



# **GEOLOGI FOR SAMFUNNET**

SIDEN 1858



**NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE**  
· NGU ·



<b>Rapport nr.:</b> 2016.040		<b>ISSN: 0800-3416 (trykt)</b> <b>ISSN: 2387-3515 (online)</b>		<b>Gradering:</b> Åpen	
<b>Tittel:</b> Kjerneboring og resultater fra logging av borkjerner fra Dalhaugen klebersteinsforekomst, Vefsn, Nordland					
<b>Forfatter:</b> Jakob K. Keiding, Vegard Lund og Gurli B. Meyer			<b>Oppdragsgiver:</b> Nidaros Domkirkes Restaureringsarbeider		
<b>Fylke:</b> Nordland			<b>Kommune:</b> Vefsn		
<b>Kartblad (M=1:250.000)</b> Mosjøen			<b>Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)</b> 1927 III Elsfjord, 1926 IV Fustvatnet		
<b>Forekomstens navn og koordinater:</b> Dalhaugen (1824-6617) Sone 33, 422059, 76211041			<b>Sidetall:</b> 35 <b>Kartbilag:</b>		<b>Pris:</b> 135,-
<b>Feltarbeid utført:</b> November 2015		<b>Rapportdato:</b> 20.12.2016		<b>Prosjektnr.:</b> 337102	
<b>Ansvarlig:</b> <i>Ulf A. Dølvik</i>					
<b>Sammendrag:</b> I november 2015 ble fire borkjerner på til sammen 200 meter boret ut fra klebersteinsforekomsten Dalhaugen i Vefsn i Nordland. Kjernene ble logget ved Norges geologiske undersøkelse (NGU) og denne rapporten beskriver resultater fra boring og logging. Arbeidet er utført i samarbeid med Nidaros Domkirkes Restaureringsarbeider (NDR) med tanke på å vurdere potensialet for småskaladrift. Målet var å lokalisere den minst oppsprukne delen av forekomsten og kartlegge hardheten mot dypet. Parallelt med loggingen av borkjerner har NDR tatt ut flere naturlige blokker fra steinuren og gjort huggeforsøk på disse. Erfaringer fra forsøkene er tatt med i rapporten.  Det er boret tre subhorisontale kjerner og en subvertikal kerne. Alle fire kjerner består av relativ homogen kleberstein med sporadiske biotittrike soner samt varierende fordeling og tykkelse av karbonatlinser. Sammenliknet med kleberstein fra forekomstene Bjørnålia og Grunnes er klebersteinen i Dalhaugen betydelig mer finkornet og har lavere innhold av biotitt og karbonat. Imidlertid er talkinnholdet også lavere og amfibolinnholdet høyere i Dalhaugen. Dermed er kleberstein fra Dalhaugen hardere enn kleberstein fra Grunnes og Bjørnålia.  I borkjernene er det observert flere soner med sprekker og enkelte knusningssoner, men imellom disse finnes det opp til 7 meter tykke sekvenser uten andre brudd og sprekker enn de som er oppstått under oppdeling av borkjerner. Det finnes en del karbonat samt antofyllit-talk-kloritt årer i forekomsten, men disse ser ikke ut til å skape problemer i forhold til huggingen. Derimot kan tynne spredte kvartsårer gi utfordringer på hardhet og mulig sprekkdannelse under arbeide.  Konklusjonen fra NGU og NDR er, at kleberstein fra Dalhaugen er hard å bearbeide, men at det ikke løsner flak og linser under hugging av ornamentikk. Tidligere studier har vist at steinen har god holdbarhet mot forvitring. Samtidig finnes det et betydelig volum med få eller ingen sprekker som gjør at en kan produsere større homogene blokker som er velegnet til kvaderstein.					
<b>Emneord:</b> Kleberstein		Gabbro		Bygningsstein	
Nidarosdomen		Naturstein			

## **INNHold**

1. INNLEDNING .....	4
2. DALHAUGENS GEOLOGI OG TIDLIGERE ARBEID PÅ FOREKOMSTEN.....	4
3. BORRING .....	5
4. LOGGING AV BORKJERNER OG ANALYSEMETODER .....	6
5. RESULTATER .....	7
5.1 Bergartsbeskrivelser og mineralogi.....	7
5.2 Hardhet.....	9
5.3 Sprekker og årer .....	13
6. KONKLUSJON OG VIDERE ARBEID .....	17
7. REFERANSER.....	19

## **VEDLEGG**

Vedlegg 1: Avviksmåling for borhull BH-1

Vedlegg 2: Borelogg

Vedlegg 3: Oversiktsbilder av kjerneseksjoner

Vedlegg 4: Prøveliste

## 1. INNLEDNING

Nidaros Domkirkes Restaureringsarbeider (NDR) trenger bygningsstein til det kontinuerlige arbeidet med restaurering og vedlikehold av Nidarosdomen i Trondheim. Den dominerende bergartstypen anvendt i Nidarosdomen er kleberstein og NDR står med en akutt utfordring ettersom det i dag ikke er brudd av norsk kleberstein i drift. I dag blir det hentet restmateriale fra tippene i det nedlagte bruddet ved Grunnes i Målselv i Troms. Erfaringer med kleberstein fra dette og flere tidligere brudd har vist at det er utfordringer knyttet til huggeegenskaper og/eller holdbarhet av kleberstein fra disse brudd. Steinbrudd eldre enn år 1537 er automatisk vernet og det finnes derfor bare et fåtall eldre steinbrudd som kan bli aktuelle for nye uttak. Derfor ønsker NDR å lokalisere forekomster som ikke har vært i drift før 1537 og som har en kvalitet som kan imøtekomme bruk av moderne driftsmetoder. På bakgrunn av dette har NDR de siste årene i samarbeid med Norges geologiske undersøkelse (NGU) og med Archaeology & Conservation Services fokusert på en klebersteinsforekomst ved Dalhaugen i Vefsn kommune som ikke har vært i drift tidligere utover sporadiske driftsforsøk i 18.-19. hundrede tallet.

Forekomsten oppfyller flere av kravene som stilles til restaureringsformål og ligger godt til logistikkmessig for småskala drift og etter det NGU kjenner til uten problemer med naturvern eller andre betydelige arealinteresser. Forekomsten her har vært kjent fra tidligere, men ble grundigere undersøkt av NGU i samarbeid med NDR i 2013-2015. Forekomsten er vurdert egnet for bruk til restaureringsformål og en foreløpig overflateavgrønsing av forekomsten er utført av NGU (Meyer et al 2015).

På bakgrunn av denne undersøkelsen ble det av NDR besluttet å gjennomføre kjerneboring. Formålet med borearbeidet har vært å få et mer detaljert bilde av hardhets- og bergartsvariasjon, samt hyppighet av sprekker og årer mot dypet. NGU har assistert NDR med planlegning og veiledning av borearbeidet samt etterfølgende logging og tolkning av boredata. Denne rapporten presenterer resultatene av borekampanjen. Dessuten er Vegard Lund, student ved NTNU, knyttet til prosjektet med masteroppgave rundt vurdering og 3D modellering av forekomsten. Foreløpige resultater av Vegard Lunds arbeid inngår i rapporten her, men vil først bli endelig presentert i masteroppgaven som forventes avsluttet i løpet av sommeren 2017.

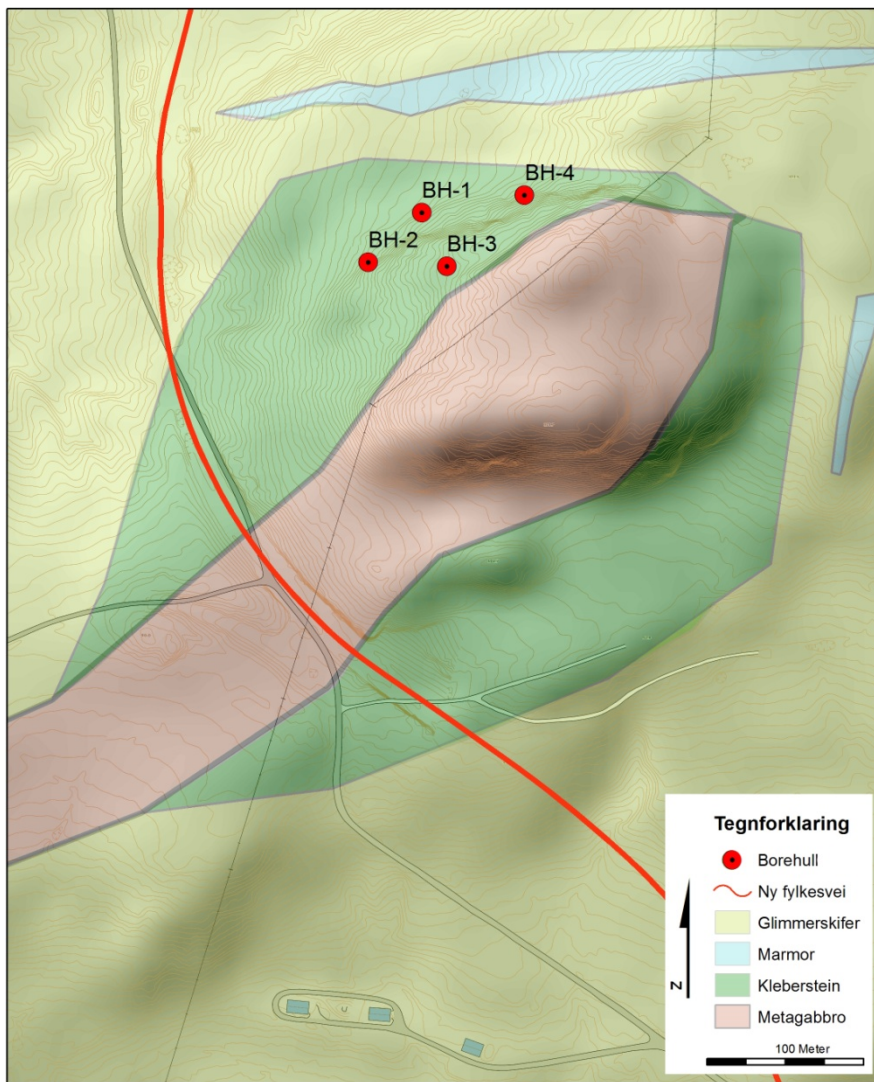
## 2. DALHAUGENS GEOLOGI OG TIDLIGERE ARBEID PÅ FOREKOMSTEN

Dalhaugen ligger sentralt i Drevjedalen i Vefsn kommune som en av flere gabbro-/ kleberkropper alle tilhørende Helgelandsdekket (Karlsen og Nilsson, 1999). Bergartene ble dannet ved en større fjellkjededannelse som fant sted for ca. 405-500 millioner år siden da de to kontinentene Baltica og Laurentia kolliderte. Geologisk sett er de ultramafiske og mafiske kropper i Drevjedal trolig dannet under samme geologiske prosesser som forekomsten i Bjørnålia sør for Mosjøen.

I samme område som Dalhaugen har det vært gjort uttak av kleberstein til røykrør og andre emner for ulike formål. Inskripsjoner i en steinblokk i Dalhaugen fra siste halvdel av 1700 tallet sammen med sagespor og boring i blokker og fastfjell vitner om, at forekomsten har vært kjent i flere århundrer (Meyer et al. 2015). Forekomsten ble tidligst omtalt av Vogt (1890) og siden av Holmsen (1932) og Lindahl (2012) men ble først kartlagt og detaljert beskrevet under NGUs samarbeide med NDR (Meyer et al. 2015).

Figur 1 viser et forenklet geologisk kart over Dalhaugen, som utgjør en fjellknaus bestående av gabbro og pyroksenitt i den sentrale og høyereliggende delen. Fra gabbroen og utover sees gradvis overgang til omdannet gabbro og i en randsone av varierende tykkelse er bergarten helt omdannet til kleberstein. Hele partiet av gabbro og kleberstein er omgitt av glimmerskifer og marmor og enkelte linser av disse bergarter er innsluttet i gabbroen og klebersteinen.

Svingninger i hardheten og variasjoner i kløvdannelse gjør at kvaliteten som bygingsstein varierer. Den nordvestlige delen av klebersteinsforekomsten er generelt minst påvirket av deformasjon og i dette området er klebersteinen mest massiv. Boringene er derfor foretatt i dette område.



Figur 1. Forenklet geologisk kart over Dalhaugen med angivelse av plasseringen av de fire utførte borerhullene. Grensen mellom gabbro og kleber er på kartet vist som skarp, men egentlig er det en gradvis overgang over 5-10 meter. Geologisk kart fra Meyer et al. (2015).

### 3. BORRING

Borearbeidet ble utført 2. til 8. november 2015 av det norske selskapet Geo Drilling A/S som anvendte en Muskeg beltevogn med Diamec 252 boreaggregat. Boreriggen er selvkjørende og

har god vektfordeling med belter som gjør den terrenggående og gir minimalt med skade på torv og vegetasjon. Grunneier og lokal entreprenør hadde på forhånd ryddet skog og fjernet større steinblokker for bedre tilgang til påslagene for boringene.

