

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Rakennustuotanto

Pauli Laamanen

Huokostin-notkistin-yhdistelmien käyttäytyminen itsetiivistävässä betonissa

Opinnäytetyö 2016

Tiivistelmä

Pauli Laamanen

Huokostin-notkistin-yhdistelmien käyttäytyminen itsetiivistyvässä betonissa, 32 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Rakennustuotanto

Opinnäytetyö 2016

Ohjaajat: lehtori Vesa Inkilä, Saimaan ammattikorkeakoulu, toimitusjohtaja Ville Vanamo, Suomen Rakennelujitus Oy

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä tutkimus, jossa vertaillaan itsetiivistyvän betonin erilaisten huokostin-notkistin-lisäaineyhdistelmien yhteensopivuutta sekä betonimassan käyttäytymistä, kun massan sekoitusaikaa pidennetään. Tutkimuksen tarkoituksena oli kokeilla kuutta erilaista lisäaineyhdistelmää ja tutkimuksen tulosten perusteella päätellä, onko jokin kyseisistä yhdistelmistä sopiva Suomen Rakennelujitus Oy:n käyttöön.

Opinnäytetyö jaettiin kahteen osioon. Tutkimuksen ensimmäisessä osiossa pyrittiin löytämään oikeat määrät eri huokostin-notkistin-lisäaineyhdistelmille. Eri notkistimista valmistettiin myös huokostamattomat massat, niin sanotut perusmassat, joihin huokostettujen massojen ominaisuuksia verrattiin. Ensimmäisestä osiosta valittiin parhaalta vaikuttavat massat jatkotutkimukseen.

Tutkimuksen toisessa osiossa tutkittiin, miten eri lisäaineyhdistelmät käyttäytyvät massan sekoitusajan pidentyessä. Jokaisesta eri betonireseptistä tehtiin ilmamäärämittauksia sekä leviämäkokeita, joiden avulla seurattiin massan ominaisuuksia. Massoista valettiin myös koekuutiot, joiden avulla vertahtiin koemassojen lujuuksia.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin selville, mikä testatuista oli paras lisäaineyhdistelmä. Tutkimuksessa saatiin selville maksimimääriä eri huokostimille sekä raja-arvoja sekoitusajalle. Tutkimus toimi hyvänä pohjatyönä mahdollisille jatkotutkimuksille.

Asiasanat: itsetiivistyvä betoni, betonin lisäaineyhdistelmät, sekoitusaika

Abstract

Pauli Laamanen

The functionality of different admixture combinations in self-compacting concrete, 32 pages

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Civil and Construction Engineering

Bachelor's Thesis 2016

Instructors: Mr. Vesa Inkilä, Senior lecturer, Saimaa University of Applied Sciences; Mr. Ville Vanamo, Managing Director, Suomen Rakennelujitus Oy

The purpose of the thesis was to study how different sorts of air-entraining agent and plasticizer admixtures are compatible and how the self-compacting fresh concrete functions when mixing time is prolonged. The purpose of the study was to test six different admixture combinations and see if any of those combinations would be suitable for Suomen rakennelujitus Ltd.

The study was divided into two parts. The intention of the first part of the study was to find the correct ratios for air-entraining agents and plasticizers. Those recipes were compared to so called basic recipes. The two basic recipes were made using two different plasticizers without any air-entraining agents. After comparing different recipes the best of the combinations were selected for the second part of the study.

The purpose of the second part was to study how the mixing time effects the different admixture combinations. To monitor the attribute of the fresh concrete all different fresh concrete recipes were measured for air content and slump-flow tested. The compression strength of the different recipes was compared by casting testing cubes.

As a result of the thesis the best admixture combination was found. The study also revealed the maximum amount for different air-entraining agents and the longest possible mixing time. This study could be a good basic research for further studies.

Keywords: self-compacting concrete, concrete admixture combinations, mixing time

Sisällys

1	Johdanto.....	5
1.1	Työn tausta.....	5
1.2	Työn tarkoitus, tavoite ja rajaus.....	5
2	Itsetiivistyvä betoni.....	6
2.1	Itsetiivistyvän betonin historiaa.....	6
2.2	Käytön edut ja mahdollisuudet.....	7
2.3	SRL60/6/RH itsetiivistyvä korjausbetoni.....	7
3	Itsetiivistyvän betonin lisäaineet.....	9
3.1	Huokostimet.....	9
3.2	Tehonotkistimet.....	10
3.3	Notkistimien ja huokostimien yhteistoiminta.....	11
4	Tutkimustyö.....	11
4.1	Tutkimuksen kulku.....	12
4.2	Oikeiden osa-ainemäärien hakeminen.....	12
5	Testausmenetelmät.....	12
5.1	Tuoreen massan testausmenetelmät.....	12
5.2	Sitoutuneen betonin testausmenetelmät.....	16
6	Tulokset.....	19
6.1	Sekoitusajan vaikutus massan ilmamäärään.....	21
6.2	Sekoitusajan vaikutus lujuteen.....	25
7	Päätelmät.....	26
7.1	Sekoitusajan vaikutus massan ominaisuuksiin.....	26
7.2	Virheenarviointi ja mittaustarkeus.....	27
7.3	Tutkimuksen lopputulos ja jatkotutkimusehdotuksia.....	28
7.4	Tutkimuksen ja opinnäytetyöprosessin vaikeudet.....	28
	Kuvat.....	30
	Taulukot.....	31
	Lähteet.....	32

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Tämä opinnäytetyö tehdään Suomen Rakennelujitus Oy:lle, joka on vuonna 1990 perustettu korjaus-, lujitus-, tiivistys- ja injektointitöihin erikoistunut yhtiö. Yrityksen toimipiste sijaitsee Joutsenossa. Yrityksen toiminta-ajatuksena on tehdä ja kehittää teknisesti ja taloudellisesti asiakkaan kannalta kilpailukykyisiä korjaus- ja vahvistamisratkaisuja. (1.)

Suomen Rakennelujitus Oy on kehittänyt tuoteperheen itsetiivistyvästä korjausbetoneista, joita yritys valmistaa työmaalla ja pumppaa ne edelleen korjauskohteisiin. Yritys toimii joko betonintoimittajana tai tekee koko korjaustyön aina purku-, raudoitus-, muotti- ja valutöineen. Yritys toimii koko Suomen alueella. (1.)

Suomen Rakennelujitus Oy aloitti vuonna 2000 nelivuotisen sementtipohjaisten injektointimassojen tuotekehityshankkeen, INJE2000:n. Kehityshanke oli osittain TEKESin tukema. Hankkeen pohjalta Suomen Rakennelujitus Oy alkoi kehittää omia itsetiivistyviä korjaus-, juotos- ja jälkivalubetoneita omassa laboratoriossaan. Vuonna 2004 valmistui tuoteperhe, jonka yhdelle tuotteelle on myönnetty SILKO-hyväksyntä (Liikenneviraston hyväksyntä käytettäväksi siltojen korjaustöihin). (2.)

1.2 Työn tarkoitus, tavoite ja rajaus

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan erilaisten huokostin-notkistin-yhdistelmien toimivuutta itsetiivistyvässä betonissa ja sekoitusajan vaikutusta kyseisiin yhdistelmiin. Opinnäytetyössä vertaillaan kahta perusmassaa yhteensä kuuteen erilaista huokostimien ja notkistimien yhdistelmään. Perusmassat ovat kahdella eri tehonotkistimella notkistettuja, itsetiivistyviä betoneita, mutta niitä ei ole huokoistettu.

