

Juhapekka Jyrkkä

BETONIRAKENTEIDEN INJEKTOINTI

BETONIRAKENTEIDEN INJEKTOINTI

Juhapekka Jyrkkä
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, talonrakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä(t): Juhapekka Jyrkkä

Opinnäytetyön nimi: Betonirakenteiden injektointi

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Injection of concrete structures

Työn ohjaaja: Antti Ukonmaanaho (OAMK)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 32

Betoni maailman käytetyimpänä rakennusmateriaalina on myös suomalaisten suosima, mutta sen laadukas valmistaminen ja kunnossapito vaatii monien tekijöiden huomioimista. Hyvän puristuslujuuden omaava materiaali on altis halkeilulle ja muille vaurioille. Injektoinnilla pyritään korjaamaan betoniin syntyvät vauriot ja palauttamaan sen ominaisuudet takaisin alkuperäiselle tasolle. Suomessa on vaihtelevat sääolosuhteet, jotka rasittavat betonia ja vaikeuttavat sen valmistusta, jonka vuoksi injektoinnin tarve on ympärivuotinen.

Opinnäytetyössä perehdyttiin betoniin rakennusmateriaalina ja tekijöihin, jotka voivat aiheuttaa sille vaurioita ja halkeilua. Työssä käytiin myös yleisesti läpi mitä injektointi on ja millaisia eri tapoja sitä on suorittaa. Injektoitaessa käytetään erilaisia massoja, jotka soveltuvat erilaisiin tilanteisiin ja olosuhteisiin. Niiden oikeanlaiseen valintaan perehdyttiin myös, jotta injektoitaessa päästään haluttuun lopputulokseen. Työssä annettiin myös käytännön esimerkki, jossa käydään vaihe vaiheelta läpi, miten injektointia suoritetaan ja mihin tekijöihin täytyy kiinnittää huomiota.

Injektointi on virhealtista työtä, koska sen onnistuminen ja luotettavuus perustuu pääosin työntekijän kokemukseen ja massamenekkiin. Tämä työ kuitenkin antaa hyvät valmiudet injektoinnin ymmärtämiseen käsitteenä ja mitä sillä tavoitellaan sekä käytännön valmiuden, jotta omaa osaamista voi alkaa kehittämään.

Asiasanat: injektointi, halkeama, puristuslujuus, sementti-injektointi, muovi-injektointi, polyuretaanimassa

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering, Option of House Building Engineering

Author: Juhapekka Jyrkkä
Title of thesis: Injection of concrete structures
Supervisor: Antti Ukonmaanaho (OUAS)
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024
Number of pages: 32

Concrete, being the most widely used building material globally, is also favored by Finns. However, ensuring its high-quality production and maintenance requires consideration of various factors. Despite its high compressive strength, concrete is prone to cracking and other damages. Injection techniques aim to repair these damages and restore concrete properties to their original levels. In Finland, the fluctuating weather conditions pose challenges to concrete and complicate its manufacturing, this making the need for injection year-round.

This thesis delves into concrete as a building material and factors that can cause damage and cracking. It also provides a general overview of injection and its various methods. Different injection materials suitable for different situations and conditions are discussed to ensure the desired outcomes. Additionally, a practical example is provided, detailing the step-by-step process of injection and factors to consider.

The conclusions drawn from the thesis underscore the importance of proper maintenance practices and the role of injection in extending the service life of concrete structures. Development proposals include further research on innovative injection materials and techniques to enhance efficiency and sustainability in concrete maintenance. Injection work is prone to errors as its success and reliability largely depend on the worker's experience and material usage. Nevertheless, this thesis provides a solid foundation for understanding injection as a concept, its objectives and practical readiness to begin developing one's expertise.

Keywords: injection, crack, compressive strength, cement injection, plastic injection, polyurethane mass

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	4
2	BETONI RAKENNUSMATERIAALINA	5
2.1	Betonin ominaisuuksia	5
2.2	Betonin kutistuminen	5
2.3	Betonin halkeilu	6
2.4	Sääolosuhteiden vaikutus.....	9
2.5	Pakkasrapautuminen.....	11
3	INJEKTOINTI.....	12
3.1	Sementti-injektointi	14
3.2	Muovi-injektointi.....	16
3.3	Massat.....	19
4	HALKEAMAN INJEKTOINNIN TYÖVAIHEET	21
4.1	Työturvallisuus	21
4.2	Valmistelevat työt	23
4.3	Massan pumppaaminen	25
4.4	Lopetus ja kirjanpito	27
5	YHTEENVETO	28
	LÄHTEET.....	29
	LIITTEET	32

1 JOHDANTO

Betoni on maailman yleisin rakennusmateriaali sen monien hyvien ominaisuuksien vuoksi. Näitä ovat muun muassa kestävyys, muovattavuus ja paloturvallisuus. Suomessa betonin raaka-aineita on helposti saatavilla, mutta sen valmistusta vaikeuttaa ympärivuoden vaihtelevat sääolosuhteet ja lämpötilat. Korjausrakentaminen on merkittävä osa rakentamista Suomessa ja sen taloudellinen merkitys on suuri. Injektointi on yksi korjausrakentamisen menetelmä.

Työn tavoitteena on kertoa injektoinnista ja sen käyttökohteista. Injektointi on laaja aihe, mutta tässä työssä käydään tarkemmin läpi betonirakenteiden injektointia vaihteittain käytännön esimerkin avulla. Tavoitteena on myös antaa käsitys, miksi valitaan tietyt toimintatavat ja massat, joilla injektointi suoritetaan, sekä millainen vaikutus niillä on työn lopputulokseen. Olennainen osa on myös se, mikä aiheuttaa rakenteille tarpeen injektointiin ja millä keinoilla siihen voidaan vaikuttaa.

Työn alussa perehdytään betonin ominaisuuksiin sekä siihen, mitkä tekijät vaikuttavat betonin halkeiluun ja muihin vaurioihin rakenteissa. Tämän jälkeen käydään läpi injektointia ja erilaisia injektointimenetelmiä. Niistä perehdytään syvemmin kahteen yleisimpään menetelmään, jotka ovat käytössä betonirakenteiden korjauksessa. Työssä esitellään myös massat, joita on käytössä erilaisissa injektioinneissa, ja niiden ominaisuudet. Lopuksi annetaan työelämän esimerkki, jossa käydään yleisesti läpi työturvallisuutta ja erilaisia työvaiheita sekä sitä, mitä tekijöitä kannattaa huomioida betonirakenteita injektoidessa.

2 BETONI RAKENNUSMATERIAALINA

2.1 Betonin ominaisuuksia

Betonista on tullut maailman yleisin rakennusmateriaali sen helpon saatavuuden ja yksinkertaisen valmistustekniikan vuoksi. Sitä hyödynnetään monipuolisesti rakennusten runkojen, julkisivujen, siltojen, patojen, teiden ja muiden infrarakenteiden rakentamisessa. Betonin peruskomponentteja ovat sementti, vesi ja kiviaines, jotka kaikki saadaan maaperästä. Lisäksi betonin valmistuksessa voidaan käyttää erilaisia sidos- ja lisäaineita. Kiviaines on yleensä paikallista, mikä vähentää tarvetta pitkille kuljetusmatkoille. Betonin valmistuksessa käytettävää kiviainesta on saatavilla rajattomasti lähes kaikkialla. Betonin vahvuuksia ovat muun muassa lujuus, puristuskestävyys, paloturvallisuus ja kosteudenkestävyys. (Betoniteollisuus ry 2020.)

Vaikka betoni on yleisin rakennusmateriaali ja sillä on hyvä kosteudenkestävyys, ovat rakennusten kosteus- ja homeongelmat kuitenkin yleisiä ja niiden esiintyvyys kasvaa. Erityisesti alapohjarakenteissa ja levyrakenteisissa märkätiloissa tapahtuvat virheet aiheuttavat kosteusvaurioita. Lisäksi viemäri- ja käyttövesiputkien sekä niihin liittyvien laitteiden vuodot voivat johtaa kosteusvaurioihin. (Betonია Oy 2023.)

