

Bacheloroppgaven
Teknisk bygningsvern og restaurering

NTNU

Fakultet for teknologi

Institutt for bygg og miljø

François Guillot

Prosjekt 12- 2016

Restaureringsmørtel for kleberstein

Restoration mortar intended for soapstone



3 deler
0,5 - 1mm



2 deler
0 - 0,063mm



1 1/4 deler
Akryl

Trondheim mai 2016



FAKULTET FOR TEKNOLOGI

Institutt for bygg og miljø

7491 Trondheim

Besøksadresse: Arkitekt Christies gt. 2

RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Prosjektnummer

12 - 2016

Forfatter

François Guillot

Oppdragsgiver eksternt:

Nidaros Domkirkes Restaureringsverksteder

Dato levert

25.5.2016

Besvarelsen består av

En rapport = 1

Vedlegg = 2

Plakat A3 = 1

Veileder internt:

Harald Høgseth

Rapporten er ÅPEN

Stikkord fra prosjektet

Kalk, akryl, tilslag, kleberstein, konservering, bygningsvernfilosofi

Forord

Denne bacheloroppgaven i teknisk bygningsvern og restaurering tar for seg en aktuell problemstilling fra min arbeidsdag som murer ved Nidaros domkirkes restaureringsverksted (NDR). Kan man ved restaurering av skader på kleberstein bruke en restaureringsmørtel og på denne måten holde inngrepet på et minimum slik at man unngår å fjerne større deler av steinen som for eksempel ved innfelling? I så fall hvilke egenskaper bør man legge vekt på ved valg av oppskrift og metode? Veileder for oppgaven har vært Harald Høgseth ved institutt for bygg og miljø ved NTNU, men også kollegaer ved NDR har bidratt med kunnskap og gode råd; Kristin Bjørlykke, Ronald Hübner og den berømte «professor» Aarlot Digre som alle har vært sentrale i selve utviklingsprosjektet.

Sammendrag

Restaurering av eldre steinbygninger byr på utfordringer når man forsøker å konservere dem. Helt siden etableringen av bygghytta ved Nidarosdomen i 1869 begynte murene der å ta i bruk sement både til restaurering av eldre deler og til oppbygging av forsvunne partier av Nidarosdomen.

Sementen herdet fort og hadde stor styrke. Dette materialvalget viste seg etterhvert å bli årsak til mange små og store skader på murverket. Tettheten hindrer fukt å sirkulere i muren og vannet sprenger ved frost. Stiv sement hindrer murverket i å bevege seg og det dannes sprekker.

Sementbasert mørtel gjør videre demontering av murverk til et risikabelt inngrep: alt for godt heft skader steinen. Det er blant annet dette som gjør at vi i dag kvalifiserer sement som et irreversibelt materiale.

Bruken av sement i tidligere utført restaurering er en av hovedårsakene til at det ble besluttet at Kongeinngangen på Nidarosdomens sørfasade skulle demonteres helt og mures opp på nytt.

Demontering av denne portalen startet for fem år siden og er nå avsluttet. I tillegg til kjente skader fra tidligere, oppsto det svært mange mindre skader som følge av selve demonteringen. Nidaros domkirkes restaureringsarbeiders (NDR) forskningsavdeling arbeider for tiden med å avklare hvordan disse skadene skal håndteres for å kunne starte konservering av rundt 1800 demonterte steiner som utgjør Kongeinngangen. Arbeidet er planlagt ferdigstilt i 2020 og antall skader er stipulert til ca. 2500. Mindre steinskader kan utbedres blant annet ved hjelp av en restaureringsmørtel. Mørtelens sammensetning kan basere seg på enten autentiske eller moderne materialer og disse mulighetene er testet ut og vurdert i et eget prosjekt ved NDR.

Omfanget av denne type skader krever derfor effektive metoder for reparasjon tilpasset dagens krav som for eksempel lagringskapasitet og frakt fra lager til byggeplassen, men også til tidsbruk og brukervennlighet. Samtidig skal arbeidet som gjøres være i tråd med gjeldene bygningsvernfilosofi og verdier. Det kan stilles spørsmål om det er riktig å ta i bruk moderne, syntetiske materialer og i så fall under hvilke forutsetninger. Samtidig må det undersøkes om det finnes tradisjonelle metoder eller materialer som kan gi like gode resultater?

Oppgaven beskriver prosessen med å finne frem til en egnet restaureringsmørtel som kan benyttes i arbeidet med gjenoppbyggingen av Kongeinngangen.

Stikkord: Kalk, akryl, tilslag, kleberstein, konservering, bygningsvernfilosofi

Summary

Restauration of old stone buildings offer some problems. Ever since the restoration workshop of the cathedral of Nidaros was established in 1869 the masons began using Portland cement both when repairing old parts of the cathedral and building up new parts. Portland cement dried quickly and was very strong. This choice of material turned out to be cause of many small and big damages on the walls and construction of the cathedral. The density stopped moist from circulating in the walls, and the water freeze within causing further damages. Portland cement makes dismantle the walls risky; the strong mortar damages the stones. This is why we consider Portland cement an irreversible material.

The use of Portland cement used earlier was one of the main reasons the decision of completely dismantle the Kings entrance on the southern facade of the cathedral in order to rebuilt it using lime based mortar instead. Dismantling of the portal started five years ago and is complete. In addition to damages known from before dismantling many new damages occurred during dismantling. The restauration department of the cathedral of Nidaros (NDR) decides these days how these numerous damages will be treated in order to prepare the 1800 stones that make up the Kings entrance can start. Rebuilding the Kings entrance is expected to be complete in 2020, and the number of damages is calculated to approximately 2500. Smaller damages might be repaired using a restauration mortar. The recipe of the mortar might be based on either traditional or modern materials. These possibilities is being tested and considered in a project by NDR

The big number of damages demands therefore efficient methods in order to respond to the demands of stock, transportation, use of time and facility. At the same time, the work done must be according to conservation philosophy and values. Can modern, synthetic materials be chosen, and under witch circumstances. Are there more traditional methods and materials that can offer an equally good result?

This report describes the process of developing a restauration mortar that can be applied on when rebuilding the Kings entrance.

Keywords: lime, acrylic, aggregates, soapstone, conservation, building conservation philosophy

Innhold

Forord.....	III
Sammendrag.....	IV
Summary.....	V
Innhold.....	1
Figurliste.....	2
1. Innledning.....	3
1.1 Bakgrunn og kunnskapsbehov.....	3
1.2 Mål og problemstilling.....	5
1.3 Arbeidsmetode.....	5
1.4 Avgrensing.....	6
2. Reparasjon av skader på kleberstein.....	7
1.5 Kleberstein.....	7
1.6 Konserveringsbehov ved kongeinngangen.....	9
1.7 Eksisterende metoder.....	13
1.7.1 Akryl som bindemiddel.....	14
1.7.2 Kalk som bindemiddel.....	15
1.8 Referanseprosjekter.....	15
1.8.1 Lausannes rådhus.....	16
1.8.2 Friedenstein slott.....	16
1.8.3 Stavanger domkirke.....	17
3. Metodevalg i et bygningsvernfilosofisk perspektiv.....	19
4. Utvikling av en restaureringsmørtel.....	22
1.9 Beskrivelse av prosessen.....	23
1.9.1 Reversibilitet.....	23
1.9.2 Heft.....	24
1.9.3 Diffusjonsåpenhet.....	26
1.9.4 Estetikk.....	29
1.9.5 Holdbarhet.....	30
1.9.6 Veien videre.....	33
5. Konklusjon.....	35
6. Kilder.....	37
7. Vedlegg.....	39

Figurliste

1 Tabell som viser klebersteinens egenskaper	8
2 Nidarosdomen vestfront (foto NDR).....	8
3 Bergen domkirke (foto: panaramio.com, Aldo Feretto).....	9
4 Stavanger domkirke (foto: wikimedias commons)	9
5 Kongeinngangen ca 1890-1910 (foto: Severin Worm-Petersen, Digitalt museum)	10
6 Eksempel på skader grunnet sementbruk (foto: NDR)	11
7 Eksempel på vertikal sprekk (foto: NDR).....	11
8 Skade på stein, manglende hjørner og kanter (foto: NDR).....	12
9 Skade på profil (foto: NDR)	12
10 Tabellen viser systematisering av ulike typer skader (utformet av Øystein Digre)	12
11 Skade på stein, reparasjon testes (foto: NDR).....	13
12 Otto Röhm (til høyre) og Otto Haas (til venstre), kilde Rôhn & Haas Compagny	14
13 Lesket kalk (foto NDR)	15
14 Ulesket kalk (foto:NDR)	15
15 Rådhuset i Lausannes (foto: suisse-tourisme.com)	16
16 Friedenstein slott, Gotha (foto: thuringen.de).....	17
17 Bildet viser beskyttelseslag på murt fuge (foto: Rebecca Reid).....	18
18 Første lag med grov kalkmørtel: kastet på som våt mørtel (foto: Rebecca Reid)	18
19 Etter reparasjonen, tidligere steinreparasjonen ligger foran (foto: Rebecca Reid).....	18
20 Alternative løsninger for skader på murverk	20
21 Bildet viser fjerning av akrylbasert mørtel ved hjelp av etanol (Foto: Thibault Demoulin).....	24
22 Illustrasjonene viser test av heft for kalkbasert mørtel (Foto og figur: NDR)	25
23 Tabellen viser heftevne for ulike typer heftgrunn, tallene henviser til bæreevne (antall kilo) Tabellen er utformet av Øystein Digre, NDR	26
24 Bildet viser hvor fort vannet sprer seg i kleberstein (venstre) og akrylmørtel (høyre) (Foto:NDR).....	27
25 Akrylmørtel (foto:NDR)	27
26 Kleberstein (Foto NDR)	27
27 Test: evne til vannopptak (foto NDR).....	27
28 Bildene viser hvordan en skrapetest utføres og tester med hardhetsmåleren (Foto: NDR)	29
29 Fargeprøver (foto: NDR)	29
30 Bildet viser hvordan registrering av verdiene blir gjort i tabell og skjema (Foto: NDR).....	30
31 Hardhetsmåling (Tabell utformet av Øystein Digre)	31
32 Endelig oppskrift (illustrasjon Øystein Digre, NDR)	32
33 Akryl og tilslag blandes	34 Massen legges på skaden.....33
35 Mørtelen files	36 Ferdig resultat

1. Innledning

Nidarosdomen er Nordens største middelalderkirke.¹ Byggingen av kirkestedet startet rundt år 1100 og pågikk frem til 1328. Etter reformasjonen ble den katolske katedralen forlatt og forfallet startet. Gjenoppbyggingen av ruinen startet i midten av 1800-tallet under ledelse av arkitekten Schirmer. Han var den første av en rekke arkitekter som ledet restaureringen: Christian Christie, Olav Norhaugen, Helge Thiis med flere.

Konservering av Nidarosdomen utføres i dag av Nidaros domkirkes restaureringsarbeider (også kalt NDR) som ble opprettet i 1869. Verkstedet består av rundt 30 håndverkere: steinhuggere, tømrere, snekkere, gipsmakere, glassmestere (glassmaleri), murere og smeder.

1.1 Bakgrunn og kunnskapsbehov

Oppgavens tema og problemstilling tar utgangspunkt i et større prosjekt ved Nidaros Domkirke: restaurering av Kongeinngangen på søndre side av kirkens kor. Målet med oppgaven er å finne et egnet materiale til reparasjon av små skader på kleberstein ved Nidarosdomen og spesielt til Kongeinngangen som i dag er under restaurering. Den praktfulle portalen har siden 1869 gjennomgått tre omfattende restaureringer: i slutten av 1870-årene, mellom 1918 og 1922 og sist fra 1950 til 1959. Etter stadig nye sprekkdannelser ble det i 2012 bestemt at den beste måten å utbedre skadene innebar å demontere inngangen i sin helhet. Hensikten med et så omfattende tiltak er å kunne kvitte seg med to hovedkilder til den dårlige tilstanden på murverket: sementmørtel og grytdalstein. Grytdalstein er en kleberstein som ruster, noe som forårsaker skader på murverket.

Hoveddelen av skadene det er snakk om er forårsaket av sementholdige mørtler.

Sementholdig mørtel ble tatt i bruk allerede ved etablering av bygghytta i 1869 og var i bruk helt frem til 1990-tallet. Demontering av murverk hvor denne mørtelen er benyttet er svært vanskelig, og et stort antall stein skades under arbeidet. Selv om man forsøker i størst mulig grad å bruke tradisjonelle verktøy og teknikker, kommer vi fort til et punkt hvor moderne materialer også krever moderne verktøy. Demonteringen av portalen lar seg dessverre ikke gjennomføre uten hjelp av vinkelsliper eller annet kraftig elektrisk utstyr som setter uunngåelig sine spor på steinene. Manuell demontering med håndverktøy medfører på sin side ofte sprekker grunnet vibrasjon og slag.

