

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma
Talonrakennuksen suuntautumisvaihtoehto

Tommi Paajanen

Betonivalun lämpötilan seuranta langattomasti

Opinnäytetyö 2012

Tiivistelmä

Tommi Paajanen

Betonivalun lämpötilan seuranta langattomasti, 27 sivua, 1 liite

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Tekniikan yksikkö, Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

Talonrakennuksen suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2012

Ohjaajat: tuntiopettaja Vesa Inkilä, Saimaan ammattikorkeakoulu,

insinööri Jani Terävä, Karjalan Betoni Oy

Perinteisesti betonivalun lämpötilaa on mitattu kohteeseen sijoitettavalla analogisella tai digitaalisella mittarilla. Tekniikan kehittyessä markkinoille on tullut uusia vaihtoehtoja. Tässä opinnäytetyössäni käsittelen etäluettavaa lämpötilan mittausjärjestelmää ja selvennän sen käyttöä esimerkkikohteen avulla. Opinnäytetyöni tavoitteena oli laatia tälle järjestelmälle selkeäkielinen käyttöohje.

Kovettuvan betonin lujuus on ratkaisevasti riippuvainen sen lämpötilasta. Lämpötilan noustessa betonin lujuuden kehitys nopeutuu ja vastaavasti lämpötilan lasku hidastaa sitoutumisreaktiota. Betonivalun lämpötilan mittaaminen on käytetyin ainetta rikkomaton menetelmä betonin lujuuden määrittämiseksi. Talvibetonoinnissa betonivalun lämpötilaa seuraamalla voidaan myös ehkäistä kovettuvan betonin jäätyminen ennen kuin betoni saavuttaa jäätymislujuuden. Langattomalla mittausjärjestelmällä pystytään seuraamaan valun lämpötilaa reaaliajassa ja jatkuva lämpötilatietojen tallennus antaa luotettavan kuvan betonin lujuuden kehityksestä.

Tämän opinnäytetyön tuloksena saatiin betonivalun lämpötilaa langattomasti mittaavalle laitteistolle laadituksi käyttöohje. Käyttöohje luovutetaan Karjalan Betoni Oy:n betoniaseman käyttöön.

Avainsanat: betoni, betonointi, lämpötila, puristuslujuus

Abstract

Tommi Paajanen

Measuring the temperature of setting concrete by a wireless system. 27 pages, 1 attachment

Saimaa University of Applied Science, Lappeenranta, Finland
Technology, Degree programme in Construction management

Final year thesis 2012

Instructors: Mr Vesa Inkilä, lecturer, Saimaa University of Applied Science, Mr Jani Terävä, engineer, Karjalan Betoni Oy

Traditionally temperature in concrete casting process is measured by analogic or digital instruments which are installed inside concrete. Development of new technical solutions has brought some new possibilities onto the market. In this thesis I will focus on a remotely read wireless temperature measurement system, and clarify its usability with a real case in a casting process. The target of this thesis was to create a clearly understandable user manual for this measurement system.

Strength of the hardening concrete is crucially dependent of its temperature. When temperature rises, the development of concrete strength is fastened, and correspondingly decrease in temperature slows down the binding reaction. Measurement of the casting temperature is the most popular method used to determine the concrete strength without breaking the structure. In winter time concrete casting, the follow-up of cast temperature can be used to prevent freezing of the concrete, before it reaches the freeze sustainable strength. By wireless measurement system, the temperature of concrete cast, can be measured without any time delay. Continuous temperature measurement, gives a reliable estimate for development of concrete strength.

As a result of the thesis, a clearly understandable user manual for this measurement system, was created. The user manual is given to Karjalan Betoni Oy, concrete station.

Key words: concrete, concreting, temperature, compression strength

Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto.....	5
1.1 Työn tarkoitus ja tavoitteet.....	5
1.2. Tutkimusmenetelmät.....	5
2 Betonin lämpötilan mittaaminen.....	6
2.1 Lämpötilan vaikutus betonin lujuuskehitykseen.....	6
2.2 Betonin lujuuden määrittäminen kypsyysikänsä perusteella.....	8
2.3 Perinteiset betonin lämpötilan mittaussuunnitelmat.....	10
2.4 Betonin lujuuden kehityksen hallinta.....	10
2.5 Kriittisimmät mittauspaikat	11
3 Talvibetonointi.....	12
3.1 Sääolosuhteiden huomioon ottaminen.....	12
3.2 Kuumabetonointi.....	12
3.3 Betonin lujuuden kehityksen nopeuttaminen.....	13
3.4 Pakkasbetoni.....	13
4 Nokeval-mittauslaitteisto.....	13
4.1 Lähettimet ja vastaanotin.....	14
4.2 Promolog-tiedonkeruu ohjelmisto.....	16
4.3 Laitteiston käyttöönotto ja mittaaminen.....	17
4.4 Mittaustulosten tulkinta.....	18
4.5 Mahdollisuuksia.....	20
5 Esimerkkikohta.....	21
5.1 Kohteen kuvaus.....	22
5.2 Valmistettavat työt.....	22
5.3 Mittaus, tulokset ja tulkitseminen.....	23
6 Pohdinta.....	25
Kuvat.....	26
Lähteet.....	27

Liitteet

Liite 1 Nokeval-mittauslaitteiston käyttöohje

1 Johdanto

Rakennusalalla tekniikka kehittyy jatkuvasti. Langattomat tietoverkot ovat jo nyt isoilla työmailla arkipäivää. Langattomuus tekee tuloaan myös lämpötilan mittauksen osa-alueelle. Langattomuus ja etäluettavuus mahdollistavat reaaliaikaisen seurannan ja nopean reagoinnin mittaustilanteessa.

1.1 Työn tarkoitus, tavoitteet ja rajaus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää langattoman betonin lämpötilan mittauslaitteiston käyttöä ja laatia sille selkeäkielinen käyttöohje. Käyttöohjeen on tarkoitus tulla keskisuuren betoniaseman käyttöön. Betoniaseman toiminnassa betonivalun lämpötilan mittaukset eivät kuulu jokapäiväisiin arkiruutineihin. Näin ollen mittauslaitteistoa tarvitaan hyvin harvoin. Käyttöohjeen tulisi auttaa mittausaseman perustamisessa ja palauttaa ohjelman käyttö mieleen, vaikka edellisistä mittauksista olisi kulunut monta kuukautta. Betonivalun lämpötilan mittausta käytetään useimmiten talvibetonoinnissa, joka itsessään on hyvin laaja alue. Käsittelenkin työssäni talvibetonoinnin pääpiirteittäin, pureutumatta tarkemmin yksityiskohtiin.

1.2 Tutkimusmenetelmät

Työni ensimmäisessä teoriaosuudessa käydään läpi järjestelmällisesti betonin lujuuden kehityksen, betonin lämpötilan mittauksen ja talvibetonoinnin perusteet. Toisessa teoriaosuudessa perehdytään tutkimuksen kohteena olevaan mittauslaitteistoon ja –ohjelmistoon. Teoriaosuuden tiedonlähteenä olen käyttänyt alan kirjallisuutta sekä betoni- ja mittalaittevalmistajien nettisivuja ja julkaisuja. Käytännön osuudessa kerron laitteistolla suorittamistani mittauksista omakotitalon laajennuksen lattiavalutyömaalla.

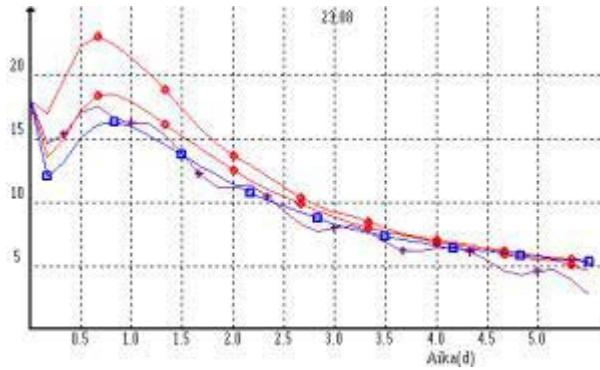
2 Betonivalun lämpötilan mittaaminen

Betonivalun lämpötilan mittaus on käytetyin ainetta rikkomaton menetelmä betonin lujuuden määrittämiseen (BY201 s.350). Valun lämpötilaa mittaamalla voidaan hallita betonin lujuuden kehitystä työmaalla ja reagoida ajoissa betonin lämpötilan muutoksiin. Talvibetonoinnissa on oltava varma, ettei kovettuva betoni pääse jäätymään ennen kuin se saavuttaa jäätymislujuuden.

