

Leo Autere

# Itsetiivistyvän betonin ominaisuudet rakenne- suunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinööriytyö

7.5.2015

Tekijä(t) Otsikko	Leo Autere Itsetiivistyvän betonin ominaisuudet rakennesuunnittelussa
Sivumäärä Aika	44 sivua + 3 liitettä 7.5.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Juha Virtanen Tekninen johtaja Anssi Laaksonen Kehityspäällikkö Diana Ponkkala
<p>Insinööriä tehtiin A-Insinöörit Oy:lle rakennesuunnittelijoiden käyttöön. Työn tarkoituksena oli tutustua itsetiivistyvän betonin ominaisuuksiin rakennesuunnittelun kannalta. Lisäksi tutustuttiin itsetiivistyvän betonin käyttökohteisiin ja sen ominaisuuksien esittämiseen piirustuksissa ja työselostuksissa. Itsetiivistyvällä betonilla tarkoitetaan betonia, joka täyttää muotin ja ympäröi raudoitukset ilman mekaanista tiivistystä.</p> <p>Insinööriä tehtiin kirjallisuuslähteitä ja internet-julkaisuita hyödyntäen. Päätoimisena lähteenä toimi aiheesta tehty suomenkielinen kirjallisuus. Lisäksi haastateltiin Rudus Oy:llä työskentelevää Vesa Anttilaa. Työselostuksen tekemiseen käytettiin valmista työselostuspohjaa.</p> <p>Insinööriä lopputuloksena syntyi raportti, joka toimii myös ohjeistuksena rakennesuunnittelijalle itsetiivistyvän betonin ominaisuuksista ja käyttökohteista. Lisäksi tehtiin esimerkki-piirustus ja työselostus itsetiivistyvän betonin ominaisuuksien esittämisestä.</p> <p>Insinööriä onnistuttiin kuvaamaan itsetiivistyvän betonin tärkeimmät ominaisuudet suunnittelun kannalta ja näiden ominaisuuksien laadunvalvonta. Lisäksi saatiin koottua onnistuneita kohteita, joihin itsetiivistyvää betonia on käytetty.</p> <p>Työtä varten kerätyn tiedon avulla todettiin itsetiivistyvä betoni käyttökelpoiseksi materiaaliksi varsinkin korjausrakentamisessa, kohteissa joissa haluttiin hyvää pintalaatua ja vaikeasti tiivistettävissä kohteissa. Monet sen ominaisuuksista vastasivat tavallisen betonin ominaisuuksia ja jotkin ominaisuudet, kuten tiivistyminen olivat parempia. Suurin käyttöä rajoittava tekijä oli itsetiivistyvän betonin valmistus- ja laadunvalvontakulut, jotka olivat suurempia kuin tavallisella betonilla.</p>	
Avainsanat	itsetiivistyvä betoni, rakennesuunnittelu, työselostus

Author(s) Title Number of Pages Date	Leo Autere Properties of Self-Compacting Concrete in Structural Engineering 44 pages + 3 appendices 7 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructor(s)	Juha Virtanen, Senior Lecturer Anssi Laaksonen, Technical Director Diana Ponkkala, Development manager
<p>This thesis was commissioned by A-Insinöörit Suunnittelu. The aim of the thesis was to study the properties of self-compacting concrete in structural engineering. Furthermore, an aim was to study applications of self-compacting concrete and the presentation of its properties in drawings and reports. Self-compacting concrete means concrete that fills the mold and surrounds the reinforcement without mechanical compression.</p> <p>The study was made using literature sources and internet publications. The primary source was Finnish literature. In addition, there was interview with Vesa Anttila who works at Rudus. A work description was made using a ready-made work description.</p> <p>The result of the thesis was a report which also works as guidance for structural engineers on the properties of self-compacting concrete. In addition, example drawings and a work description were made on the presentation of the properties of self-compacting concrete.</p> <p>The most important properties of self-compacting concrete in structural engineering and the quality control of these properties were successfully described in the thesis. Building projects where self-compacting concrete was successfully used were described.</p> <p>The data that was found proofed self-compacting concrete a usable building material especially for reconstruction, projects where good surface quality was wanted and projects where mechanical compacting was difficult. Many self-compacting concrete properties were the same as the normal concrete has and some, such as compacting, were better. The biggest limiting factor was manufacturing and quality control costs, which were higher than for normal concrete.</p>	
Keywords	self-compacting concrete, structural design, work description

# Sisällys

## Käsitteet

1	Johdanto	1
2	Betonin valinta rakennesuunnittelussa	1
3	Itsetiivistyvä betoni	2
3.1	Valmisbetoni	4
3.1.1	Kiviainekset	4
3.1.2	Sementit	4
3.1.3	Seosaineet	5
3.1.4	Lisäaineet	6
3.1.5	Rasitusluokat	7
3.1.6	Lujuusluokat	9
3.2	Betonilaadut	9
3.3	Tiivistyminen	10
3.3.1	Vesitiiviys	11
3.4	Kuivuminen	12
3.5	Kutistuminen	13
3.6	Viruma	15
3.7	Mekaaniset ominaisuudet	15
3.7.1	Puristuslujuus	15
3.7.2	Vetolujuus	15
3.7.3	Lujuudenkehitys	16
3.7.4	Rakenteen homogeenisuus	16
3.8	Tartuntaominaisuudet	16
3.8.1	Tartunta betoniin	16
3.8.2	Tartunta raudoitetankoihin	17
3.9	Säänkestävyys	17
3.10	Palonkestävyys	18
3.11	Säilyvyys	20
3.11.1	Suunnittelukäyttöikä	20
4	Käyttö paikallavalurakentamisessa	21

4.1	Käytön edut ja taloudellisuus	21
4.2	Valu	22
4.3	Pintojen laadut	24
4.4	Käyttökohteet	26
4.4.1	Manttelointi	27
4.4.2	Sillat	28
4.4.3	Esimerkkikohteita	29
4.5	Ongelmia	34
5	Laadunvalvonta	35
5.1	Lujuudenkehitys	35
5.2	Painuma-leviämä	35
5.3	T50-aika	36
5.4	Säilyvyys	37
5.4.1	Ilmamäärä	37
5.4.2	Erottuminen	37
5.5	Läpäisykyky ja valuvuus	38
5.6	CE-merkinnät	40
6	Rakennustekniset piirrosmerkit ja työselitykset it-betonia käytettäessä	40
7	Tulokset	41
8	Yhteenveto	41
	Lähteet	43
	Liitteet	
	Liite 1. Paikallavalurakenteiden esimerkkityöselostus	
	Liite 2. Elementtityöselostus	
	Liite 3. Rakennetyyppi VP7	

## **Käsitteet**

Adheesio	Kahden eri aineen välinen vetovoima
Hydrostaattinen paine	Nesteissä vallitseva nesteen oman painovoiman aiheuttama paine
Vesi-sementtisuhde	Betonin sisältämän vesimäärän ja sementin painon suhde

## 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehdään A-Insinöörit suunnittelu Oy:lle. A-insinöörit on suomalainen 1950-luvulla rakennuttamiseen ja suunnitteluun erikoistunut yritys. Se työllistää noin 400 henkilöä. Yrityksen toimipisteet sijaitsevat Espoossa, Tampereella, Turussa, Porissa, Kuopiossa ja Pietarissa.

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä ohjeistus itsetiivistyvän betonin käytöstä ja ominaisuuksista rakennesuunnittelijalle. Itsetiivistyvä betoni on yleisnimitys betonityypeille, joilla on kyky täyttää muotit ja ympäröidä raudoitus ilman mekaanista tiivistystä. Itsetiivistyvä betoni kehitettiin Japanissa 1980-luvun lopussa, jotta saataisiin vähennettyä vaikeiden ja suurten betonointien työvaltaisuutta. Itsetiivistyvän betonin ominaisuuksia ei vielä tunneta hyvin rakennesuunnittelussa.

Tavoitteena on esitellä itsetiivistyvän betonin ominaisuudet, joiden tunteminen on tärkeää rakennesuunnittelussa ja hyviä ja huonoja käyttökohteita. Lisäksi tutustutaan sille suoritettaviin laadunvalvontakokeisiin ja itsetiivistyvän betonin esittämiseen rakennepiirustuksissa ja työselostuksissa. Tehdään esimerkkipiirustukset ja työselostukset itsetiivistyvän betonin käytöstä työmaalla. Työssä keskitytään itsetiivistyvän betonin käyttöön paikallavalurakentamisessa. Työmaatekniikka (muotit, valutat, jälkihoito) pyritään käymään läpi pintapuolisesti. Tutkimus tehdään kirjallisuustutkimuksena tutustumalla aiheesta tehtyyn kirjallisuuteen ja artikkeleihin.

## 2 Betonin valinta rakennesuunnittelussa

Betonirakenteet suunnitellaan niin, että murtorajatiloihin nähden niiden varmuus on riittävä ja rakenteiden käyttökelpoisuus on riittävä merkittävässä käyttötiloissa ja niiden säilyvyys on riittävä. Laskelmilla osoitetaan, että rakenteen kapasiteetti on riittävä sekä murto- että käyttörajatilassa.[8, s. 17.]

Rakennesuunnittelun lähtötietoina toimivat arkkitehdin tekemät rakennussuunnitelmat, joiden perusteella rakennesuunnitelmat tehdään. Rakenteiden suunnittelijalla pitää olla kyseiseen suunnittelutehtävän vaativuuteen soveltuva pätevyys. Vaativuusluokat ovat AA (=eritysvaatus), A (=tavanomainen vaatus) ja B (=vähäinen vaatus). AA-

luokka koskee mm. korkealujuuksista betonia, korkeita rakennuksia, siltoja ja jännebetonirakenteita. A ja AA pätevyyksien edellytyksenä on vähintään rakennusalan AMK insinöörin tutkinto. Lisäksi AA-luokan pätevyyteen vaaditaan vähintään 4. vuoden työkokemus rakennesuunnittelusta, riittävien opintojen lisäksi. Kunnan rakennusvalvontaviranomainen päättää kunkin rakennuksen vaativuusluokan ja suunnittelijan kelpoisuuden. [5, s. 10; 13.], [12.]

Betonirakenteita suunnitellessa rakennesuunnittelija määrittää rakenteen rakenneluokan, rasitusluokat, rakenteen suunnittelukäyttöiän, betonipeitteen nimellisarvon ja sen sallitun mittapoikkeaman. Betonista rakennesuunnittelija määrittää betonin lujuusluokan, kiviaineksen ylänimellisrajan ja XD- ja XS-rasitusluokissa vesi-sementtisuhteen. Jos rakenteeseen kohdistuu erityisiä vaatimuksia, suunnittelija voi esittää lisävaatimuksia muun muassa sementin tai kiviainesten laatuun, lujuuden kehitykseen, vedenpitävyyteen tai kulutuksenkestävyyteen. Lisäksi suunnittelija esittää jälkihoitoon liittyvät vaatimukset, sallitut mittapoikkeamat, täydelliset tiedot rakenteen muodosta ja koosta sekä työsaumojen, kiinnikkeiden ja varausten paikat.[8, s. 12-13.]

### **3 Itsetiivistyvä betoni**

Itsetiivistyvällä betonilla (Kuva 1) kyetään täyttämään muotit ja ympäröimään raudoitukset ilman mekaanista tiivistystä. Betoni valuu painovoiman avulla. Itsetiivistyvän betonin koostumus eroaa tavallisesta betonista siinä käytettävän hienoainemäärän ja tehokkaampien notkistimien käytön suhteen. Yleensä lisähienoaineksena käytetään lentotuhkaa. Suuren sementtimäärän vuoksi itsetiivistyvien betonien lujuus vastaa usein korkealujuusbetonien lujuutta. Itsetiivistyvä betoni täyttää oikein käytettynä ja valmistettuna, niin kuin tavallinenkin betoni, kaikki normien mukaiset vaatimukset tiiviiden, lujuuden ja säilyvyyden suhteen. [13, s. 7.], [26, s.11.]





**Kuva 1 Itsetiivistävä betoni leviää tehokkaasti täyttäen muotin tiiviisti [15.]**

It-betonin perusominaisuudet tuoreena massana ovat valuvuus, läpäisykyky ja erottumattomuus. Valuvuudella tarkoitetaan it-betonimassa kykyä valua muottiin ja täyttää muotti painovoiman avulla ilman mekaanista tiivistystä. Valuvuus ei saa olla liian suuri sillä tällöin se lisää riskiä betonimassan erottumiselle. Myös massan kustannukset kasvavat. Yleensä kannattaakin pyrkiä mahdollisimman pieneen valuvuuteen, jos estettä, kuten hyvin tiheää raudoitusta, ei ole. Viskositeetilla kuvataan kuinka voimakkaasti it-betonimassa vastustaa tietyn valun syntymistä. Viskositeetin arvon ollessa pieni massa valuu nopeasti ja helposti. Viskositeettia mitataan T50-testillä. Läpäisykyvyllä tarkoitetaan betonimassan kykyä virrata kapeiden aukkojen läpi, esimerkiksi kasaantumatta raudoitteiden väliin tai taakse. Läpäisykykyyn vaikuttaa riittävä ja rakeisuudeltaan ja muodoltaan sopiva hieno- ja kiviainemäärä. Lisäksi hienoainemäärän suhde karkeisiin kiviaineksiin vaikuttaa läpäisykykyyn. Läpäisykykyyn liittyy sama riski kuin valuvuuteenkin massan erottumisen suhteen. Betonimassan erottumisella tarkoitetaan betonissa olevan veden nousemista selvästi pintaan tai reuna-alueille. Myös kiviainekset voivat alkaa erottua massasta. Ongelmaa voi ilmetä erityisesti tiheän raudoituksen yhteydessä. It-betonin erottumattomuus onkin betonin säilyvyyden ja pintalaadun kannalta ratkaiseva. Vedenerottumisesta seuraa muutoksia it-betonin mikrorakenteeseen. Kiviainesten erottuminen sementtipastasta voi lisätä betonin kutistumista tavallista suuremmaksi sillä tämä lisää sementtipastan osuuden määrä rakenteessa paikallisesti. Betonin kimmo-ominaisuudet heikkenevät kohdissa, missä sementtipastamäärä on suuri ja karkeitä kiviaineksiä on vähän. [13, s.14; 28-29.], [26, s.13.]

### 3.1 Valmisbetoni

Valmisbetoniksi kutsutaan paikallavalettua betonia. Betoni on tärkein rakennusmateriaali kantaville rakenteille. Tärkeimpänä käyttökohteena toimii talonrakennus. Betoni koostuu sementistä, vedestä, kiviaineksesta ja erilaisista lisäaineista. Sementti ja vesi muodostavat sementtiliiman, joka sitoo kiviaineksen betoniksi. Betonirakenteita voidaan tehdä raudoittamattomina ja raudoitettuna. [6, s. 15; 18-19.]

#### 3.1.1 Kiviainekset

Kiviaines on suurin osa-aine betonissa. Sen tilavuusosuus on noin 65–80 %. Kiviaineksenä toimii riittävän luja ja tiivis materiaali, joka ei huononna betonin säilyvyyttä eikä osallistu sementin reaktioihin. Kiviainekset jaetaan yleisesti karkeisiin, hienoihin ja luonnon lajittamiin kiviaineksiin. Graniittipohjainen luonnonkiviaines on yleisimmin käytössä Suomessa. It-betoni eroaa tavallisesta betonista kiviaineksien suhteen. It-betonissa alle 2 mm rakeiden osuus kiviaineksesta on noin puolet, kun normaalissa betonissa sen osuus on noin kolmannes tai pienempi. Karkean kiviaineksen osuus on it-betonissa pienempi kuin tavallisessa betonissa. Lisäksi suurin raekoko on yleensä myös pienempi. Suurin raekoko määräytyy raudoitusterästen etäisyyksien mukaan. Näin saadaan taatua it-betonin hyvä läpäisykyky. Mitä pallomaisempaa karkea kiviaines on it-betonissa, sitä vähemmän joudutaan käyttämään sementtiä ja massa myös leviää tällöin helpommin. Kiviaineksen muoto vaikuttaa myös läpäisykykyyn. Alle 0,125 mm kiviaineksen osuus on yleensä 5-10 % koko kiviaineksen osuudesta. [6, s. 31-33.], [13, s. 26.], [10, s. 16-17.]

#### 3.1.2 Sementit

Sementti on hydraulinen sideaine, jolla tarkoitetaan hienoksi jauhettua epäorgaanista materiaalia, joka veden kanssa sekoittuessaan muodostaa sementtipastan, joka sitoutuu ja kovettuu hydrataatioreaktioiden kautta. Hydrataatioreaktiolla tarkoitetaan reaktiota jossa molekyyliin liitetään vettä. Muodostuva sementtipasta on kestävä niin ilmassa kuin veden allakin. Sementin valinnalla voidaan vaikuttaa moniin betonin ominaisuuksiin, kuten lujuuteen, lämmönkehitykseen ja kemialliseen kestävyYTEEN. Suomessa käytetään neljää eri sementtiä paikallavalurakentamiseen. Yleissementti on normaalisti kovettava sementti, joka soveltuu kaikkeen rakentamiseen. Rapidsementti on nopeasti kovettava

sementti, jonka tärkeitä käyttökohteita ovat lattiavalut ja talvibetonointi. SR-sementti soveltuu erityisesti sulfaattirasituksen alaisiin kohteisiin. Se on normaalisti kovettuva sementti. Valkosementillä saadaan puhtaanvalkoinen väri ja hyvät lujuusominaisuudet. Uusi kehityskohde on ollu plussementti. Se on normaalisti kovettuva betonilaatu joka soveltuu kaikentyyppisiin valmisbetoneihin ja betonituotteisiin. Sen suurin etu on ympäristöystävällisyys, koska sen valmistuksessa syntyy vähemmän hiilidioksidipäästöjä. [6, s. 39; 44-45.]

It-betonissa voidaan käyttää jokaista standardin EN 197-1 vaatimusten mukaista sementtiä. Jokaisen käyttökohteen vaatimukset määrittävät tarkemmin oikean sementtityypin valinnan. Lisäksi betonitehtaan käytettävissä olevat sementit määrittävät sementtilaadun. Sementin hienojakoisuus määrittää hydradaation ja lujuudenkehityksen alun. Mitä hienojakoisempaa sementti on, sitä nopeammin lujuudenkehitys alkaa. [10, s. 15.], [22, s. 9.]