¹ Store norske leksikon <https://snl.no/Nidarosdomen>

Noen av skadene skyldes naturlig eller kjemisk forvitring. Naturlig forvitring skjer når steinen utsettes for frost, vind og nedbør, mens kjemisk forvitring kan skyldes luftforurensning og sur nedbør, men også bruk av sement som gir saltutslag. Kleberstein eroderer lett når den utsettes for dette.

En reparasjonsmørtel er nødvendig for å fylle ut små sprekker og komplettere mindre manglende partier. Større skader utbedres med innfelling av ny stein, alternativt erstattes den skadete steinen av en ny stein. Hensikten med reparasjonsmørtelen er ikke å skjule utbedringene, men å gi et helhetlig inntrykk av hvordan byggverket kan ha sett ut opprinnelig ved å fjerne minst mulig original materie. Samtidig vil det ved valg av mørtelblanding også bli lagt vekt på effektivitet ved gjennomføring av tiltak, både tidsmessig og når det gjelder organisering av arbeidet.

Ved NDR ble det våren 2014 opprettet et reparasjonsmørtelprosjekt da demonteringen av kongeinngangen viste seg vanskelig å gjennomføre uten å påføre steinene verktøyskader. Det ble utarbeidet en reparasjonsveileder for å hjelpe teknikerne i steinkonserveringsarbeidet. Denne refererer til ulike restaureringstekniker avhengig av hvilken type skade som skal utbedres.

Når det gjelder småskader ble det vurdert en rekke kjente produkter som er vanlig å bruke i konserveringsmiljøet. Både kjemiske bindemidler som epoxy, polyester og polyuretan sto på listen, men også naturlige stoffer som blant annet kasein, kalk, ulike organiske limtyper (benlim, fiskelim m.m.) og naturharpiks (kvaie). Etter en grundig gjennomgang av de forskjellige produktene, ble det bestemt å utføre tester med både akryl og kalk som man vurderte å ha best forutsetning for å lykkes i henhold til et sett kriteriene som var satt.

Bruk av kleberstein i monumentale bygninger begrenser seg i Europa til et forholdsvis lite geografisk område. Det er imidlertid en bergart som er relativt utbredt i Norge og det finnes derfor mange kirkebygninger hvor steinen er brukt til dekorelementer (Værnes kirke) eller til og med som byggemateriale som for eksempel i Nidarosdomen. Prosjektets kunnskapsbehov er å finne en mørtel som kan brukes til utbedring av små skader på den vanskelige klebersteinen. Antall skader tatt i betraktning er det både urimelig og utenkelig å benytte seg av den nåværende kunnskapen om steininnefelling slik at en grundig undersøkelse rundt temaet synes vi er på sin plass.

Å utvikle en god metode for reparasjon av mindre skader er et økende behov ettersom skader fra sementholdig mørtel avdekkes. Dette er derfor en prioritert oppgave ved NDR.

Erfaringene og konklusjonene fra arbeidet vil også kunne få betydning for andre kulturminner. Det pågår tilsvarende metodeutvikling i Europa, men på andre typer stein.

Metodene som benyttes i dag er ofte basert på skadelige bindemidler som man generelt prøver å gå bort fra.

1.2 Mål og problemstilling

Målet med oppgaven er å finne et egnet materiale og restaureringsmetode til reparasjon av små skader på kleberstein ved Nidarosdomen og spesielt Kongeinngangen som i dag er under restaurering. Med små skader menes her skader på synlige kanter som vil ligge inn mot fuger i murverket, merker etter bruk av elektrisk og manuelt verktøy benyttet ved demontering og manglende deler grunnet slitasje og forvitring.

Demontering og konservering av større og mindre bygningsdeler oppført som mur ble betraktelig vanskeligere å utføre etter oppfinnelsen av moderne sement, patentert i 1824 av Joseph Aspdin. Det stive bindemiddelet forårsaker større fuktinntak gjennom sprekker, samtidig som den hindrer vannet å komme ut på grunn av for høy tetthet. Samtidig gir sementholdig mørtel en alt for godt heft mot steinen og gjør i enkelte tilfeller demonteringen til en umulig oppgave. Ved demontering er det praktisk umulig å fjerne sement uten å medføre skade på steinen som er mykere.

Løsningen for større skader på stein blir enten utskifting av hele steinen eller innfelling av en mindre stein for å utbedre skaden men inngrepet blir ofte omfattende og innebærer å fjerne en viss mengde av det originale materiale. Når det gjelder mindre skader vil ikke disse løsningene kunne benyttes og man er da avhengig av å finne nye metoder.

Ved NDR er det definert et kriterium for valg av metode for reparasjon. Kriteriet er at dersom man må fjerne mer enn det dobbelte av det steinmaterialet som allerede er tapt for å gjøre en innfelling av ny stein, så skal reparasjonen gjøres med en restaureringsmørtel.

Med denne bakgrunnen vil oppgaven problematisere valg av metode med mål om å finne en egnet måte å reparere mindre skader på kleberstein. Metode og materialbruk vil bli vurdert mot deler av bygningsfilosofien og kriterier og mål definert av NDR.

1.3 Arbeidsmetode

Hovedmaterialet i denne bacheloroppgaven vil i hovedsak være NDR sin egen metodeutvikling av reparasjonsmørtel. Tre referanseprosjekt (Sveits, Tyskland og Stavanger) gir supplerende kunnskap.

Metoden for utvikling av en mørteloppskrift kan beskrives som håndverksvitenskap. Denne typen vitenskap utvikles gjennom observasjon, dialog og forsøk². Det ble i verkstedet ved NDR utført tester for mørtel basert på akryl og kalk: hardhet, påvirkning av vann og frost, fuktinntak og kornsammensetning, fargesetting. Ulike tester er gjort på kalkbasert mørtel og akrylbasert mørtel, og nye tester ble definert ut i fra de resultatene man fikk. Fra starten av utviklingsprosjektet ble et stort antall mørtelblandinger testet. Der testene viste dårlige resultater ble blandningene forkastet fortløpende. Det betyr at ikke alle blandningene er like grundig vurdert og prøvd ut. Noen av testene ble utført med målemetoder som ga eksakte svar, men flertallet ble vurdert mer håndverksmessig: hvor fast sitter den, hvor vanskelig er det å skrape i overflaten, hvordan ser den ut osv.

Arbeidsmåten som ble benyttet kan også beskrives som en hypotetisk deduktiv metode. Denne typen metode regnes i dag av mange som den grunnleggende metode i moderne naturvitenskap. Metoden tar utgangspunkt i en hypotese, en påstand eller antagelse som man ønsker å undersøke. Dette gjør man ved å trekke slutninger fra hypotesen, resonnementet er at hvis hypotesen er sann, så må slutningen også være sann, fordi slutningen følger logisk av hypotesen. Slutningen skal da helst være noe som kan la seg observere ved sanseerfaring, gjerne ved bruk av spesielle instrumenter eller ved at man gjør et eksperiment³

Resultatene fra testene som ble gjort er sammenlignet opp mot de kravene til en ny restaureringsmørtel som er satt av forskningsavdelingen ved NDR: reversibilitet, diffusjonsåpenhet, tilnærmet lik styrke som kleberstein, relativt rask herdetid, estetikk og holdbarhet. Resultatene blir i denne oppgaven også vurdert sett i lys av bygningsvernfilosofi.

1.4 Avgrensing

Studiet begrenser seg først og fremst til reparasjon av småskader på kleberstein, enten grunnet tidligere restaureringer eller påført Kongeinngangen under demonteringen mellom 2010 til 2015. Kleberstein er hovedbygningmateriale for Nidarosdomkirke. Steinens komposisjon er i seg selv en utfordring når det gjelder vedheft på grunn av det høye talkuminnholdet som virker som slippmiddel. Det er viktig å notere at undersøkelsen er gjort fra en håndverkers synsvinkel og ikke en vitenskapsmanns.

² Sjømar Sjømar: Presentasjon om metode i håndverkskunnskap, bygningsvernkongress i Oslo/ Norsk Folkemuseum 2014

³ https://snl.no/hypotetisk-deduktiv_metode

2.Reparasjon av skader på kleberstein

1.5 Kleberstein

Begrepet kleberstein kommer fra «kliberg» eller «klåstein» og betyr berg man kan lage vevlodd av.⁴ Også kalt for «grøtsten» forklarer ordet, fra det gammelnorskeordet «grjot» hvordan steinen ble brukt til å lage gryter av⁵, først i bronse- og jernalder og senere i vikingtiden da klebersteingryter ble en viktig handelsvare for nordmennene under deres reiser verden over. Bruksområdet begrenset seg ikke til gryter men til utallige andre formål som for eksempel spinnehjul, mortere, støpeformer, lodd og vekter. Den er også brukt for å lage smykker.⁶ I dag er den spesielt ettertraktet til produksjon av peis og ovner men inngår også i isolasjon av elektriske komponenter. Kleberstein benyttes også i produksjon av talkum: steinen inneholder opptil 50% av mineralet.

Kleberstein er en metamorf_bergart som hovedsakelig består av mineralet talk med varierende mengde kloritt og amfibol. Kleberstein er en myk bergart, og kan derfor lett skjæres i med kniv. En annen viktig egenskap ved kleberstein er at den er svært varmebestandig, den egner seg derfor svært godt til bruk i ovner o.l. Den reneste sorten kleberstein er dannet fra serpentin, de mer urene sortene er dannet av gabbroide_bergarter. Fargen på kleberstein er grønnhvit til mørkegrønn ofte også med rustfargede felter. I Norge er det forekomster av kleberstein i alle fylker bortsett fra Vestfold og Vest-Agder.⁷

Selv om Nidarosdomen kan sies å være bygget i kleberstein, så er det mange steinarter og ulike klebersteintyper som er brukt under de forskjellige bygnings- og restaureringsperiodene. Mens kun de nærmeste bruddene ble benyttet under reisning av kirken mellom 1050 og frem til svartedauden(1350)⁸, skal det ifølge geologen Per Storemyr opptil 70 ulike bergarter være anvendt totalt gjennom historien, fra om lag 60 innlands brudd og noen få fra utlandet. Likevel er ikke alle steinene i byggverket kleberstein. Man finner også blant annet grønnskifer, kalkstein, marmor, sandstein og granitt⁹. Steinen er delvis hentet langt fra Trøndelag. I dag, grunnet fredning av originale brudd eller nedleggelser er det blitt problematisk å skaffe kleberstein til pågående og fremtidige restaureringsprosjekter, slik at

⁴ Per Storemyr: Nidarosdomens grunnfjell, NDR Forlag, 2015

⁵ Per Storemyr: Nidarosdomens grunnfjell, NDR Forlag, 2015

⁶ Per Storemyr: Nidarosdomens grunnfjell, NDR Forlag, 2015

⁷ <https://no.wikipedia.org/wiki/Kleberstein>

⁸ T.Heldal, P.Storemyr: NGU rapport 97-149, 01-11-97

⁹ Per Storemyr: The stones of Nidaros, NTNU 1997

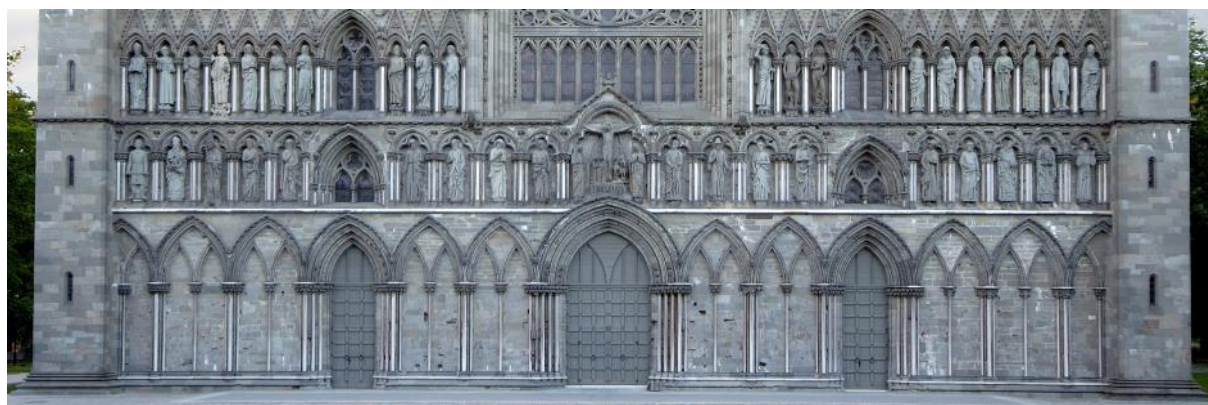
den i dag hentes i Målselv i Troms. Muligens vil vi hente stein fra Otta (Gudbrandsdalen) i en nær fremtid.

