



Vedeneristysalustan kosteuden mittausmenetelmät ja kriteerit

Tilaaaja: Tiehallinto
Valtion ydinjätehuoltorahasto
Ratahallintokeskus
Helsingin kaupungin rakennusvirasto
Tampereen kaupunki
Turun kaupunki



Tilaaaja	Tiehallinto, ATP, Siltatekniikka PL 33 00521 HELSINKI Valtion ydinjätehuoltorahasto Kauppa- ja teollisuusministeriö PL 32 00023 VALTIONEUVOSTO Ratahallintokeskus PL 185 00101 HELSINKI Helsingin kaupungin rakennusvirasto PL 1500 00099 HELSINGIN KAUPUNKI Tampereen kaupunki Kaupunkiympäristön kehittäminen Viinikankatu 42 33800 TAMPERE Turun kaupunki Kiinteistölaitos, julkiset rakenteet PL 775 01050 TURKU
Tilaus	OT9500-17 10365/2006/30/33 /TIEH ad 24/2007/SAF / 12.3.2008 /VYR Tilausno 286013/-/212 /RHK Tilausnumero/Pvm 280019251/ 29.02.2008 /Helsinki Suullinen tilaus, Wille Siuko/Tampere Päätöspöytäkirja 23.5.2008, 3892-2006 (065)/ Turku
Työn nimi:	Betonitekniset siltatutkimukset 2008 Vedeneristysalustan kosteuden mittausmenetelmä ja kriteeri
Yhteyshenkilö VTT:ssä	VTT Erikoistutkija Kyösti Laukkanen PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4927 Sähköposti: Kyosti.Laukkanen@vtt.fi
Tehtävä	Vedeneristysalustan kosteuden mittausmenetelmät ja kriteerit

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

SISÄLTÖ

1	Johdanto.....	3
1.1	Yleistä	3
1.2	Tavoite	3
1.3	Kosteuskäsitteitä.....	3
1.4	Betonipinnan pinnoituskelpoisuuden arviointi.....	4
1.4.1	Subjekttiivisia menetelmiä	4
1.4.2	Kosteuden mittausmenetelmät.....	5
1.4.3	Materiaalivalinnat	6
1.4.4	Muut menettelytavat	6
1.5	Aiempiä tutkimuksia.....	7
1.5.1	Yleistä	7
1.5.2	Betonin kuivuminen.....	7
1.5.3	Betonin suhteellisen kosteuden riippuvuus lämpötilasta	9
1.5.4	Pinnoitettavan betonin kosteuden raja-arvot	12
2	Aineisto ja menetelmät.....	13
2.1	Kosteusvaatimukset ja niiden todentamismenetelmät Euroopassa	13
2.2	Vedeneristyksen asennus kostealle alustalle.....	13
2.3	Kosteusmittaukset ja eristyksen tartuntapuutteet	13
2.4	Kosteusmittarivertailu.....	13
2.4.1	Yleistä	13
2.4.2	Betonialustat	13
2.4.3	Betonilaattojen säilytysolosuhteet	15
2.4.4	Kosteuden mittalaitteet ja mittausmenetelmät.....	16
3	Tulokset.....	23
3.1	Kysely ulkomaille.....	23
3.2	Kysely kotimaahan	25
3.3	Kosteusvaatimukset ja niiden todentamismenetelmät	25
3.4	Kosteusmittarivertailu.....	27
3.4.1	Yleistä	27
3.4.2	Absoluuttinen kosteus.....	27
3.4.3	Absoluuttinen kosteus ja pintamittarit	29
3.4.4	Suhteellinen kosteus.....	30
3.4.5	Porareikäanturien kalibrointi.....	35
4	Tulosten tarkastelu	36
5	Kosteuskriteerit ja eristyksen laadun varmentaminen.....	37

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

1 Johdanto

1.1 Yleistä

InfraRYL2006:n osassa 3 [1] on asetettu vaatimukset siltakannen vedeneristyksen betonisen eristysalustan suurimmalle sallitulle kosteudelle ennen eristystöiden aloitusta. Käytettävä mittausten menetelmä vaikuttaa mittaustulokseen ja siksi vaatimusten yhteydessä on ilmoitettu myös menetelmä, jota käytetään vaatimusten mukaisuuden osoittamisessa. InfraRYL:n mukaan siltatyömaalla tulee mitata joko betonin suhteellinen kosteus betoniin poratusta reiästä (menetelmä VTT-2649) ja betonin absoluuttinen kosteus rakenteesta irrotetusta näytteestä kuivatus-punnitus-menetelmällä (VTT-2650) [2].

Betonin suhteellisen kosteuden mittaustulos tai ainetta rikkomattomalla menetelmällä saatu kosteuden mittaustulos varmistetaan aina vähintään yhdellä betonin pinnasta irrotetun näytteen absoluuttisen kosteuden mittauksella. Ainetta rikkomattomalle kosteudenmittausmenetelmälle ei ole yksityiskohtaista menetelmäkuvausta, laitteita on runsaasti erilaisia eikä niiden vertailukelpoisuudesta InfraRYL:n vaatimukseen ole annettu ohjeita.

Jotta vähennettäisiin riskiä, että siltojen eristystöiden aikaiset sääolosuhteet eivät täytä vaatimuksia, InfraRYL edellyttää, että eristystyöt tehdään sääsuojan sisällä viileänä vuodenaikana. Sääsuojan käyttöä suositellaan muulloinkin, jos sääolosuhteet vaarantavat eristystyön onnistumisen.

Nykyiset tiiviit betonit kuivuvat hitaasti ja kosteusvaatimusten saavuttaminen on koettu vaikeaksi. Sateiset kesät (esim. vuosi 2007) olivat ongelmallisia betonin kuivumisen kannalta. Vedeneristystyömailla on tarve saada käyttöön helppokäyttöisiä, luotettavia ja nopeasti mittaavia ainetta rikkomattomia betonin kosteuden mittausten menetelmiä.

1.2 Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia uusien betonikannen kosteudenmittausmenetelmien soveltuvuus työmaan mittauksiin, kerätä tieto työmaalla viime vuosina käytetyistä siltakannen kosteudenmittausmenetelmistä ja niillä saaduista käyttökokemuksista, muualla Euroopassa asetetuista vaatimuksista eristysalustan kosteudelle sekä selvittää InfraRYL:n eristysalustan kosteuden laatuksien tarkistamistarve.

1.3 Kosteuskäsitteitä

Betonin suhteellinen kosteus (massa-%) on betonin huokosissa olevan ilman suhteellinen kosteus.

Ilman suhteellinen kosteus (% RH) on ilmassa olevan vesihöyryn paineen suhde kyllästyspaineeseen tai vesihöyryn määrän suhde kyllästystilan vesihöyryn määrään prosentteina kyseisessä lämpötilassa.

Betonin absoluuttinen kosteus (massa-%) on betonin sisältämän, lämpötilassa 105 °C haihtuvan veden massan suhde (prosentteina) kuivan betonin massaan.

1.4 Betonipinnan pinnoituskelpoisuuden arviointi

Tarjolla on suuri määrä erilaisia betonin kosteudenmittausmenetelmiä ja laitteita. Joissakin menetelmissä käytetään erittäin korkealuokkaisia mittausvälineitä, toisissa sitä vastoin tehdään erittäin yksinkertaisia havaintoja.

Yhteistä erilaisille kosteudenmäärittäytavoille on, että yksimielisyyteen menetelmävalinnasta ei ole päästy. Subjektiiiviset menetelmät eivät anna yksiselitteisesti luotettavaa tulosta, mutta korkealuokkaisetkin laitteet eivät ole tae tarkasta tuloksesta.

1.4.1 Subjektiiivisiä menetelmiä

Kumimatto-, muovikelmu- tai sanomalehtitesti

Betonin pinnalle levitetään pala kumimattoa, muovikelmua tai sanomalehden sivu. Peitteen annetaan olla betonin pinnalla esim. 24 tuntia ja sen jälkeen se poistetaan. Jos peitteen alla ollut betonin kohta on hieman ympäristöä tummempi tai sanomalehden sivu havaitaan kosteaksi, betonia pidetään hieman kosteana. Vesipisarat peitteen alla viittaavat korkeaan kosteuteen.

Nämä menetelmät on epäluotettavia, koska niiden tulos riippuu havaintojen tekijästä, sään aurinkoisuudesta, lämpötilasta ja ilman kosteudesta.

Nestekaasuliekkitesti

Betonin pinta lämmitetään nestekaasuliekillä. Jos pinta vaalenee lämmön vaikutuksesta, se on liian märkä eristettäväksi. Menetelmä BRO2004:n mukaan käytössä Ruotsissa eristystyömailla, [3].

Menetelmä on nopea, mutta sen tulos riippuu subjektiiivisistä havainnoista, lämmitysajasta ja pinnan lämpötilan noususta. Ylikuumennus voi vaurioittaa betonia.

Kalsiumkarbiditesti

Testissä käytetään rakenteesta irrotettuja betonipaloja, jotka pannaan terässäiliöön lasiampullissa olevien kalsiumkarbidikiteiden ja teräskuulien kanssa. Säiliötä ravistetaan voimakkaasti, jolloin lasiampullit rikkoontuvat ja betonipalat sekoittuvat kalsiumkarbidikiteiden kanssa. Tällöin säiliössä muodostuu asetyleenikaasua, jonka paine mitataan painemittarilla. Alhainen paine merkitsee kuivaa betonia.

Menetelmä on ainetta rikkova, tulos riippuu kokeen suorittajasta ja sen todettu usein antavan epäluotettavia (liian alhaisia) tuloksia.

1.4.2 Kosteuden mittausmenetelmät

Kuivatus-punnitusmenetelmä

Rakenteesta irrotettua betoninäytettä kuivataan 105 °C:ssa, kunnes peräkkäisin punnitukseen todetaan, että sen massa ei enää muutu. Yleisesti Suomessa ja ulkomailla käytetty betonin absoluuttisen kosteuden määrittäminen menetelmä.

Pintakosteusmittaus

Ainetta rikkomattomassa pintakosteusmittauksessa betonin pintaan painetaan anturi, joka mittaa betonin dielektrisiä ominaisuuksia. Laite muuntaa siihen ohjelmoidun laskentakaavan avulla betonin dielektrisyyden absoluuttiseksi kosteudeksi. Laite on nopea ja sen käyttö on yksinkertaista.

Betonin materiaalit ja koostumus vaikuttavat sen dielektrisiin ominaisuuksiin, joten laitteen mittaustarkkuuteen vaikuttaa, kuinka hyvin laitteen laskentakaava osaa muuntaa kulloisellakin betonikoostumuksella dielektrisyyden vesipitoisuudeksi. Betonin rauditus vaikuttaa tuloksiin ja betonin pintakerros (ylin 20-30 mm) vaikuttaa enemmän kuin syvemmät kerrokset. Betonin pintakerroksen kosteus on kuitenkin myös tärkeämpi eristyksen asennuksen kannalta.

Porareikämittaus

Betonin suhteellisen kosteuden mittaus betoniin poratusta reiästä kapasitiivisella kosteudenmittausanturilla on ollut useiden vuosien ajan yleisessä käytössä kosteudenmittauksissa.

Tuloksen riippuvuus betonin lämpötilasta ja lämpötilan päivittäiset vaihtelut siltakansilla heikentävät mittaustuloksen luotettavuutta ja soveltuvuutta silta-työmailla. Menetelmä on ainetta rikkova ja vaatii mittauksen tekijältä erityistä ammattitaitoa.

Valuun asennetut kosteusanturit

Betoniin valun yhteydessä asennettava resistiivinen anturi (esim. MS-Sensor) mittaa anturin sisältämän puupalan sähkönjohtavuutta ja muuntaa mittaustuloksen suhteelliseksi kosteudeksi laitteeseen ohjelmoidun laskentakaavan avulla. Koska sähkönjohtavuutta ei mitata betonista, betonilaatu ei todennäköisesti vaikuta kovin merkittävästi tulokseen. Menetelmää on käytetty useissa tutkimuksissa betonin kosteuden mittaamiseen.

Betonin kosteutta voidaan mitata myös kaapeliparilla, jonka muodostavat optinen kuitu ja lämmityskaapeli. Vedeneristyksen vuodon valvonnassa anturikaapelit asennetaan esimerkiksi sillan kanteen tehtyyn kapeaan uraan mahdollisimman lähelle pintaa. Rakenteen kosteuden seuranta varten ne voidaan asentaa myös betonin sisään esim. rauditusvyönteeseen. Rakenteen kosteuden muutoksia seurataan laitteella, joka mittaa paikallisia lämmönjohtavuuseroja, [4].

Kosteudenmittaajien koulutus

Betonin kosteuden tarkka mittaaminen, tulosten tulkinta ja olosuhteiden huomioon ottaminen vaativat erityistä osaamista. Joissakin maissa tämä asia on ratkaistu järjestämällä mittaajille koulutusta ja edellyttämällä, että betonin kos-

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

teuden mittauksia saavat tehdä vain auktorisoidut mittaajat (esim. Itävallassa). Ruotsissa RBK (Rådet för inklusiva byggkompetens) kouluttaa ja auktorisoi kosteuden mittaajia [11].

1.4.3 Materiaalivalinnat

Märälle pinnalle soveltuvat eristysmateriaalit

Eristysmateriaali pyritään yleensä asentamaan siten, että se tarttuu hyvin betonialustaan. Märkä eristysalusta heikentää bitumin, polyuretaanin tai epoksin tartuntaa betoniin.

Jos tartunta-aine, joka levitetään ennen eristystä, pystyy tarttumaan hyvin märkään pintaan, se voi poistaa merkittävästi märästä eristysalusta aiheutuvaa haittaa. Tällaisia tartunta-aineita ovat usein vesiliukoisia, jolloin kosteus ei estä niiden tartuntaa. Märälle pinnalle asennettava eristys voidaan hyväksyttää SILKO-testien perusteella. Toistaiseksi märälle pinnalle SILKO-testien perusteella hyväksytyjä eristysmateriaaleja on vain vähän tarjolla [5].

Paineentasauskermirakenteiden ei tarvitse tarttua kauttaaltaan alustaansa. Ne ovat kuitenkin teknisesti huonompia ratkaisuja kuin kauttaaltaan kiinni olevat eristykset, koska paineentasauskermin alla mahdolliset vuotovedet pääsevät leviämään laajalle alueelle.

Nopeasti kuivuvat betonit

Nopeasti kuivuvat betonit ovat uusi mahdollisuus lyhentää merkittävästi aikaa, jossa betoni kuivuu valun jälkeen pinnoituskelpoiseksi. Jotta betonin nopea kuivuminen nopeuttaisi eristystöiden aikataulua, betonipinta on suojattava ulkoisen kosteudelta ennen eristystä. Se edellyttää usein sääsuojahallin käyttöä.

1.4.4 Muut menettelytavat

Kokemusperäinen minimikuivumisaika

Pienillä betonikantisilla silloilla (kansi < 100 m²) noudatetaan betonin kosteusvaatimuksen asemasta vähimmäiskuivumisaajan vaatimusta. Kosteutta ei näillä silloilla tarvitse mitata. Kosteudenmittausvaatimus on tältä osin jätetty pois rakennusaikaisten kustannusten alentamiseksi.

Kuivumisnopeuden mallintaminen (teoreettinen kuivumisaika)

Betonin kuivumisnopeus riippuu monista eri tekijöistä. Kuivumisnopeudelle on pyritty kehittämään (mm. Ruotsissa) teoreettisia malleja, joiden avulla arvioidaan kuivumisnopeutta. Kuivumisnopeusmallien testaus on vaikeaa, jos käytössä ei ole riittävän luotettavaa kokeellista mittausten menetelmää.

Niitä voidaan kuitenkin jo nykyin käyttää kuivumistarpeen karkeaan arviointiin ja ainakin vähentää kokeellisten mittausten määrää. Kun mittaukset osataan kohdistaa oikeisiin ajankohtiin, vähentää se ”turhien” mittausten määrää.

Lopputuotteen vaatimustenmukaisuus

Betoni suurin sallittu kosteus on välillinen tekninen vaatimus, jolla pyritään varmistamaan, että eristystyö onnistuu ja rakenteella on pitkä käyttöikä. Jos kosteudenmittauksista luovutaan tai jos niitä vähennetään olennaisesti, voidaan rakenteen kestävyyttä varmentaa vaihtoehtoisesti lisäämällä vaatimustenmukaisuuden osoittamiseksi tehtävien kokeiden määrää.

Tartuntakokeiden merkitys kasvaa, jos eristysalustan soveltuvuutta eristystöihin ei pystytä varmistamaan riittävän hyvin.

1.5 Aiempia tutkimuksia

1.5.1 Yleistä

Betonisen eristysalustan edellytetään nykyisten rakentamishojeiden ja vaatimusten mukaan täyttävän määrätyt enimmäiskosteusvaatimukset ennen eristyksen asentamista. Näiden vaatimusten taustalla on tieto, että vedeneristys tarttuu yleensä paremmin kuivaan kuin märkään betoniin ja että hyvä tartunta pidentää rakenteen käyttöikää.

Suomalaisten laatuvaatimusten mukaan yleisimmät eristysalustan kosteuden määrittävät ovat suhteellisen kosteuden mittaus betoniin poratusta reiästä tai absoluuttisen kosteuden määrittäminen betonista irrotetusta näytepalasta. Myös pintakosteusmittareita käytetään suuntaa antavana keinona seurata rakenteen kosteuden muutoksia.

Ruotsissa, erityisesti Lundin teknillisessä korkeakoulussa, on viimeisten 20 vuoden aikana tehty useita laajoja tutkimuksia betonin kosteudesta ja aiheesta on julkaistu lukuisia raportteja.

1.5.2 Betonin kuivuminen

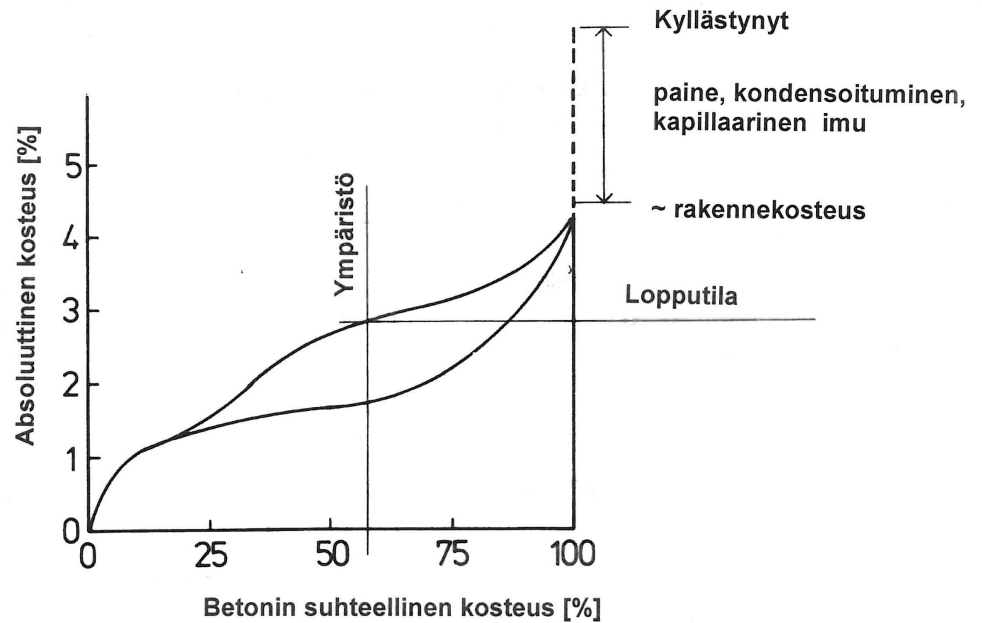
Vakio-olosuhteissa betonin kosteus pyrkii asettumaan samaan suhteelliseen kosteustilaan ympäröivän ilman kanssa. Tätä kosteutta kutsutaan betonin tasapainokosteudeksi.

