

Forvitring og bevaring av bergkunst i Gjerpensdalen, Skien

Rapport

FABRICA kulturminnetjenester as

Februar 2023



FABRICA kulturminnetjenester as
Vøienvolden gård
Maridalsveien 120
0274 Oslo
Org. nr.: 922 632 642 MVA
www.fabrica.no
post@fabrica.no

Forfatter:
Per Storemyr
Tel: 95 330 460
per.storemyr@fabrica.no

Forvitring og bevaring av bergkunst i Gjerpensdalen, Skien

Oppdragsgiver: Kulturhistorisk Museum, UiO, v/ David Vogt

21. februar 2023

Der ikke annet er nevnt er fotos tatt av forfatteren

Forsidebilde: Helleristningsfeltet Hoppestad 2 i Gjerpensdalen, midlertidig åpnet i 2022 etter tildekning siden 2009.

Forord

De store bergkunstfeltene i Gjerpensdalen i Skien ble funnet i 2003. De har allerede rukket å få stempelet «Norges verst skadde ristninger», kanskje med en viss konkurranse fra Ausevikfeltet på Vestlandet. Hvorfor er berget så skjørt? Hvorfor er det så mye forvitring? Hvorfor er det likevel inniblant alle skadene så velbevarte ristninger? Hva kan en i et «evighetsperspektiv» gjøre for å bevare bergkunsten – vel vitende om at uansett hva en gjør, så kan en bare forlenge levetiden, aldri stoppe forvitringen? Disse temaene tas opp i foreliggende rapport, et resultat av feltstudier og andre undersøkelser siden ettersommeren 2021.

Takk til arkeolog David Vogt for fine dager i felt og for diskusjoner om ristningenes tilblivelse, landskapshistorie, funnhistorie og bevaring. Takk også til konservator Eva Ernfridsson som har hatt hånden om bevaringstiltakene på bergkunstfeltene og som har gjort tidligere rapporter tilgjengelige for oss. Dessuten takk til Kjell-Henrik Semb, miljørådgiver i Porsgrunn kommune, for mange fotos fra avtorvingen av feltene på begynnelsen av 2000-tallet og gode innspill i felt. Kjell-Henrik har nok rett i at «det må da være den sure myra som har løst opp all kalken i steinen»!

Gjerpen ligger i en smal tarm med sedimentære bergarter fra kambro-silur og veldig nær Oslofeltets intrusive bergarter fra perm. Takk til geologene Ragnar Knarud og Johan Petter Nystuen for nyttige innspill om en geologi som jeg ikke har jobbet særlig med før og for kommentarer til manus.

Arendal, vinteren 2023
Per Storemyr

Sammendrag

Bronsealderistningene som ble funnet på åkerholmer i de lavere deler av Gjerpensdalen i 2003 er stort sett hogd på tynne lag av finkornede kvartssandsteiner fra overgangen mellom de geologiske periodene ordovicium og silur. Sandsteinene er sementert med karbonat (kalkspat), men også i betydelig grad med kvarts, samt leirmineraler og jern(hydr)oksider. Dessuten er det observert noen få gjennomsettende sprekker med kvartsmineralisering, dels utover sprekkeene selv, muligens som følge av hydrotermale prosesser knyttet til de nærliggende, permiske intrusivene i Oslofeltet.

Sandsteinene kan i seg selv ha lag rike på fossiler og over og under dem finnes tynnere og tykkere lag med skjellrike silt/slamsteiner. Hovedproblemene ved forvitring av bergartene, er at de skjellrike, mindre motstandsdyktige lagene underminerer de rigide og lite porøse, men fra geologiens side oppsprukke sandsteinene. Sandsteinene selv er svært sårbare overfor karbonatoppløsning, dvs. oppløsning av karbonatsementen mellom sandkornene, og også oppløsning av kalkskallfragmenter fra fossiler. Om det ikke hadde vært for at sandsteinene også er sementert med kvarts, som nå holder sammen de porøse og skjøre overflatene, så hadde sannsynligvis de fleste helleristningene for lengst vært borte, dog ikke der de noen svært få plasser har vært beskyttet med leire, som hindrer karbonatoppløsning. Generelt er kvartssementeringen den direkte årsaken til at flere felt har overraskende godt bevarte ristninger, tross det skjøre berget.

I tillegg til karbonatoppløsning, som bl.a. direkte fører til tap av detaljer i helleristningene, anses rotsprengning, kanskje med hjelp av frost, å ha vært den viktigste forvitrimmekanismen gjennom de omkring 7000 årene som har gått siden åkerholmene kom opp av fjorden etter istiden. Røttene har funnet vei gjennom sandsteinene i det betydelige, finmaskede nettverket av sprekker, skapt gjennom geologiske prosesser, men også gjennom de svake lagene under sandstein med helleristninger. Berget må allerede ha vært forvitret da bergkunsten ble laget for 2500-3000 år siden, trolig i hovedsak som følge av rotvekst og karbonatoppløsning.

Vegetasjonshistorien er ikke klarlagt. Det er imidlertid ikke umulig at bergskjærene i det tidligere myrlendte landskapet ble ryddet og beitet fram før eller i bronsealderen. Muligens må berget selv ha vært lett rensket før det kunne hogges bergkunst. Gjennom hundreårene fram mot moderne tid har beiting (og kanskje slått) trolig foregått nokså kontinuerlig, men til tider også i rykk og napp – inntil drenering på 1800-tallet og etter hvert etablering av store jordbruksarealer omkring åkerholmene. I de siste tiårene har det trolig foregått lite beiting og åkerholmene er svært utsatt for gjengroing. Det virker klart at om det ikke tidligere hadde foregått beiting i området, så hadde tilstanden til helleristningene i dag vært verre.

Vegetasjon og rotvekst må altså begrenses om en skal ha noe håp om å øke levetiden på helleristningene, med eller uten visning for publikum. Dette innebærer jevnlig rydding/slått og/eller beiting. I tillegg til (1) dagens bevaringsregime, i hovedsak semipermanent tildekning med fiberduk, steinpakninger og gummimatter, diskuteres risiko for skader og behov for vedlikehold innen scenarier som inkluderer (2) ingen bevaringstiltak, dvs. fjerning av matter og fri gjengroing, samt (3) økologisk bevaring, dvs. bruk av naturlige, helst stedegne materialer (silt/leire/torv) for permanent tildekning. I et utvidet økologisk scenario diskuteres muligheten for at ikke bare åkerholmene kan åpnes for beiting, men også deler av jordene omkring. Dette vil på sett og vis innebære å føre en liten del av området tilbake til tilstanden før etablering av det intensive jordbruket. Skal en åpne et utvalg felt for publikum, trengs det svært aktiv tilrettelegging og vedlikehold om en samtidig skal kunne bevare helleristningene på forsvarlig vis.

Innhold

Forord	3
Sammendrag	4
Innhold	5
1 Innledning.....	7
2 Geologi og landskap	8
3 Tre eksempler på stratigrafi og forvitring	15
3.1 Hoppestad 2: Oppløsning av karbonat og delvis silisifisering av sandstein	15
3.2 Ås 4: Svak, fossilrik slamstein som underminerer kvartssandstein.....	20
3.3 Hoppestad 1.3: Fossilrik, sandholdig kalkstein.....	25
3.4 Supplerende observasjoner av geologi og forvitring	28
3.5 Observasjoner knyttet til lim, mørtel og leire fra tidligere konservering.....	30
4 Supplerende analyser og tester.....	31
4.1 Mikroskopi av «frisk» og forvitret sandstein.....	31
4.2 Mikroskopi av silisifisert sandstein på Hoppestad 2	37
4.3 Dråpetest og vannopptak.....	39
5 Forvittringshastighet, risikovurdering og bevaring.....	41
Referanser	45



Figur 1: Hoppestad 2 og 3 – på åkerholmene i Gjerpensdalen



Figur 2: Ås 4 – et sterkt oppsprukket bergkunstfelt på åkerholme i Gjerpensdalen

1 Innledning

Denne rapporten omhandler bronsealderristningene som ble funnet på åkerholmer av stort sett svært skjør sandstein i Gjerpensdalen nord for Skien i 2003 (Vogt 2006). De dels kraftig forvitrede, men også dels godt bevarte ristningene ble suksessivt frilagt for torv og har gjennom årene vært gjenstand for omfattende dokumentasjon. Allerede i 2004 ble det første bevaringsforslaget som innebar konservering og tildekning foreslått (Ernfridsson 2004). Dette forslaget ble videreutviklet på grunnlag av ytterligere studier og en detaljert plan ble fremlagt i 2006 (Ernfridsson og Strömer 2006).

I 2009 ble det omfattende bevaringsarbeidet realisert. Vegetasjon, røtter og jord ble fjernet, løse biter ble festet med lim og mørtel, og fiberduk ble plassert over de konserverte feltene. Duken ble holdt på plass av nett med grov pukkstein og over disse ble det lagt kraftig, svart gummiduk (EPDM-gummi) som igjen ble holdt på plass med sandsekker. Slik har man fått en semi-permanent tildekning som muliggjør inspeksjon og overvåkning. Ett felt (Nordbø) ble ikke tildekket og ett (Hoppespad 2) bare vintertildekket, uten bruk av pukkstein (Ernfridsson og Strömer 2009). Første inspeksjon ble utført i 2014 (Ernfridsson 2014), men det ble ikke utført vedlikehold.

Under inspeksjon 5 år senere, i 2019, kunne man slå fast at tildekningene utvilsomt hadde bevart helleristningene på en rimelig god måte og at det ikke hadde skjedd vesentlig ytterligere nedbrytning av berget. Men mange problemer ble også konstatert. Først og fremst har ikke den planlagte, årlige skjøtslingen av vegetasjon blitt gjennomført. Det har medført dels voldsom utvikling av buskas omkring feltene. Tildekning som kun var ment for vinteren var blitt «permanent» og naturlig nok i ikke helt god stand. Dessuten kunne det fastslås vanlige problemer med tildekning; alt fra fin rotvekst under duken og herjinger fra smågnagere, til lettere nedbrytning av tildekningsmaterialene, ikke minst delvis ødeleggelse av nettene som holder de store mengdene med pukkstein på plass (Ernfridsson m.fl. 2019). Egne observasjoner i 2021-22 bekrefter disse funnene. Det er vanskelig å projisere erfaringene fra de siste drøye 10 årene inn i fremtiden, men selv om gummidukene er meget holdbare, med typisk forventet levetid på mer enn 50 år for slike materialer, kan de ikke vare evig. Dessuten vil det oppstå mikroplast etter hvert som nedbrytningen av materialene skrider fram.

Uten aktiv skjøtsling kan en ikke unngå problemer når det innføres tildekningsløsninger basert på syntetiske materialer. Og at skjøtsling er vanskelig å planlegge og organisere viser til fulle erfaringene gjennom de siste drøye 10 årene. Dette har nok bl.a. å gjøre med at skjøtsling av ristninger som ligger midt i et stort, aktivt jordbrukslandskap og som knapt er ment å skulle ses av publikum, fort kommer langt ned på offentlige prioriteringslister. Derfor må en spørre seg om hva annet en kan gjøre for å bevare de skjøre helleristningene i fremtiden. I utgangspunktet står det nok mellom to muligheter: Enten å åpne opp og tilrettelegge i alle fall en del av ristningene på en spennende måte for publikum og slik satse på at oppmerksomheten også gir grobunn for ressurser til aktivt og godt vedlikehold. Eller, om dette oppleves som for risikabelt, kan en dekke til ristningene permanent med naturlige materialer som ikke trenger veldig jevnlig vedlikehold; det vil i praksis si å føre dem tilbake til omtrent slik tilstanden var før torva ble fjernet fra 2003 av.

For en skal huske på at *mange av ristningene er godt bevart på tross av skjørt berg og forvitring*. Det kan en først og fremst «takke historien for» – altså det som har skjedd etter at ristningene ble hogd og før de ble funnet i 2003. Dessuten: Hvilke egenskaper har et berg som er svært skjørt – og som likevel er basisen for at ristninger kan være i god stand etter mer enn 2500 år? Dette er altså temaene i denne rapporten; *geologien og landskapshistorien som grunnlag for å forstå forvitring og bevaringstilstand, og for å diskutere fordeler og ulemper med ulike bevaringstiltak*.

Rapporten er basert på to dager med feltobservasjoner i 2021, fire dager med case-studier av tre utvalgte felt i 2022, analyser av berget (mikroskopi oa.) og tilgjengelig litteratur.



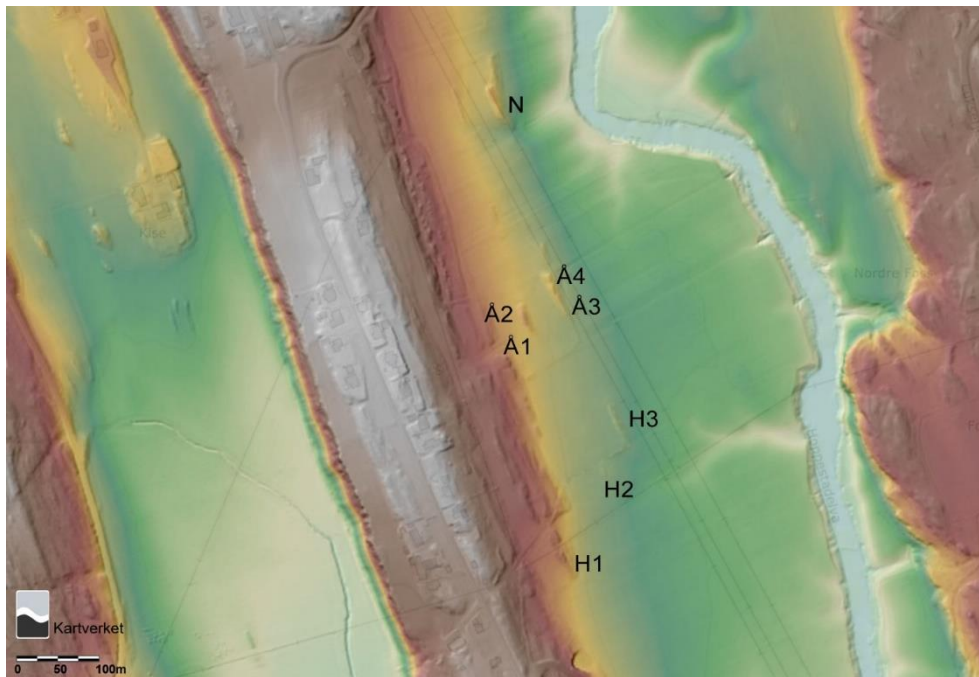
Figur 3: Gjerpensdalen med sine åsrygger og jordbruksområder mellom. Rød sirkel: Bergkunstfeltene. Fra norgebilder.no

2 Geologi og landskap

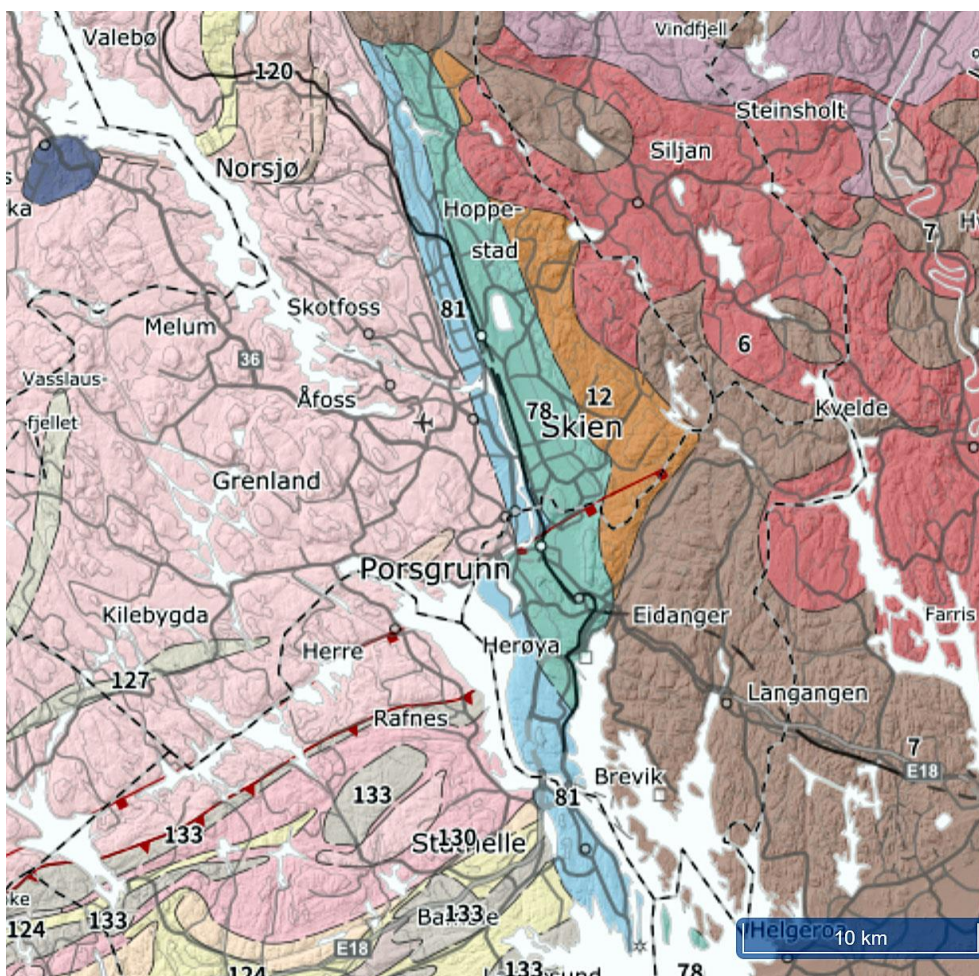
Helleristningene i Gjerpensdalen ligger som perler på en snor langs et 500 m langt strekk på åkerholmene nord for Hoppestad. Det er tre hovedlokaliteter, Hoppestad, Ås og Nordbø, som igjen er delt inn i enkelte felt (f.eks. Ås 1, 2, 3 og 4) (navnsetting, se Askeladden/Kulturminnesøk). Her er en i et uvanlig og karakteristisk landskap, med langsgående, lave rygger orientert omtrent nord-sør, stykket opp av små elvedaler – et ca. 3 km bredt belte inneklemt mellom åser og skogområder i øst og vest. Som i eldre tider er ryggene i dag preget av bosetting, mens dalsøkkene nå fremstår som intensivt drevne jordbruksområder. Årsaken til den spesielle topografien er å finne i den sære geologien. Ryggene og elvedalene tilhører den sedimentære, kambro-siluriske lagrekken i Oslofeltet, mens grunnfjellet hever seg i vest og Oslofeltets permiske, vulkanske/magmatiske bergarter utgjør åsene i øst (se bl.a. Bering og Olsen 1978).

