

Akseli Varjonen

Itsetiivistyvän betonin käyttö infrarakenteissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

12.4.2018

Tekijä Otsikko	Akseli Varjonen Itsetiivistyvän betonin käyttö infrarakenteissa
Sivumäärä Aika	36 sivua 12.4.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennetekniikka
Ammatillinen pääaine	Infrarakentaminen
Ohjaajat	Laatupäällikkö Antti Värri Lehtori Jouni Ruotsalainen
<p>Tässä opinnäytetyössä tutkimuskohteena oli itsetiivistyvän betonin käyttö infrarakenteissa sekä itsetiivistyvän betonin ominaisuudet ja ongelmat. Työn tilaajana toimi Graniittirakennus Kallio Oy.</p> <p>Työn tulos perustuu kirja- ja internetlähteisiin sekä haastattelututkimukseen. Kirjalähteistä saatu tieto liittyy pääosin itsetiivistyvän betonin teknisiin ominaisuuksiin ja suhteutukseen. Haastateltavina oli Graniittirakennus Kallio Oy:n työnjohtajia, jotka omaavat kokemusta itsetiivistyvistä betonista sekä asiantuntija VTT:ltä</p> <p>Tuloksena toimii kirjallinen raportti, jossa on eritelty itsetiivistyvän betonin mahdollisia käyttökohteita infrarakenteissa. Tärkeimpänä tuloksena saatiin korjaus- ja sillanrakentamisen käyttömahdollisuuksiin liittyvää tietoa. Lisäksi työssä on pohdittu itsetiivistyvän betonin käytön lisäämisen hyötyjä ja mahdollisuuksia.</p> <p>Insinöörityössä onnistuttiin kuvaamaan itsetiivistyvän betonin tärkeimmät käyttökohteet infrarakenteissa sekä infran korjauskohteissa. Työn tuloksen perusteella itsetiivistyvä betoni voidaan todeta käyttökelpoiseksi materiaaliksi infrakohteissa, erityisesti silloin, kun rakenteelle tavoitellaan hyvää pintalaatua. Itsetiivistyvän betonin rajoittava tekijä on sen korkea hinta ja sekä sen vaatima tarkempi laadunvalvonta.</p>	
Avainsanat	itsetiivistyvä betoni, infrarakentaminen

Author Title	Akseli Varjonen Use of Self-Compacting Concrete in Infrastructural Structures
Number of Pages Date	36 pages 12 April 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Infrastructural Engineering
Instructors	Antti Värri, Quality Manager Jouni Ruotsalainen, Senior Lecturer
<p>The thesis was commissioned by Graniittirakennus Kallio Oy. The aim of this thesis was to study the use of self-compacting concrete in infrastructural structures.</p> <p>The results are based on literature and internet sources and on an interview study. The information gathered from literature sources deals with the technical properties of self-compacting concrete. Persons interviewed were foremen from Graniittirakennus Kallio Oy and a senior scientist from VTT.</p> <p>The result of the thesis is a report in which the possible uses of self-compacting concrete in infrastructural structures are contemplated. The most important result was the information about the use of self-compacting concrete in bridges and in reconstruction. In addition, the thesis contemplates the positive outcomes of increasing the use of self-compacting concrete.</p> <p>The most important uses of self-compacting concrete are described in the thesis. The result self-compacting concrete is a usable material in infrastructural structures, especially when good surface quality is needed. The higher cost and quality control of self-compacting concrete is its biggest limiting factor.</p>	
Keywords	self-compacting concrete, infrastructural construction

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Perustietoa betonista	1
2.1	Yleistä	1
3	Itsetiivistyvä betoni	2
3.1	Yleistietoa	2
3.2	Käytön etuja	3
4	Itsetiivistyvän betonin ominaisuudet	3
4.1	Massan ominaisuudet	3
4.1.1	Vaatimukset	4
4.1.2	Tuoreen massan testaus	5
4.1.3	Työstettävyysaika	7
4.1.4	ITB:n huokostus ja ilmamäärä	7
4.2	Mekaaniset ominaisuudet	8
4.2.1	Puristuslujuus ja lujuudenkehitys	8
4.2.2	Taivutusvetolujuus	8
4.2.3	Tartuntaominaisuudet	8
4.2.4	Kutistuminen ja viruma	9
4.3	Pakkasenkestävyys	9
4.4	Palonkesto	10
5	Suhteitus ja valmistustekniikka	11
5.1	Peruseriaatteet	11
5.2	Erottuminen ja läpäisykyky	12
5.3	Valmistustekniikka	12
6	Itsetiivistyvän betonin käyttö infrarakenteissa	14
6.1	Käytön edut ja taloudellisuus	14
6.2	Valmistavat toimenpiteet ja ITB-valun erityispiirteet	15
6.3	Valu	16
6.3.1	Massan siirrot	17
6.4	Käyttökohteet	18

6.4.1	Seinät	18
6.4.2	Manttelointi	18
6.4.3	Sillat	19
6.4.4	Korjauskohteet	20
6.5	Muottitekniikka	22
6.5.1	Muottipaine ja muotin tiiviys	24
6.6	Pintojen laadut	25
6.6.1	Vaakapinnat, niiden viimeistely ja jälkihoito	26
6.7	Ongelmat	27
7	Laadunvalvonta	30
7.1	Yleistä	30
7.2	Osa-aineiden laadunvalvonta	31
7.3	Betonin käytön laadunvalvonta	31
7.3.1	Kuljetus ja logistiikka	31
7.3.2	Pumppaus, valu ja pintojen laatu	32
7.3.3	Massan perusominaisuudet ja ilmamäärä juuri ennen valua	32
7.4	Säilyvyys	33
7.5	Rakenteen suunnittelu sekä valun suunnittelu ja suorittaminen	33
8	Tulokset	34
9	Yhteenveto	34
	Lähteet	36

Lyhenteet

ITB Itsetiivistyvä betoni

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehdään Graniittirakennus Kallio Oy:lle. GRK:n perusti maanrakentaja Armas Kallio Tuusulassa vuonna 1983. Yhtiö laajensi toimintaansa infraurakointiin vuonna 2007 ja siitä kasvoi yhtiön päätoimiala. Graniittirakennus Kallio on yksi Suomen merkittävimmistä pörssiin kuulumattomista yksityisistä infraurakointiyrityksistä. Yhtiön toimialoihin kuuluvat kaikki infrarakentamien osa-alueet.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia itsetiivistyvän betonin soveltuvuutta infrarakenteisiin. Itsetiivistyvä betoni on betonityyppi, joka ei vaadi mekaanista tiivistystä, kuten tavanomainen betoni.

Opinnäytetyön tutkimus tarkastelee itsetiivistyvän betonin tarjoamia mahdollisuuksia työmaan näkökulmasta.

Tavoitteena on selvittää, millaisiin infran kohteisiin, niin uudisrakennus- kuin korjausurakoinnin puolella, itsetiivistyvä betoni olisi käyttökelpoista. Tutkimus toteutetaan käyttämällä kirjallisia lähteitä sekä asiantuntijoiden haastatteluilla. Opinnäytetyössä käydään myös läpi itsetiivistyvän betonin ominaisuudet sekä sen laadunvalvontaan liittyvät seikat. Opinnäytetyön tuloksena on kirjallinen raportti.

.

2 Perustietoa betonista

2.1 Yleistä

Betoni on sementin, kiviaineksen ja veden muodostamaa keinotekoisia kiveä. Sementin ja veden sekoituessa tapahtuu kemiallinen reaktio, joka kovettaa seoksen sementtikiveksi. Betonin runkoaine on siihen käytettävä kiviaines, joka tuotetaan joko murskaamalla louhittua kiveä tai suoraan luonnon soraesiintymistä. Edellä mainittujen ainesosien lisäksi betonimassaan lisätään usein sen ominaisuuksiin eri tavoilla vaikuttavia lisäaineita.

Betonirakenteet voivat olla raudoitettuja tai raudoittamattomia. Raudoitetuissa rakenteissa betonin ja raudoituksen yhteistoiminta kestää rakenteeseen kohdistuvat rasitukset, raudoittamattomassa rakenteessa betoni yksin kestää rasitukset.

[2, s.15-19.]

Tämä insinööri työ keskittyy itsestään tiivistyvään betoniin, sen ominaisuuksiin ja käyttömahdollisuuksiin infrarakenteissa.

3 Itsetiivistyvä betoni

3.1 Yleistietoa

Itsetiivistyvällä betonilla on kyky täyttää muotit ja ympäröidä raudoitus ilman että sitä tarvitsee tiivistää mekaanisesti. Itsetiivistyvä betoni on yleisnimitys samoin kuin perinteinen tiivistystyötä vaativa betoni. Sen koostumus eroaa tavanomaisesta betonista muutamilla osa-alueilla. ITB sisältää enemmän hienoainesta ja se sisältää tehokasta niin kutsuttua kolmannen sukupolven notkistinta.

Lisähienoaines, jota ITB:ssa käytetään voi olla jauhemateriaalia, joka ei reagoi massan muiden aineksien kanssa tai reaktiivista ainetta kuten sementtiä tai lentotuhkaa. ITB-massaan voidaan lisätä myös sen viskositeettiominaisuuteen vaikuttavaa stabilaattoria. ITB-massojen koostumukset voivat vaihdella hyvinkin paljon ja tästä johtuen tutkittaessa ITB:n ominaisuuksia, joudutaan massojen koostumuserot ottamaan asianmukaisesti huomioon.

Johtuen suuresta hienoaines- ja sementtimäärästä, ITB:n lujuus on yleisesti ottaen suuri. Sen lujuus on usein verrattavissa korkealujuusbetonin tasoa (yli K60) tai hyvin lähellä sitä. ITB vastaakin monilta ominaisuuksiltaan korkealujuusbetonia. On kuitenkin mahdollista valmistaa lujuudeltaan normaaleja itsetiivistyviä betoneja.