Betonin absoluuttisen kosteuden noustessa myös sen suhteellinen kosteus kasvaa. Sen jälkeen, kun suhteellinen kosteus saavuttaa 100 % arvon, se ei enää kasva. Sen sijaan betonin absoluuttinen kosteus voi kasvaa edelleen, kun kapillaarihuokosiin imeytyy lisää vettä, kunnes betonin huokokset ovat veden kyllästämiä. Betonin kuivuessa sekä suhteellinen että absoluuttinen kosteus alenevat, kunnes betonin suhteellinen kosteus asettuu tasapainokosteuteen ympäröivän ilman kanssa, kuva 1.

Betonin kuivumiseen vaikuttavat oleellisesti betonin koostumus, rakenneratkaisu ja kuivumisolosuhteet. Huonoissa kuivumisolosuhteissa rakenteen kuivumisaika voi olla yli nelinkertainen hyvissä olosuhteissa kuivuneen rakenteen kuivumisaikaan verrattuna.

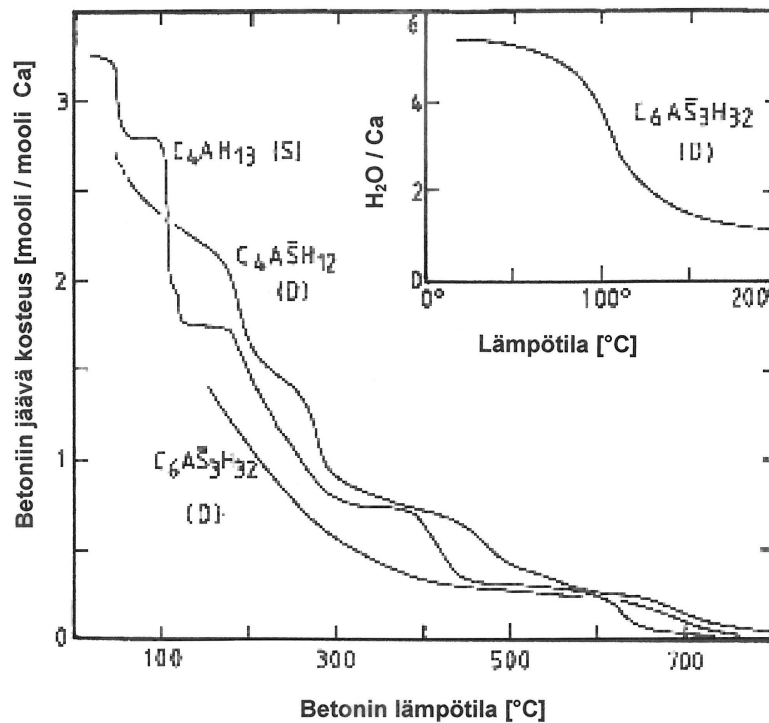
Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

Betonin kuivumisaikojen arvioimiseksi on käytettävissä käyrästöjä, joilla voidaan arvioida karkeasti betonirakenteiden kuivumista betonin koostumustietojen, rakenneteknisten ominaisuuksien ja olosuhteiden perusteella.



Kuva 1. Betonin tasapainokosteuskäyrä (periaatekuva) [6].

Betonin absoluuttinen kosteus voidaan määrittää irrottamalla rakenteesta näyte ja kuivaamalla se lämpötilassa 105 °C. Tässä lämpötilassa oletetaan betonissa olevan kapillaarisen kosteuden haihtuvan, mutta kemiallisesti sitoutuneen veden jäävän betoniin. Tarkkaan ottaen tämä ei pidä paikkaansa. Jos betoni sisältää etringiittiä, siitä voi haihtua vettä jo alle 105 °C lämpötiloissa. Kuvassa 2 on havainnollistettu veden poistumista eri lämpötiloissa eräistä betonissa (koostumuksesta riippuen) mahdollisesti olevista vettä sisältävistä yhdisteistä.



Kuva 2. Betonin sisältämien yhdisteiden painohäviötä lämpötilan funktiona [7].

1.5.3 Betonin suhteellisen kosteuden riippuvuus lämpötilasta

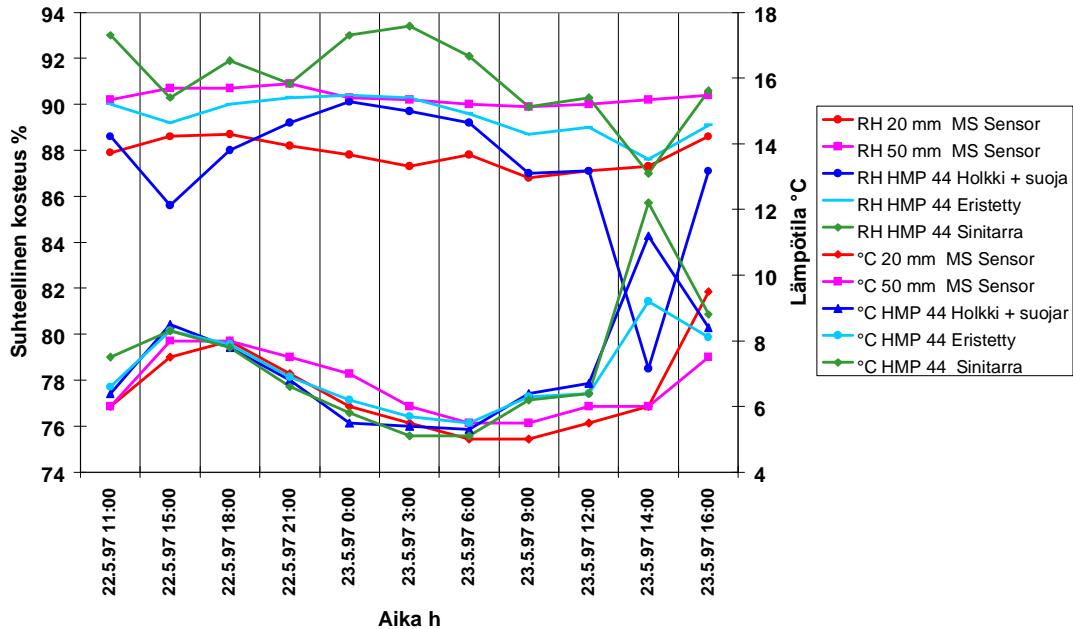
Vapaassa tilassa olevan ilman suhteellinen kosteus riippuu lämpötilasta siten, että ilman lämpötilan noustessa sen suhteellinen kosteus alenee. Betonin huokosissa olevan ilman suhteellisen kosteuden riippuvuus lämpötilasta on olennaisesti erilainen: huokosilman kosteus nousee, kun betonin lämpötila nousee. Ilmiön havainnollistamiseksi voidaan esittää useita tutkimustuloksia.

Vuonna 1997 suoritettiin siltatyömaalla vertailumittaus, jossa vertailtiin kansi-betoniin valun aikana asennetun MS-Sensor anturin ja betoniin porattuun reikään asennetun Vaisala HMP-44 anturin kosteus- ja lämpötilamittauksia [8]. Siltakannen keskiosan yläpinnan betoniin porattiin 50 mm syviin reikiin asennettiin kaksi HMP 44 anturia lähelle MS-Sensor antureita. Yksi HMP 44 antureista asennettiin reikään valmistajan ohjeiden mukaan asennusholkin ja -suojan kanssa. Toinen antureista eristettiin asettamalla reiän yläpuolelle kosteus- ja lämmöneriste (20 mm paksuinen solumuoviputki). Kolmannen HMP 44 anturin asennuksessa ei käytetty asennusholkkia tai suojaa eikä anturia lämmöneristetty, vaan anturin ja betonin rajakohta tiivistettiin sinitarralla. Mittauksien tulokset kirjattiin käsin muistiin Vaisalan näyttölaitteelta 24 h ajalta.

Tulokset esitetään kuvassa 3, jossa on esitetty myös vastaavan ajankohdan MS-Sensor antureitten mittauksien tulokset. Kuvan mukaan betonin lämpötilan

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

muutos 50 mm syvyydellä vaikutti olennaisesti eri tavoin mittalaitekohtaisesti betonista mitatun suhteellisen kosteuden mittaustulokseen.



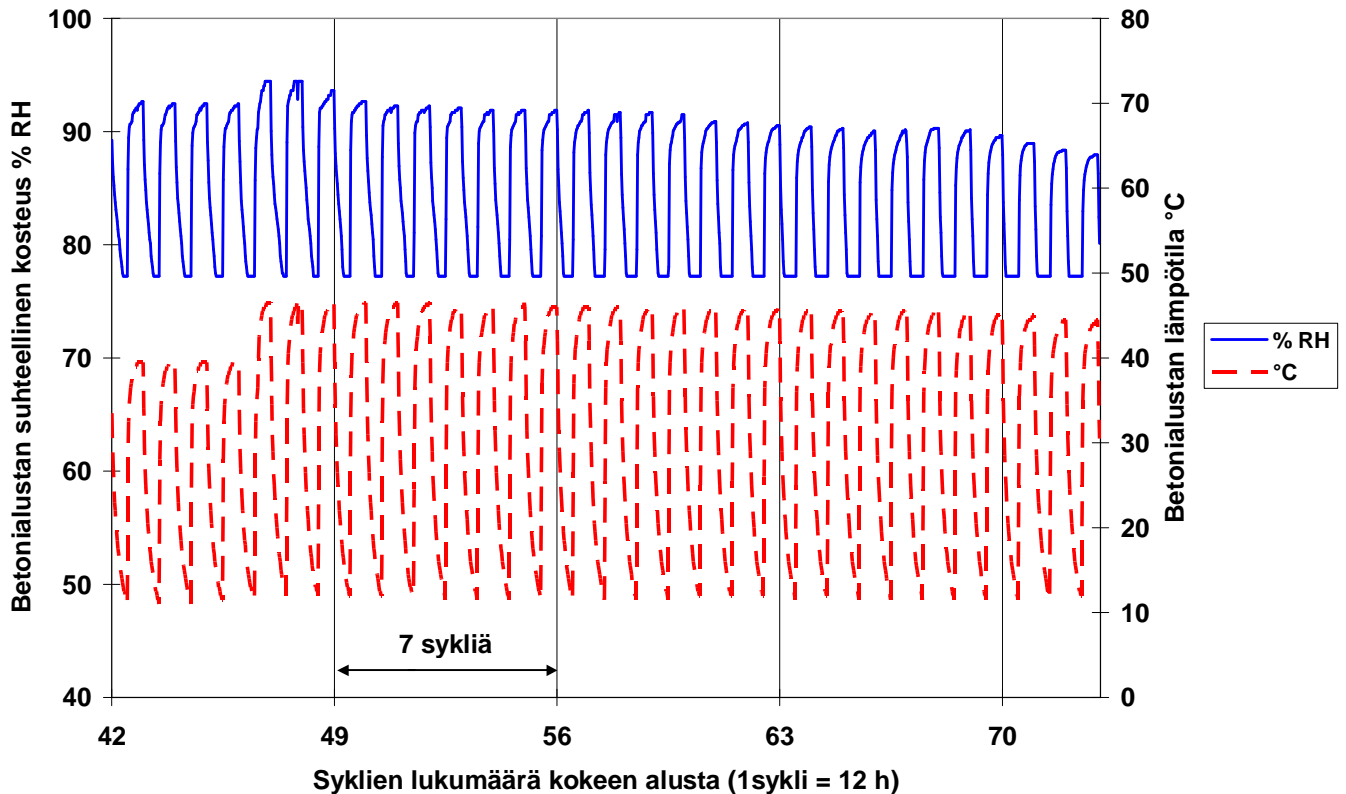
Kuva 3. Vaisala HMP 44 anturien ja MS-Sensor antureiden kosteus- ja lämpötilamittaustuloksia siltakannella 22.5.1997 klo 11 ... 23.5.1997 klo 16 [8].

Kun betonin lämpötila nousi auringon lämmittäessä siltakantta, anturit käyttäytyivät eri tavoin:

- Vaisalan HMP 44 anturien osoittamat kosteudenmittaustulokset aleniivat voimakkaasti lämpötilan noustessa. Tämä kosteudenmittaustuloksen muutos tapahtui väärään suuntaan, koska todellisuudessa betonin huokosissa olevan ilman lämpötilan noustessa myös huokosista mitattu suhteellinen kosteus nousee.
- MS-Sensor anturien suhteellisen kosteuden mittaustulos nousi lievästi, kun ilman lämpötila nousi.

Kuvassa 4 on esitetty tuloksia vuonna 1998 tehdystä tutkimuksesta, jossa aluskermillä eristetyn betonilaatan (D 80 mm) kermin yläpintaan aiheutettiin syklinen lämpötilanvaihtelu VTT:n vedeneristysrakenteiden kuplimissimulaattorissa. Betonin lämpötilan ja kosteuden vaihtelu mitattiin betonilaattaan valun yhteydessä asennetulla MS-Sensor anturilla ja saatiin näin selville betonin suhteellisen kosteuden riippuvuus betonin lämpötilasta kunakin ajan hetkenä.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.



Kuva 4. Kermillä eristetyn betonilaatan suhteellisen kosteuden ja riippuvuus lämpötilasta VTT:n kuplimissimulaattorissa[8].

Kun betonilaatasta mitattu ”yö- ja päivä”-sykliä aikainen lämpötila vaihteli välillä 12...45 °C, osoitti MS-Sensor betonin suhteellista kosteutta 77...90 % RH (alle 77 % RH tuloksia laite ei näyttänyt).

Oleennaista näissä tuloksissa oli kosteudenmittausten kannalta, että kuplimissimulaattorissa tehdyn kokeen mukaan MS-Sensor laitteen kosteudenmittaustulos aleni, kun betonin lämpötila aleni ja kosteudenmittaustulos nousi, kun betonin lämpötila nousi, vaikka samaan aikaan betonin absoluuttinen vesipitoisuus (massa-%) ei muuttunut.

Kuvan 4 mukainen tulos osoittaa yhdenmukaisesti kuvan 3 kanssa MS-Sensor laitteen osoittaman betonin suhteellisen kosteuden muutoksen suunnan, kun betonin lämpötila muuttuu.

Tämä syklinen lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vaihtelu sai kermillä eristetyssä betonissa aikaan kermin irtoamisen alustastaan ja kuplimisen.

Vedeneristyksen asentaminen vaikuttaa merkittävästi betonilaatan kuivumiseen ja kosteuden jakaantumiseen laatan pystysuunnassa. Ennen eristämistä siltakannen ylä- ja alapinnat kuivuvat nopeammin kuin laatan sisäosat. Vedeneristyksen asennuksen jälkeen betonin suhteellinen kosteus nousee vedeneristyksen alla lähelle tasoa RH 100 %.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

1.5.4 Pinnoitettavan betonin kosteuden raja-arvot

Betonisen siltakannen tai talonrakennuksessa betonilattian riittävän kuivumisen määrittäminen on ensiarvoisen tärkeää, jotta vedeneristystyö onnistuu. Aiheesta on vuonna 2009 valmistunut Tarja Merikallion väitöskirja [9], jossa hän toteaa mm. että:

- nykyistä betoniin poratusta reiästä tehtävää betonin suhteellisen kosteuden määrittämenetelmää ei voida pitää luotettavana, koska se ei ole pätevä ja sisältää lukuisia epävarmuustekijöitä, joiden suuruutta ja suuntaa on käytännössä mahdoton määrittää,
- mittauslaitteiden käyttöohjeet ja yleiset mittaamiseen liittyvät ohjeet ovat virheellisiä
- nykyisille kosteustilaraja-arvoille ei löydy tieteellisiä perusteluja.

Näiden näkökohtien painoarvoa lisää se, että niiden esittäjä on ollut pitkään mukana porareikämittauksissa, niihin liittyvien ohjeiden laatimisessa ja niiden soveltamisessa.

Väitöskirjassa ei esitetä valmista ratkaisua, mitä tulee tilalle, jos nykyisistä mittausmenetelmistä ja laatuvaatimuksista luovutaan. Ratkaisuksi tarjotaan kehitettävää rakennusfysikaalista laskentaohjelmaa, joka ratkaisisi betonialustojen kuivumisongelmat [9].

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Kosteusvaatimukset ja niiden todentamismenetelmät Euroopassa

Siltakansien vedeneristysten ohjeita laativien työryhmien jäsenille (CEN/TC254- ja EOTA/nestemäiset eristykset) on lähetetty kysely, jonka avulla pyritään selvittämään muissa Euroopan maissa eristysalustan kosteudelle asetetut numeeriset tai muut vaatimusarvot (kosteus, ikä ym.) ja kosteusvaatimukseen liittyvät todentamismenetelmät. Eurooppalaisia kosteusvaatimuksia on lisäksi selvitetty tietohakujen perusteella.

2.2 Vedeneristyksen asennus kostealle alustalle

Vedeneristys voidaan asentaa Tiehallinnon silloilla InfraRYL 2006:n vaatimuksia kosteammalle siltakannelle, jos Tiehallinto on erikseen hyväksynyt käyttöönsä kyseiselle eristysrakenteelle tällaisen asennustavan. Hyväksynnästä päättää Tiehallinto SILKO-hyväksyntätestien tulosten perusteella.

Kun eristys asennetaan kostealle (tuoreelle) betonialustalle, tulee eristyksen tartunta-aineen (primerin) tai tiivistysepoxin soveltua märälle pinnalle. SILKO-testit läpäisseiden eristysrakenteiden tartunta-aineiden tuotemerkit on julkistettu SILKO-korteissa [5]. Toistaiseksi kostealle alustalle asennettavaksi on hyväksytty vain yksi nestemäisenä levitettävä eristysrakenne ja sen tartunta-aine.

2.3 Kosteusmittaukset ja eristyksen tartuntapuutteet

Tehdyn kyselyn avulla pyrittiin selvittämään Tiepiirien, RHK:n, eristysurakoitsijoiden ja muutamien suurempien kaupunkien käyttökokemukset v. 2006-08 kuplineista tai tartuntavetolujuusvaatimuksen alittaneista eristyksistä ja näillä silloilla tehdyistä kosteusmittauksista sekä ainetta rikkomattomista että perinteisistä eristysalustan kosteuden mittaamenetelmistä. Tuloksia oli tarkoitus verrata aiempiin kuplimis- ja kosteusmittaustutkimuksiin.

2.4 Kosteusmittarivertailu

2.4.1 Yleistä

Kosteusmittarien vertailua varten valettiin VTT:llä betonilaatat, joiden kosteutta mitattiin vakioilmastohuoneissa kosteusmittarien maahantuojilta lainatuilla, uusilla kosteusmittareilla ja niiden perinteisillä vertailumenetelmillä.

2.4.2 Betonialustat

Kosteusmittarien tutkimista varten valmistettiin koostumuksilla MC (0,45) ja MC (0,40) betonimassoja sekä lisähuokoistettuina että ilman lisättyä ilmaa. Koska betonin kuivumista tutkittiin kahdessa eri vakio-olosuhteessa tapahtuneen säilytyksen aikana, valmistettiin betonilaattoja yhteensä 8 kpl. Laattoihin n:ot 1, 2, 5, 6 oli lisätty ilmaa, taul. 1.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

Taulukko 1. Tutkimuksen betonimassojen reseptit.

