

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka, Lappeenranta
Rakennustekniikka
Rakennesuunnittelu

Juuso Honkanen

Vesitiiviin betonirakenteen työohje

Opinnäytetyö 2015

Tiivistelmä

Juuso Honkanen

Vesitiiviin betonirakenteen työohje, 63 sivua, 4 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennustekniikka

Rakennesuunnittelu

Opinnäytetyö 2015

Ohjaajat: lehtori Vesa Inkilä, Saimaan ammattikorkeakoulu, työpäällikkö Antti

Rämä, Kreate Oy

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia työohje Kreate Oy:n työnjohdolle vesitiiviiden rakenteiden tekemistä varten. Vesitiivit betonirakenteet ovat aina erikoisrakentamista ja vaativat suunnittelijalta AA- luokan ja rakentajalta 1- luokan betonityönjohtajan pätevyyttä. Betonirakenteen vesitiiveys syntyy betonin ja rakenteen vesitiiveydestä.

Vesitiivit betonirakenteet ovat teräsbetonirakenteita. Jotta voidaan tehdä laadukkaita vesitiiviitä betonirakenteita, tulee osata tehdä myös laadukkaita teräsbetonirakenteita. Tämän takia opinnäytetyössä on käyty läpi joiltakin osin myös normaalien teräsbetonirakenteiden työvaiheita. Myös itsetiivistyvän betonin massan ominaisuuksia, valintaa ja työmenetelmiä on tarkasteltu. Itsetiivistyvä betoni on aina vesitiivistä.

Vesitiiviiden rakenteiden onnistumisen kannalta on työnjohdon tärkeää ymmärtää, miten betoni käyttäytyy kovettuessaan. Ensisijaisen tärkeää on ymmärtää massan, tärytyksen ja jälkihoidon merkitys. Myös halkeilun hallinnalla on todella suuri vaikutus rakenteen vedenpitävyyteen.

Opinnäytetyössäni kävin läpi yleisimmät laatuvaatimukset valmiille rakenteille, vesitiiviin betonin määrittelyn, kuka saa tehdä ja suunnitella vesitiiviitä rakenteita, millaisia työsaumoja voi käyttää ja millaisia erityistoimenpiteitä vaaditaan, että päästään vesitiiviyteen.

Opinnäytetyön liitteenä on varsinainen työohje vesitiiviiden betonirakenteiden rakentamiselle. Liitteenä on myös esimerkki injektointiletkun asennusohjeesta, tarkastuslista työnjohdolle sekä itsetiivistyvän betonin painuma-leviämäkoe- menetelmän ohje.

Asiasanat: Vesitiivis betoni, halkeilu, työsauma, jälkihoito

Abstract

Juuso Honkanen

Work instruction of waterproof concrete structures, 63 Pages, 4 Appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Civil and Construction Engineering

Specialisation in Building Structures Design

Bachelor's Thesis 2015

Instructors: Vesa Inkilä, Senior Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences, Antti Rämä, Foreman, Kreate Ltd.

The purpose of this thesis was to make a work instruction of waterproof concrete structure to Kreate Ltd's foremen. Waterproof concrete structures are always special structures and they need special measures to design and build. Waterproof concrete structure comes from the waterproofness of concrete and structure.

Because waterproof concrete structures are also concrete structures there is need to understand how to build regular concrete structures. Therefore this thesis has brought out casting methods of normal concrete structures too. The work also studies some methods to select the properties and how to cast self-leveling concrete. Self-leveling concrete is also waterproof concrete but it is not so known and used in Finland.

It is very important that foremen understand how the concrete behaves when it sets. The primary thing to understand is the important role of concrete, cracking and aftercare in the structures' waterproofness.

The real Work instruction of waterproof concrete structures is attached.

Keywords: waterproof concrete, cracking, construction joint, aftercare

Sisällys

1	Johdanto	6
	Yleistä.....	6
	Työn tavoite.....	6
	Työn rajausta.....	6
2	Laatuvaatimukset.....	6
2.1	Muotit.....	7
2.2	Raudoitus.....	10
2.3	Betoni.....	11
3	Vesitiivisbetoni.....	13
3.1	Betonin säilyvyys	13
3.1.1	Rasitusluokat.....	14
3.1.2	Kemiallinen rasitus	14
3.2	Massan valinta.....	16
3.2.1	Kiviaineen raekoko	17
3.2.2	Notkeus	18
3.3	Lisäaineet	19
3.3.1	Notkistimet	19
3.3.2	Huokostimet	20
3.3.3	Hidastimet	20
3.3.4	Riskit käytössä	20
4	Itsetiivistävä betoni.....	20
4.1	Massan valinta.....	21
4.1.1	Painuma-leviämä.....	21
4.1.2	Viskositeetti	22
4.1.3	Läpäisykyky.....	22
4.1.4	Erottumattomuus	23
5	Työmaa.....	24
5.1	Kuka saa tehdä?	24
5.2	Betonointisuunnitelma.....	24
5.3	Työ- ja laatusuunnitelma.....	25
5.4	Työsuoritus	26
5.4.1	Muotit	26
5.4.2	Raudoitus	29
5.4.3	Betonointi	33
5.4.4	Työsaumat ja läpiviennit.....	40
5.5	Liikunta- ja kutistumissaumat.....	45
5.6	Itsetiivistävän betonin käyttö	46
5.6.1	Yleistä	46
5.6.2	Työsuoritus.....	47
5.7	Jälkihoito.....	50
5.7.1	Halkeilu	50
5.7.2	Halkeilun ehkäiseminen	53
5.7.3	Halkeamien sulkeminen	54
6	Laadunvarmistaminen	55
7	Päätelmät.....	57
	Kuvat.....	60
	Taulukot.....	62
	Lähteet.....	63

Liitteet

Liite 1. Vesitiiviin betonirakenteen työohje, 65 sivua

Liite 2. Injektointiletkun asennusohje. 5 sivua

Liite 3. Tarkastusohje työnjohtajalle. 2 sivua

Liite 4. Itsetiivistyvän betonin painuma-leviämäkokeen ohje. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, liite B) 3 sivua

1 Johdanto

Yleistä

Vesitiiviitä betonirakenteita tehdään aina. Ne ovat erittäin kilpailukykyisiä ja kestäviä vedenpaineelle alttiissa rakenteissa. Erityisesti teollisuudessa, vesilaitoksissa ja jätevedenpumppaamoissa käytetään vesitiiviitä rakenteita säiliöiden turva-altaissa, säiliöiden ja maanalaisten seinien rakenteissa. Rakenteen vesitiiveys syntyy betonin ja rakenteen vedentiiveydestä.

Huolimattomasti rakennettuna ja suunniteltuna betonirakenteesta ei tule vesitiivis. Vesitiiviit rakenteet ovat kuin normaaleja betonirakenteita, mutta betonimassa sisältää huomattavasti vähemmän vettä ja halkeamien syntymisen estäminen on otettava huomattavasti tarkemmin huomioon. Jotta rakenne olisi vedenpitävä koko sen elinkaaren ajan, tulee rakenne tehdä alusta lähtien huolellisesti suunnittelusta jälkihoitoon.

Työn tavoite

Työn tavoitteena on tehdä Kesälahden Maansiirto Oy:n työnjohtajille työohje vesitiiviiden betonirakenteiden rakentamisesta. Työssä käydään läpi rakenne betonimassasta vesitiiviiseen valmiiseen rakenteeseen. Työssä myös tuodaan esiin betonirakenteille vaadittavat laatuvaatimukset.

Työn rajaus

Työssä käsitellään normaaleja paikallaan valettuja ja vesitiiviitä betonirakenteita. Työssä käydään läpi laatuvaatimukset, betonimassan ominaisuudet, työn suorittaminen, jälkihoito ja halkeamien korjaaminen. Itsetiivistävästä betonista käsitellään massan ominaisuuksia ja betonoinnin suorittamista. Työssä ei käsitellä talvibetonointia, jännitettyjä rakenteita eikä elementtirakenteita.

2 Laatuvaatimukset

Rakenteiden laatuvaatimuksien toteuttaminen turvaa rakenteiden säilyvyyden ja laadun. Hyvän laadun saavuttaminen lähtee aina rakennuttajasta suunnittelu-
pöydän kautta rakenteiden luovuttamiseen saakka. Suunnitelmilla ja rakentami-

sella on suurin vaikutus laadukkaisiin rakenteisiin. Betonirakenteita koskevia laatuvaatimuksia esitetään useassa eri lähteessä kuten InfraRYL:ssa ja betoni-normeissa.

2.1 Muotit

Muoteilla luodaan rakenteelle muoto. Ne tulee suunnitella ja valmistaa niin, että niillä saavutetaan asiakirjoissa rakennusosille määrätty mittatarkkuus, rakenteen käyttöikä ja pinnan laatuluokka.

Muoteissa käytettävän materiaalin tulee olla kyseiseen tarkoitukseen tarkoitettua ja samaa muottimateriaalia tulee käyttää koko rakenteen alueella, jotta saavutetaan suunnitelma-asiakirjoissa vaadittu valmiin pinnan laatu ja muoto. (InfraRYL, 41111.1.)

Lämmöneristyslevyjä käytettäessä betonivalujen yhteydessä tulee niiden olla riittävän jäykkiä ja kokoonpuristumattomia, jotta betonirakenteen sijainti- ja laatuvaatimukset täyttyvät. Lämmöneristyslevyjen nimellisvahvuus ei saisi muuttua keskimäärin enempää kuin 5 % asiakirjoissa määrätystä arvosta. (InfraRYL, 41111.1.3.)

Muotit ja telineet mitoitetaan ja kootaan siten, että rakenteille asetetut sijainti- ja laatuvaatimukset täytetään. Taulukossa 1 on esitetty rakennustoleranssit muotteille, joista luokka 1 kuuluu vesitiiviille rakenteille. (InfraRYL, 41111.3.)

	Luokka 1, mm	Luokka 2, mm	Luokka 3, mm
Korkeus	+ 10	+ 20	+40
Pituus ja leveys	+ 20	+40	+80
Paksuus	+ 10	+ 20	+40
Sivun käyryys - seinä	+ 15	+30	+ 60
Reiän koko tai aukon korkeus ja leveys	-5...+ 15	-5...+ 15	-5...+ 15
Reiän sijainti tai aukon korkeus määritetystä tasosta	+ 10	+ 20	+40
Aukon alakumilen korkeuden ero	10	20	40
Seinän käyritymä tai poikkema pystysuorasta	L/400	L/300	L/200
Sivusijainti	+ 20	+40	+80
Sivusijainti ylä- tai alapuolisesta seinästä	+ 10	+ 20	+40
Vapaa väli	+ 20	+40	+80
Yläreunan korkeusasema vaakarakenteisiin liityttäessä	+ 10	+ 20	+40

Taulukko 1. Muottien rakennustoleranssit (InfraRYL, 41111).

Pinnat

Jotta saavutettaisiin laadukas betonipinta, tulee muotin pintamateriaali valita laatuvaatimuksien mukaiseksi. Muotin imukyvyyn kasvaessa betonin pintakerros tiivistyy ja huokosten määrä pienenee. Taulukossa 2 on esitetty kullekin pinta-luokalle sallitut poikkeavuudet. Luokkaan C kuuluvat vain maanvastaiset pinnat, kuten perustukset ja vedenpaineelle alltiiden seinien maanvastainen puoli. (Betonirakenteiden pinnat BY40, 2003, s. 20.)

Laatutekijä			Vaatimukset				
			Luokka AA	Luokka A	Luokka B	Luokka C	
Nystermä							
	suurin korkeus	mm	2	3	6	6	
	suurin leveys	mm	3	9	20	20	
	suurin määrä	kpl/m ²	10	20	40	40	
Syvennys							
	suurin syvyys	mm	2	4	7	7	
	suurin leveys	mm	4	9	15	15	
	suurin määrä	kpl/m ²	10	20	40	40	
Hammastus			mm	1	2	5	5
Valupurse tai valuhaava muottisauman kohdalla							
	suurin korkeus tai syvyys	mm	1	2	4	4	
	suurin leveys	mm	3	3	6	6	
	suurin määrä (koskee myös korjattua saumaa)	% muottisaumojen pituudesta	10	20	30	0	
Vaakaasuorassa valettujen pintojen huokokset, Ø ≥ 5 mm							
	suurin läpimitta ja syvyys	mm	7	8	10	10	
	suurin kokonaismäärä	kpl/m ²	20	40	80	160	
Pystysuorassa valettujen pintojen huokokset, Ø ≥ 5 mm							
	suurin läpimitta ja syvyys	mm	8	10	12	12	
	suurin kokonaismäärä	kpl/m ²	40	60	100	200	
Vaakaasuorassa valettujen pintojen valuvika (aina korjattava)							
	suurin koko	m ²	ei sallita	0,1	0,3	0,6	
	suurin määrä	kpl/100 m ²	ei sallita	1	2	4	
Pystysuorassa valettujen pintojen valuvika (aina korjattava)							
	suurin koko	m ²	ei sallita	0,2	0,3	0,6	
	suurin määrä	kpl/100 m ²	ei sallita	2	2	4	
Pinnan käyryys ja aaltoilu							
	suurin mittapoikkeama	mm/1,5 m	3	5	8	8	
Väri vaihtelu							
	harmaat pinnat	luokat	B		-	-	
	valkobetoni pinnat		A		-	-	
	muut väribetonipinnat		B		-	-	

Taulukko 2. Paikallavalettujen pintojen laatuvaatimukset (Betonirakenteiden pinnat BY40, 2003, s. 31).

AA-luokkaa käytetään vain erityistapauksissa, kuten merkittävässä julkisissa rakennuksissa. Pinta vaatii melkein aina uutta muottipintamateriaalia. Soveltuvia muottikalustoja ovat paikallatehdyt kertakäyttö lauta- ja levymuotit ja vakio-

palkeista ja uudesta muottipinnasta kootut erikoismuotit. (Betonirakenteiden pinnat BY40, 2003, s. 36.)

A-luokkaan kuuluu niin sanotut puhtasvalupinnat. Käytetään arkkitehtonisissa kohteissa. Soveltuvia muottikalustoja ovat suurmuotit, suurkasettimuotit ja järjestelmämuotit. (Betonirakenteiden pinnat BY40, 2003, s. 36–37.)

B-luokkaan kuuluvat yleensä seinät ja kattopinnat, joilta ei vaadita A-luokan vaatimuksia. Soveltuvia muottikalustoja ovat kasetti-, suur-, järjestelmä-, levy- ja lautamuotit. (Betonirakenteiden pinnat BY40, 2003, s. 37.)

Pinnoittamattomia vanereita muottipintana käytettäessä imevät ne betonista ilmaa ja vettä vähentäen huokosia. Koivuvanerin imukyky on kuitenkin niin suuri, että käsittelemättömänä se jättää betonipinnan pölyiseksi ja betoni ei kovetu. Pinnoittamattomia vanereita voidaan käyttää vain 2-3 kertaa, että saadaan hyvä pinta. (Betonirakenteiden pinnat BY40, 2003, s. 22.)

Sahatavaraa käytettäessä muottina tulee se kastella aina hyvin huolellisesti. Sahatavaran imukyky on todella hyvä, joka lisää betonipinnan ja laudan tartuntaa. Sahatavaralla saadaan aikaiseksi hyvä ja puukuviainen pinta. (Betonirakenteiden pinnat BY40, 2003, s. 23.)

Teräsmuoteissa pitää aina käyttää muotiniirrotusainetta. Teräsmuotti on tiivis ja jättää helposti huokoisen pinnan, jos ei kiinnitetä huomiota huolelliseen tiivistämiseen ja valeta ohuina kerroksina. Sillä saadaan aikaiseksi sileitä ja yhtenäisiä pintoja. (Betonirakenteiden pinnat BY40, 2003, s. 23.)

2.2 Raudoitus

Betoniteräkset saavat olla asennusvaiheessa vain pintaruosteessa, jolla ei ole vaikutusta sen lujuus- ja tartuntaominaisuuksiin. Tämä on erityisen tärkeää erityisesti korroosioherkällä ja dynaamisesti rasitetun rakenteen raudoituksella. (Betoninormit BY50, 2012, s.118)

2.3 Betoni

Käytettävän betonin tulee olla kaikilta ominaisuuksiltaan suunnitelma-asiakirjojen mukaista. Betonissa käytettävä sementti, runkoaineet ja lisäaineet tulee olla CE-merkittyjä ja lisäaineilla ja sementillä tulee myös olla varmennettu käyttöturvaseloste. (InfraRYL, 41113.)

Lattia

Betonilattioiden laatuvaatimukset esitetään suunnitelmissa lattian suoruutta, kulutuskestävyyttä ja sallittua halkeamaleveyttä kuvaavilla arvoilla. Nämä arvot ovat (Betonilattiat BY45, 2014, s. 14,17.):

- suoruus: A₀, A, B, ja C
- kulutuskestävyys: 1,2,3 ja 4
- sallittu halkeamaleveys: I,II,III ja IV

Näistä vaativimmat ovat A₀, 1 ja I.

Lattian toteutunutta suoruutta tai kaltevuutta verrataan suunniteltuun vaakatasoon tai nimelliskaltevuuteen. Tätä eroa sanotaan suoruuspoikkeamaksi. Suoruuspoikkeama ei saa missään lattian kohdassa ylittää taulukossa 3 olevia arvoja, lukuun ottamatta toissijaisia kohtia. Toissijaisiksi kohdiksi yleensä laskeaan teollisuus- ja varastotiloissa seinien ja pilareiden ympärillä 300 mm matkalla olevaa aluetta. Mainituissa kohdissa suoruuspoikkeama saa olla yhtä luokkaa huonompi, ellei suunnittelu-asiakirjoissa ole muuta sovittu. (Betonilattiat BY45, 2014, s.18.)

