

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka, Lappeenranta
Rakennustekniikka

Pekka Ruukonen

Vesitiiviin betonin erityispiirteet rakennustyö- maalla

Opinnäytetyö 2013

Tiivistelmä

Pekka Ruukonen

Vesitiiviiden teräsbetonirakenteiden erityispiirteet työmaalla, 47 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka, Lappeenranta

Rakennustekniikka

Rakennustuotannon suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2013

Ohjaajat: lehtori Vesa Inkilä, Saimaan ammattikorkeakoulu, projekti-insinööri
Jasmiina Hietala SRV Rakennus Oy

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua vesitiiviiden teräsbetonirakenteiden aiheuttamiin erityisvaatimuksiin työmaalla. Oikeaoppiset paikallavalutekniikat ovat ensiarvoisen tärkeitä, jotta rakenne säilyttäisi vesitiivytensä koko sen elinkaaren ajan. Tästä syystä opinnäytetyössä käsiteltiin myös tavallisten paikallavalurakenteiden työtekniikoita. Yleispätevää ohjeistusta laadukkaan vesitiiviin rakenteen tekemiseen ei voi luoda, koska kaikki rakenteet ovat ainutlaatuisia, mutta tämän työn tarkoituksena on esitellä betonityönjohtajalle taustalla vaikuttavat ilmiöt ja niiden vaikutukset rakenteen vesitiivyyteen.

Rakennesuunnittelija antaa lähtötiedot vesitiiviille rakenteille, mutta betonityönjohtaja tuntee paikan päällä kohteen parhaiten, joten yhteistyö varsinkin vesitiiviiden valujen osalta edellä mainittujen osapuolten välillä on ensiarvoisen tärkeää. Betonityönjohtajan on tärkeää tuntea ilmiöt betonin käyttäytymisen taustalta, varsinkin halkeilun ja muiden vesitiivyyttä heikentävien ilmiöiden osalta, sillä työmaalla asianmukaisten paikkalavalutekniikoiden laminlyöminen voi aiheuttaa ongelmia rakenteen toiminnan kannalta.

Vesitiiviin teräsbetonirakenteen saavuttamiseen ei ole oikotietä, vaan se alkaa huolellisista ennakkovalmisteluista ja suunnittelusta ja jatkuu betonoinnin valvonnan ja varsinkin jälkihoidon ajan. Oikean betonireseptin määrittämisen lisäksi betonointityönjohtajan tulee kiinnittää erityisesti huomiota betonin tiivistämiseen, nousunopeuteen ja jälkihoitoon.

Asiasanat: vesitiivis betoni, halkeilu, rasitusluokat, jälkihoito

Abstract

Pekka Ruokonen

Special qualities of waterproof concrete on construction sites, 47 Pages

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Civil and Construction Engineering

Specialisation in Building Production

Bachelor's Thesis 2013

Instructors: Vesa Inkilä, Senior Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences, Jasmiina Hietala, Project Engineer, SRV Construction Ltd

The purpose of this thesis was to study the special qualities of waterproof concrete on site. Proper methods for in situ concrete working are important and those methods are similar when working with normal or waterproof concrete structures. It is very important that the structure is waterproof not only during construction, but throughout its life span. This thesis was commissioned by SRV Construction Ltd.

Forming instructions for working with waterproof concrete that apply for every structure is impossible, because all in-situ concrete structures are unique. Therefore it is important that the foreman supervising the pouring of the in situ concrete structure understands the basics on how the concrete sets.

The designer specifies the properties for the waterproof concrete structure, but the foreman is best acquainted with the structure on site. Therefore it is important for the foreman and designer to work together and determine the most adequate recipe for the concrete and also work out any challenges in pouring the concrete. Engineering a waterproof concrete structure begins from careful preparations and planning before the pouring begins. The foreman's role is vital, especially during the pour and also after the pour, when proper curing for the concrete is carried out.

Keywords: waterproof concrete, cracking, stress categories, aftercare

Sisältö

1 Johdanto	5
Yleistä	5
Työn tavoite	5
Työn rajaus	5
Tausta	6
2 Vesitiivis betoni	7
2.1 Määritelmä	7
2.2 Ympäristöolosuhteiden vaikutus betonin koostumukseen	7
2.3 Halkeamatyypit ja niiden vaikutus rakenteeseen	9
2.4 Plastinen kutistuminen	13
2.5 Kuivumiskutistuminen	13
2.6 Halkeamien itsetiivistyminen	14
2.8 Huokosten vaikutus vesitiiviyteen	14
2.9 Viruma	16
3 Betonin valinta	18
3.1 Rasitusluokat	18
3.2 Pakkasenkestävä betoni	21
3.3 Kemiallinen rasitus	22
3.4 Sulfaattirasitus Suomessa	24
3.5 Vesi-sementtisuhde	26
3.6 Notkeus ja maksimiraekoko	26
3.7 Itsetiivistyvä betoni	27
4 Työmaatekniikka	29
4.1 Betonityönjohtajan rooli	29
4.2 Vesitiiviin betonoinnin esivalmistelut	30
4.3 Muotit ja niiden tukirakenteet	30
4.4 Betonin pumppaaminen	30
4.5 Betonointi	31
4.6 Betonin tiivistäminen	35
4.7 Betonin valunopeus	38
4.8 Työsaumat	39
4.9 Jälkihoito	40
5 Johtopäätökset ja pohdintaa	42
Kuvat	45
Taulukot	46
Lähteet	47

1 Johdanto

Yleistä

Betonin säilyvyyden merkitys on tullut yhä tärkeämmäksi, koska betonirakenteita on alettu tekemään yhä vaativampiin olosuhteisiin ja on opittu, ettei betoniin ole ikuinen materiaali. Suomen ilmasto-olosuhteita ajatellen pakkasen- ja pakkas-suolarasituksen kestävyys ovat rakenteen säilyvyyden kannalta tärkeimmät ominaisuudet. Hyvin pienillä laiminlyönneillä betonin hyvät ominaisuudet voidaan menettää, vaikka betoni sinänsä on varsin säilyvä materiaali. (Betonitekniikan oppikirja BY 201 2004, 69.)

Betoni luokitellaan vesitiiviiksi, mikäli SFS-standardin 12390-8 mukaisilla koejärjestelyillä vesi on tunkeutunut 24 tunnin aikana 10 barin paineessa koekappaleeseen korkeintaan 100 millimetriä. Betoni on kuitenkin luonnostaan kapillaarinen materiaali ja varsinkin korkealla vesi/sementti-suhteella valmistettu betoni sisältää runsaasti kapillaarihuokosia, joiden välityksellä vesi kulkeutuu rakenteen sisällä. Betonin säilyvyyden kannalta haitalliset veden mukana rakenteeseen kulkeutuvat aineet aiheuttavat myös lisävaatimuksia vesitiiviille rakenteille. (Betoninormit BY 50 2012, 143.)

Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia vesitiiviin rakenteen erityisvaatimuksia nimenomaan työmaan osalta. Työn tarkoituksena on selvittää teräsbetonirakenteen vesitiivyyteen vaikuttavien tekijöiden taustoja ja oikean betonireseptin valinnan vaikutuksia rakenteen vesitiiveyteen ja säilyvyyteen, sillä oikean betonin valinnalla on merkittävä vaikutus lopputulokseen.

Työn rajaus

Työn tarkoitus on tutkia betonin käyttäytymistä vesitiiviissä rakenteissa, perehtymällä asianmukaisiin työskentelytekniikoihin ja oikean betonireseptin valinnan vaikutuksiin lopputuloksen ja valusuurituksen osalta. Työssä ei tutkita jännitettyjä, eikä esivalmistettuja rakenteita, vaan ainoastaan paikallavalettuja teräsbetonirakenteita. Työssä ei myöskään tutkita teräsbetonirakenteiden vuotokohtien korjaamista.

Työn tarkoituksena ei myöskään ole tutkia erilaisia vedenpaineelle alttiita rakenteita, vaan ainoastaan vesitiivistä betonia ja sen erityispiirteitä. Betonirakenteiden vesieristys bitumihuovalla, teräslevyillä ja muilla erikoisratkaisuilla jätetään myös käsittelemättä.

Tausta

Vesitiiviiden rakenteiden käyttö lisääntyy jatkuvasti ja toisaalta rakenteilta vaaditaan toiminnallisesti enemmän rakentamisen suunnittelusta elinkaaren loppuun saakka. Suunnittelijan rooli on tärkeä vesitiiviin rakenteen rakentamisessa, mutta myös työmaan rooli on merkittävä. Vaativissa vesitiiviissä rakenteissa yhteistyön tärkeys työnjohdon, rakennesuunnittelijan ja betonitoimittajan välillä korostuu, koska jokainen rakennettava kohde on erilainen ja usein joudutaan tekemään kompromisseja laadukkaan lopputuloksen saavuttamiseksi.

Huonosti suunniteltujen ja toteutettujen rakennusten kosteusvauriot ovat lisääntyneet merkittävästi. Vesitiiviiden betonirakenteiden työvirheiden aiheuttamat ongelmat ovat vain osasy syy ongelmaan, mutta vesitiiviit rakenteet ovat tärkeä osa rakentamista nykypäivänä ja niiden käyttö lisääntyy myös tulevaisuudessa. Tässä työssä ei käsitellä epäonnistuneiden vesitiiviiden rakenteiden aiheuttamia ongelmia ja niiden korjaamista, vaan keskitytään nimenomaan siihen, että kyseinen rakenne pystyttäisiin toteuttamaan kerralla oikein asianmukaisten paikallavalutekniikoiden ja huolellisen työsuunnittelun ja muiden ennakkosuunnitelmien avulla.

2 Vesitiivis betoni

2.1 Määritelmä

Betoni katsotaan vedenpitäväksi, jos standardin SFS 12390-8 mukaisesti testattu paineellisen veden tunkeutumasyvyys on enintään 100 millimetriä. Ennakkokokeissa on koekappaleen täytettävä vedenpitävyysvaatimus. Mikäli ennakkokokeissa ei saada hyväksyttävää tulosta, on betonikoostumusta muutettava ja ennakkokoe uusittava. Jokaisen koekappaleen on täytettävä vedenpitävyysvaatimus. Mikäli vaatimus ei täyty, koe uusitaan lisäkoekappaleella. Mikäli lisäkoekappale ei täytä vedenpitävyysvaatimusta, on betonikoostumusta muutettava ja ennakkokokeet uusittava. (Betoinormit BY 50 2012, 143.)

Vedenpaineen alaisen vesitiiviin betonin läpi kulkee kuitenkin pieni määrä vettä diffuusion kautta vesihöyryn muodossa (suuruusluokka 5 g/m² vrk). Läpi kulkeneella vesihöyryllä tulee olla mahdollisuus haihtua sisäilmaan. Sisäpuolella ei saa olla liian tiivistä kosteudesta vahingoittuvaa pinnoitetta tai kosteutta keräävää ja siitä turmeltuvaa materiaalia. (RT 83–11032.)

2.2 Ympäristöolosuhteiden vaikutus betonin koostumukseen

Vesitiiviuden määrittäminen on tiiviisti yhteydessä rakenteeseen vaikuttaviin ympäristöolosuhteisiin, joten ympäristöolosuhteiden tunteminen on erityisen tärkeää. Taulukossa 2.1 ympäristöolosuhteet jaetaan yhteensä seitsemään eri luokkaan, makean veden ja meriveden, aggressiivisuuden ja pakkasrasituksen aiheuttaman ympäristörasituksen perusteella. Makean veden alaiset rakenteet ja asuin- sekä toimistorakennusten sisätilat sekä rakenteet, joihin vaikuttaa alhainen suhteellinen kosteus (<80 %), eivät joudu merkittävän rasituksen alaiseksi, joten ne kuuluvat luokkaan E1. Suhteellisen kosteuden noustessa yli 80 % olosuhdeluokka on E2a. (BY 203, 1995, 192.)

E2b-luokkaan kuuluvat rakenteet, jotka ovat makean veden alla, mutta joihin kohdistuu myös pakkasrasitusta, sekä rakenteet, joihin kohdistuu pakkasrasitus kosteissa olosuhteissa. Myös maan ympäröivät rakenteet, joihin kohdistuu pakkasrasitusta, sekä ulkorakenteet, kuten parvekkeet, muurit ja sokkelit kuulu-

vat luokkaan E2b. E2c-luokkaan kuuluvat perustukset yleensä, mikäli niihin ei kohdistu pakkasrasitusta. (BY 203, 1995, 192.)

Meriveden vaikutuksen alaiset rakenteet vedenpinnan alapuolella kuuluvat luokkaan E3a. Luokka E3b sisältää edellisen luokan rakenteet, joihin kohdistuu lisäksi myös pakkasrasitusta, sekä voimakkaasti tiesuolan vaikutuksen alaiset rakenteet, kuten siltojen reunapalkit ja kylmät paikoitustalot. Luokkaan E4 kuuluvat kaikki edellä mainitut rakenteet, joihin kohdistuu edellä mainittujen rasitusten lisäksi myös kemiallista rasitusta. (BY 203, 1995, 192.)

Luokitus		Olosuhteiden kuvaus
RakMK B4	by 32	
Y3	E1	Olosuhteet, joissa suhteellinen kosteus (RH) on yleensä alle 80 % Makean veden alaiset rakenteet Asuin- ja toimistorakennusten sisätilat
Y2	E2a	Rakenteet märässä ilmastossa (RH > 80 %), joissa ei ole pakkasrasitusta Sellaisten rakennusten sisätilat, joissa suhteellinen kosteus on korkea, yli 80 %
	E2b pakkasrasitus	Rakenteet, jotka ovat makean veden ja pakkasrasituksen alaisia Rakenteet, joihin kohdistuu pakkasrasitus kosteissa olosuhteissa esim. julkisivut Maan ympäröimät rakenteet selvän pakkasrasituksen alaisina, esim. peruspilarit Ulkorakenteet, esim. parvekkeet, suolaamattomat ulkoportaat, muurit, sokkelit
	E2c	Perustukset yleensä (ei aggressiivisessa ympäristössä, taulukko 3.2/by 32)
Y1	E3a ei pakkasrasitusta	Meriveden vaikutuksen alaiset rakenteet vedenpinnan alapuolella
	E3b pakkasrasitus	Kuten E3a, lisäksi pakkasrasitus esim. meriolosuhteissa olevien siltojen vesirajassa ja sen yläpuolella olevat rakenteet, voimakkaasti tiesuolan vaikutuksen alaiset rakenteet kuten siltojen reunapalkit ja kylmät paikoitustalot
	E4	Ylläolevien olosuhteiden lisäksi kemiallinen rasitus (taulukko 3.2/by 32)

Taulukko 2.1 Betonirakenteiden ympäristöolosuhteiden luokitus (BY 203, 1995)

Ympäristöolosuhteluokan perusteella voidaan määrittää vähimmäisarvot betonin lujuudelle, betonipeitteelle, suojahuokossuhteelle, sekä määrittää rakenteen vedenpitävyysvaatimus. Taulukosta 2.2 selviää, kuinka E1 ympäristöolosuhte-

luokkaan kuuluvien teräsbetonirakenteiden lujuuden vähimmäisarvo on K20 ja betonipeitteen vähimmäisarvo on 15 millimetriä, eikä rakenteelta vaadita vedenpitävyyttä. Vedenpitävyyttä ei myöskään yleensä vaadita perustuksissa, eli luokassa E2c. Kyseisessä luokassa teräsbetonirakenteen betonipeite on 25 millimetriä ja betonin lujuuden vähimmäisarvo on K25. (BY 203, 1995, 193.)

