

Joonas Peltonen

TALVIBETONOINTITYÖOHJE

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Tekniikka ja merenkulku Pori

2011



TALVIBETONOINTITYÖOHJE

Peltonen, Joonas
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Marraskuu 2011
Laurikainen, Markku
Sivumäärä: 41

Asiasanat: talvibetonointi, valmisbetoni, työohje, laadunvarmistus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa talvibetonointityöohje MVR- Yhtymä Oy:lle käytettäväksi työmaille. Työohje on tarkoitettu helpottamaan työnjohtajan työtä suunniteltaessa ja toteutettaessa betonointia kylmän sään aikaan sekä parantamaan työn laatua.

Työohje perustuu alan kirjallisuuteen, MVR- Yhtymä Oy:n tuotantojohtaja Rami Viitasaaren haastatteluun sekä omaan työkokemukseeni.

Betonoitaessa talviaikaan on otettava huomioon kylmän sään vaikutus betoniin ja betonointiin. Alhainen lämpötila hidastaa betonin lujudenkehitystä ja mahdollistaa betonin jääntymisen ennen kuin jääntymislujuus on saavutettu. Jotta nämä asiat saadaan estettyä, betonointi suoritetaan ilman viiveitä, suojataan betoni eristein, lämmitetään ja laadunvarmistukseksi tarkkaillaan lujudenkehitystä dataloggereista saatavista tiedoista.

Talvibetonoinnin suunnittelussa pystytään vaikuttamaan aiheutuviin kustannuksiin tarkastelemalla eri betonilaatujen hyötyjä sekä valitsemalla käytettävä kalusto sen käytännöllisyyden perusteella.

Työn tuloksena syntyi talvibetonointityöohje, joka auttaa työnjohtajaa suunnittelemaan ja toteuttamaan betonoinnin talviaikana. Ohje toimii muisti- sekä tarkastuslistana, varmistaen vaaditun laadun saavuttamisen. Aihealueen rajaamisen vuoksi se ei sisällä elementtirakentamista talvella.

Työohjetta voi jatkossa kehittää työmailta saamien palautteiden kautta sekä päivittämällä ohjeeseen uusimmat menetelmät ja materiaalit.

WINTER CONCRETING MANUAL

Peltonen, Joonas

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Construction Engineering

November 2011

Laurikainen, Markku

Number of Pages: 41

Key words: concreting in winter, ready-mixed concrete, working plan, quality assurance

The goal of this thesis was to produce a winter concreting manual. The manual is created to be used on building sites for construction company MVR- Yhtymä OY. The aim of the manual is to make supervisor's work easier when planning concreting as well as casting concrete in winter. Another goal is to enhance work quality.

The manual is based on literature related to the subject, interview of production manager of MVR- Yhtymä OY Rami Viitasaari and my own work experience.

When concreting in wintertime the effect of the cold weather to concrete and concreting need to be considered. Low temperature makes concrete's firm development slower and enables concrete to freeze before it has achieved firmness to resist freeze. When pour is performed without delay, concrete is isolated and heated well, it is likely that the damage is avoided. By observing details from data-loggers, quality can be assured.

By comparing the benefits of different kinds of concrete and making the choice about practical equipment, it is possible to save some costs.

The result of this thesis was a winter concreting manual, which will help supervisors to plan and execute concreting during the winter. The manual served as a checklist, ensuring the required quality is achieved. Manual does not contain instructions about construction with prefabricated units in wintertime.

The manual can be enhanced by using the feedback from construction fields and by updating the newest methods and materials to the manual.

SISÄLLYS

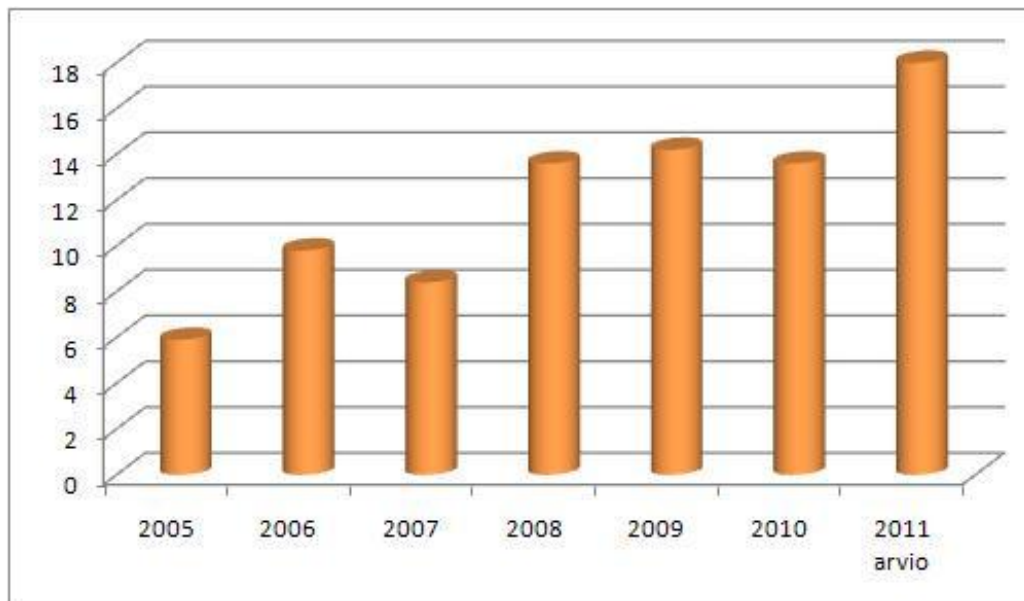
1	JOHDANTO	6
1.1	Opinnäytetyön taustaa	6
1.2	Suunniteltu tutkimusmenetelmä	7
1.3	Kirjallisuuskatsaus.....	7
1.4	Talvibetonoinnin perusteita	11
2	TALVIBETONOINNIN VIRHEET, SEURAUKSET SEKÄ KORJAUSTOIMENPITEET	12
2.1	Suunnittelun virheet, seuraukset sekä korjaustoimenpiteet.....	12
2.2	Betonoinnissa tapahtuvat virheet, seuraukset sekä toimenpiteet.....	13
2.3	Betonin jäätymisestä aiheutuvat seuraukset	15
3	BETONOINNIN SUUNNITTELU	16
3.1	Sääolosuhteet	16
3.2	Betonin valinta.....	17
3.2.1	Lujuusluokan nosto	18
3.2.2	Kuumabetoni	18
3.2.3	Nopeasti kovettuva betoni	20
3.3	Käytettävät työmenetelmät ja kalusto	21
3.4	Muottikierto.....	23
4	BETONOINTITYÖN SUORITUS	24
4.1	Betonointia edeltävät työt.....	24
4.2	Betonointi	25
4.3	Lämmitys ja suojaus	25
4.4	Muottien purku ja jälkihoito.....	26
5	LÄMMITYSMENETELMÄT	27
5.1	Vaihtoehtojen kartoitus	27
5.2	Lämmitettävät muotit	28
5.3	Kuumailmalämmitys	29
5.4	Säteilylämmitys	30
5.5	Lankalämmitys	31
5.6	Höyrylämmitys.....	33
6	LAADUNVARMISTUS	34
6.1	Betonin lämpötilan seuranta työmaalla	34
6.2	Kypsyyslaskenta.....	35
7	TYÖOHJEEN TEKEMINEN JA TESTAUS	37
7.1	Ohjeen tekeminen.....	37
7.2	Ohjeen testaus	38

8 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	39
LÄHTEET.....	40
LIITTEET	
1. Talvibetonointityöohje	

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön taustaa

MVR- Yhtymä Oy on voimakkaasti kasvava (kuva 1) ja kehittyvä satakuntalainen uudis- ja korjausrakentamiseen erikoistunut rakennusliike, jolla on vankka osaaminen myös teollisuusrakentamisen alueella. Sen henkilökunta koostuu monitahoisista ammattiosaajista, joista toimihenkilöinä toimii 13 ja työntekijöinä 16 henkilöä. Näiden lisäksi yrityksellä on käytössään laaja aliurakointiverkosto. Yritys on toiminut alallaan jo yli 20 vuotta ja täyttää Rakentamisen Laatu RALA ry:n pätevyysvaatimukset sekä kuuluu Rakennusteollisuus RT:n jäsenyrityksiin. Koska asiakastyytyväisyys on yritykselle ykkösasia, on se kehittänyt itselleen toimivan laatujärjestelmän, jota päivitetään jatkuvasti.



Kuva 1. MVR- Yhtymä Oy:n liikevaihdon kehitys.

Toimiessani työnjohtajana MVR- Yhtymä Oy:llä, olimme juuri aloittaneet Satakunnan keskussairaalan K.0- laajennus työmaan. Laajennuksen paikalla valettu runko tehtiin lähes kokonaan talvirakentamisen aikaan. Jotta urakasta selvittiin taloudellisesti ja laadullisesti kunnialla, kului useita työpäiviä talvibetonoinnin riskien ja mahdollisuuksien selvittämiseen.

Jottei tätä samaa selvitystä tarvitsisi tehdä jatkossa seuraavissa hankkeissa, keskustelimme työmaan projektipäällikkö Rami Viitasaaren kanssa kyseisestä asiasta ja ehdotin hänelle, että perehtyisin aiheeseen opinnäytetyössäni. Ehdotus oli toteutuskelpoinen, joten sovimme, että tee opinnäytetyökseni MVR- Yhtymä Oy:lle talvibetonointityöohjeen, joka liitetään osaksi yrityksen laatukansiota.

Työn tavoite on laatia ohje, joka sisältää kylmällä säällä betonoitaessa huomiota-
vat asiat. Ohje on tarkoitettu työnjohdolle työmaakäyttöön, runkovaiheen betoni-
töihin. Se ei sisällä tarkkoja menetelmätapoja, eikä ainoata oikeaa tapaa suorittaa
tehtävät. Se sisältää enemmänkin muistilistan huomioonotettavista asioista, vaih-
toehtoisia toteutustapoja ja reittejä tiedonhankintaan.

1.2 Suunniteltu tutkimusmenetelmä

Aion suorittaa tutkimuksen paneutumalla ensin saatavilla olevaan kirjallisuuteen. Kirjallisuuden avulla etsin työtäni koskevat yleiset toimintatavat ja aikaisemmat tutkimustulokset. Näistä kerään keskeisemmät tiedot työhöni, joita alan sovelta-
maan oman ammattitaitoni ja haastattelemieni henkilöiden tietojen mukaan MVR-
Yhtymälle sopivaan muotoon. Kun olen saanut tarpeelliset tiedot muovattua, ra-
kennan niiden pohjalta talvibetonoinnin työohjeen yrityksen käyttöön.

1.3 Kirjallisuuskatsaus

Kirjat on listattu painohetkensä mukaisesti kronologiseen järjestykseen. Työni
kannalta keskeisin kirjallisuus on käyty läpi luvun lopussa.

Eero Kilpi ja Asko Sarja: Rakentajan talvibetonointiopas, 1981

Tämä teos on suomalaisen talvibetonoinnin tärkein opus. Lähes jokaisessa myö-
hemmin kirjoitetussa teoksessa on lainattu suoraan virkkeitä tästä kirjasta, tai ai-
nakin etsitty keskeinen idea. Eero Kilpi on kirjoittajana useimmissa teoksissa jot-
ka käsittelevät äidinkielellämme talvibetonointia.

