

Rakennustyömaan olosuhdehallinnan seuranta

Nita Pykälä-aho
LAB-ammattikorkeakoulu
Rakennusmestari (AMK)
2022

Tiivistelmä

Tekijä(t) Pykälä-aho, Nita	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 34	Valmistumisaika 2022
Työn nimi Rakennustyömaan olosuhdehallinnan seuranta		
Tutkinto ja koulutusala Rakennusmestari AMK, rakennusalan työnjohdon koulutus		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja) Jorma Tuononen, Työpäällikkö, YIT Suomi Oy		
Tiivistelmä <p>Betonirakenteiden kuivumisongelmat voivat viivästyttää rakennustyömaan aikatauluja sekä lisätä kustannuksia. Työmaalla betonin kuivumiseen on mahdollista vaikuttaa oikein toteutetulla olosuhdehallinnalla, joka edistää merkittävästi betonin kuivumista. Työmaan kuivatusmenetelmän valintaan vaikuttaa vahvasti vallitseva vuodenaika.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin rakennustyömaan olosuhteita sekä betonin kuivumista mittausten avulla. Mittauksissa käytettiin erään toimittajan tarjoamaa etäluettavaa, jatkuvia mittaustuloksia reaaliaikaisesti lähettävää langatonta laitteistoa. Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia laitteiston käytettävyyttä, luotettavuutta sekä hyödyllisyyttä työnjohdon näkökulmasta.</p> <p>Työ toteutettiin yhteistyössä YIT Suomi Oy:n kanssa Vantaalla sijaitsevalla uudisrakennustyömaalla. Mittauslaitteisto osoittautui käytettävyydeltään helppokäyttöiseksi sekä laitteiston antamat tulokset hyödyllisiksi. Laitteiston luotettavuudesta ei voitu täysin varmistua tutkimuksen perusteella, mutta suuntaa antavina mittauksina laitteisto tarjosi arvokasta tietoa tarvittavista muutoksista olosuhteisiin työmaalla.</p>		
Asiasanat olosuhdehallinta, betoni, kosteus, kuivuminen		

Abstract

Author(s) Pykälä-aho, Nita	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2022
	Number of Pages 34	
Title of Publication Condition control surveillance at construction site		
Degree and field of study Construction site manager UAS, Bachelor of Construction		
Name, title and organisation of the client (if the thesis work is commissioned by another party) Jorma Tuononen, Production Manager, YIT Suomi Oy		
Abstract <p>Problems with the drying of concrete structures can delay construction site schedules as well as increase costs. On site, it is possible to influence the drying of concrete with properly implemented condition management, which significantly promotes the drying of concrete. The choice of method for site drainage is strongly influenced by the prevailing season.</p> <p>In this thesis, the conditions of a construction site and the drying of concrete with the help of measurements were studied. The measurements used remote-readable wireless equipment provided by a supplier to send continuous image measurement results. The aim of the research was to study the reliability, usability and usefulness of the equipment from the perspective of work management.</p> <p>The work was conducted in co-operation with YIT Suomi Oy at a construction site in Vantaa. The measuring equipment proved to be user-friendly, and the results given by the equipment useful. The reliability of the equipment could not be fully verified based on the study, but as indicative measurements, the equipment provided valuable information on the necessary changes in site conditions.</p>		
Keywords condition control, concrete, humidity, drying		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Rakennustyömaan olosuhteet.....	2
2.1	Olosuhteiden hallinta	2
2.2	Kosteus	2
2.3	Kosteuden siirtymismuodot.....	4
2.4	Lämpö	6
2.5	Vuodenajat	6
3	Kosteudenhallinta	8
3.1	Kosteudenhallintaselvitys.....	8
3.2	Kosteudenhallintasuunnitelma	8
3.3	Kuivaketju10	9
4	Olosuhdehallinta työmaalla	12
4.1	Suojaus	12
4.2	Rakenteiden kuivumisaika	12
4.3	Kuivatuksen toteutus	13
4.4	Rakennusaikainen ilmanvaihto	18
5	Olosuhde- ja kosteusmittaukset.....	21
5.1	Rakenteiden kuivuuden selvitys.....	21
5.2	Kosteusmittaussuunnitelma	21
5.3	Porareikämittaus.....	22
5.4	Mittalaitteet	24
5.5	Seuranta.....	26
6	Yhteenveto ja pohdinta	31
	Lähteet	32

1 Johdanto

Rakennustyömaan olosuhdehallinta on tärkeässä roolissa hankkeen lopputuloksen kannalta, sillä betonirakenteiden kuivumisongelmat voivat viivästyttää rakennustyömaan aikatauluja sekä lisätä kustannuksia. Betonirakennetta ympäröivät oikeanlaiset olosuhteet mahdollistavat betonin kuivumisen. Työmaan oikein toteutetulla olosuhdehallinnalla varmistetaan, että betonirakenteet kuivuvat suunnitellun aikataulun mukaisesti budjetissa pysyen.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään uudisrakennustyömaan olosuhdehallinnan lähtökohdat sekä huolellisesti toteutetun olosuhdehallinnan tarpeellisuus. Työssä myös käydään läpi rakennustyömaan olosuhdehallinnan vaatimukset, laadunvarmistus, toteutusmenetelmiä sekä toimintamalleja.

Työn teoriaosuudessa esitellään toimenpiteitä, joilla on mahdollista saavuttaa rakentamisen kosteuden- ja olosuhdehallinnan osalta paras mahdollinen lopputulos. Työssä tuodaan esille rakennusaikaisen kosteuden aiheuttajat ja rakennusaikaisesta kosteudesta johtuvat riskit, sekä keskitytään kosteuden tuomiin haasteisiin ja niiden ratkaisemiseen. Työn tarkoituksena ei ole syventyä pölynhallintaan, meluun tai tärinään.

Tämä opinnäytetyö on toteutettu yhteistyössä YIT Suomi Oy:n kanssa. Työn tutkimuskohteenä on yksikerroksinen asuinrakennus ja työssä seurataan rakennusaikaisen lämpötilan, kosteuden ja betonirakenteiden kuivumista mittausten avulla.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää rakennustyömaan sisäilman sekä rakenteiden kosteutta ja lämpötilaa mittaavan etäluettavan laitteiston luotettavuutta, käytettävyyttä ja hyödyllisyyttä. Saatuja tuloksia verrataan sertifioidun kosteusmittaajan tuloksiin. Käytettävyydessä pyritään tutkimaan laitteiston käytön hyödyllisyyttä erityisesti työnjohdon näkökulmasta.

2 Rakennustyömaan olosuhteet

2.1 Olosuhteiden hallinta

Rakennusaikainen olosuhteiden hallinta on keskeinen asia, jolla pystytään vaikuttamaan työmaan onnistuneeseen kosteudenhallintaan. Hyvin toteutetulla olosuhdehallinnalla minimoidaan materiaalien ja rakenteiden kastuminen työmaalla sekä huolehditaan parhaista mahdollisista olosuhteiden luomisista rakenteiden kuivumiselle. Työmaan yleisaikataulun laadinnassa tulee ottaa huomioon olosuhdehallinta, jotta rakenteiden kuivumiselle pystytään luomaan realistinen aikataulu.

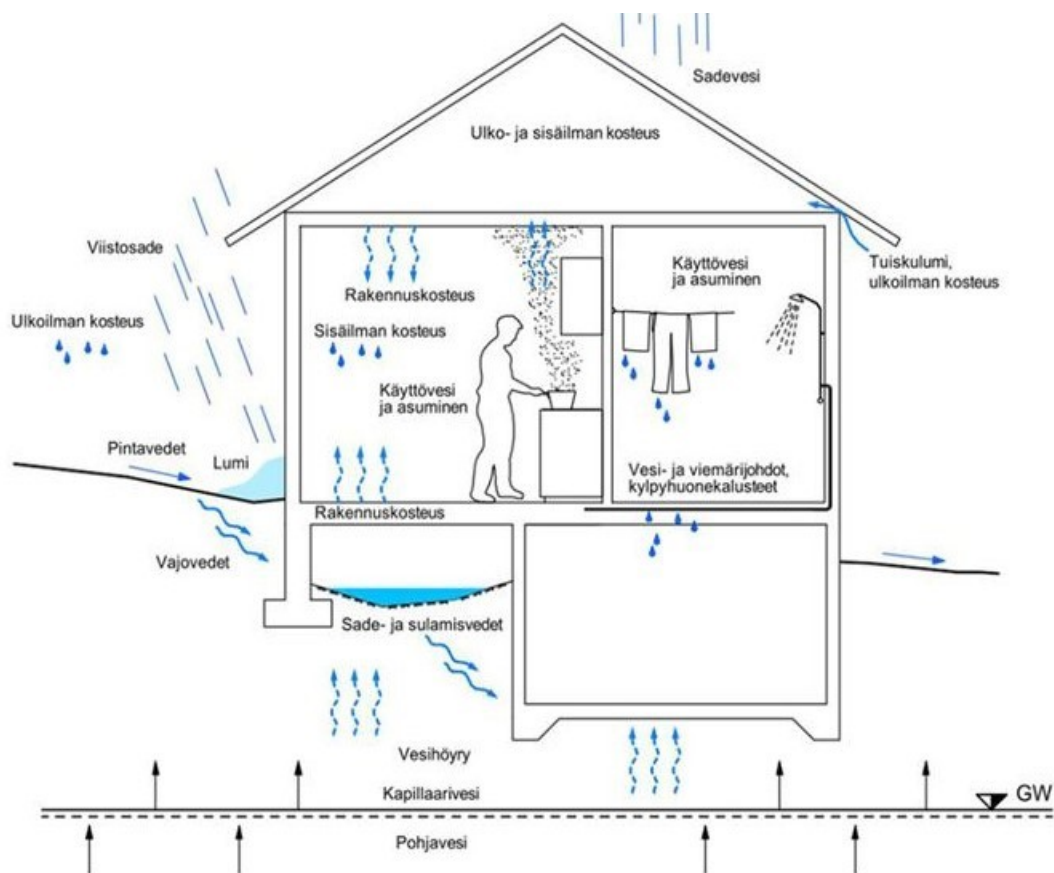
Pääkohdat olosuhdehallinnassa ovat kunnollinen sääsuojaus, materiaalien ja rakenteiden varastointi ja suojaus sekä työaikaisten vesivuotojen torjunta ja optimaaliset kuivumisolosuhteet. Koska Suomessa työmaa-aikaiset sääolosuhteet vaihtelevat huomattavasti, tulee rungon, materiaalien sekä keskeneräisten rakenteiden suojaaminen kastumiselta hoitaa kunnolla. Merkityksen lähtökohtana on, että veden poistaminen rakenteista tai jopa rakenteiden uusiminen on huomattavasti kalliimpaa kuin asianmukainen suojaaminen. Paras mahdollinen tilanne olisi koko rakennettavan kokonaisuuden peittävä sääsuojaus, lähes aina tämä ei kuitenkaan ole mahdollista. Suhteessa projektin kokonaisuuteen isot sääsuojat maksavat monesti liikaa tai työteknisesti niiden käyttäminen ei ole mahdollista.

2.2 Kosteus

Ilma sisältää normaaleissa olosuhteissa aina tietyn määrän vesihöyryä. Ilmankosteudesta käytettäviä termejä ovat absoluuttinen ilmankosteus, suhteellinen ilmankosteus, kyllästyskosteus sekä kosteuslisä.

Absoluuttinen ilmankosteus ilmaisee, kuinka monta grammaa vesihöyryä sisältyy kuutiometriin ilmaa. Suhteellinen ilmankosteus (RH) on prosenttiluku, joka ilmaisee vesihöyryn määrän tietyssä lämpötilassa verraten mitä kyseisessä lämpötilassa voi olla enimmillään vesihöyryä. Kyllästyskosteus määrittelee, paljonko vesihöyryä ilmassa voi olla tietyssä lämpötilassa. Kosteuslisä tarkoittaa sisäilmassa olevaa kosteutta, jota on syntynyt ympäröivistä kosteuslähteistä kuten käyttövedestä. (Sisäilmayhdistys ry. 2008a.)

Rakennukseen kohdistuu valtavasti kosteusrasitusta eri lähteistä. Ulkopuolisia lähteitä ovat lumi, jää ja sulamisvedet, sateet, erimuodoissa maaperästä siirtyvä kosteus sekä ilmankosteus. Ulkopuolisista kosteusrasituksista voimakkain on sade. Vaikka sadepisaran suunta on suoraan alaspäin painovoiman vaikutuksesta, voi tuuli aiheuttaa viistosateen. Tämä rasittaa vaakapintojen lisäksi pystypintojakin. Tuulenpaineen ansiosta vesi- ja lumisade voi siirtyä myös ylöspäin rakenteissa. Kuvassa 1 on havainnollistettu rakennuksen kosteuslähteet.