Tutkimus jakautuu kahteen osioon. Ensimmäisessä vaiheessa valmistetaan perusmassat ja haetaan oikeat määrät uusille huokostin-tehonorotkistin-yhdistelmille. Tutkimuksen toinen vaihe käynnistyy sen jälkeen, kun oikeat ainemäärät ovat

selvinneet. Toisessa vaiheessa tutkitaan sekoitusajan vaikutusta massan ominaisuuksiin ensimmäisestä osiosta valittuihin massoihin.

Tämä opinnäytetyö käsittelee itsetiivistyvän betonin ominaisuuksien tutkimuksia yleisellä tasolla. Opinnäytetyössä käsitellään tutkimusprosessin kulkua, käytettyjä testausmenetelmiä ja arvioidaan tutkimuksista saatuja tuloksia. Opinnäytetyössä ei tulla esittämään tutkittavien itsetiivistyvien betoneiden suhteitustietoja, runkoaineiden rakeisuuksia, tuotenimikkeitä eikä osa-aineiden määriä.

2 Itsetiivistyvä betoni

Itsetiivistyvällä betonilla tarkoitetaan betonia, joka tiivistyy ilman mekaanista tiivistämistä. Itsetiivistyvä betoni poikkeaa normaalista betonista muokkautuvuutensa takia. Hyvä muokkautuvuus auttaa tunkeutumaan tiheäänkin raudoitukseen ja täyttämään muotin ilman erillistä tiivistämistä. (3, s. 7.)

Itsetiivistyvä betoni on nestemäistä betonimassaa, joka on helppoa valaa. Käytettäessä itsetiivistyvää betonia on valujälki yleensä erittäin hyvä. Itsetiivistyvän betonin käyttäminen on yleistynyt nopeasti esimerkiksi elementtiteollisuudessa. Itsetiivistyvä betoni on yleensä tiivistä, mikä parantaa sen kestävyyttä sään ja kemiallisille rasituksille. (4.)

2.1 Itsetiivistyvän betonin historiaa

Itsetiivistyvä betoni on kehitetty Japanissa vuonna 1988. Käsitteenä itsetiivistyvä betoni on kuitenkin jo vanhempi, sillä sitä on käytetty jo Neuvostoliitossa 1960-luvun lopulla tehdyissä kokeissa. Neuvostoliitossa tehdyissä kokeissa selvitettiin erilaisten olosuhteiden vaikutusta betonin ominaisuuksiin. Näissä kokeissa havaittiin betonin tiivistyvän itsestään. Vuonna 1983 Brasiliassa myönnettiin patentti betonille nimeltä Itsetiivistyvä betoni. Samana vuonna Japanissa käynnistyi useita hankkeita betonirakenteiden säilyvyysongelmien tutkimiseksi. Betonirakenteiden säilyvyysongelmien todettiin johtuvan huonontuneesta työsuorituksesta ja ammattitaitoisen työvoiman vähentymisestä. Ongelmana oli erityisesti betonin tiivistäminen. Yksi keino ongelmien ratkaisemiseksi oli itsetiivistyvän betonin kehittäminen. Itsetiivistyvän betonin prototyyppi valmistettiin vuonna 1988.

Sen määrittämisessä käytettiin kolmea kriteeriä: itsetiivistyvä, virheetön ja hyvin säilyvä. (5, s. 11.)

2.2 Käytön edut ja mahdollisuudet

Itsetiivistyvä betoni on tyypillisesti kalliimpaa kuin normaali betoni, mutta säästöjä syntyy esimerkiksi betonoinnissa ja jälkitöissä. Itsetiivistyvän betonin käyttö nopeuttaa valutyön suorittamista ja vähentää työntekijöiden tarvetta valun aikana. Lisäksi valun pintahuokosten määrä on usein pieni, mikä vähentää valun jälkitöiden määrää. Kustannustarkastelu ja itsetiivistyvän betonin hyödyt on kuitenkin arvioitava aina tapauskohtaisesti. (6, s. 8 – 11.)

Itsetiivistyvää betonia käytetään kohteissa, jotka ovat tiheästi raudoitettuja tai rakenteet ovat ahtaita tai vaikeapääsyisiä. Korjausrakentamisessa itsetiivistyvän betonin sovelluskohteita ovat esimerkiksi tukirakenteiden valut vanhojen rakenteiden alle tai ohuet manttelointivalut. Itsetiivistyvä betoni sopii erinomaisesti korkeisiin seinävaluihin, koska tiivistäminen voi olla hankalaa tiheän raudoituksen tai korkean rakenteen takia. Itsetiivistyvää betonia on myös mahdollista pumpata muottiin alakautta ilman erottumista, minkä avulla vältetään liian suurelta pudotuskorkeudelta. Itsetiivistyvä betoni mahdollistaa korkealuokkaisen puhdasvalu-pinnan ja lisää arkkitehtuurisia vaihtoehtoja rakenteille. (7, s. 558 – 559.) Myös työmaan aikataulutusta helpottaa, varsinkin tiheään asutulla alueella, sillä itsetiivistyvän betonin valamisesta ei synny melu- eikä tärinähaittoja (6, s. 10).

2.3 SRL60/6/RH itsetiivistyvä korjausbetoni

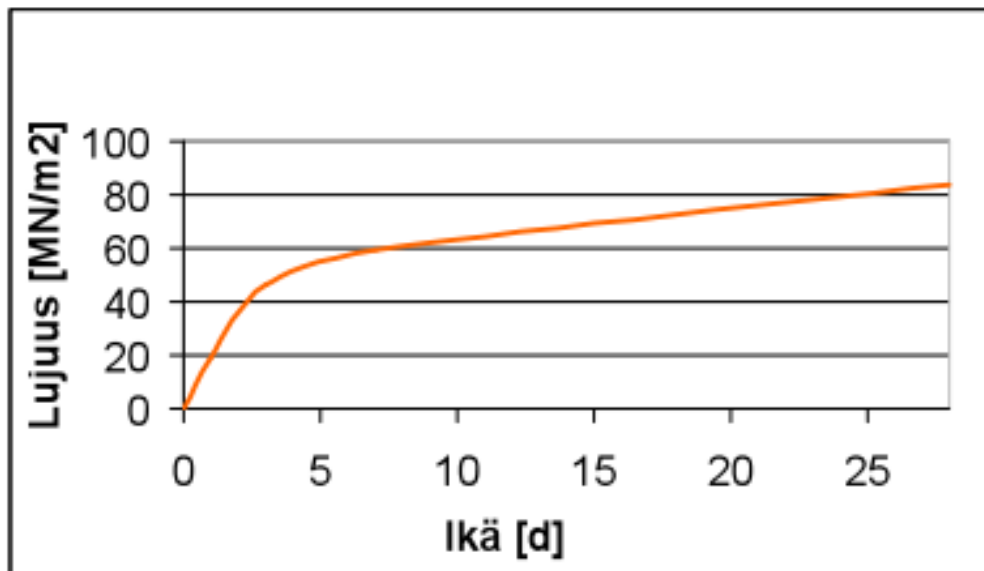
Suomen Rakennelujitus Oy:n kehittämä SRL 60/6RH on itsetiivistyvä ja erottumaton korjausbetoni vaativiin sää- ja pakkas-suolarasituksen alaisiin kohteisiin. Korjausbetonilla on Liikenneviraston myöntämä SILKO-hyväksyntä. Betonin käyttökohteita ovat muun muassa sillan vesieristeen alapuolisten rakenteiden korjaukset, kanava- ja laiturirakenteet, voimalaitospadot, erilaiset laatat ja luiskat, juotos- ja jälkivalut, tiheästi raudoitetut kohteet sekä ohuet manttelointivalut. Valupaksuudet tuotteelle ovat mahdollisia 25 mm:stä alkaen. (9.)