2.1 Lämpötilan vaikutus betonin lujuuden kehitykseen

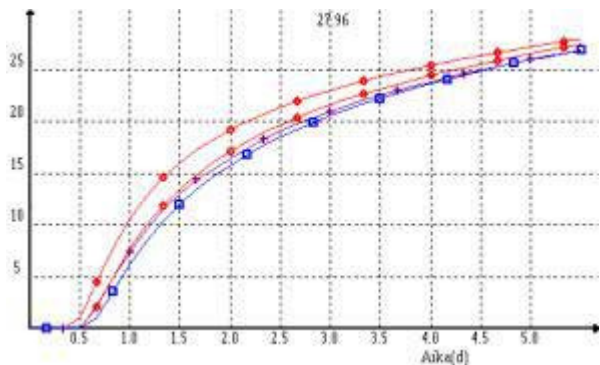
Normaaliolosuhteissa, lämpötila + 20 astetta celciusta, betoni saavuttaa tavoitelujuutensa 28 vrk:ssa (BY 50 s.22). Lämpötilalla on voimakas vaikutus kovettuvan betonin lujuuden kehitykseen, sillä sitoutumisaika ja hydrataatioreaktioiden nopeus ovat siitä riippuvaisia. Lämpötilan noustessa sitoutumisaika lyhenee ja hydrataatioreaktion nopeus kasvaa. 10 celciusasteen lämpötilan nousu kaksinkertaistaa kovettumisreaktion nopeuden normaaliolosuhteissa. (BY201 s.350.) Kovettumisreaktioiden nopeuttamiseksi betonivalun lämpötilaa voidaan nostaa aina 50 celciusasteeseen saakka, jonka yli lämpötilaa ei suositella nostettavaksi, sillä tätä korkeammat lämpötilat alentavat betonin loppulujuutta merkittävästi (Rudus, Talvibetonointi).

Lämpötilan laskeminen vaikuttaa sitoutumisaikaan ja hydrataatioreaktioiden nopeuteen päinvastaisesti, eli se hidastaa betonin lujuuden kehitystä. Betonin lujuudenkehitys hidastuu voimakkaasti lämpötilan laskiessa alle 0 celciusasteen ja pysähtyy lopulta lämpötilan saavuttaessa -10 – 15 celciusastetta. (BY201 s.347.) Kylmissä olosuhteissa betonoidessa on äärimmäisen tärkeää, että kovettuva betoni saavuttaa jäätymislujuuden ennen mahdollista jäätymistään. Tällöin se kestää vaurioitumatta veden jäätymisestä aiheutuvat sisäiset rasitukset. Jäätymislujuus on kaikilla betonin lujuusluokilla 5 MN/m². (BY201 s.345.) Seuraavilla käyrästöillä, havainnollistetaan lämpötilan vaikutusta betonin lujuuden kehitykseen (Kuva 1).



Kuva 1. Betonivalujen lämpötilan seuranta valun jälkeen. (Piispanen 2012)

Käyrillä kuvataan lujuusluokan K-30 betonin lämpötiloja valun jälkeen eri olosuhteissa. Pystyakselilla on betonivalun lämpötila ja vaaka-akselilla valusta kulunut aika vuorokausina. Ylimmäisen, punaisen käyrän keskilämpötila on ensimmäisenä valun jälkeisenä vuorokautena noin + 20°C. Vastaavasti alimmaisena, sinisen käyrän keskilämpötila samalla ajanjaksolla on noin + 15°C. Seuraavaksi vertaillaan samojen valujen lujuuden kehitystä (Kuva 2).



Kuva 2. Samojen betonivalujen lujuuden kehitys. (Piispanen 2012)

Nämä käyrät ilmentävät kuvan 1 betonivalujen lujuuden kehitystä. Pystyakselilla on betonin puristuslujuus, MN/m^2 ja vaaka-akselilla valusta kulunut aika vuorokausina. Kuvasta nähdään, että punaisen käyrän kuvaama valu on saavuttanut yhden vuorokauden kuluttua valusta lujuuden 11 MN/m^2 . Vastaavasti sinisen käyrän kuvaama valu on saavuttanut yhden vuorokauden kuluttua lujuuden 7 MN/m^2 . Tässä esimerkkitapauksessa noin 5°C korkeampi keskilämpötila ensimmäisen valun jälkeisen vuorokauden aikana kasvattaa betonin lujuutta yli kolmanneksella.

2.2 Betonin lujuuden määrittäminen kypsyysikänsä perusteella

Betonivalun lämpötilaa mittaamalla voidaan määrittää betonin sen hetkinen lujuus. Lujuuden laskemiseksi pitää ensin määrittää betonin kypsyysikä. Kypsyysikä määrittämiseksi on erillaisia kaavoja ja käyriä. Käytetyin näistä on ns. Sadgroven menetelmä, jossa kypsyysikä saadaan laskemalla betonivalun lämpötilan ja kuluneen ajan summa. (BY 201 s.351.) Tällä kaavalla saatu kypsyysikä osoittaa, miten betonin lujuus on olosuhteista riippumatta kehittynyt verrattuna vakio-olosuhteissa säilytettyyn betoniin.

Sadgroven kaava: $t_{20} = [(T+16^{\circ}\text{C})/36^{\circ}\text{C}]^2 \cdot t$

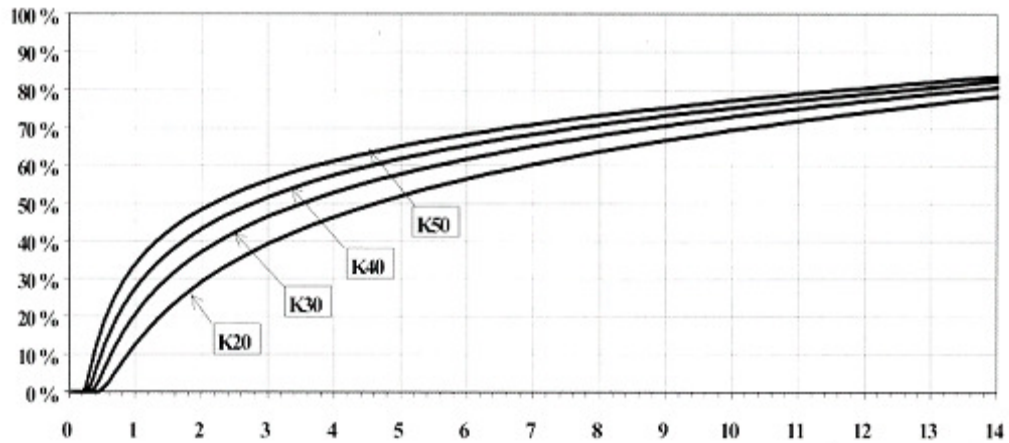
t_{20} = kypsyysikä

t = kovettumisaika

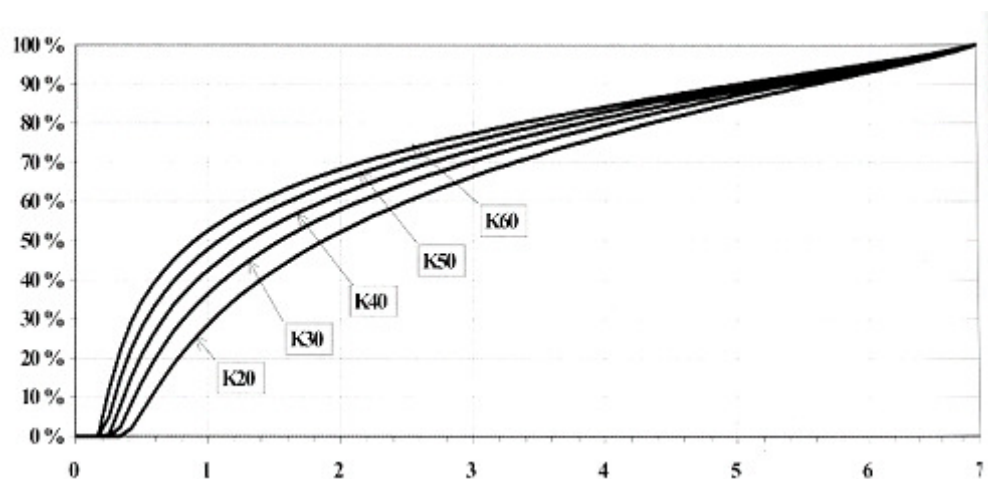
T = betonin lämpötila aikana t ($^{\circ}\text{C}$)

Jos betonin lämpötila on vakio koko kovettumisaikana, saadaan t_{20} suoraan kaavasta. Yleensä t_{20} joudutaan määrittämään summana ajanjaksoista, joissa lämpötila on likimain vakio. (BY 201.)

Kun kypsyysikä on saatu lasketuksi, katsotaan sitä vastaava suhteellinen lujuus käyrästä. Käyrästä on normaalisti, nopeasti ja erittäin nopeasti kovettuville betoneille kaikissa lujuusluokissa. (Kuvat 3 ja 4.)



