

Miika Kyllönen

Talvibetonointi

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Kevät 2018



KAJAANIN
AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tiivistelmä

Tekijä: Miika Kyllönen

Työn nimi: Talvibetonointi

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), rakennustekniikka

Asiasanat: Talvibetonointi, työohje, talvirakentaminen, kuivasirote

Tämä insinöörityö tehtiin JL-Rakentajat Oy:lle keväällä 2018. Työn tavoitteena oli koota tietoa talvibetonoinnista selkeästi yhteen paikkaan. Lisäksi laadittiin betonointisuunnitelma ja talvibetonointityöohje työnjohdon käytettäväksi työmaille.

Teoriaosuudessa käsiteltiin betonoinnin työmaatekniikkaa, betonin ominaisuuksia, betonilaatuja sekä lisäaineita. Lisäksi kerrottiin kuivasirotteen käytöstä talvella.

Teoriaosuuteen kerättiin tietoa painettujen lähteiden lisäksi internetlähteistä. Työssä on mietitty talvibetonoinnin ongelmakohtia ja mitä täytyy ottaa huomioon, jotta niiltä vältytään.

Talvella betonoitaessa on otettava useita tekijöitä huomioon. Merkittävimpiä asioita ovat sääolosuhteiden vaikutus betonointityöhön. Betonoinnin suojaus, lämmitys ja lämpötilan seuranta ovat tärkeitä niin kauan, kun rakenne on saavuttanut muottien purkulujuuden.

Talvibetonointiohje koettiin JL-Rakentajilla tarpeelliseksi työmaalla esimerkiksi harjoittelijoille sekä työnjohtajille, joilla on siitä vähemmän kokemusta. Ohje on myös yleispätevä muistilista kaikille työnjohtajille. Työn tulokset ja hyöty nähdään myöhemmin, kun ohjetta on käytetty. Niiden pohjalta voidaan tehdä uusia muutoksia työohjeeseen.

Abstract

Author(s): Miika Kyllönen

Title of the Publication: Winter Concreting

Degree Title: Bachelor of Engineering, Construction and Civil Engineering

Keywords: winter concreting, working plan, winter building, dry-shake hardener

This Bachelor's thesis was commissioned by JL-Rakentajat Oy in the spring of 2018. The main purpose of the thesis was to gather information about winter concreting to one place. In addition, a concreting plan and guide about winter concreting was drafted for foremen to use.

The theory part deals with construction techniques of concreting, concrete properties, different types of concrete, the use of chemical admixtures in concrete and the methods of using dry-shake hardener in the working site.

The material for the theory part was collected from books and different Internet sources. The thesis concentrates on discussing the problem points in winter concreting, as well as how to tackle them.

There are several issues to take into consideration in winter concreting, many of them related to the effects of weather on concreting work. The others deal with protecting and heating concrete areas and how to monitor the concrete temperature until the attainment of requisite strengths.

The company JL-Rakentajat commissioned a winter concreting guide, because they think it is helpful in the working site, especially for students and foremen who have little experience about winter concreting. The guide is usual for every foreman. The benefits of the guide can be seen later after it has been used in working sites. Based on the user experience, the guide can be modified.

Alkusanat

Tässä insinööriyössä käsitellään talvibetonoinnin teoriaa ja lopuksi laadittiin betonointisuunnitelma ja talvibetonointityöohje. Opinnäytetyön tilaajana toimi JL-Rakentajat Oy.

Tilaajan puolelta työtä ohjasivat ja valvoivat Harri Niemi, Jukka Keränen ja Juha Arola. Kajaanin ammattikorkeakoulusta ohjaajana toimi Pentti Kaarakainen.

Haluan kiittää tilaajaa työharjoittelusta ja siitä seuranneesta mielenkiintoisesta aiheesta opinnäytetyöhön. Lisäksi haluan kiittää kaikkia työnohjaajia panoksesta tähän työhön.

Miika Kyllönen

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	YLEISTÄ TALVIBETONOINNISTA	2
2.1	Betonityön suunnittelu	2
2.2	Sääseuranta ja sääolosuhteet	2
2.3	Betonityön suoritus.....	4
2.4	Työmenetelmät	5
2.4.1	Perustukset.....	6
2.4.2	Lattiat ja laatat	6
2.4.3	Pilarit	6
2.4.4	Palkki.....	7
2.4.5	Seinät	7
2.4.6	Holvit	9
2.4.7	Saumavalu.....	10
2.5	Työturvallisuus	11
2.6	Kalusto.....	12
2.7	Kuljetus ja siirrot.....	13
3	LÄMMITYS JA SUOJAUS.....	16
3.1	Lankalämmitys	16
3.2	Lämpömuotit	19
3.3	Puhallinlämmitys	20
3.4	Säteilylämmitys	21
3.5	Höyrylämmitys.....	22
3.6	Suojaaminen	23
4	BETONIN LUJUUDENKEHITYKSEN SEURANTA.....	25
5	BETONIN VALINTA	28
5.1	Lujuus- ja rasitusluokat.....	28
5.2	Nopeasti kovettuva betoni	30
5.3	Lujuusluokan korotus	31
5.4	Betonin lämpökäsittely	31
5.5	Kuumabetoni.....	33
5.6	Lisäaineet.....	33
5.7	Pakkasbetoni	34
5.8	Säänkestävä (pakkasenkestävä) betoni	34

6	TALVIBETONOINNIN YLEISIMMÄT VIRHEET.....	37
7	KUIVASIROTTEIDEN KÄYTTÖ TALVELLA.....	39
8	YHTEENVETO.....	42

LÄHTEET

LIITTEET

KÄSITELUETTELO

Betoni = Keinotekoinen kivi, joka muodostuu runkoaineesta, sementistä ja vedestä. Kiviainekset sitoutuvat massassa yhteen sementtiliiman avulla.

Sementti = Hydraulinen sideaine, joka kovettuu reagoidessaan veden kanssa.

Hydrataatio = Hydrataatio on veden ja sementin välillä syntyvä reaktio, jonka avulla veden ja sementin välinen seos kovettuu.

Kuivasirote = Betoninpintaan hierrettävä lisäaine, jolla lisätään betonin kulutuskestävyyttä.

Datalogger = Lämpötilamittari, joka mittaa ja tallentaa automaattisesti lämpötilan. Mittausväli voidaan asettaa 10 sekunnin ja 24 tunnin väliltä.

1 JOHDANTO

Suomessa tapahtuva betonointityö on melkein suurimmalta osaltaan talvibetonointia ja se on suuressa roolissa kylmien sääolosuhteiden vuoksi. Betonointityöstä löytyvä tieto kuten lujuudenkehitys, kalustoluettelot, betonityön suoritus ja betonin valinta on vanhaa ja hajautettu melko laajasti, joten oli luontevaa koota talvibetonoinnista tiivis paketti, jossa on käytetty monia lähteitä. Betonirakenteissa ongelmia on esiintynyt viime vuosina Suomessa, joten aihe on myös ajankohtainen.

Työn tilasi JL-Rakentajat Oy, joka on Mikkelistä kotoisin oleva rakennusliike. Sen toimialuetta ovat lähinnä Mikkeli, Kuopio, Joensuu ja Kajaani. JL-Rakentajat ovat vahvimmitaan asuntorakentamisessa, jossa tehdään paljon betonointityötä. Näin ollen eri betonointimenetelmien tutkiminen nähtiin tarpeelliseksi.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa JL-Rakentajat Oy:lle talvibetonoinnin laadunvarmistukseen teoriapaketti ja työohje, josta löytyvät mahdolliset vaihtoehdot laadukkaaseen talvibetonointiin. Tarkastelen betonointityötä työmaan näkökulmasta. Opinnäytetyössä esittelen yleistä tietoa talvibetonoinnista kuten kalustoa, betonityön suoritusta ja sään vaikutusta betonointiin. Työmenetelmät on eritelty eri valujen perusteella ja niihin on kerrottu sopivat vaihtoehdot betonin ja lämmityksen suhteen. Työhön on myös kerätty tietoa lämmitysvaihtoehdoista, betonin valinnan merkityksestä ja lämpötilan vaikutuksesta betonin lujuudenkehitykseen. Lisäksi olen kertonut betonoinnin mahdollisista virheistä sekä kertonut kuivasirotteen käytöstä talvella ja sen ongelmista.

JL-Rakentajat toivoi parannusta heidän betonointisuunnitelmaansa, joten laadin liitteeksi betonointisuunnitelman, jota voi käyttää hyödyksi hyvin myös liitteenä olevassa talvibetonointityöohjeessa. Betonointityöohjetta voi käyttää muistilistana. Pyrin jättämään talvibetonointityöohjeeseen myös omaa ajatusta ja soveltuvuutta. Yleensä parhaat työtavat ovat niin tapauskohtaisia, että suoraa ohjetta on vaikea antaa.

Liitteenä löytyvät myös kuvat JL-Rakentajien käyttämästä betonointipöytäkirjasta ja kypsyysikälasurista. Ohjeeseen olen liittänyt myös taulukon, joka on laadittu kypsyysikälasurin avulla. Taulukossa on esitetty karkeat arviot lujuudenkehityksestä eri keskilämpötiloissa.

2 YLEISTÄ TALVIBETONOINNISTA

2.1 Betonityön suunnittelu

Betonointia varten täytyy tehdä betonointityösuunnitelma ja sen merkitys korostuu entistään talvibetonoinnissa. Työmaan alkuvaiheessa laaditaan yleissuunnitelma, jota tarkennetaan olosuhteiden perusteella. Yleissuunnitelmassa tulee ottaa huomioon seuraavia asioita:

- vaadittava betonointikaluston määrä ja työryhmät
- muottikaluston määrä ja sen kierron suunnittelu
- selvittää muotinpurkulujuus ja niiden tuenta
- betonin suojaus, lämmitys ja lämpötilaseuranta
- miettiä kylmän sään vaikutukset työhön ja aikatauluun. [1, s. 162.]

Ennen muottityön aloitusta tulee olla laadittuna muottisuunnitelma. Muottisuunnitelma tukee koko työmaan muita suunnitelmia. Kalusto- ja konesuunnitelmat tulee miettiä muottityön ohelle, koska muottityöt voivat vaatia paljon esimerkiksi nostoja ja käsityökaluja. [2, 233-235]

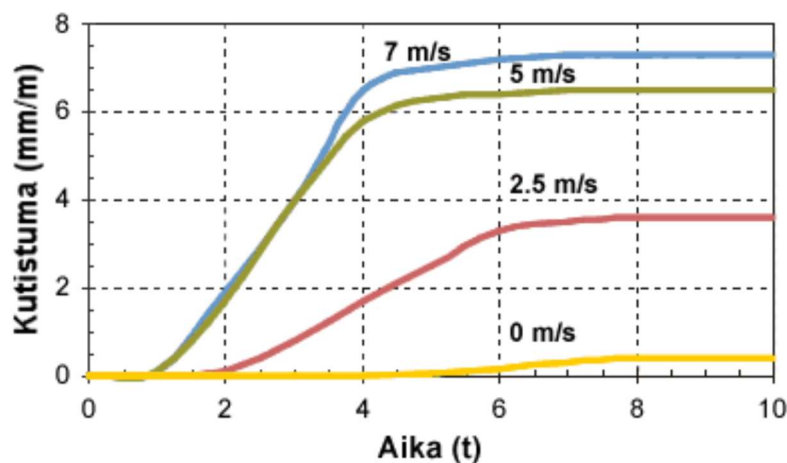
Talvirakentaminen tuo omia haasteita ja ongelmia mietittäväksi muottien säilytykseen ja käyttöön. Hidasteena muottityöhön tulee lumen ja jään poisto, pakkaspäivät, suojaus sekä lämmitys. Näitä asioita tulee miettiä jo muottisuunnitelmaa tehdessä, jotta mahdollisiin ongelmiin osataan varautua. [2, s. 233–235.]

2.2 Sääseuranta ja sääolosuhteet

Talvibetonointi ei suinkaan ole pelkästään keskitalvella tapahtuva työmenetelmä, vaan se lasketaan alkavaksi jo, kun lämpötila laskee vuorokaudessa alle +5 °C:seen. Etelä-Suomessa tämä kausi kestää noin seitsemän kuukautta, Pohjois-Suomessa noin yhdeksän kuukautta. On tärkeää tehdä betonointisuunnitelma ja tarvittavat hankinnat ajoissa. Jotta betonointisuunnitelmasta olisi hyötyä, on tiedettävä, mitä tehdään ongelmatilanteissa.

Haitat ovat ehkäistävissä, kun on otettu selvää vaihtoehtoisista järjestelyistä työn ajoitukseen, lämmitykselle, suojuuksille ja valaistukselle. [3, s. 28–29.]



Suomen talviolosuhteet ovat yleensä ankarat. Myrskyt, pakkaset sekä lumisade hidastavat rakentamista ja aiheuttavat yleensä keskeytyksiä. Säästä aiheutuvat haitat on kuitenkin ehkäistävissä hyvällä ennakkosuunnittelulla. Yleissuunnitelmassa on valun aikaisia sääoloja hyvä tutkia pitkän ajan säätilastoista. Valupäivän lämpötila ja sääolosuhteet ovat tarkastettava lähempänä ajankohtana, koska tilastotiedot voivat muuttua merkittävästi. Sääolosuhteiden tarkastelun perusteella voidaan tehdä yöllisiä suojuuksia ja lämmityksiä sekä voidaan arvioida tarvittavaa kalustoa. Betonin lujuudenkehityksen kannalta ensimmäinen vuorokausi on tärkeä, joten jo vuorokauden mittainen luotettava lämpötilaennuste antaa varmuutta betonointiin ja vähentää epäonnistumisen riskiä. On tärkeää huomioida, että on myös tarpeellista tehdä sääseurantaa betonoinnin aloitustöille ja lopetustöille. Lumen sataminen ennen valua tuottaa lisätöitä, jollei valettavia rakenteita ole suojattu lumisateelta. [6, s. 29–33.] Kuvassa 1 esitetään tuulen vaikutus varhaisvaiheen kutistumaan. Taulukossa 1 on esitetty, kuinka pakkasen purevuus nousee tuulen nopeuden kasvaessa.



Kuva 1. Tuulen vaikutus suojaamattoman betonirakenteen kutistumaan. [3, s. 33.]

Taulukko 1. Tuulen nopeuden ja ilman lämpötilan yhteisvaikutus pakkasen purevuuteen. [4, s.2.]

		Ilman lämpötila °C						
		0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
Tuulen nopeus m/s	2	-3	-8	-14	-20	-26	-32	-38
	4	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41
	7	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-45
	10	-7	-14	-20	-27	-34	-40	-47
	13	-8	-15	-22	-28	-35	-42	-48

-  Erittäin kylmä: Paleltumat todennäköisiä pitkähkön ulkona olon seurauksena.
-  Paleltumisvaara: Paleltumat mahdollisia 10 minuutin ulkona olon seurauksena.

Sääseuranta onnistuu nykyään monesta eri lähteestä. Ilmatieteen laitos tarjoaa Rakentajan sääpalvelun, joka on tehty rakentajien toiveitten perusteella. Sieltä saadaan hyödylliset ennusteet reiluksi viikoksi eteenpäin.

2.3 Betonityön suoritus

Betonointi kesällä ja talvella on perusteiltaan samanlaista. Talvi tuo muutamia lisähuomioita lämmityksen, kaluston ja muottien höyrytyksen suhteen. Työnjohdon valvonnan määrä korostuu, ja epäonnistumisen mahdollisuudet ovat suuremmat kuin kesällä. Talvibetonoinnin suunnittelua varten on laadittu talvibetonointityöohje, joka on liitteenä 2.

Kuten kesälläkin muotin täytöllä, massan tiivistyksellä ja jälkihoidolla on suuri merkitys betonointityön laadukkaaseen suorittamiseen. Muottien täyttö tulee tapahtua enintään 30...50 senttimetrin paksuisina kerroksina. Betoni on tiivistettävä jokaisen massakerroksen välissä. Tiivistys tapahtuu sauvatäryttimellä. Tiivistyksellä poistetaan betonimassasta ylimääräinen ilma. Siten betonin kiviainekset saadaan lähemmäksi toisiaan. Näin saadaan muotti täytettyä kokonaisvaltaisesti, eikä massakerrosten väliin jää ilmaa.

Riittävän tärytyksen merkitys on suuri, sillä estetään seuraavia asioita:

- betonin suuri huokoisuus
- alentunut lujuus
- ilmaontelot ja kivipesät
- epätasainen pinta
- selvästi heikentynyt tartunta terästen ja betonin välillä. [2, s. 322-323.]

Betonityön viimeinen vaihe eli jälkihoito on myös tärkeää. Jälkihoidolla pyritään siihen, että betoni saa suunnitellun loppulujuuden, vaatimukset täyttävän pinnan sekä muut laadun tai määräysten vaatimat asetukset. [2, s. 331.]

