



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Veli-Pekka Suutarla

Betonilattian kuivatuksen ajallinen ja kustannuksellinen optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

16.9.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Veli-Pekka Suutarla Betoni lattian kuivatuksen ajallinen ja kustannuksellinen optimointi 29 sivua + 1 liite 16.9.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Vastaava työnjohtaja Antti Viitaniemi Lehtori, Rakentaminen ja arkkitehtuuri -tiimi Juha Virtanen
<p>Opinnäytetyö toteutettiin Lujatalo Oy:n asuntokohteessa Helsingin Laajasalossa. Tarkastelukohteena on työmaan kaksi rappua, joissa valettiin samaa betonia, mutta joihin kuivatuksen kannalta tehtiin pieniä muutoksia. Sisävaiheen yleisaikataulun mukaan rakennuksen pintabetoni lattiat päästiin valamaan 5 viikkoa myöhässä. Kuivumista tarkasteltaessa eri kuivattamistavat osoittautuivat toisiaan paremmiksi ja tehokkaammiksi.</p> <p>Työn tavoitteena oli selvittää kahden eri kuivatustavan ajallinen ja kustannuksellinen tehokkuus. Kuivatustavat olivat lämmityskaapeleiden käyttö ja lämpöpuhaltimien käyttö. Työssä on haluttu selvittää, onko lämmityskaapeleiden korkea kertamaksu hintansa arvoisen, säästävätkö kaapelit aikaa ja onko kaapelien hinta niin korkea kuin aluksi luullaan. Lisäksi selvitetään, kuinka paljon aikaa kaapeleilla voidaan säästää tavallisiin lämpöpuhaltimiin verrattuna.</p> <p>Työssä kerrotaan betonin historiaa ja rakennetta. Erityisesti kerrotaan, kuinka vesi vaikuttaa betoniin ja miten ylimääräisen veden saa oikeaoppisesti haihtumaan ilman, että betoni halkeilee. Halkeilun ja turhan kosteuden haittoja kerrotaan sisäilmaongelmien muodossa.</p> <p>Opinnäytetyössä käsiteltävät rakennukset ovat 6-kerroksisia kerrostaloja, joissa on noin 25 asuntoa rappua kohden. Rappuja lämmitettiin ja tulokset eroavat toisistaan merkittävästi. Kuivatukset onnistuivat omilla menetelmillään suunnitelmien mukaisesti. Kohteen kosteudet pintabetonista mitattiin porareikämenetelmällä.</p> <p>Lopuksi laskettiin tarkat kustannukset molempien kuivatustapojen osalta. Lämpöpuhaltimen kustannukset yllättivät suuren kylpyhuonemäärän kohdalla.</p>	
Avainsanat	pintabetoni, porareikämittaus, kosteus, lämmityskaapeli, lämpöpuhallin

Author Title	Veli-Pekka Suutarla Optimizing the drying time and costs of the concrete floor
Number of Pages Date	29 pages + 1 appendice 16 September 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Project Management for Construction
Instructors	Antti Viitaniemi, Site Manager Juha Virtanen, Senior Lecturer
<p>The thesis was carried out at Lujatalo Oy's residential project in Laajasalo, Helsinki. The object of the inspection was two stairways with their flats on the site, where the same concrete was poured, but which were slightly modified for drying. According to the overall interior schedule, the building's surface concrete floors could be poured 5 weeks late. From the point of view of drying, each drying method was found better and more efficient than the other.</p> <p>The aim of the thesis was to study the time and cost-effectiveness of two different drying methods. The drying methods were the use of heating cables and the use of heat fans. The aim of the study was to find out whether the high one-time fee for heating cables is worth the price. If the cables save time, and if the price of the cables is as high as initially thought. In addition, it was investigated how much time cables save compared to conventional heat fans.</p> <p>The thesis reviews the history and structure of concrete. It is described how water affects the concrete and how the unnecessary water is correctly evaporated without causing cracks in the concrete. The disadvantages of cracking and unnecessary moisture are described in the form of indoor air problems.</p> <p>The buildings studied in this thesis are 6-storey apartment buildings with about 25 apartments per stairway. The two stairways with their flats were heated, one with heating cables and the other with heating fans, and the results differed significantly between the drying methods. Both drying methods were successful in their own way and they went according to plan. The moisture of the poured concrete floors was measured by the borehole method.</p> <p>Finally, the exact costs were calculated for both drying methods. The costs of the fan heater for drying a large number of bathrooms were surprisingly low.</p>	
Keywords	surface concrete, borehole measurement, humidity, heating cable, heat fan

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Betoni	2
2.1	Kosteus lattiabetonissa	3
2.2	Betonin kuivuminen	4
2.3	Kuivattamisen aikatauluttaminen	7
3	Betonilattian työnkulku ja sen vaiheet	8
3.1	Betonointi	9
3.2	Valualustan ja ilman lämpötila	11
3.3	Jälkihoito	12
4	Betonilattia työmaalla	14
4.1	Lujatalo	14
4.2	Lähtökohdat	14
4.3	Kosteus	15
4.4	Kosteuden mittaus	16
5	Tutkinta	18
5.1	Lämmityskaapelit	19
5.2	Lämpöpuhallin	21
5.3	Kustannukset ja aika	23
5.3.1	Lämpöpuhaltimen kustannukset	23
5.3.2	Kaapeleiden kustannukset	24
6	Johtopäätökset	28
7	Lähteet	29
	Liitteet	

1 Johdanto

Betonilattian kuivattaminen on tärkeää. Kun märkä betoni pinnoitetaan, betonissa oleva vesi imeytyy pintamateriaaliin ja usein synnyttää hometta. Kuivatuksella betonissa oleva vesi haihtuu ja jäljelle jää kova ja kuiva pinta. Kuivan pinnan päälle voi helposti laittaa esimerkiksi laattaa, laminaattia tai parkettia eli puuta tai vaikkapa kumimattoa. Kun betonipinta on riittävän kuiva, ei tarvitse huolehtia, että betonissa oleva vesi jää hautumaan. Näin vältetään homeongelmilta.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää kahden eri kuivatusjärjestelmän toimivuutta. Tarkastelussa selvitetään kuivatuksen ajallinen kesto ja kuivatukseen käytetty rahamäärä. Kahta eri kuivatusjärjestelmää vertaillaan ja lopputuloksena kerrotaan, kumpi järjestelmä on parempi niin ajallisesti kuin taloudellisestikin. Tuloksista tehdään grafiikkaa, joka havainnollistaa, kumpi tekniikka on tehokkaampaa ajallisesti ja kustannuksellisesti.

Aluksi työssä kerrotaan betonista, sen koostumuksesta ja ominaisuuksista. Tämän jälkeen perehdytään betonilattian valamiseen ja työnkulkuun. Tutkimusosiossa kerrotaan yhteistyöstä Lujatalon työmaan kanssa, ja kuinka työmaa antoi pohjatiedot tähän tutkimukseen. Tutkimuksessa tarkasteltavat järjestelmät ovat lämmityskaapelit ja ilmanlämmittimet.

2 Betoni

Betonin juuret rakennusaineena ylettyvät antiikin Rooman ajoille. Silloin betoni koostui tuliperäisestä tuhkasta, vedestä ja kiviaineksesta. Niistä ajoista alkaen betonia on käytetty enemmän tai vähemmän rakentamisessa. Kehityksessä betonin raaka-aineiksi muodostuivat sementti, vesi ja kiviaines. Kuitenkin vasta 1800-luvulla betonin käyttö yleisty merkittävästi, sillä betoniin alettiin lisätä raudoituksia. Kehitys oli silloin huimaa, ja sen takia betoni on nykyään yksi yleisimmistä rakennusmateriaaleista.

Nykyään betoni koostuu kiviaineksesta, vedestä ja sementistä. Betonin sekaan voidaan lisätä seosaineita ja lisäaineita, jotka muokkaavat betonin ominaisuuksia haluttuun suuntaan. Betoni on hyvä rakennusmateriaali, koska se on lujaa, kestävä, muokattavaa ja oikein tehtynä pitkällä aikavälillä ekologista uudelleen käytettävyyden vuoksi.

Betonista rakentaminen on osa kestävä kehitystä. Betoni on tehty kiviaineksesta, jota maapallolla on lähes rajattomasti ja ne voidaan lähes aina käyttää uudelleen. Betonista saadaan myös tehtyä niin kestäviä rakenteita, että ne ovat turvallisia. Betonista voidaan myös muotoilla lähes mitä vain. Rakenteet säilyttävät muotonsa ja kestävät oikein tehtynä hyvin kulutusta ja rasitusta. Standardeja on luotu parantamaan laatua ja auttamaan betonityötä olemaan osana kestävä kehitystä.

Betonirakenteiden hyvinä puolina pidetään pitkää käyttöikää, vähäistä huollon tarvetta, kierrätettävyyttä, energiatehokkuutta, palonkestävyyttä, kosteudensietokykyä, lujuutta monesta eri näkökulmasta, ääneneristyskykyä ja kustannustehokkuutta.

Asuntorakentamisessa betonia käytetään perustuksista aina seinä-, lattia- ja kattorakenteissa. Kaikille osa-alueille on muodostunut omat säädökset ja laatuvaatimukset. Tämän työn betonointi kohdistuu lattiabetoniin ja siitä tarkemmin vielä pintabetonointiin. Pintabetonilla tarkoitetaan valmiin betonipinnan päälle valettavaa betonikerrosta. Rakennustyömaalla näitä ovat esimerkiksi lattiavalut. (1.)

2.1 Kosteus lattiabetonissa

Betonin valmistamiseen käytetään vettä, josta suurin osa betonin kosteudesta on peräisin. Kosteutta saattaa tulla myös rakentamisen aikana tapahtuneesta kastumisesta sateiden ja erilaisten vesivahinkojen seurauksena. Rakenteen pintaan lisää kosteutta tuovat myös siihen levitettävät tasoitteet ja liimat, joita käytetään kiinnittämään päällysteitä. Vesi on tärkeä betonin valmistusaine, jonka tehtävänä on muodostaa sementin kanssa sementtiliima, joka sitoo kiviainespartikkelit toisiinsa. Veden ja sementin välisessä kemiallisissa reaktioissa eli hydratoitumisreaktioissa ei kuitenkaan sitoudu yhtä paljon vettä kuin mitä betonin valmistamiseen käytetään. Vettä tarvitaan, jotta betonia pystytään työstämään, mutta myös hydratoitumisreaktiot tarvitsevat riittävää kosteutta.

