



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

VILLE-VALTTERI VALPOLA

# **Kuorilaataston talvibetonointi**

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN KOULUTUS-  
OHJELMA  
2021

Tekijä(t) Valpola, Ville-Valtteri	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Maaliskuu 2021
	Sivumäärä 40+4 liitettä	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi <b>Kuorilaataston talvibetonointi</b>		
Tutkinto-ohjelma Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aiheena on BASF Oy:n akkumateriaalitehtaan kuorilaataston pintalaatan betonointi talviolosuhteissa. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää sopivimmat työmenetelmät betonivalun suorittamiseen sekä selvittää valetun betonin ominaisuudet. Työn tarkoituksena on toimia talvibetonoinnin tietomateriaalina työmaan työnjohdolle.</p> <p>Teoriaosuus käsittelee talvibetonointimenetelmiä, lämmitys- ja suojausvaihtoehtoja sekä betonilaatuja. Valetun alueen betonin lujuuskehitys selvitettiin betonin lämpötilaa seuraamalla sekä laskemalla betonin kypsyyksiä manuaalisesti. Tutkimuksessa hyödynnettiin myös lujuuskehityksen seurantaan suunniteltua ohjelmaa. Mittaukset suoritti työmaan betonityönjohtaja.</p> <p>Betonin epätasaista lujuuskehitystä oli havaittavissa haastavimmissa olosuhteissa. Saatujen tulosten pohjalta betonointimenetelmiä pyritään parantamaan sekä tehostamaan betonin lämmitystä. Lämmitystehontarve korostuu ja kuorilaataston eristämisen vaikeus hankaloittaa betonivalun suorittamista sekä laadullisesti hyvän lopputuloksen saavuttamista.</p> <p>Tulosten perusteella voidaan todeta kuorilaataston vaikutuksen olevan suuri betonoinnin suorittamiseen talviolosuhteissa. Kuorilaatasto vaikeuttaa betonin lämmitystä, koska sen jäähdyttävä pinta on suuri. Laatasto hankaloittaa myös lämmöneristyksen toteuttamista.</p>		
<a href="#">Asiasanat</a> kuorilaatta, talvibetonointi, betoni		

Author(s) Valpola, Ville-Valtteri	Type of Publication Bachelor's thesis	Date March 2021
	Number of pages 40+4 annexes	Language of publication: Finnish
Title of publication <b>Winter concreting of precast wide slab flooring</b>		
Degree program Degree Programme in Construction and Municipal Engineering		
Abstract This study examines the concrete casting thin-shell slab at the BASF Oy battery materials factory during winter conditions. The purpose was to determine the optimal working approaches for concrete casting and to examine the qualitative characteristics of casted concrete. A further aim of this study was to provide an information package on concrete casting during winter for construction site managers.  The theoretical section covers concreting methods used in winter conditions, different heating and protective covering alternatives and concrete qualities. Concrete strength development in the casted area was determined by following the temperature of concrete and by manually calculating concrete maturity. Software designed for monitoring strength development was utilised in the study. The measurements were performed by a concrete foreman on site.  The uneven strength development of the concrete was observed in the most challenging conditions. Based on the results obtained, the aim is to improve the methods and make the heating more efficient. The need for heating capacity is emphasised and difficulty in insulating the slab complicates both concrete casting as well as getting a good final result.  Based on the results, it can be noted that the thin-shell slab has a major impact on casting concrete in winter conditions. The shell slab makes it difficult to heat the concrete because of its large cooling surface. The slab also makes it difficult to implement thermal insulation.		
<u>Key words</u> thin-shell slab, winter concreting, concrete strength development, concrete		

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	5
2 KUORILAATTA .....	6
2.1 Kuorilaatan asennus talviolosuhteissa.....	7
3 TALVIBETONOINTI.....	8
3.1 Talviolosuhteet .....	9
3.2 Betonin lämmitys .....	11
3.2.1 Lankalämmitys .....	12
3.2.2 Infrapunasäteilylämmitys .....	13
3.2.3 Kuumailmalämmitys.....	13
3.2.4 Höyrylämmitys .....	14
4 SUOJAUSTAVAT.....	15
4.1 Sääsuoijat .....	15
4.2 Suojapeitteet .....	16
4.3 Lämpösuojaus .....	16
5 BETONILAADUT.....	17
5.1 Kuumabetoni .....	17
5.2 Nopeasti kovettuvat betonit.....	18
5.3 Pakkasbetoni .....	18
6 BETONIN LUJUUSKEHITYS TALVIOLOSUHTEISSA .....	19
7 AKKUTEHTAAN KUORILAATASTO.....	21
7.1 Lähtötiedot .....	21
7.2 Suositellut valumenetelmät lämpötila-asteittain .....	21
7.3 Kuorilaataston betonointi .....	24
8 AKKUTEHTAAN BETONOINNIN LUJUUSKEHITYS.....	29
8.1 Sadgroven menetelmä .....	29
8.2 Betoplus-ohjelma .....	34
8.3 Menetelmien vertailu ja lopputulos.....	36
9 POHDINTA .....	40
LÄHTEET	

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on teollisuusrakennuksen kuorilaataston talvibetonointi. Opinnäytetyön tarkoituksena on toimia rakennustyömaalla talvibetonoinnin ennakkosuunnittelun ja toteutuksen apuvälineenä sekä tiedonlähteenä. Työn toimeksiantajana toimii MVR-yhtymä Oy. Tutkimus suoritetaan BASF Oy:n akkumateriaalien tuotantolaitoksen rakennustyömaalla. Työmaan alueella valokuvaus on rajoitettua, jonka takia opinnäytetyössä ei esitetä valokuvia työvaiheista tai lopputuloksista.

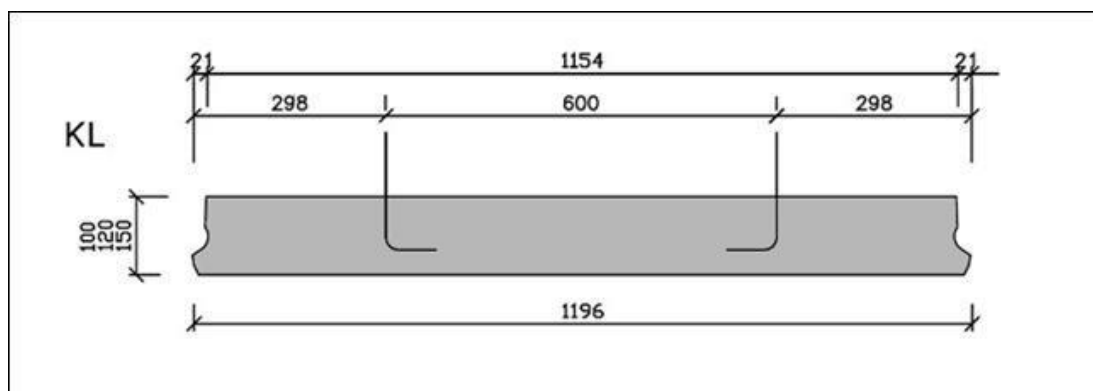
Talvibetonoinnin katsotaan alkavan alle +5 °C:n lämpötilassa (Sahlstedt, S 2013, 5). Opinnäytetyössä esitetään valumenetelmät sekä toimintatavat, joilla ehkäistään talvibetonoinnin laatu ja lujuus puutteita. Tiedonhankinnan lähteinä opinnäytetyössä toimii alan kirjallisuus sekä verkkojulkaisut. Talvibetonoinnissa hyvän lopputuloksen takaamiseksi on tärkeintä hyvä ennakkosuunnittelu, sääolosuhteisiin varautuminen ja oikeiden työmenetelmien käyttö. Tässä opinnäytetyössä kuvataan esimerkein sääolosuhteiden vaikutus ja pyritään löytämään hyvä lämmitysratkaisu.

Talvella suoritettavasta kuorilaataston valusta ei ole saatavilla laajasti tutkimuksia tai muuta lähdemateriaalia. Valua hankaloittaa sääolosuhteiden lisäksi laatan ohuus sekä kylmäsillat. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan ja raportoidaan erityisesti näitä vaikutuksia ja lopputuloksia. Kohteessa seurataan lujuuskehitystä lämpötila-antureiden ja betonintoimittajan ohjelmistoa apuna käyttäen.

## 2 KUORILAATTA

Kuorilaatta on elementtitehtaalla valmistettu esijännitetty tai jännittämätön umpinainen laattaelementti. Esijännitettyssä kuorilaatassa jännepunokset jännitetään laitteiston avulla valuvaiheessa. Esijännitetty punos puristaa betonia kasaan vahvistaen kuorilaattaa. Kuorilaatta toimii muottirakenteena paikallavalettavissa betonointikohteissa. Kuorilaatasto sisältää yleensä pääraudoituksen. Kuorilaattojen etuna on nopea asennettavuus ja se, että ne toimivat purkamattomina muotteina valettavalle betonille. Kuorilaattoja käytetään teollisuus- ja asuinrakentamisessa sekä pysäköintihalleissa. Kuorilaataston päälle valetaan raudoitettu 100-200mm pintavalu. Pintavalulla laatasto sidotaan liittorakenteeksi. Kuorilaataston paksuus on yleisimmin 100mm, 120mm ja 150mm. Kuorilaatan vakioleveys on 1200mm. Suurin jänneväli kuorilaatastolle on noin 10 metriä. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020)

Kuorilaatoissa on ansasraudoitukset, joiden tarkoituksena on yhdistää pintavalu kuorilaataston. Kuorilaatassa ei ole jakoraudoitusta, jolloin laatta kestää vain yhdessä suunnassa leikkaus- ja vetojännitystä. Jakoraudoitus sisällytetään pintavaluun. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020)



Kuva 1. Kuorilaatan poikkileikkaus (Elementtisuunnittelun www-sivut 2020)

## 2.1 Kuorilaatan asennus talviolosuhteissa

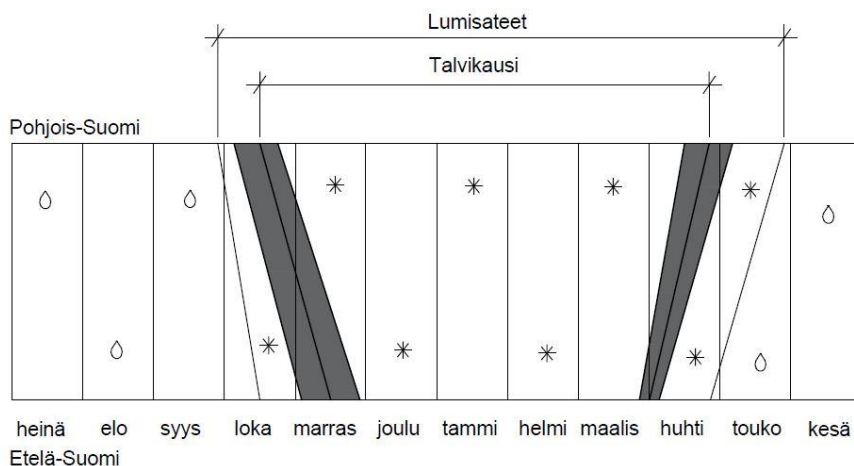
Ennen kuorilaatan asennustöiden aloittamista työmaalla laaditaan asennussuunnitelma, jossa käydään työvaiheittain asennuksen suorittaminen. Työmaalla on otettava huomioon sääolosuhteet nosto- ja asennustöissä. Talvella asennustyössä on huomiotava pintojen liukkaus ja tuulen vaikutus. Yleensä tuulen ylittäessä 15m/s yleisesti nosto ja asennustyöt on keskeytettävä työturvallisuuden takaamiseksi. Tuulen vaikutusta lisää kuorilaattojen koko sekä asennuskorkeus. Pienemmilläkin tuulilla on työt keskeytettävä, jos havaitaan tuulen vaikutuksesta johtuvia riskikohtia asennusvaiheessa. (Pielisen betonin www-sivut 2017)

Kuorilaatat asennetaan nosturilla nostamalla ansaista tai nostolenkeistä, apuna voidaan käyttää myös kuorilaatan nostamiseen suunniteltuja nostosaksia. Kuorilaatat säilytetään väliaikaisesti elementtitelineissä päällekkäin. Kuorilaatat tuetaan yleensä pinta-alku suoritettaessa. Tuennalla ehkäistään laatan kaareutumista ja kiertymistä. (Pielisen betonin www-sivut 2017)

### 3 TALVIBETONOINTI

Betoni koostuu pääosin runkoaineesta, vedestä ja sementistä. Sementtirakeet reagoivat veden kanssa muodostaen osa-aineet yhteen sitovan lujan mineraalin. Kovettunut sementti sitoo runkoaineen kiviainekset yhtenäiseksi ja kestäväksi materiaaliksi. (Betoniteollisuus ry www-sivut 2020)

