

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutusohjelma / Rakennustuotanto

Jere Toivonen

INTERNETLOGGERIN TESTAAMINEN BETONIN LUJUUDENKEHITYKSEN  
SEURANNASSA

Opinnäytetyö 2012

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

#### Rakennustekniikan koulutusohjelma

TOIVONEN, JERE	Internetloggerin testaaminen betonin lujuudenkehityksen seurannassa
Opinnäytetyö	29 sivua + 2 liitesivua
Työn ohjaaja	lehtori Sirpa Laakso
Toimeksiantaja	Ruskon Betoni Oy
Huhtikuu 2012	
Avainsanat	betoni, lujuus, sähkönjohtavuus, lämpötila

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on testata ja kehittää internetloggeria apuvälineenä betonin lujuudenkehityksen seurannassa. Internetloggerin lujuudenkehityksen mittaaminen perustuu sen kykyyn mitata sähkönjohtavuutta ja lämpötiloja kovettuvasta betonista. Laite pystyy lähettämään tiedot suoraan internetiin, josta asiakas ja betonin toimittaja pystyvät seuraamaan betonin lujuudenkehitystä. Työn tavoitteena on tehdä erilaisille betoniresepteille kalibrointikäyriä, jonka pohjalta internetloggeri laskee kovettuvan betonin lujuudenkehitystä. Lisäksi tavoitteena on opetella ja ymmärtää laitteen toimintaperiaate sekä kehittää sen ominaisuuksia.

Internetloggerin mittaamenetelmä perustuu vertailututkimukseen. Tehtaan laboratoriossa mitattuja tuloksia verrataan internetloggerin mittaamiin tuloksiin työmaalta. Internet palvelimella oleva ohjelmisto piirtää automaattisesti taulukot lujuudenkehityksestä. Materiaalia ja lähteitä betonin lujuudenkehityksen mittaamisesta löytyi heikosti, koska sähkönjohtavuuteen perustava lujuuden mittaaminen on uusi menetelmä koko maailmassa. Teoriaosuuden lähteet löytyivät suurimmaksi osaksi BY-betoninormistosta. Internetloggerin lähteet löytyivät laitteen kehittäjän Consensor-yrityksen lähettämistä esitteistä sekä sähköpostikeskusteluista, joita kävimme yrityksen yhteyshenkilön kanssa.

Näyttää siltä, että internetloggeri antaa melko tarkat tulokset lujuudenkehityksestä sähkönjohtavuuteen perustuvalla mittaamenetelmällä. Lisäämällä internetloggeriin kaksi mitta-anturin paikkaa, ottamalla enemmän koekappaleita kalibrointikäyriä tehdessä ja suurentamalla mitta-anturin kokoa voitaisiin päästä tarkempiin tuloksiin lujuudenkehityksen seurannassa. Tarkemmat tulokset lujuudenkehityksestä nopeuttaisivat muottien purkua, joka taas saattaisi tuoda taloudellisia säästöjä urakoitsijalle. Lisäksi Internetloggeri poistaa turhia käyntejä työmaalta, koska tiedot voidaan lukea suoraan Internetistä. Laitteesta on apua myös laadunvalvonnassa, koska kaikki tiedot tallentuvat palvelimelle.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

TOIVONEN, JERE

Testing DataBox for Monitoring Strength Development of  
Concrete

Bachelor's Thesis

29 pages + 2 pages of appendices

Supervisor

Sirpa Laakso, Senior Lecturer

Commissioned by

Ruskon Betoni Oy

April 2012

Keywords

concrete, strength, conductivity, temperature

The main point in this thesis is to test and develop the DataBox. The DataBox is a new tool to study the development of the strength of concrete. The device measures conductivity and temperatures from concrete under curing. The DataBox transmits data into the Internet, where customers and concrete suppliers can view the strength development. The objective of this thesis is to build calibration curves for various concrete mix designs. The DataBox calculation is based on these calibration curves. Other study aims are to learn and understand the operational principle of the device and to develop its properties.

The DataBox's measurement logic is based on a comparative study. The device transmits the data into the Internet server and software compares those data with calibration curves. The software on the Internet server automatically draws tables about how the concrete strength has developed. It was hard to find material and sources about the measurement of concrete strength because this topic is a new issue in the whole world. The sources in the theoretical part were found in the BY concrete norms. Consensor, the developer of DataBox, sends a lot of information to our company. That information is the main source in this thesis.

The DataBox gives quite precise results about the development of the strength of concrete when the measurement bases on conductivity. Customers and concrete suppliers can get even more precise results by making few changes to the DataBox. The changes could be for example, to increase the number on measuring sensor places, to increase size of the measuring sensors and to take more test specimens while building calibration curves. The DataBox's main benefits are that it helps the contractor's economy and leaves out unnecessary site visits. It also helps the quality control because all data are saved on the Internet server.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
1.1	Työn tausta	6
1.2	Ruskon Betoni Oy	6
2	BETONIN OMINAISUUDET	7
2.1	Betonin koostumus	7
2.2	Lujuudenkehitys	9
2.2.1	Vesi-sementtisuhteen vaikutus lujuudenkehitykseen	10
2.2.2	Lämpötilan vaikutus lujuudenkehitykseen	11
2.2.3	Sementtilaadun vaikutus lujuudenkehitykseen	13
3	LOGGERIT	15
3.1	Loggereiden toiminta	15
3.2	Internetloggeri	16
4	KALIBROINTIKÄYRIEN TEKEMINEN LABORATORIOSSA	17
4.1	Betonin sähkönjohtavuus	19
4.2	Betonin kypsyys	19
5	INTERNETLOGGERIN KÄYTTÖ TYÖMAILLA JA ESIMERKKIKOHOITEESSA	19
6	TULOKSET	22
6.1	Lujuudenkehityksen erot sähkönjohtavuuteen ja kypsyysikään perustuvan mittaamisen välillä	22
6.2	Virhetekijät	24
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	25
7.1	Internetloggerin parannusehdotuksia	25
7.2	Internetloggerin hyödyt	26

## LIITTEET

Liite 1. Testimassan betoniresepti

Liite 2. Loggereiden sijoitus betonointisuunnitelmasta

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Ruskon Betoni Oy. Pääsin yritykselle työharjoitteluun kesäksi 2011. Työtehtäviini kuului kiviaineksen ja betonin laadunvalvonnalliset tehtävät. Suoriuduin tehtävistä hyvin. Syksyllä 2011 jatkoimme työsopimusta ja sovimme, että teen opinnäytetyöni yritykselle. Samana kesänä Ruskon Betoni otti Internetloggerin käyttöön. Sain alustavasti aiheekseni tehdä kalibrointikäyriä laboratoriossa, joista loggeri pystyy laskemaan lujoudenkehitystä kovettuvasta betonista työmaakohteissa. Työn tarkoituksena on kehittää ja testata laitetta käytännön töissä. Aihe tuntuu mielenkiintoiselta, koska tällaista loggeria ei ole aikaisemmin käytetty Suomessa. Aloitan kalibrointikäyrien tekemisen tammikuussa Kotkan betoniaseman laboratoriossa, koulun ohessa.

Opinnäytetyöni esimerkkikohteena käytän Vantaan energian jätevoimalaitoksen jätebunkkerin pohjalaatan valua Vantaalla. Työmaan pääurakoitsijana toimii Skanska Oy, ja valu suoritetaan maaliskuussa 2012. Teen työmaalla käytettävästä kuonabetonista kalibrointikäyrät ja vien laitteen mittaamaan työmaalle valun alkaessa. Tarkoituksena on seurata, kuinka laite toimii käytännössä valussa ja onko siitä todellista hyötyä työmailla.

## 1.2 Ruskon Betoni Oy

Ruskon Betoni Oy on valmisbetonin valmistamiseen ja siihen liittyviin palveluihin keskittynyt kotimainen perheyritys. Yritys aloitti toimintansa Oulussa syksyllä 1983. Vuosien saatossa yritys on kasvanut tasaista vauhtia. Vuonna 1989 tapahtui ensimmäinen aluevaltaus, kun Pudasjärvelle valmistui tehdas ja heti perään 1993 Kempeleelle. Kemijärvi tuli mukaan vuonna 1993, jonka jälkeen peräkkäisinä vuosina Kittilä, Raahe, Pello ja Vuokatti. Kouvola ja Kajaani olivat vuorossa vuosina -93-94. Ensimmäinen pääkaupunkiseudun tehdas valmistui Tuusulaan vuonna 1997. Espoon Koskelon, Vantaan Vaaralan, Espoon Kivenlahden, Tornion ja Kotkan tehtaot ovat rakennettu 2000-luvulla. Suurin menekki on luonnollisesti pääkaupunkiseudulla.

Konserniin kuuluvat Ruskon Betonin 15 valmisbetonitehdasta, tytäryritykset Napapiirin Betoni Oy ja JA-KO Betoni Oy sekä sisaryritys KiBe Oy (Kittilä, Pello, Suurkuusikko). Yritys toimii kaiken kaikkiaan jo 21 paikkakunnalla. Kesällä 2012 pitäisi valmistua uusi tehdas Porvooseen. (Ruskon Betoni Oy 2011.) Ruskon Betoni Oy:n toiminnalliset perusarvot ovat asiakaslähtöisyys, toimitusvarmuus, turvallisuus, ympäristöystävällisyys, laatu ja tehokkuus. Yritykselle on myönnetty ISO 9001-, ISO 14001- sekä OHSAS 18001 -sertifikaatit. Tehtaat kuuluvat Inspecta Sertifiointi Oy:n tarkastustoiminnan piiriin. Suurimpia työmaita ovat olleet muun muassa Kemijoki Oy:n vesivoimalaitokset, sotilaskylä Andreapoliksella Venäjällä sekä projektiasema Suurkuusikon kultakaivoksella. (Ruskon Betoni Oy 2011.)

