

Helena Salo

**Mineraaliset injektointilaastit rappauksen
konservoinnissa**

Opinnäytetyö

Kevät 2014

Liiketoiminta ja kulttuuri

Konservoinnin koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Liiketoiminta ja kulttuuri

Koulutusohjelma: Konservoinnin koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Rakennuskonservointi

Tekijä: Helena Salo

Työn nimi: Mineraaliset injektointilaastit rappauksen konservoinnissa

Ohjaaja: Janne Jokelainen

Vuosi: 2014

Sivumäärä: 31

Liitteiden lukumäärä:-

Opinnäytetyössä tutkitaan kolmea kansainvälisesti käytettyä kaupallista mineraalista injektointilaastia, jotka on tarkoitettu kalkkirappauksen kiinnittämiseen. Vertailtavat injektointilaastit ovat Ledan D1, PLM-M ja Calosil E50. Opinnäytetyön tavoitteena oli saada selville, miten laastit eroavat toisistaan. Lähdekirjallisuuden avulla selvitettiin, millaisia ominaisuuksia hyvällä injektointilaastilla pitäisi olla. Muutamalla sovelletulla testillä saatiin hieman käsitystä tutkittavien injektointilaastien ominaisuuksista ja niiden eroista. Opinnäytetyössä tehdyt testit tutkivat injektointivuutta, jähmettymisnopeutta ja tartuntalujuutta. Lisäksi tutkittavia injektointilaasteja kokeiltiin käytännössä Iso-Puolalan talon kivijalan ja kellarin rappauksiin.

Testeissä huomattiin, että Ledan D1 ja PLM-M ovat melko samankaltaisia injektointilaasteja. Molemmat ovat veteenliukenevia ja molemmissa on hydraulinen sideaine. PLM-M jähmettyi testissä nopeammin kuin Ledan D1. PLM-M muodosti myös hieman lujemman tartunnan kuin Ledan D1. Calosil E50 on kolloidinen dispersio, jossa nanokalkkipartikkelit ovat suspendoituneet alkoholiin. Se ei jähmety itsessään kiinteäksi aineeksi vaan imeytyy alkuperäiseen materiaaliin ja alkoholi haihtuu pois. Näin ollen Calosil E50 ei sovellu rappauksessa olevien onkaloiden täyttämiseen tai paksujen rappauskerrosten kiinnittämiseen, kuten Ledan D1 ja PLM-M. Sen sijaan Calosil E50 soveltuu hauraan rappauksen vahvistamiseen, kuten todettiin kokeiltaessa sitä Iso-Puolalan talon kivijalan rappaukseen. Tehtyjen testien tulokset erosivat osittain käytännössä tehtyjen kokeilujen tuloksien kanssa. Tämä osoittaa, että on olemassa monta muuttujaa, jotka vaikuttavat laastien ominaisuuksiin. Luotettavien tulosten saamiseksi kaikki nämä muuttujat tulisi pystyä kontrolloimaan.

Avainsanat: injektointilaasti, kalkkirappaus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Business and Culture

Degree programme: Conservation

Specialisation: Building Conservation

Author/s: Helena Salo

Title of thesis: Mineral injection grouts for the conservation of plaster

Supervisor(s): Janne Jokelainen

Year: 2014

Number of pages: 31

Number of appendices: -

The thesis investigates three internationally used commercial injectable mortars that are used in the refixation of lime plaster. The mortars that have been compared are Ledan D1, PLM-M and Calosil E50. The aim of the thesis was to discover how the mortars differ from each other. With the help of literature was discovered what qualities a good injection grout should have. A few applied simple tests were conducted to obtain an estimate of the properties of the mortars. The purpose of the tests was to investigate the behaviour of the mortars during injection, as well as their rate of the solidification and adhesive strength. Moreover, the mortars were tested in field in the plaster of the house of Iso-Puolala.

It was concluded that Ledan D1 and PLM-M are quite similar injection grouts. Both are water-soluble and have hydraulic binding media. In the tests carried out PLM-M solidified faster than Ledan D1. PLM-M established also a somewhat stronger adhesion than Ledan D1. Calosil E50 is a colloidal dispersion, where nanoparticles of lime hydrate are suspended in alcohol. It does not solidify into a solid substance but is absorbed into the original material, and the alcohol evaporates. Consequently, Calosil E50 is not suitable for filling cavities in plaster or fastening loose parts the same way as Ledan D1 and PLM-M. Instead, Calosil E50 is suitable for consolidating fragile plaster, as it was found when testing it in the plaster of the house of Iso-Puolala. The results of the conducted tests differed partly from the results of the field work. This shows that there are many variables that have an influence to the properties of mortar. To obtain reliable results, one should control all the variables.

Keywords: injection grout, lime plaster

Esipuhe

Opinnäytetyön tekeminen on ollut haasteellista siitä lähtien, kun keksin aiheen. Monta kertaa on tuntunut siltä, että olen joutunut lyömään päätäni seinään. Opinnäytetyö on tullut myös melko kalliiksi, sillä olen joutunut maksamaan sekä koemateriaaleista että lähdekirjallisuudesta. Turun kaupunkia haluan kiittää laastien kustannusten maksamisesta. Se oli minulle suuri taloudellinen helpotus. IIC:n jäsenyyden kautta pääsin käsiksi kansainvälisiin tutkimuksiin injektointilaasteista. Mutta pelkkä jäsenyys ei riittänytkään, sillä tietoteknisistä syistä en saanut vanhoja tiedostoja auki. Ottamalla yhteyttä IIC:hen sähköpostitse sain onneksi tarvitsemani tutkimuksen skannattuna sähköpostiini.

Lähdemateriaalien ja koemateriaalien hankkimisen lisäksi koemenetelmien tulkitseminen ja soveltaminen on ollut vaikeaa. Haluaisin kiittää avopuolisoani Antti Vähäsöyrinkiä lukemattomista keskusteluista, hyvistä neuvoista ja tuesta. Ilman häntä en olisi varmaan saanut opinnäytetyötäni tehtyä.

Lisäksi kiitos kuuluu Rakennusperinteen ystävät -yhdistykselle ja Katariina Entoselle, että hän mahdollisti injektointilaastien tutkimuksen Iso-Puolalan talossa.

Kaikista haasteista huolimatta sain opinnäytetyöni tehtyä!