Kosteudesta on usein hyötyä betonille, sillä siitä tulee yleensä sitä lujempaa, mitä kosteammassa olosuhteissa sitä säilytetään. Kuitenkin erilaisia haitallisia aineita voi kulkeutua betoniin erityisesti, jos betonin huokosrakenne on avoin. Mikäli betonilattia ei ole täysin kuivunut ennen sen päällystämistä, eikä kosteus pääse poistumaan riittävän nopeasti suhteessa lattiapäällysteen kykyyn sietää kosteutta, voi syntyä kosteusvaurio. Kosteus voi aiheuttaa vahinkoa myös betonin yhteydessä oleviin muihin kosteusherkkiin materiaaleihin, kuten puiisiin runkorakenteisiin sekä lattia- ja seinäpinnoitteisiin ja -päällysteisiin, jotka ovat kosteusherkkiä. Tällaisia ovat esimerkiksi muovimatot ja parketit.

Valmis betoni on huokoinen materiaali. Tämän takia kosteus pystyy liikkumaan betonissa. Liike voi tapahtua itse betonissa, betonista pois ja itse betoniin. Kosteus liikkuessaan voi aiheuttaa erilaisia muodonmuutoksia ja vaurioita betonissa. Itse kosteus ei ole betonille haitaksi, vaan itseasiassa betonista tulee aina vain lujempaa, mitä kosteammassa olosuhteissa se on. Vauriot yleensä syntyvätkin, kun liian kostea betonia päällystetään. (2.)



Kuva 1. Työmaan kylpyhuoneen lattiassa halkeama

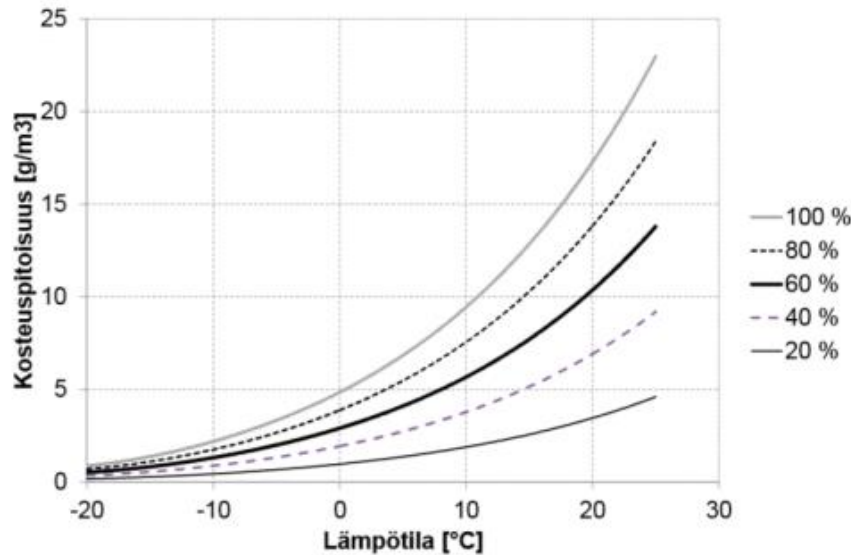
Kuivumisesta aiheutuneen liikkeen synnyttämä halkeama. Kosteuden liikkeiden aiheuttamat halkeamat saadaan korjattua jälkihoidolla, hiomalla ja täyttämällä tarvittaessa nopeasti kuivuvalla betonilla.

Kun betoni kovettuu, osa sen valmistamiseen käytetystä seosvedestä sitoutuu kemiallisesti sementin hydratoitumisreaktiossa, mistä seuraa betonin kuivumista. Tätä kuivumista kutsutaan kemialliseksi kuivumiseksi tai sitoutumiskuivumiseksi. Kemiallisen kuivumisen osuus kokonaiskuivumisesta on sitä suurempi, mitä pienempi vesi-sideainesuhde betonissa on. Betonirakenteen rakennekosteuden kuivuminen on hidasta ja siihen vaikuttavat erityisesti betonin ominaisuudet, jälkihoito, rakenteen paksuus ja haihtumispinta-ala, rakenteen lämpötila ja ympäröivän tilan suhteellinen kosteus ja lämpötila.

2.2 Betonin kuivuminen

Betonilattian kuivumiseen vaikuttaa betonin vesi-sideainesuhde. Muita merkittäviä vaikuttajia ovat betonissa olevan kiviaineksen maksimi raekoko, betonin notkeus ja olosuhteet. Olosuhteista lämpötila, kastumisaika ja ilman suhteellinen kosteus ovat suurimmat kuivumiseen vaikuttavat tekijät. Kuivumisaika voidaan ennustaa, kun on tiedos-

sa betonin rakenne ja itse betonin ominaisuudet. Kun näihin lisätään olosuhteiden tuoma lisä, voidaan määrittää riittävä aika kuivumiselle. Kuivumisaika alkaa, kun olosuhteet ovat otolliset ja päättyy kun pintamateriaalin määräämä kosteuspitoisuus alittuu.

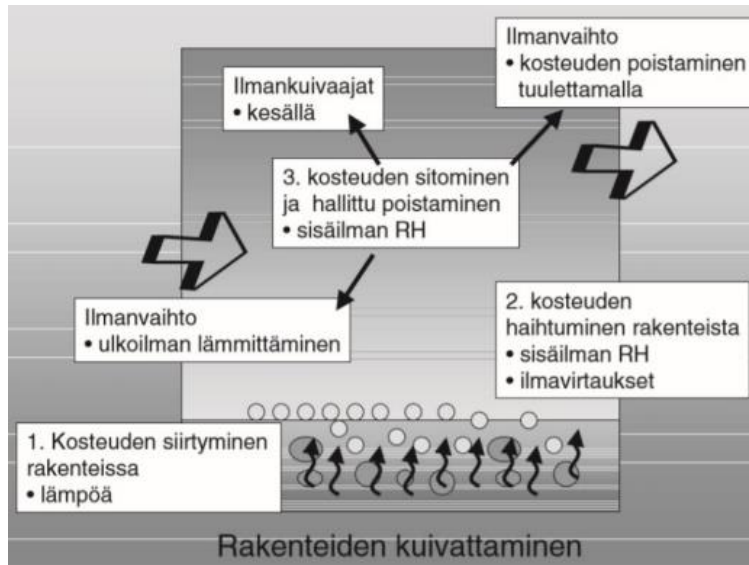


Kuva 2. Ilman suhteellisen kosteuden ja kosteuspitoisuuden riippuvuus lämpötilasta. (Holmström, 2016, s.101)

Ilman kosteuspitoisuuden ja lämpötilan suhdetta kuvaava kaavio kertoo, että ilmaa lämmittäessä sen kyky ottaa enemmän kosteutta kasvaa. Kuivumisen kannalta tämä tarkoittaa sitä, että ilman lämpötilan kasvaessa sen suhteellinen kosteus pienenee, jolloin korkeamman suhteellisen kosteuden omaava voi luovuttaa diffuusion kautta kosteutta ilmaan.

Betonin suhteellinen kosteus tarkoittaa betonin huokosissa olevaa vesihöyryn määrää yhdessä betonin lämpötilan kanssa. Valettaessa betonia sen suhteellinen kosteus on noin 100%. Normaaleilla rakennebetoneilla yleensä pelkästään kemiallisen kuivumisen jälkeen betonin suhteellinen kosteus laskee vain noin 98%:iin. Tämän takia rakenteen kuivumiseen tarvitaan myös haihtumiskuivumista. Betonin kuivuminen voidaan siis jakaa kemialliseen kuivumiseen ja haihtumiskuivumiseen. Haihtumiskuivuminen tarkoittaa kosteuden siirtymistä rakenteen sisältä kohti pintaa, josta kosteus haihtuu ilmaan. Eri kuivumismuotojen osuus riippuu betonin ominaisuuksista eli vesisideainesuhteesta. RH-prosentti kertoo betonin suhteellisen kosteuspitoisuuden eli betonin huokosissa olevan vesihöyryn määrän prosentteina.

Betonilattioilta edellytetään kuivumista rakentamisen aikana, vaikka betonilattioiden kuivuminen voi jatkua kuitenkin useita vuosia. Tähän vaikuttavat muun muassa sisäilman kosteus ja lattian paksuus. Betonin ei tarvitse kuivua tasapainotilaan sitä ympäröivän ilman kanssa, mikä tarkoittaisi noin 50-60 % RH. Riittää, että betoni on niin kuivaa, ettei se aiheuta vahinkoa sen pintaan laitettaville muille materiaaleille. Kylpyhuoneissa lattiabetonin päälle laitetaan vesieriste. Vesieristeen asentaminen vaatii, että betonin RH on alle 90%. (4.)



Kuva 3. Rakenteiden kuivattamisen periaate. (Merikallio 2002, s.551)

Rakenteiden kuivattamisen periaate kertoo kaaviona kosteuden siirtymisestä syvemältä rakenteesta kohti pintaa mistä se haihtuu edelleen sisäilmaan edellyttäen, että ilman suhteellinen kosteus on riittävän alhainen.

Alkuvaiheessa betonin kovettuminen on hyvin nopeaa, sillä silloin betonin kapillaariverkosto on avoimempi kuin vähän kovettuneella betonilla. Tämän takia betoni on tärkeä pitää kuivana, sillä kastuminen voi hidastaa betonin kuivumista useilla viikoilla. Kuivumisaika pidentyy sitä enemmän, mitä myöhäisemmässä vaiheessa mahdollinen kastuminen tapahtuu.

2.3 Kuivattamisen aikatauluttaminen

Betonin kuivattamisen aikataulu tulee suunnitella tarkkaan, koska se vaikuttaa suuresti koko rakennusaikatauluun ja tahdistaa erityisesti sisävalmistusvaihetta. Verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin betonin kuivumisnopeus on hidas. Kuivumisnopeuteen vaikuttavat monet tekijät, kuten betonin ominaisuudet, rakenneratkaisut ja kuivumisolosuhteet. Betonirakenteen kuivumisen vaatimukset tulee ottaa ajoissa huomioon, jottei rakentamisen aikataulu viivästy tai ettei liian märkää rakennetta päällystetä, jolloin riskinä on kosteusvaurioiden syntyminen. Oleellinen osa koko rakennustyömaan kosteudenhallintaa on nimenomaan betonirakenteiden kosteudenhallinta. Sillä pyritään välttämään kosteudesta myöhemmin ilmeneviä ongelmia, jotka vaikuttavat rakenteisiin ja rakennuksen käyttäjiin. Erityisen tärkeää kosteudenhallinta on betonilattioissa, jotka päällystetään. Ennen lattian päällystämistä täytyy varmistaa, että betoni on riittävän kuivaa.

