

TALVIBETONOINTI



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Visamäki, kevät 2017

Antti Nikkilä

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Visamäki

Tekijä	Antti Nikkilä	Vuosi 2017
Työn nimi	Talvibetonointi	
Työn ohjaaja/t	Jari Komsu	

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on luoda työn toimeksiantajalle ajankohtainen talvibetonointiohje, joka toimii myös työnjohdolle tietomateriaalina. Työn aihe on erittäin ajankohtainen tämän hetkisten betonin lujuusongelmien takia, joten on erittäin tärkeää, että talvibetonointi suoritetaan oikein menetelmin. Työn toimeksiantajana toimii YIT Rakennus Oy:n Asuintalot Etelä-Suomen yksikkö ja opinnäytetyö on suunnattu työmaiden toteuttaville osastoille.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään lämpötilan vaikutusta betonirakentamiseen sekä kylmyyden vaatimia erikoistoimenpiteitä. Myös erilaiset betonityypit ja lujuudenkehitys käsitellään tässä osuudessa. Työhön sisältyy myös työn aikainen sekä työn jälkeinen laadunvarmistus. Työ on rajattu pääasiassa soveltumaan tilaajan päätoimialaan, eli asuinkerros- sekä rivitaloihin.

Työn suorittamisessa hyödynnettiin myös kahta YIT Rakennus Oy:n työmaata, joissa tarkasteltiin erilaisten betonivalujen lämpötiloja sekä lujuuksia eri menetelmin.

Lopputuloksena työstä muodostuu työmaiden käytössä oleva talvibetonointiohje.

Avainsanat laadunvarmistus, talvibetonointi, betonirakentaminen

Sivut 70 sivua, joista liitteitä 21 sivua

Degree Programme in Construction Engineering
Visamäki

Author	Antti Nikkilä	Year 2017
Subject	Cold Weather Concreting	
Supervisors	Jari Komsu	

ABSTRACT

The purpose of this Bachelor's thesis was to draw up cold weather concreting instructions for YIT Construction Services Housing Unit which commissioned the thesis. It can also be used as an informative package for the foremen and the managers of construction sites. The subject of the thesis is very topical due to the latest problems with the strength of concrete in many construction projects around Finland. Therefore, it is important that cold weather concreting is finished with the right methods.

The theoretical part of the thesis discusses the effect of temperature on cold weather concreting and the special methods required by the cold weather. Various types of concrete and the development of strength are also discussed including quality control during and after construction. The materials used in the thesis consisted of previous publications and interviews about cold weather concreting. In addition, two construction sites of the company were used to examine the temperatures and strengths of different casting of concrete. The thesis only concentrated on the core business of the company, i.e. residential buildings.

As a result of the thesis guidelines for cold weather concreting were produced to be used on construction sites. Winter construction is always more expensive than in the summer but with successful planning and using the right methods keep the expenses down.

Keywords Cold weather concreting, winter, concrete, quality

Pages 70 pages including appendices 21 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	YIT Rakennus Oy.....	2
1.2	As Oy Tuusulan Majapaikka.....	2
1.3	As Oy Keravan Karolina.....	2
2	TALVIBETONOINTI & YLEISTÄ BETONIRAKENTEISTA.....	3
2.1	Talvityöt- ja kustannukset.....	4
2.2	Yleistä betonirakenteista.....	6
2.2.1	Rasitusluokat.....	6
2.2.2	Lujuusluokat.....	8
2.2.3	Toteutusluokat.....	8
2.2.4	Seuraamusluokat.....	9
3	KÄYTETTÄVÄT BETONITYYPIT, SEMENTIT JA LISÄAINEET.....	10
3.1	Pakkasbetoni.....	11
3.2	Pakkasenkestävä betoni.....	12
3.3	Kuumabetoni.....	12
3.4	Normaalisti kovettuva rakennebetoni.....	14
3.5	Nopeasti kovettuva betoni.....	14
3.6	Sementit.....	14
3.6.1	Sitoutuminen.....	14
4	LUJUUDENKEHITYS.....	15
4.1	Lämpötilojen ja lujuudenkehityksen seuranta.....	16
4.2	Lujuudenkehityksen tarkasteluhetket.....	19
4.3	Lujuudenkehityksen seuranta.....	19
5	BETONIN LÄMMITYS & LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT.....	21
5.1	Lämmitysjärjestelmät.....	21
5.2	Betonin lämmitys.....	23
5.3	Lämmityskaapelit.....	24
5.4	Muottilämmitys.....	25
5.5	Infrapunasäteilylämmitys.....	25
5.6	Kuumailmalämmitys.....	25
5.7	Höyrylämmitys.....	26
5.8	Lämpösuojaus.....	26
5.9	Säeolosuhteiden vaikutus.....	27
6	TYÖTURVALLISUUS.....	28
6.1	Betoni ja sementti.....	28
6.2	Työmaatoiminta.....	28
7	LAADUNHALLINTA.....	29

7.1	Jälkihoito	30
8	KÄYTTÖKOHTEET & ESIMERKKEJÄ TYÖMAILTA.....	31
8.1	Anturat & kaulat	31
8.2	Elementtien saumat	36
8.2.1	Ontelolaataston saumaus.....	37
8.2.2	Seinäelementtien saumaus	38
8.2.3	Pilari-, palkki- ja parvekerakenteiden juotosvalut.....	39
8.3	Lattiat & laatat.....	40
9	POHDINTA.....	40
	LÄHTEET	41

Liitteet

Liite 1	Finnsementti lujuudenarviointi-taulukko
Liite 2	YIT lujuudenarviointi-taulukko
Liite 3	Betonointisuunnitelma ja -pöytäkirja
Liite 4	Tukimuurin antura-lujuudenkehitys arvio
Liite 5	3. kerroksen ontelosaumavalu-lujuudenkehitys arvio
Liite 6	YIT Talvibetonointi – Ohjeita & käytäntöjä

1 JOHDANTO

Helsingin, Espoon ja Vantaan rakennusvalvonnat edellyttävät 8.12.2016 alkaen rakenteilla olevien kohteiden paikallavalettujen ja jäykistävien betonirakenteiden lujuudesta tehtäviä lisäselvityksiä. Lisäselvityksillä varmistetaan siitä, että täyttävätkö betonirakenteet niiden lujuudelle ja vakaudelle asetetut vaatimukset. Rakennusvalvonnat eivät toimita lopullista loppukatselmusta ennen kuin lisäselvitys ja lausunto rakenteiden vaatimuksen mukaisuudesta on esitetty.

Lisäselvitykset tehdään joko koekappaleiden avulla, kimmovasaralla tai muulla luotettavalla menetelmällä paikallavaletuista betonirakenteista.

Syynä tälle uudistukselle on ympäristöministeriössä 2.12.2016 pidetyn tilannekatsauksen perusteella havaitut merkittävät puutteet paikallavalettujen betonirakenteiden laadunvarmistuksessa. Nyt onkin tärkeää selvittää mahdollisimman nopeasti betonin laadunvarmistukseen liittyvien ongelmien laajuus ja syyt sekä varmistaa rakenteellisen turvallisuuden täyttyminen. (Levanto, Mäkelä & Timo 2016.)

Työn tavoitteena on ohjeistaa työmaita talvibetonoinnissa ja ettei näitä ongelmia tule tapahtumaan jatkossa.

Talviaikainen runkorakentaminen vaatii paljon ennakkosuunnittelua ja työvaihekohtaisia suunnitelmia. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon oikeat materiaalit, erilaiset suojaus- ja lämmitystavat, sekä oikeanlaisen betonimassan valinta. Työturvallisuus ja laadunvarmistus ovat myös tärkeässä osassa. Työturvallisuuden puolesta talvibetonoinnissa on syytä ottaa huomioon riittävä valaistus kohteessa talven pimeyden takia, sekä riittävä liukkaudentorjunta.

Kesäaikaiseen runkorakentamiseen verrattuna talvirakentamisessa kustannukset ovat korkeammat. Korkeammat kustannukset muodostuvat talven aiheuttamista haitoista. Talvibetonoinnissa käytettävät erikoisbetonilaadut ovat kalliimpia kuin normaalit betonit. Betonivalujen lämmöntarpeen takia työmaa-aikainen energian käyttö on suurempaa, jotta saadaan betonimassojen lämpötilat haluttuihin arvoihin ja sitä kautta päästään suunniteltuihin lujuuksiin suunnitellussa ajassa. Työmaalla tarvitaan enemmän kalustoa ja tarvittaessa henkilöstöä talven kovuudesta riippuen. Jos pakkaset kasvavat liian koviksi työt saatetaan jopa seisauttaa kokonaan.

Talvi aiheuttaa aina lisäkustannuksia, mutta onnistuneen ennakkosuunnittelun ja työmaatoiminnan avulla niitä pidetään kurissa.

Opinnäytetyön aiheena on talvibetonointi. Opinnäytetyössä tutkitaan talvibetonoinnin erikoistoimenpiteitä niin itse työn aikana kuin työn suunnittelussa. Työn tarkoituksena on luoda työn tilaajan käyttöön nykyaikainen talvibetonointi ohje.

Työssä hyödynnetään myös kahta työmaata: As Oy Keravan Karolinaa sekä As Oy Tuusulan Majapaikkaa, joissa tarkastellaan erilaisten betonivalujen suunnittelu, suojaus, laadunvarmistus sekä toteutusmenetelmiä. Molemmat kohteet sijoittuvat runkovaiheeltaan täysin sydän talveen.

Työn tiedonlähteinä käytettiin alan kirjallisuutta, internet-julkaisuja, haastatteluja sekä työnaikaista dokumentointia. Työn aihe keskittyy uudisrakentamiseen.

1.1 YIT Rakennus Oy

Opinnäytetyön tilaajana on YIT Rakennus Oy, Asuintalot Etelä-Suomen yksikkö, jonka toimipiste sijaitsee Hämeenlinnassa. Yksikön toiminta-alue on Etelä-Suomen alueella Hämeenlinnasta Espooseen, jonne rakennetaan pääasiassa kerrostaloja. Työntekijöitä on yhteensä n. 100 joista n. 50 on toimihenkilöitä ja n. 50 työmailla ja elementtitehtaalla. Elementtitehdas sijaitsee myöskin Hämeenlinnassa.

YIT Rakennus Oy on suomalainen yritys, jolla on yli 100 vuoden kokemus rakennusalalta. Sen lisäksi, että YIT on suurin asuntojen rakentaja Suomessa, on se myös suurin ulkomainen asuntorakentaja Venäjällä. Kokonaisuudessaan YIT työllistää tällä hetkellä noin 5300 henkilöä koko toiminta-alueellaan, joka kattaa Suomen, Venäjän, Baltian maat, Tšekin, Slovakian ja Puolan. YIT toimii asunto-, toimitila- ja infrarakentamisen sektoreilla. (YIT 2016)

1.2 As Oy Tuusulan Majapaikka

As Oy Tuusulan Majapaikka on Tuusulan Jokelassa sijaitseva 4-kerroksinen kerrostalo-kohde, johon rakennetaan 31 asuntoa sekä 4 erillistä liiketilaa. Rakennusten alapohjana on maanvarainen teräsbetonilaatta. Asuinrakennuksen runkojärjestelmänä on kantavat betonisisäkuori-elementtiseinät, betoniset huoneistojen väliset seinät sekä ontelolaattaväli- ja yläpohjat. Parvekkeet ovat betonielementtirakenteisia. Kohteessa on kaukolämpö ja asuntojen lämmönjakelu toteutetaan vesikiertoisella patterilämmityksellä.

1.3 As Oy Keravan Karolina

As Oy Keravan Karolina on Keravan Ahjossa sijaitseva kohde, jossa on 2 kpl 1-portaisia 4-kerroksisia asuinkerrostaloja, piharakennus, 2 kpl autokatoksia sekä tukimuuria kahdessa eri osassa. Asuntoja kohteessa on yhteensä

58 kpl. Kerrostalojen sekä tukimuurien perustukset on tehty teräsbetonipaaluilla. Alapohjana toimii tuulettuva ontelolaatta-alapohja, huoneistojen väliset seinät ovat betonisia sekä väli- ja yläpohjat ovat ontelolaattoja. Ulkoseinät toteutetaan teräsbetonisina elementteinä.

2 TALVIBETONOINTI & YLEISTÄ BETONIRAKENTEISTA

Suomessa lasketaan talvibetonoinnin ja talvityöohjeiden ajaksi noin 7 kuukautta, eli aina kun vuorokauden keskilämpötila laskee alle $+5^{\circ}\text{C}$. Kun ulkoilman lämpötila on alhainen, tarvitaan betonointitöissä erikoistoimia. Myös jo ennen keskilämpötilan laskua alle $+5^{\circ}\text{C}$:n tulee seuraavien työvaiheiden ja etenkin betonivalujen suunnittelut olla tehtynä hyvissä ajoin.

Erikoistoimet talvibetonoinnissa ovat käytännössä suojaus, lämmitys, muottien lämpösuojaus, lämpötilan seuranta sekä oikeanlaisen massan valinta. Oikeanlaisen massan valinnalla tarkoitetaan esimerkiksi kuumabetonin käyttöä, betonin lujuusluokan nostoa, erilaisten lisäaineiden käyttöä tai nopeasti kovettuvan betonin käyttöä. (Anttila, Kosomaa, Merikallio, Siro, Tulimaa, Suikka, Mannonen, Tuomisto & Virtanen 2012, 341.)

Betonin lujuudenkehityksessä tarvitaan aina lämpöä. Työn aikana vallitseva lämpötila sekä tuulen voimakkuus vaikuttavat betonin lämpötilaan ja sitä kautta lujuudenkehitykseen. Lämpötilan laskiessa lujuudenkehitys hidastuu huomattavasti. Betonin lämpötilan jäädessä $+5^{\circ}\text{C}$ on sen lujuudenkehitys jo niin hidasta, ettei sitä hyväksytä käytännön rakentamisessa. Oikeat työmenetelmät ovatkin talvibetonoinnissa välttämättömät, jotta vältetään betonin vaurioittamiselta. (Hämäläinen & Manninen 2011, 11.)

Betonin lujuuden kehitystä tulee seurata esimerkiksi toteutuneiden lämpötilojen mukaisesti valun aikana. Valun aikaista lämpötilaa voidaan mitata dataloggereiden avulla. Lämmönkehityksen perusteella voidaan ennustaa betonin lujuuden kehitys. Nykyään on mahdollista hankkia reaaliaikainen lujuuden seurantapalvelu joka ilmoittaa mittaustulokset langattomasti. (Ruokonen 2015.)

Talvibetonointikauden aikana käytettävän betonin valinta on tärkeää työsuorituksen onnistumisen kannalta. Betoninormien mukaisesti betonoitaessa massan lämpötila on oltava vähintään $+5^{\circ}\text{C}$. Kun valitaan betonimasalle lämpötilaa, tulee ottaa huomioon lämpötilan aleneminen betoniasemalta työmaalle tullessa, sekä työmaalla mahdollisen odottelun seurauksista.

Betonivalun aikana tärkeää on huomioida betonin nopea siirto muottiin ja sen välitön suojaus. Etenkin tuuli lisää jäähtymisnopeutta merkittävästi.

Jäähtyminen johtaa hidastuneisiin sementin kovettumisreaktioihin, sitoutumisen viivästymiseen ja siten hitaaseen lujuudenkehitykseen. (Vuorinen 2012.)

Kaikissa betonointityön vaiheissa, myös kesällä, saattaa syntyä virheitä. Valtaosa hankalasti korjattavista sekä vaarallisista virheistä tosin ovat syntyneet talviaikana johtuen huolimattomasti suoritetusta ja johdetusta työstä.

Talvityön aikana tapahtuu laiminlyöntejä mm. lähtöpintojen riittämättömässä lämmityksessä. Tämä aiheuttaa massan pikaista jäähtymistä ympäröivän rakenteen mukaiseksi, ja betoni saattaa jopa jäätyä ennen lämmityksen aloittamista. Myös betonimassan lämpötila jää tavoiteltua alhaisemmaksi, ja sitä kautta betoni ei saavuta tavoiteltua lujuutta suunnitellussa ajassa. Myös muottien puhdistukseen lumesta tulee kiinnittää huomiota, sillä sulaneesta lumesta muodostuva vesi vaikuttaa betonin vesiseimenttisuhteeseen.

Betonivalun peittäminen, suojaaminen sekä lämmityksen aloitus tulee käynnistyä nopeasti heti kun se on mahdollista. Tätä kautta massan lämpötila ei jää liian alhaiseksi, tai pahimmassa tapauksessa jäädy, ja betonille saavutetaan tavoiteltu lujuus. (Anttila ym. 2012, 399-400.)

2.1 Talvityöt- ja kustannukset

Talviaikainen rakentaminen lisää työmenekkiä ja materiaalien kulutusta. Tarvitaan myös enemmän kalustoa ja energian kulutus on suurempaa kuin kesällä. Lisätöihin vaadittavaa aikaa voidaan korvata suurentamalla työmaan resursseja, mutta siltikin usein talvi viivästyttää rakentamista ja aiheuttaa lisäkustannuksia. Talven vaikutukset rakentamiseen kustannusten kasvua ajatellen voivat nousta erittäin korkeiksi, mikäli talven vaikutuksia ei ole otettu huomioon.

Talvirakentamisessa perustustyövaiheessa talven tuomat lisäkustannukset ovat 13-15%, runkotyövaiheessa 5,5-7,5% ja sisävalmistusvaiheessa 3,3-3,7%. (RT-Kortti C8-0377 2010, 1.)

Talvikustannukset muodostuvat kokonaistyömenekin kasvusta, materiaalihukasta, energian tarpeen kasvusta, koneiden ja laitteiden lisääntyneestä tarpeesta ja rakennusajan kasvusta.

Kokonaistyömenekin kasvun aiheuttavat töiden talvityöhaitat ja talvilisätyöt. Talvisin on heikommat sää- ja valaistusolosuhteet. Alhaisemmat lämpötilat, lumisateet sekä työkohteessa oleva lumi ja jää lasketaan talvityöhaittoiksi. Talvityöhaittojen vaikutukset ovat työsaavutusten pieneneminen ja työn keskeytysten lisääntyminen. Talvilisätyöt ovat talvibetonoinnin suojaus- sekä lumi- ja jäätyöt.

Materiaalihukkaa aiheutuu materiaalien pilaantumisesta ja katoamisesta. Myös tarpeettoman paljon kalusto- ja käyttötarvikkeita, työkaluja ja peitteitä hautautuu lumen ja jään alle. Materiaalien talvikustannuksiin laskeetaan myös suojamateriaalien hankintakustannukset ja vuokratulot. Myös talviaikana käytettävät betonimassat tuovat lisäkustannuksia. (RT-Kortti C8-0377 2010, 3.)

Energiantarpeen kasvun lisäkustannukset muodostuvat lisääntyneestä energiankulutuksesta, mm. betonivalujen ja rakennuksen lämmittämisestä ja kuivattamisesta ja lumen ja jään sulatuksesta.

Koneista ja laitteista aiheutuvilla kustannuksilla tarkoitetaan talviaikaisessa rakentamisessa käytettävistä erilaisista koneista ja laitteista syntyviä kustannuksia. Näihin luetaan esimerkiksi lumen ja roudan sulatukseen tarvittavia laitteita, mutta myös maarakennustöissä tarvitaan tehokkaammat ja isommat koneet roudan vuoksi.

Rakennusajan kasvu muodostuu talvilisätöistä sekä talven aiheuttamista keskeytyksistä työmaalla. Työturvallisuuslain mukaisesti työnantajan on taattava työntekijöille kunnolliset työskentelyolosuhteet. Jos työmaalla ei säännöksi voida taata kunnollisia työskentelyolosuhteita, on työnantajan velvollisuus keskeyttää työskentely. (RT-Kortti C8-0377 2010, 4.)

Talvikustannusten määrittelemiseksi materiaalien osalta on selvitettävä sen hinta- ja menekkierot kesään verrattuna. Talviaikaisten materiaalien hinnat eroavat kesäaikaisista, mutta koska suurin osa rakennusliikkeiden hankinnoista perustuu kohdekohtaisiin hankintatarjouksiin ja vuosisopimuksiin, ei hinnoissa ole merkittävää vuodenajan vaikutusta.

Talviolosuhteet tarvitsevat omanlaisiaan materiaaleja, esimerkiksi pakkasbetonin hinta on lähes kaksinkertainen normaalisti kovettuvaan betoniin nähden. Nopeasti kovettuvan betonin hinta on 17-20% korkeampaa ja kuumabetonin lisähinta on 5-10% normaalisti kovettuvaan betoniin nähden. (RT-Kortti C8-0377 2010, 5.)

Materiaalien käytön suunnittelussa otetaankin huomioon esimerkiksi betonoinneissa kokonaisuudessaan edullisin ja järkevin vaihtoehto.

Esimerkiksi ontelolaattojen saumajuotos-betonissa ero pakkasbetonin ja lämpöluokassa 1 olevan rapid-saumausbetonin kuutiohinnassa on noin 60€/m³.

Ontelolaattojen saumat kuitenkin tarvitsevat lujuutta elementtiasennussuunnitelman mukaisesti 60% nimellislujuudestaan ennen kuin niitä voidaan kuormittaa, joten tulee varmistua riittävästä lujuudenkehityksestä. (Helminen 2017.)

