitoisuuden vaikutus pinnoitteen tartuntaan* (Jarmo Saarinen, 2010).

Diplomityössä pinnoitettiin betonikoekappaleita, joiden kosteuspiitoisuus ylitti materiaalivalmistajien kosteusraja-arvot. Kappaleista seurattiin alustabetonin kosteuspiitoisuuden sekä eri pinnoitteiden tartuntavetolujuuksien kehitystä viikon, kuukauden ja 3,5 kuukauden iässä. Tutkittavina materiaaleina oli yleisesti käytettyjä pinnoitteita tuoteperheeseen kuuluvan tartuntapohjusteen kanssa:

- 2-komponenttinen liuotteeton itsesiliävä epoksiharts (P1)
- 2-komponenttinen liuotteeton polyuretaanipinnoite (P2)
- 1-komponenttinen vähäliuotteinen kosteuskovettava polyuretaani (P3)

- elastinen kasvisöljypohjainen muovipolymeeri (P4)
- vesiohenteinen polyuretaani-akrylaattimaali (P5)
- 2-komponenttinen metakrylaattipohjainen akryylimassapinnoite lakattuna (P6)
- 2-komponenttinen liuotteeton itsesiliävä epoksiharts mären alustan pohjusteella (P7)
- vesipohjainen epoksi ilman tartuntapohjustetta (P8).

Diplomityössä havaittiin, ettei betonin kosteuspiitoisuudella ollut merkittävää vaikutusta pinnoitteen tartuntavetolujuuteen koestettujen pinnoitteiden osalta. Pinnoitteiden asennettavuudessa tai toimivuudessa ei havaittu muutakaan vikaa tarkastelujakson aikana. Samalla betonireseptillä ja pinnoiteyhdistelmillä valmistettiin koekappaleita varastoon mahdollisia jatkotutkimuksia varten.

Metropolian insinööri työ *Alustabetonin kosteuspiitoisuuden pitkäaikaisvaikutus pinnoittamisessa* (Hermann Latvala, 2020) jatkoi diplomityön jalanjäljissä tarkoituksena selvittää korkean rakennekosteuden vaikutusta

I Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu Pajan betonilattiat on pinnoitettu polyuretaanipinnoitteella. Kohde ei liity artikkelissa esiteltävään tutkimushankkeeseen. Massapinnoitteita käytetään paljon myös korjauskentämissä silloin kun esimerkiksi vanhan betonilattian maakeusteuseongelmat tuottavat haasteita



1

2 Kuva insinööriyössä koetetusta, vuoden 2010 diplomityössä tehdystä ylimääräisestä koekappaleesta (530 mm × 370 mm × 70 mm). Betoninen koekappale on valettu muovikaukaloihin ja pinnoitettu kymmenen vuotta sitten. Muottien reunat on teipattu alumiiniteipillä reunoilta kuivumisen estämiseksi. Kuvassa näkyvät 3 kappaletta tartuntavetolujuuskokeiden paikkaa (ympyräalueet pinnassa), kosteusmittausnäytepalamonttu (neliöalue) sekä 3 lieriönäytettä koekappaleen läpi (1 ohuthietutkimukseen, 2 puristuslujuuskokeisiin).

3 Kuva tartuntavetolujuuskokeiden toteutuksesta. Koekappaleeseen liimattiin kolme vetonappia, joita vedettiin kuvassa viimeisessä napissa kiinniolevalla vetolaitteella, kunnes koekappaleesta rajattu alue murtui.