Den sedimentære rekken inneholder vekslende lag med kalkstein, knollekalk, leirskifer og sandstein, og er tiltet. Lagene har et fall på 20-30 grader mot øst; det betyr at helleristningene naturlig er hogd på slike flater. Det er de fastere lagene, gjerne kalkstein, som utgjør ryggene i landskapet, mens lag som er mindre motstandsdyktige overfor forvitring og erosjon, gjerne sandstein og leirskifer, har gitt opphav til dalsøkkene. Lagrekken gjennomsettes av forkastninger og sprekker fra ulike tektoniske prosesser. I tillegg har Oslofeltets bergarter gitt et bidrag til geologi og topografi, både som tynne ganger som her og der gjennomsetter lagpakken og ved hjelp av kontaktmetamorfose i lagene som ligger nærmest intrusjonene i øst. Dette har også betydning for helleristninger i skiensområdet: Observasjoner tyder på at ristningene på Fossum, 2-3 km sør for Hoppestad er hogd på en gangbergart, mens bergkunsten på Løberghaugen øst for Skien sentrum befinner seg på hard hornfels, en kontaktmetamorf sandstein. Nord for Hoppestad er de sedimentære lagene også preget av kontaktmetamorfose (Rønning 1979) – og selv om omvandling ikke er umiddelbart synlig på berget foreliggende rapport omhandler, så må en ta et visst hensyn til den for å forstå bergets egenskaper.

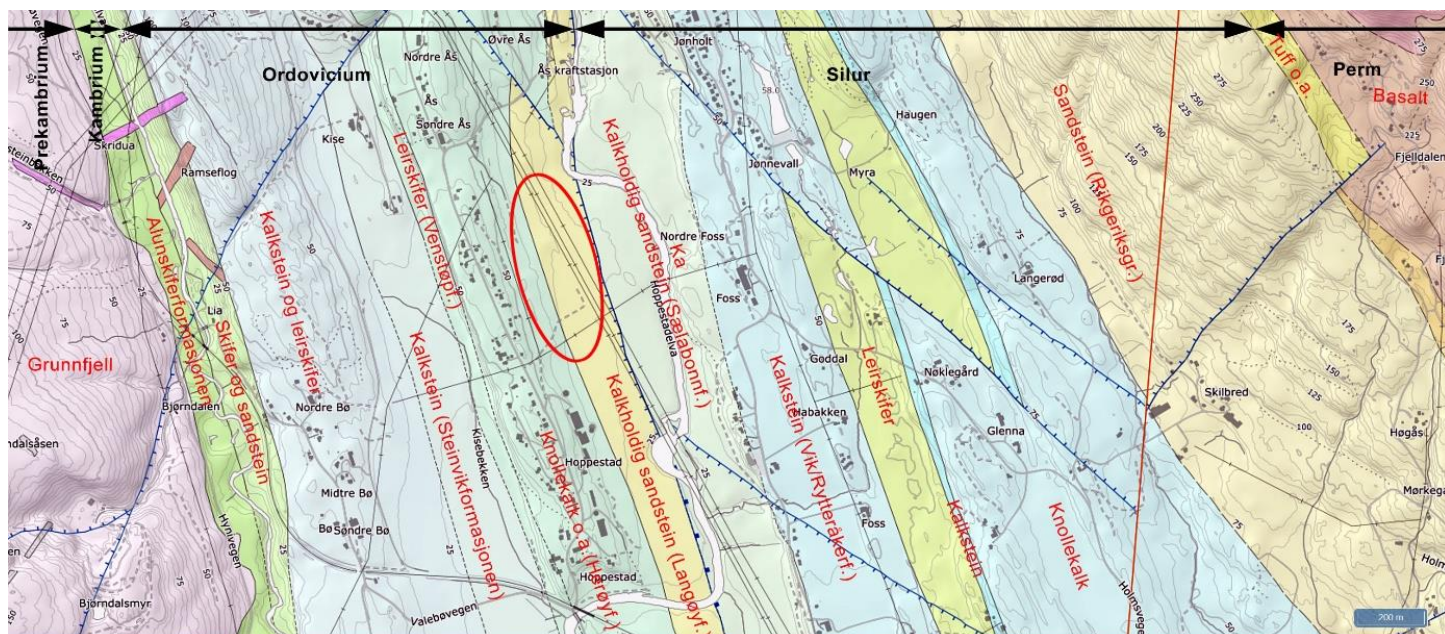
Berget på åkerholmene med helleristninger ble dannet i et grunthav i overgangen mellom ordovicium og silur, for ca. 440 millioner år siden. Geologisk blir formasjonene kalt Langøya- og Herøyformasjonene og i overgangen mellom dem er det raskt vekslende finkornet sandstein og leirstein/slamstein med mange fossiler. Mens sandstein er karakteristisk for førstnevnte, er det mer kalk i sistnevnte (bredere presentasjon av geologien i Rønning 1979 og Owen m.fl. 2006). Detaljer i geologien på selve bergkunstfeltene, inklusive spørsmålet om kontaktmetamorfose kan ha påvirket berget, blir presentert i case-studier og ved analyser av bergets egenskaper i kap. 3.



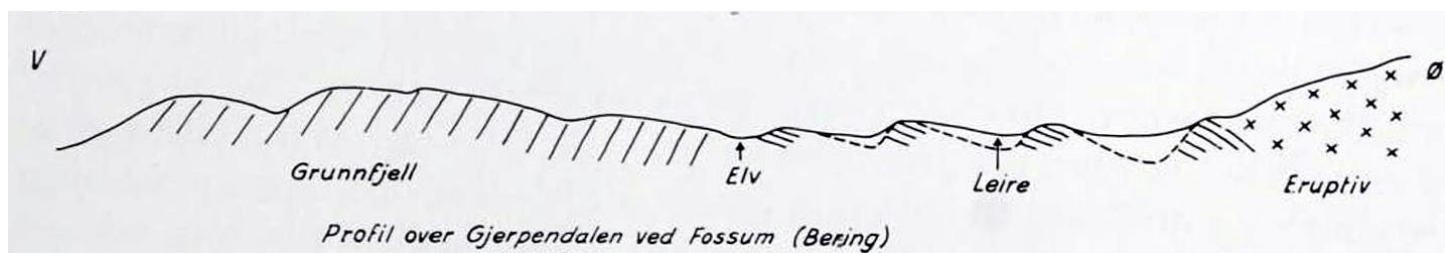
Figur 4: Høydemodell fra hoydedata.no, med bergkunstfeltene. H=Hoppestad, Å=Ås, N= Nordbø



Figur 5: Geologisk oversiktskart. Blått og grønt markerer den sedimentære lagrekken fra kambrosilur, til høyre er de intrusive bergartene i Oslofeltet, til venstre det gamle grunnfjellet. Fra ngu.no



Figur 6: Over: Detaljert geologisk kart over Gjerpendalen nær bergkunstfeltene (rød ring). Formasjonsnavn og alder er markert på toppen. Under: Høydemodell som ved sammenligning antyder hvilke bergarter som danner rygger (ofte kalkstein) og forsenkninger (ofte sandstein og leirstein). Bearbeidet fra ngu.no og hoydedata.no



Figur 7: Forenklet geologisk profil over Gjerpendalen, fra Christensen (1971). Viktig for forståelse av helleristningenes plassering er hvordan de sedimentære lagene er tiltet, slik at de faller slakt mot øst – det er på slike østvendte flater de fleste ristninger i området er hogd.



Figur 8: Tre helleristningsfelt i Gjerpen, fra toppen: Fossum med sine sirkler er trolig hogd på en vulkansk gangbergart (syenittisk?). Løberghaugen med sine skip ligger på en hard, kontaktmetamorf sandstein, mens Ås 2 ved Hoppestad er hogd i kvarts- og karbonatbundet, finkornet sandstein.

Gjennom istidene i kvartær (de siste 2,6 millioner år) ble berggrunnen erodert til dagens former bl.a. ut fra hvor motstandsdyktig berget er overfor erosjon. I det lille finner vi formene igjen på bergkunstlokalitetene i Gjerpensdalen. Først og fremst er åkerskjærene selv vitne om hvordan isen har skurt helt lokalt, hovedsakelig fra nord mot sør; skjærene kan geologisk sett være en tanke mer motstandsdyktige mot erosjon enn berggrunnen i de umiddelbare omgivelser og derfor hever de seg svakt ute på åkeren. Flere av skjærene har dels godt bevarte glasiale overflater, spesielt i nedre deler, ikke minst Hoppestad 2 som delvis har vært dekket med leire, men ikke utelukkende her – også på «toppene» kan en finne isskuringsstriper, dog noe forvitret. De best bevarte «istidsoverflatene», som på Hoppestad 2 og Ås 2, har flotte mikrolandskap med spylerenner og små, grunne jettegryter skapt av sterke vannstrømmer fylt med sedimenter under isen.

Åkerskjærene befinner seg fra 33 (Hoppestad 2) til 40 (Nordbø) moh. Det vil si at de ut fra kunnskap om landhevning og strandlinjeforskyvning (Sørensen m.fl. 2014) steg opp av fjorden for mellom 7500 og 6500 år siden. Da hadde fjorden etterlatt seg den siltholdige leiren som preger jordbrukslandskapet i dag. På toppen og langs kantene av de høyere ryggene i landskapet etterlot isen seg et tynt morenedekke. Om en regner med at helleristningene ble laget i yngre bronsealder (ca. 800-500 f.Kr.) (Vogt 2006), betyr dette at berget hadde vært eksponert for atmosfæriske forhold i mer enn 3000 år før det ble tatt i bruk. Da lå fjordkanten omtrent nede ved Børsesjøen og Skien, med en lang tarm som strakk seg oppover langs Bøelva.

Vi kjenner ikke godt til den lokale landskapshistorien i dette lange tidsrommet. Men vi må anta at det raskt utviklet seg myrområder som ble svakt, naturlig drenert mot den unge Hoppestadelva. Siden klimaet ikke var særlig annerledes enn i dag vil det ha oppstått vegetasjon i hele området. Og da er det interessant å spekulere på hvordan åkerskjærene faktisk så ut før helleristningene ble laget. Var de bare, frie for lav, mose, gress og buskas? Eller måtte man fjerne vegetasjon før man hogde figurene? Dette er viktig, for det dreier seg om i hvor lang tid berget har vært utsatt for rotsprengning og biogeokjemisk forvitring – de forvitrimekanismene som utvilsomt har vært de viktigste også i den senere tid.

Vi kan knapt få svar på disse spørsmålene uten på helt generelt grunnlag. De nærmeste pollenanalysene i skiensområdet (bl.a. på Storemyr ved Løberg, se Høeg 1989, se også Groseth 2001) viser utbredte skogområder før bronsealderen og innføring av jordbruk og husdyrhold i perioden fra ca. 1700 f.Kr. Det er ikke funnet steinalder- eller bronsealderbosetning i umiddelbar nærhet av helleristningene på Hoppestad, men en kan spekulere i at små jordbruksteiger kan ha vært etablert på den lettdrevne jorda langs ryggene i landskapet, mens lavere myrområder kan ha vært beiteområder. En tilsvarende inndeling av bronsealderlandskapet finner en i Østfold, der helleristningene i hovedsak befinner seg i de lavereliggende beiteområdene. Nyere forskning viser at det her og i Bohuslän er en sammenheng mellom produksjon av helleristninger i tusentall, rydding av store områder til beite og et ekstensivt husdyrhold (Vogt 2006). Dette vil altså si at beiting kan ha foregått omkring helleristningsbergene på Hoppestad også i tiden før ristningene ble laget. Det vil igjen si at området kan ha vært nokså tettvokst gjennom steinalderen. Kanskje det var beiting som åpnet landskapet såpass at de lave bergskjærene kom riktig fram i dagen og ble attraktive for hogging av helleristninger?

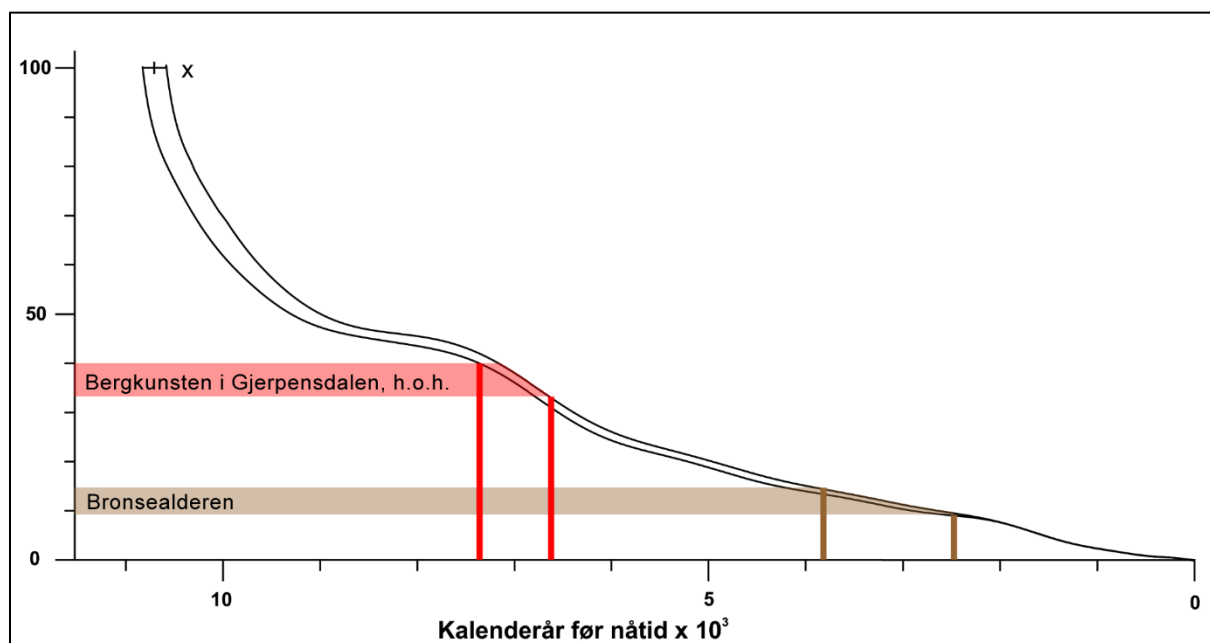
En må vel regne med at marka her ble benyttet til beiting også gjennom jernalderen. De nåværende gårdene ved Hoppestad og Ås skal ha blitt etablert omkring yngre jernalder (Christensen 1971), men det er usikkert når de store, fuktige leirslettene ble tatt i bruk til annet enn beiting og utmarksslått; kanskje det ikke var før langt inn i etterreformatorisk tid. Drenering ved hjelp av grøfting tok generelt til i området på 1700-tallet (Christensen 1978), men ifølge grunneier Marit Nordhov ble ikke de aktuelle jordene grøftet før på 1800-tallet. Tidlige kart er for grove til å kunne gi opplysninger om områdets beskaffenhet fra denne tiden, men flybilder fra 1937 viser at åkerholmene da var noe

åpnere enn senere – og at de da lå i den samme type store åkre som i dag. I dag foregår det lite beiting på jordene/åkerholmene, men i perioder går det fortsatt kyr her.