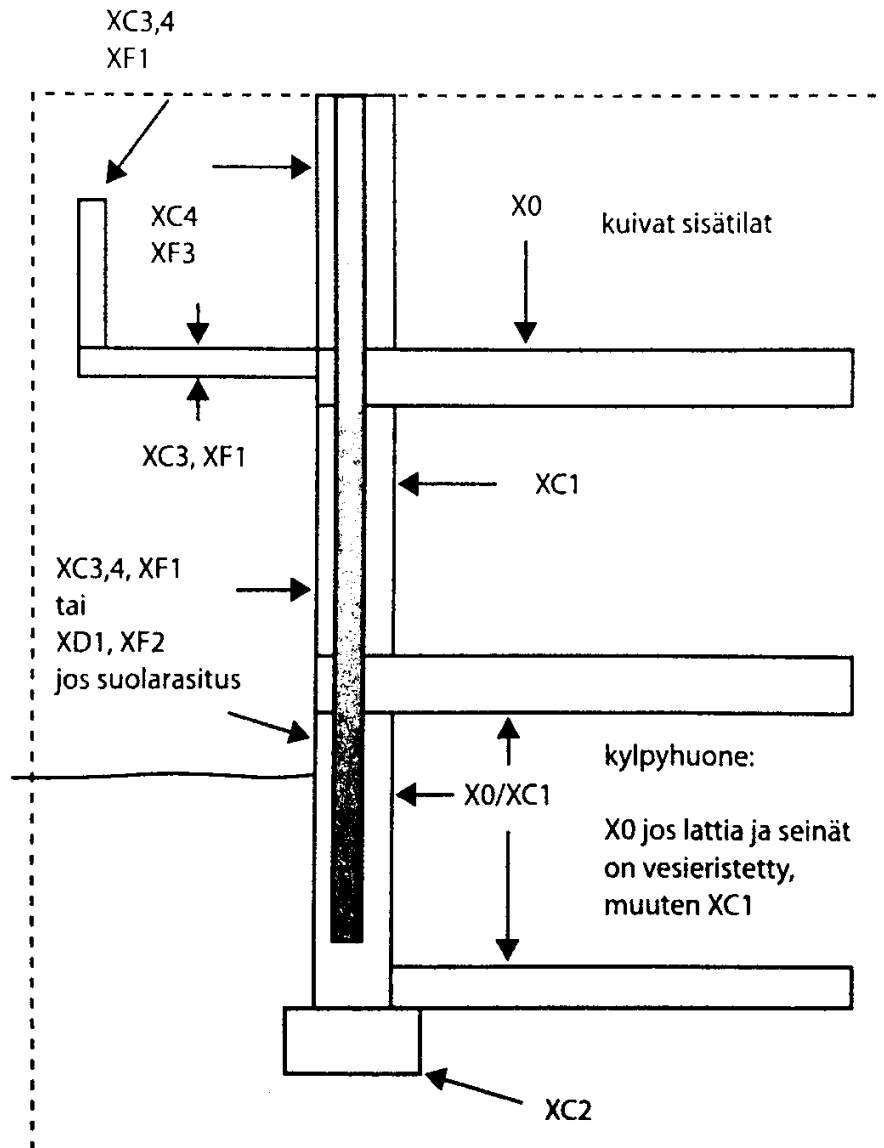
2.2 Yleistä betonirakenteista

Betonirakenteiden toteuttamiselle asetetut vaatimukset jaetaan rakenteiden vaativuuden mukaan kolmeen toteutusluokkaan. Toteutusluokat koskevat betonielementtien osalta työmaalla vain niiden asentamista. Toteutusluokka valitaan Betonirakenteiden suunnittelun perusteet-standardin (SFS-EN 1990), seuraamusluokkien sekä rakenteen käyttöön ja toteutukseen liittyvien riskitekijöiden perusteella. Toteutusluokka tarkoittaa koko rakennetta, rakenteen osaa tai toteutuksessa käytettyjä materiaaleja ja menetelmiä. Se myös määrittelee työmaalla tapahtuvan laadunvalvonnan ja dokumentaation tason. (Johansson, Mannonen, Merikallio, Haara, Mantila & Tikanoja 2016, 8.)

2.2.1 Rasitusluokat

Suunnittelijan on arvioitava jokaiselle rakenteelle rasitusluokat ja merkittävät ne rakennuspiirustuksiin. Tätä kautta saadaan raja-arvot lujuusluokalle, maksimi vesi-sementtisuhteelle, minimisementtimäärälle sekä tarvittaessa betonin ilmamäärälle. Rasitusluokan raja-arvo vesi-sementtisuhteelle on usein määräävä ja betonisuhteutuksen lujuustaso määräytyy sen eikä lujuusluokan mukaan. Mikäli työmaalla on epäselvyyksiä rasitusluokkien määrittämisestä tai betonin raja-arvoista, pitää olla yhteydessä betonin toimittajaan. Kuvassa 1 on esitettyinä periaatteet rakenteiden jakamisesta rasitusluokkiin.

Betonia tilattaessa on aina osattava kertoa rasitusluokat, sillä ne ovat suhteutusten lähtötietoina ja ne ovat vaadittuna myös kuormakirjatietoihin. Rasitusluokkien perusteella saadaan sallitut sementtilaadut, seosainosuudet, maksimi vesi-sementtisuhte, minimisementtimäärä, lujuusluokka ja tarvittaessa ilmamäärä, F-luku sekä P-luku. (Anttila n.d., 1-2.)



Kuva 1. Kerrostalon osien sijoittuminen eri rasitusluokkiin (Betoniteollisuus ry 2013, 9).

Rasitusluokat jaetaan 5 kokonaisuuteen:

- X0-luokka, jossa ympäristö ei rajoita rakenteen käyttöikä. Rakenne on raudoittamaton, tai raudoitettu rakenne on kuivassa olosuhteessa ilman pakkasrasitusta.
- XC-luokat, joissa betoni toimii raudoitteen suojana fysikaalisesti, että kemiallisesti. Betonin korkea emäksisyys muodostaa teräksen pinnalle tiiviin oksidikalvon joka suojaa sitä. Karbonatisoituminen laskee betonin emäksisyyttä. Kun betonin pH laskee riittävän alas alkaa teräksen korrosio, kun raudoitusten kemiallinen suoja häviää.
- XD- ja XS-luokat, joissa kloridit voivat käynnistää terästen korroosion joka aiheuttaa betoniin syntyviä lohkeamia sekä terästen poikkipinnan pienenemistä. Paras suoja kloridien aiheuttamaa korroosiota vastaan on riittävä betonipeite raudoituksilla, sekä tiivis betoni.

- XF-luokat, joissa betonin kapillaarihuokosissa sijaitseva vesi jäätyy ja aiheuttaa pakkasrapautumisen. Betonimassan pakkaskestävyyttä voidaan parantaa esim. betonin huokostamisella.
- XA-luokat, joissa betoniin kulkeutuu aineita ympäristöstä, jotka heikentävät sementin hydrataatiotuotteita tai paisuttavat sementtikiveä ja sitä kautta rakenne vaurioituu. Tyypillisiä betonia vahingoittavia aineita ovat sulfaatit ja hapot. Betonin tiiveydellä on paras vaikutus sen suojaamiseen haitallisilta aineilta ja sitä kautta parantamaan sen kemiallista kestävyttä. Sulfaatinkestävyyttä voidaan parantaa myös SR-sementti sideaineella. (Finnsementti n.d.)

2.2.2 Lujuusluokat

Suunnittelija asettaa kaikille betonirakenteille lujuusluokkavaatimuksen kuormitusten mukaan. Ennen on käytetty lujuusluokkatunnusta K (esim. K30), mutta vuoden 2010 jälkeen käyttöön tuli eurostandardien mukaiset tunnuksset C (esim. C25/30).

Rakennepiirustuksiin merkitään kiviaineksen maksimiraekoko, jonka valinnassa huomioidaan rakenteiden mitat, jotta betoni saadaan tiivistymään rakenteen eri osiin ja terästen ympärille.

Kun suunnitellaan eurokoodeilla, ilmoitetaan betonin lujuusluokka C-lujuusluokkia käyttäen. Se ilmoitetaan 28 vuorokauden ikäisen betonin lieeriö- ja kuutiopuristuslujuuden suhteen esimerkiksi C25/30. (Anttila n.d., 3.)

2.2.3 Toteutusluokat

Aiemmin käytetyt rakenneluokat poistuivat betonirakenteiden ohjeiden siirtyessä eurokoodiaikaan. Rakenneluokkiin liittyi suunnittelun ja rakenteen valmistuksen vaatavuus. Kuitenkaan eurokoodeissa eikä muissakaan eurooppalaisissa standardeissa ollut tällaista luokitusta vaan asiat huomioidaan eri yhteyksissä. (Hietanen 2010, 57.)

Betonirakenteille aiemmin määritettiin kolme eri rakenneluokkaa. Luokkia nimitettiin 1-, 2- ja 3-luokiksi. Rakenneluokka ilmoitettiin lujuusluokan jälkeisellä numeromerkinnällä, esim. K35-2. Määrätyn rakenneluokan mukaisesti sen suunnittelijalla sekä betonityönjohtajalla tuli olla riittävä pätevyys.

Rakenneluokkaa 1 käytettiin rakenteille, joiden suunnittelun katsottiin vaativan erityistä pätevyyttä tai joiden valmistaminen vaati erityistä huolellisuutta rakenteellisen toiminnan varmistamiseksi. Vaativan rakenteen määritelmä kattaa jännitetyt rakenteet sekä tavanomaisesta poikkeavat monikerrokset elementtirakenteet. 2-luokassa ei saatu käyttää raken-

teen suunnittelussa tai laskelmissa lujuusluokkaa K40 korkeampaa betonia, eikä 3-luokassa korkeampaa kuin K20. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 199/132 § 13.)

Siirryttäessä eurokoodiaikaan tuli kolme toteutusluokkaa, jotka poikkeavat toisistaan tarkastusten vaatimusten suhteen. Tarkastusten vaatimustaso kasvaa luokasta 1 luokkaan 3.

Toteutusluokka 1 vastaa entistä rakenneluokkaa 3. Rakenteissa ja niiden mitoituksessa saa käyttää korkeintaan C20/25 lujuutta betonissa. Tätä luokkaa voidaan käyttää vain seuraamusluokan CC1 rakenteille.

Toteutusluokka 2 vastaa entistä rakenneluokkaa 2, mutta sitä ei voida käyttää korkealujuusbetonille. Luokassa 2 betonin lujuuden yläraja kasvoi luokasta K40 luokkaan C50/60. Tätä voidaan käyttää CC1 ja CC2 seuraamusluokkien rakenteille.

Toteutusluokka 3 on korkealujuusbetonille, tai kun rakenteen valmistaminen vaatii sen toiminnan varmistamiseksi erityistä huolellisuutta, tai toteutus vaatii erityistä pätevyyttä. Toteutusluokka 3 valitaan seuraamusluokan CC3 rakenteille.

Toteutusluokat eivät koske tuotestandardin mukaan valmistettuja elementtejä, vaan ainoastaan työmaatöitä. (Hietanen 2010, 57.)

2.2.4 Seuraamusluokat

Eurokoodeissa rakenteessa mahdollisen vaurion seuraamukset katetaan seuraamusluokilla, joita on yhteensä 3.

Seuraamusluokassa CC3 on suuret seuraamukset hengen menetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristöjen takia. Käytännössä tällä tarkoitetaan esimerkiksi rakennuksen runkoa kokonaisuudessaan sellaisissa rakennuksissa, joissa on usein suuri joukko ihmisiä. Tällaisia ovat yli 8-kerroksiset asuin- tai liikerakennukset, katsomot, konserttitalit, sekä raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävät rakennukset.

Seuraamusluokassa CC2 on keskisuuret seuraamukset hengenmenetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia. Näitä ovat rakennukset jotka eivät kuulu luokkiin CC3 tai CC1. Elleivät ylä- ja välipohjat toimi koko rakennusta jäykistävänä rakenteena, ne kuuluvat luokkaan CC2.

CC1 luokassa on vähäiset seuraamukset hengenmenetysten tai pienten/merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia. Tässä luokassa esimerkkeinä toimii 1- ja 2-kerroksiset rakennukset, joissa oleskelee vain tilapäisesti ihmisiä. Tällaisia rakennuksia ovat esi-

merkiksi varastot sekä rakenteet joiden vaurioitumisesta ei aiheudu merkittävää haittaa. (Eurocode-standardien soveltaminen talonrakentamisessa 2007 § 2.)

3 KÄYTETTÄVÄT BETONITYYPIT, SEMENTIT JA LISÄAINEET

Betonin toimittaja osaa ohjeistaa käyttämään heidän tuotevalikoimastaan kohteeseen sopivia betonilaatuja, jotta saavutetaan betonin vaaditut ominaisuudet. Suunnittelija on esittänyt rakenteelle vaaditun lujuusluokan.

Maksimiraekoko valitaan massan siirtotavan, valettavan rakenteen mittojen sekä raudoitustiheyden mukaan mahdollisimman suureksi. Raekoon pientyessä massassa tarvittavan sementtiliiman määrä kasvaa ja se johtaa mm. betonin kutistuman ja halkeilun lisääntymiseen.

Massan notkeus valitaan myös massan siirto- ja tiivistystavan mukaan sekä rakenteen mittojen, raudoitustiheyden sekä vallitsevien olosuhteiden mukaan. Massan notkeutta nostaessa tarvittavan sementtiliiman määrä kasvaa betonissa joka johtaa myös aiemmin mainittuihin ongelmiin. Betonimassa saadaan notkeaksi käyttämällä notkistavia lisäaineita.

Seosaineita voidaan käyttää sementin lisäksi betonimassassa sideaineina. Talvella käytetään nopeampia sideaineyhdistelmiä, massiivivaluissa ja kuumissa olosuhteissa käytetään sideaineyhdistelmää joka omaa alhaisen lämmöntuoton. Seosaineita ovat mm. lentotuhka, masuunikuona ja silika. (Valmisbetoni n.d.)

Lisäaineita betonimassassa käytetään betonin ominaisuuksien muokkaamiseen. Niillä voidaan lisätä betonimassan notkeutta, parantaa sen työstettävyyttä sekä nopeuttaa kovettumista. Käytettäviä lisäaineita ovat notkistimet, kiihdyttimet sekä huokostimet. (Vasama 2017.)

Notkistimet parantavat betonin työstettävyyttä ja lisäävät massan notkeutta. Vähemmän veden määrä massassa pienentää vesi-sementtisuhdetta ja siten nostaa betonin lujuutta. Vähäinen määrä notkistin-lisäainetta eivät vielä vaikuta betonin lujuudenkehitykseen, mutta runsas käyttö viileissä olosuhteissa hidastaa betonin sitoutumista.

Huokostimet ovat lisäaineita, joita käytetään, kun rakenteelta vaaditaan säänkestävyyttä. Huokostettu betoni kestää toistuvaa jäätymistä ja sulamista kovettuneena siihen muodostuneiden suojahuokosten avulla. Jäähtynyt vesi laajenee suojahuokosiin vaurioittamatta rakennetta.

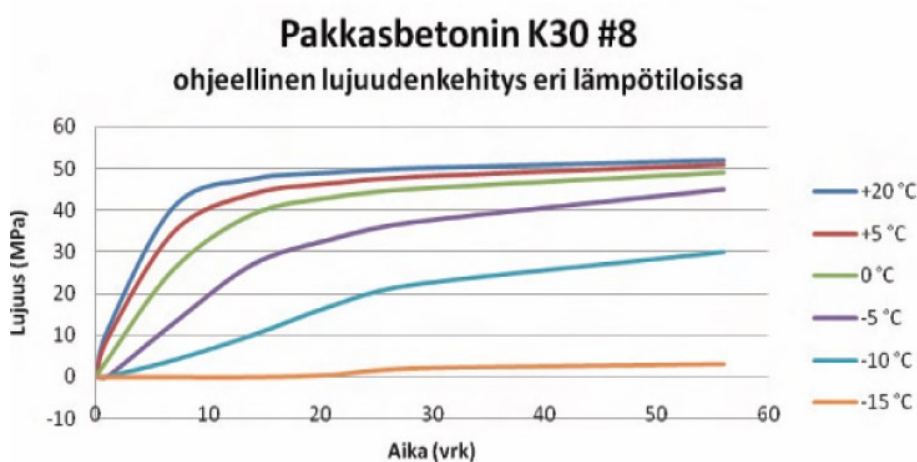
Kiihdyttimillä ei talviaikana voida merkittävästi vaikuttaa betonin kovettumiseen. Joidenkin kiihdyttimien ominaisuuksiin kuuluu jäätymspistettä

alentava vaikutus. Tärkeää on huomioida kiihdyttimien mahdolliset vaikutukset betonin säänkestävyyteen, kutistumiseen sekä raudituksen korroosioon. (Sahlstedt, Koskenvesa, Lindberg, Kivimäki, Palolahti & Lahtinen 2013, 23.)

3.1 Pakkasbetoni

Pakkasbetoni on talvirakentamissa käytettävä erikoisbetoni, joka sisältää jäätyminen estoainetta. Jäätyminen estoaine alentaa veden jäätymisspistettä, joten betoni ei pääse jäätymään ja sitä kautta laajenemaan ja rikkoamaan rakennetta. Pakkasbetoni on erittäin notkistettua massaa joka sisältää paljon rapid-sementtiä. Pakkasbetoniin ei saa työmaalla lisätä vettä tai muita lisäaineita. Käyttöalue on toimittajasta riippuen jopa -15°C asti. Kuten normaalikin betoni, pakkasbetoni tarvitsee lujuudenkehitykseensä lämpöä. Paras käyttöalue on $+5^{\circ}\text{C}$... -5°C .

Pakkasbetonia ja pakkasenkestävää betonia ei tule sekoittaa toisiinsa. Pakkasenkestävä, eli säänkestävä betoni, tarkoittaa betonia, joka kestää ulkoolosuhteissa kovettuneena toistuvaa jäätymistä ja sulamista. Myös pakkasbetoni voi olla pakkasenkestävää, mutta siitä tulee erikseen sopia betonin toimittajan kanssa.



Kuva 2 Pakkasbetonin ohjeellinen lujuudenkehitys eri olosuhteissa (Rudus Oy n.d., 2).

Lujuudenkehityskäyristä eri lämpötiloissa huomataan lujuudenkehityksen tapahtuvan vielä -10°C lämpötilassa, mutta -15°C lämpötilassa se on jo miltei olematonta.

Pakkasbetonia käytetään elementtien sauma- ja juotosvaluihin sekä muihin täyttövaluihin talvibetonointikauden aikana rasitusluokissa X0, XC1, XC2 ja XC3. Pakkasbetonia ei saa käyttää rakenteissa, joissa on XD, XS, XF3 rasitusluokka. Täten se ei sovellu rakenteeseen joka on pakkas-, suola- tai pakkassuolarasituksessa.

Pakkasbetoni on vaikeammin työstettävää ja siinä on lyhyempi työstettävyyss aika normaalibetoniin verrattuna. Tilattavat kuormakoot tulee sovittaa valunopeuden mukaisiksi betonin ennenaikaisen jäykistymisen välttämiseksi. Betoni tiivistetään ja hierretään normaalibetonin tapaan. (Rudus Oy n.d.)

3.2 Pakkaskestävä betoni

Pakkaskestävän betoniin lisätään huokostin-lisäainetta. Se mahdollistaa pienten ilmakuplien muodostumista betoniin, joten jos betoni jäätyy märkänä, vesi pääsee laajenemaan huokosiin. Pakkaskestävyys edellyttää myös enintään vesi-sementtisuhdetta 0,60. Pakkaskestävän betonin käyttökohteita ovat paikat joissa betoni voi jäätää kosteana. (Anttila n.d., 4)

3.3 Kuumabetoni

Kuumabetoni on valmisbetoniasemalla lämmitetty normaalisti toimitettavaa betonia kuumemmaksi. Näin betonin lujuudenkehitys nopeutuu ja työmaalla lisälämmityksen tarve pienenee. Kuumabetoni korvaa osittain työmaan lisälämmitystarpeen, mutta erityisesti kylmiin rakenteisiin rajoituvissa kohdissa tarvitaan lisälämmitystä. Betonimassan lämpötilan valintaan vaikuttaa valuaikaiset sääolosuhteet, muottikalusto sekä työmaan lämmitystoimenpiteet.

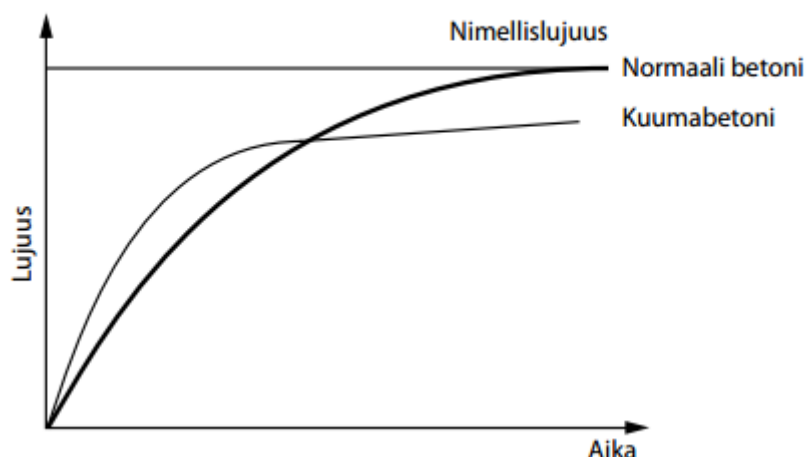
Kuumabetonia toimitetaan toimittajasta riippuen eri lämpötilaluokissa. Nykypäivänä lämpötilaluokkia on pääsääntöisesti 2

Luokka 1: 25°C

Luokka 2: 35°C

Luokka 1 on ehdottomasti käytetyin luokka talvibetonivaluissa, sillä luokan 2 työstettävyyden on jo suhteellisen hankalaa, ja massa jämähtää nopeasti. (Toivonen 2017.)

Eri betonin toimittajilla lämpöluokat vaihtelevat, mutta pääosin nykypäivänä kuumabetonia toimitetaan kahdessa lämpöluokassa, 25 ja 35 asteisena, aiemmin lämpöluokkia saattoi olla toimittajasta riippuen jopa 3.



Kuva 3. Kuumabetonin käyttö nopeuttaa erityisesti ensimmäisten tuntien sitoutumista ja lujuudenkehitystä. Kuumabetonin käyttö alentaa loppulujuustasoa, jos rakenteen lämpötila ylittää $+50^{\circ}\text{C}$ (Betoniteollisuus ry 2013, 21).

Kuvassa 3 nähdään kuumabetonin lujuudenkehitys alkuvaiheessa verrattuna normaaliin betoniin. Massan lämpötila on alkuvaiheessa heti maksimissaan, joka aiheuttaa erittäin nopean lujuudenkehityksen ja kiihdyttää sementin reaktioita. Korkean lämpötilan ansiosta betonin riittävä alkukovettuminen tapahtuu yleensä ilman lisälämmitystä. Kun betonimassan lämpötilaa nostetaan, sitoutuminen nopeutuu ja betonimassan jäykistymien aikaistuu. Sitä kautta betonimassan työstettävyys huononee ja betonimassa jämähtää nopeammin.

Korkean lämpötilan johdosta betonin lämpötila alkaa nousta jo muutamien tuntien kuluttua valusta, kun normaalibetonilla sama ilmiö tapahtuu 6-7 tunnin kuluttua valusta.

