asplan viak

Multiconsult

Kongshaugen RA

KRA - Ingeniørgeologisk rapport for berganlegget

Dato: 08.11.2023

Versjon: 00

asplanviak.no

multiconsult.no

Dokumentinformasjon

Oppdragsgiver:	Ålesund og Sula kommuner
Tittel på rapport:	KRA - Ingeniørgeologisk rapport for berganlegget
Oppdragsnavn:	Kongshaugen RA
Oppdragsnummer:	637269-02
Utarbeidet av:	Ingvild Lausund
Oppdragsleder:	Cathrine Lyche
AVM dokumentkode:	AVM-20-G-RAP-003
Tilgjengelighet:	Åpen

Kort sammendrag

Sula- og Ålesund kommune planlegger nytt felles avløpsanlegg på Veibust i Møre og Romsdal. Avløpsanlegget er planlagt i berg under Breidalen. Multiconsult Norge AS har i samarbeid med Asplan Viak utført ingeniørgeologiske undersøkelser og vurderinger i tilknytning til berganlegget, inkludert tunneler, berghaller og ventilasjonssjakter.

Berganlegget omfatter en 365 m lang adkomsttunnel (67 m²), en 420 m lang rømningstunnel (27 m²), rundkjøring i berg og to ca. 70 m lange berghaller (ca. 300-450 m²). I tillegg skal det etableres to 80 m dype sjakter (Ø2,4 m), men utførelsen av disse er lagt til neste entreprise.

Berggrunnen i prosjektområdet er en granittisk gneis som generelt vurderes å ha god bergmassekvalitet. Berget er gjennomsatt av tre hovedsprekkesett, og kartlagt bergmasse er generelt lite oppsprukket. Det er kartlagt flere svakhetssoner som er forventet å påvirke berganlegget, og den mest markerte av disse, en sone som går langs Breidalen, er tolket å krysse tunnelene, men er ikke tolket å påtreffe berghallene.

Ver	Dato	Beskrivelse	Utarb. av	KS	Godkjent
00	8. nov. 2023		INGVL	HEOE	EMG

Vanntapsmålinger indikerer at berget stort sett er relativt impermeabelt, men at lekkasjer i definerte lekkasjeførende soner må påregnes. Byggherre vil vurdere injeksjonsbehovet fortløpende basert på registrerte lekkasjemengder og respons fra overvåkning av grunnvannsnivå i Breidalen. I tunnelene stilles overordnet innlekkasjekrav på 10 l/min per 100 m per tunnel, og at det samlet ikke skal være større innlekkasje enn 20 l/min per 100 m tunnel, ved kryssing av svakhetssone A og 5 m på hver side av svakhetssonen. Det stilles innlekkasjekrav til 20 l/min samlet for berghallene inkl. tverrslag og kjøresløyfe.

Grunnet berghallenes store dimensjoner må det legges opp til seksjonert berguttak.

Bergarbeidene plasseres i geoteknisk kategori 3, prosjekteringskontrollklasse 3 (PKK3) og utførelseskontrollklasse 3 (UKK3).

Innholdsfortegnelse

1. Innledning 7
1.1. Bakgrunn og planlagt utbygging 7
1.2. Myndighetskrav 8
1.2.1. Konsekvens- og pålitelighetsklasse (CC/RC) 8
1.2.2. Geoteknisk kategori 10
1.2.3. Krav til kontroll 11
1.3. Anleggets utforming og plassering 12
1.4. Rapportens formål 13
1.5. Grunnlag 14

Grunnforhold – faktadel 15

2. Utførte undersøkelser 15
2.1. Oversikt over tidligere utførte undersøkelser 15
2.2. Undersøkelser denne planfase 15
2.2.1. Ingeniørgeologisk feltkartlegging 15
2.2.2. Refraksjonsseismiske undersøkelser 18
2.2.3. Kjerneboring 18
2.2.4. Geoteknisk grunnboring 19
2.2.5. Test av utlekkingspotensiale 19
2.2.6. Laboratorietesting 19
2.2.7. Erfaringer eller undersøkelser fra andre prosjekter 20

3. Resultater fra undersøkelser 21
3.1. Refraksjonsseismiske undersøkelser 21
3.2. Kjerneboring 22
3.3. Geotekniske grunnboring 24
3.4. Bergartenes kjemiske- og mekaniske egenskaper 25

3.4.1. Resultat styrke/stivhet og indekstester 25
3.4.2. Resultat egnethetstesting 25
3.4.3. Bergets kjemiske egenskaper 25

4. Grunnforhold 26
4.1. Topografi 26
4.2. Kvartærgeologi 27
4.3. Berggrunnsgeologi 28
4.3.1. Regional geologi og bergarter 28
4.3.2. Bergartsbeskrivelse 28
4.3.3. Berggrunnens oppsprekking 31
4.4. Hydrogeologi og hydrologi 38

Tolkningsdel 40

5. Ingeniørgeologiske vurderinger 40
5.1. Bergoverdekning 40
5.2. Bergspenninger 41
5.3. Svakhetssoner 42
5.3.1. Svakhetssone A 43
5.3.2. Svakhetssone B 43
5.3.3. Svakhetssone C 44
5.4. Bergmassekvalitet og stabilitet 44
5.4.1. Påhugg 44
5.4.2. Tunneler 46
5.4.3. Berghaller 46
5.5. Naturfare 47
5.6. Hydrogeologiske vurderinger 47
5.6.1. Influensområdet 48
5.6.2. Innlekkasjepotensiale 48

5.6.3. Sårbarhetsvurdering 50
5.6.4. Potensiale for setninger 54
5.6.5. Innlekkasjekrav 54
5.7. Driveforhold 56
5.7.1. Sprengningsopplegg og uttakssekvens 56
5.7.2. Borbarhet/sprengbarhet 57
5.7.3. Antatt omfang av injeksjonsarbeid 57
5.7.4. Bergsikring 58
5.8. Massehåndtering og miljøforhold 59
5.8.1. Lovverk 59
5.8.2. Syredannende bergarter 61
5.8.3. Konklusjon utlekking 62

Anbefalinger og krav 63

6. Hensyn til omgivelsene 63
6.1. Bygningsbesiktigelse og krav til begrensning av vibrasjoner 63
6.2. Grunnvannsovervåkning 64

7. Undersøkelser under bygging 64
7.1. MWD 64
7.2. Estimering av bergspenninger 64
7.3. Sonderboring 64

8. Referanser 65

Vedlegg

Vedlegg 1 Ingeniørgeologisk befaringsrapport. Rapport AVM-20-G-RAP-001.

Vedlegg 2 Seismiske grunnundersøkelser. Rapport GPX 22111. 2022.

Vedlegg 3 Datarapport kjerneboring. Rapport AVM-20-G-RAP-002. 2023.

Vedlegg 4 Numerisk analyse berghaller. Notat AVM-20-G-NOT-005. 2023.

Vedlegg 5 Hydrogeologisk notat. Notat AVM-20-G-NOT-007

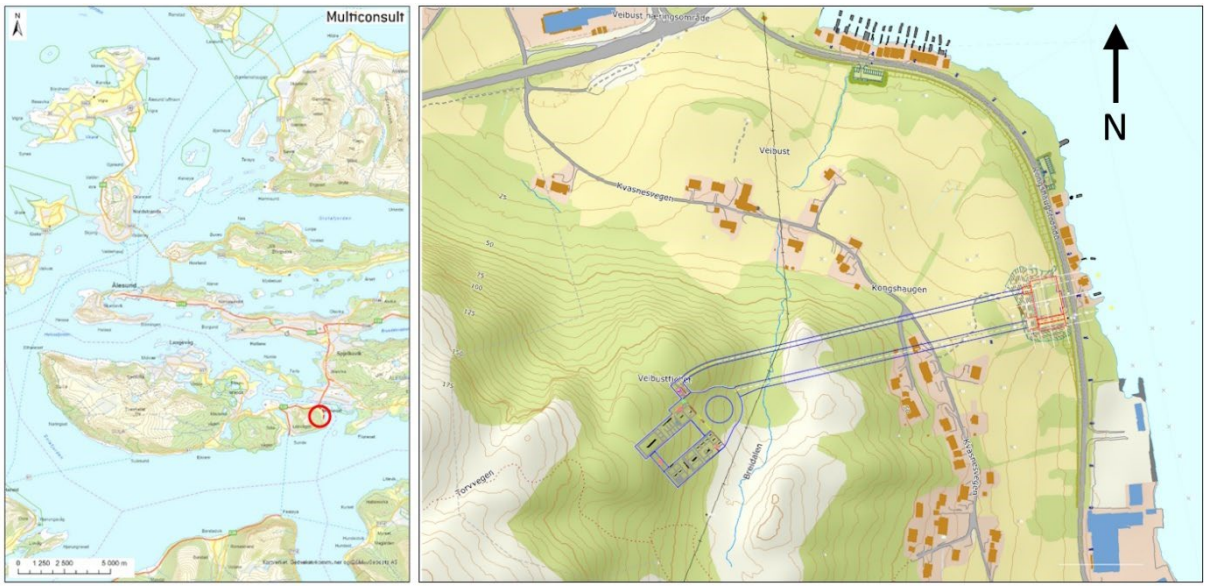
Vedlegg 6 Ingeniørgeologiske kart

1. Innledning

1.1. Bakgrunn og planlagt utbygging

Det skal bygges et nytt felles avløpsrenseanlegg for Sula- og Ålesund kommune på Veibust i Møre og Romsdal. Anlegget er planlagt plassert i berg under Breidalen, med tilkomst via tunnel fra en tomt i dagen langs lokalvegen Kongshaugstranda, se Figur 1-1. På tomten, som etableres i den forutgående Entreprise 00, skal renseanleggets administrasjonsbygg stå.

Multiconsult Norge AS er i samarbeid med Asplan Viak engasjert av Ålesund og Sula kommuner til å utarbeide konkurransegrunnlag for bygging av renseanlegget.



Figur 1-1: Oversiktskart over prosjektområdet. Berganleggets plassering er markert med rød sirkel (venstre). Berganleggets tunneler og bergrom er indikert til høyre, med blå linjer og påhuggsområdet med rød strek.

Foreliggende rapport omhandler bergarbeidene tilhørende entreprise E01, som omfatter berguttak og sikring av tunneler og bergrom for etablering av renseanlegg i berg.

1.2. Myndighetskrav

1.2.1. Konsekvens- og pålitelighetsklasse (CC/RC)

NS-EN 1990 (1) definerer konstruksjoners plassering med hensyn til konsekvens- og pålitelighetsklasse (CC/RC). Konsekvensklasse er beskrevet i Tabell 1-1.

Tabell 1-1: Beskrivelse av konsekvensklasse etter NS-EN 1990 (1)

Konsekvensklasse	Beskrivelse
CC 1	Liten konsekvens i form av tap av menneskeliv, og små eller uvesentlige økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser
CC 2	Middels stor konsekvens i form av tap av menneskeliv, betydelige økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser
CC 3	Stor konsekvens i form av tap av menneskeliv, eller svært store økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser

Veiledende eksempler for klassifisering av byggverk i pålitelighetsklasser er vist i Tabell 1-2.

Tabell 1-2: Veiledende eksempler for valg av pålitelighetsklasse. Tabell NA.A1 (901) i Nasjonalt tillegg NA i NS-EN 1990 (1)

Veiledende eksempler for klassifisering av byggverk, konstruksjoner og konstruksjonsdeler	Pålitelighetsklasse [2] (CC/RC)			
	1	2	3	4
Atomreaktorer, lager for radioaktivt avfall				x
Dammer			x	(x)
Marine konstruksjoner for petroleumsindustrien			x	(x)
Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg i kompliserte tilfeller [1]		(x)	x	(x)
Veg- og jernbanebruer			x	
Byggverk med store ansamlinger av mennesker (tribuner, kinosaler, sportshaller, kjøpesentre, forsamlingslokaler, osv.)		(x)	x	
Kai- og havneanlegg		x	(x)	
Tårn, master, skorsteiner, siloer		x	(x)	
Industrianlegg		x	(x)	
Kontor- og forretningsbygg, skoler, institusjonsbygg, boligbygg osv.		x	(x)	
Oppdrettsanlegg		x	(x)	
Landbruksbygg	(x)	x		
Feste av kledninger, taktekking og lignende komponenter	x	(x)		
Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg ved enkle og oversiktlige grunnforhold [1]	x	(x)		
Småhus, rekkehus, mindre lagerhus osv.	x			
Kaier og fortøyningsanlegg for sport og fritid	x			

[1] Ved vurdering av pålitelighetsklasse for grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg skal det også tas hensyn til omkringliggende områder og byggverk.
[2] Kryss uten parentes angir normalt valg av pålitelighetsklasse.

Grunnet store dimensjoner på berghallene, relativt kort avstand til overliggende bebyggelse for tunnelene og sårbarheten av myr over berganlegget, plasseres hele berganlegget i konsekvensklasse (CC) 3.

1.2.2. Geoteknisk kategori

Eurokode 7 stiller krav til prosjektering ut fra geoteknisk kategori (GK). I henhold til Norsk bergmekanikkgruppes veileder for bruk av Eurokode 7 (2) kan valg av GK bestemmes ut fra pålitelighetsklasse og vanskelighetsgrad, slik det er indikert i Tabell 1-3.

Tabell 1-3: Bestemmelse av geoteknisk kategori (2).

	Vanskelighetsgrad		
Pålitelighetsklasse	Lav	Middels	Høy
CC/RC 1	1	1	2
CC/RC 2	1	2	2/3
CC/RC 3	2	2/3	3
CC/RC 4*	*	*	

*Vurderes særskilt

I Eurokode 7 er følgende definisjoner lagt til grunn:

- Geoteknisk kategori 1 bør bare inkludere små og relativt enkle konstruksjoner.
- Geoteknisk kategori 2 omfatter konvensjonelle typer konstruksjoner og fundamenter uten normale risikoer eller vanskelige grunn- eller belastningsforhold.
- Geoteknisk kategori 3 bør omfatte konstruksjoner eller deler av konstruksjoner som faller utenfor grensene for geoteknisk kategori 1 eller 2.

Vanskelighetsgrad vurderes ut fra grunnforhold og type prosjekt, og kan klassifiseres i henhold til Tabell 1-4.

Tabell 1-4: Oversikt over vanskelighetsgrad (2)

Lav	Oversiktlige og enkle grunnforhold, eller et prosjekt lite påvirket av grunnforholdene. Ingen eller bare enkle grunnundersøkelser kreves for å fastlegge eventuelle nødvendige geotekniske parametere. Tilfredsstillende erfaringer fra tilsvarende grunnforhold og konstruksjoner kan dokumenteres.
Middels	Noe uoversiktlige eller vanskelige grunnforhold og et prosjekt som er påvirket av grunnforholdene. Grunnforholdene kan fastlegges med rimelig grad av nøyaktighet. Tilfredsstillende erfaringer fra tilsvarende grunnforhold og konstruksjoner kan dokumenteres.
Høy	Uoversiktlige eller vanskelige grunnforhold og et prosjekt som er påvirket av grunnforholdene. Grunnforholdene kan bare delvis fastlegges og undersøkelser under bygging kan være nødvendig.

Bergarbeidene vurderes å ha middels vanskelighetsgrad da prosjektet er påvirket av grunnforholdene, men samtidig er bergforholdene generelt gode og det finnes mye erfaring fra driving av berghaller med lignende og større dimensjoner i tilsvarende grunnforhold.

På grunnlag av vurdert pålitelighetsklasse og vanskelighetsgrad, plasseres bergarbeider i geoteknisk kategori 3.

1.2.3. Krav til kontroll

I forbindelse med søknad om byggetillatelse etter plan- og bygningsloven må det utføres uavhengig kontroll.

Anleggets pålitelighetsklasse angir, ifølge NS-EN 1990, krav til kontroll av prosjektering og utførelse. Pålitelighetsklassen angir prosjekteringskontrollklasse (PKK) og utførelseskontroll-klasse (UKK), som igjen angir krav til kontroll og kontrollform. Tabell 1-5 viser sammenheng mellom pålitelighetsklasse og kontrollklasse.

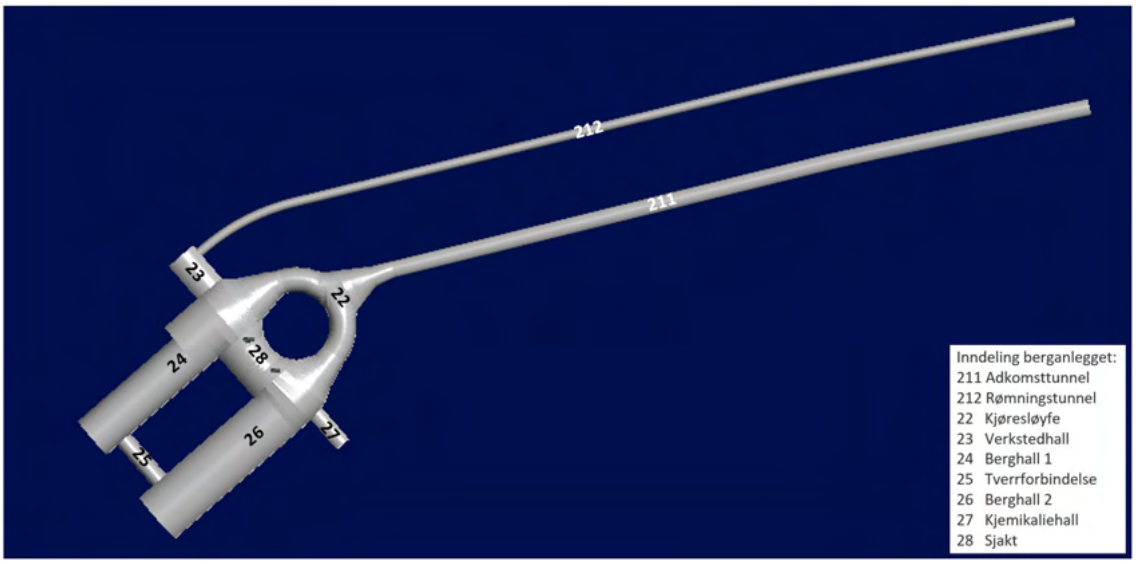
Tabell 1-5: Sammenheng mellom valgt pålitelighetsklasse og kontrollklasse *(1)*.

Pålitelighetsklasse	Kontrollklasse	Kontrollomfang
CC/RC 1	B (begrenset)	Egenkontroll
CC/RC 2	N (normal)	Egenkontroll og sidemannskontroll
CC/RC 3	U (utvidet)	Egenkontroll, sidemannskontroll og utvidet kontroll. Utvidet kontroll utføres i regi av byggherre, enten av byggherres organisasjon eller uavhengig foretak
CC/RC 4	Skal spesifiseres	

Områder i pålitelighetsklasse (CC/RC) 3 havner, i henhold til tabell NA.A1(902) og NA.A1(903) i NS-EN 1990 (1), i prosjekteringskontrollklasse (PKK) 3 og utførelseskontrollklasse (UKK) 3. PKK3/UKK3 krever egenkontroll, intern systematisk kontroll og utvidet kontroll for både prosjektering og utførelse.

1.3. Anleggets utforming og plassering

Renseanlegget er planlagt etablert i to berghaller med tilhørende verkstedhall, kjemikalirom, tverrforbindelse og tilkomst via adkomsttunnel inkl. kjøresløyfe og parallell rømningstunnel. Det skal også bores to ventilasjonssjakter, men disse skal først etableres i neste entreprise og er dermed ikke en del av E01. En oversiktsskisse over berganlegget er vist i Figur 1-2.



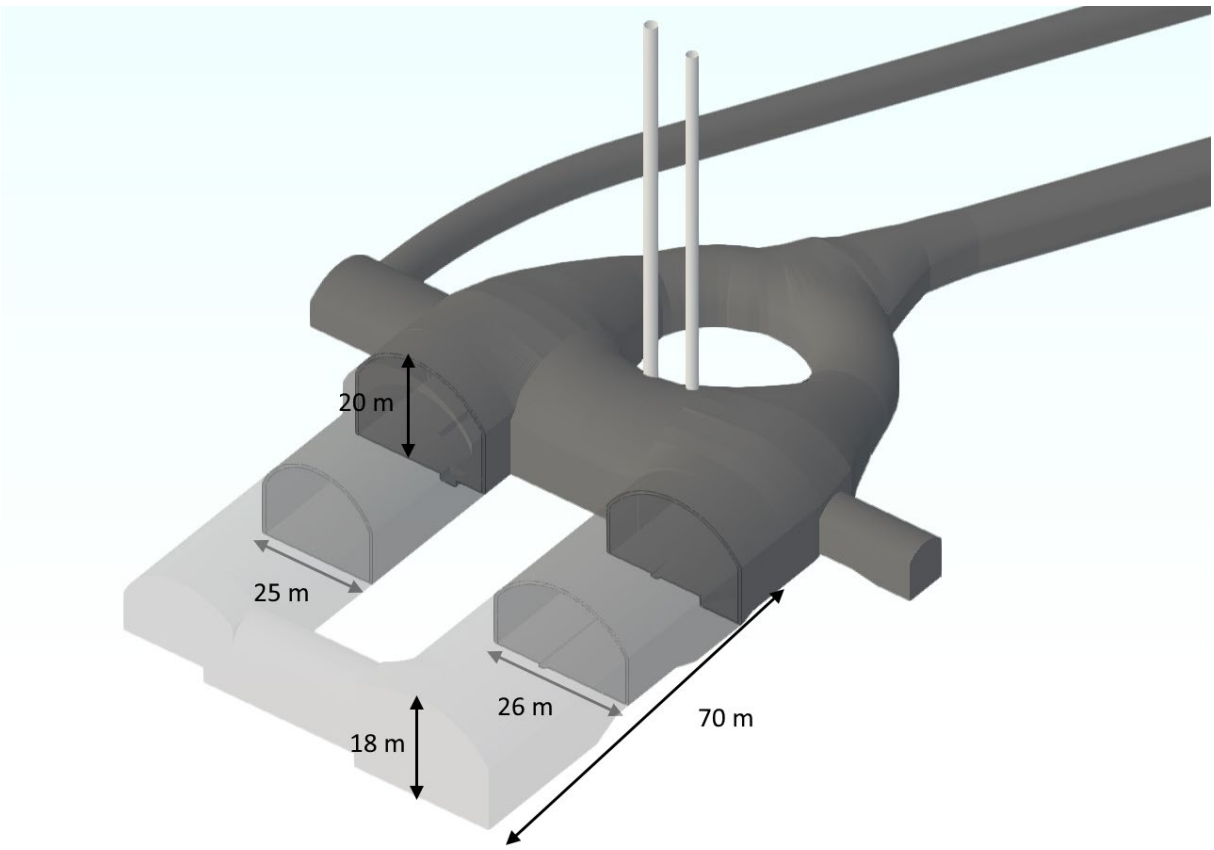
Figur 1-2 Oversikt som viser inndeling av de ulike bergrom som inngår i berganlegget. 211: Adkomsttunnel 212: Rømningstunnel, 22: Kjøresløyfe, 23: Verkstedhall, 24: Berghall 1, 25: Tverrforbindelse, 26: Berghall 2, 27: Kjemikaliehall, 28: Sjakt

Tabell 1-6 Orienterende oversikt over geometrisk utforming av tunneler og bergrom (teoretisk sprengningsprofil). Det vises til modell for eksakte mål.

Område	Objektnavn	Lengde (m)	Bredde (m)	Vegghøyde (m)	Tverrsnitt (m²)	Senterhøyde (m)
211	Adkomsttunnel	365	8	5	67	9
212	Rømningstunnel	420	5	3	27	6
22	Kjørresløyfe	178*	Var. 12-21	Var.	Var. ca. 100-300	Var. 10-17
23	Verkstedhall	23	15	5	100	8
24	Berghall 1	70	Var. 21-25	Var. 10-12	Var. ca. 300-450	Var. 17-20
25	Tverrforbindelse	24	9	10	76	14
26	Berghall 2	70	26	Var. 9-12	Var. ca. 300-450	Var. 17-19
27	Kjemikaliehall	18	8	7	60	8

*Ca. mål, målt i senterlinje rundt kjøresløyfe.

I Figur 1-3 vises en oversikt over berganlegget presentert med utvalgte mål. For eksakte mål vises det til modell. Innenfor teoretisk sprengningsprofil er det avsatt 0,6 m til bergsikring i berghallene og 0,4 m til bergsikring i tunnelene.



Figur 1-3 Utforming av berghallene, angitt med utvalgte dimensjoner for Berghall 1 og 2.

1.4. Rapportens formål

Formålet med rapporten er å oppsummere utførte grunnundersøkelser i prosjektområdet og foreta en tolking av grunnundersøkelsesdata med tanke på konsekvenser for driving av tunneler og bergrom. Grunnundersøkelser og geologisk kartgrunnlag er oppsummert og vurdert som del av den ingeniørgeologiske tolkingen av grunnforhold i området.

Resultater fra utførte undersøkelser er å regne som rene data og dermed faktaopplysninger. Alle geologiske beskrivelser, modeller og tegninger, samt ingeniørgeologiske vurderinger som danner grunnlag for beskrivelse av sikrings- og injeksjonsomfang, baserer seg på analyser og tolkinger av datagrunnlaget.

1.5. Grunnlag

Følgende grunnlagsmateriale er benyttet i forbindelse med våre vurderinger:

Rapporter:

- Forprosjektrapport fra Asplan Viak (3)
- Ingeniørgeologisk rapport og notat fra Asplan Viak (4) og (5).
- Rapport fra refraksjonsseismiske undersøkelser utført i 2019 (6)

Digitalt kartgrunnlag:

- Topografisk Norgeskart https://norgeskart.no/
- Skyggerelieffkart https://hoydedata.no/LaserInnsyn2/
- Berggrunngeologisk kart fra NGU https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/
- Løsmassekart fra NGU https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/
- Miljødirektoratets Naturbase https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/naturbase/
- NGU sin nasjonale grunnvannsdatabase https://geo.ngu.no/kart/granada_mobil/
- Aktsomhetskart fra NVE. https://temakart.nve.no/tema/snoskredaktsomhet

Grunnforhold – faktadel

2. Utførte undersøkelser

2.1. Oversikt over tidligere utførte undersøkelser

Det er tidligere utført grunnundersøkelser i forbindelse med skisseprosjektet, først ved totalsonderinger i 2017, og senere refraksjonsseismiske grunnundersøkelser i 2019. I tillegg ble det utført supplerende undersøkelser i forbindelse med forprosjektet, i form av ingeniørgeologisk feltkartlegging i 2020 og supplerende grunnboringer i 2021. Ved disse undersøkelsene ble flere ulike plasseringer av renseanlegget vurdert. I forbindelse med detaljprosjekteringen er det kun de undersøkelsene som er ansett relevante for det valgte alternativet som er benyttet.

Oppsummert er følgende undersøkelser utført tidligere:

- Totalsonderinger i 2017 (7)
- Refraksjonsseismiske undersøkelser i 2019 (6)
- Ingeniørgeologisk feltkartlegging i 2020 (4)
- Totalsondering i 2020-2021 (8)

2.2. Undersøkelser denne planfase

2.2.1. Ingeniørgeologisk feltkartlegging

I detaljplanfasen er det utført ingeniørgeologisk feltkartlegging i flere omganger, den 11. mai 2022, 3 mars 2023 og 15 august 2023.

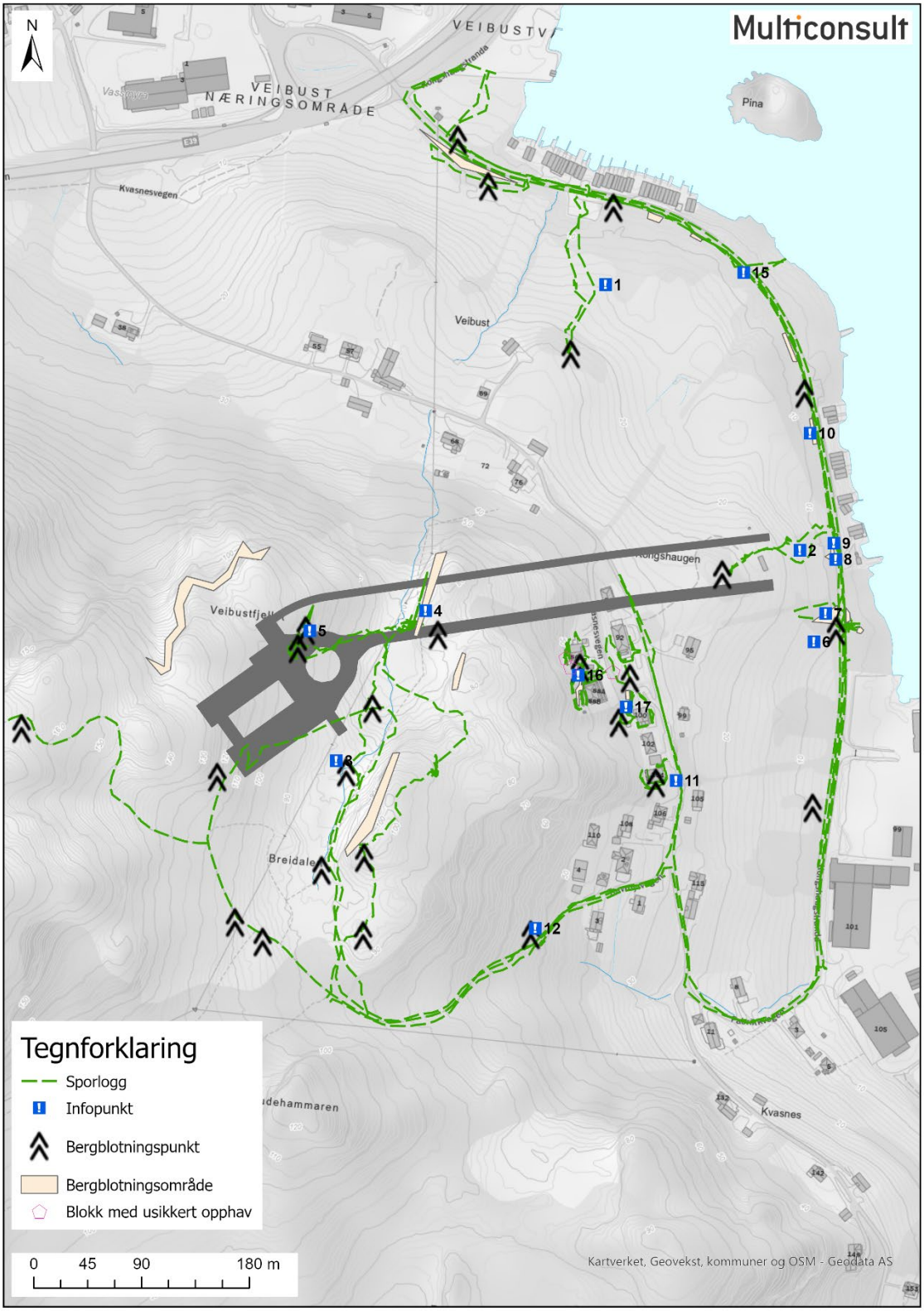
Første befaring 11. mai 2022 ble gått i fellesskap av ingeniørgeologer Henki Ødegaard, Elisabeth Grasbakken og Ingvild Lausund, alle fra Multiconsult, og Leif Erik Friestad fra Asplan Viak (AV). Befaringen ble utført ved tomta for administrasjonsbygg 2 og 3 (se Figur 2-1), samt i Breidalen. Formålet med feltbefaringen var å kartlegge bergblotninger, samt å vurdere bergmassens kvalitet og oppsprekking. I tillegg ble det gjort en vurdering av

påhuggsplassering og videre grunnundersøkelser ble planlagt. Rapport fra befaringen finnes i Vedlegg 1.

Supplerende kartlegging av bergskjæringer langs Kongshaugstranda ble utført 3. mars 2023 av ingeniørgeolog Ingvild Lausund fra Multiconsult i tilknytning til utarbeidelse av konkurransegrunnlag for daganlegget (Entreprise E00). Feltobservasjoner og vurderinger fra befaringen er beskrevet i ingeniørgeologisk rapport for daganlegget, AVM-30-G-RAP-001 (9).

Den 15. august ble det utført befaring, av ingeniørgeologer Henki Ødegaard og Ingvild Lausund fra Multiconsult sammen med prosjektleder Terje Endresen fra Ålesund kommune, til området der tunnelene vil krysse nærmest under bebyggelsen i Kvasnesvegen. Formålet med befaringen var å kartlegge eventuelle bergskrenter ved utvalgte boliger. I tillegg ble det utført supplerende kartlegging av bergskjæringen langs Konghaugstranda, markert som infopunkt 7 i registreringskartet i Figur 2-1, ettersom skjæringen er rensket for vegetasjon i forbindelse med arkeologisk utgraving. Registrerte observasjoner og vurderinger er beskrevet i foreliggende rapport.

Ingeniørgeologiske feltobservasjoner er vist i registeringskartet i Figur 2-1.



Figur 2-1 Registreringskart fra ingeniørgeologisk feltkartlegging, oppdatert etter feltkartlegging 15.08.2023

2.2.2. Refraksjonsseismiske undersøkelser

For å kartlegge bergmassekvalitet og løsmassetykkelse er det utført refraksjonsseismiske undersøkelser i forbindelse med forprosjektet og detaljprosjektering. Undersøkelsene er utført av GeoPhysix AS i april 2019 og august 2022. Plassering av seismikklinjene er vist i Figur 2-2. Seismikkundersøkelsene fra 2022 bestod av totalt 5 profiler med samlet lengde på 1220 m, som vist med grønne linjer i figuren. To av disse profilene, Profil 4 og Profil 5, dekker påhuggsområdet, mens de øvrige tre profilene dekker berganlegget i Breidalen. I tillegg er to av seismikkprofilene fra forprosjektet i 2019 (de to profilene lengst vest i gul farge i figuren) relevante for berganlegget.

Figur 2-2 Oversikt over de refraksjonsseismiske profilene innenfor prosjektområdet. Undersøkelsene fra denne planfasen er markert med grønn strek. Profilene fra forprosjektet er markert med gul stiplet linje. Påhuggsområdet er markert med rødt, mens berganlegget og tilhørende tunneler er vist med hhv. hvit heltrukken og stiplet linje.

Rapport fra de refraksjonsseismiske undersøkelsene utført i 2022 finnes i Vedlegg 2.

2.2.3. Kjerneboring

Det er boret et 300 m langt borhull, BH-1, også vist i Figur 2-2 og med nøkkeldata som vist i Tabell 2-1.

Tabell 2-1: Nøkkeldata kjerneborhull BH-1 (UTM 32N)

Navn	**Lengde [m] [1)]**	**Øst**	**Nord**	**Høyde ansett [moh.]**	**Asimut [°]**	**Fall [°]**
BH-1	300,7	363550	6924168	57,7	303	-10
[1]Hullet går i sin helhet i berg. Resultat fra avviksmåling av borehullet finnes i Vedlegg 3						

Boringen ble utført av Entreprenørservice i september og oktober 2022. Kjernene ble logget av Multiconsult, og resultatene fra undersøkelsen er presentert i datarapport fra kjerneboringen i Vedlegg 3.

2.2.4. Geoteknisk grunnboring

I forbindelse med detaljprosjekteringen ble det i august og november 2022 utført supplerende grunnboringer både på land og i sjø. Disse boringene ble utført for undersøkelse av løsmassene over berganlegget og ved påhuggsområdet. Resultater fra geotekniske undersøkelser er rapportert i 10243684-RIG-RAP-200-001 (10).

2.2.5. Test av utlekkingspotensiale

Kjemisk analyse og ristetester av to steinprøvene ble utført av ALS Laboratory Group Norway, og analyserapporter er gitt i Vedlegg 3.

En vurdering av testresultatene er gitt i Kapittel 5.8.

2.2.6. Laboratorietesting

Det er utført bergmekanisk testing på totalt fem bergartsprøver, hver prøve bestående av kjernemateriale tilsvarende 1 til 5 m kjerne fra kjerneborhull BH-1. Prøvene ble utvalgt i forbindelse med kjerneloggingen.

Det er utført ulike tester av prøvematerialet, inkludert både bergmekaniske- og kjemiske tester/analyser, som oppsummert i Tabell 2-2. De bergmekaniske testene er utført ved SINTEFs bergmekaniske laboratorium i Trondheim.

Tabell 2-2: Oversikt over utførte laboratorieundersøkelser

	BH-1-01	**BH-1-02**	**BH-1-03**	**BH-1-04**	**BH-1-05**	**BH-1-06**
Prøvedyp (m)	191-192	248-250	270-275	117,5-118,5	65-70	140-145
Enaksiell trykkstyrke (UCS)	1	1		1		
Young's modul (E-mod)	1	1		1		
Lydhastighet VP	1	1		1		
Densitet	1	1		1		
Log Angeles (LA)			1		1	
Microdeval (M_{DV})			1		1	
Utlekkingstest						1

2.2.7. Erfaringer eller undersøkelser fra andre prosjekter

Det er ikke innhentet erfaringer fra nærliggende prosjekter da det ikke vurderes å være prosjekter med direkte overføringsverdi i rimelig nærhet.

3. Resultater fra undersøkelser

3.1. Refraksjonsseismiske undersøkelser

I de refraksjonsseismiske undersøkelser fra 2022 (Vedlegg 2) ble det registrert en ca. 12 m tykk dagfjell-sone med tolket basishastighet mellom 4000-5200 m/s. Berggrunnen for øvrig har en tolket basishastighet mellom 4500-6200 m/s. Profil P1, som går langs Breidalen, har noe lavere og mer vekslende tolket basishastighet enn de andre profilene. Øvrige seismikkprofiler har en tolket basishastighet i berggrunnen over 5000 m/s.

Ut fra undersøkelsene i 2022 er det tolket fire lavhastighetssoner i Breidalen, disse er opplistet i Tabell 3-1. Lavhastighetssoner er definert som berggrunn med seismisk hastighet mellom 2000 til 4000 m/s. For komplett rapport se Vedlegg 2.

Tabell 3-1 Registrerte lavhastighetssoner fra refraksjonsseismiske undersøkelser i 2022. Kursive hastigheter representerer lavere basishastighet enn øvrig berggrunn.

Profil	**Hastighet [m/s]**	**Bredde [m]**	**Kommentar**
Profil 1	3800	6	
Profil 1	3900	5	
Profil 2	3900	6	
Profil 3	2900 *4000-4300*	5 *14*	Lavhastighetssone med tilhørende sideberg med lavere basishastighet enn øvrig berggrunn
Profil 3	*4500*	*40*	Lavere basishastighet enn øvrig berggrunn.

Resultater fra relevante profiler (profil 4 og 5) fra 2019 (6) indikerer 0-2 m løsmassedekke, en 7-12 m mektig sone med dagfjell med hastighet på 4300 m/s og en basishastighet i berggrunnen for øvrig på 5200 m/s. Det er ikke registrert lavhastighetssoner i disse profilene.

Seismiske profiler med lavhastighetssoner er også vist i plan oversikt i Vedlegg 2.

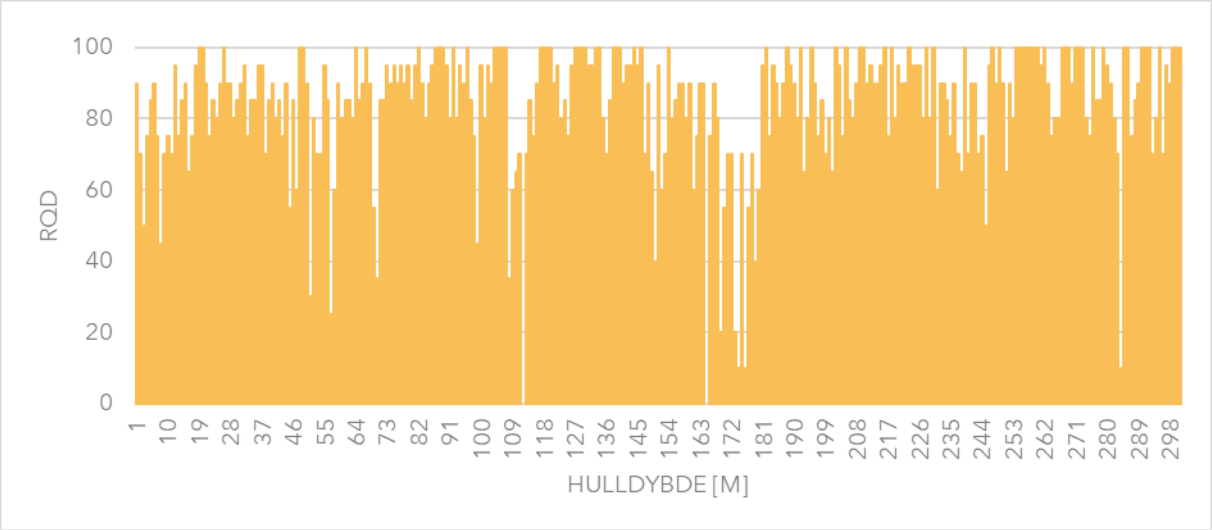
3.2. Kjerneboring

Hovedbergarten registrert i kjerneprøvene er en båndet granittisk gneis. Observert bergart er hovedsakelig middels- til grovkornet, samt partier med finkornet (< 1mm) til pegmatittisk (> 1 cm) kornstørrelse. Bergarten er grålig med lyse (hvit til rød) og mørke (lys grå til sorte) bånd. Ytterligere bergartsbeskrivelse er gitt i Kapittel 4.3.2 og kjernelogg er presentert i Vedlegg 3.

Kjernene fra de øvre 4 m av borehullet fremstår noe mer forvitret og er noe mer oppsprukket (RQDsnitt=72,5) enn i hullet for øvrig. Kjernene fremstår med relativt god kvalitet for å være dagberg.

Det er registrert en mindre svakhetssone mellom 50,4-51 m bestående av knust berg med omvandlet plagioklas og leir.