### 3.1.3 Seosaineet

Betonissa voidaan käyttää mineraalisia seosaineita side- ja runkoaineina. Näistä yleisimmät ovat lentotuhka, masuunikuonajauhe ja silika. Seosaineiden käyttö it-betonissa on suositeltavaa sillä ne parantavat massan valuvuutta ja erottumattomuutta. It-betonin seosaineena käytetään yleensä mineraalisia kalkkikivijauhetta, lentotuhkaa, silikaa tai masuunikuonajauhetta. Seosaineen valintaan vaikuttaa niiden saatavuus betoniaseamalla. [6, s. 59.], [13, s. 26.]

#### 3.1.3.1 Lentotuhka

Lentotuhkaa käytetään betonin tuotannossa sementin korvaamiseen. Lentotuhkan käytöllä voidaan parantaa betonimassan työstettävyyttä ja koossapysyvyyttä. Lentotuhka heikentää betonin varhaislujuutta, mutta parantaa loppulujuutta. Koska lentotuhka hidastaa betonin sitoutumista ja lujittumista, se soveltuu huonosti talvibetonointiin ja lattiavaluihin. Lentotuhka lisää betonin koossapysyvyyttä ja vähentää betonin herkkyttä vesimäärän muutoksille, mutta liian suurina määrinä käytettynä saattaa aiheuttaa pastafraktion, joka on niin koossapysyvä, että se voi estää valumista. [6, s. 59.], [10, s. 16.]

### 3.1.3.2 Masuunikuonajauhe

Masuunikuonajauhetta käytetään massiivisten rakenteiden valussa, koska se vähentää betonin hydratoitumislämpöä. Samoin kuin lentotuhka, se heikentää varhaislujuutta ja parantaa loppulujuutta. Kuonajauhe myös parantaa sulfaatinkestävyyttä. Betonin virumaa ja karbonatisoitumisnopeutta masuunikuonajauheen käyttö lisää lievästi. Parhaiten it-betoniin soveltuu kalkkikivijauhe sillä sen partikkelikokojakauma pysyy yhdenmukaisen toimituserästä toiseen, jolloin veden tarpeen valvonta helpottuu. [6, s. 60.], [10, s. 15.]

### 3.1.3.3 Silika

Silika parantaa betonin kemiallista kestävyyttä, koossapysyvyyttä, tiiviyyttä ja vedenpitävyyttä. Se myös lisää betonin lujuutta. Silikan kanssa pitää käyttää notkistinta sillä se lisää betonin vedentarvetta. Silika parantaa betonin koossapysyvyyttä ja betonin erottumattomuutta, mutta voi lisätä ongelmia pinnan viimeistelyssä. Suuri masuunikuonajauheen määrä aiheuttaa ongelmia notkeuden valvomiselle ja sen käyttö lisää myös erottumisriskiä sillä betoni sitoutuu hitaammin. [6, s. 60.], [10, s. 16.]

### 3.1.4 Lisäaineet

Notkistimien käytöllä parannetaan betonin pumpattavuutta ja koossapysymistä. Lisäksi sen käyttö mahdollistaa pienempien vesi- ja sementtimäärien käyttöä. Huokostinta käytetään betonin säänkestävyyden parantamiseen. Sen avulla betoniin muodostuu pieniä ilmakuplia, jotka ottavat vastaan veden jäätymisestä johtuvan paineen. Hidastimien avulla betonin sitoutumista siirretään myöhemmäksi. Sitä käytetään lämpimällä säällä, jotta muokkausaikaa saadaan pidennettyä. Myös kohteissa, joissa on pitkät kuljetusmatkat tai ei haluta työsaumoja, hidastin on käyttökelpoinen. [6, s. 65-67.]

Itsetiivistyvän betonin hyvän valuvuuden ja läpäisykyvyn saavuttamiseksi siinä pitää käyttää uusia kolmannen sukupolven tehonotkistimia. Tehonotkistimilla vähennetään it-betonin veden tarvetta, sillä it-betonin vesi-sementtisuhde on pieni ja käyttämällä pienempää vesi-sementtisuhdetta saadaan tiiviimpiä rakenteita. Hidastimia ja huokostimia voidaan käyttää samalla tavalla kuin tavallisissa betoneissa. It-betoneissa käytetään myös stabilaattoreita, joilla parannetaan massan koossapysymistä. Stabilaattorit parantavat massan erottumattomuutta. [10, s. 17.], [13, s. 17.]

### 3.1.5 Rasitusluokat

Rakennesuunnittelijan tehtävänä on valita rakenteen rasitusluokka sen mukaan kohdistuuko rakenteeseen karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio, kloridien aiheuttama korroosio, meriveden aiheuttama korroosio, jäätymis-/sulamisrasitus tai kemiallinen rasitus. Rakenteeseen voi kohdistua samaan aikaan useampia rasituksia. Lisäksi pohjavesien aiheuttama sulfaattirasitus pitää ottaa huomioon. Rasitukset jaetaan eri luokkiin (kuva 2). Kun suunnittelija on valinnut rasitusluokan hän pystyy määrittämään raudoitteen betonipeitteen vähimmäisarvon (Kuva 3). Jos suunnittelukäyttöikä on 100 vuotta betonipeitteen määrään lisätään 5 mm. Betonipeitevaatimus koskee kaikki ruostuvia betoniteräksiä ja se määritetään lähimpänä pintaa olevasta raudoitteesta. Jänneraudoitteille pitää olla isompi betonipeite. [8, s. 88; 92.], [7, s. 64.]

Pääluokka	Rasitustekijä	Alaluokan merkintä	Olosuhdekuvaus
X0	Ei korroosioriskiä betonille tai raudotteille	X0	Betoni sisätiloissa, jossa ilmankosteus hyvin alhainen
XC	Karbonatisoituinen	XC1	Kuiva tai jatkuvasti märkä
		XC2	Kosteaa, harvoin kuiva
		XC3	Kohtalaisen kostea
		XC4	Jaksollinen kastuminen ja kuivuminen
XD	Kloridien aiheuttama korrosio	XD1	Kohtalaisen kostea
		XD2	Kosteaa, harvoin kuiva
		XD3	Kosteaa ja kuiva vaihtelevat
XS	Merivedessä olevien kloridien aiheuttama korrosio	XS1	Betonia rasittavat tuulen mukana tulevat kloridit, ei suoraan kosketusta veteen
		XS2	Veden alla
		XS3	Vesirajassa ja roiskevyöhykkeellä
XF	Jäätymis-/sulamisrasitus	XF1	Kohtalainen vedellä kylästyminen ilman jäänsulatusaineita
		XF3	Suuri vedellä kylästyminen ilman jäänsulatusaineita
	Jäätymis-/sulamisrasitus ja suolarasitus	XF2	Kohtalainen vedellä kylästyminen ja jäänsulatusaineet
		XF4	Suuri vedellä kylästyminen ja jäänsulatusaineet
XA	Kemiallinen rasitus	XA1	Kemiallisesti heikosti aggressiivinen ympäristö
		XA2	Kemiallisesti kohtalaisesti aggressiivinen ympäristö
		XA3	Kemiallisesti voimakkaasti aggressiivinen ympäristö

Kuva 2 Rasitusluokat [17, s. 21.]

Ympäristöolosuhteista johtuva betonipeitteen vähimmäisarvo vaatimus $c_{min,dur}$ (mm)								
Kriteeri	Rasitusluokka eurokoodin EN 1992-1-1 taulukon 4.1 mukaan							
	X0	XC1	XC2 XC3	XC4	XD1	XS1	XD2	XD3 XS2,3
Betoniteräs	10	10	20	25	30	30	35	40
Jänneteräs	10	20	30	35	40	40	45	50
100 vuoden suunniteltu käyttöikä <sup>1)</sup>	+0	+0	+5	+5	+5	+5	+5	+5
Minimilujuusluokka <sup>2)</sup>	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45
Valittu lujuusluokka $\geq$	C20/25	C30/37	C35/45	C35/45	C35/45	C40/50	C35/45	C45/55
RakMK B4 1-rakenneluokka	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5

Kuva 3 Betonipeitteen vähimmäisarvo vaatimus rasitusluokkien perusteella [5.]

### 3.1.6 Lujuusluokat

Betonin lujuus arvostellaan 28 vuorokauden iässä. Betonin lujuuteen vaikuttaa moni tekijä, esimerkiksi vesisementtisuhte ja sementin laatu. Betoni jaetaan lujuutensa perusteella puristuslujuusluokkiin, joita ilmaistaan merkinnällä C25/30. Tämä tarkoittaa, että betonin lujuus on 30 MPa 150 mm kuutiokoekappaleilla. Yleisimmät lujuudet ovat C25/30-C50/60. Lisäksi korkealujuusbetonit ovat korkeimmillaan C100/115. Betonin vähimmäislujuusluokka määritetään rasitusluokkien pohjalta. [11.], [7, s. 63.]

### 3.2 Betonilaadut

Itsetiivistyvän betonin hyvän tiivistymisominaisuuden aikaansaamiseksi tarvitaan suuria määriä sementtiä tai muita jauhemateriaaleja kuten lentotuhkaa. Tämän seurauksena itsetiivistyvien betonien lujuus on keskimääräistä korkeampi. Tämä rajoittaa it-betonin lujuusluokat lujuusluokasta C35/45 ylöspäin. It-betonin runkoaineen maksimirakekoko on yleensä 12 tai 16 mm. Yli 16 mm kiviaineksella kasvaa riski, ettei betoni ole tasalaatuista ja lisäksi se ei kykene valumaan muotissa yhtä hyvin kuin 16 mm kiviaineksella. Koska it-betonilla on riski plastiseen kutistumaan pienen vesi-sementtisuhteensa takia, ei pienempää raekokoa tulisi käyttää kuin erityistapauksessa. Suurempia raekokoja käytettäessä it-betonin leviämisominaisuus ei toimisi halutusti. Erityistapauksissa myös 8 mm kiviaines käy. Tällöinen tilanne voi olla kun on hyvin tiheä rauditus, jolloin riski kiviainesten kiilautumiselle raudoitteiden väliin nousee. Tämä estää it-betonin valumisen muotissa ja rakenteesta tulee epähomogeenistä. Kiviainesrakeiden muoto vaikuttaa

myös työstettävyyteen. Murskattua kiviainesta käytettäessä pitää nostaa sementtipastan määrää, jotta saavutetaan riittävät työstettävyyssominaisuudet. [2.], [22, s. 14.], [13, s. 24; 26.]

It-betonin notkeusluokkaa ei määritellä samalla tavalla kuin normaaleissa betoneissa. Sen notkeutta kuvataan painuma-leviämän ja T50-ajan avulla. Painuma-leviämä arvojen suositellaan olevan 650-800 mm ja T50-ajan 2-10 sekuntia. Koska sementtimäärät ovat tavallista suurempia ja vesi-sementtisuhde tavallista pienempi, täyttää it-betoni helposti useimpien rasitusluokkien vaatimukset. It-betonia saa myös huokostettuna, jolloin siitä tulee säänkestävää. Valmisbetonia valmistava Rudus Oy tarjoaa kahta eri laatua it-betonille: IT, joka täyttää rasitusluokat X0, XC1, XC2, XC3 ja XC4. Huokostettuna IF, joka täyttää lisäksi rasitusluokat XS1, XD1, XD2, XA1, XF1 ja XF3. Vaativimpien rakennusluokkien soveltuvuus on tarkastettava etukäteen valmistajan kanssa. [2.], [24.], [25.]

### 3.3 Tiivistyminen

It-betoni tiivistyy painovoiman avulla. Tiivistyessä sen osa-aineet eivät erotu eivätkä kiviaineksen suurimmat rakeet ruuhkaudu raudoitustankojen väliin. It-betoni täyttää muotit ja ympäröi raudoitustangot tiiviisti. Tämä mahdollistuu kun it-betonin laastiosuuden (alle 5 mm kiviaines) määrää kasvatetaan karkean kiviaineksen kustannuksella. Lisäksi käytetään polykarboksylaattipohjaisia tehonotkistimia. Laastiosuuden kasvaessa muodostuu suurimpien kiviainesten ympärille ylimääräinen pastakerros, jonka avulla kiviainesarakeet liukuvat helpommin muotin sisällä ja betonimassan herkkäliikkeys lisääntyy. [13, s. 16.]

It-betonissa kiviaineksen ja sementtipastan väliselle rajapinnalle eli transitiovyöhykkeelle syntyy normaalia suurempi tiiveys. Tämä lisää erityisesti it-betonin tiiveyttä. Rajapinnan välisen vyöhykkeen tiiveys vaikuttaa betonin lujuus- ja säilyvyysominaisuuksiin, koska rajapinnalta saavat yleensä alkunsa betonin halkeamat. Näiden halkeamien kautta hiilidioksidi ja kloridit pääsevät kulkeutumaan betoniin ja aiheuttavat esimerkiksi karbonatisoitumista. Karbonatisoitumisessa betonin pH laskee, jolloin raudoitusta suojaava oksidikalvo voi rikkoutua. It-betonissa rajapintavyöhyke on myös yhtä paksu raudoitteen ylä- ja alapuolella. Normaalisissa betonissa raudoitetankojen alla rajapinta on ohuempi. Näin it-betonin tiiviys raudoitetankojen ympärillä onkin parempi. Tämä johtuu it-betonin suuresta hienoainemäärästä ja pienestä vesimäärästä. [13, s. 68.]



Yhtenä syynä it-betonin hyvään tiiveyteen pidetään mekaanisen tärytyksen puutetta. Mekaaninen tärytys saattaa aiheuttaa vedenerottumista kiviainesrakeiden vieressä, lisätä suojahuokosten yhtymistä massassa ja suojahuokosten siirtymistä kiviainesrakeiden alle jolloin syntyy ilmataskuja ja huokosjonoja. It-betonia ei saa täryttää, sillä silloin se erottuu. [13, s. 68.]

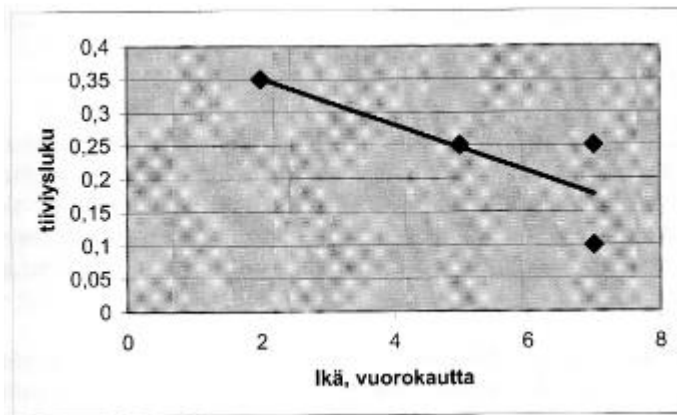
Jotkin seosaineet kuten silika, lentotuhka ja masuunikuona parantavat kiviaineksen ja sementtipastan tartuntaa toisiinsa. Kun silikamäärä on yli 15 % sementin määrästä, ei rajapintavyöhykkeellä esiinny enää sitä heikentäviä kalsiumhydroksidikiteitä. Kalsiumhydroksidin määrää voidaan myös vähentää käyttämällä seosaineena lentotuhkaa. [13, s. 67-68.]

### 3.3.1 Vesitiiviys

Betonin vesitiiveydellä tarkoitetaan betonin kykyä vastustaa veden kulku betonirakenteen läpi toispuoleisen vedenpaineen vaikuttaessa. Jotta betoni on vesitiivistä, se ei saa halkeilla. Betoni katsotaan vesitiiviiksi, jos standardin SFS 12390-8 mukaisesti testattu paineellisen veden tunkeutumasyvyys on enintään 100 millimetriä. Vesitiiviyttä vaaditaan kaikilta pakkasrasituksen alaisilta, meriveden alla olevilta sekä märissä ilmastoissa olevilta teräsbetonirakenteilta. Betonin vedentiiveyteen vaikuttaa mm. vesi-sementtisuhde, jonka tulisi olla mahdollisimman alhainen. Vesi, joka ei sitoudu hydrataatioreaktiossa muodostaa betoniin kapillaarihuokosia, joihin vesi imeytyy tehokkaasti kapillaarivoimien vaikutuksesta. Kun betonin vesi-sementtisuhde on pienempi kuin 0,4, betoniin muodostuneet kapillaarihuokokset lähes häviävät. Vedenpitävän betonin huokosrakenteen on oltava epäyhtenäinen, jottei synny yhtenäistä verkostoa mitä pitkin vesi kulkeutuu. Liian suurella nopeudella pystyrakenteeseen jää runsaasti tiiviyttä heikentäviä huokosia. Vesitiiviyden varmistamiseksi betoni on jälkihoidettava huolellisesti, jotta saadaan vähennettyä vesitiiviyttä heikentäviä kuivumis- ja kutistumishalkeamia. Betonin lämpötilan hallintaan tulee myös panostaa, sillä lämpötilaerot betonin kovettumisvaiheessa voivat aiheuttaa halkeamia. Vesitiiviyttä voidaan myös parantaa suunnittelemalla rakenne käyttötilassa niin ettei rakenteeseen ei synny vetorasituksia tai niiden arvo ei ylitä betonin vetolujuutta. Lisäksi rakenne voidaan suunnitella jännitettyinä, jolloin betonin halkeilu vähenee ja vesitiiviys paranee. [16 s. 5-6.]

Itsetiivistyvän betonin voidaan yleensä olettaa suhteituksensa perusteella olevan vesitiivistä. Tämä johtuu it-betonin suuresta sementti- ja hienoainesmäärästä ja pienestä vesi-

sementtisuhteesta. Vesitiivyyttä heikentää betonin pinnan halkeilu. Kun it-betoni on sekoitettu tasalaatuiseksi, erottumista ei havaita ja se on valettu oikein, sen sisäiseen rakenteeseen kehittyy vain vähän ylimääräistä huokoisuutta ja säröjä kiviaineksen tartuntapinnoille. Juuri näihin tartuntavyöhykkeisiin syntyy tiivistetyissä betoneissa mikrohalkeilua, joka heikentää betonin vesitiivyyttä. It-betonin vesitiivyyttä on testattu ja se on todettu hyväksi (kuva 4). [14, s. 15.]



Kuva 4 It-betonin vesitiiviyyskokeiden tuloksia. Vesitiiviyysvaatimus on vesitiiviyysluku <1,0 [14, s. 15.]