Kuumabetonilla on tiettyjä etuisuuksia tavanomaiseen lämpökäsiteltyyn betoniin nähden. Lämpölaajenemiset tapahtuvat jo betonin sekoitusvaiheessa eivätkä ne aiheuta haittaa betonin kovettumisvaiheessa. Myös kuumabetonin halkeiluriski on pienempi verrattuna lämpökäsiteltyyn betoniin.

Kuljetuksenaikaiset lämpöhäviöt massassa ovat vähäiset. Normaalisti kuljetusmatkasta riippuen lämpötilojen on mitattu vähenevän $1-3^{\circ}\text{C}$. Massan suurimmat lämpöhäviöt syntyvät kylmistä muoteista ja ympäröivistä rakenteista. Kuumabetoni on energiankäytön kannalta paras lämmitysmenetelmä, kunhan lämpösuojaus on suoritettu hyvin ja lämmönhaihtuminen estetty. (Anttila ym. 2012, 374-375.)

3.4 Normaalisti kovettuva rakennebetoni

Normaalisti kovettuva rakennebetoni on edullinen perusbetonilaatu. Käyttökohteina ovat betonirakenteet joille ei ole asetettu mitään erikoisvaatimuksia sään-, kulutus- tai kemiallisen kestävyuden suhteen. Voidaan käyttää, kun luvassa ei ole kovia pakkasia, suojaus ja lämmitys on huolehdittu kuntoon. Tyypillisiä käyttökohteita talvibetonoinnin aikana ovat mm. perustukset. Lujuudenarvosteluikä on 28 vuorokautta. (Rudus Oy n.d.)

3.5 Nopeasti kovettuva betoni

Nopeasti kovettuva betoni saavuttaa nimellislujuutensa jo 7 vuorokauden aikana. Sillä on nopea varhaislujuudenkehitys johtuen sen kovettuessa kehittyvästä lämmöstä.

3.6 Sementit

Rakennussementtien valmistus tapahtuu jauhamalla klinkkeriä, seosaineita ja kipsiä kuulamyllyllä hienoksi jauheeksi. Käytettäviä seosaineita sementissä ovat kalkkikivi ja masuunikuona. Kipsiä sementissä käytetään sen sitomisajan säätämiseksi.

Sementti on hydraulinen sideaine, jossa hienoksi jauhettu epäorgaaninen materiaali sekoittuessaan veden kanssa muodostaa pastan, joka sitoutuu ja kovettuu hydrataatioreaktioiden kautta. Kovettumisen jälkeen se pitää lujuutensa jopa veden alla.

Standardin mukaisesti sementit tulee yksilöidä sementtilajin tunnuksella, lujuusluokkaa kuvaavalla luvulla ja varhaislujuutta kuvaavalla kirjaimella. Rakennussementit jaetaan kolmeen luokkaan, joilla tarkoitetaan sementin puristuslujuutta 28 vuorokauden iässä. Luokat ovat 32,5, 42,5 ja 52,5.

Suomessa käytettävät rakennussementit talvibetonoinnissa ovat yleissementti sekä rapidsementti. Yleissementti on normaalisti kovettuva edullinen sementti, joka sopii kaikkeen rakentamiseen, sekä elementteihin että valmisbetoniin.

Rapidsementti on nopeasti kovettuva sementti, tärkeät käyttökohteet ovat talvirakentaminen sekä lattiavalut. (Finnsementti n.d., 21)

3.6.1 Sitoutuminen

Aiemmin mainitulla kipsilisäyksellä sementtiin varmistetaan sille sopiva sitoutumisaika. Standardin mukaisesti lujuusluokan 52,5 sementtien sitoutumisaika tulee olla vähintään 45 min, lujuusluokan 42,5 vähintään 60 min

ja lujuusluokan 32,5 vähintään 75 min. Sitoutumisaika on myös riippuvainen lämpötilasta. Nyrkkisääntönä voidaan mainita, että mikäli lämpötila kohoaa 10°C:tta, niin sitoutumisaika lyhenee puoleen.

Kun betoni on sitoutumisvaiheessa sitä ei saa enää täryttää. Sitoutumisvaiheen aikana täryttäessä betonissa muodostunut heikko sementtikivi rikkoutuu ja aiheuttaa merkittävän lujuuskadon.

Varsinaiset lujittumisreaktiot alkavat sitoutumisen päätyttyä eli noin 4-6 tunnin kuluttua. Lujittumisreaktiot jatkuvat niin kauan kuin hydratoitumiseen käytössä olevaa vettä on jäljellä. (Finnsementti n.d., 29.)

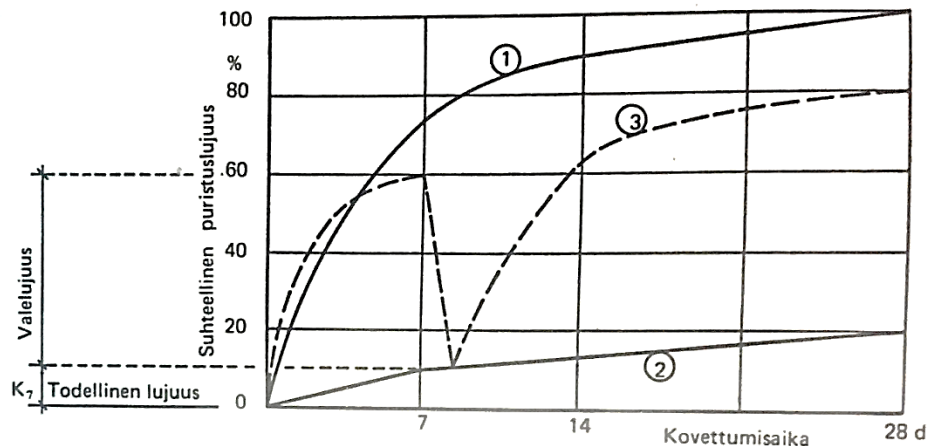
4 LUJUUDENKEHITYS

Betonin lujuuskehitys riippuu lämpötilasta, sementin laadusta, vesisementtisuhteesta ja lisäaineista. Tärkein näistä edellä mainituista on kuitenkin lämpötila. Tavoitelujuus betonille saavutetaan 28 vuorokaudessa, kun lämpötila pysyy +20°C ja työnsuoritus on virheetön. Kun lämpötila on matalampi, betonin kovettuminen hidastuu, ja taas vastaavasti, kun lämpötila on korkeampi, kovettuminen nopeutuu.

Kun lämpötila putoaa alle 0°C:n, betonissa oleva sitoutumaton vesi jäätyy. Lämpötilan ollessa -10...-15°C lujuudenkehitys pysähtyy täysin. Jäätysesään vesi laajenee 9% joka aiheuttaa sisäisen paineen betoniin, joka voi vaurioittaa betonia. (Anttila ym. 2012, 341.)

Betonien lujuudet voivat olla erilaisia, mutta silti niillä on kaikilla sama minimilujuus, jota kutsutaan jäätymislujuudeksi. Nimensä mukaisesti betonin jäätymislujuus tarkoittaa lujuutta, jonka saavutettuaan betoni voi jäätymään kerran menettämättä lopullisia ominaisuuksiaan. Betoninormien mukaisesti jäätymislujuus on 5 MN/m² betonin lujuusluokasta riippumatta. Mikäli betoni jäätyy ennen jäätymislujuuden saavuttamista, sen loppulujuus heikkenee merkittävästi. Betonin lujuudenkehitystä seurataan lämpötilamittauksin, tai muilla luetettavilla tavoilla. (Johansson ym. 2016, 77.)

Jäätynyt betoni voi siltikin kehittää todellisesta lujuudestaan huolimatta valesujuutta jopa 10-20 MN/m² verran, joka häviää betonin sulaaessa. Pahimmassa tapauksessa kun betoni sulaa ja valesujuus häviää, se voi aiheuttaa jopa rakenteen sortumisen. (Uusitalo, Ihanamäki, Rajala & Vallin 2012, 117.)



Kuva 4. Jäätymisen vaikutus betonin K20 lujuudenkehitykseen erään tutkimuksen mukaan. (Anttila ym. 2012, 345).

Kuvan 4 käyrästä 3 näkyy, kuinka valun jälkeen jäätyneet betoni on kehittänyt valelujuutta 60% suhteellisesta puristuslujuudesta. Kun lämpötila on nostettu +20°C huomataan, kuinka betoni on vaurioitunut pysyvästi menettäen noin 20% loppulujuudestaan. Muissa tutkimuksissa on havaittu loppulujuuden alentumia korkeimmillaan 80% jäätymisen takia. (Anttila ym. 2012, 346.)

Pahimmat ja yleisimmät virheet ja rakennevauriot syntyvät juurikin betonoidessa kylmissä olosuhteissa. Tästä syystä työmaan betonoinnista vastaavien henkilöiden on syytä tuntea kylmien olosuhteiden erikoisvaatimukset. (Anttila ym. 2012, 341.)

Lujuudenkehitystä voidaan nopeuttaa työmaalla eri toimenpitein. Nopeasti kovettuvan massan käyttö ja sen lujuusluokan nosto ovat helppoja ja edullisia toimenpiteitä. Betonimassan lämpötilan nosto sekä muutenkin valuaikainen lämmitys nopeuttavat lujuudenkehitystä. Viimeisimpänä ja melkein tärkeimpänä on muottien eristäminen sekä suojaus. (Sahlstedt, Koskenvesa, Lindberg, Kivimäki, Palolahti & Lahtinen 2013, 24.)

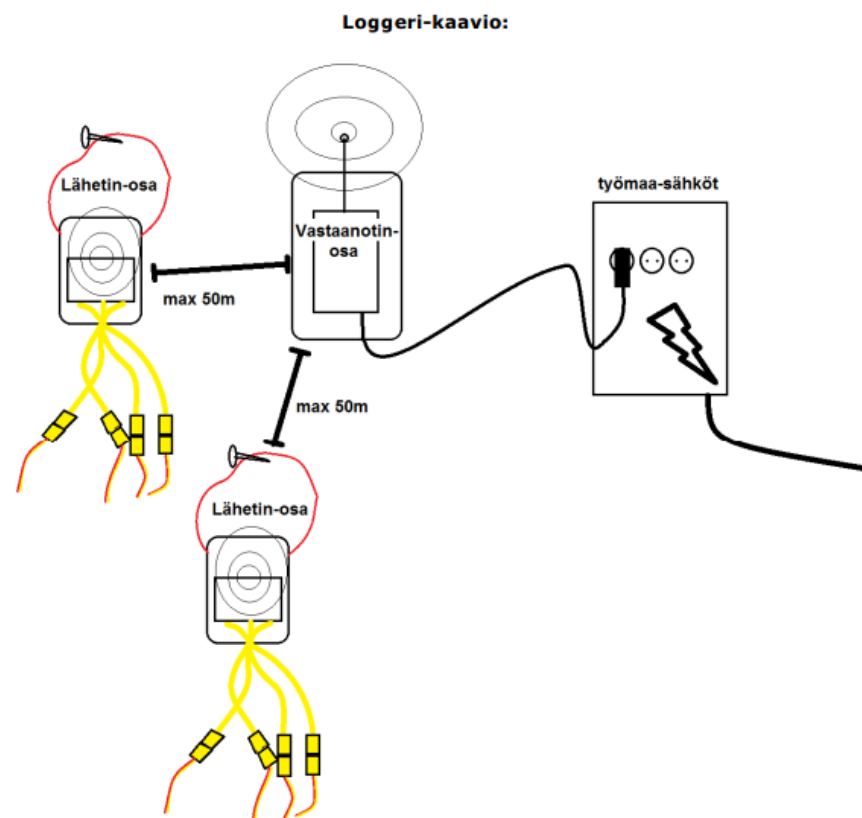
4.1 Lämpötilojen ja lujuudenkehityksen seuranta

Tärkeä valmistautumiskeino talvibetonointiin on lujuudenkehityksen seurannan suunnittelu etukäteen. Eli suunnitellaan mitä valvontakalustoa käytetään lämpötilojen seurantaan. Kovettuvan betonin lämpötiloja seurataan, jotta varmistutaan betonivalujen onnistumisessa ja lujuudenkehityksen etenemisestä. Ongelmakohtia ovat massiiviset rakenteet, joissa lämpötilaerot keskikohdan ja laitaosien välillä vaihtelevat ja maksimilämmöt betonivalun keskiosassa ovat korkeita. Myös hoikat rakenteet ja juotosvaikut vaativat tarkkuutta.

Opinnäytetyössä käytettiin langattomia sekä langallisia dataloggereita, joihin kytketään termoparilangat kiinni. Termoparilangat asetetaan rakenteeseen tutkittaviin kohtiin. Tässä opinnäytetyössä käytettiin kahta erilaista dataloggeria, Teston 176T4 ja Rudus Oy:n Nokeval internet-loggeri.

Teston dataloggeri mahdollistaa lämpötilamittaukset neljästä eri kanavasta samanaikaisesti T-, J- ja K-tyypin termoparilangoilla. Mitattu data vietään USB-kaapelilla tietokoneelle, jossa voidaan tarkastella saadut tulokset. Mittausalue toimii -200 asteesta +1000 asteeseen ja laite on IP65 suojattu, joten se voidaan jättää säiden armoille mittaamaan. (Testo 2016)

Ruduksen toimittama Nokeval-dataloggeri on kaksiosainen. Se sisältää lähettimen-osan sekä vastaanotin-osan. Lähettimeen kytketään termoparilangat kiinni, ja vastaanotin vietään esim. työmaatoimistoon. Maksimivälimatka näiden välillä saa olla korkeintaan 50 metriä. Tässä mallissa käytetään ainoastaan K-tyypin NiCr-Ni-termoparilankaa. Mittauksen lopetus tapahtuu vain irrottamalla mittauslangat lähettimestä.



Kuva 5. Nokeval-loggeri (Nietula 2016)

Langoista on hyvä ottaa talteen liittipäät, sillä ne voidaan kytkeä uudelleen käyttöön eri mittaukseen. Termoparilangan toinen pää kytketään valmistajan ohjeiden mukaisesti oikein päin liittimeen (kuva 6) ja toinen pää kuoritaan ja kieritetään yhteen. Päälle on syytä laittaa vielä esim. teippi tai vastaava suoja, ettei lanka osu raudoitteisiin ja aiheuta oikosulkuja ja epäonnistunutta mittauksia. (Nietula 2017.)



Kuva 6. Termoparilangan liitin pää (Nikkilä 2017)

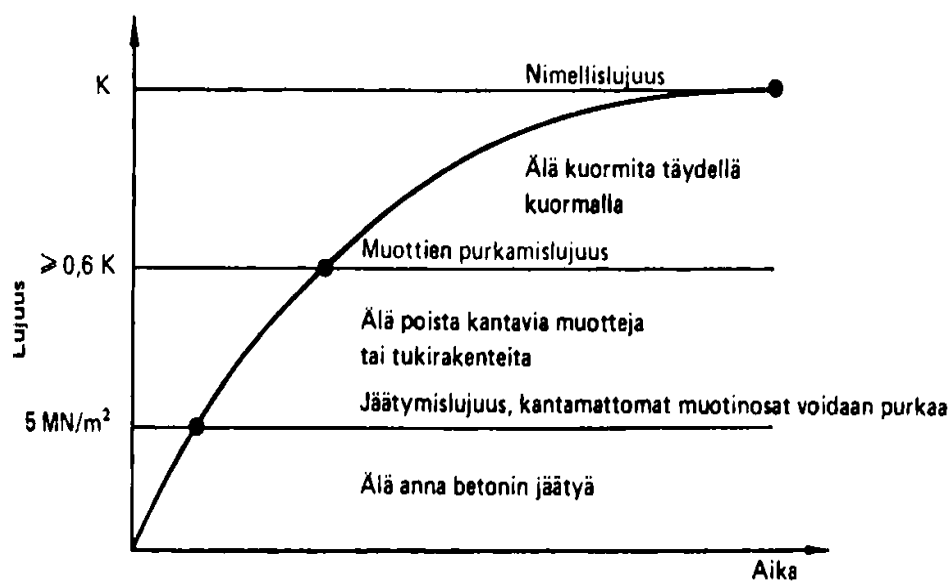
Loggeri mittaa lämpötiloja sen asetusten mukaisesti tiettyinä aikavälinä. Dataloggereissa on valittavissa automaattinen lämpötilojen mittaus väli minuutista 24 tuntiin. Kovettuvan betonin lämpötiloja on ensimmäisten vuorokausien aikana suositeltavaa mitata 1-3 tunnin välein. Tätä kautta saadaan varma tieto siitä, millaisissa lämpötilassa kovettuminen on tapahtunut ja mikä on betonin lujuus. Kriittisiä paikkoja mittausten kannalta ovat betonin pinta, kylmäsiltojen läheiset osat sekä ulkonurkat.

Lujuutta määrittelevillä ohjelmilla sekä laskentakaavoilla saadaan arvioitua betonin lujuutta. Vaikuttavia tekijöitä ovat betonin resepti, betonin lämpötila, betonoitavan kohteen mitat, suojaustapa sekä ulkona vallitseva sää. Laskentaohjelmat huomioivat myös käytettävien sementtien sekä lisäainesten vaikutukset. (Hämäläinen & Manninen 2011.; Anttila ym. 2012, 350.)

4.2 Lujuudenkehityksen tarkasteluhetket

Talvibetonoinnissa tärkeät tarkasteluhetket lujuudenkehityksen osalta ovat jäätymislujuuden saavuttaminen, muottien purkulujuuden saavuttaminen sekä nimellisljuuden saavuttaminen. Kuvassa 7 nähdään betonin lujuudenkehityksen kannalta tärkeät tarkasteluhetket.

Jäätymislujuus on jo aiemmin mainittu 5 MN/m^2 nimellisljuudesta riippumatta. Muottien purkulujuus on yleensä vähintään 60% nimellisljuudesta ellei asiasta ole toisin mainittu, tavallisesti kuitenkin 60-80% nimellisljuudesta. Nimellisljuus tarkoittaa sitä lujuutta jonka mukaan rakennesuunnittelija on rakenteen suunnitellut. (Anttila ym. 2012, 347)



Kuva 7. Betonin kovettumisen vaiheet kylmissä olosuhteissa (Anttila ym. 2012, 347).

4.3 Lujuudenkehityksen seuranta

Betonin lujuudenkehitystä hallitaan tuoreen ja kovettuneen betonin lämpötilan seurannalla ja sen lujuus määritetään lämmönkehityksen perusteella sekä käytetyn betonin mukaan. Kun mittaukset on suoritettu, puretaan tulokset tietokoneelle. Tulokset käsitellään ja analysoidaan hyödyntäen esim. Finnsementin lujuudenkehitys-ohjelmaa (liite 1) tai YIT:n navigaattorista löytyvää betonin lämpötilojen seuranta-ohjelmaa (liite 2).

Lujuudenkehityksen seurantaohjelmat hyödyntävät laskelmissaan Sadgroven-kaavaa. Ruduksen toimittamaan Nokeval-loggeriin kuului työmaalle palveluna myös mittaustulosten analysointi sekä lujuudenkehitysraportin valmistus BetoPlus-ohjelmalla.

Näillä ohjelmilla voidaan myös laskea ennakkoon lujuudenkehitystä erilaisissa betonointiolosuhteissa. Ennakkolaskelmissa voidaan tarkastella eri

muuttujien ja sääolosuhteiden vaikutusta lujuudenkehityksen lopputulokseen. Tarkastelua voidaan suorittaa myös yhteistyössä betonintoimittajan kanssa. (Sahlstedt, Koskenvesa, Lindberg, Kivimäki, Palolahti & Lahtinen 2013, 27.)

Käytettyjä menetelmiä ovat Nykäsen kypsyysastelaskelma, jossa lasketaan kovettuvan betonin lämpöastevuorokausisumma kaavasta. Toisena käytettynä menetelmänä on Sadgroven menetelmä, jossa lasketaan lämpötilan ja ajan perusteella summa, joka kuvaa betonin kypsyysikää. Kypsyysikä osoitetaan betonin lujuudenkehitys vaihtelevissakin olosuhteissa, suhteessa +20°C lämpötilassa säilytettyyn betoniin verrattuna.

Nykäsen kypsyysastelaskelman kaava

$$N = k (T+10^{\circ}\text{C}) *t \quad (1)$$

T on betonin lämpötila ajassa t [°C]

t on kovettumisaika [d]

k = 1 kun +50°C ≥ T ≥ 0°C

k = 0,4 kun 0°C > T ≥ -10°C

k = 0 kun T < -10°C

Nykäsen menetelmä on karkea, eikä anna oikeita tuloksia erityisesti korkeissa lämpötiloissa. Menetelmässä hyödynnetään vanhoja kypsyysastekäyriä, joita löytyy talvibetonointia käsittelevässä kirjallisuudessa, jotka ovat vanhentuneita. Nykyiset suomalaiset sementit ovat lujuudenkehityksen alussa vanhoja sementtejä nopeampia.

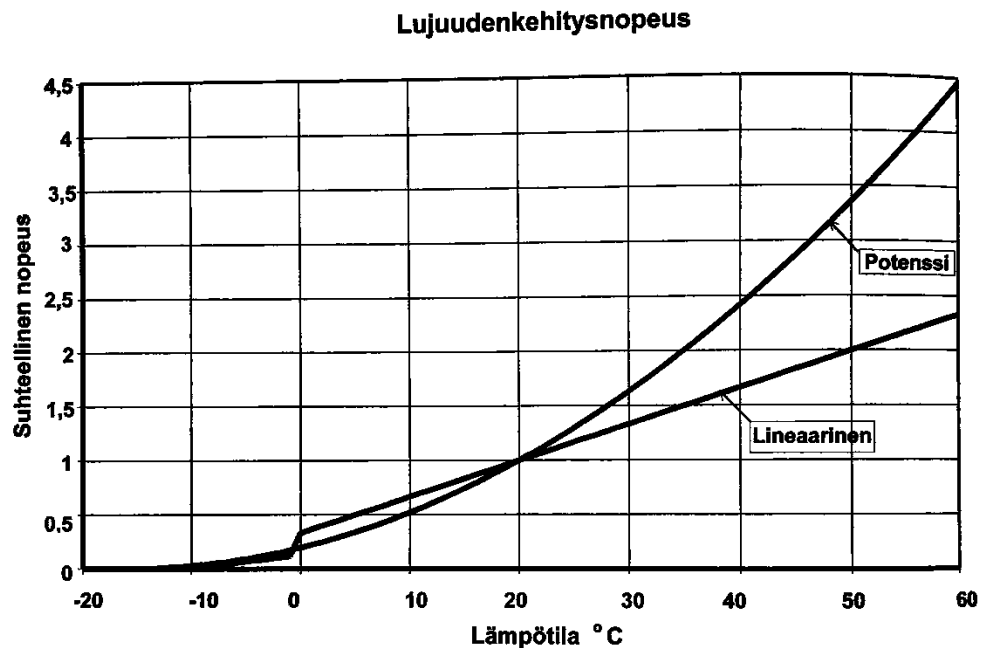
Sadgroven menetelmässä kypsyysikä t_{20} lasketaan betonille seuraavalla kaavalla

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

T on betonin lämpötila ajassa t [°C]

t on kovettumisaika [d]

Sadgroven menetelmän on todettu mittauksin olevan huomattavasti lähempänä todellisia tuloksia. Kuvassa 8 nähdään erot lineaarisen Nykäsen menetelmän sekä Sadgroven potenssimenetelmän välillä. Korkeissa lämpötiloissa ero huomataan selkeästi, mutta myös 0-15°C välillä. (Anttila ym. 2012, 351-352.)