Kuva 3. Normaalisti kovettuvaa sementtiä käytettäessä betonin suhteellinen lujuuden kehitys kypsyysikänsä funktiona. Betoni on valmistettu Yleis- tai SR-sementtiä käyttäen. (BY 201 s.353)



Kuva 4. Nopeasti kovettuvaa sementtiä käytettäessä betonin suhteellinen lujuuden kehitys kypsyysikänsä funktiona. Betoni on valmistettu Rapid- tai Mega-sementtiä käyttäen. (BY 201 s.354)

Näiden käyrästöjen käyttö on hyvin yksinkertaista. Vaaka-akselille sijoitetaan laskettu kypsyysikä. Sen jälkeen katsotaan kohtisuoraan ylöspäin nousten käytetyn lujuusluokan betonin käyrästä sen hetkinen lujuusarvio. Kyseessä on suhteellinen lujuus, eli sen hetkinen lujuus prosentteina nimellislujuudesta. Esimerkiksi kantavien rakenteiden lujuus tulee olla tavallisesti vähintään 60 % nimellislujuudesta, ennen kuin valumuotit voidaan purkaa. (BY201 s.86.)

2.3 Perinteiset betonin lämpötilan mittausmenetelmät

Perinteisesti betonivalun lämpötilaa on mitattu tavallisilla elohopea tai digitaalilämpömittareilla. Tällöin betonivaluun jätetään muoviputkella varaus, josta valun lämpötilaa mitataan. Summittaisesti tapahtuva lämpötilan mittaus ei kuitenkaan anna riittävää kuvaa betonin lämpötilan kehityksestä. Tästä johtuen nykyisin työmailla on yleisesti käytössä dataloggereita, jotka tallentavat lämpötiloja määrääjain (Kuva 5). Automaattisilla tallentimilla saadaan luotettava kuva betonin lämmönkehityksestä pidemmältä, esimerkiksi viikonlopun aikaväliltä. (Vuorinen 2011.) Dataloggerin toiminta perustuu termostaattilankoihin, jotka asennetaan valuvaiheessa betonin sisään. Loggerista saadut tiedot puretaan tietokoneelle.



Kuva 5. Tinytag plus 2 dataloggeri. (Gemini Data Loggers Ltd 2012)

2.4 Betonin lujuuden kehityksen hallinta työmaalla

Muotit ja tukirakenteet voidaan purkaa, kun betoni on kovettunut niin paljon, että rakenteet kesvät niille tulevat rasitukset ja rakenteiden muutokset sallituissa rajoissa. Tätä betonin lujuutta kutsutaan purkamislujuudeksi (BY 201 s.348) . Muotipurkulujuuden saavuttamisen varmistamista ja laskentaa nimitetään betonin lujuuden kehityksen hallinnaksi (Vuorinen 2011). Se on erittäin tärkeä osa onnistunutta betonirakentamisen hanketta niin teknisesti kuin taloudellisestikin. Betonirakentamisessa runkotöiden kustannukset ovat merkittävä osa kokonaiskustannuksista. Rakenteiden on saavutettava muotin purkulujuus suunnitellusti, koska hankkeen yleisaikataulu on pitkälti riippuvainen kantavien rakenteiden valutöistä ja onnistuneesta muottikierrosta. (Vuorinen

2011.) Aikataulun viivästymisellä voi olla taloudellisesti suuri merkitys hankkeen kokonaiskustannusten kannalta. Pitkittyneet valutyöt voivat aiheuttaa taloudellisesti suuret tappiot. Lisäksi lepäävät, käytöstä pois olevat muotit, aiheuttavat ylimääräisiä kustannuksia. Betonin lujuuden kehityksen hallinta on tärkeää myös betonin laatuvaatimuksien kannalta. Vaatimukset tiukkenevat jatkuvasti ja hyvä lujuuden kehityksen hallinta auttaa, että näihin vaatimuksiin päästään. Yksinkertaistettuna betonin lujuuden kehityksen hallinta sisältää kaksi toimenpidettä. Ne ovat tuoreen ja kovettuvan betonin lämpötilan seuranta, sekä betonin lujuuden määrittäminen lämmönkehityksen perusteella, käytetyn betonilaadun suhteitustiedoilla. (Vuorinen 2011.)

2.5 Kriittisimmät mittauspisteet

Tuoreen ja kovettuvan betonin lämpötilaa seurataan niin sanotuista kriittisistä mittauspisteistä. Näissä pisteissä voidaan olettaa lämpötilan olevan alimmillaan. Nämä pisteet voivat myös olla sellaisia, että niihin kohdistuu suurin rasitus muotipurkuhetkellä. Kriittisiä pisteitä ovat myös ne pisteet, jotka ovat seuraavien työvaiheiden etenemisen tai valmiin rakenteen toimivuuden kannalta elintärkeitä.

Yleisimpiä kriittisiä pisteitä rakenteissa ovat:

- seinien ja pilareiden alaosat
- seinien ja pilareiden yläosat, joihin kohdistuu yläpuolisista rakenteista suuria voimia.
- tukialueet, joihin muodostuu kylmäsiltoja
- laattarakenteen kentät ja yläpinnat tukialueilla
- kaikki rakenteet, joita tullaan kuormittamaan pian valun jälkeen
- talvibetonoinnissa yleisesti valujen reuna- ja kulma-alueet

(Vuorinen 2011).

3 Talvibetonointi

Betonitekniiikan kannalta talvibetonointi katsotaan alkavaksi, kun vuorokauden keskilämpötila putoaa alle + 5 °C. Suomessa tällaiset sääolot vallitsevat, paikkakunnasta ja vuodesta riippuen 7 - 9 kuukautta. (Vuorinen 2011.) Talvibetonoinnissa tärkeintä on estää kylmistä ja lumisista sääoloista johtuvien vaurioiden syntyminen. Jotta voitaisiin olla varmoja, ettei näitä vaurioita pääse syntymään, on valun lämpötilaa seurattava mittauksin.

3.1 Sääolosuhteiden huomioiminen

Talvibetonoinnissa tulee ottaa kylmyys ja jäätymisen vaara huomioon jokaisessa työvaiheessa. Betonia valmistettaessa on runkoaine ja vesi lämmitettävä, samalla runkoaineessa mahdollisesti oleva jää sulaa. Betonoinnin päättyessä betonimassan lämpötilan tulisi olla vähintään +5 °C, mieluiten paljon enemmän. (BY201 s.344.) Ennen kuin betonointiin ryhdytään on varmistettava, etteivät lähtöpinnat, muotit tai raudoitukset ole jäässä tai lumessa. Tarvittaessa lumi ja jää poistetaan ja lähtöpintoja sekä muotteja lämmitetään betonimassan jäätymisen estämiseksi. Lämpöhäviöitä voidaan myös pienentää betonimassan siirron ja kuljetuksen aikana. Tällöin siirto- ja kuljetuskalusto suojataan ja tarvittaessa niitä lämmitetään. Valun jälkeen on huolehdittava siitä, että olosuhteet betonin lujuuden kehitykseen ovat tarpeeksi hyvät. Ennenkaikkeaa lämpötilan tulee olla riittävä. Tämä voidaan varmistaa suojaamalla ja lämpöeristämällä vastavaletut rakenteet. Jos nämä toimenpiteet eivät takaa riittävää lämpötilaa betonin lujuuden kehitykseen, on valettuja rakenteita lämmitettävä. Lämmitys voidaan suorittaa valun sisään asennettavilla vastuslangoilla, infrapunasäteilijöillä tai ilmalämmittimillä.

3.2 Kuumabetonointi

Kun betonin valmistukseen käytettävää vettä ja runkoainetta lämmitetään niin, että valmis betonimassa saavuttaa yli + 40 °C lämpötilan, katsotaan betoni lämpökäsitellyksi (BY 201 s.360). Kuumabetoni on yksi talvibetonoinnin betonointimenetelmistä. Se nopeuttaa lujuuden kehitystä ja korvaa osittain lämmitystarvetta työmaalla. Kuumabetoni valetaan hyvin lämpöeristettyihin muotteihin, jolloin betonin lujuudenkehitys on alkuvaiheessa erinomainen.

Kuumabetonia on saatavana kolmea eri lämpöluokkaa: + 30 °C , 40 °C ja + 50 °C (BY 201 s. 372). Lämpöluokka valitaan työmaan olosuhteiden (lämpötila, tuulisuus), muottikaluston sekä suojaus- ja lämmitystoimenpiteiden mukaan. Koska kuumabetoni sitoutuu nopeammin kuin normaalilämpöinen betoni, on sen työstettävyyss aika lyhyempi. Lisäaineilla pystytään kuitenkin säätämään kuumabetonin notkeutta ja työstettävyyss aikaa. (BY 201 s.373.)

