



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tommi Talja

Betonilaatan kuivumisaika-arvio

Opinnäytetyö

Syksy 2024

Insinööri (AMK), Rakennustekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Tommi Talja

Työn nimi alaotsikoineen: Betonilaatan kuivumisaika-arvio

Ohjaaja: Janne Pihlajaniemi

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 37

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia kahta erilaista betonin kuivumisaika-arviota ja vertailla kuivumisaika-arvion tuloksia todellisiin kosteusmittaustuloksiin. Betonilaatan riittävä kuivuus pinnoitusta varten vaatii aina virallisia kosteusmittauksia.

Käytössä olevien kuivureiden käyttö mahdollistaa tehokkaamman betonin kuivumisen työmaalla. Olosuhteiden vaikutus on suuri aikataulujen suhteen. Kuivumisaika-arvio ja työmaan kosteusmittaussuunnitelma yhdessä antavat mahdollisuuden aikataulujen pitämiseen.

Kuivumisaika-arvioiden sekä saatujen kosteusmittaustuloksien kohteena oli 200 millimetrin vahvuinen maanvarainen teräsbetoninen massiivilaatta, joka sijaitsee Pirkanmaalla.

¹ Asiasanat: betoni, kuivaus, kosteus, mittaus, teräsbetoni

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Tommi Talja

Title of thesis: Concrete slab drying time estimate

Supervisor: Janne Pihlajaniemi

Year:2024

Number of pages: 37

Number of appendices: 0

The purpose of the thesis was to study two different estimates of concrete drying time and to compare the results of the estimates actual moisture measurement results. For a concrete slab to be sufficiently dry for coating, formal moisture measurements are always required.

The use of existing dryers allows for more efficient drying of concrete on site. Conditions have a major influence on scheduling. A drying time estimate combined with a site moisture measurement plan will allow schedules to be kept.

The drying time estimates and the moisture measurement results obtained were based on a 200 mm thick reinforced concrete mass concrete slab located in Pirkanmaa, Finland.

¹ Keywords: concrete, drying, moisture, measurement, reinforced concrete

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	1
Thesis abstract	2
SISÄLTÖ	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	4
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Opinnäytetyön taustat ja tavoitteet	7
1.2 Opinnäytetyön rakenne	7
2 BETONI, LISÄAINEET JA VALMISTUS	8
2.1 Betoni	8
2.2 Lisäaineet.....	9
2.3 Betonin valmistus	10
3 BETONIN KUIVUMINEN, KUIVAUS JA KOSTEUSMITTAUS	12
3.1 Betonin kuivuminen	12
3.2 Kuivaus	12
3.3 Kosteusmittaus.....	16
4 KUIVUMISAIKA-ARVIO.....	21
5 MITTAUSTULOKSET	27
6 JOHTOPÄÄTÖKSET TULOXSISTA.....	33
7 YHTEENVETO	34
LÄHTEET	35

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Adsorptiokuivain	13
Kuva 2. Kondenssikuivain.....	14
Kuva 3. Tasokuivain.....	15
Kuva 4. Valuun upotettava mittalaite.	17
Kuva 5. Näytepalamittaus.	17
Kuva 6. Näytepalamittaus.	17
Kuva 7. Näytepalamittaus.	18
Kuva 8. Porareikämittaus.....	18
Kuva 9. Porareikämittaus.....	19
Kuva 10. Porareikämittaus.....	19
Kuvio 1. Mittaussyvyudet.	20
Kuvio 2. Peruskuivumiskäyrä.....	24
Kuvio 3. Kertoimet.	24
Kuvio 4. Rakenne..	25
Kuvio 5. Liikuntahallin alapohjan rakenne.....	26
Kuvio 6. Olosuhdeseuranta syksy 2021.....	31
Kuvio 7. Olosuhdeseuranta kevät 2022.	32

Taulukko 1. Kuivumisajan laskentakaava	24
Taulukko 2. Kuivumisaika-arviot 200 mm teräsbetonilaatalle.	26
Taulukko 3. Ensimmäinen kosteusmittaus.	27
Taulukko 4. Toinen kosteusmittaus.	28
Taulukko 5. Kolmas kosteusmittaus.	29
Taulukko 6. Neljäs kosteusmittaus.	30
Taulukko 7. Kosteusmittaus tulosten ja kuivumisaika-arvioiden vertailu.	33

Käytetyt termit ja lyhenteet

Kosteusmittaus	Kosteusmittaus on menetelmä, jolla arvioidaan materiaalien, kuten betonin, puun tai ilman kosteuspitoisuutta.
Teräsbetoni	Teräsbetoni on rakennusmateriaali, joka koostuu betonista ja teräsvahvikkeista.
Kuivumisaika-arvio	Kuivumisaika-arvio on menetelmä, jolla arvioidaan betonin kuivumiseen tarvittavaa aikaa ennen kuin se saavuttaa riittävän kuivuuden seuraavia työvaiheita varten, kuten pinnoitusta.
Suhteellinen kosteus	Suhteellinen kosteus on ilman kosteuspitoisuuden mitta, joka ilmaistaan prosentteina. Se kertoo, kuinka paljon vesihöyryä ilma sisältää verrattuna siihen, kuinka paljon vesihöyryä se voisi maksimissaan sisältää tietyssä lämpötilassa.
Adsorptiokuivain	Adsorptiokuivain on laite, joka poistaa kosteutta ilmakehästä tai sisäilman kosteudesta adsorptiomenetelmällä.
Kondenssikuivain	Kondenssikuivain on laite, joka poistaa kosteutta ilmasta käyttämällä kondensaatiota. Tämä saavutetaan jäähdyttämällä ilmaa alle sen kastepisteen, jolloin ilmassa oleva kosteus tiivistyy vedeksi. Kondensoitunut vesi kerätään säiliöön tai johdetaan pois viemäriin.
Tasokuivain	Tasokuivaimen toiminta perustuu kosteutta poistavan lämmön ja jatkuvan ilmapirran kohdistamiseen suljetun ilmakuvun alle, kuivatettavalle alueelle.
Korroosio	Korroosio on prosessi, jossa metalli syöpyy ja menettää ominaisuuksiaan ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta.

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön taustat ja tavoitteet

Opinnäytetyö käsittelee betonilaatan kuivumisaika-arviota ja todellisia kosteusmittaustuloksia sekä ratkaisuja betonilaatan kuivattamiseen. Kuivumisaika-arviosta on kirjallisuutta vielä kovin vähän. Aihe tulee kuitenkin vastaan hyvin useasti rakennustyömailla betonin valujen kanssa. Vanha sääntö betoninlaatan kuivumisessa, joka oli sentti viikossa ei enää päde kuin hyvin harvoin. Tähän syitä on monia. Betonimassat ovat muuttuneet lujuusluokituksen takia, mutta myös luonnonsoran väheneminen ja ympäristövaatimukset ovat kiristyneet. Myös aika-
taulut ovat kiristyneet työmailla. Luonnon ilmiöt, kuten suuret sadejaksot ja lauhat talvet vaikuttavat betonin kuivumiseen. Kuivumisajan arvioimiseen on saatavilla muutamia keinoja. Tässä opinnäytetyössä on esitelty kaksi keinoa, joita voidaan käyttää. Betonilaatan kuivatukseen on olemassa adsorptiokuivaimia, kondenssikuivaimia, tasokuivaimia sekä yhdistelmäkuivaimia. Betonilaatan kuivumiseen vaikuttavat myös muut tekijät; kuten puhtaus, pinnan rakenne, betonimassan laatu, olosuhteet sekä itse betonimassan lämpötila.

1.2 Opinnäytetyön rakenne

Opinnäytetyö käsittelee aluksi betonia materiaalina ja sen valmistusta. Lisäksi perehdytään muun muassa siihen käytettäviin mahdollisiin lisäaineisiin. Teoriaosuudessa käydään läpi myös betonin kuivumista ja koneita, joilla kuivamista voidaan tehostaa merkittävästi. Teoria pitää sisällään myös kosteusmittausosuuden. Opinnäytetyön tutkimusosuuden rakennuskohde sijaitsee Pirkanmaalla. Kohde on liikuntahalli, joka on rakennettu vuonna 2021. Tutkimusosuudessa lasketaan kuivumisaika-arviot Merikallion menetelmällä ja verrataan tuloksia by2020-ohjelmalla saatuihin tuloksiin sekä toteutuneisiin kosteusmittaustuloksiin. Betonin kuivumisaika-arviolla pystytään määrittämään rakennustyömaan aikataulua. Kuivumisaika-arvion tuloksia voidaan verrata toteutuneisiin kosteusmittaustuloksiin.