Tabellen under viser egenskapene for et utvalg av klebersteintyper som ble brukt under bygging og restaurering av Nidarosdomen. Disse målingene ble ikke benyttet som referansegrunnlag, eller kun delvis i påfølgende utvikling av en restaureringsmørtel. Denne typen undersøkelse krever kunnskap og utstyr som ikke er tilgjengelig i laben vår og som faller utenfor vår arbeidsmetode. Likevel gir de en oversikt over steintyper og deres respektive kvaliteter som gir en bedre forståelse for bygningsmaterialet som skal erstattes. Det vises for eksempel at kleberstein er veldig lite porøs og trekker derfor lite vann til seg. Det betyr at mørtelen også bør være ganske tett.

Property	Øye green-schist	Old soap-stone	Grytdal soap-stone	Bjørnå soap-stone	Gulffj. soap-stone	Bubakk soap-stone	Bubakk serpentine	Grunnes soap-stone
Density (g/cm ³)		2,90	2,62	2,78	2,95	3,06	3,01	3,34
Open porosity (%)		0,90	0,96	3,60	0,82	0,31	0,95	0,20
Water absorption (weight %)	0,25	0,36	1,30	0,15 (0,5)	0,10	0,32	0,12	0,13
Cap. water abs. (kg/m ² h ^{1/2})	0,03-0,1	0,01-0,07	0,26	0,01-0,03	0,01	0,02	0,01	0,03
Hygric dilatation (mm/m)	100-500	400-2800	-	200-400	-	320	250	-
Diffusion resistance (dry)	650-1050	300-1100	-	600-1400	-	900	600	-
Diffusion resistance (wet)	120-150	150-300	-	250-450	-	250	350	-
Compressive strength (MPa)	-	-	56	53-63	56	38	122	-
Biaxial flexural strength (MPa)	12-26	5-12	-	10-25	-	10-21	27-40	20

1 Tabell som viser klebersteinens egenskaper

(Alnæs, L: Kvalitet og bestandighet av naturstein. NTH 1995)



2 Nidarosdomen vestfront (foto NDR)



4 Stavanger domkirke (foto: wikimedias commons)



3 Bergen domkirke (foto: panaramio.com, Aldo Feretto)

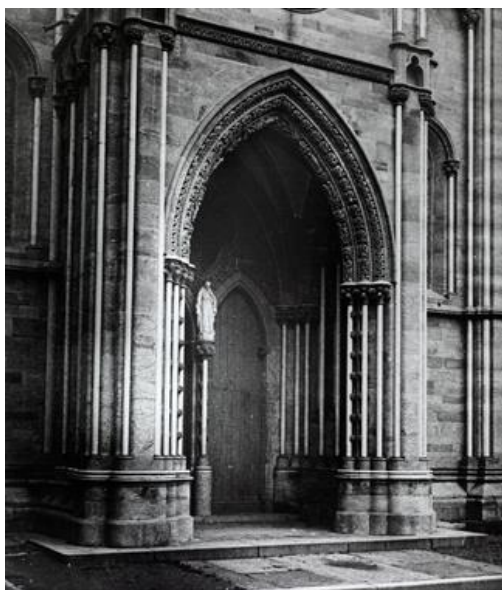
Selv om kleberstein ble tatt i bruk til dekor og arkitektoniske detaljer som i for eksempel Sverige, Finland, Sveits og Italia så finner man ingen andre eksempler enn Norge der steinarten er brukt som bygningsmateriale.¹⁰ Mens Nidarosdomen viser at kleberstein stort sett ble benyttet for alt som er synlig både inn- og utvendig, har de fleste murkirker i Norge brukt kleberstein kun til dekorative hensikter. Stavanger domkirke er et prakteksempel som viser to ulike bruksmåter: Midtre del av fasaden er bygget av kun kleberstein, mens på sidetårnene er kleberstein brukt kun til hjørnestein og andre dekorsteiner som vindusomramning eller ornemantikk.

1.6 Konserveringsbehov ved kongeinngangen

Fra å være en opprinnelig del av Nidarosdomen inntil opprettelse av NDRs bygghytte i 1869, begynte Kongeinngangen, etter tre omfattende restaureringer, å miste en stor del av sin autentisitet. I 1878 blir hele portalen demontert og mellom 1918 og 1922 blir grunnmuren undersøkt og forbedret og all forvitret stein skiftet ut samt flere marmorsøyler. Igjen i 1945 blir det observert flere sprekkdannelser og en stor del av Kongeinngangen, blant annet hvelvet blir demontert og flere dårlige steiner skiftet ut. Når målinger viser, i 1981 at Kongeinngangen påvirkes av ytre påkjenninger fra strebesystemet, blir et fagverk bygget over

¹⁰ Per Storemyr: The stones of Nidaros, NTNU 1997, s.104

korets hvelv. I 1996, nesten ti år senere er situasjonen fortsatt ikke stabil og det registreres både store sprekkdannelser og sterk forvitring i stein.¹¹ Det må nevnes at i tillegg til statiske problemer, er portalen sterkt preget av sementbruk med alle de ulempene den medfører: stiv konstruksjon som ikke tillater bevegelser og som stenger inn fukt i murverket. Dette kan delvis forklare den sterke forvitringen av grytdalsteinen som sprenger konstruksjonen ved rustdannelse. Når det gjelder vår undersøkelse er det viktig å poengtere at mange av skadene oppgaven handler om er forårsaket av metodene og utstyret som ble nødvendig å ta i bruk for å løsne steinene fra en hard sementmørtel.



5 Kongeinngangen ca 1890-1910 (foto: Severin Worm-Petersen, Digitalt museum)

I etterkant av denne grundige undersøkelsen ble det fullført en kartlegging av ornament og skulptur i hovedbuen til Kongeinngangen som viser hvordan restaureringen ble håndtert på forskjellige tidspunkter. Steininnfelling utført med kirurgisk presisjon, ulike sementbasert mørtler til modellering av manglende deler, blybot (sammenføyning av stein ved hjelp av bly) og flere reparasjoner utført med en plastlignende materiale.¹²

Kongeinngangen består av i overkant 1800 klebersteiner hugget som kvader, profiler, ornamentikk og skulptur fra flere forskjellige klebersteinsforekomster i Norge av varierende kvalitet.

Ved restaurering av portalen i 1870-årene ble det brukt omlag 30% kleberstein fra steinbruddet Grytdalen i Gauldalen. Denne typen stein har med tiden vist seg og forvitte fortere enn andre typer kleberstein. Forvitringen går ofte inn i hele steinen og ikke bare i overflaten. Dette fører til at materialet ruster og ekspanderer. Det har skapt bevegelse, sprekker og medført vanninntrenging i konstruksjonen som igjen har ført til ytterligere skader. Ved oppmuring vil disse steinene i størst mulig grad bli erstattet av ny stein og skadet grytedalsstein vil ikke bli reparert.

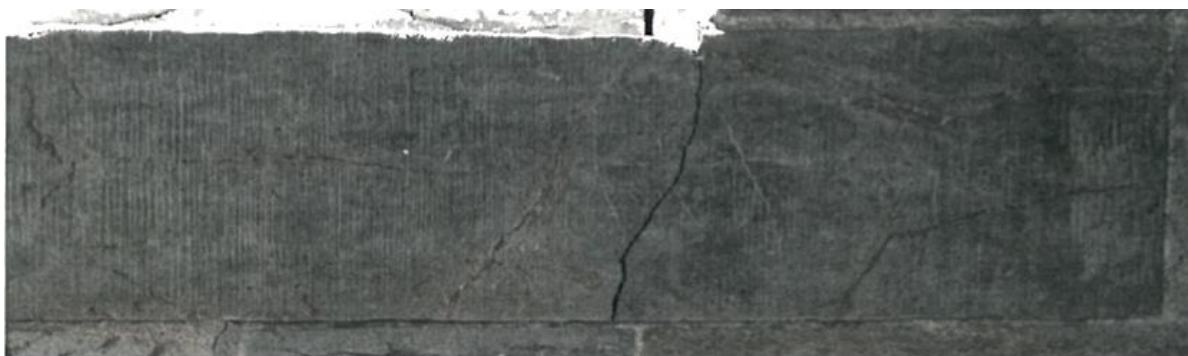
¹¹ Kristin Bjølykke og Rune Langås., Kongeinngangen- undersøke og vurdering av restaureringsmetoder. Bacheloroppgave HIST 2012.

¹² Øystein Ekroll og Espen Sørburø, Dokumentasjon av ornament og skulptur i hovedbue, Kongeinngangen. NDR mars 2012



6 Eksempel på skader grunnet sementbruk (foto: NDR)

I tillegg ble det brukt harde sementmørtler til muringen som har en kraftig heft til klebersteinen. Dette har forårsaket skjærkreftene å gå vertikalt rett gjennom flere steiner istedenfor at fugene har tatt opp bevegelsene. Bevegelsene skader den myke steinen særlig på hjørner og kanter mot fuger.



7 Eksempel på vertikal sprekk (foto: NDR)

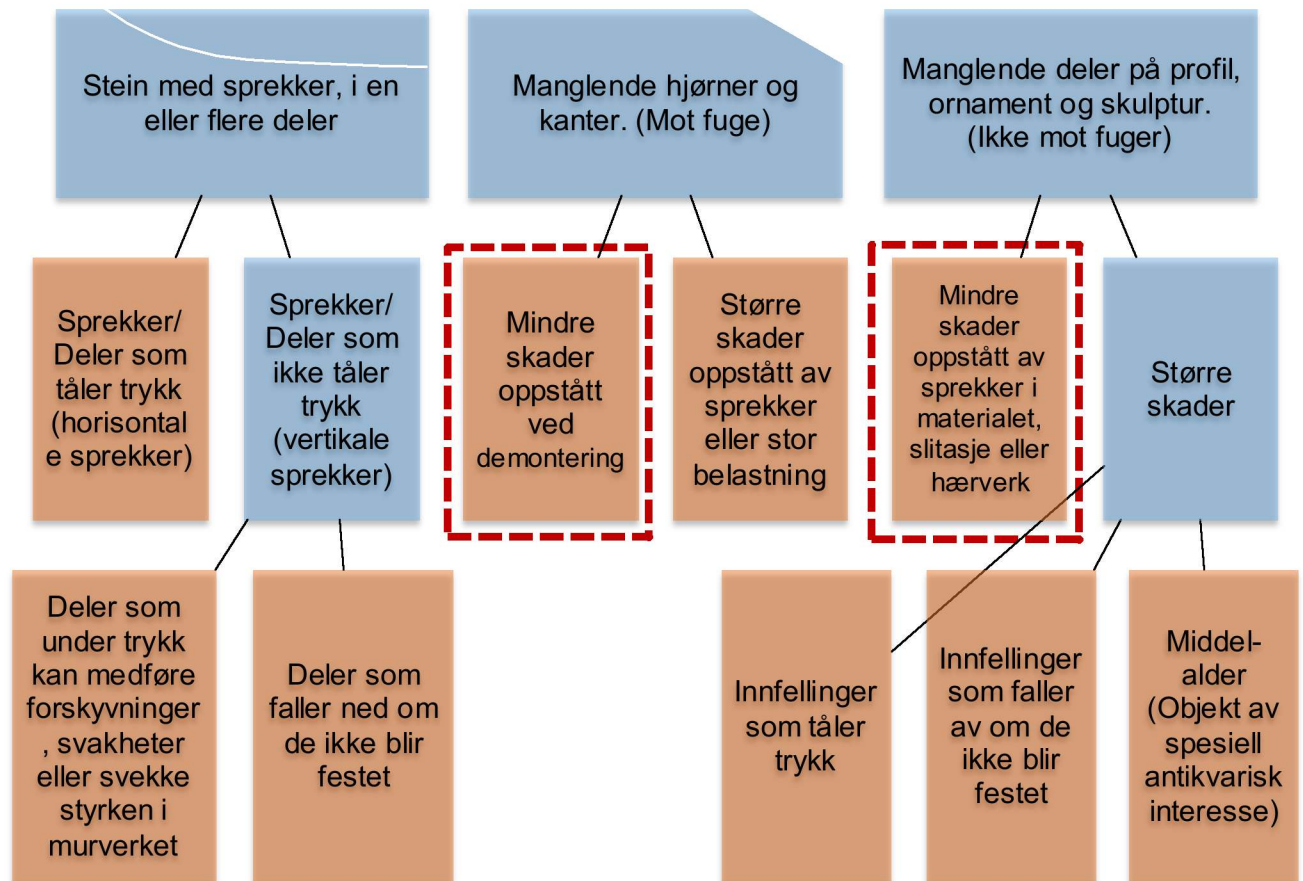
Ca. 30% av portalen består av stein som skal utbyttes, 50% skal repareres og 20% beholdes uten tiltak, sett bort fra rensing av sementrester på fugesidene. Hver stein som skal repareres har i snitt over tre områder med skader. Tilsammen er det beregnet over 2250 skader.¹³

I starten av restaureringsmørtelprosjektet utviklet forskningsavdelingen ved NDR en veileder¹⁴ for å systematisere hvordan de ulike skadene bør repareres. Veilederen legger også vekt på muligheten for å la være å reparere skaden. Dersom en stein kan gjenbrukes uten reparasjoner eller konservering anbefales det at man bare skånsomt fjerner rester av mørtel, salter og kalk før de benyttes på nytt. Sett det store antallet skader og hvor mange ulike personer som kan bli involvert i arbeidet er en slik veileder nødvendig for å sikre kvaliteten på både gjennomføring og dokumentasjon av prosessen.

