

Konservering av helleristninger

Kan man konsolidere helleristninger på granitt?

Julia Holme Dammann



Masteroppgave Gjenstandskonservering
Institutt for arkeologi, konservering og historie
Humanistisk Fakultet

UNIVERSITETET I OSLO

18.12.2009

Sammendrag

Helleristninger er en helt spesiell gruppe kulturminner, hugget i overflaten av berg, har de befunnet seg i utendørs miljø og klima i flere tusen år, utsatt for mange ulike nedbrytningsprosesser. Dette kan påvirke selv et solid materiale som bergarten granitt. Helleristningene befinner seg også på bergoverflaten, hvor forvitring skjer først, og de er ofte nokså grunt hugget, noe som gjør dem sårbare for forvitring og nedbrytning. I denne forbindelse har ulike konserveringsinngrep blitt forsøkt, blant annet konsolidering av ristningsflaten med ulike konsolideringsmidler. Lite forskning har imidlertid vært gjort på konsolidering av helleristninger på granitt, mer forskning har vært gjort på andre bergarter. Samtidig ligger helleristningene i en av Nord-Europas rikeste helleristningsområder, Østfold-Bohuslän, på granitt. Konsolidering av helleristninger på granitt ble derfor valgt som undersøkelsesområde for denne oppgaven, med formål å forsøke å finne ut hvorvidt helleristninger på granitt kan konsolideres. Oppgaven har omfattet litteraturstudier, undersøkelser og praktiske forsøk med et prøvemateriale. Konsolidering av granitt har blitt prøvd ut på en løsblokk fra Begby i Østfold, hvor det ligger flere helleristningsfelt. Studien som er gjort, har undersøkt konsolidering med Paraloid B72, vannglass (KRYSTAZIL 40), en alkoxysilan (SILRES BS OH 100) og presipitasjon av kalsitt på dette prøvematerialet. Av disse midlene fremsto SILRES BS OH 100 som det mest lovende. Dette middelet er naturlig kompatibelt med steinen, ettersom det består av SiO₂ og binder til kvarts som finnes rikelig i granitt. Det så også ut til å trenge gjennom forvitringssonen i steinen. Disse resultatene er imidlertid mer usikre, grunnet undersøkelsesmetodene som ble benyttet (SEM-EDS), hvor det var vanskelig å skille mellom konsolideringsmiddelet og mineraler i steinen. Middelet mørknet imidlertid overflaten av steinen noe, og gjorde den mer skinnende.

Oppgaven ble skrevet fra august til desember. Innen dette tidsrommet lot det seg dessverre ikke gjøre å utføre tester som kunne gi en indikasjon på langtidsholdbarhet av de ulike behandlingene, dette er derfor et område som står som svært relevant for videre forskning.

Forord

Konservering går på tvers av flere fagfelt i arbeidet med ulike materialer. Som konserveringsstudent ved Universitetet i Oslo blir man oppmuntret til å arbeide selvstendig, både praktisk og skriftlig, og fordype seg i mange ulike typer forskning og analyseteknikker. Masteroppgaven er en øvelse i dette.

Dette arbeidet hadde aldri latt seg gjennomføre uten vennlig gitt informasjon og råd fra mange mennesker. Først og fremst vil jeg takke min veileder, Douwtje Van Der Meulen, for gode tilbakemeldinger og veiledning underveis.

Takk også til Torunn Klokkernes og David Vogt, for stort engasjement og hjelpsomhet og lån av mange bøker, artikler og annet informasjonsmaterieell, og også viderefremidling til andre fagfolk. Takk også til Eva Ernfridsson, Cecilia Strömer, Bitten Bakke og Wenche Odden for å ha delt av sin store kunnskap om og erfaring med konservering av helleristninger og kommet med konstruktive innspill og hjelp til å skaffe materialer. Takk til Tom Andersen og Per Aagaard ved Institutt for geofag, Universitetet i Oslo, og Salah Akhavan, Jon Lønnve og Reidar Trønnes ved Naturhistorisk museum, Seksjon for geologi, for all hjelp med å undersøke og tolke materialet, og til Hartmut Kutzke for hjelp med SEM-EDS undersøkelser. Jeg vil også takke alle mine medstudenter, for alt deres engasjement, gode innspill og støtte, som har gjort dette studiet så flott.

Takk også til familie, venner og Tor for å ha vært forståelsesfulle og hjelpsomme støttespillere underveis i denne prosessen.

<i>Sammendrag</i>	<i>i</i>
<i>Forord</i>	<i>ii</i>
1. Innledning	1
1.1. Hva er helleristninger?	1
1.2. Hvorfor se på konservering av helleristninger?	2
1.3. Helleristningsområdet Østfold/Bohuslän	2
1.4. Oppbygning av oppgaven	4
2. Forskningshistorikk	5
2.1. Tidligere forskning på bevaring av bergkunst	5
2.2. Konsolidering av helleristninger: praktiske og etiske aspekter	6
2.3. Tidligere konservering av helleristninger	8
2.4. Steinkonsolideringsmidler	10
2.4.1. Epoksy	11
2.4.2. Akryllim	12
2.4.3. Silisiumbaserte konsolideringsmidler	13
Alkoksylsilaner	13
Vannglass	14
3. Nedbrytningsprosesser og steinkarakteristika	16
3.1. Oppbygningen av granitt	16
3.2. Nedbrytning av stein	17
3.2.1. Kjemisk forvitring	18
3.2.2. Biologisk forvitring	19
3.2.3. Mekanisk forvitring	20
3.3. Nedbrytning og forebygging	22
4. Metode	23
4.1. Litteratursøk, konsultering av fagpersoner og befaringer	23
4.2. Karakterisering av materiale	24
4.2.1. Undersøkelse av bergart og mineralsammensetning	25
4.2.2. Undersøkelse av porøsitet	26
4.2.3. Undersøkelse av styrke	27
4.3. Konsolidering: Valg av midler	28
4.4. Konsolideringsmetoder	29
4.5. Metoder for å vurdere effekten av konsolidering	30
5. Undersøkelse og karakterisering av testmateriale	31
5.1. Utvalg av testmateriale	31
5.2. Visuell undersøkelse av testmateriale	33

5.3. Undersøkelse av tynnslip med polarisasjonsmikroskop	33
5.4. Undersøkelse av tynnslip og steinprøve med SEM-EDS	34
5.5. Røntgendiffraksjonsanalyse (XRD)	36
5.6. Testing av porøsitet	38
5.7. Diskusjon av resultater	39
6. Konsolidering av testmateriale	40
6.1. Valg av konsolideringsmidler	40
1. Utfelling av kalsiumkarbonat (kalsitt) ved overmettet løsning	41
2. SILRES® BS OH 100	42
3. Vannglass (KRYSTAZIL 40)	43
4. Paraloid B72	43
6.2. Konsolidering – fremgangsmåte	44
6.2.1. Konsolidering ved utfelling av kalsiumkarbonat (kalsitt) i steinens porer	44
6.2.2. Konsolidering med SILRES BS OH 100	46
6.2.3. Konsolidering med vannglass (KRYSTAZIL 40)	47
6.2.4. Konsolidering med Paraloid B72	47
6.3. Resultater konsolidering	48
6.4. Undersøkelse av konsoliderte prøver med SEM-EDS	50
6.4.1. Undersøkelse av prøve konsolidert med kalsitt	50
6.4.2. Undersøkelse av prøve konsolidert med SILRES BS OH 100	52
6.4.3. Undersøkelse av prøve konsolidert med vannglass (KRYSTAZIL 40)	54
6.4.4. Undersøkelse av prøve konsolidert med Paraloid B72	55
6.5. Diskusjon av SEM-EDS resultater	56
6.6. Overflatebehandling etter konsolidering	57
6.6.1. Overflatebehandling etter konsolidering med kalsitt	58
6.6.2. Overflatebehandling etter konsolidering med SILRES BS OH 100	58
6.6.3. Resultater overflatebehandling	59
6.7. Undersøkelse av porøsitet etter behandlinger	60
6.8. Testing av vannfasthet	61
6.9. Undersøkelse av prøver etter overflatebehandling og vannbad med SEM-EDS	63
7. Diskusjon av metoder, konklusjon og forslag til videre forskning	66
7.1 Undersøkelse av effekten av behandling	66
7.2 Resultater testing av konsolideringsmidler	67
7.3 Behov for konsolidering	68
8. Referanser	70
Litteratur	70
Elektroniske kilder	73
Personlig kommunikasjon	74
9. Begrepsforklaringer	76

10. Anvendte materialer og leverandører	77
Vedlegg 1: Resultater røntgendiffraksjonsanalyse (XRD)	78
Vedlegg 2: Resultater SEM-EDS analyse	79
Prøve 1, konsolidert med kalsitt	79
Prøve 2, konsolidert med SILRES BS OH 100	82
Prøve 3, konsolidert med vannglass (natriumsilikat – KRYSTAZIL 40)	84
Prøve 4, konsolidert med Paraloid B72 15 %	87
Prøve 1b, konsolidert med kalsitt, etter vannbad	88
Prøve 1a, konsolidert med kalsitt og overflatebehandlet med Paraloid B72, etter vannbad	90

Figurer og tabeller

Kapittel	Figur	Side
2	Figur 2.1: Helleristning med kalkutfellinger pga sement, Drotten, Lillehammer (eget foto).	9
3	Figur 3.1: Svært tydelig forvitringssone, 8 mm dyp, på granitt fra helleristningslokaliteten Vestbøstad, Hordaland (foto: L. Sæbø, hentet fra Bjelland og Helberg, 2006, s. 19).	17
3	Figur 3.2: Helleristningsberg av sandstein skadet av rotsprengning fra trær. Ås I, Gjerpen, Skien, Østfold (eget foto).	20
4	Figur 4.1: Eksempel på SEM-bilde av forvitringssone. Svarte områder = hulrom/porer (ill. fra Bjelland og Helberg, 2006, s. 18).	26
5	Figur 5.1: Testmateriale: Stein fra Begby, Østfold.	32
5	Figur 5.2: Stein fra Begby, Østfold, antatt overside.	32
5	Figur 5.3: Oppdelte prøver.	32
5	Figur 5.4: Kart over Begby, Fredrikstad, Østfold. Pilen indikerer hvor steinen er hentet.	32
5	Figur 5.5: Forvitringssone med sprekk, fotografert gjennom arbeidsmikroskop.	33
5	Figur 5.6: Illustrasjon av granittens mineralsammensetning: Tynnslip av prøvestein under krysspolarisert lys. 100x.	34
5	Figur 5.7: SEM-bilde av forvitringssone på ubehandlet prøve. 30x.	35
5	Figur 5.8: Ubehandlet prøve, 5 mm dybde. 600x. Kvarts og feltspat funnet.	35
5	Figur 5.9: Ubehandlet prøve, 10 mm dybde. 600x.	35
5	Figur 5.10: Ubehandlet prøve, 15 mm dybde, 200x. Biotitt og muskovitt funnet.	35
5	Figur 5.11: Ubehandlet prøve, 25 mm dybde. 800x. Trolig muskovitt i	35

	venstre side av bildet, og albitt til høyre.	
5	Figur 5.12: SEM-bilde av forvitringssone i tynnslip. 33x.	35
6	Figur 6.1: Prøve 1, ca 2 mm dybde, 95x. Ca til stede.	51
6	Figur 6.2: Prøve 1, ca 2 mm dybde, 600x. Ca til stede.	51
6	Figur 6.3: Prøve 1, ca 5 mm dybde, 600x. Ca til stede. Grønne piler: mulige kalsittkrystaller.	51
6	Figur 6.4: Prøve 1, ca 10 mm dybde, 450x. Ca til stede.	51
6	Figur 6.5: Prøve 1, ca 12 mm dybde, 370x. Noe Ca.	51
6	Figur 6.6: Prøve 1, ca. 20 mm dybde, 650x. Spor av Ca i merket område.	51
6	Figur 6.7: Prøve 2, forvitringssone, 60x.	52
6	Figur 6.8: Prøve 2, ved overflate, 500x. Spektrum 1: muligens SILRES BS OH 100.	52
6	Figur 6.9: Prøve 2, 2 mm dybde, 600x.	53
6	Figur 6.10: Prøve 2, 5 mm dybde, 650x.	53
6	Figur 6.11: Prøve 2, 10 mm dybde.	53
6	Figur 6.12: Prøve 2, 15 mm dybde, 550x.	53
6	Figur 6.13: Prøve 3, overflate, 85x. Grønn pil indikerer overflatelag av vannglass.	54
6	Figur 6.14: Prøve 3, like ved overflate, 600x.	54
6	Figur 6.15: Prøve 3, ca 5 mm dybde, 700x.	54
6	Figur 6.16: Prøve 3, ca 10 mm dybde, 600x.	54
6	Figur 6.17: Prøve 4, overflate, 20x.	55
6	Figur 6.18: Prøve 4, overflate, 45x.	55
6	Figur 6.19: Prøve 4, overflate og inntil 2 mm dybde. 45x. Grønne piler indikerer Paraloid B72.	56
6	Figur 6.20: Prøve 4, 5 mm dybde, 600x.	56
6	Figur 6.21: Prøve konsolidert med kalsitt. 1b: kun kalsitt, 1a: kalsitt + overflatebehandling med Paraloid B72 15 %.	59
6	Figur 6.22: Prøve konsolidert med SILRES BS OH 100. 2a: kun SILRES BS OH 100, 2b: SILRES BS OH 100 overflatebehandlet med SILRES BS 1001.	59
6	Figur 6.23: Prøve konsolidert med vannglass (KRYSTAZIL 40).	59
6	Figur 6.24: Prøve konsolidert med Paraloid B72 15 % i aceton.	59
6	Figur 6.25: Prøver etter vannbad i 48 timer.	62
6	Figur 6.26: Prøve 1b, konsolidert med kalsitt. Overflate, 85x.	64

6	Figur 6.27: Prøve 1a, konsolidert med kalsitt og overflatebehandlet med Paraloid B72. Overflate, 23x.	64
6	Figur 6.28: Prøve 1b, ca 5 mm dybde, 170x.	64
6	Figur 6.29: Prøve 1a, ca 2 mm fra overflate. Grønn pil: Trolig kalsitt.	64
6	Figur 6.30: Prøve 2a, overflate, 600x.	65
6	Figur 6.31: Prøve 2a, overflate, spektrum 1.	65

Kapittel	Tabell	Side
5	Tabell 5.1: Semikvantifiserte resultater av XRD. Etter beregninger av Løken Berg (pers. komm., 11.11.09; se også vedlegg 1).	37
5	Tabell 5.2: Beregning av porøsitet for steinprøvene. v_m = steinens vekt mettet med vann, v_t = steinens tørre vekt, V = volum.	38
6	Tabell 6.1: Anvendte kjemikalier – konsentrasjoner og mengdeforhold. *) Etter Larsen, 2005, s. 191: "1 SC refined urease = 0,6 g urease/L".	45
6	Tabell 6.2: Vurdering av konsolideringsbehandlinger.	49
6	Tabell 6.3: Resultater undersøkelse av porøsitet.	60
6	Tabell 6.4: Resultater testing av vannfasthet.	62

1. Innledning

Tema for denne oppgaven er konservering av helleristninger, spesifikt konsolidering av granitt. Kan man konsolidere helleristninger på granitt? Helleristninger finnes på ulike bergarter, med ulik nedbrytningsproblematikk. De befinner seg utendørs, i ukontrollerte klima- og miljøforhold, og på fast fjell. Dette påvirker konserveringen av materialet. Her vil bakgrunn, valg av problemstilling og oppbygning av oppgaven beskrives kort.

1.1. Hva er helleristninger?

Bergkunst er bilder og figurer malt eller ristet på løse steinblokker, berg eller i huler. Helleristningene er hugget eller hamret (ristet) inn i berg, mens hule-, klippe- og hellemalerier er malte bilder. Bergkunst finnes over hele verden. Blant den eldste kjente er klippemalerier i Australia, som man regner med at er ca. 60 000 år gamle (Bjelland og Helberg, 2006, s. 7,8; Mandt og Lørdøen, 2005, s. 9, 10). I Skandinavia er helleristninger mest utbredt, skjønt det også finnes hulemalerier. De nordiske helleristningene kan inndeles i to hovedtyper: Veideristningene fra steinalder (ca 9000 f.Kr.-2000 f.Kr.), og jordbruksristningene fra bronsealder/tidlig jernalder (ca 1800 f.Kr.-400 e.Kr.). Disse to typene kan skilles fra hverandre ved ulike motivkretser (Mandt og Lørdøen, 2005, s. 11, 13). I Norge forekommer jordbruksristningene hovedsakelig syd for Trøndelag, og veideristningene langs kysten og i Midt- og Nord-Norge (Bjelland og Helberg, 2006, s. 7, 8). Mer enn 1100 helleristningslokaliteter er kjent i Norge (Mandt og Lørdøen, 2005, s. 11).

Helleristningene forekommer både på løsblokker og fast fjell, vertikalt eller horisontalt orientert, og på ulike bergarter. Hva slags bergart helleristningene finnes på, avhenger av bergartene som finnes i området. De er imidlertid alltid hugget inn i iskurte steinflater, dvs. stein som er slipt glatt av isbreene som dekket det meste av Norden ved siste istid (Kallhovd og Magnusson, 2000, s. 15; Löfvendahl, 1998, s. 4). Slike flater finnes på fin- til middelskornete bergarter, som skifer, sandstein, gneis og granitt (Löfvendahl, 1998, s. 4). Disse bergartene har ulike iboende egenskaper og oppbygning, noe som har betydning i forhold til nedbrytningsprosessene som påvirker steinen, og for konserveringsmetoder og -midler som kan anvendes (Michelsen, 1992, s. 19; Strömberg, 1959, s. 48).

1.2. Hvorfor se på konservering av helleristninger?

Konservering av helleristninger er, som det vil framgå av neste kapittel, et stort tema som det har vært forsket mye på i senere år, kanskje særlig i Norden. Helleristningene utgjør en helt spesiell form for arkeologiske kulturminner, da de hovedsakelig er bundet til landskapet i fast berg. Unntaket er løse blokker eller helleristninger som sages ut. Ettersom helleristningene sitter på faste, eksponerte bergflater, stiller dette spesielle krav og utfordringer til konserveringen av dem. I motsetning til ved konservering av bygningsstein, må man jobbe med fast grunnfjell, ofte store, åpne flater, gjerne horisontalt orientert. Konserveringen må foregå ute i felt, man arbeider ikke med noe objekt som kan bløtlegges, for eksempel, og man kommer aldri til på baksiden. I tillegg er det lite man kan gjøre med relativ fuktighet, temperaturforhold etc. i omgivelsene, man må jobbe med rådende forhold. Det er noen forbehold: Bortledning av vann fra ristningene har vært forsøkt som konserveringsmetode, og helleristninger har også blitt saget ut eller bygd inn i noen tilfeller (Bjelland og Helberg, 2006, s. 76; Bårdseth, 2007). Dette utgjør imidlertid store inngrep i helleristningen og miljøet rundt, som alltid må vurderes nøye. Helleristningenes høye alder stiller dem også i en annen posisjon enn bygninger, ved at de har vært utsatt for nedbrytningsprosesser i svært lang tid. Selv bergarter som regnes som svært motstandsdyktige mot nedbrytning, som granitt, vil ha forvitret i løpet av denne tiden (Riksantikvaren, 2009 [URL]).

Fokus i tidligere arbeid har i stor grad vært på forebyggende tiltak, ikke inngripende, eller direkte, konservering. Direkte konservering brukes her om konserveringstiltak som innebærer inngrep i originalt materiale, som her vil si helleristningsflaten, som for eksempel konsolidering (Löfvendahl, 1998, s. 30). Forebyggende konservering bør komme før direkte konservering og inngrep i bergflaten, ut fra det rådende prinsipp om minimalt inngrep i originalmateriale (Hygen, 2006, s. 25). Denne typen konservering er også svært viktig i forhold til å motvirke videre nedbrytning (Hygen, 2006, s.18). Ved tilfeller der helleristningene allerede er vesentlig nedbrutt, kan imidlertid direkte konservering være nødvendig (Bakke, 2004, s. 3).

1.3. Helleristningsområdet Østfold/Bohuslän

I Østfold fylke i Norge og Bohuslän i Sverige finnes svært mange bronsealderristninger, med en stor motivvariasjon, til sammen den største konsentrasjonen av helleristninger i Nord-Europa, med over 2700 lokaliteter. Disse forekommer på en felles granittkropp, i Norge kalt

Østfoldgranitt eller Iddefjordsgranitt, i Sverige Bohusgranitt (Löfvendahl, 1998, s. 4; Mandt og Lødøen, 2005, s. 279, 280). Omkring 400 av helleristningslokalitetene ligger i Østfold, som dermed er det mest helleristningsrike fylket i Norge. Ristningene ligger særlig på og omkring Skjebergsetta, på lave bergskjær eller knauser som stikker opp ved foten av omgivende åser eller ute på slettelandet (Mandt og Lødøen, 2005, s. 281; Vogt, 2007, s. 1, 2). Tilsynelatende har det blitt hugget helleristninger i Østfold gjennom hele bronsealderen, men særlig i yngre bronsealder. Materiale fra Bohuslän tyder på at skålgroper kan ha blitt framstilt også utover i jernalderen (Vogt, 2007, s. 3).

Grunnet den store ristningskonsentrasjonen, stiller helleristningsmaterialet fra Østfold i en særstilling. Hovedparten av disse ristningene er som nevnt hugget i Østfoldgranitt. Innen steinkonservering er det hovedsakelig gjort mer forskning på nedbrytning og konservering av sandstein, kalkstein og marmor enn granitt. Dette henger trolig sammen med disse steintypenes utstrakte bruk i bygninger og skulptur (Mandt, 1992, s. 12; Rodrigues, 1996, s. 225; Wheeler, 2005, s. 5). Det har blitt forsket på direkte konservering av helleristninger på bergarter som fyllitt og sandstein, men lite forskning har vært utført på direkte konservering av helleristninger på granitt (Bakke, 2004, s. 3; Strömer, 1997, s. 51, 52). Tidligere forsøk med konsolidering av granitt har ikke vært lovende (Bakke, 2004; Bårdseth, 2007, s. 39; Ernfridsson, 2005). Også ristninger på denne bergarten kan imidlertid ha behov for direkte konservering. Det har syntes som om helleristningene, både på landsbasis og i Østfold, brytes ned i et forholdsvis raskt tempo. Enkelte felt i Østfold er svært nedbrutt, blant annet preget av grusvitring, altså utfall av mineralkorn fra steinen, og avflaking (Bjelland og Helberg, 2006, s. 14; Gran, pers. komm. 08.09.09; Hygen, 2006, s. 14). Helleristningene brytes ned tilsynelatende raskere enn normalforvitring for postglasial granitt (Barnett m.fl., u.å. [URL]; Mandt, 1992, s. 12; Löfvendahl, 1998, s. 32). Skjønt spørsmålet om hastigheten på nedbrytningen er omstridt, kan direkte konservering være nødvendig for enkelte helleristningsfelt i en svært dårlig forfatning.

Konsolidering av helleristninger på granitt ble derfor ansett som et interessant forskningsområde for denne oppgaven. Studien vil undersøke hvilke muligheter som foreligger, og hvilke midler som eventuelt kunne anvendes, til konsolidering av granitt. Helleristningene i Østfold, som hovedsakelig er hugget i granitt, er dermed særlig interessante for denne oppgaven. En kasusstudie med konsolidering av granitt på et testmateriale fra Begby, Østfold har vært utført for å undersøke hvordan noen utvalgte konsolideringsmidler

virker i praksis. Formålet her er å undersøke om granitt kan konsolideres. Noen av de vanligste konsolideringsmidlene for stein, samt noen nyere metoder under testing på andre bergarter, har blitt prøvd ut.

1.4. Oppbygning av oppgaven

Oppgavens problemstilling er som nevnt hvorvidt man kan konsolidere helleristninger på granitt. Et annet, og like relevant, spørsmål er hvorvidt man *bør* gjøre dette. Behovet for konsolidering, mulighetene for konsolidering og effektiviteten av en eventuell konsolideringsbehandling, er nært knyttet til hverandre. I denne studien har derfor disse ulike aspektene blitt undersøkt, ved gjennomgang av litteraturen og praktiske undersøkelser.

Det har blitt utført en kasusstudie på et forsøksmateriale av granitt, for å undersøke om ristninger på denne bergarten kan konsolideres. Dette problemet innbefatter flere aspekter. Det har vært nødvendig å finne ut om granittens oppbygning og nedbrytningsproblematikk, hva slags forskning som er gjort tidligere; hvordan man kan konsolidere helleristninger, hvilke konsolideringsmidler som er brukt ved konservering av bergkunst eller granitt tidligere, og hvorvidt disse kan anvendes på helleristninger på granitt, samt hvordan man kan undersøke effekten av konsolidering. En gjennomgang av tidligere forskning på konservering av stein og helleristninger, samt nedbrytningsproblematikken rundt helleristninger og naturstein, gis i de første kapitlene av oppgaven. Deretter redegjøres det for metodikken som har blitt anvendt i den praktiske kasusstudien, forsøk, undersøkelser og analyser.

Kunnskaper og tidligere arbeid fra bergkunstkonservering i hele Skandinavia, samt internasjonalt arbeid med steinforvitring og konservering, utgjør et viktig kildegrunnlag for oppgaven. Det har blitt nevnt at konservering av helleristninger skiller seg fra annen steinkonservering. Like fullt utgjør konservering av bygninger og skulptur grunnlaget for fagfeltet steinkonservering. Faglitteraturen fra dette er også anvendt som kildelitteratur. Riksantikvaren har drevet utstrakt forskning på bevaring og konservering av bergkunst. Denne forskningslitteraturen utgjør et viktig kildemateriale i oppgaven, og har også blitt anvendt for definisjoner av faguttrykk. I tillegg har geologisk og arkeologisk litteratur blitt anvendt for bakgrunnsstoff.

2. Forskningshistorikk

Det finnes mye forskningsmateriale om helleristninger og konservering av dem. Det er skrevet en rekke bøker, rapporter og artikler om emnet, både i Norge, Norden og verden. I dette kapitlet vil det gis en kort innføring i forskningshistorikken, etiske og praktiske dilemmaer ved konsolidering av bergkunst, det geografiske området denne oppgaven fokuserer på, samt tidligere anvendte konserveringsmaterialer. Det gjøres oppmerksom på at hvert av avsnittene i dette kapitlet dekker et stort materiale – her vil det nødvendigvis gis en svært forkortet gjennomgang av disse temaene, ut fra plass- og tidsbegrensinger.

2.1. Tidligere forskning på bevaring av bergkunst

Alt ved århundreskiftet 1800/1900 begynte man i Skandinavia å bli oppmerksom på nedbrytningen av bergkunsten (Bjelland og Helberg, 2006, s. 14). Problemet har blitt viet mye oppmerksomhet på lokal basis i Norge, og fikk nasjonal oppmerksomhet etter 1991 med opprettelsen av Riksantikvarens Helleristningsutvalget og utgivelse av rapporten ”Bergkunsten: Kulturskatt i Krise. Innstilling om konservering/bevaring av bergkunst i Norge” (Hygen, 2006, s. 6). Mot slutten av 1900-tallet ble en rekke større prosjekter satt i gang, både for å forske på problemet og utbedre situasjonen der tilstanden var mest kritisk. Det første nasjonale bergkunstprosjektet, ”Bergkunstprosjektet 1976-1980”, var en omfattende tilstandsdokumentasjon av den norske bergkunsten. Dette var det første prosjektet som kom fram til at den norske bergkunsten var i en kritisk tilstand, som krevde tiltak for å sikre bevaringen (Bjelland og Helberg, 2006, s. 14). Undersøkelser utført av Riksantikvaren på 1990-tallet kom fram til det samme. Dette førte til igangsettelsen av det nasjonale prosjektet ”Sikring av bergkunst - Bergkunstprosjektet 1996-2005”, i regi av Riksantikvaren i samarbeid med flere museer, universiteter og institutter (Bjelland og Helberg, 2006, s. 14; Hygen, 2006, s. 6, 7). Kunnskap om materialet, nedbrytningen som har foregått, karakteren og omfanget av, samt kilder til nedbrytningen, er viktig å skaffe før tiltak settes i gang (Bakke, 2004, s. 3). En viktig del av ”Bergkunstprosjektet 1996-2005” var å få oversikt over skadeomfanget på den norske bergkunsten, og forske på årsakene til nedbrytning av bergkunst (Riksantikvaren 2009 [URL]). Retningslinjer for forebyggende tiltak, dokumentasjon, sikring og skjøtsel ble også omfattet av prosjektet (Bjelland og Helberg, 2006; Hygen, 2006, s. 7, 8, 11). I 2006 ble Bergkunstprosjektet gjort permanent, for å fortsette forskningen på

nedbrytning av bergkunsten og utprøving av nye metoder og konserveringsmidler i laboratorium og på testfelt (Vogt, pers. komm. 25.05.09; Hygen, 2006, s. 32).

I tillegg til Bergkunstprosjektet, har Norge deltatt i det nordiske samarbeidsprosjektet "Interreg IIA: Helleristninger i grensebygd", fra 1996 til 2000, og det internasjonale prosjektet "Rock Art in Northern Europe (RANE)" fra 2002 til 2005 (Bjelland og Helberg, 2006, s.3; Hygen og Bengtsson, 1999; Hygen, 2006, s. 11; Vogt, 2000, s. 7). Utover disse større prosjektene har det vært drevet utstrakt forskning gjennom en årrekke ved Universitet i Bergen, og mindre prosjekter for sikring og dokumentasjon av utsatte helleristninger for eksempel ved E-6 prosjektet i Østfold (Bårdseth, 2007; Lørdøen, Mandt og Riisøen, 1997; Thorseth m.fl., 2001).

2.2. Konsolidering av helleristninger: praktiske og etiske aspekter

Forvitring kan forårsake oppløsning av mineraler, og løsning av mineralkorn, steinfragmenter eller større flak fra overflaten. For å stabilisere steinen og hindre materialtap, er konsolidering da en mulighet (Löfvendahl, 1998, s. 29). Konsolideringsmiddelet skal feste løse steinpartikler. Det er viktig at det penetrerer steinen dypt nok og ikke danner en overflatehinne, at det ikke blir sprøtt etter herding og at det er kompatibelt med steinen og ikke forårsaker ny skade. I tillegg bør det beskytte mot videre nedbrytning, og forbli effektivt over en lengre tidsperiode for å minimere behovet for vedlikehold (Clifton, 1980 [URL]). Hvor lang levetid som ønskes for konsolideringsbehandlingen, må vurderes i forhold til hva som er praktisk mulig med tanke på hvilke midler som finnes, og i forhold til hvilke planer og økonomiske rammer som foreligger for gjenbehandling og vedlikehold. Det er viktig å følge opp konserveringstiltak i etterkant for å sikre at de har ønsket effekt (Myrin, 2008, s. 26 [URL]).

Innen Bergkunstprosjektet ble det lagt vekt på å utvikle metodikk basert på prinsippet om minimum inngrep (Hygen, 2006, s. 25). Dette etiske prinsippet slår fast at "the minimum amount of interventive work should be undertaken on an object which will secure a satisfactory result" (Pye, 2001, s. 32), og bygger på teori utviklet av C. Brandi (Caple, 2000, s. 64, 65). Spørsmålet om hva som utgjør et nødvendig inngrep må imidlertid vurderes individuelt i hvert enkelt tilfelle av konservering, ut fra hva som er ønskelig å oppnå, for eksempel hvor lenge man ønsker eller forventer at kulturgjenstanden skal vare, og hvor ofte

man regner med å måtte gjenkonservere (Caple, 2000, s. 65). Direkte konservering innebærer inngrep i originalt materiale, som ofte ikke er reversible (Bjelland og Helberg, 2006, s. 41; Bakke, 2004; Strömer, 1997, s. 51). Slike inngrep må bygge på kunnskap og forskning på konserveringsmetoder, langtidsvirkninger og konsekvenser, for å få et best mulig resultat og gjøre minst mulig skade (Bakke, 2004, s. 3; Strömer, 1997, s. 51). Ut fra disse hensynene er tidligere forskning i stor grad rettet mot forebyggende tiltak og årsakssammenhenger. Direkte konservering, med fysiske tiltak på bergflaten, benyttes kun når andre metoder ikke er tilstrekkelige for bevaring av bergkunsten (Bakke, 2004, s. 3; Strömer, 1997, s. 48, 51). Noen helleristningsfelt har imidlertid vært i en så dårlig tilstand at inngrep har vært ansett som nødvendig (Hygen, 2006, s. 14). Konsolidering har blitt utført på helleristningsfeltet i Vingen, som består av sandstein, i 1981/1982 med limet Trana Weld (i dag: Mowilith DM 123 S) etter testing (Bakke, 2004, s. 6; Michelsen, 1992; Thorseth m.fl., 2001, s. 41-43; se også nedenfor). Dette inngrepet har blitt kritisert for å være irreversibelt, men er samtidig anerkjent som den eneste årsaken til at disse ristningene, som var sterkt forvitret, fortsatt er bevart (Hygen, 2006, s. 18, 19; Thorseth m.fl., 2001, s. 43).

Prinsippet om reversibilitet er et annet etisk prinsipp innen konservering (Pye, 2001, s. 32, 33). Det er imidlertid anerkjent at dette prinsippet ikke alltid er like lett å etterfølge i praksis, for eksempel når det gjelder konsolidering av stein (Hygen, 2006, s. 18). Det kan i praksis være svært vanskelig, om ikke umulig, å fjerne konsolideringsmiddel fra forvitret stein når det først har trengt inn i steinens porer og bundet seg til den friske steinen (Coffman og Ginnell, 1998, s. 242; Rodrigues, 1996, s. 225). Et alternativ til midler som kan fjernes direkte, kan være midler som brytes ned og forsvinner over tid, et såkalt offermateriale. Dette kan også anses som en form for reversibilitet. Ettersom helleristningene befinner seg utendørs, som oftest utildekket og ubeskyttet i åpent terreng, utgjør de et spesielt materiale. Det kan hevdes at dersom direkte konservering anses som nødvendig, bør dette utføres med mest mulig holdbare midler, for å unngå å måtte foreta gjentatte inngrep (Ernfridsson, pers. komm., 15.07.09). På den andre siden kan et offermateriale anses som en akseptabel løsning inntil bedre metoder er utviklet (Bakke, pers. komm., 10.09.09). Hvor lang holdbarhet konserveringsmidler bør forventes å ha, og hvordan de etter hvert kan forventes å brytes ned, må vurderes før konservering. Hvor ofte det er ønskelig å gjenkonservere, blir i høy grad et spørsmål om skjønn. Det må imidlertid legges vekt på at konsolideringsmidler eller festematerialer brytes ned på en måte som ikke er til skade for helleristningsberget. Ut fra ønsket om minimalt inngrep i originalt materiale kan direkte konservering sees som

nødvendig i noen tilfeller, men som en ”siste utvei” snarere enn den først valgte løsningen på bevaringsproblemer (Bakke, 2004, s. 5; Strömer, 1997, s. 51).

2.3. Tidligere konservering av helleristninger

Direkte konservering av helleristninger omfatter flere ulike tiltak, som fuging, reparasjon og konsolidering (Bjelland og Helberg, 2006, s. 41). Ulike lim og festematerialer, fugematerialer og konsolideringsmidler har blitt anvendt for konservering av helleristninger, for henholdsvis festing av større blokker, tetting av sprekker og konsolidering. Det kan være et problem at dokumentasjon på nøyaktig hva som har blitt anvendt ofte mangler for tidligere utførte behandlinger (Strömer, 1997, s. 47, 51). Her vil noen typer tiltak som har blitt utført beskrives. Nedbrytningsformer og –terminologi er nærmere forklart i kapittel 3.