Suoruuspoikkeama	Mittausluokka L [mm]	Suurin sallittu poikkeama [mm]			
		A ₀	A	B	C
Hammas		0	0	1	1
Poikkeama vaakasuorasta tai nimelliskaltevuudesta	enintään 200	1	2	3	4
	enintään 700	2	4	6	8
	enintään 2000	4	7	10	14
	enintään 7000	7	10	14	20
	yli 7000	10	14	20	28

Taulukko 3. Suurimmat sallitut poikkeamat suoruudesta (Betonilattiat BY45, 2014, s.18).

Kulutuskestävyys testataan siihen tarkoitettulla laitteella käsittelemättömällä tai lopullisella käsittelyllä betonipinnalla. Vaatimusluokkiin päästään taulukon 4 kuvaamilla työtavoilla. (Betonilattiat BY45, 2014, s. 19.)

Luokka	Sallittu kuluminen (mm)		Työmenetelmä jolla vaatimus saavutetaan
	Kierrosta		
	2000	800	
1	1	-	- 10...20 mm:n erikoisbetoni runkoaineena kvartsi, metalli, piikarbidi tai elektrokorundi + konehierto tai koneliippaus vähintään 2 kertaa - 30 mm:n kovabetonilattia C40/50 - betoni C25/30 + sirotepintausta erikoiskiviainepohjaisilla siroteilla riittävän runsaana ja koneliippaus tai konehierto vähintään 2 kertaa
2	3	-	- betoni C30/37, maksimirakekoko vähintään #16 ja koneliippaus siivillä sileäksi tai konehierto vähintään 2 kertaa - betoni C25/30 + sirotepintausta luonnonkiviainepohjaisilla siroteilla + koneliippaus tai konehiero vähintään 2 kertaa - imubetonilattia, lähtömassa C25/30 - betoni C25/30, kovettuneen lattian pintahierto siten että sementtiliima poistuu ja runkoaine tasaisesti näkyvässä,
3	-	6	- hyvällä ammattitaidolla tehty koneella hierretyt ja käsin liipatut lujuusluokan C25/30 lattiat
4	Ei vaatimusta		- hyvällä ammattitaidolla tehdyt lujuusluokan C25/30 lattiat

Taulukko 4. 3 kk vanhan lattian kulutuskestävyysvaatimukset VTT:n teräspöyräkokeessa, ja työmenetelmiä vaatimusten täyttämiseksi (Betonilattiat BY45, 2014, s. 19).

Halkeamilla tarkoitetaan yli 0,05 mm suuruisia halkeamia. Halkeamien mittaus suoritetaan aikaisintaan yhden lämmityskauden jälkeen. Halkeamien leveys tarkastetaan mitta-asteikolla varustetulla luopilla, halkeamamikroskoopilla tai silmämääräisesti halkeamareferenssikortteja käyttäen. (Betonilattiat BY45, 2014, s. 23–24.)

Halkeamaleveysluokka				
	I	II	III	IV
Kuvaus	Vaativa	Normaali	Merkityksetön	Erikoisluokka
Sallittu halkeamaleveys (mm)	0,3	1,0	Ei vaatimusta	Ilmoitetaan erikseen

Taulukko 5. Suositeltava suurin sallittu halkeamaleveys maanvaraisissa lattioissa ja pintalattioissa (Betonilattiat BY45, 2014, s. 24).

Halkeamaleveysluokkaa I käytetään erityistapauksissa, kun lattialle on asetettu ulkonäön ja kulutuskestävyyden suhteen laatuvaatimuksia. Tähän halkeamaleveysluokkaan päästää, joko jälkijännittämällä laatta tai raudoittamalla se minimiraudoitusta suuremmalla määrällä. (Betonilattiat BY45, 2014, s. 24.)

Halkeamaleveysluokka II on normaali vaatimustaso, jota käytetään esimerkiksi teollisuuslattioille ja pinnoitettaville lattioille. (Betonilattiat BY45, 2014, s. 24.)

Halkeamaleveysluokkaa III käytetään yleisesti pinnoitetuissa lattioissa. (Betonilattiat BY45, 2014, s. 24.)

Halkeamaleveysluokka IV on erikoisluokka, jonka halkeamaleveys määritetään tapauskohtaisesti. Sallittu halkeamaleveys voi olla jotain I- ja II- luokan välistä. Tällaisilla rakenteilla voi olla vaatimuksia esimerkiksi vesitiiviiden, kloridirasituksen ja runsaan pyörärasituksen suhteen. (Betonilattiat BY45, 2014, s. 24-25.)

Vesitiiviiden lattioiden halkemaleveys määräytyy tapauskohtaisesti. Suunnittelija mitoittaa rakenteen halkeamaleveysluokkaan IV ja määrää suurimman sallitun halkeamaleveyden, joka voi olla jotain 0,3 mm - 1,0 mm:n väliltä.

3 Vesitiivisbetoni

Vedenpitäväksi betoniksi luokitellaan betoni, jonka veden tunkeutumasyvyys on SFS-EN 12390-8 kokeella tehtynä, korkeitaan 100 mm. Betonitehtaalla tehtävillä ennakkokokeilla todetaan betonin vedenpitävyys. Betonitehtailla on tiedossa, mitkä heidän betoneistaan ovat vedenpitäviä. Betonin vedenpitävyys perustuu siihen, että sillä ei ole yhtenäistä huokosrakennetta, jota pitkin vesi pääsisi kulkemaan. (Betoninormit BY50, 2012, s. 143.)

3.1 Betonin säilyvyys

Betonin säilyvyyteen enimmäkseen vaikuttaa sitä ympäröivät ympäristöolosuhteet. Useimman betonia vaurioittavat mekanismit perustuvat sen vedenläpäisevyyteen sekä ioneihin, jotka ovat liuenneet veteen tai ilmaan. Betonin rasi-
tusluokat kuvaavat ympäristön aggressiivisuutta. (Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus BY210, 2008, s.49.)

Betonirakenteen säilyvyyteen vaikutetaan jo suunnittelusta lähtien aina jälkihoitoon asti. Rakennesuunnittelija valitsee rakenteelle parhaan mahdollisen raudoituksen sijainnin ja betoniluokan. Työmaalla voidaan vaikuttaa rakenteen säilymiseen laadukkaalla rakentamisella ja oikealla jälkihoidolla. (Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus BY210, 2008, s.49.)

3.1.1 Rasitusluokat

Betonirakennetta ympäröivät olosuhteet määräävät sen rasitusluokan. Suunnittelijan tehtävä on valita kohteeseen sopivin rasitusluokka. Vedelle alttiita rasitusluokkia ovat XC1, XC2, XC4, XS1, XS2, XS3, XD2, XD3, XF1, XF3, XA1, XA2 ja XA3. XC- luokan betonit ovat karbonatisoitumiselle, XD- luokat klorideille, XF- luokat jäätymiselle, XS- merivedelle ja XA- luokat kemiallisille rasitukselle alttiissa ympäristössä. (Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus BY210, 2008, s.49 - 50.)

Teollisuudessa säiliöiden pohja-altaat ovat yleisesti XD- luokan betoneita, pohjavedelle alttiit rakenteet ovat XA- luokkaa ja ulkona olevat ajorampit XF- luokkaa. Taulukossa 6 on esitettyä eri rasitusluokkien betoneiden laatuvaatimuksia. (Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus BY210, 2008, s.49 - 50.)

	Karbonatisoitumisen aiheuttama				Merivesi				Kloridi muusta kuin merivedestä			Jääditys-sulatusrasitus				Aggressiiviset kemialliset		
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Suurin V/S- suhde						0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,60		0,50		0,50	0,45	0,40
Vähimmäislujusluokka	K15	K20	K30	K30	K35	K40	K45	K45	K35	K35	K45					K40	K45	K50
Vähimmäissementtimäärä		200	230	250	270	300	320	320	300	300	320	270		300		300	320	330
F-luku (vähimmäisarvo)												1		1,5				
P-luku (vähimmäisarvo)													25		40			

Taulukko 6. Rasitusluokkien laatuvaatimukset (InfraRYL, 41113;T1)

3.1.2 Kemiallinen rasitus

Betonin pH- arvo on kovettumisen jälkeen 12–13,5 ja näin se on emäksinen rakennusaine. Tämä johtuu betonissa olevasta kalsiumhydroksidista, joka suojaa betoniteräksiä syöpymiseltä. Ilmassa olevat rikki- ja hiilidioksidi reagoivat kalsiumhydroksidin kanssa muodostaen kalsiumkarbonaattia. Tällaista ilmaa, jossa on runsaasti rikki- ja hiilidioksidiä, esiintyy teollisuusympäristöistä. Kalsiumkarbonaatti pienentää betonin pH- arvoa. pH- arvon laskiessa alle 9 betoni

ei enää suojaa teräksiä syöpymiseltä. (Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus BY210, 2008, s.53.)

Betonin kemiallinen hajoamisnopeus vaikuttaa sen säilyvyyteen. Betonia ympäröivästä ilmasta kulkeutuu ioneja ja molekyylejä, jotka reagoivat betonissa olevien reaktiivisten aineiden kanssa. Jotta nämä aineet voisivat reagoida keskenään, tarvitsee rakenteeseen kulkeutua veden mukana happea. (Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus BY210, 2008, s. 53.)

Näiden aineiden reaktio tapahtuu yleensä välittömästi, mutta on riippuvainen betonipinnan halkeamista ja huokoisuudesta. Voi olla, että reaktioiden aiheuttamat vauriot voidaan todeta vasta usean vuoden kuluttua. (Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus BY210, 2008, s. 53.)

Tärkeimmät reaktiot betonissa ovat (Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus BY210, 2008, s. 53.):

- *happojen, typen suolojen, magnesiumin suolojen ja makean veden reaktiot kovettuneen sementin kanssa,*
- *sulfaattien reaktiot betonissa olevien aluminaattien kanssa,*
- *emäksien reaktiot betonin reaktiivisten kiviainesten kanssa.*

Sulfaattirasitus

Pohjavedessä oleva sulfaatti rasittaa maanalaisia rakenteita, kun ollaan pohjaveden pinnan alapuolella. Kuvassa 1 on esitetty keskimääräiset sulfaattipitoisuudet Suomessa. On kuitenkin huomattava, että sulfaattipitoisuus voi vaihdella hyvinkin paljon paikallisesti. Alueilla, joilla keskimääräinen sulfaattipitoisuus on suurempi kuin 50 mg/l, on mitattava maaperän sulfaattipitoisuus. (Betoninormit BY50, 2012, s.92.)



Kuva 1. Keskimääräiset sulfaattipitoisuudet Suomessa (Betoninormit BY50, 2012, s.92)

3.2 Massan valinta

Betonimassa tulee valita siten, että se täyttää suunnittelijan määrittelemät ominaisuudet (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 301.):

- lujuus- ja rakenneluokan
- rasiusluokan ja suunnitellun käyttöiän
- kiviaineen maksimiraekoon
- betonipeitepaksuudet ja sallitut mittapoikkeamat
- tarvittaessa muut erityisohjeet, esimerkiksi lämmönkehitys

- telineiden ja muottien purkulujuus
- jännittämislujuus
- toleranssit ja pintaluokat.

Työmaalla kuitenkin päätetään työtapaan vaikuttavat tekijät; notkeus, maksimiraekoko ja lisäaineet. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 302.)

Periaatteena on valita massa, joka on mahdollisimman jäykkä ja raekooltaan suuri. Kuitenkin tulee ottaa huomioon massan siirto- ja tiivistystapa, rakenne, muotit, raudoitus ja olosuhteet. Rakenteen vaatiessa notkeaa massaa tulisi massaa notkistaa veden lisäämisen sijaan. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 302.)

Kuitenkin tiheästi raudoitetuissa rakenteissa tulisi käyttää notkistettua massaa, jonka raekoko ei ole liian suuri. Raudoituksen välit vaikuttavat maksimiraekoon tiheästi raudoitetuissa rakenteissa määräävästi. Tarpeettoman pientä maksimiraekokoa tulee kuitenkin välttää, koska se lisää (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 302.):

- sementtiliiman määrää
- massan kutistumaa ja taipumusta halkeiluun
- muodonmuutoksia, varsinkin virumaa
- sementtipitoisuuden johdosta betonimassan hinta nousee.

Betonin toimittajan kanssa kannattaa keskustella työkohteeseen parhaiten sopivimmasta betonista heidän valikoimastaan. Heillä on paras tieto siitä, mikä heidän massoistaan sopii kohteeseen parhaiten. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 303.)

3.2.1 Kiviaineen raekoko

Kiviaineen maksimiraekooksi kannattaa aina valita mahdollisimman suuri. Suuri raekoko ehkäisee halkeamien syntymistä. Kuitenkin maksimiraekoko saa suurimmillaan olla 40 % rakenteen paksuudesta ja pienimmän raudoituksen vapaan välin tulee olla 1,2 kertaa maksimiraekoko. Näin kivet eivät kiilaannu raudoitukseen ja aiheuta huokosia tai koloja rakenteeseen. (Betoninormit BY50, 2012, s.99; Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 302.)

3.2.2 Notkeus

Betonimassan notkeudella kuvataan sen työstettävyyttä. Betonimassan notkeus testataan betonitehtaalla SFS EN 12274-3:n mukaan. Taulukossa 7 on lueteltu notkeusluokitukset, joista tiivistymisloukat eivät ole Suomessa käytössä. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s.69 – 70.)

Painumaluokat		Vebe-luokat	
Luokka	Painuma [mm]	Luokka	Vebe-aika [s]
S1	10...40	V0	≥ 31
S2	50...90	V1	30...21
S3	100...150	V2	20...11
S4	160...210	V3	10...6
S5	≥ 220	V4	5...3
Tiivistymisloukat		Leviämäloukat	
Luokka	Tiivistymisaste	Luokka	Leviämän halkaisija [mm]
C0	≥ 1,46	F1	≤ 340
C1	1,45...1,26	F2	350...410
C2	1,25...1,11	F3	420...480
C3	1,10...1,04	F4	490...550
		F5	560...620
		F6	≥ 630

Taulukko 7. Notkeusluokitus (Betoninormit BY50, 2012, s. 106)

Betonimassan notkeus valitaan kuhunkin kohteeseen erikseen parhaan mahdollisen työstettävyyden ja laadun varmistamiseksi. Betonimassan tulee täyttää tarkoin muotit ja ympäröidä raudoitukset. Halkeilun, erottumisen ja plastisen ja pitkäaikaisen muodonmuutosten vähentämiseksi on kuiteinkin järkevintä käyttää mahdollisimman jäykkää massaa. (Betoninormit BY50, 2012, s. 106; Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 70.)

Rakenteille suositeltavat notkeudet

Notkeusluokkia S2...S3 suositellaan käytettäväksi latioissa, perustuksissa, pila-reissa ja seinissä. Seinän ollessa hankalasti raudoitettu katsotaan notkistimien ja nesteyttimien käyttö hyödyllisiksi. Lattiabetonin notkeutta valittaessa ei kannata valita notkeutta sen vaikeimman tiivistettävän kohdan mukaan vaan kiinnittää erityistä huomiota tähän kohtaan tiivistyksessä. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s.303 – 304; Betonilattiat BY45, 2014, s.137.)

3.3 Lisäaineet

Betonin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa suhteutuksella ja lisäaineita käyttämällä. Lisäaineilla saadaan säädeltyä betonin sitoutumista ja kovettumista sekä kovettuneen betonin ominaisuuksia. Lisäaineilla pyritään parantamaan betonin ominaisuuksien lisäksi sen taloudellisuutta. Pakkaseenkestävän ja korkealujuuksisen betonin valmistus ilman lisäaineita on erittäin vaikeaa. Lisäaineilla on myös päätarkoituksensa lisäksi sivuvaikutuksia. (Betonitekniikan oppikirja BY201, s.63.)

Lisäaineet voidaan luokitella esimerkiksi seuraavasti (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s.64.):

- Notkistavat lisäaineet
 - o Notkistin N
 - o Tehonotkistin N_t
 - o Nesteytin N_n
- Huokostimet H
- Muut pakkaseenkestävyyttä parantavat aineet L_m
- Kiihdyttimet K
- Hidastimet H
- Tiivistysaineet T
- Injektointiaineet I
- Muut lisäaineet M

3.3.1 Notkistimet

Notkistimilla voidaan parantaa betonin työstettävyyttä ja vähentää vedentarvetta. Korkealujuusbetonin valmistuksessa notkistimien käyttö on suotavaa. Näin saadaan vesi- ja sementtimäärä pienemmäksi ja kiviaineksen suhteellinen määrä suuremmaksi. Niillä voidaan saavuttaa jopa 30 % vedenvähennys muokkautuvuutta huonontamatta. Nesteyttimillä parannetaan vain betonin työstettävyyttä. Notkistimien vaikutusaika vaihtelee 15 minuutista tunteihin. (Betonitekniikan oppikirja BY210, 2004, s. 65.)

3.3.2 Huokostimet

Huokostimilla saadaan betoniin aikaiseksi pieniä ilmakuplia, jotka ottavat betonissa olevan veden jäätyessä syntyvän paineen vastaan. Näin betoni ei rikkoudu jäätyessään. Huokostimet myös parantavat betonin notkeutta ja koossapysyvyyttä sekä vähentää erottumista. Sillä voidaan myös lisätä betonin kuljetuskestävyyttä. (Betonitekniiikan oppikirja BY210, 2004, s. 67.)

3.3.3 Hidastimet

Hidastimet siirtävät betonin sitoutumista myöhemmäksi. Hidastimista on erityisesti hyötyä pitkissä kuljetusmatkoissa, kohteissa, joissa ei haluta työsaumoja ja lämpimällä kelillä valettaessa. (Betonitekniiikan oppikirja BY210, 2004, s. 67.)

3.3.4 Riskit käytössä

Notkistimien käyttö kylmissä olosuhteissa voivat hidastaa betonin sitoutumista ja niiden yhteensopivuus huokostimien kanssa on usein epävarmaa. Notkistin voi kumota tai estää huokostimen toiminnan tai ajaa sen aiheuttamat ilmakuplat pintaan. Pitkävaikutteiset nesteyttimet ja notkistimet voivat lisätä erottumis- ja halkeiluriskiä. (Betonitekniiikan oppikirja BY210, 2004, s. 63 – 65.)