Det ble boret fire hull i forekomsten (nummerert BH-1 til BH-4); med en samlet lengde på ca. 200 m. Borhullenes presise plassering ble registrert med differensial GPS. I Tabell 1 finnes en oversikt over borhullenes koordinater, lengde og orientering. Det er boret tre hull som har 10° stup i sørlig retning med lengder fra 30 m til 79 m. Ytterligere ble det boret ett steilt hull (BH-3) fra toppen av forekomsten som stuper 70° i sørlig retning. Av økonomiske årsaker ble det besluttet å ikke benytte retningsorientert boring samt kun å utføre avviksmåling for det lengste hullet BH-1. Avviksmålinger fra dette hullet fremgår av vedlegg 1. Målingen viser relativt små og usystematiske variasjoner på 2-8° i horisontalplanet fra utgangsposisjonen og mindre enn 2° i dykk. Da de øvrige borhull er vesentlig kortere enn BH-1, antas det at avvik fra disse også vil være begrenset og antakelig mindre enn for BH-1. Løpende inspeksjon av kjernene ble foretatt under boringer for å undersøke variasjoner i bergartstype (litologi), hyppighet av årer og sprekker samt hardhet av klebersteinen. Etter avslutningen av boreprogrammet ble borkjernene transportert til NGU hvor de ble logget.

Borhull #	Geografisk plassering (UTM)			Høyde over havet (m)	Retning (°)	Dykk (°)	Lengde (m)
	sone	Ø	N				
BH-1	33	422019	7321043	135,7	175	10	79,5
BH-2	33	421984	7321011	136,1	130	10	58,2
BH-3	33	422035	7321008	154,9	180	70	30,0
BH-4	33	422085	7321054	142,5	180	10	28,8

Tabell 1: Oversikt over borhullsplassering, orientering og lengde. Alle plasseringer er oppmålt med differensial-GPS. Retning og dykk for borhull BH-1 angir omtrentlig gjennomsnittverdier fra avviksmåling (se Vedlegg 1). Øvrige borhullretninger og dykk er innmålt med kompass og klinometer.

#### 4. LOGGING AV BORKJERNER OG ANALYSEMETODER

Logging av borkjerner har omfattet bergartstype, mineralogi, tekstur, hardhet, farge, magnetisme, hyppighet og orientering av sprekker og årer. Plassering av observasjonene er registrert i borhullslogger (Velegg 2A og 2B) og inngår i en 3D-modell som er bygget opp i dataprogrammet Leapfrog. Fotografier av alle borkjerner er vist i Vedlegg 3. Kvaliteten og hardheten av bergarten er gjennomgått av Vegard Lund som en del av masteroppgave under veiledning av Kurt Aasly ved NTNU og medveileder Gurli B. Meyer ved NGU. Sprekkesmønstret og årenettverk er loggført av Gurli B. Meyer og Jakob K. Keiding.

I forbindelse med logging av kjernene ble det tatt ut i alt 39 prøver til tynnslip for petrografisk undersøkelse samt pulverprøver til bestemmelse av mineralogi med røntgendiffraksjon (XRD). Sistnevnte analysemetode benyttes til identifikasjon og kvantifisering av mineraler og ble foretatt ved NGUs laboratorium (Analyserapport NGU-lab, 2016). Metoden er svært nyttig til bergartskarakterisering som et supplement til mikroskopering av meget finkornede bergarter. De første resultater fra XRD analysene inngår i denne rapporten, men arbeidet med mikroskopering og videre analyser vil først bli presentert i sin helhet i Vegard Lunds masteroppgave. Preparering av prøver fra borkjernene avviker fra standardmetoden hvor prøver først knuses med kjeveknuser og heretter knusning i agat eller wolframkarbid morter. For å bevare så mye som mulig av borkjernen samt for å kunne ta ut små prøver fra årer ble det i stedet raspet/hugget av prøvemateriale med grov fil og/ eller liten steinhugger meisel av hard metall. Verktøyene ble grundig rengjort mellom hver prøve for å unngå

krysskontaminering (forurensing). Den følgende prøvepreparasjon for XRD analysene følger NGU vanlige metode beskrevet av Grimstvedt og Karlsen (1995) og prøvetakningsmetoden anvendt her vurderes ikke å ha noen betydning på XRD analyseresultatene.

Plassering av prøver anvendt i denne rapporten er vist i Vedlegg 2A mens samlet prøveliste av alle 39 prøver fremgår av Vedlegg 4.

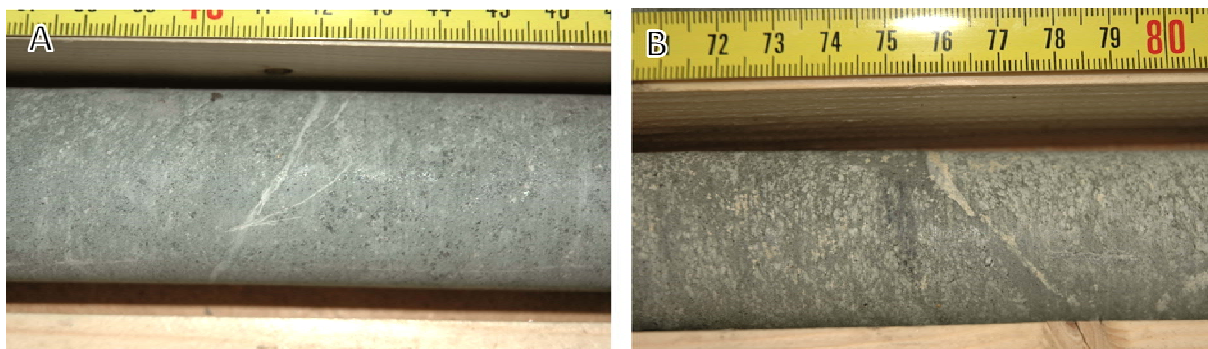
For å kvantifisere hardheten av klebersteinen i borkjernene er instrumentet Equotip 3 produsert av Proceq SA i Sveits benyttet. Målemetoden, som er basert på den såkalte Leeb rebound hardness test, fungerer ved at et slagstempel med en hardmetallspiss, drevet av fjærkraft, blir påført overflaten av aktuelt prøvestykke. Når spissen treffer overflaten vil det forekomme deformasjon, slik at kinetisk energi går tapt. Det er dette energitapet som blir målt og kvantifisert (Proceq, 2016). Måleinstrumentet er utviklet til å måle hardheten av metaller, men har vist seg nyttig til å kvantifisere hardhet også av bergarter og mineraler. Målingen er angitt i enheten HLD som kan konverteres til mer velkjente hardhetsskalaer som anvendes innenfor materialevitenskap (Pollak, 2008). Til analysen her opereres det med relative hardhetsmålinger og derfor er absolutte målinger og enheten underordnet, men skalaen er lineær og jo høyere verdi desto hardere er materialet.

## **5. RESULTATER**

### **5.1 Bergartsbeskrivelser og mineralogi**

Som det fremgår av loggen i Vedlegg 2A domineres borkjernene av kleberstein og grensen til gabbroen, som sees som en overgangssone over 5-10 m i sørlig retning på overflaten, er ikke observert i borkjernene. Enkelte partier har svakere omvandling enn andre og har bevart flere mineralogiske og teksturelle trekk fra den opprinnelige gabbroen. Som inneslutninger i klebersteinen finnes det stedvis biotitt- og karbonatsoner med varierende utstrekking (Vedlegg 2A).

Fargen på klebersteinen er jevn grønlig til mellomgrå med noen partier som har lysere grå farge. Bergarten er finkornet til meget finkornet med typisk kornstørrelse på 0,5-1 mm for de største kornene. Størsteparten av mineralfasene har kornstørrelse på under 0,1 mm. Stedvis forekommer amfibol aggregater som er 0,1-5 mm store og inneholder små korn av andre mineraler omvandlet fra opprinnelige korn av plagioklas. Generelt virker Dalhaugen klebersteinen tekstural homogen med lokale variasjoner i mineralogi og kornstørrelse (Figur 2). Overgangene til soner med avvikende tekstur er gradvise og diffuse. I enkelte partier gjenspeiler klebersteinen gabbroen med veldefinerte aggregater av aktinolitt (Figur 2A) mens aggregatene i andre partier har blitt omdannet helt slik at bare veldig finkornet materiale gjenstår (Figur 2B). Aktinolitt kan ha særlig asbestformig fibrøstekstur som er helseskadelig. Tidligere undersøkelser av overflateprøver fra Dalhaugen rapportert i Meyer et al. (2015) viser at mengden og typen av asbestformige mineraler er under grenseverdiene og akseptable for huggeverkstedet på NDR eller som anvendelse av klebersteinen i Nidarosdomen.



Figur 2. Eksempler på typiske klebersteinsteksturer. A) Aggregater av mørkegrønne aktinolitt-krystaller (oikokryster) i finkornet matriks (BH-1: 35,4 m). B) Borkjerne som inneholder lyse partier med veldig finkornet materiale (BH-1: 17,4 m).

Tabell 2 sammenfatter den mineralogiske sammensætning av klebersteinen basert på XRD analysene. De to siste kolonnene i Tabell 2 *goodness of fit* (GOF) og *weighed profile factor* (RWP) angir påliteligheten av modelleringen. En GOF verdi mindre enn to tilsvarer en pålitelig modellering. De fleste verdiene ligger rundt 2 eller litt over. En kontroll gjennomført med mikroskopering av tynnslip fra prøver tatt i de samme punktene indikerer at analysene stemmer godt overens med det observert i tynnslip.

De dominerende mineralene i klebersteinen er aktinolitt (ca. 35-60%), kloritt (ca. 25-45%) og talk (ca. 5-10 %) med mindre mengder av karbonater og oksider (< 6%), samt noen andre aksessoriske mineraler (Tabell 2). Mineralogien samsvarer godt med tidligere petrografiske observasjoner fra overflateprøver rapportert i Meyer et al. (2015), men det er en tendens til et noe høyere amfibolinnhold i borkjernene undersøkt her og ingen plagioklas/saussuritt som beskrevet av Meyer et al. (2015).

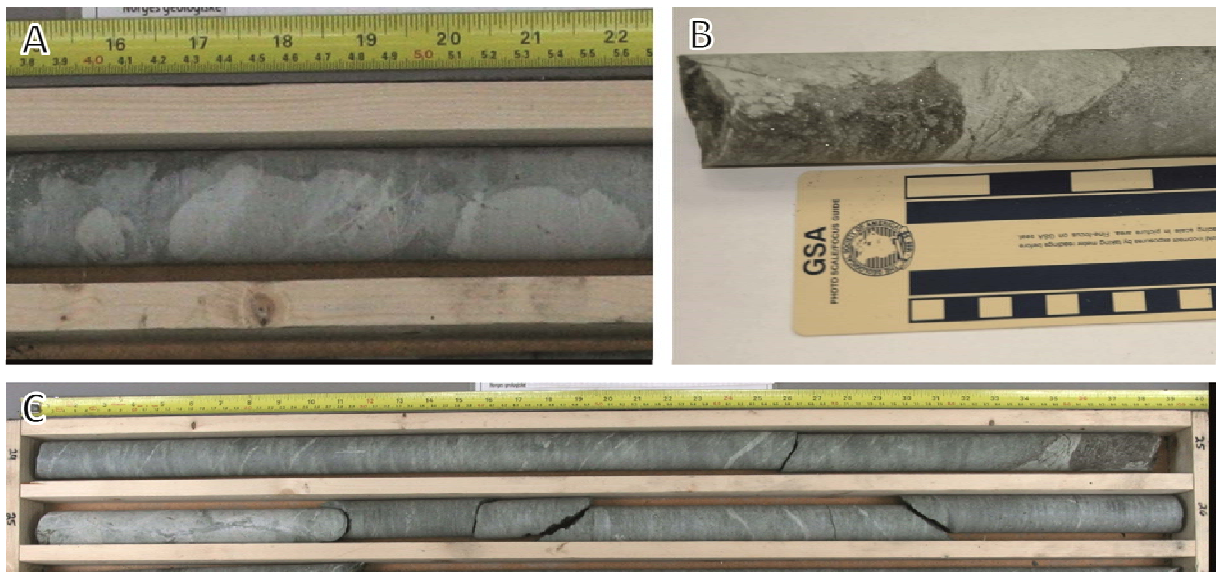
NGU-nr.	Borehull	Dybde (m)	act	chl	tlc	zeo	dol	cal	bt	tob	qtz	ilm	mt	tit	GOF	Rwp
133801	1	9,9	60	27	6	2						2	2	1	1,98	15,76
133802	1	16,8	40	45	4	4	2				spor	1	2	2	2,36	17
133803	1	40,2	42	42	9	2						2		3	2,05	16,4
133804	1	58,5	33					4	58	3		2			2,49	16,54
133805	1	64,8	64	27	5	spor		3				1			1,92	15,25
133806	2	14,3	39	39	12	3	3	spor				2	mulig	2	2	15,31
133807	2	33,5	44	44	5	2	1					2		2	2,17	16,7
133808	2	45,5	42	44	9	2		1				2		spor	2,07	16,1
133809	2	53,5	49	38	8	3		1				1			2,12	16,1
133810	3	2,3	44	43	6	2		2				2		1	2,13	16,54
133811	3	17,55	43	44	4	2		4				2		1	2,3	16,74
133812	4	24,6	37	44	10	3	3					2		1	2,16	16,71

Tabell 2: XRD resultater av mineralogien fra Dalhaugen borkjerne. Mineralinnholdet er angitt i vektprosent. Prøve 133804 er fra en biotittrik sone og alle øvrige prøver er fra kleberstein. Prøveplassering og litologi fremgår også av loggen i Vedlegg 2A. act=aktinolitt, chl=kloritt, tlc=talk, zeo=zeolitt, dol=dolomitt, cal=kalsitt, bt=biotitt, tob=tobermoritt, qtz=kvarts, ilm=ilmenitt, mt=magnetitt, tit=titanitt. GOF = goodness of fit, Rwp = weighed profile factor.