3.3 Betonin lujuuden kehityksen nopeuttaminen

Betonin lujuudenkehitystä voidaan nopeuttaa myös muillakin tavoin kuin sen lämpötilaa nostamalla. Kuvasta 3 nähdään, että mitä korkeamman lujuusluokan betonia käytetään, sen nopeampi on betonin lujuudenkehitys. Yksi keino lujuudenkehityksen nopeuttamiseen on siis lujuusluokan nosto, mikä käytännössä tarkoittaa sideainemäärän lisäystä. Toinen vaihtoehto on käyttää nopeammin kovettuvaa betonia. Tällöin betonin valmistuksessa käytetään tavallisen Yleis- tai SR-sementin sijasta Rapid- tai Megacementtiä. Betonin lujuuden kehitystä voidaan nopeuttaa myös erillisillä lisäaineilla, kuten kiihdyttimillä. (BY 201 s. 372.)

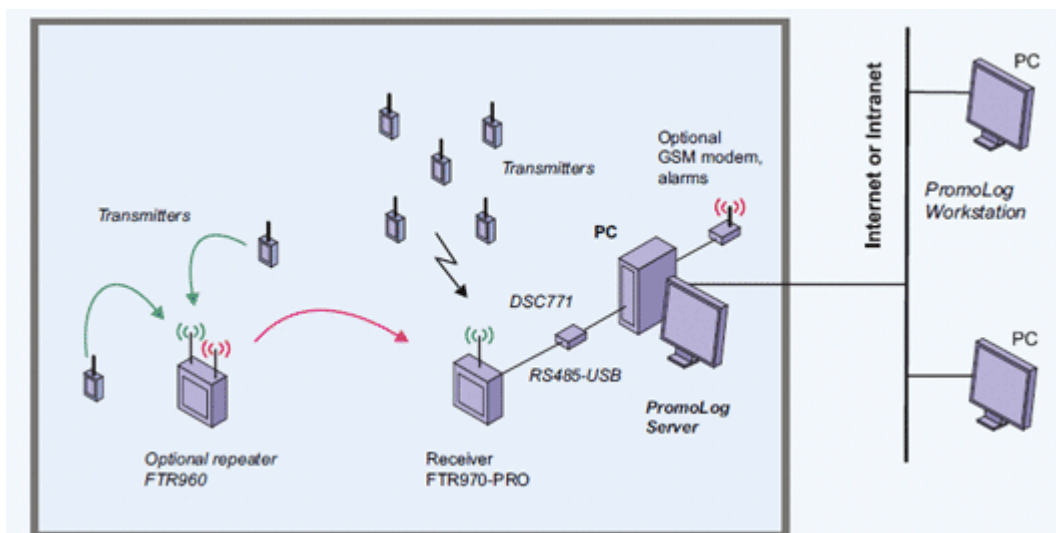
3.4 Pakkasbetoni

Talvibetonointi voidaan suorittaa myös pakkasbetonilla. Pakkasbetoni on talvikäyttöön suunniteltu erikoisbetoni, johon on lisätty veden jäätymispistettä alentavaa lisäainetta. Pakkasbetonissa tapahtuu vielä lujuudenkehitystä lämpötilan ollessa –15 °C, vaikka kovettuminen onkin melko hidasta (Jääbetoesite 2011). Kyseisessä lämpötilassa jäätymislajuuden saavuttamiseen voi mennä jopa 7 vuorokautta aikaa (BY 201 s.390). Pakkasbetonia ei saa sotkea pakkasenkestävään betoniin. Pakkasenkestävä eli säänkestävä betoni on normaalisti kovettuvaa betonia, jonka valmistuksessa on käytetty lisäaineena huokostinta pakkasenkestävyyden parantamiseksi.

4 Nokeval-mittauslaitteisto

Koska summittainen ja silloin tällöin tapahtuva kovettuvan betonin lämpötilan mittaus ei anna luotettavaa kuvaa betonin lujuuden kehityksestä, käytetään

nykyisin lämpötilan määrääjain tallentavia järjestelmiä. Näitä järjestelmiä on kahta eri tyyppiä. Vanhempi ja enemmän käytössä oleva järjestelmä perustuu dataloggereihin. Ne tallentavat betonivalun lämpötilatiedot määrääjain, ja tiedot puretaan myöhemmin tietokoneelle. Toinen järjestelmätyyppi on etäluettava. Tässä tyyppissä lämpötila-anturit sisältävät lähettimen, joka lähettää reaaliaikaista tietoa betonivalun lämpötilasta työmaan tietokoneeseen. Näin ollen betonivalun lujuuden kehitystä pystytään seuraamaan jatkuvasti, ilman viivettä. Opinnäytetyöni aiheena oleva Nokeval-mittauslaitteisto (Kuva 6) edustaa tätä tyyppiä. Mittauslaitteisto koostuu langattomista lähettimistä, jotka sisältävät mitta-anturin, vastaanottimesta sekä tietokoneelle asennettavasta tiedonkeruuhjelmasta.



Kuva 6. Nokeval mittauslaitteiston toiminta. (Nokeval Oy 2012)

4.1 Lähettimet ja vastaanotin

Käytössäni olleessa mittauslaitteistossa lämpötilalähettimet olivat tyyppiltään Nokeval FTR 262 (Kuva 7). Lämpötilalähetin koostuu termoelementtianturista ja lähetinosasta. Lähettimen virtalähteenä on kaksi 1,5 V AA-paristoa. Termoelementtianturina toimii lasikuitueristetty nikkeli-kromilankapari (Kuva 7), jonka betonivaluun menevät päät kuoritaan ja sidotaan tiukasti yhteen. Lämpötilanmittaus tapahtuu tässä kierretyssä liittoksessa. Lähettimet kiinnitetään, niissä olevista kiinnitysrei'istä ruuveilla muottilaudoituksen ulkopuolelle. Termolanka vedetään lähettimen liittimestä valun sisään tulevaan

betonirauuditukseen kiinni. Mittauksen jälkeen edullinen anturilanka voidaan katkaista ja jättää valun sisään. Lähettimen kotelo on kosteussuojattu (IP65), joten se ei tarvitse erillistä suojausta. FTR 262-lähettimen tiedon lähetysväli on säädettävissä viidestä sekunnista viiteen minuuttiin. Lähettimen kantama on optimaalisissa olosuhteissa jopa 1000 metriä. Yleensä kantama on hieman lyhyempi, koska lähettimen ja vastaanottimen välissä voi olla rakennuksia, rakenteita tai muita esteitä. Jos lähettimen kantama ei riitä, voidaan lähettimien ja vastaanottimen välissä käyttää toistinta. Toistimella voidaan vahvistaa signaalia ja pidentää lähettimien käyttöikänsä.



Kuva 7. Nokeval FTR 262-lähetin ja termoelementtilanka. (Nokeval Oy 2012)

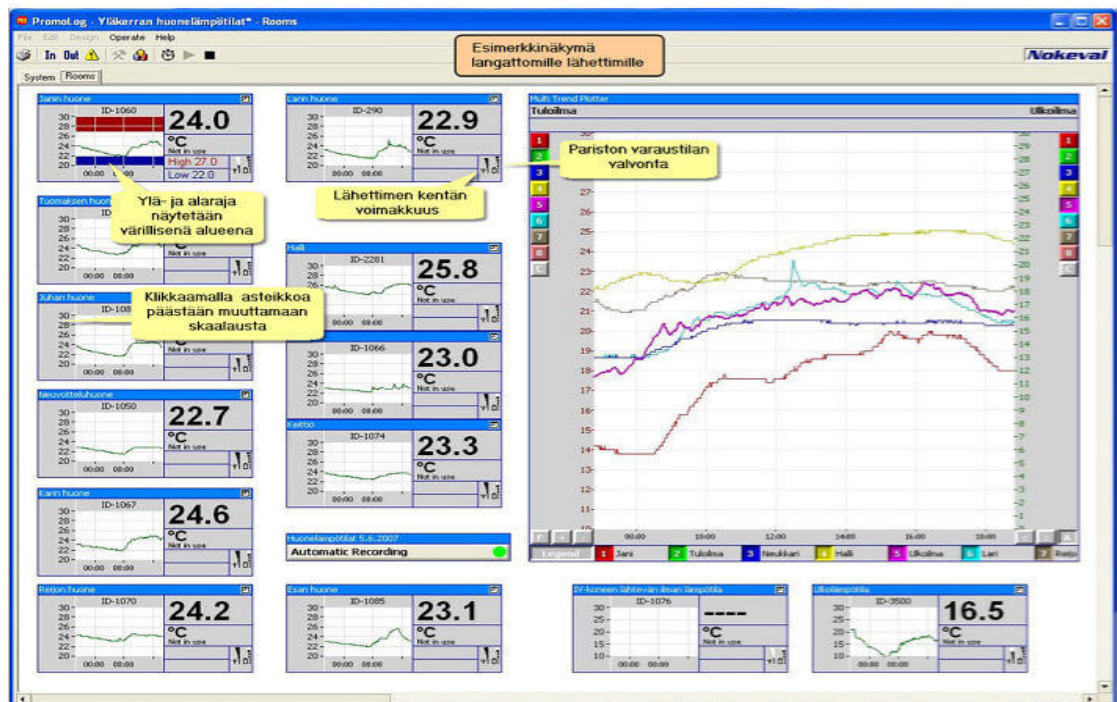
Käytössäni olleen mittausjärjestelmän vastaanottimena oli Nokeval FTR 970B (Kuva 8). Se on roiskevesisuojaattuun koteloon sijoitettu radiolähettimien vastaanottoasema. Se vastaanottaa, purkaa, puskuroi muistiinsa ja siirtää tietokoneelle lähettimien lähettämät tiedot. Yksi tällainen vastaanotin pystyy käsittelemään kymmenien lähettimen tiedot. Vastaanotin pystyy myös tunnistamaan eri lähettimet. Vastaanotin yhdistetään tietokoneeseen tavallisella USB-kaapelilla, jota myöten se saa myös tarvittavan virran. Tämän tyyppinen vastaanotin toimii PromoLog-tiedonkeruuhjelman kanssa.



