



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

Betonointi talviolosuhteissa

Lämpötilojen ja lujuuksien vertailu betonivalun eri
pisteissä

Ville Naukkarinen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2018
Rakennustekniikka
Talonrakennustekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka
Talorakennustekniikka

NAUKKARINEN VILLE

Betonointi talviolosuhteissa
Lämpötilojen ja lujuuksien vertailu betonivalun eri pisteissä

Opinnäytetyö 42 sivua
Huhtikuu 2018

Talvirakentaminen ja kylmät olosuhteet antavat haasteen betonirakenteiden lujuuden riittäväälle kehitymiselle, koska betonin kovettuminen on lämpösidonnainen reaktio. Opinnäytetyössä tutkittiin betonin lämpötilakäyttäytymistä ja lujuudenkehitystä talviolosuhteissa. Tutkimuksessa haluttiin myös selvittää, miten betonirakenteiden poikkileikkausten eri kohdat eroavat toisistaan lämpötilojen ja kehittyvien lujuuksien suhteen. Tutkimus perustui empiirisiin tutkimusmetodeihin. Työssä käsiteltiin myös betonoinnin laadunvarmistuskeinoja ja eri betonilaatuja.

Betonin kypsyysikään ja lujuudenkehitykseen vaikuttaa suurilta osin valetun betonin lämpötila. Korkeammissa lämpötiloissa kuin normilämpötila +20°C, betoni alkaa sitoutua ja kovettua nopeasti ja kuivuminen tehostuu. Talviolosuhteissa vaadittavan lämpötilan ylläpitäminen on haastavaa alhaisista lämpötiloista johtuen ja siksi vaaditaan erityistä tietoa betonin ominaisuuksista ja fysikaalisista perusilmiöistä. Betonin lujittumista voidaan arvioida mittaamalla sen lämpötiloja säännöllisin aikaväleillä ja laskemalla arvioitu lujuus sen lämpötiloihin ja kuluneeseen aikaan perustuen.

Tutkimuksen tuloksena havaittiin, että betonivalujen eri kohdissa voi olla suuriakin eroja lämpötilojen ja täten myös lujuuksien kannalta. Erot johtuvat monista seikoista kuten säästä, lämmön johtumisesta sekä betonivalun koosta ja muodosta. Tutkimustulokset antoivat karkean arvion siitä, missä lämpötilassa on järkevää valaa betonia, jotta lujuudenkehitys olisi tarpeeksi nopeaa ja varmaa. Betonivaluja suunniteltaessa on tärkeää huomioida ympäröivien rakenteiden vaikutus erityisesti valujen pintoihin ja reuna-alueisiin.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Construction Engineering
Structural Design

NAUKKARINEN VILLE:

Concreting in winter conditions
Temperature and strength comparison in different points of concrete section

Bachelor's thesis 42 pages

April 2018

This Bachelor's thesis researches the temperature behavior of concrete and its strength generation in winter conditions. This researches purpose was to find out how different points of concrete sections differ by temperature and strength of building structures. The research was based on empirical research methods. This work also studies quality assurances of concreting and different kinds of concrete.

Concrete's strength generation is mostly influenced by its prevalent generation temperature. In high temperature concrete starts bonding and drying faster. Simultaneously its strength increases. It's challenging to maintain required temperature of concrete in winter conditions due to low outside temperature and that is why special knowledge is needed about concrete's features and physical phenomena. Concrete's strength generation can be evaluated by measuring its temperatures on recurrent time periods and calculating its strength based upon those factors.

The research discovered that there could be large scale differences in temperatures and strengths in different points of concrete structure due to multiple factors such as weather conditions, thermal conduction and size or shape of the structure. Examination results gave an approximate estimation about the allowable temperatures for which it is reasonable to cast concrete assuring the strength generation would be fast and secure. The influence of thermal conduction from surrounding structures to surfaces and edge zones, should also be observed in planning concreting.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	YLEISET TIEDOT	8
2.1	Tilaaaja	8
2.2	Tutkimuksen tekijä	8
2.3	Yleiskuvaus kohteesta.....	8
2.4	Tutkimuksen sisältö	9
2.5	Tutkimuksen luotettavuus	10
3	TEORIA	11
3.1	Betoni.....	11
3.2	Sementti	11
3.3	Sitoutuminen ja kovettuminen	12
3.4	Kypsyysikä ja lujuudenkehitys	12
3.5	Betoni pakkasessa	13
4	BETONOINNIN LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	14
4.1	Sääolosuhteet	14
4.2	Betonin laatu	15
4.3	Kuutiolujuuden nosto.....	16
5	TALVIBETONOINTISUUNNITELMA.....	18
6	TALVIBETONOINNIN TYÖMENETELMÄT.....	20
6.1	Suojaus ja peittäely	20
6.2	Lämpölangat	21
6.3	Ilmalämmitys	22
6.4	Lämpötilojen seuranta.....	23
7	MITTAUSTULOKSET CASE PARKKIHALLI	24
7.1	Seinäanturat	24
7.1.1	Betonimassa	24
7.1.2	Sääolosuhteet.....	24
7.1.3	Laadunvarmistus ja jälkihoito.....	24
7.1.4	Lämpötilamittaukset.....	25
7.1.5	Lujuuksien kehitys	26
7.2	Seinäelementtien juotokset	28
7.2.1	Betonimassa	28
7.2.2	Sääolosuhteet.....	28
7.2.3	Laadunvarmistus ja jälkihoito.....	29
7.2.4	Lämpötilamittaukset.....	29
7.2.5	Lujuuden kehitys.....	32

7.3	Ontelolaatasto	33
7.3.1	Betonimassa	33
7.3.2	Sääolosuhteet.....	34
7.3.3	Laadunvarmistus ja jälkihoito	34
7.3.4	Lämpötilamittaukset.....	35
7.3.5	Lujuuden kehitys	37
8	PÄÄTELMÄT JA POHDINTA	39
8.1	Yleistä	39
8.2	Anturat	39
8.3	Seinäelementit.....	39
8.4	Ontelolaatasto	40
8.5	Betonilaatujen vaikutus.....	41
8.6	Loppusanat.....	42
	LÄHTEET.....	43

ERITYISSANASTO

holvi	Kantava väli-, ylä- tai alapohja
juotos	betonimassa, jota käytetään eri rakenneosien liitoskohdissa niiden yhdistämiseksi
rapid	nopeasti kovettuva sementtilaatu, joka saavuttaa täyden lujuuden 7 vuorokauden ajassa +20°C lämpötilassa
routamatto	solumuovista tai superlonista valmistettu matto suojauksiin
hydrataatio	veden ja sementin reaktio, joka aiheuttaa sementin kuivumisen ja kovettumisen. Hydrataatioreaktiossa muodostuu lämpöä.
kypsyysikä	kypsyysikä kertoo betonin lujuudenkehityksestä massan lämpötilaan korreloiden

1 JOHDANTO

Talvella betonointiin liittyy paljon haasteita ja erikoistietoa vaativia osia kesällä tehtäviin betonitöihin verrattuna. Tietoa löytyy paljon mm. kirjoista, eri yhdistysten julkaisuista, oppikirjoista ja tehdyistä tutkimuksista. Opinnäyte- ja insinöörityöt ovat yksi osa tutkimuksia. Rakentamisen nopeatempoisuuden vuoksi olisi hyvä, että hajallaan olevat tiedot olisivat yrityksissä koostettuna, jotta tiedoista saisi selkeän käsityksen talvibetonointiin liittyvistä, huomioon otettavista seikoista. Tämä työ käsittää talvibetonoinnin kuvausta CASE-tyyppisesti todellisessa rakennuskohteessa ja eri tapoja toteuttaa betonoinnin onnistumiseen vaadittavia toimenpiteitä. Työssä annetaan suppeasti esimerkkejä siihen liittyvistä kustannuksista.

Työn päätarkoitus on kuitenkin vertailla ja tutkia eri tyyppisten rakenteiden kriittisiä kohtia rakenteen poikkileikkauksessa ja miten tämä tulisi huomioida esimerkiksi valun suojauksissa ja lämmityksessä. Suoritetuilla betonin kypsyysikä- ja lujuuslaskelmien perusteella voidaan päätellä, kuinka tehokasta lujittuminen on esimerkiksi rakenteen nurkkapisteissä ja miten tämä vaikuttaa rakenteen toimivuuteen ja betonivalun onnistumiseen.

Tuloksena on saatu johtopäätökset mitattujen arvojen perusteella. Johtopäätöksistä saadaan lisätietoa talviolosuhteiden vaikutusta betonointiin, sekä miten niitä on mahdollista käyttää hyväkseen tulevia betonivaluja suunnitellessa. Tutkimusta tehdessä oma käsitys betoniin ja erityisesti talvella betonointiin kehittyi huomattavasti. Kerätyistä tiedoista tulee olemaan apua myöhemmällä uralla rakennusalalla ja erityisesti betonin parissa.

2 YLEISET TIEDOT

2.1 Tilaaja

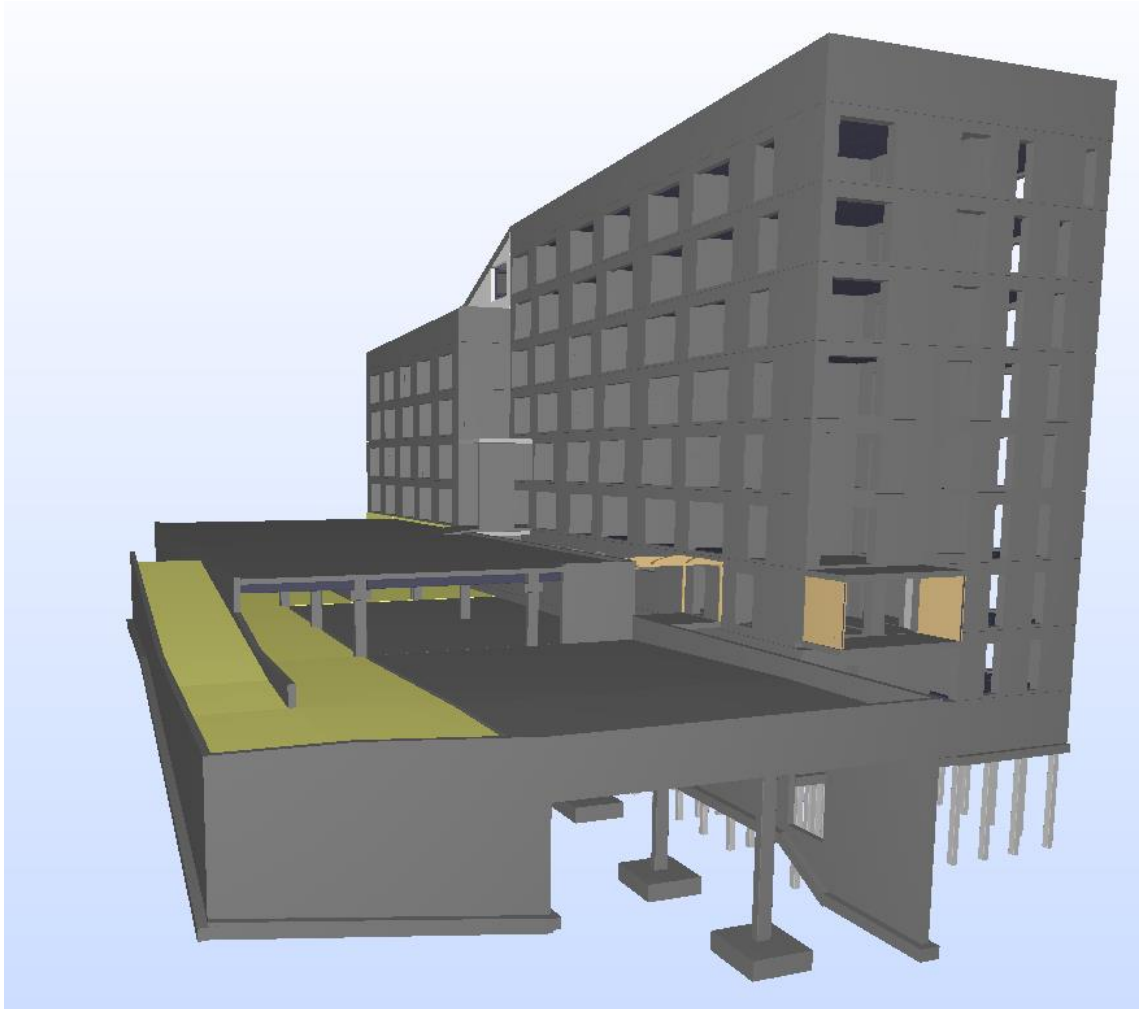
Pirkanmaan Mestari-Rakentajat oy on keskisuuri pirkanmaalainen yritys, joka rakentaa ja korjaa rivi- ja kerrostaloja. Yritys on erikoistunut korjausrakentamiseen. Yrityksellä on omaa asuntotuotantoa sekä myös urakkakohteita. Yrityksessä työskentelee 24 henkilöä. Yrityksen toimitilat sijaitsevat Tampereella, osoitteessa Takojankatu 2.

