



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# ONTELOLAATTABETONIN KEHITTÄMINEN IC- TESTERIN AVULLA

TEKIJÄ/T: Juuso Rautiainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Juuso Rautiainen			
Työn nimi Ontelolaattabetonin kehittäminen IC-testerin avulla			
Päiväys	15.11.2013	Sivumäärä/Liitteet	37
Ohjaaja(t) Matti Mikkonen, lehtori Juha Pakarinen, lehtori			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Lujabetoni Oy Tuomo Kovanen, Kehityspäällikkö Perttu Ruuska, Kehitysinsinööri			
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää ontelolaattabetonia Lujabetoni Oy:lle IC-testerin avulla. Kehitystyössä käytettiin IC-testeriä hyödyksi ensiksi testattavaa, tuotannossa olevaa ontelolaattabetonia tarkasteltaessa. Olemassa olevaan betoniin yritettiin saada parannusta käyttämällä kehitystyössä IC-testeriä uusien betonireseptien työstettävyyden selvittämiseen. Lopullisia tuloksia vertailtiin tuotannossa olevaan betoniin.</p> <p>Työ aloitettiin toukokuussa 2013 tutkimalla kehityksessä käytettävää IC-testilaitteistoa valmistajan ja Lujabetonin tekemästä ohjekirjasta, tämän jälkeen siirryttiin tarkastelemalla tuotannossa olevan betonin ominaisuuksia, kuten tiheyttä, lämpötilan kehitystä ja lujuutta. Kun riittävät tulokset oli saatu, aloitettiin uusien betonireseptien kehittäminen ja testaus IC-tester nimisellä kokoonpuristuvuuslaitteella. Laite määrittäi maakostean betonin tiheyden ja pastahäviön. Massasta otettiin koekappaleet ja ne laitettiin lämpölaatikoihin lujuusreaktion kiihdyttämistä varten. Lujuustestejä tehtiin 8 ja 24 tunnin ikäisille koekappaleille sekä 28 päivän ikäisille koekappaleille.</p> <p>Vertailun vuoksi tehtiin uuden ja tuotannossa olevan betonin lujuus- ja tiheystesteistä taulukko sekä lämpötilaseurannasta kaavio, jotta pystyttiin vertailemaan massoja keskenään. Opinnäytetyö on hyödynnettävissä ontelolaattabetonin ja muiden maakosteiden betonien kehitystyössä, käytettäessä IC-testeriä.</p>			
Avainsanat IC-testeri, lujuus, mittaus			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Juuso Rautiainen			
Title of Thesis Developing hollow-core slab concrete with IC- tester			
Date	15 November 2013	Pages/Appendices	37
Supervisor(s) Mr. Matti Mikkonen, Lecturer Mr. Juha Pakarinen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Lujabetoni Oy Mr. Tuomo Kovanen, Development Director Mr. Perttu Ruuska, Development Engineer			
Abstract <p>The aim of this thesis was to develop concrete for hollow-core slabs for Lujabetoni Ltd by using an IC tester. For developing the system an IC tester was used to view the production of the concrete of hollow slab. The intension was to improve the workability of new concrete recipes by using the IC tester. The final results were compared with the concrete being produced.</p> <p>The work was started in May 2013 by investigating the development of the IC device by reading the manufacturer's and Lujabetoni's manuals and then the properties of concrete such as density, temperature and strength development were studied. When the adequate results were received developing of the new concrete recipes were started and they were tested with the IC tester. The device determined the frequency of earth-moist concrete and pasta loss. Samples from the mixture were taken and placed in heat boxes for accelerating the reaction. The strength tests were performed on the samples.</p> <p>The samples of the tests were compiled in a chart to compare the properties of the concretes. The results of this thesis can be utilized in the development of concrete of hollow-core slabs and other earth-moist concretes when using the IC tester.</p>			
Keywords IC-tester, strength, measurement			

## ESIPUHE

Haluan kiittää Lujabetoni Oy:tä mahdollisuudesta osallistua tuotekehitykseen valtakunnallisesti suuressa betonituotanto yrityksessä. Erityisesti haluan kiittää Lujabetonin Siilinjärven tehtaalla olevia työntekijöitä, jotka ovat ottaneet minut hyvin vastaan työntekijänä ja auttaneet minua työn aikaansaamiseksi. Kehitystyö olisi ollut mahdotonta toteuttaa ilman hyvää ja joustavaa yhteydenpitoa kehitysinsinööri Perttu Ruuskan kanssa.

Haluan kiittää tyttöystävääni, vanhempiani ja ystäviäni kovasta kannustuksesta ja tuesta koko projektin aikana, ilman teitä tekisin vieläkin tätä.

Kuopiossa 2013

Juuso Rautiainen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Tausta ja tavoitteet .....	7
1.2	Opinnäyteyön tilaaja .....	7
2	BETONI .....	8
2.1	Betoni rakennusaineena .....	8
2.2	Sementti .....	9
2.3	Kiviaines .....	10
2.4	Vesi.....	10
2.5	Lisäaineet .....	11
2.5.1	Notkistimet .....	11
2.5.2	Huokostimet .....	11
2.5.3	Hidastimet.....	12
2.5.4	Muut lisäaineet .....	12
2.6	Seosaineet.....	12
2.6.1	Masuunikuona .....	13
2.6.2	Silika.....	13
2.6.3	Lentotuhka .....	13
3	ONTELOLAATTA.....	14
	Ontelolaattatyypin käyttökohteet.....	15
4	KEHITYKSESSÄ KÄYTETTÄVÄ LAITTEISTO.....	17
4.1	IC-testeri.....	17
4.1.1	Ominaisuudet .....	17
4.2	Betonimyly .....	18
4.3	Digitaalinen lämmönseurantalaite .....	18
4.4	Puristuslujuuden määrittäjä .....	19
4.5	Vaaka .....	20
4.6	Rikityskammio.....	20
4.7	Kannettava tietokone .....	21
4.8	Mikroaaltouuni.....	21
5	KEHITYKSESSÄ KÄYTETTÄVÄT MENETELMÄT .....	23
5.1	Toteutus .....	23

5.2	IC-testerin käyttö tuotannon betonin testaukseen.....	23
5.3	Lämpötilan seuranta betonin lujuudenkehityksessä.....	24
5.3.1	Betonin lujuuden kehitys.....	24
5.4	Puristuslujuuden määrittäminen.....	25
5.4.1	Puristuslujuuden merkitys.....	26
5.5	Betonimassan valmistus.....	26
5.6	IC-testerin käyttö uusien reseptien testaukseen.....	27
5.7	Kosteuspitoisuuden määrittäminen.....	27
5.7.1	Kosteus betonissa.....	27
6	KEHITYKSEN TULOKSET.....	29
6.1	Tuoreen tuotannossa olevan betonin testaus IC-testerillä.....	29
6.2	Lämmönkehitys tuotannossa olevalla betonilla.....	30
6.3	Puristuslujuus tuotannossa olevalla betonilla.....	31
6.4	Uuden betonin testaus IC-testerillä.....	31
6.5	Uusien reseptien runkoaine testit IC-testerillä.....	32
6.6	Betonin todellisen vesimäärän arviointi mikrokuivatuksella.....	32
6.7	Lämmönkehitys uudelle betonille.....	33
6.8	Puristuslujuus uudella betonilla.....	34
7	POHDINTA JA YHTEENVETO.....	35
	LÄHTEET.....	36
	LIITTEET.....	37
	LIITE 1 PAINO-KORKEUS-TIHEYSKAAVIO.....	37
	LIITE 2 IC-TESTERI OHJEKIRJA.....	37
	LIITE 3 KEHITETYT BETONIRESEPTIT JA TULOKSET.....	37

**LIITTEITÄ EI JULKAISTA**

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Tausta ja tavoitteet

Opinnäytetyö projektini sai alkunsa vuonna 2013 keväällä siitä kun sain tiedon Lujabetoni Oy:n Siilinjärven tehtaan työntekijältä mahdollisesta opinnäytetyön ohjaajasta. Tästä innostuneena olin yhteydessä tähän henkilöön ja hän olikin heti innostuneena tarjoamassa minulle kyseistä aihetta betonin testaukseen. Aluksi olin hiukan mieteliäs asia suhteen, koska kuulin että materiaalia työhön ei ole saatavissa enempää kuin Lujabetonin tekemästä Intensive Compaction Tester ohjekirjasta ja valmistajan omasta ohjekirjasta. Tästä kuitenkin en paineita ottanut vaan olin innostuneena mukana.

Opinnäytetyön tavoitteena on testata ja kehittää Siilinjärven tehtaalla valmistettavan 320 millimetriä paksun ontelolaatan betonireseptiä Intensive Compaction Testerin eli myöhemmin käytettynä IC-testerin avulla. Ontelolaattabetonille tehtäviä kokeita ovat sen kokoonpuristuvuus eli tiheys maakosteana optimoidulla paineella, massan kovettumisen seuranta lämpötilan perusteella ja puristuslujuuden määrittäminen kuivuneelle betonille. Testejä on tarkoitus tehdä useana päivänä, jotta saadaan mahdollisimman paljon tuloksia tietystä betonilaadusta. Onnistuessaan työn tuloksia hyödynnetään jatkossa ontelolaattabetonituotannossa ja muussa maakostean betonin kehityksessä.