2 BETONI, LISÄAINEET JA VALMISTUS

2.1 Betoni

Betonin on tärkeä materiaali rakennusten runkomateriaalina (Betoni.com, i.a.-a). Betonin suosio perustuu sen edulliseen hintaan, kosteudenkestoon, lujuuteen ja jäykkyyteen, turvallisuuteen sekä muokattavuuteen. Betonia voidaan käyttää siellä, missä tarvitaan suuria, stabiileja ja turvallisia rakenteita, sekä rakenteissa, jotka ovat yhteydessä veteen tai maahan.

Betonin pääasiallinen käyttötarkoitus talonrakentamisessa on maanvaraiset lattiat ja hyvin harvoin nämä rakenteet on tehty jostain muusta materiaalista kuin betonista (Betoni.com, i.a.-b).

Nykyään betonin käyttö on edelleen olennaista modernissa rakentamisessa (Rakennustieto.fi, 2024). Se on perusta monille rakennuksille ja infrastruktuuriprojekteille ympäri maailmaa. Betonin jatkuva kehitys ja innovaatiot tekevät siitä entistäkin paremman ja ympäristöystävällisemmän materiaalin tulevaisuutta varten.

Betoni on tekokivi, joka syntyy sementin, runkoaineen, veden ja mahdollisten lisäaineiden muodostaman seoksen kovettumisreaktion seurauksena (Betoni.com, 2015).

Sementti on betonin tärkein raaka-aine ja yksi maailman käytetyimmistä rakennusaineista (Kivifaktaa.fi, i.a). Suomessa kalkkikivi on sementin pääraaka-aine. Sementin valmistuksen päävaiheet ovat kalkkikiven louhinta, murskaus ja raakajauhatus, klinkkerin poltto ja sementin jauhatus. Sementillä on ominaisuuksia kuten lujuus, jota voidaan säädellä esimerkiksi klinkkerin koostumuksella, käytettävien seosaineiden suhteilla ja jauhatushienoudella.

Betoni on rakennusaine, joka saadaan aikaan kivistä, sementistä sekä vedestä. Lisämällä lisäaineita saadaan muutettua ominaisuuksia (Swerock.fi, i.a.).

Näitä ominaisuuksia tarvitaan niin muuttuneisiin sääolosuhteisiin kuin myös työstettävyyteen (Betoni.com, 2010). Lisäaineilla pystytään vaikuttamaan myös suoraan betonin kuivumisaikaan, joka taas on suoraan vaikutuksessa työmaan aikatauluun betonirakentamisessa. Olosuhteilla betonin kuivumisessa on merkittävä vaikutus. Niin lämpötila, ilmansuhteellinen kosteus kuin ilman laatu vaikuttavat kuivumiseen.

2.2 Lisäaineet

Betonin laatuvaatimukset vaativat käyttämään yhä enemmän lisäaineita betonin valmistuksessa (Betoni.com, i.a.-c). Näiden vaatimusten täyttämiseksi ja laadun varmistamiseksi käytetään eri standardeja ja testimenetelmiä. Betonin lisäaineina käytetään kemikaaleja, joita lisätään betoniseokseen eri ominaisuuksien parantamiseksi ja muokkaamiseksi. Betonin lisäaineilla on mahdollista säätää betonin ominaisuuksia eri kohteisiin soveltuviksi. Betonin vaatimukset vaihtelevat käyttökohteesta ja ympäristön olosuhteista riippuen.

Betonilla tulee olla riittävä puristus-, veto- ja taivutuslujuus riippuen sen käyttökohteesta (Finlex.fi, 2005). Puristuslujuus on yksi tärkeimmistä betonin ominaisuuksista ja se mitataan yleensä 28 päivän kohdalla. Betonin täytyy olla helposti työstettävissä ja tiivistettävissä ilman, että siihen muodostuu liikaa ilmakuplia. Työstettävyys vaikuttaa betonin sijoituspaikkaan ja -menetelmään, erityisesti monimutkaisissa rakenteissa. Betonilla tulee olla hyvä kestävyys erilaisia ympäristöolosuhteita vastaan, kuten pakkasta, sulatusjaksoja, kemikaaleja ja kulutusta. Tämä tarkoittaa myös kykyä vastustaa korroosiota, erityisesti kun kyseessä on teräsbetoni. Betoniseoksen tulee olla suunniteltu niin, että se minimoi kutistumisen ja halkeilun. Tämä voidaan saavuttaa käyttämällä oikeanlaista raaka-ainetta ja lisäaineita, kuten kutistumisen vähentäjiä. Betonirakenteiden tulee olla riittävän tiiviitä estääkseen veden ja haitallisten aineiden tunkeutumisen. Vedenpitävyys on erityisen tärkeää rakenteissa, jotka altistuvat jatkuvasti kosteudelle.

Betonin huokostimilla pienennetään betoniveden pintajännitystä (Semtu.fi, i.a.-a.). Huokostin auttaa saamaan tarvittavan määrän ilmahuokosia betoniin valmistuksen aikana.

Pakkasenkestävää betonia valmistaessa huokostaminen on olennaisen tärkeää. Tuotteella on voimakkaasti notkistava vaikutus. Veden erottuminen on vähäistä ja betonimassasta tulee tasalaatuista ja helposti tiivistettävää. Kuhunkin käyttötarkoitukseen ja muihin betonin raaka-aineisiin soveltuvan huokostimen löytäminen vaatii aina ennakkokokeita.

Betonin kiihdyttimillä pystytään nopeuttamaan betonin kovettumista ja lujuuden kehittymistä (Master-builders-solutions.com, i.a). Kiihdyttimiä voidaan käyttää kohteissa, joissa rakentamisen aikataulua on nopeutettava, kuten kylmällä säällä, tai kun tarvitaan nopeaa lujuuden kehittämistä. Kuitenkin isommissa kohteissa lujuusluokan nosto ja betonimassan lämmitys voi olla järkevämpää kuin kiihdyttimien käyttö. Ruiskubetonoinnissa kiihdyttimien käyttö on hyvin yleistä. Lisäksi kiihdyttimen valinnan tulisi perustua projektikohtaisiin vaatimuksiin ja näkökohtiin, mukaan lukien lämpötila, altistusolosuhteet ja halutut suorituskykyominaisuudet.

Betonin notkistimilla parannetaan betonia helpommin valettavaksi ja korkeampilaatuiseksi (Semtu.fi, i.a.-b.). Notkistimilla pystytään säästämään vettä 5-12 prosenttia, kuitenkin heikentämättä betonin työstettävyyttä. Vedenvähennyksen tuomaa lujuuden kasvua voidaan hyödyntää vähentämällä tarvittavaa sementtimäärää. Sementtimäärän pysyessä samana voidaan alhaisemman vesisementtisuhteen avulla saavuttaa korkeampia lujuuksia, mikä mahdollistaa hoikempien rakenteiden valmistamisen ja paremman pitkäaikaiskestävyyden. Notkistimilla varhaislujuus kasvaa ja kutistumaa on helpompi hallita. Notkistin on välttämätön itsetiivistyvien massojen valmistuksessa.

Pakkaslisäaineita käytetään talvirakentamisessa, jolloin betoni voi päästä jäätymään (Semtu.fi, i.a.-c.). Ne alentavat betonissa olevan veden jäätymispistettä niin, että betoni jatkaa kovettumiskehitystään jopa -15 °C pakkaslämpötilaan asti. Pakkaslisäaineiden käyttökohteita ovat muun muassa elementtien saumausvalut, valuharkkojen juotosvalut sekä erilaiset korjaus- ja kiinnitysvalut.

2.3 Betonin valmistus

Sementin valmistusprosessi alkaa kalkkikiven louhinnalla (Smamineral.se/fi, i.a.). Louhinnan jälkeen kalkkikivi jauhetaan kuulamylyssä haluttuun karkeuteen. Jauhatuksen jälkeen

jauheeseen sekoitetaan savea, ja seoksen tasaisuus ominaisuuksien suhteen tarkistetaan. Valmis seos kuljetetaan esilämmityksen kautta pitkään klinkkeriuuniin, jossa seos puristuu valmiiksi klinkkeriksi. Tässä prosessissa muodostuvat sementtimineraalit.

