

BETONIRAKENTEIDEN HALKEILU JA HALKEAMAKORJAUS INJEKTOIMALLA

Toni Reinikka

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) Reinikka, Toni	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 23.5.2014
	Sivumäärä 48	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi BETONIRAKENTEIDEN HALKEILU JA HALKEAMAKORJAUS INJEKTOIMALLA		
Koulutusohjelma Rakennustekniikka		
Työn ohjaaja(t) Konttinen, Jukka		
Toimeksiantaja(t) Suomen Maastorakentajat Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä selvitettiin betonirakenteiden halkeiluun johtavia syitä, jotka ovat seurausta betonointi- ja jälkihoitovirheistä. Työssä käsiteltiin myös betonirakenteiden halkeamakorjausta injektointimenetelmällä. Opinnäytetyön tilasi Suomen Maastorakentajat Oy, jonka toimintaan kuuluu olennaisesti betonirakentaminen.</p> <p>Opinnäytetyössä käytiin läpi, mitkä ilmiöt ja betonin ominaisuudet ovat halkeilun taustalla ja millä toimenpiteillä niitä voitaisiin välttää. Työssä esitettiin keinoja halkeilun estämiseksi betonoinnin esivalmistelun, valutyön toteutuksen sekä jälkihoidon osalta. Työ sisältää kirjallisista lähteistä koottua tietoa, joka selventää betonoinnin riskitekijöitä aloittavalle mestarille tai muista tehtävistä työnsiirtoon siirtyneelle henkilölle. Opinnäytetyössä injektointi otettiin esille omana kokonaisuutenaan, jonka osalta kerrottiin injektointityön kulku, käytettävät aineet ja niiden soveltuvuus eri tilanteisiin.</p> <p>Betonirakenteiden halkeilu on usein monen eri asian summa. Olosuhdehallinta sekä oikein toteutettu jälkihoito ovat ensisijaisen tärkeitä toimenpiteitä valun onnistumiselle. Laattojen ja seinämäisten rakenteiden ero tulee ymmärtää, kuten myös massiivisten rakenteiden vaatimat omat erityisjärjestelyt. Betonointi on toimenpide, joka alkaa huolellisella esivalmistelulla ja loppuu vasta, kun jälkihoito lopetetaan. Betoni halkeilua voidaan vähentää tai jopa poistaa kokonaan, jos betonityönjohtajalla sekä työntekijöillä on oikea käsitys materiaalin ominaisuuksista ja olosuhteen vaikutuksista halkeiluun.</p> <p>Työn liitteeksi on tehty ohjekortit, joita voidaan käyttää apuna valutyön olosuhdehallinnan ja jälkihoitotoimenpiteiden suunnittelussa halkeamariskin välttämiseksi. Työn lukemalla selviää ohjekortissa mainittujen toimenpiteiden perusta. Opinnäytetyö toimii hyvin ohjaavana tietolähteenä aloittavalle betonityönjohtajalle niin valun, kuin injektointinkin osalta.</p>		
Avainsanat (asiasanat) betonirakenteet, betonin halkeilu, jälkihoito, halkeamakorjaus, injektointi		
Muut tiedot		



Author(s) Reinikka, Toni	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 23.5.2014
	Pages 48	Language English
		Permission for web publication (X)
Title CONCRETE CRACKING AND CRACK REPAIR BY INJECTION		
Degree Programme Civil Engineering		
Tutor(s) Konttinen, Jukka		
Assigned by Suomen Maastorakentajat Oy		
Abstract <p>The purpose of this thesis was to find out cracking in concrete structures caused by casting and after-care errors. The thesis also looks into concrete crack injection repair. This thesis was assigned by Suomen Maastorakentajat Oy. Suomen Maastorakentajat is a building contractor whose major field of business is concrete construction.</p> <p>The thesis clarifies which phenomena and properties of concrete are the reasons for cracking and how it is possible to avoid them. The main focus of this thesis was on finding solutions how to avoid cracking of concrete structures on preparation of casting, casting work and after-care. The thesis includes information from several different written sources to clarify the risks of casting to an entry level supervisor. This thesis explains also how to carry out crack injection, the materials used for it and their suitability for different situations.</p> <p>Cracking is often a result from many different issues. Circumstance management and correctly done after-care are primary operations in order to implement a successful casting. It is very important to understand the difference of slab and wall structures and also the special characteristics of massive structures. Casting is an operation that starts with good preparation and ends when the after-care is finished. It is possible to avoid cracking if supervisor and workers understand how concrete behaves and know how the casting circumstances affect concrete.</p> <p>The thesis includes instructions to assist when planning casting preparations and after-care operations. The basis for the instructions is in the thesis. The thesis works well as a source of information to entry level supervisors needing information on casting and injections.</p>		
Keywords concrete structures, concrete cracking, after-care, injection		
Miscellaneous		

Sisältö

Määritelmiä.....	5
1 Työn lähtökohdat	8
1.1 Tehtävän taustat	8
1.2 Opinnäytetyön tavoite ja aiheen rajaus	8
1.3 Suomen Maastorakentajat Oy	9
2 Betonin halkeilu.....	10
2.1 Yleistä.....	10
2.2 Halkeilun vaikutus betonirakenteeseen	13
2.3 Halkeamien itsetiivistyminen.....	13
3 Kutistumatyypit.....	14
3.1 Plastinen painuma	14
3.2 Plastinen kutistuma	15
3.3 Kuivumiskutistuma	16
3.4 Estetty muodonmuutos	17
3.5 Hydrataatiokutistuma.....	18
3.6 Lämpömuodonmuutoskutistuma	19
4 Valuolosuhteiden vaikutus halkeiluun	20
4.1 Ilman ja valualustan lämpötila	20
4.2 Tuuli ja ilman kosteuspitoisuus	22

	2
4.3 Valualustan kosteuspiitoisuus	24
5 Betonirakenteiden jälkihoito	24
5.1 Jälkihoidon merkitys	24
5.2 Varhaisjälkihoito	26
5.3 Varsinainen jälkihoito	27
6 Halkeilun estämiskeinoja	29
6.1 Työn suunnittelu	29
6.2 Plastisen kutistuman aiheuttama halkeilu	29
6.3 Plastisen painuman aiheuttama halkeilu	30
6.4 Lämpömuodonmuutos kutistuman aiheuttama halkeilu	31
6.5 Massan suunnittelu	31
7 Betonirakenteiden injektointi	32
7.1 Injektoinnin tarkoitus	32
7.2 Injektointi- ja imeytysvirheet	34
8 Injektointiaineet	34
8.1 Injektointiaineiden luokitus	34
8.2 Sementti-injektointiaineet	35
8.3 Muovi-injektointiaineet	36
8.3.1 Epoksit	36
8.3.2 Polyuretaanit	37

8.3.3 Akryylit.....	37
9 Sulkuaineet.....	38
10 Injektointityö.....	38
10.1 Injektointi sementeillä	38
10.2 Injektointi muoveilla	40
10.3 Imeytys.....	42
10.4 Injektointiletkut.....	43
11 Pohdinta	45
Lähteet	46
Liitteet	47
Liite 1. Olosuhdehallinnan ohjekortti.....	47
Liite 2. Jälkihoidon ohjekortti	48
 Kuviot	
KUVIO 1. Suomen Maastorakentajat Oy:n urakat työlajeittain 2001-2012.....	10
KUVIO 2. Halkeamien syntymisajankohta valuhetkestä lähtien	11
KUVIO 3. Betonirakenteiden tyypillisiä halkeamia	12
KUVIO 4. Plastisen painuman aiheuttamia halkeamia.....	15
KUVIO 5. Betonin kutistuminen ja laajeneminen kosteusliikkeiden vaikutuksesta	17
KUVIO 6. Sisäisen esteen aiheuttama jännitys.....	18
KUVIO 7. Ulkoisen esteen aiheuttama jännitys.....	18

KUVIO 8. Betoniseinän sisäosan laskennallinen lämpötilanousu.....	20
KUVIO 9. Betonin lämpötilan vaikutus lujuudenkehitykseen.....	22
KUVIO 10. Tuulen vaikutus varhaisvaiheen kutistumaan	22
KUVIO 11. Lämpötilan ja kosteuspitoisuuden vaikutus haihtumiseen	23
KUVIO 12. Jälkihoidon toteutuksen periaatekaavio	25
KUVIO 13. Seinämäisen rakenteen betonointi, rasitusluokat: X0 ja XC1.....	30
KUVIO 14. Seinämäisen rakenteen betonointi, rasitusluokat: XC2-4, XS, XD, FX, XA .	31
KUVIO 15. Pintapaikkaus ja tyhjän tilan injektointi sementillä	39
KUVIO 16. Injektioinnin porausreikä.....	40
KUVIO 17. Holvirakenteen injektioinnin periaate	41
KUVIO 18. Seinämäisen rakenteen injektioinnin periaate.....	42
KUVIO 19. Injektointiletkun rakenne	43
KUVIO 20. Injektointiletku asennettu käyttämällä varausrasiaa.....	44
KUVIO 21. Injektointiletkuasennettu käyttämällä syöttökartioita	44

Taulukot

TAULUKKO 1. Jälkihoidon suositellut vähimmäisajat, normaalisti kovettuva betoni .	28
TAULUKKO 2. Jälkihoidon suositellut vähimmäisajat, nopeasti kovettuva betoni.....	28
TAULUKKO 3. Injektointiaineiden käytettävyys eri tilanteissa	33
TAULUKKO 4. Sementti-injektointiaineiden ominaisuuksia.....	36

Määritelmiä

Adiabaattinen lämpötila

Käytetään vertailulämpötilana massiivisen rakenteen hydrataatioreaktion tuottaman lämpötilan tarkastelussa. Adiabaattisessa prosessissa rakenteesta ei poistuu lämpöä.

Hierto

Betonipinnan tiivistäminen koneellisesti tai käsin. Parantaa pinnan kestävyyttä, tiiveyttä ja lujuutta.

Hydrataatio

Veden ja sementin välinen kemiallinen reaktio, jossa muodostuu sementtikivi.

Hydrataatiolämpö

Hydrataatiossa syntyvä lämpö.

Jälkihoito

Toimenpide, jolla ylläpidetään betonirakenteelle optimaaliset lämpö- ja kosteusolosuhteet kovettumisen ajaksi.

Jälkihoitoaine

Nestemäinen tiiviin kalvon muodostava aine, joka levitetään betonipinnalle sumuttamalla.

Kalsiumhydroksidi

Toiselta nimeltään sammutettu kalkki. Kemiallinen kaava $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Valmistetaan sekoittamalla kalsiumoksidia (poltettu kalkki) ja vettä.

Kalsiumkarbonaatti

Sementin raaka-aine, jota saadaan kalkkikivestä. Kemiallinen kaava CaCO_3 .

Karbonatisoituminen

Hiilidioksidin ja betonin sisältämän kalsiumhydroksidin reaktio, jonka seurauksesta betonin emäksisyys laskee ja betonin teräksiä suojaava vaikutus heikkenee.

Lentotuhka

Hienoksi jauhetun kivihiilen poltosta syntyvä pozzolani. Parantaa massan työstettävyyttä ja koossapysyvyyttä. Heikentää varhaislujuutta mutta parantaa myöhäislujuutta. Alentaa hydrataatiolämpöä, jos sillä korvataan sementin määrää. Massan sitoutumisen ja lujittumisen hidastavuuden takia ei suositeltava talvibetonoinnissa. Vaikeuttaa huokostamista sekä saattaa muuttaa muiden lisäaineiden toimintaa. Vaikuttaa massan värisävyyden tummentavasti. (by 201 2004, 59-60.)

Massiivirakenne

Rakenne, joka on ulkomitoiltaan niin suuri, että hydrataatiolämmöstä johtuvan tilavuudenmuutoksen aiheuttaman halkeamavaaran rajoittamiseksi on ryhdyttävä toimenpiteisiin. Usein rakenne, jonka pienin sivun mitta on noin metri.

Masuunikuona

Hienoksi jauhattua granuloitua masuunikuonaa. Alentaa varhaislujuutta, mutta kasvattaa myöhäislujuutta. Parantaa betonin sulfaatinkestävyyttä, alentaa hydrataatiolämpöä, lisää lievästi virumaa ja karbonatisoitumisnopeutta. Vaikuttaa massan värisävyyden vaalentavasti. (by 201 2004,60.)

Silika

Piiraudan ja piin valmistuksessa syntyvä hienojakoinen pozzolaani. Lisää betonin lujuutta, parantaa koossapysyvyyttä, tiiviyyttä, kestävyyttä ja vedenpitävyyttä. Alentaa hydrataatiolämpöä. Vaikuttaa massan värisävyyden tummentavasti. (by 201 2004, 60.)

Teräksen korroosio

Ympäristön vaikutuksesta tapahtuva syöpyminen, eli ruostuminen. Aiheutuu, kun betonin teräksiä suojaava vaikutus lakkaa esimerkiksi halkeilun seurauksesta.

Tiksotrooppinen aine

Aine, jonka viskositeetti pienenee sekoittaessa. Aineen juoksevuus vähenee kun sitä ollaan häiritsemättä.

Tärytys

Tuoreen betonin tiivistäminen muottiin. Tärytys parantaa muotin täyttymistä ja poistaa massasta ylimääräisen ilman. Pääsääntöisesti tärytys tehdään sauvatäryttimellä.

Vesi-sementtisuhde, w

Tuoreen betonin sisältämän veden (v) ja sementin (s) määrien suhde paino-osina mitattuna. $w = v/s$.

Viskositeetti

Voima, joka vastustaa nesteen vapaata virtausta. Korkea viskositeettinen aine on jäykkää ja matala viskositeettinen aine on hyvin juoksevaa.

1 Työn lähtökohdat

1.1 Tehtävän taustat

Valutyöllä saadaan usein nopeasti näkyvää aikaan. Ennen valua on kuitenkin tehtävä valtavasti työtä muun muassa pohjarakenteiden, raudoitusten ja muottien kanssa. Valutyöhön liittyykin usein suuret työpanokset sekä materiaalikustannukset. Ei siis ole aivan sama, miten valun ennakovalmistelut, valutyö ja jälkihoito suoritetaan. On äärimmäisen tärkeää ymmärtää betonirakenteiden halkeiluun johtavat syyt niin valutyön, jälkihoidon kuin olosuhdehallinnankin osalta, jotta ennen betonointia tehty työ ei menisi hukkaan, eikä tarpeettomia jälkityökustannuksia syntyisi. Valutyön riskien ennakointi sekä betonin ominaisuuksien ymmärtäminen onkin suuressa roolissa valutyön onnistumisen kannalta.