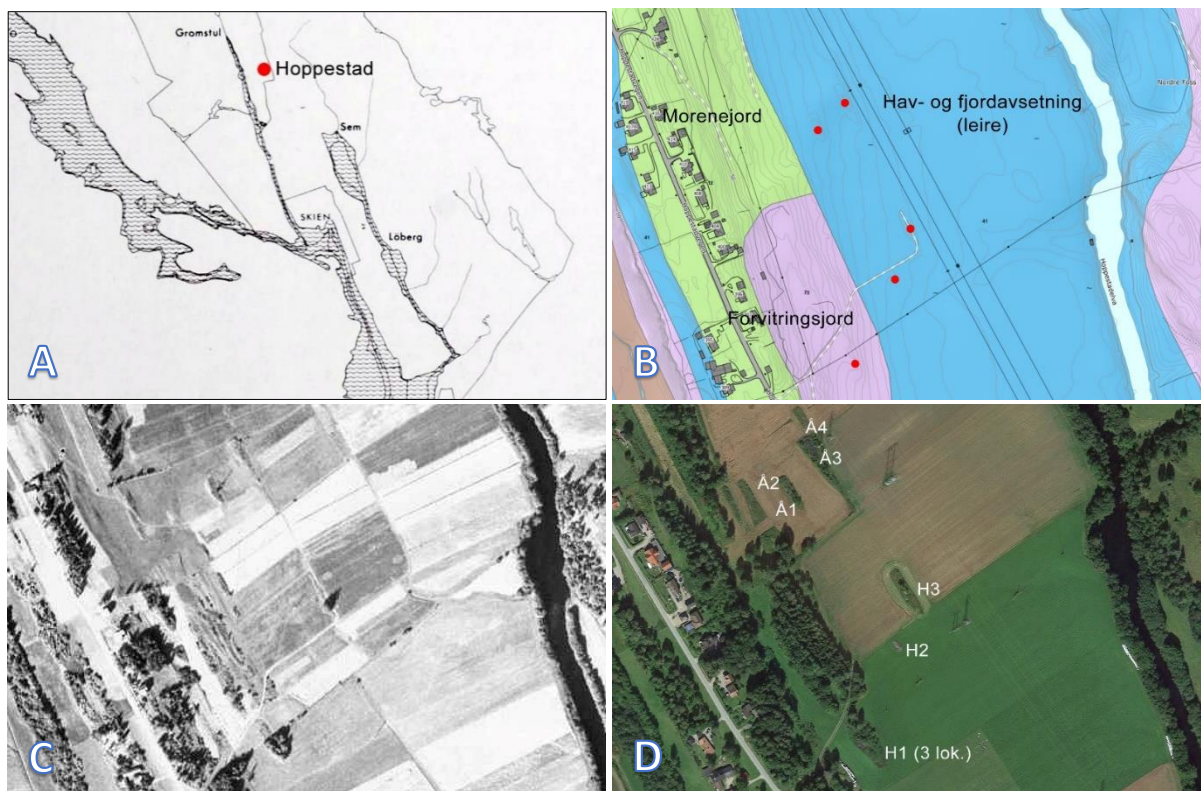
Det vil ganske sikkert ha vært perioder, mellom helleristningens tilblivelse i yngre bronsealder og frem til i dag, da åkerholmene har vært bra bevokst, men generelt kan en nok regne med at beiting og slått har holdt dem ganske åpne over lengre tidsrom. Det kan bety at en vil ha hatt en «rykkvis» nedbrytning av berget på grunn av biologiske faktorer – et mønster som fikk sitt først «rykk» lenge før bergkunsten ble hogd. Men det er godt mulig at beiting og slått har begrenset antall «rykk» slik at berget ikke har blitt helt ødelagt av først og fremst rotsprengning.



Figur 9: Godt bevarte spylerenner fra istiden, med «vannlandskap» (Hoppestad 2)



Figur 10: Starndforskyvningskurve for området Vestfold-Nedre Telemark, med inntegnet på hvilken høyde bergkunsten i Gjerpendalen er plassert, samt angivelse av varigheten av bronsealderen. Fra Sørensen m.fl. 2014.



Figur 11: A: omtrentlig utbredelse av fjorden i bronsealderen (fra Christensen 1971). B: utsnitt av NGUs løsmassekart for Gjerpensdalen (bergkunstfeltene med røde prikker). C: jordbrukslandskapet ved helleristningene i 1937 – og, D: i dag (flyfoto fra norgebilder.no/finn.no)



Figur 12: Rotvekst er en sentral trussel mot bergkunsten. Røttene finner seg vei i det eksisterende sprekkemønsteret i berget og utvider sprekken. Her fra Hoppestad 1.

3 Tre eksempler på stratigrafi og forvitring

Som nevnt er alle feltene (unntatt Nordbø) i dag tildekket med matter. Da det medfører betydelig arbeid å midlertidig fjerne mattene, ble tre felter valgt ut for inngående case-studier på bakgrunn av hva man tidligere har visst om ulike stratigrafi og forvittringsfenomener. Således ble Ås 4 valgt som representativt for ekstrem oppsprekking og løsning av små steinblokker langs sprekker og svake sedimentære lag. Hoppestad 2 ble valgt som laveste felt med godt bevart berg i de nedre deler, mens Hoppestad 1 ble trukket frem fordi berget her er mer kalkholdig enn de øvrige, som først og fremst har sandstein. I tillegg ble det gjort observasjoner på bl.a. Ås 2 og Nordbø.

3.1 Hoppestad 2: Oppløsning av karbonat og delvis silisifisering av sandstein

Feltet ligger på isskurt berg med fine spylerenner og domineres av fire skip og menneskefigurer. Spredt over det lave åkerskjæret er det hogd flere hundre skålgroper i den svært finkornede, velsorterte kvartssandsteinen. Det spesielle fra et geologisk synspunkt er at sandsteinen er utviklet som tynne lag, ofte bare noen få cm tykke, skilt av enda tynnere lag med en tilsvarende sandstein som imidlertid har mengder av *avtrykk* fra skjell og andre fossiler (det er i rapporten ikke gjort forsøk på å bestemme fossiltyper).

Det viser seg at de fleste fossiler/skjell, så vel som karbonatsement mellom sandsteinskornene, er løst opp i overflaten av berget og tilsynelatende til opptil flere cm dyp. Dette gjelder også karbonatsementen i sandsteinen med helleristningene. Totalt sett er det altså oppløsning av karbonat som dominerer, men siden de mellomliggende lagene, på grunn av mer karbonat, er blitt mye mer porøse og skjørere enn sandsteinen med helleristningene, så virker disse underminerende, dvs. at de ved fysiske belastninger (f.eks. tråkk, rotvekst) bidrar til at overliggende sandstein fort går i stykker.



Figur 13: Hoppestad 2 ved arbeide med avtorving i 2005. Detaljstudier viser at en visuelt ikke kan se noen særlige forandringer i forvitringen av feltet i dag. Foto: Kjell-Henrik Semb



Figur 14: Skisse av stratigrafien på Hoppestad 2. De grønne feltene viser svært finkornet kvartssandstein med mange avtrykk av fossiler (f.eks. skjell/karbonatskall). Her er karbonaten fullstendig løst opp i overflaten og langt innover i berget, og vi ser at lagene effektivt underminerer den mellomliggende, finkornede sandsteinen, der også karbonatsementen er løst opp. Men siden det i disse lagene ikke er mange fossiler, så fremstår de mer «solide». Det er imidlertid ofte gradvise overganger mellom de ulike lagene. Legg merke til hvordan et «solid» lag er brukket opp over et oppløst, fossilrikt lag i forkant på bildet. Her har det vært tråkk (eller landbruksmaskiner?). Merk også at de ulike lagene ofte «tynner ut». Dette er fordi de ble avsatt i flate lommer/forsenkninger i grunt vann. Den røde linjen viser en av tverrsprekkene fylt med kvarts, del av en helt lokal, svak silisifisering av berget. Pilene viser skipsristningene og ett av de mange områdene med skålgroper.

Med denne kraftige oppløsningen av karbonat, fremstår det som nærmest underlig at de hullete overflatene på sandsteinen og helleristningene er såpass godt bevart. Dette skyldes at sandsteinen ikke bare er sementert med karbonat, men også med kvarts (se kap. 4), og også at det kan ha skjedd en ytterligere, svak, delvis silisifisering som har forsterket eller konsolidert sandsteinen helt lokalt. Silisifisering betyr at silikarike løsninger, som gjennom den geologiske historien har sirkulert i berget, har gitt avsetning av sekundær kvarts i porerom og sprekker, altså i tillegg til den diagenetiske kvartssementeringen (for en oversikt, se <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/silicification>). Dette kan skje på mange måter; i dette tilfellet muligens fra hydrotermale prosesser, kanskje fra tiden da Den kaledonske fjellkjede ble dannet (ca. 400 mil. år siden) eller fra den nærliggende vulkanismen og tilhørende kontaktmetamorfosen i perm (300-250 mill. år siden).

De viktigste tegnene på helt lokal silisifisering ser en i tynne tverrsprekker som gjennomsetter berget, også helt inntil helleristningene. Disse sprekke er dels fylt med sekundær kvarts. Av forvitringen omkring ser en at de silikarike løsningene har forsterket sandsteinen, men mindre og mindre med økende avstand fra sprekke. Det er ikke mulig å i polarisasjonsmikroskop se gjennomsettende silisifisering av hele berget (kap. 4), så selv om det utvilsomt har foregått silisifisering, er denne kun delvis og knyttet til sprekker. Det er med andre ord kvartssementen som i første rekke har kittet sandsteinen såpass bra sammen at den «holder» selv om all karbonatsement er løst opp. Berget pulveriserer i liten grad – der det står med et «skjelett» av sandsteinskorn omkring oppløst karbonat.



Figur 15: Detaljer fra Hoppestad 2. De «knudrete» delene av berget har mange avtrykk av fossiler, dvs. at kalkskallene er løst opp av (surt) vann, men omrisset står igjen.



Figur 16: Detaljer fra Hoppestad 2. Knudrete sandsteinslag med oppløst karbonat og til høyre godt bevarte hoggespor i helleristningene, men med tydelig karbonatoppløsning som skaper porer og blir som «en del» av hoggesporene.



Figur 17: Hoppestad 2: Sprekk fylt med kvarts til venstre og tilsvarende til høyre, men her med silisifisering («kvartsforsterkning») innover i den her temmelig fossilrike sandsteinen. Merk at denne dannelsen av kvarts er helt lokal og ikke gjennomsettende i berget.



Figur 18: Nederste del av Hoppestad 2 har lagt under leire i kanten av jordet og er eksepsjonelt godt bevart i overflaten, men en kan se at biter har løsnet langs sprekker.

Da er det viktig å forstå hva som kan ha ført til den svært sterke oppløsningen av nettopp karbonat. Mistanken kan naturlig rettes mot det myrlendte landskapet som sannsynligvis en gang fantes omkring åkerholmene, og i så måte mest rundt denne laveste av holmene, der det vil ha vært mest surt myrvann. Dette er sannsynligvis også tilfelle, men det er viktig å legge merke til at det har skjedd svært lite oppløsning i lag som inntil nylig har vært dekket av leire, nederst på feltet. Disse sandsteinslagene er overmåte godt bevart, med helt skarpe isskulingsstriper. Grunnen vil nok være at leiren inneholder et overskudd med karbonatmineraler som lokalt har bufret det sure myrvannet, slik at det ikke har virket særlig aggressivt mot karbonatmineralene i sandsteinen. (Denne hypotesen bør testes ved å analysere leiren.)

Dette vil si at myrjorden, i den grad den tidligere har lagt oppå åkerholmen, kun har gjort stor skade der det ikke er leire tilstede. Det vil igjen si at det er mer normale biogeokjemiske prosesser, med svakt surt vann, ikke minst med bidrag fra lav, mose og andre planter, som kan holdes ansvarlig for oppløsningen av karbonat høyere oppe (evt. smått forsterket eller redusert ved all den gjødsling som de store åkrene har vært utsatt for, avhengig av omfanget av kalking). I tillegg kommer muligheten for at sandsteinen selv kan ha gitt et bidrag til oppløsning. Det finnes nokså mange ertskorn i steinen, hvorav en del sannsynligvis er svovelkis. Selv om det ikke er entydig i dette tilfellet, kan svovelkisen oksidere og skape bl.a. jernhydroksider og svovelsyre, som kan gi oppløsning av karbonat (og grobunn for gipsdannelse når det ikke er så fuktig som her, se bl.a. Storemyr 1997).

Siden feltet har vært tildekket med tykke matter siden det ble avtorvet, har man ingen erfaring med hvordan frost kan virke inn på forvitringen. Det er imidlertid lite som tyder på at frost har hatt spesielt stor innvirkning på de høyeste deler av feltet, der torvlaget før avdekning var tynnast. Dette kan forklares ved at selv det tynneste torvlag beskytter litt, men også ved at sandsteinen i overflaten er såpass porøs fra oppløsning av karbonat at dannelse av iskrystaller vil ha et visst rom å utfolde seg

på før de bidrar til sprengning. Dypere frost, f.eks. dannelsen av islinser knyttet til sprekker, kan naturligvis gi skader, og her er det viktig å legge til at uten oppløsning av karbonat, så er sandsteinen lite porøs og med langsomt vannoppsug, dvs. at frysende vann i sprekker ikke lett kan unnsnippe i poresystemet (se analyser og tester i kap. 4). Men konsekvenser av slike fenomener er i ettertid nær umulig å skille fra virkningen av rotvekst. Det må observeres i sanntid. (For diskusjon av ulike frostforvittringsfenomener på helleristninger, se bl.a. Storemyr 2013).

*

Bl.a. på grunn av vanskelighetene med å bedømme virkningene av frost, oppleves det som risikabelt å skulle holde et felt som Hoppestad 2 åpent og godt vedlikeholdt for publikum. Vintertildekning oppleves likeledes risikabelt, da feltet på grunn av undermineringsfenomenene er sårbart overfor mekanisk påvirkning (bl.a. uunngåelige skader fra «å dra av og på matter»).

Så selv om selve helleristningene slett ikke er dårlig bevart nå, virker det tryggest for bevaring i et «evighetsperspektiv» (etter grundig dokumentasjon med de nyeste metoder) å dekke det til permanent med naturlige materialer. Bruk av (fra bunn til topp) fin, tørr silt i et tynt lag for å fylle hulrom og sprekker, leire/silt og torv kan i dette tilfellet være en mulighet, siden åkerholmen er såpass flat (materialene vil ikke lett skli). Silt og leire bør dessuten tilsettes kalk for å bufre pH. For best resultat må holmen jevnlig slås (eller beites) for å holde vegetasjon og rotsprengning i sjakk. Ut fra erfaringene med vedlikehold de siste ti årene (se kap. 1), vil nok dette være den mest kritiske delen av et slikt bevaringsforslag. Om holmen ikke slås, så vil metoden likevel, ut fra gjennomgangen av landskapshistorien i kap. 2, trolig sikre at det ikke blir særlig verre forvitring enn det har vært gjennom de siste mange tusen år.



Figur 19: Den sentrale delen av Hoppestad 2, med godt bevarte skipsristninger på et relativt homogent sandsteinslag og med knudrete, oppløste skjellrike lag ved siden av, som delvis underminerer de gode lagene. Merk at flere av skålgropene er hogd på de dårlige lagene.



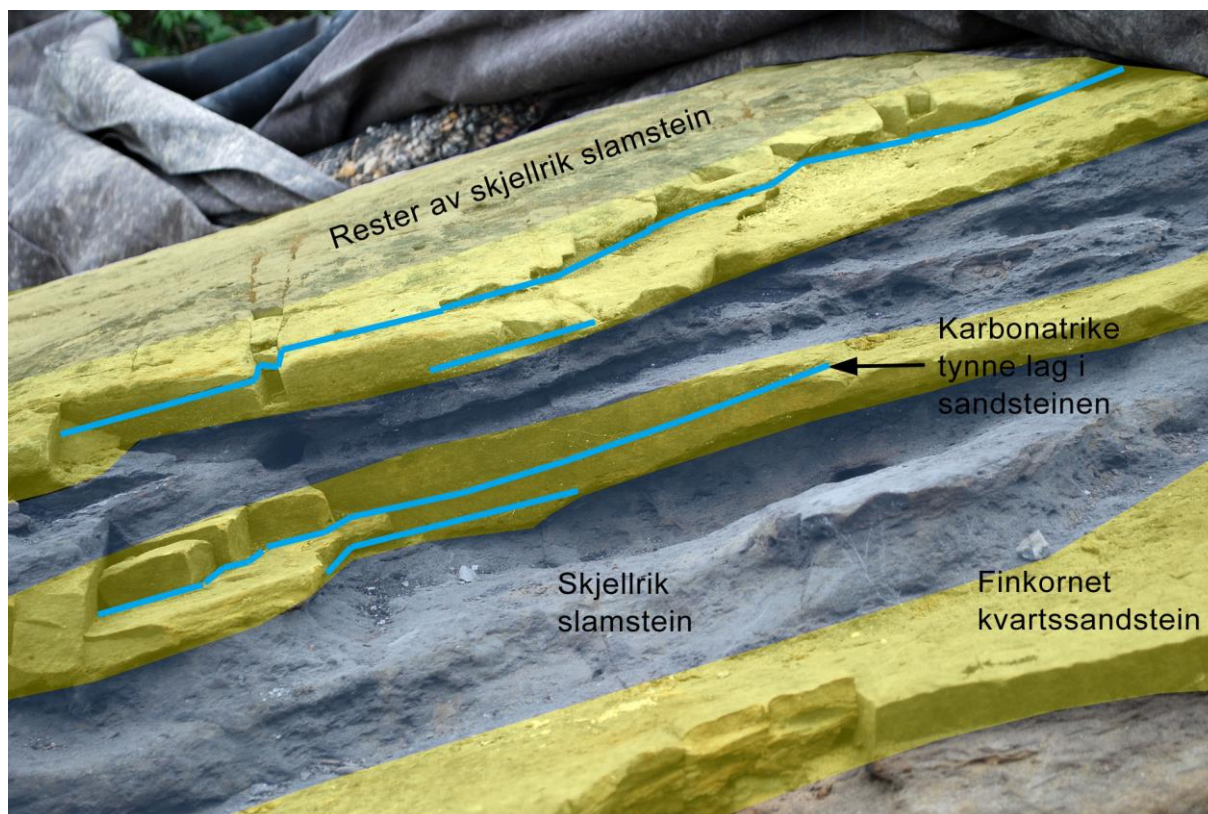
Figur 20: Ås 4 etter at deler av feltet var frilagt og etter «opprydding» og konservering, bl.a. med lim og mørtel. Vi aner skipsristinger og rekker av skålgroper. Fotos fra Ernfridsson 2004 (innfelt) og 2009.

3.2 Ås 4: Svak, fossilrik slamstein som underminerer kvartssandstein

Selv om forvitringen på Ås 4 i prinsippet kan forklares på lignende måter som på Hoppestad 2, så er den i utseende svært ulik. Her blir vi konfrontert med massiv oppsprekking av den finkornede kvartssandsteinen, med nærmest en haug med «brostein», små rektangulære, nær kubiske blokker som resultat. Her er det spesielt to fenomener som må forklares: 1) Hvorfor sprekker sandsteinen opp et så utpreget, rektangulært mønster, og 2) hvordan løsner den fra underlaget?