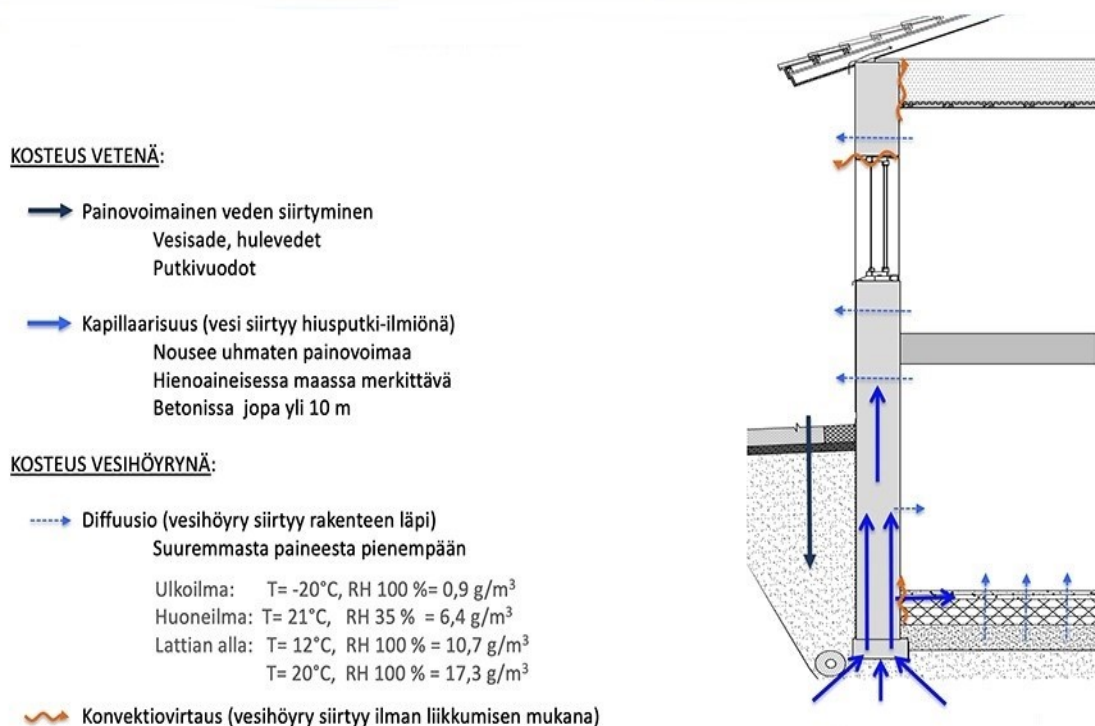
Kuva 1. Rakennuksen kosteuslähteet (muokattu Rakennuslehti 2017)

Sateesta aiheutuva roiskevesi voi myös rasittaa julkisivuja. Rakennuksia rasittavista kosteuslähteistä pitkäkestoisin on maaperästä siirtyvä kosteus. Pohjavesi on aina tietyllä syvyydellä rakennuksen alapuolella. Rakennuksen ja pohjaveden välissä on luonnollisia sekä rakennettuja maakerroksia, joiden tehtävänä on estää rakennuksen vaurioituminen. Ulkopuolelta tuleva kosteus rasittaa rakennusta myös rakennusajan jälkeen. (RT 05-10710 1999.)

RT-ohjekortissa 05-10710 Kosteus rakennuksissa (1999) todetaan, että rakennusaikainen sisäpuolella oleva kosteus syntyy enimmäkseen rakenteista haihtuvasta kosteudesta, jonka määrä tietenkin pienenee ajan kuluessa. Betoniin jää runsaasti kosteutta jo valmistusprosessissa, kun taas esimerkiksi poltettu tiili sisältää vain vähän kosteutta valmistusprosessin jäljiltä, mutta jos tiili pääsee kastumaan varastoitaessa, voi se sisältää suurenkin määrän vettä. Hyvällä työmaa-aikaisella varastoinnilla onkin siis suuri merkitys rakenteisiin jäävään kosteuteen. Merkittävä työmaa-aikainen kosteuslähde on myös vuotovedet vahingon sattuessa. Rakennuksen käyttöaikana sisäpuolen kosteuslähteet syntyvät lähinnä käyttäjistä aiheutuvasta kosteustuotosta kuten ihmisten peseytymisestä. (RT 05-10710 1999.)

2.3 Kosteuden siirtymismuodot

Kosteus siirtyy rakenteisiin ja rakenteissa fysikaalisten ilmiöiden seurauksena. Ilmiöitä ovat konvektio, diffuusio, kapillaari-ilmiö, ilmanpaine, sekä maan vetovoiman vaikutuksesta liikkuva vesi. Kuvassa 2 on konkretistettu, miten kosteus liikkuu rakennuksissa.



Kuva 2. Kosteus liikkuu rakennuksissa (muokattu Safe Drying 2022)

Ilmavirran mukana kulkevaa kosteutta kutsutaan konvektioksi. Rakennuksen paine-erojen vuoksi tämä aiheuttaa seinärakenteiden yläosille sekä yläpohjalle suuren kosteusriskin. Esimerkiksi huolimattomasti asennettu höyrinsulkukerros päästää lävitsensä kosteaa sisäilmaa, joka tiivistyy kylmiin rakenteisiin ja aiheuttaa kosteusvaurion. (RT 05-10710 1999.)

Vesihöyry siirtyy suuremmasta vesihöyrypitoisuudesta pienempään vesihöyrypitoisuuteen diffuusion avulla. Diffuusiiovirtaus on sitä voimakkaampi mitä suurempi vesihöyrypitoisuuden ero rakenteen eri osien välillä on. Myös materiaaliominaisuus vaikuttaa vesihöyryn virtaukseen, tätä ominaisuutta kutsutaan vesihöyrynläpäisevyydeksi. Eri materiaalien vesihöyrynläpäisevyydessä on suuria eroja. Esimerkiksi 0,2 mm:n muovikalvon kosteudenläpäisevyys on 100 mm paksun betonin kosteudenläpäisevyydestä noin kymmenesosa ja 100 mm paksuisen betonin kosteudenläpäisevyys on noin yksi prosentti 100 mm paksun mineraalivillan kosteudenläpäisevyydestä. Diffuusion suunta on sisätilasta poispäin, koska sisäilmassa on usein kosteutta ulkoilmaa enemmän. Lämpötilaero ei siltikään määritä diffuusion suuntaa, mutta esimerkiksi alemmissa kerrosrakenteissa kosteus voi levitä

kylmemmästä lämpimään. Kosteusvaurioiden suhteen hankalin tilanne syntyy, jos rakenteeseen tulee rakenteen sisältä enemmän vesihöyryä kuin poistuu rakenteesta. Tällöin rakenteeseen voi tiivistyä haitallista kosteutta kylmänä vuodenaikana. (RT 05-10710 1999.)

Kun materiaali on kosketuksissa vapaan veden tai toisen kapillaarisella kosteusalueella olevan materiaalin kanssa, vesi kulkee kapillaarisesti läpi materiaalin huokospaineen kautta, pääasiassa veden pintajännityksen vuoksi. Materiaalin huokostilan paine vaikuttaa kaikkiin suuntiin, jolloin vesi pääsee liikuttamaan kapillaarisesti kaikkiin suuntiin. Kapillaarikosteus saavuttaa tasapainon, kun kosteus nousee sellaiselle korkeudelle, jossa maan vetovoima ja huokostilan paine ovat tasapainossa, tällainen tilanne syntyy muun muassa maanvastaisen lattian alle salaojakerrokseen. (RT 05-10710 1999.)

RT-ohjekortin 05-10710 Kosteus rakennuksissa (1999) mainitaan, että huokostilan paineen ja maan painovoiman välille ei aina muodostu kosteustasapainoa, esimerkiksi seinärakenteessa ilmaan haihtuva kosteuden runsaus voi vaikuttaa siihenkin, kuinka paljon kosteus nousee rakenteessa. Toisin sanoen se on dynaamisen tasapainotilan tila kapillaarin liikkuvan kosteuden ja haihtuvan kosteuden välillä. Rakenteen poikkipinta-ala on tärkeä tekijä, koska paksummat rakenteet voivat siirtää enemmän kosteutta kuin ohuemat rakenteet. Rakennetta ympäröivän ilman kosteus on tärkeä myös siksi, että jos ilman kosteus on 100 %, ilma ei pääse vastaanottamaan haihtuvaa kosteutta rakenteesta, vaan kapillaarivaellus rakenteessa jatkuu. Eri materiaaleilla on erilainen kapillaarikapasiteetti kuljettaa kosteutta. Esimerkiksi tiilen kapillaariveden läpäisevyyskerroin on noin 10 kertaa suurempi kuin betonin, vesi-sementtisuhteen ollessa 0,3. (RT 05-10710 1999.)

Epäpuhtauksien ja kosteuden siirtymisen kannalta tärkeitä asioita tutkia ovat ilman kokonaispaine-erot, koska ilman liikkeessä korkeammasta kokonaispaineesta alhaisempaan, vie se mukanaan vesihöyryä sekä epäpuhtauksia. (RT 05-10710 1999.)

Merkittävä osa rakennuksen kosteusteknisestä toiminnasta pohjautuu veden painovoimaiseen siirtymiseen, jossa maan painovoiman vaikutuksesta vesi kulkee alaspäin. Epämieluisaa painovoimaista siirtymistä esiintyy muun muassa kattoläpivientien ja elementtisaumojen raoissa ja saumoissa, kun taas haluttua painovoimaista siirtymistä syntyy kaltevilla pinnoilla kuten katto ja räystäskourut, kylpyhuoneen lattia sekä viemäriputket. (RT 05-10710 1999.)

Rakenteet suunnitellaan niin että ne toimivat rakennusfysikaalisesti oikein. Työmaavaiheessa on tärkeää ymmärtää ratkaisuiden merkitys sekä toteuttaa ne oikeaoppisesti kosteudenhallinnassa. (RT 05-10710 1999.)

2.4 Lämpö

Lämpö on aineen värähtelyä, jossa aineen molekyylit ja atomit ovat jatkuvasti nopeassa liikkeessä. Tätä kutsutaan lämpöliikkeeksi, joka siirtyy korkeammasta lämpötilasta matalampaan säteilemällä, johtumalla tai konvektiolla.

Ulkoseinissä lämmönjohtuvuus eli konduktio on lämmönsiirron tärkein muoto. Johtuminen perustuu molekyylien kineettisestä siirtymisestä molekyylistä toiseen, metallit ovat hyviä lämmönjohtimia, kun taas huokoiset lämmöneristeet kuten muovi, puu tai lasi huonoja. (RIL 155 1984.)

Kun lämpö siirtyy kulkeutumalla välittäjä aineen, kuten kaasun tai nesteen välityksellä, kutsutaan sitä konvektioksi. Konvektio on pakotettua tai luonnollista. Pakotettu konvektio johtuu ulkoisista voimista esimerkiksi puhaltimista, tuulesta tai ilmanvaihdosta aiheutuvasta paine-erosta. Luonnollisessa konvektiossa ilman tiheyserot aiheuttavat ilmavirtauksia, jotka taas johtuvat lämpötilaeroista. Tästä syystä lämmin ilma nousee ylöspäin. Konvektio aiheutuu ulkoseinissä sisä- ja ulkopinnan lämpötilaerosta, huokoisen eristeen konvektiosta ja alipaineesta, joka syntyy ilmanvaihdosta. (RIL 155 1984.)

Säteily on sähkömagneettista liikettä, joka muuttuu lämmöksi sen imeytyessä nesteeseen. Aineet, joiden lämpötila poikkeaa absoluuttisesta nolapistestä, lähettävät lämpösäteilyä. Kun materiaan osuu lämpösäteilyä, osa säteistä, imeytyy kappaleeseen, kun taas osa kimpoo pois. Tumma ja himmeä pinta vastaanottaa ja myös luovuttaa lämpöä paremmin kuin vaalea ja kiiltävä. Läpinäkyvästä lasista lämpösäteily voi mennä läpi. Säteilylämmittimiä käytetään esim. julkisivujen muurauksessa talvella. Lämmittimen lämmittävään tehoon vaikuttaa säteilijän etäisyys ja teho. Säteilylämmittimen lämmitysteho nelinkertaistuu, kun etäisyys puolittuu. (RIL 155 1984.)

Rakennustyömaan lämmityksen toteutus muodostaa raamit työmaa-aikaiselle olosuhdehallinnalle. Lämmityksellä luodaan tarvittavat olosuhteet, jotka mahdollistavat rakenteiden kuivumisen. Talvisin runkovaiheessa käytetään nestekaasulämmitystä. Tämän tarkoituksena on betonin valutöiden lämmittäminen. Koska kaasulämmittimet tuottavat kosteutta kaasun palaessa eivät ne sovi sisävalmistusvaiheen töihin. Sisävalmistusvaiheessa lämmitysjärjestelmä on usein sähkö-, öljy- tai vesikiertoinen.

2.5 Vuodenajat

Sääolosuhteiden muuttuessa vuodenajan mukaan on olennaista osata ennakoida muuttuvia olosuhteita työmaan työsuunnittelussa ja aikatauluissa, sekä osata arvioida ja tuntea olosuhteiden luomat riskit, jotta osaa varautua niiden torjuntaan rakentamisessa.