Vedenpitävyys vaaditaan kaikissa pakkasrasituksen alaisissa, meriveden alla olevissa, sekä märässä ilmastossa olevissa teräsbetonirakenteissa. Ympäristöolosuhteiden muuttuessa vaativimmiksi vesitiiviysvaatimusten lisäksi myös betonipeitepaksuudet ja betonin lujuusluokan minimiarvot kasvavat. Lisäksi pakkasrasitetuissa rakenteissa ilmamääräsuositukset ja suojahuokossuhteet kasvavat. (BY 203, 1995, 193.)

Ympäristöluokka	Lujuusluokan K_{28} vähimmäisarvo ²⁾			Vedenpitävyys + vaaditaan – ei vaadita			Ilmamääräsuositus ³⁾ (%)			Suoja- huokos- suhde p_r	Betoni- peite ¹⁾²⁾ (mm)	
	B	TB	JB	B	TB	JB	32	16	8		TB	JB
E1	K20	K20	K30	–	–	–					15	20
E2a	K20	K30	K30	–	+	+					25	30
E2b	K35	K45	K50	+	+	+	4	4	5	0,17 ⁴⁾	25	30
E2c	K20	K25	K30	–	–	+					25	30
E3a	K30	K30	K35	+	+	+					35	40
E3b	K40	K50	K50	+	+	+	4	5	6	0,25	35	40

1) Betonipeitevaatimus koskee kaikkea raudoitusta, mikä ei ole tehty korroosionkestävästä materiaalista.

2) B on raudoittamaton rakenne
TB on teräsbetoni
JB on jännebetoni

3) Runkoaineen suurin raekoko.

4) Suoja- p_r -vaatimus on 0,2, jos betonin lujuusluokka on K40 tai alempi.

Taulukko 2.2 Ohjeet betonin koostumuksen vähimmäisarvoille eri ympäristöluokissa (BY 203, 1995)

2.3 Halkeamatyypit ja niiden vaikutus rakenteeseen

Betonin vedenpitävyys ja rakenteen vedenpitävyys ovat kaksi eri asiaa, jotka kuitenkin usein sekoitetaan keskenään. Vedenpitävä betoni ei päästä vettä lävitseen, mutta rakenteen vedenpitävyys voidaan menettää rakenteen halkeillessa. Näin käy etenkin, jos halkeamat menevät rakenteen läpi. Betonirakenteesta

saadaan vedenpitävä rajoittamalla rakenteen halkeilua ja halkeaman leveyttä riittävällä raudoituksella. (Söderlund 2004.)

Halkeamat alentavat aina betonin laatua, koska ne lisäävät sen läpäisevyyttä. Tällöin betonin raudoitusta sekä fysikaalisesti että kemiallisesti suojaava vaikutus vähenee. Betoni voi halkeilla pian valun jälkeen tai vasta useiden vuosien ikäisenä. Aikavälit joilla erityyppistä halkeilua esiintyy, on esitetty taulukossa 2.3. Taulukon kirjaintunnukset viittaavat kuvaan 2.4, jossa näkyy tyypillisimmät sijainnit eri halkeamatyypeille. (Betonitekniikan oppikirja BY 201, 2004, 92.)

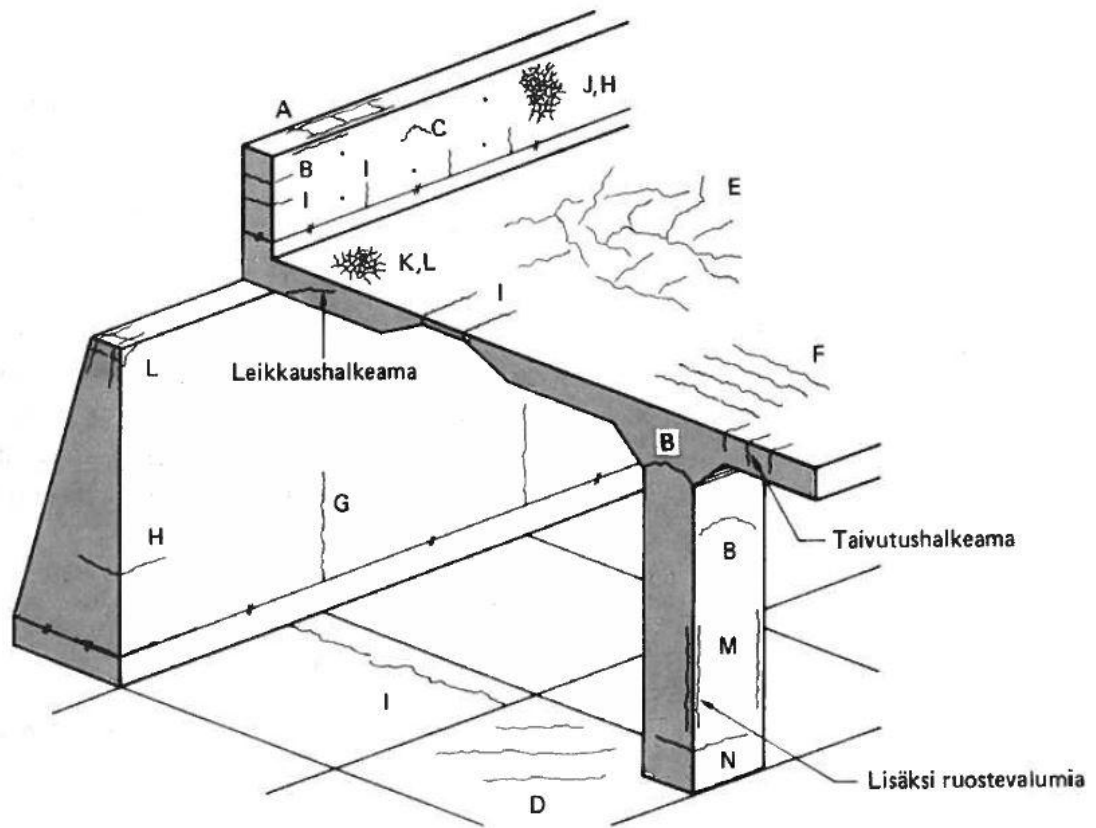
Lämpötilaerot betonin kovettumisvaiheessa voivat myös olla syynä halkeamien muodostumiseen. Halkeamat syntyvät kun betonin vetolujuus ja muodonmuutoskyky ylittyvät betonin jäähtymisen aiheuttaman kutistumisen seurauksena. Tällainen tilanne voi syntyä, kun lämpötilaerojen aiheuttamat muodonmuutokset eivät pääse tapahtumaan vapaasti. Muodonmuutokset estää yleensä toinen rakenneosaa tai saman rakenneosan sisempi osa, jonka lämpötila ei laske yhtä nopeasti kuin pintaosan lämpötila. (Betonitekniikan oppikirja BY 201, 2004, 94.)

Halkeilun aiheuttaja	Kirjaintunnus kuvassa 3.22	Pääsyy	Toissijainen syy	Esiintymisajankohta
Plastinen painuma	A, B, C	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	D, E	Pinnan nopea kuivuminen	Hidas haihtuvan 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
	F	Lisäksi raudoitus yläpinnassa		
Hydrataatiolämpö tai lämmitys	G	Rakennusosien välinen lämpötilaero	Rakenteen liian nopea jäähtyminen	1...3 d
	H	Rakennusosan sisäinen lämpötilaero		
Kuivumiskutistuminen	I	Iso v/s, huono jälkihoito, väärin suunniteltu rakenne (kutistumislitkkeet estetty)	Huono tartunta työsaumassa	Viikko...useita kuukausia
Pintahalkeilu	J	Huono muotti	Suuri sementti- ja vesimäärä, huono jälkihoito	Yleensä 1...7 d, joskus myöhemmin
	K	Huono tai liian aikainen pinnan hierto		
Pakkasrapautuminen	L	Vesi, jäätyminen ja sulaminen	Liian vähän suoja- huokosia, betoni vedellä kyllästynyt	Ensimmäiset talvet...useita vuosia
Raudoituksen ruostuminen	M	Liian pieni betoni- peite	Liian huokoinen betoni	Useita vuosia
	N	Kloridit		

Taulukko 2.3 Halkeamatyypit (Betonitekniiikan oppikirja BY 201, 2004, 93)

Betonin kovettuessa sementin hydrataatioreaktio tuottaa lämpöä. Hydrataatioreaktiossa muodostuva lämpö poistuu betonista pinnan kautta, jolloin pintaosan lämpötila laskee suhteessa sisäosan lämpötilaan. Näin syntynyt betonin kovetumisvaiheen lämpötilaero voi aiheuttaa halkeamia erityisesti massiivisiin rakenteisiin, joiden sisäosan lämpötila pysyy pitkään korkeana. Myös talvivaluissa muottien liian aikaisen purkamisen tai lämpökäsittelyn jälkeen voi rakenneosan

pintalämpötila laskea liian nopeasti, jolloin syntyy halkeamia. (Betonitekniikan oppikirja BY 201, 2004, 94.)



Kuva 2.1. Esimerkkejä betonirakenteiden tyypillisimmistä halkeamista (Betonitekniikan oppikirja BY 201, 2004, 94)

Betonin kovettumisvaiheen lämpötilaerojen aiheuttamat halkeamat syntyvät noin vajaan vuorokauden tai viimeistään kolmen vuorokauden kuluttua valusta. Ne ovat yleensä verkkomaisia pintahalkeamia ja syvyydeltään muutamasta millimetristä muutama senttimetriin. Rakenneosien liittymäkohdissa ne voivat ulottua myöhemmin valetun rakenneosan läpi. (Betonitekniikan oppikirja BY 201, 2004, 95.)

Kovettuneeseen betoniin voi aiheuttaa halkeamia myös ympäristön suuret lämpötilamuutokset, lämpötilaerot rakenteen poikkileikkauksessa, epätasainen kuormitus tai perustusten epätasainen painuminen. (Betonitekniikan oppikirja BY 201, 2004, 95.)

Betonin kuivumiskutistumisen aiheuttamia halkeamia syntyy, kun kutistuminen ei voi tapahtua vapaasti. Betoni kuivuu hitaasti, minkä vuoksi sen aiheuttamia

halkeamia syntyy pitkän ajan kuluessa. Kuivumiskutistuminen johtuu sementtikiven tilavuuden pienenemisestä, kun vesi haihtuu sen huokosista. Kutistumista tapahtuu sitä vähemmän, mitä enemmän betonissa on kiviainesta, joka vastustaa kutistumista. Kuivumiskutistuminen pienenee myös, jos betonimassan vesimäärää vähennetään. (Betonitekniiikan oppikirja BY 201, 2004, 95.)

2.4 Plastinen kutistuminen

Plastisia kutistumishalkeamia syntyy helpoimmin laattoihin, kun niiden pinta kuivuu liian nopeasti. Halkeamat syntyvät aikavälillä 0,5...6 tuntia betonoinnista. Erityisesti ilman korkea lämpötila ja tuuli lisäävät halkeilua, jos betonia ei suojata veden haihtumiselta. Plastiset kutistumahalkeamat ovat yleensä verkkomaisia tai yksittäisiä pintahalkeamia ja yksittäiset halkeamat voivat olla 1... 2 millimetriä leveitä ja ulottua myös laatan läpi. Tällöin ne alentavat koko rakenteen tiivyyttä ja ovat vaarallisia raudoituksen korroosion kannalta. (Söderlund 2004.)

Betonimassan tilavuus pienenee, kun vesi erottuu siitä ja nousee kohti pintaa. Tällöin massa painuu vastaavasti alaspäin. Tämä painuma tapahtuu noin kolmen tunnin sisällä betonoinnin jälkeen. Plastisen painuman aiheuttamia halkeamia syntyy, jos painuminen ei voi tapahtua kaikkialla vapaasti. Eniten näitä halkeamia syntyy pohjalaatan yläpinnan raudoituksen kohdalle. Plastisten kutistumishalkeamien syntymistä voidaan pienentää käyttämällä heti valun jälkeen betonin pinnalle levitettävää jälkihoitoainetta laattamaisissa rakenteissa ja jälkitärytyksellä pystyrakenteissa. (Söderlund 2004.)

2.5 Kuivumiskutistuminen

Pitkäaikainen kuivumiskutistuminen syntyy, kun vesi, jota ei tarvita betonin hydrataatioreaktioon, haihtuu. Kuivumiskutistumisen aiheuttaman halkeamat kulkevat päinvastoin kuin plastisten tilan halkeamien tapauksessa läpi rakenteen. Tässä mielessä ne ovat vedenpitävyyden ja rakenteen käyttöiän suhteen haitallisia. Kuivumiskutistumisen aiheuttamat halkeamat liittyvät yleensä kutistumakerojen aiheuttamiin rakenteen sisäisiin pakkovoimiin. (Söderlund 2004.)

Pakkovoimien aiheuttamaa halkeilua esiintyy staattisesti määräämättömissä rakenteissa. Pakkovoimat ovat sitä suurempia, mitä jäykempi rakenne on. Hal-

keaman syntyessä pakkovoima pienenee rakenteen jäykkyyden alenemisen johdosta. Pakkovoima kasvaa jonkin verran muodonmuutosten kasvaessa johdettua siitä, että betoni halkeaa yhä suuremman vetolujuuden omaavilta kohdilta. (Söderlund 2004.)

2.6 Halkeamien itsetiivistyminen

Halkeamien itsetiivistymisellä tarkoitetaan ilmiötä, jossa halkeamaan kulkeutuu aineita, jotka tiivistävät sen. Itsetiivistymistä tapahtuu, mikäli betonissa on hydratoitumatonta portlandsementtiä, vettä ja kalkkia. Itsetiivistymisen edellytyksenä on myös, että halkeaman leveys ei saa vaihdella ajan kuluessa, läpivirtaava vesi ei saa olla hapanta, eikä läpivirtaus saa olla niin voimakasta, että tiivistymistuotteet huuhtoutuvat pois. Halkeamien itsetiivistyminen edellyttää myös, että vesi voi haihtua betonin pinnalta. (Betonitekniikan oppikirja BY 201 2004, 95–96.)

