

NASJONALE OPPGAVER 2023: METODEUTVIKLING

Injeksjonsmørtler for muralmalerier

Anne Braun, Susanne Kaun og Helene Nuland





Norsk institutt for kulturminneforskning (NIKU)

Storgata 2, Postboks 736 Sentrum, 0105 Oslo

Telefon: 23 35 50 00

www.niku.no

<http://www.niku.no/>

| | | |
|---|---|--|
| Tittel Nasjonale oppgaver 2023: Metodeutvikling Injeksjonsmørtler for muralmalerier | Rapporttype/nummer NIKU Rapport 329 | Publiseringsdato 31.01.2024 |
| | Prosjektnummer 1022554-06 | Sider 18 |
| | Avdeling Konservering | Tilgjengelighet Åpen |
| Forfatter(e) Anne Braun, Susanne Kaun og Helene Nuland | ISSN 2703-7797 ISBN 978-82-8101-477-0 | Oppdragstidspunkt / periode utført 1.1.23-31.12.2023 |
| | Forsidebilde Løse kalklag i Tingvoll kirke. Foto: Susanne Kaun | |

| |
|---|
| Prosjektleder Anne Braun |
| Prosjektmedarbeider(e) Susanne Kaun, Helene Nuland |
| Kvalitetssikrer Kjersti Marie Ellewssen |

| |
|---|
| Oppdragsgiver / finansiert av Klima- og Miljødepartementet |
|---|

Sammendrag
Muralmalerier byr på komplekse problemstillinger når det gjelder bevaring og behandling. Strukturelle skader som løse puss- og slemmingslag, og bom er typiske skader man finner på muralmalerier. Slike skader behandles typisk ved å injisere flytende mørtler (injeksjonsmørtler) i sprekker og hulrom, for så å reintrodusere vedheft mellom lagene. Målet med dette prosjektet var å skaffe et grunnlag for valg av egnede injeksjonsmørtler i forbindelse med konservering av muralmalerier i de middelaldersteinkirkene i Norge, deriblant kalkmaleriene. Det er gjort en litteraturstudie over relevante, vitenskapelige publikasjoner, doktorarbeider og masteroppgaver fra de siste 15 år. Videre ble det utarbeidet en oversikt over tilgjengelige kommersielle produkter. Litteraturogjøennomgangen viser at det er stor enighet i fagmiljøet om hvilke krav som stilles til injeksjonsmørtler for behandling av bompartier i historiske pusslag. Og i hovedsak finnes tre ulike muligheter: kommersielle produkter, modifiserte kommersielle produkter og egenkomponerte injeksjonsmørtler. Det understrekes også viktigheten av å tilpasse disse kravene til hvert enkelt tilfelle man står ovenfor, som involverer en grundig skadeanalyse hvor materialer og skadeårsaker undersøkes nøye. Det blir gjentatte ganger tatt opp mangelen på internasjonale standarder for testing og evaluering av injeksjonsmørtler, men at det ofte brukes standardmetoder utviklet for å teste andre materialer som sement og mørtler, som har andre krav enn injeksjonsmørtler. En viktig observasjon i denne sammenheng er at resultater av laboratorietester sjeldent lar seg overføre til praksis.

Abstract
Murals present complex challenges when it comes to conservation and treatment. Structural damage such as loose plaster and layers are typical damages found on murals. Such damage is typically treated by injecting liquid mortars (injection grouts) into cracks and voids, and then reintroducing adhesion between the layers. The aim of this project was to provide a basis for the selection of suitable injection mortars in connection with the conservation of mural paintings in the medieval stone churches in Norway, including the "kalkmalerier". A literature study of relevant scientific publications, doctoral theses and master's theses from the last 15 years has been carried out. Furthermore, an overview of available commercial products was prepared. The literature review shows that there is a broad consensus in the professional community on the requirements for injection mortars for the treatment of historic plasters. And there are essentially three different options: commercial products, modified commercial products and proprietary grouts. It also emphasises the importance of adapting these requirements to each individual case, which involves a thorough damage analysis where materials and causes of damage are carefully examined. The lack of international standards for testing and evaluation of injection mortars is repeatedly raised, but that standard methods developed for testing other materials such as cement and mortars, which have different requirements than injection mortars, are often used. An important observation in this context is that the results of laboratory tests can rarely be transferred to practice.

| |
|--|
| Emneord Konservering, kalkmalerier, steinkirker, injeksjonsmørtel, mørtel, |
| Keywords Conservation, wall paintings, stone churches, injection grouts, mortar |

Avdelingsleder
Kjersti Marie Ellewssen

Forord

NIKU har i 2023 fått tildelt nasjonale midler fra Klima- og miljødepartement (KLD) for å ivareta spesifiserte oppgaver innen kulturminnevern. Riksantikvaren er deltakende i spesifisering av oppgavene. Formålet med disse nasjonale oppgavene er *«å sørge for at instituttet har ressurser til å bistå med særskilt nasjonal fagkompetanse på prioriterte områder for miljøforvaltningen og med betydning for allmenheten, inklusiv kunnskap ved kriser.»*¹

En del av oppgavene er dedikert til nasjonal kompetanse på konservering og metodeutvikling innen konservering (post 3-2). Prosjektet «injeksjonsmørtler» er utarbeidet innenfor disse midlene.²

¹ Det Kongelige Klima- og Miljødepartement v/ Siri Hals Butenschøn og Solfrid Foss til Norsk institutt for kulturminneforskning. Tilskudd til nasjonale oppgaver ved NIKU i 2023, 10. januar 2023.

² Norsk institutt for kulturminneforskning v/Kristin Bakken til Det Kongelige Klima- og miljødepartementet. Tilskudd til nasjonale oppgaver ved NIKU i 2023, Faglig spesifisering og budsjettforslag. 30. januar 2023

Innholdsfortegnelse

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Bakgrunn og formål | 7 |
| 2 | Metode | 7 |
| 3 | Resultat..... | 7 |
| 3.1 | Injeksjon som tiltak | 7 |
| 3.2 | Injeksjonsmørtler: Material, arbeidsegenskaper og ytelseskriterier | 9 |
| 3.3 | Tilpasning og modifisering av injeksjonsmørtler..... | 9 |
| 3.4 | Testing og evaluering av injeksjonsmørtler | 11 |
| 4 | Kommersielle injeksjonsmørtler..... | 12 |
| 4.1 | Produktserien Ledan | 12 |
| 4.2 | Produktserie PLM | 13 |
| 4.3 | CalXnova | 13 |
| 4.4 | Injeksjonsmørtel fra Calchèra San Giorgio..... | 14 |
| 4.5 | CaLoXiL Injeksjonsmørtel..... | 14 |
| 5 | Konklusjon | 14 |
| 6 | Veien videre..... | 16 |
| 7 | Bibliografi | 17 |

1 Bakgrunn og formål

Som en del av nasjonale oppgaver i 2022 og 2023 gjennomførte NIKU tilstandsregistreringer av kalkmalerier i de middelaldersteinkirkene. Under tilstandsregistreringene og ved flere omfattende tilstandsvurderinger av muralmalerier i enkelte kirker i de siste årene,³ er det gjort mange observasjoner av og løs puss og bom (hulrom).