Koostumus	yks.	MC (0,45)		MC (0,40)	
		Laatat 1-2	Laatat 3-4	Laatat 5-6	Laatat 7-8
MECA	kg	20	20	23	23
Filleri	kg	7	7	4	4
0,1 - 0,6	kg	9	9	9	9
0,5 - 1,2	kg	10	10	10	10
1,0 - 2,0	kg	11	11	11	11
2,0 - 3,0	kg	13	13	13	13
3,0 - 5,0	kg	4	4	4	4
5,0 - 10,0	kg	36	36	36	36
8,0 - 16,0	kg	0	0	0	0
Vesi	kg	9	9	9,1	9,1
Glenium	g	148	148	195	195
Ilma Parmix	g	10,0		11,5	
Kiviaines yht.	kg	90	90	87	87
Sementtipitoisuus *)	%	18	18	21	21
Vesipitoisuus *)	%	8,2	8,2	8,3	8,3
v/s		0,45	0,45	0,40	0,40
ra/s		10,0	10,0	9,6	9,6

*) Sementti- ja vesipitoisuudet on laskettu massareseptistä prosentteina kuiva-aineesta.

Betonilaattojen yläpinnan mitat olivat 350 mm x 350 mm ja paksuus 300 mm. Betonimassa valettiin filmivanerimuotteihin, joissa ne säilytettiin kosteusmittaritutkimuksen ajan. Betonilaatoissa oli lähellä yläpintaa yksi 16 mm paksu harjaterästanko, jonka peitesyvyys oli 30 mm. Terästangon avulla oli tarkoitus selvittää, vaikuttaako raudoitus sähköisiin mittausten menetelmiin. Laattoja ei hiekkapuhallettu.

Porareikäanturit asennettiin 3 vrk ennen ensimmäisiä porareikämittareilla tehtyjä kosteusmittauksia. Toisen mittauskerran yhteydessä porareikänt olivat noin 10 pv vanhoja. Kolmatta porareikämittauskertaa varten porattiin uudet mittausreiät 3 päivää ennen mittauksia.

Kahden laatan (n:o 1 ja 8) sisään noin 50 mm syvyydelle asennettiin valun yhteydessä jatkuvatoiminen tiedonkeruulaitteeseen kytketty MS-Sensor suhteellisen kosteuden mittausanturi. Ennen valua anturi kostutettiin ja kokeiltiin, että se mittaa kosteutta ja lämpötilaa ennen valua. Sen jälkeen anturi suojattiin kostealla kääreellä valuun asti kuivumisen estämiseksi. Kääre poistettiin välittömästi ennen valua. Anturia ei kalibroitu muulla tavoin.

Taulukossa 2 on esitetty betonilaattojen massat ja märkätiheydet valun jälkeen sekä vertailukuutioiden (100x100x100) mm³ puristuslujuudet.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

Taulukko 2. Betonilaattojen ominaisuuksia

Valu pvm	yks	ti 31.3.2009		pe 27.3.2009		ma 30.3.2009		pe 27.3.2009	
Koostumus		MC (0,45)		MC (0,45)		MC 0,40		MC 0,40	
Betonilaatta n:o		1	2	3	4	5	6	7	8
Maksimiraekoko	mm	10	10	10	10	10	10	10	10
Ilma	%	5,3	4,6	2,5	2,5	5,8	5,5	2,5	2,5
Betonilaatan massa tuoreena	kg	84,7	85,0	87,1	86,5	83,9	83,5	87,8	87,4
Puristusluju 28 d	MPa	47,3	52,5	67,3		56,3	48,3	66,8	
Märkätiheys	kg/m ³	2313	2359	2385	2385	2293	2315	2393	2393

2.4.3 Betonilaattojen säilytysolosuhteet

Betonilaattoja säilytettiin valun jälkeen muoteissaan vakioilmastohuoneissa, joiden ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila pidettiin vakiona, kuva 5.

Laattoja n:o 1, 3, 5 ja 7 säilytettiin koko ajan olosuhteessa RH 95...100 % T 20...21 °C. Laattoja n:o 2, 4, 6 ja 8 säilytettiin ensin 28 d ajan olosuhteessa RH 95...100 % T 20...21 °C ja siirrettiin sen jälkeen olosuhteeseen RH 60...70 % / T 20...21°C.

Lisäksi tutkimuksessa käytettiin vertailubetonina yhtä vanhaa betonilaattaa. Sitä oli varastoitettu olosuhteessa RH 60...70 % / T 20...21°C yli kahden vuoden ajan (mitat 300x300x100)mm³. Betonin koostumus oli MC (0,45), massaan ei lisätty huokostinta ja valupäivä oli 1.3.2007.



Kuva 5. Tutkimuksessa käytetyt betonilaatat säilytettiin vakioilmastohuoneissa.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

2.4.4 Kosteuden mittalaitteet ja mittausten menetelmät

Tutkimuksessa vertailtiin yhteensä 12 erilaista betonin kosteuden mittausten menetelmää tai laitetta, taulukko 3. Tutkittujen kosteusmittarien valmistajat ja maahantuojat, joilta laite lainattiin on esitetty taulukossa 4. Joillakin laitteilla on myös muita maahantuojia. Laitteiden valokuvat on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 3. Tutkittujen kosteusmittarien valmistajat ja maahantuojat.

Laite tai menetelmä	Laitteen valmistaja	Maahantuoja
Tramex Concrete Moisture Encounter CME 4	Tramex Ltd, Irlanti	Fattore Vitale & Co
Tramex CMEXPERT	Tramex Ltd, Irlanti	Fattore Vitale & Co
Gann Hydromette RTU 600 + anturi Gann B50	Gann Mess- und Regel-technik GmbH & Co., Saksa	J.H. Laaksonen Oy
Trotec T-650		Amestec Oy
Vaisala HMP 44 anturi (ø 12 mm, 3 kpl) + HMI 41 näyttölaite	Vaisala Oy, Suomi	Vaisala Oy
Rotronic HC2-CO4 vaijerianturi (ø4 mm) + Hygro Palm HP 22 näyttölaite	Rotronic AG, Sveitsi	Fattore Vitale & Co
Rotronic HC2-PO5 puikkoanturi (ø5 mm) + Hygro Palm HP 22 näyttölaite	Rotronic AG, Sveitsi	Fattore Vitale & Co
Gemini TV-1505 anturi (ø7,9 mm) + näyttölaite+dataloggeri	Gemini Data Loggers	Amestec Oy
Lufft Art. 9130.52 Puikkoanturi ø 4 mm + A1-SDI näyttölaite	Lufft GmbH	Amestec Oy
MS-Sensor (valettu betoniin)	Sahlens Fuktkontroll, Ruotsi *)	

*) Vanha anturi, aiempi valmistaja

Taulukko 4. Tutkimuksessa vertailut kosteudenmittauslaitteet ja menetelmät.

Laite tai menetelmä	Mitä mitataan	Miten mitataan
ABSOLUUTTISEN KOSTEUDEN MITTAUS		
Kuivatus-punnitus-menetelmä	betonin massan muutos 105°C:ssa menetelmä SFS-EN 1097-5	Kuivataan tuuletetussa lämpökaapissa
PINTAKOSTEUDEN MITTAUS		
Tramex Concrete Moisture Encounter CME 4	betonin dielektrisyys	Betonin pintamittaus
Tramex CMEXPERT	betonin dielektrisyys	Betonin pintamittaus
Gann Hydromette RTU 600 + anturi Gann B50	betonin dielektrisyys	Betonin pintamittaus
Trotec T-650	betonin dielektrisyys	betonin pintamittaus
SUHTEELLISEN KOSTEUDEN MITTAUS		
Vaisala HMP 44 anturi (ø 12 mm) + HMI 41 näyttölaite	anturin kapasitanssi	Betoniin poratusta reiästä ø 16 mm
Rotronic HC2-CO4 vaijerianturi (ø4 mm) + Hygro Palm HP 22 näyttölaite	anturin kapasitanssi	Betoniin poratusta reiästä ø 7 mm
Rotronic HC2-PO5 puikkoanturi (ø5 mm) + Hygro Palm HP 22 näyttölaite	anturin kapasitanssi	Betoniin poratusta reiästä ø 7 mm
Gemini TV-1505 anturi (ø7,9 mm) + näyttölaite+dataloggeri	anturin kapasitanssi	Betoniin poratusta reiästä ø 16 mm
Lufft Art. 9130.52 Puikkoanturi ø 4 mm + A1-SDI näyttölaite	anturin kapasitanssi	Betoniin poratusta reiästä ø 7 mm
MS-Sensor (valettu betoniin)	anturin resistanssi	Betoniin valetun anturin sisällä olevasta puupalasta

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

MS-Sensor anturit olivat vanhempaa mallia ja olivat olleet varastoituna useita vuosia. Uudempiantureita ei ollut saatavissa tutkimuksen käyttöön. Nykyisin antureita valmistaa Fuktcom Ab.

MS-Sensor anturin sisällä on puutikku, jonka kosteus betoniin valettuna asettuu samaan kosteustilaan kuin anturia ympäröivä betoni. Anturin kosteudenmittaustulos perustuu kostean puutikun sähkövastuksen mittaamiseen. Puutikun sähkövastus riippuu sen absoluuttisesta kosteudesta, joka vastaa ympäröivän betonin absoluuttista kosteutta.

Mittauslaitteessa on sisäänrakennettu laskentamalli, joka muuttaa näin saadun betonin absoluuttisen kosteuden betonin suhteelliseksi kosteudeksi. Suhteellisen kosteuden mittaustuloksen tarkkuus riippuu siten myös siitä, kuinka hyvin laitteen sisällä oleva laskentamalli osaa muuttaa betonin absoluuttisen kosteuden betonin suhteelliseksi kosteudeksi. Betonin koostumus, hygroskooppisuus ja lämpötila vaikuttavat sorptiokäyrän muotoon ja siten suhteellisen kosteuden ja absoluuttisen kosteuden välinen riippuvuus on erilainen eri betoneilla ja eri olosuhteissa.

Koska laite mittaa näin ollen ensin absoluuttisen kosteuden, olisi sen avulla teoriassa mahdollisuus saada selville samasta mittausaineistosta suhteellisen kosteuden lisäksi myös absoluuttinen kosteus [10].

2.4.4.1 Absoluuttinen kosteus ja pintamittausmenetelmät

Kuivatus-punnitus menetelmä

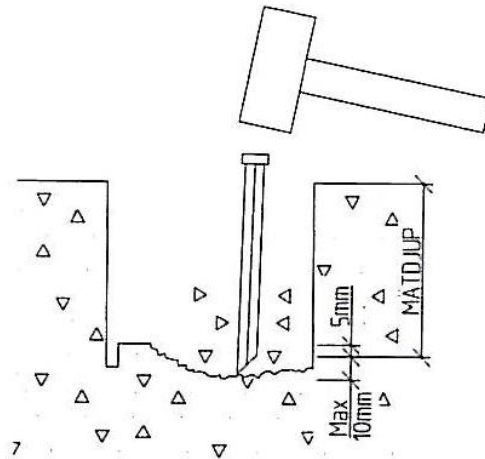
Tutkimuksessa käytettyjen betonilaattojen absoluuttinen kosteus määritettiin näytekuutioiden nurkista lohkaistuista betonipalasisästä. Niiden absoluuttinen kosteus määritettiin kuivaamalla näytteitä lämpötilakalibroidussa, tuuletetussa lämpökaapissa lämpötilassa 105 °C, kunnes peräkkäisin punnitukseen todettiin, että niiden massa ei enää muutu (menetelmä SFS-EN 1097-5). Tätä menetelmää käytettiin tutkimuksessa pintamittarien kosteudenmittausten vertailumenetelmänä.

Kuivatus-punnitus menetelmän merkittävin epätarkkuus liittyy työmaaoiloissa näytteenottoon. Jos näyte otetaan poraamalla kuivaporauksella, poraus lämmitää ja samalla kuivaa porauskohtaa. Porauksen etu on, että näyte saadaan tavoitesyvyydeltä betonista. Kuumenemisen aiheuttamaa virhettä voidaan pienentää käyttämällä riittävän suurta näytteenottoporaa (esim. D 100 mm).

Jos näyte otetaan piikkaamalla (esim. piikkausvasaralla), näytteessä korostuu helposti pintakerroksen kosteustila syvempien kerrosten osuuden jäädessä näytteessä vähemmälle. Kuitenkin myös pintamittarit korostavat betonin pintakerrosten vaikutusta kosteustulokseen.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

Ruotsalaisen ohjeen [11] mukaan rakenteesta voidaan ottaa betoninäyte ennalta päätetyltä syvyydeltä siten, että ensin porataan riittävän suuren läpimitan (esim. D 100 mm) omaavalla näytteenottoporalla kuivaporauksena betoniin ura 10 mm syvyydelle ”näytteenottosyvyys+10 mm” ja sen jälkeen poranäyteliiriö katkaistaan. Poraliiriöstä tai rakenteeseen poratusta reiästä piikataan tutkittava osa betoni betonista 5 mm tavoitesyvyyden yläpuolelta ja 10 mm sen alapuolelta, kuva 6.



Kuva 6. Näytteen otto betonikannesta tavoitesyvyydeltä [11].

Pintamittausmenetelmät

Tutkimuksessa käytettiin neljää erilaista ainetta rikkomatonta betonin kosteuden pintamittaria. Ne mittaivat betonin dielektrisyiden, kun laitteita painettiin betonin pintaan. Betonilaatan pinnasta mitattu dielektrisyys riippuu sen pintakerroksen sähköisistä ominaisuuksista ja absoluuttisesta kosteudesta. Pintamittarien mittaustulos ei ole siten suoraan betonin absoluuttinen kosteus eli kosteuspitoisuus, vaikka tulokset riippuvat suurelta osin absoluuttisesta kosteudesta.

Tutkituilla betoneilla pintamittarien mittaustulosten vaihteluväli oli:

86 – 140	Gann B50 + Gann Hydromette RTU 600
76 – 148	Trotec T-650
3,4 – > 6	Tramex CME4
3,4 – 6,7	Tramex CMEXPERT.

Laitteissa on sisäänrakennettu laskentakaava, joka muuntaa betonin pintakerroksen dielektrisyystuloksen kosteusarvoksi. Betonin koostumuksesta ja pinnan laadusta (esim. tasaisuus), laitteen laskentakaavasta ja mittaustarkkuudesta riippuu, kuinka hyvin laitteen ilmoittama tulos vastaa betonin todellista kosteuspitoisuutta.

Tramexin pintamittauslaitteet ilmoittavat maahantuojaan ilmoituksen mukaan suoraan betonin absoluuttisen kosteuden. Toisin sanoen niiden laskentakaava

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

pyrkii muuntamaan betonin dielektrisyiden mahdollisimman hyvin absoluuttista kosteutta vastaavaksi arvoksi.

Muut pintamittarit ovat käyttöohjeidensa mukaan vuodon ilmaisimia, joilla voidaan erottaa toisistaan betonipinnan märkiä ja huomattavasti kuivempia kohtia. Niiden tulosten vaihteluväli poikkeavat betonin kosteuspitoisuuden vaihteluvälistä, mutta ne ilmoittavat kuitenkin kosteuseroja.

Ennen tutkimusta pintamittareita ei ollut kalibroitu eikä viritetty. Niille ei ole annettu kalibrointiohjeita.

2.4.4.2 Suhteellisen kosteuden mittausmenetelmät

Tutkimuksessa käytettiin viittä suhteellisen kosteuden mittauslaitetta, joilla kosteus mitataan betoniin poratusta reiästä. Lisäksi mukana yksi betonin sisään valettu mittausanturityyppi. Porareikämittarien anturit olivat kapasitiivisia, va-luun asennettava MS-Sensor anturi oli resistiivinen, kuva 7.



Kuva 7. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus betoniin poratusta reiästä

Betonin suhteellinen kosteus riippuu lämpötilasta. Siltatyömaalla betonin lämpötila vaihtelee päivittäin merkittävästi ja muuttuva lämpötila porareikämittauksen aikana antaa virheellisen tuloksen.

Tarja Merikallion et. al. kirjoittamassa kirjassa [12] suositellaan, että porareikämenetelmää käytettäessä rakenteen lämpötilan tulee olla lähellä rakenteen tulevaa käyttölämpötilaa eikä sitä tulisi käyttää, jos lämpötila on välillä 15-25

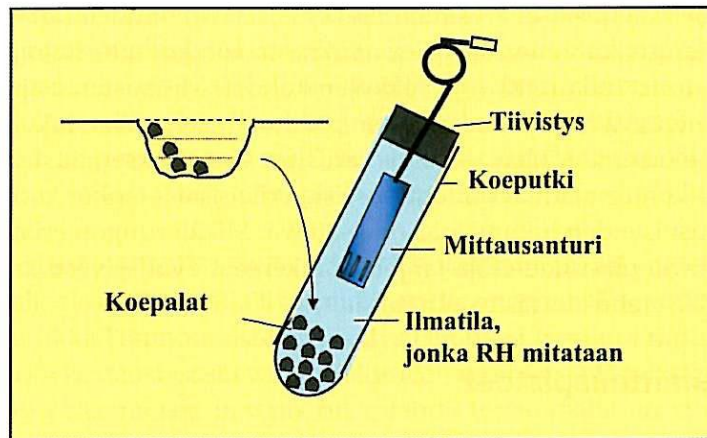
Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

°C. Silloilla tuleva käyttölämpötila vaihtelee useita kymmeniä asteita, eikä tätä suositusta voida siksi noudattaa.

Muuttuvasta lämpötilasta aiheutuva virhe voidaan välttää siten, että otetaan betonirakenteesta näytteitä, jotka suljetaan ilmatiiviiseen koeputkeen. Näyte vietään vakiolämpötilaan. Koeputkessa olevan ilman kosteus voidaan mitata samoilla antureilla, joita käytetään porareikämittauksissa, kuva 8.

Koeputkessa olevan betoninäytteen suhteellisen kosteuden mittaamisesta on menetelmäohje esim. Tarja Merikallion kirjassa [12].

Menetelmän käyttö on vielä vaikeampaa kuin porareikämittaus työmaalla eikä se käytännössä sovellu työmaan toimesta tehtäviin mittauksiin.



Kuva 8. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus koeputkimenetelmällä betonirakenteesta irrotetuista näytepaloista [12]

2.4.4.3 Suhteellisen kosteuden mittauslaitteiden kalibrointi

Käytännön kosteusmittauksissa suhteellisen kosteuden mittauslaitteiden mittautulosten oikea taso tarkistetaan lähes kaikkien valmistajien ohjeiden mukaan säännöllisesti kalibraattorilaitteissa. Niiden avulla voidaan todeta, näyttääkö laite kalibraattorin mukaisia vakiokosteuksia.

Maahantuoja tarjoavat edustamilleen laitteille maksullisia huolto- ja kalibrointipalveluja. Mittaaja voi toimia myös siten, että kalibroi säännöllisesti laitteen sa maahantuojan antamien kalibrointiohjeiden mukaan ja toimittaa sen maahantuojuille viritettäväksi käyttöohjeen mukaisin huoltovälein ja tarvittaessa useamminkin.

Siltakansien betonin kosteusmittauksia varten tulee kosteusanturit kalibroida ja tarvittaessa viritellä riittävän usein, jotta varmistetaan, että laitteen mittausvirhe

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

on sallituissa rajoissa. Yleinen käytäntö on, että kalibrointi tehdään käyttäen kahta tunnettua vakio-olosuhdetta, joiden ilman suhteelliset kosteudet tunnetaan.

Vakio-olosuhteet voidaan saada aikaan esim. tiettyjen kylläisten suolaliuosten avulla. Näiden liuosten käyttö perustuu siihen, että ne kehittävät yläpuolellaan olevaan ilmatilaan tunnetun suhteellisen kosteuden. Siltatyömaan kosteusmittauksiin on suositeltavaa tehdä kalibrointimittaukset kaliumsulfaatilla (K_2SO_4) aikaansaadussa vertailukosteudessa (RH noin 97 %) ja vähintään yhdessä alemmassa vertailukosteudessa natriumkloridilla aikaan saadussa vertailukosteudessa (RH noin 75 %).