Suomessa sataa kaikkina vuodenaikoina, vain olomuoto muuttaa muotoaan. Rakentamisen aikana sade voi aiheuttaa ulkoista kosteusrasitusta rakennukseen. Lisäksi kosteusvaurioille alttiit materiaalit ja rakenteet tulee varastoida asianmukaisesti ja suojata sateelta ja lumelta. Tilastollisesti talvea kohti myös tuuliset sääolosuhteet lisääntyvät. Kova tuuli ja pyryttävä lumi ovat suurimmat ongelmat torninosturitoissa. Nosturin käyttö on lopetettava, jos olosuhteet ovat vaaralliset. Puuskissa myös suojauskalustot voivat irrota, jos niitä ei ole asennettu kunnolla. Talvella tuuli voi lisätä pakkasen purevuutta ja vaikeuttaa työoloja. (Ratu S-1236 2021.)

Lähtökohtaisesti vuodenaika määrittää millä menetelmällä rakenteita kuivataan. Ulkoilman suhteellinen kosteus pysyy suomessa läpi vuoden noin 70–90 %, kun taas ulkoilman absoluuttinen kosteuspitoisuus muuttuu lämpötilan mukaan, talviaikana se on noin 1–3 g/m³ ja kesällä sekä syksyllä noin 8–10 g/m³. (Sisäilmayhdistys ry. 2008b.)

Loppusyksyllä ja keväällä kuivumista edistetään sisätilojen lämmityksellä, tällöin täytyy myös ilmanvaihtoa tehostaa, sekä on huolehdittava että tuuletettu ilma poistuu ulos rakennuksesta eikä jää liikkumaan sisälle rakennukseen. Ulkoilman ilmankosteuden ollessa suuri kesällä, täytyy ilmaa usein kuivattaa kosteudenkerääjillä, koska ilma ei pysty vastaanottamaan kosteutta rakenteista. Kosteudenkerääjien käytössä on pidettävä huoli niihin kerääntyneen veden poistosta, jotta ne eivät vuoda rakenteisiin. Myös hyvä osastointi on tärkeää, jotta kosteudenkerääjät keräävät vain rakenteista vapautuvaa kosteutta eikä ulkoilman kosteutta. (Sisäilmayhdistys ry. 2008b.)

Talvella paras tapa rakenteiden kuivatukseen on sisäilman lämpötilan nostaminen, tällöin riittävä lämpö vie kosteutta pois rakenteista sekä sisäilman suhteellinen kosteus pysyy tarpeeksi alhaisena, näin ollen luonnollisen ilmanvaihdon ottaminen huomioon rakennusvaiheen kuivauksen suunnittelussa vähentää koneellisen ilmanvaihdon tarvetta. (Sisäilmayhdistys ry. 2008b.)

Kaikkina vuodenaikoina on varmistettava kuivattavan rakenteen tai tilan mahdollisimman hyvästä tiivistämisestä sekä ilmanvaihdon hallitusta säätelystä, jotta betonin kuivattaminen on taloudellista. (Sisäilmayhdistys ry. 2008b.)

3 Kosteudenhallinta

3.1 Kosteudenhallintaselvitys

Rakennushankkeeseen ryhtyvän täytyy huolehtia rakennuksen kosteudenhallintaselvityksestä. Hankkeen kosteudenhallintaselvitys sisältää yleistiedot rakennusprojektista, kosteudenhallintavaatimuksista, projektin eri vaiheissa tarvittavat toimenpiteet ja menettelytavat sekä henkilöresurssit kosteudenhallinnalle. Kosteudenhallintaselvityksessä tulee olla myös tieto henkilöstä, joka vastaa hankkeen kosteudenhallinnan valvonnasta. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017, 12§.)

Kosteudenhallintaselvitys on rakennuslupahakemuksen liite, jonka laatiminen aloitetaan jo projektin suunnitteluvaiheessa ja jota täydennetään suunnitteluvaiheen edetessä. Rakennushankkeeseen ryhtyvän on laadittava kosteudenhallintaselvitys rakennustuotannon vaadittavasta kosteudenhallinnan tasosta. Kosteudenhallintaselvityksen voi laatia itse tai teettää esimerkiksi kosteudenhallintakoordinaattorilla. Selvitys on vaatimuksena kaikissa luvanvaraisissa rakennushankkeissa. (Kosteudenhallinta 2020a.)

Kosteudenhallintaselvityksen sisällön laajuus riippuu hankkeen laajuudesta, laadusta, hankkeen kosteusriskeistä sekä olosuhteista. Vaativissa hankkeissa selvitys on huomattavasti tarkempi kuin normaaliriskisissä hankkeissa. Jos hankkeessa on käytössä tunnettu kosteudenhallinnan toimintamalli, kuten esimerkiksi luvussa 3.3 esitetty Kuivaketju10, voi kosteudenhallintaselvityksen sisältö olla rajallisempi. (Kosteudenhallinta 2020a.)

3.2 Kosteudenhallintasuunnitelma

Työmaan kosteudenhallintasuunnitelma on merkittävä osa rakennushankkeen kosteudenhallintaa, jolla pyritään varmistamaan terveellinen, turvallinen ja hyvän rakentamistavan mukainen loppuratkaisu. Suunnitelman tavoitteena on estää kosteusvaurioiden synty sekä varmistaa rakenteiden kuivatus tavoitekosteustilaan aikataulun mukaisesti. Kosteudenhallintasuunnitelma laaditaan jokaiselle uudisrakennustyömaalle yksilöidysti. Kohteen tilaaja kirjaa urakkatarjouspyyntöasiakirjoihin urakoitsijoille asettamansa vaatimukset kosteudenhallinnan vastuunjaosta, toimenpiteiden tasosta ja laajuudesta. Tilaajan ohjeistukset sekä erikseen antamat hankekohtaiset ohjeet tulee ottaa huomioon työmaan suunnittelussa. (Kosteudenhallinta 2020b.)

Ratu ohjekortissa S-1236 Olosuhteidenhallinta rakentamisessa (2021) todetaan, että projektin pääurakoitsijan vastuulla on laatia työmaan kosteudenhallinta- ja kuivatussuunnitelma. Ali- ja sivu urakoitsijat laativat omia töitään koskevat kosteudenhallintasuunnitelmat

sekä ovat velvollisia tekemään ilmoitukset työsuorituksista ja työvaiheista, jos ne vaikuttavat merkittävästi kosteudenhallintaan.

Suunnitelman sisältö on usein seuraavanlainen:

- **Kosteusriskien kartoitus:** Kohteen rakenne- ja arkkitehtisuunnitelmien luetteloiden rakenteet, materiaalit ja tuotteet, joihin voi tai joissa voi myöhemmin liittyä kosteusteknisiä ongelmia tarkistetaan. Työnjohto kiinnittää erityistä huomiota valvonnassaan näiden rakennedetaljien toteuttamiseen.
- **Rakenteiden kuivumisaika-arviot:** Rakenteille, jotka päällystetään materiaaleilla, jotka ovat herkkiä kosteudelle esim. betoniseinät ja -lattiat tulee laatia kuivumisaika-arviot erilaisissa toteutusolosuhteissa. Tämän lisäksi määritetään rakenneosittain kriittiset kosteusraja-arvot.
- **Työmaan olosuhdehallinta:** Toimenpiteet, joilla estetään rakennuksen rungon, rakennusmateriaalien ja tuotteiden kastuminen, varaudutaan mahdollisiin vesivahinkoihin sekä rakennuksen kuivatuksen suunnittelu- ja toteutusperiaatteet.
- **Kosteusmittaussuunnitelma:** Ennakkoon laadittava suunnitelma, josta tulee käydä ilmi mittauslaajuus, mittausten aikataulu, mittausmenetelmä ja laitteisto sekä mittauspisteiden sijainti. Rakennekosteusmittaukset tulisi aloittaa pikaisesti, kun työmaan varsinainen lämpö on saatu päälle, jotta saadaan tarkka näkemys rakenteiden kuivatuksen tarpeesta. Seurantamittauksia on hyvä suorittaa 2–4 viikon välein ja viimeinen, tarkin ja kattavin mittaus juuri ennen päällystystyötä
- **Kosteudenhallinnan organisointi, seuranta ja valvonta:** Työmaalla jokaisen tulisi huolehtia oman vastuun alueensa kosteusteknisistä seikoista sekä tiedottaa huomaamistaan kosteusvaurioista ja -riskeistä työmaan johdolle. Mittaustulokset, vesivahingot, poikkeusolosuhteet, kosteudenhallinnan suorittaminen sekä rakenteiden päällystämispäätökset dokumentoidaan. (Ratu S-1236 2021.)

3.3 Kuivaketju10

Kuivaketju10 on ympäristöministeriön sekä Oulun kaupungin rakennusvalvontaviraston kehittämä toimintamalli, jonka tarkoitus on vähentää ja ehkäistä kosteusvaurioita rakennuksessa rakennuksen valmistus- ja käyttöaikana. Kosteusriskien hallinta pohjautuu ketjuun, jossa kosteusriskit estetään rakennusprosessin eri vaiheissa ja hallinnan tehokkuus varmistetaan luotettavasti. Toimintamalli käsittää Kuivaketju10 riskilistan ja todentamisohjeen, jotka sisältävät kymmenen suurinta kosteusvaaraa. Hallitsemalla näitä kosteusriskejä

kerrotaan vältettävän yli 80 % kosteusvaurioista aiheutuvista kustannuksista. (Kuivaketju10 2022.)

Kuivaketju10:n lähtökohtana on tilaajan päätös toteuttaa projekti toimintamallin idean mukaisesti. Päätöksen tehtyään tilaajan tulee sitoa projektiin mukaan riittävän pätevä kosteuskoordinaattori, jonka tehtävänä on koordinoida tilaajan valtuutuksella Kuivaketju10:n suorittamista hankkeen ajan. Tilaaja sopii urakoitsijan ja suunnittelijoiden kanssa hankkeen tarjouspyyntövaiheessa toimintamallista. Kuivaketju10:n käyttö täytyy kirjata pakollisena vaatimuksena lopullisiin urakka- ja suunnittelusopimuksiin. (Kuivaketju10 2022.)

Rakennusvalvonnan rooli Kuivaketju10 hankkeessa on hoitaa asian esillä olo yhteis-, tuki-, ja ohjaustoiminnan keinoin. Rakennusvalvonnan ohjekortti perustuu Oulun rakennusvalvonnassa tällä hetkellä toiminnassa oleviin rakennusvalvonnan prosesseihin. Rakennusvalvonnan työtä toimintamalli tulee helpottamaan. (Kuivaketju10 2022.)

Toimintamallin ytimessä ovat todentamisohje sekä kuvassa 3 esitetty Kuivaketju10-riskilista. Riskilistassa esitetään kohteen merkittävimmät kosteusriskit ja toimet, joilla kyseessä olevat riskit vältetään. Todentamisohje on urakoitsijan ja suunnittelijoiden ratkaisevin työkalu Kuivaketju10:ssä. Todentamisohjeessa kuvaillaan, kuinka riskilistan riskit täytyy torjua suunnitteluvaiheessa. Työmaalla Kuivaketju10:n noudattamisesta vastuu on pääurakoitsijalla. Urakoitsijan tehtävänä on yhdessä työntekijöiden kanssa käydä läpi toimintamallin periaatteet, sekä perehdyttää työntekijät riskilistaan ja todentamisohjeeseen. Työmaalla täytyy varmistaa olosuhdehallinnan onnistuminen, todentaa ja dokumentoida riskikohtien onnistunut toteutus sekä käsitellä toimintamallin toteutumista säännöllisesti työmaakokouksissa. (Kuivaketju10 2022.)

KESKEISIMMÄT KOSTEUDENHALLINNAN RISKIT

<p>1. Rakennuksen ulkopuolelta tuleva kosteus vaurioittaa perustuksia ja lattiarakenteita.</p>	<p>6. Väärin mitoitettu ja säädetty ilmanvaihto ei poista ylimääräistä kosteutta vaan pakottaa sen siirtymään rakenteisiin.</p>
<p>2. Sadevesi pääsee tunkeutumaan ulkoseinärakenteen sisälle.</p>	<p>7. Vesiputkien rikkoutumiset aiheuttavat kiinteistöön laajoja vesivahinkoja.</p>
<p>3. Vesikatteen läpäisevä vesi tunkeutuu aluskatteen vuotokohdista yläpohjaan.</p>	<p>8. Huonosti toteutetussa märkätilassa kosteus vaurioittaa ympäröivät rakenteet.</p>
<p>4. Kosteiden betonirakenteiden päällystäminen aiheuttaa päällystemateriaalin turmeltumisen.</p>	<p>9. Materiaalien ja rakenteiden kastuminen vaurioittaa rakennuksen</p>
<p>5. Ilmansulkukerroksen vuoto-kohtien kautta siirtyy kosteutta ulkoseinä- ja yläpohjarakenteisiin, jonne sitä tiivistyy vedeksi.</p>	<p>10. Huonolla ylläpidolla ja huollolla rakennus rapistuu hitaasti mutta varmasti.</p>



Liian lyhyt rakennusalka valkeuttaa merkittävästi kosteudenhallinnan onnistumista.