## 2 BETONIN OMINAISUUDET

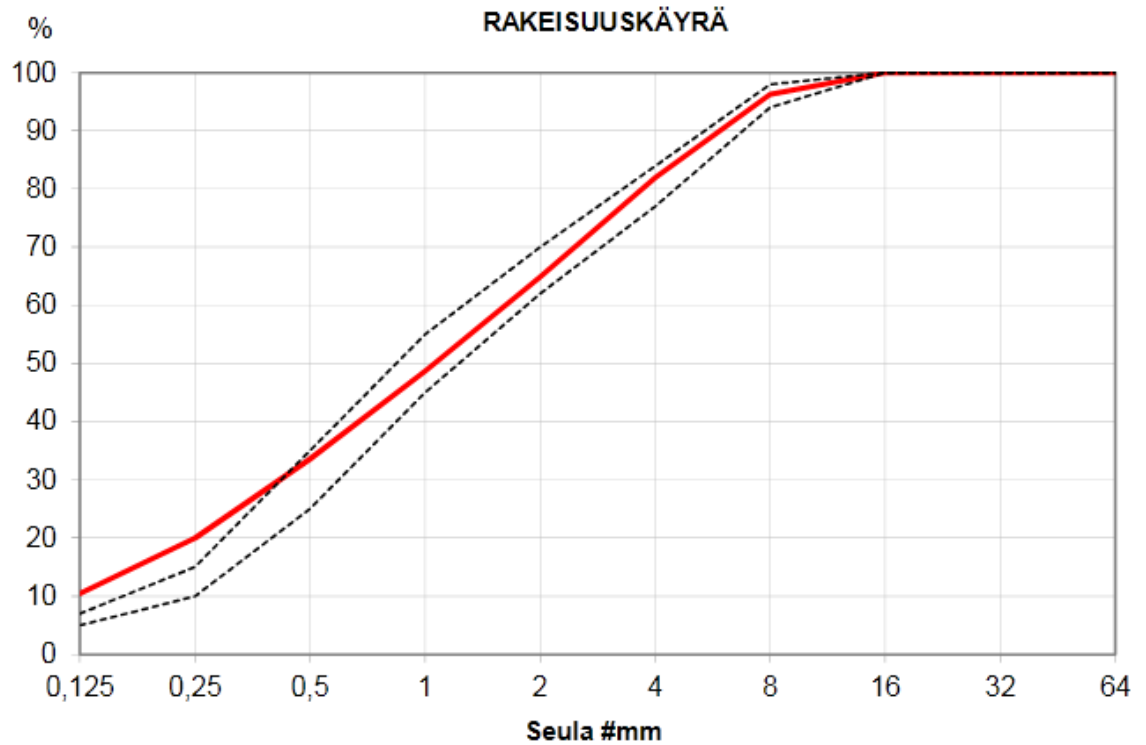
### 2.1 Betonin koostumus

Betoni koostuu kolmesta pääraaka-aineesta, jotka ovat sementti, vesi ja kiviainekset. Reagoidessa veden kanssa sementti muuttuu sementtiliimaksi, ja tämä sitoo kovettuaan kiviainekset yhteen. Betoni on siis keinotekoisista kiveä. Erilaisten ominaisuuksien parantamiseksi betonissa käytetään myös usein lisä- ja seosaineita. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 31- 37.)

Kiviaineksia betonissa on 1,7–2,0 tonnia / kuutiometri, eli tilavuusosuus on noin 65–80 % kuutiosta. Todella monenlaiset kiviainekset käyvät betonin valmistukseen. Yleisimmin Suomessa käytetään graniittipohjaista luonnonkiviainesta, jota kaivetaan sora- ja harjuilta. Etelä-Suomessa hyvälaatuisen luonnonsoran saaminen alkaa olla vaikeata harjujen loppumisen vuoksi. Tämän takia kalliomurskeen käyttö betonin valmistuksessa kasvaa jatkuvasti. Lisäksi kiviaineksina käytetään betoni- ja tiilimursketta, kevytsoraa, masuunikuonaa sekä lentotuhkaa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 31- 37.)

Kiviaineksen pitää täyttää betoninormien mukaiset standardit SFS-EN 12620. Rakeisuus määritellään yleensä kuivaseulonnalla eli kuivattu kiviaines seulotaan seulasarjan läpi ja sen jälkeen jokainen seula punnitaan. Normaalseulasarjan silmäkoot ovat 0,125, 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 8, 16, 31,5 ja 63 millimetriä. Seulotusta aineksesta saadaan rakeisuuskäyrä, joka kertoo kattavasti kiviaineksen koot. Kuvassa 1 näkyy esimerkki rakeisuuskäyrästä joka piirtyy punaisella viivalla ja katkoviivoilla on merkattu raja-

arvot. Kiviaineksen raemuoto vaikuttaa myös siihen, kuinka hyvin kiviaines asettuu betonissa. Pääasia on, että rakeet pakkautuvat hyvin toistensa lomaan niin, että rakeiden väliin ei pääse jäämään suuria tiloja sementtiliimalle tai ilmalle (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 31- 37.)

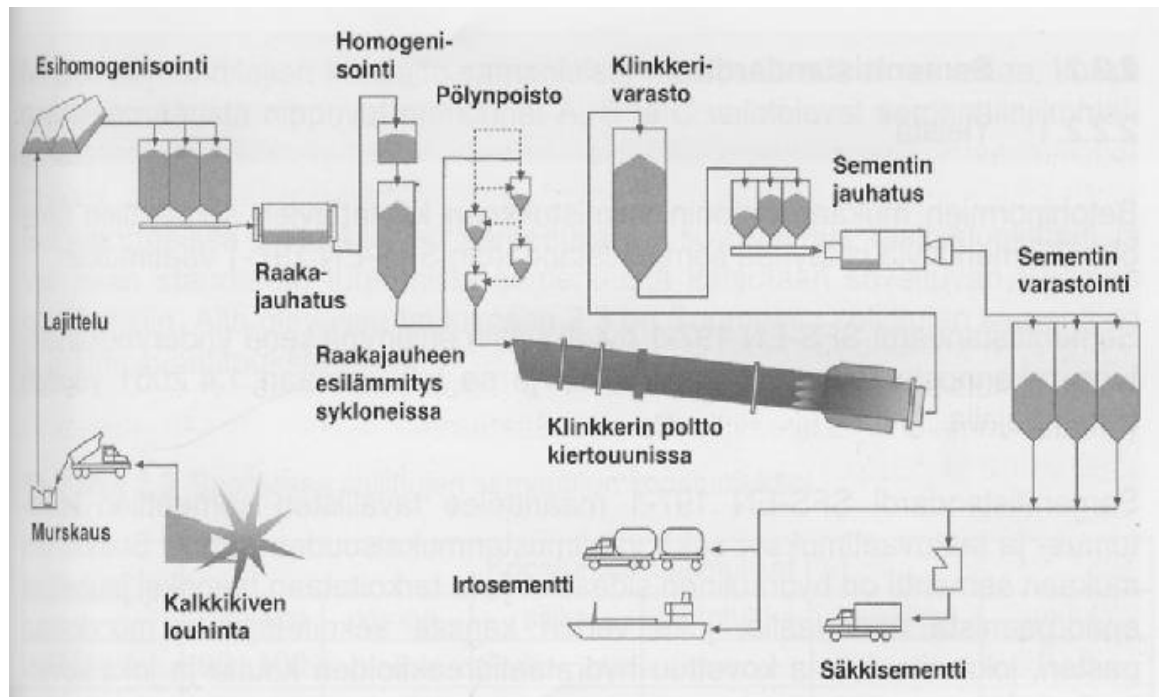


Kuva 1. Rakeisuuskäyrä betonisoralle 0-8

Sementti toimii betonin koossa pitävänä sideaineena. Sen pääraaka-aineena on kalkkikivi ja muut tarvittavat aineet ovat piioksidi, rautaoksidi ja alumiinioksidi. Uunissa poltettaessa raaka-aineesta haihtuu vesi ja hiilidioksidi pois. Aineiden rakenne hajoaa ja syntyy klinkkerimineraaleja. Näistä mineraaleista sementti jauhetaan. (Betoniteollisuus ry 2012.)

Betonin valmistuksessa käytettävän sementin tulee täyttää sementtistandardi SFS-EN 197-1, joka määrittelee koostumus- ja laatuvaatimukset. Sementin tulee olla myös CE-merkittyä. Tavallisten sementtien valmistuksessa käytetään portlandklinkkeriä ja seosaineita, jotka jauhetaan ja poltetaan kiertouunissa (kuva 2). Standardi ryhmittelee sementit viiteen päälajiin portlandsementti CEM I, portlandseossementit CEM II, massuonikuonasegmentit CEM III, pozzolaaniseimentit CEM IV ja seossementit CEM V. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 42.)





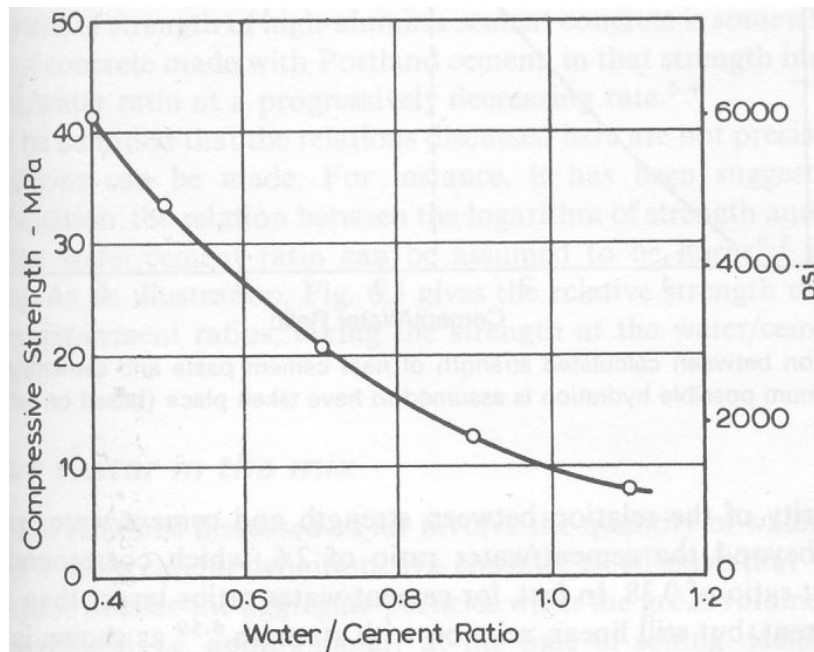
Kuva 2. Periaatekuva sementin valmistuksesta (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 41.)

## 2.2 Lujuudenkehitys

Lujuudenkehitys alkaa, kun sementti alkaa reagoida veden kanssa. Sekoituksen jälkeen seos pysyy jonkin aikaa notkeana, mutta sementtihiukkasista alkaa syntyä saumaisia ja levymäisiä geelikiteitä. Tässä vaiheessa sementti on sitoutunut ja sitä kutsutaan sementtipastaksi tai sementtiliimaksi. Sementti sitoutuu lisää, lujuus alkaa kehittyä ja syntyy betonin koossa pitävä aine, sementtikivi. Suurimmat lujuudenkehitykseen vaikuttavat tekijät ovat vesi-sementtisuhde, lämpötila sekä sementtilaatu. Betonin lujuus ilmoitetaan esimerkiksi muodossa K30, joka tarkoittaa, että massasta tehdyn kuution muotoisen koekappaleen pitäisi kestää puristuskokeessa 30 megapascalin rasitus. Betonin K-luokitus on poistumassa, ja Suomessa ollaan siirtymässä eurooppalaiseen C-luokitukseen. C-lujuusluokituksessa ilmoitetaan betonin lujuus muodossa lie-riö/ kuutiolujuus esimerkiksi C25/ 30. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 50–51.)