2.2 Tutkimuksen tekijä

Talonrakennustekniikan insinööriopiskelija Ville Naukkarinen, joka on työsuhhteessa esiteltyyn yritykseen. Tämä tutkimus tehdään opinnäytetyönä yritykseen.

2.3 Yleiskuvaus kohteesta

Kohde, jossa tutkimus tehtiin, on betonielementtirakenteinen pysäköintilaitos, joka sijaitsee 8-kerroksisen asuinkerrostalon yhteydessä. Pysäköintilaitoksen kantava runko muodostuu betonista. Kantava runko muodostuu kantavista seinäelementeistä, jännebetonipalkeista, teräsbetonisista pilareista ja ontelolaatoista. Perustukset ovat kaikki maanvaraisia pysäköintilaitoksen osalta. Pysäköintilaitos on 2-kerroksinen ja siinä on yhteensä 59 autopaikkaa, joista 39 sijaitsee pysäköintikannen alla.



KUVA 1. 3D-malli kohteesta.

Kohteen tyyppi:

Asuinkerrostalo + pysäköintilaitos

Tutkimuksen ajankohta:

Joulukuu 2017-Maaliskuu 2018

Kohteen laajuus:

Pysäköintilaitos 59 autopaikkaa

2.4 Tutkimuksen sisältö

Tutkimuksessa keskityttiin betonointiin talviolosuhteissa. Kohteessa seurattiin betonivalujen toteutusta haastavissa olosuhteissa ja suoritettiin lämpötilaseuranta valettavissa rakenteissa. Erilaisia rakennetyyppejä oli kolme erilaista. Lämpötilamittaukset keskittyivät kohteen pysäköintilaitokseen, minkä työt ajoittuivat talvikaudelle 2017-2018.

Työn tarkoituksena oli vertailla rakenteen poikkileikkauksen eri kohtia keskenään lämmön säilymisen ja betonin lujittumisen kannalta. Tutkimuksessa käytiin läpi myös talvi-betonoinnin työ- ja laadunvarmistustoimenpiteitä, jotka ovat osatekijöitä onnistuneen talvi-betonoinnin toteutukseen. Tutkimuksen päätelmiin koottiin johtopäätökset siitä, mihin kohtiin täytyy valettaessa kiinnittää huomiota sekä vertailusta tehty johtopäätös poikkileikkauksen kriittisistä pisteistä. Päätelmäosiossa kerrotaan myös suositusraja-arvot erityyppisten valujen toteutuslämpötiloiksi.

2.5 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimustulokset perustuvat kokeellisesti saatuihin tuloksiin, jotka ovat tietyn tyyppisten betonivalujen seurannasta saatu johtopäätös. Tuloksia voidaan käyttää suuntaa antavasti vastaisuudessa, mutta betonivalun onnistumisen kokonaisuus koostuu monista muuttujista ja nämä on syytä huomioida tutkimustuloksia käytettäessä.

Lämpötilamittaukset on suoritettu laitteistolla, joka antaa lämpötilat asteen kymmenesosan tarkkuudella. Lämpötilamittauksia on mahdollisuus tarkastella tiheimmillään jopa 30 minuutin jaksoissa. Tutkimuksessa käytetyt mittaukset ovat kahden tunnin väliajoin mitattuja keskiarvoja. Lujuuslaskelmissa on käytetty Finnsementin laatimaa excel-ohjelmaa, joka laskee betonille kypsyyksiä ja arvioidun kuutiolujuuden.

3 TEORIA

3.1 Betoni

Betoni on sementistä, vedestä ja erikokoisista kivirakeista koostuva keinotekoinen kivi (Betonitekniiikan oppikirja 2018, 16). Sementti ja vesi muodostavat yhdessä sideaineen, jota kutsutaan sementtiliimaksi. Vesi ja sementti kovettuvat reagoiessa keskenään ja sitovat kivrakenteet toisiinsa, jolloin syntyy betonia. Betonin ominaisuuksia voidaan muunnella lisäämällä sementtiin seosaineita, jotka esimerkiksi hidastavat tai nopeuttavat betonin kovettumista.

3.2 Sementti

Erilaisia sementtilaatuja on monia ja sementtien vaatimusstandardi SFS-EN 197-1 tuntee 27 erityyppistä sementtilaatuja. Niistä viisi voidaan katsoa soveltuvaksi suomalaisiin olosuhteisiin (Betonitekniiikan oppikirja 2018, 29.) Sementtien viisi päälajia niiden koostumuksen perusteella ovat:

CEM I	Portlandsementti
CEM II	Portlandseossementti
CEM III	Masuunikuonasementti
CEM IV	Pozzolaanisementti
CEM V	Seossementti

Päälajit jaetaan eri sementtilajeihin niihin käytetyn seosainemäärien perusteella. Eri seosaineita ovat: masuunikuona (S), kalkkikivi (LL), silika (D), pozzolaani (P tai Q), lentotuhka (V tai W) ja poltettu liuske (T). Seosainemäärät luokitellaan merkinnöillä A, B tai C. Esimerkkinä CEM II B, joka kertoo sen olevan portlandseossementtiä, joka sisältää portlandklinkkeriä ja merkintä B seosaineiden määrän 21-35% portlandklinkkerin ja seosaineiden yhteismäärästä.

Kirjainten perässä voi olla luku ja kirjain, esimerkiksi 32,5 N, jossa luku kertoo sementin standardilujuuden megapascalina ja kirjain N sen olevan normaalia varhaislujuutta. Kirjain R tarkoittaa puolestaan korkeaa varhaislujuutta.

Rakennussementteinä käytetään:

- CEM II/B-M(S-LL) 42,5 N, josta käytetään nimitystä plussementti tai normaalisti kovettuva perussementti.

- CEM II/A-LL 42,5 R, joka on nopeasti kovettuva sementti tai myös puhekielessä rapidsementiksi kutsuttu.
- CEM I 52,5 R, josta käytetään nimitystä pikasementti.
- CEM I 42,5 N SR3, joka on normaalisti kovettuva portlandsementti. Merkintä SR tarkoittaa sulfaatinkestävyyttä. Sulfaatinkestävyys perustuu masuunikuonan määrään.

3.3 Sitoutuminen ja kovettuminen

Sementti ja vesi sekoituessaan reagoivat ja siitä syntynyt sementtipasta alkaa hyytelöityä. Sementtipasta alkaa menettää plastisuuttaan eli sitoutuu. Hyytelön kiinteyden lisääntyessä sementti kovettuu. Selkeää rajaa sitoutumisen ja kovettumisen välillä ei ole, mutta kuitenkin sitoutumisreaktiota pidetään kovettumisen alkutapahtumana (Betonitekniiikan oppikirja 2018, 35). Sitoutumisaika riippuu sementin laadusta ja lämpötilasta. Lämpötilan noustessa 10°C sitoutumisaika puolittuu. Sitoutumisen jälkeen betonin kovettuessa hydrataatioreaktio synnyttää lämpöä.

Betonin ominaisuudet muuttuvat sitoutumisen alkaessa ja alle vuorokauden sisällä betonimassa menettää työstettävyyden. Lisäksi betonimassa painuu kasaan ja kutistuu. Painumaa ja kutistumaa kutsutaan plastiseksi painumaksi ja plastiseksi kutistumaksi.

3.4 Kypsyysikä ja lujuudenkehitys

Betonin kypsyysikä eli astevuorokausisumma kuvaa betonin lujuudenkehitystä. Yhden vuorokauden kypsyysikä vastaa yhtä vuorokautta +20°C lämpötilassa. Erilaiset betoni-laadut eroavat toisistaan kypsyysiän kehittymisnopeudessa sekä kypsyysiässä, jolloin betoni saavuttaa nimellisljuutensa. Kypsyysikään vaikuttaa betonin lämpötila ja kulunut aika. Eli alle 20°C betonin kypsyysikä yhden vuorokauden jälkeen on alle yksi kypsyysikävuorokausi. Kypsyysikää voidaan laskea Sadgroven menetelmällä:

$$t_{20} = \left(\frac{T + 16^{\circ}\text{C}}{36^{\circ}\text{C}} \right)^2 \times t$$

, missä T on betonin lämpötila aikana t [°C]
t on kovettumisaika [d]

Kypsyysikää ja sitä vastaavaa lujuutta voidaan myös laskea tietokoneohjelmin, jotka myös perustuvat mitattuihin lämpötiloihin ja aikoihin. Tässä opinnäytetyössä on käytetty excel-ohjelmaan tehtyä laskentapohjaa.

3.5 Betoni pakkasessa

Betoniin muodostuu ilmakuplien seurauksena pieniä huokosia, jotka täyttyvät vedellä betoni kastuessa. Tuore betoni on kovettuessaan hyvin kostea ja ilmahuokokset ovat täyttyneitä vedellä. Mikäli betonin lämpötila laskee pakkasen puolelle, jäätyvät nämä vedellä täyttyneet huokokset ja veden tilavuus kasvaa noin 9% muuttaessaan olomuotoaan nesteestä kiinteäksi aineeksi. Tilavuuden kasvu vaurioittaa betonia, jolloin seurauksena syntyy halkeamia, rapautumista ja lujuuskatoa. Kovettuvan betonin lujuudenkehitys pysähtyy lämpötilan laskiessa alle 0°C. Tiedetään, että mikäli betoni ei ole saavuttanut 5 megapascalin puristuslujuutta ennen jäätymistään, ei betoni enää jatka lujuudenkehitystään lämpötilan noustessa nollan yläpuolelle. Tällöin voi betonissa esiintyä valelujuutta ja lujuuskatoa.

4 BETONOINNIN LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Betonivalun laatuun vaikuttavia tekijöitä on useita, joihin on syytä perehtyä betonivalua suunniteltaessa. Osa tekijöistä ovat sellaisia, joihin ei pystytä vaikuttamaan, kuten vallitsevat sääolosuhteet. Betonointia suunniteltaessa pystyy kuitenkin ennakoimaan ja vähentämään siten epäsuotuisia vaikutuksia valun onnistumisen kannalta. Erilaisia betonilaa- tuja ja betoniluokkia käyttämällä, voidaan valita sopivat betonilaadut valukohteen ja va- luolosuhteiden mukaan. Tässä luvussa on käyty läpi keskeisiä betonoinnin laatuun vai- kuttavia tekijöitä.

4.1 Sääolosuhteet

Betonivalua suunniteltaessa suotuisat säät määrittävät valuajankohtaa. Erilaiset luonnon- voimat kuten lumisade, pakkasen ja kova tuuli vaikuttavat epäsuotuisasti valun onnistu- miseen. Kuitenkin aina ei voida valua ajoittaa sellaiseen ajankohtaan, jolloin edellä mai- nitut luonnonvoimat eivät vaikuta. Tällöin niitä torjuessa joudutaan näkemään vaivaa suunnittelusta lähtien. Erilaiset suojaustoimenpiteet, lämmitysjärjestelmät ja niiden yllä- pitoon tai toteuttamiseen tarvittavat koneet aiheuttavat paljon työ- ja materiaalikulusta- nuksia. Nämä asiat tulisi huomioida jo kohteen suunnitteluvaiheessa jolloin laaditaan ai- katauluja ja lasketaan kustannuksia.

Lumisade aiheuttaa erityisesti hankaluuksia. Työkohteet ovat monesti hyvin vaikeakul- kuisia ja täynnä esteitä, joten mekaaninen lumenluonti on miltei mahdotonta. Lumisateen ollessa vähäistä ja lumen ollessa niin sanottua pakkaslunta, voidaan käyttää lehtipuhal- linta irtonaisen lumen poistamiseen valumuoteista ja raudoituksista. Muotti- ja raudoitus- työn valmistuessa on avonaiset muotit peitettävä erilaisilla peitteillä. Runsaalla lumisa- teella pinta-alaltaan suuri ja raskastekoinen peite saattaa kerätä lunta jopa tonneja, jolloin peitteen poistamiseen tarvitaan raskasta nostokalustoa. Erityisesti perustusvaiheessa tämä aiheuttaa lisäkustannuksia, koska silloin ei välttämättä ole nosturikalustoa vielä työmaalle toimitettu.