Kirja käsittelee talvibetonointia ottaen työturvallisuuden huomioon. Se käy neljäksäkymmenessä sivussa läpi betonoinnin kylmissä olosuhteissa työohjeen tapaisesti. Alussa paneudutaan suunnittelussa huomioitaviin asioihin, kuten betonoinnin yleissuunnitteluun, työmaan yhteistyöhön, koulutukseen ja itse toimenpiteisiin. Jäljempänä selitetään selvästi ja lyhyesti betonointiin liittyvät toimenpiteet, lujuudenkehitys ja siihen vaikuttavat materiaalitekijät, sekä betonin lämmityksen eri vaihtoehdot ja niiden toimintatavat.

Kirja on edelleen erittäin käyttökelpoinen ohje työmaakäyttöön. Se on selkeä ja tarpeeksi tiivis, jotta tarvittavan tiedon etsimiseen ei kulu turhaa aikaa. Tiedot ovat kolmekymmentä vuotta vanhoja, mutta siinä ajassa talvibetonoinnin toteuttamistavat ovat muuttuneet yllättävän vähän. Teoksessa käydyissä esimerkeissä on myös otettu huomioon kustannusvaikutukset, mutta ne tiedot voi jättää omaan vanhentuneeseen arvoonsa./6/

Eero Kilpi: Kuumen betonin käyttö rakennustyömaalla, 1982

Kirja sisältää vuosien 1980- 1982 välisenä aikana tehdyn tutkimuksen tuloksen perusteella laaditun työmaille tarkoitetun ohjeen kuumen betonin käytöstä.

Kirjassa on käyty yleisellä tasolla läpi kuumen betonin ominaisuudet massan valmistuksesta aina lujuudenkehitykseen asti. Tarkemmin tutkimus on keskittynyt työmaalla toteutettaviin kokeisiin. Kovettumislämpötilan mittaukset on kirjassa käsitelty todella yksityiskohtaisesti. Erilaisten rakenteiden mittauskohdista ja tuloksista on esitetty useita variaatioita graafisten kuvioiden selventämänä.

Tärkein osa minulle teoksessa oli, sen lopussa olevat, vieläkin ihan käyttökelpoisia ohjeita kuumen betonin käytöstä erilaisissa rakenteissa./7/

Suomen Betoniyhdistys r.y.: Kurssijulkaisut by 126, Talvibetonointi, 1984

Kirjaan on koottu viiden rakennusalan ammattilaisen tutkimukset erinäisistä talvibetonoinnin vaiheista.

Ensimmäisenä teoksessa käsitellään Arvo Olkkosen johdolla talvibetonointiin valmistautumisesta. Osiossa käsitellään lyhyesti ennen betonointia huomioon otettavat asiat ja kerrotaan ohjeita, miten välttää mahdolliset epäonnistumiset suunnit-

telussa. Paljon on lainauksia aiemmin käsittelemästäni Rakentajan talvibetonointiohjeesta, mutta myös muualta on tietoa haettu etenkin lämmitysvaihtoehtoista.

Toisessa ja kolmannessa luvussa on käsitelty aiheet betonoinnin kovettumisesta ja lujudenkehityksen varmistamisesta. Tämä teksti on pääpiirteittäin Eero Kilven itsensä kopioimaa aiemmista teoksistaan.

Jälkimmäisetkään luvut eivät tarjoa mitään aiemmista teoksista poikkeavaa./5/

Suomen rakennusteollisuusliitto ry: Talvirakentaminen, 1990

Tämä kirja pitää sisällään talvirakentamisen suunnittelun, perustustyöt, paikallavalurunkotyöt, sekä elementtirakentamisen kylmän sään aikaan. Yleisesti kirjoitusasu on helppolukuista ja käytetyt esimerkit ovat käytännönläheisiä. Kirjassa on otettu lähes jokaisessa esimerkissä hyvin huomioon vaihtoehtojen kustannusvaikutukset, vaikkakin ne ovat jo tiedoiltaan vanhentuneita. Kirjan kuvitus on paikoin jopa hieman humoristista ja muutoinkaan yksityiskohtaisia tietoja ei juuri ole.

Työlleni hyödyllisiä tietoja kirjasta löytyi sääolosuhteiden huomioonottamisesta ja oikean betonilaadun valinnasta./4/

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.: RIL 149- 1995, Betonityöohjeet, 1995

Kirja käsittelee pääosiltaan betonointia normaaleissa olosuhteissa, mutta 6. luku on omistettu talvibetonoinnille. Tämä 6. luku sisältää 56 sivua, joiden aikana käydään melko yksityiskohtaisesti läpi tärkeimmät talvibetonoinnin osa-alueet. Lukemista helpottamaan on laitettu monia kuvia ja taulukoita, sekä asioita läpikäytessä on monesti käytetty ranskalaisin viivoin listattuja ns. muistilistoja. Työni kannalta kirja on yksi tärkeimmistä lähteistä ja sen sisällöstä en juuri ole puutteita löytänyt. Ainoastaan vaihtoehtojen taloudellisia vaikutuksia ei juuri ole otettu huomioon./3/

Kestävä kivitalo- projekti: Talvibetonointi, 1999.

Tämä kirja käsittelee aihetta hieman uudemmalla näkökulmalla kuin aikaisemmat teokset, joten kirjallisuusluettelosta ei aiemmin käymiäni kirjoja juuri löydy.

Kaikki kirjassa käsitellyt asiat on laitettu myös kuviksi, joten lukeminen on helppoa. Itse tekstiä kirjassa on vähän, jo sivujen vähäisen lukumäärän vuoksi, mutta myös siksi, että asioita on esitetty taulukoin, kuvin ja muistilistoin. Koska kirjassa ei ole juuri käsitelty asioita muuta kuin työmaanäkökulmasta, niin tarkempaa tietoa etsivän täytyy kääntyä tieteellisempien lähteiden suuntaan. Tässäkään kirjassa ei ole kustannuksiin otettu kantaa, vaan ainoastaan käsitelty työntoteuttamisen kannalta vaihtoehtojen edut ja haitat./1/

Suomen betoniyhdistys: by 201 betonitekniikan oppikirja, 2004.

Tämä koulutuksessakin käytettävä kirja on käyttämistäni lähteistä uusin, joka sekin on jo seitsemän vuotta vanha, joten kovin nopealla syklillä uutta kirjallisuutta ei aiheesta synny. Kirja käsittelee kahdeksannessa luvussaan betonointia kylmissä olosuhteissa noin kuudenkymmenen sivun laajuudella. Kirja on enimmäkseen tehty opiskelua varten, joten se sisältää paljon kaavoja, kaavioita sekä yksityiskoh- taista tietoa. Työmaakäyttöön kirja on liian laaja, eikä se sisällä helposti selattavia muistilistoja. Tämäkään teos ei ota kustannuksiin kantaa, joten sellaiselle kirjalli- suudelle olisi tarvetta kyseisellä aihealueella. Työlleni tärkeimpiä aihealueita kir- jassa oli betonoinnin suunnittelun asiat./2/

Opinnäytetyöni keskeisimmät kirjat ovat rakentajan talvibetonointiopas, Kestävä kivitalo- projekti; Talvibetonointi, RIL 149- 95 ja by 201 betonitekniikan oppikir- ja.

Hyvä kirja talvibetonointityöohjeen kannalta koostuisi seuraavista osista:

- talvibetonoinnin virheet ja seuraukset
 - RIL 149- 95
- betonoinnin suunnittelu
 - by 201 betonitekniikan oppikirja
- betonointityön suoritus
 - RIL 149- 95
- lämmitysmenetelmät
 - by 201 betonitekniikan oppikirja
- laadunvarmistus
 - Kestävä kivitalo- projekti; Talvibetonointi

Tämän lisäksi olisi hyvä luoda taulukkopohjainen ohjelma kustannuksien vertailuun, johon olisi helppo päivittää sen hetkiset materiaali- ja työkustannukset. Tämä ohjelma kulkisi kirjan mukana CD- levyllä.

1.4 Talvibetonoinnin perusteita

Paikallavalurakentamisen kannalta Suomessa kylmä kausi käsittää Etelä- Suomen noin kuudesta kuukaudesta aina Pohjois- Suomen kahdeksaan kuukauteen asti. Tämä tarkoittaa sitä ajanjaksoa, jolloin lämpötila voi vuorokauden aikana laskea alle $+5^{\circ}\text{C}$. Silloin suoritettaessa betonirakenteiden paikallavalua, tulee käyttää betonin lämpökäsittelyä, jotta taataan betonin lujuudenkehitys ja ennen kaikkea estetään betonin jäätyminen.

Tavoitellun lopputuloksen saavuttaakseen, tulee kiinnittää erityistä huomiota itse betonoinnin lisäksi työn suunnitteluun. Suunnittelussa otetaan huomioon sään seuranta ja sen mahdollisesti aiheuttamat häiriöt. Lämpötilan laskiessa alle $+5^{\circ}\text{C}$, alkaa betonin kovettumisreaktiot olla jo varsin hitaita ja lämpötilan mennessä $-10\dots-15^{\circ}\text{C}$ lujuudenkehitys pysähtyy kokonaan. Jos betoni pääsee jäätymään ennen kuin se on saavuttanut jäätymislujuutensa, se vaurioituu pysyvästi ja sen loppulujuus ei saavuta suunnitelmissa määrättyä tasoa. Jotta nämä pystytään estämään, päätetään suunnittelussa myöskin mitä menetelmää käytetään betonin lämpökäsittelyssä. Betonin lämpökäsittelyyn on olemassa monia eri keinoja ja niistä valitaan paras vaihtoehto valettavan rakenteen, lämmitystarpeen, aikataulun ja kustannustehokkuuden perusteella. Tärkeintä lämpökäsittelyssä on, että lämpö saadaan siirrettyä tasaisesti koko valetun betonin tilavuudelle. Betonointisuunnitelmaa tehtäessä valitaan kullekin rakenteelle käytettävä kalusto, työntekijäresurssit ja käytettävät työmenetelmät.

Itse betonoinnissa kylmissä olosuhteissa on tärkeää hoitaa kunnolla edeltävät työt, kuten muottien ja raudoituksen puhdistus lumesta ja maa-aineksen sulattaminen, koska jos valetaan jäätyneen maan päälle, on mahdollista, että betonista siirtyvän lämmön seurauksena maa sulaa ja rakenne notkahtaa. Tärkeää on myöskin säilyttää betonimassan lämpö läpi betonointityön. Aikatauluttamalla kuljetukset siten,

että ei tule ylimääräistä odottelua kylmässä säässä. Pitämällä siirrot lyhyinä ja peittelemällä valetut pinnat heti kun mahdollista.

Talvibetonointi on haastavaa työtä, jossa virheillä voi olla katastrofaaliset seuraukset, mutta ne ennakoimalla saadaan yritykselle suuri kilpailuetu työmarkkinoilla.

2 TALVIBETONOINNIN VIRHEET, SEURAUKSET SEKÄ KORJAUSTOIMENPITEET

2.1 Suunnittelun virheet, seuraukset sekä korjaustoimenpiteet

Tässä luvussa käsittelen yleisimpiä virheitä ja niitä seuraavia epäonnistumisia, joita talviaikaan betonoitaessa tapahtuu (taulukko 1). Useimmiten suuret vahingot tapahtuvat monen osatekijän yhteisvaikutuksesta ja niiden tapahtuminen saadaan estettyä tarkalla suunnittelulla ja tehokkaalla valvonnalla.