Muralmalerier, det vi si vegg- og hvelvemalerier utført på murvegger, byr på komplekse problemstillinger når det gjelder deres bevaring og behandling. Muralmalerier er som oftest malt på kalkpuss, kalkslemming og/eller tynne kalklag. Strukturelle skader som løse puss- og slemmingslag, mangel på vedheft mellom lagene og svikt innad i veggen er typiske skader man finner på muralmalerier. Disse kan være kritiske og svært komplekse, og kan i verste fall lede til tap av historisk materiale. Sikrende tiltak kan derfor være helt nødvendig for å bevare veggmalerier.

Mangel på vedheft mellom lagene (som ofte resulterer i et hulrom inne i veggen) behandles typisk ved at hulrommet i eller bak pussoverflater fylles ut med compatible, flytende mørtler som presses gjennom slanger eller kanyler, med mål om å fylle ut og binde seg til originalmaterialet og dermed introdusere vedheft mellom lag. Å injisere mørtel inn i en vegg er en irreversibel handling. Dette er en av grunnene til at kjemisk og fysisk kompatibilitet med originalmaterialene er essensielt (Caroselli, Ruffolo, & Piqué, 2021, s. 12).

Målet med dette prosjektet var, som et første steg, å skaffe et grunnlag for valg av egnede injeksjonsmørtler i forbindelse med konservering av muralmalerier i de middelaldersteinkirkene i Norge, deriblant kalkmaleriene, med utgangspunkt i forskning som er gjort.

- Hvilke vurderinger må gjøres ved behandling av bom?
- Hvilke krav stilles til injeksjonsmørtler?
- Hvordan kan vi evaluere ulike injeksjonsmørtlers egnethet?
- Hvilke kommersielle produkter brukes av konservatorer, og hvilke erfaringsverdier og tester finnes på disse produktene?

2 Metode

For å svare på disse spørsmålene, er det gjort en litteraturstudie over vitenskapelige publikasjoner, doktorarbeider og masteroppgaver fra de siste 15 år, som omhandler injeksjonsmørtler for bruk av konsolidering av puss og kalklag med muralmalerier.

Videre ble det utarbeidet en oversikt over tilgjengelige kommersielle produkter, basert på den tilgjengelige produktinformasjonen.

3 Resultat

3.1 Injeksjon som tiltak

I 2004 begynte forskere ved Getty Conservation Institute (Getty-instituttet) en tverrfaglig studie om evaluering av kalkbaserte injeksjonsmørtler til bruk innen konservering av arkitekturoverflater. Deres oppsummering av relevant litteratur ble publisert i 2009 i "Studies of Conservation" under tittelen "Lime-based injection grouts for the conservation of architectural surfaces" (Biçer-Şimşir, Griffin, Palazzo-Bertholon, & Rainer, 2009). Artikkelen oppsummerer i stor grad relevant informasjon fra faglitteratur publisert før 2009, hvor en rekke materialer brukt i injeksjonsmørtler har blitt nøye

³ Et eksempel på det finnes i Enebakk kirke (Kaun, NIKU Oppdragsrapport 122/2021. AF 34 Enebakk kirke. Tilstandsvurdering og undersøkelser av kalkmaleriene, 2021, s. 21)

undersøkt. De mest brukte kommersielle produktene på den tiden refereres til og fordelene med disse beskrives som enkle å tilberede og gode arbeidsegenskaper. I litteraturen identifiseres ulempene med de kommersielle produktene som det faktum at eksakte ingredienser ikke oppgis og samtidig endres sammensetningen av produktene. Noen kommersielle produkter har i tillegg høy styrke (som kan lede til høy påkjenning i originalmaterialer) og høyt innhold av løselige salter (2009, p. 7).

I følge Biçer-Şimşir et al. (2009, p. 8) refererer de fleste studier om injiseringsmørtler til *arbeidsegenskaper* og *ytelseskriterier* (beskrives i kap. 3.2.). Det nevnes at å skille mellom disse to er viktig, da arbeidsegenskapene definerer den praktiske bruken av materialet og hvor effektivt bruken er *in-situ* (på stedet), mens ytelseskriteriene definerer langtidseffekten av materialet og dens oppførsel etter at den har herdet inne i veggens stratigrafi. Et viktig poeng i Biçer-Şimşir et al.s artikkel er at faktiske tall/verdier for karakterisering av injeksjonsmørtler generelt sett er mer unntaket enn regelen i litteraturen, og at det mangler standardiserte testmetoder for evaluering og sammenligning av injeksjonsmørtler (2009, p. 8). Injeksjonsmørtlers egenskaper undersøkes vanligvis gjennom laboratorietester. Men de fleste testmetodene som brukes er utviklet for andre materialer, som for eksempel mørtel og betong, som naturligvis er problematisk, da disse materialene har andre egenskaper enn det som kreves av injeksjonsmørtel. Dette har resultert i at det har blitt brukt vidt forskjellige testmetoder i forskjellige studier, og forfatterne har dermed konkludert med at det er vanskelig eller nærmest umulig å sammenligne resultatene fra de ulike studiene.

Samlet sett konkluderes det i artikkelen med at det generelt sett er begrenset med systematiske analyser som kan hjelpe konservatorer med testing og evaluering av ulike injeksjonsmørtler i laboratoriet og *in-situ*. Det understrekes samtidig at både laboratorietester og felttester er av vesentlig betydning.

Hovedformålet med denne rapporten er å gi retningslinjer for valg av kalkbasert injiseringsmørtel (egenkomponert eller kommersiell) for stabilisering og reintroduksjon av vedheft i løs historisk kalkpuss. Viktigheten av å forstå hva som forårsaker og driver nedbrytning samt forståelse og kjennskap til de originale materialene er essensielt. Kun da kan de spesifikke kravene til injeksjonsmørtelen stilles (Papayianni, et al., s. 8). Fordelene og ulempene ved egenkomponert og kommersielt fremstilt injeksjonsmørtel trekkes frem, og som nevnt er fordelene med de kommersielt tilgjengelige mørtlene at de er enkle å bruke og at de er godt testet. Ulempen er som nevnt tidligere at ikke alle ingrediensene er kjent. Ved egenkomponert injeksjonsmørtel er fordelene at de tilpasses de gitte forholdene og utfordringene på stedet, men at det kreves en gjennomgående teknologisk forståelse av alle ingrediensene og at testing kan være mer tidskrevende og kostbart enn ved kommersielle produkter (Papayianni, et al., ss. 9-10).

Rapporten gir en oversikt over anbefalte testmetoder og hvordan disse kan anvendes (Papayianni, et al., 2023, ss. 11-16) For en utfyllende liste over laboratorietester og felttester henvises til Getty-instituttets håndbok om evaluering av injeksjonsmørtler: (Biçer-Şimşir & Rainer, 2013).