Pakkasen vaikuttaa suoraan betonin pitämiseen lämpimänä. Työmaaolosuhteissa valetta- essa betoni tarvitsee kuljettaa sinne betonitehtaalta, jolloin pakkasen laskee sen lämpöti- laa jo ennen, kun betonimassa on saapunut kohteeseen. Pakkasen kylmettämät raudoitteet

ja ilma puolestaan laskevat betonimassan lämpötilaa entisestään. Betonimassan lämpötilan laskiessa alle 0 celsiusasteen merkittävää lujuudenkehitystä ei tapahdu lyhyen ajan sisällä. Lämpötilan laskiessa edelleen 0...-15°C:seen se lopulta pysähtyy (Betonitekniikan oppikirja 2017, 493.)

4.2 Betonin laatu

Valittavan betonin laadun valinta perustuu pitkälle valettavan kohteen tyyppiin, valuolosuhteisiin ja aikatauluun. Talvibetonointiin soveltuvat erilaiset betonilaadut voidaan jaotella karkeasti neljään eri tyyppiin.

Normaalisti kovettuva rakennebetoni:

Rakennebetoni ilman lisäaineita tai muita erikoisbetoneihin käytettyjä lisä- ja erikoisominaisuuksia. Se soveltuu käytettäväksi paikkoihin, missä ei ole erikoisia vaatimuksia esimerkiksi säilyvyyden suhteen. Sisätiloihin sijoittuvat rakenneosat ovat esimerkiksi tämänlaisia. Suuret valut, esimerkiksi holvit tai maan alle jäävät pilarianturat soveltuvat tälle betonilaadulle myös talviolosuhteissa. Nämä suuret valut tuottavat sitoutuessaan paljon lämpöä ja liika lämpötila, yli 50°C, aiheuttaisi puolestaan lujuskatoa, joten kyseinen betonilaatu soveltuu hyvin kyseisiin valuihin. (Talvibetonointi 2013, 15). Se saavuttaa loppulujuutensa 30 vuorokauden iässä.

Nopeasti kovettuva eli rapid betoni:

Nopeasti kovettuvaa betonia käytetään etenkin, kun halutaan betonin muodostavan lämpötilaa nopeasti ja runsaasti. Nopeasti kiihtyvä lämpötilanousu, joka johtuu betonin hydrataatioreaktion alkamisesta, nopeuttaa betonin lujuudenkehitystä, josta on apua esimerkiksi pienissä valuissa tai muottien purussa. Nopeasti kovettuva betoni saavuttaa lujuuksensa seitsemän vuorokauden iässä. Massiivissa valuissa käytettäessä on oltava varovainen ja varmistaa soveltuvuus betonin toimittajalta. Yleinen betonilaatu talviolosuhteissa.

Lämmitetty betonimassa eli kuumabetoni

Lämmitettyä betonimassaa eli kuumabetonia on mahdollista tilata betonitehtaalta haluamaansa lämpötilaan. Yleensä tämä on kuitenkin +30°C tehtaalta lähtiessään.

Kuumabetonilla saadaan nopeammin alkamaan betonin sitoutumisreaktio ja lujittuminen on näin nopeampaa. Etu on selkeä erityisesti ensimmäisten valutuntien aikana ja betonin lisälämmityksen tarve pienenee. Kylmillä säillä betonoitaessa on suositeltavaa käyttää kuumabetonia, koska betonin saapuessa työmaalle, on betonimassa menettänyt jo paljon lämpötilastaan.

Pakkasbetoni

Pakkasbetoni soveltuu pieniin valuihin. Sitä ei saa käyttää rasisitusluokiltaan XF-luokan rakenteissa. Pakkasbetonia käytetään silloin, kun on vaara, että betonivalu jäätyy ennen jäätymislujuuden (5MPa) saavuttamista. Se ei vaurioidu jäätyessään, mutta sen lujuuden kehitys on todella pientä. Lujuuden kehitys käytännössä pysähtyy -10°C :ssa (Talvibetonointi 2013, 22). Pakkasbetoni soveltuu esimerkiksi elementtien juotosvaluihin.

4.3 Kuutiolujuuden nosto

Kuutiolujuuden nosto on yksi tapa varmistaa betonin riittävä lujittuminen talviolosuhteissa. Betonin lujuuden nosto nopeuttaa betonimassan hydrataatioreaktion alkamista ja näin myös lujittuminen ja reaktiolämpötilasta johtuva lämmöntuotto alkaa nopeammin. Korkeamman kuutiolujuuden omaava betoni saavuttaa 100% kypsyysikänsä miltei samassa ajassa kuin alempien kuutiolujuuksien betoni, mutta se saavuttaa varhaisemmat kypsyysikänsä huomattavasti nopeammin. Esimerkiksi 60% kypsyysikä, jota käytetään valumuottien purkulujuutena kantavissa vaakarakenteissa (Betonitekniikan oppikirja 2018, 496), saadaan korkealujuuksisilla betonilaaduilla nopeammin saavutettua. Myös betonin lujuus on luonnollisesti saman ikäisillä, mutta eri lujuusluokan betoneilla korkeampi. Esimerkki: C25/30 betoni 60% kypsyysikänsä on kuutiolujuudeltaan noin 18Mpa, kuin taas C32/40 betoni samassa 60% kypsyysikänsä on 24Mpa kuutiolujuudeltaan.

Betoni saavuttaessaan liian korkean lämpötilan menettää hieman lujuuttaan, ja vastaavasti jäätyessään syntyy myös lujuuskatoa (Betonitekniikan oppikirja 2018, 496). Betonin lujuuteen vaikuttaa myös muut tekijät kuten: betonin huolellinen/huolimaton tiivistys, jäl-

kihoito ja veden määrä betonimassassa. Mikäli jokin näistä edellä mainituista negatiivisista tekijöistä toteutuu ja betonin lujuutta menetetään, on suunniteltu lujuus silti varmistettu. Esimerkkinä 20% lujuuskato C32/40 betonilla on 8Mpa ja jos alkuperäinen suunnittelulujuus on 30Mpa, laskee betonin kuutiolujuus siis 32Mpa:iin. Betonin lujuus on vieläkin silti suurempi, kuin alkuperäinen suunnittelulujuus.

5 TALVIBETONOINTISUUNNITELMA

Kohde:	Uudisrakennus Asuinkerrostalo 6/8 kerrosta
Urakoitsija:	Pirkanmaan Mestari-Rakentajat Oy Takojankatu 2, 33540 Tampere
Betonityönjohtaja:	Ville Naukkarinen

Kohteen kuvaus:

Rakennettava kohde on parkkihalli, jonka kannen alla on 39 autopaikkaa ja kannella 20 autopaikkaa. Runkorakenteena on seinäelementit, pilarit ja palkit. Alapohja on maanvarainen sekä osittain ontelolaattaa. Kansi on ontelolaattaa.

Talvibetonoinnin toimenpiteet:

Anturat:

Anturapohjien sulana pysyminen varmistetaan eristävillä peitteillä ja tarvittaessa anturoihin asennetuilla lämmityskaapeleilla.

Anturamuotit suojataan mahdolliselta lumisateelta suojapeitteillä. Jos anturoiden muotteihin on päässyt lunta, täytyy se poistaa tai sulattaa ennen valua.

Anturavalun jälkeen anturat peitetään eristävällä peitteellä ja kytketään lämmityskaapelit riittävän lujuuden saavuttamiseksi.

Ontelot ja seinien pystysaumot:

Onteloiden ja seinien juotoksissa lämmitään ontelokentän alapuolinen osa. Lämmitys aloitetaan edellisenä päivänä ja lisäksi ontelokenttä peitellään. Lämmitys toteutetaan kaasulla. Lämmitettävän alueen ollessa tilavuudeltaan riittävän pieni niin myös sähköpuhaltimien käyttö on mahdollista.

Jos ontelokentän päällä on lunta tai jäätä, on se poistettava tai sulatettava ennen valua.

Valun jälkeen kenttä peitellään uudelleen ja peitteet ja lämmitys poistetaan sitten, kun tarvittava lujuus on saavutettu.

Lattiavalut:

Lattioissa lämmitys toteutetaan valuun asennettavilla lämmityskaapeleilla tai valettavan kentän alapuolen lämmittämisellä. Valun jälkeen kenttä peitetään.

Lujuuden seuranta:

Anturoihin, seinien saumoihin ja ontelokenttään asennetaan lämpötilan seurantaan varten termopariantureita, joita seuraamalla saadaan tietää, milloin holvi on saavuttanut jääty-
mislujuuden.

Jos mittaus osoittaa, että holvilla on jokin kylmempi kohta, niin sinne lisätään lisälämmi-
tystä esim. sähköpuhaltimilla ja lisäpeitteillä.

Betonointi:

Anturoiden betonin rasitusluokka on C30/37-2 XC2, rapid, lämmitetty, raekoko 16mm.

Betonin tiivistys toteutetaan vibraamalla.

Juotoksissa betonin rasitusluokka on C30/37-2 XC4, XF3, rapid, lämmitetty, raekoko
8mm. Betoni tiivistys toteutetaan vibraamalla.

Lattioissa betonin rasitusluokka on C30/37-2 XD1

Lujuutta voidaan tarpeen mukaan nostaa. Silloin saavutetaan jäätymislujuus nopeammin.

6 TALVIBETONOINNIN TYÖMENETELMÄT

Tässä kappaleessa on esitelty erilaisia tapoja, miten toteutetaan betonivaluja talviolosuhteissa. Peruseriaate talvibetonoinnissa on estää lumen ja jään päätyminen betoniin ja raudoitteisiin tai poistaa ne sekä säilyttää riittävä lämpötila. Erilaisia työtapoja on useita ja tässä luvussa on esitelty muutamia paljon käytettyjä tapoja. Tarkoituksena on myös selittää kyseisen toimenpiteen toimintamekanismia

6.1 Suojaus ja peittely

Betonivalun suojaaminen ja peittäminen on todella kustannustehokas tapa säilyttää tarvittava lämpö valussa sekä samalla suojata sitä lumisateelta ja tuulelta. Valettaessa puusta tehtyihin muotteihin toimii puu kohtuullisen hyvänä eristeenä muotin sivuilla. Lämmin ilma on kylmää kevyempää, joten se pyrkii siirtymään muotista ja valusta pois. Mahdollinen tuuli tehostaa tätä vaikutusta, joten muotin päällinen osa kannattaa peittää. Peittämiseen voidaan käyttää kevytpeitettä, raskaampaa suojapeitettä, solukumimattoa tai 30mm paksua superlonista routamattoa. Lämpötilan ollessa jo reilummin pakkasen puolella, solukumimaton tai routamaton käyttäminen parantaa betonin lämmön säilymistä huomattavasti. Valmistelevat työt kuten maaperän sulattaminen lumesta ja jäästä ennen valua on kriittinen valulämpötilan pitämisen kannalta. Jäätynyt maa toimii ikään kuin kylmäsiltana betoniin ja usein lämpötila lähellä maata on matalampi mitä sen yläosassa tai keskellä.



KUVA 2. Anturavalun peittäminen routamatolla.

6.2 Lämpölangat

Lämpölangoittaminen on varma, mutta melko työläs tapa lämmittää betonia. Betonin sisään asennetaan johdin, joka tuottaa lämpöä sähkövirran avulla. Johdin on oltava betonivalun sisällä, jotta se pystyy luovuttamaan lämpöä mahdollisimman tehokkaasti ympäröivään betoniin. Lämpölankoja on kahta eri tyyppiä, verkkovirtaan kytkettäviä valmiskaapeleita tai erillisen muuntajan kautta kytkettyjä johtimia. Valmiskaapelit ovat hinnaltaan kalliimpia, eikä niiden tehoa pysty säätämään. Ne ovat kuitenkin helppokäyttöisiä ja nopeita asentaa. Muuntajan kautta kulkevat lämpölangat/johtimet ovat säädettävissä muuntajasta käsin. Säädettävä lämpölanka maksaa euroissa noin 17 snt/metri, mutta tarvikkeet ja asennukset muodostavat suuremman osan lopullisesta hinnasta. Esimerkkinä seitsemän betonielementin saumojen langoitus. Kyseisessä esimerkissä lämpölangan hinta muodostuu suurimmalta osin työstä. Itse valuun sijoitettava lanka ei maksa paljoa,

mutta sen kytkentään käytettävä kaapeli on hinnaltaan kalliimpaa ja käytetty määrä riippuu muuntajan etäisyydestä valettavaan kohteeseen. Esimerkissä lämmitystyöt oli tilattu ulkopuoliselta toimijalta.

