



Jaakko Harrinvirta

By2020-ohjelman käyttö kuivumis- aika-arvioissa

Insinöörityö

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennustekniikka

Projektinhallinta

Insinöörityö

20.4.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Jaakko Harrinvirta
Otsikko:	By2020-ohjelman käyttö kuivumisaika-arvioissa
Sivumäärä:	60 sivua + 0 liitettä
Aika:	20.4.2022
Tutkinto:	Rakennustekniikan insinööri
Tutkinto-ohjelma:	Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto:	Projektinhallinta
Ohjaaja(t):	Juha Virtanen, Lehtori, Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy Tero Niemelä, Liiketoiminnan kehityspäällikkö, Skanska

Betonirakenteiden kuivuminen on aikataulullinen ja laadullinen tekijä. Kuivumista voidaan teoreettisesti ennustaa erilaisin apuvälinein jo ennen rakennusprojektin alkua. By2020-ohjelma on Betoniyhdistys Ry:n luoma kuivumisaikasimulaattori Comsol multiphysics-ohjelmiston pohjalle. Työ on tehty Skanska Talonrakennus Oy:lle.

Tässä insinööriyössä tutkittiin by2020-ohjelman mahdollista hyödyntämistä rakennusprojektin tuotantovaiheessa kuivumisaika-arvion ja aikataulutuksen tukena. Työssä tuotiin myös esille kuivumista edistäviä tekijöitä simuloinnin yhteydessä.

Insinööriyö koostuu teoriaosuudesta, kolmesta alan ammattilaisen haastattelusta ja teoreettisesta sekä käytännön esimerkin simulointikokeilusta by2020-ohjelmalla.

Työn tuloksena valmistui arvio by2020-ohjelman potentiaalisesta käytöstä työmaan apuvälineenä kuivumisaika-arvion tekemisessä erilaisista lattiavalutilanteista.

Abstract

Author: Jaakko Harrinvirta
Title: Use of the By2020 Program in the Drying Time Estimate of Concrete
Number of Pages: 60 pages + 0 appendices
Date: 20th April 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Civil Engineering
Specialisation option: Project Management
Instructor(s): Juha Virtanen, Senior Lecturer (Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy)
Tero Niemelä, Business Development Manager (Skanska Talonrakennus Oy)

The drying time of concrete structures is a factor that influences scheduling and quality in a construction project. Drying can theoretically be predicted with various tools before the project even begins. The By2020 programme is a concrete drying time simulator created by the Betoniyhdistys RY (Finland's Concrete Association) based on the Comsol multiphysics software.

In this thesis, the theoretical use of the By2020 programme was studied during the production phase of a construction project to support the drying time estimate and scheduling. The thesis also highlights factors that contribute to dehydration during the simulation.

The thesis consists of a theoretical part, three interviews with professionals, and a theoretical and practical example simulation experiment using the By2020 programme.

As a result of the thesis, an assessment of the potential use of the By2020 programme as a tool for the construction site in making a drying time estimate for different types of floor casting situations was completed.

Keywords: By2020, drying time estimate, concrete quality, concrete structure

Sisällys

1	Johdanto	7
1.1	Työn rajaus	7
1.2	Tutkimusmenetelmät	7
2	Betonin kuivumisen teoria	8
2.1	Betonirakenteen kuivuminen	8
2.2	Kosteuden sitoutumismuodot	12
2.3	Kosteudenmittausmenetelmät	14
2.3.1	Porareikämittaus	14
2.3.2	Näytepalamittaus	14
2.3.3	Jaksoittain luettava seurantamittaus	15
2.3.4	Jatkuvatoiminen seurantamittaus	15
2.3.5	Mittaussyvyydet	15
3	Betonirakenteiden kosteudenhallinta	18
3.1	Kosteudenhallinnan periaatteet	18
4	By2020-ohjelma	21
4.1	By202 -kuivumisaika-arviosimulointiohjelman esittely	21
4.2	Ennakkotietojen syöttö ohjelmaan	21
5	Asiantuntijoiden haastattelut	26
5.1	Mika Autio, Kehityspäällikkö, Asiakastuki ja betonitekniikka 4.3.2022, Microsoft Teams	26
5.2	Ari Petäjaniemi, Työmaapäällikkö Atrain-kortteli, Skanska 1.4.2022, Microsoft Teams	34
5.3	Tero Niemelä, Liiketoiminnan Kehityspäällikkö, Skanska 11.4.2022, Microsoft Teams	42
6	By2020-ohjelmalla simuloituja kuivumisaika-arvioita eri betonilaaduille ja ajankohdille	48
6.1	Kuivumisaika-arvio C30/37 toukokuu (1/2)	48
6.2	Kuivumisaika-arvio C32/40 NP toukokuu (1/2)	50
6.3	Kuivumisaika-arvio C30/37 tammikuu (2/2)	52
6.4	Kuivumisaika-arvio C32/40 NP tammikuu (2/2)	54

6.5	Simuloinnin tulokset	55
7	By2020-ohjelman tulosten vertailu referenssikohteen toteutuneisiin kuivumisaikoihin	56
7.1	By2020-ohjelmalla tehdyn simulaation ja asuinkerrostalon toteutuneiden tulosten vertailu	56
7.2	Referenssikohteen toteutuneen kuivumisen ja by2020-ohjelmalla simuloitun kuivumisen vertailun tulokset	58
8	Lopputulokset ja johtopäätökset	59
8.1	Yhteenveto	59
8.2	Tulokset & johtopäätökset	59
	Lähteet	60

Käsitteet

LUX	LUX laatubetoni, Ruduksen betonituoteperhe
NP	Nopeasti pinnoitettava
RH-%	Relative Humidity Percentage = suhteellinen kosteusprosentti
(v/s)	Vesi/sementtisuhte

1 Johdanto

Kuivumisaika-arviointi on oleellinen osa työmaan aikataulutusta ja laatutoimintaa. Kuivumisaika-arviota tehdessä apuvälineenä on mahdollista käyttää betoniyhdistyksen by2020-ohjelmaa. By2020-ohjelma simuloi kuivumisaika-arvion annettuja lähtötietoja käyttäen.

Tässä työssä tutkitaan Skanska Talonrakennus Oy:n aloitteesta kyseisen ohjelman soveltuvuutta kuivumisaika-arvion tekemisen tukena tuotantovaiheessa työmaalla. Aiemmin tämä on koettu olevan enimmäkseen tarjous-/ja suunnitteluvaiheen työkalu.

Työssä pohditaan myös oleellisia, kuivumiseen liittyviä tekijöitä ja kuinka ohjelmalla voi simuloida etukäteen, miten suunniteltu betonilaatu vaikuttaa kuivumisaikaan.

1.1 Työn rajaus

Tämä insinöörityö rajautuu käsittelemään by2020-ohjelman sovellettavuutta työkaluksi tuotannon näkökulmasta ja oleellisena osana työtä pohditaan myös betonin kuivumisen nopeuttamiseen liittyviä tekijöitä simuloinnin avulla.

1.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelminä tässä insinöörityössä käytettiin kirjallisuustutkimusta aiheesta betonin kuivumisen teoria ja betonin kuivumisen mittausmenetelmät. Työhön on myös haastateltu alan kolme ammattilaista eri osaamisalueilta. Työssä on myös simuloitu erilaisia kuivumistilanteita by2020-ohjelmaa käyttäen. Simulointien avulla on tehty vertailuja fiktiivisestä betonin kuivumistilanteesta ja oikeasta, toteutuneesta tilanteesta, johon tässä työssä viitataan referenssikohteenä.

2 Betonin kuivumisen teoria

2.1 Betonirakenteen kuivuminen

Tuoreen betonin suhteellinen kosteus valuvaiheessa on noin 100 %. Betonilaa- dusta riippuen kosteuspitoisuuden osuus paino-%:ina suhteessa betonin kokoi- naispainoon vaihtelee muutamasta prosentista jopa 15 %:iin. Betonin kovettu- essa osa betonin valmistamiseen käytetystä seosvedestä sitoutuu kemiallisesti sementin hydratoitumisreaktiossa, minkä seurauksena betonissa alkaa tapah- tua kuivumista. Mitä alhaisempi betonin vesi-sideainesuhde on, sitä suurempi on kemiallisen kuivumisen osuus kokonaiskuivumisesta. Normaaleissa raken- nebetoneilla kemiallisesti sitoutuneen veden määrä on kuitenkin yleensä niin al- hainen, että pelkästään kemiallisen kuivumisen seurauksena betonin suhteelli- nen kosteus laskee vain noin 98 %:iin. Täten rakenteen kuivuminen edellyttää yleensä myös haihtumiskuivumista. Betonin kuivuminen voidaan siis jakaa kah- teen kuivumiseen: kemialliseen- ja haihtumiskuivumiseen. Betonin ominaisuu- det vaikuttavat merkittävästi siihen, miten suuri osuus eri kuivumismuodoilla on. Alhaisen vesi-sideainesuhteen betonilla suhteellinen kosteus laskea pelkän ke- miallisen kuivumisen vaikutuksesta jopa 90 %:iin. Tällaisista betoneista käyte- tään nimitystä itsestään kuivuvat betonit.

Betonirakenteen rakennekosteuden kuivuminen on hidas prosessi. Kuivumisno- peuteen vaikuttavat erityisesti

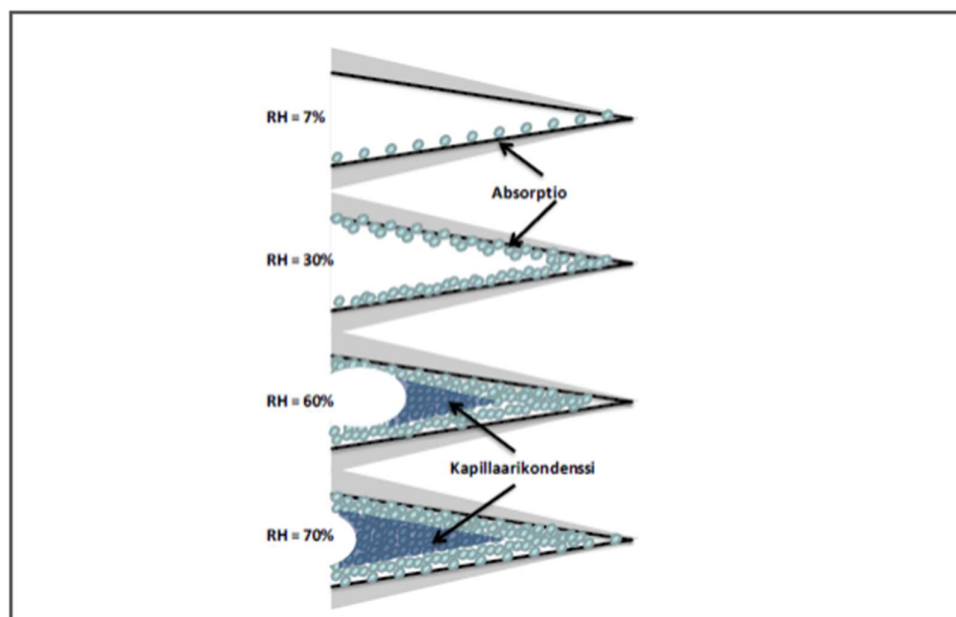
- Betonin ominaisuudet
- Jälkihoito
- Ympäröivän tilan suhteellinen kosteus ja lämpötila.
- Rakenteen paksuus ja haihtumispinta-ala
- Rakenteen lämpötila.

Haihtumiskuivuminen on kosteuden liikkumista rakenteen sisältä kohti pintaa, mistä haihtuu ympäröivään ilmaan, mikäli ilma on betonia kuivempaa. Kun rakenteen pinta on vielä märkä, haihtumista tapahtuu nopeasti. Alkuvaiheessa kosteutta siirtyy pääosin kapillaarisesti rakenteen sisäosista kohti pintaa, mistä sitä haihtuu. Pinta kuitenkin kuivuu nopeasti, minkä seurauksena kosteuden kapillaarinen siirtyminen pintaosissa estyy ja ainoaksi kosteuden siirtymismuodoksi pintaosissa ja siten koko rakenteessa jää diffuusio eli kosteuden siirtyminen vesihöyryn muodossa. Kosteuden siirtyminen diffuusiolla on kapillaariseen kosteuden siirtymiseen verrattuna erittäin hidasta. Kuivuminen hidastuu koko ajan haihtumisrintaman siirtyessä aina syvemmälle rakenteeseen. Kuivuminen jatkuu niin kauan, kun rakenteen sisällä sekä rakenteen ja ympäristön välillä on kosteuspiitoisuusero. Esimerkiksi välipohjarakenteissa voi kulua yli 10 vuotta siihen, että betonirakenteessa on koko paksuudeltaan sama suhteellinen kosteus kuin keskimäärin tilassa, missä rakenne on. [1, s. 535.]

Haihtumiskuivumisen seurauksena betonilattiarakenteeseen muodostuu kosteusjakauma, jossa suhteellinen kosteus rakenteen sisällä on korkeampi kuin rakenteen pinnassa. Syntyneen kosteusjakauman muotoon vaikuttavat kastuminen, lämpötila, suhteellinen kosteus, kuivumisjakson pituus sekä betonin ominaisuudet. Välipohjissa kosteusjakauma jakautuu yleensä niin, että suhteellinen kosteus on korkein laatan keskiosissa ja laskee keskeltä laatan pintaan tai pohjaan päin mentäessä. Jos laatan pohja on vesihöyrytiivis, kuten esimerkiksi teräspoimulevyn päälle valetuissa liittolaatoissa, tai suhteellinen kosteus laatan alapuolella on korkea, kuten esimerkiksi maanvaraisissa laatoissa, suhteellinen kosteus on korkein laatan alaosassa ja laskee ylöspäin mentäessä.

Sisätiloihin rajoittuvien betonirakenteiden kuivuminen voi jatkua useita vuosia riippuen muun muassa rakenteen paksuudesta ja sisäilman kosteudesta. Vaikka betonilattioilta edellytetään rakentamisen aikaista kuivumista, rakenteiden ei tarvitse kuivua tasapainotilaan niitä ympäröivän huonetilan kanssa, mikä tarkoittaisi keksimäärin 50...60 % RH. Tavoitteena on, että betonirakenne kuivuu niin paljon, ettei kosteudesta ole haittaa rakenteen pintaan laitettaville

muille materiaaleille. Betonin kosteudensiirto-ominaisuuksiin vaikuttavat erityisesti betonin vesi-sideainesuhde, betonin kosteus ja betonin lämpötila. Mitä alhaisempi betonin vesi-sideainesuhde on, sitä tiiviimpää betoni yleensä on ja siten myös sitä hitaammin se siirtää kosteutta. Betonin kosteuspitoisuuden nousu puolestaan nopeuttaa kosteudensiirtymistä betonissa. Rakenteen pinnan ollessa kuiva kosteus siirtyy siinä hyvin hitaasti. Lämpötilan nousu nostaa betonin huokosten ilmatilan vesihöyrynsapainetta ja siten nopeuttaa kosteuden siirtymistä.