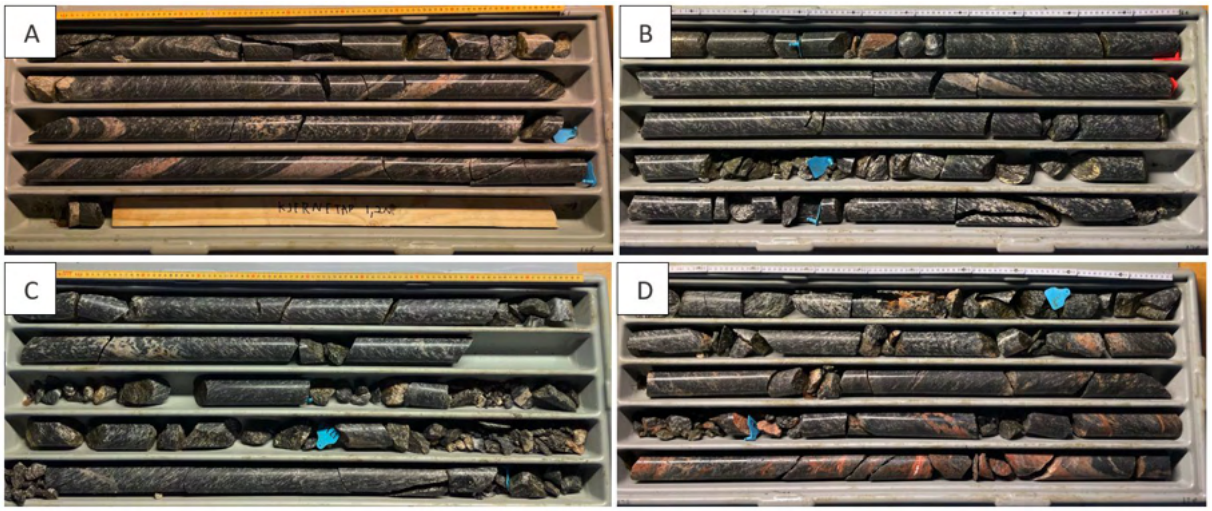
Under kjerneboringen ble det registrert to soner på ca. 1 meter med kjernetap, mellom 111-112,3 og 164-165,2. Prøvemateriale er i begge tilfeller vasket ut og er derfor ikke kartlagt. Gjennomsnittlig RQD-verdi for kjerneprøvene (utenom sonene med kjernetap) er 84,4 som kan karakteriseres som lite oppsprukket berg. Grafisk fremstilling av RQD-verdiene er vist i Figur 3-1.



Figur 3-1 Registrerte RQD-verdier i kjernehullet plottet mot hulldybde. Mellom 111-112,3 og 164-165,2 er det utvasket kjernemateriale uten RQD pga. manglende kjernemateriale, se ellers Vedlegg 3 for full detalj.

Kjernetapet mellom 111 til 112,3, er ifølge borerapport resultat av boretekniske problemer.

Det er også registrert en svakhetssone mellom 164 til 180 m. Kjerneprøvene er i dette området tettere oppsprekking, og det er registrert 1,2 m kjernetap (164-165,2 m). Kjernetapet er vasket ut og er derfor ikke beskrevet. I tillegg kan ytterligere kjernemateriale og belegg være vasket ut. Det er registrert et tynt leirbelegg på kjerneprøvene i sonen. I og rundt kjernetapet er det registrert vannlekkasje i borehullet. Detaljfoto av kjerneprøver mellom 160-180 m er vist i Figur 3-2.

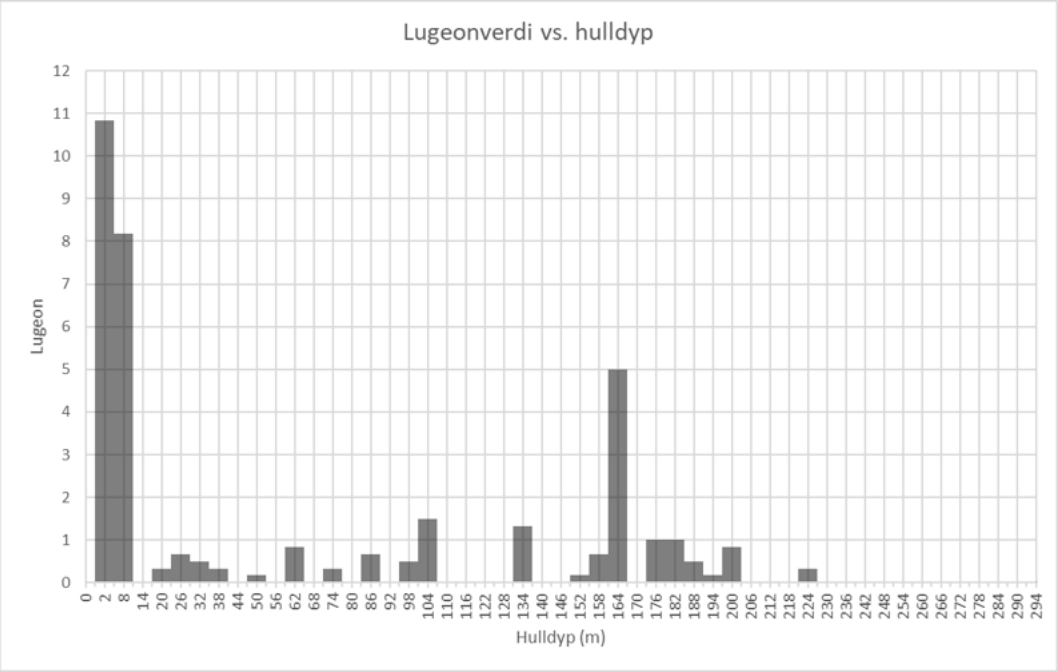


Figur 3-2 Detaljfoto av kjerneprøver i intervall A) 160-165 m B) 165-170 m C) 170-175 m D) 175-180 m (foto Multiconsult)

Ved 226,8 og 252,5 m hulldybde er det registrert leirslepper med tykkelse på henholdsvis 1-1,5 cm og 8 mm, i begge områdene er RQD lik 80. Det er ikke utført laboratorietester av sprekkebelegg pga. utilstrekkelig materiale for testing. Resultater fra bergmekaniske tester er beskrevet i Kapittel 3.4.

I tillegg er det registrert boretekniske problemer mellom 277,4 til 286,7 m. Kjerneprøver i områder med boretekniske problemer representerer imidlertid ikke alltid dårlig bergmassekvalitet da boretrøbbel kan forårsake mekanisk brudd i kjernene.

Det ble utført fortløpende vanntapsmålinger for hver 6 m i borehullet. Hovedsakelig er det registrert svært lite vanntap, med lave (LU<1) Lugeon-verdier. I to delstrekninger er det registrert moderat vanntap (1<LU<5). Ved starten av borehullet, mellom 1,6 til 13,6 m hulldybde, er det registrert moderate vanntap med Lugeon-verdi ca. 8 til 11. I tillegg er det målt moderat vanntap (LU = 5) på 163,7-169,7 m hulldyp. I samme delstrekning er det registrert 129 l/min vannlekkasje med 2 bar vanntrykk under boring. I dette området er det registrert en svakhetssone som beskrevet tidligere i kapittelet. Grafisk fremstilling av registrert Lugeon-verdier er vist i Figur 3-3.



Figur 3-3: Lugeon-verdier plottet mot hulldyp

3.3. Geotekniske grunnboring

Geotekniske grunnboringer indikerer generelt liten løsmassemektighet i prosjektområdet. Registrerte løsmassedybder ved påhuggsområdet varierer mellom 0,5-2,3 m. Registrerte løsmassedybder i terrenget over berganlegget, ved Breidalen, varierer mellom 1,7-5,8 m (10). For ytterligere beskrivelse av plassering, boremetode og resultater vises det til rapport fra de geotekniske grunnboringer, 10243684-RIG-RAP-200-001 (10).

3.4. Bergartenes kjemiske- og mekaniske egenskaper

3.4.1. Resultat styrke/stivhet og indekstester

Det er utført bergmekaniske tester av kjerneprøvene. Resultatene fra undersøkelsene er oppsummert i Tabell 3-2 hvor gjennomsnittsverdier av testresultatene er gjengitt. For komplette testdata vises det til datarapporten fra kjerneboringen, presentert i Vedlegg 3.

Tabell 3-2: Testresultater 4.2.1. Bergmekanisk testing, gjennomsnittsverdier (11)

PRØVE ID	Enhet	BH-1-01	BH-1-02	BH-1-04
DENSITET (ρ)	kg/m³	2783	2695	2814
LYDHASTIGHET (υ_p)	m/s	5643	5374	5403
E-MODUL (E)	GPa	70,9	68,5	64,8
POISSONS FORHOLD *(v)*	N/A	0,210	0,195	0,195
ENAKSIELL TRYKKFASTHET (σ_c)	MPa	182,7	278,8	215,2

3.4.2. Resultat egnethetstesting

Det er utført egnethetstesting i form av testing av bergets Los Angeles-verdi (LA) og Micro-Deval-koeffisient (M_{DE}) på prøver BH-1-03 og BH-1-05. Testene er utført av SINTEF og testresultatet er gjengitt i Tabell 3-3. For full testrapport vises det til Vedlegg 3.

Tabell 3-3: Testresultater egnethetstesting (11)

PRØVE ID	Enhet	BH-1-03	BH-1-05
MICRO DEVAL (M_{DE})	N/A	7,2	6,4
LOS ANGELES (LA)	N/A	19,6	17,8

3.4.3. Bergets kjemiske egenskaper

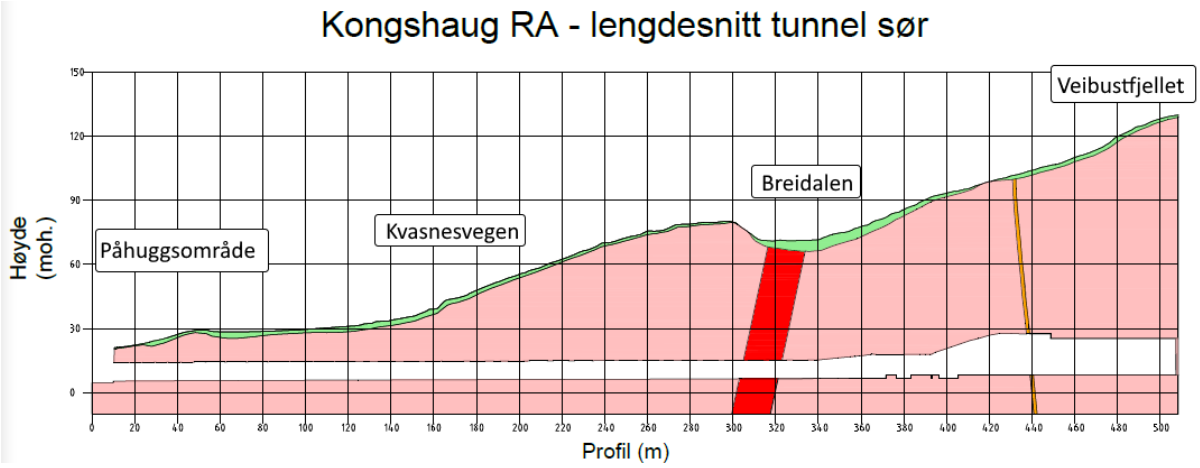
Det er utført utlekkingstester i form av ristetest og kolonnetest på én prøve bestående av en prøvepose med ca. 10 kg materiale. Testene ble utført for å vurdere bergmassenes mulige miljøpåvirkning i forbindelse med deponering i sjø, og det henvises til Vedlegg 3 for full testrapport. For en vurdering av testdataene vises det til kapittel 5.8.

4. Grunnforhold

4.1. Topografi

Påhugget til adkomsttunnelen og rømningstunnelen er lokalisert ved tomt for administrasjonsbygg, som etableres i forutgående entreprise E00.

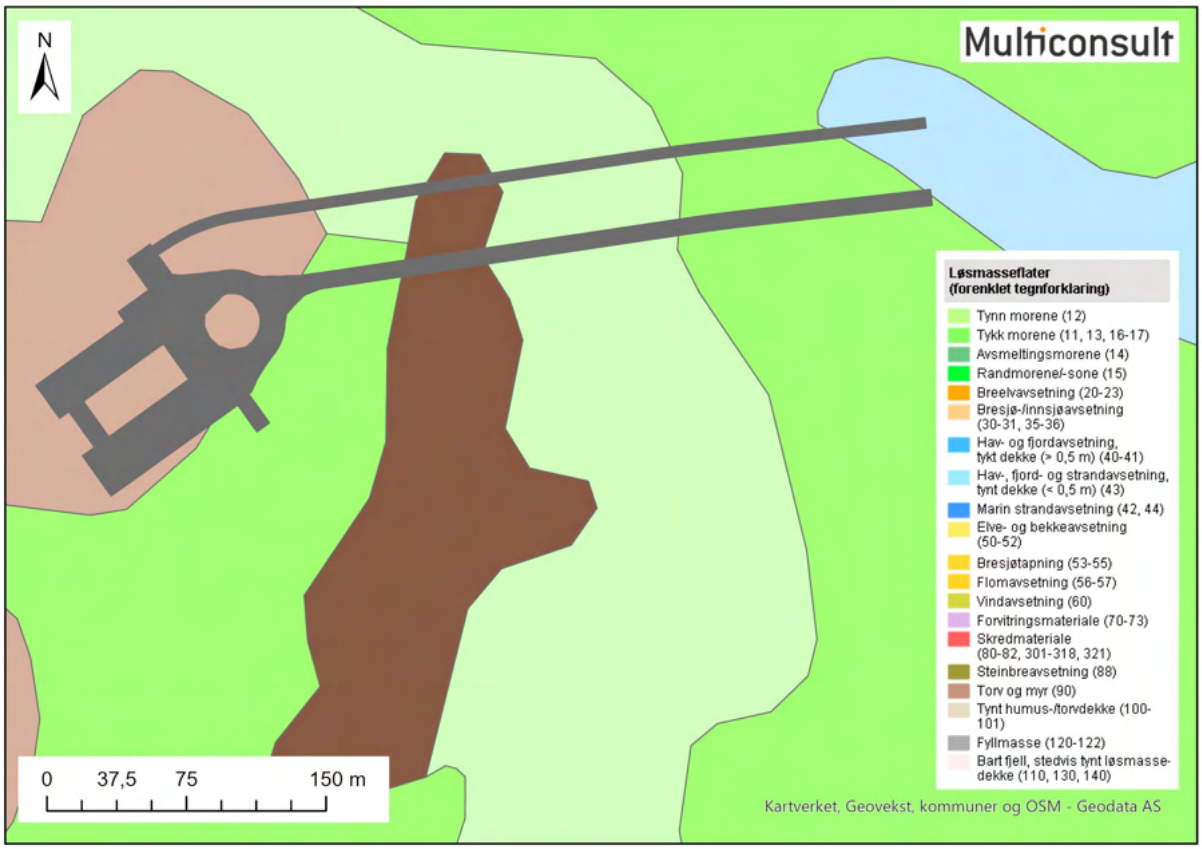
Fra påhugget fortsetter tunneltraséene vestover mot boligområdet ved Kvasnesvegen, deretter under en lokal høyde (ca. 81 moh.), videre under Breidalen (ca. 70 moh.) og til Veibustfjellet (ca. 116 moh.), se Figur 4-1. Frem til boligområdet ved Kongshaugen stiger terrenget med slak stigning (<10°), og deretter moderat stigning (10-35°) frem til høyden på kote 81. Deretter faller terrenget med slakt til moderat fall (ca. 0-35°) til Breidalen, en topografisk forsenking og myrområde orientert nordøst-sørvest. Adkomsttunnelen avslutter under Breidalen, mens rømningstunnelen fortsetter videre mot Veibustfjellet (ca. 116 moh.) med overliggende terreng med moderat stigning (15-35°). Berganlegget er lokalisert under Veibustfjellet (ca. 116 moh.) og Breidalen (ca. 70 moh.). Berganlegget er orientert sørvest-nordøst, skrått i forhold til Breidalen. Sørvest for Veibustfjellet er det en topografisk forsenkning orientert nordvest-sørøst. Se også ingeniørgeologisk kart i Vedlegg 6.



Figur 4-1: Lengdesnitt for adkomsttunnelen, utsnitt fra ingeniørgeologisk kart (Vedlegg 6)

4.2. Kvartærgeologi

Utsnitt av NGUs kvartærgeologiske kart (12) ovenfor berganlegget er vist i Figur 4-2. Løsmassene består hovedsakelig av morenemateriale med antatt størst mektighet i Breidalen og nordøst for Kvasnesvegen. Morene består av usortert løsmateriale av stein og finere fraksjoner avsatt av isbre. Løsmassene vil slik bestå av ulike sammensetninger av usorterte fine og grove masser. I tillegg til morenemateriale er det registrert tynne hav- og strandavsetninger ved påhuggsområdet. Vest for Breidalen (Veibustfjellet) er det registrert et tynt dekke av organisk materiale over berggrunn, og øst for Breidalen torv og myr.

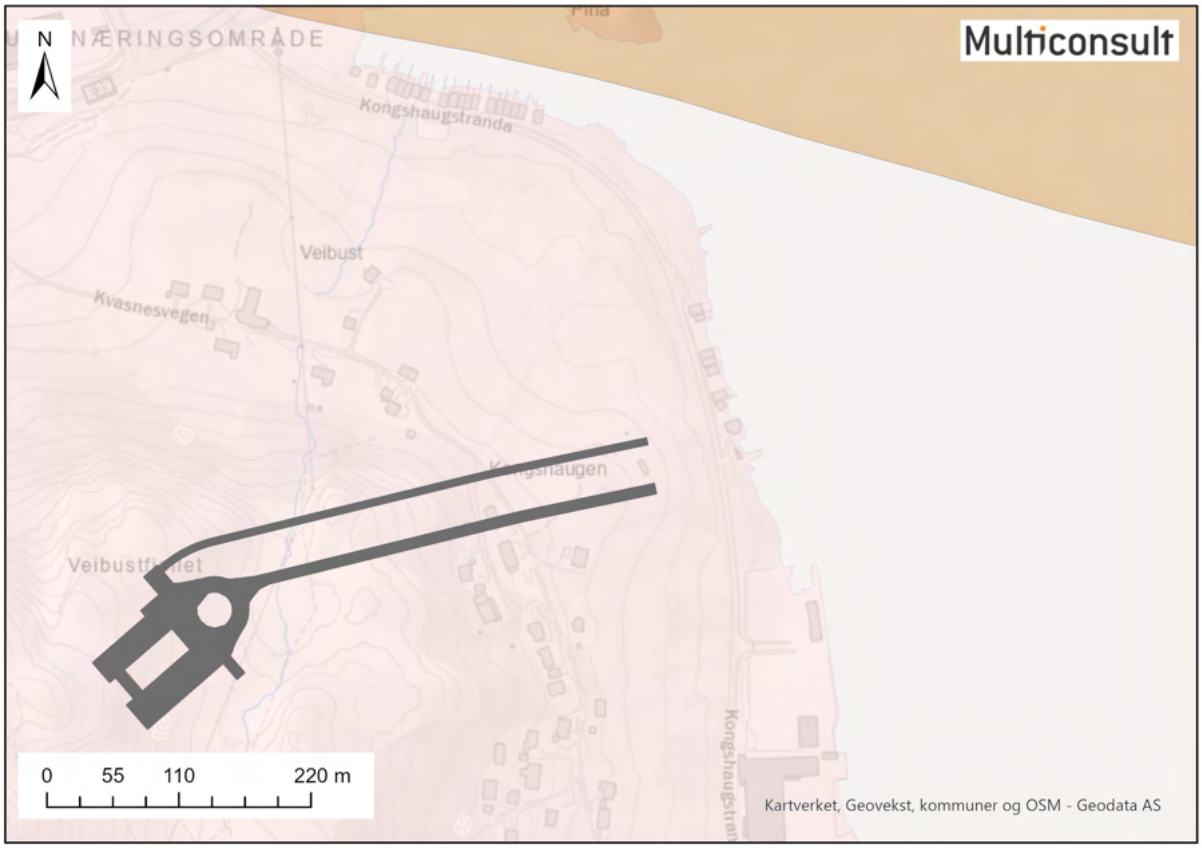


Figur 4-2 Løsmassekart kartlagt av NGU i målestokk 1:50 000 (12). Tegnforklaring: Lys grønn=Tynn morene, Mørk grønn=Tykk morene, Blå=Hav-, fjord- og strandansetning, tynt dekke, Lys brun=Tynt humus-/torvdekke, Mørk bruk=Torv og myr og Grå skravur=Berganlegget.

4.3. Berggrunnsgeologi

4.3.1. Regional geologi og bergarter

Ifølge NGUs berggrunnskart (12) i målestokk 1:50 000 er berganlegget lokalisert i berggrunn bestående av granittisk gneis tilhørende Sulakomplekset. Nord for berganlegget er det registrert amfibolitt. Utsnitt av NGUs berggrunnskart ovenfor berganlegget er vist i Figur 4-3.

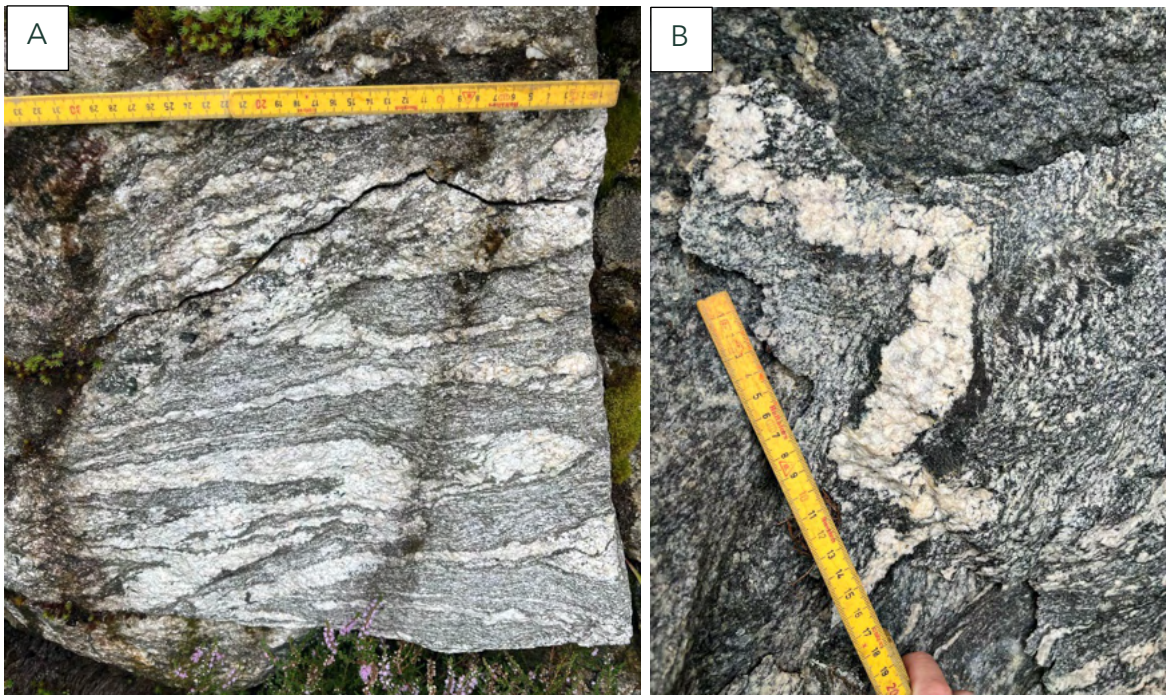


Figur 4-3 Berggrunnskart kartlagt i målestokk 1:50 000 av NGU (12). Tegnforklaring: Rosa= granittisk gneis, Brun=Amfibolitt og Grå skravur=Berganlegget.

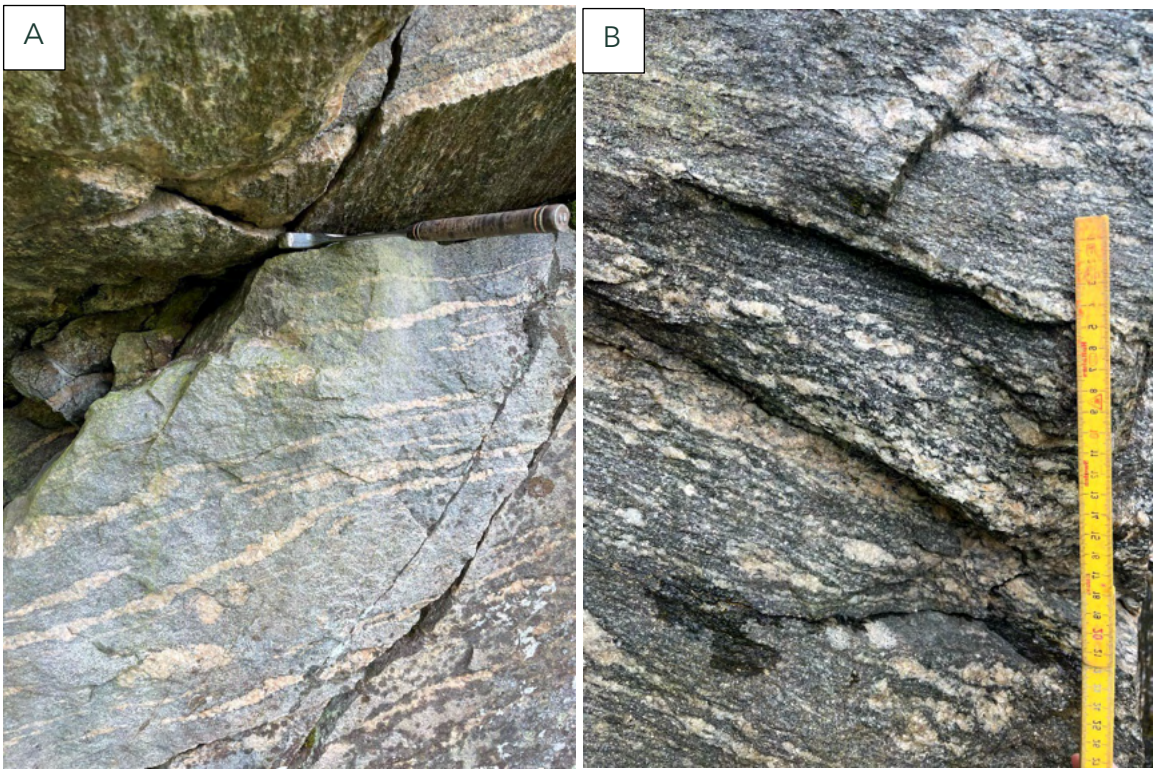
4.3.2. Bergartsbeskrivelse

Under feltkartleggingen, rapportert i Vedlegg 1, ble det registrert middels- til grovkornet gneis i dagen med tynne hvite og grålige bånd. Langs lokalvegene Kongshaugstranda og Kvasnesvegen er det registrert hyppige tynne hvite bånd med lokale småskala folder, stedvis med ovale felter med inntil 1 cm diameter og sporadiske årer med inntil ca. 5 cm tykkelse. Samme bergart er observert ved bergskrenter i Breidalen, men de lyse båndene forekommer mer variabelt og har en rødligere farge sammenlignet med bergblotninger

langs Kongshaugstranda og Kvasnesvegen. De lyse båndene har en midlere tykkelse lik 2 cm, stedvis med ovale felter som minner om øyegneis. Detaljfoto av bergblotninger fra befaringen er vist i Figur 4-4 og Figur 4-5.

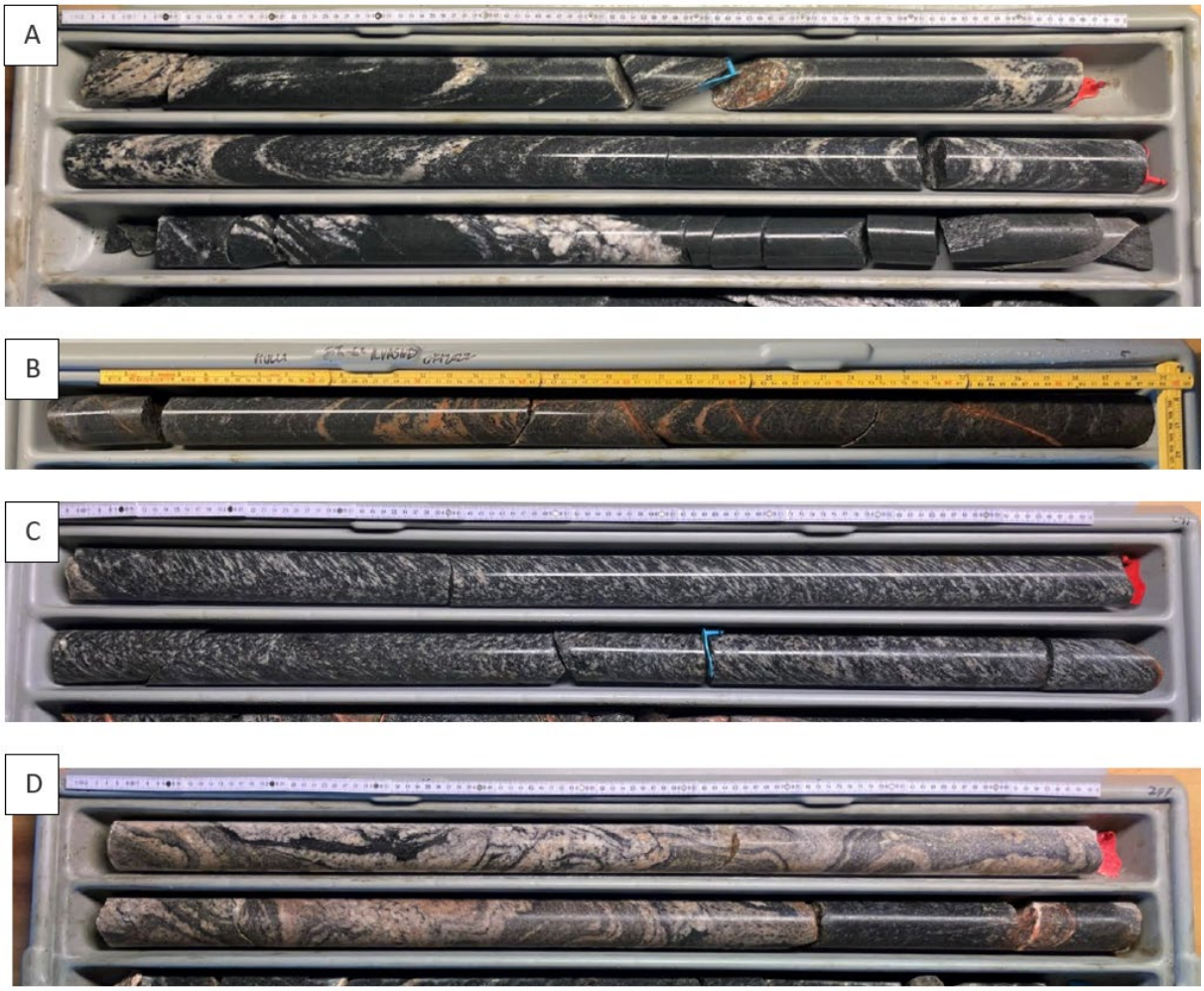


Figur 4-4 Detaljbilder A) Bergskjæring langs Kongshaugstranda i nærheten av påhuggsområde med lokal småskala hvite foldet B) Hvit åre bergskrent i nærheten av Kvasnesvegen (foto Multiconsult)



Figur 4-5 Detaljbilder A) Bergblotning øst for Breidalen grålig farge med oransje bånd B) Ovale hvite bånd langs Kongshaugstranda i nærheten av påhuggsområdet (foto Multiconsult)

Gneisen som observeres i kjerneprøvene er båndet, mørk til lys rosa, med varierende innhold av glimmer. I enkelte områder er det godt utviklet kvarts- og feltspatkrystaller som helt- eller delvis dekker hele kjernens diameter. Det registreres flere kalsittrike linser/årer og kalkholdig sprekkefyll i tilknytning til både kvarts- og feltspatsoner. I enkelte av disse sonene, særlig i de rødlige feltspatsonene, registreres det små hulrom (åpning opp mot 1 cm). Disse hulrommene er som regel dekt med kalk, i form av små (<3 mm) krystaller eller av opakt, hvitt kalkbelegghulrom i forbindelse med kalkrike soner. Bergarten er hovedsakelig middels- til grovkornet, men er i enkelte mørkere partier (antatt amfibolittisk gneis) svært finkornet. Utvalgte kjerneprøver er vist i Figur 4-6.



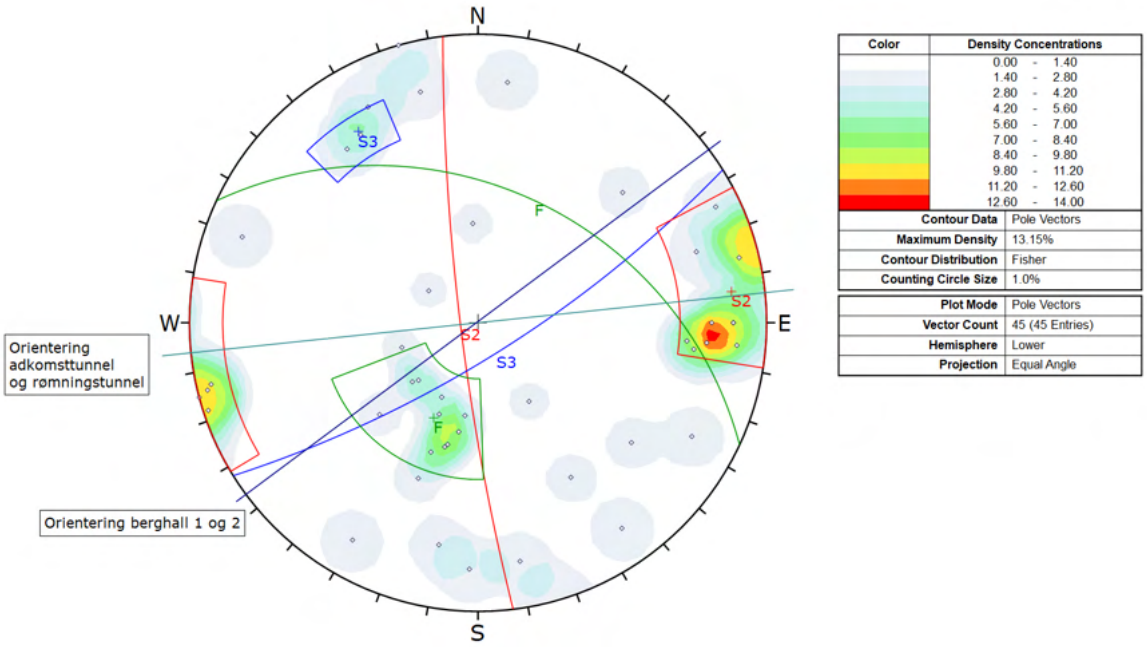
Figur 4-6: Detaljfoto av kjerneprøver A) Antatt amfibolittisk gneis med kvartsårer B) Mørk granittisk gneis med røde kalifeltspatbånd C) Grålig granittisk gneis med hvite bånd D) Foldet granittisk til pegmatittisk gneis (foto Multiconsult)

4.3.3. Berggrunnens oppsprekking

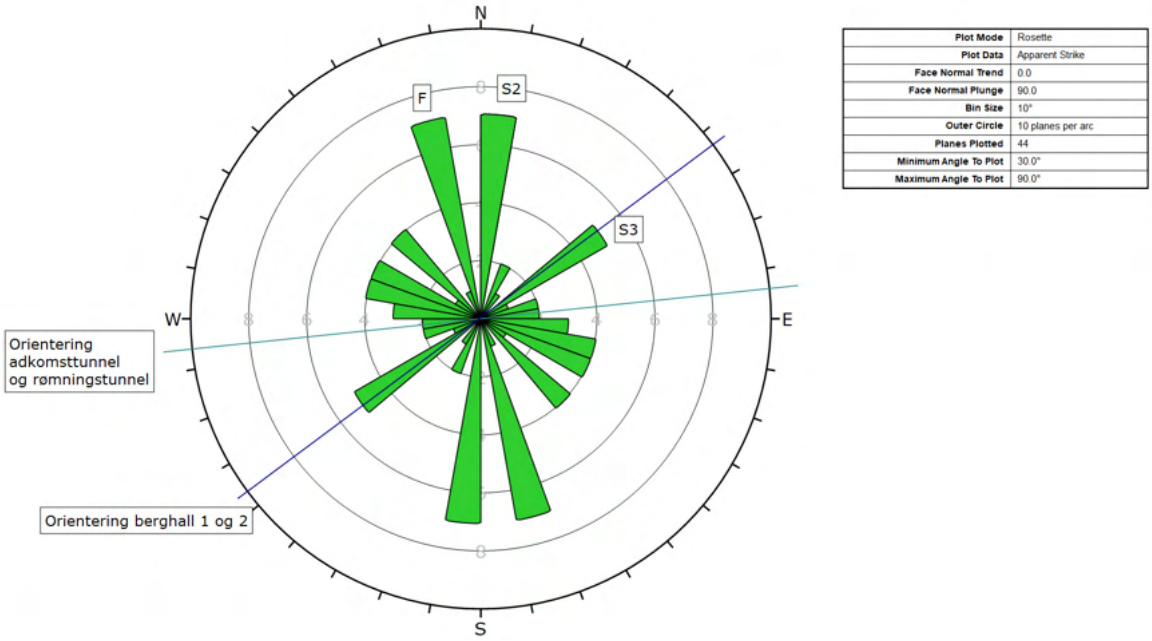
I forbindelse med feltbefaringer er det utført kartlegging av berggrunnens oppsprekking og sprekkeorientering. Aktuelle bergblotninger er markert i registreringskart i Figur 2-1, heretter referert til som registreringskartet. Det er utført sprekkemålinger på totalt 45 sprekkeflater i felt. Fra denne kartleggingen, og fra analyse av sprekkedata i programmet Dips, versjon 8.001, er det identifisert tre hovedsprekkesett, se Tabell 4-1. Det er i tillegg registrert andre, mer sporadiske sprekker. Tilhørende stereoplott og sprekkerose til sprekkeregistreringer er vist i Figur 4-7 og Figur 4-8.

Tabell 4-1: Kartlagte sprekkesett fra Multiconsults feltregistreringer med typiske verdier

Sett	Fall/fallretning*	Kommentar
1 (F)	40/025	Fallvinkelen varierer mellom ca. 30-50° mot nordøst. Foliasjonen er orientert tilnærmet vinkelrett på Berghall 1 og 2.
2 (S2)	83/263	Steilt sprekkesett orientert nord-sør med varierende fallretningen vekslende mellom øst og vest. Sprekkesettet er orientert vinkelrett i forhold til adkomst- og rømningstunnel, og skrått på Berghall 1 og 2.
3 (S3)	76/148	Steilt sprekkesettet som er orientert parallelt med Berghall 1 og 2.
*Typisk verdi		



Figur 4-7 Stereografisk plot for sprekkemålingene registrert i dagen (Dips)



Figur 4-8 Sprekkerose fra registrerte sprekkemålinger i felt (Dips)

Under feltkartlegging er det registrert en bergskrent øst for Breidalen, infopunkt 4 i registreringskartet. Det er kartlagt et tydelig langsgående sprekkesett (S2) med fall/fallretning ca. 83/270 og foliasjonssprekker med fall/fallretning ca. 32/055 (F), i tillegg til sporadisk sprekker. Det er registrert liten oppsprekking med registrerte RQD-verdier mellom 75-90. Detaljfoto av bergskrent (infopunkt 4) er vist i Figur 4-9 og Figur 4-10.

Figur 4-9 Bergskrent øst for Breidalen, infopunkt 4 i registreringskartet (foto Multiconsult)

Figur 4-10 Detaljbilde av bergskrent øst for Breidalen, infopunkt 4 registreringskartet, med sprekkesett. Fargeforklaring: Grønn=Foliasjonssprekkesett (F), Rød=Sprekkesett S2 og Blå=Sprekkesett S3 (foto Multiconsult)

Ved bergskjæring i nærheten av Kvasnesvegen, markert som infopunkt 16 i registreringskartet, har et dominerende langsgående sprekkesett (S2) orientert ca. 85/265 med ca. 40-80 cm sprekkeavstand. I tillegg er det registrert subhorisontale

foliasjonssprekker ca. 23/123 med variabel sprekkeavstand og sporadiske kryssende vertikale sprekker. Figur 4-11 viser foto av skjæringen.

Figur 4-11 Bergskjæring ved Kvasnesvegen markert som infopunkt 16 i registreringskartet (foto Multiconsult)

En annen skjæring i nærheten av Kvasnesvegen, markert som infopunkt 17 i registreringskartet, er vist i Figur 4-12. Berget fremstår her som tett oppsprukket med åpne sprekker og løse blokker fra berguttaket.

Berget i området viser tre hovedsprekkesett, samt sporadiske sprekker. Dominerende sprekkesett er orientert skrått på skjæringene med orientering ca. 65/329 (S2) med 30-70 cm sprekkeavstand. I tillegg er det registrert et langsgående steilt sprekkesett orientert ca. 79/166 (S3), og subhorisontale foliasjonssprekker med usystematisk orientering (tolket fall mot nordøst) og variabel sprekkeavstand.

Figur 4-12 Bergskjæring ved Kvasnesvegen, infopunkt 17 i registreringskartet (foto Multiconsult)

Bergskjæringer langs lokalvegen Kongshaugstranda viser variabel oppsprekking, med RQD-verdier mellom 50 og 100. Berget i skjæringene er påvirket av sprengningsarbeid fra byggeperioden. En generell betraktning av bergmassekvaliteten tilsier at midlere RQD-verdi langs Kongshaugveien er ca. 70. Det er registrert flere geologisk utfall og åpne sprekker langs foliasjonssprekker (F) orientert ca. 38/023. I tillegg er det registrert langsgående sprekker (S2) orientert ca. 78/270 og kryssende sprekker med variabelt fall og fallretning. Eksempelbilde av bergskjæringen er vist i Figur 4-13.

Figur 4-13 Bergskjæring langs Kongshaugstranda, infopunkt 7 i registreringskartet (foto Multiconsult)

Sprekkene observert i felt har stort sett glatt, bølgete sprekkeruhet, tilsvarende JRC verdier mellom 8-10. Det registreres ikke sprekkefyll, og det observeres ikke vannlekkasjer fra bergskjæringene på befaringstidspunktet.

4.4. Hydrogeologi og hydrologi

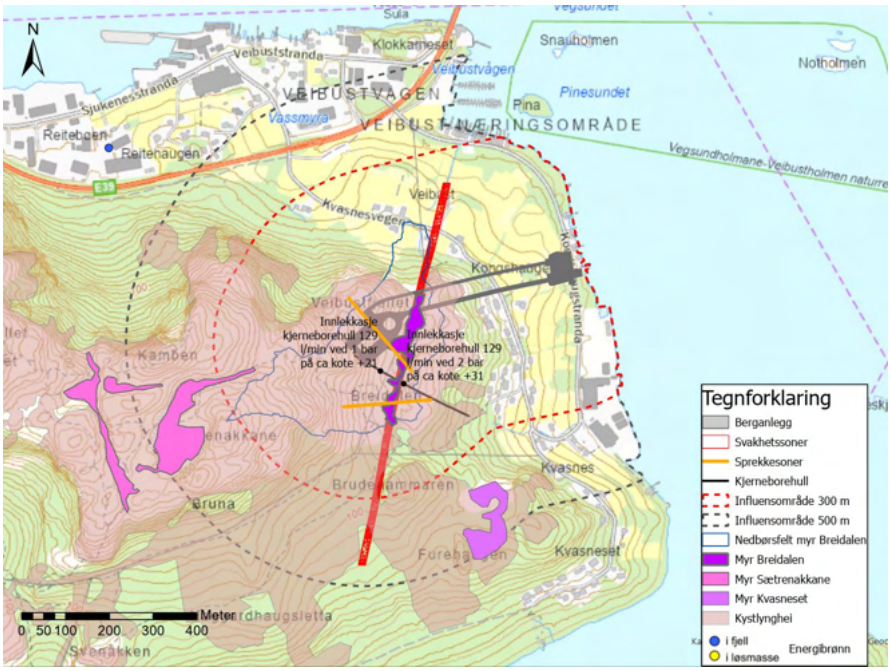
Berganlegget vil i hovedsak gå gjennom granittisk gneis, en metamorf bergart.