TAULUKKO 1. Esimerkki lämpölankojen kokonaishinnasta

Tuote	Yksikköhinta	Määrä	Hinta
Lämpökaapeli 2mm	0,17€/m	21 m	3,57 €
Kytkeäkaapeli 6mm	1,55€/m	56 m	86,8 €
Nippuside	0,06€/kpl	30 kpl	1,8 €
Huppuliitin	0,40€/kpl	6 kpl	2,4 €
Työ	40€/h	4 h	160 €
		Hinta yhteensä:	254,57€

6.3 Ilmalämmitys

Talvella valettaessa erityisesti ontelolaattakenttien valu on haastavaa. Ohuita saumoja on paljon ja betonimassan määrä on niin pieni, ettei se riitä tuottamaan tarpeeksi lämpöä. Lämpölankojen vetäminen on työlästä ja kallista vedettäväksi jokaiseen saumaan. Yhden ontelokentän saumojen lukumäärä voi olla miltei 100 kappaletta. Ilmalämmitetyksellä eli yleensä kaasutoimisella puhaltimella voidaan lämmittää yhtä ontelolaattakenttää alhaalta päin, jolloin lämpö nousee ylöspäin ja näin ollen holvi lämpiää. Lämmitetyistä ontelolaattoista lämpö siirtyy edelleen saumoihin. Tämä työtapo toimii myös paikallavaluholveissa, joksikin paksu holvi itsessään tuottaa lämpöä niin paljon, ettei tätä menetelyä välttämättä tarvita. Kaasulämmityksessä käytetään sähköllä toimivia puhaltimia, joihin johdetaan nestekaasua. Kaasua polttaessa lämmin ilma levittyy kätevästi puhaltimien avulla lämmitettävään tilaan.

6.4 Lämpötilojen seuranta

Yksi tärkeistä toimenpiteistä varmistaa betonivalun onnistuminen on sen lämpötilaseuranta. Mikäli betonin lämpötila jostain syystä laskee liian alas tai vastaavasti nousee liian korkeaksi, on toimenpiteisiin ryhdyttävä. Lämpötilamittauksia tekemällä varmistetaan, että toimenpiteisiin on mahdollista ryhtyä ajoissa eikä liian myöhään. Lämpötilamittaukset ovat tietoteknologian kehityksen seurauksena helpottuneet huomattavasti. Nykypäivänä voidaan lämpötiloja seurata internetin välityksellä etänä, vaikkapa kotoa käsin, eikä työnjohtajan tarvitse käydä esimerkiksi illalla tai viikonloppuisin tarkistamassa niitä itse työkohteessa.



KUVA 3. Nokeval-tukiasema

Tutkitussa kohteessa oli käytössä Nokeval-tukiasema, johon oli mahdollista kytkeä 4kpl termoparilankaa, jotka mittasivat lämpötiloja halutussa pisteessä. Tukiasema toimi langattomasti ja oli toiminnaltaan akkukäyttöinen. Tukiasema lähetti mitatut lämpötila-arvot ovaport-järjestelmään, josta ne oli internetin välityksellä mahdollista lukea omalta tietokoneelta tai älypuhelimelta.

7 MITTAUSTULOKSET CASE PARKKIHALLI

Tutkimuksen mittauskohteeksi valikoitui talviaikaan rakennettava parkkihalli, johon tutkimuksessa käytetyt mittaus tulokset kohdistui. Lämpötilojen mittauspisteet on esitetty rakenneleikkauksissa, kahdessa eri pisteessä joita vertaillaan keskenään. Vertailuja suoritettiin kolmessa erilaisessa rakennetyypissä: maanvaraisessa anturassa, seinäelementtien saumoissa ja ontelolaattaholvin saumoissa. Saaduista lämpötila-arvoista on muodostettu käyrä, joka kuvaa lämpötilan kehittymistä betonissa. Saatujen lämpötilamittausten perusteella on tehty kypsyysikä- ja lujuuslaskelmat, joiden perusteella on arvioitu rakenteen lujuudenkehitystä poikkileikkauksen eri kohdissa.

7.1 Seinäanturat

7.1.1 Betonimassa

Betonin laaduksi valittiin C32/40/rapid ja rasisluokka XC2. Rakenteiden suunnitteluikä 100 vuotta. Betonin suunnittelulujuus oli mitoitettu C30/37 suuruiseksi, mutta päätimme nostaa kuutiolujuutta työmaateknisistä syistä. Kuutiolujuutta nostamalla pääsimme purkamaan muotit nopeammin ja nopeutimme elementtiasennusta. Tilasimme betonin lämmitettynä + 30°C asteiseksi ja betonipumppauksen päätyttyä betonimassa oli +13°C astetta.

7.1.2 Sääolosuhteet

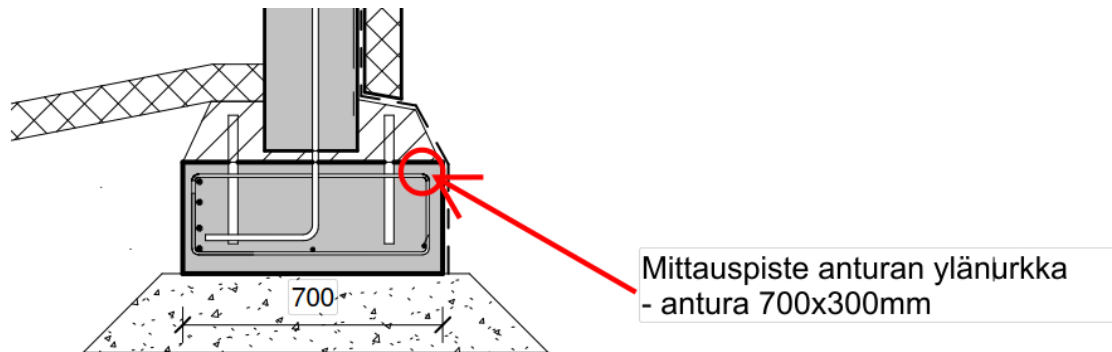
Valuaikaan sää oli vakaa. Ilman lämpötilaksi mitattiin +1°C ja yötä myöten lämpötila tippui - 3°C asteeseen. Valu sijoittui perjantaipäivälle ja viikonloppuöiksi oli luvattu miltei -10°C astetta.

7.1.3 Laadunvarmistus ja jälkihoito

Sääolosuhteiden muuttuessa huonommiksi ja lujuuden kehitykselle vaadittavan lämpötilan ylläpitämiseksi anturoihin asennettiin lämpölangat 2kpl ja ne sidottiin raudoitushakoihin anturan yläpintaan. Anturamuotti peiteltiin 30mm paksulla routamatolla (KUVA 1.) Talviolosuhteissa ei käytetty vesikastelua sen jäätymisvaaran vuoksi. Lämpötilaa seurattiin termoparilangoilla, jotka tallensivat lämpötilojen keskiarvot 30 minuutin välein.

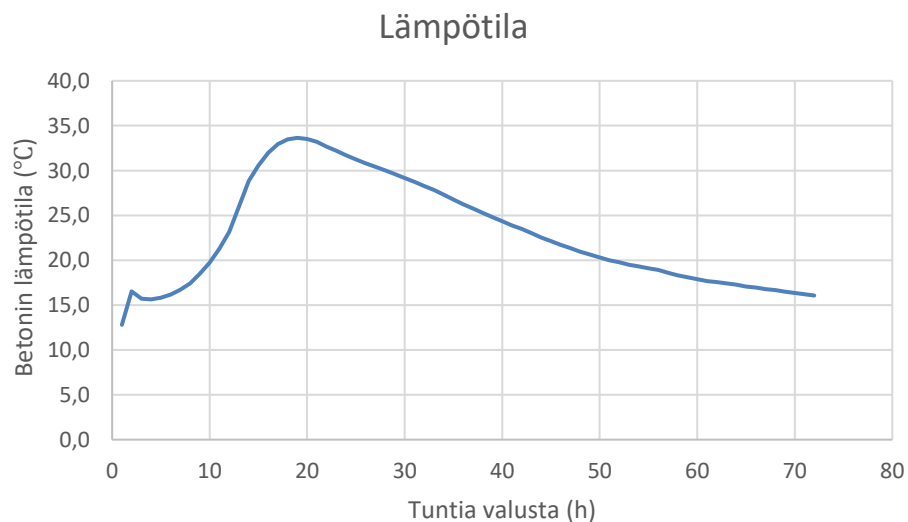
7.1.4 Lämpötilamittaukset

Lämpötilan mittauspisteet ovat valittu heikoimpien kohtien perusteella. Reuna- ja nurkka-alueet ovat alttiimpia kohtia kylmälle, koska niiden kahta reunaa ympäröi kylmä ilma/va-lumuotti. Alla olevaan kuvaan on merkitty mittausanturin paikka poikkileikkauksessa.



KUVA 4. Mittauspisteen sijainti anturan poikkileikkauksessa

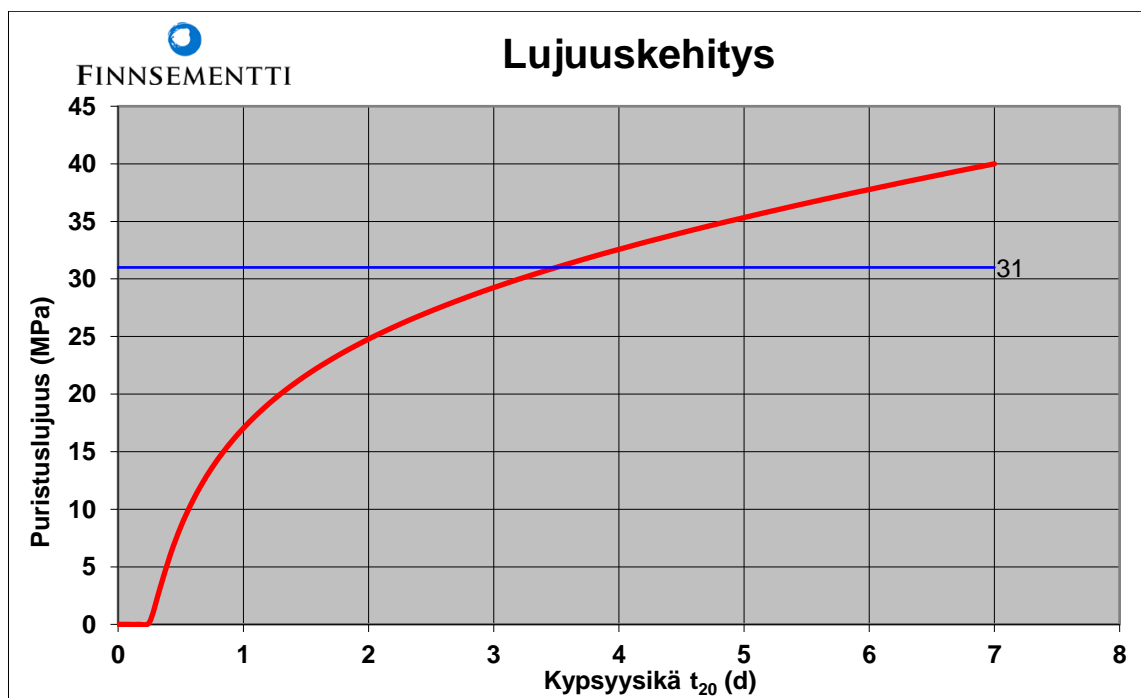
Lämpötilan seuranta on rajattu kolmeen vuorokauteen eli 72 tuntiin. Lämpötilan kehitys näkyy kuvaajasta ajan funktiona. Lämpötilojen seurannasta käytettyjä mittaustuloksia voidaan käyttää betonin kypsyyssikä- ja lujuuslaskelmissa ja ne ovat esitetty luvussa 7.1.5



KUVIO 1. Anturavalun lämpötila nurkkapisteessä

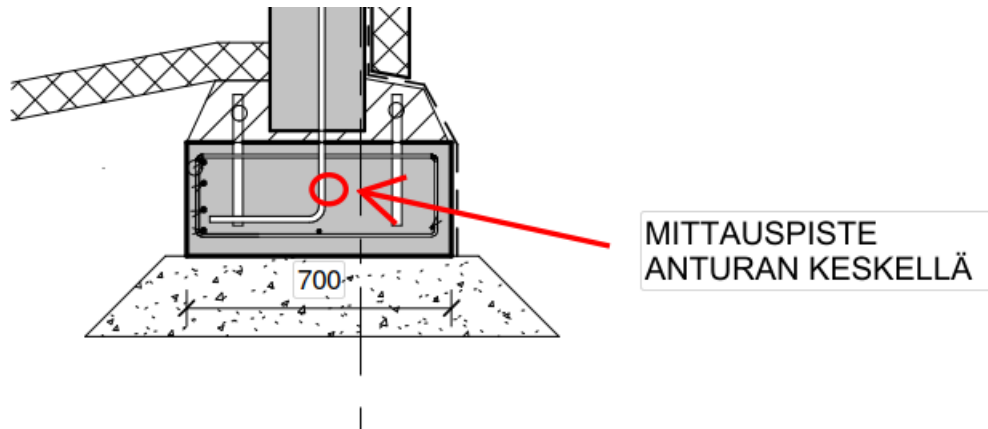
7.1.5 Lujuuksien kehitys

Betonin lujuuksien kehittyminen perustuu lämpötilaseurantaan ja Sadgroven kypsyyssikä-laskukaavaan. Sadgroven laskukaavaan perustuvalla lujuuslaskentaohjelmalla arvioitiin betonivalun lujuuden kehitystä ja muottien purun arviointi suoritettiin ohjelmaan perustuvien laskelmien perusteella. Lujuuslaskentaohjelmaan on syötetty betonivalun keskilämpötilan 2 tunnin ajanjaksoissa 72 tunnin ajalta. Punainen viiva kuvaa betonin lujuutta kypsyyssiän suhteen ja sininen viiva näyttää betonin lujuuden 72 tunnin kohdalla. Betonin kypsyyssikä oli kyseisen ajanjakson päätteeksi 3,57 d ja kuutiolujuus 31 Mpa. Tämä on n. 83% todellisesta 37MPa:n suunnittelujuudesta.