Kuva 1. Betonin suhteellisen kosteuden (RH %) noustessa betonin huokosseinämiin sekä absorptiolla että kapillaarisesti sitoutuneen kosteuden määrä kasvaa. [1, s. 532]

Rakennepaksuuden kasvattaminen hidastaa rakenteen kuivumista merkittävästi. Mitä paksumpi rakenne on, sitä pidemmän matkan rakenteen sisällä oleva kosteus joutuu siirtymään päästäkseen haihtumiskykyiseen pintaan. Jos rakennepaksuus kaksinkertaistuu tai kuivuminen toiseen suuntaan on estetty, kuivumisaika voi olosuhteista riippuen kasvaa jopa nelinkertaiseksi. Liittolevyrakenn-

teissa ja muovin päälle valettaessa kuivumista pääsee tapahtumaan vain yhteen suuntaan. Kuorilaattarakenteissa ja ontelolaatan päälle valetuissa pintalautoissa kuivuminen alaspäin tapahtuu merkittävästi hitaammin kuin kuivuminen ylöspäin. Maanvaraisissa laatoissa rakenteen kyky kuivua alaspäin riippuu merkittävästi maaperän (täyttökerroksen) huokosilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta ja siten sen vesihöyrypitoisuudesta. Mikäli maaperän vesihöyrypitoisuus (vesihöyryn osapaine) on suurempi kuin betonirakenteen huokosilman, kosteus ei haihdu alaspäin, vaan päinvastoin rakenne voi kostua.

Valuvaiheessa betonin huokokset ovat lähes täynnä vettä, eivätkä ne siten pysty vastaanottamaan lisää kosteutta, mutta jo muutaman viikon päästä valusta tapahtuneella kastumisella voi olla merkittävä vaikutus rakenteelta vaadittavaan kuivumisaikaan. Hydratoitumisen (kovettumisen) edetessä betonin huokosrakenne tiivistyy. Useimmilla betoneilla on pitkään avoin kapillaariverkosto, joka mahdollistaa veden hyvinkin nopean imeytymisen betoniin. Mitä korkeampi betonin vesi-sideainesusuhde on, sitä pidemmän aikaa kapillaariverkosto ei sulkeudu koskaan, koska sade- ym. vedet imeytyvät betoniin pääosin kapillaarisesti, mutta poistuvat diffuusion vaikutuksesta ja kosteuden poistuminen betonista on huomattavasti hitaampaa kuin kosteuden imeytyminen. Jo muutaman päivän kastuminen voi hidastaa rakenteen kuivumista useita viikkoja. Mitä myöhemmässä vaiheessa kastuminen tapahtuu, sitä enemmän se pidentää rakenteen kuivumisaikaa. Pahimmassa tapauksessa esimerkiksi neljän viikon mittainen kastumisjakso voi kasvattaa normaalibetonista tehdyn massiivisen välipohjan kuivumisaikaa jopa parilla kymmenellä viikolla. Vesivahingossa täysin kastuneen vanhan betonin kuivumisaika voi olla moninkertainen verrattuna nuoren betonin kuivumiseen.

Betonirakenteiden kuivumisajan arvioimiseksi on laadittu erilaisia taulukoita, käyrästäjä ja ohjelmia, joiden tavoitteena on toimia apuvälineenä työmaan kosteudenhallintasuunnitelmaa laadittaessa. Kuivumisaika-arviossa määritetään betonirakenteen arvioitu suhteellinen kosteus ajan funktiona kahteen suuntaan

kuivuvissa rakenteissa 20 %:n ja yhteen kuivuvissa rakenteissa 40 %:n syvyydestä rakenteen paksuudesta. Muuttujina käytetään yleensä betonin vesi-si-deainesuhdetta (v/s), rakenteen paksuutta ja kuivumisolosuhteita sekä kastumisjakson pituutta. Koska betonirakenteen kuivumiseen vaikuttaa monta eri tekijää ja esimerkiksi olosuhteet kuivumisjakson aikana voivat muuttua merkittävästi, kuivumisaika-arvioita voidaan pitää vain suuntaa antavina ja ne toimivat lähinnä työkaluina betonilaatua valittaessa sekä työmaan aikataulua ja kuivastusta suunniteltaessa. [1, s.536–538.]

2.2 Kosteuden sitoutumismuodot

Vesi on oleellinen osa betonin valmistuksessa. Veden tehtävänä on muodostaa sementin kanssa sementtiliima, joka sitoo kiviainespartikkelit (sepelin, soran, hiekan kevytsoran jne.) toisiinsa. Betonin valmistamiseen käytetään kuitenkin huomattavasti enemmän vettä kuin mitä veden ja sementin välisessä kemiallisessa reaktiossa eli hydratoitumisreaktiossa sitoutuu. Vettä tarvitaan betonintyöstettävyyden saavuttamiseksi, mutta myös itse hydratoitumisreaktiot edellyttävät riittävää kosteuden läsnäoloa.

Vain osa betonin valmistamiseen käytetystä vedestä sitoutuu kemiallisesti hydratoitumisprosessissa. Kemiallisesti betoniin sitoutuneen veden määrä voidaan määrittää kaavalla. $W_n = 0,25 \times \alpha \times C$, jossa W_n on kemiallisesti sitoutuneen veden määrä, C on sementtimäärä ja α on sementin hydratoitumisaste. Kemiallisesti sitoutuneen kosteuden määrä (W_n) on noin 25 % hydratoituneen sementin määrästä. Esimerkki kaavan soveltamisesta:

Betonin valmistukseen käytetään 100 kg/m^3 vettä ja 125 kg/m^3 sementtiä, alkuperäisestä vesimäärästä kemiallisesti sitoutuu vain noin 25 kg/m^3 (25 %) sementin hydratoitumisasteen ollessa 0,8. Loput vedet, tässä esimerkissä 75 kg/m^3 , on sitoutuneena fysikaalisesti betonin huokosrakenteeseen. Hydratoitumisnopeus sementin suhteen on riippuvainen sementtityypistä, lämpötilasta,

vesi-sideainesuhteesta betonissa. Myös materiaalin kosteus on merkittävä tekijä.

Betonin vesi-sideainesuhde määrittää erityisesti, miten paljon alkuperäisestä vesimäärästä sitoutuu fysikaalisesti ja miten paljon kemiallisesti. Fysikaalisesti sitoutunut vesi on betonissa osin vapaana vetenä kapillaarikondenssin vaikutuksesta ja osin adsorboituneena huokosten pintaan vesimolekyylikerroksina. Lisäksi myös betonin huokosten ilmatilassa on vesihöyrymuodossa olevaa kosteutta. Tästä vesihöyrypitoisuudesta (g/m^3) on kyse, kun puhutaan RH (%) prosentista. Vesihöyrypitoisuus yhdistettynä betonin lämpötilan kanssa siis muodostavat betonin huokosilman suhteellisen kosteuden eli betonin suhteellisen kosteuden (RH %).

Osa betoniin sitoutuneesta vedestä on sitoutunut geelisysteemin huokosiin eli sementtigelisysteemin huokosiin. Tämä ns. geelivesi poistuu huokosista vasta alle 11 %:n suhteellisessa kosteudessa.

Fysikaalisesti sitoutunut vesi W_e haihtumiskykyistä vapaata vettä, jolle on mahdollista liikkua betonin huokosrakenteessa toisin kuin kemiallisesti sitoutunut vesi. Haitallista kosteutta on nimenomaan juuri tämä fysikaalisesti sitoutunut vesi, joka voi olla haitallista esimerkiksi lattiapäällysteille. Fysikaalisesti sitoutunut vesi poistuu betonista ja poistumassa oleva vesi pyrkii hygroskooppiseen tasapainotilaan sitä ympäröivän ilman kanssa. Hygroskooppisuus tarkoittaa ainetta, joka imee ilmasta kosteutta. Esimerkiksi betoni on hygroskooppinen aine. Tasapainotila saavutetaan, kun betonin huokosten suhteellinen kosteus ja sitä ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ovat täsmäävät. Betonin ollessa hygroskooppinen aine se saattaa myös imeä kosteutta ympäröivästä ilmasta. Betoni siis tilanteesta riippuen joko imee tai luovuttaa kosteutta vesihöyryn muodossa, kunnes tasapaino on saavutettu. Betonin kuivuminen tapahtuu, kun kosteus poistuu betonihuokosista suhteellisen kosteuden laskiessa.

Betonin kosteuspitoisuudesta puhuttaessa tarkoitetaan betoniin fysikaalisesti sitoutuneen veden määrää, joka on mahdollista ilmoittaa kosteuspitoisuutena

paino-%:ina kuivumispainosta tai kosteussisältönä tilavuuden suhteessa (kg/km^3). [1, s.531–532.]

2.3 Kosteudenmittausmenetelmät

Betonin kosteusmittaus on tärkeä osa työmaan laadunvarmistusmenettelyä. Betonirakenteen suhteellisen kosteuden mittaus on yleensä varsin työlästä ja useimmissa tapauksissa rakennetta rikkovaa, minkä vuoksi mittauskohtia on rajoitettu määrä. Mittausmenetelmä ja mittauspaikat määritellään etukäteen mitaussuunnitelmassa ja kirjataan mittausraporttiin (mittauspöytäkirjaan). Yleisimmät kosteusmittausmenetelmät ovat porareikämenetelmä, betonista otettava näytepala, jaksoittain luettava seurantamittaus ja jatkuvatoiminen seurantamittaus. [3, s. 4.]

2.3.1 Porareikämittaus

Porareikämittauksessa porataan tutkittavaan betoniin reikä yleensä vaakatasoon betonin paksuudesta ja tyypistä riippuvaan syvyyteen ja mitataan tehdyn reiän ilmankosteus ja lämpötila. Lämpötila ja ilmankosteus ovat suhteessa toisiinsa ja tästä syystä mittaukset suoritetaan vain tietyissä lämpötilaoloissa 20°C :n ollessa otollisin. [3, s. 5.]

2.3.2 Näytepalamittaus

Näytepalamittauksessa betonirakenteesta otetaan tietyltä syvyydeltä betonipala, joka siirretään koeputkeen, jonka ilmatilan suhteellinen kosteus mitataan sen jälkeen, kun koeputken ilmatilan ja betonipalojen välillä on saavutettu tasapainokosteus. Näytepalamittauksessa verrattuna esim. porareikämittaukseen on hyödyllistä se, että se voidaan suorittaa todella eroavissa lämpötiloissa ($-20\dots 80^\circ\text{C}$). Menetelmä on toisaalta kovin työläs, eikä se helposti taivu syvältä otettaviin mittauksiin. Näytepalamenetelmää pidetään kuitenkin tarkimpana tapana mitata betonirakenteen suhteellinen kosteus. [3, s. 10.]

2.3.3 Jaksoittain luettava seurantamittaus

Yleensä betonivaluun asennettava lukulaite on tarkoitettu seuraamaan pitkäaikaisesti betonin kosteustilaa. Näistä mittapisteistä voidaan tehdä tietyin, tasaisin määräajoin mittauksia. Lukulaitteen voi myös vaihtoehtoisesti asentaa valun jälkeen kovettuneeseen betoniin esim. poraamalla. [3, s. 13.]

2.3.4 Jatkuva toiminen seurantamittaus

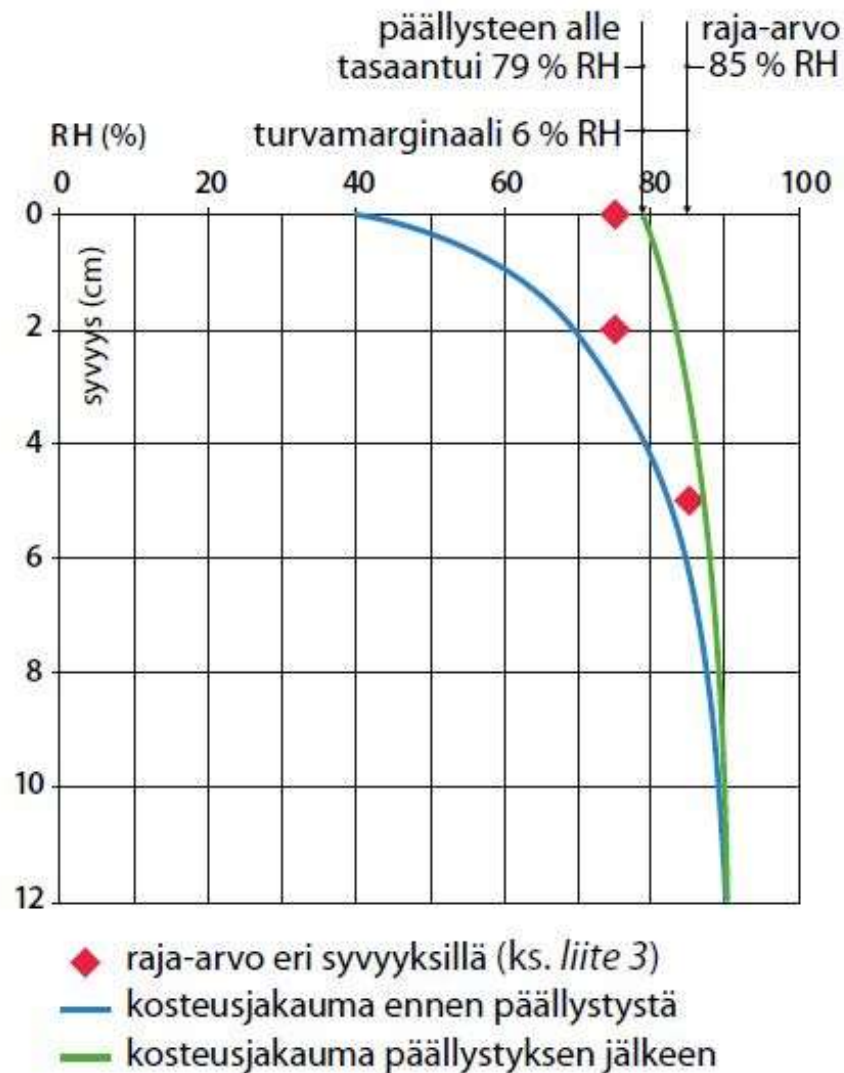
Halutessasi jatkuvaa kosteusseurantaa, esimerkiksi 15 minuutin välein, mittaus-tapana käytetään jatkuvatoimista seurantamittausta. Jatkevasta mittausdatasta on mahdollista valita sellaisia tarkasteluajankohtia, jolloin mittapisteen lämpö-olot tuottavat tarkinta betonin hetkellisen kosteustason mittaustietoa. [3, s. 14.]

2.3.5 Mittaussyvytydet

Betonin mittaussyvytyteen päällystettävyysskosteusmittausten suhteen vaikuttavat vaihtelevat rakenteen paksuudet ja rakenneratkaisut. Kahteen suuntaan kuivuvissa rakenteissa, esimerkiksi paikalla valetussa välipohjassa päällystettävyysskosteus määritellään syvyydestä, joka on 20 % koko rakenteen paksuudesta. Tätä kutsutaan arviointisyvyydeksi (A) ja pinnoitettavuuden saavuttamiseksi tulee suhteellisen kosteuden arvon laskea alle päällystysmateriaalin määrittelevän kriittisen raja-arvon. Yhteen suuntaan kuivuvissa rakenteissa, esimerkiksi maanvastaisissa, ja liittolaattarakenteissa vastaava mittaussyvyys eli arviointisyvyys A on 40 % koko rakenteen paksuudesta. Kuitenkin maksimimitaussyvytytenä voidaan pitää 7 cm: ä. Lisäksi molemmissa tapauksissa kosteus tulee mitata rakenteen pinnasta sekä 10–30 mm:n syvyydestä $0,4 \times A$, missä suhteellisen kosteuden tulee olla alhaisempi kuin arviointisyvyydellä. Rakenteen pinnasta tehtävällä kosteusmittauksella varmistetaan, että pinnalla on kapasiteettia ottaa vastaan mm. päällystemateriaalin kiinnittämiseen käytettävän liiman kosteutta. [5, s. 87.]