Biotitt- og karbonatsonene er uregelmessig fordelt i borkjernene og varierer i tykkelse fra få centimeter opptil en halv meter (Vedlegg 2A). I både borhull 1 og 2 finnes det biotittrike soner, hvor den mest markante sone ligger i et intervall på ca 1 meter på 25 meters dybde (Vedlegg 2A). Det er vanskelig å si om sonene er sammenhengende mellom de to borhull, men fra overflaten ser en sporadiske linser av karbonat og biotitt i et tilnærmet sammenhengende belte. XRD-analysen av et av disse partiene (NGU nr. 133804) viser at en slik biotittlinse kan inneholde ca. 60 vekt% biotitt og ellers domineres av aktinolitt (>30 vekt%) samt mindre mengder oksider og karbonater (Tabell 2). Kontakten mellom



karbonatsoner og omkringliggende berg er fortrinnsvis skarp og veldefinert, men forløpet av kontaktene er i hovedsak irregulære og bølgende (Fig. 3).



Figur 3. Ulike typer inneslutninger i BH-1. A) Kontakt mellom en karbonatrik sone og kleberstein. Forløpet av kontakten er irregulær og ulike karbonatfaser opptrer i et sonert mønster (BH-1: 42,5 m). B) Sone dominert av karbonat og glimmer. Kontakten mellom karbonaten og den glimmerrike sonen er skarp, men med et sterkt varierende forløp (BH-1-24,9 m). C) Utvidet bilde av partiet i B. Karbonatsonen danner irregulære linser og har gradvise overgange til kleberstein (BH-1: 24-26 m).

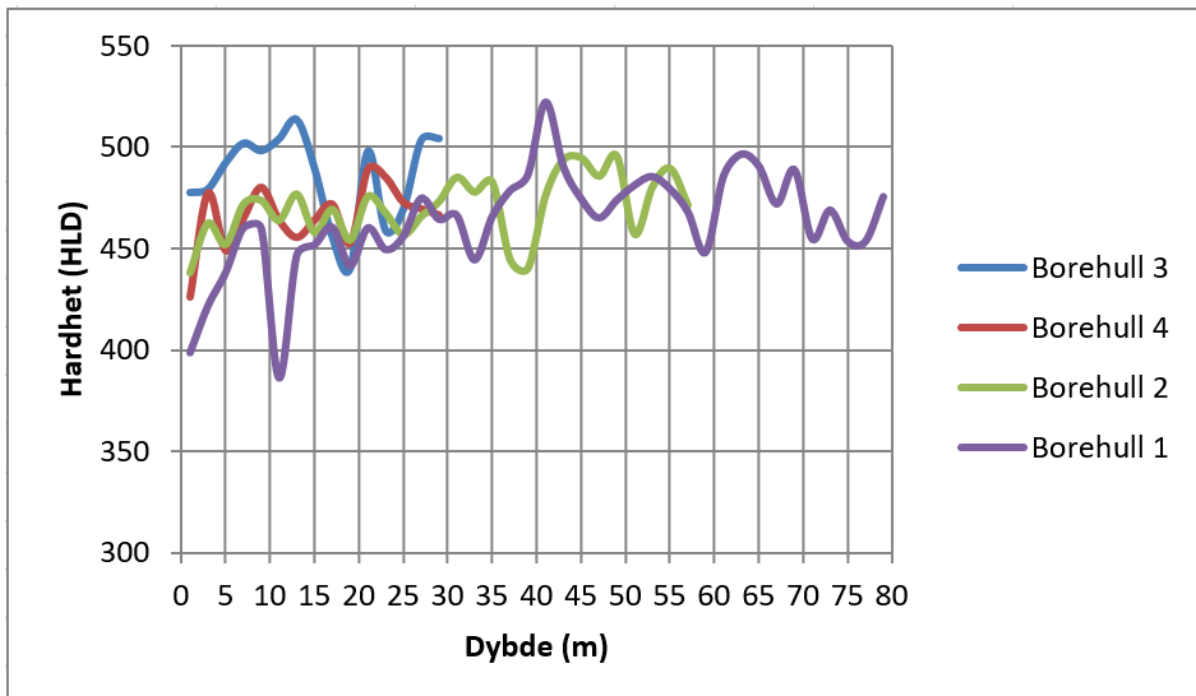
Kontakten mellom rene biotittsoner og kleberstein er ofte mer diffus. Figur 3 viser en biotittsone innesluttet i en karbonatsone med irregulær kontakt. Dersom beltet av inneslutninger utgjør sammenhengende 'tog' kan dette tolkes som en form for 'vegg' eller 'skjerm' mellom den opprinnelige kontakten mellom gabbro og sidestein. Det kan være flere slike 'skjermene' og linser av sidestein enn det som er identifisert i borkjernene.

De magnetiske egenskapene i bergarten mot dybden er vist i borelogg i vedlegg 2B. Bergarten i borhull 1, 2 og 4 er for det meste magnetiske, men graden av magnetisme varierer. Det vertikale borhull 3 skiller seg tydelig ut ved at store partier ikke er magnetiske. Dermed er andelen oksider sannsynligvis relativt lav i dette borhullet. I samme logg er karbonatinnholdet indikert. Dette varierer noe, men ligger for det meste mellom 1% og 6%. Enkelte mindre intervaller inneholder opp mot 10%, da spesielt nedre del av borhull 4 og midtre del av borhull 3. Disse delene er ennå ikke undersøkt med XRD og mikroskopering og karbonatinnholdet vist i boreloggen er estimert på bakgrunn av makroskopisk vurdering av borkjernene og det er knyttet noe usikkerhet til dette. Korte intervaller og større linser av materiale bestående nesten utelukkende av karbonat er markert på boreloggene i vedlegg 2A og 2B, samt vises nærmere på Figur 3.

## 5.2 Hardhet

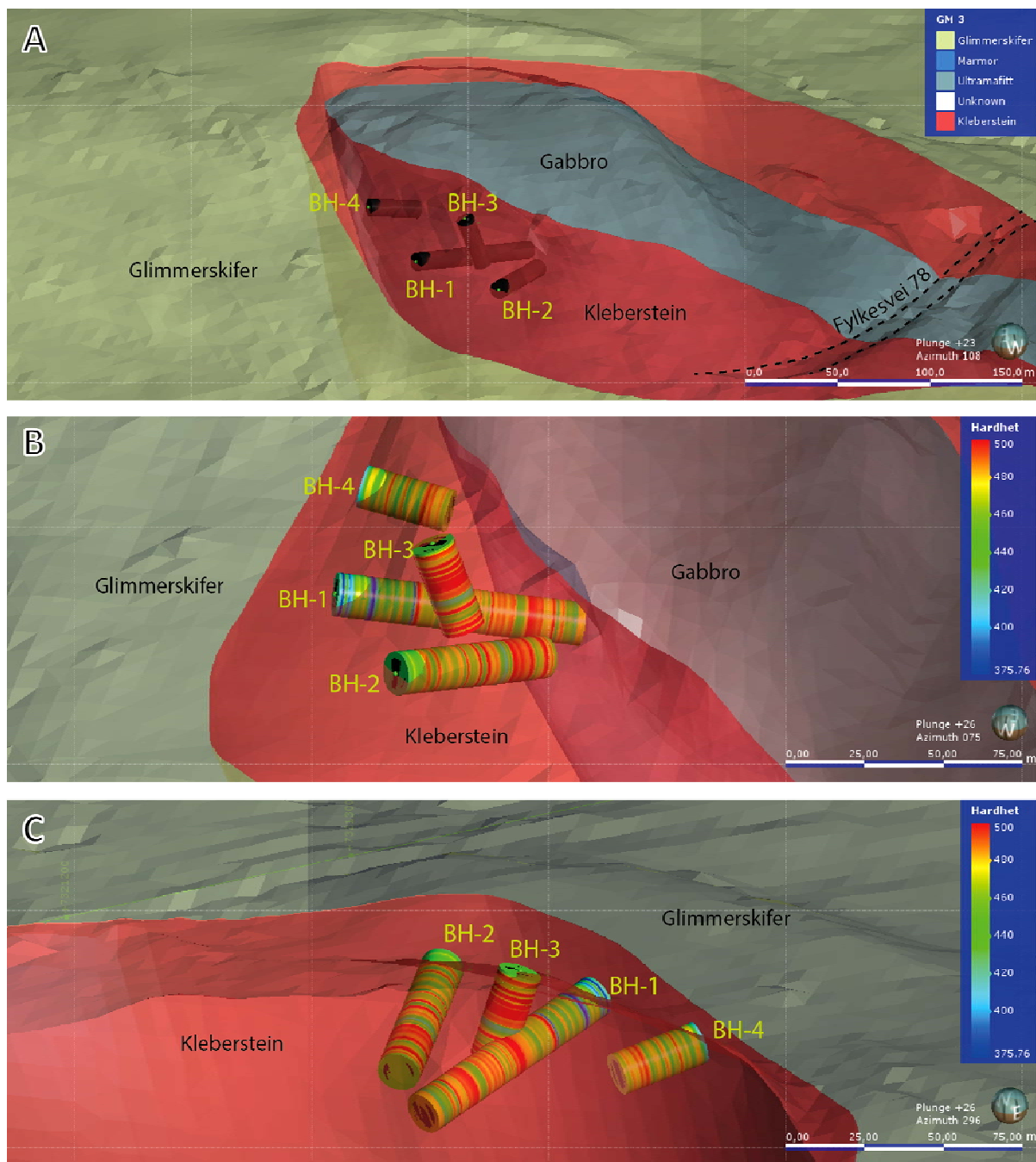
Figur 4 viser hardhet mod dybden av borhull. Det ble gjennomført målinger for hver andre centimeter på kjernene, men figuren er basert på gjennomsnittsverdiene over intervaller på 2 meter for utjevne små lokale variasjoner. Borkjernene fra hull 1, 2 og 4 er relativt myke i nærheten av overflaten, noe som sannsynligvis skyldes forvitring i bergoverflaten og inn i

berget til to-tre meter dybde. For borchull 3 er ikke trenden like tydelig hvilket kan tyde på at bergoverflaten i dette området har vært tildekt med løsmasse og vegetasjon. Borchull 1 har stor nedgang i verdier ved 12 meter. Dette faller sammen med et oppsprukket parti med noe omdanning til mykere mineraler langs sprekkeplan. Borchull 3 ligger gjennomsnittlig over de andre borchullene i hardhet i den øvre del. Dette kan avspeile et lavere talkinnhold, men kan også være et resultat av en annen orienteringen av kjernen i forhold til bergartens iboende foliasjon/kløv. Hardheten mot dybden er relativt lik i de øvrige borchullene. For de tre horisontale borehullene kan det observeres noen trender, blant annet viser alle et fall i hardheten i intervallet 16-20 meter og en markant stigning mellom 20 og 22 meter. Det er ingen opplagt variasjon i sprekkemønsteret i det mykere intervall, men det kan være en øking av karbonatinnholdet som gjør bergarten mykere. At borchull 3 som er vertikal viser det samme variasjon kan tyde på at hullet går igjennom samme sekvens i tilsvarende boreddybde.



Figur 4. Verdier for Equotip 3 hardhetsmålinger plottet mot dybde i borchull. Hardhetsverdiene representerer gjennomsnitt for intervall på 2 meter.

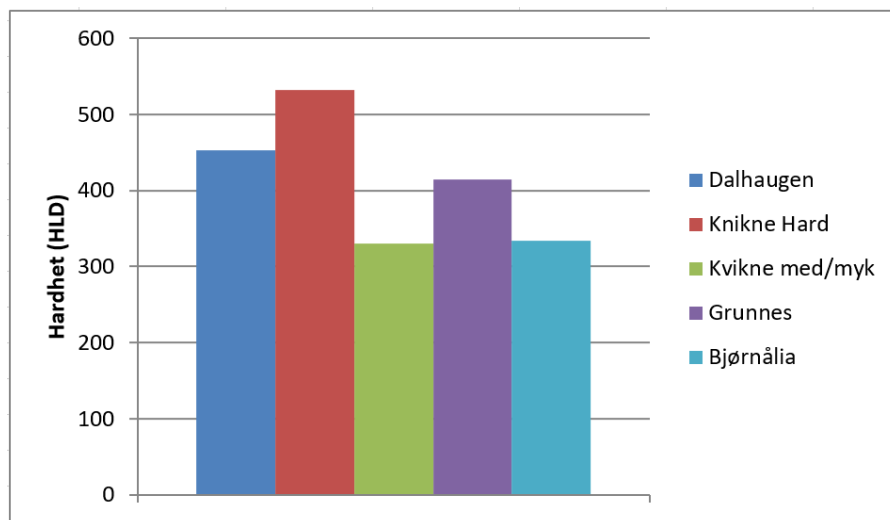
Figur 5 viser en 3D-modell generert av borkjernene i dataprogrammet Leapfrog. Figur 5A viser oversiktsbilde som illustrerer borchullenes tredimensjonale plassering i Dalhaugen, mens Figur 5A og 5B viser variasjonen i hardheten nedover i borchullene fra to ulike perspektiv. Fargekoden for hardheten er beregnet fra den gjennomsnittlige hardheten for hver meter målt med Equotip 3. Partier med størst hardhet befinner seg i borchull 3, mens de tre horisontale hullene ser ut til å ha små hyppige endringer med enkelte korte partier som framkommer som relativt harde. Hardheten øker generelt innover i de horisontale borchullene.