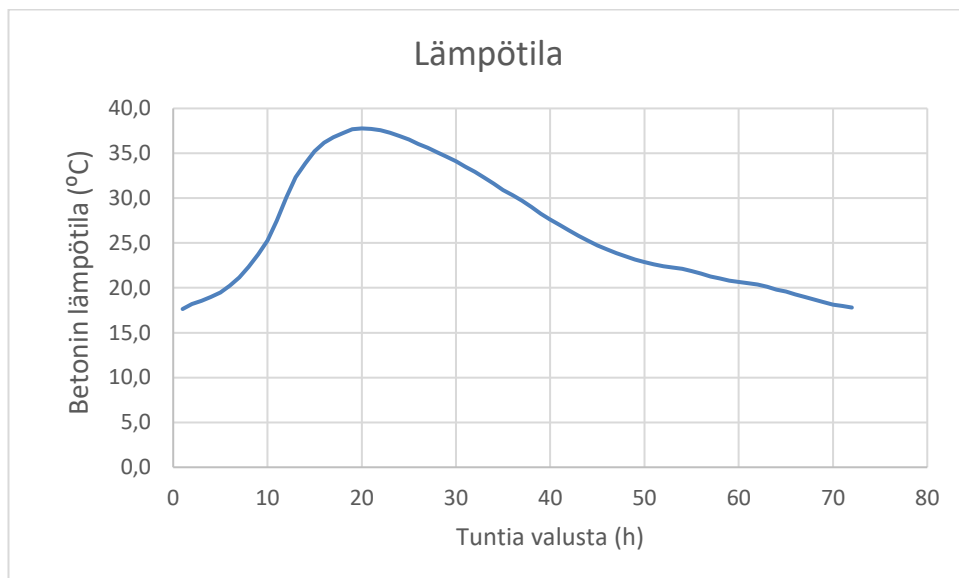


KUVIO 2. Betonin kypsyyssikä ja lujuus 72 tunnin päästä valusta.

Seuraavassa mittauksessa on mittauspiste sijoitettu anturan keskelle (KUVA 4). Lämpötilat anturan keskellä pysyvät korkeampina, kun kylmä ulkoilma ei pääse viilentämään betonia.

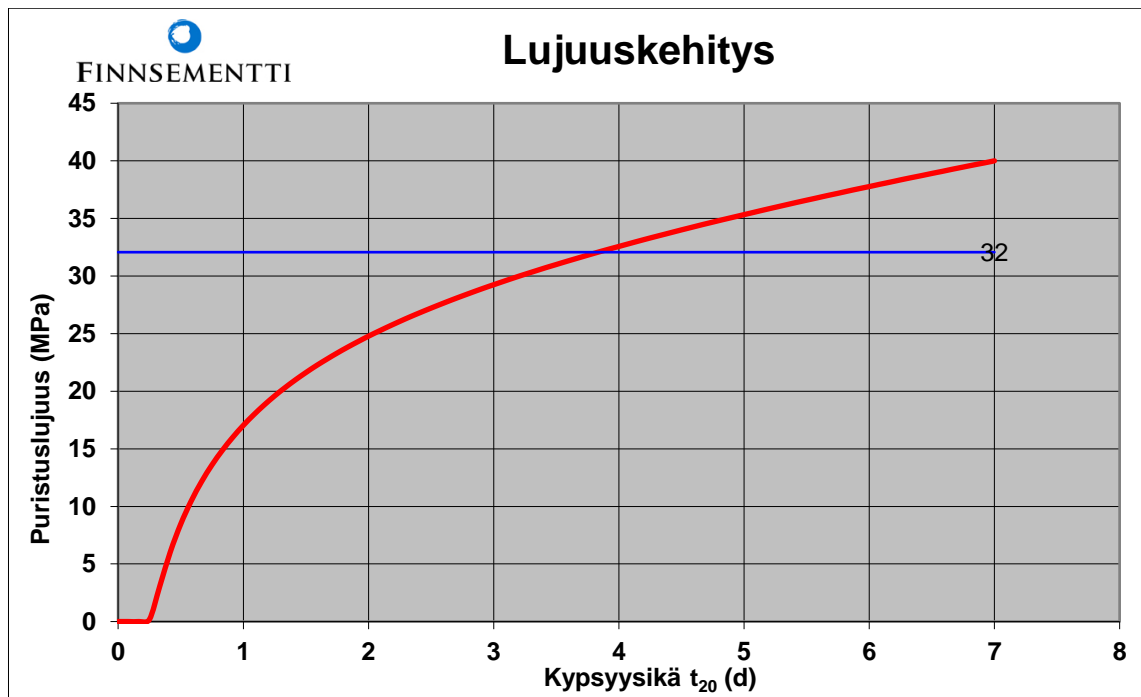


KUVA 5. Mittauspiste anturan poikkileikkauksessa.



KUVIO 3. Betonin lämpötila anturan keskipisteessä.

Anturan keskipisteestä saatujen lämpötilamittauksen perusteella betonin lujuus 72 tunnin jälkeen valusta on 35MPa. Kypsyysikä nopeasti kovettuvalla rapid (7d) betonilla on 3 vuorokautta valun jälkeen n. 5,0d, joka on noin 88% C32/40 lujuudesta ja 95% C30/37 lujuudesta.



KUVIO 4. Betonin lujuus ja kypsyysikä anturavalussa

7.2 Seinäelementtien juotokset

7.2.1 Betonimassa

Betonimassaksi valikoitui C32/40/rapid/ saumajuotos. Betonimassa tilattiin lämmitettynä tehtaalla $+30^{\circ}\text{C}$ asteeseen. Rakenne on ulkotilaa, joten säilyvyysasiat piti ottaa huomioon massan valinnassa ja se tilattiin säänkestävänä. Massaa muodostui n. 170 litraa/sauma, joten betonivaluksi se oli melko pieni. Betonimassa tilattiin lämmitettynä ja yhteensä sitä oli 3 kuutiota. Massa tuotiin kuljetuspumpulla ja valun alkaessa se oli jäähtynyt jo muutama asteeseen kylmästä ulkolämpötilasta ja valun viivästymisestä johtuen.

7.2.2 Sääolosuhteet

Ilmalämpötila valuhetkellä $-7,2^{\circ}\text{C}$, josta myöhemmin laski noin $-9,2^{\circ}\text{C}$. Ulkolämpötila vaihteli näiden kahden lukeman välimaastossa. Valettaessa satoi lunta kevyesti ja seuraavan kolmen vuorokauden aikana se oli satunnaista. Ilma oli tyyni eikä voimakkaita tuulia esiintynyt.

7.2.3 Laadunvarmistus ja jälkihoito

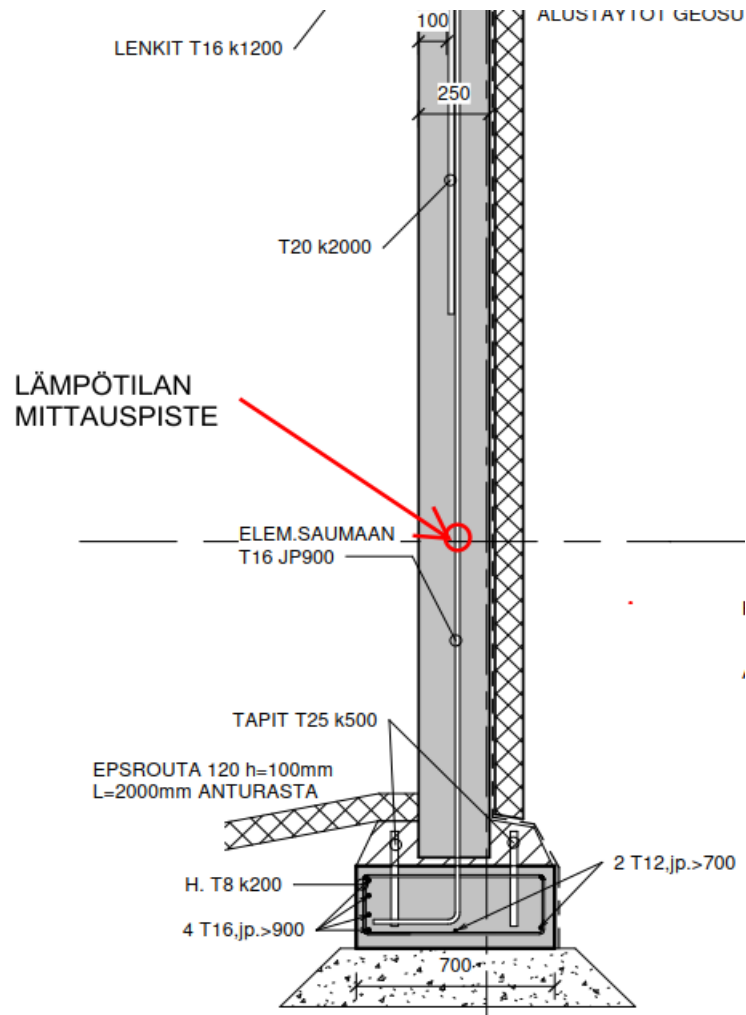
Pakkasesta johtuen olivat pystysaumaraudoitteet ja reunalenkit huurtuneet, joten ennen valua pystysaumot sulatettiin nestekaasutoholla. Tämän jälkeen jokaiseen saumaan asennettiin lämpölanka. Samassa valussa oli myös alavaakasauman juotos, jonne asennettiin myöskin lämpölangat kiertämään molemmin puolin seinäelementtejä. Valun jälkeen peiteltiin vaakasuuntaiset muotit routamatoilla. Raskaasta peitteestä rakennettiin sääsuoja elementtien toiselle puolelle minne asensimme 2 kpl 9 kW kaasulämmitintä, jotta elementti ja pystysauma pysyisi lämpimänä.



KUVA 6. Kaasulämmittimet teltan sisällä.

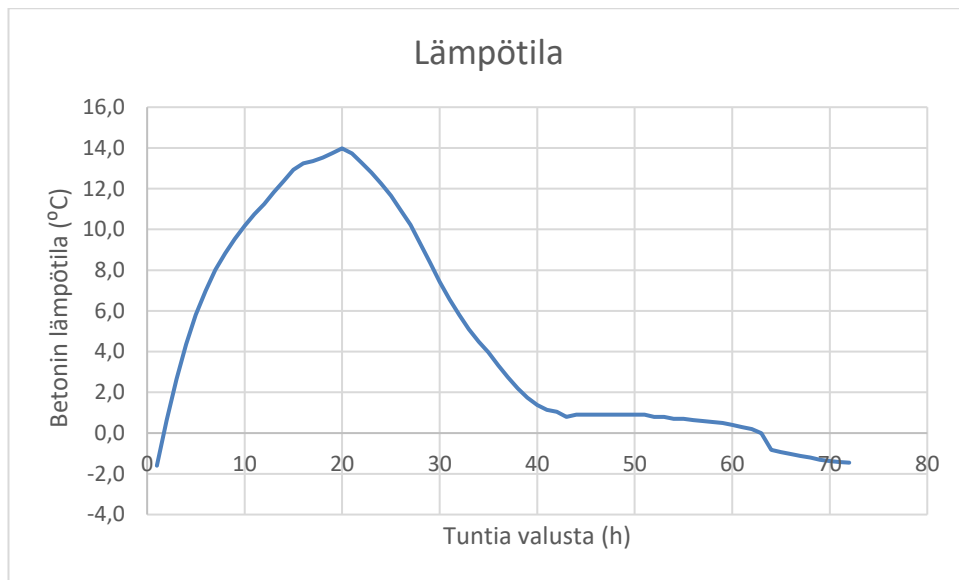
7.2.4 Lämpötilamittaukset

Lämpötila-anturi sijoitettiin noin puoleen väliin elementtiä reunalenkkiin kiinni. Antureita oli yhteensä 4 kappaletta, joista yksi oli mittamaassa ulkolämpötilaa ja loput 3 saumoissa betonivalun sisällä.