Taulukko 1. Suunnittelun virheet, seuraukset ja korjaustoimenpiteet

Virhe	Seuraus	Korjaus
Notkistimen käyttö	Betonin sitoutuminen hidastuu	Vältä notkistimen käyttöä
Sementin korvaaminen lentotuhkalla tai silikajauheella	Betonin sitoutuminen ja lujuudenkehitys hidastuu	Betonin lämmittäminen sekä lujuusluokan nosto

Käytettävää betonia valittaessa on syytä ottaa huomioon keskeisimmät asiat toivotun laadun takaamiseksi.

- eräillä notkistintyypeillä on haitallisena sivuvaikutuksena betonin sitoutumista hidastava ominaisuus, joka korostuu betonin lämpötilan laskiessa; lignosulfoonaatti- pohjaisilla notkistimilla vaikutus on kaikkein voimakkain. Tämän vuoksi kylmään aikaan betonoitaessa tulisi välttää lisäaineiden käyttöä.

- käytettäessä seosaineena lentotuhkaa tai silikajauhetta korvaamaan sementtiä, nuoren betonin sitoutuminen ja lujuudenkehitys hidastuu alhaisissa lämpötiloissa merkittävästi ja siten suurentaa jäätymis- ja vaurioitumisriskiä.
- edellämainitut haittavaikutukset saadaan kuitenkin kompensoitua lämmittämällä betonia sekä betonin lujuusluokkaa nostamalla. /1/

Säätietojen puutteellinen seuranta voi johtaa alimitoitettuun lämmityskalustoon, joka yhdistettynä betonin puutteelliseen lämpötilaseurantaan, aiheuttaa muotteja purettaessa paikallisia pintaosien lohkeamia ja putoamisia sekä vaakarakenteiden taipumia. /3/

YIT rakensi Pietariin kerrostaloasuntoja 2010 talvena. He käyttivät sikäläistä suurta betonia toimittavaa yhtiötä, joka oli käyttänyt betonin valmistuksessa koostumusta, joka aiheutti normaalia korkeamman ammoniakkipitoisuuden. Toistaiseksi YIT on vastaanottanut 40 valitusta asiakkailtaan koskien asuntojen sisäilman laatua. Betonin koostumuksen selvitystyö on kirjoittamishetkellä vielä kesken, joten syytä ammoniakkiin suuriin pitoisuuksiin ei ole tiedossa. /11/

2.2 Betonoinnissa tapahtuvat virheet, seuraukset sekä korjaustoimenpiteet

Betonitehtaalla ja kuljetuksissa olevat riskit(taulukko 2)

Taulukko 2. Betonoinnin virheet, seuraukset sekä korjaustoimenpiteet

Virhe	Seuraus	Korjaus
Runkoaineen puutteellinen lämmitys	Lujuuskato	Runkoaineen lämmitys ja suojaus
Liian pitkä varastointiaika	Muotinpurkulujuuden viivästyminen	Oikeanlainen aikataulutusta ja riipeä työskentely

- Osa- aineiden puutteellinen lämmitys ja runkoainevarastojen vaillinainen suojaus mahdollistaa sen, että runkoaine sisältää vielä sekoituksen jälkeen jäätä ja kovettuneeseen betoniin muodostuu hiekkapesäkkeitä. Myöskään betonin vesisementtisuhde ei ole tarkka, jos betonimassan seassa on jäätä tai lunta. /2/

- Talvella valettaessa on kuljetusten aikataulutamisella tärkeä osa onnistunutta työtä. Vaikka betonimassa siirrettäisiinkin betonitehtaalta muottiin oikeaoppisesti ilman turhia välivarastointeja, lämpötilan lasku voi olla 5°C, jopa 7°C. /1/
- Inhimillisen virheen seurauksena massan lämpötila voi olla selvästi suunniteltua alhaisempi, varsinkin kun toimitusmäärät ovat suuria ja toimitusrytmi nopea. Tämä aiheuttaa betonille suunniteltua hitaamman lujuudenkehityksen ja näin ollen muottien purku viivästyy. /3/

Työmaalla olevat riskit (taulukko 3)

Taulukko 3. Työmaalla tapahtuvat virheet, seuraukset sekä korjaustoimenpiteet

Virhe	Seuraus	Korjaus
Jäätynyt rajapinta	Betonin jäätyminen	Esilämmitys
Huono muotin puhdistus	Rakenteeseen jää koloja	Muotin tarkka puhdistus
Väärin sijoitetut lämmittimet	Virheelliset seurantatiedot ja rakenteen halkeilu	Lämmittimien suunniteltu kohdistus ja sijoitus

- Kalliota, maata tai vanhaa betonipintaa vasten valettaessa on suuri riski rajapintojen jäätymiselle. Tämä saadaan kuitenkin estettyä esilämmittämällä ja lämpöeristämällä pinnat. /3/
- Etenkin seinä ja pilarimuottien alaosiin voi jäädä lunta ja roskia heikon puhdistamisen vuoksi, joka voi aiheuttaa rakenteiden staattisesti tärkeisiin alaosiin suuria koloja ja onkaloita. /3/
- Valettujen pintojen lämpösuojaaminen tulee aloittaa välittömästi valun jälkeen ja suuremmissa valuissa jo valun aikana. Tällä estetään betonipinnan nopea jäähtyminen, etenkin tuulisissa oloissa. Myöskin peitteiden kiinnittäminen tulee tehdä tarkasti, jottei esimerkiksi tuulen vaikutuksesta peitteet pääse aukeamaan ja näin ollen lämmittämisestä tulee turhaa. /1/
- Väärin sijoitetut lämmittimet ja lämpötila-anturit antavat valheellista kuvaa betonin lämpötilasta ja lujuudenkehityksestä. Muotteja purettaessa rakenne ei välttämättä olekaan vielä saavuttanut purkulujuuttaan, joka on lämpötilaseurantatietojen mukaan saavutettu. /2/,/3/
- Liian suuret lämpötilanmuutokset ja lämpötilaerot aiheuttavat rakenteeseen halkeamia. Esimerkiksi muotinpurkuhetkellä, kun rakenteen lämpötila on korkea ja ulkolämpötila matala. Tällöin ohut rakenne jäähtyy nopeasti ja mikäli rakenne ei

pääse vapaasti liikkumaan, muodostuu rakenteeseen sen kutistuessa niin suuria vetojännityksiä, että halkeamia muodostuu. /3/

2.3 Betonin jäätymisestä aiheutuvat seuraukset

Betonin päästessä jäätymään aikaisessa vaiheessa on betonin todellinen lujuus kuinka pieni tahansa, niin jäätymisestä aiheutuva lisälujuus voi olla jopa 30 Mpa, joka sulaaessaan katoaa aiheuttaen todellisen sortumisvaaran. /3/

Betonin jäätyminen varhaisessa vaiheessa ennen sementin sitoutumista aiheuttaa betoniin jäälinsejä, jotka kasvattavat betonin huokoisuutta, huonontavat sementtikiven ja runkoaineiden sekä betonin ja raudoituksen välistä tartuntaa ja täten aiheuttaa halkeamia. /1/

Betonin jäähtyminen lisää aina kustannuksia, kun betonia joudutaan lämmittämään suunniteltua pidempään, hiertotyö viivästyy, muottienpurku viivästyy ja taipumien johdosta laattojen tasoituskustannukset kasvaa. /1/, /2/

Satakunnan keskussairaalan KO- laajennus työmaalla runkovaiheessa tapahtui seuraava virhe. 1. kerroksen teräsbetonipilareita valettaessa, oli kovan tuulen johdosta yhden pilarin huputus pettänyt, jolloin pilarin yläpää oli päässyt jäätymään. Tämä johti siihen, että pilari jouduttiin piikkaamaan, tekemään muotit ja valamaan uudelleen.

Esimerkissä oli normaalista tilanteesta poikkeavaa yöllä alkanut voimakas tuuli, joka oli aikaansaanut suojapeitteen irtoamisen. Virhe olisi vältetty tarkemmalla sääennusteen hyödyntämisellä ja sen johdosta vahvistetuilla peitteen kiinnityksillä.

Tämä luku kaikkine sisältöineen oli hyvin keskeinen ohjeen kannalta. Useimmiten asiat tulee opittua ns. kantapäähän kautta ja tässä luvussa käsiteltiin tapahtuneita virheitä, niistä johtuvia seurauksia sekä toimenpiteet joilla virhe olisi vältetty. Kun tämän luvun asiat löytyvät tiivistetysti työohjeesta, niin voi käydä listan läpi en-

nen kuin tekee vääriä valintoja toteutuksen suhteen ja siten välttyy mahdollisilta virheiltiltä.

3 BETONOINTISUUNNITELMA

3.1 Sääolosuhteet

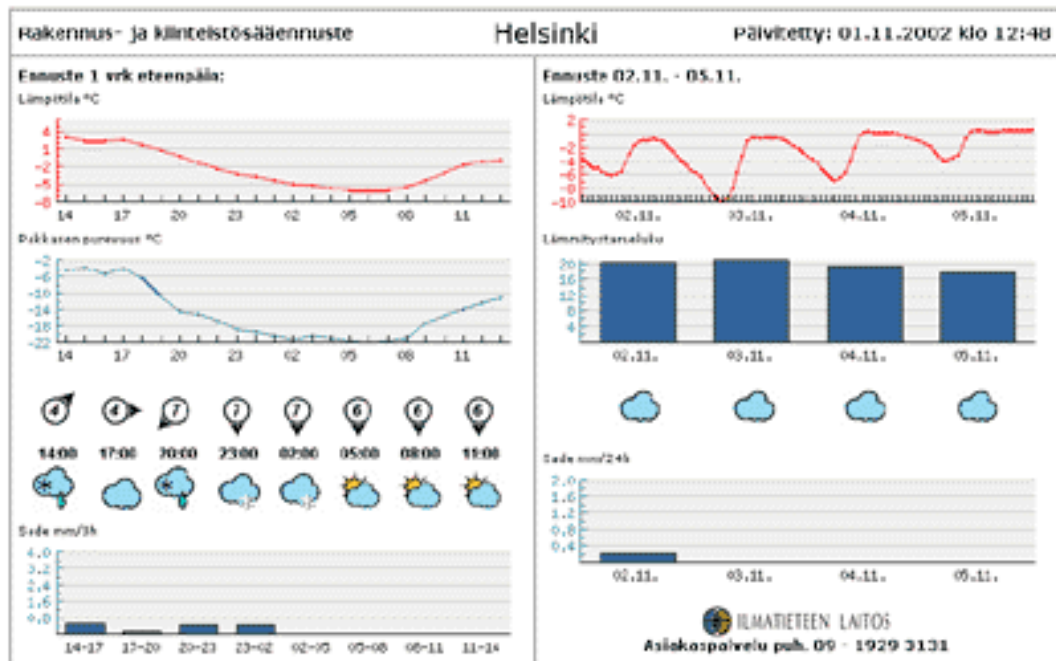
Talviolosuhteita koskevat tilastotiedot ovat hyvänä apuna talvirakentamista suunniteltaessa. Tilastoista saadut tiedot on tarkoitettu lähinnä alustavaan rakennustyön suunnitteluun. Paikalliset lämpötilat ja pakkasmäärät voivat kuitenkin poiketa tilastotiedoista merkittävästi sillä Suomen säätila vaihtelee erittäin paljon vuosittain. Lisäksi työmaiden sijainnista riippuen saattaa pakkaslukemissa olla suuriakin eroja, samoin meren rannikon etäisyys määrää merkittävästi sääolosuhteita.