Turussa 4.11.2013

Helena Salo

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ.....	5
KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET	7
1 JOHDANTO.....	8
2 KALKKIRAPPAUKSISTA JA RESTAUROINNIN FILOSOFIASTA LÄHDEKIRJALLISUUDEN POHJALTA	10
2.1 Kalkkirappaus.....	10
2.2 Konservoinnin ja restauroinnin historiaa ja filosofiaa.....	11
3 INJEKTOINTILAASTIT KONSERVOINNISSA	13
3.1 Rappauksen vaurioituminen.....	13
3.2 Injektointilaastin tehtävät.....	13
3.3 Injektointilaastien kehitys.....	14
3.4 Vauriokartoitus ja injektointimenetelmät	15
3.5 Ledan D1.....	15
3.6 PLM-M.....	16
3.7 Nanokalkki – CaLoSil	16
4 INJEKTOINTILAASTIEN TUTKIMUSMENETELMISTÄ.....	18
4.1 Tutkittavat ominaisuudet	18
4.2 Laboratoriokoemenetelmistä yleisesti	18
5 HAVAINTOJA INJEKTOINTILAASTIEN OMINAISUUKSISTA	21
5.1 Koeilmasto	21
5.2 Injektoitavuus ja sedimentoituminen	21
5.3 Jähmettymisaika ja tartuntakyky	22
5.4 Tartuntakykykokeen tulosten tulkinta	24
6 KENTTÄKOKEET	26
6.1 Iso-Puolalan sivurakennuksen kellarin ja kivijalan rappaus.....	26
6.2 Injektoiminen kenttäkokeissa	27
7 YHTEENVETO VERTAILTAVISTA INJEKTOINTILAASTEISTA ...	29

LÄHTEET.....	30
--------------	----

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

- Mineraalinen injektointilaasti** Rappauksen ja muurattujen rakenteiden konservoinnissa käytettävä riittävän juoksevassa muodossa oleva epäorgaanisista ainesosista koostuva injektoitava laasti. Injektointilaastilla voidaan vahvistaa muurattuja rakenteita tai kiinnittää irtonaista rappausa.
- Rappaus** Ulko- ja sisäseiniin sekä sisäkattoihin rappauslaastilla tehty suora ja sileä pintakerros (Helamaa 2004, 203). Ulkopuolella rappaus suojaa seinää sään rasituksilta, sisäpuolella se on vain kaunistava pinakäsittely. Rappaus tuli Suomeen keskiajalla kivirakentamisen ja kalkinpolton myötä.
- Kolloidi** Nesteeseen tai kaasuun hienojakoisena sekoittunut aine (Kolloidi. [Viitattu 4.11.2013]).
- Kopo** Rappaus, joka on irti pohjastaan. Sellaiset alueet rappauspinnassa, jotka kuulostavat koputeltaessa ontoilta (Helamaa 2004, 96).
- Viskositeetti** Nesteen tai kaasun rakeneominaisuuksista johtuva virtausvastus eli sisäinen kitka (Viskositeetti. [Viitattu 4.11.2013]).

1 JOHDANTO

Tutkin opinnäytetyössäni kolmea keskeistä konservoinnissa käytettyä kaupallista injektointilaastia: Ledan D1:stä, PLM-M:ää sekä nanokalkkia. Tavoitteenani on selvittää injektointilaastien ominaisuuksien erot sekä mahdollisesti saada selville, millaiseen käyttötarkoitukseen kukin laasteista parhaiten soveltuu. Pyrin löytämään vastauksia näihin kysymyksiin perehtymällä aiheesta tehtyihin aikaisempiin tutkimuksiin sekä lähdekirjallisuuteen. Lisäksi teen muutamia yksinkertaisia kokeita arvioidakseni injektointilaastien ominaisuuksia. Kokeilen aineita myös käytännössä Iso-Puolalan sivurakennuksen kellarin ja kivijalan rappaukseen.

Kiinnostuksen kipinän injektointilaastien vertailuun sain työharjoittelustani Konservattori Misa Aspin yrityksessä Ruotsissa, jossa konservoin Ösmon kirkon kalkkimaalauksia. Ösmon kirkossa käytimme rappauksen kiinnittämiseen Ledan D1:stä. Maalausconservattorien konferenssissa Göteborgissa skånelainen konservointiyritys esitteli nanokalkin käyttöä kalkkimaalauksen kiinnittämisessä ja vahvistamisessa. Tämä herätti keskustelua siitä, mikä injektointilaasti olisi paras ja mitä eroja Ledan D1:llä, nanokalkilla ja PLM-M:llä on. Halusin ottaa asiasta selvää.

Historiallisten kivirakenteiden restauroinnissa käytettävistä muuraus- ja rappauslaasteista löytyy jonkin verran tutkimustietoa jopa suomeksi, mutta näissä tutkimuksissa ei mainita mitään injektointilaasteista. Tämä huomio vain lisäsi mielenkiintoani aihetta kohtaan ja koin, että tutkimukselle olisi ehkä tarvetta. Injektointi on huomattavasti säilyttävämpi menetelmä kuin rappauksen paikkaaminen, jossa alustasta irronnut vanha rappaus joudutaan poistamaan. Injektoiminen tulee kyseeseen erityisesti silloin, kun rappauksessa on kulttuurihistoriallisesti arvokkaita maalauksia. Toki historiallisen rakennuksen alkuperäinen rappaus on säilyttämisen arvoinen, vaikka siinä ei olisi maalauksia ikinä ollutkaan.

Opinnäytetyöni aluksi kerron injektointilaasteista ja niiden tehtävästä yleisesti sekä esittelen kunkin tutkimani laastin ominaisuuksia ja koostumukset saatavien tietojen

ja lähteiden perusteella. Seuraavassa osiossa esittelen ensin yleisesti käytettäviä tutkimusmenetelmiä ja sen jälkeen suorittamani soveltavat kokeet sekä saamani tulokset. Opinnäytetyön viimeisessä osiossa arvioin injektointilaastien käytettävyyttä sekä toimivuutta käytännössä ja vertaan käytännön tuloksia kokeista saatuihin tuloksiin.

2 KALKKIRAPPAUKSISTA JA RESTAUROINNIN FILOSOFIASTA

2.1 Kalkkirappaus

Rappauslaasti koostuu sideaineesta ja täyteaineesta (Konow 1997, 21). Perinteisesti sideaineena on toiminut kalkki ja täyteaineena on käytetty hiekkaa. Vesi tekee laastista muokattavan ja aktivoi sideaineen kovettumisen. Rappauslaasti tarvitsee enemmän vettä kuin saumauslaasti. Muuri imee heti osan laastin vedestä. Jos laasti kuivuu liian nopeasti, syntyy helposti halkeamia.

Kalkkia valmistetaan polttamalla kalkkikiveä noin 1000 °C:ssa (KK 22 – 16.8.2001 2002, 2). Kalkkikivi on lähes puhdasta kalsiumkarbonaattia CaCO_3 . Poltettaessa siitä poistuu hiilidioksidi (CO_2) ja tuloksena on poltettu kalkki, kalsiumoksidi CaO . Polttamisen jälkeen kalkki sammutetaan lisäämällä siihen vettä (Kaila 2007, 130). Sammuttaminen voidaan tehdä kahdella eri tavalla: märkäsammuttamalla tai kuivasammuttamalla (s.131). Sammuttaessa tapahtuu kemiallinen reaktio ja kalsiumoksidista tulee kalsiumhydroksidia (Ca(OH)_2). Märkäsammutuksessa käytetään enemmän vettä, noin kaksi kertaa poltetun kalkin määrän verran, jolloin syntyy märkää kalkkitahnaa. Märkäsammutetun kalkin ominaisuudet paranevat, mitä pidempään sitä varastoi. Siksi kalkkitahnaa säilytettiin vuosia maahaudoissa. Kalkkitahnaa, jota on säilytetty vähintään vuosi, kutsutaan hautakalkiksi. Kuivasammutuksessa käytetään vain sen verran vettä, mitä kemiallinen sammutusreaktio vaatii. Tuloksena syntyy kuivaa sammutettua kalkkijauhetta.