Betonin ominaisuudet

Seuraavassa on poimittu joitakin teknisiä tietoja SRL60/6RH-tuote-esitteestä (9):

- Raekoko 0 – 8 mm
- Tiheys 2300 kg/m³
- Estetty kutistuma 0,18 mm
- Puristuslujuus 28 d 83,7 MN/m²
- Rasitusluokat XC4, XS3, XD3, XF4, XA1

Kuvassa 1 on esitetty SRL60/6RH:n lujuuden kehitys (9).



Kuva 1. SRL60/6RH-korjausbetonin lujuuden kehitys (9, s. 2)

Massan toimitustapa

Suomen Rakennelujitus Oy:n toiminta eroaa valmisbetoniasemista sekä kuiva-tuotetoimittajista massan toimitustavan takia. Yritys valmistaa käyttämänsä kuiva-tuotteen itse ja huolehtii sen valmistamisesta, levityksestä ja valupinnan käsittelystä työmaalla. Itsetiivistyvän betonin valmistaminen vaatii aina erikoisosaa-mista ja -kalustoa, joten yritys ei myy tuotteitaan muiden osapuolien valmistetta-vaksi. (8.) Kuvassa 2 on Suomen Rakennelujituksen betoniasema työmaaolosuh-teissa.



Kuva 2. Suomen Rakennelujitus Oy:n betoniasema kuorma-auton lavalla

3 Itsetiivistyvän betonin lisäaineet

Itsetiivistyvät betonit voidaan usein lisäaineistaa kuten tiivistettävät betonitkin. Lisäaineyhdistelmien yhteensopivuus tulee varmistaa aina ennakkokokein, sillä muun muassa lämpötilalla, massan vesimäärällä ja käytettävällä sementillä voi olla huomattava vaikutus lisäaineiden käyttäytymiseen. Useiden tehonotkistinhuokostinyhdistelmillä toiminta on epävarmaa ja lisäaineiden tehot vaihtelevat paljon. Lisäksi myös annostusjärjestys ja -ajankohta vaikuttavat paljon lisäaineiden tehoon ja betonimassan ominaisuuksiin. (8, s. 14.)

Käsittelen opinnäytetyössäni vain tutkimukseeni valitut lisäaineet, joita ovat huokostimet ja tehonotkistimet.

3.1 Huokostimet

Huokostimia käytetään betonin lisäaineena, kun halutaan parantaa betonin pak-
kaskenkestävyyttä. Huokostimen tarkoitus on lisätä betoniin tasaisesti pieniä ilma-
kuplia, niin sanottuja suojahuokosia. Vesi laajenee jäätyessään, joten suojahuo-

koset ottavat vastaan veden jääytymisestä syntyvän paineen siten, ettei betoni rikoontu. Suojahuokosten tulisi olla kooltaan sopivia ja huokosten välimatkan riittävän pieni, että suojahuokokset toimisivat tehokkaasti. (7, s. 66.)

Huokostimien määrät sideaineen kokonaismäärästä ovat usein vain noin 0,01...0,03 %. Huokostus antaa betonimassalle monia hyviä ominaisuuksia, kuten parantaa sen muokkautuvuutta, notkeutta sekä koossapysyvyyttä. Lisäksi huokostus vähentää osa-aineiden erottumista sitovan vaikutuksen ansiosta. Kovettuneen betonin lujuus kärsii hieman huokostuksen vaikutuksesta. Yleisesti arvioidaan, että yhden prosentin ilman lisääminen aiheuttaa noin viiden prosentin heikkenemisen lujuuteen. (7, s. 67.)

3.2 Tehonotkistimet

Notkistimien tarkoitus on vähentää veden tarvetta betonissa ja parantaa betonin teknisiä ja taloudellisia ominaisuuksia. Notkistimet parantavat massan työstettävyyttä, kuten koossapysyvyyttä ja massan pumpattavuutta. Pienemmän vesi-sementtisuhteen ansiosta notkistimet mahdollistavat korkealujuusbetonien valmistamisen. (7, s. 64-65.)

Usein notkistavien lisäaineiden annostus on 1...1,5 % sideaineen kokonaismäärästä. Tapauskohtaisesti tai tavoitteesta riippuen notkistinta voidaan käyttää myös suurempina annoksina. (7, s. 65.)

Itsetiivistyvät betonit vaativat yleensä voimakkaamman notkistimen, tehonotkistimen. Tehonotkistimet ovat usein polykarboksylaattipohjaisia. Nämä ovat havaittu tehokkaammaksi kuin usein käytetyt melamiini-, naftaleeni- ja lignosulfonaattinotkistimet. (9, s. 36.)

Suomen Rakennelujitus Oy:n tekemissä testauksissa on havaittu, että erilaisilla tehonotkistimilla on voimakkaita eroavaisuuksia. Jotkin tehonotkistimet sitoutuvat kuten normaalit, tärytettävät betonit, mutta jotkin lisäaineet lisäävät työstettävyyttä useilla tunneilla. Lisäaineilla saattaa olla myös erilaisia sivuvaikutuksia, kuten betonin vaahtoutuminen. Kaikilla tehonotkistimilla on ollut myös erilainen vaikutus betonimassan sekoitukseen. On havaittu, että jotkin lisäaineet ovat erittäin tarkkoja sekoitusajan ja lisäysajankohdan suhteen. (8, s. 15.)

3.3 Notkistimien ja huokostimien yhteistoiminta

Notkistimien ja huokostimien yhteistoiminta voi tuottaa ongelmia. Jotkin notkistavat lisäaineet tuottavat betoniin ylimääräistä ilmaa, mutta ilmakuplat eivät tuota samanlaista suojaavaa vaikutusta kuin huokostimien tuottama ilma, eivätkä siten paranna betonin pakkasenkestävyyttä. Notkistimien tuottamat ilmakuplat ovat liian suurikokoisia ja ne muodostavat betoniin kanavia. Useat notkistimet saattavat myös estää huokosten synnyn tai jopa ajaa syntyneet huokokset pois betonista. Huokostuksen onnistumiseen vaikuttaa myös osa-aineiden sekoitusjärjestys. (7, s. 67.)

Huokostuksen laadun tutkimiseen on olemassa erilaisia keinoja. Huokosjakoa voidaan tutkia mikroskooppisesti pinta- tai ohuthiekappaleista tai tuoreesta betonista esimerkiksi AVA-laitteistolla. Betonin pakkasenkestävyyteen on olemassa pakkassuolarasituskoelä sekä jäädytys-sulatuskoelä. (7, s. 67.)

4 Tutkimustyö

Tutkimuksen tarkoituksena oli valmistaa yhteensä kahdeksan erilaista itsetiivistävää betonia. Kaksi massaa, niin sanotut perusmassat, valmistettiin ilman huokostinta ja loput kuusi massaa erilaisilla huokostin-tehonorkestimien yhdistelmillä. Taulukossa 1 on esitetty testattavat lisäaineyhdistelmät.

Notkistin	Huokostin
N1	-
N2	-
N1	H1
N1	H2
N1	H3
N2	H1
N2	H2
N2	H3

Taulukko 1. Testisarjan kulku

Huokostamattomat massat toimivat vertailutietona huokostetuille massoille, ja niiden perusteella voitiin arvioida kunkin huokostimen tehokkuutta ja käyttäytymistä itsetiivistävässä betonissa. Perusmassoilla saatiin myös tietoa tehonorkestimien

ominaisuuksista. Tutkimus suoritettiin Suomen Rakennelujitus Oy:n omassa laboratoriossa Joutsenossa vuonna 2016 tammi-helmikuun aikana.