Vaikuttava tekijä	Porareikä	Näytepala	Jaksoittain luettava	Jatkuva seuranta
Soveltuun betonin kuivumisen seurantaan rakennusvaiheessa	x	x	x	x
Voidaan tehdä milloin vain mihin vain	x	x	(x)	(x)
Mittauspaikat valitaan ennen valua			(x)	(x)
Kuivumisen seurannan mittauskohdat voidaan valita kosteustapahtumien perusteella	x	x		
Suunnitelmamuutokset voivat aiheuttaa virhemahdollisuuksia (esimerkiksi tilamuutokset, kalusteasennukset ym. > väärä kohta, asennukset mittauksen tiellä)			x	x
Voidaan käyttää rakenteen pitkäaikaisen kosteuspitoisuuden seuraamiseen	(x)		x	x
Mittausmenetelmä on työvaltainen mittausta aloitettaessa	x	x	(x)	(x)
Mittapää voidaan kalibroida mittausten välissä; saavutettavissa pieni mittauksen mittalaite-epävarmuus	x	x	(x)	(x)
Oikean mittaussyvyyden saavuttaminen vaatii mittaajalta harjaantuneisuutta ja erityistä kokemusta		x		
Mittaustarkkuus ennen valua asennettaessa ei välttämättä toteudu haluttuna			x	x
Tavoitellusta poikkeava valupaksuus saattaa johtaa väärään mittaussyvyyteen			x	x
Mittaus on olosuhdeherkkä; lattialämmitys saattaa heikentää mittaustarkkuutta	x		x	x
Mittauksen voi helposti tehdä huonetilan lattiasta, seinästä ja katosta	x		(x)	(x)
Mittapiste saattaa vaurioitua mittausten aikana mekaanisesti	x		(x)	(x)
Ulkopuoliset tekijät, kuten sähkökatko, operaattorin muutokset tms. voivat aiheuttaa virheitä			(x)	(x)
Mittaaminen muusta kuin lattiasta yläkautta saattaa heikentää mitatustarkkuutta merkittävästi		x		

Taulukko 1. Mittausmenetelmään vaikuttavia tekijöitä. x = sopii kyseiseen mitausperiaatteeseen ja (x) = sopii joissakin tapauksissa. [3, s. 4.]



Kuva 1. Betonirakenteen kuivuessa siihen muodostuu kosteusjakauma, jossa pintaosat ovat sisäosaa kuivempia. Rakenne on päällistyskelpoinen, kun kosteus (RH) pysyy päällistettävyyden arvostelusyvyvyyden A raja-arvoa pienempänä heti päällysteen alla. Kuvan tapauksessa päällysteen alle tasaantui 79 % RH, mikä antaa tässä tapauksessa riittävän 6 RH-yksikön turvamarginaalin ennen käytettyyn esimerkin raja-arvoon 85 % RH nähden. [3, s 2.]

3 Betonirakenteiden kosteudenhallinta

3.1 Kosteudenhallinnan periaatteet

Rakentamisen kosteudenhallinta perustuu lakiin. Esimerkkinä maankäyttö- ja rakennuslain 117 c §:n mukaan rakennushankkeeseen ryhtyvän vastuulla on huolehtia, ettei rakennuksesta aiheudu terveyden vaarantumista muun muassa rakennuksen osien ja rakenteiden kosteuden vuoksi.

Rakennushankkeeseen ryhtyvän tahon on liitettävä rakennuslupahakemukseen selvitys hankkeen työnaikaisen kosteudenhallinnalle asettamat tavoitteet sekä ne toimenpiteet ja voimavarat, joilla ryhtyvä taho katsoo varmistavansa tavoitteiden saavuttamisen ja määräyksissä asetettujen vaatimusten täyttymisen rakentamisessa. Edellä mainittu voi sisältyä hankkeen alustavaan kosteudenhallintasuunnitelmaan tai se voi olla vain työmaan olosuhdehallintaa ja kuivumisen hallintaa koskeva, erillinen selvitys. Selvityksestä tulee löytyä esitettynä ainakin seuraavat asiat:

- Hankkeen organisaatio, hallinto sekä laadunvarmistus
- Sääsuojauksen suunnittelu, toteutus ja valvonta
- Kuivuminen ja kuivatus
- kuivumisen todentaminen.

Jo rakennuksen ja siihen liittyvien rakenteiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon kosteudenhallinnan tavoitteet. Suunnitteluvaiheessa (ARK, RAK, LVI & GEO) kosteudenhallintasuunnitelmaa täydennetään yleensä muun muassa alustavilla työmaan olosuhdetavoitteilla ja kastuessaan rakenteiden kuivatustavoitteilla.

Kun kosteudenhallintaan liittyvät tavoitteet asetetaan jo varhaisessa vaiheessa hanketta, Suunnittelijoille ja muille mahdollisille tahoille jää riittävästi aikaa

- Selvittää riskit, jotka liittyvät hankkeen rakennusaikaiseen kosteudenhallintaan
- Suunnitella näihin ratkaisut
- Määritellä toimenpiteet, joilla tuetaan työn aikaista olosuhdesuojausta ja edistetään rakennuksen kuivumista

Myös rakennusaikaiselle kosteudenhallinnalle asettamat tavoitteet tulee löytyä urakkatarjousasiakirjoista. Kosteudenhallinnan menetelmät ja tavoitteet tulee esittää riittävän yksityiskohtaisesti eriteltyinä ja erikseen hinnoiteltuina.

[1, s.539.]

3.2 Työmaan kosteudenhallintasuunnitelma

Työmaan kosteudenhallinta tulisi olla osa työmaan laadunhallintaa ja työn suunnittelua. Kosteudenhallinnan prioriteettina on estää tuotteiden ja materiaalien turha ja haitallinen kastuminen sekä kosteusvaurioiden syntyminen. Huolellisesti ja hyvin tehty kosteudenhallintasuunnitelma ja sen toteutus mahdollistavat, että rakenteet kuivuvat tavoitekosteustilaansa ilman aikatauluviivästyksiä. Hyvä kosteudenhallinta mahdollistaa jopa rakentamisajan lyhenemistä. Myös rakennuskustannukset pienenevät pienemmällä materiaalihukalla ja vähentyneellä rakenteiden kuivumistarpeella.

Työmaan kosteudenhallintasuunnitelmasta löytyy tiedot toimintatavoista, joilla rakennustuotteet, -aineet sekä -osat suojataan erilaisilta sään aiheuttamilta haittailmiöiltä kuten jäätymiseltä ja kastumiselta. Yleisimpiä tarvittavia tietoja ovat tieto sadesuojauksesta varastoinnin, kuljetuksen ja rakentamisen aikana sekä

rakennusaikaisesta vedenpoistosta ja otollisten kuivumisolosuhteiden luomiseksi. Lisäksi rakennusmateriaalien, -osien ja -tuotteiden kosteussuojaus on merkittävä kosteudenhallintasuunnitelmaan mukaan lukien myös millä tavoin rakenteiden kuivuminen varmistetaan.

Esimerkki työmaavaiheen kosteudenhallintasuunnitelman sisällöstä:

- yleistiedot (hankkeen kosteusvastaava & hankkeen perustiedot)
- kosteushallinnan tavoitteet (rakennuttajan laatutavoitteet)
- kosteusriskien hallinta (riskien tunnistaminen, niiden arviointi ja torjunta sekä niihin varautuminen)
- rakenteiden kuivumisaika-arviot ja niiden vertailua aikatauluun ja laskentavaiheen arvioihin
- olosuhdehallinta (suojaus, kuivatus ja lämmitys)
- mittaussuunnitelma (miten mitataan? lämpökuvaus, tiiveys- ja kosteusmittaukset)
- seuranta, valvonta, organisointi ja dokumentointi. [1, s. 540–541.]

4 By2020-ohjelma

4.1 By202 -kuivumisaika-arviosimulointiohjelman esittely

By2020 betonin kuivumisaika-arvio -ohjelma kehitettiin rakennusprojektien kosteudenhallinnan suunnittelun tueksi ohjaamaan betoni- ja päällystysmateriaalivalintoja sekä työmaan olosuohdehallintaa ja aikatauluttamista. By2020-ohjelma on valmistunut tammikuussa 2021 ja sen on kehitellyt Suomen Betoniyhdistys ry:n (BY) yhteistyössä alan asiantuntijoiden kanssa parantamaan laadunmittausta ja suunnittelua koskien betonin kosteuksia.

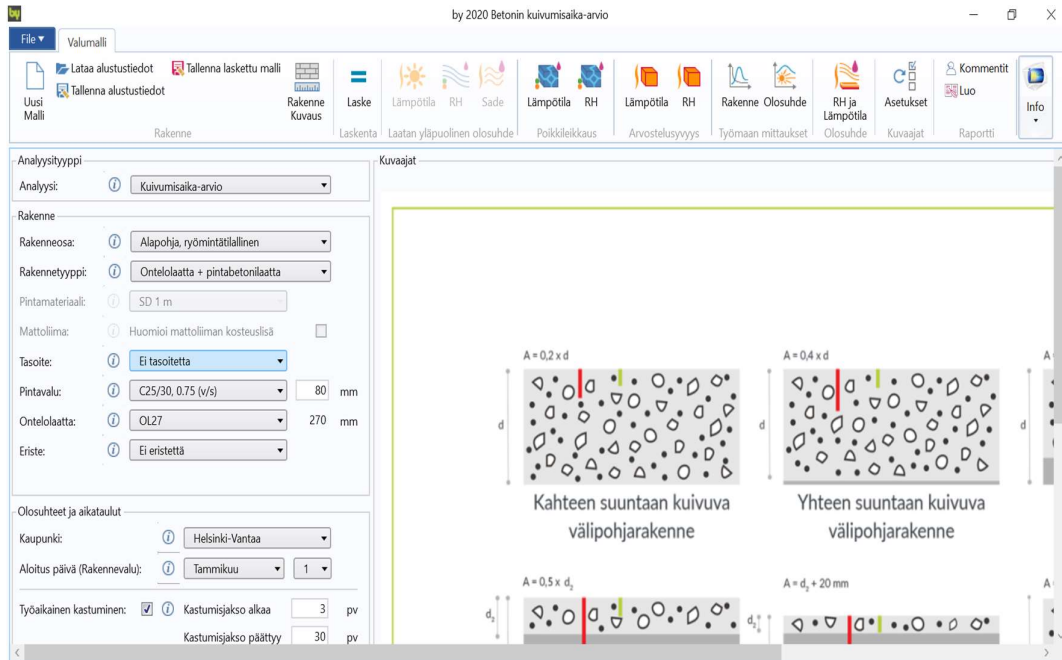
Ohjelma on tehty Comsol multiphysics -ohjelmiston pohjalle. By2020-ohjelmalla on mahdollista tehdä betonirakenteiden kuivumisaika-arvioita sekä päällystettävyysspäätöksiä perustuen ohjelman luomiin olosuohdesimulaatioihin. Betonirakenteen todellinen kuivuminen ja päällystettävyysspätös edellyttävät kuitenkin aina rakenteesta tehtäviä tarkempia kosteusmittauksia.

Itse ohjelmassa on mahdollisuus valita analyysityypiksi joko 'Kuivumisaika-arvio' tai 'Päällystämisen riskiarvio' [4].

4.2 Ennakkotietojen syöttö ohjelmaan

Kuivumisaika-arviolla voidaan tarkastella rakenteen ja kosteudenhallinnan vaikutusta betonirakenteen kuivumisaikaan halutulle tasolle. Kriteerinä ovat tarkasteluvyvyys A, jolle voidaan määrittää 'Kriittinen RH' sekä rakenteesta riippuen

pintaosan tarkastelusyvyys B, jolla kriteeri on A-10 %RH. Päälylystämisen riskiarviolla voidaan tarkastella rakenteen, kosteudenhallinnan ja päälylystysaikataulun vaikutusta päälylysteen alapuolelle tasaantuvaan suhteelliseen kosteuteen.



Kuva 2. Vakiomalli valmiina simulaattorin tietojen täydentämistä varten oletusennakkotiedoilla. [4.]

Rakenneosaksi voidaan valita joko 'Alapohja, maanvastainen', 'Alapohja, ryömintätalallinen' tai 'Välipohja'.

Maanvastainen alapohja on paikallavalurakenne, joka voi olla joko eristämätön tai eristetty. Eristevaihtoehtona ovat EPS ja XPS. Rakenteen alapuolinen reunaehto on vakioreunaehto 15 °C ja 100 %RH.

Ryömintätalalliset alapohjarakenteet ovat yleisimpiä käytössä olevia elementti- tai paikallavalurakenteita (ks. Rakennetyypit). Rakenteen alapuolinen olosuhde vaihtelee vuodenaijan mukaan välillä -5...15 °C ja 50...90 %RH.

Välipohjarakenteet ovat yleisimpiä käytössä olevia elementti tai paikallavalurakenteita (ks. Rakennetyypit). Välipohjarakenteen alapuolinen olosuhde vaihtelee asetetun aikataulun mukaisesti. Ennen kuivatusjaksoa vallitsee ulkoilman olosuhteita vastaavat lämpötila ja suhteellinen kosteus, joissa hyödynnetään Comsolin tietokannan säädädataa (Ashrae). [6.] Kuivatusjaksolla reunaehtona on käyttäjän määrittämä vakio-olosuhde. Niin sanottu käyttöjakso alkaa pintamateriaalin asennuksesta, jolloin vallitsee vakio-olosuhteet 20 °C ja 50 %RH.

Mahdollisia alapohjarakenteita ovat:

- eristämätön tai eristetty paikallavalettu betonilaatta (40–400 mm).

Mahdollisia alapohjarakenteita ja välipohjarakenteita ovat:

- ontelolaatta pintabetonilaatalla (50–200 mm).
- ontelolaatta tasoitteella (10–20 mm).
- kuorilaatta rakenne-/pintavalulla (80–400 mm / 40–200 mm).
- paikallavalu* rakenne-/pintavalulla (60–400 mm / 40–200 mm).
- kerrokselliset betonilaatat*, paikallavalu (60–400 mm / 40–200 mm).
- kololaatta jälkivalulla (80–200 mm) [4].

Tasoiheen vaikutus voidaan huomioida rakenteen kuivumisaika-arviossa sekä päällystämisen riskiarviossa. Tasoiheen on valittavana vain ns. yleistasoite paksuuksilla 10–20 mm. Käytännössä tasoihteiden kuivuminen on hyvin tuotekohtaista, mikä tulee aina ottaa huomioon tulosta tarkasteltaessa. Tasoiheen alkukosteus laskennassa on 100 %RH, mikä aiheuttaa kosteuslisän alusrakenteeseen.

Betonilaadulla on suuri vaikutus kuivumiseen. Laskennassa huomioidaan erityisesti vesi-sideainesuhteen vaikutus kuivumiseen. Rakenteesta riippuen valittavana on eri lattia- ja rakennebetoneita. Suluissa on ilmoitettu suhteellisen kosteuden arvo, johon betoni kuivuu vuodessa kemiallisesti ilman haihtumiskuivimista

- Lattiabetoni C25/30 0.75 (~ 97 %RH)
- Lattiabetoni C25/30 0.70 (~ 96 %RH)
- Lattiabetoni C30/37 0.65 (~ 95 %RH)
- Lattiabetoni C30/37 0.60 (~ 94 %RH)
- Lattiabetoni C25/30 0.55 NP (~ 93 %RH)
- Lattiabetoni C30/37 0.50 (~ 92 %RH)
- Lattiabetoni C35/45 0.45 NP (~ 91 %RH)

Ontelolaattavaihtoehdot ovat OL27, OL32 ja OL37. Alkukosteus laskennan alussa on 90 %RH.