Jälkihoitoon kuuluvat seuraavat asiat.

- Valettu kohde suojataan sateelta, tuulelta, auringonpaisteelta, pakkaselta tai muulta rasitukselta.
- Betonia kastellaan tai estetään kosteuden haihtuminen.
- Huolehditaan oikeasta lämpötilasta. [2, s. 322–323.]

Talvella betonipintaa ei kastella sen jäätyksen vuoksi. Valupinta kastelun sijaan suojataan lämpösuojauksella, joka estää veden haihtumisen ja lämpötilan vähenemisen. Kesällä voidaan suojaamisella tarkoittaa esimerkiksi muovikalvon asentamista valun päälle tai jälkihoitoaineen levitystä. [2, s. 332–333.]

Huolellinen jälkihoito on edullista verrattuna siihen, että huonon jälkihoidon vuoksi betonirakenteet tulee purkaa, jos ne eivät ole päässeet suunniteltuun lujuuteen. Viime vuosien aikana olemme nähneet paljon betonirakenteita, jotka ovat sortuneet. Jälkihoidolla voimme varmistaa lujuudenkehityksen.

2.4 Työmenetelmät

Työmenetelmän valinnalla voidaan vaikuttaa suuresti betonointityön suorituksen laatuun. Täytyy miettiä tarkkaan, millaisia vaihtoehtoja on saatavilla eri kohteiden valuuun. Tulee

myös huomioida, että lämmityksiä on tehokasta yhdistellä. Esimerkiksi kantavissa rakenteissa on tehokasta käyttää helppokäyttöistä lankalämmitystä ja polttoainekäyttöistä lämmitysvaihtoehtoa, kun halutaan varmistua, että rakenteet eivät pääse jäätymään.

2.4.1 Perustukset

Perustusten tulee valaa kylmänä aikana viipymättä. Siihen on kaksi järkevää vaihtoehtoa, jolla valu voidaan tehdä laadukkaasti. Joko käyttämällä normaalia betonia ja lankalämmitystä tai käyttämällä kuumabetonia ja erittäin hyvää suojausta. Massiivisten perustusten omaa lämmönkehitystä tulee hyödyntää. [2, s. 391.] Tulee ottaa huomioon, että maa on sulanut ja roudaton. Jos näin ei ole, routa tulee sulattaa ennen betonointia. Jos kuumailmapuhallinlämmitystä käytetään lisälämmönlähteenä, tulee rakenne olla huputettu. [5, s. 10.]

2.4.2 Lattiat ja laatat

Valutila on suojattava tuulelta ja saatava se vedottomaksi, koska lattiavalut voivat olla massiivia ja niistä karkaa lämpö yläpuolelta todella helposti ja nopeasti. Vedottomuudella myös varmistetaan, että lämmityksestä tulee tasainen. Yläpuolen suojaus tulee tehdä heti betonoinnin päätyttyä. Lämmityksenä voidaan käyttää lankalämmitystä, kuumailmalämmitystä, kuumabetonia, lämmitettäviä pöytämuotteja ja säteilylämmitystä joka jää laatan alle sijoitettuun tilaan tai yläpuolelle. Kylmäsihtakohtia ja laatan reuna-alueita tulee miettiä sään mukaan erityiskohtaisesti tarvitsevatko ne lisälankalämmitystä. Muottikierron ollessa yli kolme vuorokautta voidaan käyttää normaalia betonia, ja kun muottikierto on alle kolme vuorokautta, käytetään nopeasti kovettuvaa betonia. [2, s. 394; 5, s. 10]

2.4.3 Pilarit

Pilareita valettaessa tulee rakenteelle olla välitön lämpösuojaus sen yläosalle. Pilarin lämmitykseen sopii parhaiten lankalämmitys koko rakenteelle. Lisälämmityksenä voidaan käyttää kuumailmapuhaltimia. Huputus tulee tehdä, jotta mahdollisimman paljon lämpöenergiaa saadaan käyttöön. Rakenteen alaosaan ja kylmäsihtakohtiin täytyy miettiä mahdollista lisälämmitystä esimerkiksi lisäämällä lämmityslankamäärää. Muottikierron ollessa

yli kaksi vuorokautta käytetään normaalisti kovettuvaa betonia. Jos muottikierto on alle kaksi vuorokautta, käytetään nopeasti kovettuvaa betonia. Lujuusluokan korotuksella voidaan osittain korvata nopeasti kovettuva betoni. [2, s. 391; 5, s. 10.]

2.4.4 Palkki

Talvella palkkia valettaessa muottikierron ollessa yli kolme vuorokautta voidaan käyttää normaalia betonia, muussa tapauksessa nopeasti kovettuvaa betonia. Jos käytetään palkkiin lämpökäsittelyä, on lujuusluokkaa nostettava. Peruspalkkeja valettaessa tulee ottaa huomioon, ettei routaantunutta maapohjaa saa käyttää alustana. Betonin lämpö voi sulattaa roudan. Tällöin maapinta painuu ja betonirakenteet siinä samalla. Palkin lämmitykseen sopii hyvin lankalämmitys. Kuitenkin myös kuumabetonia ja suojausta käyttämällä saadaan lujuudenkehitys alkamaan hyvin. [2, s. 391–392.]

2.4.5 Seinät

Seinävaluissa muottikierron ollessa yli kaksi vuorokautta voidaan käyttää normaalisti kovettuvaa betonia. Alle kahden vuorokauden muottikierrolla tulee käyttää nopeasti kovettuvaa betonia tai lujuusluokan korotusta. Kuumabetonin käyttöä suositellaan, jos seinävalussa ei käytetä suurmuotteja. Lämmitettävien suurmuottien käyttö on edullisinta, varsinkin jos valettavia kohteita on paljon. Yläreuna on aina peitettävä välittömästi lämpöhäviön minimoimiseksi. Kylmät reuna-alueet ja alaosat on syytä varmistaa lankalämmityksellä tai vähintään lämpösuojauksella. Myös yläosan mahdollinen lisälämmitys tulee ottaa huomioon, jos yläosaan on tulossa kuormituksia lähiaikoina, esimerkiksi ontelolaattoja. Kuvassa 2 ja 3 on lämmitettävä järjestelmämuotti, jossa on oma termostaattijärjestelmä. [2, 392-393; 5, s. 10.]



Kuva 2. Lämmitettävä järjestelmämuotti. (Kuva: Miika Kyllönen)



Kuva 3. Lämmitettävän järjestelmämuotin termostaatti. (Kuva: Miika Kyllönen)

2.4.6 Holvit

Holvin raudoituksen suojaus tulee olla kunnossa ennen betonointia lumisadeuhan ollessa suuri. Puhallinlämmitys ja lankalämmitys ovat hyvä yhdistelmä holvivaluun. Holvin muotin alle on saatava tuulettumaton ja vedoton tila, jotta puhallinlämmityksestä saadaan energiatehokasta. Muotit on esilämmitettävä ennen valua, jotta betonimassa ei jäähdy tarpeettomasti valun aikana. Kuvassa 4 on asennettu holviin lämmityskaapeli, lämmityslankaa on harvakseltaan, koska kuvassa 5 näkyy polttoainekäyttöinen lämmitin, joka on asennettu lämmittämään holvia alapuolelta. [5, s. 10.]



Kuva 4. Holvin lämmityskaapelit. (Kuva: Miika Kyllönen)



Kuva 5. Holvin alapuolen lämmitys polttoainekäyttöisellä lämmittimellä (Kuva: Miika Kylönen)

2.4.7 Saumavalu

Saumavalussa saumojen täytyy olla puhtaana lumesta ja jäädä. Saumojen lämmitykseen ei voida käyttää höyrysulatusta, sillä tiivistyvä vesi voi jäättyä syvälle saumaan. Jäätä ja lunta voidaan sulattaa kaasuliekillä, jos siellä ei ole sähköputkia. Muussa tapauksessa saumojen sulatus tapahtuu alhaalta päin, lämmittämällä yläpuolella olevaa laattakenttää [6, s. 7.] Lämmitys tulee aloittaa päivää ennen valua, jotta saumat ehtivät lämmetä sekä lumi ja sää sulaa. Lämmitystä tulee jatkaa noin 2...3 päivää, jotta lujuudenkehitys on riittävää. Saumojen puhdistukseen voidaan käyttää paineilmaa tai harjaa.

Saumojen valu voidaan toteuttaa joko käyttämällä lankalämmityskaapelia tai alapuolista lämmitystä ja käyttämällä normaalia betonia. Alapuolinen lämmitys voidaan toteuttaa kuivailmapuhalluksella tai säteilylämmityksellä. Ilman lämmitystä tapahtuvat saumavalut tu-

lee tehdä käyttämällä pakkasbetonia. Pakkasbetonia käyttäessä tulee miettiä, onko saumavalussa edullista käyttää kuivabetonia, joka sekoitetaan työmaalla, vai voiko saumoja valaa pumppaamalla tai nostoastialla. [6, s. 10-13.]

2.5 Työturvallisuus

Työturvallisuus on myös tietysti iso osa talvibetonointityötä, ja se on tärkeää ottaa huomioon betonointitöitä suunniteltaessa. Betonointityönjohtajan on perehdytettävä betonointityöryhmä, kerrottava mahdolliset vaarapaikat ja varmistuttava, että kaikilla on kokemusta betonointitöistä. Nostot nostoastialla on suunniteltava siten, ettei niitä tehdä henkilöiden yli. Betonin pumppaukseen liittyy myös useita työturvallisuusseikkoja joita ovat seuraavat:

- Betonipumpun pystyttämistä on aina täytettävä pystytyspöytäkirja.
- Tukijaloille riittävä maan kantavuus ja riittävä etäisyys kaivantoihin. (sortumisvaara)
- Suojaetäisyys sähkölinjoihin, vähintään 2–6 metriä.
- Oikeiden pumppauspaineiden käyttö sekä liitäntöjen tarkastus.
- Esteetön näköyhteys pumpun ohjaajalla ja betonityöryhmällä, jos ei näköyhteyttä puheyhteys radiopuhelimella.
- Vaara-alueiden rajaaminen lippusiimalla. [7, s 22–24.]

Betonin pumppauksen työturvallisuus on yhteistyötä betonipumppuauton kuljettajan ja työmaan vastaavan työnjohtajan kanssa. On suositeltavaa luoda yhteiset työturvallisuussuunnitelmat ennen ensimmäistä betonointia, jotta mahdollisilta työturvallisuusriskeiltä vältytään.

Talviaikaan tulee ottaa huomioon mahdolliset kaatumis- ja liukastumisriskit. On mietittävä, täytyykö työskentelyalueet suojata jäätymiseltä ja lumisateelta. Työturvallisuusriskien lisäksi lumi aiheuttaa materiaalin pilaantumista ja kalustohukkaa. Työkaluja ei saa jättää suojaamattomiksi ulos.

Tuore betoni on emäksinen aine, jonka pH-arvo on 12–13. Koskettaessaan paljasta ihoa se voi aiheuttaa ihon ärsytystä ja pahimmassa tapauksessa kemiallisen palovamman. Jos betonia joutuu paljaalle iholle tai silmiin, on se alue huuhdeltava heti puhtaalla vedellä.

Hankaaminen ja pidentynyt ihokosketus pahentavat mahdollista ihovauriota. Näin ollen betonoitaessa on aina käytettävä suojavarusteita, joihin kuuluvat ainakin:

- turvalasit tai suojavisiiri, jolla suojaudutaan mahdollista roiskeilta
- vedenpitäviä työkäsiineitä
- pitkälahkeiset housut ja työtakki
- kumisaappaat, joissa on varvasuojaus ja naulaanastumissuoja. [8.]

2.6 Kalusto

Talvibetonointi vaatii erityiskalustoa verrattuna tavalliseen betonointiin. Erityiskaluston määrä riippuu kohteen suuruudesta, muottikierrosta, käytettävästä betonilaadusta ja säästä. Kalusto on varattava hyvissä ajoin työmaalle, jotta mahdollisilta viivästyksiltä vältytään.

Talvibetonoinnissa tarvittavaa kalustoa ovat:

- lämmityslaitteet
- lämpötilanseurantalaitteet
- suojaus- ja lämmöneristysmateriaalit
- lumen ja jään poisto- ja sulatuslaitteet
- valaistukseen tarvittavat laitteet. [1, s. 169.]

Mietittäessä lämmityslaitteiden valintaa täytyy ottaa huomioon materiaalien yhteensopi-
vuus. Jos betonia lämmitetään erillisellä lämmityksellä, täytyy muotti valita siten, että läm-
mönjohtavuus on mahdollisimman hyvä. Muovi ja terämuotteja käytettäessä täytyy muotit
eristää. Lämpöeristettyjä muotteja tulisi käyttää kuumabetonimassan kanssa. [1, s. 169-
170.]

Suojapeitteitä tarvitaan moneen eri vaiheeseen. Ennen valua raudoitettu alue tulee suo-
jata lumelta ja jäältä. Myös valettu alue tulee suojata ja peittää. Jäähtymisen hidastami-
seen ja lämmityksen parhaaseen hyötykäyttöön tulee käyttää lämpöpeitteitä. Muottien
puhdistus lumesta tapahtuu helpoiten harjaa, kolaa, lapiota tai lehtipuhallinta käyttäen.

Raudoituksen asennuksen jälkeen puhdistukseen tulee käyttää paineilmaa ja kuumahöyryä. Kuumahöyryä tulee käyttää varoen, ettei se sulata esimerkiksi sähköputkia. [1, s. 170.]

Valaistuksen tärkeyttä ei tule unohtaa talvirakentamisessa. Aamut ja iltapäivät ovat hyvin pimeitä talvisaikaan ja pimeällä työskentely lisää työturvallisuusriskejä. Jokaiselle työryhmälle ja valupaikalle on järjestettävä riittävä valaistus vähintään kolmesta eri pisteestä, jotta työ voidaan suorittaa tehokkaasti.

2.7 Kuljetus ja siirrot

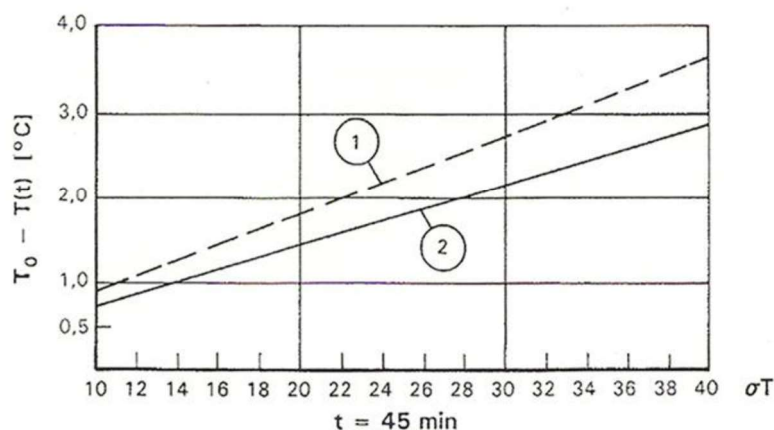
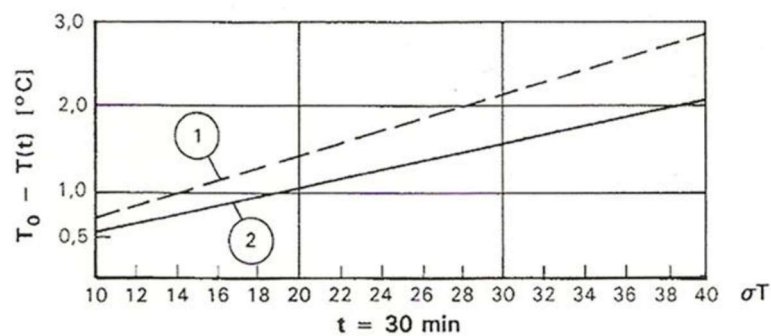
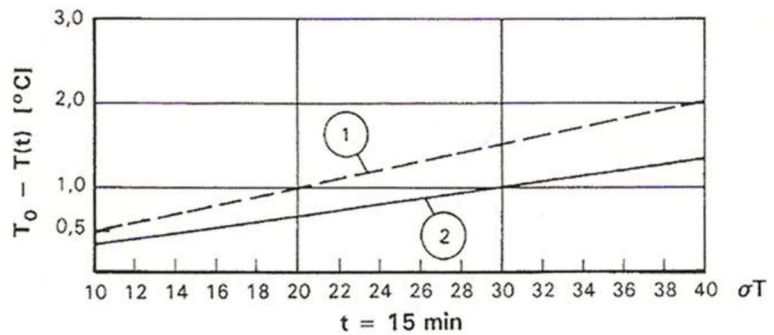
On järkevää, että talvibetonointia suorittaessa betonin kuljetus ja siirrot tapahtuvat nopeasti. Betonimassan turhaa jäähtymistä on vältettävä. Betonimassan tilaus ja toimitus on ajoitettava niin, että turhilta odotuksilta ja ruuhkalta vältytään. On myös otettava huomioon, että kovalla pakkasella (alle -15 °C) betonin toimittajat eivät yleensä käytä betonipumppua sen rikkoutumisvaaran vaaran takia. [1, s. 170.]