Kylpyhuoneen betonivalussa betonin koostumukselta ei odoteta suurta rakenteellista kestämistä. Sen takia kyseisen betonin ainoa vaurioituminen voi tapahtua plastisena kutistumana. Plastinen kutistuminen tapahtuu usein, kun betonin pinta kuivuu liian nopeasti. Vesi pyrkii nousemaan pintaan ja pintabetoniin syntyy vetojännityksiä. Jännitykset saavat betonin pinnan halkeilemaan. Plastinen kutistuminen tapahtuu vaakatasossa ohuissa rakenteissa, kuten kylpyhuoneen tapaisissa valuissa, joissa vedellä on paljon pinta-alaa haihtua. Mitä tiiviimmäksi betonia saadaan heti valun jälkeen, sitä vähemmän betonin kiviaines yrittää valua alas ja nostaa veden pintaan. Tällöin voidaan vaikuttaa halkeilun määrään. Toinen tekijä, jolla pystytään myös vaikuttamaan veden haihtumiseen ja sen kautta halkeilun määrään, on ilma. Ilman lämpötilalla, virtauksilla ja kosteuspitoisuudella voidaan vaikuttaa betonissa olevan veden haihtumiseen. (6.)

3 Betonilattian työnkulku ja sen vaiheet

Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan rakennuksesta ei saa kosteuden vuoksi aiheutua mitään terveydellistä haittaa. Jokaiselle työmaalle täytyy tehdä kosteudenhallintasuunnitelma, joka on iso osa laadunvarmistusta. Suunnitelmalla luodaan pohja kuivalle rakentamiselle ja mahdollisten vesien poistamiselle. Hyvällä kosteushallintasuunnitelmalla ja sen toteutuksella voidaan välttää työmaan aikatauluviiveitä ja säästää jopa rahaa materiaalin ja ajan aiheuttamilta rakennuskustannuksilta.

Rakennuslupahankkeeseen tulee usein liittää myös selvitys tavoitteista ja toimenpiteistä sekä voimavaroista, jotka on asetettu rakennustyön aikeiselle kosteudenhallinnalle. Kosteudenhallinnan tavoitteita tulee noudattaa jo suunnitteluvaiheessa. Kun tavoitteet on asetettu jo suunnittelun alkuvaiheessa, jää hankkeen suunnittelijoille ja muille asiantuntijoille tarpeeksi aikaa selvittää rakennusaikaiseen kosteudenhallintaan mahdollisesti liittyvät riskit, suunnitella niille ratkaisut ja sopia tarvittavat toimenpiteet, jotka edistävät olosuhdesuojausta ja rakennuksen kuivumista työvaiheessa. Lisäksi suunnitelmassa täytyy laatia rakenteiden kuivumisaika-arviot ja suunnitella niiden seuranta. Kosteudenhallintasuunnitelmassa kerrotaan myös tiedot toimenpiteistä, joilla suojataan, lämmitetään ja kuivataan rakenteita ja rakennusaineita.

Kosteudenhallinnan tavoitteet selvitetään ja kohteen rakennus- ja rakennesuunnitelmat tarkastetaan työmaan kosteudenhallintasuunnitelman ensimmäisessä vaiheessa. Tarkoituksena on kartoittaa kosteusteknisesti kriittisiä rakenteita, tuotteita ja materiaaleja eli selvittää, onko kohteessa sellaisia rakenneratkaisuja, joissa voisi ilmetä kosteusteknisiä ongelmia tai kosteusvaurioita tulevaisuudessa. Kosteudenhallintasuunnitelmaan lisätään kosteudenhallinnan riskiarviot, joita ovat esimerkiksi todetut riskit ja kriittiset laatutekijät, valittu kosteudenhallinnan taso, riskienhallintatoimenpiteet ja kosteusriskiluokka. Näistä saadaan lähtötietoja kosteusriskien arviointiin ja kosteudenhallintasuunnitelman muiden osien tekoon. (7.)

Itse työnkulku aloitetaan aloituspalaverilla. Aloituspalaveri on hyvin tärkeä työvaihe, sillä siinä käydään koko työ läpi kaikkien osapuolten kanssa. Aloituspalaverin jälkeen kaikilla pitäisi olla tiedossa suunnitelmat, materiaalit, aikataulut, työurakkaan vaikuttavat muut mahdolliset työvaiheet ja tietenkin itse lattiavalu ja sen vaiheet.

Kylpyhuoneiden betonilattioiden töihin kuuluu muun muassa korkojen merkitseminen, putkitöiden tekeminen, mahdollisen ääniloukkujen tekeminen, siivous, raudoitukset, lämmitys, mahdollisten lämmitysputkien asennus ja tarvittavat betonimassan pysäyttävät puut eli stopparien asennus. Tämän jälkeen pitää laskea massat ja valita ajoissa oikea päivä betonin valulle. Oikealla päivällä tarkoitetaan olosuhteita, jotka ovat otolliset valutyöhön. Myös valupaikat täytyy olla valmiina valupäivänä.

Itse valu tehdään pumppaamalla betoni betonipumpulla säiliöautosta. Valettu betoni tasataan tasaiseksi ja tehdään tarvittavat kaadot viemäriä kohden. Sitten odotetaan, että betoni kuivuu hetken, jonka jälkeen betonilattia hierretään tasaiseksi ja viimeistellään eli liipataan heti perään. Betonilattian kaadon kuuluu olla 1cm ensimmäisen puolen metrin matkalla viemäristä eli 1:50 ja loppumatkalle 1:150. Kaadot tarkastetaan ja korjataan tarvittaessa ennen vesieristyksen laittamista.

3.1 Betonointi

Lattioiden betonointi alkaa siitä, että valuolosuhteet ovat oikeat. Betonin laatuun vaikuttavat eniten valuolosuhteet, kuten lämpötila, kosteus ja valutilan vedottomuus. Betonimassa sitoutumisnopeuteen ja kosteudenhaihtumisnopeuteen vaikuttavat suuresti asennuspaikan ilmatilan ja valualustan lämpötila. Veden runsas haihtuminen johtaa lähes poikkeuksetta plastiseen halkeiluun. Tämän takia kosteuden haihtuminen vaikuttaa hierron ja jälkihoitojen ajoitukseen sekä menetelmien valintaan. Haihtumisnopeudella on siis myös merkitys valetun betonin pinnan laatuun. Valuympäristön ilmatilan kosteuspitoisuus, ilmavirtaukset sekä auringon säteily vaikuttavat betonin kosteuden haihtumisnopeuteen ja määrään. Betonisen aluslattian päälle valettaessa liian pieni kosteuspitoisuus sekä valualustassa oleva lika alentavat pintalattian tartuntaa.

Laskettu betonimäärä 9 m ³		Valettu betonimäärä 9 m ³															
AJANKOHTA JA OLOSUhteet	Aikataulu	valu alkoi klo 7.00	päättyi klo 9.30														
	Ilman lämpötila	maksimi 16 C	Minimi 16 C														
	Betonimassan lämpötila	maksimi 15 C	Minimi 15 C														
	Lujuusluokka	<table border="1"> <tr><td>K15 - C12/f15</td><td>K40 - C32/f40</td><td>K70 - C57/f70</td></tr> <tr><td>K20 - C16/f20</td><td>K45 - C35/f45</td><td>K80 - C65/f80</td></tr> <tr><td>K25 - C20/f25</td><td>K50 - C40/f50</td><td>K90 - C75/f90</td></tr> <tr><td>K30 - C25/f30</td><td>K55 - C45/f55</td><td>K100 - C85/f100</td></tr> <tr><td>K35 - C28/f35</td><td>K60 - C50/f60</td><td>jaku muu:</td></tr> </table>	K15 - C12/f15	K40 - C32/f40	K70 - C57/f70	K20 - C16/f20	K45 - C35/f45	K80 - C65/f80	K25 - C20/f25	K50 - C40/f50	K90 - C75/f90	K30 - C25/f30	K55 - C45/f55	K100 - C85/f100	K35 - C28/f35	K60 - C50/f60	jaku muu:
K15 - C12/f15	K40 - C32/f40	K70 - C57/f70															
K20 - C16/f20	K45 - C35/f45	K80 - C65/f80															
K25 - C20/f25	K50 - C40/f50	K90 - C75/f90															
K30 - C25/f30	K55 - C45/f55	K100 - C85/f100															
K35 - C28/f35	K60 - C50/f60	jaku muu:															
TIEDOT BETONISTA JA BETONOINNISTA	Betonityön luokka	1 <input checked="" type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>															
	Ympäristörasitusluokka (by50 KOHTA 3.2)	XC2															
	Notkeusluokka	S5 <input type="checkbox"/> S4 <input checked="" type="checkbox"/> S3 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/>	vetoä natskaa plartinen jäykkä														
	Betonipeitteen vähimmäisarvo (BY50 taulukka 2.17)																
		Betonipeitteen vähimmäisarvo 50 vuoden käyttöiälle (mm)		Betonipeitteen vähimmäisarvo 100 vuoden käyttöiälle (mm)													
	Rasitusluokka	karraariherkkä raudaitur	muu raudaitur	karraariherkkä raudaitur	muu raudaitur												
	X0	10	10	10	10												
	XC1	20	10	20	10												
	XC2	30	20	35	25												
	XC3, XC4	35	25	40	30												
XS1, XD1	40	30	45	35													
XS2, XD2	45	35	50	40													
XS3, XD3	50	40	55	45													
Betoninnoksia-kuormia (kuormakirjat tallennetaan työmaamoppiin 6 betonointipöytäkirja)																	
keskimääräinen kuormakoko 8 m ³																	
kuormamäärä 2 kpl																	
Betonointinopeus	3.6 m ³ /h	Nousunopeus	m/h Etenemä m ² /h														
Suurin valutaus	min																
Käytetty betonointikalus	<input checked="" type="checkbox"/> pumppu <input type="checkbox"/> nostoastia <input type="checkbox"/> kottikärryt <input type="checkbox"/> dumperi	<input type="checkbox"/> hihna <input type="checkbox"/> muu, mikä															
Käytetty tiivistämiskalusto	<input type="checkbox"/> sauva <input type="checkbox"/> tärypalkki <input type="checkbox"/> muottitäritys	<input type="checkbox"/> muu, mikä <input type="checkbox"/> jälkitärityskohdat															
Betonin lämpökäsittely	<input type="checkbox"/> betoni on lämpökäsittely																
Betonityökunta	4 yhteensä 2 massan vastaanottajia <input type="checkbox"/> muita	2 valajia 2 jälkityöt															
Työtunnit	<input type="checkbox"/> h toteutunut määrä																

Kuva 4. Työmaan betonointipöytäkirja.