Det andre spørsmålet er lett å forklare, og tilsvarende forvitringen på Hoppestad 2: Berget på Ås 4 er også preget av ulike, raskt vekslende sedimentære lag. De mest «solide» (og de som sprekker mest opp) har svært finkornet kvartssandstein. Disse lagene har tykkelse på 10 cm eller mer og kan ha tynne, karbonatrike lag inkorporert. Innimellom finner vi en skjellrik slamstein, altså en finkornet siltstein med mange fossiler, med ofte omtrent samme tykkelse som sandsteinen. Denne slamsteinen er svært lite fast og med oppløsning av karbonat og annen forvitring har den en sterk tendens til å pulverisere og underminere sandsteinen, spesielt langs kantene av helleristningsberget.

Det svært utpregede sprekkemønsteret i sandsteinen er vanskeligere å skjønne, der det kommer i to retninger, omtrent N-S og Ø-V, med en ytterligere, men svakere utviklet retning omtrent VNV-ØSØ. Her får en nøye seg med å nevne at årsakene vil være forbundet med at den tiltede sedimentpakken har vært utsatt for store tektoniske krefter i minst to omganger (Den kaledonske fjellkjedefoldingen og Osloriftens nære påvirkning i perm). Det er også verd å merke seg at sandsteinslagene, der de ikke har oppløst karbonatsement, er svært tette/lite porøse, tunge og «rigide», dvs. temmelig sprø, noe en kan fornemme ved at steinen nærmest splintrer når den hogges, med bare minimal pulverisering.



Figur 21: Skisse av stratigrafien på en del av Ås 4. Merk at også karbonatrike, tynne lag i sandsteinen også bidrar til oppsprekking, i tillegg til de skjellrike slamlagene. Helt på toppen er det tynne rester etter et skjellrikt slamlag..



Figur 22: Typisk utseende på overflaten av skjellrike slamlag (overflate som inntil nylig har vært dekket av sandstein), Ås 4.



Figur 23: Ås 4 – med et meget regelmessig oppsprekkingsmønster i de rigide, harde sandsteinslagene. Merk hvordan de mykere, skjellrike slamlagene ikke har slik oppsprekking; de er både løse/myke og «seige» på en gang.

Den regelmessige oppsprekningen og hardheten på sandsteinen gjør at en ikke kan unngå å tenke på lignende oppsprekkingsmønstre, både rektangulære og heksagonale, som er beskrevet fra silisifiserte sandsteiner påvirket av magmatiske intrusjoner over hele verden. Fenomenet er allerede nevnt i en av stratigrafiens klassikere, Grabaus «Principles of Stratigraphy» (1913). Her bør det også nevnes at den kontaktmetamorfe sandsteinen på Løberghaugens helleristninger også har et tilsvarende, rektangulært sprekkemønster.

Men en finner *ingen tegn til silisifisering av sandsteinen på Ås 4* ved analyser i polarisasjonsmikroskop (kap. 4), selv om en også her ser at diagnetisk kvarts utgjør en betydelig del av sementen i porerommene og har kittet sandsteinskornene godt sammen. Det spiller imidlertid kanskje ikke så stor rolle hva årsakene er; det som er viktigere i denne konteksten er at sprekkemønsteret vil ha lagt svært godt til rette for rotsprengning, kanskje kombinert med frost (men det er uvisst, som diskutert i kap. 3.1). Vi har ikke tilgjengelige bilder fra selve frileggingen av Ås 4, men bilder fra Hoppestad 1 viser hvordan røtter naturlig nok er konsentrert i nokså tilsvarende sprekkesystemer. Også i fremtiden vil det altså være av stor betydning å holde rotveksten under kontroll her.

Hver av de løse og halvløse sandsteinsblokkene er preget av oppløsning av karbonatsementen i en sone på 1-2 cm fra de gjennomsettende sprekkene, altså der vann/fukt lettest har kommet til. Der det er soner med mer karbonat, er oppløsningen mer intens og den resulterende porøsiteten gjør at



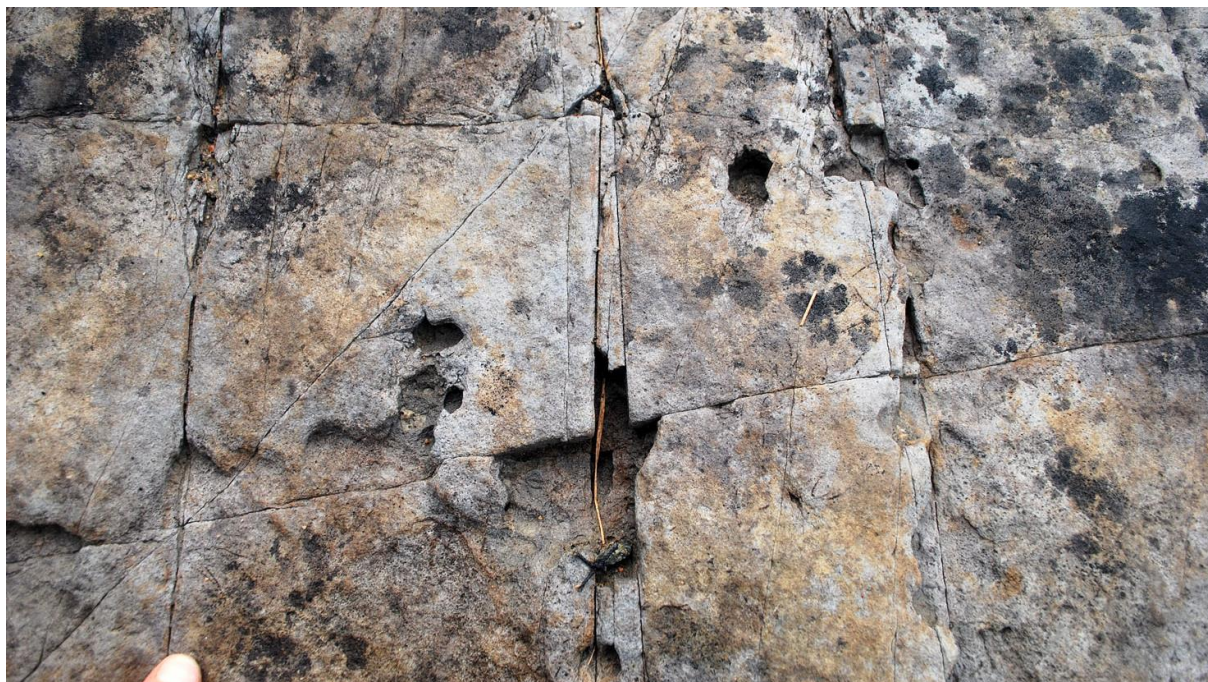
Figur 24: Polygonal oppsprekking av silisifisert sandstein pga. vulkanisme i Egypts vestørken. Her er formene omtrent som basaltsøyler.

blokker også kan løsne fra underlaget langs slike plan. Oppløsningen er fulgt av brunfarging, sannsynligvis et resultat av utfelling av jernhydroksid.

Selve helleristningene er for øvrig ikke hogd i de aller hardeste delene av sandsteinen, men i rester av overgangslag mot den skjellrike slamsteinen, slik det er bevart på overflaten av åkerholmen. Overflaten av holmen er generelt rundet pga. isskuringen, men det er ikke bevart isskuringsstriper. Flere steder er det hull og groper som skyldes oppløsning av fossilrike deler av slamsteinen.



Figur 25: Ås 4, Løst blokk med forvittringsrand, dybde ca. 1-2 cm. Karbonaten er løst opp og det er utfelt bl.a. jernholdige mineraler (men noe av det brune er nok også «jord»). Merk laget i nedre kant av bildet med de litt større, blå krystallene. Dette er et svært karbonatrikt lag. Bredden på blokka er ca. 8 cm.



Figur 26: Tynt, skjellrikt sandsteins/slamlag på toppen av Ås 4, lag med flere helleristninger. En ser at skallfragmenter er løst opp og det er utviklet flak, bom og gjennomhulling, samt åpne sprekker som følger mønsteret i den underliggende, renere sandsteinen

Flere hoggespor fra helleristningene følger sprekkene i berget. Både her og generelt er det slående at enkelte hoggespor faktisk er nokså godt bevarte – og bedre enn i mange andre forvitrede helleristningsfelter på ulike steintyper i Norge. Så selv om forvitringene generelt oppleves som ekstrem på Ås 4, er dette først og fremst et resultat av oppsprekking, underminering og karbonatoppløsning – ikke av at de enkelte hoggespor i helleristningene er så sterkt skadet. Viktig er naturligvis også at berget ikke kan ha vært så oppsprukket da bergkunsten ble hogd – det kan bety at rotsprengning ikke var så utpreget de første 3000 årene etter at berget kom opp fra fjorden.

*

Langsiktig bevaring av Ås 4 er på grunn av oppsprekkingen og undermineringen forståelig nok uansett svært problematisk, også fordi feltet heller ganske sterk ned mot øst. Om en foreslår tildekking med naturlige materialer, så er det ikke sikkert det er gunstig å benytte silt/leire som undergrunn over det hele, som foreslått for Hoppestad 2, i alle fall ikke på de bratteste delene (der det uansett ikke er helleristninger). Nederst har en knapt noen annen mulighet enn å bygge opp et kraftig lag med torv, f.eks. støttet opp med en enkel steinmur, eller enkelte støttestein.



Figur 27: Ås 4 med hogd figur der sporene delvis følger sprekkene.



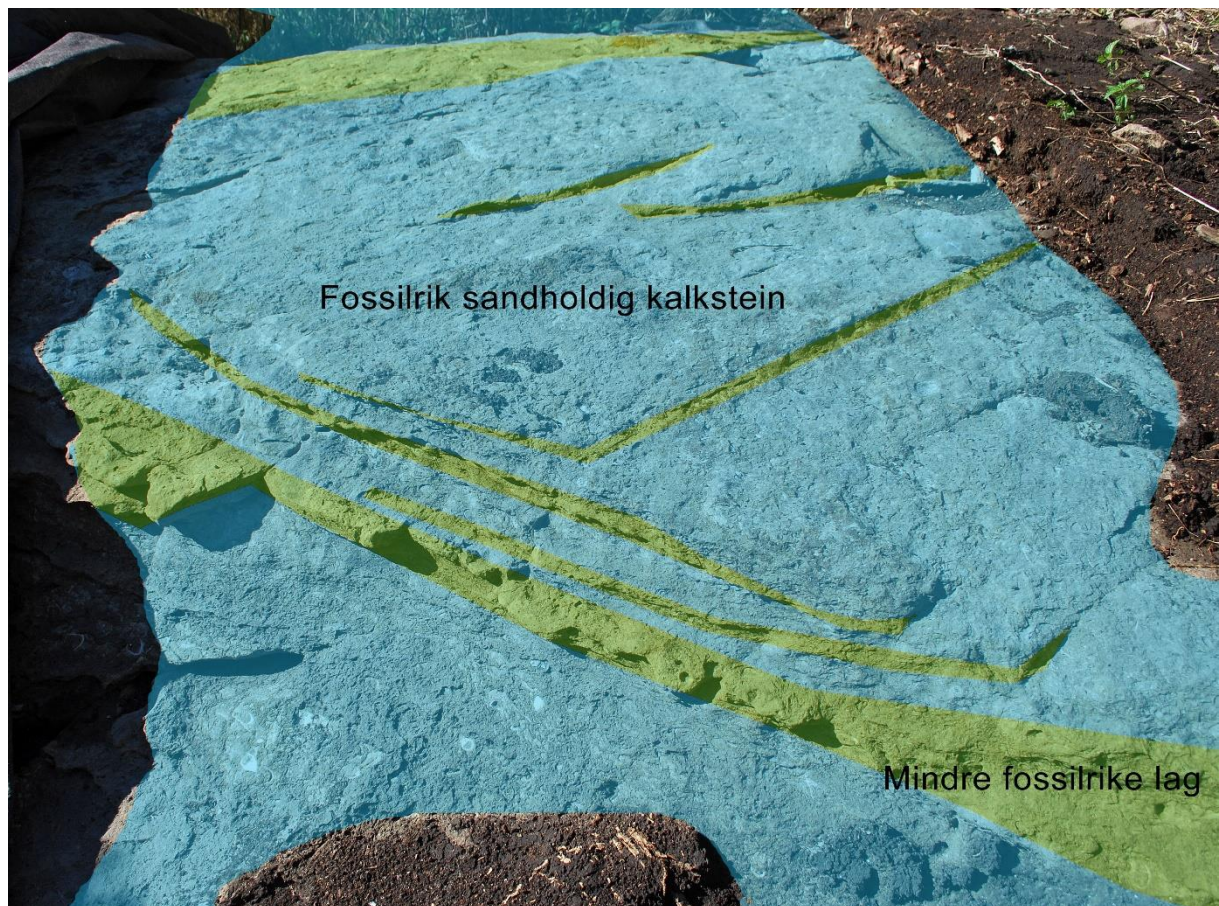
Figur 28: Hoppestad 1.3 med liten del avdekket for case-studium.

3.3 Hoppestad 1.3: Fossilrik, sandholdig kalkstein

På den søndre delen av Hoppestad 1 (1.3) møter vi et litt annet berg og en annen stratigrafi enn i de to øvrige case-studiene. Her har vi, ifølge NGUs geologiske kart, beveget oss fra Langøyformasjonen (tidlig silur) og over i den noe eldre Herøyformasjonen (sen ordovicium) som generelt er mer kalkrik (se kap. 1). Case-studiet omfattet bare et lite utsnitt av bergkunstfeltet, så det er ikke representativt for helheten; det finnes bl.a. sandstein av nokså lignende type som på Ås 4 rett nord for den studerte delen. Sannsynligvis er det på denne at hovedfeltet her ligger (Hoppestad 1.1).

Sandsteinen ligger stratigrafisk over den studerte delen, som er preget av skallfragmenter og kalkskall, så mye at en kan kalle denne steinen for en fossilrik sandholdig kalkstein – som innimellom har mindre fossilrike, mer motstandsdyktige lag. Her er altså helleristningene hogd på et annet underlag enn kvartssandstein. Det dreier seg om berg som er «mykere»/mindre «sprøtt» og ikke særlig preget av oppsprekking; litt som en hardere variant av den skallrike slamsteinen på Ås 4. Selv om noe underminering kan anes, er den ikke så sterkt utviklet som i de tidligere case-studiene. Vi finner ingen glasial overflate med isskuringsstriper, noe som viser at forvitringen i overflaten er mer omfattende, delvis er det falt av tynne flak. Og dette er nok grunnen til at det ikke finnes lag med omfattende karbonatoppløsning – de får ikke tid til å bli utviklet før det faller av flak.

Dette betyr også at det bare er svake spor etter helleristninger her, og de få skålgropene som er observert er dessuten temmelig forvitret. Om forvitringen er representativ for de deler av feltet (altså Hoppestad 1.3) som ikke ble studert, så kan enn spørre seg om nedbrytningen har gått for langt til å bruke ressurser på bevaring; en opsjon er altså å la det gro igjen.



Figur 29: Skisse av stratigrafien på Hoppestand 1.3.



Figur 30: Hoppestad 1.3 fra en litt annen vinkel enn i bildet over. Merk hvordan hardere sandige lag «står ut» i forhold til de sandige, skjellrike lagene.



Figur 31: De sandige lagene på Hoppestad 1.3 er svært rike på fossiler.



Figur 32: Overflaten på Hoppestad 1.3 er temmelig forvitret og dels hullet langs sprekker, med flaking som den sannsynlig viktigste forvittringsformen. Derfor er det ingen glasial overflate bevart og siden flakingen skjer raskere enn karbonatopløsningen, så er heller ikke overflaten porøs som på Hoppestad 2 og Ås 4. Legg merke til bevart, forvitret skålgrop i øvre, midtre del av bildet.

3.4 Supplerende observasjoner av geologi og forvitring

Presenningene på feltet **Ås 2** ble kort rullet vekk under befaringene i 2021. Det ga et innblikk i hvordan fin rotvekst kan forekomme under tildekningen. Store deler av feltet var preget av slik rotvekst, som imidlertid var lett å fjerne og tilsynelatende ikke hadde gjort særlig skade. Geologien her er litt tilsvarende som på Hoppestad 2 og dessuten er det tilsvarende spylerenner fra istiden som rammer inn ristningene med bl.a. sine unike figurer av hjorteklover. Som på Hoppestad 2 finner en sterk oppløsning av karbonat og i overflaten et gjenstående «skjelett» av sandsteinskorn som holdes sammen av kvartssement. Et spesielt trekk ved feltet er at et tynt, svakere lag i den nordre enden har sterkt underminert sandsteinen. Ved siden av kan en ane at istidens skuring har skapt en rund «grop» (med diameter ca. 1 m), som er «gravd» ned gjennom lagene – og som i bunnen har en fin rekke med skålgroper. Var det svakere laget temmelig sterkt forvitret allerede da gropene ble laget?

Generelt er dette et felt som er temmelig godt bevart, men som er sårbart overfor mekanisk påvirkning, dog kanskje ikke i så stor grad som Hoppestad 2. Men en kan likevel bruke den samme argumentasjonen når det gjelder bevaring som for Hoppestad 2, dvs. at det tryggeste oppleves som å dekke det til permanent med naturlige materialer.



Figur 33: Rotvekst under mattene på Ås 2. Legg merke til underminering av lagene i forkant og rekken med skålgroper.



Figur 34: Hjorteklover på Ås 2. Her er karbonatoppløsning viktigste forvitringsform, men det er også lett flaking og underminering, sannsynligvis pga. små vekslinger i sandsteinens egenskaper.