Säätietojen perusteella voidaan päättää esimerkiksi raudoitusten ja valujen yöllisen suojaustarve tai tarvittavan lämmityskaluston määrä. Paikallisista sääennusteista voidaan ennakoida sekin, tuleeko seuraavasta päivästä poissaolopäivä pakkasen takia. Samoin tieto sateen alkamisajankohdasta ja kestosta helpottaa päivittäisiä työjärjestelyitä./2/,/4/

Jotta talvirakentamisen suunnittelusta olisi hyötyä, on tiedettävä, miten rakennustyömaalla toimitaan säähäiriöiden sattuessa. Häiriöiden ehkäisyyn on paneuduttava erityisen huolellisesti. Säähäiriöiden haitat ovat ehkäistävissä suunnittelemalla vaihtoehtoiset järjestelyt työn ajoitukselle sekä työmaan suojaukselle, valaistukselle ja lämmitykselle./2/

MVR- Yhtymällä on käytössä Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä rakennussääpalvelu (kuva 2). Rakennussääpalvelu on kuvamuotoinen 1+4 vuorokauden sääennuste, joka päivittyy tunnin välein ja on tilattavissa mille tahansa paikkakunnalle. Palvelun välityskanava on internet. Rakennussääpalvelussa on ensimmäisen vuorokauden tiedot ja seuraavan viiden vuorokauden ennusteet päivän tarkkuudella. Ensimmäisen vuorokauden ennusteessa on säätiiedot lämpötilasta, tuulen suunnasta

ja nopeudesta, pakkasen purevuudesta sekä sateiden ajankohdasta, olomuodosta ja määrästä.



Kuva 2. Esimerkki internet- palvelusta./8/

3.2 Betonin valinta

Betonin valinnassa on olennaista, että se perustuu kokonaiskustannusten tarkasteluun. Tällöin otetaan huomioon betonikustannusten lisäksi kaikki muut betonointiin liittyvät kustannukset. Betonin valinta tehdään yleensä rakennekohtaisen suunnitelman teon yhteydessä ja sitä tarkennetaan juuri ennen valua. Käytettävän betonilaadun lopulliseen valintaan vaikuttavista tekijöistä korostuu talviolosuhteissa haluttu tuotantorytmi, joka on pystyttävä säilyttämään mahdollisimman pienillä lisäkustannuksilla./1/

Yleisohjeena voidaan pitää pilaria tai seinää valettaessa, että kun muottikierto on yli kaksi vuorokautta ja palkkia tai laattaa valettaessa yli kolme vuorokautta käytetään normaalisti kovettuvaa betonia, muussa tapauksessa nopeasti kovettuvaa betonia./4/

3.2.1 Lujuusluokan nosto

Sideainemäärän lisäys eli lujuusluokan nosto on perusteltua erityisesti nopeassa 1...2 vrk:n muottikierrossa. Betonin lujuudenkehitys on nopeaa korkeassa lämpötilassa kovettumisen alkuvaiheessa, mutta hidastuu voimakkaasti suhteellisen lujuuden saavutettua noin 50 % tason. Mikäli muottien purkulujuusvaatimus on 60 %, ei korkean lämpötilan mukanaan tuomaa hyötyä saada käytettyä hyväksi, ellei tehdä lujuusluokan korotusta. Lisäksi mikäli lujuusluokkaa ei koroteta, jäävät betonien loppulujuudet korkean alkulämpötilan aiheuttaman lujuuskadon seurauksena suunniteltua pienemmäksi./3/s.164

Kun K30 # 32 S2 normaalisti kovettuva betoni nostetaan lujuudeltaan K35, niin se maksaa ilman ALV:a 13,63 €/m³. K30 perushinta 99,89€/m³. /12/

MVR- Yhtymässä lujuusluokan nostoon ei lähdetä kovin kevyin perustein. Vain kovimmilla pakkasilla ja kantavia rakenteita esim. holvia valettaessa on perusteltua käyttää lujuusluokan nostoa. Lujuusluokan noston on huomattu olevan taloudellisesti kannattamatonta verrattuna sen tuomiin etuihin. Lämpöluokan noston on havaittu olevan parempi vaihtoehto talvibetonointiin ja etenkin muottikierron nopeuttamiseen./9/

3.2.2 Kuumabetoni

Kuumabetoni on betonimassaa, jonka lämpötila on korkeampi, kuin talvirakentamisen aikaan muutoin saatava +20° C betoni. Betonimassan lämmittämisen tarkoituksena on nopeuttaa betonin kovettumista ja vähentää tai korvata talvibetonoinnissa tarvittavaa työmaalämmitystä./7/s.6

Kuuman betonin lämpötila on heti alkuvaiheessa maksimissaan, mikä saa aikaan erittäin nopean lujuudenkehityksen ja kiihdyttää sementin reaktioita. Betoni valetaan hyvin lämpöeristettyihin muotteihin, ja massan korkean lämpötilan ansiosta betonin riittävä alkukovettuminen tapahtuu tavallisesti ilman muuta lämmitystä. Kyseessä on siis erikoinen lämmitystapa massan oman lämpökapasiteetin avulla./2/s.372

Kuumabetonilla on selvä etu työmaalämmitteiseen betoniin verrattuna, sillä lämpötila on korkeimmillaan juuri siinä vaiheessa, kun sitä lujudenkehityksen nopeuttamisen kannalta tarvitaan. Korkean lämpötilan johdosta hydrataatiolämpöä vapautuu nopeasti, ja betonin lämpötila alkaa nousta jo muutamien tuntien kuluessa valusta. Normaalibetonilla vastaava ilmiö havaitaan vasta 6...7 tunnin kuluttua valusta. Kuumabetonissa vapautuva hydrataatiolämpö pystyy eristetyissä muotteissa ja pinnan ollessa suojattuna pitämään betonin lämpötilan korkeana, ensimmäisen kovettumisvuorokauden aikana. Jopa 60 % kokonaislämpömäärästä on hyödynnettävissä./2/s.373

Kuumabetonin lämmönkehityksen kannalta nopea suojaus on ensiarvoisen tärkeää. Tällöin betoni saadaan kovettumaan mahdollisimman nopeasti ja haitalliset lämpötilaerot tasaantuvat rakenteessa. Lämmönsuojaukseksi suositellaan puumuoteilla 30...50 mm ja teräsmuoteilla 50 mm mineraalivillaa tai vastaavan tehoista muuta lämpöeristettä. Erityistä huomiota tulee kiinnittää lämpösuojauksen tiiveyteen, kattavuuteen sekä nurkkakohtiin. Poikkileikkausmitoiltaan paksummissa rakenteissa, kuten anturoissa, palkeissa ja pilareissa lämmöneristys voidaan korvata suojapeittein./2/s.378

Lämpötilaluokkia on kaksi. Ensimmäisen luokan betonin toimituslämpötila on +30 °C ja lisähinta ilman ALV:a 7,27€/m³. Toisen luokan toimituslämpötila on +40 °C ja lisähinta 12,36€/m³. K30 perushinta 99,89€/m³./12/

MVR- Yhtymässä käytetään pääsääntöisesti talviaikaan betonoitaessa lämpöluokan nostoa (kuva 3). Betoniasemilta tulee jo valmiiksi lämpimämpää betonimassaa 1.11 – 31.3 välisenä aikana, mutta lämpöluokan nostolla betonimassa saadaan jopa 40 asteiseksi. Lämpötilaltaan korkeampi betoni alkaa reagoida nopeammin ja tällöin saavutetaan tarvittava lujuus lyhyemmässä ajassa. Myös lämpimämpi betonimassa antaa niin sanottua lämpöreserviä kylmille liittymäkohdille./9/



Kuva 3. Satakunnan keskussairaalan työmaalla anturoiden valussa käytettiin lämpöluokan nostoa. Betoni K35 rapid, massan lämpötila +30 °C, ulkolämpötila -20 °C.

3.2.3 Nopeasti kovettuva betoni

Nopeasti kovettuvassa betonissa lujuudenkehityksen nopeutuminen perustuu nopeasti kovettuvien sementtien käyttöön. Nopeasti kovettuvaa sementtiä käytettäessä saavutetaan noin 5...10 % suuremmat suhteelliset varhaislujuudet sekä pienempi lujuuskato verrattuna yleisportlandsementtibetoniin normaalisäilytetyjen betonien 28 vrk:n lujuuksien ollessa samaa tasoa. Nopeasti kovettuvan betonin laadunarvosteluikä on 7 vrk. Tällöin lämpökäsittelyssä saavutetaan yhdessä vuorokaudessa n. 60...70 % vertailubetonin 7 vuorokauden lujuudesta.

Kun K30 # 32 S2 normaalisti kovettuva betoni vaihdetaan nopeasti kovettuvaan betoniin, niin se maksaa ilman ALV:a 15,14 €/m³. K30 perushinta 99,89€/m³./12/

Nopeasti kovettuvassa betonissa reagoiminen alkaa nopeammin, jolloin lujuuden kehitys ja lämmöntuotto alkavat aikaisemmin kuin normaalilla sementillä. Rapid-sementtiä käytettäessä betoni ehtii jäähtyä vähemmän työmaalla, ennen kuin sen oma lämmöntuotto alkaa. Tällä saavutetaan pienempi lämmitystarve, etenkin massiivisia rakenteita valettaessa./9/

3.3 Käytettävät työmenetelmät ja kalusto

Talvibetonoinnin edellyttämää tavanomaista kalustoa ovat

- lämmityslaitteet
- lämpötilan seurantalaitteet
- suojaus- ja lämmöneristysmateriaalit
- lumen- ja jään poisto- ja sulatuslaitteet
- valaistukseen tarvittavat laitteet

Periaatteessa mikä muottikalusto tahansa sopii käytettäväksi talviolosuhteissa. Tärkeintä on määritellä muottikaluston ja valittavan lämmitysjärjestelmän sopivuus toisiinsa./5/s.4 Betonin lämmityksen tapahtuessa erillisillä lämmittimillä muotin ulkopuolelta, kannattaa muotti valita siten, että lämmityspuolella muottimateriaalin lämmönjohtavuus on mahdollisimman hyvä. Teräs- ja muovimuotteja käytettäessä lämmityksen vastainen puoli tulee eristää. Lämmöneristettyjä muotteja kannattaa käyttää kuuman betonin yhteydessä. Yleensä talviolosuhteissa kannattaa käyttää suuria muottiyksiköitä, koska tällöin saumojen ja kiinnitysosien lukumäärä pienenee.

Talviolosuhteissa raudoituksena suositellaan käytettäväksi teollisesti valmistettuja raudoitteita, kuten verkkoja, kaistaraudoitteita, työsaumaraudoitteita ja eri rakenneosiin kehitettyjä erikoisraudoitteita. Näitä käyttäen raudoituksen asentamista voidaan nopeuttaa merkittävästi.

Muottien puhdistus lumesta tapahtuu parhaiten ja halvimmalla harjaa, lapiota ja kolaa käyttäen silloin, kun raudoitusta ei ole vielä asennettu. Raudoituksen asentamisen jälkeen lumen poistamiseen käytetään paineilmaa ja höyryä.

Suojapeitteitä tarvitaan raudoitetun valettavan alueen peittämiseen, valetun alueen peittämiseen ja suojaamiseen, jäähtymisen hidastamiseen muotipurun jälkeen ja aukkojen sulkemiseen lämmityksen tapahtuessa alapuolelta. Betonin lämpösuojaukseen tarvitaan suojapeitteiden ohella myös lämmöneristysmattoja.