Talvibetonoinnin katsotaan alkavan  $+5\text{ °C}$ :n lämpötilassa. Kuvasta 2 havaitaan, että Etelä-Suomessa esiintyy vuodessa keskimäärin seitsemän kuukautta, joissa olosuhteet täyttävät talvibetonoinnin kriteerit. Pohjois-Suomessa näitä kuukausia esiintyy vuodessa keskimäärin yhdeksän. Talvibetonointi lisää työmaan kustannuksia sekä pitkitää työvaiheita. Talvella suoritettavissa valuissa työn ennakkosuunnittelu korostuu. Betonityönjohdon on oltava päteväitynyt ja omaavan kokemusta talvibetonoinnista. Sääolosuhteet lisäävät lujuusominaisuuksien puutteiden mahdollisuuksia. Vaurioitunutta betonia ei voida korjata ilman betonin piikkaamista ja purkamista. Virheiden korjaaminen on kallista ja työlästä, joten on huolehdittava oikeista toimintatavoista ja suunniteltava työt huolellisesti. (Vuorinen 2012, 134)



Kuva 2. Talvibetonointikauden keskimääräinen kesto Suomessa (Betonitekniikan oppikirja by 201 2018, 492)

Alhaisessa lämpötilassa betonin lujuuskehitys hidastuu. Kovettuvan betonin jäätyessä hydrataatio keskeytyy. Betoni ei saavuta tällöin laskettua lujuutta ja ominaisuuksia. Betonin jäätymlujuudella tarkoitetaan betonin saavuttamaa lujuutta, jolloin betoni



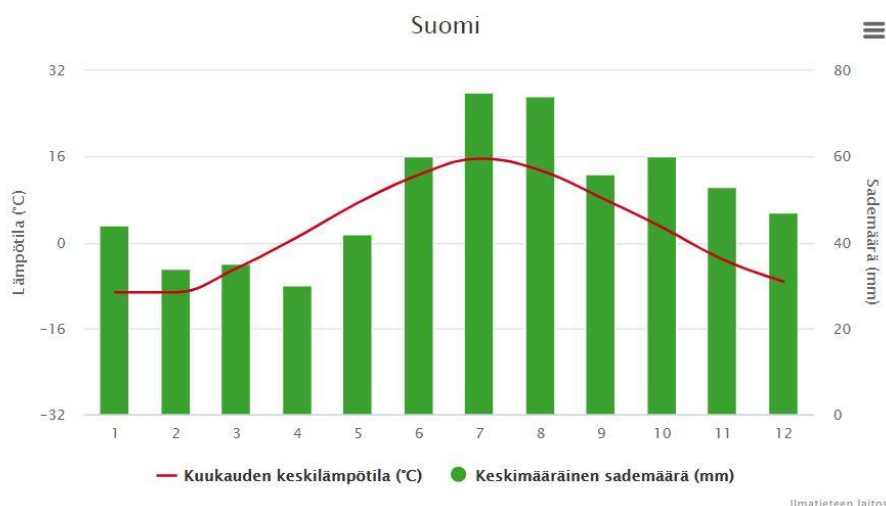
kestää vaurioitumatta pakkasen vaikutuksen. Betonin jäätymislujuus on kaikilla betoniluokilla 5 MN/m<sup>2</sup>. Oikealla betonin suojauskella ja lämmityksellä estetään jäätyminen ja sen aiheuttamat vauriot. (Sahlstedt, S 2013, 14-16)

### 3.1 Talviolosuhteet

Talvibetonointi katsotaan alkavan ilman lämpötilan laskiessa alle +5 °C:n. Tällöin betonin kovettuminen hidastuu sekä yöpakkasen mahdollisuus on suuri, tällöin betonin on mahdollista jäätyä ilman suojausta. Suomessa talviolosuhteet ovat ankarat, kylmin ajanjakso alkaa yleensä tammikuussa. Sääolosuhteissa vaikuttavia tekijöitä ovat myös tuuli ja lumisade, jotka lisäävät valetun betonin sääsuojausta. Sääolosuhteiden vaikutus voidaan ehkäistä ennakkosuunnittelulla. Betonoinnin yleissuunnitteluvaiheessa sääolosuhteita arvioidaan erilaisten rakennussääpalveluiden ja säätilastojen avulla. (Sahlstedt, S 2013, 28-33)

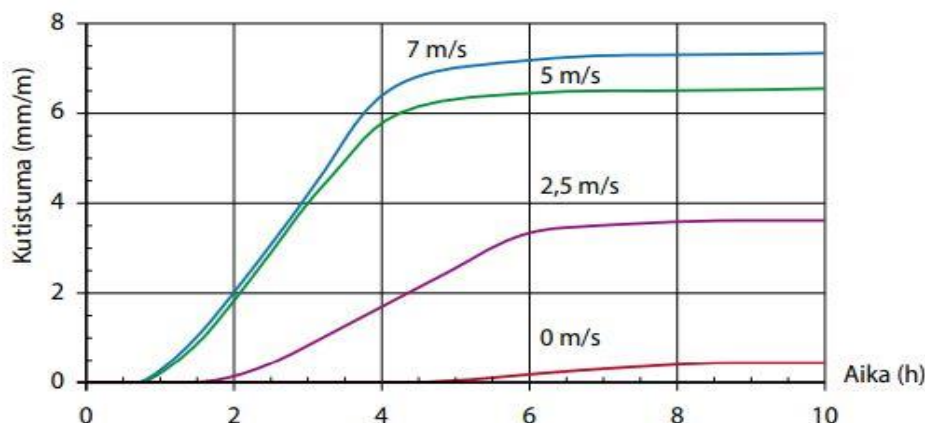
Satanut lumi pitää poistaa valettavasta kohteesta huolellisesti. Tämä hidastaa työtä ja lisää kustannuksia. Äkillinen lumisade saattaa keskeyttää valun tai siirtää kokonaan valun aloittamista. Erityisesti Pohjois-Suomessa rankkoihin lumisateisiin on varauduttava hyvin jo suunnitteluvaiheessa, mutta myös Etelä-Suomessa on syytä talvikaudella varautua aina lumi- ja räntäsateisiin. (Sahlstedt, S 2013, 58)

Kuvassa 3 on ilmoitettu keskilämpötila ja keskimääräinen sademäärä kuukausittain Suomessa. Ilmatieteen laitos on laatinut kuvaajan vuonna 2010, tämä on viimeisin vertailukelpoinen kuvaaja. Ilmasto muuttuu koko ajan, tilastollisesti ilmasto muuttuu lämpimämmäksi, sekä sateiden määrä vaihtelee runsaasti. Ilmatieteen laitoksen alustavien tilastojen mukaan vuoden 2020 keskilämpötila oli Suomessa ennätysellisen korkea, noin 4,8 astetta. Tämä ylittää edellisen ennätyksen vuodelta 2015 jopa noin 0,6 asteella. (Ilmatieteen laitoksen [www-sivut](http://www.ilmatieteenlaitos.fi) 2021) Talvikuukausien keskimääräinen lämpötilan nousu vähentää talvibetonoinnissa lämmitysenergian määrää. Näin ollen vaihtelevat sääolosuhteet sekä sateet yleistyvät, jotka luovat omat haasteensa betonoinnin suorittamiseen.



Kuva 3. Suomen kuukausittainen keskilämpötila ja sademäärän keskiarvo jaksolla 1981-2010. (Ilmatieteen laitoksen www-sivut 2021)

Tuulen vaikutus on huomattava erityisesti kylmissä olosuhteissa, koska se lisää kylmän ilman siirtymistä lämmitettyyn muottiin ja betonoituun pintaan. Tuuli lisää myös betonin pinnalta haihtuvan kosteuden määrää, mikä lisää betonin kutistumaa varhaisessa kuivumisvaiheessa. Pakkasella tuuli jähdyttää betonia saaden aikaan valetun betonimassan lämpötilan laskemisen. Tämä hidastaa betonin jäätymis- ja muotinpurkulujuuden saavuttamista. Kovassa tuulessa betonointia ei myöskään voida suorittaa turvallisesti. Torninosturia ja muita nostimia ei myöskään voida kovassa tuulessa käyttää, jotta työturvallisuus ei vaarannu. Pakkasessa tuuli lisää myös pakkasen purevuutta eli tuuli lisää lämmön haihtuvuutta. Työn suorittaminen hankaloituu ja työn suorittajien paleltumien riski kasvaa. Tuulen vaikutus on otettava huomioon lämmitystä mitoittaessa ja työn suorittamiseen liittyvässä ennakkosuunnittelussa. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2019, 220-221)



Kuva 4. Tuulen vaikutus suojaamattoman betonirakenteen kutistumaan (Ruduksen www-sivut 2017)

Ilman absoluuttisen kosteuden määrä talvella on pieni, mutta ilman kosteus on suuri. Tämän seurauksena pinnoilta haihtuvan kosteuden määrä on vähäistä. Lämmitettäessä betonia ja valukohdetta, ympäröivän ilman kyllästysvajausta kasvaa. Seurauksena betonipinnan haihtuvuus kasvaa. Haihtuva vesi tiivistyy muotinreunoihin ja raudoituksiin, mikä näkyy pakkasella huurteena ja kuurana pinnoilla. Vähäinen haihtuvuus hidastaa betonin kuivumista, mikä on otettava huomioon betonin kuivumisajan arvioinnissa. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2019, 221)

### 3.2 Betonin lämmitys

Betonin lämmitys on pyrittävä jakamaan tasaisesti betonimuottiin. Muotin reuna-alueilla lämmön luovutus on huomattavasti suurempi kuin keskiosassa. Reuna-alueilla on usein kylmäsiltoja, jotka vaikuttavat lämmönluovutukseen. Lämmityksen mitoittamiseen vaikuttavat valettavan betonin paksuus, betonityyppi, kylmäsilat ja lämpötila. Lämmitysvaihtoehtoja on useita, lämmitystavat voidaan jakaa valuuun asennettaviin ja ulkoisiin lämmitysvaihtoehtoihin. Yleensä käytetään molempia vaihtoehtoja toivotun lopputuloksen takaamiseksi. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2019, 234-235)

Lämmitys tulisi aloittaa aikaisemmin ennen valamisen aloittamista. Lämmitykseen kuuluu myös ennen valun aloittamista muottipintojen sulatus ja kylmien rakenteiden esilämmitys. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2019, 234-235) Tehokkain

lämmitysvaihtoehto on lämmitettävät muotit. Kuorilaatastossa tätä on vaikea toteuttaa monissa kohteissa. Laataston alapuolinen lämmitys käytännössä vastaa tällaista menetelmää, joka olisi tehokkain tapa lämmittää kuorilaataston betonointia, tätä on kuitenkin vaikea toteuttaa monissa kohteissa. Lankalämmitys on yleisin vaihtoehto kuorilaatastoa lämmitettäessä, yhdistettynä kuumailma tai infrapunalämmityksen kanssa. Höyrylämmitystä käytetään apuna mahdollisen jään ja lumen sulatuksessa kuorilaatastoa betonoitaessa. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2019, 235)

### 3.2.1 Lankalämmitys

Lankalämmityksen periaatteena on asentaa betonin sisään lämmitysvastus, jonka tarkoituksena on lämmittää betonia sisältä ulospäin. Lankalämmitys voidaan toteuttaa lämmityskaapelilla tai teräksisellä lämmityslangalla. Lankalämmityksen avulla saadaan kohdennettua lämmitys tarkasti tietyille alueille ja rakenneosille, jotka vaativat lisälämmitystä. Lämmitysmuodolla saadaan lämmitettyä betoni kohtalaisella energiamäärällä sekä rajattua tarpeettomien tilojen lämmitystä. Lämmityksen etuna on myös se, että tarvittaessa lämmitystä voidaan ylläpitää myös muottien purkamisen jälkeen. (Betonin lämmittäminen talvivaluissa 2011, 22-23)

Lämmityskaapeli on betonin raudoituksiin suoraan asennettava kaapelimainen lämmitysvastus. Lämmityskaapelin etuna on helppo asennettavuus ja kestävyys. Lämmityskaapeli ei vaurioidu helpolla, joten kuljetukset ja säilytys on helppoa. Lämmityskaapelia käytetään yleensä pienemmissä valuissa lämmitysmuotona. Suuremmissa valuissa lämmityskaapelia käytetään yleensä reunojen ja kylmäsiltojen kohdissa lisälämmityksenä. Kustannus syistä lämmityskaapelilla ei kannata lämmittää suuria kohteita. (Betonin lämmittäminen talvivaluissa 2011, 19)

Lämmityslanka on 2 millimetrin paksuista muovipäällystettyä teräslankaa, joka asennetaan suoraan betonimuottiin. Lämmityslankaa käytettäessä on aina lämmitysvirta kytkettävä muuntajan kautta, joka alentaa jännitteen 9-42 voltin suojajännitteeksi. Muuntajan avulla voidaan säätää myös vastusten lämpötilaa. Lämmityslangat asennetaan enintään 500 millimetrin jaotuksella. Lämmityslangan käytössä riskinä on lämmityslangan katkeaminen tai vaurioituminen, jolloin lämmitys ei toimi koko

valualueella. Lämmityslangan käyttö on kustannuksellisesti kannattavaa ja siksi se on erityisesti suurissa valukohteissa usein käytetty vaihtoehto. Lämmityslangan käyttö edellyttää suunnittelua sekä lämmitysmitoituksen laskentaa. Erityisosaamisen seurauksena lämmityslangan käyttö on vähentynyt työmailla huomattavasti. (Sahlstedt, S 2013, 45-47)