Vanntapsmålinger indikerer relativt høy hydraulisk ledningsevne i dagfjellet, og antas å være representativt for oppsprukket dagfjell. Dypere inn i berget mot planlagt berganlegg er det lavere hydraulisk ledningsevne. De siste 70 meterne av borehullet er det ikke registrert vanntap, noe som indikerer relativt tett berg, se Figur 3-3 i kap. 3.2. Samtidig er det i kjerneborhullet registrert innlekkasje på 129 l/min i området hvor det er kartlagt en svakhetssone langs Breidalen.

De planlagte tunnelene krysser én bekk som følger et markert søkk gjennom Breidalen i nordøstlig retning med utløp i Veibustvågen (0301020300-1-C Vannforekomst Storfjorden-Ytre). Se Figur 4-14.

I området ved og nærheten av berganlegget er det registrert tre ulike myrområder, se Figur 4-14. De geotekniske grunnundersøkelsene i Breidalen (10) har vist at øvre lag løsmasser er organiske masser med underliggende til dels faste masser og oppsprukket dagfjell. De faste massene av morene kan være til dels permeable og derav medføre mating av grunnvann til berg i kombinasjon med oppsprukket fjell. Det antas at myra i Breidalen har en omtrentlig mektighet på ca. 1 m med underliggende morenemasser før dagfjell. Dersom grunnvannsnivå i underliggende masser av myr senkes som følge av innlekkasje til berganlegget, kan dette medføre en senkning i grunnvannsnivå i myr.

Det er utført en verdi- og sårbarhetsvurdering av hva som potensielt sett kan påvirkes som følge av prosjektgjennomføring, beskrevet i hydrogeologisk vurderingsnotat Vedlegg 5.



Figur 4-14: Kart som viser registreringer av de ulike naturtypene på Leirvågfjellet iht. Miljødirektoratets naturbasekart (NIN id NINFP1910052357, NIN id NINFP1910032499 og NIN id NINFP1910030988) (13).

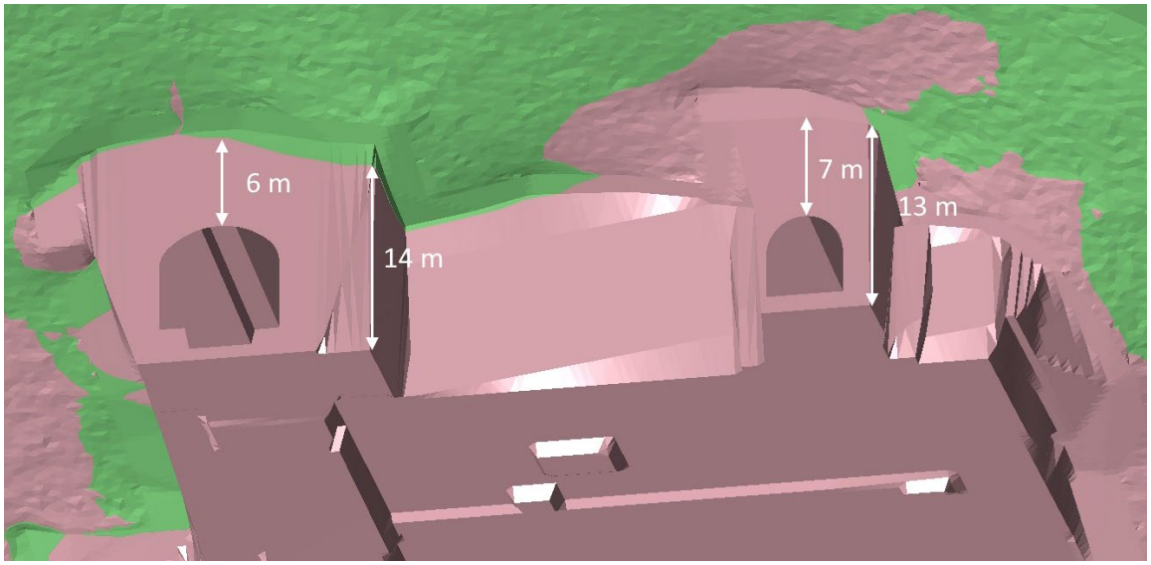
Tolkningsdel

5. Ingeniørgeologiske vurderinger

5.1. Bergoverdekning

Minste bergoverdekning er forventet ved påhuggsflatene til adkomst- og rømningstunnelen, se Figur 5-1. Bergoverdekningen stiger slakt de første 100 tunnelmeterne, med noe raskere stigning for adkomsttunnelen. Med unntak passering under Breidalen øker bergoverdekningen generelt mot vest.

Rømningstunnelen har ca. 7 m bergoverdekning ved påhuggsflaten, og oppnår ca. 10 m bergoverdekning etter ca. 100 m. Bergoverdekningen stiger videre opp til ca. 68 m øst for Breidalen, for så å reduseres til ca. 53 m under Breidalen, og øke videre vestover til maksimal bergoverdekning lik 97 m ved overgang til verkstedhall. Adkomsttunnelen har ca. 6 m bergoverdekning ved påhuggsflaten, og oppnår ca. 10 m bergoverdekning etter ca. 25 m. Bergoverdekningen stiger til maksimal bergoverdekning lik ca. 65 m øst for Breidalen. I Breidalen reduseres bergoverdekningen til ca. 51 m, og øker gradvis til ca. 58 m ved overgangen til kjøresløyfe.



Figur 5-1 Påhuggsflater adkomsttunnel (venstre) og rømningstunnel (høyre). Rosa farge indikerer berg mens grønn farge indikerer tolket løsmasse.

Berganlegget har minste bergoverdekning i nordøstre deler mot Breidalen, og jevnt stigende bergoverdekning mot sørvest. Berghall 1 har bergoverdekning fra ca. 70 m (nordøst) til ca. 103 m (sørvest). Berghall 2 har noe lavere bergoverdekning, fra ca. 58 m (nordøst) til ca. 83 m (sørvest). Bergoverdekning over den enkelte tunnel og berghall er også vist i Figur 5-5.

5.2. Bergspenninger

Det er ikke utført bergspenninger så langt på prosjektet, men det er planlagt å utføre spenningsmålinger i byggefasen. Vertikal bergspenning, σ_v, i berganlegget kan imidlertid grovt estimeres basert på vekt av overliggende berg etter Formel 1, hvor ρ er bergets densitet, g er tyngdeakselerasjonen og h er bergoverdekningen.

$$\sigma_v = \rho g h \qquad \text{Formel 1}$$

Ved å bruke Formel 1 er anslått vertikalspenning i berghallene 2,2 MPa ved h = 80 m og ρ=2764 kg/m^3.

Forholdet mellom horisontalspenning (σ_h) og vertikalspenning (σ_v) kan utrykkes med faktor K:

$$K = \frac{\sigma h}{\sigma v} \qquad \text{Formel 2}$$

Selv om K-faktoren ikke er kjent i området kan man ta utgangspunkt i den typiske spenningssituasjonen i Norge, som er en K-faktor mellom 1 og 2, altså at horisontalspenningen typisk er større enn vertikalspenningen. Fra Formel 2 kan man da estimere at horisontalspenning i berghallene kan være rundt 2,2 til 4,4 MPa.

Pga. liten overdekning ved påhuggsområdet og første deler av adkomst- og rømningstunnelen er det forventet redusert innspenning rundt tunnelprofilene. Resterende deler av berganlegget er forventet å drives med moderat bergoverdekning. Iht. FEM analysen (Vedlegg 4) forventes det ikke større områder med ugunstige stabilitetsforhold basert på antatt spenningsforhold, forventet bergmassekvalitet og prosjektert geometri. Det må likevel påregnes at det kan det oppstå spenningsavløsing lokalt i overganger og kryss, samt ved påtrufne svakhetssoner. Slike områder må ivaretas med bergsikring.

5.3. Svakhetssoner

Ut fra tilgjengelig kartgrunnlag (topografisk kart, skyggerelieffkart, berggrunnskart, løsmassekart), feltobservasjoner, seismikkundersøkelser og kjerneboring er det tolket tre svakhetssoner, se Figur 5-2 hvor sonenes plassering i forhold til berganlegget er vist.

Figur 5-2: Plan oversikt over svakhetssonenes tolkede forløp, vist i nivå av berghallene (kote 9 moh.).

Tabell 5-1 oppsummerer tolkede svakhetssoner.

Tabell 5-1 Tolkede svakhetssoner og hvor de ventes å krysse berganlegget

Svakhetssone	Sonebredde	Løp	Bergoverdekning	Seismisk hastighet
A	Ca. 18 m	Adkomsttunnel	Ca. 50 m	4500 m/s (P1/22)
A	Ca. 18 m	Rømningstunnel	Ca. 53 m	4500 m/s (P1/22)
B	Ca. 3 m	Berghall 1	Ca. 80 m	2900 m/s (P3/22)
B	Ca. 3 m	Berghall 2	Ca. 70 m	3800 m/s (P1/22)
C	Ca. 3 m	Ventes ikke å treffe berganlegget		

Pga. overliggende løsmasser er sonene ikke kartlagt i dagen, og kartleggingen er kun fra bergblotninger i felt. Tolkede svakhetssoner er basert på en samlet vurdering av lineamenter/terrengforsenkninger, lavhastighetssoner og kjerneprøver. Soneorientering er tolket basert på sammenstilling av data fra sprekkeregistreringer i felt, lavhastighetssoner, topografi/lineamenter og kjerneboring. Grunnundersøkelsene er bare utført i tilknytning til deler av berganlegget, og har i tillegg usikkerheter knyttet til nøyaktigheten av resultatene. Tolkede svakhetssoner er basert på tilgjengelig grunnlagsmateriale, og det er usikkerhet tilknyttet sonenes faktiske forløp og egenskaper i grunnen, og det kan forekomme andre svakhetssoner enn de som har blitt identifisert i forbindelse med de utførte undersøkelsene.

5.3.1. Svakhetssone A

Svakhetssone A er tolket ut ifra topografien, seismiske undersøkelser og kjerneprøver. Den tolkede svakhetssonen følger en tydelig topografisk forsenking i Breidalen med orientering NØ-SV. Sonen er tolket til å ha steilt fall (ca. 80°) mot øst-sørøst.

Sonen ser ut til å sammenfalle med et dårlig parti, med delvis utvasking og kjernetap samt tettere oppsprukket bergmasse med leirbelegg, som er observert i BH-1 mellom 164 og 180 m. På grunn av manglende kjernemateriale er det ikke mulig å gi fullstendig beskrivelse, men det vises til kjerneloggen i Vedlegg 3 for ytterligere informasjon. Videre er det i seismikkprofil 3, vist i Vedlegg 2, registrert et ca. 45 m bredt part i Breidalen med noe lavere seismisk hastighet, 4500 m/s, som kan indikere tettere oppsprukket bergmasse.

Basert på tilgjengelige grunnundersøkelser er det tolket at svakhetssone A vil bestå av dårlig bergmassekvalitet med mindre soner av svært dårlig bergmassekvalitet, bergmasseklasse C til E. Svakhetssonen er tolket å krysse skrått på adkomst- og rømningstunnel med en antatt sonebredde i tunnelnivå på 15-20 m.

Under kjerneboring (BH-1) er det registrert 129 l/min vanninntrenging i og rundt sonen, samt variabelt vanntap fra svært lavt til moderat Lugeon-verdi. Dette tilsier at vannlekkasjer i svakhetssonen og sonens sideberg må påregnes.

5.3.2. Svakhetssone B

Svakhetssone B er tolket ut fra et lineament sammenholdt med lavhastighetssoner identifisert i seismikkprofilene. I topografien kan lineamentet ses ved Veibustfjellet med orientering NV-SØ. Seismikkprofil 1, 2 og 3 fra 2022 (Vedlegg 2) har registrert tre lavhastighetssoner som samsvarer med forventet orientering av lineamentet.

Profil 3 viser en ca. 5 m brei lavhastighetssone med hastighet 2900 m/s. Følger man orienteringen av lineamentet mot sørøst, påtreffes også tilsvarende lavhastighetssoner i profil 1 og profil 2 med hhv. hastigheter 3800 m/s og 3900 m/s. Sonen er tolket til å ha steilt fall (ca. 85°) mot sørvest.

Lavhastighetssonen kan indikere berg med svært dårlig bergmassekvalitet, samt sideberg med noe dårlig bergmassekvalitet.

Svakhetssonen sammenfaller med kjerneboringshullet (BH-1). Mellom 107-113 m i kjernehullet er det registrert høyere oppsprekkingsgrad og kjernetap. På grunn av manglende kjernemateriale i området 111-112,3 er det ikke mulig å gi fullstendig beskrivelse, men det vises til kjerneloggen i Vedlegg 3 for ytterligere informasjon.

Lugeon test i dette området viser lokalt høyere Lugeon-verdi, ergo kan det forventes noe lekkasje i dette partiet.

Basert på seismiske profil og kjerneprøver er anslått bergmassekvalitet i svakhetssonen tilsvarende bergmasseklasse D-E.

Svakhetssone B er antatt å krysser berganlegget på tvers i overgangen mellom kjøresløyfe og Berghall 1 og 2. Dette kan gi ekstra krevende drive- og stabilitetsforholdene pga. kryssområde og store spenn.

5.3.3. Svakhetssone C

Svakhetssone C er en tolket svakhetssone basert på en registrert topografisk forsenking sør for berganlegget. Sonen er orientert ca. Ø-V, ventes å stå med nært vertikalt fall og med tolket bredde <5 m. Med antatt soneorientering krysser svakhetssonen kjernehullet (BH-1) på ca. 225 m hulldybde. Kjerneprøvene i dette partiet er generelt lite oppsprukket, men det er registrert en 1-1,5 cm leirsleppe. Svakhetssonen er ikke antatt å krysse berganlegget.

5.4. Bergmassekvalitet og stabilitet

5.4.1. Påhugg

Iht. tolket bergoverflate er det anslått henholdsvis ca. 7 m og ca. 6 m bergoverdekning ved påhuggsflaten til rømningstunnelen og adkomsttunnelen. Bergoverdekningen er relativt jevn de første 100 tunnelmeterne, med noe raskere stigning over adkomsttunnelen. Fra de refraksjonsseismiske undersøkelsene er det anslått ca. 10 m dagberg. Ut fra dette må det

påregnes at det i øvre deler og over tunnelprofilet er dagberg med lokalt dårligere bergmassekvalitet som følge av påvirkning fra overflateprosesser i øvre deler av tunnelprofilet og berget over tunnelene.

Ifølge seismiske undersøkelser er det ikke registrert lavhastighetssoner ved påhuggsområdet, og seismisk hastighet i dagberget er ca. 4600-4900 m/s, og basishastigheten i berggrunnen ca. 5200-5700 m/s. Seismiske hastigheter indikerer middels til svært god bergmassekvalitet uten hensyn til sprekkeorientering.

Kjerneprøvene i de øvre fire meterne av kjernehullet (BH-1) er noe overflateforvitret og middels oppsprukket. Og kartlagte bergmassekvaliteter langs Kongshaugstranda indikerer middels til god bergmassekvalitet, stedvis uten synlig overflateforvitring. Dette indikerer at bergmassen i selve tunnelprofilet er lite eller uten påvirkning av overflateforvitring. Det er ikke registrert belegg i dagen eller svakhetssoner i felt. I nærheten av påhuggsområdet (infopunkt 7) er det registrert delvis åpne foliasjonssprekker med geologisk nedfall rundt disse i tilknytning til kryssende sprekkesett. I forhold til påhuggsflaten er S2 orientert tilnærmet parallelt på påhuggsflaten og et tredje sprekkesett orientert skrått på påhuggsflaten. Dersom sprekkesett S2 har tilstrekkelig høy fallvinkel og fallretning mot øst kan det forekomme plan utglidning.

Det er forventet at de største stabilitetsutfordringene vil være kiledannelse i og rundt foliasjonssprekker, redusert innspenning rundt tunnelprofilet pga. liten bergoverdekning og eventuelt ukjente svakhetssoner og leirslepper. Anslått bergmassekvalitet ved påhugget er bergmasseklasse C til E.

5.4.2. Tunneler

På grunn av lav bergoverdekning over tunnelene er det antatt redusert innspenning i adkomst- og rømningstunnel fra påhuggsflaten og ca. 150 m innover.

Ut ifra sprekkekartlegging i felt er det forventet kiledannelse i og rundt foliasjonssprekker som må sikres lokalt i tunnelene. Ved redusert heft (pga. økt oppsprekking/åpne sprekker, lav innspenning, liten ruhet og/eller belegg) og tilstrekkelig lav fallvinkel langs foliasjonsplanet kan det forekomme nedfall av horisontale lag i tunnelheng, noe som må følges opp under driving mht. midlertidig og permanent sikringstiltak. Sprekkesett S3 er orientert skrått i forhold til tunneltrasé og kan ved redusert bergmassekvalitet være et vedvarende problem. Anslått bergmassekvalitet i tunnelene er bergmasseklasse B til E.

Svakhetssone A er forventet å krysse både adkomst- og rømningstunnel over ca. 18 m sonebredde med ca. 50 m bergoverdekning. Basert på tilgjengelige grunnundersøkelser er det tolket at svakhetssone A vil bestå av dårlig bergmassekvalitet med mindre soner av svært dårlig bergmassekvalitet, bergmasseklasse D (C til E), og risiko for vannlekkasjer. Forventet sikringsomfang for bergmasseklasse C til E er beskrevet i Tabell 5-6. Sonen er beskrevet mer detaljert i Kapittel 5.3.1.

5.4.3. Berghaller

Berghallene er lokalisert vest for Breidalen hvor det er moderat bergoverdekning.

Breidalen er en topografisk forsenking og tolket svakhetssone, navngitt Svakhetssone A, se Vedlegg 6 og Figur 5-2. Det ventes at Svakhetssone A vil krysse øst for berghallene med tolket orientering av sonen. Strøket til foliasjonssprekkesettet er orientert vinkelrett i forhold til berghallene med fall mot NØ. Tilsvarende som for tunnelene vil foliasjonssprekkene danne potensiale for kiledannelse og/eller fare for nedfall av horisontale lag i hengen ved redusert heft. Sprekkesett S3 er orientert parallelt med berghallene, og S2 skrått i forhold til berghallene. Seismisk hastigheter i Breidalen indikerer basishastighet i berggrunnen mellom 4700 og 6200 m/s. Hastigheten uten hensyn til sprekkeorientering indikerer god til svært god bergmassekvalitet.

Svakhetssone B er forventet å krysse Berghall 1 og 2 i overgangen til kjøresløyfe. Dersom svakhetssonen treffer berghallene i kryssområdet vil det pga. store spennvidder og kryssgeometri være behov for spesialtilpasninger av drivemetode og bergsikring, både midlertidig og permanent bergsikring inkludert tung sikring. Svakhetssone B er beskrevet i Kapittel 5.3.2.

Anslått bergmassekvalitet i berghaller og kjøresløyfe er bergmasseklasse B til F.

Grunnet den store dimensjonen til berghallene er det utført modellering ved bruk av endelig element metode (Finite Element Method – FEM) i programvaren RS^2 for å vurdere stabilitet og spenningssituasjon rundt berghallene. Simuleringen verifiserer at den prosjekterte utformingen av berghallene er tilfredsstillende slik at stabilitetsforholdene vurderes som håndterbare. Mindre, lokalt avløste partier grunnet geometri, samt tilpasning av driving og sikring for å ivareta stabilitet i områder med dårlig bergmassekvalitet, som beskrevet over, må imidlertid påregnes. Modellen vil måtte oppdateres og verifiseres etter hvert som man i driveperioden får mer informasjon om bergforholdene. FEM analysen finnes i Vedlegg 4.

5.5. Naturfare

Påhuggsområdet er ikke lokalisert i et skredfarlig område, og er ellers ikke plassert innen NVEs faresoner for flodbølge eller stormflo.

Sjaktene faller innenfor utløpsområde for snøskred iht. NVEs aktsomhetskart (14). På grunnlag av feltobservasjoner, topografi og klimavurderinger er det vurdert at omfanget av eventuelle snø- og sørpeskred er av svært begrenset omfang, og dermed svært liten sannsynlighet for at skredet kan ramme planområdet. Under feltbefaring ble det registrert en ca. 5 m høy berghammer med mulige løsneområder for steinsprang sørvest for planområdet. På grunnlag av høy terrengruhet er det vurdert utløpsområdet for steinsprang ikke vil nå sjaktene. Skredfarevurderingen er utført iht. Plan- og bygningsloven og TEK17 § 7-3, sikkerhetsklasse S2 (15). Den samlede nominelle sannsynligheten for at skred skal ramme sjaktene er vurdert å være < 1/1000, og tilfredsstiller derfor sikkerhetsklasse S2 og det er ikke utarbeidet faresoner. For fullstendig skredvurdering henvises til notat 10229807-01-RIGberg-NOT-001 (16).

5.6. Hydrogeologiske vurderinger

For detaljert beskrivelse av de hydrogeologiske vurderingene henvises det til hydrogeologisk vurderingsnotat (Vedlegg 5). I det følgende gis det en kort oppsummering av de hydrogeologiske forhold som virker inn med tanke på vurdering av innlekkasjekrav for berganlegget.

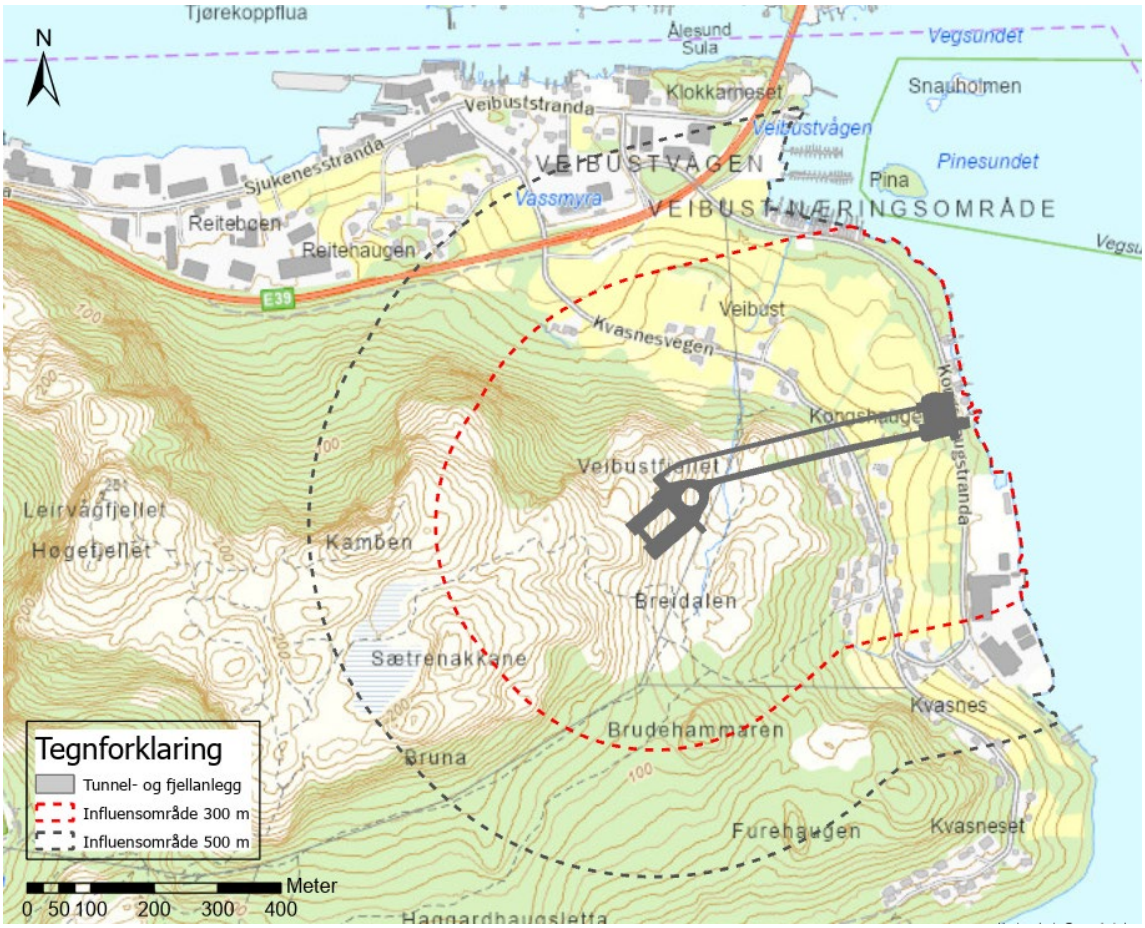
5.6.1. Influensområdet

Størrelsen på influensområdet er beregnet med empiriske formler (17) (18) og vurdert opp mot erfaringstall fra andre tunnelprosjekter (19). De empiriske beregningene viser influensområder med radius mellom 59 til 1650 m avhengig av akvifertykkelse og hydraulisk ledningsevne. Det vurderes som svært lite realistisk at områder opptil ca. 1,7 km unna berganlegget påvirkes. Det vurderes som mest sannsynlig at planlagt berganlegg vil kunne påvirke grunnvannet opp til en influensradius på 300 m (19), men som empiriske beregninger og erfaringstall fra andre tunnelprosjekter viser (19), kan grunnvannet påvirkes i større avstander enn dette. Det er derfor gjort en vurdering av sårbare områder som ligger innenfor en influensradius på 500 m. Utstrekningen av influensområder på 300 m og 500 m er vist i Figur 5-3.

5.6.2. Innlekkasjepotensiale

Innlekkasjepotensialet i planlagt berganlegg avhenger av balansen mellom overvann og nydannelse av grunnvann i respektive nedbørsfelt langs/tvers av berganlegget, og grunnens hydrauliske ledningsevne, som i hovedsak avhenger av berggrunnens hydrauliske egenskaper. Som beskrevet i hydrogeologisk vurderingsnotat (Vedlegg 5), er berggrunnens hydrauliske egenskaper blant annet knyttet opp mot graden av oppsprekking i bergmassen og grunnvannshøyde over anlegget.

Teoretisk innlekkasje har blitt empirisk beregnet (20) med gjennomsnittlig hydraulisk ledningsevne på 10^{-8} m/s, 10^{-7} m/s og 10^{-6} m/s. Det understrekes imidlertid at bruk av en K-verdi på 10^{-6} m/s anses som en konservativ beregning, ettersom det vurderes som lite sannsynlig at berget, utenom definerte lekkasjeførende soner, kan ha slike høye K-verdier. Beregningene indikerer at det teoretiske potensialet for innlekkasje med de hydrauliske ledningsevnene oppgitt over, for tunnelene ligger mellom 7 l/min per 100 m og 997 l/min per 100 m. For berghallene ligger innlekkasjepotensiale mellom 16 l/min per 100 m til 1616 l/min per 100 m. Se Tabell 5-2 og Tabell 5-3.



Figur 5-3: Influensområder med radius på 300 m og 500 m rundt planlagt berganlegg.

Tabell 5-2: Empirisk beregnet innlekkasje for tunneler ved ulike hydrauliske ledningsevner og overdekning. Resultater for ett tunnelløp. Det presiseres at det er svært lite sannsynlig at berget, utenom definerte lekkasjeførende soner, kan ha K-verdier opp mot 10^{-6} m/s, slik at beregningene anses som konservative estimat.

K-verdi	Innlekkasje ved maksimal bergoverdekning i l/min per 100 m tunnel	Innlekkasje ved svakhetssone Breidalen i l/min per 100 m tunnel
$1x10^{-8}$	10	7
$1x10^{-7}$	100	68
$1x10^{-6}$	997	676

Tabell 5-3: Empirisk beregnet innlekkasje for berghaller ved ulike hydrauliske ledningsevner og overdekning. Resultater for hele spennvidden på berghallene inkl. kjøresløyfe (ca. 40 m diameter). Det presiseres at det er svært lite sannsynlig at berget, utenom definerte lekkasjeførende soner, kan ha K-verdier opp mot 10^{-6} m/s, slik at beregningene anses som konservative estimat.

K-verdi	Innlekkasje fjellhall i l/min per 100 m tunnel
$1x10^{-8}$	16
$1x10^{-7}$	162
$1x10^{-6}$	1616

Beregningene indikerer at i områder der bergmassen er lite oppsprukket og med lav K-verdi forventes det begrenset innlekkasje, mens det i områder med høyere K-verdi, som eksempelvis i svakhetssoner, er det teoretisk svært høyt potensiale for innlekkasje av grunnvann. Høyeste registrerte K-verdi på 10^{-6} m/s var i dagfjellet, slik at beregningene anses som konservative estimat. Ledningsevnen vil trolig variere mellom de benyttede verdiene, og innlekkasjemengden kan med det være lavere enn det som er empirisk og analytisk beregnet, men det vurderes å være størst potensiale for innlekkasje i områder med oppsprukket berg.

5.6.3. Sårbarhetsvurdering

Figur 5-4 viser planlagt berganlegg med aktuelle sårbare områder omfattet av foreliggende sårbarhetsvurdering.

Grunnvannsbrønner
Ifølge NGU sin nasjonale grunnvannsdatabase GRANADA (21), ligger det én fjellbrønn benyttet til energiformål (brønn nr. 125706) ca. 750 m nordvest for fjellanlegget (21).

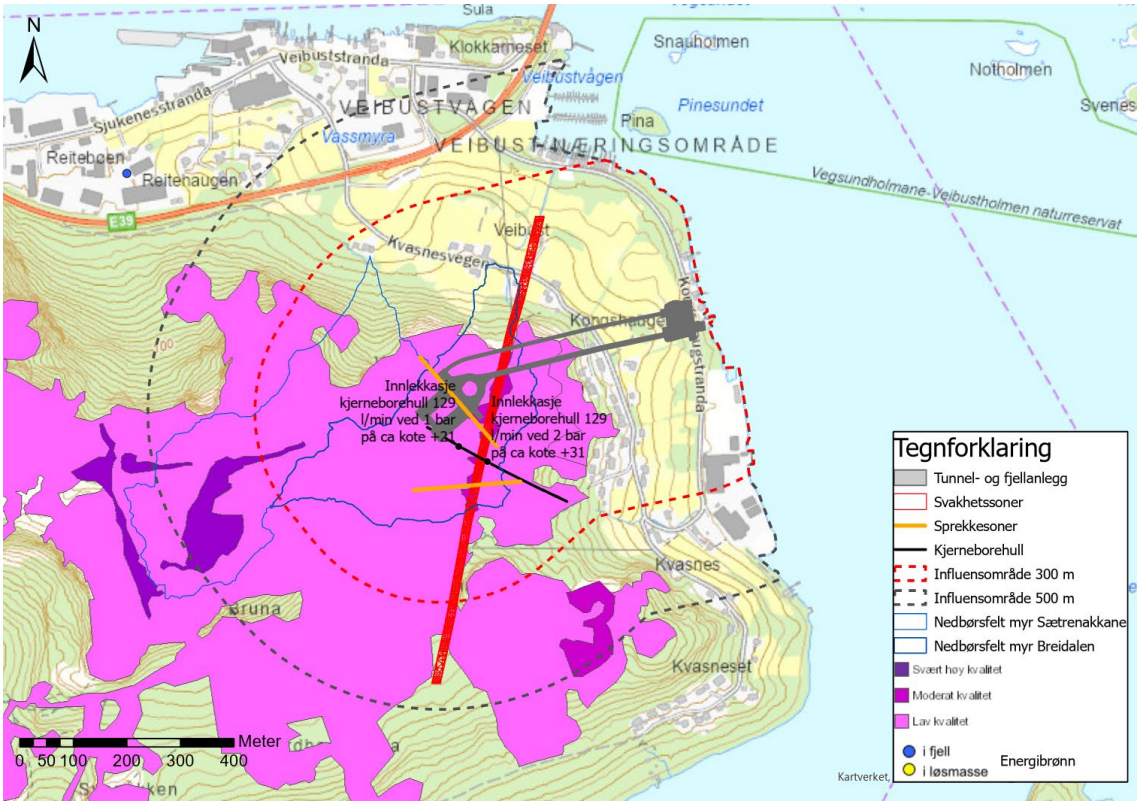
Fjellbrønnen ligger utenfor 500 m influensområde og vurderes å ikke bli berørt av de planlagte arbeidene. Utover dette er det ingen andre grunnvannsbrønner i influensområdet som Multiconsult er kjent med. For å fange opp eventuelle brønner som ikke ligger inne i GRANADA vil det gjennomføres ytterligere kartlegging av brønner i forbindelse med bygningsregistreringen.

Viktige naturtyper
Det er registrert kystlynghei, en viktig naturtype, i fjellområdet over berganlegget. Kystlynghei får vann fra overflateavrenning og er ikke avhengig av grunnvannet i seg selv.

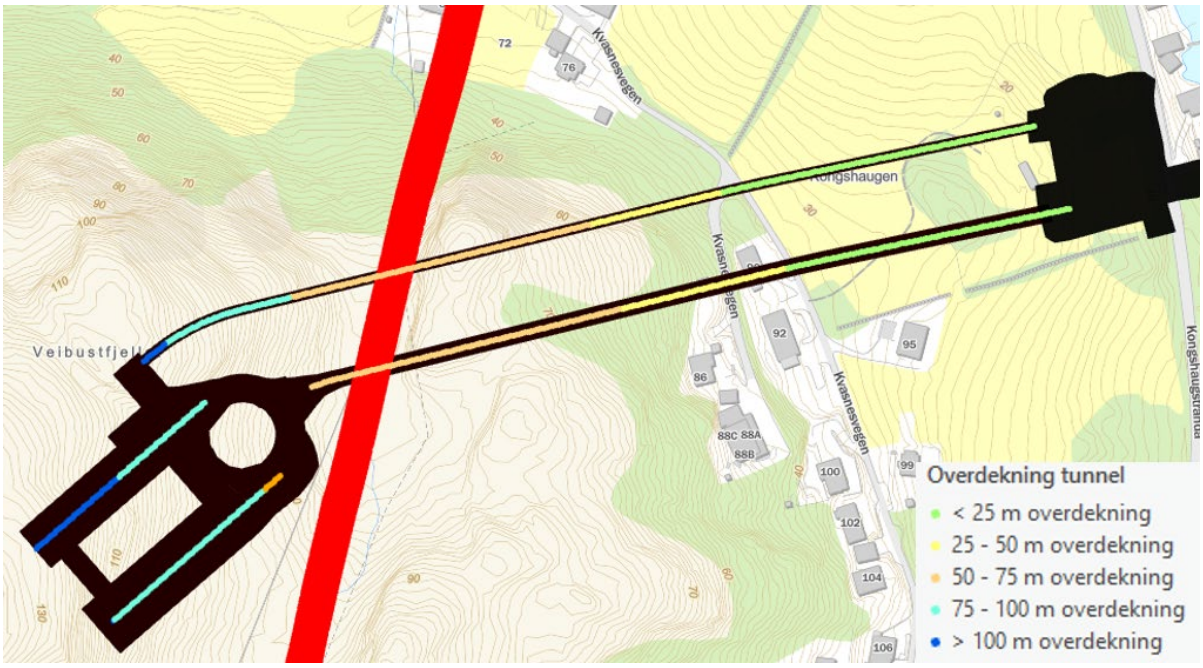
Myren og bekken som er registrert å ligge i Breidalen sammenfaller med kartlagt svakhetssone, som er vurdert å ville treffe tunnelene. Det er i tillegg kartlagt sprekkesystemer som antas å treffe berghallene (Figur 5-4). Overdekningen hvor tunnelen krysser under myren er mindre enn 100 m, se Figur 5-5. Da myren ligger i en liten forsenkning i terrenget er det sannsynlig at grunnvannet kan stå i dagen her, og det kan ikke utelukkes at grunnvannsnivået i myren avhenger av grunnvannsnivået i berget. Det vurderes at myrområdet i Breidalen er sårbart for påvirkning.

Myrområdet ved Sætrenakkane og på Kvasneset ligger utenfor influensområdet på 300 m, men innenfor 500 m influensområdet. Det er ingen kartlagte svakhetssoner eller sprekkesoner som antas å stå i kontakt mellom myrene og berganlegget. Det vurderes at

myrområdene utenfor 300 m influensområde ikke forventes å bli påvirket som følge av de planlagte arbeider med berganlegget.



Figur 5-4: Kartutsnitt viser planlagt berganlegg, influensområder på 300 og 500 m, nærliggende brønner, viktige naturtyper, aktuelle nedbørsfelt og kartlagte svakhets- og sprekkesoner.



Figur 5-5: Oversiktskart av berganlegg med kartlagt svakhetssone og overdekning fra berganlegg til terreng.

Effekt på sårbare naturområder

I det hydrogeologiske vurderingsnotatet (Vedlegg 5) er beregnet innlekkasje sammenlignet med estimert nydannelse av grunnvann og med normalavrenning i respektivt nedbørsfelt for å se på effekt i naturtypen. Dersom lekkasjen er mindre enn 10 % av normalavrenning eller grunnvannsmating antas det ingen eller liten effekt (22) på forekomsten.

For beregning av innlekkasje til tunnelene et det antatt bredde på vannførende sone på tunnelnivå på 18 m og hydraulisk ledningsevne på 10^{-8} m/s, 10^{-7} m/s og 10^{-6} m/s. Resultater fra de empiriske beregningene er inkludert i Tabell 5-4.

For beregning av innlekkasje til fjellhallene er det utført beregninger for to scenario, ett hvor innlekkasje foregår via et kartlagt sprekkesystem med en antatt bredde på 5 m på berghallnivå, og et annet scenario der innlekkasje vil foregå over hele fjellhallens lengderetning på ca. 130 m. Det er benyttet verdier av hydraulisk ledningsevne på 10^{-9} m/s, 10^{-8} m/s, 10^{-7} m/s og 10^{-6} m/s. Resultater fra de empiriske beregningene er inkludert i Tabell 5-5. Beregningene er utført uten randbetingelser, som medfører at en beregnet innlekkasje kan overstige 100% av normalavrenning/grunnvannsmating i nedbørsfeltet.

For tunnelene indikerer de empiriske beregningene som vist i Tabell 5-4 at ved en hydraulisk ledningsevne på 10^{-7} m/s eller lavere så vil innlekkasje i tunnel ha ingen eller

liten påvirkning på myren i Breidalen, mens ved en hydraulisk ledningsevne på 10^{-6} m/s eller høyere så vil innlekkasje i tunnel ha stor påvirkning på myren.

Når det gjelder berghallene viser de empiriske beregningene i Tabell 5-5 at innlekkasje vil avhenge av hvor stor del av fjellhallen som er oppsprukket og hydraulisk ledningsevne i slike områder. Generelt vil det ved en hydraulisk ledningsevne på 10^{-8} m/s eller høyere gi innlekkasjer til berghallene som vil gi middels til stor effekt på myrområdet i berghallene. De to tabellene illustrerer hvor store usikkerheter det er knyttet til estimering av innlekkasje.

Tabell 5-4: Estimert effekt på myrområdet i Breidalen ved innlekkasje til tunneler.

Hydraulisk ledningsevne, K (m/s)	% av normalavrenning	Effekt	% av grunnvannsmating	Effekt
1,00E-08	0,1 %	Ingen/liten	0,2 %	Ingen/liten
1,00E-07	1 %	Ingen/liten	2 %	Ingen/liten
1,00E-06	6 %	Ingen/liten	25 %	Stor

Tabell 5-5: Estimert effekt på myrområdet i Breidalen ved innlekkasje til berghallene.

Scenario	Antatt bredde på oppsprukket område (m)	Innlekkasje i tunnel når K = 1E-9			
		% av normalavrenning	Effekt	% av grunnvannsmating	Effekt
Innlekkasje til fjellhall, total lengde retning	130	1,8 %	Ingen/liten	7 %	Ingen/liten
Innlekkasje til fjellhall via sprekkesone	5	0,1 %	Ingen/liten	0,3 %	Ingen/liten

Scenario	Antatt bredde på oppsprukket område (m)	Innlekkasje i tunnel når K = 1E-8			
		% av normalavrenning	Effekt	% av grunnvannsmating	Effekt
Innlekkasje til fjellhall, total lengde retning	130	18 %	Middels	72 %	Stor
Innlekkasje til fjellhall via sprekkesone	5	1 %	Ingen/liten	3 %	Ingen/liten

Scenario	Antatt bredde på oppsprukket område (m)	Innlekkasje i tunnel når K = 1E-7			
		% av normalavrenning	Effekt	% av grunnvannsmating	Effekt
Innlekkasje til fjellhall, total lengde retning	130	179 %	Stor	717 %	Stor
Innlekkasje til fjellhall via sprekkesone	5	7 %	Ingen/liten	27 %	Stor

Scenario	Antatt bredde på oppsprukket område (m)	Innlekkasje i tunnel når K = 1E-6			
		% av normalavrenning	Effekt	% av grunnvannsmating	Effekt
Innlekkasje til fjellhall, total lengde retning	130	1793 %	Stor	7173 %	Stor
Innlekkasje til fjellhall via sprekkesone	5	68 %	Stor	274 %	Stor

5.6.4. Potensiale for setninger

I henhold til NGU sitt kvartærgeologiske kart (se Figur 4-2) er det hovedsakelig løsmasser av morenemateriale i områder med bygninger som eventuelt skulle være setningsutsatt. Morenemasser er generelt sett lite sensitive for setninger, og det vurderes derfor som lite sannsynlig at det vil oppstå setningsproblematikk i disse områdene som følge av innlekkasje av grunnvann til tunnelen.

Innlekkasjekrav i tunnel er derfor ikke vurdert med hensyn til setningsproblematikk.

5.6.5. Innlekkasjekrav

Ved store innlekkasjer kan det være aktuelt å injisere berget av anleggstekniske årsaker. Et slikt injeksjonsbehov kommer som følge av entreprenørens evne til å håndtere vannmengder under driving og kommer slik sett ikke fra noe innlekkasjekrav. Dimensjonerende for innlekkasjekrav er i dette tilfellet med hensynet til omgivelsene (her ytre miljø, da det vurderes som lite sannsynlig at det vil oppstå grunnvannssenkning i potensielt setningsutsatte områder).