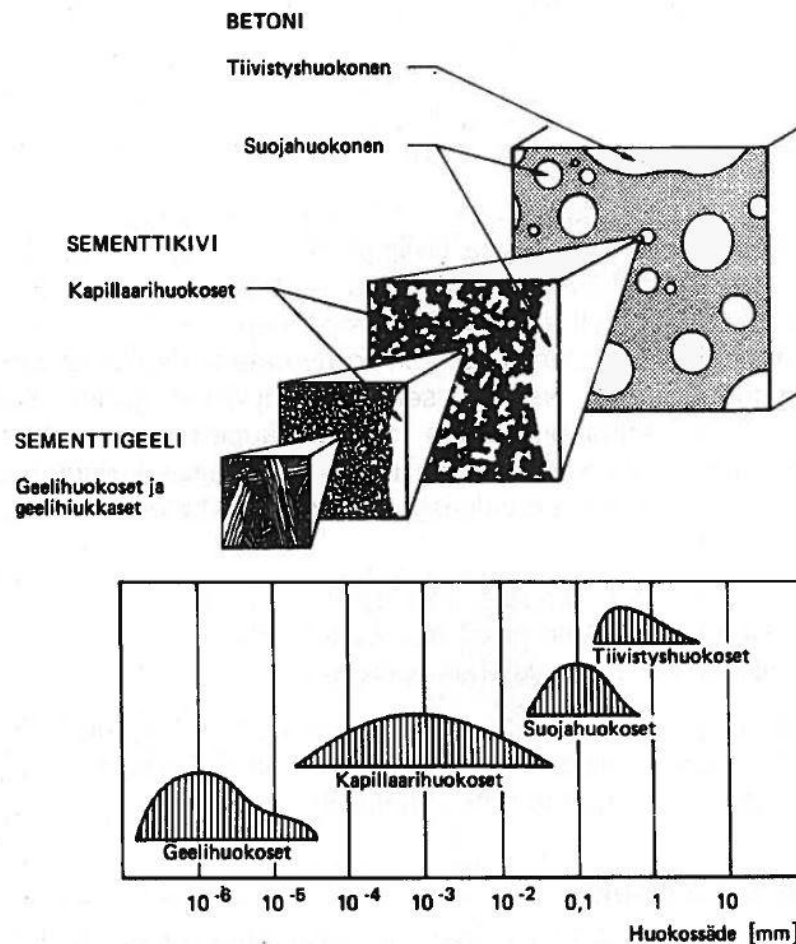
Edellä mainitut ehdot täyttyvät, mikäli rakenne on alttiina käyttöikänsä aikana alttiina sateelle tai toispuoleisen vedenpaineen aiheuttamalle kuormitukselle. Käytännössä siis lähes kaikki vesitiiviiksi suunnitellut betonirakenteet täyttävät edellä mainitut ehdot ja halkeamien itsetiivistymiselle on hyvät olosuhteet. (Söderlund 2004.)

Itsetiivistymisen varaan ei kuitenkaan ole syytä jättää halkeamien rajoittamista, paitsi silloin, kun rakenneosa on taivutettu siten, että käyttötilassa rakenteen puristuspuolella on (käyttötilassa) 50 millia puristettua betonia. Silloin halkeamien itsetiivistyminen voi tiivistää vetopuolella olevia halkeamia, rakenneosan vedenpitävyys voidaan katsoa turvatuksi ja sallittu halkeamanleveys määräytyy ympäristövaatimusten mukaisesti. Itsetiivistyminen tuo myös kalkkihärmettä betonipintaan ja härme voi monessa tapauksessa olla esteettinen ongelma. (Söderlund 2004.)

2.8 Huokosten vaikutus vesitiiviyteen

Sementtikivessä on useita erilaisia huokosia: geelihuokosia, kapillaarihuokosia ja supistumishuokosia sekä suojahuokosia. Suojahuokosten määrää rakenteessa voidaan lisätä käyttämällä huokostettua betonia. Betonirakenteessa olevien

huokosten rakenne on esitetty kuvassa 2.5. (Betonitekniikan oppikirja BY 201 2004, 77.)

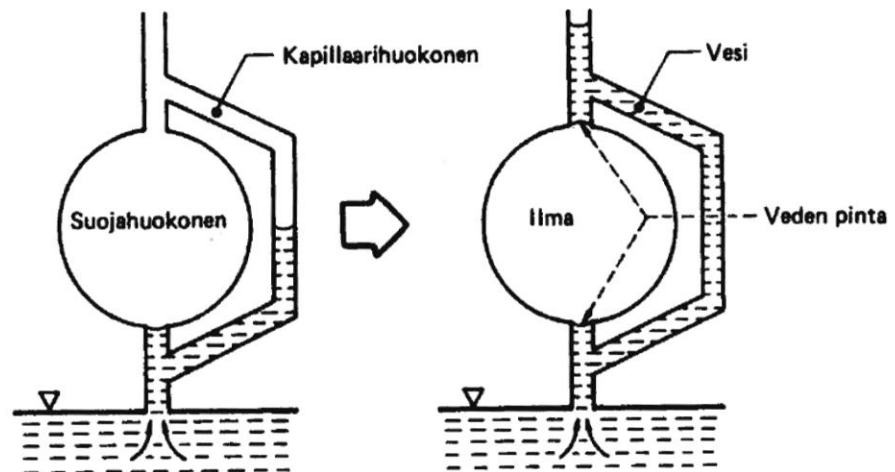


Kuva 2.2. Betonin huokosrakenne (By 201, 2004, 76)

Betonin työstettävyys vaatii yleensä vesi-sementtisuhdetta 0,4 suuremman vesimäärän käyttöä. Tällöin ketjuuntuneiden sementtipartikkeleiden väliin jää suurempia vesitäytteisiä tiloja, joita geelikiteet eivät voi täyttää. Kapillaarihuokosten määrä on voimakkaasti riippuvainen vesi-sementtisuhdesta. Mikäli vesisementtisuhde v/s on alle 0,4, ei täysin hydratoituneessa betonissa ole lainkaan kapillaarihuokosia. Jos taas v/s on suurempi kuin 0,6, ei kapillaarihuokosto täysin hydratoituneessa betonissa ole yhtenäinen, eikä veden liike ole siten mahdollinen. Kapillaarihuokokset ovat kooltaan noin 1 mikrometriä. (Betonitekniikan oppikirja BY 201 2004, 76.)

Kapillaarihuokosten vaikutus betonin vesitiivyyteen on merkittävä, mikäli betonin vesisementtisuhde nousee yli 0,6. Kyseisellä vesisementtisuhdeella betonirakenteeseen jää rakenteen läpi yhtenäisenä kulkevia kapillaarihuokosia, joiden

kautta vesi pääsee tunkeutumaan rakenteen läpi. Suojahuokosten vaikutus vesitiivyyteen ei ole niin merkittävä, koska suojahuokokset eivät muodosta yhtenäistä huokosrakennetta jonka kautta vesi pääsisi tunkeutumaan rakenteeseen. Kuvasta 2.7 näkyy, kuinka suojahuokokset pysyvät ilmatäytteisinä veden pintajännityksen vaikutuksesta veden tunkeutuessa rakenteeseen kapillaarihuokosten kautta, joten suojahuokokset eivät vaikuta rakenteen vesitiivyyteen. Lisäksi suojahuokokset ovat merkittävässä asemassa pakkasrasituksen alaisten rakenteiden säilyvyyden kannalta, koska jäätyessään laajeneva vesi pääsee tunkeutumaan näihin huokosiin, eikä veden laajenemisesta aiheutuva pakkovoima täten aiheuta rakenteen rapautumista. (Betonitekniiikan oppikirja BY 201 2004, 76.)



Kuva 3.29 Malli, joka esittää, miten suojahuokokset pysyvät ilmatäytteisinä veden imeytyessä betonin kapillaarihuokosiin. Veden pintajännitys estää sen tunkeutumisen suojahuokosiin.

Kuva 2.3 Suojahuokosen vaikutus vesitiivyyteen (Betonitekniiikan oppikirja BY 201, 2004, 106)

2.9 Viruma

Virumalla tarkoitetaan sitä, että kuormitetun rakenteen muodonmuutos jatkuu ajan myötä. Viruminen selitetään sillä, että geelihuokosissa oleva vesi kuormituksen aiheuttaman paineen takia virtaa pois niistä ja samalla sementtigeeli tiivistyy. Sementtigeelin tiivistyminen selittää, miksi muodonmuutos ei kokonaan

palaudu vaikka vesi imeytyy takaisin geelihuokosiin. (Betonitekniikan oppikirja BY 201 2004, 88.)

Viruman vaikutusta voidaan vähentää esimerkiksi viivästyttämällä muottien purkua, tai muottien purun jälkeen tukemalla rakennetta. Rakennetta tukemalla loppuviruma pienenee, mutta sen saavuttaminen vie pidemmän ajan. Mikäli rakenteita ei erikseen tueta muottien purun jälkeen, loppuviruma saavutetaan nopeammin, mutta viruman kasvaessa myös halkeiluriski kasvaa. Mikäli on syytä epäillä, että viruma voi aiheuttaa rakenteelle vesitiiviyyden kannalta haitallisia halkeamia, on syytä olla yhteydessä rakennesuunnittelijaan. (Betonitekniikan oppikirja BY 201 2004, 89.)

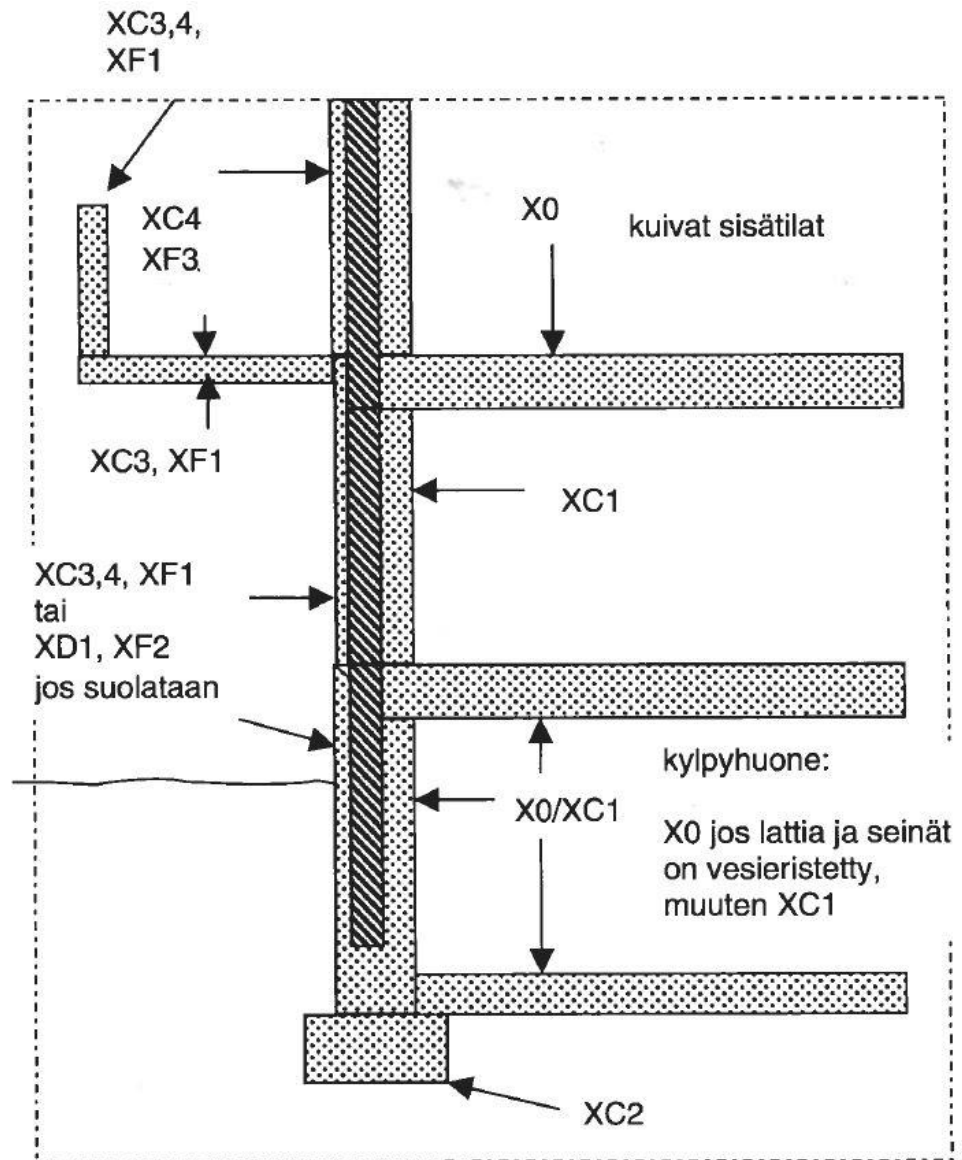
Viruman vaikutukset tulee ottaa huomioon jo työsuunnitteluvaiheessa. Viruman aiheuttamat vaikutukset täytyy tutkia rakennekohtaisesti ja päättää, onko parempi että viruma on pieni, mutta tapahtuu hitaasti ajan myötä, vai että viruma on suuri mutta se tapahtuu myös lyhyemmällä aikavälillä. Teräsbetonirakenteen viruman aiheuttaman kokonaismuodonmuutoksen vähentäminen voi olla tärkeää esimerkiksi jos paikallavalurakenteen alapuolelle tulevien täydentävien rakenteiden yläpinta on samassa linjassa teräsbetonirakenteen kanssa. Esimerkiksi keittiökaappien yläpintaan voi muodostua ajan myötä rako, teräsbetonirakenteen viruman takia. Tietyissä tapauksissa loppuviruman nopea saavuttaminen on tärkeämpää, vaikka se tarkoittaisikin suurempaa kokonaismuodonmuutosta. Muuraustöitä ei esimerkiksi kannata aloittaa tuoreen teräsbetonirakenteen päällä, mikäli on epäilystä, että viruma aiheuttaisi halkeamia muurattavaan rakenteeseen. (Betonitekniikan oppikirja BY 201 2004, 88-89.)

3 Betonin valinta

Betoninvalmistaja ilmoittaa etukäteen, mitä betonilaatuja ja lujuusluokkia voidaan käyttää vedenpitävyyttä edellyttävissä rakenteissa. Vedenpitäväksi tarkoitettujen betonilaatujen ryhmän vedenpitävyys testataan ennakkokokeilla siten, että valitaan kaksi heikointa vedenpitäväksi tarkoitettua betonia ja testataan niiden vedenpitävyys. Testattaviksi betoneiksi tulee valita heikoimman lujuusluokan ja pienen sideainemäärän omaavat betonit. Vedenpitävyyskokeita uusitaan vuosittain kahdella testauksella valiten heikoimmat betonit (alhainen lujuusluokka ja sideainemäärä) testattaviksi. Koe tehdään yhdellä laadunvalvontakoeosalla vuosittain. (Betoninormit BY 50 2012, 143.)