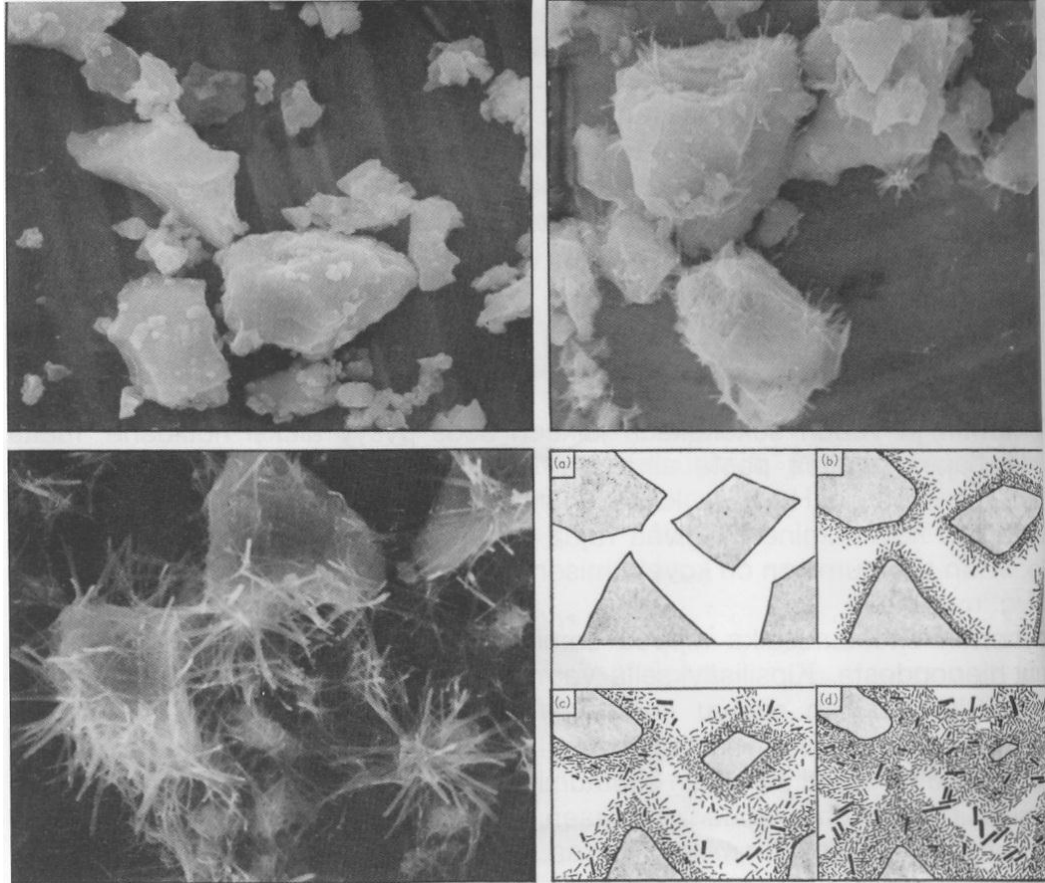
### 2.2.1 Vesi-sementtisuhteen vaikutus lujuudenkehitykseen

Vesi-sementtisuhte  $w = v/s$ , missä  $v$  on vesimäärä paino-osin ja  $s$  on sementtimäärä paino-osin eli tehollisen veden määrä suhteessa betonissa olevaan sementin määrään. Tällä suhteella on suuri vaikutus sementin lujuudenkehitykseen. Käytännössä vesi-sementtisuhteen tulee olla yli 0,4, jotta täydellinen hydrataatio pääsee tapahtumaan. Hydrataatiolla tarkoitetaan veden ja sementin mineraalien välistä reaktiota. Teoreettisesti vesi-sementtisuhteeksi riittää 0,25, mutta koska geelihuokosiin sitoutuu noin 15 % vettä, tämä vesi-sementtisuhte on riittämätön. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 53.)



Kuva 3. Puristuslujuus vesi-sementtisuhteen funktiona seitsemän päivän ikäisenä (Neville 1995.)

Vesi-sementtisuhteen kasvaessa betonin lujuus pienenee (kuva 3). Tämä johtuu siitä, että mitä enemmän vettä käytetään, sitä vähemmän sementtihiukkasten välille syntyy neulamaisia geelikiteitä. Mitä enemmän hiukkasten välille taas syntyy liitoksia, sitä lujempaa betonista tulee. Kuvassa 4 näkyy tarkkoja kuvia sementtihiukkasten sitoutumisesta ajan kuluessa. Sementin sitoutuessa betonia ei saa häiritä, koska se voi heikentää lopullista lujuutta. Vesi-sementtisuhdetta joudutaan usein kasvattamaan, jotta saataisiin betonin työstettävyyttä paremmaksi. Betonille saadaan lisää työstöaikaa lisäämällä sementtiin kipsiä, koska tämä hidastaa sementin sitoutumisaikaa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011.)

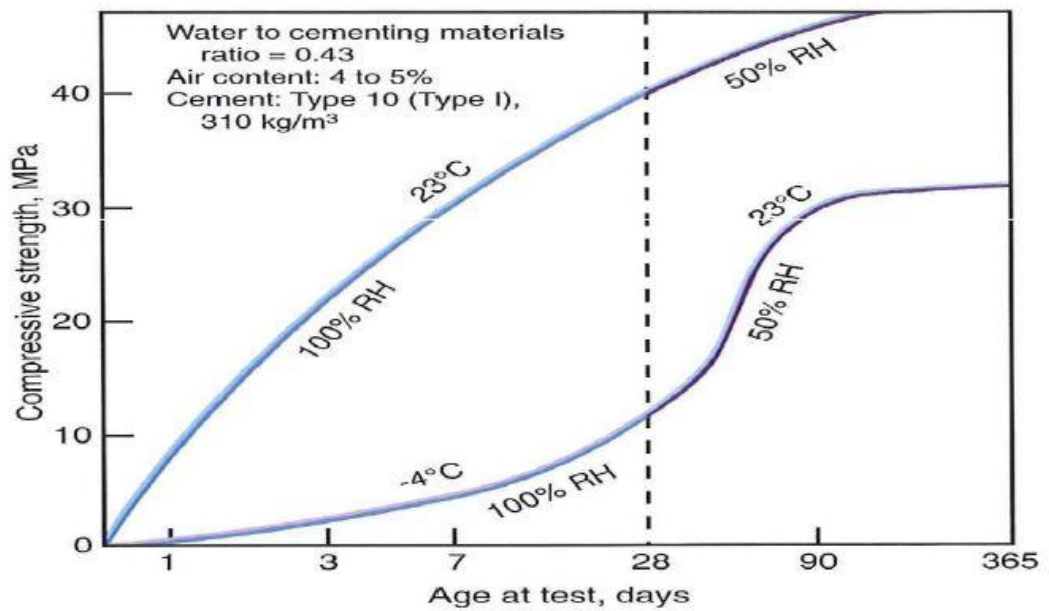


Kuva 4. Sementtihiukkasten sitoutuminen (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 52.)

Lujuus ei siis vaihtelee sementtimäärän mukaan tai vesimäärän mukaan, vaan juuri vesi-sementtisuhte on relevantti. Esimerkiksi reseptillä, johon laitetaan  $200 \text{ kg/m}^3$  vettä ja  $300 \text{ kg/m}^3$  sementtiä, saadaan sama loppulujuus kuin reseptillä, johon laitetaan  $220 \text{ kg/m}^3$  vettä ja  $330 \text{ kg/m}^3$  sementtiä. Molempien reseptien vesi-sementtisuhte on 0,67 ja näin ollen loppulujuus on sama, jos muut lujuuteen vaikuttavat elementit ovat samat.

### 2.2.2 Lämpötilan vaikutus lujuudenkehitykseen

Lämpötila vaikuttaa oleellisesti alkuvaiheessa lujuudenkehitystä. Sementin ja veden väliset kemialliset reaktiot lähtevät nopeammin käyntiin lämpimässä. Betonin lujuudenkehitys riippuu oleellisesti ulkolämpötilasta (kuva 4). Voidaan sanoa, että lämpötilan laskiessa  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  reaktioaika kaksinkertaistuu ja noustessa  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  reaktioaika puoliintuu. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 69.)