Hermann Latvala

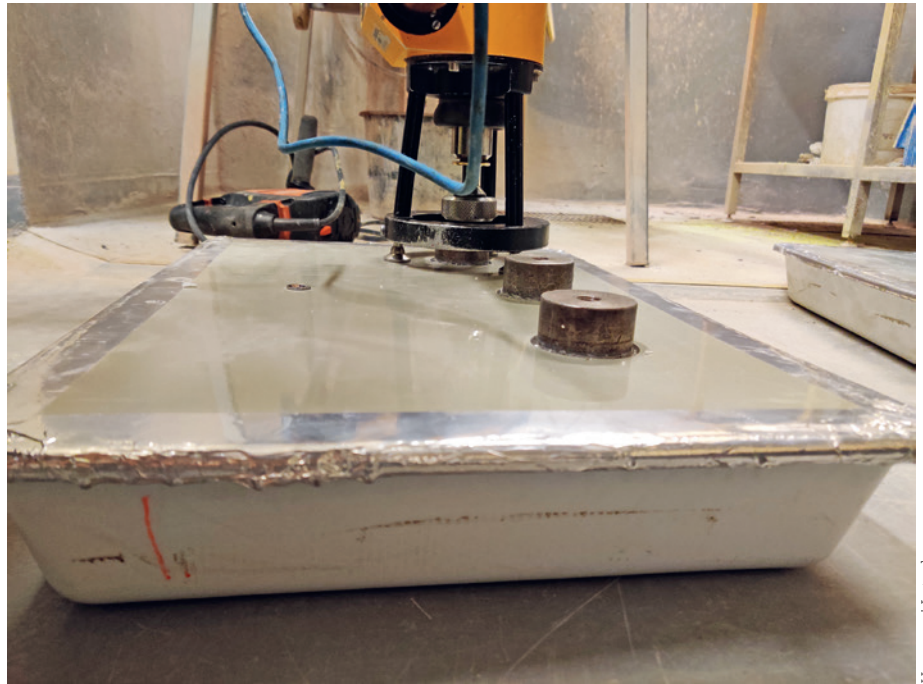
2

pinnoitteisiin pidemmällä aikavälillä. Tutkimuksessa tarkasteltiin kymmenen vuoden takaisia, sisätilassa säilytettyjä koekappaleita. Koekappaleiden pinnoitteille toteutettiin tartuntavetolujuuskokeet sekä alustabetonin kosteusjakautumia määritettiin kosteusmittauksin näytepala- ja kuivatuspunnitusmenetelmillä syvyyksiltä 5 mm (pinta heti pinnoitteen alla), 10 mm ja 32 mm. Lisäksi betonin ominaisuuksia tutkittiin puristuslujuuskokein ja ohuthietutkimuksin.

Suuria eroja kosteusjakautumien kehitymisessä

Insinööriyössä tutkittujen koekappaleiden kosteusmittaukset osoittivat odotetusti eroja eri pinnoitteiden välillä: hyvin vesihöyryä läpäisevien pinnoitteiden alustabetoni oli kuivempaa kuin heikosti vesihöyryä läpäisevien pinnoitteiden tapauksissa. Kuivimmissa tapauksissa betonin suhteelliset kosteuspitoisuudet laskivat huomattavasti pinnoitus-
 hetkestä (noin 95 RH%) 40–50 prosenttiin eli lähelle sisäilmankosteuden vuotuista keskiarvoa. Tiiviimpien pinnoitteiden alustabetonista mitattiin kuitenkin edelleen yli 80 % suhteellisen kosteuspitoisuuden arvoja siitäkin huolimatta, että kappaleet pystyivät kuivumaan hieman myös muovimuotin läpi alaspäin. Koekappaleet mallinsivat näin ollen nykyaikaista maanvaraista alapohjaa, jossa hidas alapäin kuivuminenkin on mahdollista.

Korkeampien kosteuspitoisuuksien lisäksi tiiviiden pinnoitteiden tapauksissa alustarakenteeseen muodostunut kosteusjakautuma oli



Hermann Latvala

3

erittäin tasainen eivätkä kosteuspitoisuudet eri mittaussyvyyksillä juurikaan eronneet toisistaan kymmenen vuoden jälkeen. Näissä tapauksissa pinnoitteet hidastivat kosteuden poistumista rakenteesta niinkin merkittävästi, että kosteuspitoisuudet pysyivät lähes samoina eri rakennesyvyyksien välillä.