¹³ Alle steiner er registrert og dokumentert digitalt i en egenutviklet (NDR) database. Antall skader er beregnet statistisk ut fra denne databasen.

¹⁴ Veilederen er utformet som en tabell, følger som vedlegg 2.

Skadene er inndelt i tre grupper med underkategorier. Brune bokser viser ni varianter av skader som krever forskjellige tiltak. Bokser markert med rød stiplet linje viser skader som det er aktuelt å reparere ved hjelp av en restaureringsmøttel.



10 Tabellen viser systematisering av ulike typer skader (utformet av Øystein Digre)



8 Skade på stein, manglende hjørner og kanter (foto: NDR)



9 Skade på profil (foto: NDR)



11 Skade på stein, reparasjon testes (foto: NDR)

1.7 Eksisterende metoder

Det har frem til i dag vært gjennomført lite reparasjon av små skader på kleberstein av den typen vi står overfor ved restaurering av Kongeinngangen. Når vi undersøker domkirken ser vi noen eksempler på ulike teknikker brukt gjennom tidene (Innfelling, ingen tiltak, små reparasjoner med epoxy og sement). Mindre reparasjoner av denne typen skader har i liten grad vært prioritert, slik at vi har lite eksisterende kunnskap å bygge videre på.

Akryl som bindemiddel er anvendt i konservering siden slutten av syttitallet, allerede da ble det brukt til reparasjonsmørtel.¹⁵ Det pågår for tiden forskning på denne bruken av akryl i Sveits, ved ETH Zürich hvor Thibault Demoulin arbeider med en doktorgrad innenfor temaet. Prosjektet tar utgangspunkt i restaureringsarbeid utført på rådhuset i Lausanne for over 30 år siden og prøver å forklare hvorfor sandsteinen av type *molasse* og akrylbasert restaureringsmørtel fungerer så godt sammen når deres respektive egenskaper er vidt forskjellige.

Kalk på sin side har vært i bruk som bygningsmateriale i flere tusen år, men når det først ble brukt til konservering av små skader på stein er litt usikkert. Her finner man flere eksempler i faglitteraturen¹⁶ på ulike teknikker som for eksempel reparasjoner ved hjelp av dybler eller armeringsnett påført flere tynne lag med kalkmørtel, pigmentert og tilsatt ulike tilslag for å etterligne den originale steinen. Det finnes midlertidig lite dokumentasjon om bruk av disse

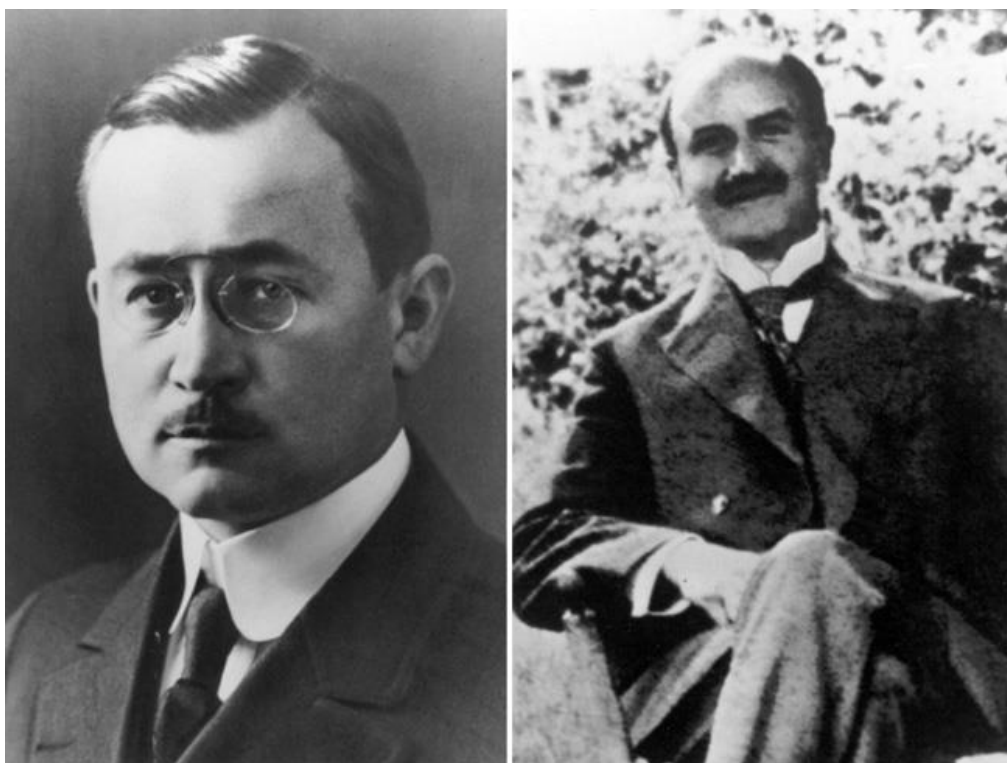
¹⁵ Thibault Demoulin, Fred Girardet, Robert J.Flatt: Reprofilng of altered building sandstones: on-site measurement of the environmental conditions and their evolution in the stone, 2014

¹⁶ English Heritage, Practical building conservation, Ashgate 2012, side 238

metodene på kleberstein. Artikkelen av Rebecca Reid i kapitel 2.4.3 er et eksempel på hvordan kalk kan brukes som bindemiddel i en restaureringsmørtel.

1.7.1 Akryl som bindemiddel

Akrolein, det originale molekylet til akrylen vi kjenner i dag ble først isolert i 1843 av den austerrikske kjemikeren Joseph Redtenbacher. Ut fra dette molekylet klarte han å fremstille akrylsyre som forskere siden brukte for å produsere ulike typer polymer. I 1901 skriver den tyske apotekeren Otto Röhm sitt doktoravhandling i kjemi om «produktene av akrylsyre polymerisering» og patenterer prosessen i 1915. I samarbeid med Otto Haas grunnlegger de i 1907 Röhm & Haas Compagny og markedsfører fra 1927 den første akrylresin: metyl polymetakrylat, bedre kjent som Plexiglas®.¹⁷



12 Otto Röhm (til høyre) og Otto Haas (til venstre), kilde Röhm & Haas Compagny

I konserveringsmiljøet har akryl vært brukt som ferniss siden 1930-tallet på både glass, papir, metall, tre og stein¹⁸ men som konsolideringsmiddel for stein ble den først tatt i bruk i restaurering ved slutten av 1960¹⁹ og som bindemiddel i reparasjonsmørtel til konservering

¹⁷ <http://www.3atp.org/?Nettoyage-des-peintures-acryliques>

¹⁸ R.L.Feller, N.Stolow, E.H. Jones: On picture varnishes and their solvents. National gallery of art, Washington, 1985

¹⁹ English Heritage, Practical building conservation, Ashgate 2012

siden slutten av syttitallet²⁰. Men forskning om emnet er likevel begrenset eller vanskelig å få tak i og en 40 års tidsperspektiv blir relativt kort for å kunne bedømme produktets varighet.

1.7.2 Kalk som bindemiddel

I motsetning til akryl har kalk en mye lengre og rikere fortid som bindemiddel. De eldste eksemplene på bruk av kalksteins mangfoldige egenskaper er datert til seks tusen år før Kristus i byen Cakel Höyük i Tyrkia²¹. I Europa lærte romerne å bygge med kalk av både grekerne og egypterne, og de utviklet kunnskapen videre til produksjon av en type betong som er brukt i mange romerske byggverk. Parallelt med dette brukte både Inkaene og Mayaene i Sør-Amerika, og kineserne og inderne i Asia kalk i sin bygningstradisjon i mange årtusen. Når det gjelder bruk til restaureringsmørtel, finnes det mange eksempler og oppskrifter basert på det allsidige bindemiddelet. «English Heritage» beskriver metoden og grunnleggende oppskrifter og poengterer at selv om materialkostnader kan være adskillig lavere enn med for eksempel utskifting eller innfelling så kan gjennomføring likevel være et kostbart inngrep: kunnskap og erfaring er viktige faktorer for et vellykket resultat.²²



13 Lesket kalk (foto NDR)



14 Ulesket kalk (foto:NDR)

1.8 Referanseprosjekter

Det er naturlig å se på hvilke erfaringer som er gjort andre steder og selv om det ikke er direkte overførbare situasjoner eller problemstillinger gir studie av referanseprosjekt innspill til både metode, hypotese og gjennomføring av ulike eksperimenter når man skal prøve å finne løsninger til lignende situasjoner.

²⁰ Thibault Demoulin, George W.Sherer, Fred Girardet, Robert J.Flatt: Thermo-Mechanical Compatibility of Viscoelastic Mortars for Stone Repair, www.mdpi.com, Januar 2016.

²¹ La chaux et le stuc, Ecole Atelier de restauration Centre historique de León, Eyrolles, side 10

²² English Heritage, Practical building conservation, Stone, Ashgate 2012. S.233

1.8.1 Lausannes rådhus

Som eksempel på bruk av akrylmørtel kan man nevne Lausannes rådhuset i Sveits, bygget i molasse, en vanlig sandsteintype i landet. I slutten av 70-tallet utviklet Professor Furlan ved E.P.F.L.²³ en akrylbasert restaureringsmørtel som ble påført enkelte steder utvendig på vannutsattområder (ukentlig spyling av torget).²⁴ Tiltaket utført for over 30 år siden viser seg å være holdbart og lar seg fortsatt lett reversere ved bruk av organiske løsningsmidler (etanol). Prosjektet ble i sin tid dårlig dokumentert slik at det ikke foreligger noen detaljert rapport om arbeidet som ble gjort den gangen men et team forskere fra Sveits og USA²⁵ ble nylig interessert i arbeidet og jobber nå med å kartlegge akrylmørtelegenskaper til bruk på



15 Rådhuset i Lausannes (foto: suissetourisme.com)

molassesandstein. Dette vil være utgangspunkt for doktorgradsavhandling for en av forskerne: Thibault Demoulin, PhD student ved ETH Zürich - Institut for Physical Chemistry of Building Materials. Det foreligger allerede tre artikler om emnet.²⁶ Forskningen vil forsøke å vise om akrylmørtelen brukt i slutten av 70-årene har gitt bedre resultater enn sementbasert reparasjonsmørtel som hadde årsaket misfarging og skader og viste seg å være irreversibelt på grunn av stål armeringen.

De tre artiklene som er publisert ligger på et helt annet vitenskapelig nivå enn prosjektet beskrevet i denne oppgaven men utgjør en viktig kilde: den bekrefter at flere av de kriteriene vi har valgt vil oppfylles slik som reversibilitet, holdbarhet, heft. I tillegg viser de at interessen for en polymerbasert reparasjonsmørtel er fortsatt til stedet i restaureringsmiljøet.

1.8.2 Friedenstein slott

Slottet, som er den største tidlig-barokk anlegget i Tyskland (bygget mellom 1643-1654) ble mellom mars 2004 og februar 2008 gjenstand for en materialundersøkelse i regi av Deutschen

²³ Ecole Polytechnique Federale de Lausanne

²⁴ Thibault Demoulin, George W. Sherer, Fred Girardet, Robert J. Flatt: Thermo-Mechanical Compatibility of Viscoelastic Mortars for Stone Repair, www.mdpi.com, Januar 2016.

²⁵ Thibault Demoulin, George W. Sherer, Fred Girardet, Robert J. Flatt: Thermo-Mechanical Compatibility of Viscoelastic Mortars for Stone Repair, www.mdpi.com, Januar 2016.

²⁶ Referanse, se fotnote 14, 22, og «A study of acrylic-based mortar for stone repair»



16 Friedenstein slott, Gotha (foto: thuringen.de)

Bundesstiftung Umwelt (trad: German Federal Environmental Foundation). Målet var å utvikle og prøve ut teknologi for konservering og restaurering av miljøskadede bygningsdeler. Enkelte skader oppstått på lettenkohlensandstein, brukt blant annet på arkadene på slottet kan sammenlignes med skader vi har ved Nidarosdomen. Det ble testet materialer til

ulike formål: små skader på stein, murmørtel og fugemørtel. Både originale materialer og restaureringsmaterialer ble testet for blant annet hardhet og diffusjonsåpenhet. Til stein skader ble det anvendt en oppskrift bestående av ulike sandtyper, kaolin, fargepigmenter og akryldispersjon. Det er denne oppskriften som ble utgangspunktet for vår forskning.²⁷

1.8.3 Stavanger domkirke

Arkeologisk museum i Stavanger har fått oppdrag med konservering av domkirken i Stavanger, og man er der i en tilsvarende prosess som ved Nidarosdomen for å utvikle egnede metoder for reparasjoner på det originale steinmaterialet. Prosjektleder er Ann Meeks. I 2014 utarbeidet Rebecca Reid et notat om mørtelreparasjoner og beskyttelseslag (*shelter coat*) til arbeidet med konservering av vestfronten av Stavanger domkirke. Notatet er ikke publisert, men tilgjengelig ved forespørsel fra arkeologisk museum i Stavanger.