[1, s. 7.]

3.2 Käytön etuja

Itsetiivistyvän betonin käytön etuja ja taloudellisuutta on tarkasteltava tapauskohtaisesti. Yleisimmin syy itsetiivistyvän betonin käyttöön on mitä siinä, että valu voidaan suorittaa nopeasti ja betonointityön suorittamiseen ei tarvita läheskään samaa määrää valumiehiä kuin tavanomaista betonia käytettäessä.

Itsetiivistyvä betoni poistaa työsuorituksesta tiivistystyön ja siihen liittyvät ongelmat, kuten mahdolliset tiivistyskaluston rikkoutumiset sekä esimerkiksi sähkökatkojen tuomat häiriötilanteet.

ITB:n avulla pyritään takaamaan rakenteelle erinomainen tiiveys ja hyvät säilyvyysominaisuudet. Valettaessa itsetiivistyvällä betonilla, ei raudoitusta tarvitse suunnitella siten, että tiivistystyön haasteita pitäisi ottaa suunnittelussa huomioon. Tällöin monimuotoisten, tiheästi raudoitettujen tai muuten haastavien rakenteiden valaminen helpottuu suuresti.

[1, s. 8.]

4 Itsetiivistyvän betonin ominaisuudet

4.1 Massan ominaisuudet

Itsetiivistyvän betonimassan kolme perusominaisuutta ovat valuvuus, läpäisykyky ja erottumattomuus. Valuvuus kuvaa massan kykyä täyttää muotti, läpäisykyvyllä tarkoitetaan massan kykyä olla kasautumatta raudoitteiden väliin tai taakse ja erottumattomuus tarkoittaa massan kykyä pysyä kasassa. [1, s. 28-29.]

ITB-massa koskevat muun muassa seuraavat ominaisuudet:

- Työstettävyys: kuvaa massan käyttökelpoisuutta
- Muokkautuvuus: muodostuu valuvuudesta, läpäisykyvystä ja erottumattomuudesta
- Staattinen erottumattomuus: tarkoittaa erottumattomuutta valun jälkeisenä aikana

- Dynaaminen erottumattomuus: kuvaa runkoaineen erottumattomuutta valussa ja massaa siirrettäessä
- Vedenerottuminen: tarkoittaa ylöspäin suuntautuvaa veden liikettä betonimassassa, minkä johdosta betonin pinnalle kertyy vettä
- Painuma: tarkoittaa valun jälkeen tapahtuvaa betonin asettumista ennen sen lopullista sitoutumista
- Herkkyys: kuvaa massaominaisuuksien ja kovettuneen betonin suhdetta vastaavaan osa-aineiden määrien ja laadun sekä tuotantoparametrien vaihteluun.

[1, s.12-13.]

Itsetiivistyvän betonia koskee, itsetiivistyvyyden lisäksi, samoja ominaisuusvaatimuksia kuin tiivistettävää betonia. Näihin ominaisuuksiin lukeutuu muun muassa lujuus-, säilyvyys- ja esteettiset ominaisuudet. Lisäksi betonimassan tulee olla hyvin työstettävää, pumpattavaa ja sen on omattava oikea ilmamäärä. [1, s. 28-29.]

4.1.1 Vaatimukset

ITB-massan ja tavanomaisen betonin ominaisuuksissa on niin paljon eroavaisuuksia, että ITB-massaa varten on olemassa tavanomaisesta poikkeavia menetelmiä sen ominaisuuksien selvittämiseksi. Tämä koskee erityisesti betonimassan muokkautuvuuden määrittelyä, sillä ITB:n tiivistyminen perustuu kauttaaltaan massalle asetettuihin vaatimuksiin, kun taas tavanomaiselle betonille on määritetty huomattavan paljon yksinkertaisemmat notkeusluokittelut. Nämä notkeusluokittelut eivät päde itsetiivistyvään betoniin, koska massan muokkautuvuusominaisuudet menevät asetettujen normien yli. Tavanomainen betoni on jaettu neljään notkeusluokkaan (S1-S4), kun taas ITB:lla niitä on kolme (taulukko 1). Itsetiivistyvän betonin notkeusluokat perustuvat painuma-leviämäkokeeseen.

Taulukko 1. Itsetiivistyvän betonin notkeusluokat. [8, s.248.]

Painuma-leviämäluokat	
Luokka	Painuma-leviämä [mm]
SF1	550-650
SF2	660-750
SF3	760-850

ITB-massan valuvuuden vaatimuksiin vaikuttaa monia tekijöitä. Lähtökohtaisesti liian suuri valuvuus ei ole toivottavaa, sillä se nostaa massan erottumisen riskiä. Lisäksi suuri valuvuus voi nostaa myös massakustannuksia. Edellisistä syistä johtuen on aina kannattavaa pyrkiä mahdollisimman pieneen valuvuuteen ja läpäisykykyyn. On kuitenkin olemassa mahdollisia esteitä alhaisen valuvuuden käyttämiselle. Esimerkiksi, jos betonipinnan laadulle on asetettu tiukka vaatimus, on syytä tinkiä valuvuuden suhteen. Myös rakenteen raudoitteiden tiheys vaikuttaa vaadittavaan valuvuuteen. Esimerkiksi tiheään raudoitettujen palkkien valaminen ei onnistu kunnolla, jos betoni ei pääse valumaan vapaasti muotissa.

ITB-massan erottumattomuudelle asetetut vaatimukset voivat olla hyvin tärkeitä valun lopputuloksen kannalta. Vedenerottuminen massasta voi vaikuttaa muottipinnan väriin ja myös betonimassan mikrorakenteeseen. Kiviaineksen erottuminen pastaosuudesta voi aiheuttaa tavanomaista suurempaa kutistumista niillä osin, missä karkeampi kiviaines puuttuu. Kiviaineksen erottuminen vaikuttaa myös betonin kimmo-ominaisuuksiin. Erottumisen arvioinnissa esiintyy kuitenkin ongelmia, sillä betonimassan ominaisuudet voivat muuttua ajan kuluessa. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka massa olisi heti valmistuksen jälkeen erottumatonta, voi tilanne muuttua kuljetuksen ja valun aikana. Näiden muutoksien syinä voi olla lisäaineiden aiheuttamia, massan lämpötila tai olosuhteiden lämpötila.

Myös valutapa asettaa omia vaatimuksiaan ITB-massalle. Mikäli valutusmatka on erityisen pitkä, tai valu toteutetaan painevaluna, on betonimassan oltava dynaamisesti stabiilia ts. sen on pysyttävä koostumukseltaan homogeenisena. Pitkän valutusmatkan aiheuttamia riskejä voidaan pienentää lisäaineiden avulla.

[1, s. 29-30.]

4.1.2 Tuoreen massan testaus

Tuoreen ITB-massan tarkasteltavia ominaisuuksia ovat sen muokkautuvuus, erottuvuus ja juoksevuus.

Yleisimmät muokkautuvuusominaisuuksia mittaavat menetelmät ovat painuma-leviämä-koe ja T50 aika, L-laatikko ja V-suppilo, joiden avulla tarkastellaan betonimassan valuvuutta. Erottuvuutta tarkastellaan silmämääräisesti hyödyntäen edellä mainittuja menetelmiä.

Painuma-leviämämittauksessa (kuva 1) kartion mallinen muotti täytetään tuoreella betonimassalla, muotti poistetaan, ja mitataan levinneen betonimassan suuruus. Mittaus on helppo suorittaa niin työmaalla kuin tehtaalla.

T50-aika tarkoittaa aikaa joka massalla menee 500 mm leviämän saavuttamiseen. Ajan ei tulisi olla liian suuri tai liian pieni.



Kuva 1. Painuma-leviämämittaus työmaalla

L-laatikolla mitataan betonin kykyä asettua raudoituksen lomaan. Koe suoritetaan L-muotoisella testilaitteella, jonka sisällä on raudoitettankoja. Betonimassaa kaadetaan

laatikon sisään, sulkuluukku avataan ja tarkastellaan, kuinka massa liikkuu laatikon läpi.

[1, s. 31-33.]

4.1.3 Työstettävyysaika

Itsetiivistyvän betonimassan on tärkeä säilyttää muokkautuvuusominaisuutensa riittävän kauan. Tämä ei tuota ongelmia elementtituotannon puolella, mutta työmaakäytössä massan ominaisuuksia on yleensä hyvä mitata kuljetuksen jälkeen.

Betonimassan sitoutumisnopeuteen vaikuttaa yleensä eniten siihen käytetty tehonotkistin, mutta myös esimerkiksi ulkoilman lämpötila voi vaikuttaa. Kuumalla säällä betonin jäykistyminen voi nopeutua ja tämä edellyttää ripeää toimintaa työmaalla. Vileissä sääolosuhteissa työstettävyysaika voi puolestaan olla hyvinkin pitkä.

[1, s. 36-37.]

4.1.4 ITB:n huokostus ja ilmamäärä

Betonin suojahuokosten määräävä tekijä on betonimassan sisältämän pastan määrä. Pastalla tarkoitetaan sementin, eli sideaineen, ja veden seosta. Itsetiivistyvä betoni sisältää tavallista suuremman määrän pastaa. Myös käytettävän kiviaineksen raekoko vaikuttaa ilmamäärään. Suurimman massan sisältämän raekoon ollessa pieni, kasvaa ilmamäärävaatimus.