Lankalämmityksessä lämpötilaerot kasvavat helposti, mitä voidaan välttää tihentämällä lankojen asennusväliä. Lämpötilaerot saattavat aiheuttaa betonin halkeilua epätasaisen kuivumisen seurauksena. Lankalämmitys sopii erityisesti pilareiden, anturoiden, palkkien, elementtien saumojen ja kylmää pintaa vasten valettavissa kohteissa. (Sahlstedt, S 2013, 45-47)

### 3.2.2 Infrapunasäteilylämmitys

Infrapunasäteilylämmityksen toimintaperiaate perustuu lämmön siirtämiseen säteilyllä lähellä oleviin pintoihin. Infrapunasäteilylämmittimiä on joko öljy-, kaasu- tai sähkökäyttöisiä. Betonivalun lämmityksessä infrapunasäteilylämmittintä voidaan käyttää joko suoraan betonipinnan lämmittämiseen tai epäsuorasti esimerkiksi muotin pintaan. Suoraan betonipintaa lämmitettäessä on yleensä betonin pinta peitettävä, esimerkiksi muovilla, liian nopean kuivumisen estämiseksi. Infrapunasäteilylämmityksen lämmönsiirtoteho on herkkä ilmavirtauksille. Infrapunasäteilylämmitys sopii suurien ja massiivisten valurakenteiden lämmittämiseen. (Sahlstedt, S 2013, 44)

### 3.2.3 Kuumailmalämmitys

Kuumailmalämmityksessä lämmön välittäjänä toimii ilma. Ilmaa lämmitetään ja puhalletaan eteenpäin huoneilmaan puhaltimen avulla. Kuumailmalämmityksessä lämpöenergia synnytetään joko öljy-, kaasu-, sähkö- tai lämminvesienergialla. Lämmin ilma kulkeutuu helposti pois, erityisesti tuulen mukana. Lämmitettävän tilan tulee olla tiivis, jotta lämmitys olisi kannattavaa taloudellisesti. Käytettäessä öljy- ja kaasulämmitteisiä polttimia tulee ottaa huomioon palamisessa syntyvien palamiskaasujen ja hiukkasten pitoisuudet ilmatilassa. Nämä yhdisteet ja hiukkaset ovat vaarallisia.

Lämmitettävään tilaan tulee järjestää riittävä ilmavaihto kaasujen kertymisen estämiseksi. (Sahlstedt, S 2013, 43)

Laattarakenteiden lämmityksessä kuumailmalämmitystä käytetään yleensä alapuolisena lämmityksenä, jossa alapuoli suojataan ja tiivistetään. Kuumailma nousee yläpuoliseen rakenteeseen tai muottiin lämmittäen valettua betonia. Kuumailmalämmitystä käytetään myös usein muottienpurun jälkeisessä lämmityksessä. Kuumailmalämmitystä tulee välttää juuri valetun betonin suoraan lämmittämisessä. Kuumailmavirtaus kuivaa tehokkaasti märän betonin pintaa, mikä lisää betonin halkeilu riskiä. (Sahlstedt, S 2013, 43)

#### 3.2.4 Höyrylämmitys

Höyrylämmitystä käytetään jään ja lumen poistamiseen muottipinnoilta sekä ennalta valetuista betonipinnoista. Höyrylämmityksessä lämpöenergia tuotetaan höyrykattilassa. Lämmityksessä syntyvä korkean lämpötilan omaava höyry ohjataan suuttimellisen letkun avulla haluttuun kohtaan tarkasti. Höyrylämmitys sopii hyvin pienten alueiden lumen ja jään poistoon. Menetelmä ei ole energiataloudellisesti tehokas, sillä menetelmän hyötysuhde on noin 60-70 %. Betonirakenteiden lämmitys höyryllä on teknisesti epäedullista siinä syntyvän kosteuden vuoksi. (Betonitekniikan oppikirja By 201 2018, 514)

## 4 SUOJAUSTAVAT

Talvibetonointi vaatii lämmityksen lisäksi aina rakenteen suojaamisen talviolosuhteilta. Suojauksen tarkoituksena on taata riittävä lujuuskehitys sekä ehkäistä lumen ja jään kertyminen valettuun rakenteeseen. Suojausten toteutus suunnitellaan betonointia suunniteltaessa. Suunnitelmassa kartoitetaan suojausmenetelmät sekä suojauksen laajuus. Suunnitelmaa laadittaessa tulee huomioida eri rakennusosien erilainen suojaus-tarve. (Betonitekniikan oppikirja By 201 2018, 505)

### 4.1 Sääsuoijat

Sääsuojausten tarkoituksena on estää lumen, veden ja jään kertyminen valetun rakenteen pinnalle. Sääsuojaus estää myös osittain tuulen vaikutuksesta aiheutuvaa betonin pinnan nopeaa kuivumista. Sääsuojaus vähentää talvella lumen ja jään sulatus- sekä puhdistustöitä. Sääsuojaukseen on varauduttava myös ympäri vuoden, sillä mahdolliset vesisateet vaurioittavat tuoreen betonin pintaa. (Sahlstedt, S 2013, 37)

Valmiit rakenteet voivat toimia sääsuojauksena, kuten valmis vesikatto ja holvirakenteet. Jos rakennuksessa ei ole suojaavia rakenteita, käytetään sääsuojauksessa väliaikaisia sääsuoji. Väliaikaisia suojia ovat erilaiset sääsuojakatteet, hallit sekä peitteet. Usein hyvän lopputuloksen varmistamiseksi on käytettävä useampaa suojausmenetelmää. Talvibetonoinnissa sääsuojausten tiiviyyteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Kylmän ilman ja tuulen vaikutukset korostuvat talvella. (Sahlstedt, S 2013, 37)

Sääsuojarahalleja käytetään yleensä kerrostalojen ja suurien rakennusten suojaamisessa. Sääsuojarahalli on kallis, mutta isossa hankkeessa kannattava hyvän laadun takaamiseksi. Pienempiä sääsuojakatteita voidaan käyttää koko työmaan huputuksen sijasta rajaamaan työmaalla vain tietty rakenteellinen kohta työskentelyhetkellä. Sääsuojarahallit ja -katteet lisäävät työturvallisuutta, näiden alle saadaan helposti hyvä työmaa-valaistus. Työskentelyolosuhteet ja materiaalien säilytysolosuhteet paranevat katteiden myötä. (Sahlstedt, S 2013, 37)

## 4.2 Suojapeitteet

Suojapeitteitä käytetään väliaikaisina valusuojina, joita voidaan käyttää täydentämään myös muita suojausmenetelmiä tai pelkästään valun suojausena tietyissä olosuhteissa. Suojapeitetyyppejä on rakennus-, julkisivu- ja erikoispeitteet. Talvibetonoinnissa tyypillisesti käytetään lämpöä eristäviä peitteitä. Suojapeitteet ovat helppo- ja nopeakäyttöisiä sekä edullisia hankintakustannuksiltaan. Suojapeitteet ovat oikein käytettynä vesitiiviitä, tiiveyteen vaikuttaa peitteen tuenta ja paikalleen kiinnitys. Talvella suojapeitteiden päälle kerrostunut lumi pitää huomioida ja poistaa säännöllisesti. Lumiset ja jäiset peitteet tulee taitella huolella, koska jäinen peite saattaa halkeilla. (Sahlstedt, S 2013, 39)

## 4.3 Lämpösuojaus

Lämmitettävä betonivalu lämpösuojataan eli kohteesta haihtuvan lämpöenergian määrä pyritään vähentämään sekä lämpötilaa muotin eri kohdissa pyritään tasaamaan. Riittävä lämpösuojaus vähentää lämmitysenergian tarvetta ja takaa hyvän lopputuloksen kovillakin pakkasilla. Lämpösuojaukset suunnitellaan ja valmistellaan etukäteen ennen työn aloittamista. Pakkasella muotit on pyrittävä eristämään mahdollisimman hyvin, eristys tehdään ennen valua. (Sahlstedt, S 2013, 40)

Lämpötilan ollessa 0 °C:n yläpuolella riittää yleensä lämpösuojaukseksi suojapeite, jolla valu peitetään. Lämpötilan laskiessa pakkaselle lämpösuojaukseen tulee lisätä. Yleisimpiä lämpösuojausmenetelmiä ovat muottipintojen eristys, lämpösuojamatot ja levyt. Suojapeite asetetaan valun päälle valun edetessä. Suojapeitteen ja betonin väliin on jätävä riittävä ilmatila, jossa lämmin ilma pääsee kulkemaan. Lämpösuojauksessa on tärkeää, että kaikki valetut alueet on peitetty huolellisesti. Reunakohtien tiiviys ja suojausten riittävä kiinnitys tulee tarkastaa ennen valun päättymistä. (Sahlstedt, S 2013, 40)



## 5 BETONILAADUT

Talvibetonoinnissa hyvän lopputuloksen takaamiseksi, sekä kuivumisprosessin nopeuttamiseksi voidaan käyttää nopeasti kovettuvaa betonia tai kuumabetonia. Lujuuskehitystä voidaan nopeuttaa myös käyttämällä korkeamman lujuusluokan omaavaa betonimassaa. (Betoninormit 2016, 31)

### 5.1 Kuumabetoni

Kuumabetoni on tavallista betonia, joka on valmiiksi lämmitetty kuumaksi betoniaseamalla. Kuumennetulla betonilla saavutetaan nopeampi lujuuskehitys. Esilämmitetty betoni ei vaadi työmaalla suurta lämmitystä, koska jo valmiiksi lämpimän massan ylläpitolämmitys ei tarvitse hetkellisesti yhtä suurta lämpöenergiaa kuin kylmän massan lämmitys työmaalla. (Betonitekniiikan oppikirja By 201 2018, 500)

Kuumabetoni lämmitetään noin + 30-40 °C:een, noin + 10-20 °C:tta lämpimämmäksi kuin normaalibetonimassa. Lämmitystarpeeseen vaikuttavat vallitsevat sääolosuhteet ja työmaan ominaisuudet, kuten työmaalämmityksen tehokkuus sekä käytettävä muottikalusto. (Betonitekniiikan oppikirja By 201 2018, 500)

Kuumabetonissa lujuuskehitys on nopeaa. Alkulämmön ansiosta sementin ja veden hydrataatioreaktio alkaa heti alkuvaiheessa. Nopeamman lujuuskehityksen myötä valu- ja työstettävyyss aika pienenee. Parhain mahdollinen tulos kuumabetonilla saadaan aikaan suorittamalla valu nopeasti ja käyttämällä lämpöeristettyjä muotteja sekä peittämällä valu ennen betonin jäähtymistä eristepeitteellä. (Betonitekniiikan oppikirja By 201 2018, 501)

Kuumabetoni on nopeassa muottikierrossa edullinen sekä energian käytön kannalta hyvä lämmitysratkaisu. Kuumabetonin käyttö edellyttää hyvää muottien lämpöeristystä ja nopeaa valamisnopeutta. Laattarakenteita valettaessa lämpöenergian täydellinen hyödyntäminen jää yleensä vajaaksi, koska peittäminen on hitaampaa ja pinnoille suoritettava hierto pitkittää valun suorittamisaikaa. Kuumabetoni ei myöskään sovellu massiivisten rakenteiden valuihin. (Betonitekniiikan oppikirja By 201 2018, 502)

## 5.2 Nopeasti kovettuvat betonit

Nopeasti kovettuvan betonin lujuuskehitys on nimensä mukaisesti erittäin nopea normaaliin betonilaatuun verrattuna. Nimellislujuus saavutetaan 20 °C:een lämpötilassa seitsemän vuorokauden kuluttua. Nopeasti kovettuvan betonin kovettumisreaktiossa syntyy runsaasti lämpöä, joka nopeuttaa lujuuskehitystä. Nopeamman lujuuskehityksen ansiosta pystytään nopeuttamaan valukiertoa, koska muotinpurkulujuus saavutetaan nopeammin kuin tavallisesti. (Sahlstedt, S 2013, 20)

## 5.3 Pakkasbetoni

Pakkasbetoni kovettuu nimensä mukaisesti pakkasessa. Pakkasbetonia ei kuitenkaan voi käyttää kovassa pakkasessa, sillä betonin lujuuskehitys pysähtyy melkein kokonaan noin 10°C:een lämpötilassa. Myös alhaisemmissa lämpötiloissa lujuudenkehitys hidastuu. Pakkasbetoni ei sovellu rakenteisiin, joihin kohdistuu suola tai säärasituksia. Yleisin pakkasbetonin käyttökohde on elementtisaumojen valut talvella. Pakkasbetonilla ei ole samanlaisia ominaisuuksia kuin pakkasenkestävällä betonilla. Pakkasenkestävä betoni eli säänkestävä betoni kestää kovettuneena ulko-olosuhteissa toistuvaa jäätymistä ja sulamista, toisin kuin pakkasbetoni. (Sahlstedt, S 2013, 22)