Työmaan ja valukohteiden valaistusta varten on myös varattava riittävä määrä valaisimia./3/s.169

MVR- Yhtymällä ei ole omaa muottikalustoa, joten jokaista betonointityötä suunniteltaessa otetaan kaikki mahdollisuudet erilaisista muottivaihtoehdoista käsitteilyyn. Kuhunkin projektiin parhaiten soveltuva kalusto (kuva 4) vuokrataan kyseistä kalustoa vuokraavilta yrityksiltä. Valinta suoritetaan vertailemalla kalustojen hinnat ja käyttökelpoisuus sen hetkiselle työmaalle./9/



Kuva 4. Kantavan seinän betonointi on käynnissä. Kasettimuotti, lankalämmitys, K30 lämpöluokan nosto +30 °C, ulkolämpötila -2 °C.

3.4 Muottikierto

Suunnitellun tuotantorytmin saavuttaminen riippuu ratkaisevasti betonin lujuudenkehityksen nopeudesta. Talvibetonoinnin yhteydessä betonin lujuudenkehitystä nopeutetaan seuraavin menetelmin:

- käytetään nopeasti kovettuvaa betonia
- nostetaan suhteutuslujuutta eli korotetaan lujuusluokka
- nostetaan betonin kovettumislämpötilaa eli lämpökäsitellään betoni
- nostetaan ainoastaan betonimassan lämpötilaa
- käytetään kiihdyttäviä tai vedentarvetta vähentäviä lisäaineita/3s.164/

Toimenpiteet nopeampaan muotinpurkuun:

- betonin mahdollisimman nopea siirto muottiin ilman turhia välivarastointeja
- laatan nopea lämpösuojaus heti valun jälkeen tai valun edistyessä
- pilari- ja seinämuottien lämmöneristys tai lisälämmittäminen
- pystyrakenteiden alaosien lujuudenkehityksen varmistaminen lämmityksellä ja lämpösuojauksella
- pystyrakenteiden yläosien lämpösuojaus
- vaakarakenteiden tuki-, reuna- ja kylmäsilta- alueiden lujuudenkehityksen varmistaminen lämmityksellä ja lämpösuojauksella
- betonin sitoutumista hidastavien lisäaineiden välttäminen
- alhaisissa lämpötiloissa hitaasti lujuutta kehittävien betonilaatujen käytön välttäminen, jos lämmityksellä ei pystytä nopeuttamaan sitoutumisen alkua ja lujuudenkehitystä/1s.19/

Työohjeen kannalta tästä luvusta olennaiset asia ovat:

- sääennusteista seurattavat seikat ja tarvittavat toimenpiteet valmistauduttaessa sääolosuhteiden muuttumiseen.
- betonin valintaa tehtäessä täytyy tarkastella vaihtoehtoja kustannusten ja hyötyn kautta sekä liikaa varmanpäälle pelattaessa ei koskaan pysytä tavoitekuiluissa.
- yrityksen sisällä hyväksi todetun järjestyksen betonilaatujen valintaan kustannustehokkaasti.
- kalustoa valittaessa löydettävä ratkaisu, jossa muotit ja lämmityskalusto toimivat yhteen.

- kalustoreservin, kunnossapidon ja tarkastusten tärkeys
- muottien suojaamisella saatava aika- ja kustannussäästö lumisateen yllättäessä, kun ei jouduta putsamaan tai sulattamaan muotteja.
- toimenpiteet nopeamman muotinpurun aikaansaamiseksi ovat mielestäni hyviä ja yksinkertaisia neuvoja, joita on helppo noudattaa työmaalla ja suunnittelussa, joten ne kirjoitan ohjeeseen kokonaisuudessaan.

4 BETONOINTITYÖN SUORITUS

4.1 Betonointia edeltävät työt

Kylmän sään aiheuttamat toimenpiteet muottityön yhteydessä:

- Sijoitetaan lämpötilan tarkkailuun käytettävät anturit ja mittaamista varten tarvittavat muoviputket suunnitelluille paikoilleen.
- Käytettäessä lankalämmitystä, asennetaan lämmityskaapelit suunnitelman mukaisesti raudoitukseen ja tarkastetaan lämmityslaitteiden toiminta.
- Suunnataan lisälämmittimet kylmien reuna- alueiden ja valuun rajoittuvien rakenneosien lämmittämiseksi.
- Suoritetaan muottien lämpösuojaaminen, kylmäsihtakohtien ja reuna- alueiden lisäsuojaus.
- Suojataan muottien alapuolinen tila huolellisesti suojapeitteillä, käytettäessä infrapunalämmitystä tai kuumailmalämmitystä.
- Varmistetaan varalämmittimien saatavuus ja huollettavuus.
- Huolehditaan muottien suojaamisesta ja puhtaana pysymisestä lumisateen aikana.

Toimenpiteet välittömästi ennen betonointia:

- Puhdistetaan ja sulatetaan muotit, sekä betonin vastaanotto- ja siirtokalusto lumesta ja jäästä. Erityistä huomiota on kiinnitettävä pilari- ja seinämuottien alaosien sekä tiheästi raudoitettujen tai muuten hankalasti käsiteltävien kohtien puhdistamiseen.

- Lämmitetään betonointialustana toimiva maa tai kallio sekä betonimassaa vasten olevat vanhat valupinnat sellaiseen lämpötilaan, ettei uusi betonimassa pääse jäätymään.
- Aloitetaan muottien esilämmitys. Erityisesti teräs- ja muovimuottien sekä muottina toimivien betonisten kuorilaattojen lämpötilan tulee olla yli 0 °C ennen betonointia./1s.19/, /2s.364/, /3s.168/, /6s.18/

4.2 Betonointi

Betonoitaessa kylmällä säällä on edullisempaa suorittaa betonin kuljetus ja siirrot mahdollisimman pienellä lämpöhäviöllä, kuin lämmittää jo jäähtynyttä betonia myöhemmissä vaiheissa. Betonoinnin ripeä suoritus ja tiivistetyn betonin mahdollisimman nopea lämpösuojaus ovat omalta osaltaan tärkeitä vaiheita betonoinnin onnistumisen kannalta. Betonin lämmitys (kuva 5) aloitetaan välittömästi valun päätyttyä ja betonimassan lämpötilaa tarkkaillaan, kirjataan lukemat betonointipöytäkirjaan ja säädetään lämmitystä tarpeen mukaan. Jotta lämpö saadaan pysymään betonissa, täytyy varmistaa suojausten paikallaan pysyminen. /1s.19/, /2s.367/, /3s.169/, /6s.19/

4.3 Lämmitys ja suojaus

Betonin lämmitystä ja reuna- alueiden lisälämmitystä jatketaan niin kauan, että betonin muotinpurkulujuus on lämpöastevuorokausien mukaan laskettuna saavutettu. Lämpöastevuorokausien määrää seurataan ja sen mukaan päätetään lämmityksen jatkamisesta. Lämpökäsittelyä käytettäessä noudatetaan tehtyä lämpökäsittelysuunnitelmaa, jossa esitetään tarvittava käsittelylämpötila ja käsittelyaika./3s.174/, /5s.38/



Kuva 5. Satakunnan keskussairaalan vanhan teräsbetonipilarin vahvistuksen lämmitys on toteutettu lämmityskaapelilla.

Betonin lämmitys suunnataan tasaisen lämpötilajakautuman aikaansaamiseksi siten, että lämmitysteho rakenteen reuna- alueilla ja erityisesti kylmiin rakenneosiin liittyvissä kohdissa on selvästi suurempi kuin keskialueilla./6s.34/

4.4 Muottien purku ja jälkihoito

Kun loggeri- tulosten perusteella lasketun purkulujuuden arvioidaan saavutetun, on hyvä vielä tarkistaa betonipinta kauttaaltaan esimerkiksi kopistelemalla rautatangolla. Jos betonipinta tuntuu ehjältä, voidaan aloittaa muottien purku varovaisuutta vaalien. Betonointisuunnitelmassa on suunniteltu muottien purkujärjestys, jossa muotit tulee purkaa. Holvin muottia purettaessa ei saa poistaa kaikkia tukia, koska useasti holvia aletaan kuormittaa välittömästi, jotta saadaan tehtyä seuraavan kerroksen muotit ja holvin lujuudenkehitys kuitenkin jatkuu vielä pitkän aikaa.

Rakenteet pidetään vielä muotipurunkin jälkeen peitettynä esim. routamatolla. Peittämällä estetään rakenteen liian nopea jäähtyminen ja sitä kautta minimoidaan halkeamien muodostumisriski.

”Julkaisun ”Betonirakenteiden säilyvyysohjeet ja käyttöikämitoitus 1992” mukaan betonirakenne, jolle on asetettu säilyvyysvaatimus, saa halkeilun välttämiseksi esitetyn nyrkkisäännön mukaan jäähtyä muotinhoiston jälkeen ensimmäisen 24 tunnin aikana enintään 30 °C rakenteen paksuuden ollessa $\leq 0,3$ m, n.20 °C paksuuden ollessa 0,5 m ja n. 10 °C paksuuden ollessa 2,0 m” /3s.181/

Tästä luvusta näen olennaisimmaksi tiedoksi yritykselle laitettavaksi työohjeeseen kaiken kerrotun. Jotta työohje saadaan pidettyä kompaktin kokoisena, tiivistän koko luvun käytettäväksi ranskalaisin viivoin listattuna. Siten saan kaiken tarvittavan tiedon välitettyä kiireessäkin luettavaksi.

5 LÄMMITYSMENETELMÄT

5.1 Vaihtoehtojen kartoitus

Alan kirjallisuudesta löytyy todella kattavat tiedot betonin lämmitysmenetelmistä. Lähestulkoon jokaisessa lähteessä on kerrottu yksityiskohtaisesti useimmista tässä luvussa käymistäni menetelmistä.

Betonin lämmittäminen on tärkein osa tuloksetkaassa talvibetonoinnissa. Lämmittämisellä estetään betonin jäätyminen, varmistetaan lujuudenkehitys ja voidaan mahdollistaa nopeampi muottikierto. Jotta lämmitys saadaan tehtyä taloudellisesti, täytyy työ suunnitella tarkasti etukäteen. Suunnittelussa puntaroidaan vaihtoehdot, kuten: mitä lämmitetään (ilmaa, muottia vai betonimassaa), suojausmahdollisuudet, rakenteiden koko ja mahdollisuus hyödyntää rakennuksen käyttöön jäävää lämmitysmenetelmää runkovaiheessa.

5.2 Lämmitettävät muotit



Kuva 6. Kuvassa on mineraalivilla- eristetty lankalämmitetty suurmuotti.

Sähkölämmitteisiin suur- (kuva 6) ja pöytämuotteihin on kiinteästi asennettu lämmityskaapelit. Puhuttaessa lämmitetyistä muoteista, on kyseessä aina lämpöeristetyt muotit, jotta vastuksien aikaansaama lämpö ei mene hukkaan. Lämmitettyjen muottien hyvä puoli on se, että ne ovat varmatoimisia ja helppokäyttöisiä. Lämmitys on sama koko muotin alueella, joka mahdollistaa tasaisen rakenteen lämmönsaannin, mutta myös aiheuttaa lisälämmitystarpeen reuna- alueille. Lämmityksen teho on $100 \dots 200 \text{ W/m}^2/\text{muottipuoli}$ eli $1,9 \dots 2,5 \text{ kW/betoni-m}^3$.