3.1 Rasitusluokat

Rasitusluokat valitaan karbonatisoitumisen, kloridien ja merivedessä olevien kloridien aiheuttaman korroosion sekä jäätymis-/sulamisrasituksen ja kemiallisen rasituksen perusteella. Kuvassa 3.1 on kerrostalon osien sijoittuminen eri rasitusluokkiin.



Kuva 3.1 Kerrostalon osien sijoittuminen eri rasitusluokkiin (BY50, 2004, 90)

Karbonatisoitumisen osalta vesitiiviit rakenteet menevät käytännössä rasitusluokkiin XC1...XC4. Rasitusluokka määräytyy ympäristön kosteuden mukaan, XC1-rasituksen alainen rakenne on kuiva tai jatkuvasti märkä. Perustuksissa ja pitkiä aikoja veden kanssa olevat rakenteet ovat usein rasitusluokassa XC2. Rasitusluokan XC3 rakenteet voivat olla sateelta suojattuja vaaka- tai pystyrakenteita, jotka ovat kuitenkin kosteissa olosuhteissa. Rasitusluokkaan XC4 kuuluvat jaksollisesti kastuvat ja kuivuvat sateelle alttiit sekä veden kanssa kosketuksissa olevat rakenteet, jotka eivät kuulu ympäristöluokkaan XC2. Vesitiiviit rakenteet luokitellaan usein ympäristörasitusluokaltaan XC3,4, jolloin molempien rasitusluokkien vaatimukset täyttyvät. (Betoninormit BY 50 2004, 86–87.)

Kloridien aiheuttama ympäristörasitus määritellään kohtalaisen kostean (XD1), kostean, harvoin kuivan (XD2) ja kostean ja kuivan välillä vaihtelevien (XD3) olosuhteiden mukaisesti. Rasitusluokkaan XD1 kuuluvat esimerkiksi uimahallien sisätilat, meluseinät tien vieressä ja rakenteet joihin kulkeutuu ilman mukana betonille haitallisia suoloja. Rasitusluokkaan XC2 kuuluvat esimerkiksi uimaltaat ja kloridipitoisia teollisuusvesiä sisältävät altaat. Rasitusluokka XD3 vaaditaan, mikäli rakenne kostuu ja kuivuu jaksollisesti. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi pysäköintitasot ja ajorampit, siltojen tiesuoloille alttiit rakenteet kuten reunapalkit, siirtymälaatat ja betonikaiteet sekä suolasumulle alttiit siltapilarit ja väli- ja maatuet. (Betoninormit BY 50 2004, 87.)

Merivedessä olevien kloridien ympäristörasitusta arvioidaan samalla tavalla kuin tavallista kloridirasitusta. Meren rannalla olevat rakennukset kuuluvat rasitusluokkaan XS1, vaikka eivät olisikaan meriveden kanssa kosketuksissa, koska tuuli kuljettaa mukanaan klorideja merivedestä. Meriveden alaiset teräsbetonirakenteet luokitellaan ympäristörasituksen XS2 mukaisesti. Vesirajassa ja roiskevyöhykkeellä olevat rakenteet kuten siltojen välituet kuuluvat ympäristörasitusluokkaan XS3. (Betoninormit BY 50 2004, 87.)

Sateelle ja jäätymiselle alttiit pystysuorat betonirakenteet, julkisivut, sokkelit ja suolaamattomien teiden siltojen osat kuuluvat jäätymis-/sulamisrasituksen osalta luokkaan XF1. Kyseisen rasitusluokan rakenteet ovat kohtalaisesti vedellä kyllästettyjä, mutta niihin ei kohdistu jäänsulatusaineiden aiheuttamaa rasitusta. Mikäli edellä mainitut rakenteet ovat alttiina jäänsulatusaineiden aiheuttamalle rasitukselle, kuuluvat ne luokkaan XF2. Rasitusluokkaan XF3 kuuluvat rakenteet ovat vedellä kyllästyneitä, mutta myöskään niihin ei kohdistu jäänsulatusaineiden aiheuttamaa rasitusta. Tällaisia rakenteita ovat kaikki sateelle ja jäätymiselle alttiit vaakasuorat betonipinnat, kuten parvekkeet, siltapilarit, patorakenteet ja useat siltarakenteet. Mikäli edellä mainitut rakenteet ovat alttiina jäänsulatusaineiden aiheuttamalle rasitukselle, kuuluvat ne luokkaan XF4. (Betoninormit BY 50 2004, 87–88.)

Maaperässä tai pohjavedessä voi olla kloridien lisäksi myös muita betonin säilyvyyden kannalta epäsuotuisia kemiallisia aineita. Esimerkiksi maatalousrakennuksissa joskus esiintyvän kemiallisesti heikosti aggressiivisen ympäristön rasi-

tusluokka on XA1. Puukuivaamoissa tai savupiippujen yläosissa voi esiintyä kohtalaisesti aggressiivinen ympäristörasitus, jolloin rasitusluokka on XA2. Voimakkaasti kemiallisesti aggressiiviset ympäristöt, kuten maatalousrakennusten osat jotka ovat alttiina urealle, lannoitteille tai maidolle luokitellaan rasitusluokkaan XA3. (Betoninormit BY 50 2004, 88.)

KOOSTUMUS JA OMINAISUUDET	RASITUSLUOKAT																	
	Ei rasitusta	Hiilidioksidi				Kloridi						Jäätyminen ja sulaminen				Kemiallisesti aggressiiviset aineet		
						Merivesi			Muu kuin merivesi									
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2
Suurin w/s-suhde						0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,60		0,50		0,50	0,45	0,40
Vähimmäis-lujuusluokka	K15	K25	K30	K30	K35	K40	K45	K45	K35	K35	K45					K40	K45	K50
Vähimmäis-sementtimäärä [kg/m ³]		200	230	250	270	300	320	320	300	300	320	270		300		300	320	330
F-luku (vähimmäisarvo)												1,0		1,5				
P-luku (vähimmäisarvo)													25		40			

Taulukko 3.1 Betonin koostumuksen ja ominaisuuksien raja-arvot kun suunnitelukäyttöikä on 50 vuotta (Betoninormit BY50, 2004, 104)

KOOSTUMUS JA OMINAISUUDET	RASITUSLUOKAT																	
	Ei rasitusta	Hiilidioksidi				Kloridi						Jäätyminen ja sulaminen				Kemiallisesti aggressiiviset aineet		
						Merivesi			Muu kuin merivesi									
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2
Suurin w/s-suhde						0,45	0,40	0,40	0,50	0,50	0,40	0,60		0,50		0,50	0,45	0,40
Vähimmäis-lujuusluokka	K15	K25	K35	K40	K45	K40	K45	K45	K35	K35	K45					K40	K45	K50
Vähimmäis-sementtimäärä [kg/m ³]		200	230	250	270	300	320	320	300	300	320	270		300		300	320	330
F-luku (vähimmäisarvo)												2,0		3,0				
P-luku (vähimmäisarvo)													50		80			

Taulukko 3.2 Betonin koostumuksen ja ominaisuuksien raja-arvot kun suunnitelukäyttöikä on 100 vuotta (Betoninormit BY50, 2004, 105)

3.2 Pakkaskestävä betoni

Vesi laajenee jäätyessään ja aiheuttaa betonirakenteessa sisäisiä pakkovoimia, jotka aiheuttavat rakenteen rapautumista. Betonirakenteesta saadaan pak-

kasenkestävä lisäämällä betonimassaan huokostinta. Rakenteeseen jäävät suojahuokokset sallivat veden laajentumisen ja estävät rakenteen rapautumista. Taulukosta 3.4 selviää, kuinka alhainen vesi-sementtisuhte parantaa rakenteen pakkasenkestoa. Rasitusluokissa XF2 ja XF4 pakkasenkestävyysluokka määritellään ilmamäärän vähimmäisarvolla, mutta mikäli vesi-sementtisuhte on alle 0,32, ei ilmamäärälle ole vaatimusta. Taulukon perusteella voidaan siis olettaa, että pakkasrapautumista ei ilmene, mikäli rakenteeseen ei jää alhaisen vesi-sementtisuhteen vuoksi kapillaarihuokosia, jolloin vesi ei pääse tunkeutumaan rakenteeseen eikä täten pääse jäätymään. P-lukuvaatimukset näkyvät 50 ja 100 vuoden suunnittelukäyttöikätaulukoista (3.1) ja (3.2). (Betoninormit BY50, 2004, 106–108.)

Vesi-sementtisuhte	Ilmamäärän vähimmäisarvo [%]				
	P25	P40	P50	P80	P100
0,60	5	—	—	—	—
0,50	3	6	—	—	—
0,40	2	3	4	—	—
0,32	2	2	2	3	4
< 0,32	ei vaatimusta	ei vaatimusta	ei vaatimusta	ei vaatimusta	ei vaatimusta

Taulukko 3.3 (Betoninormit BY50, 2004, 108)

P-lukubetoni on toistuvan jäätymis-sulamisrasituksen ja suolarasituksen aiheuttaman korroosion alaisiin rakenteisiin tarkoitettu betonilaatu. Suola voi olla peräisin joko merivedestä tai erilaisista jäänsulatusaineista. P-lukubetoni kestää suolapakkasrasitusta rapautumatta sen sisältämien suojahuokosten, sekä koostumukselle asetettujen erityisten lisärajoitusten johdosta.

3.3 Kemiallinen rasitus

Betonin kemiallinen vaurioituminen on yleensä seurausta sementtikiven eri hydrataatiotuotteiden kemiallisista reaktioista ulkopuolisten aineiden kanssa. Betonin osa-aineiden ominaisuuksien tai niiden mukana betoniin tulevien sivuaineiden aiheuttamat kemialliset rasitukset ovat Suomessa harvinaisia. Lisäksi Suomessa betonissa käytettävä kiviaines kestää hyvin ulkoisia kemiallisia rasituksia. Monissa maissa betonin sisäisistä tekijöistä aiheutuvat kemialliset vauriot eivät kuitenkaan ole harvinaisia. (Betonitekniikan oppikirja BY 201, 2004, 117.)

Betonin merkittävän kemiallisen korroosion edellytyksenä on, että haitallisesti vaikuttavien aineiden lisäksi betonissa on riittävästi kosteutta. Haitallisten aineiden pitoisuuden tulee olla myös riittävän suuri. Betonia vaurioittavat aineet tunkeutuvat siihen yleisimmin veden mukana. Korroosiota edistävät liuoksen aiheuttama paine tai sen virtaus, korkea lämpötila ja betonin ajoittainen mahdollisuus kuivumiseen. Haitallisten aineiden tunkeutumista rakenteen sisälle voidaan siis rajoittaa käyttämällä vesitiivistä betonia, jolloin vesi ja sen mukana kulkeutuvat haitalliset aineet eivät pääse tunkeutumaan rakenteen sisälle. (Betonitekniikan oppikirja BY 201, 2004, 117.)

Betonin kemiallista kestävyyttä voidaan parantaa tai haitallisten aineiden vaikutukset voidaan tietyissä tapauksissa poistaa kokonaan valitsemalla sopiva sideainetyyppi. Jos tämä ei kemiallisen rasituksen luonteen vuoksi ole mahdollista, voidaan betonin säilyvyyttä parantaa huomattavasti lisäämällä betonin tiiviytttä sekä tiivistämällä ja jälkihoitamalla betoni mahdollisimman hyvin. (Betonitekniikan oppikirja BY 201, 2004, 117.)

Kemiallinen rasitus voidaan jakaa neljään eri luokkaan: happojen, sulfaattien, alkali-kiviainesreaktioiden ja biologisten aineiden aiheuttamiin rasituksiin. Happojen aiheuttama rasitus perustuu niiden happamuuden ja sen aiheuttamaan betonin pH-luvun laskemiseen, betonissa olevien kemiallisten yhdisteiden liukenemiseen sekä raudoitusten ruostumiseen. Sulfaattien aiheuttama rasitus perustuu sulfaatti-ionien reagoimiseen sementtikiven tiettyjen yhdisteiden kanssa. Reaktiotuotteiden tilavuus on suurempi kuin lähtöaineiden tilavuus, josta aiheutuu paisumista ja betonin epäsäännöllistä halkeilua. Alkali-kiviainesreaktioita ei ole havaittu Suomessa. Niiden aiheuttama betonin vaurioituminen on verrattavissa sulfaattien aiheuttamaan vaurioitumiseen. Paisumista ja halkeilua aiheuttaa betoniin käytetty kiviaines ja huokosveden alkalit. Alkalit ovat peräisin käytetystä sementistä ja mahdollisesti myös betonin ulkopuolelta. Suomessa betoniin käytettävä luonnonkiviaines on hyvälaatuista ja alkali-kiviainesreaktioista aiheutuvia vaurioita ei ole esiintynyt Suomessa. Biologisilla rasituksilla tarkoitetaan sellasia betonin vaurioitumiseen johtavia suorja tai epäsuoria vaikutuksia, jotka aiheuttaa elävä organismi tai mikro-organismi. (Betonitekniikan oppikirja BY 201, 2004, 117-120.)

3.4 Sulfaattirasitus Suomessa

Kuvassa 3.2 on esitetty suuntaa antava keskimääräinen sulfaattipitoisuus kiviainesistä määritettynä. On huomattava, että sulfaattipitoisuus vaihtelee voimakkaasti myös paikallisesti. Käytännössä Länsi- ja Etelä-Suomen rannikko-seuduilla määritetään usein aggressiivisiksi luokiteltavia pitoisuuksia. Sulfaattipitoisella alueella työskennellessä tulee myös huomioida, että sama kemiallinen prosessi, sulfidien hapettuminen sulfaateiksi, joka nostaa veden sulfaattipitoisuutta, laskee myös veden pH-arvoa. Veden pH-arvon laskeminen nopeuttaa kemiallista rasiitusta rakenteessa, koska huokosissa oleva vesi happamoituu nopeammin ja laimentaa hydrataatio tuotteita. (BY 50 2012, 92.)



Kuva 3.2 Pohjavesien keskimääräinen sulfaattipitoisuus SO_4^{2-} [mg/l]. (BY 50 2012, 92)

Taulukossa 3.5 on esitetty yleisimmät pohjavedessä ja maaperässä esiintyvät teräsbetonirakenteille haitalliset kemialliset yhdisteet ja niiden raja-arvot.