Kuva 8. Lineaarisen (Nykäsen) ja potenssomenetelmän (Sadgroven) antamien lujuudenkehitysarvojen ero (Anttila ym. 2012, 352).

5 BETONIN LÄMMITYS & LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT

Rakennusaikaisen lämmityksen tavoite on saavuttaa työskentelyn, tilojen ja rakenteiden kannalta suunnitelmien mukaiset vaaditut olosuhteet. Talvibetonoinnin näkökulmasta lämpöä tarvitaan rakennusaikana betonivalujen onnistumisen takia.

5.1 Lämmitysjärjestelmät

Nykypäivänä rakennustyömailla käytettyjä lämmitysmuotoja ovat mm. Kaukolämpö, öljy-, sähkö- ja kaasulämmitys. Rakennustyön aikana käytetään helposti liikuteltavia ja käyttökuntoon saatettavia ilma- ja säteilylämmittäjiä. Työn edetessä otetaan käyttöön lopullinen lämmitysjärjestelmä. Säteilylämmittimillä voidaan kohdistaa lämpö suoraan betonivaluihin, tai esimerkiksi onteloaluissa ontelokentän alapuolelta. Erilaisia lämmittäjiä ovat kuumailma-, infrapuna- sekä sähkövastuslämmittimet. Taulukossa 1 nähdään eri energiamuotojen yksikköhintoja, jotka perustuvat eri energiamuotojen myyjien hinnastoihin ja Tilastokeskuksen hintatietoihin vuonna 2010.

Taulukko 1. Eri energiamuotojen yksikköhintoja 2009...2010. (Muokattu lähteestä RT-kortti C8-0377 2010, 4).

Energiamuoto	Energian hinta €/MWh
Kaukolämpö	35-61
Sähkö	52-82
Polttoöljy	58-74
Nestekaasu	n.135

Tehokas ja onnistunut rakenteiden sekä rakennuksen lämmitys edellyttää tarkkaa ennakkovalmistelua. Lämmityksen valmisteluvaiheessa tulee tiivistää rakenteissa olevat aukot sekä eristää mahdolliset ongelmakohdat lämmön karkaamisen takia. Lämmitysjärjestelmävalinnan edellyttämät asennustyöt (putket, linjat, yms.) tulee suunnitella etukäteen valmiiksi, jotta lämmittimet saadaan käyttökuntoon suunnitellusti.

Kaasua käytettäessä on huomioitava määräykset, jotka on annettu sen varastointia, käyttöä ja laitteita varten. Myös öljylle on määrätty sen varastointia koskevat määräykset. Öljyä käytettäessä on varottava sotkemasta betonipintoja sillä. Energian tuottoon edullisimmin työmaalla vaikuttavat monet paikalliset tekijät. (Anttila ym. 2012, 379.)

Työmaan lämmityksen energiamuodon, lämmityslaitteiden ja -menetelmien valinta perustuu laskelmiin ja niiden vertailuihin, sekä aiempiin työmailta saatuihin kokemuksiin. Valintaan vaikuttavat lämmitysjärjestelmän tehokkuus ja luotettavuus vaihtuvissa olosuhteissa, kustannukset, lämmitysmuodon tarkoituksenmukaisuus työmaalle ja aiemmat kokemukset sekä huolto- ja käyttöjärjestelyt.

Rakennuksen lopullinen lämmitysjärjestelmä otetaan käyttöön mahdollisimman pian, jolloin rakennus saadaan lämpiämään tasaisesti. Tätä kautta saadaan myös ylimääräisten lämmitysjärjestelmien letkut ja johdot pois häiritsemästä muuta työskentelyä. (RT-Kortti 07-3032 1996, 2-3.)

Edullisinta lämmitysmenetelmää valittaessa huomioidaan lämmityslaitteiston vuokratustannukset, laitteiston energiankulutus ja käytettävän energiamuodon hinta sekä lämmityksen järjestämisen työkustannukset. Taulukossa 2 nähdään eri lämpökäsittelymenetelmien energiankulutus.

Taulukko 2. Eri lämpökäsittelymenetelmien energiankulutus. (Muokattu lähteestä RT-Kortti C8-0377 2010, 5).

Menetelmä	Energiankulutus kWh/betoni-m ³	Betonin kovettumisaika vrk
Lankalämmitys	60-100	1...3
Kuumailmalämmitys	150-500	2...5
Infrapunalämmitys	90-180	1...3
Muottilämmitys	50-100	1...3

5.2 Betonin lämmitys

Betonimassa lasketaan lämpökäsitellyksi, mikäli se on lämmitetty yli +40°C, sen kovettumislämpötila on yli +50°C tai kun lämpötilan nousu kovettumisen aikana on yli +25°C. Lämpökäsittely alentaa loppulujuutta mahdollisesti jopa 30%.

Betonointi talviolosuhteissa vaatii aina lisälämmitystä. Sen avulla varmistetaan, että saavutetaan jäätymslujuus sekä lujuudenkehitys ja lopuksi suunnittelijan määrittämä muottienpurkulujuus.

Lisälämmityksen tehon tarpeen määrittelevät

- Ulkoilman lämpötila
- Tuuli
- Betonin alkulämpötila
- Betonin jäähtyminen liian nopeasti ennen suojausta/peittoa
- Suojauksen tehokkuus
- Betonimassan oma lämmönkehitys
- Muottikierron nopeus

Käytettävä lämmitysmuoto valitaan ja suunnitellaan siten, että rakenteessa vallitseva lämpötila on mahdollisimman tasainen.

Käytettäviä lämmitysmenetelmiä ovat

- Lankalämmitys/lämmityskaapelit
- Muottilämmitys
- Infrapunasäteilylämmitys
- Kuumabetoni
- Kuumailmalämmitys

(Uusitalo ym. 2012, 107.)

5.3 Lämmityskaapelit

Betonin lämmityskaapelilla voidaan nopeuttaa talvibetonointikauden aikana valutyöskentelyprosessia. Käytännössä kaapeli toimii vastuksena ja vastuslangan sisäosa lämpenee noin 200 asteiseksi. Kaapelin pinta on eristetty ja lämpötila eristeen ulkopinnalla on noin 60 astetta.

Tällä lämmitystavalla on mahdollista kohdistaa lämpö haluttuihin rakenteiden osiin. Kun lämpö tuodaan rakenteeseen sisältä päin ei turhaan lämmitetä ympäröiviä rakenteita ja tiloja. Kaapeleita voidaan käyttää vielä muotien purunkin jälkeen. Kaapelilämmityksen yhteydessä on syytä käyttää myös lisäeristystä ja suojaamista. Lämmityskaapeleiden määrä tulee suunnitella hyvin, ettei lämpötilat jää liian mataliksi tai etteivät ne nouse liian suuriksi.

Kaapelit asennetaan raudoitusta hyväksikäyttäen muotteihin. Lämmitystehoa on noin 40W/m ja kaapelien pituudet vaihtelevat 3 metristä 85 metriin asti.

Käyttökohteita ovat muun muassa:

- Anturat
- Pilarit
- Palkit
- Ulokkeet
- Elementtien saumat
- Kylmää pintaa vasten valettavat rakenteet
- Valujen reuna-alueet

Lämmityskaapeleihin on saatavilla lisävarusteina työmaalle keskus, joka pystyy säätämään kaapelin lämmitystehoa.

Lämmitystehon ollessa kaapeleilla lähes vakio noin 40 W/m, rakenteen lämmitystehoa säädelläänkin kaapelin asennustiheydellä. BetoPlus-tietokoneohjelmalla voidaan määrittää ennakkoon lämmityskaapeleiden asennustiheys. (Hämäläinen & Manninen 2011, 20.)

5.4 Muottilämmitys

Muottilämmityksessä käytetään lämpöeristettyjä pöytä- tai seinämuotteja. Muottipinnan ja eristeen väliin asennetaan lämpövastuksia, joita pitkin lämpö siirtyy betoniin. Muottien lämpiäminen voidaan varmistaa kytkemällä lämmitys päälle jo ennen betonointia, mutta muottipinta ei saa lämmitä liian korkeaksi, ettei betonin nopea kovettuminen aiheuta hilseilyä pinnan lähellä. (Uusitalo ym. 2012, 110.)

5.5 Infrapunasaäteilylämmitys

Infrapunälämmittimillä lämpöä siirretään lämmitettävään kohteeseen säteiden avulla. Säteet etenevät ilmassa suoraviivaisesti ja kohdatessaan kiinteän esteen ne muuttuvat lämmöksi. Säteilijöitä lämmitetään joko kaasulla, öljyllä tai sähköllä. Epäsuora lämmitys perustuu säteilyn kohdistamiseen muottiin, josta se siirtyy betoniin. Edellytyksenä on muotin hyvä lämmönjohtavuus, puu eristää lämpöä ja aiheuttaa palovaaran.

Suorassa säteilylämmityksessä säteily suunnataan betonipintaan, joka on suojattu muovikalvolla. Näin estetään kosteuden liiallinen haihtuminen.

Säteilylämmityksellä lämmitettävä tila on eristettävä ilmavirtauksilta ja lämmitettävä rakenne tulee suojata hyvin. Tuulen ja sateen vaikutukset jäädyttävät tehokkaasti säteilyn lämmittämää rakennetta. (Uusitalo ym. 2012, 110-111.)

Säteilylämmitys on hyötysuhteeltaan kuumailmalämmitystä parempi. Kuumailmalämmityksessä lämpö siirtyy lämmityslaitteesta ilmaan, ja sitä kautta rakenteeseen. Säteilylämmityksessä lämpö siirtyy suoraan lämmityslaitteesta rakenteeseen. Hävikki säteilylämmityksessä syntyy muottimateriaalin vaikutuksesta ja rakennetta ympäröivän tilan puutteellisesta suojauksesta. Tasainen lämpötila saadaan aikaan, kun käytetään mieluummin useita pienitehoisia, kuin harvoja suuritehoisia säteilijöitä. (Anttila ym. 2012, 385.)

5.6 Kuumailmalämmitys

Kuumailmalämmityksellä tarkoitetaan menetelmää, jossa suljettua ilmatilaa lämmitetään betonirakenteen alapuolelta tai ympärillä. Ilma siirtää lämpöä muottiin ja sitä kautta betoniin. Näin estetään betonin oman lämmön kulkemisen pois rakenteesta. Ilmaa lämmitetään öljy-, kaasu-, sähkö-, kuumavesi- tai höyrykäyttöisillä kuumailmapuhaltajilla. Taulukossa 3 nähdään karkeat arviot tehon tarpeesta kuumailmalämmitystä käytettäessä. (Anttila ym. 2012, 380.)

Taulukko 3. Karkea arvio tehon tarpeesta kuumailmalämmitystä käytettäessä. (Muokattu lähteestä Anttila ym. 2012, 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

Kuumailmalämmitystä käytetään yhden huonetilan tai laajempien alueiden lämmittämiseen. Ilman lämpötilan nousu pienentää tilassa vallitsevaa suhteellista kosteutta edesauttaen rakenteiden kuivumista. Ilmalämmityksellä jossa ilma imetään ulkoa, lämmitetään ja puhalletaan tilaan, voidaan poistaa kosteutta. Lämmitysteholla on suuri riippuvuus vallitsevaan ulkoilman lämpötilaan. (RT-Kortti 07-3032 1996, 3.)

5.7 Höyrylämmitys

Höyryä käytetään lumen ja jään sulatukseen muoteista ja elementtien saumoista. Runsaasti lämpöenergiaa sisältävä höyry saadaan suunnattua suuttimien avulla suoraan lämmitettävään tai sulatettavaan kohteeseen. Betonirakenteiden lämmitykseen höyry on energiataloudellisesti ja teknisesti epäedullista siinä syntyvän kosteuden vuoksi. (Anttila ym. 2012, 389.)

5.8 Lämpösuojaus

Talviaikainen betonointityö vaatii aina rakenteiden lämpösuojaukselta. Lämpösuojauksella estetään rakenteen jäätyminen, tasataan rakenteen lämpötilaeroja, vähennetään lämmitystarvetta ja estetään kosteuden haihtuminen. Erilaisia lämpösuojauksia ovat muottien lämpöeristys, lämpösuojamatot ja -levyt ja suojapeitteet.

Yhdistelemällä näitä lämpösuojausmenetelmiä päästään parhaaseen lopputulokseen. Kun lämpösuojauksia asennetaan betonivalun yläpintaan, on huomioitava, että suojaus asennetaan tiiviisti kiinni betoniin. Näin ilma ei pääse kiertämään valun ja eristeen välillä. Myös suojauksessa kosteus- ja lämpövuotojen estämiseksi suojauksen tulee olla mahdollisimman tiivis. Lisälämmitystä tulee käyttää paikoissa, jotka ovat hankala suojata muutoin. Tarkkuutta kiinnitetään mm. tartuntarautokohtiin, reuna-alueisiin ja työsaumoihin.

Lämpösuojauksessa tärkeää on, että se toteutetaan mahdollisimman nopeasti, ettei turhaa lämpöhäviötä ja jäätymistä pääse toteutumaan. Suojauksen paikoillaan pysyminen tulee varmistaa. (Uusitalo ym. 2012, 113-114.)

5.9 Sääolosuhteiden vaikutus

Kylmänä kautena betonin kovettumisreaktiot ovat jo huomattavan hitaita vuorokauden keskilämpötilan laskiessa $+5^{\circ}\text{C}$:een ja yöpakkaset saattavat aiheuttaa jäätymisvaurioita vasta valettuihin rakenteisiin. Lämpötilojen tarkkailu sekä säätietojen seuraaminen aloitetaan jo varhaisin syksyllä.

Lämpötilojen seurannan lisäksi on myös tarkkailtava sade-ennusteita, sillä esim. Lumentulo häiritsee talvibetonointia. Lumen sulattamiseen työma-oloissa on varauduttava.

Tuuli lisää myös talvioloissa lämmön siirtymistä ja edistää kosteuden haihtumista. Se vaikuttaa betonirakenteen suojauksen suunnitteluun. Kuvassa 9 huomataan tuulen lisäämää lämpötilojen erotuksen vaikutusta.

Tuuli [m/s]	Ilman lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]								
	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
Tyyni	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
2	9	4	-1	-6	-11	-16	-21	-26	-31
4	5	-1	-7	-13	-18	-24	-30	-37	-43
6	3	-4	-10	-17	-24	-30	-37	-43	-50
8	1	-6	-13	-20	-27	-34	-41	-48	-55
10	0	-8	-15	-22	-30	-37	-44	-52	-59
12	-2	-9	-17	-24	-32	-39	-47	-54	-62
14	-2	-10	-18	-26	-33	-41	-49	-56	-64
16	-3	-11	-19	-27	-34	-42	-50	-58	-66
18	-3	-11	-19	-27	-35	-43	-51	-59	-67
20	-4	-12	-20	-28	-36	-44	-52	-60	-68

Kuva 9 Kuvasta nähdään tuulen lisäämää lämpötilojen erotuksen vaikutusta. Lämpötilat perustuvat mitattuihin tuloksiin ja kuvaa tuulen vaikutusta ihmisen ihonlämpötilaisen kappaleen ja ilman lämpötilan välillä. (Anttila ym. 2012, 343).

Säätietoja saadaan viikkojen ennusteella esim. Ilmatieteenlaitoksen internet-sivuilta kuten myös sanomalehdistä sekä alueellisista säätiedotuksista. Tilastoista saatuja lämpötiloja voidaan käyttää korkeintaan alustavaan rakennustyön suunnitteluun, sillä paikalliset lämpötilat ja pakkasmäärät voivat poiketa tilastoista merkittävästi. Säätietojen perusteella voidaan määrittää muottien suojauksen tarve, lämmityskaluston määrä sekä lämmitystapa. Säähäiriöiden haitat ovat ehkäistävissä suunnittelemalla vaihtoehtoiset järjestelyt työn ajoitukselle sekä työmaan suojaukselle ja lämmitykselle. (Anttila ym. 2012, 342-343.)

6 TYÖTURVALLISUUS

6.1 Betoni ja sementti

Kostea sementti ja betoni ovat erittäin emäksisiä ja niiden käsittelyssä tulee välttää ihokosketusta. Suojakäsineiden käyttö on tärkeää, mutta myös silmät ja hengitystiet tulee suojata. Sementti kuivattaa ja ärsyttää hengityselimiä, ihoa ja silmiä.

Mikäli tuoreesta betonista imeytyy kosteutta työvaatteisiin, ne tulee puhdistaa huolellisesti ennen seuraavaa käyttöä. Myös iholle päässyt betoni tulee pestä huolellisesti pois. Näin vältetään betonin aiheuttamalta ihoärsytykseltä. (Finnsementti n.d.)

6.2 Työmaatoiminta

YIT konsernin kaiken liiketoiminnan kattaviin työturvallisuuden periaatteisiin on sitoutunut koko organisaatio. Työturvallisuuden laiminlyönteihin puututaan välittömästi, tapaturmat tutkitaan ja raportoidaan johdolle. Kaikissa työkohteissa käytetään pakollisina henkilökohtaisina suojavarusteina suojakypärää, kuulosuojaimia, silmäsuojaimia, suoja-asua, suojakäsineitä ja turvajalkineita. Työvaiheissa joissa putoamisvaara on mahdollinen, käytetään asianmukaista putoamissuojasta. (YIT Rakennus Oy n.d.)

Talviaikaisen rakennustyömaan työturvallisuuteen liittyvät riskit muodostuvat pimeyden ja liukkauden takia. Muottipintojen ja kulkuteiden liukkautteen tulee varautua, työmaalle on hankittava tarpeeksi yleisvalaistusta ja muutenkin kulkutiet on pidettävä avonaisina ja kulkukelpoisina.

Betonipumpun pystyttäminen työmaalle edellyttää pystytyspöytäkirjan täyttämistä yhdessä tilaajan kanssa. Pumpun pystytyspaikan valintaan vaikuttavat maapohjan kantavuus, riittävä tila korkeussuunnassa ja tukijalkojen vaatima tila. Tukijalat tulee levittää täysin auki. Pumpun työskentelyalueella työskenteleviä muita henkilöitä tulee informoida pumpun puomin aiheuttamista vaaroista. (Rudus Oy 2014)

Tukkeumat pumpuissa tai letkuissa aiheuttavat vaaratilanteita työmailla. Tukkeumia aiheuttaa mm. vääränlainen betonikoostumus, liian pieni putkiston halkaisija, kulunut pumppu ja betonin jäykistyminen putkistoon. Tukkeumaa ei koskaan saa yrittää korjata nostamalla pumppauspainetta, vaan jos putkisto tukkeutuu, pumppu tulee pysäyttää välittömästi. Putken on parempi antaa mennä pilalle kovettuneesta betonista, kuin riskeerata työturvallisuus. (Rakennustuoteteollisuus RTT ry, 30-32.)

Kuvassa 10 As Oy Keravan Karolinan ontelosaumavalussa tapahtunut tukkeuma putkessa, betoni räjähti ulos kuvan osoittamasta kohdasta.



Kuva 10. Tukkeuman johdosta rikkoutunut putki (Nikkilä 2017)

7 LAADUNHALLINTA

Rakennusvalvontaviranomaiset valvovat normaalin rakentamisen lisäksi myös betonirakentamista. Uusimmissa säädöksissä on korostettu entisestään rakennuttajan vastuuta, joka vaikuttaa rakennuttajan huolellisuuteen suunnittelijoiden sekä työn toteuttajien valinnassa. Taloudellinen vastuu on materiaalin valmistajalla, suunnittelijalla sekä työn suorittajalla. Näiden kaikkien edellä mainittujen tulee täyttää asetetut vaatimukset sekä niiden tulee olla hyvän rakennustavan mukaiset.

Suunnittelijoiden sekä betonityönjohtajien pätevyysvaatimukset määräytyvät toteutusluokan mukaan. (Anttila ym. 2012, 152.)

Betonin valmistajan laadunvalvonta jaetaan eri toimenpiteisiin, jotka kohdistuvat osa-aineisiin, betonin koostumukseen, betonimassaan ja kovettuneeseen betoniin. Ennakkokokein voidaan selvittää runkoaineiden kelpoisuutta betonin valmistukseen ja löytää betonille sopiva koostumus. Kuitenkin pääpaino on jatkuvassa laadunvalvonnassa.

Laadunvalvonta rakenteiden valmistuksessa keskittyy muotteihin, raudoituksiin, betonointimenetelmiin, tiivistämiseen, jälkihoitoon sekä lämpökäsittelyyn. Näihin asioihin tulee kiinnittää huomioita ennen työnsuorituksen aloittamista ja ne voidaan käsitellä betonointisuunnitelmassa. (Anttila ym. 2012, 159-160.)

Työmaalla tapahtuvaa laadunhallintaa on ennakkosuunnittelu, betonointisuunnitelman laadinta ja seuraaminen (liite 3), työvaiheen seuraaminen ja ohjaaminen, lämpötilamittaukset valusta, tarvittaessa koekappaleet työmaalla, kimmoasara sekä poranäytteet valmiista rakenteesta tarvittaessa.

Betonimassan saapuessa työmaalle on varmistuttava sen oikeellisuudesta valuun nähden. Jos esimerkiksi betonimassan notkeus ei ole toimituksen aikana tilatun mukaista, se voidaan palauttaa toimittajalle. Kuitenkin jos betonin sitoutuminen ei ole vielä alkanut betonin toimittaja voi korjata massan työmaalla lisäämällä siihen notkistavaa lisäainetta. Lisätyn lisäaineen määrä ja laatu kirjataan kuormakirjaan ennen sen allekirjoittamista.