Kuivatuspunnitusmenetelmällä selvitetty absoluuttiset kosteussisällöt (painoprosentit) mukailivat suhteellisten kosteuspitoisuuksien kosteusjakautumia, joskin painoprosentteina mitattuna saatiin verrattain korkeita arvoja. Betonin absoluuttiseen kosteussisältöön vaikuttaa tunnetusti usea tekijä kuten kiviaineksen määrä sekä huokosrakenteen kyky sitoa kosteutta. Lisäksi aivan pinnan

näytteisiin tulee helposti mukaan vähintään tartuntapohjustetta, mikä saattaa aiheuttaa epätarkkuutta tuloksiin. Onkin siis mahdollista antaa suhteellisia kosteuspitoisuuksia vastaavia arvoja painoprosentteina luotettavasti, vaikka kyseessä olisi samalla reseptillä valmistettu betoni. Tästä syystä Suomessa on jo pitkään suositeltu kaikkien raja-arvojen antamista suhteellisena kosteutena, sillä suhteellisen kosteuspitoisuuden mittaaminen on selkeästi ohjeistettua ja erittäin vakiintunutta rakennustyömaiden mittauksissa sekä kuntotutkimuksissa. Tutkimuksessa suureiden heikko korrelaatio todettiin vertailemalla kosteusmittaustuloksia keskenään kuvassa 8 esitetysti.

4 Kuvan lattiassa on elastinen kasvisöljypohjainen muovipolymeeri-pinnoite.



TKR Marketing Oy

4

Hyvät tartuntalujuudet kymmenenkin vuoden jälkeen

Korkea pinnoitushetkinen rakennekosteus ja kuivuminen pinnoitteen lävitse ei vaikuttanut heikentävän pinnoitteiden tartuntavetolujuuksia, vaan kaikki tutkitut materiaalit täyttivät kymmenen vuoden jälkeen suurten rasitusten alaisten tilojen pinnan tartuntavetolujuusvaatimuksen (2 N/mm²). Miltei kaikkien materiaalien tartuntavetolujuudet kasvoivat 7 vrk–3,5 kk iästä, osan saavuttaessa erittäin korkeita, 3 N/mm² ylittäviä, arvoja alkuvaiheen vaihtelevasta kehityksestä huolimatta. Jopa kahden määrittämisen tapauksen osalta tartuntavetolujuudet kasvoivat huomattavasti, vaikka pinnoitukset on toteutettu alustabetonin kosteuden ollessa vielä kapillaarialueella koekappaleen pintaosissakin.

Betonin koostumusta tutkittaessa saatiin koekappaleiden puristuslujuuskokeissa huomattavan korkeita, jopa korkealujuusbetonin arvot täyttäviä tuloksia (77 MPa). Puristuslujuustulokset ylittivät saman betonireseptin 2010 vuoden laadunvarmistusmääritysten vertailuarvot (~45 MPa), vaikka osassa puristuslujuusnäytteistä havaittiin merkittävä määrä tiivistyshuokosia, jotka vaikuttavat mahdollisesti heikentävästi tuloksiin. Yhdessä ohutietutkimuksessa havaitun korkean hydrataatioasteen kanssa puristuslujuustulosten merkittävä parantuminen kymmenessä vuodessa osoittaa, miten kosteudesta saattaa olla enemmän hyötyä kuin haittaa betonilattioita pinnoitettaessa hyvin kosteutta kestäville pinnoitteilla.

Hyödyksi tulevaan

Tämän hetkinen ohjeistus Betonilattioiden pinnoitusohjeissa (by54/BLY12, 2010) toteaa: *”Betonirakenteen suhteellinen kosteus (RH) määritetään rakenteen paksuuden mukaan määrittäytyvältä arviointisyvyydeltä (A). Tiiviin pintamateriaalin tapauksessa tällä syvyydellä vallitsevan kosteuspitoisuuden voidaan arvioida olevan lähellä päällysteen alle tasapainottuvaa kosteuspitoisuutta, mikäli kuivuvan betonin kosteusjakauma on normaali. Tällä tarkoitetaan, että betoni ei ole pinnasta kosteampaa kuin syvemmältä betonista. Tämä varmistetaan mittaamalla rakenteen pinnan (0–5 mm) ja pintaosien kosteus syvyydeltä 0,4×A.”* Ohjeistuksessa todetaan kuitenkin myös hieman ympärilyövästi: *”Useimmille pinnoitteille riittää, että betonirakenteen pintaosat (0...5 mm) ovat pinnoitushetkellä kuivuneet sen verran, että pinnoitteen lujittuminen ja kiinnittyminen ehtii tapahtua onnistuneesti ennen pinnoitteen alapuolisen kosteuspitoisuuden nousua.”*