Alla esitetty aggressiivisten kemiallisten ympäristöjen luokittelu perustuu luonnon maaperään ja pohjaveteen, joiden lämpötila on 5 °C... 25 °C:n ja veden virtausnopeus niin hidas, että se on lähes staattinen. Yksittäisen kemiallisen ominaisuuden suurimman rasituksen arvo määrittää luokan. Jos kaksi tai useampi aggressiivista ominaisuutta johtaa samaan luokkaan, ympäristö luokitellaan seuraavaan korkeampaan luokkaan, ellei erityisesti tätä varten suoritetulla selvityksellä osoiteta, ettei se ole tarpeen.				
Kemiallinen ominaisuus	Koemenetelmä	XA1	XA2	XA3
Pohjavesi				
SO ₄ ²⁻ mg/l	SFS-EN 196-2	≥ 200 ja ≤ 600	> 600 ja ≤ 3000	> 3000 ja ≤ 6000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 ja ≥ 5,5	< 5,5 ja ≥ 4,5	< 4,5 ja ≥ 4,0
CO ₂ aggressiivinen mg/l	SFS-EN 13577	≥ 15 ja ≤ 40	> 40 ja ≤ 100	> 100 kyllästymiseen asti
NH ₄ ⁺ mg/l	ISO 7150-1 tai ISO 7150-2	≥ 15 ja ≤ 30	> 30 ja ≤ 60	> 60 ja ≤ 100
Mg ²⁺ mg/l	ISO 7980	≥ 300 ja ≤ 1000	> 1000 ja ≤ 3000	> 3000 kyllästymiseen asti
Maaperä				
SO ₄ ²⁻ mg/kg kokonaismäärä ¹⁾	SFS-EN 196-2 ²⁾	≥ 2000 ja ≤ 3000 ³⁾	> 3000 ³⁾ ja ≤ 12000	> 12000 ja ≤ 24000
Happamuus ml/kg	DIN 4030-2	> 200 Baumann Gully	Ei esiinny käytännössä	
1) Savimaat, joiden läpäisevyys on pienempi kuin 10 ⁻⁵ m/s, voidaan luokitella alempaan luokkaan. 2) Testausmenetelmän periaate on uuttaa SO ₄ ²⁻ suolahapolla. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää vesiuuttoa, jos betonin käyttöpaikalla on siitä kokemusta. 3) Raja-arvo 3000 mg/kg lasketaan arvoon 2000 mg/kg, jos betonin toistuva kuivuminen ja kastuminen tai kapillaarinen kastuminen saattavat aiheuttaa betonin sulfaatti-ionien kasaantumisriskin.				

Taulukko 3.4 Kemiallisen rasituksen ympäristöluokkien raja-arvot (BY 50 2012, 91)

Pohjaveden ja maaperän lisäksi kemiallista räsitusta esiintyy usein myös monissa teollisuusrakennuksissa ja tuotantolaitoksissa. Esimerkiksi savupippujen sisäpintoihin ja erilaisiin säiliöihin voi kohdistua kemiallista räsitusta. Kemiallisen räsituksen vaikutuksia voi vähentää merkittävästi tekemällä teräsbetonirakenteesta mahdollisimman tiiviin, jotta haitalliset aineet eivät pääse kulkeutumaan rakenteen sisälle. Rakenteiden vesitiiviys on kemiallisen räsituksen vähentämisen kannalta myös tärkeää, koska ilman vettä useimpia betonissa tapahtuvia kemiallisia reaktioita ei pääse tapahtumaan.

3.5 Vesi-sementtisuhde

Vesi-sementtisuhde vaikuttaa merkittävästi betonin ominaisuuksiin. Kun vesi-sementtisuhde pidetään alhaisena, plastisen halkeilun määrä vähenee merkittävästi. Plastinen halkeilu aiheutuu, kun runkoaines painuu alaspäin painovoiman vaikutuksesta ja kevyemmät ainesosat, eli vesi ja sementtiliima nousevat kohti pintaa. (Söderlund 2004.)

Rakenteeseen jäävät kapillaarihuokokset ovat myös riippuvaisia vesi-sementtisuhdesta. Kapillaarihuokokset muodostuvat sementtiliimassa olleesta ylimääräisestä vedestä, jota ei käytetty hydrataatioreaktioon. Mikäli vesisementtisuhde on riittävän alhainen (0,4), ei rakenteeseen synny varsinkin vesitiiviyden kannalta haitallisia kapillaarihuokosia lainkaan. Sementtigeeli sulkee läpi menevät kapillaarihuokokset ajan myötä, mikäli vesi-sementtisuhde on alle 0,7. Kapillaarihuokosto ei sulkeudu lainkaan, mikäli vesi-sementtisuhde on suurempi kuin 0,7. Vesi-sementtisuhteen ollessa 0,4, kapillaariverkosto sulkeutuu kokonaan 3 vuorokauden kuluttua ja arvolla 0,6 noin kuuden kuukauden kuluttua valusta. Jotta betonista saataisiin vesitiivistä, on suhteituksessa huolehdittava lisäksi siitä, että hienojen ainesten (sementti ja filleri) määrä on sellainen, että kiivaimeksen väliin jäävät tyhjät tilat täyttyvät. Betonoinnissa on huolehdittava siitä, että betoni tiivistetään huolellisesti siten, että harvavalua ei esiinny. (Betonitekniiikan oppikirja BY201, 2004, 76–77.)

3.6 Notkeus ja maksimiraekoko

Työmaalla käytettävä betonimassa on yleensä nestemäistä tai vetelää. Notkea betonimassa helpottaa betonointityötä, mutta massan plastiset ja pitkäaikaiset muodonmuutokset, erottumistaipumus ja halkeiluriski kasvavat. Yleensä kannattaa käyttää niin jäykkää ja suurikivistä massaa kuin betonointimenetelmä sallii. (Betonitekniiikan oppikirja BY 201 2004, 70.)

Olosuhteilla on notkeuden kannalta myös tärkeä merkitys. Kuumana kesäpäivänä betonimassa voi jo kuljetuksen aikana menettää notkeutta niin paljon, että valutyö vaikeutuu. Valutyön sujumiseksi voidaan valita notkeampi massa ja massaa voidaan jäähdyttää esimerkiksi kastelemalla tai suojaamalla kuljetussäiliö.

Betonimassa tulisi aina tilata niin suurella kivikoolla kuin mahdollista. Vaikka pienemmästä kiviaineksesta tehtyjä massoja on helpompi käsitellä työmaalla, niin rakenteessa esiintyvät painumat ja kuivumiskutistuma kasvavat merkittävästi raekoon pienentyessä. Mitä suurempi raekoko valitaan, sitä enemmän betonimassassa on kiviainesta suhteessa kutistuvaan pastaan, eli vedestä, sementistä, ilmasta ja lisäaineista muodostuvaan seokseen. Raekoon pienentämistä tulee kuitenkin harkita, mikäli rakenteessa on niin paljon raudoitusta, että valun onnistuminen on epävarmaa 32 millimetrin kivikoolla. Etäisyys raudoituksen pienimpien välien kohdalla määrittää suurimman raekoon kertoimella 1,2. Eli jos raudoitusten välissä on 20 millimetriä tilaa, niin voidaan vielä teoriassa käyttää 16 millimetrin kivellä tehtyä betonimassaa.

Betonimassan pumppaaminen on myös usein rajoittava tekijä maksimiraekokoa määritettäessä. Työteknisesti suurikivisen massan pumppaaminen on hankalaa myös siitä syystä, että joudutaan käyttämään suuria letkukokoja, joita on todella raskasta käsitellä. Mikäli kohteeseen joudutaan rakentamaan pitkä linja, raekoko on suuri ja varsinkin jos betonin rasitusluokat ovat vaativat, on syytä olla yhteydessä betonin pumppaavaan urakoitsijaan. Mikäli on mahdollista, voidaan valu aloittaa massalla, joka menee linjan läpi helpommin ja vaihtaa aloituksen jälkeen eri massaan. Aloitusmassan määrä ei tarvitse olla suuri, joten vaikka se poikkeaisi varsinaisesta betonimassasta, ongelmia tuskin esiintyy.

3.7 Itsetiivistyvä betoni

Itsetiivistyvällä betonilla tarkoitetaan betonia, jolla on kyky täyttää muotti ja ympäröidä raudoitukset ilman erillistä mekaanista tiivistystä. Hankalissa kohteissa, joissa joko muotin hankala muoto tai raudoituksen suuri määrä aiheuttavat ongelmia mekaaniselle tiivistykselle, on usein kannattavaa valita kohteeseen itsetiivistyvä betoni. Itsetiivistyvän betonin hydrostaattinen paine lisää kuitenkin muottien tuentatarvetta ja täten kasvattaa muottikustannuksia, joten itsetiivistyvää betonia ei kannata käyttää, mikäli valutyö onnistuu myös tavallisella massalla. (ITB Itsetiivistyvä betoni, 2004, 7,9.)

Itsetiivistyvää betonia käytettäessä valuryhmän kokoa voidaan pienentää, koska mekaanista tiivistämistä ei tarvita. Lisäksi jälkitöiden määrä on itsetiivistyvää betonia käytettäessä on vähempi, joten korjausmassojen ja jälkitöihin käytettä-

vän työn aiheuttamat kustannukset jäävät pienemmäksi. Lisäksi betonirakenteen vedenpitävyydelle oleelliset säilyvyysominaisuudet sekä betonin homogeenisuus on todettu paremmiksi itsetiivistyvällä betonilla. (ITB Itsetiivistyvä betoni, 2004, 9,10.)

4 Työmaatekniikka

4.1 Betonityönjohtajan rooli

Rakennustyömaalla betonityön suoritusta johtaa betonityönjohtaja, jonka on oltava paikalla koko betonoinnin ajan. Betonityönjohtajalla tulee olla rakenneluokan mukainen pätevyys. (Betonitekniikan oppikirja BY 201 2004, 209.)

Betonityönjohtaja valvoo rakenteiden valmistuksen aikana, että muoteista ja niiden tukirakenteista, raudoitustöistä, betonitöistä, betonielementtien asennuksista ja saumauksista, jännittämistöistä ja mittatarkkuuksista annettuja ohjeita noudatetaan ja että laaditaan asiaankuuluvat muistiinpanot. (Betoninormit BY 50 2012, 148.)

Betonimassan laatua valvotaan betonin valmistuksen ja myös betonoinnin aikana. Betonimassan notkeutta ja tarvittaessa ilmapitoisuutta sekä muita ominaisuuksia valvotaan sopivaa mittaustapaa käyttäen. Koekappaleita tehtäessä mitataan betonimassan notkeus ja lämpötila. (Betoninormit BY 50 2012, 148.)

Betonin lujuudenkehitystä seurataan esimerkiksi lämpötilamittausten tai koekappaleiden avulla. Näitä menetelmiä käytetään suunnitelmien edellyttämän lujuuden varmistamiseen sekä tarvittaessa muun muassa jäätymislujuuden, muottien purkamislujuuden ja jännitettyjen rakenteiden jännittämisajankohdan määrittämisessä. (Betoninormit BY 50 2012, 148.)

Betonointisuunnitelma on tärkeä osa tuotannosuunnittelua paikallavalukohteissa, koska sitä käytetään tarkastuslistan omaisesti betonityön eri vaiheissa. Suunnitelmaosuus täytetään ennen betonointityön aloittamista ja pöytäkirjaosuutta täydennetään valun aikana ja sen jälkeen. Jokaisesta valusta tulee tehdä oma betonointisuunnitelma, sillä jokainen valu on erilainen. Betonointisuunnitelmassa tulee olla kohteen yleistiedot, betonin ominaisuudet, betonoinnin erityispiirteet sekä tarvittaessa raudoitus- ja muottitarkastukset, mikäli niitä ei ole dokumentoitu eri lomakkeille. Jälkityöt tulee myös kirjata ylös betonointisuunnitelmaan. (Betonitekniikan oppikirja BY 201 2004, 210.)

4.2 Vesitiiviin betonoinnin esivalmistelut

Vesitiiviiseen valuun valmistautuessa pätevät samat säännöt kuin muissakin betonoinneissa, mutta rakenteen halkeilua aiheuttavat ilmiöt muodostuvat ensiarvoisen tärkeiksi. Betonointisuunnitelmaa tehtäessä on tärkeää ottaa huomioon vallitsevat sääolosuhteet ja suorittaa esivalmistelut olosuhteiden mukaisesti.

Valettaessa betonia vasten tulee ennen valua varmistua alustan puhtaudesta ja poistaa lumi ja jää valettavalta alueelta. Lisäksi talviolosuhteissa valettaessa on syytä myös lämmittämällä varmistaa sauma- tai liittymäkohdan onnistuminen. Mikäli työsaumoissa on valun alkaessa suuria lämpötilaeroja, voi hydrataation aikaansaama lämpö aiheuttaa pakkovoimia, jotka aiheuttavat halkeamia rakenteeseen.

4.3 Muotit ja niiden tukirakenteet

Muottisiteiksi ja välikkeiksi tulee valita vesitiiviiseen rakenteeseen tarkoitetut mallit, jotta hankalilta ja riskialttiilta jälkipaikkaukselta säästyään. Seinät valetaan alle 0,5 metriä paksuina kerroksina kiertäen ympäri tai päästä päähän kiertämällä. Betonointia ei saa muotissa nostaa nopeammin kuin 0,4 metriä tunnissa. Massan huolelliseen täryttämiseen on myös syytä kiinnittää huomiota. (Söderlund 2004.)

Tukirakenteiden vakavuuteen tulee vesitiiviissä valuissa kiinnittää erityistä huomiota. Mikäli muotti pääsee valun aikana pettämään, rakenteen lopullinen vesitiiviyys voi olla menetetty. Lisäksi muottivälikkeiden tulee olla vesitiiviitä.

4.4 Betonin pumppaaminen

Betoni tulisi aina tilata mahdollisimman raekooltaan mahdollisimman suurella kiviaineksella, mutta joissain tapauksissa betonin pumppaamisen onnistumisen takia on valittava pienemmällä raekoolla suhteitettua betonimassa. Varsinkin pitkiä pumppulinjoja käytettäessä betonimassa voi pumpatessa alkaa erottumaan, jolloin linjaan muodostuu kivipesä joka tukkii linjan. Lisäksi pumppaamisen aloittaminen voi olla erittäin hankalaa suurikivisillä massoilla, koska kuivien letkujen sisäpinnat imevät itseensä vettä ja runkoaines tukkii helposti pumppulinjan.

Tästä syystä pumppulinjojen huolellinen voitelu ennen valun aloittamista on todella tärkeää.

Varsinkin pakkas- ja suolarasitettuja rakenteita valettaessa betonin pumppaamisen kanssa tulee helposti ongelmia. Pakkas- ja suolarasitetuissa rakenteissa käytettävä P-lukubetoni on suhteitettu siten, että suurempien kivien määrä betonimassassa on suurempi ja filleriä sekä hienompaa kiviainesta on vähemmän kuin muissa betoneissa. Kyseinen betoni muodostaa helposti kivipesiä pumppulinjaan, joten betonipumppu on saatava mahdollisimman lähelle valukohdetta, jotta säästyään pitkän pumppulinjan rakentamiselta. Betonipumppua tilatessa on hyvä kertoa pumppausurakoitsijalle betonimassan ominaisuudet, varsinkin erikoismassoja käytettäessä.