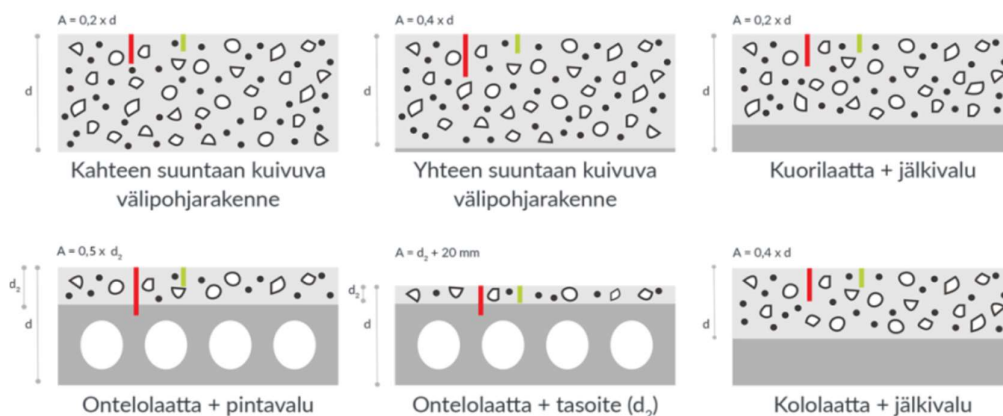
Eristeen vesihöyrynvastuksella voi olla suuri merkitys rakenteen kuivumiseen. Valittavina eristeinä on rakenteesta riippuen: Solumuovieristeet 'PIR', 'XPS' ja

'EPS'. Nämä rajoittavat merkittävästi kuivumista vaikkakin eroavat hieman toisistaan. Mineraalivilla on vesihöyryä läpäisevää eikä näin ollen hidasta kuivumista.

Tarkasteluun voidaan valita listalta haluttu paikkakunta, jonka perusteella laatan yläpuolisen sekä välipohjarakenteilla myös alapuolisen lämpötilan ja suhteellisen kosteuden reunaehdot määräytyvät ennen kuivatusjaksoa. Paikkakunnasta riippumatta lämpötilan oletetaan olevan aina yli 5 °C (betonin jäätyminen esitetty). Haluttu aloituspäivä voidaan valita todenmukaisesti.

Työnaikainen kastuminen voidaan määrittää halutulle aikavälille ennen pintamateriaalin asennusta. Kastumistilanteessa oletetaan, että rakenteen pinta on täysin kastunut koko kastumisjakson ajan. Kuivatusjakso voidaan määrittää alkavaksi aikaisintaan 7 pv aloituspäivästä. Oletuksena on aina viikon jälkihoitajakso, jolloin haihtuminen pinnan kautta on rajoitettu.

Ennen kuivatusjaksoa reunaehtona on vaihtuvat ulkoilman olosuhteet, jotka hidastavat laskentaa. Haluttaessa tehdä nopeita vertailua ilman kastumistilannetta/ulkoilman olosuhteen vaikutusta, saadaan nopeimmat vertailulaskelmat, kun asetetaan kuivatus alkamaan 7 päivää aloituspäivästä. [4.]



Kuva 3. Simulaattorissa olevia kuvaajia erilaisista mittaustilanteista. [4]

5 Asiantuntijoiden haastattelut

5.1 Mika Autio, Kehityspäällikkö, Asiakastuki ja betoniteknikka 4.3.2022, Microsoft Teams

1. Mitä tiedätte betoniyhdistyksen By2020 -kuivumisaika-arvio-ohjelmasta? Onko se teillä käytössä ja jos on, miten sitä hyödynnetään betonivalmistajalla?

Se oli meillä (Ruduksella) testissä, kun se oli kehitysvaiheessa, eli se alkuvaiheen versio on siis tuttu, mutta henkilökohtaisesti en ole testannut tämänhetkistä versiota. Se minkälaisen käsityksen me saimme oli, että siinä (By2020-ohjelma) on paljon potentiaalia, mutta siinä testausvaiheessa itse kohtasin ”bugeja” (ohjelmointivirhe) ja sitten myöskin käytettävyys oli siinä mielessä vajavainen: Pieni valikoima betonilaatuja käytössä mallinnuksiin siinä vaiheessa. En tiedä ovatko he laajentaneet sitä valikoimaa, mutta periaatteessa siinä oli ehkä enintään 10 betonilaatua valittavana siihen mallinnukseen ja betonireseptejä voi olla tuhansia erilaisia mitä voi käyttää. Nyt mallinnuksessa tapahtuu, että mallinnettava betonilaatu on ”sinne päin”. Tämä on verrattavissa siihen vanhaan Bykuivumisaika-Exceeliin, mikä oli Tarja Merikallion kuivumisaika-Exceli. Sitä olemme käyttäneet paljon enemmän, koska siinä pystyy valitsemaan vesi-sementtisuhteen. Siinä Excelissä ei taas voi näitä nopeasti päällystettäviä, nopeasti kuivuvia tai huokoisia betoneja ottamaan huomioon niin ei sekään (Excel) täydellinen ole. Puolensa kummassakin. Mutta tosiaan valmiista By2020 minulla ei ole kokemuksia, jos he ovat tehneet muutoksia siihen.

Eli Ruduksella ei ole lisenssiä By2020-ohjelmaan?

Ei ole.

2. Te ette ole nähneet tarpeelliseksi hankkia lisenssiä By2020-ohjelmaan, mutta voisiko siitä olla hyötyä Rudukselle?

Kyllä siitä voisi olla hyötyä, valujen ja aikataulujen ennakkosuunnittelu on tottakai todella tärkeätä, että ei lähetä vain aikataulutuksessa betoni- maan jollakin (betonityyppi) ja mietitään, päästäänköhän tällä haluttuun aikatauluun tai lopputulokseen. Sillä on myös todella iso merkitys – betoni- laadulla, siihen että millainen kuivuminen voidaan saavuttaa ja myöskin voidaan huomioida sitä, että meillä on tilan lämpötila ”tämä tai tämä” (Esimerkki) niin kyllä kaikki tällainen on hyvä ottaa etukäteen huomioon ennakoarvioinnissa. Kyllä meiltä myös asiakkaat kyselevät paljon näitä kuivumisaika-arvioon liittyviä asioita ja pyytävät suosittelemaan betoni- laatuja millä päästään tiettyyn aikatauluun työmaalla.

Onko jotain painotusta asiakkaiden kesken, ketkä kyselevät kuivumis- aika-arvioita eniten?

Vaihetee aika paljon. Monet asiakkaat varmasti hakevat apua näihin ky- symyksiin jostain muualta. Osaava suunnittelija pystyy huomioimaan suunnitelmia tehdessään, että esimerkiksi ”tässä rakenteessa riittää pe- rus C30/37, mutta osaa myös huomioida, jos siinä rakenteessa tarvitsee kuivumista nopeuttavaa betonilaatua eli osaa jo suunnitteluvaiheessa asettaa sen betonilaadun oikeanlaiseksi. Eli se on todella tapauskoh- taista. Jotkut hakevat apua meiltä ja jotkut osaavat itse hyvin miettiä.

Miten By2020-ohjelmaa sinun mielestäsi voisi hyödyntää jo käynnissä olevassa rakennuskohteessa?

No varmasti juuri se aikataulutuksen tarkastaminen. Mallinnetaan se va- lettava rakenne ja tarkastetaan, miten se mallinnus osuu työmaan aika- tauluun, että riittääkö tämä betoni ja nämä toimenpiteet mitä työmaalla on halutun aikataulun saavuttamiseksi.

3. Mitä kuivumiseen liittyviä ratkaisuja tarjoatte työmaille?

Kyllä meillä pääasiassa materiaalityökaluina pystytään tarjoamaan betonilaatuja sen mukaan, jotka kuivuvat nopeammin. Eli siis meillä on puhtaasti näitä nopeasti päällystettäviä betonilaatuja, joissa se kuivuminen on nopeampaa ja meillä on myös tuotekehitystä viime aikoina ollut enemmän. Uusimpana merkittävänä juttuna meillä on tällainen Holvi-LUX. Se on massiiviseen, massiivisempaan rakenteeseen sopiva, nopeasti kuivuva betonilaatu. Siinä tuotteessa on mietitty, että nämä yleisimmät nopeasti päällystettävät betonit ovat tehty todella korkealla sideainemäärällä ja todella notkeana, niissä on useasti kuivumiskutistuman kanssa ongelmia ynnä muuta tällaista. Holvi-LUXissa on pyritty luomaan karkeampi betonilaatu, joka kuitenkin kuivuisi todella hyvin ja ei kutistuisi paljoa.

Miten kuivuminen on saatu tapahtumaan silti nopeammin vaikkakin on jätetty NP-betonille kuuluvia ominaisuuksia pois?

Siinä on kyllä tiukka vesi-sementtisuhte eli se betonin kuivuminen ei välttämättä riipu pelkästään sideainemäärästä vaan se riippuu aika paljon siitä, mikä on sen vesi-sementtisuhte. Eli jos betonin lujuusreaktiot kuluttavat suurimman osan siitä vedestä betonissa niin sitä reagoimatonta, haihtumatonta vettä jää vähemmän sinne. Tämä on kuitenkin suhteellisen korkean lujuusluokan omaava betoni, mutta tässä on eri sideaineet käytössä, kuin meidän normaaleissa nopeasti päällystettävissä betoneissa. Sementtilaatu on hieman karkeampaa ja sillä on pienempi veden tarve, niin pystytään tekemään pienemmällä määrällä hyvin kovettuva ja nopeasti kuivuva betonilaatu. Siinä löytyy myös samoja elementtejä kuin perus NP-betoneissa eli siellä on myöskin, huokoistus mukana eli se on periaatteessa sään kestävä. Se on ikään kuin paras mahdollinen sideaineyhdistelmä ja reseptiikka haettu tällaiseen isompaan, massiivisempaan betonivaluun.

Onko teillä tarjota muitakin ratkaisuja tai palveluita työmaille kuin vain pelkästään erilaisia betonilaatuja?

Me suosittelemme esimerkiksi kuivumismittaukset tehtäväksi ammattilaisten kautta, Olemme tehneet esimerkiksi yhteistyötä Vahasen kanssa ja olemme lähteneet yhteistyön IGATE-nimisen yhtiön kanssa. Olemme myös tehneet itse paljon kuivumismittauksiin liittyvää työtä. Esimerkiksi antureita voidaan käyttää, mutta tämä ei ole meidän päätoimialaamme, niin se on parempi jättää se meidän yhteistyökumppaneiden tehtäväksi.

4. Miten kuivumiseen liittyvät asiat ovat kehittyneet edellisen 20 vuoden aikana?

Kyllä aika isoja asioita on tapahtunut, ensinnäkin tietoisuuden parantuminen eli asioihin kiinnitetään paljon enemmän huomiota. Tiedostetaan näitä asioita enemmän ja ollaan toivottavasti enemmän huolellisia, ettei pääse työvirheitä niin helposti tapahtumaan. Myös mittausteknologia on kehittynyt ja nyt on tullut ja alkaa markkinoilla olemaan enemmän etäluettavia kuivumisantureita, jotka valetaan sinne betonin sisään ja se jätetään sinne. Niitä voi lukea esim. älypuhelimella tai sitten on myös antureita, jotka lähettävät suoraan sitä mittaustietoa verkkopalvelimelle, mistä voi käydä lukemassa. Tämän tyyppisiä ratkaisuja. Uusia tuotteita, siis muiltakin valmistajilta, on tullut markkinoille. Meiltä tuli tämä nopeasti päällystettävä betoni (NP-betoni), LUXit ja holviLUX. LUX on siis tämä meidän tuotesarjamme, jotka ovat tällaisia laatubetoneita, jotka keskittyvät vähän pienempään kuivumiskutistumaan niin siitä tuotesarjasta on käytetty uusia sovellutuksia.

Kuivumisen suhteen varmaan voi lähiaikoina odottaa näiden vähähiilisten betoneiden käytön lisääntyvän työmaille. Olemme kokeilleet laboratoriossa vähäpäästöistä, nopeasti kuivuvaa betonilaatua, mutta sitä ei ole vielä käytännön työmaille käytetty.

5. Miten tämä betoni on käytännössä vähäpäästöistä?

Betonissa suurimman päästöt tulevat sementistä, mitä enemmän betonissa on sementtiä, sitä korkeammat sen päästöt ovat. Sementtiä pitää sitten korvata erilaisilla seosaineilla ja Suomessa se käytännössä tarkoittaa esimerkiksi masuunikuonaa. Masuunikuonan hiilidioksidipäästöt ovat huomattavasti matalammat kuin sementin. Eli tämä on käytännössä miten vähäpäästöistä betonia tehdään.

Miten päästöjen vähentäminen vaikuttaa käytännössä betonin laatuun vai vaikuttaako ollenkaan?

Vaikuttaa sillä lailla, että masuunikuonaisen betonin lujuudenkehitys on hitaampaa eli mitä suuremman määrän sementistä korvaat masuunikuonalla sitä hitaampaa se lujuuden kehitys on. Jos käyttää maltillista määrää masuunikuonaa esimerkiksi, jos haluaa pienentää betonin hiilidioksidipäästöjä hieman - esimerkiksi 20 % hiilidioksidipäästöjen laskulla sen vaikutus betonin laatuun on maltillinen ja ei välttämättä vaikuta betonin käyttöön millään tapaa.

Onko tämä käytännössä vihreää betonia vai onko vihreitä betoneita erilaisia?

Vähähiillistä betonia tai vihreää betonia voi käytännössä tehdä "miljoonalla" eri reseptillä riippuen siitä kuinka paljon betonin päästöjä halutaan pienentää. Se betoni (vihreä betoni) voi olla hyvää tai sitten se voi olla jopa vaikeaa käyttää, jos me haluamme näitä ääri ratkaisuja vihreän betonin osalta. esimerkiksi 60 % päästövähennykset vaikuttavat betonin käytettävyyteen. Haluamme kuitenkin pysyä järkevällä alueella noin 20–30 % niin sen tyyppisiä betoneita voi käyttää melkein missä vaan. Ainoaksi rajoitteeksi sanoisin talvibetonoinnin, koska talvella joudutaan käyttämään nopeasti kovettuvia betonilaatuja eli jos talvella haluaisi käyttää

vihreää betonia niin pitäisi betonin eristystä ja lämmitystä lisätä huomattavasti työmaalla.

6. Onko vihreässä betonissa varjopuolia?

Eipä oikeastaan, vihreästä saa tehtyä todella hyvää betonia. Silloin kun mietitään järkevästi missä sitä käytetään ja millä reseptillä tehdään niin siinä saa kyllä todella hyvää laatua aikaiseksi. Meillä esimerkiksi tehtiin todella isoja valuja viime kesänä Vuosaarella Hyperion-tornitalokoh-teessa. Niiden massiiviset pohjalaatat valettiin kokonaan vihreällä betonilla ja siitä tuli asiakkaalta hyvää palautetta – pitivät laadusta ja oli hyvin työstettävää, lujuudenkehitys oli erinomainen ja niin edelleen. Se on oikein tehtynä todella hyvä betonilaatu, mutta tosiaan vihreistä betoneista saa myös todella hankalasti työstettäviä riippuen siitä mikä sen sideaineyhdistelmä on (sementti-masuunikuonasuhde). Vihreässä betonissa on siis todella laaja spektri, minkä tyyppisiä laatuja voi olla. Eli ei voi sanoa suoraan, että vihreä betoni on hyvä tai vihreä betoni on paha. Reseptejä on paljon erilaisia ja jos vähähiilistä betonia haluaa käyttää niin melkein mihin tahansa kohteeseen saa tehtyä sellaisen vähähiilisen betonireseptin, jonka saa toimimaan.