Som beskrevet i kapittel 5.6.3 vurderes det slik at akseptabel innlekkasje til tunneler og bergrom er inntil 10% av normalavrenning/grunnvannsmating til et naturområde. 10% av grunnvanns-matingen til en vannforekomst utgjør det mest konservative estimatet, og behov for innlekkasjekrav er derfor vurdert basert på dette. For usikkerheter rundt beregningene vises det til hydrogeologisk vurderingsnotat i Vedlegg 5.

Tunneler:
For tunnelene viser beregningene at ved en forekomst av vannførende sone med en bredde på opptil 18 m og en gjennomsnittlig hydraulisk ledningsevne på 10^{-7} m/s, så er myren i Breidalen så robust at påvirkningen anses som akseptabel (<10% av normal-avrenning/grunnvannsmating). Dersom den gjennomsnittlige hydrauliske ledningsevnen er på 10^{-6} m/s eller høyere indikerer derimot beregningene at det vil bli uakseptabel påvirkning på myren i Breidalen, og tettetiltak i form av berginjeksjon må utføres. Dersom

det påtreffes større vannførende soner, vil akseptabel innlekkasje for å unngå skadelig påvirkning være lavere.

Ettersom det er usikkert hvor bred den vannførende sonen er, er innlekkasjekravet vurdert for svakhetssonens bredde på 18 m inkludert 5 meter buffer på hver side av svakhetssonen. Innlekkasjekravet settes til 20 l/min per 100 m for tunnelene som krysser svakhetssonen. Det settes overordnet 10 l/min per 100 m per tunnel, men at det samlet ikke skal være større innlekkasje enn 20 l/min per 100 m tunnel.

Utover området med svakhetssonen i Breidalen settes det ikke innlekkasjekrav i tunnelene, utover tetting av innlekkasjer med tanke på eventuelle drive- eller driftshensyn. Dette forutsetter at det ikke registreres negativ påvirkning i grunnvannet fra grunnvannsovervåkningen.

Berghaller:
For berghallene inkl. tverrforbindelser og kjøresløyfe vurderes det å være overordnet tett berg, men det antas at det kan forekomme vannførende sprekkesoner. Det foreligger usikkerheter rundt utbredelsen av eventuelle vannførende sprekkesoner der berghallene skal ligge. Det stilles innlekkasjekrav til 20 l/min samlet for berghallene inkl. tverrslag og kjøresløyfe.

Ventilasjonskanaler:
Det skal bores ventilasjonssjakter med diameter ca. 2,4 m, og disse er planlagt boret fra dagen og ned i berghallene. Ventilasjonskanalene må tettes i øverste del hvor det forventes oppsprukket og vannførende dagfjell. Det antas at ventilasjonskanalene må injiseres minimum øverste 12 m, eventuelle videre behov for injeksjon vurderes basert på observerte innlekkasjer.

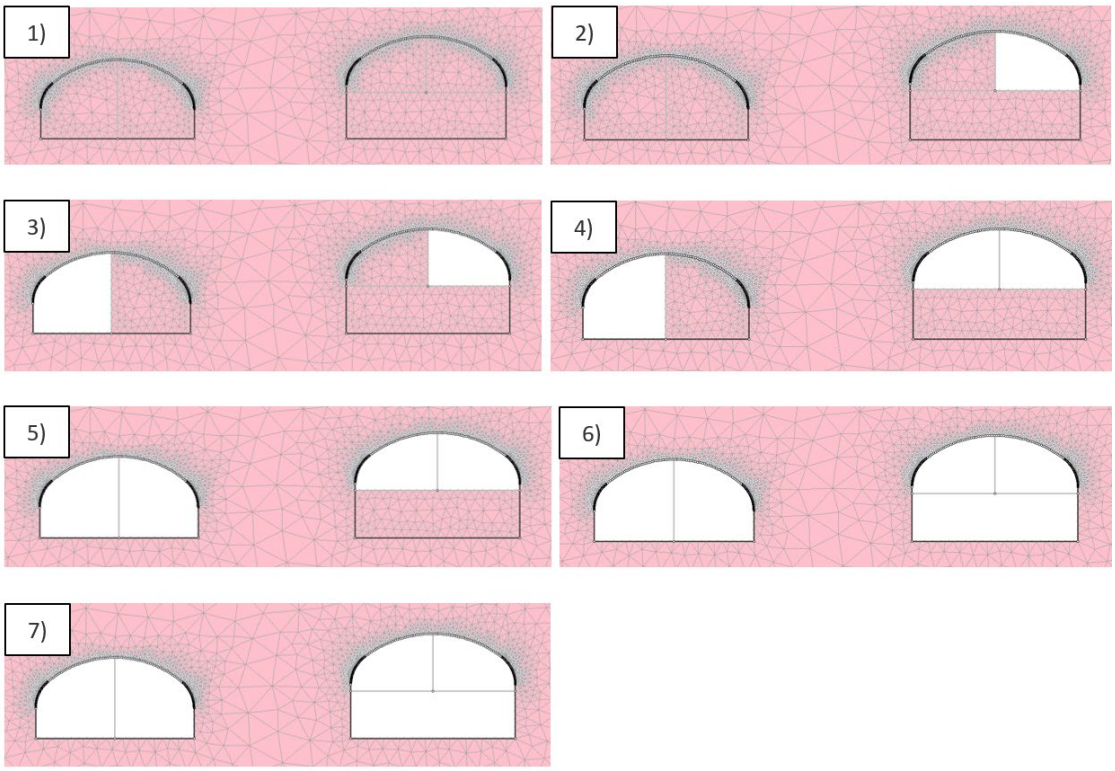
5.7. Driveforhold

5.7.1. Sprengningsopplegg og uttakssekvens

Det er planlagt å drive tunnel og berganlegget med konvensjonell boring og sprengning. Tunneldrivingen vil starte ved adkomst- og rømningstunnel, og fortsette videre inn mot berganlegget. Tunneldrivingen er planlagt som vekseldrift.

Oppdeling av tunnelprofilet ved påhuggsområdet, i kryssområder og i berghaller må påregnes, og må vurderes fortløpende opp mot kartlagte bergforhold.

Oppdeling av berguttaket for Berghall 1 og 2, slik det er forutsatt i den numeriske stabilitetsvurderingen av berghallene (Vedlegg 4), er vist i Figur 5-6.



Figur 5-6 Uttakssekvenser for Berghall 2 (venstre hall) og Berghall 1 (høyre hall) 1) Før driving 2) Takskive del 1, Berghall 1 3) Del 1 av Berghall 2 4) Takskive del 2, Berghall 1 5) Del 2 av Berghall 2 6) Bunnstross Berghall 1 7) Ferdig drevet (utsnitt fra RS²)

5.7.2. Borbarhet/sprengbarhet

Det er ikke utført tester for å beregne borbarhet og sprengbarhet til berget. Erfaringer tilsier at gneis er en bergart med god sprengbarhet og middels borbarhet. Variasjoner vil variere avhengig av lokal bergmassekvalitet, mineralsammensetning, oppsprekkingsgrad og sprekkeorientering. Det er registrert kvartsårer og kvartsrike soner i berget i felt og fra kjerneprøver som kan øke borslitasjen og redusere borbarheten lokalt.

5.7.3. Antatt omfang av injeksjonsarbeid

Iht. definerte innlekkasjekrav i Kapittel 5.6.5 er det stilt innlekkasjekrav i berghallene og i definerte deler av adkomst- og rømningstunnelene. Injeksjonsarbeidene er planlagt som behovsprøvd forinjeksjon. Byggherre vil vurdere injeksjonsbehovet fortløpende basert på registrerte lekkasjemengder og respons fra overvåkning av grunnvannsnivå i Breidalen.

Ut fra tilgjengelige grunnundersøkelser og observasjoner er berggrunnen antatt å være relativt impermeabel, lekkasjer vil i hovedsak forekomme i definerte vannførende soner. Under kjerneboring ble det registrert en lekkasje på 129 l/min i tilknytning til tolket svakhetssone A. Det er ikke registrert lekkasjer i kjernehullet ved kryssing av svakhetssone B. Det må påregnes innlekkasjer fra svakhetssoner som treffer berganlegget. Utover svakhetssoner er det også registrert delvis åpne kanaler i kjerneprøvene. Åpne kanaler og sprekker vil være mulige lekkasjeveier.

Sonderboring skal utføres systematisk foran stuff for å kartlegge lekkasjer og vurdere injeksjonsbehovet. Etter eventuell injeksjon skal det bores kontrollhull for verifisering. For å kontrollere oppnådd tetthet i berganlegget skal det monteres måleterskler fortløpende i drivefasen på anvist sted av Byggherre.

5.7.4. Bergsikring

Basert på sikringsanbefalinger i Q-systemet (23), SVV håndbok N500 (24) og profilstørrelse er det utarbeidet to veiledende matriser for permanentsikring av tunneler og berganlegg, se Tabell 5-6 og Tabell 5-7. I kryssområder vil det være behov for økt sikringsomfang. Prinsippskisser og bestemmelser for sikringsarbeider er beskrevet i notat AVM-20-G-NOT-006 (25).

Tabell 5-6 Veiledende permanentsikring av tunneler

Bergmasseklasse	Q-verdi	Bolter	Sprøytebetong	Tung sikring
A-C	Q > 4	c/c 2,5 m	8 cm, E700	-
D	1 < Q ≤ 4	c/c 1,75 m	10 cm, E1000	-
E	0,1 < Q ≤ 1	c/c 1,5 m	15 cm, E1000	Enkelarmerte buer: E30/6, Ø20, c/c 2-3 m
F	0,01 < Q ≤ 0,1	c/c 1 – 1,5 m	15-25 cm, E1000	Dobbelarmerte buer: D60/6+4, Ø20, 1,5-2 m
G	Q ≤ 0,01	Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt		

Tabell 5-7 Veiledende permanentsikring av berghaller

Bergmasseklasse	Q-verdi	Bolter	Sprøytebetong	Tung sikring
A-C	Q > 4	c/c 2 m	10 cm, E700	-
D	1 < Q ≤ 4	c/c 1,5 m	20 cm, E1000	-
E	0,1 < Q ≤ 1	c/c 1-1,5 m	20-30 cm, E1000	Enkelarmerte buer: E30/6, Ø20, c/c 2-2,5 m
F	0,01 < Q ≤ 0,1	c/c 1 – 1,5 m	20-30 cm, E1000	Dobbelarmerte buer: D60/6+4, Ø20, 1,5-2 m
G	Q ≤ 0,01	Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt		

Før driving inn mot svakhetssoner skal driveopplegget og midlertidig sikring vurderes spesielt. Prinsipper for driving mot svakhetssoner, montering av forbolter og sprøytebetongbuer skal følge SVV veiledning N-V521 (26) og notat AVM-20-G-NOT-006 (25). Påhuggsflatene skal minimum sikres med en rast forbolter, senteravstand må tilpasses stedlige geologiske forhold. Boltelengder tilpasses profilstørrelse og kryssområder.

Permanent sikringsomfang bestemmes av Byggherre basert på kartlagt bergmassekvalitet. Sikringsomfanget skal minimum tilfredsstille sikringsmengden angitt i Tabell 5-6 og Tabell 5-7.

5.8. Massehåndtering og miljøforhold

5.8.1. Lovverk

I forurensningsforskriftens kapittel 2 § 2-3 er forurenset grunn definert på følgende måte: *«forurenset grunn:* jord eller berggrunn der konsentrasjonen av helse- eller miljøfarlige stoffer overstiger fastsatte normverdier for forurenset grunn, jf. vedlegg 1 til dette kapitlet, eller andre helse- og miljøfarlige stoffer som etter en risikovurdering må likestilles med disse. Grunn der konsentrasjonen av uorganiske helse- eller miljøfarlige stoffer ikke overstiger lokalt naturlig bakgrunnsnivå i området der et terrenginngrep er planlagt gjennomført, skal likevel ikke anses for forurenset. Grunn som danner syre eller andre stoffer som kan medføre forurensning i kontakt med vann og/eller luft, regnes som forurenset grunn dersom ikke annet blir dokumentert.»

I Avfallsforskriften er imidlertid overskytende jord– og steinmasser fra anleggsarbeider normalt ansett som næringsavfall. Forurensningsloven inneholder regler om håndtering av slike masser. Næringsavfall skal som hovedregel leveres til et lovlig avfallsanlegg eller gjennomgå gjenvinning (27).

I henhold til avfallsforskriftens kapittel 9 stilles det krav til en basiskarakterisering av avfallets utlekkingspotensial gjennom både ristetest og kolonnetest. Tabell 5-8 viser grenseverdier for utlekking ved ristetest og kolonnetest ved basiskarakterisering av avfall. Masser/avfall som overholder disse grenseverdiene ansees som inerte, dvs. at utlekkingen av stoffene er neglisjerbar. Ifølge §9-2 (virkeområde) gjelder bestemmelsene likevel ikke for:

a) bruk av egnet inert avfall i forbindelse med terrengregulering og -rehabilitering, utfylling eller byggeformål.

b) deponering av ikke-forurenset jord

Masser som tas ut i form av sprengstein fra driving av tunnel og berghaller, er per definisjon derfor ikke å anse som forurenset grunn, siden det ikke forventes annet enn naturlige bakgrunnsverdier av uorganiske stoffer. Dersom massene skal gjenbrukes må

det iht. Forurensningsforskriften likevel foreligge dokumentasjon på at de ikke danner syre eller andre stoffer som kan medføre forurensning i kontakt med vann og/eller luft.

Det er derfor foretatt utlekkingstest og kolonneforsøk av en blandeprøve på 10 kg bergmasse som er tatt ut med kjerneboring i den aktuelle bergforekomsten (se kap. 2.2.3). Resultatene er sammenlignet i Tabell 5-8 med grenseverdiene for inert avfall:

Tabell 5-8: Analyseresultatene (grønn farge) sammenlignet med grenseverdiene for inert avfall (sort farge)

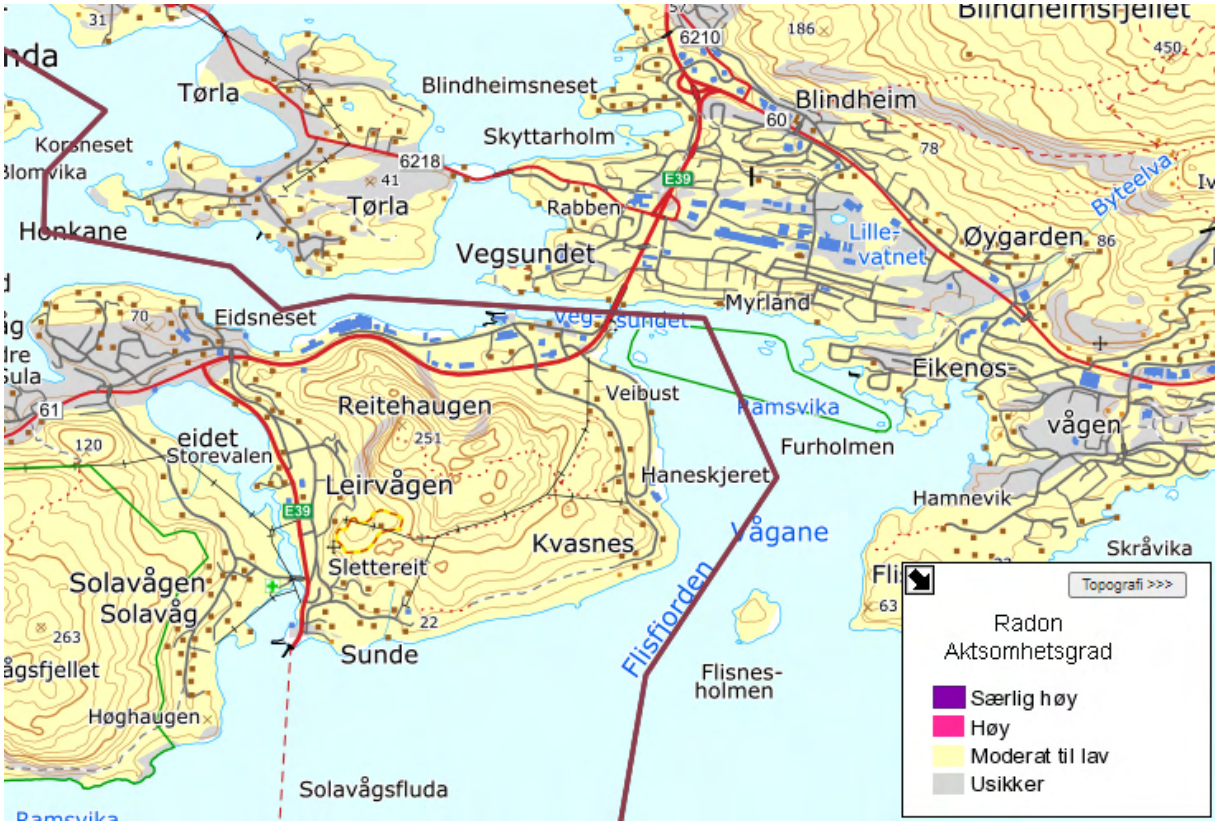
Parameter	*L/S = 10 l/kg ved ristetest med partikkelstørrelse < 4 mm mg/kg tørrstoff*	*KRA - testresultat*	*C_0 (L/S = 0,1 l/kg) ved kolonnetest mg/l*	*KRA - testresultat*
Arsen (As)	0,5	<0,010	0,06	<0,0050
Barium (Ba)	20	0,446	4	0,166
Kadmium (Cd)	0,04	<0,0020	0,02	<0,00050
Krom (Cr) totalt	0,5	<0,050	0,1	<0,0050
Kobber (Cu)	2	0,021	0,6	<0,0250
Kvikksølv (Hg)	0,01	<0,00010	0,002	0,000088
Molybden (Mo)	0,5	<0,010	0,2	<0,0250
Nikkel (Ni)	0,4	<0,030	0,12	0,0093
Bly (Pb)	0,5	<0,010	0,15	0,0015
Antimon (Sb)	0,06	<0,010	0,1	0,0032
Selen (Se)	0,1	<0,010	0,04	<0,0050
Sink (Zn)	4	0,090	1,2	0,0852
Klorid	800	8,46	460	12,4
Fluorid	10	0,71	2,5	0,921
Sulfat	1000	12,3	1500	57,2
Fenoltall	1	<0,05	0,3	<0,005
Løst organisk karbon (DOC)	500	10,2	160	2,74
Totalt suspendert stoff (TSS)	4000	50	–	<10,0

5.8.2. Syredannende bergarter

Syredannende bergarter er definert som forurenset grunn. Potensialet for syredannelse avhenger bl.a. av innholdet av svovel / sulfider og organisk og uorganisk karbon (TOC og TIC). Ved oksidasjon av sulfider dannes svovelsyre som medfører forvitring og kan gi akselererende utlekking av tungmetaller. Det er ikke noen lovbestemte grenser for når en bergart regnes som syredannende, men et forslag til klassifisering er gitt i Miljødirektoratets veileder (28).

I beskrivelse av berggrunnsgeologien, Kapittel 4.3, er det registrert flere kalsittrike linser/årer og kalkholdig sprekkefyll i tilknytning til både kvarts- og feltspatsoner. Det er ikke registrert indikasjoner på syredannende berg, eksempelvis tilstedeværelse av pyritt eller andre sulfidholdige mineraler.

Tiltaksområdet ligger ellers i et geologisk område med *moderat til lav* aktsomhetsgrad for radon, se Figur 5-7.



Figur 5-7: Utklipp av Radon Aktsomhetskart – NGU GRANADA

5.8.3. Konklusjon utlekking

Utført riste- og kolonnetest viser at innholdet av Miljødirektoratets prioriterte metaller i eluatet er langt lavere enn grensen for inert avfall. Det er heller ikke registrert indikasjoner på syredannende berg, hverken ved tilstedeværelse av sulfidholdige mineraler eller forhøyet sulfatkonsentrasjon i eluatet, og området ligger i en geologisk sone med *moderat til lav* aktsomhet for radon. I tillegg er det registrert tilstedeværelse av kalsitt og andre kalkholdige sekundærmineraler, som vil virke med et syrenøytraliserende potensiale. Videre er utlekkingskrav fra inert avfall beregnet for masser deponert på land. I vann vil det deponerte materialet være enda mindre reaktivt og dermed føre til enda mindre grad av utlekking.

Dersom massene skal gjenbrukes i områder med ulik geologi og dermed naturlige bakgrunnsverdier som skiller seg vesentlig fra tiltaksområdet, må det utføres tørrstoffanalyser av massene for sammenligning opp mot normverdi for prioriterte tungmetaller i Forurensningsforskriften samt grenseverdier for vannkvalitet og sedimenter i Miljødirektoratets veileder M-608 (29).

Anbefalinger og krav

6. Hensyn til omgivelsene

6.1. Bygningsbesiktigelse og krav til begrensning av vibrasjoner

Vibrasjoner og lufttrykkstøt ved sprengning vil kunne påvirke bygninger, infrastruktur o.l. som ligger i nærheten til sprengningssteder. Med nærhet menes det avstander 100 meter for konstruksjoner på løsmasser og 50 m for konstruksjoner på berg (30). Byggherre vil besørge besiktigelse av bygninger som kan bli påvirket av sprengningsarbeidet før anleggsarbeidet starter.

For å unngå skade, er det beregnet grenseverdier for aktuelle konstruksjoner ut ifra NS 8141-1:2022 (30), se Tabell 6-1. Beregnede grenseverdier for fritidsbygg som ligger fra 50-100 meter fra forskjæring/påhugg og tunnel. Det må gjøres vibrasjonsmålinger i hele anleggsperioden. Boligene i området ventes å være fundamentert på enten morenemasser eller på berg.

Tabell 6-1: Grenseverdier for omkringliggende bebyggelse.

Adresse	Type bygg	Avstand (m)	Fg	Fb	Fm	Ff	Fd	Fk	Grenseverdi v (mm/s)
Kvasnesvegen 68	Enebolig	100	2	1	0,8*	0,8	1	1	26
Kvasnesvegen 76	Enebolig	70	2	1	1	0,8	1	1	32
Kvasnesvegen 86	Enebolig	30	2,5	1	1	1	1	1	50
Kvasnesvegen 88	Flermannsbolig	60	2,5	1	0,8*	1	1	1	40
Kvasnesvegen 90	Enebolig	20	2,5	1	1	1	1	1	50
Kvasnesvegen 92	Enebolig	25	2,5	1	1	1	1	1	50
Kvasnesvegen 95	Enebolig	35	2	1	1	0,8	1	1	32
Kvasnesvegen 99	Enebolig	90	2	1	1	0,8	1	1	32
Kvasnesvegen 100	Enebolig	85	2,5	1	0,8*	1	1	1	40
Kvasnesvegen 102	Enebolig	107	2	1	1	0,8	0,96	1	31
Kvasnesvegen 104	Enebolig	145	2,5	1	0,8*	1	0,82	1	33
Torvmyrvegen 4	Enebolig	200	2,5	1	1	1	0,68	1	34
*Redusert fra 1 som ekstra sikkerhets grunnet tilstand til bergskjæring bak bolig.									

6.2. Grunnvannsovervåkning

Byggherre vil etablere poretrykksovervåkning i Breidalen og entreprenøren vil bli gitt tilgang til disse dataene.

7. Undersøkelser under bygging

7.1. MWD

All boring skal utføres med Measurement While Drilling (MWD). Det skal benyttes programvare for boreparametertolkning (BPT) som tolker og presenterer informasjon som bergmassens relative hardhet, oppsprekking og vannforhold. Programvaren kalibreres og tilpasses berggrunnen langs tunnelen.

7.2. Estimering av bergspenninger

Det skal utføres 3D bergspenningsmålinger for å estimere bergets tredimensjonale bergspenningstilstand. Bergspenningsmålingene planlegges utført i rømningstunnelen, nært berghallene.

7.3. Sonderboring

For å kartlegge bergmassekvalitet og lekkasjeforhold foran stuff skal det gjennomføres systematisk sonderboring i tunneler og berghaller.

8. Referanser

1. **NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurokode 0: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.**

2. Norsk bergmekanikkgruppe. *Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergmekanisk prosjektering. Versjon 1 november 2011.*

3. Asplan viak. *Forprosjektrapport Kvasnes RA. Forprosjektrapport for nytt avøpsrenseanlegg for Ålesund kommune og Sula kommune på Kvasnes.* 2021.

4. –. *Ingeniørgeologisk rapport: Nytt avløpsanlegg for Sula og Ålesund. Forprosjekt.* 2021.

5. Asplan Viak. *Geologiske vurderingar knytt til tunnel for reinseanlegget på Kvasneset.* 2021.

6. GeoPhysix. *Rapport 19062 Sula kommune, Kvasneset. Refraksjonsseismiske undersøkelser.* 2019.

7. Norconsult. *Geoteknisk datarapport: Grunnundersøkelser. Avløpsanlegg på Kvasneset.* 2017.

8. Multiconsult. *10219645-RIG-RAP-001_rev 01 Kvasnes renseanlegg. Datarapport - Geotekniske grunnundersøkelser.* 2021.

9. –. *AVM-30-G-RAP-001 Ingeniørgeologisk rapport daganlegg.* 2023.

10. –. *10243684-RIG-RAP-200-001 Geotekniske grunnundersøkelser, datarapport .* 2023.

11. SINTEF. *2022-12-09-22125TSBM Testrapport. Kongshaugstranda Renseanlegg.* 2022.

12. NGU. ngu.no. [Internett] https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/.

13. Miljødirektioratet, Naturbase kart. Naturbase. [Internett] https://geocortex02.miljodirektoratet.no/Html5Viewer/?viewer=naturbase.

14. NVE. NVE Temakart. Aktsomhetskart. [Internett] https://temakart.nve.no/.

15. –. Veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng. [Internett] https://veileder-skredfareutredning-bratt-terreng.nve.no/.

16. Multiconsult. *10229807-01-RIGberg-NOT-001 Skredfarevurdering av luftesjakt/pipe*. 2022.

17. Fileccia, Alessio. *Some simple procedures for the calculation of the influence radius and well head protection areas (theoretical approach and field case for a water table aquifer in an alluvial plain)*. s.l. : Italian Journal of Groundwater, 2015.

18. Schwartz, Franklin W. og Zhang, Hubao. *Fundamentals of Groundwater. s.l. : John Wiley & Sons, INC*. 2003.

19. vegvesen, Statens. *Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Publikasjon nr. 103. Undersøkelser og krav til innlekkasjer for å ivareta ytre miljø*. Oslo : Statens vegvesen. Teknologiavdelingen., 2003. Nr. 103..

20. Veier, Nye. *E6 Ulsberg-Melhus. Regulering Prestteigen-Gyllan. Fagrapport ingeniørgeologi og hydrogeologi for tunneler. Dok.nr. G-301. Versjon 04*. 2020.

21. (NGU), Norges Geologiske Undersøkelse. Nasjonal grunnvannsdatabase (GRANADA). [Internett] https://geo.ngu.no/kart/granada_mobil/.

22. Statens vegvesen Region Nord. *E6 Megården - Mørsvikbotn: Parsell Sommerset-Tverrdalen. Ingeniørgeologisk rapport for Sommersettunnelen. Rapportnr: 02-IGEO-01_D02*. s.l. : Statens vegvesen, 2022.

23. NGI. *Håndbok Bruk av Q-systemet. Bergmasseklassifisering og bergforsterkning*. 2022.

24. Statens vegvesen. *Vegnormal N500 Vegtunneler*. 2022.

25. Multiconsult. *AVM-20-G-NOT-006 Prinsippskisser for bergarbeider*. 2023.

26. Statens vegvesen. *Veiledning N-V521 Geologi og bergsikring i tunnel* . 2023.

27. Miljødirektoratet. Mellomlagring og sluttdisponering av jord- og steinmasser som ikke er forurenset. FAKTAARK M-1243/2018. 2018.

28. NGI. Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter, veileder for Miljødirektoratet. M-310, 20120842-01-R. 2015.

29. Miljødirektoratet. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. Veileder M-608. 2020.

30. Standard Norge. ***Vibrasjoner og støt Veiledende grenseverdier for bygge og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk Del 1: Virkning av vibrasjoner og lufttrykkstøt på byggverk, inkludert tunneler og bergrom. NS 8141-1:2022.*** **2022.**

31. Brattli, Bjørge. ***Pensumhefte. Fysisk og kjemisk hydrogeologi. Anvendelse og metodikk.*** **. Trondheim : Akademia, 2021.**

asplan viak

Multiconsult

AVM-20-G-RAP-003

Ingeniørgeologisk rapport for berganlegget

Vedlegg 1 - Ingeniørgeologisk befaringsrapport

Kongshaugstranda RA Ingeniørgeologisk befaringsrapport

Ingeniørgeologisk befaringsrapport

Dato: 19.10.2022

Versjon: **01**

asplanviak.no

multiconsult.no

Dokumentinformasjon

Oppdragsgiver:	Ålesund og Sula kommuner
Tittel på rapport:	Kongshaugstranda RA Ingeniørgeologisk befaringsrapport
Oppdragsnavn:	Kongshaugstranda RA
Oppdragsnummer:	637269-02
Utarbeidet av:	Ingvild Lausund og Henki Ødegaard
Oppdragsleder:	Cathrine Lyche
AVM dokumentkode:	AVM-20-G-RAP-001
Tilgjengelighet:	Åpen

Kort sammendrag

Multiconsult Norge AS er i samarbeid med Asplan Viak engasjert av Ålesund og Sula kommuner for detaljprosjektering og senere oppfølging i byggetid for et nytt felles renseanlegg ved Kvasnes i Sula kommune. I forbindelse med oppstart av detaljprosjekteringen er det utført en ingeniørgeologisk befaring av prosjektområdet. Under befaringen ble flere naturlige bergblotninger i terrenget over berganlegget kartlagt, samt en skjæring i nærheten av daganlegget. Fra kartleggingen finner vi at stedlig bergmasse består av granittisk gneis som stort sett virker å være av god kvalitet, og godt egnet for etablering av renseanlegg i berg med de dimensjoner som er forutsatt i forprosjektet.

Det er noe usikkerhet tilknyttet berganleggets plassering nær en mulig svakhetssone under Breidalen, og det planlegges derfor refraksjonsseismiske undersøkelser, i tillegg til kjerneboring, for å undersøke denne sonen i større detalj. Området ved Kongshaugen vurderes som godt egnet for etablering av påhugg, og det er ikke identifisert spesielle ingeniørgeologiske utfordringer her.

Ver	Dato	Beskrivelse	Utarb. av	KS	Godkjent
01	19. okt. 2022	Nytt dokument	IL/HEOE	EMG	EMG

Innholdsfortegnelse

1 Innledning 4
1.1. Bakgrunn 4
1.2. Underlag og forutsetninger 4
1.3. Utførte undersøkelser 5

2. Områdebeskrivelse 7
2.1. Generelt 7
2.2. Grunnforhold 8

3. Ingeniørgeologiske observasjoner og vurderinger 9
3.1. Bergmassens egenskaper 9
3.2. Svakhetssoner 10
3.3. Påhugg, Alternativ 2 ved Kongshaugen 10
3.4. Plan for videre grunnundersøkelser 11
3.5. Oppsummering av bergforholdene 12

4. Referanser 13

Vedlegg

A. Befaringsobservasjoner

B. Fotovedlegg

C. RIG-TEG-001 Borplan supplerende grunnundersøkelser

1 Innledning

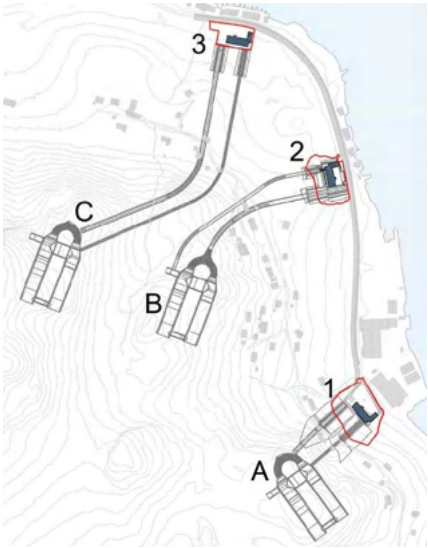
1.1. Bakgrunn

Multiconsult Norge AS er i samarbeid med Asplan Viak engasjert av Ålesund og Sula kommuner for detaljprosjektering og senere oppfølging i byggetid for et nytt felles renseanlegg ved Kvasnes i Sula kommune, se Figur 1. Multiconsult er ansvarlig for den geofaglige prosjekteringen av anlegget, herunder ingeniørgeologiske forhold som foreliggende rapport omhandler.

Figur 1: Oversiktskart. Lokaliseringen av tiltaksområdet (renseanlegget) vist med rød sirkel. Kilde bakgrunnskart: Norgeskart.no (Statens kartverk, NLOD).

1.2. Underlag og forutsetninger

I forprosjektet ble tre alternative plasseringer av både berg- og daganlegg vurdert, som vist i kartutsnittet i Figur 2. Her ble berganlegg Alternativ B med daganlegg ved Kongshaugen (2 i figuren) vurdert som det mest aktuelle alternativet [1]. Alternativ A med berganlegg i kollen ved Kvasneset ble forkastet, og det ble anbefalt å gå videre med alternativene B og C til detaljprosjekteringen.



Figur 2: Alternative plasseringer slik de forelå i forprosjektet, kartutsnittet er hentet fra [1].

I forbindelse med felles befaring den 11. mai 2022 ble det fra prosjekteringsgruppen opplyst om at plassering av daganlegget tilhørende Alternativ C nå ble vurdert som mindre aktuelt av ulike årsaker. Følgelig vil det i detaljprosjekteringen tas utgangspunkt i daganlegget ved Kongshaugen (plassering 1 i Figur 2) og berganlegg ved Alternativ B eller C.

Følgende grunnlagsmateriale er benyttet i forbindelse med våre vurderinger:

- Forprosjektrapport Asplan Viak [1]
- Ingeniørgeologisk notat og rapport fra Asplan Viak [2] og [3].
- Rapport fra refraksjonsseismiske undersøkelser utført i 2019 [5]

Det kan nevnes at det i det ingeniørgeologiske notatet omhandles totalt åtte ulike plasseringsalternativer, men disse er kun varianter av de tre hovedalternativene vist i Figur 2. I den ingeniørgeologiske rapporten vurderes Alternativ 2 som mest gunstige fra et ingeniørgeologisk perspektiv.

1.3. Utførte undersøkelser

For å gjøre seg kjent med de stedlige forholdene og for å planlegge supplerende grunnundersøkelser ble det gått befaring til prosjektområdet den 11.05.2022. Feltbefaringen ble fokusert mot området rundt Breidalen, hvor berganlegget til forprosjektets alternativ B og C var plassert.

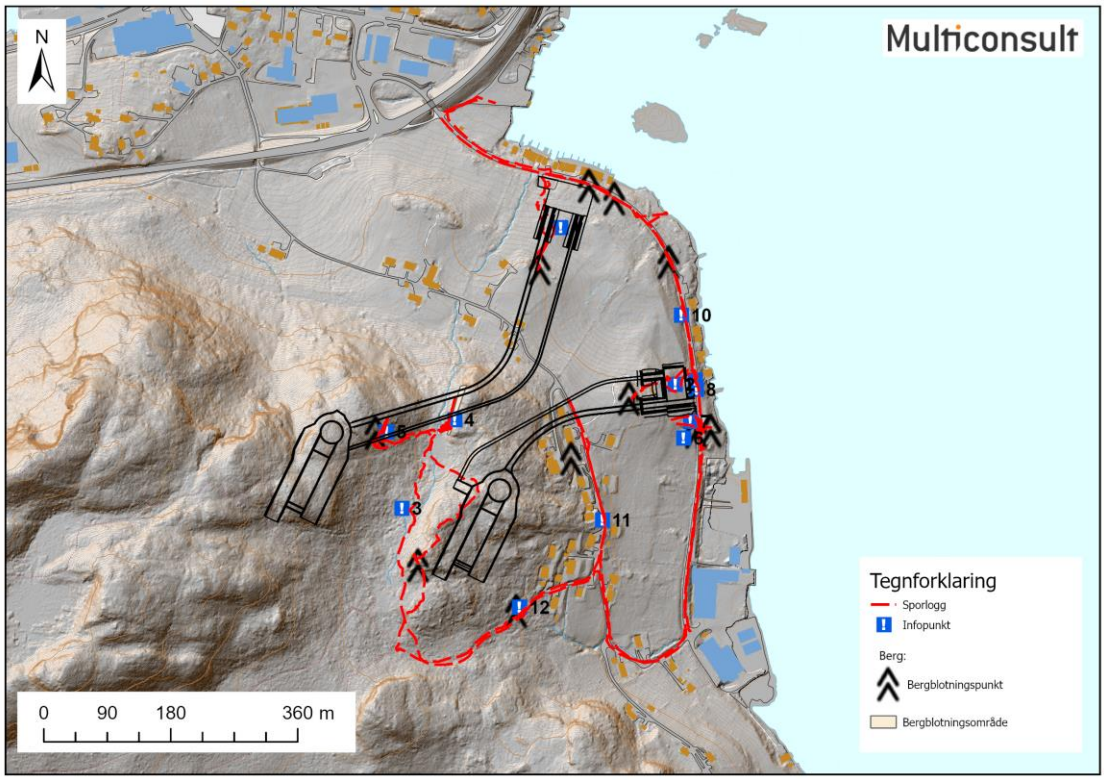
Innledningsvis ble befaringen gått i fellesskap med både kommunene og rådgivere med følgende deltagere: Elin Nerheim, Ålesund kommune; Birgitte Valderhaug, Fritz Østeheim og Erlend Brunstad, alle fra Sula kommune; Leif Erik Friestad fra Asplan Viak; Ingvild

Lausund, Elisabeth Grasbakken, Christian Havnegjerde, Jonas Bjørklimark og Henki Ødegaard fra Multiconsult. Etter den innledende befaringen ble gruppen splittet opp slik at ingeniørgeologene (Friestad, Grasbakken, Lausund og Ødegaard) gikk samlet. På befaringsdagen var det 12°, overskyet og vekslende mellom oppholdsvær og enkelte byger.

Under feltkartlegging ble det prioritert å undersøke bergets beskaffenhet gjennom kartlegging av berg i blotninger og skjæringer. Det ble i tillegg gjort vurderinger av omfang og plassering av supplerende grunnundersøkelser. Berget var relativt godt eksponert og kunne observeres i flere bergblotninger og langs bergskjæringer, som indikert i Figur 3.

Bergmasseklassifisering er utført ved enkelte bergblotninger, i hht. Q-systemet. sprekkekartleggingen er utført med et Brunton pocket geo transit kompass og er angitt med fall og fallretning. Feltregistreringer er koordinatfestet ved bruk av håndholdt GPS fra Garmin, samt ved bruk av applikasjonen Field Maps fra ArcGIS. Punktplasseringen er gitt i koordinatsystem EUREF89 NTM 10. Registreringene og sporloggen er samlet i et registreringskart vist i Figur 3, og i større detalj i Vedlegg A. Utvalgte foto fra befaringen er samlet i Vedlegg B.

Foreliggende rapport oppsummerer våre feltobservasjoner og ingeniørgeologiske vurderinger fra befaringen. I tillegg beskrives forslag til supplerende grunnundersøkelser i form av kjerneboring og supplerende refraksjonsseismiske undersøkelser.



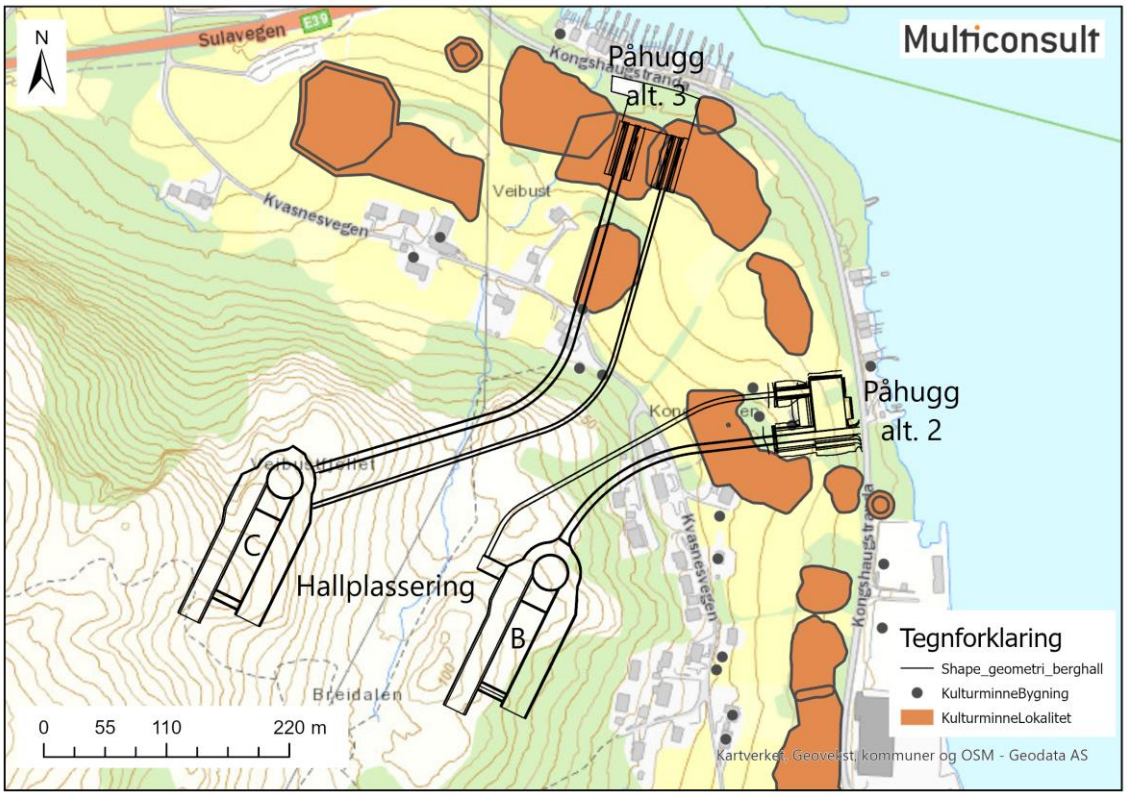
Figur 3 Registreringskart fra feltbefaring 11.05.2022 (Field Maps)

2. Områdebeskrivelse

2.1. Generelt

Begge alternative daganlegg (2 og 3) ligger nært vegen Kongshaugstranda som går langs fjorden ut mot et industriområde lenger sør mot Kvasneset. Langs vegen er det flere båthus/naust og det det er i området registrert flere kulturminnelokaliteter og kulturminnebygninger, se Figur 4.