På **Nordbøfeltet** møter en tilsvarende geologi/stratigrafi som på Ås 4, men med mindre voldsom oppsprekking. Likevel er det på den øverste kanten av berget, der det er en skrent ned mot vest, illustrerende å observere hvordan oppsprekking i et relativt tykt sandsteinslag forekommer; det ser nesten ut som små søyler – og gir som på Ås 4 assosiasjoner til oppsprekking av sandstein som har vært påvirket av vulkanisme. Men også som på Ås 4, er det lite som tyder på at steinen her er preget av hydrotermal omvandling/silisifisering. Forklaringen vil da være at sandsteinen er tett og hard og at det er tektoniske krefter som har gitt oppsprekkingen. At steinen er hard kan en se på mønsteret som dannes der blokker er splittet løs av røtter eller frost: Det har utviklet seg fjærmønster som sprer seg fra punktet der oppsprekkingen først startet (man ser det samme ved hogging av steinen).

Det er nå vanskelig å skjelle helleristninger, siden feltet i nesten 20 år har vært under gjengroing etter noe fjerning av torv etter at ristningene ble oppdaget. En kan fint følge hvordan det først utvikles tett skorpelav som igjen forsvinner når mosen tar over. Dette er da et godt eksempel på at det tar mindre enn 20 år på å utvikle omfattende «tepper» av skorpelav.



Figur 35: Nordbøfeltet. «Søyler» dannet pga. oppsprekkingsmønster. Forvitret slamlag med skjell under, fjærstrukturer i naturlig avskallet bit.



Figur 36: Tepper av skorpelav (grått) preger sandsteinsoverflatene, mose er i ferd med å ta over.

3.5 Observasjoner knyttet til lim, mørtel og leire fra tidligere konservering

For å stabilisere felter med mye oppsprekking, ble det som del av konserveringen i 2009 benyttet både mørtler, lim og leirepakninger. Sammensetning, bruk og virkning av disse er beskrevet i Ernfridsson og Strömer (2009), dels i Ernfridsson 2014, samt i Ernfridsson m.fl. 2019. Konserverings-tiltakene har utvilsomt hjulpet til med å stabilisere feltene under tildekking og også over tid under mattene. Men på Ås 4 kan en se at leirepakninger og dels mørtel nå delvis smuldrer opp. Dette er ikke spesielt farlig, da det ikke har ført til ytterligere skader av helleristningene. Det kan naturligvis være litt annerledes på andre felt som ikke er observert. Et omfattende prøvefelt for mørtel og lim er lokalisert ved feltet Ås 3. Dette ble delvis vurdert med hensyn til holdbarhet i 2019, men kan med fordel gjennomgå en mer inngående inspeksjon. Feltet er et verdifullt bidrag til forståelse av hvor raskt konserveringsmaterialene brytes ned.



Figur 37: Ås 4, oppsmuldring av leire og mørtel fra konserveringsarbeidene i 2009.



Figur 38: Testfelt for mørtel og lim ved Ås 3. Mange stein har løsnet og kommet ut av posisjon, andre holder fortsatt stand.

4 Supplerende analyser og tester

For å bedre forstå bergartene og forvitringen er det utført en serie tynnslipanalyser med polarisasjons- og pålysmikroskop. Tre prøver til tynnslippreparering ble tatt av løse sandsteinfragmenter så nær inntil bergkunstfeltene som mulig, på Hoppestad 2, Ås 4 og Nordbø, alle med forvitret overflate. Tynnslipene er impregnert for å bevare forvitrede strukturer og er fremstilt hos geologifirmaet ABC A HEAD i Warszawa. Flere prøver ble videre tatt av de synlig silisifiserte delene av sandsteinen på Hoppestad 2; disse ble kun analysert med pålysmikroskop. Som bakgrunn for analysene fantes det bilder fra elektronmikroskopi (SEM-BSE) utført på prøver, sannsynligvis fra Hoppestad-feltene, av Linda Sæbø ved UiB i 2006. I tillegg til mikroskopi, er det utført enkle tester for å få et bilde av hvordan sandsteinene tar opp vann (dråpetest og vannopptak gjennom ett døgn).

4.1 Mikroskopi av «frisk» og forvitret sandstein

Analysene med SEM-BSE (Sæbø 2006) viste at den meget finkornede, svært godt sorterte sandsteinen i hovedsak besto av korn av kvarts, med små mengder feltspat (kalifeltspat og plagioklas/albitt) og glimmer (biotitt). Dessuten forekom spormengder av de tunge mineralene titanitt, ilmenitt, zirkon og kromitt. Sementen mellom mineralkornene ble angitt til å bestå av karbonat (kalkspat).

Polarisasjonsmikroskopi bekrefter dette bildet, men viser i tillegg at kvartskornene er monokrystalline og at sandsteinene også har betydelige mengder kvarts som sement mellom kornene (noe en egentlig også ser godt på SEM-bildene), samt at det antakelig også finnes mindre mengder leirmineraler og jern(hydr)oksider (hematitt/gøttitt) som del av sementen. Dessuten er det sannsynlig at spormengder av velutviklede opake, kubiske krystaller består av pyritt (svovelkis).

At sandsteinen også er *sementert med kvarts er helt essensielt* for å forstå forvitringen av bergkunstfeltene. For kvarts kan ikke løses opp av (surt) vann slik karbonatsementen kan det; derfor kan sandsteinskornene fortsatt være delvis kittet sammen, selv om all karbonat er forsvunnet. At det dessuten kan være pyritt i sandsteinen er viktig for forståelsen av dannelse av jernholdige mineraler; ved oksidering av pyritt, ofte med mikrobiologisk hjelp, dannes det svovelsyre som forbinder seg med tilgjengelig kalsium til gips. Dessuten dannes det brunlig jernhydroksid og – avhengig av miljø – mineraler som brunlig jarositt. Gips er løselig i vann og vil forsvinne, men brunlige, finkornede mineraler som kan ses i porene under mikroskopet, kan godt stamme fra pyrittoksidasjon. Dessuten vil svovelsyre bidra til oppløsning av karbonatsement ved dannelse av gips.

I mikroskopet ses videre, som også påpekt av Sæbø (2006), at sandsteinen – når all sement er intakt – er svært tett, dvs. meget lite porøs. Dette er viktig informasjon for vurdering av vannopptak og ikke minst for forståelsen av at steinen virker så hard og motstandsdyktig mot mekanisk påvirkning i *frisk* og *sprekkefri* tilstand. En kunne nesten mistenke den for å være silisifisert. Det er imidlertid ingen tegn til silisifisering i tynnslipene som er undersøkt. Silisifisering er her brukt som begrep for sekundær dannelse av kvarts ved f.eks. hydrotermale prosesser, altså en dannelse som skjer utover sementeringen (med kvarts, leirmineraler og kalkspat) ved den vanlige «herdingen» (diagenesen) av sandsteinen.

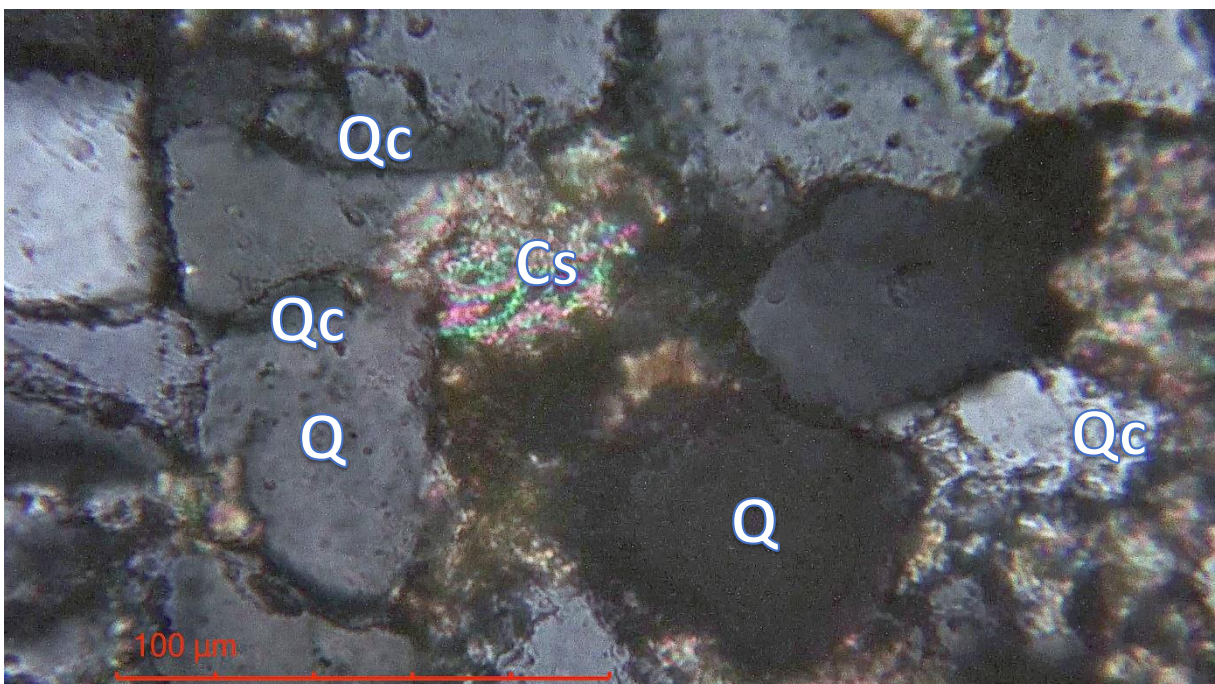
Men sammenkittingen av sandsteinen med kvartssement er, som vi har sett i case-studiene, såpass betydelig at selv *avtrykk* fra en rekke kalkskall/fossiler er meget bra bevart til tross for at all karbonat er oppløst/forsvunnet. Sandsteinen står fram med et «skjelett» av kvartskorn og den sander/pulveriserer ofte svært lite. Dette gjelder også i overgangen mellom «rene» sandsteinslag og lag som er rike på fossilfragmenter. Kvartssementen forklarer altså at overflatene står frem som dels

ekstremt porøse og skjøre, men samtidig med nokså velbevarte helleristninger. Dette gjelder spesielt på Hoppestad 2 og Ås 2. Og samtidig er det helt åpenbart, som case-studiene har vist, at den mekaniske styrken på de forvitrede (karbonatoppløste) overflatelagene ofte er svært lav.

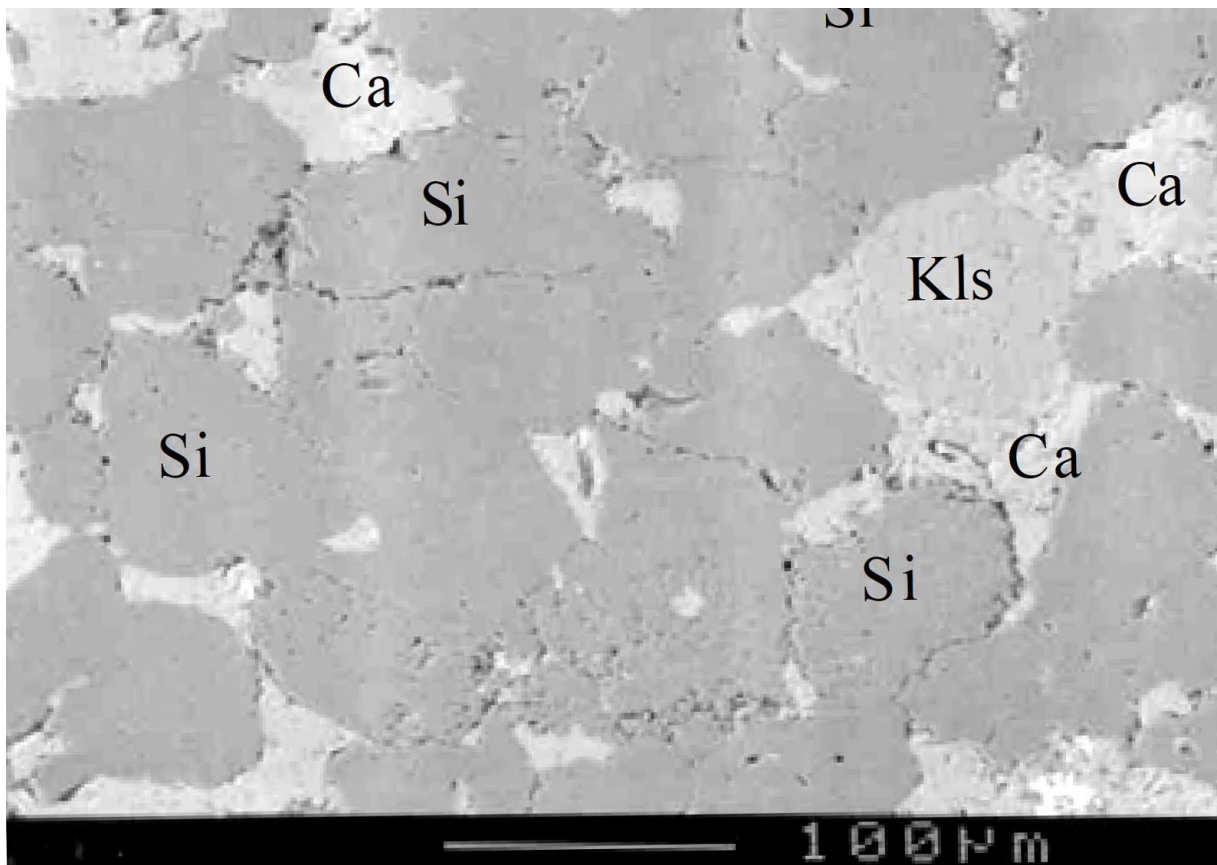
Ellers bekrefter mikroskopanalysene hva som ble observert med SEM-BSE (Sæbø 2006) om forvittringsdyp, først og fremst at oppløsning av karbonatsement kan strekke seg opp til 2-3 cm inn fra overflaten av sandsteinen. I overgangssonen mot «frisk» sandstein er karbonaten bare delvis oppløst, i mindre og mindre grad jo dypere en kommer.



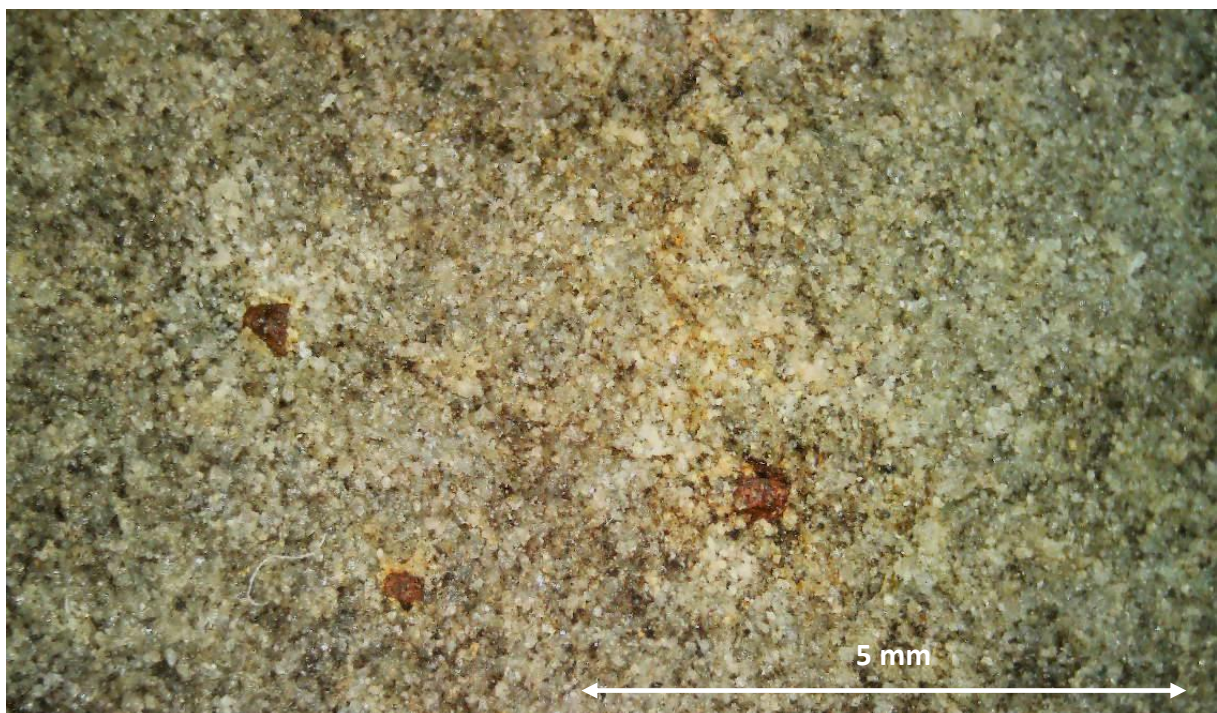
Figur 39: Frisk, finkornet, velsortert sandstein, med monokrystallin kvarts (Q). Karbonat (kalkspat) (Cs) er det synligste av sementene, men her er også kvartssement og leiresement. Ås 4, representativ også for Nordbø og Hoppestad 2. Polarisasjonsmikroskop, dobbelt polarisert lys (XPL)