7. Mikä teidän vihreän- / normaalin betonin tilaussuhde on tällä hetkellä?

Vihreää betonia tilataan vielä aika vähän, viime vuonna tuntui, että se oli meidän asiakkaiden puolelta sellaista kokeiluvaihetta, että miten se toimii erilaisissa kohteissa ja tilanteissa. Sen käyttö tulee asiakkaille vasta sitten merkittäväksi, kun siitä saa huomattavan taloushyödyn tai sen käyttö pakollistetaan viranomaisten puolelta. Jos esimerkiksi tilaaja (kaupunki/yms.) vaatii vähähiilisen betonin käyttöä tai sen rakennuksen hiilipäästöjä halutaan laskea niin siinä sen käyttötarve tulee kasvamaan huomattavasti. Jos mietitään, että normaalista betonista vähähiiliseen betoniin siirtyminen ei luo työmaalle suoraan minkäänlaista hyötyä vielä tässä tilanteessa. Vielä tähän mennessä sitä hiilitaakan vähenemistä ei ole sillä

lailla voinut katsoa hyödyksi. Eihän sille (hiilidioksidivähennykset) ole ollut hirveästi minkäänlaista käyttöä vielä tähän mennessä.

Esimerkiksi erikoistapauksissa massiivisissa rakenteissa, jos normaalilla betonilla ne valulämpötilat voivat nousta liian korkeiksi, niin vihreällä betonilla voidaan kokeilla, koska osa sementistä on korvattu masuunikuonalla. Vihreä betoni toimii tällaisessa rakenteissa erittäin hyvin.

8. Onko vähähiilinen betoni kalliimpaa kuin normaali betoni?

Se vaihtelee vähän, millä alueella ollaan – raaka-aineiden saatavuudessa on eroavaisuuksia riippuen siitä, missä päin Suomea ollaan. Esimerkiksi masuunikuonaa Suomessa tulee Raahesta niin sen kuljetuskustannukset vaihtelevat ympäri Suomea aika paljon. Jossain siellä suunnalla (Raahen) vähähiilinen betoni voi olla aika lailla samaa hintaluokkaa normaalin betonin kanssa, ja jos mennään kauemmas niin kustannukset voivat taas poiketa. Hintaeroissa puhutaan 0–10 % erosta eli valtavaa hintaeroa ei ole, mutta joissain tilanteissa voi olla hyvä varautua hintaeroon.

9. Mielipide NP-betonista?

Olen kuullut, että se kastuessaan saattaa olla ”pesusieni”, mutta en ole itse päässyt toteamaan tällaista tapausta. Olen myös kuullut, että sen kanssa tulee olla muutenkin tarkkana. Jos se kuivuminen on alkanut ja sen jälkeen se saa kosteutta ja ottaa vettä sisäänsä niin sen kuivuminen voi olla vaikeampaa. Tämä varmasti liittyy siihen, että kun siellä on sitä huokoisuutta siinä betonissa ja normaali betonin pinta on siinä suhteessa tiiviimpi, eikä kosteus pääse niin herkästi imeytymään normaaliin betoniin. Sama asia koskee kuitenkin kaikkia betoneita, että jos se betoni kovettumisen jälkeen kastuu, niin on se huomattavasti vaikeampaa kuivattaa sen jälkeen, koska osa kuivumisesta tapahtuu lujuusreaktion aikana.

Kuivuminenhan jatkuu vuosia, mutta kyllä se kemiallinen reaktio mikä sitoo kosteutta siihen kiveen, niin sen määrä alkaa laskea esimerkiksi 28 vuorokauden jälkeen huomattavasti. Siinä vaiheessa se on enää aika vähäistä.

NP-betoneista – niissä on ollut paikoittain hieman kutistumisongelmaa eli aika korkealla sideainemäärällä tehdään ja betonityöntekijät tykkäävät, jos se massa on juoksevampaa, helposti levitettävää. Se on ollut ongelmana, että niistä on tehty todella helposti käytettäviä, mutta se käytettävyyttä johtaa siihen, että se betonin laatu on kutistumismielessä hankalampi. Kutistumiset ovat paljon isommat. Sitä kautta tuo kutistumis-/halkeamisriski on suurempi. Nämä reseptit ovat aika lailla tasapainottelua, jos haluaa mahdollisimman helposti työstettävää betonia, jossa kutistuma on mahdollisimman pieni. Nämä ratkaisut vaativat todella hyvät raaka-aineet.

Mitä hintahyötysuhteeseen tulee, NP-betoni on totta kai kalliimpaa kuin normaali betonilaatu, mutta jos normaaliin betoniin verrattuna kuivumisaika voidaan saada puolitettua niin se näkyykin sitten aikataulullisissa säästöissä. Eli kalliimpi hinta saadaan tätä kautta nopeasti kuitattua.

5.2 Ari Petäjäniemi, Työmaapäällikkö Atrain-kortteli, Skanska 1.4.2022, Microsoft Teams

1. Mistä lähdetään liikkeelle, kun aletaan miettimään kuivumisaika-arviota? Mietitään jo laskentavaiheessa? Aikataulu?

Suunnitelmista, suunnitelmat tulee tuntea. Pitää tuntea mitä sinne on suunniteltu esimerkiksi, onko laminaattia lattiassa. Entä onko mattoja. Viinyyleitä. Minkälaiset rakenteet siellä ovat. Detaljeista on hyvä olla perillä ja rakennetyypit tulee tietää. Edellä mainitut asiat määrittävät, millaisia materiaaleja tullaan käyttämään. Asiaa tulee myös tarkastella isommasta kuvasta. Esimerkiksi minä vuodenaikana lähdetään toteuttamaan projektia. Onko runkovaihe talvella, kesällä, syksyllä vai keväällä? Milloin tehdään vesikatto? Milloin ikkunat asennetaan? Mieluiten mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Näistä asioista lähdetään liikkeelle.

Alustavan yleisaikataulun tekemisen yhteydessä on tiedettävä myös nämä asiat, että osataan asettaa kriittiset työvaiheet oikeisiin ajankohtiin, esimerkiksi pinnoitustyön.

Jatkokysymys: kuinka tarkasti alustavat aikataulut tehdään?

Itse kyllä laskin kosteudenhallintasuunnitelmaan By1021-laskentaohjelman avulla eri rakennetyyppien kuivumisaikoja betoneilla, joita oli suunnitelmiin annettu. Teoreettisia kuivumisaikoja.

Käyttämäsi By1021-ohjelma on edeltävä versio By2020-ohjelmalle eli olet siis jo tavallaan hyödyntänyt By2020-ohjelmaa.

Kyllä eli siis tämä edellinen versio (By1021) oli käytössä, kun tehtiin At-rain-korttelin kosteudenhallintasuunnitelmaa. Kosteudenhallintasuunnitelmasta löytyy linkki ohjelmaan.

Vanhana viisautena omakotityömailta tuttu lattian kuivumisarvio 1 cm per viikko. Kyllä tässä on menty arvioinnin kannalta hurjasti eteenpäin.

2. Mitä kaikkea kuivumiseen liittyvää on otettava huomioon jo ennen työmaan alkua?

Kaikki lähtee kohteen vaatimuksista. Kuivaketju 10, Mitä vaatimuksia ja katselmuksia siellä on. Rakennuttajan vaatimukset, esimerkiksi kuinka useasti kosteusmittauksia tehdään. Saako tiettyjä tuotteita käyttää, sieltä se lähtee. Ennen kaikkea tulee ottaa huomioon käytettävät betonit, tiedetään etukäteen, jos joitain betoneita on mahdollisuus muuttaa kuivumisen edistämiseksi. Vai onko betoneilla tiukka vaatimus, ettei ole joustovaraa. Kaikki kuivumiseen liittyvä, joka liittyy kustannuksiin, on oltava tiedossa ennen kuin hanke lähtee edes käyntiin. Kuivumiseen liittyvät asiat ylettyvät laajalle. Kosteudenhallintasuunnitelma alkaa hahmottumaan ja laadi-taankin jo pitkälle tässä vaiheessa. Käytännössä miten kaikki kuivataan vai kuivataanko ollenkaan. Joutuuko lisäämään lämpöä ja pääseekö hollit ja muut rakenteet kastumaan. Miten sääsuojaus hoidetaan? Täysin huputettu talohan olisi optimi-tilanne, mutta ei siihen monesti lähdetä. Ratkaisut ovat usein jostain siltä väliltä.

Aina jos jokin epäilyttää omassa arvioinnissa, kannattaa kysyä asiantuntijalta varmistusta. Aina kannattaa hyödyntää myös muiden ihmisten osaamista. Asiantuntijoiden käyttö on aina suotavaa ja kannattavaa.

3. Mitä menetelmiä olet itse käyttänyt kuivumisen keston arviointiin aikatauluihin? Tarkentava arviointi työn aikana?

Jos kosteudenhallintasuunnitelma tarjousvaiheessa on tehty vajavaisilla tiedoilla, huolimattomasti tai olosuhteet muuttuvat merkittävästi on syytä tarkentaa arviointia. Esimerkiksi jos hanke lähtee puoli vuotta myöhässä käyntiin, niin on syytä katsoa kosteudenhallintasuunnitelma uusiksi. Työmaan aikana tulee käydä suunnitelma läpi ja katsoa onko se ajan tasalla. Jos ei ole niin sitä sitten päivitetään. Materiaalivaihdokset muuttavat suunnitelmaa merkittävästi, koska useasti eri materiaaleilla on eri vaatimukset koskien kosteudenhallintaa. Myös tilaajan, rakennuttajan ja kosteuskoordinaattorin mahdolliset näkemykset aikataulusta ja toteutuksesta tulee ottaa huomioon tarkentavaa aikataulua mietittäessä, ne voivat muuten yllättää.

4. Onko By2020 -ohjelma tuttu? Voisiko mielestäsi siitä olla hyötyä työmaalla työn aikaisessa kuivumisarvioinnissa?

Sitä on esitetty tähän tarkoitukseen ja ohjelma on myös noussut esille erilaisissa koulutuksissa. Myös uudesta kosteudenhallintasuunnitelmasta löytyy linkki siihen. En oikein osaa sanoa, millä muulla tavoin kuivumisaikaa lähtisi tarkemmin arvioimaan, koska kuivumisaika on kuitenkin arvioitava. Betonityönjohtajalle tämä työkalu mahdollistaa myös valikoinnin betonilaatujen välillä suhteutettuna kuivumisaikaan. Eli tietyllä betonityypillä päästään tiettyyn kuivumisaikaan, kun taas toisella laadulla toiseen aikaan. Työmaalla vertailuun ohjelma on hyvä. Jos tulee tiukka tilanne, on mahdollista suunnitella betonivalu jollain toisella betonilaadulla. Kyllä siitä työmaalle on hyötyä.

5. Millaisilla erilaisilla menetelmillä päästään nykyään niin tiukkiin kuivumis-aikatauluihin? Mitkä ovat parhaaksi kokemasi menetelmät?

Yksi parhaimmista kokemistani menetelmistä oli, kun kokeilimme valaa kaksi samanlaista holvia kahdella eri betonilaadulla ihan muutaman päivän sisällä. Toinen valettiin tavallisella betonilla ja toinen erikoisbetonilla, joka maksoi n. 60 % enemmän per kuutiometri lukuun ottamatta lämmityslisiä tai kuljetuksia. Erikoisbetoni kuivui alle neljässä viikossa alle 90 % RH. Eli olisi voitu lähteä pinnoittamaan ilman minkäänlaisia erillisiä lämmityksiä. Toinen holvi oli neljän viikon jälkeen 94–95 % ja molemmat olivat siis valettu huhti-toukokuussa. Vesi-sementtisuhde ja betonilaatu on kyllä tärkeää varsinkin paikallavaluholveissa. Myös työnaikaisen veden ohjaus on tärkeää muistaa, ettei kastella turhaan holvia tai muita rakenteita. Vesisementtisuhde, lämpöä ja betonilaatu. Talvella on helpompi kuivattaa kuin kesällä. Lämmöt korkealle ja tuuletus.

Betonilaatukokeilusta on tehty Skanskan sisäinen 5 miksi-raportti. Raportti liitteenä. Betoni oli Ruduksen tarjoamaa LUX-betonia. Betoni oli hintava, mutta toisaalta pinnoitus aikaistui huomattavasti. Sitä en osaa tässä tilanteessa sanoa, kumpi olisi ollut kalliimpi: LUX-betoni ja

nopeampi pinnoitus vai tavallinen betoni ja aikataulun mukainen pinnoitus. Ainoa miinus hinnan lisäksi LUX-betonissa oli sen huomattavasti huonompi työstettävyyys tämän sitkeyden takia. Eli betonivalun jälki on hieman huonompaa.

6. Tulisiko kuivattamismenetelmät esimerkiksi standardisoida yritykseen, jotta ne olisivat kaikkien käytössä ja tiedossa?

Meillä on standardisoitu kosteudenhallintasuunnitelma ja sieltä löytyy juuri tämä By2020-ohjelmalla tehty laskelma. Teoriataso on tavallaan jo siis standardisoitu. Olemme myös kokeilleet jakaa tietoa yrityksen sisällä esimerkiksi hyväksi koetuista betonilaaduista, joilla päästään haluttuihin aikoihin. Tällä hetkellä se on aika lailla työmaakohtaista, miten he hoitavat kuivumiseen liittyvät kysymykset: Otetaanko esimerkiksi Skanskan rakennuskoneelta olosuhdehallintatyökalu, joka on tällä hetkellä kehitteillä ja voi myös olla, että se tulee jatkossa vaatimuksena. Kuivaketju 10:n kautta tulee muistaakseni, että olosuhteita pitää valvoa, jolloin tämä olosuhdetyökalu on siihen tarkoitukseen juuri sopiva. Tämän työkalun on myös tarkoitus helpottaa työnjohtajien työtä. Teoria on standardisoitu ja käytännössä on pientä heittoa. Se antaa vapaammat kädet työmaalle valita betoneita ja kuivattamismenetelmä.

7. Kuinka paljon betonia valittaessa työmaalla mietitään, miten betonityypin valinta tulee vaikuttamaan sen kuivumiseen?

Tämä on aika lailla vastaavasta työnjohtajasta kiinni. Runkotyönjohtaja miettii vähemmän betonin kuivumista ja keskittyy enemmän siihen, miten betoni tulee kovettumaan. Toki kaatolattioissa joutuu hieman ottamaan asian huomioon. Toisaalta mitä nopeammin kovettuvaa betonia käytetään, sitä vähemmän niissä yleensä on vettä seoksessa, eli puolivahingossa saattaa myös vaikuttaa kuivumisaikaan. Esimerkiksi jos vastaava työnjohtaja tulee kesken hankkeen, eikä ole näin ollut laatimassa yleisaikataulua, hänen tulee sisäistää ja nähdä onnistuuko pinnoittaminen ja holvien valaminen normaalein menetelmin vai vaatiiko se joitain erikoisjärjestelyjä.