Klinkkeri jauhetaan sementiksi kuulamylyssä. Jauhatuksen yhteydessä klinkkeriin lisätään kipsiä sitoutumisajan säätämiseksi sekä erilaisia seosaineita haluttujen ominaisuuksien aikaansaamiseksi. Seosaineita voivat olla esimerkiksi masuunikuona ja kalkkikivi. Sementin kovettumisnopeutta säädetään lähinnä jauhatushienoudella .

Sementin valmistus tuottaa merkittävästi CO₂-päästöjä (Oulu.fi, i.a.). Globaalisti sementtiä valmistetaan noin kolme miljardia tonnia vuodessa, mikä vastaa noin viittä prosenttia ihmisen aiheuttamista CO₂-päästöistä.

Hydraatio on sementin ja veden välinen reaktio, jossa vesi sitoutuu kemiallisesti ja fysikaalisesti sementtiin (betonitieto.fi, i.a.). Tätä ilmiötä kutsutaan puhekielessä myös betonin kovettumiseksi. Sementtahiukkasten pinoilla käynnistyvät kemialliset reaktiot, joissa muodostuu sementtigeeliksi C-S-H-geeli kutsuttavaa massaa. Tämä geeli sitoo hydratoituneet sementtahiukkaset kiinni toisiinsa ja betonin kiviainekseen. Sementin mineraalien ominaisuudet ja määrät vaikuttavat hydrataation nopeuteen ja lujuuskehitykseen.

Betonin runkoaine on olennainen osa betonin koostumusta (Rudus.fi, i.a.). Se vaikuttaa sekä tuoreen betonimassan että kovettuneen betonin ominaisuuksiin. Runkoaine muodostaa suurimman osan betonin tilavuudesta (yleensä 60–85 %) ja sillä on vaikutusta työstettävyyteen. Runkoaineena käytetään rakeista kiveä, kuten hiekkaa ja kiviä. Runkoaineen puhtaus on tärkeää. Betonin kovettuminen vaatii kemiallisen reaktion, joka tapahtuu sementin ja veden yhteisvaikutuksessa. Kovettuneessa betonissa on myös niin sanottua geelivettä, joka on sitoutunut ainesosiin.

3 BETONIN KUIVUMINEN, KUIVAUS JA KOSTEUSMITTAUS

3.1 Betonin kuivuminen

Betonilattian toimiminen kosteusteknisesti oikein, on huolehdittava riittävästä kuivumisesta ennen päällystystöitä (Komonen, 2024). Ammattilaisen konsultointi voi auttaa valitsemaan sopivan päällystemateriaalin ja varmistamaan, että betonilaatta on kuiva ennen pinnoitusta tai päällystystä.

Suurissa rakennuksissa, esimerkiksi kouluissa, joissa betonilaatat ovat isoja, voi kuivumisaika olla jopa reilun vuoden verran, ennen kuin pintamateriaaleja voidaan asentaa. (Niemi-nen, 2024).

Ennen vesieristystä ja pinnoitustöitä on välttämätöntä varmistaa betonilaatan todellinen suhteellinen kosteus (Sisäilmäyhdistys.fi, i.a.). Tämä tehdään porareikä- tai näytepalamit-tauksin. Pinnoitteiden ja vesieristeiden valmistajat ovat määritelleet alustan maksimikos-teuden tuotteilleen. Mittaustuloksista laaditaan kirjallinen raportti, jossa kerrotaan myös be-tonilaatan lämpötilakorjattu kosteus +20 °C lämpötilassa.

Pintamateriaalin vaihtaminen nykyistä tiiviimmäksi on aina riski (Suomirakentaa.fi, i.a.). Ai-kaisemmin maanvaraiset lattiat tehtiin eristämättöminä, ja ne toimivat ainoastaan, jos pin-noite oli kosteutta läpäisevä. Nykyään leudot talvet ja tavallista kosteammat olosuhteet voi-vat pitkittää betonin kuivumista. Vain mittaamalla betonin kosteuden, voimme varmistua, että se on riittävän kuiva päällystettäväksi.

3.2 Kuivaus

Betonilaatan kuivattamiseen on lukuisia keinoja (Kuivajaahdytys.fi, i.a.). Yksi näistä on kuivai-met. Kuivaimia on erityyppisiä. Kuivaintyyppin valinta riippuu kohteesta mutta myös taloudelli-set syyt ohjaavat kuivaintyyppin valintaa hyvin usein.

Adsorptiokuivainta pidetään yhtenä hyvänä vaihtoehtona, kun betonilaattaa kuivatetaan (Guodi Technology, 2024).

Adsorptiokuivain (Kuva 1) tuottaa kuivaa ilmaa ja sen hyvä ominaisuus on sen toimivuus myös alhaisissa lämpötiloissa (Renta.fi, i.a.-a.). Työmaalla kostea ilma imetään koneeseen ja se kulkee suodattimen kautta, jolloin ilma puhdistuu, jonka jälkeen puhdistettu ilma ajetaan kuivausaineeseen. Kuivausaineena käytetään aktivoitua alumiinioksidia, silikageeliä, molekyyliseuloja tai zeoliitteja. Lopuksi kuivattu ilma ajetaan ulos takaisin huoneeseen. Kyllästetty kuivausaine kuumennetaan ja vapautunut vesihöyry puhalletaan ulos.



Kuva 1. Adsorptiokuivain (Renta.fi, i.a.-a).



Kuva 2. Kondenssikuivain (Renta.fi, i.a.-b).

Kondenssikuivain (Kuva 2) on yksi vaihtoehto kuivattamiselle ja toimintaperiaate on tiivistää lauhdutinpatterilla vesihöyry vedeksi, joka kerätään säiliöön tai vaihtoehtoisesti johdetaan suoraan viemäriin (Renta.fi, i.a.-b.). Toimintalämpötila on suppeampi verrattuna adsorptiokuivaimiin. Käytännössä lämpötilan on oltava +7 astetta, että kuivain toimii tehokkaasti. Kondenssikuivaimella on mahdollista päästä noin 30 prosentin ilmankosteuteen.

Tasokuivain (Kuva 3) on pienemille aloille tarkoitettu betonilattioiden kuivain (Renta.fi, i.a.-c.). Toiminta perustuu lämpöön ja ilmavirtaan. Tason alla on lämmitysvastukset, jotka lämmittävät betonilaattaa ja samalla tason alle puhalletaan ilmaa. Tasokuivaimissa on usein mahdollisuus kostean ilman poistoon. Tasokuivaimia on mahdollisuus ketjuttaa. Kuivaimissa on myös jaksotusmahdollisuus laatan jäähtymykseen, jolloin vastukset kytkeytyvät pois päältä, mutta puhallin jatkaa toimintaansa.



Kuva 3. Tasokuivain (Renta.fi, i.a.-c).

3.3 Kosteusmittaus

Kosteusmittauksia on erityyppisiä, jotka on mahdollista eritellä lähtötasomittauksiin, seurantamittauksiin ja päällysteiden asennettavuusmittauksiin (Betoni.com, i.a.-d).

Lähtötasomittauksia voidaan suorittaa, kun on varmistettu, ettei rakenne enää kastu. Lisäksi tilassa, jossa betonirakenne sijaitsee, olisi hyvä olla lämmitysjärjestelmä käytössä.

Seurantamittauksilla voidaan hallita betonilattian kuivumista. Betonilattian hallittu kuivuminen vaikuttaa rakentamisen aikataulussa pysymiseen. Seurantamittauksilla saaduilla tiedoilla voidaan betonilattian kuivattamista tehostaa tarvittaessa. Lopulliset päällystettävyyssmittaukset tehdään noin kahden viikon sisällä ennen pinnoitusta. Huomioitavaa on, että pintojen lämpötilan täytyy olla lähellä tulevaa käyttölämpötilaa (Merikallio, 2002, s. 21).