Betonirakenteille halkeilu on kuitenkin tyypillinen ominaisuus, eikä siltä voida täysin välttyä. Toisinaan halkeilun aiheuttaa suunnitteluvirhe toisinaan taas virheet tuotannossa. Halkeiluriskit ovat suuret varsinkin, kun työskennellään haasteellisissa kohteissa ja haasteellisissa olosuhteissa. Halkeamat on kuitenkin saatava hallintaan, jotta rakenteen käytettävyys ja laatuvaatimukset täyttyvät. Halkeamien korjaus on siis myös hallittava.

1.2 Opinnäytetyön tavoite ja aiheen raja

Opinnäytetyön on tarkoitus toimia selvityksenä aloittavalle mestarille tai muista tehtävistä työmaalle siirtyneelle työnjohtajalle, mitkä ilmiöt ja betonin ominaisuudet ovat halkeilun taustalla ja millä toimenpiteillä niitä voitaisiin välttää. Opinnäytetyössä selvitettiin betonirakenteiden halkeiluun johtavia syitä, jotka syntyvät betonointi- ja jälkihoitovirheistä. Työhön on etsitty tietoa eri lähteistä liittyen valuolosuhteiden hallinnan, valutyön ja jälkihoidon vaikutuksista betonirakenteen onnistumiseen. Tavoitteena oli löytää seikat, joilla voidaan pienentää halkeilun riskejä, jotta betonirakenteet täyttäisivät niille asetetut laatuvaatimukset ja että välttyttäisiin turhalta jälki-

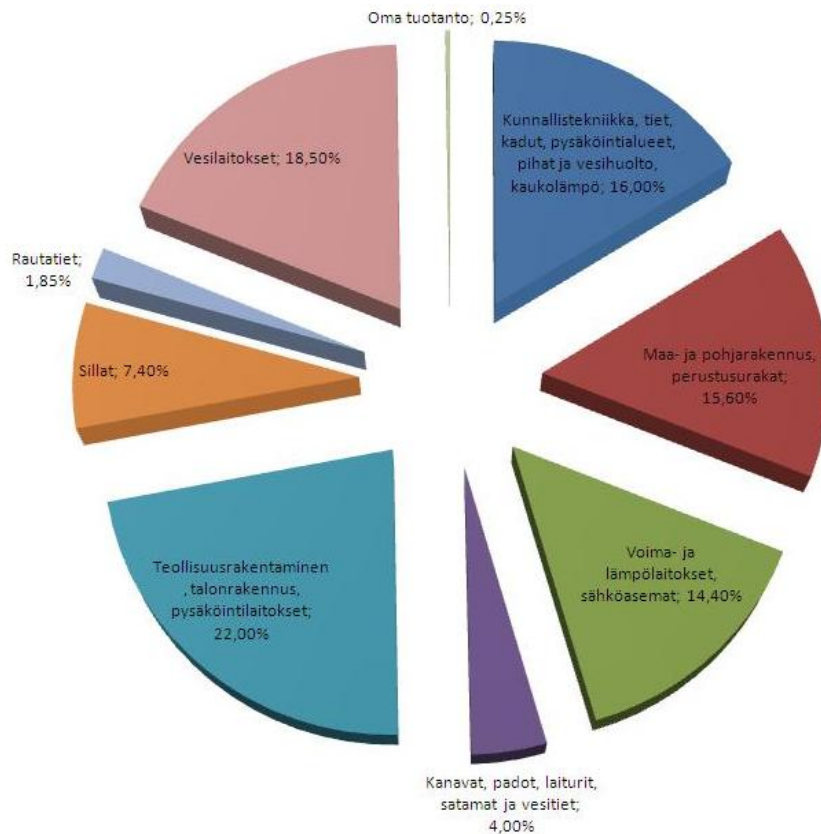
työltä. Työn liitteeksi tulevat ohjekortit, joita voidaan käyttää apuna olosuhdehallinnan ja jälkihoidon suunnittelussa. Opinnäytetyössä käsitellään myös halkeamien korjausta injektoimalla. Työssä käydään läpi eri injektointimenetelmät huomioiden niiden soveltuvuus erityyppisten halkeamien korjaukseen. Injektoinnissa keskitytään muovi- ja sementtipohjaisiin injektointiaineisiin sekä sulkuaineisiin.

Työn ulkopuolelle on rajattu suunnitteluvirheistä ja rapautumisilmiöistä johtuva betonin halkeilu. Opinnäytetyössä ei myöskään käsitellä rakenteiden kuntotutkimusta. Injektoinninosalta injektointibetonointi on rajattu aiheen ulkopuolelle.

1.3 Suomen Maastorakentajat Oy

Opinnäytetyön tilaajana oli Suomen Maastorakentajat Oy. Suomen Maastorakentajat Oy on vuonna 1987 perustettu maa-, vesi-, teollisuus- ja sillanrakentamiseen erikoistunut rakennusliike, jonka toimipisteet sijaitsevat Siilinjärven Vuorelassa sekä Jyväskylässä. Suomen Maastorakentajat Oy työllistää noin 90 henkilöä ja liikevaihto vuonna 2011 oli noin 23 miljoonaa euroa. (Suomen Maastorakentajat Oy, 2012)

Syksyllä 2012 Andament Group Oy osti Suomen Maastorakentajat Oy:n osakeenemmistön, jonka myötä Andament Group konserni laajensi tarjontaansa teollisuusrakentamiseen sekä vahvisti infrarakentamisen tarjontaa. Keväällä 2014 Andament Group Oy osti Suomen Maastorakentajat Oy:n koko osakekannan, ja samalla Andament Groupin tytäryhtiö Andament Oy sulautui Suomen Maastorakentajiin. Yhtiö jatkaa toimintaansa Suomen Maastorakentajat Oy:n nimellä, jonka toimitusjohtajana toimii Jukka Juola. (Suomen Maastorakentajat Oy, 2014)



KUVIO 1. Suomen Maastorakentajat Oy:n urakat työlajeittain 2001-2012 (Suomen maastorakentajat Oy)

2 Betonin halkeilu

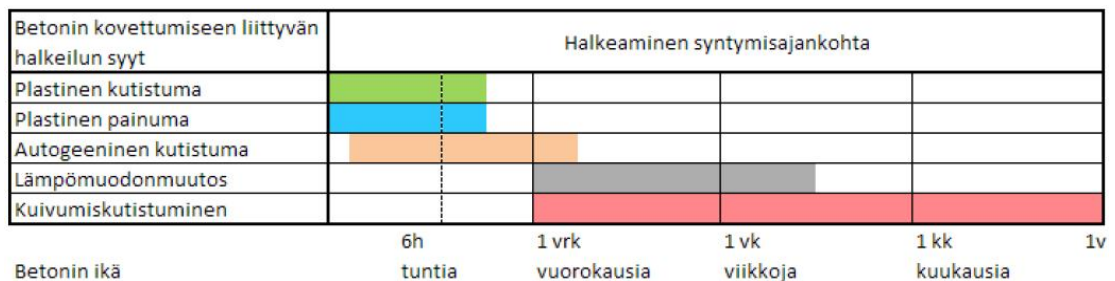
2.1 Yleistä

Halkeilu on betonirakenteille tyypillinen ominaisuus. Rakenteen ulkonäön, staattisen toiminnan ja säilyvyyden vuoksi on kuitenkin olennaista, että halkeilu saadaan hallittua ja halkeamaleveydet ovat riittävän pieniä. Näihin seikkoihin voidaan vaikuttaa suunnittelemalla rakenteet ja massan koostumus oikein, sekä tekemällä valutyö ja jälkihoito huolellisesti. (by 201 2004, 92.)

Halkeilu johtuu usein betonin kutistumisesta. Betonin kutistumistaipumus onkin syytä tiedostaa, jotta halkeiluun pystytään varautumaan etukäteen. Kun tarvittaviin toimenpiteisiin ryhdytään ajoissa, voidaan välttyä betonirakenteisiin syntyviltä näkyviltä halkeamilta. (Komonen 2010, 428.) Betonirakenteen halkeiluun vaikuttaa kuivumis-

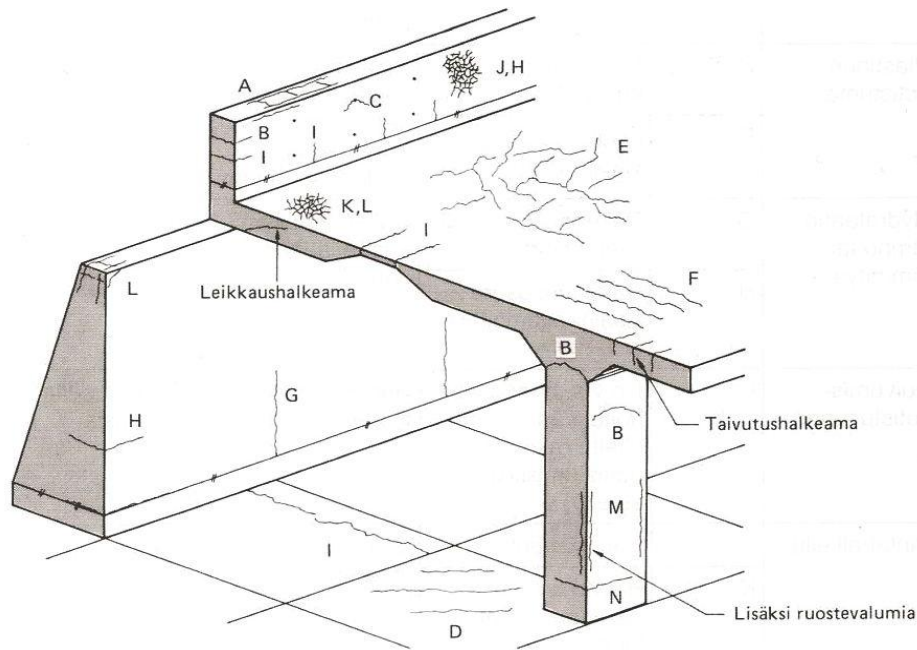
kutistuman, hydrataatiokutistuman ja plastisen kutistuman lisäksi plastisesta painumasta ja rakenteen eri osien lämpötilaeroista johtuva halkeilu.

Käsiteltäessä betonin kutistumista on otettava huomioon, että betonilla on useita eri kutistumatyyppejä. Kutistumat jaetaan varhaisvaiheen ja myöhäisvaiheen kutistumaan. Varhaisvaiheen kutistumat muodostuvat vuorokauden kuluessa betonoinnista, ja myöhäisvaiheen kutistumat kehittyvät tämän jälkeen. Kuviossa 2 on esitetty eri kutistumatyypeistä aiheutuvien halkeamien ajankohta valuhetkestä lähtien. (Betonin kutistuma ja sen huomioiminen 2010, 1.)



KUVIO 2. Halkeamien syntymisajankohta valuhetkestä lähtien (Betonin kutistuma ja sen huomioiminen 2010, 1.)

Massan sitoutuessa vesi ja sementti muodostavat sementtikiveä. Sementtikiven tilavuus on alkutuotteiden tilavuutta pienempi, ja näin ollen betoni kutistuu aina. Koska kutistumatonta normaalibetonia ei ole, tulisi betonirakenteiden kutistuma aina ottaa huomioon valussa. Betonirakenteiden suunnittelulla voidaan kutistumaa rajata rakennetyyppiin sopivaksi. Jälkihoidolla puolestaan voidaan estää liian nopea kutistuma. Halkeilun kannalta merkittävintä on plastinen kutistuma. Plastinen kutistuma voi olla kymmenkertainen verrattuna kuivumiskutistuman suuruuteen. (Betonin kutistuma ja sen huomioiminen 2010, 1.) Kuviossa 3 on kuvattu betonirakenteiden tyypillisiä halkeamia.



KUVIO 3. Betonirakenteiden tyypillisiä halkeamia (by 201 2004, 94.)

Kuviossa 2. esiintyvien halkeamien selitykset (by 201 2004, 93.)

Halkeilun aiheuttaja	Kirjain	Pääsyy	Toissijainen syy	Esiintymisaika-kohta
Plastinen painuma	A, B, C	Veden erottuminen	Nopea kuivuminen, liian myöhään aloitettu jälkihoito	0,5...4h (T=20...30°C), 4...8h (T=7...20°C)
Plastinen kutistuma	D, E	Pinnan nopea kuivuminen	Hidas haihtuvan veden korvautuminen (tiivis massa), liian myöhään aloitettu jälkihoito	0,5...4h (T=20...30°C), 4...8h (T=7...20°C)
	F	Lisäksi rauditus yläpinnassa		
Hydrataatiolämpö tai lämmitys	G	Rakennusosien välinen lämpötilaero	Rakenteen liian nopea jäähtyminen	1...3d
	H	Rakennusosan sisäinen lämpötilaero		
Kuivumis-kutistuminen	I	Iso v/s, huono jälkihoito, väärin suunnitelturakenne (kutistumis-liikkeet estetty)	Huono tartunta työsaumassa	Viikko...useita kuukausia
Pintahalkeilu	J	Huono muotti	Suuri sementti- ja vesimäärä, huono jälkihoito	Yleensä 1...7d, joskus myöhemmin
	K	Huono tai liian aikainen pinnan hierto		
Pakkasrapautuminen	L	Vesi, jäätyminen ja sulaminen	Liian vähän suojahuokosia, betoni vedellä kyllästynyt	Ensimmäiset talvet ... useita vuosia
Raudituksen ruostuminen	M	Liian pieni betonipeite	Liian huokoinen betoni	Useita vuosia
	N	Kloridit		

2.2 Halkeilun vaikutus betonirakenteeseen

Halkeamat lisäävät betonin läpäisevyyttä ja alentavat näin ollen betonin laatua. Halkeilun johdosta betonin teräksiä fysikaalisesti ja kemiallisesti suojaava vaikutus heikenee. (by 201 2004, 92.) Rakenteeseen pääsee halkeamien kautta tunkeutumaan haitallisia aineita esimerkiksi veteen liuenneita klorideja sekä hiilidioksidia (by 41 2007, 83). Olosuhteista riippuen epäedullisimpia halkeamia ovat raudoituksiin asti yltävät yli 0,2...0,4 mm leveät halkeamat. Tällaisten halkeamien kautta korroosiota aiheuttavat aineet pääsevät helposti tunkeutumaan raudoitukseen ja sitä ympäröivään betoniin asti. Jos halkeamat ovat raudoitustankojen suuntaisia, ne voivat aiheuttaa korroosiota laajalla alueella. Suunnittelussa rajoitetaan laskennalliset halkeamaleveydet 0,1...0,3 mm:iin olosuhteiden mukaan. (by 201 2004, 92.)

Betonirakenteilla saattaa olla myös vesitiiveysvaatimuksia. Pohjavesipinnan alapuolelle tehtävät rakenteet, allasrakenteet sekä altaiden ja säiliöiden läpiviennit tulee olla vesitiiviitä. Tällaisissa rakenteissa rakenteiden suunnittelun, valutyön toteutuksen ja jälkihoidon tulee onnistua, jotta vuodoilta vältyttäisiin tai niitä voitaisiin minimoida. Luvusta 7 alkaen käsitellään lähemmin halkeamien korjaamista injektoimalla.