KUVA 3. Kuivaketju10 riskilista (Kuivaketju10 2022)

Rakennuksen käyttöönotto Kuivaketju10:ssä on jaettu kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa on samat tehtävät kuin työmaalla. Toisessa vaiheessa toimintamallin käyttöönoton onnistuminen arvioidaan lopullisesti. Menestyneelle projektille voidaan hakea rakennusvaiheen RALA (Rakentamisen laatu ry) Kuivaketju10 -statusta. Status on voimassa takuuajan loppuun asti, eli kaksi vuotta. Jos status halutaan säilyttää takuuajankin jälkeen, täytyy toimintamallin toteutuminen käytön aikana todentaa ennen takuuajan päättymistä ja tämän jälkeen, joka viides vuosi. (Kuivaketju10 2022.)

Jotta rakennus myös säilyy terveenä ja kuivana koko elinkaarensa ajan, toimintamalli asettaa edellytyksiä myös rakennuksen ylläpidolle. Vaatimusten täyttämiseksi kosteuskoordinaattori yhdessä urakoitsijoiden ja suunnittelijoiden kanssa muodostaa rakennuksen huoltokirjaan Kuivaketju10-osion. Tämä osio sisältää kaikki Kuivaketju10 -riskiluettelon riskikohdat, joihin liittyy käyttöajan huoltotoimenpiteitä. (Kuivaketju10 2022.)

Ylläpitääkseen käytönaikaista RALA Kuivaketju10-statusta täytyy rakennuksella olla käytössä RALA:n julkaisema käytön- ja ylläpidon riskilista. (Kuivaketju10 2022.)

4 Olosuhdehallinta työmaalla

4.1 Suojaus

Rakennustuotteiden logistiikkaketjun suunnittelu tulisi toteuttaa siten että kosteudenhallinta ei pääse peittämään missään vaiheessa. Kun materiaali saapuu työmaalle, tulee varmistaa, että kosteusvaurioita ei ole tapahtunut lastin kuljetuksen aikana. Tarkastuksen jälkeen materiaaleja täytyy mahdollisesti suojata lisää, tehtaalla asennettu suojaus saattaa olla puutteellinen tai rikkoutunut. Kosteudenhallinnan kannalta tärkeää monissa rakennusmateriaaleissa on myös ilman suhteellisen kosteuden sekä oikean lämpötilan noudattaminen. Rakennustuotteiden ja materiaalien varastoinnissa tulee noudattaa aina valmistajan ohjeita.

Koska kastuminen lisää merkittävästi kuivatustarvetta sekä myös materiaalihukkaa, ja saattaa myöhemmin aiheuttaa rakennuksen käyttäjälle terveydellisiä haittoja, tulee materiaalit ja rakenteet suojata sateelta ja kosteudelta hyvin. Rakenteiden ja materiaalien kastumista pystytään vähentämään muun muassa suojaamalla keskeneräiset rakenteet samana päivänä, tuotteiden oikea-aikaisella toimituksella, varastointipaikkojen hyvällä suunnittelulla sekä varaamalla työmaalle riittävästi suojausmateriaaleja. (Kosteudenhallinta 2020c.)

Paras vaihtoehto runkorakenteiden suojaamiseen on koko rakennettavan kokonaisuuden peittävä sääsuoja, mutta koska se ei useinkaan ole mahdollista, runkorakenteiden kastuminen voidaan välttää käyttämällä nopeasti asennettavia valmiselementtejä, joita varastoidaan vain lyhyen aikaa hyvin suojattuna. Elementtien ulkoseiniin on hyvä asentaa ikkunat ja ovet mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta saadaan aukot kiinni. Holville kerääntynyt vesi tulisi vesi-imuroida säännöllisesti. Talvella holville kerääntyneitä lumia ei saa myöskään sulattaa vaan se tulee poistaa mekaanisesti. (Ratu S-1236 2021.)

4.2 Rakenteiden kuivumisaika

Rakenteiden kuivumiseen vaikuttavat lämpötila, ilman suhteellinen kosteus, rakenteen koostumus ja paksuus sekä materiaalit. Rakenteiden kuivumiseen vaikuttaa myös se, kuinka moneen suuntaan rakenne pystyy kuivumaan. Puun ja betonin materiaaleissa olevien ilmahuokosten suhteellinen kosteus hakeutuu tasapainoon ilman suhteellisen kosteuden kanssa, eli ne ovat hygroskooppisia materiaaleja. Betonirakenteen kuivuminen tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa saattaa kestää jopa vuosia, kun taas esikuivattu puutavara saavuttaa tasapainokosteutensa ympäristön kanssa jo parissa viikossa. (Kosteudenhallinta 2020d.)

Betonin lyhyempään kuivumisaikaan pystytään vaikuttamaan suunnittelemalla betonirakenteet kahteen suuntaan kuivuviksi ja mahdollisimman ohuiksi. Jos betonirakenteen paksuus

puolitetaan, lyhentää se kuivatusaikaa nelinkertaisesti, eli neljästä kuukaudesta noin neljään viikkoon. Pidentävä vaikutus on myös betonisen seinä- ja laattarakenteen päällystämällä vesihöyrytiivillä kerroksella, koska tällöin rakenne kuivuu vain toiseen suuntaan. Betonirakenteiden kuivatusaikaa pystytään lyhentämään betoniteknisillä toimenpiteillä. Jos betonin runkoaineen maksimiraekoko kasvatetaan 16 millimetristä 32 millimetriin, pienenee betonin vesimäärä, joka lyhentää betonin kuivatusaikaa. Pienentämällä vesi-sementtisuhteen vesimäärää ei se sen sijaan lyhennä betonin kuivatusaikaa sillä tämä lisää betonin lujuutta, joka tekee betonista tiiviimpää, joka taas hidastaa veden poistumista rakenteesta. Huokoisuutta lisäämällä saadaan maksimaalinen vaikutus kuivatusajan lyhentymiseen koska se vähentää betonin kulutuskestävyyttä, tästä syystä lisähuokoistusta käytetään ainoastaan pintabetonissa, joka päällystetään kestäväällä pinnoitteella. (Suomen betoniyhdistys 2018, 535–538.) (Sisäilmayhdistys ry. 2008b.)

On hyvä muistaa, että kosteudenhallintasuunnitelmaan laadittavat kuivumisaika-arviot ovat suuntaa antavia. Varmuus rakenteiden riittävästä kuivumisesta saadaan arvioiden lisäksi tutkailemalla olosuhdehallintaa sekä varsinaisia mittaustuloksia rakenteiden kosteuspitoisuuksista.

4.3 Kuivatuksen toteutus

Rakenteet kuivuvat eri kosteudensiirtoilmiöiden vaikutuksesta eli diffuusiolla, kosteuskonvektiolla, kapillaarisesti tai painovoimaisesti. Kuivumista tapahtuu pääsääntöisesti luonnollisesti ilman toimenpiteitä, mutta koska kuivumisajat ovat erittäin pitkiä täytyy rakenteiden kuivumista tehostaa luomalla ilmavirtauksia rakenteiden sisälle, lämmittämällä rakenteita sekä laskemalla rakenteita ympäröivän ilman suhteellista kosteutta.

Esimerkiksi mineraalivillassa ilmanläpäisevyys on niin suuri, että sen kuivumista voidaan tehostaa aiheuttamalla ilmavirtauksia rakennekerrokseen, jolloin lävitse virtaava ilma imee ylimääräisen kosteuden rakenteesta. Jos ilman suhteellinen kosteus on liian korkea, ei kosteus pääse poistumaan rakenteesta, tällöin on usein tarpeen vähentää rakennetta ympäröivän ilman suhteellista kosteutta. Tyypillisesti noin 50 %:n suhteellinen kosteustaso on riittävän alhainen. Kylmänä vuodenaikana ei yleensä tarvitse erikseen kuivata rakenteen ympärillä olevaa ilmaa, vaan etusijalla on riittävä lämpötila ja ilmanvaihto. Kosteina jaksoina kuten kesäisin, ulkoilman kosteuspitoisuus voi olla korkea, joten rakenteen ympärillä oleva ilma on kuivattava kuivuuden varmistamiseksi. Tällöin on huolehdittava rakennuksen ilmatiiydestä, jotta kuivauslaitteet eivät tarpeettomasti kuivaa ulkoilmaa. Rakennetta kuivattaessa on tarpeellista ymmärtää, minne rakenteesta poistuva vesi menee. Jos materiaalia lämmitetään, voi siitä myös siirtyä kosteutta rakenteen sisään, mikä voi lisätä kosteutta rakenteen toisessa osassa, tämän ilmiön suhteen tulee olla varovainen. (Ratu S-1236 2021.)

Merkittävä rakennusaikainen kosteuden lähde on juuri valettu betoni. Betonimassan sisältämän veden määrä on 180 kg/m^3 , josta 40–70 kg vesimäärä sitoutuu kemiallisesti sementtiin betonin kovettuessa. Kemiallisesti sidotun veden ohella betonissa on myös hygroskoopista kosteutta noin $25\text{--}40 \text{ kg/m}^3$, mikä tasapainottaa betonin kosteuspitoisuuden ympäröivän ilman kanssa. Jäljellä oleva vesimäärä on 70–115 kg/MJ, joka on rakenteellista kosteutta, tästä suurin osuus on kuivattava ennen kuin betoni voidaan päällystää tai pinnoittaa. Betonin jälkihoidossa betonin pinta on pidettävä kosteana sekä riittävän lämpimänä, jotta sementin kovettuminen tapahtuu häiriöttä. Jos tuore betoni kuivuu liian nopeasti voi betonirakenne vaurioitua kuivumiskutistuksesta aiheutuvan taipuman tai halkeilun takia. Tästä syystä on tärkeää hoitaa valuolosuhteet niin että ilmankosteus on yli 40 % eikä betoni ole tuulelle eikä vesi- tai lumisateelle alttiina, betoni pitää myös varjostaa suoralta auringonvalolta. Oleellisimmat asiat betonin kuivattamisolosuhteiden kannalta ovat lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus. Lämmitettäessä kuivattavaa tilaa ilman lämpötilan tulisi olla yli 20°C sekä betonirakennetta ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden tulisi olla noin 50 %. Kuivuminen hidastuu ilman suhteellisen kosteuden ollessa tätä korkeampi, ja jos RH on yli 80 % lähtee rakenne kostumaan. (Suomen betoniyhdistys 2018, 341–342.) (Sisäilmayhdistys ry. 2008b.)

Kuivatuskalustoa hankittaessa työmaalle pitää miettiä sen käyttötarvetta, millaista tilaa kuivataan ja onko rakennuksen lämmitykset jo päällä. Rakenteiden kuivumisnopeuteen voidaan vaikuttaa koneellisesti kohdekuivauksella tai tilakuivauksella.

Kohdekuivaus on rakenteen jaksottaista lämmittämistä ja jäähdyttämistä, jolloin rakenteesta pyritään saamaan ylimääräinen kosteus pois ”pumppaamalla”. Menetelmää käytetään usein saneerauskohteissa tai vesivahinkokohteissa. Kohdekuivaus sopii myös massiivibetonirakenteisiin.

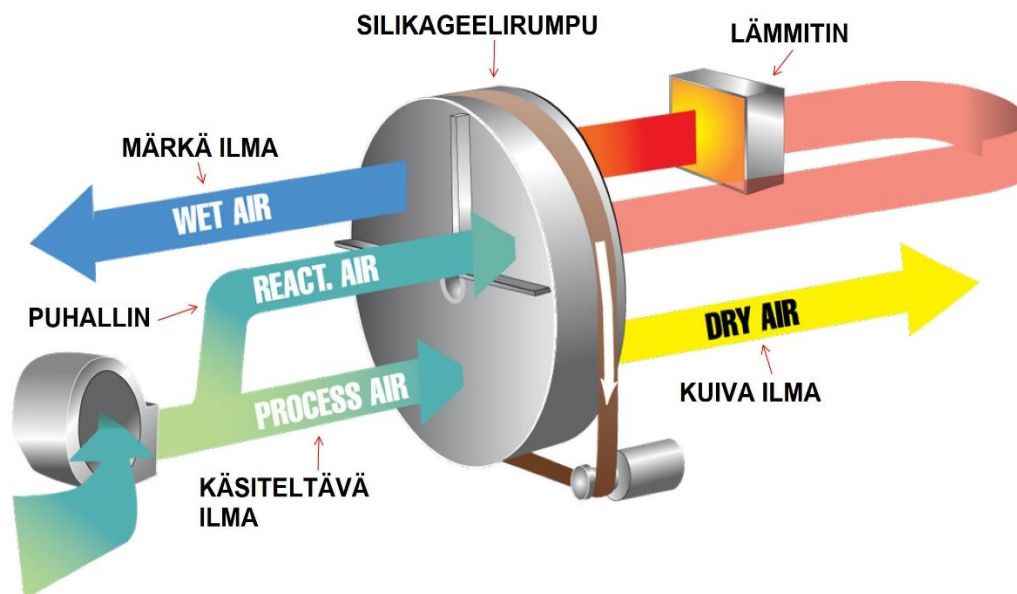
Tilakuivaus on rakenteita ympäröivän ilmatilan kosteuden alentamista koneellisesti, jolloin ilma pystyy vastaanottamaan rakenteiden luovuttaman kosteuden. Menetelmää käytetään lähes aina uudisrakennuskohteissa. Tilakuivauksessa käytetään kuivauspuhaltimia kuten radiaalipuhaltimia, esimerkiksi kuvassa 4 olevaa simpukkapuhallinta, jotka tuottavat nopeasti suuren ilmanpaineen tilaan. Puhaltimista tuleva kuiva ja viileä ilma nopeuttaa kosteuden vaeltamista alemman höyrynosapaineen suuntaan. Nopea levymäinen ilmavirtaus hajottaa kuivan- ja kosteanilman rajapinnan erittäin tehokkaasti. Kosteuden haihtumisnopeus on suurempaa mitä nopeampi ilman virtausnopeus on. (Seppälä, A. 2011.)