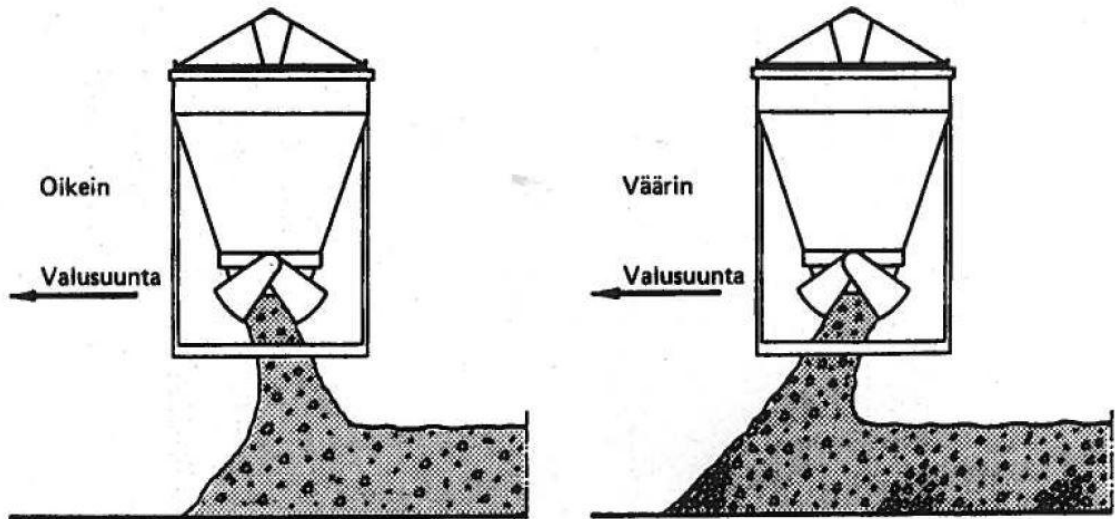
Itsetiivistyvän betonin pumppaamiseen nykyinen kalusto soveltuu hyvin. Pumppulinja kannattaa vetää valukohteeseen mahdollisimman suoraan välttämättä mahdollisuuksien mukaan nousuja ja laskuja. Itsetiivistyvän betonin pumppaaminen onnistuu hyvin, kun pumppuletkut on aluksi voideltu. Mikäli massaa yritetään pumpata ilman voitelua, pumppulinjat menevät helposti tukkoon. Kun itsetiivistyvä betoni on saatu aluksi pumppauslinjan läpi, pumppaus sujuu tämän jälkeen yleensä ongelmitta. Pitkien taukojen aikana mahdollisesti tapahtuva massan erottuminen voi aiheuttaa linjan tukkeutumisen. (ITB Itsetiivistyvä betoni 2004, 97.)

4.5 Betonointi

Betoni pyritään sijoittamaan muottiin siten, että se pysyy tasalatautuisena, täyttää muotin tasaisesti ja halutun paksuisena kerroksena ja että se liittyy saumattomasti muotissa jo ennestään olevaan tuoreeseen betonimassaan. Betonointi suoritetaan normaalisti maksimissaan 0,3...0,5 metrin kerroksina riippuen massan notkeudesta, rakenteesta, raudoituksesta ja betonille asetetuista vaatimuksista. (Betoniteknikan oppikirja BY201, 2004, 317.)

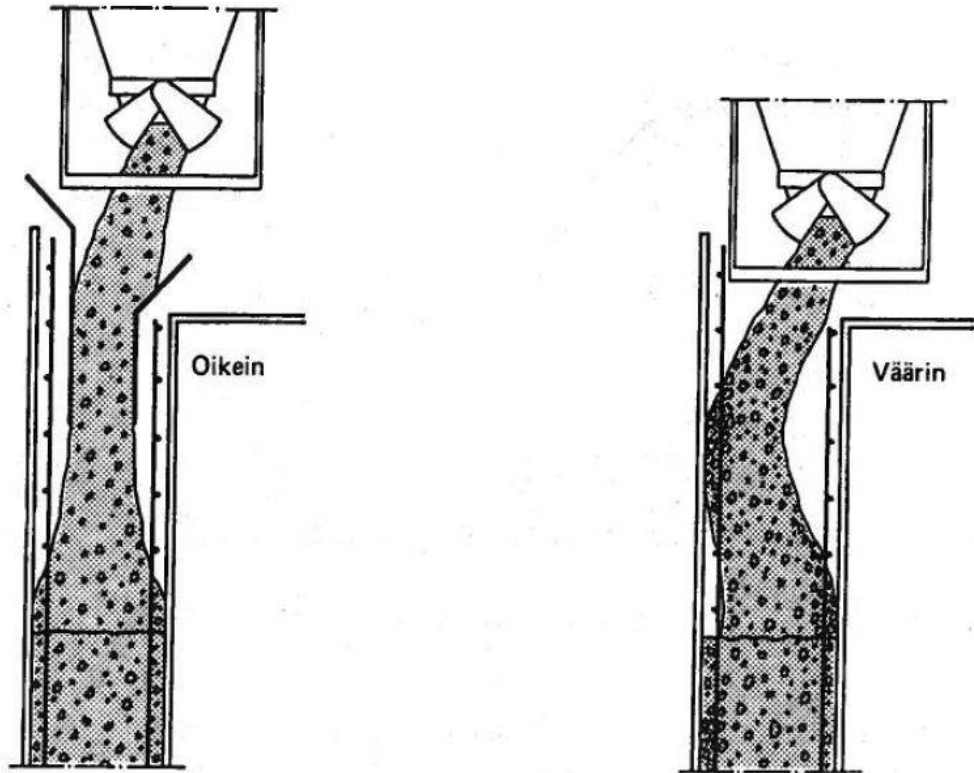
Betonimassa tulee sijoittaa suoraan lopulliselle paikalleen. Sen siirtämistä tärytimellä tulee välttää, koska tällöin hieno kiviaines siirtyy sivuille ja karkea runkoaine jää pääosin paikoilleen, eli seurauksena on massan erottuminen. Betonimassa erottuu myös iskeytyessään vinoa pintaa tai raudoitusta vasten ja pудо-

tettaessa massaa vinosti rintausta kohti (kuva 4.1). Lisäksi pumppulinjan pää tulee pitää kuvan 4.3 mukaisesti pystysuorassa, jotta kiviaines ei pääse erottumaan. Varsinkin karkean runkoaineen erottuminen ja siitä aiheutuva ”kivipesien” ja onkaloiden muodostuminen on usein virheellisen käsittelyn seurausta. (Betonitekniiikan oppikirja BY201, 2004, 317.)

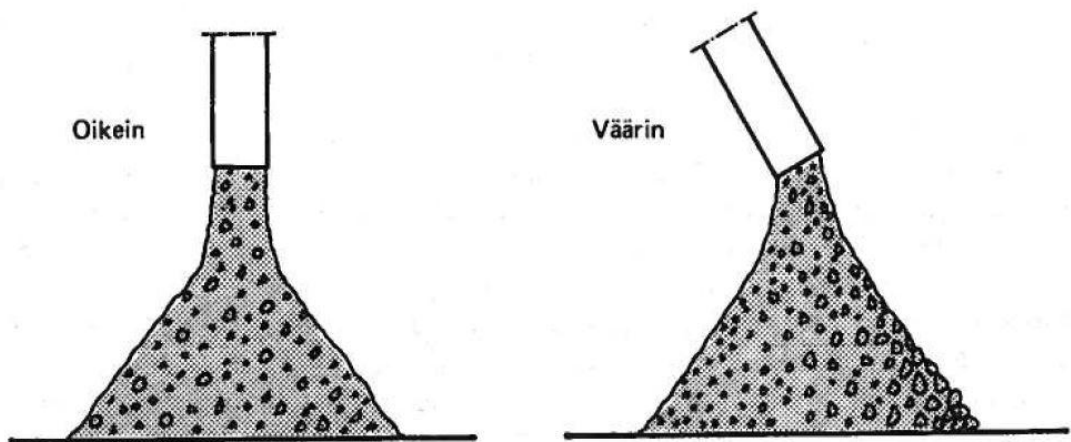


Kuva 4.1 Valusuunta (Betonitekniiikan oppikirja BY201, 2004, 318)

Erottumisvaaran vuoksi on betonimassan vapaa pudotuskorkeus pidettävä mahdollisimman pienenä, korkeintaan 1...1,5 m. Kuvasta 4.2 nähdään, kuinka erottumisriski kasvaa korkeita rakenteita valettaessa, joten korkeissa muoteissa on käytettävä valusuppiloita tai -sukkia massan vapaan pudotuskorkeuden rajoittamiseksi. Joillakin erikoisbetoneilla kuten itsetiivistyvällä betonilla voidaan käyttää korkeampaakin pudotuskorkeutta, kunhan toimivuus varmistetaan ennakkokokeilla. (Betonitekniiikan oppikirja BY201, 2004, 318.)



Kuva 4.2 Pudotuskorkeus (BY201, 2004, 319)



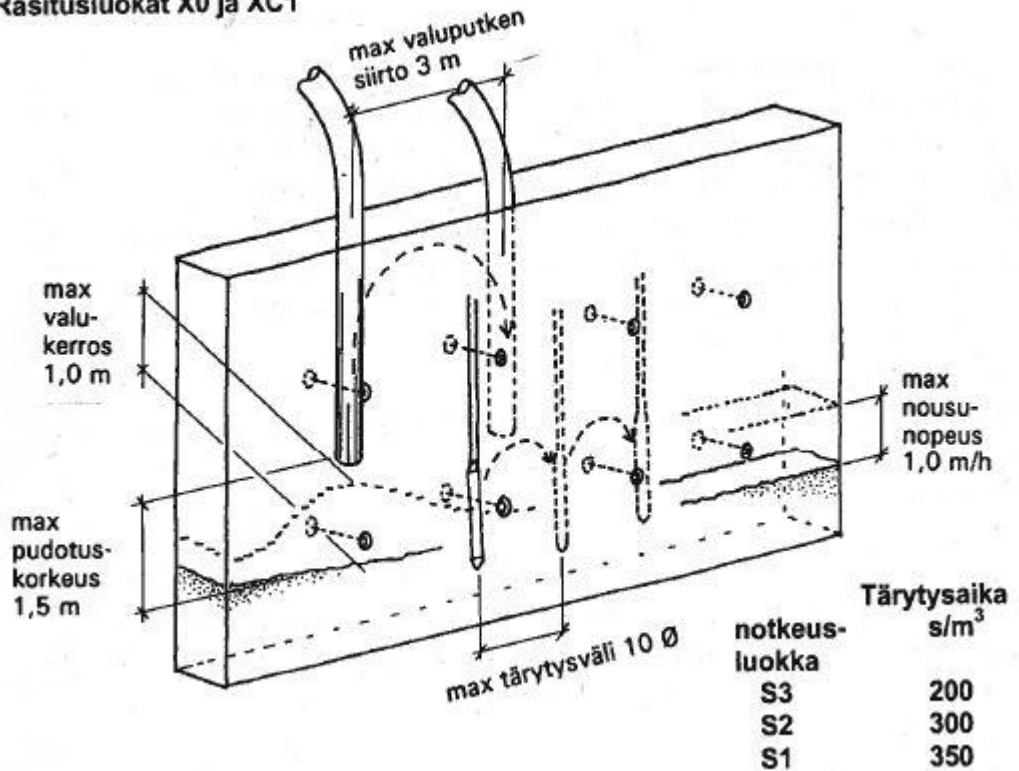
Kuva 4.3 Pumppulinjan pään oikea asento (BY201, 2004, 318)

Muotti täytetään vaakasuorina kerroksina alkaen muotin alimmasta kohdasta. Muottia täytettäessä huolehditaan siitä, että betonikerrokset säilyttävät suunnitteen suunnitellun paksuutensa. Tasainen valukerros varmistaa, että massa tulee aina tiivistettyä kokonaisuudessaan samalla tiivistysteholla. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, 319.)

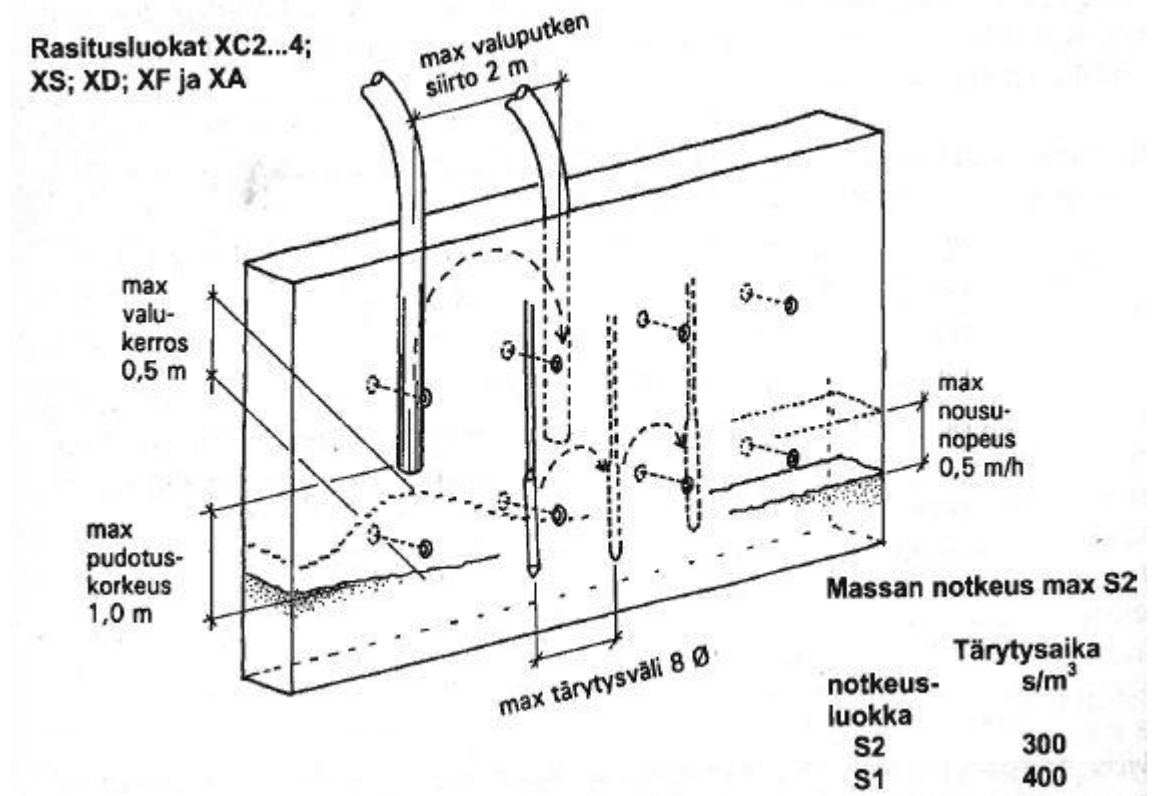
Seinämaisten rakenteiden valuohjeet näkyvät eri rasisluokilla kuvissa 4.4 ja 4.5. Valuputkea ei saa siirtää liikaa kerralla, jotta betonin tasainen jakautuminen

muottiin varmistetaan. Tiivistysväli saa olla korkeintaan kymmenen kertaa tärysauvan halkaisija rasisluokilla X0 ja XC1, ja kahdeksan kertaa tärysauvan halkaisija muilla rasisluokilla. Kuvissa on mainittu myös tiivistysajat eri notkeusluokille. Veteliä massoja käytettäessä tiivistyksen tarve lähes puolittuu jäykkiin massoihin verrattuna ja itsetiivistyviä massoja ei tarvitse normaalitapa- uksissa tiivistää lainkaan.