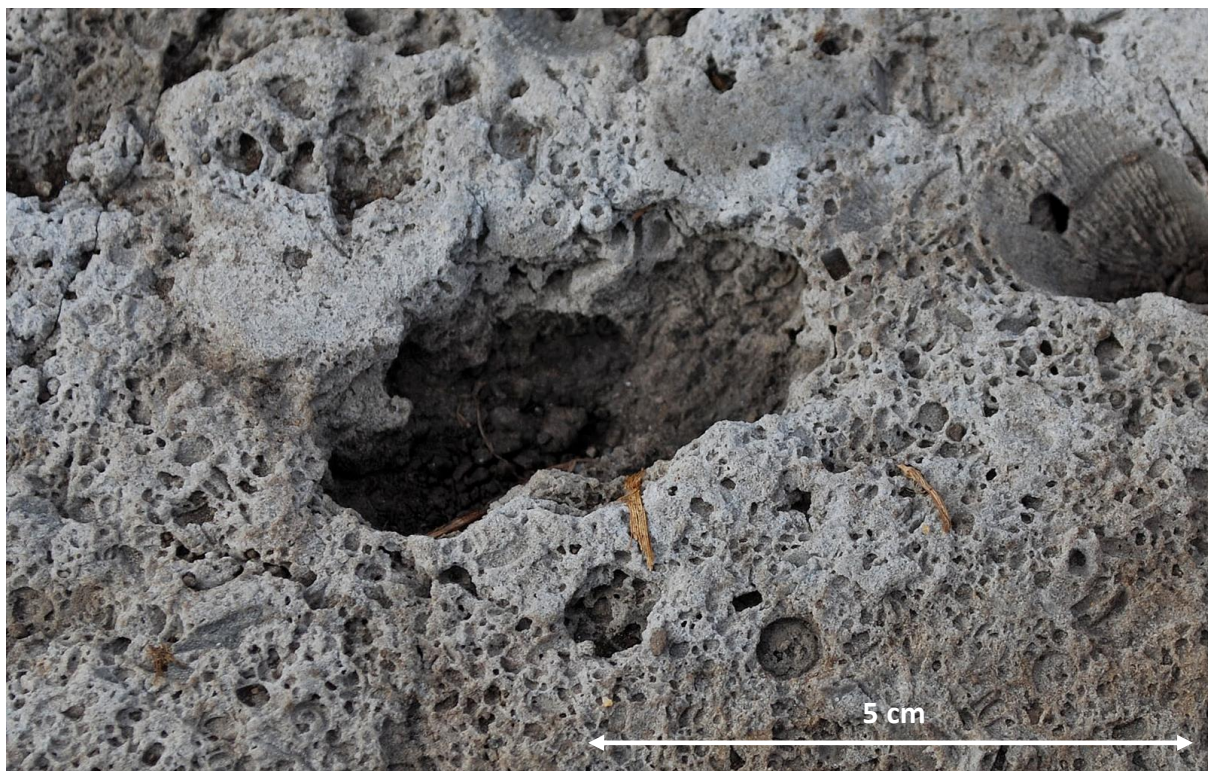
Figur 40: Sandstein med kvartskorn (Q), kvartssement (Qs) og karbonatsement (Cs). Ås 4, representativ også for Nordbø og Hoppestad 2. XPL



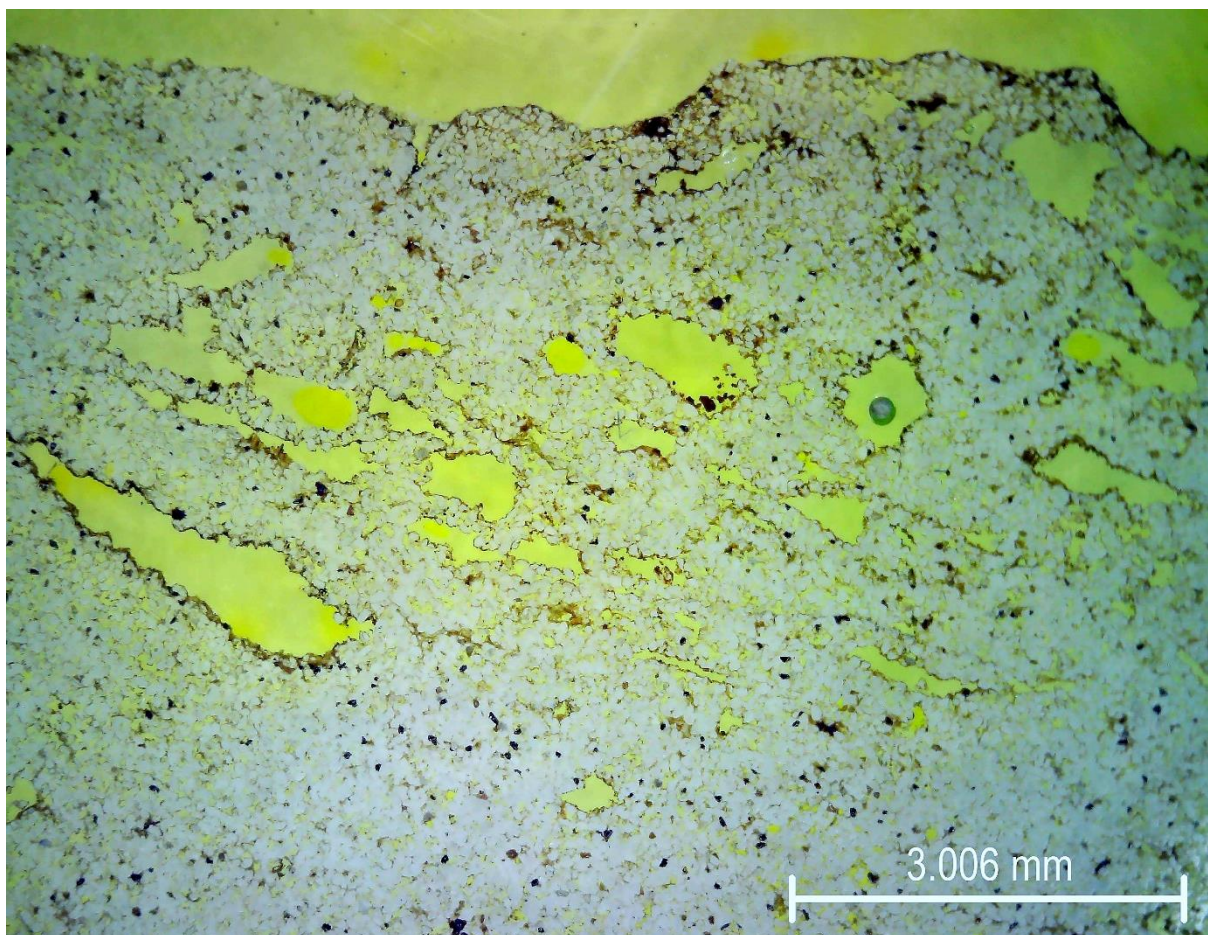
Figur 41: SEM-BSE-bilde av frisk sandstein fra stedet, fra Sæbø (2006). Prøve merket HOP1.1.A. Viser at kvartskornene (Si) er sterkt kittet sammen, altså må det være kvartssement her (også Si). Ca = karbonatsement, Kls = kalifeltspat



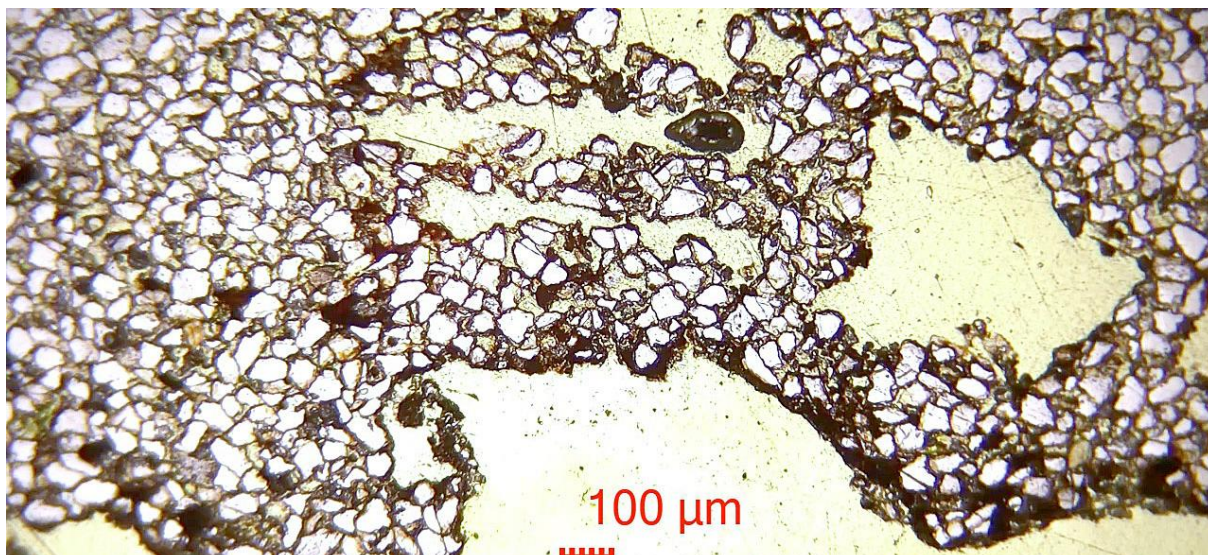
Figur 42: Svakt forvitret overflate av sandstein med tre store krystaller preget av rust, sannsynlig pyritt. Vi ser at rusten, dvs. jernforbindelser (gøttitt?) sprer seg litt rundt krystallene. Pålys/makrolupe.



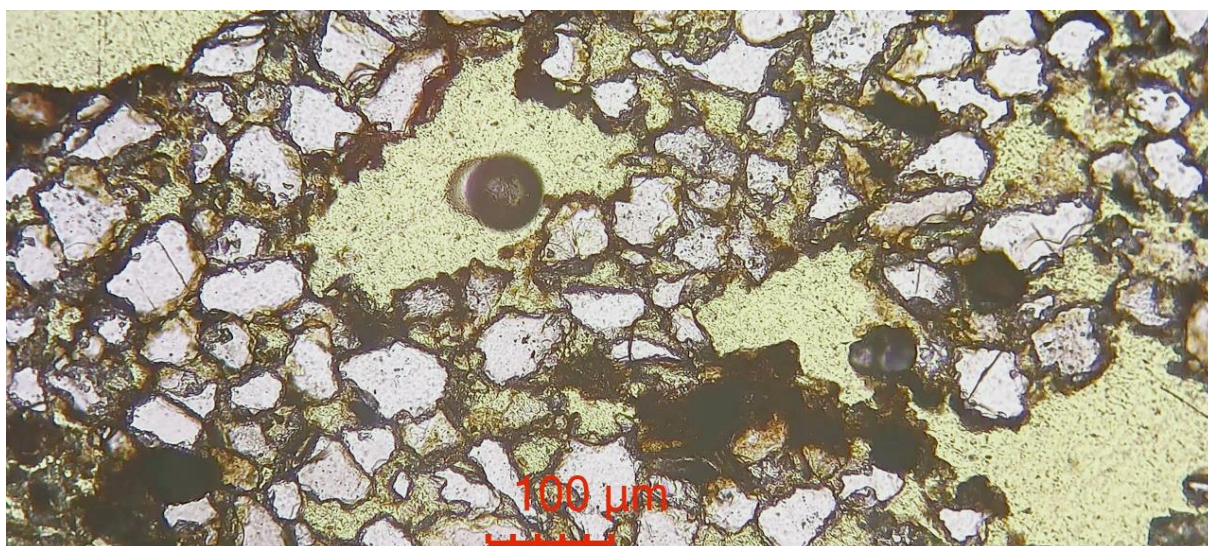
Figur 43: Sterk oppløsning av skjellfragmenter (og porer med karbonatsement) i overflaten på Hoppestad 2. En ser at avtrykkene av fragmentene fortsatt står igjen. Overgang til svakt silisifisert sandstein (se under).



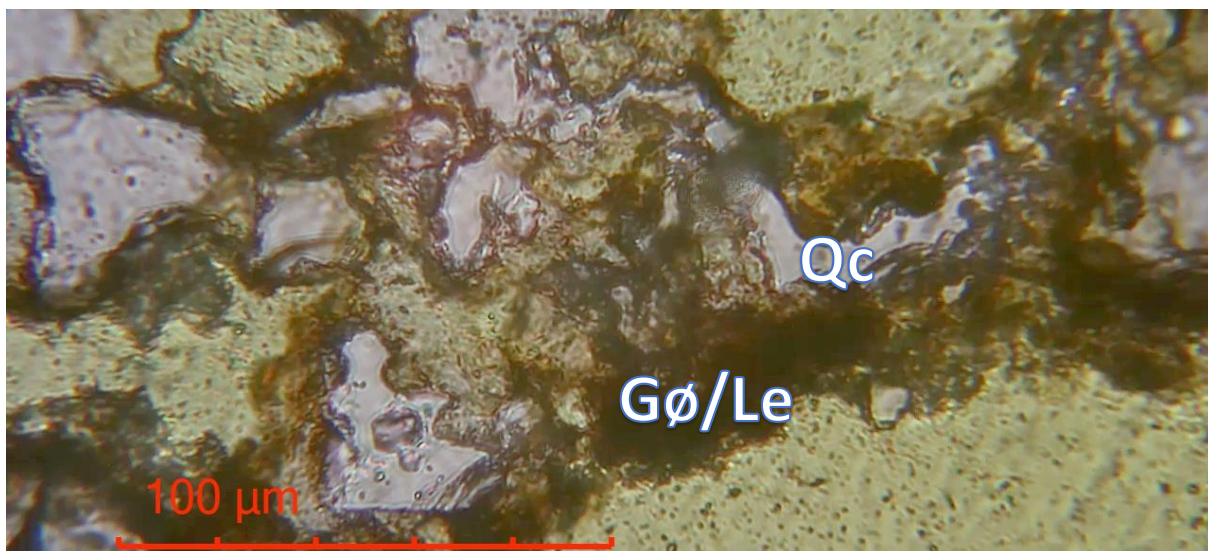
Figur 44: Oppløste skjellfragmenter og karbonatsement i porer. Tynnslip av forvittringssonen, Hoppestad 2. Pålys/makrolupe.



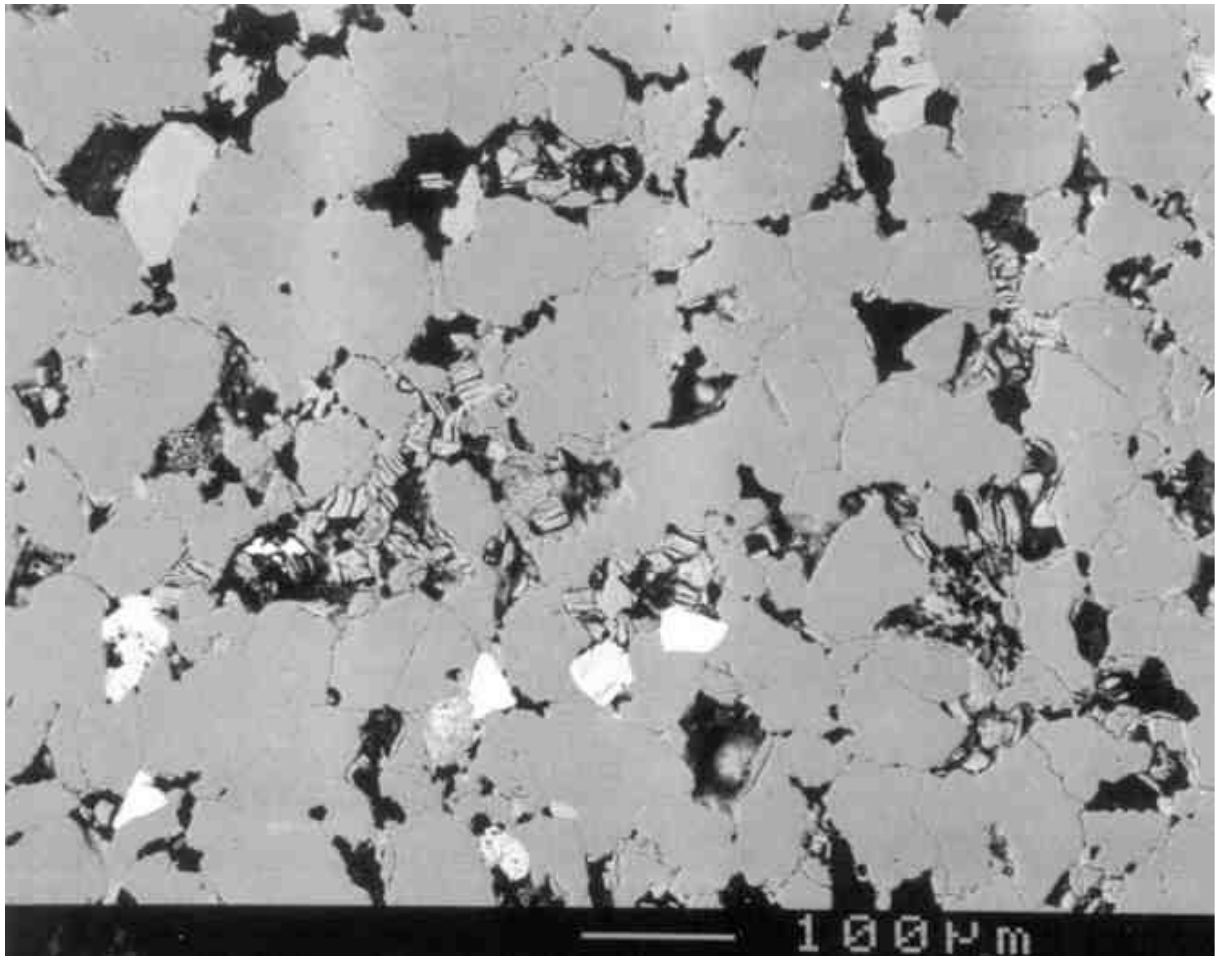
Figur 45: Oppløste skjellfragmenter og karbonatsement i overflaten. Tynnslip av forvitringssonen (gult impregneringsmiddel viser porer og hull). Hoppestad 2. Polarisasjonsmikroskop, planpolarisert lys (PPL)



Figur 46: Oppløste skjellfragmenter og karbonatsement i overflaten. Kvartskorn (hvite) holdes fortsatt sammen med kvartssement og/eller brunlige, ekstremt finkornede mineraler, trolig gøtitt og leirmineraler. Hoppestad 2, PPL



Figur 47: Rester av kvartssement (Qc) og sannsynlig gøtitt/leirmineraler i forvitret overflate. Hoppestad 2, PPL



Figur 48: SEM-BSE-bilde av forvitret sandstein fra Sæbø (2006), prøve merket HOP 2A. Viser oppløst karbonatsement (mørke områder). Grå felter er kvarts og kvartsement, lyse korn er tungmineraler, flisete korn biotitt.