Kuva 4. Simpukkapuhallin (YIT Kalusto 2022)

Tilakuivauksessa on tärkeää huolehtia hyvästä ilmanvaihdosta, joka toteutetaan helposti esimerkiksi ikkunoihin asennettavilla sähkökäyttöisillä kanavapuhaltimilla, jotka ohjaavat kostean ilman ulos rakennuksesta. Itse kuivaus toteutetaan usein joko adsorptiokuivaimilla tai kondenssikuivaimilla.

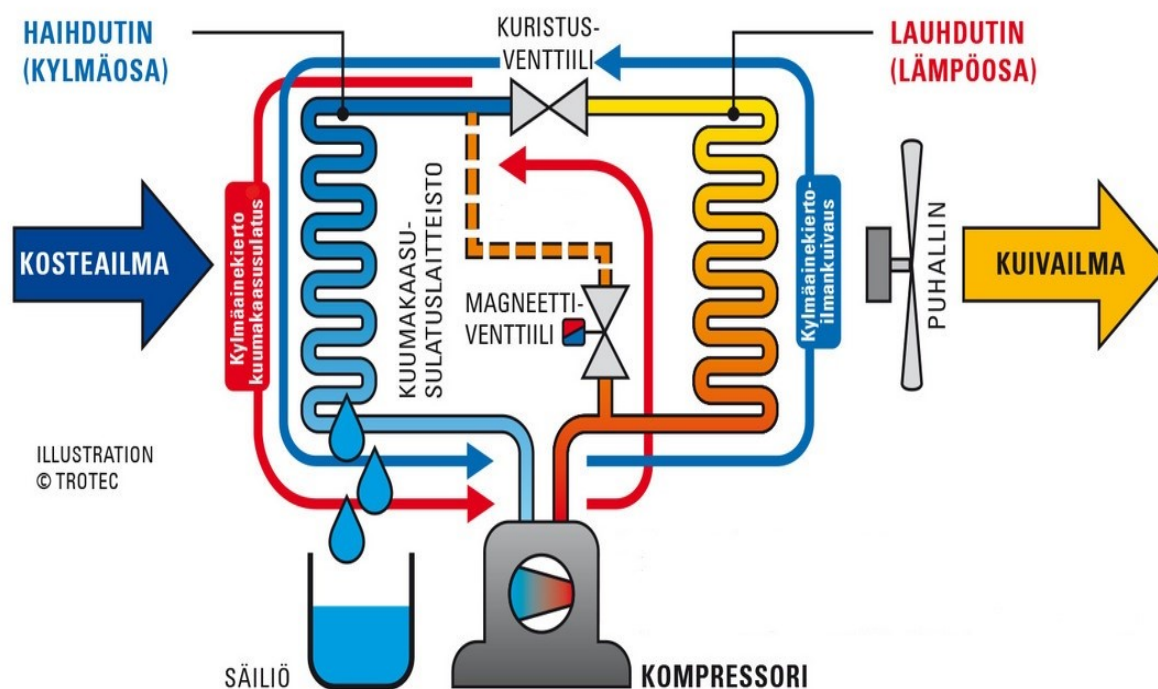
Adsorptiokuivain on kuivain, joka erottelee ilmasta kosteuden silikageelikennoon. Kosteus poistuu kennosta poistoputkea pitkin vesihöyrynä. Kuvassa 5 on esitetty kuivaimen toimintaperiaate. Silikageeli on kideaine, joka voi sitoa noin 40 % kosteutta sen omapainosta. Yksi gramma geeliä sisältää noin 600 m² kosteutta sitovaa pinta-alaa. Koneen poistoilmaputken pää tulee sijoittaa järkevästi rakennuksen ulkopuolelle. Adsorptiokuivaimia on sekä neliaukkoisia että kolmiaukkoisia, aukoilla tarkoitetaan ilmaliitäntöjen määrää. Neliaukkoisessa mallissa on regenerointi-ilman liitäntä, josta käsitelty ilma johdetaan putkella kuivattavasta tilasta pois. Kolmiaukkoinen taas käyttää osan sisään tulevästä käsiteltävästä ilmasta regenerointiin, joka aiheuttaa tilaan alipaineen. Alipaine hidastaa kuivausta, koska se imee kosteaa ilmaa kuivattavaan tilaan ulkopuolelta. Ongelmaa ei synny, jos esimerkiksi yksi kuivain sijoitetaan kuivattavan tilan ulkopuolelle, josta kuivattua ilmaa johdetaan putkella kuivattavaan tilaan. (Corroventa 2017.)



Kuva 5. Adsorptiokuivaimen toimintaperiaate (muokattu Airwawe 2022)

Adsorptiokuivain pystytään asentamaan kohteeseen, jossa ei ole vielä lämmitysjärjestelmä käytössä, koska laitteisto ei ole riippuvainen lämpötilasta ja tekniikalla pystytään kuivata tehokkaasti jopa jäätympisteen alapuolella. Adsorptiokuivain on erittäin hyvä yleiskuivain, joka toimii kondenssikuivainta paremmin rakenteita kuivatessa loppuun asti. (Trotec 2022.)

Kondenssikuivain taas erottelee ilmasta kosteuden vedeksi. Toimintaperiaate on esitetty kuvassa 6. Vesi johdetaan poistoputkea pitkin mieluiten suoraan viemäriin, kuivaimessa on usein myös oma vedenkeruusäiliö, mutta sen tyhjentäminen vaatii erityistä huomiota työmaaolosuhteissa. Jotta kondenssikuivaimella pystytään kuivamaan riittävän tehokkaasti, tulee kuivattavan tilan lämpötilan olla jopa $+20\text{ °C}$ ja $+30\text{ °C}$ väliltä. Erittäin kosteissa olosuhteissa kondenssikuivain pystyy erottelemaan kosteutta huomattavasti adsorptiokuivainta paremmin. Vaikka rakenteet luovuttaisivat edelleen kosteutta, kondenssikuivaimen kosteuden erottelukyky laskee rajusti ilman suhteellisen kosteuden laskiessa, joten se onkin tehokas erittäin kosteissa tiloissa. (Trotec 2022.)



Kuva 6. Kondenssikuivaimen toimintaperiaate (muokattu Trotec 2022)

Laitekapasiteetti laskennalla pystytään määrittämään kannattaako kuivaus suorittaa kondenssi- vai adsorptiokuivaimilla. Ensin valitaan laitetyyppi, jonka jälkeen lasketaan kuivatavan tilan kuutiolavuus. Kun kuutiolavuus on selvillä, lasketaan, millaisia laitteita tarvitaan. Laitekapasiteetti laskennassa käytetään kyseisen laitteen prosessi-ilmamäärää/laite-tyyppimäärää.

Adsorptiokuivaimen kapasiteettia laskettaessa jaetaan laitevalmistajan ilmoittama prosessi-ilmamäärä kahdella, jolloin saadaan laitekapasiteettiin riittävä kuutiomäärä.

Laskuesimerkki 1

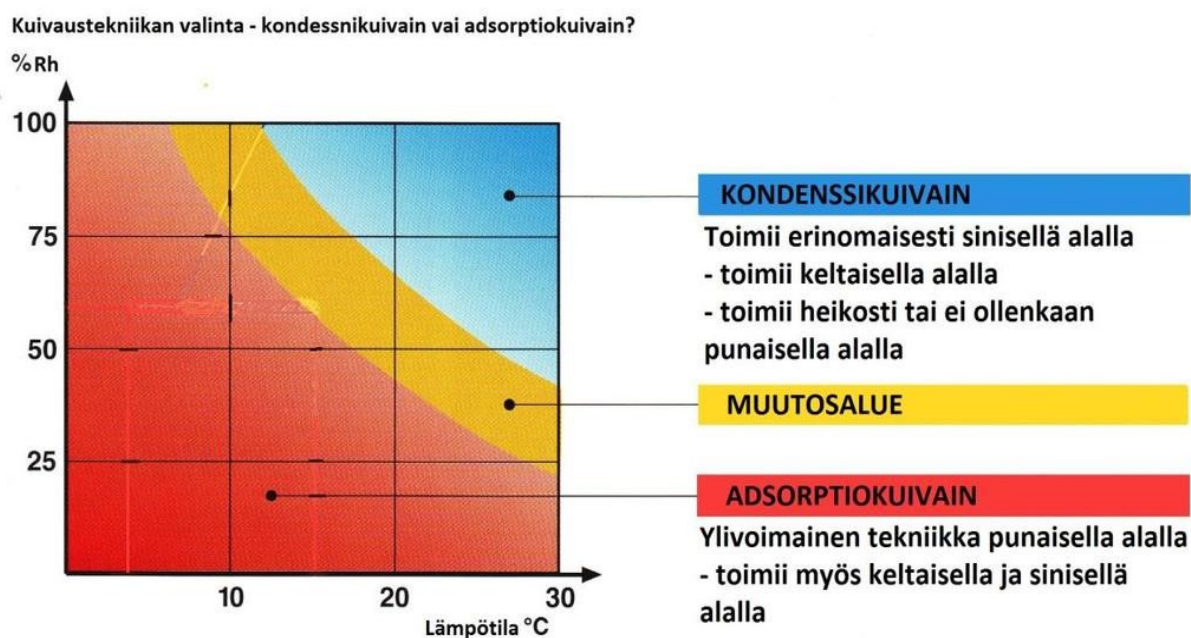
- Kuivattava tila 1000 m^2 , huonekorkeus $2,5 \text{ m} = 2500 \text{ m}^3$
- Adsorptiokuivaimen prosessi-ilmamäärä esim. 1000 m^3
- Tilaan soveltuva kapasiteetti $1000 \text{ m}^3 / 2 = 500 \text{ m}^3$
- Kuivaimia tarvitaan $2500 \text{ m}^3 / 500 \text{ m}^3 = 5 \text{ kpl}$

Kondenssikuivaimen laskennassa käytetään laitevalmistajan ilmoittamaa kuivailmamäärää, joka jaetaan neljällä, jos kuivatavan tilan lämpötila on $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ tai kolmella jos kuivatavan tilan lämpötila on $+30 \text{ }^\circ\text{C}$ (Gles 2012.)

Laskuesimerkki 2

- Kuivattava tila 2500 m³
- Kondenssikuivaimen prosessi-ilmamäärä esim. 1000 m³
- Tilaan soveltuva kapasiteetti +20 °C, 1000 m³ / 4 = 250 m³
- Kuivaimia tarvitaan 2500 m³ / 250 m³ = 10 kpl
- Lämpötilan ollessa +30 °C kaava on 1000 m³ / 3 = 333 m³ kuivaimia tarvitaan 2500 m³ / 333 m³ = 8 kpl. Lämpötilakasvu parantaa kapasiteettia jopa 20 %. (Gles 2012.)

Seuraavassa kuvassa 7 on havainnollistettu kuivainten toiminta-alueet.



Kuva 7. Kuivaustekniikan valinta kondenssikuivaimen ja adsorptiokuivaimen välillä ilmastokosteuden ja lämpötilan mukaan (Gles 2012)

4.4 Rakennusaikainen ilmanvaihto

Tavallisen ilmanvaihdon nopeus on 0,5 1/h, joka tarkoittaa, että huonetilassa olevasta ilmamäärästä puolet vaihtuu tunnissa ja koko huonetilan ilmamäärä kerran kahdessa tunnissa. Ilmanvaihdon nopeuden ollessa yli 0,5 aiheuttaa se vedontunnetta asuinhuoneessa, mutta rakennusta kuivattaessa on tehokkaampi ilmanvaihto tärkeää. Ennen vaipan tiivistämistä rakennusvaiheessa ilmanvaihtoa on mahdoton pitää vakiona. Vaipan tiivistämisen jälkeen saadaan ilmanvaihto tasaisemmaksi painovoimaisella ilmanvaihdolla tai väliaikaisella ilmanvaihtolaitteistolla.

Työmaa-aikana rakennuksen ilmaa täytyy vaihtaa pölyn, kosteuden ja muiden rakennusai-kaisten epäpuhtauksien vuoksi. Erityisesti sisävalmistusvaiheessa kosteutta aiheuttavia työvaiheita on paljon, jolloin ilmanvaihdon tulisi olla tehokas. Koska rakennuksen varsinai-nen ilmanvaihtojärjestelmä ei ole käytössä rakennusaikana, järjestetään ilmanvaihto usein painovoimaisesti. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa käytetään hyväksi sisäilman ja ulkoil-man välisestä lämpötilaerosta johtuvaa paine-eroa, tätä kutsutaan savupiippuvaikutukseksi. Rakennuksen yläosiin syntyy ylipainetta, kun ulkolämpötila on alhaisempi kuin sisälämpö-tila. Tässä tapauksessa sisällä oleva kevyempi ja lämpimämpi ilma nousee ylöspäin, mikä johtaa rakennuksen alaosiin alipainetta ja yläosiin ylipainetta suhteessa ulkoilmaan. Savu-piippuvaikutus on merkittävin talvella, jolloin ero ulko- ja sisälämpötilan välillä on suurin. Tällöin myös kosteuskonvektion riski rakennuksen yläosissa kasvaa. (RIL 250-2011.)