2.3 Halkeamien itsetiivistyminen

Halkeamien itsetiivistyminen voidaan käsittää myös halkeaman itsekorjautumisella. Betonin kykyä korjautua itsestään ei voida kuitenkaan pitää itsestään selvänä ilmiönä. Mitä hienommaksi betonissa käytetty sementti on jauhettu, sitä epätodennäköisempää vapaan sementin määrä betonissa on. Suuren sementtihiukkasen sisälle voi jäädä hydratoitumatonta sementtiä. Tällaisen suuremman sementtihiukkasen hydratoituessa saattaa siis vain sen ulko-osa hydratoitua. Nykyään sementti jauhetaan hienommaksi, kuin ennen, joten sementtihiukkasen sisälle jäänyttä hydratoitumatonta sementtiä jää vähemmän jäljelle. Jos hydratoitumatonta sementtiä sisältävä hiukkanen hajoaa, voi siitä vapautunut sementti sitoutua jälleen, jos olosuhteet ovat suotuisat. (Konttinen 2014.)

Halkeamat voivat siis tietyissä olosuhteissa tiivistyä myös itsestään, jos niihin kulkeutuu tiivistyviä aineita. Tiivistyminen edellyttää, että betonissa on hydratoitumatonta portlandsementtiä ja vettä. Halkeaman läpi tulee virrata vettä, mutta ei niin voimakkaasti, että se huuhtoo tiivistymistuotteet pois. Vesi ei saa myöskään olla syövyttävää eli hapanta ja sen tulee voida haihtua pois betonin pinnalta. Tällaisia ominaisuuksia on muun muassa toispuoleisen vedenpaineen kuormittamilla rakenteilla sekä ulkona olevilla, sateelle alttiilla rakenteilla. Halkeama ei kuitenkaan tiivisty, jos sen leveys vaihtelee ajan mittaan. (by 201 2004, 95-96.)

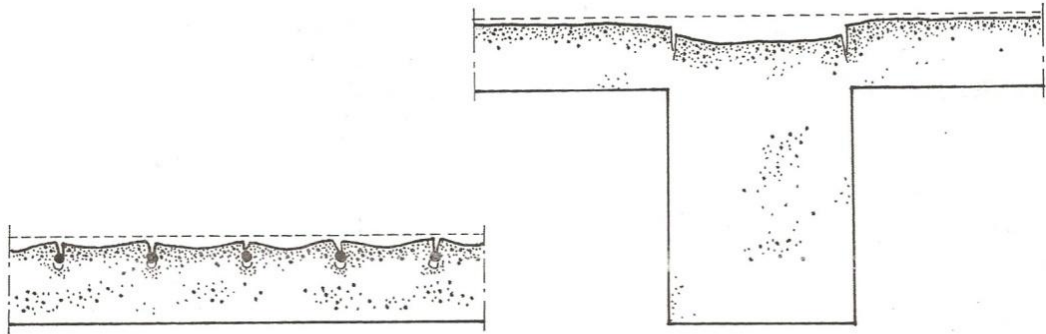
Tiivistyminen tapahtuu, kun sementtipastan kalsiumhydroksidi karbonatisoituu. Tässä reaktiossa syntyvät kalsiumhydroksidi- ja kalsiumkarbonaattikiteet saostuvat ja tiivistyvät halkeamaan, kun vesi haihtuu betonin pinnasta. Ilmiö aiheuttaa myös kalkkihärmettä betonin pintaan. (by 201 2004, 96.)

3 Kutistumatyypit

3.1 Plastinen painuma

Ensimmäisen vuorokauden aikana betoniin tulleet raudoitukseen asti ulottuvat halkeamat ovat yleensä plastisen painuman aiheuttamia. Näihin halkeamiin voi vaikuttaa myöhemmin kutistumisvoimia, jolloin halkeamat voivat kasvaa ja edetä lopulta koko rakenteen läpi. (Komonen 2010, 431.)

Plastinen painuma syntyy, kun massan runkoaine ja sementti painuvat painovoiman vaikutuksesta alaspäin veden noustessa kevyempänä pintaan. Painumista tapahtuu jossain määrin, vaikka betoni olisi tärytetty hyvin. Vajoamisen estyessä poikkileikkauksen muutoksen, raudoituksen tai muun esteen takia syntyy kyseiseen kohtaan plastisen painuman aiheuttama halkeama. Kuviossa 4 on kuvattu plastisen painuman aiheuttamat halkeamat, jotka syntyvät raudoitteen muodostamasta esteestä ja rakenteen poikkileikkausmuutoksesta. Plastisesta painumasta aiheutuneet halkeamat voivat olla millimetrien levyisiä, mutta ne eivät ulotu kovinkaan syvälle. Painuman suuruus voi olla 1 %:n rakenteen korkeudesta. (by 201 2004, 72.)



KUVIO 4. Plastisen painuman aiheuttamia halkeamia (by 201 2004, 72.)

Plastisen painuman suuruuteen vaikuttaa muun muassa sementin sitoutumisaika ja massan veden määrä. Mitä kauemmin massalla kestää sitoutua, sitä kauemmin sillä on aikaa painua. Massassa oleva runsas veden määrä lisää pinnalle erottuvan veden määrää. (by 201 2004, 72.)

3.2 Plastinen kutistuma

Plastinen kutistuma syntyy, kun betonin pinta pääsee kuivumaan liian nopeasti ennen betonin sitoutumista. Veden haihtuessa rakenteen pintaan muodostuu jännitystilaa veden ja sementtihiukkasten välisten voimien sekä veden pintajännityksen vaikutuksesta. Nämä voimat aiheuttavat betonimassaan vetorasituksia, jonka seurauksena massa kutistuu. (by 201 2004, 73.)

Veden haihtuessa betonin pinnalta kapilaarihuokosiin syntyy alipaine. Syntynyt alipaine imee vettä syvemmältä rakenteesta kohti pintaa. Jos sementtihiukkaset ja runkoaine voivat liikkua alaspäin ja korvata haihtuneen veden jättämän tilan, halkeamia ei pääse muodostumaan. Plastinen kutistuma aiheuttaa halkeamia siinä vaiheessa, kun sementtihiukkaset ja runkoaine eivät enää pääse liikkumaan kitkan vaikutuksesta. Tästä seurauksena pintaan syntyy vetojännityksiä ja betoniin syntyy halkeamia. (by 201 2004, 73.)

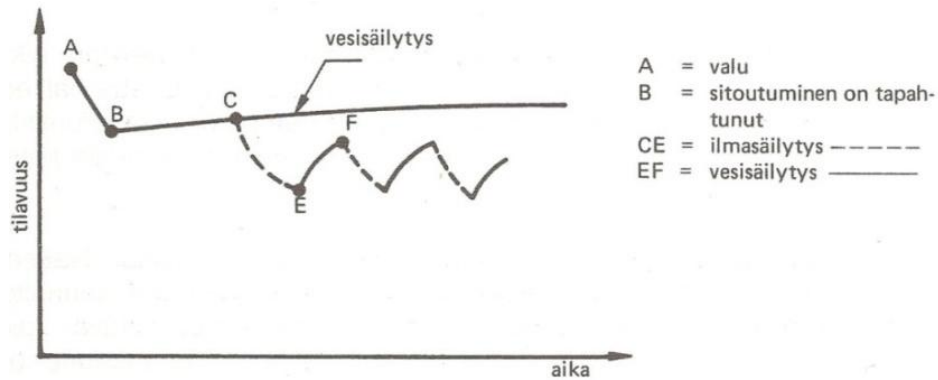
Halkeamat saadaan hierrolla piiloon, mutta ne voivat avautua myöhemmin. Vaikka halkeilu olisi aluksi pientä, voivat halkeamat suurentua betonin myöhemmin kuivues-
sa ja kutistuessa. Tuoreen vähäisen lujuuden omaavan betonin pintaan voi syntyä
myös näkymättömiä halkeamia, jotka kasvavat betonin kutistuessa. (Komonen 2010,
431.)

Plastinen kutistuma syntyy betonin ollessa tuoretta eli betonin ensimmäisen vuoro-
kauden aikana. Plastisen kutistuman riski on suurin silloin, kun veden haihtuminen
massasta on suurinta. Kuuma ja tuulinen sää aiheuttaa nopeaa ja voimakasta haih-
tumista, kylmä ja tuulinen sää aiheuttaa pitkään kestävää haihtumista. (Betonin ku-
tistuma ja sen huomioiminen, 2.) Ilmavirtauksen, jonka nopeus on noin 7 m/s, on
todettu aiheuttavan neljässä tunnissa plastisen kutistuman, joka on suuruudeltaan
noin 7 mm/m. Kyseinen kutistuma on noin 10 -kertainen kuivumiskutistumaan ver-
rattuna. Tuulen ollessa 5 m/s voi plastinen kutistuma olla 5,5 mm/m. Tällaisissa olo-
suhteissa varhaisjälkihoidon aloittaminen pinnan tasauksen jälkeen on välttämätön-
tä. (Komonen 2010, 433.)

3.3 Kuivumiskutistuma

Kuivumiskutistuma syntyy, kun kovettuneesta betonista poistuu vettä. Veteen koh-
distuu kuivumistilanteessa jännityksiä, jotka vetävät vettä pois geelihuokosista. Gee-
lihuokosten välien pienentyessä ja geelin kutistuessa myös betoni kutistuu. Kovettu-
neen betonin kutistuma palautuu osittain betonin jälleen kastuessa. Kuviossa 5 ha-
vainnoidaan betonin kutistumista ja laajenemista kosteusliikkeiden vaikutuksesta.
(by 201 2004, 90.)

Betonin koostumuksella ja ympäristöolosuhteilla on merkitystä betonin kutistumisel-
le. Suuri sementtiliima- ja vesimäärä lisää kutistumaa. Kutistumista lisää myös suuri
hienoainesmäärä, betonin huokostaminen, kevytsoran käyttö massassa ja jotkin not-
kistimet. Kuivassa sisätilassa kuivumiskutistuma on 0,4...0,6 ‰, kun sateelle alttiina
kutistuma on noin puolet tästä. (by 201 2004, 90.)



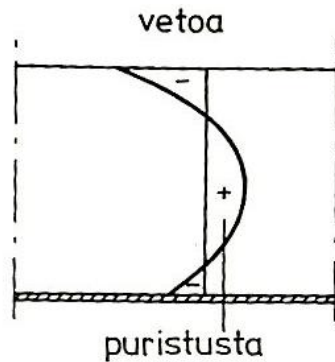
KUVIO 5. Betonin kutistuminen ja laajeneminen kosteusliikkeiden vaikutuksesta (by 2012004, 91.)

3.4 Estetty muodonmuutos

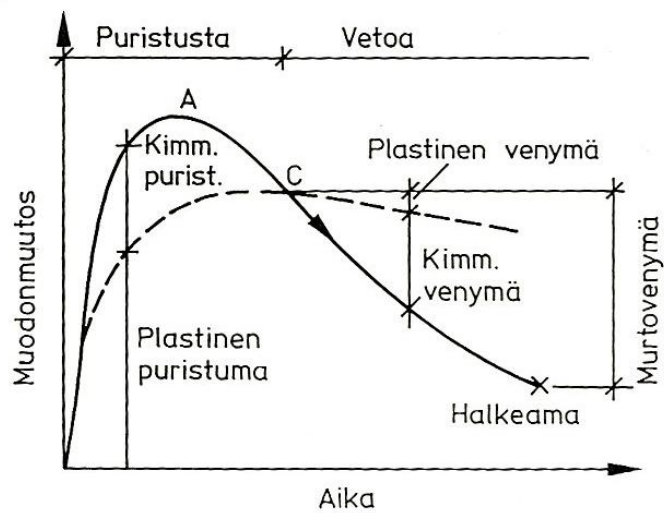
Betonin kutistuminen ei sinänsä aiheuta ongelmia, mutta jos kutistuminen estetään, aiheuttaa se betoniin vetojännityksiä. Kun betonin vetolujuus ylittyy, se halkeaa riippumatta siitä, mistä syystä vetorasitus on syntynyt. Vetojännityksen aiheuttama halkeilu edellyttää siis aina estettyä muodonmuutosta. (Komonen 2010, 428.)

Muodonmuutoksen este vaikuttaa syntyvän halkeaman tyyppiin. Este voi olla joko sisäinen tai ulkoinen. Sisäinen este muodonmuutokselle syntyy rakenteen lämpötilaeroista. Etenkin massiivisten rakenteiden lämpötilaerot sisä- ja ulko-osien välillä voivat aiheuttaa poikkileikkauksessa suuria muodonmuutoksia, joista seuraa pintaosan halkeilua. Kuviossa 6 esitetään sisäisen esteen aiheuttama veto- ja puristusjännitys. Massiivista rakennetta on käsitelty tarkemmin kappaleessa 3.6. Ulkoinen este muodonmuutokselle syntyy, kun valettava rakenne liittyy kiinteästi olemassa olevaan rakenteeseen. Ulkoinen rakenne estää lämpötilan muutoksesta johtuvan laajentumisen ja rakenteeseen syntyy puristusjännityksiä, joista osa häviää plastisen kokoonpuristumisen seurauksena. Kun rakenne alkaa jäähtymään, estää ulkoinen este rakenteen vapaan kutistumisen. Aiemmin syntyneet puristusjännitykset häviävät, jonka jälkeen rakenteeseen syntyy vetojännityksiä. Vetojännityksen ylittäessä vetolujuuden syntyy rakenteeseen halkeama. Ulkoisen esteen synnyttämät rasitukset on esitetty kuviossa 7. Ulkoisen esteen rakenne muodostuu, kun valettava rakenne liittyy kiinte-

ästi olemassa olevaan rakenteeseen. Ulkoisen esteen aiheuttama halkeama on tyypiltään rakenteen läpimenevä. (RIL 149-1995, 86-87.)



KUVIO 6. Sisäisen esteen aiheuttama jännitys (RIL 149-1995, 87.)



KUVIO 7. Ulkoisen esteen aiheuttama jännitys (RIL 149-1995, 87.)