4 Itsetiivistyvä betoni

Itsetiivistyvillä betoneilla tarkoitetaan betoneita, jotka tiivistyvät ilman tärytystä painovoiman vaikutuksesta. Tiivistyminen tapahtuu massassa olevan lisähienoaineksen ja tehokkaiden notkistimien avulla. Ne ovat hyvin notkeita, hyvin valuvia ja leviäviä betoneita. Itsetiivistyvät betonit ovat vesitiiviitä ja niillä saadaan aikaiseksi lujia, tiiviitä ja kestäviä rakenteita. (Itsetiivistyvä betoni, ITB, Rudus.)

Tärytyksen pois jäänti helpottaa, nopeuttaa hankalia valuja ja vähentää työvoimaa ja melua työmaalla. Itsetiivistyvällä betonilla saadaan aikaiseksi näyttäviä puhtasvalupintoja, sillä pinnoista yleensä tulee siistimpiä, tiiviimpiä, tasavärisempiä ja huokosettomampia. (Itsetiivistyvä betoni, ITB, Rudus.)

4.1 Massan valinta

Massa tulisi valita kyseiseen kohteeseen sopivammaksi ja ei tulisi yli luokitella massalta vaadittavia ominaisuuksia. Lämpäisykykyä, viskositeettia ja erottumattomuutta ei tulisi määritellä kuin erikoistapauksissa. Painuma-leviämä määritellään tavallisesti aina. Lämpäisykykyä ei tarvitse määritellä, jos raudoitus on vähäistä tai sitä ei ole lainkaan. Viskositeetin määrittäminen on tärkeää, kun vaaditaan hyvää pintalaatua tai raudoitus on hyvin tiheää. Erottumattomuuden tärkeys kasvaa mitä nestemäisempää massa on ja mitä pienempi viskositeetti sillä on, mutta yleensä luokka 1 riittää. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvästä betonista, 2005, s.12.)

Kaikilla itsetiivistyville betonimassoilla voidaan tehdä vesitiiviitä rakenteita, koska niihin ei muodostu yhtenäistä huokosrakennetta, jota pitkin vesi pääsisi kulkemaan. Tämä vaatii kuitenkin sen, että massassa oleva ilma pääsee pinnan kautta poistumaan ennen sitoutumista.

4.1.1 Painuma-leviämä

Painuma-leviämä tarkastetaan jokaiselta massalta. Se kuvaa massan notkeutta ja se mitataan painuma-leviämäkokeella, josta on ohje liitteenä 4. Taulukossa 8 on tyypillisiä käyttökohteita eri painuma-leviämäluokille.

Painuma-leviämä luokka	Käyttökohteet
SF1 (550 mm - 650 mm)	Raudoittamattomiin tai vähän raudoitettuihin rakenteisiin, jotka valetaan ylhäältä päin vapaana pudotuksena toimituskohdasta
	Injektointipumpun avulla suoritettavaan betonointiin
	Kappaleisiin, jotka ovat niin pieniä, että ei voida suorittaa pitkää vaakavalua.
SF2 (660 mm - 750 mm)	Soveltuu moniin tavallisiin käyttökohteisiin (seinät, pilarit)
SF3 (760 mm - 850 mm)	Käytetään hyvin tiheästi raudoitetuissa ja muodoltaan mutkikkaissa rakenteissa.

Taulukko 8. Painuma-leviämäluokat ja käyttökohteet.

Yli 850 mm leviäviä massoja on mahdollista käyttää erityiskohteissa, mutta tällöin tulee ottaa erityisesti erottuminen huomioon ja käyttää maksimissaan 12 mm raekooltaan olevaa kiviainesta. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvästä betonista, 2005, s.12.)

4.1.2 Viskositeetti

Viskositeettia arvioidaan T_{500} -ajalla. Sillä saadaan verrannollinen kuvaus valumanopeudesta. Viskositeetin ollessa pieni massalla on hyvin nopea alkuleviämä, joka pysähtyy. Viskositeetin ollessa suuri voi massa valua hyvin pitkän ajan. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.13.)

Viskositeetti voi olla hyödyksi sekoituksen aikana, mutta se tulisi määrittellä vain erityistapauksissa, joita ovat hyvin tiheästi raudoitetut rakenteet, moniulotteiset ja ahtaat muotit sekä vaativat pintalaadun vaatimukset. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.13.)

VS1/VF1 luokalla saadaan yleensä paras pintalaatu ja se valuu hyvin tiheässä raudoituksessa. Kuitenkin se kärsii todennäköisesti veden- ja kiviaineksen erottumisesta. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.13.)

VS2/VF2- luokalla ei ole ylärajaa, mutta valumisajan pidentyessä sillä saattaa ilmentyä tiksotrooppisia vaikutuksia, jotka saattavat rajoittaa muotin painetta ja parantaa erottumiskestävyyttä. VS2/VF2- luokalla saattaa olla negatiivisia vaikutuksia pintalaatuun ja saattaa olla herkkä keskeytyksille valun aikana. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.13.)

4.1.3 Lämpäisykyky

Lämpäisykyvyllä kuvataan massan kykyä virrata tiheän raudoituksen alueella erottumatta, menettämättä tasalaatuisuutta tai kiillautumatta. Lämpäisykykyä määriteltessä tulee ottaa huomioon raudoituksen geometria, juoksevuus, valuvuus ja kiviaineksen enimmäisraekoko. Määräävänä mittana käytetään pienintä rakoa, jonka läpi massan tulee mennä täyttääkseen muotin tasaisesti. Raudoitus on yleensä rajoittava tekijä, mutta ei aina. Raudoituksen ja muotin väliä ei tarvitse ottaa huomioon kuin hyvin tiheissä raudoituksissa. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.13)

Lämpäisykyky luokitellaan kahteen luokkaan. PA 1 luokassa rajoittava aukko on 80...100 mm ja PA 2 luokassa 60...80 mm. PA 1 luokkaa käytetään talonrakennuksessa ja pystyrakenteissa, kun taas PA 2 luokkaa maa- ja vesirakenteissa. Rajoittavan aukon ollessa suurempi ei lämpäisevyyttä määrillä ja sen ollessa

alle 60 mm on tarpeen tehdä ennakkokoe luonnollista kokoa olevalla mallilla. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.13.)

4.1.4 Erottumattomuus

Erottumattomuus on tärkeä osa massan homogeenisuudessa ja laadussa. Itsetiivistyvä betonimassa voi erottua betonoinnin ja tiivistymisen aikana. Tämä on haitallista korkeissa rakenteissa, mutta voi aiheuttaa pintavirheitä ohuissa laatoissakin. Kuitenkin vähäisen kokemuksen takia on yleisiä ohjeita kuten (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.13–14.):

- Erottumattomuusluokkaa ei ole tarpeen määrittää ellei painuma-leviämäluokka ole korkea, viskositeettiluokka alhainen tai betonointi olosuhteet edistä erottumista.
- SR1 käytetään ohuissa laatoissa ja pystyrakenteissa rajoittavan aukon ollessa suurempi kuin 80 mm ja valumatkan ollessa alle 5 metriä
- SR2- luokkaa käytetään pystyrakenteissa ja yli 5 metrin valuissa rajoittavan aukon ollessa suurempi kuin 80 mm
- SR2- luokkaa käytetään myös korkeissa pystyrakenteissa, jos valumatka on alle 5 metriä ja rajoittava aukko alle 80 mm
- Valumatkan ollessa yli 5 metriä ja rajoittavan aukon ollessa alle 80 mm, suositellaan käytettäväksi SR-arvon tavoitearvoa alle 10 %.

SR2 tai tavoite arvoa käytetään, jos pinnan lujuus tai laatu ovat määräävät laatekijät. Taulukossa 9 on eritetty esimerkkejä tarvittavien ominaisuuksien määrittelyistä eri rakenteille. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.13–14.)

Viskositeetti				Erottumattomuus/ läpäisykyky
VS 2 VF 2	Ajoluiskat			Määritellään läpäisykyky luokille SF1 & 2
VS 1 tai 2 VF 1 tai 2 tai tavoitearvo	Seinät ja paalut			Määritellään erottumattomuus luokalle SF 3
VS 1 VF 1	Lattiat ja laatat			Määritellään erottumattomuus luokille SF 2 & 3
	SF 1	SF2	SF 3	
	painuma-leviämä			

Taulukko 9. Esimerkkejä ominaisuuksista ja käyttökohteista (Eurooppalainen ohje itsetiivistävästä betonista, 2005, s. 14)

5 Työmaa

5.1 Kuka saa tehdä?

Suomen Rakennusmääräyskokoelma A2:sen mukaan vedenpaineelle alttiit rakenteet ovat AA-luokituksen mukaisia. Tämä johtaa siihen, että suunnittelijan tulee olla pätevyydeltään AA-luokkaa ja työnjohtajan 1-luokan betonityönjohtaja. 2-luokan betonityönjohtaja voi korvata 1-luokan betonityönjohtaja, mutta hänet täytyy saada viipymättä pyydettyä työmaalle. (Suomen Rakennusmääräyskokoelma A2; Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 156–157.)

5.2 Betonointisuunnitelma

Betonointityöstä on aina tehtävä betonointisuunnitelma ja- pöytäkirja erityisesti 1-luokan valuissa. Näitä asiakirjoja säilytetään kaksi vuotta käyttöönotosta lähtien.

Betonointisuunnitelmassa tulee esittää (Betoninormit BY50, 2012, s. 123.):

- muotit ja niiden tukirakenteet
- raudoitus
- jako betonointiosiin
- perustiedot betonin ominaisuuksista

- betonointimenetelmä, betonin siirrot, tiivistäminen, betonointinopeus, työsaumat
- aikataulu, betonimenekki, työnjohto, henkilövahvuus, työvuorot, varautuminen häiriöihin, kokeiden vaatimat toimenpiteet
- jälkihoito, lujuuden ja muiden ominaisuuksien kehityksen seuranta, muottien ja tukirakenteiden purkaminen
- talvityöhön, lämpökäsittelyyn ja erityismenetelmiin liittyvät toimenpiteet
- työturvallisuus ja ympäristöasiat.

Olisi hyvä myös ottaa huomioon mitä toimenpiteitä tulisi tehdä, että halkeilua saataisiin ehkäistyä.

Betonointipöytäkirjassa tulee esittää (Betoninormit BY50, 2014, s. 141.):

- rakennustyömaan tunnustiedot
- valmisbetonin kuormakirjat sekä rakennuspaikalla tehtävien kelpoisuuskoekappaleiden tunnuksot
- betonointiolosuhteita koskevat tiedot ja niiden vaatimat toimenpiteet
- betonimäärät betonointijaksoittain
- betonointitapa
- betonoinnin alkaminen ja päättyminen, työssä ilmenneet hankaluudet, muottien ja tukirakenteiden purkamisajankohta ja sen määrittäminen, betonin jälkihoito, betonin lämpötilan seuranta ja lämpökäsittely
- muottien ja raudoituksen valvontatoimenpiteet
- rakennustarkastajan määräykset
- rakenteiden tarkastukset
- muuta tarpeelliset asiat.

5.3 Työ- ja laatusuunnitelma

Muotituksesta, sen tukirakenteista ja raudoituksesta laaditaan työ- ja laatusuunnitelma, ellei käytetä tunnettuja muotti- ja tukirakennejärjestelmiä, jolloin muottitoimittaja tekee muottisuunnitelman. Suunnitelmassa tulee ottaa huomioon myös betonoinnista johtuvat kuormitukset, kuten massan aiheuttamat sysäykset, kalusto ja vaakasuorat kuormitukset. Suunnitelma on tehtävä ennen kysei-

sen työn aloittamista ja tarkennettava työn edetessä. (Betoninormit BY50, 2012, s. 117.; Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 235.)

Rakenteiden raudoituksen ja muotituksen tarkastamisesta laaditaan pöytäkirja. Betonin lujuudenkehitystä voidaan seurata lämpötilamittausten ja ohjelman avulla. (Betoninormit BY50, 2012, s. 148.)

5.4 Työnsuoritus

Työn suorittaminen tulee suunnitella hyvin alusta alkaen, jotta vältetään yllätyksiltä työntekemisen yhteydessä. Näin säästetään aikaa ja kustannuksia. Suunnitelmien mukaisuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota.

5.4.1 Muotit

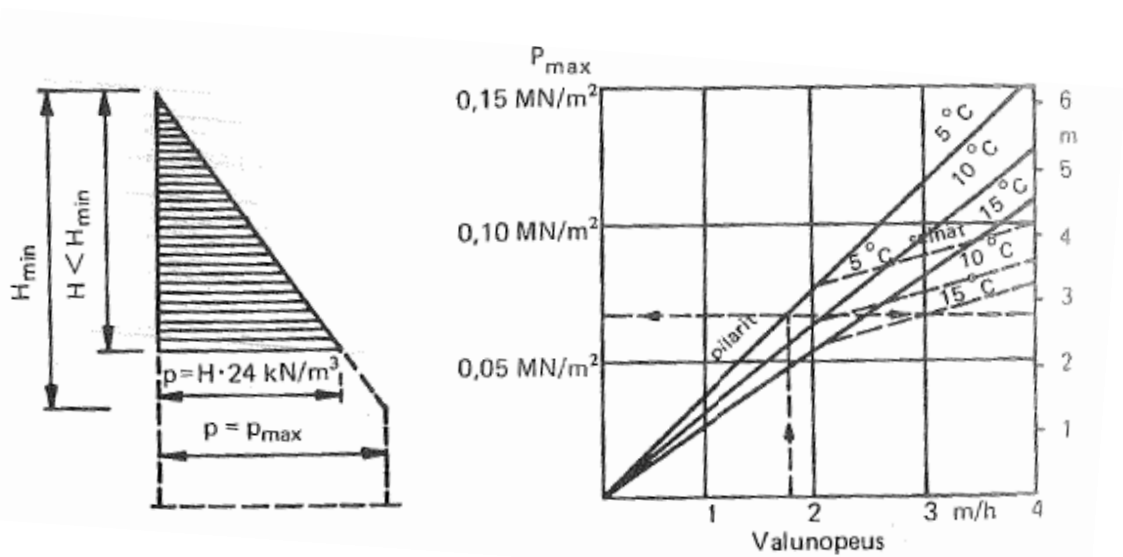
Muotit tulee rakentaa mahdollisimman tiiviiksi, jotta betonin hienot osa-aineet ja vesi eivät pääse vuotamaan muotista haitallisissa määrissä. Betonoinnin ja betonin kovettumisen aikana ei saa muottiin ja sen tukirakenteisiin syntyä muodonmuutoksia, jotka ylittävät laatuvaatimukset. (Betoninormit BY50 2012 s. 117.)

Koska itsetiivistyvä betonimassa on hyvin juoksevaa, kelluvat muotin osat, työsaumamuotit tai detaljimuotinosat saattavat lähteä kellumaan, ellei niitä ole kiinnitetty hyvin muuhun muottiin. Vaikka massa on hyvin juoksevaa, se kuitenkin yleensä vuotaa vähemmän muoteista kuin normaali vesitiivisessä massassa, muotissa olevien rakojen ollessa pienempiä kuin runkoaineen maksimi raekoko. Kuitenkin pintalaadun kannalta kannattaa muotin saumat tiivistää kunnolla. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvästä betonista, 2005, s.29.)

Muotit mitoitetaan pääosin valupaineelle. Sen suuruus riippuu mm. muotin korkeudesta, valunopeudesta, massan notkeudesta ja lämpötilasta, valukerroksen korkeudesta ja tärytyksen tehosta. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 232.)

Muottipaine voidaan määrittää nomogrammeja käyttäen. Kuvassa 2 on esitetty esimerkki nomogrammista, josta saadaan muottipaine valunopeuden ja massan lämpötilan avulla. Tällöin saadaan selville missä muottipaine on suurin ja mihin

saakka se kasvaa suoraviivaisesti. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 232.)



Kuva 2. Muottipaineen jakautuminen (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s.232).

Muotit on aina mitoitettava. Tavanomaisissa lauta- ja levymuoteissa esiintyy arvoja:

- koolaus	22x100...50x100	k 250...350
- niskat	50x100...150	k 600...1000
- tolpat	Ø60	k 900...1200

Itsetiivistävällä betonilla muottipaine tulee ottaa huomioon samalla tavalla kuin normaalissa vesitiiviissä betonoinnissa, mutta paine on täysi hydrostaattinen paine. Tämä lisää muotin alapäähän normaaliin massaan verrattuna lisää painetta ja näin muotin tulee olla tukevampi kuin normaalilla massalla. (Eurooppalainen ohje itsetiivistävästä betonista, 2005, s.29.)

Alhaalta päin valaessa voi paine nousta hetkellisesti suuremmaksi kuin täysi hydrostaattinen paine on, varsinkin kun, valu on keskeytetty hetkeksi ja muottiin kohdistuu sykäys. Tämä sykäys johtuu siitä, että massa on hieman jähmettynyt valuputkeen ja sen liikkeelle lähtiessä paine on iso. (Eurooppalainen ohje itsetiivistävästä betonista, 2005, s.29.)

Koska itsestivistyvä betoni saa pinnakseen muotin peilikuvan, tulee muotit, varsinakin, kun haetaan hyvää pintalaatua, valmistaa huolellisesti ja varmistaa, että muotissa ei synny muodonmuutoksia betonoinnin aikana. (Eurooppalainen ohje itsestivistyvästä betonista, 2005, s.29.)

Muottijärjestelmiä käytettäessä noudatetaan teknisiä mitoitusohjeita ja sallittuja kuormia. Käyttökertojen vaikutus on otettava huomioon vanhemmissa järjestelmissä. (Betonitekniiikan oppikirja BY201, 2004, s. 232.)