Painovoimainen ilmanvaihto toteutetaan työmaalla käytännössä poistamalla lämmitetty ilma yläkerroksien kautta ja päästämällä viileä korvausilma rakennukseen alempien kerros-ten kautta. (RIL 250 2011.)

Koska varsinkin sisätyövaiheessa ilman tulisi vaihtua rakennuksessa tiheästi, rakennusai-kaista painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan tehostaa myös koneellisesti, jolloin esimerkiksi asennetaan rakennuksen katolle puhallin, joka alipaineistaa rakennusta. Aksaalipuhallin eli potkuripuhallin sopii tähän tarkoitukseen hyvin, sillä kuvan 8 puhallin vaihtaa ilmaa jopa 7060 m³/h.



Kuva 8. Aksaalipuhallin (Onninen 2022)

Korvausilmaa saadaan rakennukseen esimerkiksi tekemällä reikä peitettyyn oviaukkoon tai jättämällä ikkunoiden yläreunoista tiivistys tekemättä. Yhtäjaksoista korvausilmaa on hyvä ottaa myös väestönsuojan kautta. Varsinkin paikalla valetut väestönsuojat luovuttavat ilmaan suuren määrän kosteutta, tällöin saadaan myös väestönsuojaan tehokas ilmavirtaus sekä kosteuden poisto.

Koneellinen ilmanvaihto on järkevää toteuttaa hyödyntäen rakennuksen läpi kulkevia kuilumaisia rakenteita kuten hormia, hissikuilua ja porraskuilua. Tavoitteena on vaihtaa ilma rakennuksen jokaisessa kerroksessa. Talvella on tärkeää muistaa, että rakennuksen tehokas ilmanvaihto lisää myös sisäilman lämmitystarvetta.

5 Olosuhde- ja kosteusmittaukset

5.1 Rakenteiden kuivuuden selvitys

Rakenteiden riittävä kuivuminen selvitetään työmaalla tehtävien kosteusmittausten avulla. Rakentamisen aikainen kosteusmittaus on erittäin tärkeä osa kosteudenhallintaa ja sen tavoitteet tarkentuvat kosteudenhallintasuunnitelmassa, jota täydentää kosteusmittaussuunnitelma. Mittaustulosten tulee alittaa rakenneosalle ja päällystemateriaalille määriteltyjen betonialustalta vaadittavien suhteellisten kosteuspitoisuuksien raja-arvot. Raja-arvot on esitetty työmaan kosteudenhallintasuunnitelmassa. Kosteusmittauksilla varmistetaan, että betonirakenteet ovat kuivuneet pisteeseen, jossa kosteudesta ei ole haittaa ennen betonin pinnoittamista tai päällystämistä.

Lähtötasomittaukset tehdään yleensä 2–3 viikon kuluttua siitä, kun rakennuksen vaippa on suljettu ja työmaalla on laitettu lämpö päälle, koska mittaushetkellä rakenteen lämpötilan tulisi olla +15 ja +25 °C väliltä. Seurantamittauksia tehdään 2–4 kertaa ennen varsinaisia päällystettävyyden määrittelyyn tehtäviä mittauksia. Seurantamittauksilla saadaan tietoa rakenneyksityiskohtien kosteusteknisestä toimivuudesta pidemmällä aikajaksolla. (RT 103333 2021.)

5.2 Kosteusmittaussuunnitelma

Kosteudenhallintasuunnitelman olennainen osa on kosteusmittausten suunnittelu. Kosteusmittaussuunnitelmassa määritellään mitä mittauksia kohteessa tehdään ja mitä mittausmenetelmiä käytetään, tiedot käytettävästä mittauskalustosta ja mittauslaitteiden kalibroinnista. Suunnitelmaan merkitään myös mittajaan pätevyys ja sertifikaatti sekä mittausten aikataulu, laajuus ja mittauspisteiden sijainti. Kosteusmittaussuunnitelma voi olla esimerkiksi kuvan 9 kaltainen. (Kosteudenhallinta 2015.)

TYÖMAAN KOSTEUSMITTAUSSUUNNITELMA

Kohde: _____ Työnumero: _____

Vastaava mestari: _____ Työpäällikkö: _____

KOSTEUSMITTAUKSET	Toimenpiteet, ratkaisut	Aikataulu	Vastuuhenkilö	Tehty/Kuittaus
Mitä mittauksia tehdään?				
Käytettävät menetelmät				
Käytettävä mittauslaitteisto				
Mittauslaitteiston kalibrointi				
Mittaajan pätevyys ja sertifikaatti				
Mittauspisteiden sijainti				
Mittaussuunnitelma				
Tehdäänkö seurantamittauksia				
Mittausten ajankohdan arviointi eri vaiheissa				
Betoniseinät				
Välipohjat				
Kylpyhuoneet				
Mahdolliset ilmastokosteusmittaukset				
Toimenpiteet poikkeamiin				
Kuivatusolosuhteet (tavoite)				
Lämpötila T (°C)				
Suhteellinen kosteus RH (%)				
Pinnon alustalta vaatima kosteuspitoisuus				
Tasoite				
Plaano				
Parketti tai laminaatti				
Vedeneriste				
Muovimatto				

Kuva 9. Kosteusmittaussuunnitelma

Kosteusmittaussuunnitelman laatija on kosteudenhallinnasta vastaava taho, esimerkiksi vastaava työnjohtaja tai sertifioitu kosteusmittaaja itse. (Kosteudenhallinta 2015.)

5.3 Porareikämittaus

Porareikämittauksessa mitataan rakenteen suhteellista kosteutta ja lämpötilaa. Poratusta reiässä kosteus asettuu tasapainoon ympäristönsä kanssa tietyn ajan kuluessa. Mittauksen tekijän on hyvä olla mieluiten sertifioitu kosteusmittaaja, koska mittauksen tekeminen edellyttää mittaajalta ammattitaitoa ja huolellisuutta. (RT 103333 2021.)

Porareikämittaukset aloitetaan poraamalla rakenteeseen iskuporakoneella halkaisijaltaan 16 mm kokoisia reikiä. Reikien syvyys määräytyy mitattavan rakenteen ja sen mukaan miltä syvyydeltä mittaustulos halutaan. Porauksesta syntyvä pöly on puhdistettava poratusta reiästä erittäin huolellisesti imurilla tai paineilmalla, koska se vaikuttaa merkittävästi mittaustuloksiin antaen liian korkeita suhteellisen kosteuden arvoja. Huolellisesti puhdistettuun reikään asennetaan asennusputki, joka tiivistetään sivuilta sekä putken päältä höyrytiivillä kittillä tai esimerkiksi sinitarralla. Tämän jälkeen mittausräin olosuhteiden annetaan tasaantua vähintään 72 tuntia, koska poraaminen vaikuttaa betonin ympäristöön siten että betonin huokosilman suhteellinen kosteus sekä betonin lämpötila nousee. (RT 103333 2021.)

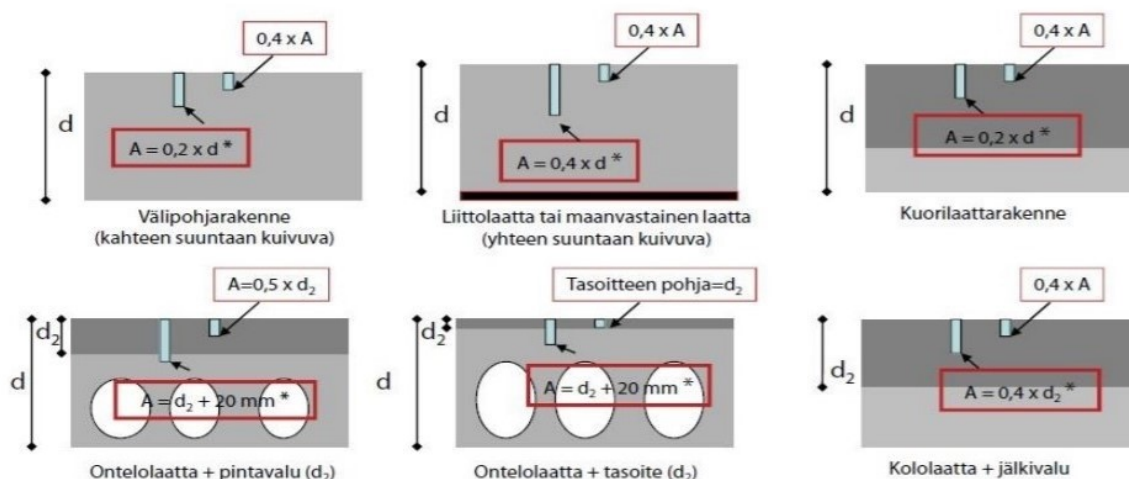
RT-ohjekortissa 103333 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus (2021) ohjeistetaan, että olosuhteiden tasaannuttua reikiin asennetaan kalibroidut ja toimintakuntoiset mittapäät.

Myös mittapään tulee antaa tasaantua ympäröiviin olosuhteisiin ennen asennusta. Mittapää asennetaan asennusputkeen välittömästi asennusputken vesihöyrytiivin suojan poiston jälkeen siten että mittapään anturi osuu porareian pohjaan asti. Kun anturi on putkessa, tiivistetään mittapään johdon ja putken väli huolellisesti ja annetaan mittapään tasaantua laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti. Mittapään voi asentaa reikään myös heti asennusputken tiivistämisen jälkeen, mutta myös tällöin tarvitaan 72 tunnin tasaantumisaika. (RT 103333 2021.)

Riittävän tasaantumisaajan jälkeen mittapää kiinnitetään lukijaan, josta tulokset luetaan ja kirjataan ylös mittauspöytäkirjaan. Mittauspöytäkirjasta tulee selvitä mittapään numero, mitauspisteen sijainti, mitaussyvyys, huoneilman suhteellinen kosteus ja lämpötila, lämpötila ja suhteellinen kosteus mittausputkessa sekä mitauspisteiden absoluuttinen kosteus. (RT 103333 2021.)

Mittauskohtien valintaan vaikuttaa valujen paksuudet, valujen ajankohta, kuivumisolosuhteet, seinä- ja yläpohjarakenteet, erilaiset alapohjat, tulevat päällysteet sekä päällystysaikataulu. Myös mittauskohtien määrä on tapauskohtainen, eikä niiden määrään yksiselitteisesti vaikuta esimerkiksi pinta-alojen suuruus. Mittausten lukumäärä ja ajoitus määräytyvät arvioidun kuivausajan ja aikaisempien mittausten perusteella. (RT 103333 2021.)

Porareian mitaussyvyyksien laskentakaavoja on esitetty kuvassa 10. Esimerkiksi holvissa, joka on kahteen suuntaan kuivuva 270 mm paksuinen, on porareian syvyys tällöin $0,2 \cdot 270 \text{ mm} = 54 \text{ mm}$. Kun taas esimerkiksi 70 mm pintalaatan, joka on vain yhteen suuntaan kuivuva, porareian syvyys on $0,4 \cdot 70 \text{ mm} = 28 \text{ mm}$ (RT 103333 2021.)



Kuva 10. Porareikämittausyvyudet (RT 14-10984 2010)

Lähtötaso- ja seurantamittausten mittaussyvyydet ovat yleensä samoja kuin lopullisen päällystettävyyden arvioinnissa käytettävät syvyydet. Jos tuleva pintarakenne on kosteudelle herkkä tai tiivis, tai rakenteen valun paksuus on suuri, tulee mitata vähintään valupaksuuden puolivälistä, jotta rakenteessa vallitsevasta kosteuskuormasta saadaan riittävän tarkka käsitys. Seurantamittausten mittaussotanta on oltava sellainen, että siitä saadaan riittävästi tietoa kohteen kriittisimmistä alueista. Näitä alueita ovat paksuimmat ja tuoreimmat valut sekä kuiten huonoissa olosuhteissa olleet ja eniten kastuneet alueet. (RT 103333 2021.)

Päällystettävyydsmittausten mittaussyvyydet määräytyvät seurantamittausten tulosten pohjalta. Arvioidessa päällystettävyyttä mittaus pitää tehdä vähintään kahdesta syvyydestä kussakin mittauspisteessä. Mittaussyvyyksien tulee olla sellaiset, että ne osoittavat kosteuden uudestaan jakaantumisen pintamateriaalin asennuksen jälkeen. Päällystettävyydsmitauksia täytyy tehdä riittävästi, jotta saadaan riittävä varmuus alueen päällystettävyydestä. (RT 103333 2021.)