Caroselli et al. gir en grundig beskrivelse og praktiske tips når det gjelder stabilisering av bom og løs puss ved bruk av injiseringsmørtel. Viktigheten av å tilpasse injiseringsmørtelen til det spesifikke fenomenet man står ovenfor for å oppnå best mulig resultat understrekes. De fleste konservatorer velger kommersielle injiseringsmørtler av flere grunner, mens forfatterne presiserer at i enkelte tilfeller kan det være nødvendig med egenkomponerte mørtler (Caroselli, Ruffolo, & Piqué, 2021, ss. 12-14). Det finnes naturligvis ingen referanser når det gjelder egenkomponerte mørtler (slik som med kommersielle, godt testede materialer), men Getty-instituttets manual (Biçer-Şimşir & Rainer, 2013) for testing av injiseringsmørtel, sammen med Pasion et al's forskning på egenkomponerte injeksjonsmørtler (2020), kan brukes som et utgangspunkt for å formulere og teste egne mørtler. I denne artikkelen fokuseres det også på problemene som kan oppstå ved introduksjon av vann i et komplekst system som nedbrutt puss av ulik tilstand, og alternativer til delvis erstatning av vann (med f.eks. etanol) beskrives (Caroselli, Ruffolo, & Piqué, 2021, s. 14). Viktigheten av god kjennskap til de originale materialene og deres tilstand, samt viktigheten av å identifisere prosesser som driver

nedbrytning av materialene (og muligens fjerne eller minimere dem) trekkes frem som essensielle faktorer for en vellykket behandling av ofte svært komplekse utfordringer (Caroselli, Ruffolo, & Piqué, 2021, s. 16).

3.2 Injeksjonsmørtler: Material, arbeidsegenskaper og ytelseskriterier

Med injeksjonsmørtel menes en mørtel med fine tilslag som er spesielt utviklet for å feste løse pusspartier (bom). Injeksjonsmørtel består som regel av et hydraulisk og kalkbasert bindemiddel, et tilslag, naturlige og/eller syntetiske tilsetningsstoffer og en væske (oftest vann, men kan også være delvis erstattet med etanol) som gjør mørtelen flytende og holder komponentene i suspensjon (Pasian, Injection Grouting for Delaminated Wall Paintings: Approach, Design, Challenges, 2020).

Injeksjonsmørtler basert på organiske (plastbaserte) bindemidler har tidlig blitt utelukket, da disse viste seg å være inkompatibel med originalmaterialer (Papayianni, et al., 2023, s. 3), og det hersker stor enighet i fagmiljøet om kravet å bruke mineralske injeksjonsmørtler.

En passende injeksjonsmørtel er kjemisk og fysisk kompatibel med originalmaterialene. For å få til dette er det nødvendig å forstå originalmaterialene, både deres tilstand og komposisjon (Papayianni, et al., 2023, s. 4) og (Biçer-Şimşir & Rainer, 2013, s. 3). Et viktig element å ta hensyn til i vurderingen av valg av egnet injeksjonsmørtel er dets *arbeidsegenskaper* (både generelt og tilpasset det spesifikke objektet som skal stabiliseres), det vil si mørtelens evne til å oppfylle visse krav i flytende tilstand. Den viktigste arbeidsegenskapen for en injeksjonsmørtel er utvilsomt flyteevnen (lav viskositet/god fluiditet) og dermed evnen til å la seg injisere gjennom kanyler eller slanger og trenge dypt inn i hulrom. Denne egenskapen er direkte relatert til vannmengden som tilsettes blandingen (noe som også påvirker krymping, porøsitet og mekanisk motstand i herdet tilstand) (Caroselli, Ruffolo, & Piqué, 2021, s. 14). Andre arbeidsegenskaper er adekvat klebrighet av materialet i flytende tilstand (slik at det fester seg til originalmaterialene); ingen sedimentering/segregering av komponentene innad i mørtelen; rimelig herdetid samt evnen til å herde i fravær av luft og ofte fuktige omgivelser også å oppfylle HMS-krav (Biçer-Şimşir & Rainer, 2013, s. 8).

I tillegg er det definert en rekke krav for injeksjonsmørtelens *ytelseskriterier*, altså de egenskapene den viser i herdet tilstand. Når det gjelder ytelseskriterier, må det tas hensyn til et bredt spekter av egenskaper: injeksjonsmørtelen skal som nevnt være kjemisk og fysisk kompatibel med det opprinnelige underlaget og overflatematerialene. Derfor bør den mekaniske motstanden være lavere enn den opprinnelige pussens for å unngå for store mekaniske påkjenninger i originale materialer, mens den kapillære absorpsjonen av vann og dampgjennomtrengeligheten må være lik den opprinnelige. Siden den nye mørtelen skal gjenskape kontinuiteten mellom de løsrevne lagene, bør den sikre tilstrekkelig strukturell stabilitet og god vedheft til underlaget. I tillegg bør konsentrasjonen av løselige salter i mørtelen være så lav som mulig (Caroselli, Ruffolo, & Piqué, 2021, s. 14). Andre viktige egenskaper er minimal krymping; gode termiske egenskaper i forhold til originalmaterialet (slik at ikke injeksjonsmørtelen endrer volum ved endring av temperatur); god holdbarhet; porøsitet lik de originale materialene; kjemisk stabilitet; ikke fremme biologisk vekst; lavt utslipp av organiske forbindelser og lav tetthet. For å lykkes med denne oppgaven, er det nødvendig med god materialforståelse og kunnskap både det som gjelder ny mørtel og originale materialer (Biçer-Şimşir & Rainer, 2013, s. 8).

3.3 Tilpasning og modifisering av injeksjonsmørtler

Enkelte artikler beskriver metoder for stedstilpasning av injeksjonsmørtler. Dette gjelder både egenkomponerte mørtler spesielt tilpasset et bruksområde eller det å bearbeide kommersielle produkter.

Et eksempel på tilpasning og modifisering av injeksjonsmørtel til et spesifikt objekt er å finne i Hackers diplomoppgave ved University of Applied Science in Potsdam, som omhandler konservering av et middelaldersk veggmaleri (Hacker, 2010). Forfatteren undersøker ulike injeksjonsmørtler, deriblant

rene kommersielle produkter (som anvisning på produktet) samt modifiserte kommersielle produkter, ved å bruke tilpassede testmetoder.

Arbeidet er ett av få som bruker konkrete tallverdier fra analyser av kommersielle injeksjonsmørtler, og sammenligner disse med verdiene og egenskaper til originalmaterialet (middelalderpuss). Testresultatene kan fungere som et godt grunnlag for å vurdere egenskapene til enkelte injeksjonsmørtler, inkludert kommersielle produkter. Hacker bruker forskjellige modifiserte standardtester for materialstyrke for å vurdere styrken til både original middelalderpuss og injeksjonsmørtelprøver. Han forholder seg til at styrken av injeksjonsmørtelen bør være lavere enn respektive verdier til originalpussen (Hacker, 2010, s. 109).