4.1 Tutkimuksen kulku

Tutkimus aloitettiin hakemalla oikeat annostukset erilaisille huokostin-tehonotkistin-yhdistelmille. Tutkimuksessa massan suhteitus pysyi samana, ainoastaan lisäaineet muuttuivat. Kun eri lisäaineyhdistelmien annostukset oli selvitetty, aloitettiin opinnäytetyön toinen osuus. Toisessa osiossa tutkittiin itsetiivistyvien massojen ominaisuuksien käyttäytymistä, kun massan sekoitusaikaa pidennettiin. Jokainen massa valmistetaan samalla tavalla ja tutkimukset toistetaan yhtä pitkän ajan kuluttua massan valmistuksen aloittamisesta.

4.2 Oikeiden osa-ainemäärien hakeminen

Oikea annostus eri osa-aineidelle täytyi hakea kokeilemalla. Huokostimen valmistajat ovat antaneet suositusarvoja, joiden pohjalta lähdimme hakemaan oikeaa määrää. Jatkoimme testisarjaa suuremmalla huokostinmäärällä, jotta näkisimme, kuinka massojen ilmamäärät kehittyisivät.

5 Testausmenetelmät

Itsetiivistyvälle betonille on olemassa erilaisia testausmenetelmiä kuin normaalille betonille tuoreen massan osalta. Sitoutuneen betonin kohdalla testausmenetelmät ovat kummallakin betonilla samat.

5.1 Tuoreen massan testausmenetelmät

Itsetiivistyvän betonimassan testausmenetelmiä ovat esimerkiksi painuma-leviämäkoe, T₅₀-aika, J-rengaskoe, L-laatikkokoe ja V-suppilokoe (6). Käsittelen opinnäytetyössäni kuitenkin vain ne tuoreen massan testausmenetelmät, joita käytimme tutkimuksessamme. Nämä menetelmät ovat painuma-leviämä, T₅₀-aika ja ilmamäärän mittaaminen. (6, s. 31 – 34.) Standardin mukaisten testausmenetelmien lisäksi tutkimuksessa käytettiin Suomen Rakennelujitus Oy:n omaa, työmaakäyttöön sopivaa leviämäkoetta.

Leviäminen mittaaminen ja T₅₀-aika

Painuma-leviämäkoe on määritelty tarkasti standardissa SFS-EN 12350-8. Kokeessa arvioidaan itsestään betonin valuvuutta ja virtausnopeutta ja sen tulos kuvaa betonin täyttökkyä. (11.)

Koe suoritettiin noin 900 mm halkaisijaltaan olevan levyn päällä. Levy kostutettiin ennen kokeen suorittamista. Levyn päälle ei saanut jäädä irtovettä. Levyyn on piirretty halkaisijaltaan 500 mm ympyrä T_{50} -ajan mittaamista varten.

Kartio asetettiin levyn keskelle ja se täytettiin betonimassalla. Betonimassaa ei tiivistetty eikä sullottu. Tämän jälkeen kartio nostettiin suoraan ylöspäin, jolloin betonimassa valui levyn päälle ympyrän muotoiseksi. Ympyrän suurin halkaisija ja siihen nähden suorassa kulmassa oleva halkaisija mitattiin. Näiden keskiarvona saatiin painuma-leviämän arvo, josta voitiin todeta, onko massa sellainen kuin on haluttu.

T_{50} -aika mitattiin painuma-leviämäkokeen yhteydessä sekuntikellolla. T_{50} -aika on aika, joka kuluu kartion nostamisesta irti levystä massan leviämiseen 500 mm.

Kuvassa 3 on esitetty painuma-leviämäkokeen toteuttaminen Suomen Rakennelujitus Oy:n laboratoriossa.



Kuva 3. Painuma-leviämäko

Itsetiivistyvälle betonin testauksille on annettu yleisesti suositusarvoja. Painuma-leviämäkokeen arvoina suositellaan 650 – 800 mm ja T_{50} -ajan suositusarvot ovat 2 – 8 s. (6.)

Pieni leviämäko

Pieni leviämäko on Suomen Rakennelujitus Oy:n kehittämä oma laadunvalvontakoe, joka on pienoismalli painuma-leviämäkoesta. Pienen leviämäkokeen ennakkoon määritetyt raja-arvot ovat 130 – 160 mm. Nämä arvot vastaavat itsetiivistyvälle betonille yleisesti tehtävän leviämäkokeen arvoja 600 – 850 mm. (12.)

Erottumisen arviointi

Betonimassan erottuvuustaipumusta arvioitiin silmämääräisesti kuvan 4 mukaisen ohjeistuksen perusteella. (13.) Massan erottumista tarkasteltiin painuma-leviämäkokeen yhteydessä tai suoraan betonisekoittimessa.

Erottumisluokka	Silmämääräinen arvio
0	Ei havaittavissa erottumista alustalle levinneessä betonissa eikä myöskään sekoittimessa ja / tai näyteastiassa olevassa betonissa
1	Ei laastimaista reunusta tai runkoainekekoa alustalle levinneessä betonissa, mutta vähäistä vedenerottumista tai itsestään rikkoutuvien ilmahuokosten kertymistä pintaan sekoittimessa tai näyteastiassa olevassa betonissa.
2	Kapea laastimainen reunus (< 10 mm) ja / tai runkoainekeko alustalle levinneessä betonissa ja selvästi haittaavaa vedenerottumista sekoittimessa tai näyteastiassa olevassa betonissa.
3	Selvää erottumista, joka ilmenee leveänä laastimaisena reunuksena (> 10 mm) ja / tai suuri runkoainekeko alustalle levinneessä betonissa ja paksu laastimainen kerros sekoittimessa tai näyteastiassa olevan betonin pinnalla

Kuva 4. Erottumislukien silmämääräinen arviointi

Massan erottuminen oli helpoin havaita pastareunuksen syntymisenä leviämäkkeen yhteydessä. Tällöin massan karkea runkoaines ei kulkeutunut reunalle. Mikäli havaitsimme massalla olevan erottuvuustaipumusta (luokkia 2 – 3), hylkäsimme massan pois jatkotutkimuksista.

Ilmamäärän mittaaminen

Ilmamäärän mittaaminen on määritelty tarkasti standardissa SFS-EN 12350-7. Ilmamäärän mittaamiseen käytettiin painemittarimenetelmää. Mittausastian tilavuus oli 1 litra. Massa valutettiin astiaan rauhallisesti ilman tiivistämistä tai sullontaa. Astian täyttämisen jälkeen mittarin kansiosa laitettiin paikalleen ja mittariin jäänyt tyhjä tila poistettiin täyttämällä mittari vedellä siihen tarkoitettu venttiilistä. Tämän jälkeen mittarilta oli luettavissa betonimassan ilmamäärä. (14.) Kuvassa 5 on esitetty testauksissa käytetty ilmamäärämittari.



Kuva 5. Kokeissa käytetty ilmamäärämittari

Mittauksen jälkeen betonimassan ilmamäärä luettiin mitta-asteikolta. Mittauslaitteen arvot voitiin lukea 0,1 %:n tarkkuudella, kun ilmamäärä oli alle 5 % ja 0,2 %:n tarkkuudella, kun ilmamäärä oli yli 5 %. Yli 10 % ilmamäärät olivat luettavissa 0,5 %:n tarkkuudella.

5.2 Sitoutuneen betonin testausmenetelmät

Sitoutuneen betonin testausmenetelmiä ovat esimerkiksi puristuslujuuden, taivutuslujuuden ja vetolujuuden määrittäminen, kutistuman määrittäminen ja betonin säilyvyyskokeiden tekeminen. Käytin tutkimuksessani ainoastaan puristuslujuuden määrittämistä, koska se antaa riittävästi tietoa tutkimukseni kannalta sitoutuneen betonin ominaisuuksista.