### 1.2 Opinnäytetyön tilaaja

Opinnäytetyön on tilannut Lujabetoni Oy. Lujabetoni Oy on osa Luja-yhtiöitä, joka kuuluu yhdeksi Suomen suurimmista rakennusalan konserneista. Lujabetonin liikevaihto vuonna 2012 oli 126 miljoonaa euroa ja henkilöstömäärä oli 674. Lujayhtiöt ovat saaneet alkunsa Felix Isotalon perustettua tehtaan Siilinjärvelle vuonna 1953 ja se toimii jo kolmannessa polvessa tänä päivänä. Lujan konserniin kuuluvat Lujabetonin lisäksi Lujatalo Oy ja Fescon Oy. Lujabetoni on suomen kolmanneksi suurin betoniteollisuusyritys sisältäen 20 tehdasta Suomessa ja kaksi sisaryhtiöllä Ruotsissa ja kolme sisaryhtiöllä Venäjällä. Konsernin liikevaihto vuonna 2012 oli 434 miljoonaa euroa, kasvua liikevaihtoon vuodesta 2011 tuli 8 miljoonaa euroa. Yhtiön henkilöstömäärä on noin 1600. Luja konserni tarjoaa asiakkailleen asunto- ja toimitilarakennuspalveluita, korjaus- ja uudisrakentamista, betonituotteita (paalut, laatat, ratapölkkyt, harkot), valmisbetonia, betonielementtejä (laatat, seinäelementit) sekä kivitopalopaketteja. (Lujabetoni. Yhtiöstä.)

Siilinjärven tehtaat ovat Lujabetonin suurin yksikkö, siellä tehdasalue on peräti 20 hehtaarin laajuinen. Tehtaassa valmistettavia päätuotteita ovat runkoelementit, seinätuotteet, TT-laatat, ontelolaatat, ratapölkkyt, valmisbetoni ja maatalouselementit. (Lujabetoni. Siilinjärvi.)

## 2 BETONI

### 2.1 Betoni rakennusaineena

Betonin raaka-ainetta, sementin kaltaista sideainetta on osattu valmistaa jo pyramidien rakennusaikaan, silloin sideaineena oli tutkimusten mukaan poltettu kipsi. Muinaisessa Kreikassa osattiin lisätä poltettuun kalkkiin vulkaanista tuhkaa, tekemällä niin on saatu aikaan sideaine, joka reagoi veden avulla niin että se kovettui myös vedessä ollessaan. Betonilla on suuri merkitys muinaisen rakennustaiteen kanssa ja sitä käytetty eniten rakennusmateriaalina maailmassa. (Suomen Betoniyhdistys 2004, 15.)

Betonia käytetään nykypäivänä erittäin laajasti monessa eri rakennuskohteessa. Kantavaksi rakenteeksi tehtävissä rakenteissa se on tärkein rakennusmateriaali, sillä saadaan aikaan hyvä lujuus, kestävyys ja se on turvallinen käyttää. Betonille määritetään rasitusluokka sen käyttökohteen ja ympäristövaikutusten mukaan. Betonista tehdään erilaisia elementtejä ja sitä valetaan paikallavaluna. Yleisin ja tärkein käyttökohte on talonrakennus, siinä sitä käytetään runkomateriaalina, ala-, ylä- ja välipohjiin, julkisivuihin, sekä muihin taloa ympäröiviin rakennelmiin. Betonin muita käyttökohteita ovat ratapölkkyt, sillat ja viemärit infrarakentamisessa, myös muita vähemmän tunnettuja käyttökohteita on kuten maataloudessa tarvittavat lietesäiliöt ja laakasiilot. (Lujabetoni. Asuntorakentaminen; Toimitilarakentaminen; Infrarakentaminen.)

Kun puhutaan betonista, moni olettaa sen olevan valmiiksi pussista tulevaa ainetta. Näin ei kuitenkaan ole, vaan betoni koostuu kiviaineksesta, sementistä ja vedestä, mahdollisesti myös seos- ja lisäaineista. Sideaineena betonille yleensä toimii sementti ja sementin yhteydessä lisättävät seosaineet. Sementin ja seosaineiden suhteita muutamalla saadaan betonille sille halutut ominaisuudet esiin, näitä voivat olla työstettävyys, kestävyys ja kuivumisnopeus. Betoni valmistetaan myllyllä, olipa kyseessä valmisbetoni tai elementtibetoni. Valmistuksessa käytettävään myllynkokoon vaikuttaa ratkaisevasti haluttu betonin määrä. Tuotantolaitoksissa pyritään optimoimaan tarvittava betonimäärä lyhyessä ajassa, sen määrää betonin käyttäytyminen tietyillä suhteutuksilla, mitä jäykempi massa sitä nopeammin se on saatava käyttöön sen nopean kovettumisen takia. Kotioloissa betonia valmistetaan ns. käsimyllyssä, jonka tilavuus on normaalisti  $\pm 0,1 \text{ m}^3$ , kun taas valmisbetoniaseamalla notkean betonin valmistuksessa käytettävään myllyyn mahtuu jopa  $8 \text{ m}^3$ . (Betoniyhdistys 2004, 31, 298.)





Kuva 1. Teollisuudessa käytettävä betonimylly. Kuva Juuso Rautiainen

## 2.2 Sementti

Sementti valmistetaan sen pääraaka-aineena olevasta kalkkikivestä saatavasta kaliumkarbonaatista, lisäksi piioksidista, rautaoksidista ja alumiinioksidista, joita saadaan louhinnan sivutuotteena olevista kivistä. Sementti raakajauhetaan kuulamyllyssä kun tarvittava määrä raaka-aineita on hankittu, tämän vaiheen jälkeen aineet laitetaan uuniin jossa yhdisteet tuottavat yhteisvaikutuksesta kalsiumia ja sintraantuvat sementtiklinkkeriksi, kun tuotteen lämpötila nousee +1 400 °C. Tässä vaiheessa klinkkeri muistuttaa soraa karkeassa muodossa. Rakennusteollisuudessa käytettävät sementit valmistetaan jauhamalla klinkkeriä, seosaineita ja kipsiä. Kipsin tarkoitus raaka-aineiden reagoinnissa on säätää sementin sitomisaika. Sementin ominaisuuksia säädellään suhteita säätämällä, jauhon hienojakoisuudella ja klinkkerin koostumuksella. Sementille on määrätty sementtistandardi SFS-EN 197-1, jossa määritellään tavallisten sementtien koostumus- ja laatuvaatimukset. (Finnsementti... Valmistus)

Tärkein ominaisuus sementillä on miten se reagoi veden kanssa liimaksi, mikä tekee sementistä liukenemattoman materiaalin. Betonissa tätä reaktiosta syntyynyttä liimaa kutsutaan sementtikiveksi. Sementtiä ja vettä sekoitettaessa aiheutuu reaktio, jossa seos on aluksi notkea, hetken kuluttua notkeus katoaa ja pasta alkaa hyytelöityä, tästä seuraa sementin sitoutuminen eli se kovettuu ja menettää muokattavuuden. Sitoutumisaika riippuu siitä, mitä sementin joukkoon on laitettu ja kuinka hienoa sementtijauhe on. Lämpötilalla on myös suuri vaikutus sitoutumiseen, kun lämpötila nousee 10 °C, voidaan pitää nyrkkisään-

tönä että sitoutumisaika pienenee puoleen. Kylmä ilma hidastaa oleellisesti kriittisimmän vaiheen, eli lujuuskehityksen alun sitoutumista ja siksi kylmillä keleillä on syytä varmistaa että käytössä on nopeasti kovettuvaa sementtiä tai vaihtoehtoisesti lämmintä betonimassaa. (Suomen betoniyhdistys 2004, 50 - 51.)

### 2.3 Kiviaines

Betonissa eniten käytettävä osa-aine on kiviaines, tämän osuus betonin valmistuksessa on 65...80 %. Tästä johtuen kiviaineksilla on suuri merkitys betonin ominaisuuksiin. Kiviaineksi käy periaatteessa melkein mikä tahansa materiaalia, joka on tarpeeksi luja, tiivis ja rakeinen, kunhan se vaan ei vaikuta sementin reagointiin veden kanssa, eikä huononna betonin säilyvyyttä. Kiviaineksen hankinnassa tulee huomioida, että sitä on riittävästi saatavilla. Niiden kuljetus- ja hankintakustannukset pysyvät kohtuullisina, koska sen tarve betonin valmistuksessa on niin suuri. (Suomen betoniyhdistys 2004, 30.)

Yleensä kiviaines otetaan luonnon omista kiviaineista, joita normaalisti ovat kevyet, vulkaaniset ja raskaat, malmipitoiset kivet. Luonnosta saatava kiviaines on joko luonnon muokkaamassa tilassa tai se murskataan mekaanisesti. Kiviaineina betonissa voidaan käyttää myös tiilimurskaa, kevytsoraa, uusiokäyttöön murskattua betonia, lentotuhkaa tai masuunikuonaa eri muodoissa. Suomessa yleisimmin käytetty kiviaines on graniittipohjaisista luonnonkiveä, jota murskataan yleensä mekaanisesti. Betonissa käytettävä kiviaines tulee olla betonilta vaadittavaan käyttöön soveltuvaa, eikä se saa olla rapautunutta, se ei saa sisältää haitallisia aineita, jotka vaikuttavat tuoreeseen tai kovettuneeseen betoniin tai sen raudoitukseen huonontaan betonin ominaisuuksia. Kiviaineiden on oltava puhtaita, eivätkä ne saa sisältää lunta tai jäätä. (Suomen betoniyhdistys 2004, 31.)