Kosteusmittauksilla pystytään löytämään vaurioita, mutta mittauksia tehdään jo hyvissä ajoin uusiin rakennuksiin, jolla ennaltaehkäistään vaurioita (Merikallio, 2002, s. 5). Rakennemittauksissa noudatetaan RT-kortiston ohjetta: Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. Pääuraakoitsija osoittaa turvalliset mittauspaikat mittauksen tekijälle, mutta kosteusmittausten laajuus määritellään ennakkoon. Päällystettävyyden tulkinnessa on noudatettava päällystysmateriaalin valmistajan ohjeita suhteellisen kosteuden suhteen. Pääurakoitsijan ja tilaajan tulee hyväksyä tämä mittaussuunnitelma mittausten pohjaksi. Betonin kosteuden mittaus vaatii erityistä huolellisuutta, sillä virheellinen mittaus voi helposti johtaa turhaan odotteluun tai myöhemmin syntyvään kosteusvaurioon (Merikallio, 2002, s. 5).

Kosteusmittaukset aloitetaan lähtöarvojen selvittämisellä, kun työvaiheet ovat siinä vaiheessa, että kuivaaminen alkaa eli kun rakennuksen sisälämpötila on otollinen ja riittävä tiiveys on saavutettu. Ikkunattomista kerroksista ei lämmityskaudella saada luotettavia mitaustuloksia edes lähtöarvoiksi. Seurantamittauksia tehdään eri rakenteista riittävällä otannalla kahden viikon välein joko erillisellä porareikämittauksella tai valuun upotettavalla kosteusmittausanturilla. Olisi hyvä ainakin kerran tehdä valuun upotettavan (Kuva 4) anturin ja porareikämittauksen välinen vertailu (Merikallio, 2002, s. 21)



Kuva 4. Valuun upotettava mittalaite (Rakennustieto, 2021).

Näytepalamittausten näytteet otetaan piikkaamalla (Kuva 5) tavoitesyvyyksiin. Eri rakenteille on määrätty eri näytteenotto (Kuvio 1) syvyydet. Näytteet laitetaan välittömästi näytteenoton jälkeen mitta-antureiden kanssa (Kuva 6) lasiputkiloihin, joiden suut tiivistetään tiivistysmassalla. Lasiputkilot ovat kuljetuksen aikana termoslaatikossa. Mittauksen aikana näyteputke (Kuva 7) ovat tasaisessa lämpötilassa vähintään 10 tuntia (Merikallio, 2002, s. 17).



Kuva 5. Näytepalamittaus (Rakennustieto, 2021).



Kuva 6. Näytepalamittaus (Rakennustieto, 2021).



Kuva 7. Näytepalamittaus (Rakennustieto, 2021).

Porareiät (Kuva 8) porataan tavoitesyvyyksiin. Porauksen jälkeen porareiät imuroidaan huolellisesti puhtaaksi ja tulpataan (Kuva 9) tiiviisti, käyttäen Vaisala -mittaputkia ja tiivistysmassaa. Tulpatut porareiät tasaantuvat vähintään 3 vuorokautta, jonka jälkeen niihin asetetaan tiiviisti (Kuva 10) mitta-anturit. Anturit tasaantuvat porareiässä noin tunnin ajan ennen tulosten kirjaamista (Merikallio, 2002, s. 14).



Kuva 8. Porareikämittaus (Rakennustieto, 2021).

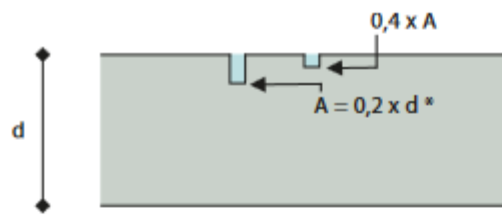


Kuva 9. Porareikämittaus (Rakennustieto, 2021).

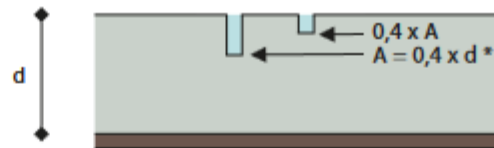


Kuva 10. Porareikämittaus (Rakennustieto, 2021).

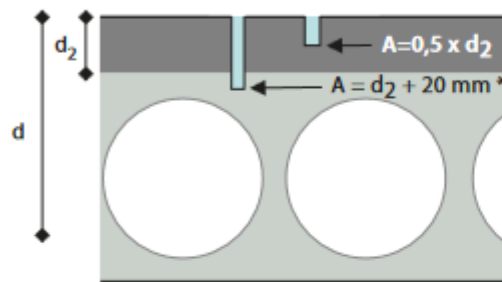
Tulokset kirjataan mittauspöytäkirjaan, josta on toimitettu osapuolille mallikappale. Tuloksista annetaan kopio tai ne lähetetään sähköisesti työmaalta jakelulistan henkilöille. Lopussa kuivat mittaustulokset koostetaan loppuraporttiin, joka luovutetaan kokonaisuudessaan työn tilaajalle. Vanhoista porareikästä voidaan tehdä seurantamittauksia, jos porauspaikkoja on vähän esim. lattialämmityksen vuoksi. Kuitenkin päällystyksen arvioinnissa on noudatettava RT-ohjekorttia. Seurantamittauksissa tulee huomioida epävarmuus, jota ei välttämättä pystytä määrittämään (Merikallio, 2002, s. 29).



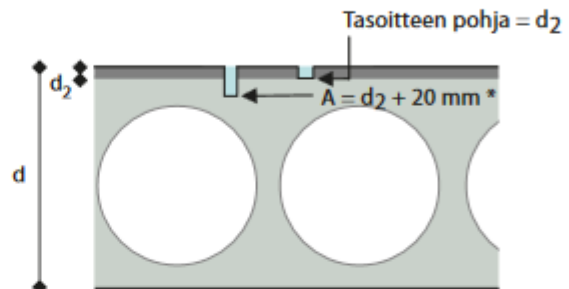
Välipohjarakenne
(kahteen suuntaan kuivuva)



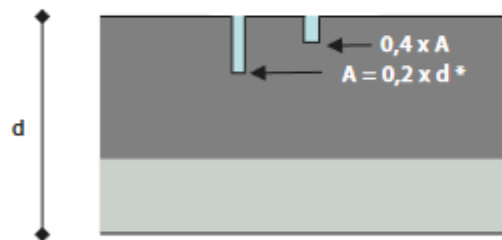
Liittolaatta tai maanvastainen laatta
(yhteen suuntaan kuivuva)



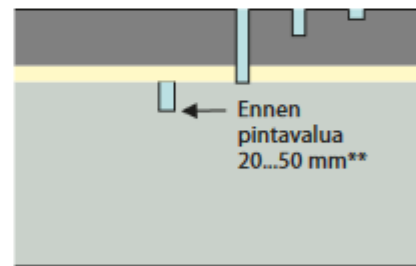
Ontelolaatta + pintavalu (d_2)



Ontelolaatta + tasoite (d_2)



Kuorilaattarakenne



Kantava betonirakenne + eriste + pintavalu
Pintavalu mitataan kuten yhteen suuntaan kuivuva rakenne ellei eristetilaa tuuleteta. Lisäksi eristetilän kosteus tarkistetaan ennen päällystystä.

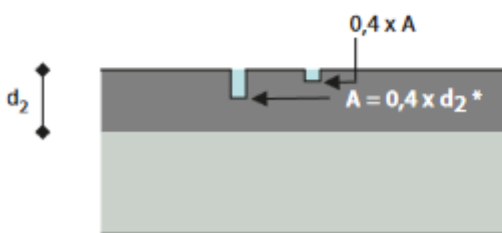
**Kantavan rakenteen mittaussyvyys riippuu:

- eristeen vesihöyrynläpäisevyydestä
- eristeen kuivumismahdollisuuksista pintavalun jälkeen
- pintavalun eristettä kastelevasta vaikutuksesta
- päällysteen vesihöyrynläpäisevyydestä
- kantavasta rakenneratkaisusta.

Yleensä:

- elementtirakenteilla 20 mm
- paikallavalurakenteilla 30 mm
- jäähdetyssä pintalaatassa 50 mm.

Eristettä asennettaessa pinnan betoni ei saa olla syvemmällä olevaa betonia kosteampaa.



Kololaatta + jälkivalu + massamainen vedeneriste

*mittaussyvyys enintään 70 mm

Kuvio 1. Mittaussyvytydet (Rakennustieto, 2021).