## 6 BETONIN LUJUUSKEHITYS TALVIOLOSUHTEISSA

Betonin lujuuskehitykseen vaikuttavat vallitsevat olosuhteet. Betonin lujuuskehitys hidastuu kylmässä ja nopeutuu lämpimässä. Talvibetonoinnin osalta tärkein vaihe on lämmityksen riittävyys sekä tasaisen lämpötilan ylläpito. Lujuuskehitystä voidaan arvioida betonin lämpötiloja seuraamalla sekä määrittämällä betonille kypsyyksiä, jonka avulla lujuuskehityskuvaajista voidaan lukea saavutettu lujuus. Betonin lujuuden kolme tärkeintä tarkasteluvaihetta ovat jäätymis-, muotipurku- ja nimellislujuuden saavuttaminen. (Sahlstedt, S 2013, 14)

Jäätymislujuuden saavuttaminen talvibetonoinnissa on betonin lujuudenkehityksen kannalta kriittisin vaihe. Jäätymislujuudella tarkoitetaan betonin saavuttamaa lujuutta, jolloin betoni kestää vaurioitumatta veden jääytymisestä aiheutuvat sisäiset rasitukset. Betonin jäätymislujuus on kaikilla betonilaaduilla  $5\text{MN/m}^2$ . Betonin jäätyminen ennen jäätymislujuuden saavuttamista vaurioittaa betonia, jolloin lujuuskehitys jää vajaaksi. Tätä kutsutaan lujuuskadoksi. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry, 223)

Muotipurkulujuudella tarkoitetaan lujuutta, jolloin valettu rakenne kestää vaurioitumatta muottien sekä tukien poiston. Yleisohjeena vaakarakenteisille valuille on, että muotteja purettaessa betonin tulisi olla saavuttanut vähintään 60 prosenttia nimellislujuudesta. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry, 224) Talvella betonoitaessa riskit liian aikaiselle muottien purulle kasvaa, koska lujuudenkehityksen arviointi saattaa hankaloitua, mikäli lämmityslämpötilat ovat vaihdelleet.

Betonimassan lämpötilan laskiessa alle  $+5$  celsiusasteen, on lujuuskehitys liian hidasta normaalin rakentamisen työtahtiin. Myös betonin jäätyminen riski kasvaa huomattavasti tällöin. Betonin suositeltava lämpötila kovettumisvaiheessa on  $+20$  celsiusastetta tai yli. Lämpötila ei saa kuitenkaan ylittää  $+60$  celsiusasteen lämpötilaa. Korkeissa lämpötiloissa betonin lujuuskato on mahdollinen. (Sahlstedt, S 2013, 15)

Kuvassa (kuva 5) on taulukoitu betonin käyttäytyminen eri lämpötiloissa. Taulukosta havaitaan, että betonin optimaalisin kovettumislämpötila saavutetaan  $+30-40$

celsiusasteessa. Alle 5 celsiusasteen lämpötilassa betonin lujuuskehitys hidastuu ja jopa pysähtyy.

Lämpötila	Huomioita
> +60 °C	Seurauksena lujuuskatoa ja säilyvyyden heikkenemistä.
+50...60 °C	Yhden vuorokauden lujuudet nousevat, mutta valmiin betonin lujuusominaisuudet saattavat kärsiä (lujuuskato).
+30...40 °C	Betonimassa suositeltava kovettumislämpötila.
+20 °C	Betonimassa tavoitelujuus saavutetaan noin 28 vuorokauden kuluttua.
+5 °C	Betonilla ei ole havaittavissa lujuutta vielä yhden vuorokauden kuluttua.
< 0 °C	Lujuudenkehitys käytännössä lakkaa. Betonissa oleva vesi alkaa jäätymään.
-10...-15 °C	Lujuudenkehitys on pysähtynyt. Jäätäneellä betonilla voi olla valelujuutta.

Kuva 5. Lämpötilojen vaikutus betonin lujuuskehitykseen. (Betonitekniikan oppikirja by 201)

Betonin lujuuskehityksen muodostumiseen ja muodostumisnopeuteen vaikuttavat valitsevat sääolosuhteiden lisäksi betonin sisältämät osa-aineet ja mahdolliset lisäaineet. Betonin lujuuskehitys sitoutumisvaiheessa on hidasta. Huoneenlämpötilassa tämä jakso kestää noin kaksi tuntia. Sitoutumisvaiheen jälkeen lujuuskehitys ja kovettuminen kiihtyy ja jatkuu suhteellisen nopeana noin 3-7 vuorokautta. Tällöin saavutetaan 60-70 % 28 vuorokauden keskilujuudesta. Tämän jälkeen loppulujuuskehitys hidastuu aina jatkuvasti. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry, 222)

## 7 AKKUTEHTAAN KUORILAATASTO

### 7.1 Lähtötiedot

Tutkimus suoritettiin runkorakennusvaiheessa olevaan akkutehtaaseen. Tehdas sijaitsee Harjavallan teollisuuspuistossa. Tehtaan on määrä tuottaa akkumateriaaleja kasvavalle sähköautoteollisuudelle. Tehdas on Suomessa ainutlaatuinen ja valmistuessaan ainoa toiminnassa oleva akkumateriaalitehdas. Tehtaan suunnittelussa ja toteutuksessa on otettu huomioon myös akkujen jalostustoiminnan mahdollisuus.

Rakennuksen runko koostuu teräsrakenteista. Laattarakenteet ja tasot toteutetaan kuorilaatoilla, nämä alueet kattavat noin 10000 neliometriä. Kuorilaatat betonoidaan pääosin kaikki talvella. Betonivalut suoritetaan osissa, keskimäärin noin 100 neliometrin suuruisissa alueissa. Rakennuksen korkeus on noin 30 metriä, joka hankaloittaa valutiöiden toteuttamista. Nostotyöt toteutetaan työmaalla torninosturin avulla. Betonin kuljettaminen ylempiin kerroksiin tehdään korkealle yltävällä betonipumppuautolla ja nosturilla nostolavoja käyttämällä.

Betonilaatuna kohteessa käytetään nopeasti kovettuvaa C30/37 betonia. Kohteessa työturvallisuus on huomioitu erittäin hyvin ja työturvallisuutta valvotaan tarkasti. Kohteessa jokaisen on käytävä perehdytys sekä erillinen koulutus työturvallisuuteen liittyen.

Kohteeseen asennetaan säiliötekniikkaa valujen edetessä sekä toteutetaan läpivientireikiä putkistoille. Kohteen betonitöiden on määrä valmistua vuoden 2021 kevääseen mennessä. (Kangasnimen henkilökohtainen tiedonanto 9.12.2020)

### 7.2 Suositellut valumenetelmät lämpötila-asteittain

Kohteen kuorilaataston betonointialueet ovat suuria. Tämä edellyttää oikeiden työmenetelmien valintaa, erityisesti talvella betonoitaessa vaaditaan nopeaa ja saumatonta työskentelyä hyvän lopputuloksen takaamiseksi. Seuraavissa kappaleissa ehdotus, siitä miten kohteen talvibetonointi voitaisiin suorittaa.

+5...0 celsius-asteen lämpötilassa aletaan käyttää viimeistään talvibetonointi menetelmiä ja otettava huomioon mahdollinen yöpakkainen. Lämpöenergian tarve ei ole kovinkaan suuri, mutta lämmityksen on oltava tasainen, mielellään noin +20 celsiusastetta jäätymslajuuden saavuttamiseen saakka. Harjavallan kohteeseen sopivin lämmitysmenetelmä näissä olosuhteissa olisi polttoainekäyttöinen puhallinlämmitin. Valetavan kohteen muodon mukaan pitäisi mahdollisesti asentaa kaksi puhallinta tai jakaa lämmityskanavat tasaisesti koko alueelle. Lämmityslangat olisi hyvä asentaa reuna-alueille metallirakenteista johtuvien kylmäsiltojen ehkäisemiseksi. Valut peitetään eristematoilla tai eristelevyillä tiiviisti. Alue katetaan peitteellä niin, että lämpimän ilman on päästävä kulkemaan koko alueella. Peitteet ja eristelevy on kiinnitettävä tiiviisti ja tukevasti mahdollisen tuulen ja sateen takia.

0...-5 celsius-asteen lämpötilassa kohteessa tulisi käyttää kuumabetonia tai vähintään nopeasti kovettuvaa betonimassaa. Koko betonointialueelle tulisi asentaa lämmityslangat vähintään 500 millimetrin välein tai ohjeiden mahdollistaessa tiheimmin. Lämmityslangat ovat tässä kohteessa tehokkain lämmitysmuoto ja välttämätön, koska ulkopuolelta lämmitettäessä betonia pitäisi lämmittää kuorilaataston alapuolelta. Yläpuolelta lämmittäminen ei ole tehokasta, koska ilma virtaa luontaisesti ylös sekä asennettu eristematto tai levy estää lämpimän ilman kulkeutumisen betoniin tehokkaasti.

Suosittelen myös kohteeseen polttoainekäyttöistä puhalluslämmitystä, jonka teho täytyy olla riittävän suuri ylläpitämään +15 celsiusasteen lämpötilaa. Kohteessa olisi hyvä pitää varalla toista lämmitintä lämmityksessä. Vikatilassa lämmitys ei loppuisi kokonaan vaan toinen lämmitin riittäisi ylläpitämään myös lämmitystä. Betonointi on suoritettava mahdollisimman nopeasti ja peitettävä eristeillä ja peitteellä.

-5...-10 celsius-asteen lämpötilassa betonoinnissa tulisi käyttää kuumabetonia. Koko alueella tarvitaan lämmityslangat, erityisesti reuna-alueiden lämmityslangat tiheimmässä. Lämmitys tulee aloittaa 3 päivää ennen betonointia, tällä varmistetaan, että kuorilaatat ovat lämpimiä ja kuivia. Kuorilaatoissa on suuri massa, jonka lämmitys vie aikaa ja tehoa. Kuumabetonin lämpö auttaa lämmittämään ympäröivät rakenteet ja vähentää lämmitystehon tarvetta työmaalla. Lämmitystekniikka on käytännössä sama kuin aiemmassa, mutta lämmitystehoa tulisi kasvattaa lämpötilan laskiessa. Suuremmassa valussa tulisi peittää aluetta koko ajan samalla kun hierto ja liippaus etenee. Jos

mahdollista niin olisi hyvä poistaa peite betonoinnin aikana vain osittain, jotta hukka-lämpöä ei syntyisi ja betonin kovettuminen alkaisi nopeasti. Valun nopeuttamiseksi tulisi käyttää pumppuautoa kohteessa. Valettu alue peitetään peitteillä ja eristetään eristelevyillä tai matolla.

-10...-15 celsiusasteen lämpötilassa betonoinnissa käytetään samoja menetelmiä kuin aikaisemmassa lämpötilassa. Lämmityksen tehoa on lisättävä. Seurauksena ilman kosteuspistoisuus kasvaa ja tiivistyvä kosteus voi aiheuttaa ongelmia betonin kovettumisen aikana, jota tulee tarkkailla valun aikana. Lämmitys on aloitettava riittävän aikaisin, jotta kuorilaattojen pinnan lämpö on vähintään +5 celsius-astetta.