Betonin valmistuksessa käytettävä kiviaines tulee olla SFS- EN 12620 mukaan standardoitu. Kiviaines on oltava CE-merkittyä ja tarkastettua. Kiviaineena voidaan myös käyttää ilman CE- merkintää olevia kiviaineksia, mutta tästä on oltava todistus ympäristöministeriön hyväksymältä tarkastajalta. Tarkastaja tarkastaa että kiviaineksien puhtaus, rakeisuus, kosteus, tiheys, vedenimukyky ja muut betonin laatuun vaikuttavat tekijät ovat standardien määräämällä tasolla. (Suomen betoniyhdistys 2004, 31.)

### 2.4 Vesi

Betonin valmistuksessa on käytettävä yleensä puhdasta juomakelpoista vettä tai vettä joka näyttää puhtaalta ja ei haise. Humuspitoisia suovesiä ja teollisuuden käyttämiä vesiä niiden epäpuhtauksien takia ei voi käyttää ilman tarkempia tutkimuksia, koska esimerkiksi suovedet ovat happamia ja sisältävät usein sulfideja ja sulfaatteja. Käytettäessä suovettä betonin valmistuksessa, saa se aikaan todennäköisesti sen että betoni ei kovetu lainkaan veden

happamuudesta johtuen. Pienikin määrä(0,1 %) sokeria vedessä tai tuoreessa betonissa saa aikaan sen että betoni ei kovetu. Betonin valmistuksessa ja jälkihoidossa tulee käyttää sellaista vettä joka ei sisällä klorideja enempää kuin 0,03 painoprosenttia, koska kloridit voivat vaikeuttaa sementin hydratoitumista. Saman saavat aikaan myös öljyt ja rasvat. Ne saattavat kiinnittyä sementtihiukkasten pinnalle estäen reaktion kulun tai heikentävät tartuntaa runkoaineisiin tai ne voivat tuoda ylimääräistä ilmaa betoniin.

Veden laatua epäiltäessä on syytä tehdä tarvittavat testit veden kelpoisuudesta. Testejä on kaksi, ennalta tehtävä sitoutumiskoe, jolla arvioidaan veden käyttökelpoisuus. Toinen testi on tarkka veden kemiallinen analyysi. (Suomen betoniyhdistys 2004, 62 - 63.)

## 2.5 Lisäaineet

Lisäaineita käytettäessä betonista saadaan esiin sen tarvittavat ominaisuudet. Näitä voivat olla betonin kovettumisen nopeuttaminen/hidastaminen, pakkasenkestävyys ja lujuuden lisäys. Lisäaineita käytetään määränä vähän verrattuna muihin osa-aineisiin betonin valmistuksessa. (Suomen betoniyhdistys 2004, 63.)

### 2.5.1 Notkistimet

Notkistinta käytetään kun halutaan notkistaa betonia tai vähentää vedenmäärää, tällä saadaan aikaan se että betonin työstettävyys paranee ja sen loppulujuus nousee. Samalla saadaan betonille lisää tiivyyttä ja säilyvyyttä. Notkistavat lisäaineet vähentävät betonin valmistuksessa tarvittavaa veden määrää 5...30 % ilman että sen työstettävyys heikkenee. Notkistimien toimivuus riippuu notkistinlaadun ja -määrän lisäksi myös sementistä ja sen määrästä, seosaineista, hienoainesmäärästä, lämpötilasta ja sekoitustehosta. (Finnsementti... Notkistimet; Suomen betoniyhdistys 2004, 65.)

### 2.5.2 Huokostimet

Huokostimet lisäävät betonimassan sekoituksen aikana pysyviä pieniä ilmahuokosia. Näiden huokosten tehtävä on suojata betonia siihen tunkeutuvalta vedeltä niin että vesi pääsee laajenemaan ilman että se rikkoisi betonia. Vesi laajenee jäätyessään noin 9 %. Huokostimia käytetään betonissa silloin kun siltä vaaditaan pakkasenkestävyyttä. Huokostimen käyttö vähentää veden tarvetta ja lisää työstettävyttä ja koossapysyvyyttä betonissa. Betonille tehtävä pakkasenkestävyyden testaus huokostinta käytettäessä tehdään jäädytys-sulatus- tai pakkassuolakokeilla. (Finnsementti... Huokostimet; Suomen betoniyhdistys 2004, 66.)

Huokostinta ja notkistinta yhdessä käytettäessä on ongelmallista se että ne eivät sovi keskenään yhteen, monet notkistavat lisäaineet joko ajavat huokokset pois betonista tai estävät niiden synnyn kokonaan. Jos kuitenkin on tarvetta käyttää notkistinta huokostimen kanssa, niin käytettäväksi suositellaan melamiinipohjaisia notkistimia. Vaikutusta on myös aineiden sekoitusjärjestyksellä huokostuksen onnistumiseen. Huokostuksen vaikutuksia voidaan tutkia mikroskooppisesti pinta- tai ohuthiekappaleista tai esimerkiksi tuoreen betonin huokosjakoa mittaavalla AVA- laitteella. (Suomen betoniyhdistys 2004, 67.)

### 2.5.3 Hidastimet

Hidastinta käytetään kun halutaan lykätä betonin sitoutumista eli kuivumisaikaa. Hidastimen tarve on suuri kun betonin kuljetusmatkat ovat pitkät, lisäksi kohteet, missä ei haluta työsaumoja on käytettävä hidastinta. Lämpötila vaikuttaa hidastimen tarpeeseen erityisesti lämpimällä säällä, tällä saadaan lisää aikaa betonin muokattavuudelle. Ongelmana hidastimen käytössä on se, että sillä ei saada estettyä betonin notkeuden menetystä, sekä se siirtää, eikä pienennä maksimi hydrataatiolämpötilaa rakenteessa. (Suomen betoniyhdistys 2004, 67.)

Hidastimien tarve sideaineiden tarpeesta on 1...3 %. Hidastinta annosteltaessa vaikuttavat tekijät ovat lämpötila, sementti, seosaineet ja haluttu hidastusaika. Betonille on aina tehtävä ennakkokoe määriä muutettaessa. On selvää että hidastinta ei käytetä vuoden viileimpinä aikoina, koska alhainen lämpötila hidastaa sitoutumista. (Suomen betoniyhdistys 2004, 67.)

### 2.5.4 Muut lisäaineet

Muita betonin valmistuksessa käytettäviä lisäaineita ovat; pigmenttijauheet, jotka koostuvat rautaoksidista. Kiihdyttimet, jotka nopeuttavat sitoutumista tai kovettumista, käytetään muottien purkamisen tai jäätymslujuuden saavuttamisen nopeuttamiseksi. Tiivistys-, injektointi ja tartunta-aineet, joiden käyttö on vähäistä. (Finnsementti... Pigmentit; Suomen betoniyhdistys 2004, 68.)

## 2.6 Seosaineet

Käytössä olevia seosaineita ovat masuunikuona, silika ja lentotuhka, niitä käytetään betonin side- tai runkoaineina. Seosaineet vaikuttava eritavoin betonin ominaisuuksiin, niitä voivat olla lujuuden kehitys tai työstettävyys. (Suomen betoniyhdistys 2004, 59.)

### 2.6.1 Masuunikuona

Masuunikuona on raakaraudan valmistuksessa syntyvä emäksinen aine. Sitä saadaan kun rautasulatte jäähdytetään veden avulla, syntyy lasimaista ns. granuloitua kuonaa. Granuloitu kuona jauhetaan ja siitä tulee masuunikuonaa. Masuunikuona on piilevästi hydraulinen sideaine. Kuonan hydrauliseen aktiivisuuteen vaikuttavat emäksisyys, jauheen hienojakoisuus ja lasimaisuus. Masuunikuona kehittää lähes yhtä paljon lujuutta kuin sementtiklinkkeri. Masuunikuonaa käytetään etenkin massiivisissa betonivaluissa, johtuen sen kyvystä tuottaa vähemmän lämpöä kuonan lujuusreaktiossa. (Finnsementti...Masuunikuona)

### 2.6.2 Silika

Silika syntyy piiraudan valmistuksen yhteydessä tulevista savukaasuista. Silika on pozzolaani, tästä johtuen se reagoi sementin kalsiumhydroksidin kanssa tehden kalsiumsilikaatti-hydraattia, joka on sementinkiven kaltainen yhdiste. Silika käytettäessä tulee huomioida, ettei käytä muita veden tarvetta lisääviä lisäaineita, koska silika lisää sitä jo itsessään. Silika käytetään kun halutaan lisätä betonin lujuutta, parantaa kemiallista kestävyyttä, koossapysyvyyttä, tiivyyttä ja vedenpitävyyttä. Korkealujuuksista betonia tehtäessä on huomiotava että silika tekee massasta kittimäistä ja hankalasti muotoiltavaa, sementtimäärän ollessa suuri. Silikan annostusmäärä on testattava, mikäli käytetään muita lisäaineita samaan reaktioon. Betonin värisävyyden silika vaikuttaa tummentavasti. (Finnsementti...Silika; Suomen betoniyhdistys 2004, 60.)