Kuva 8. Nokeval FTR 970B vastaanotin. (Nokeval Oy 2012)

4.2 PromoLog-tiedonkeruuohjelma

Nokeval PromoLog-ohjelmalla (Kuva 9) voidaan seurata ja tallentaa lähettimien lähettämiä tietoja. PromoLog toimii joko selainpohjaisena internetissä tai paikallisena omassa tietokoneessa. Itselläni ohjelma oli asennettuna kannettavaan tietokoneeseen. PromoLog on selkeäkäyttöinen ja sillä voidaan luoda erilaisia näkymiä lämpötilan seurantaan.



Kuva 9. Esimerkinäkymä PromoLog-ohjelmasta. (Nokeval Oy 2012)

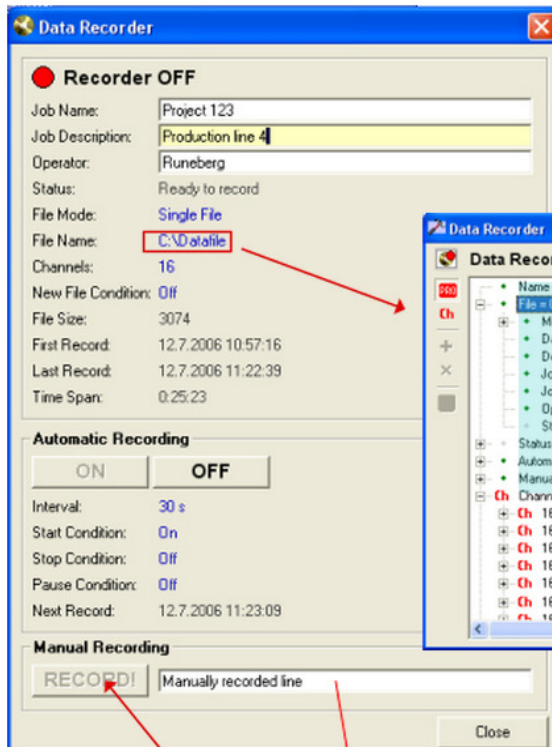
Mittaustietoja voidaan seurata reaaliajassa, ja niistä voidaan piirtää graafista näkymää. Tiedot voidaan myös tallentaa ja ne tallentuvat Excel-yhteensopivassa muodossa.

4.3 Laitteiston käyttöönotto ja mittaaminen

Laitteiston käyttöönotto aloitetaan laittamalla lähettimet käyttökuntoon. Lähettimiin asennetaan sopivan mittaiseksi katkaistu termoelementtilanka, jonka valun tuleva pää kuoritaan ja sisältä paljastuvat kaksi lankaa sidotaan tiukasti toisiinsa kiinni. Lähettimen kansi avataan ja termolangan toinen pää kytketään liittimiin ja kiinnitys varmistetaan. Lähettimen virtalähteeksi tulevat kaksi AA-paristoa asennetaan paikoilleen, jonka jälkeen lähettimen kansi suljetaan. Seuraavaksi suoritetaan yhteyskokeilu. Vastaanotin kytketään USB-johdolla tietokoneeseen ja käynnistetään PromoLog-ohjelma. Ohjelma tunnistaa automaattisesti signaalia lähettävät lähettimet ja ilmoittaa löytyneet signaalit. Tässä yhteydessä niille avataan kanava mittaustulosten seurantaan varten ja valitaan graafinen esitystapa tiedoille. Kun kaikkien lähettimien signaalit ovat löytyneet, on laitteisto valmis mittaukseen.

Tässä vaiheessa ohjelma voidaan sulkea ja nyt voidaan asentaa lähettimet antureineen mittauspaikoille. Mittauspisteiksi valitaan edellä mainittuja betonivalun kriittisiä pisteitä. Mittauspisteitä voidaan valita valun laajuuden mukaan riittävä määrä. Teknisten häiriöiden takia pienemmissäkin valuissa tulisi aina olla vähintään kaksi kohtaa, josta mitataan.

Välittömästi valun jälkeen aloitetaan lämpötilan mittaus käynnistämällä ohjelmisto, lähettimet jatkavat toimintaansa automaattisesti. Tässä vaiheessa on erityisen tärkeää muistaa valita PromoLog-ohjelmassa tallennustyökalu (Kuva 10) näkyviin. Tallennustyökälulla valitaan tallennuksen asetukset, kuten tallennusväli, tiedostomuoto ja kohdekansio, sekä käynnistetään itse tallennus, jolloin moduuliin syttyy vihreä merkkivalo.



Talletustiedostojen määrää ei ole rajoitettu, useat dataloggerit voivat toimia samanaikaisesti tallettaen samoja tai eri kanavia. Tällätavoin voidaan talletus tehdä eri talletusperustein, kuten työn, ajan, hälytysten, ulkoisten ohjausten perusteella. Lisksi voidaan määrätä uusi tiedosto aloitettavaksi halutun ajanjakson jälkeen tai tiedostokoon mukaan.

Asetusikkuna avautuu napsauttamalla valittua tekstinväliä hiirellä.

Talletusmoduuliin voi asettaa mistä kanavista tai näytöistä ja miten tiedot talletetaan.

Jokaisella kanavalla on omat kanavakohtaiset asetellut tai yhteiset asetellut.

Kuva 10. PromoLog-ohjelman tallennustyökalu. (Nokeval Oy 2012)

Kun tarvittavat toimenpiteet on tehty ja lämpötilan mittaus käynnistetty, voidaan lämpötiloja seurata tietokoneen näytöltä. Talvibetonoinnissa on syytä asettaa PromoLog-ohjelmaan lämpötilan minimiarvolle hälytysraja. Tällöin ohjelma hälyttää, kun raja saavutetaan. Asettamalla hälytysrajaksi esimerkiksi +5 °C, voidaan yllättäviin lämpötilan muutoksiin reagoida hyvissä ajoin.