Reparasjoner av helleristninger, dvs. tetting av sprekker, åpninger og bompartier i berget, fastliming av løse biter eller flak, med lim eller fugemateriale, har blitt utført med flere ulike midler. Dette skal både bevare ristningene, og motvirke videre nedbrytning av steinen. Formålet er å hindre tap av materiale, og å hindre vann, salter og røtter i å trenge innunder bergflaten (Strömer, 1997, s. 47). Flere ulike blandinger har blitt benyttet, blant annet steinpulver og sement, pulverisert granitt og kiselsyreester, og knust granitt og vannglass. Disse har hatt begrenset holdbarhet, rundt fem år på det meste (Strömer, 1997, s. 47, 48). Sement har blitt prøvd ut i mange ulike blandinger, med varierende suksess, avhengig blant annet av type sement (Bakke, 2004). De mest suksessfulle sementtypene har løsnet fra berget uten å forårsake skade etter rundt 10 år. Tiltaket kan dermed anses å være reversibelt, noe som er ønskelig for lagninger av helleristninger (Strömer, 1997, s. 48). Det krever imidlertid gjenkonservering etter en tid (Bakke, pers. komm., 10.09.09). Dette var tilfellet med gamle sementer i Ausevik, Sogn og Fjordane, som har kunnet plukkes av ettersom de har smuldret opp, men ikke har skadet berget under. Bergarten her er fyllitt (Odden, pers. komm., 02.09.09). I andre tilfeller har imidlertid sementen sprukket og tatt med seg mineralkorn fra berget når den løsnet. Dette tyder på at stivhet og sammensetning i forhold til berget er viktig (Bakke, 2004, s. 4). Sement kan også være et visuelt påtrengende og lite estetisk tiltak (Hygen, 2006, s. 19). Kalkholdige sementer kan ha en uheldig effekt, da de kan forårsake misfarging på berget (Odden, pers. komm. 02.09.09). Dette kan blant annet observeres på helleristningsfeltet Drotten i Lillehammer – disse kalkutfellingene oppsto kort tid etter at tiltaket ble utført i 1961 (Bakke, 2004, s. 4; figur 2.1).



Figur 2.1: Helleristninger med kalkutfelling og sement, Drotten Lillehammer (eget foto).

Ut fra de tidligere resultatene med sement er det gjort forsøk med sement med ulike tilsetninger for konserveringsbruk (Bakke, 2004, s. 4, 5). Halliburton sement med stabilisator og syntetisk lateks er et fugemiddel utviklet spesielt av selskapet Halliburton i samarbeid med Arkeologisk museum i Stavanger (Odden, pers. komm., 02.09.09). Dette har blitt prøvd ut for ”forsterkning av sårkanter og fuging av sprekker på fyllitt, sandstein og granitt” (Bakke, 2004, s. 3, 6). Dette kan videre blandes med knust stein av samme bergart som helleristningen for å bli mindre synlig og dermed fremstå mer estetisk (Odden, pers. komm., 02.09.09). Evalueringen av dette middelet er pågående (Bakke, pers. komm., 10.09.09). Paraloid B72 i 30 % konsentrasjon i aceton har også blitt anvendt for å tette tynne sprekker i fyllitt på Ausevik (Odden, pers. komm. 02.09.09).

Et tidligere anvendt konsolideringsmiddel for helleristninger er Mowilith DM 123 S, et sementlim laget for å blandes i sementmørtel (Michelsen, 1992, s. 28). Det er en plastemulsjon, og den opprinnelige sammensetningen besto av polyvinylklorid og polyetylen, cellulosederivat og tensider. Senere ble det også tilsatt vinylacetat (Thorseth m.fl., 2001, s. 130). Mowilith DM 123 S (Hoechst-Perstorp AB) har blitt brukt siden 1981, etter å ha blitt prøvd som konsolideringsmiddel første gang i felt på Ausevik-feltet i Sogn og Fjordane av Michelsen (1992). Michelsen anbefalte en 10 % konsentrasjon i vann for konsolidering av stein, sterkere konsentrasjoner og eventuelt også sand eller sement for fylling av sprekker

(Michelsen, 1992, s. 28, 29, 33-39; Thorseth m.fl., 2001, s. 41). Bergarten i Ausevik er fyllitt (Bakke, 2004, s. 6). Skjønt Mowilith umiddelbart ble ansett som et svært lovende middel (Michelsen, 1992), er det en rekke ulemper knyttet til bruken av det, blant annet i forbindelse med andre konserveringstiltak som rensing av ristningsflater for lav. Etanol anvendes for å rense ristningsflater for lav og dermed hindre biologisk nedbrytning. Lavrensing er et konserveringstiltak som må gjentas ganske hyppig når det først er påbegynt. Mowilith-lim sveller imidlertid ved kontakt med etanol, og er dermed ikke kompatibel med senere lavrenningsbehandling (Bjelland og Helberg, 2006, s. 87). Konsolidering med Mowilith DM 123 S er heller ikke et reversibelt inngrep (se over). I dag har Statens Forurensingstilsyn (SFT) innført restriksjoner på bruk av vinylklorid i naturen. Ut fra disse årsakene kan ikke lenger Mowilith DM 123 S betraktes som et aktuelt middel å anvende i helleristningskonservering (Bakke, pers. komm., 10.09.09). Det er imidlertid det mest varige middelet som har vært testet eller anvendt for konservering av helleristninger så langt, Mowilith med sand og sement har holdt i over ti år i noen tilfeller (Strömer, 1997, s. 48). Rundt ti år ser dermed ut til å være høyeste holdbarhet man kan forvente av konserveringsmidler brukt på helleristninger.

Middelet Gypsstop har blitt utviklet som en substitutt for Mowilith. Det er et vannbasert middel, som i tillegg til å konsolidere stein, skal kunne trekke ut løselige salter (Strömer, pers. komm., 14.07.09). GypStop har fungert godt både for avsalting og konsolidering av sandstein og kalkstein. Det har imidlertid vist seg problematisk å bruke dersom steinen ikke er tilstrekkelig rengjort eller inneholder svært mye salter, og dersom steinens porestruktur er for liten (Lind, 2000, s. 17, 45, 46). Det har blitt sammenlignet med Paraloid B72 og Wacker OH av Lind (2000). Samtlige midler ble ansett å kunne gi problemer i form av dårlig penetrering, og lange tørketider ved høy luftfuktighet, som i nordlige land (Lind, 2000, s. 47). Det er ikke forfatter bekjent om dette middelet har vært anvendt på granitt, men man kan tenke seg at granittens lave porøsitet ville kunne utgjøre et problem for penetreringen.

2.4. Steinkonsolideringsmidler

Ved konsolidering av forvitret stein ønsker man å styrke den nedbrutte overflaten og binde den til sunn, uforvitret underliggende stein (Elfving, 1991, s. 10). Det har blitt påpekt at konsolidering har blitt utført for å behandle mange ulike former for nedbrytning, som avskalling, avflaking/eksfoliasjon og grusvitring (se ”3.2.3. Mekanisk forvitring”). De ulike

nedbrytningsformene skyldes imidlertid ofte tap av bindemiddel fra steinen, og målet med konsolidering er gjerne å gi en erstatning for bindemiddelet for å holde mineralkornene i steinen på plass og holde steinen sammen, og hindre videre nedbrytning (Wheeler, 2005, s. ix). Det er viktig at det ikke dannes et tynt, isolert overflatelag på den konsoliderte overflaten. Et slikt lag kan sprenges løs av frost- eller saltforvitring (Clifton, 1980 [URL]). Derfor er det viktig at konsolideringsmiddelet penetrerer steinen dypt nok og binder til sunn, underliggende stein (Elfving, 1991, s. 13). Konsolideringsmiddelet bør heller ikke tette steinens porer helt. Dette kan føre til at vann sperres inne i steinen og forårsaker mekaniske spenninger, som igjen kan medføre avskalling av det konsoliderte laget. Helst bør den forvitrede steinen etter behandling få omtrent like kjemiske, fysiske og mekaniske egenskaper som uforvitret stein av samme sort (Elfving, 1991, s. 10, 11). Flere ulike midler har blitt prøvd ut for konsolidering av stein. Under følger en kort gjennomgang av noen av de mest anvendte, og mest omtalte i litteraturen, steinkonsolideringsmidlene.

2.4.1. Epoksy

Epoksy er et lim som anvendes i steinkonservering på grunn av dets høye styrke og inntrengningsevne i porøse materialer (Selwitz, 1992, s. 1). Det finnes mange ulike typer epoksyylim. Alle er tokomponentsystemer, med en epoksygruppe og en herder, vanligvis en polyamin (Selwitz, 1992, s. 13, 17). Epoksy herder ved tverrbinding, eller fornetning, mellom epoksygruppe og herder inne i steinen, og danner et tredimensjonalt nettverk inne i steinen (Selwitz, 1992, s. 7). Ufortynnet har imidlertid epoksy ganske høy viskositet, så for å oppnå tilstrekkelig penetreringsevne til å kunne anvende det som steinkonsolideringsmiddel, må den tynnes ut med et løsemiddel (Elfving, 1991, s. 16). Løsemiddelet kan ha påvirkning på herdingstid og farge (Kotlík, Justa og Zelinger, 1983, s. 77). Epoksy er motstandsdyktig mot både syrer, baser og organiske løsemidler, noe som burde tilsi lang holdbarhet, men som samtidig gjør det svært irreversibelt (Elfving, 1991, s. 16; Pinto og Rodrigues, 2008, s. 39). En sykloalifatisk epoksy, EP 2101 (STAC), som produseres i Italia, har vært særlig brukt for feltkonservering av stein i Italia (Selwitz, 1992, s. 7). Dette middelet har også vært testet på forvitret granitt i Spania, løst i et tilpasset løsemiddel fra samme produsent (Rodrigues, 1996, s. 175, 176). Det ble da funnet å ha god inntrengningsevne og styrkende effekt på steinen; umiddelbare fargeendringer så ut til å blekes med UV-eksponering, skjønt det kan oppstå gulning. Epoksyen viste imidlertid tegn på for sterk endring av steinens mekaniske

egenskaper i det konsoliderte området, noe som muligens kan ha en skadelig effekt (Rodrigues, 1996, s. 233, 234).

Epoksy er som nevnt svært sterkt, og binder godt til mineralene i steinen. Denne styrken kan imidlertid være et problem: Den konsoliderte overflaten kan bli hardere enn den underliggende steinen, noe som kan forårsake spenninger og avskalling. Epoksy kan også lukke porene i steinen totalt, hvilket ikke er ønskelig (se ”4.3. Valg av konsolideringsmidler”). Et annet typisk problem er fotooksidasjonsreaksjoner, som kan få epoksy til å gulne etter herding (Elfving, 1991, s. 16). Coffman og Ginnell har imidlertid gjort forsøk som tyder på at eksponering til et utendørs miljø, luft og sollys, kan endre fargen på misfarget, epoksykonsolidert sandstein gradvis tilbake til steinens originale farge (Coffman og Ginnell, 1998, s. 246,247). Dette tyder på at misfarging er mindre av et problem enn antatt ved utendørs bruk. Pinto og Rodrigues (2008, s. 38, 39), som har sett på effekten av konsolideringsmetodikk, hevder imidlertid at det største problemet med epoksy er at det ikke er utviklet påføringsmetoder som kan garantere et godt resultat. Tilfredsstillende inntrengning i steinen, som er helt essensielt for et godt resultat, kan være vanskelig å oppnå (Selwitz, 1992, s. 8). Påføring ved pensling egner seg på noen bergarter, men er ofte uegnet for stein med lav porøsitet (Selwitz, 1992, s. 9).

2.4.2. Akryllim

Akryllim er en eldre limtype som har vært mye anvendt innen konservering, særlig typen Paraloid B72. Dette limet er identifisert som en etylmetakrylat/metylakrylat-kopolymer og har en utstrakt anvendelse innen konservering. Det har også vært anvendt for steinkonservering. Akryllim har høy viskositet, og dermed dårlig penetreringsevne. Viskositeten må derfor, som med epoksy, senkes ved hjelp av et løsemiddel. Kompatible løsemidler er aceton, xylen og toluen (Elfving, 1991, s. 15; Pinto og Rodrigues, 2008, s. 42). Grunnet den høye molekylvekten kan det likevel være vanskelig å oppnå dyp nok penetrering av steinen (Casadio og Toniolo, 2004, s. 16; Honeyborne, 1990, s. 164, 165; Ryberg, 1992, s. 12). En fordel med Paraloid B72 i løsning er at limet kan løses opp igjen i rett løsemiddel selv etter lang tid. I teorien skal det altså være reversibelt (Casadio og Toniolo, 2004, s. 5, 7). Som nevnt tidligere kan det imidlertid være vanskelig i praksis å reversere konsolideringsbehandlinger av stein, når konsolideringsmiddelet først har trengt inn i steinens porer og bundet seg til steinen (Coffman og Ginnell, 1998, s. 242). Casadio og Toniolo har

anvendt en homolog til Paraloid B-72 tilsatt fluor, TFEMA/MA, på kalkstein (2004, s. 3, 4). Denne viste bedre penetreringsevne enn Paraloid B72 på stein med medium til høy porøsitet. Tilsetningen av fluor skal også gjøre akrylstrukturen mer vannavvisende, og dermed senke steinens vannabsorpsjonskapasitet (Casadio og Toniolo, 2004, s. 4, 5, 7, 16). Akryllim kan også anvendes i kombinasjon med silisiumbaserte konsolideringsmidler for å øke steinens overflatestyrke (Elfving, 1991, s. 15).

2.4.3. Silisiumbaserte konsolideringsmidler

Det finnes et stort utvalg konsolideringsmidler basert på ulike forbindelser inneholdende silisium. "Silan" er et begrep som kan referere både til forbindelsen SiH_4 , eller en silisiumforbindelse i en videre klasse med silisiumholdige stoff, som kan sammenlignes med alkaner for hydrokarboner (Wheeler, 2005, s. x). Dette begrepet brukes ofte om silisiumholdige konsolideringsmidler. Som Wheeler (2005, s. x) har påpekt, er det imidlertid et ganske vidt begrep. Det omfatter også kun noen typer silisiumforbindelser. I denne oppgaven brukes derfor begrepet silisiumbaserte konsolideringsmidler, for alle typer konsolideringsmidler inneholdende silisium. Et utvalg av disse som er særlig anvendt innen steinkonservering beskrives her.

Alkoxysilaner

Alkoxysilaner ble først syntetisert på 1800-tallet. "*Silicic ether*" ble foreslått som et mulig steinkonserveringsmiddel av Hoffmann i 1861, og patentert som "*silicic ester*" i 1925 av Lauri (Elfving, 1991, s. 12, 13). Metyltrimetoksysilan ble også etter hvert tatt i bruk på marmor med grusvitring (*sugaring marble*) (Wheeler, 2005, s. 1, 2, 3, 52). Alkoxysilaner i forbindelse med steinkonservering beskrives inngående av Wheeler (2005), som gir en gjennomgåelse av både eldre og nyere forskning på disse midlene. Samtlige alkoxysilaner er bygd opp rundt grunnenheten SiH_4 , hvor en eller flere av H-atomene kan erstattes med alkosygrupper. Ved kontakt med vann hydrolyseres alkoxysilan og danner silanol. Stoffet polymeriseres ved en kondensasjonsreaksjon mellom silanolene som danner siloksanbindinger til hverandre, og vann spaltes ut. På denne måten dannes et tredimensjonalt nettverk av konsolideringsmiddel i steinen (Pinto og Rodrigues, 2008, s. 39; Wheeler, 2005, s. 14, 15). Vannet som kreves for polymerisering, kan komme fra fuktighet i steinen eller i atmosfæren (Elfving, 1991, s. 13). Steinen som behandles, må inneholde kvarts eller silikatmineraler, som feltspat, ettersom alkoxysilaner binder til disse og ikke til andre

mineraler, som kalsitt (Wheeler, 2005, s. 52; Winkler, 1997, s. 270). Desto mer kvarts steinen inneholder, desto større styrkeøkning vil konsolidering med alkoksylsilaner gi. Porestørrelse, kornstørrelse og -struktur har også betydning for effekten (Wheeler, 2005, s. 52). Bruk av alkoksylsilaner har vist lovende resultater i forhold til bremsing av videre nedbrytning på sandstein og kalkstein (Elfving, 1990a, s. 8).

Alkoksylsilaner har blitt mye brukt til konservering av utendørs stein, og trenger lett inn i porøse materialer (Pinto og Rodrigues, 2008, s. 39). På 1970-tallet kom Wacker OH, eller Wacker Steinfestiger OH, et etylsilikat- eller tetraetoksylsilanbasert konsolideringsmiddel, Wacker H (tetraetoksylsilan-metyltrioksylsilan), og Brethane (alkoksyalkylsilan) på markedet, som alle har vært i utstrakt bruk i steinkonservering (Elfving, 1990b, s. 1; Butlin, Yates og Martin, 1995, s. 115; Wheeler, 2005, s. 4, 5). Konsolidering har hovedsakelig vært utført på sandstein, kalkstein og marmor med disse midlene (Elfving, 1990a; Elfving, 1990b, s. 1; Elfving, 1991, s. 13; Wheeler, 2005, s. ix). Wacker OH har imidlertid også blitt testet på forvitret granitt, med konsolidering av mindre steinprøver ved kapillær oppsugning (Rodrigues, 1996, s. 175). Ved disse testene gjennomtrengte Wacker OH hele prøven og ga en høy styrkeøkning (Rodrigues, 1996, s. 229, 231). Rodrigues og Costa (siteret i Wheeler, 2005, s. 7) har også gjort forsøk med Wacker OH på saltholdig granitt. Resultatene tydet på at effekten var god, men ble svekket ved utsettelse for høy fuktighet. Wacker OH selges ikke lenger i dag, men er blitt erstattet av middelet SILRES BS OH 100 (Rasmussen, pers. komm., 22.10.09).

Vannglass

Vannglass består av hydratisert silisiumdioksid oppløst i natriumhydroksid eller kaliumhydroksid. Det ble først brukt til konservering av stein i 1823. Produktet kan anskaffes i dag som KRYSTAZIL 40, en natriumsilikatløsning i vann. Hydratisert silisiumdioksid fyller steinens porer delvis og erstatter tapt bindemiddel i steinen (Elfving, 1991, s. 14). Middelet stivner til Na_2SiO_3 eller K_2SiO_3 ved kontakt med kvartskorn i steinen, og binder dem sammen (Winkler, 1997, s. 268). Middelet er dermed egnet for bergarter som inneholder kvarts. En ulempe med dette middelet er at det danner løselige salter (Na_2CO_3 , K_2CO_3) som biprodukt. Disse kan reagere med svoveldioksid fra forurensning og danne svært hygroskopiske salter (Elfving, 1991, s. 14). Dersom disse krystalliserer i porer i steinen, kan det oppstå skade

(Honeyborne, 1990, s. 158, 159). Dersom reaksjonen skjer for raskt, kan det også være vanskelig å få dyp nok penetrering av steinen (Elfving, 1991, s. 14). Steinens oppbygning, mineralsammensetning og egenskaper er som nevnt svært viktig ved valg av konserveringsbehandling og konsolideringsmidler (Dahlin m.fl., 2000, s. 20). Nedbrytningen av granitt og bergartens karakteristika beskrives nærmere i neste kapittel, ”3. Nedbrytningsprosesser og steinkarakteristika”.

3. Nedbrytningsprosesser og steinkarakteristika

Flere ulike faktorer påvirker valg av konserveringsmetode og –midler for nedbrutt stein. Steinens oppbygning og egenskaper har stor betydning både for hvordan den forvitrer, og hvordan den kan konsolideres. Ved konserveringsinngrep er det ønskelig både å stabilisere steinen, og hindre videre nedbrytning. Derfor er det viktig å ha kjennskap til nedbrytningsprosessene som har påvirket, og vil fortsette å påvirke steinen før konservering utføres, for å kunne vurdere steinens konsolideringsbehov og finne aktuelle metoder. Hvordan og hvorfor berget forvitres, og hvilke nedbrytningsprosesser det påvirkes av, vil beskrives kort i dette kapittelet med særlig henblikk på nedbrytningen av granitt, som en bakgrunn for kassustudiet utført i dette prosjektet.

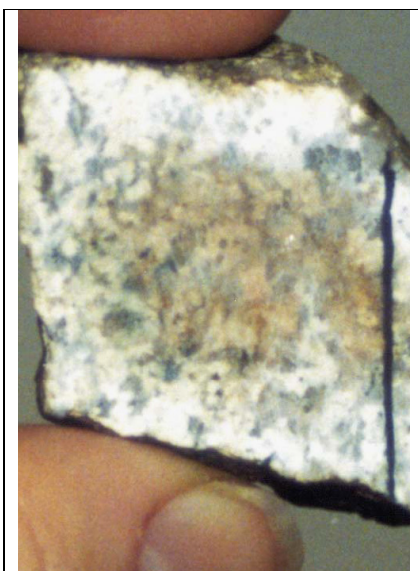
3.1. Oppbygningen av granitt

Oppbygningen og sammensetningen av steinen er viktig for hvordan den forvitrer. En bergart består av ett eller flere mineraler, i form av en samling mineralkorn som fremstår som en ensartet masse. De ulike bergartene, som kan deles inn i hovedgruppene størkningsbergarter, sedimentære bergarter og metamorfe bergarter, har grunnleggende ulike egenskaper. Granitt er en størkningsbergart (Prestvik m.fl., 1995, s. 65; Sandaker, Sandvik og Vik, 2007, s. 27, 28). Granitter har en homogen struktur, men med anisotropiske egenskaper, som gjør at de deles lettest i horisontal retning. Det er en middels- til grovkornet bergart (Johansen, pers. komm., 08.09.09; Prestvik m. fl., 1995, s. 60, 61, 63). De viktigste mineralene er kvarts, feltspat (kalifeltspat og plagioklas) og glimmermineraler (biotitt eller muskovitt) (Prestvik m.fl., 1995, s. 57, 68; Sandaker m.fl., 2007, s. 27,28). Mineralene i granitt er presset sammen i en tett matrise uten bindemiddel, i motsetning til sedimentære bergarter som for eksempel kalkstein som inneholder kalsitt som bindemiddel (Aagaard, pers. komm., 20.10.09). Granitt er en svært kompakt bergart, med lav porøsitet, 0,4-2,36 % (Winkler, 1997, s. 290). Dette kjennetegner størkningsbergarter i motsetning til sedimentære bergarter som sandstein, som kan ha en porøsitet på opp mot 40 % (Robertson, 1982, s. 65). Denne oppbygningen gjør granitt til en bergart med høy styrke (Weber og Zinsmeister, 1991, s. 36).

3.2. Nedbrytning av stein

Forvitringen av stein skjer som et resultat av et samspill mellom flere ulike prosesser, som kan deles inn i kjemiske, biologiske og mekaniske. Disse fører til nedbygning av bergarter og omdanning av mineraler på jordoverflaten (Bjelland og Helberg, 2006, s. 17).

Forvitringsprosesser kan være mekaniske, som fører til en oppdeling av steinen, eller kjemiske, som fører til omdanning av bergarten eller mineralene (Prestvik m.fl., 1995, s. 56; Weber og Zinsmeister, 1991, s. 47). Kjemisk forvitring av bergarter forekommer ved tilstedeværelsen av vann (Bjelland og Helberg, 2006, s. 23). Biologiske forvitringsprosesser er forårsaket av vegetasjon og omtales derfor gjerne som en egen forvitringsform, men omfatter både kjemiske og mekaniske forvitringsprosesser (Bjelland og Helberg, 2006, s. 17).



Figur 3.1: Svært tydelig forvitringssone, 8 mm dyp, på granitt fra helleristningslokaliteten Vestbøstad, Hordaland (foto: L. Sæbø, hentet fra Bjelland og Helberg, 2006, s. 19).

Nedbrytningen skjer hovedsakelig i overflaten av steinen, nettopp der helleristningene på et helleristningsberg eller en blokk befinner seg. Forvitring av steinen har foregått kontinuerlig fra helleristningene ble laget, og bergoverflaten kan være i en betydelig dårligere tilstand enn "sunn", dvs. uforvitret, stein (Riksantikvaren, 2009 [URL]). Kjemisk, biologisk og mekanisk forvitring virker sammen, og skaper en svært sårbar forvitringssone som kan være fra noen millimeter opptil tre cm dyp, avhengig av flere faktorer (Bjelland og Helberg, 2006, s. 18, 21; se figur 3.2). Bergart har stor betydning for hvor mye og hvor raskt steinen vil forvitte. Ulike bergarter har ulik sårbarhet for forvitring, avhengig av egenskaper og karakteristika som mineralsammensetning, porøsitet, kornstørrelse, permeabilitet for vann og vanndamp, termiske og mekaniske egenskaper (Bjelland og Helberg, 2006, s. 18;

Dahlin m.fl., 2000, s. 20; Robertson, 1982, s. 62, 63). Disse egenskapene varierer mellom ulike bergarter. Det kan imidlertid også være store variasjoner mellom ulike forekomster av samme bergart (Robertson, 1982, s. 63).

Porøsitet, permeabilitet og vannabsorpsjonskapasitet har stor betydning, i forhold til at tilstedeværelsen av vann er avgjørende for de fleste forvitringsprosesser i stein, som kjemisk

forvitring, frostforvitring og krystallisering av salter (Löfvendahl, 1998, s. 3, 19; Weber og Zinsmeister, 1991, s. 34). Steinens motstandsdyktighet mot nedbrytning varierer med vann- og saltinnhold, og vil derfor være følsom for endringer i porøsitet eller permeabilitet (Robertson, 1982, s. 62, 84). Mer porøst berg har en større evne til å ta opp vann enn mer kompakte bergarter. I forvitringssonen i overflaten er helleristningsberget gjerne mer porøst, og dermed mer utsatt for vanninntrengning og biologisk aktivitet. Dette kan forårsake skader i bergoverflaten, som ødelegger helleristningene (Bjelland og Helberg 2006; MacLeod 2000:42). Temperatur- og fuktighetsvariasjoner har også stor betydning for hvor raskt forvitringssprossene foregår (Löfvendahl, 1998, s. 19). Michelsen (1992, s. 25-27) har gjort akselererte aldringstester i et klimakammer med ulike bergarter for å se på nedbrytningen av steinens overflate. Disse viste at det ytterste, forvitrede laget av steinen ble brutt ned raskere enn sunn stein, og at overflaten forvitret raskt også for granitt ved gjentatte fryse/tinesykler.

3.2.1. Kjemisk forvitring

Kjemisk forvitring innebærer omdanning av mineralene i steinen til nye forbindelser (Weber og Zinsmeister, 1991, s. 47). Mengden og graden av kjemisk forvitring som vil forekomme, har sammenheng med steinens mineralsammensetning, ettersom forskjellige mineraler vil forvitte i ulik grad. Mineraler som er dannet under høy temperatur og eventuelt høyt trykk, er ofte ustabile ved atmosfæriske forhold, og vil ved kjemisk forvitring omdannes til nye forbindelser som er stabile på jordoverflaten (Prestvik, 2005, s. 98; Prestvik m. fl., 1995, s. 56). Dette har betydning i forhold til granitt, som er en dypbergart dannet under høy temperatur og høyt trykk. Granitt inneholder en god del kvarts (SiO_2), ca 20-60 % (Prestvik m.fl., 1995, s. 65). Kvarts er et svært stabilt mineral. Dette gjør granitt til en bergart med høy mekanisk styrke og stor motstandskraft mot forvitring (Weber og Zinsmeister, 1991, s. 36). Både feltspat- og glimmermineraler brytes derimot raskere ned. Ved forvitring av granitt kan glimmermineralene oppløses slik at kvarts og feltspat blir sittende som isolerte korn. Dette kan gi grusvitring av kvarts- og feltspatkornene (Aagaard, pers. komm., 20.10.09). Grusvitring forklares nærmere i kapittel ”3.2.3. Mekanisk forvitring”. Ved forvitring av feltspat vil mineralene dels løses opp og felles ut i stillestående vann, dels omdannes til leirmineraler som kan vaskes ut av regnvann (Prestvik m.fl., 1995, s. 38, 56, 57). Dette fører likeledes til separasjon av de ulike mineralene i granitten, slik at steinen forvitrer (Prestvik m. fl., 1995, s. 56, 57). Graden av forvitring av de enkelte mineralene kan også påvirkes av kornstørrelsen (Bjelland og Helberg, 2006, s. 18).

Bindemiddelet i steinen påvirker også bergartens motstandsdyktighet mot kjemisk forvitring. Mineralet kalsitt, som finnes som bindemiddel i kalkstein og flere typer sandstein, er lettløselig i svake syrer, som for eksempel svovelsyre fra sur nedbør. Dette gjør disse bergartene særlig utsatt for kjemisk forvitring (Strömberg, 1959, s. 48; Weber og Zinsmeister, 1991, s. 36). Kvarts er derimot svært motstandsdyktig mot syrer, og bergarter som bindes sammen av kvarts eller silikatmineraler, har høy styrke og holdbarhet (Weber og Zinsmeister, 1991, s. 36). Dette medfører at en bergart som granitt forvitrer langt mindre enn kalkholdige bergarter.

3.2.2. Biologisk forvitring

Biologisk vekst kan forårsake både kjemisk og mekanisk nedbrytning av helleristningsberg (Dahlin m.fl., 2000, s. 20). Det har lenge vært kjent at planter kan skille ut humussyrer som forårsaker kjemisk nedbrytning av steinen, i granitt synes dette særlig å påvirke feltspat (Strömberg, 1959, s. 48). Tilvoksing av berget kan også holde vann nær steinen og skape et fuktig mikroklima. Tett vegetasjon rundt bergflaten kan hindre uttørking av berget og forårsake det samme. Dette gir økt fare for frostsprengningsskader (Bjelland og Helberg, 2006, s. 75, 76). Planterøtter kan vokse inn i og utvide sprekker og mikrosprekker i steinen ved rotsprengning. Dette kan både forårsake direkte mekanisk skade og lette tilgangen for vann inn i steinen, som dermed akselererer andre nedbrytningsformer som frostsprengning og kjemisk nedbrytning.



Figur 3.2: Helleristningsberg av sandstein skadet av rotsprengning fra trær. Ås I, Gjerpen, Skien, Østfold (eget foto).

Alger, bakterier, sopp, lav, moser og høyere planter kan vokse på steinflater (Dahlin m.fl., 2000, s. 20). Moser og lavarter ser ut til å være mer betydningsfulle for nedbrytningen av granitt enn høyere planter (Michelsen, 1992, s. 20, 21). Sopphyfer fra lav kan trenge inn i porer og mikrosprekker i berget i 1-2 cm dybde (Bjelland og Helberg, 2006, s. 83). Røtter fra høyere planter kan ellers gjøre stor skade på bergflater ved rotsprengning (figur 3.1; Ernfridsson, 2005).

3.2.3. Mekanisk forvitring

Stein kan også forvitte ved mekanisk nedbrytning, som fører til fragmentering av steinen i mineral- eller bergartskorn, eller i større deler (Honeyborne, 1990a; Prestvik m.fl., 1995, s. 56). Mekanisk forvitring kan innebære flere skadeformer på helleristninger. Disse er definert av Bjelland og Helberg (2006, s. 19-25). Noen av de viktigste i forhold til helleristninger på granitt, er:

- Eksfoliasjon, som vil si at konsentriske, tynne lag spaltes av parallelt med bergoverflaten
- Grusvitring, der mineralkorn løsner og faller ut av berget
- Bompartier, der berget sprekker opp parallelt med overflaten uten at selve bergoverflaten spaltes av, slik at det dannes et løst stykke stein som fortsatt sitter på plass, men er mer sårbart for fysisk belastning enn det omgivende berget
- Sprekkrelatert forvitring, der steinen deles opp i biter som et resultat av frost- eller rotsprengning i sprekker (Bjelland og Helberg, 2006, s. 19-25; se også figur 3.1).

Blant mekaniske forvittringsprosesser som påvirker helleristninger, er frostvitring, skader forårsaket av frostsprengning, en av de viktigste (Dahlin m.fl., 2000, s. 19). Når vann fryser, utvides det ca. 9 %, og når dette skjer i steinens porer, oppstår frostsprengning (Sandaker, Sandvik og Vik, 2007, s. 17, 20). Frostsprengning forårsaker dannelse og utvidelse av sprekker i steinen, og kan føre til avskallinger og eksfoliasjon fra overflaten eller fragmentering av steinen (Honeyborne, 1990a, s. 159, 160). Saltvitring har en lignende effekt, og skjer ved krystallisering av løselige salter inne i steinen. Krystallisering av løselige salter i små porer kan forårsake oppbygning av indre stress som medfører oppsprekking av steinen (Weber og Zinsmeister, 1991, s. 40, 41).

Sammen med steinens vannabsorpsjonskapasitet, har porøsitet, porestruktur og størrelsen på porer og sprekker i steinen betydning for hvor stor skade som forårsakes av både frost- og saltvitring (Honeyborne, 1990a, s. 159; Trønnes, pers. komm. 13.10.09; Weber og Zinsmeister, 1991, s. 39). Dersom selve porene er svært små, har det blitt hevdet at steinens frostbestandighet økes, ettersom vannets frysepunkt senkes i svært små hulrom (Ryberg, 1992, s. 4). Dersom åpningene mellom porene er svært små, er det større potensial for frostvitringsskader, ettersom trykket fra ekspansjonen av vannet ved omdanning til is ikke kan avlastes (Weber og Zinsmeister, 1991, s. 39). Porøse bergarter er mest utsatt for frost- og saltvitring (Honeyborne, 1990a, s. 153, s. 159, s. 162). Størkningsbergarter har generelt lav porøsitet, med lite åpne porehulrom (Winkler, 1997, s. 33). Granitt har dermed vanligvis lav porøsitet, men kan som nevnt være mer porøs i forvitringssonen. Dette gjør overflaten av berget, helleristningsflaten, mer utsatt for nedbrytning (Bjelland og Helberg, 2006, s. 19). For øvrig har frostsprengning gjerne mindre effekt på isskurt stein (Trønnes, pers. komm. 13.10.09). Dette burde tilsi at helleristningsberg var mindre utsatt for frostsprengning. Imidlertid har selve huggingen av ristningene brutt den isskurte flaten, og så å si ”åpnet” bergflaten for ulike nedbrytningsfaktorer.

Biologisk aktivitet som rotsprengning og raske temperatursvingninger kan også forårsake mekanisk nedbrytning (figur 3.1). Store døgnmessige temperaturvariasjoner kan forårsake spenninger som kan få berget eller de enkelte mineralene til å sprekke (Dahlin m.fl., 2000, s. 73; Michelsen, 1992, s. 19-21; Strömer, 1997, s. 47). Under mekanisk forvitring inngår også nedbrytning forårsaket av mennesker. Menneskelige inngrep som avdekking og rensing av helleristninger kan forårsake skade på ristningene ved for eksempel løsning av mineralkorn fra forvitringssonen eller riper i bergflaten (Löfvendahl, 1998, s. 2, 3; Ernfridsson, 2005).

Jordbruksaktivitet med tyngre maskiner kan også skade helleristningsfelt, ved riping, knusingsskader i forvitringssonen, og for svært nedbrutt stein, forårsake at deler av berget brytes løs, for eksempel dersom det er utstrakt sprekkrelatert forvitring; mange felt ligger på åkerholmer midt i dyrket land (Klokkernes m.fl., 1998, s. 7, 25). Menneskelig ferdsel kan også forårsake slitasje på ristningsfelt og medføre en risiko for skader på den nedbrutte bergflaten (Klokkernes m.fl., 1998, s. 10). Vandalisme er også en risiko (Ernfridsson, 2005). Steinens styrke har en betydning i forhold til disse nedbrytningsprosessene.

3.3. Nedbrytning og forebygging

I fuktig, norsk kystklima kan kjemisk forvitring forårsake utvasking av mineraler, som fører til at steinen langsamt brytes ned (Michelsen, 1992, s. 20). Ved kjemisk forvitring åpnes mikrosprekker og porer i steinen. Disse kan deretter utvides ytterligere av biologiske organismer som alger, lav og moser, og ved mekaniske prosesser som frostsprengning. Dette kan føre til grusvitring, eksfoliasjon og sprekkrelatert forvitring av steinen (Dahlin m.fl., 2000, s. 7). Biologiske organismer kan også medvirke til ytterligere kjemisk nedbrytning ved produksjon av organiske syrer som humussyre (Dahlin m.fl., 2000, s. 77; Strömberg, 1959, s. 48). På denne måten legger kjemiske og biologiske prosesser grunnlaget for mekanisk forvitring. Når den mekaniske forvitringen skjer, ved for eksempel grusvitring, vil nye overflater av sunn stein blottlegges for fornyet kjemisk forvitring (Bjelland og Helberg, 2006, s. 19; Prestvik m. fl., 1995, s. 57). De ulike prosessene ved nedbrytning av stein påvirker således hverandre på en kompleks måte. Det kan sies å være ønskelig å hindre kjemisk og biologisk forvitring i første omgang, dette vil også forebygge mekanisk forvitring (Löfvendahl, 1998, s. 2). Dette kan innebære tiltak som fjerning av vegetasjon og tildekking med inerte materialer. Når nedbrytningen er svært fremskreden, som på ”bergflater med store forvitringsskader og på flater utsatt for sterk grusforvitring” kan det imidlertid være nødvendig å utføre konsolidering av berget (Bjelland og Helberg, 2006, s. 87). Dette gir en forsterkning av helleristningsflaten. Konsolidering av steinen innebærer også tetting av sprekker og større eksfolieringer. Dette motvirker vanninntrengning, og bremser dermed både kjemisk forvitring og motvirker frost- og rotsprengning (Strömer, 1997, s. 47).