Kalkkirappaus tuli Suomeen keskiajalla kalkinpolton ja kivirakentamisen myötä (Kaila 2007, 125). Suomi sai vaikutteita sekä Ruotsista että Venäjältä, mutta 1800-luvulla rappausammattitaito tuli pääasiassa Venäjältä. Kaikkien merkittävimpien rakennusten rappaukset olivat ”kalkkiryssien” tekemiä.

Nykyaikaisista analysointimenetelmistä huolimatta vanhan rappauslaastin alkuperäisestä koostumuksesta tai siitä, kuinka kalkki on käsitelty ennen laastin sekoittamista, ei voida saada tarkkaa tietoa (Konow 1997, 9). Laastin koostumus muuttuu vuosien saatossa sen karbonatioituessa, kovettuessa, uudelleenkiteytyessä ja huuhtoutuessa sääräsitusien alaisena.

2.2 Konservoinnin ja restauroinnin historiaa ja filosofiaa

Jukka Jokilehto (1986, 6-9) jakaa historiallisten monumenttien ja taideteosten käsittelyn kolmeen erilaiseen suuntaukseen tai lähestymistapaan. Yksi lähestymistapa on perinteinen, jossa historiallisia rakenteita säilytetään niin kauan, kuin niillä on käyttöarvoa tai niiden tuhoamiseen ei ole erityistä syytä. Muutokset isoissa rakennuksissa ovat hitaita ja voivat kestää useiden sukupolvien ajan. Edellisten sukupolvien ponnisteluja halutaan jatkaa harmonisesti. Tällaista lähestymistapaa on noudatettu esimerkiksi keskiaikaisten katedraalien tapauksissa. Jotkin kohteet voivat olla myös kunnioitettuja ja suojeltuja niihin liittyvien muisto- tai symboliarvojen vuoksi. Tällaisia kohteita voivat olla esimerkiksi jumalaa tai tärkeää henkilöä esittävät kuvat ja patsaat, joissa esineiden materiaalin autenttisuutta halutaan suojella.

Toinen lähestymistapa historiallisten rakenteiden käsittelyyn kehittyi Italian renessanssin aikana. Tätä suuntausta voidaan kutsua ”romanttiseksi restauroinniksi”. Vaikka muinaisia monumentteja tuhottiin ja käytettiin väärin, ajan humanistit ja taiteilijat näkivät niissä nostalgisia arvoja. Ne olivat dokumentteja muinaisen Rooman suuruudesta. Antiikkisista taideteoksista ja rakennuksista otettiin mallia, mutta ne piti myös lyödä. Antiikkisia patsaita, riemukaaria ja pylviä säilytettiin ja suojeltiin, mutta niitä myös entisöittiin ja täydennettiin antaen niille uusi funktio osana nykyaikaista yhteiskuntaa.

Vaikka Italian renessanssissa keskiaikainen taide ja arkkitehtuuri oli epämuodikasta, ne saivat kuitenkin osakseen yleistä kunnioitusta eikä niitä haluttu tuhota (Jokilehto 1986, 7). Restaurointikysymyksistä keskusteleminen levisi pian Italiasta muualle Eurooppaan. Ranskalainen arkkitehti Eugene Viollet-le-Duc kehitti teorian, jossa rakennus tuli palauttaa tiettyyn hetkeen tai aikakauteen historiassa (Konow 1997, 15). Pyrittiin täydelliseen arkkitehtoniseen kokonaisuuteen tekemällä täydennöksiä, jotka perustuivat historialliseen tutkimukseen ja vertailuun. Rakennuksen historiallinen merkitys ei ollut niinkään sen kerroksellisuudessa (Jokilehto, 1986, 7). Pariisin Notre Dame joutui tämän teorian uhriksi vuonna 1844 alkaneissa restaurointitöissä.

Englantilainen runoilija ja taitelija John Ruskin esitti päinvastaisen restaurointiaatteen (Konow 1997, 15). Hänen mukaansa rakennuksen historiallinen arvo on sen iässä, jota patinoituneet materiaalit todistavat. Hänen mielestään restaurointi on suurin tuho, mitä rakennus joutuu kestämään. Tämä kolmas suuntaus halusi konservoida kohteen autenttisuuden, säilyttää sen historiallisen kerroksellisuuden ja alkuperäiset materiaalit sekä välttää väärennyksiä (Jokilehto 1986, 7). William Morrisin mielestä restaurointi oli jopa rikollista (Konow 1997, 15). Ruskin korosti, että on mahdotonta tehdä kopioita historiallisista taidonnäytteistä ja niihin liittyvistä arvoista (Jokilehto 1986, 7-8). ”Uskollinenkin restaurointi” tehdessä kopiota alkuperäisestä olisi valhetta, ei aitoa. Vaikka sekä Viollet-le-Ducin että Ruskinin teorioilla on molemmilla sama tavoite: säilyttää historiallisia taideteoksia ja rakennuksia, ne ovat toisinaan suuressa ristiriidassa keskenään Viollet-le-Ducin teoria edustaen restaurointia ja Ruskinin teoria konservointia.

Rappauksen kiinnittäminen injektoimalla on hyvin konservoiva menetelmä, sillä se säilyttää alkuperäisen materiaalin eli rappauksen. Näin kohteen autenttisuus säilyy. Restauroivampi menetelmä olisi lyödä alas rappauksen irronneet kohdat ja paikata ne uudella laastilla. Alkuperäisen laastin koostumusta voidaan yrittää selvittää, ja valmistaa paikkauslaastista samankaltaista. Paikkaamalla voidaan ehkä saada aikaan siistimpi ja yhtenäisempi kokonaisuus, mutta alkuperäinen historiallinen materiaali menetetään.

3 INJEKTOINTILAASTIT KONSERVOINNISSA

3.1 Rappauksen vaurioituminen

Rappauksen kuntoon vaikuttavat sekä vallitsevat ympäristöolosuhteet että mekaaninen rasitus (Suneson 1998,1-2). Rapautumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat aurinko, sade, myrsky, pakkanen, ilmankosteus, kemiallinen rapautuminen, ylikuormitus, kuluminen, kolaukset, iskut, väärät rakennusmateriaalit, virheet rakenteissa, rakennusmateriaalien huono käsittely ja tilan lämmitys. Muuratussa rapatussa seinässä on useita kerroksia päällekkäin. Vanhemmissa rakennuksissa on usein uudelleenrakennettuja ja aikaisemmin restauroituja osia ja materiaaleja. Kerrokset ovat erikuntoisia ja reagoivat toisiinsa eri tavoin. Toiset materiaalit ovat staattisia, toiset irrallisempia.

Rappauksen tyypillisiä vaurioita ovat kosteuden ja niin kutsutun tiilisyövän aiheuttamat vauriot (Suneson 1998, 2). Nämä ilmenevät halkeamina sekä puutteina tartunnassa rappauksen ja muurin välissä, eri rappauskerrosten välissä ja rappaus-, kalkki- ja värikerrosten välissä, sekä huokoisena, hajoavana ja sideaineesta liunneena rappauksena. Rappauksen sekä kalkkimaalausten konservoinnissa tärkeimpiä konservointitoimenpiteitä ovat rappauksen vahvistaminen sekä kerrosten kiinnittäminen toisiinsa sekä muuriin.