3.5 Hydrataatiokutistuma

Hydrataatiokutistuma eli niin sanottu autogeeninen kutistuma syntyy sementin hydrataation vaikutuksesta. Kun vesi ja sementti reagoivat keskenään, syntyy sementtikiveä, jonka tilavuus on lähtöaineita pienempi. Tästä tilavuudenmuutoksesta johtuen

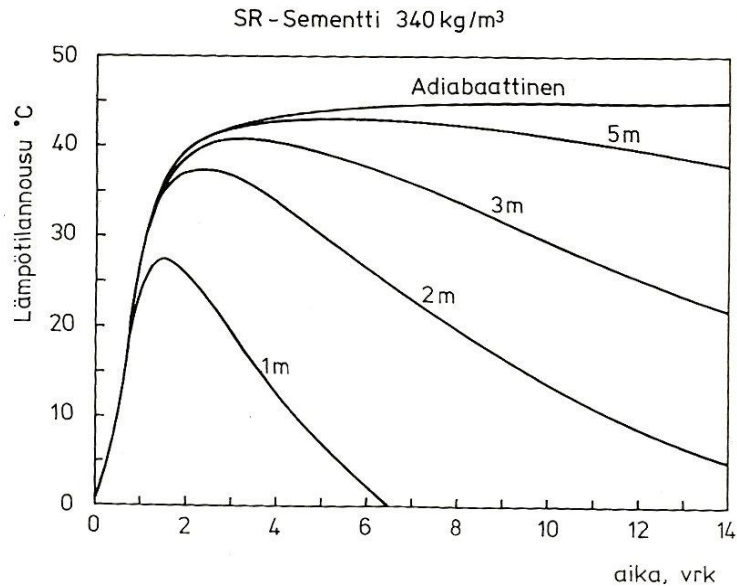
betoni kutistuu. Pitämällä massan runkoaineen osuuden suurena ja veden ja sementin määrän kohtuullisena, voidaan hydrataatiokutistumaa rajoittaa. (Betonin kutistuma ja sen huomioiminen, 2.)

3.6 Lämpömuodonmuutoskutistuma

Betonirakenteen lämpötila nousee hydrataatioreaktion seurauksena. Lämpötilasta johtuva kutistuma syntyy, kun rakenne alkaa jäähtyä epätasaisesti. Pintaosan alkaessa jäähtymään ydinosaa nopeammin syntyy pintaan kutistuma. Kutistuman ollessa suuri voi rakenne alkaa halkeilemaan. Etenkin massiivisissa rakenteissa kutistuma voi olla merkittävää. Betonin lämmöntuottoon vaikuttaa myös suuri sementtimäärä ja nopea sementtilaatu. (Betonin kutistuma ja sen huomioiminen, 3.)

Massiiviseksi betonirakenteeksi määritetään rakenne, joka on ulkomitoiltaan niin suuri, että hydrataatiolämmöstä johtuvien tilavuudenmuutosten aiheuttaman halkeamavaaran rajoittamiseksi on alettava toimenpiteisiin. Yleisenä sääntönä voidaan pitää, että betonirakenteen pienimmän sivun mitan ollessa noin yksi metri, on rakenne massiivinen. Rakenteen määrittäminen massiiviseksi on tehtävä kuitenkin aina tapauskohtaisesti. Suuren sideainemäärän omaavan massan lämpötila voi nousta korkeaksi, vaikka pienin sivun mitta rakenteella olisi vain puoli metriä. (RIL 149-1995, 85.)

Massiivisen rakenteen mittojen vaikutus kovettumisajan lämpötilan muodostumiseen on ilmeinen. Lämpötilan nousu on lähempänä adiabaattista tilaa mitä massiivisempi rakenne on kyseessä. Kuviossa 8 on esitetty laskennallinen lämpötilan muutos eri paksuisissa rakenteissa. Kuvion tiedot on määritetty massan lämpötilan ollessa 15 °C ja ulkoilman lämpötilan ollessa 0 °C. Muottina on käytetty vanerimuottia ($K=5,8 \text{ W/m}^2$). Lämpötilan kehittymiseen rakenteen mittojen lisäksi vaikuttavat myös betonin koostumus, massan lämpötila, muotin ja suojauksen lämmöneristävyys, olosuhteet ja lämmitys- tai jäähdytystoimenpiteet. (RIL 149-1995, 85-86.)



KUVIO 8. Betoniseinän sisäosan laskennallinen lämpötilanousu (RIL 149-1995, 86.)

Lämpötilaeroista johtuva halkeiluriski on suurta etenkin talvella varsinkin jos on kyse estetyn kutistuman rakenteesta ja varhaisesta muotinpurusta. Myös yö- ja päivälämpötilaerot voivat aiheuttaa suuria lämpötilaeroja rakenteeseen. Betonirakenteen lämpötilan lasku 30 °C voi aiheuttaa 0,3 mm/m kutistuman. (Komonen 2010, 432.)

4 Valuolosuhteiden vaikutus halkeiluun

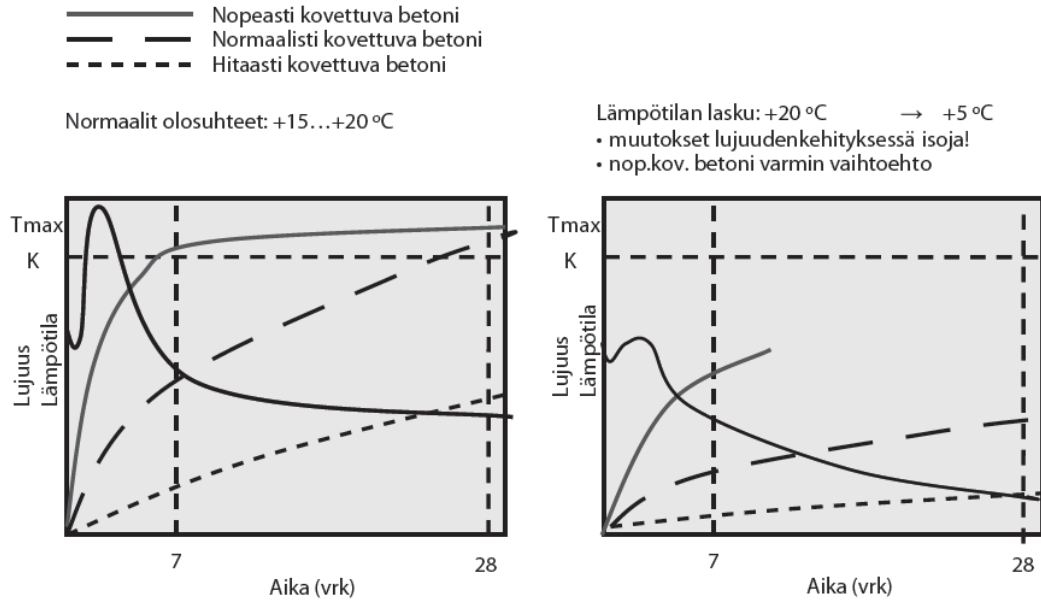
4.1 Ilman ja valualustan lämpötila

Betonimassan jäähtyminen nopeutuu, jos valuajan ilma ja valualustan lämpötilan on betonimassaa kylmempiä. Tämä on ongelmallista etenkin lattiarakenteille, joilla on paljon valualustaan ja ympäröivään ilmaan kosketuksissa olevaa pinta-alaa. Betoni sitoutuu hitaammin mitä matalampi sen lämpötila on. Hitaampi sitoutumisaika siirtää hierron aloittamista myöhemmäksi, sekä altistaa betonin plastisen vaiheen halkeilulle. (Betonilattiat kortisto 2012, 63.)

Betonimassaa viileämpi valualusta on ongelmallinen esimerkiksi ontelolaatan päälle valettavissa pintabetonilattioissa sekä maanvaraisissa lattioissa. Tilanteessa, jossa valualustan lämpötila on valutilan lämpötilaa matalampi, on vaarana, että pintaosan ollessa hiertovalmis ei laatan alaosa vielä kannata riittävästi. Tästä saattaa seurata, että betonipinta halkeilee hiertokoneen painon vaikutuksesta. Hitaammin sitoutuneen laatan alapinnasta voi nousta vettä hierrettyyn pintaan ja aiheuttaa vaurioita siihen. Jos hierto on tehty pinnalle, johon nousee vettä, tulee pinnasta pölyävä ja heikko. (Betonilattiat kortisto 2012, 63.)

Massiivissa rakenteissa voi valutilan matala lämpötila vaikuttaa rakenteen pinta- ja sisäosan lämpötilaeroon. Sementin hydrataatioreaktion tuottama lämpö pitää rakenteen sisäosan lämpimänä ja kylmä valutilan lämpötila viilentää betonin pintaosaa. Betonin tilavuus muuttuu lämpötilan mukaan ja jos lämpötilan muutos betonirakenteen sisä- ja ulko-osan välillä on riittävän suuri, aiheuttaa se rakenteeseen lämpöjännityksiä. Rakenne voi alkaa halkeilemaan tämän jännityksen seurauksesta. (Betonilattiat kortisto 2012, 63.)

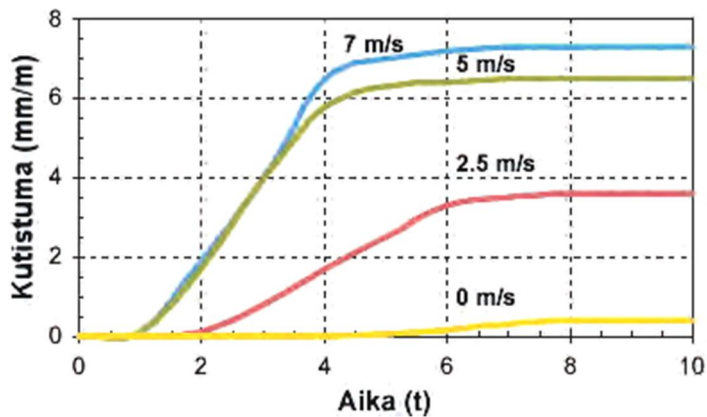
Betonointi kylmään vuodenaikaa asettaa lisähaasteita esivalmisteluihin ja jälkihoitoon. Talvibetonointikausi alkaa keskilämpötilan laskiessa alle +5 °C. Betonipinta jäähtyy nopeasti suojaamattomana jo 0 °C:n lämpötilassa. Betonin lämpötilan laskiessa hydrataatio tapahtuu hitaammin, jonka seurauksena esimerkiksi hierto ja jälkihoitotoimenpiteiden aloittaminen viivästyy. Myös jäätymis- ja muotinpurkulujuudenlujuuden saavuttamiseen menee kauemmin aikaa. Kuviossa 9 on esitettyä betonin lämpötilan laskun merkitys lujuudenkehityksen nopeuteen. Jos tuore betoni jäähtyy ennen sementin sitoutumista, muodostuu rakenteeseen jäälinsejä jotka johtavat betonin halkeiluun. Betoni halkeilee myös, jos se jäähtyy ennen kuin se on saavuttanut jäätymslujuuden 5 MPa. Betonin halkeiluriski kuitenkin pienenee mitä pidempään massa on kovettunut. (Vuorinen 2010, 134-136.)



KUVIO 9. Betonin lämpötilan vaikutus lujudenkehitykseen (Vuorinen 2010, 135.)

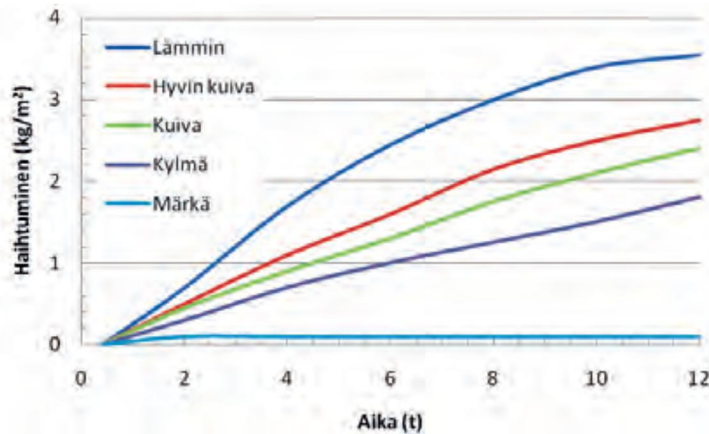
4.2 Tuuli ja ilman kosteuspitoisuus

Tuulen voimakkuudella ja ilman kosteuspitoisuudella on suuri merkitys betonirakenteen halkeiluriskiä. Kuiva ilma lisää merkittävästi betonirakenteen pinnan kuivumista ja tuuli tehostaa entisestään veden haihtumista. Veden runsas haihtuminen betonista aiheuttaa varhaisvaiheen kutistumaa, josta seuraa plastista halkeilua. Kuviossa 10 on esitetty tuulen vaikutus betonin kutistumaan. (Betonilattiat kortisto 2012, 64.)



KUVIO 10. Tuulen vaikutus varhaisvaiheen kutistumaan (Betonilattiat kortisto 2012, 64.)

Vaikka sisätiloissa valettaessa kosteus- ja tuliosuhteiden hallinta on ulkotilaa helpompaa, on ilman kosteuspitoisuutta syytä tarkkailla. Talvella ilman suhteellinen kosteus voi olla alle 20 %, joka vaikuttaa merkittävästi veden haihtumiseen betonista. Ulkona valettaessa tuulen ja matalan kosteuspitoisuuden lisäksi haihtumista edistää auringonpaiste. Kuviossa 11 on esitetty ilmankosteuspitoisuuden ja lämpötilan vaikutus veden haihtumiseen betonipinnalta. Haasteellisissa ulkovaluissa jälkihoidon nopealla aloittamisella pinnan oikaisun jälkeen on suuri merkitys, koska usein muuta vaihtoehtoa ei ole. (Betonilattiat kortisto 2012, 64.)



KUVIO 11. Lämpötilan ja kosteuspitoisuuden vaikutus haihtumiseen (Betonilattiat kortisto 2012, 64.)

Kuvion 11. selitykset (Betonilattiat kortisto 2012):

Käyrän väri	Lämpötila	Ilman suhteellinen kosteus
Lämmin	+30 °C	40 %
Hyvin kuiva	+20 °C	40 %
Kuiva	+20 °C	70 %
Kylmä	+5 °C	40 %
Märkä	+20 °C	100 %

4.3 Valualustan kosteuspitoisuus

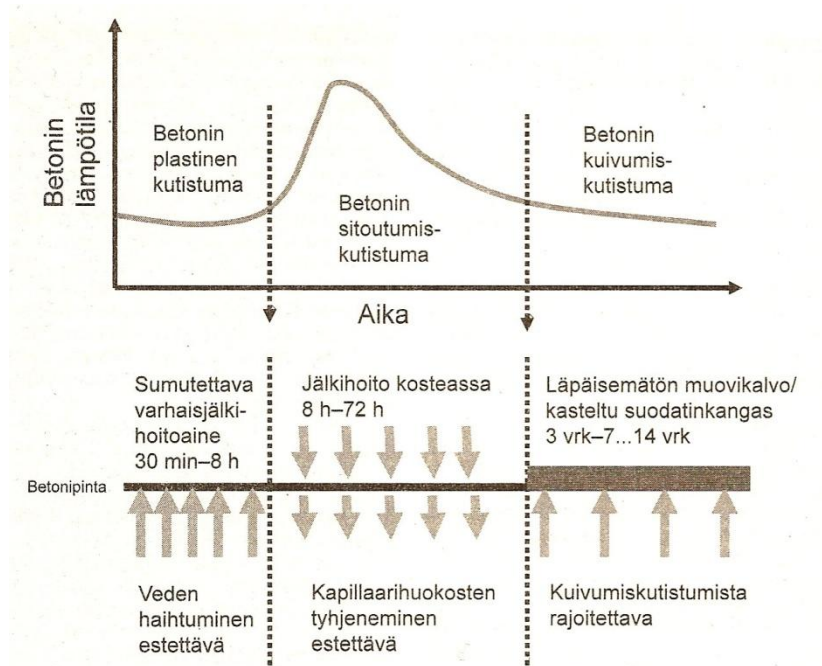
Valualustan kosteuspitoisuudella on vaikutusta pintalaatan tarttumiseen alustaan, lujuuden kehitykseen sekä halkeiluun. Kuiva alusta saattaa imeä tuoreesta betonista vettä niin paljon, ettei betoniin jää tarvittavaa määrää vettä saavuttaakseen suunnitellun lujuuden. Veden poistuminen alustaan aiheuttaa myös plastisen vaiheen halkeilua. Kuiva valualusta tulee kastella märäksi ennen valua. Tarvittaessa kastelu voidaan aloittaa jo muutamaa päivää ennen valua. Valun alkaessa alustan tulisi olla kostea, mutta siinä ei saa olla irtovettä. (Betonilattiat kortisto 2012, 64.)