On myös otettava huomioon, missä betoniasema sijaitsee. Kohtuullisilla välimatkoilla ei ole suurta merkitystä betonimassan lämpötilaan kuljetuksen aikana. On kuitenkin otettava huomioon, että betonoinnin aikana betonimassan jäähtyminen on paljon suurempaa, varsinkin jos massaa siirrellään vastaanottoastioille. Näin ollen on parempi varmistua betonimassan lähtölämpötilasta arvioimalla sen vaadittava lämpötila kuvan 6 monogrammien avulla. [2, s. 367–369.] Betonoinnin päätyttyä massan alhaisin lämpötila saa olla $+5\text{ °C}$ betoninormien mukaan. [1, s. 309.]

Betonin siirtoon voidaan käyttää useita menetelmiä ja laitteita. Siihen vaikuttaa suuresti valukohteen sijainti ja koko. Valukourulla betoni voidaan laskea suoraan maanpinnassa tai sen alapuolella olevaan muottiin. Mekaanisen kourun ulottuvuus on 2–4.5 metriä, hydraulinen 4–7 metriä. Hihnakuljetinta voidaan käyttää, kun betoni on saatava siirrettyä silville, ylös tai alas esimerkiksi toiseen kerrokseen ja betoniautoa ei saada ajettua valukohteen lähelle. Ulottuvuudet hihnakuljettimella ovat vaakasuunnassa 11–17 metriä ja pystysuunnassa 16–21 metriä. Pumpun ulottuvuus, joka on 2–6 m^3 sekoitussäiliö auton yhteydessä, on vaakasuunnassa 11–17 metriä ja pystysuunnassa 16–21 metriä. Valuteho on noin 10–40 m^3/h . [2, s. 310.]

Betonoinnin päätyttyä massan alhaisin lämpötila saa olla $+5\text{ °C}$ betoninormien mukaan [1, s. 309.]. Jos massan siirtoon käytetään vastaanottosäiliöitä tai valuun nostoastiavalua,

tulee laitteet, joihin massa siirretään, olla lämmitetty vähintään $+0\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen esimerkiksi höyrylaitteiston avulla, jotta massan lämpöhäviöitä vältetään. Korkeissa muoteissa tai korkealla tapahtuvissa valuissa, joissa käytetään valusuppilaa, tulee betonimassan vapaa pudotus pitää pienenä, korkeintaan 1–1,5 metriä, jotta betoni pysyy tasalaatuisena eikä pudotuksen aiheuttama voima vaurioita raudoitusta. Myös massa tulee pudottaa pystysuorassa muottiin ja korkeissa muoteissa massan täytyy pudottaa muotin pohjalle eikä muotin seinämille. [1, s. 318.]



- 1 on kuljetus keskinopeudella 50 km/h
 2 on kuljetus keskinopeudella 30 km/h
 $T_0 - T(t)$ on keskilämpötilan aleneminen [$^{\circ}\text{C}$]
 σT on massan ja ulkoilman lämpötilan erotus [$^{\circ}\text{C}$]
 t on kuljetusaika [min]

Kuva 6. Betonimassan jäähtyminen kuljetuksessa [2, s. 368].

Kuten kuvasta 6 voidaan tutkia, että jos matka valupaikalle ajaminen kestää 30 minuuttia ja se ajetaan 50 km/h keskinopeudella ja ulkolämpötilan ja massan ero on 20°C, se viilenee 1,5 °C. Näin ollen, jos betoni tilataan 20 celsiusasteina, se on työmaalla 18,5 °C.

3 LÄMMITYS JA SUOJAUS

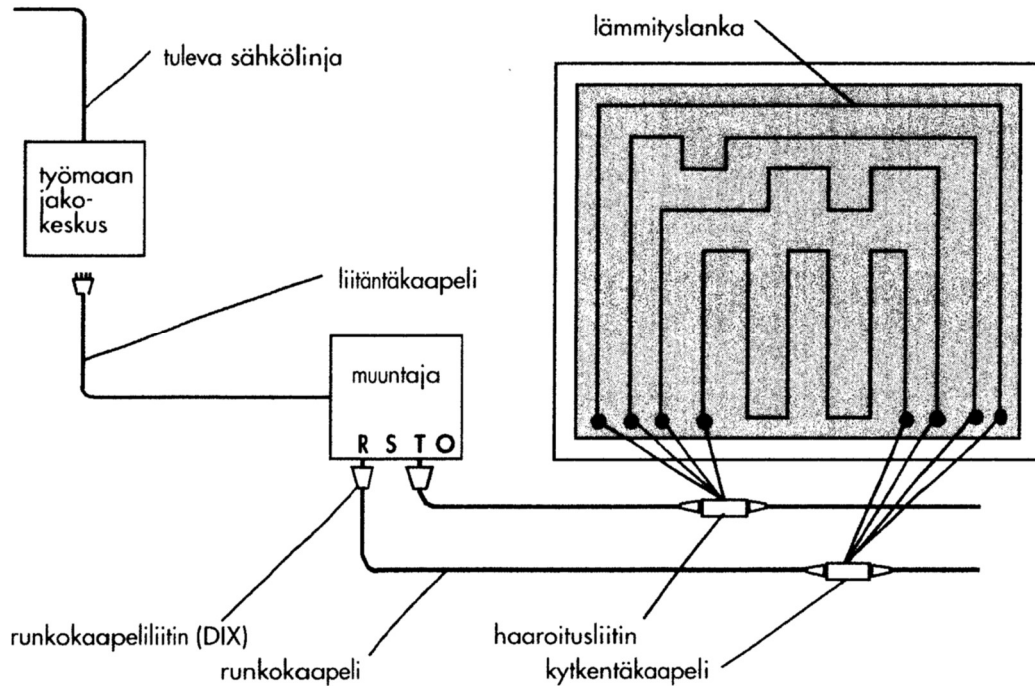
Oikeanlaisella lämmityksellä ja suojauksella saadaan paras hyöty irti lujuudenkehityksen kannalta. On tärkeää muistaa, että yli 60 °C lämpötiloja ei suositella, se voi häiritä sementin normaalia hydrataatiota. Talvirakentamisessa on yleistä lämmittää betonia, jolloin lämmityksen ja eristeiden poistamisen jälkeen betoni jäähtyy. Liian nopea jäähtyminen aiheuttaa betonin pinnan halkeilua. Enintään 300 mm paksu rakenne, jolle on asetettu säilyvyysvaatimus, saa jäähtyä 24 tunnin aikana enintään 30 °C, 500 mm paksuinen rakenne saa jäähtyä 24 tunnin aikana enintään 20 °C ja kaksi metriä paksussa rakenteessa saa jäähtyä enintään 10 °C 24 tunnin aikana. [9, s. 127.]

Betonivalua voidaan lämmittää monella eri tavalla. Lämmitys voidaan järjestää lämmittämällä betonivalun ympäröivää ilmaa, lämmittämällä muotteja tai lämmittämällä suoraan betonimassaa. Lämmönlähteenä voidaan käyttää öljyä, sähköä tai kaasua. Lämmönsiirtymisen välineenä voidaan käyttää vastuslankoja, infrapunasäteilyä, ilmaa tai höyryä. [2, s. 379.]

Käytettävät lämmitysmuodot tulisi olla tiedossa jo ennen työmaan perustamista, jotta voidaan esimerkiksi sähkölämmitystä käyttäessä työmaalla suunnitella tarpeeksi iso sähköliittymä. Kaasun ja öljyn varastoimisille on omat viranomaismääräykset, jotka tulee selvittää, jos kyseisiä lämmitysmuotoja tullaan käyttämään. [2, s. 379.]

3.1 Lankalämmitys

Lankalämmitys asennetaan muottien raudoituksen yhteydessä. Lämmitettävät vastuslankasilmukat jäävät betonimassan sisään. Verkkovirta tuodaan työmaalla sähkölämmitysmuuntajaan, joka muuntaa verkkojännitteen suojajännitteeksi, joka on 9–42 volttia. Suojajännitteen suuruutta muuntamalla mahdollistetaan lämmitystehon säätö. Lankojen asennusväli on tavallisesti 200–300 mm, kuitenkin enintään 500 mm. Risteyskohdissa ja kylmissä rajakohdissa asennusväli on 100 mm. Lankalämmityksen yleinen energiantarve on 50–100 kWh per betonikuutiometri. [1, s. 183.]. Kuvassa 7 on esitetty periaatekaavio lankalämmityslaitteistosta.



Kuva 7. Lankalämmityslaitteisto. [10, s. 3.]

Lankalämmitysmenetelmä sopii hyvin esimerkiksi anturoiden ja muiden perustusvaiheessa valettavien rakenteiden lämmitykseen, ulokkeiden, pilareiden, elementtisaumojen ja lähtöpintojen lämmitykseen, kalliota ja maata vasten valettaviin rakenteisiin sekä niiden reuna-alueiden lämmitykseen. [1, s. 183; 2, s. 382.]

Lankalämmitystä suunniteltaessa tulee ottaa huomioon valun riskikohdat, joissa lämpötila on alimmillaan. Esimerkkinä seinämuottien alareunat, jotka ovat valmista kylmää betonia vasten ja lattiavalujen reuna-alueet.

Suunnittelu ja laskenta tulee suunnitella siten, että tarvittava lämmitysvirta on se virran määrä, mikä tarvitaan sitoutumislämmön lisäksi korvaamaan pintojen kautta häviävät lämmöt ja tarvittaessa nostaa betonin lämpötilaa. Laskelmissa tulee ottaa huomioon varmuuskerroin olosuhteiden muutoksiin ja työmenetelmän epäonnistumiseen.

Lankalämmityksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon.

- Ulkolämpötilaksi otetaan alhaisin lämpötila, joka arvioidaan betonoinnin aikana olevan.
- betonimassan lämpötilaksi otetaan 5 astetta pienempi kuin oletetaan betonimassan olevan.
- Lankateho on enintään 100 W/m.
- Lämpötilan nousu saa olla enintään 5 °C / h. [2, s. 382; 10, s. 3]

Vanhanaikaista muuntajalämmitystä kuitenkin nykyään käytetään vähemmän sen vaativan asennuksen takia. Nykyään käytössä suurimmilla osilla työmaista on käytössä suoraan verkkovirtaan kytkettäviä betoninkovetuskaapeleita, joissa ei tarvitse muuntajaa ja sisältää itsessään termostaatin.

Markkinoilla on betoninkovetuskaapeleita, jotka voidaan kytkeä suoraan verkkovirtaan 230 V. Ne ovat paljon helppokäyttöisempiä kuin muuntajan avulla kytkettävä lankalämmitys. Nämä kovetuskaapelit ovat nykyään suosiossa niiden helppokäyttöisyyden takia, ne sisältävät valmiiksi termostaatit. Kovetuskaapeleiden pituus vaihtelee aina 3,3 metristä 85 metriin. On olemassa myös mattomallisia kovetuskaapeleita, joilla voidaan nopeuttaa suurten valukenttien kaapeleiden asennusta. [11, s. 9.] Normaalin kaapelin asennusväli on 100-250 mm riippuen lämmitystehon tarpeesta. Yleinen ohje on, että lämmityskaapelin väli saa olla enintään kaksikertaisesti rakenteen paksuuden verran. Pienin mahdollinen taivutussäde on 35 mm ja minimilämmityskaapeliväli 70 mm. [3, s. 46.]

BET-Kaapelin erikoissivulta löytyy kaapelilaskuri, jolla voidaan nopeasti laskea kovetuskaapelin tarve eri valuille. Voidaan valita kohteeseen pilarivalu tai lattiavalu ja laskuri laskee suuntaa antavan menekin. Todellinen kaapelin menekki riippuu hyvin paljon kohteesta ja ympäristöstä. Helppokäyttöinen betonin kovetuskaapeli on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Betonin kovetuskaapeli. [12].

3.2 Lämpömuotit

Muottilämmityksessä käytetään lämpöeristettyjä suurmuotteja. Muottipinnan ja lämmöneristeen väliin on asennettu lämpövastuksia, jotka lämmittävät muottipinnan läpi betonia. Lämpömuotteja käytetään pöytä- ja seinämuoteissa. Lämpömuoteissa on termostaatit, joilla ohjataan pintalämpötilaa ja kello-ohjaus, jolla voidaan säädellä lämmityksen aikaa. Muottilämmitys kannattaa kytkeä päälle jo ennen betonointia, jotta muotissa oleva jää ja lumi on sulanut sekä muotit ovat lämpimät. Yliämmitystä tulee välttää, jotta betonin nopea kovettuminen ei aiheuta pinnan hilseilyä muottien purkuvaiheessa. Lämpömuotteista saadaan suurin hyöty, kun valuja on paljon ja muottikierto on nopea [6, s. 49.]

Lämpömuottien etuja:

- helppokäyttöinen, vähäinen työmenekki betoniryhmälle
- varmatoiminen, ei tarvitse pelätä lämmityslankojen katkeamista
- mahdollistaa nopean muottikierron. [5, s. 11.]

Huonoja puolia:

- reuna-alueiden ja seinien alaosien lisälämmitystarve
- suuret kustannukset
- soveltuu ainoastaan suuriin valuihin. [5, s. 11.]

Lämmitettävien suurmuottien käyttö on vähentymässä, kun markkinoille ovat tulleet lämmitettävät järjestelmämuotit. Järjestelmämuotteja voidaan muokata paljon vapaammin kuin suurmuotteja ja järjestelmämuottien avulla voidaan tehdä kaarevia rakenteita. Suurmuottien paras käyttötarkoitus on siihen, kun toistuvuutta on paljon, esimerkiksi suorat seinärakenteet, jotka toistuvat samoilla mitoilla.

3.3 Puhallinlämmitys

Kuumailmalämmitys perustuu siihen, että lämmitetään ympärillä olevaa ilmaa, joka vuorostaan lämmittää betonia ja muottia. Lämmityksen taloudellisuuden saavuttaminen edellyttää ympäröivän tilan tiivistämisen ja eristämisen. Ilman lämmitys tapahtuu joko öljy-, kaasu-, sähkö- tai kuumavesikäyttöisillä kuumailmapuhaltimilla. Varmistus on oleellista myös puhallinlämmityksessä, kaksi pientä lämmitintä on parempi kuin yksi iso. Jos toinen rikkoutuu lämmityksen aikana, ei valettava kohde jää kokonaan kylmäksi. [3, s. 43.]

Kuumailmalämmitys sopii hyvin vaakarakenteiden, etenkin holvirakenteiden lämmitykseen. Hyvin suunniteltu ja eristetty puhallinlämmitys voi riittää holvirakenteen lämmitykseen. Vaikka holvirakenteen alapuolinen tila olisi hyvin suljettu ja vedoton, tulee miettiä reuna-alueiden lisälämmitystä esimerkiksi lankalämmityksen avulla. [5, s. 14.]

Puhallinlämmitys on vaivaton järjestää, niiden siirtäminen on nopeaa ja ne ovat varsin huoltovapaita. Puhallinlämmityksen etuina voidaan pitää, että se lämmittää vastavaletun kohteen lisäksi myös aiemmin valettuja alapuolisia rakenteita. Haittapuolina voidaan lukea sen verrattain huono hyötysuhde, joka on noin 30 %. Puhallinlämmitys vaatii myös pitkää lämmitysaikaa, noin 3...4 vuorokautta. Taulukossa 2 on annettu karkea arvio tehon tarpeesta. [5, s. 14–15.]

Puhallinlämmitys on kätevää yhdistää muiden lämmitysten yhteyteen. Esimerkiksi holvi-
valussa asennetaan holviin lankalämmitys, jonka päälle heti valun jälkeen laitetaan rou-
tamatto. Holvin alapuolelle asennetaan puhallinlämmitys, joka auttaa lankalämmityksen

jättämiä kylmiä kohtia. Puhallinlämmityksen ylläpitäminen on hyvin kallista, kun mietitään esimerkiksi polttoaineella toimivaa puhallinlämmitystä. Lämmittimien vuokrat voivat olla myös todella kalliita.

Taulukko 2. Puhallinlämmityksen tehontarpeen karkea arvio. [2, s. 381.]

Laatan paksuus	Valettavan laatan pinta-ala			
	50 m ²	100 m ²	200 m ²	300 m ²
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

3.4 Säteilylämmitys

Säteilylämmittimien avulla ei lämmitetä ilmaa, vaan säteilyenergia kohdatessaan kiinteää ainetta, kuten betonia, muuttuu lämpöenergiaksi. Tästä voidaan todeta, että hyötysuhteeltaan säteilylämmitys on edullisempaa kuin kuumailmalämmitys. [2, s. 385; 2, s. 12.]