Taulukossa 5 on esitetty kolmella kylläisellä suolaliuoksella kunkin suolaliuoksen yläpuolella olevaan ilmatilaan aikaansaatava ilman suhteellinen kosteus eri lämpötiloissa. Taulukko osoittaa, että ilman suhteellinen kosteus riippuu lämpötilasta. Siksi ympäristön (esim. huoneen tai sääkaapin, jossa kalibrointi suoritetaan) lämpötilan kalibroinnin aikana on oltava vakio ($\pm 0,5$ °C).

Taulukko 5. Greenspanin kalibrointitaulukko ¹⁾ [13].

°C	LiCl	MgCl ₂	NaCl	K ₂ SO ₄
0	*	33.7 ±0.3	75.5 ±0.3	98.8 ±1.1
5	*	33.6 ±0.3	75.7 ±0.3	98.5 ±0.9
10	*	33.5 ±0.2	75.7 ±0.2	98.2 ±0.8
15	*	33.3 ±0.2	75.6 ±0.2	97.9 ±0.6
20	11.3 ±0.3	33.1 ±0.2	75.5 ±0.1	97.6 ±0.5
25	11.3 ±0.3	32.8 ±0.2	75.3 ±0.1	97.3 ±0.5
30	11.3 ±0.2	32.4 ±0.1	75.1 ±0.1	97.0 ±0.4
35	11.3 ±0.2	32.1 ±0.1	74.9 ±0.1	96.7 ±0.4
40	11.2 ±0.2	31.6 ±0.1	74.7 ±0.1	96.4 ±0.4
45	11.2 ±0.2	31.1 ±0.1	74.5 ±0.2	96.1 ±0.4
50	11.1 ±0.2	30.5 ±0.1	74.4 ±0.2	95.8 ±0.5

1) Greenspan, L.: Journal of Research of the National Bureau of Standards – A Physics and Chemistry Vol. 81A, No. 1 January-February 1977, pp 89-95

Taulukon 5 sarakkeiden oikeissa reunoissa esitetyt luvut kuvaavat Vaisalan mukaan kylläisen suolaliuoksen yläpuolella olevan ilman vertailukosteuden epävarmuutta kyseisessä lämpötilassa [14]. Korkea (> 95 %) suhteellisissa kosteuksissa kalibrointi on epätarkempaa kuin alhaisemmissa kosteuksissa.

Kun vapaassa tilassa olevan ilman lämpötila nousee, sen suhteellinen kosteus alenee. Tämä ilmenee myös yllä olevasta taulukosta. Kun mitataan betonin huokosissa olevan ilman suhteellista kosteutta (eli betonin suhteellista kosteutta) tilanne muuttuu tältä osin. Kun betonin lämpötila nousee, sen huokosissa olevan ilman suhteellinen kosteus nousee.

Kaikkia maahantuojia, joilta suhteellisen kosteuden mittausrakenteita saatiin lainaksi, pyydettiin kalibroimaan ja tarvittaessa virittämään lainatut laitteet näyttämään oikeaa tulosta ennen niiden luovutusta VTT:n tutkimukseen.

Vaisalan suhteellisen kosteudenmittauslaite, joka oli VTT:n aiemmin hankkima, toimitettiin valmistajalle kalibroitavaksi ja tarvittaessa viritettäväksi välit-

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

tömästi ennen mittausten aloitusta. Tässä tutkimuksessa Vaisalalla mitattiin muista poiketen kosteutta kahdella samanlaisella rinnakkaisanturilla.

Geminin ja Lufftin valmistamat suhteellisen kosteuden mittausturit kalibroitiin ja tarvittaessa viritettiin ennen tutkimuksen aloitusta maahantuojan toimesta.

MS-Sensor anturin toiminta perustuu muista suhteellisen kosteuden mittausturista poiketen sähkönjohtavuuteen. Laite mittaa sähkönjohtavuuden anturin sisältämästä puupalasta (ei suoraan betonista).

Valmistaja (FuktKom Ab) tarkastaa ja virittää anturit tehtaalla ennen niiden toimitusta asiakkaalle. MS-Sensor antureita ei kalibroitu ennen tutkimuksen aloitusta. Anturit olivat olleet useita vuosia varastossa ennen niiden käyttöä.

MS-Sensor anturien internet-sivulla tai käyttöohjeessa ei ole annettu tietoa laitteen mittaustarkkuudesta, kalibroinnista, käsittelystä ennen asennusta tai asentamisesta rakenteeseen, mikä on puute.

FuktKom Ab:n Suomen edustajalta Hemming Parrollilta saadun suullisen tiedon mukaan MS-Sensor anturin mittaustarkkuus on $\pm 2\%$ RH, kun betonin kosteus on välillä 75...100%. Anturi ”herätetään” mittaamaan kosteutta ennen asennusta rakenteeseen kastelemalla se. Anturien kastelutavasta ei ollut saatavissa kirjallisia ohjeita: pitäisikö anturit kastella vesihöyryssä vai vesiupotuksessa, mikä on kastelun kesto-aika tai miten anturit tulisi suojata kuivumiselta kastelun ja betonoinnin välisenä aikana [10].

Rotronicin antureita ei kalibroitu ennen mittausten aloitusta, koska se ei ollut maahantuojan ilmoituksen (Fattore Vitale Oy) mukaan tarpeen. Niiden tehdaskalibroinnista oli tuolloin kulunut noin 2-3 kk. Rotronic-mittausturien kalibroinnista annetaan Teknokalor Oy:n internet-sivulla seuraavat ohjeet:

- Mittaajan on aina osattava arvioida mittaustulostensa epävarmuus (tarkkuus). Mittaustuloksen tarkkuuteen vaikuttaa mm. mittarin tarkkuus ja käytetty mittausten menetelmä.
- Jotta voidaan todeta mittausturien pysyvän oman tarkkuutensa rajoissa, suhteellisen kosteuden anturit ja on syytä kalibroida ja mahdollisesti viritellä jopa 2-4 kertaa vuodessa.
- Tämän lisäksi huolellinen ja tarkka mittaaja kalibroi mittausturiansa säännöllisesti itse ennen jokaista mittausta.

Mittausten päättyessä VTT kalibroi tutkimuksessa käytetyt kapasitiiviset suhteellisen kosteuden porareikämittausturit (Vaisala, Rotronic, Gemini ja Lufft), ks. kohta 3.4.5.

3 Tulokset

3.1 Kysely ulkomaille

Siltojen vedeneristysten EN-standardeja ja EOTA:n ohjeita valmistelevien työryhmien (CEN/TC 254 WG 6 ja EOTA Working Group 01.07/01) jäsenille lähetettiin Tiehallinnon siltatekniikan nimissä kysely kussakin maassa noudatettavista kansallisista siltakannen vedeneristysalustan enimmäiskosteusvaatimuksista, kosteudenmittausmenetelmistä ja keinoista eristyksen kuplimisen estämiseksi. Vastaus kyselyyn saatiin neljästä maasta:

- Englanti (Jim Gallagher, Highways Agency, Department of Transport),
- Itävalta (Enrico Eustacchio/ Grazin teknillinen yliopisto),
- Hollanti (Icopal BV, Frits Zandvoort),
- Tsekin tasavalta (Zusana Červenková).

Kyselyn tulokset on esitetty taulukossa 6. Suomen osalta siihen on lisätty vertailutietona Tiehallinnon töissä vuonna 2009 noudatetun käytännön mukainen tilanne.

Taulukko 6. Eurooppalaisille siltojen vedeneristysten säädöksiä valmisteleville ryhmille tehdyn kyselyn tulokset (vertailutietona Suomen käytäntö 2009)

	Kysymykset ulkomaille, vastaukset ja Suomen käytäntö
Kysymys 1	Käytössä olevat numeeriset, ikään perustuvat tai muut vaatimukset siltakannen sallitulle enimmäiskosteudelle ennen vedeneristyksen asentamista
Englanti	Urakoitsija saa asentaa vedeneristyksen 7 päivän ikäiselle betonille edellyttäen, että se täyttää kansallisten standardien vaatimukset. Vaatimukset on esitetty asiakirjassa ”Interim Advice Note 96/07 Rev 1, Guidance on implementing results of research on bridge deck waterproofing). Tuotteilla tulee olla HAPAS-hyväksyntä.
Itävalta	Betonin absoluuttinen kosteus ei saa olla yli 4 massa-% syvyydellä 20 mm
Tsekki	Betonin ikä vähintään 21 d ennen eristämistä ja absoluuttinen kosteus ei saa olla yli 4 massa-% syvyydellä 20 mm. Poikkeuksena tuoreelle betonille hyväksytyt eristykset.
Hollanti	
Suomi	Numeeriset kosteusvaatimukset, kun kannen pinta-ala $\geq 100 \text{ m}^2$. Vähimmäis-ikävaatimus, kun kannen pinta-ala $< 100 \text{ m}^2$. Viite: InfraRYL 2006.
Kysymys 2	Miten todetaan ennen eristystöiden aloittamista, että sillan betonikansi täyttää kosteusvaatimukset?
Englanti	Mittaamalla
Itävalta	Mittaamalla
Tsekki	Mittaamalla
Hollanti	-
Suomi	Mittaamalla, kun kannen pinta-ala $\geq 100 \text{ m}^2$

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

Kysymys 3	Onko sillanrakennustyömaalla käytännössä mitään betonin kosteudenmittausmenetelmää käytössä (menetelmän tyyppi, numero ja nimi)?
Englanti	Urakoitsija valitsee käyttämänsä mittausmenetelmän. Vastauksessa mainitaan esimerkkinä käytössä olevasta laitteesta Elcometer-pintamittari, josta on kuva Elcometerin internet sivulla http://www.elcometer.com/). Laite ei ole Suomessa myynnissä. Laite mittaa betonin dielektrisyttä ainetta rikkomatta ja muistuttaa ulkonäöltään Tramex-laitetta
Itävalta	Betonin kosteus mitataan kuivaamalla rakenteesta irrotettu näyte tai kalsiumkarbidimenetelmällä
Tsekki	Kosteus mitataan kuivaamalla rakenteesta irrotettu näyte tai helpolla menetelmällä painamalla sanomalehden sivua siltakanteen, jolloin paperin tulee pysyä kuivana. On olemassa myös kosteudenmittauslaitteita.
Hollanti	-
Suomi	Rakenteesta irrotetun betoninäytteen absoluuttinen kosteus (menetelmä VTT-2650) ja betonin suhteellinen kosteus betoniin poratusta reiästä (VTT 2649)
Kysymys 4	Kuka suorittaa nämä mittaukset työmaalla?
Englanti	Urakoitsija
Itävalta	Kosteusmittaus on osa eristystöiden rakentamisen valvontaa ja sen suorittaa akkreditoitu testauslaboratorio
Tsekki	Urakoitsija
Hollanti	-
Suomi	Urakoitsija teettää kosteusmittaukset alihankintana tai tekee ne itse. Siltatyömaiden kosteusmittausten palvelujen tarjoajia ei ole sertifioitu.
Kysymys 5	Onko vedeneristysrakenteita hyväksytty asennettaviksi tuoreen, märän betonin päälle? Mitkä ovat näiden vedeneristysrakenteiden tuotemerkit ja betonialustan kosteusvaatimukset?
Englanti	Kyllä, hyväksyntätutkimustulosten perusteella. Yhtään tuotetta ei ole hyväksytty tuoreemmalle kuin 3 päivän ikäiselle betonille.
Itävalta	Toistaiseksi Itävallassa ei ole tästä määräyksiä. Uusissa rakentamismääräyksissä kehitetään vaatimuksia tämän tyyppisille rakenteille.
Tsekki	Eristyksen saa asentaa 7 päivän ikäiselle betonille, jonka kosteus on noin 6 %. Tuoreelle betonille käytetään niille hyväksytyjä eristysrakenteita. Tällöin betonialusta käsitellään ennen eristämistä epoksipohjaisella eristysalustan tiivistysaineella, jonka täytyy olla hyväksytty soveltuvaksi tuoreelle betonille. Käytössä on Saksassa ohjeen TL-BEL-EP mukaan tutkittuja tuotteita
Hollanti	-
Suomi	InfraRYL2006:n osassa 3 edellytettyä kosteammalle betonille (abs. kosteus ≤ 6 % tai suht.kosteus ≤ 97 %) SILKO-hyväksytty eristysalustan tiivistysaine, kun käytetään nestemäisenä levitettävää eristystä 2 x Joustoepoksiprimer NordEpoX KPP Primer + NordEpoX polyuretaani (MJS-Group Oy)

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

Kysymys 6	Pääasiallinen syy vedeneristyksen kuplimiseen tai irtoamiseen betonisilla siltakansilla?
Englanti	Kosteus
Itävalta	Betonin kosteus. Joskus bitumikermien pinta riippuen sääolosuhteista.
Tsekki	Kuplimisen aiheuttava: betonin liian suuri (> 4 %) kosteus ennen eristämistä, eristettävän pinnan likaisuus, kosteus ja liallinen sileyys, liian korkea ilman lämpötila (> 30 °C) eristystyön aikana ja työvirheet
Hollanti	-
Suomi	Kermin kuplimisen aiheuttaa veden höyrynpaineen vaihtelu betonin pintakerroksen huokosissa. Siihen myötävaikuttaa, jos betonin pintakerroksen huokoisuus on korkea tai eristyksen tartunta alustaan on alun perin ollut heikko.
Kysymys 7	Mitkä ovat parhaat menetelmät välttää vedeneristyksen kuplimis- tai irtoamiongelmia?
Englanti	Standardissa esitettyjen suositusten noudattaminen
Itävalta	Betonipinnan valmistuksen hyvä laatu, epoksipohjaisten tartunta-aineiden käyttö ja erinomainen kermien asennustyö
Tsekki	Epoksitiivistyksen käyttö, hyvät asennusolosuhteet, käytetään vain Tsekin liikenneministeriön hyväksymiä eristysrakenteita
Hollanti	Betonipinnan epoksitiivistys (esim. Saksassa). Hollannissa ei yleensä käytetä vedeneristystä betonisen siltakannen päällä, betonia pidetään vedenkestävänä eikä kuplimista esiinny, koska vesi pääsee helposti valumaan pois.
Suomi	Paras tapa on käyttää epoksitiivistystä eristyksen alla. Lisäksi kannen betonin ilmamäärä $\leq 3\%$, betonipinnan makrokarkeus $\leq 1,5$ mm, tulee olla hyvät sääolosuhteet ja riittävän kuiva alusta.

3.2 Kysely kotimaahan

Kotimaasta ei saatu Tiehallinnon lähettämään kyselyyn yhtään palautetta (kyselylomake liitteenä 7). Kysely näytti olleen huono keino saada selville kuplimisvaurioita kotimaan työmailta.

Tiedot vedeneristysten vaurioista ja laatupuutteista olisivat tarpeen rakentamisoikeiden ja materiaalien kehitystyössä. Laatupuutteiden, niiden laajuuden ja syiden selvittäminen tuottaisi käyttökelpoista aineistoa laatuvaatimusten tarkistamisen perusteeksi. Olisiko laatupuutteet mahdollista kerätä Liikenneviraston tietokantaan systemaattisesti esim. siten, että työmaan poikkeamaraporttien laatimisen yhteydessä toimitettaisiin niistä tieto Liikennevirastolle yksinkertaisella lomakkeella?

3.3 Kosteusvaatimukset ja niiden todentamismenetelmät

Suomessa on useiden vuosien ajan ollut käytäntö, että betonisen eristysalustan sallittu enimmäiskosteus ei saa ylittää vaatimusrajaa. Nykyiset kosteusvaatimukset on esitetty InfraRYL 2006:n osassa 3 [1].

Taulukko 7. Eristysalustan suurin sallittu kosteus ennen eristystöiden aloitusta [1].

Materiaali	Eristysalustan suurin sallittu kosteus	
	Absoluuttinen kosteus	Suhteellinen kosteus
	VTT-2650	VTT-2649
	m-%	%
Kauttaaltaan kiinnitetty kermi, nestemäisenä levitettävä eristys, epoksiivistys	≤ 5,0	≤ 93
Paineentasauskermi, kumibitumimastiksi	≤ 6,0	≤ 96

Kyselyyn saatujen vastausten mukaan Itävallassa sillan betonikannen absoluuttinen kosteus ennen eristystöiden aloittamista ei saa olla yli 4 massa-% syvyydellä 20 mm. Tsekki ilmoitti seuraavansa Saksan käytäntöä. Saksassa on standardin ZTV-SIB mukaan siltakansilla suurin sallittu betonin kosteus 4 % ennen eristämistä.

Usein esitetään näkemyksiä, että nykyiset betonit kuivuvat huomattavasti hitaammin kuin ennen. Tämä ei pidä Tarja Merikallion et.al. mukaan paikkaansa [12]. Hitaammalta tuntuva kuivuminen johtuu tämän viitteen mukaan siitä, että mittaamalla betonilattiarakenteen kosteutta 1980-luvulla julkaistujen ohjeiden mukaisesti, voidaan suhteelliseksi kosteudeksi saada esimerkiksi 70 % RH, kun taas nykyohjeiden mukaan voidaan saada tulokseksi yli 90 % RH arvoja.

Edellä mainitun viitteen mukaan helppokäyttöisillä pintakosteuden osoittimilla ei tule määrittää betonirakenteen päällystettävyyttä uudisrakentamisessa, koska ne mittaavat vain ohuen pintakerroksen kosteutta, mutta eivät mittaa suhteellista kosteutta. Lattiabetonirakenteen päällystettävyyttä mitattaessa on Merikallion et al. mukaan olennaista tietää suhteellinen kosteus, koska kosteusvaatimukset on lattianpäällystysohjeissa ilmoitettu suhteellisena kosteutena. (Ne voitaisiin kyllä asettaa myös absoluuttisina kosteusarvoina).

Yleisin betonin suhteellisen kosteuden mittaustapa on porareiästä tehty mittaus. Mittauksen luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. porareiän syvyys, puhdistus, tiivistys ja tasaantuminen, mittalaitteen kalibrointi ja muu kunto, mittalaitteen tasaantumisaika porareiässä, ympäröivän ilman lämpötila ja sen vaihtelut mittauksen aikana sekä betonin lämpötila ja sen vaihtelu mittauksen aikana.

Lämpötila vaikuttaa merkittävästi kosteuden mittaukseen. Jos mittauspään ja mitattavan materiaalin välillä on 1 °C lämpötilaero, se voi aiheuttaa 5 %-yksikön virheen suhteellisen kosteuden mittaustuloksessa. Porareikämittausta tehtäessä rakenteen lämpötilan tulee olla lähellä rakenteen tulevaa käyttölämpötilaa. Jos lämpötila mittauksen aikana poikkeaa edellä mainitusta yli 5 °C,

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

porareikämittausta ei suositella tehtäväksi. Tällöin suhteellisen kosteuden mittausta voidaan kuitenkin tehdä näytepalamenetelmällä, jossa betonista otetuista näytepaloista tutkitaan suhteellinen kosteus tiiviissä koeputkessa samalla mitausanturilla, jota käytetään porareikämittauksessa. Näytepalamenetelmä on kuvattu Merikallion et al. laatimassa kirjassa [12].

Ruotsista ei saatu vastausta kyselyyn, joten Ruotsin osalta on lähdemateriaalina käytetty BRO 2004 asiakirjan osaa 6. Vedeneristys ja päällyste [3]. BRO 2004:n vaatimus betonisen eristysalustan kosteudelle on, että sen tulee olla kuiva. Mitään numeerista kosteusvaatimisarvoa ei esitetä. Betonin riittävä kuivuus kokeillaan ennen eristystöiden aloittamista lämmittämällä betonin pintaa paikallisesti lämpimällä ilmalla. Tarkempaa kuvausta tai menetelmäviitettä lämmitystavasta ei ole esitetty. Jos betonin lämmitetty kohta ei muutu vaaleammaksi, arvioidaan eristysalusta riittävän kuivaksi.