Betonointipöytäkirjaan merkitään betonin määrät, käyttökohteet, lujuudet, jälkitoimet, päivämäärä ja käytetty kalusto. Kohteessa käytetty betoni C25/30 kertoo, millainen betoni on lujuudeltaan. Tässä betonin lieriölujuuden ominaisarvo on 25 MN/m² ja kuutiolujuuden ominaisarvo on 30 MN/m². Nämä ovat puristuslujuuksia, jotka ovat betonin tärkeimpiä rakenneteknisiä ominaisuuksia. Näiden avulla osataan valita oikeanlainen betoni erilaisiin betonointikohteisiin.

Betonilattioiden onnistunut toteutus koostuu käytetyistä työ- ja jälkihoitomenetelmistä, valualueesta ja siihen käytettävistä resursseista, betonin koostumuksesta sekä siirtomenetelmästä. Lisäksi toteutukseen vaikuttavat suunnittelu ja mitoitus, betonin valinta, työn valvonta ja yhteistyö eri osapuolten välillä sekä lattian kuormittamisen ajoittaminen.

3.2 Valualustan ja ilman lämpötila

Mitä korkeampi betonin lämpötila ja kosteus ovat, sitä nopeammin ja täydellisemmin sementti hydratoituu, jolloin kuivuminen nopeutuu. Lämmöllä on siis merkittävä vaikutus betonin kuivumiseen. Lämpötilan noston myötä vesihöyryn osapaine betonin huokosrakenteessa kasvaa ja kosteutta siirtävät voimat kasvavat eli kosteus poistuu betonista sitä nopeammin mitä lämpimämpää se on. Useimmissa tapauksissa betonin riittävän nopea kuivuminen edellyttää vähintään +20°C lämpötilaa. Lämpötilan noustessa +25-+30°C:een kuivuminen nopeutuu merkittävästi. Vain vesivauriokohteiden pika-kuivatuksessa käytetään tätä korkeampia lämpötiloja. Nuoressa betonissa korkeat lämpötilat voivat aiheuttaa halkeilua ja lujuudenkatoa.

Ylimääräisen kosteuden poistaminen lattiarakenteesta saadaan vaikuttamalla lämpötilaan ja rakennetta ympäröivään ilman kosteuspitoisuuteen. Mitä alhaisempi ilman kosteus on sitä enemmän ilma vastaanottaa kosteutta betonista. Kuivumisen kannalta sopiva ilmankosteus on 50% RH. Siitä alhaisempi kosteuspitoisuus on vaikea saavuttaa, eikä sillä ole enää merkittävää vaikutusta betonin kuivumiseen. Kun ilmankosteuspitoisuus nousee yli 70%, betonin kuivuminen hidastuu ja lopulta suuressa kosteusprosentissa muuttuu kostumiseksi. (8.)

Yleisin ja tehokkain tapa edistää kuivumista on lämpötilan nostaminen. Sen avulla ilman kosteuspitoisuus pienenee ja rakenteen lämpötila samalla nousee. Tällöin betonilattian kosteutta siirtävä voima kasvaa ja betoni kuivuu nopeammin. Tämä toimii myös lämmitys kaapeleilla, joilla saadaan suoraan itse betoni lämpenemään ja samalla ilman lämpötilakin nousee.

Valualustan lämpötila tuottaa usein ongelmia valettaessa maanvaraisia lattioita tai valettaessa ontelolaatan päälle. Kun valetaan kylmälle alustalle, valualusta jäähdyyttää tuoreen betonimassan alaosan nopeasti. Jos valualueen sisäilmaston lämpötila on korkeampi kuin valualusta, johtaa se tilanteeseen, jossa tuoreen betonimassan yläosa on lämpimämpi kuin alaosa. Tästä syntyy tilanne, jossa hierron alkaessa betonimassan alaosassa ei ole tapahtunut riittävästi sitoutumista. Riskinä on, ettei rakenne vielä kannan ja esim. hiertokonetta käytettäessä rakenteeseen muodostuu halkeamia. Lattiava-luissa mahdolliset ääniloukut on syytä ottaa huomioon, joten betoni pitää vibrata huolellisesti tiiviiksi. Ilmataskut voivat aiheuttaa valun jälkeisiä painumia ja pahimmassa tilanteessa synnyttää haitallisia haju- tai ääniongelmia.

Alaosan kylmyydestä seuraa ilmiö, jossa tuoreesta betonimassasta erottuu vettä. Vesi nousee valun pintaan, kun yläosa on jo hierretty. Alaosasta noussut vesi muodostaa valun pintaan kuplia. Valun pinnasta tulee heikko ja helposti pölyävä, jos hierto joudutaan tekemään pintaan, johon nousee koko ajan vettä. Etenkin massiivisissa rakenteissa saattaa muodostua tilanne, jossa betonivalun sisäosa on huomattavasti lämpimämpi kuin valualueen ilmaston lämpötila. Sementti vapauttaa hydrataatiossa lämpöä. Kun lämpötila muuttuu betonirakenteissa, tapahtuu myös tilavuuden muutoksia, joita kutsutaan lämpömuodonmuutokseksi. Lämpömuodonmuutos aiheuttaa tilanteen, jossa rakenteen pintaosat supistuvat eri tahtiin kuin sisäosat. Tästä seuraa lämpöjännityksiä, jotka johtavat rakenteen halkeiluun.

Betonoinnissa on huomioitava sideainekoostumuksen lisäksi myös notkistimien käytön vaikutus eri valulämpötiloissa. Notkistin hidastaa hydrataatiota, ja tämä ominaisuus vahvistuu lämpötilan laskiessa. Kun käytetään lisälämmitystä, on tärkeää ensin sulkea kohteen ovi- ja ikkuna-aukot. Valualustan ja ilmaston lämmittäminen tulee aloittaa hyvissä ajoin ennen valua. Kun käytetään lämpöpuhaltimia, pitää puhaltimien suuntaamiseen kiinnittää huomiota. Ilmavirta ei saa osoittaa suoraan valettuun betonirakenteeseen, jotta vältetään plastinen halkeilu. Myös aurinko tulee ottaa huomioon valuolosuhteita valmistellessa. Erityisesti keväisin auringon paistaessa saattaa lämpötilaero varjoalueella olla hyvinkin suuri. Tästä voi seurata eriaikaista sitoutumista eri puolille rakennetta. (9.)

3.3 Jälkihoito

Jälkihoidolla on suuri merkitys siihen, kuinka hyvänä ja pitkäikäisenä betoni säilyy tulevaisuuteen. Lattiavalujen kohdalla jälkihoito on aloitettava heti valun jälkeen. Jälkihoidolla pyritään luomaan olosuhteet täydelliselle kovettumiselle ja lujuuksien kehitykselle.

Rakenteen liian varhainen kuivuminen estetään valetun betonirakenteen jälkihoidolla. Oikeanlaisella ja huolella toteutetulla jälkihoidolla vaikutetaan betonin pinnan päällystettävyyteen, lujuuteen ja halkeiluun. Betonista valetuista lattioista tehdään aina jälkihoitosuunnitelma, jossa huomioidaan kaikki kohteen valuolosuhteet ja ominaisuudet. Huomioon tulee ottaa myös lujuudenkehitys rakenteen kuormitettavuuden ajoituksen määrittämiseksi. Valvomisen vastuuhenkilöt nimetään suunnitelmaan. Vastuuseen ni-

mettyjen henkilöiden tehtävänä on kirjata valuolosuhteet ja tehdyt jälkitoimet betoimispäiväkirjaan.

Lattiabetonirakenteen jälkihoito jaetaan kahteen vaiheeseen: varhaisjälkihoitoon, joka tehdään heti pinnan oikaisun jälkeen sekä varsinaiseen jälkihoitoon, joka tehdään pinnan hiertämisen jälkeen ja siitä eteenpäin. Valun jälkeen betonin pinnan rikkominen on tärkeää, jotta vesi pääsee helpommin siirtymään kohti pintaa myös syvemmältä betonista.

Kuivumiskutistumista rakenteesta jälkihoidolla ei voida poistaa, mutta kuivumiskutistuminen alkaa siitä, kun jälkihoito lopetetaan. Jotta voitaisiin välttää halkeilua, varsinkin lattioissa on huomioitava, että käytetyn massan vetolujuus kestää kuivumisesta ja kutistumisesta johtuvat jännitykset. Tehokkaalla jälkihoidolla estämällä kosteuden poistuminen valetusta rakenteesta voidaan estää betonin varhaisvaiheen plastista halkeilua. (10.)

4 Betonilattia työmaalla

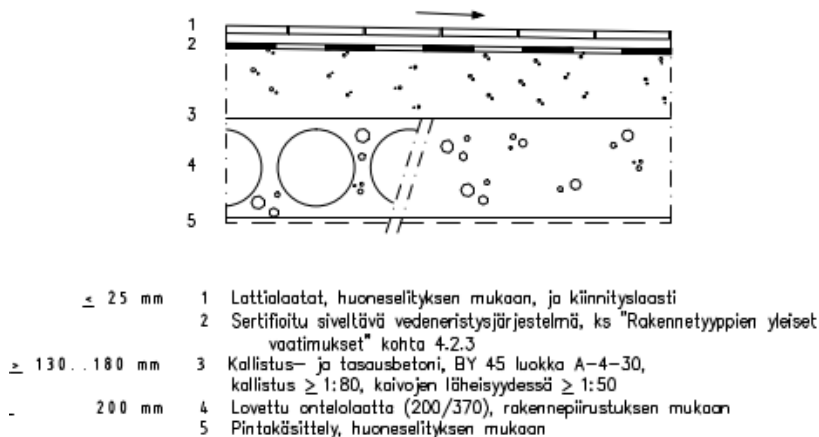
4.1 Lujatalo

Tutkimus tehtiin Lujatalon työmaalla. Luja-yhtiöt perusti Felix Isotalo vuonna 1953 ja nykyään Luja-yhtiöt työllistää 1600 työntekijää Pohjoismaissa. Lujatalo on osa Luja-yhtiötä, joka rakentaa toimitila- ja asuntorakennuksia. Lujatalolla työskentelee 777 ammattilaista ja Lujatalon liikevaihto tällä hetkellä on yli 500 miljoonaa euroa. Lujatalon yksi työmaa sijaitsee Kruunuvuorenrannassa, Laajasalossa Helsingissä. Tällä työmaalla olen saanut olla sisäpuolen mestarina ja oppia paljon sisäpuolen rakennusvaiheista. Työmaalle valmistuu 31.8.2020 mennessä lähes 300 asuntoa.