Säteilylämmitys on tehokas lämmitysmenetelmä. Sillä saadaan aikaan nopeaa lämmitystä ja korkeita lämpötiloja. Parhaan lämmitystehon irti saamiseksi on huolehdittava, että lämmitettävä tila on suojattu tuulelta ja vedolta. Toisin kuin kuumailmalämmityksessä, muotin materiaalilla on myös vaikutusta lämmitystehoon. Puumuotit eivät johda säteilyn lämmityksestä niin paljon lämpöenergiaa kuin teräsmuotit. Säteilylämmityksen teho tulee olla säädettävissä, jotta vältytään liian suurelta tehon käytöltä, joka aiheuttaa betonin halkeilua. Lämmitystä nostetaan asteittain ja lämpötilaa tulee seurata lähes jatkuvasti. Tasaisen lämmityksen saamiseksi ja laiterikkojen vuoksi on suositeltavaa käyttää useampaa pienitehoista laitetta kuin yhtä suurta. [5, s. 12.]

Säteilylämmityksen etuja ovat:

- tehokas lämmitys, varsinkin jos muotin lämmönjohtokyky on suuri
- helppo suunnattavuus
- lämmitys jakautuu tasaisesti, ei tarvetta välttämättä reuna-alueiden lämmitykseen
- laitteiden helppo kuljetus ja siirto. [5, s. 12.]

Haittapuolina ovat:

- Liiallisessa teholla tai suurilla lämpötilaeroilla voidaan saada aikaan betonin halkeilua.
- Muotit vaativat hyvää lämmönjohtavuutta.
- Ei sovellu ollenkaan puumuoteille eikä lämmöneristetyille muoteille. [5, s. 12.]

Säteilylämmityksen hyötysuhde on paljon parempi kuin esimerkiksi puhallinlämmityksessä, kun turhaa ilmaa ei lämmitetä. Säteilylämmitys lämmittää vain pelkkää kohdetta, joten muiden rakenteiden jälkilämmitystä ei voida hyödyntää. Tätä tulee miettiä, onko kustannustehokkaampaa käyttää puhallinlämmitystä, jos muutkin alueet tarvitsevat jälkilämmitystä lujuudenkehitykseen.

3.5 Höyrylämmitys

Höyrylämmitystä ei käytetä betonivalujen lämmitykseen sen huonon energiatalouden ja ylimääräisen kosteuden syntymisen vuoksi, mutta sitä voidaan käyttää lumen ja jään sulatukseen muoteista, valupinnoista ja raudoituksesta. Höyryä voidaan käyttää myös roudan sulatukseen. [2, s. 389.]

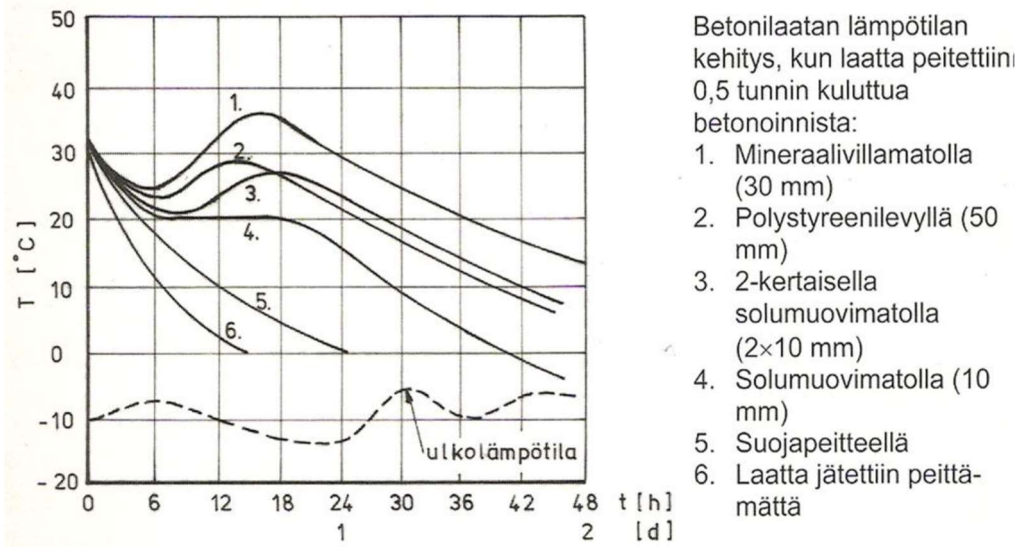
3.6 Suojaaminen

Betonimassan lisälämmitystarvetta ja jäähtymistä voidaan pienentää huomattavasti suojaamalla valettu kohde heti valun loputtua. Suojauksella saadaan tasattua lämpötilaeroja ja estettyä kosteuden haihtumista valettavalta alueelta. Lämpösuojausta voidaan käyttää

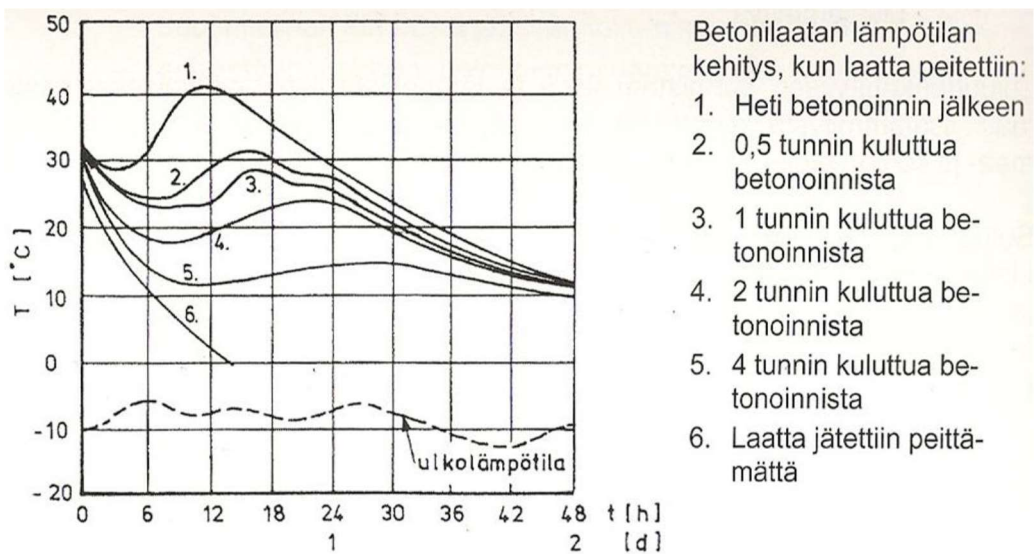
- valun ulkopinnalla
- muottienpinnoilla
- eristämällä valun sisäpuolelle jäävä tila. [1, s. 175.]

Ehdottoman tärkeäksi talvibetonoinnissa muodostuu valun yläpinnan suojaus. Yläpinnan suojaus tulee tapahtua välittömästi, kun valu on saatu valmiiksi, jotta betonin lämpötila ei ehdi laskea. Jos betonin suojauksessa viivytellään, sen kovettumislämpötilan saavuttaminen kestää kauemman aikaa, mikä taas vaikuttaa muottikiertoon ja tuleviin työvaiheisiin. Tärkeää on myös asentaa yläpinnan lämpösuojaus kiinni betonipintaan, ettei ilma pääsisi kiertämään valun ja lämpösuojausmaton välillä. Tulee kuitenkin huomioida, että ei vahingoiteta tuoretta betonipintaa ja on tarkistettava suojausten pysyvyys paikoillaan esimerkiksi kovalla tuulella.

Valun suojauksessa voidaan käyttää esimerkiksi mineraalivillamattoa, ESP-levyä, solumuovimattoa tai suojapeitteitä. [2, s. 370.] Kuvassa 9 on esitetty, että pienelläkin suojauksella on suuri vaikutus betonirakenteen jäähtymiseen. Suurena vaikutuksena on myös estää kosteuden haihtumista. Koska talvella jälkihoitona ei voida kastella vedellä betoni-valua, suojaamisen merkitys korostuu. Kuvassa 10 on esitetty lämpösuojauksen ajankohdan merkitystä lämpötilaan. Kuten myös kuvassa 1 käsiteltiin tuulen vaikutusta kutistumaan, voidaan suojauksella myös pienentää tätä. [1, s. 176.]



Kuva 9. Lämpösuojauksen merkitys betonin lämpötilaan. [2, s. 370.]



Kuva 10. Betonin suojausajankohdan merkitys betonin lämpötilaan [2, s. 378.]

4 BETONIN LUJUUDENKEHITYKSEN SEURANTA

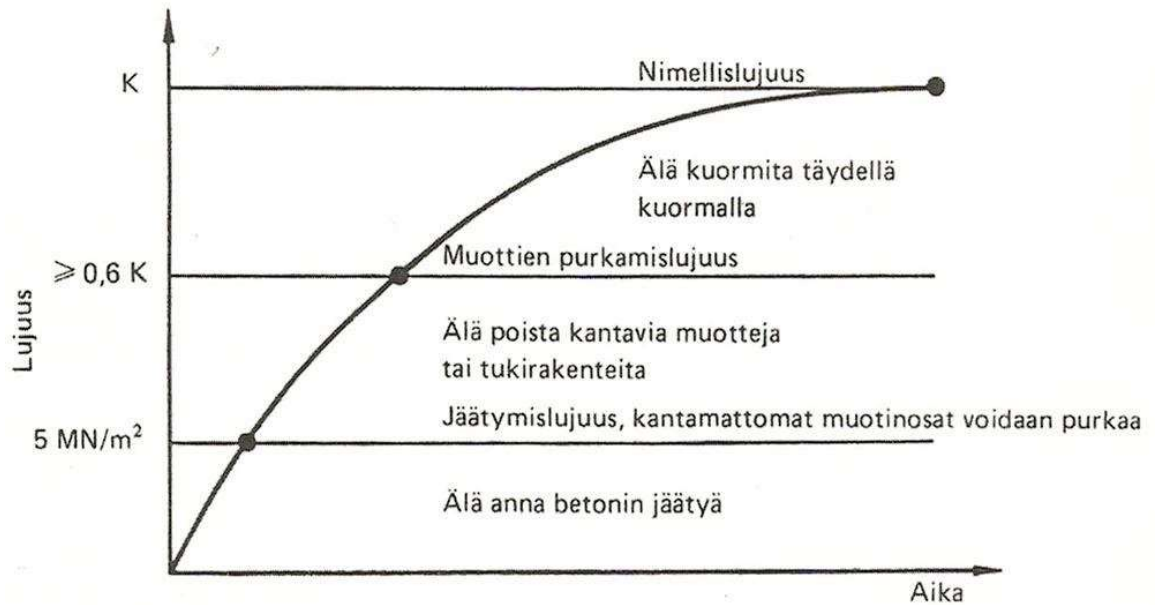
Betonin lujuuden kehitykseen sementtimäärän lisäksi vaikuttavin tekijä on lämpötila. Lujuudenkehitys hidastuu rajusti lämpötilan laskiessa alle 0 ° C ja lämpötilan laskiessa – 10...-15 ° C:seen se pysähtyy kokonaan. Taulukossa 3 on havainnollistettu lämpötilojen vaikutusta lujuudenkehitykseen. [2, s. 347; 3, s. 24.]

Taulukko 3. Lämpötilojen vaikutus lujuudenkehitykseen [3, s. 24.]

Lämpötila	Huomioita
> +60 °C	Seurauksena lujuuskatoa ja säilyvyyden heikentyminen. Lujuuskadon määrä selvitetään ja otetaan huomioon.
+50...60 °C	Yhden vuorokauden lujuudet nousevat, mutta valmiin betonin lujuusominaisuudet saattavat kärsiä (lujuuskato).
+30...40 °C	Betonimassan suositeltava kovettumislämpötila.
+20 °C	Betonin tavoitelujuus saavutetaan n. 28 vrk:n kuluttua.
+5 °C	Betonilla ei ole havaittavaa lujuutta vielä yhden vuorokauden iässä.
< 0 °C	Betonin lämpötilan laskiessa alle 0 °C:n lujuudenkehitys käytännössä lakkaa. Betonissa oleva vesi alkaa jäätyä.
-10...-15 °C	Lujuudenkehitys pysähtyy käytännössä katsoen kokonaan. Jäätäneellä betonilla saattaa olla valelujuutta.

Betonointiin liittyy kolme tärkeää lujuudentarkistushetkeä, jäätymislajuuden saavuttaminen, muottien purkulajuuden saavuttaminen ja nimellislajuus. Näitä tarkistushetkiä on esitetty kuvassa 4. Betonin jäätymislajuus on kaikilla lujuusluokilla ohjeiden mukaan 5 MN/m². Silloin betoni kestää jäätymisen vaurioitumatta ja aiheuttamatta lujuuskatoa. Tällöin muottien kantamattomat osat, kuten palkin sivujen, seinien sekä pilareiden muotit voidaan poistaa. Myös lämmitys voidaan poistaa, jos työvaihe sitä vaatii. [2, s. 347; 3, s. 17.]

Kantavat muottiosat voidaan purkaa, kun on saavutettu 60 % nimellislajuudesta, ellei suunnitelmissa ole toisin mainittu. Jos betonin laatuluokkaa on korotettu nopeamman lujuudenkehityksen saavuttamiseksi, muottien purkulajuutta ei tarvitse muuttaa alkuperäisestä. Jälkijännitetyjen muottien purkulajuus on yleensä 80 % nimellislajuudesta, eikä niitä saa purkaa ennen hyväksytyä jännitystyötä. Nimellislajuus on suunnittelijan määräämä betonin lujuusluokka, jonka jälkeen rakennetta voidaan alkaa kuormittaa suunnitellulla kuormalla. Nimellislajuus tulisi saavuttaa viipymättä, jotta väliaikaiselta tukemiselta vältytään. Kuvassa 11 on esitetty lujuudenkehityksen vaiheet. [2, s. 348; 3, s. 18.]



Kuva 11. Betonin lujuudenkehityksen vaiheet. [2. s. 347.]

Betonin lujuuden kehitystä seurataan lämpötilojen avulla. Lämpötilat mitataan valetusta betonirakenteesta lämpömittareilla, joko betoniin asennetuista putkista tai elektronisella mittarilla betoniin asennettujen anturoiden avulla. Mittaus tulee suorittaa heti betonoinnin jälkeen ja 3–4 tunnin välein betonoinnin päätyttyä. Mitatut lämpötilat merkitään betonointipöytäkirjaan. [2, s.177]. Betonointipöytäkirjasta on esimerkki liitteenä 3. Mitattujen lämpötilojen perusteella voidaan lujuuden määrittäminen tehdä kypsyyksiän perusteella Sadgroven menetelmällä, joka lasketaan kaavalla t_{20} . [2, s. 352-353]

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

missä

T on betonin lämpötila aikana t [°C]

t on kovettumisaika [d] [2, s. 352]

Yrityksillä on yleensä kehitelty Excel-pohjainen tai muuta vastaava ohjelma, joka laskee ja piirtää Sadgroven menetelmällä lujuudenkehityksen. Sarakkeisiin syötetään aluksi betonin lujuusluokka, valitaan kovetusnopeus. Tämän jälkeen täytetään mittausaika ja mitauslämpötila. Kypsyyksilaskurista esimerkki löytyy liitteenä 4.

Kehittyneempi menetelmä lujuuden kehityksen seurantaan on käyttää dataloggeria, joka tallentaa muistiin lämpötilat. Lämmönmittausanturina käytetään K-tyyppin termoparianturia. Näin saadaan luotettava kuva betonin lämmönkehityksestä. Näin saadaan koko vuorokauden kattava seuranta, myös viikonlopun ajaksi. [5, s. 24.]

Termopariantureita asennetaan ennen ja jälkeen valun, koska valun aikana on mahdollista, että termoparianturit rikkoontuvat. Jos lämmitysmenetelmänä on lankalämmitys, saadaan termoparianturit asennettua ennen muotin tuplausta lämmityslankalenkkien väliin. Näin saadaan oletettavasti mittaus kylmimmästä kohdasta. Valun jälkeen asennettavat anturit asennetaan esimerkiksi käyttämällä harjaterästä apuna tekemällä betonimassaan reikä ja upottamalla anturi reikään. Näin se voi sijoittua lämmityslangan viereen ja saadaan korkeampia lämpötiloja, mikä vaikuttaa lujuuslaskelmiin liian korkeilla tuloksilla.

Termopariantureiden tulee antaa tasaantua betonimassan lämpötilaan ennen ensimmäisen mittauksen suorittamista. Tästä eteenpäin voidaan lämpötiloja alkaa mitata joko manuaalisesti käymällä mittarin kanssa jokainen termopari läpi tai asettamalla dataloggeri, joka mittaa lämpötilat ja tallentaa ne. Kuvassa 12 esitettynä K-anturi ja lämpömittari.