Notatet oppsummerer et prosjekt som skulle utvikle en reparasjonsmørtel for å fylle sprekker, støtte svake steiner og modellere avskallede detaljer på kleberstein. Prosjektet tok utgangspunkt i en såkalt «kalkmetode» for steinreparasjoner som ble utviklet i England i 1974 i forbindelse med restaurering av vestfronten på Wells katedral. Metoden er videreutviklet og er fortsatt i bruk i England. Oppskriften er basert på enten en kalkdeig tilsatt vulkansk aske (pozzolan) eller naturlig hydraulisk kalk (NHL). Denne grunnmørtelen blandes med ulike tilslag slik at ønsket uttrykk og farge oppnås. Det er et ønske at mørtelen skal være svakere og mer åpent enn steinensom skal repareres. I tillegg til den kalkbaserte mørtelen vurderte man

²⁷ Erarbeitung und Erprobung einer Sanierungstechnologie für umweltgeschädigte Bauteile aus Lettenkohlensandstein am Beispiel der Arkaden des Schlosses Friedenstein in Gotha Laufzeit: März 2004 bis Februar 2008

en metode som ble kalt «beskyttelsesstrøk» (shelter coat). Det er en metode hvor man bruker en tynn kalkmaling for å konsolidere og gi et beskyttende dekke på skadede områder. Kalkmalingen kan være vannbasert med et høyt innhold av kalsium kalkdeig eller naturlig hydraulisk kalk (NHL). I tillegg blandes det inn fint steinstøv og noen ganger pigment for å gi reparasjonen det ønskede uttrykket. Dette beskyttelseslaget er en puss som ligger som en tynn kappe over steinen.



17 Bildet viser beskyttelseslag på murt fuge (foto: Rebecca Reid)

Den blir påført med kost på en ren og fuktig stein. Den malte overflaten poleres gjerne for å gi den en gjennomsiktig tekstur. Disse metodene er utviklet og brukt på andre typer stein enn kleberstein, og man ønsket å teste ut om metodene hadde bruksverdi også for reparasjoner på kleberstein. Prosjektet ble utført i liten skala med 11 ulike mørtelblandinger som ble testet ut. Det ble utført ulike reparasjoner man observerte over tid, blant annet fordi kalkmørtel endrer styrke ved herding. Notatet konkluderer med at det er nødvendig med videre testing og undersøkelser for å se om metoden egner seg for kleberstein. Rapporten foreslår også å teste ferdige blandinger, såkalt «klar til bruk» reparasjonsmørtler på kleberstein.

Konserveringsmiljøet i Stavanger har fortsatt ingen fast fremgangsmåte når det gjelder reparasjon av småskader men påpeker, etter utprøving av oppskriften på kleberstein at heft kan være en utfordring ved bruk av kalkmørtel. Dette forsterker vår egen konklusjon om at kalkbasert restaureringsmørtel ikke vil være det beste valget for bruk på denne type stein.



19 Etter reparasjonen, tidligere steinreparasjonen ligger foran (foto: Rebecca Reid)



18 Første lag med grov kalkmørtel: kastet på som våt mørtel (foto: Rebecca Reid)

3. Metodevalg i et bygningsvernfilosofisk perspektiv

I løpet av det siste halve århundre har bygningsvernet i Europa opplevd en ny «trend» når det gjelder forvaltning av både materielle og immaterielle kulturminner. Takket være lokale, nasjonale og internasjonale organisasjoner har man blitt mer og mer bevisst på hva og hvordan man skal ta vare på vår kulturarv. Mens Naradokumentet omhandler spesielt autentisitet og de immaterielle verdiene en kulturminne innebærer, gjelder Venezia charteret mest for de fysiske objektene og måten man skal forvalte dem på. Materialkvalitet, prosess og teknikk, verktøybruk og nøye dokumentering har gitt bygningsvernet en mye sterkere status enn for noen få tiår tilbake. Enkelte skadelige materialer er nå bannlyst og glemte arbeidstradisjoner kommet tilbake til sin rett på verneverdige bygninger.

Når det gjelder Restaureringsmørtel til kleberstein kommer likevel disse bestemmelser til kort: man finner riktignok innfellinger utført med kirurgisk presisjon som vitner om høy fag- og materialkunnskap for å svare til steinskadeproblematikken. Noen av dem antas å være utført i middelalderen. Andre steder, som for eksempel vestfronten, har man nøyd seg med å la skadene være synlige for å gi fasaden mest mulig lesbarhet. Men når det gjelder småskader finner man ingen ferdigløsning, hverken tradisjonell eller moderne fordi kleberstein har sjeldent vært brukt som bygningsmateriale og dens sammensetning gir ekstremt dårlig heft. Derfor må det være rom for nytenkning og forskning for å kunne svare til nye problemstillinger som hittil ikke eksisterte.

Artikkel 10:

«Dersom de tradisjonelle teknikkene viser seg å være uegnede, kan sikringen av kulturminnet ivaretas ved bruk av alle moderne konserverings- og byggeteknikker der virkningen er vitenskapelig bevist og garantert for gjennom erfaring.»²⁸

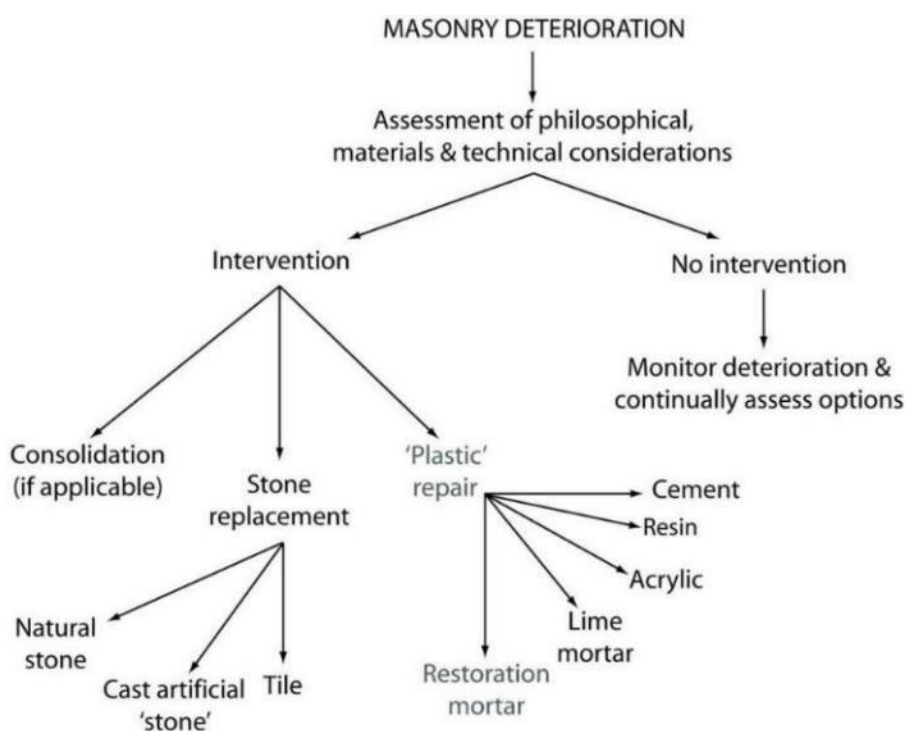
I vårt tilfelle er ikke valget en selvfølge: som vist på illustrasjonen nedenfor har man i prinsippet tre hovedalternativer når det gjelder konservering av små steinskader:

- Første og enkleste mulighet er å la være å gjøre noe og overlate bygningens skjebne til tilfeldighetene i tillegg til at den opprinnelige utseende ikke blir bevart. Dessuten

²⁸ Den andre internasjonale kongress for arkitekter og tekniske fagfolk om kulturminner, Venezia, 1964. Vedtatt av ICOMOS i 1965.

risikerer vi en forgang i aldring av fasaden grunnet vanninntrenging og økt erosjon i fugene.

- Man kan også erstatte det manglende materialet med tilsvarende ved innfelling: man følger da «lik for lik» prinsippet samtidig som både materiell-, prosessuell- og visuell autentisitet blir ivaretatt. Ulempen er at inngrepet innebærer at en viss andel av originalt materiale blir fjernet. Godt gjennomført vil reparasjonen ha lang levetid.
- Siste alternativ er å benytte en modelleringsmørtel: metoden blir ofte kritisert fordi den er utradisjonell og sett på som «juks» men gir imidlertid den fordelen å begrense tiltaket til et minimum, uten uttak av originalt materiale og med effektiv tidsbruk. Levetiden av en slik restaurering vil som regel være begrenset i tid og derfor kreve tettere oppfølging.



20 Alternative løsninger for skader på murverk

(Kilde:<http://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/2050-7445-2-1>)

Bruk av sement og økende forvitring pga. klimaendringer har ført til at metoder for å reparere skader på stein har blitt et viktig forskningstema i bygningsvernmiljøet. Internasjonalt er det andre steintyper enn den norske klebersteinen som er vanligst, slik at mye av forskningen har

vært rettet mot for eksempel sandstein eller kalkstein. Overordnede prinsipper og diskusjon kan likevel ha betydning for norske forhold.

Reparasjoner med ulike typer restaureringsmørtel kan ved riktig bruk og riktige oppskrifter være et godt tilskudd til eksisterende metoder for reparasjon av stein, for å nå konkrete mål i konserveringen. Modelleringsmørtler/restaureringsmørtel er i mange tilfeller anset å være et minimalt tiltak: det er et relativt enkelt inngrep, reversibelt og synlig. Reparasjon av skader på stein med mørtel er et alternativ til utskifting av hele eller deler av steinen med nytt steinmateriale. Det er et sentralt prinsipp i bygningsvernfilosofien at reparasjon skal skje med materiale likt det opprinnelige. Der stein erstatter stein vil helheten kunne oppfattes mer som en enhet. Stein er dessuten et mer varig materiale enn mørtel. Når det er sagt kan likevel reparasjoner med mørtel som er godt gjennomført, ikke forringe en bygning eller fasade, hverken med hensyn til estetikk eller varighet. Dårlig utført vil den samme reparasjonen forringe både holdbarheten og den estetisk opplevelsen av et bygg.²⁹

Omfanget av skader knyttet til feil bruk av materialer i konservering er økende. For murverk gjelder det spesielt bruken av Portland sement, men også for sterk kalkmørtel kan medføre skader på eldre bygninger. Skadene knyttes spesielt til at fukt fanges i murverket fordi sement og sterk kalkmørtel er lite permeable. Ved frost sprenger vannet murverket i stykker innenfra. I tillegg kommer endringene i klima med hyppigere og mer intense nedbørsperioder, også om vinteren. Dette er bakgrunnen for at man i økende grad bruker og forsker på mer autentiske mørteloppskrifter, både for konstruksjon og reparasjon.

Holdbarheten på reparasjon med mørtel knyttes til hvor godt mørtelen passer med det originale murverket. Dette må undersøkes og vurderes nøye før man velger metode og mørteloppskrift/type. Styrken på mørtelen har vist seg å være mindre viktig enn porøsitet, evne til vannopptak og hvordan materialet tåler gjentatt fukt og opptørking. Kalkmørtel er anerkjent for sine kvaliteter når det gjelder disse faktorene, men de krever høy kunnskap om blanding og bruk siden faren for feil bruk er tilstede. Mørtelen blandes etter egne oppskrifter og det finnes en uendelig mengde variasjoner som gjør det mulig å tilpasse mørtelen i stor grad til den konkrete oppgaven.

På bakgrunn av det er det utviklet nye ferdigblandinger med restaureringsmørtel som benyttes i økende grad til reparasjon av sand- og kalkstein. Disse ferdigblandingene selges som en

²⁹ Plastic repair of naturalstone in Scotland, perceptions and practice: C.Torney, A M.Forster, Cray J.Kennedy, Ewan K.Hyslop

slags universalmørtel som er egnet til et stort spekter av reparasjonsoppgaver. Den vanligste mørtelen av denne typen er Lithomex. Undersøkelser i Skottland viser at ferdige reparasjonsmørtelprodukt i økende grad tar over for vanlig kalkmørtel. Ferdige blandinger er enkle å bruke, de tørker raskere og har god plastisitet. Det er fare for at kunnskap om tradisjonell kalkmørtel forsvinner. Det er for forskere uklart hvilke fordeler bruken av ferdige blandinger har for byggene som blir konserverv/restaurert, sett opp imot kalkmørtel. Mer forskning er nødvendig for å kunne forstå og bruke ferdige blandinger/nye materialer: hvilke fysiske egenskaper har faktisk de nye materialene som introduseres? Mulighet for tilpasning til stedet er en av fordelene med tradisjonell kalkmørtel. Vi trenger mer kunnskap om nye materialer slik at de også kan spesialtilpasses.