4.2 Lähtökohdat

Kruunuvuorenrannan työmaalle kylpyhuoneita rakennettiin lähes 400. Näiden kuivatamiseen meni paljon aikaa, joten haluttiin selvittää, kuinka voidaan säästää aikaa ja rahaa. Työmaalle otettiin käyttöön kaksi eri keinoa kuivattaa kylpyhuoneen betonilattiaa; lämmityskaapelit ja tavalliset lämpöpuhaltimet, joten ne otettiin vertailuun. Ajan lisäksi vertailuun otettiin myös näiden kahden kuivatustavan kustannukset.

-



Kuva 5. Detali valettavasta kylpyhuoneen lattiasta.

Työssä valettiin kuvan 5 kohta 3, pintabetoni. Kuvan rakenteesta käy ilmi mitä pintabetonin alla on ja mitä sen päälle laitetaan. Tapauksessa ontelon päälle valettu betoni päällystetään vesieristeellä ja kylpyhuone laatoilla.

Tarkasteluun otettiin kymmenen kylpyhuonetta, joissa oli viidessä lämmityskaapelit betonin sisällä ja saman verran kylpyhuoneita, jotka kuivatettiin lämpöpuhaltimia käyttäen. Kuivumisen tarkasteluun käytetty ajanjakso alkoi molemmissa samaan aikaan, mutta päättyivät eri aikoina. Molemmissa rakennuksissa työvaiheet olivat samat. Ikkunat olivat asennettu ja parvekkeiden oviin oli tehty väliaikaiset vaneriovet pitämään lämmin ilma sisällä. Kaikissa kylpyhuoneissa lattiavalun paksuus oli sama noin 20 cm ja kaikki valettiin samalla massalla.

Betonilattioiden kuivuminen on työmaan yksi pitkäkestoisimmista vaiheista. Kiireen uhatessa työmaan edistymistä, halu lattian päällystämiseen on valtava, koska seuraavat työvaiheet olisi hyvä saada aluille mahdollisimman nopeasti. Betonin pitää olla tarpeeksi kuiva ennen päällystämistä. Betonin kuivatuksen kannalta niin betonin kuin sen ympäröivä ilma tulisi pitää mahdollisimman stabiilina parhaan kuivumisen toteutumiseksi.

4.3 Kosteus

Vesi on yksi betonin raaka-aineista, jonka pitää kuivua, jotta betonin päälle voidaan laittaa haluttu pintamateriaali. Vesi, joka on jäänyt pintamateriaalin alle, nousee ja tarttuu pintamateriaalin. Tämän seurauksena useissa tapauksissa syntyy homeita. Kun betonin annetaan kuivua, vältetään mahdollisilta sisäilmaongelmilta. Sisäilmaongelmia synnyttävät rakenteen mikrobivauriot ja kemiallinen vaurioituminen sekä päällysteiden haitalliset kosteusliikkeet ja alustaan kiinnitettävien materiaalien irtoaminen.

Tavallisilla betoneilla siirtymiskuivumisen eli haihtumiskuivumisen vaikutus on kuitenkin suurempi kuin sitoutumiskuivumisen. Suhteellinen kosteus ympäröivässä ilmassa vaikuttaa siirtymiskuivumiseen toisinpäin kuin sitoutumiskuivumiseen. Eli mitä alhaisempi ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on, sitä suurempi on rakenteen sisäosan ja pinnan kosteusero. Silloin myös kosteutta siirtävä voima on suurempi ja kosteus siirtyy nopeammin. Betonin vesihöyryn läpäisevyys kuitenkin laskee jyrkästi, kun betonin suhteellinen kosteus laskee. Tällöin kosteuden siirtyminen pintarakenteista hidastuu. Beto-

nin kuivumisen kannalta optimaalisena ilman suhteellisena kosteutena pidetään noin 50 % RH. (11.)

4.4 Kosteuden mittaaminen

Kosteusmittauksista saadaan selville sen hetkinen betonin ja ilman kosteuspitoisuus. Tulosten avulla voidaan tarvittaessa vaikuttaa olosuhteisiin. Seurantakosteusmittausten avulla saadaan selville, kuinka betoni on kuivunut, onko se aikataulussa ja missä on poikkeamia. Näin havaitut poikkeamat voidaan korjata ajoissa ja tarvittaessa tehostaa kuivatusta. Mittaukset ja seuranta tulisi aloittaa heti kun lämpötila on saatu oikeaksi. Kattavampi mittaus tulisi tehdä pari viikkoa ennen päällystystyön aloittamista. Seurattamittauksia otettiin tietenkin tarvittaessa.

Betoni voi imeä itseensä kosteutta kapillaarisesti absorboimalla tai siirtää vesihöyrynä olevaa kosteutta diffuusion vaikutuksesta. Betonissa olevan kosteuden mittaamiseen on kehitetty useita erilaisia mittauslaitteita ja menetelmiä. Tarkkoja mittausmenetelmiä ovat porareikämittaus ja näytepalan ottaminen. Hyvä tapa betonin kosteuspitoisuuden selvittämiseen on porareikämittaus.



Kuva 6. Porareikämittaukset lattiassa.

Mittauksessa porataan lattiaan ja seinään tietylle syvyydelle reikä. Reiän pohjaan saakka asennetaan putki ja annetaan sen lämpötilavaihtelujen tasaantua kolme päivää.

Putken täytyy olla puhdas, jotta mittaustulos olisi luotettava. Mittaustulos saadaan mitalaitteella putkesta. Kun betoni on riittävän kuiva, voi putket irrottaa ja poratut reiät täytetään nopeasti kuivuvalla betonimassalla.

Täytyy muistaa, että myös ilman lämpötila vaikuttaa kosteuspitoisuuteen. Betonin kosteutta voidaan esittää myös suhteutettuna materiaalin kuivapainoon. Tämä kertoo vesimäärät, jotka ovat imeytyneet betoniin kapillaarisesti. Betonilattian suhteellinen kosteus pitää olla alle 90% ennen kuin betonin päälle voidaan ruveta työstämään mitään materiaalia. (12.)

Tutkinnassa käytettiin myös hetken Wiisteen mittauslaitetta. Wiisteen tarkoitus oli tarkkailla betonin kosteutta sekä ilman lämpötilaa ja ilman kosteutta valupäivästä lähtien. Wiisteen käyttö todettiin epävarmaksi heti ensimmäisten porareikämittausten yhteydessä, kun heittoa oli jopa 5%. Wiisteen käyttö lopetettiin ja data kerättiin Porareikämittauksilla. Epätarkkoihin mittaustuloksiin syynä todennäköisesti oli mittausanturoiden viallinen asentaminen.

Betonin kuivumisaika koostuu monesta eri tekijästä. Kuivumisaikaan vaikuttaa mm. käytetty betonilaatu, rakenteen paksuus, kuivumissuunta ja erityisesti kuivumisolosuhteet. Kuivatukseen kuluu aikaa yksi viikko senttimetriä kohden. Valun paksuuden ollessa 20 cm voidaan olettaa kuivumisen ajaksi noin 20 viikkoa normaaleissa olosuhteissa.

5 Tutkinta

Tutkinta aloitettiin 26.6.2019 työmaan kahdessa eri talossa. Näihin valettiin kylpyhuoneisiin betonia ja betonin sekaan asennettiin Wiisteen mittausanturat. Kuivumisen tarkat arvot otettiin porareikämenetelmällä ja niiden tulosten perusteella tehtiin johtopäätöksiä. Toisessa talossa oli lämmityskaapelit betonin sisällä lämmittämässä betonia ja jonkun verran samalla talon sisäilmaa. Toisessa taas oli lämpöpuhaltimet pitämässä huonelämpötilaa kuivumiselle otollisena. Molemmissa taloissa oli rappukäytävässä iso makkarapuhallin lämmittämässä ja vaihtamassa sisäilmaa. Pienestä otannasta huolimatta tutkimuksessa päästiin johtopäätökseen.

Lämmittimien käyttäminen on yksinkertainen vaihtoehto lämpötilan nostamiseen. Niillä voidaan nostaa niin rakennuksen ilman lämpötilaa kuin tietyn rakenneosankin lämpötilaa. Kosteudenpoiston kannalta sisälämpötilan nostamisella pyritään siihen, että ilman lämpötilan noustessa se pystyy sitomaan itseensä enemmän kosteutta (katso kuva 2). Näin rakenteissa oleva kosteus siirtyy diffusiivisesti kylmemmistä, korkeamman suhteellisen kosteuden omaavista rakenneosista ilmaan. Tällöin on myös huomioitava, että kosteammaksi muuttuvan sisäilman on päästävä kuivumaan tai vaihtumaan korvaavaan, kuivempaan ilmaan. Tässä voidaan käyttää avuksi myös ilmankuivaimia, joista lisää alaluvussa.

5.1 Lämmityskaapelit




Kuva 7. Työmaalla käytetty lämmityskaapeli.

10m pitkä lämmityskaapeli asennettiin betonin sisään valun yhteydessä. kaapeli kytkettiin sähkövirtaan ja lämmityskaapeli alkoi lämmittää betonia. Tarkoitus tässä oli ylläpitää betonin lämpötilaa optimaalisessa 20 °C:ssa. Tällöin betoni kuivuu nopeasti ilman halkeamista. Lämmityskaapelia pitää välillä pitää pois päältä, sillä jatkuva kuumentaminen aiheuttaa betonin liian nopeaa kuivumista. Liian nopea kuivuminen aiheuttaa betonipinnan halkeamista. Halkeaminen voi vaurioittaa lattialämmityspotkia, jotka eivät saa vaurioitua.

Ekologisesti ajatellen, kun kaapelit joudutaan jättämään betonin sisälle, ei kaapelien käyttö ole niin ekologista, kuin lämpöpuhaltimen käyttäminen. Muovilla päällystettyjen kaapeleiden tuhlaaminen käyttää enemmän luonnonvaroja, mutta kyse on hyvin pienestä määrästä koko rakennuksen rakentamiseen nähden.