2.2 Betonin kutistuminen

Betonin kutistuminen riippuu ympäristön kosteudesta, rakenneosan mitoista ja betonin koostumuksesta. Kokonaiskutistuminen betonissa johtuu kahdesta tekijästä, jotka ovat kuivumiskutistuma ja sisäinen kutistuma. Kuivumiskutistuminen tapahtuu veden haihtuessa betonista, mikä aiheuttaa betonin tilavuuden pienenemisen. Tämä prosessi etenee hitaasti, koska se riippuu siitä, kuinka nopeasti vesi siirtyy kovettuneen betonin läpi. (SFS-EN 1992-1-1 +A1 + AC 2015, 31, 33.)

Sisäinen kutistuminen tapahtuu betonin kovettuessa. Suurin osa tästä kutistumisesta tapahtuu betonin valamisen jälkeisinä ensimmäisinä päivinä. Sisäisen kutistumisen määrä on suoraan verrannollinen betonin lujuuteen, joten se voi vaihdella betonin koostumuksen ja valmistusprosessin mukaan. On erityisen tärkeää ottaa sisäinen kutistuma huomioon silloin, kun uutta betonia valetaan

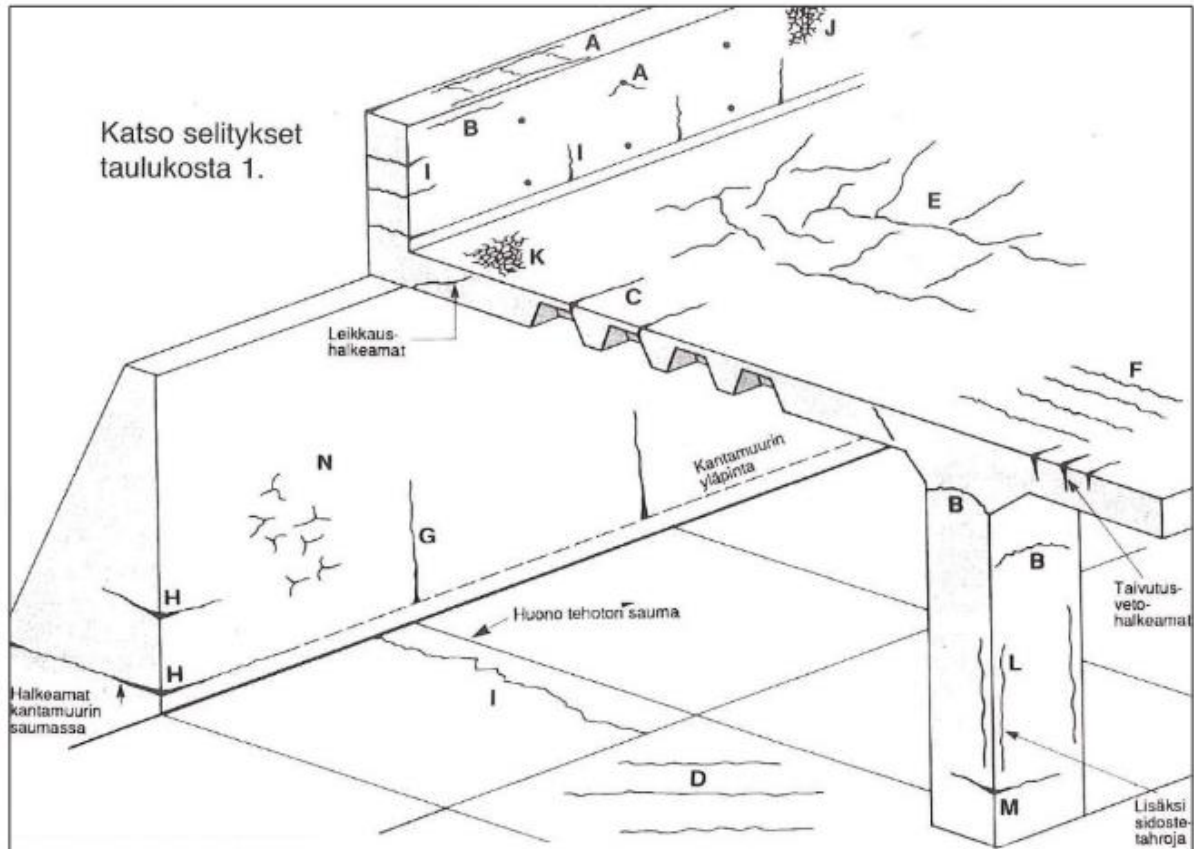
kovettuneen betonin päälle, koska se voi aiheuttaa halkeilua tai muita vaurioita rakenteeseen. (SFS-EN 1992-1-1 +A1 +AC 2015, 33.)

Tämän vuoksi rakennesuunnittelussa ja betonin valmistuksessa on tarpeen arvioida ja hallita kokonaiskutistumista, jotta voidaan varmistaa rakenteen kestävyys ja pitkäikäisyys. Kokonaiskutistumista siis tapahtuu kaikissa betonirakenteissa huolimatta sen ominaisuuksista tai valmistustavasta eikä betonia voida valmistaa siten, ettei se kutistuisi ajan kanssa.

2.3 Betonin halkeilu

Betonirakenteisiin muodostuu halkeamia, kun vetojännitys ylittää betonin vetolujuuden. Rakenteelliseen lujuuteen vaikuttavien halkeamien syitä voivat olla muun muassa suunnitteluvirheet, ylikuormitus ja rakenteiden värinä. Uuden rakenteen liittäminen vanhaan ilman tarkkaa suunnittelua voi aiheuttaa halkeilua. Kun uusi rakenne kutistuu tai laajenee ja sitä estetään vapaasti toimimasta näin, syntyy erityisesti palkeissa ja ohuissa reunaulokkeissa jänniteitä, jotka voivat purkautua halkeamina. Maatukien halkeilu taas johtuu usein maaperän liikkumisesta, värinästä ja lämpötilaeroista, joten tavallisesti maatukien halkeamat ovat leveitä. (Väylävirasto 2019, 1.)

Tärkeää on suunnitella rakenteet huolellisesti, ottaen huomioon materiaalien ominaisuudet ja ympäristötekijät, kuten maaperän liikehdintä ja lämpötilavaihtelut, mikä auttaa vähentämään halkeilun riskiä. Halkeilua siis syntyy erilaisilla tavoilla ja sitä voi muodostua vaihteleviin kohtiin rakennetta (kuva 1). Halkeaman syy ja merkitys rakenteelle on aina selvitettävä. (Väylävirasto 2019, 1.)



KUVA 1. Esimerkkejä betonin luonteenomaisista halkeamista (Väylävirasto 2016, 5.)

Halkeamatyyppejä betonille ovat plastinen painuminen, plastinen kutistuminen, varhainen termien kutistuminen, pitkän aikavälin kuivumiskutistuma, säröily, raudoituksen korrosio ja alkalikiviainesreaktio. Niitä syntyy vaihtelevin ajoin 10 minuutin ja yli 5 vuoden välein. Kaikilla halkeamatyypeillä on yleiset esiintymiskohdat ja aiheuttajat. (Taulukko 1.) (Väylävirasto 2016, 6.)

TAULUKKO 1. *Betonin halkeamatyyppien selitykset (Väylävirasto 2016, 6.)*

Halkeamatyyppit	Kirjaintunnus (ks.kuva 5)	Alajako	Yleisin esiintymiskohta	Esisijainen aiheuttaja (poislukien pakkovoimat)	Toissijaiset aiheuttajat/ tekijät	Vaurion välttämiskeino	Syntymisaika
Plastinen painuminen	A	Raudoituksen yläpuolella	Paksut rakenteet	Liiallinen veden erottuminen	Nopea varhaiskuivuminen	Vähennettävä vedenerottumista (lisähuokostus) tai jälkityritys	10 min–3h
	B	Holvaus	Pilarien yläpäät				
	C	Paksuuden vaihtelu	Ripa- ja arinalaatat				
Plastinen kutistuminen	D	Diagonaalinen	Tiet ja laatat	Nopea varhaiskuivuminen Lisäksi teräksset lähellä pintaa	Vähäinen veden-erottuminen	Parannettava varhaista jälkihoitoa	30 min–6h
	E	Satunnainen	Teräsbetoni-laatat				
	F	Raudoituksen yläpuolella	Teräsbetoni-laatat				
Varhainen terminen kutistuminen	G	Ulkoiset pakkovoimat	Paksut seinät	Liiallinen lämmönkehitys	Nopea jäähtyminen	Vähennettävä lämpöä ja/tai eristäminen	päivästä 2–3 viikkoon
	H	Sisäiset pakkovoimat	Paksut laatat	Liialliset lämpötilaerot			
Pitkän aikavälin kuivumis-kutistuma	I		Ohuet laatat (ja seinät)	Tehottomat saumat	Liiallinen kutistuminen Tehoton kovettuminen	Vähennettävä vesimäärää Parannettava jälkihoitoa	useita viikkoja tai kuukausia
Säröily	J	Muottipinta	Pintabetoni	Tiiviit muotit	Lihava seos Huono jälkihoito	Parannettava jälkihoitoa ja viimeistelyä	1–7 päivää joskus paljon myöhemmin
	K	Hiertopinta	Laatat	Ylihierto teräslastalla			
Raudoituksen korrosio	L	Luonnollinen	Pilarit ja paikit	Liian ohut betonipeite	Huonolaatuinen betoni	Poistettava mainitut aiheuttajat	yli 2 v.
	M	Kalsiumkloridi	Betoni-elementit	Liikaa kalsiumkloridia			
Alkalikiviainesreaktio	N		Kosteat paikat	Reagoiva kiviaines ja liian alkalinen sementti		Poistettava mainitut aiheuttajat	yli 5 v.