Järjestelmämuottien ankkuroinnissa tulee käyttää vesitiiveyslaippoja, jotka jäävät valun sisälle. Kuvassa 3 esitettyyn laippaan asennetaan harvakierretanko kumpaakin päähän ja kiinnitetään muotin seinän kummallekin puolelle. Näin seinät ankkuroidaan toisiinsa ja rakenne jää vesitiiviiksi. Tiivistämiseen on kiinnitettävä huomiota laippojen ympärillä.



Kuva 3. Vesitiiveyslaippa ja harvakierretanko.

Muottien ei-kantavat osat voidaan purkaa, kun betoni on saavuttanut vähintään 5 MPa lujuuden ja kantavat muotit, kun betoni on saavuttanut vähintään 60 % nimellislujudestaan. (Betoninormit BY50, 2012, s. 118.)

Muottien pintakäsittely

Muottipintojen pintakäsittelyyn tulee käyttää sellaisia aineita ja työtapoja, jotta betonipinnoille asetetut laatuvaatimukset täyttyvät. Pohjavesialueella ei saa käyttää mineraaliöljyjä. Muottipinnoissa ei saa myöskään käyttää muottiöljyä, joka heikentää mahdollisen pintakäsittelyn tartuntaa tai valmiin betonipinnan laatua. Liiallisesta muottiöljyn käytöstä voi aiheutua tahroja, ilmakuplien viipymistä tai muita pintavirheitä. (RunkoRYL 411.1; InfraRYL, 41111.1.2; Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.29.)

Varsinkin itsetiivistyvää betonia käytettäessä on hyvin tärkeää käyttää muotiniirrotusaineita hyvin vähän. Niitä tulisi sivellä muottiin kankaalla laimentamattomana. Muotiniirrotusaineita tulisi myös käyttää ainoastaan ilmaa läpäisevien tai puoliläpäisevien muottien kanssa. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.30.)

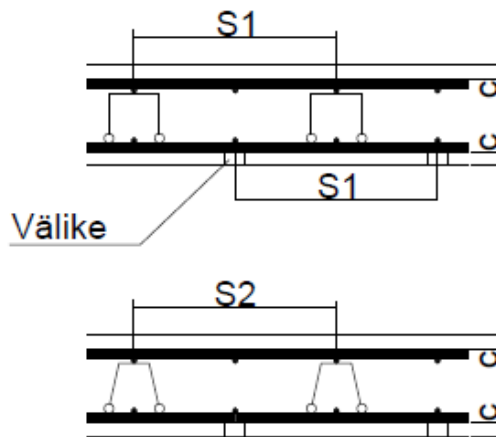
Kun ei käytetä muotiniirrotus ainetta, tulisi välttää kuivaa ja täysin uutta puuta. Näillä on hyvä absorptiokyky ja näin pinta tahriintuu ja pinnan syntyminen hidastuu. Käsittelemättömän puupinta tulee kastella hyvin ennen valua. Suositeltua olisi käsitellä se sementtilietteellä, näin puussa oleva sokeri ei pääse aiheuttamaan tahroja betonin pintaan. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.30.)

Käytettäessä synteettisillä aineilla tai hartsilla pinnoitettua muottia, joiden absorptiokyky on hyvin pieni, tuli käyttää hyvin korkealaatuisia muotiniirrotusaineita. Näillä päästään parhaaseen lopputulokseen, kun noudatetaan valmistajan antamia ohjeita. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.30.)

5.4.2 Raudoitus

Raudoitukset tulee ennen asennusta puhdistaa tartuntaa huonontavista aineista, kuten öljystä ja lumesta. Välikkeiden ja työraudoitusten avulla raudoitus tuetaan muotteihin niin lujasti, että se kestää paikallaan ja muodossaan betonoin-

nin ja muiden työvaiheiden aikana. Välikkeet ovat betonisia, muovisia tai teräksisiä. Kuvissa 4 ja 5 on ohjeita raudoituksen tuentaan seinässä ja laattassa. (Betoninormit BY50, 2012, s. 119; Betonitekniiikan oppikirja BY201, 2004, s. 279–280.)



Yksittäisen tuen halkaisija \varnothing	
Laatan paksuus	\varnothing
-150	10
150 - 300	12
300 - 500	16
500 -	Erikoisraudoite

Raudoituksen halkaisija \varnothing	Yksittäiset tuet		Jatkuvat tuentaraudoitteet	
	S1 max	kpl/m ²	S2 max	jm/m ²
-6	500	4	500	2
8 - 12	500	4	700	1,4
16 -	700	2	1000	1

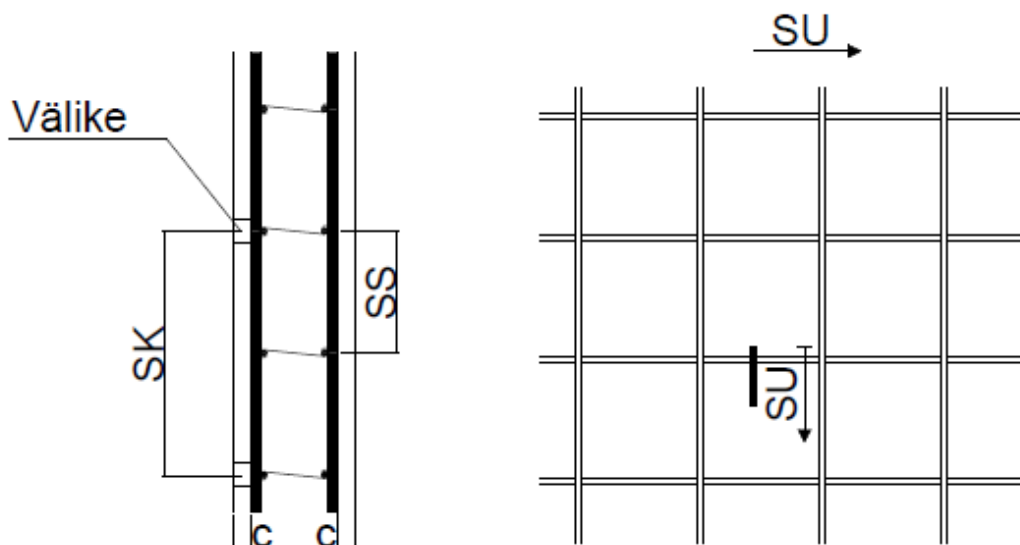
S1 = Tukien ja välikkeiden väli

S2 = Tukien väli

C = Betonipeitepaksuus

Kuva 4. Laattojen raudoituksen tukeminen (Betoninormit BY50, 2012, s.120).

Yksittäisten tukien välin laattassa tulisi olla 500...700 mm riippuen tuen halkaisijasta. Näin toimiessa raudoitus ei liiku betonoinnin aikana.



Pääraudoituksen \emptyset	Välikkeet		S-haati ¹		U-haati	
	SK max	kpl/m ²	SS max	kpl/m ²	SU max	kpl/m ²
-9	700	4	-	-	1000	1
10-12	1000	2	-	-	1000	1
-16	1000	2	500	4	1000	1

1) Tarpeelliset, jos $\emptyset \leq C \geq 2 \emptyset$

SK = Välikkeiden väli

SS = Tukien väli

C = Betonipeitepaksuus

Kuva 5. Seinien raudoituksen tukeminen (Betoninormit BY50, 2012, s. 120).

Välikkeitä seinän raudoituksen tukemiseksi tulisi olla 700...1000 mm välein ja 2-4 kappaletta neliömetrille. Alle 16 mm pääraudoituksen seinissä ei S-hakoja tarvita. U-hakoja olisi hyvä olla 1000 mm välein ja 1 kappale neliometriä kohden.

Raudoitukset asennetaan annettujen piirustusten, asiakirjojen tai muiden ohjeiden mukaisesti. Jokaisen raudoitteen ja sidelangan tulee täyttää piirustuksissa tai muissa asiakirjoissa annettu betonipeitteen nimellisarvo. (Betoninormit BY50, 2012, s. 118.)

Raudoituksen jatkokset voidaan tehdä piirustusten osoittamassa paikoissa (Betoninormit BY50, 2012, s.118.):

- limijatkoksina
- hitsattavien teräslaatuojen osalta SFS-standardien mukaisilla hitsausmenetelmillä
- muhveilla tai muilla erikoisjatkoksilla

Erikoisjatkosten ja – ankkurien ominaisuuksista ja käyttöön liittyvistä seikoista tulee olla hyväksytyssä koetuslaitoksessa tehtyihin kokeisiin perustuva selvitys ja varmennettu käyttöseloste. (Betoninormit BY50, 2012, s.119.)

Tankojen ja jänteiden väli tulee olla vähintään suurin arvoista (Betoninormit BY50, 2012, s.119.):

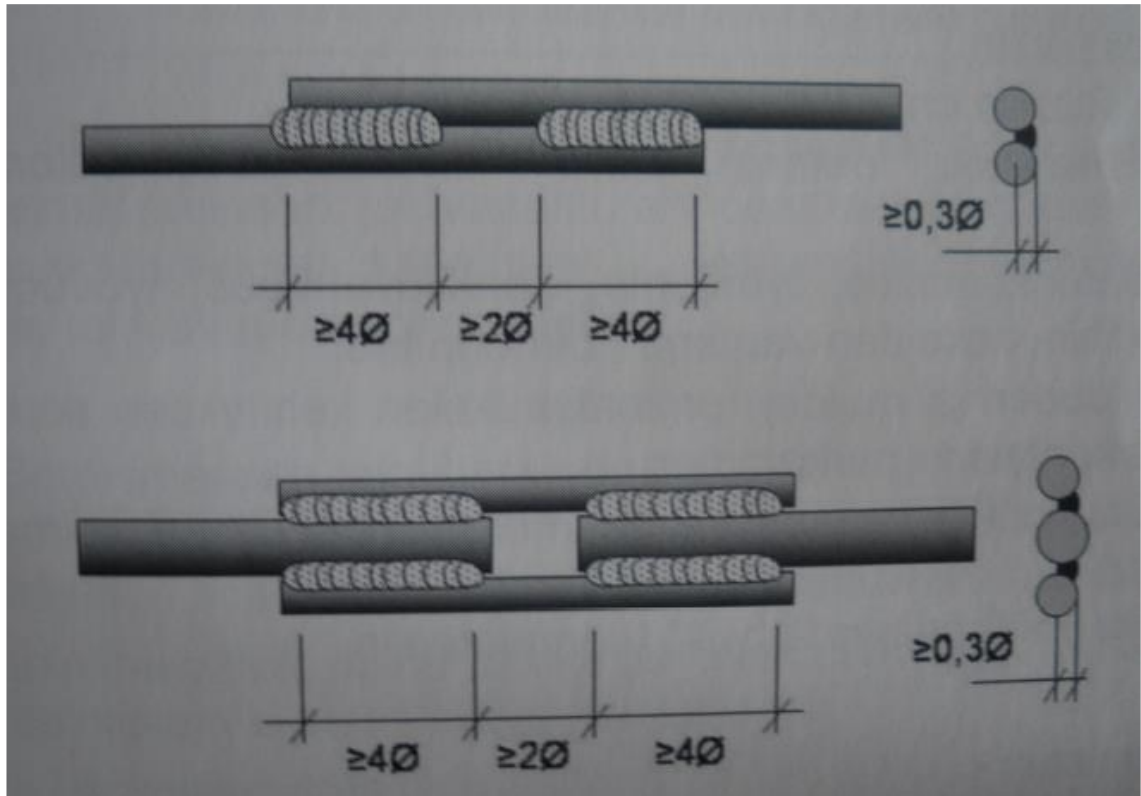
- betoniterästangoilla \emptyset, \emptyset_n ja tartuntajänteillä $2\emptyset, 2\emptyset_n$
- 1,2 kertaa kiviaineksen ylänimellisraja
- 25 mm tangoilla ja 50 mm suojaputkilla ellei käyttöselosteessa toisin edellytetä
- rinnakkaisten limijatkosten kohdalla kuitenkin vähintään $2\emptyset$.

Hitsaustyö

Hitsatut liitokset tekee aina ammattitaitoinen työntekijä, jolla on voimassa oleva tulityölupa, ellei työtä tehdä virallisella tulityöpaikalla. Tulityöluvan voi myöntää työnjohtaja, jolla on voimassa oleva tulityökortti.

Hitsaustyö on tehtävä paikassa, jossa työn onnistumiselle on kaikki edellytykset, suojassa tuulelta ja kosteudelta. Lämpötilan ollessa alle -10 °C tulee käyttää esilämmitystä. (Betoninormit BY50, 2012, s.122.)

Hitsaus- ja erikoisjatkosten tulee olla vähintään $10\emptyset$ etäisyydellä taivutuskaaren alueelta, taivutussäteen ollessa pienempi kuin $50\emptyset$. Tästä voidaan poiketa, jos taivutussäde on merkitty piirustuksiin. Kuvassa 6 on esitetty hitsauksien pituudet ja syvyudet kahdella eri tavalla. (Betoninormit BY50, 2012, s.122.)



Kuva 6. Tankojen hitsattuja jatkoksia (Betoninormit BY50, 2012, s.122).

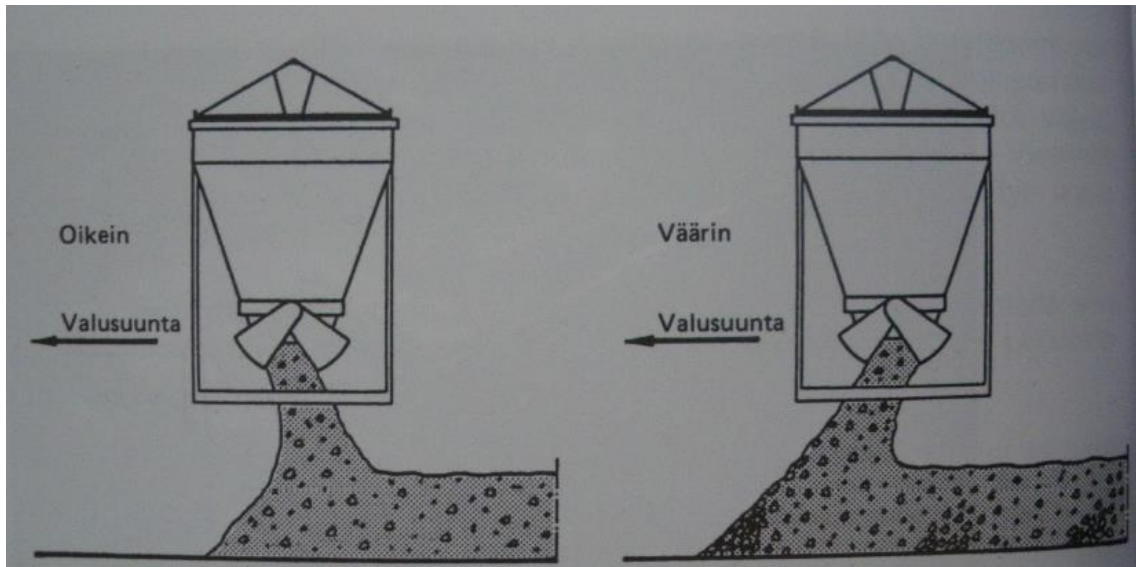
5.4.3 Betonointi

Betonoitaessa on tärkeää, että kun massaa sijoitetaan muottiin, se pysyy tasa-laatusena ja täyttää muotin tasaisesti. Jokaisen valukerroksen tulee liittyä saumattomasti edelliseen kerrokseen. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 317.)

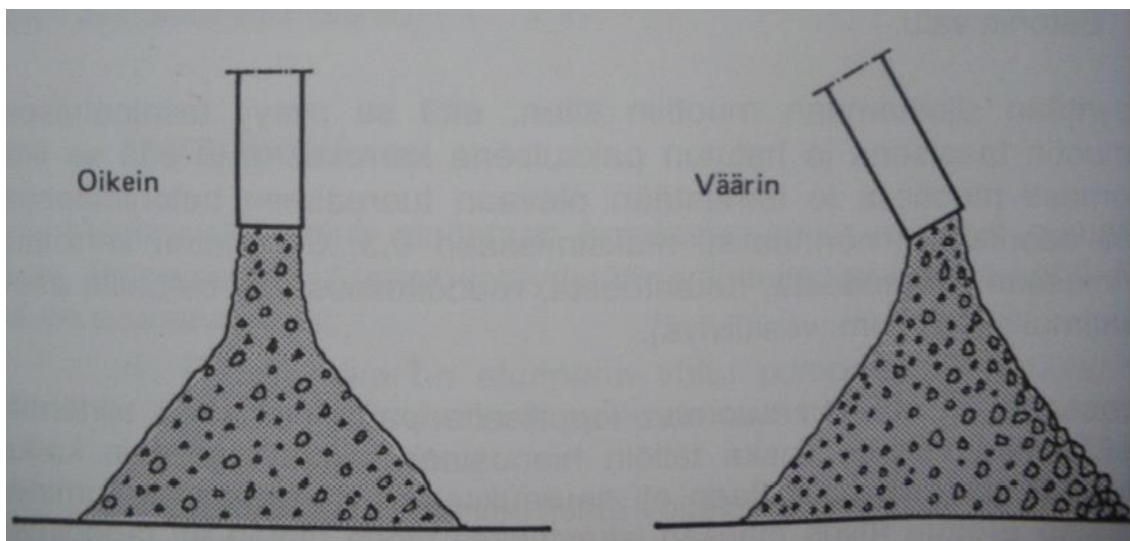
Betonin siirtämistä täryttimillä tulee välttää, ettei betonin kiviaines erotu. Täryttimellä siirtäessä betoni hienoaines liikkuu täryttimen mukana karkean kiviaineksen jäädessä paikoilleen. Erottumista tapahtuu myös, kun massa osuu vinoon pintaan tai raudoitukseen. Varsinkin kivipesien ja onkaloiden muodostuminen on karkean kiviaineksen erottumisen aiheuttamia. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 317.)