### 3.4 Kuivuminen

Veden tehtävänä betonissa on muodostaa sementin kanssa sementtiliima, joka sitoo kivimassat toisiinsa. Betonissa oleva vesi sitoutuu joko kemiallisesti, jolloin se reagoi sementin kanssa tai sitoutuu fysikaalisesti jolloin se poistuu betonista ympäristöön. Betonissa oleva sementtimäärä vaikuttaa betonin kuivumiseen. Mitä enemmän sementtiä on, sitä enemmän vettä sitoutuu kemiallisesti jolloin fysikaalisesti haihtuvaa vettä jää vähemmän. Betonissa tapahtuu kuivumista niin pitkään kunnes betonin huokosten suhteellinen kosteus on sama kuin betonia ympäröivän ympäristön suhteellinen kosteus. Betonin kuivumisnopeuteen vaikuttaa rakenteen paksuus ja kuivumissuunta, betonilaatu ja olosuhteet. [22, s. 20.]

It-betoni kuivuu hieman nopeammin kuin tavallinen betoni. Alhaisessa lämpötilassa it-betonin kuivumisnopeus kuitenkin hidastuu ja ero tavallisen betonin kuivumiseen pienee. Koska kemiallisen sitoutumisen osuus it-betonissa on suuri korkean sementtimäärän takia, ei valun paksuus vaikuta oleellisesti it-betonin kuivumiseen. [13, s. 91.]

### 3.5 Kutistuminen

Betonin kutistuminen aiheuttaa betoniin halkeilua. Betonin kutistumiseen vaikuttavat betonin ominaisuudet ja ulkoiset olosuhteet. Betonin kutistuma tapahtuu kahdessa vaiheessa. Ensimmäisen 24 tunnin aikana tapahtuvaa kutistumaa kutsutaan varhaiskutistumaksi. Tämän jälkeen tapahtuvaa kutistumaa kutsutaan pitkäaikaiskutistumaksi. Betonin kuivumiskutistuma kuuluu varhaiskutistumaan. Siihen vaikuttaa merkittävästi betonin koostumus ja ympäristön olosuhteet. Mitä enemmän betonissa on vettä ja mitä suurempi on betonin ja ympäristön lämpötilaero sitä suurempi on kuivumiskutistuma. Kiviaineksen maksimirakoon pienentäminen kasvattaa myös kuivumiskutistumaa. Kuivumiskutistumaa aiheutuu kun fysikaalisesti sitoutunut vesi poistuu ilmakehään. [13, s. 59.], [10, s. 6.]

Plastisella kutistumalla tarkoitetaan betonimassan kutistumista vaakatasossa. Plastista kutistumaa syntyy kun betonin pinnalta haihtuva vesi ei enää korvautu betonipinnan alta nousevalla vedellä. Helpoimmin sitä tapahtuu laatoille. Plastinen kutistuma (kuva 5) ajoittuu betonin ensimmäiseen vuorokauteen. Autogeeninen kutistuma on riski betoneille joilla on matala vesi- sementtisuhte. Autogeenisellä kutistumalla tarkoitetaan sementin ja veden reaktiota, jonka seurauksena betoni kuivuu sisäänpäin. Tämä lisää kutistumaa betonin pinnalla, joka alkaa tämän seurauksena halkeilla. Plastisella painumalla tarkoitetaan kiviaineksen ja sementin vajoamista painovoiman vaikutuksesta alaspäin. Jos tämä vajoama on estetty esimerkiksi raudoitustangolla, syntyy tähän kohtaan plastisesta painumasta johtuva halkeama. Sementin sitoutumisajan piteneminen lisää plastista painumaa. Toinen tärkeä tekijä plastisen painuman aiheutumiselle on betonissa oleva vesimäärä. Vesimäärän kasvu lisää veden erottumista. Plastinen painuma on riski erityisesti hyvää pintalaatua tavoiteltaessa. Paras keino plastisen painuman estämiselle on vähentää vedenerottumista. Samoin viskositeettia parantavan lisäaineen käyttö vähentää plastisen painuman ja halkeilun riskiä. [23.], [13, s. 60.]



Kuva 5 Plastisen kutistuman aiheuttamaa halkeilua [23.]

It-betoni on altis kutistumiselle sen alhaisen vesi-sementtisuhteen takia. Lisäksi se sisältää suuren määrän hienoainepartikkeleita, jonka takia varhaisvaiheen kutistumisen on mahdollista alkaa aikaisemmassa vaiheessa. Myös tehonotkistimien käytöllä on välillinen vaikutus kutistumaan, sillä niiden käyttö pidentää massan sitoutumisaikaa ja näin varhaisvaiheen kutistumalle jää enemmän aikaa. It-betonin kohdalla onkin tärkeätä aloittaa jälkihoito välittömästi, jotta plastisen kutistuman aiheuttama halkeilu saadaan estettyä. Lattiabetoneissa jälkihoitona käytetään varhaisjälkihoitoa. Ensin massa tasataan ristiintelaamisella, jonka jälkeen levitetään varhaisjälkihoitoaine. Tämän avulla betonin pinnalle muodostuu vettä läpäisemätön kalvo, joka estää plastista kutistumaa. Muita valukohteita voidaan jälkihoitaa suojaamalla tai kastelemalla betonia. Voimakas tuuli lisää plastista kutistumaa. [13, s. 60; 62.], [22, s. 44.], [25.]

Plastisesta painumasta johtuvan halkeilun riskiä voidaan vähentää käyttämällä it-betonissa muovikuituja. Varsinkin lattiavaluissa, missä plastisen kutistuman riski on suurin, on tämä suositeltavaa. Pintabetonilattioissa voidaan rauditusverkko korvata kuiduilla. Kuiduilla parannetaan betonin vetolujuutta, jolloin ensimmäisen halkeaman syntymiseen tarvitaan suurempia voimia. Kuidut tekevät massasta paremmin koossapysyvää, mutta lisäävät sen sitkeyttä jonka takia massan notkeutta pitää lisätä. Muodonmuutosominaisuudet (veto-, taivutusveto- ja leikkauslujuus) myös paranevat kuituja käyttämällä. Lattiamassoissa kuitujen käyttö parantaa iskunkestävyyttä ja kuitumassat myös tarttuvat paremmin alustaansa, jolloin lattia pääsee kuivumaan vain yläpinnasta. Lattian hierto on tärkeä, jotteivat kuidut nouse pintaan. Myös teräskuituja voidaan käyttää, mutta niitä tulee vähemmän massaan ja niiden tehokkuus ei ole yhtä hyvä kuin muovikuiduilla plastisen kutistuman estämisessä. Kuitumäärä on 0,9-2,0 kg/m<sup>3</sup> ja kuitujen pituus on 10-50 mm. Polymeerikuituja käytetään yleensä lattiabetoneissa. [22, s. 40-41.]

### 3.6 Viruma

Viruma on muodonmuutoksen asteittaista lisääntymistä ajan suhteen, kun kohdistettu jännitys pysyy samana. Virumaan ja pitkäaikaiskutistumaan vaikuttavat hyvin pitkälti samat tekijät. Samalla huomioidaan muutkin ajasta riippuvat muodonmuutokset kuten paisuminen, kutistuminen ja lämpötilan muutoksen aiheuttamat muodonmuutokset. Viruma, joka tapahtuu puristuksessa, aiheuttaa hidasta kuorman siirtymistä betonilta raudoitteelle. Vedossa tapahtuva viruma lieventää muiden pakkoliikkeiden aiheuttamaa jännitystä esimerkiksi kuivumiskutistuman vaikutusta. Viruman suuruuteen vaikuttavat useat tekijät kuten betonin vesi-sementtisuhte. It-betoniin valittavalla sementtityypillä on myös vaikutus viruman suuruuteen. Nopeammin hydratoituvilla sementeillä on pienempi viruma. Myös kiviaineksen koko vaikuttaa viruman määrään. Suurempi kiviaines vastustaa sementtipastan virumaa. Vaikka viruma tapahtuu sementtipastassa, jonka määrä on suuri it-betonissa suhteessa tavalliseen betoniin, sen virumakerrointa määriteltäessä voidaan käyttää eurokoodin taulukoissa ja yhtälöissä esitettyjä turvallisella puolella olevia oletuksia. Samoilla sementtityypeillä tehdyillä it-betoneilla ja tavallisilla betoneilla ovat pitkäaikaiskutistuma- ja viruma-arvot samaa suuruusluokkaa. [10, s. 6.], [13, s. 66.]

### 3.7 Mekaaniset ominaisuudet

#### 3.7.1 Puristuslujuus

It-betonin lujuus sijoittuu usein vaadittavan lujuusluokan yläpäähän tai jopa seuraavaan lujuusluokkaan. Tämä johtuu pienestä vesi-sementtisuhteesta. Myös tilanteissa, joissa it-betonin ja tavallisen betonin vesi-sementtisuhte on sama voi it-betoni saavuttaa suuremman lujuuden. Tämä johtuu kiviaineksen ja sementtipastan välisen rajapinnan paremmasta tiiveydestä, mikä on seurausta tärytyksen puutteesta. [13, s.43.], [10, s. 5.]

#### 3.7.2 Vetolujuus

Annetun lujuusluokan ja kypsyysasteen betonin vetolujuuden voidaan olettaa olevan sama kuin tavallisen betonin, koska pastan tilavuus ei vaikuta merkittävästi vetolujuuteen [10, s. 5].

### 3.7.3 Lujuudenkehitys

Sementin kovettuminen eli lujuusreaktio alkaa sitoutumisen jälkeen ja jatkuu kunnes hydratoitumiseen osallistumiskykyinen vesi on loppu. Betonin lujuudenkehitys on erityisen riippuvainen sen vesi-sementtisuhteesta. Mitä alhaisempi vesi-sementtisuhte on, sitä nopeammin lujuus kasvaa, koska näissä betoneissa on vähemmän hydratoituvaa vettä. Lisäksi käytettävä sementtityyppi ja sementtimäärä vaikuttaa lujuudenkehitykseen. Myös ympäristön lämpötila vaikuttaa lujuudenkehitykseen. Matalassa lämpötilassa betonin lujuus kehittyy hitaammin. [8, s. 53-55.]

Periaatteessa it-betonin lujuudenkehitys on hieman nopeampaa kuin tavallisella betonilla, sen alhaisen vesi-sementtisuhteen takia. It-betonin sitoutumisen nopeus kuitenkin vaihtelee käytettävän notkistimen ja ympäristön lämpötilan mukaan. Varsinkin kuumalla säällä betoni voi jäykistyä nopeasti, jolloin kannattaa käyttää hitaita sementtejä. Kylmällä säällä betonin sitoutuminen hidastuu merkittävästi. [13, s. 36.]

### 3.7.4 Rakenteen homogeenisuus

Rakenteen homogeenisuudella tarkoitetaan, että rakenne on tasalaatuinen. Betonirakenteille on yleistä että niiden ylä- ja alaosan lujuuksien välillä on ero, alaosan ollessa lujempaa. It-betonilla tämä ero tasoittuu. Tämä johtuu it-betonin tavallista pienemmästä vedenerottumisesta. Samoin betonimassan mekaanisen tiivistyksen puuttuminen vähentää lujuudenvaihtelua. Lujuudenvaihtelun suuruuteen vaikuttaa kumminkin it-betonin ominaisuudet kuten vedenerottumisen määrä. [13, s. 45; 56.]

## 3.8 Tartuntaominaisuudet

### 3.8.1 Tartunta betoniin

It-betonin tartuntaominaisuudet aikaisemmin valettuun betoniin on todettu hyviksi. Tartuntalujuutta testattaessa murtokohta on yleensä ollut saumakohdan sijaan vanha tai uusi betonipinta. Tämän takia it-betoni soveltuukin hyvin korjauskohteisiin, kuten manttelointiin, kunhan vedenerottumista ei pääse tapahtumaan. Päällevaluissa pieni vedenerottuminen sallitaan. Leviämän tulisi olla mahdollisimman suuri, jotta tartunta olisi mahdollisimman hyvä. Kun it-betonia valetaan aluslaatan päälle tulisi aluslaatan pinta harjata tai imuroida puhtaaksi hyvän tartunnan aikaansaamiseksi. Pinnan karheus on

myös suositeltava kovettuneelle betonille, jotta betonipintojen välinen leikkauskapasiteetti kestää siihen tulevan leikkausvoiman. Myös klinkkeri- ja tiililaattojen tartunta it-betoniin on hyvä. [13, s. 52-54; 56.], [10, s. 8.]

### 3.8.2 Tartunta raudoitetankoihin

Raudoitetun betonirakenteen toiminta perustuu betonin ja raudoitusterästen väliseen tartuntaan. Tartunnan onnistumiseen vaikuttaa betonin ja teräksen välinen adheesio ja kitka. Lisäksi terästankojen harjojen kuviointi ja harjojen puristus betonia vasten. Betonin laatu ja betonissa olevien raudoitusterästen sijainti vaikuttaa tartunnan tehokkuuteen. Teräksen ja betonin välisten raudoitusjännitysten siirtämiseen tarvitaan riittävän suuri betonipeite raudoitteelle. Betonin ja raudoitteiden välinen tartunta vaatii betonin riittävän tiivistymisen raudoitteiden ympärille. Tavallisilla betoneilla tartunta raudoitteisiin on parempi rakenteen alapinnassa. It-betonin hyvä valumisominaisuus mahdollistaa sen valumisen helposti raudoitetankojen ympärille. Tällä tavalla tartunta raudoitetankoihin muodostuu hyväksi. Varsinkin rakenteet joissa on tiheä raudoitus, ovat hyviä kohteita it-betonille. It-betonin läpäisykyvyn pitää olla riittävä suhteessa raudoitteen tiheyteen, jotta voidaan varmistaa betonin kunnollinen valuminen, eikä runkoaine pääse kiilautumaan raudoitteiden väliin. [13, s. 56.], [10, s. 7.]

It-betonin ja raudoitustankojen välinen adheesio on vähintään yhtä suuri kuin normaalisti tiivistettävällä betonilla. Jotkin seosaineet, jotka lisäävät lujuutta ja stabiiliutta, kuten kalkkikivijauhe ja silika, tekevät adheesiosta paremman. Liiallinen sisäinen vedenerottuminen lisää sementtipastan huokoisuutta, jolloin raudoitteiden alle voi syntyä mikrosäröjä, jotka heikentävät tartuntaa. Tartuntaominaisuudet paranevat hieman käytettäessä it-betonia, mutta ankkurointikapasiteettia laskettaessa tulisi silti käyttää tavallisen betonin tartuntakertoimia. [13, s. 57.], [10, s. 7.]

### 3.9 Säänkestävyys

Betonin säänkestävyyttä parannetaan lisäämällä siihen huokostinta, jolloin sen ilmamäärä nousee. Huokostimen avulla betonin ilmamäärä on 4-8 %. Huokostinta käyttämällä betoniin muodostuu pieniä ilmakuplia, jotka ottavat vastaan veden jääytymisestä tulevan paineen. Suolarasitus lisää jääkiteiden aiheuttamaa painetta. Suojahuokosten ominaispinta-alan tulisi olla alle  $25 \text{ mm}^2/\text{mm}^3$  ja niiden välimatka saa olla korkeintaan

0,23 mm. It-betonissa huokostumisen onnistuminen tulisi varmistaa ennakkokokein. Ennakkokokeet tulisi tehdä samoissa olosuhteissa kuin rakenne johon valu tehdään, koska tehdasolosuhteissa tehtyjen kokeiden tulokset voivat muuttua kuljetuksen aikana. [8, s. 66; 104.], [13, s. 40.]

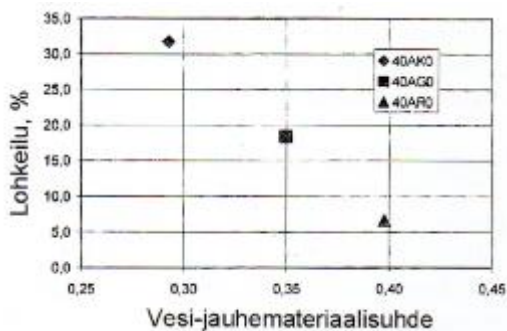
It-betonin säänkestävyyteen vaikuttaa vesi-sementtisuhde, ilmamäärä ja puristuslujuus. Koska it-betonissa on suuri sementtipastamäärä, siinä tulee olla myös enemmän suoja-huokosia. Pienempi runkoaineen suurin raekoko nostaa vähimmäisilmamäärävaatimusta. It-betonin korkea lujuus ja tiiviys parantavat sen säänkestävyyttä, sillä se estää veden tunkeutumisen betoniin. Ongelmana on suojahuokosten kokojakauma, josta voi tulla epäedullinen it-betonin vähäisen vedenerittymisen takia. Suuret ilmahuukokset eivät paranna pakkasenkestävyyttä merkittävästi. Lisäksi suuret ilmahuukokset saattavat poistua massasta sen käsittelyn aikana. Pakkasrasitus vaurioittaa betonia sieltä, missä se on heikoimmillaan. Huokostuksen epätasainen jakautuminen aiheuttaa sen että rakenne vaurioituu sieltä missä on huonoin suojahuukostus. Liian suuri huokostusmäärä voi myös aiheuttaa työstettävyysoongelmia. It-betonissa käytettävien lisäaineiden yhteensopivuus tulee aina tarkastaa. It-betoni kestää rasisitusluokissa XF1 ja XF3 tapahtuvaa jäätymis-/sulatusrasitusta yhtä hyvin kuin tavallinen betoni 100 vuoden käyttöiällä. Rasisitusluokissa XF2 ja XF4, joissa otetaan huomioon jäänsulatusaineet, tulee varmistaa betonin toimittajalta valun onnistuminen. [2.], [13, s. 39; 73-76.]

### 3.10 Palonkestävyys

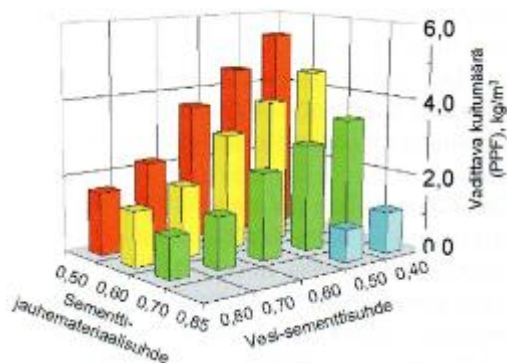
Betoni ei ole palava aine, eikä se ylläpidä liekkien leviämistä tai muodosta savua, myrkyllisiä kaasuja eikä päästöjä. Se ei myöskään lisää palokuormaa. Betoni säilyttää suurimman osan lujuudestaan tyypillisessä palotilanteessa. Betoni vaurioituu palotilanteessa pääosin lohkeilemalla. Betonin pinta joko lohkeilee tai rakennusosat saattavat lohkeilla tai rikkoutua räjähdysmäisesti. Tällöin raudoitteet saattavat paljastua ja voivat alkaa myötäämään tai sulamaan korkeassa lämpötilassa. Palotilanteessa betoniin syntyy jännityksiä lämpötilaeroista aiheutuvista muodonmuutoseeroista ja betonin sisälle kehittyvästä vesihöyrynpaineista. Korkealujuusbetoneilla tapahtuu enemmän lujuuden alentumista korkeissa lämpötiloissa kuin alhaisempien lujuuksien betoneilla. [13, s. 78; 112.]