3.2 Injektointilaastin tehtävät

Injektointilaastin tehtävä on kiinnittää irronnut rappaus paikoilleen sitomalla rappauksen takana olevat epätasaisuudet takana olevaan seinään (Asp 2001, 39). Injektointilaastin tulee soveltua rappauksen kiinnittämiseen ja vahvistamiseen, mutta samanaikaisesti sen tulee noudattaa konservointietiikan sääntöjä. Konservoinnissa pyritään aina, kun se on mahdollista, käyttämään palautuvia materiaaleja (Suneson 1998, 2). Käytännössä injektointilaastia on hyvin vaikeaa poistaa jälkikäteen. Konservointitoimenpiteet ja materiaalit valitaan aina kohteen mukaan (Konow 1997,18; Suneson 1998, 2). Niiden täytyy noudattaa kohteen edellytyksiä. Toisin sanoen injektointilaastin, niin kuin kaikkien konservointi- ja

restaurointimateriaalien, pitää toimia teknisesti yhdessä alkuperäisen rappauksen ja alustan kanssa. Sen sijaan ulkonäöllä ei ole niin suurta merkitystä, sillä injektointilaasti jää rappauksen taakse.

Korjaamiseen käytettävä materiaali ei myöskään saisi kiihdyttää historiallisen materiaalin rapautumista (Peroni ym. 1982, 64). Usein tämä vaatimus on kuitenkin unohdettu etsiessä lujaa ja kestäväää korjausmateriaalia. 80-luvun jälkeen on kuitenkin tapahtunut paljon (Konow 1997, 10). Kiinnostus parempiin restaurointimenetelmiin ja pehmeämpiin materiaaleihin on kasvanut.

Minimaalisen intervention sääntö on hyvä muistaa myös rappausta injektoitaessa: kopo ei vaadi injektoimista, jos rappaus ei ole vaarassa pudota (Asp 2001, 39). Kaikenlainen sekaantuminen aiheuttaa riskejä sekä pieniä tai isoja poikkeamia rappauksen teknisiin ominaisuuksiin (Konow 1997, 18). Sekaantuminen voi parantaa tai huonontaa tilannetta. Lopputulosta ei voi kuitenkaan tietää ennen kuin vasta pitkän koeajan jälkeen, sillä injektointilaastin yhteisvaikutusta alkuperäisen rappauksen kanssa ei voi tietää etukäteen. Täytyy ottaa myös huomioon, että konservointimateriaalin pitäisi olla turvallista sekä käyttäjälle että ympäristölle (Asp 1997, 2).

3.3 Injektointilaastien kehitys

1980-luvun alkupuoliskolla kalkkimaalauksia ruvettiin injektoimaan italialaisten kehittämän frescojen siirtomenetelmän sijaan (Ferragni 1984, 110).

Aiemmin kivikonservoinnissa on käytetty paljon orgaanisia sideaineita, kuten kalkkikaseiinia tai PVAC:tä (Asp 2001, 39). Viime vuosina kuitenkin täysin epäorgaanisten, puhtaiden kalkkilaastien soveltuvuutta rappauksen kiinnittämiseen on ruvettu tutkimaan, minkä myötä niiden käyttö on yleistynyt. Ne sopivat paremmin yhteen rappauksen kanssa sekä niillä lienee paremmat ikääntymisominaisuudet. Myös Sunesonin (1998, 2) mukaan hydrauliset kalkkipohjaiset injektointilaastit sopivat paremmin kalkkirappauksen konservoimiseen kuin tuohon aikaan usein käytetyt erilaiset liimat ja sideaineet, kuten synteettiset polymeerit. Tällaiset liimat käyvät joissakin tapauksissa huonosti

yhteen vallitsevien konservoinnin etiikan sääntöjen kanssa, sillä ne eivät usein ole poistettavissa, ovat lujempia kuin alkuperäinen materiaali ja toimivat huonosti yhdessä kalkkirappauksen kanssa (Asp 1997, 3; Suneson 1998, 2). Lisäksi liimojen liuottimet eivät yleensä ole ympäristöystävällisiä (Asp 1997, 3). Sunesonin (1998, 21-22) tekemä kyselytutkimus osoittaa, että vuonna 1998 vain kolme yhdeksästä ruotsalaisesta rappauksen kiinnityksiä tehneestä konservaattorista oli käyttänyt injektoimiseen hydraulista kalkkilaastia. Oletan, että nykyään luku on jo varmasti paljon suurempi.

3.4 Vauriokartoitus ja injektointimenetelmät

Kopojen sijainti ja laajuus on kätevä kartoittaa koputtelemalla rappausta. Onton kohdan tunnistaa erilaisesta äänestä koputtaessa. Rappausta koputella täytyy olla kuitenkin varovainen, ettei vaurioita irtonaista rappausta enempää.

Jos kopon ympäriltä on tippunut rappausta tai ympärillä on halkeamia, joista injektointilaasti voi valua pois, tulee nämä väylät tukkia hienorakeisella kalkkilaastilla ennen injektointia. Onkalot puhdistetaan ruiskuttamalla niihin alkoholi-vesiseosta. Sopiva injektointilaasti valitaan kopon ominaisuuksien mukaan ja sekoitetaan sopivan paksuinen laasti. Jos onkalot ovat kapeita, on juoksevampi laasti parempaa. Jos keskellä kopoa tai sen yläosassa on halkeama, voidaan tätä hyödyntää tunkemalla ruiskun neula halkeaman kautta onkaloon. Jos kopon kohdalla ei ole halkeamaa, porataan rappauksen läpi pieni reikä. Laastia injektoidaan 10 – 20 ml kerrallaan pienin väliajoin, kunnes onkalo on täyttynyt. Injektoimisen onnistuminen voidaan tarkistaa koputtamalla. Jos rappaus ei kuulostaa enää ontolta, on injektointi onnistunut!

3.5 Ledan D1

Ledan tuotesarjaa valmistaa italialainen Techno Edile Toscana (Ledan - Injektionsmörtel, [Viitattu 14.3.2013]). Tuotesarjaan kuuluu Ledan D1:n lisäksi Ledan D2 ja Ledan D3. Tuotteita myy saksalainen Deffner & Johann restaurointitarvikekauppa. Kremer Pigmente myy tuotetta nimeltä Ledan TB 1, joka

on myös Techno Edilen valmistama. Ledan TB 1 sekä Ledan D1 lienevät olevan lähes samaa ainetta. Ledan D1 on muuratuissa rakenteissa olevien freskomaalattujen rappausten vahvistamiseen ja uudellenkiinnittämiseen tarkoitettu injektointilaasti. Kremer Pigmenten verkkosivuilta löytyy enemmän tietoa Ledan TB 1:n ominaisuuksista ja käytöstä, kuin Deffner & Johannin sivuilla on Ledan D1:stä, mutta oletan että molemmilla injektointilaasteilla on samat ominaisuudet.