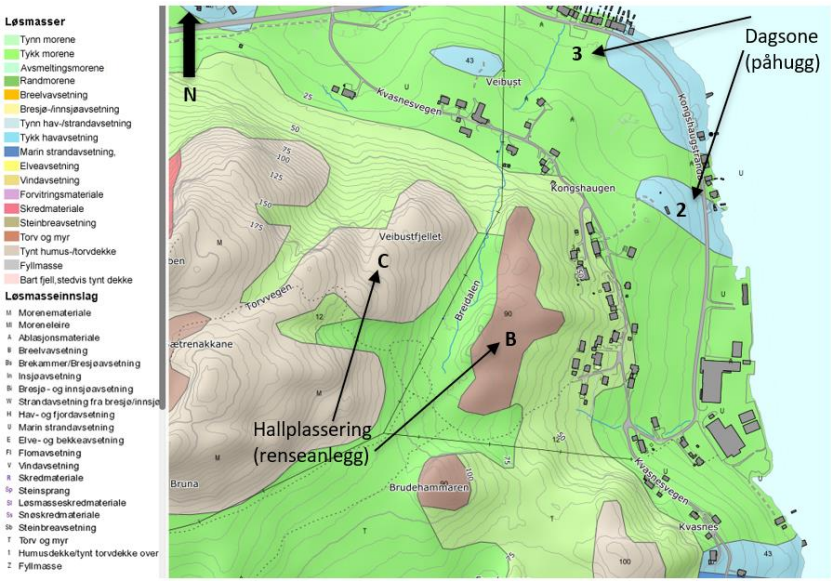
Vest for Kongshaugstranda er det jordbruksområder og jorder og terrenget stiger slakt oppover mot boligområdet ved Kvasnesvegen. Videre vest stiger terrenget mot Veibustfjellet. Rett øst for Veibustfjellet ligger Breidalen som et markant nordøst-sørvest orientert søkk i terrenget.



Figur 4 Planområde for påhuggsalternativ 2 og 3 med tilhørende hallplassering av renseanlegg B og C

2.2. Grunnforhold

Ifølge NGUs kvartærgeologiske kart består løsmassene innenfor prosjektområdet hovedsakelig av morenemateriale, torv og myr, samt noe humus- og torvdekke, se utsnitt fra NGU løsmassekart 1:50 000 [1] i Figur 5. Fra de refraksjonsseismiske undersøkelsene utført i 2019 var løsmassemektigheten tolket til å være opp mot 4 m for jordene ovenfor Kongshaugstranda, og noe mindre (0-2 m) oppe på kollen ovenfor berganlegget (Alternativ B). Fra forprosjektet ble det indikert opp mot 3 m myrdybde i Breidalen, basert på undersøkelser utført med stikksondering.



Figur 5 Oversikt over løsmasser i planområdet [2]

Ifølge NGUs berggrunnsgeologiske i målestokk 1:50 000 består berggrunnen i området av gneis tilhørende Sulakomplekset [4]. Da det er indikert samme bergart (gneis) i hele prosjektområdet anses det ikke som hensiktsmessig å inkludere utsnitt av det berggrunnsgeologiske kartet.

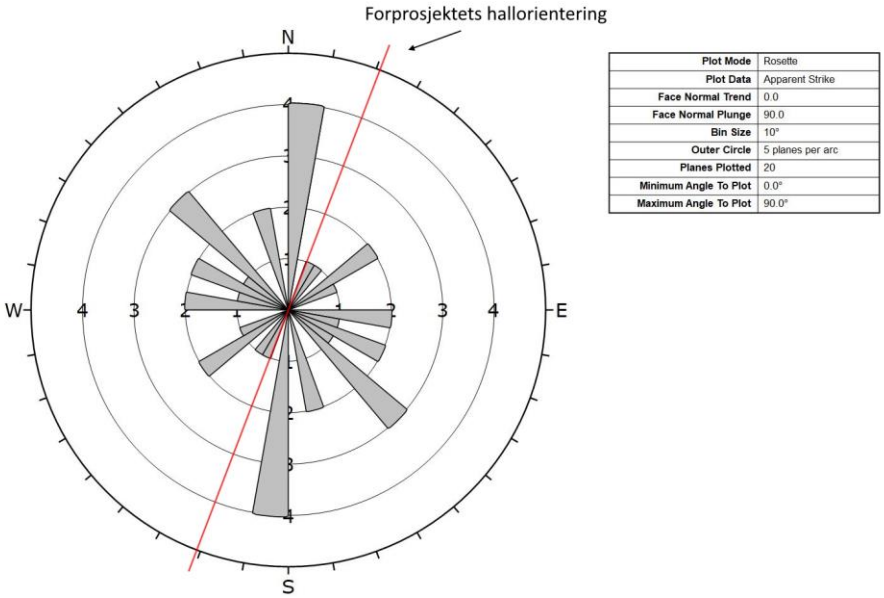
3. Ingeniørgeologiske observasjoner og vurderinger

3.1. Bergmassens egenskaper

Feltobservasjonene stemmer godt overens med det berggrunnsgeologiske kartet, og det kartlegges en middels- til grovkornet granittisk gneis ved alle lokaliteter. Gneisen viser tydelig foliasjon og er stedvis foldet. Berget observert i blotning oppe i Breidalen er noe mer rødlig på farge enn gneisen i skjæring langs lokalvegen, som her er mer hvit, stedvis med hvite ovale felter sammen med mørke mineraler se Figur 6.

Figur 6: Detaljbilder av berget. (A) Tatt ved bergblotning øst for breidalen, infopunkt 4. (B) Tatt i bergskjæring ved Kongshaugstranda, infopunkt 6.

Berget virker generelt være lite oppsprukket, med RQD verdi estimert å ligge mellom 75-90. Basert på enkle feltestimat vurderes bergarten å være sterk til meget sterk, tilsvarende en enaksiell trykkstyrke rundt 100 – 150 MPa. Bergmassen er gjennomsatt av to sprekkesett i tillegg til mer sporadiske sprekker. Sprekkene virker i hovedsak å være sammenvokste og lite åpne, selv om det lokalt har dannet seg åpne sprekker som følge av frost- og rotsprengning nært overflaten. Det registreres ikke belegg på sprekkeflatene, som for det meste er ru og ujevne/bølgete. Enkelte plane og glatte sprekker observeres også, men hovedinntrykket er at sprekkene er ru.



Figur 7: Sprekkerose for området Breidalen til Kongshaugstranda. Berghallenes lengdeakse fra forprosjekt indikert med rød linje.

3.2. Svakhetssoner

I den ingeniørgeologiske rapporten fra forprosjektet ble det utført en kartstudie av mulige lineament som kunne representere svakhetssoner i berget. Fra denne kartleggingen ble selve Breidalen vurdert som en mulig svakhetssone. Basert på våre innledende vurderinger i felt deler vi oppfatningen om at Breidalen kan representere en svakhetssone, uten at vi har kunne observere noen sone i blotning. Det er imidlertid registrert et markert, steilt, sprekkesett med samme strøk som Breidalen. Å få undersøkt hvorvidt Breidalen er definert av en svakhetssone er svært viktig for å sikre at berganlegget gis en stabilitetsmessig gunstig plassering.

Det planlagt kjerneboring for å undersøke dette i større detalj, som omtalt i Kapittel 3.4.

3.3. Påhugg, Alternativ 2 ved Kongshaugen

Påhugget er plassert ved en liten forhøyning i terrenget, som basert på terrengform og nærliggende bergblotninger vurderes å være en oppstikkende bergrygg. Like bak planlagt topp av påhuggsflaten registreres det eksponert berg, som indikert i Figur 3 og

Vedlegg A. Det observeres også eksponert berg i skjæring nede ved Kongshaugstranda, samt langs et felt like sør for søndre forskjæring.

Figur 8: Oversikt planlagt påhuggsplassering for Alternativ 2 Kongshaugen. (A) Påhuggsflaten er planlagt plassert like bak bygningen i bildet. (B) Personene i bildet står omtrent der forskjæringen til tunnelene er planlagt.

Terrenget bak påhugget stiger slakt vestover og det er ingen fare for steinsprang fra terrenget ovenfor. Lokaliteten vurderes som godt egnet for plassering av påhugg og daganlegg.

3.4. Plan for videre grunnundersøkelser

For å kartlegge løsmassemektigheten i Breidalen og ved daganlegget planlegges det refraksjonsseismiske undersøkelser i totalt 5 profil, som skissert i Vedlegg C. Det planlegges også geotekniske grunnboringer for å kartlegge løsmassetykkelse og materiale. De planlagte grunnboringene vil sammen med de refraksjonsseismiske undersøkelsene gi grunnlag for en oppdatert bergmodell.

I tillegg planlegges det ett 300 m langt kjerneborhull, KH-01 i Vedlegg C. Hullet bores med 8° stikning nedover slik at det ender omtrent ned mot berghallenes sålenivå. Hovedformålet med dette borhullet er å undersøke bergmassens kvalitet i området ved det planlagte berganlegget, og hullet er orientert slik at man vil kunne undersøke om det virkelig er en svakhetssone i Breidalen.

Kjernemateriale fra boringen kan videre testes for å undersøke bergmassens mekaniske egenskaper mht. styrke, bestandighet og kjemisk sammensetning. Videre planlegges det

vanntapsmålinger i forbindelse med boringen slik at man får bedre grunnlag for å vurdere berget permeabilitet.

3.5. Oppsummering av bergforholdene

Basert på den innledende ingeniørgeologiske kartleggingen er det vår vurdering at den stedlige bergmassen er av god kvalitet, godt egnet til å etablere bergrom og tunneler i de dimensjoner som forutsatt i forprosjektet. Videre vurderes området ved Kongshaugen som godt egnet for etablering av påhugg.

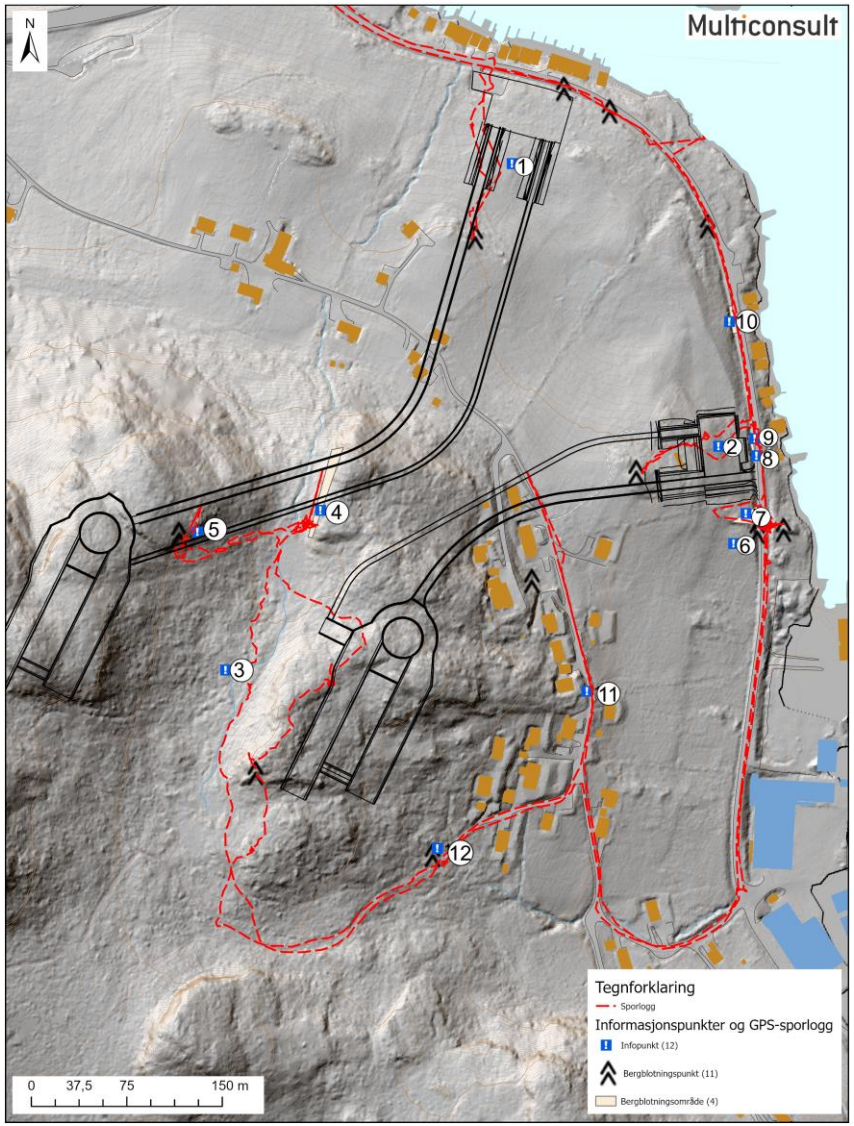
Det må gjøres flere undersøkelser for å optimalisere dimensjon og plassering av berganlegget, samt for å fastsette påhuggsplassering og endelig skjæringsflate for daganlegget. Det planlegges derfor geoteknisk grunnboring, refraksjonsseismiske undersøkelser og kjerneboring for å undersøke grunnforholdene i større detalj, som vist i Vedlegg C.

4. Referanser

[1] Forprosjektrapport Kvasnes RA. Asplan Viak, 30.04.2021, ver. 01.
[2] NOTAT Geologiske vurderingar knytt til tunnel for reinseanlegget på Kvasneset. Asplan Viak, 08.03.2021, ver. 01.
[3] Ingeniørgeologisk rapport nytt avløpsrenseanlegg for Sula og Ålesund, Forprosjekt. Asplan Viak, 30.04.2021, ver. 02.
[4] Berggrunnsgeologisk kart 1:50 000. Kartblad 1219IV Sykkylven. NGU. 1991.
[5] Refraksjonsseismiske undersøkelser. Rapport Prosjekt nr. 19062. Geophysix. April 2019.

asplan viak

Multi consult



Infopunkt	Beskrivelse	Fotohenvisning Vedlegg B
1	Påhugg alternativ 3 Slak stigning mot sør, innmark.	Figur 1
2	Påhugg alternativ 2 Et forlatt hus med delvis tilgrodd område. Ca. 20° helning frem til påhuggene, men så flater det ut. Målt 18,7 moh. ved inngang påhugg.	Figur 2
3	Breidalen Topografisk forsenkning tydelig i både terrengkartet og felt. Dalbunnen er et myrområde. Detaljbiler av bekken som også er markert på kartet. Det registreres liten vannføring i bekken.	Figur 3 Figur 4
4	Bergblotning over tunneler i tilknytning til alternativ C. Registreringer: Q-verdi, fall og fallretning.	Figur 5 og Figur 6
5	Bergblotning over tunneler i tilknytning til alternativ C. Berget er delvis dekket med torv. Registreringer: Fall og fallretning.	Figur 7
6	Bergblotning Registreringer: Q-verdi, fall og fallretning.	Figur 8
7	Bergblotning	Figur 9
8	Bergblotning Registrering: Q-verdi, fall og fallretning.	Figur 10
9	Bergblotning Registrering: Fall og fallretning.	Figur 11
10	Bergblotning	Figur 12
11	Opprinnelig forslag til plassering av kjernehull (før befaring)	Figur 13
12	Nytt forslag til plassering av kjernehull (etter befaring)	Figur 14

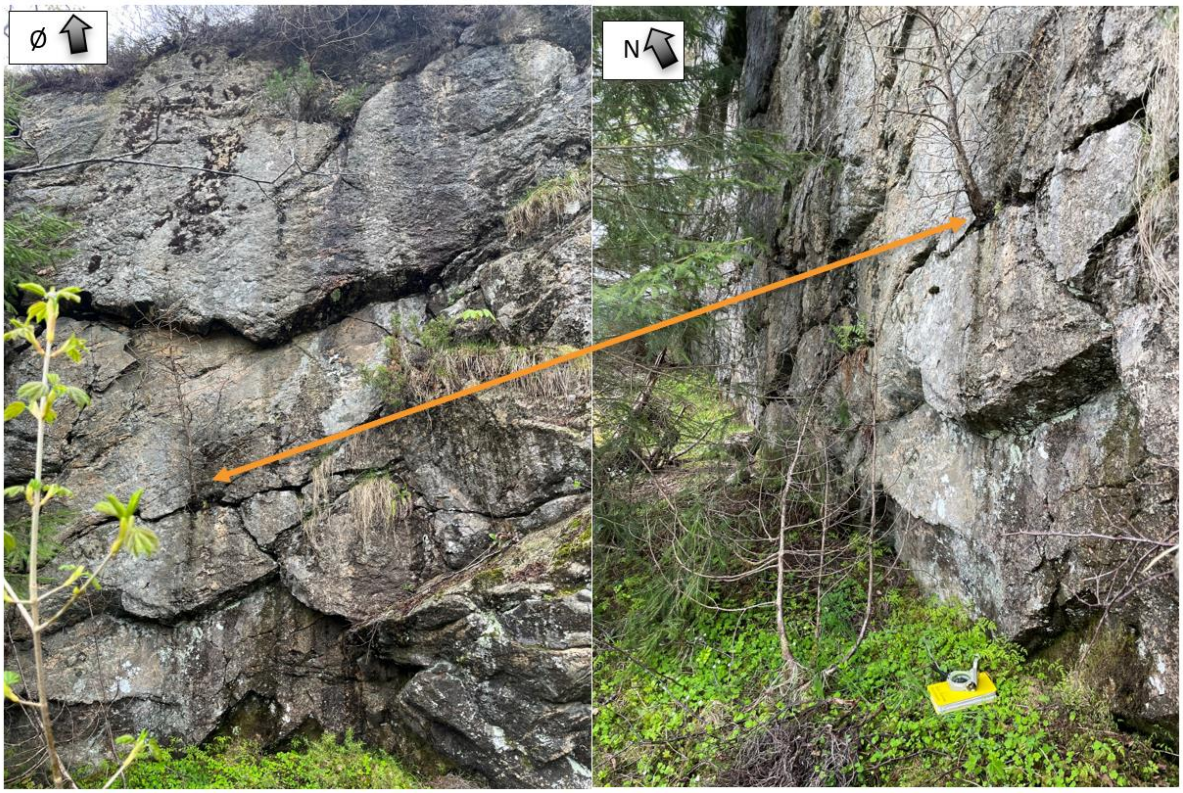
Figur 1: Påhugg alternativ 3. Personer med rød sirkel markerer starten på begge påhugg. B) Ovenfor og videre sørover fra påhuggene.

Figur 2: Påhugg alternativ 2. Omtrentlig plassering av påhugget er markert med rød pil

Figur 3: Oversiktsbilder Breidalen.

Figur 4: Detaljbilder av myr og bekk i Breidalen. Infopunkt 3.

Figur 5: Bergblotning med detaljbilde som viser foliasjon. Infopunkt 4.



Figur 6: Bergblotning ved skrent i Breidalen. Detaljbilde vinkelrett og parallelt på vertikalt sprekkesett. Oransje strek markerer et lite tre som vokser i en sprekk. Infopunkt 4.

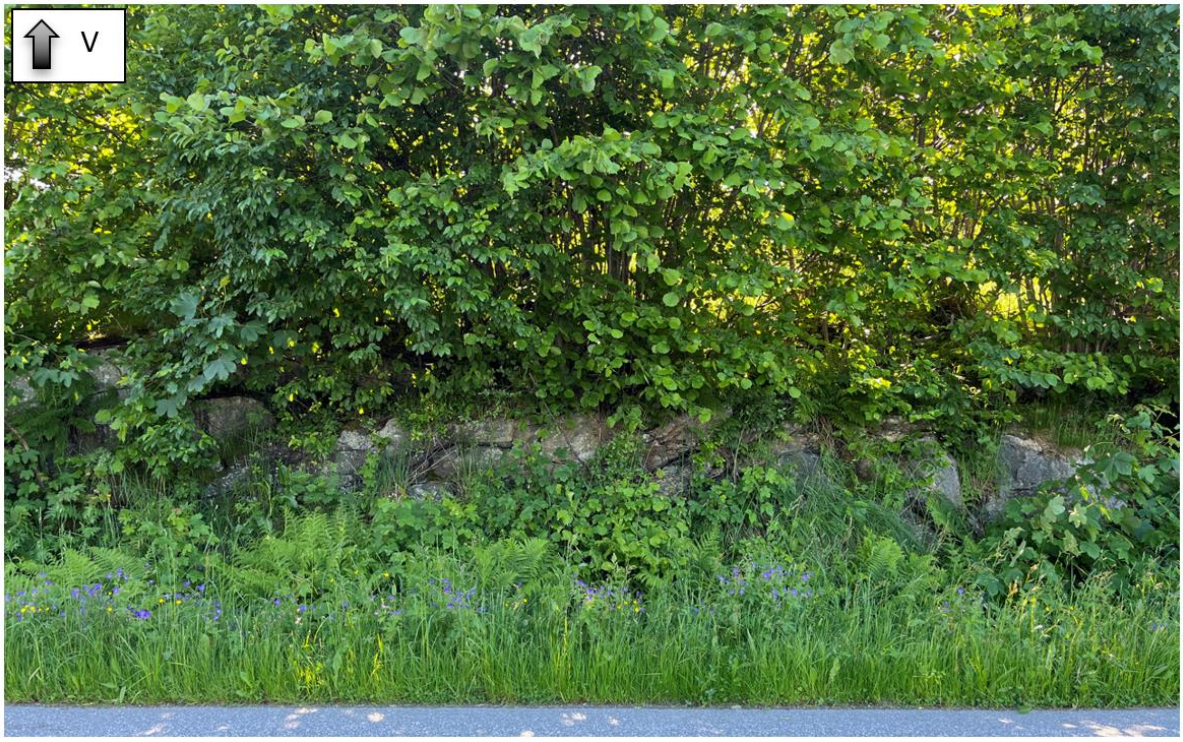
Figur 7: Bergblotning ved Infopunkt 5.

Figur 8: Bergblotning registrert vest og øst for lokalveg ved Infopunkt 6.

Figur 9: Oppstikkende berg like sør av planlagt forskjæring ved Kongshaugen, Infopunkt 7.

Figur 10: Bergblotning langs Kongshaugstranda, Infopunkt 8.

Figur 11: Bergblotning langs Kongshaugstranda, Infopunkt 9.



Figur 12: Bergblotning langs Kongshaugstranda, Infopunkt 10.

Figur 13: Opprinnelig forslag til plassering av kjernehull, Infopunkt 11.

Figur 14: Nytt forslag til plassering av kjernehull, Infopunkt 12.

FORKLARING

TEGNFORKLARING:

- DREIESONDERING
- ENKEL SONDERING
- RAMSONDERING
- TRYKKSONDERING
- TOTALSONDERING
- PRØVESERIE
- PRØVEGROP
- DREIETRYKKSONDERING
- SKRUPLATEFORSØK
- VINGEBORING
- PORETRYKKMÅLING
- KJERNEBORING
- FJELLKONTROLLBORING
- BERG I DAGEN

KARTGRUNNLAG: DIGITALT KART FRA XXX
KOORDINATSYSTEM: EUREF89, sone XX
HØYDEREFERANSE: NN1954/NN2000/SJØKARTNULL

EKSEMPEL: BP 1 — 43.0 / 28.2 — 14.8 + 2.4
- 43.0: TERRENGKOTE/SJØBUNNKOTE
- 28.2: ANTATT BERGKOTE
- 14.8 + 2.4: BORET DYBDE + BORET I BERG

- Tidligere utførte seismiske undersøkelser
- Planlagte seismiske undersøkelser
- Start kjerneboring
- Slutt kjerneboring

HENVISNINGER

Det henvises til utsendt infoskriv/varsel om utførelse av grunnundersøkelser.

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
00	-	YYYY-MM-DD	-	-	-

Asplan Viak AS
Kvasnes renseanlegg

Borplan
Supplerende grunnundersøkelser

Fag: RIG | Format: A2
Dato: 24.05.2022
Målestokk: 1:2000 -

Multiconsult
www.multiconsult.no

Status: Foreløpig | Konstr./Tegnet: JONASBJ | Kontrollert: CRH | Godkjent: CRH
Oppdragsnr.: 10229807 | Tegningsnr.: RIG-TEG-001 | Rev.: 00

\\nsyv2-nasuni-01\Prosjekt\010229\10229807-01\10229807-01-03 ARBEIDSOMRAADE\10229807-01 RIG\10229807-01-04 TEGNINGER\10229807-RIG-TEG-xxx foreløpige borpunkt.dwg, - Layout: (001), - Plottet av: crh, Dato: 2022.05.30 kl 9:58

asplan viak

Multiconsult

AVM-20-G-RAP-003

Ingeniørgeologisk rapport for berganlegget

Vedlegg 2 - Seismiske grunnundersøkelser

ÅLESUND KOMMUNE

SULA KOMMUNE

Multiconsult

Rapport GPX 22111:
Seismiske grunnundersøkelser for Ålesund kommune og Sula kommune
Nytt avløpsrenseanlegg, Kvasneset

GeoPhysix

GeoPhysix AS
post@geophysix.no
www.geophysix.no

Innhold

1. INNLEDNING 3
2. SAMMENDRAG 3
3. MÅLEPROGRAM REFRAKSJONSSEISMIKK 4
4. FELTARBEID 4
5. UTSTYR 4
6. PROSESSERING OG TOLKING AV DATA 5
7. NØYAKTIGHET 5
8. RESULTATER - REFRAKSJONSSEISMIKK 7

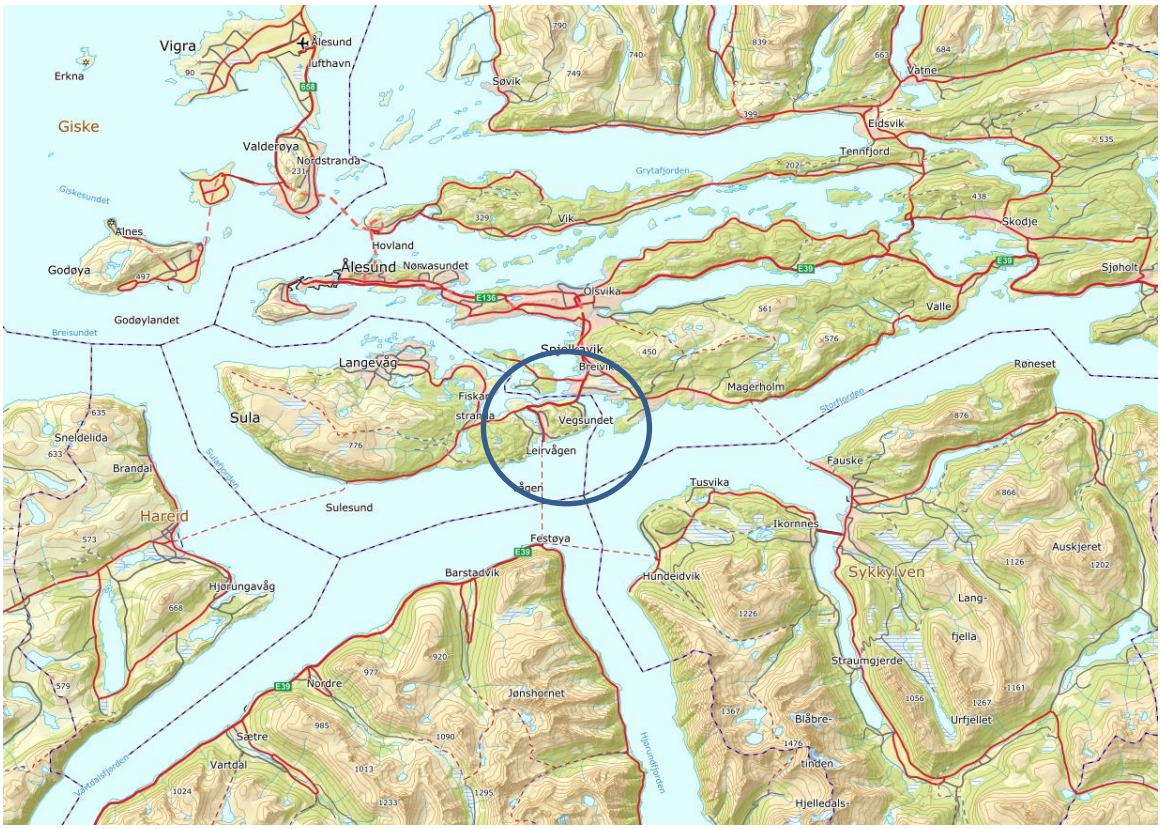
TEGNINGER	Målestokk	Tegning nr.
Plan Profiler Refraksjonsseismikk		
Område: Kvasneset	1: 2 000	-300
Profil P1	1: 500	-301
Profil P2	1: 500	-302
Profil P3	1: 500	-302
Profil P4	1: 500	-303
Profil P5	1: 500	-304

VEDLEGG:

Vedlegg 1, Refraksjonsseismisk metodebeskrivelse
Vedlegg 2, Tegnforklaring refraksjonsseismikk

1. INNLEDNING

På oppdrag fra Ålesund kommune og Sula kommune, via Multiconsult, har GeoPhysix AS utført seismiske grunnundersøkelser på Kvasneset, i Sula kommune, i forbindelse med nytt avløpsrenseanlegg. Formålet med disse undersøkelsene var å få kartlagt grunnforhold med løsmassetykkelse og fjellkvalitet.



Figur 1: Undersøkelsesområdet

2. SAMMENDRAG

Det ble totalt gjennomført refraksjonsseismiske undersøkelser langs 5 profiler i området.

Løsmasser og fjelloverflate:
Det er noe synlig, bart fjell i undersøkelsesområdet, og våre registreringer tyder på at det er relativt lite løsmasser i området.

Løsmassene registreres med hastighet 900-2000 m/s.
Hastigheten i fjellgrunnen ble registrert med basishastigheter på 4500 - 6200 m/s.

Lavhastighetssoner:
Det registreres lavhastighetssoner langs alle profilene unntatt P4 og P5.

Løsmasser:

Område	Profil	Løsmasser	
		dybde (m)	hastighet (m/s)
Kvasneset	P1	1 - 5	2000
	P2	1 - 5	800 - 1600
	P3	1 - 5	900 - 2000
	P4	1 – 5	1400
	P5	1 – 5	1400

Tabell 1: Oppsummering - løsmasser

Lavhastighetssoner:

Område	Profil	Sone	
		hastighet (m/s)	bredde (m)
Kvasneset	P1	3800/3900	6/5
	P2	3900	6
	P3	2900	5

Tabell 2: Oppsummering – lavhastighetssoner

3. MÅLEPROGRAM REFRAKSJONSSEISMIKK

Det ble til sammen målt 1220 meter med refraksjonsseismikk langs 5 profiler.

Mengden og plassering av profiler har blitt fastlagt i samarbeid med oppdragsgiver.

4. FELTARBEID

Arbeidet med de seismiske målingene ble foretatt i 8. – 14. august, 2022.

Til stede var: Helge Skogheim og Egil Edvardsen, begge fra Geophysix.

Forberedelse av feltarbeidet

Oppdragsgiver informerte grunneiere og innhentet tillatelser fra disse.
GeoPhysix var ansvarlig for påvisning av kabler og å innhente informasjon om alle faste installasjoner i målområdene.
Endekoordinater for profilene ble plassert i samarbeid mellom GeoPhysix og Multiconsult, og GeoPhysix har foretatt utsetting og innmåling av profilene.

5. UTSTYR

Det ble brukt:

- Registreringsinstrument ABEM Terraloc PRO.
- 24 og 48 kanals landkabel med 5m geofonavstand, effektiv lengde pr. utlegg 55 til 235 meter.
- Diverse kabel og tilbehør for avfyring av skudd.
- Det ble brukt dynamitt som energikilde for alle skudd. Avstanden mellom skuddene var ca. 15 - 25 meter langs profilene.

- Innmåling med TopCon HiPer SR GPS, korrigert med Kartverkets C-pos korreksjon på cm-nivå.

Bilde 1: Seismograf og utstyr for refraksjonsseimikk

6. PROSESSERING OG TOLKING AV DATA

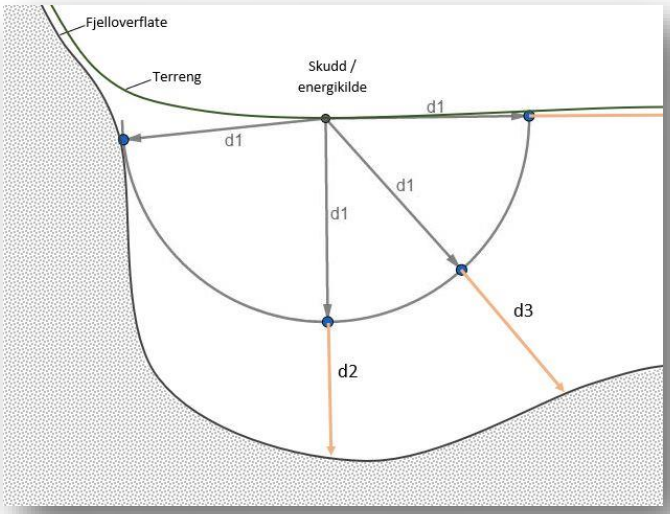
Registreringene ble fortløpende kontrollert under feltarbeidet og prosessert etter utførte målinger. Seismikkregistreringene ble digitalisert, etterprosessert, utskrevet på papir og manuelt tolket. Fjelloverflaten og eventuelle soner ble til slutt digitalisert og profilene maskintegnet.

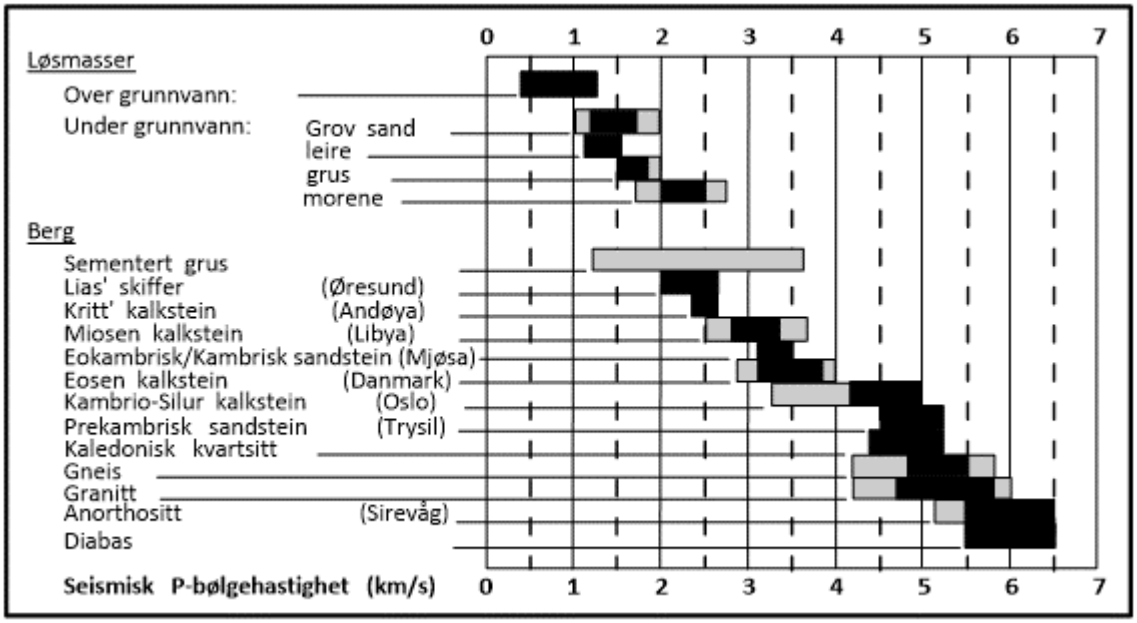
7. NØYAKTIGHET

Nøyaktigheten ved beregning av løsmassetykkelsen er tradisjonelt angitt til 2 meter eller 15 % for refraksjonsseismiske målinger.
Avvik fra normal angitt nøyaktighet kan forekomme ved ugunstig geologi, siderefraksjon og i forbindelse med lavhastighetssoner og blindlag i løsmasser (lag med lavere hastighet under lag med høyere hastighet).

Siderefraksjon

Siderefraksjon – energi forplantes raskere til sidefjell enn til fjell vertikalt pga kortere avstand.

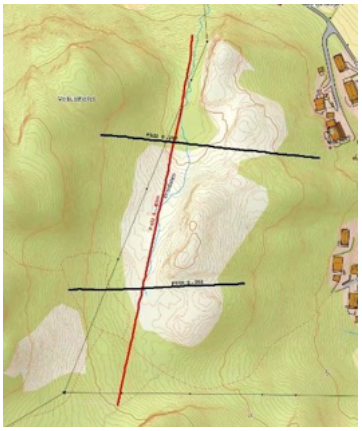




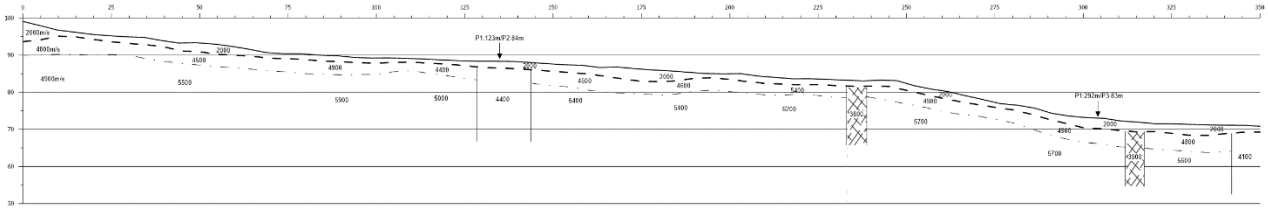
Tabell 3: Empiriske verdier for seismiske hastigheter i ulike materialer

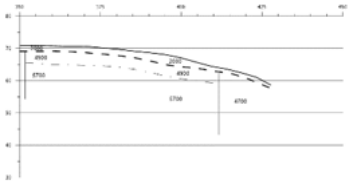
8. RESULTATER - REFRAKSJONSSEISMIKK

Alle lengdemål (lm) i teksten refererer til horisontalmål.



Profil P1/22, 435m





Profilen er vist i profil på tegning 22111-301.
Null i profilen ligger i **sørvest**. Profilen er 435 meter lang langs terrenget.

Terrengprofil
Terrenget faller fra kote 99 i lm 0, til kote 59 i slutten av profilen.

Løsmasser
Det registreres mellom 1 - 5 meter løsmasser langs profilen.
Størst mektighet registreres i starten av profilen.
Hastigheten i løsmassene ble registrert til 2000 m/s.

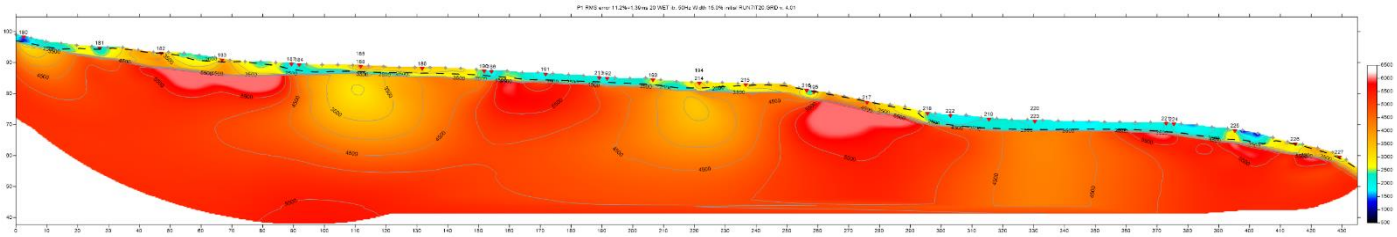
Fjell
Fjelloverflaten følger terrenget og faller fra kote 94 i lm 0, til kote 58 i slutten av profilen.

Hastigheten i fjellgrunnen ble registrert med en basishastighet på 4700 - 6200 m/s langs profilen.
Laveste fjellnivå er kote 58 i slutten av profilen.

Det ble registrert to lavhastighetssoner langs profilen.
Lm 233 - 239 med hastighet 3800 m/s.
Lm 312 - 317 med hastighet 3900 m/s.

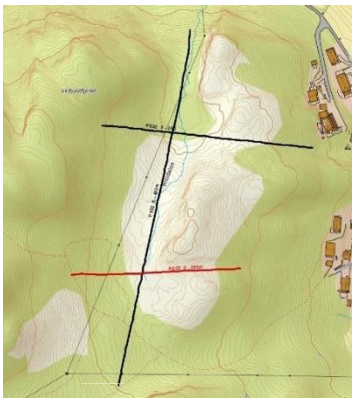
Det ble registrert 2 områder med lavere hastighet enn basishastigheten.
Lm 128 – 144 med hastighet 4400 m/s.
Lm 342 – 352 med hastighet 4100 m/s.

P1 tomografisk tolkning

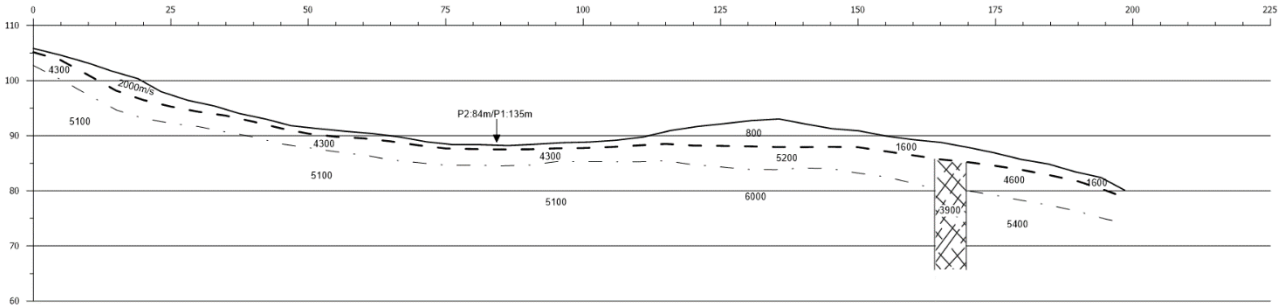


Tolket fjelloverflate er vist med svart linje. Det kan være noe vanskeligere å tolke overgangen til fjell da denne framstår mere gradvis.

Tomografiplottet viser en rask overgang til høye fjellhastigheter. Denne overgangen ligger litt dypere enn det man har tolket som fjelloverflate og kan indikere noe overflateforvitring. Ved ca. lm 110 og lm 220 er det noe lavere hastighet i bergmassene. I lm 110 viser tomografiplottet en hastighet på ca. 3250-3500 m/s, mens det i lm 220 framkommer en hastighet på ca. 3750 m/s.



Profil P2/22, 205m



Profilen er vist i profil på tegning 22111-302.
Null i profilen ligger i **vest**. Profilen er 205 meter lang langs terrenget.

Terrengprofil
Terrenget faller fra kote 106 i lm 0, til kote 88 i lm 80. Deretter stiger det til kote 93 i lm 135, før det faller til kote 80 i slutten av profilen.