It-betoni muistuttaa monilta ominaisuuksiltaan korkealujuusbetonia. Ne toimivat myös palotilanteessa samalla tavalla. It-betonin palonkestävyyteen suositellaan suhtauduttavan samoin kuin korkealujuusbetoniin jo keskisuurissa lujuusluokissa. Niin it-betonissa kuin korkealujuusbetonissakin on pieni vesi-jauhemaalasuhteiden suhde mikä lisää lohkeilun riskiä (kuva 6). It-betonissa suurin raekoko on 16 mm, mikä myös lisää lohkeiluriskiä. Lohkeiluriski on kumminkin pieni betonilla, jonka vesi-sementtisuhteiden suhde on yli 0,32 ja suhteellinen kosteus alle 75 %. Kuivissa olosuhteissa, kuten asuin- tai toimistorakennusten rungoissa, it-betonin kosteus on kuivumisen jälkeen niin alhainen, että palonkestävyys vertautuu normaaliin betoniin. It- ja korkealujuusbetonin läpäisevyys on pieni ja mikrorakenne on tiivis, joten sen lohkeiluriski on suurempi kuin betonin missä korkeampi huokoisuus edesauttaa vesihöyryn aiheuttamien paineiden purkautumista. Myös betonissa käytettävän seosaineen laatu ja määrä vaikuttaa lohkeiluun. Mitä pienempi sementtiseosainesuhde on sitä enemmän lohkeilua on havaittu. Lohkeiluriskiä saadaan pienennettyä lisäämällä betoniin polypropyleenikuituja. Suositeltava kuitumäärä on 1-5 kg/m<sup>3</sup>. Kuidut sulavat 170 asteessa ja muodostavat tällöin huokosverkoston, johon vesihöyry pääsee purkautumaan. Kuitumäärän valinta liittyy vesi-sementti- ja vesi-jauhemaalasuhteeseen kuvan 7 mukaan. [13, s. 78-79.] [26, s. 16.]



Kuva 6 Vesi-jauhemaalasuhteen vaikutus lohkeiluun. [13, s81.]



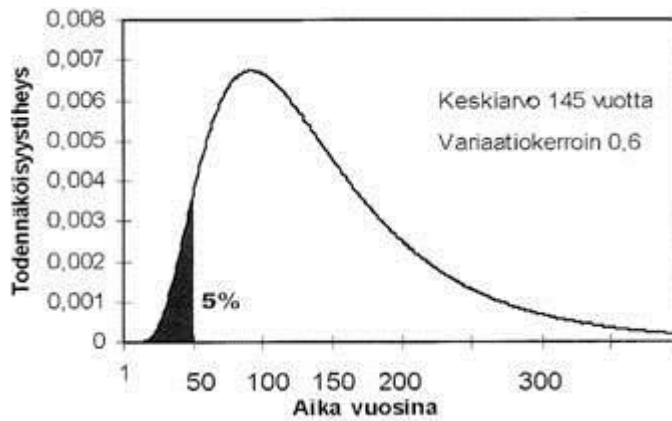
Kuva 7 Kuitumäärän valinta vesi-sementtisuhteen ja sementti-jauhemateriaalisuhteen perusteella. [13, s. 81.]

### 3.11 Säilyvyys

Betonirakenteen pintakerroksen läpäisevyys on tärkein ominaisuus betonin säilyvyydelle. Pintakerroksen tulisi estää haitallisten aineiden, esimerkiksi CO<sub>2</sub> ja kloridit, tunkeutuminen betoniin. Säilyvyys riippuu myös materiaalin valinnasta, betonin koostumuksesta ja tiivistyksestä. Pintakerrosten riittämätön tiivistäminen on suurin syy betonirakenteiden huonolle säilyvyydelle. Juuri tämän takia it-betonin kehitys aloitettiin. It-betonia käytettäessä saadaan pinta, jolla on suhteellisen alhainen läpäisevyys ja vähemmän heikkoja kohtia, johon haitalliset aineet pääsevät. Näin sillä on myös parempi säilyvyys. It-betonimassan erottumisen valvonta on erityisen tärkeää säilyvyyden kannalta. Jo silmämääräisesti vaikeasti havaittava erottuminen voi tuhota it-betonin säilyvyysominaisuuksia. Massasta pitäisikin mitata ilmamäärän pysyminen ja tarvittaessa tehdä mikro-rakennetarkastelu. [10, s. 8.], [13, s. 115.]

#### 3.11.1 Suunnittelukäyttöikä

Suunnittelukäyttöiällä tarkoitetaan rakennuksen tai rakennuksen osalle määritettyä käyttöiän vaatimusta. Kuvassa 8 on esitetty 50 vuoden käyttöiän jakaumakäyrä. Tavoiteltu suunnittelukäyttöikä oletetaan saavutettavan 95 % todennäköisyydellä. Suunnitellun käyttöiän saavuttamiseksi edellytetään että rakenteelle tehdään kuntotarkastuksia ja tarvittavia huoltokorjauksia käyttöiän aikana. Kun suunniteltu käyttöikä on ylitetty voidaan rakenteen käyttöä jatkaa paikallisilla korjauksilla.



Kuva 8 50 vuoden suunnittelukäyttöiän jakaumakäyrä [9.]

Käyttöikäsuunnittelussa suunnittelija valitsee rasitusluokat, joihin rakenne joutuu ja ajan jonka rakenteiden tulee kestää näissä olosuhteissa. Tämä tehdään yleensä kuvan 9 mukaisella taulukkomitoituksella. [8, s. 87.]

	Rasitusluokat																	
	Ei korroosion tai rasituksen vaaraa	Karbonatisoitumisen aiheuttama korrosio				Kloridien aiheuttama korrosio						Jaadytys-sulatus-rasitus				Aggressiiviset kemialliset ympäristöt		
						Merivesi			Kloridit muusta kuin merivedestä									
		X0	XC 1	XC 2	XC 3	XC 4	XS1	XS 2	XS 3	XD 1	XD 2	XD 3	XF 1	XF 2	XF 3	XF 4	XA 1	XA 2
Suurin v/s-suhde		0,90	0,90	0,80	0,60	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,60	0,55	0,50	0,45	0,50	0,45	0,40
Vähimmäislujuusluokka	C12/15	C20/25	C20/25	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45					C30/37	C35/45	C40/50
Vähimmäisbetonimäärä (kg/m <sup>3</sup> )	---	160	160	250	250	300	320	320	300	300	320	270	300	300	340	300	320	330
muu vaatimus												2)	2)	2)	2)			
Minimimäärävaatimus ( #16) <sup>1)</sup>												4,0 %	4,0 %	4,0 %	5,0 %			

1) Rasitusluokissa XF1-XF4 ilmamäärävaatimus koskee betonia, jonka kivaineksen ylämääräraja on 16 mm. Kivaineksen ylämäärärajan ollessa 12 mm vaatimusta korotetaan 0,5 %-yksiköllä ja 8 mm 1,0 %-yksiköllä.  
2) Lisäksi kestävyysvaatimukset taulukon F.4-F1 mukaan

Kuva 9 Rasitusluokkien avulla määrätyt betonin ominaisuudet [9.]

## 4 Käyttö paikallavalurakentamisessa

### 4.1 Käytön edut ja taloudellisuus

It-betonin käytön etuja ovat valun nopeus, pieni valuryhmä ja työn valmistuminen yhdellä kertaa. Myös rakenteiden ulkonäöstä saadaan helpommin haluttu ja rakenteiden säilyvyys on parempi. Rahaa säästyy betonoinnissa. Vastapainona valmistus- ja laadunvalvontakustannukset ovat suuremmat kuin tavallisella betonilla. It-betonin hinta määräytyy käyttökohteen, määrän ja it-betonin suhteutuksen mukaan. [13, s. 8.]

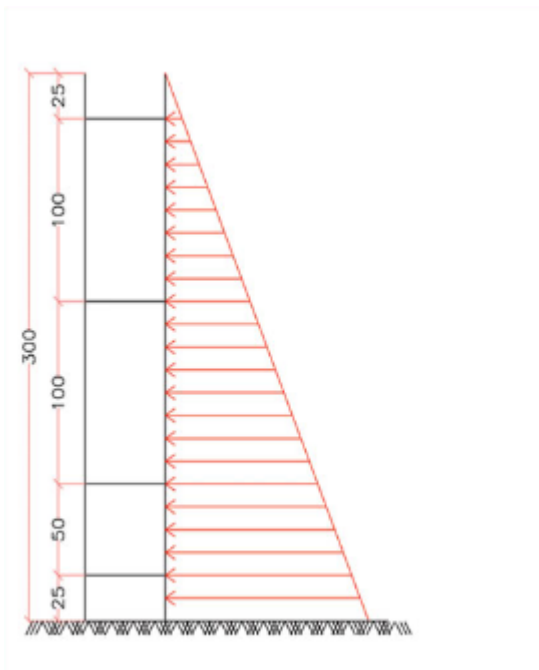
It-betonin suurimpana etuna on mahdollisuus valaa tiheitä raudoituksia ja monimutkaisia rakenteita ilman mekaanista tiivistystä. Tämä poistaa epäpätevän tai huolimattoman tiivistyksen aiheuttamat riskit. Raudoituksen suunnittelu helpottuu it-betonia käytettäessä sillä käytännön työssä ei tarvitse ottaa mekaanista tiivistystä huomioon. Toisaalta pitää varmistaa betonin toimittajalta, että it-betoni toimii kohteessa ja se pääsee valumaan kaikkialle muottiin. Valukohta voidaan myös valita vapaasti vaakavaluissa sillä it-betoni leviää helposti ympäri rakennetta. Rakenteessa ei myöskään esiinny lujudenvaihtelua samalla tavalla kuin tavallisessa betonissa. Tiivistyskaluston rikkoutuminen ei myöskään ole enää ongelma ja samoin työvälineiden ja ympäristön puhdistamisen tarve vähenee. Myös jälkitöissä saadaan säästöjä, koska onnistuneessa it-betonivalussa pintahuokosten määrä on pieni jolloin jälki- ja tasoitustyöt jäävät tavallista pienemmiksi. It-betoni toistaa hyvin muottimateriaalin pintakuvion ja sillä voidaankin saada aikaan korkeimman pintaalaaluokan betonipintaa. [13, s. 9-10; 46; 99.]

Valmistuskustannuksia nostaa it-betonissa käytettävä suuri hienoaines- ja tehonotkistinmäärä. Joskus joudutaan myös käyttämään stabilaattorilisäaineita. It-betonin eri osa-ainesten valvonta lisää myös kustannuksia. Korkeissa seinä- ja pilarivaluissa tarvitaan tavallista vahvemmat muotit, sillä niissä hydrostaattinen paine kasvaa suureksi. Tämä lisää myös kustannuksia. Muotteihin tulee myös asentaa valuaukot, jotta it-betonin erottumista ja muotin täyttämistä pystytään tarkkailemaan. It-betonin laadunvalvontaan joudutaan panostamaan tavallista betonia enemmän. Kiviaineksien kosteutta ja rakeisuutta pitää valmistusvaiheessa mitata tarkasti. Lisäksi sekä tuotantovaiheessa että valukohteessa it-betonia saa muokata vain kokenut laadunvalvoja. Työmaalla tässä tehtävässä toimii yleensä betonitoimittajan edustaja, mikä lisää kustannuksia. Vaativissa kohteissa tulisi pohtia koevalun mahdollisuutta. [13, s. 10; 92.]

## 4.2 Valu

It-betonilla tehtävää valua voidaan pitää erikoisbetonointina ja suositeltavaa olisikin että ennen betonointisuunnitelman tekoa pidettäisiin aloituskokous, mihin rakennesuunnittelija osallistuu. Aloituskokouksessa käytäisiin it-betonivalun keskeisimmät kohdat läpi. Aloituskokouksessa käydään läpi rakenteiden lujuus, rasioluokat, käyttöikätaavoitteet, mitat, raudoitukset ja varaukset. Aloituskokouksessa sovitaan myös vastuiden jako. Kaikille it-betonin valun osallistuville tulisi tehdä selväksi, mitä it-betoni on, koska valussa käytettävä tekniikka on erilaista kuin tavallisella betonilla. [13, s. 92.], [22, s. 19.]

It-betonin massan valuun voi käyttää ränniä, hihnaa ja pumppua. Kuljetushihnaa ei kuitenkaan voida käyttää kovin jyrkässä kulmassa yläviistoon. Betonin pudottamista muottiin tulisi välttää korkeissa kohteissa käyttämällä valusukkaa tai -putkea. It-betoni soveltuu hyvin muotin alapinnasta tehtävään painevaluun, joten tällä tavalla pystyttäisiin myös välttämään korkeita pudotuksia. Varsinkin hyvää pintalaatua haluttaessa pitäisi korkealta pudottamista välttää sillä se lisää pintahuokosten määrää. Muottien toteutuksessa tärkeää on muottien tiiviys, sillä notkea ja valuva massa karkaa helposti raoista ja rei'istä. Muotit tulee aina mitoittaa hydrostaattiselle paineelle. Hydrostaattisen paineen jakauma esitetään kuvassa 10. Ennen jokaista valua pitäisi tarkistaa it-betonin notkeus, sillä runkoaineiden kosteuspitoisuuksien vaihtelu voi aiheuttaa massan erottumista tai huonontaa massan valuvuutta. It-betoni massaa saa työmaalla säätää vain kokenut it-betonin laadunvalvoja, joka hallitsee säätöjen vaikutukset betoniin. [25.], [13, s. 96-98.]



**Kuva 10 Hydrostaattinen muottipaine [19.]**

Kun it-betonia käytetään oikein betonointi helpottuu ja betonirakenteen ja -pintojen laatu paranee. Betonimassan mekaaninen tiivistäminen jää pois ja myös siihen liittyvät riskit kuten epäpätevä tai huolimaton tiivistys ja siitä johtuvat valuvirheet. Suunniteltaessa vaativia rakenteita ei tarvitse ottaa huomioon, miten massan tiivistäminen toteutetaan tai onko se ylipäättänsä mahdollista. [13, s. 99.]

Massan valutusmatkaksi suositellaan viiden metrin matkaa. Pidemmällä valutusmatkalla erottumisen riski kasvaa. Erottumisen riskiä voidaan pienentää käyttämällä stabiloivaa lisäainetta tai enemmän hienoainesta. It-betoni mahdollistaa suuret valun nousunopeudet. Betonin lujuuksissa ei ole mainittavia eroja vaikka valunopeus on 26-29 m/h. Kumminikin hyvää pintalaatua haluttaessa tulisi valu suorittaa rauhallisella nopeudella. Liian pitkiä valutaukoja tulisi välttää, jottei betoniin tule valusaumoja. It-betonin valu suoritetaan yhdellä kertaa. [13, s. 100-101.]

#### 4.3 Pintojen laadut

Betonipinnat jaetaan neljään eri laatuluokkaan AA, A, B ja C. C-luokka on näistä heikoin ja sitä käytetäänkin vaatimuksena näkymättömiin jäävillä pinnoilla, kuten perustuksilla. Luokat AA ja A ovat arkkitehtonisia pintoja. Luokkaa AA tulee käyttää vain erikoiskohteissa ja -pinnoissa. Luokan B pinnat ovat yleensä seinä- ja kattopintoja, joiden ulkonalalle ei aseteta suuria vaatimuksia. It-betonilla pystytään tekemään pystyvaluissa arkkitehtonisia pintoja, joissa ei ole onkaloita, pintahuokosia, suurta väri vaihtelua eikä merkkejä vedenerottumisesta (kuva 11). Tämän mahdollistaa it-betonin suuri hienoainemäärä. Myös mekaanisen tiivistämisen puuttuminen parantaa pintalaatua. Suurimmat ongelmat koskevat pintahuokosten määrää. Jotta niiden määrä saataisiin mahdollisimman pieneksi tulisi it-betonin olla mahdollisimman valuvaa, mutta tällöin erottumisen riski kasvaa. [4, s. 36.], [13, s. 101-102; 105.]



Kuva 11 It-betonilla tehty seinävalu [15.]

Vaikka it-betonia voidaan valaa nopeammalla valunopeudella kuin normaalia betonia, hyvän pintalaadun saamiseksi olisi suositeltavaa hoitaa betonointi rauhallisesti ja valuttaa massa tasaisesti. Nopealla valunopeudella syntyy roiskeita, eivätkä kaikki ilmahuokokset ehdi poistua massan seasta, jolloin massan pinnasta tulee huokoinen. Samoin suurin pudotuskorkeus saisi olla 2 metriä. Valamalla painevalulla muotin alapinnasta ja käyttämällä pitkää valutusmatkaa saadaan pintahuokosten määrää pienennettyä. Valutusmatka saa olla korkeintaan viisi metriä. Jos rakenteella on valmiiksi suuret säilyvyysvaatimukset, kannattaa pintalaadun vaatimuksia pintahuokosten osalta pienentää. Muottien pitää myös olla hyvälaatuisia, sillä it-betoni toistaa hyvin muottipintaa ja myös muottipinnan virheitä. Huolimaton muottiöljyn käyttö voi aiheuttaa pintaan laikkuja. [13, s. 104-106.], [15.]

It-betonin yläpintojen jälkihoito on erityisen tärkeää. Koska sementtipastan määrä on suurempi eikä betonin pinnalla ole erottunutta vettä, massa kuivuu nopeammin. Jälkihoito tulisikin aloittaa heti kuin mahdollista valun ja viimeistelyn jälkeen. Näin minimoidaan kutistumishalkeilun riski. [10, s. 36.]

#### 4.4 Käyttökohteet

It-betoni soveltuu hyvin kohteisiin, joissa tavallisesti tiivistettävää betonia on vaikea tai mahdoton käyttää. Yksinkertaisissa ja helposti valettavissa rakenteissa sen käyttäminen ei ole kustannustehokasta, koska it-betonilla on suuremmat valmistus- ja laadunvalvontakustannukset. It-betonin ominaisuudet sopivat erityisesti korjausrakentamiseen. It-betonilla ei pystytä valamaan vinoja pintoja eikä isoja kaltevuuksia massan suuren notkeuden takia. Myös ruiskubetonointia on onnistuneesti korvattu it-betonilla. [13, s. 10; 93.]