ITB-massaan lisättävä huokostinaine luo massaan pieniä ilmakuplia, jotka betonin jäätyessä ottavat vastaan siitä aiheutuvan paineen. Itsetiivistyvän betonin huokostuksen onnistuminen on hyvin pitkälti tapauskohtaista. Massan ominaisuudet voivat muuttua ennen kuin se sitoutuu lopullisesti, esimerkiksi kuljetuksen aikana. Jotta kovettuneen betonin huokostuksen laatu voitaisiin taata, on massalle suoritettava ennakkokokeita. Nämä kokeet tulee kuitenkin suorittaa niin, että niistä saadut tulokset vastaavat ITB-massan todellista tilannetta. Betonitehtaalla tehdyt mittaukset eivät ole päteviä enää siinä vaiheessa, kun massa on kuljetettu työmaalle.

[1, s. 39-40.]

4.2 Mekaaniset ominaisuudet

4.2.1 Puristuslujuus ja lujuudenkehitys

Itsetiivistyvä betoni omaa suuren lujuuden johtuen vesi-sideainesuhteen pienuudesta. ITB:n lujuus on usein vaadittavan lujuusluokan yläpäässä. Valmistustekniikalla voi myös olla vaikutusta lujuuteen, sillä betonimassan jauhemateriaalin ja lisäaineiden homogeeninen jakautuminen auttaa muodostamaan tiiviin rakenteen. [1, s. 43.]

4.2.2 Taivutusvetolujuus

Itsetiivistyvän betonin taivutusvetolujuuden suuruuteen vaikuttavat tekijät ovat betonin mikrorakenteeseen ja transitiovyöhykkeeseen liittyviä ominaisuuksia. Transitiovyöhyke on betonin sisäinen pastaosuuden ja runkoaineen tai raudoitetankojen välinen kapea vyöhyke (alle 0,05 mm), jossa betonin tiiveys on keskimääräistä pienempi. ITB:n taivutusvetolujuuden ja puristuslujuuden suhde on tutkimusten mukaan ainakin samaa luokkaa kuin tavanomaisella tiivistettävällä betonilla. [1, s. 50.]

4.2.3 Tartuntaominaisuudet

Itsetiivistyvän betonin tartuntaa on tutkittu monessa yhteydessä. ITB:n tartunta alusbetoniin ja pinnoitelaattoihin on tutkimusten mukaan erittäin hyvä.

Betonin tartunta raudoitetankoihin edellyttää, että massan on oltava hyvin tiivistynyttä. Itsetiivistyvä betoni onkin hyvän valuvuutensa takia erinomainen vaihtoehto tiheästi raudoitettuihin muotteihin. Kuitenkin jotta saadaan paras lopputulos, on oltava varma, että ITB-massa on myös läpäisykyvyltään riittävää.

Itsetiivistyvän betonin tartuntalujuudet raudoitetankoihin ovat yleisesti ottaen samaa luokkaa kuin tavanomaisella betonilla. Mikäli vedenerottuminen massassa on tavallista suurempaa, voi tämä heikentää raudoitteiden tartuntaa.

[1, s. 52-57.]

4.2.4 Kutistuminen ja viruma

Betonin kutistumalla tarkoitetaan tilavuudenmuutosta, johon vaikuttavat betonin ominaisuudet sekä ulkoiset olosuhteet. Pahimmillaan suuri kutistuma voi johtaa betonin halkeiluun ja ennenaikaisiin rakenneaurioihin. Kutistuminen jaetaan kahteen osaan: varhaisvaiheen kutistumaan ja pitkäaikaiseen kutistumaan. Varhaisvaiheen kutistuma ajoittuu betonin valun jälkeiseen vuorokauteen ja pitkäaikainen sitä seuraavana ajanjaksona.

Varhaisvaiheen kutistuman suuruus riippuu siitä, kuinka paljon betonista poistuu vettä. Mikäli ympäristön lämpötilaero betonimassaan nähden on suuri sekä ilman suhteellinen kosteus alhainen, voi tapahtua suurta varhaisvaiheen kutistumaa. Tätä voidaan ehkäistä suorittamalla kunnollinen valun jälkeinen jälkihoito.

Itsetiivistyvän betonin varhaisvaiheen kutistuma voi sen koostumuksesta johtuen olla suurempaa kuin tavanomaisella betonilla. ITB-massan suuri hienoainepartikkeleiden määrä ehkäisee vedenerottumista ja tällöin varhaisvaiheen kutistuma pääsee alkamaan hyvin nopeasti valun jälkeen. Myös ITB:ssä käytettävä tehonotkistin voi suurentaa varhaisvaiheen kutistumaa, sillä notkistin pidentää massan sitoutumisaikaa ja kutistumista pääsee tapahtumaan tavallista pidempään.

Itsetiivistyvän betonin pitkäaikaiskutistumaan ja virumaan voidaan vaikuttaa betonin suhteitusta muuttamalla.

[1, s. 59-66.]

4.3 Pakkaskestävyys

Betoniin pakkasen vaikutuksesta aiheutuvat vauriot ilmenevät lujuusarvojen menetyksinä, tilavuuden kasvuna tai pinnan rapautumisena. Pahimmassa tapauksessa pakkanen voi aiheuttaa näkyviä halkeamia ja lohkeamia. Betonin kapillaarihuokosissa oleva vesi on pakkasrapautumisen pääasiallinen aiheuttaja.

Betonin pakkasenkestävyyden kannalta tärkeimmät ominaisuudet ovat vesisementtisuhde, ilmamäärä sekä puristuslujuus. Pakkasrasitus kohdistuu betonirakenteen heikoimpaan kohtaan. Itsetiivistyvän betonin tiiviys ja lujuus parantavat sen pak-

kasenkkestävyyttä, sillä veden on hankala tunkeutua rakenteeseen. Huokostus näyttelee tärkeää osaa pakkasenkkestävyyden osalta. Mikäli huokostus ei ole jakautunut taiseisesti tai ITB-massa sisältää liian suuria huokosia, voi pakkasenkkestävyys laskea. [7, s. 17-18.]

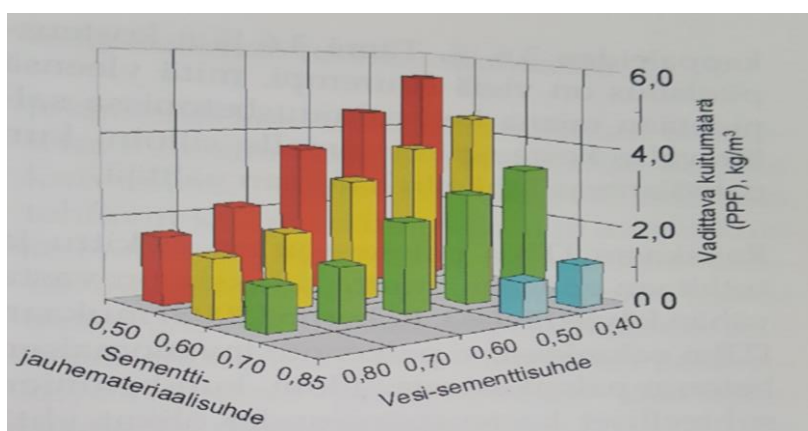
Arvioitaessa pakkasenkkestävyyttä on otettava huomioon tiivistyshuokosten poistuminen betonimassasta suoritettaessa ilmamäärän mittausta. [1, s. 115.]

4.4 Palonkesto

Betonirakenteelle palotilanteesta aiheutuvat vauriot ovat yleensä lujuusominaisuuksien heikentyminen tai lohkeilu. Lohkeilu kohdistuu ainoastaan betonin pintaan, mutta se voi myös hajottaa koko rakenteen paljastaen raudoituksen. Pahimmassa tapauksessa palo voi aiheuttaa koko rakenteen romahtamisen. [1, s. 78]

Itsetiivistyvän betonin palonkesto on tutkittu suhteellisen vähän. ITB:n palonkesto voidaan kuitenkin verrata korkealujuusbetonin palonkesto, sillä ITB:n ominaisuudet vastaavat monilta osin korkealujuusbetonia. [1, s. 78]

Ruotsissa vuonna 2003 toteutettujen tutkimusten mukaan ITB:n lohkeilu palotilanteessa vähenee, kun betoniin lisätään 1-5 kg/m³ polypropyleenikuituja (kuva 2). Lisättävä kuitumäärä riippuu ITB-massan vesi-sementtisuhteesta sekä sementti-jauhemateriaalisuhteesta. Palonkesto voidaan lisätä myös sopivan palosuojauksen avulla. [1, s. 78.]



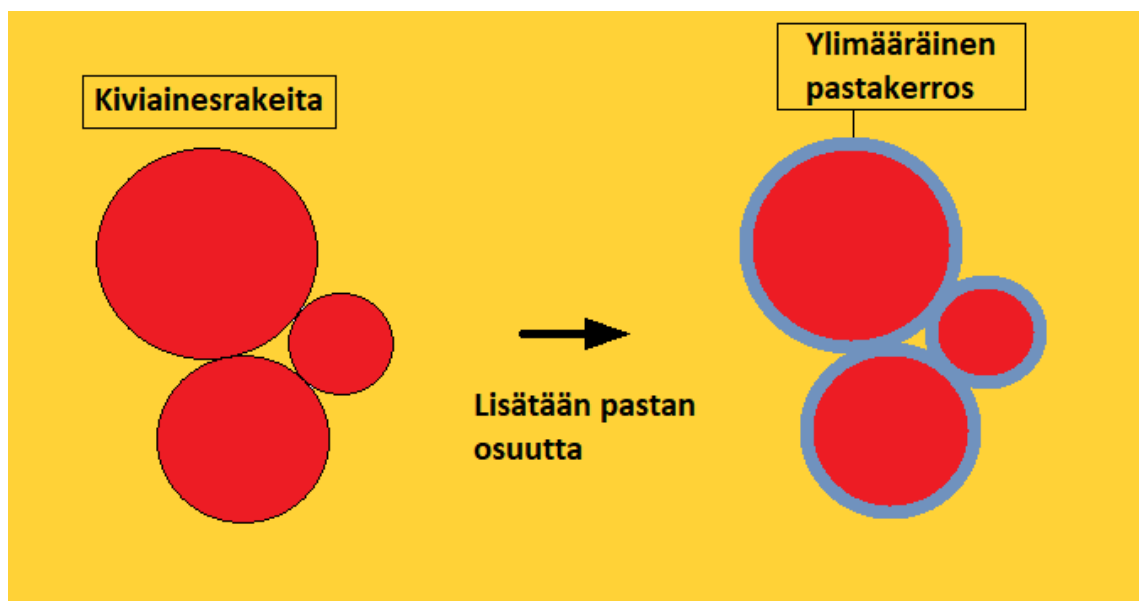
Kuva 2. Vaadittavat kuitumäärät [1, s. 81.]