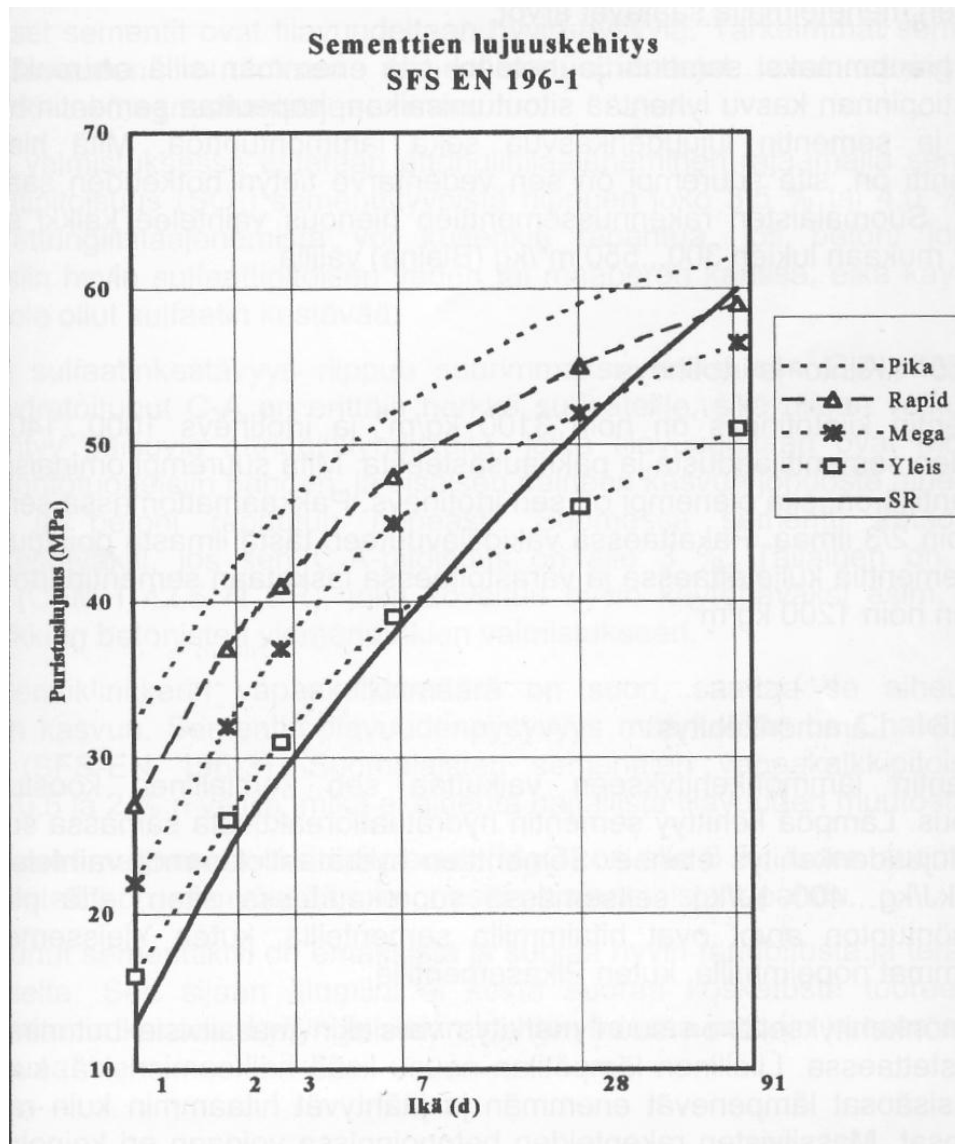
Kuva 5. Lämpötilan vaikutus lujuudenkehitykseen ajan funktiona (Rudus 2012.)

Talvi tuo omat haasteensa betonin valmistukseen, koska kiviainesten, muottien ja ulkoilman lämpötila on alhainen. Betonimassaa voidaan kuitenkin lämmittää valmistuksen yhteydessä. Höyryttämällä kiviaineksia ja käyttämällä lämmintä vettä saadaan oikean lämpöistä betonia. Muottien lämmitys, lämmityskaapelit ja valun jälkeen muottien tarvittava suojaaminen ovat keinoja oikean lämpötilan saamiseksi. Myös sementtiä lisäämällä ja käyttämällä nopeammin reagoivia sementtilaatuja saadaan lämpötiloja korkeammaksi ja lujuudenkehitys alkamaan nopeammin. (Rudus 2012.)

Liian suuri lämpötila on ongelma massiivisia betonirakenteita valettaessa. Veden ja sementin reaktio tuottaa lämpöä noin 250 kJ/ kg...400 kJ/ kg seitsemässä vuorokaudessa. Rakenteen sisällä lämpötila on paljon korkeampi kuin rakenteen pintaosissa, ja jos erot ovat liian suuret, halkeamisriski kasvaa. Lämpötilaeroja saadaan pienennettyä käyttämällä hitaita sementtilaatuja, käyttämällä kuonaa seosaineena, tekemällä viileää massaa tai rakentamalla jäähdytysjärjestelmä muottien sisälle. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 59.)

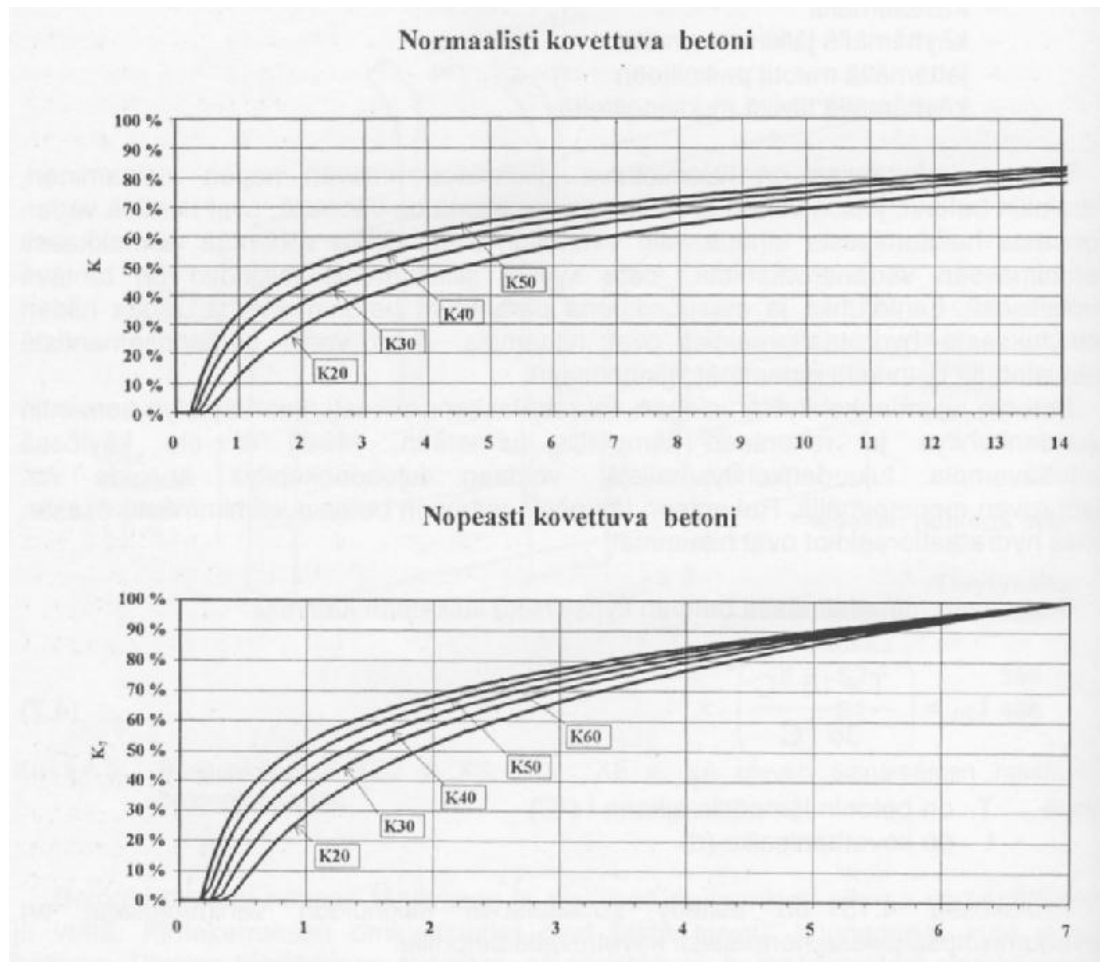
### 2.2.3 Sementtilaadun vaikutus lujuudenkehitykseen

Eri sementeillä on erilainen lujuudenkehitys. Sementin karkeus ja kemiallinen koostumus vaikuttavat lujuuteen. Karkeammilla sementtilaaduilla on huonommat varhaislujuudet kuin hienojakoisilla laaduilla. Tämä johtuu siitä, että kun sementtipartikkelit ovat pienempiä, niitä on enemmän ja ne peittävät suuremman alan betonissa. Näin ollen sementin ominaispinta-ala kasvaa ja hydrataatio nopeutuu. (Kirjonen 2011, 41.)



Kuva 6. Eri sementtilaatujen lujuuskehitys ajan funktiona (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 55.)

Rakennussementit jaetaan kolmeen lujuusluokkaan 32,5, 42,5, 52,5, jotka määritellään 28 päivän puristuslujuuden mukaan. Lisäksi jokaisella standardilujuusluokalle määritetään aina varhaislujuusluokka. N tarkoittaa normaalia varhaislujuutta ja R tarkoittaa korkeaa varhaislujuutta (kuva 7). Yleisimpiä Suomessa käytettyjä rakennussementtejä ovat plussementti (CEM II 42,5 N), SR-sementti (CEM I 42,5 N) ja valkosementti (CEM I 52,5 N), jotka ovat normaalisti kovettuvia sementtejä. Rapidsementin (CEM II 42,5 R), holcim- (CEM I 42,5 R) ja pikasementin (CEM I 52,5 R) alkulujuudenkehitys on nopeaa eli ne ovat nopeasti kovettuvia sementtejä (kuva 6). Opinnäytetyöni testimassoissa olen käyttänyt holcim- ja plussementtiä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 43–45.)



Kuva 7. Eri sementeistä valmistettujen betonien lujuudenkehitys kypsyysajan funktiona (Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 124)

### 3 LOGGERIT

Loggerit ovat laitteita, joita käytetään valuissa tietojen mittaamiseen sekä keräämiseen betonin sisältä. Niillä voidaan mitata lämpötilaa, kosteutta ja lujuuksia. Loggereita on erilaisia. Toiset mittaavat vain lämpötiloja, toiset taas kosteuksia tai molempia. Lujuudenkehitystä ei tavallisella loggerilla voi suoraan mitata, vaan loggerin antamat tiedot pitää syöttää tietokoneelle ja laskea apuohjelmien avulla. (Mikko Vasama.)

#### 3.1 Loggereiden toiminta

Tiedot lämpötiloista ja kosteuksista betonin sisältä kulkevat kaapelia pitkin loggeriin, joka tallentaa tiedot halutuin väliajoin. Kaapeli on termoparilankaa, jossa kulkee nikkelilanka ja kromilanka. Betonin sisälle jäävä pää kytketään oikosulkuun ja sidotaan raudoitukseen kiinni suunniteltuun paikkaan ja korkoon. Langat eivät kuitenkaan saa koskettaa raudoitusta, vaan niiden pitää olla vapaana betonimassassa. Toinen pää kytketään loggeriin liittimen avulla. Laitteet ovat nykyään hyvin yhteensopivia tietokoneiden kanssa, mutta tiedot voidaan myös lukea reaaliajassa loggereiden näytöiltä. Loggereita asennetaan muottiin yleensä yhdestä kuuteen valun koon mukaan. Yhdellä laitteella voidaan mitata tietoja monesta pisteestä. Kuvassa 8 olevalla mallilla voidaan mitata lämpötilaa ja kosteutta. Siihen mahtuu neljä johtoa kiinni eli mittauksia voi tehdä tällä laitteella neljästä pisteestä kerrallaan. (Mikko Vasama.)



Kuva 8. Loggeri Testo 176-H1 (Humitec 2012.)