Pitkäaikaistutkimuksen perusteella eri pinnoitemateriaalit kestävät kuitenkin korkean rakennekosteuden vaikutuksia hyvin. Tulosten valossa olisi mahdollista keventää kosteutta kestävien ja varsinkin kosteutta hyvin läpäisevien pinnoitteiden osalta kosteusmittausvyökykien yleistä ohjeistusta: nykyisen ohjeistuksen mukaisen rakennepaksuudesta riippuvaisen arviointisyvyyden A (3–7 cm) voisi korvata ohjeistukseen jo liittyvällä syvyydellä 0,4×A. Tämän lisäksi rakenteen looginen kuivuminen tulisi edelleen varmistaa kosteusmit-

tauksilla aivan rakenteen pinnasta (0–5 mm). Vaaditut kosteusraja-arvot tulisi määrittää tuotekohtaisesti suhteellisen kosteuspitoisuuden (RH%) mukaan, siinäkin huolimatta, että monet pinnoitevalmistajat edelleen ilmoittavat tavoitekosteuksia painoprosenteina.

Kosteusmittauksia voidaan rakennekosteuden selvittämisen lisäksi hyödyntää apuvälineenä pintakerroksen vesihöyrynläpäisevyyden arvioimisessa. Tutkimuksessa tehtyjen havaintojen mukaan tiiviimpien pinnoitteiden alapuolinen kosteusjakauma oli hyvin tasainen, kun taas vesihöyryä hyvin läpäisevien pinnoitteiden alusbetonista mitatut kosteuspitoisuudet eri syvyyksiltä vaihtelivat luoden selvän, pintaa kohti jyrkästikin kuivuvan, kosteusjakauman. Mikäli tarvittavat tiedot lähtötilanteesta ja olosuhteista ovat tiedossa, on kosteusjakaumasta vaikkapa fyysikaalisen mallinnuksen avulla mahdollista arvioida pintakerroksen vesihöyrynläpäisevyyttä, kun tiedetään aikajänne kosteusjakauman muutokselle.

Tiiviimmillä ja kosteutta hyvin kestäville pinnoitemateriaaleilla voidaan vähentää kosteusrasitusta herkemille materiaaleille esimerkiksi pinnoittamalla maanvastainen kosteusrasitettu lattia ennen tasoitekerroksen ja muovimaton asennusta. Tarpeen vaatiessa tällaista kosteusurakerrosta voidaan tutkimustulosten mukaan hyödyntää pitkäikäisenäkin ratkaisuna, mutta harkiten, sillä betonirakenteeseen pääsyt kosteus saattaa päästä etenemään muita reittejä pitkin. Ennen ratkaisujen tekoa on siten syytä tarkastella



TKR Marketing Oy

5

kokonaisuutta, että ei vain siirretä ongelmaa toisaalle.

Kaikki tutkimuksissa käytetyt koekappaleet oli valettu samalla reseptillä sekä pohjustus- ja pinnoitustyö oli toteutettu huolella laboratorio-olosuhteissa. Tarkastellut koekappaleet olivat pieniä ja samasta betonista valmistettuja. Tulevaisuutta ajatellen voisi olla hyödyllistä tarkastella vaikutuksia eri betonilaatujen välillä ja todellisen kokoisilla, ulkopuolisillekin rasituksille alttiilla rakenteilla. Lisäksi tutkimus lisäkosteusrasituksen kuten maaperästä kapillaarisesti nousevan kosteuden vaikutuksista antaisi tärkeää lisätietoa. Näissä kokeisahan ei betoniin enää päässyt lisää kosteutta pinnoittamisen jälkeen.

Hermann Latvalan insinööri työ on luetavissa osoitteessa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/339096>.