It-betoni soveltuu hyvin korkeisiin seinävaluihin, joissa tiivistys on hankalaa raudoituksen tai rakenteen korkeuden takia. Samoin muutkin tiheästi raudoitettut tai monimutkaiset rakenteet ovat soveltuvia kohteita it-betonille. It-betonilla saadaan hyvää ja tasaista pintalaatua, joten se soveltuu myös arkkitehtisesti vaativiin kohteisiin. Ohuet pintavalut raudittamattomana tai muovikuiduilla onnistuvat myös hyvin it-betonilla. Varsinkin lattiavaluissa it-betoni leviää nopeasti ja helpottaa betonointia. Samoin valukohdat voidaan valita vapasti. Ylipäätänsä kun halutaan laadullisesti parempaa betonia, jolta vaaditaan pitkää käyttöikää ja hyvää säilyvyyttä on it-betonin käyttö suositeltavaa. [1.]

Korjausrakentamisessa it-betonin ominaisuuksista kuten valuvuudesta on paljon hyötyä. Korjausrakentamisessa voi usein olla ongelmia betonin siirrossa muottiin ja poikkeuksellisissa valusuunnissa. Samoin vanhan betonin päälle valettaessa tartuntalujuuden vaatimukset tulee täyttää. It-betonia voidaan pumpata muottiin alakautta sellaisiin kohteisiin joissa yläpinta on muotitettu tai valetaan alusbetonia. It-betonin hyvä tartuntaominaisuudet ovat eduksi korjauskohteissa. Erilaiset mantteloinnit onnistuvat myös hyvin (Kuva 12). [1.], [15.]

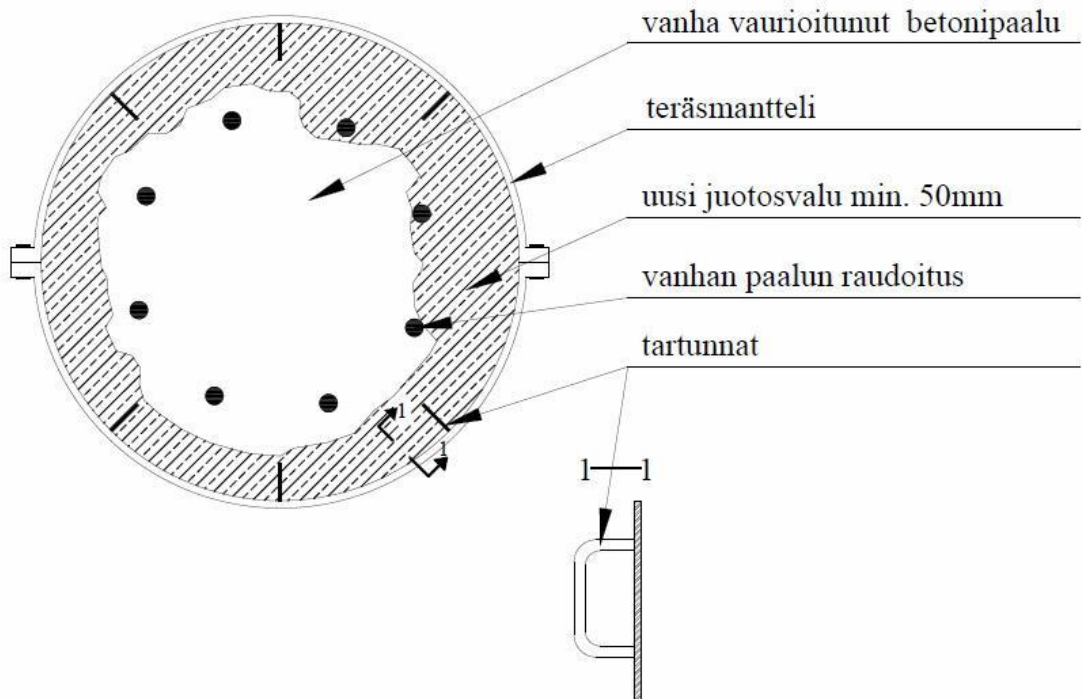




Kuva 12 Pilarin manttelointi [15.]

#### 4.4.1 Manttelointi

Vanhat pilarit ja palkit korjataan yleensä mantteloimalla (Kuva 13). Siinä vanhan rakenteen päälle asennetaan yleensä uusi raudoitus ja valetaan uusi betonikerros. Muuttina toimii teräsmantteli joka joko jää suojaavaksi kerrokseksi tai poistetaan jolloin betoni toimii suojaavana kerroksena. Koska vanhan rakenteen ja muotin väli on yleensä ahdas, tämä on hyvin it-betonille soveltuva kohde. Manttelointia tehdessä hyvän tartunnan aikaansaamiseksi tulisi it-betonin olla melko notkeaa, koska vanha pilari on kuiva ja imee tuoreesta massasta vettä. Leviämän tulisi olla 670-750 mm. [18, s. 22.], [14, s. 80.]



Kuva 13 [18, s. 26.]

#### 4.4.2 Sillat

It-betonia on käytetty onnistuneesti siltojen korjausvaluissa. Samoin kuin talonrakennuksessa myös silloissa käyttökohteina ovat usein ahtaat ja tiheästi raudoitettut rakenteet, kuorirakenteet ja erilaiset mantteloinnit. Myös kohteet, joissa on korkeat vaatimukset muottipinnan laadulle, säilyvyydelle ja tiiveydelle ovat hyviä kohteita it-betonille. Varsinkin siltojen reunapalkkien korjaukseen on käytetty it-betonia. Uutena kehityskohteenä on sandwich-menetelmä korjauskohteena oleville silloille. Siinä ajatuksena on tehdä pohjavalu p-lukubetonista ja päälle pintavalu it-betonista. Varsinkin siltojen muotoiluvaluja tehdään tällä tavalla. Pintavalu voidaan tehdä heti pohjavalun sitouduttua sen verran että siinä pystyy kävelemään tai välittömästi tuoreen alusbetonin päälle. Pintavalun ollessa vesitiivis pohjabetonin kosteus jää rakenteeseen, mistä se poistuu vähitellen. Koska it-betoni kuivuu nopeammin kuin tavallinen betoni pystytään vedeneristys asentamaan sen päälle jo neljän päivän kuluttua. Tämä säästää huomattavasti aikaa verrattuna normaalin betonin käyttöön. Jälkihoito tehdään käyttämällä varhaisjälkihoitona muovikalvoa, joka poistetaan hierron edetessä. Varsinainen jälkihoito tehdään hierron jälkeen ruiskutettavalla jälkihoitoaineella ja lisäksi valun päälle levitetään muovikalvo. It-betonilla ei pystytetä tekemään kaltevia pintoja ilman yläpuolista muotitusta. Kaltevuus voi olla korkeintaan noin 1%. Siltojen kansiä valettaessa käytetään tällöin jäykempää it-betonia, jonka

leviämä on 550-600 mm. Tällöin kallistus voi olla noin 5% 200 mm:n kansilaatalla. [3, s. 47.], [27.], [14, s. 17.]

#### 4.4.3 Esimerkkikohteita

##### *Korkea, hoikka pilari*

Korkeat pilarit jotka on raudoitettua tiheästi ovat hyviä käyttökohteita it-betonille. Esimerkkikohteessa valettiin 7 metriä korkea ja halkaisijaltaan 300 mm oleva pilari. Rakenteessa oli lisäksi tiheä rauditus ja pintalaadun tuli olla hyvä. Pilariin käytettiin it-betonia C35/45 jonka maksimiraekoko on 16 mm. Koska pilari on kapea ja rauditus on tiheä, tulee betonin olla hyvin leviävää. Massan leviämäksi saatiin työmaalla 720 mm ja T50-aika oli 3 sekuntia. Betoni pumpattiin yläkautta laskien letku muotin sisään. Pudotuskorkeus pidettiin alle yhdessä metrissä. Betonointi onnistui hyvin ja nopeasti. Pintahuokosten määrä oli matala, mutta muotin saumakohta erottui pinnasta (kuva 14), koska muotin sauma ei ollut täysin tiivis. [14, s. 79.]



Kuva 14 Muotin tiiveyden puutteiden takia muotin saumakohta jäi näkyviin [14, s. 79.]

### *Ison poikkileikkauksen omaava pilari*

It-betonia voidaan myös käyttää pilareissa joissa on iso poikkileikkaus ja runsaasti valumistilaa. Tällöin käytön syynä voi olla vaatimukset lujuudessa tai pinnan laadussa. Koska massalla on tilaa valua eikä pinnassa ole vaativia muotoja tulisi massan leviämän olla melko pieni (650-700) mm ja T50-aika melko pitkä (4-8 sekuntia). Esimerkkikohteessa valettiin eri pituisia pilareita. Pilareiden sivumitat olivat yli 500 mm. Muoteissa ei ollut varauksia ja rauditusmäärät olivat kohtuullisia. Betonilta edellytettiin pakkasenkestävyyttä. Betonilaatuna käytettiin it-betonia C35/45 jonka maksimiraekoko oli 16 mm. Massan leviämät olivat 600-700 mm, T50-ajat 4-8 sekuntia ja ilmamäärät 5-6%. Pumpaus tehtiin alle yhden metrin pudotuskorkeudella, jolloin betonointi onnistui hyvin ja pintojen laadusta tuli erinomainen. Betoni toisti selkeästi muottipinnan kuvioinnin kuten kuvassa 15 näkyy. [14, s. 78.]



**Kuva 15** It-betonilla valetun pilarin pinta. [14, s. 78.]

### *Hoikka, tiheästi raudoitettu seinä, jossa korkeat pintalaatuvaatimukset*

Kohteessa valettiin hoikka, tiheästi raudoitettu seinä. Seinän pintalaadulle oli korkeat vaatimukset. Massan tulee olla hyvin valuvaa, jotta se täyttää koko muotin. Erottumista tulee kumminkin varoa. Kohteessa toimivan it-betonin leviämän tulisi olla välillä 700-800 mm ja T50-ajan 2-4 sekuntia. Jos massassa joudutaan käyttämään stabilaattoreita, voi T50-aika olla suurempi. Massa tulee valaa rauhallisesti ja sen tulee antaa valua muotissa

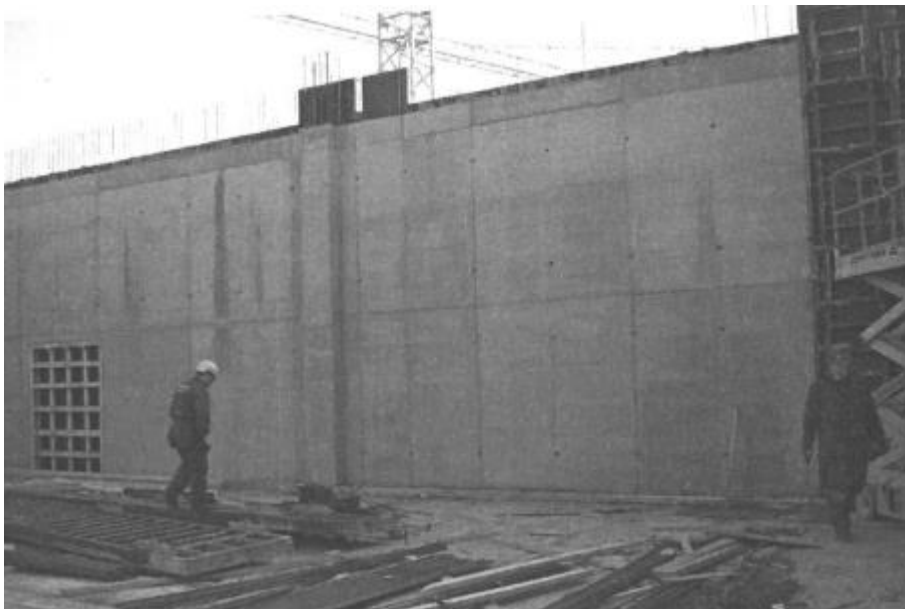
omalla painollaan. Liian suurella valunopeudella pintaan voi aiheutua huokosia. Esimerkkikohteessa pumppausletku ei mahtunut muotin sisään, joten käytettiin ohutta teräsputkea. Putki laskettiin muottiin valupinnan päälle ja muotti täytettiin rauhallisesti valaen. Muottimateriaalien laatuun ja muotin kestävyys tuli kiinnittää erityisesti huomiota, jotta pintalaatu muodostui hyväksi ja muotti kesti hydrostaattisen paineen. Kohteessa käytettiin pakkasenkestävää it-betonia C35/45 jonka maksimiraekoko oli 16 mm. Leviämän arvoiksi saatiin työmaalla 730-750 mm ja T50-ajat vaihtelivat välillä 2-4 sekuntia. Ilmamäärät olivat 5-6 %. Valu onnistui hyvin ja pintojen laadusta tuli korkea (kuva 16). [14, s. 82.]



**Kuva 16 It-betonilla valettua puhtasvalupintaa [14, s. 82.]**

### *Korkea tiheästi raudoitettu seinä*

Esimerkkikohteessa valettiin korkea seinä (kuva 17). Tavoitteena oli tehdä valu yhdellä kertaa. Raudoitus oli tiheä, mutta pintalaatuvaatimukset eivät olleet korkeat. Kohteessa ei tavoiteltu huokosetonta pintaa joten voitiin käyttää hieman jäykempää massaa. Kun massa on jäykempää erottumisherkkyys pienenee. Toisaalta massan piti olla tarpeeksi valuvaa jotta se ympäröi raudoitteet ja täyttää muotin tehokkaasti. Seinä valettiin it-betonilla jonka lujuus oli C35/45 ja maksimiraekoko 16 mm. Työmaalla leviämät olivat 680-730 mm ja T50-ajat 3-5 sekuntia. Valu toteutettiin muotin yläpinnasta ja se onnistuttiin tekemään yhdellä kertaa. Seinien alaosan pintaan jäi hieman huokosia, johtuen massan korkeasta pudotuskorkeudesta. [14, s. 83.]



Kuva 17 Yhdellä valukertaa toteutettu seinä [14, s. 83.]

### *Lattiat*

It-betonia käytetään pintalattioissa, jotka pyritään valamaan kerralla valmiiksi. Lattiamas-  
soissa leviämän arvo ei ole niin tärkeä kuin T50-aika. T50-aika tulisi olla 2-4 sekuntia,  
jotta betoni valuisi hyvin ja pinnat saataisiin tasaiseksi. Lattian teossa on tärkeää, että it-  
betoni ei ole liian sitkeää vaan se on helppo tasata ja viimeistellä. Jos betoni on liian  
sitkeää, jää lattian pintaan aaltoja eikä pintojen viimeistely onnistu vaan siihen jää pieniä  
paikallisia epätasaisuuksia. Esimerkkikohteessa it-betonissa käytettiin seosaineena len-  
totuhkaa. Tämä paransi it-betonin koossapysyvyyttä ja vähensi sitkeyttä. Massan lujuus-  
luokka oli C35/45 ja maksimiraekoko oli 16 mm. Massan leviämät olivat työmaalla 770-  
780 mm ja T50-ajat 2-4 sekuntia. Valu onnistui hyvin ja pinnat täyttivät tasaisuusvaati-  
mukset. Tartunta alusbetoniin oli hyvä. [14, s. 84.]

### *Massiivinen palkki*

Esimerkkikohteessa valettiin iso palkki jonka sivumitat olivat yli metrin. Palkissa oli run-  
saasti raudoitusta ja useita varauksia sekä risteäviä rakenteita. Kohteessa palkki valettiin  
välipohjan alapintaan. Pumppaus suoritettiin muotin alapinnasta venttiilin läpi muot-  
tiin. Massan pumppaamiseen käytettiin useita venttiilejä, jottei valutusmatka kasvanut  
liian suureksi. Tämä olisi lisännyt erottumisen riskiä. It-betonin lujuusluokka oli C40/50 ja  
maksimiraekoko 16 mm. Massan leviämät olivat 680-700 mm ja T50-ajat 4-6 sekuntia.

Valuaikaa kasvattivat pumppauslinjojen siirrot. Pintojen laadusta tuli erinomaisia (kuva 18). [14, s. 81.]



**Kuva 18 Palkin valu suoritettiin muotin alapinnasta [14, s. 81.]**

#### *Pilarin manttelointi*

Kohteessa vanha pilari vahvistetaan mantteloimalla. Manttelointikerroksessa on raudointi (kuva 19). Vanhan pilarin ja muotin väli on kapea ja raudoitettu. Vanhat pilarit olivat halkaisijaltaan noin 60 cm ja eri pituisia, noin 3-5 metriä korkeita. Valettava manttelointikerros oli noin 10 cm. Muotti oli lasikuitua ja koska pintojen laadulle ei oltu asetettu vaatimuksia, valu tapahtui yläkautta valuttamalla. It-betonin lujuusluokka oli C35/45 ja maksimiraekoko 16 mm. Leviämät olivat 680-750 mm ja T50-ajat 3-7 sekuntia. Uuden betonikerroksen pinnassa oli havaittavissa huokosia. Jälkihoito tehtiin muottien purkamisen jälkeen kastelemalla ja muoveilla peittämällä. [14, s. 80.]



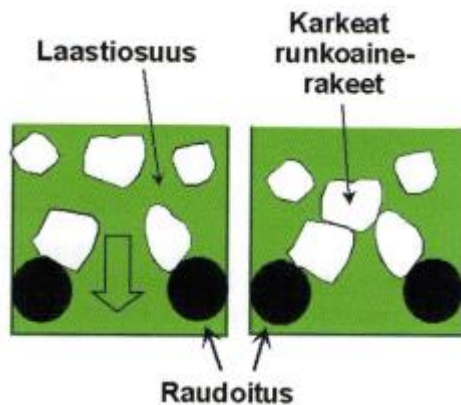
Kuva 19 Mantteloinnin valutila [14, s. 80.]