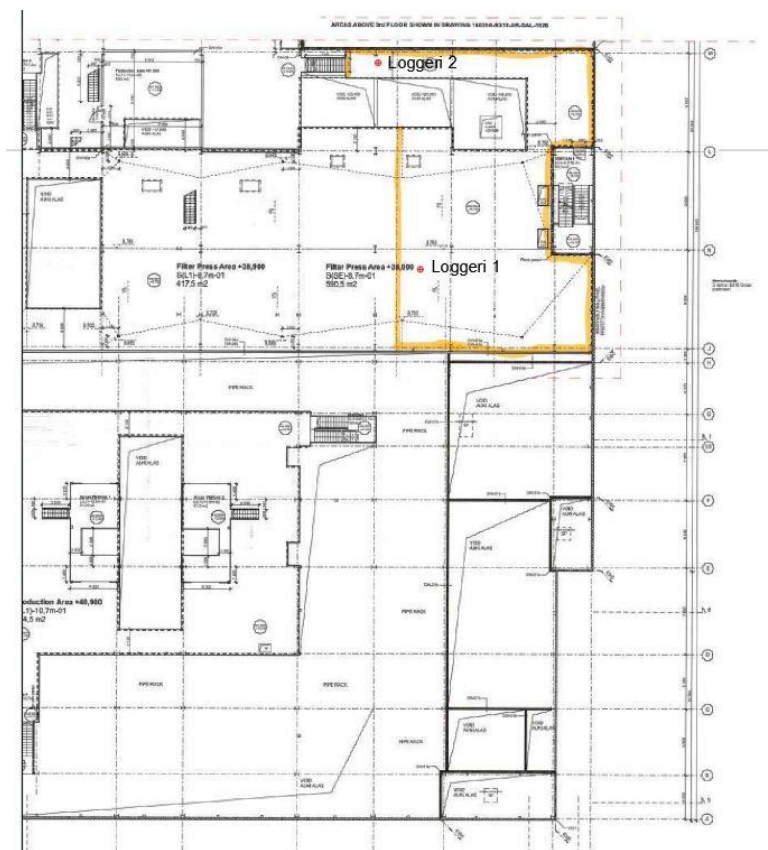
-15...-20 celsius-asteen lämpötilassa betonilaatu on määritettävä tarkkaan. Työmaan yleisenä aikatauluna on, että betonointi ja muottien purkaminen on tapahduttava yhden viikon aikana. Betonimassan lujuusluokan nostaminen nopeuttaisi muotinpurkulujuutta, joka voisi tulla kyseeseen näissä lämpötiloissa betonoitaessa. Kuorilaataston pohja olisi hyvä eristää alapuolelta, koska kylmä ilma kulkeutuu ja jäädyttää laataston nopeasti kyseisissä lämpötiloissa. Lämmityksen tarve on suuri näillä pakkasilla ja erityisesti reuna-alueiden jäätymisriski on suuri sekä lämpötilaerot huomattavat. Betoni saattaa kovettua epätasaisesti, koska lämmitystä on vaikea jakaa tasaisesti näin isoille alueille. Eristyksellä on suurin vaikutus näissä lämpötiloissa. Kuorilaatasto tulisi eristää alapuolelta. Lämmityslangat olisi asetettava mahdollisimman taajaan koko alueelle. Eristys tulisi toteuttaa eristelevyillä valetun betonin päälle sekä asettaa alueelle tehokas puhallinlämmitys suojapeitteen alle.

-20... Yli kahdenkymmenen celsius-asteen lämpötilassa ei betonointia työmaalla voi suorittaa ilman laataston alapuolista eristämistä. Riskit jäätymiselle ovat suuret. Lämmitys täytyisi olla tehokas ja tasainen, tätä on vaikea toteuttaa työmaalla ilman muutoksia valumenetelmissä. Betonin päälle laitettavat eristeet ja lämmityslangat eivät riitä pitämään tarvittavaa lämpöä lujuuskehityksen takaamiseksi. Ongelmaksi saattaisi muodostua myös kertyvä kosteus, ulkolämpötilan ollessa yli -20 ja lämmityksen ollessa tehokas sekä eristämätön kuorilaataston pohja saattaisi tuottaa suuren määrän kosteutta pintoihin ja lämmitettävään ilmaan.

### 7.3 Kuorilaataston betonointi

Rakennustyömaan betonoinnin suunnittelusta ja työn valvonnasta vastasi rakennustyömaan betonityönjohtaja. Suunnittelun lähtökohtana käytettiin vallitsevia olosuhteita, sääennusteita sekä kokemuksia aiemmista betonoinneista.

Tutkittavana kohteena on valualue 2. Alueen koko on 590 neliometriä, alue sijaitsee kolmannessa kerroksessa rakennusta. Valu toteutettiin 17.12.2020. Valun aikana sääolosuhteet olivat haastavat, ilman lämpötila oli noin  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Betonivalua edeltävänä päivänä oli satanut lunta, betonivalun suorittamispäivänä yön aikana satoi reilusti lunta sekä tuuli oli kohtalaisen suuri. Alueella suoritettiin lämpötilan mittaukset kahdella eri dataloggerilla, mittauspaikat on esitetty kuvassa 6. (Kangasniemen henkilökohtainen tiedonanto 9.12.2020)



Kuva 6. Lämpötila-antureiden sijainnit merkittynä pohjakuvaan.

Valun lämmitysmenetelmänä käytettiin öljykäyttöistä puhallinpoltinta. Lämmittimen lämpö johdettiin ilmastointiputkella, johon oli porattuna reikiä. Lämmin ilma leviää

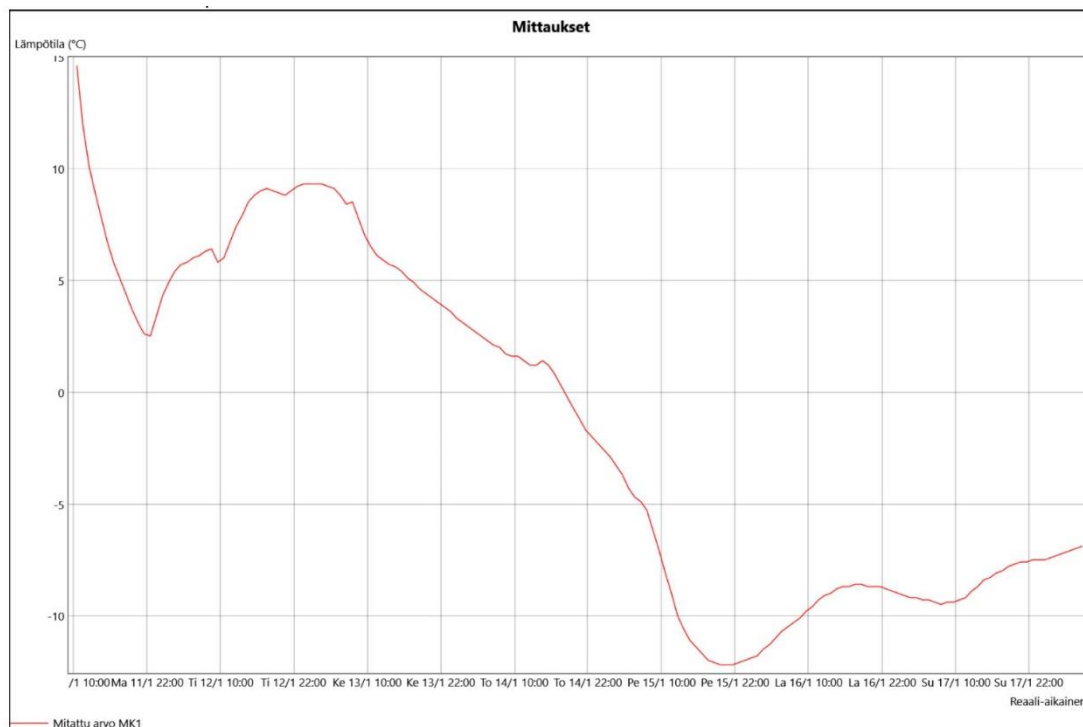


näin tasaisesti koko alueelle sekä ehkäisee liiallista pinnan kuivumista kohdista, joissa ilma virtaisi nopeasti. Alue oli peitetty suojapeitteillä ennen lumisateita. Alueen lämmitys aloitettiin 2-3 vuorokautta aiemmin, jotta muottipinnat saatiin lämpimäksi sekä mahdollinen lumi ja jää poistettua. Koko alueella käytettiin lämmityksessä myös lämmityslankaa. Lämmityslanka oli asetettu erityisesti reuna-alueille ehkäisemään kylmäsiltojen aiheuttamaa lämpötilan laskua. Lämmityslangat oli asetettu koko alueelle noin 500 millimetrin välein.

Valamisen ja liippausten jälkeen pinnat peitettiin 10 senttimetriä paksulla valueristeellä. Tämän jälkeen alue peitettiin suojapeitteillä ehkäisemään lumen ja veden läpäisyä betoniin. Valun kesto oli noin viisi tuntia. Pinta hierrettiin koneellisesti noin kolmen tunnin kuluttua valamisesta, jonka jälkeen alue liipattiin ja peitettiin. Betonilaatuna käytettiin nopeasti kovettuvaa betonia. Betonimassa oli myös lämmitettyä, mutta ei lämpötilaltaan varsinaista kuumabetonia. Betonin kuljetus valualueelle suoritettiin pumppuautolla. Väliaikaisia valutukia ei kuorilaataston alla käytetty. Tässä kohteessa valutukia ei tarvittu, koska kuorilaatat ovat melko lyhyitä. (Riidan henkilökohtainen tiedonanto 15.1.2020)

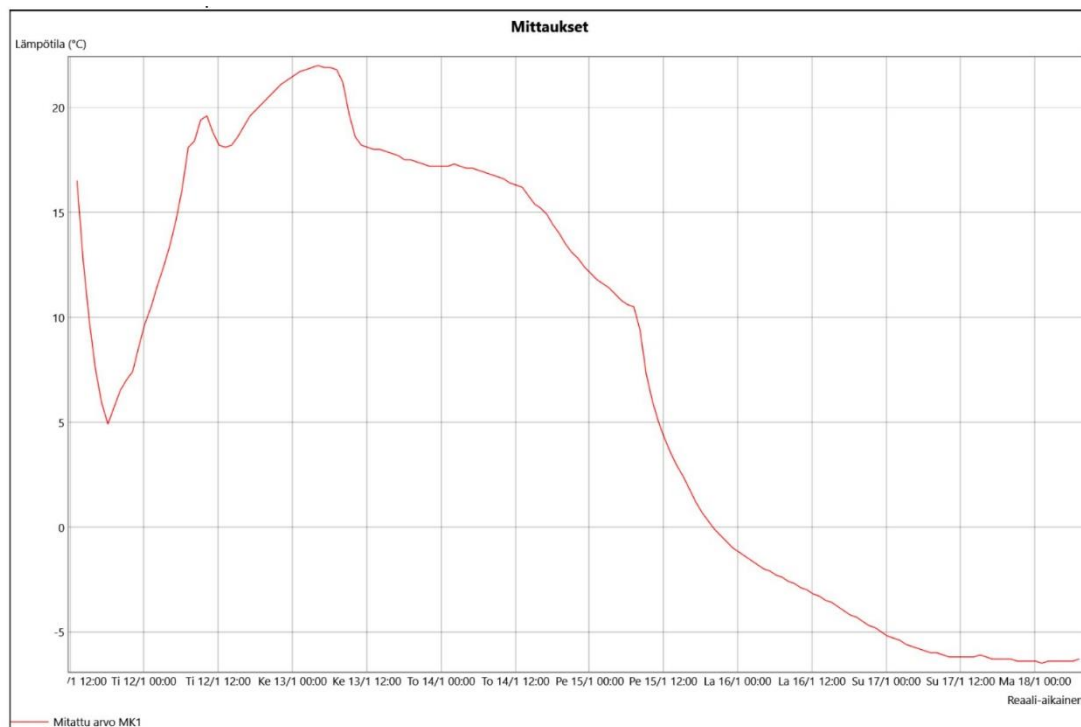
Betonin lämpötilat mitattiin kahdella lämpötila-anturilla reuna-alueilta, nämä alueet ovat alttiita lämpötilan laskulle ja jäätymiselle. Mittauksia suoritettiin kolmen päivän ajan, dataloggeri kirjasi automaattisesti lämpötilat tunnin välein. (Riidan henkilökohtainen tiedonanto 15.1.2020)

Ensimmäisen anturin (Kuva 7) mittaamat lämpötilat vaihtelivat -0.4 - 14.4 celsiusasteen välillä. Negatiivinen lämpötila ei ole ollut varsinaisesti betonin lämpötila. Se on kirjattu aamulla töiden alettua, jolloin suojapeitteet on poistettu ja tällöin lämpötila luonnollisesti laskee. Seuraava kirjattu lämpötila oli korkein eli 14.4 celsiusastetta, tällöin lämmin betoni on peittänyt anturin. Torstaina aamupäivällä on kirjattu betonin lujuuskehitysvaiheessa pienin lämpötila 2.5 celsiusastetta. Tämä on lähellä rajaa, jota alemmas kovettuvan betonin lämpötila ei saisi laskea. Lämpötila lähti kohoamaan seuraavan vuorokauden aikana. Tämä johtui kovettumisreaktion kiihtymisestä, reaktio itsessään tuottaa lämpöä betoniin. Keskilämpötila oli hieman yli 7 celsiusastetta.



Kuva 7. Loggerin 1 mittaustulokset (Betoplus 2020)

Toisen anturin (kuva 8) mittaamat lämpötilat ovat samankaltaiset verrattuna ensimmäisen anturin mittaamiin tuloksiin. Toisen anturin mittaama negatiivinen lämpötila on aluksi hieman korkeampi sekä korkein mitattu lämpötila suurempi. Korkeampi lämpötila johtui todennäköisimmin lämmittimen sijainnista. Todennäköisesti lämmitin sijaitsi lähempänä lämpötila-anturia tai ilmakehä puhalsi anturiin lämpimämpää ilmaa.



Kuva 8. Loggerin 2 mittaustulokset. (Betoplus 2020)

Lämpötilavaihtelut korostuvat talvibetonoinnissa ja erityisesti kuorilaatan betonoinnissa. Laatasto on kylmä ja luovuttaa lämpöä nopeasti valualueen ulkopuolelle. Laattojen alapintoja ei voida järkevästi eristää, joten tämä tulisi ottaa huomioon lämmitystekossa. Reuna-alueiden metallirakenteet tuottavat myös kohteessa lämpötilavaihtelua.