4. Metode

Nedbrytningen av helleristningene i Norge og tidligere arbeid med konservering av dem har vært diskutert ut fra litteraturen i de foregående kapitlene. Denne diskusjonen tydeliggjør bevaringsproblematikken ved konservering av helleristninger. Ved langt fremskredet forvitring kan bergflaten være i så dårlig stand at ristningene står i fare for å gå tapt. I slike tilfeller kan konsolidering av ristningsflaten være ønskelig (Bjelland og Helberg, 2006, s. 87).

Som nevnt har lite forskning vært gjort på konsolidering av helleristninger på granitt (Ernfridsson, 2005; Strömer, 1997, s. 51, 52). I denne studien var det derfor ønskelig å undersøke dette temaet nærmere. Ut fra dette ble en kasusstudie utført med konsolidering av et testmateriale bestående av granitt fra en helleristningslokalitet. Det ble her sett på konsolidering av flater med tanke på forsterkning av forvitringssonen, og ikke lokalkonsolidering som i sprekkutfylling og forsterkning av sårkanter (jfr. Bakke, 2004). Målet med denne kasusstudien er å få en indikasjon på om ristninger på granitt kan konsolideres. Den videre effektiviteten av behandlingen er et område som vil kreve videre undersøkelser. I forbindelse med denne kasusstudien har det vært nødvendig å undersøke flere aspekter, som materialets oppbygning og sammensetning samt nedbrytningsproblematikk, hva slags forskning som er gjort tidligere, hva slags konsolideringsmidler som kan være aktuelle for dette materialet samt relevante metoder. Metoder som kan være aktuelle for å undersøke dette fremlegges i dette kapitlet. Det er lagt vekt på at det tenkte endemålet for denne kasusstudien er konservering av helleristninger, som må skje i felt og derfor ikke kan anvende samme type utstyr som tradisjonell laboratoriekonservering.

4.1. Litteratursøk, konsultering av fagpersoner og befaringer

Som nevnt over, er det flere ulike aspekter som påvirker valg av behandlingsmetode og konserveringsmidler ved konservering av stein (Pinto og Rodrigues, 2008, s. 38). For å få kunnskap om disse, har diverse faglitteratur blitt anvendt. Geologisk litteratur har blitt anvendt for å få kunnskap om steinens oppbygning og nedbrytning, fra innføringsverk i geologi til en doktorgradsavhandling om forvitring (Prestvik m.fl., 1995; Swantesson, 1989). Det er tidligere gjort omfattende forskning på Østfoldgranittens oppbygning og forvitringen av den ved hjelp av ristningsfrie forsøksfelt ved helleristningslokaliteten Begby i nærheten av Fredrikstad, Østfold (Dahlin m.fl., 2000, s. 21). Data fra denne forskningen er særlig relevant

for dette studiet, ettersom testmaterialet er hentet fra samme lokalitet. Arkeologisk litteratur gir informasjon om helleristningsmaterialets beskaffenhet, kontekst, alder og utbredelse (Vogt, 2000; Vogt, 2007; Mandt og Lødøen, 2005). For å få kunnskap om konserveringen av stein og helleristninger – midler, metoder og tidligere resultater – har diverse litteratur om konservering av helleristninger, i Skandinavia og internasjonalt, sammen med annen steinkonserveringslitteratur, blitt anvendt (se "Referanseliste").

Kontakt med ulike fagpersoner har vært en viktig måte å samle kunnskap til prosjektet og supplere informasjon fra litteraturen. Disse personene omfattet arkeologer, geologer og konservatorer, og dannet et viktig kontaktnett for arbeidet med prosjektet. Telefonsamtaler, e-post utveksling og samtale person til person ga viktig informasjon, om materiale (både helleristninger og konserveringsmaterialer), testmuligheter, referanselitteratur og ytterligere kontakter. Henvisninger til dette er oppgitt som personlig kommunikasjon i teksten, og disse personene og deres stillinger er oppgitt i referanselisten under "Personlig kommunikasjon". I tillegg til dette har studieturer blitt foretatt til ulike helleristningsfelt for å få et inntrykk av bevaringsproblemene og konserveringstiltak som utføres. Helleristningsfeltet Drotten ved Lillehammer ble oppsøkt på befaring med arkeolog D. Vogt fra Kulturhistorisk museum (KHM) og senioringeniør V. Kveldsvik fra Norges Geotekniske Institutt (NGI). Helleristningsfeltene Ås og Hoppestad ved Gjerpen, Skien, ble oppsøkt på invitasjon fra steinkonservatorer C. Strömer og E. Ernfridsson fra Sverige, som utførte konserveringstiltak her på oppdrag fra KHM. Noen dager ble tilbrakt i Skien med medvirkning i konserveringsarbeidet på nevnte helleristningsfelt. Dette var imidlertid ristninger på sandstein, dette inngår dermed ikke direkte i oppgaven. I tillegg er flere helleristningsfelt i Østfold oppsøkt på privat initiativ. Viktige erfaringer, observasjoner og illustrasjonsfoto ble hentet fra disse studieturene.

4.2. Karakterisering av materiale

Karakterisering av materialet og nedbrytningen som har foregått er et nødvendig utgangspunkt for all konserveringsbehandling (Appelbaum, 2007, s. 3). Ulike bergarter har ulike egenskaper, både fysiske og kjemiske, noe som påvirker både hvordan den brytes ned og hvordan den kan konserveres. Egenskaper som mineralsammensetning, bindemiddel, porøsitet, styrke, og permeabilitet påvirker hvilke konserveringsmetoder og -midler som kan anvendes (Weber og Zinsmeister, 1991, s. 17). Karakterisering av bergarten og forekomsten

helleristningene er hugget i bør derfor utføres f r konserveringstiltak settes inn. Det er mange ulike egenskaper som kan undersøkes for å karakterisere stein, både fysikalske og kjemiske. Robertson (1982) gir en grundig oversikt over ulike fysikalske egenskaper for stein.   beskrive alle steinens egenskaper i detalj er imidlertid lite relevant. Price (1996, s. 1) har understreket betydningen av å knytte steinens egenskaper opp til dens ”performance”, som i denne studien kan knyttes til nedbrytningen av steinen og effekten av konserveringsbehandling. Flere metoder som anvendes for å karakterisere steinen, kan også anvendes for å undersøke effekten av behandlingen.

Nedbrytningsfaktorer og miljøet steinen befinner seg i, bør også undersøkes f r konserveringstiltak settes inn (Bakke, 2004, s. 3; Dahlin m.fl., 2000, s. 20; Pinto og Rodrigues, 2008, s. 38). Dette gir informasjon om hva slags forhold steinen vil befinne seg i etter behandling og dermed hva konsolideringsmiddelet må kunne tåle, samt hvilke nedbrytningsfaktorer som kan være mest presserende å skape beskyttelse mot.

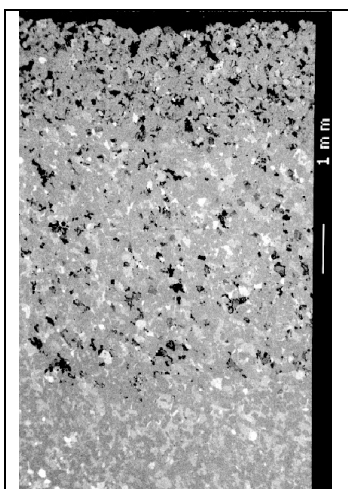
4.2.1. Undersøkelse av bergart og mineralsammensetning

Bestemmelse av bergarter kan gjøres uten inngrep ved visuell undersøkelse med lupe og konsultasjon av geologiske oppslagsverk (MacKenzie og Guilford, 1997; MacKenzie, Donaldson og Guilford, 1997; Prestvik m.fl., 1995, s. 62). For en rekke metoder som gir mer presis karakterisering av materialet, vil det imidlertid være nødvendig å ta ut prøver. Ved å ta ut tynnslip av en prøve og studere dette med polarisasjonsmikroskop eller petrografisk mikroskop, kan en rekke mineraler identifiseres. Dette kan også gi en indikasjon på steinens mineralsammensetning (Humphries, 1992, s. 1,2; MacKenzie og Guilford, 1997, s. iv, v).

Undersøkelse av et tynnslip eller en steinprøve gjennom forvitringssonen og innover i sunn stein, med lysmikroskop eller sveipelektronmikroskop (SEM), kan også anvendes for å undersøke forvitringen av steinen nærmere (Michelsen, 1992, s.23). SEM kan gi bilder med svært høy forstørrelse, opptil 100 000x, og gi detaljerte, tredimensjonale mikrofotografier, så strukturen i steinen kan undersøkes (Stuart, 2008, s. 91, 92). Forskjeller i porøsitet mellom sunn og forvitret stein kan sees og dokumenteres i SEM-mikrofotografier (Weber og Zinsmeister, 1991, s. 20; se figur 4.1). Dette kan gi et inntrykk av forvitringssonens dybde. Hvor dyp forvitringssone som dannes har sammenheng med steinens porøsitet, mineralsammensetning og kornstørrelse, som igjen påvirkes av hvilken bergart det dreier seg

om (Bjelland og Helberg, 2006, s. 18; Löfvendahl, 2008, s. 24 [URL]). Forvitringen som har foregått på helleristningsberget siden siste istid har blitt undersøkt ved å ta tynnslip fra borekjerner fra prøvefeltet i Begby, Østfold (Dahlin m.fl., 2000, s. 17). Steinens tekstur ble her undersøkt i tynnslipene med lysmikroskop og sveipelektronmikroskop tilknyttet et energidispersivt spektrometer (SEM-EDS) (Dahlin m.fl., 2000, s. 32, 33, 36, 37).

Mer avanserte analysemetoder som røntgenfluorescens (XRF) og røntgendiffraksjon (XRD) karakteriserer mineralsammensetningen mer presist enn visuell undersøkelse (Dahlin m.fl., 2000, s. 37). Disse metodene identifiserer de ulike mineralene som er til stede. XRD kan også gi en semikvantitativ bestemmelse av mengdeforholdet mellom de ulike mineralene (Stuart, 2008, s. 230, 231, 235, 236). Metoden krever at det tas en prøve av bergarten, men prøven trenger ikke være spesielt stor (Stuart, 2008, s. 23; Løken Berg, pers. komm., 09.12.09). XRD-analyse av flere prøver kan for eksempel anvendes for å se etter forskjeller i mineralsammensetning i forvitringssonen og i uforvitret, underliggende stein, og dermed finne ut om noen mineraler har vitret bort i sterkere grad enn andre. Utstyr til XRD er spesialutstyr, som ikke nødvendigvis vil være tilgjengelig for alle konservatorer. Prøver kan imidlertid sendes inn til flere større geologiske forskningsinstitutter, som kan utføre analyser på bestilling.



Figur 4.1: Eksempel på SEM-bilde av forvitringssone. Svarte områder = hulrom/porer (ill. fra Bjelland og Helberg, 2006, s. 18).

4.2.2. Undersøkelse av porøsitet

Porøsitet er en av steinens viktigste egenskaper i forhold til nedbrytning, og har stor påvirkning på hvordan steinen forvitrer (Robertson, 1982, s. 62; Swantesson, 1989, s. 12). Ved å kjenne bergarten, kan et anslag av steinens porøsitet i sunn, uforvitret tilstand gis. Forvitret stein kan imidlertid være mer porøs enn sunn, uforvitret stein. Testing av porøsitet kan utføres på den nedbrutte steinen, og sammenlignes med referanseverdier for bergarten, for å få en indikasjon på graden av nedbrytning.

Porøsiteten har også betydning for konserveringsprosessen, konsolidering lar seg for eksempel lettere utføre på mer porøs stein, som har høyere absorpsjonskapasitet (Pinto og Rodrigues,

2008, s. 44).

Steinens porøsitet kan måles på ulike måter. En enkel metode for å beregne porøsitet går ut på å sammenligne vekten av en steinprøve i tørr tilstand, og mettet med vann, og sammenligne dette med steinens volum. Denne metoden krever ikke bruk av avansert utstyr, er lite kostnadskrevenende, og kan enkelt utføres av konservator i laboratorium dersom man har en prøve av steinen (Lønnve, pers. komm., 13.10.09; Weber og Zinsmeister, 1991, s. 18). Metoden er imidlertid ikke så presis som mer avanserte metoder, og det kan være vanskelig å oppnå nøyaktige og pålitelige resultater med mer kompakte steinsorter, hvor porøsitet kan være vanskelig å måle (Lønnve, pers. komm., 13.10.09). Blant mer avanserte metoder finnes kvikksølvinntrængning (*mercury intrusion porosimetry*), som kan beregne porestørrelsesfordelingen i steinen, og ultralydsmåling av porøsitet (Krautkramer og Krautkramer, 1983; Elfving, 1991, s. 16; Ryberg, 1992, s. 6, 7). Disse metodene er mer presise, men krever også mer avansert utstyr og kan være kostbare (Ryberg, 1992, s. 38). Grunnet kostnader og tilgjengelighet ble den enkleste metoden anvendt her. Ultralydsmåling kan imidlertid være en god metode for bruk i felt, ettersom det ikke krever noen prøvetaking og ikke er destruktivt (Klingspor-Rotstein, 2004, s. 15; Price, 1996, s. 3).

4.2.3. Undersøkelse av styrke

Styrke er en egenskap som har betydning både i forhold til karakterisering av steinen og nedbrytningen som har foregått, og for bedømmelse av konsolideringsbehandlinger (Rodrigues, Pinto og da Costa, 2002, s. 117). Nedbrytning av stein kan senke materialstyrken betraktelig (Rodrigues, 1996, s. 225). Ved konsolidering av stein er det ønskelig å binde løse fragmenter og mineralkorn til den sunne steinen, og forsterke det nedbrutte materialet til opprinnelig styrke (Elfving, 1991, s. 10, 11). På denne måten beskyttes steinen mot belastninger og videre mekanisk nedbrytning. Testing av styrke kan dermed være en relevant metode for å undersøke nedbrytning og for å bedømme effektiviteten til konsolideringsbehandlinger, særlig ved sammenligning med tidligere utprøvde metoder, ettersom styrketester har vært bredt anvendt ved undersøkelse av effekten av ulike konsolideringsmidler (Rodrigues, Pinto og da Costa, 2002, s. 117; Price, 1996, s. 1). Styrketestingsmetoder er imidlertid destruktive, og krever mye prøvemateriale (Rodrigues, Pinto og da Costa, 2002, s. 117). Ved arbeid med originale kulturminner vil det være mer ønskelig å benytte ikke-destruktive metoder, eller metoder som krever minimale prøver (Löfvendahl, 2004, s. 28). Spesielt testutstyr er også påkrevd for å gjøre disse testene. Ut fra disse hensynene, ble det ikke utført styrketester som en del av denne kassstudien.

4.3. Konsolidering: Valg av midler

Det er viktig å benytte egnede konserveringsmidler ved konsolidering av stein. Mye tidligere forskning er utført på konsolideringsmidler, og steinkonserveringslitteratur gir en rekke anbefalinger. Ut fra dette ble en liste med kriterier aktuelle steinkonsolideringsmidler burde fylle, satt opp, og flere ulike konsolideringsmidler funnet i litteraturen, tidligere anvendt på stein og/eller ved konservering av helleristninger, vurdert. Et utvalg konsolideringsmidler anvendt på stein er fremlagt i kapittel 2.4. Disse ble vurdert, i tillegg til nyere midler som har gitt lovende resultater ved testing også på andre bergarter, ut fra informasjon innhentet fra litteraturen og gjennom personlig kommunikasjon. Vurdering og utvalg av konsolideringsmidler i forhold til testmaterialet fremgår av ”6.1. Valg av konsolideringsmidler”.

Omgivelsene og miljøfaktorer kan også ha betydning for valg av konsolideringsmidler. I forhold til dette er det viktig å være oppmerksom på immaterielle aspekter ved helleristningene som kulturgjenstander i forhold til konserveringsbehandlingen som velges (Appelbaum, 2007, s. 3-9). Helleristningene som kulturminner er bærere av immaterielle verdier. Slike immaterielle verdier kan være historisk verdi, estetisk verdi, vitenskapelig verdi, aldersverdi med flere (Pye, 2001, s. 60, 61). Kunnskap om relevante verdier er viktig for å kunne utføre etisk ansvarlig konservering og unngå konflikter (Pye, 2001, s. 60, 61). Dette innebærer blant annet at man bør sette seg inn i helleristningenes arkeologiske kontekst. For kunnskap om arkeologisk tolkning og betydning, må arkeologisk faglitteratur konsulteres. Arkeologisk tolkning og analyse av helleristninger er et bredt fagfelt i seg selv, som det ikke er rom for å gå inn på her. Dette må imidlertid undersøkes i forbindelse med konservering av individuelle helleristningsfelt, for å unngå uetiske konserveringsinngrep. Landskapstrekk som rennende vann over helleristningsberget kan forårsake fysisk eller kjemisk skade på ristningene. Bortledning av vannet kan likevel være uønsket, da dette landskapstrekket kan ha verdi i forhold til den arkeologiske tolkningen av ristningene, som i økende grad knytter tolkninger til slike trekk (Bjelland og Helberg, 2006, s. 76). Dersom ristningene påvirkes av vannsig, er dette også en faktor det må tas hensyn til i valget av konsolideringsmiddel. Middelet som velges, må da nødvendigvis være i stand til å tåle høy og vedvarende fuktighet.

4.4. Konsolideringsmetoder

Ulike påføringsmetoder kan anvendes for å konsolidere stein. Konsolideringsmidler kan påføres på utendørs stein ved hjelp av pensling, spraying, innsprøyting med pipette eller omslag (Bjelland og Helberg, 2006, s. 87; Pinto og Rodrigues, 2008, s. 39; Selwitz, 1992, s. 9, 10). Med løse gjenstander kan bløtlegging eller kapillær oppsugning av konsolideringsmiddelet også anvendes (Selwitz, 1992, s. 11), men dette er av naturlige grunner ikke aktuelt for konservering av helleristninger, som befinner seg på fast berg. Påføring av konsolideringsmiddel med pipette egner seg trolig best for konsolidering av mindre områder, som sprekker. Spraying eller pensling fremstår som de mest anvendelige metodene for konsolidering av større områder.

Det er også, som nevnt, viktig at konsolideringsmiddelet gjennomtrenger steinen dypt nok og binder til sunn stein, og ikke legger seg som en sprø hinne kun på overflaten av steinen (Pinto og Rodrigues, 2008, s. 38, 39). Dersom dette skjer, kan man få et sprøtt overflatelag som i verste fall kan avskalles og rive med seg biter av steinen (Michelsen, 1992, s. 28). Påføringsmetodikk, konsolideringsmiddelets og steinens egenskaper samt størrelsen på området som behandles kan påvirke hvor godt konsolideringsmiddelet absorberes av steinen (Pinto og Rodrigues, 2008). Noen konsolideringsmidler er avhengige av å reagere med vann eller CO₂ i den omgivende atmosfæren for å polymeriseres. Disse bør ha naturlig tilgang til luft etter påføring. Andre midler, som epoksy, kan gi dypere gjennomtrengning dersom fordampning forhindres etter påføring, for eksempel ved tildekking av steinen med plast (Selwitz, 1992, s. 10). Steinens porøsitet og størrelsen på overflaten som behandles, kan ha påvirkning på hvor mye konsolideringsmiddel som absorberes av steinen: Stein med lav porøsitet har lavere absorpsjonskapasitet enn stein med høyere porøsitet (Pinto og Rodrigues, 2008, s. 44). Om konsolideringen skal ha ønsket effekt, er avhengig av steinens sammensetning, struktur og porøsitet, men også av forholdene behandlingen utføres under, som for eksempel temperatur og relativ fuktighet (Pinto og Rodrigues, 2008, s. 39; Strömer, pers. komm. 14.07.09). Anbefalinger fra produsenter og erfaringer fra tidligere forskning angir optimale påføringsforhold.

4.5. Metoder for å vurdere effekten av konsolidering

Ved undersøkelse av en konsolideringsbehandlings effektivitet, vil det være særlig interessant å finne ut hvor dypt konsolideringsmiddelet trenger inn i steinen (Casadio og Toniolo, 2004, s. 3). Det finnes flere metoder for å undersøke dette. Ultralydsundersøkelser har blitt anvendt for å undersøke penetreringen av konsolideringsmiddel i stein, også på konsolidert granitt (Klingspor-Rotstein, 2004, s. 15; Rodrigues, 1996, s. 230). Dette er en ikke-destruktiv testmetode, noe som gjør den attraktiv for bruk på originalmateriale (Pinto og Rodrigues, 2008, s. 44). Ultralydsutstyr er imidlertid spesialutstyr, som ikke nødvendigvis vil være tilgjengelig for en konservator, særlig i felt. I laboratorium kan prøver undersøkes visuelt ved hjelp av lysmikroskop og SEM. Ved undersøkelse med SEM-EDS av ulike dybder i en steinprøve kan inntrengningen av konsolideringsmiddel innover i steinen spores, og SEM-bilder med høy forstørrelse kan gi en indikasjon på distribusjonen av konsolideringsmiddel innover i steinen (Elfving, 1990b, s. 8-11; Weber og Zinsmeister, 1991, s. 120, 155, 156).

Som nevnt kan styrketester på prøver av konsolidert materiale være en metode for å vurdere effekten av et konsolideringsmiddel. Dette kan utføres ved testing med spesielt utstyr i en lab (Pinto og Rodrigues, 2008, s. 38). Dette krever imidlertid relativt mye testmateriale og kan ikke anvendes i felt (Rodrigues, Pinto og da Costa, 2002, s. 117). Med en nyere teknikk for å undersøke styrke, bores et mindre hull i steinen med en mikrodrill som kan lese av styrken som anvendes ved boring. Hullet som produseres, er svært lite, rundt 5 mm i diameter, noe som gjør metoden mindre destruktiv enn tradisjonelle styrketester, utstyret kan også anvendes i felt (Pinto og Rodrigues, 2008, s. 43; Rodrigues, Pinto og da Costa, 2002, s. 118). Slikt utstyr er imidlertid spesialutstyr, og både utstyr og teknikk er fortsatt under utvikling. Skjønt det muligens vil bli mer alminnelig anvendt innen konservering i framtiden, er dette foreløpig kun på et lovende utviklingsstadium (Pinto og Rodrigues, 2008, s. 43).

Vurdering av porøsitet før og etter konsolidering kan også gi en indikasjon på effekten av behandlingen. Som nevnt kan steinens porøsitet økes ved nedbrytning. Ved konsolidering kan denne økte porøsiteten reduseres (Iñigo og de Haro, 1996, s. 141). Undersøkelse av porøsitet er derfor viktig både ved karakterisering av steinen, og for undersøkelse av effekten av konsolidering, og kan derfor utføres både før og etter konsolidering (Lind, 2000, s. 10; Iñigo og de Haro, 1996, s. 139).

5. Undersøkelse og karakterisering av testmateriale

For å undersøke effekten av konsolidering på helleristninger på granitt, ble et testmateriale innhentet. Dette ble undersøkt for å karakterisere steinen og forvitningsgraden før videre tester med konsolideringsmidler ble utført. Bakgrunnen for utvelgelsen av testmaterialet samt de undersøkelser som ble gjort er fremlagt i dette kapittelet. Undersøkelsene som er gjort og resultatene av disse er her presentert under ett for hver metode.

5.1. Utvalg av testmateriale

Granitt kan ha varierende sammensetning ved ulike forekomster. For å ha et mest mulig relevant testmateriale, var det ønskelig å skaffe et testmateriale fra samme forekomst som en helleristningslokalitet. Derfor ble det innhentet et testmateriale fra helleristningslokaliteten Begby i Fredrikstad, Østfold, bestående av en løs granittblokk uten helleristninger (se figur 5.1 og 5.2). Blokken ble funnet like ved siden av et ristningsfelt, og innhentet etter konsultasjon med bergkunsthforsker Vogt ved Kulturhistorisk Museum (pers. komm., 25.08.09). Begby-lokaliteten er tilrettelagt for publikum, og består av flere oppmalte og ikke-oppmalte felt. Årsaken til at akkurat denne blokken var løsnet fra resten av berget, er usikker. Testblokken ble undersøkt med lupe og mikroskop, og den trolig opprinnelige overflaten hvor forvitring har foregått, ble identifisert. Blokken ble deretter delt opp med diamantsag. Prøvebitene hadde en dybde på ca 8 cm, og overflate på ca 4x4 cm for å teste ut ulike konsolideringsmidler på (se figur 5.3). Prøvene ble merket med blyant og vannfast tusj.

Representativitet er noe problematisk i forhold til testmateriale. Materialet som her er valgt ut, er representativt i forhold til akkurat den lokaliteten det kommer fra. Grunnet store variasjoner i granitten ut fra lokalitet, er det imidlertid neppe mulig å påstå at materialet er representativt for all Østfoldgranitt, eller granitt generelt. Denne problemstillingen ble tydelig på en befaringsreise av ulike helleristningslokaliteter i Østfold, hvor ristningene hovedsakelig befinner seg på granitt. Østfoldgranitten kan oppvise store variasjoner selv mellom lokaliteter som ligger relativt nær hverandre geografisk (Johansen, pers. komm. 08.09.09). Materialet som her er valgt ut, kan imidlertid gi en indikasjon på nedbrytningssituasjonen som kan eksistere for helleristningsfelt på granitt, og hvordan konsolidering som konservering kan fungere på materialet.



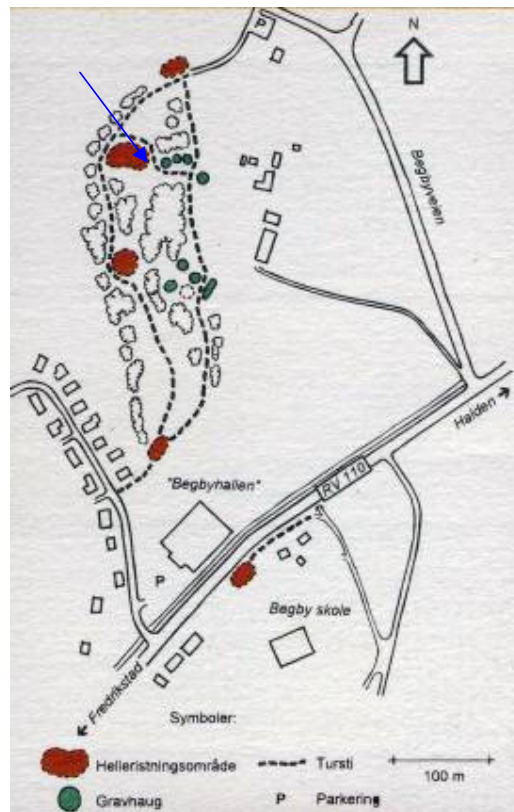
Figur 5.1: Testmateriale: Stein fra Begby, Østfold.



Figur 5.2: Stein fra Begby, Østfold, antatt overside.



Figur 5.3: Oppdelte steinprøver.



Figur 5.4: Kart over Begby, Fredrikstad, Østfold. Pilen indikerer hvor steinen er hentet.

5.2. Visuell undersøkelse av testmateriale

Før konsolidering ble testmaterialet undersøkt, for å karakterisere steinen og undersøke nedbrytningen som har foregått. Bergart og hovedsammensetningen av mineraler i en bergartsprøve kan bestemmes ved visuell undersøkelse, med det blotte øye og eventuelt med lupe og arbeidsmikroskop (Prestvik m.fl., 1995, s. 62). Denne undersøkelsen viste at steinen inneholdt hvit og rød feltspat, svart biotitt og kvarts (Lønnve, Trønnes, pers. komm., 13.10.09). Kvarts er et svært vanlig mineral i naturen, som vanligvis fremstår som hvitt eller fargeløst i normalt lys (Prestvik, 2005, s. 174). Den hvite og røde feltspaten er trolig kalifeltspat (Prestvik, 2005, s. 202). For å undersøke mineralsammensetningen mer presist, må mer avanserte instrumentelle analysemetoder benyttes, som røntgendiffraksjonsanalyse (se ” 5.5.1. Røntgendiffraksjonsanalyse (XRD)”).



Figur 5.5: Forvittringssone med sprekk, fotografert gjennom arbeidsmikroskop.

Ved visuell undersøkelse og undersøkelse med arbeidsmikroskop av steinprøvene, så forvittringssonen ut til å være ganske tynn, kun noen få (2-5) mm dyp. Noen steder var det tydelig oppsprekking parallelt med overflaten langs forvittringssonen (se figur 5.5). For å undersøke teksturen i steinen og forvittringssonens tykkelse nærmere, ble også et tynnslip preparert og undersøkt med polarisasjonsmikroskop og

sveipelektronmikroskop.

5.3. Undersøkelse av tynnslip med polarisasjonsmikroskop

Et tynnslip ble laget gjennom forvittringsprofilen av teststeinen, for å se etter forskjeller i porøsitet og sprekker innover i steinen (Michelsen, 1992, s.23). Dette ble undersøkt med et polarisasjonsmikroskop av typen Leica DMLM (max. forstørrelse 1000x) under gjennomfallende lys og polarisert lys (se figur 5.6).



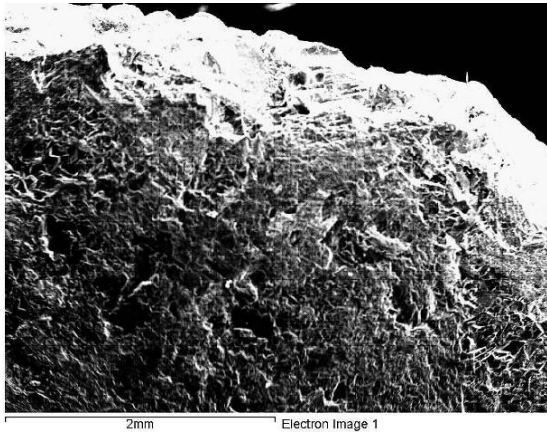
Figur 5.6: Illustrasjon av granittens mineralsammensetning: Tynnslip av prøvestein under krysspolarisert lys. 100x.

Figur 5.6 viser en 100x forstørrelse av tynnslipet, sett i krysspolarisert lys. Som nevnt tidligere kan undersøkelse av tynnslip med polarisasjonsmikroskop gi en indikasjon på steinens mineralsammensetning (Humphries, 1992, s. 1,2; MacKenzie og Guilford, 1997, s. iv, v). Tynnslipet ble undersøkt og sammenlignet med referanseverk for mineralogi. Kvarts (SiO_2) kunne blant annet sees, dette mineralet var omtrent fargeløst i mikroskopet (se figur 5.6;

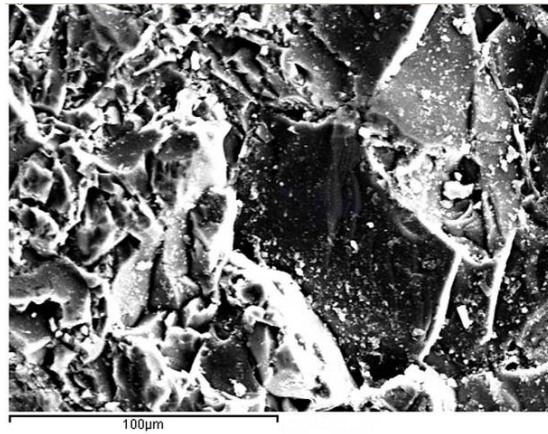
Prestvik, 2005, s. 174). De små inklusjonene som kan sees i kvartsen, er muligens albitt (figur 5.6; MacKenzie og Guilford, 1997, s.64), og det andre lyse mineralet som kan sees utenom kvartsen, muligens kalifeltspat (figur 5.6; MacKenzie, Donaldson og Guilford, 1997, s. 116). Den store krystallen nederst i bildet i figur 5.6, som går fra lys til mørk brun ved 45° rotasjon, er trolig biotitt (MacKenzie og Guilford, 1997, s. 46, 55). Det lot seg imidlertid ikke gjøre ved undersøkelse av tynnslipet i mikroskop, å skjelve spesielt mye porer eller sprekker i forvittringssonen, som kunne ha gitt en indikasjon på forvittringsdybden. Tynnslipet ble derfor også undersøkt med sveipelektronmikroskop (SEM), sammen med en tykkere prøve av steinen.

5.4. Undersøkelse av tynnslip og steinprøve med SEM-EDS

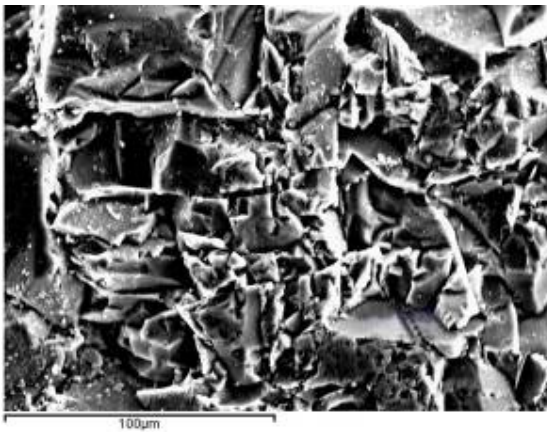
Tynnslipet av steinen, og en ubehandlet steinprøve på ca. $2 \times 4,5$ cm med en tykkelse på ca 5 mm, ble undersøkt med SEM-EDS, for å se om forvittringssonen kunne skjelves og tykkelsen på den måles (jfr. figur 4.1; Michelsen, 1992, s. 23). Mikrofotografier av prøvene ble også tatt for å anvendes som referanse for senere undersøkelser av prøver etter konsolidering.



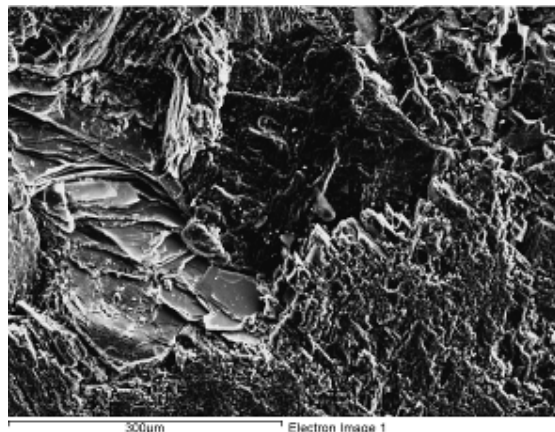
Figur 5.7: SEM-bilde av forvittringssone på ubehandlet prøve. 30x.



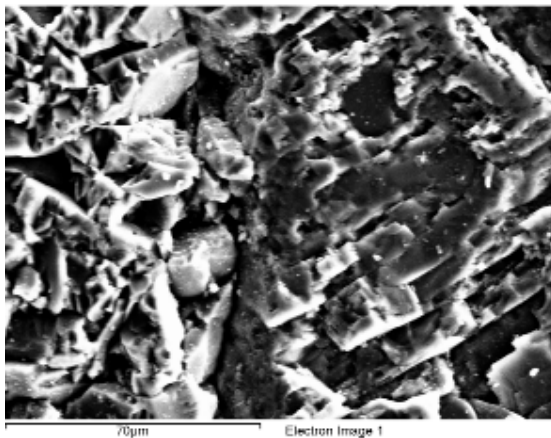
Figur 5.8: Ubehandlet prøve, 5 mm dybde. Kvarts og feltspat funnet. 600x.



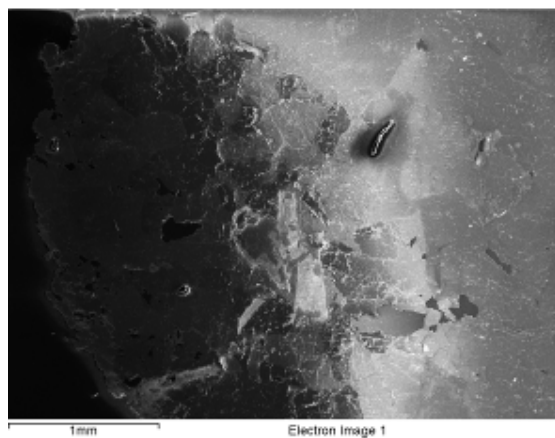
Figur 5.9: Ubehandlet prøve, 10 mm dybde. 600x.