Lujuuden määrittäminen

Koekappaleiden puristuslujuuden määrittäminen on määritelty tarkasti standardissa SFS-EN 12350-8. Puristuslujuuden määrittäminen lyhennetysti tapahtuu siten, että tunnetun kokoinen betonikappale (kuutio, lieriö tai porattu rakennekappale) asetetaan testauskoneeseen ja betonikappale puristetaan murtoon asti. Koekappaleen suurin kestävä voima otetaan muistiin ja murtovoiman ja kappaleen pinta-alan avulla lasketaan betonin puristuslujuus. (15.)

Koekuutiot valettiin 100*100*100 mm³ uretaanimuotteihin. Massaa ei tiivistetty valettaessa. Kuutiot säilytettiin muoteissaan muovilla peitettynä yhden vuorokauden ajan valun jälkeen. Tämän jälkeen kuutiot irrotettiin muoteista ja siirrettiin vesisäilytykseen. Kuutiot säilytettiin vedessä koestuspäivään asti. Kuutiot koestettiin 28 vuorokauden ikäisenä.

Puristuslaitteena käytimme Suomen Rakennelujitus Oy:n omaa betonipuristinta. Laitetta ei ollut kalibroitu eikä se ole nykystandardin mukainen, mutta sen on havaittu näyttävän lähelle todenmukaisia arvoja yrityksen aiemmissa kokeissa. Tästä syystä päätimme, että suoritamme puristuskokeet Suomen Rakennelujitus Oy:n omassa betonilaboratoriossa. Kuvassa 5 on esitetty Suomen Rakennelujituksen Oy:n käyttämä betonipuristin.



Kuva 6. Suomen Rakennelujitus Oy:n betonipuristin

Ennen koekappaleiden puristamista koekappaleen tiheyden mitattiin ja tieto merkittiin pöytäkirjaan. Tämän jälkeen laitteen kantavat pinnat sekä puristettavan koekappaleen puhdistettiin. Koekappale sijoitettiin keskeisesti puristimeen. Puristaminen tapahtui tasaisesti kuormaa kasvattamalla koekappaleen murtoon asti.

6 Tulokset

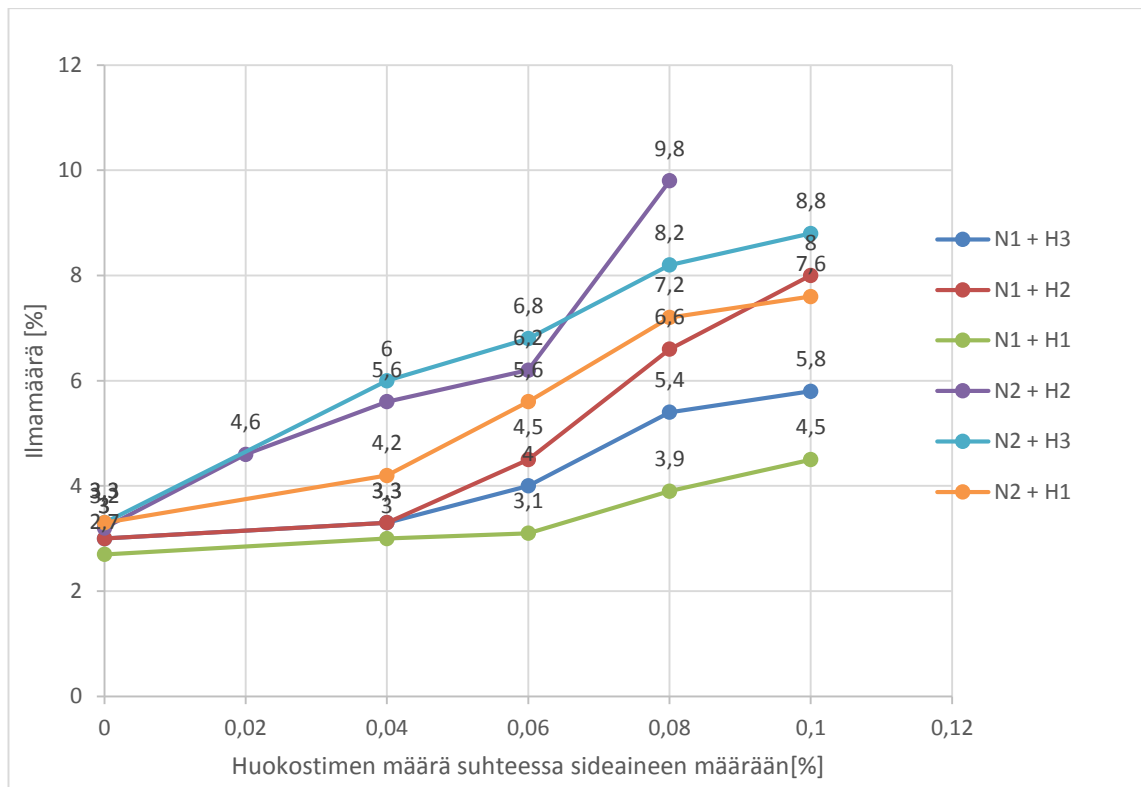
Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa haettiin oikeat annostukset eri lisäaineyhdistelmille. Taulukossa 2 on esitetty testisarjan kulku sekä saadut ilmamäärät eri lisäaineyhdistelmillä.

N1 + H1		
Huokostimen määrä [%]	Ilma [%]	huom!
0	2,7	N1 perusmassa
0,04	3	
0,06	3,1	
0,08	3,9	
0,1	4,5	
N1 + H2		
Huokostimen määrä [%]	Ilma [%]	huom!
0	3	N1 perusmassa
0,04	3,3	
0,06	4,5	
0,08	6,6	
0,1	8	
N1 + H3		
Huokostimen määrä [%]	Ilma [%]	huom!
0	3	N1 perusmassa
0,04	3,3	
0,06	4	
0,08	5,4	
0,1	5,8	

N2 + H1		
Huokostimen määrä [%]	Ilma [%]	huom!
0	3,3	N2 perusmassa
0,04	4,2	
0,06	5,6	
0,08	7,2	
0,1	7,6	
N2 + H2		
Huokostimen määrä [%]	Ilma [%]	huom!
0	3,2	N2 perusmassa
0,02	4,6	
0,04	5,6	
0,06	6,2	
0,08	9,8	
N2 + H3		
Huokostimen määrä [%]	Ilma [%]	huom!
0	3,3	N2 perusmassa
0,04	6	
0,06	6,8	
0,08	8,2	
0,1	8,8	

Taulukko 2. Testisarjan ensimmäisen osio ja saadut ilmamäärät

Taulukosta 3 on helppo havaita, kuinka ilmamäärä käyttäytyy huokostinmäärää kasvatettaessa.



Taulukko 3. Ilmamäärän käyttäytyminen sekoitusajan pidentyessä

Tuloksista voidaan havaita, että eniten ilmaa tuotti huokostin H2. Maltillisin ilmankehitys puolestaan havaittiin olevan N1+H1-yhdistelmällä. Taulukossa 4 on esitetty massat, jotka valittiin suorittamiemme kokeiden perusteella jatkotutkimukseen:

Lisäaineyhdistelmä	Huokostimen määrä [%]	Ilmamäärä [%]
N1 + H1	0,06	3,1
N1 + H2	0,06	4,5
N1 + H3	0,06	4,0
N2 + H1	0,04	4,2
N2 + H2	0,04	5,6
N2 + H3	0,04	6,0

Taulukko 4. Testisarjan toiseen osioon valitut massat

Huokostimen määrä pidettiin samana käytettäessä samaa tehonotkistinta. Tällöin huokostimien välisiä eroja olisi helpompi tarkastella ja vertailla keskenään. Sen sijaan tehonotkistimen 1 ja 2 huokostimien määriksi valikoitiin eri määrät. Suomen Rakennelujitus Oy on asettanut ilmamäärän raja-arvot 3 – 6 %. Tätä väliä käytettiin lähtökohtana tutkimuksellemme. Lähtökohtaisesti betonimassojen

N2+H2 ja N2+H3 ilmapitoisuudet ovat hieman korkeat, mutta asettuvat kuitenkin sallittuihin rajoihin.