Erottumisriskin vähentämiseksi betonimassan pudotuskorkeus tulisi pitää mahdollisimman pienenä. Vesitiivistä betonia ei tule tiputtaa korkeammalta kuin 1 metrin korkeudesta. Korkeissa muoteissa käytetään valusukkia tai – suppiloa. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 318.)

Betonivalun tulisi olla jatkuvaa yhteen suuntaan eikä palata välillä jo aikaisemmin valetun massan suuntaan ja valun tulisi tapahtua pystysuorassa, kuten kuvissa 7 ja 8 on esitetty. Pystysuorassa valettaessa massa erottuu vähemmän.



Kuva 7. Massa on suunnattava rintausta vasten (Betonitekniiikan oppikirja BY201, 2004, s. 318).

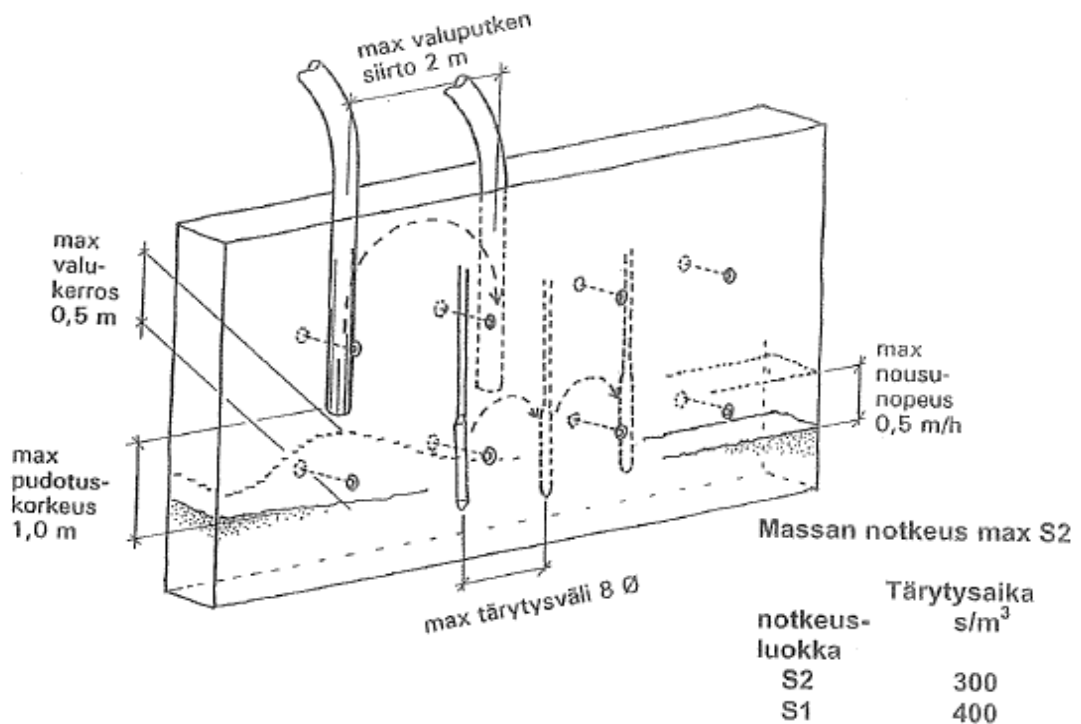


Kuva 8. Massa on pudotettava pystysuoraan (Betonitekniiikan oppikirja BY201, 2004, s.318).

Muotit täytetään kerroksittain ja täyttäessä huolehditaan siitä, että suunniteltu kerros paksuus säilyy. Tasaisella valukerroksella varmistetaan, että rakenne tiivistyy tasaisesti kokomatkalta. Valunopeus sovitetaan massan ominaisuuksien ja tärykaluston mukaan. (Betonitekniiikan oppikirja BY201, 2004, s. 319.)

Varsinkin notkeilla massoilla tapahtuu paljon vedenerottumista. Tällöin vesi pyrkii pintaan ja voi jäädä vaakasuunnassa olevan raudoituksen alle varsinkin valunopeuden ollessa suuri. Tästä voi seurata suuria huokosia, jopa onkaloita. Veden erottumisen seurauksena on plastista laskeutumista. Tästä taas seuraa halkeilua, jos laskeutuminen on estynyt esimerkiksi raudoituksen kohdalla. Nämä halkeamat ovat raudoituksen suuntaisia. Plastisesta laskeutumisesta aiheutuvaa halkeilua estetään valunopeuden rajoittamisella ja huolellisella tiivistämisellä.

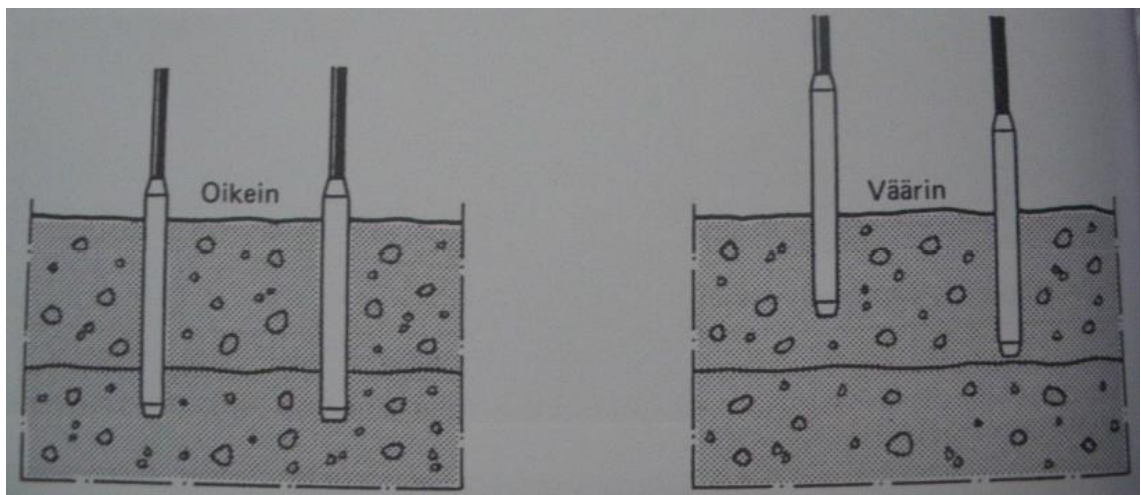
Vesitiiviissä rakenteissa valun nousunopeus on rajoitettu 250 - 400 mm/h ja maksimivalukerros on 250 - 400 mm, vaikkakin kuvassa 9 on esitetty nousunopeudeksi 500 mm/h ja maksimivalukerrokseksi 500 mm. Käytettäessä nousunopeutena 400 mm/h tulee tiivistämiseen kiinnittää erityistä huomiota, jotta yhtenäinen huokosrakenne poistuu massasta. Jälkitärytyksellä parannetaan betonin lujuus- ja tiivysominaisuuksia edistämällä veden poistumista, ilmahuokosten ja varhaishalkeamien sulkeutumista. (Betoniteknikan oppikirja BY201, 2004, s. 319,323, 327.)



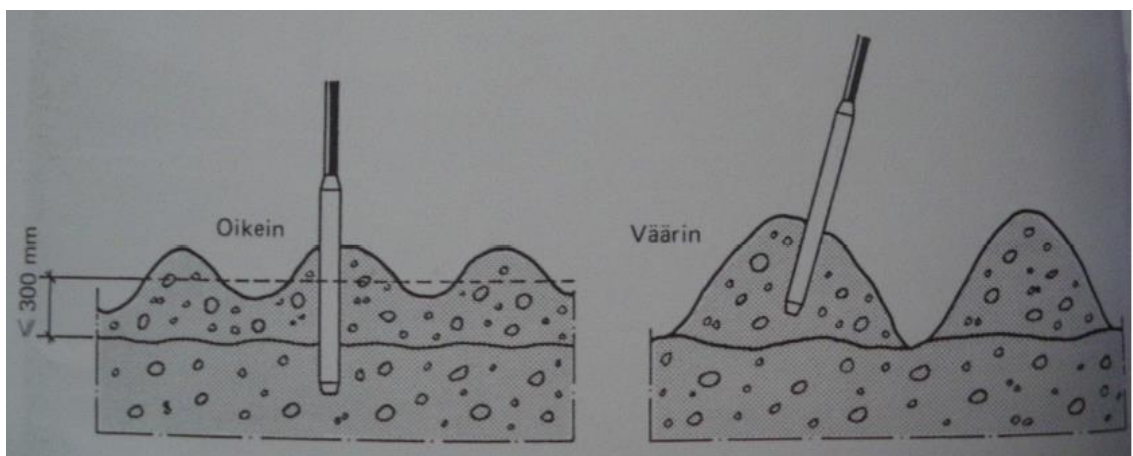
Kuva 9. Rasitusluokissa XC2.4; XS; XD; XF ja XA olevan seinämäisen rakenteen betonointiohjeita (Betoninormit BY50, 2012, s. 127).

Tiivistämisellä betoni täyttää muotit ja ympäröi raudoituksen täydellisesti, poistaa massasta ylimääräisen ilman ja auttaa kiviaineksen osaset hakeutumaan lähemmäs toisiaan. Vesitiiviissä rakenteissa massan tiivistäminen huolellisesti on erityisen tärkeää, jolloin saadaan yhtenäinen huokosrakenne massasta poistumaan. (Betonitekniiikan oppikirja BY201, 2004, s. 322.)

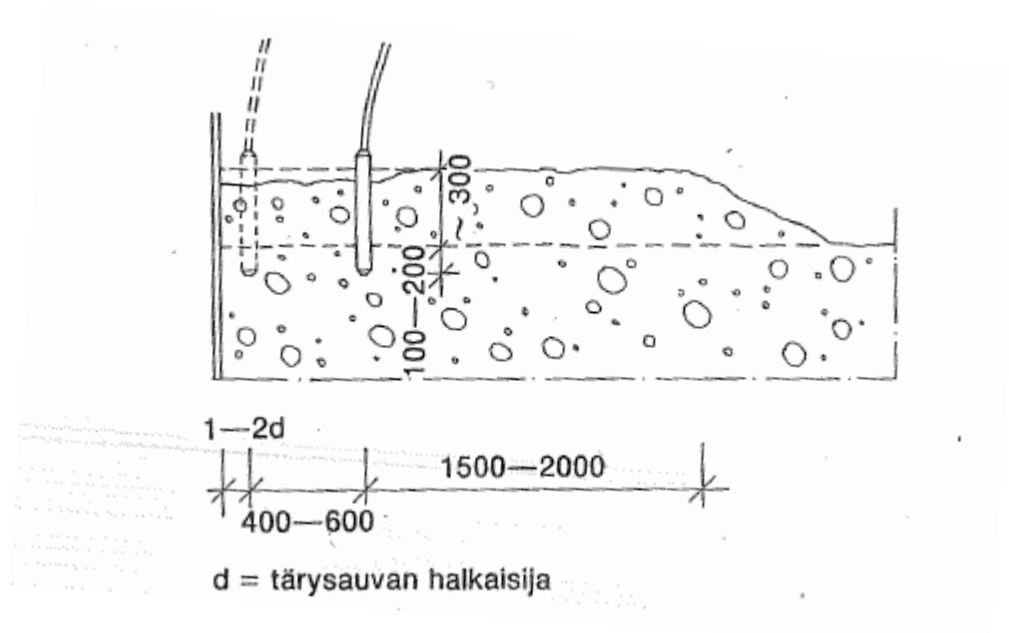
Betoni tiivistetään kauttaaltaan järjestelmällisesti ja huolellisesti siten, että jokainen valukerros liittyy toisiinsa. Tärysauvojen tulee ulottua jo aikaisemmin valettuun betonikerrokseen asti ja niiden tulee olla pystysuorassa, jotta kerrokset tiivistyvät yhtenäiseksi ilman saumoja, kuten kuvissa 10 ja 11 on esitetty. (Betonitekniiikan oppikirja BY201, 2004, s. 322.)



Kuva 10. Tärytys ulotetaan noin 150 mm edelliseen valukerrokseen (Betonitekniiikan oppikirja BY201, 2004, s. 322).



Kuva 11. Massa annostellaan sopivin välein, tärytin on pystyssä (Betonitekniiikan oppikirja BY201, 2004, s. 322).



Kuva 12. Tärysauvan pistojen etäisyydet ja syvyys (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 324).

Kuvan 12 ohjeiden mukaan tärytys ei saa tapahtua aivan muotin tai työsauman reunasta vaan hieman etäämmällä riippuen tärysauvan halkaisijasta. Tärytys suoritetaan vähintään 1,5 metrin päässä betonointi rintamasta. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 324.)

Seinän tärytys olisi hyvä suorittaa ylhäältä nostamalla tärytintä valun mukana. Raudoituksen ollessa seinässä tai seinämäisessä palkissa hyvin tiheä ja tärytyksen ollessa mahdoton suorittaa ylhäältä, tehdään muottiin 1,0...1,5 metrin välein reikiä, joista tärytys voidaan suorittaa. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 327.)

Betonin tiivistyksen laiminlyönnistä voi olla seurauksena

- suuri huokoisuus
- alentunut lujuus ja tiheys
- ontelot, kivipesät
- huonontunut tiiviys ja säänkestävyys
- epätasainen ja huokoinen pinta
- heikentynyt tartunta terästen välillä
- huonontunut tartunta työsaumoissa

- peräkkäin valettujen osien heikko liittyminen toisiinsa
- halkeilu plastisen painumisen seurauksena.

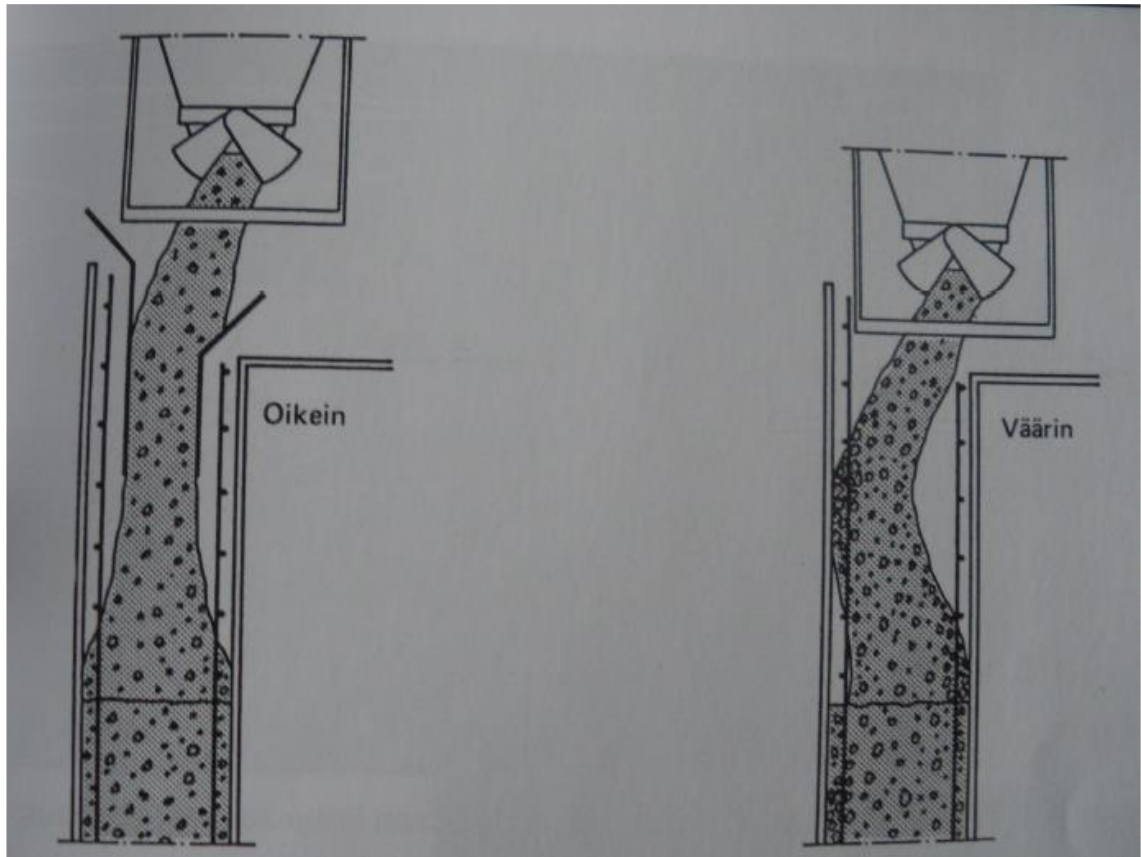
Tiivistämisen määrä riippuu betonimassan notkeudesta. Esimerkiksi nesteytetty massa tarvitsee tärytysaikaa noin 50 % vähemmän kuin jäykkä massa samalla tärytyksen vaikutusalueen ollessa 20...30 % suurempi. Nesteytetyn betonin käyttö onkin hyvin perusteltua tiheästi raudoitetuissa rakenteissa. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 323.)

Vaikka tiivistys tehdäänkin huolellisesti jokaisesta kohdasta rakennetta, on rakenteen tiiveys hieman erilainen joka kohdassa. Tämä johtuu siitä, että tärytys on epäjatkuvaa prosessi ja sen vaikutus alue on rajallinen. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s. 8.)

Betonin hyvä tiivistys edellyttää mm. seuraavien ohjeiden huomioonottamista (Betoninormit BY50, 2012. s. 126.):

- Massan notkistaminen helpottaa tiivistystä. Kuitenkin myös nesteytetty betoni on tärytettävä, mutta vähemmän kuin jäykempi massa.
- Nesteytetyt silikaa sisältävät massat voivat olla kittimäisiä, eivätkä niiden työstettävyyssominaisuudet ole niin hyvät kuin notkeusluokan perusteella voisi olettaa. Tämän vuoksi tulee valita notkeampi massa.
- Massaa ei pidä erottumisvaaran takia siirtää täryttimellä. Yli metrin korkeisissa massanpudotuksissa käytetään valuputkea.
- Jälkitärytys poistaa plastisen painuman aiheuttamia ongelmia esim. poikkileikkausten muutosten ja yläpinnan raudoituksen kohdalla. Jälkitärytys lisätiivistää myös tehokkaasti betonia. Jälkitärytys on tehtävä ennen betonin sitoutumista.