5 Betonirakenteiden jälkihoito

5.1 Jälkihoidon merkitys

Betonirakenteiden onnistumiselle erittäin olennainen tekijä on hyvä jälkihoito. Betonin kuivuminen ja kutistuminen liian aikaisin tulee estää. Rakenteen pintaan ei saa myöskään muodostua kerrosta, jonka ominaisuudet kuten kosteuspitoisuus ja lämpötila olisivat ydinosasta poikkeavat. Kuviossa 12 on esitetty betonin jälkihoidon toteutuksen periaate suhteessa valusta kuluneeseen aikaan. (Komonen 2010, 432.)

Kuvion 12 ylempi kuvaaja kertoo betonin halkeamatyyppien esiintymisen ja lämpötilan kehityksen tiettyinä ajanhetkenä valusta. Alemmassa osassa on selvitetty, millaista jälkihoitotoimenpidettä kyseisissä vaiheissa tarvitaan ja mitä jälkihoitotoimenpiteellä on tarkoitus saavuttaa. Kyseessä on lattian jälkihoidon periaate, joten ohjetta tulee soveltaa tilanteen mukaan. Kuvion tiedosta poiketen suosittelen kuitenkin varhaisjälkihoidon aloitettavan heti pinnan tasauksen jälkeen. Myös valuolosuhteet on otettava huomioon jälkihoitoa toteutettaessa.



KUVIO 12. Jälkihoidon toteutuksen periaatekaavio (Komonen 2010, 433.)

Pystyrakenteisiin täytyy myös tehdä olosuhteisiin nähden riittävät jälkihoitotoimenpiteet, mutta lattiarakenteissa jälkihoidolla on suurempi merkitys. Vaakarakenteet ovat herkempiä vaurioitumaan vallitsevien olosuhteiden takia, kuin muottien sisällä suojassa olevat pystyrakenteet. On kuitenkin huomioitava, että pystyrakenteisiin on myös levitettävä jälkihoitoaine pinnan tasauksen ja muotin purun jälkeen sekä tehtävä tarvittaessa muita suojaustoimenpiteitä vallitsevien olosuhteiden mukaisesti. Betonoitaessa kylmänä vuodenaikana on jälkihoidossa otettava huomioon rakenteen ja muottien mahdollinen lämmittäminen sekä muottien riittävän pitkä ylläpitäminen rakenteen ympärillä. Myös massan lämmittäminen lämmitysputkistolla tai lämmityskaapeleilla on mahdollista.

Jälkihoidossa on otettava huomioon sen riittävän ripeä aloittaminen. Vähäisen vedenerottumiskyvyn omaavat massat ovat herkkiä haihtumisesta aiheutuville vaurioille. Silikabetonin jälkihoitoon on kiinnitettävä huomiota, koska silika vähentää massan veden erottumista voimakkaasti. Masuunikuonaa ja lentotuhkaa sisältävät portlandsementistä valmistetut betonit alkavat sitoutumaan hitaammin, jonka vuoksi jälkihoitoaika on pidempi. Jälkihoito voidaan toteuttaa muun muassa: kastelemalla, jälkihoi-

toaineilla, jättämällä muotit paikoilleen ja käyttämällä muovipeitteitä. (by 50 2004, 123.)

Betonin kastelussa on otettava huomioon, että vesi ei aiheuttaa vaurioita muihin rakenteisiin. Kastelu vaikuttaa myös betonirakenteen kuivumisaikaan, joka on otettava huomioon pinnoitettavissa rakenteissa.

Huolellisella ja oikeaoppisella jälkihoidolla voidaan vaikuttaa myös pinnan kulutuskestävyyteen, tiiveyteen, lujuuteen, pölyävyyteen, päällystettävyyteen sekä tietenkin halkeiluun. Kuivumiskutistumista jälkihoidolla ei voida pienentää, mutta kun jälkihoito lopetetaan, kutistuminen alkaa. Olennaista on, että betonirakenteeseen muodostuu riittävästi vetolujuutta vastaanottamaan kutistumisen ja kuivumisen aiheuttamia voimia. Jälkihoito voidaan jakaa kahteen vaiheeseen: varhaisjälkihoitoon ja varsinaiseen jälkihoitoon. (Betonilattiat kortisto 2012, 66.)

5.2 Varhaisjälkihoito

Varhaisjälkihoidon tarkoituksena käytännössä on estää veden liiallinen ja nopea poistuminen plastisen betonin pinnalta. Suojaustoimenpiteisiin tulisi ryhtyä, jos veden haihtuminen betonin pinnalta on yli $1,0 \text{ kg/m}^2/\text{h}$. (Komonen 2010, 432.)

Käytännössä ennen betonin kovettumista jälkihoitomenetelminä voidaan käyttää sumutettavia jälkihoitoaineita tai ilman kostuttamista. Betonipinnalle ei voida tässä vaiheessa laittaa mitään suojia, eikä betonin pintaa saa kastella vedellä pinnan vaurioitumisen takia. Kun betonipinta on kovettunut riittävästi kestäväksi hierron, lopetetaan varhaisjälkihoito. (Komonen 2010, 432.)

Varhaisjälkihoidon merkitys korostuu haasteellisissa valuolosuhteissa. Kun betonin pinnan lämpötila tai ilman lämpötila on korkea, ilman suhteellinen kosteuspitoisuus on pieni ja ilman virtaus on suuri, on myös veden haihtuminen betonipinnalta voimakasta. Säänkestävät, korkealujuusbetonit, sekä voimakkaasti notkistetut betonit vaa-

tivat varhaisjälkihoitoa vähäisen vedenerottumisominaisuuden takia. (Betonilattiat kortisto 2012, 66.)

Varhaisjälkihoito tulee aloittaa heti pinnan tasaamisen jälkeen. Lattiavaluissa toimenpiteen suorittaminen on käytännössä välttämätön halkeilun estämisen kannalta. Jos jälkihoitoaine levitetään vasta kun betoni kestää päällä liikkumisen, on se jo liian myöhäistä. Tällöin betonin pinta on jo usein alkanut halkeilemaan. Lattiavaluissa käytännössä ainoana keinona on, että valuryhmä levittää jälkihoitoaineen tasatulle pinnalle valun edetessä. Jälkihoitoaineen levittämisestä tulee sopia valuryhmän kanssa etukäteen, jotta työ tulee varmasti tehtyä oikeaan aikaan.

5.3 Varsinainen jälkihoito

Varsinaisen jälkihoidon tarkoitus on estää veden haihtuminen kovettuneen betonirakenteen pinnasta, kunnes rakenne kestää kuivumisesta syntyvät rasitukset. Jälkihoito tulisi aloittaa välittömästi viimeisen hierron jälkeen tai vaikeissa olosuhteissa jo hierron aikana. Ensimmäisenä toimenpiteenä betonipinnalle levitetään jälkihoitoaine jonka jälkeen jälkihoitoa jatketaan levittämällä betonin pintaan esimerkiksi muovikalvo. Suojaustoimenpiteen jättäminen seuraavaan päivään on liian myöhäistä. (Komonen 2010, 434.) Kylmänä vuodenaikana betonipinta tulee suojata myös jäätymistä vastaan.

Jälkihoito voidaan lopettaa, kun betoni on saavuttanut tietyn suuruuden nimellislujuudestaan. Rasitusluokissa X0 ja XC1 jälkihoito voidaan lopettaa, kun betoni on saavuttanut 60 % nimellislujuudestaan. XF2 ja XF4 rasitusluokkiin kuuluvien betonien jälkihoito voidaan lopettaa, kun betoni on saavuttanut 80 % nimellislujuudestaan. Muissa rasitusluokissa kuin XF2 ja XF4 jälkihoito voidaan lopettaa betonin saavutettua 70 % nimellislujuudestaan. (by 50 2004, 122.)

Jälkihoidon pituuteen vaikuttaa rasitusluokan lisäksi muun muassa käytetyn betonilaadun kovettumisnopeus ja -olosuhteet. Taulukoissa 1 ja 2 ilmenee suositeltuja jälkihoitoaikoja eri lämpötiloissa, kun kyseessä on normaalisti kovettuva betoni ja nopeasti kovettuva betoni. (Betonilattiat kortisto 2012, 67.)

TAULUKKO 1. Jälkihoidon suositellut vähimmäisajat, normaalisti kovettuva betoni (Betonilattiat kortisto 2012, 67.)

Betonin lämpötila (°C)	Aika [d], jolloin saavutetaan 60 % nimellislujudesta			Aika [d], jolloin saavutetaan 70 % nimellislujudesta			Aika [d], jolloin saavutetaan 80 % nimellislujudesta		
	C25/30	C30/37	C40/50	C25/30	C30/37	C40/50	C25/30	C30/37	C40/50
10	11	10	7	17	16	13	26	26	22
20	6	5	4	9	8	6,5	14	13	12
30	3,5	3	2,5	5,5	5	4	8	8	7
40	2,5	2	1,5	3,5	3	3	5,5	5,5	5

TAULUKKO 2. Jälkihoidon suositellut vähimmäisajat, nopeasti kovettuva betoni (Betonilattiat kortisto 2012, 67.)

Betonin lämpötila (°C)	Aika [d], jolloin saavutetaan 70 % nimellislujudesta			Aika [d], jolloin saavutetaan 80 % nimellislujudesta		
	C25/30	C30/37	C40/50	C25/30	C30/37	C40/50
10	6	5,5	5	7,5	8	6,5
20	4	4	3,5	5,5	6	4,5
30	3	2,5	2,5	4	4,5	3,5
40	2,5	2	2	3	3	2,5

Pinnalle sumutettavan jälkihoitoaineen levittämisessä on otettava huomioon tuulen mukana pois kantautuvan aineen määrä. Myös jälkihoitoaineen soveltuvuus kohteeseen on huomioitava ja jälkihoitoaineen käyttöohjetta on noudatettava. (Betonilattiat kortisto 2012, 67.)

6 Halkeilun estämiskeinoja

6.1 Työn suunnittelu

Betonirakenteiden halkeiluriskiä voidaan vähentää oikeilla menetelmävalinnoilla betonoinnin aikana, vaikka betoni kutistuukin aina. Hyvällä etukäteissuunnittelulla, valmistelulla ja toteutuksella voidaan vaikuttaa halkeamien kokoon ja haitallisuuteen. Betonin kutistumista ja halkeilua vähentävät seikat ovat usean tekijän summa. Halkeamien muodostumisriski pienenee, kun kaikki vetojännityksiä pienentävät tekijät toteutetaan kunnolla betonirakenteen valmistuksen eri vaiheissa. Pieniä, haittaa aiheuttamattomia halkeamia syntyy betonirakenteeseen kuitenkin aina, vaikka toimenpiteisiin olisikin ryhdytty. (Komonen 2010, 436-438.)

Laadukkaan lopputuotteen saavuttamisen yksi edellytys on, että kaikki valutyöhön osallistuvat ymmärtävät valussa käytettävät toimenpiteet sekä valmistukseen liittyvät riskit. Betonimassa, massan siirto, tiivistystekniikka sekä jälkihoito tulisi suunnitella aina ennen rakenteen valamista. (Komonen 2010, 438.)

6.2 Plastisen kutistuman aiheuttama halkeilu

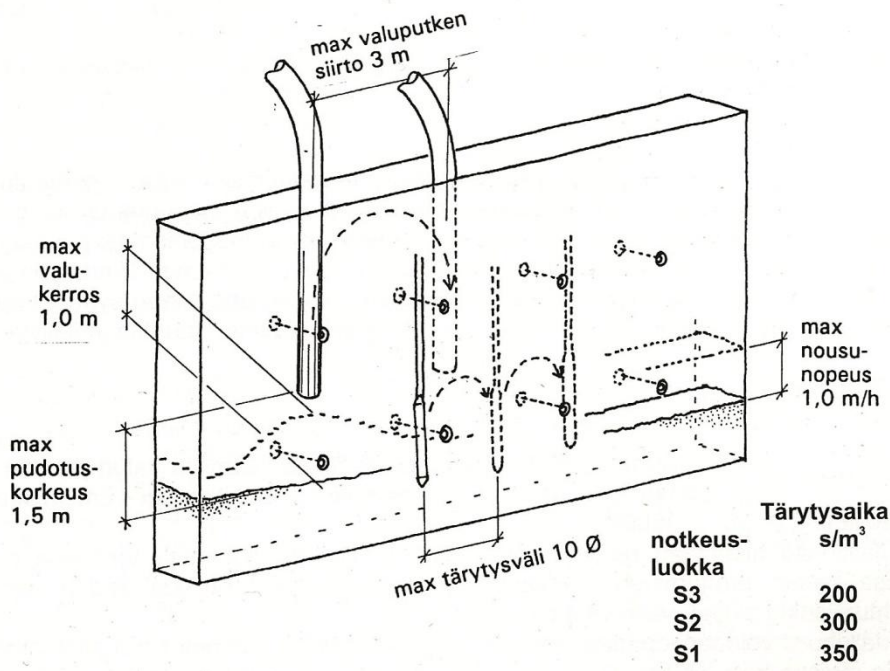
Plastisen kutistuman halkeamat aiheutuvat tyypillisesti silloin, kun valuolosuhteet eivät ole hallinnassa. Erityisesti laattarakenteissa, joissa on suuri vettä haihduttava pinta-ala, plastisen kutistuman riski on suuri. Plastista kutistumaa voidaan estää suorittamalla varhaisjälkihoito ja varsinainen jälkihoito heti kun mahdollista. Sään ollessa tuulinen tulisi jälkihoitoainekerroksen olla paksumpi. Betonin pinta voidaan myös kastella vesisumutuksella kuivumisen estämiseksi. Rakenteen suojaaminen muoveilla estää veden haihtumista tehokkaasti. (Betonin kutistuma ja sen huomioiminen 2010, 2.)