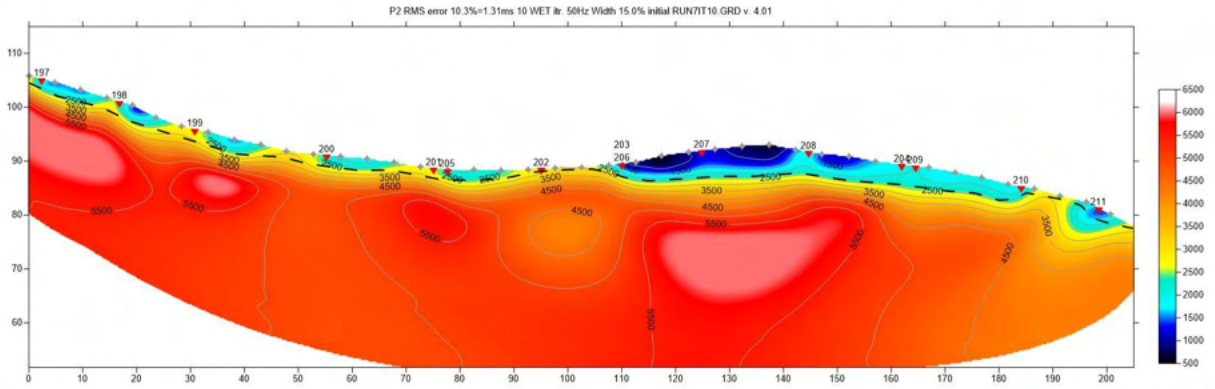
Løsmasser
Det registreres mellom 1 - 5 meter løsmasser langs profilen.
Størst mektighet registreres i ca. lm 135.
Hastigheten i løsmassene ble registrert til 800 - 2000 m/s.

Fjell
Fjelloverflaten følger hovedsakelig terrenget og faller fra kote 105 i lm 0, til kote 79 i slutten av profilen.
Laveste fjellnivå er kote 79 i slutten av profilen.

Hastigheten i fjellgrunnen ble registrert med en basishastighet på 5100 - 6000 m/s langs profilen.

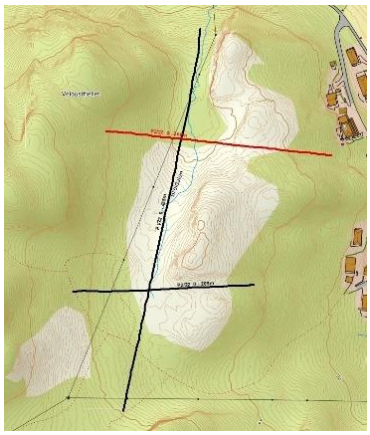
Det ble registrert en lavhastighetssone langs profilen.
Lm 164 – 170 med hastighet 3900 m/s.

P2 tomografisk tolkning

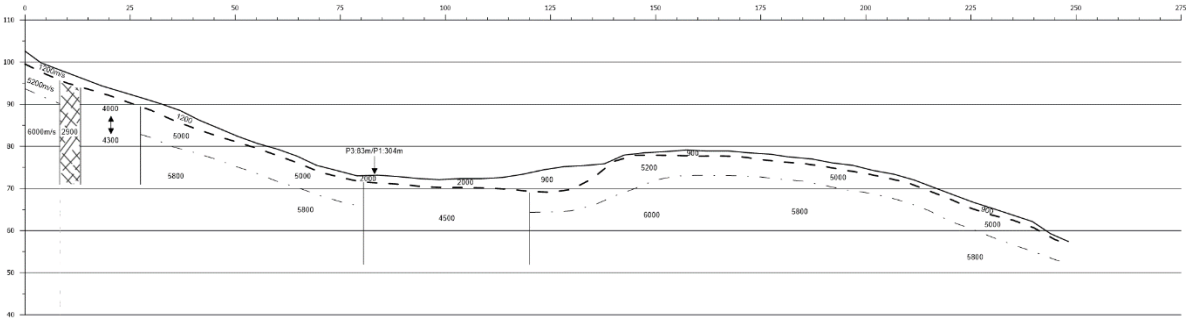


Tolket fjelloverflate er vist med svart linje.

Profilen viser en gradvis overgang til høye fjellhastigheter. Hastigheten i berggrunnen er gjennomgående høy og over 4500 m/s.



Profil P3/22, 260m



Profilen er vist i profil på tegning 22111-302.
Null i profilen ligger i **nordvest**. Profilen er 260 meter lang langs terrenget.

Terrengprofil
Terrenget faller fra kote 103 i lm 0, til kote 72 i lm 100. Deretter stiger det til kote 79 i lm 150, før det faller til kote 57 i slutten av profilen.

Løsmasser
Det registreres mellom 1 - 5 meter løsmasser langs profilen.
Størst mektighet registreres i ca. lm 125.
Hastigheten i løsmassene ble registrert til 900 - 2000 m/s.

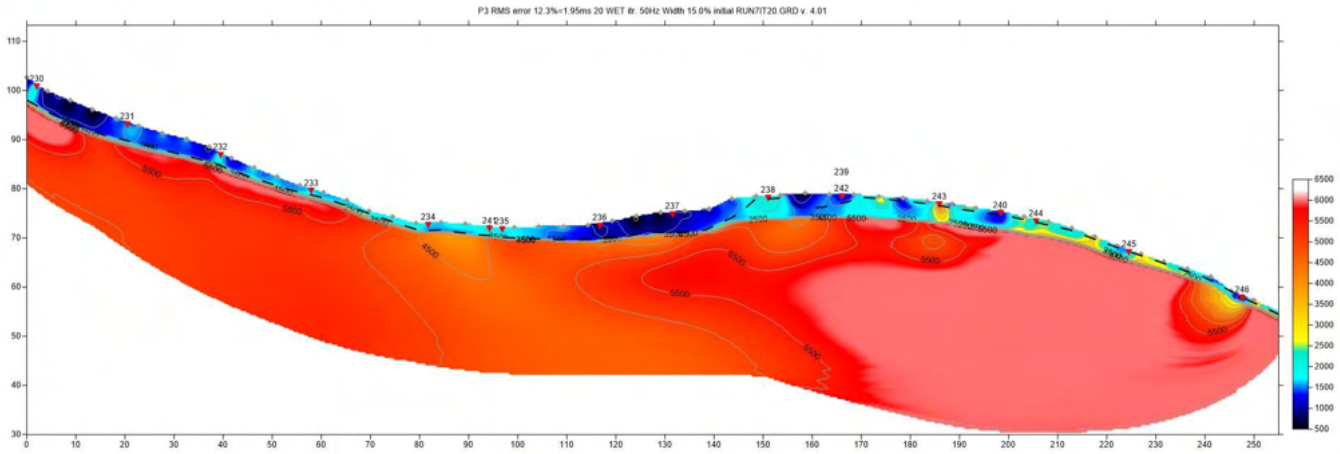
Fjell
Fjelloverflaten følger hovedsakelig terrenget og faller fra kote 100 i lm 0, til kote 56 i slutten av profilen.
Laveste fjellnivå er kote 57 i slutten av profilen.

Hastigheten i fjellgrunnen ble registrert med en basishastighet på 5800 - 6000 m/s langs profilen.

Det ble registrert en lavhastighetssone langs profilen.
Lm 8 – 13 med hastighet 2900 m/s.

Det ble registrert 2 områder med lavere hastighet enn basishastigheten.
Lm 13 – 27 med hastighet 4000 til 4300 m/s.
Lm 80 – 120 med hastighet 4500 m/s.

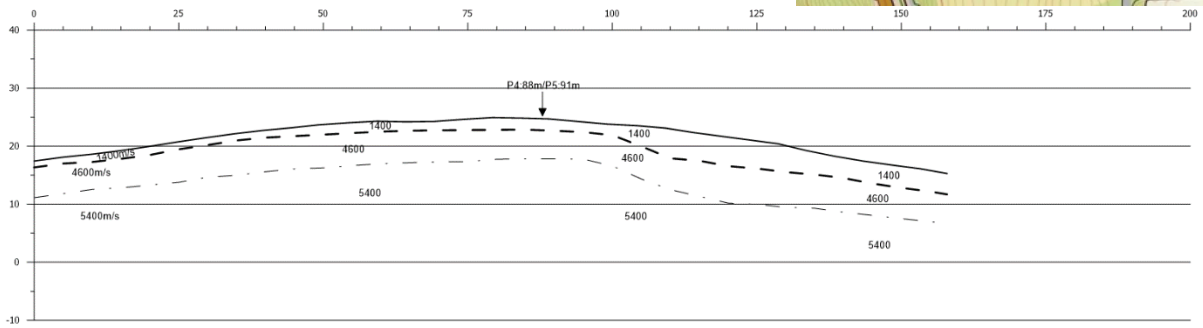
P3 tomografisk tolkning



Tolket fjelloverflate er vist med svart linje.

Hastigheten i berggrunnen er gjennomgående høy og over 4500 m/s.

Profil P4/22, 160m



Profilen er vist i profil på tegning 22111-303.
Null i profilen ligger i **nordvest**. Profilen er 160 meter lang langs terrenget.

Terrengprofil
Terrenget stiger fra kote 17 i lm 0, til kote 25 i lm 80. Deretter faller det til kote 15 i slutten av profilen.

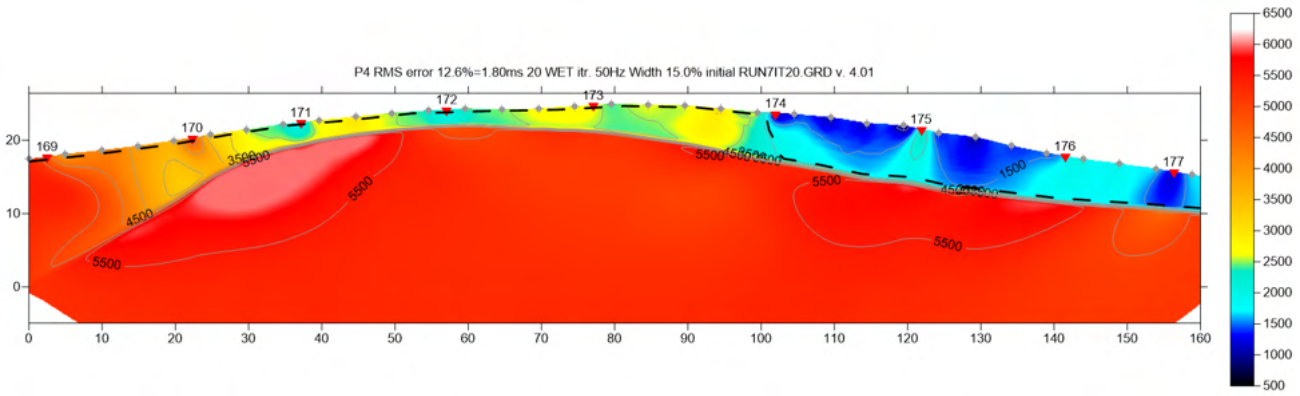
Løsmasser
Det registreres mellom 1 - 5 meter løsmasser langs profilen.
Størst mektighet registreres i ca. lm 110.
Hastigheten i løsmassene ble registrert til 1400 m/s.

Fjell
Fjelloverflaten følger hovedsakelig terrenget.
Laveste fjellnivå er kote 12 i slutten av profilen.

Hastigheten i fjellgrunnen ble registrert med en basishastighet på 5400 m/s langs profilen.

Det ble ikke registrert lavhastighetssoner langs profilen.

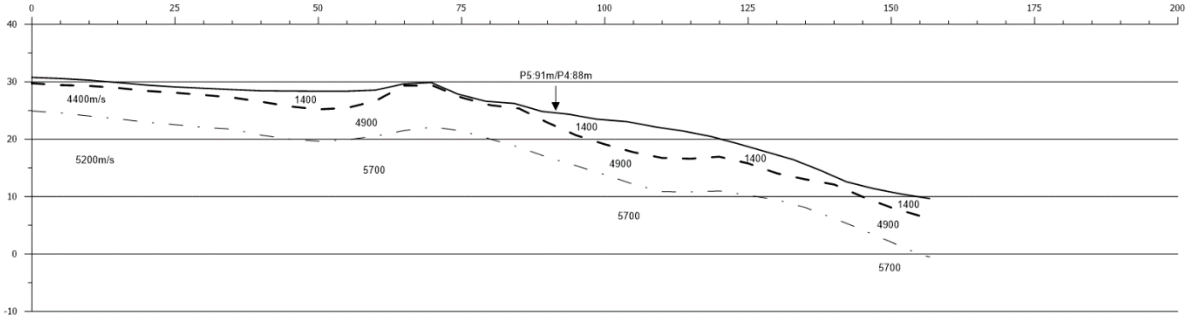
P4 tomografisk tolkning



Tolket fjelloverflate er vist med svart linje.

Tomografiplottet viser en distinkt overgang til høye hastigheter i berget. I første del av profilen er det lavere berghastigheter over denne grensen, mens det i siste del av profilen tyder på at det er løsmasser over berg med høy hastighet.

Profil P5/22, 160m



Profilen er vist i profil på tegning 22111-303.
Null i profilen ligger i **sørvest**. Profilen er 160 meter lang langs terrenget.

Terrengprofil
Terrenget faller fra kote 31 i lm 0, til kote 10 i slutten av profilen.

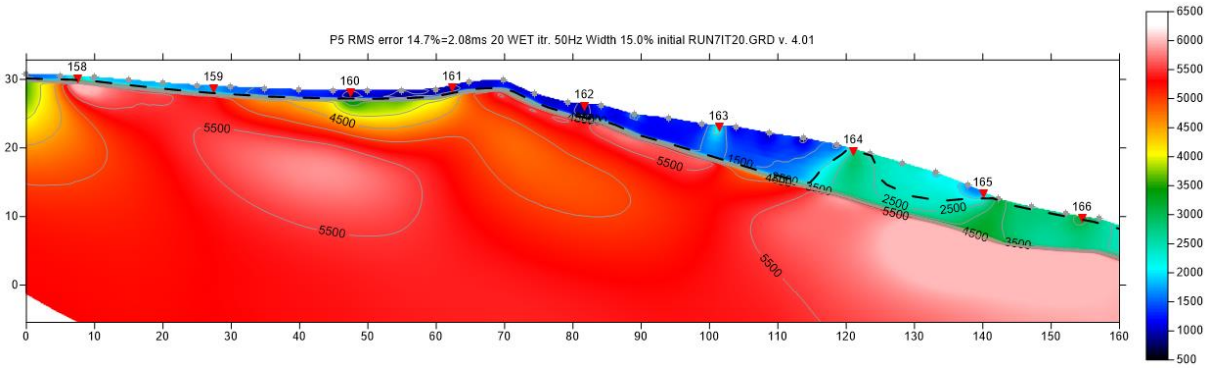
Løsmasser
Det registreres mellom 1 - 5 meter løsmasser langs profilen.
Størst mektighet registreres i ca. lm 105.
Hastigheten i løsmassene ble registrert til 1400 m/s.

Fjell
Fjelloverflaten følger hovedsakelig terrenget.
Laveste fjellnivå er kote 6 i slutten av profilen.

Hastigheten i fjellgrunnen ble registrert med en basishastighet på 5200 - 5700 m/s langs profilen.

Det ble ikke registrert lavhastighetssoner langs profilen.

P5 tomografisk tolkning



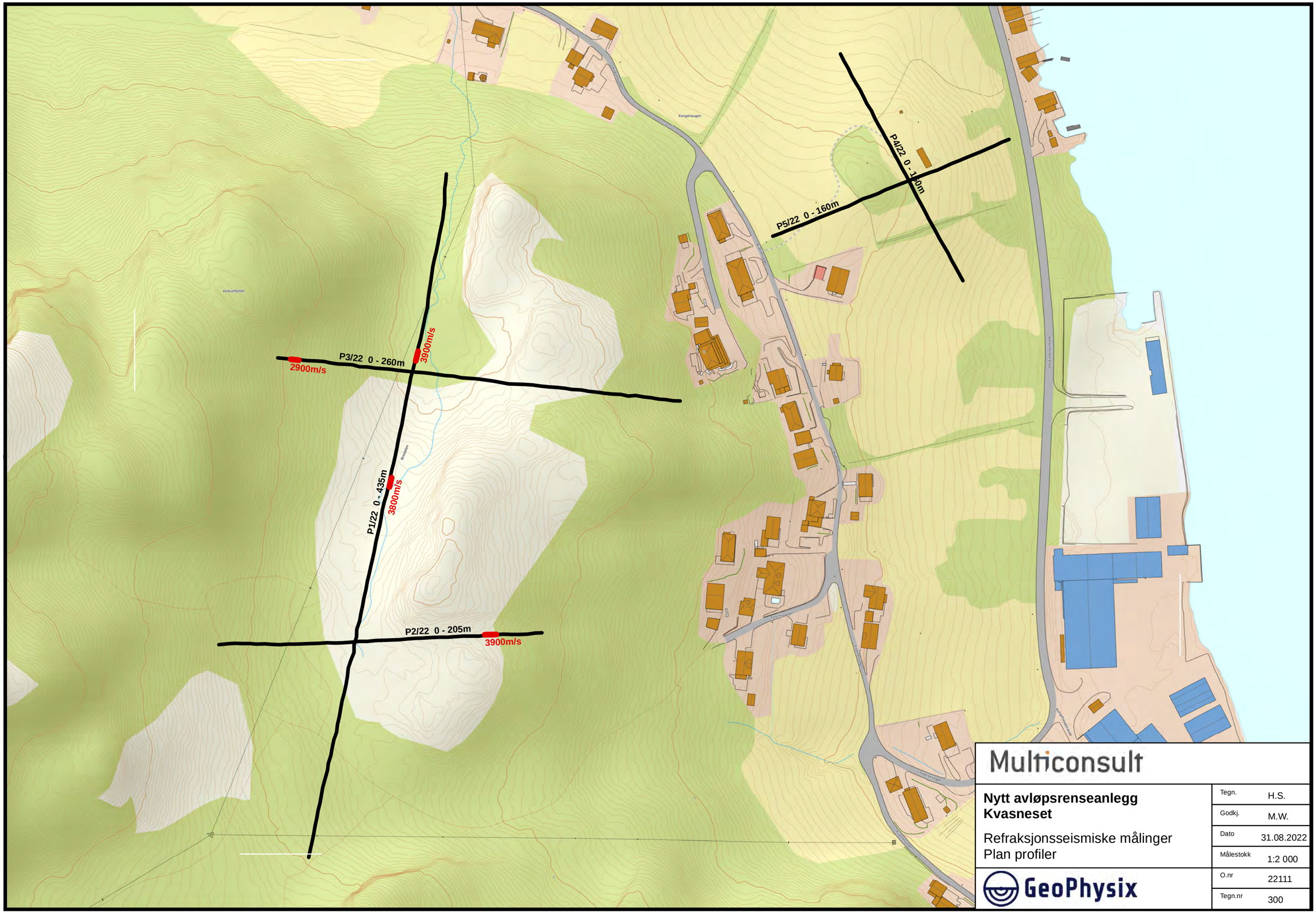
Tolket fjelloverflate er vist med svart linje.

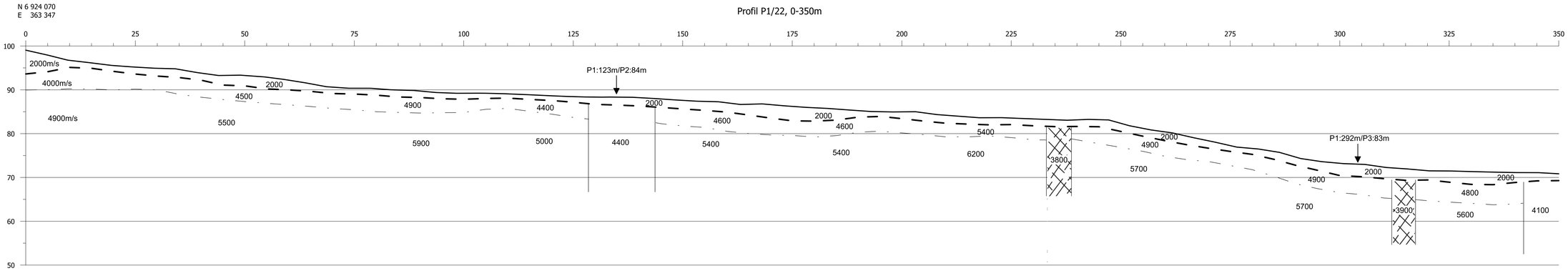
Tomografiplottet viser noe at det også her registreres noe dagfjell i deler av profilen, men at det ikke er gjennomgående på samme måte som den tradisjonelle tolkningen viser.

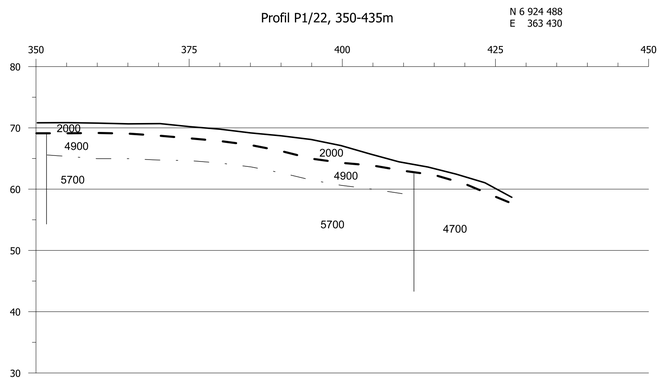
Notodden, 06.09.2022

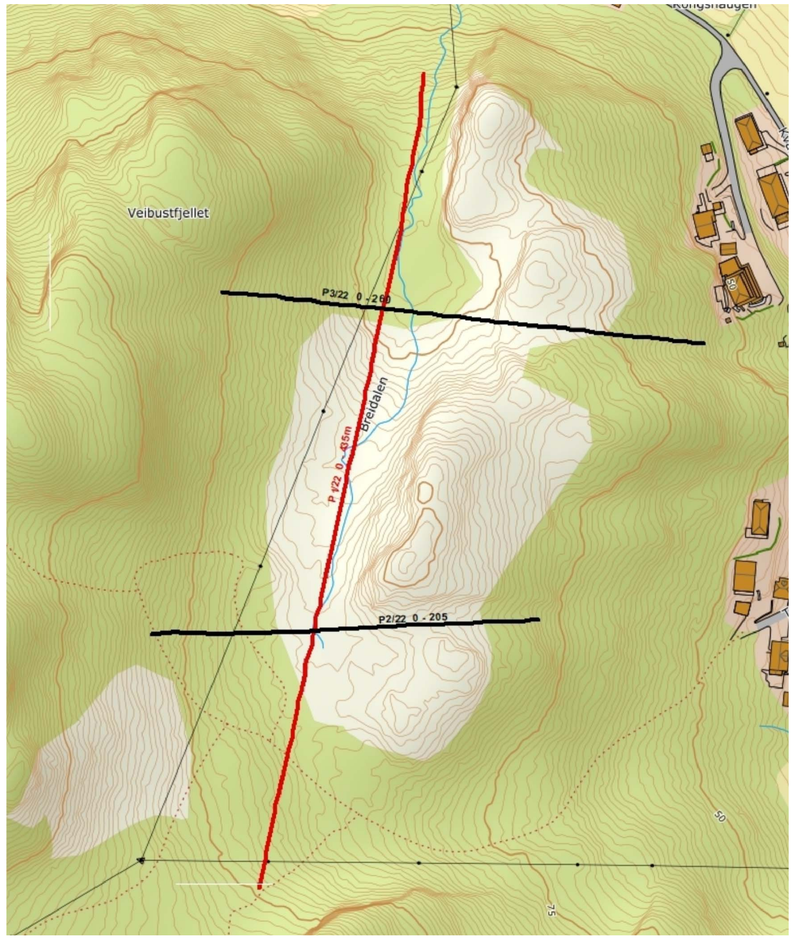
Morgan Wåle

Helge Skogheim


P1/22 0 - 435m
3800m/s
P2/22 0 - 205m
3900m/s
P3/22 0 - 260m
2900m/s
3900m/s
P4/22 0 - 110m
P5/22 0 - 160m
Kongshaugen
Veibustfjellet
Multiconsult
Nytt avløpsrenseanlegg
Kvasneset
Refraksjonsseismiske målinger
Plan profiler
GeoPhysix
Tegn. H.S.
Godkj. M.W.
Dato 31.08.2022
Målestokk 1:2 000
O.nr 22111
Tegn.nr 300







Tegnforklaring

- Terrengprofil
- Fjelloverflate
- Laggrense i fjell
- Lavhastighetssone

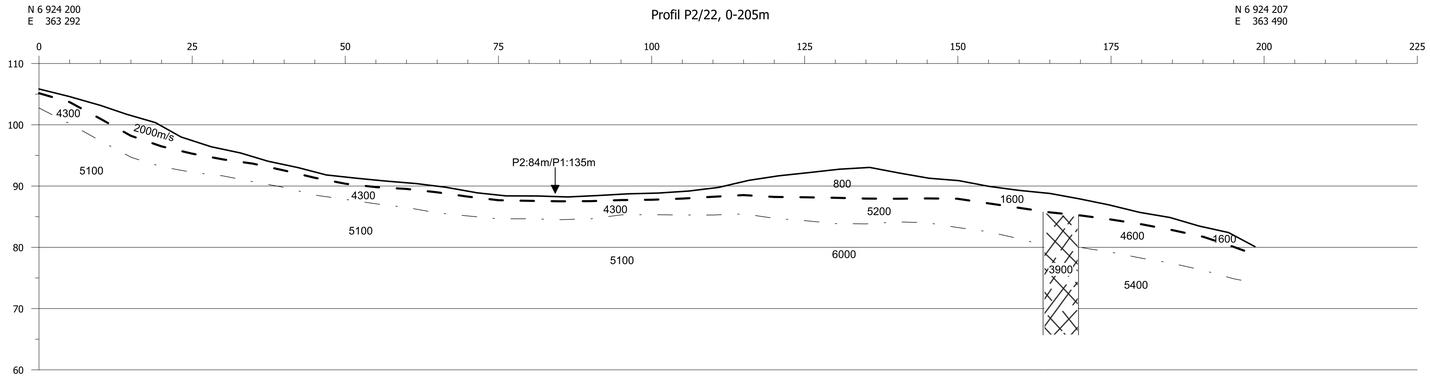
Koordinatsystem EUREF89 UTM Sone 32,
Høydereferanse NN2000

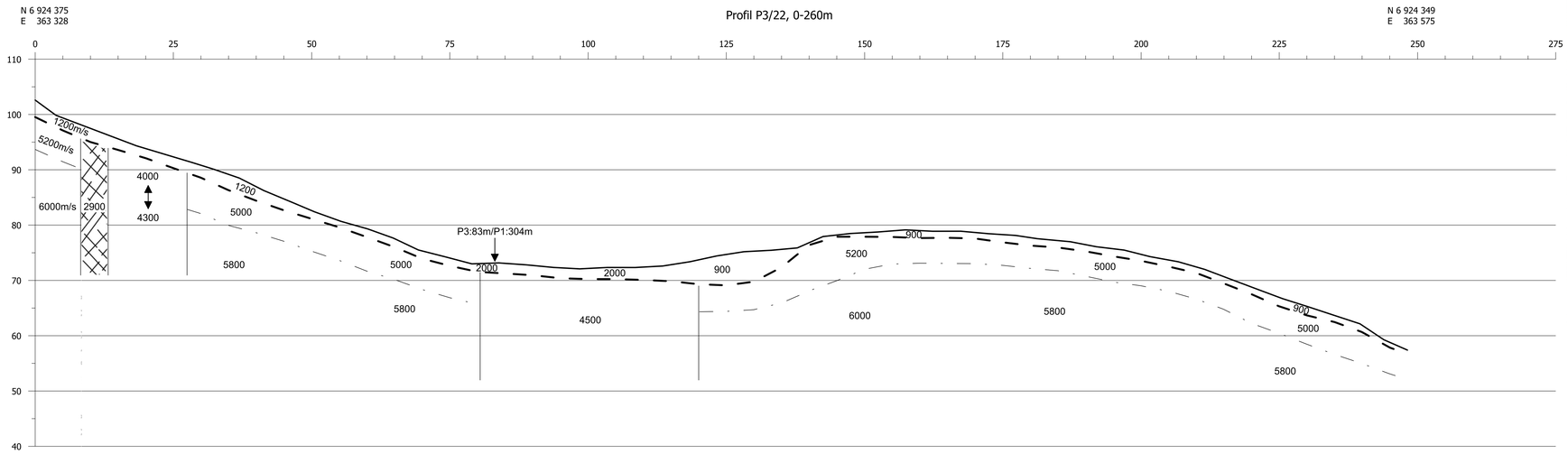
Multiconsult

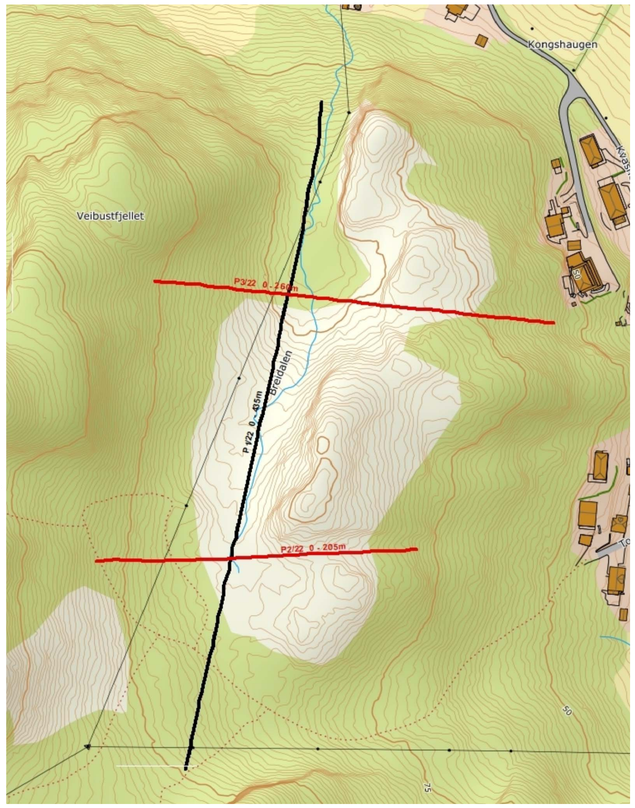
Nytt avløpsrenseanlegg
Kvasneset
Refraksjonsseismiske målinger
Profil P1, 0-435m

Tegn.	H.S.
Godkj.	M.W.
Dato	31.08.2022
Målestokk	1:500 (A1)
O.Nr	22111
Tegn. nr	-301

GeoPhysix







Tegnforklaring

- Terrengprofil
- Fjelloverflate
- Laggrense i fjell
- Lavhastighetssone

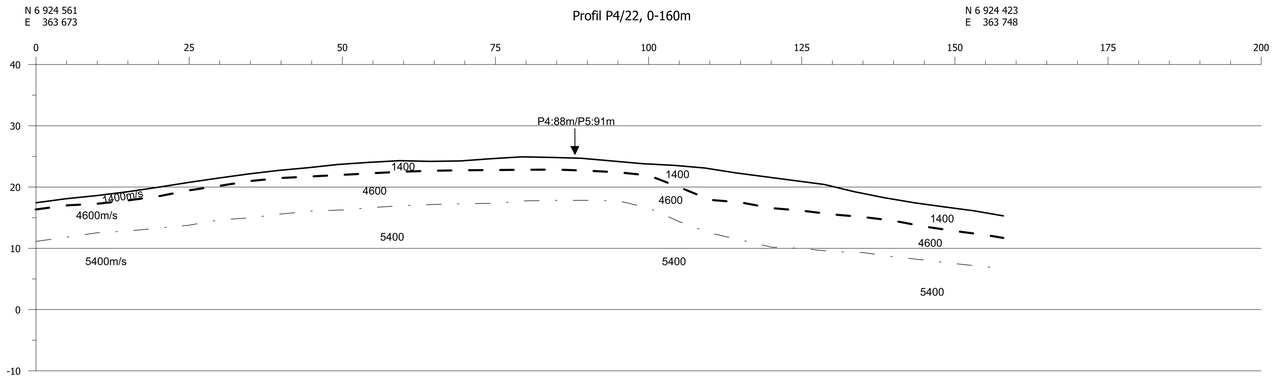
Koordinatsystem EUREF89 NTM Sone 12,
Høydereferanse NN2000

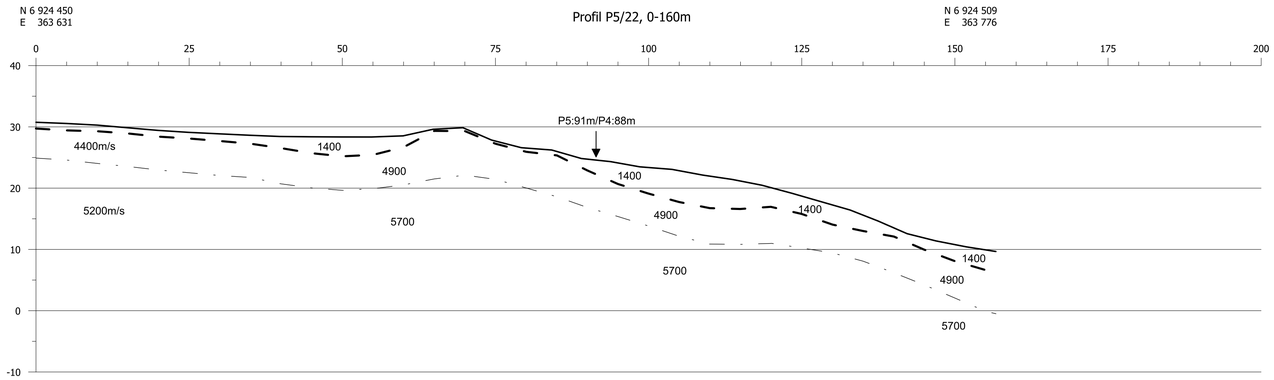
Multiconsult

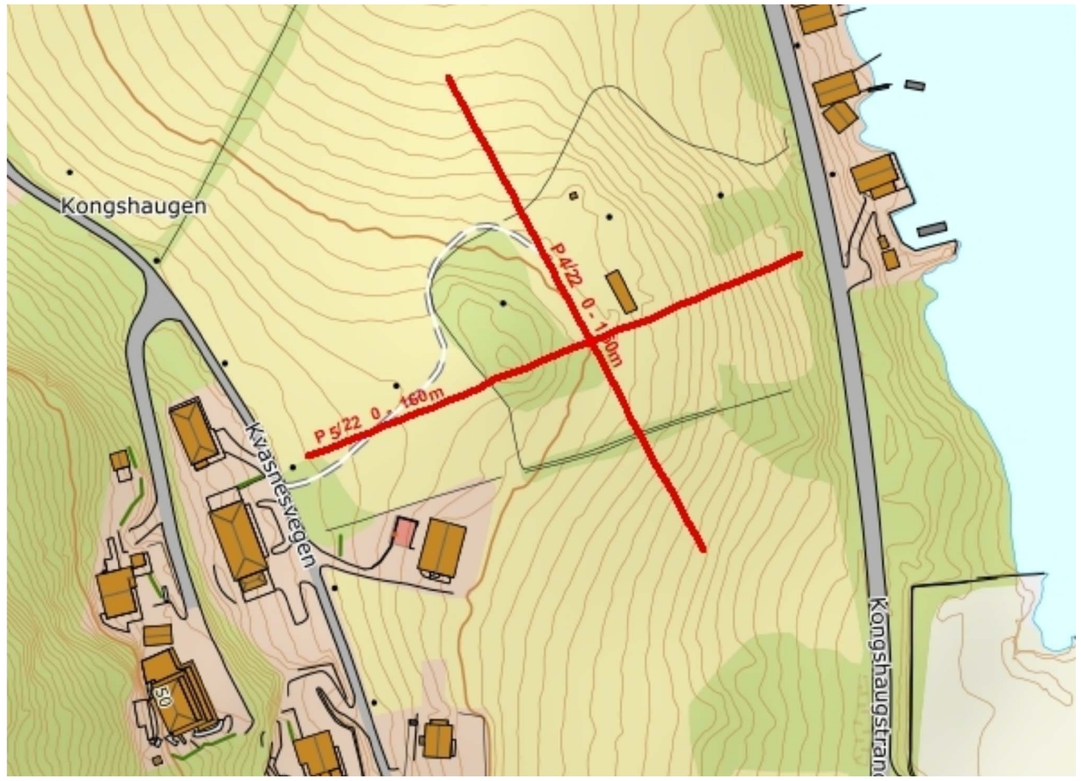
Nytt avløpsrenseanlegg
Kvasneset
Refraksjonsseismiske målinger
Profil P2, 0-205m
Profil P3, 0-260m

GeoPhysix

Tegn.	H.S.
Godkj.	M.W.
Dato	31.08.2022
Målestokk	1:500 (A1)
O.Nr	22111
Tegn. nr	-302







Koordinatsystem EUREF89 NTM Sone 12,
Høydereferanse NN2000

Tegnforklaring

- Terrengprofil
- Fjelloverflate
- Laggrense i fjell

Multiconsult

Nytt avløpsrenseanlegg

Kvasneset

Refraksjonsseismiske målinger
Profil P4, 0-160m
Profil P5, 0-160m

Tegn.	H.S.
Godkj.	M.W.
Dato	30.08.2022
Målestokk	1:500 (A1)
O.Nr	22111
Tegn. nr	-303

GeoPhysix

VEDLEGG 1: Refraksjonsseismisk metodebeskrivelse

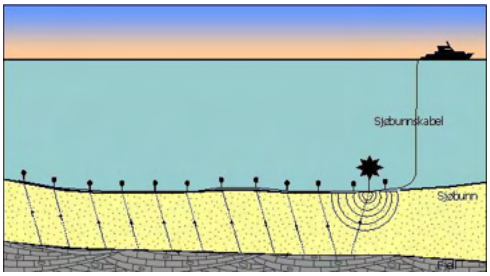
Den refraksjonsseismiske metoden blir brukt for å a) bestemme dybden til refraktorer (laggrense til lag med økende seismisk hastighet) og for å b) bestemme forandring av hastighet i fjellgrunnen.

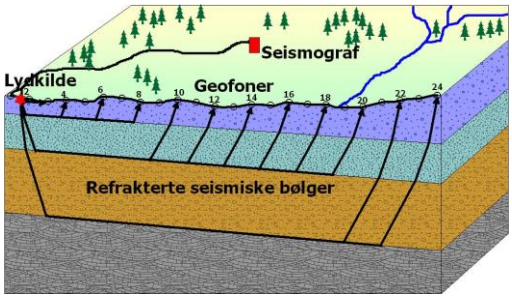
Dette er mulig fordi den refraksjonsseismiske undersøkelsesmetoden benytter seismiske lydbølger som blir "kritisk" refraktert = maksimalt refraktert. Etter refraksjon (avbøyning,) vil disse lydbølgene bevege seg parallelt med og med samme hastighet som refraktoren.

Etter å ha blitt generert på overflaten vil lydbølgene til slutt returnere tilbake dit. De har da beveget seg NED gjennom bakken til en refraktor, PARALLELT langs etter refraktoren og til slutt OPP til overflaten. Den tilsynelatende seismiske hastigheten som blir målt på overflaten er lik med den seismiske hastigheten til refraktoren. Gangtiden, den totale tiden langs hele gangveien, blir registrert (figur 1) og brukt for å beregne sann lydhastighet og korrekt dybde til refraktoren.

I en flerlagsmodell kommer de refrakterte lydbølgene fra hvert enkelt lag til å returnere til overflaten. Den først ankomne lydbølgen til hver enkelt geofon/hydrofon blir brukt i beregningene. Et lag må være tykkere enn summen av overliggende lag for å bli oppdaget i registreringene.

Nøyaktigheten i beregning av lagtykkelse er tradisjonelt satt til to meter eller 20 % for å sikre mot beregningsfeil i tilfelle skjulte lag er tilstede i løsmassene.

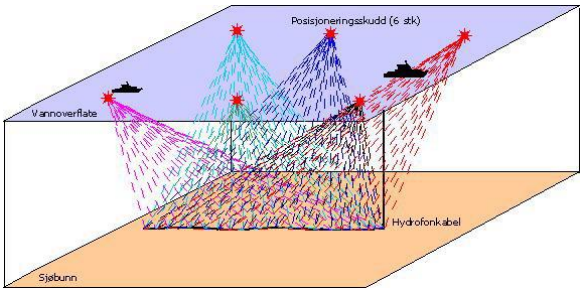




***Figur 1**: Prinsippet for refraksjonsseismiske målinger. a) En hydrofonkabel blir lagt ut på sjøbunnen (venstre) eller b) Geofoner på bakken blir koblet til en landkabel. En seismisk energikilde genererer lydbølger ved sjøbunnen eller markoverflaten. Gangtider til hver enkelt hydrofon/geofon blir registrert på en seismograf.*

Posisjonering

Hydrofonkablen blir posisjonert på sjøbunnen med hydroakustisk posisjonering. Ved å detonere sprengkapsler i seks kjente posisjoner i vannoverflaten og måle gangtiden til hver enkelt hydrofon kan posisjonen for disse på sjøbunnen beregnes. Figur 2 viser en grafisk presentasjon av innmålingen.



***Figur 2:** Hydroakustisk posisjonering av en hydrofonkabel på sjøbunnen. Gangtidene fra seks individuelle detonasjoner blir registrert.*

VEDLEGG 2: Tegnforklaring

TERRENG/BUNNPROFIL

LAGGRENSE I LØSMASSER

FJELLOVERFLATE

5200 4500

VERTIKAL HASTIGHETSGRENSE
I FJELLGRUNNEN (klar)

5200 4500

VERTIKAL HASTIGTETSGRENSE
I FJELLGRUNNEN (uklar)

LAGGRENSE I FJELLGRUNNEN

LAGGRENSE I FJELLGRUNNEN

4500 5200 4500 5200

DIFFUS LAGGRENSE I FJELLGRUNNEN
(gradvis økende hastighet)

5200 3500 4500

LAVHASTIGHETSSONE I FJELLGRUNNNEN
(klar grense til venstre, diffus til høyre)

VANLIGE SEISMISKE HASTIGHETER

500 -800	SEDIMENT (over vann, løst lagret)
900 - 1200	SEDIMENT (over vann, fast lagret)
1500 - 2100	SEDIMENT (under vann)
> 2000 - 4000	LAVHASTIGHETSSONE I FJELLGRUNNEN
4000 - 5500	VANLIG HASTIGHET I FJELLGRUNNEN

asplan viak

Multiconsult

AVM-20-G-RAP-003

Ingeniørgeologisk rapport for berganlegget

Vedlegg 3 Datarapport kjerneboring

Kongshaugstranda RA

Datarapport kjerneboring

Dato: 20.01.2023

Versjon: **01**

asplanviak.no

multiconsult.no

asplan viak

Multiconsult

Dokumentinformasjon

Oppdragsgiver:	Ålesund og Sula kommuner
Tittel på rapport:	Kongshaugstranda RA
Oppdragsnavn:	Kongshaugstranda RA
Oppdragsnummer:	637269-02
Utarbeidet av:	Ingvild Lausund og Henki Ødegaard
Oppdragsleder:	Cathrine Lyche
AVM dokumentkode:	AVM-20-G-RAP-002
Tilgjengelighet:	Åpen

Kort sammendrag

Ålesund og Sula kommuner planlegger nytt renseanlegg beliggende i berg ved Kongshaugstranda i Sula kommune. I forbindelse med detaljprosjektering av renseanlegget er det utført kjerneboring for å undersøke bergmassekvaliteten i det aktuelle området for plassering av renseanlegg i berg. Foreliggende rapport inneholder beskrivelser av de ingeniørgeologiske forholdene kartlagt i hullet og resultater fra utførte undersøkelser og tester.