Kun erilaiset kuormitukset vaikuttavat rakenteeseen samanaikaisesti ja aiheuttavat jännitystason nousun yli tietyn rajan, seurauksena voi olla pituussuuntaisia halkeamia, jotka vähentävät rakenteen kestävyttä. Yksi tapa torjua tällaista halkeilua on rajoittaa puristusjännityksen arvoa tiettyihin alueisiin, joissa rasitusolosuhteet ovat vaativia, kuten XD-, XF- tai XS-ympäristössä. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi lisäämällä betonipeitettä raudoituksen ympärille tai käyttämällä poikittaista raudoitusta estämään halkeilun laajenemista. (SFS-EN 1992-2 + AC 2009,32.)

Rasitusluokat XD, XF ja XS koskevat rakenteita, jotka ovat tekemisissä kosteuden kanssa, joka sisältää klorideja. Kaikki tämän tyyppiset rakenteet vaativat kemiallista injektointia haljetessaan. (taulukko 2.) (Tokkonen & Uusitalo 2013, 26.)

TAULUKKO 2. Betonirakenteiden rasitusluokat (Tokkonen & Uusitalo 2013, 26.)

XD	Kloridien aiheuttama korroosio	XD1	Kohtalaisen kostea
		XD2	Kostea, harvoin kuiva
		XD3	Kostea ja kuiva vaihtelevat
XS	Merivedessä olevien kloridien aiheuttama korroosio	XS1	Betonia rasittavat tuulen mukana tulevat kloridit, ei suoraa kosketusta veteen
		XS2	Veden alla
		XS3	Vesirajassa ja roiskevyöhykkeellä
XF	Jäätymis-/sulamisrasitus	XF1	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
		XF3	Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
	Jäätymis-/sulamisrasitus ja suolarasitus	XF2	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet
		XF4	Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet

Betonirakenteille halkeilu on tyypillistä, mutta sen hallinta on olennaista rakenteen ulkonäön, toiminnallisuuden ja kestävyuden kannalta. Tärkeää on varmistaa, että halkeamaleveydet pysyvät tarpeeksi pieninä. Tähän vaikuttavat suunnitteluvaiheessa oikein mitoitettut rakenteet ja betonimassan koostumus sekä huolellisesti suoritettu valutyö ja jälkihoito. (Reinikka 2014, 10.)

Halkeamat kasvattavat betonin läpäisevyyttä ja näin ollen heikentävät sen laatua. Halkeilun seurauksena betonin terästen suojaava vaikutus heikkenee sekä fyysisesti että kemiallisesti. Halkeamien kautta rakenteeseen voi tunkeutua haitallisia aineita, kuten veteen liuenneita klorideja ja hiilidioksidia. (Reinikka 2014, 13.)

2.4 Sääolosuhteiden vaikutus

Talvikausi betonitöissä määritellään ajanjaksoksi, jolloin vuorokauden lämpötila voi laskea alle +5°C. Suomessa tämä tarkoittaa käytännössä noin 2/3 vuodesta. Tämän lämpötilan alapuolella betonin kovettuminen hidastuu merkittävästi ja vasta valetut betonirakenteet voivat vaurioitua.

Vaikka lämpötila on päivän aikana plussan puolella, voi valettu betoni vaurioitua yöpakkasten aikana. (Tokkonen & Uusitalo 2013, 15.)

Talvibetonoinnissa tarvitaan erityistoimia varmistaakseen betonin asianmukaisen kovettumisen ja estääkseen vaurioitumisen. Näihin toimiin kuuluvat suojaus, lämmitys, muottien lämpösuojauksen huolehtiminen, lämpötilan jatkuva seuranta sekä oikean betonimassan valinta. Oikean betonimassan valinta voi sisältää esimerkiksi kuumabetonin käytön, betonin lujuusluokan nostamisen, erilaisten lisäaineiden käytön tai nopeasti kovettuvan betonin valitsemisen. Betonin lujuuden kehittymisen vaatii aina lämpöä. Työn aikana vallitseva lämpötila ja tuulen voimakkuus vaikuttavat betonin lämpötilaan ja siten sen lujuuden kehittymiseen. Kun lämpötila laskee, betonin lujuuden kehitys hidastuu merkittävästi. Kun betonin lämpötila laskee alle +5 °C:n, sen lujuuden kehittyminen hidastuu niin paljon, ettei sitä voida käytännön rakentamisessa hyväksyä. (Nikkilä 2017, 3.)

Betonin lujuudenkehitykseen vaikuttaa oleellisesti sen lämpötila. Lujuudenkehitys hidastuu rajusti lämpötilan laskiessa alle 0 °C:n, ja lämpötilan laskiessa -10...-15 °C:n, sen lujuudenkehitys pysähtyy kokonaan. (taulukko 3) Betonin jäätymislujuus kaikilla lujuusluokilla on 5 MN/m², jolloin betoni kestää jäätyksen vaurioitumatta tai aiheuttamatta lujuuskatoa. Kun jäätymislujuus on saavutettu, voidaan purkaa kantamattomat muotinosat ja poistaa lämmitys, jos seuraava työvaihe sen vaatii. (Taulukko 3.) (Kyllönen 2018, 25.)

TAULUKKO 3. *Lämpötilan vaikutus betoniin (Kyllönen 2018, 25.)*

Lämpötila	Huomioita
> +60 °C	Seurauksena lujuuskatoa ja säilyvyyden heikentyminen. Lujuuskadon määrä selvitetään ja otetaan huomioon.
+50...60 °C	Yhden vuorokauden lujuudet nousevat, mutta valmiin betonin lujuusominaisuudet saattavat kärsiä (lujuuskato).
+30...40 °C	Betonimassan suositeltava kovettumislämpötila.
+20 °C	Betonin tavoitelujuus saavutetaan n. 28 vrk:n kuluttua.
+5 °C	Betonilla ei ole havaittavaa lujuutta vielä yhden vuorokauden iässä.
< 0 °C	Betonin lämpötilan laskiessa alle 0 °C:n lujuudenkehitys käytännössä lakkaa. Betonissa oleva vesi alkaa jäätyä.
-10...-15 °C	Lujuudenkehitys pysähtyy käytännössä katsoen kokonaan. Jäätäneellä betonilla saattaa olla valelujuutta.