### 2.6.3 Lentotuhka

Lentotuhka on kivihiilen poltossa syntyvän savukaasun sivutuote. Tuhka jaetaan kahteen luokkaan sen hiilipitoisuuden mukaan. A-luokan hiilipitoisuus on  $\leq 5\%$  ja B-luokassa vastaavasti  $\leq 10\%$ . Mitä pienempi hiilipitoisuus, sen parempi sitä on käyttää betonin valmistuksessa. Lentotuhkalla parannetaan betonin työstettävyyttä, koossapysyvyyttä ja myöhäislujuutta. Ongelmana lentotuhkaa lisätessä massan sekaan on että sen heikutushäviöt eli hiilipitoisuus vaihtelee paljon, eikä näin ollen tasaista betonilaatua saada kovin helposti. Lentotuhkaa voidaan käyttää betonissa kiviaineksena tai korvaamaan sementtiä. Kun lentotuhkalla korvataan sementtiä, tulee huomioida että betonin hydratoitumislämpötila pienenee ja se hidastaa sitoutumista ja lujittumista alhaisissa lämpötiloissa työskenneltäessä. Siispä sitä ei suositella käytettäväksi sementin korvikkeena talvibetonissa eikä lattiavaluissa, jos kuitenkin tarvetta ilmenee niin lämpökäsittely ennen valua nopeuttaa tuhkan reaktiota. Lentotuhka värjää betonin tummemmaksi riippuen annosmäärästä. (Suomen betoniyhdistys 2004, 59.)

### 3 ONTELOLAATTA

Ontelolaatta on yleisimmin käytetty elementtilaattatyyppi. Laattaa käytetään yleisesti holvissa tai välipohjissa, rakennettaessa betonirunkoisia toimisto- ja liikerakennuksia. Pienimpiä laattatyyppisiä, kuten ontelolaatan korkeuden ollessa 150–265 mm käytetään myös pientalotuotannossa. (Elementtisuunnittelu...Ontelolaatat)

Ontelolaatat ovat laattaelementtejä, jotka ovat esijännitetty usein seitsenlankaisin teräslankapunosin. Laatan sisällä kulkee onteloita laatan pituus suuntaan nähden. Ontelolaattojen vakiopaksumuksia ovat 150, 200, 265, 320, 370, 400 ja 500 mm. Ontelon muotoon vaikuttaa laatan korkeus ja onteloiden määrä. Ontelolaatan leveys on vakioitu 1 200 mm ja pituus saadaan asiakkaan toiveen mukaan aina 20 metriin asti. Laattojen valmistuksessa käytettävä betoni on lujuudeltaan C40-70. (Elementtisuunnittelu...Ontelolaatat)

Ontelolaattojen valmistuksessa käytetään varsinaisesti siihen tarkoitukseen tehtyä valukonetta, jota ohjaa kuljettaja kuvassa 2 näkyvää valulinjastoa pitkin. Kone valaa liukuvaluna pitkien terästä olevien valupeltien päälle niin jäykkää betonimassaa, että se pysyy kasassa ja pitää muotonsa ilman erillisiä muottilaitoja ja se kestää 80 kiloisen miehen kävelyn onteloiden välistä heti valukoneen mentyä. Valukone valaa 50 - 100 metriä valmista ontelolaattaa yhdellä kertaa. Ontelolaattoihin haluttavat reikävaraukset on tehtävä valun yhteydessä, ne lyödään vasaralla tai lekalla tuoreeseen valuun. (Elementtisuunnittelu...Ontelolaatat)

## Ontelolaattatyypin käyttökohteet

Laattatyypit valitaan yleisesti kantavuuden tai ääneneristyksen perusteella.

Taulukko 1. Ontelolaattojen tyypit ja käyttökohteet.

TYYPPI	KORKEUS (mm)	KÄYTTÖKOHDE
O15	150	Vähän käytössä oleva kevyt laatta, jonka käyttökohteita ovat pientalojen ala-, väli- ja yläpohjat.
O20	200	Pientaloissa eniten käytettävä laatta, sen käyttökohteet ovat ala-, väli- ja yläpohjat ja teollisuushallien vesikattorakenne. Laattaa käytetään märkätilojen lattiarakenteena siinä olevien onteloiden takia. Onteloihin on hyvä viedä viemäriputket. Tarvitaan vain kallistusvalu laatan päälle.
O27	265	Yleisin käytössä oleva ontelolaatta, jota käytetään rivitalojen ja asuinkerrostalojen yläpohjarakenteina. Välipohjissa käytettäessä vaatimukset asettavat seinänpaksuus, ääneneristyskaistaleen asennus ja pintabetonointi. Alapohja asettaa vaatimukseksi lämmöneristeen sijainnin laatan päälle.
O32	320	Yleisimmät käyttökohteet laatalle ovat liike- ja toimistorakennukset, voidaan käyttää myös kerrostalojen välipohjissa kun yläpuolelle tehdään kelluva lattia, tai halutaan lisätä ääneneristystä laatan alapuolelle.
O37	370	Laattaa käytetään usein asuinrakennuksissa ala- tai välipohjissa, koska se täyttää ääneneristysvaatimukset normaalilla laatan päälle tehtävällä lattiarakenteella.
O40	400	Käytetään yleisimmin toimisto- ja liikerakennuksissa, jos halutaan pitkiä jännevälejä. Se soveltuu myös teollisuus- ja varastorakennusten ala- ja välipohjiin hyvän kantavuutensa ansiosta. Käytetään myös siltarakentamisessa, pihakansissa ja pysäköintitaloissa.

(Elementtisuunnittelu...Ontelolaatat) Juuso Rautiainen.



Kuva 2. Ontelolaattalinjasto. Kuva Juuso Rautiainen



## 4 KEHITYKSESSÄ KÄYTETTÄVÄ LAITTEISTO

### 4.1 IC-testeri

IC- testeri(kuva 3) on maakostean betonilaadun työstettävyyden tarkasteluun kehitetty laite. Laitteen tarkoitus on puristaa 4 - 10 minuuttia vanha betonimassa sylinterin muotoiseksi ja määrittää massan tiheys. Laitetta käytetään esimerkiksi silloin kun halutaan kehitellä uutta betonilaatua tai tarkastella jo ennestään tuotannossa olevaa betonia. Laitteella havaitaan helposti laatupoikkeama, mikä aikaan saa sen että reseptiikkaa saadaan nopeasti muokattua raportoimalla asiasta välittömästi tuotantoon.



Kuva 3. IC-testeri. Kuva Juuso Rautiainen

#### 4.1.1 Ominaisuudet

IC-testeri on tietokoneen kanssa yhdessä toimiva paineilmakäyttöinen kone, jolla on tarkoitus puristaa betonimassaa halkaisijaltaan noin 100 mm olevaan lieriön muotoon ylämännän puristaessa ja alamännän pyöriessä samanaikaisesti, korkeuden jäädessä 100 mm:iin. Laite on korkeudeltaan noin yhden metrin ja leveydeltään noin 40 cm ja syvyydeltään 50 cm. Laite painaa 60 kg. Laitteen mukana tulee teräksinen sylinteri johon massa laitetaan, sekä sylinterin alahahloon ja yläpintaan sopivia teräslevyjä pitämään puristettava betonimassa irti puristavasta ylämännästä. Laitetta pidetään toimintakuntoisena öljymällä männät, sylinteri ja aluslevyt tarpeeksi usein, mutta vähintään kerran jokaisen käytön jälkeen. Laite syöttää mitattavansa puristuksen tietokoneelle sille tehdylle ohjelmalle. Tulosten perusteella

voidaan säätää koneen paineistusta 1 - 8 Barin välillä tai alamännän pyörimää kierrosmäärää (30 - 120/min), kun tiedossa on millaisia tiheysarvoja pitäisi saada kyseisellä massalla. Normaalin betonin tiheys on  $2400\text{g/m}^3$ .

## 4.2 Betonimylly

Betonimyllyllä sekoitetaan betoniin tarvittavat ainekset valmiiksi betonimassaksi. Tarvittavia aineita ovat sora, sepeli, hiekka, filleri, sementti, vesi ja mahdollisesti nestemäinen lisäaine, joka lisätään myllyn pyöriessä että se jakautuisi mahdollisimman tasaisesti massan sekaan. Betonimyllyjä on erikokoisia ja mylly on valittava sen mukaan kuinka paljon halutaan valmistaa massaa. Käytössä ovat suurempi teollisuusmylly tuotannossa olevan massan tarkasteluun. Kuvassa 4 on normaali betonimylly, jota käytetään testattavien massojen sekoituksessa ja yleiskoneena toimiva sekoitin uusien reseptien kokeilussa. Valmis sekoittunut massa valutetaan myllyn alaosassa olevasta poistoluukusta massan siirtoastiaan.



Kuva 4. Betonimylly. Kuva Juuso Rautiainen

## 4.3 Digitaalinen lämmönseurantalaitte

Lämmön tarkkailuun käytetään digitaalista lämmönseurantalaitetta. Laitteesta lähtevät lämpöanturit asetetaan lujutta testattavan kappaleen kanssa samaan muovipussiin, jossa se kirjaa omaan lokitiedostoon halutuun aikavälein antureiden päässä olevan lämpötilan, niillä tiedoilla tarkastellaan betonin lämpökehitystä. Laitteen tiedot saadaan luettua yhdistämällä se johdolla tietokoneen kanssa ja käyttämällä laitteen valmistajan ohjelmistoa. Tietoja voi-

daan siirtää taulukkolaskentaohjelmaan tiedostojen yhteensopivuuden ansiosta tarkempia analyysejä varten.

#### 4.4 Puristuslujuuden määrittäminen

Käytetään kappaleen puristuslujuuden selvittämiseksi laboratorion testiolosuhteissa. Puristuslujuus kertoo kuinka paljon kyseinen kappale kestänee sille aiheutuvaa puristusta. Koneeseen (kuva 5) syötetään tiedot kappaleen muodosta, painosta ja koosta, jolloin kone pystyy suorittamaan puristuskokeen juuri sille määritetylle kappaleelle. Kone syöttää saadut tulokset suoraan tietokoneelle, edellyttäen että tietokoneessa on yhteensopiva ohjelmisto laitteen kanssa ja se on kytketty päälle. Koneen suorittaessa lujuudenmäärittäystä on annettu ohjeet että ei saa olla välittömässä läheisyydessä betonikappaleen hajoamisvaaran takia.