Ver	Dato	Beskrivelse	Utarb. av	KS	Godkjent
01	20. jan. 2023	Nytt dokument	IL/HEOE	EMG	EMG

Innholdsfortegnelse

1. Innledning 4

2. Kjerneborhull 5

2.1. Oversikt 5
2.2. Observasjoner fra boringen 6
2.3. Vanntapsmålinger 7
2.4. Avviksmålinger 8
2.5. Tetting av borhull etter boring 9

3. Kjernelogging 10

3.1. Metode 10
3.2. Usikkerhet ved resultatene 11
3.3. Fravik fra ISRM-standard for kjernelogging 12

4. Resultater 13

4.1. Bergartsbeskrivelser 13

4.1.1. Gneis, glimmerrik 13

4.1.2. Pegmatitt 14

4.2. Laboratorietester av kjernemateriale 14

4.2.1. Bergmekanisk testing 14

4.2.2. Utlekkingstester 14

5. Kilder 16

Vedlegg

Vedlegg 1 Kjernelogg

Vedlegg 2 Fotovedlegg kjernekasser

Vedlegg 3 Rapport avviksmåling

Vedlegg 4 Entreprenørs borerapport

Vedlegg 5 Vanntapsmåling

Vedlegg 6 SINTEF testrapport kjerneprøver, egnethets- og mekaniske tester

Vedlegg 7 ALS testrapport kjerneprøver, utlekkingstester

1. Innledning

I forbindelse med detaljprosjektering av Kongshaugstranda renseanlegg er det utført kjerneboring i berg. Formålet med kjerneboringen var å undersøke bergmassens egenskaper i dypet som grunnlag for plassering og detaljprosjektering av renseanleggets berghaller.

I forbindelse med boringen ble det kontinuerlig tatt ut borkjerner, sylindriske kjerneprøver av berg. Undervegs i boringen ble det utført systematisk måling av bergets vannledningsevne.

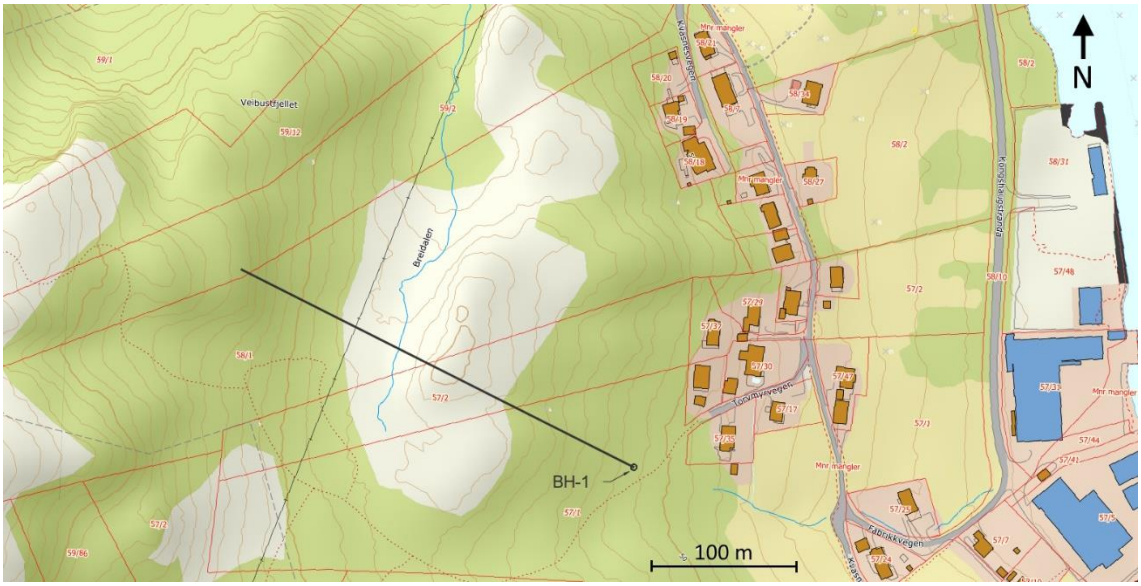
Selve boringen ble utført av firmaet Entreprenørservice AS, og dette arbeidet ble gjennomført over tre uker i september og oktober 2022. Borkjernene ble logget av ingeniørgeologer fra Multiconsult i slutten av oktober til midten av november samme år, og ble i denne forbindelse tatt ut kjerneprøver for laboratorietester av bergets fysiske og kjemiske egenskaper.

Kjernelogg og fotovedlegg finnes i hhv. Vedlegg 1 og Vedlegg 2.

2. Kjerneborhull

2.1. Oversikt

Det ble boret ett 300 m dypt kjernehull, borhull BH-1. Hullet har ansett ved stien vest for enden av Torvmyrvegen og er boret med slak helning ned i berget mot (og under) Breidalen i nordvest, som vist i Figur 2-1.



Figur 2-1: Plassering av kjerneborhull BH-1. Kilde bakgrunnskart: Norgeskart.no

Borestedet ble i forkant av boringen opparbeidet av Sula kommunes driftsentreprenør, som ryddet skog og besørget oppgradering av eksisterende sti slik at atkomst til borestedet ble mulig. Det ble også opparbeidet en arbeidsplattform for selve boreriggen og borhytta. Vann til boringen ble hentet fra en nærliggende bekk og strøm ble besørget av entreprenørens eget aggregat.

Kjerneborhullet ble plassert slik at det ville være mulig å krysse en mulig svakhetssone under Breidalen, og samtidig slik at bergets egenskaper i dypet der berghallene planlegges plassert kunne undersøkes.

Kjerneborhullet er boret med slakt (ca. 10°) fall nedover og mot nordvest. Hullet har 76 mm diameter og en kjernediameter på 50,5 mm. Øvrige nøkkeldata for borhullet er oppgitt i *Tabell 2-1*.

Tabell 2-1 Nøkkeldata kjerneborhull (UTM 32N)

	[1]					
BH-1	300,7	363550	6924168	57,7	303	-10
[1]Hullet går i sin helhet i berg. Avviksmålinger er vedlagt i Vedlegg 3.						

2.2. Observasjoner fra boringen

Boring ble utført av firmaet Entreprenørservice AS, og det ble benyttet en Diamec U8 borerigg. Under boring ble det benyttet en dobbeltvegget kjerneopptaker (double barrel) og det ble tatt opp inntil 3 m kjerne av gangen. Ved hvert kjerneopptak ble kjernene plassert i kjernekasser og den enkelte kjernes plassering (dyp) i hullet indikert på kassene. Kjernekassene ble lagret midlertidig i entreprenørens feltcontainer mens borekampanjen pågikk. Etter endt boring ble kjernekassene først fraktet til Multiconsult sitt Ålesundskontor før de så ble fraktet videre til et større lagerlokaler ved Devoldfabrikken i Langevåg, hvor kjerneloggingen ble utført.

Notater fra Entreprenørservice AS med observasjoner fra boringen finnes i Vedlegg 4, og her følger en kort oppsummering av relevante forhold.

Hullet ble boret i berg hele lengden og det ble installert permanent foringsrør i de øvre 2 m. På grunn av relativt stort vanntap i øvre del av hullet, frem til 12,6 m dyp, ble borhullet utstøpt ned til 37,6 m.

Entreprenørservice har i samtaler på plassen opplyst at berget generelt hadde god borbarhet, men at det også i enkelte soner var svært hardt. I tillegg ble det registrert noen krevende soner med knuste partier og slepper, ett markert vanninnbrudd og enkelte boreproblemer:

- 97,6-110,3 Kjernetap grunnet boreteknisk problem (knekt borkrone)
- 277,4-286,7 Kjernetap grunnet boreteknisk problem (innerrøret var ikke i lås)
- 160,85-161 Antatt boretekniske problemer på grunn av avrundede og unaturlige bruddflater uten at det var markert av entreprenørfirmaet.
- 163,7-166,4 Vanninnbrudd (129 l/min) med 2 bar trykk

Ellers er det også registrert andre mindre oppknuste partier og slepper som er beskrevet i kjerneloggen (Vedlegg 1).

Figur 2-2 Oversiktsfoto fra borested. *(A): Foto av kjerneboringsutstyret (Diamec U8) under boring. (B) Klargjøring for vanntapsmåling, rød sirkel markerer pakkere*

2.3. Vanntapsmålinger

For å få mer informasjon om bergmassens hydrauliske ledningsevne (permeabilitet) er det utført vanntapsmålinger i form av lugeontester. Disse testene baseres på innpressing (pumping) av vann inn i en avgrenset seksjon av borhullet mens pumpet vannvolum registreres. Testprotokollen er standardisert slik at vann presses inn i ved et konstant overtrykk på 10 Bar. Lugeonverdien (LU) defineres som den vannmengden (Q) som kan presses inn i en borhullsseksjon av lengde L pr. min ved standard 10 bar overtrykk som vist i Formel 1:

$$LU = \frac{Q}{L} \text{(liter/min/m)} \qquad 1.$$

Ved testtrykk som avviker fra standard 10 bar overtrykk korrigeres lugeonverdien ved å inkludere det faktiske testtrykket, P_{eff},(bar) med Formel 2:

$$LU = \frac{Q}{L} \times \frac{10\ bar}{P_{eff}} \text{(liter/min/m)} \qquad 2.$$

Lugeontestene ble utført ved enkeltpakker-metode under nedboring og det ble benyttet 6 m lange testintervall. Alle testresultat er rapportert i kjerneloggen (Vedlegg 1) og med rådata presentert i målerapport fra Entreprenørservice, se Vedlegg 5.

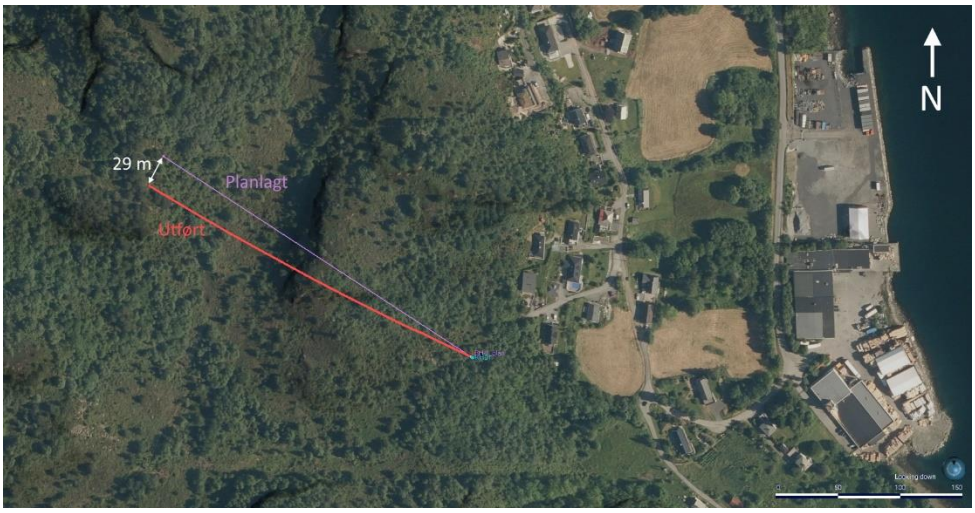
For det meste ble det registrert lave (LU <1) til svært lave (LU<0,1) verdier, men det ble også registrert moderat til høyt vanntap i de to første (øvre) testene ved 1,6 til 13,6 m dyp, hvor målt lugeonverdi var mellom 8-11. I tillegg ble det målt moderat vanntap (LU = 5) i en sone på ca. 164 m hulldyp, hvor det under boring også ble registrert tydelig vanninnbrudd.

Vanntapsmålingene indikerer at bergmassen hovedsakelig har svært lav hydraulisk ledningsevne (permeabilitet), men at det lokalt kan påtreffes vannførende soner.

2.4. Avviksmålinger

Det ble foretatt avviksmålinger av borhullet etter endt boring. Til avviksmålingen ble en DeviShot sonde fra firmaet Devico benyttet. Resultatet fra målingene er presentert i målerapport fra Entreprenørservice (Vedlegg 3) i tillegg til at avviket er skissert i *Figur 2-3*.

Kjerneborhullet (BH-1) avviker noe fra det planlagte som følge av både innretningsavvik og avbøyningsavvik. Innretningsavviket er ca. 6° mot venstre (sørvest) sammenlignet med planlagt borhullsretning. Avbøyningsavviket korrigerer noe for innretningsavviket da borhullet gradvis bøyer av mot høyre, samtidig som at borhullet gradvis flater noe ut slik at det mot bunnen av hullet får slakere fall enn planlagt. I vertikalplanet ender borhullet ca. 11 m grunnere enn prosjektert (16 moh. mot planlagte 5 moh). Samlet borhullsavvik målt i bunn hull er ca. 29 m, se *Figur 2-3*. Borhullsavviket vurderes som uproblematisk med tanke på hullets tiltenkte formål.



Figur 2-3 Planlagt (lilla) og utført (rød) plassering av kjernehullet

2.5. Tetting av borhull etter boring

Borhullet er gjenstøpt etter endt boring, og det er satt igjen foringsrør i de øvre 2 m av hullet, se *Figur 2-4*.

Ifølge borerapporten fra Entreprenørservice (Vedlegg 4) ble hullet gjenstøpt på følgende måte:

- Injeksjon av hull med pakkerplassering på 15 m hulldyp for å unngå utgang i den øvre lekkasjeførende delen av hullet. Injeksjonen ble utført med injeksjonspumpe (Putzmeister SP11) til 10 bar sluttrykk. Totalt gikk det med 1525 kg sement, Scan standard sement.
- Øvre del av borhullet (0-15 m hulldyp) ble fylt fra toppen med 100 kg gysemasse, Nonset 50.

Figur 2-4 Kjernehullet etter gjenstøping

3. Kjernelogging

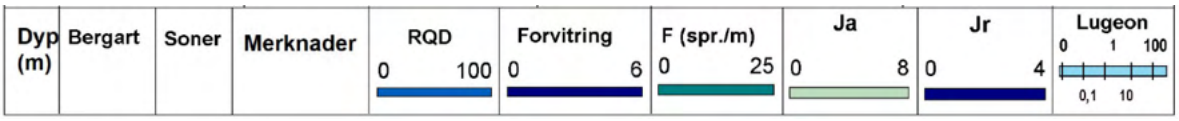
3.1. Metode

Kjerneloggingen ble utført av ingeniørgeologer fra Multiconsult. Alle kjernekasser ble fotografert før logging, og kjernene ble fuktet før fotografering for å synliggjøre farger og strukturer og for å få en enhetlig representasjon av kjernene. Alle kjernefoto ble tatt med en iPhone 12 Pro, og fotoene er samlet i Vedlegg 2.

Kjernelogging er utført for hver meter av alle borkjerner. Kjerneloggene er samlet i Vedlegg 1. I noen kjernekasser var lengden på kjernene forskjellig fra lengden av kjernekassen. Det kan derfor være små variasjoner i rapportert dybde mellom kjernelogger og bilder av kjernekasser.

Beskrivelse og omtale av bergets egenskaper, som observert under kjerneloggingen, er basert på NS-EN ISO 14689:2018 [1], men med enkelte tilpasninger der standarden ikke er dekkende, eksempelvis ved beskrivelse av enkelte av Q-systemets parametere.

Ulike bergartsparametere og testresultat er beskrevet i kjerneloggene som vist i *Figur 3-1*, og som listet under.



Figur 3-1 Parametere i kjerneloggene

angir hulldyp, målt i meter fra terreng og nedover langs borehullet.

viser bergartsfordelingen nedover langs borkjernen, grunnet nokså ensartede geologiske forhold i hele hullet skilles det kun mellom granittisk gneis og pegmatittisk gneis. Kjernetap er også markert.

Soner med redusert bergmassekvalitet er inndelt i knust, svært oppsprukket og svakhetssoner. I tillegg er det markert for partier som er gjenstøpt etter boring og for antatt boretekniske feil som har påvirket kjernekvaliteten

Beskrivelse av slepper, svakhetssoner, sprekkefyll og andre forhold av betydning for bergets mekaniske egenskaper.

«Rock Quality Designation». Oppsprekkingsfaktor beregnet som summen av alle kjernelengder med mer enn 10 cm lengde mellom naturlige sprekker, i prosent av en kjernelengde (en kjernelengde er ca. 1 m).

bergets forvitringsgrad er vurdert og gitt verdi fra 0 (uforvitret) til 5 (jord) i henhold til klassifiseringen i NS-EN ISO 14689:2018 [1], gjengitt i tabell 3-1.

Tabell 3-1: Beskrivelse av ulike grader av forvitring av berg [1]

Term	Description	Grades
Fresh	No visible sign of rock weathering; perhaps slight discolouration on major discontinuity surfaces.	0
Slightly weathered	Discolouration indicates weathering of rock and discontinuity surfaces.	1
Moderately weathered	Less than half of the rock is decomposed or disintegrated. Fresh or discoloured rock is present either as a continuous framework or as core stones.	2
Highly weathered	More than half of the rock is decomposed or disintegrated. Fresh or discoloured rock is present either as a discontinuous framework or as core stones.	3
Completely weathered	All of the rock is decomposed and/or disintegrated to soil. The original mass structure is still largely intact.	4
Residual soil	All of the rock is converted to soil. The mass structure and material fabric are destroyed. There is a large change in volume, but the soil has not been significantly transported.	5

antall kartlagte naturlige sprekker per meter kjerne (spr./m). Soner med sterkt oppsprukket berg, oppknust berg og kjernetap er gitt F = 25

indikerer sprekkefylling i henhold til Q-systemet. Ved ulike Ja-verdier langs en kjernelengde er største Ja-verdi registrert.

beskriver sprekkeruhet i henhold til Q-systemet. Ved ulike Jr-verdier langs en kjernelengde er minste Jr-verdi registrert.

viser beregnede Lugeon-verdier fra vanntapsmålinger. Merk at skalaen er logaritmisk.

3.2. Usikkerhet ved resultatene

Følgende usikkerhetsmomenter vurderes å være aktuelle ved kjerneloggingen:

- Ved kjernelogging er det usikkerheter knyttet til bestemmelse av Jr- og Ja-parameterne. Ved logging av borekjerner ser man kun et lite utsnitt av sprekkene og Jr- og Ja-verdien som fastsettes for en kjerne trenger derfor ikke være representativ for sprekkene i virkelig blokkstørrelseskala.

- Sprekkebelegg og sprekkefylling kan variere langs en bergsprekk. I tillegg kan sprekkemateriale forsvinne under boring, og ved logging vil dermed Ja-verdien kunne settes for lavt.
- RQD og sprekkefrekvens kan være påvirket av boringen. Unaturlige sprekker som ble dannet under boringen kan være kartlagt som naturlige sprekker (boreoperatør kan ha glemt å markere kunstige sprekker, og det er stedvis oppdaget lapper som virker være feilplassert.
- Det er usikkerheter knyttet til estimering av sprekkefrekvens, og sprekkefrekvens bør derfor sees i sammenheng med RQD og bilder av kjernekasser. Dette vil gi et mer korrekt bilde av oppsprekkingen i et gitt intervall.
- Borhullsretningen vil påvirke antall sprekker i kjernen. Særlig vil sprekker som er parallelle med borhullsretningen være underrepresentert. Dette fører til at RQD og sprekkeantall kan underestimeres.
- Bestemmelse av bergart og sprekkefylling er gjort på bakgrunn av geologiske kart, tilgjengelig litteratur og enkle feltundersøkelser som reaksjon med 10% HCl og visuell observasjon støttet med lupe.
- Oppsprekning som har oppstått som konsekvens av mekanisk påvirkning fra boring og/eller håndtering av kjernene er ikke alltid markert av borefirma. Slike markeringer, vanligvis i form av blå eller røde merkelapper av plast (vist i bildevedlegg) er ikke alltid korrekt angitt.
- Kjernetap på grunn av utvasking, spesielt mellom 163,7-166,4 m.

3.3. Fravik fra ISRM-standard for kjernelogging

Kjerneloggingen fraviker noe fra det som er foreslått i standarden til ISRM [2]. Det er for eksempel valgt å ikke logge alle parameterne for å beregne Q-verdi. Det er vurdert at logging av antall sprekkesett (Jn), vannfaktor (Jw) og spenningsfaktor (SRF) ikke kan bestemmes med tilstrekkelig nøyaktighet kun basert på tilgjengelige kjerneprøver.

4. Resultater

4.1. Bergartsbeskrivelser

Avsnittet beskriver i grove trekk observerte bergarter. Enkle bergartstester, eksempelvis brusing for saltsyre og kontroll med lupe av mineraler, er utført som støtte i vurderingene. For å kunne bestemme bergartstyper sikkert med deres korrekte bergartsnavn må det utføres mikroskopering av tynnslip fra berget, noe som ikke ble vurdert som aktuelt grunnet den relativt oversiktlige geologien i området. Ofte er det forhold helt uten betydning for bergets anleggstekniske egenskaper som har betydning for bergartsnavnet, f.eks. varierende feltspattyper. Det er derfor ikke lagt vekt på detaljert utført petrografisk tynnslipundersøkelse for å bestemme bergartsnavn, og disse kan derfor strengt faglig bli ukorrekte.

I henhold til NGUs berggrunnskart [3] i målestokk 1:50 000 skal berggrunnen være granittisk gneis, og resultatene fra kjerneloggingen synes å bekrefte dette.

4.1.1. Gneis, glimmerrik

Dette er hovedbergartstypen som er registrert under kjerneboringen. Gneisen som observeres i kjernene er båndet, mørk til lys rosa, med varierende innhold av glimmer. Kornstørrelsen er middels- til grovkornet. Dette samsvarer med observasjon fra feltbefaring utført i dagen i mai 2022 [4]. Bergarten har ellers følgende karakteristiske kjennetegn:

- Kvarts- og feltspatrik, i enkelte områder er det godt utviklet kvarts- og feltspatkrystaller som helt- eller delvis dekker hele kjernens diameter
- Det registreres flere kalsittrike linser/årer og kalkholdig sprekkefyll i tilknytning til både kvarts- og feltspatsoner. I enkelte av disse sonene, særlig i de rødlige feltspatsonene, registreres det små hulrom (åpning opp mot 1 cm). Disse hulrommene er som regel dekt med kalk, i form av små (<3 mm) krystaller eller av opakt, hvitt kalkbelegg i forbindelse med kalkrike soner
- I enkelte mørke partier (antatt amfibolittiske) av gneisen er berget svært finkornet, slik at det enkelte korn ikke kan identifiseres med det blotte øye.

4.1.2. Pegmatitt

Grovkornet bergart med svært store mineralkorn (fra 1 cm til flere 10-talls cm), hovedsakelig bestående av kvarts eller feltspat.

4.2. Laboratorietester av kjernemateriale

Det er utført bergmekanisk testing av et utvalg av kjernematerialet for å vurdere bergets mekaniske styrke og motstand mot nedknusning. I tillegg er gjennomført utlekkingstester for å vurdere avrennings- og utlekkingspotensiale ved deponering i sjø.

4.2.1. Bergmekanisk testing

Det er utført bergmekanisk testing på fem ulike prøver, hver prøve bestående av ca. 5 m borkjerne, hvor testleverandør SINTEF har forestått prøvepreparering i hht. den enkelte teststandard.

I Tabell 2 presenteres gjennomsnittsverdier av testresultatene. Full testrapport fra testingen er presentert i Vedlegg 6.

Tabell 2: Testresultater 4.2.1. Bergmekanisk testing, gjennomsnittsverdier

		1 01	**1 0**	**1 0**	**1 0**	**1 0**
DENSITET (ρ)	kg/m³	2783	2695	-	2814	-
LYDHASTIGHET (υ_p)	m/s	5643	5374	-	5403	-
E-MODUL (E)	GPa	70,9	68,5	-	64,8	-
POISSONS FORHOLD *(v)*	N/A	0,210	0,195	-	0,195	-
ENAKSIELL TRYKKFASTHET (σ_c)	MPa	182,7	278,8	-	215,2	-
MICRO DEVAL (M_{DE})	N/A	-	-	7,2	-	6,4
LOS ANGELES (LA)	N/A	-	-	19,6	-	17,8

4.2.2. Utlekkingstester

Det er utført utlekkingstester i form av ristetest og kolonnetest på én prøve besående av en prøvepose med ca. 10 kg materiale. Testene ble utført for å vurdere bergmassenes mulige negative miljøpåvirkning i forbindelse med deponering i sjø. Det er testet for et

stort antall kjemiske og fysiske parametere, med fokus på innhold av tungmetaller, anioner, løst organisk karbon, suspendert stoff, pH og elektrisk konduktivitet og det henvises til testrapport fra ALS for full detalj, se Vedlegg 7.

5. Kilder

[1] Standard Norge AS (2018). Geotekniske felt- og laboratorieundersøkelser Identifisering, beskrivelse og klassifisering av berg (ISO 14689:2017).

[2] ISRM. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 1977, 15 pp. 319–368

[3] Berggrunn – Nasjonal berggrunnsdatabase målestokk 1:50 000. NGU. https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/ Hentet 06.12.2022.

[4] AVM-20-G-RAP-001. Ingeniørgeologisk befaringsrapport. Multiconsult 22.10.2022.

asplan viak

Multi consult

asplan viak

Multiconsult

AVM-20-G-RAP-002

Vedlegg 1: Kjernelogg

Multiconsult

Kongshaugstranda RA - Kjernelogg

Rapport nr. AVM-20-G-RAP-002 Vedlegg nr. A

Borhull: BH-1 **Høyde:** 57	**Orientering:** 297 **Inklinasjon:** -10°	**Total lengde:** 300,7 m **Side 1 av 16**	**Koordinat X:** 363113 **Koordinat Y:** 6924451

Sprekkeruhetstall, Jr
4,0: Diskontinuerlige
3,0: Ru, ujevn, bølgete
2,0: Glatt, bølgete
1,5: Glidespeil, bølgete
1,5: Ru, ujevn, plan
1,0: Glatt, plan
0,5: Glidespeil, plan

RQD
90-100: Meget lite oppsprukket
75-90: Lite oppsprukket
50-75: Moderat oppsprukket
25-50: Sterkt oppsprukket
0-25: Meget sterkt oppsprukket

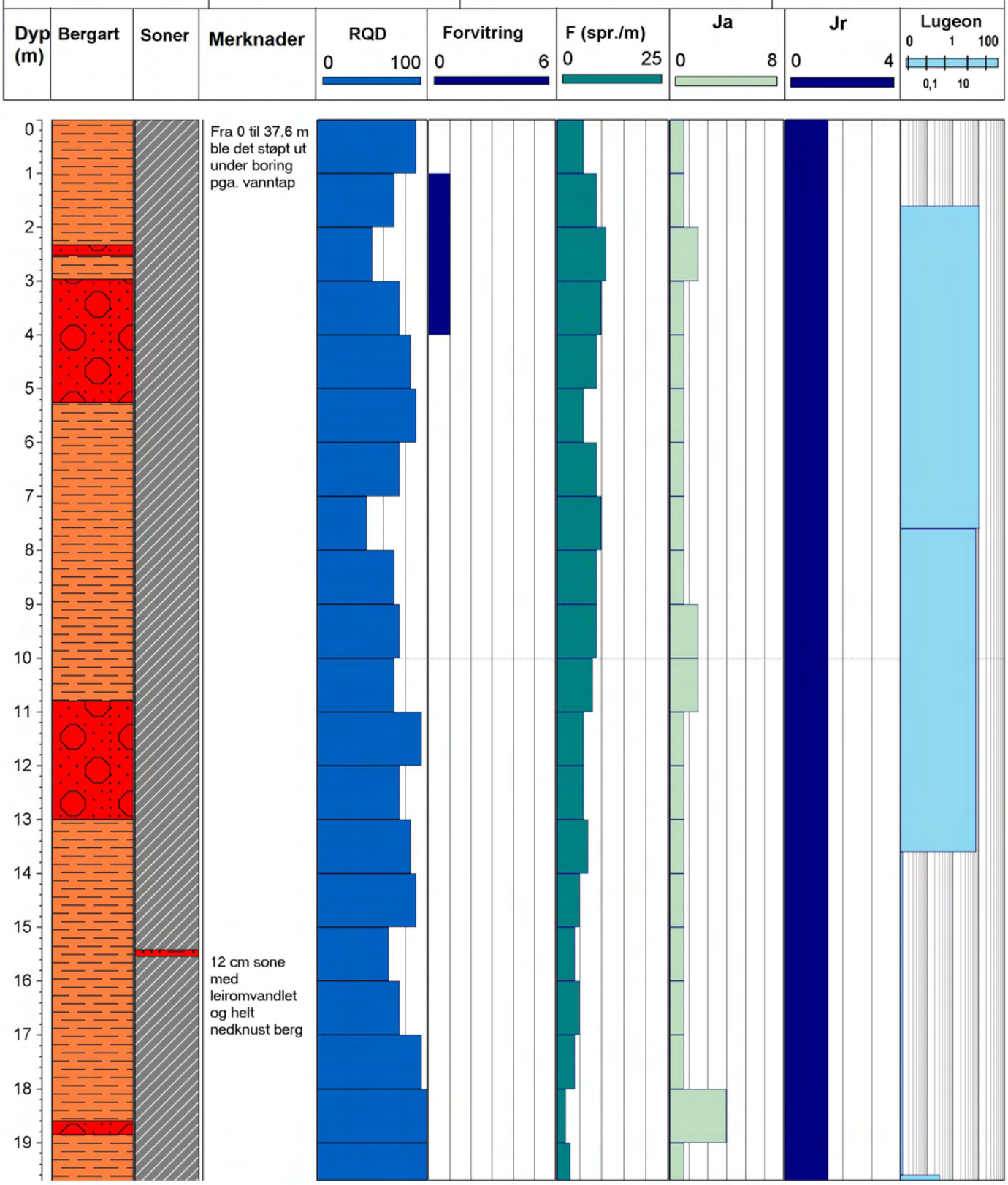
Bergart
Granittisk gneis
Pegmatittisk gneis
Kjernetap

Soner
Gjenstøpt under boring
Knust
Svært oppsprukket
Svakhetssone
Boreteknisk feil

Sprekkemateriale
le=leire, ep=epidot
ca=kalsitt, kl=kloritt, kv=kvarts
fel=feltspat, ru=rust
kis=kismineraler

Forvitring
1: Ingen
2: Litt
3: Moderat
4: Sterkt
5: Fullstendig
6: Jord

Vanntap (LU)
<1 Meget lavt
0,1-1 Lavt
1-10 Moderat
10-100 Moderat
> 100 Svært høyt



Kongshaugstranda RA - Kjernelogg

Multiconsult

Rapport nr. AVM-20-G-RAP-002 Vedlegg nr. A

Borhull: BH-1 **Høyde:** 57	**Orientering:** 297 **Inklinasjon:** -10°	**Total lengde:** 300,7 m **Side 2 av 16**	**Koordinat X:** 363113 **Koordinat Y:** 6924451

Sprekkeruhetstall, Jr
4,0: Diskontinuerlige
3,0: Ru, ujevn, bølgete
2,0: Glatt, bølgete
1,5: Glidespeil, bølgete
1,5: Ru, ujevn, plan
1,0: Glatt, plan
0,5: Glidespeil, plan

RQD
90-100: Meget lite oppsprukket
75-90: Lite oppsprukket
50-75: Moderat oppsprukket
25-50: Sterkt oppsprukket
0-25: Meget sterkt oppsprukket

Bergart
Granittisk gneis
Pegmatittisk gneis
Kjernetap

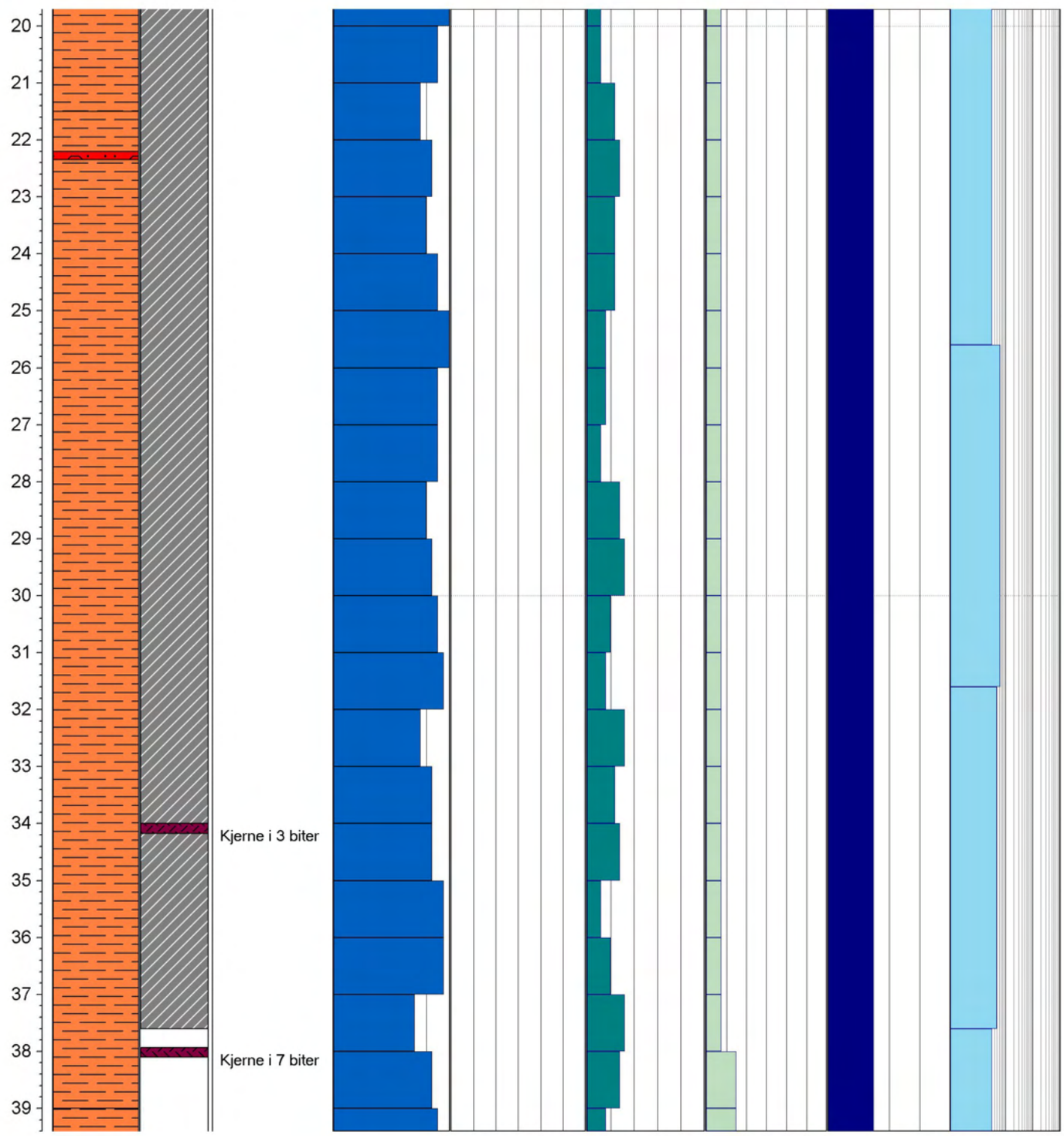
Soner
Gjenstøpt under boring
Knust
Svært oppsprukket
Svakhetssone
Boreteknisk feil

Sprekkemateriale
le=leire, ep=epidot
ca=kalsitt, kl=kloritt, kv=kvarts
fel=feltspat, ru=rust
kis=kismineraler

Forvitring
1: Ingen
2: Litt
3: Moderat
4: Sterkt
5: Fullstendig
6: Jord

Vanntap (LU)
<1 Meget lavt
0,1-1 Lavt
1-10 Moderat
10-100 Moderat
> 100 Svært høyt

Dyp (m)	Bergart	Soner	Merknader	RQD 0–100	Forvitring 0–6	F (spr./m) 0–25	Ja 0–8	Jr 0–4	Lugeon 0–1–100 (0,1–10)



Multiconsult

Kongshaugstranda RA - Kjernelogg

Rapport nr. AVM-20-G-RAP-002 Vedlegg nr. A

Borhull: BH-1 **Høyde:** 57	**Orientering:** 297 **Inklinasjon:** -10°	**Total lengde:** 300,7 m **Side 3 av 16**	**Koordinat X:** 363113 **Koordinat Y:** 6924451

Sprekkeruhetstall, Jr
4,0: Diskontinuerlige
3,0: Ru, ujevn, bølgete
2,0: Glatt, bølgete
1,5: Glidespeil, bølgete
1,5: Ru, ujevn, plan
1,0: Glatt, plan
0,5: Glidespeil, plan

RQD
90-100: Meget lite oppsprukket
75-90: Lite oppsprukket
50-75: Moderat oppsprukket
25-50: Sterkt oppsprukket
0-25: Meget sterkt oppsprukket

Bergart
Granittisk gneis
Pegmatittisk gneis
Kjernetap

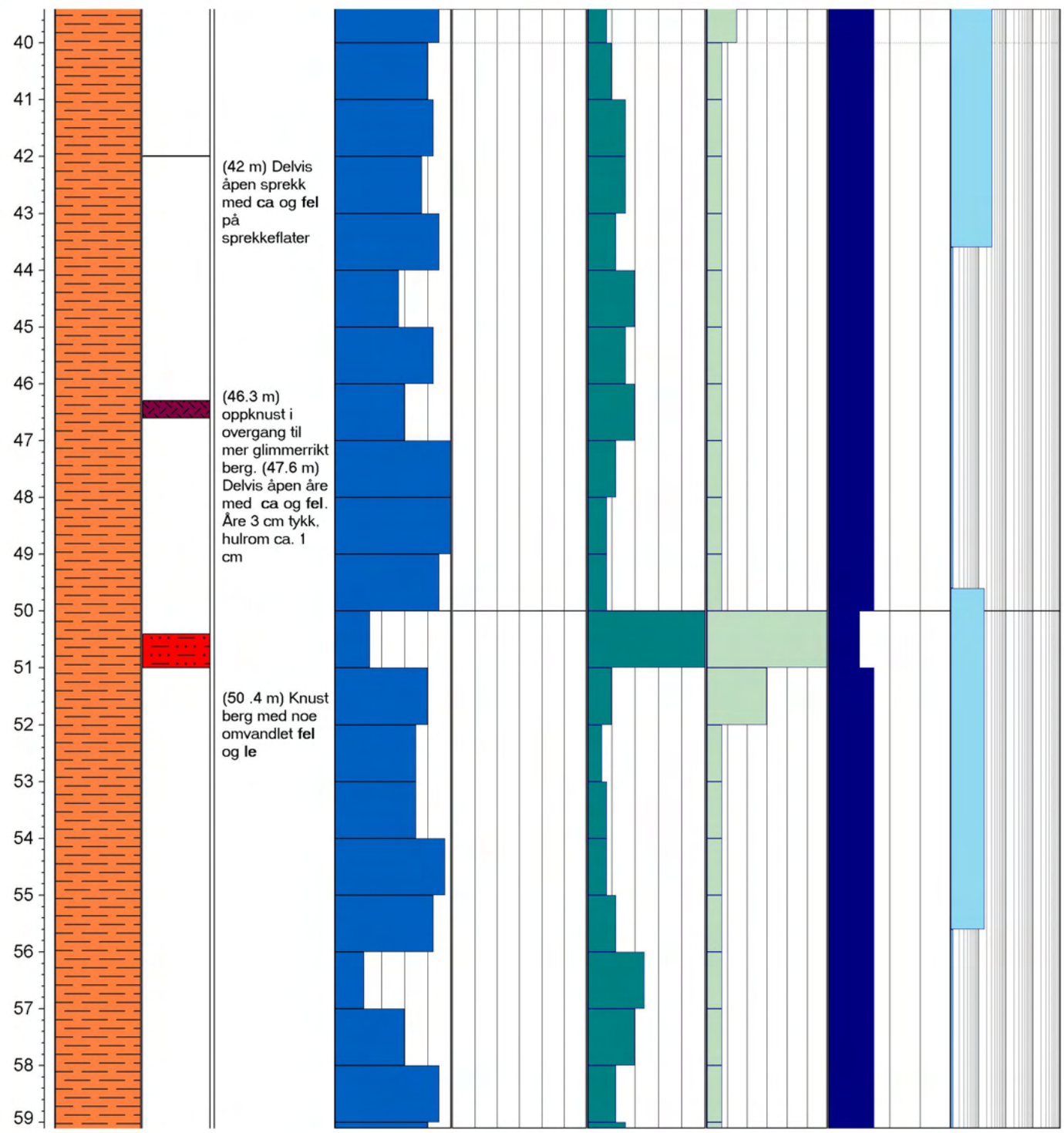
Soner
Gjenstøpt under boring
Knust
Svært oppsprukket
Svakhetssone
Boreteknisk feil

Sprekkemateriale
le=leire, ep=epidot
ca=kalsitt, kl=kloritt, kv=kvarts
fel=feltspat, ru=rust
kis=kismineraler

Forvitring
1: Ingen 4: Sterkt
2: Litt 5: Fullstendig
3: Moderat 6: Jord

Vanntap (LU)
<1 Meget lavt 10-100 Moderat
0,1-1 Lavt > 100 Svært høyt
1-10 Moderat

Dyp (m)	Bergart	Soner	Merknader	RQD 0–100	Forvitring 0–6	F (spr./m) 0–25	Ja 0–8	Jr 0–4	Lugeon 0 1 100 / 0,1 10



Kongshaugstranda RA - Kjernelogg

Multiconsult

Rapport nr. AVM-20-G-RAP-002 Vedlegg nr. A

Borhull: BH-1 **Høyde:** 57	**Orientering:** 297 **Inklinasjon:** -10°	**Total lengde:** 300,7 m **Side 4 av 16**	**Koordinat X:** 363113 **Koordinat Y:** 6924451

Sprekkeruhetstall, Jr
4,0: Diskontinuerlige
3,0: Ru, ujevn, bølgete
2,0: Glatt, bølgete
1,5: Glidespeil, bølgete
1,5: Ru, ujevn, plan
1,0: Glatt, plan
0,5: Glidespeil, plan