Kuva 12. K-anturi ja lämpömittari (Kuva: Miika Kyllönen)

5 BETONIN VALINTA

Talvella käytettävän betonin laatuun vaikuttaa moni tekijä. Suunnittelulla, tuotantorytmillä, säällä ja muottikierrolla on paljon vaikutusta. Ennen betonointisuunnitelman tekoa on hyvä tarkistaa, mitä betonilaatua rakenteisiin on suunniteltu. Mahdollisista muutoksista, kuten betonimassan laadun vaihtamisesta, kuumabetonin käytöstä tai lisäaineiden käytöstä betonointitöiden sujuvuuden kannalta täytyy olla yhteydessä rakennesuunnittelijaan. Vaikka rakennesuunnittelija on määrännyt tietyt betonilaadut rakenteisiin, voivat olla aiheellisia esimerkiksi vaikean olosuhteen tai kiireellisen aikataulun takia.

Betonin nopeampaa lujuudenkehitystä voidaan tavoitella seuraavin menetelmin:

- Käytetään Rapid-sementtistä valmistettua nopeasti kovettuvaa betonia.
- Nostetaan suhteislujuutta eli korotetaan lujuusluokkaa.
- Nostetaan betonin kovettumislämpötilaa, eli lämpökäsitellään betoni.
- Nostetaan ainoastaan betonimassan lämpötilaa, eli käytetään kuumabetonia.
- Käytetään kiihdyttäviä tai vedentarvetta vähentäviä lisäaineita. [1. s. 164.]

5.1 Lujuus- ja rasitusluokat

Betonin lujuusluokat jaotellaan niiden puristuslujuuden perusteella (MN/m².) Suomessa on käytetty 2007 alkaen eurokoodin mukaisia merkintöjä, esimerkiksi C25/30, jossa 25 tarkoittaa lieriön muotoisen koekappaleen lujuutta ja 30 kuution muotoisen koekappaleen lujuutta. Koekappaleiden mitat ovat standardoituja, jossa kuution muotoinen kappale on 150x150x150 mm ja lieriö 300 mm korkea ja halkaisija 150 mm. [2, s. 79.] Vanhoja merkintöjä (esimerkiksi K30) on edelleen käytössä, vanhassa tavassa on merkattu pelkästään kuutiopuristuslujuus.

Vaativissa olosuhteissa betoni tulee suunnitella kestäväksi eri rasituksia. Rasitusluokan valinta on suunnittelijan tehtävä, ja se valitaan rasitustekijöiden suhteen. [9, s. 88.] Rasitusluokat on kuitenkin hyvä tietää, jotta betonia tilatessa ei tule virheitä. Rasitusluokat on kuvattu lyhyesti taulukossa 4.

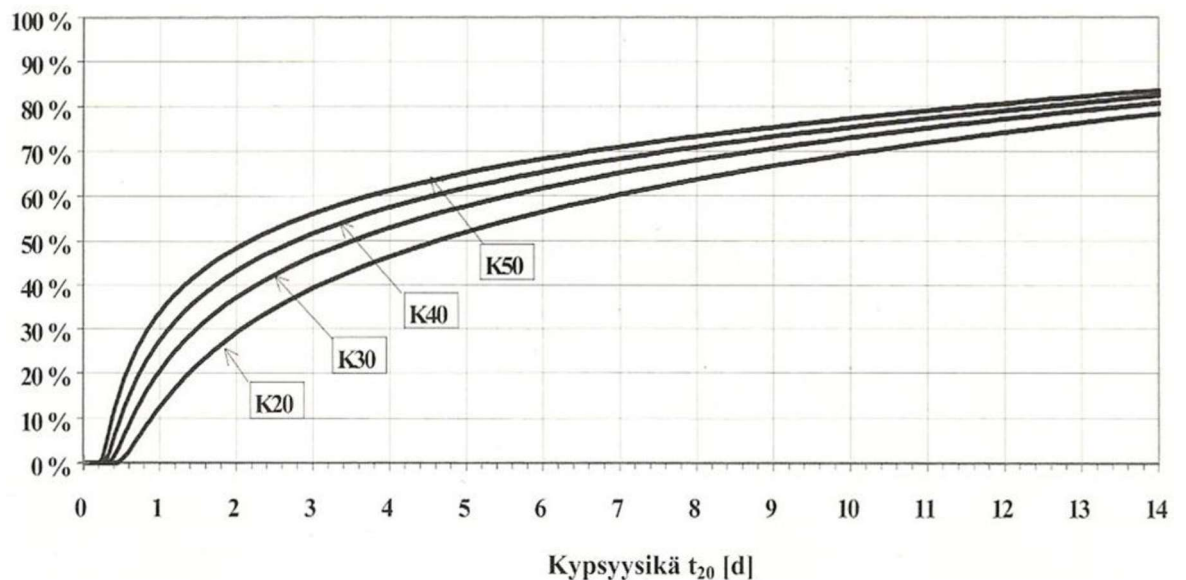
Tulee myös huomioida, että pakkasbetonin ja pakkasenkestävän betonin käyttöä on rajoitettu joidenkin rasitusluokkien kanssa. Pakkasbetonin käytettävyys eri rasitusluokissa tulee tarkistaa valmistajalta tai betoniasemalta. Myös käyttäessä pakkasbetonia pakkasenkestävänä betonina tulee olla tarkistaa toimivuus betoniasemalta.

Taulukko 4. Betonin rasitusluokat [2, s. 253.]

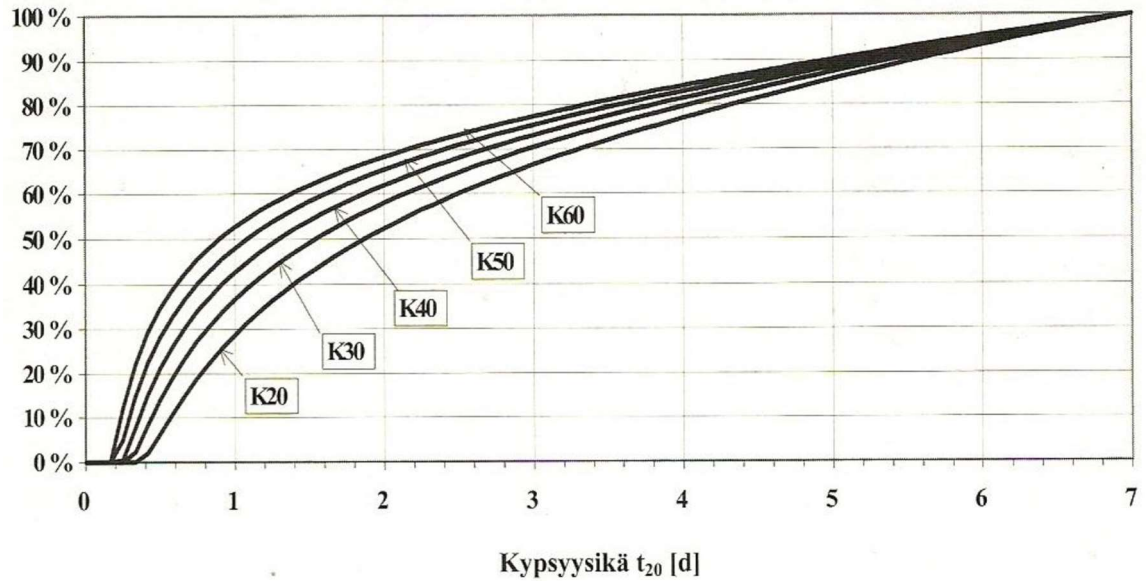
Pääluokka	Rasitustekijä	Alaluokan merkintä	Olosuhdekuvaus
X0	Ei korroosioriskiä betonille tai raudoitteille	X0	Betoni sisätiloissa, jossa ilman kosteus on hyvin alhainen
XC	Karbonatisoituminen	XC1	kuiva tai jatkuvasti märkä
		XC2	Kostea, harvoin kuiva
		XC3	Kohtalaisen kostea
		XC4	Jaksollinen kastuminen ja kuivuminen
XD	Kloridien aiheuttama korrosio	XD1	Kohtalaisen kostea
		XD2	Kostea, harvoin kuiva
		XD3	Kostea ja kuiva vaihtelevat
XS	Merivedessä olevien kloridien aiheuttama korrosio	XS1	Betonia rasittavat tuulen mukana tulevat kloridit, ei suoraa kosketusta veteen
		XS2	Veden alla
		XS3	Vesirajassa ja roiskevyöhykkeellä
XF	Jäätymis-/sulamisrasitus	XF1	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
		XF3	Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
	Jäätymis-/sulamisrasitus ja suolarasitus	XF2	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet
		XF4	Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet
XA	Kemiallinen rasitus	XA1	Kemiallisesti heikosti aggressiivinen ympäristö
		XA2	Kemiallisesti kohtalaisesti aggressiivinen
		XA3	Kemiallisesti voimakkaasti aggressiivinen ympäristö

5.2 Nopeasti kovettuva betoni

Lujuudenkehityksen nopeuttaminen nopeasti kovettuvassa betonissa perustuu nopeasti kovettuvien sementtien käyttöön. Nopeasti kovettuvalla sementillä saavutetaan suuremmat varhaislujuudet sekä pienempi lujuuskato verrattuna yleisportlandsementtibetoniin. Jotta nopeasti kovettuvasta betonista saadaan kaikki hyöty irti, käytetään laadun arvoste-luikänä seitsemän vuorokautta. [1, s. 164.] Talvibetonoinnissa on perusteltua käyttää nopeasti kovettuvaa sementtiä hitaamman sijasta, nopeammin kovettuvalla sementillä saadaan lujuudenkehitys alkamaan hyvin. [2, s. 57]. Kuvassa 13 ja 14 on esitetty normaalisti kovettuvan ja nopeasti kovettuvan sementin ero eri lujuusluokissa.



Kuva 13. Betonin suhteellinen lujuudenkehitys käyttäessä normaalisti kovettuvaa sementtiä [2, s. 353].



Kuva 14. Betonin suhteellinen lujuudenkehitys, kun käytetään rapid- tai megasementtiä [2, s. 354].

5.3 Lujuusluokan korotus

Kun käytetään nopeaa muottikiertoa, on lujuusluokan korottaminen perusteltua. Yleensä lujuudenkehitys on nopeaa korkeassa lämpötilassa, mutta suhteellisen lujuuden saavutettua noin 50 % se hidastuu rajusti. Yleensä muottien purkulujuus on 60 %, jolloin korkean lämpötilan antamaa hyötyä ei saada käyttöön. Tällöin suositellaan lujuusluokan korottamista ja myös korkean lämpötilan aiheuttamat loppulujuuskadot saadaan suunniteltua pienemmiksi. Mitä suuremman lujuusluokan betonia käytetään, sitä enemmän se tuottaa hydrataatiolämpöä. Tämä johtuu siitä, että vesisementtimäärä on suurempi isomman lujuusluokan betonissa. Lujuusluokan mahdollisesta korotuksesta tulee keskustella rakennesuunnittelijan kanssa. [1, s.164.]

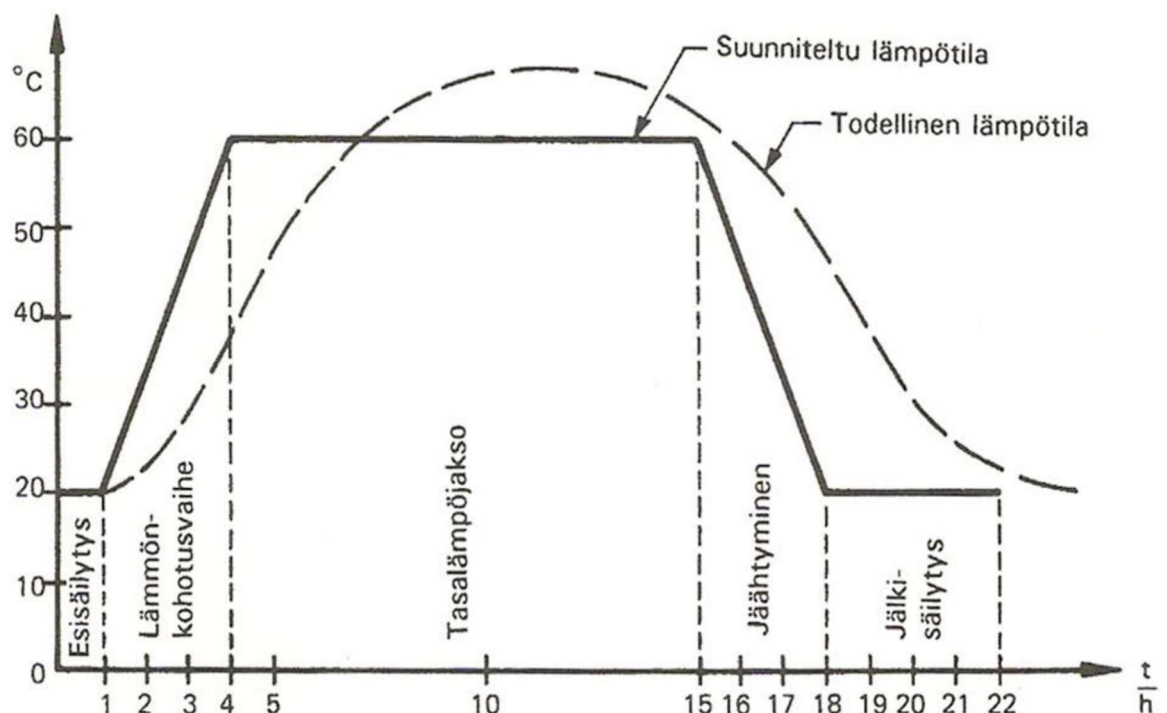
5.4 Betonin lämpökäsittely

Betonin lämpökäsittely on varsin tavallinen toimenpide kylmissä olosuhteissa. Päätarkoituksena lämpökäsittelyllä on nopeuttaa muottikiertoa. Lämpökäsittely kiihdyttää kovettumisreaktiota. Betonin lämpökäsittelyä on se, kun betonimassan lämpötila on yli 40 °C, lämpötila kovettumisvaiheen aikana on yli 50°C tai kun lämpötilan nousu kovettumisvaiheen aikana on yli 25 °C. Lämpökäsittelyllä nopeutetaan varhaislujuuksia ensimmäisen

päivän aikana, mutta loppulujuus alenee runsaasti, jopa 30 %. Lujuuskatoa voidaan kuitenkin pienentää käyttämällä jäykkiä notkeuksia, pitämällä vesisementtisuhte alhaisena, käyttämällä nopeasti kovettuvia sementtejä ja pitämällä lämmön nousu alhaisena. Myös lämpökäsittelyä betonia käyttäessä suositellaan lujuusluokan nostoa. [2, s. 356–360.]

Lämpökäsittelyn suoritustapana tulisi noudattaa kuvan 15 mukaista viisivaiheista lämpökäsittelyprosessia, jotta lujuskato ja halkeilu saadaan minimoitua. Esisäilytysjaksossa betoni säilytetään samoissa lämpötiloissa kuin betonimassan oma lämpötila on 1–5 h. Lämmönkohoitusvaiheessa lämpötilan täytyy olla tasainen kaikissa rakenteen osissa. Nousunopeus ei saisi ylittää 20 °C/h. Tasalämpövaiheessa lämpötila pidetään vakiona pääasiassa hydrataatiolämmön avulla. Lisälämpöä rakenteelle voidaan antaa tarvittaessa. Sopiva lämpötila on noin 50–70 °C. [2, s. 359.]

Jäähdytysjaksossa lasketaan lämpötila tasaisesti ympäristön omaan lämpötilaan. Halkeilun minimoimiseksi ei jäähdytys saa ylittää 20 °C/h. Muotteja purkaessa betonin ja ympäristön lämpötilaero ei saa ylittää 40°C:ta. On tärkeää huolehtia jälkensäilytyksen aikana jälkihoidosta, johon kuuluu suojaus ja kosteana pito. Tällä parannetaan menetettyä lujuu- den kehitystä. Kuvassa 15 on esitetty lämpökäsittelyprosessi. [2, s. 360.]



Kuva 15. Viisivaiheinen lämpökäsittelyprosessi [2, s. 360.]

5.5 Kuumabetoni

Kuumabetoni on valmisbetoniasemalla lämmitettyä betonia, jonka lämpötila voi olla 30-50 °C. Sitä voidaan toimittaa 30 °C, 40 °C tai 50 °C lämpöisenä. Kuumabetonin tarkoituksena on vähentää työmaalla tapahtuvaa lämmitystarvetta, mutta se ei poista sitä kokonaan. Kuumabetonin lujuuskato on verrattain pientä verrattuna lämpökäsiteltyyn betoniin. [2, s. 372–373.]