4 KUIVUMISAIKA-ARVIO

Betonilaatan kuivumisaika-arvio on merkittävä tekijä tarkastellessa työmaan aikataulua (Betoniyhdistys.fi, i.a.). Betonilaatan kuivumisaika-arvio on tarkoitettu rakennusprojektien kosteudenhallinnan suunnitteluun. Tavoitteena on tarkastella betonin kuivumisaika-arvioita verraten todellisiin kosteusmittaus tuloksiin. Laskentakaavojen ja ohjelman avulla voidaan tehdä betonirakenteiden kuivumisaika-arviota sekä päällystettävien rakenteiden riskiarviota. Se ohjaa betoni- ja päällystemateriaalivalintoja sekä työmaan aikataulutusta ja olosuohdehallintaa.

Rakentamisen suunnittelu alkuvaiheessa ja sen vaikutus betonin kuivamiseen on mahdollisesti kaikkein suurin (Merikallio, 2002, s. 35). Järkevä ja hyvin suunniteltu aikataulu mahdollistaa betonin kuivamisen aikataulussa. Suunnitteluvaiheessa olisi hyvä huomioida betonin kuivaminen kaikkien muiden vaatimusten lisäksi. Betonilaadun valinta vaikuttaa kuivamiseen ja siten myös aikatauluun, jolloin vuoropuhelu työmaan ja betoniaseman kesken olisi hyvä olla saumatonta. Betonin kuivuminen ja kovettuminen ovat erittäin herkkiä ympäristöolosuhteille. Optimaalinen lämpötila betonin kovettumiselle on noin 10–25 °C. Liian korkea lämpötila voi nopeuttaa kovettumista ja aiheuttaa halkeamia, kun taas liian alhainen lämpötila voi hidastaa prosessia ja heikentää lopullista lujuutta. Betonin kovettuminen vaatii kosteutta, joten kuivissa olosuhteissa on tärkeää varmistaa, että betonia ei kuivu liian nopeasti. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi kastelemalla tai peittämällä betonin pinta muovilla. Voimakas tuuli voi nopeuttaa veden haihtumista betonin pinnalta ja johtaa halkeamien syntymiseen. Tuuli voi myös viilentää betonia, mikä voi hidastaa kovettumisprosessia. Sade voi olla haitallista erityisesti alkuvaiheessa, kun betoni ei ole vielä kovettunut. Sadevesi voi muuttaa seoksen suhdetta ja heikentää betonin pintaa. Näiden olosuhteiden hallinta on avainasemassa, jotta betoni kovettuu tasaisesti ja saavuttaa suunnitellun lujuuden ja kestävyuden.

Laajuus kohteessa oli määritelty yhdessä työmaan johdon kanssa. Vähimmäismittapistemäärä suunnitelman mukaan on 36 mittapistettä. Mittauksia voidaan tehdä tarpeen mukaan enemmän esimerkiksi seurannan vuoksi tai siitä syystä, että mittauksissa ei ole päästy pinnoitusarvoihin (Merikallio, 2002, s. 37). Työmaan tehtävänä oli ylläpitää lätkkøkarttaa. Ensimmäinen lähtötietojen mittaus tehtiin, kun työmaalla oli saavutettu vakioitu yli 18 asteen lämpötila. Kuivauksen aloitus voidaan tulkita alkaneen siitä, kun lämpötilaolosuhteet olivat keskimäärin 20 astetta tai enemmän ja suhteellinen kosteus 50 %RH tai alle. Mittausten aika-
taulu eteni työmaan mittaustarpeiden mukaan. Betonin kuivumisaika-arviolla on mahdollisuus laatia kuivumisaika-arviot eri betonirakenteille, ja siitä on tullut tärkeä osa rakennushankkeiden suunnittelua ja toteutusta. Betonin kuivuminen alkaa heti sen valmistamisen jälkeen ja jatkuu kovettumisen aikana. Tämä prosessi riippuu sementin ja veden suhteesta. Olosuhteet kuten Lämpötila, kosteus ja tuuli voivat vaikuttaa betonin kuivumiseen. Betonin koostumuksessa vesi-sideainesuhde vaikuttaa merkittävästi betonin kuivumiseen. Alhaisempi vesi-sideainesuhde nopeuttaa kemiallista kuivumista. Betonirakenteen vahvuus kasvattaa kuivumisaikaa (Merikallio, 2002, s. 37).

Betonin ominaisuuksilla, rakenneratkaisuilla ja ympäristöolosuhteilla on merkittävä vaikutus siihen, miten nopeasti betonin kosteus saavuttaa tavoitetason eli miten nopeasti betoni kuivuu (Merikallio, 2002, s. 35).

Kuivumisaika-arvio on tehty työkaluksi, jota täytyy täydentää kosteusmittauksin joko porareikämenetelmällä tai näytepaloilla. Kuivumisaika-arviota tehdessä ei yleensä ole huomioitu elementtien kuljetus- tai asennusaikaista kastumista, jolla voi olla hyvinkin suuri merkitys kuivumisen kannalta. Kuivumisaika-arvio on laskettu sekä by2020 kuivumisaika-arvio ohjelmalla (Taulukko 2) että Tarja Merikallion laskenta menetelmällä. Tarja Merikallion kirjassa Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi on arviointiohjeisto (Taulukko 1) jossa on annettu peruskuivumiskäyrät ja muunnoskertoimet eri betonirakenteille. Käyttöohjeessa todetaan että ensin valitaan rakenne. Sen jälkeen määritetään tavoitekosteus jolla sitten haetaan peruskuivumiskäyrästä aika viikkoina. Peruskuivumisaika kerrotaan eri kertoimilla (Kuvio 3) jossa kertoimet määräytyvät vesisideainesuhteella, rakenteen paksuudella, kastumisajalla sekä kuivumisolosuhteilla. Näitten tulo on arvioitu kuivumisaika viikkoina. Lattiabetonien vesisideainesuhde on yleensä

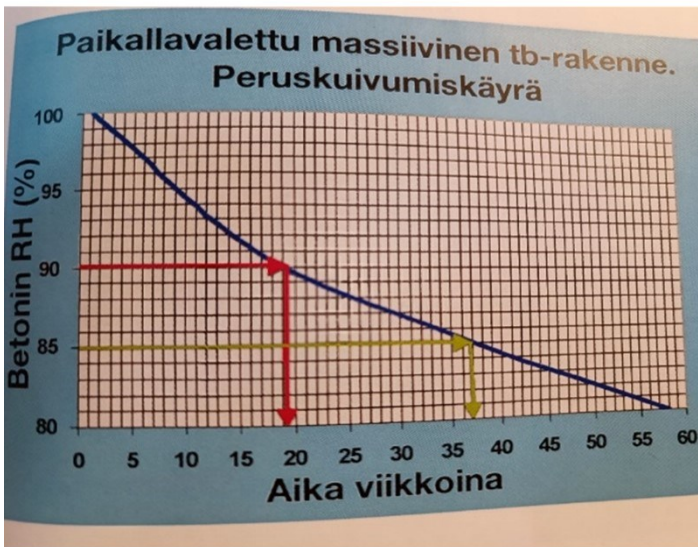
0,6-0,7 työstettävyyden vuoksi (Merikallio, 2002, s. 38).

Peruskuivumisaika peruskuivumiskäyrästä (Kuvio 2) on 37 viikkoa. Vesisideainesuhde 0,6, jolloin kerroin kaavasta on 0,7. Kuivumisuunta kaavasta yhteen suuntaan kuivuva laatta kerroin on 2,6. Rakenteen paksuus on 200mm (Kuvio 5) jolloin kerroin on 0,7. Ei laatan kastumista jolloin kerroin 0,9. Olosuhteet RH50 ja lämpötila 18C jolloin kerroin on 0,9 (Merikallio, 2002, s. 41).

Tulokseksi saadaan $37 \times 0,7 \times 2,6 \times 0,7 \times 0,9 \times 0,9 = 38,18$ viikkoa eli 267,26pv.

Peruskuivumisaika	X	Vesisideainesuhde	X	Kuivumis-suunta	X	
37 viikkoa		0,7		2,6		
Rakenteen paksuus	X	Kastumis aika	X	Kuivumisolosuhteet	=	38,18 viikkoa=267,26pv
0,7		0,9		0,9		

Taulukko 1. Kuivumisajan laskentakaava.



Kuvio 2. Peruskuivumiskäyrä (Merikallio, 2002, s. 41).