Figur 49: Forvitret del av prøve fra Nordbø. Kvartskorn (Q), plagioklaskorn (Pl) kvartsement (Qc). Karbonatsement er løst opp og leirmineraler og sannsynlig jern(hydr)oksid (Gø/Le) fyller deler av noen porer. XPL

4.2 Mikroskopi av silisifisert sandstein på Hoppestad 2

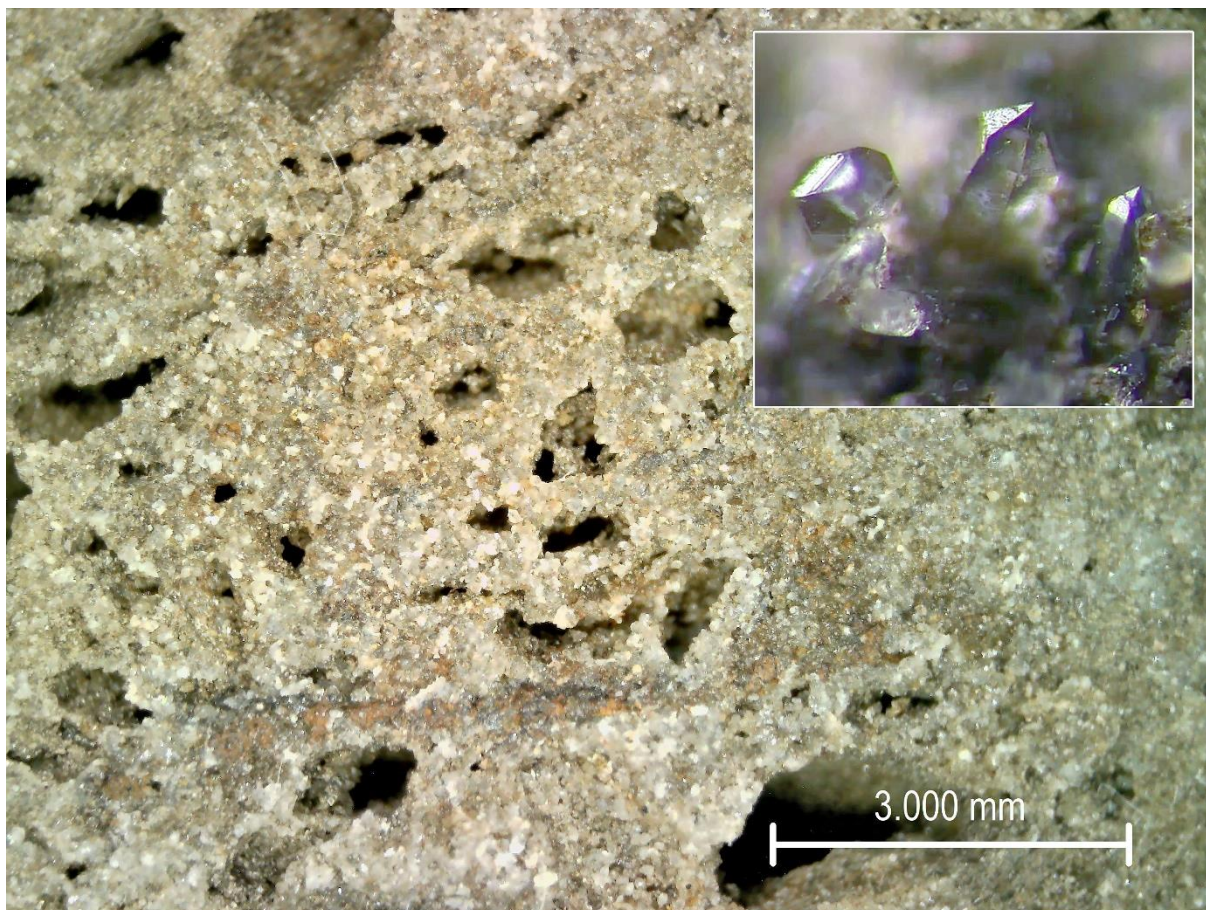
Dessverre ble det ikke laget tynnslip av prøver som åpenbart er silisifiserte. Men pålysmikroskopi er et godt alternativ for å se dannelse av små kvartskrystaller som har vokst langs kantene av hulrom og porer. Prøver ble tatt av løse sandsteinfragmenter nær de kvartsfylte sprekkene på Hoppestad 2. Her kan en observere at krystallene gir sandsteinen en spesiell glans, de skinner i sollys og en kan dermed anslå at silisifiseringen opptrer inntil noen få cm ut fra begge sider av sprekkene. Det er altså sprekkene som har fungert som tilførselskanaler for silikarike løsninger som også har bredt seg litt utover. Forvitrimotstanden nær sprekkene kan være høyere enn ellers i sandsteinen; opprinnelig glacial overflate kan være bevart rett inntil sprekkene, men noen ganger dårligere og dårligere jo lenger fra sprekken en kommer. Sekundær kvarts kan altså forsterke sandsteinen.

Sirkulering av silikarike løsninger kan ha skjedd flere ganger i bergets historie. En kan peke på Den kaledonske fjellkjedefoldningen og på de permiske intrusivene. Og en skal huske på at sandsteinen selv produserer silika; før heving og erosjon var lagpakken her dekket med kanskje 2000 m sedimenter/sedimentære bergarter og temperaturen kan ha gått over 100 grader. Men den permiske vulkanismen er likevel den sannsynligvis viktigste årsaken: En befinner seg bare 2 km fra store syenittintrusjoner og lavabergarter i øst og det er dessuten fullt mulig at det finnes skjulte gangbergarter forbundet med vulkanismen nærmere Hoppestad.

At det ikke har skjedd en sterkere påvirkning av bergartene i perm, slik som på bergkunstfeltet på Løberghaugen med sin sterkt omvandlede sandstein (hornfels) (se kap. 1), kan i hovedsak forklares med avstanden til de vulkanske og magmatiske bergartene, slik Goldschmidt viste i sin klassiske og berømte avhandling «Die Kontaktmetamorphose im Kristianiagebiet» (1911). Der pekte han også på



Figur 50: Sprekker med sekundær kvarts på Hoppestad 2. Hovedfigurene er rett til venstre for bildeutsnittet, merk rekkene med skålgroper.



Figur 51: Silisifisert sandstein ved sprekk på Hoppestad 2. Merk den hullete overflaten (oppløsning av karbonatsement og skjellfragmenter) og en del kvartvekst langs kanten av hullene. Innfelt: Mikrobergkrystall fra porerom, ca. 0,1 mm store. Makrolupe/pålysmikroskopi

størrelsen på magmatiske intrusjoner som viktig – jo større, jo mer temperaturforandring i de omgivende bergarter og jo større sjanse for bl.a. hydrotermal omvandling. Løberghaugen ligger bare 800 m fra grensen til perm (og også her er det mulig at det ligger skjulte gangbergarter nærmere).

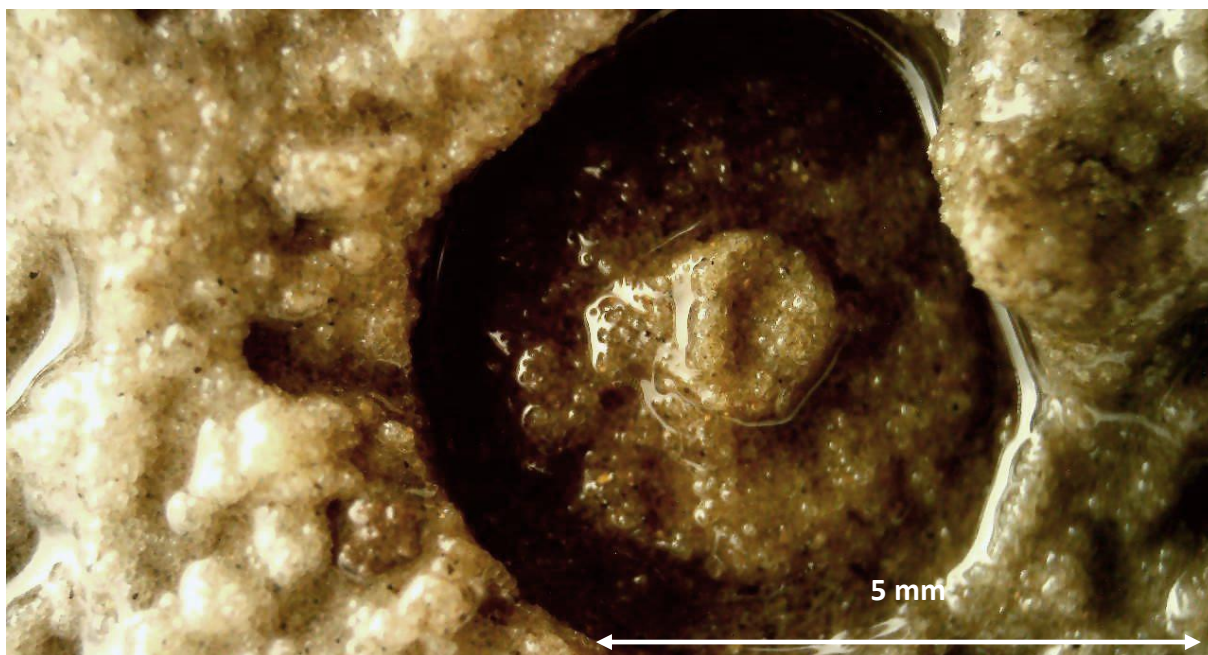
En må på Hoppestad gå ut fra at dannelsen av sekundær kvarts har skjedd på bekostning av karbonatsement (og karbonat i skjellfragmenter), dvs. at kvartsen har fortrent karbonatet. Det er i alle fall ingen indikasjoner på at dagens porer og hulrom i sandsteinen er et resultat av annet enn oppløsning av karbonat under atmosfæriske forhold. Det kan en se av at porer og hulrom kun befinner seg i de ytterste få cm av bergarten.

Til sist må det understrekes at årsaksforklaringene her er tolket på bakgrunn av kun et fåtall analyser og heller ikke har inkludert ekspertvurderinger av sementeringen og den delvise og bare helt lokale silisifiseringen av sandsteinen. Det kreves både mer feltarbeid og analyser for å finjustere hypotesene; bl.a. ut fra kunnskap om at sementering ved diagenese og hydrotermal påvirkning kan skje parallelt (se bl.a. Haile m.fl. 2019). Men for å forstå forvitringen av sandstein og helleristninger – og for å foreslå bevaringstiltak, skulle arbeidet gi en grei nok bakgrunn.

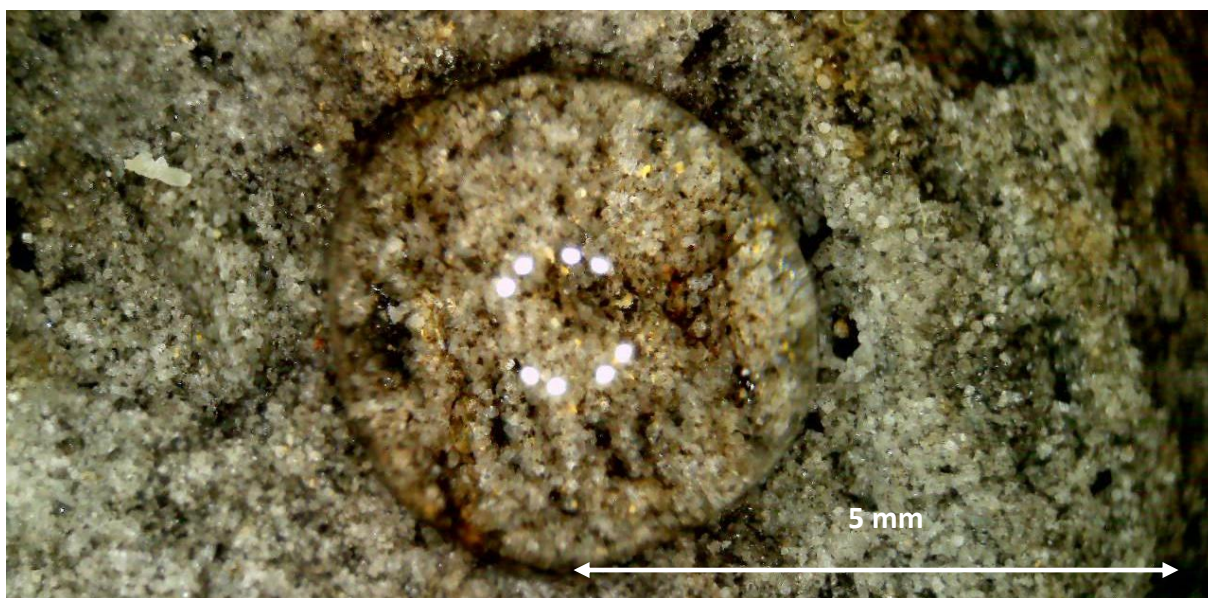
4.3 Dråpetest og vannopptak

Som nevnt over, virker sandsteinene i «frisk» tilstand svært tette og harde/faste. Det får en også en indikasjon på ved regnvær; i små forsenkninger spesielt på Hoppestad 2 blir vann liggende unormalt lenge, dvs. at de ikke suges særlig opp av steinen (annet enn i den forvitrede overflaten). Det samme ser en ved dråpetest, dvs. ved at tilføring av en dråpe vann på overflaten ikke medfører at dråpen raskt suges opp – tvert imot; den blir liggende i mange minutter, ofte mange titalls minutter.

Videre ser en dette ved at steinprøver som settes med «foten» i vannbad ikke er sugende, dvs. at en selv etter et døgn ikke kan observere at fuktfronten har steget særlig over vannlinjen. Dette kan bare bety at sandsteinen har særdeles lite velutviklet kapillær vannoppsugingsevne.



Figur 52: Avtrykk av fossil (sjøliljestilk?) på Hoppestad 1 fylt med regnvann. Vann suges forbausende dårlig opp av steinen.



Figur 53: Dråpetest på prøve fra Ås 4 med forvitret overflate. Dråpen blir liggende i mange titalls minutter.

Dette er åpenbart ikke på grunn av den høye permeabiliteten i forvitret overflate eller store porer som kunne ha hindret kapillaritet i frisk stein. For, som vi har sett, er det ingen store porer i frisk stein, og tydeligvis også få kapillærporer som kunne ha gitt oppsug. Det vil si at den dårlige evnen til vannoppsuging må være et resultat av den ytterst kompakte tekturen, inklusive sementeringen av sandsteinen. Dette vil videre si at det er helt naturlig at steinen har svært velutviklede forvittringsfronter – dvs. dyp inntil hvilke karbonatsementen er oppløst. Vann trenger dårlig inn og porer må i hovedsak først dannes ved oppløsning av karbonatsement før prosessen kan gå videre.

Dette kan kanskje også være en viss forklaring på at silisifiseringen langs kvartsfylte sprekker på Hoppestad 2 ikke er utviklet i større avstand fra sprekken; det var vanskelig for de silikariske løsningsene å trenge lengre fram.



Figur 54: Test med fortynnet saltsyre på Ås 2. Dråpen blir liggende i mange minutter og det er ingen tegn til brusing fra karbonat, selv om vi vet at det er karbonat en cm eller to inn fra overflaten.



Figur 55: Test av kapillær oppsuging av prøver fra Hoppestad 2, Ås 4 og Nordbø. Etter 12 timer med «foten» i vann har det skjedd svært lite, kun i den ene enden av den høyre steinen er det noe kapillær stigning.

5 Forvittringshastighet, risikovurdering og bevaring

Case-studiene og de supplerende undersøkelsene har gitt en grei bakgrunn for å vurdere hvordan og hvor raskt forvitringen har foregått på bergkunstfeltene. Dette vil igjen være viktig kunnskap for å vurdere framtidig risiko innen ulike bevaringsscenarier.

Forvitringen ser ille ut på de fleste feltene, med karbonatoppløsning, underminering av sandsteinslag, kraftig utvidelse av eksisterende sprekker og flaking (i bl.a. skjellrike slamsteiner). Det er stor variasjon fra felt til felt, og også innen hvert enkelt felt, men ut fra undersøkelsene kan en gjøre anslag og benytte følgende verdier for hastighet som et slags generelt gjennomsnitt:

- **Karbonatoppløsning i ellers greit bevart sandstein:** ca. 20 mm over ca. 7000 år, fra berget ble utsatt for atmosfæriske forhold. Dette vil si omkring 3 mm pr. 1000 år (0,3 mm pr. 100 år) (typisk Hoppestad 2, Ås 2 og 4 og Nordbø)
- **Underminering av sandsteinslag,** dvs. karbonatoppløsning og annen forvitring/erosjon av typisk fossilrik slamstein: >100 mm på ca. 7000 år, dvs. >15 mm pr. 1000 år (>1,5 mm pr. 100 år) (typisk Ås 4, også Hoppestad 2)
- **Kraftig utvidelse av omfattende, eksisterende sprekkesystem** (ved rotvekst/frost): <3000 år på selve helleristningsfeltene (typisk Ås 4)
- **Flaking** i overflaten av skjellrike slamsteiner: <3000 år på selve helleristningsfeltene (typisk Hoppestad 1)

Karbonatoppløsningen er selvsagt et problem, men ikke et så stort problem som en kunne få inntrykk av fra tidligere studier. Det er fordi sandsteinen også har kvartssement (og ved minst ett tilfelle er helt lokalt, delvis silisifisert). Der sandsteinen har vært dekket med leire har det knapt skjedd karbonatoppløsning. Om slik oppløsning hadde vært det eneste problemet på bergkunstfeltene, så hadde det likevel vært vanskelig å holde feltene helt åpne for f.eks. visning. Det er fordi at selv om overflaten ikke er veldig kjemisk ustabil, så er den fysisk/mechanisk sett ganske skjør.