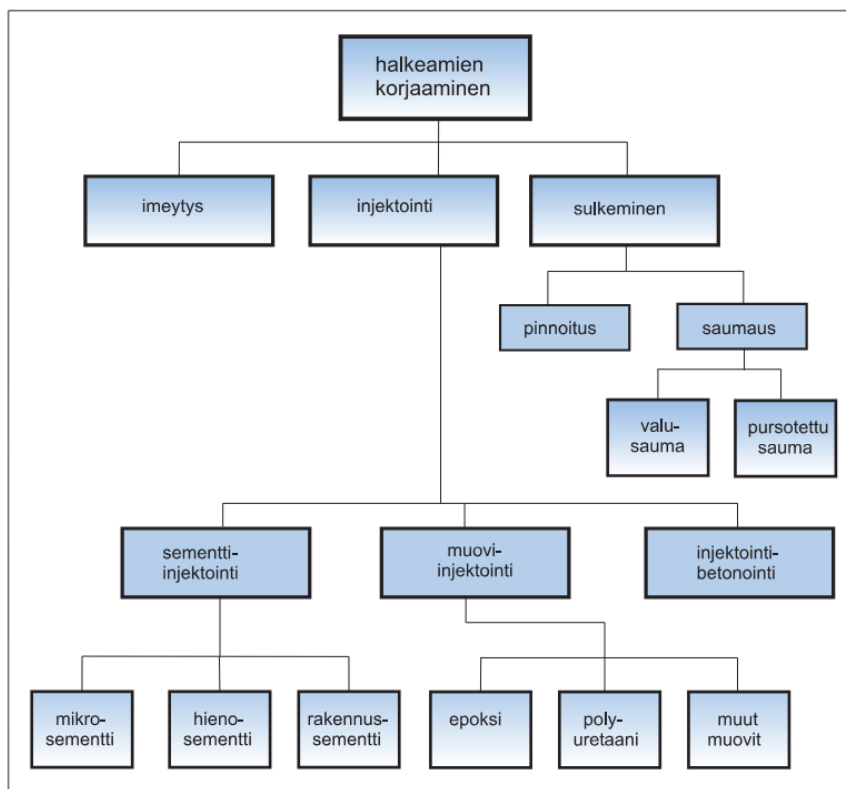
2.5 Pakkasrapautuminen

Pakkasrasituksen vaikutukset betonirakenteisiin voivat ilmetä moninaisina vaurioina, kuten lujuuden heikentymisenä, läpäisevyyden lisääntymisenä sekä näkyvinä halkeamina ja lohkeiluna. Pakkasrasituksesta johtuva halkeilu suuntautuu yleensä betonin pinnan suuntaisesti. Betonin pakkasrapautumisen pääasiallinen syy on vesi, joka jäätyessään laajenee noin 9 tilavuusprosenttia. Tämä laajeneminen aiheuttaa voimakasta painetta betonirakenteissa, mikä voi johtaa halkeiluun ja lohkeiluun, jos betonissa ei ole riittävästi ilmahuokosia, joihin laajeneva vesi voisi tunkeutua. (Saarenmäki 2020, 31,32.)

Betonin pakkasenkestävyyden varmistamiseksi on tärkeää, että betonissa on tasaisesti jakautuneita ilmahuokosia, jotka eivät täyty vedellä kapilaarivoimien vaikutuksesta. Nämä ilmahuokokset toimivat tilana, johon laajeneva vesi voi tunkeutua ilman suurempia vaurioita betonirakenteelle. Tämä edellyttää ilmahuokosten tasapainoista jakautumista sementtikivessä, jotta ne voivat tehokkaasti suojata betonia pakkasen aiheuttamilta vaurioilta. (Saarenmäki 2020,32.)

3 INJEKTOINTI

Injektointi on menetelmä, jota käytetään rakenteissa olevien halkeamien ja muiden tyhjätilojen täyttämiseen (kuva 2). Työ tapahtuu yleisesti painetta käyttämällä erilaisten käsi- ja konekäyttöisten pumppujen avulla. Injektointi on erityisen tehokas tapa korjata rakenteiden halkeamat ja muut vaurioituneet alueet, koska se parantaa rakenteen kestävyyttä ja palauttaa sen suunnitellulle tasolle. Injektoinnilla varmistetaan rakenteen säilyvyys ja näin ollen se on tärkeässä osassa rakenteiden pitkäikäisyyttä. (Semtu.)



KUVA 2. Halkeamien korjaamisperiaate (Väylävirasto 2016, 12.)

Jos betonin halkeamiin ja saumoihin kulkeutuu vettä, se aiheuttaa monia haittoja, kuten betoniraudituksen korroosiota ja betonin rapautumista. Tämä heikentää merkittävästi rakenteen kestävyyttä. Injektoimalla betonirakennetta syvältä saadaan aikaan hyvä ja kestävä lopputulos. Tämä lähestymistapa on tehokkaampi kuin pelkkä pinnan tiivistäminen, joka tarjoaa vain tilapäisen ratkaisun. Injektoimalla betonia syvältä pystytään tunkeutumaan saumoihin ja halkeamiin, joista vesi

voi kulkeutua ja siten estämään kosteuden pääsy rakenteeseen. Tämä auttaa suojaamaan betoni-rakennetta korroosiolta ja rapautumiselta sekä parantamaan sen pitkäaikaista kestävyyttä ja eheyttä. Tällä tavalla varmistetaan, että rakenteet säilyvät vahvana ja turvallisena käytössä pitkän aikaa. (Solcon 2024.)

Rakenteisiin ja etenkin betonirakenteisiin syntyy helposti pieniä vaurioita ja halkeamia sen elinkaaren aikana, jotka tarvitsevat käsittelyä. Injektoinnilla pyritään tunkeutumaan kaikkiin rakenteen sisäisiin halkeamiin. Työstä tekee usein haastavan se, että rakenteen sisälle ei ole mahdollista nähdä. Rakenteen pinnalla voi olla näkyvissä vain pieni halkeama, mutta se voi jatkua syvälle rakenteen sisälle. Tästä syystä injektointi on virhealtista ja on täysin mahdollista, että haluttuun lopputulokseen ei päästä oikeista työskentelymenetelmistä huolimatta. Tämä täytyy ottaa huomioon myös työ- ja laatusuunnitelmassa. (Väylävirasto 2016, 6,10.)

Yleinen virhe injektointityössä on havaittu olevan halkeamien jättäminen täyttymättä. Tämä johtuu usein liian suuresta paineesta, jolla injektointia suoritetaan tai siitä, että painetta ylläpidetään liian lyhyen ajan. Näissä tapauksissa injektointiaine saattaa levitä halkeaman pinnalla seuraavaan kohtaan, mikä antaa virheellisen kuvan halkeaman täyttymisestä. Myös teräskorroosion aiheuttamien halkeamien injektointi on havaittu yleiseksi ongelmaksi, sillä korroosion jatkuminen tapahtuu edelleen, kun korroosio-olosuhteet pysyvät ennallaan. (Väylävirasto 2016, 10.)

Muita tyypillisiä virheitä ovat muun muassa injektointiaineen valuminen rakenteen läpi, virheellisesti poratut reiät injektointitulpan asentamiseksi, injektointiaineen väärä viskositeetti suhteessa ympäristön lämpötilaan, virheellinen aine komponenttien käsittely, kuten liian vähäinen tai väärä nopeus sekoittaessa, heikko injektointiaineen tarttuminen halkeaman seinään sekä väärä etäisyys injektointipisteiden välillä. Nämä virheet voivat vaikuttaa merkittävästi injektointiprosessin tehokkuuteen ja lopputulokseen. Edellä mainittujen virheiden välttäminen on keskeistä onnistuneen korjaustyön varmistamiseksi ja se kehittyy työkokemuksen kautta. (Väylävirasto 2016, 10.)

3.1 Sementti-injektointi

Betonirakenteissa oleviin halkeamiin on olemassa erilaisia injektointitapoja, kuten muovi-injektointi ja sementti-injektointi. Lisäksi injektointeja voi suorittaa injektointiletkuja hyväksikäyttäen, injektointibetonointina sekä vedenalaisesti, mutta niihin ei tässä opinnäytetyössä perehdytä tarkemmin. Tässä opinnäyte työssä käydään pääpiirteittäin ensimmäiset kaksi tapaa läpi, mutta tarkemmin perehdytään muovi-injektointii, josta on käytännön esimerkki myöhemmin tässä työssä.

Sementti-injektointi eroaa pääpiirteittäin epoksi-injektoinnista, eli yhdestä muovi-injektoinnin osasta (kuva 2). Sulkumateriaalina käytetään yleensä sementtipohjaista laastia, joka ruiskutetaan halkeaman pintaan. Epoksi-injektoinnissa käytetään puolestaan sulkuaineena kivikittiä (kuva 3). (Väylävirasto 2016, 37.)



KUVA 3. Kivikitti, jota käytetään sulkuaineena epoksi-injektoinneissa (Levanto 2022, 1.)