Kuumabetonin käyttö on kannattavinta nopeassa 1–2 vrk muottikierrossa. Kuumabetonin lämpötila on työstettävyydeltään ja lujuuskadon kannalta parhaimmillaan 40 °C. Lujuuskato nousee merkittävästi yli 45 °C lämpötilassa. Kuumabetonin merkittävin etu tulee siinä, kun betoni on lämmitetty tehtaalla, jos sekoitusvaiheessa lämpö on jakautunut betoniin tasaisesti. Työmaalla tapahtuvassa lämmityksessä on mahdollista liialliseen lämmitykseen ja lämpö jakautuu epätasaisesti. [2, s. 373–376.]

Kuumabetonin huonona puolena voidaan pitää sen lyhyttä työstettävyyssaiakaa. Kuumabetoni on suositeltavaa tilata notkistettuna. Lämpöenergian täydellinen hyödyntäminen vaatii häiriöttömän betonoinnin ja hyvin suunnitellun suojauksen. Reuna-alueet täytyy suojata erityisen hyvin ja muottien sopivuus kuumabetonin käyttöön tulee tarkistaa. Kuumabetoni ei sovi massiivisten rakenteiden valuun. [2, s. 377.]

Kuumabetonin käyttöä tulee miettiä harkiten, vaikka kuumabetoni tuntuu helpolta ja vaivattomalta ajatukselta. Tulee huomioida, että liiallinen lämmitys aiheuttaa lujuuskatoa, mikä voi olla vaarallista varsinkin, kun tehdään kantavia rakenteita. Kuumabetoni on todella kätevä ratkaisu niihin valuihin, joihin lämmitystä ei voida järjestää täydellisesti tai sen suojaaminen on tehty niin hyvin, että kuumabetonin oma hydrataatiolämpö riittää lujuudenkehitykseen.

5.6 Lisäaineet

Lisäaineilla pyritään parantamaan betonimassan ominaisuuksia, betonin sitoutumista ja kovettumista sekä valmiin betonin ominaisuuksia. Notkistimilla pyritään lisäämään betonimassan notkeutta ja vähentämällä samalla veden määrää. Tämä laskee samalla vesimenttisuhdetta, mikä nostaa betonin lujuutta. Runsas notkistimen käyttö kylmissä olosuhteissa saattaa hidastaa betonin sitoutumista. Notkeusluokkaa ei tule muuttaa lattiabeteineissa, jos valuolosuhteet ovat kylmät. [3, s. 23.]

Huokostimella saadaan betoniin huokosia, kun rakenteelta vaaditaan säänkestävyyttä. Erityisesti huokostimet varmistavat valmiiden betonirakenteiden pakkasenkestävyyden. Kiihdyttimillä ei talvibetonoinnissa merkittävästi voida nopeuttaa betonin kovettumista, jollakin voidaan saada aikaan jäätympisteeseen alentava vaikutus. Huomioon tulee ottaa kiihdyttimien mahdolliset sivuvaikutukset, jotka liittyvät betonin säänkestävyyteen, kutistumiseen ja raudituksen korroosioon. [3, s. 23.]

Lisäaineiden käytöstä talvella täytyy olla yhteydessä rakennesuunnittelijaan ja betonitoimittajaan, jotta mahdollisilta ongelmilta vältytään. Esimerkiksi lisäaineet voivat huonontaa säänkestävyyttä, jos betoni on suunniteltu sille rasitusluokalle.

5.7 Pakkasbetoni

Pakkasbetonia on saatavana kuivasekoitteena sekä valmisbetonina. Pakkasbetonin pienen tarpeen vuoksi yleisimmin työmaalla käytetään kuivasekoitteena saatavaa pakkasbetonia, koska sitä käytetään yleensä betonielementtien saumauksiin ja pieniin valuihin. Käyttökohteet ovat usein vaikeita ja niihin ei voida järjestää lämmitystä. Pakkasbetonin käyttö on ihanteellisinta 0 ja -15 °C välillä, alle -15 °C lujuudenkehitystä ei tapahdu ja lujuuskato on merkittävää. Pakkasbetonin käytössä työvaiheet eivät juurikaan eroa normaalista betonoinnista. Työstettävyytsaika on normaalia lyhyempi ja jälkihoidossa tulee ottaa erityisesti huomioon veden haihtumisen estäminen hitaan lujuudenkehityksen takia [1, s. 390.]

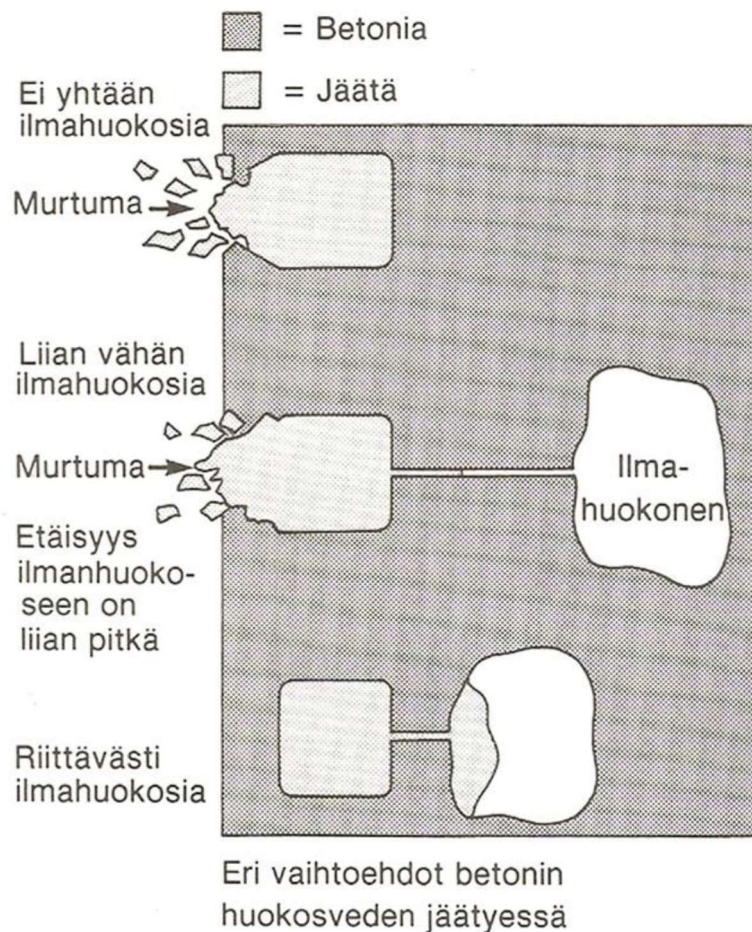
Yleensä pakkasbetonin menekki on pieni, eikä sitä ole järkevää tilata valmisbetonina. Tällöin kuivabetonin sekoitus työmaalla on tehokkaampaa. Mikäli saumavalut ovat suuria kuten ontelolaattojen saumat ja voidaan käyttää nostoastiaa tai pumppua, on valmisbetonin tilaaminen kustannustehokkaampaa.

5.8 Säänkestävä (pakkasenkestävä) betoni

Betoni sisältää vettä ja veden jäätyessä se laajenee noin 9 %. Vesi aiheuttaa jäätyessään betoniin rasituksia, jotka täytyy kestää rakenteita rikkoutumatta. [2, s. 344.] Lähes jokaiselta betonirakenteelta, joka on kosketuksessa ulkoilman kanssa, vaaditaan pakkasenkestävyyttä. Tällaisia ovat erityisesti vesirakenteet, sillat ja julkisivut. Betonista tehdään

säänkestävää huokostamalla se. Jäätymis-sulamisrasitusluokat ovat FX1...FX4. Normaaliin betoniin syntyvät vauriot johtuvat siitä, että betonin huokosiin imeytyy vettä. Jos betonissa ei ole tarpeeksi huokosia tai niitä ei ole ollenkaan, betoniin syntyy halkeamia. Betonin pakkasenkestävyyttä voidaan myös parantaa tekemällä betonista mahdollisimman tiivistä. [13, s. 37.]

Jos betoni päästetään kertaalleen halkeamaan, tapahtumaketjulle ei ole loppua. Betoni sulaa ja kastuu uudelleen ja silloin halkeamaan pääsee vettä ja seuraavalla kerralla jäätyminen aiheuttamat vauriot ovat jo paljon suuremmat. Halkeamiskohdasta vesi pääsee imeytymään syvemmälle ja jäätyessään uudestaan aiheuttaa entistä suuremman halkeaman. Kuvassa 16 on esitetty huokosten merkitystä veden jäätymiseen. [13, s. 37.]



Kuva 16. Ilmahuokosten merkitys veden jäätyessä. [13, s. 37].

Taulukoissa 5 ja 6 on käsitelty betonin valintojen vaikutusta hintaan, niihin saataviin hyötyihin ja muottien purkuajankohtaan.

Taulukko 5. Erilaisten betonitekniesten kovettumisten nopeuttamismenetelmät, vaikutukset hintaan ja saatavia hyötyjä. [1, s. 166.]

Toimenpide	Toimenpiteen vaikutus massan hintaan	Toimenpiteellä saavutettavia hyötyjä
1) Lujuusluokan nosto	Massan hinta lisääntyy keskimäärin 9%	Muottikierto nopeutuu
		Lämmitysaika lyhenee
		Korvaa lämpökäsittelyn aiheuttaman lujuuskadon
		Muottikierto nopeutuu
2) Nopeasti kovettuvan betonin käyttö	Massan hinta lisääntyy normaalisti kovettuvaan betoniin verrattuna keskimäärin 10%	Muottikierto nopeutuu
		Lämmitysaika lyhenee
3) Kuuma betonin käyttö	Massan hinta lisääntyy normaalisti kovettuvaan betoniin verrattuna keskimäärin 7-15% lämpötilaluokasta riippuen	Muottikierto nopeutuu
		Lämmitysenergiakustannukset pienenevät työmaalla huomattavasti
		Lämmityslaitteiden häiriöt eivät vaikeuta työn etenemistä
		Lujuusluokan korotusta ei tarvita
		Nopean purkulujuuden saavuttamiseksi
4) Pakkasessa kovettuvan betonin käyttö	Massan hinta on noin 125% korkeampi kuin normaalibetonilla	Kohteissa, joissa ei vaadita nopeaa lujuudenkehitystä
		Talviolosuhteissa voidaan lämmitys lämpösuojaus jättää tekemättä

Taulukko 6. Käytössä olevia toimenpiteitä vaadittuun purkuajankohtaan. [1, s. 166.]

Muottien purkulujuuteen tarvittava aika	Betoni	Lämmitys/Lämpökäsittely
1-2 vrk	Normaalisti kovettuvan betonin lujuusluokkaa on korotettava. Nopeasti kovettuvan betonin lujuusluokkaa on korotettava pyrittäessä 1 vrk:n purkulujuuteen. Kuumabetoni	Lämpökäsittely Reuna-alueiden lämmitys
≥ 3 vrk	Normaalisti tai nopeasti kovettava betoni. Kuumabetoni	Tehokas lämmitys Reuna-alueiden lämmitys
Ei aseta rajoituksia	Pakkasessa kovettava betoni Huom" Tuotekohtaiset erot ja rajoitukset	Lämmitystä ei tarvita

6 TALVIBETONOINNIN YLEISIMMÄT VIRHEET

Talvibetonoinnissa on paljon mahdollisuuksia virheisiin. Suuret virheet rakenteissa ovat yleensä vakavia ja lisäävät työturvallisuusriskejä. Talvisaikaan kovettuvaan betoniin aiheutuvat virheet korostuvat. Sen seurauksena betoni voi lohkeilla tai rapautua. Tämä yleensä huomataan vasta muottien purun jälkeen. Betoni on voinut valesitoutua tai tartunnat ovat jääneet vajaksi muoteissa olleen jään tai lumen takia. [1, s. 196]

Betonin yleisimmät vakavat virheet ovat:

- Laittevat ja lämmityksen alimitoitus. Tämä korostuu ennestään, jos lämpötilanseuranta on ollut puutteellista.
- Lämpösuojaus on ollut puutteellista tai lämpösuojat ovat liikkuneet tuulen vaikutuksesta.
- Muotteja ei ole puhdistettu kunnolla lumesta ja jäädästä ja betoni on valesitoutunut raudoitukseen.
- Betonimassan lämpötila on ollut alhaisempi kuin suunniteltua, tai ei ole otettu huomioon kuljetuksen ja siirron aiheuttamaa lämpötilan alenemista. Betoni ei ole saavuttanut suunniteltua lujuutta.
- Perustusten valussa maa on ollut jäässä, betonin lämmön vaikutuksesta maa on sulanut ja aiheuttanut perustan painumista.
- Muottien tukeminen on tehty jäätyneen maan varaan ja kun lämmitys on alapuolelta sulattanut maan, se on aiheuttanut rakenteen painumista.
- Lisäaineiden mahdollista vaikutusta lujuudenkehitykseen ei ole osattu arvioida. [1, s. 197.]

Myös voidaan tehdä mahdollisia virheitä, jotka heikentävät rakenteen laatua ja sen säilyvyysominaisuuksia, joita ovat

- Ylilämmitys, joka on normaalille massalle 40 °C ja kuumalle massalle 50 °C.
- Paikallinen ylilämmitys, jolloin paikkakohtaisesti rakenteen pintaosat voivat pullistua.
- Halkeilu, jonka aiheuttavat suuret lämpötilan muutokset. Esimerkiksi liian nopea lämmitys ja liian nopea jäähtyminen. [1, s. 198.]

7 KUIVASIROTTEIDEN KÄYTTÖ TALVELLA

Betonilattioiden kulutuskestävyyttä ja tasaisuutta voidaan nostaa käyttämällä betonilattioihin hierrettävää kuivasirotetta. Kuivasirote koostuu erikoiskovista runkoaineista, sementistä ja lisäaineista. Kuivasirote levitetään betonipinnalle hiertokoneella. Sirotteella voidaan saavuttaa jopa viisiertainen kulutuskestävyys puhtaaseen betonipintaan verrattuna. Kuivasirotetta käytetään lattioihin, joihin kohdistuu isku-, piste ja pyöräkuormia. Yleisimpiä käyttökohteita ovat:

- Lastauslaiturit
- pakastamot ja kylmähuoneet
- jäähallit, liiketilat, julkiset tilat
- pysäköintiin tai varastointiin liittyvät tilat
- terminaalien ja logistiikka-alan lattiat
- maanvaraiset lattiat yleensä. [14, s. 2.]

Sirotelattian onnistuneeseen tekoon vaaditaan hyvät betonoinnin olosuhteet. Tekoon vaikuttaa myös tapahtuuko se ulko-oloissa vai sisätiloissa. Hallitiloissa ovet ja ikkunat pidetään kiinni. Ulko-oloissa tehtävä sirottelattia vaatii suojakatoksen. Sirottelattian tekoon vaikuttavia olosuhdetekijöitä ovat:

- valuolosuhteiden oikea lämpötila lattiapinnassa ja alustassa, joka on yli +10
- tuulen ja vedon hallitseminen tai kokonaan poistaminen
- suoran auringonpaisteen poistaminen
- ympäriltä syntyvien kosteusolojen hallitseminen, $RH \geq 70 \%$. [14, s. 12.]

Betonointitilan lämpötila täytyy olla mahdollisimman tasalämpöinen koko työsuorituksen ajan. Lämpötilan täytyy olla vähintään +10. Mahdollisista lämpötilan vaihteluista betonointitilassa syntyy betonin sitoutumisen hidastumista ja ongelmia sirotteen levityksen kanssa. Valun lämpötiloja on seurattava läheltä lattianrajaa ja betonipinnasta. Kosteutta ja lämpötilaa mittaava piirturi on suositeltavaa viedä kohteeseen jo ennakkoon, jotta olosuhdemuu-

toksiin voidaan ennakoida. Erityistä huomiota tulee kiinnittää reuna-alueisiin ja oviaukkoihin, joissa lämpötilat voivat olla hyvinkin erilaisia kuin keskialueella. Mahdolliset lämpötilaerot pyritään tasaamaan. [14, s. 12.]

Valutilan lämmittämiseen käytetään hallilämmitintä, mutta lämmitys on keskeytettävä valutöiden ajaksi. Valutilan lämmitys täytyy lopettaa 1–2 vuorokautta ennen valua. Ongelmaksi muodostuu, että tilaa ei saada liikaa lämmittää sen aiheuttamien ilmavirtausten takia, joka haihduttaa kosteutta nopeammin. Toinen ongelma on laatan pinnan sitoutuminen, sillä se on nopeampaa kuin pohjaosassa. Tästä syystä pinnan hiertämisen aloitusajankohdan arviointi vaikeutuu. Jos hierto aloitetaan liian aikaisin, voi hiertokone kaivautua betoniin ja näin lattiasta tulee epätasainen. [14, s. 12.]