For kleberstein er disse metodene ikke mulige å benytte fordi steinens egenskaper gjør at disse mørteltypene ikke har god nok heft på den glatte steinen slik at kalkbasert reparasjonsmørtel ikke gir tilstrekkelig kvalitet. I vårt tilfelle er det helt nødvendig å finne tilpassede løsninger. Heller ikke for en restaureringsmørtel som baseres på et moderne bindemiddel som akryl bør utvikles som universalprodukt eller en hylleware som kan benyttes i «alle» situasjoner. Kunnskapen vi som håndverkere har om blanding og utvikling av spesialtilpassede, autentiske kalkmørtler gir også et godt grunnlag for å utvikle også spesialtilpassede moderne mørtelalternativ. Her er kunnskapen om hvordan tradisjonelt murverk er utført sentral sammen med erfaringene som er gjort med uheldig bruk av det en gang moderne materialet sement.

4. Utvikling av en restaureringsmørtel

Sett de utallige småskadene steinene ble utsatt for i løpet av demonteringen av Kongeinngangen, ble det i januar 2013 utarbeidet en liste³⁰ over ca. 25 forskjellige bindemidler som kunne være aktuelle å bruke i ulike modelleringsmørtler. Enkelte produkter var lett å velge bort på grunn av inkompatibilitet med eldre murverk eller fordi de ikke lenger støttes av antikvariske myndigheter. Det gjelder generelt kunstharpiksprodukter som for eksempel epoksy, polyuretan eller polyester da disse ikke er pustende, fordi de er irreversible, kan gi saltutslag over tid eller på annen måte skade det omkringliggende murverket. Andre naturlige bindemidler som for eksempel beinlim eller naturharpiks kunne ikke benyttes fordi de ikke er egnet seg til utendørs bruk. De fleste av disse alternativene ble vurdert for utvikling av

³⁰ Internt arbeidsnotat datert 30.01.2013 utarbeidet av konservatoren ved NDR, Ronald Hübner

en mørtel som skulle lime sprekker i stein, men for en mørtel som skulle benyttes til å modellere og fylle inn manglende partier på en stein fantes det få alternativ utover sement, kalk og akryl. Sement er definert som et irreversibelt materiale og er ikke ønsket som bindemiddel i en nyutviklet restaureringsmørtel.

For å komme fram til et egnet produkt ble det samtidig definert et sett kriterier som skulle ivareta bygningen og prinsippene i bygningsvernfilosofi.³¹

Kriteriene var som følger:

- Reversibilitet
- Heft
- Diffusjonsåpenhet
- Tilnærmet lik styrke som kleberstein
- Brukervennlighet
- Estetikk
- Holdbarhet

Etter en preliminær undersøkelse basert på egne erfaringer og dokumentasjon ble to produkter vurdert som aktuelle og egnet i forhold til kriteriene som var satt. Disse to produktene var akryl og kalk. I bygghytta ved NDR samarbeidet håndverker og konservator om å tenke ut forskjellige hypoteser for hvordan en restaureringsmørtel kunne blandes, hvorpå disse ble testet og vurdert opp mot kriteriene.

1.9 Beskrivelse av prosessen

1.9.1 Reversibilitet

Dersom et inngrep eller en reparasjon gjøres på en slik måte at den kan omgjøres eller fjernes senere uten å skade bygningen, sier vi at den er **reversibel**. Bygningen eller bygningsdelen skal kunne fremstå som like intakt som før reparasjonen var gjennomført. Reversible inngrep og reparasjoner er ofte et mål i bygningsvernet fordi man ønsker å berøre en historisk bygning minst mulig, fjerne minst mulig originalt materiale og gjøre det lettere å skille mellom nytt og gammelt³².

³¹ Spesielt i Venezia charteret og Naradokumentet

³² "Den historiske bygnings væren på liv og død", Johannes Exner, artikkel i "Fortiden for tiden: Genbrugskultur og kulturgenbrug i dag", Arkitektskolens Forlag 2007

Enkle tester utført med meisel og feisel var nok for å overbevise oss om at små reparasjoner utført med akrylmørtel enkelt ville la seg fjerne om man bestemte seg for det en gang i fremtiden. Andre metoder for fjerning, for eksempel med organiske løsemidler ble ikke testet. Forskningen som pågår i Sveits³³ rapporterer imidlertid om gode resultater når det gjelder reversibilitet av akrylbaserte mørtler ved hjelp av organiske løsemidler som for eksempel etanol.³⁴ Bildet viser en test utført på Lausannes rådhus: 30 år etter reparasjonen mykner akrylmørtelen og lar seg lett fjerne ved hjelp av en spatel.



21 Bildet viser fjerning av akrylbasert mørtel ved hjelp av etanol (Foto: Thibault Demoulin)

1.9.2 Heft

Heft er evnen en mørtel har til å feste seg til et gitt underlag. Heft avhenger både av mørtelens sammensetning og underlaget den skal feste seg til. Heft kan forbedres ved å påføre underlaget en slags grunning som kalles heftebro eller heftgrunn. Grunningen kan bestå av ulike materialer, fra vanlig kalk («gysing») til komplekse kjemikalier.

Kleberstein er en tett bergart som består av blant annet talkum. Tettheten gjør at kleberstein har en langsom inntrengning av væsker og talkum er praktisk talt uløselig i vann. Erfaring har vist at kalkbaserte produkter har dårlig heft til kleberstein, noe som er en fordel i et murverk med godt forbandt: mørtelen lar murverket følge naturlige bevegelser, men uheldig der hvor mørtelen skal være en del av et objekt.

Da restaureringsmørtelprosjektet startet i januar 2013, var det et sterkt ønske å utvikle en kalkbasert mørtel som kunne benyttes til klebersteinkonservering, spesielt med hensyn til kunnskapsoverføring i forhold til materialbruk. Det ble derfor utført enkle eksperimenter for å teste heft av kalkbasert mørtel på kleberstein uten tap av diffusjonsevne. Å påføre et lag med grunning på kleberstein for å forbedre heften, kan samtidig medføre at porene i overflaten tettes igjen slik at diffusjonsevnen reduseres.

³³ Thibault Demoulin, George W. Sherer, Fred Girardet, Robert J. Flatt: Thermo-Mechanical Compatibility of Viscoelastic Mortars for Stone Repair, www.mdpi.com, Januar 2016.

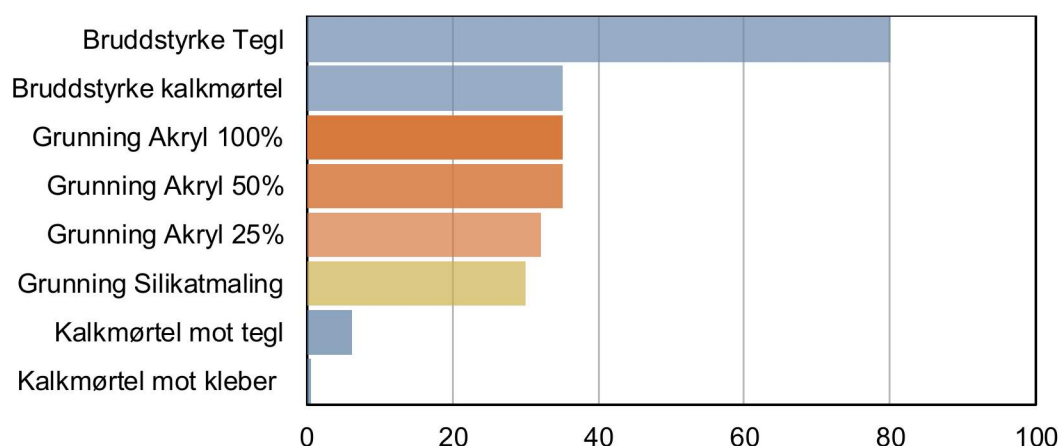
³⁴ A study of acrylic-based mortar for stone repair, Thibault Demoulin, Fred Girardet, Robert J. Flatt. <http://iscs.icomos.org/pdf-files/NewYorkConf/demoetal.pdf>

Det ble utført målinger av bruddstyrke med silikatmaling og utvannet akryldispersjon som heftgrunn mellom kalkmørtel og kleberstein. Denne testen ble utført i en tidlig fase av prosjektet hvor kalkmørtel ble utprøvd som reparasjonsmasse, og det foreligger ikke målbare heftverdier over kalkmørtelens egen bruddstyrke.



22 Illustrasjonene viser test av heft for kalkbasert mørtel (Foto og figur: NDR)

Diagrammet under viser hvordan ulike grunningsmaterialer påført en kleberstein påvirker kalkmørtelens hefteevne. Slik ble testene utført: felter på en klebersteinsplate blir påført ulike typer grunning og like mange teglsteiner murt på de respektive feltene. Etter endt herding ble steinene utsatt for trykket av en bølge som gradvis fylles med sand. Når steinen løsner gir sandmengden som forårsaket bruddet en indikasjon om hvor effektiv grunningen var.



23 Tabellen viser hefteevne for ulike typer heftgrunn, tallene henviser til bæreevne (antall kilo)
 Tabellen er utformet av Øystein Digre, NDR

Heften akrylbaserte mørtler har til kleberstein er ikke testet vitenskapelig i prosjektet, men ble vurdert erfaringsmessig gradvis gjennom utviklingsprosessen. De første oppskriftene på akrylbasert mørtel inkluderte bruk av en heftgrunn bestående av 25% akryl tynnet i vann. Hensikten var å oppnå god heft. Heften viste seg senere å være god nok uten bruk av heftgrunn. For god heft ville gå på bekostning av reparasjonens reversibilitet og derfor ikke ønskelig.

1.9.3 Diffusjonsåpenhet

For å tillate vann og damp til å forlate murverket, er det en forutsetning at reparasjonsmørtelen er diffusjonsåpen og helst mer enn selve steinen. Med diffusjonsåpenhet menes evnen et materiale har til å la fuktighet fritt trekke inn og slippes ut av materialet. I motsetning til for eksempel sement som er et svært tett materiale, så viser våre tester at en mørtel basert på akryl som bindemiddel er minst like porøs som selve klebersteinen. Den slipper vann både inn og ut fortere enn det originale materialet. Eventuell fuktighet i murverket får derfor lov til å trekke ut gjennom reparasjonen.

På bildet 19 ser man hvor fort vannet sprer seg på overflaten av både kleberstein og akrylmørtel: dette kalles for kapillaritet viser tydelig at mørtelprøven «trekker» vann fortere enn kleberstein. Dette gir en indikasjon på at vår mørtel har høyere porositet enn steinen.



24 Bildet viser hvor fort vannet sprer seg i kleberstein (venstre) og akrylmørtel (høyre) (Foto:NDR)



26 Kleberstein (Foto NDR)



25 Akrylmørtel (foto:NDR)



27 Test: evne til vannopptak
(foto NDR)

På bildene over blir en kleberstein- og en akrylmørtelprøve lagt i graduerte prøverør og hermetisk lukket. Etter en måned ble de tatt ut og delt i to (bilde 25-26). Undersøkelsen viser at kjernen av klebersteinen fortsatt er tørr: kun 2-3mm ytterst er blitt fuktet og vannnivået i glasset er lik en måned tidligere. Mørtelprøven er derimot gjennomtrukket av vann og graduering på glasset viser at 10ml vann er blitt absorbert av prøven.

Da det gjennom tester og utprøving i prosjektet etter hvert ble klart at en restaureringsmørtel basert på kalk ikke ville være egnet for reparasjoner på kleberstein, ble resultatene fra testene av heft og diffusjonsåpenhet utgangspunktet for den videre utviklingen av en mørtel basert på akryl.

Det ble også tidlig i prosjektet støpt mørtelprøver basert på akryl, med ulike sandtyper i et utvalg av fargetoner og kornstørrelser som tilslag. Hensikten var å vurdere om en restaureringsmørtel kunne tilpasses utseendemessig de ulike typer stein anvendt i Kongeinngangen. Blandingsforhold og teknikken var inspirert av referanseprosjektet i Gotha, Tyskland. Rapporten beskriver metodene som ble brukt der for å restaurere arkadene av slottet Friedenstein³⁵ i tidsrommet 2004-2008. Tilsynelatende dekket disse blandinger alle ønskede kriterier som var definert av NDR i prosjektet vårt. Omlag 100 steiner ble reparert med modelleringspastaen og satt ut i trøndersk klima.

Forsøket viste at blandinger mistet fasthet ved fuktpåvirkning slik at reparasjonene løsnet fra steinen. Disse hardnet midlertidig til igjen ved opptørking. Denne uventede uheldige vendingen reiste en rekke spørsmål:

- Hvordan påvirkes akrylblandingen av vann?
- Hvilken herdetid er det på produktet?
- Har type mineraler i tilsetninger betydning?
- Hvordan kan graderingen på tilsetningene påvirke resultatene?
- Hvor stor andel bindemiddel er ideelt?
- Hvordan er holdbarheten?