Seinien ja seinämäisten palkkien betonoinnissa käytetään valusukkia, -suppiloita ja -putkia, koska näiden muotit ovat ahtaita. Erottumis- ja kivipesien muodostumisriskin pienentämiseksi tulisi betoni saada muottiin mahdollisimman suorassa valusukan avulla, jotta se ei osu raudoitukseen ja erotu, toisin kuin kuvassa 13 on esitetty. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 327.)



Kuva 13. Pystysuorien rakenteiden valussa käytetään valusuppiloa tai -sukkaa (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 319).

Seinissä ja seinämäisissä palkeissa on mahdollista olla varauksia ja näiden huomioon ottaminen valettaessa on hyvin tärkeää. Varauksen kohdalle tullessa edellinen valukerros jätetään varauksen alapinnan alapuolelle noin 200 mm päähän. Seuraava valukerros tehdään hieman ylisuurena varauksen ympäriltä, jolloin saadaan aikaa painetta varauksen alle. Täryttämällä hyvin saadaan varauksen alle massaa ja ilma poistumaan. Leveissä varauksissa voidaan tehdä varauksen pohjaan valu- ja tiivistysaukkoja, jolloin saadaan varmistettua, että massa on täyttänyt koko varauksen alapuolen. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 329.)

Pyrittäessä mahdollisimman sileisiin eli huokosettomiin valupintoihin tiiviillä muoteilla tulisi noudattaa seuraavia ohjeita:

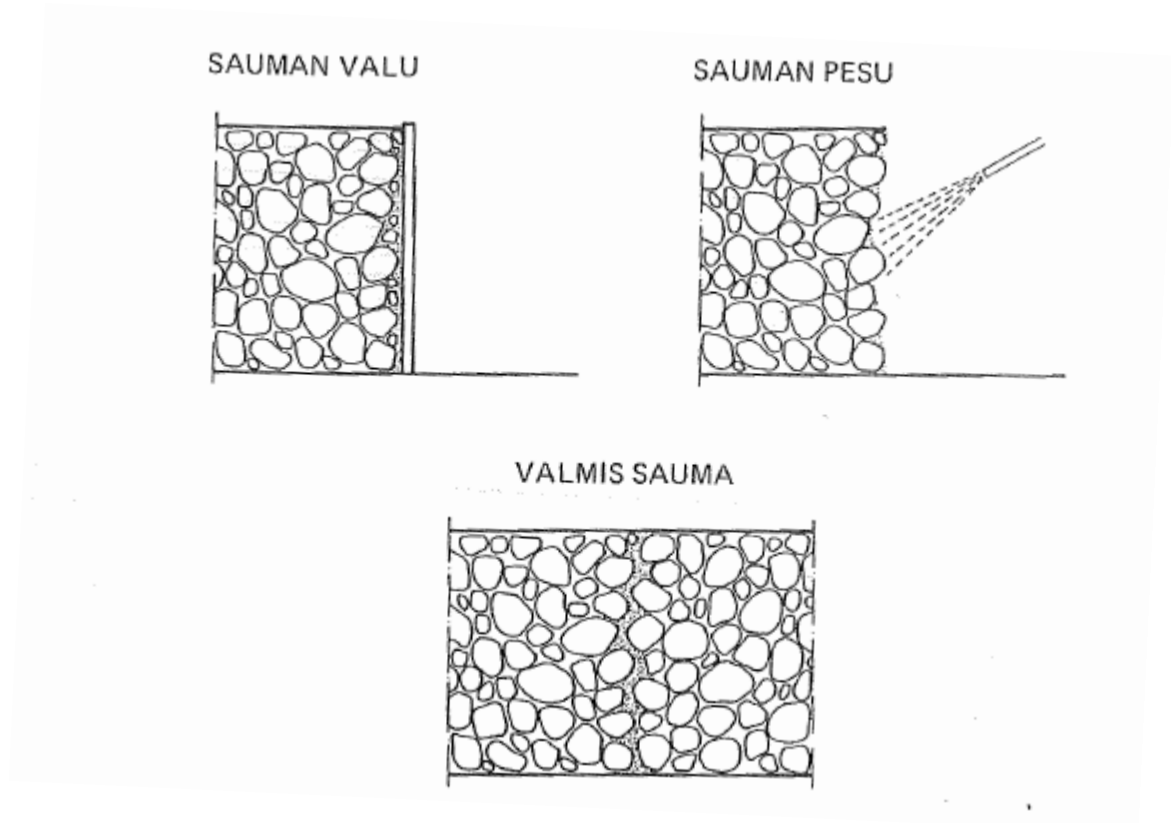
- Valitaan notkea, mielellään nesteytetty massa, jossa hienoainespitoisuus on riittävä.
- Betoni valetaan ohuina ja tasaisina kerroksina.

- Tehdään erittäin huolellinen tiivistys.
- Ei käytetä muottitärytintä, eikä tärytetä sauvatäryttimellä muottipintaa, koska värähtelevä muottipinta imee huokosia muottia kohti.
- Tärytetään riittävän pitkään.
- Laitetaan sauvatärytin muotin pohjalle ja sauvaa nostetaan valun edistytessä.
- Betoni jälkitärytetään.

5.4.4 Työsaumat ja läpiviennit

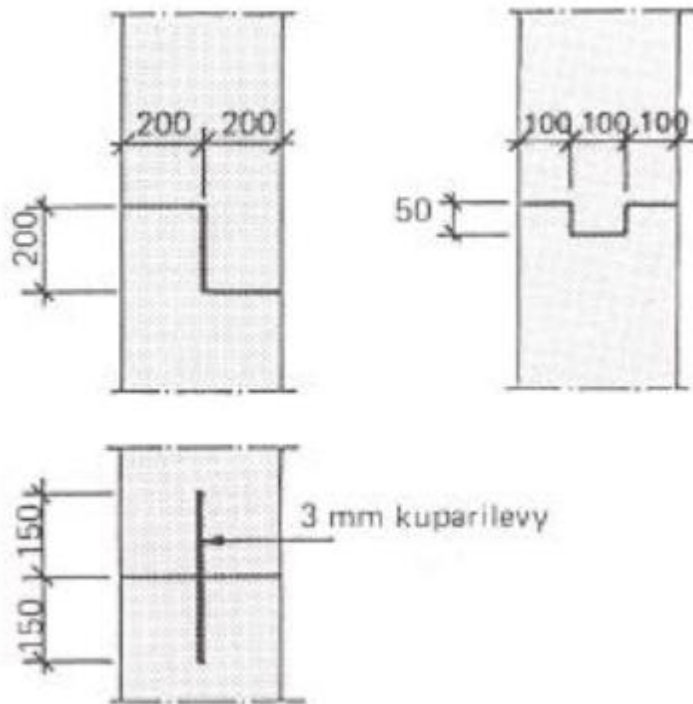
Työsaumoilla betonoitavat rakenteet saadaan jaettua useampaan osaan. Työsauma tehdään, kun betonointi lopetetaan niin, että edellinen valukerros tai –lohko kerkeää jäykistyä ennen uutta valua. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 240.)

Työsauma on aina rakenteen heikoin kohta ja sen kohdalla oleva betoni on aina heikompaa kuin homogeeninen betoni. Vesitiiviissä rakenteissa on aina käytettävä pestyä työsaumaa, ellei käytetä teollisia työsaumatuotteita. Pesty työsauma, joka on esitetty kuvassa 14, on työsaumoista lähimpänä homogeenistä betonia säilyvyydeltään ja lujuusominaisuuksiltaan. Pestyksi saumaksi lasketaan sauma, josta sementtiliimaa on pesty vähintään 2 - 5 mm pinnasta. (Betoninormit BY50, 2012, s. 131–132.)



Kuva 14. Pesty työsauma, joka on suositeltava tapa vaativissa ympäristöolosuhteissa (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 242).

1-luokan rakenteiden työsaumat tulee aina esittää piirustuksissa ja jos betonoinnin aikana joudutaan tekemään työsaumoja, joita ei ole esitetty piirustuksissa, tulisi asiasta neuvotella suunnittelijan kanssa mihin kohtaa tämä voidaan sijoittaa. (Betoninormit BY50, 2012, s. 131.)



Kuva 15. Työsaumojen rakenteita. Tarpeen mukaan parannetaan tartuntatangoilla sauman lujuutta ja raudoituksen toimintaa saumakohdassa tai sauman tiivyyttä vaarnauksella ja tiivisteillä (Betonitekniiikan oppikirja BY201, 2004, s. 241).

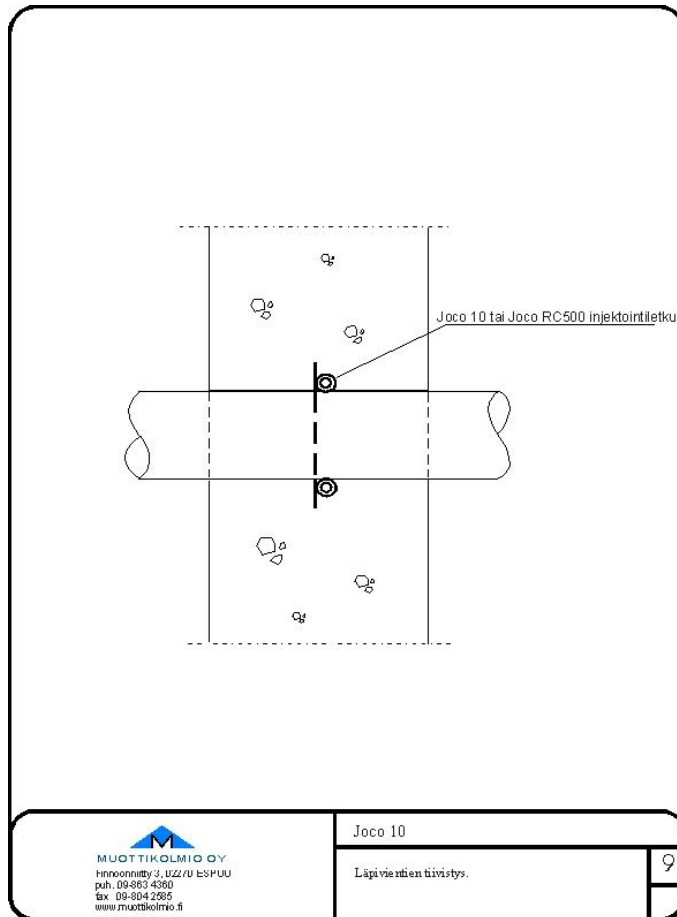
Kuvassa 15 on esitetty yleisimpiä työsaumamuotoja. Levyä käytettäessä työsaumassa vesitiiviissä rakenteessa on levy yleensä ruostumatonta tai haponkestävää terästä. Tämä määräytyy sen mukaan millaiselle rasitukselle rakenne on altis.

Työsauman muodon päättää suunnittelija ja yleensä vesitiiviissä rakenteissa työsaumaan asennetaan injektioletku tai bentoniittinauha. Näitä myös voidaan käyttää yhdessä. Injektioletkulla ja bentoniittinauhalla varmistetaan rakenteen vedenpitävyys saumakohdassa.

Vesitiiviiseen rakenteeseen tehtäessä läpivientejä ovat nämä riski rakenteen tiiveydelle. Siksi tällaisen läpiviennin tekemiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Läpivienti voidaan tehdä, joko ennen valua varauksena tai jälkiasennettuna.

Ennen valua tehtävä varaus voidaan tehdä esimerkiksi muottia käyttämällä ja tämä muotti ympäröidään rakenteen keskeltä injektioletkulla. Tämä voidaan

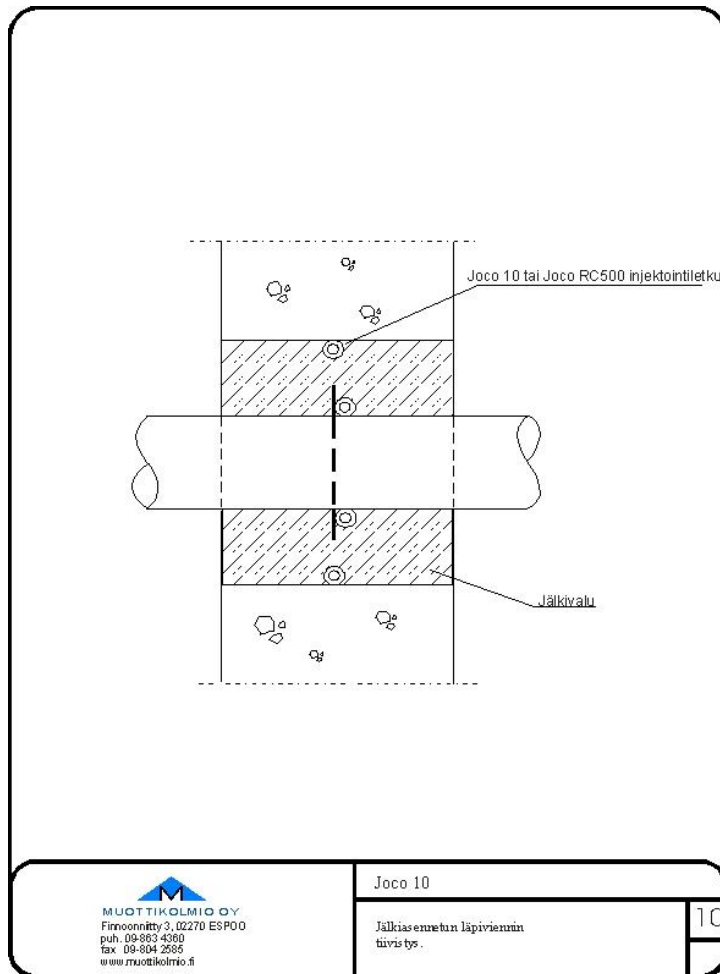
tehdä myös monella muullakin tavalla, joita esimerkiksi suunnittelija on esittänyt tai jonkin toimittajan ohjeiden mukaan, esimerkiksi kaivoissa käytettävillä läpivientilaipoilla saadaan aikaiseksi tiiviitä rakenteita. Kuvassa 16 on esitetty yksi esimerkki läpiviennin tiivistämisestä.



Kuva 16. Läpivienti asennettuna ennen valua (Muottikolmio Oy)

Valun jälkeen tehtävä läpivienti joudutaan timanttiporaamaan tai -sahaamaan hieman oikeaa läpivientä isompana. Tällöin läpivienti voidaan esimerkiksi tiivistää laipalla ja massalla, tai massalla ja injektointiletkulla. Toimittajan ohjeita tulee noudattaa.

Kuvassa 17 on esitetty esimerkki valun jälkeen tehdyn läpiviennin tiivistämisestä. Injektointiletku asennetaan poratun tai sahatun aukon ympärille ja läpiviennin ympärille. Tämän jälkeen rakennetaan muotti, josta injektointiletkut on otettu läpi ja jälkivaletaan aukko vesitiiviillä massalla. Massan kovetuttua injektoidaan injektointiletkut.



Kuva 17. Valun jälkeen tehty läpivienti (Muottikolmio Oy)

Bentoniittinauha ja injektointiletku

Injektointiletku on letku, jota käytetään rakenteiden tiivistämiseen. Injektointiletku täytetään hartsilla betonin sitoutumisen jälkeen. Injektointiletku asennetaan toimittajan ohjeiden mukaan, yleensä kiinnikkeillä ja ruuveilla betoniin. Muottien päihin laitetaan syöttökartio, josta hartsia työnnetään paineella letkuun. Suuren paineen ansiosta letku päästää hartsia läpi sen mikroaukoista ympärille. Näin rakenteen kohta tiivistyy ja huokoset ja halkeamat täyttyvät. Liitteenä 2 on erään toimittajan injektointinauhan asennusohje. Injektointiletku asennetaan aina vedenpaineen puolelle.

Bentoniittinauha on tiivistenauha, joka on bentoniittitäytteinen. Bentoniitti reagoi veden kanssa turpoamalla monikertaiseksi ja näin tiivistää rakennetta. Bentoniittinauha voidaan kiinnittää alustaansa ruuveilla.

5.5 Liikunta- ja kutistumissaumat

Saumat ovat rakenteen laadun kannalta tärkeä toiminnallinen osa, mutta myös heikoin kohta. Virheet saumoissa voi pilata helposti muunkin rakenteen. Rakenteen saumojen suunnittelu ja toteutus vaativat täten huolellisuutta. (Betonilattiat BY40, 2014, s.178.)

Liikuntasauama sallii rakenteen liikkeet, kuten pitenemisen, lyhenemisen ja kiertymisen. Liikuntasaumasta rakenne on kokonaan poikki. Se tehdään aina sinne missä muuallakin rakennuksen rungossa on liikuntasauama. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 413.)

Esivalmistettuja tuotteita käytettäessä liikuntasaumalla on kuormansiirtokykyä sauman toiselle puolelle, pyöräkuormituksen kestoa. Tällaisella saumalla on myös riittävästi aukeamavaraa aukeamissuunnassa ja liikevaraa sauman suuntaisesti. Oikein toteutettuna se vähentää myös käyristymistä. (Betonilattiat BY45, 2014, s.178.)

Saumaan tulevat rakenteet asennetaan, siten että ne ovat oikeassa korossa ja eivät pääse liikkumaan betonoinnin aikana. Betoni tulee tiivistää huolellisesti sauman ympäriltä ja tulee varmistua siitä, että betonia on tunkeutunut tartuntojen ympärille. Näin varmistetaan, että saumalla on kuormansiirtokykyä ja rakenne toimii. (Betonilattiat BY45, 2014, s.178.)

Vesitiiviissä rakenteissa liikuntasauamat tehdään valmistuotteita käyttäen. Näihin saumoihin löytyy tuotteita, joissa veden siirtyminen rakenteeseen estetään kumilla.