Kutistuman ajankohtaan voidaan vaikuttaa tehokkaasti jälkihoidolla. Koska tuulen kuivattava vaikutus on betonille haitallista, tulisi valu suorittaa hallituissa olosuhteissa. Varhaisjälkihoidon merkitys kasvaa tuulisissa olosuhteissa, joten sen aloittamisen

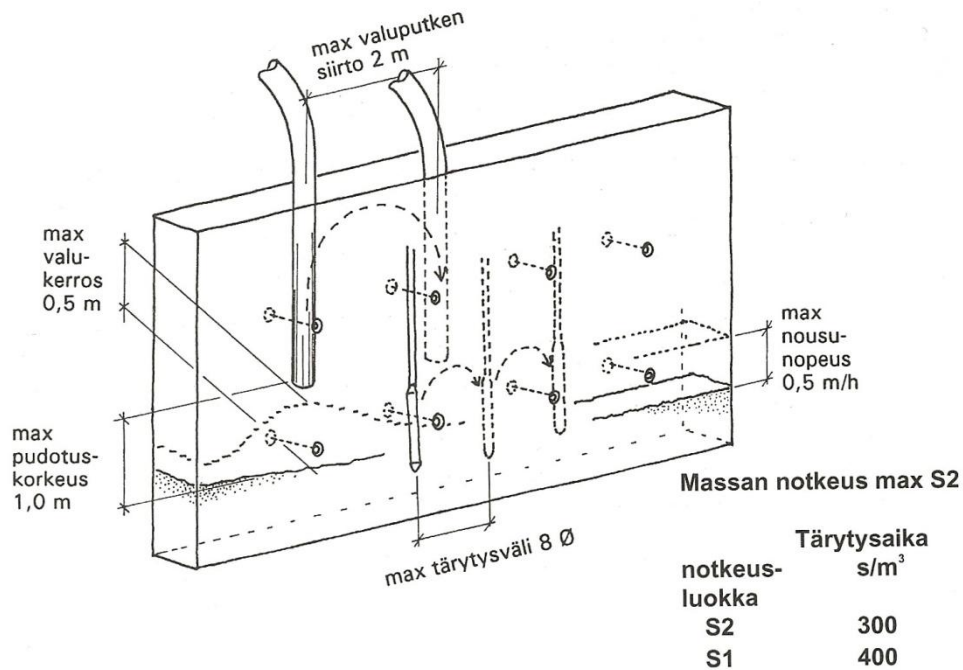
ajankohta on tärkeää. Betonirakenne tulisi peittää heti hierron jälkeen kuivumista vastaan. Koska betonin lujuus on alhainen ensimmäisen vuorokauden aikana, voi rakenteeseen syntyä suuria ja haitallisia halkeamia ilman kunnollista jälkihoitoa. (Komonen 2010, 438-439.)

6.3 Plastisen painuman aiheuttama halkeilu

Plastiseen painumaan voidaan vaikuttaa hyvällä massan tiivistyksellä sekä jälkitärytyksellä. Erityisesti korkeissa rakenteissa jälkitärytyksen merkitys on suuri. (Komonen 2010, 431.) Betonin nostonopeus tulee rajoittaa pystyrakenteissa siten, ettei haitallista jälkipainumaa synny. Jos rakenteen poikkileikkauksessa on muutos, kyseisessä kohdassa pidetään tauko tai suoritetaan jälkitärytys. Jälkitärytys on suoritettava ennen massan sitoutumista. Kuvioissa 13 ja 14 on esitetty eri rasisluokan omaavien massojen tiivistys, jotta rakenteesta tulisi tiivis ja painumilta vältyttäisiin työn toteutuksen osalta. (by 50 2004, 121.)



KUVIO 13. Seinämäisen rakenteen betonointi, rasisluokat: X0 ja XC1 (by 50 2004, 121.)



KUVIO 14. Seinämäisen rakenteen betonointi, rasitusluokat: XC2-4, XS, XD, FX, XA (by 50 2004, 122.)

6.4 Lämpömuodonmuutos kutistuman aiheuttama halkeilu

Betonirakenteen lämpötilaeroista johtuvaa halkeiluriskiä voidaan pienentää usealla tavalla. Rakenteen lämmönkehitykseen voidaan vaikuttaa massanvalinnalla, mutta myös valuajankohdan ajoittamisella lämpötilan kannalta suotuisaan ajankohtaan. Rakenteen lämpötilan muutokset tulee mitata varsinkin vaativissa kohteissa, jotta tarvittaviin suojaustoimenpiteisiin voitaisiin ryhtyä ajoissa. Betonirakenteen jäähtymisen tulisi tapahtua hitaasti. (Komonen 2010, 438.)

6.5 Massan suunnittelu

Betonin kutistumistaipumukseen voidaan vaikuttaa massan suunnittelulla. Kasvattamalla maksimiraekokoa sekä vähentämällä vesi- ja sementtimäärää voidaan kutistumaa pienentää. Myös jäykän massan käyttäminen pienentää kutistumiskykyä. (Komonen 2010, 438.) Käytettäessä enemmän karkeaa kiveä, sitä pienempi on kutistu-

van aineen osuus massassa. Karkean kiviaineksen osuuden ollessa yli 35 % massa toimii yleensä hyvin. Rakeisuuskäyrä vaikuttaa massan työstettävyyteen ja pumpattavuuteen, joten sitä ei voida rajoittaa tarpeettomasti. Halkeiluerkkiä rakenteita ei tulisi valaa massoilla, joissa karkeaa kiviainesta on vähän eli alle 15 %. Tällaisissa massoissa sementin ja veden määrän tarve lisääntyy pyrittäessä tavoitelujuuteen ja näin ollen kutistuvan sementtipastan osuus massassa kasvaa. (Betonin kutistuma ja sen huomioiminen 2010, 4.)

Vaihtoehtoja massan kutistumisen hallinnassa halkeiluerkissä lattiarakenteissa (Betonin kutistuma ja sen huomioiminen 2010, 4.):

- Riittävä karkean kiviaineksen määrä.
- Kohtuullinen vesi- ja sementtimäärä.
- Vältettävä liian pieniä vesi-sementti-suhteita.
- Kuitujen käyttö.

Vaihtoehtoja massan kutistumisen hallinnassa halkeiluerkissä massiivirakenteissa (Betonin kutistuma ja sen huomioiminen 2010, 4.):

- Alhaislämpösementin käyttö.
- Kohtuulliset sementtimäärät.
- Kohtuulliset vesi-sementti-suhteet.
- Betonin lämpötilan laskeminen asemalla +10 °C tasolle.

7 Betonirakenteiden injektointi

7.1 Injektoinnin tarkoitus

Injektointi on työmenetelmä, jolla rakenteessa olevat halkeamat, tyhjät tilat, huokoiset kohdat sekä esimerkiksi pinnassa olevien teräsosien taakse jääneet tyhjät tilat täytetään. Kolot ja halkeamat täytetään paineen avulla joko sementti- tai muovipohjaisilla aineilla. Huomioitavaa on, että injektoidulla ei saa täyttää teräskorroosion

aiheuttamia halkeamia, koska injektointi ei poista halkeaman syytä. (RIL 149-1995, 280-281.)

Injektoinnin avulla rakenne pyritään tiivistämään ja estämään haittaa aiheuttavien aineiden pääsy rakenteeseen. Injektoinnilla pyritään myös estämään vesivuodot, sekä vahvistamaan rakenteen lujuutta. Korjausmenetelmänä injektointi voidaan jakaa tiivistysinjektointiin ja lujitusinjektointiin. Tiivistysinjektoinnilla tarkoitetaan vuotavan sauman, halkeaman tai huokoisen rakenteen täyttämistä, kun rakenteellista lujuutta ei tarvita. Tiivistysinjektoinnilla voidaan myös suojata raudoitusta korroosiolta, jos korrosio ei ole vielä käynnistynyt. Lujitusinjektoinnilla tarkoitetaan toimenpidettä, jolla korjataan haljennut tai muulla tavalla vioittunut rakenne rakenteellisesti lujaksi. Taulukossa 3 on esitettyä injektointiaineiden käytettävyyttä erityyppisissä tilanteissa. (SILKO 1.233 2003, 15-16.)

TAULUKKO 3. Injektointiaineiden käytettävyys eri tilanteissa (SILKO 1.233 2003, 22.)

			Halkeaman seinämän kosteus-tila			
			kuiva	kostea	paineeton vesi	vesipaine
	1	2	3	4	5	6
1	Halkeaman syy	Tarkoitus	Sallitut menetelmät			
2	tunnettu	sulkeminen	EP-T EP-I PUR-I ¹⁾ ZL-I ²⁾	EP-I ³⁾ PUR-I ZL-I	PUR-I ZL-I	PUR-I ⁴⁾
3	tunnettu	tiivistäminen	EP-I PUR-I ¹⁾ ZL-I ²⁾	EP-I ³⁾ PUR-I ZL-I ³⁾	PUR-I ZL-I	PUR-I ⁴⁾
4	tunnettu	elastinen liitos	PUR-I ¹⁾	PUR-I	PUR-I	PUR-I ⁴⁾
5	tunnettu, ei uusiutuva	lujitus	EP-I	–	–	

1) halkeama esikostutettava tarvittaessa

2) halkeama kasteltava

3) sopivuus kosteaan halkeamaan on kokeiltava erikseen

4) tarvittaessa käytetään nopeasti vaahtoavaa polyuretaania ennen varsinaista injektointia

EP = epoksi, PUR = polyuretaani ja ZL = sementti

I = injektointi ja T = imeytyminen.

7.2 Injektointi- ja imeytysvirheet

Suhteellisen yleinen virhe injektoinnissa on, että halkeama jää täyttymättä. Syitä tähän on, että injektointi on suoritettu joko liian suurella paineella tai painetta on pidetty yllä liian lyhyen aikaa. Myös teräskorroosion aiheuttamien halkeamien injektointi on lähes yhtä tyypillinen virhe. Korroosion aiheuttamien halkeamien injektointi ei poista korroosion aiheuttajaa ja korroosio pääsee näin ollen jatkumaan. Virheitä syntyy myös muun muassa injektointiaineiden käsittelyvirheistä. Aineet on sekoitettu väärin tai muuten huonosti. Myös injektointiaineen viskositeetti voi olla olosuhteisiin nähden väärä ja aineen tartunta halkeaman seinämään huono. Muita virheitä on muun muassa injektointipisteiden väärä etäisyys tai injektointireikä ei ole tavoittanut halkeamaa. Injektointiaine voi myös valua rakenteen läpi. (SILKO 1.233 2003, 7.)

Imeytyksessä virheitä voi syntyä liian jäykän aineen käytöstä tai levitysvirheestä. Jos aine on liian jäykkää, eli viskositeetiltaan liian korkea, ainetta ei tunkeudu halkeamaan riittävästi. Näin ollen halkeaman pintaan jää kova ja ohut kerros ainetta, joka halkeaa helposti. Levitettäessä ainetta sitä tulee pitää liikkeessä työn aikana tai vaarana on, että ainetta ei tunkeudu halkeamaan riittävästi. (SILKO 1.233 2003, 7.)

8 Injektointiaineet

8.1 Injektointiaineiden luokitus

Injektointiaineet luokitellaan standardin prEN 1504-5 mukaan toiminnallisuuden, injektoitavuuden ja työskentelyolosuhteiden perusteella. (SILKO 1.233 2003, 19.)

Toiminnallinen luokitus (SILKO 1.233 2003, 19.):

1. Voimia siirtävä halkeamien, välien ja onkaloiden täyttäminen. Vaatimuksena on, että injektointiaineen on tartuttava halkeaman, onkalon tai raon pintaan ja siirrettävä voimia.

2. Joustava halkeamien, välien ja onkaloiden tiivistäminen. Injektointiaineen on kyettävä mukautumaan halkeamissa, onkaloissa ja raoissa tapahtuviin liikkeisiin.
3. Paisuva halkeamien, välien ja onkaloiden tiivistäminen. Injektointiaine soveltuu vedessä oleviin rakenteisiin, kun tartuntaa halkeamien, onkaloiden ja raon pintaan ei vaadita. Aineen on paisuttava joutuessaan kosketuksiin veden kanssa.

Injektoitavuuden ja työskentelyolosuhteiden vertailussa käytettävä luokitus (SILKO 1.233 2003, 19.):

- Halkeaman minimileveys: 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,8mm.
- Halkeaman kosteus: kuiva, kostea, märkä, vesitäyteinen.
- Sallittu minimi ja maksimilämpötila.

8.2 Sementti-injektointiaineet

Sementtipohjaiset injektointiaineet soveltuvat yleensä halkeamien korjaukseen, jossa halkeaman leveys on yli 1 mm. Paisuvan, helposti pumpattavan ja hyvin koossa pysyvän injektointimassan valmistukseen tarvitaan usein lisäaineita, esimerkiksi bentoniittia. Vesisementtisuhde injektointimassalla tulee olla vähintään 0,50. (RIL 149-1995, 281.)

Sementti-injektointiaineet jaetaan maksimirakoon mukaan kolmeen luokkaan: mikroosementtiin, hienosementtiin ja rakennusementtiin. Mikroosementissä maksimirakoko on < 20 µm, hienosementissä välillä 20 - 40 µm ja rakennusementillä > 40 µm. Taulukkoon 4 on listattu sementti-injektointiaineiden ominaisuuksia. (SILKO 1.233 2003, 20.)

TAULUKKO 4. Sementti-injektointiaineiden ominaisuuksia (SILKO 1.233 2003, 20.)

	Mikrosementti	Hienosementti	Rakennusementti
Tilavuuspaino, kg/m ³	2900–3200	3100–3200	3100–3200
Suurin raekoko, μm	20 (100 %) ¹⁾	40 (100 %) ¹⁾	125 (95 %) ¹⁾
Ominaispinta-ala, m ² /kg	2000–2400 ²⁾	1100–1500 ²⁾	350–550 ³⁾
Sitoutumisaika, min.	35–45	90–120	110–180
Puristuslujuus, MPa, 2 d 28 d	30–35 60–65	25–30 55–60	15–35 45–65

1) Suurimman seulan läpäisyprosentti

2) BET (typpi-adsorptio), määritetään standardin *ISO 9277* mukaan

3) Määritetään standardin *SFS-EN 196-6* mukaan

8.3 Muovi-injektointiaineet

Muovi-injektointiaineita ovat muun muassa epoksit, polyuretaanit ja akryylit. Muovi-pohjaisia injektointiaineita käytetään pienien noin 0,2...1,0 mm leveiden korroosio-vapaiden halkeamien injektointiin. Kun halkeama on 0,2...0,3 mm leveä, alkaa teräs-ten korroosio yleensä muutamassa vuodessa. Jos halkeamat tiivistyvät itsestään, niitä ei tarvitse injektoida. Halkeamien leveyden ollessa noin 0,3 mm vesivuodot eivät tukkeudu ja halkeamat täytyy injektoida. (RIL 149-1995, 283-284.) Halkeamien itsetiivistyminen on käsitelty kappaleessa 2.3.