8. Mitä kokemuksia sinulla on NP-betonista? (Nopeasti päällystettävä betoni)

Olen kyllä mielestäni käyttänyt, mutta siitä on jo hetki aikaa. Kokemukseni mukaan NP-betoni kastuu herkästi uudelleen, joka saattaa vaikuttaa negatiivisesti kuivumisaikoihin. Jos olosuhteet ovat suotuisat niin sillä pääsee kyllä nopeisiin kuivumisaikoihin, mutta jos se kastuu, niin se on sitten huonompi tilanne.

9. Miten kuivuminen hoidettiin viimeisimmässä kohteessasi?

Aiemmin mainittu kokeilu kahden holvin välillä koski vain yhtä kerrosta ja loppu työmaa oli aikataulutettu normaaleilla betoneilla, eikä ollut vaadetta siitä, että olisi pitänyt käyttää LUXia tai jotakin muuta erikoisbetonia. Tuotteen hinnan takia kokeilu jäi vain yhteen holviin siitä huolimatta, että se vaikutti positiivisesti aikatauluun. Myös Rapidia on käytetty, mutta enemmän talvibetonoinnissa lähinnä sen kovettumisen takia. NP-betonia ei käytetty edellisessä kohteessa. Viimeisimmäksi tehdyssä rapussa oli kuivumisen kanssa ongelmia, koska alapuolella oli isoja liiketiloja ja paljon kulkua ulko-ovista. Ensimmäisen kerroksen lämpötila näin pääsi laskemaan ja kakkoskerroksen holvin lämpötila laski myös alhaalta päin. Jouduimme siis pinnoituksen osalta hyppäämään kakkoskerroksen yli. Aloitimme siis kylpyhuoneiden lattiapinnoituksen kerrosta ylempää, kolmannesta kerroksesta. Ei valvottu tai huomioitu, että ykköskerroksessa olisi pitänyt säilyttää ideaali lämpöolosuhde tai jopa lisätä lämmitystä.

10. Millaista tukea toivoisit työmaan saavan kuivumiseen liittyen?

Tukea mielestäni kyllä saa. Laskentavaiheessakin on mahdollisuus saada asiantuntijan näkemys kuivumisaikoihin. Myös Skanska Rakenuskoneelta saa kuivumispaketteja ja menetelmiä, mutta kaikki tämä tietenkin taas maksaa Täytyy huomioida kustannukset eli ei voi ottaa kuivumispaketteja, kalliita betoneja tai lämmityslaitteita yhtä aikaa. ”Kultainen keskitie” on asian tiimoilta löydettävä. Kyllä tukea saa, kunhan osaa vain kysyä sitä. Kokemattomampi vastaava työnjohtaja tai työnjohtaja ei välttämättä kuitenkaan tiedä kaikesta avusta, jota on saatavilla. Koen, että meillä on yrityksen sisäisesti kuivumisasiat aika hyvällä tolalla. Tärkeää on tietää millaiset olosuhteet kuivuminen vaatii ja myös miten sellaiset olosuhteet luodaan.

11. Mitkä ovat yleisimmät jälkihoitomenetelmät, mitä työmailla käytetään ja lopetetaanko ne tarpeeksi ajoissa mielestäsi (esimerkiksi 70 % nim. lujuudesta), jotta kuivuminen voi alkaa normaalisti?

Jälkihoitomenetelmistä varmasti sementtiliiman poisto, sehän on aika yleinen. Myös betonin kovetuskaapeleita on käytetty. Tarpeeksi korkean lämpötilan nostaminen betonin kovettumisen tueksi.

Kuivumisen auttamiseksi voi huoneistoihin ottaa kosteudenpoistajat, jotka poistavat ilmasta kosteutta. Nämä kosteudenpoistajat otetaan kuitenkin käyttöön kokemukseni mukaan aina vähän liian myöhään. Ei kas-tella betonin pintaa liian pitkään ja lämmöt mahdollisimman nopeasti. Toki pitää myös muistaa, että holvi ei saa olla liian lämmin, kun aletaan tekemään kosteusmittauksia.

Oleellisin kuivumisen kannalta on, että luodaan olosuhteet mahdollisimman nopeasti otollisiksi, eli ikkunat paikalleen, lämmöt päälle ja ilmanvaihto.

12. Tuntuuko sinusta, että vaaditut aikataulut ja siihen käytössä olevat resurssit kohtaavat betonin kuivumiseen liittyen työmailla?

Siinä tulee katsoa itseänsä peiliin vastaavana työnjohtaja, jos nämä kaksi asiaa eivät kohtaakaan. Sinä olet itse määritellyt suunnitelman eli aikataulun ja siihen käytettävät resurssit.

Kyllä niiden tulisi kuitenkin täsmätä, jos laskenta- ja tarjousvaiheessa nämä asiat on mietitty eli miten saadaan kuivaksi, millä betonilla vaeletaan, mikä meidän aikataulumme on ja millä pinnoitetaan. Myös rakennetyypit tulee ottaa huomioon. Jos kyseessä on hyvin suunniteltu ja loppuun mietitty hanke niin kyllä kohtaavat.

Muuta aiheeseen liittyvää:

Rakennuttajasta riippuen vaatimukset voivat erota paljonkin. Vaatimukset voivat olla jopa sellaisia, joihin ei realistisesti välttämättä pääse tavallisilla ja totutuilla keinoilla. Nämä monesti kuitenkin rakennuttajan valvojan kanssa neuvotellaan realistisissa mitoissa toteutettaviksi.

Atrain-korttelissa pääsuunnittelija on ottanut kuivumisen ja kastumisen huomioon jo piirustuksissa, jottei tulisi rakenteita, jotka altistuisivat turhalle kastumiselle rakentamisen aikana. Suunnitelmillakin on oma vaikutuksensa kuivumisen onnistumiseen. Rakennedetaljitahan eivät saisi olla sellaisia, joita ei kuivana saa toteutettua taivasalla. Juuri tämän kohteen pääsuunnittelijan kanssa on käyty keskustelua ja hän suunnittelee jatkossa ylimpään holviin kaadot, joilla saa ohjattua sadevedet tilapäisiin kaivoihin katolla.

5.3 Tero Niemelä, Liiketoiminnan Kehityspäällikkö, Skanska 11.4.2022, Microsoft Teams

1. Mikä on oma historiasi kuivumisen parissa?

Olen takuutöistä aloittanut urani. Olin laatupäällikkönä, joten kaikki laatuasiat tulivat itselleni vastaan. Kun takuutöitä tuli toisensa perään, aloimme harjoitella laadunmittaamista ja tätä kautta päässyt jo varsin varhaisessa vaiheessa tutustumaan alan ihmisiin, ketkä tekevät alan tutkimus – ja selvitystyötä. Olimme todella avoimia puolin ja toisin. Olen ollut siis paikalla, kun näitä mittausmenetelmiä alettiin tarkemmin tutkia. Teimme Skanskalle myös ohjeen 2005–2006 joka toimi ensimmäisenä kosteusmittausohjeena, joka on itseasiassa tänäkin päivänä ihan pätevä.

2. Millä tolalla on suomen rakentamisen kosteudenhallinta?

15 vuotta sitten oli kolme tapaa mitata lattian kosteutta. Silloin suositeltiin muovipalamenetelmän käyttöä eli teipattiin yöksi neliömetrin kokoinen muovipala tiiviisti ilmastointiteipillä lattiaan kiinni. Jos muovipala on alapuolelta aamulla märkä, ei pinnoitusta voitu vielä aloittaa. Tällainen käytännönkoe, eikä se kerro mikä suhteellinen kosteus on, mutta se kertoo, että rakenteessa on vapaata vettä eli kondenssivettä. Palamittaus oli kuitenkin herkkä eli jos joku avasi oven aamulla, niin mittaus oli jo pilalla tai muovin alla saattoi olla todella korkea suhteellinen kosteus, mutta vesi ei vain kondensoitunut muovin alapintaan.

Sitten oli vielä vanhempi, varmaan 1980-luvun puolivälistä oleva menetelmä – karbidimittaus.

Karbidimittaus ei suoraan mittaa suhteellista kosteutta. Karbidimittari ilmoittaa betoninäytteen kosteuden ja kaliumkarbidijauheen reaktiotuot-

teena syntyneen kaasun paineen, joka taulukon avulla muutetaan betonin painoprosenttikosteudeksi ja siitä edelleen toisen taulukon kautta suhteelliseksi kosteudeksi. [3, s.81.]

Sitten oli kolmas tapa, jota käytettiin, oli Vaisalan punainen tulppa. Tulppa oli koko pituusmatkaltaan sivusta auki ja siitä mitattiin suhteellinen kosteus. Tämä menetelmä antoi liian kuivia arvoja, koska se tosiaan oli sivusta auki. Tulppa antoi myös kosteuden koko syvyydeltä, eikä täten voinut antaa tarkkaa arviota.

Sitten 2007 tuli ensimmäisen kerran mittaukset, jotka otettiin suojaputkesta oikealta syvyydeltä.

Esimerkiksi muovipalamenetelmään verrattuna karbidimittaus oli aika tarkka. Mutta se vaatikin jo tarkkuutta taulukosta toiseen muunneltaessa, että saatiin lopuksi oikea RH. Ongelmana tässäkin oli, että miltä syvyydeltä ne muruset oli otettu, millä tavalla ja mistä?

Näitä menetelmiä olen joutunut puolustamaan silloin ihan oikeudessa asti, että olemmeko tehneet törkeän huolimattomasti töitä. Kaikki Suomen suurimmat rakennusliikkeet toimivat samalla tavalla kosteudenmittauksen suhteen, joten siihen aikaan ei tehty mitään väärin lain silmissä.

Nämä mittausmenetelmät ovat olleet sen ajan hyvää rakennustapaa noudattavia toimenpiteitä, mutta niin ne ajat muuttuvat. Nykyään nämä menetelmät eivät tietenkään enää ole käytössä, jos hyvää rakennustapaa noudatetaan. Jos tänä päivänä tehtäisiin näin, niin se olisi törkeää huolimattomuutta, mutta ei se silloin ollut. Hyvä rakennustapa elää koko ajan teknisen tutkimuksen mukana. Suomen kosteudenmittaukseen liittyvä kehitys pysähtyi kahdeksikymmeneksi (20) vuodeksi 1990-luvun alusta 2000-luvun loppupuolelle, kunnes taas Suomessa herättiin näihin kosteusasioihin.

3. Millä menetelmillä päästään nykyään niin tiukkoihin kuivumisaikoihin?

Ensimmäisenä on tietysti alhainen vesi/sementtisuhte, siitä on hyvä lähteä. Toisena tulee lämpötila. Tietysti betonivalun tulee olla myös sääsuojassa sateelta. Siinä se oikeastaan on, se ei ole vuosikymmenten saattossa muuttunut mihinkään. Toisaalta pieni vesisuhte sementtiin vaikuttaa betonin alkalisuuteen eli betoni on emäksisempää ja se on huono mattojen kannalta (jos pinnoitteena käytetään mattoa).

Aikataulun tulee olla realistinen ja realismi tulee kuivumisaika-arviosta. Ennen kuin aletaan rakentamaan, tulee miettiä kustannuksia. Kustannuksia ei voida tietää tarkkaan, ennen kuin kuivumisarvio on tehty, koska ei tiedetä, kuinka paljon joudutaan esimerkiksi lämmittämään. Jos haluaa tiukan aikataulun, siihen pitää käyttää rahaa. Ikkunat ajoissa paikalleen ja lämmitys aloitetaan siitä hetkestä lähtien. Kerrokset eivät saa päästää vettä lävitse, ettei kerrokset altistu enää uudelle vedelle. Betoni on vain noin viikon verran sellaisessa tilassa, että se ei ota vastaan itseensä ulkopuolista vettä valun jälkeen (esimerkkinä paikallavaluholvi). Jos halutaan nopeata toimintaa kuivumisen suhteen, niin laitetaan alin kerros umpeen ja aletaan sitä kautta lämmittämään ylempiä kerroksia. Nämä asiat esimerkiksi tulee olla aikataulussa valmiiksi mietittynä ja myös huolehtia toteutuksesta.

Arvioitaessa kuivumisaikaa tulee ottaa huomioon kerrosten lämpötilat ja milloin lämpö on saatu kerrokseen. Tämä lisätään laskelmaan ja kun tiedetään, millainen lämpötila kerroksissa tulee arvioiden mukaan olemaan. Esimerkiksi jos käytetään c30/37 betonia, jossa normaalisti vesi/sementtisuhte on 0,66–0,67 luokkaa, lähdetään arvioimaan kuivumisaikaa ja jos se ei tunnu riittävän, lasketaan vesi/sementtisuhdetta 0,6 tai 0,55 luokkaan. Tätä alemmas ei runkobetoneissa kannata hirveästi mennä, koska

betonin työstettävyyys laskee huomattavasti siitä. Sitten kun alkaa näyttämään betonilaatu aikataulun kannalta hyvältä, merkitään mittaus- ja pinnoitushetket aikatauluun.

Runko kannattaa nostaa ylös niin nopeasti kuin mahdollista, jotta saa nosturin pois ja ettei välipohjat altistu sääolosuhteille. Tämä myös vaikuttaa siihen, kuinka nopeasti saa lämmöt päälle kerroksiin.

Yleisesti, jos kosteuden kanssa on tuotannossa ongelmaa, se ongelmat näkyvät yleensä ensimmäisen kahden vuoden aikana, sitten se alkaa jo kuivumaan pois. Jos kuitenkin suunnitelmissa on ongelmia kosteudenhallinnan suhteen, ne saattavat näkyä vasta kymmenen vuoden päästä.

4. Miten itse koet By2020-ohjelman käytön työmailla työn aikana?

By2020 on kehittyneempi ohjelma kuin 1021. 1021-ohjelma toimi kyllä, mutta se vaati paljon ennakkotietoa. By2020-ohjelmalla pärjää paljon vähemmällä lähtö-/ennakkotiedoilla kunhan laittaa ne oikein. Siinä mielessä By2020 on parempi myös, koska ohjelma pakottaa laittamaan oikeat ja kriittiset lähtötiedot. Kyllä tällä uudellakin voi laskea väärin, mutta se on hankalampaa. By2020-ohjelmalla voi 1021-ohjelmaan verrattuna arvioidaan nimenomaan laatan pinnan suhteellista kosteutta. Hyvä ohjelma ja ajaa tarkoituksensa.

5. Tulisiko kuivattamismenetelmiä standardisoida yrityksen sisällä?

Työmaakäytäntöjä tulisi kyllä standardisoida. Meillä on ollut vanhempia ohjeistuksia asiaan liittyen, mutta uutta ohjeistusta ei taida tällä hetkellä olla. Joitain menettelyjä meillä on Skanskalla esimerkiksi Kuivaketju10 on käytössä, mutta se on enemmänkin tavoite kuin toimenpide. Menetelmäkuvausta ei siis tällä hetkellä ole.

Kun tehdään standardituotteita, niin kuin nämä kerrostalot alkavat olemaan, niin miksi emme voisi standardisoida samalla kosteudenhallintakin. Teollisen tuotannon idea on toistuvuus, joka voidaan standardisoida.