#### 4.5 Ongelmia

It-betonin ongelmat liittyvät sen kolmeen perusominaisuuteen: valuvuuteen, läpäisykykyyn ja erottumattomuuteen. Valuvuudella tarkoitetaan betonin kykyä täyttää muotti. Läpäisykyvyllä tarkoitetaan massan kykyä olla kasaantumatta raudoitteiden taakse tai väliin (kuva 20). Massan liian suuri valuvuus ei ole eduksi, sillä se lisää erottumisen riskiä. Samasta syystä läpäisykyvyn tulisi olla mahdollisimman pieni. Rakenteen geometriset muodot, raudoitteiden tiheys rakenteessa ja pintalaadulle asetetut vaatimukset vaikuttavat vaadittavaan valuvuuteen ja läpäisykykyyn. Läpäisykyky onkin ratkaiseva ominaisuus tiheästi raudoitetuissa tai kapeissa ja monimutkaisissa rakenteissa, sillä valu epäonnistuu jos kiviaines kiilautuu raudoitteiden taakse tai muotin kapeisiin kohtiin ja estää massan vapaan valumisen. Jos it-betoni erottuu, kärsii betonin säilyvyys ja pintalaatu. Vedenerottuminen vaikuttaa it-betonin mikrorakenteeseen ja muottipinnan värin tasaisuuteen. Kiviaineksen erottuminen voi lisätä sementtipastan määrää paikallisesti. Kun erottuminen tapahtuu rakenteen yläosassa tai muottipinnassa, voi betonin kutistuminen muodostua tavallista suuremmaksi. Ongelmana erottumisen arvioinnissa on massan ominaisuuksien muuttuminen ajan kuluessa. Betonitehtaalla tehty arvio massasta ei välttämättä vastaa massan tilaa työmaalla kuljetuksen jälkeen. Massan ominaisuuksia voi muuttaa moni asia kuten ulkoilman lämpötila. Yli viiden metrin valutusmatka lisää erottumisen riskiä. It-betonissa käytettävän notkistimen ja huokostimen yhteensopivuus tulee tarkistaa etukäteen. Jotkin lisäaineet saattavat erottua seisoessaan ja tämä voi aiheuttaa merkittäviä ilmamäärän vaihteluita. Kiviaineksen erottumista voidaan vähentää käyttämällä alhaista vesi-hienoainessuhdetta, stabilaattoria, pienempää kiviaineksen maksimiraekokoa tai pienempää kiviainesmäärää. Vedenerottumista puolestaan vähentää alhainen vesimäärä, alhainen vesi-hienoainesusuhde, hienoaineksen suuri määrä ja stabilaattorin käyttö. Erottumisen estämiseksi käytetään yleensä stabilaattoria ja riittävän



suurta hienoainesmäärää. Suhteutuksensa takia it-betoni ei sovellu liukuvaluihin. [13, s. 29-30; 37.], [14, s. 7.]



Kuva 20 Kiviainesten kiilautuminen, kun läpäisykyky ei ole tarpeeksi hyvä [13, s. 16.]

## 5 Laadunvalvonta

It-betonin käyttö vaati tarkempaa laadunvalvontaa kuin tavallisen betonin käyttö. Työmaalla ja tehtaalla tulisi vähintään tehdä leviämäkoe ennen massan hyväksymistä valuuun. Työmaalla it-betonimassaa saa muokata vain betonivalmistajan edustaja. Vaativissa valukohteissa suositellaan tekemään mallivalu ennen varsinaista valua. Tehtaalla tulee betonin osa-aineiden kosteuspitoisuuksia valvoa erityisen tarkasti. [1.], [13, s. 108.]

### 5.1 Lujuudenkehitys

It-betonin lujuudenkehitystä voidaan seurata kuutioilla, lieriöillä ja poratuilla lieriöillä. Koekappaleiden valmistuksessa pitää ottaa huomioon, että koekappaleita ei täytetä vaan täytetään kerroksittain ja annetaan aina yhden kerroksen painua puoli minuuttia. Yhden kerroksen paksuus saa olla korkeintaan 100 mm. It-betonin lujuuden hajonta on yleensä rakenteen sisällä sama tai pienempi kuin tavallisella betonilla. [13, s. 114.]

### 5.2 Painuma-leviämä

Itsetiivistyvän betonin notkeusluokitus ja tehdään painuma-leviämäkokeella. It-betoni jaetaan kolmeen notkeusluokkaan (kuva 21) kun tavallisilla betoneilla notkeusluokkia

on neljä (S1-S4). SF1-luokka soveltuu raudoittamattomiin tai vähän raudoitettuihin rakenteisiin, jotka valetaan ylhäältä päin vapaapudotuksena kuten asuinrakennusten laatat. SF2-luokka soveltuu moniin tavallisiin käyttökohteisiin kuten seiniin ja pilareihin. SF3-luokkaa käytetään pienen maksimiraekoon kanssa (alle 16 mm) ja sitä käytetään pystysuuntaisissa rakenteissa missä on tiheä raudoitus tai muotti on muodolta mutkikas. Voidaan myös tehdä vielä notkeampaa betonia kuin SF3, mutta tällöin tulisi erikseen valvoa it-betonin erottumista. Painuma-leviämä kokeessa asetetaan tilavuudeltaan 10 litraa oleva kartio leveämpi pää testilaudan pintaa päin. Kartio täytetään it-betonilla ja nostetaan nopeasti ylös. Tämän jälkeen mitataan massan halkaisija kahdesta toisiaan kohtisuorassa suunnassa olevista kohdista ja lasketaan näiden kahden mitan keskiarvo. Leviämä vaihtelee yleensä arvojen 600-780 mm välillä. Testin yhteydessä tulisi tarkkailla vedenerottumista massassa silmämääräisesti. Painuma-leviämä tulisi tehdä vähintään kolmesta ensimmäisestä kuormasta. [2.], [8, s. 248.], [10, s. 12.], [26, s. 18.]

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

Luokka voidaan korvata tavoitearvolla  
Luokitus ei sovi betonille, jonka kiviaineksen ylänimellisraja ylittää 40 mm

Kuva 21 It-betonin notkeusluokat [8, s. 248.]

### 5.3 T50-aika

T50-ajalla mitataan it-betonin viskositeettia. Viskositeetilla kuvataan massan kykyä vastustaa virtausta. Samalla saadaan selville massan valuvuus. Viskositeettiluokkia on kolme (Kuva 22). T50-testi tehdään muuten samalla tavalla kuin painuma-leviämä testi, mutta massan halkaisijan suuruuden sijaan mitataan kuinka pitkä aika massalta menee levitä ympyrän, jonka halkaisija on 500 mm, reunoille. Lattiavaluissa T50-ajan tulisi olla melko pieni (2-4 sekuntia), kun taas pilareilla se voi olla jopa 8 sekuntia. [25, s. 19.], [13, s. 84.]

Viskositeetti luokat $T_{500}$ -ajan avulla	
Luokka	$T_{500}$ -aika [s]
VS1	$\leq 2$
VS2	3 – 6
VS3	$> 6$

Kuva 22 Viskositeetti luokat  $T_{50}$ -ajan avulla mitattuna. [8, s. 249.]

## 5.4 Säilyvyys

### 5.4.1 Ilmamäärä

It-betonin ilmamäärä mitataan täyttämällä ilmamittari kolmessa kerroksessa, pitäen jokaisen kerroksen jälkeen puolen minuutin tauon, jotta mekaanisessa tiivistyksessä poistuvat tiivistyshuokokset poistuisivat. It-betonin ilmamäärä voi muuttua kuljetuksen aikana. Niinpä olisikin oleellista betonin säilyvyyden kannalta tuntea ilmamäärän säilyminen. Tämä tehdään ennakkokokeissa mittaamalla ilmamäärä heti sekoituksen jälkeen ja tunti sekoituksen jälkeen. [13, s. 117; 133.]

### 5.4.2 Erottuminen

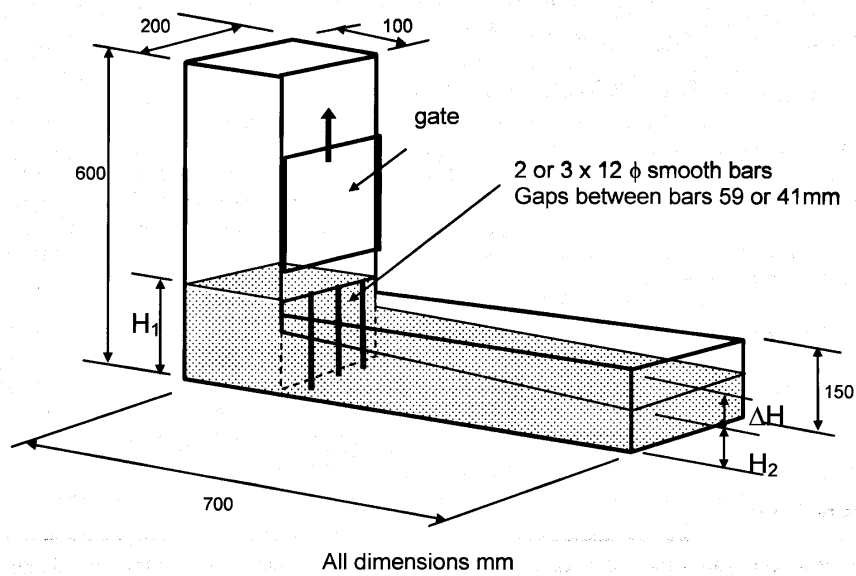
It-betonin säilyvydessä massan erottuminen on oleellinen tekijä. Jos massan sisäinen rakenne ja huokokset eivät erotu, on massa vähintään yhtä säilyvää kuin tavallinen vastaava betoni. It-betonin säilyvyysominaisuuksia voi tuhota jo silmämääräisesti huonosti näkyvä erottuminen. Erottumisen hallinta on erityisen tärkeää rakenteissa, joille on asetettu säilyvyysvaatimuksia. Erottumista mitataan ilmamäärän pysyvyyden mittauksella, silmämääräisillä havainnoilla (kuva 23) ja tarvittaessa mikrorakennetarkasteluilla. Leviämä ja T50-kokeen yhteydessä tulisi tarkkailla massan reuna-aluetta (vedenerottuminen) ja keskustaa (kiviaineksen erottuminen). Lisäksi on kehitetty erottumiskestävyyden seulatesti. It-betonin suhteutus, oikein valitut osa-aineet sekä niiden määrien ja laadun hallinta on oleellista erottumattoman it-betonin valmistuksessa. Erityisesti korkeilla painuma-leviämän arvoilla (yli 850 mm) erottumisen riski kasvaa. [26, s. 19.], [13, s. 25; 115.]

Erottumisloukka	Silmämääräinen arvio
0	Ei havaittavissa erottumista alustalle levinneessä betonissa eikä myöskään sekoittimessa ja/tai näyteastiassa olevassa betonissa.
1	Ei laastimaista reunusta tai kiviaineskekoa 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 kiviaineskeko alustalle levinneessä betonissa ja selvästi havaittavaa vedenerottumista sekoittimessa tai näyteastiassa olevassa betonissa.
3	Selvää erottumista, joka ilmenee leveänä laastimaisena reunuksena (> 10 mm) ja/tai suuri kiviaineskeko alustalle levinneessä betonissa ja paksu laastimainen kerros sekoittimessa tai näyteastiassa olevan betonin pinnalla.

Kuva 23 It-betonin erottumisloukat. [13, s. 124.]

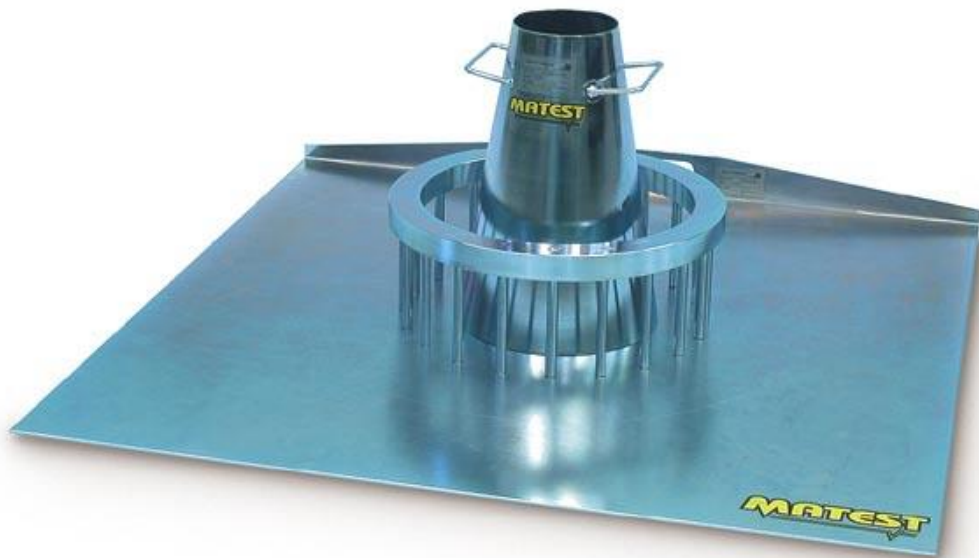
## 5.5 Lämpäisykyky ja valuvuus

Lämpäisykykyä ja valuvuutta testataan L-laatikkokokeella (kuva 24) ja j-rengastestillä. L-laatikkokokeessa sen pystysuora osa täytetään betonilla ja sen annetaan seisoa 60 sekuntia. Tämän jälkeen nostetaan luukku ja annetaan betonin valua vaakaosaan. Luukussa voi olla kaksi tai kolme raudoitustankoa, riippuen kuinka tiheä rauditus on oikeassa rakenteessa. Kun valuminen on loppu mitataan vaakaosassa olevan betonin korkeus kolmesta kohtaa ja lasketaan näiden keskiarvo H2. Tämän jälkeen mitataan pystyosassa olevan betonin korkeus H1. Lämpäisykyky PA saadaan yhtälöstä  $PA=H2/H1$ . Tavanomaisesti H2/H1 suhde on 0,8-0,85. [25, s. 19-20.], [12, s. 132.]



Kuva 24 L-laattakokoe [10, s. 54.]

J-rengastesti on muuten samanlainen kuin painuma-leviämätesti, mutta siinä kartion ympärille asetetaan rengas jossa on useita 18 mm raudoitetankoja (kuva 25). Tankojen lukumäärä on 8-12 mm:llä kivellä 22 ja 14-22 mm:llä kivellä 16. Kartio nostetaan ylös ja betoni leviää rautojen välistä alustalle. Tämän jälkeen mitataan levinneen massan halkema. [13, s. 126.]



Kuva 25 J-rengastesti [20.]

## 5.6 CE-merkinnät

CE-merkintä on valmistajan vakuutus siitä, että se täyttää sitä koskevien direktiivien vaatimukset. Se ei ole vapaaehtoinen vaan sen on oltava tuotteissa, jos tuotetta koskeva direktiivi niin vaatii. Betoninormien mukaan betonin valmistukseen käytettävien sementtien tulee olla CE-merkittyjä ja täyttää sementtistandardin SFS-EN 197-1 vaatimukset. Kaikkien betonissa käytettävien lisäaineiden tulee myös olla CE-merkittyjä tai niillä on ennen käyttöönottoa oltava hyväksytyssä koestuslaitoksessa tehtyihin kokeisiin perustuva selvitys lisäaineen yleisistä ominaisuuksista, vaikutuksesta sekä käyttökelpoisuudesta betonissa. Kiviaineksien tulee myös olla CE-merkitty tai sille pitää olla tehty standardin SFS-EN 12620 mukaiset laadunvalvonnan testit. Sama koskee mahdollisia seosaineita. Itsetiivistyvä betoni kuuluu yleiseen betonistandardiin SFS-EN 206. [6, s. 32; 42; 64.]

## 6 Rakennustekniset piirrosmerkit ja työselitykset it-betonia käytettäessä

Rakennesuunnittelija esittää rakennepiirustuksissa rakenteesta rakenneluokan, rasitusluokan, suunnittelukäyttöiän, betonipeitteen nimellisarvon ja sallitun mittapoikkeaman ja suunnittelussa käytetyt ominaiskuormat. Betonista tulee vähintään esittää lujuusluokka, XD- ja XS-rasitusluokissa vesi-sementtisuhde mikäli vaatimus poikkeaa kuvassa esitetyistä ja kiviaineksen maksimiraekoko. Jos rakenteeseen tai sen valmistukseen kohdistuu erityisiä vaatimuksia voi suunnittelija esittää lisävaatimuksia, kuten sulfaatinkestävyyttä tavoiteltaessa sementin erikoistyyppin tai siinä käytettävän seosaineen. Myös kiviaineksen erikoislaatuihin ja luokkiin voi suunnittelija ottaa kantaa. Jos betonilla on vaatimuksia vedenpitävyydelle, kulutuskestävyydelle, pinnan tyypille ja laatuluokalla tai valutavalle, se tulee myös mainita. Muut kuin rasitusluokkien mukaan määräytyvät jälkihoitovaatimukset tulee myös ilmaista piirustuksissa. Lisäksi tulee ilmoittaa täydelliset tiedot rakenteiden muodosta ja koosta sekä työsaumojen, kiinnikkeiden ja varausten paikoista. Lisäksi raudoiteista tulee esittää tarvittavat tiedot. Jos betonirakenne on vaikeatekoinen, sen valmistusta ohjaamaan tehdään tarvittaessa työselitys. Piirustuksiin tai työselitykseen merkitään ne erityistoimenpiteet joiden avulla otetaan betonin valmistustekniikka huomioon. [8, s. 12.]

It-betonin käyttö esitetään piirustuksissa suurimmilta osin samalla tavalla kuin tavallinen betoni. Piirustuksissa ja työselityksissä tulee tuoda esiin, jos jokin rakenne valetaan juuri

it-betonilla. Sementin ja kiviaineksen laatu voidaan tarvittaessa määritellä. Vesi-sementtisuhde ja betonipeite määritetään normaalisti rasitusluokkien perusteella. Myös pinnan laatu ja tyyppi ja veden- ja kulutuksenkestävyys määritellään normaalisti. Valutavan kohdalla tulisi ottaa kantaa valutusmatkan pituuteen, joka saa olla korkeintaan viisi metriä. It-betonilla valu myöskin alakautta onnistuu. Hyvää pintalaatua haluttaessa tulisi betonin pudotuskorkeus olla mahdollisimman pieni, korkeintaan 2 metriä. Työselityksessä on tärkeätä tuoda esiin laadunvalvonnan tärkeys. Jälkihoito on it-betonilla tärkeä, jotta halkeilu saadaan estettyä. Jälkihoidolle tulisikin antaa lisäohjeistusta työselitykseen. Laadunvalvontaa tulisi suositella vähintään kolmesta ensimmäisestä kuormasta painuma-leviämä mittaukset. Lisäksi mahdollisuutta koevalun tekemiseen tulisi pohtia.