Kertoimet:

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

Rakenteen paksuus (mm)	Vesisideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
200	0,7	0,7	0,7	0,8
230	0,9	0,9	0,9	0,9
250	1,0	1,0	1,0	1,0
280	1,3	1,1	1,1	1,1
300	1,6	1,4	1,3	1,2

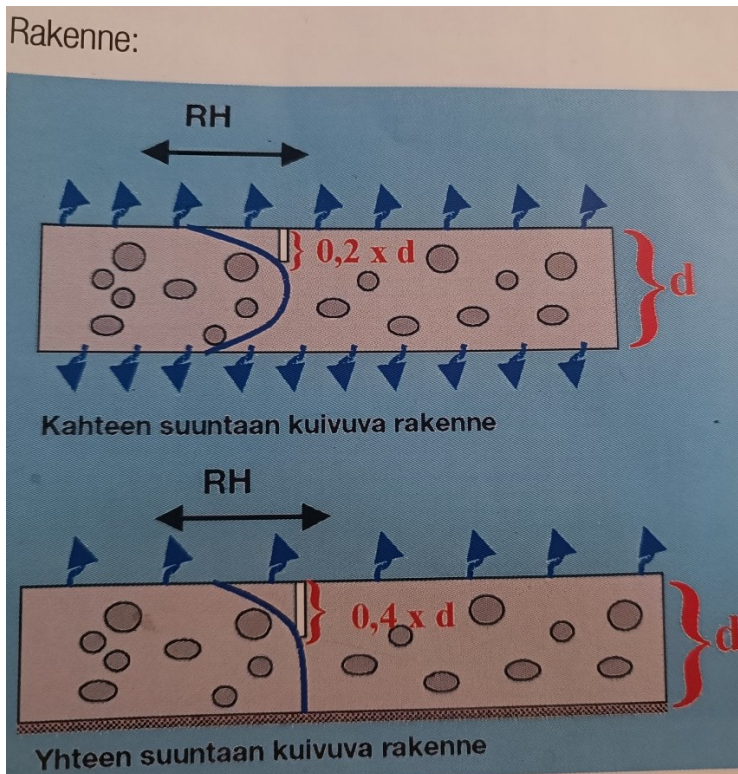
Kuivumisuunta	Vesisideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
Kahteen suuntaan	1,0	1,0	1,0	1,0
Yhteen suuntaan	3,2	2,6	2,3	2,0

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

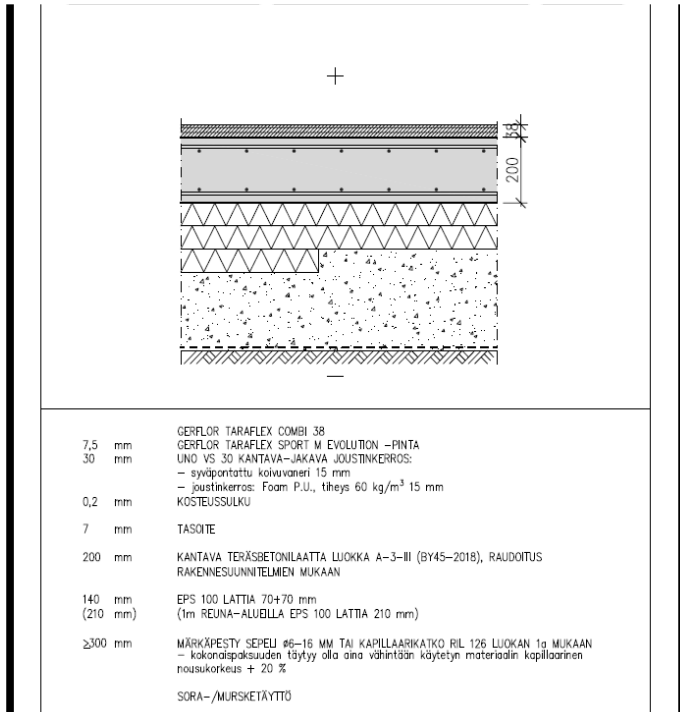
Kastuminen	Vesisideainesuhde			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	1,0	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,1	1,2	1,3	1,5

Kuvio 3. Kertoimet (Merikallio, 2002, s. 41).

Alustalla on iso vaikutus kuivumisaikaan eli onko laatta yhteen vai kahteen suuntaan (Kuvio 4) kuivuva. Jos pohja on märkä tai siellä on eriste, niin kosteuden siirtyminen on luonnollisesti hitaampaa kuin kahteen suuntaan kuivuvassa (Merikallio, 2002, s. 35). Myös laatan kastumisella on suuri merkitys kuivumis-aikaan ja vaikutus on erilainen eri betonilaaduilla. Kuivumisolosuhteiden kerroin määrittää rakennetta ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan perusteella.



Kuvio 4. Rakenne (Merikallio, 2002, s. 41).



Kuvio 5. Liikuntahallin alapohjan rakenne.

	Olo- suhde RH	Olo- suhde lämpö- tila	Vesise- mentti- suhde	Laatan pak- suus	Laatan tavoite kosteus	Kuivu- misaika			
by2020	RH40%	22C	(V/S 0,50)	200mm	RH85%	177vrk			
Merikallio	RH40%	22C	(V/S 0,50)	200mm	RH85%	175vrk			
by2020	RH60%	18C	(V/S 0,50)	200mm	RH85%	-			
Merikallio	RH60%	18C	(V/S 0,50)	200mm	RH85%	250vrk			
by2020	RH40%	22C	(V/S 0,60)	200mm	RH85%	260vrk			
Merikallio	RH40%	22C	(V/S 0,60)	200mm	RH85%	277vrk			
by2020	RH40%	22C	(V/S 0,75)	200mm	RH85%	293vrk			
by2020	RH40%	22C	(V/S 0,75)	200mm	RH85%	487vrk			

Taulukko 2. Kuivumisaika-arviot 200 mm teräsbetonilaatalle.

5 MITTAUSTULOKSET

Ensimmäiset mittaukset tehtiin (Taulukko 3) 7.10.2021. Ensimmäisessä mittauksessa rakennevalusta oli kulunut 90 päivää.

Mittauspaikka	Porareikä syvyys mm	Kosteus RH %	Lämpötila C	Sisäilma RH%/C	Ulkoilma RH%/C
Mp1	70	85,9	21,3	47,9/21,3	98/10,2
Mp4	70	86,3	21,3	47,9/21,3	98/10,2
Mp5	70	86,9	21,3	49,1/21,3	98/10,2
Mp6	70	87,6	21,2	49,1/21,3	98/10,2

Taulukko 3. Ensimmäinen kosteusmittaus.

Toinen mittaus tehtiin (Taulukko 4) 2.11.2021. Toisessa mittauksessa rakenne valusta oli kulunut 120 päivää.

Mittauspaikka	Porareikä syvyys mm	Kosteus RH %	Lämpötila C	Sisäilma RH%/C	Ulkoilma RH%/C
Mp1	70	87,3	26,3	33,1/24,6	91/5,8
Mp2	70	83,4	20,9	40,9/21,3	91/5,8
Mp5	70	85,6	22,1	39,6/22,1	91/5,8
Mp6	70	84,2	21,2	39,9/21,5	91/5,8

Taulukko 4. Toinen kosteusmittaus.

Kolmas mittaus tehtiin (Taulukko 5) 27.1.2022. Kolmannessa mittauksessa rakennevalusta oli kulunut 207 päivää.