Lämpötilojen kehityksestä voidaan päätellä, että betonin kovettumisreaktio käynnistyi lyhyessä ajassa, jolloin betoni kehittää lämpöä lujuudenkehityksen myötä. Lämpötilat eivät kuitenkaan olleet ohjearvojen mukaisia koko lujuuskehityksen ajan. Lujuuskehitystä tarkasteltaessa betonin lämpötilat pysyivät riittävän korkeana jäätymislujuuden kehityksen saavuttamiseen saakka, joka on 5MPa (Sahlstedt, S 2013, 27).

Kuva 7 kuitenkin osoittaa, että betonin lämpötila on laskenut alle 10 celsiusasteen, jota pitäisi välttää. Lämpötilan laskiessa betonin lujuuskehitys hidastuu sekä pitkittyy. Tämä alittaa ohjearvon, jonka mukaan riskit betonin puutteellisesta lujuuskehityksestä lisääntyvät. (Sahlstedt, S 2013, 27) Lujuuskehitystä tulee arvioida kriittisesti tältä osin sekä selvittää mistä lämpötilaerot johtuivat.

Mittauspisteiden väliset lämpötilaerot ovat kohtalaisen suuria, jota tulisi seuraavissa valuissa pyrkiä vähentämään. Myös lämmitysaikaa voisi pidentää, jotta varmistuttaisiin koko alueen jäätymis- ja muotinpurkulujuuden saavuttamisesta. Lämpötila-antureita voisi alueella olla enemmän, jotta alueesta saataisiin kattavat lämpötilatiedot. Jäätymistä sekä muita epäkohtia lämpötiloissa ei ollut havaittavissa.

Betonointi tapahtui noin -5 celsiusasteen lämpötilassa, pakkasen kiristyi yöllä noin -10 celsiusasteeseen. Olosuhteet olivat betonoinnin aikana vaikeat, tuuli oli kohtalaisen suurta sekä edellisenä yönä oli satanut lunta. Olosuhteilla oli myös merkittävä vaikutus epätasaisiin lämpötiloihin. Betonoinnin suorittaminen samoilla menetelmillä, mutta korkeammalla pakkasella olisi todennäköisesti vaurioittanut betonia. Lämmitystä ja eristystä olisi tällöin pitänyt tehostaa.

## 8 AKKUTEHTAAN BETONOINNIN LUJUUSKEHITYS

Kuorilaataston betonoinnin kypsyttä arvioidaan kohteessa laskennallisilla menetelmillä. Käytössä oli Ruduksen Betoplus-ohjelma, joka laskee automaattisesti loggerien tallentamien tietojen perusteella betonille lujuuskehityksen. Betoplus-ohjelmalla voidaan myös arvioida jo ennen valua betonirakenteiden lujuus- ja lämmönkehitys erilaisissa valuolosuhteissa. Loggerien tallentamien lämpötilatietojen perusteella lasketaan myös manuaalisesti betonin kypsyys Sadgroven kaavalla.

### 8.1 Sadgroven menetelmä

Betonin kypsyttä voidaan arvioida Sadgroven kaavan avulla. Alla on esitetty tutkitavan betonin lujuuskehitystä mittausaikavälillä tunnin välein.

Sadgroven kaava:  $(T_{20} = \left(\frac{T+16C}{36C}\right) * 2 * t$

$T_{20}$  = kypsyysikä

t = kovettumisaika

T =betonin lämpötila aikana t (C)

(Betonitekniikan oppikirja By 201 2004, 352)

Kaava toimii, jos betonin lämpötila pysyy vakiona valun ajan. Jos lämpötila vaihtelee, pitää jokainen ajanjakso laskea erikseen ja laskea kaavan antamat tulokset yhteen. (Betonitekniikan oppikirja By 201 2004, 352) Seuraavissa taulukoissa on esitetty betonin kypsyysikä. Taulukoidut tulokset ovat saatu Sadgroven kaavan avulla.

Taulukosta 1 selviää loggerin 1 kirjaamat lämpötilat sekä keskilämpötila tunnin aikajaksoilla. Taulukossa on laskettu Sadgroven menetelmällä kypsyysikä erikseen jokaiselle lämpötilalle. Taulukossa on ilmoitettu ensimmäisen ja toisen vuorokauden  $T_{20}$  arvot perustuvat aikavälin tulosten summaan. Sadgroven menetelmässä ajan yksikönä käytetään vuorokautta. Taulukossa on ilmoitettu aika tunteina ja vuorokausina.

Laskut ovat suoritettu aikavälin t arvoilla, koska jokaiselle tunnille on laskettu kypsyyssaste erikseen. Tämän loggerin lämpötila-anturi sijaitsi valun keskellä.

Aika [h]	Aika[vrk]	Aikaväli t [d]	Lämpötila aikana [C]	T20 [(((T+16°C)/36 °C)^2*t)]
0	0	0	5,2	-
1	0,04166	0,04166	-0,4	-
2	0,0832	0,04166	2,3	-
3	0,12498	0,04166	-1,4	-
4	0,16664	0,04166	-2	-
5	0,2083	0,04166	16,5	0.034
6	0,24996	0,04166	12,7	0.026
7	0,29162	0,04166	9,8	0.021
8	0,33328	0,04166	7,5	0.018
9	0,37494	0,04166	5,9	0.015
10	0,4166	0,04166	4,9	0.014
11	0,45826	0,04166	5,7	0.015
12	0,49992	0,04166	6,5	0.016
13	0,54158	0,04166	7	0.017
14	0,58324	0,04166	7,4	0.018
15	0,6249	0,04166	8,6	0.019
16	0,66656	0,04166	9,7	0.021
17	0,70822	0,04166	10,5	0.022
18	0,74988	0,04166	11,5	0.024
19	0,79154	0,04166	12,4	0.026
20	0,8332	0,04166	13,4	0.028
21	0,87486	0,04166	14,6	0.030
22	0,91652	0,04166	16,1	0.033
23	0,95818	0,04166	18,1	0.037
24	0,99984	0,04166	18,4	0.038
			<b>1. Vuorokausi (T20)= 0,472</b>	
25	1,0415	0,04166	19,4	0.040
26	1,08316	0,04166	19,6	0.041
27	1,12482	0,04166	18,8	0.039
28	1,16648	0,04166	18,2	0.037
29	1,20814	0,04166	18,1	0.037
30	1,2498	0,04166	18,2	0.037
31	1,29146	0,04166	18,6	0.038
32	1,33312	0,04166	19,1	0.039
33	1,37478	0,04166	19,6	0.040
34	1,41644	0,04166	19,9	0.041
35	1,4581	0,04166	20,2	0.042
36	1,49976	0,04166	20,5	0.043
37	1,54142	0,04166	20,8	0.044
38	1,58308	0,04166	21,1	0.044
39	1,62474	0,04166	21,3	0.045
40	1,6664	0,04166	21,5	0.045
41	1,70806	0,04166	21,7	0.046
42	1,74972	0,04166	21,8	0.046
43	1,79138	0,04166	21,9	0.046
44	1,83304	0,04166	22	0.046
45	1,8747	0,04166	21,9	0.046
46	1,91636	0,04166	21,9	0.046
47	1,95802	0,04166	21,8	0.046
48	1,99968	0,04166	21,2	0.044
			<b>2. Vuorokausi (T20)= 1.490</b>	

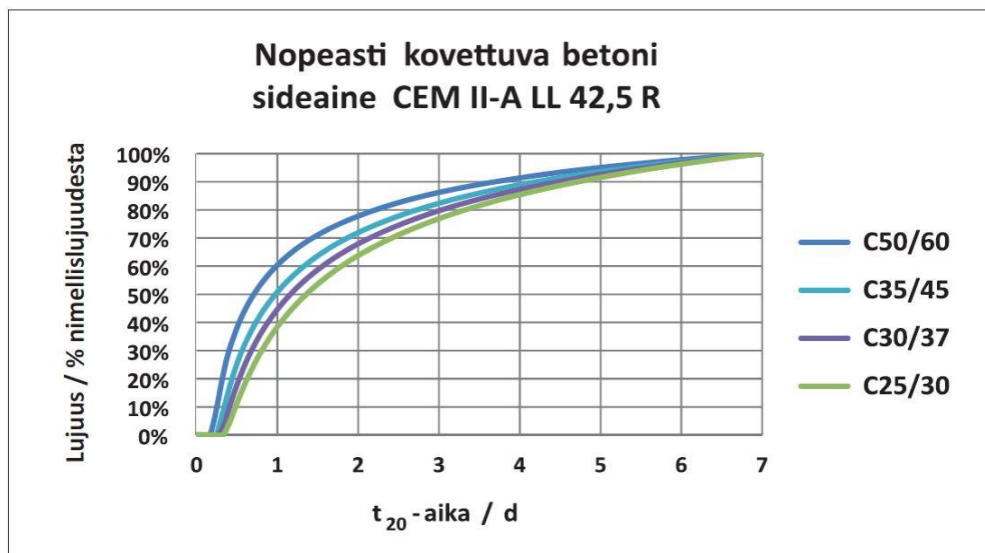
Taulukko 1. Loggerin 1 lujuuskehitys Sadgroven menetelmällä.

Taulukosta 2 selviää loggerin. 2 kirjaamat tiedot. Laskut ovat suoritettu samalla kaavalla kuin aiemmassa taulukossa, arvot ovat vain toisen loggerin kirjaamat. Tämän loggerin lämpötila-anturi sijaitsi reuna-alueella valua.

Aika [h]	Aika[vrk]	Aikaväli t [d]	Lämpötila aikana [C]	T20 $(((T+16^{\circ}\text{C})/36^{\circ}\text{C})^2 \cdot t)$
0	0	0	2,5	-
1	0,04166	0,04166	-0,4	-
2	0,0832	0,04166	14,6	0.030
3	0,12498	0,04166	11,9	0.025
4	0,16664	0,04166	10,1	0.023
5	0,2083	0,04166	8,9	0.022
6	0,24996	0,04166	7,8	0.018
7	0,29162	0,04166	6,7	0.016
8	0,33328	0,04166	5,8	0.015
9	0,37494	0,04166	5,1	0.014
10	0,4166	0,04166	4,4	0.013
11	0,45826	0,04166	3,7	0.012
12	0,49992	0,04166	3,1	0.011
13	0,54158	0,04166	2,6	0.011
14	0,58324	0,04166	2,5	0.011
15	0,6249	0,04166	3,4	0.012
16	0,66656	0,04166	4,3	0.013
17	0,70822	0,04166	4,9	0.014
18	0,74988	0,04166	5,4	0.015
19	0,79154	0,04166	5,7	0.015
20	0,8332	0,04166	5,8	0.015
21	0,87486	0,04166	6	0.016
22	0,91652	0,04166	6,1	0.016
23	0,95818	0,04166	6,3	0.016
24	0,99984	0,04166	6,4	0.016
			<b>1. Vuorokausi (T20)= 0.37</b>	
25	1,0415	0,04166	5,8	0.015
26	1,08316	0,04166	6	0.015
27	1,12482	0,04166	6,7	0.017
28	1,16648	0,04166	7,4	0.018
29	1,20814	0,04166	7,9	0.018
30	1,2498	0,04166	8,5	0.019
31	1,29146	0,04166	8,8	0.020
32	1,33312	0,04166	9	0.020
33	1,37478	0,04166	9,1	0.020
34	1,41644	0,04166	9	0.020
35	1,4581	0,04166	8,9	0.020
36	1,49976	0,04166	8,8	0.020
37	1,54142	0,04166	9	0.020
38	1,58308	0,04166	9,2	0.020
39	1,62474	0,04166	9,3	0.020
40	1,6664	0,04166	9,3	0.020
41	1,70806	0,04166	9,3	0.020
42	1,74972	0,04166	9,3	0.020
43	1,79138	0,04166	9,3	0.020
44	1,83304	0,04166	9,3	0.020
45	1,8747	0,04166	9,2	0.020
46	1,91636	0,04166	9,1	0.020
47	1,95802	0,04166	8,8	0.020
48	1,99968	0,04166	8,5	0.019
			<b>2. Vuorokausi (T20)= 0.831</b>	

Taulukko 2. Loggerin 2 lujuuskehitys Sadgroven menetelmällä.