Kuten usein rakennusalalla, onnistuneen pinnoitustyön tulos on monesta tekijästä riippuvainen. Kun ymmärretään kokonaisuuteen vaikuttavat asiat, vältetään ylimääräisiltä kuluilta ja mahdollisilta ongelmilta. Saadun tutkimustuloksen valossa kosteutta tärkeämmät tekijät pinnoitustyössä ovat otollisissa olosuhteissa toteutetut huolellinen valmistelu- ja toteutustyö tarkasti materiaalivalmistajan ohjeita noudattaen. Ennen pinnoittamista tulee aina varmistaa, että betonialusta on kauttaaltaan luja ja puhdas esimerkiksi sementtiliimasta. Laadukas tekeminen vaatii siis osaamista ja tietämystä rakennusketjun eri vaiheissa, mutta myös velvollisuutta reagoida havaitsemiinsa puutteisiin.

Long-Term Effects of Subconcrete's Moisture Content with Coatings

The engineering thesis followed a Master's thesis The effect of the humidity of the concrete on the bonding of the coating (Saarinen, 2010). In the Master's thesis most common types of concrete coatings were applied to subconcretes of different moisture contents exceeding the moisture limit values of the time as the instructions of the moisture measurements set the depth of moisture assessments to structural dependent depth (A). A more precise moisture distribution had to be determined by moisture measurements from the surface of the structure (0–5mm) and from the depth of $0.4 \times A$.

The adhesive tensile strengths and the moisture distributions of 8 test pieces, saved from the Master's thesis 10 years ago, were studied by laboratory tests. The purpose of the study was to determine the effects of the additional moisture to the development of the adhesive tensile strengths of the coatings to adjust current instructions. In addition the structure and quality of the subconcrete were examined more closely from 3 test pieces by thin-thiestudy and compressive strength tests.

According to the study the different types of coatings withstood the high structural humidity in long-term as the adhesive strengths of almost every coating grew in the period of 10 years. Depending on the features of coating materials the moisture contents of subconcretes reduced from 95% to 40–80%. Coatings were able to harden and to develop good

adhesion to the surface before the moisture rose from the surface part (1–3cm) of the structure.

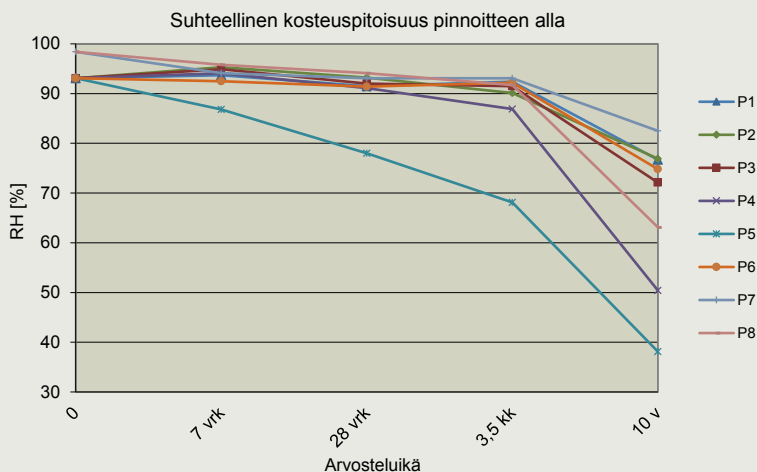
The effects of retaining high moisture content in concrete seemed also to affect positively on the development of compressive strength exceeding the assumed time span of strength development with modern cements. The observed high hydration in cement supported the discovery.

In the future, as all the materials studied met the requirements set by the Concrete Association of Finland (by45/BLY7) for the areas exposed to great stress ($2N/mm^2$), it might be considered to determine the moisture content of the subconcrete from the measurement depth of $0.4 \times A$. To ensure the adequate drought of the surface of the structure moisture measurements should also be performed from the surface (0–5 mm).