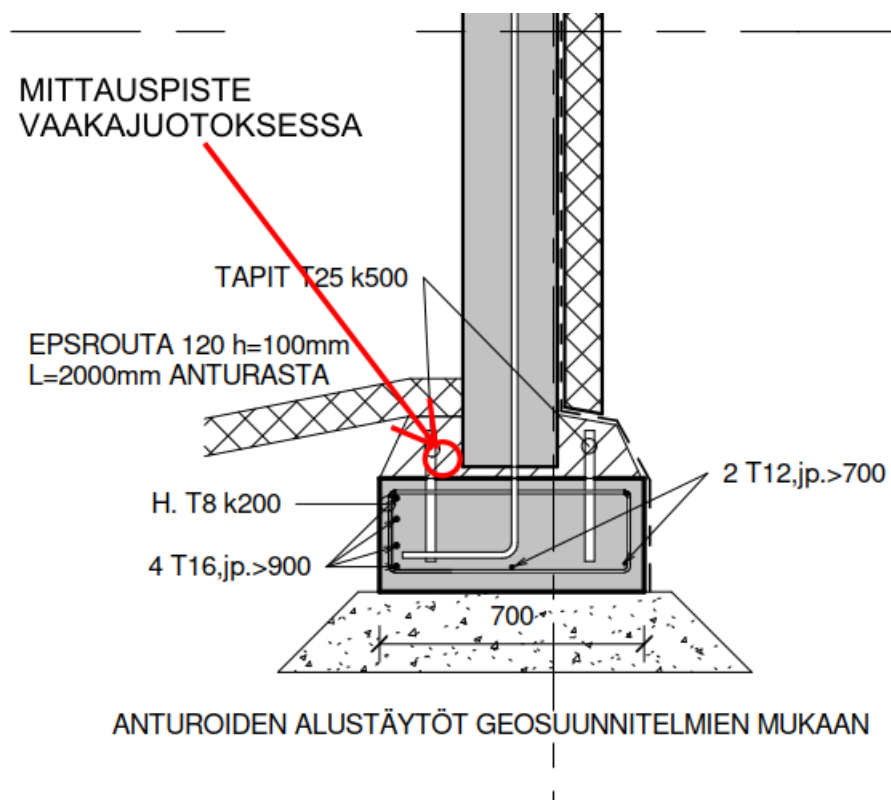


KUVA 7. Lämpötila-anturin sijainti pystyleikkauksessa.

Lämpötilaseurannassa huomaa tilavuudeltaan pienen betonimassan heikon lämmön- tuoton. Kyseisessä valussa lämmitykset katkesivat hetkellisesti, joten kuvaajasta huomaa lämpötilan nopean pudotuksen.

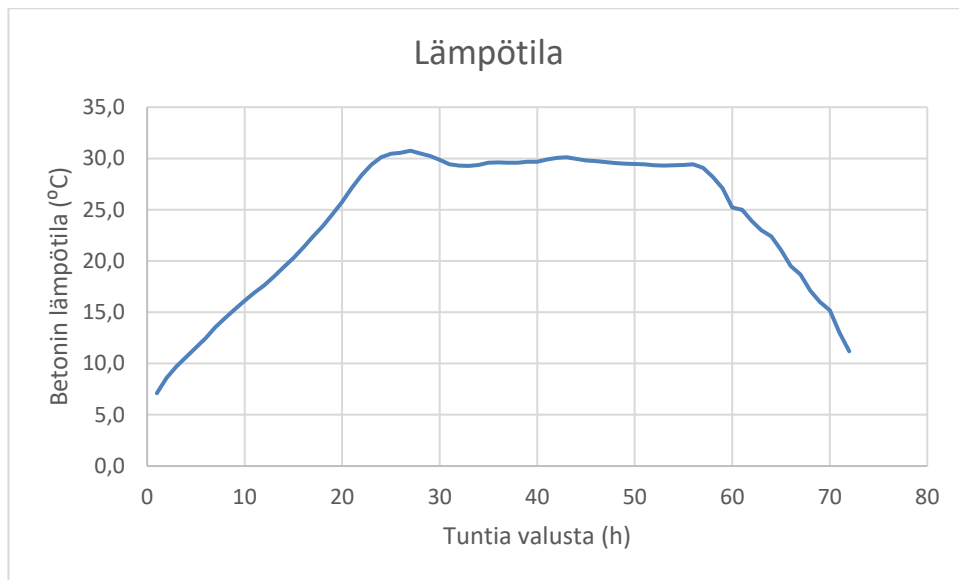


KUVIO 5. Lämpötila seinäelementin pystyjuotoksessa.



KUVA 8. Mittauspiste seinäelementin vaakajuotoksessa.

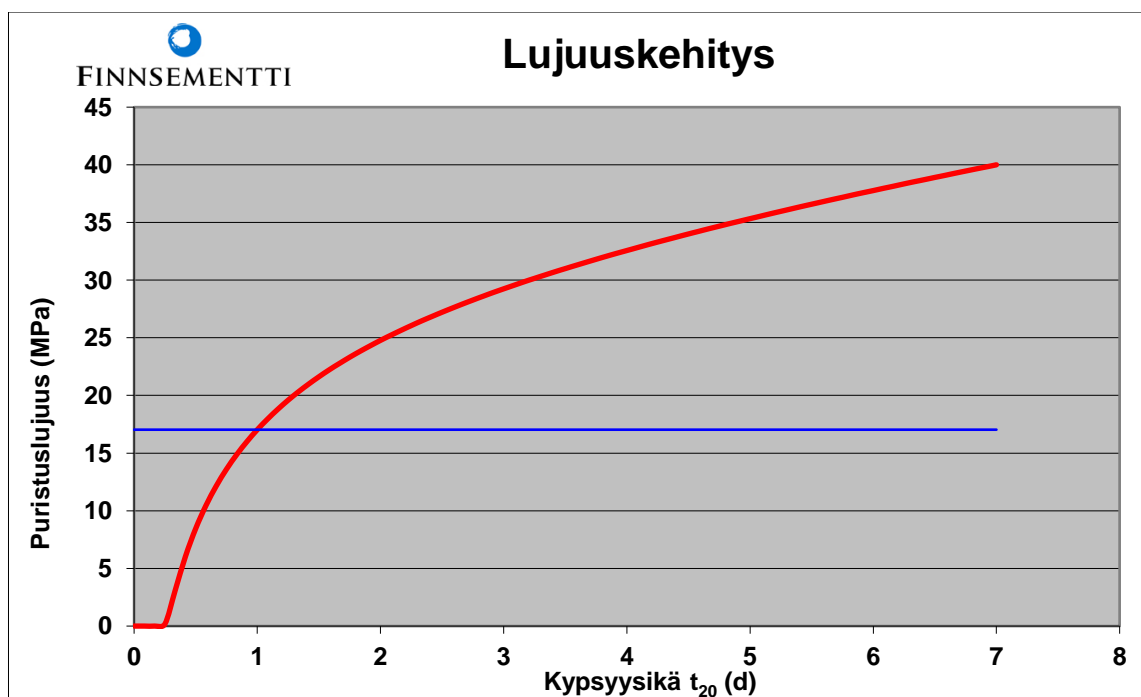
Vaakajuotoksessa on todellisuudessa hieman enemmän betonia, kuin pystyleikkauksesta käy ilmi. Tämä johtuu siitä, että kuvaan piirretyt viisteet jäävät pois sekä betonia on valettu hieman korkeammalle. Toimenpide tehtiin työteknisistä syistä.



KUVIO 6. Lämpötila seinäelementin vaakajuotoksessa

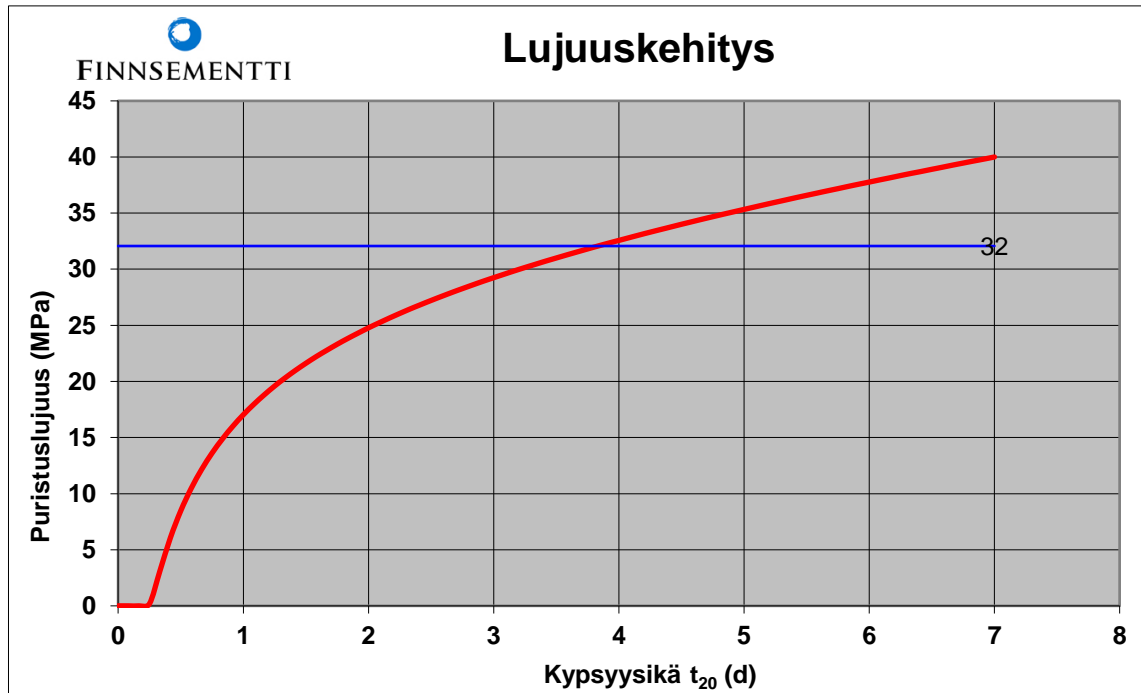
7.2.5 Lujuuden kehitys

Pieniä massoja valettaessa valun koko tuo haasteita lujuuden kehittymiseen. Pienessä valussa sitoutuminen vapauttaa energiaa vähemmän ja lujittumiseen tarvittavaa lämpötilaa ei synny paljoa valusta itsessään. Siksi on tärkeää ylläpitää betonimassan lämpötilaa edellä mainituin apukeinoin. Kolmesta mittauspisteestä valikoitui tarkasteltavaksi tilavuudeltaan pienin sauma, jossa myös lämpötilat olivat alhaisimpia.



KUVIO 7. Lujuuksien kehitys seinäelementin pystyjuotoksessa

Vertailuna pystyjuotokseen on saman seinäelementin vaakajuotoksesta saatu eri lujuusarvot kuin pystyjuotoksesta (KUVIOT 7 ja 8)



KUVIO 8. Lujuuksien kehitys seinäelementin vaakajuotoksessa

Vertaillen kahta mittauspistettä saman elementin eri kohdissa näyttää huomattavan eron lämpötiloissa, että lujuuksissa. Vaakajuotoksen lämpötilaa nostaa erityisesti anturan tasossa olevat kaasupuhaltimet, jotka tuottivat lisälämpöä valuun enemmän kuin pystysaumavaluun.

Kolmessa vuorokaudessa betonin kypsyysikä saavutti 1,01 d, joka on 17 Mpa. Tämä on noin 43% C32/40 lujuisen betonin lujuudesta. Rakenteen suunnittelulujuus on kuitenkin C30/37, joten päästään todellisuudessa 46% suunnitellusta loppulujuudesta.

7.3 Ontelolaatasto

7.3.1 Betonimassa

Juotosvaluissa käytettävä massa on kiviainekseltaan hienojakoisempaa, jotta se saadaan valettua pieniin juotosväleihin. Kiviaineen maksimi raekoko on 8mm. Juotokseen käytetty massa: C32/40/rapid ja lämmitetty. Rasitusluokka XF1.

7.3.2 Sääolosuhteet

Ulkolämpötila oli -7°C , runsasta lumisadetta ja kevyttä tuulta. Valettaessa lumisade jatkui ja massa oli valun alkaessa n. $+5^{\circ}\text{C}$. Runsaasta lumisateesta ja kylmästä ilmasta huolimatta holvi pysyi sulana hyvän alapuolisen lämmityksen ansiosta.