Figur 5. 3D-modellering av borkjernene: A. Oversiktbilde som viser de fire borkjernenes plassering sett skrått fra oven fra nordvestlig retning. B) Hardhetsvariasjoner i borkjernene sett skrått fra oven fra vestlig retning. C. Hardhetsvariasjoner i borkjernene sett skrått fra oven fra østlig retning. Fargekoden for hardheten i B og C er beregnet fra den gjennomsnittlige hardheten for hver meter målt med Equotip 3. Borkjellsnumre er vist ved toppen av alle borkjell.

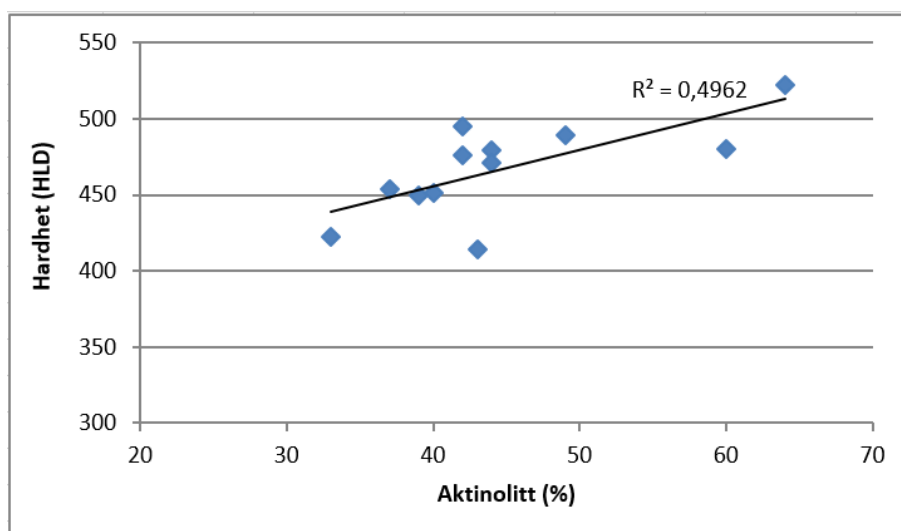
En lang rekke brudd er anvendt til oppførelsen og senere vedlikehold av Nidarosdomen og oversikt over steinbrudd i drift til ulike tider finnes i Storemyr (1997) og er dessuten beskrevet i Storemyr (2015). For å relatere hardhet målt i Dalhaugen til velkjente typer av kleberstein anvendt av NDR for restaurering er det foretatt en sammenlignende analyse av hardheten. Figur 6 viser hardhetsmålinger på steinplater av kleberstein fra tre ulike bruddområder sammen med målinger av representativ kleberstein fra Dalhaugen. Det ble brukt to prøver fra hver av lokalitetene, Dalhaugen, Kvikne, Bjørnålia og Grunnes. Fra Kvikne ble det testet både en hard variant og en medium variant. Fra samtlige forekomster er det blitt testet på to steinplater som er representative for sine respektive områder. Målingene

er gjort med Equotip 3 på rektangulære plater med tilnærmet lik geometri og på likt underlag. Målinger ble gjort på begge sidene av hver prøve, med 100 målinger per side og dermed totalt 400 målinger på hver av typene. Hardhetsverdiene kan ikke direkte sammenlignes med de som har blitt gjort på borkjerner fordi målingsutstyret kan være sensitiv overfor geometri og underlag, men målingene i Figur 6 viser overordnet at Dalhaugen klebersteinen er relativt hard. Resultatet stemmer godt overens med erfaringen fra steinhuggene ved NDR og deres opplevelse av hardheten.



Figur 6. Sammenligning av hardhetsmålinger utført med Equotip 3 på Dalhaugen og ulike klebersteintyper anvendt til restaurering av Nidarosdomen.

Figur 7 viser mengden av aktinolit bestemt med XRD mot den målte hardheten. Det viser seg at det er en svak trend av økende hardhet økt innhold av aktinolit, hvilket er forventet da mineralet har større hardhet end de øvrige mineraler i klebersteinen. Det relative høye amfibolinnholdet kan gjøre bergarten forholdsvis hard for bearbeiding sammenliknet med andre typer kleberstein som er mer talk- eller klorittrike.



Figur 7. Hardheten målt med Equotip 3 fra borkjernen som funksjon av aktinolitinnholdet bestemt i samme punkt med XRD analyse.

### 5.3 Sprekker og årer

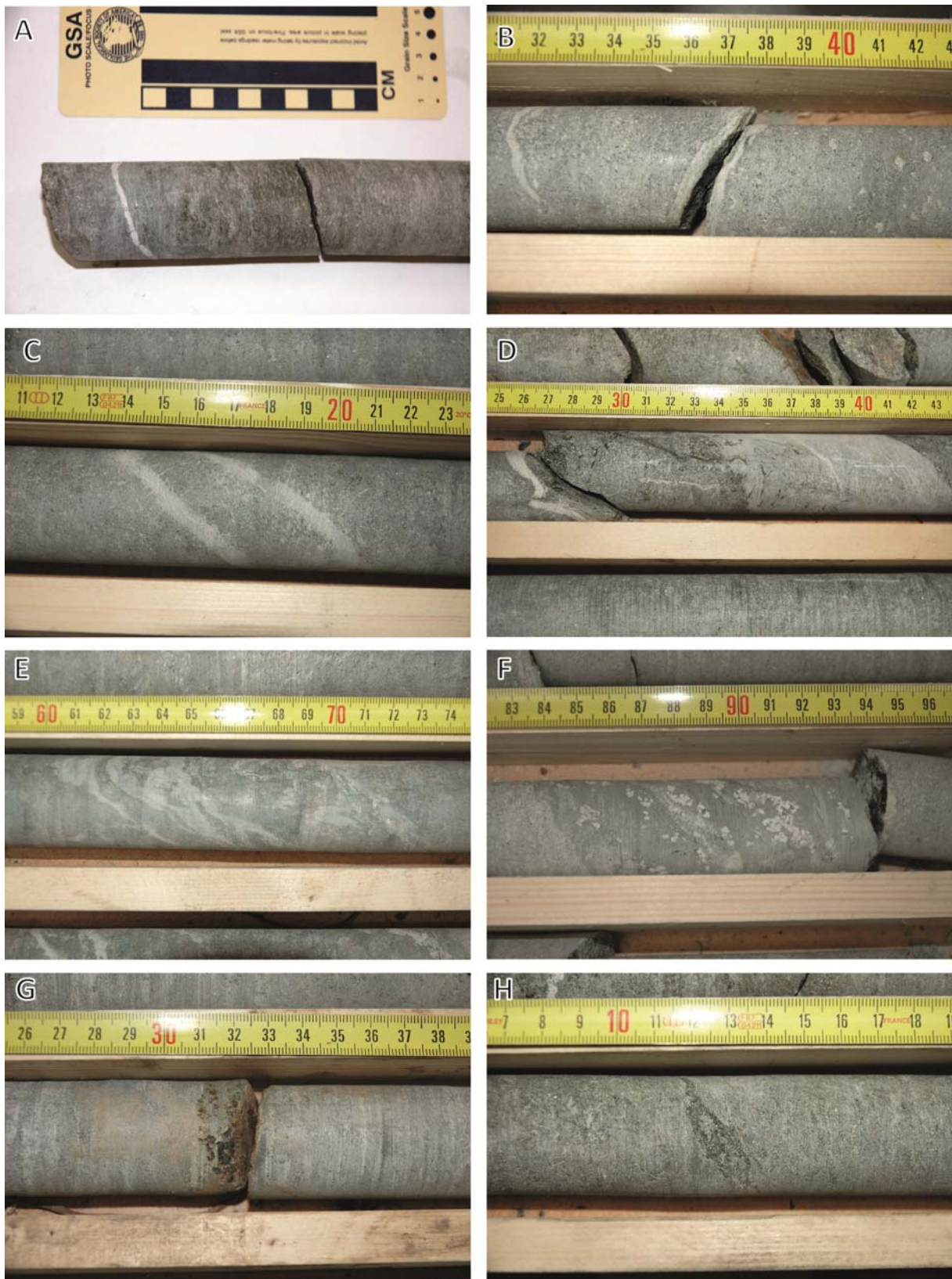
Sprekker og årer er vist på loggen respektivt i Vedlegg 2A og 2B. Sprekker og årer forekommer i varierende grad i Dalhaugen og er viktige parametere da de kan utgjøre potensielle svakhetssoner i bergarter for natursteinsformål. Dessuten vil partier med årer ofte ha avvikende hardhet og huggeegenskap i forhold til vertsbergarten de opptrer i. Figurene 8-10 viser bilder av hovedtypene av sprekker og årer som er observert og registrert i kjernene. Overordnet kan disse inndeles i tre typer; a) åpne sprekker/brudd som har bruddflater i bergarten uten sprekkefylling, b) årer karakterisert ved uregelmessig eller forholdsvis tynne mineralårer fylt med materiale ulikt fra omgivelsene, men uten bruddflater, c) sprekker med åpne bruddflate som har assosiert årefyllmateriale (Figur 8). I tillegg kan årematerialet variere i type (mineralogi) og sprekker kan være karakterisert ved å være enkle åpne (avlastnings-) sprekker eller sprekker hvor det har vært bevegelse langs sprekkeplanet.

Lyse og relative harde årer er dominerende i de undersøkte kjernene (Figur 8D og 8E) og finnes stedvis relatert til årer med sprekker (Figur 8B). Årene er relativt finkornede og mineralogien er vanskelig å identifisere uten mikroskopering. De foreløpige undersøkelser indikerer at denne åretypen består av amfibol (antofyllitt + gedritt?), talk og kloritt samt mindre mengder karbonat og biotitt. Grensen til vertsbergarten for disse årene varierer fra skarp til diffuse, og de kan være rette til undulerende, stedvis som slirer eller årenettverk (Figur 8E). Stedvis ses bunter av nåleformig amfibol sammen med kloritt og talk, og årene er her assosiert med brudd med bevegelse langs sprekkeplan. Disse områdene utgjør svakhetssoner og er tett assosiert med årer og skjærsoner hvor bergarten har blitt plastisk deformert (Meyer et al. 2015). De stedene hvor årene ikke er relatert til bevegelses- eller skjærsoner virker åretypen til å være godt forseglet, men da hardheten her er høyere enn i klebersteinen vil de utgjøre en utfordring for steinhugging.

En annen type årer er markant mykere enn den gjennomsnittlige bergarten. Årene kan risses med en negl, har grønnlig farge og er helt tett på grunn av ekstrem finkornet krystallstørrelse (Fig. 8F). Årene består helt overveiende av kloritt og talk men inneholder også mindre mengder karbonat +/- biotitt. Karakteristisk for denne type årer er subhedrale krystaller av kalsitt som ofte finnes i bånd inne i grunnmassen. Mange av disse årene har også et eller flere skjærbånd som viser at det har vært bevegelse i årene. Der er kan likedan være brudd ved grensen mellom åre og kleberstein eller i selve årene som følge av kompetanseforskjellen. Denne typen av årer vil utgjøre en svakhet i bergarten og bør unngås ved eventuelt framtidig blokkuttak.

Karbonatdominerte sprekker forekommer i kjernene men er mindre hyppige enn de to tidligere nevnte åretypene. Karbonatårene finnes blant annet som serier av tynne årer, hvor noen har små forskyvinger av karbonatlinser mens andre årer utgjør tynne rette bånd (Fig 8A). De fleste karbonatårene viser ingen eller kun svak reaksjon på saltsyre og består primært av dolomitt samt magnesitt mens enkelte bruser ved kontakt med syre og er dominert av kalsitt. Disse trenger ikke å utgjøre noen større utfordring for huggearbeidet.

En mindre hyppig åretype er kvartsårer (Fig. 8C). Disse opptrer kun enkelte steder i kjernene og er typisk tynne (3-10 mm) grålige til hvit i farge og har skarpe grenser til vertsbergarten. Disse årer forventes ikke å være et stort problem for blokkproduksjon, men erfaringen så langt fra NDRs verksted viser at disse åre utgjør en utfordring både for selve huggearbeidet og for utvikling av sprekker.