4.4 Mittaustulosten tulkinta

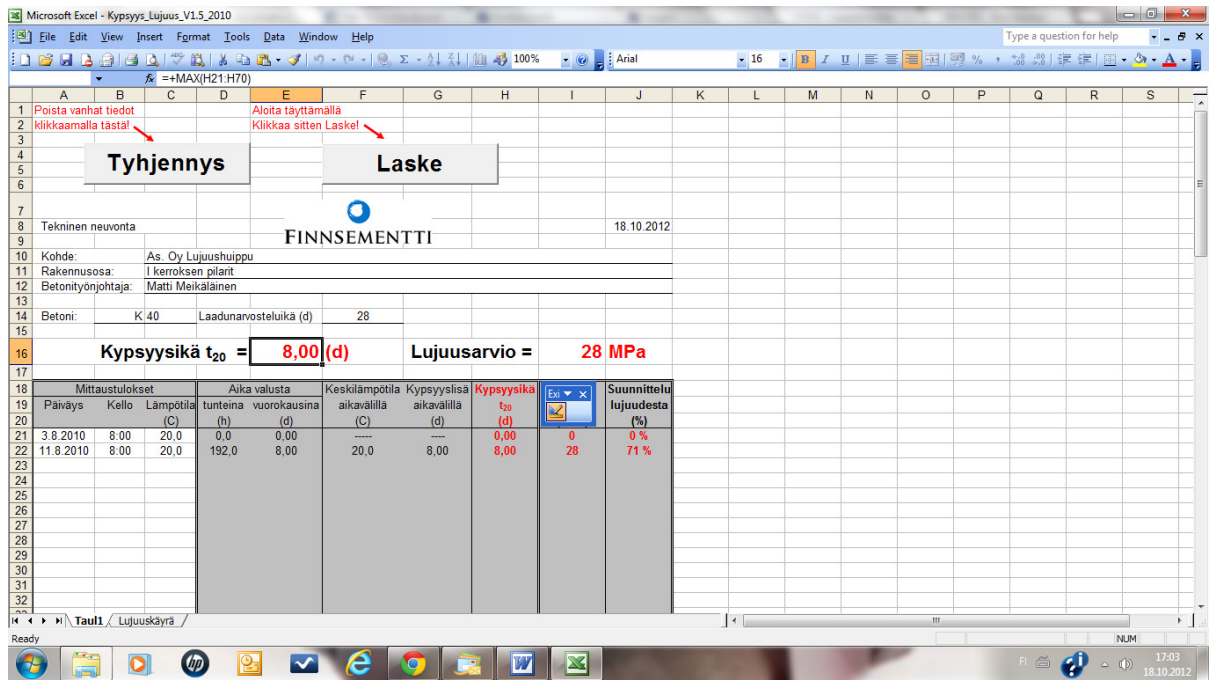
Betonin lämpötilan mittauksen tarkoituksena on selvittää sen kypsyysikä ja sitä kautta betonin sen hetkinen lujuus. Kypsyysikä määrittämiseen tarvitaan lämpötilatietojen lisäksi tietää valusta kulunut aika. Näiden tietojen perusteella, luvussa 2.2 esitetyllä, Sadgroven kaavalla voidaan määrittää betonin sen hetkinen lujuus.

PromoLog-ohjelma tallentaa betonin lämpötila- ja aikatiedot ASCII-muodossa (Kuva 11).

38907,4322534722									
Name Default									
Description Default									
Operator Default									
Datum	16-channel transmitter RM680: Channel 1			16-channel transmitter RM680: Channel 2			16-channel transmitter RM680: Channel 3		
	16-channel transmitter RM680: Channel 4			16-channel transmitter RM680: Channel 5			16-channel transmitter RM680: Channel 6		
	16-channel transmitter RM680: Channel 7			16-channel transmitter RM680: Channel 8					
Tapahtuma	1	2	3	4	5	6	6	7	
9.7.2006 10:22:26,7	26.8	26.8	26.9	26.8	26.5	26.5	24.8	27.3	
9.7.2006 10:22:56,4	26.6	26.9	26.9	26.8	26.6	26.5	24.9	27.3	
9.7.2006 10:23:26,5	26.7	26.8	26.8	26.6	26.7	26.5	24.7	27.2	
9.7.2006 10:23:56,6	26.7	26.8	26.9	26.8	26.6	26.5	24.6	27.4	
9.7.2006 10:24:26,6	26.5	26.7	26.9	26.8	26.6	26.4	24.9	27.5	
9.7.2006 10:24:56,6	26.4	26.8	26.9	26.8	26.6	26.3	24.9	27.3	
Record-painikkeella tallettuu viestikenttä ja painallushetken mittausarvot aikaleimoinen									
9.7.2006 10:24:58,5	26.5	26.9	26.9	26.9	26.7	26.4	24.8	27.4	
9.7.2006 10:26:01,5	26.4	26.8	26.9	26.8	26.6	26.5	24.9	27.5	

Kuva 11. PromoLog mittaustuloksia sisältävä tiedosto. (Nokeval Oy 2012)

Tulosten tulkinnan helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi on olemassa erilaisia tietokoneohjelmia, joista useimmat perustuvat Sadgroven kaavaan. Yksi yleisesti käytössä oleva ohjelma on Finnsementin Excel-pohjainen taulukkolaskentaohjelma (Kuva 12). Ohjelmaan syötetään perustietoina betonimassan tiedot ja valun jälkeinen lämpötila. Säännöllisin väliajoin lämpötilan mittaamalla ja ohjelmaan sen kirjaamalla, saadaan Sadgroven kaavaan perustuva lujuusarvio.

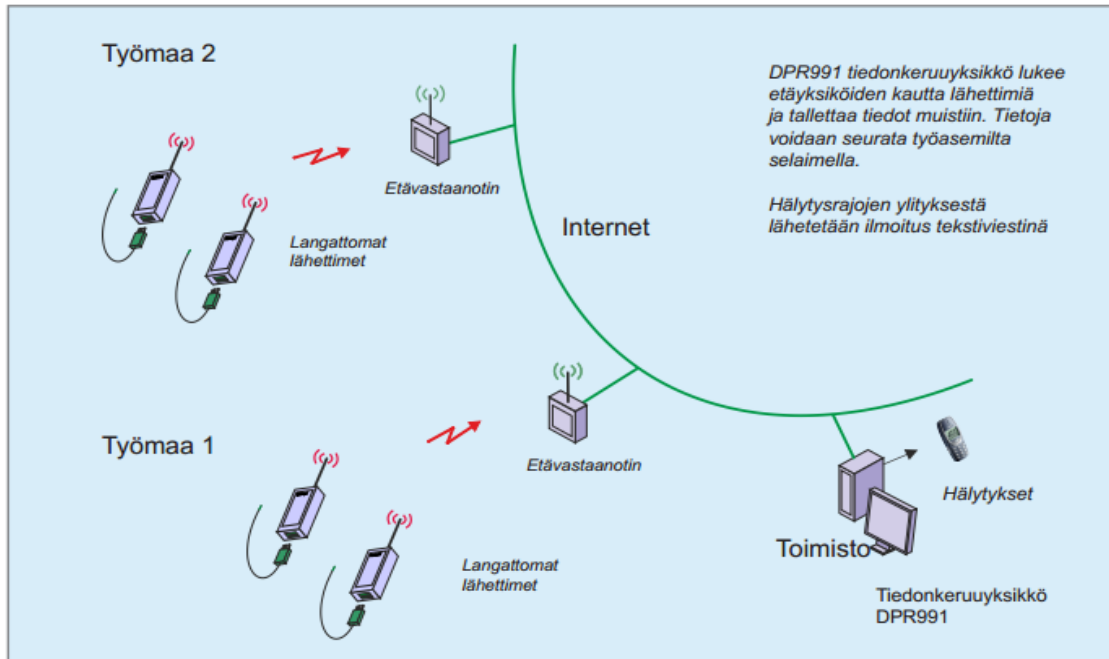


Kuva 12. Finnsementin Kypsyys_Lujuus –ohjelma.

Excel-pohjaisten ohjelmien hyötynä on se, että niihin on helppo liittää PromoLog-ohjelman ASCII-muodossa tallentamat lämpötila- ja aikatiedot. Näin ollen tietoja ei tarvitse syöttää manuaalisesti ”näpyttelemällä”, vaan yksinkertaisimmillaan voidaan käyttää windowsin COPY- ja PASTE-komentoja. Näin saadaan myös luotettava kuva betonin lujuuden kehityksestä, sillä laskennassa käytetään säännöllisin väliajoin tallennettuja lämpötilatietoja, lähettimen asetuksien mukaisesti.

4.5 Mahdollisuuksia

Isoille työmailla Nokevalin järjestelmää voidaan laajentaa (Kuva 13). Tällöin perustetaan työmaalle oma tietoverkko lämpötilojen seuranta varten. Työmaan jokaista osakohdetta varten asennetaan etävastaanotin, joka toimii samalla toistimena. Etävastaanotin ottaa vastaan lähettimien mittaustiedot ja välittää ne edelleen ethernetin kautta tiedonkeruuyksikölle. Tiedonkeruuyksikköön voidaan liittää useita työkohteita ja satoja lähettämiä, ja se voidaan varustaa näytöllä ja näppäimistöllä. Laitteessa on oma muisti ja varmuuskopiointi voidaan suorittaa USB-muistille tai muistikortille. Tiedonkeruuyksikkö sisältää myös webserverin, joka mahdollistaa mittaustietojen tarkastelun webselaimella, mistä tietokoneesta tahansa ilman ohjelmistojen asentamista.