Figur 5.10: Ubehandlet prøve, 15 mm dybde, 200x. Biotitt og muskovitt funnet.



Figur 5.11: Ubehandlet prøve, 25 mm dybde. 800x. Trolig muskovitt i venstre side av bildet, og albitt til høyre.



Figur 5.12: SEM-bilde av forvittringssone i tynnslip. 33x.

Analyse med SEM viste seg å fungere bedre på steinprøven enn tynnslipet. SEM-undersøkelsen av steinprøven viste steinens tekstur ganske tydelig (jfr. figur 5.7-5.11), mens undersøkelsen av tynnslipet ga resultater som var vanskelige å tolke og nokså dårlige mikrofotografier (jfr. figur 5.12). Det var vanskeligere å spøttere tynnslipet enn den tykkere prøven, dette kan ha påvirket resultatene. Også med denne metoden viste det seg vanskelig å se forskjeller mellom forvitringssonen og resten av steinen. Dette kan skyldes graden av forstørrelse, som påvirker utsnittet det er mulig å se (jfr. figur 5.7 og figur 4.1). Utilstrekkelig spøttring kan forklare de dårlige resultatene med tynnslipet.

Med SEM-EDS kan grunnstoffene som er til stede i prøven identifiseres (Stuart, 2008, s. 92). Dette medvirket til en omtrentlig bestemmelse av mineralene til stede i steinen, ved bruk av mineralogiske referanseverk (Prestvik, 2005; MacKenzie og Guilford, 1997). Dette er imidlertid basert på punktmålinger, og kan ikke gi noen absolutte data på steinens sammensetning. XRD-analyse kan bestemme mineralsammensetningen i en bergart mer presist.

5.5. Røntgendiffraksjonsanalyse (XRD)

Ved forvitring av stein skjer ofte utvasking eller omdanning av enkelte mineraler. For å se om det kunne oppdages noen forskjell i mineralsammensetningen i forvitringssonen og den sunne, uforvitrede steinen, ble det besluttet å gjøre en røntgendiffraksjonsanalyse av to pulverprøver. Røntgendiffraksjonsanalyse kan raskt identifisere alle kjente mineraler ut fra deres spesifikke struktur (Prestvik, 2005, s. 105). Analyse av en pulverprøve er den vanligste formen for XRD (Stuart, 2008, s. 231). Ettersom konserveringsstudiet ikke har tilgang på XRD-utstyr, ble prøvene tatt ut og sendt til Institutt for geofag, Universitetet i Oslo, for analyse.

Det ble tatt ut to prøver, av testmateriale som ikke skulle anvendes for konsolideringsforsøk. En ble tatt fra forvitringssonen, fra overflaten og ca 2 mm inn i steinen. Den andre ble tatt fra sunn, uforvitret stein dypere i prøveblokken. Prøvene ble hugget ut med baksiden av en geologhammer, merket og sendt til Institutt for geofag for ytterligere finknusing og analyse. På Instituttet anvendes vanligvis prøver med en standardstørrelse på 2 gram. I konserveringssammenheng utgjør imidlertid dette en svært stor prøve. Ut fra etiske hensyn er det ønskelig å fjerne så lite originalmateriale som mulig fra kulturgjenstander for

analyseformål (Pye, 2001, s. 32). Etter kontakt med ansvarlig for XRD-analyse ved Institutt for geofag ble det derfor avtalt å anvende mindre prøver på 0,5 g. Det ble opplyst at de mindre prøvene ikke hadde utgjort noe problem i forhold til analysen (Løken Berg, pers. komm. 09.12.09).

Mineral	Kjemisk formel	% innhold i forvitringssone	% innhold i uforvitret stein
Kvarts	SiO ₂	11	12
Kalifeltspat	KAlSi ₃ O ₈	41	44
Albitt	NaAlSi ₃ O ₈	24	18
Kloritt	(Mg,Fe ²⁺ ,Al,Fe ³⁺) ₆ (Al,Fe ³⁺ ,Si) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	10	10
Muskovitt	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	14	-
Biotitt	K(Mg,Fe) ₃ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	-	16

Tabell 5.1: Semikvantifiserte resultater av XRD. Etter beregninger av Løken Berg (pers. komm., 11.11.09; se også vedlegg 1).

Kvarts, kalifeltspat, albitt og kloritt ble identifisert i begge prøver (se tabell 5.1). I tillegg ble muskovitt identifisert i prøven fra forvitringssonen, og biotitt i prøven fra uforvitret stein. Ilitt, muskovitt og biotitt har imidlertid tilsvarende topper, ved 10 Å, og kan derfor ikke skilles sikkert fra hverandre ved denne metoden. Dette er derfor kun rangerte forslag fra analyseprogrammet (Løken Berg, pers. komm., 11.11.09). Biotitt ble identifisert ved visuell undersøkelse. Om begge prøvene kun inneholder biotitt, eller om det er både biotitt og muskovitt i den ene eller begge prøvene, er imidlertid ikke mulig å avgjøre.

Arealet av den sterkeste refleksjonen multiplisert med veiefaktorer (Mogens Ramm) er anvendt for semikvantifisering av mineralene i granitten ved denne analysen (Løken Berg, pers. komm., 11.11.09). Prøvene viste ingen stor forskjell i mineralsammensetning mellom forvitringssonen og uforvitret stein, men ulike utslag kan tyde på at det er mer albitt i forvitringssonen enn i den uforvitrede steinen (se tabell 5.1 og Vedlegg 1; Løken Berg, pers. komm., 11.11.09). Hva dette skyldes, er usikkert. Eventuelt kan det være en ujevn fordeling i steinen av dette mineralet. Det ser også ut til at det kan være noe mindre kalifeltspat i forvitringssonen (se tabell 5.1, samt Vedlegg 1). Dette kan tyde på at noe av feltspaten har vitret bort. Tilstedeværelsen av biotitt og/eller muskovitt er som nevnt noe usikker. Disse er imidlertid begge glimmermineraler (Prestvik m.fl., 1995, s. 34). Dersom de ses på under ett som glimmermineraler, kan resultatene tyde på at disse mineralene har vitret bort i noen grad (tabell 5.1).

5.6. Testing av porøsitet

Undersøkelse av porøsitet kan gi en indikasjon på hvor nedbrutt steinen er, samtidig som det vil gi føringer for konserveringsprosessen (se ”4.4. Konsolideringsmetoder”). Steinprøvenes porøsitet ble testet ved å finne prøvens volum, vekten når steinen var mettet med vann, og vekten i helt tørr tilstand. Denne metoden gir prøvenes porøsitet P (*apparent porosity*) ved

$$P = (v^m - v^t) / V \times 100$$

hvor v^m = steinens vekt mettet med vann (g), v^t = steinens tørre vekt (g), og V = volum (cm^3) (Weber og Zinsmeister, 1991, s. 18). Skjønt v^m og v^t måles i g, og V i cm^3 , blir porøsiteten P i %, ettersom tettheten for vann, som anvendes for å finne ut porøsiteten, er 1 g/cm^3 (Cambridge Encyclopedia, [URL]).

Hver av steinprøvene ble målt, og volum regnet ut fra disse målene. Prøvene ble deretter plassert til tørking i varmeskap ved $110 \text{ }^\circ\text{C}$. Etter seks timer ble prøvene tatt ut og veid umiddelbart, deretter satt inn igjen. Veiingen av prøvene ble gjentatt etter 24, 48, 54, 69 og 77 timer, da det ble ansett at vekten var stabil, dvs. mindre enn $0,02 \text{ g}$ forskjell innen tre suksessive målinger for alle prøvene. Når stabil vekt er oppnådd, er prøven helt tørr, og ikke noe fuktighet gjenstår i de åpne porene. Denne vekten utgjør prøvenes tørrvekt, v^t (se tabell 5.2). Etter tørkingen ble prøvene avkjølt en til to timer ved normal romtemperatur og luftfuktighet for å unngå temperatursjokk, før de ble nedsenket i et kar med vann og latt stå 48 timer. Deretter ble en og en prøve tatt opp, overflatevann fjernet med trekkpapir, og prøven veid. P ble regnet ut fra ovennevnte formel (se tabell 5.2). Resultatene finnes i tabell 5.2.

Prøve nr.	v^t (g)	v^m (g)	V (cm^3)	$(v^m - v^t) / V \times 100 = P$ %
1	345,63	346,70	128,47	0,83
2	259,77	260,65	114,08	0,77
3	259,05	260,09	110,76	0,94
4	294,21	295,18	106,60	0,91

Tabell 5.2: Beregning av porøsitet for prøvene før behandling. v^m = steinens vekt mettet med vann, v^t = steinens tørre vekt, V = volum.

5.7. Diskusjon av resultater

XRD-analysen ga kvalitative og semikvantitative resultater på mineralsammensetningen i steinen, som underbygget og utvidet resultatene oppnådd ved visuell analyse.

Mengdeforholdet mellom de forskjellige mineralene kan beregnes, metoden gir imidlertid ingen absolutte verdier for innholdet av hvert enkelt mineral i steinen. De semikvantitative dataene tyder på at det kan ha skjedd en forvitring av feltspat og glimmermineraller, men liten endring av steinens kvartsinnhold (se tabell 5.1). Dette stemmer med at feltspat og glimmermineraller er ansett å være mindre motstandsdyktige mot forvitring enn kvarts (Prestvik m.fl., 1995, s. 57). Disse resultatene gir imidlertid kun en indikasjon på forvitringen som har foregått. Undersøkelse av flere prøver kunne eventuelt ha gitt noe større sikkerhet, men ut fra kostnadene ved analysen, som utføres eksternt på oppdrag, ble kun to prøver undersøkt.

Målingen av porøsitet viste at prøvene har en porøsitet på 0,77-0,94 % (se tabell 5.2). Dette er innenfor normalverdien for granitter, som kan ha en porøsitet på 0,4-2,36 % (Winkler, 1997, s. 290). Målingen av porøsitet i stein er imidlertid kompleks, og enkle metoder har ikke høy presisjon, men kan påvirkes av for eksempel sprekker i steinen. Dette kan blant annet ha påvirket den målte forskjellen mellom prøvene.

Resultatene fra forundersøkelsene tyder på at denne granitten ikke er veldig nedbrutt. Porøsiteten er ikke unormalt høy (jfr. tabell 5.2), og forvitringssonen ser ikke ut til å være svært dyp. Deler av overflaten kunne se ut til å være i dårligere stand, med sprekker og dårlig festede steinfragmenter (jfr. figur 5.5). Skjønt forvitringssonen for akkurat denne steinen ikke var så tykk, kan forvitring i noen få millimeters dybde også utgjøre et problem for helleristninger som ikke er dypt hugget. Ristningene blir gradvis visket ut ved forvitring. Sprekker og åpninger i steinens overflate kan også medføre akselerert forvitring, særlig i form av frostvitring (Trønnes, pers. komm., 13.10.09). Det viste seg å være svært vanskelig å måle forvitringssonens tykkelse, eller få noen mikrofotografier som kunne illustrere dette, både med arbeidsmikroskop, polarisasjonsmikroskop, og sveipelektronmikroskop. Litteraturen beskriver at forvitring i steinprøver er undersøkt med disse metodene, dette viste seg imidlertid å være vanskelig i praksis (jfr. Michelsen, 1992, s. 23, og figur 4.1).

6. Konsolidering av testmateriale

I dette kapitlet fremlegges det praktiske arbeidet som har blitt gjort for å teste konsolidering av granitt. Fire ulike steinkonsolideringsmidler ble testet på det beskrevne prøvematerialet. Materialet som er valgt ut, kom som nevnt fra en helleristningslokalitet. Ettersom dette var et begrenset materiale, er ikke tester og behandlinger utført på mange prøver. Denne kassustudien gir således ingen statistiske resultater, men snarere kvalitative resultater og indikasjoner. Her fremlegges utvalget av konsolideringsmidler, selve konsolideringsarbeidet og de tester som ble gjort i etterkant for å undersøke resultatet av behandlingen. De indikasjoner disse kan sies å gi, og hvilke retningslinjer dette eventuelt kan gi for videre forskning, vil fremlegges i neste kapittel.

6.1. Valg av konsolideringsmidler

Som tidligere beskrevet, finnes et større antall konsolideringsmidler som har blitt anvendt på stein. I denne studien var det ønskelig å teste et begrenset utvalg på granitt. Som nevnt i kapittel 4, ble litteraturen anvendt for å bestemme hvilke som skulle testes. Det ble sett på:

- Kompatibilitet med granitten: Steinkonsolideringsmidler bør være kompatible med steinen, i forhold til mineralsammensetning og fysiske egenskaper. Steinens egenskaper bør endres i minst mulig grad, slik at det ikke oppstår skader som følge av for eksempel ulik varmeutvidelseskoeffisient i konsoliderte og ukonsoliderte områder (Elfving, 1991, s. 10, 11). Granitt inneholder som nevnt mineralene kvarts, feltspat og glimmer, konsolideringsmiddelet må dermed være kompatibelt med disse mineralene.
- Inntrengningsevne: Det er viktig at konsolideringsmidler gjennomtrenger steinen dypt nok, helst skal det trenge gjennom forvitringssonen og binde løse partikler til underliggende, uforvitret stein. Dersom forvitringshuden ikke bindes godt nok til den underliggende steinen, kan det dannes et tynt overflatelag med en markert overgang til ”sunn” stein. Ved frost- eller saltvitring kan denne overflaten sprenges løs fra berget og forårsake skade på ristningene og tap av originalmateriale (Clifton, 1980 [URL]; Elfving, 1991, s. 13).

- Om konsolideringsmiddelet lar steinen ”puste”: Konsolideringsmiddelet bør også være vanddamppermeabelt og ikke tette steinens porer helt, slik at ikke vann eller salter fanges inne i steinen og forårsaker skade (Elfving, 1991, s. 11).
- Helse- og miljøskadelighet: Konsolideringsmiddelet må ikke medføre skader på miljøet eller helsefare for konservator.
- Det bør være tilgjengelig, dvs. mulig å skaffe i Norge uten stor ulempe, og økonomisk, både i forhold til direkte kostnad ved anskaffelse og kostnader ved bruk, inkludert påkrevd arbeid ved påføring (Elfving, 1991, s. 12).

Det er også ønskelig at konsolideringen medvirker til å beskytte steinen mot videre nedbrytning og har god holdbarhet, for å minske behovet for konservering og dermed redusere antall inngrep i originalmateriale (Honeyborne, 1990b, s. 158; Clifton, 1980 [URL]); Lind, 2000, s. 8, 9; Weber, 1985, s. 15, 16; Wheeler, 2005, s. ix). Dette er imidlertid noe som vil kreve videre undersøkelser enn hva det er rom for i denne studien.

Noen konsolideringsmidler som virket lovende ble valgt ut for testing ut fra disse kriteriene. Det ble sett både på eldre midler som har vært vellykket anvendt på andre bergarter, og nyere midler og metoder, noen av hvilke fortsatt er under testing/utvikling for bruk til konsolidering av stein. Konsolideringsmidlene som ble valgt ut, var:

1. Utfelling av kalsiumkarbonat ved overmettet løsning
2. SILRES BS (tidligere Wacker) OH 100
3. Vannglass (KRYSTAZIL 40 - natriumsilikat)
4. Paraloid B72 fortynnet i aceton

1. Utfelling av kalsiumkarbonat (kalsitt) ved overmettet løsning

Dette er en metode som er utviklet for konsolidering av sandpakninger i oljeindustrien.

Metoden går ut på at porøse materialer skal konsolideres ved utfelling av kalsitt i porene, når en løsning av kalsiumnitrat, urea og urease trenger inn i materialet og reagerer.

Utfelling av kalsiumkarbonat er mer avhengig av porehulrom hvor kalsitt kan dannes, enn hvilke mineraler som er til stede, men tilstedeværelsen av kvarts har blitt vist å øke reaksjonshastigheten mot utfelling, noe som kan være en positiv effekt ved konsolidering av stein (Larsen, 2005, s. 7, 9, 18). Middelet er altså kompatibelt med mineralene i steinen. Det er et naturlig forekommende mineral, og medfører dermed ikke noen helse- eller miljøfare.

Metoden er utviklet for å være både kostnadseffektiv og miljøvennlig (Larsen, 2005, s. 18). De nødvendige kjemikaliene kan skaffes for laboratoriebruk via postordre. Metoden skal også bevare materialets porøsitet (Larsen, 2005, s. 18), det kan derfor antas at det ikke vil tette granittens porer totalt og dermed forårsake skade.

2. *SILRES® BS OH 100*

Alkoxysilaner har blitt vist å binde godt til silikatmineraler, særlig kvarts og feltspat (Wheeler, 2005, s. 52). Ut fra dette burde konsolidering med alkoxysilaner egne seg godt for granitt, som inneholder både kvarts og feltspat. Tidligere tester har også oppnådd resultater som tyder på at dette kan være lovende for bruk på granitt (Rodrigues, 1996, s. 229, 231). Wacker OH var et etylsilikatbasert konsolideringsmiddel som siden utviklingen av middelet på 1970-tallet, har vært utstrakt brukt for konsolidering av stein (se ”2.4.3. Silisiumbaserte konsolideringsmidler”; Wheeler, 2005, s. 55). Dette middelet er i dag erstattet av *SILRES BS OH 100* på markedet, som karakteriseres av produsenten som ”a solventless, ready-to-use product for the consolidation of construction materials” (Wacker, 2003, s. 1). Hvorvidt *SILRES BS OH 100* er en endret oppskrift eller ikke fra Wacker OH (100), har ikke blitt opplyst av forhandler eller produsent, og det er usikkert om denne varianten har blitt testet for steinkonsolidering. OH står for ikke hydrofoberende, og en hydrofoberingsbehandling, dvs. en vannavvisende overflatebehandling, kan være nødvendig etter konsolidering for å hindre igangsetting av ny nedbrytning og forlenge behandlingens holdbarhet.

SILRES BS OH 100 skal ha lav molekylvekt, som gir det god inntrengningsevne, og det skal ikke forsegle steinens porer, men bevare vanddamppermeabiliteten. Middelet skal også være motstandsdyktig mot sur nedbør (Wacker, 2003, s. 1). Det oppgis at utslipp til grunnvann eller jord må unngås, imidlertid oppgis middelet å ikke være vannløselig, og biproduktet som kan dannes gjennom nedbrytning ved hydrolyse, er etanol, som er biologisk nedbrytbart (Wacker, 2008a, s. 2, 4). Ut fra dette burde ikke middelet medføre særskilte miljørisikoer. Produktet kan bestilles fra forhandlere både i Norge og Sverige. Basert på denne informasjonen, ble *SILRES BS OH 100* ansett som et interessant konsolideringsmiddel å teste for bruk på helleristninger.

3. *Vannglass (KRYSTAZIL 40)*

KRYSTAZIL 40 er en løsning av natriumsilikat i vann (BIM, 2009). Denne blandingen kalles også ”vannglass”. Dette middelet ble tidlig anvendt til steinkonservering (se ”2.4.3. Silisiumbaserte konsolideringsmidler”). Produktet skal virke til steinkonsolidering ved at hydratisert silisiumdioksid delvis fyller steinens porer, omdannes til natriumsilikat (Na_2SiO_3) ved kontakt med kvarts og konsoliderer løse fragmenter av steinen (Elfving, 1991, s. 14). Dette skal dermed hindre grusvitring eller oppsmuldring av steinen (Winkler, 1997, s. 268). Ettersom granitt inneholder kvarts, er dette middelet kompatibelt med bergarten. Middelet har lav viskositet, og skal ha god inntrengningsevne. Det skal også la steinen ”puste” ved å ikke fylle porene helt. Det kan øke pH-verdien i vann og jord, men skal ellers ikke ha noen miljøskadelige effekter (BIM, 2009). Denne effekten utgjør neppe noen stor ulempe. Middelet anvendes til en rekke ulike industrielle formål, og er derfor relativt lett tilgjengelig (se BIM, 2009). På bakgrunn av dette ble det ansett som interessant å teste konsolideringseffekten dette middelet kunne ha på granitt.

4. *Paraloid B72*

Paraloid B72 er en etylmetakrylat/metylakrylat-kopolymer, som har vært utstrakt anvendt for mange ulike materialer innen konservering (Pinto og Rodrigues, 2008, s. 39). Dette er et organisk konsolideringsmiddel, steinens mineralsammensetning har dermed mindre betydning for anvendelsen. Paraloid B72 har nokså høy viskositet, og må derfor tynnes ut med et egnet løsemiddel, dvs. aceton, xylen eller toluen (Elfving, 1991, s. 15; Pinto og Rodrigues, 2008, s. 42). Dette kan utgjøre en helserisiko for konservatoren: Både xylen og toluen inneholder metylbenzen, som muligens er kreftfremkallende, og begge disse løsemidlene er generelt svært helseskadelige for mennesker (AlfaHMS, 2003; Helsebiblioteket, 2007). Disse løsemidlene er derfor mindre ønskelige å anvende. Også ved bruk av aceton må forholdsregler tas for å unngå fare for helseskader for konservator. Dersom tilstrekkelig inntrengning oppnås, skal Paraloid B72 være et varig konsolideringsmiddel, som ikke løses opp av vann. Det har også blitt vist å kunne øke steinens styrke betraktelig (Pinto og Rodrigues, 2008, s. 39). Ettersom middelet er i utstrakt anvendelse innen konservering, er det lett tilgjengelig for konserveringsformål.

Konsolideringsmiddelets inntrengningsevne er avhengig av viskositeten og molekylstørrelsen. Lav viskositet og lav molekylstørrelse er ønskelig. Dette må imidlertid ikke gå utover

bindeegenskapene og styrken til konsolideringsmiddelet i for høy grad. Inntrengningsevnen vil forsøkes undersøkes etter testing av de nevnte konsolideringsmidlene.

6.2. Konsolidering – fremgangsmåte

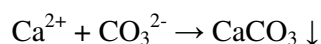
Som nevnt kan flere metoder benyttes for konsolidering av stein. Konsolidering av steinens overflate er mål for disse undersøkelsene. Det var derfor nødvendig å anvende en påføringsmetode som kan konsolidere større områder. Av denne grunn ble injisering med sprøyte eller pipette ikke anvendt. Spraying eller pensling av konsolideringsmidlene på steinen er trolig de beste metodene for denne typen konservering (se ”4.4. Konsolideringsmetoder”).

For å oppnå dyp inntrengning av steinen, er det nødvendig at en viss mengde konsolideringsmiddel absorberes av steinen (Pinto og Rodrigues, 2008). Mengden konsolideringsmiddel som påføres, er trolig enklere å regulere ved påføring med pensel, hvor større mengder kan legges på om det synes nødvendig. Pensling som metode er også fordelaktig i forhold til konsolideringsmidler med noe høyere viskositet eller som er svært klebrige, noe som kan forårsake problemer ved påføring av midler ved spraying, for eksempel med Paraloid. Pensling er også en forholdsvis enkel metode som krever lite utstyr, og er derfor praktisk å anvende i felt. I denne studien ble derfor pensling valgt som påføringsmetode. Spraying kunne muligens vært egnet for enkelte av de valgte midlene, men samme metode ble benyttet for samtlige midler for sammenlignbarhet. Ved konsolidering av svært store flater i praksis er det imidlertid mulig at spraying vil være en mer arbeidseffektiv metode.

6.2.1. Konsolidering ved utfelling av kalsiumkarbonat (kalsitt) i steinens porer

Denne metoden er som nevnt utviklet innen oljeindustrien. Konsolidering av ”løs sand” ved kontrollert utfelling av kalsitt har tidligere blitt prøvd ut i laboratorium, og har vært vellykket (Larsen, 2005, s. 9). Odden (pers. komm., 02.09.09) har testet ut denne metoden på andre bergarter, med tanke på konsolidering av helleristningene i Vingen og Ausevik. Det ble besluttet å undersøke om dette også kunne benyttes til konsolidering av en tett bergart som granitt. Bruken av metoden er basert på en doktorgrad fra NTNU (Larsen, 2005) og Oddens anbefalinger.

Konsolidering ved denne metoden fungerer ved at en løsning inneholdende Ca^{2+} , urea og enzymet urease injiseres i materialet som skal konsolideres. (I denne studien ble imidlertid løsningen penslet på.) Urease katalyserer nedbrytningen av urea til ammoniakk og bikarbonat. Dette danner en vedvarende overmetning av løsningen med kalsiumkarbonat, som fører til utfelling og krystallisering (Larsen, 2005, s. 7):



Kalsittkrystallene binder seg til mineralkorn og binder dem sammen i et krystallnettverk, på denne måten konsolideres den ennå porøse massen (Larsen, 2005, s. 7, 18). En ”oppskrift” på 1 L mottatt av Odden ble delvis anvendt (pers. komm., 14.10.09), men kun 0,5 L løsning ble tilberedt. Oppskriften ble ikke forminsket ytterligere, grunnet usikkerhet rundt mulig påvirkning på reagensenes løselighet eller løsningens egenskaper. I denne løsningen er kalsiumnitrat benyttet som kilde til Ca^{2+} , og urease fra ”Jack Bean Meal” (Odden, pers. komm., 14.10.09). I Larsens arbeid er det anvendt standardkonsentrasjoner av de ulike reagensene, dette påvirker spesielt mengden urease som må benyttes, det finnes ulike typer med ulik reaktivitet (Larsen, 2005, s. 8). Forholdet mellom de ulike typene urease, standardkonsentrasjonen og absolutt konsentrasjon er oppgitt av Larsen (2005, s. 191). Løsningen skal ha 0,75 mol/L kalsiumnitrat, det samme gjelder for urea. Ønskelig mengde urea og kalsiumnitrat ble regnet ut på bakgrunn av kjemikalienes molaritet som oppgitt av produsenten (se tabell 6.1).

Produktnavn	Formel	g/mol	Ant. g/L nødvendig for å oppnå ønsket konsentrasjon	Mengde til 0,5 L løsning
<i>Calcium nitrate tetrahydrate</i>	$\text{CaN}_2\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	236,15	236,15 g/mol * 0,75 mol/L = 177,11 g/L	88,56 g
Urea	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$	60,06	45,05 g/L	22,52 g
Urease Type III (fra jack beans)			0,6* g/L	0,3 g

Tabell 6.1: Anvendte kjemikalier – konsentrasjoner og mengdeforhold. *) Etter Larsen, 2005, s. 191: ”1 SC refined urease = 0,6 g urease/L”.

Løsningen ble tillaget med destillert vann fra studiets laboratorium. Dette vannets pH-verdi ble målt med pH-papir til mellom 4 og 5. Reaktiviteten til urease er vist å være tett knyttet til

pH-verdi i løsning: Urease har optimal aktivitet ved pH-verdier mellom 7 og 8 (Larsen, 2005, s. 95). Vannet måtte derfor gjøres mer basisk. Det ble forsøkt å koke det destillerte vannet i ca. en time. Dette ga imidlertid kun en marginal endring av pH-verdien, til litt over 5. Vannet ble derfor forsøkt bufret med lut – 0,1 M NaOH-løsning. En og en dråpe ble tilsatt, og pH målt for hver tilsetning. Etter tre dråper ble det oppnådd en pH på mellom 7 og 8, som ble ansett som tilfredsstillende.

Calcium nitrate tetrahydrate og urea ble veid opp og rørt ut i 490 ml destillert og bufret vann i 45 minutter. Denne løsningen kan oppbevares i kjøleskap (4 °C) i opptil en måned uten å forringes, men straks urease er tilsatt, bør den ferdige løsningen anvendes, ettersom reaksjon og utfelling av kalsitt begynner. Løsningen ble deretter filtrert med 595 Rundfilter fra Schleicher og Schuell i en Büchner trakt, etter Larsens anvisninger (2005, s. 104). 0,3 g urease ble veid opp og løst i de øvrige 10 ml av vannet ved røring i ca 30 minutter (jfr. Larsen, 2005, s. 104). Ureaseløsningen ble deretter tilsatt kalsiumnitrat- og urealøsningen, og blandet inn ved røring en kort stund. Blandingen ble deretter penslet på steinprøve 1 med en svinehårspensel, under avtrekk og iført vernebriller og hansker. Tiden det tar for krystaller å dannes, øker med lavere temperatur, dette gir middelet bedre mulighet til å trekke inn i steinen før det reagerer (Larsen, 2005, s. 9). Utfellingstiden har blitt funnet å være ca 24 timer ved 25 °C (Larsen, 2005, s. 9). Her ble behandlingen utført ved romtemperatur i laboratoriet, altså litt lavere temperatur – ca. 19-20 °C. Prøvesteinen ble derfor latt stå til tørking i over ett døgn. Den ble latt stå i fem døgn, for å være sikker på at utfelling rakk å skje i porene.

6.2.2. Konsolidering med SILRES BS OH 100

Som beskrevet av produsenten (Wacker, 2003), er SILRES BS OH 100 et ettkomponentsystem for konsolidering av naturstein, murstein eller terrakotta, basert på etylsilikat. Etter påføring reagerer etylsilikat med fuktighet fra atmosfæren eller i steinens porer og danner silikagel som bindemiddel i steinen. Det er anbefalt av produsenten å behandle steinen med et hydrofoberingsmiddel etter dette for å beskytte mot regnvann (Wacker, 2003, s. 2).

SILRES BS OH 100 kan påføres ved spraying, pensling eller dypping, her ble det påført ved pensling. I litteraturen er det rapportert om behandling med etylsilikat med flere påføringer innen få dager (Pinto og Rodrigues, 2008, s. 42, 43). For bruk av SILRES BS OH 100

anbefales det imidlertid av produsenten at produktet påføres til steinen ikke absorberer mer, og at en eventuell behandling nummer to ikke må utføres før etter minimum to til tre uker. Respekteres ikke dette, vil konsolideringsmiddelet ikke absorberes av steinen og overflaten kan misfarges (Wacker, 2003, s. 2). Det ble derfor valgt å påføre rikelig med produktet med pensel til steinen ikke absorberte mer, ved kun en påføring. Middelet påføres vått på vått på mindre områder av gangen. Steinen ble fuktet med vann før påføring. Middelet ble penslet på under avtrekk i laboratoriet. Påføring bør skje under god ventilasjon, med beskyttende hansker og vernebriller. Ideelle forhold for påføring er 10-20 °C, og over 40 % RF (Wacker, 2003, s. 2). Etter påføring ble steinen latt stå ved omgivende temperatur- og luftfuktighetsforhold i laboratoriet for dannelse av silikagel i steinen. Under standardforhold på 20 °C og 50 % RF skal det meste av etylsilikaten omdannes til silikagel i løpet av ca to uker (Wacker, 2003). En langsom reaksjonsrate lar konsolideringsmiddelet trekke dypere inn i steinen, og er derfor en fordel (Wheeler, 2005, s. 15).

6.2.3. Konsolidering med vannglass (KRYSTAZIL 40)

KRYSTAZIL 40 er en natriumsilikatløsning med 36 vektprosent natriumsilikat, Na_2SiO_3 , i vann (BIM, 2009). Som nevnt skal vannglass konsolidere steinen ved dannelse av natriumsilikat i porene. Middelet ble penslet på prøve nr. 3 med svinehårspensel til steinen ikke absorberte mer. Det var ukjent hvor lang tid reaksjonen som fører til dannelse av natriumsilikat skal ta. Etter påføring ble derfor steinen latt stå til tørking ved eksisterende laboratorieforhold over et like langt tidsrom som det andre silisiumbaserte konsolideringsmiddelet, SILRES BS OH 100.





6.2.4. Konsolidering med Paraloid B72

Paraloid B72 er som nevnt et organisk limstoff, identifisert som en etylmetakrylat/metylakrylat-kopolymer (Pinto og Rodrigues, 2008, s. 39). For å senke viskositeten nok til at det kan benyttes som konsolideringsmiddel, ble det tynnet ut med løsemiddel. Aceton ble anvendt til dette, ut fra helsemessige hensyn. Arbeidet må likevel utføres under god ventilasjon. Konsentrasjonen av limstoff i løsningen må være lav nok til at middelet kan trenge inn i steinen med løsemiddelet, og høy nok til å tilføre den forvitrede steinen noe ny styrke. 10-20 % burde være passende til dette. Løsninger med 10, 15 og 20 % ble derfor testet på en overflødig prøve. Alle disse konsentrasjonene hadde lav viskositet og

var lette å påføre ved pensling. Samtlige gjorde overflaten noe skinnende. Det ble valgt å anvende en konsentrasjon på 15 % Paraloid B72, som et kompromiss mellom behovet for lav viskositet og behovet for nok limstoff. Dette ble anvendt til konsolidering av prøve nr. 4. Middelet ble lagt på ved to penslinger umiddelbart etter hverandre, for å få så mye konsolideringsmiddel som mulig til å trenge inn. Overflaten ble forsøkt tørket over med en bomullspinne med aceton umiddelbart etter påføring for å forsøke å redusere blankheten. Aceton fordamper ganske raskt, dette medførte at middelet tørket raskt. Det fikk likevel stå et døgn før videre undersøkelser ble påbegynt.

6.3. Resultater konsolidering

Tabell 6.2 viser resultatene av den umiddelbare vurderingen av konsolideringsbehandlingene. For å undersøke graden av inntrengning av konsolideringsmiddel i steinen, ble nærmere undersøkelser utført med SEM-EDS.

Testmateriale	Prøve nr. 1	Prøve nr. 2	Prøve nr. 3	Prøve nr. 4
Anvendt konsolideringsmiddel	Kalsiumkarbonat (kalsitt)	SILRES BS OH 100	Vannglass/ KRYSTAZIL 40 (natriumsilikat)	Paraloid B72 15 % i aceton
Påføring	Enkelt å påføre med pensel, svært lav viskositet. Så ut til å trenge godt inn i forvitringssonen (se bilde).	Enkelt å påføre med pensling, lav viskositet Fuktet overflaten; det kunne ikke ses om middelet trengte dypere inn.	Enkelt å påføre ved pensling, lav viskositet. Så ut til å legge seg mest på overflaten av steinen.	Enkelt å pensle på, lav viskositet. Trengte noe inn – vanskelig å si om kun løsemiddelet, eller limstoff også.
Visuell effekt på overflaten	Umiddelbar mørkning av farge, som gikk over ved tørking. Ble ikke blankere.	Mørknet steinens farge noe, gjorde overflaten noe blank.	Overflaten ble svært blank.	Overflaten ble svært blank. Tørking med aceton dempet dette i noen grad, men fortsatt svært skinnende.
Kommentarer til behandlingen	Ettersom kalsitt er svært vannløselig, må steinen trolig overflatebehandles etter tørking. Tilberedning av middelet er en omfattende prosess, vil kreve en høy grad av forberedelser for bruk i felt. Ved tilberedning av større mengder er metoden trolig ikke så kostnadseffektiv.	Denne behandlingen krever en ytterligere overflatebehandling (hydrofobering) etter to til tre uker for at effekten skal vedvare.	Det ble ikke funnet noen anbefalinger angående påføring i litteraturen, eller opplysninger om forventet holdbarhet.	Konsentrasjon valgt etter testing med ulike konsentrasjoner på restmateriale; så ut til å gi minst skinn, kompromiss mellom behov for lav viskositet og limstoffinnhold.
Bilder				

Tabell 6.2: Vurdering av konsolideringsbehandlinger.

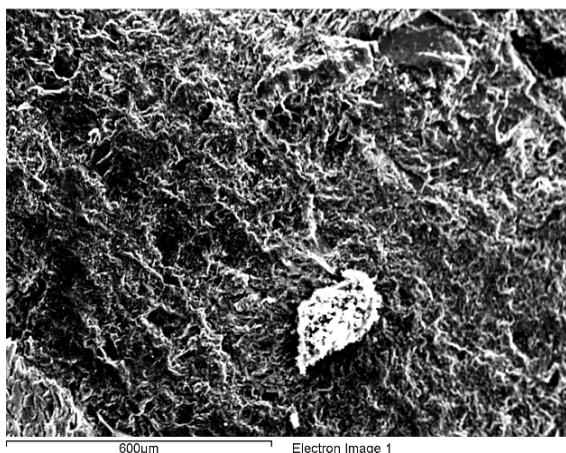
6.4. Undersøkelse av konsoliderte prøver med SEM-EDS

I hvor høy grad konsolideringsmiddelet trengte inn i steinen, var lite synlig, både ved undersøkelse med det blotte øye og med arbeidsmikroskop. Undersøkelse av steinen med et sveipelektronmikroskop tilknyttet et energidispersivt spektrometer (SEM-EDS) ble derfor brukt for å undersøke graden av inntrengning av konsolideringsmiddel i steinen (jfr. Elfving, 1990b; Michelsen, 1992; Dahlin m.fl., 2000).