Kuva 5. Puristuslujuuden määrittäminen (oik.) ja tarvittava laitteisto. Kuva Juuso Rautiainen

#### 4.5 Vaaka

Betonimassan haluttua määrää ja kuiva-aineita mitatessa käytetään vaakaa, joka punnitsee massan 0,1 gramman tarkkuudella. Vaaka on siirrettävää mallia ja siinä on taaraus mahdollisuus punnitus astian massan mitätöimistä varten. Vaa'an mittausalustalla on muovinen suojakalvo, jotta betonimassa on helppo puhdistaa siitä. Kuvassa 6 on työn toteutuksessa käytetty vaaka.



Kuva 6. Vaaka. Kuva Juuso Rautiainen

#### 4.6 Rikityskammio

Betonikappaleiden testausta varten käytetään juoksevaa rikkiseosta tasaamaan puristuslujuutta testattavan kappaleen puristuspinnoille. Rikkiseos sulatetaan kuvassa 7 nähtävässä kammiossa olevassa rikityspadassa kovettuneesta rikkiseoksesta sellaiseen lämpötilaan mikä katsotaan olevan riittävä aineen notkeuden suhteen. Rikityspataa vahditaan rikkiseoksen kuumenemisen aikana ja sitä on hämmennettävä välillä, näin estetään seoksen jämähtäminen padan reunoille ja saadaan kovettuneet palat liukenemaan sulaan seokseen. Kammiossa olevaa rikityspevyä käytetään koekappaleen rikityksen alustana. Rikityspevy tulee öljytä ennen kuin rikkiseosta kaadetaan alustalle, tämä estää kuivaneen seoksen kiinnijäämisen alustaan.





Kuva 7. Rikityskammio. Rikityspata (oik.) ja rikityslevy edessä. Kuva Juuso Rautiainen

#### 4.7 Kannettava tietokone

Tietokonetta käytetään IC-testerin, lämmönseurantalaitteen ja puristuslujuuden määrittämissä pariliitoksena ja tulosten kirjaamista varten. Ohjelmoina käytetään taulukkolaskentaohjelmaa, sekä laitteiden omia ohjelmistoja. Laitteiden omien ohjelmien tietoja pystytään siirtämään taulukkolaskentaohjelmaan mikä helpottaa tulosten tarkastelua.

#### 4.8 Mikroaaltouuni

Mikroaalloilla lämmitetään tuoretta uudella reseptillä tehtyä tarkasteluun otettua massaa vesipitoisuuden määrittämistä varten viiden ja kymmenen minuutin jaksoissa. Lämmitys tapahtuu jaksoissa, koska välillä massaa käytetään ulkona mikrosta, jotta voidaan tarkkailla massan kuivumista. Massa muuttuu kauttaaltaan vaalean harmaaksi kun se kuivuu. Kuvassa 8 on lämmitykseen käytettyjä mikroaaltouuneja.



Kuva 8. Mikroaaltouuneja ja lämpölaatikoita. Kuva Juuso Rautiainen

## 5 KEHITYKSESSÄ KÄYTETTÄVÄT MENETELMÄT

### 5.1 Toteutus

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehitellä ontelolaattabetonia IC-testerin avulla. Työn suorittaminen alkoi perehtymällä tehtaan käytäntöihin, tehdas-alueeseen, tuotantotilaan ja työn vastaanottajiin. Kehitystyön aloittamista edelsi testauslaitteiden tuonti ja purku niille osoitetulle paikalle. Tuotannossa olevasta betonista tehtiin muutamia näytekappaleita IC-testerillä tarkempaa tutkimista varten, saatujen tulosten perusteella nähtiin betonin lujuuden kehitys ja loppulujuus. Tästä saimme arvot, joihin oli pyrittävä kehitettävän betonilaadun lujuuden parantamiseksi.

Kehitykseen otettavat betonireseptit tulivat työn tilaajalta. Reseptejä oli useita ja betoninvalmistus toteutettiin itse laboratorioissa. Kehitettävästä betonista tehtiin koekappaleet IC-testerillä ja varastoimme niitä lämpölaatikoihin kahdeksan tunnin ja 24 tunnin lujuustestejä varten. 28 päivän lujuustestejä tehtiin uusien betonireseptien koepaloista, koska normaalisti kovettuvan betonin tavoitelujuus saavutetaan siinä ajassa +20 °C lämpötilassa. Testattavat kappaleet varastoitiin nesteessä. Testeistä saatuja tuloksia verrattiin tuotannossa olevan betonin tuloksiin ja tehtiin päätelmät.

### 5.2 IC-testerin käyttö tuotannon betonin testaukseen

Kehitystyö käynnistyi tuotannossa olevan 320 mm paksun ontelolaatan betonin tutkimisella ja IC-testerin paineistuksen säädöllä kyseiselle betonilaadulle. Kun laite oli saatu säädettyä kohdalleen, alkoi testien teko jokaisesta ontelolaattabetonimassan valmistuserästä. Massaa otettiin valupöydälle menevästä betonin kuljetuskuupasta ja kannettiin testauspisteen sangolla. Testauspaikalla metallinen sylinteri taarattiin vaa'alla ja massaa siirrettiin sylinterin sisään, jossa paikallaan oli alalevy hahlossaan ja punnittiin 1 950 gramman painoiseksi. Massan sallittu poikkeama oli +-1 gramma punnittaessa. Sylinteriin lisättiin kansilevy ja laitettiin IC-testeriin puristukseen. Puristuksen päättyessä koepala otettiin sylinteristä, se punnittiin pastahäviön tarkastelua varten ja kirjattiin saadut tulokset taulukkolaskentaohjelmaan. Pastahäviön suurus kertoi massan kosteudesta.

Yleensä otimme kaksi koepalaa ontelolaattavalusta ja siirrettiin ne suljetussa muovipussissa lämpölaatikoihin (kuvassa 8) tarkempaa tutkimusta varten. Muovipussia käytettiin varmistaaksemme että betonin lujuuden kehitys ei häiriinny siitä poistuvan kosteuden takia ja lämpölaatikkoa nopeuttaaksemme lujittumisreaktiota. Koepaloista tutkittiin lämpötilan kehitys ja loppulujuus.

### 5.3 Lämpötilan seuranta betonin lujoudenkehityksessä

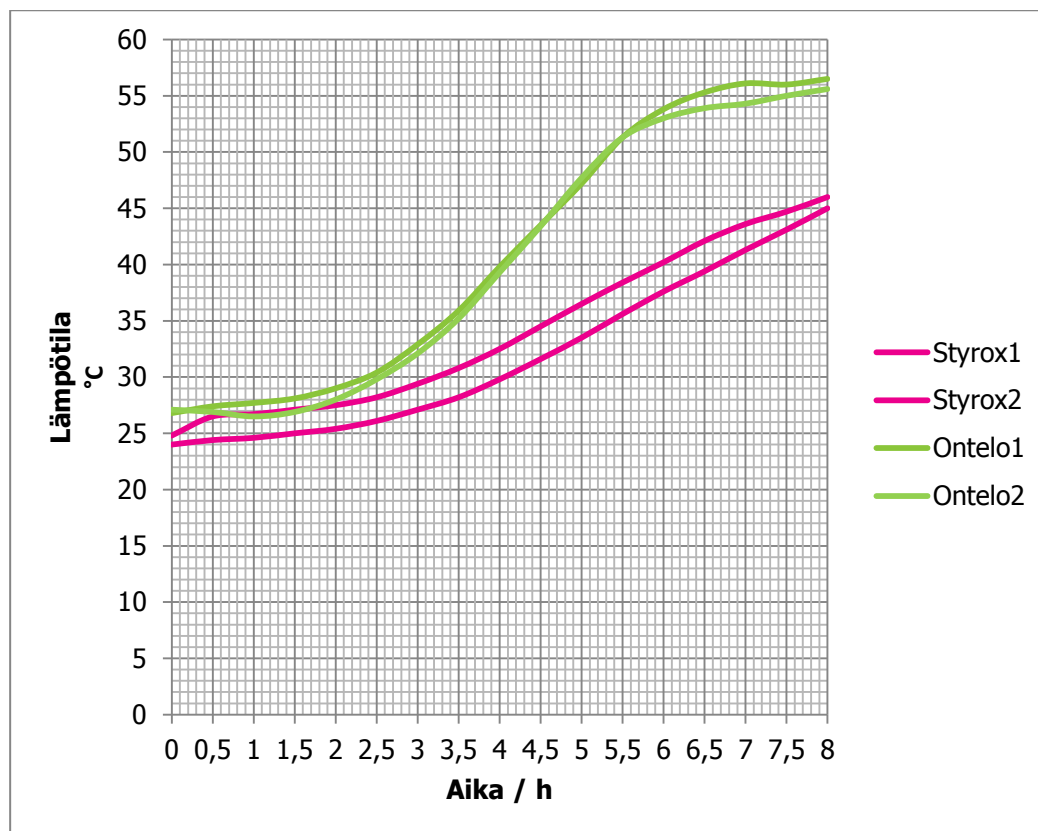
Lämpötilaa seurattiin lämpötilan seurantalaitteella eli loggerilla. Laitteessa olevat lämpötila-anturijohdot laitettiin koekappaleen mukana suljettuun muovipussiin ja siirrettiin lämpölaatikoon, laittamatta laitetta sinne. Laite tallensi omaan muistiinsa tietyin aikaväleihin lämpötilalukeman, joten se helpotti meitä lämmönkehityksen seurannassa. Meillä mittauksen aikaväliksi oli säädetty 30 minuuttia.