KUVA 9. Ontelokenttä

7.3.3 Laadunvarmistus ja jälkihoito

Valukohde oli ontelolaattaholvi n. 120 m^2 . Saumojen runsaan lukumäärän johdosta lämpölangoilla olisi ollut työläs ja kallis lämmittää, joten piti käyttää muita lämmitysmetodeja kylmän sään vuoksi. Ontelokentän alapuolinen ryömintätila suljettiin ja sitä lämmi-

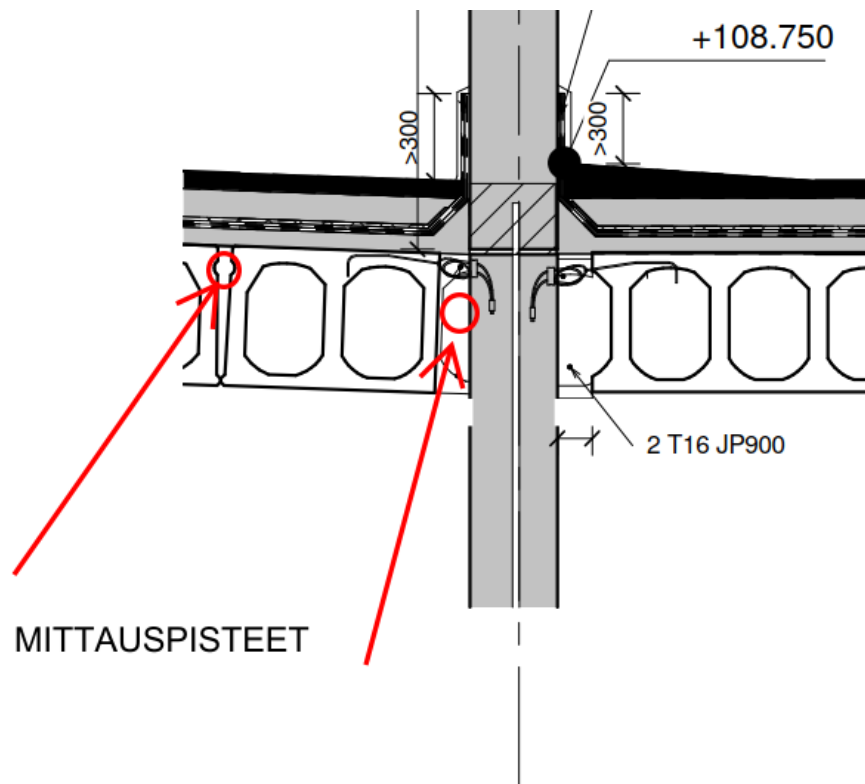
tettiin 3 kpl 9kW kaasulämmittimillä. Lämpötila saatiin nostettua tilassa miltei 40°C, joten lämmitysvaikutus yläpuoliseen ontelokenttään oli hyvä. Yläpuolinen osa peiteltiin raskailla suojapeitteillä huolellisesti.



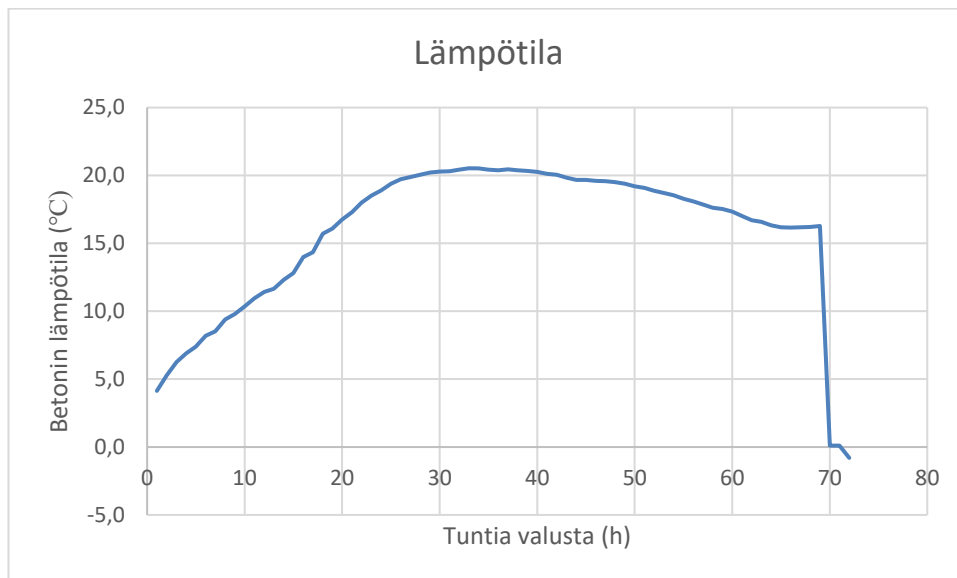
KUVA 10. Ontelolaataston peittely ja huputus.

7.3.4 Lämpötilamittaukset

Mittauksia otettiin kahdesta erityyppisestä kohdasta: Ontelokentän reuna-alueelta ja keskialueen saumoista. Kahden ontelolaatan välinen sauma on poikkileikkausmitoiltaan hyvin pieni n.5x400 senttimetriä ja päädyn juotossauma n. 10x400cm. Reuna-alueelta saadut lämpötilamittaustulokset olivat heikompia kuin alueen keskeltä otetut. Molempia mitaustuloksia on vertailtu keskenään.

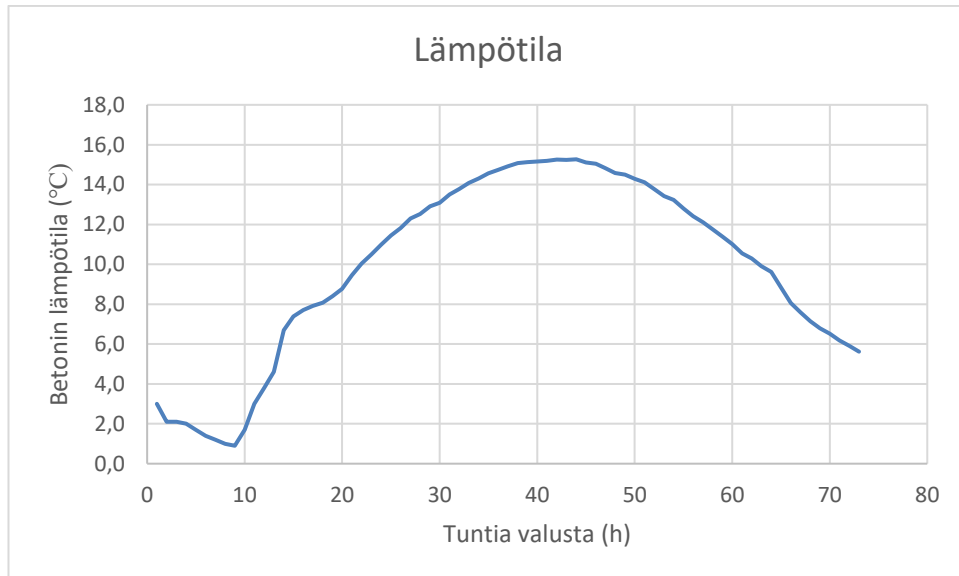


KUVA 11. Mittausantureiden sijainnit ontelolaattaholvissa.



KUVIO 9. Ontelolaatan keskialueen sauman lämpötila.

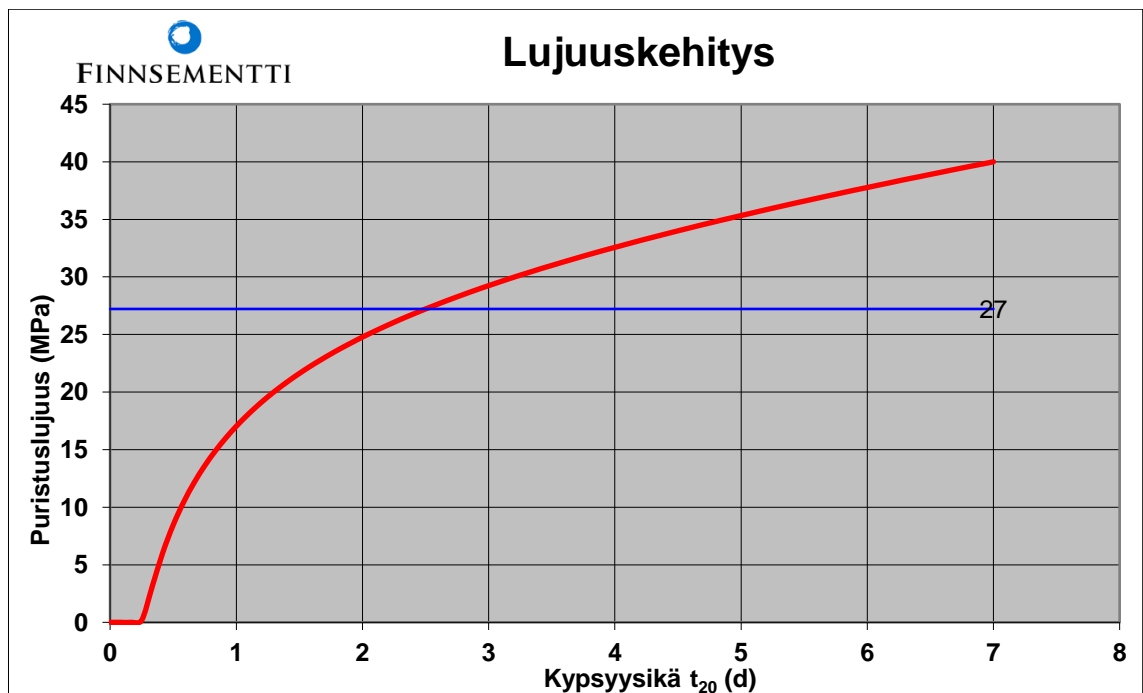
Ontelolaataston päädyistä eli reuna-alueelta saadut mittaustulokset ovat esitetty alla, (KUVIO 10.)



KUVIO 10. Ontelolaataston päädyn sauman lämpötila.

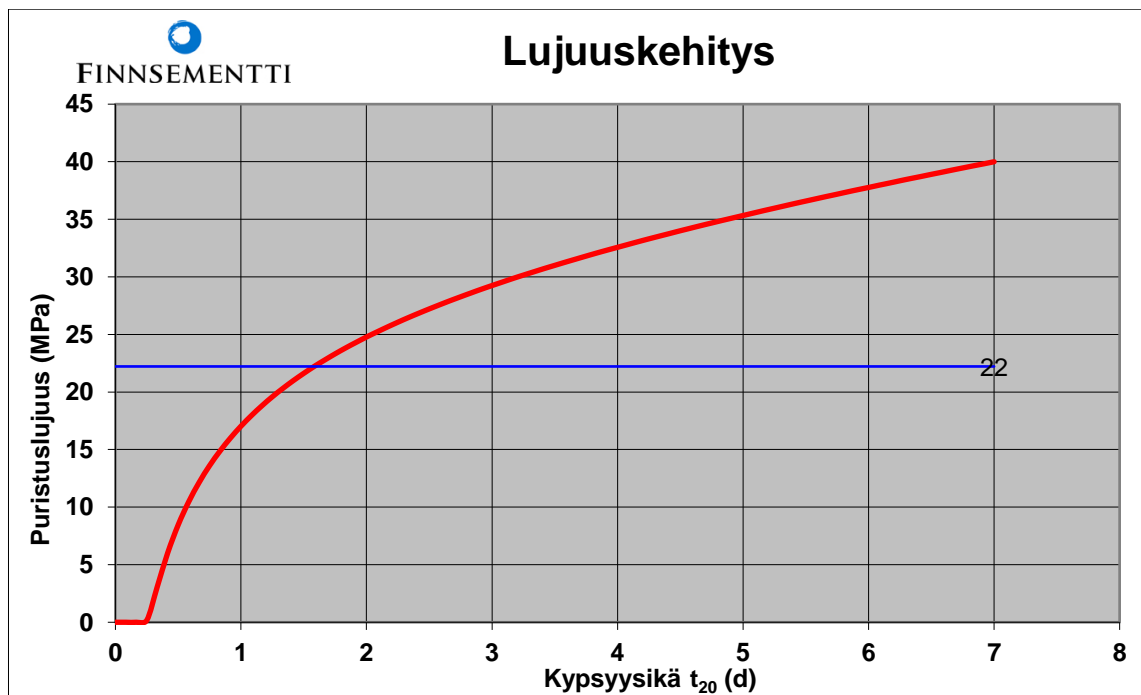
7.3.5 Lujuuden kehitys

Ontelolaataston keskiosan saumojen lujittumislämpötilojen perusteella laskettiin kolmen vuorokauden lujuudeksi 27 MPa, joka on 2,51d C32/40 nopeasti kovettuvalla rapid sementillä. Suunnittelulujuudesta tämä on n. 73%, joten vaakarakenteiden purkulujuutena käytetty 60% loppulujuudesta on ylittynyt.