Figur 8. Bilder av typiske åre- og sprekketyper i borkjernerne. A) eksempel på borkjerne med lys karbonatåre til venstre og åpen sprekke uten mineralisering til høyre (BH-1: 76,1 m). B) sprekke med bevegelse og åre av talk og kloritt (BH-1:12,37 m) C) Sett av to parallelle årer av kvarts (BH-1: 28,15-28,19 m) D) Bånd på ca 8 centimeters tykkelse dominert av antofyllit, talk og kloritt, og tynne (2 mm) karbonatårer og slirer av biotitt internt i båndet. (BH-4:1,27 m) E) Diffust årenettverk dominert av talk, kloritt amfibol og biotitt (BH-2: 27,66-27,71 m) F) Grønlig og diffus, meget finkornet kloritt- og talkdominert åre med brudd langs skjærbånd. Typisk for denne åretypen er de subhedrale karbonatkrystaller (BH-1: 7,85 m) G) karbonat og rustforvitring ved åpen sprekke (BH-2: 2,33 m). H) Biotittdominert åre (BH-1: 77,12 m).

Rene biotittårer forekommer sporadisk og typisk for denne typen årer er fin- til mellom kornstørrelse, mørkbrun til nesten svart farge og uregelmessig lett undulerende grenser til klebersteinen (Figur 8H). Biotittårene er ofte vert for skjærbånd og utgjør forholdsvis myke svakhetssoner. Slike årer kan åpne seg under arbeid med blokk og gi avflaking under hugging.

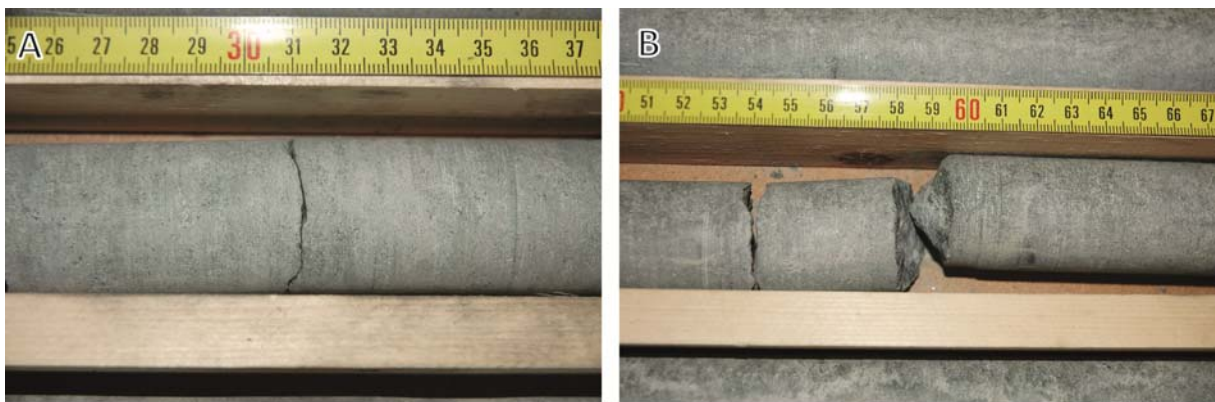
Som det fremgår av loggen i vedlegg 2A og likedan vist i Figur 8 og 9, varierer hyppigheten av sprekker og brudd i borkjernene. Størst hyppighet av sprekker ses i knusningssoner, som er partier på opp til 60 cm hvor bergartene er oppsprukne som følge av bevegelse og sprø deformasjon (Fig 9A og 9B). Knusningssoner er observert 4 steder i de første 12 meter av borhull BH-1 samt i BH-2 ved 3 meter og BH-4 ved 13 meter.



Figur 9 Eksempler på brudd, sprekker og spekkehyppighet. A) Knusningssone karakterisert av oppsprukket til knust bergart over ca. 40 cm intervall som er talk og kalsittrik (BH-1: 9,58-9,93 m) B)Knusningssone i biotittrik del av kjerne. (BH-2: 25,0-25,32 cm) C) Kjerneparti med flere brudd langs kløyplan. D) Oversikt-bilde av hel borekasse med få sprekker. De fleste brudd i denne borekassen er relatert til oppdeling av borkjernen (BH-1:60-66 m).

Det er ikke observert noen knusningssoner i det vertikale BH-3, men i overflaten, litt sør for borhullet ses det en sprekkesone. Naturlige oppståtte brudd forekommer stedvis langs klebersteinens kløvplan (Figur 9C) og ses gjennom hele den undersøkte delen av kleberkroppen. Sprekker med eller uten bevegelse er mest hyppige i de øverste deler av kjernene og kan være relatert til avlastning av berget og/ eller respons på isens krefter under brebevegelse gjennom Drevjedalen under flere påfølgende istider. Ved sammenligning av borhullene bemerkes det at BH-3 har markant færre sprekker enn de øvrige borhull mens BH-2 er karakterisert av et relativt høyere antall sprekker og brudd langs kløvplan (Vedlegg 2A). En kvalitet ved forekomsten er et relativt massivt parti på 6-10 meter i både BH-1 og BH-3. Den eneste typen brudd som er observert i disse partier knytter seg til oppdeling av borkjernen (Figur 9D).

De rytmisk fordelte bruddene i borkjernene som knytter seg til uttak og oppdeling av kjerner fra borerøret kan skilles fra naturlige brudd langs sprekker på følgende måte: borerelaterte brudd inneholder ikke omvandlingsmineraler eller viser sprekketekstur og er som oftest karakterisert ved uregelmessige bruddflater. Denne typen brudd er i hovedsak vinkelrette i forhold til borkjernens lengdeakse (Figur 10). Noe av disse brudd er dannet i forbindelse med slag på borkjernene for å få kjernene ut av borestrengen eller etterpå for å få kjernelengdene til å passe i de 1 meter lange borekassene. Ved boring var det inntrykket at det måtte slås en del på borerøret for å få kjernen til å slippe fra borerøret. Dette var spesielt tilfelles fra borhull BH-3 og kan derfor ha generert flere borerelaterte brudd enn i de horisontale boringene. Det er også sannsynlig at brudd har oppstått på grunn av vibrasjon i boreriggen. En annen type borerelaterte brudd dannes når det skiftes borerør og kjennes på den karakteristiske spisse koniske formen som sees i Figur 10B.



Figur 10 Bilder av borerelaterte sprekker og brudd. A) Typisk nesten vinkelrett på kjernen og med vekslende (BH-1:70,31 m). B) Brudd dannet ved skift av borerør. Ofte kjennes start på boring i form av avrundet borebegynnelse som ses ved ca. 28,59 m. Det uregelmessige bruddet ved 28,54 m er også borerelatert (BH-3: 28,6 m).

I de øverste meterne av borkjernene er det observert forvitring i soner langs sprekker. Rustforvitring er relatert til oksidering av jernoksider (magnetitt og hematitt) samt sulfider (primært pyritt) og gir seg til uttrykk ved brunfarging av bergartene på sprekkeplaner. Karbonatoppløsning er en annen forvitningsprosess som sees som små hulrom i bergarten hvor vann har reagert og oppløst karbonater. Karbonatoppløsningen forekommer ofte sammen med rustforvitringen (Figur 8G). Begge forvitningsfenomener dannes ved inntrengning av overflatevann langs sprekkeområder og er observert til en dybde av 12 m og primært i de ytterste 6 meter av forekomsten. Det er verd å notere seg at havet sto på høyde med eller litt over nivået for borhull 1, 2 og 4 umiddelbart etter siste istid. Saltvann reagerer sterkere med



enkelt mineralfaser enn ferskvann. Dermed kan noe av ulikheten i forvitring mellom borhull 3 og borhull 1, 2 og 4 forklares med havnivået etter siste istid.

## 6. KONKLUSJON OG VIDERE ARBEID

På bakgrunn av logging av borkjerner og 3D modellering av forekomsten Dalhaugen kan en konkludere at det finnes flere partier av relativt hard massiv kleberstein med få eller ingen sprekker. Hardheten i bergarten ligger over det en finner i andre forekomster som brukes og har vært brukt i restaureringsarbeidet med kleberstein. Bergarten har en gjennomgående kruskløv som i hovedsak armerer steinen i en foretrukket retning, men samtidig utgjøre en svakhet i bæreevne om kruskløven orienteres vertikalt i bærende blokker. Det må tas hensyn til kløvens orientering under uttak og tilvirkning av stein fra forekomsten. Det må også tas hensyn til fordelingen av sprekker og skjærbånd under planleggingen av uttak.

Undersøkelser av forvitring er gjort tidligere av Storemyr (2014) og Meyer et al. (2015) og viser at klebersteinen i Dalhaugen er holdbar og forvitrer lite sammenliknet med forekomsten Bjørnålia som ligger i samme klimasone i Nordland. Dermed kan klebersteinen fra Dalhaugen med fordel benyttes i restaurering av partier der vær og forvitringsprosesser virker sterkest inn.

Hardhetsmålinger med instrumentet Equotip 3 viser variasjon gjennom borkjernene og ligger i gjennomsnitt over de klebertyper som tidligere har vært brukt til restaurering av Nidarosdomen. Hardheten ligger også over stein fra forekomsten Grunnes som brukes i dag. Erfaringer fra blokk som er tatt ut av en steinur sentralt i Dalhaugen støtter at hardheten som oppleves under huggearbeidet er over det som er ønskelig for arbeide for hand. Ettersom målet med NDR sitt arbeide til dels er å ivareta de håndverkstradisjoner som ble benyttet da kirkens var oppført tidlig i middelalder vil manuell hugging framfor maskinbruk være en forutsetning i restaureringsarbeidet.

Hardheten og holdbarhet blir to motsattrettede interesser i bruken av stein fra Dalhaugen. En får god tilgang på en holdbar stein, men samtidig en relativ øking i arbeidstid på hvert enkelt emne sammenliknet med stein fra forekomsten Grunnes. Kornstørrelsen i kleberstein fra Dalhaugen er fin til meget fin og det er få sammenhengende aggregater av karbonat og amfibol sammenliknet med stein fra Grunnes hvor nettopp dette trekk byr på utfordringer under huggearbeidet. Steinhuggere ved NDR karakteriserer stein fra Dalhaugen som 'ærlig' og med jevn kvalitet. Forekomsten kan dermed trekkes fram til bruk for finere ornamentikk i værut-satte parti og som kvaderstein der timeverket for manuelt arbeid er relativt lavt.

Årer med ulik mineralogi kan gi kompetanseforskjeller i steinblokk og hardheten er høyere i flere typer årer enn i klebersteinen. Samtidig er størsteparten av disse årer godt integrert i bergartene sannsynligvis slik at de kan tjene som armering. Enkelte åre og sprekker utgjør åpenbare svakheter og bør unngås i en driftsplan. Denne typen sprekker og årer er primært konsentrert til bestemte soner i forekomsten og er forholdsvis lette å identifisere i felt og i borkjerner. Det konkluderes at årer og sprekker er slik fordelt at man i de mest massive deler av forekomsten kan forvente blokkstørrelser i dimensjoner fra 0,5 til 1 meter i minste dimensjon og opp mot 2-3 meter i største dimensjon. Geometrien av blokk vil i noen utstrekning styres av den iboende kløven. Kløven bør orienteres mest mulig vannrett i bærende steinblokker. Motsatt kan uthengende figurer og statuer med fordel hugges med sin lengdeakse parallelt med kløv og linesjon for å oppnå best mulig styrke.

Denne rapport er utarbeidet som ledd i en masteroppgave som i skrivende stund er under arbeid av Vegard Lund ved NTNU. Det videre studie vil ha fokus på mineralogi og detaljerte 3D-modeller av forekomsten for å identifiserere de best egnede sonene. Volumberegninger utføres og en forenklet driftsmodell vil blir laget gjennom dette masterarbeidet. På basis av masteroppgaven vil en mer detaljert driftsplan kunne utarbeides. Det er ventet at Masteroppgaven vil være tilgjengelig sommeren 2017.

Det konkluderes at Dalhaugen kan dekke behovet for stein til værutsatte partier av Nidarosdomen og som hovedkilde til kvadre med liten grad av bearbeiding. Men som eneste hovedkilde er steinen for hard. Det anbefales derfor å gjøre nye vurderinger av de forekomster som tidligere har vært i bruk til restaureringsformål og har vist god holdbarhet gjennom adskillige årtier. I samråd med NDR er det planlagt å gå videre med undersøkelser i de eldre klebersteinbruddene i Østfold. Det anbefales også å evaluere Grunnesforekomsten i Målselv for reserver.