Pumppujen osalta sementti-injektioinnissa käytetään erilaista laitteistoa, kuten mäntäpumppuja tai ruuvipumppuja, joilla pystytään pumppaamaan suuria määriä massoja. Ruuvipumpussa on säiliö massan sekoittumista varten sekä lieriön muotoinen putki, josta massa kulkee letkuun, jolla injektointi suoritetaan (kuva 4). (Väylävirasto 2016, 37.)



KUVA 4. Sementti-injektioinnissa käytettävä ruuvipumppu (Tornokone 2019.)

Injektointireiät porataan sementti-injektioinnissa säännöllisin välein, yleensä 30–60 cm välein. Injektointitulppina käytetään suurempia tulppia, jotka kiristetään paikalleen kumitiivisteellä. Mikrosettilaasti sekoitetaan yleensä suurikierroksisella kolloidisekoittimella (kuva 5). Injektointilaasti pumpataan yleensä käsipumpulla ja matalalla paineella, yleensä 0,1–0,5 MPa. (Väylävirasto 2016, 37.)



KUVA 5. Sementtilaastia sekoitettaessa käytettävä kolloidisekoitin (Väylävirasto 2016, 37.)

Sementtipohjaisten injektointiaineiden injektoitavuus ja puristuslujuus ovat tärkeitä ominaisuuksia ja ne kilpailevat keskenään kyseisessä injektointitavassa. Kun vesi-sideainesuhdetta kasvatettaessa injektoitavuus paranee, tällöin lujuus laskee. Injektoitavuuden parantamiseksi suositellaan nesteyttimen käyttöä veden sijaan. Kuivat betonirakenteet voivat imeä injektointiaineen veden liian nopeasti, mikä heikentää aineen tunkeutumista. Tämän vuoksi on tärkeää ottaa huomioon olosuhteet ja käyttää sopivia menetelmiä varmistaakseen tehokkaan injektointi prosessin. (Väylävirasto 2016, 37.)

3.2 Muovi-injektointi

Betonirakenteiden injektointiin käytetään yleisesti epoksi-, polyuretaani- ja akryylimuoveja. Kaikissa muovi-injektointimenetelmissä on tärkeä huomioida seuraavat asiat. Injektointilaitteena voidaan käyttää käsikäyttöistä puristinta tai konekäyttöistä pumppua, jolloin injektointiaine puristetaan tai pumpataan joko injektointitulpan tai suoraan suuttimen kautta kohteeseen. Injektointitulpan kiinnitys voidaan toteuttaa, joko mekaanisesti kiristettävällä kumitiivisteellä tai liimaamalla. Jos halkeamassa on vesivuoto, yleensä sopiva injektointi aine on polyuretaani. Kuivissa kohteissa epoksivalmisteiset aineet soveltuvat paremmin (taulukko 4). (Väylävirasto 2016, 35.)

TAULUKKO 4. Epoksi ja polyuretaani valmisteiden vertailua injektoinnin soveltuvuuteen (Väylävirasto 2016, 34.)

	Epoksit	Polyuretaanit
Varastointi	1–2 vuotta (matalissa lämpötiloissa varastointiaika lyhenee)	Useita vuosia tiiviissä astioissa
Rakenteen alin lämpötila	+5 ...+10°C	+5°C
Komponenttien sekoittaminen	Porakone ja sekoitussiivikko (kaksikomponenttipumpuissa oma järjestelmä)	Porakone ja sekoitussiivikko (kaksikomponenttipumpuissa oma järjestelmä)
Sekoitetun annoksen käyttöaika	5–120 minuuttia (annoksen suuruus ja lämpötila vaikuttavat aikaan)	Yksikomponenttinen polyuretaani säilyy useita tunteja suljetussa kannellisessa astiassa (voi reagoida nopeasti kosteassa tilassa)
Injektointilaitteet	Kalvo- ja mäntäpumput (kaksikomponenttipumpulaitteet)	Kalvo- ja mäntäpumput
Tavalliset nestepainemittarit	Yksikomponenttilaitteissa häiriöalttiita.	Yksikomponenttilaitteissa häiriöalttiita
Tulpat	Kiristettävät tulpat, nipat, kanyylit (myös suoraan pinnalta halkeamaan erikoisella suuttimella)	Kiristettävät tulpat, nipat ja kanyylit
Sulkuaine	Käytetään normaalisti (sementti, polyesteri ja epoksipohjaiset)	Ei yleensä käytetä (halkeamasta purkautuva aine jähmettyy halkeaman pintaan)
Viskositeetti	150–800 mPas (jäykistyvät lämpötilan laskiessa)	50–1000 mPas (jäykistyvät lämpötilan laskiessa)
Injektoitavuus	Yleensä hyvä	Yleensä hyvä (kosteustila ja reagoitihetki tunnettava)
Tartunta kosteisiin, märkiin pintoihin	Yleensä huono (erikoislaaduilla hyvä)	Tarttuu hyvin, mutta vetolujuus on hyvin pieni (saatavissa erikoislaatuja, joiden lujuus on hyvä)
Halkeamassa oleva vesi	Poistuu injektoitaessa, jos mahdollista	Reagoi veden kanssa, ylimääräinen vesi purkautuu pois, jos mahdollista
Paineellinen vesivuoto	Hitaasti reagoivat poistuvat veden mukana pienipaineisissakin vesivuodoissa	Tiivistää ja sulkee suuretkin vesivuodot tarvittaessa nopeasti. Seuranta määrän mukaan. Tulpat vedenpainepuolelle.
Täyttymisen seuranta	Virtaus/painekontrolli ennakkokokeen perusteella. Epoksi ei yleensä reagoi injektoitaessa.	Injektointiaineen ulos purkautumisen mukaan. Kosteustilan tunteminen on tarpeen reagoitihetken määrittämiseksi.
Halkeaman leikkauslujuus injektoinnin jälkeen	Hyvä	Heikko
Injektointilaitteiden puhdistus	Asetoni	Huuhteluöljy, asetoni tai erityinen pesuaine

Injektointipaine valitaan siten, että se ottaa huomioon injektointiaineen tunkeutuvuuden ja muut ominaisuudet kohteen olosuhteissa. Tarpeettoman suuria paineita täytyy välttää, ettei aiheuteta lisävaurioita rakenteelle. Injektointi tapahtuu joko kapillaarisesti tai painovoimaisesti, missä aine tunkeutuu halkeamaan. Kun käytetään muovituotteita, on tärkeää, että injektointiaineen ja rakenteen lämpötila on vähintään +12 °C koko injektoinnin ajan. Injektointimuovia ei tulisi käyttää, jos rakenteen lämpötila on alle +5 °C. Rakenteen lämpötilaan on oleellista kiinnittää huomiota, kun

tehdään töitä esimerkiksi maanpinnan alla, jolloin rakenteet ovat huomattavasti kylmempiä, kuin maanpäällinen lämpötila. (Väylävirasto 2016, 35.)

Polyuretaani-injektointi on yksi muovi-injektionin osa-alueista ja siinä pyritään ensisijaisesti saavuttamaan vesitiiviys ja tarvittaessa myös lisäämään rakenteen lujuutta. Erityisesti kosteuden tai veden kanssa reagoiva polyuretaani soveltuu hyvin kohteisiin, joissa esiintyy vesivuotoa, eikä veden tuloa tarvitse pysäyttää ennen injektointia. Polyuretaanin vaikutus näkyy lähes välittömästi injektoinnin jälkeen ja se pumpaaminen on keskeytettävä, kun polyuretaania alkaa pursuta runsaasti halkeamasta ulos (kuva 6). (Väylävirasto 2016, 35, 36.)



KUVA 6. Polyuretaani on reagoinut veden kanssa ja tunkeutuu ulos halkeamasta (Väylävirasto 2016, 36.)

Veden kanssa reagoiva polyuretaaniaine ei reagoi ilman kosteutta, joten injektoitavan paikan tulee olla kostea tai sitä on kosteutettava. Sulkuainetta ei tarvitse käyttää injektoidessa, sillä reagoiva polyuretaani muodostaa halkeamasta ulos pursuessaan luonnollisen sulun. Tämä on erityisen hyödyllinen ominaisuus vedenalaisissa injektointitöissä. Polyuretaania pumpattaessa ei tarvitse kiirehtiä, sillä aine ehtii levitä ennen kovettumistaan. Polyuretaani muodostaa geelimäisen massan, joka leviää halkeamaan hiilidioksidin kehittämän paisuntapaineen vaikutuksesta. Kaiken kaikkiaan polyuretaani-injektoinnilla saavutetaan nopea ja tehokas tapa tiivistää halkeamat ja saadaan huolellisesti suoritettuna aikaan vesitiivis sulku rakenteeseen. (Väylävirasto 2016,36.)