5.3 Kuumailmalämmitys



Kuva 7. Kuumailmapuhallin B 35 CED Master

Kuumailmalämmityksellä tarkoitetaan ilman lämmittämistä suljetussa tilassa. Koska lämmin ilma nousee ylöspäin, käytetään kuumailmalämmitystä yleisemmin vaakarakenteiden lämmittämiseen. Lämmittämiä (kuva 7) valittaessa on mahdollisuus valita käyttöenergiaksi: öljy, kaasu, sähkö, kuumavesi tai höyry ja tehokavalkadi 5...300 kW:n väliltä.

Kuumailmalämmityksen energiatarve on suuri 300...400 kWh/betoni-m³, johtuen sen huonosta hyötysuhteesta n.30 %. Jotta lämmitys on kannattavaa, tulee lämmitettävä tila olla hyvin osastoitu ja vedoton. Ja silti useimmiten reuna-alueille tarvitaan lisäksi kohdelämmitystä. Alla on (taulukko 4) karkeasta arviosta eri laattapaksuuksien tarvitsemista lämpötehoista./2s.381/

Taulukko 4. Laattapaksuuksien tarvitsemat lämpötehot./2s.381/

Laatan paksuus	Valettava laatan pinta-ala			
	50 m2	100 m2	200 m2	300 m2
100 mm	28 kW	56 kW	112 kW	168 kW
200 mm	56 kW	112 kW	168 kW	336 kW
300 mm	112 kW	168 kW	336 kW	672 kW

5.4 Säteilylämmitys



Kuva 8. 7,5 kW infrapunasäteilijä

Infrapunasäteilylämmittimet (kuva 8) soveltuvat parhaiten laajapintaisten ja massiivisten betonirakenteiden lämmittämiseen. Säteilijää käytettäessä on muotin lämmönjohtavuudella suuri merkitys lämmityksen onnistumiseen. Lautamuotille säteilijä ei sovellu, koska puun lämmönjohtavuus on huono ja lämpötilan noustessa yli 80 asteen on muotilla vaara syttyä palamaan.

Kuten kuumailmapuhallinta on myös säteilijää käytettäessä tilan oltava suljettu, jotta suurin mahdollinen teho saavutetaan. Säteilijän suuren lämpötilan (taulukko

5) vuoksi aiheutuu mahdollinen palovaara, jonka vuoksi jatkuva valvonta on ehdotonta.

Infrapunasäteilylämmittimien hyvinä puolina on helppo suunnattavuus, tasainen lämpö ja oikein käytettynä se on nopea ja edullinen lämmitysvaihtoehto. Huonoina puolina ovat suuresta lämmöstä aiheutuva betonin halkeiluriski ja mahdollinen palovaara, jonka vuoksi sen käyttöä ainakin meidän yrityksessämme vältetään.

Parhaimmillaan säteilylämmittimillä päästään 70...180 kWh/ betoni-m³ energian tarpeeseen muotista riippuen. Pienten säteilijöiden tehot ovat 2- 7 kW ja suurten 12- 35 kW.

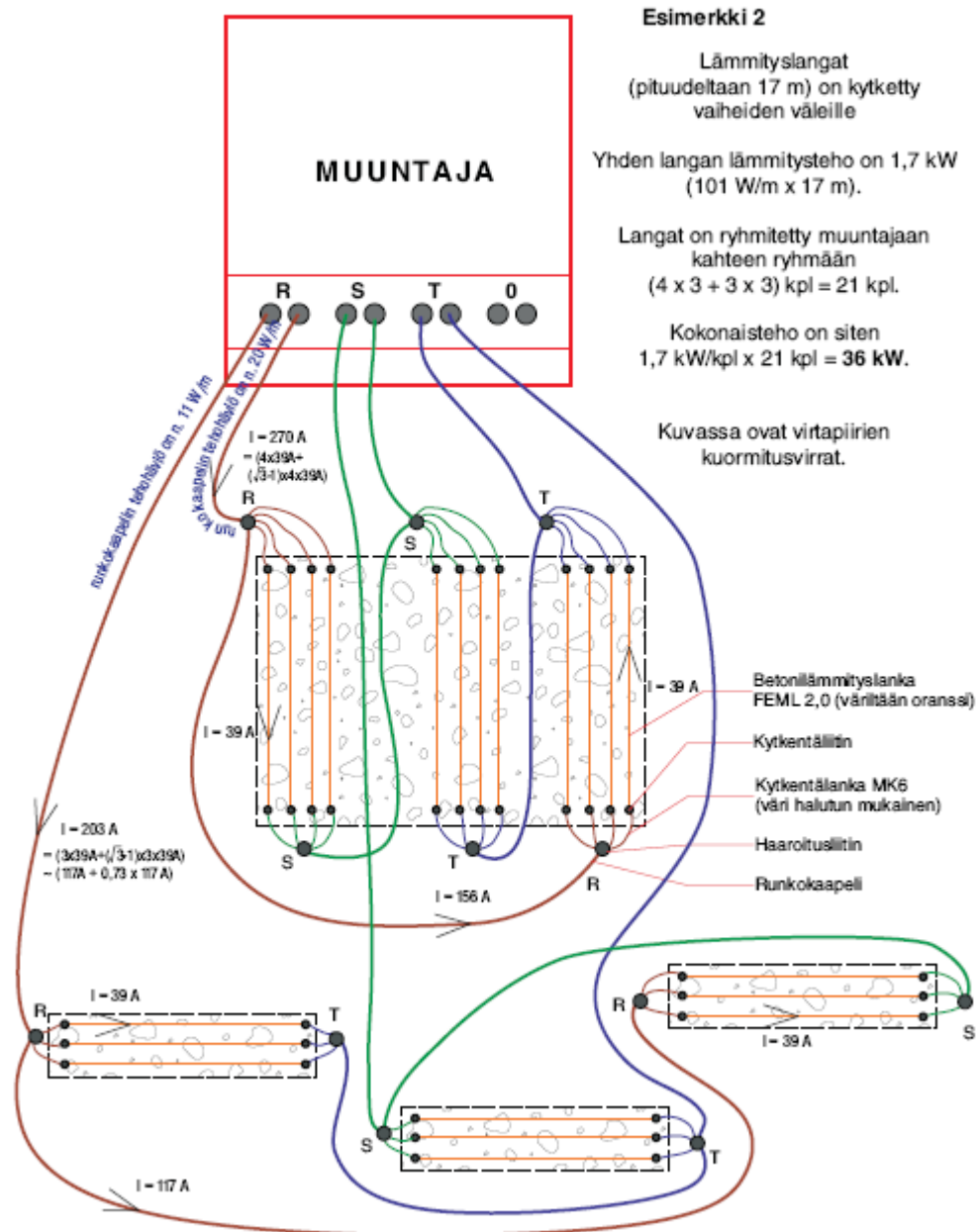
Taulukko 5. Rakenteen lämpötilan riippuvuus infrapunasäteilijän etäisyydestä kohteeseen./2s.387/

Säteilijän etäisyys kohteesta	Lämpötila kohteessa
500 mm	130 °C
1000 mm	90 °C
1500 mm	70 °C
2000 mm	50 °C

5.5 Lankalämmitys

Lankalämmityksessä (kuva 9) työmaan verkkovirta johdetaan sähkölämmitysmuuntajaan, joka muuntaa jännitteen 9...42 V suojajännitteeksi. Vastuslankana toimivat 2mm muovipäällysteiset teräslankasilmukat kiinnitetään raudoitukseen ja siten jäävät betonivaluun. Langat sijoitetaan yleisesti 200...300 mm etäisyydelle toisistaan, koska suurempi väli aiheuttaa betonirakenteessa lämpötilaeroja, jotka heikentävät betonin lujuutta.

Muuntajan ja lämmityslankojen kytkentäperiaate (lämmityslangat vaiheiden väleillä)



Kuva 9. Muuntajan ja lämmityslankojen kytkentäperiaate./13/

Langan maksimi tehoa käytetään 100 W/m ja teho saadaan helposti säädettyä muuttamalla jännitteen määrää muuntajasta. Lankalämmityksen hyvän hyötysuhteen ansiosta lämmityksen energian tarve on 50...100 kWh/betoni-m³.

Lankalämmitys soveltuu erityisesti pilareiden, palkkien, anturoiden ja elementtien saumojen lämmitykseen. Se on myös hyvä reuna- alueiden kohdelämmityksessä ja kylmiä rakenteita vasten valettaessa. Laajapintaisten ja massiivisten rakenteiden

lämmityskeinona se on muita vaihtoehtoja heikompi, suuren työmäärän ja seurantarpeen vuoksi.

Lisätietoa löytyy lankalämmityksen suunnitteluohjeesta Kone- Ratu- kortti 07-3031.

Lankalämmityksestä on nykyisin myös helpommin käytettävä malli (kuva 10). Käytössä on erimittaisia ja -tehoisia kaapeleita, jotka voidaan kytkeä suoraan valovirtarasiaan kaapelin päässä olevan pistotulpan avulla. Tämä malli on kalliimpi kuin muuntajan kautta kulkevat langat, mutta säästää paljon aikaa asennuksesta ja suunnittelusta ja on hyvin käyttökelpoinen varsinkin yksittäisiin palkkeihin ja pilareihin.



Kuva 10. Kaksijohdin lämpökaapeli./13/

5.6 Höyrylämmitys

Höyrylämmitys (kuva 11) on epäkäytännöllisyyden ja epätaloudellisuuden vuoksi huono vaihtoehto betonin lämmitysmenetelmäksi. Taasen höyryn käyttö lumen ja jään sulattamisessa ja kylmien pintojen lämmittämisessä on perusteltua ja kannattavaa.



Kuva 11. Dryair höyrykehitin.

Koska ei ole yleispätevää oikeaa ratkaisua, vaan jokaiseen tilanteeseen täytyy selvittää paras mahdollinen ratkaisu, niin en myöskään voi sellaista ohjeeseen kirjoittaa. Joten kerron jokaisen käsitellyn vaihtoehdon parhaat käyttötavat ja annat reitit, joista löytää lisätietoa lämmitystavoista. Siten ohjeen käyttäjä saa itse tutkia ominaisuudet ja tehdä päätöksen niiden perusteella.

6 LAADUNVARMISTUS

6.1 Betonin lämpötilan seuranta työmaalla

Betonin lämpötilan seuranta alkaa välittömästi valun jälkeen. Lämpötilaa seurataan 3...4 tunnin välein ja mittaustulokset kirjataan betonointipöytäkirjaan. Näi-

den tuloksien perusteella pystytään laskemaan betonin lujuudenkehitystä ja tekemään vaadittavat säädöt lämmityskalustoon.

Lämpötilan valvonta suoritetaan valuun laitetuista muoviputkista tai raudoitukseen kiinnitetyistä termoelementtilangoista. Mittauspaikat suunnitellaan etukäteen siten, että paikkoja on reuna- ja keskialueilla tasaisesti. Etenkin tärkeitä mittauskohtia on seinien ja pilarien alaosat, tukialueet ja laattarakenteen kentät ja yläpinnat.

Nykyisin valvontaa helpottamaan on käyttöön tullut erilaisia dataloggereita, jotka mittaavat reaaliaikaisesti betonin lämpötilaa ja tallentavat tiedot suoraan tietokoneelle.