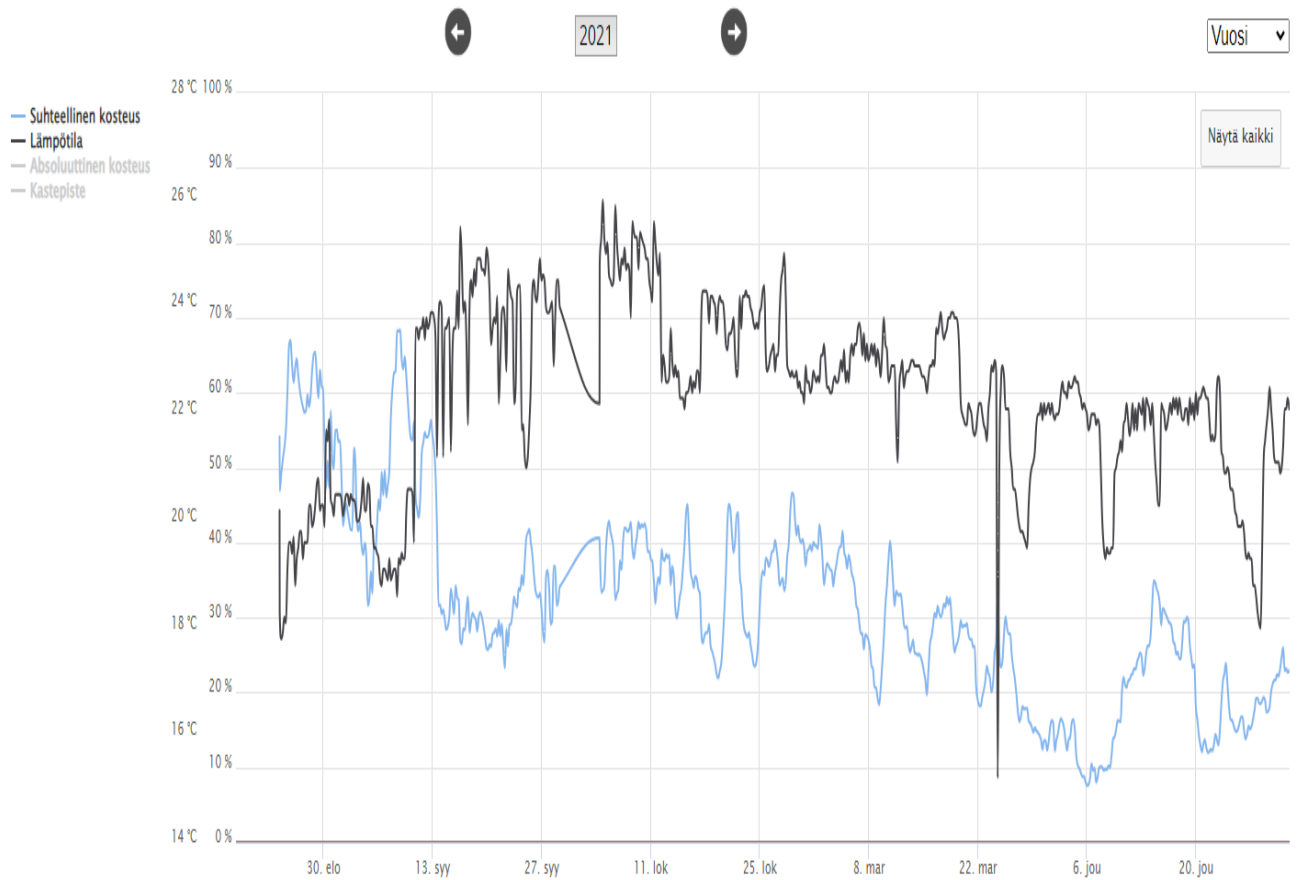
Mittaus- paikka	Porareikä syvyys mm	Kosteus RH %	Lämpötila C	Sisäilma RH%/C	Ulkoilma RH%/C
Mp1	70	83,7	16,1	41,2/16,4	94/0
Mp2	70	82,7	19,1	35,5/18,7	94/0
Mp3	70	78,1	18,7	35,6/18,6	94/0
Mp4	70	78,8	16,9	38,8/17,3	94/0

Taulukko 5. Kolmas kosteusmittaus.

Neljäs ja viimeinen mittaus tehtiin (Taulukko 6) 10.2.2022. Viimeisessä mittauksessa rakennevalusta oli kulunut 219 päivää.

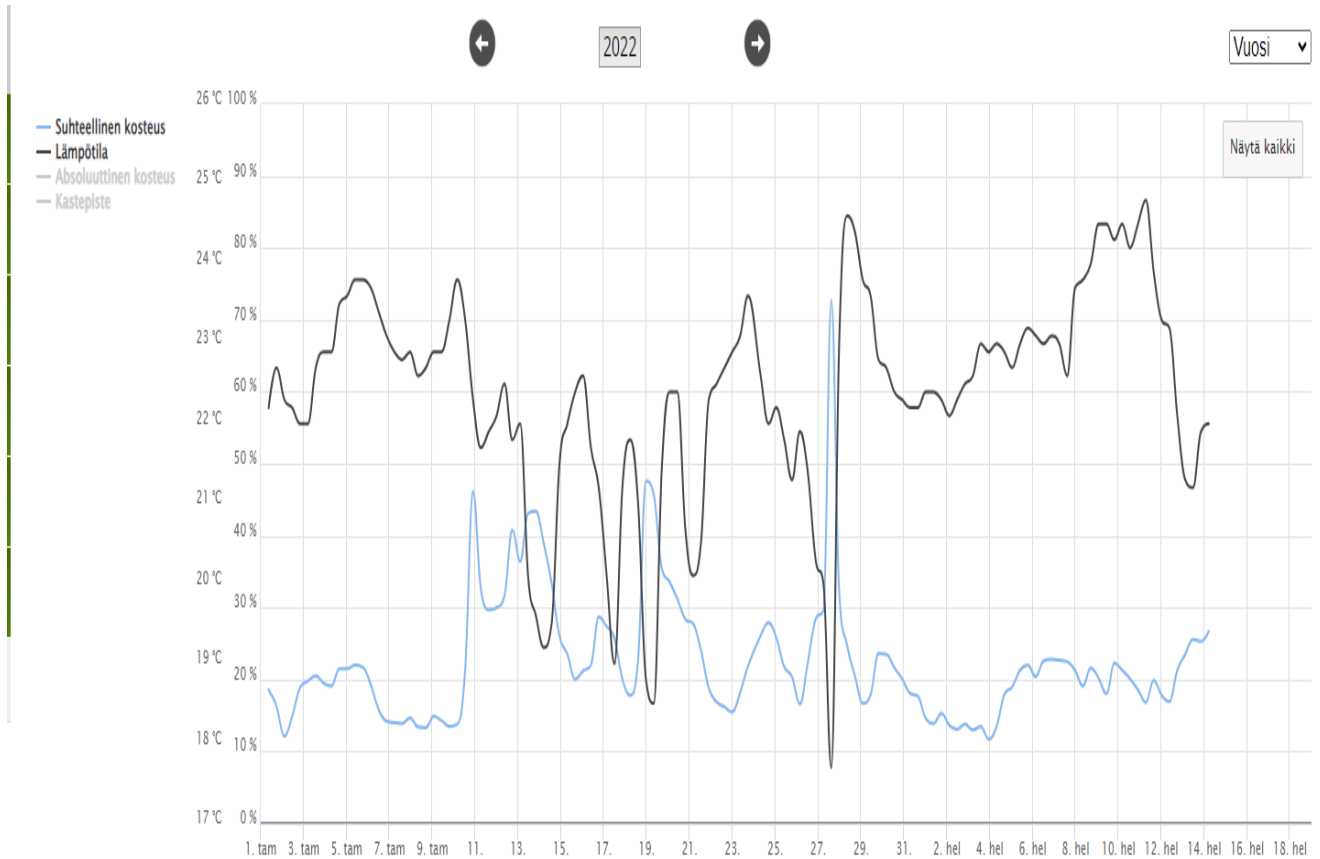
Mittauspaikka	Porareikä syvyys mm	Kosteus RH %	Lämpötila C	Sisäilma RH%/C	Ulkoilma RH%/C
Mp1	70	79,7	18,9	30,6/19,5	91/-3,15
Mp2	70	76,8	19,6	30,4/20,4	91/-3,15
Mp3	70	84,8	19,4	30,1/20,0	91/-3,15
Mp4	70	81,6	22,5	24,5/22,4	91/-3,15

Taulukko 6. Neljäs kosteusmittaus.



Kuvio 6. Olosuhdeseuranta syksy 2021.

Syksyn (Kuvio 6) olosuhdeseurannasta voidaan todeta, että lämpötila- ja kosteusvaihteluita on tapahtunut, mutta kuitenkin kosteuspitoisuus hallissa on laskenut loppua kohden.



Kuvio 7. Olosuhdeseuranta kevät 2022.