5 Suhteitus ja valmistustekniikka

5.1 Peruseriaatteet

Kun betonin karkean kiviaineksen osuutta vähennetään ja laastiosuuden tilavuusosuutta kasvatetaan ja massaan lisätään tehokkaita polykarboksylaattisia notkistimia, tuoreen betonimassan ominaisuudet muuttuvat sellaisiksi, että tiivistystä ei tarvita. Betonin tiivistyminen tapahtuu täysin painovoiman ansiosta. Tämän huomasivat ensimmäisinä ITB:n japanilaiset kehittäjät Okamura ja Ozawa.

Laastiosuutta kasvatettaessa betonin isompien kiviainesrakeiden ympärille muodostuu ylimääräinen pastakerros (kuva 3), joka helpottaa kiviaineksen asettumista toistensa lomaan. Tällöin lisääntyy betoniaineksen herkkäliikkeys.



Kuva 3. Kun betonimassan laastiosuutta lisätään, muodostuu kiviainesrakeiden ympärille pastakerros

Okamuran ja Ozawan kehittämässä suhteitusmenetelmässä betonimassa saa sisältää karkeaa kiviainesta noin puolet kuivien ainesosien tilavuudesta. Hienoa kiviainesta tulee massaan tällöin noin 40% laastin tilavuudesta. Veden määrä itsetiivistyvässä betonissa määrittyy siten, että betonimassan hienoimpien partikkeleiden painosuhte asetuu välille 0,9-1,0. Tehonotkistimen määrä ja vesi-jauhemaalisuhte määrittyy kokeilemalla.

[1, s. 16.]

5.2 Erottuminen ja läpäisykyky

Itsetiivistyvä betoni sisältää paljon hienoainesta sekä lisäaineita ja on näin ollen herkkä erottumiselle. Massa voi erottua johtuen siitä, että se ei ole tarpeeksi stabiilia, mutta myös esimerkiksi valukohteen olosuhteet voivat vaikuttaa. Mikäli ITB-massa ei ole läpäisykyvyltään riittävää, on riskinä massan erottuminen. ITB-massan erottumisen tyytit voidaan jakaa massan koostumuksesta ja läpäisykyvystä johtuvaan erottumiseen.

ITB-massan koostumuksella on suuri vaikutus massan erottumiseen. ITB-massan sisältämän kiviaineksen rakeisuus on oltava oikeanlainen. Betonimassan tulee sisältää tarpeeksi alle 0,125 mm:n hienoainesta. Jos hienoaineksen määrä on riittämätön, ei sen aiheuttama koheesioreaktio ole tarpeeksi suuri pitämään karkeampaa kiviainesta paikallaan massan asettuessa. Tällöin karkea kiviaines painuu muotin pohjalle ja vesi nousee rakenteen pintaan.

ITB-massan läpäisykyvyn ollessa huono kiviainesrakeet voivat kiilautua muotin kapeisiin kohtiin ja raudoitustankojen väliin. Läpäisykykyyn vaikuttavat hyvin pitkälti samat asiat kuin massan koostumukseen. Myös raudoituksen tiheydellä ja isoimpien kiviainesarakeiden koolla on merkitystä.

[1, s. 24-25.]

5.3 Valmistustekniikka

Itsetiivistyvät betonit voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin, suuren hienoainemäärän omaavaan ja stabilaattoreita sisältävään. Stabilaattori on lisäaine, jonka avulla betonimassan koossapysyvyys paranee. Se koostuu ketjumaisista polymeereista.

Stabilaattoria sisältävä itsetiivistyvä betoni ei tarvitse hienoainesta kovin paljon tavanomaisesta betonista poikkeavaa määrää. Jotkin ITB:ssa käytettävät tehonotkistimet koostuvat osittain stabilaattorista.

Itsetiivistyvässä käytettävän hienoainesmäärän vuoksi betonimassaan joudutaan lisäämään erittäin tehokasta notkistinta, joka tekee massasta käyttökelpoista. Notkistimet ovat suurimmilta osin polykarboksylaattiipohjaisia ja tämän vuoksi betonimassan vaatima sekoitusaika pitenee, mikä puolestaan voi vaikuttaa betoniaseman tuotantokapasiteettiin.

Itsetiivistyvää betonia on mahdollista valmistaa myös pakkasenkestävänä. Tällöin betonimassaan tulee lisätä huokostinta. Huokostinta käytettäessä betonimassasta pitää mitata sen ilmamäärä, jotta voidaan varmistaa massan käyttökelpoisuus.

Kiviaineksen osalta itsetiivistyvä betoni poikkeaa tavanomaisesta siinä, että ITB sisältää vähemmän karkeaa ja enemmän hienoa kiviainesta. ITB:n sisältämästä kiviaineksesta noin puolet ovat raekooltaan alle 2 mm, kun taas tavanomainen betoni sisältää tämän kokoluokan rakeita noin kolmanneksen. Jotta ITB-massa täyttäisi muotin mahdollisimman hyvin ilman, että kiviainesrakeet kiilautuvat raudoitusta vasten, ei se sisällä kovin paljon karkeaa kiviainesta.

[1, s. 25-26.]

6 Itsetiivistyvän betonin käyttö infrarakenteissa

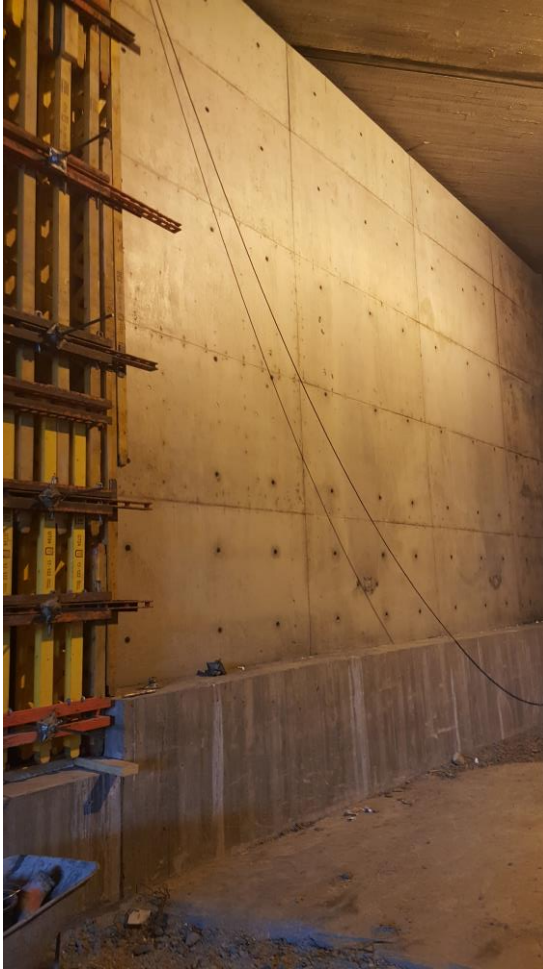
6.1 Käytön edut ja taloudellisuus

Käytettäessä itsetiivistyvää betonia on käytölle oltava yleisesti ottaen pätevä syy johtuen betonin kalliimmasta hinnasta. ITB ei lähtökohtaisesti palvele käyttötarkoitustaan, jos sitä käytetään tavanomaisiin betonointikohteisiin. ITB:a on kannattavaa käyttää haastavissa valuissa, joiden toteuttaminen tavanomaisella tiivistettävällä betonilla ei onnistu. ITB:n etuna voidaan pitää myös sen pientä vedentarvetta, joka ehkäisee kutistumia. [3.]

Vesitiiviissä betonirakenteissa itsetiivistyvä betoni toimii erinomaisesti. Pakkaskestävyys voidaan ITB:lla varmentaa jo noin viikon iässä. Lujuudenkehitys on ITB:lla nopeaa, joten muotinpurku aikaistuu. [3.]

Itsetiivistyvän betonin suuren lämmönkehityksen ansiosta muottien lämmittämisen tarve talvella vähenee. Hankalissa olosuhteissa itsetiivistyvä betoni voi olla tavanomaista betonia parempi vaihtoehto. [3.]

Itsetiivistyvää betonia käytetään infrakohteissa lähtökohtaisesti silloin, kun valaminen ei onnistuisi tai olisi vaikea toteuttaa tavanomaisella betonilla. Hyvänä esimerkkinä toimii Graniittirakennus Kallion työmaalla Pasilassa valetut korkeat tunnelinseinät, jotka valettiin ratasillan alle (kuva 4). Seinät valettiin muotin alaosaan painevaluna. Tavanomaisella betonilla valu olisi pitänyt toteuttaa valuluukkujen avulla ja tiivistystyön suorittaminen olisi ollut näin hyvin hankalaa. Työtekniikka olisi kaiken kaikkiaan ollut hyvän lopputuloksen kannalta hyvin riskialtis, joten valut toteutettiin ITB:lla. Massan notkeus takasi sen, että tiheään raudoitetut muotit täyttyivät hyvin. ITB:n avulla saatiin toteutettua loistava pinta, minkä takia sen käyttö kyseisissä seinävaluissa oli myös kannattavaa. [4.]



