



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tuukka Ylihärsilä

Toimistorakennuksen betonivälipohjien kosteudenhallinta

Opinnäytetyö

Kevät 2021

SeAMK Rakennustekniikka

Insinööri (AMK), Rakennustekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Tuotantotekniikka

Tekijä: Tuukka Ylihärtilä

Työn nimi: Toimistorakennuksen betonivälipohjien kosteudenhallinta

Ohjaaja: Jorma Tuomisto

Vuosi: 2021

Sivumäärä: 48

Liitteiden lukumäärä: -

Tässä opinnäytetyössä aiheena oli toimistorakennuksen betonialapohjan ja -välipohjien kosteuden- ja olosuhteidenhallinta. Työssä käsitellään, miten erilaiset rakennetyypit ja -paksuudet vaikuttavat kuivumiseen, kosteusmittauksiin sekä kuivumisaika-arvioihin.

Toimistorakennuksen päällystemateriaali on suurimmaksi osaksi tekstiilimatto, jolloin betonin vaadittava suhteellinen kosteus on oltava alle 85 %. Työssä esitetään, millaisilla toimenpiteillä saadaan ihanteelliset olosuhteet, jotka edesauttavat betonirakenteiden kuivattamista, sekä millaisilla menetelmillä betonin suhteellinen kosteus voidaan mitata, ja tehdään betonin kuivumisaika-arvioita.

Nykyään jokaisella rakennustyömaalla tulee olla työmaakohtainen kosteudenhallintasuunnitelma. Ihanteellisten olosuhteiden aikaansaaminen betonin kuivumiselle ei ole itsestäänselvyys, ja se tuo myös merkittävät kustannukset työmaalle.

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Production Engineering

Author: Tuukka Ylihärtilä

Title of thesis: Humidity control of the concrete floors of an office building

Supervisor: Jorma Tuomisto

Year: 2021

Number of pages: 48

Number of appendices: -

The topic of the thesis was the humidity and condition management of the concrete base floor and intermediate floors of an office building. The thesis dealt with how different types of structures and thicknesses affected drying, humidity measurements and drying time estimates.

For the most part, the coating material of the office building was a textile mat, in which case the required relative humidity of the concrete must be less than 85%. The thesis described what measures would provide ideal conditions to contribute to the drying of concrete structures, as well as the methods to measure the relative humidity of concrete and estimates of the drying time of concrete were made.

Nowadays, every construction site must have a construction site-specific moisture management plan. Achieving ideal conditions for concrete drying is not self-evident, and it also brings significant costs to the construction site.

Keywords: Concrete, humidity control, conditions management, humidity measurement

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO	9
2 BETONIVÄLIPOHJIEN RAKENNETYYPIET	10
2.1 Päällystemateriaalit	10
2.2 Maanvarainen laatta.....	10
2.3 Välipohjat	11
2.4 Märkätilojen välipohjat.....	12
2.5 Väestönsuojan yläpohja	13
2.6 Deltapalkki	13
3 BETONIN KUIVUMINEN JA KUIVUMISAIKA-ARVIOT	16
3.1 Kuivumisaika-arvio	17
3.2 Maanvarainen laatta.....	17
3.2.1 Maanvaraisen laatan kuivumisaika-arvio	17
3.3 Välipohjat	19
3.3.1 Ontelo + tasoite rakenteen kuivumisaika-arvio	20
3.4 Väestönsuojan yläpohja	22
4 DELTAPALKIN KUIVUMINEN.....	23
5 BETONIRAKENTEEN KOSTEUSMITTAUS.....	25
5.1 Suhteellisen kosteuden mittausmenetelmät	25
5.1.1 Kosteusmittaus porareikämenetelmällä	26
5.2 Kosteusmittaus näytepalamenetelmällä	29
5.3 Mittausajankohta ja mittauspisteiden valinta.....	31

6	TYÖMAAN KOSTEUDENHALLINTA.....	33
7	TYÖMAAN OLOSUHDEHALLINTA.....	38
8	TYÖMAALLA KÄYTETTÄVÄ KALUSTO	41
9	YHTEENVETO	47
	LÄHTEET	48

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Deltapalkki	14
Kuva 2. Ontelolaattojen sauma- ja deltapalkin valu	15
Kuva 3. Maanvaraisen teräsbetonilaatan laskentakaava	18
Kuva 4. Ontelolaatta + tasoite kuivumisarvion laskentakaava	20
Kuva 5. Väestösuojan yläpuolinen tuuletuskanavisto	22
Kuva 6. Kosteusmittaus näytepalamenetelmällä deltapalkin saumavalusta.	30
Kuva 7. Betonin suhteellista kosteutta mitattaessa näytepalat ja mitta-anturi koeputkessa...	31
Kuva 8. Päälystettävyyssmittauksissa yksi mittapiste koostuu useammasta mittausreiästä...	32
Kuva 9. Julkisivulasituksien ajaksi tehty muovinen suojaseinä purkuvaiheessa.	35
Kuva 10. Viikon 27 raportti. Sininen viiva betonin suhteellinen kosteus, punainen viiva huoneilman suhteellinen kosteus	36
Kuva 11. Kuudessa viikossa betonin kosteus on laskenut huomattavasti. Keskiarvo 81,3 %	37
Kuva 12. Mittausraportti deltapalkin sisältä mitatuista tuloksista.....	37
Kuva 13. Rakennuksen vaipan tiivistäminen mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.....	39
Kuva 14. Ontelokentän alapuolinen osastointi ja väliaikainen öljylämmitys.	40
Kuva 15. Ulkoseinän suojapeiteseinän haalausaukko.	40
Kuva 16. Kombikuivain. Kuivausteho 35 l / 24 h	42
Kuva 17. Trailerille asennettu tehokas sorptiokuivain. Kuivausteho 768 l /24 h.....	42
Kuva 18. Pienempi sorptiokuivain. Kuivausteho 110 l / 24 h.....	43

Kuva 19. Strong 4000 alipaineistaja.	44
Kuva 20. Työmaalla käytettyjä puhaltimia.....	44
Kuva 21. Vesikiertoinen 250 kW lämpöpuhallin.	45
Kuva 22. Väliaikainen lämmönvaihdin	46
Kuvio 1. Ensimmäisen kerroksen alapohjan rakennetyyppi.....	10
Kuvio 2. 2–5 Kerroksien välipohjien rakennetyypit tekstiilimatoille.....	11
Kuvio 3. 2–5 Kerroksien välipohjien rakennetyypit märkätiloille.....	12
Kuvio 4. Väestönsuojan yläpohjarakenne.....	13
Kuvio 5. Maanvaraisen teräsbetonilaatan peruskuivumiskäyrä.	18
Kuvio 6. Ontelolaatta + tasoite peruskuivumiskäyrä	21
Taulukko 1. Maanvastaisen teräsbetonilaatan kertoimet	19
Taulukko 2. Ontelolaatta + tasoite kertoimet.....	21
Taulukko 3. Betonin ja anturin lämpötilaeron vaikutus RH arvoon, betonin RH 90 %.....	29

Käytetyt termit ja lyhenteet

RH	Relative humidity eli suhteellinen kosteus prosentteina. Ilmassa olevan vesihöyryn määrä siihen nähden, mitä kyseisessä lämpötilassa voi olla enimmillään vesihöyryä.
Vesisementtisuhde	Tarkoitetaan tuoreen betonimassan sisältämän vesimäärän ja seementin painon suhdetta.
Kuivaketju10	Kokonaisvaltainen toimintamalli, jolla pyritään estämään kosteusvaurioiden syntyminen kaikissa rakennusprosessin eri vaiheissa.
eGate	Palvelu, joka mahdollistaa rakennuksen, rakenteiden ja tilojen olosuhteiden mittaamisen ja valvonnan, sekä rakentamisen että käytön aikana.
Rakennuksen vaippa	Rakennusosat, jotka erottavat eri lämpöiset tilat ulkoilmasta, maaperästä tai lämmittämättömästä tilasta. Ts. rakennuksen ulkokuori.
Päällystys	Päällystämällä tarkoitetaan yleensä jonkin tehdasvalmisteisen valmiiksi tehdyn tuotteen asentamista. Näitä ovat esimerkiksi laatat, parketit, tekstiili- ja muovimatot.
Pinnoitus	Pinnoittaminen tarkoittaa lattiaan levitettävää pintakerrosta, joka saa lopulliset ominaisuutensa vasta levittämisen jälkeen kuivuttuaan.
Haalaus	Isokokoisten, painavien tai muuten vaikeasti käsiteltävien tavaroiden liikuttamista.

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä perehdytään erään toimistorakennuksen betonialapohjan ja -välipohjien kosteuden- ja olosuhteidenhallintaan. Tarkoituksena on saada aikataulu huomioiden mahdollisimman hyvät olosuhteet betonin kuivumista ja päällystettävyyttä varten.

Rakennus on viisikerroksinen toimistorakennus, jonka pohjapinta-ala on noin 2 600 m². Ensimmäisen kerroksen alapohja on toteutettu maanvaraisella teräsbetonilaatalla, ja 2–5-kerroksien välipohjat on toteutettu pääasiassa teräsbetonielementeistä valmistetuista ontelolaatoista, sekä osittain paikallavalukaistoista. Vaakasuuntaisina palkkeina, joiden päälle ontelolaatat asennetaan, toimivat deltapalkit. Ontelolaattojen etuna on niiden kuivuminen, joka alkaa jo tehtaalla heti valmistuksen jälkeen.

Opinnäytetyön aihe tuli tämän työn tekijän omasta kiinnostuksesta kosteuden- ja olosuhteidenhallintaan ja helpottamaan tulevaisuudessa rakennustyömailla olosuhteidenhallintaa, sekä tähän liittyviä toimenpiteitä. Työn aihe on rajattu työmaalla tehtävään olosuhteidenhallintaan sekä siinä käytettäviin menetelmiin. Työn tekemiseen on käytetty aiheeseen liittyvää kirjallisuutta, verkkolähteitä sekä työmaalta kerättyjä dokumentteja ja mittaustuloksia.

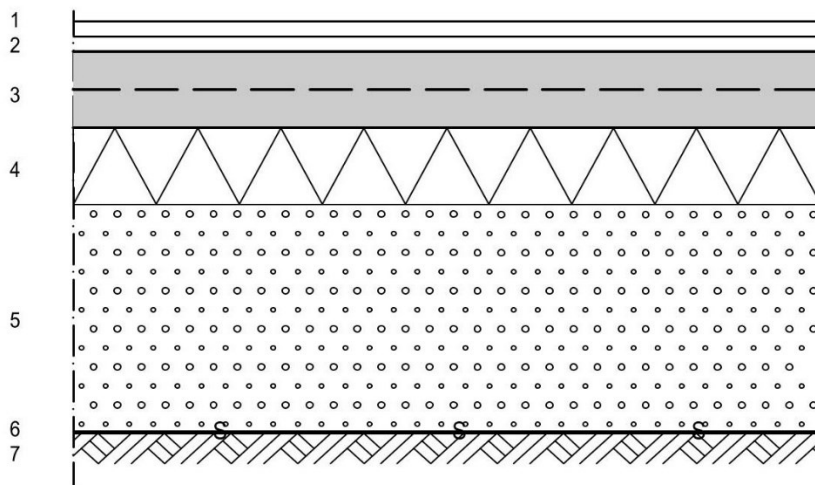
2 BETONIVÄLIPOHJIEN RAKENNETYYPI

Seuraavissa alakappaleissa käydään läpi rakennetyypit, joita esiintyi referenssi työmaalla.

2.1 Päällystemateriaalit

Toimistorakennuksen lattiat päällystetään pääasiassa tekstiilimatoilla. Ainoastaan märkätiloissa ja keittiössä on eri päällystemateriaalit. Märkätiloissa lattiat laatoitettiin ja keittiön lattia päällystettiin akryylimassalla. Betonin suhteellisen kosteuden (RH%) vaatimukset ovat tekstiilimatolla ja laatoilla <math><RH85\%</math>, keittiön massalattialla <math><RH95\%</math>.