3.4 Kosteusmittarivertailu

3.4.1 Yleistä

Kosteusmittarivertailussa tutkittiin kymmenellä eri kosteuden mittauslaitteella tai menetelmällä kahdeksan betonilaatan kosteuksia. Betonilaatat poikkesivat toisistaan koostumuksen, lisätyn ilmamäärän tai säilytysolosuhteen osalta. Betonilaattoja säilytettiin tutkimuksen aikana huoneissa, joiden lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus on säädetty vakiotasolle. Koska betonit säilytettiin vakioilmastoissa, olosuhteet tunnetaan tarkoin, mutta ne eivät vastaa sillanrakennustyömaan jatkuvasti vaihtuvia olosuhteista.

Tutkimusta varten valmistettujen betonilaattojen vertailulaatta oli vanha betonilaatta, jota oli säilytetty yli kahden vuoden ajan olosuhteessa RH 60-70 %/ T 20-21°C. Laatan koostumus oli MC 0,45) ja sen kosteus oli 3,3 %.

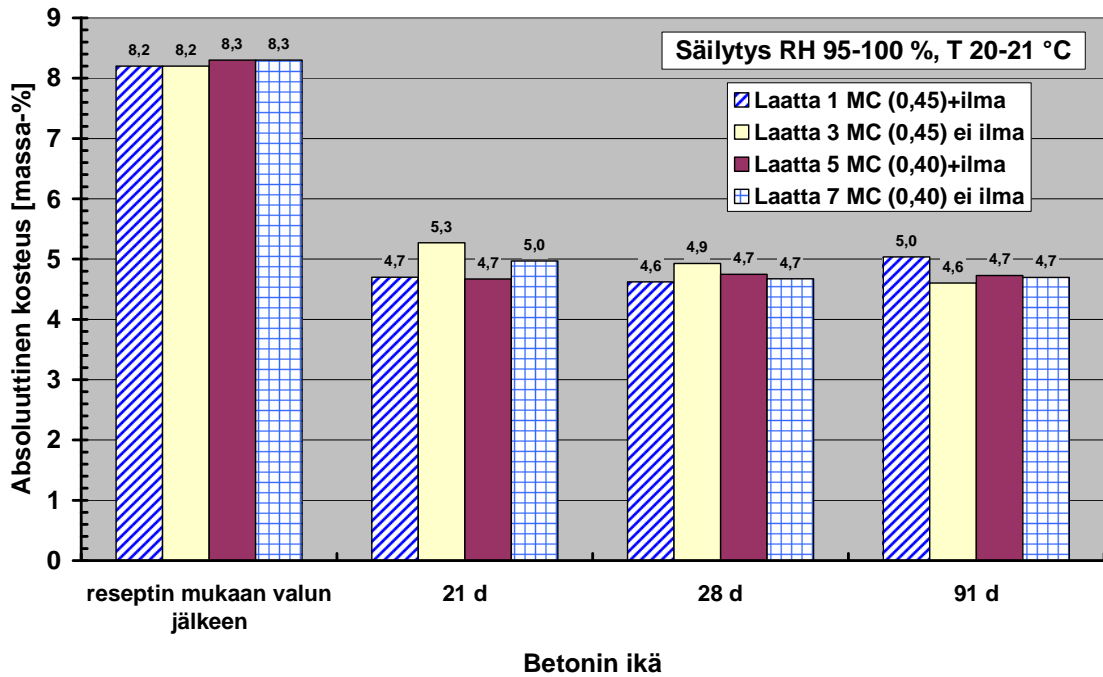
3.4.2 Absoluuttinen kosteus

Kosteusmittaritutkimuksen perusmenetelmä oli absoluuttisen kosteuden mittaaminen kuivaamalla betonista irrotettu tuuletetussa lämpökaapissa lämpötilassa 105 °C:ssa, kunnes peräkkäisin punnituksin todetaan, ettei näytteen massa enää muutu. Absoluuttinen kosteuspitoisuus lasketaan prosentteina näytteen kuivamassasta. Se ei riipu betonin lämpötilasta.

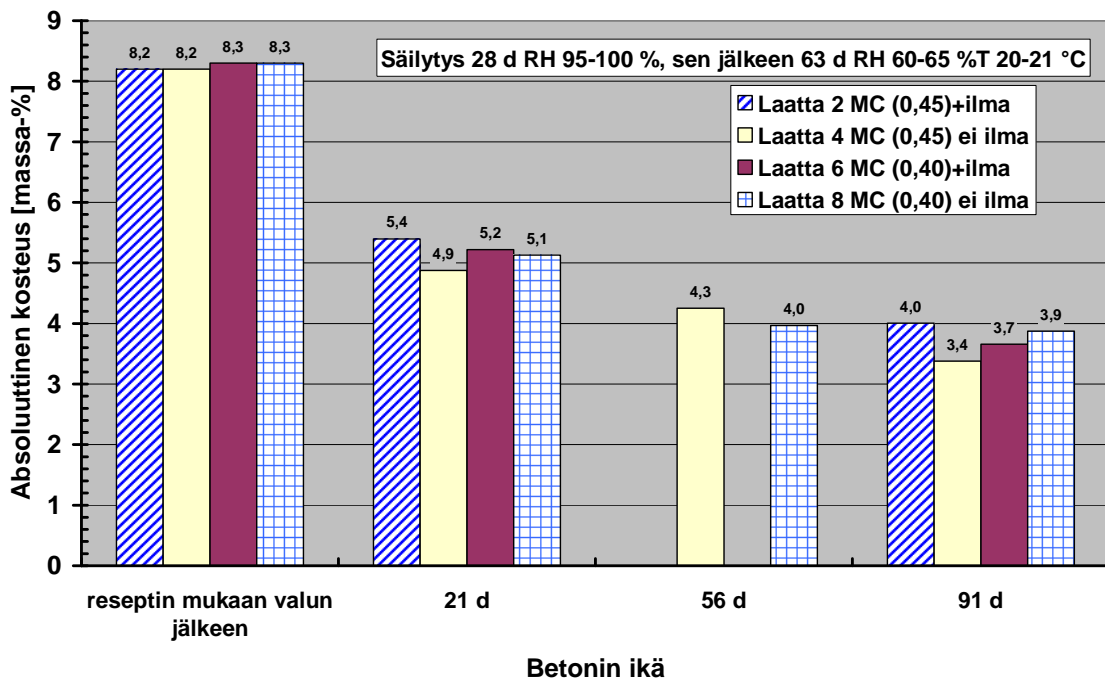
Eri koostumuksen omaavien betonilaattojen absoluuttiset kosteudet ja niiden muutokset eri vakioilmasto-olosuhteissa tutkimuksen aikana (kuivatuspunnitusmenetelmän mukaan) on esitetty kuvissa 9 ja 10. Kuvissa on verrattu keskenään massan vesipitoisuutta heti valun jälkeen massan valmistusreseptin mukaan sekä 21d, 28d ja 91 d kuivumisen jälkeen. Absoluuttisen kosteuden mittaustulokset taulukkona on esitetty liitteessä 3.

Betonin kosteus alenee sekä veden sitoutuessa kemiallisesti hydrataatiossa että veden poistuessa kuivumisen aikana. Kun ympäröivän ilman kosteus oli RH 95-100%, ilmaan haihtumalla vettä poistui hyvin hitaasti.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.



Kuva 9. Eri koostumuksen omaavien betonilaattojen kuivuminen. Absoluuttinen kosteus 0 – 91 d iässä. (Olosuhde: 91 d RH 95-100%/ T 20-21°C)



Kuva 10. Eri koostumuksen omaavien betonilaattojen kuivuminen. Absoluuttinen kosteus 0 – 91 d iässä. (Olosuhde: ensin 28 d RH 95-100% ja sen jälkeen 63 d RH 60-70 %/ T 20-21°C)

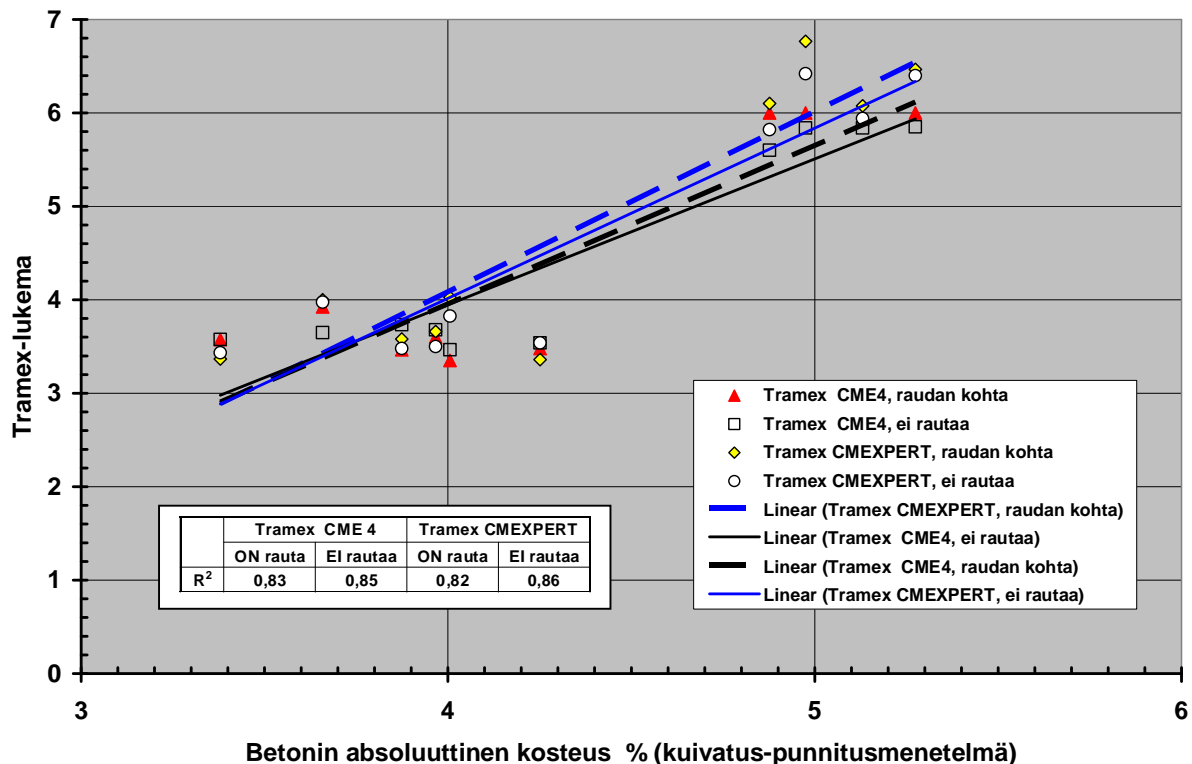
Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

3.4.3 Absoluuttinen kosteus ja pintamittarit

Kuivatus-punnitusmenetelmällä määritettyjä betonin absoluuttisen kosteuden mittaustuloksia verrattiin pintamittarien ilmoittamiin kosteust lukemiin. Pintamittarien mittaustulokset taulukkona on esitetty liitteessä 4.

Kuvassa 11 on esitetty kahden Tramex-mittarin (digitaalinen Tramex CMEXPERT ja analoginen CME 4) kosteust lukeman riippuvuus betonin absoluuttisesta kosteudesta. Laitteiden käyttö on yksinkertaista ja havainnollista, koska Tramexin ilmoittama kosteust lukema vastaa suuruusluokaltaan betonin kuivatus-punnitusmenetelmällä määritettyä absoluuttista kosteutta.

Digitaalisen Tramexin mittausalueen yläraja oli noin 6,9 % (näytön lukema) ja analogisen Tramexin vastaavasti noin 6,0 %. Nämä maksimilukemat vastasivat tutkituilla näytteillä ja tutkimusolosuhteissa kuivatus-punnitusmenetelmällä määritettyä noin 5 % absoluuttista kosteutta.

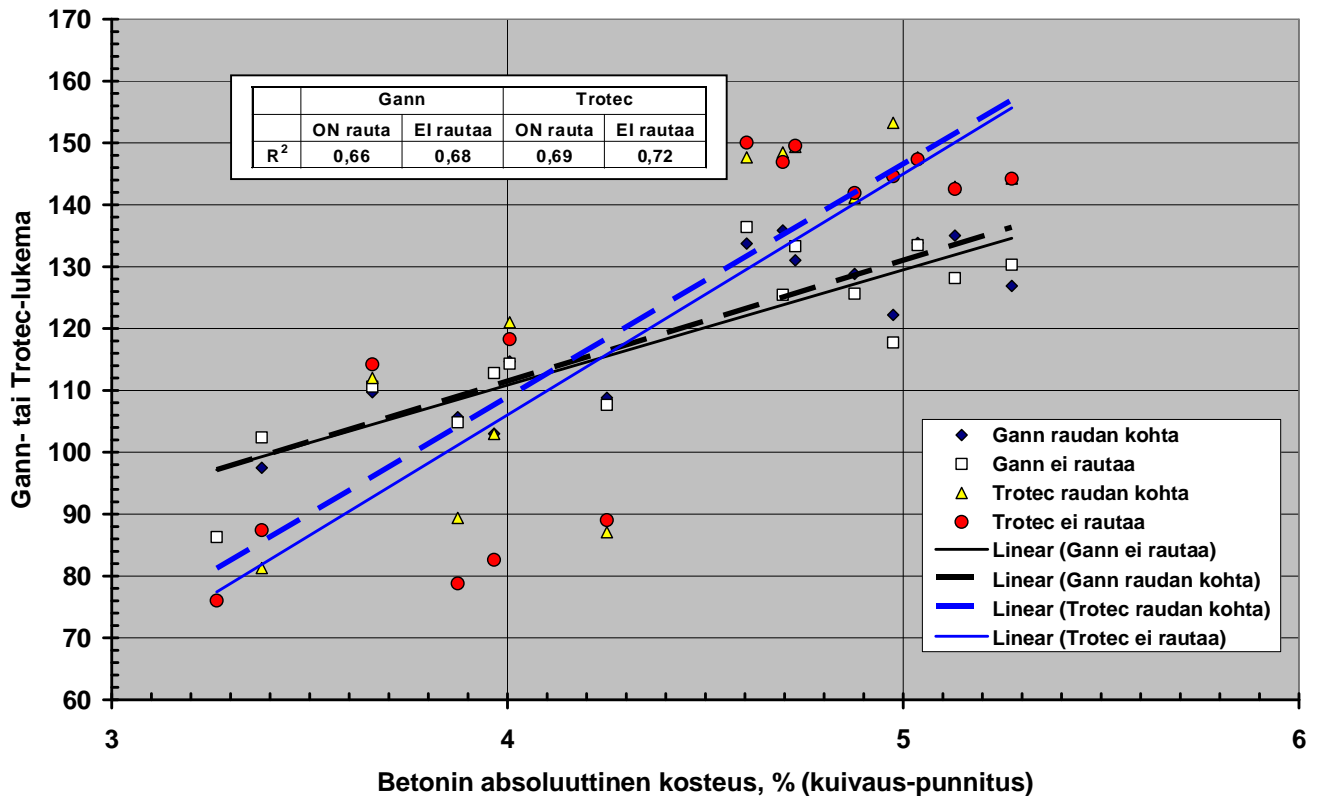


Kuva 11. Tramex-pintamittarien ilmoittaman kosteustuloksen riippuvuus betonin absoluuttisesta kosteudesta.

Kun Tramex-laitteen tulos oli laitteen mittausalueen ylärajalla, mutta kuitenkin mittausalueella, osoitti Tramex CME lukemaa 5,6–5,9 % ja Tramex CMEXPERT lukemaa 5,8–6,7 %. Vastaava kuivatus-punnitusmenetelmän mukainen absoluuttinen kosteus oli välillä 4,9–5,3 % eli lähellä (taulukon 7 mukaan) sillan eristysalustan suurinta sallittua kosteuspitoisuutta.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

Kuvassa 12 on esitetty vastaavasti Gann- ja Trotec-mittarien tuloksen riippuvuus betonin absoluuttisesta kosteudesta. Gann ja Trotec pystyivät mittaamaan betonin kosteudet kaikista tämän tutkimuksen koeolosuhteissa. Myös niillä pystytään paikallistamaan siltakannen kosteimmat kohdat. Niiden korrelaatio kuivatuspunnitusmenetelmän tulosten kanssa oli heikompi kuin Tramexin.



Kuva 12. Gann- ja Trotec-pintamittarien ilmoittaman kosteustuloksen riippuvuus betonin absoluuttisesta kosteudesta.

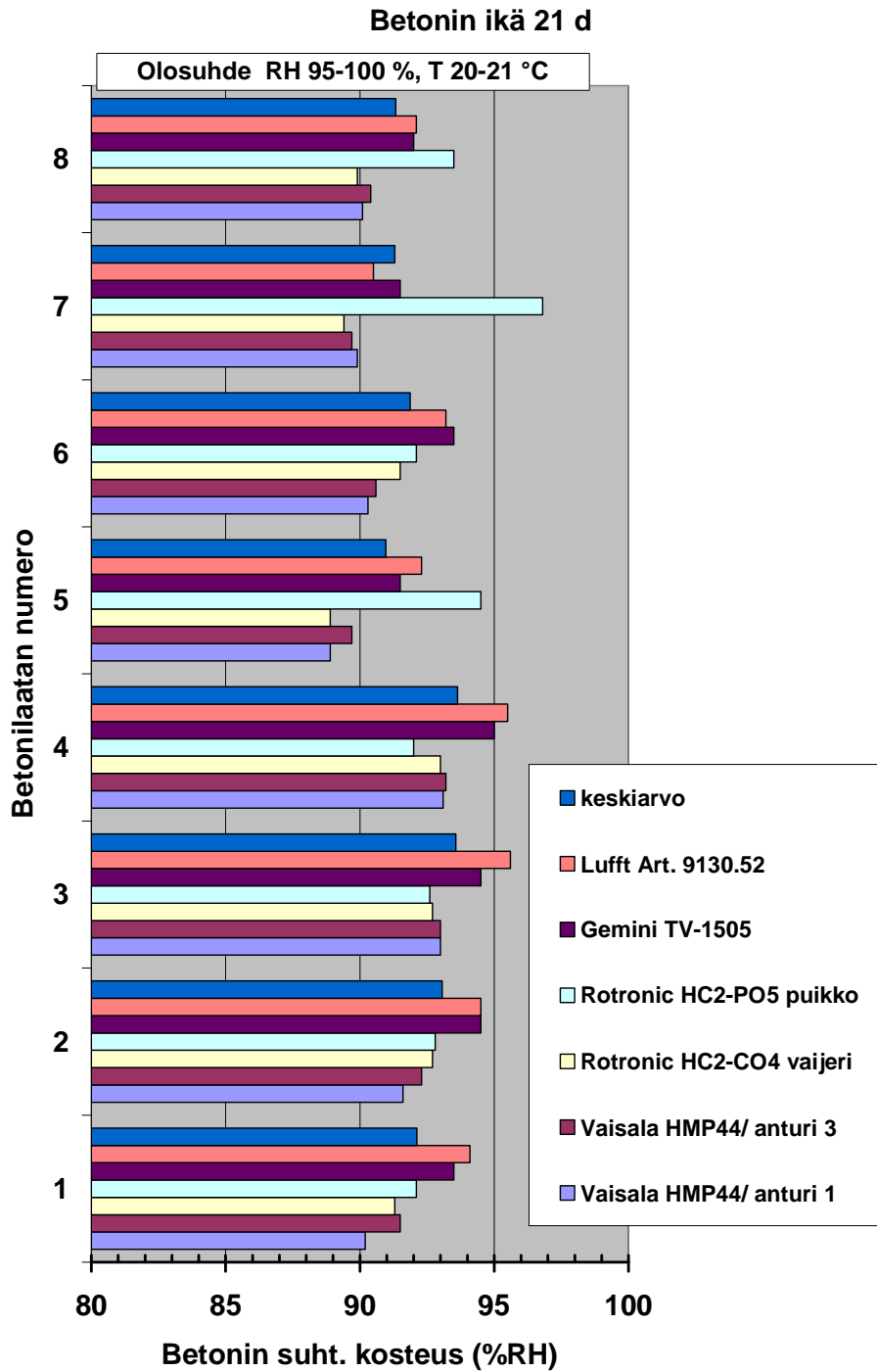
Terästangon kohdalla sähköisten mittarien ja kuivatus-punnitusmenetelmän tulosten välillä oli vähän heikompi korrelaatio kuin raudattomassa kohdassa. Betonilaattojen vähäisen teräsmäärän ja pienen koon vuoksi tulos on tältä osin vain suuntaa antava, kuvat 11 ja 12.