Kutistumasaumat tehdään sahaamalla tai valuvaiheessa muotteja käyttäen. Laajoissa valuissa suurin osa saumoista tehdään sahaamalla. Sahaussamoissa oikea-aikainen sahaus on erittäin tärkeää. Liian aikainen sahaus voi vaurioittaa sauman reunaa ja liian myöhäinen lisää halkeamien hallitsemattoman muodostumisen riskiä. Sahauksen ajankohta riippuu betonin laadusta, sementtityypistä ja kovettumisolosuhteista. Lämpötilan ollessa +18...20 astetta voidaan saumat sahata yleensä seuraavana päivänä valusta. Sahausajankohta vaihtelee kumminkin 8...36 tuntiin valusta. Varhaisjäkihoidolla hallitaan betonin kutistumaa ja

halkeilua ennen sahausta. Sahaussyvyytenä voidaan pitää 30...35 % laatan paksuudesta. Sahausten ollessa matalampi saattaa saumojen välille syntyä halkeamia. (Betonilattiat BY45, 2014, s.178.)

Sahausaumojen ollessa 8...9 metriä tai enemmän toisistaan saumat voivat avautua niin paljon, että se ei enää pysty siirtämään kuormia. Tällöin suunnitelmien mukaisesti sahauskohtiin on sijoitettava tappivaarnat. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 413.)

Kutistumissauma tehdään valuvaiheessa pusku- tai ponttisaumalla. Pusksaumat varustetaan vaarnaraidoiteilla, jotka sijoitetaan laatan keskelle. Ponttisauman pontti toimii kuormia siirtävänä rakenteena. Ponttisauma sallii laattojen liikkumisen toisistaan pois päin ja sauman suuntaisesti. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 413.)

5.6 Itsetiivistyvän betonin käyttö

Itsetiivistyvän betonin käytöstä ei ole kovin paljon kokemusta Suomessa tällä hetkellä. Sitä tulisi kuitenkin käsitellä kuin normaalia hyvin nesteytettyä betonia ja sillä on muutama ominaisuus, jotka tulee ottaa huomioon sitä käytettäessä.

5.6.1 Yleistä

Työmaalla tulee tehdä kuten normaalillakin vesitiiviillä massalla tarvittavat suunnitelmat ja tarkastukset ennen valamista. (Eurooppalainen ohje itsetiivistävästä betonista, 2005, s.28.)

Olisi hyvä tehdä jokaisesta kuormasta painuma-leviämäkoe, kunnes voidaan todeta, että laatu on tasaista. Liitteessä 4 on ohjeet painuma-leviämäkokeen suorittamiseen. Tämän jälkeen riittää, että pätevä henkilö tarkastaa jokaisen kuorman silmämääräisesti. (Eurooppalainen ohje itsetiivistävästä betonista, 2005, s.28.)

Massan säätämistä työmaalla ei suositella, koska betonitehtaan tulisi pystyä toimittamaan työkohteeseen vaadittavaa massaa. Kuitenkin, jos massalle halutaan kohteessa ominaisuuksia, jotka voidaan vasta työmaalla todeta, testausten kautta, tulee laatia vähäistä betonin säätöä koskeva menettelyohje, jota valvo-

taan. Massan säädön tulisi tarkistaa ja arvioida valmistajan asiantuntija, jolla on kokemus asiasta. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.28.)

Itsetiivistyvän betonin valamisessa on ehdottoman tärkeää, että valua suorittava henkilökunta on koulutettu tai vähintään perehdytetty tämän tyyppiseen valuun ja sen erityisvaatimuksiin. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.28.)

Erytisesti tulisi ottaa huomioon seuraavat asiat (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.28.):

- tärytyksen vaikutus seoksen stabiilisuuteen
- valunopeus
- valun aikaisten katkosten tai keskeytysten vaikutus
- toimenpiteet, joihin tulee ryhtyä, jos esiintyy katkos tai keskeytys
- kiillautumista, erottumista tai ilman purkautumista koskevat havainnot
- pumppaamalla, valusuppilon tai betonikourun avulla suoritettavaa valua koskevat vaatimukset, mukaan lukien laitteiden sijoittaminen, jotta virtaus saadaan aikaan
- yläpintojen viimeistely ja jälkihoito.

5.6.2 Työsuoritus

Valvonta kokeet tulisi tehdä ennen massan purkamista autosta. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.32.)

Betonoinnin alussa betonikuorman tullessa työmaalle tulisi ensimmäisenä tehdä työmaalla painuma-leviämäkoe massalle. Näin päästään varmuuteen, että betonimassa on oikeanlaista. Ennen näytteen ottoa tulisi massaa pyörittää autosekoittimessa minuutin ajan suurella nopeudella, jotta massa olisi mahdollisimman tasalaatuista. Massan ollessa oikeanlaista voidaan betonointi aloittaa. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.27.)

Itsetiivistyvän betonin erittäin hyvä juoksevuus yhdistettynä koossapysyvyyteen auttaa kiviaineita jakautumaan tasaisesti betonimassan eivätkä pääse erottumaan. Tämä tasapaino kuitenkin häiriintyy, jos käytetään tärytintä sen tiivistämisen. Tämän takia ulkoista tiivistämistä ei tulisi tehdä kuin erikoistapauksissa,

joita ovat seuraavat (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.32, 35.):

- joidenkin rakenteiden muoto voi aiheuttaa sen, että joihinkin kohtiin jää ilmaa. Se voidaan poistaa koputtelemalla paikallisesti tai pelkästään sullomalla tangolla kyseistä kohtaa.
- laatat, erityisesti alemman painuma-leviämäluokan laatat, saattavat vaatia kevyttä sullomista tai hyvin kevyttä tärytystä, jossa saadaan aikaan tasainen pinta, jossa ei ole esiin työntyviä karkeita kiviaineksia.
- valussa tapahtuneen katkoksen jälkeen, jos avoin pinta on kuortunut tai jäykistynyt niin paljon, että saattaisi syntyä valusauma tai pintavika.

Betonoinnin aikana tulisi tarkkailla säännöllisesti, että karkea kiviaines pysyy pinnassa tai hyvin lähellä sitä, eikä lähde erottumaan, betoni ympäröi raudoituksen muodostamatta tyhjätiloja, poistuvien ilmakuplien koot eivät ole suuria ja muotissa ei ole vuotamisen merkkejä. Ensimmäisen valun jälkeen massan valmistajan ja määrittäjän tulisi katsoa valun laatu yhdessä ja tämän mukaan tehdä säätöjä massaan, jos on tarvetta. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.32.)

Erittäin hyvä pintalaatu on itsetiivistyvälle betonille erityisominaisuus, jota ei kuitenkaan saada aikaiseksi pelkästään käyttämällä hyvin suhteutettua ja hyvän laatuista betonia. Erityisiä ohjeita ei laadun varmistamiseksi ole, mutta muotin pinnan tulee olla virheetön ja valutyön ja pintakäsittelyn hyvin korkealaatuisia. Jokainen pienikin yksittäinen vaihe on tärkeä laadun saavuttamiseksi. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.32.)

Valumatkan ollessa kohtuullinen pääsee massassa oleva ylimääräinen ilma poistumaan jo valumatkalla. Kuitenkin, jos valumatka on yli 10 metriä, dynaamisen erottumisen riski kasvaa. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.32.)

Pystysuuntaista valun nousunopeutta tulisi rajoittaa samalla tavalla kuin normaalissa vesitiiviissä betonoinnissa. Tällöin massassa oleva ilma pääsee poistumaan eikä synny ilmahuokosia. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.32.)

Valu tulisi pitää jatkuvana ja näin valuma on tasainen ja vähentää pinnan jälkiä ja väri vaihteluja. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.32.)

Erityisesti massoilla, joilla on pieni juoksevuus, tulisi sekoittaa työmaalla ennen valua. Tällöin massa juoksettuu uudelleen ja ei jää geelimäiseksi. Tästä geelimäisyydestä voi olla hyötyä valaessa, jolloin massa jähmettyy nopeammin ja muottien vuoto ja paine vähenee. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.33.)

Vaikka itsetiivistävä betoni on huomattavasti koossapysyvempää ja sen kiviaines ei erotu niin helposti kuin tavallisen vesitiiviin betonin, tulisi sen pudotuskorkeutta rajoittaa samalla tavalla kuin tavallisen vesitiiviin betonin. Näin varmistetaan siitä, että kiviaines ei varmasti erotu pudotuskorkeuden takia. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.33.)

Pumppaamalla itsetiivistävä betoni muotin pohjassa olevan venttiilin, mansetin, kautta saadaan aikaiseksi sileä ja puhdas betonipinta. Tämä on hyvä tapa varsinkin kun käytetään järjestelmämuotteja. Tällöin muottiin joutuu vähemmän ilmaa ja valu nopeutta voidaan kasvattaa verrattuna yläkautta valettaessa. Pumppauslinjan tulee olla kokoajan täyttä betonia, jotta alapäähän ei pääse ilmaa. Jos pumppauslinjaan pääsee ilmaa, ei ilma pääse poistumaan muotin pohjalta ja jättää suuren huokosen tai aukon rakenteeseen. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.33.)

Alakautta valun lopetettua venttiili suljetaan ja lukitaan. Muotin raoista pursuava betoni voidaan poistaa, kun muotti on poistettu. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.33.)

Valettaessa yläkautta massaan pääsee huomattavasti helpommin ilmaa kuin alakautta valettaessa. Ilman pääsemistä massaan voidaan kuitenkin rajoittaa käyttämällä massaan upotettavaa putkea. Betonointi aloitetaan muotin alimmas- ta kohdasta, paikasta, jossa päästään mahdollisimman lähelle muotin pohjaa. Betonipinnan noustua tarpeeksi korkeaksi, ruvetaan letkua siirtämään kokoajan betonipinnan alapuolella. Tämä estää ilman pääsemisen putkeen ja massaan. Massan nousemista muotissa tulisi valvoa, että se on jatkuvaa ja tasaista. (Eurooppalainen ohje itsetiivistyvistä betonista, 2005, s.34.)

5.7 Jälkihoito

Jälkihoidon tarkoitus on suojata betoni liian nopealta kuivumiselta sen sitoutumisen alkuvaiheessa. Jälkihoidolla on suuri merkitys rakenteen laatuvaatimusten täyttymiselle. Muuten hyvin suoritettu betonointi voidaan pilata puutteellisella jälkihoidolla. (Betonilattiat BY45, 2014, s. 166–167.)

Varhaisjälkihoito on tarpeen erityisesti tuulisilla, lämpimillä ja avarilla alueilla. Betonipinnan liian nopea kuivuminen johtaa sen voimakkaaseen plastiseen kutistumiseen, joka voi olla jopa kymmenenkertainen kuivumiskutistumiseen verrattuna. Jälkihoidon merkitys korostuu erityisesti, kun (Betonilattiat BY45, 2014, s. 166,168.)

- tuore valupinta on jo luonnostaan kuivahkoa
- täytetään lämmintä massaa
- ilman suhteellinen kosteus on alhainen (lämmitys on kuivaava tekijä)
- tuuletus tehostaa kuivumista, jo pienikin ilmavirtaus on vaikuttava tekijä
- massa sitoutuu hitaasti.

Valettavan alueen ollessa hyvin laaja ja muovien tai mattojen käyttö on hankalaa tai jopa mahdotonta, on jälkihoitoaineen käyttö suositeltavaa. Jälkihoitoaineen toimittajan ohjeita on noudatettava sitä käytettäessä. (Betonilattiat BY45, 2014, s. 169.)

Jälkihoitoa jatketaan kunnes betoni on saavuttanut vähintään 70 % nimellisuudestaan (Söderlund, 2004.).

5.7.1 Halkeilu

Halkeamat heikentävät aina betonin ja rakenteen laatua, mutta kaikki halkeamat eivät ole kuitenkaan haitallisia. Silminnähtävät halkeamat eivät ole rakenteellisia halkeamia, eli niiden leveys ei muutu kuormituksen muuttuessa. Tällaiset halkeamat voivat johtua betonin tilavuuden muutoksista, pakkovoimista ja kovettumattomassa betonissa tapahtuvista muutoksista. Taulukossa 10 on esitetty yleisimpiä halkeilun aiheuttajia ja niiden ajankohdat valuhetkestä. (Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus BY210, 2008, s. 350.)

Halkeilun aiheuttaja	Pääsyy	Toissijainen syy	Esiintymisajan kohta
Plastinen painuma	Veden erottuminen	Nopea kuivuminen, liian myöhään aloitettu jälkihoito	0,5...4 h, kun T= 20...30 °C, 4...8 h, kun T=7...20°C
Plastinen kutistuma	Pinnan nopea kuivuminen Lisäksi raudoitus yläpinnassa	Hidas haituvan veden korvautuminen (tiivis massa), liian myöhään aloitettu jälkihoito	0,5...4 h, kun T= 20...30 °C, 4...8 h, kun T=7...20°C
Hydrataatiolämpö tai lämmitys	Rakennusosien välinen Rakennusosan sisäinen lämpötilaero	Rakenteen liian nopea jäähtyminen	1...3 d
Kuivumiskutistuma	Iso v/s, huono jälkihoito, väärin suunniteltu rakenne (kutistumisliikkeet estetty)	Huono tartunta työsaumassa	Viikko...useita kuukausia
Pintahalkeilu	Huono muotti Huono tai liian aikainen pinnan hierto	Suuri sementti- ja vesimäärä, huono jälkihoito	Yleensä 1...7 d, joskus myöhemmin
Pakkasrapautuminen	Vesi, jäätyminen ja sulaminen	Liian vähän suojahuokosia, betoni veden kyllästämä	Ensimmäiset talvet...useita vuosia
Raudoituksen ruostuminen	Liian pieni betonipeite Kloridit	Liian huokoinen betoni	Useita vuosia

Taulukko 10. Halkeamatyypit (Betonitekniiikan oppikirja BY201, 2004, s. 93.)

Liian myöhäinen jälkihoidon aloittaminen aiheuttaa plastista painumaa ja kutistumaa. Plastinen painuma johtuu maan vetovoimasta, jolloin betonimassassa kiviaineet ja sementti painuvat alaspäin ja vesi erottuu pintaan. Halkeamat syntyvät siinä vaiheessa, kun tämä tapahtuma estyy esimerkiksi raudoituksen johdosta. Veden määrän ja sementin sitoutumisajan kasvaessa halkeamariski kas-

vaa. Plastisen painuman aiheuttamat halkeilut usein sulkeutuvat syvemmällä rakenteessa.

Plastisen kutistuman aiheuttaa betonin pinnassa olevan veden liian nopea haihtuminen ja liian hidas korvautuminen. Plastisen kutistuman merkitys on suuri varsinkin laajoissa valuissa esimerkiksi hallien lattiat. Riskit kasvavat myös tuulisilla ja lämpimillä, tuulisilla ja kylmillä keleillä. Plastisesta kutistumasta aiheutuvat halkeamat usein hierretään piiloon ja ne tulevat esille vasta vuosin päästä. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 72–73; Betonin kutistuma ja sen huomioiminen, Rudus.)

Hydrataatiolämmöstä johtuvaa halkeilua syntyy, kun rakenteen sisä- ja ulkolämpötilaerot kasvavat liian suureksi. Tätä ero kutsutaan sisäiseksi lämpötilaeroksi. Tämä ero ei saa kasvaa eri osien välillä yli 20 °C. Sisäinen lämpötilaero on ongelma varsinkin massiivisissa rakenteissa. Halkeamat voivat olla syvyydeltään muutamasta millimetristä muutamaan senttimetriin. Pinnaltaan ne ovat verkkomaisia. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 73.)

Kuivumiskutistumaa ei voida estää, mutta sitä voidaan rajoittaa betonin kiviainemäärä lisäämällä ja vettä vähentämällä. Kiviaines vastustaa betonin kutistumaa ja näin vähentää halkeilua. Vesitiiviissä betonissa kuivumiskutistuma on minimaalinen, koska siinä käytettävä vedenmäärä on vähäinen. Halkeilua syntyy, kun kuivumiskutistuma estetään. Kuivumiskutistuman aiheuttamat halkeamat ovat läpirakenteen meneviä ja näin haitallisempia rakenteelle kuin plastisesta kutistumasta johtuvat halkeamat. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 95; Betonin kutistuma ja sen huomioiminen, Rudus; Söderlund, 2004.)

Pakkovoimien aiheuttamat halkeamat ulottuvat rakenteen läpi. Tämän tyyppistä halkeilua syntyy, kun rakenne on staattisesti määräämätön. Halkeiluriski kasvaa rakenteen jäykkyyden kasvaessa. Erityisesti seinän valaminen laatan päälle on erittäin herkkä pakkovoimien aiheuttamalle halkeilulle. Laatta vastustaa seinän kutistumista ja sen sisälle syntyy pakkovoimia, jolloin betonin vetolujuus ylittyy ja syntyy halkeama. (Söderlund, 2004.)