Työmaan kosteudenhallintaa meidän pitäisi myös standardisoida. Tänä päivänä rakentamisessa on jo enemmän toistuvuutta, kuin esimerkiksi aikaisemmin. Jos meillä on vakiokappaleita ja pitäisi olla vakio läpimenoaika niin miksi ei myös vakio kosteudenhallinta. Toki on eri rakennuspaikkoja ja on selvää, että on paljon muuttujia olosuhteiden kannalta.

6. Miten Skanskalla voitaisiin parantaa kuivumiseen liittyviä ongelmia?

No varmasti ainakin ohjeistus ja standardisointi. Myös toteutuksessa ongelmien minimointi esimerkiksi, lämmöt päälle mahdollisimman nopeasti. Myös valmistuneiden kohteiden kohdalta voitaisiin peilata taakse päin ja esimerkiksi simuloida by2020-ohjelmalla samanlainen tilanne ja katsoa, miten hyvin todellisuus ja simuloitu tilanne kohtaavat. Myös olosuhdehallinnan parantaminen olisi yksi tapa.

Kun työmaalle tulee uusi työntekijä ja hänet perehdytetään työmaan turvallisuusasioihin, Kuivaketju10 vaatii, että perehdytettäisiin myös kosteudenhallintaan liittyvien asioiden osalta kaikille työntekijöille ja urakoitsijoille.

Kun tehdään kosteudenhallintasuunnitelmaa, niin silloin tulisi informoida kaikkia työmaalla olevia tehdyn suunnitelman yhteisistä pelisäännöistä, joilla päästään suunniteltuihin kuivumisaikoihin, nostoina keskeisimmät asiat. Viikkopalaverit ovat myös hyvä tapa informoida työntekijöitä viikokotai työvaihekohtaisesti tärkeimmistä seikoista. Myös aluesuunnitelmaan voi merkata yleisen vesipisteen.

7. Millaista tukea konttorilta on antaa työmaille betonirakenteiden kuivumiseen liittyen?

Alueellisesti on pidetty kosteudenhallintakoulutuksia säännöllisesti. Näissä on käyty läpi kosteudenhallinnan periaatteet ja ihan käytäntöäkin. Työntekijöille ja työnjohdolle oli omat kurssinsa. Kun pidetään kosteudenhallinta tärkeänä osana rakentamista, kuten vaikka työturvallisuutta niin asiat edistyvät.

Mikään laatuasia ei ole kuitenkaan toistaan tärkeämpi vaan kaikki laadunhallintaan liittyvät asiat ovat tärkeitä. Kuitenkin kosteudenhallinta on ollut megatrendinä laadunhallinnassa jo hetken ja korostuu tämän takia yhä useammin. Kun on puhuttu rakentamisen laadun olevan alhaalla, on puhuttu kosteudesta.

6 By2020-ohjelmalla simuloituja kuivumisaika-arvioita eri betonilaaduille ja ajankohdille

6.1 Kuivumisaika-arvio C30/37 toukokuu (1/2)

Simuloitavana tilanteena on kuvitteellinen kuivumisaika-arvio. Ensimmäinen simulointi on kaksiosainen ja tarkastelussa on betonilaadun vaihtamisen vaikutus RH-% laskemiseen suhteessa aikaan. Ensimmäinen simulointi on määritelty alkaneeksi 1. toukokuuta simuloiden kesäisiä kuivumisolosuhteita. Käytetty betoni on C30/37 0,65 (v/s), tasoitteen asennus on määritelty 150 päivää betonivalusta ja kyseessä on välipohjan paikallavalu.

by 2020 Betonin kuivumisaika-arvio



Analyysi

Analyysityyppi: Kuivumisaika-arvio

Rakenne

Rakennetyyppi: Välipohja

Rakennekerrokset: Paikallavalu

Pintamateriaali:

Mattoliiman kosteusliä:

Tasoite: Yleistasoite, sementtipohjainen 3.0 mm

Pintavalu: Ei Pintavalua 0.0 mm

Rakennevalu: C30/37, 0.65 (v/s) 300.0 mm

Eriste: Ei eristettä 0.0 mm

Yhteensuuntaan kuivuva: Ei

Olosuhteet ja aikataulut

Kaupunki: Helsinki-Vantaa

Aloituspäivä (Rakennevalu): 1. Toukokuu

Työaikainen kastuminen: on

Kastumisjakso alkaa 7 pv

Kastumisjakso päättyy 30 pv

Kuivatusjakso: Kuivatusjakso alkaa 60 pv

Kuivatusolosuhde: Lämpötila 18.0 °C

RH 60.0 %

Rakennebetonin valu: 0 pv

Pintabetonin valu: pv

Tasoitteen asennus: 150 pv

Laskenta-aika: 365 pv

Kriittinen RH: 85.0 %

Laskennan tulokset

Kriittisen RH:n arvo alitettiin: 349 pv kuluttua simuloinnin alusta.

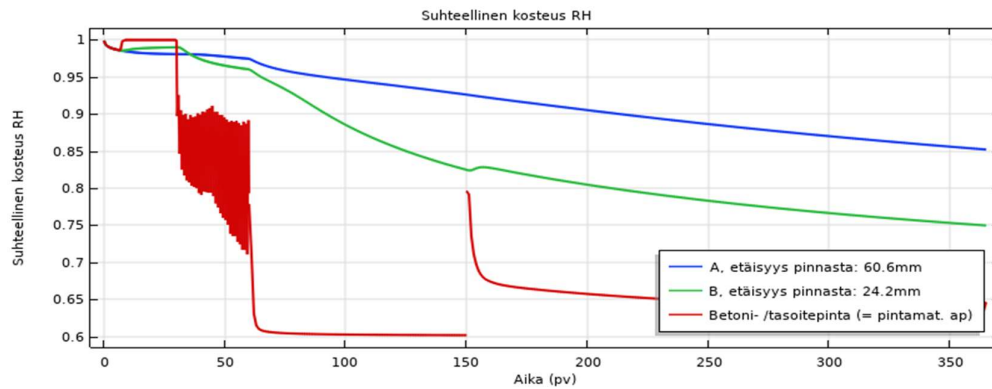
Seuraavan työvaiheen aloituspäivä: 14. Huhtikuu



LISÄTIETOJA

Kuvitteellinen paikallavaluholvi toukokuussa c30/37 v/s 0,65 3mm plaano kastuminen loppui 30pv valusta ja kuivumisjakso 60pv valusta. tasoitteen valu 150

Kuva 4. Analyysi kuivumisaika-arviosta: C30/37 1. toukokuuta. Taulukosta löytyy täsmennetyt tiedot simuloinnissa käytetyistä arvoista ja ajankohdista.



Kuva 5. Kuvaaja esittää suhteellisen kosteuden suhdetta aikaan betonilaadulla: C30/37, betonivalun päivämäärä 1. toukokuu. Kuvaajassa aikajanaksi vaakaan on asetettu 365 päivää ja betonin suhteellisen kosteus (RH-%) on kuvattu pystyyn tarkasteluvälillä 1–0,6. Sininen jana kuvaa syvemmän mittaussyvyyden (60,6 mm) RH-% muutosta suhteessa aikaan. Vihreä jana kuvaa pinnasta otetun mittaussyvyyden (24,2 mm) betonin suhteellista kosteutta. Punainen jana kuvaa olosuhdemuutosta suhteessa aikaan.

6.2 Kuivumisaika-arvio C32/40 NP toukokuu (1/2)

Tässä ensimmäisen simulaation toisessa osiossa betonilaatu on vaihdettu C30/37 0,65 (v/s) betonista C32/40 NP 0,45 (v/s). Vesi/sementtisuhdetta on laskettu ja puristuslujuusluokkaa hieman nostettu.

by 2020 Betonin kuivumisaika-arvio

Analyysi

Analyysityyppi:	Kuivumisaika-arvio
-----------------	--------------------

Rakenne

Rakennetyyppi:	Välipohja		
Rakennekerrokset:	Paikallavalu		
Pintamateriaali:			
Mattoliiman kosteuslisä:			
Tasoite:	Yleistasoite, sementtipohjainen	3.0	mm
Pintavalu:	Ei Pintavalua	0.0	mm
Rakennevalu:	C32/40 NP, 0.45 (v/s)	300.0	mm
Eriste:	Ei eristettä	0.0	mm
Yhteensuuntaan kuivuva:	Ei		

Olosuhteet ja aikataulut

Kaupunki:	Helsinki-Vantaa		
Aloituspäivä (Rakennevalu):	1. Toukokuu		
Työaikainen kastuminen: on	Kastumisjakso alkaa	7	pv
	Kastumisjakso päättyy	30	pv
Kuivatusjakso:	Kuivatusjakso alkaa	45	pv
Kuivatusolosuhde:	Lämpötila	18.0	°C
	RH	60.0	%
Rakennebetonin valu:		0	pv
Pintabetonin valu:			pv
Tasoitteen asennus:		210	pv
Laskenta-aika:		365	pv
Kriittinen RH:		85.0	%

Laskennan tulokset

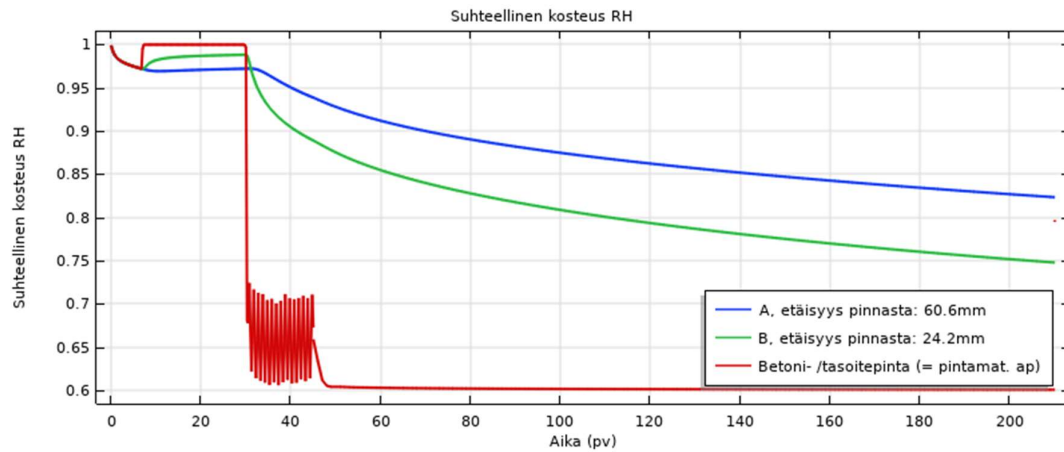
Kriittisen RH:n arvo alitettiin:	210 pv kuluttua simuloinnin alusta.
Seuraavan työvaiheen aloituspäivä:	26. Marraskuu



LISÄTIETOJA

Kuvitteellinen paikallavaluholvi toukokuussa c32/40 NP v/s 0,45 3mm plaano kastuminen loppui 30pv valusta ja kuivumisjakso alkoi 45pv valusta. tasoitteen valua siirrettiin 150->210

Kuva 6. Analyysi ja tarkemmat tiedot kuivumisaika-arviosta C32/40NP toukokuu. Taulukosta löytyy täsmennetyt tiedot simuloinnissa käytetyistä arvoista ja ajankohdista.



Kuva 7. Kuvaaja suhteellisen kosteuden suhdetta aikaan betonilaadulla: C32/40 NP, betonivalun päivämäärä 1. toukokuu. Muutos ja mitä halutaan kertoa.

6.3 Kuivumisaika-arvio C30/37 tammikuu (2/2)

Tässä simulaation toisessa osiossa vertailemme edellisen simulaation betoni-laatuja talviolosuhteissa. Simulaation aloituspäiväksi on valittu 1. tammikuuta ja arvion pituudeksi on asetettu 365 päivää. Betonilaatuina on käytetty C30/37 (v/s 0,65) ja C32/40 NP (v/s 0,45) betoneita.

by 2020 Betonin kuivumisaika-arvio

Analyysi

Analyysityyppi:	Kuivumisaika-arvio
-----------------	--------------------

Rakenne

Rakennetyyppi:	Välipohja		
Rakennekerrokset:	Paikallavalu		
Pintamateriaali:			
Mattoliiman kosteuslisä:			
Tasoite:	Yleistasoite, sementtipohjainen	3.0	mm
Pintavalu:	Ei Pintavalua	0.0	mm
Rakennevalu:	C30/37, 0.65 (v/s)	300.0	mm
Eriste:	Ei eristettä	0.0	mm
Yhteensuuntaan kuivuva:	Ei		

Olosuhteet ja aikataulut

Kaupunki:	Helsinki-Vantaa		
Aloituspäivä (Rakennevalu):	1. Tammikuu		
Työaikainen kastuminen: on	Kastumisjakso alkaa	7	pv
	Kastumisjakso päättyy	30	pv
Kuivatusjakso:	Kuivatusjakso alkaa	60	pv
Kuivatusolosuhde:	Lämpötila	18.0	°C
	RH	60.0	%
Rakennebetonin valu:		0	pv
Pintabetonin valu:			pv
Tasoiheen asennus:		150	pv
Laskenta-aika:		365	pv
Kriittinen RH:		85.0	%

Laskennan tulokset

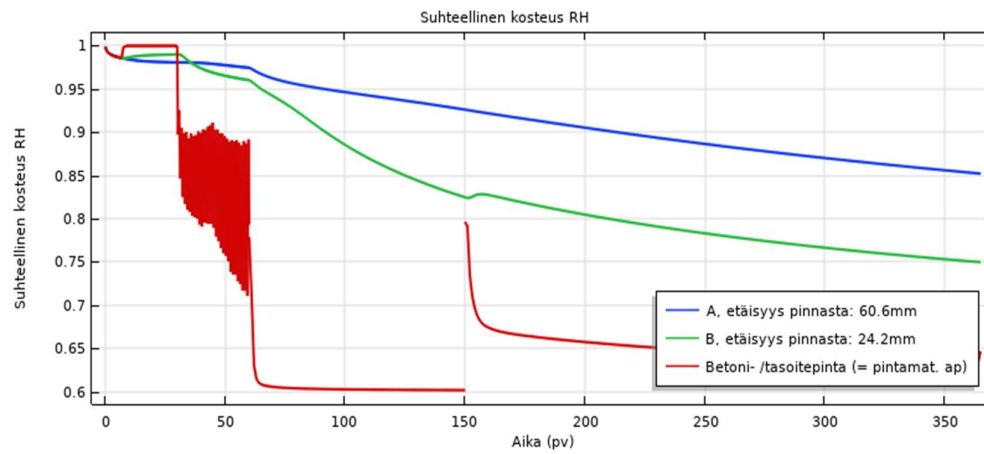
Kriittisen RH:n arvo alitettiin:	-
Seuraavan työvaiheen aloituspäivä:	Asetettuja kosteusrajoja ei saavutettu simulaatioajan aikana.



LISÄTIETOJA

Kuvitteellinen paikallavaluholvi tammikuussa c30/37 v/s 0,65 3mm plaano kastuminen loppui 30pv valusta ja kuivumisjakso 60pv valusta. tasoiheen valu 150

Kuva 8. Analyysi ja tarkemmat tiedot kuivumisaika-arviosta C30/37 1. tammikuu. Taulukosta löytyy täsmennetyt tiedot simuloinnissa käytetyistä arvoista ja ajankohdista.



Kuva 9. Kuvaaja suhteellisen kosteuden suhdetta aikaan betonilaadulla: C30/37, betonivalun päivämäärä: 1. tammikuuta.