Kaapelia käytettäessä 26.6 valetussa betonissa vaadittu alle 90% kosteuspitoisuus saavutettiin 10.10.2019, joka tarkoittaa 106 päivää. Tätä tietoa käytetään kustannusten laskennassa ja aikataulun vertailussa. Kuten kuvastakin huomaa, että ilman lämpötilaa ei pystytty pitämään optimaalisena 20 °C:ssa, mutta betoni kuitenkin kuivui odotettua nopeammin.

8




BETONIN KOSTEUSMITTAUSRAPORTTI

Mittauspöytäkirja

Mittaustapa: RT 14-10984, porareikämenetelmä
Mittauspäivämäärä: 10.10.2019
Porauspäivämäärä: 2.10.2019
Mittaja: Tuomo Marjamäki

Kerros	Huoneisto /tila	Rakenne	Mittauspiste		Mittau tulokset			
			Mittaus- syvyys	Anturinro.	RH%	°C	g/m ³	
	D86 KPH	Lattia	28	T20	79,0	11,5		
			70	M12	86,6	11,6		
	D87 KPH	Lattia	28	C17	78,1	12,2		
			70	C10	84,7	12,0		
	D91 KPH	Lattia	28	T15	80,8	14,3		
			70	F1	88,1	14,5		
	D92 KPH	Lattia	28	C18	77,4	14,2		
			70	C5	87,3	14,2		
	D93 KPH	Lattia	28	M4	81,1	13,9		
			70	T9	89,4	13,8		
	D94 KPH	Lattia	28	C1	76,0	13,6		
			70	C9	84,9	13,4		
	D95 KPH	Lattia	28	C14	79,9	12,3		
			70	T10	88,4	12,4		
			sisäilma	M17	72,3	13,0		
	D96 KPH	Lattia	28	M2	82,2	15,1		
			70	M10	87,2	15,3		

Cramo Finland Oy
Asennuspalvelut


Kuva 8. Työmaan porareikämittauksista saatu kosteusmittausraportti

Kosteusmittausraportista selviää mille syvyydelle jokaiseen kylpyhuoneeseen on porattu mittausreikä, kahden eri syvyyden mittaustulokset eli betonin suhteellinen kosteus ja lämpötila. Lisäksi mittauksesta selviää ilman lämpötila mittaushetkellä.

Yksi lämmityskaapeli maksoi 42,95€. Kaapeleita käytettiin yksi kutakin kylpyhuonetta kohden. Pitää muistaa, että vaikka tarkastelussa oli vain viisi kylpyhuonetta, kustannuksellisesti laskettaessa pitää ottaa kaikki rapun 25 kylpyhuonetta mukaan laskelmiin. Yhden kaapelin sähkönkulutus oli 380W.

5.2 Lämpöpuhallin




Kuva 9. Työmaalla käytetty lämpöpuhallin

Lämpöpuhaltimien tarkoitus on puhaltaa lämmintä ilmaa taloon, niin että huoneiden lämpötila pysyy tasaisena ja silloin betoni kuivuu tasaisesti joka puolelta pintaa.

Eroavaisuus lämpöpuhaltimissa ja kaapeleissa on, että kaapelit lämmittävät betonin sisältä, kun taas lämpöpuhaltimet lämmittävät vain huoneen lämpötilan otolliseksi. Lämpöpuhaltimen vuokra on 0.86€ päivää kohden. Se käyttää sähkövirtaa 2.2kW. Puhallinta pidettiin päällä ympäri vuorokauden, mutta pienellä voimakkuudella. Jos puhallinta pitää jatkuvasti päällä ja täydellä teholla, puhallin ylikuumenee helposti ja menee rikki. Sen takia sähkövirtaa pidettiin kohtuullisena 2.2 kilowatissa. Puhallin oli Lujatalon omasta konevuokraamosta, jolloin hinta oli kohtuullinen. Kuvan mukaisen samanlaisen puhaltimen saa yksityinen henkilö vuokrattua, mutta silloin hinta on 4-5€ päivää kohden. Tällaisen hinta olisi viisinkertainen, joten isolle työmaalle näitä ei kannata ottaa.

Voisi olettaa, että betonin sisällä olevat kaapelit lämmittävät betonia paremmin, koska lämpö tulee sisältä päin. Kuivatuksen jälkeen kuitenkin tehtiin poramittaus 40 mm ja 70mm betonin pinnasta. Siinä on siis tärkeää, että betoni on pinnasta alaspäin mahdollisimman kuiva. Voisi ajatella, että jos kaapelit on asennettu puoleen väliin betonivalua, niin lämmitettävää on vain 10 cm. Tuloksissa nähdään voiko ajassa voittoa käyttämällä lämmityskaapeleita ja miten niiden kahden menetelmän käyttökustannukset eroavat toisistaan.

Lämpöpuhaltimia käytettäessä 26.6.2019 valetussa betonissa vaadittu kosteuspitoisuus saavutettiin 8.11.2019, joka tarkoittaa 135 päivää. Tästä huomataan, että kaapeleiden 106 päivään nähden puhaltimilla kuluu melkein kuukausi enemmän aikaa. Kuitenkin, kuten kuvasta huomataan, puhaltimet pitivät huonelämpötilan otollisena ja toimivat suunnitellusti.



BETONIN KOSTEUSMITTAUSRAPORTTI 11

Mittauspöytäkirja

Mittauspöytäkirjan tiedot:


Mittauspöytäkirja: RT 14-10984, porareikämenetelmä
Mittauspäivämäärä: 8.11.2019
Porauspäivämäärä: 5.11.2019
Mittaja: Tuomo Marjamäki

Mittauspiste		Mittaus tulokset					
Huoneisto /tila	Rakenne	Mittaus-syy	Anturinno.	RH%	°C	g/m ³	
C50 KPH LATTIA	Kololaatta + bet. ~180mm	28	T4	77,9	21,0		
		70	M4	89,3	20,8		
C51 KPH LATTIA	Kololaatta + bet. ~180mm	28	X8	80,4	22,9		
		70	F10	91,9	22,9		
C51 WC LATTIA	Kololaatta + bet. ~180mm	28	M15	80,8	21,6		
		70	X4	89,0	21,6		
C52 KPH LATTIA	Kololaatta + bet. ~180mm	28	T18	78,5	22,3		
		70	M13	89,5	22,2		
C53 KPH LATTIA	Kololaatta + bet. ~180mm	28	F3	80,0	19,0		
		70	X5	90,8	18,6		
C53 WC LATTIA	Kololaatta + bet. ~180mm	28	M6	82,6	21,2		
		70	F7	92,6	21,6		
		sisäilma	M16	35,5	21,0		

Cramo Finland Oy
Kallosolantie 2

Asemuspalvelut
Puhelin: 010 861 4455

Y-tunnus: 2088499-0
S-posti: etunimi.sukunimi@boramo.com



Kuva 10. Toisen vertailukohteen kosteusmittausraportti.

Raportti on saman yrityksen kuin kuvan 8 raportti ja siitä käy ilmi samat asiat.

5.3 Kustannukset ja aika

Tässä kappaleessa lasketaan kustannukset lämpöpuhaltimien ja kaapeleiden osalta. Samalla myös vertaillaan, kumman käyttö oli ajallisesti tehokkaampaa. Aika saatiin suoraan laskemalla valupäivästä päivään, jolloin porareikämittauksessa saatu tulos alittaa vaaditun kosteuspitoisuuden. Ero oli 29 päivää eli melkein kuukausi. Ajallisesti voi siis suoraan sanoa, että lämmityskaapeleilla saadaan säästettyä aikaa. Kustannuksissa pitää ottaa huomioon kokonaismäärä samankokoisten rappujen välillä. Sillä samat viisi lämpöpuhallinta keskuspuhaltimen kanssa pystyivät ylläpitämään lämpöä koko rapussa, jolloin seurannan ulkopuoliset kylpyhuoneet kuivuivat samalla. Tämän takia mitä vähemmän valettavia kylpyhuoneita on sitä paremmin kaapelit toimivat taloudellisesti, koska tällöin pystytään kohdistamaan lämmitys paremmin muutamaan paikkaan ja kaapeleiden suuri alkuostokustannus on pieni.

5.3.1 Lämpöpuhaltimen kustannukset

Lämpöpuhaltimen vuokra oli 0.86€ päivää kohden. Tämä on Lujatalon omalta kalustovuokrauksesta vuokrattu lämpöpuhallin. Alla on kuva puhaltimien vuokralaskusta.

Haakoninlahdekatu 1-3 00590 Helsinki		Tilausviitteenne		11.00			
Tuote tai palvelu:	Määrä:	Vuokra-aika:	Vuokra-päivät:	Hinta/ vuokrahinta:	Veroton yhteensä:	Alv : 0 %	Verollinen yhteensä:
11390 23266 SÄHKÖPUHALLIN TALHU 3.2	1 kpl	24.10 - 31.10	6 pv	0.86 J	5.16	0.00	5.16
11390 23277 SÄHKÖPUHALLIN TALHU 3.2	1 kpl	24.10 - 31.10	6 pv	0.86 J	5.16	0.00	5.16
11390 23287 SÄHKÖPUHALLIN TALHU 3.2	1 kpl	24.10 - 31.10	6 pv	0.86 J	5.16	0.00	5.16
11390 23297 SÄHKÖPUHALLIN TALHU 3.2	1 kpl	01.10 - 31.10		J			
11390 23459 SÄHKÖPUHALLIN TALHU 3.2	1 kpl	08.10 - 31.10	18 pv	0.86 J	15.48	0.00	15.48
11390 24015 SÄHKÖPUHALLIN TALHU 3.2	1 kpl	01.10 - 31.10	23 pv	0.86 J	19.78	0.00	19.78
11390 24018 SÄHKÖPUHALLIN TALHU 3.2	1 kpl	01.10 - 31.10	23 pv	0.86 J	19.78	0.00	19.78
11390 24020 SÄHKÖPUHALLIN TALHU 3.2	1 kpl	01.10 - 31.10	23 pv	0.86 J	19.78	0.00	19.78
11390 24023 SÄHKÖPUHALLIN TALHU 3.2	1 kpl	01.10 - 31.10	23 pv	0.86 J	19.78	0.00	19.78
11390 24029 SÄHKÖPUHALLIN TALHU 3.2	1 kpl	01.10 - 31.10	23 pv	0.86 J	19.78	0.00	19.78

Kuva 11. Työmaalla vuokralla olleen lämpöpuhaltimen lasku.

Laskusta nähdään puhaltimen yksikköhinta 0,86€, jota voidaan käyttää laskettaessa kokonaiskustannuksia.