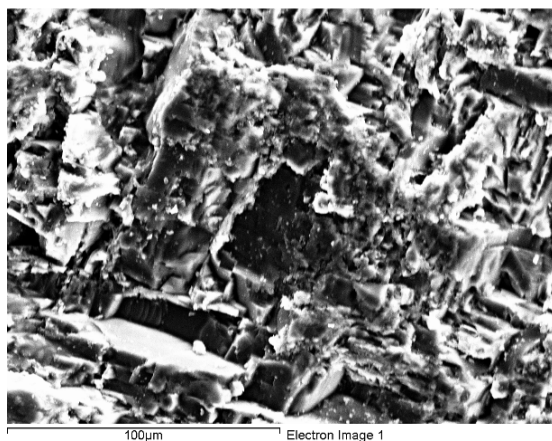
Et tverrsnitt på ca 2×4,5 cm, med ca 2 mm tykkelse, ble saget ut av hver av de konsoliderte prøvene. Det ble valgt å ikke anvende tynnslip grunnet de dårlige resultatene med dette i forundersøkelsene (se ”5. Undersøkelse og karakterisering av testmateriale”). Teksturen ved ulike dybder i tverrsnittet ble undersøkt og dokumentert for hver av prøvene. Ved hjelp av SEM-mikroskopet ble mikrofotografier i gråtoner tatt, og EDS ble anvendt for å undersøke hvilke grunnstoffer som var til stede (se vedlegg 2). Dette materialet ble sammenlignet med resultatene fra den tidligere SEM-undersøkelsen av en ubehandlet prøve, for å se om konsolideringsmiddel kunne spores i ulike dybder. Prøvene ble undersøkt ved den konsoliderte overflaten, og ved 5, 10, 15 og 20 mm, eventuelt også ved andre dybder dersom EDS-resultater tydet på at det kunne være konsolideringsmiddel til stede.

6.4.1. Undersøkelse av prøve konsolidert med kalsitt

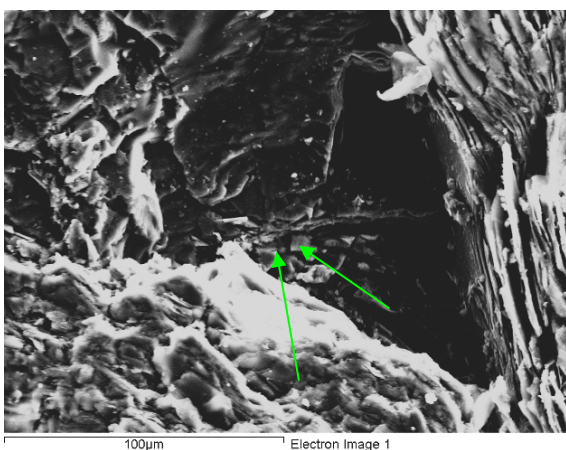
Prøve 1 var konsolidert med kalsitt, eller kalsiumkarbonat (CaCO_3). Ca og O er grunnstoffer som vises ved EDS. Etersom stein ikke er et ledende materiale, må prøven imidlertid spøttres med karbon for å få gode bilder (Stuart, 2008, s. 93). Dette gjør at C ikke kan identifiseres ved denne metoden. Ved XRD-analyse ble det ikke oppdaget noen mineraler som inneholder Ca i steinen (se tabell 5.1), ut fra dette ble det lett etter Ca i prøven for å undersøke distribusjonen av konsolideringsmiddel.



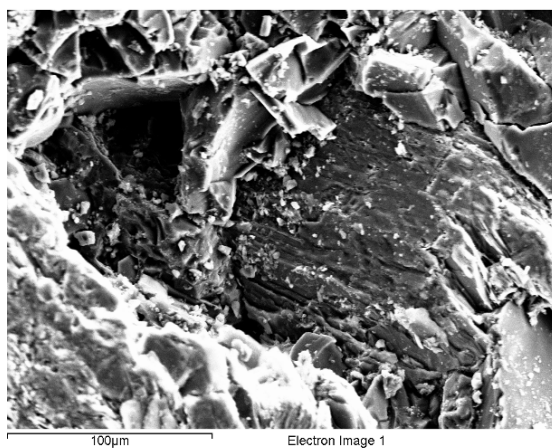
Figur 6.1: Prøve 1, ca 2 mm dybde, 95x. Ca til stede.



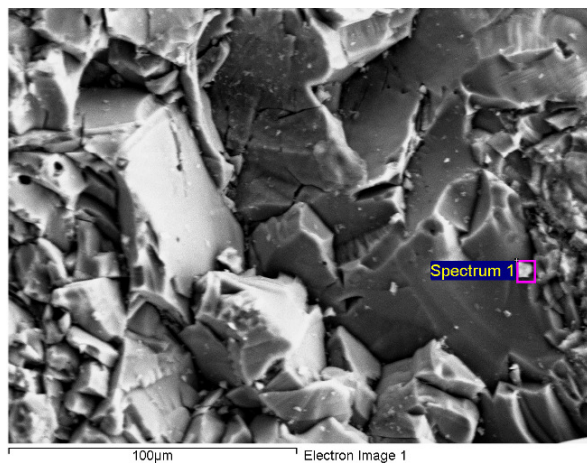
Figur 6.2: Prøve 1, ca 2 mm dybde, 600x. Ca til stede.



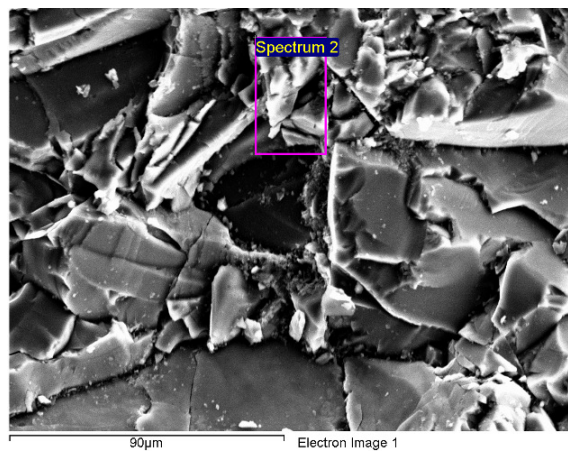
Figur 6.3: Prøve 1, ca 5 mm dybde, 600x. Ca til stede. Grønne piler: mulige kalsittkrystaller.



Figur 6.4: Prøve 1, ca 10 mm dybde, 450x. Ca til stede.



Figur 6.5: Prøve 1, ca 12 mm dybde, 370x. Noe Ca.

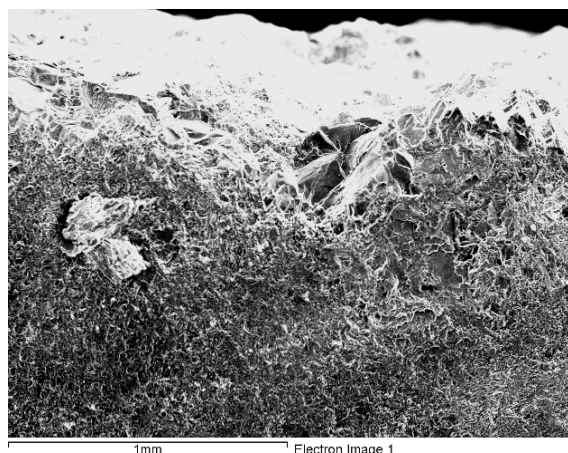


Figur 6.6: Prøve 1, ca. 20 mm dybde, 650x. Spor av Ca i merket område.

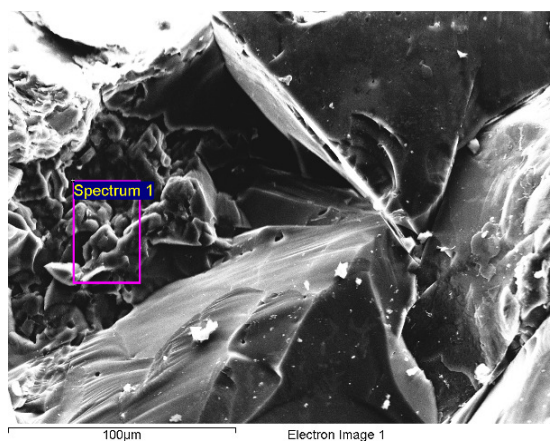
Undersøkelse av prøven med sveipelektronmikroskop viste noen store, hvite partikler ca 2 mm fra overflaten av tverrsnittet (se figur 6.1). Undersøkelse med EDS viste tilstedeværelsen av Ca og O, som indikerer at kalsitt kan være til stede (se vedlegg 2). Samme måling registrerte imidlertid flere andre elementer, blant annet Cu, som trolig ikke finnes i steinen, noe som kan tyde på at dette er en forurensning av prøven. Ca ble imidlertid registrert ved flere punktmålinger, det ser derfor ut til å være kalsitt i denne dybden av prøven (se vedlegg 2). Ca og O ble også registrert i 5 mm dybde, hvor det så ut til å kunne være kalsittkrystaller til stede (se figur 6.3). Det ble funnet noe Ca ved 10 mm dybde, men ikke i alle områdene som ble undersøkt (se vedlegg 2). Ved 12 mm og 20 mm dybde så det kun ut til å være spor av Ca, i form av små krystaller og svake utslag ved EDS-analyse (se vedlegg 2). Fra 15 mm dybde så det ut til å være svært lite kalsitt, muligens kun spor av materiale, tilsynelatende for lite til å ha konsoliderende effekt (se vedlegg 2, samt figur 6.5 og 6.6).

6.4.2. Undersøkelse av prøve konsolidert med SILRES BS OH 100

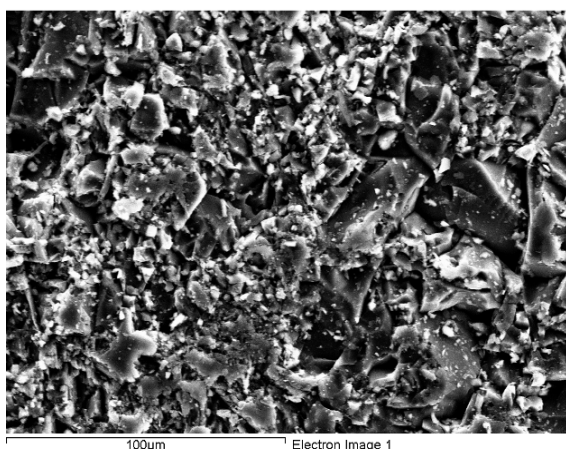
SILRES BS OH 100 er et silisiumbasert konsolideringsmiddel. Etersom Si forekommer naturlig i granitt i form av kvarts (SiO_2) (Prestvik m.fl., 1995, s. 36), er det vanskeligere å spore distribusjonen av dette middelet i steinen. Det er nødvendig å se på teksturen, og forsøke å skjelne konsolideringsmiddelet fra steinen ved hjelp av ulik tekstur og farge i mikrofotografiene, ved sammenligning med mikrofotografier av ubehandlet stein (jfr. Elfving, 1990b, s. 8-11). Undersøkelsene av prøve nr. 2 ble derfor holdt opp mot resultatene fra forundersøkelsen av en ubehandlet steinprøve (se figur 5.7-5.12, 6.7-6.12).



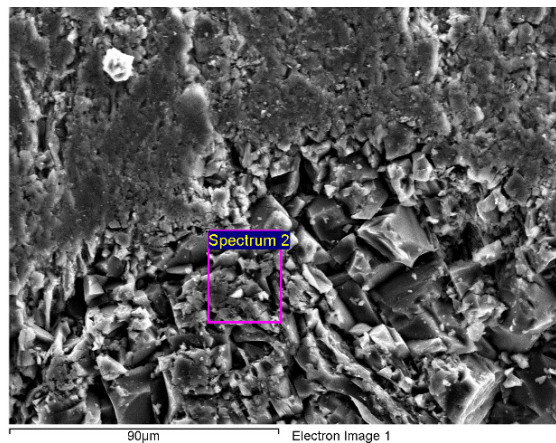
Figur 6.7: Prøve 2, forvitringssone, 60x.



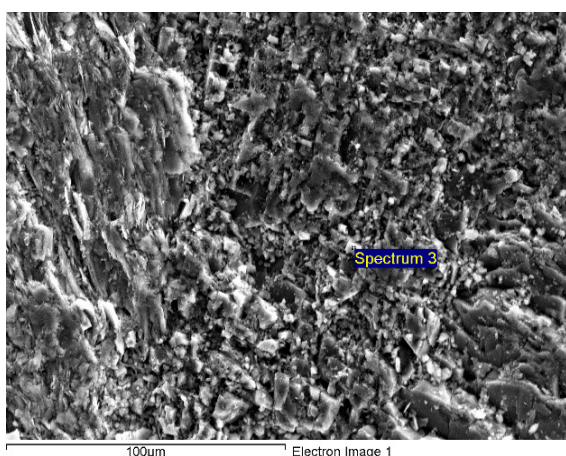
Figur 6.8: Prøve 2, ved overflate, 500x. Spektrum 1: muligens SILRES BS OH 100.



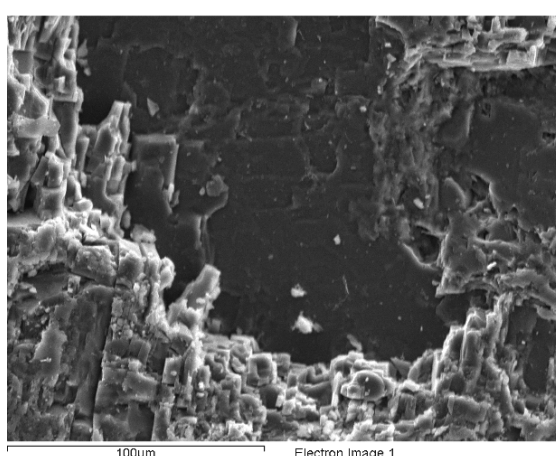
Figur 6.9: Prøve 2, 2 mm dybde, 600x.



Figur 6.10: Prøve 2, 5 mm dybde, 650x.



Figur 6.11: Prøve 2, 10 mm dybde.



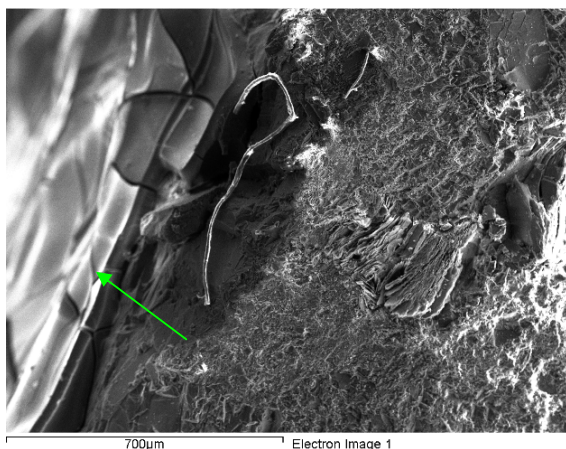
Figur 6.12: Prøve 2, 15 mm dybde, 550x.

Undersøkelsen av prøven med SEM viste noen store, lyse partikler i forvitringssonen (se figur 6.7). For å undersøke om dette kunne være SILRES, ble dette analysert med EDS. EDS-analysen viste imidlertid en sammensetning av mange ulike grunnstoffer, ikke kun Si og O (se vedlegg 2). Ut fra sammensetningen virker ikke dette som et av mineralene som er kjent å være tilstede i granitten (jfr. tabell 5.2). Dette er dermed trolig et fremmed partikkel. I figur 6.8 ses en struktur innen område markert ved "Spektrum 1" som skiller seg fra de større kvartskornene ved siden av, som registreres ved EDS som Si og O (se figur 6.8, samt vedlegg 2). Dette er muligens SILRES. Ved 2 mm dybde syntes en hel del små korn som fremstår som lysere enn steinen rundt (figur 6.9). Ved EDS ble disse målt til å inneholde Si og O (se vedlegg 2). Etersom disse fragmentene er mindre enn kvartskornene som ble oppdaget ved SEM, kan dette være SILRES BS OH 100. Ved 5 mm dybde sees noen små, hvite korn som kunne være SILRES, EDS-analysen viser også at Si-O er til stede (se figur 6.10, samt vedlegg 2). Noen svært små, hvite korn ved ca 10 mm dybde ble også undersøkt med EDS (figur

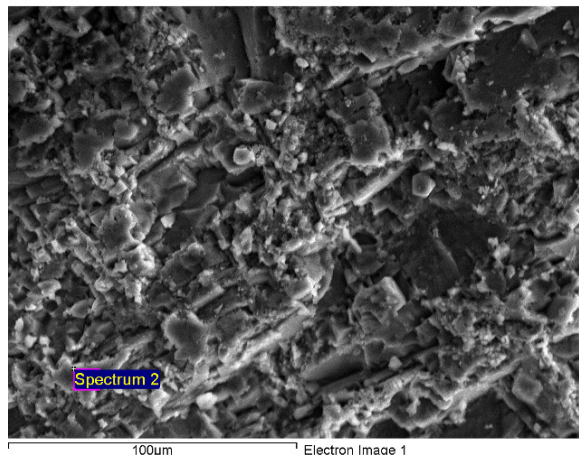
6.11). EDS-analysen indikerte imidlertid at disse inneholdt Si, O, Na, Al og Ca. Foruten Ca tyder dette på at mineralet er albitt (Prestvik, 2005, s. 176). Hva tilstedeværelsen av Ca kommer av, er usikkert. Heller ikke ved 15 mm dybde ble det funnet noe som klart så ut til å være SILRES.

6.4.3. Undersøkelse av prøve konsolidert med vannglass (KRYSTAZIL 40)

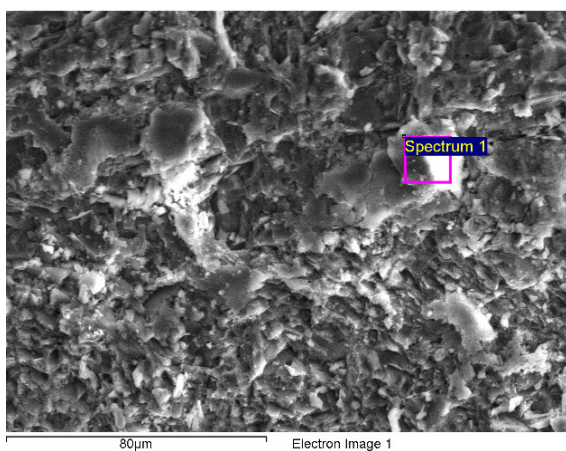
Prøve nr. 3 var konsolidert med vannglass, som er en natriumsilikatløsning. Det ble derfor forsøkt både å se på tekstur, som for prøve nr. 2, og å undersøke for tilstedeværelsen av Na med EDS. Tilstedeværelsen av Na er imidlertid ikke en klar indikasjon på at natriumsilikat er til stede, ettersom Na også inngår i den kjemiske sammensetningen av albitt ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) som finnes i granitten (se tabell 5.1).



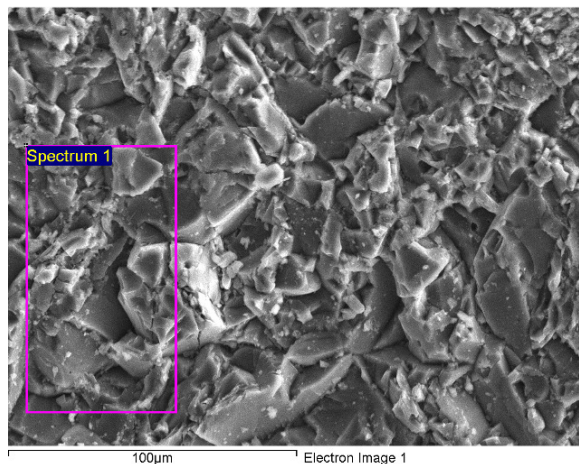
Figur 6.13: Prøve 3, overflate, 85x. Grønn pil indikerer overflatelag av vannglass.



Figur 6.14: Prøve 3, like ved overflate, 600x.



Figur 6.15: Prøve 3, ca 5 mm dybde, 700x.

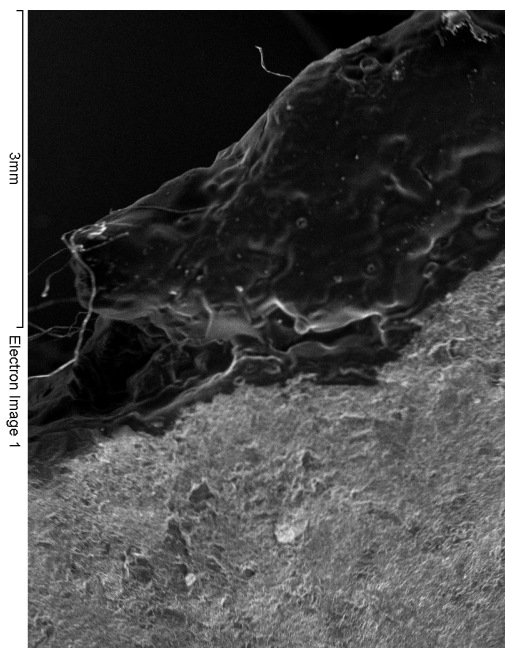


Figur 6.16: Prøve 3, ca 10 mm dybde, 600x.

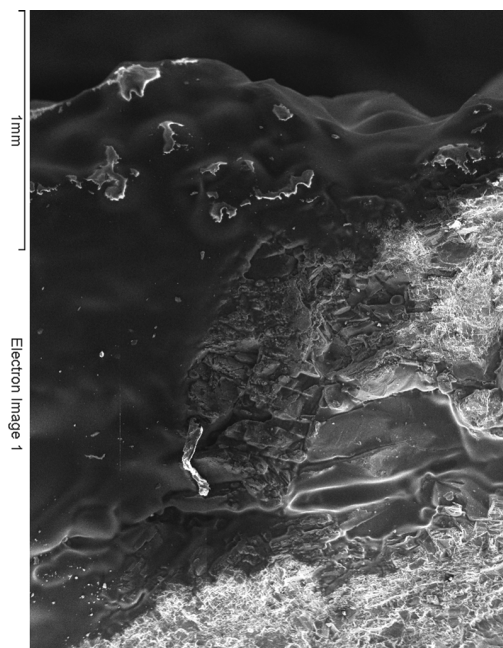
Ved undersøkelse av overflaten med SEM kunne det sees tydelig at konsolideringsmiddelet hadde dannet en hinne oppå steinen, ca 100 μm tykk (se figur 6.13). Mikrosprekker i denne kunne sees i SEM ved høy forstørrelse (se vedlegg 2). Na ble også funnet ved to EDS-målinger like ved overflaten, sammen med henholdsvis O, Al, Si, K og Fe, og O, Al, Si, K og Ca (se figur 6.14, samt vedlegg 2). Biotitt inneholder K, Al, Si og varierende mengder Mg eller Fe (Prestvik, 2005, s. 166). Førstnevnte prøve kan dermed være en jernrik biotitt, i kombinasjon med natriumsilikat (Na, Si, O). Det er usikkert hva den andre prøven indikerer. Na ble også funnet i 5 mm dybde (figur 6.15). I 10 mm dybde ble imidlertid kun Si, O og K registrert med EDS (se figur 6.16, samt vedlegg 2). Dypere enn dette ble det ikke oppdaget noen indikasjoner på at natriumsilikat var til stede.

6.4.4. Undersøkelse av prøve konsolidert med Paraloid B72

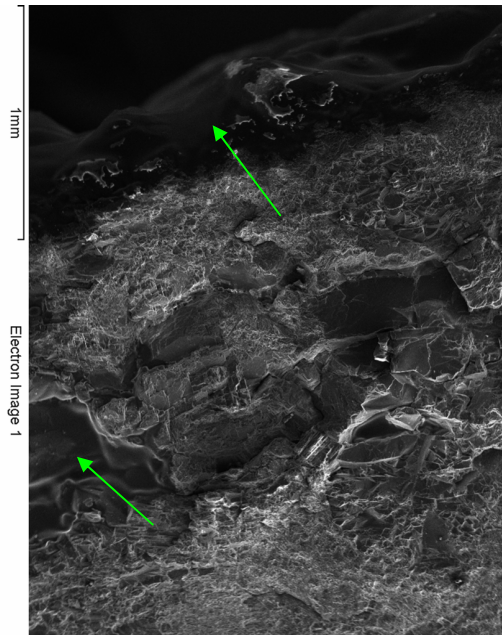
Prøve nr 4, som var konsolidert med 15 % Paraloid B72 i aceton, ble også undersøkt med SEM. Ettersom Paraloid er et organisk materiale, har imidlertid EDS mindre anvendelse for analyse av dette materialet, ettersom kun C og O kan registreres.



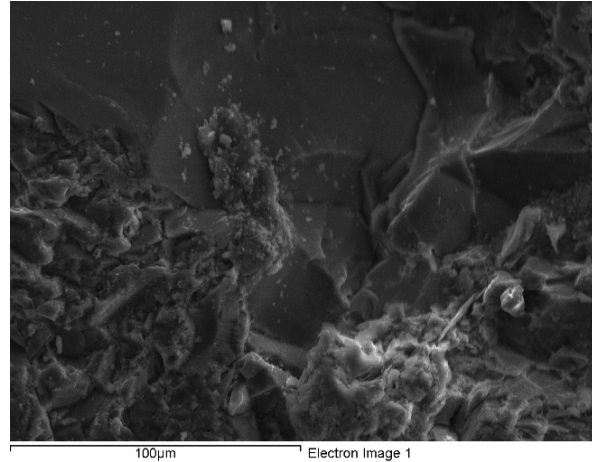
Figur 6.17: Prøve 4, overflate, 20x.



Figur 6.18: Prøve 4, overflate, 45x.



Figur 6.19: Prøve 4, overflate og inntil 2 mm dybde. 45x. Grønne piler indikerer Paraloid B72.



Figur 6.20: Prøve 4, 5 mm dybde, 600x.

Paraloid B72 fremstod som svært mørkt og med en tydelig annerledes tekstur enn steinen i SEM-mikrofotoene (se figur 6.17-6.19). I overflaten så konsolideringsmiddelet ut til å ha dannet et 1-3 mm dypt lag, hvor kun C og O ble registrert ved EDS (se figur 6.17, samt vedlegg 2). Ved nærmere undersøkelse så det ut til at konsolideringsmiddelet hovedsakelig hadde lagt seg på overflaten, men trukket dypere inn der det var sprekker i forvitringssonen (se figur 6.18 og 6.19). Ved 5 mm dybde ble det ikke funnet spor av Paraloid B72 (figur 6.20).

6.5. Diskusjon av SEM-EDS resultater

Det ble oppdaget Ca i flere av prøvene i tillegg til den som var konsolidert med kalsitt. Hva dette kommer av, er usikkert. Imidlertid inneholder granitt plagioklas (Prestvik m.fl., 1995, s. 65). Dette er en feltspat som inneholder varierende andeler av albitt ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) og anortitt ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) (Prestvik, 2005, s. 176, 177). I prøve 2 er denne grunnstoffkombinasjonen funnet ved 10 mm dybde (se figur 6.11). Skjønt anortitt ikke ble identifisert ved XRD-analyse av steinen, kan dette tyde på at mindre andeler av anortitt finnes i steinen. Dette innebærer at identifikasjon av Ca i steinen som er konsolidert med kalsitt, ikke nødvendigvis stammer fra konsolideringsmiddelet. For å få en indikasjon på hvorvidt det er mer sannsynlig at det er

anortitt, må de andre mineralene som identifiseres i sammenheng med Ca tas i betraktning. Dette innebærer en usikkerhetskilde ved tolkning av EDS-resultater.

Undersøkelse av prøve nr. 2, som var konsolidert med en alkoksylsilan, var like fullt mer komplisert enn undersøkelse av prøven som var konsolidert med kalsitt, ettersom granitt naturlig inneholder en høy andel SiO_2 i form av kvarts, i motsetning til CaCO_3 . Dette gjorde at EDS ikke kunne benyttes for å lete etter konsolideringsmiddel i steinen. EDS kan kun benyttes for å undersøke om noe som antas å være konsolideringsmiddel faktisk består av SiO_2 , dette utelukker imidlertid ikke at det man undersøker kan være naturlig forekommende kvarts. Forsøk på visuell undersøkelse av konsolideringsmiddelets distribusjon ved hjelp av mikrofotografier var komplisert og svært tidkrevende. De samme problemene gjaldt ved undersøkelse av prøve 3, som inneholdt natriumsilikat. Ut fra disse undersøkelsene kan det observeres at undersøkelser av konsolidert stein med SEM-EDS trolig er mer egnet for noen typer konsolideringsmiddel enn andre. Dette må i så fall sees i tilknytning til mineralsammensetningen for den aktuelle steinen, konsolideringsmidler som inneholder mineraler ikke til stede i steinen naturlig, vil trolig være enklest å identifisere.

Paraloid B72 ble identifisert ut fra en markant annerledes farge og tekstur enn mineralene i steinen. Dette middelet ser ut til å ha festet noen nesten løse partikler til steinen, ved å trekke inn i alle sprekker rundt og stivne der. For øvrig ser det ikke ut til å ha hatt effekt i dybder over 3 mm. Vannglass dannet som nevnt en overflatehinne på steinen. Dette er ikke ideelt, helst burde konsolideringsmiddelet gå inn i steinstrukturen og inn i porene. KRYSTAZIL 40 så ikke ut til å ha trengt lengre inn i prøven enn maks 5 mm. Begrenset penetreringsevne for vannglass er også tidligere beskrevet, av Weber og Zinsmeister (1991, s. 56, 57).

6.6. Overflatebehandling etter konsolidering

Som nevnt krever noen av disse konsolideringsbehandlingene en overflatebehandling i etterkant (se tabell 6.2). En overflatebehandling av steinen etter konsolidering impregnerer overflaten, og beskytter mot regn og rennende vann. Dette kan øke konsolideringsbehandlingens levetid (Price, 1996, s. 21). Skjønt dette kan gjøre konsolideringen mer varig, er det viktig at ikke steinens porer blokkeres ved behandlingen. Helleristninger er utsatt for mye fuktighet i form av regn og vannsig over ristningene, det kan derfor være ønskelig med en beskyttende overflatebehandling dersom ristningene skal

konsolideres. Overflatebehandling av steinen er ønskelig etter konsolidering med kalsitt og SILRES BS OH 100. Disse midlene er begge kjent å kunne løses opp relativt lett ved utsettelse for høy fuktighet (Odden, pers. komm., 02.09.09; Wacker, 2003, s. 2). Det er uttrykkelig anbefalt av produsenten å bruke en overflatebehandling etter behandling av steinen med SILRES BS OH 100 (Wacker, 2003, s. 2). På bakgrunn av dette ble det valgt å teste overflatebehandling av prøve 1 og 2. Begge prøvene ble delt i to deler, og den ene delen overflatebehandlet, den andre ikke.

6.6.1. Overflatebehandling etter konsolidering med kalsitt

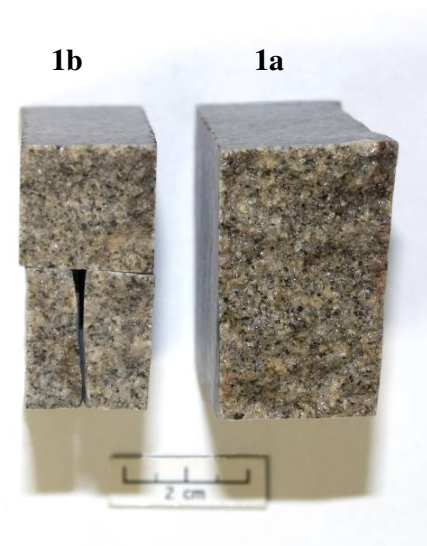
Prøve nr. 1, som var konsolidert med kalsitt, ble delt i to deler. Den ene delen (1a) ble overflatebehandlet med 15 % Paraloid B72 i aceton, samme konsentrasjon som var blitt brukt ved forsøk på konsolidering med Paraloid. Dette burde være en lav nok konsentrasjon til at steinens porer ikke tettes, men høy nok til å beskytte overflaten mot vann. Paraloid B72 ble påført ved pensling, i to lag. Overflatebehandlingen ble utført etter ca 17 dager, samtidig med overflatebehandlingen av prøve nr. 2. Prøve 1b fikk ingen overflatebehandling.

6.6.2. Overflatebehandling etter konsolidering med SILRES BS OH 100

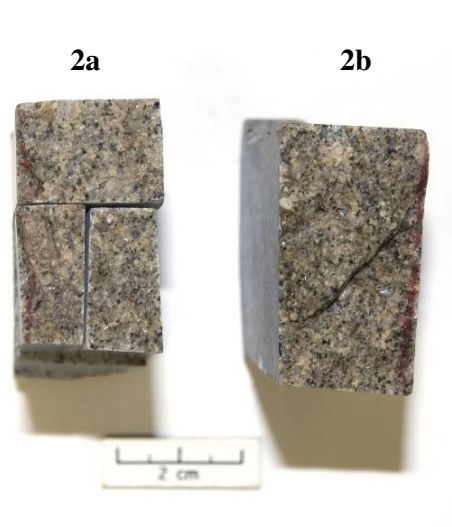
Stein nr. 2, som var konsolidert med SILRES BS OH 100, ble også delt i to, og den ene delen (2b) overflatebehandlet med SILRES BS 1001, et hydrofoberingsmiddel for byggematerialer som naturstein, murstein og puss (Wacker, 2008b, s. 1). En prøve på dette middelet ble mottatt fra produsenten av SILRES BS OH 100. Dette skal beskytte steinen mot nedbør og gi en mer varig effekt av konsolideringen (Rasmussen, pers. komm., 22.10.09). Denne overflatebehandlingen må utføres etter to til tre uker, slik at SILRES BS OH 100 skal få tid til å polymeriseres i steinen. Overflatebehandlingen ble derfor utført etter 17 dager.

SILRES BS 1001 er en emulsjon basert på en blanding av alkoksysilan, siloksan og vann, som kan tynnes ut i vann og ikke inneholder løsemidler. Denne blandingen omdannes til en ”*silicone resin water repellent*” etter påføring (Wacker, 2008b, s. 1). Aktivt innhold er oppgitt til 50 % etter vekt, dette skal reduseres til 5-10 % før påføring, avhengig av steinens absorpsjonskapasitet (Wacker, 2008b, s. 1). Ettersom granitt har lav porøsitet og dermed ikke så høy absorpsjonsevne (Pinto og Rodrigues, 2008, s. 44), ble middelet fortynnet til laveste konsentrasjon, 5 %. Det ble påført ved pensling i to direkte etterfølgende omganger, etter produsentens anbefaling (Wacker, 2008b, s. 1).

6.6.3. Resultater overflatebehandling



Figur 6.21: Prøve konsolidert med kalsitt.
1b: kun kalsitt, 1a: kalsitt + overflatebehandling
med Paraloid B72 15 %.



Figur 6.22: Prøve konsolidert med SILRES BS OH 100.
2a: kun SILRES BS OH 100, 2b: SILRES BS OH 100
overflatebehandlet med SILRES BS 1001.



Figur 6.23: Prøve konsolidert med vannglass
(KRYSTAZIL 40).



Figur 6.24: Prøve konsolidert med Paraloid B72
15 % i aceton.

Konsolidering med kalsitt (prøve 1b) så ut til å endre steinens utseende minst. Samtlige andre behandlinger ga et tydelig overflatebelegg, med varierende grad av blankhet og fargeendring. Vannglass så ut til å gi steinen et noe grønnlig skjær. Både dette middelet, SILRES og Paraloid B72 gjorde overflaten blankere og skinnende, aller mest var dette tilfellet med Paraloid B72, som også mørknet overflaten betraktelig. Overflaten mørknet også noe ved bruk av SILRES.