## **7 Tulokset**

Opinnäytetyöstä tehtävä raportti toimii samalla ohjeistuksena rakennesuunnittelijalle it-betonin ominaisuuksista ja käytöstä. Lisäksi tehtiin esimerkit it-betonin käytöstä työselostuksissa (Liite 1 ja 2). Työselostukset tehtiin sekä paikallavalu- että elementtirakenteille. Lopuksi piirrettiin rakennetyyppi VP7 (Liite 3) esimerkkinä it-betonin esittämisestä piirustuksissa.

## **8 Yhteenveto**

Itsetiivistyvä betoni on monella tapaa hyvä ja käyttökelpoinen rakennusmateriaali. Sen ominaisuudet vastaavat normaalin betonin ominaisuuksia ja ovat joissain tapauksissa paremmatkin. Erityisesti korjausrakentamisessa sen käyttö on suositeltavaa, koska sitä pystytään käyttämään kohteissa joissa mekaaninen tiivistys on vaikeata tai mahdotonta. Itsetiivistyvällä betonilla päästään myös korkeimpaan pintaluokkaan ja se mahdollistaa muottipinnan tarkan toiston. Jälkihoidon vaikutus korostuu it-betonilla, sillä betonipinnan halkeilu heikentää monia sen ominaisuuksia kuten vesitiiviyttä. Samoin työmaalla toteutettava laadunvalvonta on tärkeää, jotta varmistetaan it-betonin erottumattomuus ja hyvä valuvuus ja läpäisykyky. Isoissa kohteissa on suositeltavaa tehdä koevalu, jotta varmistutaan betonoinnin onnistumisesta. Suunnittelijan tulisi ottaa kantaa työmaan valutekniikkaan varsinkin jos tavoitteena on korkea pintaluokka. Parasta pintaa it-betonilla saadaan suorittamalla valu alakautta pumppaamalla. Massan säätö työmaalla tehdään betonin toimittajan ohjeiden mukaan.

Suurin rajoittava tekijä itsetiivistyvän betonin käytössä on sen hinta. Yksinkertaisissa valuissa sen käyttö ei ole kustannustehokasta verrattuna tavalliseen betoniin. Syynä hintaan ovat korkeammat valmistus- ja laadunvalvontakustannukset. Jyrkät kallistukset eivät myöskään onnistu it-betonilla. It-betonilla tehtävä valu onkin erikoisbetonointia ja sen käyttöön tulisi olla syy, kuten raskas raudoitus. Kaikista haastavimpien rasitusluokkien kohdalla tulisi toimittajalta selvittää etukäteen onnistuuko it-betonin käyttö. It-betonin palonkeston parantamiseksi siinä suositellaan käytettäväksi muovikuituja lohkeilun estämiseksi. Vaikka it-betoni on kalliimpaa kuin tavallinen betoni sen käytössä saadaan myös monia säästöjä. Työmiehiä tarvitaan vähemmän ja lisäksi valu saadaan toteutettua nopeammin kuin tavallisella betonilla.

Suurimpana ongelmana tämän opinnäytetyön tekemisessä oli olemassa olevan tiedon määrän vähyys. Varsinkin itsetiivistyvällä betonilla kohdatuista ongelmista on todella vähän tietoa olemassa. Ongelmaton rakennusmateriaali it-betoni ei kumminkaan ole, vaan sen käyttö vaatii tarkkaa suunnittelua ja osaamista. Yhteistyö työmaan kanssa on tärkeää it-betonivalun onnistumisessa.



## Lähteet

- 1 Anttila, Vesa. Rakennustieto Oy. Itsetiivistyvä betoni. Verkkodokumentti <<https://www.raken-nustieto.fi/Downloads/RK/RK050402.pdf>>. Luettu 26.2.2015.
- 2 Anttila Vesa. Kehityspäällikkö, Rudus Oy, Helsinki. Haastattelu 17.4.2015
- 3 Betonirakenteet, Betoni sillankorjausmateriaalina. Tiehallinto. Verkkodokumentti <[http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1201\\_2007.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1201_2007.pdf)>. Luettu 26.2.2015.
- 4 Betonirakenteiden pinnat/luokitusohjeet 2003 By40. Suomen Betoniyhdistys Ry.
- 5 Betonirakenteiden suunnitteluperusteet, Betoniteollisuus. Verkkodokumentti <[http://www.eurocodes.fi/1992/paasivu1992/sahkoinen1992/Leaflet\\_2\\_Betonirakenteiden\\_suunnitteluperusteet.pdf](http://www.eurocodes.fi/1992/paasivu1992/sahkoinen1992/Leaflet_2_Betonirakenteiden_suunnitteluperusteet.pdf)>. Luettu 2.3.2015.
- 6 By 201 Betonitekniiikan oppikirja 2004. Suomen betoniyhdistys Ry. By
- 7 By 211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 1. Suomen betoniyhdistys Ry.
- 8 By 50 Betoninormit 2012. Suomen betoniyhdistys Ry.
- 9 Elementtisuunnittelu säilyvyys. Verkkodokumentti <<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/jul-kisivut/rakenteellinen-toiminta/sailyvyys>>. Luettu 9.3.2015.
- 10 Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista. Verkkodokumentti <[http://www.betoni.com/Download/21962/Itsetiivistyv%C3%A4betoni\\_suomenkielinen%20ohje11.doc](http://www.betoni.com/Download/21962/Itsetiivistyv%C3%A4betoni_suomenkielinen%20ohje11.doc)>. Luettu 17.2.2015.
- 11 Finnsementti betonin lujuus. Verkkodokumentti <<http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaalle/betonin-lujuus>>. Luettu 12.2.2015.
- 12 Fise. Verkkodokumentti. <[http://www.fise.fi/default/www/suomi/patevyysvaa-timukset\\_\\_lomakkeet\\_\\_nimikkeiden\\_kaannokset/uudisrakentamisen\\_suunnittelu/betonirakenteet/aa\\_vaativuusluokan\\_betonirakenteiden\\_suunnittelijan\\_patevyysvaatimukset/](http://www.fise.fi/default/www/suomi/patevyysvaa-timukset__lomakkeet__nimikkeiden_kaannokset/uudisrakentamisen_suunnittelu/betonirakenteet/aa_vaativuusluokan_betonirakenteiden_suunnittelijan_patevyysvaatimukset/)>. Luettu 16.2.2015.
- 13 Itsetiivistyvä betoni. 2004, Betonikeskus Ry.
- 14 Itsetiivistyvän betonin käyttö paikallavalurakenteissa. 2004. Betonikeskus Ry.

- 15 Itsetiivistyvää betonia on käytetty jo 1980-luvulta lähtien. Verkkodokumentti <<http://www.betoni.com/Download/21858/Itsetiivistyv%C3%A4%C3%A4%20betonia%20on%20k%C3%A4ytetty%20jo%201980-luvusta%20l%C3%A4htien.pdf>>. Luettu 26.2.2015.
- 16 Jaatinen, Niina. 2013. Vesitiiviiden betonirakenteiden suunnittelun vaatimukset. Metropolia ammattikorkeakoulu.
- 17 Jussinmäki, Teemu. 2010. Laakasiilo-, lietekuilu- ja lietesäiliöelementtien työohjeet. Vaasan ammattikorkeakoulu.
- 18 Koskelainen, Eemeli. 2012. Paalujen vauriokorjaukset vesirajan alueella. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.
- 19 Kuva. Hydrostaattinen paine. <<http://www.tesko.ir/en/product/48/Struts.html>>.
- 20 Kuva. J-rengastestin laitteisto. <<http://www.nycander.com/fi/betoni/betonin-teslauslaitteet/588-itsetiivistyvaen-betonin-juoksevuus-j-rengastesti>>.
- 21 Merikallio, Tarja. Niemi, Sami. Komonen, Juha. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. 2007.
- 22 Muotka, Rami. 2012. Itsetiivistyvien betonilattioiden työohje. Oulun seudun ammattikorkeakoulu.
- 23 Rudus Oy Betonin kutistuma ja sen huomioiminen. Verkkodokumentti. <<http://www.rudus.fi/Download/24663/2010-1%20Betonin%20kutistuma%20ja%20sen%20huomioiminen.pdf>>. Luettu 23.2.2015.
- 24 Rudus Oy hinnasto. Verkkodokumentti <<http://www.rudus.fi/aineistot/hinnastot>> Luettu 12.2.2015.
- 25 Rudus Oy It-betoniohje. Verkkodokumentti <<http://www.rudus.fi/Download/24643/Itsetiivistyv%C3%A4%20betoni%20ITB.pdf>>. Luettu 12.2.2015.
- 26 Taarasmaa, Harri. 2011. Betonimestarit Oy:n itsetiivistyvän betonin käyttö, Savonia ammattikorkeakoulu.
- 27 Vanamo, Ville. 2013. Itsetiivistyvän betonin käyttö sillankorjauskohteissa. Tierakennusmestarilehti 3/2013, s. 18-21.

## Paikallavalurakenteen esimerkkityöselostus

2015

# Paikallavalurakenteiden valu itsetiivistyvällä betonilla, työselostus

AUTERE LEO

1

## Sisälllys

Paikallavalurakenteiden valmistus.....	2
Yleistä.....	2
Betonin aineosat.....	2
Betonointi.....	2
Muotit.....	2
Kokeet ja laadunvalvonta .....	2
Betonin osa-aineiden laadunvalvonta .....	2
Ennakkokokeet .....	2
Mallikappaleet .....	3
Valmistuksenaikaiset kokeet .....	3
Mittatarkkuus ja pinnat .....	3
Pintabetonilaatta, työselostus .....	3
Pintabetonilaatan esivalmistelut, sääsuojaus, jälkihoito ja viimeistely .....	3
Huomitoitavia asioita itsetiivistyvää betonia käytettäessä .....	3

## Paikallavalurakenteiden valmistus

### Yleistä

Paikallavalurakenteet valmistetaan piirustusten ja tämän työselostuksen mukaan. Ne ovat pääsääntöisesti CE-merkittyjä. Betonitoimittajalla tulee muiden kuin CE-merkittyjen tuotteiden osalta olla varmennustodistus.

Paikallavalurakenteiden suunnittelussa on otettava huomioon betoninormien ympäristöolosuhteiden mukaisten rasitusluokkien vaatimukset. (by50-2004, kohta 3.2)

Runko- ja ulkoseinärakenteet suunnitellaan 50 vuoden käyttöiän mukaan. Raudoitusta suojaavan betonipeitteen tulee täyttää by50-2004 taulukon 2.17 ja halkeamaleveyden taulukoiden 2.16a-d mukaiset vaatimukset.

Mikäli betonirakenteet eivät täytä jonkun ominaisuuden osalta asetettua vaatimusta, kyseiset rakenteet on uusittava tai korjattava ja rakennuttajalla on oikeus vaatia urakoitsijalta hyvitystä niiden arvon alentumisesta.

### Betonin aineosat

Betonin osa-aineksia koskevat vaatimukset on esitetty [RakMk B4 (By50 kohta 4.1) / RakMk B2]. Käytettävien lisäaineiden tulee olla CE-merkittyjä tai niillä on oltava varmennustodistus (By50 50 kohdat 1.3.4 ja 5.2.1).

### Betonointi

1-luokan betonityönjohtajan tulee olla paikalla kun suoritetaan valua itsetiivistyvällä betonilla.

Betonin lämpökäsittelyssä noudatetaan betoninormeja (By 50 kohta 4.2.4.6). Jos itsetiivistyvää betonia lämpökäsitellään sen kovettumisen kiihdyttämiseksi, tulisi lämpökäsittelyn täyttää standardin EN 13369 kohdan 4.2.1.4 vaatimukset.

Pitkiä valutaukoja tulee välttää, jottei valukerrosten väliin jää saumoja. Yli 1% kaltevuudet tulee itsetiivistyvää betonia käytettäessä muotittaa yläpuolisilla muoteilla. Betonin pudotuskorkeuden tulee olla mahdollisimman pieni, korkeintaan 2 metriä betonipinnasta.

Näkyviin jäävät betonipinnat, jotka eivät ole muottia vasten, viimeistellään rakennetyyppien ohjeiden mukaan.

### Muotit

Muotit tulee mitoittaa hydrostaattiselle paineelle ja niiden tiiviys on varmistettava. Muottiin on asennettava valaukset jotta itsetiivistyvän betonin erottumista voidaan tarkkailla. Muottipintaan sivellään ohut kerros muotiniirrotusainetta.

## Kokeet ja laadunvalvonta

### Betonin osa-aineiden laadunvalvonta

Betonin osa-aineiden laadunvalvonta tehdään standardien ja varmennustodistusten ohjeiden mukaan.

### Ennakkokokeet

Ennakkokokeilla selvitetään betonimassan oikea suhteitus siten, että vaaditut lujuus-, ulkonäkö- ja säilyvyysominaisuudet saavutetaan. Eri lisäaineiden yhteisvaikutus ja itsetiivistyvän betonin valuminen muottiin selvitetään niin, etteivät mm. pakkasenkestävyyden kannalta tärkeät lisähuokokset poistu tiivistymisen aikana. Tulee myös varmistaa itsetiivistyvän betonin läpäisykyky, jottei se kiilaudu

3

raudoitustankojen väliin vaan pääsee valumaan kaikkialle muottiin. Samoin itsestivistyvän betonin erottumattomuutta tulee tarkkailla.

### Mallikappaleet

Tilaaajan niin edellyttäessä on valmisbetonin valmistajan tehtävät erikseen sovittava määrä koevaluja itsestivistyvällä betonilla tehtävistä rakenteista. Tilaja tarkistaa mallivalujen sopimuksenmukaisuuden pintojen laadun ja värien sekä mittapoikkeamien osalta.

### Valmistuksenaikaiset kokeet

Kaikista itsestivistyvää betonia sisältävistä kuormista tehdään laadunvalvonta kokeet, vähintään mittaamalla massan painua-leviämä. Betonin toimittajan edustaja antaa valuluvan jos massa on hyväksyttävää. Mikäli kokeiden tulokset eivät ole hyväksyttäviä massaa voidaan tarvittaessa muokata betonin toimittajan ohjeiden mukaan. Jos tämä ei auta on tilaajalla oikeus hylätä kuorma kelvottomana.

### Mittatarkkuus ja pinnat

Paikallavalurakenteissa noudatetaan BY47:n normaaliluokan mukaisia toleransseja. Betonipintojen tulee täyttää BY40 luokan A vaatimukset julkisivuelementeissä ja luokan B vaatimukset muissa elementeissä. Betonilattian luokka on A-4-30.

### Pintabetonilaatta VP7, työselostus

Ontelolaatan päälle valetaan itsestivistyvällä betonilla pintalaatta. Laatan paksuus on 80 mm. Betonin lujuusluokka vähintään C25/30, rasitusluokka X0 ja suunnittelukäyttöikä 50 vuotta. Laatan raudoitus toteutetaan kuituraudoituksena. Betonin toimittaja määrittää tarpeellisen kuitumäärän. Sementtityyppi valitaan sään mukaan. Viileässä nopeasti sitoutuva ja kovettuva betoni ja lämpimässä normaalisti kovettuva betoni. Itsestivistyvän betonin valutusmatka saa olla korkeintaan 5 metriä.

### Pintabetonilaatan esivalmistelut, sääsuojaus, jälkihoito ja viimeistely

Ennen valua imuroidaan ja puhdistetaan ontelolaatan pinta.

Betonilaatta tulee suojata sateelta, tuulelta, pakkaselta ja voimakkaalta auringonpaisteelta valun aikana. Sääsuojausena käytetään yläpuolista paikallavalettua välipohjaa/sääsuojarahallia. Suojapeitteillä/asennetuilla ulkoseinillä suojataan tuulen vaikutus.

Jälkihoito tehdään sumuttamalla laatan pintaan jälkihoitoaine. Jälkihoito on aloitettava heti pinnan tasoittamisen jälkeen. Rakenteen lämpötilan on oltava vähintään + 5 °C jälkihoidon aikana. Jälkihoito voidaan lopettaa kun 80 % loppulujuudesta on saavutettu.

Sementtiliima hiotaan pois laatan pinnalta. Tämän jälkeen tarkastetaan halkeamien määrä ja leveys ja paikataan mahdolliset halkeamat.

### Huomioitavia asioita itsestivistyvää betonia käytettäessä

- Muottien mitoittaminen hydrostaattiselle paineelle ja muottien tiiveys
- Laadunvalvonnan tärkeys. Vähintään kolmesta ensimmäisestä kuormasta mitataan painuma-leviämä. Mahdollisesti koevalut
- Jälkihoidon tärkeys. Tulee aloittaa mahdollisimman nopeasti
- Yli 1 % kallistukset mahdottomia ilman yläpuolista muotitusta
- Valutusmatka muotissa korkeintaan 5 metriä
- Betonin pudottamista muottiin tulee välttää. Jos joudutaan pudottamaan pudotuskorkeus korkeintaan 2 metriä

4

- Pintalaatu paranee kun valu tehdään alakautta pumppaamalla
- Jäänsulatusaineet huomioivien rasitusluokkien XF2 ja XF4 käyttö tulee tarkastaa betonin toimittajalta
- Massaa saa työmaalla säätää vain betonitoimittajan ohjeiden mukaan
- Valu yhdellä kertaa

## Elementtityöselostus

2015

# Ohjeistus itsetiivistyvän betonin käytöstä elementtityöselostuksessa

AUTERE LEO



## Sisällys

1	Valmisosien valmistus.....	2
1.1	Yleistä.....	2
1.2	Tehdaskatselmus .....	2
1.3	Betonin ainesosat .....	2
1.4	Betonointi .....	3
1.5	Varusteet .....	3
1.6	Valmisosissa vaadittavat merkinnät .....	3
1.7	Valmisosien jälkihoito, viimeistely, varastointi ja kuljetus.....	3
2	Kokeet ja laadunvalvonta.....	3
2.1	Betonin osa-aineiden laadunvalvonta .....	3
2.2	Ennakkokokeet.....	4
2.3	Mallielementit.....	4
2.4	Valmistuksenaikaiset kokeet.....	4
2.5	Asennusaikaiset kokeet .....	4
2.6	Mittatarkkuus ja pinnat .....	4
3	Elementtityypit .....	4
3.1	Pilarelementit .....	4
3.2	Seinäelementit.....	5
3.2.1	Ulkoseinäelementit, sisäkuoret .....	5
3.2.2	Ulkoseinäelementit, ulkokuoret .....	5
3.3	Laattaelementit.....	6

## 1 Valmisosien valmistus

### 1.1 Yleistä

Betonivalmisosat valmistetaan piirustusten ja tämän työselostuksen mukaan. Ne ovat pääsääntöisesti CE-merkittyjä. Valmisosatoimittajalla tulee muiden kuin CE-merkittyjen tuotteiden osalta olla varmennustodistus.