6.1 Sekoitusajan vaikutus massan ilmamäärään

Sekoitusajan vaikutusta massan ominaisuuksiin tutkittiin ja ottamalla ilmamäärät ja painuma-leviämäkoe heti massan valmistuttua ja tämän jälkeen kahden minuutin välein. Testisarjaa jatkettiin 10 minuutin kohdalle massan valmistumisesta tai siihen asti, että massan ilmamäärät nousivat yli 12 %:iin.

Alla on esitetty eri itsetiivistyvien betonimassojen käyttäytyminen sekoitusaikaa pidennettäessä. Käytimme testisarjassa vertailuarvoina jokaisen jatkokon valitun massan ilmamäärää ja pienen leviämäkokeen arvoa. Tällöin saatuja arvoja voitiin verrata valmistettavan massan arvoihin ja näin saada tarkempaa tietoa sen käyttäytymisestä.

N1 + H1

Itsetiivistyvä betoni N1 + H1 toimi hyvin 6 minuutin kohdalle. Tämän jälkeen ilmamäärä alkoi nousta tasaisesti 0,5 %:n hyppäyksin. Alla olevassa taulukossa esitetty saadut tulokset.

Sekoitusaika	Ilma [%]	Pieni leviämä [mm]
Vertailuarvot	3,1	125
Valmis massa	3,1	155
2 min	3,2	160
4 min	3,5	160
6 min	4,0	160
8 min	4,5	150
10 min	5,0	135

Taulukko 5. N1 + H1 ilmamäärä ja leviämä

Tuloksista voidaan havaita, että notkistin on jatkanut toimintaa sekoitusajan pidentyessä aina 6 minuutin kohdalle. Tämän jälkeen notkistimen teho loppui ja leviämä pieneni ilmamäärän kasvaessa. Massan ilmamäärä kasvoi hyvin maltillisesti koko testisarjan ajan, eikä pienen leviämäkokeen arvot pudonneet suositusarvojen alle. Mikäli sekoitusaikaa olisi pidennetty vielä kahdella minuutilla, olisi mahdollista, että massan ilmamäärä nousisi liikaa ja leviämän arvo jäisi liian pieneksi.

N1 + H2

Itsetiivistyvä betoni N1 + H2 käyttäytyi alussa lähes samalla lailla kuin H1 + N1. Testausta jatkettaessa huomattiin, että ilmamäärä lähti nousemaan, jonka seurauksena leviämäkokeen arvot pienenevät. Tulokset ovat esitetty taulukossa 6.

Sekoitusaika	Ilma [%]	Pieni leviämä [mm]
Vertailuarvot	4,5	125
Valmis massa	3,5	155
2 min	3,9	160
4 min	4,2	150
6 min	4,4	145
8 min	5,0	130
10 min	6,2	130

Taulukko 6. N1 + H2 ilmamäärä ja leviämä

Tuloksista voidaan havaita, että notkistin vaikutti vielä kahden minuutin päähän massan valmistumisesta, jonka jälkeen leviämäkokeen arvot lähtivät pienene-
mään. 4 minuutin kohdalla leviämä alkoi pieneneään voimakkaasti ilmamäärän
nousemisen takia. Ilmamäärän arvot pysyivät kuitenkin testisarjan loppuun asti
melko maltillisina eivätkä leviämän arvot pudonneet alle suositusarvojen.

N1 + H3

Itsetiivistyvä betoni N1 + H3 toimi hyvin. Ilmamäärän kasvaminen pysyi maltilli-
sena koko testisarjan läpi. Saadut tulokset ovat esitetty taulukossa 7.

Sekoitusaika	Ilma [%]	Pieni leviämä [mm]
Vertailuarvot	4,0	125
Valmis massa	3,8	150
2 min	3,8	150
4 min	4,0	150
6 min	4,3	140
8 min	4,8	130
10 min	4,9	120

Taulukko 7. N1 + H3 ilmamäärä ja leviämä

Tuloksista voidaan havaita, että notkistimen toiminnan raja-arvo on 4 ja 6 minu-
tin välillä. Tämän jälkeen leviämä pienenee nopeasti, vaikka ilmamäärän kehitty-
minen on hyvin maltillista.

Yhteenveto N1-massoista

Tehonotkistimen 1 kohdalla voidaan todeta, että ilmamäärän kehittyminen oli maltillista jokaisen eri huokostimen kohdalla. Notkistimen toiminta oli hieman erilaista jokaisen huokostimen kanssa. Notkistimen N1 toiminnan raja-arvot vaikuttaisivat asettuvan 2 – 8 minuutin välille, jonka jälkeen leviämä lähtee pieneneväseen.

N1-sarjan massojen pienen leviämäkokeen arvot poikkesivat jokaisessa massassa vertailuarvoon verrattuna. Vertailuarvoina toimivat massat valmistettiin eri päivänä ja eri erän hiekoista kuin tämän testisarjan massat. Koska poikkeama pienen leviämäkokeen arvoissa toistui läpi koko testisarjan, on mahdollista, että esimerkiksi hiekkojen kosteuden määrittämisessä on tullut virhe. Testisarjan toisessa vaiheessa saadut tulokset vaikuttavat olevan lähempänä todellista tulosta, sillä aiemmin kaikille massoille saatu leviämisen arvo 125 mm on hyvin pieni.

Ilmamäärät vastasivat erinomaisesti vertailuarvoja jokaisen massan kohdalla. Tämäkin viittaisi siihen, että vertailuarvoissa saadut leviämisen arvot ovat vääriä, sillä samalla ilmamäärällä massa on levinnyt paremmin testisarjan jälkimmäisessä osiossa.

N2 + H1

Itsetiivistyvä betoni N2 + H1 vastasi leviämältään vertailumassaa hyvin. Sen ilmamäärä kuitenkin poikkesi huomattavan paljon lähtökohdasta. Saadut tulokset ovat esitetty taulukossa 8.

Sekoitus aika	Ilma [%]	Pieni leviämä [mm]
Vertailuarvot	4,2	150
Valmis massa	6,0	145
2 min	6,6	140
4 min	6,4	120
6 min	6,8	115
8 min	8,0	110
10 min	8,6	105

Taulukko 8. N2 + H1 ilmamäärä ja leviämä

Massan leviämisen arvot putosivat myös huomattavan paljon. Tämä johtuu siitä, että massa alkoi olla lopussa todella ilmavaa, ”kermavaahtomaista”, ja hyvin koossapysyvää. Tulosten perusteella massan ilmantuotto oli niin voimakasta,

ettei notkistimen toiminta riittänyt pitämään massaa riittävän notkeana kuin 2 minuutin päähän valmistumisesta.

Tuloksista havaitaan, että ilmamäärässä olisi tapahtunut pienenemistä kahden ja neljän minuutin välillä. Tämä ei kuitenkaan käytännössä ole mahdollista, sillä massaa ei tiivistetty eikä sullottu kokeiden yhteydessä. Kyseessä on todennäköisesti mittausvirhe, joka on kuitenkin niin pieni, ettei sillä ole merkitystä testisarjan kannalta.