Hacker kommer til den konklusjonen at injeksjonsmørtlene KSE 500 STE - Modul-Systems®, PLM-A® og Ledan LD2® ikke bør brukes til konservering av det undersøkte objektet, da disse var betydelig sterkere enn originalpussen. Kun injeksjonsmørtelprøven av CalXnova, optimalisert med hule glasskuler, og PLM-AL viste en materialstyrke som tilsvarte originalpussen eller var svakere. Hacker fremhever også den lave vekten til de to sistnevnte injeksjonsmørtlene som en fordel. I sitt prøvelfelt brukte han CalXnova- injeksjonsmørtel modifisert med hule glasskuler for større hulrom (opptil 2 cm) og PLM-AL for injeksjon i smalere hulrom (Hacker, 2010).

Modifisering av injeksjonsmørtler har også blitt undersøkt av Pasion et al. (Pasion, Piqué, & Jornet, 2017). I denne studien ble det undersøkt om og i hvilke forhold vann kan erstattes med etylalkohol (etanol) i injeksjonsmørtler for bruk i tilfeller med saltbelastede vegger og vannsensitive materialer, og hvilken effekt dette eventuelt har på mørtlenes egenskaper. Vann spiller en essensiell rolle i herdingen av mørtel, samt i å forbedre mørtelens evne til å la seg injisere. Det er kjent at vann kan mobilisere vannløselige salter og lede til skade ved krystallisering av saltene under tørking. Vann kan også være problematisk dersom originalmaterialene er vannsensitive. Etylalkohol løser salter i mindre grad enn vann, og påvirker generelt sett ikke de originale materialene. Overflødig vann kan i tillegg lede til større grad av krymping av materialet under herdeprosessen samt føre til segregering av komponenter innad i mørtelen (Pasion, Piqué, & Jornet, 2017).

I studien ble modifikasjoner av ulike injeksjonsmørtler undersøkt, inkludert to ferdigblandede kommersielle injeksjonsmørtler med hydraulisk kalk som bindemiddel; PLM-A og LEDAN RI.STAT BASE B, da disse er ofte brukte injeksjonsmørtler blant konservatorer. Videre ble en egenkomponert blanding med lesket kalk testet. Mengden vann i de ulike injeksjonsmørtlene ble i forskjellig grad erstattet med etylalkohol (50% vann - 50% etylalkohol eller 25% vann – 75% etylalkohol) Mørtlene hvor vann ble erstattet med etylalkohol ble sammenlignet med mørtler fremstilt kun med vann, altså ingen erstatning med etylalkohol (Pasion, Piqué, & Jornet, 2017).

Egenskapene til de ulike mørtelblandingene ble evaluert kvalitativt og kvantitativt, etter standarder som var tilpasset injeksjonsmørtler, og resultatene viste generelt sett at det er fullt mulig å delvis erstatte vann med etylalkohol uten at det forverrer mørtelens egenskaper nevneverdig. Resultatene viste at de mørtlene med deler etylalkohol generelt sett var lettere å injisere enn de med bare vann, og hadde gode arbeidsegenskaper. Samtidig viser resultatene, dog ikke helt konsekvent, at mørtlene blir noe sterkere av tilsetningen av etylalkohol, men at dette somregel er adekvat. Injeksjonsmørtler med etylalkohol kan dermed mulig brukes in-situ om tester utføres for det spesifikke objektet, og er særlig nyttig å vurdere i saltbelastede områder eller ved vannsensitive materialer. Hvilken rolle etylalkohol i injeksjonsmørtelen faktisk spiller er imidlertid ikke lett å tolke, da det er uvisst hva de kommersielle mørtlene inneholder. Det antas at etylalkohol reagerer med komponenter i disse mørtlene. De ukjente ingrediensene i de kommersielle injeksjonsmørtlene kan derfor sies å være en begrensende faktor i forskningen.

For videre innsikt når det gjelder egenkomponerte injiseringsmørtler, refereres det til Pasiens artikkel «Injection Grouting for Delaminated Wall Paintings: Approach, Design, Challenges» (2020). Typiske ingredienser i en egenkomponert injiseringsmørtel, samt deres karakteristiske egenskaper og hvordan

ulike komponenter kan brukes til å tilpasse mørtelen til spesifikke behov, beskrives i detalj. Selv om det (som nevnt tidligere) ikke finnes egne standardtester for injiseringsmørtel, beskrives her laboratorie- og felttester som kan bidra til å tilpasse injiseringsmørtelen til en spesifikk oppgave, etter kjennskap til de originale materialene (Pasian, 2020).

3.4 Testing og evaluering av injeksjonsmørtler

Utfordringer knyttet til undersøkelse og evaluering av injeksjonsmørtler er tatt opp i en rekke artikler. Et utvalg vil bli belyst her. Mangelen på internasjonale teststandarder for injeksjonsmørtler for konserveringsformål blir ofte trukket frem som en utfordring (Padovnik, Piqué, Jornet, & Bokan-Bosiljkov, 2016). Som nevnt tidligere, brukes ofte modifiserte standardtester utviklet for andre materialer (for eksempel mørtel eller sement), når egenskapene til en injeksjonsmørtel testes. I tillegg er ingen grenseverdier eller kriterier for å evaluere og sammenligne arbeidsegenskaper blitt spesifikt definert. Videre er det gjort begrenset forskning for å vurdere nytten og overførbarheten av disse modifiserte laboratorietestmetodene til et reelt scenario.

I forlengelsen av forskningsprosjektet om injeksjonsmørtler og publikasjonen "Lime-based injection grouts for the conservation of architectural surfaces" (Biçer-Şimşir, Griffin, Palazzo-Bertholon, & Rainer, 2009), utviklet Getty-instituttet en manual for laboratorie- og felttestmetoder for testing av kalkbaserte hydrauliske injeksjonsmørtler for behandling av bompartier og løse pussoverflater i arkitektoniske overflater (Biçer-Şimşir & Rainer, 2013).

Laborarietestene bygger på modifiserte standardmetoder innen materialtesting, tilpasset kalkbaserte hydrauliske injeksjonsmørtler. Dette skal også gjøre det lettere å sammenligne forskjellige injeksjonsmørtlers egenskaper. Ved utviklingen av felttestene ble det vektlagt at disse skulle være enkle å utføre med enkle metoder og utstyr som konservatorer lett kan ha tilgjengelig, også in-situ.

Her beskrives flere metoder som anbefales for testing av kalkbaserte hydrauliske injeksjonsmørtler. Den skal fungere som referanse både for testing i laboratoriet og in-situ, for å teste, evaluere og velge egnede injeksjonsmørtler for behandling av løs puss og bompartier i arkitektoverflater (Biçer-Şimşir & Rainer, 2013).