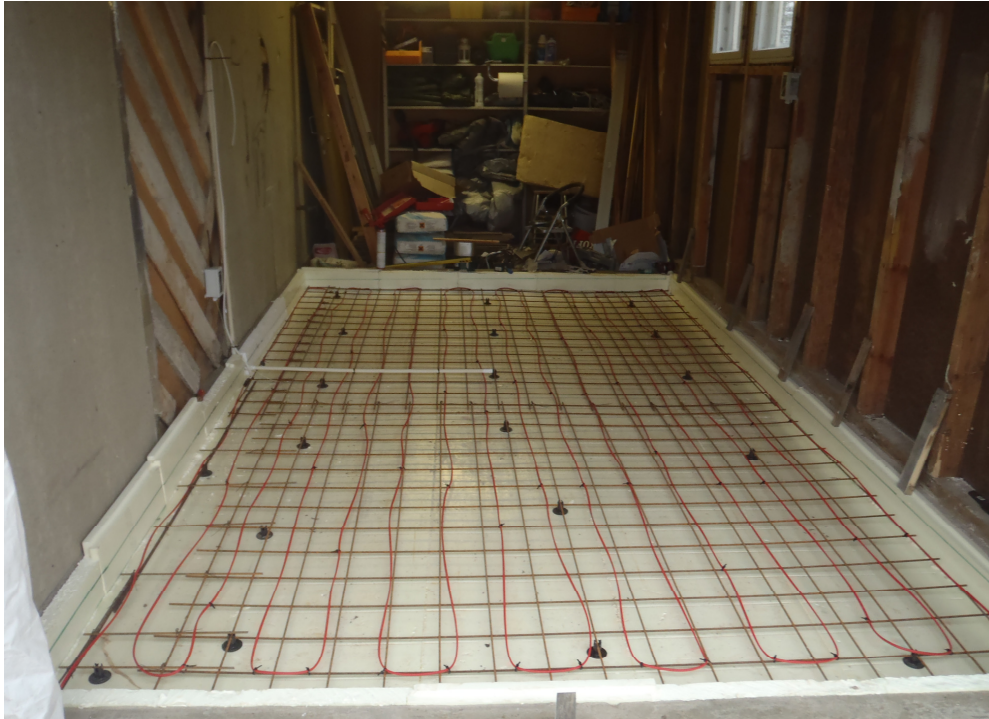


Kuva 13. Ison työmaan lämpötilan seuranta tietoverkko. (Nokeval Oy 2012)

Tiedonkeruuyksikön sisältämät tietojärjestelmät mahdollistavat ohjelmaan asetettavien hälytysrajojen tehokkaamman käytön, sillä tiedonkeruuyksikkö sisältää myös GSM-modeemin. Kun lämpötila rikkoo annetut ala- ja ylähälytysrajat, modeemi lähettää tekstiviestin haluttuihin matkapuhelinnumeroihin. Käytännössä ohjelma voidaan säätää lähettämään työmaan vastaavalle mestarille tekstiviesti-ilmoituksen, kun betonivalu on saavuttanut muottien purkamislujuuden. Tai vastaavasti talvibetoinnissa voidaan säätää ilmoitus lähtemään siinä vaiheessa, kun betonivalun lämpötila lähenee jäätympistettä.

5 Esimerkkikohte

Voidakseni paremmin havainnollistaa mittalaitteiston toimintaa käytännössä, suoritin lämpötilan seurantamittaukset rakennustyömaalla käytössäni olleella laitteistolla marraskuussa 2011. Kohteeksi oli tarkoituksella valittu melko pieni valutyömaa (Kuva 14), koska pienessä mittakaavassa on järjestelmän kokonaisuus helpompi hallita ja pystytään keskittymään paremmin itse mittaustapahtumaan ja tuloksien tulkintaan.



Kuva 14. Esimerkkikohde ennen valua.

5.1 Kohteen perustiedot

Mittauskohteena oli vuonna 1972 valmistuneen omakotitalon laajennuksen lattiavalu. Valu suoritettiin marraskuun puolivälissä 2011, jolloin ulkoilman lämpötila oli päivällä +2 °C - +5°C. Vastaavasti yöllä lämpötila oli jo reilusti nollan alapuolella. Laajennuksen lattian pinta-ala 15 m² ja 100 mm:n valupaksuudella betonimassan menekki 1,5 m³. Asuintilojen laajennus sijoittui vanhaan autotalliosaan. Uusi lattia valettiin vanhan autotallin betonilattian päälle ns. kelluvaksi lattiaksi. Vanhan ja uuden lattian väliin asennettiin eristeeksi 50 mm paksu Finnfoam-eristelevy. Samaa levyä käytettiin myös sokkelin ja lattian välisessä eristyksessä. Betonimassaksi valittiin normaalisti kovettuva lattiabetoni, lujuusluokka K-30 ja maksimiräekoko # 8 mm. Toimitus tulitisiin suorittamaan pumppuautolla puretun autotallin oven aukosta.

5.2 Valmistelevat työt

Betonimassa oli tilattu Karjalan Betonilta ja toimitusajaksi oli sovittu 14.11. klo 12.00. Valmistelevat työt aloitettiin valupäivän aamulla. Mittauskeskukseksi saatiin käyttöön rakennuksen toiminnassa olevalta puolelta tyhjänä olevan pieni

huone, joka varustettiin pöydällä, tuolilla ja kannettavalla tietokoneella. Ensimmäisenä laitettiin lähettimet ja vastaanottin mittausvalmiuteen eli termoelementtilangat ja paristot asennettiin lähettimiin, sekä liitettiin vastaanotin USB-johdolla tietokoneeseen. Sen jälkeen tehtiin yhteyskokeilu. Kun kaikki neljä lähetintä löytyivät, avattiin niille sopivat moduulit Promolog-ohjelmaan. Samalla lähettimet nimettiin tulevan asennuspaikan mukaisesti. Antureita oli käytössä neljä kappaletta, joista kaksi mittaisi valun lämpötilaa, yksi ulkoilmaa ja yksi sisäilmaa (Kuva 15). Seuraavaksi lähettimet asenettiin mittauspaikoilleen. Lähettimet tuli kiinni ruuveilla seinärakenteisiin niin, etteivät ne ole tiellä valun aikana. Lähettien termoelementtilangat kiinnitettiin valun sisään jäävään raudoitukseen. Näin mittausasema oli perustettu ja valmiina aloittamaan toimintansa.



Kuva 15. Betonivalun ja ulkoilman lämpötilaa mittaavat lähettimet.

Valukohde oli kylmää tilaa. Seinät olivat eristämättä ja tilasta oli iso avonainen aukko ulkoilmaan. Aukon sulkemiseen varattiin polystyreenieristelevyjä. Sääennusteiden mukaan seuraavaksi yöksi oli luvassa reilua pakkasta, jopa -5° C. Näin ollen varattiin tilan lämpimänä pitämiseen kaksi sähkökäyttöistä ilmalämmitintä, tehoiltaan 1,5 kW ja 3,5 kW. Valun alkaessa ulkolämpötila oli $+3^{\circ}$ C. Aamulla oli oltu yhteydessä betonin toimittajaan ja sovittu, että betonimassa tehtäiseen lämmitettyyn veteen.

5.3 Mittaus, tulokset & tulkitseminen

Valun päättyessä klo 13 betonimassan lämpötila oli +15° C. Lämpötilan seuranta käynnistettiin avaamalla PromoLog-ohjelma kannettavalla tietokoneella. Samalla käynnistettiin myös mittaustulosten tallentaminen tallennusmoduulista. Sen jälkeen lämmitimet laitettiin valmiiksi valutilaan ja kulkuaukko suljettiin eristelevyillä. Tarkoituksena oli käydä tarkkailemassa valun lämpötilaa säännöllisin väliajoin, kaksi kertaa päivässä. Tarvittaessa voitaisiin kytkeä valutilan lämmitys eli lämpöpuhaltimet toimintaan. Betonin lujoudenkehitys eteni esimerkkikohteessa oletetulla tavalla. Betonivalun lämpötila alkoi hitaasti laskea valun jälkeen. Tämä johtui ulkoilman sekä sisäilman lämpötilan laskusta. Valun jälkeisenä yönä lämpötila oli alimmillaan -4° C. Betonin sitoutumisessa vapautuva lämpö sekä lämpimän betonimassan sisältämä lämpöenergia pitivät kuitenkin kovettuvan betonin lämpötilan reilusti plussan puolella. Seuraavana iltana valun lämpötila oli +7,5° C. Sisäilman lämpötila oli kuitenkin jo pudonnut lähelle nollaa, joten lämpöpuhaltimet kytkettiin toimintaan. Lämpöpuhaltimat nostivat nopeasti sisäilman lämpötilaa ja samalla myös betonivalun lämpötila alkoi hitaasti kohota. (Kuva 16.)