5.4 Mittalaitteet

Yhtenä tavoitteena tässä opinnäytetyössä oli vertailla erään toimittajan tarjoamia etäluettavia tallentavia mittalaitteita, kosteusmittaajan suorittamiin mittauksiin. Tavoitteena oli tutkia laitteiden hyödyllisyyttä ja käytettävyyttä työnjohdon näkökulmasta. Etäluettavat mittalaitteet näyttävät reaaliaikaista lukemaa ilmakehän kosteudesta ja lämpötilasta sekä betonin kosteudesta, lämpötilasta ja absoluuttisesta kosteudesta. Työmaa-arjessa etäluettavaa dataa tallentava laitteisto olisi hyvinkin käytännöllinen. Tällaisilla jatkuvilla mittauksilla ei voida kuitenkaan korvata pinnoitettavuusmittauksia.

Etäluettavat laitteet olivat Internet of Things eli IOT-antureita, jotka toimittavat 30 minuutin välein mittatiedon pitkän kantaman Sigfox radioverkkojen kautta pilvipalveluun. Valitsemani laitteet olivat sisäkäyttöön suunnitellut pienhiukkasanturit sisäilman seurantaan sekä kuvassa 11 rakenteiden lämpötilaa sekä suhteellista- ja absoluuttista kosteutta mittaavat anturit ulkoisilla mittapäillä. Toimittajan valikoimassa on myös laitteita, joilla voi seurata esimerkiksi sähkönkulutusta tai pölyn pienpartikkeleja.



Kuva 11. Betonin lämpö- ja kosteusanturi

Sertifioidun kosteusmittaajan käyttämät laitteet olivat kuvan 12 Vaisala betonin rakennekosteusmittari SHM40 ja porareikäanturi eli mittapää Vaisala HMP40 sekä Flir MR77 pinta-kosteusmittari/lämpömittari.



Kuva 12. Vaisala betonin rakennekosteusmittari

Etäluettava betonin kosteutta ja lämpötilaa mittaava laite asennetaan samoin kuten kosteusmittaajankin laitteet, porareikämittaus ohjetta noudattaen haluttuun paikkaan. Etäluettavissa laitteissa sekä mittajaan laitteessa käytetään samoja Vaisalan 19266HM porareikämittausputkia. Huoneilman lämpötilaa ja kosteutta mittaava pieni neliönmuotoinen laite asennetaan seinään ruuveilla tai tarralla.

5.5 Seuranta

Jatkuvan olosuhde mittaustilanteiston tuotepaketti sisälsi laitteet, verkkoratkaisun, hallintänäköyksen ja raportointimahdollisuuden.

Olosuhteiden tasaannuttua tuloksia pystyi lukemaan selainpohjaisesta hallintasovelluksesta sekä mobiilisovelluksesta. Mobiilisovelluksen ominaisuudet olivat jonkin verran rajoitummalla kuin selainpohjaisen sovelluksen, mutta oikein riittävät. Ohjelmistot mahdollistavat omien kohteiden seurannan sekä uusien laitteiden lisäämisen. Mittariston pystyi myös jakamaan linkin kautta, joka ei vaatinut käyttäjän kirjautumistietoja. Laitteet oli helppo merkitä esimerkiksi asunnon numeron mukaan.

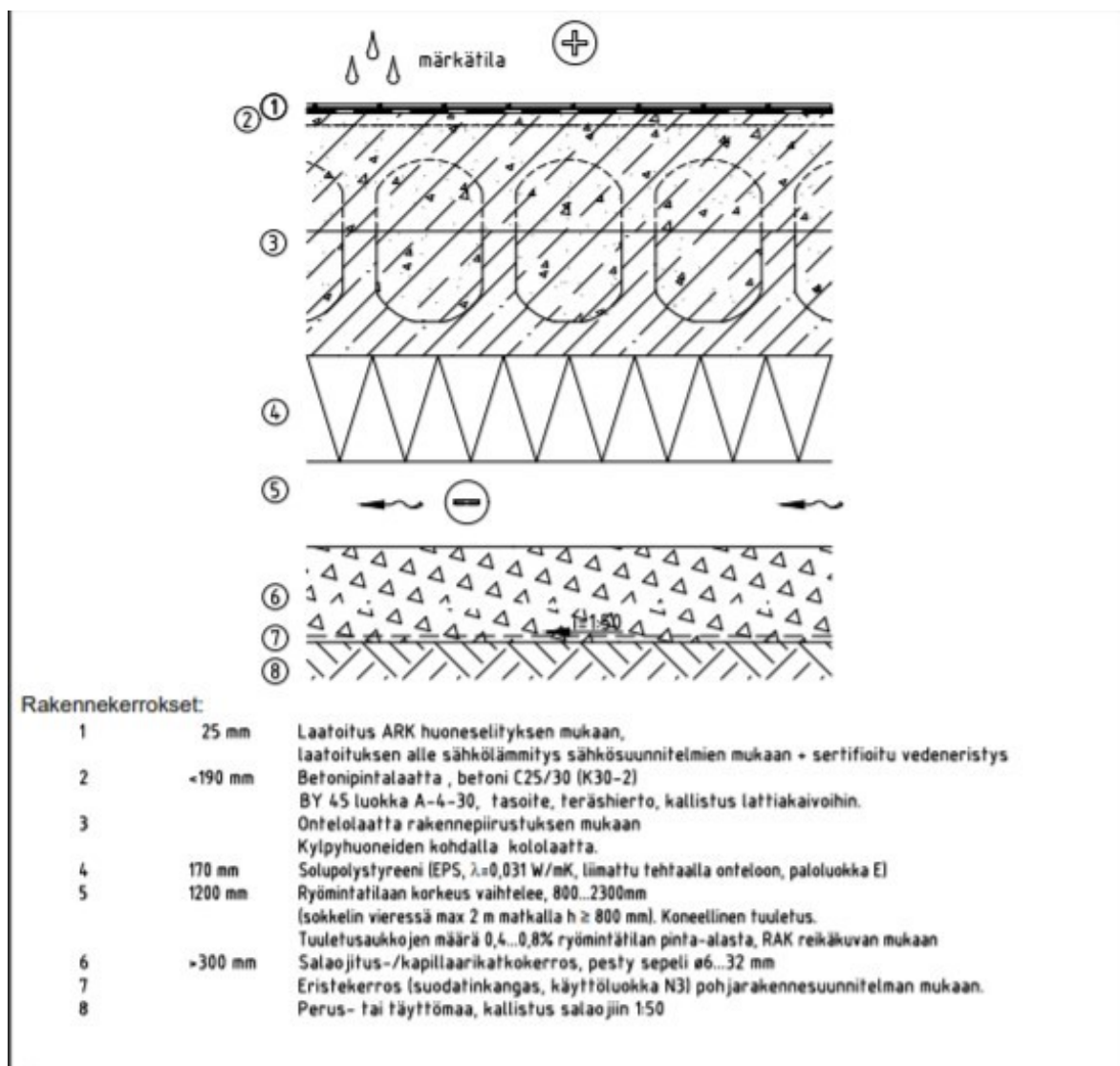
Hallintasovelluksen seurannan näkymä on kuvan 13 mukainen. Näkymästä pystyi katsomaan diagrammin joko viimeisen kuukauden ajalta, viimeisen viikon ajalta tai pelkästään 24 tunnin ajalta.



Kuva 13. Sovelluksen seuranta diagrammi

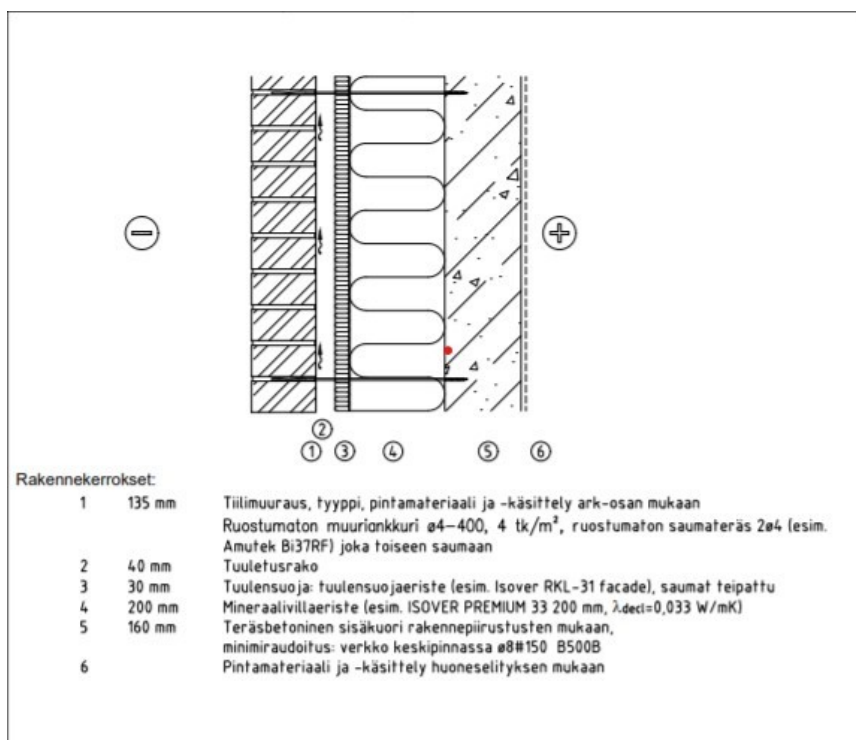
Datan pystyi talteen ottamaan Excel muodossa selainpohjaisessa sovelluksessa, mutta mielestäni tämä oli vaikeasti luettavaa ja sekavasti toteutettu. Parempi tapa oli kirjautua palveluntarjoajan erilliselle raportointi sivustolle, josta tulokset sai ladattua sekä pdf että Excel muodossa. Raportointisivuston kautta ladattu Excel oli omaan makuuni selkeämmin toteutettu kuin sovelluksesta saatava. Pdf tiedosto oli helposti luettava ja siihen oli lisätty myös kuvaajat, joihin oli valmiiksi laskettu aikajakson keskiarvo sekä mediaani-, minimi- ja maksimiarvot. Sivuston kautta sai mittaustulokset myös koko laitteiden käyttöajalta.

Tutkimuskohde oli yksikerroksinen asuinrakennus. Kohteen alapohjarakenne on 370 mm paksu ontelolaatta, jonka alapinnassa on 170 mm solupolystyreenieriste, rakenne kuvassa 14. Kylpyhuoneiden kohdalla laatta on kololaatta, jossa laatan paksuus kolossa on 200 mm. Koloon on työmaalla lisätty talotekniikka sekä kaatolattiavalu 170 mm.

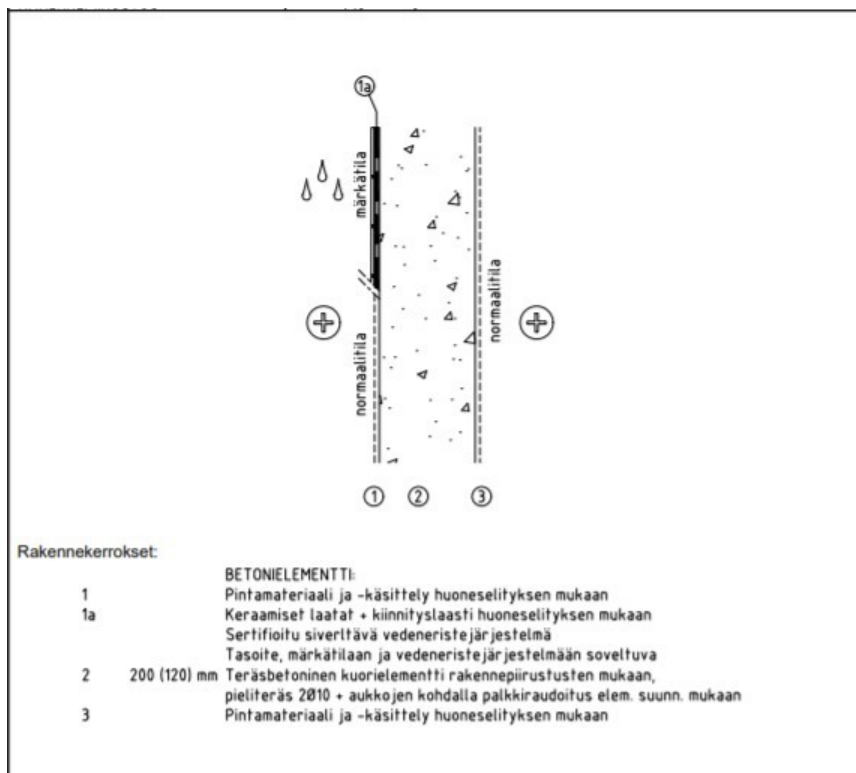


Kuva 14. ontelolaatan rakenne

Ulkoseinät kuvassa 15 ovat 160 mm teräsbetoni kuorielementtejä, joihin on asennettu työmaalla 230 mm lämmöneristettä sekä julkisivumuuraus. Väliseinät ovat 200 mm paksuja teräsbetonielementtejä kuvassa 16.



Kuva 15. ulkoseinän rakenne



Kuva 16. väliseinän rakenne

Etäluettavia olosuhde- ja kosteusmittaus laitteita oli käytössä 3 kappaletta ilman lämpötilaa ja kosteutta mittaavia antureita, sekä 3 kappaletta betonin kosteusantureita. Seuranta aloitettiin sijoittamalla laitteet sattumanvaraisesti samaan aikaan kosteusmittaajan suorittamien lähtötasomittausten kanssa seiniin sekä kylpyhuoneiden lattioihin.