De større problemene er imidlertid knyttet til undermineringen av sandsteinen fra underliggende (skjellrike) slamlag, slik at sandsteinen ved mekanisk påvirkning (tråkk, rotsprengning og evt. frost) sprekker opp. Og tilsvarende gjelder for utvidelse av de omfattende, eksisterende sprekkesystemene slik at småblokker løsner, også ved rotsprengning og evt. frost. Som anslagene på forvittringshastighet over viser, så er dette mye raskere prosesser enn karbonatoppløsning, kanskje 5-10 ganger så raske – men selvsagt svært avhengig av de helt lokale forholdene. De mer skjellrike slamsteinene, der de er benyttet som det direkte underlaget for ristningene, viser også høyere forvittringshastigheter enn sandsteinene.

Samlet betyr dette at rotvekst har vært det sentrale problemet gjennom tidene, inntil avtorving og dekking med matter for drøyt 10 år siden. Som gjennomgangen av landskapshistorien viser, så har sannsynligvis rotveksten skjedd i rykk og napp, siden den vil ha vært koblet til hvor aktiv beiting som har skjedd i området til enhver tid. Beiting (og slått) har ganske sikkert vært viktig helt siden bronsealderen. I de siste hundre år har det nok vært en del beiting, men i hovedsak har åkerholmene med helleristningene vokst igjen der ute på de store jordene – som på sin side sannsynligvis ble etablert på 1800-tallet.

Stadig med tanke på viktigheten av individuell forståelse og behandling av hvert felt, så betyr dette samlet at en må prøve å unngå så mye rotvekst som mulig i fremtiden. Dette gjelder naturligvis ikke bare på og rett ved helleristningsfeltene, men på åkerholmene som sådan. Tenker en bare på helleristningsfeltene isolert, så vil buskas og trær omkring til syvende og sist påvirke feltene.

Men hvordan skal en klare å unngå rotvekst? Hvilke muligheter har man, når en også tar med i bildet øvrige ønsker og behov, som å vise fram bergkunsten? Og dessuten vil det alltid være et spørsmål om ressurser, ikke minst når det gjelder vedlikehold.

Det finnes flere muligheter for bevaring, visning og tilrettelegging. Men før slike scenarier diskuteres, bør en ha i mente to viktige faktorer: Den ene er erfaringene med vedlikehold av åkerholmene og tildekningen de siste drøye 10 år. Som nevnt i kap. 1, har det ikke skjedd noe vedlikehold, selv om dette var planlagt. Og som også nevnt, er dette høyst forståelig, siden tildekte helleristninger ute på et stort jorde ikke enkelt kommer høyt opp på offentlige prioriteringslister. Dette betyr sannsynligvis at om en skal ha godt håp om aktivt vedlikehold, så må et felt eller to tilrettelegges for publikum slik at ressurser mer naturlig blir allokert. Men da kommer straks den andre faktoren inn: Gjerpens-området har allerede to aktivt tilrettelagte, fine helleristningsfelter (Fossum og Løberghaugen) og også andre det er mulig å besøke (Mæla, Bergheim osv.). Er det i overskuelig framtid ressurser nok til å tilrettelegge nok et område med helleristninger?

Med dette i mente, kan en se for seg ulike praktiske scenarier, som også kan kombineres, og innenfor hvilke en kan diskutere risiko:

1. **Dagens bevaringsregime**
2. **Uten bevaringstiltak**
3. **Økologisk bevaring, med og uten beiting**
4. **Bevaringsløsninger med framvisning**

Med alle sine fiberduker, gummimatter og steinfyllinger har **dagens bevaringsregime**, selv uten vedlikehold, vist at det er mulig å unngå mesteparten av forvitringen i en periode på drøyt 10 år. Noen av materialene begynner å vise tegn til skader, andre holder seg fortsatt greit. Mengden av rotvekst og smågnagere under mattene har heller ikke tatt helt overhånd. Dette vil si at bevaringsløsningen utvilsomt har en nokså betydelig restlevetid, uten at det er mulig å fastslå denne i antall år.

Uten vedlikehold vil sannsynligvis rotvekst og smågnagere etter hvert gjøre betydelige innhogg i feltene og tildekningen, og nedbrytningen av de syntetiske materialene vil komme til et punkt der det skapes mikroplast. Vedlikehold vil derfor måtte omfatte jevnlig utbytting før nedbrytningen går for langt – i tillegg til at vegetasjonen på åkerholmene må holdes nede ved i hovedsak manuell rydding/slått. Siden det nå har vokst godt i mer enn 10 år, vil «førstegangs» rydding måtte omfatte fjerning av alt buskas og hogging av trær. Deretter kan man rydde/slå en gang i året.

De viktigste tekniske risikoene ved en slik fremgangsmåte er mekaniske skader ved av- og pårulling av fiberduk og gummimatter, og ikke minst håndteringen av plastnettene med grov pukkestein. Slike nett bør nok unngås, det er nok bedre å pakke pukken inn i samme type gummimateriale som sandsekkene som nå holder de øverste mattene på plass. Om en i det hele tatt trenger pukkesteinen bør også vurderes. Med erfaringene fra de siste årene i mente, er det ingen tvil om at den viktigste risikoen innen et slikt fremtidig regime ikke ligger så mye på det tekniske planet som på det organisatoriske og ressursmessige.

Derfor må en spørre seg om en har ressurser til og ønsker å følge opp dette nokså strikte vedlikeholdsregimet – og det uten at publikum kanskje noen gang får se helleristningene (annet enn kanskje ved invitasjoner/events under inspeksjoner og vedlikeholdsløft). Om svaret er nei, så er det ingen løsning å la matter og pukkestein ligge. Det finnes ingen erfaring med hva som på svært lang sikt kan skje med helleristninger som er dekket med slike materialer. En må vente det uventede, at helleristningene kan bli betydelig ødelagte raskere enn en tror.

Derfor er det en opsjon å fjerne alle de moderne materialene og la helleristningene naturlig gro igjen, dvs. at det videre **ikke utføres bevaringstiltak**. Risikoen er åpenbar, nemlig uhemmet rotvekst, og verre enn gjennom de ca. 3000 årene etter at ristningene ble laget fordi det nå ikke foregår nok jevnlig og aktiv beiting. Og skulle beiting en gang iblant foregå, så er naturligvis et gjengroende helleristningsfelt med kanskje lite torv, svært sårbart for tråkk.

Men et slikt valg er likevel ikke et dårlig valg; det er et valg som erkjenner problemene med ressurser og at forvitring er en naturlov som medfører at helleristninger som dette ikke kan vare evig. Med 3000 år «på baken» og det vi nå vet om dagens tilstand og forvittringshastigheter, så kan det (uten andre trusler enn dagens) dessuten gå lang tid, hundrevis, kanskje flere tusen år, før ristningene er helt borte.

Om en likevel vil øke levetiden, uten å benytte syntetiske materialer, så er det en opsjon å utføre hva en kan kalle «**økologisk bevaring**», dvs. bevaring med kun naturlige, stedegne materialer. Vi vet både fra dette og andre bergkunstområder at leire i ulike varianter kan gi beskyttelse mot forvitring, og på «våre» felt i alle fall beskyttelse mot karbonatoppløsning. Som antydnet i case-studiene kan en tenke seg varianter av først et tynt lag med tørr silt for å fylle hulrom og sprekker til et stabilt underlag for et tykkere lag med leire som deretter kan dekket med et lag med torv. Helst bør alle slike materialer være lokale, for å ikke introdusere nye arter, og det er viktig med tilsetning av kalk for at silt og leire skal få nok pH-bufrende egenskaper. Topografi og tilstand vil avgjøre hvordan en i praksis kan utføre dette på hvert enkelt felt.

En slik løsning vil kreve stor innsats og mye ressurser i starten, men liten eller ingen innsats over tid. Uten rydding, slått og beiting vil en naturligvis ikke kunne kontrollere rotvekst, men det er sannsynlig at levetiden vil økes fra et scenario der det ikke utføres noen tiltak og en bare lar feltene gro igjen. Da har en bl.a. ingen kontroll på karbonatoppløsning. Ved en slik løsning gir man naturligvis fra seg muligheten til å enkelt kunne se og kontrollere ristningene og forvitringen over tid. Det er prisen en betaler. Det går an å legge en tynn geotekstil eller «ulltepper» (prøvd i Bohuslän) under leira for å lette evt. kontroll, men man vet lite om hvordan dette vil virke i et svært langsiktig perspektiv. Introduksjon av aktiv beiting og evt. jevnlig rydding/slått er også tenkbart på åkerholmene, men hver enkelt av dem har lite areal der ute på de store jordene og det vil nok kreves uforholdsmessig mye arbeid å flytte beitedyr omkring i de korte periodene det kan bli snakk om. Men en kan tenke større:

Siden bergkunsten, i alle fall delvis og tross det skjøre berget, faktisk har klart seg ganske bra gjennom ca. 3000 år, så kunne en tenke seg at *gjenoppretting av den situasjonen som sannsynligvis varte lengst i området* ville vært det gunstigste, nemlig intensiv beiting over større arealer. Dette vil si at hele området med bergkunst, inklusive mindre deler av de store jordene omkring (totalt ca. 4 hektar, uten Nordbø, som har lite helleristninger), ble omgjort til økologisk beitemark for f.eks. småfe. Da ville vegetasjonen naturlig ha blitt holdt nede, kanskje med litt hjelp av slått. I et slikt scenario ville man måtte sørge for at buskapen ikke kunne ødelegge med intensiv tråkking, dvs. at selve bergkunstfeltene



Figur 56: Tenkt scenario: Omgjøring av ca. 4 hektar omkring helleristningene til beitemark. Åkerholmene med helleristninger, unntatt Nordbø som ligger utenfor kartkanten, ses under det blå feltet. Kart fra finn.no.

måtte ha blitt meget godt tildekket som nevnt over med naturlige materialer, evt. også gjerdet inn her og der.

Dette er privat jordbruksland og selvsagt er forslaget problematisk med tanke på produksjon og økonomi. Men det må likevel være mulig å luften et slikt forslag, slik at det kan bli diskutert med alle interessenter involvert. Det er svært mange spørsmål som må besvares ved slik restaurering av landskap, men det er godt mulig at en slik løsning også er «i tiden», fra historiske og økologiske perspektiver.

Dette scenariet og alle andre som er nevnt vil naturligvis kunne kombineres. En trenger ikke behandle alle feltene på likedan måte. En kan f.eks. tenke seg å teste ut økologisk bevaring på ett eller to av feltene over lang tid, samtidig som man vedlikeholder dagens bevaringsløsninger, før en tar ytterligere valg. En kan også godt tenke seg å **viser fram et felt eller to** for publikum, gitt at *en velger å skaffe jevnlig ressurser* til aktiv tilrettelegging, inklusive stier som leder ut til felt, godt vedlikehold og også nødvendig inngjerding om en skal ha beitedyr gående.

En må nøye vurdere hvilke felt som evt. kan framvises. På grunnlag av case-studiene peker bl.a. Ås 2 seg ut (men det kan godt også være andre som ikke ble undersøkt i foreliggende arbeid). Til tross for mye karbonatoppløsning, er Ås 2 et relativt stabilt felt med mindre fare for underminering. Det er også det mest unike feltet med sine figurer av hjorteklover. Jevnlig behandling med etanol kan tenkes, vintertildekking likeså. For slik tilrettelegging og vedlikehold har man etter hvert mye erfaring i Norge – også med hvor mye det koster og alle risikoer involvert. Men et felt som Ås 2 og alle andre i Gjerpensdalen må definitivt beskyttes mot tråkk og annen mekanisk påvirkning om de skal vises.

*

Uavhengig av hvilke bevaringsløsninger en velger, så vil det være en fordel å gjennomføre den best tenkbare dokumentasjon av helleristningene ved avdekking av dagens matter og før ny tildekking (og evt. visning). En har nå nær rent berg helt fritt for lav og dermed er det ekstremt velegnet for dokumentasjon. Dette er hva en skylder ettertiden etter å ha gravd fram helleristningene i vår tid. Den mest nøyaktige dokumentasjon er nå basert på laserscanning og følgelig bør en legge til rette for et program med slik dokumentasjon.

Referanser

- Bering B. og Olsen R. (red.) 1978. *Geologisk fører for Grenland*. Telemark geologiforening, 1978
- Christensen T. 1971. *Gjerpen bygds historie*. Bygdehistorie, bind 1. Skien kommune
- Christensen T. 1978. *Gjerpen bygds historie*. Bygdehistorie, bind 2. Fra omkring 1700 til 1964. Skien kommune
- Ernfridsson E. 2014. Inspektion av skyddstäckta hållristningar i Gjerpendalen. Rapport til Telemark fylkeskommune. Litobiome AB
- Ernfridsson E. og Strömer C. 2006. Hållristningar i Gjerpen Telemark. Dokumentation av skador och miljö samt en utredning kring långsiktig skydd. Rapport til Telemark fylkeskommune. Studio Västsvensk Konservering /Strömer Stenkonservering
- Ernfridsson E. og Strömer C. 2009. Konservering av hållristningar i Gjerpen 2009. Rapport til Telemark fylkeskommune. Studio Västsvensk Konservering
- Ernfridsson E., Klokkernes T., Sandvoll B., Tangen M. og Vogt D. 2019. Utvärdering av skyddstäckta hållristningar i Gjerpen, Telemark. Rapport til Riksantikvaren. Litobiome AB/Kulturhistorisk Museum, UiO
- Goldschmidt W.M. 1911. Die Kontaktmetamorphose im Kristianiagebiet. *Videnskapsselskapets Skrifter. 1. Mat.-naturv. Klasse* 11
- Groseth L. 2001. Å finne sted – Økonomiske og rituelle landskap i Telemark i sen-neolitikum og bronsealder. Oslo: *Universitetets Kulturhistoriske museer. Varia* 53
(www.nb.no/items/2f1a60023aa63e4a76f73515e6c0f)
- Haile B.G., Czarniecka U., Xi K., Smyrak-Sikora A., Jahren J., Braathen A. og Hellevang H. 2019. Hydrothermally induced diagenesis: Evidence from shallow marine-deltaic sediments, Wilhelmøya, Svalbard. *Geoscience Frontiers*, 10, 2, 629-649
(<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.02.015>) .
- Høeg, H.I. 1989. Noen resultater fra den pollenanalytiske undersøkelsen i Telemark. Appendiks 5, Pollenanalyser, I Mikkelsen, E. Fra jeger til bonde. Utviklingen av jordbrukssamfunn i Telemark i steinalder og bronsealder, *Universitetets Oldsaksamlings Skrifter - Ny rekke*, nr. 11.
(<https://www.duo.uio.no/handle/10852/82671>)
- Nilsen O. 2006. Geologiske hovedtrekk i Grenland-Brunlanes-området. Guide for GEL2150 – Felt- og metodekurs: Feltkurs, Nevlunghavn 2005. Institutt for geofag, UiO
(<https://www.uio.no/studier/emner/matnat/geofag/nedlagte-emner/GEL2150/v07/undervisningsmateriale/NEVLUNGHAVNGUIDE.pdf>)
- Owen A.W., Bruton D.L., Bockelie J.F. og Bockelie T.G. 2006. The Ordovician successions of the Oslo Region, Norway. *NGU Special Publication* 4
- Rønning K.J. 1979. Stratigraphy and sedimentology of the upper ordovician stage 5b sediments at the Skien-Langesund district, Oslo region, Norway. Hovedfagsoppgave, UiB

- Storemyr P. 2013. Om berggrunn, forvitring og risikovurdering på bergkunstfeltet i Ytre Kåfjord, Finnmark. Rapport, Per Storemyr Archaeology & Conservation Services, Brugg (CH); for Verdensarvsenter for bergkunst / Alta Museum, 38 s.
- Storemyr P. 1997. *The Stones of Nidaros. An Applied Weathering Study of Europe's Northernmost Medieval Cathedral*. Ph.d-thesis, no. 1997:92, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim
- Sæbø L. 2006. Analyse og bergartbeskriving for steinprøver fra helleristningslokaliteter i Gjerpenområdet. Bergen museum, Universitetet i Bergen. Rapport til Telemarks fylkeskommune. Bergen Museum, Universitetet i Bergen
- Sørensen R., Henningsmoen K.E., Høeg H.I. og Gälman V. 2014. Holocene landhevningssudier I søndre Vestfold og sørøstre Telemark – revidert kurve. I Melvold s. og Persson P. (red.) *Vestfoldbaneprosjektet. Arkeologiske undersøkelser i forbindelse med ny jernbane mellom Larvik og Porsgrunn*. Bind 1: Tidlig- og mellommesolittiske lokaliteter i Vestfold og Telemark. Kulturhistorisk museum UiO, 36-47
- Vogt D. 2006. *Helleristninger i Skien*. Skien kommune
(<https://www.skien.kommune.no/globalassets/helleristninger.pdf>)