2.2 Maanvarainen laatta

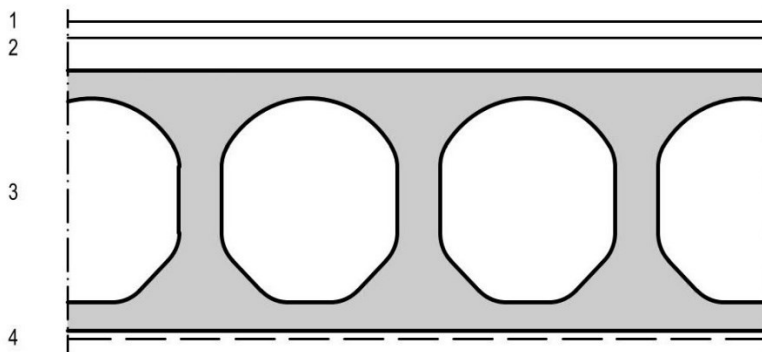


Kuvio 1. Ensimmäisen kerroksen alapohjan rakennetyyppi.

1. Pintamateriaali ja -käsittely huoneselostuksen mukaan 20 mm.
2. Lattiataasoite rakennusselostuksen mukaan 20 mm.
3. Maata vasten valettu teräsbetonilaatta C30/37 100 mm.
4. Lämmöneriste, EPS 100 lattia 100/180 mm.
5. Koneellisesti tiivistetty kapillaarikatkoepeli 5–8/16 >300 mm.
6. Suodatinkangas, saumat limitetty min. 500 mm.
7. Perusmaa. (Kuvio 1.)

2.3 Välipohjat

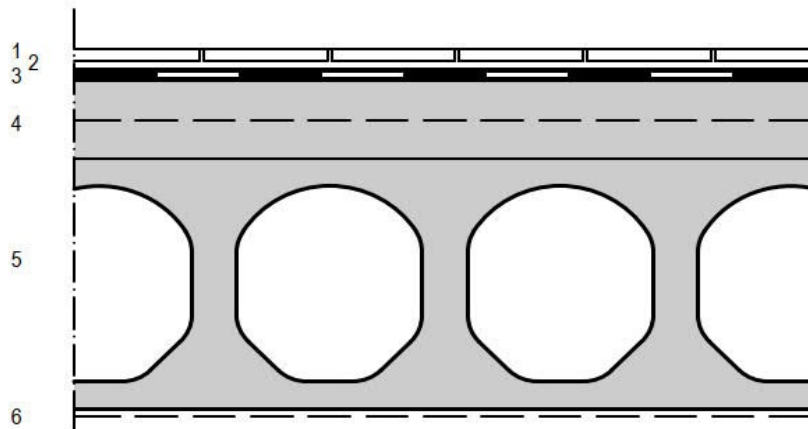
Välipohjat toteutettiin 320 mm paksuisilla ontelolaatoilla. Ontelolaattojen asennuksen jälkeen työmaalla on tarkastettava, että ontelolaatoissa on vedenpoistoreiät ja että ne eivät ole tukkeutuneet. Työmaalla on myös tehtävä lisää vedenpoistoreikiä, koska elementtitehtaalla ei aina saada tehtyä kaikkia reikiä onteloiden kohtaan. Onteloiden leikkaus- ja läpivientienkohdat sekä ulkoseinien vierustat ovat mahdollisia lisäreikien paikkoja. Talvella asennettaessa on otettava huomioon mahdollinen veden jäätyminen onteloihin. (Rakentamisen kosteudenhallinta, [viitattu 27.2.2021].)



Kuvio 2. 2–5 Kerroksien välipohjien rakennetyypit tekstiilimatoille.

1. Pintamateriaali ja -käsittely huoneselostuksen mukaan 20 mm.
2. Lattiatasoite rakennusselostuksen mukaan 20 mm.
3. Kantava rakenne, ontelolaatta rakennepiirustusten mukaan 320 mm.
4. Pintamateriaali ja -käsittely huoneselostuksen mukaan. (Kuvio 2.)

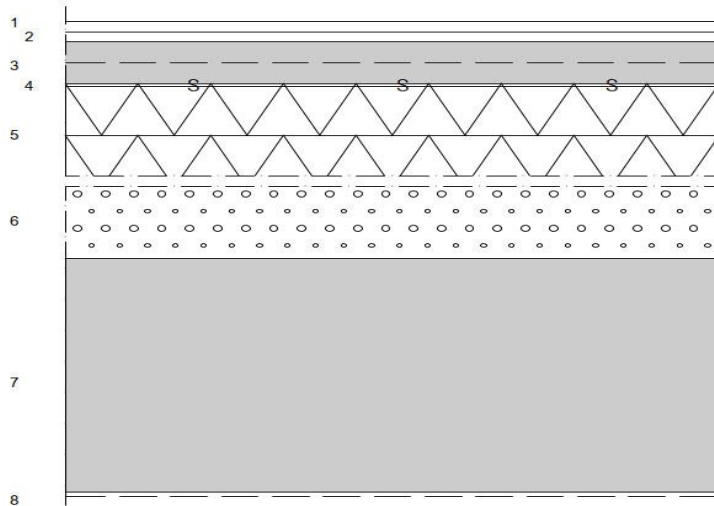
2.4 Märkätilojen välipohjat



Kuvio 3. 2–5 Kerroksien välipohjien rakennetyypit märkätiloille.

1. Laatoitus huoneselostuksen mukaan
2. Vedenkestävä kiinnityslaasti
3. Vedeneristys
4. Lattiatasoite rakenneselostuksen mukaan 20 mm.
5. Kantava rakenne, ontelolaatta rakennepiirustusten mukaan 320 mm.
6. Pintamateriaali huoneselostuksen mukaan. (Kuvio 3.)

2.5 Väestönsuojan yläpohja



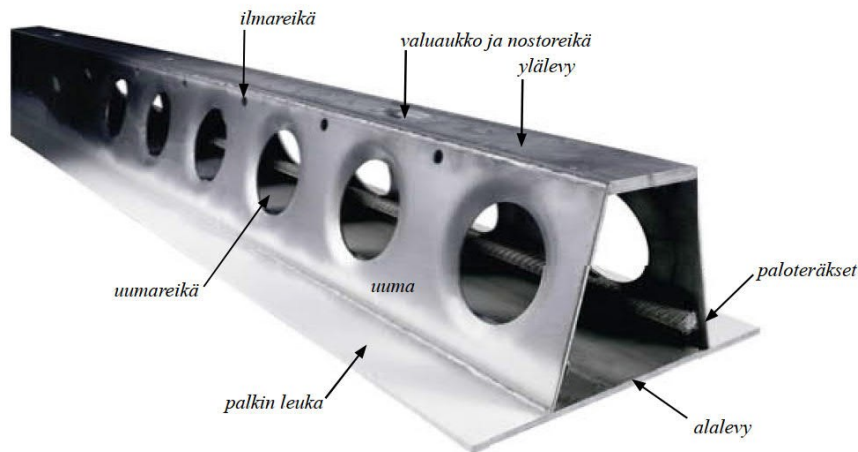
Kuvio 4. Väestönsuojan yläpohjarakenne.

1. Pintamateriaali ja -käsittely huoneselostuksen mukaan 20 mm.
2. Lattiatasoite rakenneselostuksen mukaan 20 mm.
3. Pintalaatta C30/37, raudoitus: keskeinen verkko 6–150 B500K, 80 mm.
4. Suodatinkangas
5. EPS 100 Lattia ~ 450 mm.
6. Lecasora KS420p, kuivatus salaojaputkin LVI-suunnitelmien mukaan ~ 150 mm.
7. Kantava rakenne, paikalla valettu teräsbetoni-laatta rakennepiirustusten mukaan, BY 45 luokka C-4–40, 450 mm.
8. Pintamateriaali ja -käsittely huoneselostuksen mukaan. (Kuvio 4.)

2.6 Deltapalkki

Deltapalkkeilla saavutetaan pitkät jännevälit, joiden ansiosta rakennuksiin saadaan muuntojoustavuutta tilojen suunnitteluun. Palkkien avulla voidaan rakentaa vaativia monimuotoisia rakennuksia ja ne mahdollistavat myös haasteelliset julkisivumuodot. Deltapalkkeja käytetään maailmanlaajuisesti useissa rakennuksissa sen erinomaisen palonkestävyyden ansiosta. Lisäksi sillä saadaan pidettyä välipohjan korkeus ja kerroskorkeudet mahdollisimman matalana, ja

näin saadaan mm. teknisille asennuksille lisää tilaa. (Tekninen käyttöohje DELTABEAM-välipohjajärjestelmä, [viitattu 27.2.2021].)



Kuva 1. Deltapalkki (Tekninen käyttöohje DELTABEAM-välipohjajärjestelmä, [viitattu 27.2.2021]).

Ontelolaatat asennetaan deltapalkkien alareunassa olevan leuan päälle. (kuva 1.) Ontelolaatan ja deltanpalkin väliin asennetaan tartuntateräksset ja valetaan saumat ja palkki täyteen betonia. Betoni saadaan kulkeutumaan palkkiin päällä olevista rei'istä, aloittaen palkin keskeltä. Sivussa olevien pienten ilmareikien avulla varmistetaan betonin kulkeutuminen täyteen asti. Saumavalussa on huolehdittava, että ontelolaattojen päissä olevat suojatulpat ovat paikoillaan, eikä betoni pääse kulkeutumaan ontelon sisälle. (kuva 2). (Tekninen käyttöohje DELTABEAM-välipohjajärjestelmä, [viitattu 27.2.2021].)



Kuva 2. Ontelolaattojen sauma- ja deltapalkin valu (Tekninen käyttöohje DELTABEAM-välipohjajärjestelmä, [Viitattu 27.2.2021]).

3 BETONIN KUIVUMINEN JA KUIVUMISAIKA-ARVIOT

Materiaalina betoni on hyvin kosteutta kestävä. Betonin lujuusominaisuudet eivät heikkene kosteudesta, eikä betoni pääse lahoamaan kosteudesta. Pitkään kosteassa säilytetty betoni voi saavuttaa parhaat lujuusominaisuudet. Päälystemateriaaliin on syytä kiinnittää huomiota, mikäli betonin kuivumiseen ei ole varattu riittävästi aikaa, sillä betoni yhdessä päälysteen kanssa voi muodostaa kosteusteknisesti ja kemiallisesti hyvin haastavan yhdistelmän. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 7.)

Kostean betonin päälystäminen tiiviillä materiaalilla aiheuttaa sen, että betonista nousee kosteutta betonin ja päälysteen väliin ja se voi aiheuttaa päälysteen irtoamista, värjäytymistä tai jopa homehtumista. Päälysteen alla voi tapahtua kemiallinen hajoamisreaktio, jonka seurauksena sisäilmaan haihtuu terveydelle haitallisia aineita. (Merikallio ym. 2007, 7.)

Suurimmat vaikuttavat tekijät kuivumiseen ovat betonin vesisementtisuhde v/s, rakenneratkaisut ja kuivumisolosuhteet. Siis myös betonin ominaisuuksilla voidaan vaikuttaa betonin kuivumiseen. Betonin vesisementtisuhde vaikuttaa siihen, miten kosteus sitoutuu betoniin. Kemiallisesti sitoutuneen veden määrä on suurempi betonissa, jossa käytetty kokonaisvesimäärä on pienempi. Tällöin haihdutettavan veden määrä on pienempi. Valmistuksessa käytetyn veden määrästä sitoutuu kemiallisesti vain noin 20 painoprosenttia sementin massasta. Esimerkiksi, jos lattiabetonin valmistukseen käytetään 250 kilogrammaa sementtiä kuutiota kohti ja 200 kilogrammaa vettä, tästä vesimäärästä sitoutuu vain noin 50 kilogrammaa kemiallisesti. Loput 150 kilogrammaa vettä sitoutuu fysikaalisesti betonin huokosrakenteeseen siten, että sitä poistuu niin kauan, kunnes betonin kosteus on tasapainossa ympäristön kosteuden kanssa. (Merikallio ym. 2007, 13–14.)

Tuoreeltaan betonin huokosrakenteen ilman suhteellinen kosteus on 100 %. Tuoreen betonin kovettumisreaktiossa vain osa betonin valmistamiseen käytettävästä vedestä sitoutuu ja betonin suhteellinen kosteus laskee noin 2–10 % betonilaadun mukaan. Kovettumisreaktion jälkeen betonin kuivuminen tapahtuu sisältä hitaasti, ja sitä tapahtuu aina siihen asti, kunnes betoni on saavuttanut saman suhteellisen kosteuden ympäristön kanssa. (Merikallio ym. 2007, 20.)