Kuva 4. ITB:lla valettu tunnelinseinä, GRK, Pasila

6.2 Valmistavat toimenpiteet ja ITB-valun erityispiirteet

Itsetiivistävällä betonilla toteutettavan rakenteen työn toteutus olisi syytä suunnitella huolellisesti. ITB:a käytettäessä voidaan puhua erikoisbetonoinnista, joten työsuoritus on yleisesti ottaen haastava.

Itsetiivistävää betonia käytettäessä olisi suotavaa pitää aloituskokous ennen kuin kohteelle laaditaan betonointisuunnitelma. Kokouksessa tulisi käydä läpi keskeiset asiat ITB-valuun liittyen sekä varmistua siitä, että kaikki osapuolet ovat selvillä työsuorituksen vaiheista. Myös betoniaseman, josta ITB-massa tilataan, olisi hyvä omata kokemusta ITB:n valmistamisesta, sillä massan valmistaminen on vaativampaa ja tarkempaa kuin tavanomaisen betonin.

ITB:lla suoritettava betonointi eroaa tavanomaisesta betonoinnista muun muassa muotin tiiveyttä ja lujuutta koskevilla tekijöillä. ITB-valuissa muottipaine on suuri ja muotit on mitoitettava siten, että mahdolliset muodonmuutokset otetaan huomioon. Lisäksi vinojen pintojen valaminen ei onnistu itsetiivistyvällä betonilla samoin kuin tavallisella johtuen ITB:n suuresta notkeudesta.

[1, s. 92-93],[3.]

6.3 Valu

Valaminen itsetiivistyvällä betonilla on lähtökohtaisesti helpompaa kuin tavanomaisella betonilla, sillä tiivistystyötä ei tarvitse suorittaa. Tällöin poistuu myös epäpätevän tiivistystyön aiheuttamat riskit rakenteelle. Tämä on tärkeä seikka varsinkin haastavien rakenteiden kohdalla.

Valettaessa korkeita ja kapeita taikka muuten monimuotoisia rakenteita, on valu syytä suorittaa mahdollisimman yhtäjaksoisesti. ITB-massa voi olla vaikea saada uudelleen liikkeelle sen pysähtyttyä liian pitkäksi aikaa. [1, s.99.]

Pitkillä valutusmatkoilla ITB-massan yläpinta ei välttämättä asetu aivan vaakatasoon ja tällöin on syytä suorittaa kevyt yläpinnan tasoitus. Pitkällä valutusmatkalla voi olla vaikutuksia betonin rakenteellisiin ominaisuuksiin. Suositeltava valutusmatka on 5 metriä. [1, s.100.]

ITB-valuissa massan pudotuskorkeus voi olla hyvinkin suuri. Yli 2 metrin pudotuskorkeutta ei ole suositeltavaa käyttää, mutta poikkeustapauksissa sitäkin korkeampaa korkeutta voidaan käyttää. Pudotuskorkeuden kasvattamisella ei ole suuria vaikutuksia ITB-massan ominaisuuksiin. Suuri pudotuskorkeus voi kuitenkin vaikuttaa muottipinnan laatuun, ITB-massan roiskeet voivat näkyä pinnassa ja pintaan voi muodostua huokosia.

Nousunopeus voi itsetiivistyvää betonia käytettäessä olla hyvin suuri ja valut on mahdollista toteuttaa nopeasti. Esimerkiksi valettaessa korkeita seiniä, voidaan ne nostaa jopa 26 m/h nopeudella. Tällä ei ole suuria vaikutuksia betonin rakenteellisiin ominaisuuksiin.

Käytettäessä itsetiivistyvää betonia on tärkeää, että työmaalla on tarkka määritelmä käytettävälle massalle. Työmaalla suoritettavissa näytteenotoissa on noudatettava asetettuja säädöksiä. Betonimassan laatuun on syytä kiinnittää suurta huomiota. Yksikin huonolaatuinen kuorma voi pilata koko valettavan rakenteen. Nousunopeus ei ole ongelma käytettäessä järjestelmämuotteja. Kappaletavarasta valmistetuissa muoteissa voi olla järkevää hillitä nousunopeutta. [3.], [5.]

6.3.1 Massan siirrot

Itsetiivistyvään betoniin liittyvissä tutkimuksissa on massan siirtämiseen käytetty pumppua, hihnaa ja ränniä. Ränni sopii esimerkiksi anturoiden (kuva 5) ja laattojen valamiseen, hihnaa voidaan käyttää matalimpien seinien valuissa ja pumpulla voidaan toteuttaa hyvin kaikkia mahdollisia rakenteita. [1, s. 97.]



Kuva 5. Anturan valu rännillä [1, s. 100.]

Käytettäessä pumppua tulee pumppulinja vetää mahdollisimman suoraksi. Letkut on syytä voidella ennen valamista, etteivät ne mene tukkoon. Itsetiivistyvä voi tuottaa ongelmia letkulinjan läpipääsemisessä, mutta kun massa on saatu läpi, sujuu pumppaus yleensä ilman ongelmia.

Massan siirtoon tarvittavan kaluston on oltava kohteessa paikalla valmiina valun aloittamiseksi ennen massan saapumista. Betoniauton purkupaikan olisi hyvä olla suhteellisen tasainen. Lisäksi tarvittavien laadunvalvontakokeiden suorittamiseen tulee olla varattu tilaa.

6.4 Käyttökohteet

6.4.1 Seinät

Korkeat seinät ovat hyvä käyttökohde itsetiivistyvälle betonille, sillä ITB:a ei koske sama pudotuskorkeus kuin tavanomaista betonia. Seiniä voidaan myös hyvin valaa ahtaammissa tiloissa painevaluna muotin alaosasta (kuva 6). Riskinä on kuitenkin muotin pullahdus, joten muotin mitoitus on oltava oikea. [3.], [4.]



Kuva 6. Seinän painevalu alakautta, GRK, Pasila

6.4.2 Manttelointi

Itsetiivistyvä betoni sopii hyvin manttelointitekniikalla suoritettaviin valuihin. Manttelointi on yleinen tekniikka vanhojen pilarien vahvistamiseen (kuva 7). Vanhan pilarin raudat piikataan esiin ja pilarin ulkopinta raudoitetaan uudestaan. Pilarin ympärille rakennetaan muotiksi teräsmantteli. Mantteloinnin ja vanhan pilarin välinen ahdas tila on helppo valaa täyteen ITB:lla. Betoni syötetään muottiin esimerkiksi pilarin kyljestä valuputkella. Tämä putki on hyvä asentaa viistoon pilariin nähden, jotta ITB-massan karkeampi kiviaines ei pääse kiillautumaan raudoitusta vasten. [4.]



Kuva 7. Manttelointi pilarille [13.]

6.4.3 Sillat

Itsetiivistyvällä betonilla on mahdollista toteuttaa jopa kokonaisia siltoja tai osia silloista kuten reunapalkkeja [3].

ITB voisi sillanrakennuksessa sopia hyvin malleiltaan korkeisiin ja kapeisiin siltoihin, jotka ovat erittäin tiheään raudoitettu. Tällöin vältetään tiivistystyön aiheuttamilta riskeiltä. Pahimmassa tapauksessa tavanomaista betonia käytettäessä muottia voidaan jopa joutua osittain purkamaan, jotta tiivistystyö saadaan suoritettua. Kuitenkin on varmistettava, että rautojen välit ovat sellaiset, että ITB-massan karkea kiviaines mahtuu liikkumaan rautojen välistä. [3.]

Siltojen korjausvaluissa voidaan hyödyntää manttelointitekniikkaa (kuva 8) tai kuorivalua (kuva 9). Valun toteuttaminen itsetiivistyvällä betonilla takaa hyvän pintalaadun ja tartunnan piikattuun pintaan. [9, s. 20.]



Kuva 8. Manttelointivalukohde ennen muotitusta [9, s. 20.]



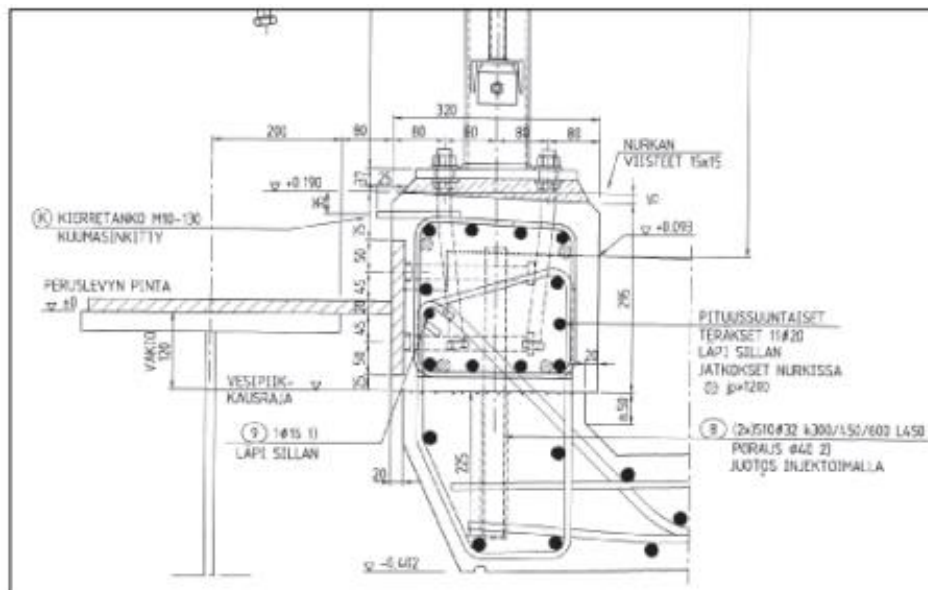
Kuva 9. Kuorivalulla korjattu sillan reunapalkki [9, s. 20.]