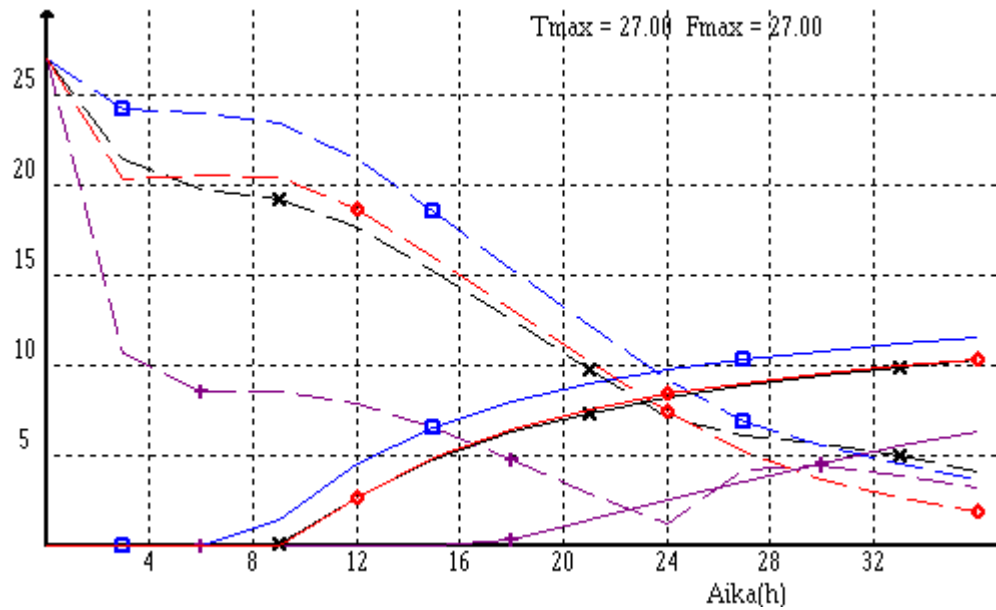
6.2 Kypsyysian laskenta

Pekka Vuorinen kirjoittaa kirjassaan Kestävä Kivitalo- projekti seuraavasti: ”Lujuudenkehitystä on totuttu arvostelemaan lineaarisen Nykäsen kypsyysastelaskelman ja kypsyysastekäyrien avulla. Menetelmä on varsin karkea ja vanhat kypsyysastekäyrät ovat jo auttamatta vanhentuneet. Nykyään betonille voidaan laskea mitattujen lämpötilojen ja ns. *Sadgroven* kaavan avulla kypsyysikä.” Mielestäni hän osuu juuri oikeaan arvostellessaan kaavan käyttöä jota ei ole päivitetty vastaamaan nykysäädöksiä täyttävän betonin eroa kolmenkymmenen vuoden takaiseen.

Sadgroven menetelmässä betonin kypsyysikä t_{20} lasketaan kaavalla

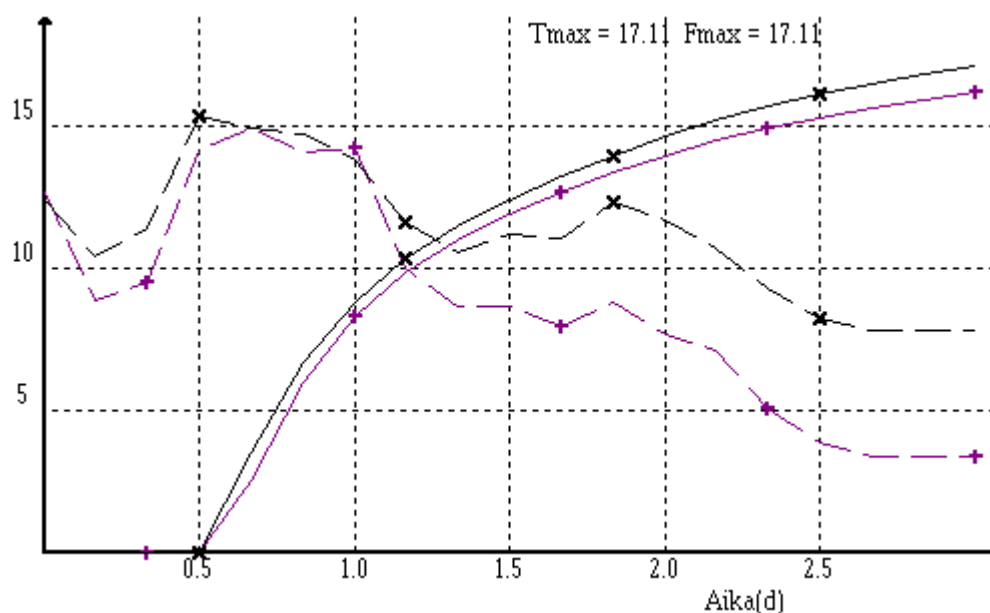
$$t_{20} = ((T + 16^{\circ}\text{C})/36^{\circ}\text{C})^2 t$$

T= lämpötila ($^{\circ}\text{C}$), jossa betoni on ajan t (d); nämä eri lämpötila- aikajaksot lasketaan yhteen./1s.25/



Kuva 11. Esimerkki BetoPlus- ohjelman ennakkolaskelmasta. Esimerkin olosuhteet: ulkolämpötila $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, tuuli 2 m/s , ei lämmitystä, 24h kuluttua valusta suojattu 10mm Lohjacell ja betonilaatu LA K30 #32 1-2 kuumabetoni $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Katkoviivat kuvaavat betonimassan lämpötilaa eri kohdista rakennetta ja kiinteät viivat kuvaavat lujuudenkehitystä./14/

Lämpötilan tarkkailu dataloggereilla on kasvattanut myös Rudus Oy Ab:n kehittämän BetoPlus- ohjelman (kuva 11) käyttöä työmailla. Ohjelmalla saadaan ennakkoon selvitettyä millainen betoniresepti sopii juuri valettaviin olosuhteisiin, miten lämpötila tulee rakenteessa jakautumaan ja miten lujuus tulee kehittymään. Syöttämällä dataloggereista saatavat lämpötilatiedot ohjelmaan, saadaan reaaliaikaisesti seurattua betonin lujuudenkehitystä ja siten tekemään mahdollisesti tarvittavat muutokset suojauksen ja lämmityksen osalta./10/



Kuva 12. Esimerkki BetoPlus- ohjelman työaikaisesta seurannasta./14/

Loggereiden sijoituksessa ja käytössä kannattaa hyödyntää betonitoimittajan asiantuntemusta, jotta lämpötilojen seuranta (kuva 12) tapahtuu rakenteen kriittisiltä pisteiltä.

Koska laadunvarmistuksen saralla laitteisto kehittyy jatkuvasti, on mielestäni huono vaihtoehto lähteä kirjoittamaan tarkka selostus tämän hetken laitteiston ja ohjelmistojen käytöstä, koska muutaman vuoden päästä tiedot tulisi päivittää, jotta ohje olisi taas käyttökelpoinen. Ohjeen kautta on mielestäni tärkeintä muistuttaa laadunvarmistuksen tärkeydestä, sekä kertoa seurattavista asioista, mutta detaljitietojen etsimisessä suosittelisin ottamaan yhteyttä betonitoimittajaan.

7 TYÖOHJEEN TEKEMINEN JA TESTAUS

7.1 Ohjeen tekeminen

Työohjeen ulkomuoto noudatteli samaa kaavaa yrityksen laatukansion muiden ohjeiden kanssa ja siten helpotti kyseistä työvaihetta.

Sisällön kanssa toimittiin seuraavanlaisessa järjestyksessä. Ensimmäiseksi paneuduin alan kirjallisuuteen käyden läpi kaiken käsiini saaman aiheeseen liittyvän materiaalin. Tämän jälkeen mietin oman työkokemukseni ja lukemani perusteella millainen olisi ideaali työohjeen sisältö. Tein ajatusteni perusteella kronologisesti työvaiheissa etenevän sisällysluettelon ohjeesta, jonka esittelin MVR- Yhtymä Oy:n projektipäällikkö Marko Konoselle. Esittelyn jälkeen kävimme läpi mitä sisällöstä kannattaisi vielä muuttaa, mitä lisätä ja mitä jättää pois. Keskustelun pohjalta hioin vielä sisällysluetteloja ja sen jälkeen aloin luomaan ohjeita otsikoiden alle.

Alan kirjallisuutta ja omaa työkokemustani hyödyntäen kirjoitin työohjeen ensimmäisen vedoksen valmiiksi. Keskustelin ohjeesta uudelleen Marko Konosen sekä opinnäytetyötäni valvovan yliopettajan Markku Laurikaisen kanssa. Sain palautteeksi lisätä ohjeeseen työmenetelmiä tarkemmin kuvaavia ohjeistuksia sekä lähteitä lisätietojen etsimistä helpottamaan.

Korjaukset tehtyinä ohje oli valmis lähtemään työtovereideni testattavaksi.

7.2 Ohjeen testaus

Lähetin työohjeen muutamalle MVR- Yhtymä Oy:n toimihenkilölle ja pyysin heitä käymään ohjeen läpi. Tämän jälkeen esitin heille seuraavat kysymykset:

1. Oliko ohjeen sisältö selkeä ja käytännöllinen?
2. Olisiko jokin muu järjestys esittää asiat työn kannalta käytännöllisempi?
3. Oliko ohjeen laajuus sopiva ja puuttuiko jokin olennainen asia?
4. Miten mielestäsi ohjetta pitäisi jatkossa kehittää?

Seuraavassa yhteenveto saamistani vastauksista:

1. Ohje havaittiin selkeäksi ja sisällöltään käytännönläheiseksi.
2. Asioiden esittämistä samassa järjestyksessä työvaiheiden etenemisen kanssa pidettiin hyvänä.
3. Sisällön laajuutta pidettiin sopivana ja liian laajana ohjetta ei tulisi luetua. Sisältöön kaivattiin lisäksi betonoinnin riskien laajempaa esille ottaa.

mista, ”rasti ruutuun” tyylistä lomaketta, jota voisi täyttää suunnittelun ja työn tekemisen yhteydessä sekä kypsyysien laskentakaavaa.

4. Ohjetta tulee kehittää käytännön kokemusten perusteella jokaisen talven jälkeen. Kun ohjetta säilytetään yrityksen serverillä, niin sen päivittäminen yksittäisten työnjohtajien toimesta olisi helppoa.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tavoitteena oli tehdä ohje työnjohdolle miten toimia betonoitaessa kylmällä säällä. Ohje on menossa jaettavaksi työmaille ja se liitetään osaksi yrityksen käytössä olevaa laatukansiota.

Työohje ei kerro yksityiskohtaisesti eri työvaiheista, vaan antaa aihetta ajattelemiseen ja suuntaviittoa tarkempiin tietolähteisiin. Tällä tavoin ohjetta on helpompi muovata toimivammaksi työmaakäyttöön, sieltä saamieni palautteiden mukaisesti.

Ohje ei opasta työnjohtajaa kädestä pitäen läpi talvibetonointityön, vaan toimii muistilistana työvaiheista, varoittaa mahdollisista riskeistä ja kertoo mistä löytää kyseisen työvaiheeseen liittyvää lisätietoa.

Jotta ohje on saatu pidettyä toimivan kokoisena, se ei sisällä rakennekohtaista suunnittelua, elementtirakentamista talvella eikä betonirakenteiden saneeraustöitä kylmän sään aikana.