6.7. Undersøkelse av porøsitet etter behandlinger

Som nevnt bør ikke steinens porer blokkeres etter behandling. Fuktighet som kan stige i steinen fra grunnvann eller komme inn i steinen via sprekker, vil da kunne skape spenninger og frostsprengning under overflaten og forårsake skader (Clifton, 1980 [URL]; Michelsen, 1992, s. 28). Dersom berget har fått svært høy porøsitet i overflaten, kan det imidlertid være en fordel om denne senkes ved konsolidering. For å undersøke om steinens porøsitet var blitt endret etter konsolideringsbehandlingene, ble porøsiteten for de ulike prøvene beregnet etter konsolidering, og for prøve 1a og 2b etter konsolidering og overflatebehandling. Porøsiteten ble beregnet på samme vis som for de ubehandlede prøvene, med undersøkelse av tørrvekt og våtvekt i forhold til volum (se ”5.3.1. Testing av porøsitet”). Tabell 6.3 viser resultatene av porøsitetmålingen.

Prøve nr.	Volum (V)	v^t	v^m	$(v^m - v^t) / V \times 100 = P \%$	P før konsolidering	Forskjell P før og etter konsolidering
1a	13,82 cm ³	32,57 g	32,69 g	0,87 %	0,83 %	0,04
1b	17,44 cm ³	43,54 g	43,70 g	0,92 %		
2a	27,0 cm ³	77,10 g	77,38 g	1,04 %	0,77 %	0,27
2b	21,30 cm ³	56,01 g	56,20 g	0,89 %		0,12
3	25,20 cm ³	66,19 g	66,45 g	1,03 %	0,94 %	0,09
4	22,93 cm ³	62,09 g	62,31 g	0,96 %	0,91 %	0,05

Tabell 6.3: Resultater undersøkelse av porøsitet.

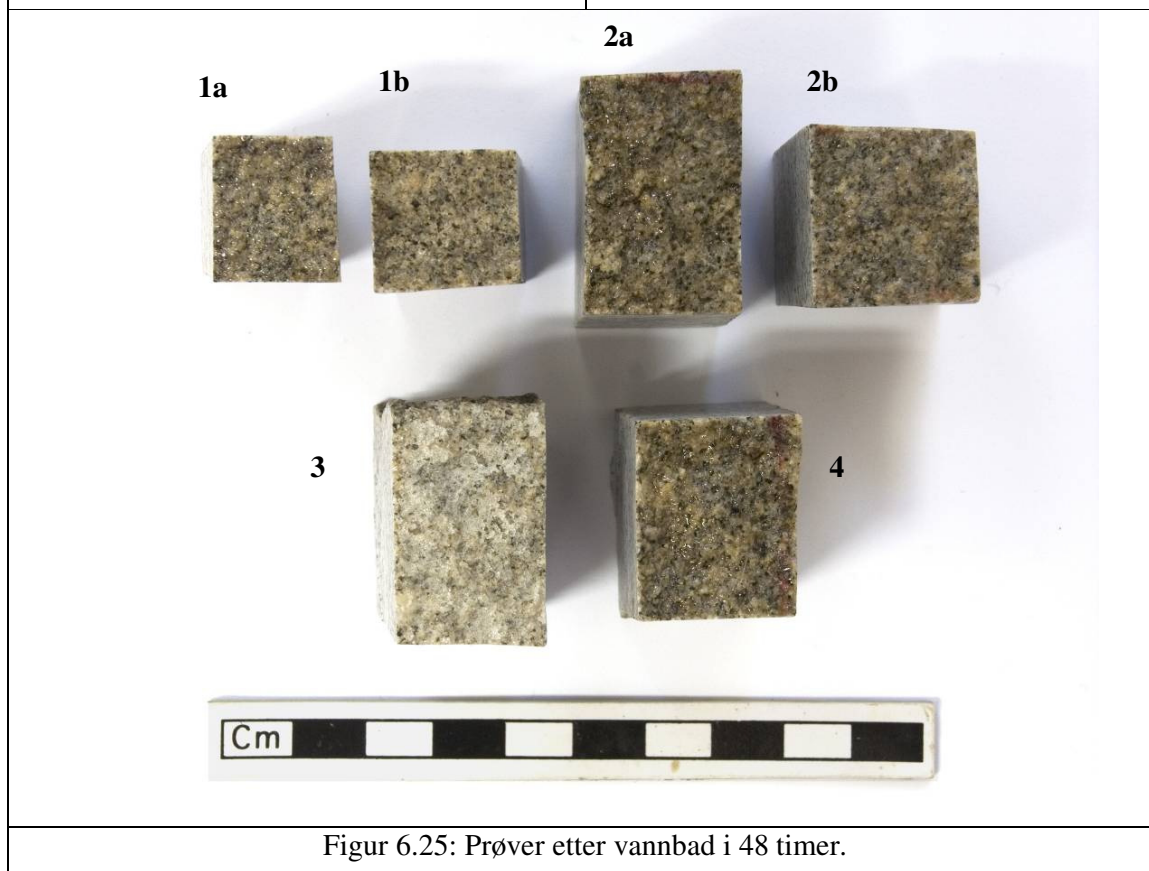
Resultatene av porøsitetmålingen viste en økning i porøsitet i forhold til før behandling (se tabell 5.2). Dette var et uventet resultat. Det var forventet at konsolidering ville medføre ingen endring, eller reduksjon av porøsiteten (jfr. Iñigo og de Haro, 1996, s. 141). For porøsitetmålingene etter konsolidering var de opprinnelige prøvene delt opp, for å lage tverrsnitt til SEM-undersøkelsene. Dette vil si at de hadde et annet volum, og var mindre enn de opprinnelige prøvene. Dette kan ha påvirket resultatene, ettersom de mindre prøvene testet etter behandling har en annen ratio mellom overflate og volum, noe som kan ha påvirket prosentangivelsen av porøsiteten. Metoden som ble anvendt, er også som tidligere nevnt ikke så presis som mer avanserte metoder som måling av porøsitet ved kvikksølvinnrensning (se ”4.2.2. Undersøkelse av porøsitet”). Dette gjelder særlig i forhold til kompakte steinsorter

som granitt. Andre feilkilder kan være unøyaktigheter ved måling av prøvenes volum, ettersom prøvene ikke hadde nøyaktig symmetrisk form, eller ved måling av v^m , ved ulik grad av tørking av prøvene før veiing. Vannet kan også ha fordampet raskere fra de mindre prøvene som ble benyttet ved målingen etter behandling. For øvrig er ikke endringen i porøsitet stor. Liten endring av porøsitet kan være positivt, ved at dette indikerer at behandlingen ikke endrer steinens originale egenskaper og karakter (Elfving, 1990b, s. 16). Dersom endringen av porøsitet virkelig har vært svært liten, og dette ikke skyldes fordreining av resultatene grunnet nevnte feilkilder, kan resultatene tolkes som at ingen av konsolideringsmidlene tetter steinens porer i for høy grad.

6.8. Testing av vannfasthet

Ettersom helleristninger ligger nokså ubeskyttet i et utendørs miljø, er det viktig at konsolideringsbehandlinger er i stand til å tåle høy fuktighet, for eksempel i form av nedbør, eller vannsig. Parallelt med testing av porøsitet, ble det derfor undersøkt hvordan de ulike konsolideringsmidlene så ut til å reagere på høy fuktighet over lengre tid. En prøve for hver konsolideringsbehandling ble latt ligge i 200 ml destillert vann i 48 timer (se tabell 6.4). Vannet hadde en pH på ca 4,5, altså noe surt. Denne pH-verdien stemmer nært overens med gjennomsnittlig pH-verdi for nedbør som målt ved Begby i 1999 (Dahlin m.fl, 2000, s. 45). Prøvenes fremtoning etter 48 timer i vann og deretter tørking i laboratoriet, er vist i figur 6.25.

Behandling	Fremtoning etter 48 t. vannbad
Konsolidering med kalsitt (1b)	Matt overflate, ikke noe synlig belegg, ser ut som bar granitt
Konsolidering med kalsitt + overflatebehandling med Paraloid B72 15 % i aceton (1a)	Blank overflate, tydelig overflatehinne
Konsolidering med SILRES BS OH 100 (2a)	Nokså skinnende, fargen noe mørknet
Konsolidering med SILRES BS OH 100 + overflatebehandling med SILRES BS 1001 (2b)	Skinnende, litt ”melkeaktig” belegg, noe lysere enn 2a
Konsolidering med vannglass (3)	Overflate dekket av et hvitt, krystallinsk pulver som løsner ved berøring
Konsolidering med Paraloid B72 15 % i aceton (4)	Svært skinnende, blank overflate, mest mørknet i farge



Figur 6.25: Prøver etter vannbad i 48 timer.

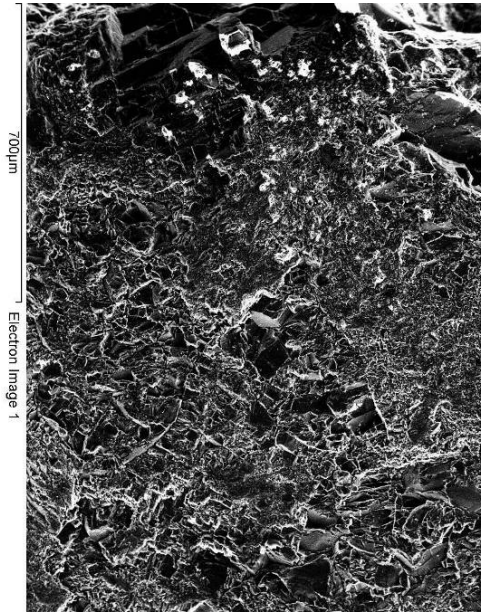
Tabell 6.4: Resultater testing av vannfasthet.

Kalsitt så her ut til å løses opp og vaskes ut av steinen relativt lett uten en overflatebehandling. Overflatebehandling med Paraloid B72 ga en blank hinne, som fortsatt var til stede etter vannbadet. Denne hinnen kan muligens beskytte kalsitten mot utvasking. Konsolidering med SILRES BS OH 100 ga en blank overflate, denne var fortsatt til stede etter utsettelse for mye vann. Overflatebehandlingen med SILRES BS 1001 så imidlertid ut til å ha blitt noe hvitaktig og uklar etter vannbadet, muligens som et resultat av hydrolyse (jfr. Wacker, 2008b, s. 1). Dette kan tyde på at overflatebehandlingen reagerer med vann dersom den er utsatt for høy fuktighet over lengre tid. Reaksjonen kan imidlertid også ha sammenheng med utilstrekkelig tørketid for overflatebehandlingen. Ingen tørketid var oppgitt av produsent eller leverandør. Prøven ble tørket en uke etter påføring av overflatebehandlingen. Vannglass så ut til å tåle fuktigheten minst: Overflaten ble hvit, dekket av et krystallinsk, hvitt pulver som gikk lett av ved berøring. Dette kan tyde på saltkrystallisering (Honeyborne, 1990, s. 158, 159).

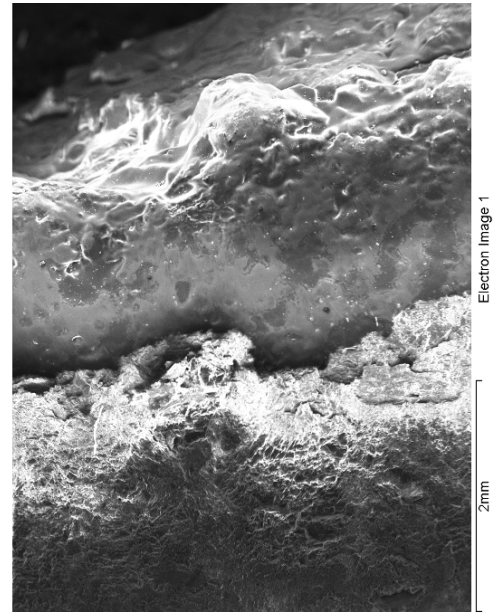
Overflatebehandling skal beskytte mot utvasking av konsolideringsmiddelet fra forvitret stein ved høy fuktighet. Denne testen ble benyttet for å gi en indikasjon på hvordan de testede midlene kan tenkes å reagere på høye fuktighetsnivåer. For øvrig er det forskjell på forvitringen som skjer ved utsatthet for vedvarende fuktighet, og ved utsatthet for mye vann som forsvinner igjen raskt, altså en høy grad av utvasking (Dahlin m.fl., 2000, s. 31). Denne testen gir dermed ikke et klart bilde av hvordan midlene vil reagere på regn. Lokale avrenningsforhold ved helleristningene er i denne sammenhengen relevante.

6.9. Undersøkelse av prøver etter overflatebehandling og vannbad med SEM-EDS

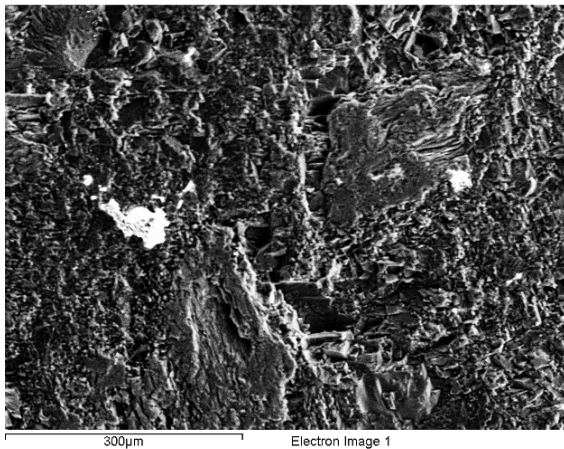
Etter å ha ligget i vannbad i 48 timer, ble prøve 1a, 1b, 2a og 2b tørket og undersøkt med SEM-EDS, for å se om det kunne sees noen forskjeller som kunne indikere vannfastheten til behandlingene.



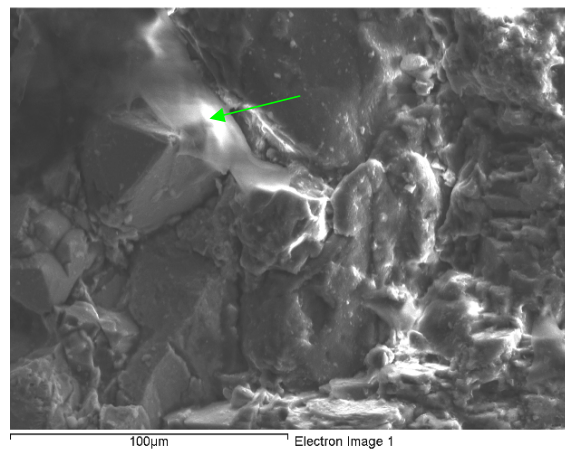
Figur 6.26: Prøve 1b, konsolidert med kalsitt. Overflate, 85x.



Figur 6.27: Prøve 1a, konsolidert med kalsitt og overflatebehandlet med Paraloid B72. Overflate, 23x.



Figur 6.28: Prøve 1b, ca 5 mm dybde, 170x.

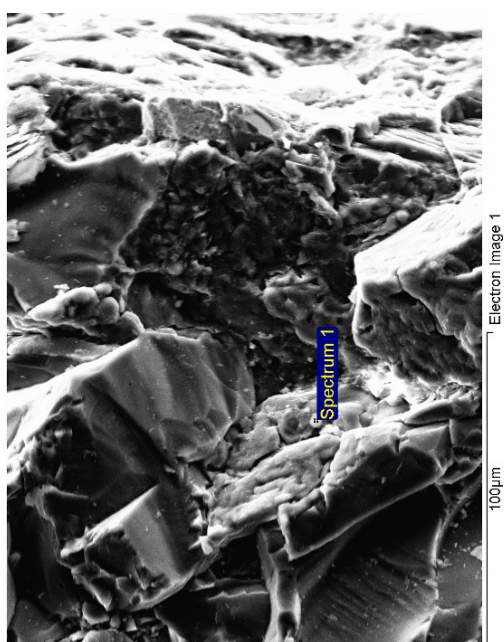


Figur 6.29: Prøve 1a, ca 2 mm fra overflate. Grønn pil: Trolig kalsitt.

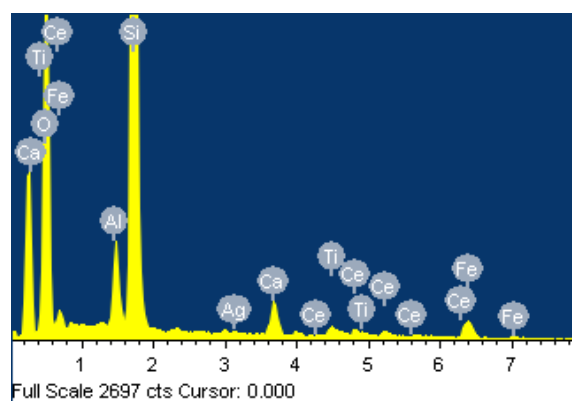
Korn av en lysere substans ble funnet deponert i overflaten i prøve 1b (se figur 6.26). Noe Ca ble funnet ved EDS-måling av disse, som tyder på at de kan komme fra kalsitt (se vedlegg 2). Det så imidlertid ut til å være ganske lite, og kun helt i overflaten av steinen. Ved 5 mm dybde ble det omtrent ikke funnet noe som så ut til å være kalsitt, enten visuelt eller ved EDS-analyse, med unntak av et fragment som inneholdt Ca (se figur 6.28, samt vedlegg 2). Lignende fragmenter ble funnet opptil 30 mm fra overflaten av tverrsnittet, med store områder uten spor av Ca imellom (se vedlegg 2). Dette kan tyde på at kalsitt har blitt delvist oppløst i vannet og spredt utover lengdesnittet av prøven. Prøve 1a hadde en tydelig overflatehinne av Paraloid B72 (figur 6.27; jfr. figur 6.17 og 6.18). Det så ut til å være kalsitt ved 2 mm dybde (figur 6.29), og ved 5 mm dybde (se vedlegg 2). Det ble funnet spor av Ca som muligens

kunne være fra kalsitt ned til 15 mm dybde (se vedlegg 2), utover dette kun små korn med noe Ca og flere andre grunnstoffer som trolig ikke var kalsitt.

Prøve 2a ble også undersøkt med SEM. Det kunne sees et lysere lag på overflaten av prøven, som så ut til å kunne være SILRES som fortsatt var på plass (figur 6.30). EDS-undersøkelse av dette viste imidlertid en sammensetning av svært mange ulike grunnstoffer for dette, blant annet Ag, Ti og Fe (se figur 6.31). Det anses som lite sannsynlig at Ag er til stede. Forsøk på identifikasjon av lysere krystaller i ulike dybder av prøven, ga lignende forvirrende resultater. Det var dermed svært vanskelig å bedømme hvorvidt SILRES-behandlingen var blitt vasket ut av prøven eller ikke. Undersøkelse av prøve 2b ga samme type resultater. Dette demonstrerte tydelig vanskelighetene ved bruk av denne metoden for å se på alkoxysilanbehandlinger i kvartsholdig stein. Grunnet disse resultatene, ble metoden oppgitt for disse prøvene.



Figur 6.30: Prøve 2a, overflate, 600x.



Figur 6.31: Prøve 2a, overflate, spektrum 1.

7. Diskusjon av metoder, konklusjon og forslag til videre forskning

7.1 Undersøkelse av effekten av behandling

Hvordan effekten av ulike konsolideringsmidler kan undersøkes, viste seg å utgjøre en av de største utfordringene i denne studien. Undersøkelse av inntrengningsgraden i steinen er et svært viktig aspekt ved vurderingen av ulike konsolideringsmidler (jfr. Pinto og Rodrigues, 2008). Dette viste seg imidlertid komplisert å undersøke. Tilsetning av et fargestoff eller et sporstoff som ikke finnes i steinen, til konsolideringsmidler som skal undersøkes, kan være en metode å teste for fremtidig forskning.

Metoder som utboring av kjerneprøver fra steinen og undersøkelse av tynnslip fra disse har tidligere vært anvendt for å undersøke ulike dybder i steinen (jfr. Dahlin, 2000, s. 33, 34; Elfving, 1990b, s. 8). Blant nyere metoder finnes mikrodrilling med spesielle bor som måler styrken på steinen som bores i, og undersøkelser med ultralyd, som utgjør en av de få ikke-destruktive testmetodene (Klingspor-Rotstein, 2004). I litteraturen er undersøkelse av prøver med SEM-EDS hyppig oppgitt som undersøkelsesmetode. Denne metoden ble derfor valgt å anvende her, både for undersøkelse av forvitringssonen og av inntrengningen av konsolideringsmiddel i steinen. Dette viste seg imidlertid å være en komplisert og tidkrevende analysemetode, som muligens krever erfaring for å gi gode resultater. Metoden krever også uttak av prøver fra steinen. SEM kan brukes til å analysere svært små prøver, men dersom en undersøkelse av dybden konsolideringsmiddel trenger inn til, eller av dybden på forvitringssonen, skal utføres, nødvendiggjør dette større prøver, slik at et tverrsnitt av steinen opptil en viss dybde kan undersøkes. I denne studien ble steinprøver på ca 2x4 cm og 2 mm tykkelse foretrukket fremfor tynnslip, da dette syntes å gi bedre resultater. Porøsiteten i forvitringssonen kunne imidlertid ikke undersøkes godt på denne måten. Behovet for praktiske, ikke-destruktive analysemetoder for karakterisering av steinmateriale og forvitring har tidligere vært påpekt (Löfvendahl, 1998, s. 28)

Undersøkelse av porøsitet viste seg forøvrig å by på problemer. Feilkilder kan ha påvirket resultatene som ble oppnådd ved undersøkelse av porøsitet før og etter konsolidering i denne studien, som forskjell på størrelsen på prøvene som ble testet før og etter konsolidering, eller unøyaktigheter som oppsto ved måling eller veiing. Testing av porøsitet ved hjelp av våtvekt

og tørrvekt kan by på problemer for materialer med svært lav porøsitet, som ble erfart her. En metode som kvikksølvinnrensning ville muligens gi mer nøyaktige resultater (Elfving, 1990b, s. 4). Samtlige midler ga imidlertid svært små endringer av porøsiteten, særlig kalsitt og Paraloid B72. Små endringer i porøsitet kan tolkes som et godt resultat, i form av at ingen av konsolideringsmidlene tetter steinens porer i for høy grad (jfr. Elfving, 1990b, s. 16).

7.2 Resultater testing av konsolideringsmidler

Vannglass syntes å ha heller dårlig inntrengningsevne på granitt, og la seg som et lag utenpå steinen (se figur 6.13). Dette middelet tålte også lengre utsettelse for høy fuktighet dårligst. Paraloid B72 la seg også som et overflatelag utenpå steinen. Dette kan skyldes at middelet har for høy molekylstørrelse og for høy viskositet for bruk på en bergart med så lav porøsitet som granitt. Kalsitt har muligens oppnådd en relativt dyp inntrengning. Hvorvidt dette middelet er vannbestandig nok, er imidlertid usikkert. Inntrengningen av SILRES BS OH 100 var vanskelig å bedømme ved de her anvendte metoder, grunnet likheten med steinens tekstur og sammenfallende grunnstoffer. Metoden hevdes av produsenten å ikke tette steinens porer (Wacker, 2003), dette ser det heller ikke ut til at det har gjort. Ingen av konsolideringsmidlene så ut til å trenge dypere inn enn 5 mm. Dersom nok har trengt inn, kan imidlertid dette være tilfredsstillende, ettersom forvitringssonen på dette prøvematerialet ikke så ut til å være tykkere enn noen få mm.

Miljøhensyn er også viktige når eventuelle konsolideringsmidler for helleristninger skal vurderes. Midler som brukes på helleristningsberg, vil kunne fraktes direkte ut i jord og grunnvann ved nedbrytning. Dette, blant annet, har stanset bruken av Mowilith som konsolideringsmiddel (Odden, pers. komm., 02.09.09). Kalsitt er et naturlig forekommende middel, som i så måte blir spesielt attraktivt. SILRES BS OH 100 er også oppgitt å ikke ha noe kjent biologisk akkumulasjonspotensial (Wacker, 2008a), noe som imidlertid ikke garanterer at det er trygt for denne typen bruk, forskningsgrunnlaget er ikke utviklet for denne typen anvendelse ennå. Dette er noe som vil kreve videre forskning dersom dette middelet skal anvendes på helleristninger. KRYSTAZIL 40 kan øke pH-verdien i jord og grunnvann. Paraloid B72, som er et organisk middel med lav vannløselighet, har trolig ikke et stort miljøpåvirkningspotensial.

SILRES BS OH 100 så ut til å gi best resultater med tanke på vannfasthet, minst endring av steinens fremtoning og inntrengning. Et usikkerhetsmoment er imidlertid til stede når det gjelder inntrengningen, ettersom tolkning av SEM-EDS resultatene var komplisert og noe usikker. Dette er noe som vil kunne undersøkes videre med mer avanserte testmetoder, som ultralydsmåling av materialstyrke. Kalsitt syntes å løses for lett i vann. Det er også usikkert hvorvidt tilstrekkelig materiale ble deponert i steinen til å ha en konsolideringseffekt. Paraloid B72 ga ikke tilstrekkelig inntrengning, og dannelse av løselige salter ved utsatthet for høy fuktighet ser ut til å være et problem med KRYSTAZIL 40. SILRES BS OH 100 ga imidlertid gode nok resultater til å synes interessant for videre testing. En sykloalifatisk epoksy, EP 2101 (STAC), som produseres i Italia, har tidligere gitt lovende resultater ved konsolideringsforsøk på granitt (Rodrigues, 1996, s. 175, 176). Dette middelet var også ønskelig å teste, men lot seg ikke skaffe innefor tidsrammene av dette prosjektet. Videre testing med dette middelet på granitt kunne også være aktuelt for undersøkelser av konsolidering av granitt.

Dette studiet ble utført i løpet av ett semester, altså fire måneder. For å kunne si om konsolidering av granitt er en velegnet behandling for et lengre tidsrom, kreves videre undersøkelser utover hva det var rom for her. For å finne ut hvorvidt SILRES BS OH 100 eller andre midler kan ha en tilfredsstillende effekt i et lengre tidsperspektiv, bør videre undersøkelser med testing av styrke og langtidsholdbarhet, for eksempel i klimakammer, utføres.

7.3 Behov for konsolidering

Prøvematerialet ble undersøkt visuelt, med XRD og med SEM-EDS og testet for porøsitet før tester ble utført. Disse undersøkelsene syntes å indikere en relativt lav grad av nedbrytning. Dette har trolig påvirket materialets egnethet for konsolideringstester. Samtidig reiser dette spørsmålet om konsolidering av større flater er det mest ønskelige konserveringsinngrepet for helleristninger på denne bergarten. Granitt er, som porøsitetsundersøkelsen viste, en svært tett bergart, med lite åpne porehulrom. Dersom dette ikke er vesentlig endret gjennom nedbrytning, vil trolig overflatekonsolidering være vanskelig å utføre. Dersom bergets egenskaper endres for mye, vil en konsolideringsbehandling trolig også medføre flere problemer enn den løser. Dette kan indikere at formen for konsolidering som er valgt her, ikke er den mest velegnede. Dette utelukker imidlertid ikke at bruk av konsolideringsmidler

for tetting av sprekker og festing av løse områder lokalt, kan være en viktig bevaringsmetode. Dette er et felt hvor mer forskning behøves.

8. Referanser

Litteratur

- Appelbaum, B. 2007, *Conservation Treatment Methodology*, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Bakke, B. 2004, "Gi kommende generasjoner glede av bergkunsten: Rapport 2004, Samarbeidsprosjekt mellom Bergen Museum, Halliburton, Arkeologisk Museum i Stavanger", upublisert.
- BIM 2009, *Sikkerhetsdatablade KRYSTAZIL 40*, sist endret: 29.04.2009, BIM Norge, Drammen.
- Bjelland, T. og B.H. Helberg (red.) 2006, *Bergkunst: En veiledning i dokumentasjon, skjøtsel, tilrettelegging og overvåking av norsk bergkunst*, Norsk Faggruppe for Bergkunstkonservering, Riksantikvaren, Oslo.
- Butlin, R.N., T.J.S. Yates og W. Martin 1995, "Comparison of Traditional and Modern Treatments for Conserving Stone", i *Methods of Evaluating Products for the Conservation of Porous Building Materials in Monuments, International Colloquium, Rome 19-21 June 1995*, Preprints, ICCROM, Roma, s. 111–119.
- Bårdseth, G.A. (red.) 2007, *Dokumentasjon og sikring av helleristingar: Varia 68 – E6-prosjektet Østfold*, bind 4, Kulturhistorisk museum, Fornminneseksjonen, Oslo.
- Caple, C. 2000, *Conservation Skills: Judgement, method and decision making*, Routledge, London og New York.
- Casadio, F. og L. Toniolo 2004, "Polymer Treatments for Stone Conservation: Methods for Evaluating Penetration Depth", *Journal of the American Institute for Conservation*, nr. 43, s. 3-21. The American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works.
- Coffman, R. og W.S. Ginnell 1998, "Epoxy Resin-Consolidated Stone: Appearance Change on Aging", *Studies in Conservation*, nr. 43, s. 242-248. International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, London.
- Dahlin, E., J.F. Henriksen, O. Anda, J. Mattsson, K. Iden, G. Åberg, T. Bjelland I. Thorseth, G.M. Hamnes og P. Torssander 2000, *Helleristninger i grensebygd INTERREG II A, delprosjekt 3A: Kunnskapsutvikling omkring nedbryting og forvitring, samt utvikling av verneteknikk for bergkunst, NILU OR*, bind 76, nr. 99, Norsk institutt for luftforskning (NILU), Lillestrøm.
- Elfving, P. 1990a *Kiselsyraesterbaserad stenkonsivering: Långtidsexponeringar på Gotländsk kalk- och sandsten*, Report OOK 90:09, Institutionen för oorganisk kemi, Chalmers Tekniska Högskola og Gøteborgs Universitet, Gøteborg.
- , 1990b *Stone consolidation by tetraalkoxysilane treatment: A case study on sandstone and limestone in medieval churches on Gotland*, Report OOK 90:08, Institutionen för oorganisk kemi, Chalmers Tekniska Högskola og Gøteborgs Universitet, Gøteborg.
- Elfving, P. 1991, *Atmospheric Corrosion on Silane Treated Stones*, Uppsats för avläggande av filosofie licentiatexamen i oorganisk kemi, Institutionen för oorganisk kemi, Chalmers Tekniska Högskola og Gøteborgs Universitet.
- Ernfridsson, E. 2005, "Åtgärdsförslag för hållristningar i Gjerpen, Telemark: Utkast 2005-04-011", rapport for Kulturhistorisk Museum, Universitetet i Oslo, fra Studio Västsvensk Konservering, Gøteborg, upublisert, upaginert.
- Honeyborne, D. 1990a, "Weathering and decay of masonry", i Ashurst, J. og F.G. Dimes

- (red.), *Conservation of Building and Decorative Stone*, vol. 1, Butterworth-Heinemann, London, s.153–178.
- , 1990b, "Part 1: Surface treatments in general", i Ashurst, J. og F.G. Dimes (red.), *Conservation of Building and Decorative Stone*, vol. 2, Butterworth-Heinemann, London, s. 156–169.
- Humphries, D.W. 1992, *The Preparation of Thin Sections of Rocks, Minerals, and Ceramics: Microscopy Handbooks 24*, Royal Microscopical Society, Oxford University Press, Oxford.
- Hygen, A.-S. 2006, *Sikring av Bergkunst, Bergkunstprosjektet 1996-2005: Riksantikvarens sluttrapport*, Riksantikvaren, Oslo.
- Hygen, A.-S. og L. Bengtsson 1999, *Helleristninger i grensebygd: Bohuslän og Østfold*, Warne Förlag, Gøteborg.
- Iñigo, A.C. og M.C.J. de Haro 1996, "Study of the Porous Network of Granites from Avila and its Modifications by Ethyl Silicate Treatment", i Vicente, M.A., J.D. Rodrigues og J. Acevedo (red.), *Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments: Protection and Conservation of the European Cultural Heritage, Research Report Nr. 5*, European Commission Directorate-General XII Science, Research and Development, Brussel, s. 139–144.
- Kallhovd, K. og J. Magnusson 2000, "1: Innledning", i Kallhovd, K. og J. Magnusson (red.), *Hällristningar i Gränsbygd: Bohuslän/Dalsland och Østfold: Ett INTERREG IIA Prosjekt: Slutrapport*, Länsstyrelsen, Västra Götaland, Kulturmiljøenheten Østfold fylkeskommune Regionalavdelingen, Gøteborg og Sarpsborg, s. 9–28.
- Klingspor-Rotstein, M. 2004, "Stenkonservering: att bevara kulturarvet, mejslat i sten", *STEN: tidsskrift för Sveriges stenindustri*, nr. 4, årg. 66, December 2004, s. 13–17.
- Klokkernes, T., O.C. Lønaas, K. Gran og D. Vogt 1998, *Årsrapport 1998 Sikring av bergkunst i Østfold: Interreg II/Det Nasjonale Bergkunstprosjektet*, IAKN/Oldsaksamlingen Universitetet i Oslo, Oslo.
- Kotlík, P., P. Justa og J. Zelinger 1983, "The Application of Epoxy Resins for the Consolidation of Porous Stone", *Studies in Conservation*, nr. 28, s. 75–79.
- Krautkramer, J. og H. Krautkramer 1983, *Ultrasonic Testing of Materials*, 3. utg., Springer-Verlag, Berlin.
- Larsen, T. 2005, *Sand stabilization with mineral precipitation*, IMT-rapport 77, Dr.ing.-avhandling, Institutt for materialteknologi, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Lind, A.-M. 2000, *GypStop: Utvecklingsarbeidet i fält av ett nytt konserveringsmedel för avsaltnings, konsolidering och lagning av nedbruten sten*, Examensarbeite konservatorlinjens magisterutbildning, Gøteborgs Universitet.
- Løddøen, T.K., G. Mandt og K.H. Riisøen (red.) 1997, *Sikring av bergkunst: Problemer – metoder – tiltak, Rapport fra kurs i sikring av bergkunst 14.-18. april og 8.-13. juni 1997*, Bergkunstrapporter fra Universitetet i Bergen, bind 1, Arkeologisk institutt, Bergen Museum, Bergen.
- Löfvendahl, R. 1998, *Nedbrytning av hällristningar och möjliga bevarandemetoder: en kunskapsöversikt*, Riksantikvarieämbetet, Stockholm.
- Löfvendahl, R. 2004, "STONE 2004, Internationell stenkonservingskongress", *STEN: tidsskrift för Sveriges stenindustri*, nr. 4, årg. 66, December 2004, s. 28.
- MacKenzie, W. S. og C. Guilford 1997, *Atlas of rock-forming minerals in thin section*, Longman, London.
- MacKenzie, W. S., C. H. Donaldson og C. Guilford 1997, *Atlas of igneous rocks and their textures*. Longman, Harlow.
- MacLeod, I. 2000, "Rock Art Conservation and Management: The Past, Present and Future

- Options”, *Reviews in Conservation*, nr. 1, s. 32–45.
- Mandt, G. 1992 ”Introduction”, i G. Mandt, K. Michelsen & K.H. Riisøen (red.): *Conservation, Preservation and Presentation of Rock Art, Arkeologiske Skrifter Historisk Museum*, nr. 6, Universitetet i Bergen, s. 11–14.
- Mandt, G. og T. Lørdøen 2005, *Bergkunst: Helleristninger i Noreg*, Det Norske Samlaget, Oslo.
- Michelsen, K. 1992, “Conservation of Rock Art in Norway”, i G. Mandt, K. Michelsen & K.H. Riisøen (red.): *Conservation, Preservation and Presentation of Rock Art, Arkeologiske Skrifter Historisk Museum*, nr. 6, Universitetet i Bergen, s. 17–51.
- Pinto, A.F. og J.D. Rodrigues 2008, “Stone Consolidation: The Role of Treatment Procedures”, *Journal of Cultural Heritage*, nr. 9, Jan.-Mar. 2008, s. 38–53.
- Prestvik, T. 2005, *Mineralogi: En innføring i krystallografi og mineralogi*, Vett og Viten, Nesbru.
- Prestvik, T., S.O. Johnsen, T. Moseid og H. Rueslåtten 1995, *Videregående geologi*, Vett & Viten, Nesbru.
- Price, C.A. 1996, *Stone Conservation: An Overview of Current Research*, The Getty Conservation Institute, Santa Monica.
- Pye, E. 2001, *Caring for the past: Issues in conservation for archaeology and museums*, James & James, London.
- Robertson, E.C. 1982, “Physical Properties of Building Stone”, i *Conservation of Historic Stone Buildings and Monuments: Report of the Committee on Conservation of Historic Stone Buildings and Monuments*, National Academy Press, Washington D.C., s. 62–86.
- Rodrigues, J.D. (red.) 1996, “Project STEP CT90-110: Conservation of Granitic Rocks with Application to the Megalithic Monuments: Conclusions Report”, i Vicente, M.A., J.D. Rodrigues og J. Acevedo (red.), *Degradation and Conservation of Granitic Rocks in Monuments: Protection and Conservation of the European Cultural Heritage, Research Report Nr. 5*, European Commission Directorate-General XII Science, Research and Development, Brussel, s. 161–242.
- Rodrigues, J.D., A.F. Pinto og D.R. da Costa 2002, “Tracing of decay profiles and evaluation of stone treatments by means of microdrilling techniques”, *Journal of Cultural Heritage*, bind 3, 2. utg., Apr.-Jun. 2002, s. 117–125.
- Ryberg, M. 1992, *Testmetoder för sten samt studie av några konserveringsmedel för sten med hjälp av dessa testmetoder*, Report OOK 92:05, Institutionen för Oorganisk Kemi, Chalmers Tekniska Högskola och Göteborgs Universitet, Gøteborg.
- Sandaker, B.N., M. Sandvik og B. Vik 2007, *Materialkunnskap*, Byggenæringens Forlag, Lillestrøm.
- Selwitz, C. 1992, *Epoxy Resins in Stone Conservation*, The Getty Conservation Institute, Marina del Rey.
- Strömberg, A. 1959, ”Vittring på hällristningar”, *Fornvännen*, nr. 54, s. 47–50.
- Strömer, C. 1997, *Vård av hällristningar*, Riksantikvarieämbetet, Stockholm.
- Stuart, B. 2008, *Analytical Techniques in Materials Conservation*, revidert utg., John Wiley & Sons, Chichester.
- Swantesson, J.O.H. 1989, *Weathering Phenomena in a Cool Temperate Climate*, PhD-avhandling, Naturgeografiska Institutionen, Gøteborgs Universitet.
- Thorseth, I.H., T.K. Lørdøen, T. Torsvik og G. Mandt (red.) 2001, *Sikring av bergkunst: Forvittringsfaktorer og bevaringstiltak, Undersøkelser av helleristningsfeltene i Vingen, Bremanger kommune og Hjæmmeluft, Alta kommune*, Bergkunstrapporter fra Universitetet i Bergen, bind 2, Arkeologisk institutt, Bergen Museum, Bergen.
- Vogt, D. 2000, *Helleristninger i Onsøy, Fredrikstad kommune, Østfold: Varia 50*,

- Universitetets kulturhistoriske museer, Oldsaksamlingen, Oslo.
- Vogt, D. 2007, "Helleristningene i Østfold", i Bårdseth, G.A. (red.), *Dokumentasjon og sikring av helleristingar: Varia 68 – E6-prosjektet Østfold*, bind 4, Kulturhistorisk museum, Fornminneseksjonen, Oslo.
- Wacker 2003, *SILRES BS OH 100: Masonry Water Repellents*, Version 1.03/02.04.03, Wacker Chemie AG, Munchen.
- Wacker 2008a, *Safety Data Sheet (1907/2006/EC): Material: 60008397 SILRES® BS OH 100, Version: 1.2 (GB)*, sist endret: 01.12.2008, Wacker Silicones.
- Wacker 2008b, *SILRES® BS 1001 Masonry Water Repellents: Technical Data Sheet, Version 1.1*, sist endret: 03.07.2008, Wacker Silicones.
- Weber, H. 1985, "Conservation and Restoration of Natural Stone in Europe", *Bulletin of the Association for Preservation Technology, Masonry*, bind 17, Nr. 2, s. 15-23.
- Weber, H. og K. Zinsmeister 1991, *Conservation of Natural Stone: Guidelines to Consolidation, Restoration and Preservation*, Expert Verlag, Ehningen.
- Wheeler, G. 2005, *Alkoxysilanes and the Consolidation of Stone*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles.
- Winkler, E.M. 1997, *Stone in Architecture: Properties, Durability*, 2. utg., Springer, Berlin Heidelberg.