3.4.4 Suhteellinen kosteus

Betonin suhteellisen kosteuden mittaustulokset viidellä eri mittarilla, kahdeksalla betonilaatalla ja kolmessa eri iässä (21, 28 ja 91 d) on esitetty kuvissa 13-16. Mittaustulosten lukuarvot on esitetty liitteessä 5.

Kahteen betonilaattaan valun yhteydessä asennettujen MS-Sensor-anturien kosteusmittaus ei käynnistynyt lainkaan, joten niistä ei ole tutkimustuloksia.

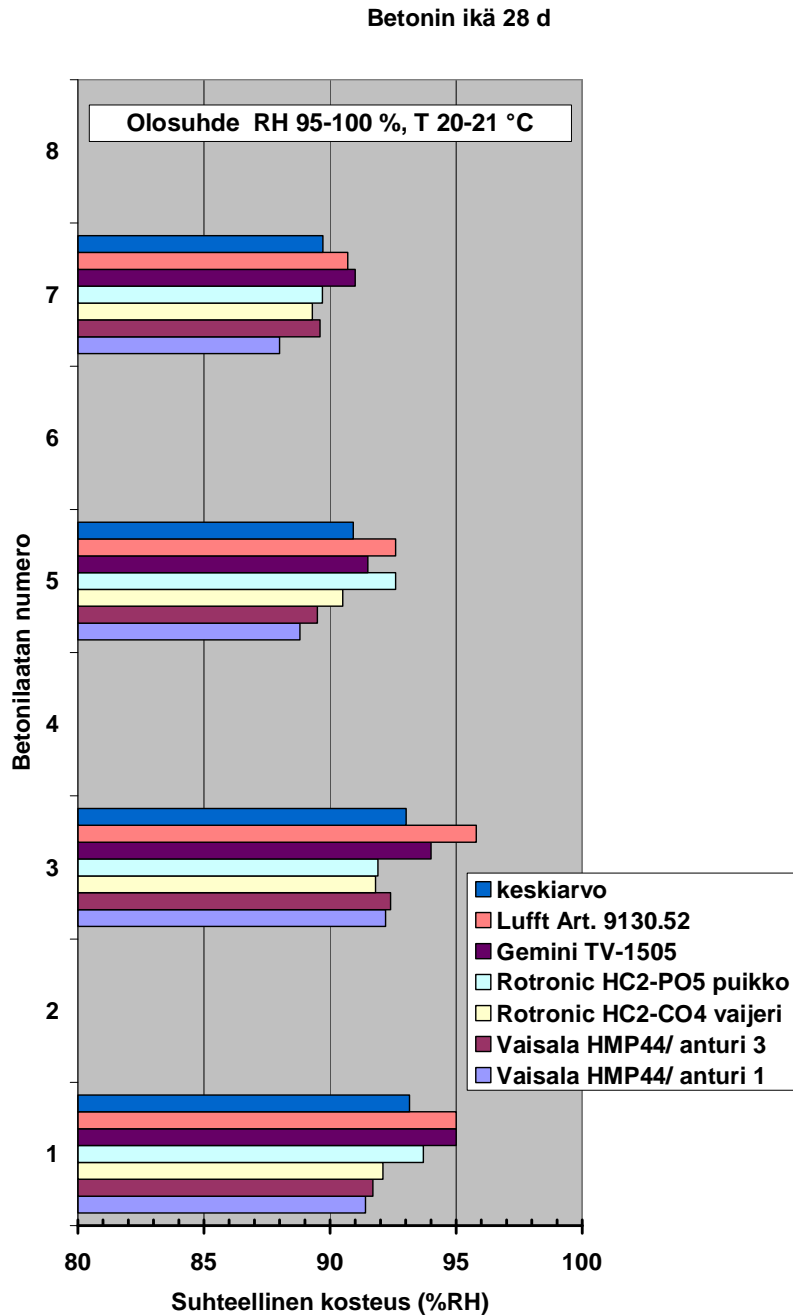
Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.



Betonikoostumus	MC (0,45)		MC (0,45)		MC (0,40)		MC (0,40)	
	5,3	4,6	2,5	2,5	5,8	5,5	2,5	2,5
Ilmaa								
Laatan numero	1	2	3	4	5	6	7	8

*Kuva 13. Betonilaattojen suhteelliset kosteudet 21 d iässä
(olosuhde RH 95–100%/ T 20-21°C)*

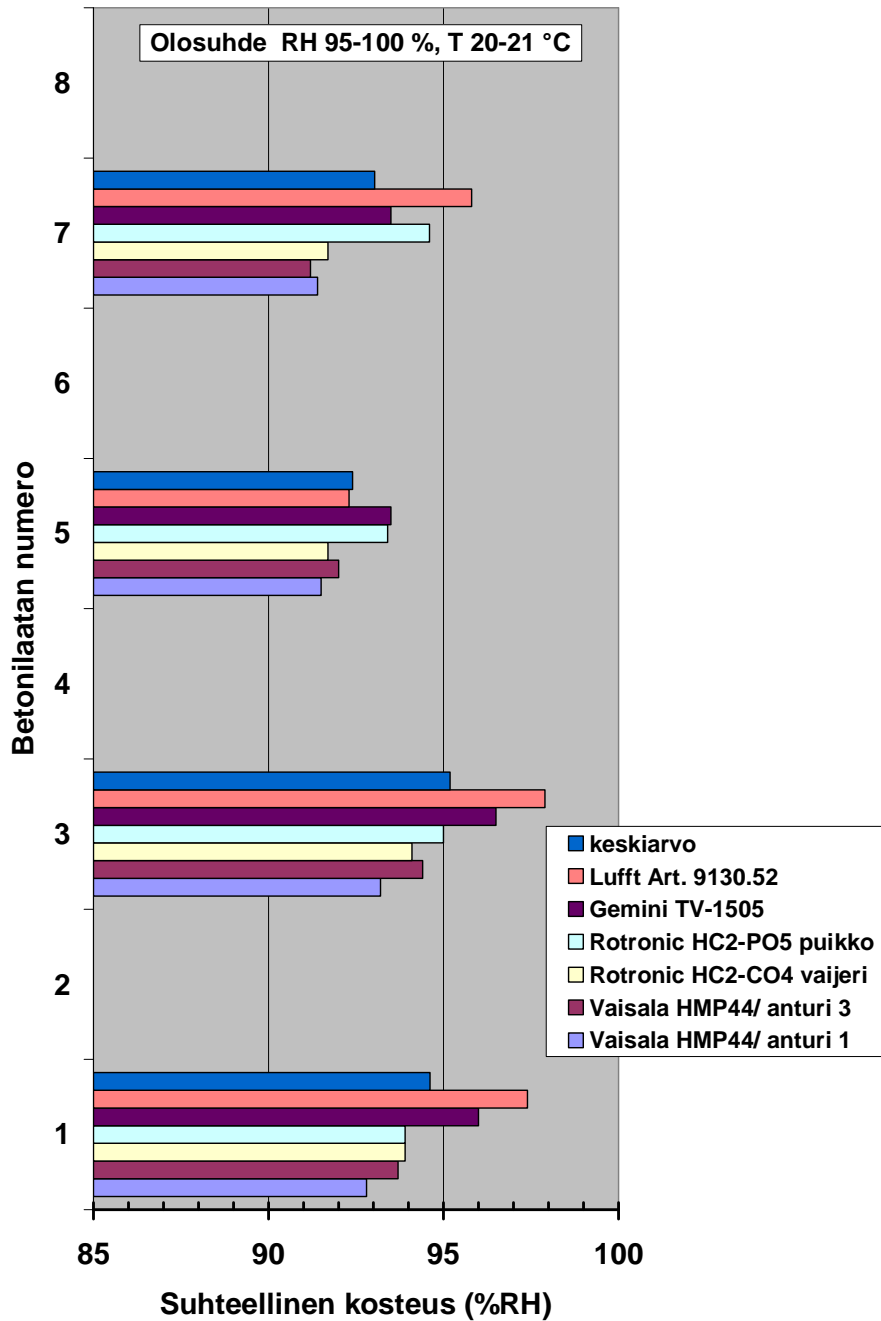
Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.



Betonikoostumus	MC (0,45)		MC (0,45)		MC (0,40)		MC (0,40)	
Ilmaa	5,3	4,6	2,5	2,5	5,8	5,5	2,5	2,5
Laatan numero	1	2	3	4	5	6	7	8

Kuva 14. Betonilaattojen suhteelliset kosteudet 28 d iässä
(olosuhde RH 95–100%/ T 20–21°C)

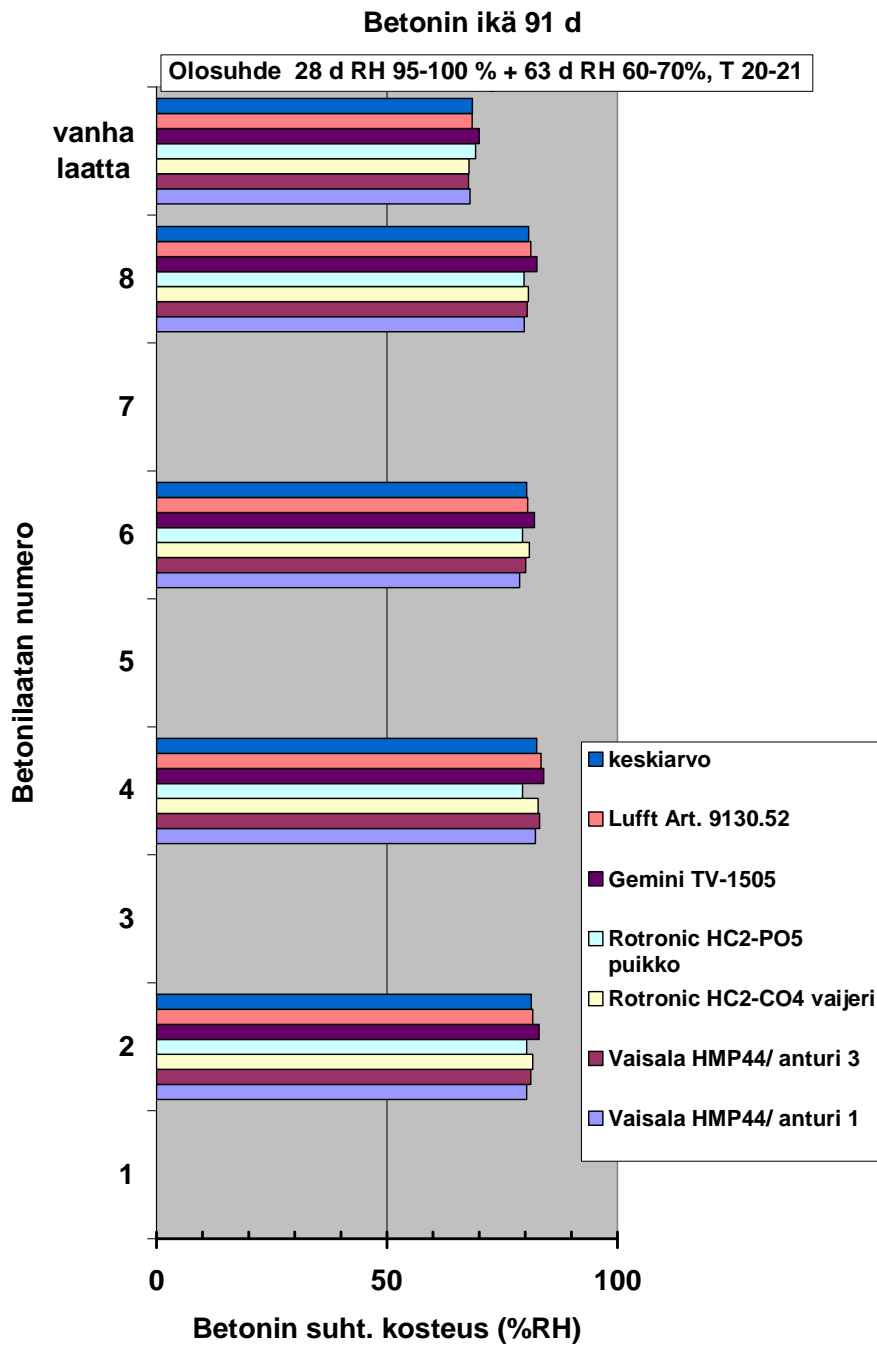
Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

Betonin ikä 91 d


Betonikoostumus	MC (0,45)		MC (0,45)		MC (0,40)		MC (0,40)	
Ilmaa	5,3	4,6	2,5	2,5	5,8	5,5	2,5	2,5
Laatan numero	1	2	3	4	5	6	7	8

Kuva 15. Betonilaattojen suhteelliset kosteudet 91 d iässä
(olosuhde RH 95–100%/ T 20–21°C)

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.



Betonikoostumus	MC (0,45)		MC (0,45)		MC (0,40)		MC (0,40)	
Ilmaa	5,3	4,6	2,5	2,5	5,8	5,5	2,5	2,5
Laatan numero	1	2	3	4	5	6	7	8

Kuva 16. Betonilaattojen suhteelliset kosteudet 91 d iässä
 (olosuhde ensin 28 d RH 95–100%, sitten 63 d RH 65-70%/ T 20–21°C
 ”vanha” MC (0,45) laatta ollut yli 2 v RH 65-70%)

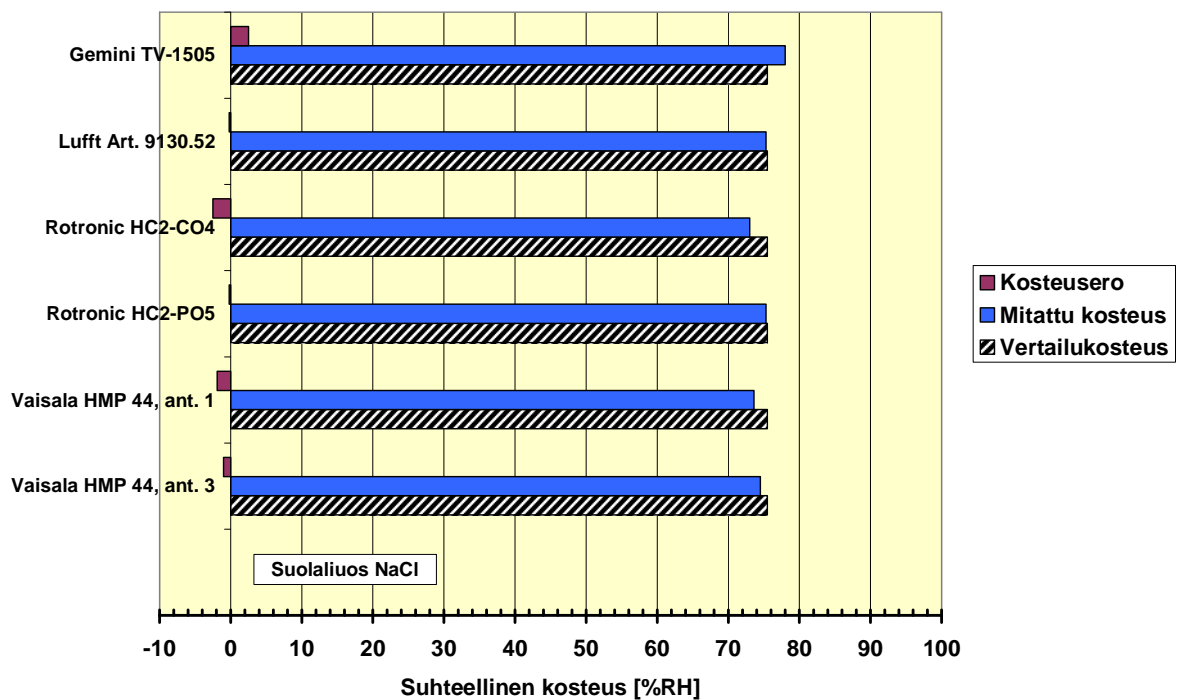
Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

3.4.5 Porareikäanturien kalibrointi

Tutkimuksessa käytetyt porareikäanturien suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittausrvirhe oli ennen koetta kalibroitu ja tarvittaessa viritetty valmistajien mittaustarkkuusvaatimusten mukaisiksi, liite 6.

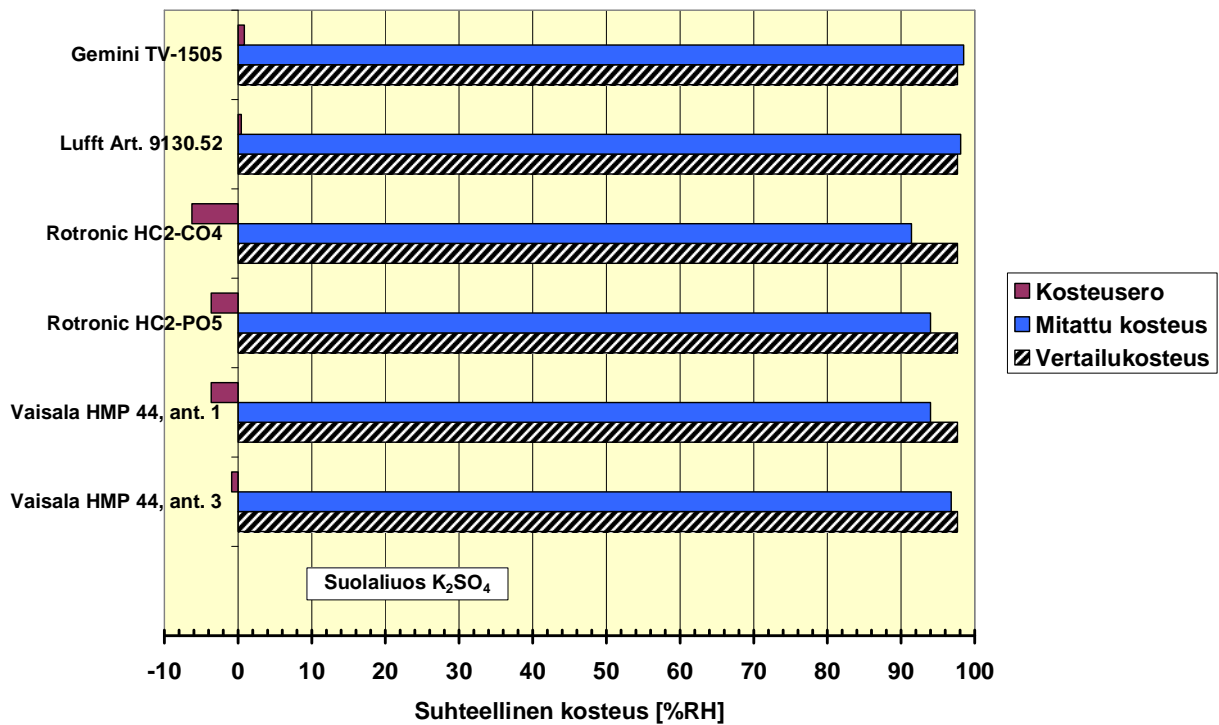
Kokeen lopussa VTT kalibroi samat anturit Vaisala HMK 11 kalibraattorissa. Vertailukosteus saatiin aikaan kylläisten suolaliuosten (NaCl ja K₂SO₄) avulla. Kalibrointitulokset on esitetty kuvissa 17 ja 18 sekä liitteessä 6.