Molempien reseptit ovat osittain salaisia, joten kaikista niiden sisältämistä ainesosista ei ole saatavilla kattavaa kuvausta. Kremer pigmenten verkkosivuilla kerrotaan Ledan TB 1:n sisältävän hydraulista sideainetta, kvartssia, luonnon potsolaania ja erityisiä lisäainesekeituksia. Misa Aspin mukaan (2001, 43) Ledan D1:een on voitu lisätä jotain selluloosasideainetta muovautuvuuden lisäämiseksi. Tuote sisältää todennäköisesti muitakin lisäaineita.

Ledan TB 1 on väriltään aavistuksen harmaata sen sisältämän luonnon potsolaanin vuoksi. Aine liukenee veteen.

3.6 PLM-M

PLM kirjaimet tulevat italialaisen konservaattoripariskunnan Paolo ja Laura Moran nimikirjaimista. PLM-tuotesarjaan kuuluu PLM-M:n lisäksi PLM-A, PLM-AL, PLM-I, PLM-S ja PLM-SM (Injection mortar PLM-M, [Viitattu 29.8.2013]). PLM-M on harmaanvalkoinen veteen liukeneva laasti, joka on tarkoitettu muurattujen rakenteiden vahvistamiseen. Se sisältää hydraulista sideainetta ja valikoituja reagoimattomia lisäaineita.

3.7 Nanokalkki – CaLoSil

CaLoSil on Hirst Conservation Materialsin kehittämä ja valmistama kiven ja rappauksen vahvistamiseen tarkoitettu kolloidinen dispersio (Calosil [Viitattu 16.3.2013]). CaLoSil koostuu kalsiumhydroksidin nanopartikkeleista, jotka ovat suspendoituneet erilaisiin alkoholeihin. Tyypillinen konsentraatio on 5-50 g/l.

CaLoSil on ensimmäinen kaupallinen nanomateriaaleihin perustuva kiven ja rappauksen vahvistusaine. Sitä on valmistettu vuodesta 2006. Erittäin pienet nanopartikkelit valmistetaan kemiallisen synteessin avulla. Keskimääräinen partikkelikoko on 150 nanometriä. Valmistajan mukaan nanokalkilla on ennennäkemättömiä etuja suhteessa muihin injektointilaasteihin. Pienen partikkelikoonsa ansiosta nanokalkki pystyy tunkeutumaan syvemmälle kuin muut injektointilaastit. Lisäksi se on erittäin reaktiivinen ja karbonatisoituu nopeasti.

Käsiteltäessä kiveä, laastia tai rappausta CaLoSil:illä muodostuu alkoholin haihduttua nestemäistä kalsiumhydroksidia (Calosil [Viitattu 16.3.2013]). Tämä muuttuu kalsiumkarbonaatiksi (CaCO_3), joka muistuttaa ilman hiilidioksidin kanssa reagoineita perinteisiä kalkkilaasteja. Calosillia voidaan käyttää valedumaalausmenetelmällä, upottamalla, suihkuttamalla tai injektioimalla.

4 INJEKTOINTILAASTIEN TUTKIMUSMENETELMISTÄ

4.1 Tutkittavat ominaisuudet

Hyvällä injektointilaastilla täytyy olla tiettyjä ominaisuuksia, joiden pitäisi olla samanlaisia kuin alkuperäisellä materiaalilla (Suneson 1998, 22). Tutkittavat ominaisuudet voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan: fysikaalisiin, mekaanisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin. Fysikaalisia ominaisuuksia ovat vedenimukyky, vedenläpäisykyky, kutistuminen, kiinnittymiskyky ja –aika, tartuntavoima, jähmettymis- / kovettumisaika sekä pakkasen ja veden kestävyys. Lisäksi injektointilaastin työstettävyys ja työstöaika ovat fysikaalisia ominaisuuksia. Mekaanisia ominaisuuksia ovat veto- ja rasituslujuus. Kemiallisia ominaisuuksia ovat haitallisten liukenevien suolojen pitoisuus sekä humuspitoisuus.

ICCROM:in tutkimusryhmän tekemän tutkimuksen mukaan injektointilaasti ei saa sisältää liikaa liukenevia suoloja (Suneson 1998, 23). Kalsiumionien pitoisuus ei saa olla suurempi kuin 240 millimoolia kilossa laastia. Natrium- ja kaliumioneja ei saa olla enempää kuin 60 millimoolia kilossa laastia. Tartunta-aika ei saisi olla pidempi kuin 48 tuntia. Tietty tartunta pitäisi kehittyä heti injektioimisen jälkeen. Injektoitavuuteen vaikuttaa laastin viskositeetti (nesteen kyky vastustaa virtausta). Laastilla ei saisi olla liian suuri viskositeetti, jotta se voisi tunkeutua pienempiinkin onkaloihin. Injektointilaasti ei saisi myöskään olla lujempaa kuin perinteinen kalkkilaasti. Puristuslujuuden tulisi olla 3 – 8 MPa ja halkaisuvetolujuuden brasialaisen kokeen mukaan 0,3 – 1,2 MPa. Kutistuvuuden täytyisi olla mahdollisimman matala, alle 4 %. Lisäksi laastin pitää päästää läpi kosteusdiffuusiota.

4.2 Laboratoriokoemenetelmistä yleisesti

Useimmat standardisointikokeet on kehitetty portlandsementtipohjaisille injektointilaasteille, mutta ei konservoinnissa käytettäville kalkkipohjaisille injektointilaasteille. Hydraulista laastia on kuitenkin katsottu voivan testata betonin ja sementin standardikokeilla. Eri mailla on omat standardikoemenetelmänsä.

RILEM on kansainvälinen laboratoriolaitosten yhdistys, joka tekee tutkimusta rakennusmateriaaleista ja rakenteista. RILEM julkaisee muun muassa tieteellistä aikakausjulkaisusarjaa ”Materials and Structures”, joka sisältää myös betonin testausmenetelmien suosituksia. Suomessa standardikoemenetelmiä julkaisee Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Kaikkia hydraulisten kalkkipohjaisten injektointilaastien ominaisuuksia ei voida testata betonin ja sementin standardikokeilla ja useimpia testejä täytyy soveltaa kalkkilaasteille soveltuviksi.

Erialaisten injektointilaastien erojen havaitsemiseksi olisi hyvä tutkia seuraavia ominaisuuksia:

- Kuinka nopeasti laasti jähmettyy. Jähmettymisaika ei saisi olla liian lyhyt eikä liian pitkä. Pistemäisessä kiinnittämisessä voi olla hyvä, että laasti jähmettyy nopeasti. Mutta täyttäessä isoa kopoa voi pidempi jähmettymisaika olla parempi.
- Kuinka nopeasti laasti jähmettyy rappauksen yhteydessä ja millaisen tartunnan laasti muodostaa rappauksen ja erilaisten muurausmateriaalien kanssa.
- Kuinka luja kovettunut laasti on. Injektointilaastin tulisi olla yhtä luja tai heikompi kuin rappauksen, joka kiinnitetään. Yhtä suurta lujuutta ei voida kuitenkaan saavuttaa, sillä mineraalisissa injektointilaasteissa ei ole runkoainetta kuten perinteisissä muuraus- ja rappauslaasteissa on.
- Kuinka pakkasenkestävää laasti on. Tämä ominaisuus on tärkeä lähinnä ulkorappauksille.
- Kuinka paljon laasti kutistuu kovettuessaan.
- Kuinka paljon vettä laasti pystyy pitämään. Ominaisuuden pitäisi mielellään olla sama kuin kiinnitettävällä rappauksella. Injektointilaastin pitää sekä pystyä nostamaan että pitämään kosteutta.