Veden lisääminen työmaalla betoniin on kiellettyä, sillä betonimassan vesisementtisuhde muuttuu ja sen kautta betonin lujuus- ja rasitusluokkavaatimukset eivät täyty. (Orjala 2017.)

7.1 Jälkihoito

Oikein toteutetulla jälkihoidolla saadaan aikaan valetulle rakenteelle oikeat olosuhteet kovettua moitteettomasti. Onnistuneen jälkihoidon avulla betoni saavuttaa suunnitellun loppulujuuden ja muut sille tavoitellut ominaisuudet. Jälkihoidoksi lasketaan valetun rakenteen suojaus, veden haihtumisen estäminen ja oikeasta kovettumislämpötilasta huolehtiminen.

Betonivalun suojaaminen estää veden haihtumisen rakenteesta, mutta myös se suojelee ulkoisilta haittavaikutuksilta. Suojauksiksi lasketaan muotit, muovikalvot sekä ruiskutettavat jälkihoitoaineet. Talviaikana huolehditaan riittävästä kovettumislämpötilasta, ettei betonin lujuudenkehitys vaarannu. (Anttila ym. 2012, 332.)

Jälkihoitamaton betonipintaa ei saada jälkikäteen kuntoon ilman lisäkuivattajia. Toteutusstandardissa SFS-EN 13670 betonirakenteet jaetaan

jälkihoitoluokkiin rasisluokan perusteella. Rasisluokissa X0 ja XC sovelletaan jälkihoitoluokkaa 3 ja muissa kuin XF2 ja XF4-rasisluokissa jälkihoitoluokkaa 4. Rasisluokissa XF2 ja XF4 jatketaan jälkihoitoa, kunnes saavutetaan 80% nimellislujuudesta. (Orjala 2017.) Jälkihoitoluokat esitetään taulukossa 4.

Taulukko 4. Betonin jälkihoitoluokat (SFS-EN 13670 2010).

	Jälkihoitoluokka 1	Jälkihoitoluokka 2	Jälkihoitoluokka 3	Jälkihoitoluokka 4
Aika (h)	12*	Ei käytetä	Ei käytetä	Ei käytetä
Kovettumisaste prosentteina määritellystä 28 vrk:n ominaispuristuslujuudesta	Ei käytetä	35 %	50 %	70 %
* edellyttäen, että sitoutuminen kestää korkeintaan 5 tuntia ja betonin pintalämpötila on vähintään 5°C				

8 KÄYTTÖKOHTEET & ESIMERKKEJÄ TYÖMAILTA

Opinnäytetyön ajalla työmaille sijoittuvia tutkittavia talvibetonointeja olivat anturat, paikallavalu kaulat sekä elementtien juotosvalut.

8.1 Anturat & kaulat

Massiivisissa anturavaluissa jäätymislujuus saavutetaan suojaamalla rakenne. Lämpötilasta riippuen kuumabetoni ja oikeanlainen suojaus, tarvittaessa eristys, riittävät takaamaan lujuudenkehityksen. Muita käytettyjä lämmitysmenetelmiä ovat lanka- ja säteilylämmitys. Kuumailmalämmityksessä ongelmaksi muodostuu lämmön karkaaminen ylöspäin suojapeitteiden alta. (Anttila ym. 2012, 391.)

Kuvassa 11 As Oy Keravan Karolinan tukimuurin anturavalu. Anturan muotti valmistettiin lisäeristämällä molemmat sivut ja alapinta 50mm EPS-eristeellä. Valun jälkeen anturat peitettiin pakkasmatoilla, joilla estetään ennen betonivalua lumen pääsy muottiin. Betonimassana käytettiin C30/37 lujuusluokan nopeasti kovettuvaa betonia lämpötilaluokassa 2. Maksimiraekokona 32mm ja notkeus S3. Lujuudenkehityslaskelma nähdään liitteessä 4. Antura on 1200mm leveä ja 250mm korkea.



Kuva 11. Autokatoksen anturaa (Nikkilä 2017).

Lujuudenkehityslaskelman mukaan betonivalu saavutti jäätymislujutensa 9 tunnin kuluttua valusta, 60% nimellislujuudestaan 23 tuntia valusta ja 80% nimellislujuudestaan 52 tunnin kuluttua valusta.

Muita tutkittavia kaula- ja anturavaluja opinnäytetyössä oli As Oy Tuusulan Majapaikkaan sijoittuvat valut. Kohteessa mitattiin A- ja B-portaiden anturavalut sekä B-portaan kaulavalu.

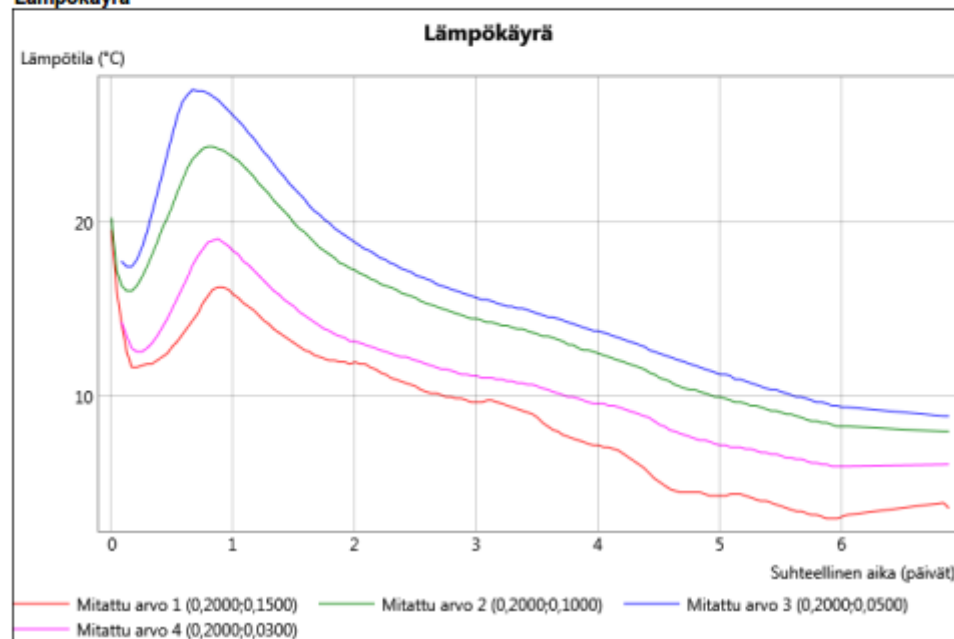
A-portaan anturavalu suoritettiin 11.1.2017 ja massana käytettiin nopeasti kovettuvaa, C28/35 lujuusluokan, 32mm maksimiraekoon ja lämpötilaluokka 1:n betonia. Lämmitystapana käytettiin lämpölankoja alapinnassa lämpöluokka 1 betonin lisäksi. Valun päällä lämpöeristeenä pakkasmatto. Kuvasta nähdään lämpötilojen kehitys ja lujuudenseuranta.

BetoPlus-laskelma

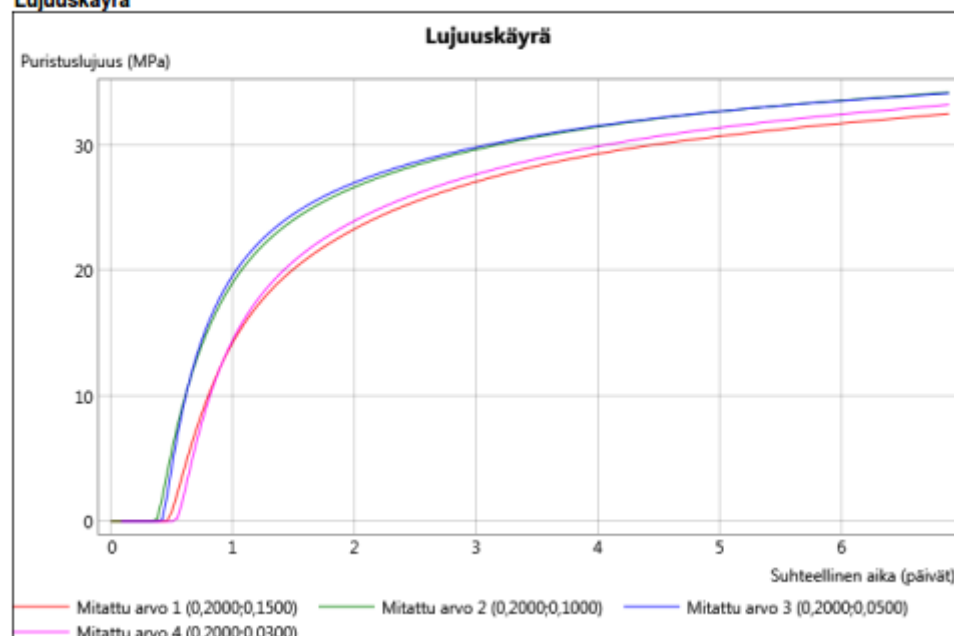
Rudus

19.1.2017

Lämpökäyrä



Lujuuskäyrä



Kuva 12. A-portaan anturavalun lämpötilamittaukset & lujuudenkehityksen arviointi (Nietula 2017).

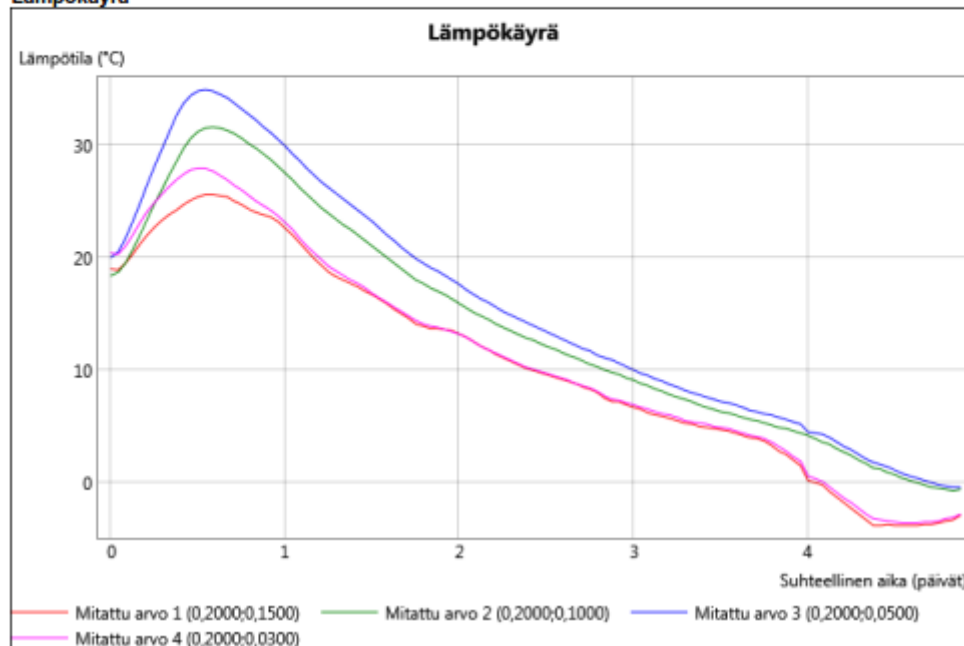
B-portaan anturavalu suoritettiin 20.1.2017, jossa massana käytettiin nopeasti kovettuvaa, C28/35 lujuusluokan, 32mm maksimiraekoon ja lämpötilaluokka 1:n betonia. Lämpöeristeenä 50mm EPS sivuilla ja pakkasmatto päällä.

Ulkoilman sääolosuhteet pysyivät valujen aikana likimain samoina, joten A- ja B-portaan välillä huomataan lämmöissä eroja lämpöeristykseen ja lämmitystavan takia. Valut suoritettiin samalla massalla, mutta B-portaan anturoissa käytettiin lisäeristeenä muoteissa EPS 50mm sivuilla, lämpölankojen sijasta. Kuvassa 13 nähdään B-portaan anturavalun lujuudenkehitys ja lämpötilat.

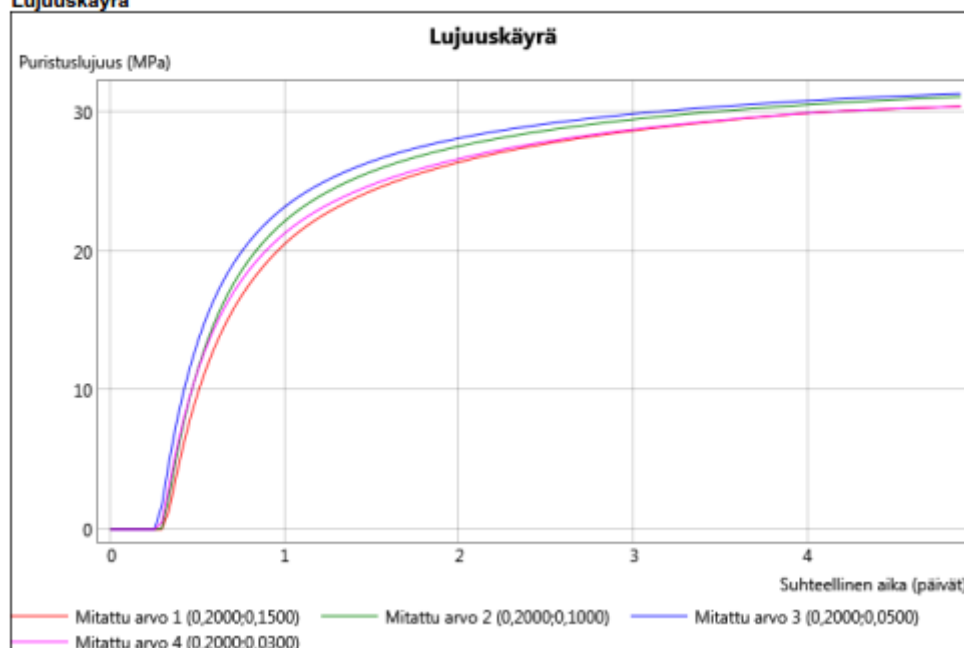
Eroina valujen välillä huomataan lämpölokojen vaikutus lämpötiloihin ajan edetessä. Valu säilyttää lämpöä paremmin kuin B-portaan eristetyissä muoteissa. Mikäli kyseessä olisi massiivisempi antura, myös eristetty muotti olisi pitänyt lämpöä paremmin. Kohteen anturoiden mitat vaihtelevat leveyksien 300...1200mm ja korkeuksien 300...400mm välillä.

BetoPlus-laskelma

Lämpökäyrä



Lujuuskäyrä



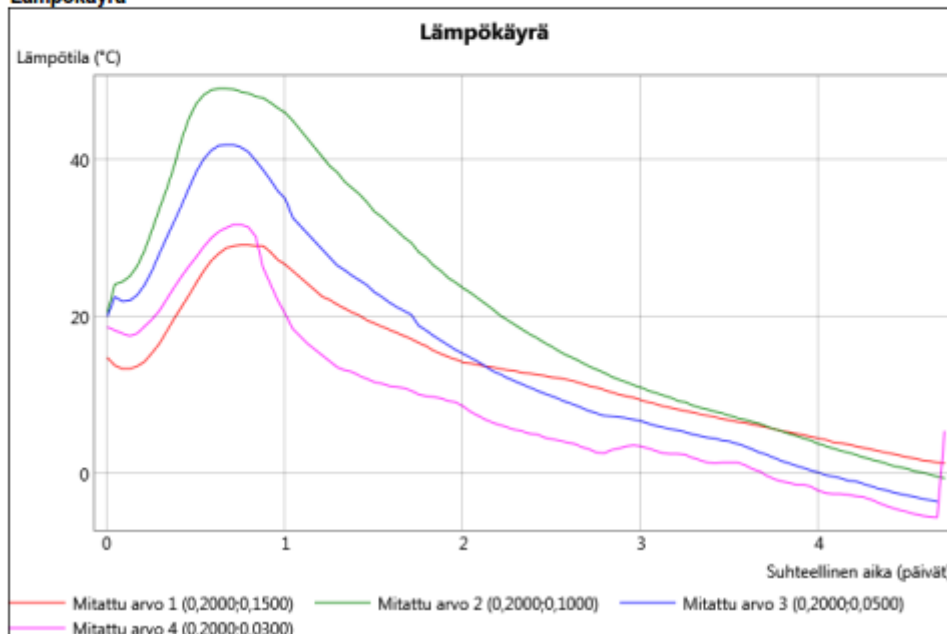
Kuva 13. B-portaan anturavalun lämpötilamittaukset & lujuudenkehityksen arviointi (Nietula 2017).

B-portaan kaulavalu suoritettiin 1.2.2017, massana käytettiin nopeasti kovettuvaa, C28/35 lujuusluokan, 16mm maksimiraekoon ja lämpötilaluokka 1 betonia. 50mm EPS kyljissä ja lisälämmityksenä käytettiin lämpölankoja ylä- ja alapinnassa. Kuvassa 14 nähdään kaulavalun lujuudenkehitys ja valunaikaiset lämpötilat.

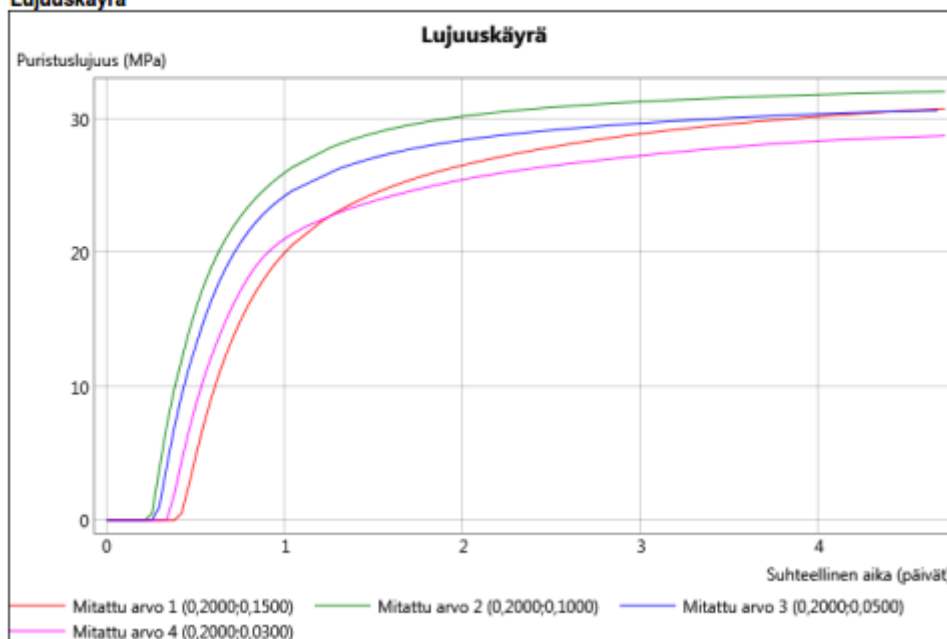
Paikallavalukaulujen leveydet ovat 200mm ja korkeudet 1000mm luokkaa.

BetoPlus-laskelma

Lämpökäyrä



Lujuuskäyrä



Kuva 14. B-talon paikallavalukaulojen lämpötilamittaukset & lujuudenkehityksen arviointi (Nietula 2017).

8.2 Elementtien saumat

Rakennuksen rungon vakavuus, kuormankantokyky, tiiveys ja palonkestävyys edellyttävät onnistuneita betonielementtien juotosvaluja. Talviaikaisissa saumavaluissa sauma pidetään puhtaana lumesta ja jäädä. Jos saumoja ei onnistuta pitämään puhtaana, ne puhdistetaan ennen valua. Sau-

mavalujen jäätyminen estäminen suoritetaan normaaleilla talvibetonoinnin varautumiskeinoilla sekä pakkasbetonin käytöllä. Myös saumavalujen lämpötiloja seurataan asennusaikaisen stabiliteetin varmistamiseksi ja lujuudenkehityksen seuraamiseksi. (Finne, Mattila, Päivä, Rautanen, Suikka & Vuorinen 2002, 5.)

Lujuudenkehityksen kannalta kriittisimmät saumat ovat

- Pystyelementtien vaakasaumat
- Elementtien väliset pystysaumamat
- Ontelolaattojen ja muiden laattojen saumat
- Seinäelementtien kiinnitykset laattoihin
- Kantavien parveke-elementtien saumat

Saumojen lujuusvaatimukset tarkistetaan aina erikseen rakennesuunnitelijalta ja käytettävien betonimassojen lujuudenkehitys betonin toimittajalta. (Finne ym. 2002, 2.)

8.2.1 Ontelolaataston saumaus

Ontelolaatastosta muodostuu yhtenäinen jäykkä levy saumaterästen ja -valujen avulla. Talviaikana saumat suojataan lumelta heti ontelolaatatasennuksen jälkeen, jos lumisadetta on odotettavissa. Suojauksena käytetään suojapeitteitä, tai nosturilla holvin päältä pois nostettavissa olevia lumikasseja. Lumikasseissa on kulmissa nostolenkit, joiden avulla holvit on helppo suojata ja suojaus on helppo poistaa. Saumojen sulatusta suoritetaan esimerkiksi kaasuliekillä, mutta suositeltavin tapa on sulattaa saumat alapuolelta toteutetulla lämmityksellä jo edellisenä päivänä. Lumen puhdistus saumoista suoritetaan paineilmalla. (Finne ym. 2002, 7.)

Betonimassan valinta ontelolaataston saumavaluun valitaan sääolosuhteiden ja lämpötilan mukaan.

Mikäli työmaalla on edellytykset pitää betonimassan lämpötila 15-20°C lämpötilassa 12 tunnin ajan, jolloin massan lujuus saadaan yli jäätymslujuuden, on parempi valita saumaussmassaksi esim. rapid lämmitettynä pakkasbetonin kovan hinnan ja hankalan työstettävyyden vuoksi. (Toivonen 2017.)

Kuvassa 12 As Oy Tuusulan Majapaikan 3. kerroksen ontelosaumavalu käynnissä ja dataloggeri asennettuna. Valu suoritettiin torstaina, ja se saavutti jäätymslujuutensa 15 tunnin kuluttua valusta ja 60% nimellislujuudesta maanantaina päivällä. Lujuudenkehityslaskelma nähdään liitteessä numero 5.

Ontelosaumojen valu suoritettiin rapid saumajuotos-massalla, joka toimitettiin työmaalle lämpöluokassa 1. Alapuolisissa tiloissa käytettiin säteilijöitä, jotka kytkettiin päälle päivää ennen valun suorittamista.