## 7. REFERANSER

- Analyserapport NGU-lab 2016: XRD kvantifisering. Oppdragsgiver: NGU og Nidaros Domkirkes Restaureringsarbeid. Analyserapport 2016.0075.
- Grimstvedt, A.M. og Karlsen A.E. 1995: Faggruppe for laboratorier NGU-SD 4.1: XRD-analyser. Norges Geologiske Undersøkelse, 19 s.
- Holmsen, G. 1932: Rana. Beskrivelse til det geologiske generalkart 1:250 000. NGU 136,107 sider.
- Karlsen, T.A. & Nilsson, L. P. 1999: Talc deposits in Norway. NGU rapport 99.135, 146 sider.
- Lindahl, I. 2012: Bygningsstein i Nordland. Beskrivelse av de enkelte forekomster og undersøkte lokaliteter i Nordland. 770 pp.
- Meyer, G.B., Aasly, K.A. og Pettersen, E., 2015: Dalhaugen Klebersteinsforekomst Vefsn, Nordland. Geologisk beskrivelse og avgrensning av forekomsten for bygningsstein, NGU rapport 2015.021, 38 s.
- Pollok, H. 2008: Umwertung der Skalen ("Conversion of Scales"), Qualität und Zuverlässigkeit 53, 76-79
- Proceq. 2016: [www.Proceq.com](http://www.proceq.com). Hentet fra flyer for equotip portable hardness testing: [http://www.proceq.com/fileadmin/documents/proceq/products/Hardness/Equotip\\_550/English/Equotip\\_550\\_Sales\\_Flyer\\_English\\_high.pdf](http://www.proceq.com/fileadmin/documents/proceq/products/Hardness/Equotip_550/English/Equotip_550_Sales_Flyer_English_high.pdf)
- Storemyr, P. 1997: The stones of Nidaros. An applied Weathering Study of Europe's Northernmost Medieval Cathedral. Dr. Ing. Avhandling 1997:92, Institutt for arkitekturhistorie, NTNU. ISBN 82-471-0128-9. 374 sider
- Storemyr, P. 2014: Forvitring av stein i Dalhaugen klebersteinsforekomst, Nordland - feltundersøkelse. (Foreløpig versjon). 19 sider
- Storemyr, P. 2015: Nidarosdomens grunnfjell - I steinbryternes fotspor fra Det gamle Egypt til Europas nordligste katedral. Nidaros Domkirkes Restaureringsarbeiders forlag ISBN 978-82-7693-209-6.
- Vogt, J.H.L. 1890: Praktisk-geologiske undersøgelser af Nordlands amt I. Salten og Ranen, med særlig hensyn til de viktigste jernmalm- og svovelkis-forekomster, samt marmorlag. NGU 3, 232 sider.

## Vedlegg 1: Avviksmåling på BH-1

### Survey Report



Survey ID	1	Survey Name	Dalhaugen BH 01
Created	11/8/15 10:18:52 AM	Modified	11/8/15 10:18:52 AM
Location	Dalhaugen	Survey Run On	11/8/15 10:19:13 AM
Operator	Geo Drilling AS	Customer	Nidarosdomen Restaurering
Tool	PeeWee	Serial nr.	8201

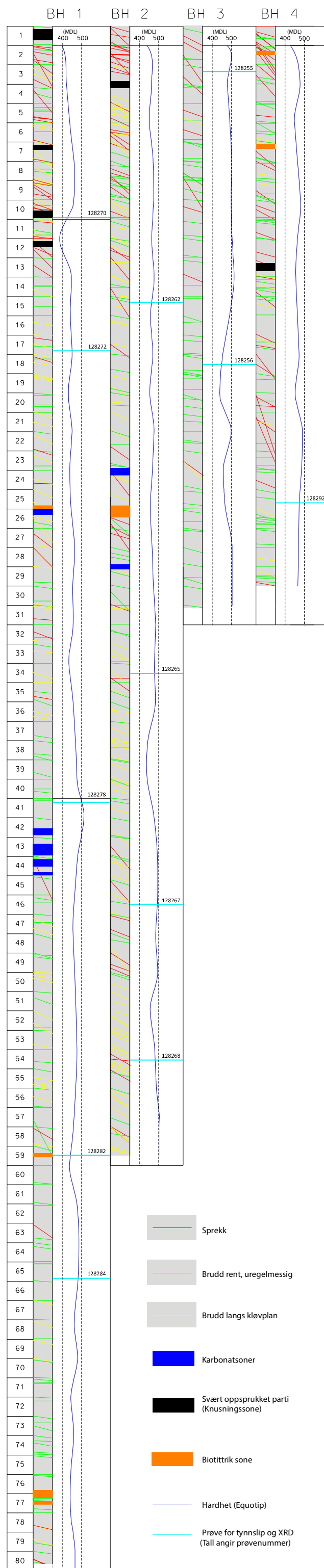
Mag.Decl.	0
Northing	0.00
Easting	0.00
Elevation	0.00

#### Recorded Data:

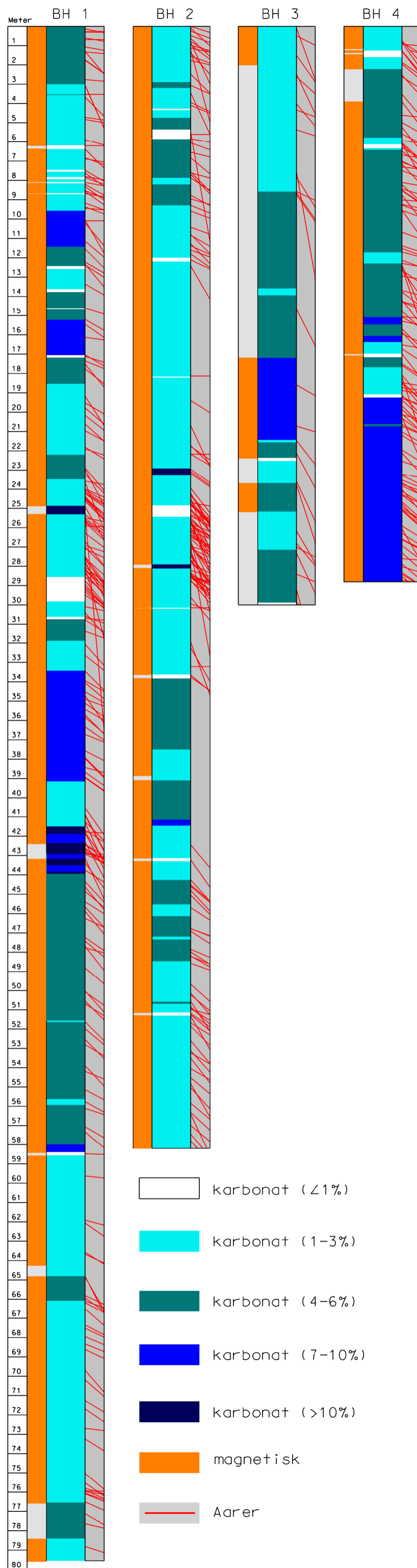
Depth	Az.	Incl.	North.	East.	Elev.	G.Tf.	G.Vec.	Mag.Tf.	Mag.Vec.	Mag.Dip.	Bat.	Temp.
0.0	172.82	-12.02	0.00	0.00	0.00	231.72	9.77	49.96	52137	-75.74	6.6	6.0
6.0	175.32	-11.80	-5.84	0.61	-1.24	247.27	9.79	66.24	52083	-77.17	6.7	6.0
12.0	175.65	-11.57	-11.70	1.07	-2.45	239.51	9.78	58.49	53004	-76.52	6.7	5.5
18.0	175.40	-11.23	-17.56	1.53	-3.64	249.43	9.79	68.38	53621	-76.90	6.7	5.5
24.0	173.84	-10.93	-23.42	2.08	-4.79	256.68	9.79	75.25	53480	-76.51	6.7	5.3
30.0	171.43	-10.60	-29.27	2.84	-5.91	263.21	9.79	81.41	53664	-77.81	6.7	5.0
36.0	172.85	-10.43	-35.11	3.64	-7.01	269.30	9.79	87.74	53647	-77.39	6.8	4.8
42.0	173.09	-10.50	-40.96	4.36	-8.10	274.94	9.79	93.30	53341	-76.27	6.8	4.8
48.0	175.29	-10.35	-46.83	4.96	-9.18	281.03	9.78	99.90	53247	-76.15	6.7	4.6
54.0	177.26	-10.08	-52.73	5.35	-10.25	287.09	9.78	106.46	53431	-76.75	6.7	4.6
60.0	177.74	-9.94	-58.63	5.60	-11.29	294.55	9.77	114.03	53568	-76.48	6.7	4.6
66.0	178.72	-9.77	-64.54	5.79	-12.32	300.93	9.77	120.63	53589	-76.31	6.7	4.6
72.0	179.11	-9.64	-70.45	5.90	-13.33	306.42	9.77	126.21	53604	-76.41	6.6	4.6
78.0	179.40	-9.70	-76.36	5.97	-14.34	308.61	9.77	128.47	53641	-76.45	6.6	4.6
84.0	179.68	-9.64	-82.28	6.02	-15.35	310.76	9.77	130.68	53676	-76.48	6.6	4.6

Depth in meter, azimuth in degrees, inclination in degrees, temperature in Celsius.  
DSM version 2.0.8.0 - File created 11/12/15 8:24:00 AM

# Vedlegg 2A: Borelogg



Vedlegg 2B: Borelogg

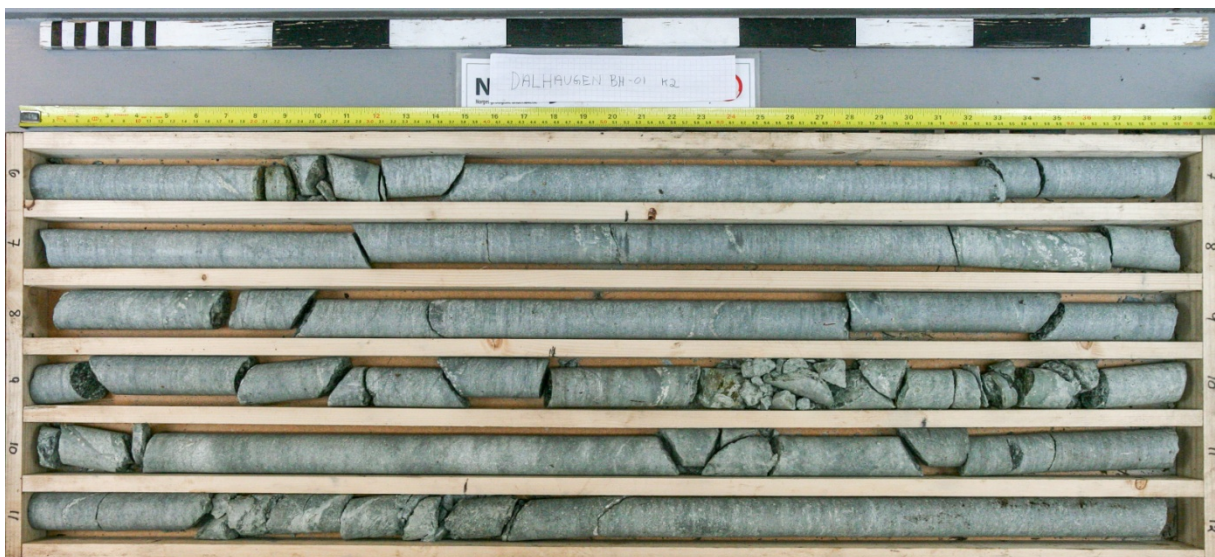


### Vedlegg 3: Oversiktbilder av kjerneseksjoner fra boring i Dalhaugen

Oversiktbildene viser 6 m kjerneseksjonene og er fotografert på NGUs loggebord i Trondheim.