Pienin kosteusero mitatun kosteuden ja vertailukosteuden välillä oli Lufftin anturilla, Suurin se oli Rotronic HC2-CO4 vaijerianturilla. Valmistajan ilmoittamissa tarkkuusrajoissa olivat Lufft 9130.52, Vaisalan HMP 44 anturi 1, Gemini TV-1505. Valmistajan ilmoittamasta tarkkuustoleranssista (liite 2) poikkesivat toinen Vaisalan anturi ja molemmat Rotronicin anturit.



Kuva 17. Tutkimuksessa käytettyjen suhteellisen kosteuden porareikäanturien kalibrointi mittausten lopuksi kylläisten NaCl-suolaliuosten avulla.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.



Kuva 18. Tutkimuksessa käytettyjen suhteellisen kosteuden porareikäanturien kalibrointi mittausten lopuksi kylläisten K_2SO_4 -suolaliuosten avulla.

4 Tulosten tarkastelu

Tutkimusten tulosten perusteella siltatyömaille ei ole tarjolla koti- tai ulko-mailta lupaavia uusia, tarkkoja ja helppokäyttöisiä työmaakäyttöön soveltuvia kosteudenmittausmenetelmiä.

Nykyinen porareikämittausmenetelmä sisältää erityisesti ulkona tehtävissä mitauksissa lukuisia virhemahdollisuuksia. Menetelmän lämpötilaherkkyys tekee siitä epävarman, koska mitattava kohdan lämpötila muuttuu jatkuvasti ja mittalaitteen lukema muuttuu viiveellä lämpötilamuutosten jälkeen. Lämpötilan muutos muuttaa suhteellista kosteutta eikä sitä ole otettu huomioon kosteusvaatimusten asettamisessa. Menetelmän käyttö vaatii erityistä taitoa, mikä voi aiheuttaa epätarkkuutta mittauksiin. Porareikämittausmenetelmää ei voi näistä syistä pitää soveltuvana mittalaitteena työmaan olosuhteisiin.

Saatujen vastausten perusteella Euroopassa käytetään merkittävässä laajuudessa silloilla kosteuden mittaamiseen rakenteesta irrotetun näytteen tutkimista kuivaus-punnitusmenetelmällä. Näytteenottoreikien paikkaamiseen on tarjolla nopeasti kuivuvia paikkausaineita ja betonilaatuja.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

Ulkomailla on käytössä useita hyvin subjektiivisia mutu-luokkaan kuuluvia yksinkertaisia kenttäkokeita, jotka eivät kuitenkaan sovellu eristystöiden aloituskriteereiksi.

Nykyisin käytössä oleva absoluuttisen kosteuden määrittäminen antaa luotettavan kuvan eristysalustan kosteustilasta. Sen yhteyteen sopivat käytettäväksi ainetta rikkomattomat pintamittarit, jotka antavat suuntaa-antavan kuvan betonirakenteen kuivumisesta ja soveltuvat mm. näytteenottokohtien valitsemiseen. Pintamittarien tuloksiin vaikuttavat monet eri virhelähteet, mistä syystä ne eivät pysty varmasti osoittamaan, milloin eristysalusta täyttää kosteusvaatimuksen. Ne ovat kuitenkin ehdottomasti parempia apuvälineitä betonin kosteustilan karkeaan arviointiin kuin monissa maissa yleisesti käytössä olevat subjektiiviset kosteuden arviointikeinot.

Tutkitut Tramex-laitteet ja Trotec 650 ovat hyviä apuvälineitä betonin kuivumiseen (muutosten) seurantaan ja niiden avulla voidaan valita siltakannen kosteimmat kohdat, joista otetaan absoluuttisen kosteuden näyte. Laitteilla saadaan myös suuntaa-antava tulos betonin kosteudesta. Tramex on näistä helpokäyttöisempi, koska sen mittaustuloksen vaihteluväli on samalla alueella kuin betonin absoluuttisen kosteuden vaihteluväli kuivatus-punnitusmenetelmällä.

Pintamittarien etu on helppokäyttöisyys ja nopeus, mikä tekee niistä käyttökelpoisen apuvälineen työmaaoihin.

Uudet materiaalit antavat huomion arvoisia vaihtoehtoja kosteusmittausten epävarmuudelle. Nopeasti kuivuva betoni tarjoaa mahdollisuuden lyhentää työvaiheiden välisiä odotusaikoja. Märälle pinnalle soveltuvat eristysmateriaalit vähentävät eristystyön sääriskejä ja lyhentävät myös odotusaikoja.

Vedeneristysten vaurioiden korjaaminen on erittäin kallista ja aiheuttaa liikennehaittoja. Vedeneristysten kunnon ja vaurioiden toteumatietojen keräämiseen tulisi kehittää ja ottaa käyttöön menettely, jonka avulla saadaan tietoa rakenteiden toimivuudesta käytännössä.

5 Kosteuskriteerit ja eristyksen laadun varmentaminen

Kosteuskriteerien valintaperusteet

Betonisen siltakannen riittävän alhaisella kosteudella (enimmäiskosteusvaatimuksella) pyritään varmistamaan, että eristys tarttuu hyvin alustaansa.

Hyvän tartunnan avulla pyritään välttämään eristyskerroksen irtoaminen alustasta, eristyksen kuplimisvauriot ja mahdollisesta eristyksen vuotokohdasta eristyksen alle pääsevän suolaveden haitalliset vaikutukset betonikanteen laajemmalla alueella eli pidentämään eristyksen käyttöikä. Eristyksen irtoamisesta aiheutuvat vuodot ovat vaikeasti havaittavissa ja niiden aiheuttamien vaurioiden korjaus on kallista.

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

Kosteuskriteerin valintaperusteiden taustalla ovat siten taloudelliset seuraamukset joko vedeneristysrakenteen takuuajana urakoitsijalle tai käyttöajana rakenteen omistajille. Kosteusvaatimus on yksi tapa, jolla yritetään varmistaa eristystyön laatua ja välttää laadunallisten taloudellisia seuraamuksia.

Kosteusvaatimuksella ei ole merkitystä, jos betonin kosteustilaa ei voida määrittää luotettavasti.

Kosteuskriteeri

Enimmäiskosteusvaatimus on yksi tapa pyrkiä varmentamaan eristyksen laatua, jolla tavoitellaan pitkää käyttöikää.

Enimmäiskosteusvaatimuksen käyttö edellyttää, että mittausmenetelmät ovat luotettavia, laitteet tarkkoja ja että mittaajat käyttävät niitä oikein. Porareikämittausmenetelmä vaihtelevissa ulkolämpötiloissa on osoittautunut liian vaikeaksi hallita siltatyömailla ja siitä voidaan siksi luopua siltatyömailla.

Betonin absoluuttisen kosteuden mittaus rakenteesta irrotetusta näytepalasta soveltuu kuitenkin edelleen kosteusvaatimuksen perusteeksi. Enimmäiskosteusvaatimus on voimassa siltakannen joka kohdassa. Siksi absoluuttisen kosteuden näytteet tulisi ottaa kannen kosteimmista kohdista. Kosteimpien kohtien valinnan apuvälineenä tulisi käyttää ainetta rikkomatonta pintamittaria. Esim. tässä tutkimuksessa mukana olleet pintamittarit soveltuvat tähän tarkoitukseen.

Eristysurakoitsijan tulisi käyttää myös oman työn laadunohjaukseen työmaolosuhteisiin riittävän helppokäyttöisiä, ainetta rikkomattomia betonin kosteuden pintamittareita, jotka auttavat urakoitsijaa arvioimaan karkeasti betonin kosteustilan. Näiden laitteiden olosuheriippuvuuden vuoksi ne eivät anna täyttä varmuutta eristysolosuhteiden täyttymisestä, mutta kertovat kuitenkin paremmin eristyksen pinnoituskelpoisuuden kuin yksinkertaiset (kohdan 1.4.1 mukaiset) subjektiiviset menetelmät.

Muita eristyksen laadunvarmentamisvaihtoehtoja

Kosteusmittausvaatimusten ohella eristyksen laatua voidaan varmentaa tartuntalujuusmittauksin tai valitsemalla kostealle pinnalle tarttuvia eristysmateriaaleja tahi kansibetoniksi nopeasti kuivuvia sillan betonilaatuja.

Tartuntalujuus

Tartuntalujuusmittausten merkitys korostuu eristyksen laadun varmistamisessa, jos kosteusvaatimusten painoarvo vähenee. Tartuntalujuusmittaus tulee tehdä aina siltapaikalla valmiista tutkittavasta kerroksesta. Erillisistä näytepaloista tai eristyksen seuraavaan kerrokseen jätetyistä aukoista tehty tartuntalujuusmittaus ei anna riittävän luotettavaa kuvaa siltakannen eristyksen tartunnasta.

Kostealle pinnalle tarttuvat eristysmateriaalit

Eristysalustan kosteudesta ei ole haittaa, jos käytetään eristysmateriaaleja ja niiden kiinnitystapoja, joilla eristys tarttuu riittävän lujasti myös märkään pintaan. Eristyksen tartuntaa märkään pintaan voidaan parantaa, jos käytetään märälle pinnalle soveltuvia (esim. vesiliukoisia) tartunta-aineita. Näiden soveltuvuus märälle pinnalle tulee varmistaa etukäteen kokeellisesti luotettavalla tavalla.

Kun eristetään märkää betonipintaa, on varmistettava betoniteknisin keinoin, ettei betoniin eristyksen asennuksen jälkeen jäävä korkeampi vesipitoisuus vaaranna betonin pakkasenkestävyyttä.

Nopeasti kuivuvat betonit

Jos betoni kuivuu nopeasti ja sen kosteus alenee esim. 7 päivässä suurimman sallitun kosteuden alapuolelle, ei kuivumisen odottamisesta aiheudu merkittäviä lisäkustannuksia. Nopeasti kuivuva betoninen eristysalusta tulee suojata siten, ettei betoniin pääse imeytymään ulkoista kosteutta, esim. sadevesiä. Se edellyttää yleensä sääsuojan käyttöä.


Kosteusvaatimusten muutostarve


InfraRYL:in eristysalustan kosteusvaatimukset tulee tarkistaa siten, että luovutaan porareikämittaukseen perustuvista vaatimuksista ja annetaan ohjeet ainetta rikkomattomien pintakosteusmittarien soveltuvuudesta siltakannen kosteus-tilan muutosten seurantaan ja absoluuttisen kosteuden näytteiden ottokohtien valintaan.

Absoluuttisen kosteuden vaatimus on nykyisin oikealla tasolla. Se on jopa hieman lievempi kuin esim. Itävallassa ja Saksassa, joissa suurin sallittu eristysalustan kosteus on 4 %.

Jos kosteusvaatimusta ei pystytä saavuttamaan, tulisi harkita muita vaihtoehtoja, joita ovat esim. sääsuojan käyttö, kostealle alustalle soveltuva eristys ja/tai eristysalustan lämmittäminen. Jos on epävarmaa, onko betoni riittävän kuivaa vedeneristyksen tartunnan varmistamiseksi, korostuu tällaisessa kohteessa tarttuntalujuusmittausten tekemisen tarve.

Espoo, 4.12.2009


Heikki Kukko
Teknologiapäällikkö


Kyösti Laukkanen
Erikoistutkija

LIITTEET

6 kpl

JAKELU

Tilaja
VTT / Kirjaamo

Alkuperäinen
Alkuperäinen

Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tutkituille näytteille.

Kirjallisuusviitteet

- [1] InfraRYL 2006, Osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat, Jakso 42000 Sillat, Hämeenlinna 2008. Rakennustieto RT 14-10920.
- [2] Vedeneristystöiden laadunmittaus. Mittausten suorittamisen menetelmäohjeet. VTT 2007.
 - Menetelmä VTT 2649. Betonisen siltakannen kosteuden mittaus. Porareikämenetelmä.
 - Menetelmä VTT 2650. Betonisen siltakannen kosteuden mittaus. Kuivatus-punnitus-menetelmä.
- [3] BRO 2004, Del 6 - Tätskikt och beläggning. Vägverket, Publication 2004:56
- [4] Englund, M., Mitrunen, A., Lehtiniemi, P., Ipatti, A., Kuituoptiset anturit siltarakenteiden mittauksissa, Vantaa 2008. CMC-3929/27.2.2008.
- [5] SILKO-kortit, Siltojen korjaus, Tiehallinto, Siltatekniikka
- [6] Ahlgren, Lennart., Bergström, Sven. G., Fagerlund. Göran., Nilsson, Lars-Olof, Fukt i Betong, CBI Kursverksamheten, Cement och Betonginstitutet, Stockholm 1976.
- [7] Taylor, H., F., W., Wiltshire 1997, Cement Chemistry.
- [8] Laukkanen, K., Paroll, H., Pitkänen P., Vesikari, Erkki, Siltojen kermieristysten kuplimisen estäminen. Lopuraportti, Helsinki 1998, Tielaitoksen selvityksiä 45/1998.
- [9] Merikallio, T., Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa. Espoo 2009, TKK Rakenne- ja tuotantotekniikan laitoksen väitöskirjoja, TKK-R-VK4.
- [10] Hemming Paroll, FuktCom Ab:n Suomen edustaja, suullinen tieto.
- [11] Fuktkontrollant Betong, Rådet för inklusiva byggkompetens (RBK), www.rmk.nu.
- [12] Merikallio, T., Niemi, S., Komonen, J., Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Helsinki 2007, Suomen Betonitieto Oy ja Lattian- ja seinänpäällysteliitto.
- [13] Johnsen, S., Calibration of humidity meters. Sandia Corporation, USA 2008, Activity/ Project specific procedure, SP 12-24.
- [14] Vaisala humidity calibrator HMK 15, User Guide. Helsinki 2006, Vaisala M210185EN-C.

Tutkitut mittalaitteet



Vaisala HMP 44 anturi ja HMI 41 näyttölaite



Rotronic HC-CO4 anturi ja Hygro Palm HP 22



Rotronic HC2-CO5 anturi ja Hygro Palm HP 22



Lufft Art. 9130.52 anturi ja Lufft A1-SDI näyttölaite



Gemini TV-1505 anturi ja näyttölaite+dataloggeri



Trotec T-650 pintakosteusmittari



Tramex Concrete Moisture Encounter CME 4 pintamittari



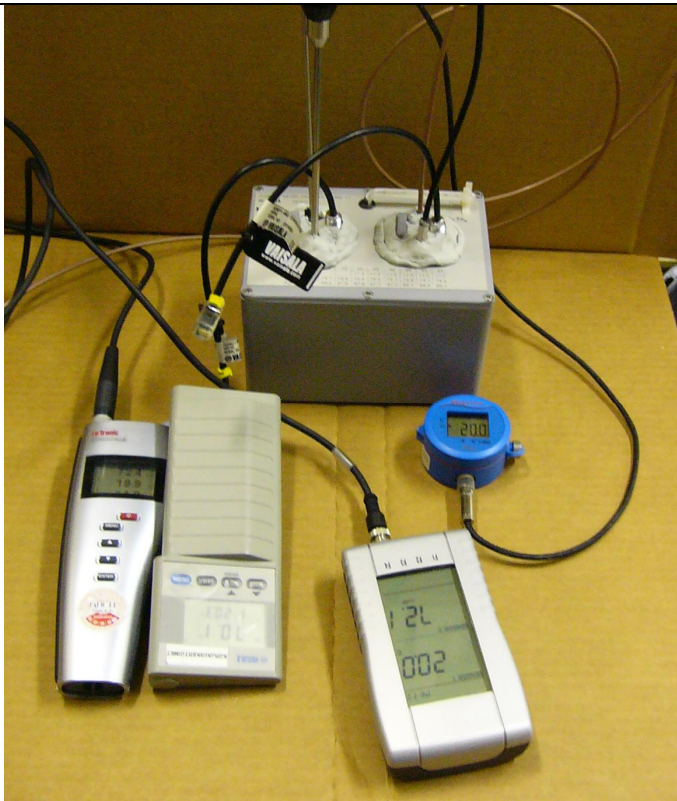
Tramex Concrete Moisture Encounter CME 4, alapuoli



Tramex CMEXPERT pintakosteusmittari



Gann Hydromette RTU 600 pintakosteusmittari



Vaisala kosteuskalibraattori HMK 11



Vaisala kosteuskalibraattori HMK 15

Tutkittujen laitteiden teknisiä tietoja

Vaisala anturi HMP 44 ja näyttölaite HMI 41

TEKNISEET TIEDOT

HMP44-MITTAPÄÄ

SUHTEELLINEN KOSTEUS

Mittausalue	0...100 %RH
Tarkkuus	
0...90%RH	±2 %RH
90...100%RH	±3 %RH
Tyypillinen pitkärajan stabiilius ilmassa	< 1 %RH/vuosi
Vasteaika (90%) +20 °C:ssa liikkumattomassa ilmassa	15 s
Kosteusanturi	HUMICAP® 180

LÄMPÖTILA

Mittausalue	-20...+60 °C
Tarkkuus +20 °C:ssa	±0.4 °C
Lämpötila-anturi	Pt 1000 IEC 751 1/3 Class B

YLEISTÄ

Elektroniikan käyttölämpötila-alue	-40...+60 °C
Mittapään halkaisija	12 mm
Mittapään pituus	69 mm
Kaapelin pituus	300 mm
Anturin suojaus	kalvosuodin 17039HM
Porareian halkaisija	16 mm
Mittausvyvyys	min. 30 mm max. 90 mm

HMI41-NÄYTTÖLAITE

Näyttölaitteen aiheuttama enimmäisvirhe +20 °C:ssa	
kosteus	±0.1 %RH
lämpötila	±0.1 °C
Mittaustulosten tallentaminen	
Laskennalliset suureet	kastepistelämpötila, absoluuttinen kosteus, märkalämpötila, sekoitusuhde
Erottelukyky	0.1 %RH; 0.1 °C
Tehonlähde	4 paristoa, tyyppi IEC LR 6
Paristojen käyttöaika (alkaliparistoille)	72 h jatkuvaassa käytössä
Käyttölämpötila-alue	-20...+60 °C
Käyttökosteusalue	0...100%RH kasteeton
Varastointilämpötila-alue	-40...+70 °C
Näyttö	kahden rivin nestekidenäyttö
Kotelon materiaali	ABS muovi
Kotelon luokitus	IP 53 (liittimet suojattuina)
Paino (sis. paristot)	300 g

Muita HMI41-näyttölaitteen kanssa rakennekosteuden mittaamiseen käytettäviä mittapäitä:

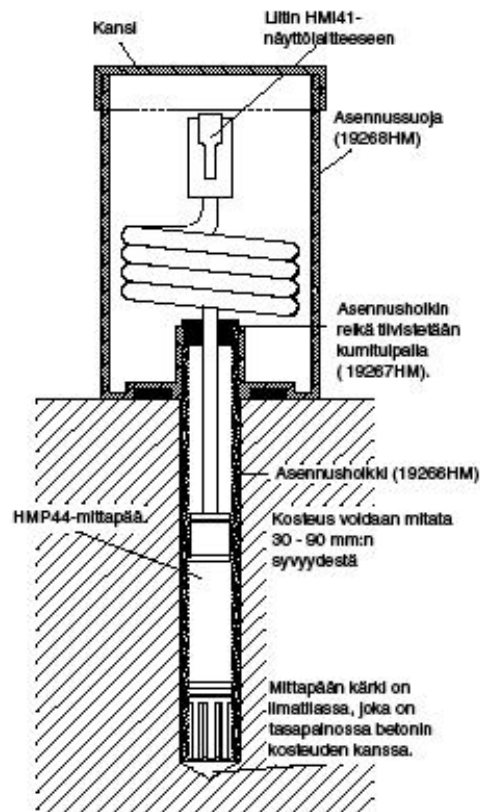
HMP42	235 mm mittapää, halkaisija 4 mm
HMP44L	kuin HMP44, mutta 2700 mm kaapelilla
HMP46	320 mm mittapää, halkaisija 12 mm