3.3 Massat

Injektointiaineiden kelpoisuuden todentaminen perustuu VTT:n tutkimusraportissa ”Betonin halkeamien injektointiaineiden, imetysaineiden ja sulkuaaineiden SILKO-koeohjelma” esitetyn koeohjelman tuloksiin (liite 1). Injektointiaineiden tulee olla CE-merkittyjä SFS-EN 1504-5 mukaisesti (liite 2). Injektointiaineita voi myös käyttää kivi- ja puurakenteiden halkeamien korjauksessa sekä teräs-rakenteiden vahvennettavan rakenteen pintaan. Näissä tapauksissa on kuitenkin muistettava, että aineet on tutkittu vain betonirakenteiden käyttöön, joten niiden soveltuvuus on selvitettävä erikseen tilannekohtaisesti. (Väylävirasto 2016, 1.)

Polymeerimateriaalit ovat yleensä erittäin keveitä suhteessa lujuuteensa, ja niiden ominaisuuksia voidaan muokata monin eri tavoin. Niiden ominaisuudet vaihtelevat suuresti kemiallisen koostumuksen ja mikrorakenteen perusteella. Lisäksi erilaisilla lisäaineilla voidaan merkittävästi vaikuttaa polymeerimateriaalin ominaisuuksiin, kuten sen käyttöikään ja kestävyys. Tällä tavoin polymeerimateriaalit ovat erittäin monipuolisia ja soveltuvat monenlaisiin käyttökohteisiin, joissa tarvitaan kestävä ja muunneltavaa materiaalia. Näin ollen ne soveltuvat hyvin betonirakenteiden halkeamien korjaamiseen, sillä ne pääsevät kulkeutumaan rakenteen sisälle sujuvasti. (Väylävirasto 2023, 26.)

Polyuretaanimassat ovat polymeerejä ja yleensä kaksi komponenttisiä massoja, jossa toinen komponenteista on isosyanaatti (esim. TDI, MDI) ja toinen on polyoli (polyeetteri, polyesteri). Massoihin voidaan tarvittaessa lisätä myös lisäaineita, jos halutaan parantaa sen tiettyä ominaisuutta, kuten elastisuutta, lujuutta tai tartuntaominaisuutta. Polyuretaanimassoja voidaan toimittaa myös yksikomponenttisina, mutta kaksi komponenttinen massa täytyy sekoittaa oikeassa suhteessa valmistajan ohjeiden mukaan, jotta siitä saadaan polyuretaanimassa. (Väylävirasto 2023, 52.)

Massat reagoivat herkästi kosteuteen, joka on koko toiminnan periaatteena injektointiaessa, mutta yksikomponenttisissä massoissa reaktion alkaminen on estetty ja kovettuminen lähtee käyntiin kosteuden vaikutuksesta. Näin ollen massojen säilytyksen kanssa täytyy olla hyvin huolellinen, etteivät ne altistu liialliselle kosteudelle. Polyuretaanimassojen elastisuus vaihtelee tyyppin mukaan, mutta kovettuneen massan vedenkestävyys on hyvä. (Väylävirasto 2023, 52.) (liite 3)

Polyuretaanit ovat erinomaisia tarttumaan sekä kuiviin että kosteisiin pintoihin, mikä tekee niistä erittäin hyödyllisiä vedeneristyksessä ja korkeapaineinjektioinneissa. Pinnan tarttuvuus on merkittävä tekijä näissä sovelluksissa. Lisäksi polyuretaanit ovat taloudellisesti edullisia verrattuna niiden suorituskykyyn ja monipuoliseen käyttöön. Polyuretaanit tuottavat vähemmän lämpöä eksotermisen reaktion aikana, kuin epoksihartsit, mikä on tärkeä välttää liiallista lämmönkehittymistä, joka voisi aiheuttaa rasituksen alustalle. Tämä ominaisuus tekee polyuretaanista turvallisempaa käyttää. Lisäksi ne eivät syövytä betonin raudoiteterästä, mikä on merkittävä etu rakenteen kestävyyskannalta. (Alimex Oy 2023, 11.)

4 HALKEAMAN INJEKTOINNIN TYÖVAIHEET

4.1 Työturvallisuus

Injektointitöissä, kuten kaikissa muissakin rakennusalan töissä, tulee käyttää yleisesti käytössä olevia henkilökohtaiseen suojaukseen liittyviä suojaimia, joita ovat kypärä, turvakengät, suojalasit ja käsineet. Injektoitaessa käytetään kemiallisia valmisteita ja ne voivat aiheuttaa terveysriskejä päästessään elimistöön, joten on suositeltavaa käyttää myös ihoa suojaavia vaatteita ja hengityssuojaimia. (Santapukki 2013, 6.)

Kun valmistellaan betonirakenteiden korjaushanketta, tilaajan on laadittava turvallisuusasiakirja, joka sisältää tarvittavat tiedot hankkeen ominaisuuksista, olosuhteista ja luonteesta. Tämä asiakirja on tarkoitettu suunnittelun ja valmistelun lähtökohdaksi, ja siinä esitetään kaikki turvallisuutta koskevat tiedot. Näitä tietoja käytetään suunniteltaessa toimenpiteitä vaarojen ja haittojen ehkäisemiseksi sekä turvallisuustoimenpiteiden toteuttamiseksi. Asiakirjassa myös ilmoitetaan erityiskohdet, jotka vaativat erityistoimenpiteitä työsuojelun näkökulmasta, ja nämä tiedot ovat tärkeitä myös urakkalaskennassa. (Väylävirasto 2007, 64.)

Betoni ei ole työturvallisuuden kannalta erityisen haastava materiaali, mutta sen sisältämä sementti saattaa aiheuttaa allergiaoireita, joten on tärkeä suojata silmät ja hengityselimet sementtipölyltä. Työpaikalla on myös oltava selkeä luettelo kaikista käytössä olevista kemikaaleista aakkosjärjestyksessä. Lisäksi kaikista kemikaaleista on oltava saatavilla suomen- ja tarvittaessa ruotsinkieliset käyttöturvallisuustiedotteet. Jos terveysvaaroja ei voida poistaa teknisin tai ainevalintoihin liittyvin toimenpitein, työnantajan on hankittava työntekijöille henkilönsuojaimia estämään altistuminen kemiallisille tai fysikaalisille haittatekijöille. Tämä varmistaa työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden työpaikalla. (Väylävirasto 2007, 65.)

Työnantajien velvollisuutena on antaa työntekijälle asianmukaista opetusta ja ohjausta kemikaalien turvalliseen käyttöön ja käsittelyyn liittyen. Erityisesti annostellessaan ja sekoittaessaan raaka-aineita valmiiksi tuotteeksi, kuten hartseja, epokseja ja niiden kovetteita, työntekijät altistuvat vaarallisille aineille, erityisesti iholle ja silmiin roiskuville aineille sekä hengitysteihin pääseville liuotteille

ja höyryille. Siksi on ensisijaisen tärkeää noudattaa aineiden toimittajan antamia ohjeita annostelussa ja sekoituksessa sekä välttää aineiden roiskumista. (Väylävirasto 2023, 43.)

Altistumisriskiä voidaan vähentää seuraavilla toimenpiteillä. Aineiden annostelu ja sekoitus tulisi suorittaa erillään muista työntekijöistä lähellä lopullista käyttöpaikkaa ja käyttää tarvittaessa roiskesuojia. Sekoitustyövälineitä tulisi käyttää ainoastaan aineiden sekoittamiseen, jotta kovettumattomia aineita ei leviäisi muualle työympäristöön. Tämä varmistaa työntekijöiden turvallisuuden ja vähentää altistumisriskiä vaarallisille kemikaaleille työpaikalla. (Väylävirasto 2023, 43.)