8.3.1 Epoksit

Injektoinnissa käytettävät epoksit koostuvat kahdesta tai useammasta komponentista. Pääsääntöisesti injektoinnissa käytettävien epoksien viskositeetti on matala hyvän halkeamaan tunkeutumisen vuoksi. Myös korkea viskositeettisia, eli tiksotrooppisia epokseja on saatavilla. Niitä käytetään yli 1 mm:n levyisissä halkeamissa. Tietyissä tilanteissa tiksotrooppista epoksia voidaan käyttää myös veden täyttämässä halkeamissa. Tällainen korkea viskositeettinen epoksi työntää veden pois halkeamasta paremmin kuin matala viskositeettinen epoksi. Epoksit eivät vaahtoa, laajene tai ku-

tistu joutuessaan kosketuksiin veden kanssa. Epoksit kestävät hyvin happoja ja emäksiä, eli käytännössä ilmansaasteita ja betonin alkalisuutta. Kovettuessaan epoksit muodostavat lämpöä, joka nopeuttaa kovettumisreaktiota. Epoksia sekoitettaessa on otettava huomioon epoksikohtaiset sekoitusajat, jotta massa ei kovetu ennen tunkeutumista injektoitavaan halkeamaan. Halkeamassa epoksia on kuitenkin ohut kerros ja tästä syystä epoksi kovettuu halkeamassa hitaammin. Injektoitaessa kylmissä olosuhteissa, voidaan injektointikohdetta lämmittämällä kiihdyttää kovettumisreaktioita. Jos epoksilla injektoidaan alle +10 °C:ssa, on rakenteen lämpötilaa nostettava. (SILKO 1.233 2003, 23.)

8.3.2 Polyuretaanit

Polyuretaaneja on erityyppisiä ja niiden ominaisuudet voivat poiketa paljon toisistaan. Osa polyuretaaneista eivät siedä vettä ollenkaan asennusvaiheessa ja toiset reagoivat veden kanssa. Eri polyuretaanien viskositeetti, reagointinopeus, vesiliukoisuus, käyttöominaisuudet, pitkäaikaispysyvyys ja ympäristöturvallisuus kuten juomavesikelpoisuus poikkeavat toisistaan. Tyypillisesti polyuretaanit eivät voi ottaa vastaan suuria liikkeitä, mutta joustavia laatujaakin on olemassa. Polyuretaanit paisuvat halkeamassa 0-10 -kertaisiksi ja vapaassa tilassa jopa 40 -kertaiseksi. Sulkuaine ei ole yleensä tarpeellinen, koska halkeamasta ulos pursuava aine muodostaa sulun itse. Polyuretaania voidaan käyttää myös halkeamissa, jotka vuotavat. Polyuretaanit eivät yleensä täytä vaatimuksia rakenteelliseen injektointiin. (SILKO 1.233 2003, 24.)

8.3.3 Akryylit

Akryylihartsia käytetään injektoitaessa injektointiletkun avulla. Hartsit turpoaa joutuessaan kosketuksiin veden kanssa ja tiivistää näin ollen esimerkiksi työsauman. Akryylin sitoutumisaika on pitkä, joten se ei sovellu runsaan vuodon tukkimiseen. (SILKO 1.233 2003, 24.)

9 Sulkuaineet

Jotta injektointiaine ei pääsisi vuotamaan ulos täytettävästä tilasta, on rakenteen pinta tiivistettävä sulkuaineella. Pinnan sulkemisella on tarkoitus varmistaa halkeaman tai tyhjän tilan täytyminen rakenteeseen syntyvän paineen avulla. Sulkuaineita on erilaisia erityyppisiin tilanteisiin. Sulkuainetta ei välttämättä tarvita, jos injektoidaan polyuretaanilla tai tiksotrooppisella epoksilla, koska nämä aineet eivät vuoda helposti pois halkeamasta. (SILKO 1.233 2003, 25.)

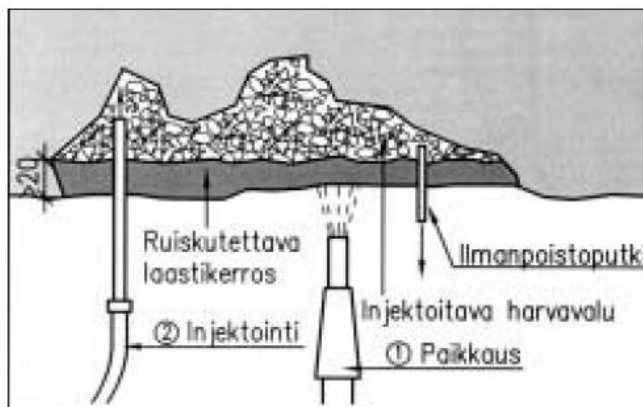
Polyesteripohjaiset sulkuaineet soveltuvat ainoastaan kuiviin pintoihin. Ne eivät kestä kovettuttuaan liikettä ja ne on suhteellisen helppo poistaa mekaanisesti. Epoksi-pohjaiset sulkuaineet soveltuvat kosteisiin olosuhteisiin. Tuotekohtaisia lisäaineita käytettäessä voidaan epokseja käyttää veden alla ja märissä pinnoissa. Lievästi harvojen ja laajojen pintojen sulkemiseen soveltuu pinnoitetyypiset akryyli- ja polyuretaanipohjaiset sulkuaineet. Sementtipohjaiset sulkuaineet soveltuvat paksujen ja laajojen pintojen tiivistykseen. Ne soveltuvat myös kohteisiin, joissa on ulkonäkövaatimuksia, mutta injektoidaessa on huomioitava, että sementtipohjaiset aineet eivät kestä kunnolla painetta. Polymeeripitoiset laastit soveltuvat ohuisiin kerroksiin ja ne tarttuvat myös kosteisiin pintoihin. (SILKO 1.233 2003, 25.)

10 Injektointityö

10.1 Injektointi sementeillä

Ennen injektoinnin aloitusta tehdä pintapaikkaus, jonka jälkeen porataan reiät injektointiputkia tai -tulppia varten. Paksuissa rakenteissa reiät porataan 250...300 mm:n syvyyteen halkeamaan nähden vinosti noin 300...600 mm:n välein. Vaurion laajuus, rakenteen vahvuus ja halkeamakoko vaikuttavat injektointireikien syvyyteen ja lukumäärään. Injektointipisteitä tehdään kuitenkin aina vähintään kaksi, mitkä sijoitetaan halkeaman päihin. Käytettäessä mikrosementtiliimaa injektointi voidaan suorittaa kuten muovi-injektointi, eli nipoilla. (RIL 149-1995, 281-282.)

Injektoitaessa rakenteen sisällä olevia tyhjiä tiloja, paikkaus tehdään laajemmassa mittakaavassa. Ensin pintabetoni piikataan pois vähintään 20 mm:n syvyydeltä. Tämän jälkeen piikattu alue puhdistetaan ja siihen ruiskutetaan pintabetoni. Paikkauksen jälkeen porataan reiät halkeamaan ja injektoidaan. Kuviossa 15 on havainnoitu pintapaikkauksen ja tyhjän tilan injektoinnin periaate. (RIL 149-1995, 282.)



KUVIO 15. Pintapaikkaus ja tyhjän tilan injektointi sementillä (SILKO 2.237 2004, 7.)

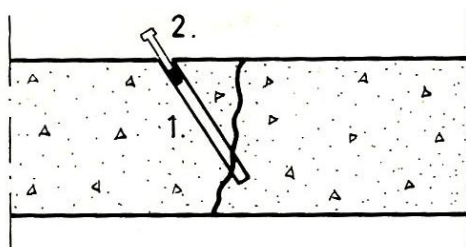
Ennen injektointia tulee halkeama huuhdella paineellisella vedellä. Huuhtelu poistaa halkeamasta mahdolliset epäpuhtaudet ja mahdolliset piilossa olevat vuotokohtat tulevat esiin. Injektointiaineen pumppaus aloitetaan laihalla seoksella, jossa sementti:vesi -suhde on 1:4 tai 1:5. Mikrosemi-injektointi voidaan aloittaa täysivahvuisella massalla. Onnistumisen edellytyksenä injektoinnille on, että ylimääräinen vesi pääsee poistumaan halkeamasta, koska vain osa vedestä sitoutuu sementtiin. Pumpaus suoritetaan joko käsi- tai konekäyttöisellä pumpulla. Pumpauspaine on tavallisesti 0,1...0,5 MPa ja mitä syvemällä injektointikohde on, sitä korkeampaa painetta voidaan käyttää. (RIL 149-1995, 282-284.)

Seinämäisen rakenteen injektointi aloitetaan alimmasta reiästä. Kun ylempänä olevasta injektointireiästä tulee injektointiainetta, siirrytään injektointimaan sen reiän kautta ja alempi reikä suljetaan. Viimeisen reiän sulkeminen tulee tehdä vasta sitten, kun siitä tulee täysivahvuista injektointimassaa. Viimeisen reiän kautta rakenteeseen

pumpataan ylipainetta noin 0,05 MPa ja injektointitulpan hana suljetaan. Lopuksi, kun injektointimassa on kovettunut, poistetaan injektointitulpat tai katkaistaan injektointiputket. Tästä aiheutuneet kolot täytetään kuivasullonnalla. (RIL 149-1995, 283.)

10.2 Injektointi muoveilla

Injektointia varten halkeamaan kiinnitetään injektointisuuttimet. Injektointisuuttimien etäisyys toisistaan riippuu halkeaman muodosta ja paksuudesta. Halkeamaleveyden ollessa 0,1...0,5 mm ja edellyttäen, että halkeama voidaan sulkea rakenteen molemmin puolin, suuttimien etäisyys on 200...500 mm. Jos halkeamaa ei voida sulkea tiiviiksi molemmin puolin, niin suuttimien väli arvioidaan läpi menevien halkeamien osalta rakenteen paksuuden perusteella. Tässä tapauksessa injektointiväli on noin 0,6 kertaa rakenteen paksuus tai maksimissaan rakenteen koko paksuus. Injektointisuuttimille porattavat reiät, eli injektointipisteet porataan vinosti siten, että reikä saavuttaa halkeaman. Kuviossa 16 esitetään porausreiän periaate. Tarvittaessa reiät voidaan porata myös kohtisuoraan halkeamaan. Siinä tapauksessa reikien syvyydeksi riittää noin 30...50 mm. Injektointi voidaan tehdä myös suoraan halkeamaan ilman suuttimia. Jos näin tehdään, ovat injektointipisteet teipattava ennen sulkuaineen levitystä, jotta ne eivät mene tukkoon. Injektointisuuttimien kiinnittämisen jälkeen halkeamat suljetaan. Halkeaman ulottuessa rakenteen läpi suljetaan kummatkin puolet. (RIL 194-1995, 284-285.)

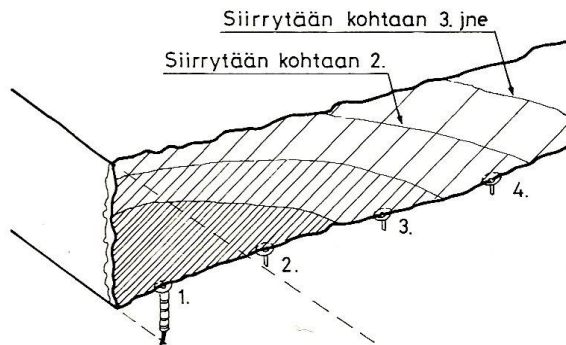


1. Porausreikä
2. Injektointitulppa

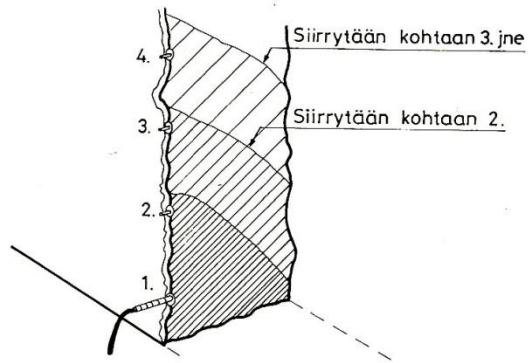
KUVIO 16. Injektoinnin porausreikä (RIL 149-1995, 284.)

Rakenteen läpi menevän halkeaman injektointi suoritetaan vain rakenteen toiselta puolelta, jos rakenteen paksuus on maksimissaan 300 mm. Jos kyseessä on paksumpi rakenne, tulee injektointi suorittaa kummaltakin puolelta, jos se on mahdollista. Jos läpi menevää halkeamaa ei voida sulkea kummaltakin puolelta, kuten esimerkiksi maanvastaisissa laatoissa, voidaan injektoinnissa käyttää tiksotrooppista ainetta, joka ei valu maaperään niin helposti kuin tavanomainen injektointiaine. (RIL 194-1995, 285.)

Injektointiaine pumpataan halkeamaan käsikäyttöisen- tai konekäyttöisen pumpun avulla. Injektointipaineen valinnassa huomioidaan muun muassa aineen tunkeutuvuus halkeamaan. (SILKO 1.233, 35.) Injektoitaessa yläpuolista laattaa, siirrytään seuraavaan injektointikohtaan, kun ainetta tulee neljänneestä reiästä. Kuviossa 17 on havainnoitu yläpuolisen laatan injektoinnin periaate. Injektoitaessa seinämäistä rakennetta siirrytään ylempänä olevaan injektointikohtaan, kun ainetta tulee kolmesta reiästä. Kuviossa 18 on havainnoitu seinämäisen rakenteen injektoinnin periaate. (SILKO 2.236 2003, 6.)



KUVIO 17. Holvirakenteen injektoinnin periaate (RIL 149-1995, 286.)



KUVIO 18. Seinämäisen rakenteen injektoinnin periaate (RIL 149-1995, 286.)

10.3 Imeytys

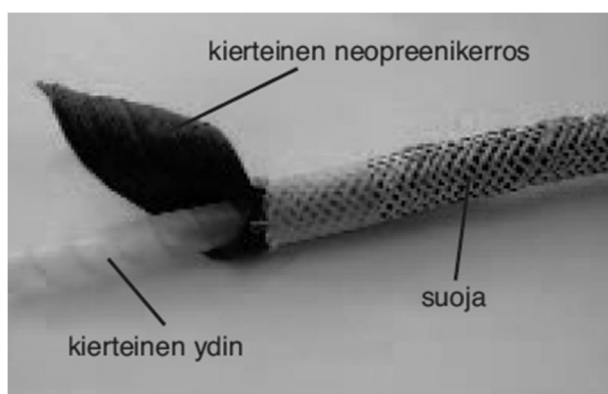
Vaakapinnoilla olevien halkeamien ja kolojen korjaus voidaan tehdä imeyttämällä injektointiainetta. Imeytyksessä injektointiainetta kaadetaan suoraan koloihin ja halkeamiin. Imeytys voidaan tehdä imeytyspullon avulla, kaatamalla ainetta halkeaman päälle ja edistämällä imeytymistä sivelemällä tai kaatamalla ainetta halkeaman päällä olevaan kaukaloon. Imeytystyötä tulee jatkaa kunnes ainetta ei enää imeydy halkeamaan. Halkeamien ulottuessa rakenteen läpi tulee halkeama sulkea alapuolelta ennen imeytystä. (RIL 194-1995, 286.)