### 3.2 Internetloggeri

Internetloggeri, jonka englanninkielinen nimi on DataBox, on uusi loggerilaite Suomessa. Se on hollantilaisen Consensor-yrityksen kehittämä ja se otettiin käyttöön Ruskon Betoni -konsernissa kesällä 2011. Sen suurin ero tavalliseen loggeriin verrattuna on, että se lähettää tiedot suoraan internetiin Consensorin pitämälle palvelimelle ja laitteella voidaan mitata sähkönjohtavuutta. Loggeri sisältää SIM-kortin (Subscriber Identity Module), joka on yhteydessä 3G-verkkoon. Palvelin sisältää ohjelmiston, joka laskee betonin lujuuden laitteen lähettämistä tiedoista. Näin työmaa voi seurata kätevästi betonin lujuudenkehitystä ja lämpötiloja internetissä ja milloin tahansa. Kuvassa 9 ja 10 esitetään internetloggeri eri suunnilta. (Consensor 2012.)



Kuva 9. Internetloggeri edestä (Kuva: Jere Toivonen.)



Kuva 10. Internetloggeri päältä ja sivulta (Kuva: Jere Toivonen.)



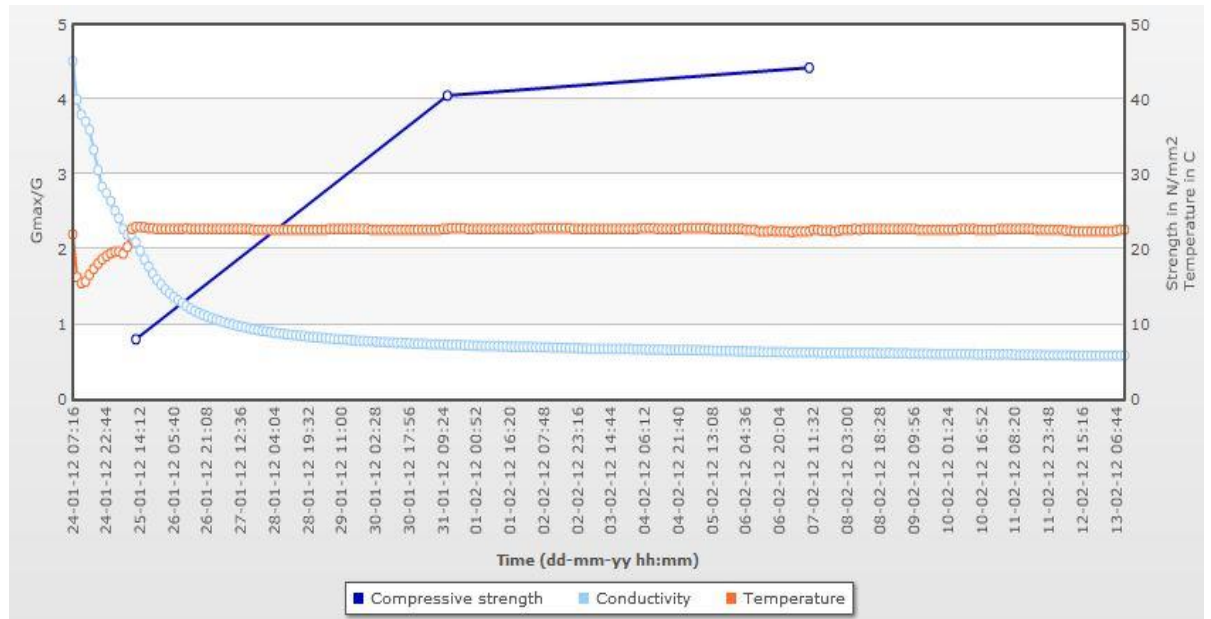
Internetloggeri asennetaan tavallisen loggerin tavoin, sitomalla kaapelin anturi raudoitukseen ja liittämällä toinen pää loggeriin liittimellä. Anturi jätetään kovettuneen betonin sisälle ja itse loggeri nostetaan suojaisaan paikkaan valun lähettyville. Anturissa on lämpötilamittari ja valkoinen tikku, jossa kulkee kaksi metallilankaa (kuva 11). Näiden metallilankojen välistä anturi pystyy mittaamaan sähkönjohtavuutta. Palvelimelta näkyy, kuinka paljon loggerissa on akkua jäljellä. Palvelin osaa myös lähettää tekstiviestin käyttäjälle, jos lämmöt nousevat liian korkeiksi. (Consensor 2012.)



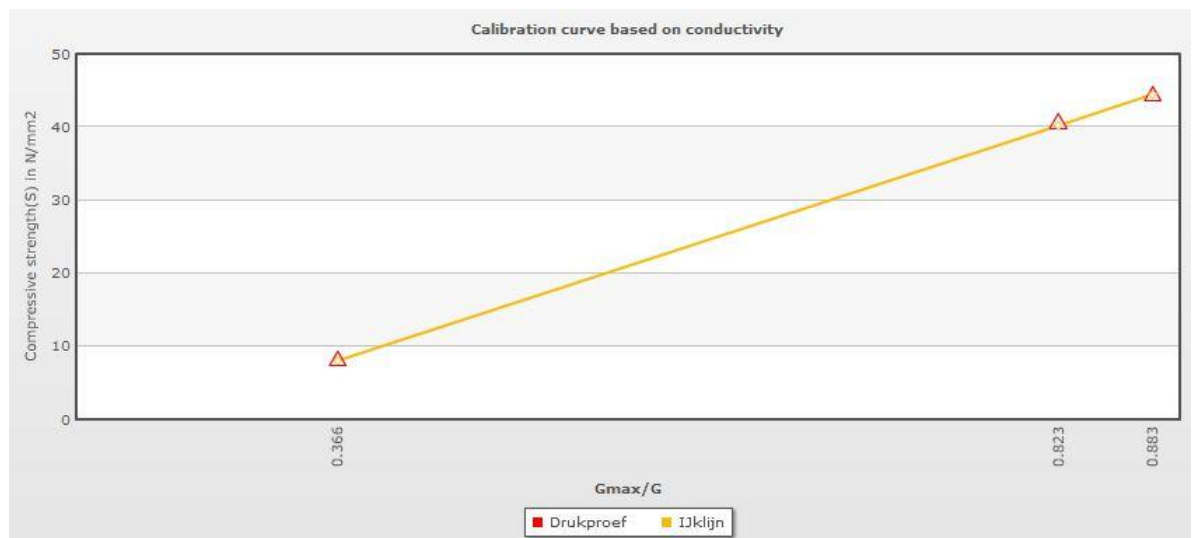
Kuva 11. Internetloggerin mitta-anturi (Kuva: Jere Toivonen.)

#### 4 KALIBROINTIKÄYRIEN TEKEMINEN LABORATORIOSSA

Ennen kuin laitetta voidaan käyttää työmaalla, pitää käytettävälle betonireseptille tehdä tehtaassa laboratoriossa testimassa. Betonimassasta tehdään neljä koekappaletta. Yhteen koekappaleeseen liitetään internetloggeri, yksi puristetaan vuorokauden ikäisenä, toinen seitsemän vuorokauden ikäisenä ja kolmas neljäntoista vuorokauden ikäisenä. Vuorokauden ikäisenä kaikki koekappaleet puretaan muotista ja laitetaan vesialtaaseen kovettumaan. Puristustulokset syötetään palvelimelle, ja näistä tuloksista ohjelma laskee massalle kalibrointikäyrät. Kuvassa 12 näkyy taulukko, johon palvelin on piirtänyt lämpötilan oranssilla käyrällä sekä sähkönjohtavuuden vaaleansinisellä käyrällä. Sininen käyrä piirtyy taulukkoon syötettyjen puristustulosten perusteella. Internetloggeri mittaa lämpötilat ja lujuudet joka kymmenes minuutti ja lähettää tiedon palvelimelle tunnin välein. (Consensor 2012.)



Kuva 12. Palvelimen piirtämät käyrät mittauksista lujuuksista ja lämpötiloista ajan funktiona (Consensor 2012.)



Kuva 13. Testimassan kalibrointikäyrä jossa puristuslujuus sähkönjohtavuuden funktiona (Consensor 2012.)

Kuvan 13 kalibrointikäyrä perustuu internetloggerin mittaamiin arvoihin sähkönjohtavuudesta. Ohjelma on laskenut testimassan (liite 1) koekappaleiden puristuslujuuden arvot sähkönjohtavuuden funktiona. Esimerkiksi sähkönjohtavuus seitsemän vuorokauden ikäisenä on ollut 0,823 ja puristuslujuus 40,5 megapascalia. Käyrä vertaa internetloggerin mittaamia sähkönjohtavuuden arvoja laboratoriossa mitattuihin puristuslujuuden arvoihin ajan funktiona. Kun testimassa on saatu valmiiksi, internetloggeri voidaan laittaa työmaalle kiinni valettaessa saman reseptin mukaan tehtyä massaa.

#### 4.1 Betonin sähkönjohtavuus

Internetloggerilla on siis mahdollisuus mitata sähkönjohtavuutta. Betonin lujuuksien mittaaminen tällä menetelmällä on täysin uutta Suomessa. Sähkönjohtavuudella lujuuden mittaaminen perustuu tietoon veden suuresta kyvystä johtaa sähköä. Mitä enemmän betonissa on vettä sitä suurempi sähkönjohtavuus sillä on ja mitä vähemmän betonissa on vettä, sitä pienempi sen sähkönjohtavuus on. Betonin kovettuessa vesi haihtuu ja siitä tulee kovempaa ja kovempaa. Internetloggeri käyttää sähkönjohtavuuden yksikkönä millisiemensia senttimetriä kohden, mS/cm. (Consensor 2012.)