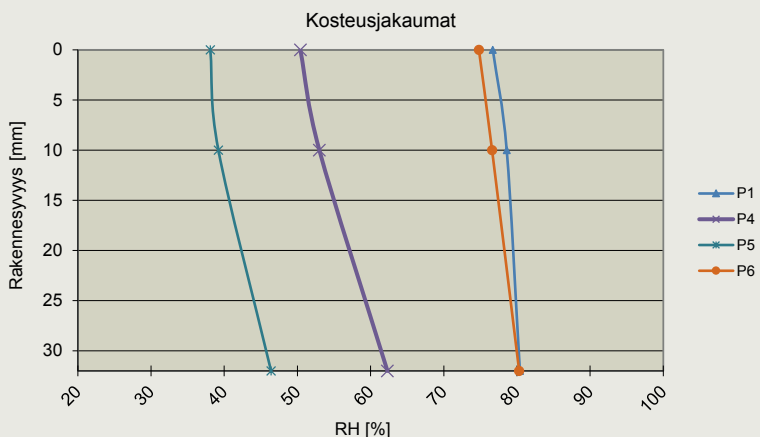
Concerning the product-specific moisture limit values more comprehensive study would be required. The effects of external moisture stress with other stresses should also be considered with potential follow-up research.

5 Kuvan IV-konehuoneen lattiassa on polyuretaani flex-pinnoite.

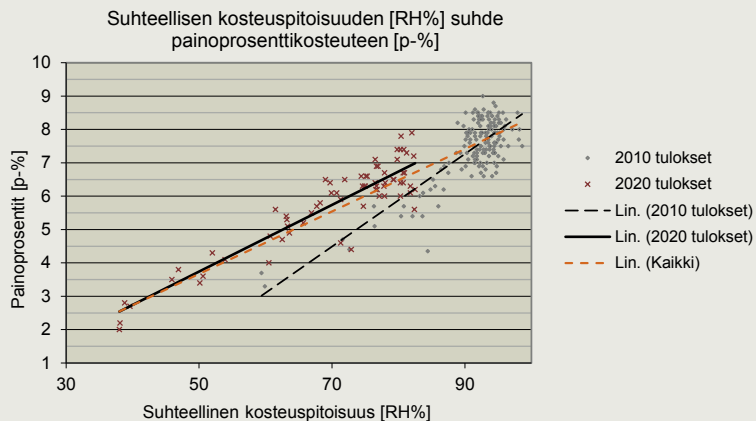
6 Kuvaajassa on esitetty pinnoitteiden alapuolisen (0–5 mm) kosteuspitoisuuden kehitys pinnoitushetkestä alkaen. Eri pinnoitusyhdistelmien käyriä on havainnollistettu eri värein. Kaksi pinnoiteyhdistelmää (P7 ja P8) pinnoitettiin vielä muitakin märemmälle, lähes pinnoitukseen asti kastellulle alustalle, mistä johtuu käyrien lähtöpisteiden erovaisuus muihin verrattuna.



7 Kuvaajassa on esitetty pinnoiteyhdistelmien P1, P4, P5 ja P6 alusrakenteen kosteusjakaumia pinnasta (0 mm) tarkastelusyvyydelle (32 mm). Kuivemmilla tapauksilla (P4 ja P5) nähdään selkeää nousua kosteuspitoisuudessa syvemmälle rakenteeseen edettäessä (P4: 11,9 %-yksikköä, P5: 8,3 %-yksikköä). Kosteampina pysyneillä tapauksilla (P1 ja P6) nousu on huomattavasti maltillisempaa (P1: 3,7 %-yksikköä, P6: 5,5 %-yksikköä).



8 Kuvaajassa on esitetty suhteellisen kosteuspitoisuuden (RH%) suhde koeputkissa olleista betoninäytteistä määrättyyn painoprosenttikosteuteen (p-%). Mittausmenetelmän toimivuus osoitettiin Saarisen diplomityössä vuonna 2010. Mittaustulokset on eroteltu vuosittain ja niiden sisäisiä ja yhtenäistä korrelaatiota kuvataan viivoilla.



9 Kuvaajassa on esitetty sinisillä pylväillä eri pinnoiteyhdistelmien tartuntavetolujuustulosten keskiarvot (N/mm²) kymmenen vuoden iässä. Harmaansävyiset pylväät kuvastavat alkuperäisessä tutkimuksessa mitattuja vetolujuuksia 7, 28 ja 98 vuorokauden iässä.