Kuva 15. As Oy Tuusulan Majapaikka 3.krs ontelosaumavalu (Nikkilä 2017).

8.2.2 Seinäelementtien saumaus

Seinäelementin alapään saumaan laitetaan saumausmassa yleensä jo ennen elementin asennusta, ellei ole varauduttu erilliseen jälkisaumaukseen. Ennen elementin asennusta alusta puhdistetaan lumesta ja jäästä. Saumausmassana käytetään normaalisti pakkasbetonia turhien riskien välttämiseksi. Normaali saumausbetoni jäätyy nopeasti kylmille elementtipinnoille laitettaessa. Saumoja lämmitetään joko tilalämmityksellä tai lankalämmitystekniikalla.

Pystysaumat valetaan ontelolaattakentän saumauksen yhteydessä tai pystysaumabetonointina ilman muotteja. (Betoniteollisuus ry 2011, 15-16.)

Vaakasaumat ovat lujuudenkehityksen ja rasitusten kannalta kriittisimpiä. Pystysaumoissa on raudoitusta, joka vastaanottaa osan rasituksista, mutta

vaakasaumoissa saumojen kapasiteetti riippuu ainoastaan betonin lujuudesta.

Saumojen lujuuden tarkistamiseen käytetään varmalla puolella olevaa sääntöä, jossa asennusaikainen lujuus saadaan kertomalla betonin tavoitelujuus yläpuolisten kerrosten asennusaikaisen ja lopputilanteen kerrosten suhteella.

Esimerkiksi, kun tarkastellaan alinta saamaa, jonka saumabetonin tavoitelujuus on C25/30. Sen yläpuolelle on asennettu kaksi kerrosta, ja lopputilanteessa kerroksia on neljä. Vaadittu asennusaikainen lujuus saadaan kaavasta

$$C25 * 2/4 = C12,5 \text{ MPa}$$

Sauman lujuuden tulee kuitenkin olla ylittänyt jäätymislajuuden aina ennen seuraavien kerroksien asennusta. Taulukossa 2 nähdään arviot saumoilta vaadittavista lujuuksista suhteessa kuormittavien kerrosten määrään. (Betoniteollisuus ry 2011, 3.)

Taulukko 5. Arvio saumalta vaadittavasta lujuusluokasta suhteessa kuormittavien kerrosten määrään toteutusluokassa 2. (Muokattu lähteestä Betoniteollisuus ry 2011, 3).

Kuormittavien kerrosten määrä	Saumalta vaadittu lujuus (Mpa)
1 kerros	4/5
2 kerrosta	8/10
3-4 kerrosta	12/15
5-6 kerrosta	16/20

8.2.3 Pilari-, palkki- ja parvekerakenteiden juotosvalut

Pilarien ja palkkien liitoksissa vaaditaan korkeita lujuuksia, joihin ei ole välttämättä saatavilla talvijuotosbetoneita. Massamäärät ovat näissä vähäisiä jonka takia massa viilenee nopeasti ympäröivän rakenteen mukaiseksi, joten näissä kohdissa lämmitys toteutetaan tarkasti. Parvekerakenteet jäävät pitkäksi ajaksi sääolosuhteiden armoille. Niiden liitosten vaaditusta lujuusluokasta kysytään aina ohjeet rakennesuunnittelijalta. Lämmitystavat pohditaan suunnittelijan lausunnon mukaan, mutta usein vaihtoehtoksi jää lankalämmitys. (Betoniteollisuus ry 2011, 18.)

8.3 Lattiat & laatat

Valettavan lattian alusta tulee olla lämmitetty vähintään +5°C ennen töiden aloittamista. Pintabetonoitavalle laatalle lämmöneriste voidaan asentaa välittömästi, ja kun laatan päälle tulee tasoite, on betonoinnissa ja lämmöneristysten asentamisessa oltava erityisen tarkkana.

Lämmöneristeenä ulkolämpötilan ollessa yli 0°C riittää normaalisti suoja-
peite, ulkolämpötilan ollessa alle 0°C käytetään muita lämmöneristysma-
teriaaleja suojapeitteen lisäksi. Eristys tulee asentaa kiinni betonivaluun, ja
reuna-aluille asennetaan tarvittaessa kaksinkertainen lämmöneristys. Laa-
tan betonilaatu valitaan muottikierron mukaan. (Anttila ym. 2012, 394.)

Viileän ajan valuissa käytetään lattioissa nopeasti sitoutuvaa lattiabetonia,
tarvittaessa lämmitettynä. Tulee huolehtia kuuman massan kosteuden
haihtumisen estämisestä viileissä olosuhteissa.

9 POHDINTA

Opinnäytetyön aloittaminen oli hankalaa, koulussa aihetta käsiteltiin hyvin vähän. Työn alkuun pääseminen edellyttikin aiheen omatoimista opiskelua, työmenetelmiin ja materiaaleihin tutustumista ja työmailta saatujen tietojen käsittelyä ja analysointia. Aihe on todella haastava, ja työtä tehdessä huomasi, kuinka vähän oikeasti aiheesta tiedetään. Työmenetelmät perustuivat oletuksiin ja ”näin on ennenkin tehty” -menetelmiin. Kuitenkaan nykypäivän rakentamisessa ei tyydytä tämänkaltaisiin tietoihin, vaan vaaditaan laskelmia, suunnitelmia ja totuudenmukaisuuksien osoittamista.

Aiheen laajuuden takia työ on rajattu vastaamaan sen toimeksiantajan tarpeita. Materiaalia löytyi paljon niin kirjallisuudesta kuin internet-julkaisuista. Työssä käytetty materiaali on pääosin viimeisimpiä mahdollisia painoksia ja julkaisuja, jotta työ pysyy ajankohtaisena pitkän aikaa.

Työn lopputuotteena syntyvä YIT Rakennus Oy:n talvibetonointiohje sisältää tämän opinnäytetyön tekstiä ja tutkimustuloksia, mutta se on rajattu enemmänkin käytännön läheiseksi avuksi kuin teoriapaketiksi.

LÄHTEET

Anttila, V., Kosomaa, S., Merikallio, T., Siro, H., Tulimaa, M., Suikka, A., Mannonen, P., Tuomisto, J. & Virtanen, M. (2012). *Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201*. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys r.y.

Anttila, V. (n.d.). Betonin valinta. Haettu 10.2.2017 osoitteesta <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090403.pdf>

Betoniteollisuus ry (2011). Betonielementtien talvisaumasohje. Haettu 22.2.2017 osoitteesta https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj6oK_C1pfTAhVJD5oKHa00Ad-MQFggIMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.elementtisuunnittelu.fi%2FDownload%2F23673%2FBetonielementtien%2520talvisaumasohje%25202011.pdf&usg=AFQjCNE3Erjo9SkX_3oj7iwa6jLI7FUVqw&bvm=bv.152174688,d.bGs

Betoniteollisuus ry (2013). Kerrostalon osien sijoittuminen eri rasitusluokkiin. Haettu 23.2.2017 osoitteesta <http://www.rudus.fi/Download/23829/Talvibetonointi-kirja%202013.pdf>

Eurocode-standardien soveltaminen talonrakentamisessa 2007 § 2. Haettu 3.1.2017 osoitteesta http://www.finlex.fi/data/normit/34858/Eurocode_kansalliset_liitteet_36-41.pdf

Finne, J., Mattila, P., Päivä, T., Rautanen, T., Suikka, A. & Vuorinen, P. (2012). *Betonielementtien saumavalut*. Forssa: Suomen betonitieto Oy.

Finnsementti (n.d.). Betonin rasitusluokat lyhyesti. Haettu 3.1.2017 osoitteesta <http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-suunnittelijalle/betonin-rasitusluokat-lyhyesti>

Finnsementti (n.d.). Suomalainen sementti. Haettu 25.2.2017 osoitteesta http://www.finnsementti.fi/files/pdf/FS_Suomalainen_sementti_kirjanen_071112.pdf

Finnsementti n.d. Tuoreen betonin turvallinen käyttö. Betonin turvallisuuskortti. Haettu 3.3.2017 osoitteesta http://www.finnsementti.fi/files/pdf/betonin_turvallisuuskortti.pdf

Helminen, L. (2017). Ontelolaataston saumat. Sähköpostiviesti tekijälle 21.3.2017.

Hietanen, T. (2010). Betonirakenteiden ohjeet eurokoodiaikaan. Haettu 11.1.2017 osoitteesta <http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ca>

[d=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiJ1beW5pLTAhXFEi-wKHXRiB2kQFggZMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.elementtisuunnittelu.fi%2FDownload%2F23507%2FBetonirakenteiden%2520ohjeet%2520eurokoodiaikaan.pdf&usg=AFQjCNEjD-JeKlg5tgHV9jf0djs0j2eCs1w](http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/2F23507%2FBetonirakenteiden%2520ohjeet%2520eurokoodiaikaan.pdf&usg=AFQjCNEjD-JeKlg5tgHV9jf0djs0j2eCs1w)

Hämäläinen, J. & Manninen, P. (2011). *Betonin lämmittäminen talviva-
luissa*. Haettu 2.1.2017 osoitteesta [http://www.rudus.fi/Down-
load/23944/Betonin%20l%3a4mmitt%3a4minen%20talviva-
luissa.pdf](http://www.rudus.fi/Download/23944/Betonin%20l%3a4mmitt%3a4minen%20talviva-
luissa.pdf)

Johansson, K., Mannonen, R., Merikallio, T., Haara, T., Mantila, A. & Ti-
kanoja, T. (2016). *Betoninormit*. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.)

Levanto, R., Mäkelä, S. & Timo, P. (2016) Paikallavalettujen betoniraken-
teiden lujuuden vaatimuksenmukaisuuden varmistaminen. Haettu
2.3.2017 osoitteesta [https://www.rakennusteollisuus.fi/globalas-
sets/ajankohtaista/ajankohtaista-liitteet/2016/liite-1-tiedote_paikallava-
letututbetonirakenteet_helsingin_espoon_vantaan_rakennusvalvon-
nat.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/globalas-
sets/ajankohtaista/ajankohtaista-liitteet/2016/liite-1-tiedote_paikallava-
letututbetonirakenteet_helsingin_espoon_vantaan_rakennusvalvon-
nat.pdf)

Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132. Haettu 1.3.2017 osoitteesta
<http://www.finlex.fi/data/normit/28237/B4Betoni.pdf>

Nietula, A. (2016) Nokeval-loggeriohje. Sähköposti 24.3.2017.

Nietula, A. (2017) A-portaan anturavalun lämpötilamittaukset & lujuu-
denkehityksen arviointi.

Orjala, K. (2017). Perustietoa betonista. Koulutus 22.2.2017, Skype.

Rakennustuoteteollisuus RTT ry (2012). Betonin pumppauksen ympäristö-
ja turvallisuusopas. Haettu 17.3.2017 osoitteesta [http://betoni.com/wp-
content/uploads/2015/11/BetoninPumpNETTI.pdf](http://betoni.com/wp-
content/uploads/2015/11/BetoninPumpNETTI.pdf)

Ratu-kortti 07-3032 Rakenteiden lämmitys ja kuivatus (1996) Rakennus-
tieto Oy. Haettu 19.1.2017 osoitteesta [https://www-rakennustieto-
fi.ezproxy.hamk.fi/bin/get/id/5guoZSZP2%3A%2447%24R3032%2446%24
pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statis-
tics%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-
RTU2815/R3032.pdf](https://www-rakennustieto-
fi.ezproxy.hamk.fi/bin/get/id/5guoZSZP2%3A%2447%24R3032%2446%24
pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statis-
tics%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-
RTU2815/R3032.pdf)

Ratu-kortti C8-0377 Talvityöt- ja kustannukset (2011) Rakennustieto Oy.
Haettu 19.1.2017 osoitteesta [https://www-rakennustieto-
fi.ezproxy.hamk.fi/bin/get/id/5guoZSZP2%3A%2447%24R0377%2446%24](https://www-rakennustieto-
fi.ezproxy.hamk.fi/bin/get/id/5guoZSZP2%3A%2447%24R0377%2446%24)

[pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statistics%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-105788/R0377.pdf](http://www.rudus.fi/0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statistics%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-105788/R0377.pdf)

Rudus Oy (n.d.). Normaalisti kovettuva betoni (NO). Haettu 21.1.2017 osoitteesta <http://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/rakennebetoni/5784/normaalisti-kovettuva-rakennebetoni>

Rudus (n.d.). Pakkasbetonin ohjeellinen lujuudenkehitys eri olosuhteiden pötiloissa. Haettu 1.4.2017 osoitteesta <http://www.rudus.fi/Download/23826/Pakkasbetoni.pdf>

Rudus Oy (2014) Pumppaturvallisuuspakka. Haettu 25.3.2017 osoitteesta <http://www.rudus.fi/Download/25752/Pumppaturvallisuuspakka%20-%20betonin%20pumppauksen%20kultaiset%20s%C3%A4%C3%A4nn%C3%B6t.pdf>

Rudus Oy (n.d.). Rudus-pakkasbetoni talvivaluihin. Haettu 17.1.2017 osoitteesta <http://www.rudus.fi/Download/23826/Pakkasbetoni.pdf>

Ruokonen, S. (2015). BetoPlus-palvelun käyttö talvivaluissa, Talvibetonointi-koulutus Messukeskus. Rudus Oy. Haettu 22.2.2017 osoitteesta <http://www.rudus.fi/Download/26217/BetoPlus-palvelun%20k%C3%A4ytt%C3%B6%20talvivaluissa.pdf>

Sahlstedt, S., Koskenvesa, A., Lindberg, R., Kivimäki, C., Palolahti, T. & Lahtinen, M. (2013). Talvibetonointi. Haettu 1.1.2017 osoitteesta <https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi2tZuI9ZLTAhUD8ywKHfPuAw4QFggi-MAA&url=http%3A%2F%2Fwww.rudus.fi%2FDownload%2F23829%2FTalvibetonointi-kirja%25202013.pdf&usq=AFQjCNGRmOZHMr3umeeS-BezUcihNmfsjeQ&bvm=bv.152174688,d.bGg>

Testo (2016). Temperature data logger. Haettu 3.3.2017 osoitteesta <https://www.testo.org/en/home/products/productdetailpage.jsp?productNo=0572+1764>

Uusitalo, J., Ihanamäki, J., Rajala, R. & Vallin, O. (2012). *Betonityöt by 205*. Helsinki: Suomen betoniyhdistys r.y.

Valmisbetoni (n.d.). Betonin valinta. Haettu 15.2.2017 osoitteesta <http://www.valmisbetoni.fi/toteutus/betoniteknologia/betonin-valinta>

Vasama, M. (2017). Talvibetonointi ja elementtien saumaus. Koulutus 3.2.2017, Skype.

Vuorinen, P. (2012). Betonointi kylmissä olosuhteissa. Haettu 3.3.2017 osoitteesta <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK120603.pdf>

YIT (2016.) Tietoa YIT:stä. Haettu 18.2.2017 osoitteesta www.yit-group.com/fi/tietoa-yitsta

YIT Rakennus Oy (n.d.). Työturvallisuusohje. Haettu 1.4.2017 YIT Rakennus Oy intrasta.

Haastattelut

Nietula, A. (2017). Laatuinsinööri. Rudus Oy. Haastattelu 9.1.2017

Toivonen, J. (2017). Laatuinsinööri. Ruskon Betoni Oy. Puhelinhaastattelu 16.3.2017

FINNSEMENTTI

Tekninen neuvonta

9.4.2017

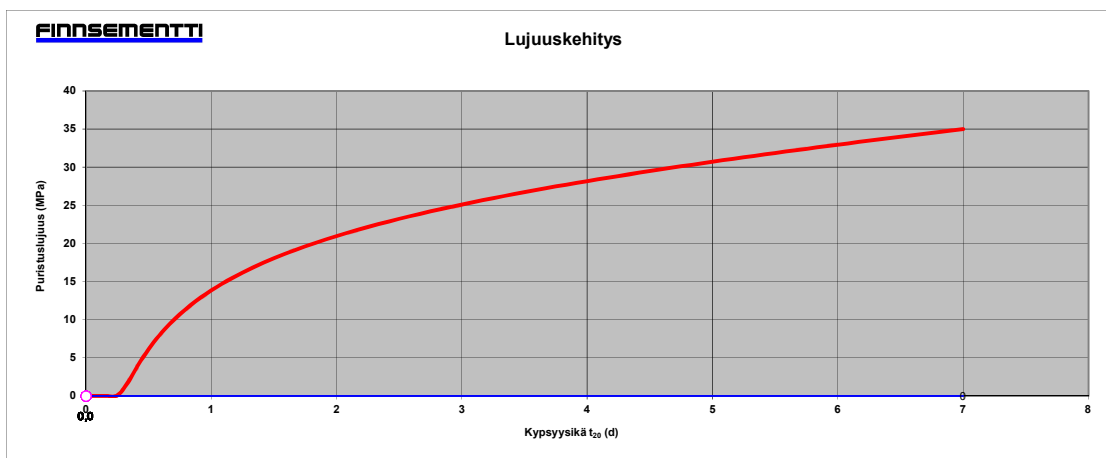
Kohde: Kokeilukohde
 Rakennusosa: Palkki
 Betonityönjohtaja: JV


Betoni: K 35 Laadunarvosteluikä (d) 7

Kypsyysikä t_{20} = 0,00 (d) Lujuusarvio = 0 MPa

Mittaustulokset			Aika valusta		Keskilämpötila	Kypsyysikä	Kypsyysikä t_{20} (d)	Lujuus- arvio (MPa)	Suunnittelu lujuudesta (%)
Päiväys	Kello	Lämpötila (C)	tunteina (h)	vuorokausina (d)	aikavälillä (C)	aikavälillä (d)			
			0,0	0,00	----	---	0,00		

Oheinen laskelma perustuu betonin kypsyysikä ja lujuuden väliseen riippuvuuteen ns. tyypillisillä perusbetoneilla.
 Jos betonin valmistuksessa käytetään erikoissuhteituksia esim. lisäaineita, seosaineita tai erittäin pieniä sementtimääriä on niiden vaikutus lujuudenkehitykseen selvítettävä erikseen.
 Finnsementti Oy ei vastaa syötettyjen tietojen oikeellisuudesta.



 YIT RAKENNUS OY INFRAPALVELUT		BETONOINTISUUNNITELMA JA PÖYTÄKIRJA					
Rakennuskohde		Työnumero		Rakennusluvan nro	Pöytäkirjan nro		
Osoite		Kuormakirjan numero		Puhelinnumero			
Betonointityönjohtaja		Betonilaborantti / mylläri					
BETONOITAVA RAKENNE							
PERUSTIEDOT BETONISTA	a) kovettunut betoni	Lujuus- ja rakenneluokka	Rasitusluokat		Vedenpitävyys		
		Muut ominaisuudet					
	b) betoni massa	Notkeus	Suurin raekoko		Sementti		
		Lisäaineet ja annostus		Muut tiedot			
BETONOINTIKALUSTO							
	Muotit			Rauditus			
	Kunnossa	Korjattava	Korjattu pvm.	Kunnossa	Korjattava	Korjattu pvm.	
Tarkastukset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
BETONITYÖT	SUUNNITELMA			PÖYTÄKIRJA			
Betonoitava osa							
Betonimäärä	m ³						
Betonointinopeus	m ² / h						
Betonoinnin alkaminen ja päättyminen	klo.	Alkaa	Päättyy	Alkoi	Päättyi		
Betonin notkeus (painuma, sVB, MO, leviämä)							
Ilman lämpötila / Betonimassan lämpötila	°C	Ilma	Betonimassa	Ilma	Betonimassa		
Jälkihoito, betonin lämpötilan seuranta sekä betonin lujuuskehityksen arviointi							
Muottien purku (lujuus, ikä)							
Erikoismenetelmät, lämpökäsittely jne.							
Koekappaleet (tunnukset, näytteenottoapaikat)							
Häiriöt, varautuminen / toimenpiteet							
Muut tiedot, liitteet		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Päiväys	Betonointityönjohtajan allekirjoitus						

FINNSEMENTTI

Tekninen neuvonta

9.4.2017

Kohde: Karolina
 Rakennusosa: Tukimuurin antura
 Betonityönjohtaja: AN

Betoni: K 35 Laadunarvosteluikä (d) 7

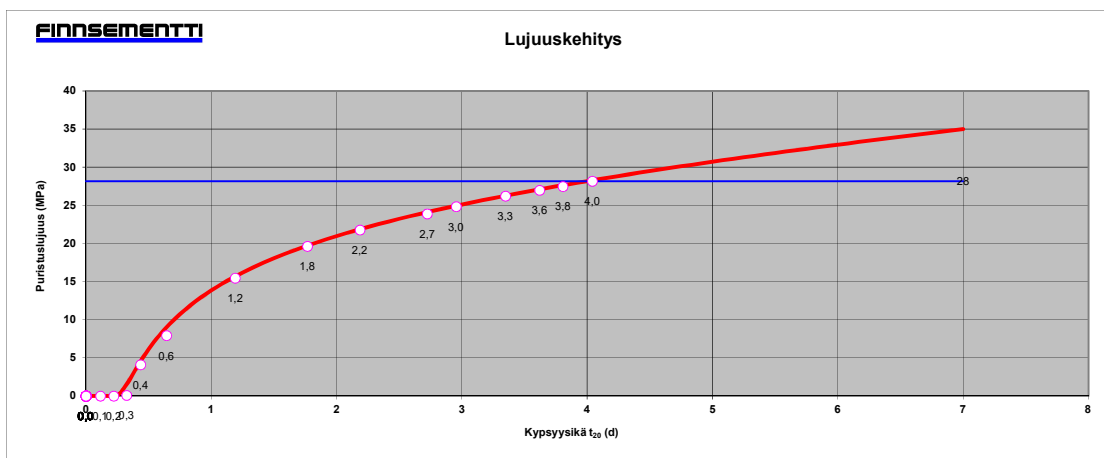
Kypsyysikä t_{20} = 4,04 (d) Lujuusarvio = 28 MPa

Mittaustulokset			Aika valusta		Keskilämpötila		Kypsyysikä	Kypsyysikä t_{20} (d)	Lujuusarvio (MPa)	Suunnittelu lujuudesta (%)
Päiväys	Kello	Lämpötila (C)	tunteina (h)	vuorokausina (d)	aikavälillä (C)	aikavälillä (d)				
13.1.2017	14:30	27,4	0,0	0,00	----	----	0,00	0	0 %	
13.1.2017	16:30	25,4	2,0	0,08	26,4	0,12	0,12	0	0 %	
13.1.2017	18:30	23,9	4,0	0,17	24,7	0,11	0,22	0	0 %	
13.1.2017	20:30	24,4	6,0	0,25	24,2	0,10	0,33	0	0 %	
13.1.2017	22:30	26,6	8,0	0,33	25,5	0,11	0,44	4	12 %	
14.1.2017	1:30	34,3	11,0	0,46	30,5	0,21	0,64	8	23 %	
14.1.2017	7:00	45,0	16,5	0,69	39,7	0,55	1,19	15	44 %	
14.1.2017	12:00	42,7	21,5	0,90	43,9	0,58	1,77	20	56 %	
14.1.2017	16:00	39,5	25,5	1,06	41,1	0,42	2,19	22	62 %	
14.1.2017	22:00	34,1	31,5	1,31	36,8	0,54	2,72	24	68 %	
15.1.2017	1:00	31,5	34,5	1,44	32,8	0,23	2,95	25	71 %	
15.1.2017	7:00	26,9	40,5	1,69	29,2	0,39	3,35	26	75 %	
15.1.2017	12:00	23,4	45,5	1,90	25,2	0,27	3,62	27	77 %	
15.1.2017	16:00	20,9	49,5	2,06	22,2	0,19	3,81	27	79 %	
15.1.2017	22:00	16,9	55,5	2,31	18,9	0,23	4,04	28	81 %	

Oheinen laskelma perustuu betonin kypsyysian ja lujuuden väliseen riippuvuuteen ns. tyypillisillä perusbetoneilla.