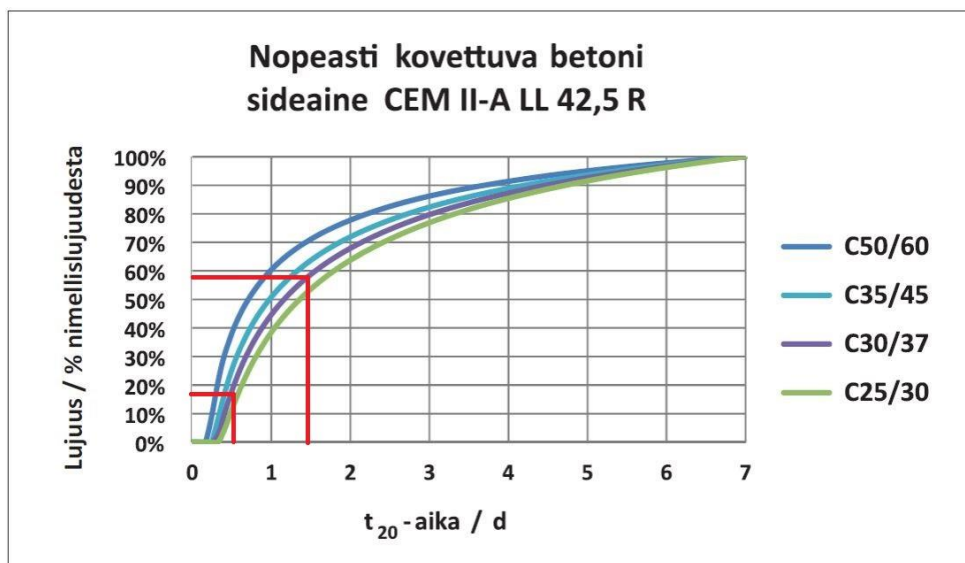
Kun kypsyysikä  $T_{20}$  on laskettu, sijoitetaan se kypsyyskuvaajan pystyakselille ja katsotaan, missä kohdassa kypsyyskäyrä leikkaa valitun pystyakselin. Leikkauskohdalta luetaan vaakasuunnassa prosenttiyksikkö. Tämä ilmoittaa, kuinka monta prosenttiyksikköä betoni on saavuttanut nimellislujudesta.



Kuva 8. Nopeasti kovettuvaa betonia käytettäessä suhteellisen lujuuden kehitys kypsyänsä funktiona. (Betoninormit by 65, 75)

Taulukoissa 1 ja 2 lasketut arvot sijoitetaan taulukon pystyakselille ja luetaan lujuus-arvo vaakasuunnassa. Betonilaatuna kohteessa käytettiin C30/37, tämän nimellislujuus on 37MPa.

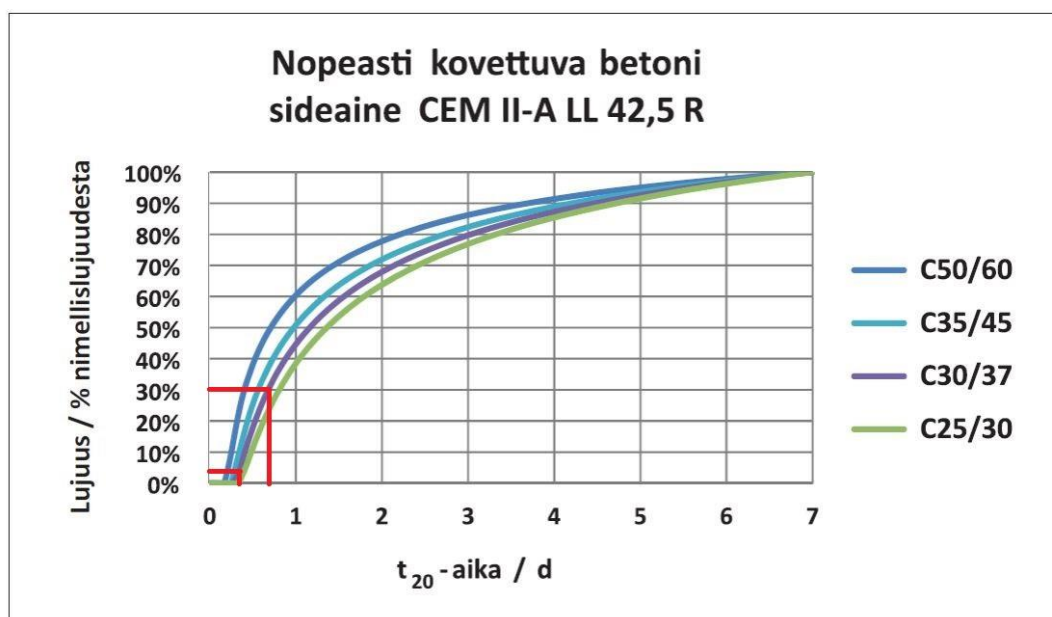
Ensimmäisestä taulukosta (taulukko 1) saadut tiedot osoittavat, että betoni on saavuttanut ensimmäisen vuorokauden aikana noin 17 prosenttia nimellislujuudesta, eli 6.3MPa. Lujuus täyttää jäätymlujuuden 5 MPa (Betoninormit By 65, 131). Toisen vuorokauden kuluttua betonia saavutti noin 58 prosenttia nimellislujuudesta eli 21.5MPa.



Kuva 9. Loggerin 1 arvot sijoitettuna kuvaajaan.



Toisen mittapisteen laskujen arvot sijoitettuna kuvaajaan (kuva 10) osoittavat, että betoni saavutti ensimmäisen vuorokauden kuluttua noin 3 prosenttia nimellislujuudesta eli 1.12MPa. Betoni ei ole vielä saavuttanut jäätymslujuutta 5MPa. (Betoninormit By 65, 131) Toisen vuorokauden kuluttua betoni on saavuttanut noin 30 prosenttia nimellislujuudesta eli 11.1MPa.



Kuva 10. Loggerin 2 arvot sijoitettuna kuvaajaan.

Tulokset osoittavat, että reuna-alueella sijainneen mittapisteen tulokset (kuva 10) olivat huomattavasti pienempiä. Ensimmäisen vuorokauden lujuuskehitys oli noin 16 prosenttia pienempi kuin keskellä sijainneen mittapisteen. Toisen vuorokauden lujuuskehitys oli reuna-alueella 90 prosenttia pienempi kuin keskellä sijainneen mittapisteen. Lujuuskehityksessä on havaittavissa kohtalaisen suuri ero. Tämä pitää huomioida jälkihoidossa ja lämmityksen ylläpitämisen pituudessa.

Laskentaa ei voida jatkaa, koska betonin lämpötilamittaus oli aktiivisena kaksi vuorokautta. Aikataulussa pysyminen edellyttää viikon valukiertoa. Aikataulua ei voida näillä tiedoilla varmistaa, koska mittausajanjakson aikana ei vielä ole saavutettu muotipurkulujuutta koko betonoidulla alueella. Laskelmissa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että ne ovat vain arvioita lujuuskehityksestä. Niiden perusteella ei voida ainoastaan tehdä päätöksiä muotin purusta tai lämmittämisen vähentämisestä. Talvibetonoinnissa on hyvä pidentää näitä aikoja turvallisuuden ja hyvän laadun takaamiseksi.

Päätösten teko ja tulosten arviointi perustuu kokemukseen, jonka betonityönjohtajan tulee omata.

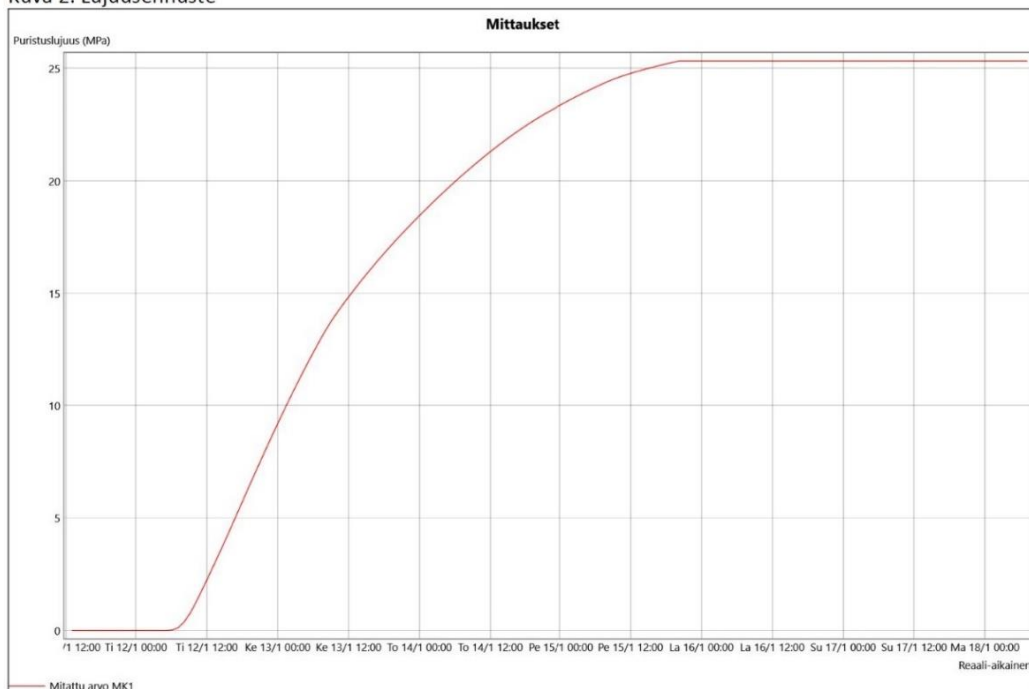
## 8.2 Betoplus-ohjelma

Betoplus-ohjelma on Ruduksen kehittämä tietokoneavusteinen mittaus- ja laskentapalvelu. Ohjelman avulla voidaan arvioida lujuuden- ja lämmönkehitystä erilaisissa valutiloissa. Lämpötila mittausten perusteella voidaan selvittää betonin todellinen lujuudenkehitys. Betoplus laatii myös havainnollisia raportteja, kuten lämpö- ja lujuusväriskarttoina, jotka mahdollistavat rakenteiden kriittisten osien ja tekijöiden havainnoinnin sekä seurannan. (Rudus www-sivut 2021)

Seuraavissa kuvaajissa on esitetty kahden eri mittapisteen lämpötilojen perusteella Betoplus-ohjelmasta saadut lujuustulokset. Betonin puristuslujuus on ilmoitettu ajan funktiona. Ensimmäinen kuvaaja (kuva 11) on loggerin 1 tietojen perusteella laadittu, toinen kuvaaja (kuva 12) on loggerin 2 tietojen perusteella laadittu.

Kuvaajasta (kuva 11) selviää, että lujuuskehitys on ollut kohtalaisen nopeaa ja betoni on saavuttanut ensimmäisen vuorokauden aikana puristuslujuuden 2MPa. Toisen vuorokauden aikana betoni saavutti puristuslujuuden 15MPa. Jäätymislujuus 5MPa on saavutettu tiistai-iltapäivällä. Lämpötilan mittaus loppui perjantai-illalla, jolloin betoni oli saavuttanut 25MPa puristuslujuuden.

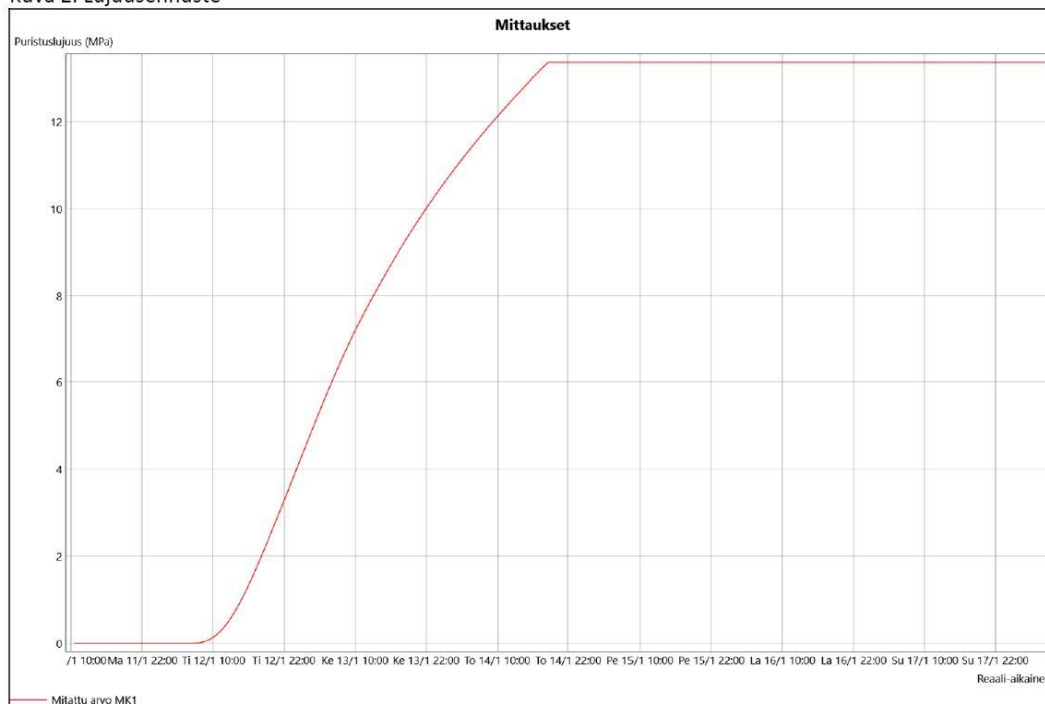
Kuva 2. Lujuusennuste



Kuva 11. Loggerin.1 Betoplus kuvaaja. (Betoplus 2020)

Kuvaajasta (kuva 12) selviää, että betonin lujuuskehitys on ollut hitaampaa tällä alueella betonointia. Suurin saavutettu puristuslujuus on 13MPa, joka on melkein puolet vähemmän kuin toisen mittauskohdan lujuus. Tästä voi päätellä, että lämmitys ei ole jakautunut tasaisesti alueelle tai reuna-alueella on ollut kylmäsilta, joka on jäädyttänyt betonia tehokkaasti. Myöskään jäätymislujuuksia ei ole saavutettu yhtä nopeasti kuin toisessa mittauskohdassa. Betonin kuivuessa epätasaisesti lisääntyvät halkeamien riskit. Mahdollinen lujuuskato voi olla mahdollinen.