For å finne årsaker og sammenhenger knyttet til den dårlige evnen til å tåle fuktig vær, ble det støpt 50 nye prøver med ulike tilslag og varierende akrylmengde som ble testet for fasthet ved støp (modellerbarhet), krympesprekker ved herding, hardhet ved etterarbeid, hardhet etter en time i vann, hardhet etter ett døgn i vann og dypfryst i ett døgn.

Resultatene av disse prøvene viste tydelig at lav akrylmengde og konsentrasjon var en medvirkende årsak til svekkelsen ved vannpåvirkning.

Et av kriteriene var at mørtelen skulle ha tilnærmet lik styrke som kleberstein. Hardheten av erstatningsmateriale valgt til konservering av stein, bør være så lik som mulig det originale materialet, helst litt svakere. Dette er nødvendig for å kunne opprettholde en balanse mellom

³⁵ Se S.17 denne oppgave

de ulike materialene som er tatt i bruk, og for å unngå spenning og ytterligere skader ved ytre påkjenninger som for eksempel fukt, frost og vind. I denne sammenhengen ble trykkfasthet ikke hensyntatt fordi reparasjonene ikke har noen bærende rolle i murverket. Isteden målte vi hardheten på overflaten av de ulike mørtelprøvene.

I starten av undersøkelsene ble det utført såkalt «skrapetest» på alle prøvene med en skala fra 1 til 3. Skalaen visste seg etterhvert å være for begrenset med tanke på antall prøver som skulle sammenlignes slik at anskaffelse av et måleapparat (en durometer) viste seg å være nødvendig.



28 Bildene viser hvordan en skrapetest utføres og tester med hardhetsmåleren (Foto: NDR)

Målingene ble brukt som sammenligningsgrunnlag for å vurdere prøvene mot hverandre. Verdiene er derfor kun indikativ og er ikke omregnet til noen kjent hardhetsskala. For hver prøve ble det foretatt 10 målinger og tabellen viser gjennomsnittet for disse.

1.9.4 Estetikk

Når de første akrylmørtelprøvene ble støpt var fargesetting en viktig del av oppgaven: mange nyanser blant klebersteintypene skulle etterlignes. Man brukte da graderte tilslag og pigmenter. Ettersom testene ble utført ble valgene tilspisset og man bestemte seg til slutt å satse på ren kleberstein som tilslag (se S.31). En prøve gjort på tre ulike steintyper med forskjellige farger viser at mørtelen basert på Målselv stein passer til alle tre variantene.

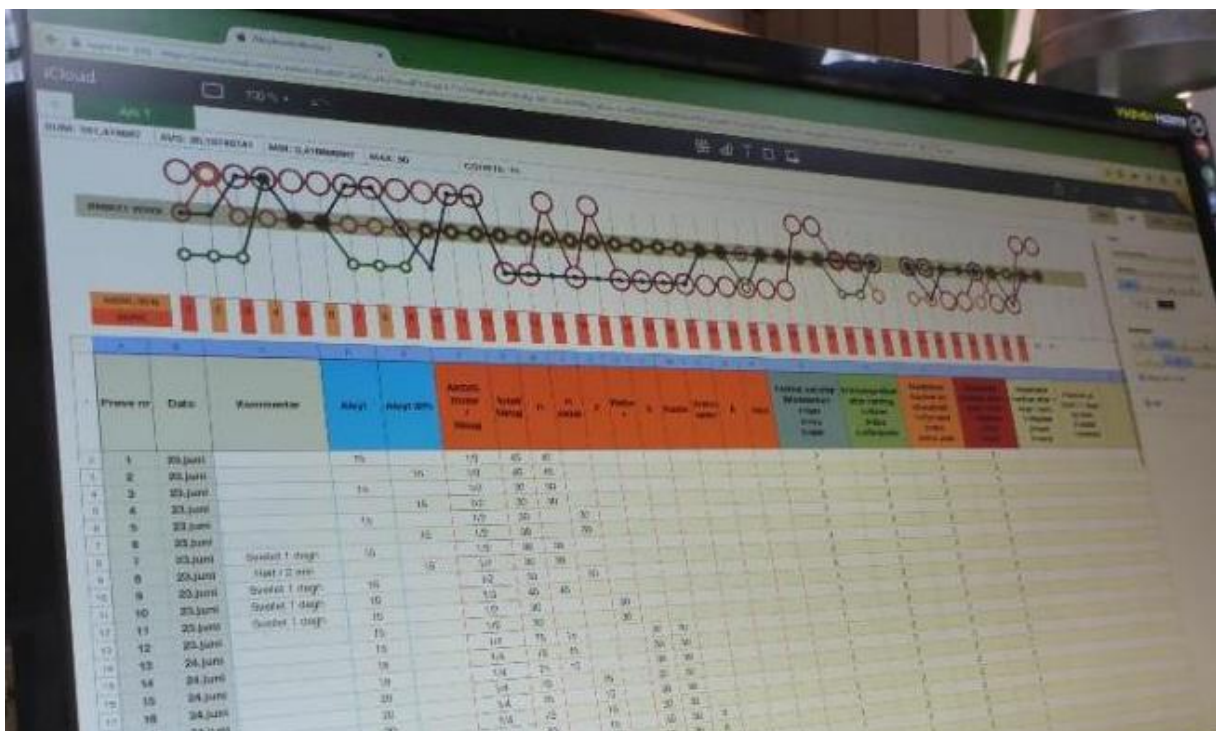


29 Fargeprøver (foto: NDR)

1.9.5 Holdbarhet

Et annet kriterium mørtelen måtte vurderes mot var holdbarhet (værbestandighet). Målet med utviklingen av reparasjonsmørtelen har ikke vært å etterligne tapt materie. Hensikten var heller å gi byggverket det utseende den hadde før restaureringsarbeidet ble satt i gang i størst mulig grad ved at mest mulig av det originale materialet beholdes. Reparasjonens hovedfunksjon er først og fremst å begrense skadenes forverring. Mørtelen som brukes forventes ikke å vare like lenge som selve steinene de påføres. Det er derimot et mål at vedlikehold kan utføres i fremtiden uten å skade det originale byggverket slik bruken av sement har vist seg å gjøre (evne til reversibilitet). Likevel, med hensyn til tidsbruk og økonomi er det en fordel at reparasjonene er holdbare slik at vi kan dra nytte av det arbeidet som gjøres så lenge som mulig. Det er i tillegg et krav fra NDR at steinene som repareres skal tåle å fraktes etter at de blir restaurert. Mørtelens holdbarhet var derfor en viktig faktor i undersøkelsene.

En kvalitetskontroll ble utført på samtlige prøver etter nedsenking i vann både etter en time og et døgn samt etter nedfrysing i et døgn i frysenskap og tint. Samtidig ble det registrert konsistens og krympesprekkdannelse. Karakterer ble gitt fra 1 til 3 og oppskriftene som fikk høyest verdi ble sammenlignet og tatt videre (se vedlegg 2).



30 Bildet viser hvordan registrering av verdiene blir gjort i tabell og skjema (Foto: NDR)

Resultatene viste at prøvene laget med tilslag av knust kleberstein kom like bra ut av testene og at heft også var tilfredsstillende. Det ble derfor bestemt å holde fokus på en oppskrift basert på kirkens egen steintype. Oppskrifter basert på farget tilslag ble etterhvert valgt bort til fordel for kleberstein fra Målselv: det er den steinen som er tilgjengelig for tiden til restaurering av kirken. For å undersøke om gradering av tilsetningen hadde innvirkning på stabiliteten av produktet, valgte vi i videre tester å knuse og sikte kleberstein fra steinbruddet i Målsel

Blandingsforhold i prosent

Prøve nr	KLEBER 0,5 - 1	KLEBER 0,25 - 0,5	KLEBE R0,125 - 0,25	KLEBE R0,063 - 0,125	KLEBE R 0 - 0,063	Kaolin	Grønn marmor	Akryl
74	67	0	0	0	17	0	0	17
75	50	0	0	0	30	0	0	20
76	0	0	0	0	0	0	77	23
77	3	34	16	9	16	0	0	22
78	67	0	0	0	0	17	0	17
79	67	0	0	0	8	8	0	17
80	63	0	0	0	21	0	0	16
81	60	0	0	0	20	0	0	20

Blandingsforhold i prosent (Tabell utformet av Øystein Digre)

Plassering	Fra prøve nr.	Dato	Hardhet etter 1 døgn. Overside	Hardhet etter 2 døgn. Overside
1	74	09.12.15	48	50,2
2	75	09.12.15	28,6	45,7
3	76	09.12.15	57,2	60,1
4	77	09.12.15	41,3	46,1
5	78	09.12.15		43,6
6	79	09.12.15		45,2
7	80	10.12.15	44,5	
8	81	10.12.15	29,2	

31 Hardhetsmåling (Tabell utformet av Øystein Digre)

Vår konklusjon ble at en blanding bestående av store og små partikler ville gi størst tetthet i sluttblandingen. Gjenstående luftrom ville gi volum av bindemiddel som trengs for å gi mørtelen den optimale tetthet og tilsvarende stabilitet ved vann og frostpåkjenning. Åtte blandinger ble valgt for videre evaluering og testing (74 til 81). De ulike blandingenene representerer forskjellige teorier vi har laget ut ifra tilslagenes tetthet, komprimeringsvariasjoner og vannopptak.

Vi valgte å bruke de største steinpartiklene for og å fylle tomrommet med de minste slik at oppskriften ble som følgende:

Blandingsforhold:

3 deler grovsiktet knust kleberstein fra Målselv 0,5-1mm

2 deler finsiktet knust kleberstein fra Målselv 0-0,063mm

1 1/4 deler Akryl

= 3 deler



**3 deler
0,5 - 1mm**



**2 deler
0 - 0,063mm**



**1 1/4 deler
Akryl**

32 Endelig oppskrift (illustrasjon Øystein Digre, NDR)

I tillegg til denne oppskriften som er tiltenkt utbedring av små skader ble akryldispersjon også prøvd på andre typer skader og ga følgende oppskrifter og bruksmåter:

Oppskrift lim til innfelling, finmasse

- Bland finstoff (0 - 0,063mm) og Akryl til ønsket tykkelse
- Smør på hele tomten og sett på innfellingen.
- Må herde 1 døgn før innfelling, eventuelt tilpasses med rasp/fil. Hugging kan medføre brudd i limfuge.

- Skal herde **minimum 3 døgn** i romtemperatur.

Lim til sprekker og løse deler

- Horisontale delinger, mindre løse deler og hårsprekker injiseres med Akryl.
- Skal herde **minimum 3 døgn** i romtemperatur.
- Vertikale sprekker kan limes med med akryl og dybler/kramper.

Beskrivelse av arbeidsforløpet ved bruk av reparasjonsmørtel:



33 Akryl og tilslag blandes



34 Massen legges på skaden



35 Mørtelen files



36 Ferdig resultat

1.9.6 Veien videre

Det ble foreslått å gjøre en fullskala eksperimentering av den ovennevnt oppskriften. Skadede steiner av de fem første skiftene av kongeinngangen skal repareres med denne blandingen. Dette gir et ettårsperspektiv med mulighet til å kontrollere og eventuelt videreutvikle metoden.

Resultatene viser at kriteriene blir oppfylt:

- Det er fullt mulig å fjerne mørtelen selv etter 30 år.
- Heft er tilstrekkelig
- Materialet puster
- Fargen tåler å bli brukt på ulike steintyper
- Mørtelen tåler vann og frostpåvirkning
- Brukervennlighet

Prosesen med utvikling av restaureringsmørtelen har vært både tid- og ressurskrevende, den originale oppskriften hentet i en fremmed rapport var ikke den riktige, og krevde en tilpasning vi først ikke hadde sett for oss. Det viser hvor viktig det er å sette seg i dokumentasjon og beskrivelser av nye materialer. Metoden ble likevel utgangspunktet for et resultat som tilsynelatende kan være en god løsning på problemstillingen som lå til grunn. Løsningen som ble valgt var også en utfordring for forsknings- og utviklingsavdelingen når det gjaldt å overbevise håndverkerne og spesielt steinhuggere at alternativet kanskje ikke var så feil som den kunne se ut.

5. Konklusjon

Den mest autentisk måten å utføre den type restaurering på hadde utvilsomt vært å benytte innfellingsmetoden men skadeomfanget gjorde valg av en restaureringsmørtel langt mer fornuftig. Alternativt kunne man unnlatt å gjøre noe slik det ble gjort ved Vestfrontfasaden.

Når bruk av kalk som bindemiddel viser seg å være uegnet til formålet er det da viktig å være åpen for nye eller ukjente metoder. I vårt tilfelle ville ikke denne løsningen heller vært materialautentisk og hadde dessuten krevd bruk av moderne midler for å være holdbar (heftbro). Det kan tenkes at akrylmørtelen vi har kommet frem til ikke er det beste svaret til vår problemstilling men den kan i verste fall bli sett på som et offersjikt i påvente av en bedre løsning. Den representerer etter det vi har erfart ingen fare for Domkirken. Det som kan være farlig ved bruk av moderne materialer av denne typen er å ikke stille spørsmål og stole blind på dem. Brukt fornuftig kan de faktisk tjene vår sak på en god måte.