I artikkelen (Pasian, Padovnik, Piqué, & Jornet, 2016) undersøkes repeterbarheten og reproducerbarheten til forskjellige testprosedyrer for injeksjonsmørtler. Repeterbare og i de fleste tilfeller reproducerbare tester ble utført på tre forskjellige injeksjonsmørtler i flytende tilstand (arbeidsegenskaper) og i herdet tilstand (ytelseskriterier). Ett nyttig resultatene fra denne artikkelen viser at resultatene i enkelte tilfeller er forskjellige avhengig av operatøren som utfører oppgaven. Lignende resultater gis av Padovnik og Bokan Bosiljkov (2019) hvor det også blir vektlagt hvor stor påvirkning operatør har på resultatene. Det vises til at håndblanding er mye mer upresist en blanding med for eksempel en kjøkkenblander.

Pasian et al. (Pasian, Piqué, Cather, & Jornet, 2019) beskriver hvordan laborarietester utført på injiseringsmørtel er lite representative for virkelige tilfeller in-situ, hvor mørtelen herder mellom to, ofte komplekse historisk lag puss. For å simulere et scenario mer likt virkeligheten, ble det her produsert 'sandwich eksemplarer' i laborariet, hvor mørtelen kunne bli injisert og herde mellom to lag. En rekke tester ble utført på prøvene etter herding, blant annet for vedheft. Ved å undersøke *hvor* i stratigrafien et brudd oppstår i en vedheft-test (innad i den påførte mørtelen, mellom mørtelen og original puss, eller innad i original puss), kan man vurdere om mørtelens styrke er kompatibel med de originale materialenes styrke. I tillegg kan man undersøke de forskjellige materialenes porøsitet, som igjen kan indikere hvordan det forventes at mørtelen vil transportere vanddamp eller absorbere vann, samt si noe om dens mekaniske styrke. Denne måten å teste injiseringsmørtler på kan være en mulig innledende metode for å forsøke å forstå hvordan mørtelen *kan* oppføre seg i praksis, og om man eventuelt bør tilpasse mørtelen til den spesifikke problemstillingen man står ovenfor (Pasian, Piqué, Cather, & Jornet, 2019).

Det er klart at injeksjonsmørtler alltid vil oppføre seg annerledes når de brukes på et reelt objekt med nedbrutte heterogene materialer i forhold til i en laboratoriesammenheng. Dette er fordi originale porøse materialer og stratigrafien danner et komplekst system i varierende og ofte ukontrollerte klimatiske forhold, som ikke kan simuleres fullt ut med laboratorie- eller felttester. Dette resulterer i at det kan være høyst usannsynlig at en injeksjonsmørtel som viser seg å være egnet i laboratorietester vil oppføre seg likt etter injisering i vegg, og dermed gjør det oppgaven med å finne et fullstendig egnet produkt vanskelig å kontrollere. For å tilnærme seg denne problemstillingen er det derfor helt nødvendig å klart definere kriterier basert på premissene in-situ og forstå de originale materialene og deres tilstand for å tilnærme seg den kompliserte oppgaven det kan være å velge en passende injeksjonsmørtel til et gitt objekt. I tillegg kan det være utfordrende å evaluere resultatet av tiltaket, da dette ikke er synlig for betrakteren. Metoder som brukes for å vurdere resultatet er ofte enkle akustiske tester, men det finnes også mer avansert teknologi som kan brukes til å undersøke resultatet (Papayianni, et al., 2023). Dokumentert evaluering av injeksjonstiltak og over tid, beskrives som svært begrenset. De få studiene som omhandler dette, ifølge forfatterne, er som oftest blitt utført ett år etter behandlingen fant sted og beskriver i hovedsak visuelle observasjoner, taktile undersøkelser etter nye hulrom og tester for å vurdere vedheft (Biçer-Şimşir, Griffin, Palazzo-Bertholon, & Rainer, 2009).

4 Kommersielle injeksjonsmørtler

Det finnes flere kommersielle injeksjonsmørtelprodukter på markedet som er spesielt utviklet for konsolidering av løs puss i forbindelse med konservering av historiske muralmalerier.

Det finnes lite uavhengige analysedata om de ulike produktene, og informasjon om innholdsstoffer og egenskaper er i det følgende i hovedsak basert på produsentenes opplysning. Disse opplysningene kan være utydelig eller mangelfull.

4.1 Produktserien Ledan

LEDAN® produseres av det italienske selskapet Tecno Edile og er et resultat av nasjonale forskningsplaner fremmet av det italienske departementet for akademisk, vitenskapelig og teknologisk forskning, samt samarbeid med departementet for kulturarv og kulturaktiviteter, ISCR (Restoration Central Institute), Opificio delle Pietre Dure, lokale tilsynsmyndigheter og konserveringsfirmaer.⁴

Produktserien for injeksjon i hulrom og sprekker i puss omfatter flere produkter, som dekker ulike behov, som f. eks ulike hulromstørrelser, og vekt.⁵

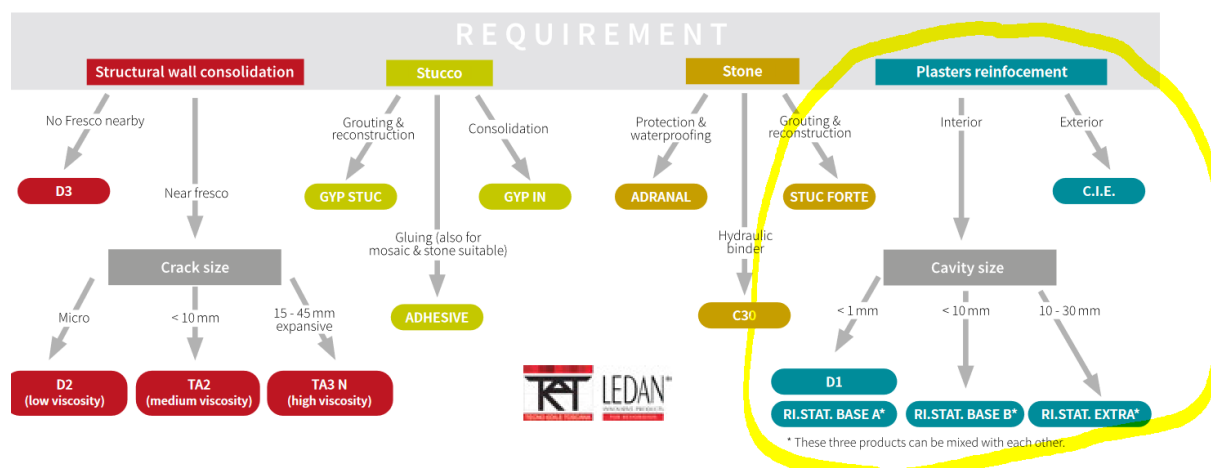
Ifølge produsenten består sammensetningen av ulike typer kalk, spesielle hydrauliske bindemidler tilslag av finkornet kvartssand, fine pozzolaner og spesielle tilsetningsstoffer, som alle er kjemisk stabile og som inneholder spesielt lite løselige salter.⁶

Det ferdige produktet må blandes med vann i henhold til oppskriften.