Rakennusaikana on huolehdittava, että ympäristön suhteellinen kosteus on alhaisempi kuin betonirakenteen. Muuten betoni ei kuivu. Päälystemateriaalin vaativa suhteellisen kosteuden arvo ei tarkoita sitä, että betonirakenteen tulisi kuivua kauttaaltaan, vaan riittää, kun kyseinen kosteusarvo on alitettu rakenteen paksuudesta riippuvaisella arviointisyvyydeltä. Kuivumiseen vaadittavaan raja-arvoon vaikuttavat betonilaatu, rakenteen paksuus, kuivumissuunnat ja erityisesti kuivumisolosuhteet. (Merikallio ym. 2007, 20.)

3.1 Kuivumisaika-arvio

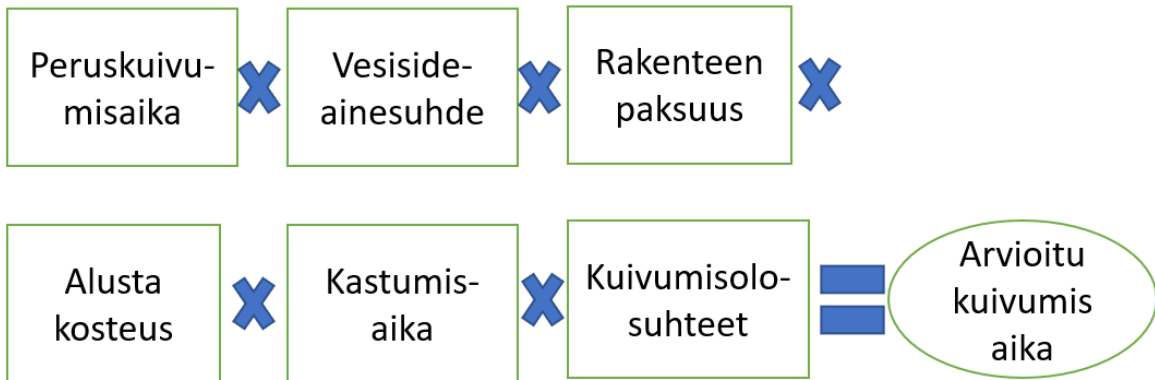
Betonin suhteellinen kosteus RH% tunnetaan ainoastaan vain mittaamalla luotettavilla mittausmenetelmillä ottaen huomioon rakennetyypit ja -paksuudet. Kuivumisajalle on kuitenkin suuntaa antavia taulukoita ja laskentakaavoja, jotka auttavat rakennusaikataulujen ja kuivatuksen suunnittelussa. Rakenne alkaa kuivua siitä hetkestä, kun se ei saa enää ulkopuolisista lähteistä aiheutuvaa kosteutta ja ympäristön suhteellinen kosteus sekä lämpötila ovat oikeat. (Merikallio 2002, 38.)

3.2 Maanvarainen laatta

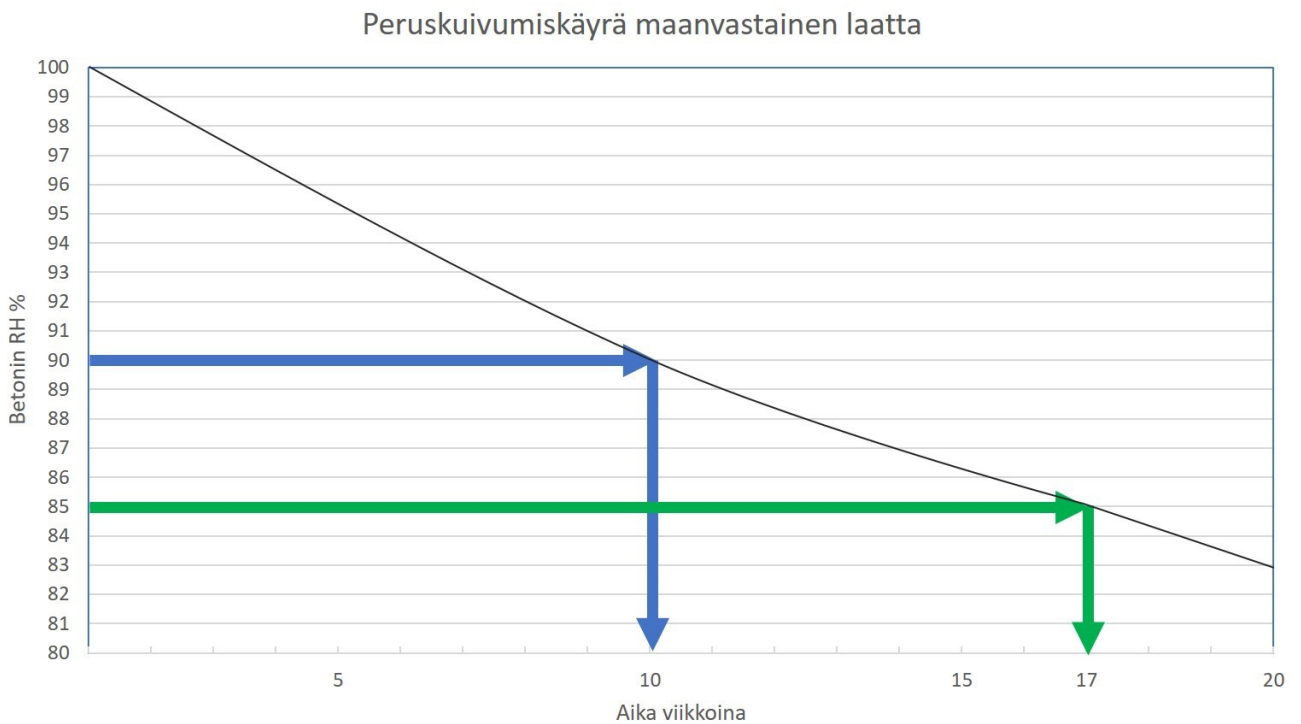
Maanvarainen teräsbetonilaatta on pääosin yhteen suuntaan kuivuva rakenne eli kuivuminen tapahtuu sisätiloihin päin. Alaspäin kuivuminen on myös mahdollista. Tähän vaikuttavat eristeen läpäisevyys, maan lämpötila ja tiiviit kerrokset. Jos laatta on lämpöisempi kuin maa, laatta kuivuu myös alaspäin, vaikka maan huokosilman suhteellinen kosteus on 100 %. (Merikallio 2002, 39.)

3.2.1 Maanvaraisen laatan kuivumisaika-arvio

Maanvaraisen rakenteen kuivumisen arviointisyvyys on $0,4 \times$ rakenteen paksuus (Merikallio 2002, 39). Tässä kohteessa arviointisyvyys on 40 mm, vesisementtisuhde 0,5 ja vaadittu suhteellinen kosteus 85 %. (Kuvio 5.)



Kuva 3. Maanvaraisen teräsbetonilaatan laskentakaava. (Merikallio 2002, 39).



Kuvio 5. Maanvaraisen teräsbetonilaatan peruskuivumiskäyrä. (Merikallio 2002, 39).

Taulukko 1. Maanvastaisen teräsbetonilaatan kertoimet. (Merikallio 2002, 39).

Vesideainesuhde (v/s)	Kerroin
0,7	1,0
0,6	0,7
0,5	0,5
0,4	0,2

Rakenteen paksuus (mm)	Vesideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
70	1,0	0,8	0,8	0,7
90	1,4	1,3	1,3	1,2
100	1,7	1,6	1,6	1,5
120	2,1	2,0	2,0	1,9
150	2,5	2,4	2,4	2,3

Alusta	Kerroin
Kuiva	1,0
Muovi	1,1
Märkä	1,5

Kastuminen	Vesideainesuhde			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	1,0	0,9	0,9	0,8
Kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0	1,0
Kastunut yli 2 viikkoa	1,1	1,2	1,3	1,5

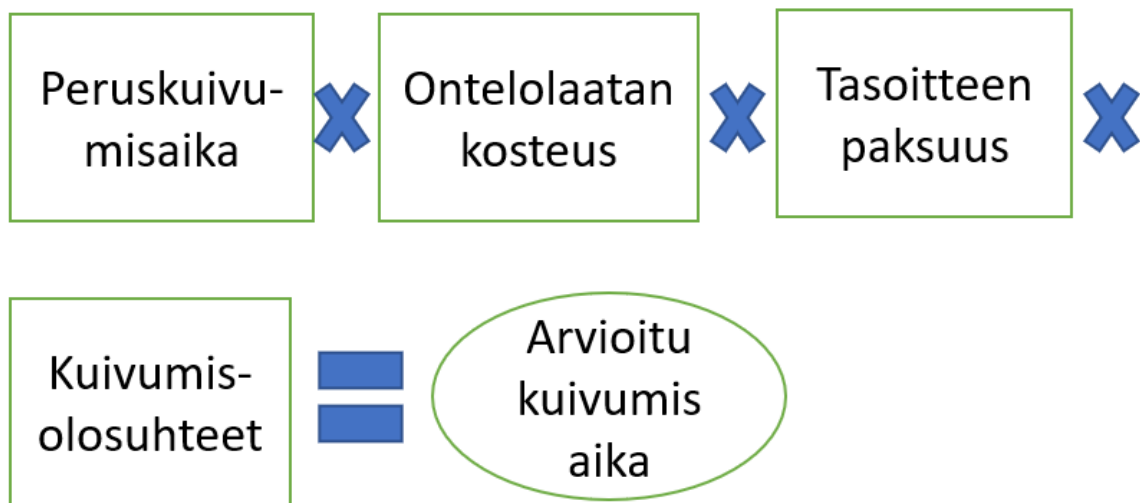
Laskentakaavaa käyttäen saadaan alapohjan laatalle kuivumisaika-arvioksi: peruskuivumisaika 17 viikkoa x vesideainesuhde 0,5 x rakenteen paksuuskerroin 1,6 x alustan kosteuskerroin 1,0 x kastumiskerroin 0,9 x olosuhdekerroin 0,9. Tästä saadaan kuivumisaika-arvioksi noin 11 viikkoa. (Kuva 3.) (Taulukko 1.)

3.3 Välipohjat

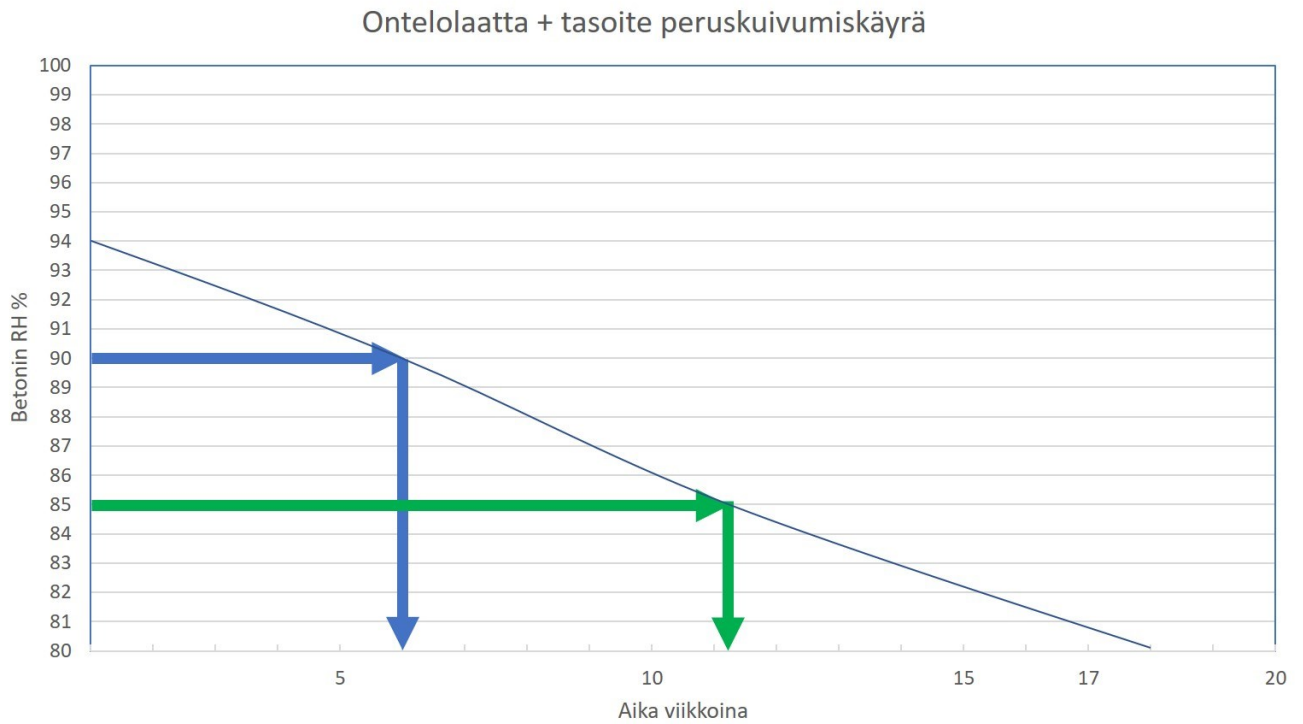
Ontelolaattojen kuivumista hidastaa huomattavasti laattojen päälle levitettävä lattiatasoite. Mitä suurempi kerros tasoitetta, sitä hitaammin kuivuminen tapahtuu. Kuivumisnopeuteen vaikuttaa oleellisesti myös se, onko ontelolaatta saanut kosteutta ulkopuolisista lähteistä. (Merikallio 2002, 48–49.)