#### 5.3.1 Betonin lujouden kehitys

Betoni alkaa kovettua heti kun sementti reagoi veden kanssa. Kovettuminen jatkuu niin pitkään kun betoniseoksessa on reagoimatonta sementtiä ja vettä. Betoni lämpenee kovettumissaan ja luovuttaa samalla kosteutta. Betonirakenne lämpenee sitä lämpimämmäksi mitä massiivisempi se on. Lujouden kehityksen kannalta on oleellista, että kosteus ei pääse poistumaan betonista liian nopeasti, tästä johtuen jälkihoito on erittäin tärkeässä asemassa betonin onnistuneen loppulujuuden saavuttamisessa.

Betonirakenteen lujouden kehitystä pystytään hidastamaan tai nopeuttamaan tarvittaessa säätelemällä lämpötilaa betonissa. Normaalisti betonin lujouden kehitystä nopeutetaan peittämällä betonivalu jollakin lämpöä ja kosteutta varastoivalla materiaalilla. Lujouden kehitystä seurataan useasti lämpötilaa ja kovettumisaikaa mittaamalla. Kuviossa 1 nähdään kuinka lämpötila kehittyy kahdeksan tunnin aikana eri mittausolosuhteissa. Kappaleita tehtiin ic-testerillä (Styrox1,2) ja niitä varastoitiin lämpölaatikossa ja vastaavat kappaleet, jotka porattiin ontelolaatasta (Ontelo1,2) ja varastoitiin ontelon sisällä. (Finnsementti.)





Kuvio 1. Lämpötilan kehitys lämpölaatikossa ja ontelossa. (Juuso Rautiainen)

#### 5.4 Puristuslujuuden määrittäminen

Puristuslujuus saatiin määritettyä siten, että riittävästi lujuutta kehittäneet kahdeksan ja 24 tunnin ikäiset, kooltaan 100 x 100mm koepalat otettiin lämpölaatikosta ja niistä poistettiin metalliset aluslevyt, samalla tarkastettiin kappaleiden kuivuus katsomalla ja kokeilemalla pintapuolisesti. Kappaleiden puristuspinnot puhdistettiin hiomapaperilla hiomalla ja varmistettiin paineilmalla puhaltamalla että pöly ja muut irtopalat saatiin poistettua ennen rikitystä, siveltiin rikitysalusta öljyllä ja lisättiin puristuspinnoihin sula rikkiseos rikityskammiossa kaatamalla kauhalla rikitysalustalle rikkiseosta ja laittamalla pala seoksen päälle, seos annettiin kovettua, kovettuminen tapahtui muutamissa sekunneissa. Ylimääräinen seos poistettiin reunoilta ja se laitettiin takaisin rikkipataan sulamaan. Suoritettiin sama toimenpide vastapuolelle, että saatiin molemmat päät tasattua. Kuvassa 9 koepala, joka on pinnoitettu rikkiseoksella. Koepalat piti tarkastaa jokaisen rikityksen jälkeen, koska pinta täytyi olla täysin tasainen eikä siinä saanut olla porrastuksia yhtään. Mikäli epätasaisuuksia oli, piti rikkiseos poistaa koekappaleen pinnalta varovasti vasaralla lyöden ja rikitys oli suoritettava uudelleen.

Rikkiseoksen lisäyksen jälkeen koepala laitettiin puristuslujuuden määrittäskoneeseen ja lisättiin samalla aluslaattoja korottamaan palaa lähemmäksi puristus päätä, niin paljon kun oli tarvis. määritettiin koneelle arvot kyseisestä kappaleesta. Koneen puristaessa kappaletta

siirryttiin sivummalle siivoamaan työstöstä aiheutunutta siivoa. Suoritetun puristuksen jälkeen tulokset kirjattiin lomakkeelle ja tallennettiin tietokoneen tietokantaan.

#### 5.4.1 Puristuslujuuden merkitys

Puristuslujuus on tärkeässä roolissa betonin ominaisuuksia vertailtaessa, koska se on tärkein kaikista sen ominaisuuksista. Se on kymmenkertainen vetolujuuteen verrattuna. Puristuslujuutta on helppo testata ja monet muut betonin ominaisuudet, kuten vetolujuus, taivutusvetolujuus ja kimmokerroin ovat verrannollisia siihen. (Suomen betoniyhdistys 2004, 79.)



Kuva 9. Koekappale rikityksen jälkeen. Kuva Juuso Rautiainen

#### 5.5 Betonimassan valmistus

Uuden kehitettävän betonin valmistus aloitettiin kun olimme saaneet tarvittavat tutkimustiedot tuotannossa olevasta betonista. Betonimassan valmistus alkoi hankkimalla kiviainekset työpisteelle. Kiviaineksiä sekoitettiin eri suhteissa kokeilemalla, millä saavutetaan parhaat puristus- ja lujuudenkehitys ominaisuudet. Massan runkoaineeksi valittiin raekoon 12 - 18 mm, 6 - 12 mm, 0 - 6 mm kiviaineksiä, sekä filleri. Sideaineena käytettiin tehtaalla olevia sementtejä, myös näitä sekoitettiin eri suhteissa. Vesimäärä pidettiin vakiona. Mittaukset suoritimme vaa'alla ja punnitsimme aineet gramman tarkkuudella.

Mitattujen massojen valmistukseen tarvittavat aineet laitettiin samaan astiaan jossa ne sekoitettiin, joko betonimyllyllä tai pienemmällä tehosekoittimella tasalaatuisiksi, tämän jälkeen ne olivat valmiit IC-testeriin. Jäljelle jääneestä massasta säästimme osan kuivatusta varten, jotta pystyimme määrittämään betonin todellisen vesimäärän. Kuvassa 10 mittauspaikka jossa kaksi vaakaa ja tarvittava välineistö aineiden punnitsemista varten.



Kuva 10. Aineiden punnitsemiseen käytetty työpiste. Kuva Juuso Rautiainen

## 5.6 IC-testerin käyttö uusien reseptien testaukseen

IC- testeri siirrettiin tuotantotilasta betonilaboratorioon ja sitä käytettiin jatkossa vain uusien betonireseptien toteuttamisen yhteydessä puristamaan maakostea massaa, sekä kuiva-aineisia lieriön muotoon. Betonimassan valmistukseen tuli ohjeistus tilaajan puolelta ja sitä lähdettiin toteuttamaan laboratoriossa olevalla välineistöllä ja kalustolla. Testaus erosi tuotannossa olevaan betoniin sen verran että laboratoriossa testasimme myös massaan tulevan runkoaineen eli kiviainesten tiheyksiä.

## 5.7 Kosteuspitoisuuden määrittäminen

Vesimäärä betonissa määritettiin kuivattamalla 1 500g tuoretta maakostea betonimassaa mikroaaltouunissa. Mikroa käytimme kuivatukseen, koska sillä oli nopea lämmittää massa(kuva 11) riittävän kuumaksi kosteuden pois saamiseksi, näin kosteushäviö selvisi noin puolessa tunnissa. Massan aluslautasena käytimme lasia olevaa lautasta ja lautasen alla kovaa eristevillapalaa tasaamaan lämpöä. Punnsimme kuivatetun massan ja erotuksena saatiin kosteuspitoisuus kyseiselle massalle.

### 5.7.1 Kosteus betonissa

Betonin ainesosina käytettävät kiviainekset sisältävät useasti kosteutta. Kosteus johtuu siitä että kiviaines otetaan luonnosta, kuljetetaan ja varastoidaan ulkona ilman peittävää suojaa. Kosteus voi vaihdella annoksien välillä riippuen varastointi paikoista. Betonin todellista vesimäärää selvittäessä tulee tietää runkoaineen kosteuspitoisuus. Kosteuspitoisuus

runkoaineessa määritetään kuivattamalla se  $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa ja punnitsemalla kuivatus toimenpiteen alussa ja lopussa. (Suomen betoniyhdistys 2004, 37 - 38.)

Vesimäärää betonissa pyritään arvioimaan sekoittimien vastusmittareista tulevien tietojen avulla tai kuivaamalla tuoretta betonimassaa mikroaaltouunissa. Tärkeää on varmistaa että jäätynyttä kiviainesta ei käytetä massan valmistukseen ennen sen sulattamista.



Kuva 11. Näytteen kuumentaminen. Kuva Juuso Rautiainen

## 6 KEHITYKSEN TULOKSET

Työssä on käytetty tunnuksia merkitsemään uutta tuotettua massaa, sillä Lujabetoni Oy haluaa että reseptiikkaan ei ole ulkopuolisilla pääsyä. Tästä johtuen tuotannossa oleva betoni on merkitty tunnuksin 225x ja 275x ja uusien reseptien tunnuksiset ovat merkattu numeroin 1-5 ja 21- 27.