- Kuinka paljon laasti ja sen eri ainesosat sisältävät haitallisia liukenevia suoloja. Jos pitoisuus on liian suuri, ainetta ei tulisi käyttää kentällä.
- Onko laasti injektoitavaa ja työstettävää. Voiko ajateltuja välineitä käyttää.

5 HAVAINTOJA INJEKTOINTILAASTIEN OMINAISUUKSISTA

Systemaattiset laboratoriokokeet vaativat paljon aikaa ja kokeissa on paljon erilaisia muuttujia, joita pitää pystyä kontrolloimaan. Osaa kokeista ei voitu tehdä sen vuoksi, että kokeisiin tarvittavaa laitteistoa ja materiaaleja ei ollut saatavilla. Siksi tehtiin vain kokeita, jotka pystyttiin toteuttamaan ja jotka antoivat jonkinlaista käsitystä injektointilaastien ominaisuuksista. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin pääasiassa injektointivuutta, jämettymisnopeutta ja tartuntalujuutta.

5.1 Koeilmasto

Koekappaleiden valimistus tulisi aina tehdä yleisissä ilmasto-olosuhteissa, mikä tarkoittaa $+20^{\circ}\text{C} \pm 2$ maksimipoikkeamalla ja $75\% \text{ RH} \pm 5\%$ maksimipoikkeamalla (Peroni, 1982). Kokeet suoritettiin kuitenkin huoneessa, jonka olosuhteet poikkesivat näistä yleisistä olosuhteista huomattavasti. Lämpötila oli kokeidentekoaikana keskimäärin 26°C ja suhteellinen ilmankosteus keskimäärin 47% . Tämä tulee ottaa huomioon kokeiden tuloksissa.

5.2 Injektointivuus ja sedimentoituminen

Koekappaleet valettiin putkenmuotoisiin muotteihin, jotka olivat 114 mm korkeita ja joiden halkaisijat olivat 31 mm . Koemuotit täytettiin laastilla käyttäen injektointiruiskua ja injektointiruiskua ja neulaa, jotta voitaisiin tutkia injektointivuutta (

Taulukko 1). Neulan halkaisija oli 2 mm . Ledanin sekoitussuhde oli $1:1$ ja PLM-M:n $3:4$, eli 3 osaa PLM-M:ää ja 4 osaa vettä. Lisättäessä veden määrää laastin injektointivuus paranee, mutta kuivumiskutistumishalkeamien määrä kasvaa (Asp 1997, 3). Koekappaleet punnittiin ennen ja jälkeen kovettumisen.

PLM-M sedimentoitui hyvin nopeasti. Jo muutaman minuutin kuluttua valamisesta vesi alkoi erittymään kiinteään materiaalin pinnalle ja ajan kuluessa erittyneen veden määrä vain kasvoi. Parin tunnin kuluttua pinnalle oli erittynyt noin 3 cm:n paksuinen vesikerros. Ledan ja nanokalkki eivät sedimentoituneet ollenkaan.

Sedimentoituminen täytyy ottaa huomioon injektoitaessa siten, että laastia sekoitetaan useasti.

Taulukko 1 Injektointilaastien injektoitavuus ja paino

Laasti	Injektoitavuus	Paino heti valamisen jälkeen	Paino kovettumisen jälkeen
Ledan D1	Huono. Pitäisi olla paksumpi neula. 2 mm liian ohut.	104 g	58 g
PLM-M	Ei kovin hyvä. Neula tukkiutui helposti.	103 g	63 g
Calosil E50	Ei ongelmia. Erittäin matala viskositeetti.	58 g	Alle 1 g

Koekappaleet peitettiin kelmulla ja annettiin kovettua 28 vuorokautta, minkä jälkeen kappaleet punnittiin uudelleen ja tarkasteltiin tapahtuneita muutoksia.

Ensimmäisten tuntien aikana PLM-M kutistui plastisesti sedimentoitumisen yhteydessä noin kolmasosan pituudestaan. Osa pinnalle erittyneestä vedestä haihtui pois, osa imeytyi laastiin. Kuukauden kuluttua kovettunut PLM-M painoi 5 g enemmän kuin Ledan, joka ei ollut kutistunut lähes ollenkaan. Eli PLM-M on tiheämpää kuin Ledan. Calosilista haihtui alkoholi ja jäljelle jäi vain nanokalkkihiukkaset putken pohjalle.

5.3 Jähmettymisaika ja tartuntakyky

Sunesonin tutkielmasta (1998, 32) löytyi hyvä sovellettu testi, joka mittaa, kuinka nopeasti injektointilaasti jähmettyy ja muodostaa tartunnan rappaukseen.

Pieniä epäsäännöllisen kokoisia kalkkirappauksen paloja laitettiin rappauslevyn päälle niin, että levyn ja palojen väliin tuli injektointilaastia (Kuva 1). Levy asetettiin vaaka-asentoon. Laasti levitettiin levylle injektointiruiskulla ja 2 mm:n neulalla. Koe tehtiin injektointilaastin levittämisen jälkeen nostamalla manuaalisesti yhtä rappauspala kerrallaan tietyin väliajoin suoraan ylöspäin (Taulukko 2). Koe tehtiin jokaiselle kolmelle eri laastille.

Rappausalusta valmistettiin lihavasta rappauslaastista, jonka sekoitussuhde oli 1:3. Laastin sideaineena käytettiin kalkkitahnaa ja runkoaineena luonnon hiekkaa, jonka raekoko oli 0-4 mm. Rappauksesta tehtiin noin 1 cm:n paksuinen. Valmistuksen jälkeen rappauksen annettiin kovettua yhden viikon ajan. Rappausta kostutettiin sumupullolla kolmen päivän ajan valmistamisen jälkeen.

Jähmettymisaikaa arvioitiin seuraavan asteikon mukaisesti:

- 1 = rappauspala irtoaa
- 2 = rappauspala irtoaa, mutta vaikeammin kuin 1
- 3 = rappauspala irtoaa, mutta vaikeammin kuin 2
- 4 = rappauspala on vaikeaa irrottaa
- 5 = rappauspala irtoaa vain voimaa käyttämällä, materiaali vaurioituu.

Tarttumiskykyä arvioitiin seuraavan asteikon mukaisesti:

- A = laasti on tarttunut alustaan ja rappauspalaan
- B = laasti on tarttunut enemmän alustaan kuin rappauspalaan
- C = laasti on tarttunut ainoastaan alustaan.