3.4 Ontelo ja tasoiterakenteen kuivumisaika-arvio

Ontelolaatan kuivumisen arviointi on 0,2 x koko rakenteen paksuus, ja tasoitteen paksuus on myös otettava huomioon (Merikallio 2002, 49). Eli tässä kohteessa ontelolaatan ja lattiatasoitteen paksuus on 340 mm, josta arviointisyvyudeksi saadaan noin 70 mm.



Kuva 4. Ontelolaatta + tasoite kuivumisarvion laskentakaava. (Merikallio 2002, 49).



Kuvio 6. Ontelolaatta + tasoite peruskuivumiskäyrä. (Merikallio 2002, 49).

Taulukko 2. Ontelolaatta + tasoite kertoimet. (Merikallio 2002, 49).

Ontelolaatan kosteus (RH %) ennen pintavalua	Kerroin
Alle 90 %	0,6
90-95 %	1,0
Yli 95 %	1,3

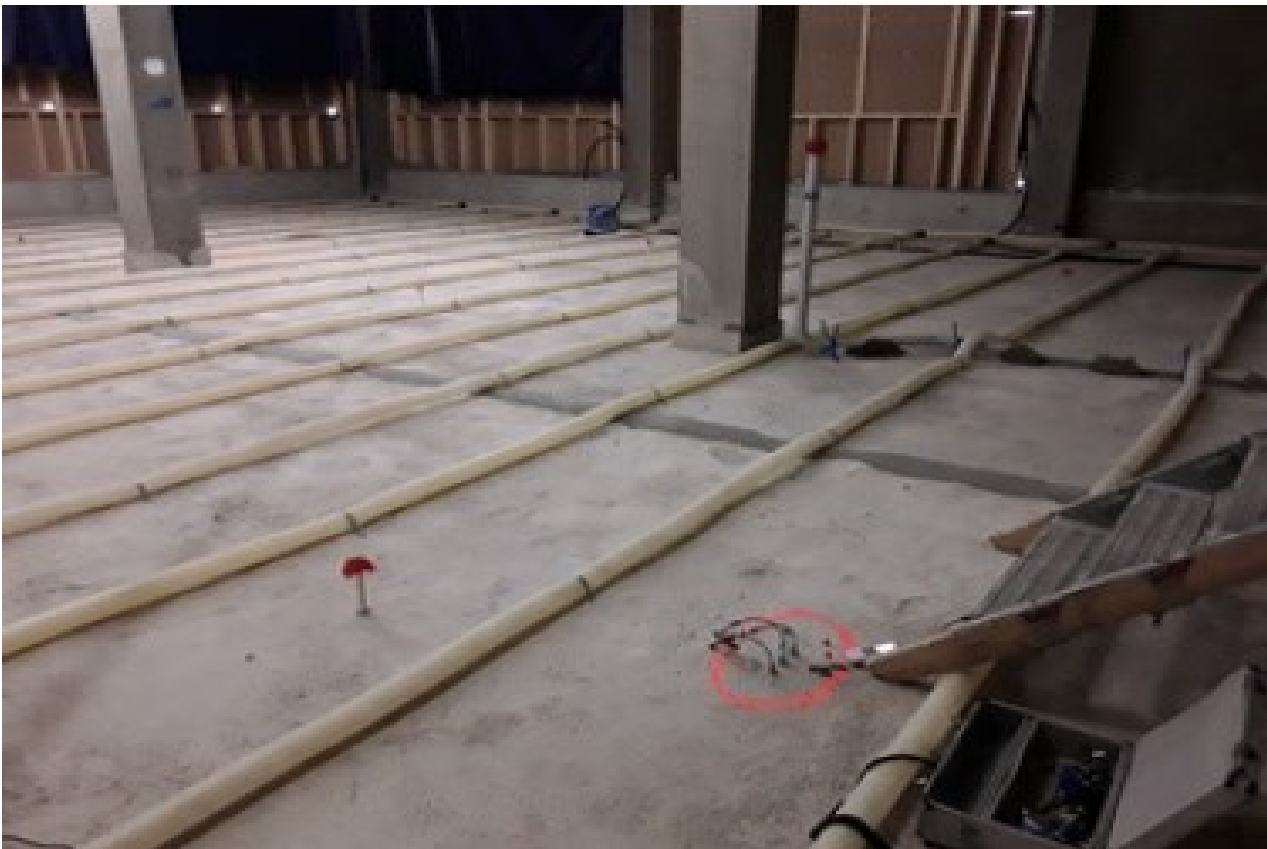
Tasoitteen paksuus (mm)	Kerroin
20	1,6
10	1,0
5	0,8

Olosuhteet				
RH %	Lämpötila °C			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

Laskentakaavaa käyttäen saadaan välipohjalle kuivumisaika-arvioksi: Peruskuivumisaika 12 viikkoa x ontelolaatan kosteuskerroin 1,0 x tasoitteen paksuuskerroin 1,6 x olosuhdekerroin 0,9. Tästä saadaan kuivumisaika-arvioksi noin 17 viikkoa. (Kuva 4.)

3.5 Väestönsuojan yläpohja

Väestönsuojan yläpohjalle ei laadittu erikseen kuivumisaika-arviota, koska rakenne toteutettiin niin, että 450 mm paksun teräsbetoni­laatan päälle asennettiin salaojaputkesta lecasoran sekaan erilliset ilmanvaihtokanavistot. Poistokanavistoon asennettiin kombikuivain, joka huolehtii laatasta ylöspäin pyrkivän kosteuden poistosta, ja tulokanavistoon saatiin puhallettua kuivaa ilmaa. Tällöin mahdollinen ylöspäin poistuva kosteus ei pääse nousemaan 150 mm lecasoran ja 450 mm lattiaeristeen läpi ylempään pintalaattaan. 80 mm pintalaatalle kuivumisaika-arvio laskettiin maanvaraisen laatan laskentakaavalla, josta saatiin kuivumisajaksi noin 8 viikkoa. (Kuva 3.)



Kuva 5. Väestönsuojan yläpuolinen tuuletuskanavisto.

4 DELTAPALKIN KUIVUMINEN

Deltapalkkien kuivumisen haasteena on palkin umpinaisuus. Käytännössä kosteuden ainoa poistumisreitti on palkin sivuilla olevat reiät, josta kosteus kulkeutuu saumavalun kautta ontelolaattoihin. Deltapalkin täyttämä tuore betonimassan sisältämä vesi reagoi sementin kanssa tavallisen kovettumisen aikana, kuten kaikissa betonirakenteissa. Myös deltapalkin sisällä oleva betonivalu edellyttää tiettyä kuivumisaikaa ja kosteuspitoisuutta, ennen kuin lattiapäällysteet voidaan asentaa. Deltapalkkien täyttöbetonissa suositellaan käytettävän notkistavia li-säaineita ja alhaista vesisementtisuhdetta, sekä mahdollisesti suunnittelulujuutta korkeampaa betonilujuutta. Betonin valmistuksessa ei kuitenkaan saa käyttää lentotuhkaa, joka nopeuttaa veden sitovuutta. Työmaalla deltapalkkien kuivumisaikaan voidaan vaikuttaa noudattamalla hyvää rakentamistapaa ja projektikohtaisia kosteudenhallintaohjeita. Kokonaisvaltainen kosteudenhallinta ja rakenteiden hyvä kosteustekninen toimivuus takaavat rakennuksen turvallisuuden ja terveellisyyden koko rakennuksen elinkaaren ajan. (Tekninen käyttöohje DELTABEAM-välipohjajärjestelmä, [viitattu 27.2.2021].)

Kosteudenhallinnassa kaikilla osapuolilla on omat roolinsa, jotta päästään hankkeessa onnistuneeseen lopputulokseen. Rakennuttajan asettamat vaatimukset projektille ohjaavat suunnittelua sekä rakentamista. Suunnittelijoilla tulee olla riittävä osaaminen ja tiedot käyttämistään ratkaisuisista. Rakennusurakoitsija vastaa rakentamisaikaisesta kosteuden- ja olosuhteidenhallinnasta ja rakenteiden suojaamisesta niin, että niiden kastuminen minimoidaan rakentamisen aikana ja luodaan hyvät kuivumisolosuhteet mahdollisimman aikaisin. (Peikko Finland Oy 2016, [viitattu 27.2.2021].)

Deltapalkin sisällä kosteus siirtyy hitaasti saumavaluun, mikä tulee huomioida päällystettävyyttä arvioidessa. Päällystettävyydekosteus on kuitenkin saavutettavissa tavanomaisen rakennusaikataulun puitteissa, kunhan oikeat olosuhteet saadaan aikaiseksi. Lämmityslankoja käyttämällä voidaan nopeuttaa deltapalkin kuivumista sisältä. Lämmityslankojen asennus tulee yleensä ilmoittaa tehtaalle, jossa lämmityslangat asennetaan valmiiksi palkin sisälle. Deltapalkin kuivumista edesauttavat seuraavat tekijät:

- Betonin alhainen vesisementtisuhte
- Betonin lujuusluokan nostaminen

- Betonin maksimirunkoaineen kasvattaminen
- Betonipintojen auki hionta ja pölyjen poisto esimerkiksi imuroimalla
- Kuivumislämpötila noin +20 °C
- Ilmankosteus RH alle 50 %.

On otettava huomioon, että betonirakenteita päällystettäessä voidaan tasoitus- tai liimausvaiheessa tehdä vielä työvirheitä, joiden seurauksena kosteus päällysteen alla nousee korkeaksi, vaikka betonin mittaussyvyyksillä kosteus on riittävän alhainen. Deltapalkit ovat käytännön kokemusten perusteella kosteusteknisesti toimivia rakenteita. (Peikko Finland Oy 2016, [viitattu 27.2.2021].)

5 BETONIRAKENTEEN KOSTEUSMITTAUS

Betonirakenteiden kosteusmittauksia tehdään rakennusaikana lähinnä niistä betonirakenteista, jotka päällystetään tai pinnoitetaan. Betonin on alitettava päällystemateriaalin, kiinnitysmassan tai pinnoitteen edellyttämä kosteusraja-arvo. Betonirakenteen kuivumisnopeuteen vaikuttavat monet tekijät, ja kuivumisaika-arviot ovat vain suuntaa antavia. Riittävästä kuivumisesta ei voida kuitenkaan varmistua muuten kuin mittaamalla. Betonin kosteusmittaus vaatii erityistä ammattiosaamista ja huolellisuutta, sillä virheellinen mittaus voi johtaa turhaan odoteluun tai myöhemmin syntyvään kosteusvaurioon. Betonirakenteiden kuivuminen vaikuttaa paljon työmaan sisävalmistusvaiheeseen, joten kosteusmittauksiin tulee ryhtyä hyvissä ajoin ennen päällystys- tai pinnoitustyöhön ryhtymistä. (Merikallio 2002, 5.)