⁴ <https://www.tecnoediletoscana.com/de/d1/>

⁵ https://deffner-johann.de/media/datasheets/4220000/DE/Zusatzinformation_Ledan_DE_DJ.pdf

⁶ <https://www.tecnoediletoscana.com/de/ristat-extra/>



Figur 1: Oversikt over produktserien Ledan. Produktene som er til konsolidering av historisk puss og muralmalerier er merket med gult. Kilde: https://deffner-johann.de/media/datasheets/4213015/EN/Additional%20Information%20Ledan_EN_DJ.pdf

4.2 Produktserie PLM

PLM produseres av det italienske firma CTS.

Produktserien omfatter flere produkter, som dekker ulike behov ved konsolidering av puss og muralmalerier, som f. eks ulike hulromstørrelser, styrke og vekt:

Mörtel PLM-A = A stands for AFFRESCO (=Fresko)

Mörtel PLM-AL = AL stands for AFFRESCO LEGGERO (=helles Fresko)

Mörtel PLM-I = I stands for INTONACO (=Putz)

Mörtel PLM-M = M stands for MURATURA (=Mauerwerk)

Mörtel PLM-S = S stands for STUCCO (=Stuck)

Mörtel PLM-SM = SM stands for STRATO (preparatorio di) MOSAICO (=vorbereitende Schicht für Mosaik)

Ifølge produsenten består sammensetningen av naturlig kalk uten løselige salter, med utvalgte tilslag og tilsetningsstoffer som endrer de reologiske egenskapene.⁷

Produsenten hevder på sin nettside, at studier utført i samarbeid med Institutt for materialteknologi ved Universitetet i Trento i Italia har bekreftet at PLM-A-injeksjonsmørtel oppfyller de tekniske kravene som stilles av institusjoner med ansvar for vern og bevaring av monumental kulturarv.⁸

4.3 CalXnova

Ifølge leverandøren (Deffner og Johan) er CalXnova en høykvalitets, ferdigblandede injeksjonsmørtler for utvendig og innvendig bruk, basert på dispergert hvitt kalkhydrat. Sammensetningen er beskrevet som følgende: Dispergert, hvitt kalkhydrat, mineralske fyllstoffer, vann, tilsetningsstoffer for bedre arbeidsegenskaper (cellulose-eter, overflateaktivt middel) < 0,5 %.⁹

Det er ingen opplysninger om produsenten tilgjengelige.

⁷ <https://ctsconservation.com/it/plm/6721-plm-a-conf-15-kg.html>

⁸ <https://www.ctseurope.com/gb/274-plm-a>

⁹ https://deffner-johann.de/media/datasheets/4227001/DE/4227001_Technisches%20Datenblatt_CalXnova%20KalkInjektionsmoertel_DE_DJ.pdf

I praksis blant konservatorer er det en oppfatning om at CalXnova, som blandes etter instruksjonene ("Fortynnes med maks. 10 % vann til arbeidskonsistens.") ikke er egnet for injeksjon, og mange konservatorer fortynner derfor injeksjonsmørtelen ytterlig.

(Marzniak-Piaszczyński, 2000) fremhever produktets gode frostbestandighet og motstand mot vann og salter, og hun har funnet ut at "selv med ufullstendig karbonisering oppnås høyere mekanisk styrke enn med ikke-dispergerte masser" (Marzniak-Piaszczyński, 2000, S. 42).

(Egloffstein, 2000) bekrefter med sine undersøkelser produktets renhet og lav andel av tilsetningsstoffer, samt at produktets evne til å herde i et hulrom med begrenset karbondioksidtilførsel.

4.4 Injeksjonsmørtel fra Calchère San Giorgio

Gjennom kontakt med kolleger i Østerrike og Sør-Tyrol ble vi gjort oppmerksom på en ny injeksjonsmørtel, som lages av Calchère San Giorgio (Italia). Calchère San Giorgio tilbyr flere injeksjonsmørtler for ulike typer tiltak.

For sikring av historiske puss- og freskolag finnes tre produkter: 'Injeksjonsmørtel 50' som standard, 'Injeksjonsmørtel 50 Plus' med økt heftevne, og 'Injeksjonsmørtel lett' for fylling i hvelv og tak. Ifølge produsenten er injeksjonsmørtlene basert på hydraulisk puzzolankalk, fritt for forurensninger, sulfater, vannløselige salter, og alle typer sement og klinkeavledninger.¹⁰

4.5 CaLoXiL Injeksjonsmørtel

CaLoXiL injeksjonsmørtel produseres av IBZ-Salzchemie (Tyskland). Ifølge produsenten er denne injeksjonsmørtelen basert på en gradert blanding av hvit hydratkalk, ulike marmormeltyper og CaLoSiL® nanokalk. Produsenten hevder at produktene er fritt for hydrauliske bindemidler og organiske bindemiddel, og fremhever mørtelens høye vandampdiffusjonskapasitet, et kapillæraktivt porerom, god vedheft til mineralske og absorberende underlag samt lav krymping og høy motstand mot fryse- og tinesykluser.¹¹

Det finnes to typer injeksjonsmørtler: 'CaLoXiL Injektionsmörtel Klassik'¹² for fylling av sprekker, hulrom og delaminasjoner, og 'CaLoXiL Injektionsmörtel WF/extrafein'¹³ med redusert vanninnhold og ekstra fint tilslag. Ifølge produsenten forbedrer denne reduksjonen av vanninnholdet flyteevnen og gjør det mulig å bruke injeksjonsmørtelen på vannsensitive materialer eller saltbelastede områder.

5 Konklusjon

Litteraturgjennomgangen viser at det er stor enighet i fagmiljøet om hvilke krav som stilles til injeksjonsmørtler for behandling av bompertier i historiske pusslag, både når det gjelder de generelle arbeidsegenskapene mørtelen må ha i flytende tilstand samt de egenskapene som kreves i herdet tilstand (ytelsesegenskaper). Det understrekes også viktigheten av å tilpasse disse kravene til hvert enkelt tilfelle man står ovenfor, som involverer en grundig skadeanalyse hvor materialer og skadeårsaker undersøkes nøye. Muralmalerier er komplekse systemer som ikke kan vurderes isolert fra bygningsmassen, men må vurderes i sammenheng med bygningens tilstand og forholdene på stedet, som fuktforhold i murverket (inkludert vannløselige salter), klimatiske forhold samt tilstanden til de forskjellige materialene veggen består av. I den sammenhengen ser vi RILEM-rapporten

¹⁰ https://www.calcherasangiorgio.de/storage/products/docs/TDB_CSG-02-injektionsmoertel-50_QD9.pdf

¹¹ <https://www.calosil.de/caloxil>

¹² https://www.calosil.de/files/public/downloads/Englisch/CaLoXiL/TDS_CaLoXiL_Injection_grout_classic.pdf

¹³ https://www.calosil.de/files/public/downloads/Englisch/CaLoXiL/TDS_CaLoXiL_injection_grout%20water_reduced.pdf

(Papayianni, et al., 2023) som en grunnleggende veileder for behandling av bompartier og løs puss i historiske arkitekturoverflater.