Taulukko 2 Injektointilaastien jähmettymisaika ja tartuntakyky

Aika	Ledan D1	PLM-M	Calosil E50
5 min	1A	1A	1A
10 min	1A	1A	1A
15 min	1A	2A	1A

Aika	Ledan D1	PLM-M	Calosil E50
20 min	2A	2A	1A
60 min	2A	1A	1A
1 vrk	3A	3A	1A
2 vrk	3A	3A	1A
4 vrk	4A	4-5B	1A



Kuva 1 Tarttutakykykoe

5.4 Tarttutakykykokeen tulosten tulkinta

Alkoholidispersio-koostumuksensa vuoksi Calosil ei jähmety ollenkaan kiinteäksi aineeksi, vaan se imeytyy alkuperäiseen materiaaliin. Alkoholit haihtuu pois ja kalkki jää vahvistamaan materiaalia. Tämän vuoksi jähmettymiskokeet eivät soveltuneet Calosilille. Calosil ei siis sovellu koptojen ja onkaloiden täyttämiseen,

eikä sillä voi kiinnittää paksuja ja kovia rappauserroksia toisiinsa. Se soveltuu todennäköisesti paremmin hauraan materiaalin vahvistamiseen tai ohuiden liuskemaisten värikerrosten kiinnittämiseen.

PLM-M jähmettyi hieman nopeammin kuin Ledan. Se oli jähmettynyt hieman jo 15 minuutin kuluttua laastin levittämisestä. Ledanissa jonkinlaista jähmettymistä oli huomattavissa 20 minuutin kuluttua levittämisestä. PLM-M muodosti myös hieman lujemman tartunnan kuin Ledan. Neljän vuorokauden kuluttua sekä Ledan että PLM-M olivat kovettuneet niin paljon, että rappauspala oli vaikeaa irrottaa. Ledanilla kiinnitettyä rappauspala nostettaessa koko rappauslevy nousi ilmaan, mutta pala irtosi kuitenkin hetken kuluttua. PLM-M:llä kiinnitettyä rappauspala irrottaessa piti käyttää voimaa, mutta rappauspala irtosi kuitenkin materiaalin vaurioitumatta.

Sekä Ledan että PLM-M soveltuvat testin perusteella lujutensa puolesta kalkkirappauksen kiinnittämiseen. Molemmat injektointilaastit olivat heikompia kuin rappausalusta tai kiinnitettävät palat, minkä voi päätellä siitä, että nostettaessa rappauspala vain injektointilaasti murtui. Kumpikaan ei jähmety kuitenkaan 15 minuuttia nopeammin, mikä riittää hyvin työstöajaksi.

6 KENTTÄKOKEET

6.1 Iso-Puolalan sivurakennuksen kellarin ja kivijalan rappaus

Kokeilin kaikkia tutkimiani injektointilaasteja Iso-Puolalan talon sivurakennuksen kellarin ja kivijalan rappaukseen, jotta saisin selville, ovatko kokeiden tulokset yhtäpitäviä todellisuuden kanssa. Turun Puolalanmäellä sijaitsevat Iso-Puolalan rakennukset olivat keväällä 2013 Turun kaupungin omistuksessa. Rakennuksissa oli vuokralla Rakennusperinteen ystävät ry. Tutkimuskohteena käyttämäni rakennus sijaitsee pihapiirin itäreunalla. Kellariin johtaa holvattu portaikko eli halssi. Halssin rappaukseen on kirjoitettu vuosiluku 1812. Itse kellari on todennäköisesti vanhempi kuin kellarihalssi. Kari Uotilan (1987) mukaan kellari voi olla 1700-lukua vanhempaa rakennuskantaa. Halssin rappaus on hyvin kovaa ja paksua. Rappauksen ja muurin läpi kulkee isoja halkeamia (Kuva 2). Rappaus on irti alustasta halkeamien ympäristössä. Sementtimäisestä kovuudestaan huolimatta rappauksen täytyy ikänsä perusteella olla kalkkirappaus.



Kuva 2 Kellarin halssin rappauksen vaurioita.

Puurakennuksessa on noin 240 cm korkea luonnonkivistä muurattu kivijalka, jossa on jäänteitä vanhasta kalkkirappauksesta. Rajasin tutkimusalueekseni vain rakennuksen eteläpäätyyn. Ulkona oleva rappaus on ollut alttiina sään vaikutuksille vuosikymmenien, ellei jopa vuosisatojen ajan, ja oli tämän vuoksi erittäin huonossa kunnossa. Suuri osa rappauksesta oli tippunut pois. Jäljellä oleva rappaus oli monin paikoin puuterimaisen haurasta ja osittain irti alustasta. Joiltakin alueilta rappaus oli kuitenkin säilynyt kohtalaisen kiinteänä ja hyväkuntoisena. Hyväkuntoisena säilynyt alue ei vaatinut minkäänlaisia toimenpiteitä. Tavoitteenani oli kiinnittää ontolta kuulostavat irtonaiset alueet injektoimalla sekä vahvistaa haurasta rappausa.



Kuva 3 Iso-Puolalan talon sivurakennuksen kivijalan eteläpääty.

6.2 Injektoiminen kenttäkokeissa

Kivijalan rappaus oli haasteellinen tutkimuskohde. Irtonaiset rappauksen reunat olisi ollut parempi vahvistaa oikealla runkoaineellisella rappauslaastilla, johon minulla ei ollut tutkimuksessa resursseja. Tämän vuoksi injektointilaasti pääsi

valumaan reuna-alueilta pois. Siksi injektoiminen ei onnistunut siten kuin olisi pitänyt.

Aluksi eri vauriotyypit kartoitettiin ja merkattiin erivärisillä lapuilla. Nanokalkin ajattelin soveltuvan parhaiten kivijalan ulkopinnassa olevan hauraan rappauksen vahvistamiseen. Siinä olin oikeassa. Nanokalkki ei tarvinnut injektoimista varten halkeamaa tai reikää, vaan sitä pystyi ruiskuttamaan suoraan rappauksen päälle, josta se imeytyi rappaukseen silminnähtävän nopeasti. Nanokalkki vaati kuitenkin käyttöohjeittensa mukaan useampia käsittelykertoja. Hauraat kohdat käsiteltiin nanokalkilla 2-3 kertaa. Suuren imeytymiskykynsä vuoksi nanokalkki ei soveltunut rappauksen takana olevien onkaloiden täyttämiseen yhtä hyvin kuin Ledan ja PLM-M.

Ledanilla yritin injektoida kivijalan rappauksessa olevia muutamia selkeitä kopoja, jotka löytyivät koputtelemalla. Injektoidakseni näitä kopoja jouduin poraamaan rappauksen läpi 2mm reiän. Ledanista sekoitettiin seos, jossa oli 2 osaa vettä ja 1 osa Ledania. Ledan sekoittui veteen hyvin, mutta laasti sedimentoitui muutamassa minuutissa niin, että paksumpi sakka laskeutui pohjalle ja vesi nousi pinnalle. Tämän vuoksi laastia tuli sekoittaa jatkuvasti. Jos laastiastian sulkee kannella, voi Ledania käyttää vielä seuraavanakin päivänä, kun sen sekoittaa hyvin ennen käyttöä. Yön yli seissyt laasti tukkii kuitenkin injektointineulan helpommin. Koin Ledanin injektoitavuuden kenttäkokeissa huonoksi, mutta tämä voi johtua siitä, että käytin yön yli seissyttä laastiseosta, jonka olin katsonut käyttökelpoiseksi. Sen lisäksi, että neulat tukkiutuivat herkästi, Ledan ei myöskään kulkeutunut hyvin kopoon, vaan jämähti lähelle injektointipistettä.