5.1 Suhteellisen kosteuden mittausmenetelmät

Nykyään betonin suhteellista kosteutta mitataan sähköisillä mittalaitteilla, jotka koostuvat mittapästä ja näyttölaitteesta. Mittapää eli anturi ja näyttölaite voidaan yhdistää mittauksen ajaksi toisiinsa esimerkiksi kaapelin avulla, mutta ne voivat olla myös kiinteästi yhdessä riippuen mittalaitteesta. Tekniikan kehittyessä mittapäät voivat myös olla kytkettynä tiedonkeruulaitteeseen eli loggeriin, jolloin tuloksia voidaan seurata reaaliaikaisesti pitkiltäkin ajanjaksoilta. (Merikallio 2002, 8.)

Mittapää sisältää lämpötila-anturin ja kosteusanturin. Yleisimmät käytettävät kosteusanturityypit ovat kapasitiiviset mittausanturit, elektrolyytin sähkönjohtavuuteen perustuvat anturit ja kastepisteanturit. Kapasitiiviset kosteusanturit ovat käytetyimpiä betonin kosteusmittauksissa käytettävissä mittalaitteissa. Kapasitiivisessa kosteusanturissa on kaksi elektrodia ja niiden väliin on sijoitettu vesimolekyyleille herkkää materiaalia (muovi, polymeeri). Nämä materiaalit luovuttavat ja vastaanottavat ympäristön vesimolekyylejä, mikä aiheuttaa kapasitanssin muutoksen. Kosteuden mukana tapahtuvat kapasitanssin muutokset johdetaan sähköisesti laitteen näytölle numeroarvoiksi. (Merikallio 2002, 9.)

Suhteellista kosteutta voidaan mitata rakenteesta vain rakenteeseen poratusta reiästä, eli porareikämenetelmällä tai rakenteesta otetusta näytepalasta, eli näytepalamenetelmällä. (Merikallio 2002, 9.)

Oikein suoritetuilla suhteellisen kosteuden mittauksilla saadaan selvitettyä betonirakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä ja erityisesti rakenteen kosteusjakaumaa, josta voidaan päätellä mihin suuntaan kosteus rakenteessa liikkuu. Mittatuloksista voidaan päätellä, kuinka paljon rakenteessa on ympäristöön nähden ylimääräistä kosteutta ja voidaanko rakenne päällystää tai pinnoittaa ilman kosteusvaurioriskiä. (Merikallio 2002, 11.)

Suhteellista kosteutta mitattaessa siihen vaikuttavat monet tekijät ja mittaus on hyvin vaativa tehtävä. Mittauskohdan olosuhteet sekä betonin ominaisuudet muodostavat yhdessä monia tekijöitä, jotka voivat johtaa virheelliseen mittaustulokseen. Virheellinen mittaustulos voi aiheuttaa liian aikaisen päällystämisen, jolloin seurauksena voi olla myöhemmin esiin tuleva kosteusvaurio. Virheellinen mittaustulos voi myös aiheuttaa reilusti ylimääräisiä kustannuksia, jos rakennetta joudutaan kuivattamaan tarpeettoman kauan. (Merikallio 2002, 12.)

Mittaustuloksia tulee tulkita oikein, koska tulosten perusteella tehdään usein hyvinkin suuria taloudellisia päätöksiä. Kosteusmittaajan täytyy tuntea mittalaitteensa hyvin, ja ymmärtää mittaustuloksiin vaikuttavat tekijät. Suurimmat vaikuttavat tekijät betonin suhteellisen kosteuden mittaamiseen ovat:

- mittapäiden kalibrointi
- mittausreiän puhdistus, tiivistys ja tasaantuminen
- mittapäiden tasaantumisaika rakenteessa, vasteaika ja lämpötilakapasiteetti
- ympäristön ja betonin lämpötila
- betonin ominaisuudet. (Merikallio 2002, 12.)

5.2 Kosteusmittaus porareikämenetelmällä

Yleensä betonin suhteellista kosteutta mitattaessa mittaus tehdään betoniin poratusta reiästä, jossa kosteus tietyn ajan kuluessa asettuu tasapainoon ympäristön kanssa. Päällystettävyyssmittauksissa mittausreiän syvyyteen vaikuttavat rakenneratkaisut, eli rakenteen paksuus ja kerroksellisuus. Suositeltavaa kuitenkin on, että mittauksia tehdään useammalta eri syvyydeltä. Tällöin nähdään, miten kuivuminen tapahtuu rakenteessa. Reiän halkaisijan täytyy olla muutaman millimetrin suurempi kuin mittapään halkaisija, ja poraus tapahtuu kuivamenetelmällä. Mittausreikää poratessa tulee varmistaa, ettei reiän kohdassa kulje sähkö- tai vesiputkia.

Lämpökamerat ja erilaiset rakennedetektorit ovat tässä hyvänä apuna. Mittausreikä ei saa myöskään vaurioittaa rakennetta siten, että myöhemmin syntyisi kosteusvaurioita. Esimerkiksi vedeneristeen läpi tehty reikä voi aiheuttaa suuria vahinkoja, jos mittausreikää ei paikata huolellisesti mittauksen jälkeen.

Ennen reiän tiivistämistä reikä täytyy puhdistaa huolellisesti porauspölystä joko imurilla tai paineilmalla. Pölyinen reikä antaa yleensä liian korkeita suhteellisen kosteuden arvoja. Päälystettävyyssmittauksissa mittaustulos halutaan tietyltä syvyydeltä, joten reikä tulee tiivistää sekä sivuilta että päältä käyttämällä reiässä putkea. Tällöin kosteus saadaan mitattua reiän pohjalta ja saadaan luotettava tulos oikealta syvyydeltä. Tiivistämiseen voidaan käyttää esimerkiksi sähköputkea tai laitevalmistajien tätä tarkoitusta varten valmistamia asennusputkia. Esimerkiksi halkaisijaltaan 16 mm reikään voidaan laittaa 16 mm paksu sähköputki ja tiivistää putken ja betonin rajapinta esimerkiksi liimatiivistemassalla. Mittausputken yläpää tulee myös tiivistää huolellisesti joustavalla massalla, kumi- tai muovitulpalla, ei kuitenkaan ilmastointiteipillä, koska se ei ole riittävän tiivistä. (Merikallio 2002, 13–14.)

Kun mittausreikä on saatu porattua, puhdistettua ja tiivistettyä, reiän tulee antaa tasaantua 3–7 vuorokautta, jotta tasapainokosteus reiässä saavutetaan. Liian aikaisessa vaiheessa tehty mittaus antaa yleensä liian korkeita suhteellisen kosteuden arvoja. Porauksen aikana betoni kuumenee ja kosteustasapaino betonin huokosissa häiriintyy. Kuivassa betonissa on suurempi porauksen vaikutus, esimerkiksi jos suhteellinen kosteus on 70 %, porauksen vaikutus voi olla jopa 15–20 prosenttiyksikköä. Myös betonin kosteus, betonin lujuus, poraussyvyys ja putkituksen tiiviys nostavat kosteusarvoja. (Merikallio 2002, 14–15.)

Asennettaessa mittapäättä mittausreikään tulee varmistaa, että mittapää on toimintakunnossa ja kalibroitu. Kylmää tai liian lämmintä mittapäättä ei saa asentaa mittausreikään, vaan mittapään pitää antaa tasaantua ympäristön kanssa samoihin olosuhteisiin. Jos samalla mittapäällä suoritetaan useammasta reiästä mittauksia, mittapään on annettava tasaantua mittausten välillä ympäröivän ilman olosuhteisiin vähintään muutamia minuutteja. (Merikallio 2002, 15.)

Yleensä mittapää asennetaan reikään vasta mittauspäivänä, mutta voidaan myös asentaa heti porauksen, puhdistuksen ja tiivistyksen jälkeenkin, mutta se on annettava tasaantua vähintään kolmen vuorokauden ajan. Kun mittapää on asennettu reikään, reiän tai putken ja mittapään

välinen rako on tiivistettävä huolellisesti. Mittapää annetaan tasaantua putkessa niin pitkän ajan, että kosteustasapaino anturin ja betonin välillä saavutetaan riittävällä tarkkuudella. Tasaantumisaikaan vaikuttavat anturityyppi, mittapään kosteuskapasiteetti ja betonin kosteus. Tasaantumisaika on 1–24 tuntia. Esimerkiksi suositeltava minimitasaantumisaika on 1 tunti käytettäessä Vaisalan HMP44 anturia ja 4 tuntia käytettäessä Vaisala HMP46 anturia. Mitä kuivempaa ja tiiviimpää mitattava betoni on, sitä hitaampi tasaantumisaika on. (Merikallio 2002, 15.)

Mittapään tasaantumisen jälkeen se liitetään näyttölaitteeseen, josta luetaan mittaustulokset. Näyttölaitteesta nähdään suhteellisen kosteuden arvo RH% ja lämpötila T. Mittauspöytäkirjaan kirjataan molemmat arvot, sekä anturin numero. Anturin numerolla voidaan merkitä mittausta paikka esimerkiksi pohjakuviin. Tällöin tiedetään pöytäkirjasta numeron perusteella mistä paikasta mittausta on suoritettu. Jos kalibroinnissa mittapää on säädetty näyttämään oikein tai mittapääkalibrointikertoimet on tallennettu näyttölaitteeseen, näyttölaite ilmoittaa suoraan todellisen RH arvon. Muuten mittapään antamat lukemat korjataan kalibrointikorjauskertoimilla laskennallisesti. (Merikallio 2002, 15–16.)

Lämpötila vaikuttaa merkittävästi mittaustuloksiin. Betonin lämpötila tulisi olla sama kuin rakennuksen lopullinen käyttölämpötila, eli yleensä noin +20 °C. Muuten mittauksissa voi tulla suuriakin mittaustulosten virheitä. Betonin lämpötila saa poiketa korkeintaan +/- 5 °C astetta, mutta tällöin on otettava huomioon lämpötilan aiheuttama virhe suhteellisen kosteuden arvoon, joka on yleensä +/- 0–5 prosenttiyksikköä siten, että lämpötilan ollessa alle 20 °C astetta kosteusarvot ovat todellista alhaisempia ja lämpötilan ollessa yli 20 °C astetta kosteusarvot ovat todellista korkeampia. Betonin lämpötila ei saa olla mittaushetkellä muuta kuin +15...25 °C astetta, muuten mittaustulosten virhe on täysin epäluotettava ja hallitsematon. (Merikallio 2002, 16.)

Kuivatuksen takia lämmitetyn betonin tulee antaa jäähtyä rakennuksen käyttölämpötilaan ennen mittaustulosten porausta ja mittausta. Lämmitettyyn betoniin porattuihin reikiin voi kondensoitua kosteutta ja antaa virheellisiä tuloksia. Betonin ja mitta-anturin välinen lämpötilaero aiheuttaa myös mittaustulosten virheen. 1 °C asteen lämpötilaero betonin ja anturin välillä aiheuttaa jopa 5 prosenttiyksikön muutoksen suhteellisen kosteuden arvossa. Näinkin pieni lämpötilaero voi

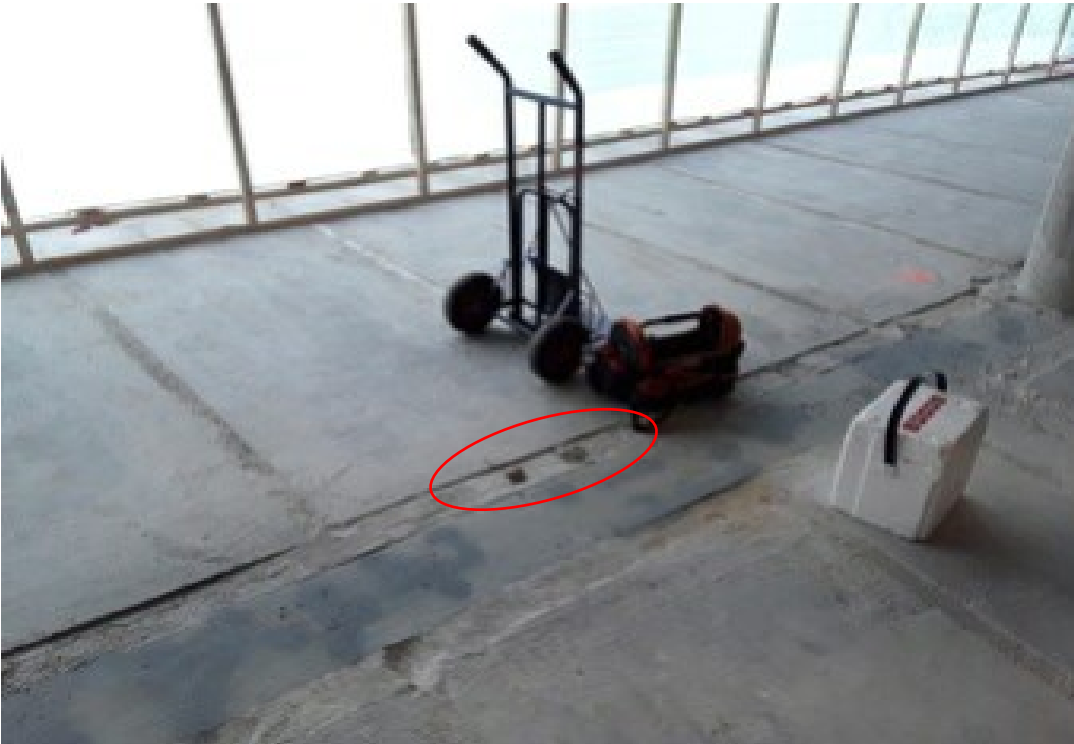
johtua esimerkiksi, jos ulko-ovi avataan talvella mittauksen aikana, anturiin paistaa aurinko tai mittaus tehdään eristeen läpi. (Merikallio 2002, 16.)