### 6.1 Tuoreen tuotannossa olevan betonin testaus IC-testerillä

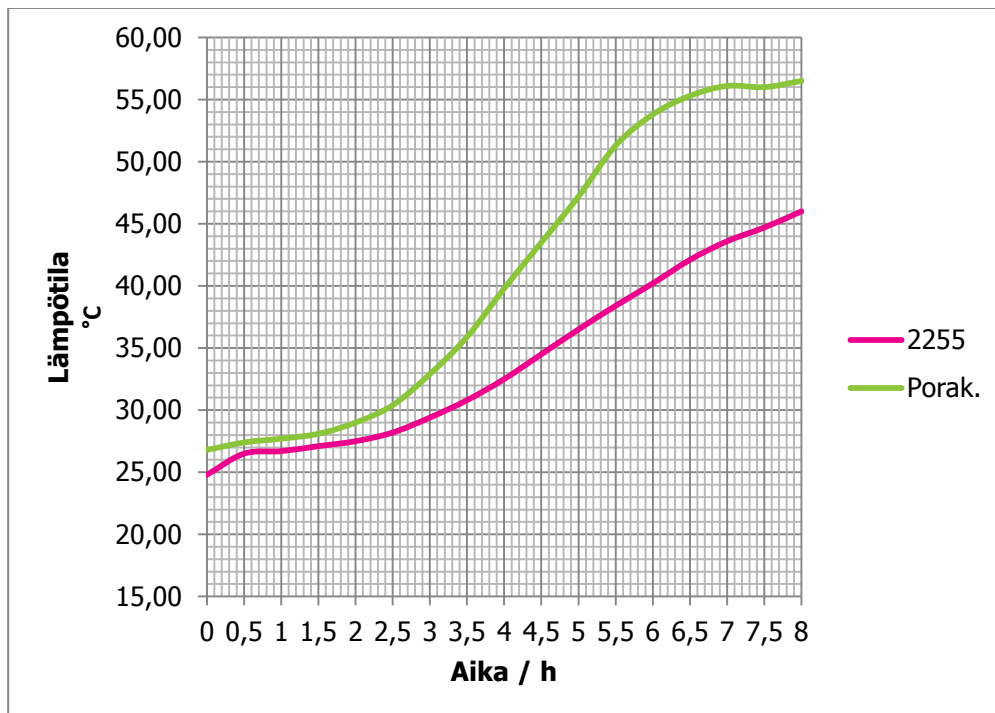
IC-testerillä saadut mittaus tulokset, jotka tehtiin tuotannossa olevalle K50 betonille. Tiheysarvo pyrittiin saamaan 2460- 2480 kg/m<sup>3</sup> väliin, testaamalla massaa eri paineistuksilla. Havaitimme tässä taulukossa käyttämämme 140 kPa paineen parhaaksi, tasaisimman lopputuloksen saamiseksi. Käytimme jatkossa samaa painetta uusien betonien tiheyden tarkastelussa, että massat olivat vertailtavissa keskenään. IC-testerin muottisylinteriin mah- tuva massa oli myös vakioitu 1950 gramman painoiseksi.

Taulukko 2. IC- testerillä saadut tulokset tuotannon betonilla.

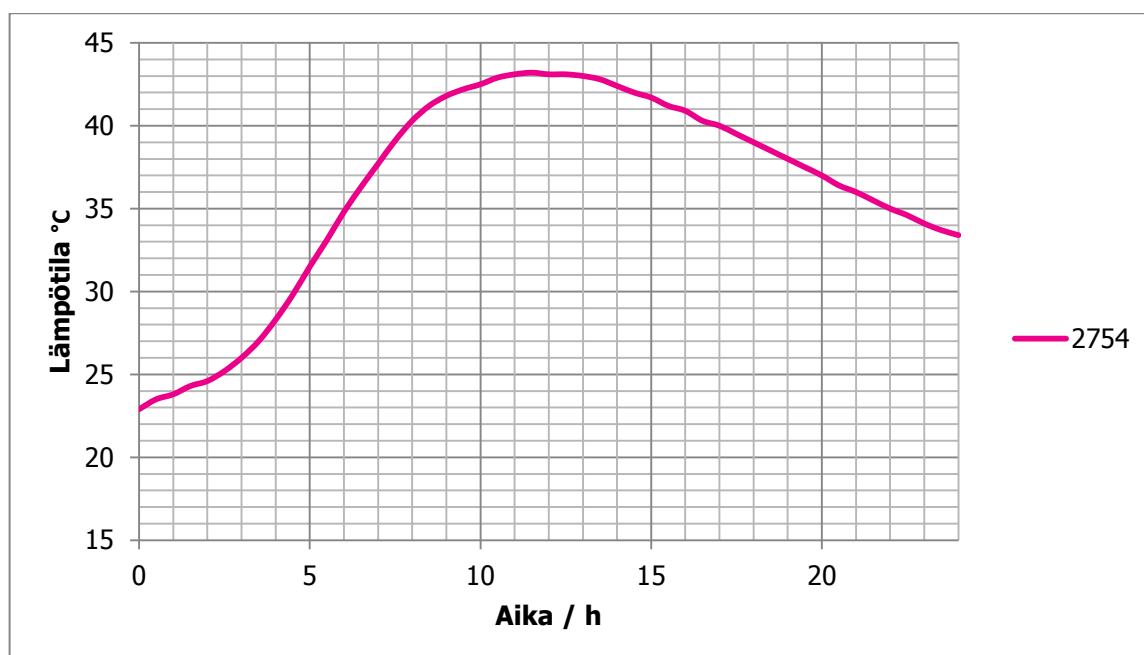
<b>Tunnus</b>	<b>ikä (min)</b>	<b>alk.pain (g)</b>	<b>lopp.pain (g)</b>	<b>hävikki (g)</b>	<b>kierros (lkm)</b>	<b>tiheys (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>paine (kPa)</b>
2751	4	1950,0	1947,4	2,6	40	2473	140
2752	5	1950,0	1948,2	1,8	40	2464	140
2753	5	1950,0	1947,6	2,4	40	2489	140
2754	10	1950,0	1948,8	1,2	40	2463	140
2755	5	1950,0	1948	2,0	40	2487	140
2756	4	1950,0	1947,6	2,4	40	2472	140
2757	4	1950,0	1947,6	2,4	40	2490	140
2758	4	1950,0	1948,2	1,8	40	2480	140
2759	4	1950,0	1948,4	1,6	40	2490	140
27510	4	1950,0	1947,6	2,4	40	2480	140
27511	4	1950,0	1948	2,0	40	2489	140
27512	5	1950,0	1948,8	1,2	40	2470	140
27513	5	1950,0	1947,8	2,2	40	2485	140

## 6.2 Lämmönkehitys tuotannossa olevalla betonilla

Sementin reagoiessa veden kanssa syntyy lämpöä ja reaktio kestää niin kauan kuin betonissa on reagoimatonta vettä. Kuviossa 2 näkyy lämpökäyttäytyminen lämpölaatikossa ja ontelolaatassa kahdeksan tunnin mittausaikana. Kuviossa 3 näkyy lämmönkehitys 24 tunnin aikana lämpölaatikossa.



Kuvio 2. Lämpökäyttäytyminen kahdeksan tuntia



Kuvio 3. Lämmönkehitys 24 tuntia.

### 6.3 Puristuslujuus tuotannossa olevalla betonilla

Puristuslujuutta määriteltiin 8 ja 24 tunnin ikäisille koepaloille puristuslujuuden testauslaitteella. Tuotannossa olevan betonin parhaaksi puristuslujuudeksi mittasimme 395 kN voiman, joka oli lujuudeltaan 50,3 MPa. Taulukossa 3 on otanta ontelolaattabetonin koekappaleista.

Taulukko 3. Puristuslujuudet tuotannon betonilla.

Tunnus	ikä (h)	paino (g)	halk. (mm)	kork. (mm)	voima (kN)	paine (MPa)
2251	8	1940	100	100	395	50,3
2252	8	1940	100	100	330	33
2253	8	1940	100	100	411	41,1
2254	8	1940	100	100	271	34,5
2255	8	1940	100	100	331	42,14
2753	8	1940	100	100	201	25,59
2753	24	1940	100	100	358	45,58
Porak.	8	1940	100	100	316	40,22
Porak.	8	1940	100	100	340	43,29

### 6.4 Uuden betonin testaus IC-testerillä

Tiheyden arvot olivat aluksi liian suuria ja massa oli liian kosteaa ja löysää, kyseisestä massasta ei tutkittu kuin varhaislujuus ja loppulujuus, runkoaines tutkimus ja vesimäärän määrittäminen jätettiin pois. Taulukossa 4 nähdään IC-testerillä saadut tulokset uudella betonilla.

Taulukko 4. IC-testit uusille betoniresepteille.

Tunnus	ikä (min)	alk.pain (g)	lopp.pain (g)	hävikki (g)	kierros (lkm)	tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	paine (kPa)	Huom
1	6	1950,0	1933,2	16,8	40	2526	140	Liian löysää
2	3	1950,0	1937,3	12,7	40	2531	140	
2	9	1950,0	1947,9	2,1	20	2474	140	kierrosmäärä tiheyden mukaan
3	4	1950,0	1939,6	10,4	40	2543	140	
3	8	1950,0	1948,9	1,1	36	2473	140	kierrosmäärä tiheyden mukaan
4	6	1950,0	1944,0	6,0	40	2505	140	
5	6	1950,0	1936,1	13,9	40	2507	140	
21	10	1950,0	1947,2	2,8	40	2401	140	
22	7	1950,0	1946,6	3,1	40	2362	140	
23	7	1950,0	1948,0	2,0	40	2414	140	
24	7	1950,0	1948,2	1,8	40	2387	140	
25	5	1950,0	1947,5	2,5	40	2450	140	
26	5	1950,0	1947,0	3,0	40	2470	140	
27	6	1950,0	1945,4	4,1	40	2456	140	

## 6.5 Uusien reseptien runkoaine testit IC-testerillä

Runkoaineiden eli kuiva-aineiden tiheyksiä määritettiin myös IC-testerillä (Taulukko 5). Kuiva-aineiden testaamisessa käytimme 160 kPa painetta massan ollessa 1700g.