#### 4.2 Betonin kypsyys

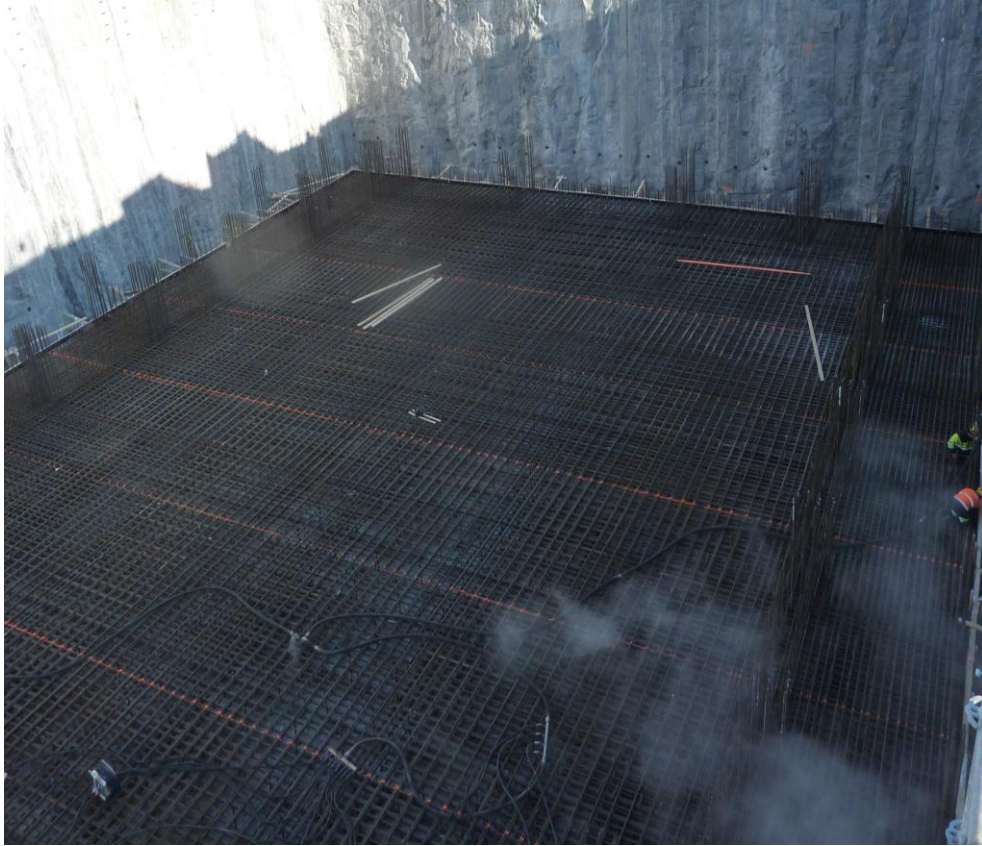
Internetloggeri mittaa myös lujuudenkehitystä betonin painotetusta kypsyudesta (Weighted Maturity). Tämä perustuu lämpötilojen ja ajan seurantaan, niin sanottuun Sadgroven-menetelmään. Menetelmässä kypsyysikä  $t_{20}$  lasketaan kaavalla:  $t_{20} = ((T+16 \text{ °C}) / 36 \text{ °C})^2 \times t$ , jossa T on betonin lämpötila celsiusasteina ja t kovettumisaika päivinä. Kypsyysikä  $t_{20}$  kertoo lujuuden kehityksen, vaihtelevissakin olosuhteissa, verrattuna +20 °C vakiolämpötilassa säilytettyyn betoniin. Tavallisista loggereista saatavat lämpötila- ja aikatiedot syötetään koneelle ja käsitellään usein ohjelmilla, jotka perustuvat Sadgroven-menetelmään. (Suomen Betoniyhdistys ry 2011, 351- 352.)

### 5 INTERNETLOGGERIN KÄYTTÖ TYÖMAILLA JA ESIMERKKIKOHITESSA

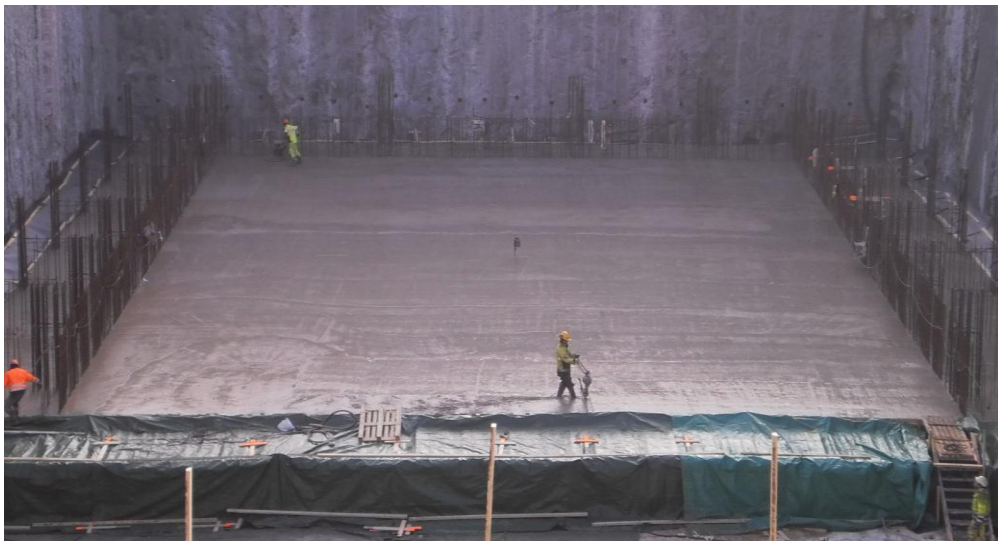
Internetloggeri käydään asentamassa työmaalle betonointisuunnitelman mukaisesti. Projekti valmistellaan Consensorin palvelimella syöttämällä sinne tiedot käytettävästä massasta sekä työmaasta. Kun mitta-anturin päälle on valettu betoni, voidaan internetloggeri kytkeä päälle napista, joka sijaitsee laitteen etuosassa. Kymmenen minuutin kuluttua se lähettää ensimmäiset tiedot palvelimelle ja alkaa piirtää käyrää tiedoista. Kuvat ja tulosteet olen ottanut esimerkkikohteen työmaalta.

Työssäni käytän esimerkkikohteenä Vantaan Energian jätevoimalan jätebunkkerin pohjalaatan valua, jonka urakoitsijana toimi Skanska Oy. Työmaa alkoi loppuvuodesta 2011, ja pohjalaatta valettiin 8.3.2012–9.3.2012 yöllä. Laatan paksuus oli 1 500 millimetriä, ja betonia meni noin 1 500 kuutiota. Laatasta valettiin tässä valussa puolet. Valussa käytettiin neljää tavallista loggeria ja yhtä internetloggeria.

Loggerit asennettiin betonointisuunnitelman mukaan (liite 2). Internetloggeri sijoitettiin laatan keskelle pituus-, leveys- ja korkeussuunnassa. Tavallisista loggereista kolme sijoitettiin kulmiin ja yksi keskelle siten, että jokainen mittasi lämpötilaa pohjalta, keskeltä, pinnalta ja ulkoilmasta.



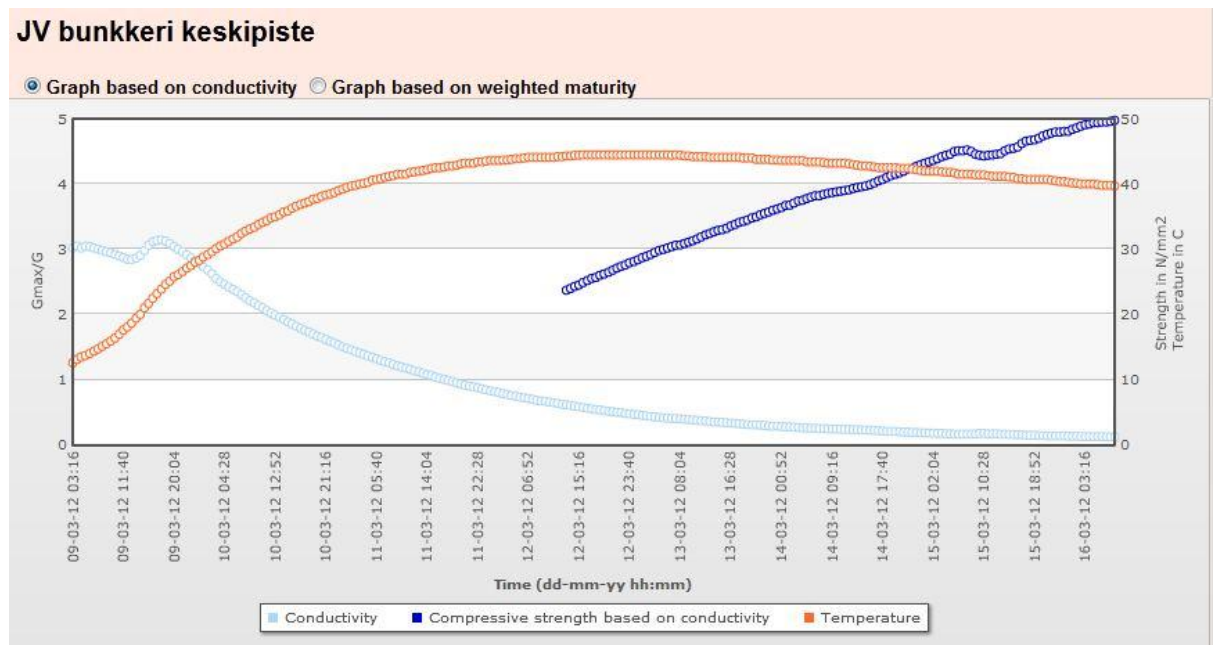
Kuva 14. Jätelaitoksen pohjalaatan muotti (Kuva: Jere Toivonen)



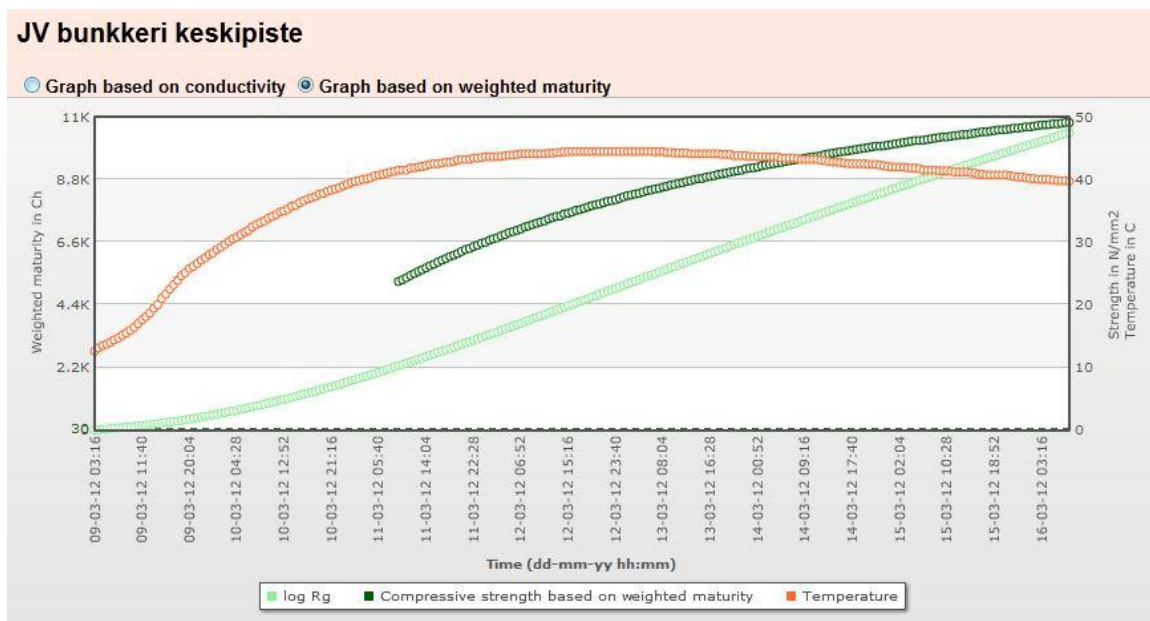
Kuva 15. Laatta valettuna ja internetloggeri mittaamassa laatan keskellä (Kuva: Jere Toivonen)