Taulukko 3. Betonin ja anturin lämpötilaeron vaikutus RH arvoon, betonin RH 90 %. (Merikallio 2002, 16).

Lämpötilaero, °C	RH-virhe, %RH
0,1	0,5
0,2	1
0,4	2
1	5

5.3 Kosteusmittaus näytepalamenetelmällä

Betonin suhteellista kosteutta voidaan mitata luotettavasti ja nopeasti myös näytepalamenetelmällä. Tätä menetelmää käytetään yleensä, jos mittaustulos halutaan nopeasti, olosuhteet ovat epävakaat tai kun betonin lämpötila on porareikämittaukselle selvästi liian alhainen tai liian korkea. (Merikallio 2002, 17.)

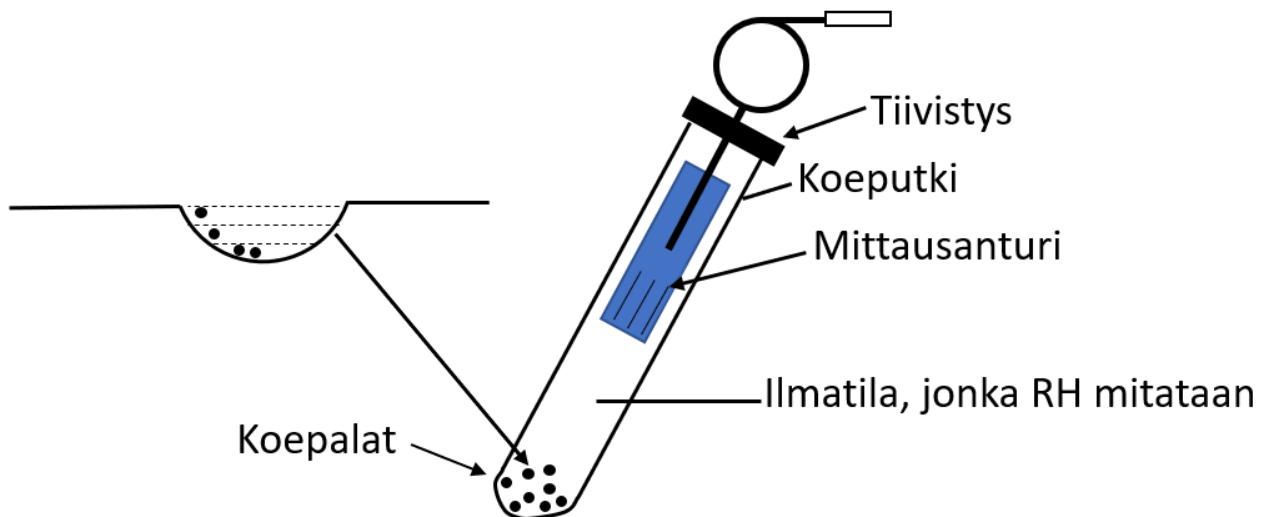


Kuva 6. Kosteusmittaus näytepalamenetelmällä deltapalkin saumavalusta.

Betonirakenteeseen porataan mittauspisteessä 10...16 mm halkaisijaltaan olevalla poranterällä mittaussyvyyteen asti noin 100–150 mm kokoinen piiri. Betonin pala irrotetaan kuivaporauskruunua käyttäen tai se voidaan piikata tai hakata irti, jolloin irronneen betonikappaleen alta tulee näytteenottopinta esiin. Pinnan syvyys tulisi olla noin 5 mm mittaussyvyyttä ylempanä. Oikeaan syvyyteen päästyä, pinnasta piikataan pieniä betonimurusia, ei kuitenkaan pölyä. Muruset laitetaan välittömästi koeputkeen yhdessä kosteusmittapään kanssa siten, että murusten määrä on noin 30 % koeputken tilavuudesta. Jos mitattava betoni on lämmitettyä, murusten tulee olla mahdollisimman isoja. Koeputken pää ja mitta-anturin välit tiivistetään huolellisesti esimerkiksi kitillä. Näin kosteus ei pääse kulkeutumaan mitta-anturin vartta pitkin pois koeputkesta. (Merikallio 2002, 17.)

Betonimurusten ja mitta-anturin ollessa koeputkissa, putket siirretään +20 °C asteen vakiolämpötilaan. Siirron aikana ei saa tapahtua suuria lämpötilavaihteluja, joten koeputket tulee laittaa lämpöeristettyyn astiaan. Näytepalojen tulee antaa tasaantua vakiolämpötilassa 2–12 tuntia. Päälystettävyyssmittauksissa tasaantumisaika on vähintään 6 tuntia, ja erittäin tiivistä betonia (vesisementtisuhde < 0,5) mitattaessa tasaantumisaika tulee olla vielä pidempi.

Tasaantumisen jälkeen luetaan ja kirjataan ylös kosteusarvo, lämpötila, mittaussyvyys ja mitauskohta. (Merikallio 2002, 18.)



Kuva 7. Betonin suhteellista kosteutta mitattaessa näytepalat ja mitta-anturi koeputkessa. (Merikallio ym. 2007, 85).

5.4 Mittausajankohta ja mittauspisteiden valinta

Rakenteen kosteuspitoisuuden tulee alittaa päällystemateriaalin edellyttämä suurin sallittu raja-arvo ennen päällystämistä. Yleisimpien päällystemateriaalien raja-arvot ovat RH 80–90 % välillä. (Tässä kohteessa tekstiilimaton raja-arvo 85 %). Päällystettävyyssmittaukset on aloitettava ennen päällystämisen aloittamista. Seurantamittausten perusteella voidaan seurata, onko rakenne kuivunut halutussa aikataulussa, ja tarvittaessa voidaan jo varhaisessa vaiheessa ryhtyä lisäkuivaustoimenpiteisiin erilaisten kuivurien ja olosuhteiden parantamisen avulla. (Merikallio 2002, 20.)

Ensimmäinen mittaus kannattaa tehdä pian sen jälkeen, kun rakenne ei enää kastu ja rakennuksessa on riittävä lämpötila, eli voidaan olettaa, että kuivuminen on alkanut.

Seurantamittauksia tulee tehdä vähintään 4 viikon välein ja viimeinen mittaus, joka on myös laajempi, vähän ennen suunniteltua päällystämistöiden aloittamista. (Merikallio 2002, 20.)

Mittauspisteiden sijaintiin on otettava huomioon rakenteen tyyppi, valuajankohta ja betonin ominaisuudet. Pitkissä rakennuksissa mittapisteet on hyvä sijoittaa rakennuksen molempiin päihin ja keskelle. Jos tiedetään rakennuksessa olevan suuria olosuhde-eroja tai tiedetään jonkin rakenteen kastuneen huomattavasti muita enemmän, niin näillä alueilla on tehtävä tarkastusmittauksia. (Merikallio 2002, 21.)

Tässä kohteessa mittapisteet sijoitettiin paikallavalukaistoihin ja deltapalkkeihin, joiden tiedettiin kuivuvan hitaimmin. (Kuva 8.)



Kuva 8. Päällystettävyyssmittauksissa yksi mittapiste koostuu useammasta mittausreiästä.

6 TYÖMAAN KOSTEUDENHALLINTA

Tämän työn kohteessa oli käytössä Kuivaketju10, joka on koko rakennusprosessin kosteudenhallinnan toimintamalli. Sillä vähennetään kosteusvaurioiden riskiä jo rakentamisen vaiheessa sekä koko rakennuksen elinkaaren ajan. Kosteusriskien hallinta muodostaa ketjun, jossa riskit torjutaan rakennusprosessin kaikissa vaiheissa. Toimintamalli sisältää riskilistan ja todentamisohjteen, joissa on esitetty kymmenen keskeisintä kosteusriskiä. Näiden kosteusriskien hallinnalla vältetään jopa yli 80 prosenttia kosteusvaurioiden seurannaiskustannuksista. Kymmenen keskeisimmän kosteusriskin joukossa on mukana seuraava ongelma kohdassa kahdeksan: kosteiden betonirakenteiden päällystäminen aiheuttaa päällystemateriaalin turmeltumisen. Tässä kohdassa mainitaan, että betonin kuivuminen on tehokasta vasta, kun kuivatettavien tilojen lämpötila on + 20 °C ja suhteellinen kosteus on alle 50 %. (Kuivaketju10-riskilista 2018 [viitattu 27.2.2021].)

Nykyään jokaiselle uudisrakennustyömaalle tulee laatia kosteudenhallintasuunnitelma. Suunnitelman tarkoituksena on pienentää rakentamisen kosteusvaurioriskiä. Kosteudenhallintasuunnitelma tehdään työmaakohtaisesti kullekin työmaalle. Kosteudenhallintasuunnitelmasta tulee ilmetä seuraavat asiat:

- Kosteusteknisten riskien kartoitus
- Märkätilat
- Päällyste- ja pinnoitemateriaalien kosteusraja-arvot
- Aikataulusuunnittelu
- LVIS-sopimukset
- Materiaalivalinnat
- Materiaalien suojaus
- Runkorakenteiden kuivatus
- LVI-laitteet
- Kosteusvalvonnan organisointi
- Kosteusmittaukset
- Kosteudenhallinnan dokumentointi
- Rakennuksen käyttöohjeet

Lisäksi työmaalle laaditaan erikseen myös kosteusmittaus suunnitelma, jossa tulee käydä ilmi mittausten menetelmät ja laitteisto, mittausten aikataulu, laajuus ja tarvittavien mittauspisteiden sijainti. (Kosteudenhallintasuunnitelma, [viitattu 27.2.2021].)

Rakennuksen mittapisteiden paikaksi valittiin kosteusteknisesti haastavimmat paikat. Näin varmistettiin riittävästä kuivumisesta kauttaaltaan. Haastavimmat paikat olivat paikallavalukaistat sekä deltapalkkien sisäpuoli ja viereiset saumavalupaikat. Varsinaisten kosteusmittausten lisäksi rakennukseen asennettiin jokaiseen kerrokseen langattomat eGate-mittaussanturit, joiden avulla voitiin reaaliaikaisesti seurata betonin suhteellista kosteutta ja lämpötilaa, sekä ympäröivän ilman suhteellista kosteutta ja ilman lämpötilaa. eGaten avulla saatiin seurattua hyvin olosuhteita ja pystyttiin reagoimaan heti esimerkiksi, jos jouduttiin lisäämään lämmitystä tai kuivatusta johonkin kerrokseen. eGaten avulla voitiin myös tehdä viikoittaisia raportteja, josta nähtiin, onko kuivuminen edistynyt.

Lisäksi työmaalla tehtiin viikoittain työmaakierros ulkopuolisen kosteushallintakoordinaattorin kanssa. Kierroksella käytiin läpi olosuhteidenhallintaan liittyviä kohtia ja niiden mahdollisia parantamistoimenpiteitä. Erityisen tärkeää on oikeanlainen materiaalien varastointi lavojen päälle. Esimerkiksi muoviset villapaketit eivät missään tapauksessa saa olla suoraan betonin päällä. Muuten muovi tekee betonin pintaan tiiviin kalvon, eikä kosteus pääse poistumaan rakenteesta.