Bygningsvern begrenser seg ikke til det tradisjonelle og i enkelte tilfeller har vi nødt til å benytte moderne teknologi også. Vi bruker stadig nye oppfinnelser til måling, registrering og forskning.

Det er et mål for NDR at metoder og materialer skal ha en autentisk verdi, det er derfor viktig ikke å fjerne unødvendig mye materiale. Når autentiske metoder krever at store deler av steinen fjernes for innsetting av nytt steinmateriale vil en metode med god reversibilitet som ikke hindrer fremtidige reparasjoner eller ytterligere skader stein eller bygning være forsvarlig.

6. Kilder

Litteratur

Bjørlykke, Kristin og Langås, Rune: Kongeinngangen- undersøkelse og vurdering av restaureringsmetoder, Bacheloroppgave HIST 2012.

Ekroll, Øystein og Sørburø, Espen: Dokumentasjon av ornament og skulptur i hovedbue, Kongeinngangen, NDR mars 2012

Exner, Johannes: "Den historiske bygnings væren på liv og død", artikkel i "Fortiden for tiden: Genbrukskultur og kulturgenbrug i dag", Arkitektskolens Forlag 2007

Heldal, T. og Storemyr, P: NGU rapport 97-149, 01-11-97

Martin, Bill og Wood, Chris (red): mortars, renders & plasters, Practical building conservation, English heritage, Ashgate 2011

Martin, Bill og Wood, Chris (red): Stone, Practical building conservation, English heritage, Ashgate 2012

Storemyr, Per: Nidarosdomens grunnfjell, NDR Forlag, 2015

Storemyr, Per: The stones of Nidaros, NTNU 1997

La chaux et le stuc, Ecole Atelier de restauration Centre historique de León, Eyrolles

Erarbeitung und Erprobung einer Sanierungstechnologie für umweltgeschädigte Bauteile aus Lettenkohlsandstein am Beispiel der Arkaden des Schlosses Friedenstein in Gotha Laufzeit: März 2004 bis Februar 2008

Artikler

Thibault Demoulin, George W.Sherer, Fred Girardet, Robert J.Flatt: Thermo-Mechanical Compatibility of Viscoelastic Mortars for Stone Repair, www.mdpi.com, Januar 2016.

Thibault Demoulin, Fred Girardet, Robert J.Flatt: Reprofilng of altered building sandstones: on-site measurement of the environmental conditions and their evolution in the stone, 2014

Thibault Demoulin, Fred Girardet, Robert J.Flatt: «A study of acrylic-based mortar for stone repair»

Clare Torney, Alan M Forster, Ewan M Szadurski: Specialist 'restoration mortars' for stone elements: a comparison of the physical properties of two stone repair materials, Heritage Science 2014

Alan M. Foster (2010): Building conservation philosophy for masonry repair: part 1 – «ethics» Structural survey, vol 28 Iss s 91-107

Alan M. Foster (2010): Building conservation philosophy for masonry repair: part 2 – «principles» Structural survey, vol 28 Iss s. 165-188

Clare Torney, Alan M. Foster, Craig j. Kennedy, Ewan K. Hyslop (2012): Plastic repair of natural stone in Scotland: perceptions and practice, Structural survey, Vol 30, Iss4 s. 907-311

Internett

Icomos, Nara-dokumentet: <http://www.icomos.org/charters/nara-e.pdf>

Icomos, Venezia-charteret: http://www.icomos.org/charters/venice_e.pdf

Om akryl: http://cameo.mfa.org/wiki/Acrylic_resin

Om akryl: <http://artsplastiquesdanielecavallo.blogspot.no/2009/12/lacrylique-son-histoire.html>

Store norske leksikon: https://snl.no/hypotetisk-deduktiv_metode

Store norske leksikon: <https://snl.no/Nidarosdomen>

Wikipedia: <https://no.wikipedia.org/wiki/Kleberstein>

Upublisert

Digre, Øystein: Internt dokument NDR, udatert, reparasjonsveileder som tabell

Digre, Øystein: Internt dokument NDR, udatert, Akrylbasert modelleringsmasse, reparasjon av kleberstein på Nidaros domkirke

Hübner, Ronald: Internt arbeidsnotat NDR, liste over alternative bindemidler, 30.01.2013,

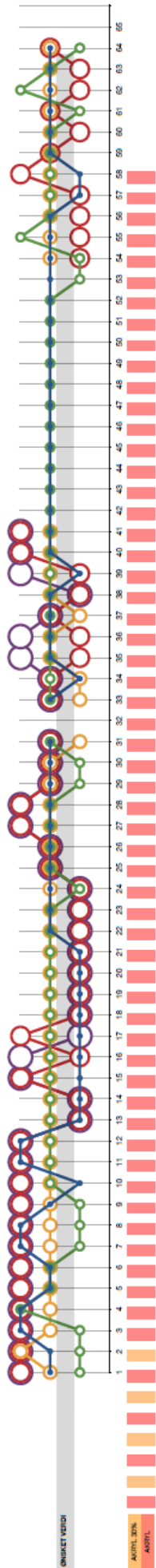
Reid, Rebecca: Notat om mørtelreparasjonar og beskyttelseslag (shelter coat), Arkeologisk museum, Universitetet i Stavanger, oktober 2014

Sjømar Sjømar: Presentasjon om metode i håndverkskunnskap, bygningsvernkongress i Oslo/ Norsk Folkemuseum 2014

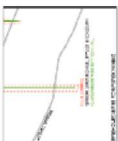
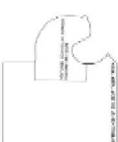
7. Vedlegg

- Tabell 1: Oversikt tester
- Tabell 2: reparasjonsveileder

Oversikt tester



Frivær nr	Dato	Kommentar	Akryl	Akryl 30%	AKRYL Akryl Etiling	Tælt Etling	H sølet	F	Klub er	E	Kanin alder	A	Gips	D	D2	A	Færdig ved stop (Modellbar)	Krympesprok 1-Store 2-Bla 3-Halsprok	Alsegtabel hærdet eller 1-For hærd 2-Bla 3-For svæk	Alsegtabel hærdet eller 1-Middels 2-Bla 3-Les	Alsegtabel hærdet eller 1-For eller 1- Færdig
1	23.juni		15	15	1/3	25%	45										2	1	2	3	3
2	23.juni				1/3	0%	45											1	3	3	3
3	23.juni		15	15	1/2	33%	30										2	1	2	3	3
4	23.juni				1/2	0%	30										3	3	2	3	3
5	23.juni		15	15	1/2	33%	30										2	2	2	3	3
6	23.juni				1/2	0%	30										2	2	2	3	3
7	23.juni	Svækket 1 døgn			1/2	0%	30										2	1	2	3	3
8	23.juni	Revet 1 døgn			1/2	0%	30										2	3	2	3	3
9	23.juni	Svækket 1 døgn			1/2	33%	30										2	1	2	3	3
10	23.juni	Svækket 1 døgn			1/2	25%	45										2	2	2	3	3
11	23.juni		15	15	1/2	33%	30										3	3	3	3	3
12	23.juni		15	15	1/2	33%	30										3	3	2	3	3
13	23.juni		18	18	1/4	19%	75										1	2	2	1	1
14	24.juni		18	18	1/4	19%	75										1	2	2	1	1
15	24.juni		18	18	1/4	19%	75										1	2	2	1	1
16	24.juni		20	20	1/4	21%	75										1	2	2	1	1
17	24.juni		20	20	1/4	21%	75										1	2	2	1	1
18	24.juni		20	20	1/4	20%	83										1	2	2	1	1
19	24.juni		20	20	1/4	20%	83										1	2	2	1	1
20	24.juni		21	21	1/4	20%	83										1	2	2	1	1
21	24.juni		21	21	1/4	20%	83										1	2	2	1	1
22	24.juni		24	24	2/7	22%	83										2	2	2	1	1
23	24.juni		24	24	2/7	22%	83										2	2	2	1	1
24	24.juni		24	24	2/7	22%	83										2	2	2	1	1
25	25.juni		30	30	1/2	33%	60										2	2	2	2	2
26	25.juni		30	30	1/2	33%	60										2	2	2	2	2
27	25.juni	Svækket 1 døgn			1/3	25%	60										2	2	2	2	2
28	25.juni	Svækket 1 døgn			1/3	25%	60										2	2	2	2	2
29	25.juni		30	30	2/7	22%	60										2	2	2	2	2
30	25.juni		30	30	2/7	22%	60										2	2	2	2	2
31	25.juni	Svækket 1 døgn			1/5	17%	60					60					2	1	2	2	2
32	25.juni	Svækket 1 døgn			1/5	17%	60					60					2	1	2	2	2
33	25.juni		33	33	5/9	35%	60										2	2	1	2	2
34	25.juni		33	33	5/9	35%	60										2	2	1	2	2
35	25.juni	Svækket 1 døgn			1/3	25%	60										2	2	2	1	1
36	25.juni		20	20	1/3	25%	60										2	2	2	1	1
37	25.juni	Svækket 1 døgn			7/12	88%	2						2				2	2	1	2	2
38	25.juni		30	30	1	49%	31						1				2	2	1	2	2
39	25.juni	Tør ved modtørring			3/5	60%	31						1				2	2	2	1	1
40	25.juni	30m Akryl Gipsbånd			3/5	49%	31						1				2	2	2	1	1
41	25.juni	30m Akryl Gipsbånd			3/5	38%	60						20				2	2	2	1	1
42	26.juni	30m Akryl Gipsbånd			2/9	22%	45						20				2	2	2	3	3
43	26.juni		10	10	2/9	18%	45						20				2	2	2	3	3
44	26.aug		8	8	1/6	15%	45							45			2	2			
45	26.aug		8	8	1/6	15%	45							45			2	2			
46	26.aug		13	13	2/7	22%	45								45		2	2	2	1	1
47	26.aug		13	13	2/7	22%	45										2	2	2	1	1
48	26.aug				1/3	25%	45										2	2	2	3	3
49	26.aug		26	26	1/3	25%	45										2	2	2	2	2
50	26.aug		50	50	2/7	22%	45										2	2	2	2	2
51	26.aug		13	13	2/7	22%	45										2	2	2	2	2
52	26.aug		13	13	2/7	22%	45										2	2	2	2	2
53	26.aug		53	53	1/4	21%	45										2	2	2	2	2
54	26.aug	0,0-0,03	8	8	2/5	26%	20										2	1	2	1	1
55	26.aug	0,033-0,125	7	7	1/3	26%	20										2	2	2	1	1
56	26.aug	0,125-0,250	5	5	1/4	20%	20										2	2	2	1	1
57	27	0,250-0,5	4	4	1/5	17%	20										2	2	2	1	1
58		0,5-1	3,5	3,5	1/6	15%	20										1	2	2	3	3
59		15m0,5-1 5m0,0,003	4	4	1/5	17%	20										2	2	2	2	2
60	0,003-0,125 0,125-0,250 0,25-0,5 0,5-1 5m1 av 7m		5	5	1/4	20%	20										2	2	2	2	2
61	15m0,0,003 5m0,0,5-1		7	7	1/3	26%	20										2	2	2	1	1
62	0,003 0,003-0,125 0,125-0,25 0,25-0,5 0,5-1 5m1 av 7m		6	6	2/7	23%	20										2	2	2	2	2
63	0,003 0,003-0,125 0,125-0,25 0,25-0,5 0,5-1 5m1 av 7m		5,5	5,5	2/7	23%	20										2	2	2	1	1
64	0,003 0,003-0,125 0,125-0,25 0,25-0,5 0,5-1 5m1 av 7m		5	5	2/7	23%	20										2	2	2	1	1
65	Tælt 0,003 0,5-1				1/4	25%	20										2	1	2	2	2

REPARASJONSVEILEDER		VELG EN AV DE FIRE SKADEVARIANTENE SOM PASSER TILFELLET OG VELG NEDOVER FOR BESKRIVELSE AV TILTAK	
SPLITAKKET STEN, ELLER STEN I FLERE DELER.	SPREKKER/DELER SOM TÅLER TRUKK, HORIZONTALE SPREKKER.		
			
	DELER SOM TÅLER TRUKK/DELER SOM TÅLER TRUKK, ELLER SOM FÅR EN STOR FØRSTØTTE, STØTTE ELLER STØTTE I NÅR TRUKK.		
			
MANGLENDE HØRNER/KANTER MOT FUGER.	MINDE SKADER.		
	STØRRE SKADER.		
MANGLENDE BITER PÅ PROFIL.	MINDE SKADER.		
	STØRRE SKADER.		
	DELER SOM TÅLER TRUKK (I TIDENSVILLIG INFELING) INFELINGEN?		
	INFELINGER SOM FÅLLER AV OM DELER BURTRETTET.		
MANGLENDE BITER PÅ ORNAMENT ELLER SKULPTUR.	MINDE SKADER.		
	STØRRE SKADER.		

Vedlegg 2

Reparasjonsveileder