Elementtien suunnittelussa on otettava huomioon betoninormien ympäristöolosuhteiden mukaisten rasitusluokkien vaatimukset. (By 50-2004, kohta 3.2)

Runko- ja ulkoseinärakenteet suunnitellaan 50 vuoden käyttöiän mukaan. Raudoitusta suojaavan betonipeitteen tulee täyttää By 50-2004 taulukon 2.17 ja halkeamaleveyden taulukoiden 2.16a...d mukaiset vaatimukset

Mikäli betonirakenteet eivät täytä jonkun ominaisuuden osalta vaatimusta, kyseiset rakenteet on uusittava tai korjattava ja rakennuttajalla on oikeus vaatia urakoitsijalta hyvitystä niiden arvonalentumisesta.

### 1.2 Tehdaskatselmus

Valmisosien valmistus saadaan aloittaa sen jälkeen, kun tehtaalla on pidetty tehdaskatselmus, jonka kutsuu koolle valmisosien tilaaja. Tehdaskatselmuksessa, josta laaditaan pöytäkirja, käsitellään ainakin seuraava asiat:

- Tuoteosatoimituksen sisältö
- Suunnitteluressurit, aikataulu ja suunnittelutilanne
- Mallielementit
- Betonivalmisosien työselostus
- Tehtaan laadunvarmistus (tarkastaminen, dokumentointi)
- Materiaalit, lisäaineet (By 50-2004, kohta 4.1) aineistodistukset
- Valmisosien varastointi ja kuljetus ja vastaanotto
- Lupa tuotannon aloittamiselle/jatkamiselle
- Valmistus- ja toimitusaikataulut
- *Varmistetaan että kaikki itsetiivistyvän betonin valuu osallistuvat henkilöt saavat riittävän koulutuksen ennen valua*
- Elementtisuunnitelmien valmiustilanne
- Elementtien toimitusaikataulu
- Selvitys muoteista
- Lämpökäsittely
- Elementtien jälkihoito
- Todetaan elementtisuunnitelmien toteuttamiskelpoisuus valmistuksen, kuljetuksen ja asennuksen kannalta
- Muut tilaajan edellyttämät asiat

*Koska betonirakenteen valmistaminen itsetiivistyvistä betonista on vaativa työsuoritus, jota voidaan pitää erikoisbetonointina, tulisi kaikki edellä mainitut kohdat käydä läpi.*

### 1.3 Betonin ainesosat

Betonin osa-aineksia koskevat vaatimukset on esitetty [RakMk B4 (By50 kohta 4.1) / RakMk B2].

Käytettävien lisäaineiden tulee olla CE-merkittyjä tai niillä on oltava varmennustodistus (By50 50 kohdat 1.3.4 ja 5.2.1).

#### 1.4 Betonointi

Betonin lämpökäsittelyssä noudatetaan betoninormeja (By 50 kohta 4.2.4.6). *Jos itsestään kovettuvaa betonia lämpökäsitellään sen kovettumisen kiihdyttämiseksi, tulisi lämpökäsittelyn täyttää standardin EN 13369 kohdan 4.2.1.4 vaatimukset.*

*Pitkiä valutaaukoja tulee välttää, jottei valukerrosten väliin jää saumoja. Yli 1% kaltevuudet tulee itsestään kovettuvaa betonia käytettäessä muotittaa yläpuolisilla muoteilla. Betonin pudotuskorkeuden tulee olla mahdollisimman pieni, korkeintaan 2 metriä betonipinnasta. Muotit tulee mitoittaa hydrostaattiselle paineelle. Muottien tiiviys tulee varmistaa.*

Näkyviin jäävät betonipinnat, jotka eivät ole muottia vasten, viimeistellään elementtikohtaisten ohjeiden mukaan.

#### 1.5 Varusteet

Muiden kuin ruostumattomasta teräksestä valmistettujen teräksisten rakenneosien näkyviin jäävät pinnat ja reunat pohjamaalataan alkydimaalilla tilaajan spesifikaatioiden mukaan. Asennuksen yhteydessä maalataan valmiiksi ne teräsovat, joihin hitsataan kiinni urakkaan kuuluvia rakenneosia.

Kaikki elementit on varustettava rakentamismääräysten vaatimukset täyttävillä nostokenkeillä, nostorei'illä tms. nosto-osilla

Elementteihin pysyvästi asennettavat puuosat tehdään kestopuusta. Elementeissä käytettävä painekyllästetty puutavara on luokka AB

#### 1.6 Valmisosissa vaadittavat merkinnät

Kaikki elementit, joille on olemassa eurooppalainen harmonisoitu tuotestandardi, CE-merkitään. Elementeissä tulee olla tarpeelliset tunnistetiedot valmistajasta, elementin painosta ja valmistuspäivämäärästä sekä tarvittaessa merkinnät niiden turvallisesta nostamisesta.

#### 1.7 Valmisosien jälkihoito, viimeistely, varastointi ja kuljetus

Elementtien vieminen jäätymiselle alttiisiin olosuhteisiin jälkihoidon alkuvaiheessa on kielletty. Betonin lujuuden on elementtejä siirrettäessä oltava vähintään 15 MN/m<sup>2</sup> suunnittelulujuudesta ellei aloitustarkastuksessa ja rakennesuunnittelijan suostumuksella muuta sovi.

Elementtien irroittaminen muotista, siirto, varastointi, kuljetukset ja asennus on suoritettava varoen. Erityisesti nurkat ja reunat ovat alttiita vaurioille. Elementtien tuenta on tehtävä siten, ettei rakenne vaurioidu eikä siihen synny ulkonäölle haitallisia muodonmuutoksia.

Elementit viimeistellään sopimuksenmukaiseen kuntoon valmistajan toimesta. Elementtien elastisten saumausten ja pinnoitteiden tartuntapinnat puhdistetaan mahdollisista valupurseista ja epäpuhtauksista sekä kolot ja lohkeamat paikataan. Seinäelementtien pinnoitettavien pintojen laikkausta tehtaalla ei suositella, koska se on yleensä tarpeeton ja työsuojellullisista syistä erikoistiloja vaativa käsittely. Normaalit muottipinnat antavat pinnoitteille riittävän tartunnan. *Jälkihoito tehdään käyttämällä jälkihoitoaineita tai suojaamalla tai kastelemalla. Jälkihoito tulee aloittaa niin pian kuin mahdollista.*

Elementit suojataan likaantumiselta, sateen tai muun kosteuden aiheuttamilta vaurioilta, iskuilta yms. niin, etteivät ne pääse vaurioitumaan varastoinnin ja kuljetuksen aikana.

## 2 Kokeet ja laadunvalvonta

### 2.1 Betonin osa-aineiden laadunvalvonta

Betonin osa-aineiden laadunvalvonta tehdään standardien ja varmennustodistusten ohjeiden mukaan

## 2.2 Ennakkokokeet

Ennakkokokeilla selvitetään betonimassan oikea suhteitus siten, että vaaditut lujuus-, ulkonäkö- ja säilyvyysominaisuudet saavutetaan. *Eri lisäaineiden yhteisvaikutus ja itsetiivistyvän betonin valuminen muottiin selvitetään niin, etteivät mm. pakkasenkestävyyden kannalta tärkeät lisähuokokset poistu tiivistymisen aikana. Tulee myös varmistaa itsetiivistyvän betonin läpäisykyky, jottei se kiilaudu raudoitustankojen väliin vaan pääsee valumaan kaikkialle muottiin. Samoin itsetiivistyvän betonin erottumattomuutta tulee tarkkailla.*

## 2.3 Mallielementit

Tilaaajan niin edellyttäessä on elementtien valmistajan tehtävä erikseen sovittava määrä täysmittaisia mallielementtejä, jotka tilaaja hyväksyy käytettäväksi koko valmistusvaiheen ajan laatutason mittana. Tilaaja tarkistaa mallielementtien sopimuksenmukaisuuden pintojen laadun ja värin sekä mittapoikkeamien osalta, joko tehdaskatselmuksen yhteydessä tai erikseen sovittavana ajankohtana. Kokoonkutsujana on valmisosien tilaaja ja katselmuksesta laaditaan pöytäkirja. *Raskaasti raudoitetuissa pilarielementeissä suositellaan tehtäväksi mallielementti, jotta varsinaisen pilarielementin valu onnistuu. Koska osassa pilareissa on vaatimuksena vesitiiviys tulee mallikappaleelle tehdä standardin EN 12390-8 mukainen vesitiiviytesti.*

## 2.4 Valmistuksenaikaiset kokeet

Kaikkien elementtien betonimassoista tehdään kelpoisuuskokeet (By50 kohta 6.3). *Lisäksi tehdään itsetiivistyvälle betonille olevat kelpoisuuskokeet (By 50 kohta liite 6). Massan erottumista tulee tarkkailla.*

Mikäli betonin kelpoisuuskokeiden tulokset eivät ole hyväksyttäviä, on rakennuttajalla oikeus vaatia tarpeelliset lisäselvitykset tai hylätä kelvottomat elementit. Jos on syytä epäillä betonin laatua, on tilaajalla oikeus otattaa koekappaleita valmiista elementeistä esimerkiksi puristuskokeita varten. Lisäksi tilaaja voi tutkia poraamalla tai muulla tavoin, että terästen suojaavalle betonikerrokselle asetetut vaatimukset on täytetty. Tehtyjen kokeiden kustannuksista vastaa elementtien valmistaja siinä tapauksessa, ettei laatu ole suunnittelu- ja sopimusasiakirjojen mukaista.

## 2.5 Asennusaikaiset kokeet

Juotosbetonista tehdään betoninormien edellyttämät laadunvalvonta- ja kelpoisuuskokeet.

## 2.6 Mittatarkkuus ja pinnat

Betonivalmisosien valmistus- ja rakentamistoleranssien osalta noudatetaan julkaisun Betonielementtien toleranssit 2011 luokan N mukaisia toleransseja. Liittyvissä paikallavalurakenteissa noudatetaan By47:n normaaliluokan mukaisia toleransseja. Jos sovittuja toleransseja ei täytetä, eikä elementtejä voida asiallisesti korjata, on tilaajalla oikeus hylätä käyttökelvottomat elementit, jotka on korvattava uusilla virheettömillä elementeillä.

Betonipintojen tulee täyttää By 40 luokan A vaatimukset julkisivuelementeissä ja luokan B vaatimukset muissa elementeissä. *Jotta hyvä pintalaatu saavutetaan, betonin pudottamista muottiin tulisi välttää käyttämällä valusukkaa tai -putkea tai painamalla pumppulinja muottiin mahdollisimman lähelle betonoinnin yläpintaa. Jos silti betonia joudutaan pudottamaan suurin sallittu pudotuskorkeus on 2 metriä. Jos mahdollista valu tulee suorittaa alakautta valuttamalla.*

# 3 Elementtityypit

## 3.1 Pilarielementit

Rungon kantavat pilarit ovat teräsbetonisia pilareita 480x480. Rakennus on jäykistetty mastopilareina. Osa pilareista ovat kahden kerroksen korkuisia.

Pilarit tukeutuvat alapäistään paikalla valettuihin perustuksiin/ pv-väliohjaan/DELTA-palkkeihin peruspulttien välilyksellä. Pilarien rasitusluokka on XC2/XC3 (1. krs.) ja XC3 (2-3. krs.) ja betonien lujuusluokka on vähintään C35/45. Kulmissa käytetään viisteitä, jotka esitetään elementtipiirustuksissa. Elementteihin asennetaan valmistuksen yhteydessä piirustuksissa esitetyt tartunnat, varaukset ja asennuslaakerit. Suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta. *Valu tehdään itsetiivistyväällä betonilla, jotta valusaumat vältetään ja vältetään ongelmat raskaasti raudoitettun pilarin mekaanisessa tiivistämisessä. Betonin pudotuskorkeuden tulee olla mahdollisimman pieni, korkeintaan 2 metriä betonipinnasta. Muotit tulee mitoittaa hydrostaattiselle paineelle. Plastisen painuman vähentämiseksi käytetään nopeasti kovettuvaa sementtiä.*

### 3.2 Seinäelementit

Ulkoseinät muodostuvat valmispintaisista Paroc-elementeistä, sisä- ja ulkokuorielementeistä sekä paikallavaluseinänostoista.

Ovien liittymät viereisiin rakenneosiin tiivistetään mineraalivillalla ja kitataan elastisella kitillä sekä listoitetaan 0,7 mm muovipinnoitetuilla peltilistoilla molemmin puolin, ellei muuta ole esitetty. Listojen mitat ja taivutusmuodot sekä kiinnitykset ruostumattomin (1.4301 / AISI 304) teräsruuvein tai niitein soveltaen RT 80-10632:n ohjeita. Listojen ja kiinnikkeiden värit rakennuttajan ohjeiden ja/tai ympäröivien rakenneosien mukaan.

Seinän liittymäkohdissa muihin rakenneosiin ja rakennuksen nurkissa käytetään 0,7 mm muovipinnoitusta pellistä tehtyä listaa. Listojen reunat taitetaan siten, että leikattu pinta käännetään 20 mm sisäänpäin.

Putki- ja kaapeliläpiviennit seinissä tehdään detaljipiirustusten mukaan soveltaen RT 80—10238. Listat, tiivistykset yms. soveltaen mitä yllä on sanottu ovista ja ikkunoista.

Seinäelementteihin tarvittaessa kiinnitettävät työnaikaiset kaiteet kiinnitetään jälkiasennuskiinnikkeillä.

Asennuksen ja saumojen tilkinnän yhteydessä on huolehdittava, että tuuletusraot yms. pysyvät auki

Julkisivuelementtien valmistus, varastointi, kuljetus ja työmaasuojaukset tulee suunnitella ja tehdä siten, että julkisivupinnat pysyvät puhtaina ja tasavärisinä.

*Muotit tulee mitoittaa hydrostaattiselle paineelle.*

Sisäseinien pintarakenteet on esitetty huoneluettelossa.

#### 3.2.1 Ulkoseinäelementit, sisäkuoret

Kantavien sisäkuorielementtien tulee täyttää By 50 rasitusluokan XC1-XC2 vaatimukset. Suunniteltu käyttöikä on 50 vuotta ja vaadittu palonkestoaika R120. *Jos valu tehdään yläkautta pudotuskorkeuden tulee olla mahdollisimman pieni, korkeintaan 2 metriä betonipinnasta. Palonkeston parantamiseksi betoniin lisätään muovikuituja vähintään 2,5 kg/m<sup>3</sup>.*

Sisäpinta on sileä teräshierretty muottipinta

#### 3.2.2 Ulkoseinäelementit, ulkokuoret

Ulkokuorielementtien tulee täyttää By 50 rasitusluokan XC2-XC4 ja XF1 sekä XD1 vaatimukset. Suunniteltu käyttöikä on 50 vuotta. Ulkokuoren pieliteräkset ovat ruostumatonta terästä B600KX ja keskeinen verkko B500K. *Rasitusluokkien XF1 ja XD1 vaatimusten perusteella vesi-sementtisuhte saa olla korkeintaan 0,55 ja ilmamäärävaatimus on 2,5% 16 mm maksimiraekoolla (By 50, kohta 4.1.1.5 ja liite 6). Jos mahdollista valu tehdään alakautta hyvän pintalaadun saavuttamiseksi. Jos valu tehdään yläkautta pudotuskorkeuden tulee olla mahdollisimman pieni, korkeintaan 2 metriä betonipinnasta.*

Kaikki kuoreen tehtävät kiinnitykset ovat ruostumatonta terästä (1.4301 / AISI304).

Ulkopinta on sileä teräshierretty muottipinta.

### 3.3 Laattaelementit

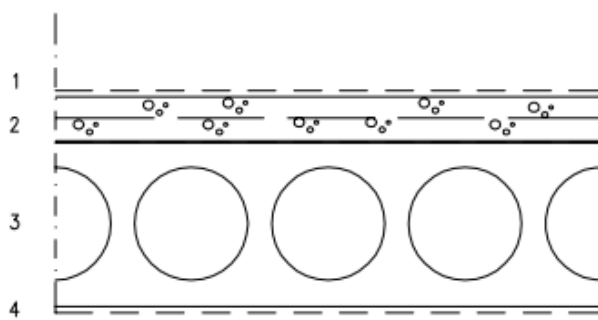
*Laattaelementtien suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta.*

*Ontelolaatat ja kuorilaatat valmistetaan esijännitettynä elementteinä mitta- ja raudoituspiirustusten mukaan. Elementteihin tehdään rakennepiirustusten mukaiset reiät ja niihin asennetaan valmistuksen yhteydessä piirustuksissa esitetyt tartunnat ja varaukset. Ontelolaattoihin porataan kaikkiin onteloihin tehtaalla vedenpoistoreiät.*

*Suurin sallittu valutusmatka on 5 metriä. Yli 1% kaltevuudet tulee itsetiivistyvää betonia käytettäessä muotittaa yläpuolisilla muoteilla. Pudotuskorkeuden tulee olla mahdollisimman pieni, korkeintaan 2 metriä. Pinta tasataan ristiin telaamalla ja tasaamisen jälkeen siihen levitetään varhaisjälkihoitoaine.*

## Rakennetyyppi VP7

Suunnittelija	Työn nro		VP7
	Päiväys	Tekijä	
Rakennuskohde	Sisäiti Ontelolaattaväli pohja Konehuoneen lattia		



5 mm	1	Pintamateriaali ja -käsittely, huoneselityksen mukaan
80 mm	2	Teräsbetoni laatta itseivistyvästä betonista, BY 45 luokka B-4-30, rauditus: muovikuidut
270 mm	3	Ontelolaatta, rakennepiirustusten mukaan (380 kg/m <sup>2</sup> saumattuna)
	4	Pintakäsittely, huoneselityksen mukaan

## TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:

- pintalaatan liikuntasaumajako ja liittymädetaljit rakennesuunnittelijan ohjeen mukaan
- pintalaatta pintarakenteeseen irrotetaan joustavalla rakenteella irti ympäröivistä seinistä ja muista kantavista rakenteista
- liittyvien rakenteiden ja pintarakenteiden vaikutus ääneneristävyyteen huomioitava SRMK:n mukaan

ÄÄNENERISTÄVYYS:  $R'_w = 55$  dB  
PALONKESTOLUOKKA: REI 60