Kohteen betoni kuivui 135 päivässä. Silloin 5 lämpöpuhaltimen kustannukseksi saadaan $0,86 \times 5 \times 135 = 580.50\text{€}$

Sähkön kulutus oli 2,2 kW, joka kerrotaan sähkön hinnalla 5 snt/kWh, jolloin kulutuksen hinnaksi saadaan 0,11€/h. Kun se kerrotaan 24h ja 135pv, saadaan yhden puhaltimen kokonaissähkönkulutus. Kun tämä kerrotaan viidellä puhaltimella, saadaan kokonaiskulutuskustannukseksi.

$$0,11 \times 24 \times 135 \times 5 = 1782\text{€}$$

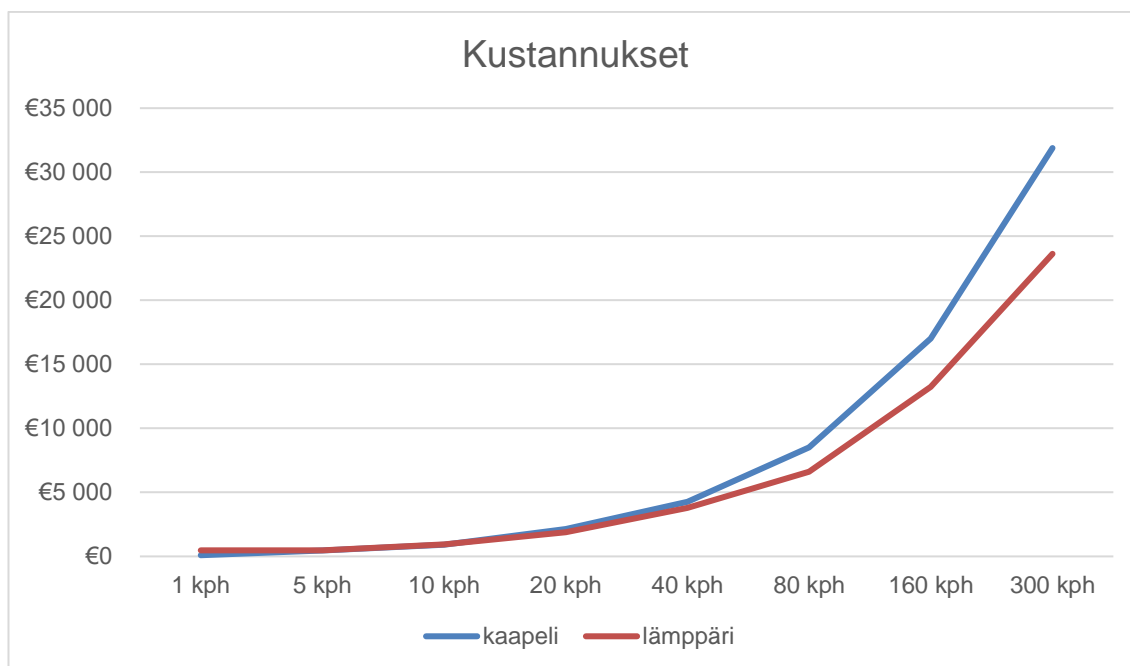
Koko rapun kuivatuksesta nämä yhteenlaskettuna on $580,5\text{€} + 1782\text{€} = 2362,5\text{€}$

5.3.2 Kaapeleiden kustannukset

D-rapussa oli viisi kylpyhuonetta per kerros viidessä kerroksessa. Eli yhteensä 25 kylpyhuonetta. Yksittäisen kaapelin hinta oli 42.95€, jolloin kokonaishinnaksi saadaan 1073,75€. Kaapeleiden hinta on K-Raudan nettisivuilta.

Kulutus kaapeleilla oli 0.38kW, joka sekin kerrotaan samalla sähkön hinnalla. Silloin saadaan hinnaksi 0,019€/h. Tämä kerrotaan 24h ja 25 kappaleella. Silloin kokonaiskustannukseksi tulee 106pv jälkeen 1208.40€

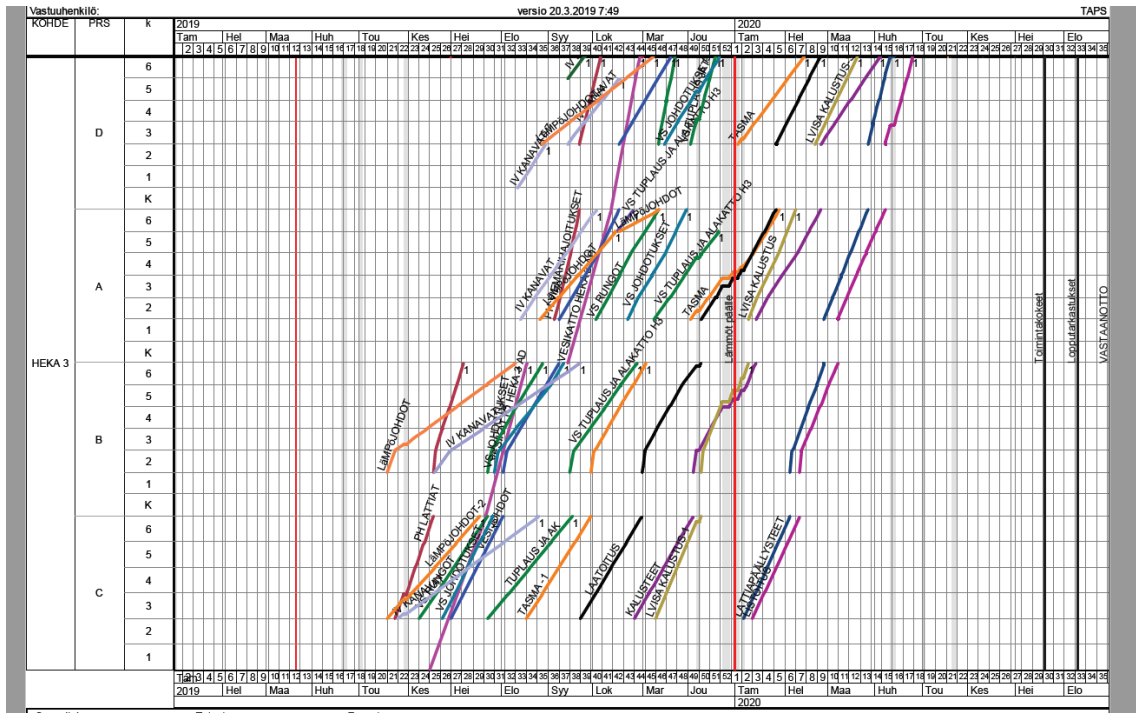
Kaapeleiden hinta ja kulutus yhteenlaskettuna on 2281,15€. Lisäksi kaapeleita käytettäessä niiden asennukseen kuluu aikaa, joka lisää kustannuksia. Asennukseen menee noin 20 minuuttia kaapelia kohden. Silloin, rakennusmiehestä riippuen, asennuksen hinta on noin 15€. Yhden rapun asennuskustannukset eivät ole kuin 375€. Koko työmaata ajatellen yli 300 kylpyhuoneen asennuskustannukseksi olisi tullut 4500€. Tämä on merkittävä lisä kokonaiskustannuksiin.



Kaavio 1. Lämmityskaapelin ja lämpöpuhaltimen kustannus vertailu kylpyhuone määrien mukaan.

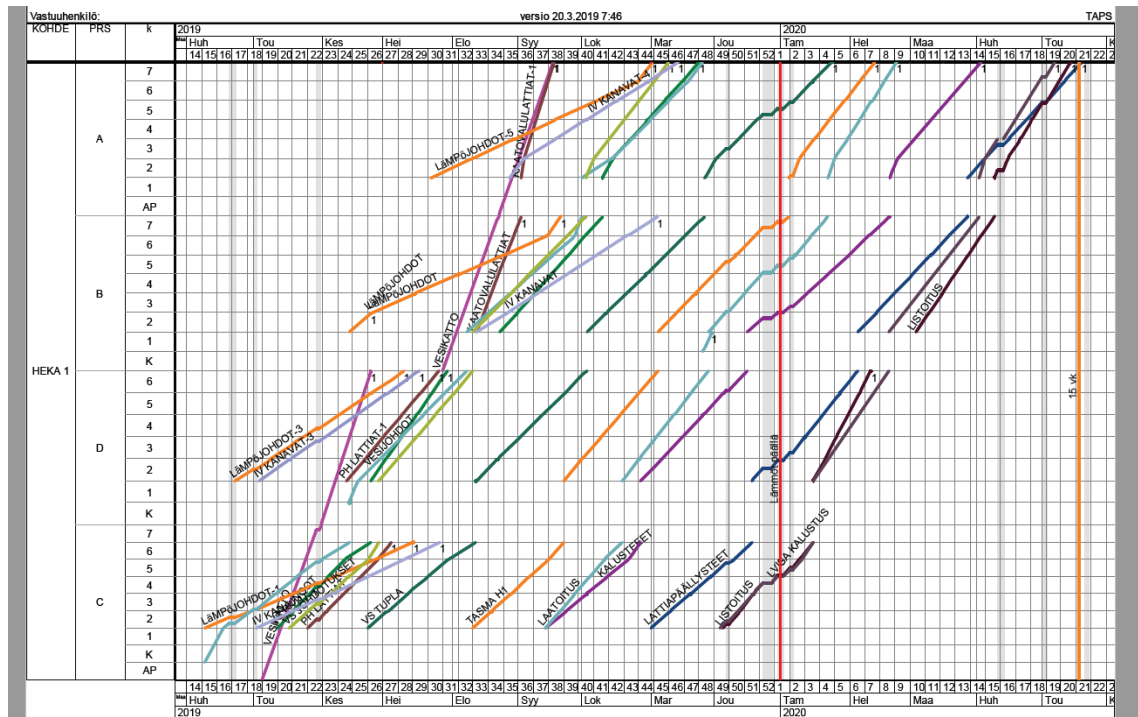
Kaavion kaavat on laskettu samalla kaavalla kuin aikaisemmissa laskuissa. Laskuissa on otettu huomioon sähkön kulutukset ja osto/vuokrahinnat. Kaaviosta huomataan, että alle viiden kylpyhuoneiden kohteissa säästöä tehdään kaapeleilla noin 300€ kun taas 300 kylpyhuoneen kohteessa puhaltimilla rahallista säästöä kertyy 8000€. Täytyy kuitenkin muistaa, että ajallisesti lämpöpuhaltimet olivat kuukauden hitaampia kuin lämmityskaapelit. Ylimääräisessä kuukaudessa työmaalla kertyy paljon muitakin kustannuksia.