Epäedulliset ilmavirtaukset tulee pystyä välttämään aina jälkihoitovaiheeseen asti. Tällä toimenpiteellä pyritään estämään alusbetonin varhaishalkeilua ja valupinnan liiallista kosteuden haihtumista. Tästä syystä ulkona olevat valutilat on aina sääsuojattava. Jos olosuhteet ovat vaativat ja joudutaan käyttämään paljon lämmitystä, mistä johtuen veden haihtuminen on voimakasta, suositellaan käyttämään varhaisjälkihoitoa. Tällöin toimenpide on tehtävä jo betonipintaa oikaistaessa. Varhaisjälkihoitoa ovat ainakin:

- jälkihoitoaineet, joita sirotevalmistajat suosittelevat
- muovikalvon tai suodatinkankaan väliaikainen levitys. [14, s. 15]

Valutilan kosteusoloihin on myös kiinnitettävä huomiota. Suositeltava valutilan suhteellinen ilmankosteus on yli 70 %. Pitämällä RH yli 70 %, vähennetään veden haihtumista betonipinnalta ja näin hidastetaan betonin plastista kutistumaa. Kosteutta voidaan lisätä vesisumutteella, joka ei kuitenkaan ole suositeltavaa talvella. [14, s. 15]

Pakkasenkestävää betonia käyttäessä betonimassan ilmamäärän nousee 5-8%. Sirotevalmistajien yleinen ohje ilmamäärälle on noin 3–5 %. Liiallinen ilmamäärä voi aiheuttaa ongelmia tarttuvuudessa betonipinnan ja kuivasirotteen välillä. Huokostettuja massoja käyttäessä täytyy olla yhteydessä sirotevalmistajaan ja betonin toimittajaan. Notkistimien liiallista käyttöä tulee myös välttää, joillain notkistimilla voidaan vähentää jopa 30 % vedenkäyttöä. Tämä vähentää veden nousua pintaan, tämä heikentää kuivasirotteen kostuttamista. Ilman kosteutta kuivasirotteen hiertäminen ei onnistu betonipintaan. [14, s. 10.]

Kuivasirotteen käyttö talvella on todella vaativaa. Työ täytyy suunnitella hyvin ja mahdollisiin ongelmiin tulee valmistautua. Lämpötilan ja kosteusmittauksen tärkeys korostuu, kun

olosuhteet ovat kylmät ja tuuliset. Talvella sisäilman suhteellinen kosteus voi myös laskea alas, joka täytyy ottaa huomioon. Tulee myös miettiä, minkälaisia koneita käytetään sirotteen hierontoon. Polttomoottorikäyttöiset hierontokoneet vaativat pakokaasun poiston, joten suljettua tilaa ei ole mahdollista käyttää.

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tutkia talvibetonoinnin teoriaa, betonilaatuja, lämmityksiä, suojausta sekä lujuudenkehitystä. Mitä kaikkea tulisi ottaa huomioon, jotta betonointityö tulisi tehtyä laadukkaasti ja ongelmilta välttyttäisiin. Jäätymislajuuden ja muotin purkulajuuden saavuttamisen arvioimiseksi laadittiin taulukko, jotta voidaan havainnollistaa, miten paljon keskilämpötilalla ja betonin laadulla on merkitystä.

Työtä tehdessäni huomasin, kuinka paljon aiheesta löytyy tietoa. Työn alkuun pääseminen vaati paljon eri lähteisiin tutustumista. Betonoinnista ja talvibetonoinnista on paljon tietoa, mutta ongelmaksi muodostui, että tieto oli hajautettu paljon eri kirjoihin ja lähteisiin. Lämmitysvaihtoehtoista löytyvä tieto oli hyvin rajallista. Insinööriyöhön on pyritty keräämään keskisimmät ja ajankohtaisimmat asiat talvibetonointiin liittyvistä asioista. Työssä on käytetty pääosin viimeisimpiä julkaisuja, jotta tieto pysyisi ajankohtaisena pitkään.

Työssä on otettu sellaisia asioita huomioon, joiden ei välttämättä ajateltaisi vaikuttavan talvibetonointityön laatuun, kuten betonimassan jäähtyminen sen kuljetuksen aikana, sen jäähtyminen, kun betonimassa lasketaan mahdolliseen siirtoastiaan.

Kuivasirotteen käytöstä talvella ei ollut selkeästi esitettyä työohjetta missään, mikä herätti itsessäni suurta ihmettelyä. Kuulemieni kokemusten perusteella, juuri kuivasirotteen käyttö talvella on koettu ongelmalliseksi, joten siitä pyydettiin vielä työn loppuvaiheilla tilaajan toimesta kirjoittaa teoriaosuuteen lisäys. Näin saataisiin mietittyä, miten kuivasirotteä voidaan käyttää laadukkaasti talvella.

Tärkeimpänä asiana tässä työssä minä pidän, että myös omalla ajattelulla ja ennakkoinnilla voi vaikuttaa betonilaadun tai betonin kovettuvuusnopeuden valintaan, eikä kannata sokeana luottaa rakennesuunnittelijaan. Betonityönjohtaja voi nähdä mahdollisuuden parempaan talvibetonointityön suoritukseen nostamalla esimerkiksi lujuusluokkaa, jos olosuhteet ovat vaikeat ja lämmitys on vaikea järjestää. Vaikka korkeamman lujuusluokan betoni on hintavampaa, on se silti edullisempi vaihtoehto kuin betonirakenteiden purkaminen. Myös talvibetonointiohje korostaa lämmityksen tehon laskemisen tärkeyttä. Liian kovalla lämmityksellä tapahtuu lujuuskatoa ja halkeilua, ja taas liian pienellä lämmityksellä lujuudenkehitys on hidasta sekä jäätyminen ennen jäätymislajuuden kehitystä on vaarassa tapahtua.

Betonointisuunnitelmaa ja talvibetonointiohjetta ei ole vielä käytetty työmaalla, mutta odotan, että tässä työssä tuotettu suunnitelma ja ohje tuovat harkintaa ja miettimistä verrattuna edellisiin JL-Rakentajien suunnitelmiin. Teoriaosuus antaa myös hyvän pohjan ja tiedon lähteen omiin lisäyksiin JL-Rakentajille, kun betonointisuunnitelmaa ja talvibetonointiohjetta on käytetty työmaalla.

Aihe on todella laaja ja työtä olisi helppo suurentaa paljonkin. Tämä työ on kuitenkin rajattu vastaamaan toimeksiantajan tarpeita. Mikäli talvibetonointia haluttaisiin tarkastella laajemmalla osalla, täytyisi tähän ottaa mukaan kustannukset eri betonointitöille ja kuinka paljon kustannuksia aiheuttavat lämmitykset verrattuna kesällä tehtävään betonointiin.

LÄHTEET

1. RIL 149-1995 Betonityöohjeet
2. Betonitekniiikan oppikirja BY 201. Suomen Betoniyhdistys r.y. Suomen Betonitieto Oy, Gummerus. Jyväskylä 2004.
3. Talvibetonointi, Rudus [PDF-Dokumentti] <http://www.rudus.fi/Download/26220/TALVIBETONOINTI-kirja%202013.pdf> (luettu 10.1.2018)
4. Talvityöt ja kustannukset 2010. RT C8-0377
5. Vuorinen P. Talvibetonointi. Lahti: Kestävä Kivitalo -projekti; 1999
6. Mattila, Petri. Betonielementtien Saumavalut. [Helsinki]: Suomen betonitieto, 2002.
7. Betonin pumppauksen ympäristö- ja turvallisuusopas Rudus. [PDF-Dokumentti] <http://www.rudus.fi/Download/23939/Betonin%20pumppauksen%20ymp%c3%a4rist%c3%b6-%20ja%20turvallisuusopas.pdf> (luettu 15.2.2018)
8. Tuoreen betonin turvallinen käyttö. Rudus. [PDF-Dokumentti] www.rudus.fi/Download/23934/Tuoreen%20betonin%20turvallisen%20k%c3%a4ytt%c3%b6.pdf (luettu 15.2.2018)
9. Betoninormit 2004 by 50, Suomen Betoniyhdistys r.y
10. Lankalämmityksen suunnitteluohje 1995. RT 07-303
11. Betonin lämmittäminen talvivaluissa Rudus. [PDF-Dokumentti] <http://www.rudus.fi/Download/23944/Betonin%20l%c3%a4mmitt%c3%a4minen%20talvivaluissa.pdf> (luettu 20.2.2018)
12. Betonin kovetuskaapeli [kuva] <https://verkkokauppa.slo.fi/fi/betonin-kovetuskaapeli-bhs-85m-3500w-8176129>

13. Uusitalo J, Ihanamäki J, Rajala R, Vallin O. Betonityöt. 2., tark. p. ed. Helsinki: Rakentajain kustannus; 1994.
14. Suunnittelu- ja työohje kuivasirotteiden käyttämisestä betonilattioissa. Suomenbetonilattiyhdistys Ry. [PDF-Dokumentti]
<http://www.bly.fi/File/BLY16.pdf?rnd=1390297845> (luettu 8.3.2018}

LIITTEET

Liite 1. Betonointisuunnitelma

Liite 2. Talvibetonointiohje

Liite 3. Betonointipöytäkirja

Liite 4. Kypsyysikälaskurimalli

BETONOINTISUUNNITELMA



Kohdetiedot

Työkohde _____ Päivämäärä _____
Rakennusosa _____
Talvibetonointisuunnitelman tekijä _____

YHTEYSHENKILÖT

Pääuraakoitsija _____ Vastaava mestari _____
Suunnittelija _____ Betonityön johtaja _____
Betonin toimittaja _____

Kokoukset

Talvibetonointisuunnitelma

Paikka _____ Päivämäärä _____
Paikalle _____

Aloituspalaveri

Paikka _____ Päivämäärä _____
Paikalle _____

Liitteet

Kyllä

Ei

Rakennekuvat

Lujuuskäyrät

Muut liitteet _____

Tavoitteet

Muotit

Muottien purkulujuus _____ Mpa Muottikierotavoite _____ vrk

Lujuudet

Jäätymislujuus (<Mpa)

saavutettava _____ vrk

Lämpötila pidettävä _____ °C

Nimellislujuus

saavutettava _____ vrk

Nimellislujuus _____ Mpa

Mitattavat lujuudet

Varhaislujuudet

1 vrk _____ Mpa

2 vrk _____ Mpa

7 vrk _____ Mpa

14 vrk _____ Mpa

Lujuus 28vrk _____ Mpa

Betonoitavan rakenteen tiedot

Valettava rakenne

Pituus _____ mm Leveys _____ mm

Korkeus _____ mm Leveys _____ mm

Rakennokuva liiteenä: _____

Liittyvät rakenteet _____

Muotit

Muottimateriaalin valinta

Kyllä

Ei

Muottijärjestelmä on eristettävä

Muottijärjestelmää voidaan lämmittää

Muottia täytyy lisäeristää

Kohteessa käytetään lisälämmitystä

Lisätiedot _____

Valittu muottijärjestelmä

Muotti 1 _____

Muotti 2 _____

Muotti 3 _____

Muotti 4 _____

Muustilista Kyllä Ei

Muottien toimivuudesta, tarkistuksista ja kunnosta vastuussa on

Muotit on tuettu niin, että maaperän sulaminen ja kuormitus ei aiheuta painumista

Tarvitaanko lisätuentaa?

Tarvitaanko varatukia?

Muotit, rauditus ja alusta on puhdistettu

jäästä, lumesta ja muusta ylimääräisestä

Tuleeko pintaan kuivasirotetta?

Muuta huomioitavaa: _____

Valun olosuhteet
Arvioidut valuolosuhteet

Ulkolämpötila _____ °C Tuuli, maksimi _____ m/s

Muut olosuhteet, lumisade yms _____

Muuttuva lämpötila yön ja päivän välillä

Päivä maksimi _____ °C Päivä, minimi _____ °C

Keskiarvolämpötila _____ °C Yö, minimi _____ °C

Tarkastetut lämpötilat

Ulkolämpötila _____ °C Tuuli, maksimi _____ m/s

Päivä, maksimi _____ °C Päivä, minimi _____ °C

Keskiarvolämpötila _____ °C

Vastuu mittauksista _____

Muut olosuhdevaihtokutukset _____

Suojaus
Valupinnan päälle laitettava suojaustyyppi

Tyyppi _____

Vahvuus _____ mm

Suojaus aloitetaan _____

Suojaus lopetetaan _____

Muottien sivujen suojaus

Tyyppi _____

Vahvuus _____ mm

Suojaus aloitetaan _____

Suojaus lopetetaan _____

Liittyvien rakenteiden suojaus

Tyyppi _____

Vahvuus _____ mm

Suojaus aloitetaan _____

Suojaus lopetetaan _____

Muut suojaukset _____

Vastuu suojauksesta _____

Lämmitys
Lämmityksen valinta ja teho Kyllä Ei

Rakenteeseen tarvittava teho on laskettu

Rakenteen tarvittava lämmitys teho on _____

Rakenteeseen käytetään lankalämmitystä

Teho ja lankaväli, onko työmaalla? _____

Rakenteeseen käytetään säteilylämmitystä

Teho ja sijoitus, onko työmaalla? _____

Rakenteessa käytetään lämmitettäviä suur-tai järjestelmämuotteja

Teho ja sijoitus, onko työmaalla? _____

Muu lämmitysmenetelmä? _____

Lisälämmitystä? _____

Vastuu lämmityksestä _____

Betonilaadun valinta

Valittava betonilaatu	Kyllä	Ei
Valittu betonilaatu _____		
Rakenteen käyttöikä _____ Vuotta		
Rasitusluokat _____		
Nopeasti kovettuva betoni	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lujuusluokkaa on korotettu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Lujuudenarviointi

Muotin purkulujuus _____ vrk

60 %

Muotin purkulujuus _____ % _____ vrk

Punosten jännityslujuus 80 % _____ vrk

Punosten jännityslujuus _____ % _____ vrk

HUOM! TARKISTA LUJUUSTIEDOT SUUNNITELMAN AIEMMASTA KOHDASTA!

Lämpötilatiedot

Lämpötilatietojen ennusteet

Maksimilämpötila valun jälkeen _____ °C

Minimilämpötila valun jälkeen _____ °C

Rakenteen lämmönkehityksen seuranta

Loggerilla _____ Lämpömittarilla _____

Rakenteen lujuudenkehityksen seurannan toteutus

Kypsyysskäyrät _____ Ohjelmistolla _____

Tarkistus ja vastuut

Muottikierron, betoninlaadun, lämmityksen ja suojauksen toimivuus on tarkastettu _____

Betonivalmistajalta on varmistettu, että betonin toimivuus on kohteeseen sopiva _____

Vastuu rakenteiden lämpötilojen mittauksesta _____

Vastuu lujuustason saavuttamisesta ennen muottien purkua _____

Elementtiansaumat

Talvibetonointisuunnitelman tekijä

Nimi _____ Päiväys _____

Liitteet	Kyllä	Ei
Lämpökäyrät	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lujuuskäyrät	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tavoitteet		
Nopea lujuuden kehitys, massan lämpötila >+10°C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hidas lujuuden kehitys, massan lämpötila +0°C...10°C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hyvin hidas lujuuden kehitys, massan lämpötila <0°C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muotin purkulujuus ja jälkihoitoaika		
60 % nimellislujuudesta saavutettava		_____ vrk
Arvioidut valuolosuhteet		
Ulkolämpötila _____ °C		Tuuli, maksimi _____ m/s
Muut olosuhteet, lumisade yms _____		
Muuttuva lämpötila yön ja päivän välillä		
Päivä maksimi _____ °C		Päivä, minimi _____ °C
Keskiarvolämpötila _____ °C		Yö, minimi _____ °C
Tarkastetut lämpötilat		
Ulkolämpötila _____ °C		Tuuli, maksimi _____ m/s
Päivä, maksimi _____ °C		Päivä, minimi _____ °C
Keskiarvolämpötila _____ °C		
Vastuu mittauksista _____		
Rakenne		
Ontelosauman leveys _____ mm		
Ontelosauman paksuus _____ mm		
Ontelon alapuolisen tilan lämpötila _____ °C		
Ontelolaattojen lämpötila _____ °C		
Lämmitys		
Lämmitystapa, jolla saumaa lämmitetään alapuolelta _____		
Lämmitystä ylläpidetään _____		Vrk
Vastuu lämmityksestä _____		
Betonilaatu	Kyllä	Ei
Saumabetoni _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rapidsaumabetoni _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pakkasbetoni _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kuumabetoni _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rakenteen lämmönkehityksen seuranta		
Loggerilla _____		Lämpömittarilla _____
Rakenteen lujuudenkehityksen seurannan toteutus		
Kypsyyskäyrät _____		Ohjelmistolla _____
Mittauksesta vastaa _____		