Jos betonin valmistuksessa käytetään erikoisuhteituksia esim. lisäaineita, seosaineita tai erittäin pieniä sementtimääriä on niiden vaikutus lujuudenkehitykseen selvítettävä erikseen.

Finnsementti Oy ei vastaa syötettyjen tietojen oikeellisuudesta.



FINNSEMENTTI

Tekninen neuvonta

9.4.2017

Kohde: As Oy Tuusulan Majapaikka

Rakennusosa: 3.KRS ONTELOSAUMAT

Betonityönjohtaja: PV

Betoni: K 30 Laadunarvosteluikä (d) 7

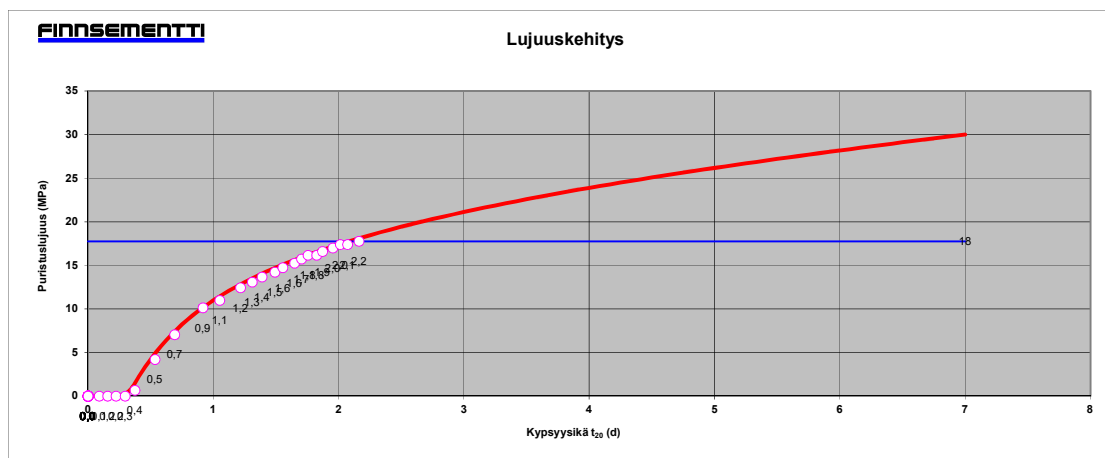
Kypsyysikä t_{20} = 2,16 (d) Lujuusarvio = 18 MPa

Mittaustulokset			Aika valusta		Keskilämpötila		Kypsyysikä	Lujuus-	Suunnittelu
Päiväys	Kello	Lämpötila (C)	tunteina	vuorokausina	aikavälillä (C)	aikavälillä (d)	t_{20} (d)	arvio (MPa)	lujuudesta (%)
23.3.2017	12:00	25,9	0,0	0,00	----	----	0,00	0	0 %
23.3.2017	14:00	17,2	2,0	0,08	21,6	0,09	0,09	0	0 %
23.3.2017	16:00	15,2	4,0	0,17	16,2	0,07	0,16	0	0 %
23.3.2017	18:00	17,2	6,0	0,25	16,2	0,07	0,22	0	0 %
23.3.2017	20:00	18,2	8,0	0,33	17,7	0,07	0,30	0	0 %
23.3.2017	22:00	19,2	10,0	0,42	18,7	0,08	0,37	1	2 %
24.3.2017	2:00	19,4	14,0	0,58	19,3	0,16	0,53	4	14 %
24.3.2017	6:00	18,4	18,0	0,75	18,9	0,16	0,69	7	23 %
24.3.2017	12:00	18,0	24,0	1,00	18,2	0,23	0,92	10	34 %
24.3.2017	16:00	14,7	28,0	1,17	16,4	0,13	1,05	11	37 %
24.3.2017	22:00	12,0	34,0	1,42	13,4	0,17	1,22	12	41 %
25.3.2017	2:00	9,7	38,0	1,58	10,9	0,09	1,31	13	44 %
25.3.2017	6:00	7,8	42,0	1,75	8,8	0,08	1,39	14	46 %
25.3.2017	12:00	6,3	48,0	2,00	7,1	0,10	1,49	14	47 %
25.3.2017	16:00	6,2	52,0	2,17	6,3	0,06	1,56	15	49 %
25.3.2017	22:00	5,6	58,0	2,42	5,9	0,09	1,65	15	51 %
26.3.2017	2:00	4,5	62,0	2,58	5,1	0,06	1,70	16	52 %
26.3.2017	6:00	3,3	66,0	2,75	3,9	0,05	1,76	16	54 %
26.3.2017	12:00	2,7	72,0	3,00	3,0	0,07	1,83	16	54 %
26.3.2017	16:00	3,5	76,0	3,17	3,1	0,05	1,87	17	55 %
26.3.2017	22:00	5,6	82,0	3,42	4,6	0,08	1,95	17	57 %
27.3.2017	2:00	5,6	86,0	3,58	5,6	0,06	2,01	17	58 %
27.3.2017	6:00	4,9	90,0	3,75	5,3	0,06	2,07	17	58 %
27.3.2017	12:00	6,7	96,0	4,00	5,8	0,09	2,16	18	59 %

Oheinen laskelma perustuu betonin kypsyysian ja lujuuden väliseen riippuvuuteen ns. tyypillisillä perusbetoneilla.

Jos betonin valmistuksessa käytetään erikoissuhteituksia esim. lisäaineita, seosaineita tai erittäin pieniä sementtimääriä on niiden vaikutus lujuudenkehitykseen selvítettävä erikseen.

Finnsementti Oy ei vastaa syötettyjen tietojen oikeellisuudesta.





Talvibetonointi

Ohjeita & käytäntöjä

Julkinen



[yit.fi](https://www.yit.fi)



Sisältö

1	Johdanto	3
2	Talvibetonointi.....	3
2.1	Laadunhallinta	3
3	Betonin valinta ja käsitteitä	5
3.1	Seosaineet	5
3.2	Lisäaineet.....	5
3.3	Normaalisti kovettuva rakennebetoni	5
3.4	Nopeasti kovettuva betoni	5
3.5	Pakkasbetoni	5
3.6	Kuumabetoni.....	6
3.7	Pakkasenkestävä betoni.....	6
3.8	Saumausbetonit.....	6
4	Lämmitys ja käsitteitä	6
4.1	Betonin lämmitys	6
4.1.1	Lämmityskaapelit	7
4.1.2	Infrapunasäteilylämmitys	7
4.1.3	Kuumabetoni.....	7
4.1.4	Kuumailmalämmitys.....	7
4.1.5	Höyrylämmitys	7
4.1.6	Lämpösuojaus.....	7
5	Lämpötilojen seuranta	8
5.1	Lämpötilojen seuranta muistilista	10
6	Lujuudenkehityksen arviointi	10
6.1	Lujuudenkehityksen arviointi muistilista.....	14
7	Virheet	15

1 Johdanto

Tämä ohje laadittiin keväällä 2017 opinnäytetyön lopputuotteena ja sitä kautta YIT Rakennus Oy:n käytettäväksi työkaluksi talvibetonointia suorittaessa. Tämä ohje käsittelee talvibetonointiin liittyvät perustiedot itse työvaiheista, materiaaleista, lujuuden- ja lämmön seurannasta sekä työturvallisuudesta ja yleisistä virheistä.

Talviaikaiseen rakentamiseen vahvasti kuuluva talvibetonointi tulee suorittaa oikein menetelmin. Työvaiheet vaativat enemmän ennakkosuunnittelua kuin kesäaikaisessa rakentamisessa. Lisäkuluja muodostuu kesäaikaiseen rakentamiseen nähden talven aiheuttamista haitoista. Materiaalit ovat kalliimpia, työmaa-aikainen energiankäyttö on suurempaa, kalustoa ja henkilöstä tarvitaan enemmän. Talven kovuus vaikuttaa suoraan työmaan kustannuksiin.

2 Talvibetonointi

Talvibetonointikäytäntöjä tulee käyttää aina kun vuorokauden keskilämpötila laskee alle +5°C. Varautuminen talvibetonointiin alkaa kuitenkin jo ennen keskilämpötilan laskua. Erikoistoimet talvibetonoinnissa ovat käytännössä suojaus, lämmitys, muottien lämpösuojaus, lämpötilojen seuranta ja lujuudenkehityksen arviointi sekä oikeanlaisen betonimassan valinta.

Betonin lujuudenkehityksessä tarvitaan aina lämpöä. Ulkolämpötila työn aikana ja tuulen voimakkuus vaikuttavat betonin lämpötilaan ja sitä kautta sen lujuudenkehitykseen. Betonimassan lämpötilan jäädessä +5°C sen lujuudenkehitys on jo niin hidasta, ettei sitä käytännön rakentamisessa hyväksytä. Oikeat työmenetelmät edesauttavat talvibetonoinnin onnistumista.

Lämpötilan laskiessa alle 0°C:n, betonissa oleva sitoutumaton vesi jäätyy. Jäätyessään vesi laajenee 9% ja aiheuttaa sisäisen paineen betoniin, joka voi vaurioittaa sitä. Kaikilla betoneilla lujuusluokasta riippumatta on sama minimilujuus, jota kutsutaan jäätymislujuudeksi.

Jäätymislujuus on 5 MN/m² betoninormien mukaisesti. Jäätynyt betoni voi siltikin kehittää todellisesta lujuudestaan huolimatta vaelujuutta, joka häviää betonin sulaessa. Tämä vaelujuus voi aiheuttaa pahimmassa tapauksessa jopa rakenteen sortumisen.

Työmailla betonin lujuudenkehitystä tulee seurata. Valun lämmönkehityksen perusteella voidaan arvioida betonin lujuudenkehitystä. Dataloggereita on saatavilla YIT Kalustolta, niitä voidaan ostaa työmaille esim. Suomen Lämpömittari Oy tai betonin toimittajat tarjoavat lujuudenkehityksen seurantaan omia dataloggereitaan ja arviointiin palveluita, esim. BetoPlus Ruduksella.

Betonivalun aikana on tärkeää siirtää massa nopeasti muottiin, ja suojata välittömästi. Tuuli lisää massan jäähtymisnopeutta merkittävästi. Jäähtyminen viivästyttää sitoutumista ja johtaa hitaaseen lujuudenkehitykseen.

Valun jälkeen käynnistetään jälkihoito, jolla valetulle rakenteelle saadaan aikaan oikeat olosuhteet kovettua. Onnistunut jälkihoito auttaa betonia saavuttamaan suunnitellun loppulujuuden ja sille tavoitellut ominaisuudet.

2.1 Laadunhallinta

Talvibetonoinnin laatua hallitaan, varmistetaan ja luodaan betonointisuunnitelmalla, töiden aloituspalavereilla sekä yhteistyöllä suunnittelijoiden ja betonintoimittajien kanssa. Kuvassa 1 nähdään betonointisuunnitelma ja pöytäkirja. Laadunvarmistamiseksi ja arkistoinnin selkeyttämiseksi on hyvä nittoa betonointisuunnitelma betonin toimittajan kuormakirjojen päälle ja säilöä kansioon.

Osana YIT:n laadunvarmistusta on kimmovasaran käyttö. Kimmovasaralla korvataan koekappaleisiin perustuva puristuslujuuden testaus rakennuspaikalla.



Testattavat betonirakenteet sovitaan hankekohtaisesti. Mikäli kimmovasaratestaus ei ole mahdollinen piiloon jäävistä rakenteista, testataan puristuslujuus työmaalla valetuista koekuutioista. Koekappaleita tehdään 3 kappaletta valuerää kohden, ja 1 koekappale alkavaa 100 betoni-m³ kohti. Koekappaleet tulee testata hyväksytyssä koetuslaitoksessa.

Kimmovasara tulee olla kalibroitu ja testauksessa on huomioitava käytettävän kimmovasaran käyttöohjeet.

YIT YIT RAKENNUS OY INFRAPALVELUT		BETONOINTISUUNNITELMA JA PÖYTÄKIRJA				
Rakennuskohde		Työnumero		Rakennustilun nro	Pöytäkirjan nro	
Osoite		Kuormakirjan numero		Puhelinnumero		
Betonointityönjohtaja		Betonilaborantti / mylläri				
BETONOITAVA RAKENNE						
PERUSTIEDOT BETONISTA	a) kovettunut betoni	Lujuus- ja rakenneluokka	Rasitusluokat	Vedenpitävyys		
		Muut ominaisuudet				
	b) betoni massa	Notkeus	Suurin raekoko	Sementti		
		Lisäaineet ja annostus	Muut tiedot			
BETONOINTIKALUSTO						
	Muotit			Rauditus		
	Kunnossa	Korjattava	Korjattu pvm.	Kunnossa	Korjattava	Korjattu pvm.
Tarkastukset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
BETONITYÖT	SUUNNITELMA			PÖYTÄKIRJA		
Betonoitava osa						
Betonimäärä	m ³					
Betonointinopeus	m ³ / h					
Betonoinnin alkamishen ja päättymishen	Aikaa		Päättyy	Aikoi		Päättyi
	klo:					
Betonin notkeus (painuma, sVB, MQ, levtämä)						
Ilman lämpötila / Betoninmassan lämpötila	Ilma		Betoninmassa	Ilma		Betoninmassa
Jälkihoito, betonin lämpötilan seuranta sekä betonin lujuuskehityksen arviointi						
Muottien purku (lujuus, ikä)						
Erikoismenetelmät, lämpökäsittely jne.						
Koekappaleet (tunnukset, näytteenoittopaikat)						
Häiriöt, varautuminen / toimenpiteet						
Muut tiedot, liitteet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Päiväys	Betonointityönjohtajan allekirjoitus					

Kuva 1. Betonointisuunnitelma, koodi 4145 Navigaattorissa.

3 Betonin valinta ja käsitteitä

Betonin toimittaja osaa ohjeistaa käyttämään heidän tuotevalikoimastaan kohteeseen sopivia betonilaatuja. Rakennesuunnittelija on esittänyt jokaiselle rakenteelle vaaditun lujuusluokan.

Maksimiraekoko valitaan massan siirtotavan, valettavan rakenteen mittojen ja raudoitustiheyden mukaan mahdollisimman suureksi. Pienemmällä raekoolla massassa tarvittavan sementtiliiman määrä kasvaa ja sitä kautta lisää betonin kutistumaa ja halkeilua.

Massan notkeus määritetään myös siirtotavan, rakenteen mittojen ja raudoitustiheyden ja olosuhteiden mukaan. Notkeutta nostettaessa tarvittavan sementtiliiman määrä kasvaa, joka johtaa myös edellä mainittuihin ongelmiin. Massaa voidaan notkistaa myös notkistavilla lisäaineilla.

3.1 Seosaineet

Betonimassassa voidaan käyttää erilaisia seosaineita sementin lisäksi sideaineina. Talvisin käytetään nopeampia sideaineyhdistelmiä ja massiivisissa valuissa ja kuumissa olosuhteissa käytetään sideaineita jotka omaavat alhaisen lämmöntuoton. Seosaineita ovat mm. lentotuhka, masuunikuona ja silika.

3.2 Lisäaineet

Lisäaineita betonimassassa käytetään parantamaan ja muokkaamaan betonin ominaisuuksia. Niillä saadaan massalle lisää notkeutta, parannetaan sen työstettävyyttä sekä nopeutetaan kovettumista. Lisäaineita ovat notkistimet, kiihdyttimet ja huokostimet.

- Notkistimien tehtävänä on parantaa betonin työstettävyyttä ja lisätä massan notkeutta.
- Huokostimia käytetään, kun rakenteelta vaaditaan säänkestävyyttä. Huokostettu rakenne kestää toistuvaa jäätymistä ja sulamista kovettuneena siihen muodostuneiden suojahuokosten avulla.
- Kiihdyttimillä ei talviaikana voida merkittävästi vaikuttaa betonin kovettumiseen. Joidenkin kiihdyttimien ominaisuuksiin kuuluu jäätympistettä alentava vaikutus.

3.3 Normaalisti kovettuva rakennebetoni

Edullinen perusbetonilaatu, jota voidaan käyttää talvibetonoinnissa. Edellyttää sitä, että suojaus ja lämmitys ovat huolehdittu kuntoon, ja kovia pakkasia ei ole luvassa. Lujuudenarvosteluikä on 28 vuorokautta.

3.4 Nopeasti kovettuva betoni

Saavuttaa nimellislujuutensa 7 vuorokauden ikäisenä. Omaa nopean varhaislujuudenkehityksen sen kovettuessa kehittyvän lämmön takia.

3.5 Pakkasbetoni

Pakkasbetonia käytetään talvirakentamisessa elementtien sauma- ja juotosvaluihin, sekä muihin täyttövaluihin. Se sisältää jäätyneen estoainetta, joka alentaa veden jäätympistettä. Pakkasbetoni on erittäin notkistettua massaa ja sisältää paljon rapid-sementtiä. Siihen ei saa lisätä työmaalla vettä tai muita lisäaineita. Käyttölämpötila on toimittajasta riippuen jopa -15°C asti, mutta kuten normaalikin betoni, tarvitsee se lujuuskehitykseensä lämpöä. Paras käyttölämpötila on +5°C...-5°C.



3.6 Kuumabetoni

Kuumabetoni on betoniasemalla lämmitetty normaalisti toimitettavaa betonia kuumemmaksi. Sitä kautta lujuudenkehitys nopeutuu ja lisälämmityksen tarve pienenee. Kuumabetonia toimitetaan normaalisti kahdessa lämpötilaluokassa

Luokka 1: 25°C

Luokka 2: 35°C

Kuumabetoni toimii parhaiten, kun valu saadaan suojattua mahdollisimman nopeasti, ettei lämpöä hukata. Korkean lämpötilan ansiosta betonin riittävä alkukovettuminen tapahtuu yleensä ilman lisälämmitystä.

3.7 Pakkasenkestävä betoni

Pakkasenkestävä betoni sisältää huokostin-lisäainetta. Se mahdollistaa pienten ilmakuplien muodostumista betoniin. Jos betoni jäätyy märkänä, vesi pääsee laajenemaan huokosiin. Käyttökohteina paikat joissa betoni voi jäätää kosteana, sekä rasitusluokkien mukaiset rakenteet.

3.8 Saumausbetonit

Talviaikana saumausbetoneiksi lasketaan pakkasbetonin lisäksi normaalisti- ja nopeasti kovettuvat saumausbetonit. Saumausbetoneiden notkeusluokat S3-S4, maksimirae koko #8 ja lujuusluokat K30-40 (C25/30-C32/40). Saumausbetonin valinnalla talvibetonoinnissa saadaan aikaan säästöjä. Jos massan lämpötila saadaan pysymään riittävän korkeana, nopeasti kovettuvan saumausbetonin käyttö lämpötilaluokassa 1 verrattuna pakkasbetoniin säästää 60-70€/m³.

4 Lämmitys ja käsitteitä

Rakennustyömailloa käytetään kaukolämpö, öljy-, sähkö- ja kaasulämmitystä. Rakennustöiden aikana käytetään helposti liikuteltavia ja käyttökuuntoon saatettavia ilma- ja säteilylämmittimiä. Työn edetessä rakennuksen lopullinen lämmitysjärjestelmä otetaan käyttöön. Lämpöä tarvitaan talvibetonoinnin onnistumisen takia.

Työmaalle valittavan lämmityksen energiamuodon, lämmityslaitteiden ja -menetelmien valinta perustuu laskelmiin ja niiden vertailuihin, sekä aiempiin työmailloilta saatuihin kokemuksiin. Vaikuttavia tekijöitä valinnassa ovat tehokkuus, luotettavuus, kustannukset ja huolto- ja käyttöjärjestelyt. Valintaa tehdessä tulee myös ottaa huomioon laitteiston vuokrakustannukset, energiankulutus ja energiamuodon hinta sekä lämmityksen järjestämisestä aiheutuvat kustannukset.

4.1 Betonin lämmitys

Betonimassa lasketaan lämpökäsitellyksi, mikäli

- Se on lämmitetty yli +40°C
- Sen kovettumislämpötila on yli +50°C
- Sen lämpötilan nousu on kovettumisen aikana yli 25°C

Lämpökäsittely alentaa loppulujuutta mahdollisesti jopa 30%.

Talvibetonoinnissa tarvitaan aina lisälämmitystä, sillä sen avulla saavutetaan oikeanlainen lujuudenkehitys ja vaaditut lujuudet betonimassalle.

Lämmitysmenetelmiä ovat

- Lankalämmitys/lämmityskaapelit
- Infrapunasäteilylämmitys
- Kuumabetoni
- Kuumailmalämmitys
- Hörylämmitys
- Lämpösuojaus

4.1.1 Lämmityskaapelit

Lämmityskaapeleilla lämpö saadaan kohdistettua rakenteissa haluttuihin kohtiin. Kun rakennetta lämmitetään sisältäpäin, niin ei lämmitetä turhaan ympäröiviä tiloja ja rakenteita. Kaapelilämmityksen yhteydessä on hyvä käyttää myös lisäeristystä ja suojaamista. Lämmitystehon ollessa kaapeleilla lähes vakio noin 40 W/m, lämmitystehoa säädelläänkin kaapelien asennustiheydellä. Esimerkiksi BetoPlus-ohjelmalla saadaan laskettua ennakkoon kaapeleiden asennustiheyttä.