Polyuretaanin haitallisuudet on numeroitu alla olevassa taulukossa 1–7 ja niiltä suojautumiskeinot on numeroitu 8–9. Polyuretaanin haitallisuksia ovat hengitysteitä ärsyttävä, herkistävä, voi aiheuttaa astmaa, voi aiheuttaa ärsytysihottumaa, ihoa herkistävää ja voi aiheuttaa allergista ihottumaa. Niiltä suojaudutaan hengityssuojaimella, jos työpaikalla ei ole hyvää ilmanvaihtoa sekä hyvällä ihon suojauksella, johon kuuluu suojakäsineet, suojahaalari ja kasvojen suojain. (Taulukko 5.) (Väylävirasto 2023, 70.)

TAULUKKO 5. Polyuretaanien terveyshaitat (Väylävirasto 2023, 70.)

Polymeeri	Käyttökohde	Altistuminen	Haitallisuus	Suojautuminen	Lämpöhaajoamis- tuotteiden haitallisuus
Polyuretaani	maalit, esisivelyaineet, eristysmassat, ohutkerospäällysteet, betoni-muovi, saumaussmassat, vaahto	roiskeet, höyryt, pölyt	1, 2, 3, 4, 5, 6,	8, 9	1, 2, 3

Epoksien haitallisuudet ja niiltä suojautumiset ovat täysin samat kuin polyuretaaneilla, mutta epoksit poikkeavat lämpöhajoamistuotteiden haitallisuudessa siten, että epoksit herkistävät ihoa hengitysoireiden lisäksi (taulukko 6). (Väylävirasto 2023, 69.)

TAULUKKO 6. Epoksien terveyshaitat (Väylävirasto 2023, 69.)

Epoksit	maalit, liimat, esisive-lyaineet, eristysmassat, ohutkerrospäällysteet, betonimassat	höyryt, roiskeet	1, 2, 3, 4, 5, 6	8, 9	1, 3, 5
---------	--	------------------	------------------	------	---------

4.2 Valmistelevat työt

Ennen työkohteelle saapumista on hyvä olla tiedossa perustietoa kyseisestä työmaasta sekä mahdolliset erityishuomiota vaativat yksityiskohdat. Injektointeja joudutaan usein suorittamaan haastavissa tai jopa vaarallisissa paikoissa, koska tyypillisiä kohteita ovat vesivoimalaitokset, tunnelit ja parkkihallit. Tällaisissa kohteissa työtelineiden asennus etukäteen on tärkeää varmistaa, jotta varmistetaan hyvä työskentely asento ja turvallisuus. Myös arvio halkeamien ja murtumien koosta tai mahdollisesti massamenekestä on hyvä tehdä aikataulun sujumuuden kannalta. (Kähkönen 2023.)

Työkohteelle saavuttaessa täytyy ensimmäisenä käydä huolellisesti läpi injektoitavat kohdat urakoitsijan kanssa sekä yleisesti kartoittaa tilannetta työkohteessa. Yleisimpiä huomioita ovat halkeamien määrä ja mikä tai mitkä kohdat ovat vaativimpia ja tarvitsevat eniten massaa. Kartoituksen aikana täytyy myös miettiä, kuinka paljon massoja kyseisissä kohteissa tarvitaan. Tämän jälkeen pyritään miettimään, kuinka kauan kyseisen kohteen injektointiin tarvitaan aikaa. Aikataulun määrittäminen on haastavaa, sillä jokainen kohde on erilainen ja työn aikana tulee monia eri muuttujia, jotka vaikuttavat työn suorittamiseen. (Kähkönen 2023.)

Kun massa on valittu ja aikataulu suunniteltu, voidaan aloittaa varsinaiset työvaiheet. Ensimmäisenä pitää porata rakenteeseen reikiä molemmin puolin halkeamaa noin 20 cm välein, jotta varmistetaan massan leviäminen koko halkeaman alueelle (kuva 7). (Kähkönen 2023.)



KUVA 7. Reikien poraaminen (Jyrkkä 2023.)

Poratut reiät täytyy puhdistaa paineilmalla, jotta niissä ei ole ylimääräistä betonimurua tai muuta roskaa, johon massa tarttuisi. Reikiin laitetaan oikean kokoiset mansetit sen mukaan, kuinka isoja reikiä on porattu (kuva 8). Mansetit täytyy kiristää huolellisesti, jotta massa ei pääse valumaan ulos reiästä eikä mansetti irtoa pumpatessa syntyneen paineen vaikutuksesta. Tämän jälkeen voidaan siirtyä massan valmistukseen ja pumppaamiseen. (Kähkönen 2023.)



KUVA 8. Mansettien asennus betonirakenteeseen (Jyrkkä 2023.)

4.3 Massan pumppaaminen

Pienissä ja keskikokoisissa kohteissa massan pumppaamisen voi suorittaa käsikäyttöisellä rasvaprässillä. Suurissa kohteissa on syytä käyttää sähkökäyttöistä pumppua, mutta tässä opinnäytetyön esimerkissä on käytetty ainoastaan käsikäyttöistä pumppua. Rasvaprässi on tärkeä puhdistaa huolellisesti ennen pumppaamisen aloittamista, ettei likainen työväline hidasta työntekoa. Puhdistamiseen hyvin soveltuva keino on aseton ja puhtaat rätit, joilla saa kemialliset massat hyvin irtomaan rasvaprässin pinnoilta. (Kähkönen 2023.)

Puhdistuksessa on syytä kiinnittää huomiota kaikkiin rasvaprässin eri irtonaisiin osiin, sillä pienikin palanen kovettunutta massaa on haitallinen työn suorittamiseen. Rasvaprässissä on ohut letku, jota pitkin massa etenee ja pienikin kovettunut massan palanen tai muu roska tukkii sen välittömästi. Pahimmassa tapauksessa tukkiutunut letku voi aiheuttaa vaaratilanteen, kun pumppaamista jatketaan tukkiutumisesta huolimatta, jolloin letkuun syntyvä paine voi muuttua niin suureksi, että se räjähtää. (Kähkönen 2023.)

Tämän jälkeen voidaan valmistaa massa, joka on kuvien esimerkeissä ollut hartsi. Kyseinen aine on kaksikomponenttinen massa, eli se koostuu pääaineesta ja kiihdytinaineesta. Niitä sekoitetaan huolellisesti keskenään, kunnes kiihdytinaine on kokonaan sekoittunut pääaineen joukkoon. Rasvaprässin pohjalle kannattaa ensin kaataa vähän öljyä, joka pumpataan letkun läpi. Tällä varmistetaan massan eteneminen vaivattomasti rasvaprässin letkun sisällä. Sen jälkeen valmistettu massa voidaan kaataa rasvaprässin sisään. Massaa pumpataan ensiksi niin kauan jäteastian, kunnes kaikki aikaisemmin sinne laitettu öljy on tullut ulos ja letkusta alkaa tulemaan valmista massaa. Tämän jälkeen ollaan valmiita aloittamaan pumppaaminen kohteeseen. (Kähkönen 2023.)

Halkeaman molemmin puolin asennetuista manseteista on syytä aloittaa alimmasta ja siirtyä järjestelmällisesti ylöspäin mansetti kerrallaan, jotta koko halkeama täyttyy ja kosketus poistuu sen sisältä. Pumpatessa pyritään saada kosteuteen reagoanut massa tulemaan ulos halkeamasta, mutta on syytä seurata myös halkeaman ympäristöä ja rakennetta yleisesti, koska massa leviää helposti rakenteen sisällä muuallekin, kuin haluttuun halkeamaan. (kuva 9) Jos massa pääsee ulos muualta kuin halkeamasta tai rakenne alkaa esimerkiksi halkeilla on syytä keskeyttää pumppaus ja vaihtaa pumpattavaa mansettia tai jopa porata uusi reikä, josta jatkaa pumppaamista. (Kähkönen 2023.)



KUVA 9. Kosteuteen reagoanut massa tulee ulos halkeamasta (Jyrkkä 2023.)

Kun kaikki mansetit on käyty läpi ja halkeama on täytetty, voidaan siirtyä seuraavaan ja antaa ai-
neen kovettua betonirakenteen sisälle. Tällä tavalla halkeamia edetään järjestelmällisesti yksi ker-
rallaan, mutta täytettyihin halkeamiin on syytä palata ja tarkistaa ettei kosteus ole siirtynyt pump-
pauksen myötä muualle rakenteeseen tai ettei täyteen pumpatun halkeaman kohdalle ole syntynyt
uusia kosteita kohtia. Jos näin on tapahtunut, kyseisiin kohtiin täytyy palata ja suorittaa pumppaus
uudestaan, kunnes halkeama tai muu kostunut kohta on kuiva. (Kähkönen 2023.)