Elektroniske kilder

- AlfaHMS 2003, *HMS Datablad Xylen* (09.12.2003), [online], AlfaHMS. Tilgjengelig fra: <http://www.systemsupport.no/login/index.cgi?fh=ertrading&datablad=XYLEN&action=datablad> [15.12.09].
- Barnett, T., A. Chalmers, M. Díaz-Andreu, P. Longhurst, G. Ellis, K. Sharpe, I. Trinks U.å., *3D Laser Scanning For Recording and Monitoring Rock Art Erosion*, [online]. Tilgjengelig fra: http://ads.ahds.ac.uk/catalogue/adsdata/fral_ba_2005/ahds/dissemination/pdf/2005_I_NORA_article_vfinal.pdf [22.09.09].
- Cambridge Encyclopedia*, Vol. 60, "Porosity - Porosity in earth sciences and construction, Porosity in manufacturing, Measuring porosity" [online]. Tilgjengelig fra: <http://encyclopedia.stateuniversity.com/pages/17731/porosity.html>, [23.10.09].
- Clifton, J.R. 1980, "Stone Consolidating Materials – A Status Report", *NBS technical note*, nr. 1118, upag., Center for Building Technology, National Engineering Laboratory, National Bureau of Standards, USA. Tilgjengelig fra Conservation OnLine, <http://cool.conservation-us.org/byauth/clifton/stone/> [19.10.2009].
- Helsebiblioteket 2007, "Toluen – behandlingsanbefaling ved forgiftning" (19.09.2007), tilgjengelig fra Helsebiblioteket.no, <http://www.helsebiblioteket.no/Forgiftninger/Alle+anbefalinger/4763.cms> [15.12.09].
- Löfvendahl, R. 2008, "Riksantikvarieämbetet och stenkonserveringen i Sverige", *ICOMOS Sweden Nyhetsbrev, December 2008*, s. 18-21, ICOMOS Sverige. Tilgjengelig fra: http://www.icomos.se/pdf/Nyhetsbrev_december_2008.pdf, [01.09.09].
- Myrin, M. 2008, "Konservering av gotländsk sandsten", *ICOMOS Sweden Nyhetsbrev, December 2008*, s.26–27, ICOMOS Sverige. Tilgjengelig fra: http://www.icomos.se/pdf/Nyhetsbrev_december_2008.pdf, [01.09.09].
- Riksantikvaren 2009, *Miljøstatus i Norge: Bergkunst* (26.05.2009), [online], Riksantikvaren.

Tilgjengelig fra: <<http://miljostatus.no/no/Tema/Kulturminner/Arkeologiske-kulturminner/Bergkunst/#>> [21.09.09].
Rotstein, M.K. 2008, ”Stenkonserveringens utveckling i Sverige: personliga erfarenheter och tankar kring ämnet (1980 – 2008)”, *ICOMOS Sweden Nyhetsbrev, December 2008*, s. 18-21, ICOMOS Sverige. Tilgjengelig fra: <http://www.icomos.se/pdf/Nyhetsbrev_december_2008.pdf>, [01.09.09].

Personlig kommunikasjon

Bakke, B.
Konservator/avdelingsleder, Arkeologisk museum, Universitetet i Stavanger, Stavanger.
Personlig kommunikasjon 10.09.09., 30.09.09.

Ernfridsson, E.
Steinkonservator og biolog, Studio Vestsvensk Konservering, Gøteborg. Personlig kommunikasjon 15.07.09.

Gran, K.
Konservator. Personlig kommunikasjon 08.09.09.

Johansen, Ø.
Steinkonservator, Johansen Monumenthuggeri AS, Skjeberg. Personlig kommunikasjon 08.09.09.

Løken Berg, B.
Overingeniør, Institutt for geofag, Universitetet i Oslo, Oslo. Personlig kommunikasjon 11.11.09, 09.12.09.

Lønnve, J.
Seksjonssjef, Seksjon for konserverings- og forskningsteknikk, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo. Personlig kommunikasjon 13.10.09.

Odden, W.
Overingeniør, Bergen Museum, Universitetet i Bergen, Bergen. Personlig kommunikasjon 02.09.09, 30.09.09, 14.10.09.

Vogt, D.
Forsker, Bergkunst, Kulturhistorisk museum, Fornminneseksjonen, Universitetet i Oslo, Oslo.
Personlig kommunikasjon 25.05.09, 25.08.09.

Rasmussen, T.
Produktmanager, IMCD Norge AS, Oslo. Personlig kommunikasjon 22.10.09.

Strömer, C.
Steinkonservator, Strömer stenkonservering, Gøteborg. Personlig kommunikasjon 14.07.09.

Trønnes, R.G.

Professor, Seksjon for geologi, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo, Oslo. Personlig kommunikasjon 13.10.09.

Aagaard, P.

Geolog, Institutt for geofag, Universitetet i Oslo, Oslo. Personlig kommunikasjon 20.10.09.

9. Begrepsforklaringer

Bomparti: Oppsprekking av berget under og parallelt med overflaten, uten at steinen løsner (Bjelland og Helberg, 2006, s. 22).

Direkte konservering: Konserveringstiltak som innebærer inngrep i originalt materiale, som ofte kan være irreversible (Bjelland og Helberg, 2006, s. 41; Bakke, 2004; Strömer, 1997, s. 51).

Forvitringssone: Der forvitring har foregått, fra overflaten og innover i berget (Bjelland og Helberg, 2006, s. 19).

Grusvitring: Mineralkorn løsner og faller ut av berget, slik at bergflaten gradvis smuldrer opp (Bjelland og Helberg, 2006, s. 21).

Hydrofobering: Behandling med et middel som skal gjøre en overflate mer vannavvisende.

Inngrep: Konserveringstiltak som griper direkte inn i originalt materiale, som bergflaten helleristninger befinner seg på. Kan være tiltak som konsolidering eller lagning (Bjelland og Helberg, 2006, s. 41).

Lokalitet: En helleristningslokalitet er et område med ett eller flere helleristningsfelt.

Silikatmineraler: Inneholder SiO_4 -tetraedre som et kompleksanion, eller bundet sammen med andre SiO_4 -tetraedre, i ulike forbindelser (Prestvik m.fl., 1995, s. 27).

Struktur: Strukturen i en bergart er makroskopiske trekk som karakteriserer den, for eksempel lagdelingen i steinen (Prestvik m.fl., 1995, s. 60).

”Sunn” stein: Uforvitret stein, med uendrede fysiske, mekaniske og kjemiske egenskaper.

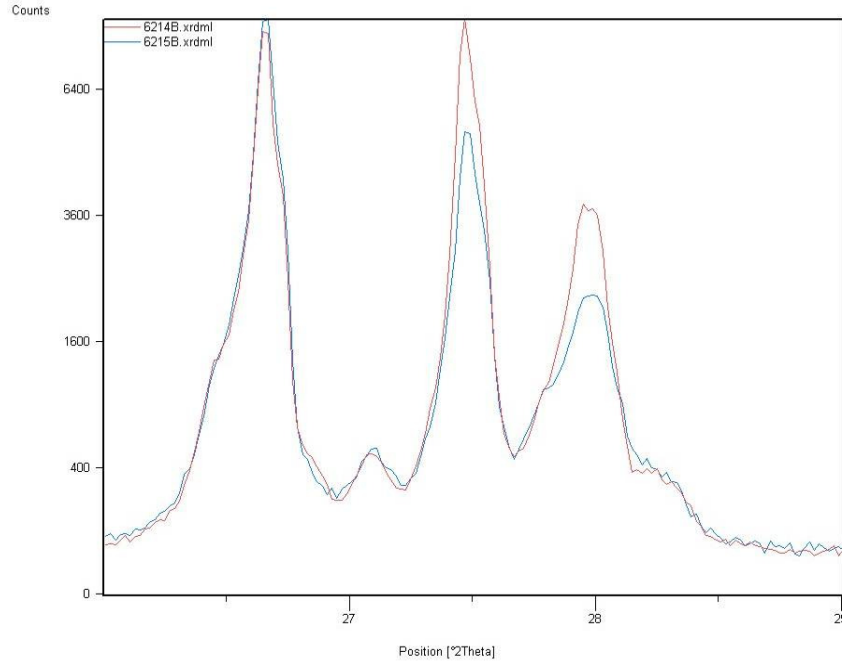
Tekstur: En bergarts tekstur er bergartens strukturelle karakteristika på mikroskopisk nivå (Prestvik m.fl., 1995, s. 60).

10. Anvendte materialer og leverandører

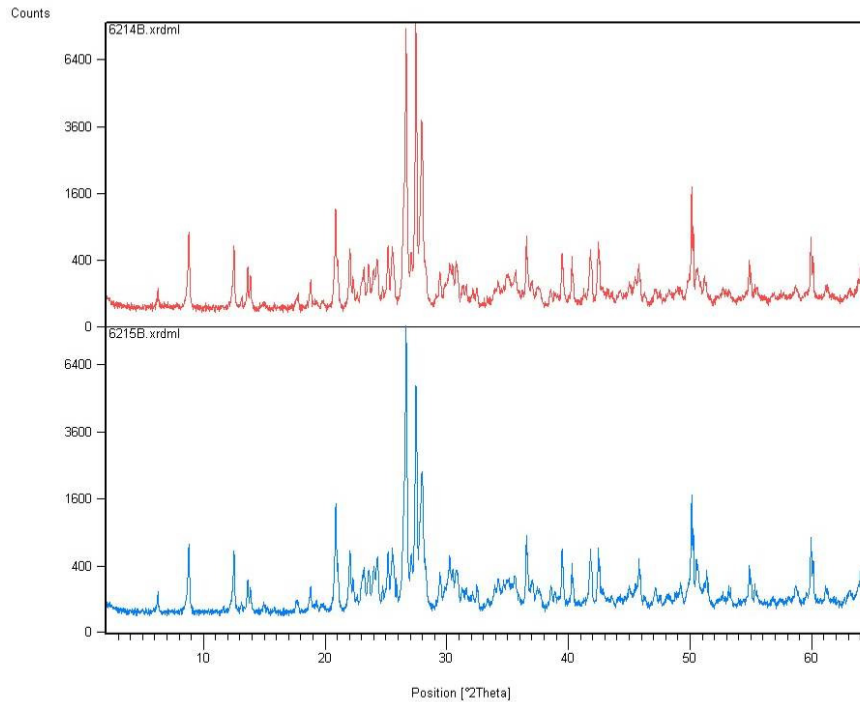
Produkt:	Leverandør:
Calcium nitrate tetrahydrate	Sigma-Aldrich Norge A/S
Urea	Sigma-Aldrich Norge A/S
Urease Type III	Sigma-Aldrich Norge A/S
SILRES BS OH 100	IMCD Norge AS, Oslo
SILRES BS 1001	IMCD Norge AS
KRYSTAZIL 40 (Natriumsilikatløsning i vann)	BIM Norge A/S, Drammen
Paraloid B72	
Aceton	

Vedlegg 1: Resultater røntgendiffraksjonsanalyse (XRD)

(Analyser utført av Berit Løken Berg, overingeniør, Institutt for geofag, Universitetet i Oslo.)



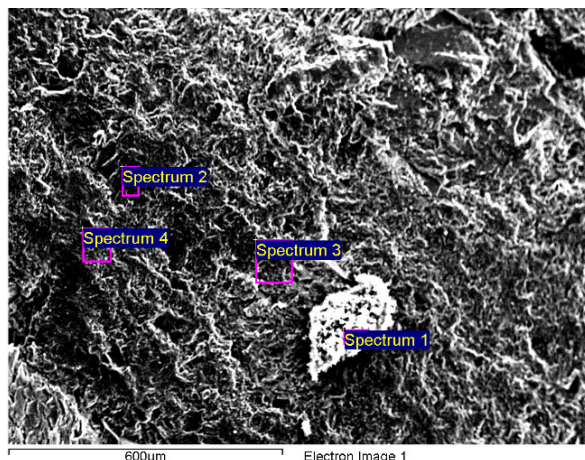
Figur 1: Spektre for begge prøver. Sterkeste refleksjoner for kvarts (26,5), kalifeltspat (27,5) og albitt (28,0).
6214B (rød): Forvitringssone, 6215B (blå): Uforvitret stein.



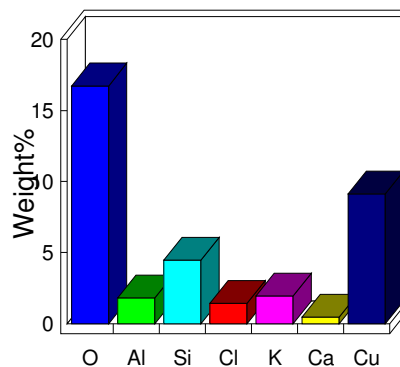
Figur 2: Spektre for hver av prøvene. Kvarts (26,5), kalifeltspat (27,5) og albitt (28,0). (10= biotitt eller muskovitt.) 6214B (rød): Forvitringssone, 6215B (blå): Uforvitret stein.

Vedlegg 2: Resultater SEM-EDS analyse

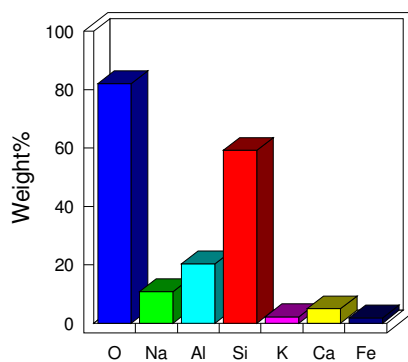
Prøve 1, konsolidert med kalsitt



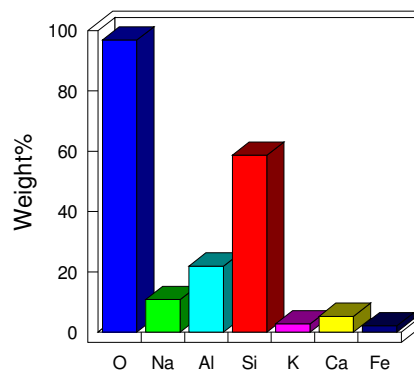
Prøve 1, ca 2 mm dybde, 95x.



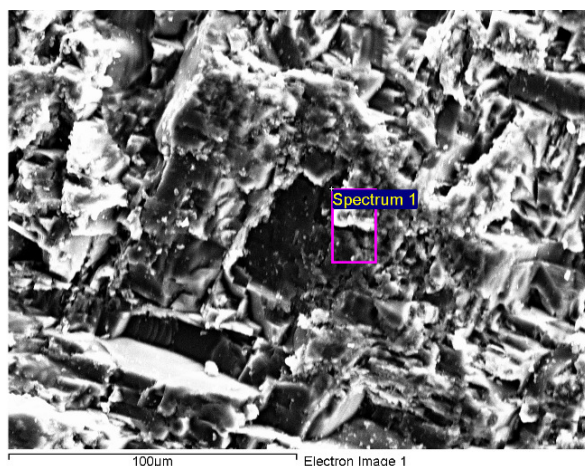
Resultater elementanalyse prøve 1, 2 mm dybde, spektrum 1.



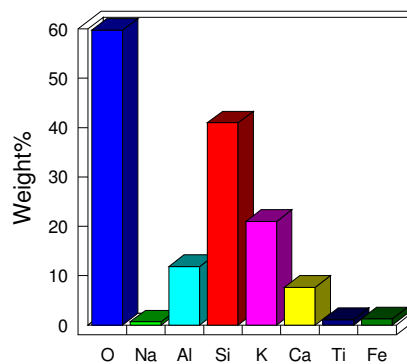
Prøve 1, 2 mm dybde, resultater elementanalyse spektrum 2.



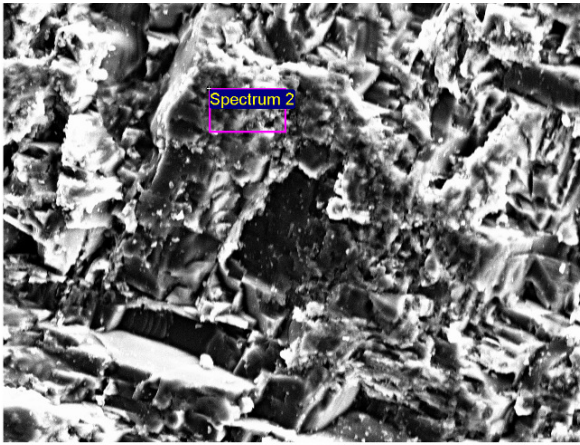
Prøve 1, 2 mm dybde, resultater elementanalyse spektrum 4 (likt som spektrum 3).



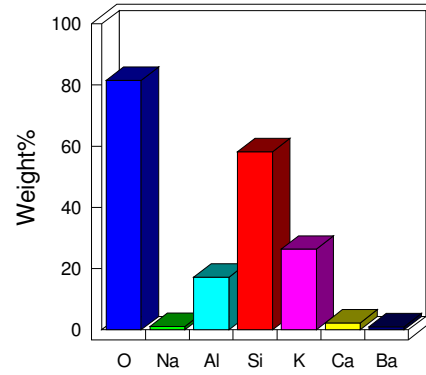
Prøve 1, ca 2 mm dybde. 600x.



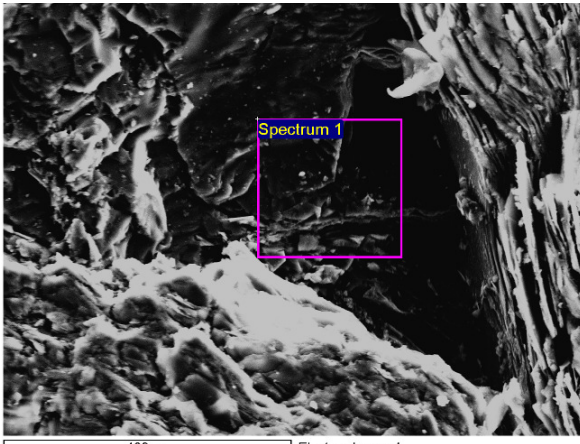
Resultater elementanalyse prøve 1, ca 2 mm dybde, spektrum 1.



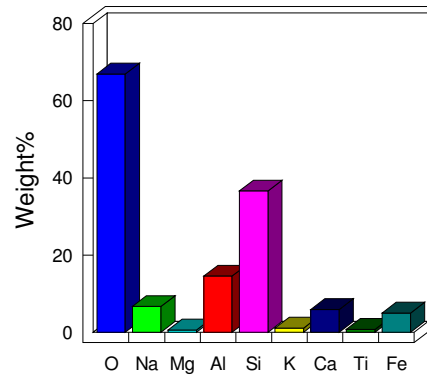
Prøve 1, ca 2 mm dybde. 600x.



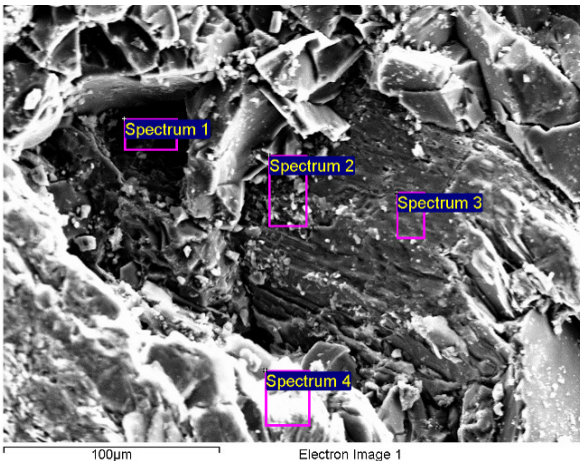
Resultater elementanalyse prøve 1, ca 2 mm dybde, spektrum 2.



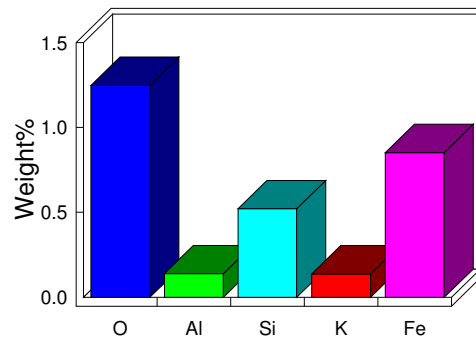
Prøve 1, ca 5 mm dybde, 600x.



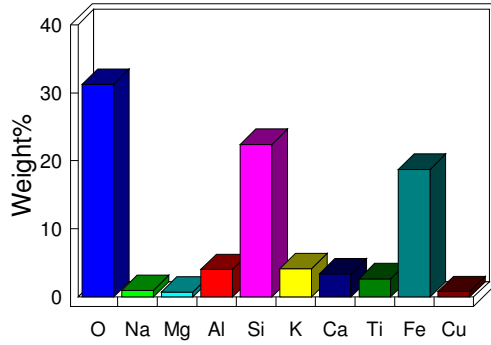
Resultater elementanalyse prøve 1, ca 5 mm dybde, spektrum 1.



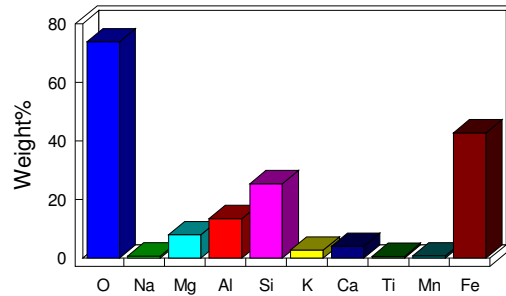
Prøve 1, ca 10 mm dybde, 450x.



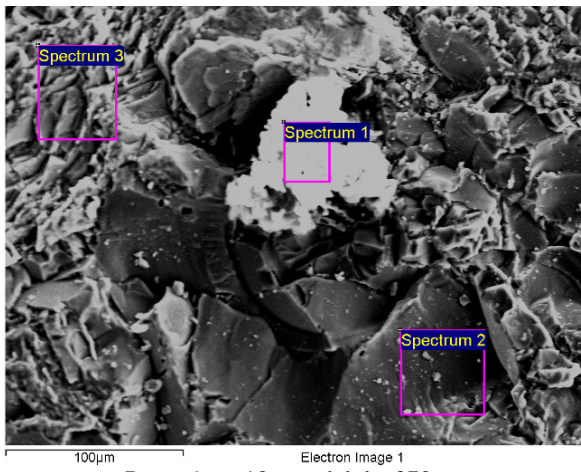
Resultater elementanalyse prøve 1, ca 10 mm dybde, spektrum 1.



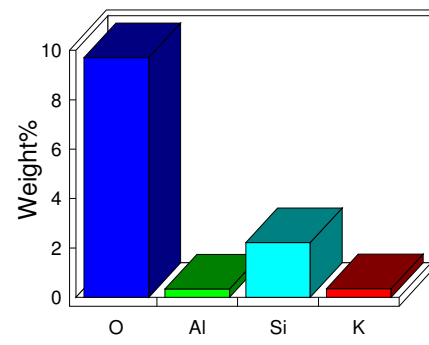
Resultater elementanalyse prøve 1, ca 10 mm dybde, spektrum 2.



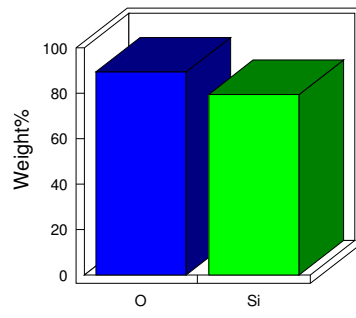
Resultater elementanalyse prøve 1, ca 10 mm dybde, spektrum 4.



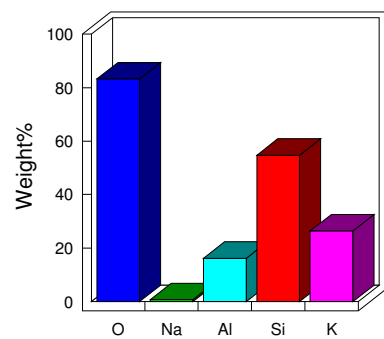
Prøve 1, ca 10 mm dybde, 370x.



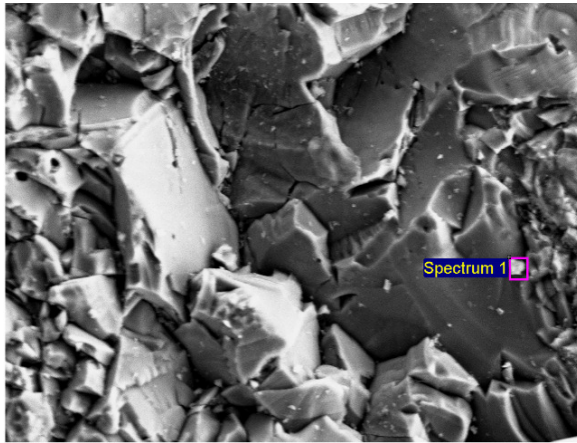
Resultater elementanalyse prøve 1, ca 10 mm dybde, spektrum 1.



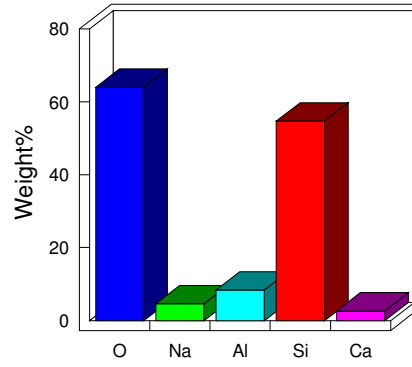
Resultater elementanalyse prøve 1, ca 10 mm dybde, spektrum 2.



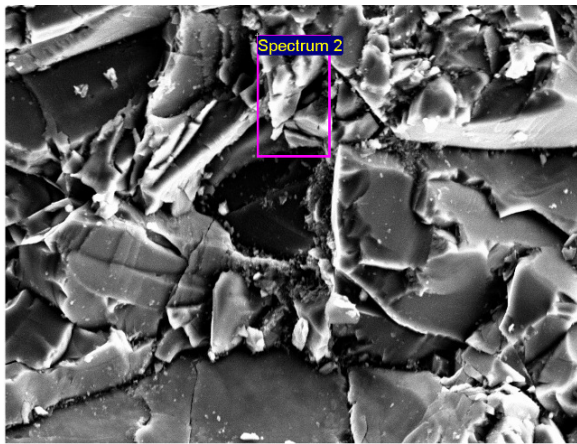
Resultater elementanalyse prøve 1, ca 10 mm dybde, spektrum 3.



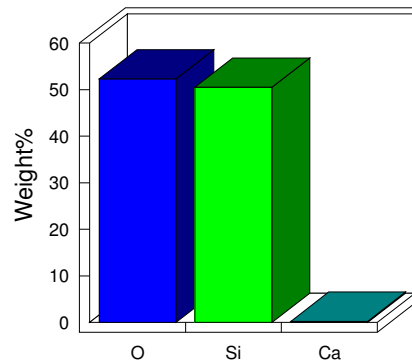
100µm Electron Image 1
Prøve 1, ca 12 mm dybde. 600x.



Resultater elementanalyse prøve 1, ca 12 mm dybde, spektrum 1.

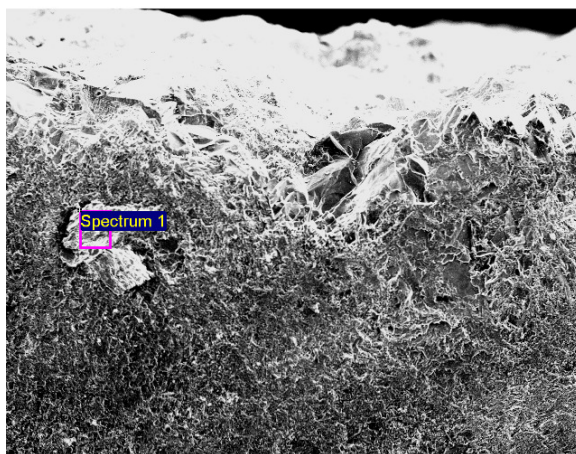


90µm Electron Image 1
Prøve 1, ca 20 mm dybde, 650x.

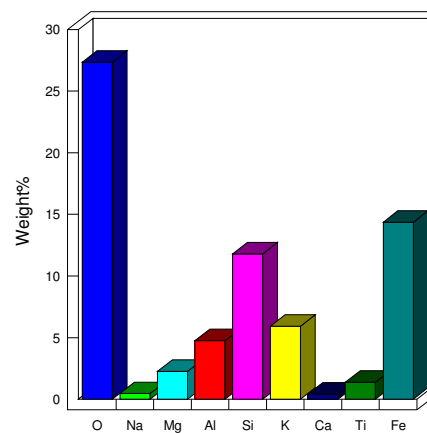


Resultater elementanalyse prøve 1, ca 20 mm dybde, spektrum 2.

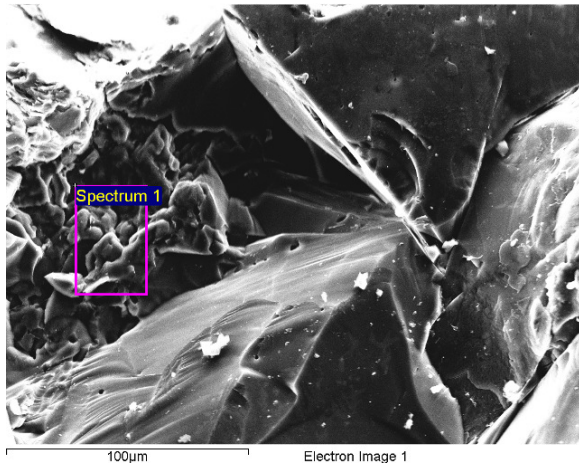
Prøve 2, konsolidert med SILRES BS OH 100



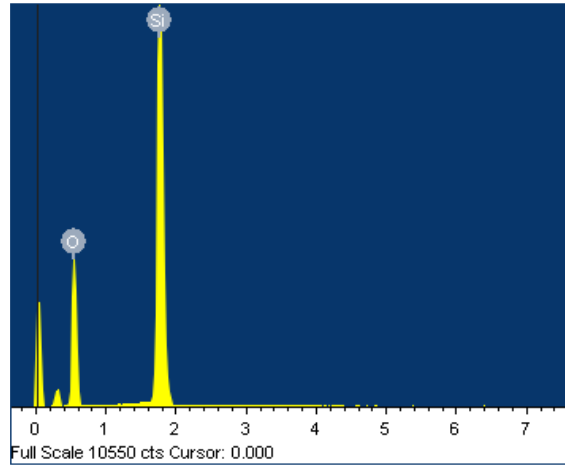
1mm Electron Image 1
Prøve 2, forvitringssone, 60x.



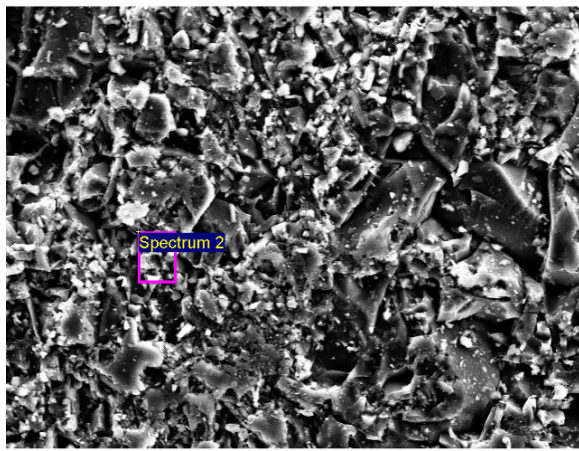
Resultater elementanalyse prøve 2, forvitringssone, spektrum 1.



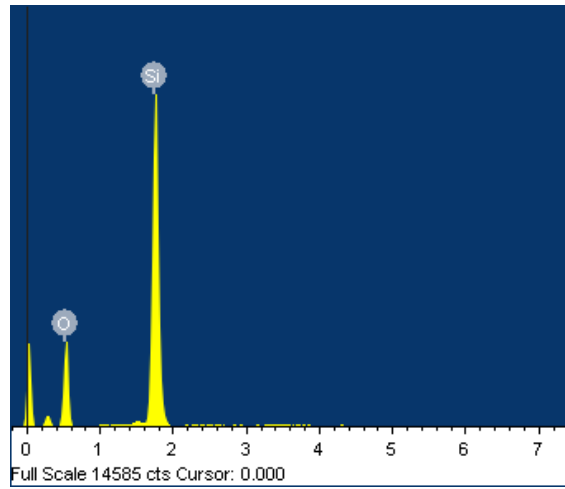
Prøve 2, ved overflate, 500x.