Taulukko 5. Runkoaineiden tiheys

Tunnus	Paino (g)	kierros	tiheys	paine (kPa)
2	1700	40	2110	160
3	1700	40	2143	160
21	1700	40	2125	160
22	1700	40	2068	160
23	1700	40	2099	160
24	1700	40	2114	160
25	1700	40	2124	160
26	1700	40	2141	160
27	1700	40	2114	160

## 6.6 Betonin todellisen vesimäärän arviointi mikrokuivatuksella

Mikroaaltouunissa kuivattamalla saatiin selville mikä oli todellinen vesimäärä betonissa. Mikäli vesimäärä betonissa on suurempi, todennäköistä että lujuus on heikompi.

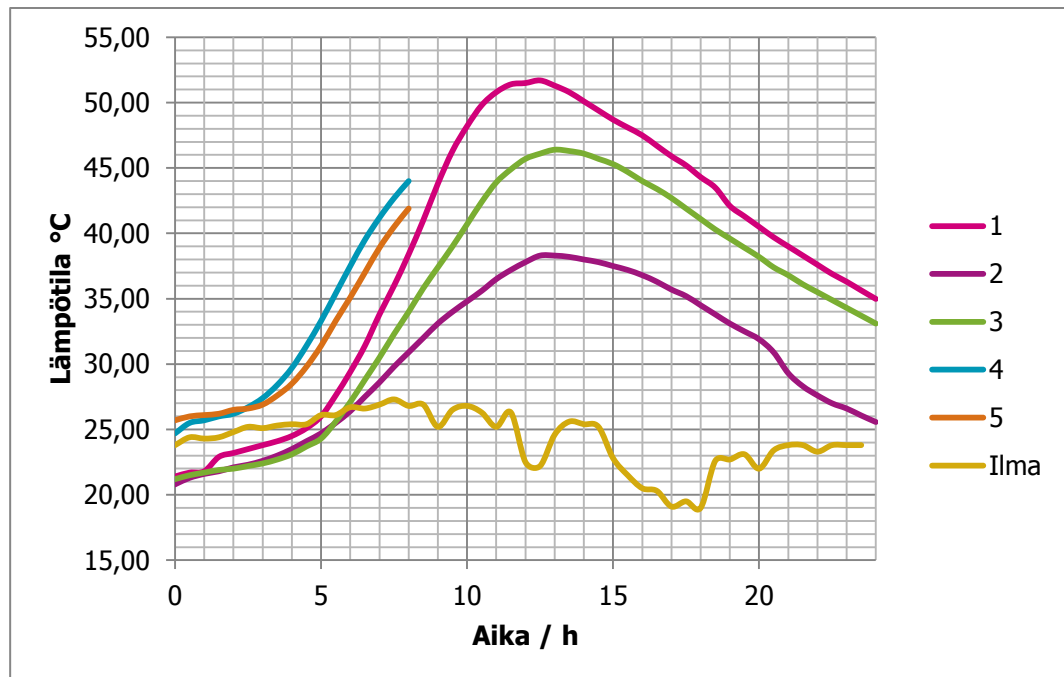
Taulukko 6. Todelliset vesimäärät betonissa.

Tunnus	lisätty vesi/l (g)	alk. pain. (g)	lopp. pain. (g)	havaittu vesi (%)
2	140	1500	1412,8	5,81
3	130	1500	1414,4	5,71
4	122	1500	1407,5	6,17
5	140	1500	1419,4	5,37



## 6.7 Lämmönkehitys uudelle betonille

Kuvion 4 mittaukset suoritettiin lämpölaatikossa lukuun ottamatta ilmaa, joka oli testaustilassa olevan ilman lämpötila. Tunnuksella 4 ja 5 lämpötilaseuranta suoritettiin 8 tunnin ajalta, nämä kaksi näyttäisi arvioimalla saavuttavan lujuusominaisuutensa muita nopeammin. Tähän tarvittaisiin kuitenkin 24 tunnin otanta kyseisien massojen lämpötiloista varmistaaksemme asia todeksi.



Kuvio 4. Lämmönkehitys 8 ja 24 tuntia.

## 6.8 Puristuslujuus uudella betonilla

Puristuslujuus vaihtelee selvästi vesi sementti suhteen vaikutuksesta johtuen. Testien mukaan tunnuksen 26 betoni oli lujuudeltaan onnistuneinta, tämä ylsi lähes K100 lujuusluokan täyttäväksi betoniksi.

Taulukko 7. Puristuslujuudet uudella betonilla

tunnus	ikä	paino (g)	halk. (mm)	kork. (mm)	voima (kN)	paine (MPa)
1	8 h	1940	100	100	182	23,17
	28 pv	1940	100	100	285	36,29
2	8 h	1940	100	100	194	24,70
	28 pv	1940	100	100	533	67,86
3	8 h	1940	100	100	225	28,65
	28 pv	1940	100	100	535	68,11
4	8 h	1940	100	100	197	25,08
	28 pv	1940	100	100	511	65,05
5	8 h	1940	100	100	166	21,14
	28 pv	1940	100	100	349	44,43
22	28 pv	1940	100	100	377	48,0
23	28 pv	1940	100	100	393	50,04
24	28 pv	1940	100	100	498	63,40
25	28 pv	1940	100	100	493	62,76
26	28 pv	1940	100	100	547	69,64
27	28 pv	1940	100	100	518	65,95

## 7 POHDINTA JA YHTEENVETO

Opinnäytetyöni tarkoituksena oli kehittää ontelolaattabetonia ja verrata siitä saatuja tuloksia tuotannossa olevaan ontelolaattabetoniin, sekä saada tietoa millä tavoin edetään kuin halutaan kehittää betonia IC-testerillä, testit tein Lujabetoni Oy:n Siilinjärven tehtaalla. IC-testerillä testatut betonireseptit olivat ensimmäiset, joita Lujabetonilla testattiin kyseisellä menetelmällä. Testauksen käytäntö oli helppo oppia, kun oli kiinnostunut laitteesta ja sen toiminnasta. Testauksen tullessa rutiiniksi alkoi työ edetä halutulla tavalla. Laadittujen suunnitelmien mukaiset suoritteet sain hoidettua ohjeiden mukaan, ja toivon että kehitystehtävästäni oli jotain hyötyä Lujabetoni Oy:lle.

Kehitystyössä käytetty IC-testilaitteisto toimi koko työohjelman ajan moitteettomasti tietokoneen kanssa, ja tulokset olivat koneelle syötettyjen arvojen mukaiset. Muutamia virheitä lukuun ottamatta muutenkin testit sujuivat ongelmitta. Yksi virheistä oli että en ollut itse paikalla tekemässä lujuuskokeita kaikille 28 päivän koepaloille, osa näistä tuloksista saattaa mahdollisesti olla väärässä järjestyksessä, joten nämä testit tulisi tehdä uudestaan halutessa varmat lujuustulokset.

Tulevissa betonin kehitystehtävissä tulisi tehdä tarkempi suunnitelma ja etenemiskaavio, kun halutaan kehittää uutta ontelolaattabetonireseptiä ja niihin pitäisi perehtyä huolella ennen reseptin toteuttamista. Osaltani kehitystehtävän seuraavat osavaiheet tulivat aina edellisen päättyessä, tähän kyllä pääsi kiinni kun muutama reseptimassa oli valmistettu.

## LÄHTEET

Elementtisuunnittelu. FI. Runkorakenteet. Laatat. Ontelolaatat. [Viitattu 15.10.2013]

Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/>

Finnsementti. Sementti. Valmistus [Viitattu 24.10.2013]

Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/>

Finnsementti. Tuotteet. Lisäaineet. Huokostimet. [Viitattu 24.10.2013]

Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/>

Finnsementti. Tuotteet. Lisäaineet. Notkistimet. [Viitattu 24.10.2013]

Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/>

Finnsementti. Tuotteet. Lisäaineet. Pigmentit. [Viitattu 28.10.2013]

Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/>

Finnsementti. Tuotteet. Seosaineet ja silikajauheet. Masuunikuonajauhe. [Viitattu 28.10.2013]

Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/>

Finnsementti. Tuotteet. Seosaineet ja silikajauheet. Parmix-silika. [Viitattu 28.10.2013]

Saatavissa: <http://www.finnsementti.fi/>

Lujabetoni. Asuntorakentaminen. [Viitattu 21.10.2013]

Saatavissa: <http://www.lujabetoni.fi/>

Lujabetoni. Infrarakentaminen. [Viitattu 21.10.2013]

Saatavissa: <http://www.lujabetoni.fi/>

Lujabetoni. Siilinjärvi. [Viitattu 20.10.2013]

Saatavissa: <http://www.lujabetoni.fi/>

Lujabetoni. Toimitilarakentaminen. [Viitattu 21.10.2013]

Saatavissa: <http://www.lujabetoni.fi/>

Lujabetoni. Yhtiömme. [Viitattu 20.10.2013]

Saatavissa: <http://www.luja.fi/>

Suomen betoniyhdistys. 2004. Betonitekniikan oppikirja By 201. 5. uudistettu painos, lisäpainos. Helsinki: Suomen betonitieto.

## LIITTEET

LIITE 1 PAINO-KORKEUS-TIHEYSKAAVIO

LIITE 2 IC-TESTERI OHJEKIRJA

LIITE 3 KEHITETYT BETONIRESEPTIT JA TULOKSET