Lämpötilat olivat ongelma laatan suuren koon vuoksi. Laatan sisällä lämmöt nousevat korkeiksi suuren sementtimäärän reagoidessa veden kanssa. Ulkoilman lämpötila oli noin  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , joten lämpötilaero laatan pintaosien ja sisäosien välillä nousee liian korkeaksi. Lämpötilaeroa hallittiin tekemällä betonista alhaislämpötilabetonia, joka sisältää 40 % masuunikuonaa sementtimäärästä. Masuunikuona toimii sementin tavoin, mutta se reagoi veden kanssa hitaammin kuin tavalliset sementtilaadut ja näin myös lämpötilat nousevat hitaammin. Toinen keino oli laittaa viileämpää massaa laatan keskiosiin ja lämpimämpää laatan reuna- ja pintaosiin.

Ensimmäiset mittaustulokset laatasta tulivat 9.3.2012 kello 03.16, kun mitta-anturi peittyi betonimassaan. Massan lämpötila oli silloin  $+12,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja sähkönjohtavuus 3.169 millisiemensia senttimetriä kohti. Lämmöt olivat korkeimmillaan laatan keskellä  $+44,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  noin kolme päivää valun jälkeen. Muotit purettiin kahdentoista päivän päästä valusta lämpöjen ollessa  $+29,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Kuva 16. Betonin lujuudenkehitys ajan funktiona perustuen sähkönjohtavuuteen (Consensor 2012.)



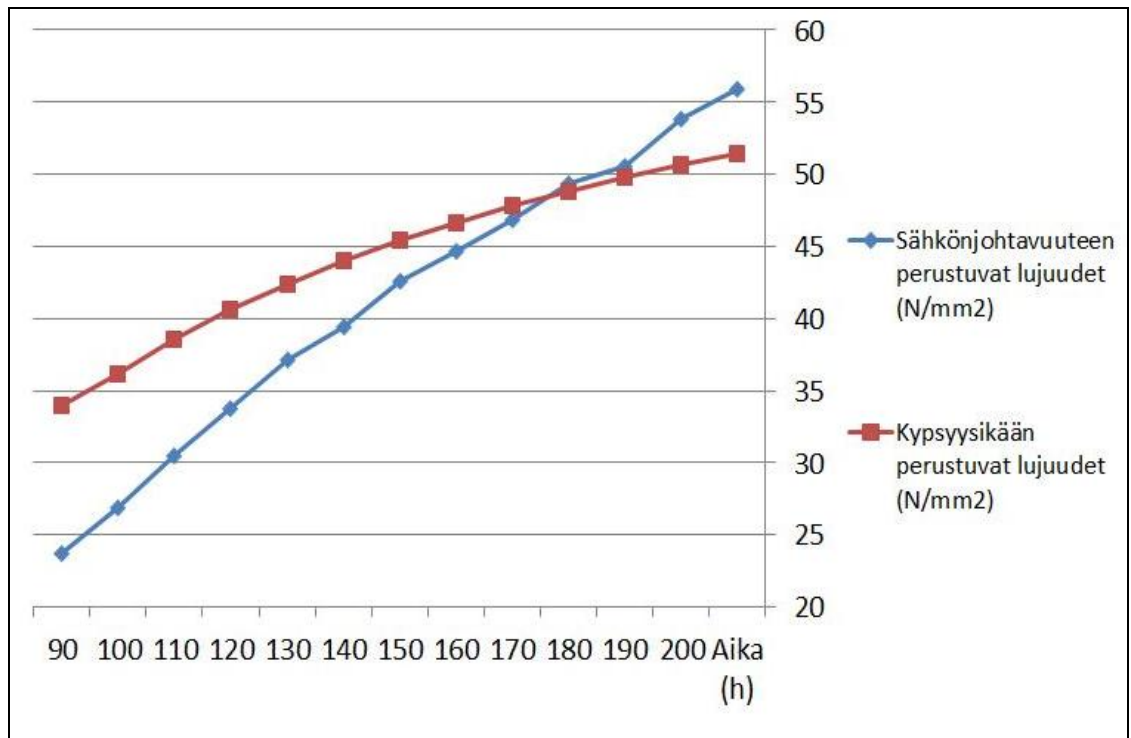
Kuva 17. Betonin lujuudenkehitys ajan funktiona perustuen kypsyyssasteeseen (Con-sensor 2012.)

Kuvassa 16 lämpötilaa kuvataan oranssilla, sähkönjohtavuutta vaaleansinisellä ja lujuudenkehitystä sinisellä käyrällä. Lämpötilakäyrä on ilmoitettu yksiköllä celsiusaste, sähkönjohtavuus yksiköllä millisiemens jokaista senttimetriä kohden ja lujuus yksiköllä newton neliömillimetriä kohden. Kuvassa 17 lämpötilakäyrä on vastaava kuin kuvassa 16. Vaaleanvihreällä käyrällä kuvataan betonin kypsyyssikää yksiköllä celsiusasetunti ja tummanvihreällä lujuutta yksiköllä newton neliömillimetriä kohden.

## 6 TULOKSET

### 6.1 Lujuudenkehityksen erot sähkönjohtavuuteen ja kypsyyssikään perustuvan mittaamisen välillä

Kypsyyssasteeseen perustuva lujuudenkehitys poikkeaa sähkönjohtavuuteen perustuvasta lujuudenkehityksestä. Kuvassa 18 vertaan lujuudenkehityksen arvoja molemmilla mittaustavoilla. Näillä kahdella eri menetelmällä mitattuna lujuudenkehitykselle saadaan hyvin erilaiset käyrät. Sähkönjohtavuuteen perustuva käyrä kertoo, että betonin alkulujuus on pienempi, mutta lujuudenkehitys on nopeampaa. Kypsyyssikään perustuva käyrä kertoo alkulujuuden olevan suurempi, mutta lujuudenkehitys on hitaampaa.



Kuva 18. Eri menetelmillä mitatut lujuudenarvot ajan funktiona

Ajan ollessa noin 180 tuntia käyrät leikkaavat toisensa. Lujuuden arvot sähkönjohtavuuden mukaan ylittävät kypsyysikään mukaan lasketut arvot. Mittaustulosten erot johtuvat siitä, että laskenta perustuu eri menetelmiin. Kypsyysikä perustuu lämpötilojen kehityksen vertaamiseen puristustuloksiin, kun taas sähkönjohtavuudella mittaaminen perustuu sähkönjohtavuuden arvojen vertaamiseen puristustulosten arvoihin. Käyrät todennäköisesti muuttuisivat, kun laite laitettaisiin mittaamaan erilaiseen valuun, mutta samalla massalla.

Esimerkiksi välipohjanlaatta, joka pääsee haihuttamaan vettä sekä laatan pohjasta että pinnasta, kuivuu paljon nopeammin kuin esimerkkikohteen maanvarainen laatta. Laatan haihuttaessa vettä molempiin suuntiin sähkönjohtavuus pienenee nopeasti eli lujuuden arvot kehittyvät nopeasti. Lämpötilat tällaisessa valuissa saattavat kuitenkin kehittyä samankaltaisesti kuin esimerkkikohteen valussa. Tällöin käyrät eli lujuuden arvot poikkeaisivat vielä enemmän toisistaan. Kypsyysikään perustuvan mittaustavan lujuuden arvot olisivat samankaltaisia kuin esimerkkikohteen laatussa, mutta todellisuudessa betonin lujuus olisi suurempi. Sähkönjohtavuus taas ottaisi huomioon sen, että vettä on haihtunut betonin sisältä paljon ja lujuus on tämän myötä kasvanut.

Molemmat tavat mitata lujuudenkehitystä työmailla perustuvat testattavan betonimasan reseptin koekappaleesta mitattuihin arvoihin. Lujuudenkehityksen seuranta sähkönjohtavuuteen perustuvalla mittaamisella on todenmukaisempaa kuin kypsyysikään perustuva mittaaminen. Lämmityskaapeleiden ja peitteiden käyttö sekä muotin paikka ja sääolosuhteet vaikuttavat osaltaan lämpöjenkehitykseen ja näin ollen myös hieman lujuudenkehitykseen kypsyysiällä mitattuna. Sadgroven-menetelmä on rakennettu siten, että se kompensoi olosuhteiden vaikutusta, mutta ei tarpeeksi verrattuna sähkönjohtavuuteen perustuvaan lujuudenkehitykseen. Sähkönjohtavuuteen perustuvaan lujuudenmittausmenetelmään ei vaikuta ulkopuoliset tekijät, vaan pelkästään betonin sisällä vallitseva kosteus.

## 6.2 Virhetekijät

Lujuudenkehityksen seuranta sähkönjohtavuuden avulla ei ole kuitenkaan vielä niin tarkkaa, kuin se voisi olla. Seuraavaksi listaan asioita, jotka aiheuttavat virheitä lujuudenkehityksen arvoihin. Koekappaleet ovat lähes aina ihmisen tekemiä ja inhimillisiä virheitä sattuu melko usein. Esimerkiksi yksi huonosti tiivistetty koekappale vaikuttaa lujuudenkehityksen arvoihin, jos tämän koekappaleen puristustulos syötetään kalibrointikäyrälle. Huono tiivistys tai betonin kovettumisen häiritseminen, esimerkiksi kova tärinä koekappaleen kovettuessa heikentävät betonin loppulujuutta. Yhden testimassan kalibrointikäyrässä ei huomioda kuin kolme puristustulosta: 1, 7 ja 14 päivän ikäiset puristustulokset. Jo yksi virheellinen puristustulos vääristää kalibrointikäyriä, ja sillä taas on suora vaikutus lujuudenkehityksen arvoihin mitattaessa kyseistä betonia työmailla.