6.4 Kuivumisaika-arvio C32/40 NP tammikuu (2/2)

by 2020 Betonin kuivumisaika-arvio

Analyysi

Analyysityyppi:	Kuivumisaika-arvio
-----------------	--------------------

Rakenne

Rakennetyyppi:	Välipohja		
Rakennekerrokset:	Paikallavalu		
Pintamateriaali:			
Mattoliiman kosteuslisä:			
Tasoite:	Yleistasoite, sementtipohjainen	3.0	mm
Pintavalu:	Ei Pintavalua	0.0	mm
Rakennevalu:	C32/40 NP, 0.45 (v/s)	300.0	mm
Eriste:	Ei eristettä	0.0	mm
Yhteensuuntaan kuivuva:	Ei		

Olosuhteet ja aikataulut

Kaupunki:	Helsinki-Vantaa		
Aloituspäivä (Rakennevalu):	1. Tammikuu		
Työaikainen kastuminen: on	Kastumisjakso alkaa	7	pv
	Kastumisjakso päättyy	30	pv
Kuivatusjakso:	Kuivatusjakso alkaa	60	pv
Kuivatusolosuhde:	Lämpötila	18.0	°C
	RH	60.0	%
Rakennebetonin valu:		0	pv
Pintabetonin valu:			pv
Tasoitteen asennus:		150	pv
Laskenta-aika:		365	pv
Kriittinen RH:		85.0	%

Laskennan tulokset

Kriittisen RH:n arvo alitettiin:	254 pv kuluttua simuloinnin alusta.
Seuraavan työvaiheen aloituspäivä:	12. Syyskuu

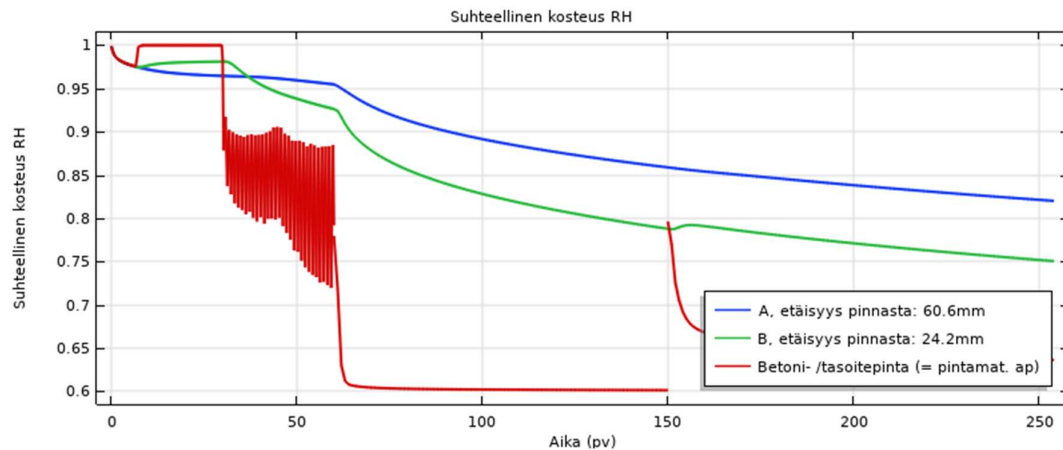


LISÄTIETOJA

Kuvitteellinen paikallavaluholvi tammikuussa c32/40 v/s 0,45 3mm plaano kastuminen loppui 30pv valusta ja kuivumisjakso 60pv valusta. tasoitteen valu 150

Kuva 10. Analyysi ja tarkemmat tiedot kuivumisaika-arviosta C32/40 NP

1. tammikuuta. Taulukosta löytyy täsmennetyt tiedot simuloinnissa käytetyistä arvoista ja ajankohdista.



Kuva 11. Suhteellisen kosteuden RH suhde aikaan betonilaadulla: C32/40 NP, betonivalun päivämäärä: 1. tammikuuta.

6.5 Simuloinnin tulokset

By2020-ohjelmalla simuloituista tilanteista voidaan todeta, että betonilaadulla on suuri merkitys betonin kuivumisaikatauluun. Tämä näkyy kuivumisaikaa lyhentävänä vaikutuksena. Betonilaaduissa juuri alhainen vesi/sementtisuhde luo betonille edellytykset kuivua nopeammin.

Tammikuun esimerkissä, jossa käytettiin C30/37 betonia, kriittistä Rh:n arvoa ei saavutettu ajassa 365 päivää, kun taas C32/40 NP betonilla saavutettiin. Talviolosuhteissa kuivuminen on haastavampaa ja päästäkseen kesäolosuhteiden kuivumisaikoihin, on luotava otollisemmat kuivumisolosuhteet eli esimerkiksi lämpötilaa on nostettava. Talviolosuhteissa hyvä puoli on se, että ilman suhteellinen kosteus on alhaisempi ja on näin kykenevämpi vastaanottamaan kosteutta itseensä poistaen sen itse betonista. Tämä kuitenkin vaatii hallitut ja valvotut olosuhteet.

7 By2020-ohjelman tulosten vertailu referenssikohteen toteutuneisiin kuivumisaikoihin

7.1 By2020-ohjelmalla tehdyn simulaation ja asuinkerrostalon toteutuneiden tulosten vertailu

Tässä by2020-ohjelmalla tuotetussa kuivumisaika-arvion simuloinnissa vertailtiin valmistuneen asuinkerrostalon 3. kerroksen paikallavaluholvin kosteusmitaustuloksia. Referenssikohteen olosuhteet on pyritty toistamaan mahdollisimman tarkasti simuloinnin realistisuuden saavuttamiseksi. Alla olevaan simulaattorin raportin Rakenne, olosuhde ja aikataulut -osioihin on asetettu referenssikohteen oikeat tiedot. Tässä vertailussa keskitytään huoneiston lattiapinnoitukseen vaadittavan kriittisen RH-% saavuttamiseen (85 RH-%).

by 2020 Betonin kuivumisaika-arvio



Analyyysi

Analyyssityyppi:	Kuivumisaika-arvio
------------------	--------------------

Rakenne

Rakennetyyppi:	Välipohja		
Rakennekerrokset:	Paikallavalu		
Pintamateriaali:			
Mattoiliiman kosteuslisä:			
Tasoite:	Yleistasoite, sementtipohjainen	10.0	mm
Pintavalu:	Ei Pintavalua	0.0	mm
Rakennevalu:	C25/30 NP, 0.55 (v/s)	300.0	mm
Eriste:	Ei eristettä	0.0	mm
Yhteensuuntaan kuivuva:	Ei		

Olosuhteet ja aikataulut

Kaupunki:	Helsinki-Vantaa		
Aloituspäivä (Rakennevalu):	4. Joulukuu		
Työaikainen kastuminen: on	Kastumisjakso alkaa	7	pv
	Kastumisjakso päättyy	30	pv
Kuivatusjakso:	Kuivatusjakso alkaa	70	pv
Kuivatusolosuhde:	Lämpötila	18.0	°C
	RH	40.0	%
Rakennebetonin valu:		0	pv
Pintabetonin valu:			pv
Tasoitteen asennus:		121	pv
Laskenta-aika:		365	pv
Kriittinen RH:		85.0	%

Laskennan tulokset

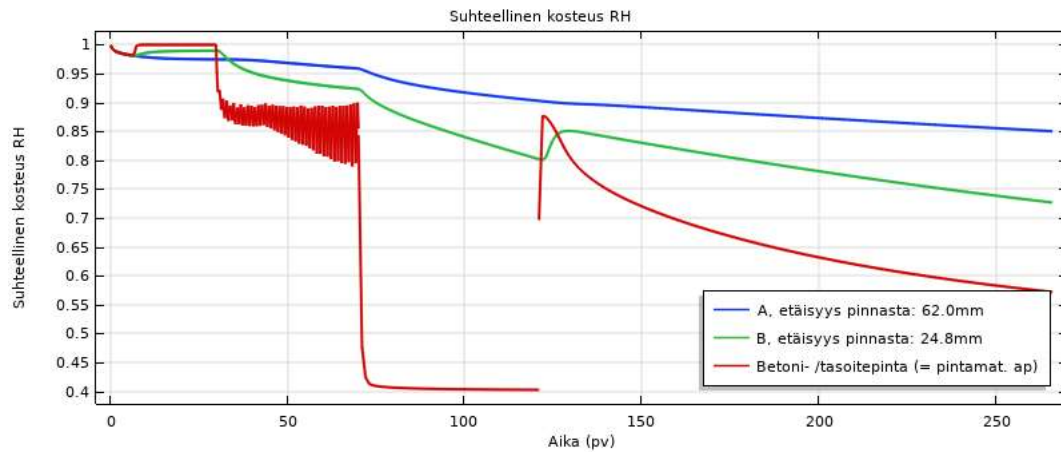
Kriittisen RH:n arvo alitettiin:	266 pv kuluttua simuloinnin alusta.
Seuraavan työvaiheen aloituspäivä:	26. Elokuu



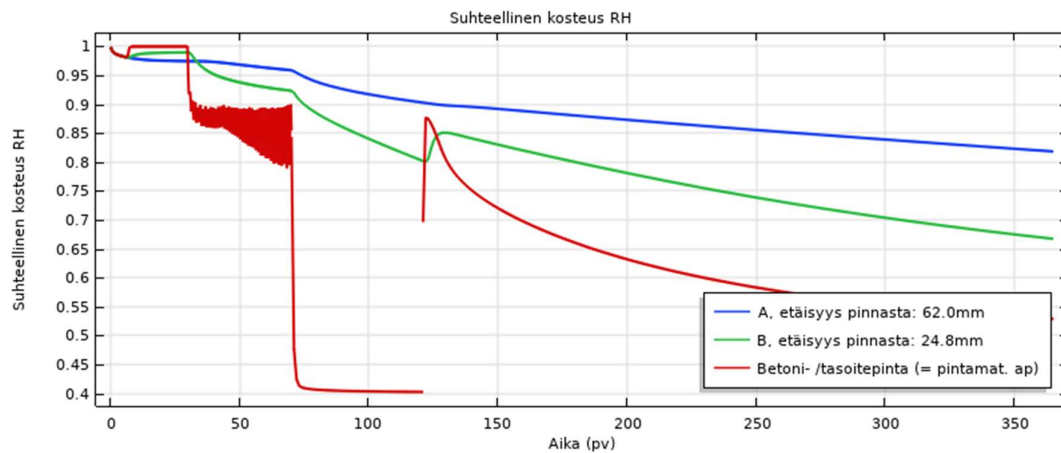
LISÄTIETOJA

3. krs holvi, valettu 4.2.2019 C25/30 rapid 300mm 138m², plaano 3.4.2020 noin 10mm keskimäärin/m², 27.11.2020 mitattu kuivaksi 60mm 78,4 RH-% ja 24mm 60,8 RH-%.

Kuva 12. Analyysi ja tarkemmat tiedot referenssikohteen kuivumisaika-arvion lähtötiedoista. Taulukosta löytyy täsmennetyt tiedot simuloinnissa käytetyistä arvoista ja ajankohdista.



Kuva 13. Suhteellisen kosteuden suhde aikaan verrattuna referenssikohteessa alkaen 4.12.2019. Tässä kuvaaja päättyy, kun simulaation tavoite-RH on saavutettu.



Kuva 14. Suhteellisen kosteuden suhde aikaan verrattuna referenssikohteessa alkaen 4.12.2019. Tässä kuvaaja päättyy referenssikohteessa tehdyn kosteusmittauksen ajankohtaan 27.11.2020.

7.2 Referenssikohteen toteutuneen kuivumisen ja by2020-ohjelmalla simuloidun kuivumisen vertailun tulokset

Simuloiduista versioista voidaan nähdä, että kuivumisen tahti on ollut samankaltaista verrattuna oikean referenssikohteen kuivumiseen. Sää- ja kuivumisolosuhteiden vaihtelevuuden ja niiden simuloinnin vaikeuden vuoksi virhemarginaali on huomioitava.

Referenssikohteen saavutettu RH-% kahdelta mittausyvyydeltä, kun tavoitearvot ovat 60 mm = 85 RH-% ja kun 24 mm = 75 RH-%

RH-%	mittausyvyyys	pvm.
78,4	60,0 mm	27.11.2020
60,8	24,0 mm	27.11.2020

Referenssikohteen simulaation mukaan kriittinen RH-% alitettiin 266 päivää simuloinnin aloituspäivästä (betonivalu).

Simulointi antaa seuraavat toteutuneet RH-% mittauspäivälle 27.11.2020 arvioituna janakuvaajasta:

RH-%	mittausyvyyys	pvm.
82,0	62,0 mm	27.11.2020
67,0	24,8 mm	27.11.2020

8 Lopputulokset ja johtopäätökset

8.1 Yhteenveto

Tässä työssä tutkittiin by2020-ohjelman hyödyntämistä tuotantovaiheessa työmailla ja mitkä menetelmät edesauttavat betonirakenteiden kuivumista. Työ rajautui tutkimaan by2020-ohjelmaa kuivumisaika-arvion näkökulmasta ja sen soveltuvuutta työkaluna tuotantovaiheeseen. Simulointikohteena olivat kuvitteellinen- ja referenssikohde. Kuvitteellinen simulointi otti kantaa betonilaadun ja vuodenajan sääolosuhteiden vaikutuksiin kuivumisaika-arvioon. Referenssikohdeena taas toimi kerrostalon 3. kerroksen paikallavaluholvi. Referenssikohteen simulointi tapahtui luomalla uudelleen samankaltaiset olosuhteet kuin oikeassakin tapauksessa – Ajankohta (sääolosuhteet) ja betonilaatu olivat samat.

8.2 Tulokset & johtopäätökset

By2020-ohjelma on selkeä ja helppokäyttöinen työkalu, jota on mahdollista hyödyntää työmaakäytössä esimerkiksi pinnoitustöiden aikataulutuksessa tuotantovaiheessa tarkentuneilla lähtötiedoilla. Referenssikohteen simulointi osoitti, että ohjelmalla on mahdollisuus päästä samankaltaisiin kuivumisaikoihin, kuin mikä oli simuloitavan kohteen oikea toteutuma kuivumisaikojen suhteen. Ohjelmalla on kuitenkin hankala simuloida ja ennakoida oikeaa tilannetta ja on näin suuntaa antava. Esimerkiksi sääolosuhteet ovat Suomen ilmastossa hankalasti ennakoitavissa ja näin simulointi on alttiina sääolosuhdemuutoksille. Betonilaatujen määrän puute hankaloittaa myös vertailua ja niiden vaikutusta kuivumisaikoihin. Myös tasoitevalun paikallista määrää ja ajankohtaa on hankala arvioida etukäteen, joten tämäkin on lopputulosta muuttava tekijä. By2020-ohjelma on potentiaalinen väline tuotannon tukena, mutta betonilaatuja tulisi lisätä ohjelmaan kuivumisaika-arvioiden tarkentamiseksi.

Lähteet

- [1] Suomen betoniyhdistys ry 2018, BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018, BY-koulutus OY Helsinki
- [2] Betoniyhdistys ry, betoniohjelmat <https://www.betoniyhdistys.fi/julkaisut/betoniohjelmat.html>, luettu 20.4.2022
- [3] Rakennustieto, Ohjekortti: Betonin suhteellisen kosteuden mittaus RT 103333, huhtikuu 2021
- [4] Betoniyhdistyksen kuivumisaika-arvio ohjelma By2020:n vuoden 2022 lisenssi.
- [5] Merikallio, Tarja – Komonen, Juha – Niemi, Sami 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen.
- [6] Ashrae weather data center, maksullinen säädatajärjestelmä.