TALVIBETONOINTITYÖHJE

Aloittavat työt**Mieti jo ennen betonointisuunnitelman täyttämistä:**

Työalue	Toimenpide
Työsisältö	<ul style="list-style-type: none">• Selvitä betonoitavan kohteen lähtötiedot• Tutki mahdolliset ongelmakohdat• Tarkkaile sääolosuhteita ennakkoon
Muotit	<ul style="list-style-type: none">• Muottien tuenta ja purkujärjestys• Minkälaisia muotteja olisi järkevä käyttää• Suurmuotit tai järjestelmämuotit kustannustehokkaita?
Suojaus ja lämmitys	<ul style="list-style-type: none">• Vertaile eri lämmitys- ja suojausvaihtoehtoja kohteeseen• Mieti rakenteiden, muottien ja suojausten yhteensopivuus lämmitysjärjestelmän kanssa• Valitse käytettävä lämmitys, jota voi käyttää useassa kohteessa• Tarkista onko lämmitys- ja suojauskalustoa tarpeeksi• Muista myös varakalusto ja varautuminen olosuhdemuutoksiin• Suunnittele lämpötilan ja lämmityksen seuranta
Kalusto	<ul style="list-style-type: none">• Tarkista kaluston määrä sekä niiden mahdollinen hankinta• Valaisimet, harjat, lehtipuhaltimet, sääsuojat, sauvatäryttimet
Työntekijät	<ul style="list-style-type: none">• Perehdytä kohteeseen, nimeä työryhmät• Työturvallisuuden läpikäyminen• Oikeaoppinen työtapa• Tavoitteet ja määränpää

Tutkitaan ja suunnitellaan	<ul style="list-style-type: none"> • Betonoitavien osien vaadittava muottien purkulujuus • Suunnitellaan muottikierto • Tutkitaan työsaumojen paikka, tarkennus rakennesuunnittelijalta • Olemassa olevien muottien kunto • Toimittaako lähellä olevat betonitoimittajat käytettäviä betonilaitteita
Lasketaan	<ul style="list-style-type: none"> • Minkä lämpötilan betoni tarvitsee, jotta se saavuttaa muottien purkulujuuden • Mikä on ajankohta, kun betoni saavuttaa muottien purkulujuuden HUOM! Muottikierto! • Alustava betonimäärä, montako autoa? • Saavutetaanko muottien purkulujuus paremmin kuumabetonilla tai lujusluokan korotuksella. HUOM! Ota huomioon olosuhteet
Suunnittele	<ul style="list-style-type: none"> • Miten betonoitavan kohteen lämmitys, lämpösuojaus ja lämpötilan seuranta järjestetään. Kuka on vastuhenkilö? • Suojaus- ja jälkihoitotoimenpiteet. HUOM! Ota huomioon myös betonin jäähtymistä hidastavat toimenpiteet • Aikataulu ja betonointijärjestys • Varaudu häiriöihin ja suuriin olosuhdemuutoksiin
Varmista	<ul style="list-style-type: none"> • Olemassa olevan lämmityskaluston kunto sekä määrä • Lämpösuojauksen kunto • Suojia tarvitaan myös ennen valua, valun aikana ja valun jälkeen

- Täydennä betonointisuunnitelma yhdessä muiden toimijoiden kanssa.
 - Laaditaan valutyön ohjeeksi valutyöntekijöille ja tarkastuslistaksi betonityönjohtajalle.
 - Laadi yksi isompi suunnitelma koko kohteesta ja valukohtainen suunnitelma yhdestä valusta.
 - Järjestä aloituspalaveri, jossa käydään betonointisuunnitelma läpi.

Muita huomioonotettavia asioita ennen valutöiden aloitusta

- Tee kalustosta kalustoluettelo ja pidä siitä kirjaa. Tarkista kaluston määrä ja kunto kerran viikossa.
- Tarkista alustava aikataulu ja tarvittava henkilöstömäärä työn toteutukseen.
- Tarkista lähimmiltä vuokrafirmoilta lämmitysten ja suojien mahdollinen vuokraus ja kaluston saatavuus siltä varalta, jos ongelma tilanteita syntyy valun aikana. Esimerkiksi suunniteltu lämmitys ei riitä tai laite rikkoutuu.
- Suunnittele valutapa ja mistä kautta massa vastaanotetaan työmaalle.

- Vaatiiko valukohde lämmitystä jo pidemmän aikaa etukäteen, esimerkiksi roudansulatus?
- Selvitä lähimmän betoniaseman sijainta ja laske etäisyys työmaalle. Selvitä joutuuko betonialue ajamaan paljon liikennevaloista. (mahdollinen betonin jäähtyminen)
- Ota selvää lähellä olevien betoniasemien kalustosta, pumpun ulottuvuudesta ja käytettävistä betonilaaduista. Mieti valmiiksi pumppuauton sijainti niin että siirtelyä tulee mahdollisimman vähän.
- Jos tarvetta varaa työmaalle vastaanottosuppilo tai nostoastia.
- Laske massan määrä muoteista.
- Seuraa sääennusteita ja suunnittele valujankohta sen perusteella.
 - Suojaa muotit ja raudoitukset lumisateelta
 - Laske ja mieti sääennusteen perusteella, tarvitsetko kuumabetonia tai lujuusluokankorotusta. Saavuttaako rakenne muottienpurkulujuuden ajoissa vaatimaan muottikiertoon? Onko lämpösuojauksen järjestäminen vaikeaa?
- Tilaa betonimassa hyvissä ajoissa ennakkoon ja tarkista onko betonipumppua saatavilla.
 - Ilmoita työryhmälle valujankohta ja valutapa.
- Suunnittele betonin suojaustapa valun jälkeen.
 - Varaa suojausmateriaalit ja tee mahdollinen tukirakenne, jos sääsuojia tarvitaan valun aikana, jos olosuhteena on kova tuuli ja lumisade.

Toimenpiteet ennen betonointia

- Varmista, että valukohde on valmiina.
 - Kuljettaja tietää reitin ja ajoreitti on esteetön.
 - Ota valokuvia kohteesta ennen valua.



- Muotit, raudoitus, lämmitys ja lämmitykselle sähköt. Mieti ennakkoon, mistä saa tarvittaessa varasähköä.
- Mahdollinen vastaanottokalusto tai nostokalusto.
- Betonipumppuautolle pystytyspaikan tila on puhdistettu ja hiekoitettu HUOM! Tukijalkojen vaatima tila!
- Lumen ja jäänpoisto muoteista ja raudoituksesta.
 - Isot määrät mekaanisesti, pienet alueet höyryttämällä.
- Valukaluston lämmitys vähintään 0 asteiseksi
 - Nostoastiat, vastaanottosuppilo
 - Kaikki pinnat, jotka tulevat betonipintaa vasten.
- Varmista betoniryhmän kaluston riittävyys.
 - Lapiot, valaisimet, sauvatäryttimet, henkilökohtaiset suojaimet.

Betonityön suoritus

- Betoniauton saapuessa työmaalle, tarkista kuljettajalta kuormakirjasta, että betonilaatu on oikea.
- Pyri suorittamaan betonointi mahdollisimman nopeasti, minimoidaksesi betonimassan jäähtyminen.
- Vältä betonin turhia siirtelyjä, se jäähdyttää massaa ja vie aikaa työryhmältä.
- Jos käytät lankalämmitystä, varo ettei lankalämmityskaapeli katkea, kun massaa lasketaan muottiin tai kun massaa tiivistetään.

Toimenpiteet betonityön jälkeen

- Suojaa valetun betonirakenteen pinta suunnitellulla tavalla.
 - Pressu, solumuovilevy, EPS-levy.

- Kytke lämmityspäälle.
 - Mittaa lämpötila välittömästi valun jälkeen ja vähintään kolme kertaa päivässä.
 - Tarkista lämmityksen toimivuus useasti päivässä.
 - Jos mahdollista järjestä henkilö, joka voi käydä tarkistamassa lämmityksen toimivuuden myös illalla ja viikonloppuna.

- Seuraa lujuudenkehitystä kypsyyslaskurissa tai ohjelmalla.
 - Jäätymislujuus 5 MN/m².
 - Ei-kantavien rakenteiden muotin purkulujuus 5 MN/m².
 - Kantavien rakenteiden muotin purkulujuus yleensä 60 % nimellislujuudesta.
 - Taulukossa 7 on annettu viitteitä betonin lujuudenkehityksen ajasta eri lämpötiloissa.

- Täytä betonointipöytäkirja

- Muottien purkaminen, kun lujuus on saavutettu. HUOM! Jos purku ei ole aikataulun tai muottikierron perusteella tarpeen, älä pura. Ne suojaavat rakenteita ja toimii hyvänä jälkihoitona.

Lämmitysmuodot koottuna rakennusosittain.

- Perustukset
 - Kuumabetoni ja nopea suojaus, tarvitse välttämättä lisälämmitystä.
 - Reuna-alueille lankalämmitys.
 - Puhallinlämmitys ja huputus.

- Seinät
 - Suurissa rakenteissa lämmitettävät järjestelmämuotit.
 - Pienissä rakenteissa ja reuna-alueille lankalämmitys.
 - Varalämmityksenä puhallinlämmitys, jos muut lämmitykset epäonnistuvat.

- Laatat ja lattiat
 - Reuna-alueille ja kylmiin kohtiin lankalämmitys.
 - Suuret rakenteet lämmitettävillä pöytämuoteilla.
 - Pienet kohteet voidaan tehdä puhallinlämmityksellä.
 - Säteilylämmitys, jos käytössä on teräs- tai alumiinimuotit

- Holvi
 - Puhallinlämmitys ja lankalämmitys ovat hyvä yhdistelmä.
 - Puhallinlämmitys lämmittää muitakin valukohteita.

- Saumavalut
 - Pakkasbetoni säkkitavarana.
 - Saumojen huolellinen puhdistus ja kuivaus.
 - Jos mahdollista lankalämmitys.

Taulukko 7. Betonin lujuudenkehitys eri keskilämpötiloissa.

Betonin keskilämpötila +5 °C			
Betoni	Jäätymisluku	60% nimellislujuudesta	60% K-30 lujuudesta
K30	2d 13h	17d 12h	-
K40	1d 16h	12d 12h	6d 16h
Nopeasti kovettuva K30	1d 14h	6d 6h	3d 8h
Nopeasti kovettuva K40	1d 5h	5d 10h	-
Betonin keskilämpötila +10 °C			
Betoni	Jäätymisluku	60% nimellislujuudesta	60% K-30 lujuudesta
K30	1d 16h	9d 22h	-
K40	1d 2h	8d 8h	4d 4h
Nopeasti kovettuva K30	1d 1h	3d 23h	-
Nopeasti kovettuva K40	19h	3d 13h	2d 7h
Betonin keskilämpötila + 20 °C			
Betoni	Jäätymisluku	60% nimellislujuudesta	60% K-30 lujuudesta
K30	22h	5d 5h	-
K40	14h	4d 9h	2d 7h
Nopeasti kovettuva K30	13h	2d 4h	-
Nopeasti kovettuva K40	10h	1d 21h	1d 4h
Betonin keskilämpötila + 30 °C			
Betoni	Jäätymisluku	60% nimellislujuudesta	60% K-30 lujuudesta
K30	17h	3d 8h	-
K40	10h	2d 17h	1d 10h
Nopeasti kovettuva K30	10h	1d 9h	-
Nopeasti kovettuva K40	8h	1d 6h	19h
Betonin keskilämpötila 40 °C			
Betoni	Jäätymisluku	60% nimellislujuudesta	60% K-30 lujuudesta
K30	13h	2d 7h	-
K40	9h	1d 21h	1d 2h
Nopeasti kovettuva K30	8h	1d 1h	-
Nopeasti kovettuva K40	6,5h	22h	15h

BETONOINTIPÖYTÄKIRJA

 n:o 1
 pvm:

JL-Rakentajat Oy

 Työmaa: Työmaan nimi, lisää tiedot välilehdellä
 Työnumero: Työnumero, lisää tiedot välilehdelle

Tyhjennä

Betonin toimittaja: Rudus Oy

Betonointikohde: Anturat ML5

VSS

Betonin lujuus- ja rakenneluokka

K30 - 2

Rasitusluokka XC1

Notkeusluokka S2

Maksimi raekoko 32

Lisäaine

Määrä:

 8 m³

 m³

Betonointiryhmä: oma 1+2

Ilman lämpötila: alussa -5 °C lopussa -5 °C

Muotti / muottipinta: Vaneri

Betonin lämpötila: alussa 18 °C lopussa 18 °C

Betonointitapa: Pumppu

Sääolosuhteet: Lumisadetta

Tiivistystys: Suurtaajuussauva

Suojaus: Suojattu pakkaselta

Betonoinnin kesto h : min

alkoi: 10 : 10

loppui: 11 : 00

Betonoinnin kesto yhteensä 0 : 50

Keskeytykset/taut yhteensä

Tehokas työaika 0 : 50 = 50 min

Jälkityöt

Pinnan hieto: Ei hierretä

Lisätietoja

Jälkihoito: Peittäminen

Talvibetonointi:

Suojaus:

Lämmitys:

Lämpötilahavainnot:

pvm	Aika vrk	°C	t ₂₀
7.1.2015		20	0
8.1.2015	1	10	0,52
9.1.2015	2	15	1,48
10.1.2015	3	10	1,56
11.1.2015			0
12.1.2015			0
13.1.2015			0
			3,57

≥ 2.2 käytettäessä K30 ja nopeasti kovettuvaa betonia on saavutettu 60% suunnitellusta lujuudesta.

Huomautukset:

Laatinut:

Hyväksynyt:

LASKELMA : BETONIN KYPYSYYS

30.11.2007

T₂₀ = Summa [(T_i + 16)/36]² x t_i]

T_i = Betonin lämpötila aikana t_i (C)
t_i = ajanjakso [d] lämpötilassa T_i

Tyhjennä tiedot

Laadunav. ikä
3 d erittain nopeasti kovettuva betoni (3d = 100% lujuus)
7 d nopeasti kovettuva betoni (7d = 100% lujuus)
28 d normaalisti kovettuva betoni (28d = 100% lujuus)

Työmaa
Lujusluokka K (20...50) **Esimerkki työmaa** 30

Betonilaatu Normaalisti kovettuva betoni

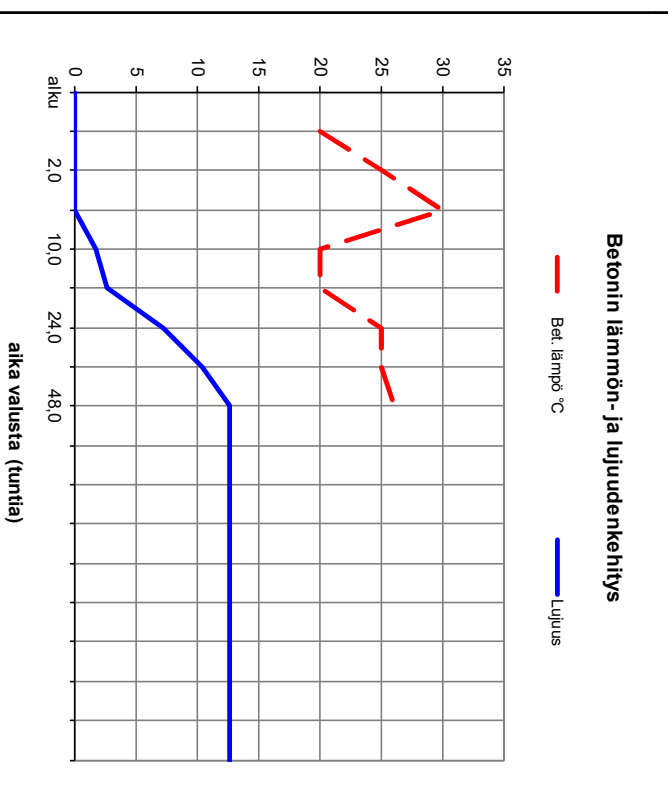
▼ 28 d

Kohde, valuosa

Valu pvm

aika [h]	Bet. lämpö °C	keskilämpö °C	vrk	yht. vrk	Kypsysikä T ₂₀	T ₂₀ yht	%K	MPa
1,0	20,0	10,0	0,04	0,04	0,02	0,02		
2,0	25,0	22,5	0,04	0,08	0,05	0,07		
5,0	30,0	27,5	0,13	0,21	0,18	0,25		
10,0	20,0	25,0	0,21	0,42	0,27	0,52	5 %	2
12,0	20,0	20,0	0,08	0,50	0,08	0,61	9 %	3
24,0	25,0	22,5	0,50	1,00	0,57	1,18	24 %	7
36,0	25,0	25,0	0,50	1,50	0,65	1,83	34 %	10
48,0	26,0	25,5	0,50	2,00	0,66	2,49	42 %	13

Mittau maksimilämpötila 30 °C ajanhetkellä 5 tuntia. Puhdistuslujuus mittauksen lopussa 13 MPa.



[Teoreettisen laskelman tulosten käyttö on aina työmaan vastuulla!](#)

03.05.2018 Laatiija: nimi