Täyttää EMC-standardit EN50081-1 ja EN50082-2

HUMICAP® on Vaisalan rekisteröimä tuotemerkki. Oikeus muutoksin ilman erillistä ilmoitusta pidetään.
© Vaisala Oyj



Asennusesimerkki



Rotronic anturit HydroClip HC2-C04 ja HC2-P05

E-M-HC2 Probes-V1_10 Document code	Rotronic AG Bassersdorf, Switzerland Unit
HygroClip 2 (HC2) Humidity Temperature Probes – User Guide Document title	Instruction Manual Document Type
	Page 20 of 28

11 Technical data

11.1 Specifications

General	
Device type	Humidity temperature probe
Mechanical configuration	See models

Power supply and connections	
Supply voltage (VDD)	HC2-IC, HC2-IM and HC2-IE: 3.3 V ± 0.1V All other models: 3.2 ... 5.0 VDC ± 0%
Recommended supply voltage	3.3 VDC
Supply voltage during factory tests and adjustment	3.3 VDC
Supply voltage stability / ripple	See System Accuracy, effect of VDD
Nominal current consumption	< 4.5 mA at VDD = 3.3 VDC 7.5 mA at VDD = 5 VDC
Maximum start-up current unlimited	< 50mA during 2µs
Minimum start-up current required	Typical: 8 mA during 2ms and 5 mA during 2s
Maximum current spike during operation	1 mA during maximum 2µs
Polarity protection	Mechanical only (keyed connector)

Humidity measurement	
Sensor	ROTRONIC Hygromer® IN1
Measuring range	0...100 %RH
Measurement accuracy at 23 °C	±0.8 %RH (w. standard adjustment profile)
Repeatability	0.3 %RH
Long term stability	< 1 %RH / year
Sensor time constant	Typical 10 sec, 63% of a 35 to 60 %RH step change (1m/sec air flow at sensor)

Temperature measurement	
Sensor	Pt100 RTD, IEC 751 1/3 class B
Measuring range	-100...200 °C (see also environmental limits)
Measurement accuracy at 23 °C	±0.1 °C
Repeatability	0.05°C
Long term stability	< 0.1°C / year
Sensor time constant	Typical 4 sec, 63% of a step change (1m/sec air flow at sensor)

Calculated parameters	
Psychrometric calculations	Dew or frost point (user configurable)

Start-up time and data refresh rate	
Start-up time	1.5s (typical)
Data refresh rate	1.0s (typical) – when not calculating any parameter

Lufft A1-SDI ja anturi 9130.52

Yhdistetty lämpötila - / kosteussanturi A1 – SDI mittarille

Tekniset tiedot

Tuote nro

Lämpötila-/kosteusanturi Ø 4mm 9130.52

Mitat	Pituus 250mm, Ø 4mm
Paino	85 g
Suojausluokka	IP40, irrotettava rst-suojus, PTFE suodin.
Sallittu käyttölämpötila/kosteus	0...50°C / 0...95 % RH
Varastointi lämpötila/kosteus	- 20...60°C / 20...80 % RH

Suhteellinen kosteus

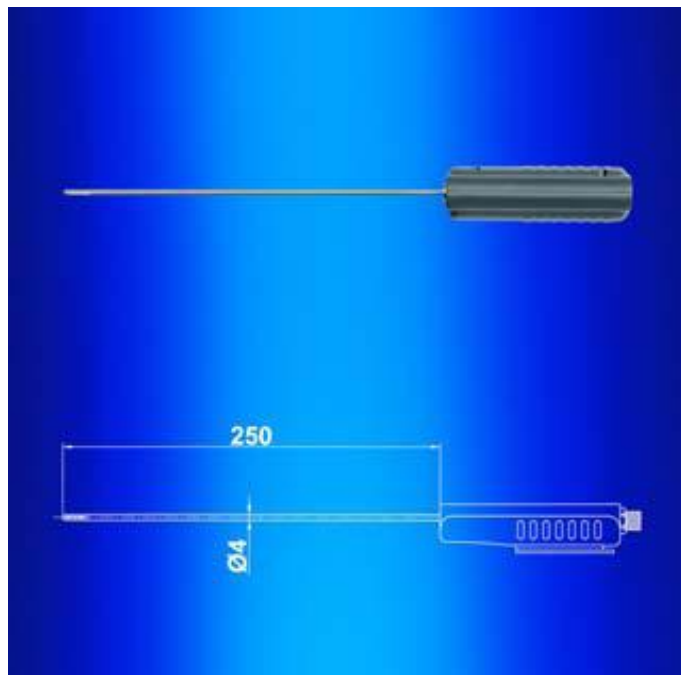
Mittausalue	0...100% RH
Erottelu	0,1% RH
Tarkkuus	±2 % RH (0...90 % RH) ±3 % RH (90...100 % RH)

Lämpötila

Anturi	PT1000 (luokka B, DIN EN 60751)
Mittausalue	- 40...100°C
Erottelu	0,1°C
Tarkkuus	±0,2°C / 20°C:ssa, muuten ± 0,7°C



Näyttölaite: Lufft A1-SDI



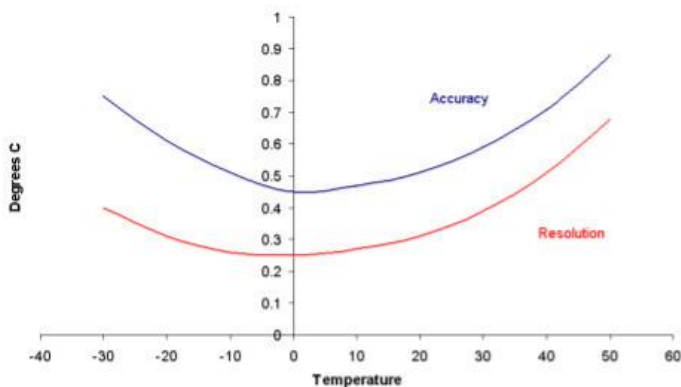
Kosteus- ja lämpötila-anturi: 9130.52

Gemini Tinyview Plus ja anturi TV-1505



Anturi, näyttölaite ja tiedonkeruulaite

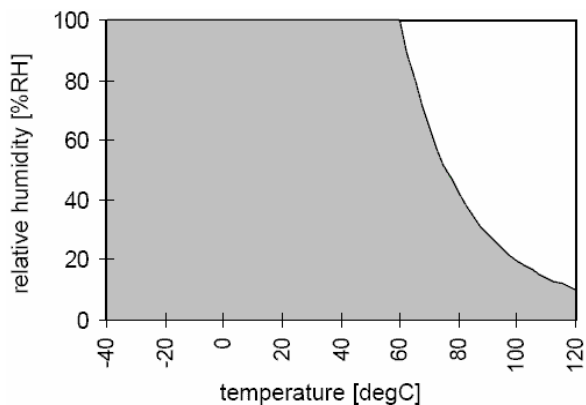
Ulkoisen anturi Lämpimitta 7,9 mm
Muistin koko 32000 lukemaa



Lämpötila

Mittausalue -30...+50 °C
Anturityyppi 10K NTC Thermistor

Lämpötilan mittaustarkkuus ja erotuskyky viereisen kuvan mukainen



Suhteellinen kosteus

Mittausalue 0...100 % RH
Anturin tyyppi kapasitiivinen
Erotuskyky 0,5 %-yks. RH
Tarkkuus ±3 %-yks. (25°C:ssa)

Suhteellisen kosteuden mittausalue vaihtelee mittaustemperatuurista riippuen viereisen kuvan mukaisesti

Betonilaattojen absoluuttisen kosteuden mittaustulokset**Kuivatus-punnitusmenetelmä**

Betoni-laatta nro	Koos-tumus	ilma %	Abs.kost %	Betonin ikä d	Betonin säilytys eri olosuhteissa
1	MC (0,45)	5,3	4,7	21	21 d RH 95-100%
2		4,6	5,4		
3		2,5	5,3		
4		2,5	4,9		
5	MC (0,40)	5,8	4,7		
6		5,5	5,2		
7		2,5	5,0		
8		2,5	5,1		
1	MC (0,45)	5,3	4,6	28	28 d RH 95-100%
3		2,5	4,9		
4		2,5	4,3		
5	MC (0,40)	5,8	4,7		
7		2,5	4,7		
8		2,5	4,0		
2	MC (0,45)	4,6	4,0	91	28 d RH 95-100%+63 d RH 60-70%
4		2,5	3,4		
6	MC (0,40)	5,5	3,7		
8		2,5	3,9		
1	MC (0,45)	5,3	5,0	91	91 d RH 95-100%
3		2,5	4,6		
5	MC (0,40)	5,8	4,7		
7		2,5	4,7		
vanha laatta	MC (0,45)		3,3	> 2 v	> 2 v RH 60-70%

Betonilaattojen kosteuden mittaustuloksia pintamittareilla

Menetelmä: Ainetta rikkomaton pintamittaus

Betoni-laatta	ikä d	Gann		Trotec T650		Tramex CME4		Tramex CMEXPERT		Betonin säilytysolosuhde
		On rauta	Ei rauta	On rauta	Ei rauta	On rauta	Ei rautaa	On rauta	Ei rauta	
3	21	127	130	144	144	6,0	5,9	6,5	6,4	21 d RH 95-100 %
4	21	129	126	141	142	6,0	5,6	6,1	5,8	
7	21	122	118	153	145	6,0	5,8	6,8	6,4	
8	21	135	128	143	143	5,9	5,8	6,1	5,9	
5	21	134	130	148	147	> 6	5,7	6,5	5,8	
6	21	126	130	147	144	> 6	> 6	6,7	6,5	
2	21	133	125	147	148	> 6	5,8	5,8	6,3	
1	21	126	128	147	147	> 6	5,8	6,0	5,7	
7	28	137	132	148	146	> 6	> 6	6,5	6,1	28 d RH 95-100 %
3	28	131	140	150	147	> 6	> 6	6,5	6,5	
5	28	137	124	146	146	> 6	> 6	6,8	6,2	
1	28	128	130	147	144	> 6	> 6	6,0	6,4	
8	28	103	113	103	83	3,6	3,7	3,7	3,5	
4	28	109	108	87	89	3,5	3,5	3,4	3,5	
8	91	106	105	89	79	3,5	3,7	3,6	3,5	28 d RH95-100 % + 63 d RH 60-70 %
4	91	97	102	81	87	3,6	3,6	3,4	3,4	
6	91	110	111	112	114	3,9	3,7	4,0	4,0	
2	91	115	114	121	118	3,4	3,5	4,0	3,8	
3	91	134	136	148	150	> 6	> 6	6,9	6,9	91 d RH 95 - 100 %
5	91	131	133	149	150	> 6	> 6	6,9	6,9	
1	91	134	133	148	147					
7	91	136	125	148	147					
vanha	> 2 v		86		76		3,2		3,4	> 2 v RH 60-70

Betonilaattojen suhteelliset kosteudet

Mittausmenetelmä: Kosteusmittaus betoniin poratusta reiästä

Betonin ikä 21 - 91 d

	Betonikoostumus	MC (0,45)		MC (0,45)		MC (0,40)		MC (0,40)		MC (0,45)
	Ilmaa (%)	5,3	4,6	2,5	2,5	5,8	5,5	2,5	2,5	
IKÄ JA SÄILYTYS	Laatan numero	1	2	3	4	5	6	7	8	<i>vanha laatta</i>
21 d	Vaisala HMP44/ anturi 1	90,2	91,6	93,0	93,1	88,9	90,3	89,9	90,1	
RH 95...100 %	Vaisala HMP44/ anturi 3	91,5	92,3	93,0	93,2	89,7	90,6	89,7	90,4	
T 20...21°C	Rotronic HC2-CO4 vaijeri	91,3	92,7	92,7	93,0	88,9	91,5	89,4	89,9	
	Rotronic HC2-PO5 puikko	92,1	92,8	92,6	92,0	94,5	92,1	96,8	93,5	
	Gemini TV-1505	93,5	94,5	94,5	95,0	91,5	93,5	91,5	92,0	
	Lufft Art. 9130.52	94,1	94,5	95,6	95,5	92,3	93,2	90,5	92,1	
	keskiarvo	92,1	93,1	93,6	93,6	91,0	91,9	91,3	91,3	
	Laatan numero	1	2	3	4	5	6	7	8	
28 d	Vaisala HMP44/ anturi 1	91,4		92,2		88,8		88,0		
RH 95...100 %	Vaisala HMP44/ anturi 3	91,7		92,4		89,5		89,6		
T 20...21°C	Rotronic HC2-CO4 vaijeri	92,1		91,8		90,5		89,3		
	Rotronic HC2-PO5 puikko	93,7		91,9		92,6		89,7		
	Gemini TV-1505	95,0		94,0		91,5		91,0		
	Lufft Art. 9130.52	95,0		95,8		92,6		90,7		
	keskiarvo	93,2		93,0		90,9		89,7		
	Laatan numero	1	2	3	4	5	6	7	8	
91 d	Vaisala HMP44/ anturi 1	92,8		93,2		91,5		91,4		
RH 95...100 %	Vaisala HMP44/ anturi 3	93,7		94,4		92,0		91,2		
T 20...21°C	Rotronic HC2-CO4 vaijeri	93,9		94,1		91,7		91,7		
	Rotronic HC2-PO5 puikko	93,9		95,0		93,4		94,6		
	Gemini TV-1505	96,0		96,5		93,5		93,5		
	Lufft Art. 9130.52	97,4		97,9		92,3		95,8		
	keskiarvo	94,6		95,2		92,4		93,0		
	Laatan numero	1	2	3	4	5	6	7	8	<i>vanha laatta</i>
ensin 28 d	Vaisala HMP44/ anturi 1		80,3		82,2		78,8		79,8	68,0
RH 95...100 %	Vaisala HMP44/ anturi 3		81,2		83,1		80,1		80,4	67,7
T 20...21°C	Rotronic HC2-CO4 vaijeri		81,6		82,8		80,9		80,7	67,8
sen jälkeen	Rotronic HC2-PO5 puikko		80,3		79,4		79,4		79,7	69,2
63 d	Gemini TV-1505		83,0		84,0		82,0		82,5	70,0
RH 60...70 %	Lufft Art. 9130.52		81,6		83,4		80,5		81,2	68,5
	keskiarvo		81,3		82,5		80,3		80,7	68,5

Betonilaattojen suhteelliset kosteudet

Porareikäanturien kalibrointitulokset

Kalibrointiajankohta: Ennen kosteusmittauksia ja niiden jälkeen

Kalibrointi pvm.	Laite	Vertailukosteus % RH	Mitattu kosteus % RH	Kosteusero % RH	Vertailulämpötila °C	Mitattu lämpötila °C	Lämpötilaero °C	Kost. kalibr. laite
PORAREIKÄANTURIEN KALIBROINNIT ENNEN MITTAUKSIA								
20.1.2009	Rotronic HC2-PO5	10,1	10,1	0,0	24,2	24,2	0,0	RAG-DYN-1
13.2.2009	Rotronic HC2-CO4	10,2	10,2	0,0	25,2	25,2	0,0	RAG-DYN-1
19.3.2009	Gemini TV-1505	32,9 75,4	33,0 76,0	0,1 0,6	21,9	22,0	0,1	HMK 15
24.3.2009	Lufft A1-SDI +9130.52	32,9 75,4	33,0 75,6	0,1 0,2	22,1	22,2	0,1	HMK 15
15.4.2009	Vaisala HMP 44, ant. 1	75,5 90,3	75,5 90,8	0,0 0,5	23,9	23,9	0,0	HMT 337
15.4.2009	Vaisala HMP 44, ant. 3	75,5 90,3	75,4 90,8	-0,1 0,5	23,9	24,0	0,1	HMT 337
PORAREIKÄANTURIEN KALIBROINNIT MITTAUSTEN JÄLKEEN								
1.7.2009	Vaisala HMP 44, ant. 3	75,5 97,7	74,5 96,8	-1,0 -0,9	19,3 19,1	19,4 19,2	0,1 0,1	HMK 11
2.7.2009	Rotronic HC2-CO4	75,5 97,7	73,0 91,4	-2,5 -6,3	19,3 19,1	19,2 19,2	-0,1 0,1	HMK 11
2.7.2009	Gemini TV-1505	75,5 97,7	78,0 98,5	2,5 0,8	19,3 19,1	19,5 19,0	0,2 -0,1	HMK 11
2.7.2009	Vaisala HMP 44, ant. 1	75,5 97,6	73,6 94,0	-1,9 -3,6	19,2 19,2	19,1 19,5	-0,1 0,3	HMK 11
2.7.2009	Rotronic HC2-PO5	75,5 97,6	75,3 94,0	-0,2 -3,6	19,0 19,2	19,0 19,5	0,0 0,3	HMK 11
2.7.2009	Lufft A1-SDI +9130.52	75,5 97,6	75,3 98,1	-0,2 0,5	19,0 19,2	19,1 19,4	0,1 0,2	HMK 11

Ennen mittauksia tehdyt kalibroinnit on suoritettu valmistajan tai maahantuojan toimesta. Mittausten jälkeen tehdyt kalibroinnit on suoritettu VTT:n toimesta

KYSELY KOTIMAAHAN KOSTEUSMITTAUKSISTA JA KUPLIMSVAUURIOISTA

Tiepiiri tai lääni	Tienumero tai väylän nimi	Kunta
Sillan nimi ja numero		Kannen valupäivä
Sisälsikö kannen betonimassa huokostinta kyllä , Ei		Muu lisäaine:
Jälkihoitotapa (jälkihoitoaine/ vesi)		Hiekkapuhallettiinko kansi:
Kannen suht. kosteus ennen eristystä	% RH	Mittausmenetelmä
Kannen abs. kosteus ennen eristystä	%	Mittausmenetelmä
Eristysurakoitsija		
Aluskermin valmistaja	Aluskermin kiinnitystapa: hitsaus/ liimaus	
Aluskermin asennus pvm		
Oliko kannen yläpinta käsitelty ennen eristämistä: Epoksitiivistyksellä _____, Kumibitumiliuoksella _____		
Käytettiinkö eristystyön aikana sääsuojaa		
Kuplimista esiintynyt: Eristämisen aikana _____, ilman lämpötila ____°C Heti eristämisen jälkeen _____, ilman lämpötila ____°C Asfaltoinnin aikana _____, ilman lämpötila ____°C Myöhemmin, milloin _____, ilman lämpötila ____°C		
Kuplimista ollut: Yksittäisiä kuplia ____, Siellä täällä useita _____, Kauttaaltaan _____		
Mitattu aluskermin tartuntalujuus N/mm2 (lämpötilassa °C)		
Lisätietoja (Esim. käyttökokemukset työmaan kosteudenmittausmenetelmistä porareikämittaus, Tramex, muu):		

LIITTEENÄ:

Eristysalustan kosteudenmittauspöytäkirja ____ kpl

Vedeneristyksen tartuntalujuusmittausten mittauspöytäkirja ____ kpl

Eristysolosuhdemittauspöytäkirja ____ kpl

Lisätietoja antaa:

Nimi (tekstaten): _____

puhelin: _____

Lomakkeen täyttäjän työnantaja: _____