Kun kaikki halkeamat on käyty järjestelmällisesti läpi sekä tarkistettu mahdollisten jatkotoimenpi-
teiden osalta, voidaan pumppaaminen lopettaa. Ylijäämä massat kerätään jäteastiaan, joka toimi-
tetaan vaarallisten jätteiden kierrätykseen. Käytetty rasvaprässi pitää myös puhdistaa huolellisesti
käytön jälkeen, ettei sen sisälle muodostu kovettunutta massaa, joka vaikeuttaa seuraavan kerran
aloitusta tai mahdollisesti tekee rasvaprässistä käyttökelvottoman. (Kähkönen 2023.)

4.4 Lopetus ja kirjanpito

Kemiallisesta injektoinnista on oleellista tehdä työskentelyn ohessa injektointipäiväkirjaa, johon kir-
jataan massamenekit kunkin halkeaman osalta ja mahdolliset muut huomiot, kuten rakenteen yli-
määräinen halkeilu työskentelyn aikaan tai muu syy, miksi pumppaus on jouduttu keskeyttämään
kyseisen halkeaman kohdalla. Injektointipäiväkirja toimitetaan urakoitsijalle, kun työ on saatu val-
miiksi ja siihen on tehty tarvittavat kirjaukset.

Työkohde pitää puhdistaa mahdollisista kovettuneista hartseista, jotka ovat valuneet rakenteiden
pinnoille halkeamista ja kaikki muu työn aikana muodostunut sotku on siivottava. Halkeamat voi
myös tarvittaessa hioa puhtaiksi, jos sen kokee tarpeelliseksi kyseisessä kohteessa, mutta se teh-
dään enemmänkin vain ulkonäkösyistä. (Kähkönen 2023.)

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia betonia rakennusmateriaalina sekä sen ominaisuuksia ja mahdollisia heikkouksia Suomen vaikeissa sääolosuhteissa. Lisäksi työssä käytiin läpi injektointia, jossa pyritään sulkemaan betonin halkeamat ja muut tyhjätilat. Olennainen osa injektointia on oikeiden menetelmien ja massojen valitseminen niiden käyttötarkoitusten ja ominaisuuksien perusteella. Työssä käydään läpi eri tekijät, jotka voivat johtaa rakenteiden halkeiluun. Nämä tekijät täytyy huomioida suunnitellessa ja valmistaessa rakenteita.

Hyvin suoritettu injektointi parantaa rakenteen lujuutta ja kosteudenkestävyyttä, mutta työn luotettavuus perustuu pääosin massameneikkiin ja työntekijän kokemuksen kautta kehittyneeseen osamiseen. Injektointi on virhealtista työtä. Tässä työssä esitetään työn suorittamisen eri vaiheet, joiden avulla tehtävästä voi suoriutua onnistuneesti ja alkaa kehittämään omaa injektointitaitoaan.

Injektointityön luotettavuus parantuisi merkittävästi, jos halkeamien ja muiden tyhjätilojen täyttyminen voitaisiin varmistaa jonkinlaisella kameralla. On hyvin vaikeaa tietää varmuudella, minne massa etenee rakenteessa, kun sen sisälle ei voi nähdä ja täytyy luottaa paineeseen, joka syntyy pumpatessa sekä massameneikkiin kyseisen halkeaman tai muun vaurion kohdalla.

Korjausrakentamisen osuus on suuri koko Suomen rakentamisesta ja siihen tulee jatkossakin keskittyä, jos halutaan varmistaa pitkäikäisiä ja turvallisia rakenteita. Injektoinnilla voidaan jatkaa betonirakenteiden elinkaarta. Tässä työssä perehdyttiin ainoastaan tiettyihin injektointimenetelmiin ja tietyn tyyppisiin massoihin, mutta työssä esitetään seikkaperäisesti injektointityön eri vaiheet, joilla voidaan varmistaa laadukas lopputulos.

LÄHTEET

Alimex Oy 2023. Halkeamien korjaus sekä injektointimenetelmät. Hakupäivä 13.5.2024. https://www.koster.fi/files/fi_fi/K%C3%96STER%20Injektointiesite.pdf.

Betonia Oy 2023. Kosteudenkestävyys. Hakupäivä 11.1.2024. <https://betoni.com/tietoa-betonista/ominaisuudet-ja-edut/kosteudenkestavyys/>.

Betoniteollisuus ry 2020. Betoni rakennusmateriaalina. Hakupäivä 11.1.2024. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/valmisosarakentaminen/ymparistoominaisuudet/betoni-rakennusmateriaalina>.

Jyrkkä, Juhapekka 2023. Kuvia käytännön injektoinnista. Hakupäivä 11.1.2024.

Kähkönen, Otto 2023. Injektointihenkilö. Puhelinkeskustelu. 11.1.2024.

Kyllönen, Miika 2018. Talvibetonointi. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 13.5.2024. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/144639/Kyllonen_Miika.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Levanto 2022. Kiviliimat ja kiven hoitoaineet. Hakupäivä 7.5.2024. <https://www.levanto.fi/kauppa/betonin-paikkaus-korjaus/tenax-kiviliima/>.

Nikkilä, Antti 2017. Talvibetonointi. Hämeen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 7.5.2024. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/126621/antti_nikkila.pdf?sequence=1.

Reinikka, Toni 2014. Betonirakenteiden halkeilu ja halkeamakorjaus injektoimalla. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 14.1.2024. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/77377/Reinikka_Toni.pdf;jsessionid=2AACF5186BEA419E3C771CB896FCD904?sequence=1.

Saarenmäki, Tero 2020. Itsekorjautuva betoni ja sen käyttömahdollisuudet. Vaasan ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 7.5.2024. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/341240/Opinn%c3%a4ytety%c3%b6_Saarenm%c3%a4ki.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

Santapukki, Atte 2013. Betonirakenteiden kemiallinen injektointi. Tampereen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 11.1.2024. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/59192/Santapukki_Atte.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Semtu. Injektointiohjeita. Hakupäivä 6.5.2024. <https://www.semtu.fi/fi/ratkaisut/injektointiohjeita>.

SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC 2015. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki. SFS Suomen Standardit ry. Hakupäivä 6.5.2024. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/377991.html.stx>. Vaatii lisenssin.

SFS-EN-1992-2 + AC 2009. Betonirakenteiden suunnittelu. Betonisillat. Mioittaminen ja yksityiskohtien suunnittelu. Helsinki. SFS Suomen Standardit ry. Hakupäivä 6.5.2024. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/119561.html.stx>. Vaatii lisenssin.

Solcon Oy 2024. Kemiallinen injektointi. Hakupäivä 6.5.2024. <https://www.solcon.fi/tuotteet/kemiallinen-injektointi/>.

Tornokone 2019. Laastipumput. Hakupäivä 7.5.2024. <https://www.tornokone.fi/tuotesasto/putzmeister/laastipumput/ruuvipumput/>.

Tokkonen, Valtteri & Uusitalo, Juha 2013. Talvibetonointi. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 7.5.2024. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/60168/Tokkonen_Valtteri+-+Uusitalo_Juha.pdf?sequence=1.

Väylävirasto 2007. Betoni sillankorjausmateriaalina 1.201. Hakupäivä 13.5.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1201_2007.pdf.

Väylävirasto 2016. Halkeamien korjaaminen 1.233. Hakupäivä 7.5.2024. <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1233.pdf>.

Väylävirasto 2019. Halkeaman injektointi polymeerillä voimia siirtäväksi 2.236, Hakupäivä 15.1.2024. <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio2/s2236.pdf>.

Väylävirasto 2023. Polymeerit sillankorjausmateriaalina 1.202. Hakupäivä 6.5.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-46_silko_1.202_web.pdf.

Väylävirasto 2023. Työturvallisuus 1.111. Hakupäivä 13.5.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-45_silko_1.111_web.pdf.

LIITTEET

LIITE 1 BETONIN HALKEAMIEN INJEKTOINTI-AINEIDEN, IMETYSAINIEN JA SULKUAINIEN SILKO-OHJELMA 2020

LIITE 2 SFS-EN 1504-5. VAATII LISENSIN

LIITE 3 SILKO 3.235 INJEKTOINTI-, IMETYS- JA SULKUAINIET

|

Muotoiltu: O