Koska PLM-M on tarkoitettu muurattujen rakenteiden vahvistamiseen, halusin kokeilla sitä kellarihalssin rappauksen kiinnittämiseen. PLM-M:stä sekoitettiin seos, jossa oli 3 osaa PLM-M:ää ja 4 osaa vettä. PLM-M sedimentoitui astiaan jopa nopeammin ja voimakkaammin kuin Ledan ja sitäkin tuli sekoittaa jatkuvasti. Sekoitettua PLM-M-laastia ei voi käyttää enää seuraavana päivänä, sillä laasti ehtii kovettua. PLM-M toimi loistavasti, sillä se oli helposti injektoitavaa ja se kulkeutui hyvin kopon alaosaan asti täyttäen kopoa sieltä lähtien ylös asti, kunnes kopo oli täynnä. Muuten kellarihalssin kopojen injektoiminen onnistui täydellisesti, paitsi niistä kohdista, joista laasti pääsi valumaan pois.

7 YHTEENVETO VERTAILTAVISTA INJEKTOINTILAASTEISTA

Tehdyssä valukokeessa sekä Ledan D1 että PLM-M olivat huonosti injektoitavia. Kenttäkokeessa kuitenkin PLM-M oli helposti injektoitavaa, vaikka molemmissa kokeissa käytettiin samaa sekoitussuhdetta. Injektoitavuuteen voi vaikuttaa myös ruiskujen ja sekoitusastioiden puhtaus. Tämän vuoksi ne täytyy pestä jokaisen käytön jälkeen erittäin huolellisesti. Kenttätyössä laastin injektoitavuutta voi parantaa lisäämällä veden määrää. Vettä lisätessä täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että se lisää kuivumiskutistumien määrää, mikä heikentää laastin lujuutta. Nanokalkin injektoitavuudessa ei ollut minkäänlaisia ongelmia.

PLM-M jähmettyi laasteista nopeimmin ja muodosti myös lujimman tartunnan. Tämän vuoksi se soveltuu vertailtavista laasteista parhaiten isojen halkeamien ja koptojen injektoimiseen, mutta myös pienempien onkaloiden täyttäminen onnistuu hyvin, sillä ainakin kenttäkokeiden perusteella PLM-M:n kulkeutuvuus oli hyvä. Melkein yhtä suuren lujuuden saavuttanut Ledan D1 soveltuu myös hyvin erikokoisten koptojen täyttämiseen.

Nanokalkki eli Calosil E50 oli aivan erityyppinen injektointilaasti kuin PLM-M ja Ledan D1. Kenttätutkimusten perusteella Calosilillä pystyi vahvistamaan haurasta rappausta. Lisätutkimuksilla voisi selvittää sen soveltuvuutta esimerkiksi kalkkimaalausten värikerrosten kiinnittämiseen.

Tehtyjen kokeiden määrä jäi huomattavasti tavoiteltua suppeammaksi, minkä vuoksi laastien ominaisuuksista ei pysty tekemään kovin kattavaa arviota. Opinnäytetyön myötä olen kuitenkin sisäistänyt hyvin ainakin sen, millaisia ominaisuuksia historiallisten rappausten konservoinnissa käytettävillä injektointilaasteilla tulisi olla. Ymmärsin myös tieteellisen tutkimuksen haasteellisuuden sekä huomioon otettavat seikat.

LÄHTEET

- Asp, M. 1997. Injektionsbruk: Rapport över utvecklingsarbete. Dnr. 811-638-1997.
- Asp, M. 2001. Tests of injectable mortars in laboratory and field. Teoksessa: U. Lindborg (toim.) Conservation of Mural Paintings. Tukholma: National Heritage Board, 39-44.
- Calosil: Colloidal nanoparticles of lime for stone and plaster consolidation. Ei päiväystä. [Tekninen esite]. [Viitattu 16.3.2013] Saatavana: <http://www.hirst-conservation.com/calosil.htm>
- Ferragni, D. 1984. Injection grouting of mural paintings and mosaics. Teoksessa: Adhesives and consolidants: Contributions to the 1984 IIC Congress. Paris: IIC, 110–116.
- Helamaa, E. 2004. Vanhan rakentajan sanakirja: Rakentamisesta, rakennuksista, rakenteista. Helsinki: Suomalaisen Kirjallisuuden Seura. Suomalaisen Kirjallisuuden Seuran Toimituksia 988.
- Injection mortar PLM-M. Ei päiväystä. [Verkkosivu] Kremer Pigments Inc. [Viitattu 29.8.2013] Saatavana: <http://shop.kremerpigments.com/en/fillers-und-building-materials/injection-mortar-plm-m-31106:.html>
- Jokilehto, J. 1986. (PDF-tiedosto helmikuussa 2005) A History of Architectural Conservation: The Contribution of English, French, German and Italian Thought towards an International Approach to the Conservation of Cultural Property. [Verkkojulkaisu]. ICCROM. [28.10.2013] Saatavana: http://www.iccrom.org/pdf/iccrom_05_historyofconservation00_en.pdf
- Kaila, P. 2007. Talotohtori: Rakentajan pikkujättiläinen. Neljästoista painos. Helsinki: Werner Söderström Oy.
- KK 22 – 16.8.2001. 2002. f3 julkisivu: kalkkirappauksen korjaus. Vantaa: Museovirasto, rakennushistorian osasto.
- Kolloidi – Sivistyssanakirja, synonyymit. Ei päiväystä. [Verkkosivu] Suomi Sanakirja. [Viitattu 4.11.2013] Saatavana: <http://www.suomisanakirja.fi/kolloidi>
- Konow, von T. 1997. Restaurering och reparation med puts-och murbruk. Turku: Åbo Akademis förlag.
- Ledan – Injektionsmörtel. Ei päiväystä. [Verkkosivu] Deffner & Johann. [Viitattu 14.3.2013] Saatavana: <http://www.deffner-johann.de/ledan>

Peroni, S. 1982. Lime based mortars for the repair of ancient masonry and possible substitutes. Teoksessa: Mortars, cements and grouts used in the conservation of historic buildings. Symposium, Rome 3-6 Nov. 1981. Rooma: ICCROM, 63-99.

Suneson, C. 1998. Hydrauliska kalkbaserade injektionsbruk för fästning och konsolidering av kalkputs: Dekorationsbemålade puts interiört. Göteborgin yliopisto. Ympäristötieteiden ja kulttuurisuojelun laitos, Kulttuurisuojelun osasto. 3. vuosikurssin tutkintotyö.

Viskositeetti – Sivistyssanakirja, synonyymit. Ei päiväystä. [Verkkosivu] Suomi Sanakirja. [Viitattu 4.11.2013] Saatavana: <http://www.suomisanakirja.fi/viskositeetti>

Uotila, K. 23.9.1987. Liite 8: Kari Uotilan selvitys Iso-Puolalan kellareista. Turku: Turun maakuntamuseo.