I hovedsak finnes tre ulike muligheter: Kommersielle produkter (blandet og brukt etter produsenters anbefaling), modifiserte kommersielle produkter (kommersielle produkter modifisert av brukeren for å tilpasse et konkret krav) eller egenkomponerte injeksjonsmørtler (mørtler som produseres selv for å møte stedsspesifikke krav). Det finnes kommersielle produkter utviklet til å møte de forskjellige problemstillingene (som ulik styrke, tetthet og vekt). Det kommer frem at de kommersielle produktene er mye brukt i praksis, gjerne begrunnet med at de er nøye testet, lett tilgjengelige og enkle å bruke (gode flyteegenskaper og lett å blande), samt at egenskapene skal være kontrollerbare og konstante, så lenge man følger produsentens instruksjoner. Men det hersker i enkelte tilfeller skepsis da fullstendig liste over ingredienser ikke er tilgjengelig. Det trekkes frem at ved egenkomponerte produkter er fordelene at konservatoren kjenner alle ingrediensene og kan skreddersy behandlingen til det enkelte formål. Dette krever imidlertid god erfaring og materialforståelse, samt nøye uttesting før bruk.

Generelt sett viser litteraturen at produkter fra Ledan-serien ofte ansees som for sterk/hard i forhold til originale materialer, mens PLM-A/PLM-AL har i noen undersøkelser vist lav nok styrke i forhold til originale materialer. Det er viktig at hvert enkelt tilfelle vurderes nøye før valg av injeksjonsmørtel, da flere faktorer spiller inn som for eksempel volumet på hulrommet som skal fylles og tykkelsen på lagene.

Mangelen på internasjonale standarder for testing og evaluering av injeksjonsmørtler blir gjentatte ganger tatt opp. Ofte brukes standardmetoder utviklet for å teste andre materialer som sement og mørtler, som har andre krav enn injeksjonsmørtler. En viktig observasjon i denne sammenheng er at resultater av laboratorietester sjeldent lar seg overføre til praksis, muligens grunnet i vidt forskjellige forhold i laboratoriet i motsetning til innad i en porøs og kanskje nedbrutt struktur.

Getty-instituttets håndbok for evaluering av injeksjonsmørtler (Biçer-Şimşir & Rainer, 2013) vurderer vi som et godt utgangspunkt for å teste injeksjonsmørtler i prosessen for å finne en egnet injeksjonsmørtel tilpasset originalmaterialene. I praksis vil man imidlertid møte utfordringer når det kommer til testing av originalmaterialer; det er ikke alltid mulig å ta materialprøver fra originalpussen, særlig ikke den størrelsen og tilstanden som kreves for å teste de egenskapene som er viktige i denne sammenheng, som styrke og tetthet/porøsitet. I tillegg kan et begrenset budsjett eller tidshorisont legge en stoppe for utførelse av materialtester.

Når det gjelder vurdering og tilpasning av injeksjonsmørtler til et spesifikt objekt er diplomoppgaven til Hacker (2010) et godt eksempel, og kan være en nyttig kilde for generelle materialegenskaper til flere injeksjonsmørtler, samt en rekke kommersielle produkter. Objektet ga også muligheten å teste originalpussens styrke, slik at Hacker kunne sammenligne de ulike injeksjonsmørtlenes styrke mot originalmaterialet, en middelalder puss. I denne sammenheng viste Calxnova (med hule glasskuler) og PLM-AL å være produkter kompatible med originalpussen (basert på tester utført). Ifølge testene viste derimot både KSE-modulsystem (basert på kiseltsyre, ikke kalk) og Ledan-produktene for høy styrke i forhold til originalmaterialene. Det er mulig Ledan-produktenes høye styrke kommer av tilsatt sementandel, uten at dette er oppgitt i produktenes innholdsfortegnelse; noe som hadde vært interessant å finne ut.

Et viktig funn i Hackers publikasjon er at testverdiene viste seg å være vidt forskjellige i laboratoriesetting versus etter herding i strukturen in-situ. Dette gjør at man kan stille spørsmål ved verdien av laboratorietesting, da parametrene i laboratoriet og en veggstruktur ser ut til å være så vidt forskjellige at det påvirker testresultatene i betydelig grad. I det minste kan laboratorietestene brukes til å sammenligne ulike injeksjonsmørtler seg imellom, og peke på tendenser.

I flere artikler understrekes skepsisen til mengden vann som bukes i en slik behandling (vann kan som nevnt mobilisere salter som igjen kan krystallisere ved tørking og forårsake skader). Det har, særlig i

tilfeller med svært saltbelastede konstruksjoner, blitt utført tester hvor vann delvis har blitt erstattet med etanol (som i mindre grad mobiliserer løselige salter). Dette har vist gode resultater, selv om erstatning av vann med etanol påvirket materialeegenskapene. Undersøkelsene er kun gjort i laboratoriet, og et videre spørsmål kan være hvordan dette hadde fungert in-situ.

Det viser seg at testresultater fra laboratoriet sjeldent lar seg overføre i sin helhet til et reelt objekt, hvor flere parametere påvirker injeksjonsmørtelen både når det gjelder arbeidsegenskaper og også hvordan den herder inne i strukturen, ofte med ukontrollerbare eller ukjente faktorer til stede som fukt, salter og varierende tilstand på originalmaterialene. Det gjør at man kan stille seg usikker til laboratorietestenes relevans. På den annen side er laboratorie- og felttester gode og viktige utgangspunkt i valg av egnet injeksjonsmørtel, sammen med god kunnskap om originalmaterialene og deres tilstand, samt hva som driver nedbrytning.

I tillegg til dette, er det vanskelig å evaluere resultatet av selve tiltaket (vurdere om tiltaket har vært vellykket er vanskelig å kontrollere da injeksjonsmørtelen herder under arkitekturoverflaten). Dette blir som regel gjort med akustisk test (lett banking på overflaten for å undersøke om området er tett eller hult). Tiltaket er ikke-reversibelt og eventuelle mangler som oppdages ved undersøkelser (både rett etter behandling eller over tid) kan være vanskelige å behandle på ny. Generelt er det få/ingen publiserte langtidsstudier som evaluerer resultatet av en behandling med injeksjonsmørtler over flere år.

Avslutningsvis vil vi understreke at det kreves forståelse for hvilket system mørtler injiseres i. Tilstandsanalyse og behandling av muralmalerier skal derfor kun utføres av muralmalerikonservator, som har kunnskap om mineralske materialer, puss og kalk med maleri på.

6 Veien videre

For å gå videre med behandling av muralmaleriene i norske middelalderkirker er det nødvendig å implementere metodene og prosedyrene beskrevet i RILEM-rapporten og i Getty-instituttets prosjekt i vårt arbeid. I den grad det er mulig, bør injeksjonsmørtler tilpasses de enkelte problemstillingene (inkludert prøvetaking av originalmaterialer). Et konkret tilfelle kan være ved tilstedeværelsen av gips fra tidligere restaureringer (observert i Enebakk kirke) som kan reagere med injeksjonsmørtelen, for eksempel ved innhold av sement (dette kan som nevnt tidligere være uvisst, da innholdsfortegnelse ikke er kjent). Et annet konkret tilfelle kan være å erstatte deler av vannet i injeksjonsmørtelen med etanol for bruk i svært saltbelastede vegger, som Tingvoll kirke er et eksempel på (Kaun, 2022).