Kevään (Kuvio 7) olosuhdeseurannasta voidaan todeta, että hallin kosteuspitoisuus on pääosin pysynyt alhaisissa lukemissa, joka edesauttaa laatan kuivumisesta.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET TULOXSISTA

Tuloksien (Taulukko 7) tarkastelussa huomataan, että kuivumisaika-arvioita on haastavaa käyttää teräsbetonilaatassa, jossa on mittapisteitä enemmän kuin yksi, koska kosteusmittaustulokset eivät välttämättä ole täysin samoja.

Myös olosuhteiden vaikutus kuivumisaika-arvioon on merkittävä. Työmaalla olosuhteiden pitäminen optimaalisena on erittäin haastavaa, koska myös muita työvaiheita on käynnissä koko laatan kuivumisen ajan.

Kuitenkin kosteusmittaustuloksia verratessa kuivumisaika-arvioon, voidaan todeta, että arviot ovat osin linjassa tulosten kanssa. Tulosten arviointia vaikeuttaa se, että mittausta ei ole suoritettu kuivumisaika-arvioiden lasketun vuorokausimäärän kohdalla. Myös mittauspisteitä on alapohja kaksi tyyppin kohdalla ollut aina vähintään neljä.

Valun ikä 90vrk	Valun ikä 120vrk	Valun ikä 207vrk	Valun ikä 219vrk	Merikal- lion kui- vumis- aika-ar- vio	by2020 kuivu- misaika- arvio hjelma
Kosteus RH %	Kosteus RH %	Kosteus RH %	Kosteus RH %	175vrk	177vrk
85,9	87,3	83,7	79,7	85,0	85,0
86,3	83,4	82,7	76,8	85,0	85,0
86,9	85,6	78,1	84,8	85,0	85,0
87,6	84,2	78,8	81,6	85,0	85,0

Taulukko 7. Kosteusmittaus tulosten ja kuivumisaika-arvioiden vertailu.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia 200 millimetrin vahvuisen maanvaraisen teräsbetoni-laatan kahden eri kuivumisaika-arvion tuloksia ja vertailla niitä toteutuneisiin kosteusmittaus-tuloksiin. Kuivumisaika-arviot on laskettu eri vesi-sementtisuhteilla sekä eri kuivumisolosuhteilla.

Tutkimuksen johtopäätöksen perusteella voidaan todeta, että kuivumisolosuhteiden merkitys on merkittävä, jotta kuivumisaika-arvion perusteella voidaan aikatauluttaa työmaata. Myös erilaisten betonilaatujen kesken voi olla huomattavaakin vaihtelua betonilaatan kuivumisessa.

Opinnäytetyötä tehdessä tekijälle tuli käsitys työmaan betonilaatan kuivumisaika-arvion tekemisestä sekä sen käyttämisestä.

LÄHTEET

- Betoni.com. (2010). *Betonin ominaisuudet*. <https://betoni.com/wp-content/uploads/2020/06/Betoni-Perustietoa-arkkitehtiopiskelijalle-2010.pdf>
- Betoni.com. (i.a.-a). *Betoni materiaalina*. <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-ominaisuudet-ja-kaytto/>
- Betoni.com. (i.a.-b). *Betonin käyttö*. <https://betoni.com/tietoa-betonista/mihin-betonia-kaytetaan/>
- Betoni.com. (i.a.-c). *Betonin ominaisuudet*. <https://betoni.com/tietoa-betonista/ominaisuudet-ja-edut/>
- Betoni.com. (i.a.-d). *Kosteusmittaus*. <https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/02/betonilattiarakenteiden-kosteudenhallinta-ja-paallystaminen-2007.pdf>
- Betoni.com. (2015). *Pienrakentajan betoniopas*. <https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/11/Pienrakentajan-betoniopas-netti-1.pdf>
- Betonitieto.fi. (i.a.). *Sementin ja veden välinen reaktio*. <https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/hydrataatio.html>
- Betoniyhdistys.fi. (i.a.). *Kuivumisaika-arvio*. <https://www.betoniyhdistys.fi/julkaisut/betoniohjelmat/by-2020-betonin-kuivumisaika-arvio.html>
- Finlex.fi (2005). *Betoni normit*. <https://www.finlex.fi/data/normit/28237-B4Betoni.pdf>
- Guodi Technology. (12.1.2024). *Mikä on adsorptiokuivain?* <https://fi.guoditech.net/info/what-is-an-adsorption-dryer--91941231.html>

Kivifaktaa.fi (i.a.). *Betonin raaka-aineet*. <https://kivifaktaa.fi/kivirakentaminen-tutuksi-se-mentti/>

Komonen, J. (8.5.2024). *Betonirakenteiden kosteudenhallinta ja päälystäminen*. *Technopolis Innopoli*. https://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssit/betonilattiakurssi/juha-komonen_betonilattiatj.-ja-betonilattiapinn.tj-kurssi-8.5.2024.pdf

Kuivajaahdytys.fi. (i.a.). *Betonin kuivaus*. <https://kuivajaahdytys.fi/betonin-kuivuminen-ja-kuivaus-lyhyesti/>

Master-builders-solutions.com. (i.a.). *Betonin kiihdytin*. <https://master-builders-solutions.com/fi-fi/segmentit/valmisbetoni/kiihdyttimet-valmisbetoniin/>

Merikallio, T. (3/2002). *Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi*. *Rakennustieto*.

Nieminen, S. (7.11.2024). *Milloin betoni on tarpeeksi kuivaa? Asiantuntija kertoo, mistä rakentaja löytää tietoa*. *Rakentaja Pro*. <https://rakentaja.pro/artikkelit/milloin-betoni-on-tarpeeksi-kuivaa-asiantuntija-kertoo-mistä-rakentaja-löytää-tietoa/>

Oulu.fi. (i.a.). *Sementin valmistuksen päästöt*. <https://www.oulu.fi/fi/uutiset/sementin-valmistus-suurin-ihmisen-aiheuttamien-co2-paastojen-lahde-teollisuuden-jatteista-voidaan>

Rakennustieto. (2021). *Betonin suhteellisen kosteuden mittaus* (RT 103333).

Rakennustieto. (2014). *Betonin valmistus päästöt*. <https://rt.fi/artikkelit/2024/09/betonin-pa-rissa-tehdaan-kovaa-tyota-paastojen-vahentamiseksi/>

Renta.fi. (i.a.-a). *Adsorptiokuivain [valokuva]*. <https://www.renta.fi/tuotteet/sahkoistys-valaistus-lammitys-ja-kuivaus/kuivauskalusto/kosteudenerottimet-adsorptio/>

Renta.fi. (i.a.-b). *Kondenssikuivain [valokuva]*. <https://www.renta.fi/tuotteet/sahkoistys-valaistus-lammitys-ja-kuivaus/kuivauskalusto/kosteudenerottimet-kondenssi/>

Renta.fi. (i.a.-c). *Tasokuivain [valokuva]*. <https://www.renta.fi/tuotteet/sahkoistys-valaistus-lammitys-ja-kuivaus/kuivauskalusto/tasokuivaimet/>

Rudus.fi. (i.a). *Betonin runkoaine*. <https://www.rudus.fi/palvelut/betoniakatemia/betoni-koulujen-sisaltojen-esittely>

Semtu.fi. (i.a.-a). *Betonin huokostin*. <https://www.semtu.fi/fi/tuotteet/betonin-lisaaineet/huokostimet>

Semtu.fi. (i.a.-b). *Betonin notkistimet*. <https://www.semtu.fi/fi/tuotteet/betonin-lisaaineet/notkistimet>

Semtu.fi. (i.a.-c). *Betonin pakkaslisäaine*. <https://www.semtu.fi/fi/tuotteet/betonin-lisaaineet/pakkaslisaaaineet>

Sisailmayhdistys.fi. (i.a). *Betonin pinnoitus*. <https://sisailmayhdistys.fi/sisailmatietoa/>

Smamineral.se/fi. (i.a). *Kalkin valmistus*. <https://smamineral.se/fi/kalkki-arjessa/kalkin-valmistus/>

Suomirakentaa.fi. (i.a.). *Betonin kuivaminen*. <https://www.suomirakentaa.fi/omakotirakentaja/perustukset-ja-alapohja/betonin-kosteusmittaus-paallystamista-varten>

Swerock.fi. (i.a). *Betoni rakennusaineena*. https://swerock.fi/betoni/https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/02/betonilattiarakenteiden-kosteudenhallinta-ja-paallystaminen_20