Yhden kaapelin hinta oli 42,95€. 300kpl otannalla hinnan pitäisi laskea 8000€, jotta hinta olisi kilpailukykyinen. Tämä tarkoittaa kaapeleiden kokonaisostohinnasta 12885 eurosta laskua noin 5000 euroon. Se on melkein 61%. Tästä voidaan päätellä, että kappaleen hinta pitäisi laskea 61% eli noin 26 euroon. Silloin kustannukset olisivat yhtä paljon ja ainoaksi eroksi syntyisi aika, jossa kaapeleilla säästetään. Kuivumisaikoja vertailtiin vielä aikaisemmin tehtyyn sisävaiheen yleisaikatauluun.



Kuva 12. Yleisaikataulu sisävaiheen aikataulusta

Sisävaiheen yleisaikataulusta nähdään, miten rakentamisen aikataulu on suunniteltu ja kuinka paljon betonille on varattu kuivumisaikaa. Yleisaikatauluun verrattaessa huomataan, että työmaa on viisi viikkoa myöhässä alun ongelmien takia. Kuitenkin aikataulun mukaan valusta lattioiden laatoittamiseen on varattu vähän yli 17 viikkoa. Puhaltimilla saatiin lattiat kuiviksi 19 viikossa eli muutama viikko myöhässä aikataulusta.



Kuva 13. Sisävaiheen yleisaikataulu kohteesta missä oli lämmityskaapelit.

Heka 1 D rapun aikataulusta nähdään, että aikaa on varattu 18 viikkoa. Oikeasti aikaa kului vain 15 viikkoa. Aikataulua siis kirjittiin kolmen viikon verran.

6 Johtopäätökset

Ajallisesti betonin kuivattaminen lämmityskaapeleilla oli tehokasta. Lämmityskaapeleiden käyttö nopeuttaa betonin kuivatusta tämän kokoisessa kohteessa paremmin kuin lämpöpuhaltimet. Tehokkuuden vuoksi lämmityskaapeleilla voi säästää viikkoja betonin kuivatuksessa.

Kustannuksellisesti lämmityskaapeleilla ja lämpöpuhaltimilla eroa syntyy kaapeleiden kertakustannuksesta ja lämpöpuhaltimien vuokrasta. Suurempi ero syntyy, kun tarkastellaan sähkönkulutusta. Tässä tuli esille lämpöpuhaltimen huono puoli. Suuren sähkönkulutuksen takia puhaltimen kokonaiskustannukset nousivat yli kaapeleiden. Ero oli noin 574€ rappua kohden. Molemmat käyttävät samaa sähköä, jolloin erot syntyvät laitteen sähkön kulutuksesta ja määristä.

Hinnoiksi saatiin molemmille rapuille eli noin 25 kylpyhuoneelle noin 2400€. Eli hinnoilla ei juurikaan ollut loppujen lopuksi suurta eroa. Tässä nähdään, että samalla hinnalla kaapeleilla voidaan auttaa kiireiseen aikatauluun. Talossa, jossa oli kaapelit käytössä, säästettiin kuukausi aikaa seuraaville työvaiheille.

Kuitenkin, kun laskettiin hinnat suuremmalle erälle, huomataan, että kaapeleiden hinta koituu taloudellisesti niiden kohtaloksi. Katso kaavio 1. Eli suurissa kohteissa, missä on monta kylpyhuonetta, kaapeleiden hinta kasvaa suuremmaksi, kappaleiden hinnan ja asennuskustannusten takia.

7. Lähteet

1. By 201 Betonitekniikan oppikirja 2018, s. 18
2. By 201 Betonitekniikan oppikirja 2018, s. 527
3. Holmström, J. Ympäristöopas 2016. Ympäristöministeriö. Rakennetun ympäristön osasto, s. 101-105.
4. By 201 Betonitekniikan oppikirja 2018, s.530
5. Merikallio, Tarja 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi
6. By 201 Betonitekniikan oppikirja 2018, s.538
7. By 201 Betonitekniikan oppikirja 2018, s.539
8. By 201 Betonitekniikan oppikirja 2018, s.535
9. Betonilattiat kortisto Bly-14, 2012, s. 63
10. Betonilattiat kortisto Bly-14, 2012, s. 66
11. Merikallio, 2002, s. 35-36
12. RT 14-10984, 4-5.

Liitteet

Ote kosteusmittausraportista



BETONIN KOSTEUSMITTAUSRAPORTTI

Lujatalo Oy
Työ 12458
HEKA
Haakoninlahdenkatu 1
Helsinki 00590
6.2.2020



BETONIN KOSTEUSMITTAUSRAPORTTI

1

Kohdetiedot

Työkohde: As Oy Helsingin Disa

Asiakas: Lujatalo Oy

Tilaaaja: Ari Lindholm 044 5852872

Rakenteet

Väli pohja: Kolojaatta + bet, ~180mm

Alapohja:

Väliseinä: Betonielementti 200mm

Ulkoseinä: Betonielementti, sisäkuori 150mm

Muuta

Betonin kosteusmittauksia tilaajan osoittamista kohdista.

Porareikämittausta tehtäessä betonirakenteen lämpötilan tulee olla välillä +15°C - +25°C muuten mitaus on ainoastaan suuntaa-antava.

Rakenteet ovat tilaajan ilmoittamia.

Cramo Finland Oy
Y-tunnus: 2088499-0
Mänkimmähentie 4
02780 Espoo

Asennuspalvelut
Puh, 0406830792
julius.vepsalainen@cramo.com





BETONIN KOSTEUSMITTAUSRAPORTTI

3

Mittauspöytäkirja

Mittautapa: RT 14-10984, porareikämenetelmä

Mittauspäivämäärä: 17.9.2019

Porauspäivämäärä: 11.9.2019

Mittaaja: Julius Vepsäläinen

Kerros	Mittauspiste			Mittau tulokset				
	Huoneisto /Nä	Rakenne		Mittaus-syvyys	Anturinro.	RH%	°C	g/m ³
	D92 kph	VS		16	E29	71	18,9	
				40	E28	80,7	18,9	
				sisäilma	E18	50,7	18,9	
	D91 kph	US		24	E4	83,3	19,4	
				60	T1	86,9	19,6	
				sisäilma	E18	49,9	19,3	
	D90 kph	US		24	T15	83,2	18,3	
				60	T11	89,8	18,4	
				sisäilma	E18	45	18,7	
	D89 kph	VS		16	E26	73,4	17,5	
				40	E23	80,5	17,3	
				sisäilma	E18	47,1	17,8	
	D88 kph	VS		16	E5	70,9	18,8	
				40	T6	80,1	18,7	
				sisäilma	E18	49,1	18,7	
	D87 kph	VS		16	E3	73	16,3	
				40	E8	80	16	
				sisäilma	E18	49,7	16,9	
	D86 kph	US		24	E9	81,7	17,7	
				60	E6	87,2	18,2	
				sisäilma	E18	52,1	19,1	
	D85 kph	US		24	E30	78,2	18,1	
				60	E3	87,4	18,1	
				sisäilma	E18	47,1	17,8	
Ulkolma								

Cramo Finland Oy

Y-tunnus: 2088489-0
Mäntymiehentie 4
02780 Espoo

Asennuspalvelut

Puh, 0406830792
julius.vepsalainen@cramo.com





BETONIN KOSTEUSMITTAUSRAPORTTI

7

Mittauspöytäkirja

Mittaustapa: RT 14-10984, porareikämenetelmä

Mittauspäivämäärä: 10.10.2019

Porauspäivämäärä: 2.10.2019

Mittaja: Tuomo Marjamäki

Kerros	Mittauspiste			Mittau tulokset			
	Huoneisto /tila	Rakenne	Mittaus- syvyys	Anturinro.	RH%	°C	g/m ³
	D76 KPH	Lattia	28	C7	81,7	9,9	
			70	C6	87,8	9,8	
	D77 KPH	Lattia	28	D1	81,4	9,6	
			70	D12	89,4	9,8	
	D80 KPH	Lattia	28	F9	85,9	9,1	
			70	D15	91,7	8,9	
			sisäilma	M17	74,0	9,2	
	D81 KPH	Lattia	28	M10	80,3	10,5	
			70	M2	87,7	10,4	
	D82 KPH	Lattia	28	C16	81,7	10,5	
			70	D4	87,9	10,3	
	D83 KPH	Lattia	28	M7	80,4	10,8	
			70	C11	86,9	10,7	
	D84 KPH	Lattia	28	M16	78,6	11,1	
			70	M15	86,2	10,8	
	D85 KPH	Lattia	28	C12	79,7	11,5	
			70	M6	88,0	11,2	
			sisäilma	M17	73,1	11,7	

Cramo Finland Oy

Y-tunnus: 2088499-0
Mäntymiehentie 4
02780 Espoo

Asennuspalvelut

Puh. 0406830792
julius.vepsalainen@cramo.com





BETONIN KOSTEUSMITTAUSRAPORTTI

8

Mittauspöytäkirja

Mittaus tapa: RT 14-10984, porareikämenetelmä

Mittauspäivämäärä: 10.10.2019

Porauspäivämäärä: 2.10.2019

Mittaja: Tuomo Marjamäki

Kerros	Mittauspiste			Mittaus tulokset				
	Huoneisto /sija	Rakenne		Mittaus- syvyys	Anturinno,	RH%	°C	g/m ³
	D86 KPH	Lattia		28	T20	79,0	11,5	
				70	M12	86,6	11,6	
	D87 KPH	Lattia		28	C17	78,1	12,2	
				70	C10	84,7	12,0	
	D91 KPH	Lattia		28	T15	80,8	14,3	
				70	F1	88,1	14,5	
	D92 KPH	Lattia		28	C18	77,4	14,2	
				70	C5	87,3	14,2	
	D93 KPH	Lattia		28	M4	81,1	13,9	
				70	T9	89,4	13,8	
	D94 KPH	Lattia		28	C1	76,0	13,6	
				70	C9	84,9	13,4	
	D95 KPH	Lattia		28	C14	79,9	12,3	
				70	T10	88,4	12,4	
				sisäilma	M17	72,3	13,0	
	D96 KPH	Lattia		28	M2	82,2	15,1	
				70	M10	87,2	15,3	

Cramo Finland Oy

Y-tunnus: 2088499-0
Mäntymiehentie 4
02780 Espoo

Asennuspalvelut

Puh. 0406830792
julius.vepsalainen@cramo.com