FINNSEMENTTI										
Kohde: Esimerkkikohte - Kaivokatu 4										
Rakennusosa: Laajennuksen lattia										
Betontityönjohtaja: Tommi Paajanen										
Betoni: K 30 Laadunarvosteluikä (d) 28										
Kypsyysikä t_{20} = 1,24 (d) Lujuusarvio = 8 MPa										
Mittaustulokset			Aika valusta		Keskilämpötila	Kypsyysikä	Kypsyysikä	Lujuus-	Suunnittelu	
Päiväys	Kello	Lämpötila (C)	tunteina	vuorokausina	aikavälillä (C)	aikavälillä (d)	t_{20} (d)	arvio (MPa)	lujuudesta (%)	
14.11.2011	13:00	15,0	0,0	0,00	----	----	0,00	0	0 %	
14.11.2011	21:00	13,0	8,0	0,33	14,0	0,23	0,23	0	0 %	
15.11.2011	8:00	8,4	19,0	0,79	10,7	0,25	0,48	1	3 %	
15.11.2011	19:00	7,5	30,0	1,25	8,0	0,20	0,69	3	11 %	
16.11.2011	8:00	11,5	43,0	1,79	9,5	0,27	0,96	6	18 %	
16.11.2011	19:00	13,4	54,0	2,25	12,5	0,29	1,24	8	25 %	

Kuva 16. Esimerkkikohteen betonin lujuudenkehitys Kypsyys_Lujuus-ohjelmassa.

Seuraavana aamuna, 43 tunnin kuluttua valusta, oli jäätymslujuus 5 Mpa saavutettu. Tällöin Sadgroven-kaavan mukainen kypsyysikä oli 0,96 d ja lujuusarvio 6 MPa. Lämpötilan seuranta jatkettiin kuitenkin samaan iltaan asti, jolloin betonin lujuusarvio oli saavuttanut arvon 8 Mpa. Sisäilman lämpötila sekä betonivalun lämpötila nousivat tasaisesti ja jäätymslujuus oli ylitetty reilusti, joten lämpötilan seuranta päätettiin lopettaa ja purkaa mittausasema.

Kokonaisuudessaan betonivalun lämpötilan seuranta esimerkkikohteessa onnistui varsin hyvin. Mittaustuloksia pystyttiin seuraamaan reaaliajassa, joten sisäilman ja valun lämpötilan laskuun pystyttiin reagoimaan ennakoivasti. Hälytysrajaksi oli asetettu valun lämpötilaa mittaaville lähettimille +5°C. Lämpötila ei kuitenkaan missään vaiheessa päässyt laskemaan hälytysrajan alle, sillä lämpöpuhaltimet käynnistettiin sisäilman lämpötilan lähestyessä nollapistettä. Huomionarvoista mittauksessa oli se, että toinen betonivalun lämpötilaa mittaavista lähetimistä sai teknisen häiriön ja lopetti toimintansa.

Näin ollen lujuusarviot on laskettu vain yhden lähettimen tulosten perusteella. Tämän kaltaisten ongelmien takia on syytä käyttää lämpötilan mittauksessa aina vähintään kahta lähetintä.

6 Pohdinta

Langaton betonivalun lämpötilan mittauslaitteisto tarjoaa monia etuja ja mahdollisuuksia perinteisiin mittausmenetelmiin nähden. Säännöllisin väliajoin tapahtuva lämpötilan mittaus antaa luotettavan kuvan betonin lujuuden kehityksestä. Lämpötilan seuranta on reaaliaikaista ja näin ollen mahdollisiin ongelmiin pystytään puuttumaan välittömästi. Asettamalla PromoLog-ohjelmaan hälytysrajat halutuille arvoille, voidaan ohjelma jättää ns. valvomaan itseään. Hälytysten tehoa voidaan lisätä tekstiviestihälytyksin, jolloin ohjelma lähettää tekstiviestin haluttuun numeroon hälytysrajan ylittyessä. Etäluettavuus taas mahdollistaa tulosten saamisen ilman, että suojauksia, muotteja tai rakenteita joudutaan purkamaan. Esimerkkikohteessakin pystyttiin kohde pitämään suljettuna betonin kovettumisen kannalta tärkeät ensimmäiset vuorokaudet, kun betonin lämpötilaa pystyttiin seuraamaan toiselta puolelta rakennusta. Yksi Nokevalin mittausjärjestelmän eduista on myös sen helppokäyttöisyys. Lähettimet on yksinkertaista laittaa käyttökuntoon eikä ohjelmien käyttö vaadi erillistä koulutusta.

Nokevalin langaton lämpötilan mittausjärjestelmä on siis erittäin käyttökelpoinen ja hyödyllinen. Kuitenkin sen käyttöönoton leviämistä hidastaa ohjelmien ja laitteiden verrattain korkea hinta. Kattava langaton lämpötilan mittaus tietoverkko maksaa useita tuhansia euroja. Useasti rakentajilta kuitenkin unohtuu betonivalun lämpötilan mittaamisen tärkeys. Oikean tyyppisillä ja nykyaikaisilla mittausvälineillä betonin lujuuden kehityksen hallinta on helpottuu ja riskit esimerkiksi talvibetonoinnissa pienevät. Betonirakentamisessa betonin lujuuden kehityksen hallinta on erittäin tärkeässä osassa rakennusprojektin aikataulun ja sitä kautta kokonaiskustannusten kannalta. Mittauskaluston valinnassa ei ehkä ole järkevää säästää muutamia tuhansia euroja, sillä oikein käytettynä laadukas, etäluettava mittauskalusto hankkii hintansa takaisin hyvinkin nopeasti.

Kuvat

Kuva 1 ja 2: Betonivalujen lämpötilan seuranta valun jälkeen. s.7

Kuva 3: Normaalisti kovettuvaa sementtiä käytettäessä betonin suhteellinen lujuuden kehitys kypsyysikänsä funktiona. Betoni on valmistettu Yleis- tai SR-sementtiä käyttäen. s.9 (BY 201 s.353)

Kuva 4: Nopeasti kovettuvaa sementtiä käytettäessä betonin suhteellinen lujuuden kehitys kypsyysikänsä funktiona. Betoni on valmistettu Rapid- tai Mega-sementtiä käyttäen. s.9 (BY 201 s.354)

Kuva 5: Tinytag plus 2 dataloggeri. s.10

Kuva 6: Nokeval mittauslaitteiston toiminta. s.14

Kuva 7: Nokeval FTR 262-lähetin ja termoelementtilanka. s.15

Kuva 8: Nokeval FTR 970B vastaanotin. s.16

Kuva 9: Esimerkinäkymä PromoLog-ohjelmasta. s.16

Kuva 10: PromoLog-ohjelman tallennustyökalu. s.18

Kuva 11: PromoLog mittaustuloksia sisältävä tiedosto. s.19

Kuva 12. Finnsementin Kypsyys_Lujuus –ohjelma. s.20

Kuva 13. Ison työmaan lämpötilan seuranta tietoverkko. s.21

Kuva 14. Esimerkkikohte ennen valua. s.22

Kuva 15. Betonivalun ja ulkoilman lämpötilaa mittaavat lähettimet. s.23

Kuva 16. Esimerkkikohteen betonin lujuudenkehitys Kypsyys_Lujuus-ohjelmassa. s.25

Lähteet

Suomen betoniyhdistys Ry., 2004. Betonitekniikan oppikirja, BY 201.

Suomen betoniyhdistys Ry., 2011. Betoninormit 2012, BY 50.

Rakennustaito 9/2011. Pekka Vuorinen: ”Talvibetonointi on osaamista”.

Finnsementti Oy. 2012. Suomalainen sementtiopas 2012. Saatavissa:
finnsementti.surface.fi/files/pdf/Sementti-opas.pdf

Rudus Oy. 2011. Talvibetonointi. Saatavissa:
<http://www.rudus.fi/Download/24681/Talvibetonointi.pdf>

Betoniteollisuus Ry. 2011. Tietoa betonista. Saatavissa:
<http://www.betoni.com/opas/index.html>

Semtu Oy. Jääbeto-esitys 2011. Saatavissa:
www.semtu.fi/index.php/download_file/view/289/126/

Semtu Oy. Jääkarhu-esitys 2012. Saatavissa:
www.semtu.fi/index.php/download_file/view/584/126/

Rakentaja.fi-palvelu. 2012 Ossi Piispanen: Perusten teko onnistuu myös talvella -Soklex valmismuoteilla. Saatavissa:
http://www.rakentaja.fi/indexfr.aspx?s=/seurantakohteet/Soklex/0205soklex_se2.htm

Gemini Data Loggers Ltd. Tinytag 2, tuote-esitys 2012. Saatavissa:
<http://www.geminiataloggers.com/data-loggers/tinytag-plus-2>

Nokeval Oy. Betonivalujen langaton lämpötilaseuranta 2012. Saatavissa:
http://www.nokeval.com/pdf/appnotes/fi/Betonivalun_lampotilan_mittaus_langatt_omasti.pdf