Rasisluokat X0 ja XC1



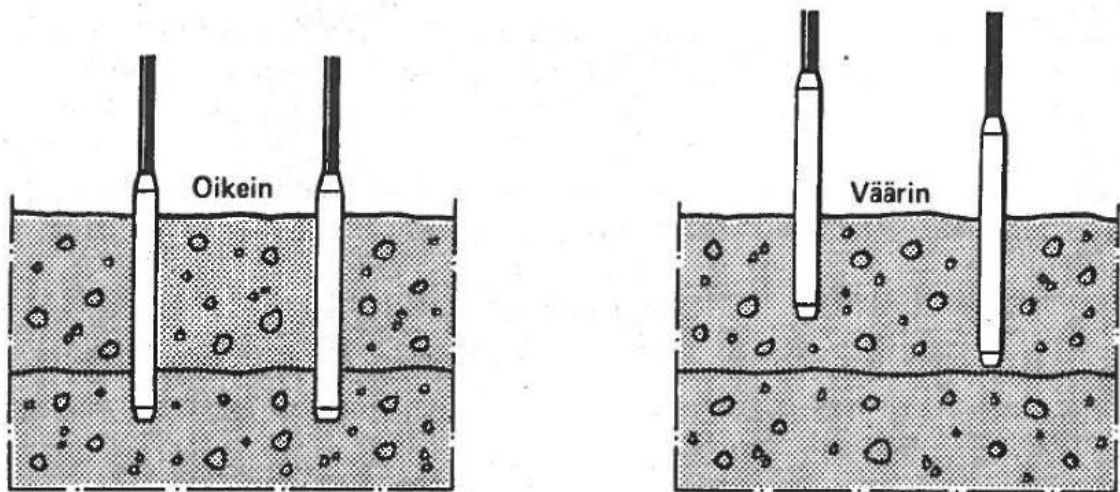
Kuva 4.4 Seinämäisen rakenteen valuhjeita eri rasisluokissa. (Betoniteknii- kan oppikirja BY201, 2004, 328)



Kuva 4.5 Seinämäisen rakenteen valuohteita eri rasitusluokissa. (Betoniteknii-
kan oppikirja BY201, 2004, 328)

4.6 Betonin tiivistäminen

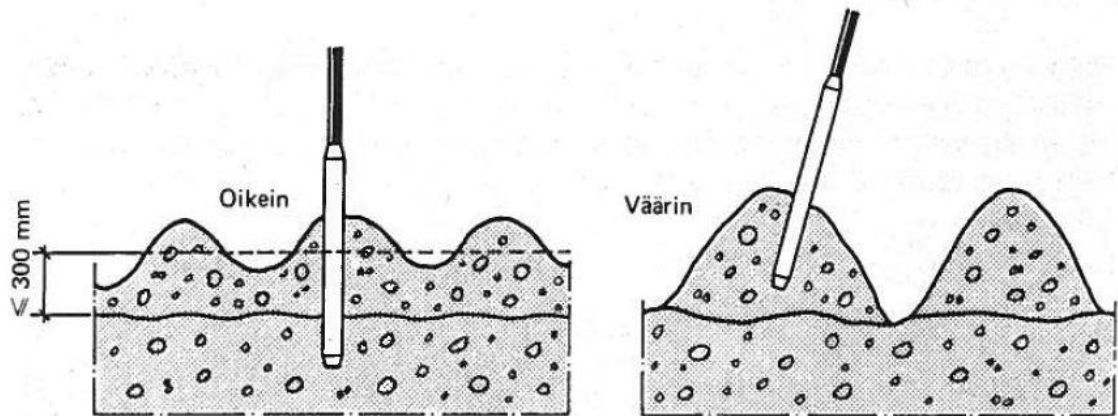
Betonin tiivistämisen tarkoituksena on saada betoni täyttämään muotit ja ympäröimään raudoitus täydellisesti, poistaa massasta ylimääräinen ilma ja saada betonin kiviaineksen osat hakeutumaan lähemmäksi toisiaan. Muottiin sijoitettu betoni tiivistetään huolellisesti ja järjestelmällisesti siten, että betonimassa tiivistyy kauttaaltaan ja jokainen uusi massakerros liittyy aikaisemmin valettuun betoniin. Kuvassa 4.6 tärysauva on ulotettu 150 millimetriä edelliseen valukerrokseen. Täryttäessä betonimassa saadaan värähdysliikkeeseen, jonka vaikutuksesta massan sisäinen kitka pienenee ja massa muuttuu juoksevaksi ja tiivistyy painovoiman vaikutuksesta. (Betoniteknii-
kan oppikirja BY201, 2004, 322.)



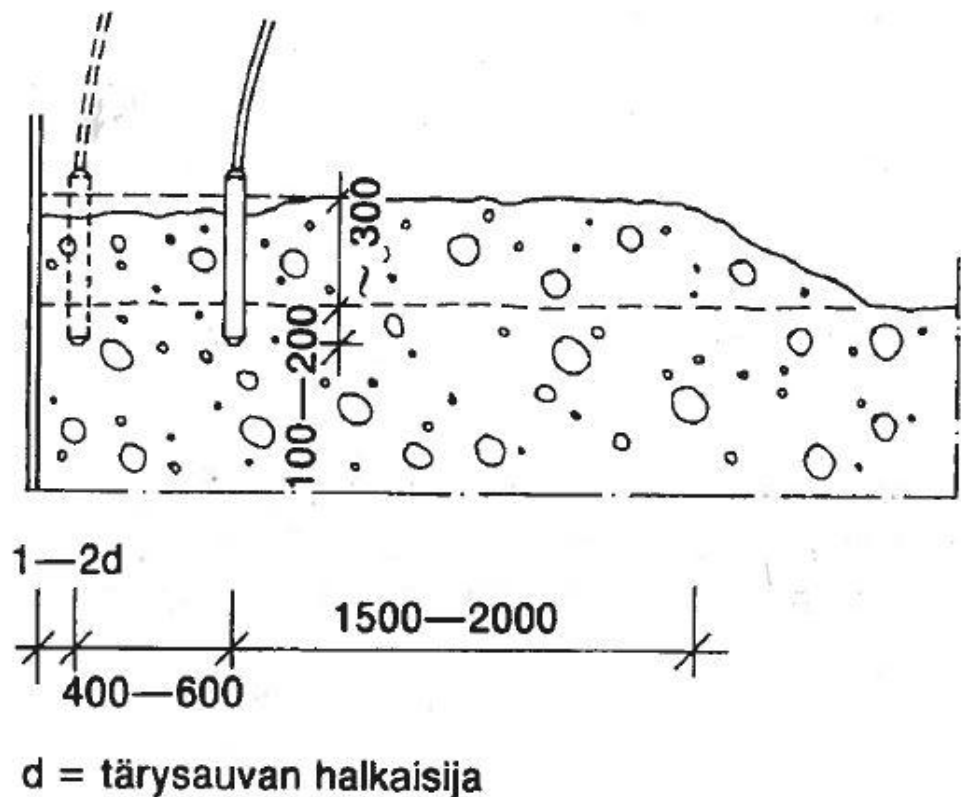
Kuva 4.6 Valukerrosten oikeaoppinen tiivistäminen (BY201, 2004, 322)

Tiivistämisen tarve on voimakkaasti riippuvainen betonimassan notkeudesta. Notkeimmilla massoilla tiivistämisen tarve on luonnollisesti vähäisempi kuin jäykemmällä massoilla. Koetulosten perusteella notkeimmilla massoilla tärysauvan vaikutussäde on 20...30 % suurempi kuin plastisella massalla ja tärytysaikaa voidaan vähentää 50 %. Näin ollen notkeampien betonimassojen käyttö on perusteltua varsinkin rakenteissa, joissa on tiheä rauditus tai paljon varauksia, eli käytännössä niissä tapauksissa kun tiivistäminen on hankalaa. Itsetiivistyviä betonimassoja ei tiivistetä normaalitilanteissa. (Betoniteknikan oppikirja BY201, 2004, 323.)

Tärysauvojen pistojen tulee jakaantua tasaisesti ja järjestelmällisesti koko betonoitavalle pinnalle. Pistojen keskinäinen etäisyys tulee olla kuvan 4.8 mukaisesti 200...600 millimetriä riippuen sauvan tehosta. Esimerkiksi 60 millimetrin halkaisijaltaan olevan sauvan pistoväli on 500 millimetriä ja 40 millimetrin sauvan 300 millimetriä. Tärytys ei saa tapahtua 1,5 metriä lähempänä ottorintausta. Lisäksi tärytin on pidettävä kuvan 4.7 mukaisesti pystyasennossa. 7 (BY201, 2004, 322.)



Kuva 4.7 Betonimassan oikeaoppinen annostelu (BY201, 2004, 322)



Kuva 4.8 Tärýsauvojen pistojen etäisyydet ja syvyys (BY201, 2004, 324)

Betonin tiivistyksen laiminlyönnistä voi olla seurauksena suuri huokoisuus, alentunut lujuus ja tiheys, ontelot ja kivipesät, huonontunut tiiviys ja säänkestävyys, epätasainen ja huokoinen pinta, heikentynyt tartunta terästen välillä ja työsaumoissa, sekä peräkkäin valettujen osien heikko liittyminen toisiinsa. (Betoni-tekniikan oppikirja BY201, 2004, 323.)

Itsetiivistyvää betonia käytettäessä betonointi helpottuu. Usein lopputuloksen kannalta ratkaiseva ja vaativa massan mekaaninen tiivistäminen jää kokonaan

pois. Pois jäävät tällöin myös siihen liittyvät riskit, kuten epäpätevän tai huolimattoman tiivistyksen seurauksena syntyvä harvavalu tai suurten tiivistyshuokosten jääminen massaan. Itsetiivistyvää betonia käytettäessä työympäristö paranee oleellisesti, kun tärytysten aiheuttama melu jää kokonaan pois. Tiiviisti asutetuilla alueilla valuajankohdat voidaan valita tavallista vapaammin, koska itsetiivistyvän betonin käyttö vähentää valussa syntyvää melua. Sähkökatkot tai tiivistyskaluston viat eivät myöskään aiheuta häiriöitä valutyön aikana. (ITB Itsetiivistyvä betoni, 2004, 99.)

4.7 Betonin valunopeus

Kuvassa 4.5 betonin suurimmaksi sallituksi valunopeudeksi on määrätty 500 millimetriä tunnissa, mutta vesitiiviitä teräsbetonirakenteita valettaessa suurin sallittu nousunopeus on ainoastaan 250 millimetriä tunnissa. Liian suurella nousunopeudella ja liian paksuina valukerroksina valettuun pystyrakenteeseen jää runsaasti tiiviyttä heikentäviä huokosia, koska ylimääräinen ilma ei ehdi poistua betonimassasta tiivistyksen aikana. (Rudus: Betonityömaaohje.)

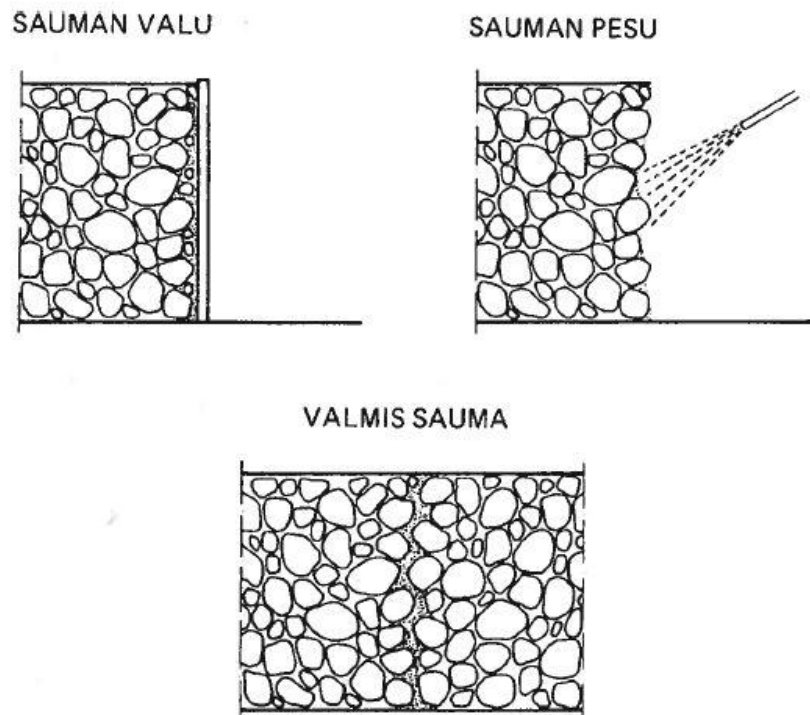
Betonoitaessa tapahtuu varsinkin notkeilla massoilla veden erottumista, joka ajoittuu ensimmäisiin valun jälkeisiin tunteihin. Valunopeuden ollessa suuri, saattaa erottuva vesi jäädä suurten kivien ja vaakasuunnassa olevien terästan-kojen alle. Tästä aiheutuu kyseisiin kohtiin suuria huokosia ja jopa onkaloita, jotka voivat olla erittäin haitallisia rakenteen vesitiiviydelle. Veden erottumista seuraa betonimassan plastinen laskeutuminen, josta aiheutuu halkeilua kohtaan jossa painuma on estetty, esimerkiksi harjaterästangon kohdalle. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, 319.)

Ennen betonin sitoutumista tapahtuvalla jälkitärytyksellä voidaan mahdolliset halkeamat ja onkalot saada sulkeutumaan. Laajoja pintoja valettaessa ei valunousunopeus saa alittaa 0,1 metriä tunnissa, ettei valusaumojaa pääse syntymään. Tarvittaessa voidaan käyttää hidastettua betonimassaa valusaumojen syntymisen ehkäisemiseksi. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, 319.)