Seurantamittauksia suoritettiin helmi-huhtikuun aikana viisi kertaa noin kahden viikon välein. Kosteusmittaajan mitta-anturit oli kalibroitu laitevalmistajan ohjeen mukaan. Laitteiden kokonaismittaustarkkuus on $\pm 5 \%$ mikäli rakennuksessa lämpötila on yli 15°C sekä rakenteen ja sitä ympäröivän ilman lämpötilaero on yli 2°C , lämpötilaeron olleessa alle 2°C on mittaustarkkuus $\pm 3 \%$. Tämä aiheutuen ympäristöstä, mittalaitteiden ominaisuuksista, mittausten menetelmistä sekä mittaajasta.

Anturien asentamisen jälkeen laitteet toimivat hyvin ja lähettivät dataa luvatusi 30 minuutin välein kahden päivän ajan, kolmantena päivänä kaksi laitteista lakkasi toimimasta. Olin yhteydessä toimittajaan, jonka mukaan vika johtui huonosta signaalista, tämä on toki ymmärrettävää, koska antureiden ympärillä on runsaasti betonia sekä rautaa. Toimittaja suositteli hankkimaan tukiaseman, joka vahvistaa signaaleja. Tilatessani laitteita, tukiasemaa ei ollut valikoimassa eikä missään mainittu mahdollisista signaali ongelmista. Lähtökohta tutkimuksen tavoitteena selvitettävään jatkuvien olosuhdemittausten hyödyllisyyteen ja käytettävyyteen työnjohdon näkökulmasta on mittaustulosten luotettavuus, mikäli mittaustuloksiin ei voi luottaa on palvelun käyttö yhtä tyhjän kanssa.

Etäluettavasta laitteistosta saadut betoninmittauksen kosteus lukemat erosivat koko tutkimuksen ajan $\pm 2 \%$ mittaajan vastaavista. Betonin lämpötiloista saatiin kuitenkin samat tulokset. Ilmankosteus- ja lämpötilamittaukset olivat myös yhdenmukaiset. Mittaustulosten avulla pystyttiin reagoimaan työmaan olosuhteisiin tilanteen vaatimalla tavalla, esimerkiksi lisäämään kuivatusta tietyllä alueella.

Arvioisin ilmankosteutta ja lämpötilaa mittaavan laitteiston luotettavuuden hyväksi, sillä mittaristo reagoi välittömästi, jos työmaalla tuuletettiin voimakkaasti tai tehtiin runsaasti kosteutta aiheuttavia töitä, esimerkiksi tasoitustöitä. Tuloksista pystyi havaitsemaan, että huoneilman lämpötilan laskiessa radikaalisti myös betonin lämpötila laski, sekä betonin kuivuminen lähes pysähtyi hetkellisesti. Ilmankosteutta ja lämpötilaa mittaavat laitteet osoittautuivatkin erityisen hyödyllisiksi, sillä tärkeintä oli seurata, että sisäilman olosuhteet edesauttavat betonin kuivumista.

Laitteiston käytettävyys osoittautui helpoksi ja käyttäjäystävälliseksi. Tukiaseman lisäämisen jälkeen laitteet toimivat tutkimuksen loppuajan moitteettomasti, lukuun ottamatta muutamia kertoja, jolloin osaa tuloksista ei tuntemattomasta syystä pystynyt seuraamaan, tulokset kuitenkin kirjautuivat palveluun vuorokauden kuluessa.

Tutkimuksen hintavertailu oli hieman haastavaa, sillä etäluettavan laitteiston hinta koostui laitteiden avausmaksuista ja yhden vuoden vuosimaksuista sekä tukiaseman kuukausimaksusta. Laitteiston vuokra-aika oli mielestäni turhan pitkä, kuukausimaksu olisi ollut järkevämpi. Kosteusmittaajan suorittamat mittaukset veivät kerrallaan aikaa noin 1–2 tuntia ja hän kävi työmaalla tutkimuksen aikana kuusi kertaa tuntiveloituksella. Sertifioitu kosteusmittaaja suoritti mittaukset ja lähetti tulokset Excel muodossa jokaisen käyntikertansa jälkeen. Työnjohdon tehtävänä oli näyttää halutut mittauspaiikat sekä varmistaa että porareian kohdalla ei ole esimerkiksi lattialämmityskaapelia. Etäluettavan laitteiston asennukseen ja tulosten seurantaan käytettävä aika, sekä tutkimuksen ajalle laskettujen maksujen määrän huomioon ottaen arvioin sertifioidun kosteusmittaajan suorittamien mittausten kustannusten olevan 10 % korkeammat kuin etäluettavan laitteiston.

On hyvä muistaa, että jatkuvat kosteusmittaukset eivät korvaa pinnoitettavuusmittauksia. Tutkimuksen perusteella voin todeta, että jatkuvat mittaukset ovat kuitenkin riittävän luotettavia suuntaa antaviksi mittauksiksi, joiden perusteella voidaan suorittaa pinnoitettavuusmittaukset ilman erillisiä välimittauksia. Betoninmittausanturit tukevat sisäilman olosuhteiden mittausta, jolloin työnjohdon on helppo reagoida työmaan olosuhteiden muutoksiin sekä betonin kuivumiseen.

6 Yhteenveto ja pohdinta

Työn tarkoituksena oli selvittää, millaisia toimenpiteitä rakennustyömaalla on tehtävä rakentamisen aikana, jotta olosuhteet ovat suotuisat betonin kuivumisen kannalta. Työssä esiteltiin rakennusaikaisen kosteuden aiheuttajat ja rakennusaikaisesta kosteudesta johtuvat riskit.

Työssä myös selvitettiin jatkuvien olosuhdemittausten hyödyllisyyttä ja käytettävyyttä työnjohdon näkökulmasta. Tutkimuksessa seurattiin uudisrakennustyömaalla betonirakenteiden kuivumista etäluettavan mittauslaitteiston avulla. Tuloksia verrattiin sertifioidun kosteusmittaajan saamiin tuloksiin, jotta voitiin varmistua tulosten luotettavuudesta.

Tutkimuksessa käytetyt olosuhdemittaukset antoivat tärkeää tietoa työmaaolosuhteiden vaikutuksesta betonirakenteiden kuivumiseen. Voidaan todeta, että tutkimuksessa käytetyt jatkuvat mittaukset ovat riittävän luotettavia suuntaa antaviksi mittauksiksi, joiden perusteella voidaan suorittaa pinnoitettavuusmittaukset ilman erillisiä välimittauksia. Laitteisto oli helppokäyttöinen, mutta laitteiston toimivuus ei ollut täysin luotettava koko tutkimuksen ajan.

Tutkimuksessa havaittiin huoneilman lämpötilaa ja kosteutta mittaavan laitteiston oleva betonimittausantureita tärkeämpiä, sillä huolehtimalla jatkuvasti sisäilman olosuhteista työmaalla siten, että RH on alle 50 % ja lämpötila vähintään +20°C saadaan myös betonirakenteet kuivumaan. Betonimittausanturit tukevat sisäilman olosuhteiden mittausta, jolloin työnjohdon on helppo reagoida työmaan olosuhteiden muutoksiin sekä betonin kuivumiseen.

Mikäli etäluettava olosuhdemittausjärjestelmä otettaisiin laajemmin käyttöön työmaalla, pitäisi laitteita olla käytettävyyden kannalta määrällisesti enemmän kuin tutkimuksessa käytettiin, eikä se tällöin olisi kustannustehokasta. Tutkimus suoritettiin kevättalvella, jolloin ulkoilman olosuhteet betonin kuivumisen kannalta olivat suosiolliset. Monipuolisuutta ajatellen olisi ollut mielenkiintoista toteuttaa sama tutkimus uudestaan kosteana vuodenaikana, jolloin olisi tarvittu myös kosteudenkerääjiä.

Lähteet

Airwawe. 2022. Adsorptiokuivaimen toimintaperiaate. Viitattu 24.2.2022. Saatavissa <https://www.airwave.ee/product-detail/dehutech-2/>

Corroventa. 2017. Adsorptiokuivain käyttöohje. Viitattu 25.3.2022. Saatavissa https://www.corroventa.fi/app/uploads/2017/11/CTR-K100XT_K%C3%A4ytt%C3%B6ohje_201710_FI.pdf

Gles. 2012. Kuivausohje. Viitattu 23.2.2022. Saatavissa <https://docplayer.fi/2111287-Kuivausohje-lyhyt-ohjeistus-rakennuksen-koneellisesta-tilakuivauksesta-mita-tilakuivaus-on-miten-tilakuivataan.html>

Gles. 2012. Kuivaustekniikan valinta kondenssikuivaimen ja adsorptiokuivaimen välillä ilmankosteuden ja lämpötilan mukaan. Viitattu 23.2.2022. Saatavissa <https://docplayer.fi/2111287-Kuivausohje-lyhyt-ohjeistus-rakennuksen-koneellisesta-tilakuivauksesta-mita-tilakuivaus-on-miten-tilakuivataan.html>

Kosteudenhallinta. 2015. Rakentamisvaihe. Viitattu 23.2.2022. Saatavissa http://www.kosteudenhallinta.fi/attachments/article/202/Kosteudenhallinta_RAKENTAMIS-VAIHE_25092015.pdf

Kosteudenhallinta. 2020a. Kosteudenhallintaselvitys. Viitattu 18.3.2022. Saatavissa <http://kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/toimenpiteet/kosteudenhallintaselvitys>

Kosteudenhallinta. 2020b. Työmaan kosteudenhallinnan suunnittelu. Viitattu 22.2.2022. Saatavissa <http://kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/toimenpiteet/kosteudenhallintasuunnitelma>

Kosteudenhallinta. 2020c. Työmaan suojaus. Viitattu 22.2.2022. Saatavissa <http://kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/toimenpiteet/suojaus/109-tyoemaan-suojaus>

Kosteudenhallinta. 2020d. Rakenteiden kuivumisaika-arvioiden laatiminen. Viitattu 22.2.2022. Saatavissa <http://kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/toimet/mittaus/103-rakenteista-tehtaevaet-mittaukset>

Kuivaketju10. Kuivaketju10-riskilista. Viitattu 24.2.2022. Saatavissa http://kuivaketju10.fi/wp/wp-content/uploads/2018/03/Kuivaketju10-Riskilista_150313.pdf

Kuivaketju10. Viitattu 24.2.2022. Saatavissa <http://kuivaketju10.fi/#etusivu>

Onninen. 2022. Aksaalipuhallin. Viitattu 18.3.2022. Saatavissa <https://www.onninen.fi/vents-aksiaalipuhallin-vents-ov-500-1-vaiheinen/p/ASM981?term=OV%204E%20500>

Rakennuslehti. 2017. Kosteudenhallintakoulutus halutaan pakolliseksi työmaille. Viitattu 18.2.2022. Saatavissa <https://www.rakennuslehti.fi/2017/10/kosteudenhallintakoulutus-halutaan-pakolliseksi-tyomaille/>

Ratu S-1236. 2021. Olosuhteidenhallinta rakentamisessa. Rakennustieto.

RIL 155. 1984. Lämmön ja kosteudeneristys. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RIL 250. 2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RT 05-10710. 1999. Kosteus rakennuksissa. Rakennustieto

RT 103333. 2021. Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen. Rakennustieto.

Safe Drying. 2022. Kosteus liikkuu rakennuksissa. Viitattu 21.2.2022. Saatavissa <https://www.safedrying.fi/kapillaarinen-kosteus/>

Seppälä, A. 2011. Kosteudenhallinnan käsikirja. Espoo: Total Quality Oy.

Sisäilmayhdistys ry. 2008a. Helsingin, Espoon ja Vantaan Terveelliset tilat. Viitattu 17.2.2022. Saatavissa <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilman-ominaisuudet>

Sisäilmayhdistys ry. 2008b. Helsingin, Espoon ja Vantaan Terveelliset tilat. Viitattu 21.2.2022. Saatavissa <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kunnossapito-ja-korjaaminen/Purku-kuivaus-ja-puhdistus/Rakenteiden-kuivattaminen>

Suomen betoniyhdistys. 2018. By 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. Helsinki: BY-koulutus Oy.

Trotec. 2022. Absorptiokuivain. Viitattu 22.2.2022. Saatavissa <https://fi.trotec.com/tuotteet-ja-palvelut/koneet-homecomfort/ilmankuivaus/kaeytaennoen-tietoa-ilmankuivaimista/ilmankuivausmenetelmaet-yhdellae-silmaeyksellae/adsorptiokuivain/>

Trotec. 2022. Kondenssikuivaimen toimintaperiaate. Viitattu 23.2.2022. Saatavissa <https://fi.trotec.com/tuotteet-ja-palvelut/koneet-homecomfort/ilmankuivaus/kaeytaennoen-tietoa-ilmankuivaimista/ilmankuivausmenetelmaet-yhdellae-silmaeyksellae/kompressoritekniikalla-varustettu-kondenssikuivain/>

YIT Suomi Oy. 2022. Simpukkapuhallin. Viitattu 18.3.2022. Saatavissa https://yit.service-now.com/point?id=yit_cat_item&sys_id=7cbba691dbb42b406703fd9eaf96191f&category=423b9659db342b406703fd9eaf96193c

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017.