Nyt kun työohje on tehty, voin todeta, että jos tekisin työn uudelleen. Jättäisin kirjallisuuden pienemmälle tarkastelulle ja panostaisin enemmän henkilöhaastatteluihin. Tämä sen vuoksi, että alan kirjallisuus on enimmäkseen tuotettu 80-luvulla ja kaikki sen jälkeen painettu on oikeastaan laitettu vanhat tiedot uusiin kansiin. Toisaalta, vaikka tiedot ovat vanhoja, niin suuri osa menetelmistä on käytössä edelleen. Henkilöhaastattelujen kautta pääsisin lähemmäs nykypäivän käytössä oleviin menetelmiin ja saisin paremman näkökulman työn toteutuksen ongelmista, mikä olisi tärkeä tieto ohjeen kannalta.

Jotta ohje pysyy elinvoimaisena ja hyödyllisenä, sitä tulisi päivittää palautteiden kautta toimivammaksi. Uusien toimintatapojen, laitteistojen ja määräyksien tullessa ne lisätään ohjeeseen ja mahdollisesti vanhentuneet tiedot poistetaan. Työohje päivitetään aina talvikauden jälkeen, siitä saatujen kokemusten perusteella.

LÄHTEET

/1/ Kestävä Kivitalo -projekti. 1999. Talvibetonointi. Lahti: Suomen Betonitieto Oy.

/2/ Suomen Betoniyhdistys r.y. 2001. Betonitekniikan Oppikirja by 201. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

/3/ Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. 1995. RIL 149- 1995 Betonityöohjeet. Vaasa: Ykkös- Offset Oy.

/4/ Suomen Rakennusteollisuusliitto r.y. ja Rakentajain Kustannus Oy. 1990. Talvirakentaminen. Tampere: Mäntän Kirjapaino Oy.

/5/ Suomen Betoniyhdistys r.y. 1984. Kurssijulkaisut by 126. Offsetpiste Ky.

/6/ Kilpi, E. & Sarja, A. 1981. Rakentajan talvibetonointiopas. Espoo: VTT Offsetpaineo.

/7/ Kilpi, E. 1982. Kuumen betonin käyttö rakennustyömaalla. Espoo: VTT Offsetpaineo.

/8/ Ilmatieteenlaitos [verkkodokumentti]. [viitattu: 30.3.2010]. Saatavissa: www.fmi.fi/tuotteet/kauppa_9.html

/9/ MVR- Yhtymä Oy:n tuotantojohtaja Rami Viitasaaren haastattelu

/10/ Rudus Oy Ab [verkkodokumentti]. [viitattu: 12.7.2011]. Saatavissa: www.rudus.fi/pienrakentajalle/ajankohtaista/2011/03/15/betoplus-ohjelmasta-apua-betonivalujen-suunnitteluun-ja-seurantaan

/11/ Talouselämä [verkkodokumentti]. [viitattu 19.10.2011]. Saatavissa: www.talouselama.fi/uutiset/yit+pietarin+asunnoissamme+ammoniakkia+quotnegatiivinen+talousvaikutusquot+iskee/a681546

/12/ Betonin sekä kuljetus- ja siirtokaluston hinnasto 1.1.2011. Rudus Oy.

/13/ Lämmityskaapeli, Rudus Oy Ab

/14/ Betonin lujuudenkehityksen hallinta, Rudus Oy Ab

Joonas Peltonen

Talvibetonointityöohje työmaakäyttöön

Talvibetonoinnin työohje

Tämä ohje on tarkoitettu työmaalle työnjohtajan apuvälineeksi valmistauduttaessa betonointiin kylmän sään aikana. Ohje ei sisällä tarkkoja menetelmäkuvauksia, vaan toimii enemmänkin muistilistana huomioon otettavista asioista. Ohje ei sisällä talviaikaan tehtäviä elementtistöitä.

1. Suunnittelussa huomioitavat asiat

- suunnittelun riskit

Virhe	Seuraus	Korjaus
Notkistimen käyttö	Betonin sitoutuminen hidastuu	Vältä notkistimen käyttöä
Sementin korvaaminen lentotuhkalla tai silikajauheella	Betonin sitoutuminen ja lujuudenkehitys hidastuu	Betonin lämmittäminen sekä lujuusluokan nosto

- lähtötiedot

- Selvitä kohteen koko, rakenteiden vahvuudet, rakenteelle asetetut vaatimukset, muottikalusto, liikunta- ja työsaumat ja työn suorittavat henkilöt.
- Kone- Ratu 07-3034

- sää tiedot

- Katso betonointipäivän sääennusteet. Niiden perusteella pystyt suunnittelemaan tarvittavan suojauksen ja lämmityksen muotteille ja raudoitukselle ennen valua ja betonille valun jälkeen.
- Ota suojauksessa huomioon mahdollinen kova tuuli varmistamalla suojauksen kiinnitys.
- Tarkista ettei suunnitellusta valupäivästä tule poissaolopäivää kovan pakkasen vuoksi.
- Suojaa muotit ja raudoitus valua edeltävänä päivänä, jos on mahdollisuus, että yöllä sataa.

- lämmitys- ja suojauskalusto

- Vertaile lämmitys ja suojausvaihtoehtoja, ja niiden soveltuvuutta työkohteeseen.
 - varmista lämmityskaluston yhteensopivuus muottikaluston kanssa.

- suuremmissa kohteissa pyydä tarjoukset runkovaiheen lämmityksestä.
 - Varaa tarvittava määrä lämmitys- ja suojauskalustoa. **Varaudu myös äkillisiin sääolosuhteiden muutoksiin ja konerikkoihin.**
 - Suunnittele betonin lämpötilan seurannan kalusto ja anturien sijainnit.
 - keskustele dataloggerien käytöstä betonitoimittajan kanssa.
- Kone- Ratu 07-3022, 3003, 07-3032

- betonin valinta

- Käy betoniaseman kanssa läpi mahdollisesti käytettävät vaihtoehdot. Vertaile vaihtoehtoja aikataulullisesti ja kustannuksellisesti. **Nopein vaihtoehto on myös usein kallein.**
- Eri betonilaatujen hyödyt löytyvät Betonitekniikan oppikirja by 201 (2004 painos) luvusta 8.4

- muottikiertoaika

- Mikä on suunniteltu muottikierto? → Milloin purkulujuus saavutetaan?
- Toimenpiteet nopeampaan muotinpurkuun:
 1. betonin mahdollisimman nopea siirto muottiin ilman turhia välivarastoita
 2. laatan nopea lämpösuojaus heti valun jälkeen
 3. pilari- ja seinämuottien lämmöneristys tai lisälämmittäminen
 4. pystyrakenteiden alaosien lujuudenkehityksen varmistaminen lämmityksellä ja lämpösuojauksella
 5. pystyrakenteiden yläosien lämpösuojaus
 6. vaakarakenteiden tuki-, reuna- ja kylmäsilta- alueiden lujuudenkehityksen varmistaminen lämmityksellä ja lämpösuojauksella
 7. betonin sitoutumista hidastavien lisäaineiden välttäminen
 8. alhaisissa lämpötiloissa hitaasti lujuutta kehittävien betonilaatujen käytön välttäminen, jos lämmityksellä ei pystytä nopeuttamaan sitoutumisen alkua ja lujuudenkehitystä

2. Betonoinnin aikana suoritettavat asiat

- betonoinnin riskit

Virhe	Seuraus	Korjaus
Runkoaineen puutteellinen lämmitys	Lujuuskato	Runkoaineen lämmitys ja suojaus
Liian pitkä varastointiaika	Muotinpurkulujuuden viivästyminen	Oikeanlainen aikataulutus ja riipeä työskentely

- muottien sulatus ja puhdistus

- Suojaa muotit ja raudoitus lumisateen varalta.
- Puhdista ja sulata muotit ennen valua.
- Sulata valettavaa aluetta vasten olevat kylmät rakenteet.
- Aloita muottien esilämmitys

- kaluston toimivuuden tarkastus

- Varmista, että työmaalta löytyy suunniteltu määrä lämmittimiä ja suoja-
peitteitä/ routamattoja.
- Testaa niiden toimivuus.

- lämpötila- anturien asennus valuun

- Huolehdi, että lämpötila- anturit tulevat asennettua niillä suunniteltuihin paikkoihin.

- työmaalla tapahtuvat virheet

Virhe	Seuraus	Korjaus
Jäätynyt rajapinta	Betonin jäätyminen	Esilämmitys
Huono muotin puhdistus	Rakenteeseen jää koloja	Muotin tarkka puhdistus
Väärin sijoitetut lämmittimet	Virheelliset seurantatiedot ja rakenteen halkeilu	Lämmittimien suunniteltu kohdistus ja sijoitus

- betonointi

- Talviolosuhteissa on tärkeää suorittaa betonointi nopeasti, koska sillä säästetään lämmityskuluissa ja päästään suojaamaan betoni aiemmin.

- suojaus ja lämmitys

- Betonin suojaus tulee aloittaa jo valun yhteydessä, jottei betoni pääse jäähtymään alle 0 °C ennen kuin se on saavuttanut 5MPa:n jäätymslujuuden.
- Varmista suojiensa pitkäikäisyys ja lämmityskaluston toiminta ja säädä tarvittaessa.

- betonointipöytäkirjan täyttö

- Täytä jokaisesta valusta oma pöytäkirja ja liitä sen yhteyteen betonin kuormakirjat.

3. Betonoinnin jälkeen suoritettavat asiat

- jälkihoito
 - Suorita tarvittavat jälkihoitotoimenpiteet.
- lämpötilan tarkkailu
 - Mittaa rakenteista lämpötilat 3...4h välein ja kirjaa tulokset taulukkoon.
 - Lämpötilamittauksien perusteella tee vaadittavat säädöt lämmityksen ja suojausten osalta, jotta betonin lujuudenkehitys pysyy suunnitellussa.
- purkulujuuden toteaminen
 - Laske mittauksien pohjalta, **että betoni on saavuttanut 60 % nimellislujuudestaan ennen tukirakenteen purkua.**
 - Tarvittaessa muottien ei- kantavat osat saa purkaa kun betoni on saavuttanut keskimäärin 5 MPa:n puristuslujuuden.
 - **Betonin lämpökäsittelyn tulee jatkua muotinpurunkin jälkeen.**

4. Lämmitysmenetelmät

- lämmitettävät muotit
 - sähkölämmitteiset suur- ja pöytämuotit ovat varmatoimisia, helppokäyttöisiä sekä eristyksen ansiosta energiataloudellisia
- kuumailmalämmitys
 - käytännöllisimpiä käytettäessä vaakarakenteiden lämmittämiseen
 - huonosta hyötysuhteesta johtuen suuri energiatarve
 - suojapeitteiden pitävyydellä onnistumisen ehto
- säteilylämmitys
 - helppo suunnattavuus, tasainen lämpö ja oikein käytettynä nopea ja edullinen
 - suuresta lämmöstä aiheutuva betonin halkeiluriski ja mahdollinen palo-vaara
- lankalämmitys
 - hyvän hyötysuhteen ansiosta lämmityksen energiatarve pieni
 - hyvä reuna- alueiden kohdelämmityksessä ja kylmiä rakenteita vasten valettaessa
 - suuri seurantarve ja työmäärä
 - Kone- Ratu 07-3031

- hörylämmitys
 - epäkäytännöllisyytensä ja epätaloudellisuutensa vuoksi huono vaihtoehto betonin lämmitysmenetelmäksi
 - soveltuu lumen ja jään sulattamiseen sekä kylmien pintojen lämmittämiseen
- lisätietoa eri lämmitysmenetelmistä Betonitekniikan oppikirja by 201 (2004 painos) luvusta 8.4.3