N2 + H2

Itsetiivistyvä betoni N2 + H2 käyttäytyi aivan eri lailla kuin aiemmin valmistettu vertailumassa. Ilmamäärä kasvoi todella paljon ja vastoin olettamuksia, leviämisen tulos kasvoi samalla, vaikka massan ilmamäärä oli paljon suurempi (tulokset alla).

Sekoitus aika	Ilma [%]	Pieni leviämä [mm]
Vertailuarvot	5,6	120
Valmis massa	9,4	140
2 min	11,2	125
4 min	13	115
6 min	-	-
8 min	-	-
10 min	-	-

Taulukko 9. N2 + H2 ilmamäärä ja leviämä

4 minuutin jälkeen massan ilmamäärä nousi jo 13 %:iin. Lopetimme testisarjan siihen, sillä massa oli vaahtoutunut todella voimakkaasti, eikä massaa enää voinut pitää itsetiivistyvänä betonina.

Emme uusineet testisarjaa, sillä jo tutkimuksen ensimmäisessä osiossa havaittiin, että lisäaineyhdistelmä oli epästabili, mutta halusimme saada massan tulokset vertailun vuoksi. Yhdistelmä N2 + H2 ei sovellu Suomen Rakennelujitus Oy:n käyttöön.

N2 + H3

Itsetiivistyvä betoni N2 + H3 vastasi ilmamäärältään vertailumassaa hyvin. Tuloksista voidaan todeta, että ilmamäärä lähti nousemaan tasaisesti sekoitusajan pidentyessä. Vastaavasti leviämisen arvot pienenivät, kun massan ilmamäärä nousi.

Massa käyttäytyi odotetulla tavalla. Saadut tulokset ovat luettavissa taulukossa 10.

Sekoitusaika	Ilma [%]	Pieni leviämä [mm]
Vertailuarvot	6	125
Valmis massa	6,6	150
2 min	7,4	150
4 min	8,4	140
6 min	10,2	120
8 min	12	110
10 min	-	-

Taulukko 10. N2 + H3 ilmamäärä ja leviämä

Lopetimme testisarjan 8 minuutin jälkeen, sillä ilmamäärä nousi 12 %:iin, eikä massa ollut enää käyttökelpoista.

Yhteenveto N2-massoista

Tehonotkistimen 2 kanssa huomattiin, että huokostimien ilman tuottaminen on voimakkaampaa. N2-massat käyttäytyivät pääosin hyvin odottamattomasti ja epästabiliisti.

N2-notkistimen havaittiin reagoivan nopeammin ja tällöin saavuttavan maksimi-leviämän nopeammin kuin N1-notkistin. Tämän takia sekoitusaikaa ei voi pidentää paljon, sillä leviämä putoaa voimakkaasti ilmamäärän kasvamisen seurauksena.

6.2 Sekoitusajan vaikutus lujuteen

Kovettuneen betonin ominaisuuksien tutkimista varten valmistimme puristuskoekappaleet jokaisesta massasta. Koekappaleiden koeistus tapahtui 28 vuorokauden ikäisenä. Taulukossa 11 on esitetty lähtökohtamassojen sekä testisarjan massojen puristuslujuudet. Testisarjan koekuutiot valettiin samalla hetkellä kuin vertailumassojen eli massan valmistumishetkellä. Tällöin vertailutietona käytetyn massan sekä testisarjan massan lujuuden arvojen pitäisi vastata toisiaan.

Jokaisesta massasta valettiin koekuutiot myös testisarjan lopetusvaiheessa, jolloin massan ilmamäärä oli suurimmillaan. Tällöin voitiin verrata ilmamäärän vaikutusta kovettuneen betonin lujuteen. Jokaisesta massasta valmistettiin kaksi

koekappaleita, jotta mahdollisen mittausvirheen tulkitseminen olisi helpompaa. Saadut keskiarvotulokset ovat esitetty taulukossa 11.

Reseptin tunnus	Vertailumassa [MPa]	Testisarjan massa (alku) [MPa]	Testisarjan massa (loppu) [MPa]
N1 + H1	87,5	85,5	75,0
N1 + H2	81,0	80,0	74,5
N1 + H3	83,0	86,5	77,5
N2 + H1	51,0	79,5	68,0
N2 + H2	65,5	64,0	50,0
N2 + H3	81,0	80,5	58,0

Taulukko 11. Puristuslujuuksien keskiarvot

Saaduista tuloksista voidaan havaita selvästi, että testisarjan lopussa valmistetut koekappaleet saavuttivat huomattavasti heikomman lujuuden kuin massan valmistumishetkellä valetut koekappaleet. Lujuuden heikkeneminen johtuu suoraan ilmamäärän kasvamisesta, sillä betonissa oleva ilma ei ota rasituksia vastaan. Resepti N1 + H1 on hyvä esimerkki ilmamäärän vaikutuksesta. Sekä vertailutietona käytetyn massan sekä testisarjan massan lujuudet ovat hyvin lähellä toisiinsa, mutta ilmamäärän lisääntyessä lujuus on heikentynyt noin 10 MPa.

Saaduissa tuloksissa on havaittavissa yksi selkeä poikkeama, joka on reseptin N2 + H2 kohdalla vertailumassan lujuudessa. Saatua lujuutta 65,5 MPa poikkeaa huomattavasti muista reseptiltä saaduista arvoista. Käsittelen tätä poikkeamaa myöhemmin luvussa 7.2 Virheenarviointi ja mittaustarkkuus.

Ilmamäärän tiedetään yleisesti vaikuttavan lujuuteen heikentävästi. Tästä syystä lujuudenkehitys ei ollut tutkittava asia, joten en paneudu siihen enempää opinäytetyössäni.

7 Päätelmät

7.1 Sekoitusajan vaikutus massan ominaisuuksiin

Sekoitusajalla huomattiin olevan merkittävä vaikutus itsetiivistyvän betonimassan ominaisuuksiin. Testisarjan yhteydessä huomattiin, että massan ilmapitoisuus

nousee sekoitusajan pidentyessä. Ilmamäärän kohotessa massan koosapysyvyys paranee ja tämä pienentää massan leviämää. Ilmamäärän nouseminen vaikuttaa myös lujuudenkehitykseen heikentävästi.

Notkistimen N1 kohdalla havaittiin, että kaikki massat olivat hyvin samankaltaisia ja käyttäytyivät stabiilisti. Paras resepti N1-sarjan massoista oli N1 + H1. Massa kesti parhaiten sekoittamista eikä vielä testisarjan aikana ylittänyt itsetiivistyvälle betonille annettuja suositusarvoja leviämisen tai ilmamäärän suhteen. Jotta N1 + H1 -reseptin voisi ottaa tuotantoon, siitä täytyisi tehdä huomattavasti laajempi testisarja ja paljon toistoja, jotta voidaan varmistua massan tasaisesta käyttäytymisestä.

Notkistimen N2 havaittiin käyttäytyvän epästabiilisti testisarjan aikana. Massojen sekoitusajan tulisi olla täsmälleen oikea, jotta itsetiivistyvän betonin suositusarvoihin päästään. Tämä ei työmaalla ole välttämättä aina mahdollista, joten massan tulisi kestää sekoittamista paremmin. Tämän tutkimuksen perusteella yksikään N2-resepti ei kelpaa Suomen Rakennelujitus Oy:n käyttöön.

7.2 Virheenarviointi ja mittaustarkkuus

Tutkimuksen jokainen vaihe pyrittiin vakioimaan ja muuttamaan vain yhtä muuttujaa kerralla. Myös olosuhteiden hallintaan kiinnitettiin huomiota, jotta ulkopuoliset tekijät eivät vaikuttaisi massojen käyttäytymiseen. Laboratorion lämpötila ja kosteusolosuhteet kuitenkin vaihtelivat hieman, joten tämä on voinut aiheuttaa virhettä tuloksiin.