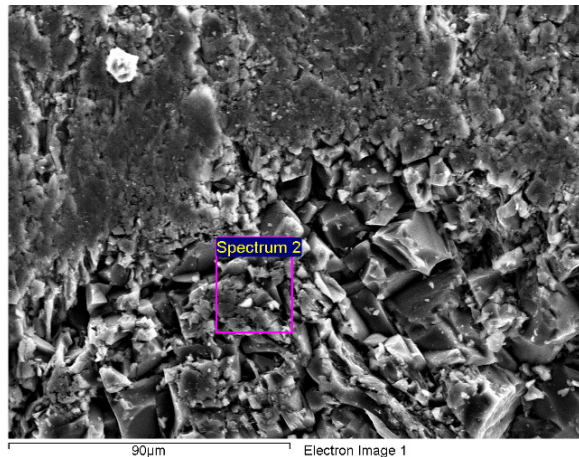
Prøve 2, ved overflate, spektrum 1



Prøve 2, ca 2 mm dybde, 600x.



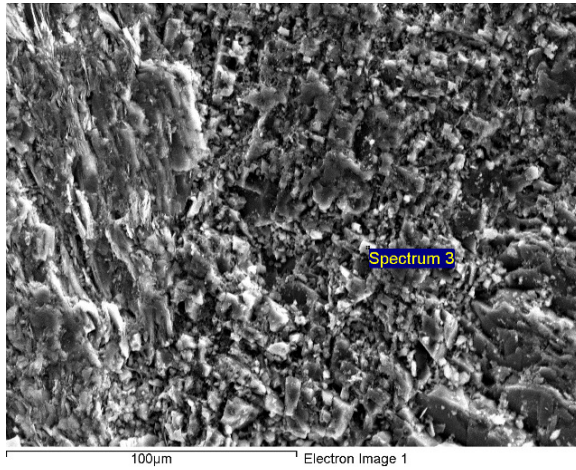
Prøve 2, ca 2 mm dybde, spektrum 2.



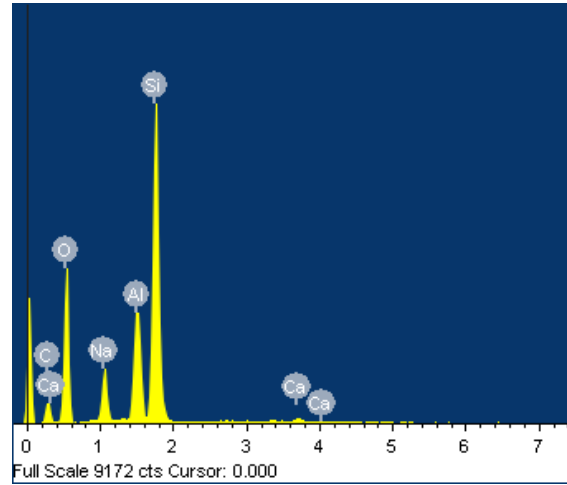
Prøve 2, ca 5 mm dybde, 650x.

Element	Weight%	Atomic%
O K	35.03	63.77
Si K	34.93	36.23
Totals	69.96	

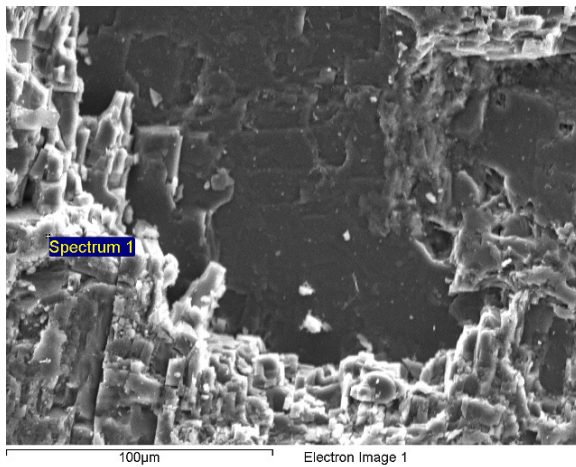
Resultater elementanalyse prøve 2, ca 5 mm dybde, spektrum 2.



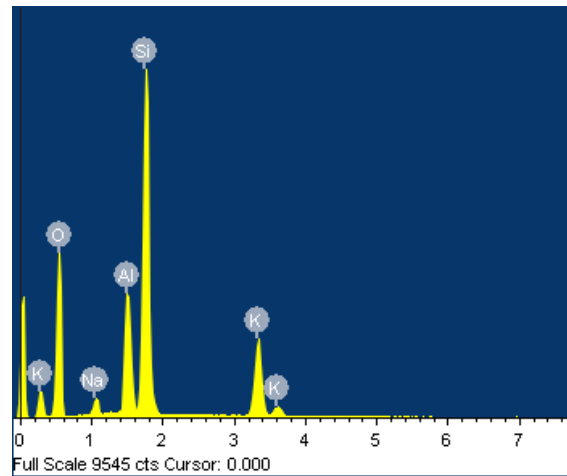
Prøve 2, ca 10 mm dybde, 600x.



Prøve 2, ca 10 mm dybde, spektrum 3.

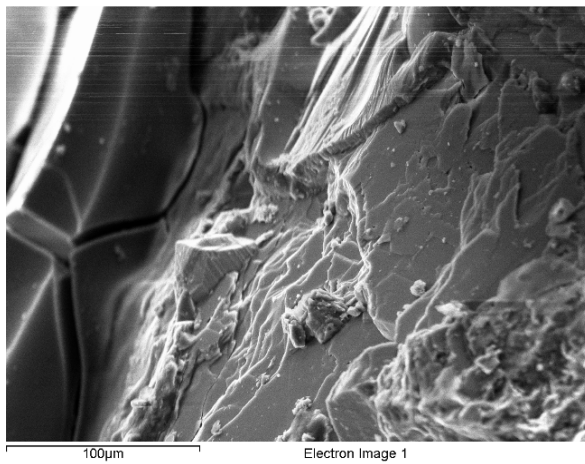


Prøve 2, ca 15 mm dybde, 550x.

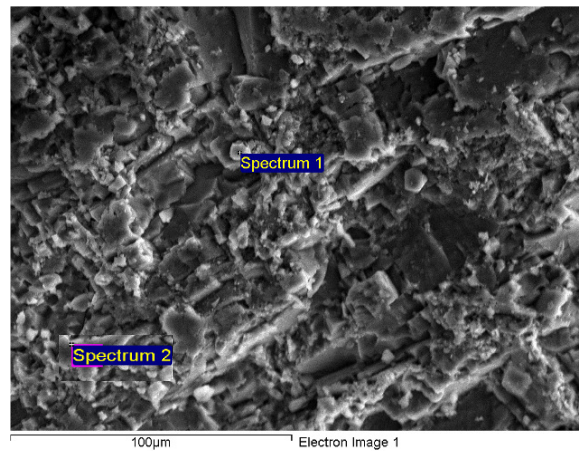


Prøve 2, ca 15 mm dybde, 550x, spektrum 1.

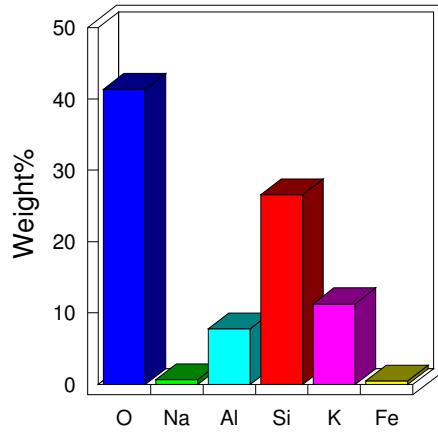
Prøve 3, konsolidert med vannlass (natriumsilikat – KRYSTAZIL 40)



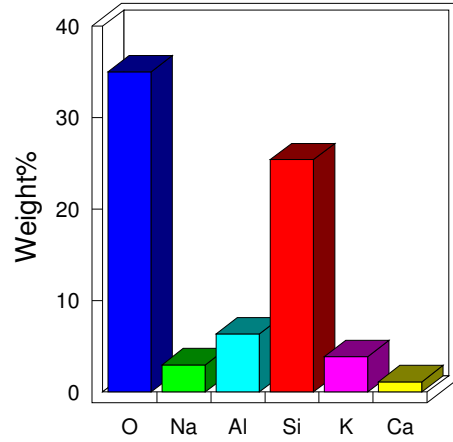
Prøve 3, overflate, 400x.



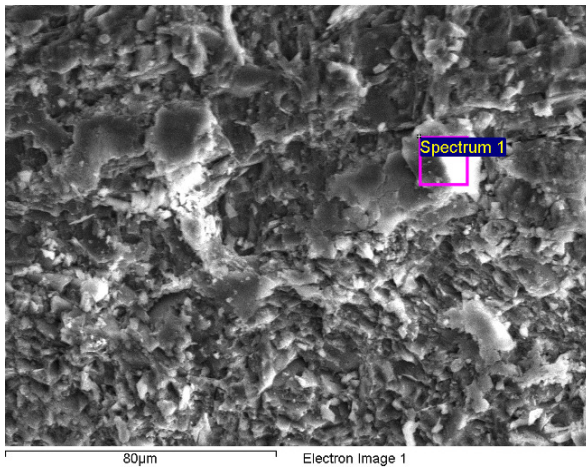
Prøve 3, like ved overflate, 600x.



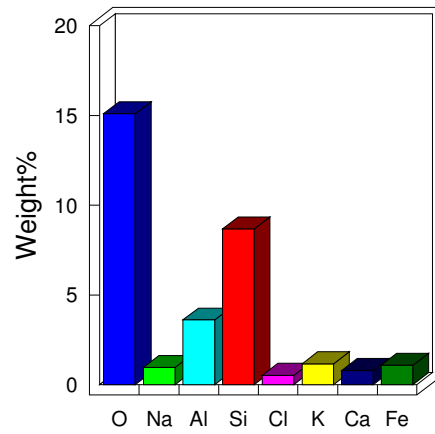
Resultater elementanalyse prøve 3, like ved overflate, spektrum 1.



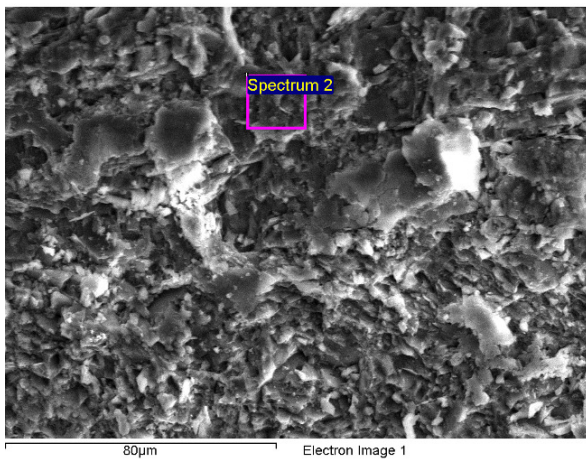
Resultater elementanalyse prøve 3, like ved overflate, spektrum 2.



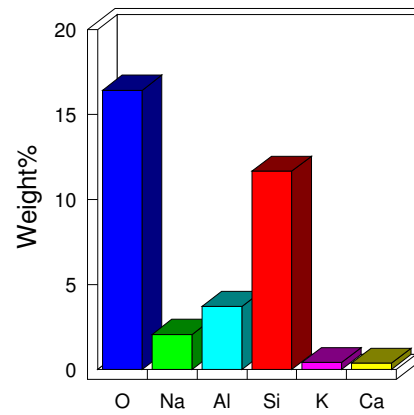
Prøve 3, ca 5 mm dybde, 700x.



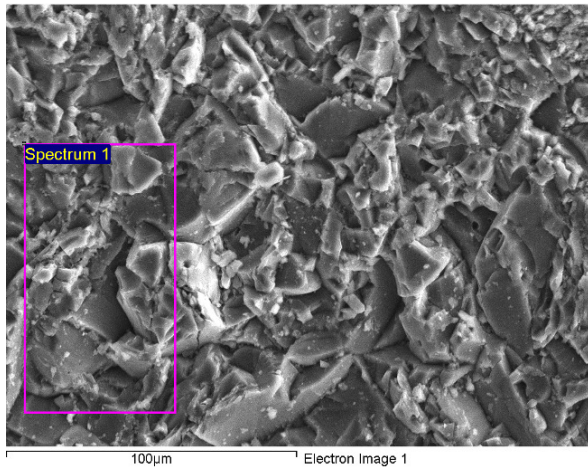
Resultater elementanalyse prøve 3, 5 mm dybde, spektrum 1.



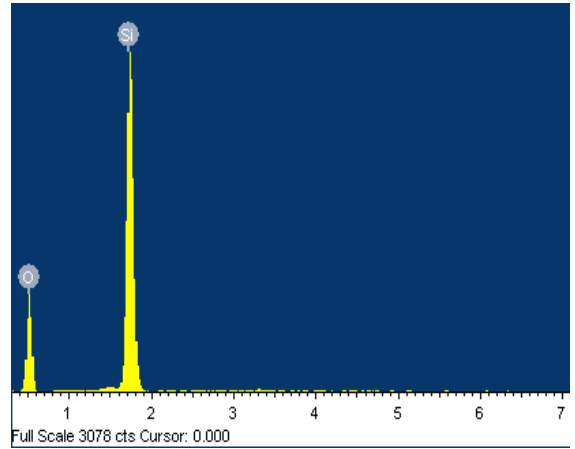
Prøve 3, ca 5 mm dybde, 700x.



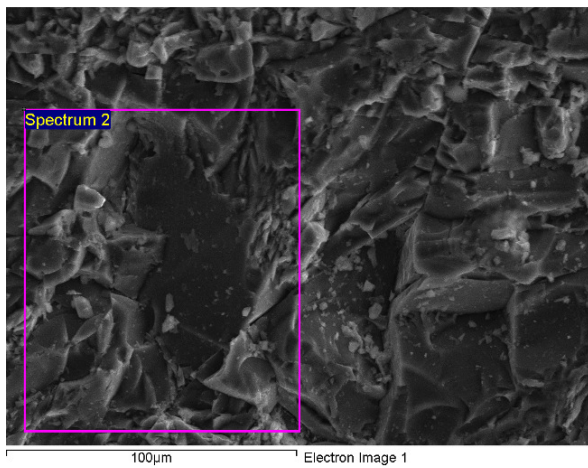
Resultater elementanalyse prøve 3, 5 mm dybde, spektrum 2.



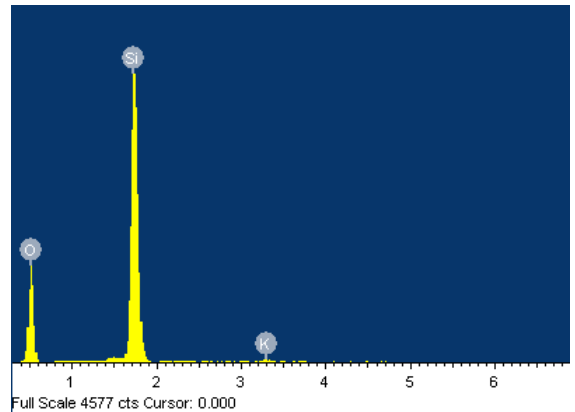
Prøve 3, ca 10 mm dybde, 600x.



Prøve 3, 10 mm dybde, spektrum 1.

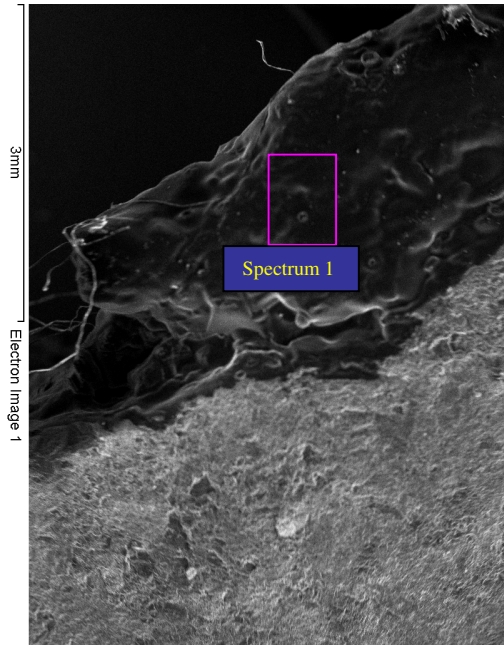


Prøve 3, ca 10 mm dybde, 600x.

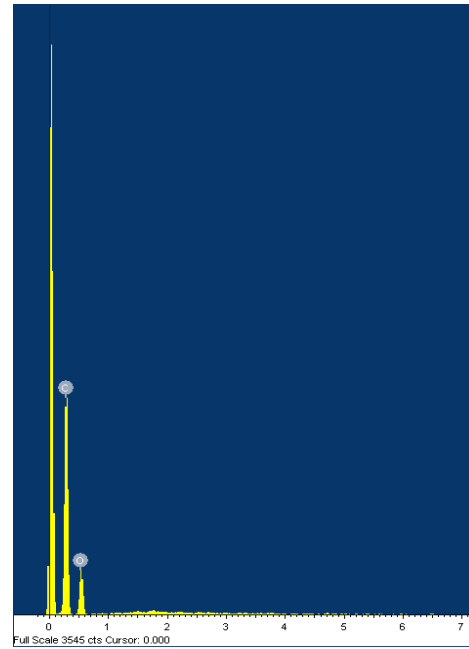


Prøve 3, 10 mm dybde, spektrum 2.

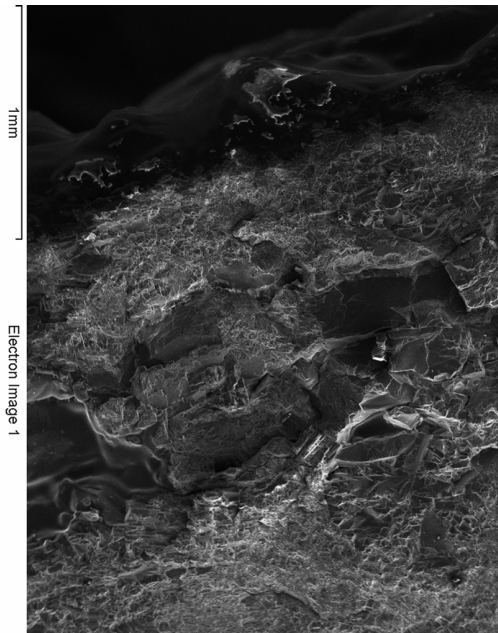
Prøve 4, konsolidert med Paraloid B72 15 %



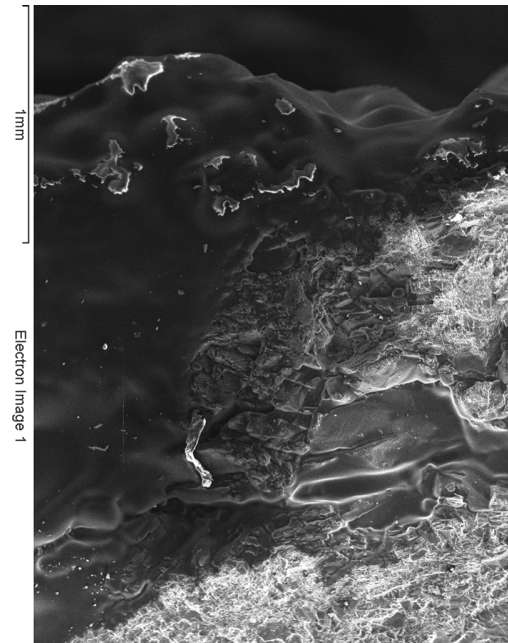
Prøve 4, overflate, 20x.



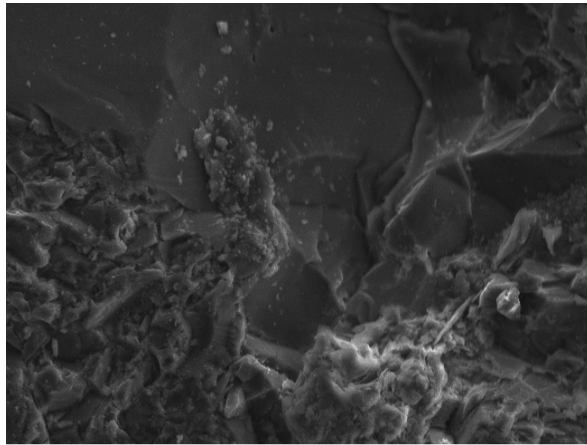
Prøve 4, overflate, spektrum 1.



Prøve 4, overflate og inntil 2 mm dybde. 45x.

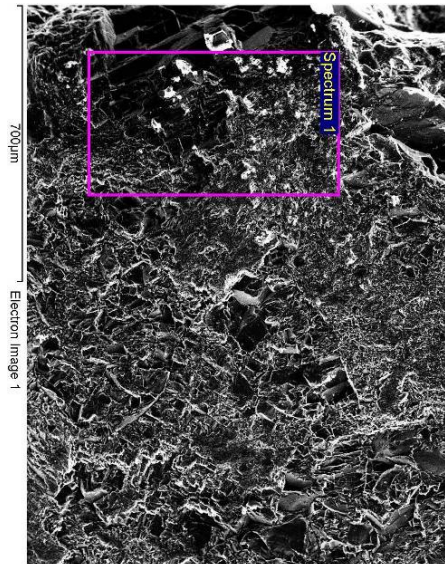


Prøve 4, overflate, 45x.

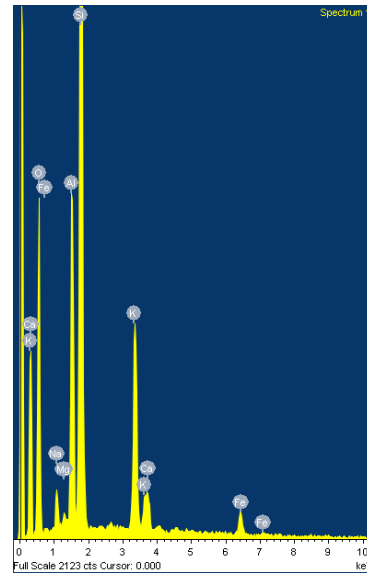


100µm Electron Image 1
Prøve 4, 5 mm dybde, 600x.

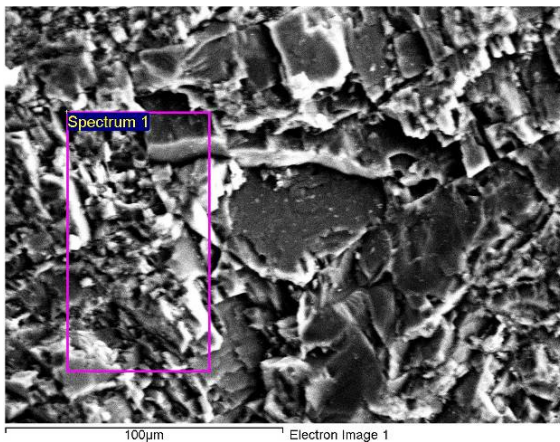
Prøve 1b, konsolidert med kalsitt, etter vannbad



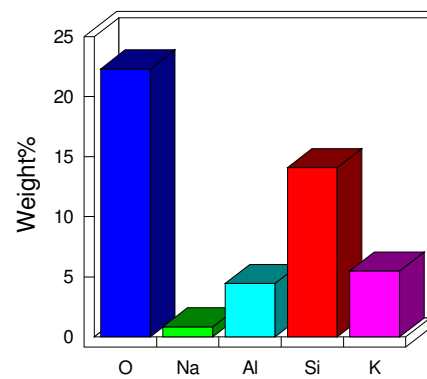
700µm Electron Image 1
Prøve 1b, overflate, 85x.



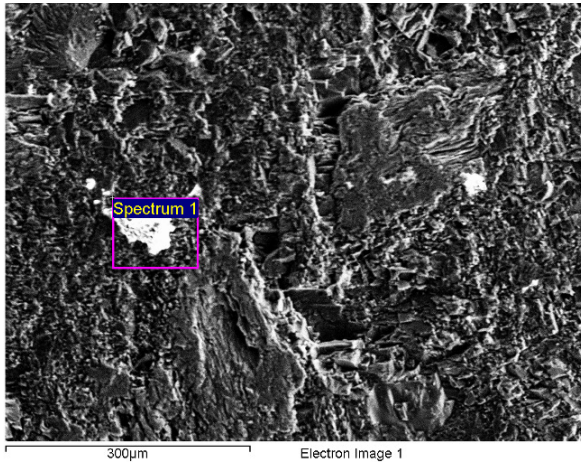
Prøve 1b, overflate, spektrum 1.



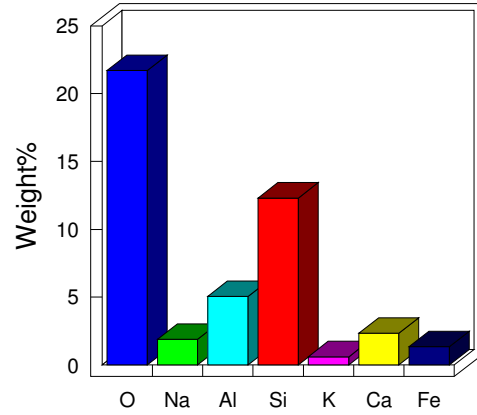
100µm Electron Image 1
Prøve 1b, ca 5 mm dybde, område 1, 600x.



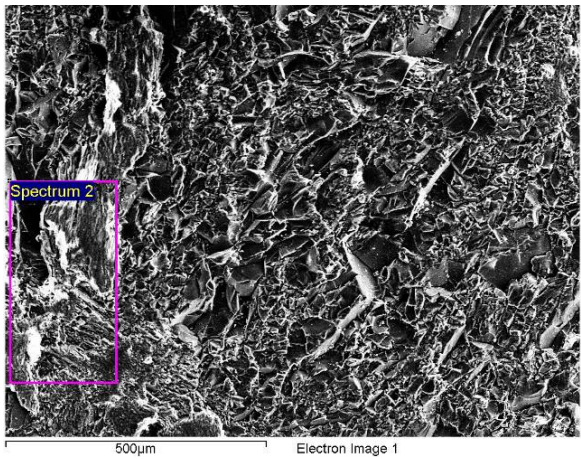
Resultater elementanalyse prøve 1b, ca 5 mm dybde, område 1, spektrum 1.



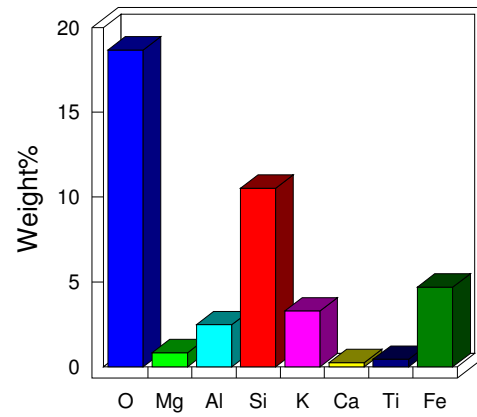
Prøve 1b, ca 5 mm dybde, område 2, 170x.



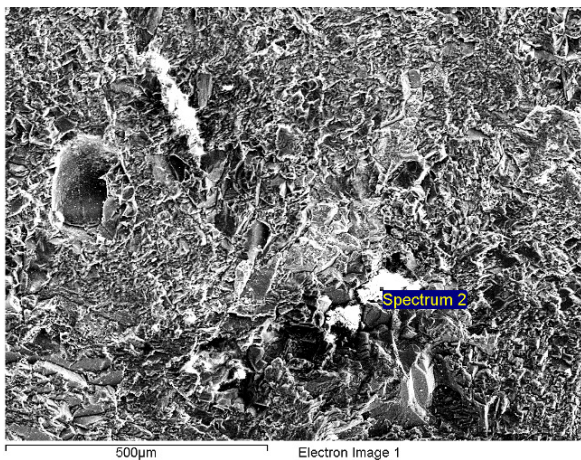
Resultater elementanalyse prøve 1b, ca 5 mm dybde, omr. 2, spektrum 1.



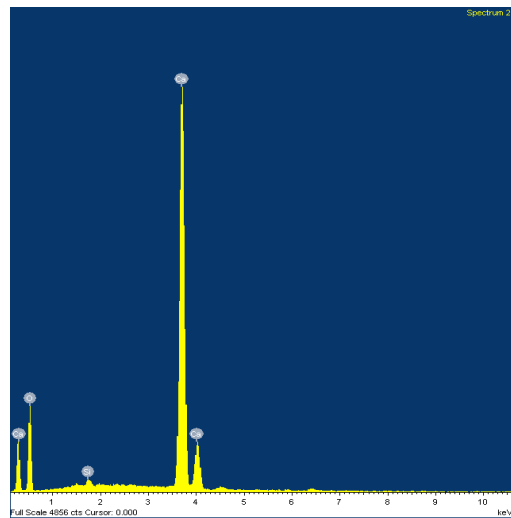
Prøve 1b, ca 10 mm dybde, 110x.



Resultater elementanalyse prøve 1b, ca 10 mm dybde, spektrum 2.

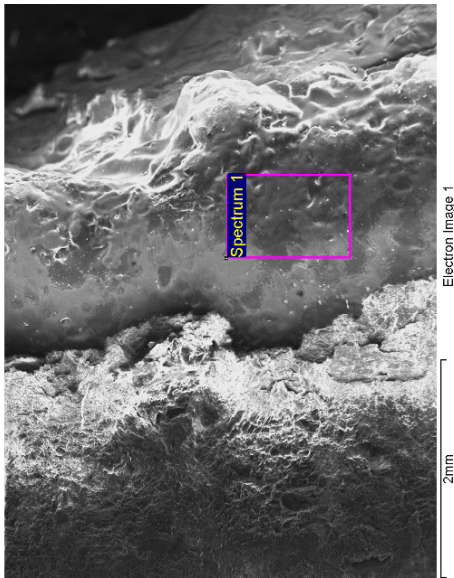


Prøve 1b, ca 30 mm dybde, 110x.

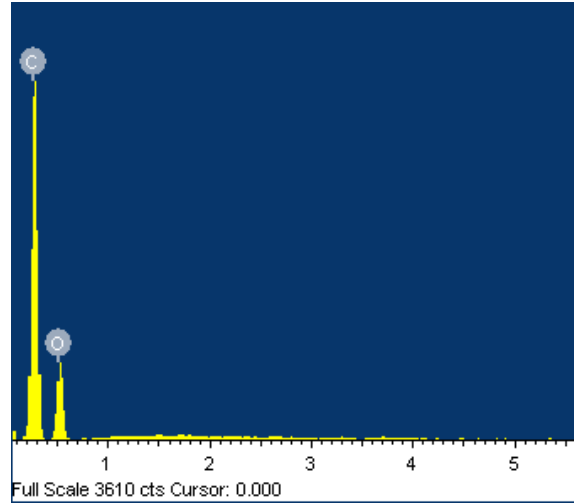


Prøve 1b, ca 30 mm dybde, spektrum 2.

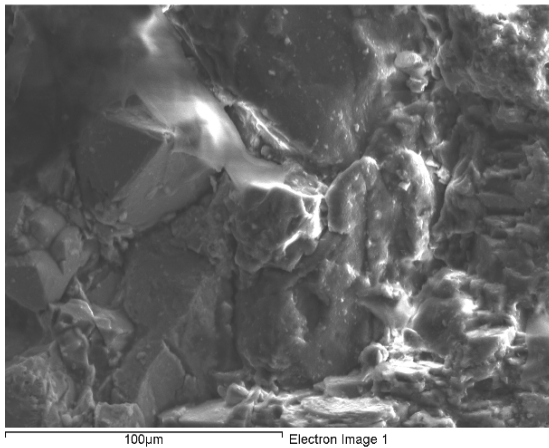
Prøve 1a, konsolidert med kalsitt og overflatebehandlet med Paraloid B72, etter vannbad



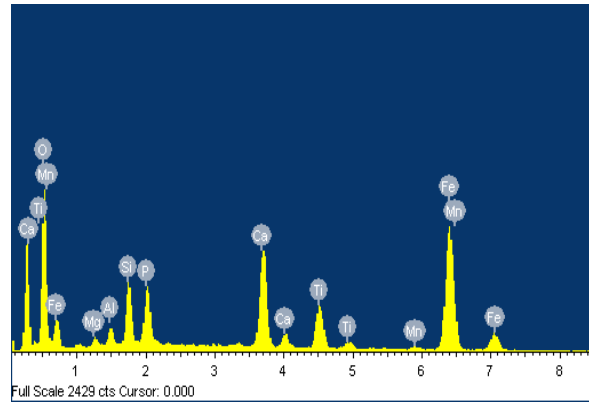
Prøve 1a, overflate, 23x.



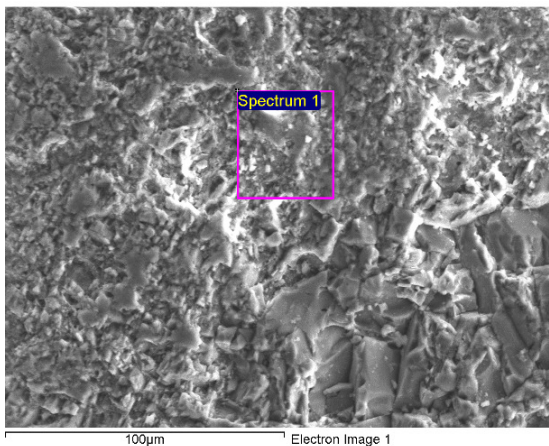
Prøve 1a, overflate, spektrum 1.



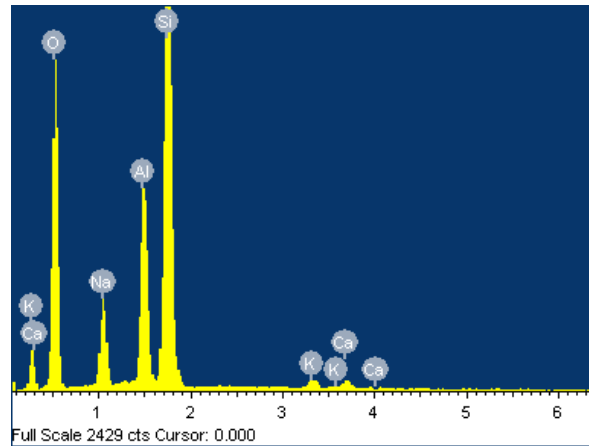
Prøve 1a, ca 2 mm dybde, 600x.



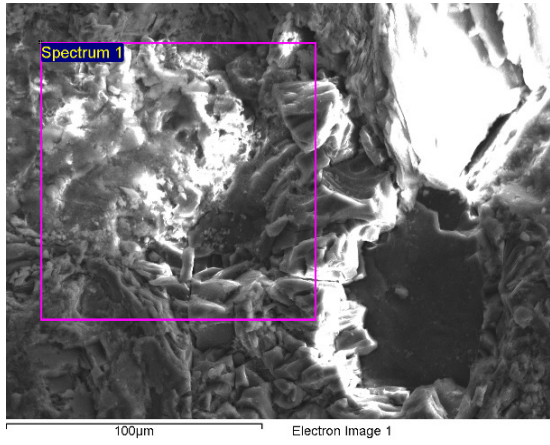
Prøve 1a, ca 2 mm dybde, spektrum 3.



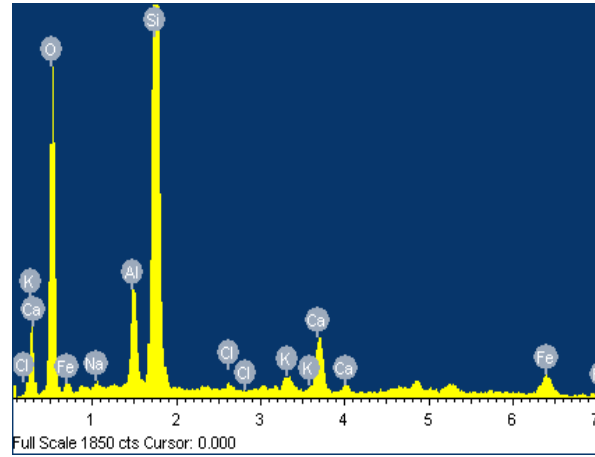
Prøve 1a, ca 5 mm dybde, 600x.



Prøve 1a, ca 5 mm dybde, spektrum 1.



Prøve 1a, ca 15 mm dybde, 550x.



Prøve 1a, ca 15 mm dybde, spektrum 1.