BH-1: 0-6 m



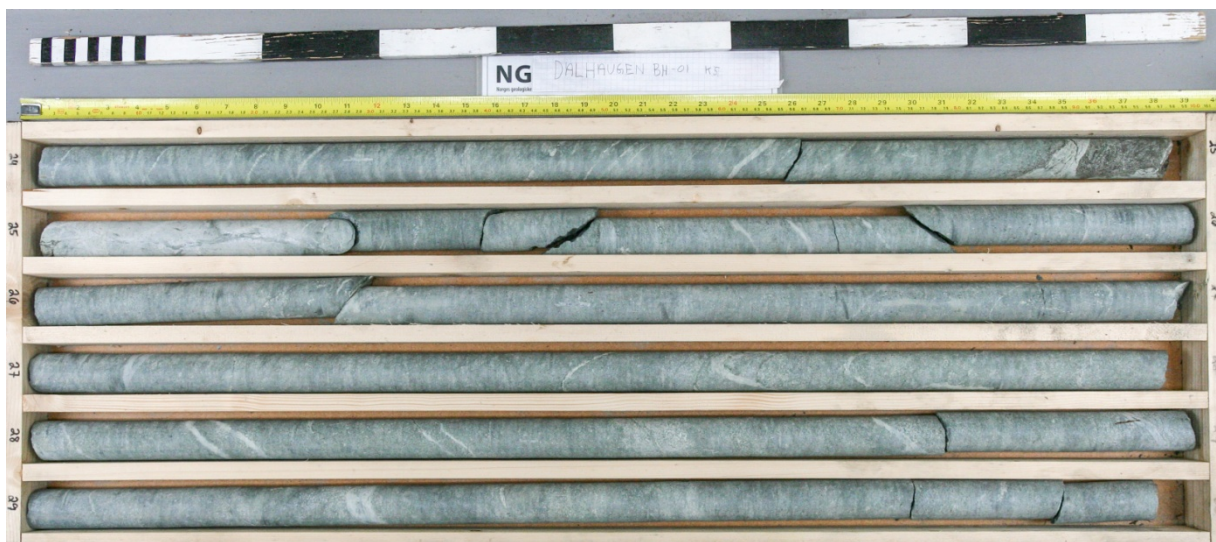
BH-1: 6-12 m



BH-1: 12-18 m



BH-1: 18-24 m



BH-1: 24-30 m





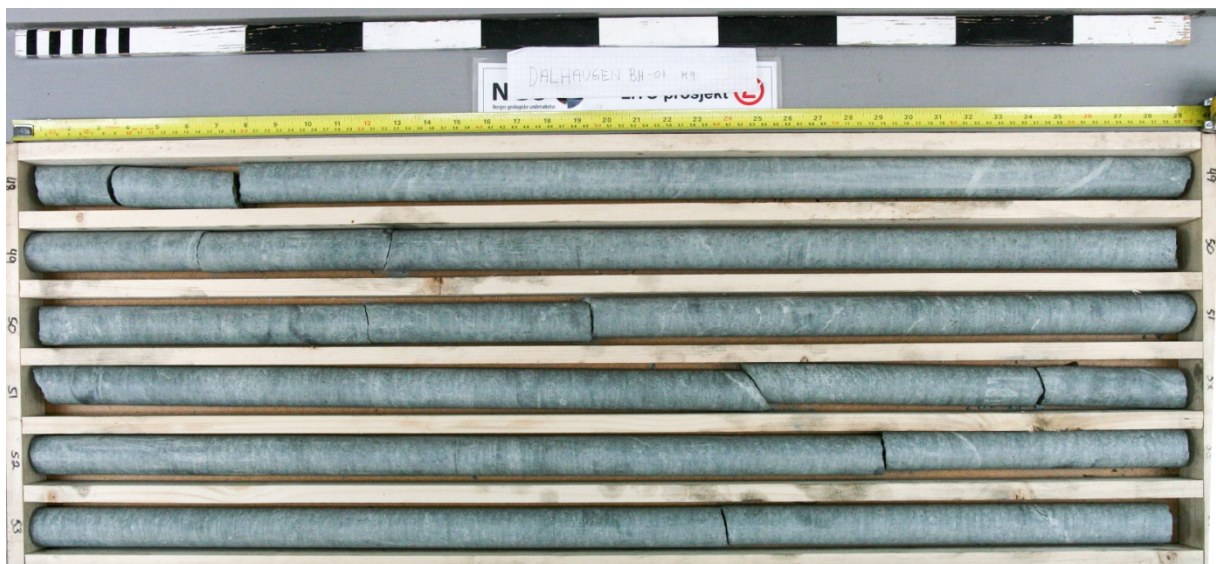
BH-1: 30-36 m



BH-1: 36-42 m



BH-1: 42-48 m



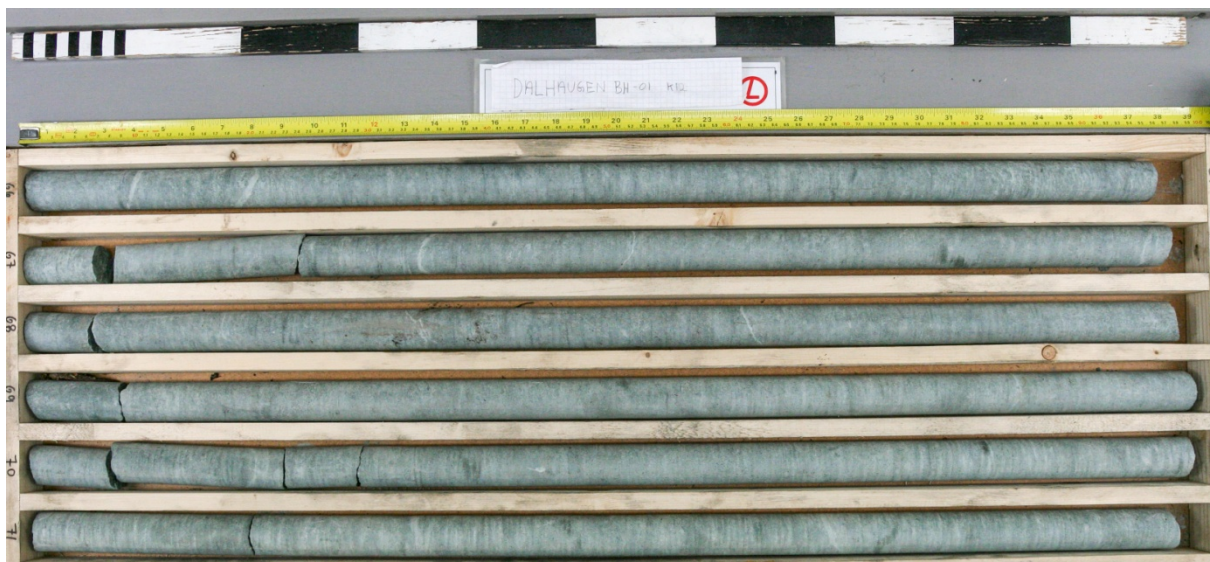
BH-1: 48-54 m



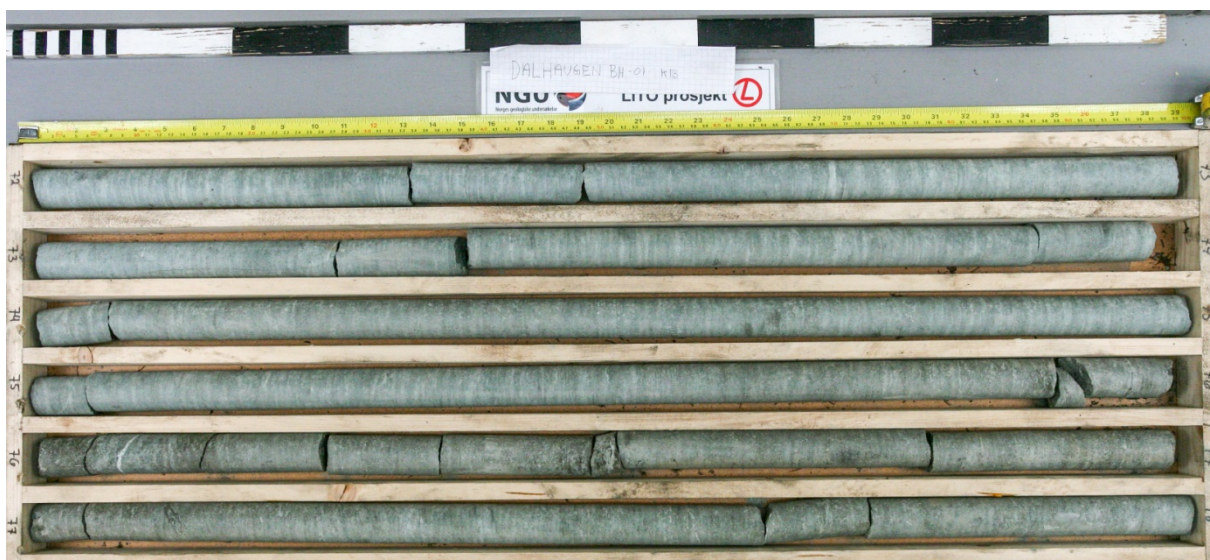
BH-1: 54-60 m



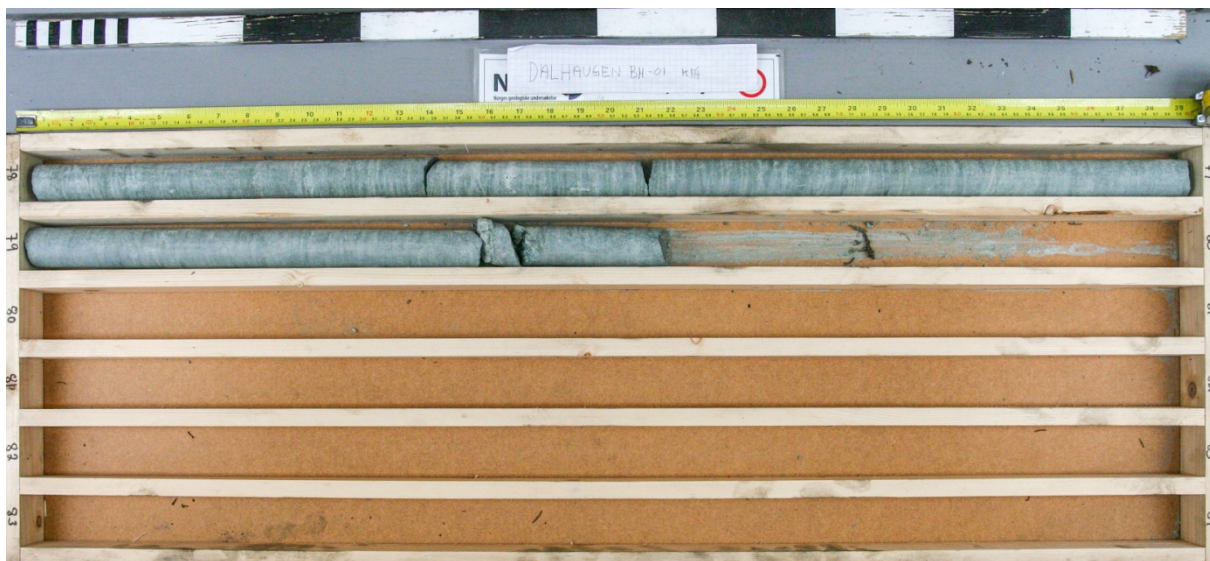
BH-1: 60-66 m



BH-1: 66-72 m



BH-1: 72-78 m



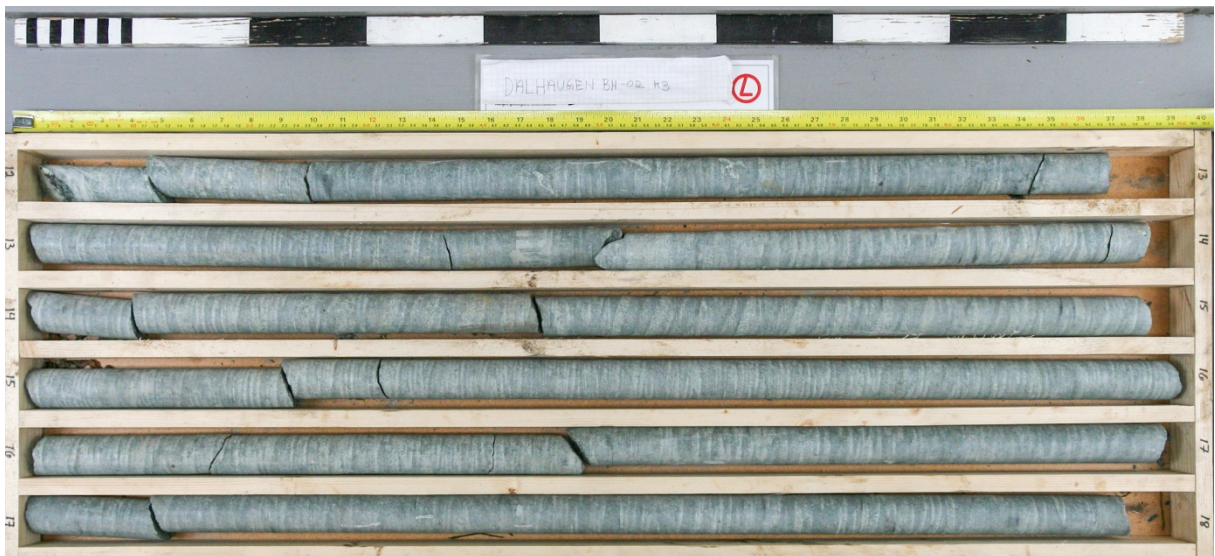
BH-1: 78-79,5 m



BH-2: 0-6 m



BH-2: 6-12 m



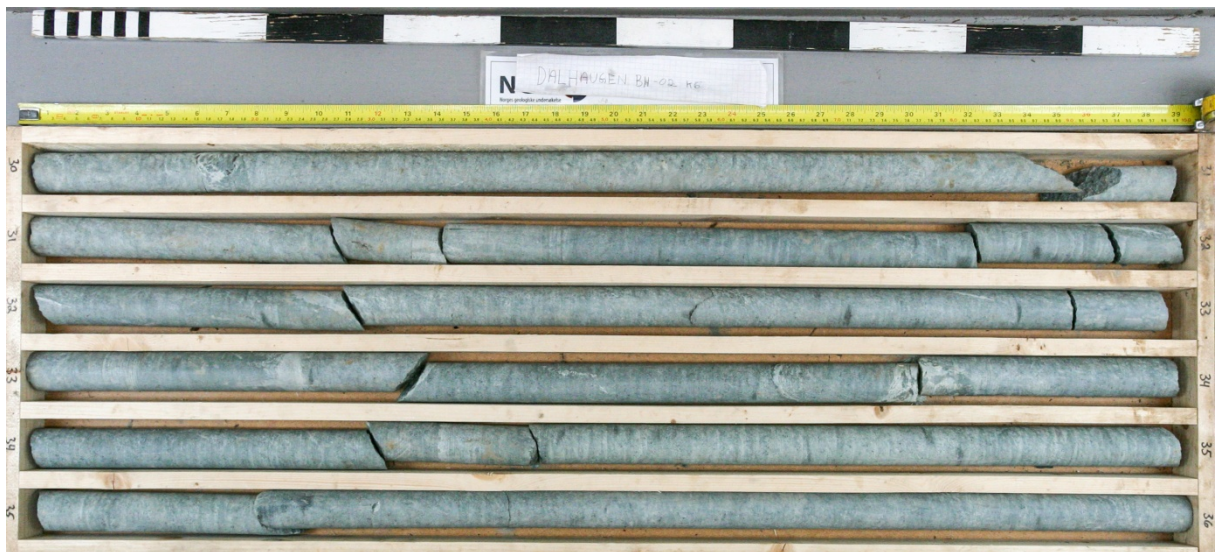
BH-2: 12-18 m



BH-2: 18-24 m



BH-2: 24-30 m



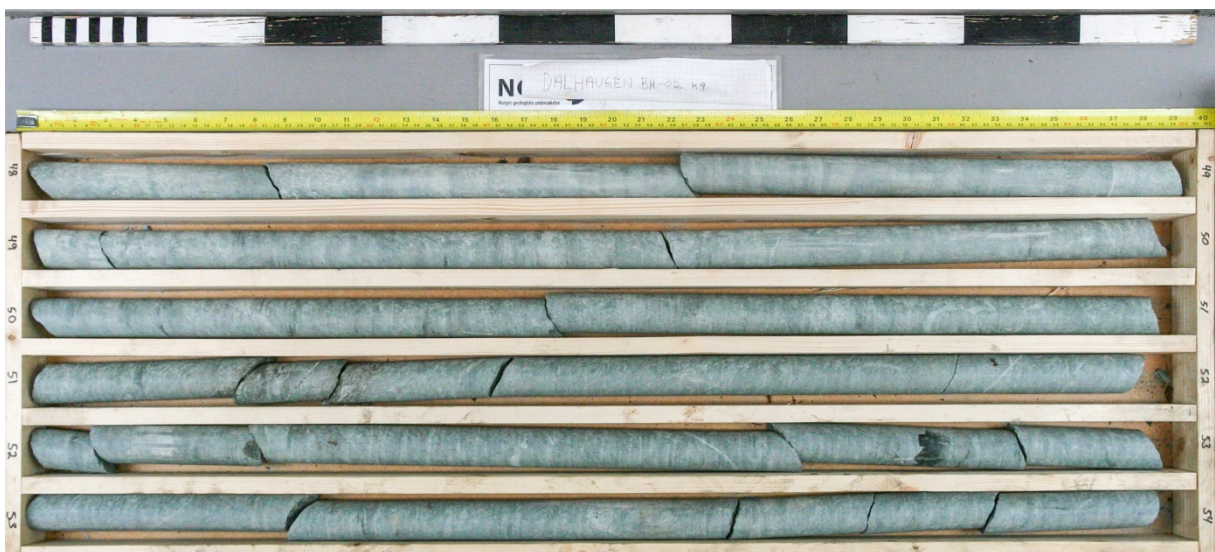
BH-2: 30-36 m



BH-2: 36-42 m



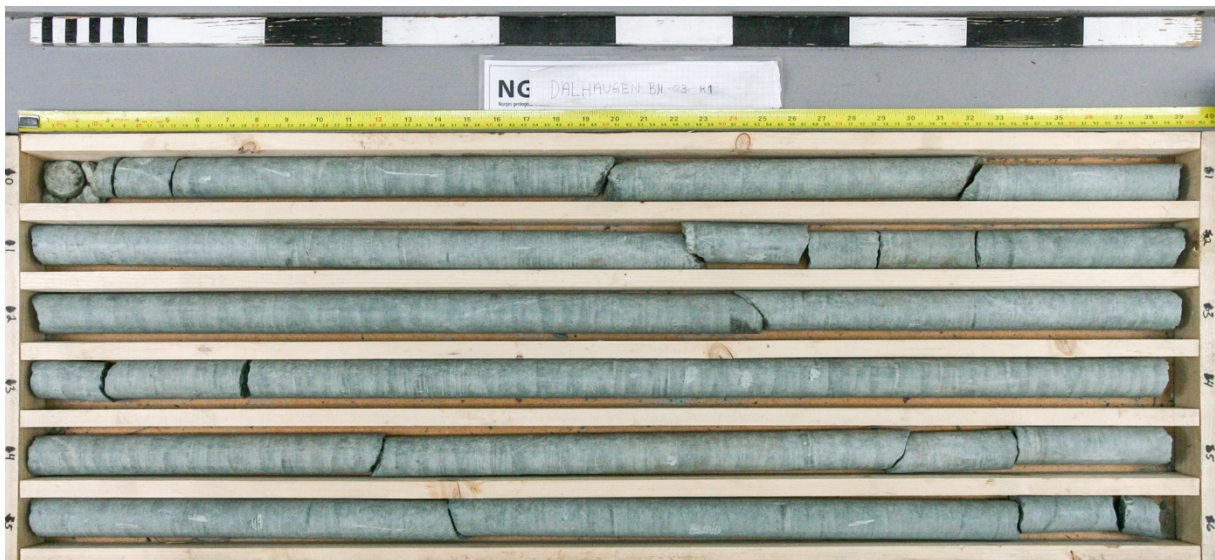
BH-2: 42-48 m



BH-2: 48-54 m



BH-2: 54-58,2 m



BH-3: 0-6 m



BH-3: 6-12 m



BH-3: 12-18 m



BH-3: 18-24 m



BH-3: 24-30 m

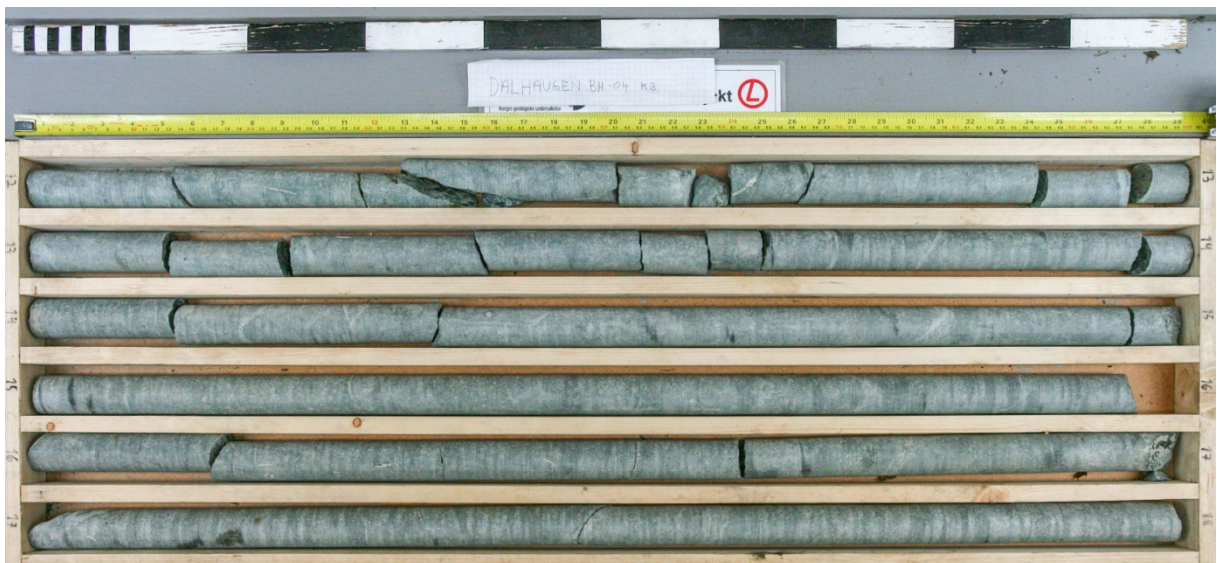




BH-4: 0-6 m



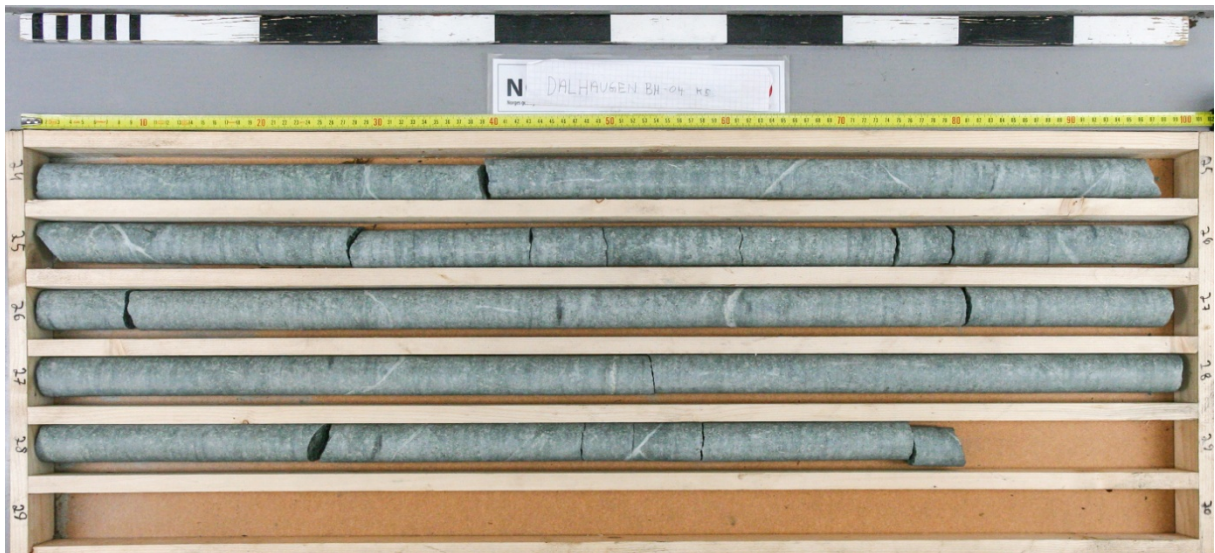
BH-4: 6-12 m



BH-4: 12-18 m



BH-4: 18-24 m



BH-4: 24-28,8 m

**Vedlegg 4: Prøveliste**

Prøve nr.	NGU prøve nr.	NGU prøve nr. for XRD	Borhull	Prøvedybde (m)	XRD analyser	Tynnslip	Tynnslip under preparering
BH-1 3,5	128269		BH-1	3,54-3,60			x
BH-1 7,9	128288		BH-1	7,88-7,94			x
BH-1 9,9	128270	133801	BH-1	9,92-9,99	x	x	
BH-1 15,4	128271		BH-1	15,42-15,48			x
BH-1 16,8	128272	133802	BH-1	16,81-16,87	x	x	
BH-1 25,2	128273		BH-1	25,20-25,27			x
BH-1 29,3	128274		BH-1	29,27-29,34			x
BH-1 33,2	128275		BH-1	33,21-33,26			x
BH-1 34,9	128276		BH-1	34,88-34,93			x
BH-1 39,2	128277		BH-1	39,15-20			x