Når det gjelder kommersielle produkter bør flere av produktene beskrevet i denne rapporten testes for mulig bruk i norske middelalderkirker. Sammensetning av kommersielle produkter bør analyseres, særlig for å undersøke hydrauliske komponenter og eventuell tilstedeværelse av sement.

Langtidsstudier av utført tiltak er lite forsket på og kan være svært nyttig. Hva har fungert, hva har ikke fungert og hvorfor, kan være interessante spørsmål å vurdere direkte etter utført tiltak og over tid.

Undersøkelse og analyse av historisk puss generelt (middelalder og etter-reformatorisk), vil være nyttig, særlig med tanke på materialeegenskaper, sammensetning og eventuelle generelle trender observert i historisk puss. Dette for å bedre forstå forholdene i norske middelalderkirker, og kan på lang sikt fungere som et empirisk grunnlag for valg av injeksjonsmørtler, da man ikke alltid kan ta prøver av muralmalerier.

7 Bibliografi

- Biçer-Şimşir, B., & Rainer, L. (2013). *Evaluation of Lime-Based Hydraulic Injection Grouts for the Conservation of Architectural Surfaces. A Manual of Laboratory and Field Test Methods*. The Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- Biçer-Şimşir, B., Griffin, I., Palazzo-Bertholon, B., & Rainer, L. (2009). Lime-based injection grouts for the conservation of architectural surfaces. *Studies in Conservation*.
- Caroselli, M., Ruffolo, S., & Piqué, F. (2021, oktober 13). Mortars and lasters - how to manage mortars and plasters conservation. *Archaeological and Anthropological Sciences*, s. 20.
- Egloffstein, P. u. (2000). Hinterfüllmörtel für die Konservierung mittelalterlicher Verputze. I *Dispergiertes Weißkalkhydrat. Altes Bindemittel - Neue Möglichkeiten* (ss. 87-98). Michael Imhof Verlag : Jägers, Elisabeth.
- Hacker, B. (2010). *Die mittelalterliche Wandmalerei der Kirche Sveta Marija od Lokve. Schadensermittlung, Erstellung eines Konservierungs- und Restaurierungskonzepts unter Berücksichtigung des ursprünglichen Kalkputzes mit calcitisch gebundenen Zuschlägen, Anfertigung einer*. Potsdam: Diplomarbeit FH Potsdam.
- Kaun, S. (2021). *NIKU Oppdragsrapport 122/2021. AF 34 Enebakk kirke. Tilstandsvurdering og undersøkelser av kalkmaleriene*. Oslo: NIKU.
- Kaun, S. (2022). *NIKU Rapport 158. A340 Tingvoll kirke. Akuttsikring av kalkmalerier på skippets nordvegg*. Oslo: NIKU.
- Marzniak-Piaszczyński, E. (2000). 'Injektionsmassen auf der Basis von dispergiertem Kalkhydrat. Einfluß des Dispergierens auf die physiko-mechanischen Eigenschaften ausgewählter Massen. In *Dispergiertes Weisskalkhydrat für die Restaurierung und Denkmalpflege. Altes Bindemittel – neue Möglichkeiten*. Michael Imhof Verlag: Elisabeth Jägers.
- Padovnik, A., & Bokan Bosiljkov, V. (2019). Efficiency of field test methods for evaluation of non-structural injection grouts in Slovenian conservation practice. *5th Historic Mortars Conference 19-21 June 2019*, (p. 15). Pamplona, Spain.
- Padovnik, A., Piqué, F., Jornet, A., & Bokan-Bosiljkov, V. (2016). Injection Grouts for the Re-Attachment of Architectural Surfaces with Historic Value - Measures to Improve the Properties of Hydrated Lime Grouts in Slovenia. *International Journal of Architectural Heritage*, ss. 993-1007.
- Papayianni, I., Biçer-Şimşir, B., Jornet, A., Groot, Caspar, Valek, J., Bokan-Bosiljkov, V., . . . Pachta, V. (2023, 56(1)). RILEM TC 243-SGM report: Grouting for historic architectural surfaces. *Materials and Structures*, s. 17.
- Pasian, C. (2020). Injection Grouting for Delaminated Wall Paintings: Approach, Design, Challenges. *CONSERVATION INSIGHTS 2020 Lectures*, pp. 114-123.
- Pasian, C., Martin de Fonjaudran, C., & Rava, A. (2020, Vol. 65 No. S1). Innovative Water-Reduced Injection Grouts for the Stabilisation of Wall Paintings in the Hadi Rani Mahal, Nagaur, India: Design, Testing and Implementation. *STUDIES IN CONSERVATION*, ss. 244-250.
- Pasian, C., Padovnik, A., Piqué, F., & Jornet, A. (2016). Repeatability and reproducibility in measuring injection grouts properties: three grouts, two operators. *Proceedings of the 4th Historic Mortars Conference*, (ss. 598-605). Santorini, Greece.

Pasian, C., Piqué, F., & Jornet, A. (2017). Non-Structural Injection Grouts with Reduced Water Content: Changes Induced by the Partial Substitution of Water with Alcohol. *Studies in Conservation*, ss. 43-54.

Pasian, C., Piqué, F., Cather, S., & Jornet, A. (2019). A 'Sandwich' Specimen Preparation and Testing Procedure for the Evaluation of Non-Structural Injection Grouts for the Re-Adhesion of Historic Plasters. *International Journal of Architectural Heritage*, ss. 15:455–466.

Norsk institutt for kulturminneforskning er et uavhengig forsknings- og kompetansemiljø med kunnskap om norske og internasjonale kulturminner.

Instituttet driver forskning og oppdragsvirksomhet for offentlig forvaltning og private aktører på felter som by- og landskapsplanlegging, arkeologi, konservering og bygningsvern.

Våre ansatte er konservatorer, arkeologer, arkitekter, ingeniører, geografer, etnologer, samfunnsvitere, kunsthistorikere, forskere og rådgivere med spesiell kompetanse på kulturarv og kulturminner.

www.niku.no

NIKU Rapport 329

NIKU hovedkontor
Storgata 2
Postboks 736, Sentrum
0105 OSLO
Telefon: 23 35 50 00

NIKU Tønsberg
Farmannsveien 30
3111 TØNSBERG
Telefon: 23 35 50 00

NIKU Bergen
Dreggsallmenningen 3
Postboks 4112, Sandviken
5835 BERGEN
Telefon: 23 35 50 00

NIKU Trondheim
Kjøpmannsgata 1b
7013 TRONDHEIM
Telefon: 23 35 50 00

NIKU Tromsø
Framsenteret
Hjalmar Johansens gt. 14
9296 TROMSØ
Telefon: 77 75 04 00