4.1.2 Infrapunasäteilylämmitys

Infrapunalämmittimillä lämpöä siirretään säteiden avulla lämmitettävään kohteeseen. Säteet etenevät ilmassa suoraviivaisesti, ja kohdatessaan esteen ne muuttuvat lämmöksi. Säteilijöitä lämmitetään kaasulla, öljyllä tai sähköllä. Epäsuora lämmitys perustuu säteilyn kohdistamiseen muottiin, josta se siirtyy betoniin. Tila, jossa käytetään säteilylämmittimiä, tulee suojata ja eristää ilmapirtauksilta.

4.1.3 Kuumabetoni

Käsittely kohdassa 3.6.

4.1.4 Kuumailmalämmitys

Kuumailmalämmityksessä suljettua ilmatilaa lämmitetään betonirakenteen alapuolelta tai ympärillä. Ilma siirtää lämpöä muottiin ja sitä kautta betoniin. Ilmaa lämmitetään öljy-, kaas-, sähkö-, kuumavesi- tai höyrykäyttöisillä kuumailmapuhaltajilla.

4.1.5 Hörylämmitys

Höyryä käytetään lumen ja jään sulatukseen muoteista ja elementtisaumoista. Höyry saadaan suunnattua suuttimien avulla suoraan lämmitettävään tai sulatettavaan kohteeseen. Kuitenkin betonirakenteiden lämmitykseen höyry on energiataloudellisesti ja teknisesti epäedullista siinä syntyvän kosteuden vuoksi.

4.1.6 Lämpösuojaus

Lämpösuojaus on aina tärkeässä osassa talvibetonoinnin aikana. Sillä estetään rakenteen jäätyminen, tasataan rakenteen lämpötilaeroja, vähennetään lämmitystarvetta ja estetään kosteuden haihtuminen. Käytettyjä tapoja ovat muottien lämpöeristys, lämpösuojamatot ja -levyt ja suojaepitteet. Tärkeintä lämpösuojauksessa on riipeys, jottei turhaa lämpöhäviötä tai jäätymistä pääse tapahtumaan. Suojien paikoillaan pysyminen tulee varmistaa.

Lämpösuojauksen rooli korostuu tuulisella säällä, tuuli lisää lämmön siirtymistä ja edistää kosteuden haihtumista. Tuuli myös lisää lämpötilojen erotuksen vaikutusta, esimerkiksi ulkolämpötilan ollessa -5°C ja tuulen nopeuden ollessa 6 m/s, ilman lämpötila todellisuudessa vastaa -17°C . Suojaamattomalle betonille esimerkinmukainen tilanne aiheuttaa varmasti ongelmia lujituksenkehityksessä.

Suunnittelija voi etukäteen suunnitelmissa määrittää esim. anturoille muotin alle styroksit. Mikäli näin ei ole, niin tätä asiaa voidaan ehdottaa suunnittelijalle. Muottien eristäminen on talviaikana tehokas ja suhteessa edullinen keino säilyttää lämpö betonivalussa. Ennakkosuunnittelussa tähän asiaan tulee paneutua ja sitä kautta saadaan tehokkain vaihtoehto valujen eristykseen ja lämpösuojaukseen.

5 Lämpötilojen seuranta

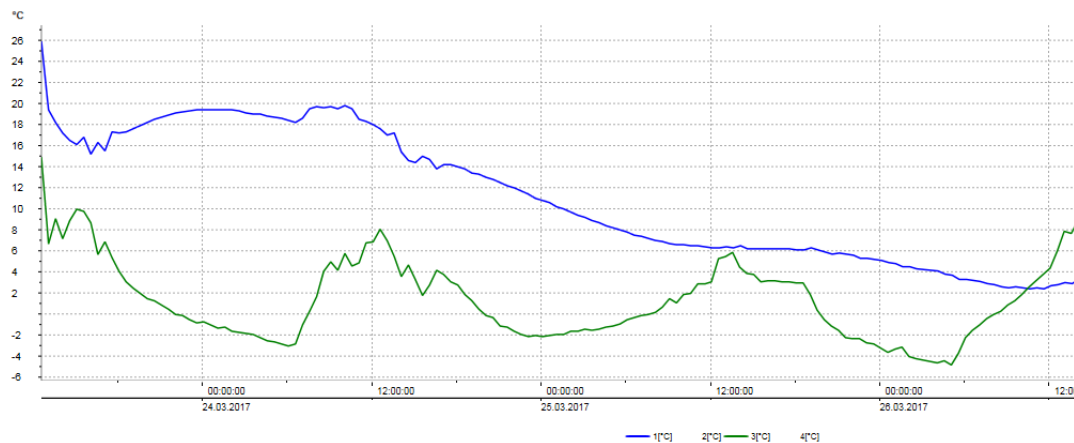
Kovettuvan betonin lämpötiloja seurataan, jotta varmistetaan sen lujuudenkehityksen etenemisestä. Valuista mitataan talviaikana betonin pinta, kylmäsiltojen läheiset osat sekä ulkonurkat.

Tässä ohjeessa käytetään Teston tuotteita, dataloggerin tyyppi 176T4, mutta Teston lämpötilojen analysointiohjelma on sama eri Teston dataloggereiden tyypeistä riippumatta.

Otettaessa loggeria käyttöön, tulee siihen asettaa tarvittavat lähtötiedot. Lämpötilojen mittausväliksi suositellaan 1-3 tuntia. Suositeltavaa on nimetä myös loggerin kanavat, niiden määrästä riippuen, esim.

- Kanava 1 – Alapinta
- Kanava 2 – Yläpinta
- Kanava 3 – Ulkolämpötila
- Kanava 4 – Haluttu nimi

Tämä helpottaa mittauksien purkua tietokoneella.

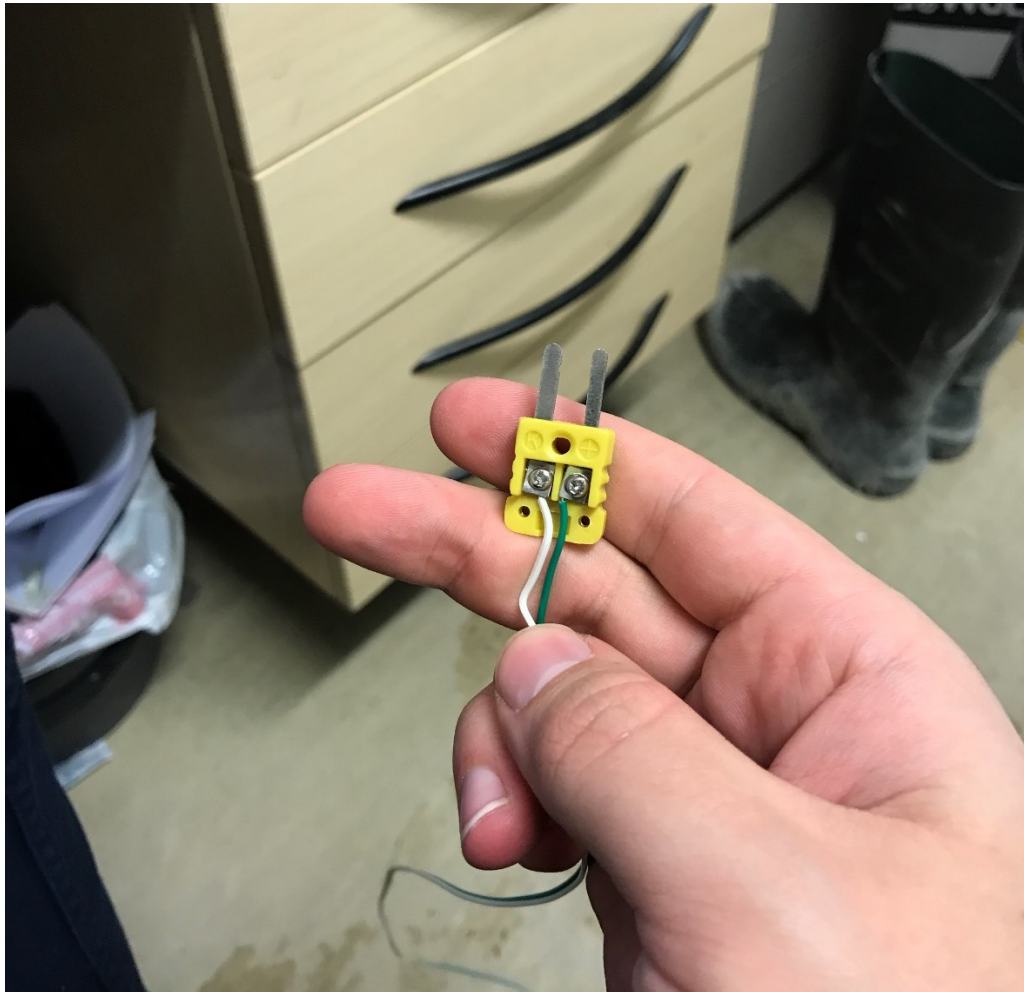


id	Date/time	1[°C]	2[°C]	3[°C]
175	27.3.2017 4:35:44		5,20	4,50
176	27.3.2017 5:05:44		5,10	4,40
177	27.3.2017 5:35:44		5,00	4,20
178	27.3.2017 6:05:44		4,90	4,10
179	27.3.2017 6:35:44		4,80	3,90
180	27.3.2017 7:05:44		4,70	3,70
181	27.3.2017 7:35:44		4,80	3,80
182	27.3.2017 8:05:44		5,50	4,40
183	27.3.2017 8:35:44		5,90	4,70
184	27.3.2017 9:05:44		6,00	4,80
185	27.3.2017 9:35:44		6,30	5,20
186	27.3.2017 10:05:44		6,30	5,40
187	27.3.2017 10:35:44		6,10	5,50
188	27.3.2017 11:05:44		6,40	6,00
189	27.3.2017 11:35:44		6,40	6,30
190	27.3.2017 12:05:44		6,70	6,90
191	27.3.2017 12:35:44		6,90	7,30
192	27.3.2017 13:05:44		5,50	6,70
193	27.3.2017 13:35:44		4,80	6,30

Kuva 2. Teston ohjelman lämpötilamittausten näkymä.

Kuvassa nähdään erään ontelosaumavalun lämpötilamittausten tuloksia Teston ohjelmalla. Loggerissa oli 4 kanavaa, mutta lujuudenkehityksen arvioinnin helpottamiseksi näkymästä on poistettu maksimi- ja minimilämpötilakäyrät. Näkymään jätettiin keskiarvon lämpötilakäyrä (sininen) ja ulkolämpötila (vihreä).

Mittausta aloitettaessa tulee varmistua termoparilangan oikeasta kytkennästä. Värit tulee kytkeä oikein päin liittimiin, ja toinen pää sidotaan yhteen ja suojataan esim. teipillä. Teippi suojaa termoparilangan päään osumista raudoitteisiin, joka aiheuttaisi epäonnistuneen mittauksen.



Kuva 3. Termoparilangan liitinpää.

Kaapelin kytkeminen liittimeen tulee varmistaa käytetyn kaapelityypin mukaan. K-tyyppin termoparilangassa parit ovat vihreä ja valkoinen, joista vihreä on + ja valkoinen -. Väärin päin kytketty kaapeli aiheuttaa epäonnistuneen mittauksen. Kaapelit on syytä testata ennen asentamista valuun.



5.1 Lämpötilojen seuranta muistilista

- Mittauslankojen valmistus/hankinta
- Mittauslankojen toimintatarkastus
- Mittauslankojen asennus valittuihin mittauspisteisiin
- Mittauksen käynnistys loggerissa (Teston malleissa 3 sekunnin painallus Go-painikkeesta)
- Dataloggerin noutaminen mittauspisteestä
- Tuloksien purku tietokoneelle
- Tuloksien käsittely ja analysointi lujuudenkehityksen arviointi ohjelmilla (kohta 6).

6 Lujuudenkehityksen arviointi

Talvibetonoinnissa tarkastellaan lujuudenkehitystä seuraavien lujuuksien osilta

- Jäätymislujuus 5 MN/m²
- Muottien purkulujuus, 60-80% nimellislujuudesta (suunnittelija määrittää)
- Nimellislujuus

Käytettäviä työkaluja lujuudenkehityksen arviointiin ovat YIT:n navigaattorista löytyvä betonin lämpötilan seuranta (koodi 3976) excel-ohjelma, ja Finnsementin excel-ohjelma. Finnsementin ohjelman saa pyytämällä sen Finnsementin teknisestä neuvonnasta. Tarkastelua voidaan suorittaa myös betonin toimittajan kanssa.

Kuvassa 4 nähdään Finnsementin excel-ohjelman aloitusnäkyä. Taulukkoa lähdetään täyttämään Täyttö-painikkeesta. Ensiksi ohjelma kysyy kohteen tiedot, tarkasteltavan osan nimen, betonityönjohtajan ja tarkasteltavan betonimassan tietoja.

Sen jälkeen täytetään päivämäärä, kellonaika tunneissa (0-23), kellonaika minuuteissa (0-59) ja viimeisenä mitattu lämpötila. Lämpötiloja poimitaan excel-ohjelmaan halutulla välillä dataloggerin muodostamasta mittaustuloksesta.

Lopputuloksena syntyy kuvan 5 mukainen tuloste, josta nähdään selkeästi betonin sen hetkinen lujuus arvio.

Lujuudenkehityksen arviointi-ohjelmilla voidaan myös tarkastella betonivalun suorittamista eri betonin lujuusluokalla ja sen vaikutusta lujuudenkehityksen nopeutumiseen.

FINNSEMENTTI

Tekninen neuvonta

9.4.2017

Kohde: KarolinaRakennusosa: Tukimuurin anturaBetonityönjohtaja: ANBetoni: K 35 Laadunarvosteluikä (d) 7

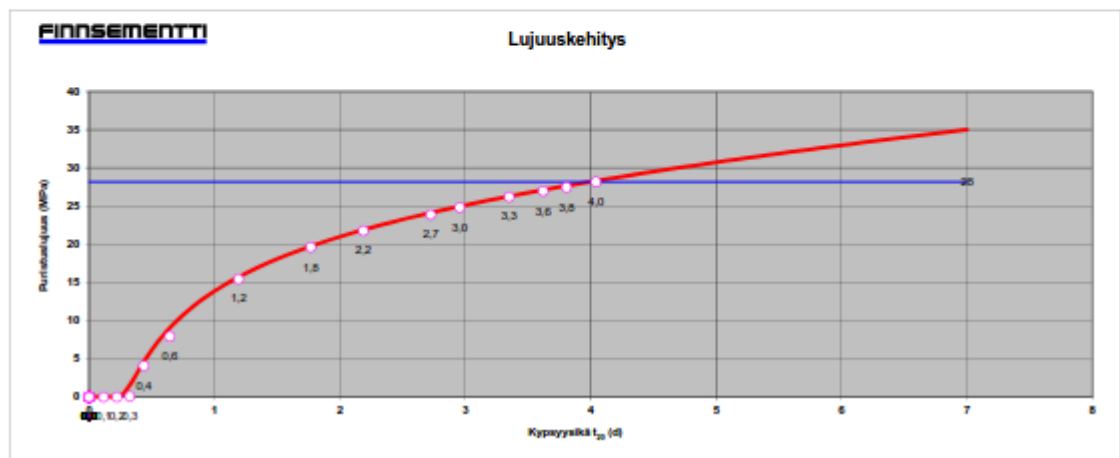
Kypsyysikä t_{20} = 4,04 (d) **Lujuusarvio = 28 MPa**

Mittaustulokset			Aika valusta		Keskilämpötila aikavälillä (C)	Kypsyyslisä aikavälillä (d)	Kypsyysikä t_{20} (d)	Lujuus- arvio (MPa)	Suunnittelu lujuudesta (%)
Päiväys	Kello	Lämpötila (C)	tunteina (h)	vuorokausina (d)					
13.1.2017	14:30	27,4	0,0	0,00	----	----	0,00	0	0 %
13.1.2017	16:30	25,4	2,0	0,08	26,4	0,12	0,12	0	0 %
13.1.2017	18:30	23,9	4,0	0,17	24,7	0,11	0,22	0	0 %
13.1.2017	20:30	24,4	6,0	0,25	24,2	0,10	0,33	0	0 %
13.1.2017	22:30	26,6	8,0	0,33	25,5	0,11	0,44	4	12 %
14.1.2017	1:30	34,3	11,0	0,46	30,5	0,21	0,64	8	23 %
14.1.2017	7:00	45,0	16,5	0,69	39,7	0,55	1,19	15	44 %
14.1.2017	12:00	42,7	21,5	0,90	43,9	0,58	1,77	20	56 %
14.1.2017	16:00	39,5	25,5	1,06	41,1	0,42	2,19	22	62 %
14.1.2017	22:00	34,1	31,5	1,31	36,8	0,54	2,72	24	68 %
15.1.2017	1:00	31,5	34,5	1,44	32,8	0,23	2,95	25	71 %
15.1.2017	7:00	26,9	40,5	1,69	29,2	0,39	3,35	26	75 %
15.1.2017	12:00	23,4	45,5	1,90	25,2	0,27	3,62	27	77 %
15.1.2017	16:00	20,9	49,5	2,06	22,2	0,19	3,81	27	79 %
15.1.2017	22:00	16,9	55,5	2,31	18,9	0,23	4,04	28	81 %

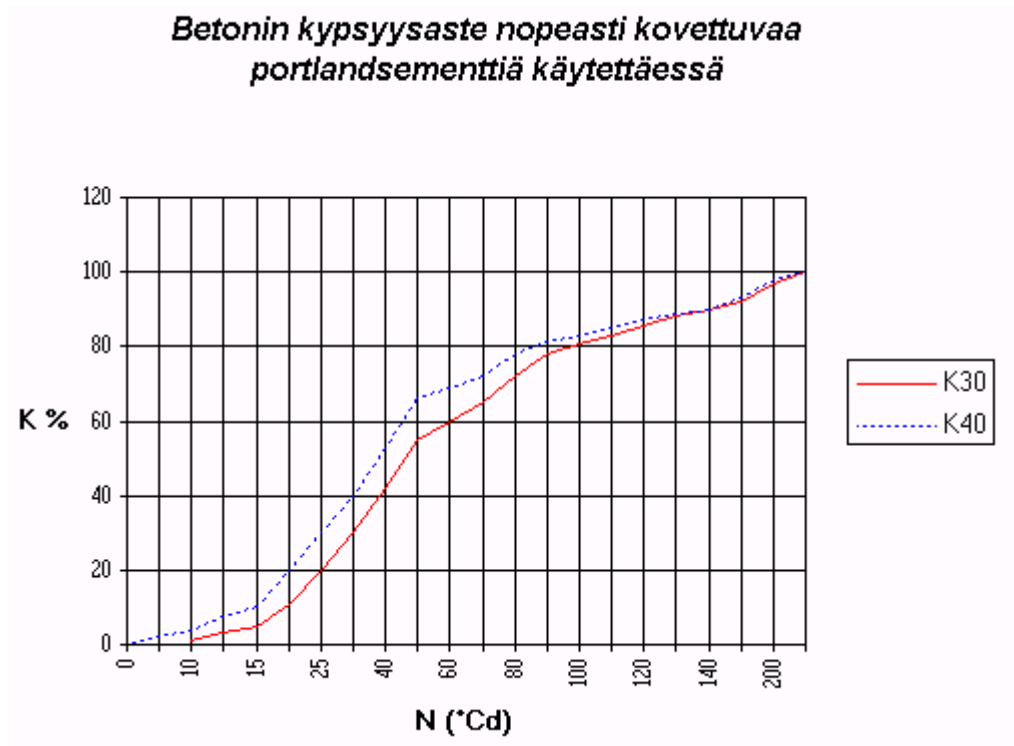
Oheinen laskelma perustuu betonin kypsyysikä ja lujuuden väliseen riippuvuuteen ns. tyyppillisillä perusbetoneilla.

Jos betonin valmistuksessa käytetään erikoissuhteituksia esim. lisäaineita, seosaineita tai erittäin pieniä sementtimääriä on niiden vaikutus lujuudenkehitykseen selvítettävä erikseen.

Finnsementti Oy ei vastaa syötettyjen tietojen oikeellisuudesta.



Kuva 5. Tuloste Finnsementin ohjelmasta.



Kuva 7. N-luvun vertaaminen käyrästään.

Verrattaessa näitä kahta menetelmää on kuitenkin Finnsementin menetelmä tarkempi.

6.1 Lujuudenkehityksen arviointi muistilista

- Lämpötilojen purku tietokoneelle käytetyn dataloggerin ohjelmalla
- Lämpötilojen syöttäminen käytettyyn excel-ohjelmaan
- Lujuudenkehitysarvion muodostaminen tulosteeksi
- Lujuudenkehitysarvion tuloksien liittäminen betonointisuunnitelmaan
- Betonointisuunnitelman liittäminen kuormakirjojen päälle ja sen arkistointi kansioon



7 Virheet

Talvibetonoinnissa yleensä tapahtuvia virheitä ovat

- Lähtöpintojen riittämätön lämmitys
- Puutteellinen muottien ja raudoitusten puhdistus ja sulatus
- Hidas peittäminen, suojaaminen ja lämmityksen aloittaminen
- Liian varhainen kuormitus
- Virheellinen betonin valinta
- Tuoreen betonin jäätyminen
- Riittämätön lujuus kylmäsiltauksesta

Näiden virheiden seuraukset ovat betonimassaan vaikuttavia sen lämpötilan osalta. Betoni jäätyy tai heikkenee rakenteiden alaosista, syntyy suuria lämpötilaeroja rakenteessa ja lujuudenkehitys ei vastaakaan enää tavoiteltua lujuutta. Muottien purkulujuudesta tulee olla aina varmuus, ettei niitä pureta liian aikaisin, joka johtaa sortumavaaraan.

Työmaalla tulee huolehtia ripeästä betonointisuorituksesta, sen suojauksesta ja lämmityksestä ja työmaalämmityksen päälle kytkemisestä hyvissä ajoin ennen valua.

Together we can do it.

YIT Rakennus Oy
PL 36, Panuntie 11
00621 Helsinki
Puh. 020 433 111
www.yit.fi