Imeytystä käytetään pääasiassa plastisen painuman aiheuttamiin kapeisiin halkeamiin. Imeytyksellä voidaan estää tehokkaasti veden ja siihen liuenneiden suolojen imeytyminen rakenteeseen. Halkeama täyttyy imeytyksellä käytännössä vain rakenteen pintaosasta, joten sillä ei ole käytännössä rakenteellista merkitystä. Halkeamien korjaaminen imeytyksellä ei ole mahdollista, jos halkeilut johtuvat rakenteiden vaurioitumisesta, kuten raudoituksen korroosiosta tai pakkasrapautumisesta. (by 41 2007, 85.)

10.4 Injektointiletkut

Injektointiletku on rakenteeseen ennen valua asennettava letku, jonka kautta halkeama, mahdollinen vuoto tai muu onkalo saadaan tukittua injektoimalla. Letkua käytetään, kun halutaan varmistaa esimerkiksi työsauman vesitiiveys. Injektointi tehdään vasta kun betonirakenteen kaikki muodonmuutokset ovat tapahtuneet. Jos saumassa on vesivuoto, niin injektointi voidaan tehdä heti. (SILKO 1.233 2003, 37.)

Injektointiletkun toiminta perustuu sen rakenteeseen. Tyypillisen injektointiletkun rakenne on havainnoitu kuviossa 19. Rakenteeseen kiinnitetty Injektointiletku ei päästä valutilanteessa lävitseen sementtiliimaa, mutta kovettuneessa betonissa olevaan letkuun pumpattu injektointiaine pääsee tunkeutumaan letkun seinämien läpi halkeamaan tai tiivistettävään kohteeseen. (SILKO 1.233 2003, 37.)



KUVIO 19. Injektointiletkun rakenne (SILKO 1.233 2003, 37.)

Injektointiletkut on asennettava tiivistä kiinni alustaansa, että ne eivät pääse nousemaan tai siirtymään betonoinnin aikana. Asennuksessa on myös kiinnitettävä huomiota, että injektointiletku ei saa tulla muotin ulkopuolelle. Letkun päihin on tällöin asennettava painetta kestävä umpiseinäinen letku, joka tuodaan muotista läpi. Liitos on tehtävä huolellisesti, ettei jatkos pääse irtoamaan valun yhteydessä. Muotin ulkopuolelle tulevat letkut voidaan tulpata ja kiinnittää muotin kylkeen tai jättää muotin

sisäpintaan kiinnitettyyn varausrasiaan. Rasian, injektointiletkujen ja täyttöletkujen asennus on havainnoitu kuviossa 20.



KUVIO 20. Injektointiletku asennettu käyttämällä varausrasiaa (Intec-premium-asennusohje 2012, 14.)

Joillain valmistajilla on tarjota letkuja, joiden päihin voidaan kiinnittää syöttökartio, joka kiinnitetään muotin sisäpintaan. Tällöin muotin purkamisen jälkeen betonipinnan tasoon jää syöttökartio, johon kiinnitetyn nipan kautta letkuun voidaan pumpata injektointiainetta. Syöttökartion asennus on havainnoitu kuviossa 21.



KUVIO 21. Injektointiletkuasennettu käyttämällä syöttökartioita (Intec-premium-asennusohje 2012, 12.)

11 Pohdinta

Opinnäytetyö toimii mielestäni hyvänä tietolähteenä betonin halkeilun syistä ja niiden välttämistoimenpiteistä sekä injektointityöstä. Hankin tietoa betonin halkeilusta, jälkihoidosta ja olosuhdehallinnasta sekä injektointityöstä eri kirjallisista lähteistä ja koostin ne yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Opinnäytetyössä ei perehdytty mihinkään tiettyyn kohteeseen tai tilanteeseen, joten työn tulos soveltuu hyvin yleisohjeena moneen eri tilanteeseen. Työn lähtökohtana oli ajatus, että opinnäytetyö toimisi opastavana tietolähteenä aloittavalle työnjohtajalle. Mielestäni onnistuin siinä tavoitteessa hyvin. Työtä olisi kuitenkin voinut vielä laajentaa esimerkiksi keräämällä aineistoa todellisista kohteista.

Edellytyksenä onnistuneelle betonirakenteelle on valutyön hyvä ennakkosuunnittelu ja onnistunut työn toteutus. Ennakkosuunnittelussa tulee aina ottaa huomioon valuolosuhteet ja toteutettavan rakenteen erityispiirteet. Laatat vaativat huomiota erityisesti valualustan ja valuilman olosuhteisiin. Laatoilla on suuri ympäristöön kosketuksessa oleva pinta-ala ja näin ollen laatat ovat erityisen herkkiä halkeilulle. Seinämäisissä rakenteissa betoni on muotin sisällä paremmassa suojassa ympäristön vaikutuksilta. Toisaalta plastisen vaiheen halkeamia voi tulla herkästi huolimattoman valutyön seurauksena. Massiiviset rakenteet tarvitsevat erityistä huomiota niin lämpiminä kuin kylminä vuoden aikoina. Lämpötilan muodostumista liian korkeaksi tulee välttää ja toisaalta rakenne pitäisi saada jäähtymään tasaisesti.

Jotta turhilta ja kustannuksia aiheuttavilta jälkitöiltä välttyttäisiin, on betonityön johtajan ymmärrettävä betonin plastisen- ja kovettuneen vaiheen ominaisuuksista. Työnjohtajan tulisi myös antaa työntekijöille riittävän selkeät ohjeet työn toteutuksesta ja jälkihoidon merkityksestä. Mitä haasteellisemmat olosuhteet on kyseessä, sitä vakavammin olosuhdehallintaan, valuun ja jälkihoitoon tulisi suhtautua. Jälkihoito tulee mielestäni aloittaa aina mahdollisimman pian. Esimerkiksi laattarakenteita valettaessa tulee jälkihoitoaine levittää sitä mukaan, kun pinta on saatu tasattua. Jälkihoitoaineen levittäminen tulisikin sopia valuryhmän kanssa, jotta työ tulee tehtyä oikeaan aikaan.

Lähteet

Betonilattiat kortisto. 2012. Rakennusteollisuus RTT ry. Suomen Rakennusmedia Oy. Viitattu 4.1.2014. <http://www.bly.fi/File/BLY-14.pdf?rnd=1356602833>.

Betonin kutistuma ja sen huomioiminen. 2010. Rudus Oy. Asiakastiedote toukokuu 2010. Viitattu 4.1.2014. <http://www.rudus.fi/Haku?term=betonin+halkeilu>.

by 41. 2007. Betonirakenteiden korjausohjeet. Suomen Betoniyhdistys. Porvoo: Painoyhtymä Oy.

by 201. 2004. Betonitekniikan oppikirja. Viides painos. Suomen Betoniyhdistys. Jyväskylä: Gummerus

Intec-premium-asennusohje. 2012. Alimexin verkkosivut. Viitattu 4.2.2014. <http://www.alimex.fi/media/k2/attachments/Intec-premium-asennusohje.pdf>

Komonen, J. 2010. Betonirakenteiden kutistuminen ja halkeamien ehkäisy, Rakentajain kalenteri. Rakennustieto Oy.

Konttinen, J. 2014. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Keskustelu 17.4.2014.

RIL 149-1995. 1995. Betonityöohjeet. Vaasa: Ykkös-Offset Oy.

Suomen Maastorakentajat Oy. 2012. Tiedote. Viitattu 25.2.2014. <http://www.maastorakentajat.com/fi/uutiset/2-tiedotus-4-10-2012>

Suomen Maastorakentajat Oy. 2014. Tiedote. Viitattu 25.4.2014. <http://www.maastorakentajat.com/images/etusivu/AG%20fuusio%20media%20final.pdf>

SILKO 1.233. 2003. Betonirakenteet, Halkeamien korjaaminen. Tiehallinnon verkkosivut. Viitattu 13.11.2013. <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1233.pdf>.

SILKO 2.237. 2004. Betonirakenteet, Sementti-injektointi. Tiehallinnon verkkosivut. Viitattu 8.1.2014. <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio2/s2236.pdf>.

SILKO 2.239. 2004. Betonirakenteet, Halkeaman imeytys. Tiehallinnon verkkosivut. Viitattu 8.1.2014. <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio2/s2236.pdf>.

Vuorinen, P. 2012. Betonointi kylmissä olosuhteissa. Rakentajain kalenteri. Rakennustieto Oy.

Liitteet

Liite 1. Olosuhdehallinnan ohjekortti

OHJEKORTTI

OLOSUHDEHALLINTA

Olosuhdehallinnan tarkoituksena on luoda valutilan ja valualustan olosuhteet betonirakenteelle optimaaliseksi lujuuden kehityksen ajaksi. Olosuhdehallinnassa on otettava huomioon tuulisuus, ilman kosteuspitoisuus, valualustan ja valuilman lämpötilat sekä valualustan kosteuspitoisuus.

Betonityössä kylmä kausi tarkoittaa ajanjaksoa, jolloin vuorokauden keskilämpötila on alle +5 °C. Tällöin on otettava huomioon betonin hidastunut kovettumisreaktio sekä betonin jäätymisriski.

Laattavaluissa matala lämpötila hidastaa betonin sitoutumista altistaen rakenteen halkeilulle. Massiivisissa rakenteissa ilman matala lämpötila aiheuttaa pintaosan liian nopean jäähtymisen ja aiheuttaa pintaosan halkeilua, jos rakennetta ei suojata riittävästi. Tuulisuus ja kuiva ilma nopeuttavat betonin pinnan kuivumista ja lisäävät halkeilun riskiä. Estetyn kutistuman rakenteissa olemassa olevan rakenteen lämmittäminen pienentää lämpömuodonmuutoksesta aiheutuvan halkeilun riskiä.

Olosuhdehallintatoimenpiteet on suunniteltava aina hyvissä ajoin ja tapauskohtaisesti.

Olosuhdehallinta sisävalussa:

- Valutilan suojaus tuulen vaikutuksilta peittämällä avonaiset ovet, ikkunat ja muut aukot.
- Valutilan lämpötilan pitäminen riittävän tasaisena ja korkeana.
- Valuilman lämmittäminen aloitettava riittävän ajoissa.
- Lämmitintä ei saa suunnata suoraan betonipintaan.

Olosuhdehallinta ulkovalussa:

- Valuajankohdan siirtäminen suotuisiin olosuhteisiin, jos mahdollista.
- Laattavalussa huomioitava auringon lämpö ja varjokohtien vaikutus. Jos mahdollista, valu kannattaa aloittaa varjoisesta kohdasta ja lämpimin kohta jättää viimeiseksi. Näin vältetään eriaikainen sitoutuminen.
- Muotin lämmitys esimerkiksi huputtamalla muotit ja lämmittämällä tila puhaltimilla.

Valettaessa pintabetonia:

- Valualustan kastelulla mahdollistetaan pintavalun parempi tarttuvuus ja ehkäistään pintavalun alaosan liian nopea kuivuminen.
- Kylmissä olosuhteissa päälle valettavan laatan lämmitys. Toimenpide onnistuu holvin osastoinnin ja lämpöpuhaltimien avulla.

Liite 2. Jälkihoidon ohjekortti

OHJEKORTTI

JÄLKIHOITO

Jälkihoidon tarkoituksena on estää betonin liian nopea kuivuminen ja luoda betonirakenteelle optimaaliset olosuhteet lujoudenkehityksen ajaksi. Betonin tulee omata riittävä lujuus ennen jälkihoidon lopettamista, jotta rakenne kestää kuivumisesta aiheutuvat rasitukset. Jälkihoidolla vaikutetaan betonipinnan kulutuskestävyyteen, tiivyyteen, pölyvyyteen, päällystettävyyteen sekä halkeiluun.

Jälkihoitomenetelmään ja kestoon vaikuttavat valuolosuhteet sekä valettavan rakenteen koko ja muoto. Myös massan rasitusluokalla on merkitystä jälkihoidon kestoon.

Jälkihoito jaetaan varhaisjälkihoitoon ja varsinaiseen jälkihoitoon.

- Varhaisjälkihoidolla estetään veden liiallinen haihtuminen plastisen betonin pinnalta. Varhaisjälkihoito tulee aloittaa välittömästi betonin tasaamisen jälkeen.
- Varsinaisen jälkihoidon tarkoitus on estää veden haihtuminen kovettuneen betonin pinnalta sekä luoda massalle hyvät kehitysolosuhteet. Jälkihoito toteutetaan välittömästi hierron jälkeen.

Jälkihoitotoimenpiteet on suunniteltava aina hyvissä ajoin ja tapauskohtaisesti.

Jälkihoito laattarakenteille:

- Jälkihoitoainetta levitetään sitä mukaan, kun pintaa on saatu tasattua.
- Pinta hierretään heti, kun se on mahdollista.
- Hierron jälkeen jälkihoitoaine levitetään uudestaan.
- Jälkihoitoaineen levityksen jälkeen rakenne peitetään muoveilla tai pressuilla. Peitteet asetetaan limittäin ja huolehditaan, että tuuli ei pääse peitteiden alle. Peitteet estävät myös sateen aiheuttamasta vaurioita tuoreen vastahierretyn betonin pintaan. Kylmissä olosuhteissa valu tulee eristää pinnan liian nopealta jäähtymiseltä esimerkiksi routamatoilla.

Jälkihoito seinämäisille rakenteille:

- Jälkihoitoainetta levitetään heti, kun valu on saatu korkoonsa.
- Pinta hierretään heti, kun se on mahdollista.
- Hierron jälkeen jälkihoitoaine levitetään uudestaan.
- Kuivissa ja kuumissa olosuhteissa muottien pitäminen paikallaan on suotavaa. Muotit suojaavat rakennetta sään vaikutukselta.
- Talviolosuhteissa muotin tai betonin lämmitystä tulee pitää yllä, kunnes muotinpurkulujuus on saavutettu.

Veden käyttö jälkihoidossa:

- Vesi ei saa aiheuttaa kosteusvaurioita muille rakenteille.
- Kastelu pidetään rakenteen kuivumisaikaa, joka on otettava huomioon pinnoitettavissa rakenteissa.
- Vettä ei saa laskea plastisen betonin pinnalle, koska se vaurioittaa rakenteen pintaa.
- Talviolosuhteissa vettä ei saa käyttää jälkihoidossa.