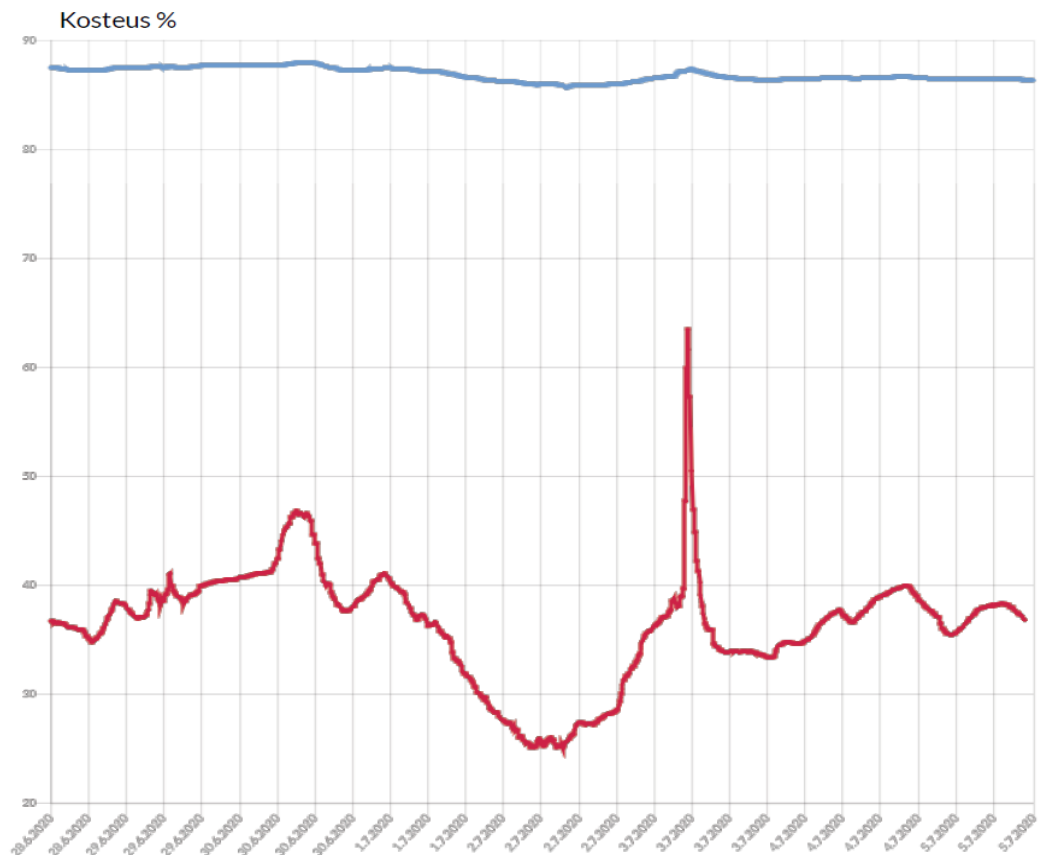
Työmaalla kiinnitettiin huomiota siihen, että rakennuksen väliaikainen vaippa pysyisi koko ajan tiiviisti kiinni. Tällä tavoin saatiin ulkoilmasta tuleva ylimääräinen kosteus pysymään pois rakennuksesta. Siivouksella ja betonipintojen imuroinnilla oli suuri merkitys kuivattamiseen, sillä kaikki ylimääräinen pöly betonipintojen päällä sitoo paljon kosteutta, joka hidastaa merkittävästi betonin kuivumista.

Rakennuksen julkisivu on lähes kokonaan lasia, joten lasien asennuksien aikana piti huolehtia suojaseinien tiiviyydestä. Suojaseinät tehtiin joka kerrokseen lähes koko rakennuksen pituudelta noin metrin päähän lasijulkisivuseinästä. Näin saatiin ulkoilman kosteus pysymään poissa rakennuksesta ja riittävä työskentelytila lasiasentajille.



Kuva 9. Julkisivulasituksien ajaksi tehty muovinen suojaseinä purkuvaiheessa.

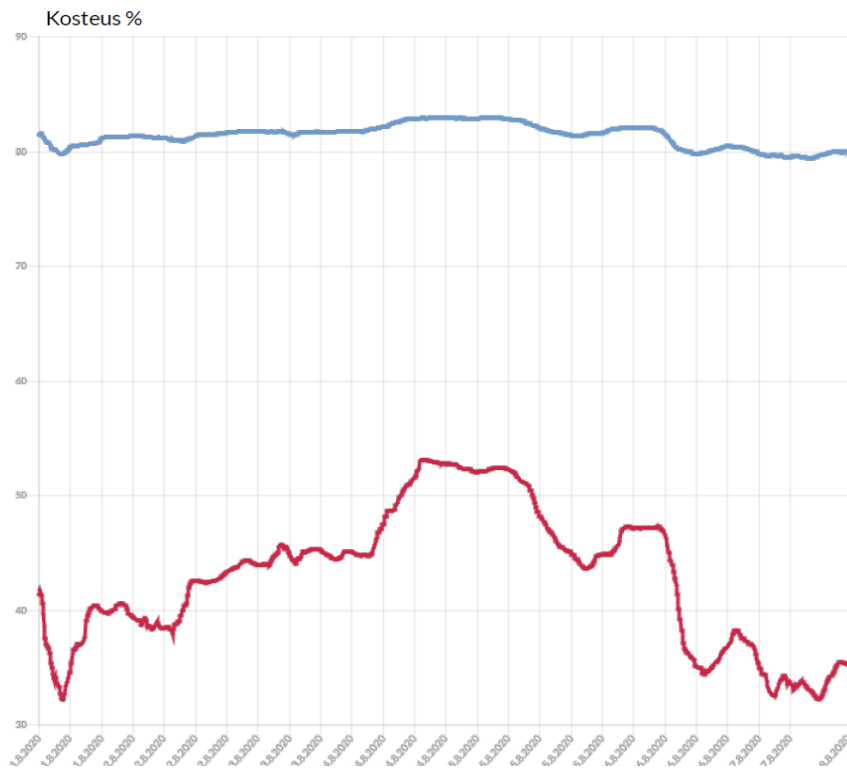
Tarkka raportti



Kuva 10. Viikon 27 raportti. Sininen viiva betonin suhteellinen kosteus, punainen viiva huoneilman suhteellinen kosteus. (eGate-ohjelmiston raportti, 2020).

eGaten mittauspisteessä viikolla 27 betonin suhteellisen kosteuden keskiarvo oli 86,8 %. (Kuva 10.) Samasta mittapisteestä kuuden viikon jälkeen betonin suhteellisen kosteuden viikon keskiarvo oli 81,3 %. (Kuva 11.) Huoneilman kosteutta voidaan vähentää kuivurien avulla ja lisäämällä tuuletusta puhaltimilla ja alipaineistajilla. Näin saadaan kuivumista nopeutettua.

Tarkka raportti



Kuva 11. Kuudessa viikossa betonin kosteus on laskenut huomattavasti. Keskiarvo 81,3 %. (eGate-ohjelmiston raportti, 2020).

Mittaustulokset	08.06.2020			
Mittausyv. 70 mm				
Anturi nro.	U84			
RH%	92.1			
°C	18.9			
g/m ³	15			
Mittausyv. 70 mm				
Anturi nro.	U55			
RH%	90.9			
°C	18.9			
g/m ³	14.8			
Mittausyv. 28 mm				
Anturi nro.	U80			
RH%	82.6			
°C	18.9			
g/m ³	13.4			
Sisälämpötila				
Anturi nro.	U50			
RH%	59			
°C	18.8			
g/m ³	9.5			
Ulkolämpötila				
Anturi nro .	U46			
RH%	26.8			
°C	21.0			
g/m ³	5.0			
Kommentit				
Mittaustapa	Porar			

Kuva 12. Mittausraportti deltapalkin sisältä mitatuista tuloksista. (eGate-ohjelmisto, 2020).

7 TYÖMAAN OLOSUHDEHALLINTA

Olosuhdehallinnalla tarkoitetaan mahdollisimman hyvää rakentamisen aikaista olosuhteiden järjestämistä ja ylläpitämistä koko rakennushankkeen ajan. Näin estetään runkorakenteiden ja eristetilojen kastuminen esimerkiksi sade- ja sulamisvesistä. Holville satava lumi tulee poistaa mekaanisesti, ei sulattamalla. Sulattamisesta tulisi suuri määrä ylimääräistä kosteutta rakenteille.

Ennakkosuunnitelmassa selvitetään kaikkien osapuolten ne työvaiheet, joihin sisältyy työnaikaisten vesivahinkojen riski, ja pyritään minimoimaan ne. Suunnitellaan rakennustarvikkeiden varastointi ja varastoinnin aikainen kuivana pysyminen. Rakennuksen sisälle varastoidessa tulee kiinnittää huomiota, ettei varastoida suoraan betonilattian päälle, vaan esimerkiksi kuormalavojen päälle. Tällä tavoin betonirakenne pääsee kuivumaan ylöspäin eikä kosteuden ulospääsyreittiä ole tukittu. (Työmaan kosteudenhallinta, [viitattu 27.2.2021].)

Rungon pystytysvaiheessa kastumista voidaan ehkäistä seuraavilla toimenpiteillä:

- Nostamalla runko ylös mahdollisimman nopeasti, jolloin ylemmän kerroksen holvi toimii alemman kerroksen katteena.
- Sulkemalla ylemmällä holvilla olevat aukot vesitiiviiksi sekä estämällä veden valuminen esimerkiksi ulkoseinien eristetilaan ja sisälevytyksiin.
- Tekemällä elementtivälipohjien saumavalut kerralla tiiviiksi.
- Tekemällä väliaikainen viemäröinti esimerkiksi märkätilojen lattiakaivojen kautta.
- Suojaamalla rakennuksen ulkoseinät ja ovi- ja ikkuna-aukot käyttäen suoja- tai eristepeitteitä.
- Poistamalla holvilla oleva lumi mekaanisesti, ei sulattamalla.
- Poistamalla holvilla oleva vesi mahdollisimman nopeasti. (Työmaan olosuhdehallinta, [viitattu 27.2.2021].)

Työmaalla olevien ja tilattavien rakennusmateriaalien ja tuotteiden kastuminen voidaan ehkäistä:

- Vaatimalla toimittajilta kuljetuksen aikaista suojausta.

- Varastoimalla valmistajan antamien ohjeiden mukaisesti.
- Valitsemalla toimitusajankohdat huolellisesti, välttämällä ylimääräinen varastointi.
- Suunnittelemalla varastointialueet huolellisesti.
- Käyttämällä sääsuojia varastointialueilla.
- Käyttämällä sääsuojia keskeneräisten rakenteiden suojaukseen.
- Suunnittelemalla työvaiheet niin, että keskeneräiset rakenteet ehditään suojaamaan saman työvuoron aikana. (Työmaan olosuhdehallinta, [viitattu 27.2.2021].)



Kuva 13. Rakennuksen vaipan tiivistäminen mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.

Rakennuksen lämmittäminen kannattaa aloittaa heti, kun ulkovaippa on kauttaaltaan ummussa. Toki mahdollista on myös, että rakennuksessa osastoidaan tiettyjä alueita, jolloin lämmitys voidaan aloittaa niiden osalta jo ennemmin. Esimerkiksi ennen ontelokentän saumavalujen aloittamista laattojen alapuolelle on hyvä osastoida lämmitetty alue saumavalujen kovettumisen takia.

Jokainen kerros oli jaettu kolmeen eri lohkoon ja nämä oli osastoitu muoviseinillä. Näin voitiin tehdä eri työvaiheita eri osastoilla. Esimerkiksi maalaus- ja tasoitetyöt tuovat rakennukseen paljon kosteutta, joten kuivausta pystyttiin tehostamaan osastoimalla alueet.



Kuva 14. Ontelokentän alapuolinen osastointi ja väliaikainen öljylämmitys.

Heti rungon valmistumisen jälkeen peitettiin kaikki seinät ja aukot suojapeitteillä ja kytkettiin väliaikainen kaukolämpövaihdin. Suojaamisessa tulee ottaa huomioon haalausaukkojen sijainti ja toiminta.