6.4.4 Korjauskohteet

Itsetiivistävä betoni toimii erinomaisesti korjausrakentamisessa. Esimerkiksi olemassa olevien rakenteiden korjaaminen on hyvä kohde itsetiivistyvälle betonille. ITB:n avulla ei välttämättä tarvitse suorittaa mittavia purkutöitä työn toteuttamiseksi vaan muotit

voidaan rakentaa suljettuina kiinni vanhoihin rakenteisiin. Korjauskohteiden rakenteissa on usein paikkoja joiden tiivistäminen ei onnistuisi. [3.], [11.]

Siltojen korjauksissa itsetiivistyvän betonin parhaita käyttökohteita ovat rakenteet jotka ovat erityisen vaikea valaa tavanomaisella betonilla. Näihin kohteisiin lukeutuvat esimerkiksi tiheään raudoitetut rakenteet (kuva 10), kuorirakenteet sekä mantteloinnit. Myös kohteet, joissa betonin pinnalle on asetettu korkeita laatuvaatimuksia, on erinomainen käyttökohde itsetiivistyvälle betonille. [10, s. 47.]



Kuva 10. Tiheästi raudoitetun reunapalkin uusiminen [10, s. 47.]

Itsetiivistyvä betoni sopii sillan korjauskohteissa myös kansien muotoiluvaluihin (kuva 11). Valu voidaan toteuttaa myös siten, että aluksi valetaan normaalilla P-lukubetonilla ensimmäinen kerros, jonka päälle valetaan ITB:lla. Näin kannen vedeneristys voidaan toteuttaa nopeammalla aikataululla. Pintabetonin nopean kuivumisen ansiosta vesieristys on mahdollista asentaa jo 3-4 vuorokauden päästä valusta. Pohjabetonin kosteus ei tuota ongelmaa, sillä se pääsee poistumaan rakenteesta hiljalleen. Menetelmää voisi hyödyntää myös siltojen uudisrakentamisessa. Tämä toimintatapa voi mahdollisesti myös ehkäistä kannen vedeneristysten kuplimista kuumana kesäaikana. [9.]



Kuva 11. Itsetiivistyvän betonin levitystä Tapiolan risteysillalla [9, s. 19.]

6.5 Muottitekniikka

Itsetiivistyvän betonin käytössä tulee muottien mitoituksessa huomioida kasvavat muottikuormitukset. Muottipinta tulee valita betonipinnan laadun ja rakennusosille määrätyn mittatarkkuuden mukaisesti. [12, s. 17.]

Muotit on rakennettava mahdollisimman tiiviiksi, sillä ITB-massa on niin notkeaa, että se karkaa herkästi muotin raoista ja rei'istä. Pienet muutaman millin raot eivät sinänsä haittaa, mutta kun rako kasvaa senttimetriin tai yli voi massaa tulla ulos jo huomattava määrä. Erityisen tarkkaan huomiota tulee muottityössä kiinnittää läpivienteihin ja muottien juuriin. Käytettävä muottikalusto voi vaikuttaa osaltaan betonin eri siirto- ja valutapojen käyttömahdollisuuksiin. [13.]

Käytettävän muottikaluston on oltava erityisen luja, sillä itsetiivistyvän betonin sitoutuminen on normaalia hitaampaa ja valut suoritetaan yleensä hyvinkin nopeasti. Itsetiivistyvän betonin kanssa olisi paras käyttää järjestelmämuotteja (kuva 12 ja 13), koska silloin on valupaineet helppo laskea etukäteen. Tällöin säästytään turhilta riskeiltä. [3.], [13]



Kuva 12. Vakiopalkkimuotti [13.]

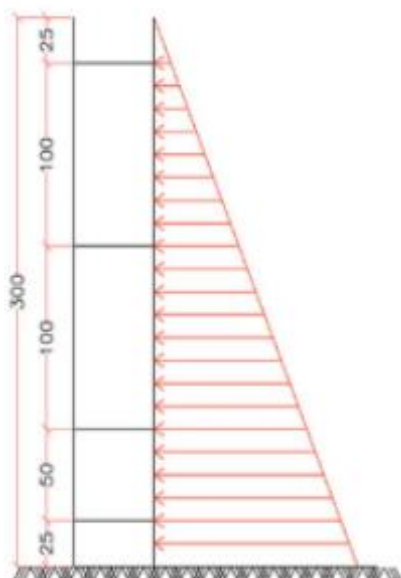
Kappaletavaraa käytettäessä muotin mitoittaminen menee astetta hankalammaksi. Hyvä esimerkki on korkea seinä, jossa valupaine kasvaa suureksi. Käytettäessä kappaletavaraa valupaineen aiheuttama pullahdus voi rikkoa muotin. Pienemmissä valuisissa voidaan muotit toteuttaa myös hyvin kappaletavarasta, sillä tällöin muottipaine ei kasva niin isoksi. [3.], [4.]



Kuva 13. Seinämuotin asentaminen käynnissä

6.5.1 Muottipaine ja muotin tiiviys

Itsetiivistyvää betonia käytettäessä muotti tulee suunnitella kestäämään betonimassan aiheuttama hydrostaattinen paine (kuva 14). Tämä tarkoittaa sitä, että valupaine on suoraan riippuvainen valun korkeudesta. Paksuus ei vaikuta. Paine kasvaa muotin alareunassa noin 2500 kg/m^2 jokaista noustua metriä kohden. Käytettäessä kasettimuottijärjestelmää, muotin korkeuden mennessä yli 3,2 metrin, on muotti, sen tuennat ja sidonnat rakennettava normaalia vahvemmiksi, kun käytetään 20 mm sidepultteja. [13.], [3.]



Kuva 14. Hydrostaattinen muottipaine [7, s.23.]

Yksi ratkaisu valupaineiden hallintaa isoissa valuissa on useiden valuyhteiden (venttiileiden) käyttö. Yhteet on hyvä pyrkiä sijoittamaan muotissa kohtiin, joissa ei ole tiheitä raudoituksia tai muita betonin virtaamista estäviä paikkoja. Tällä menetelmällä massa pumpataan muottiin useammasta kohdasta, jolloin muottiin kohdistuva paine jakautuu tasaisemmin (kuva 15). Tällöin myös varmistetaan, että muotti täyttyy tasaisesti. [3.], [13.]

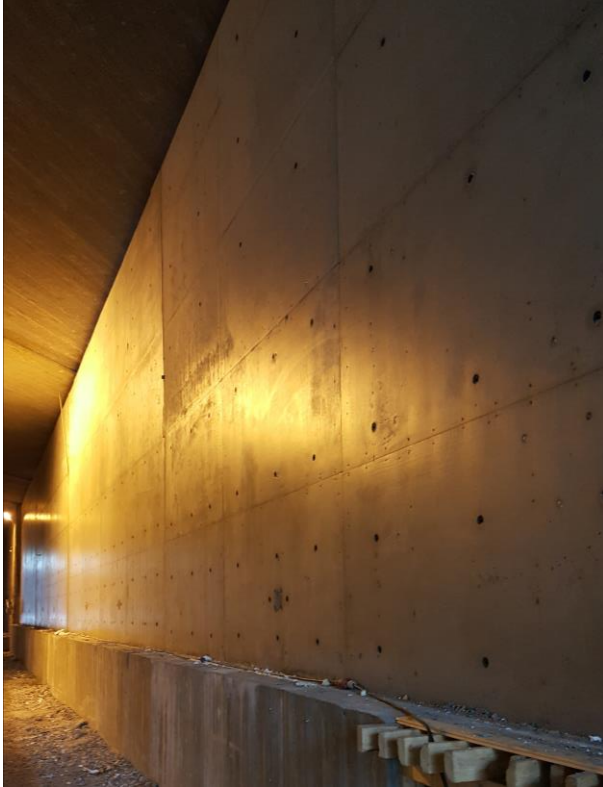


Kuva 15. Seinävalu kahdella valumansetilla, GRK, Pasila, Teollisuuskatu

6.6 Pintojen laadut

Itsetiivistyvällä betonilla on mahdollista toteuttaa erittäin laadukkaita pintoja (kuva 16), joissa värienvaihtelu on vähäistä ja pintahuokosia tai onkaloita ei ole lainkaan. Tällöin massan on oltava laadukasta ja tarkoin suhteutettua. Hyvän pintalaadun takaa juuri mekaanisen tiivistystyön poisjääminen, jolloin tärytyksen aiheuttama erottumisen riskiä ei ole. Itsetiivistyvää betonia onkin viisasta käyttää, kun betonipinnoille on asetettu korkeat laatuvaatimukset. [5], [1, s. 100.]

Hyvän pinnan tuottamiseen on kuitenkin vaikea määrittellä tarkkoja ohjeita. Tulokseen vaikuttaa massan ominaisuuksien lisäksi valun toteuttamistapa. Pintahuokosten määrän ja koon kannalta on massalla oltava mahdollisimman suuri painuma-leviämä ja T50 ajan oltava mahdollisimman pieni. Kuitenkin liian suuri painuma-leviämä voi johtaa pintaväriin epätasaisuuteen. [1, s. 105.]