4.8 Työsaumat

Betonoitava rakenne jaetaan usein kahteen tai useampaan kertavalualueeseen. Nämä valualueet katkaistaan työsaumoin. Työsauma on tehtävä aina kun betonointi keskeytetään niin pitkäksi ajaksi, että betoni ehtii jäykistyä ennen työn jatkamista. (BY201, 2004, 240.)

Työsaumat voidaan tiivistää tarkoitukseen kehitettyä saumanauhaa käyttäen. Toinen tapa on käyttää kuvan 4.9 mukaista ns. pestyä työsaumaa, jossa sementtilaastikerros poistetaan valua seuraavana päivänä painepesurilla. Tällä menetelmällä on esimerkiksi Pohjanmeren porauslautoissa tehty vedenpitäviä saumoja monen sadan metrin syvyyteen. (Söderlund 2004.)



Kuva 6.36 Pesty työsauma, joka on suositeltava tapa vaativissa ympäristöolosuhteissa. Pestyä työsaumaa käytettäessä muistuttaa työsauman kohta homogeenista betonia. Sen säilyvyys- ja lujuusominaisuudet ovat huomattavasti muita työsaumatyyppejä paremmat. Pestyn työsauman vetolujuus kohtisuorassa saumaa vasten on jopa 70 % käytettävän betonin vetolujuudesta. Leikkausta se siirtää lähes homogeenisen betonin verran.

Kuva 4.9 Pesty työsauma (Betonitekniiikan oppikirja BY201, 2004, 242)

4.9 Jälkihoito

Jälkihoidon tarkoituksena on aikaansaada olosuhteet, joissa valettu rakenne kovettuu moitteettomasti saavuttaen suunnitellun loppulujuuden ja muut betonille asetetut ominaisuudet. Jälkihoitoon pitää sisällään valetun rakenteen suojaamisen sateelta, tuulelta, auringonpaisteelta, virtaavalta vedeltä ja kylmyydeltä. Lisäksi rakenteen sisällä olevan veden liian nopea haihtuminen tulee estää ja huolehtia myös asianmukaisesta kovettumislämpötilasta. (Betonitekniikan oppikirja BY 201, 2004, 331.)

Vesitiiviiden betonirakenteiden jälkihoitoon on kiinnitettävä erityistä huomiota. Jälkihoidon päätavoitteena on estää rakenteessa esiintyvää plastista halkeilua, jota esiintyy lämpötilasta ja tuulesta riippuen tuntien sisällä valusta. Plastinen kutistuma aiheutuu lähinnä rakenteen pinnan liian nopeasta kuivumisesta, joten tässä tapauksessa halkeilun syntyä voidaan ehkäistä aloittamalla jälkihoito mahdollisimman nopeasti. Laattarakenteissa pintaan voidaan ruiskuttaa jälkihoitoaine, joka estää betonimassan sisällä olevan veden haihtumista rakenteen pinnalta. Jälkihoitoaineen lisäksi jälkihoito voidaan tehdä myös kastelemalla ja peittämällä valukohde. (Betonitekniikan oppikirja BY 201, 2004, 331-332.)

Talviolosuhteissa valettaessa valupintojen peittäminen ja eristäminen on myös todella tärkeää. Varsinkin kovalla pakkasella paljaaksi jäänyt valupinta voi jäähdyttyä liian nopeasti ja aiheuttaa rakenteeseen halkeamia. Varsinkin talvivaluissa lämpötilojen ja lujuuksien seuranta valun jälkeen on tärkeää esimerkiksi muotteen purkulujuuden määrittämiseksi. Kylmissä olosuhteissa valettu rakenne voidaan peittää erilaisilla lämpöä eristävillä matoilla tai käyttämällä lämpöeristettyjä muotteja. (Betonitekniikan oppikirja BY 201, 2004, 332.)

Jälkihoitoon kuuluu myös rakenteen kosteana pitäminen valun jälkeen. Kosteana pitäminen on tärkeää, jotta kovettumisreaktiot jatkuisivat riittävän kauan ja etenkin betonipeite saavuttaisi tavoitellun lujuuden ja tiiveyden. Lisäksi rakenteen kosteana pitäminen estää kuivumishalkeilun esiintymistä. Riittävä vesimäärä valetun rakenteen pinnalla voidaan turvata ruiskuttamalla valetun rakenteen pintaan jälkihoitoaine, peittämällä rakenne muovikalvolla tai kastelemalla betonia. Jälkihoito tulisi aloittaa heti, kun valettu rakenne kestää jälkihoitotoi-

menpiteet ja sitä tulisi jatkaa olosuhteista riippuen 1- 2 viikon ajan. (Betonitekniiikan oppikirja BY 201, 2004, 332.)

Kovettumislämpötilasta huolehtiminen varsinkin talviolosuhteissa on myös todella tärkeää, sillä betonin lujuuskehitys voi vaarantua liian alhaisen lämpötilan vaikutuksesta. Talviolosuhteissa kovettuva rakenne on suojattava lämpöeristyksellä, lämmitettävä ja lämpötiloja ja lujuuskehitystä on seurattava. Massiivisissa rakenteissa tai kesäolosuhteissa saattaa kovettuvan rakenteen lämpötila puolestaan nousta niin korkeaksi, että se aiheuttaa rakenteessa lujuuskatoa. Tällaisissa olosuhteissa on varauduttava jäähdyttämään betonia. Massiivivaluissa lämpötilan nousua voidaan rajoittaa käyttämällä betonissa mahdollisimman vähän sideainetta ja lisäksi käyttämällä kuonajauhetta sideaineen osana. (Betonitekniiikan oppikirja BY 201, 2004, 332, 545.)

5 Johtopäätökset ja pohdintaa

Vesitiiviistä betonista puhuttaessa tulee muistaa, että betoni on materiaalina luonnostaan kapillaarinen. Vesitiiveyskokeiden avulla voidaan kuitenkin määrittellä vesitiivis betoni veden tunkeuman perusteella. Betonirakenteen läpi kapillaarisesti liikkuvan veden määrään vaikuttaa olennaisesti kapillaarihuokokset, jotka taas ovat suoraan yhteydessä betonin vesi-sementtisuhteeseen. Kapillaarihuokosten määrä lisääntyy vesi-sementtisuhteen noustessa ja riittävän alhaisella vesisementtisuhteella kapillaarihuokosia ei synny lainkaan.

Rasitusluokkien tiedostaminen betonointisuunnitelmaa tehtäessä on todella tärkeää. Vaikka rakennesuunnitelmissa olisi annettu betonimassan kaikki lähtötiedot valmiiksi, on jokaiseen rakenteeseen käytettävän betonimassan ominaisuudet silti hyvä käydä läpi. Betonin säilyvyyden kannalta olennaisten rasitusluokkien tunteminen on tärkeää, varsinkin vesitiiviiden valujen osalta.

Halkeilun rajoittaminen otetaan huomioon jo suunnitteluvaiheessa raudoitusta lisäämällä, mutta myös työtekniikoilla on suuri merkitys halkeamaleveyksien rajoittamisessa. Halkeilun rajoittaminen tulee huomioida rakentamisen aikana huolellisissa ennakkovalmisteluissa, kohteeseen sopivan betonireseptin valinnassa, oikeissa valutekniikoissa ja jälkihoidossa.

Rakenteen vesitiiviyden ja säilyvyyden osalta kaikki halkeamat rakenteessa eivät ole välttämättä haitallisia. Rakenteen läpi menevät halkeamat ovat vesitiiviyden kannalta pahimpia, sillä vesi pääsee kulkeutumaan niiden kautta rakenteen läpi. Rakenteen pintaan muodostuvat halkeamat eivät ole yhtä haitallisia vesitiiviyden kannalta, vaikka ne voivatkin heikentää rakenteen säilyvyyttä ja tätä kautta myös vesitiiviyttä.

Rasitusluokkien valintaan tulee kiinnittää huomiota, koska ne ovat merkittävä tekijä teräsbetonirakenteen säilyvyyden kannalta. Toisaalta rasitusluokkia määrittäessä voidaan helposti säästyä lisäkustannuksilta kun ympäristörasituksia ei arvioida yläkanttiin. Varsinkin suurissa paikallavalukohteissa säästö voi olla merkittävä, joten on tärkeää, että kohteesta on saatu riittävästi tietoa suunnitteluvaiheessa.

Kemiallinen rasitus on todella haitallista betonin säilyvyyden kannalta, joten olosuhteissa, joissa kemiallista rasitusta esiintyy, on betonin tiivistämiseen ja jälkihoitoon kiinnitettävä erityistä huomiota. Betonin kemiallista kestävyyttä voidaan myös parantaa valitsemalla sopiva sideainetyyppi. Kemiallisen rasituksen tyyppistä riippumatta betonirakenteen vesitiiviydellä ja asianmukaisten paikallavalu-tekniikoiden käytöllä on todella merkittävä vaikutus laadukkaan lopputuloksen saavuttamisessa.

Betonimassan notkeus tulee päättää rakennekohtaisesti ja valintaa tehtäessä on huomioitava valettavan rakenteen muoto, mahdollinen runsas raudoitus, pintavaatimukset, plastinen painuminen ja kutistuminen, betonimassan tiivistäminen ja vallitsevat olosuhteet. Korkeita seinärakenteita valettaessa vetelillä betonimassoilla voi esiintyä plastista painumista, joten on valittava niin jäykkä ja suurikivinen massa kuin raudoitus ja betonimassan tiivistäminen sallivat. Mikäli rakenteen tiivistäminen on hankalaa, harvavalun riskiä voidaan pienentää valitsemalla notkeampi massa tai poistaa se kokonaan käyttämällä itsetiivistyvää massaa.

Vesitiiviiseen valuun valmistautuessa pätevät samat säännöt kuin muissakin betonoinneissa, mutta rakenteen halkeilua aiheuttavat ilmiöt muodostuvat ensiarvoisen tärkeiksi. Betonointisuunnitelmaa tehtäessä on tärkeää ottaa huomioon vallitsevat sääolosuhteet ja suorittaa esivalmistelut olosuhteiden mukaisesti.

Valunopeuden rajoittaminen korostuu vesitiiviiden rakenteiden valussa. Rasitusluokilla XC0 ja XC1 valun nousunopeus voi olla jopa 1,0 metriä tunnissa ja muilla rasitusluokilla 500 millimetriä tunnissa seinämäisiä rakenteita valettaessa. Rakenteen ollessa vesitiivis, nousunopeus on eri lähteiden mukaan kuitenkin ainoastaan 250...400 millimetriä tunnissa. Nousunopeutta rajoittamalla ehkäistään tehokkaasti plastisen painuman aiheuttaman halkeamien syntyminen rakenteeseen.

Rasitusluokkavaatimusten kiristyessä on hyvä kiinnittää huomiota betonin pumppaamiseen. Varsinkin jatkuvan sulamis-/jäätymis- ja suolarasituksen alaiset P-lukubetonit sisältävät vähän vettä ja runsaasti karkeaa kiviainesta, joten varsinkin pitkän linjan läpi pumpatessa linjaan muodostuu helposti kivipesiä.

Betonia tilatessa tulee varmistua myös betonin pumppaukseen soveltuvan kaluston saatavuus ja mikäli kohde on erityisen hankala, kannattaa betonin pumppaamiseen perehtynyttä urakoitsijaa pyytää tutustumaan kohteeseen.

Vesitiiviiden betonirakenteiden jälkihoitoon on kiinnitettävä erityistä huomiota. Jälkihoidon päätavoitteena on estää rakenteessa esiintyvää plastista halkeilua, jota esiintyy lämpötilasta ja tuulesta riippuen tuntien sisällä valusta. Talviolosuhteissa valettaessa valupintojen peittäminen ja eristäminen on myös todella tärkeää. Varsinkin tuulisella ja kylmällä ilmalla paljaaksi jäänyt valupinta voi jäähtyä liian nopeasti ja aiheuttaa rakenteeseen halkeamia.

Kuvat

Kuva 2.1. Esimerkkejä betonirakenteiden tyypillisimmistä halkeamista (Betonitekniikan oppikirja BY 201, 2004, 94) s 12.

Kuva 2.2. Betonin huokosrakenne (By 201, 2004, 76) s 15.

Kuva 2.3 Suojahuokosen vaikutus vesitiivyyteen (Betonitekniikan oppikirja BY 201, 2004, 106) s 16.

Kuva 3.1 Kerrostalon osien sijoittuminen eri rasitusluokkiin (BY50, 2004, 90) s 19.

Kuva 3.2 Pohjavesien keskimääräinen sulfaattipitoisuus SO_4^{2-} [mg/l]. (BY 50 2012, 92) s 24.

Kuva 4.1 Valusuunta (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, 318) s 32.

Kuva 4.2 Pudotuskorkeus (BY201, 2004, 319) s 33.

Kuva 4.3 Pumppulinjan pään oikea asento (BY201, 2004, 318) s 33.

Kuva 4.4 Seinämäisen rakenteen valuohjeita eri rasitusluokissa. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, 328) s 34.

Kuva 4.5 Seinämäisen rakenteen valuohjeita eri rasitusluokissa. (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, 328) s 35.

Kuva 4.6 Valukerrosten oikeaoppinen tiivistäminen (BY201, 2004, 322) s 36.

Kuva 4.7 Betonimassan oikeaoppinen annostelu (BY201, 2004, 322) s 37.

Kuva 4.8 Tärysauvojen pistojen etäisyydet ja syvyys (BY201, 2004, 324) s 37.

Kuva 4.9 Pesty työsauma (Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004, 242) s 39.

Taulukot

Taulukko 2.1. Betonirakenteiden ympäristöolosuhteiden luokitus (BY 203, 1995) s 8.

Taulukko 2.2. Ohjeet betonin koostumuksen vähimmäisarvoille eri ympäristöluokissa (BY 203, 1995) s 9.

Taulukko 2.3. Halkeamatyypit (Betonitekniikan oppikirja BY 201, 2004, 93) s 11.

Taulukko 3.3 (Betoninormit BY50, 2004, 108) s 22.

Taulukko 3.4 Kemiallisen rasituksen ympäristöluokkien raja-arvot (BY 50 2012, 91) s 25.

Lähteet

Betonitekniikan oppikirja BY201, 2004.

Betoninormit BY15, 2000.

Betoninormit BY50, 2004.

Betoninormit BY50, 2012.

Betonirakenteiden perusteiden oppikirja BY203, 1995.

Rudus, Betonityömaaohje

www.betoni.com/Download/21737/Työmaan%20aloituskokous.doc

Söderlund, Klaus. 2004 Betoniset säiliörakenteet

ITB Itsetiivistyvä betoni, 2004

<http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-suunnittelijalle/betonin-rasitusluokat-lyhyesti>

Rudus.

<http://www.rudus.fi/tuotteet/betonit/rakennebetonit>

Luettu 26.6.2013

RT 83–11032