Kuva 15. Ulkoseinän suojapeiteseinän haalausaukko.

8 TYÖMAALLA KÄYTETTÄVÄ KALUSTO

Olosuhteidenhallinta vaatii paljon kalustoa kuivattamiseen ja lämmitykseen. Kaluston hankinnassa tulee ottaa huomioon kaluston soveltuvuus ja käyttötarkoitus. Jos työmaalle hankitaan vääränlaista kalustoa, siitä tulee myös ylimääräisiä kustannuksia.

Rakennuksessa oli yksi isompi kuivain, joka sijoitettiin rakennuksen keskimmäiseen kerrokseen. Kuivurista asennettiin halkaisijaltaan 500 mm putket eri kerroksiin. Toinen putki imi kosteimmasta kerroksesta ilmaa ja toinen putki puhalsi kuivaa ilmaa toiseen kerrokseen, ja koneesta lähti pienempi putki ulos, josta kosteus poistui rakennuksesta. eGate-anturien perusteella voitiin seurata jokaisen kerroksen sisäilman kosteutta ja tällä tavoin tiedettiin, missä kerroksissa oli eniten kosteutta. Kuivurin putkien paikkoja vaihdeltiin tarpeen mukaan eri kerrosten välissä, jotta sisäilman kosteus saatiin pysymään $RH\% < 50$. Osastointivaiheessa jouduttiin asentamaan pienempiä kuivureita kohdekuivaukseen.

Väestönsuojan yläpohjan kuivatus tehtiin kombikuivaimella. Kuivaimen kosteutta erotteleva tekniikka perustuu adsorptiotekniikkaan, jonka kuivainyksikkö sijaitsee laitteen yläosassa. Adsorptiokuivaintekniikan vaatimukset kuivattavien tilojen lämpötiloille eivät ole yhtä vaativat kuin kondenssikuivaustekniikkaa käytettäessä, ja adsorptiotekniikka toimiikin jopa pakkasrajan alapuolella. Adsorptiokuivaimen sisään menevän ja ulos tulevan ilman suhteellisen kosteuden ero on suurempi kuin kondenssikuivaimessa.



Kuva 16. Kombikuivain. Kuivausteho 35 l / 24 h. (Lujatalo kalustokeskus, 2020).



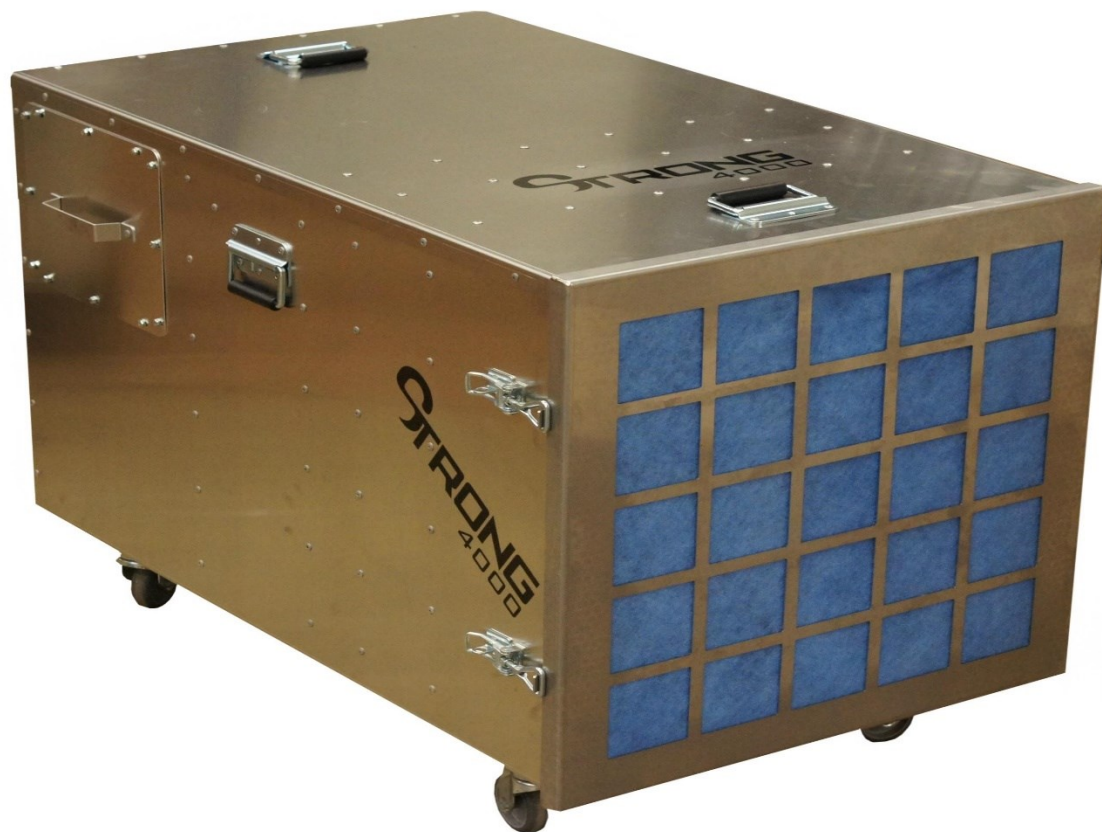
Kuva 17. Trailerille asennettu tehokas sorptiokuivain. Kuivausteho 768 l / 24 h. (Cramo.fi [Viitattu 14.3.2021]).



Kuva 18. Pienempi sorptiokuivain. Kuivausteho 110 l / 24 h. (Lujatalo kalustokeskus, 2020).

Pölynhallinta toteutettiin alipaineistajilla. Pölyä tuottavissa työvaiheissa työvälineissä käytettiin kohdepoistoa. Alipaineistajissa on huolehdittava karkeasuodattimen vaihdosta viikoittain. Alipaineistajia oli sijoitettu jokaiselle osastoidulle alueelle. Alipaineistajien ilmamäärän teho oli 4000 m³/h, joten alipaineistajillakin ilmaa saatiin hyvin kierrätettyä rakennuksessa.

Rakennuksen kuivatuksen ja lämmityksen kannalta tärkeää on saada ilma liikkumaan tasaisesti koko rakennuksessa. Ilmankierrätykseen käytettiin isoja puhallintuulettimia, joiden ilmavirtaus oli 10200 m³/h. Isoilla puhaltimilla saatiin lämpö jaettua tasaisesti koko rakennuksessa. Rakentamisen edetessä ja väliseinien noustessa tarvittiin myös huoneisiin ilman liikettä. Huoneiden ilman kierrätys tehtiin simpukkapuhaltimilla, joiden ilmavirtaus oli 2200 m³/h. Enimmillään rakennuksessa oli 20 kpl isoja puhaltimia ja 50 kpl simpukkapuhaltimia, joten ilma ja lämpö saatiin kiertämään hyvin jokaiseen nurkkaan. Puhaltimien avulla saatiin kosteus kulkemaan kuivureille.



Kuva 19. Strong 4000 alipaineistaja. (Lujatalo kalustokeskus, 2020).



Kuva 20. Työmaalla käytettyjä puhaltimia.

Runkovaiheessa ja varsinkin ontelokenttiä valettaessa lämmitys toteutettiin öljylämmityksellä ontelokentän alapuolelta. (Kuva 14.) Rungon ollessa valmis ja rakennuksen vaippa ummessa, lämmitys saatiin kaukolämmöstä väliaikaisella lämmönvaihtimella ja vesikiertoisilla lämpöpuhaltimilla. Jokaisessa kerroksessa oli vähintään kaksi lämpöpuhallinta kooltaan 250 kW ja 100 kW.



Kuva 21. Vesikiertoinen 250 kW lämpöpuhallin.



Kuva 22. Väliaikainen lämmönvaihdin. (Lujatalo kalustokeskus, 2020).

9 YHTEENVETO

Rakentamisen kosteudenhallintaan on ruvettu kiinnittämään paljon huomiota viime vuosien aikana. Työhön hankittujen tietojen ja materiaalien perusteella selvisi, että varsinkaan deltapalkkien kuivattamiseen ei ennen ole panostettu riittävästi, ja siihen oli vaikea löytää materiaalia. Suunnitteluvaiheessa korostuvat valitut rakenneratkaisut ja päällystemateriaalit. Nykyisten tiukkojen rakennusaikataulujen vuoksi on myös kuivumisaika-arviot otettava huomioon, ja varattava niille riittävästi aikaa.

Rakentamisen kosteuden- ja olosuhteidenhallinta vaatii paljon kalustoa, joka tuo paljon kustannuksia, ja nämä on otettava huomioon jo tarjouslaskennassa. Vaikka kustannukset ovat merkittäviä, niin kosteudenhallintaan panostaminen kuitenkin kannattaa, sillä jälkikäteen ilmenevien kosteusvaurioiden kustannukset ovat vielä suurempia.

Isoissa hankkeissa korostuu reaaliaikainen kosteudenseuranta, koska sillä saadaan jatkuvasti tietoa rakenteiden kosteudesta, ja erillisiä kosteusmittauksia ei välttämättä tarvita muuta kuin ns. varmuusmittaukset.

Työn edetessä yllätyksenä tuli, miten suuri vaikutus on rakennuksen vaipan ummessa pysymisessä. Jos seinä toteutetaan väliaikaisilla muoviseinillä, tulee seinien rungot tehdä riittävän kestäviksi, sillä niihin kohdistuvat suuret tuulikuormat. Muoviseinien repeytyminen tuo ulkoilmasta paljon kosteutta rakennukseen ja kuivaimien teho ei riitä poistamaan kosteutta tarpeeksi rakennuksesta.

Suurimmat ongelmat tulivat kesällä helteistä, sillä rakennuksessa lämpötila nousi paikoittain yli 30 °C:n ja rakennusta tuulettaessa ulkoilmasta tuli kosteutta rakennukseen. Myös ulkoilman kosteutta seurattiin aktiivisesti, ja tuuletus pyrittiin ajoittamaan mahdollisimman pienen ulkoilman kosteuden aikaan.

LÄHTEET

- Elementtivälipohja. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Rakentamisen kosteudenhallinta. [Viitattu 27.2.2021] Saatavana: <http://kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/rakenteet/vaelipohjat/elementtivaelipohja>
- Kosteudenhallintasuunnitelma. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Sisäilmayhdistys ry. [Viitattu 27.2.2021]. Saatavana: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Korjausten-laadunvarmistus/Tyomaan-kosteudenhallinta/Kosteudenhallintasuunnitelma>
- Kuivaketju10-riskilista. 13.3.2018. [Verkkojulkaisu]. Rakentamisen Laatu RALA ry. [Viitattu 27.2.2021]. Saatavana: http://kuivaketju10.fi/wp/wp-content/uploads/2018/03/Kuivaketju10-Riskilista_150313.pdf
- Merikallio, T. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.
- Merikallio, T., Niemi, S. & Komonen, J. 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.
- Peikko Finland Oy. 2016. Päällystettyjen elementtirakenteisten välipohjien kosteustekninen toimivuus osana rakennuksen tervettä elinkaarta. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 27.2.2021]. Saatavana: https://d76yt12idvq5b.cloudfront.net/file/dl/i/sbQvig/nxD8Z9KdKaiUzAxUzIs3Bw/Peikko-FinlandOy_asiantuntija-artikkeli_valipohjienkosteustekninentoimivuus.pdf
- Tekninen käyttöohje DELTABEAM -välipohjajärjestelmä. 2016. [Verkkojulkaisu]. Peikko Finland Oy. [Viitattu 27.2.2021]. Saatavana: https://d76yt12idvq5b.cloudfront.net/file/dl/i/vxE6JQ/b4RPYoQz7WC2UNQLgHqV7A/Delta_palkkiFI04-2016.pdf
- Työmaan kosteudenhallinta. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Sisäilmayhdistys ry. [Viitattu 27.2.2021]. Saatavana: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Korjausten-laadunvarmistus/Tyomaan-kosteudenhallinta>
- Työmaan olosuhdehallinta. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Sisäilmayhdistys ry. [Viitattu 27.2.2021]. Saatavana: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Korjausten-laadunvarmistus/Tyomaan-kosteudenhallinta/Kosteudenhallintasuunnitelma>