Kuva 16. ITB:lla tehty tunnelinseinä, GRK, Pasila, Teollisuuskatu

Massan pudotuskorkeudella voi olla vaikutusta pintahuokosten määrää, varsinkin kun se ylittää 2 metriä. Alakautta tehtävällä pumppauksella saavutetaankin yleensä parempi pintalaatu. Tällöin massan tulee kuitenkin dynaamiselta erottumattomuudeltaan hyvää, sillä sen tulee kestää muotissa valun aikana tapahtuvat virtaukset. Hyvän pinta-laadun varmistamiseksi, on muottipinnan oltava puhdas. [1, s. 106.]

6.6.1 Vaakapinnat, niiden viimeistely ja jälkihoito

Itsetiivistyvällä betonilla voidaan myös toteuttaa vaakapintoja. Vaakarakenteiden vaatimat viimeistelytyöt ovat kuitenkin normaalista poikkeavia, sillä tavanomaisesti käytetyt työkalut eivät välttämättä ole käyttökelpoisia johtuen itsetiivistyvän betonin sitkeydestä.

Itsetiivistyvän betonin suuri hienoainesmäärä ja voimakas notkistus voivat aiheuttaa tavallista sitkeämmän pinnan. Pintaa voi kastella kevyesti vesisumulla, jotta sen hiehtaaminen helpottuu. Kastelu voi kuitenkin heikentää pinnan laatua.

Pinnan tasaus voidaan suorittaa linjalaudalla sekä ”hytkyttämällä” pintaa varrellisella muoviputkella. Aivan taseisen pinnan toteuttaminen ilman hierontaa vaatii niin voimak-

kaan tasauksen ja ”hytkeytyksen, että isot kiviainesrakeet eivät jää pintaan koholle. ITB-pintojen jälkihoito tulee suorittaa normaaleiden jälkihoitoperiaatteiden mukaisesti. Jälkihoitoaineen käyttö on ensisijainen menetelmä laajoille pinnoille.

[1, s. 106-107.]

6.7 Ongelmat

Yhtenä ongelmana ITB:n kanssa on muottityön haastavuus. Muottityön toteuttaminen vaatii ammattitaitoa. Lisäksi kohteesta riippuen muottien rakentaminen ei aina välttämättä ole kovin yksinkertaista ja joskus toteutus vaatii soveltamista. Esimerkiksi suljetun paineella valettavan muotin täyttymisen seuranta voi olla haastavaa. Tällaisessa tapauksessa muotin yläreunaan voi olla hyvä tehdä pieniä reikiä, joista ylimääräinen betoni pääsee virtaamaan ulos muotin tullessa täyteen.

Muotit on yleensä mitoitettava kestämään suuria paineita ja pahimmassa tapauksessa väärin toteutettu muotti voi romahtaa täysin, jos valupaine kasvaa yli muotin kestävyysden. Muottityöhön on siis syytä käyttää työporukkaa, joka omaa kokemusta itsetiivistävästä betonista.

Mikäli sattuisi niin, että muotti pääsisi osittain peittämään (kuvat 17 ja 18) ja suurin osa massasta tulisi ulos, on valun jatkaminen samalla muotilla nopeiden korjaustöiden jälkeen vielä mahdollista. ITB säilyy suuren notkistuksen ansiosta muodonmuutoksille alttiina yllättävän pitkään. Suuren notkeuden ansiosta massa myös tulee rikkoutuneesta muotista ulos kuin vesi. Tällöin muotin peittäessä sen alaosasta, tulee se todennäköisesti valumaan lähes täysin tyhjäksi (kuva 19).

Joissain tapauksissa on syytä miettiä tarkkaan rakenteen lämmönkehitykset. Esimerkiksi kuumimpaan kesäaikaan itsetiivistyvän betonin lämpötilat voivat nousta yli kuumen kymmenen celsiusasteen. Nämä maksimilämpötilat ja niiden hallinta tulee ottaa huomioon esimerkiksi rakennettaessa siltaa itsetiivistävästä betonista. ITB:n suuren lämmönkehityksen aiheuttaa massaansa käytettävä suuri sementtimäärä. Lämmönkehityksen huomioon ottamatta jättäminen suunnittelupuolella on jo ongelma sinänsä.



Kuva 17. Alareunasta pettänyt seinämuotti, GRK, Pasila, Teollisuuskatu



Kuva 18. Sivusta pettänyt seinämuotti



Kuva 19. Muotista ulos vuotanutta ITB-massaa

ITB-massan kanssa voi muodostua riski säänkestävyyden suhteen. Liian pitkä valutusmatka voi alentaa betonin huokostusta ja näin huonontaa säänkestävyyttä. Valua suunniteltaessa on pyrittävä siihen, että ITB-massan stabiilius säilyy. Valutusmatkat kannattaa pyrkiä pitämään mahdollisimman lyhyinä.

Pitkät kuormavälit voivat muodostua ongelmaksi käytettäessä itsetiivistyvää betonia. Esimerkiksi pumpattaessa ITB-massaa muotin alaosasta painevaluna on kuormavälien hyvä pysyä tasaisina. Jos kuormien väliin tulee pitkä viive, alkaa betoni jämähtämään muotissa ja pumppausta jatkettaessa voi paine muotissa kasvaa hyvin suureksi. Varotoimena mahdolliselle valutauolle voi toimia esimerkiksi ylimääräisten valuyhteiden tekeminen muotin yläosaan. Tällöin valua päästään jatkamaan jo valetun massan päälle.

Pitkä tauko kuormien välissä voi muodostua ongelmaksi myös ylhäältä päin valettaessa. Jos valupinta pääsee tauon aikana kuivumaan, tulee valmiissa rakenteessa näkyvään raja kuivumaan päässeeseen pinnan ja uuden valukerroksen välissä. Ratkaisu tähän ongelmaan olisi kuivumaan päässeeseen pinnan rikkominen kevyesti vibralla mahdollisimman vähän aikaa ennen seuraavan kerroksen valamista.

Työskenneltäessä itsetiivistyvän betonin kanssa on mahdolliset ongelmat työsuorituksen suhteen löydettävä etukäteen ja niihin on keksittävä ratkaisut. Mikäli työsuorituksessa ilmenee ylitsepääsemätön ongelma, olisi järkevää keksiä uusi toimintaratkaisu. Yksi hyvä keino ongelmien välttämiseksi on ennakkokokeiden tekeminen. Työmaalla kannattaa tarkastaa massan laatu, muotin kunto sekä varmistuttava valitun työtavan toimivuudesta.

[3.]

7 Laadunvalvonta

7.1 Yleistä

Itsetiivistyvä betoni edellyttää erittäin tarkkaa laadunvalvontaa. ITB poikkeaa niin suuresti tavanomaisesta betonista laatuominaisuuksiltaan, niin herkkyydestä johtuen, kuin betonin osa-aineille asetettujen laatuvaatimusten suhteen, että sitä ei koske samat normit kuin tavanomaista betonia.

Laadunvalvontatoimenpiteiden perimmäinen tarkoitus betonin kanssa työskenneltäessä on varmistaa, että rakenteella vaatimukset täyttävä tiiveys, erottumattomuus, säilyvyys ja lujuus.

[1, s. 108.]

7.2 Osa-aineiden laadunvalvonta

Itsetiivistyvän betonin osa-aineiden laadunvalvonnan tärkeimmät puolet liittyvät kiviainekseen ja sen kosteuspitoisuuteen. ITB:n viskositeettiin ja varhaislujuuteen voidaan vaikuttaa fillerin ja lisäaineiden avulla.

Itsetiivistyvän betonin valmistukseen käytettävän kiviaineksen rakeisuutta ja laatua seurattava, jotta massan laatu voidaan taata. Erityisesti hienoaineksen määrä, laatu ja kosteuspitoisuus ovat merkittäviä.

Karkean kiviaineksen osuus ei ole itsetiivistyvässä betonissa niin merkittävä kuin tavanomaisessa betonissa. Karkea aines voi lähinnä vaikuttaa betonin työstettävyysominaisuuksiin massan läpäisykyvyn suhteen. Liian isot rakeet voivat kiilautua tiheästi raudoitettuun muottiin.

Hieno kiviaines, filleri ja jauhemateriaali ovat tärkeitä elementtejä ITB:n optimaalisen erottumattomuuden ja valuvuuden saavuttamiseksi.

[1, s. 108-110.]

7.3 Betonin käytön laadunvalvonta

Itsetiivistyvän betonin käyttööminaisuuksiin vaikuttavat suuresti massaan käytetty hienoainestyyppi sekä lisäaineet. ITB:n laadunvalvontaa tulee tarkastella tapauskohtaisesti. Erityyppisillä massoilla saadaan erilaisia käyttökokemuksia. Käytettäessä itsetiivistyvää betonia tulee aloituspalaverissa sopia tarvittavat ohjeistukset massan laadunvalvonnalle. [1, s. 115.]

7.3.1 Kuljetus ja logistiikka

Betonimassan mahdollisen erottumisen riski kuljetuksen aikana kasvaa, kun kiviaineksen osuus massasta on pieni. Lämpötilalla on myös vaikutus massan ominaisuuksiin. Kuljetus voi vaikuttaa betonin valettavuuden lisäksi sen huokostukseen. Itsetiivistyvän betonin kohdalla massan kuljetusajalla on suurempi vaikutus betonin säilyvyysominaisuuksiin kuin tavanomaisella betonilla. Suositeltava yläraja ITB:n kuljetusajalle on noin

yksi tunti, mutta pidemmät ajat ovat mahdollisia varsinkin lämpötilan ollessa tarpeeksi alhainen. [1, s. 116.]

Jos työmaalle toimitettu massa ei täytä sille asetettuja työstettävyyksivaatimuksia, voidaan sitä lisäsekoittaa ja siihen voidaan lisätä tehonotkistinta. Mikäli massaa ei saada käyttökelpoiseksi, on se hylättävä kokonaan, mikä voi olla järkevä menettely valun sujuvuuden takaamiseksi.