Kuva 2. Lujuusennuste



Kuva 12. Loggerin 2 Arvojen perusteella laadittu lujuuskehityskuvaaja. (Betoplus 2020)

### 8.3 Menetelmien vertailu ja lopputulos

Menetelmien lopputulokset eroavat toisistaan melko paljon. Sadgroven menetelmällä saatu lujuus on merkittävästi suurempi kuin Betoplus-ohjelmalla saadut lujuusarviot. Osasyynä tässä on mahdollisesti vertauskohde, johon saatua lujuutta verrataan. Betonilaadun täytyisi vastata täysin sitä, jota betonoinnissa käytettiin. Tällaista ei ollut saatavilla, mikä voi aiheuttaa pienen eron vertailussa.

Tarkoituksena on verrata eri menetelmien antamaa tulosta siitä näkökulmasta, että voitaanko molempia menetelmiä käyttää apuna kuorilaataston betonoinnin lujuudenkehityksen arvioinnin työkaluna. Molempien menetelmien lujuusarvot ovat teoreettisia eivätkä anna tarkkaa tietoa toteutuneesta lujuudesta. Kuitenkin Betoplus-ohjelman antamat lujuusarvot ovat tarkempia.

Betoplus-ohjelman antamat tulokset ovat tässä tapauksessa varmempi vaihtoehto arvioida betonin lujuuskehitystä, koska ohjelma on betonin toimittajan kehittämä. Heillä on tiedossa tarkkaan betonimassan ominaisuudet sekä laajaa aiempaa kokemusta tulkitä tuloksia. Molemmilla menetelmillä saatu tulos kuitenkin osoittaa, että betonin lujuuskehitys on ollut kohtalaisen epätasaista mittapisteiden välillä. Tämä myös osoittaa, että suuret laattavalut talviolosuhteissa ovat alttiita lämpötilavaihteluille, etenkin kuorilaataston vaikutus on suuri.

Tulokset ovat molemmissa kuitenkin samankaltaiset. Mittapisteellä 2 lujuus on suurempi kuin toisella mittapisteellä 1, joka sijaitsi reuna-alueella. Tästä voidaan päätellä, että reuna-alueilla lujuudenkehitys on hitaampaa johtuen kylmäsilloista ja pienemmästä ilman lämpötilasta. Kuorilaatasto luo ongelmia juuri näille alueille, koska laattaa ei ole eristetty mitenkään. Betonointi yhdistyy myös teräsrakenteisiin, mistä seuraa kylmäsilta betoniin. Tulokset on esitetty vertailukelpoisena taulukossa 3.

Lujuuskehitysten vertailu [MPa]		
Mittapiste 1		
	Vuorokausi. 1	Vuorokausi. 2
Betoplus	2,5	15
Sadgrove	6,3	21
Mittapiste 2	Vuorokausi. 1	Vuorokausi. 2
Betoplus	0,5	7
Sadgrove	1,12	11,1

Taulukko 3. Lujuuskehitys vuorokausittain eri menetelmillä

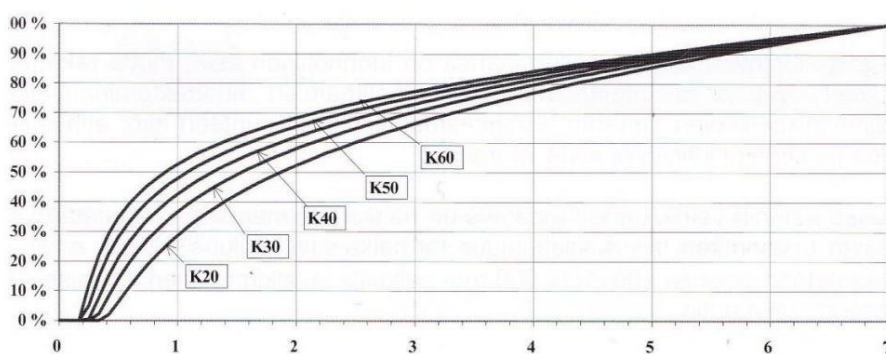
Betoniin ei ole kuitenkaan aiheutunut vaurioita tai lujuuskatoa. Jäätymistä betonissa ei tapahtunut. Lopputulosta tutkittiin myös vielä aistinvaraisesti eikä kohteessa havaittu halkeamia tai muita vaurioita. Suuremmilla pakkasilla ei betonointia kannata samoilla menetelmillä suorittaa, valu oli vielä hyväksyttävä, mutta kovemmalla pakkasella olisi todennäköisesti esiintynyt lujuuskatoa joillakin alueilla betonointia. Aikataulussa ei myöskään olisi pysytty, jos betonin kovettuminen olisi pitkittynyt. Lämmitystä tulisi tehostaa. Lämmityslangat olivat melko taajassa, joten niiden taajuutta ei pysty paljon lisäämään. Kovemmilla pakkasilla tulisi kuorilaatasto eristää tai lämmittää

alapuolelta. Tulisi myös varmistaa, että lämmin ilmavirta on kulkenut reuna-alueilla peitteiden alla.

Kuvassa 13 esitetään vuorokausina nopeasti kovettuvien betonilaatujen yleinen lujuuskehitys 20 celsiusasteen lämpötilassa. Kuvaajassa ei ole esitetty C30/37 betonilaadun kehitystä, mutta tätä voidaan verrata K40 laadun betoniin, koska niiden ominaisuudet ovat melkein samat.

Ensimmäisen vuorokauden kuluttua betonin lujuuden pitäisi vastata noin 15 Megapascalin puristuslujuutta. Mittaustulokset osoittavat, että ensimmäisen vuorokauden keskimääräinen puristuslujuus oli 2,6 Megapascalia. Kuvaajasta voidaan lukea, että toisen vuorokauden lujuuden pitäisi vastata noin 21 Megapascalin puristuslujuutta. Taulukosta 3 voidaan lukea, että keskimääräinen puristuslujuus toisena vuorokautena oli 13,5 Megapascalia.

Keskimääräistä lujuutta heikentää reuna-alueen valun hitaampi lujuuskehitys. Vertaus on suuntaa antava. Lämpötilatiedot tukevat myös tätä tulkintaa, koska betonin lämpötila kovettumisvaiheessa ei pysynyt riittävän korkealla toteuttamaan yleistä betonin lujuuskehitystä tarkastellulla aikavälillä. Erityisesti reuna-alueen valualueen betonin lämpötila ei missään vaiheessa noussut yli 20 celsiusasteen.



Kuva 13. Nopeasti kovettuvan betonin lujuuden kehitys +20 °C:n lämpötilassa vuorokausien funktiona (By 201. Betonitekniikan oppikirja 2004, 83)

Tulkintani on, että kuorilaataston valu edellyttää talviolosuhteissa alapuolista lämmitystä tasaisen lujuuskehityksen saavuttamiseksi sekä betonin tasaisen lämpötilan ylläpitämiseksi. Tämän toteutus ei yleisesti ole hankalaa työmaalla, mutta kyseisessä

kohteessa alapuolisen lämmityksen toteutus on hankalaa, koska valettavat pinta-alat ovat suuria. Valettavat laatastoalueet sijaitsevat korkealla maanpinnasta eikä tuulelta suojaavia rakenteita kohteessa vielä ollut. Tämä tarkoittaa, että alapuolinen alue olisi pitänyt suojata säänvaikutuksilta peitteillä, kohteessa tämä olisi tarkoittanut työmäärän sekä kustannusten merkittävää nousua.

## 9 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kuorilaataston talvibetonoinnin työmenetelmät sekä laatia työmaalle näistä menetelmistä suosituslista, josta ilmenee valumenetelmät lämpötila-asteittain. Tutkimuksen tavoitteena oli myös selvittää betonoinnin lujuuskehitys sekä kovettuneen betonin ominaisuudet lämpötilakehityksen avulla ja aistinvaraisin menetelmin.

Kuorilaataston betonointi talvella luo huomattavasti työtä vaikeuttavia tekijöitä. Kuorilaatasto on hyvin kylmää johtavaa ja haihduttaa betonin lämpöä nopeasti. Tämä korostaa lämmitystarvetta sekä betonin suojaustarvetta. Erityisesti reuna-alueilla vaikutus on suuri.

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että suosituslistan menetelmät sopivat hyvin kyseisen kohteen kuorilaataston valamiseen. Kohteen betonointia ei suositella tehtäväksi yli -20 celsiusasteen lämpötilassa. Tulokset osoittivat, että ilman eristyksiä kuorilaataston reuna-alueiden betonin lujuuskehitys alkaa hidastumaan merkittävästi, jolloin tästä saattaa seurata lujuuskatoa betoniin. Tutkimuksen kohteen työmaalla voidaan valut suorittaa suositelluilla menetelmillä niin, että kovettuneen betonin ominaisuudet ovat hyviä ja työmaan aikataulussa pysytään.

Työmaalla suoritettu betonointi onnistui suunnitellusti sekä laadulliset ominaisuudet täyttyivät. Betonin lujuuskehityksessä oli havaittavissa selvää vaihtelua valetulla alueella. Tähän vaikuttivat lämmityksen jakautuminen alueelle sekä erityisesti reuna-alueiden kylmäsillat. Kohteessa ei esiintynyt lujuuskatoa, mutta valu osoitti, että suuremmilla pakkasilla ei betonointia voida turvallisesti suorittaa ilman kuorilaataston eristämistä ja lämmitystehon lisäämistä.

Työssä saavutettiin määritellyt tavoitteet. Tutkimus osoitti kuorilaataston vaikutukset talvibetonointiin. Työssä tuotettiin myös työmaalle lista tutkimuksen tekijän mielestä sopivimmista valuvaihtoehdoista lämpötila-asteittain. Näiden sopivuutta tukee tutkimuksen tuottamat tulokset ja niiden perusteella tehdyt päätelmät.



## LÄHTEET

Betoninormit by 65 2016. 2016. Helsinki: By-koulutus Oy.

Betonirakenteiden työmaatoteutus. 2019. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Betonitekniikan oppikirja by 201 2018. 2018. Helsinki: By-koulutus Oy.

Betonityöohjeet. 1995. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Betoplus Online. Helsinki: Rudus Oy. Viitattu 7.12.2020.

Elementtisuunnittelun www-sivut 2020. Kuorilaatat. Viitattu 12.2.2021.  
<https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/laatat/kuorilaatat>

Ilmatieteen laitoksen www-sivut 2021. Viitattu 10.12.2020. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/EltRuXy4rGloHFEEAnWTXx>

Kangasniemi, M. 2021. Tuotantojohtaja, MVR-yhtymä Oy. Harjavalta. Haastattelu. 5.1.2021.

Pahkala, M. Rossi, V. Viita, S & Vuorinen, P. 1998. Paikallavaletut betonipinnat: Suunnittelu ja toteutus. Helsinki: Suomen betonitieto Oy.

Pielisen betonin www-sivut 2017. Kuorilaattojen asennusohje. Viitattu 5.1.2021.  
[https://www.pielisenbetoni.fi/wp-content/uploads/2017/11/asennusohje\\_kuorilaatta.pdf](https://www.pielisenbetoni.fi/wp-content/uploads/2017/11/asennusohje_kuorilaatta.pdf)

Riita, T. 2021. Betonityönjohtaja, MVR-yhtymä Oy. Harjavalta. Sähköposti 5.1.2021.

Rudus Oy 2011. Betonin lämmittäminen talvivaluissa. Viitattu 7.12.2020.  
<https://www.rudus.fi/Download/23944/Betonin%201%C3%A4mmitt%C3%A4minen%20talvivaluissa.pdf>

Sahlstedt, S. Koskenvesa, A. Lindberg, R. Kivimäki, C. Palolahti, T & Lahtinen, M. 2013. Talvibetonointi. Helsinki: Suomen rakennusmedia Oy.

Talvibetonointi. 1984. Helsinki: Suomen betoniyhdistys.

Vuorinen, P. 2012. Betonointi kylmissä olosuhteissa. Helsinki: Rakennusteollisuus RTT ry.