Toinen huomioni on se, että tällä hetkellä internetloggeri ei mittaa tuloksia kuin yhdestä tietystä pisteestä. Esimerkkikohteen paksulla pohjalaatalla (kuva 15) ei ole samaa sähkönjohtavuutta laatan sisäosissa kuin laatan pintaosissa. Nopeammin kuivuvat pintaosat ovat kovempia kuin hitaammin kuivuvat laatan sisäosat. Lujuus siis vaihtelee laatan eri osissa, ja tätä vaihtelua internetloggeri ei ota huomioon. Kolmas huomioni on loggerin mitta-anturin koko. Anturi mittaa sähkönjohtavuuden metallilankojen välistä, ja tämä väli on 3–4 millimetriä (kuva 11). Betoni ei välttämättä ole tasalaatuista valun jokaisesta kohdasta, jos se on huonosti tiivistetty työmaalla tai sitä on liian vähän sekoitettu betoniaseman myllyssä.



Anturin jäädessä paikkaan, joka ei ole kosteudeltaan sama kuin muualla valussa, voi lujuudenkehityksen arvoissa esiintyä virheitä. Betonin todellista lujuutta on haastavaa mitata tarkasti valuissa, betonin kehittyessä. Tämän hetkiset mittausmenetelmät perustuvat laboratorioissa tehtyihin koekappaleiden puristuskokeisiin. Internetloggerin lujuudenkehityksen mittaustuloksiin arvioin virhemarginaaliksi noin  $\pm 5$  megapascalialla käytettäessä mittausperusteena sähkönjohtavuutta. Käytettäessä kypsyyssikää mittausten perusteena arvion virhemarginaaliksi noin  $\pm 10$  megapascalialla. Virhemarginaalit ovat suuremmat seurattaessa betonin varhaislujuudenkehitystä alle kolmen päivän ikäisenä. Yli kolmen päivän ikäisenä valu on jo asettunut ja betonin lujuudenkehitys on lähtenyt kunnolla käyntiin. Perustan arvioni omiin tietoihin ja kokemuksiin betonin lujuudenkehityksestä sekä keskusteluihin kokeneiden betonialanammattilaisten kanssa.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

### 7.1 Internetloggerin parannusehdotuksia

Kehittämällä internetloggeria saadaan tulevaisuudessa tarkempia mittaustuloksia betonin lujuudenkehityksestä. Seuraavaksi esittelen parannusehdotuksia, joilla internetloggerin virhemarginaalia pystyttäisi pienentämään. Koko mittausmenetelmä perustuu kalibrointikäyriin (kuva 13), joten ne voisivat olla tarkempia. Kalibrointikäyrä voitaisiin tehdä kattavammin esimerkiksi kolmesta samalla reseptillä tehdystä massasta, joista kustakin tehtäisiin kolme koekappaleetta. Jokaisen massan koekappaleet puristettaisiin yhden, seitsemän ja neljäntoista päivän ikäisenä. Koekappaleiden puristustulokset syötettäisiin samaan taulukkoon (kuva 13), ja näin kalibrointikäyrä muodostuisi yhdeksästä puristustuloksesta, kolmen puristustuloksen sijasta. Taulukko (kuva 13) on muotoa puristustulosten arvot sähkönjohtavuuden arvojen funktiona. Tähän taulukkoon muodostuu siis yhdeksän mittapistettä, jonka keskiarvona kalibrointikäyrä piirtyisi.

Internetloggerin mitta-anturin kokoa voisi suurentaa. Sähkönjohtavuus mitataan tämän hetkisellä anturilla hyvin pieneltä alueelta. Metallilankojen väli on vain 3–4 millimetriä. Mielestäni olisi parempi muuttaa lankojen välimatkaa noin 40–50 millimetriin. Näin saataisiin mitattua kattavammalta alueelta betonin sähkönjohtavuutta. Tämän kokoisena anturi mahtuisi vielä koekappaleen sisään sekä muottiin raudoitusten väliin

koskettamatta niitä. Internetloggerissa on paikka vain yhdelle mitta-anturille (kuva 9). Mielestäni paikkoja pitäisi tehdä vielä kaksi kappaletta lisää. Tällöin yksi internetloggeri voisi mitata arvoja samanaikaisesti kolmesta eri pisteestä valun sisällä. Esimerkkikohteen laatussa (kuva 15) olisi voitu mitata samanaikaisesti lujuudenkehitystä sekä laatan pinta- ja pohjaosista että keskeltä laattaa. Näin pystyttäisiin seuraamaan laatan lujuudenkehitystä eri kohdista ja saataisiin kattavampaa lujuudenkehityksen seuranta.

## 7.2 Internetloggerin hyödyt

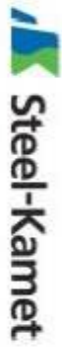
Internetloggeri helpottaa laadunvalvontaa betoniasemilla sekä työmailla. Tavalliset loggerit pitää hakea muoteista pois, ottaa tiedot johtoa pitkin tietokoneelle ja viedä takaisin suorittamaan mittausta. Internetloggerin avulla tiedot lämpötiloista ja lujuudenkehityksestä näkyvät suoraan internetistä. Lisäksi tiedot dokumentoituvat Consensorin sivuille, josta ne pystytään tulostamaan Excel-taulukkoon tietokoneen kovalevyille. Laadunvalvonta helpottuu, dokumentointi on järjestäytyneempää ja turhat työmaakäynnit poistuvat.

Suuri osa rakentajista purkaa muotit noin kahden viikon päästä valusta. Purku aika perustuu lähinnä kokemukseen. Internetloggerin lujuudenkehityksen seuranta perustuu kypsyysiän lisäksi sähkönjohtavuuteen. Pientämällä virhemarginaalia edellä mainituin keinoin voidaan sähkönjohtavuuteen perustuvalla mittaamisella päästä hyvinkin tarkkoihin tuloksiin lujuudenkehityksestä. Virhemarginaalin ollessa pieni voitaisiin muotit purkaa ilman riskejä aikaisemmin. Jos muotit päästään purkamaan aikaisemmin, voidaan esimerkiksi betonilaatan päälle päästä rakentamaan aikaisemmin. Isoilla työmailla päivänkin voitto aikataulussa voi tuoda suuria säästöjä.

Jatkotutkimusaiheeksi soveltuisi hyvin internetloggerin käyttäminen työmaan näkökannalta sekä Consensor sivujen ja internetloggerin yhteistoiminnan kehittäminen betonin lujuudenkehityksen seurannassa.

## LÄHTEET

- Betoniteollisuus ry 2012. Mitä betonin valmistuksessa tapahtuu? Saatavissa: <http://www.betoni.com/fi/Tietoa+betonista/Perustietopaketti/Mit%C3%A4+betonin+valmistuksessa+tehd%C3%A4n/>. [Viitattu: 6.3.2012.]
- Consensor 2012. Saatavissa: <http://www.consensor.eu/>. [Viitattu: 21.3.2012.]
- Humitec Oy 2012. Testo 176-H1. Saatavissa: <http://www.humitec.fi/loggerit.html> [Viitattu: 21.3.2012.]
- Kirjonen, T. 2011. Vesi- sementtisuhteen ja sementtimäärän vaikutus betonin lujuuteen kahdella eri sementillä. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.
- Neville, A.M. 1995. Properties of concrete. 4th edition. Harlow: Pearson
- Rudus 2012. Talvibetonointi. Saatavissa: <http://www.rudus.fi/aineistot/ohjeet>. [Viitattu: 16.3.2012.]
- Ruskon Betoni Oy 2011. Ruskon Betoni Oy. JS SUOMI OY.
- Suomen Betoniyhdistys ry 2011. Betonitekniikan oppikirja 2004 BY 201. Lahti: ESA Print Oy.
- Suomen Betoniyhdistys ry 2004. Betoninormit 2004 BY 50. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Keskustelut Mikko Vasaman kanssa 2012.



Steel-Kamet

**Annosraportti**  
Valmistaja Ruskon Betoni, Kotka

Aloitettu 24.1.2012 7:59:04  
Valmistunut 24.1.2012 8:04:16

Resepti 113 L30 S3 H16 Rap  
Perhe Perhe 1 Normaalit ja nokkistetut  
Tilaus 1201230007

Esisekoitusaika 15 s  
Sekoitus aika tav/tot 75 / 67 s  
Sekoitusleho 31,5 kW  
Notkeus tav/tot / 42  
Lämpötila tav/tot 29 / 24 °C  
Koko tav/tot 2,67 / m<sup>2</sup>  
Vesi-sementti suhde tav/tot 0,60 / 0,59  
Kloridipitoisuus max/tot 1,0 / 0,0 %

Annos sno 2/3  
Kuorma sno 2780  
Sekoitin 1  
Auto 2 Jordman

Lujusluokka K30  
Notkeusluokka S3  
Rasitusluokat XC3  
Puristusluokka  
Rakeisuus 16 mm  
Arvostelutka 28 vrk

Koekappale  
Asiakas 234 Laatu-rakentajat J.Yrjönen  
Työmaa Laatu-rakentajat J.Yrjönen Oy,

## Annostukset

Materiaali	Tarve	Saatu	- [%]	+ [%]	Ero [%]	Tol. virhe	Annostus AM	Tilavuus [m <sup>3</sup> ]	Abs. vesi [kg]	Kosteus [%]	Siiilo [°C]	Vaaka [°C]	Rahtikirjat
Filleri	110 kg	108 kg	-2,0	2,0	-1,8		A	0,040	6	5,3	23,0		
8-16	896 kg	991 kg	-2,0	2,0	10,6	X	A	0,371	22	2,2	25,0		
0-8	3916 kg	3838 kg	-2,0	2,0	-2,0		A	1,427	180	4,7	25,0		
CEM I 42,5R	480 kg	480 kg	0,0	2,0	0,0		A	0,155			(10,0)		200005293625
CEM II/B-M 42,5N	417 kg	419 kg	0,0	2,0	0,5		A	0,135			(10,0)		0667469
VB Parmix	7,97 kg	7,97 kg	0,0	5,0	0,0		A	0,008			(12,0)		
Ilma Parmix	4,28 kg	4,28 kg	0,0	5,0	0,0		A	0,004			(14,0)		
Vesi	15 kg	20 kg	0,0	2,0	33,3	X	A	0,020			(10,0)	56,5	
Vesi	300 kg	300 kg	0,0	2,0	0,0	X	A	0,300			60,0	56,5	
Huuhelivesi	2 kg	2 kg	0,0	100,	0,0		A	0,002			(10,0)		

Betonointisuunnitelma

Liite 2.