7.3.2 Pumppaus, valu ja pintojen laatu

Itsetiivistyvän pumppauksessa tulee ottaa huomioon betonimassan ominaisuuksien vaikutus pumppausjärjestelyihin. Huomioitavia asioita ovat muun muassa pumppaus-teho, letkujen halkaisija, pumppausmatka ja -nopeus sekä olosuhteiden vaikutus. Pumppauksessa tulee huomioida sen vaikutus massan itsetiivistyvyyteen. [1, s. 116.]

Pintojen laatuvaatimusten ollessa korkeat, on massan työstettävyysominaisuuksille hyvä asettaa vaatimus. Kuitenkin pienennettäessä pintahuokosten määrää, voivat massan säilyvyysominaisuudet kärsiä. Liian suuren valunopeuden käyttö lisää pinta-huokosten määrää ja kokoa. Valunopeutta voi olla syytä rajoittaa silloin, kun pyritään hyvään pintalaatuun. [1, s. 116.]

7.3.3 Massan perusominaisuudet ja ilmamäärä juuri ennen valua

Itsetiivistyvän betonin käytön aikaisen laadunvalvonnan on hyvä olla erityisesti työstettävyysominaisuuksien kannalta tarkkaa. Massan koostumuksessa esiintyviä mahdollisia puutteita ei tule kompensoida tärytyksellä. Oleellinen osa ITB:n laadunvalvontaa ovatkin työmaalla suoritettavat työstettävyyksimittaukset ja laadunvalvonta. Laadunvarmistuskokeita on suositeltavaa tehdä tiheästi, sillä ITB:n tuotannon alussa massan laatu voi vaihdella normaalia enemmän. Silmämääräisen arvioinnin lisäksi työmaalla on tyyppillisesti mahdollista suorittaa painuma-leviämäkoe sekä ilmamäärän mittaus. [1, s. 116-117.],[4.]

Betonin ilmamäärän muutos kuljetuksen sekä valun aikana tulisi olla tunnettu. Betonin säilyvyyden kannalta olennaisin asia on huokosrakenne kovettuneessa betonissa. [1, s. 117.]

7.4 Säilyvyys

Betonirakenteen säilyvyys riippuu hyvin vahvasti siitä, kuinka läpäisevä sen pintakerros on. Itsetiivistyvän betonin säilyvyyden varmistus tapahtuu samoin menetelmin kuin tavanomaisella betonilla.

Pakkasenkestävyyden arvioinnissa on itsetiivistyvän betonin kohdalla huomioitava tiivistyshuokosten poistuminen massasta. Poiketen tavanomaisesta betonista, jossa tiivistyshuokokset poistuvat tiivistyksen aikana, ITB:ssa ne poistuvat ajan kanssa itsensä.

Itsetiivistyvän betonin säilyvyyden kannalta olennainen tekijä on massan erottuminen. Tähän tulee kiinnittää suurta huomiota, sillä erottuminen voi tuhota ITB:n säilyvyysominaisuuksia ja tämä voi olla kohtalokasta, mikäli rakenteelle on asetettu säilyvyysvaatimuksia. Hyvin erottumaton massa on säilyvydeltään vähintään tavanomaisen betonin vertaista. Erottumattomuuden havaitsemiseen käytettyjä menetelmiä ovat ilmamäärän pysyvyyden mittaaminen, silmämääräiset havainnot sekä tarvittaessa mikrorakennetarkastelut.

[1, s. 115.]

7.5 Rakenteen suunnittelu sekä valun suunnittelu ja suorittaminen

Itsetiivistyvällä betonilla toteutettavan valun suunnittelu poikkeaa tavanomaisesta. Rakenteen sekä raudoituksen suunnittelussa valutapa ja ITB-massan ominaisuudet tulee ottaa huomioon. Hyvällä rakenteen ja valun ennakkosuunnittelulla on vaikutus rakenteen laatuun, säilyvyyteen ja lujuuteen sekä ulkonäköön. Suunnitelmissa tulee ottaa huomioon raudoitukselle, sen tuennalle sekä muotteille asetetut vaatimukset. Lisäksi on huomioitava muottipinnan käsittely, muottimateriaali sekä käytettävä valumenetelmä.

Valua varten on kiinnitettävä huomiota valukohtien sijaintiin sekä niiden väliseen etäisyyteen. Valun aloitusta varten tulee suunnitella, miten massa ohjataan muottiin. Massan ohjaamiseksi voidaan esimerkiksi toteuttaa väliaikaisia väyliä joustavilla muoviputkilla, jotta saadaan taattua raudoitteiden betonipeitteen laatu. Valunopeus ja valukerosten välinen aika on myös syytä suunnitella etukäteen.

[1, s. 117.]

8 Tulokset

Opinnäytetyön tuloksena palvelee kirjallinen raportti, jossa on käyty läpi itsetiivistyvän betonin ominaisuudet ja pohdittu sen käytön mahdollisuuksia infrarakentamisessa. Käyttömahdollisuuksia kartoitettiin haastattelututkimuksella sekä kirjallisilla lähteillä.

Itsetiivistyvä betoni tarjoaa mahdollisuuksia, mutta isoimpana esteenä sen käytölle on sen kalliimpi hinta. Opinnäytetyön kirjallisen raportin tarkoituksena on avartaa ITB:n käyttömahdollisuuksia ja sen hyötyjä, jotta sille löydetään optimaalisia käyttökohteita työmailla.

9 Yhteenveto

Itsetiivistyvän betonin käytön lisääminen vaatisi lähestymistavan, jossa ainoana muuttujana ei toimisi betonikuution hinta. ITB on tiukassa paikassa hyvä vaihtoehto, sillä se mahdollistaa tietyllä tapaa lisätöiltä välttymisen.

Itsetiivistyvän betonin notkeus on siihen sisäänrakennettu ominaisuus ja se ei tee haittaa sille. Liika notkeus ei taas palvele tarkoitustaan tavanomaisella betonilla vaan on sille enemmän haitta.

ITB:n käyttöä voisi kehittää GRK:ssa käyttämällä sitä enemmän. Tekemällä onnistuneita rakenteita itsetiivistyvällä betonilla voidaan vähentää viimeistelytöiden määrää sekä reklamaatiokuluja. Myös valumiesten määrää vähenee suuresti ja muottien purkaminen voidaan mahdollisesti suorittaa nopeammin. Valitsemalla kalliimpi betoni voidaan siis pudottaa valutyöhön meneviä kustannuksia. Tällaisella toiminnan kehittämällä voi olla mahdollista saavuttaa aikaisempaa parempaa laatua betonitöissä. Myös kokonaiskustannusten lasku voisi periaatteessa olla mahdollista.

Itsetiivistyvän betonin käytön lisäämisellä asiaa tulisi tarkastella enemmän lopputuloksen kannalta. Tavanomaisen betonin käytössä isona ongelmana on usein käytettävät suuret notkeudet. Tällöin mennään niin sanotusti usein riskirajoilla onnistumisen suh-

teen. Erittäin notkean tavanomaisen betonin sijaan voisi olla järkevämpää käyttää itse-
tiivistyvää betonia. Lisäksi haastavissa, tiheään raudoitetuissa rakenteissa olisi periaat-
teessa fiksumpaa käyttää itsetiivistyvää betonia, sillä sen avulla saavutetaan todennä-
köisesti parempi laatu. ITB kannattaisikin ottaa käyttöön kohteissa, joissa sen ominai-
suudet ja käyttö päästään optimoimaan. Tällöin päästäisiin laskemaan ITB:n tuottama
kokonaisuus. Tärkeässä osassa on valuporukka, joka osaa käyttää itsetiivistyvää beto-
nia.

Lähteet

- 1 Betonikeskus ry. ITB itsetiivistyvä betoni. Painoyhtymä Oy/Itä-Uudenmaan kirjapaino 2004
- 2 Suomen Betoniyhdistys ry. Betonitekniikan oppikirja 2004. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 2005
- 3 Anttila, Vesa. Senior Scientist, VTT, Espoo. Haastattelu 7.2.2018
- 4 Luotonen, Turkka. Työnjohtaja, Graniittirakennus Kallio Oy, Helsinki. Haastattelu 12.2.2018
- 5 Lonka, Ville. Työnjohtaja, Graniittirakennus Kallio Oy, Vantaa. Haastattelu 16.2.2018
- 6 Anttila, Vesa. Rakennustieto Oy. Itsetiivistyvä betoni. Verkkodokumentti. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK050402.pdf>>. Luettu 27.2.2018
- 7 Autere, Leo. 2015. Itsetiivistyvän betonin ominaisuudet rakennesuunnittelussa. Metropolia ammattikorkeakoulu.
- 8 By Betoninormit 2012. Suomen Betoniyhdistys Ry.
- 9 Vanamo, Ville. 2013. Itsetiivistyvän betonin käyttö sillankorjauskohteissa. Tierakennusmestari lehti 3/2013 s. 18-21
- 10 Betonirakenteet, Betoni sillankorjausmateriaalina. Tiehallinto. Verkkodokumentti <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/sillat/silko/kansio1/s1201_2007.pdf>. Luettu 2.3.2018
- 11 Itsetiivistyvää betonia on käytetty jo 1980-luvulta lähtien. Verkkodokumentti. <<http://betoni.com/wp-content/uploads/2015/11/Itsetiivistyv%C3%A4%C3%A4-betonia-on-k%C3%A4ytetty-jo-1980-luvusta-l%C3%A4htien.pdf>>. Luettu 6.3.2018
- 12 InfraRYL 2006 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 3: Sillat ja rakennustekniset osat. Rakennustietosäätiö RTS
- 13 Rudus Oy. Itsetiivistyvä betoni