KUVIO 11. Lujuusarvio ontelolaataston keskisaumoilla.

Samoissa valuolosuhteissa, mutta enemmän kylmälle lämpötilalle alttiilla reuna-alueella lämpötilat olivat maltillisempia ja vaihtelu oli suurempaa. Tämä näkyy suoraan lujuuksissa. Reuna-alueella valu oli kylmää pintaa ja kylmää ilmaa vasten kahdesta suunnasta, sivulta ja päältä. Keskialueella vastaavasti kylmää rasiusta esiintyi vain yhdestä suunnasta, yläpuolelta.



KUVIO 12. Lujuusarvio ontelolaataston päätysaumoilla

Lujuusarvioksi saatiin 22MPa laataston päätysaumoilla (KUVIO 12.), josta vertailuna jäädään jo 5 MPa keskialueen lujuuksista kolmen vuorokauden aikana.

8 PÄÄTELMÄT JA POHDINTA

8.1 Yleistä

Tämän osion päätelmä perustuu aikaisemmissa luvuissa esiteltyihin tutkimustuloksiin niistä tehtyihin päätelmiin. Työn tarkoituksena oli selvittää empiirisillä testeillä, miten eri pisteet rakenteiden eri osissa eroavat toisistaan lämpötiloiltaan ja kuinka paljon lämpötilaerot näkyvät lujuudenkehityksessä. Tutkimus käsitti todellisia valutilanteita, joten tieto siitä, miten betonin käy lämmityksen ja laadunvarmistustoimenpiteiden puuttuessa, jäi konkreettisenä tutkimuksena pois. Kuitenkin eri pisteiden välinen vertailu onnistui hyvin ja todelliset erot rakenteen osion välillä näkyivät.

8.2 Anturat

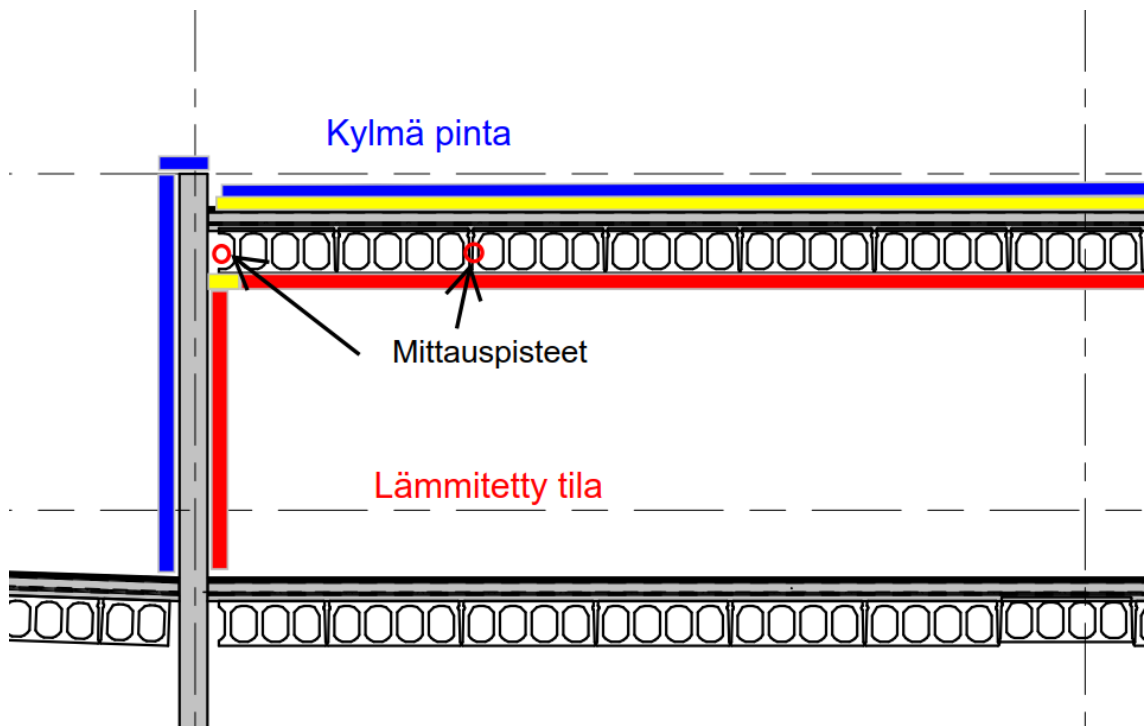
Anturoita tutkiessa varmistui, että suorakaide- tai neliöpoikkileikkauksisen rakenteen heikoimmat kohdat olivat nurkkapisteet. Vertailuna mittaukset otettiin poikkileikkauksen keskialueelta. Keskialueella lämpötilaa ylläpitivät ympäröivä betoni, eikä siihen kohdistunut kylmärasitusta taikka kylmäsiltaa. Nurkka-alueilla betonia suojasi routamatto eristeenä päällä ja sivuilla puinen anturamuotti. Kuitenkin kylmärasitus kohdistuu kahdesta eri suuntaa pienellä alueella, joten se näkyi heti lämpötiloissa ja betonin lujuuksissa. Suorakaiteen muotoinen anturapoikkileikkaus kuitenkin rakenteelliselta toimivuudeltaan maanvaraisissa anturoissa toimii siten, että nurkilla ei juurikaan ole rakenteellista merkitystä. Betonin säilyvyyteen se toimii suojabetonina. Tutkimuksessa huomattiin, että jo keskikokoisia anturavaluja eli kerrostalon tai parkkihallin kokoluokassa olevia, pystyy valamaan jopa pakkasen ollessa $-10\dots-15$ °C. Tämä kuitenkin vaatii jo lämmityksiä ja peittelyjä onnistuneen valun varmistamiseksi. Anturoita valaessa täytyy muistaa myös lämmittää valettava maapohja, koska se muuten toimii erittäin tehokkaan kylmäsiltaan ja siten maanvastainen betoniosuus jäähtyy. Tässä tarkastelussa anturaa lämmitettiin lämmityslangoilla juuri nurkka-alueilta, koska arveltiin lämpötilan olevan matalampi juuri siellä. Kuitenkin lujuus oli silti hieman pienempi (31Mpa) nurkka-alueilla sen lisälämmityksestä huolimatta, kuin keskellä valua (32Mpa).

8.3 Seinäelementit

Elementtien saumavalu eli juotos oli yksi etukäteen kiehtovista aiheista tutkia. Sauman poikkileikkauksen ollessa pieni, jää betonimassan tilavuus vain kymmeneen tai maksimissaan muutama sataan litraan, riippuen sauman vahvuudesta ja korkeudesta. Anturoiden päälle tulevien elementtien vaakasaumavalu on suurempi massan määrältään kuin pystysauma. Saumavaluja suunniteltaessa täytyy muistaa, että etenkin pystysaumoja ympäröi kylmissä olosuhteissa tilavuudeltaan ja pinta-alaltaan suuri ja kylmä betonielementti joka toimii kylmäsiirtimänä. Saumat lämmitettiin nestekaasupolttimella ennen valua ja niihin asennettiin lämpölangat. Lämpötilat olivat silti hyvin maltillisia, johtuen juuri betonielementin suuresta koosta. Tämän vuoksi lämpötilan ollessa $-7 \dots -9$ °C seinäelementti vaatii paljon lämmitysenergiaa, jotta se saataisiin lämpimäksi täysin. Tässä tapauksessa päädyttiin pitämään elementtiä lämpimänä kaasulämmittimillä valun onnistumisen varmistamiseksi. Elementin vaakasauma on taas tilavuudeltaan suurempi kuin pystysauma ja siinä pystytään hyödyntämään anturan jo aiemmin asennettuja lämmityslankoja, mikäli muut seikat kuten täyttötöiden ei sitä estä. Tutkimustuloksissa lujuusero oli huomattava, 14Mpa, vaakajuotoksen eduksi. Tämän tutkimuksen perusteella seinäelementtien suositeltava valulämpötila olisi maksimissaan -10 °C, jotta varmistettaisiin riittävä lämpötila.

8.4 Ontelolaatasto

Ontelolaatastossa vertailtiin ontelolaataston reuna-alueen ja keskisauman eroja. Saumojen lämmittäminen on työläämpää ja kalliimpaa, kuin muissa edellisissä tapauksissa. Rakennetta joudutaan käytännössä kokonaan lämmittämään ja tämä lämmitettävä massa on huomattavasti suurempi, kuin esimerkiksi anturoissa tai seinäelementeissä. Itse saumausbetonin määrä on puolestaan hyvin pieni ja valettavan alueen pinta-ala suuri. Pinta-alan ollessa suuri, siihen kohdistuu hyvin paljon kylmärasitusta ulkoilmasta, eikä valu sitoutuessaan tuota paljoa lämpöä.



KUVA 12. Havainnekuva ontelolaataston lämmityksestä

Yllä olevassa kuvassa (KUVA 10.) havainnollistetaan eri mittauspisteiden altistusta kylmälle sekä lämmityksen vaikutusta rakenteen lämpötiloihin. Sininen väri kuvaa kylmänä olevaa pintaa, joka on ulkoilmaa vasten. Punainen pinta kuvaa lämmitykselle alttiina olevaa pintaa, joka pysyy lämpimänä. Keltainen väri kuvaa eristävää pintaa, kuten suojapeitettä tai valumuottia. Mittaustuloksissa huomattiin, että kahden ontelolaatan välinen sauma pysyy paljon lämpimämpänä, kuin tilavuudeltaan suurempi reuna-alueen sauma. Tämä johtuu siitä, että reuna-alueella kylmä pinta ympäröi saumaa kahdesta suunnasta, kuin taas keskellä oleva sauma on suojapeitteen välityksellä alttiina vain päältä tulevalle kylmälle. Lisäksi reuna-alueen puinen valumuotti eristää lämpimän ilman pääsyä betonivaluun. Tämän vaikutus on kuitenkin oletettavasti pieni. Ontelolaataston suositeltava minimi valulämpötila -10°C , pohjautuen näihin tutkimustuloksiin.

8.5 Betonilaatujen vaikutus

Eri betonilaatujen valinta valettaessa vaikuttaa hyvinkin paljon lujuudenkehityksen nopeuteen. Kuutiolujuuden nosto osoittautua erittäin helpoksi näihin kohteisiin, kun esimerkiksi massan työstettävyydellä ei ollut juurikaan merkitystä. Kohteessa yleiseksi betoniksi nimellislujuudeltaan valikoitui C32/40. Tämä laatu on yleistynyt hyvin paljon rakennusalalla viime vuosina ja suuren kysynnän sekä toimitusmäärän myötä sen hinta ei

ole liian korkea. Lisäksi betonin ei tarvitse saavuttaa niin suurta kypsyysikää halutun lujuuden saavuttamiseen.

Nopeasti kovettuva rapid- sementti osoittautui hyvinkin käyttökelpoiseksi talviolosuhteissa. Sen ongelma suurissa valuissa on monesti liika lämmöntuotto, joka aiheuttaa lujuskatoa. Talviolosuhteissa kuitenkin maltillisia valuja valettaessa ei lämpötila kertaakaan noussut yli 40°C. Lämpötilaseurannasta päätelleen hydrataatioreaktio alkoi jo tunnin sisällä valusta ja 10 tunnin jälkeen valussa oli otollinen lämpötila betonin lujittumiselle. Nopeasti kovettuvalle rapid- sementille tämä on tyypillistä.

8.6 Loppusanat

Työn alussa tietoa talvibetonoinnista oli itselläni melko vähän. Teoriaa betonin ominaisuuksista ja käyttäytymisestä pakkasessa sen sijaan oli enemmän, mikä helpotti ymmärtämään syitä talvella tehtäville toimenpiteille betonia valaessa. Työn mittaustulosten kerääminen ja laadunvarmistustoimenpiteiden järjestely nosti merkitystään omalta osalta, kun ymmärsi haasteet lämpötilojen ylläpitämiseksi ja lujuudenkehityksen turvaamiseksi. Kuumabetonin etuna talvella on sen sitoutumisen ja kovettumisen varhainen alkaminen ja siten myös lämpötilan nouseminen. Suojaaminen ja peittäminen on hyvin tärkeää lämpötilan ylläpitämisessä. Kokonaisuutena tämä tutkimus toi paljon lisätietoa betonista, eri betonilaaduista ja niiden ominaisuuksista, mistä uskon olevan hyötyä tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Suomen Betoniyhdistys r.y. 2018. Betonitekniikan oppikirja by 201. Helsinki: BY-Koulutus Oy

Suomen Betoniyhdistys r.y. 2016. Betoninormit by 50. Helsinki: BY-Koulutus Oy

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

Tokkonen, V., Uusitalo, J. 2013. Talvibetonointi. Kajaanin ammattikorkeakoulu: Opinnäytetyö