Halkeaminen itsetiivistyminen

Halkeamien itsetiivistymisellä tarkoitetaan ilmiötä, jossa halkeamaan kulkeutuu sitä sulkevia aineita. Tämä ilmiö tapahtuu, jos seuraavat ehdot ovat voimassa (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 95.):

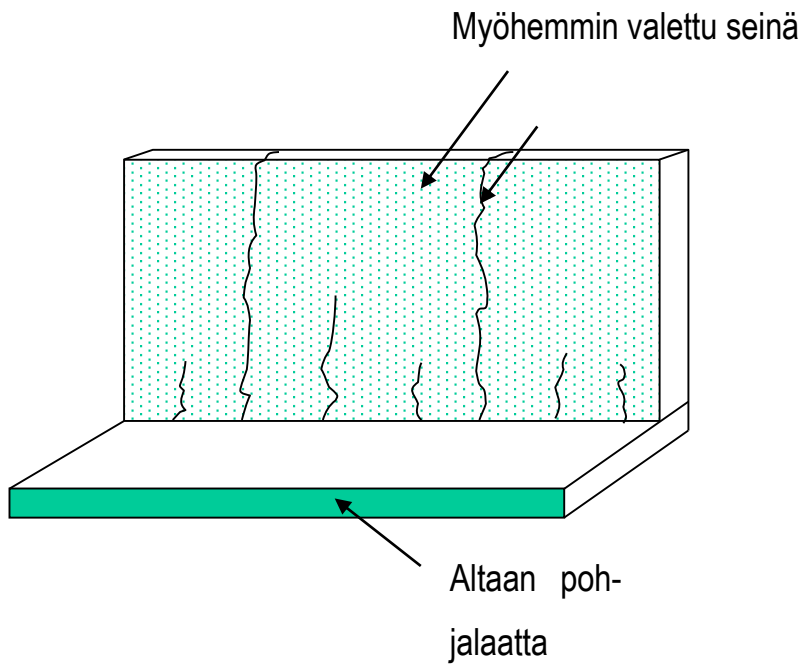
- betonissa on hydratoitumatonta portlandsementtiä (ja kalkkia) ja vettä
- halkeaman leveys ei vaihtelee ajan kuluessa
- läpivirtaava vesi ei ole kemiallisesti syövyttävää (hapanta)
- läpivirtaus ei ole niin voimakasta että tiivistymistuotteet huuhtoutuvat pois
- vesi voi haihtua betonin pinnalta.

Useimmat vedenpaineelle alttiit rakenteet täyttävät nämä vaatimukset, kun halkeama on rakenteen läpi asti. Tämän ilmiön varaan ei kuitenkaan halkeamien rajoittamista voida jättää. (Söderlund, 2004.)

5.7.2 Halkeilun ehkäiseminen

Vaikka rakennetta tehtäessä käytetään vesitiivistä betonia, voi rakenne silti olla vettäläpäisevä, jos se on haljenneessa tilassa. Halkeamat huonontavat rakenteen vedenpitävyyttä varsinkin, jos ne menevät rakenteen läpi. Riittävällä raudoituksella voidaan vähentää betonin halkeilua ja halkeamaleveyttä. Betonin kovettumisessa syntyvää lämpötilan nousua rajoittamalla voidaan myös pienentää halkeilua. Kovettumislämpötilan noustessa betoni jäykistyy ja tämän lämpötilan laskiessa rakenteeseen syntyy sisäistä vetojännitystä, joka lisää halkeilua. (Söderlund, 2004.)

Seinät ovat erityisen herkkiä halkeilulle, kun ne valetaan laattaan kiinni. Halkeilu riskiä voidaan vähentää jälkihoitamalla laattaa aina seinien valuun asti. Jälkihoitoa jatketaan aina viimeisen rakenteen saavutettua 70 % nimellislujuudestaan. Näin kaikki rakenteet kutistuvat samanaikaisesti ja halkeilu riski pienenee. Kuvassa 18 on esitetty seinän halkeamat, jotka johtuvat seinän kutistumisen estävästä laatasta. (Söderlund, 2004.)



Kuva 18. Seinän halkeilu aikaisemmin valetun laatan päällä (Söderlund, 2004.)

Halkeilua voidaan vähentää seuraavin keinoin (Söderlund, 2004.):

- alentamalla hydrataatiolämpöä esimerkiksi alhaislämpösementtiä käyttäen
- lämmittämällä liittyvää rakennetta hydrataatiolämmön nousua vastaavasti
- pienentämällä muodonmuutosten estämistä, esimerkiksi laakeroimalla kalliolla seisova pohjajalaatta sorakerroksella
- esijännityksellä.

5.7.3 Halkeamien sulkeminen

Kuitenkin, jos rakenteisiin edellä mainittujen toimenpiteiden jälkeenkin syntyy halkeamia, jotka heikentävät rakenteen vedenpitävyyttä, on ryhdyttävä korjaustoimenpiteisiin. Näitä korjaustoimenpiteitä ovat halkeamien imeyttäminen, injektointi ja sulkeminen. Työhön voidaan käyttää erivalmistajilta saatavia aineita, kuten epoksia ja polyuretaania. Käytettävän aineen tuotekohtaisia ohjeita noudattamalla päästään parhaaseen lopputulokseen. Työn suorittajan tulee olla ammattilainen ja perehtynyt työhön.

6 Laadunvarmistaminen

Betonirakenteita tehtäessä laadunvalvonta kohdistuu betoniin ja rakenteeseen. Betonin laadunvalvontaan kuuluu osa-aineiden, betonin ja valmistuksen aikaiset kokeet. Betonitehdas teettää oman laadunvalvontajärjestelmänsä mukaan osa-aineiden, betonin ja valmistuksen aikaiset kokeet. Toimitetuista betoneista olisi hyvä pyytää toimittamaan nämä laatukokeiden tulokset.

Rakenteiden laadunvalvontaan kuuluu kaikkien siihen kuuluvien osien laadunvalvonta muoteista injektointiletkuihin.

Betoniterästen toimittajalla tulee olla voimassa oleva sertifikaatti betoniterästen laadusta. Jokaisessa toimitettavassa nipussa tulee olla SFS- merkintä, jolloin voidaan varmentua siitä, että betoniteräs on laadultaan kelpaavaa. Betoniterästen tulee olla suunnitelma-asiakirjojen mukaisia. (Betoninormit BY50, 2012, s.166.)

Tarkastamalla jokainen työvaihe varmistutaan siitä, että jokainen työ on suoritettu suunnitelmien mukaisesti. Näin voidaan turvallisesti jatkaa seuraavaan työvaiheeseen palaamatta korjailemaan aikaisempia virheitä.

Ennen betonoinnin aloittamista on varmistuttava siitä, että muotitus- ja raudoitus- ja työsaumalaitteet, -pellit, injektointiletkut ja bentoniittinauhat ovat tehty ja asennettu suunnitelmien ja laatuvaatimusten mukaisesti. Tekemällä muotitus- ja raudoitustarkastus ja näistä pöytäkirjat voidaan tämä varmistaa.

Muotitustarkastuksessa tulee ottaa huomioon (Betonitekniiikan oppikirja BY201, 2004,s. 239.)

- piirustusten mukaisuus, oikein tehty
- oikea sijainti ja mitat
- puhtaus ja kastelu sekä öljyty
- työ- ja liikuntaaumat
- varaukset, varustelut ja valuaukot
- työ- ja suojatelineiden puhtaat, tukevat ja turvalliset
- tarkastaja ja ajankohta.

Raudoitustarkastuksessa tulee ottaa huomioon seuraavat asiat (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004,s. 284):

- Laatu
 - o piirustusten mukaiset teräslaadut
 - o tankojen pintaviat, ruosteisuus
 - o tartuntaa huonontavat aineet tankojen pinnalla: jää, rasva, kovettunut betoni, lika
- Raudoituksen määrän tarkastus
 - o oikeat läpimitat
 - o oikeat lukumäärät
 - o oikeat jakovälit
- Raudoituksen sijainnin tarkastus
 - o piirustusten mukaiset asemat
 - o tankojen riittävät keskinäiset etäisyydet
 - o oikea betonipeitteen paksuus
- Raudoituksen mittojen tarkastus
 - o riittävän suuren taivutussäteet
 - o riittävät jatkospituudet
 - o riittävät ankkurointipituudet
- Tuennan ja sidonnan tarkastus
 - o riittävän tiuha tukeminen välikkein ja asennustangoin
 - o riittävän tukevat asennustangot
 - o riittävän tiheä ja luja sidonta

Valmiista betonipinnasta tehdään tarkastuspöytäkirja, jossa huomioidaan

- nystermät
- syvennykset
- hammastus
- valupurseet tai valuhaavat
- pinnan huokokset
- valuviat
- pinnan käyryys ja aaltoilu
- väri vaihtelu

- halkeamat.

Tämän jälkeen voidaan päättää, tehdäänkö korjaustoimenpiteitä halkeamien sulkemiseksi ja pinnan korjaamiseksi.

Betonoinnin aikana tulisi valvoa betonimassan notkeutta ja muita vaadittavia ominaisuuksia. Betonin lujuuden kehitystä seurataan betonin lämmönkehittymisellä ja siihen tarkoitettulla ohjelmalla. Näin voidaan määritellä jäätymislujuus ja muottien purkulujuus.

Mahdollisten injektointiletkujen injektoinneista on hyvä tehdä injektointipöytäkirjat, joista voidaan tarkastaa kuinka paljon injektointiainetta on mennyt rakenteeseen ja millä paineella. Tällöin, jos johonkin rakenteeseen on mennyt huomattavan paljon ainetta, voidaan päätellä, onko injektointi onnistunut ollenkaan.

7 Päätelmät

Rakentamisen laatu lähtee aina liikkeelle suunnittelupöydältä. Kuitenkaan suunnitelmien hyvällä laadulla ei voida taata rakenteiden laatua, jos työmaalla ei ymmärretä, mitä ollaan tekemässä. Kuten kaiken rakentamisen niin myös vesitiiviiden rakenteiden laatu tulee suunnittelijoiden ja työmaan henkilöstön osaamisesta. Työmaalla työnjohtajien ja työntekijöiden asenteet ja työmoraalin tulee olla kohdallaan, jotta rakenteista saadaan laadukkaita.

Suunnittelijat ja määräykset asettavat rakenteille laatuvaatimuksia. Ilman näiden laatuvaatimusten täyttymistä rakenne ei ole hyväksyttävissä. Vesitiiveys kuitenkin lisää näitä vaatimuksia betonin ja halkeilun suhteen. Halkeilun hallinta onkin vesitiiviissä rakenteessa todella tärkeää. Jo pienelläkin halkeamalla rakenne voi menettää vesitiiveyden, jos halkeama on rakenteen läpi menevä.

Rasitusluokat betonimassalle ja betonipeitepaksuuden valitsee suunnittelija parhaan kestävyuden saavuttamiseksi. Rasitusluokalla ja betonipeitepaksuudella saadaan rakenteelle kestävyttä kyseisissä olosuhteissa koko sen elinkaaren ajan.

Vesitiiviissä betonirakenteissa betonointisuunnitelman ja muiden työhön kuuluvien töiden suunnitelmat laatii työmaan työnjohto. Suunnitelmilla saadaan selville työn ongelmakohdat ja voidaan ratkaista ne ennen työn aloittamista. Tällä voidaan vaikuttaa aikatauluun ja kustannuksiin työmaalla ja tietenkin laatuun. Jo betonointisuunnitelmassa olisi hyvä ottaa kantaa, kuinka ehkäistään halkeamien syntymistä.

Jokaiseen valukohteeseen valittaessa massan ominaisuuksia on hyvä olla yhteydessä betonitoimittajaan. Tällöin saadaan varmuutta massan oikeanlaisuudelle ja sopivuutta kohteelle. Betonitoimittaja tuntee betonin ja työnjohtaja työmaan parhaiten.

Koska vesitiiviissä betonimassassa joudutaan käyttämään notkistimia, on työmaalla ymmärrettävä, että se voi aiheuttaa massan erottumista. Kaikkien lisäainesten käyttöön kuuluu riskejä ja ne on ymmärrettävä ennen kuin voidaan niitä käyttää. Jotkut lisäaineet eivät toimi yhdessä ja voivat jopa kumota toistensa vaikutukset.

Valun nousunopeutta rajoittamalla ja huolellisella tiivistämisellä saadaan massasta varmasti kaikki ilmahuokokset poistumaan pinnan kautta. Näin rakenteeseen ei jää yhtenäistä huokosrakennetta, jossa vesi pääsisi kulkemaan. Jokainen valukerros tulee tiivistää yhtenäiseksi, jotta ei jäisi saumoja ja näin vedelle kulkureittiä kerrosten väliin.

Suunnittelijan suunnittelemat työ- ja liikuntasaumot tulee tehdä suunnitelmien mukaisina ja puhdistaa kaikesta liasta ennen uuden valun alkua. Näin varmistetaan, ettei rakenteen heikoin kohta varmasti vuoda työvirheen vuoksi.

Koska betonointi on usein jaettava osiin, työsaumoja, joita ei ole suunniteltu, tulee tehdä pestynä saumana tai vesitiiviillä saumalaitteella. Saumojen sijoittamisesta kannattaa keskustella suunnittelijan kanssa. Vaikkakin pesty sauma on hyvin lähellä homogeenistä rakennetta, on se silti jonkin verran heikompi. Tällöin sillä ei ole niin suurta kuormankestoa kuin homogeenisella rakenteella.

Jälkihoito on tärkein asia vesitiiviitä rakenteita rakennettaessa valun nousunopeuden ja huolellisen tiivistämisen lisäksi. Jälkihoidolla saadaan betonin luon-

tainen halkeilu pienennettyä tai jopa poistettua. Jälkihoitoa on hyvä jatkaa mieluummin pidempään kuin liian vähän aikaa. Huolimattomalla jälkihoidolla ei ole kuin rakenteen tiiveyttä huonontavia vaikutuksia, ja tämä vain pidentää aikataulua ja lisää kustannuksia.

Kuvat

Kuva 1. Keskimääräiset sulfaattipitoisuudet Suomessa (Betoninormit BY50, 2012, s.92) s. 16.

Kuva 2. Muottipaineen jakautuminen (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 232) s. 27

Kuva 3. Vesitiiveyslaippa ja harvakierretanko. s. 28

Kuva 4. Laattojen raudoituksen tukeminen (Betoninormit BY50, 2012, s.120). s. 30

Kuva 5. Seinien raudoituksen tukeminen (Betoninormit BY50, 2012, s. 120). s. 30

Kuva 6. Tankojen hitsattuja jatkoksia. (Betoninormit BY50, 2012, s.122). s. 32

Kuva 7. Massa on suunnattava rintausta vasten (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 318). s. 33

Kuva 8. Massa on pudotettava pystysuoraan (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s.318). s. 34

Kuva 9. Rasitusluokissa XC2..4; XS; XD; XF ja XA olevan seinämäisen rakenteen betonointiohjeita (Betoninormit BY50, 2012, s. 127). s. 35

Kuva 10. Tärytys ulotetaan noin 150 mm edelliseen valukerrokseen (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 322). s. 36

Kuva 11. Massa annostellaan sopivin välein, tärytin on pystyssä (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 322). s. 36

Kuva 12. Tärysauvan pistojen etäisyydet ja syvyys (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 324). s. 37

Kuva 13. Pystysuorien rakenteiden valussa käytetään valusuppilaa tai -sukkaa (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 319). s. 39

Kuva 14. Pesty työsauma, joka on suositeltava tapa vaativissa ympäristöolosuhteissa (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 242). s. 41

Kuva 15. Työsaumojen rakenteita. Tarpeen mukaan parannetaan tartuntatangoilla sauman lujuutta ja raudoituksen toimintaa saumakohdassa tai sauman tiiviyttä vaarnauksella ja tiivisteillä (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 241). s. 42

Kuva 16. Läpivienti asennettuna ennen valua. (www.muottikolmio.fi). s.43

Kuva 17. Valun jälkeen tehty läpivienti. (www.muottikolmio.fi). s. 44

Kuva 18. Seinän halkeilu aikaisemmin valetun laatan päällä. (Betoniset säiliökenteet, Klaus Söderlund, 2004.) s. 54

Taulukot

Taulukko 1. Muottien rakennustoleranssit, (InfraRYL, 41111). s. 8

Taulukko 11. Paikallavalettujen pintojen laatuvaatimukset, (Betonirakenteiden pinnat BY40, 2003, s. 31). s. 9

Taulukko 12. Suurimmat sallitut poikkeamat suoruudesta, (Betonilattiat BY45, 2014, s.18). s. 11

Taulukko 13. 3 kk vanhan lattian kulutuskestävyysvaatimukset VTT:n teräspöyräkokeessa, ja työmenetelmiä vaatimusten täyttämiseksi, (Betonilattiat BY45, 2014, s. 19). s. 12

Taulukko 14. Suositeltava suurin sallittu halkeamaleveys maanvaraisissa lattioissa ja pintalattioissa, (Betonilattiat BY45, 2014, s. 24). s. 12

Taulukko 15. Rasitusluokkien laatuvaatimukset, (InfraRYL, 41113;T1). s. 14

Taulukko 16. Notkeusluokitus, (Betoninormit BY50, 2012, s. 106). s. 18

Taulukko 17. Painuma-leviämäluokat ja käyttökohteet. s. 21

Taulukko 18. Esimerkkejä ominaisuuksista ja käyttökohteista (Eurooppalainen ohje itsestivistävästä betonista, Toukokuu 2005, s. 14). s. 23

Taulukko 19. Halkeamatyypit, (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, s. 93.). s.51

Lähteet

Eurooppalainen ohje itsetiivistyvästä betonista 2005.

<http://www.betoni.com/Haku?term=itsetiivistyvä>. Luettu 4.3.2015

Betonilattiat BY45 2014. Suomen Betoniyhdistys ry.

Betoninormit BY50 2012. Suomen Betoniyhdistys ry.

Betonirakenteiden pinnat BY40 2003. Suomen Betoniyhdistys ry.

Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus BY210 2008. Suomen Betoniyhdistys ry.

Söderlund Klaus 2004. Betoniset säiliörakenteet.

Betonitekniikan oppikirja BY201 2004. Suomen Betoniyhdistys ry.

InfraRYL osa 3. Rakennustieto Oy, Helsinki.

Muottikolmio Oy. <http://www.muottikolmio.fi/tuotteet/joco.htm>. Luettu 28.3.2015.

Rudus: Betonin kutistuma ja sen huomioiminen.

<http://www.rudus.fi/aineistot/esitteet/betoniesitteet>. Luettu 25.2.2015.

Rudus: Itsetiivistyvä betoni, ITB.

<http://www.rudus.fi/aineistot/esitteet/betoniesitteet>. Luettu 9.1.2014.

Suomen Rakentamismääräyskokoelma A2. Ympäristöministeriö.

<http://www.finlex.fi/data/normit/10970-a2.pdf>. Luettu 9.1.2015.