Puristuslujuuden määrittämisessä huomattiin, että reseptin N2 + H2 kohdalla lujuus oli todella heikko verrattuna muihin lujuuksiin. Tämä tulos on hieman mysteeri, sillä muut tulokset olivat melko hyvin lineaarisia keskenään. Syy tähän poikkeamaan voi olla tulosten kirjaamisessa tai lukemisessa puristuskoneen mittarilta, koekappaleen valutyön epäonnistuminen, valupinnan käyttäminen puristus-pintana, koekappaleen epäkeskeinen sijoittaminen puristuskoneeseen tai jokin muu tiedostamaton syy.

Tutkimuksessa käytettyjä laitteita ei ollut kalibroitu. Tämä vaikuttaa osaltaan mittaustarkkuuteen. Tutkimuksen tarkoituksena ei kuitenkaan ollut saada täysin

tarkkoja mittaustuloksia, vaan pelkästään suuntaa-antavaa tietoa eri lisäaineyhdistelmien toiminnasta. Tällä testisarjalla saimmekin selville ne reseptit, jotka toimivat ja ne, jotka eivät toimi.

7.3 Tutkimuksen lopputulos ja jatkotutkimusehdotuksia

Tutkimuksesta saatiin tietoa uusien lisäaineyhdistelmien käyttäytymisestä. Voidaan todeta, että notkistin N1 toimi yhdistelmissä selvästi paremmin kuin notkistin N2.

Paras resepti oli tutkimuksen perusteella N1 + H1. Resepti vaatii kuitenkin paljon toistoja, jotta voidaan varmistua sen käyttäytymisestä tuotannossa. Lisäksi reseptistä pitäisi tutkia muun muassa sen kutistumis-, kuivumis- ja säänkestävyysominaisuuksia.

Notkistimen N2-sarja käyttäytyi hyvin epästabiilisti. Ehdotan myöhemmin tutkittavaksi samoja reseptejä, mutta pienemmällä huokostinmäärillä. Parhaiten N2-sarjan massoista toimi N2 + H1, joten todennäköisesti sitä olisi helpoin muokata paremmaksi. Toinen vaihtoehto olisi tutkia massoja toistojen avulla mutta lukita sekoitusajan raja-arvojen antamiin puitteisiin. Massan kehittäminen tähän suuntaan voi aiheuttaa ongelmia työmaakäytössä, mikäli massaa joudutaan sekoittamaan pidempään.

Toinen vaihtoehto jatkotutkimukselle notkistimen N2 osalta on se, että tutkitaan sekoitusajan vaikutusta huokostamattomaan betonimassaan. Tällä tutkimuksella voisi selvittää, johtuuko ilmamäärän raju kasvaminen notkistimesta, huokostimesta vai niiden yhdistelmästä.

7.4 Tutkimuksen ja opinnäytetyöprosessin vaikeudet

Tämä oli minun ensimmäinen näin laaja tutkimustyö betonituotekehityksen parissa. Laboratoriotyöskentely vaati opettelua ja toimintatavat kehittyivät koko ajan tutkimuksen edetessä. Tutkimuksen toisessa osuudessa tiheä näytteidenottoväli tuotti myös omat haasteensa tutkimuksen suorittamiseen.

Haastavaa oli saada pidettyä tutkimus riittävän suppeana, jotta se ei kasvaisi liikaa opinnäytetyön puitteissa. Mikäli jokin tuote olisi haluttu saada valmiiksi tuotteeksi asti, olisi testisarja laajentunut todella paljon ja mukaan olisi tullut useita erilaisia koejärjestelyjä.

Opinnäytetyöprosessin suurimmat haasteet olivat lähdekirjallisuuden käyttämisessä. Itsetiivistävästä betonista löytyy todella paljon tehtyjä tutkimuksia, joten valmiiksi kirjoitetun tiedon kirjoittaminen omin sanoin on haastavaa. Lisäksi vain opinnäytetyöni kannalta oleellisten asioiden löytäminen kaiken tiedon joukosta oli hankalaa.

Kuvat

Kuva 1. SRL60/6RH-korjausbetonin lujuuden kehitys

Kuva 2. Suomen Rakennelujitus Oy:n betoniasema kuorma-auton lavalla

Kuva 3. Painuma-leviämäkoe

Kuva 4. Erottumisloukkien silmämääräinen arviointi

Kuva 5. Kokeissa käytetty ilmamäärämittari

Kuva 7. Suomen Rakennelujitus Oy:n betonipuristin

Taulukot

- Taulukko 1. Testisarjan kulku s.11
- Taulukko 2. Testisarjan ensimmäisen osio ja saadut ilmamäärät s. 16
- Taulukko 3. Ilmamäärän käyttäytyminen sekoitusajan pidentyessä s. 20
- Taulukko 4. Testisarjan toiseen osioon valitut massat s. 20
- Taulukko 5. N1 + H1 ilmamäärä ja leviämä s.21
- Taulukko 6. N1 + H2 ilmamäärä ja leviämä s.22
- Taulukko 7. N1 + H3 ilmamäärä ja leviämä s.22
- Taulukko 8. N2 + H1 ilmamäärä ja leviämä s.23
- Taulukko 9. N2 + H2 ilmamäärä ja leviämä s.24
- Taulukko 10. N2 + H3 ilmamäärä ja leviämä s.25
- Taulukko 11. Puristuslujuuksien keskiarvot s.26

Lähteet

1. Suomen Rakennelujitus Oy. www.rakennelujitus.fi. Luettu 11.1.2016.
2. Suomen Rakennelujitus Oy. <http://www.rakennelujitus.fi/wp/toimialat/betoniuotteet>. Luettu 11.1.2016.
3. ITB Itsetiivistyvä betoni 2004. Betonikeskus ry, Suomen Betonitieto Oy.
4. Suomen Rakennelujitus Oy. <http://www.rakennelujitus.fi/wp/toimialat/itsetiivistyva-betoni>. Luettu 12.1.2016.
5. Wirtanen, L & Vasama, M. 2001 Itsetiivistyvät betonit. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja ympäristötekniikan osasto, rakennusmateriaalitekniikan laboratorio. Julkaisu 14.
6. ITB Itsetiivistyvä betoni. 2004. Loviisa: Suomen Betonitieto Oy.
7. By 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. Seitsemäs painos. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.
8. Vanamo, V. 2009. Itsetiivistyvän, maksimiraekooltaan 16 mm korjausbetonin kehittäminen. Opinnäytetyö. Saimaan ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma.
9. Itsetiivistyvän betonin käyttö paikallavalurakenteissa. 2004. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.
10. Suomen Rakennelujitus Oy. http://www.rakennelujitus.fi/wp/wp-content/uploads/2012/04/SRL-60_6_RH-Rakennelujitus.pdf. Luettu 13.1.2016.
11. SFS-EN 12350-8. 2010. Tuoreen betonin testaus. Osa 8: Itsetiivistyvä betoni. Painuma-leviämä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
12. Vanamo, V. Henkilökohtainen tiedonanto. 14.4.2016.
13. Tiehallinto. 2005. Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Betonirakenteet – SYL 3. http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/syl/syl3_2005v.pdf. Luettu 16.4.2016.
14. SFS-EN 12350-7. 2009. Tuoreen betonin testaus. Osa 7: Ilmamäärä. Paine menetelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
15. SFS-EN 12390-3. 2009. Kovettuneen betonin testaus. Osa 3: Koekappaleiden puristuslujuus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.