BH-1 40,2	128278	133803	BH-1	40,18-40,23	x	x	
BH-1 43,4	128279		BH-1	43,35-43,42			x
BH-1 49,8	128280		BH-1	49,77-49,82			x
BH-1 55,2	128281		BH-1	55,17-55,22			x
BH-1 58,5	128282	133804	BH-1	55,44-55,53	x	x	
BH-1 60,8	128283		BH-1	60,77-82			x
BH-1 64,8	128284	133805	BH-1	64,82-64,87	x	x	
BH-1 69,5	128285		BH-1	69,48-69,53			x
BH-1 74,4	128286		BH-1	74,38-74,43			x
BH-1 76,1	128287		BH-1	76,06-76,11			x
BH-2 3,5	128261		BH-2	3,44-3,50			x
BH-2 14,3	128262	133806	BH-2	14,26-14,32	x	x	
BH-2 22,9	128263		BH-2	22,90-22,96			x
BH-2 27,6	128264		BH-2	27,58-27,64			x
BH-2 33,5	128265	133807	BH-2	33,50-33,56	x	x	
BH-2 33,7	128266		BH-2	33,72-33,77			x
BH-2 45,5	128267	133808	BH-2	45,46-45,53	x	x	
BH-2 53,5	128268	133809	BH-2	53,46-53,54	x	x	
BH-3 2,3	128255	133810	BH-3	2,26-2,34	x	x	
BH-3 7,5	128254		BH-3	7,47-7,53			x
BH-3 17,5	128256	133811	BH-3	17,46-17,52	x	x	
BH-3 22,3	128257		BH-3	22,27-22,33			x
BH-3 22,4	128258		BH-3	22,40-22,48			x
BH-3 27,4	128259		BH-3	27,32-27,40			x
BH-3 29,6	128260		BH-3	29,53-29,60			x
BH-4 1,4	128289		BH-4	1,35-1,40			x
BH-4 4,7	128290		BH-4	4,68-4,74			x
BH-4 19,1	128291		BH-4	19,07-19,15			x
BH-4 24,6	128292	133812	BH-4	24,57-24,62	x	x	



NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE  
- NGU -

Norges geologiske undersøkelse  
Postboks 6315, Sluppen  
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse  
Leiv Eirikssons vei 39  
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00  
E-post [ngu@ngu.no](mailto:ngu@ngu.no)  
Nettside [www.ngu.no](http://www.ngu.no)