RQD
90-100: Meget lite oppsprukket
75-90: Lite oppsprukket
50-75: Moderat oppsprukket
25-50: Sterkt oppsprukket
0-25: Meget sterkt oppsprukket

Bergart
Granittisk gneis
Pegmatittisk gneis
Kjernetap

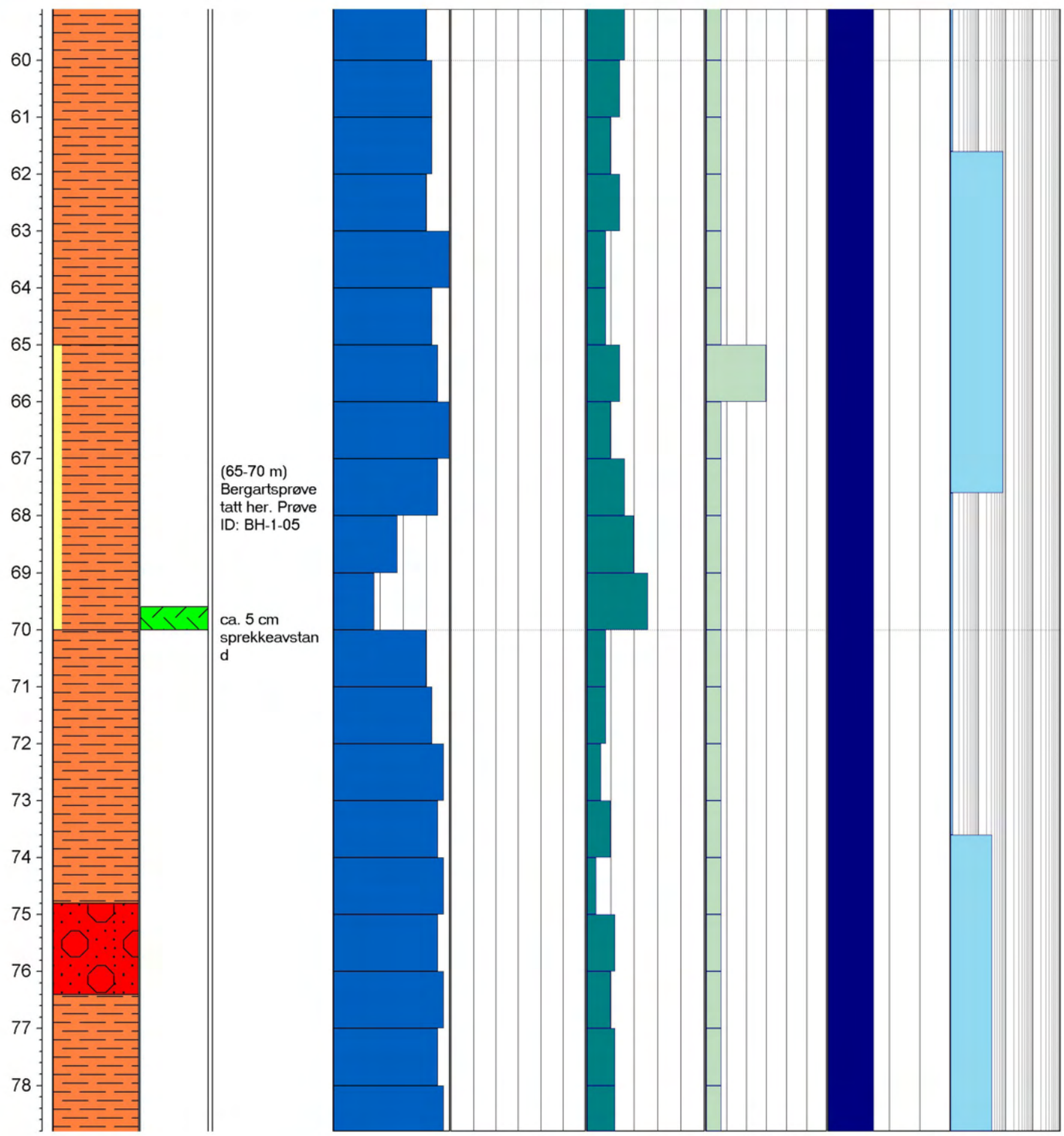
Soner
Gjenstøpt under boring
Knust
Svært oppsprukket
Svakhetssone
Boreteknisk feil

Sprekkemateriale
le=leire, ep=epidot
ca=kalsitt, kl=kloritt, kv=kvarts
fel=feltspat, ru=rust
kis=kismineraler

Forvitring
1: Ingen
2: Litt
3: Moderat
4: Sterkt
5: Fullstendig
6: Jord

Vanntap (LU)
<1 Meget lavt
0,1-1 Lavt
1-10 Moderat
10-100 Moderat
> 100 Svært høyt

Dyp (m)	Bergart	Soner	Merknader	RQD 0–100	Forvitring 0–6	F (spr./m) 0–25	Ja 0–8	Jr 0–4	Lugeon 0–100 (0,1–10)



Multiconsult

Kongshaugstranda RA - Kjernelogg

Rapport nr. AVM-20-G-RAP-002 Vedlegg nr. A

Borhull: BH-1 **Høyde:** 57	**Orientering:** 297 **Inklinasjon:** -10°	**Total lengde:** 300,7 m **Side 5 av 16**	**Koordinat X:** 363113 **Koordinat Y:** 6924451

Sprekkeruhetstall, Jr
4,0: Diskontinuerlige
3,0: Ru, ujevn, bølgete
2,0: Glatt, bølgete
1,5: Glidespeil, bølgete
1,5: Ru, ujevn, plan
1,0: Glatt, plan
0,5: Glidespeil, plan

RQD
90-100: Meget lite oppsprukket
75-90: Lite oppsprukket
50-75: Moderat oppsprukket
25-50: Sterkt oppsprukket
0-25: Meget sterkt oppsprukket

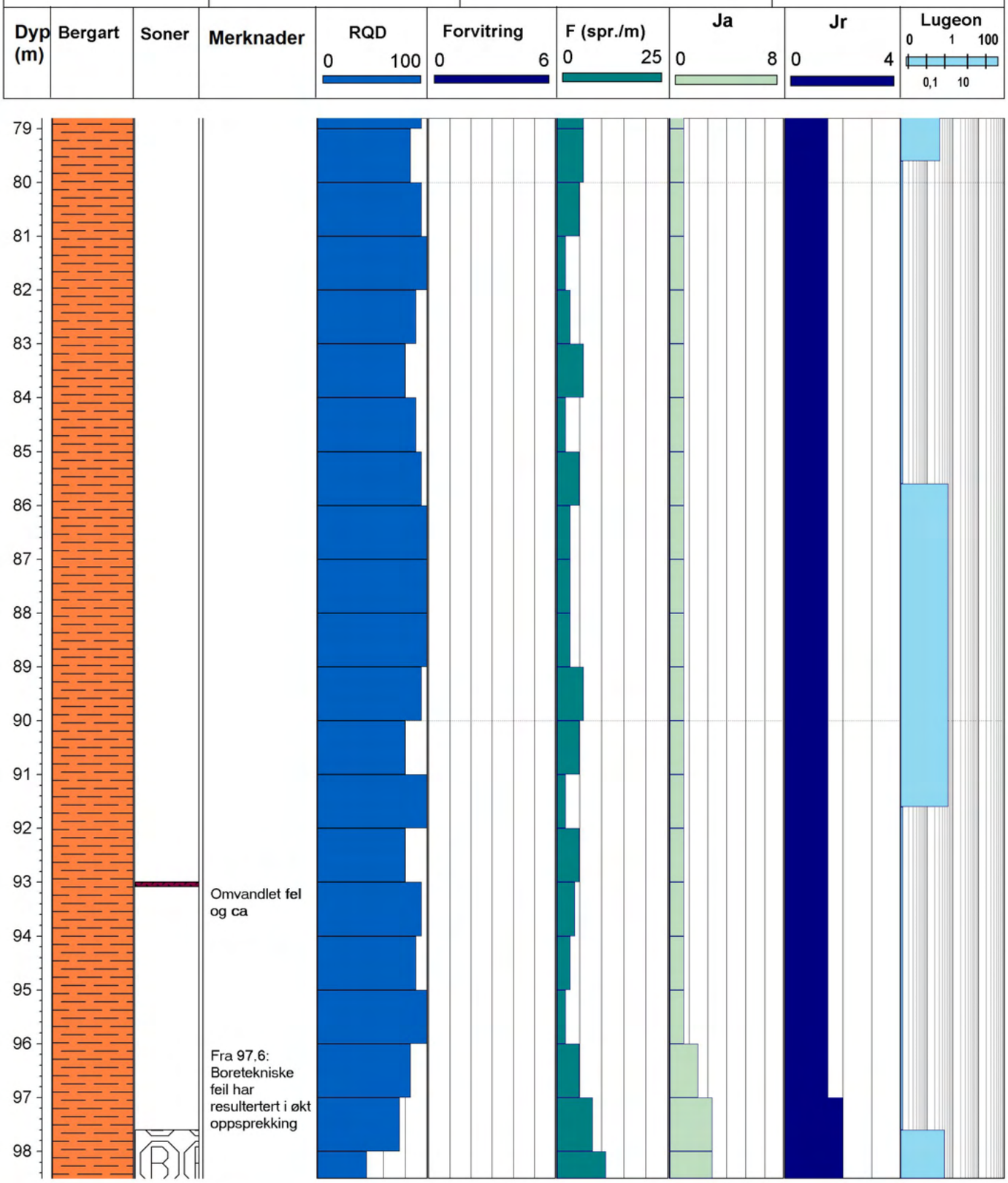
Bergart
Granittisk gneis
Pegmatittisk gneis
Kjernetap

Soner
Gjenstøpt under boring
Knust
Svært oppsprukket
Svakhetssone
Boreteknisk feil

Sprekkemateriale
le=leire, ep=epidot
ca=kalsitt, kl=kloritt, kv=kvarts
fel=feltspat, ru=rust
kis=kismineraler

Forvitring
1: Ingen
2: Litt
3: Moderat
4: Sterkt
5: Fullstendig
6: Jord

Vanntap (LU)
<1 Meget lavt
0,1-1 Lavt
1-10 Moderat
10-100 Moderat
> 100 Svært høyt



Kongshaugstranda RA - Kjernelogg

Multiconsult

Rapport nr. AVM-20-G-RAP-002 Vedlegg nr. A

Borhull: BH-1 **Høyde:** 57	**Orientering:** 297 **Inklinasjon:** -10°	**Total lengde:** 300,7 m **Side 6 av 16**	**Koordinat X:** 363113 **Koordinat Y:** 6924451

Sprekkeruhetstall, Jr
4,0: Diskontinuerlige
3,0: Ru, ujevn, bølgete
2,0: Glatt, bølgete
1,5: Glidespeil, bølgete
1,5: Ru, ujevn, plan
1,0: Glatt, plan
0,5: Glidespeil, plan

RQD
90-100: Meget lite oppsprukket
75-90: Lite oppsprukket
50-75: Moderat oppsprukket
25-50: Sterkt oppsprukket
0-25: Meget sterkt oppsprukket

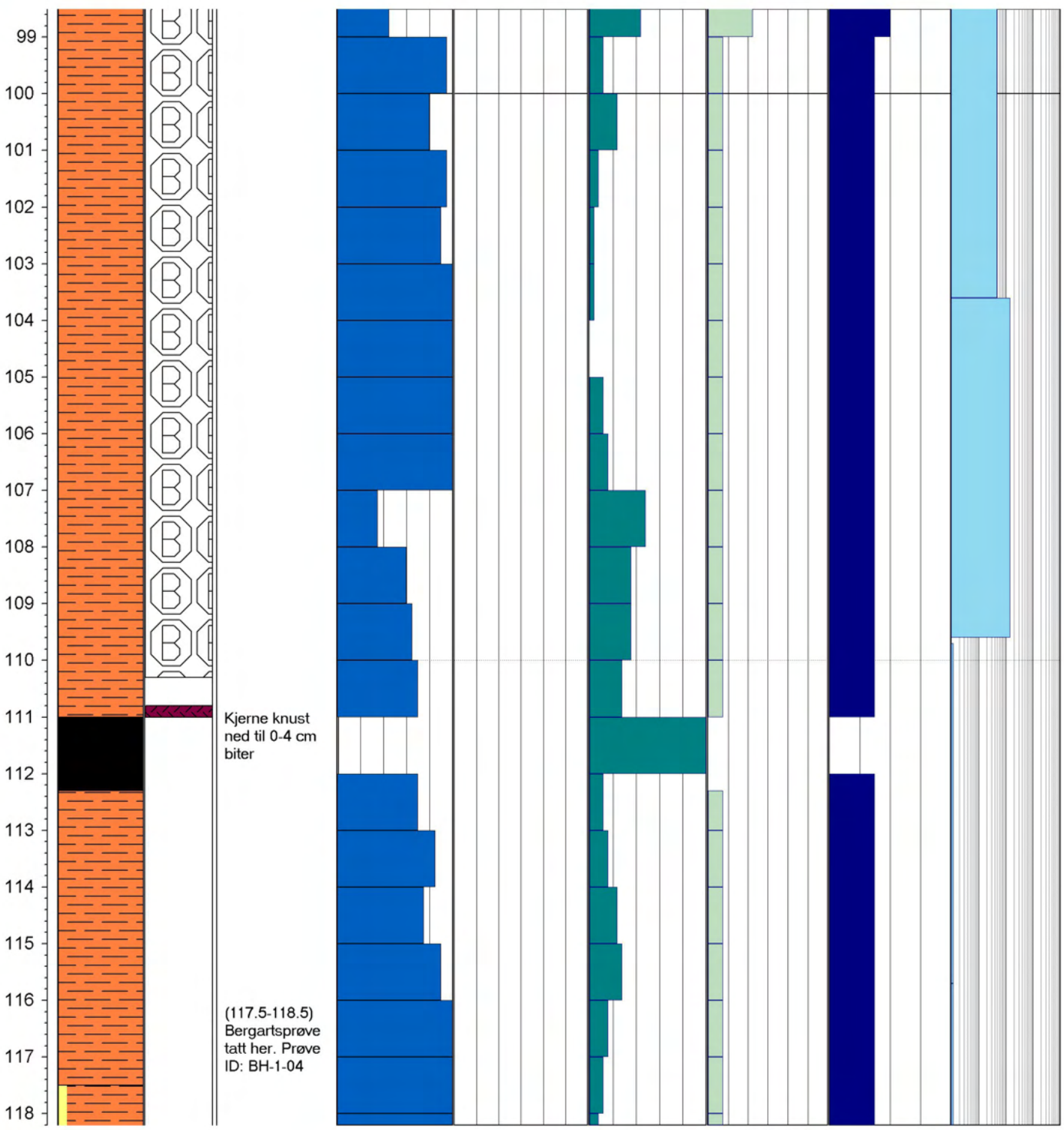
Bergart
Granittisk gneis
Pegmatittisk gneis
Kjernetap

Soner
Gjenstøpt under boring
Knust
Svært oppsprukket
Svakhetssone
Boreteknisk feil

Sprekkemateriale
le=leire, ep=epidot
ca=kalsitt, kl=kloritt, kv=kvarts
fel=feltspat, ru=rust
kis=kismineraler

Forvitring
1: Ingen
2: Litt
3: Moderat
4: Sterkt
5: Fullstendig
6: Jord

Vanntap (LU)
<1 Meget lavt
0,1-1 Lavt
1-10 Moderat
10-100 Moderat
> 100 Svært høyt



Kongshaugstranda RA - Kjernelogg

Multiconsult

Rapport nr. AVM-20-G-RAP-002 Vedlegg nr. A

Borhull: BH-1 **Høyde:** 57	**Orientering:** 297 **Inklinasjon:** -10°	**Total lengde:** 300,7 m **Side 7 av 16**	**Koordinat X:** 363113 **Koordinat Y:** 6924451

Sprekkeruhetstall, Jr
4,0: Diskontinuerlige
3,0: Ru, ujevn, bølgete
2,0: Glatt, bølgete
1,5: Glidespeil, bølgete
1,5: Ru, ujevn, plan
1,0: Glatt, plan
0,5: Glidespeil, plan

RQD
90-100: Meget lite oppsprukket
75-90: Lite oppsprukket
50-75: Moderat oppsprukket
25-50: Sterkt oppsprukket
0-25: Meget sterkt oppsprukket

Bergart
Granittisk gneis
Pegmatittisk gneis
Kjernetap

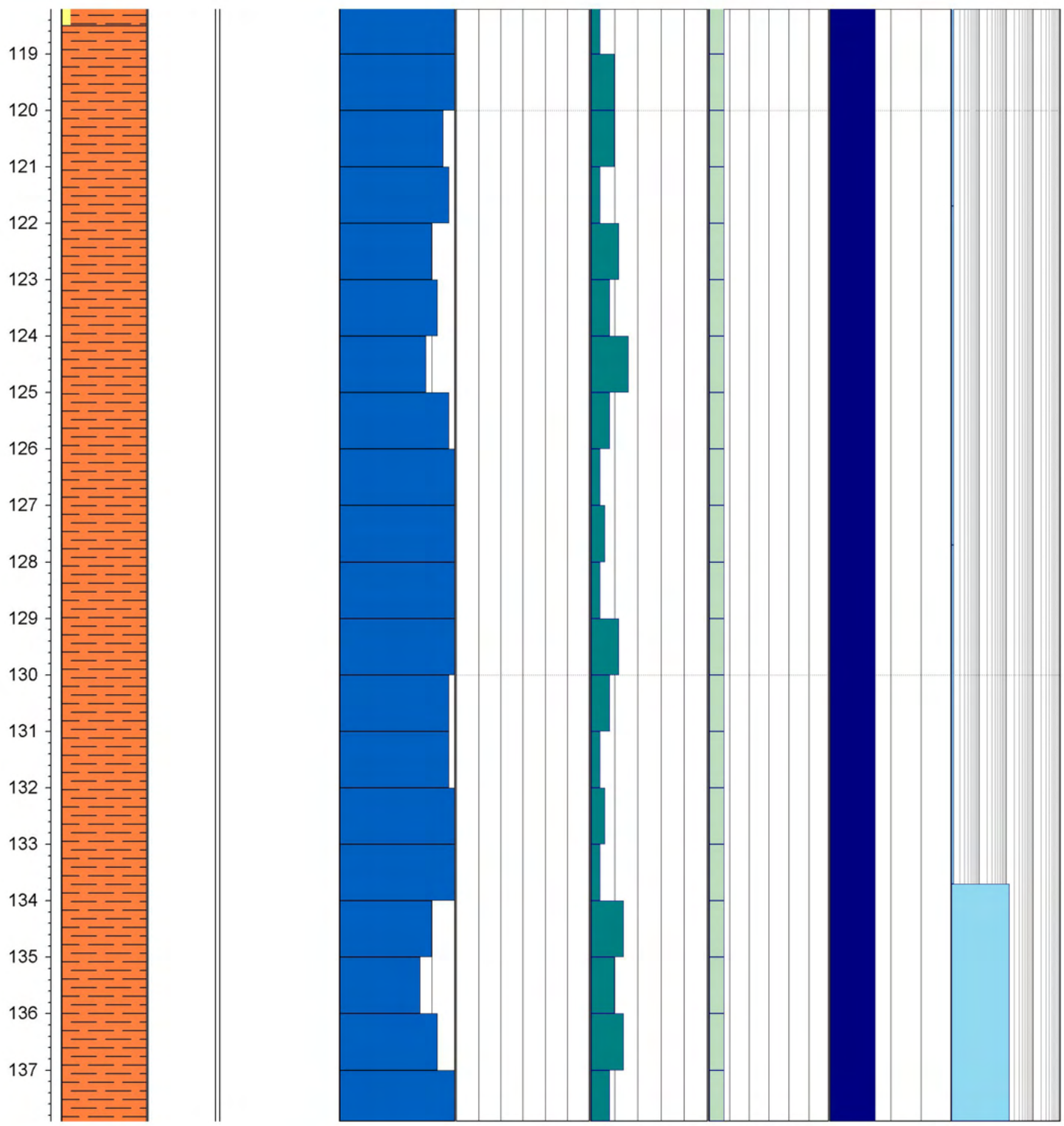
Soner
Gjenstøpt under boring
Knust
Svært oppsprukket
Svakhetssone
Boreteknisk feil

Sprekkemateriale
le=leire, ep=epidot
ca=kalsitt, kl=kloritt, kv=kvarts
fel=feltspat, ru=rust
kis=kismineraler

Forvitring
1: Ingen
2: Litt
3: Moderat
4: Sterkt
5: Fullstendig
6: Jord

Vanntap (LU)
<1 Meget lavt
0,1-1 Lavt
1-10 Moderat
10-100 Moderat
> 100 Svært høyt

Dyp (m)	Bergart	Soner	Merknader	RQD 0 100	Forvitring 0 6	F (spr./m) 0 25	Ja 0 8	Jr 0 4	Lugeon 0 1 100 0,1 10



Kongshaugstranda RA - Kjernelogg

Multiconsult

Rapport nr. AVM-20-G-RAP-002 Vedlegg nr. A

Borhull: BH-1 **Høyde:** 57	**Orientering:** 297 **Inklinasjon:** -10°	**Total lengde:** 300,7 m **Side 8 av 16**	**Koordinat X:** 363113 **Koordinat Y:** 6924451

Sprekkeruhetstall, Jr
4,0: Diskontinuerlige
3,0: Ru, ujevn, bølgete
2,0: Glatt, bølgete
1,5: Glidespeil, bølgete
1,5: Ru, ujevn, plan
1,0: Glatt, plan
0,5: Glidespeil, plan

RQD
90-100: Meget lite oppsprukket
75-90: Lite oppsprukket
50-75: Moderat oppsprukket
25-50: Sterkt oppsprukket
0-25: Meget sterkt oppsprukket

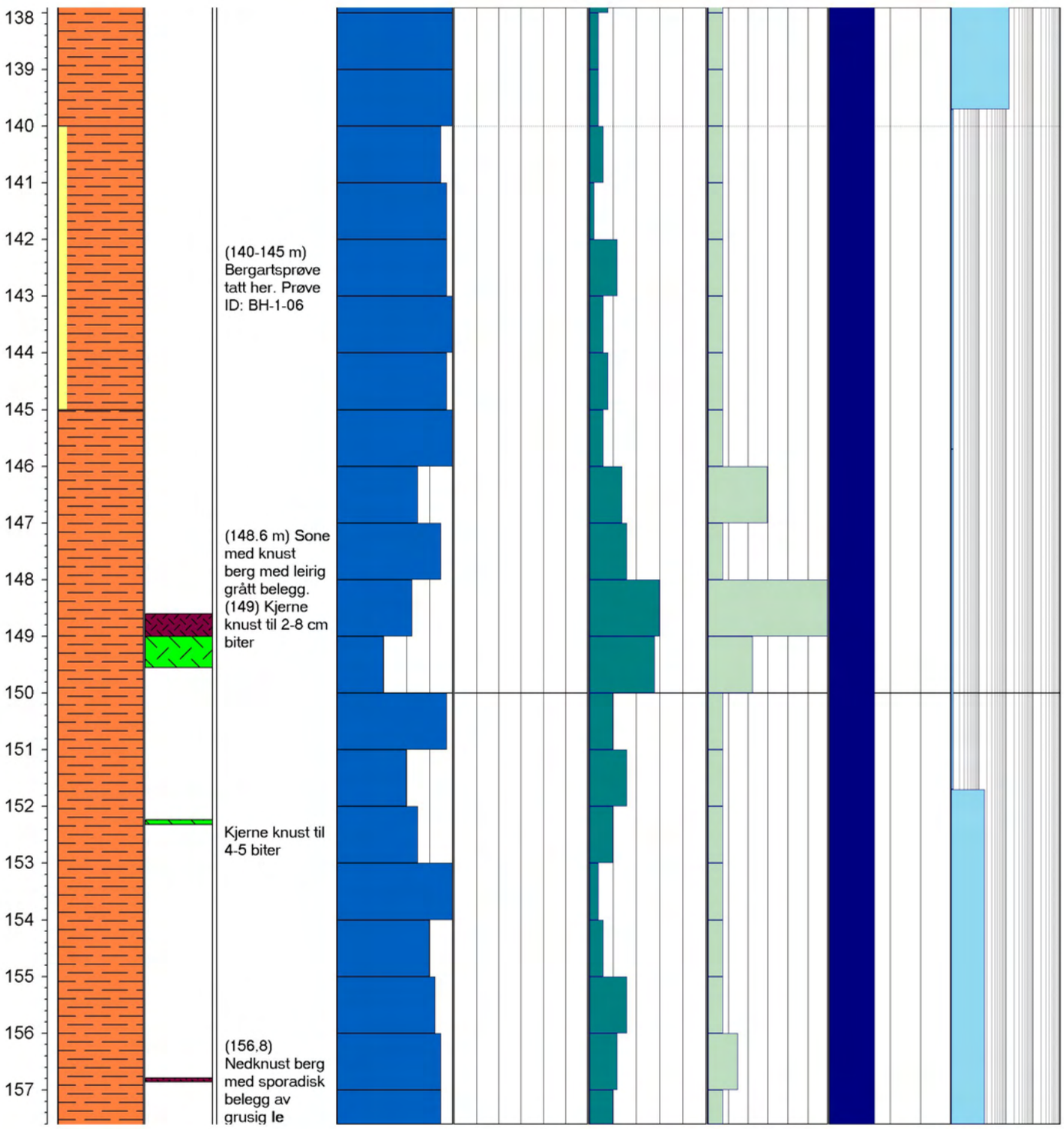
Bergart
Granittisk gneis
Pegmatittisk gneis
Kjernetap

Soner
Gjenstøpt under boring
Knust
Svært oppsprukket
Svakhetssone
Boreteknisk feil

Sprekkemateriale
le=leire, ep=epidot
ca=kalsitt, kl=kloritt, kv=kvarts
fel=feltspat, ru=rust
kis=kismineraler

Forvitring
1: Ingen
2: Litt
3: Moderat
4: Sterkt
5: Fullstendig
6: Jord

Vanntap (LU)
<1 Meget lavt
0,1-1 Lavt
1-10 Moderat
10-100 Moderat
> 100 Svært høyt



Kongshaugstranda RA - Kjernelogg

Multiconsult

Rapport nr. AVM-20-G-RAP-002 Vedlegg nr. A

Borhull: BH-1 **Høyde:** 57	**Orientering:** 297 **Inklinasjon:** -10°	**Total lengde:** 300,7 m **Side 9 av 16**	**Koordinat X:** 363113 **Koordinat Y:** 6924451

Sprekkeruhetstall, Jr
4,0: Diskontinuerlige
3,0: Ru, ujevn, bølgete
2,0: Glatt, bølgete
1,5: Glidespeil, bølgete
1,5: Ru, ujevn, plan
1,0: Glatt, plan
0,5: Glidespeil, plan

RQD
90-100: Meget lite oppsprukket
75-90: Lite oppsprukket
50-75: Moderat oppsprukket
25-50: Sterkt oppsprukket
0-25: Meget sterkt oppsprukket

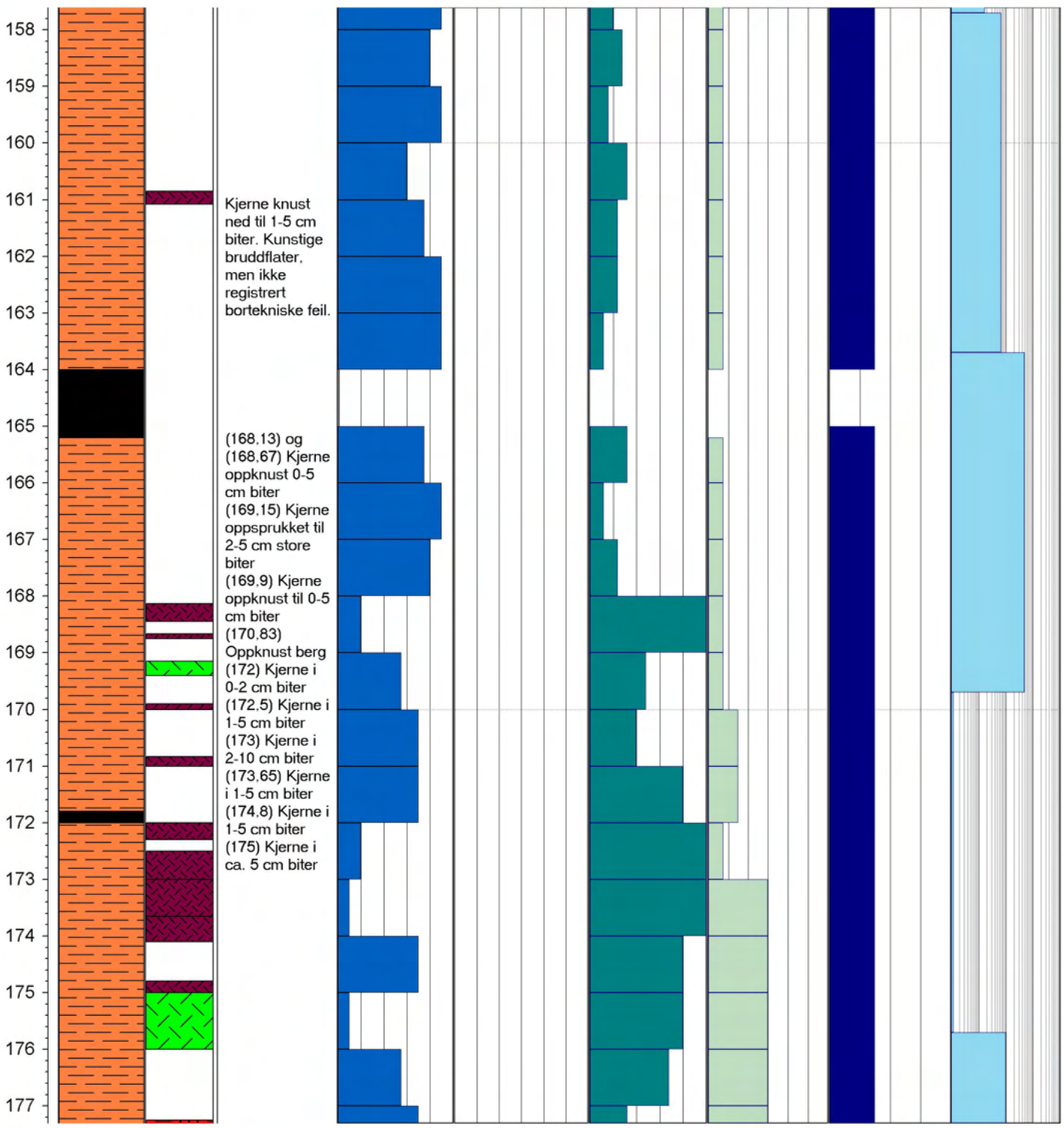
Bergart
Granittisk gneis
Pegmatittisk gneis
Kjernetap

Soner
Gjenstøpt under boring
Knust
Svært oppsprukket
Svakhetssone
Boreteknisk feil

Sprekkemateriale
le=leire, ep=epidot
ca=kalsitt, kl=kloritt, kv=kvarts
fel=feltspat, ru=rust
kis=kismineraler

Forvitring
1: Ingen
2: Litt
3: Moderat
4: Sterkt
5: Fullstendig
6: Jord

Vanntap (LU)
<1 Meget lavt
0,1-1 Lavt
1-10 Moderat
10-100 Moderat
> 100 Svært høyt



Kongshaugstranda RA - Kjernelogg

Multiconsult

Rapport nr. AVM-20-G-RAP-002 Vedlegg nr. A

Borhull: BH-1 **Høyde:** 57	**Orientering:** 297 **Inklinasjon:** -10°	**Total lengde:** 300,7 m **Side 10 av 16**	**Koordinat X:** 363113 **Koordinat Y:** 6924451

Sprekkeruhetstall, Jr
4,0: Diskontinuerlige
3,0: Ru, ujevn, bølgete
2,0: Glatt, bølgete
1,5: Glidespeil, bølgete
1,5: Ru, ujevn, plan
1,0: Glatt, plan
0,5: Glidespeil, plan

RQD
90-100: Meget lite oppsprukket
75-90: Lite oppsprukket
50-75: Moderat oppsprukket
25-50: Sterkt oppsprukket
0-25: Meget sterkt oppsprukket

Bergart
Granittisk gneis
Pegmatittisk gneis
Kjernetap

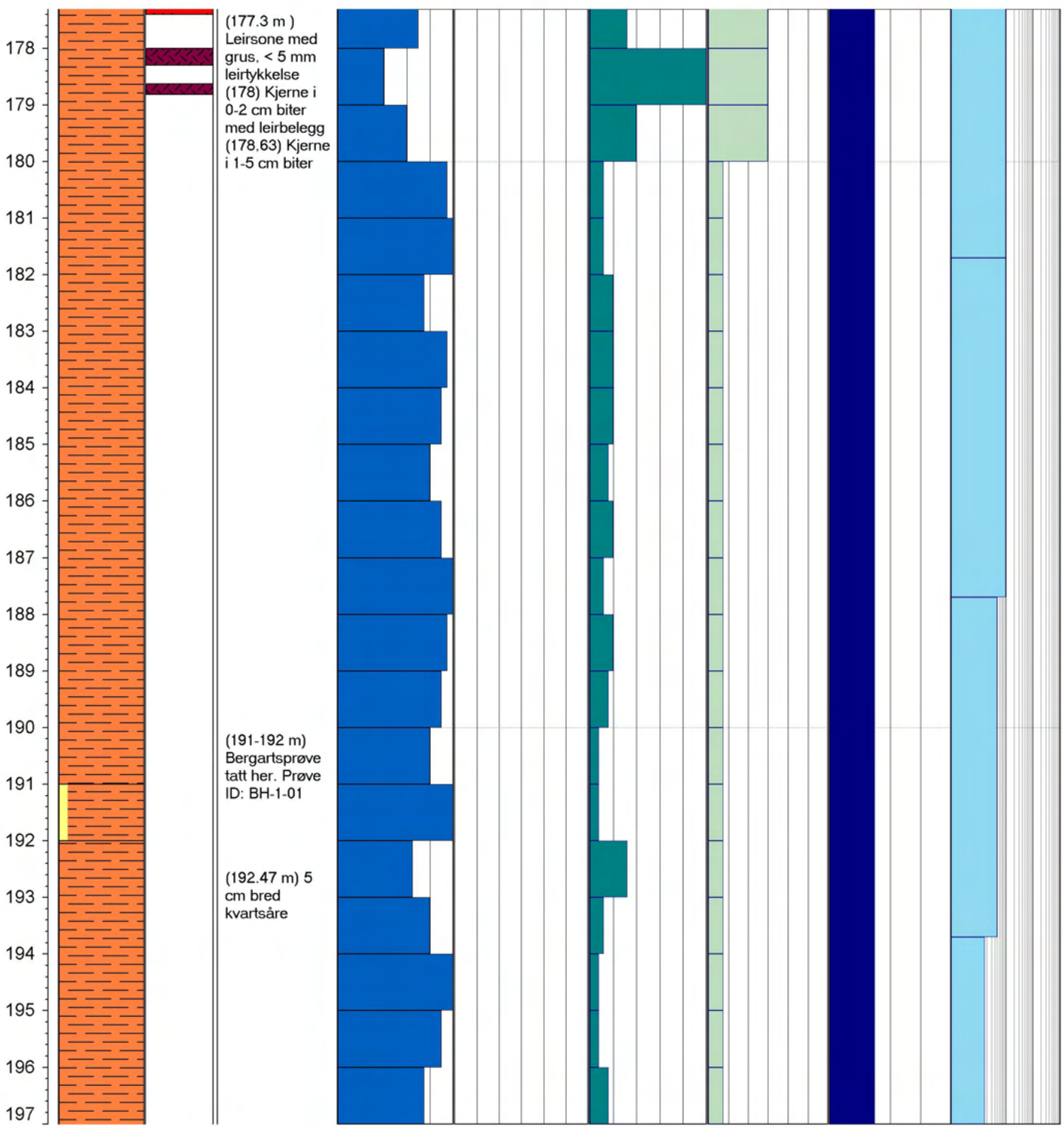
Soner
Gjenstøpt under boring
Knust
Svært oppsprukket
Svakhetssone
Boreteknisk feil

Sprekkemateriale
le=leire, ep=epidot
ca=kalsitt, kl=kloritt, kv=kvarts
fel=feltspat, ru=rust
kis=kismineraler

Forvitring
1: Ingen
2: Litt
3: Moderat
4: Sterkt
5: Fullstendig
6: Jord

Vanntap (LU)
<1 Meget lavt
0,1-1 Lavt
1-10 Moderat
10-100 Moderat
> 100 Svært høyt

Dyp (m)	Bergart	Soner	Merknader	RQD 0–100	Forvitring 0–6	F (spr./m) 0–25	Ja 0–8	Jr 0–4	Lugeon 0–1–100 (0,1–10)



Kongshaugstranda RA - Kjernelogg

Multiconsult

Rapport nr. AVM-20-G-RAP-002 Vedlegg nr. A

Borhull: BH-1 **Høyde:** 57	**Orientering:** 297 **Inklinasjon:** -10°	**Total lengde:** 300,7 m **Side 11 av 16**	**Koordinat X:** 363113 **Koordinat Y:** 6924451

Sprekkeruhetstall, Jr
4,0: Diskontinuerlige
3,0: Ru, ujevn, bølgete
2,0: Glatt, bølgete
1,5: Glidespeil, bølgete
1,5: Ru, ujevn, plan
1,0: Glatt, plan
0,5: Glidespeil, plan

RQD
90-100: Meget lite oppsprukket
75-90: Lite oppsprukket
50-75: Moderat oppsprukket
25-50: Sterkt oppsprukket
0-25: Meget sterkt oppsprukket

Bergart
Granittisk gneis
Pegmatittisk gneis
Kjernetap

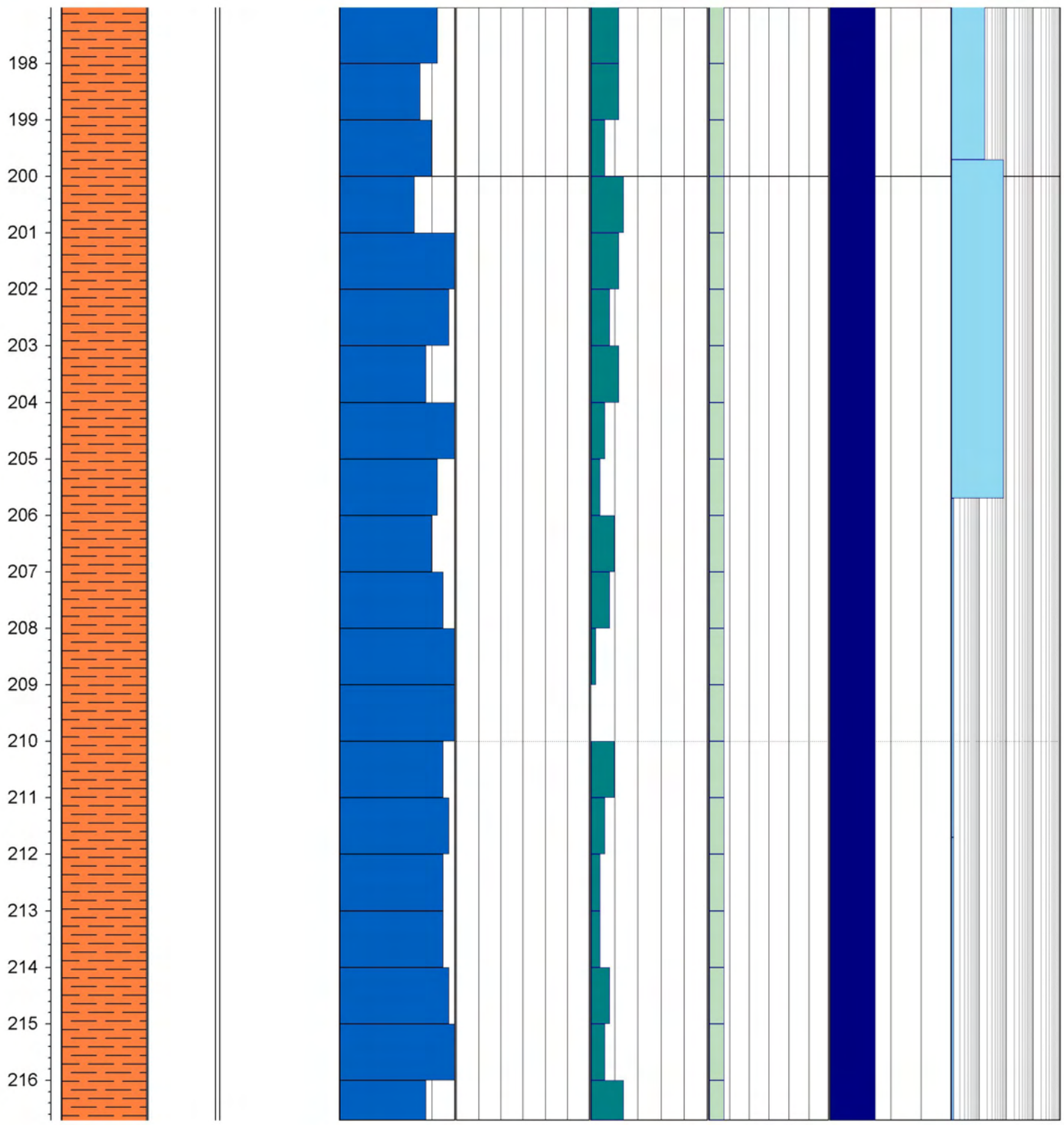
Soner
Gjenstøpt under boring
Knust
Svært oppsprukket
Svakhetssone
Boreteknisk feil

Sprekkemateriale
le=leire, ep=epidot
ca=kalsitt, kl=kloritt, kv=kvarts
fel=feltspat, ru=rust
kis=kismineraler

Forvitring
1: Ingen
2: Litt
3: Moderat
4: Sterkt
5: Fullstendig
6: Jord

Vanntap (LU)
<1 Meget lavt
0,1-1 Lavt
1-10 Moderat
10-100 Moderat
> 100 Svært høyt

Dyp (m)	Bergart	Soner	Merknader	RQD 0–100	Forvitring 0–6	F (spr./m) 0–25	Ja 0–8	Jr 0–4	Lugeon 0–1–100 (0,1–10)



Kongshaugstranda RA - Kjernelogg

Multiconsult

Rapport nr. AVM-20-G-RAP-002 Vedlegg nr. A

Borhull: BH-1 **Høyde:** 57	**Orientering:** 297 **Inklinasjon:** -10°	**Total lengde:** 300,7 m **Side 12 av 16**	**Koordinat X:** 363113 **Koordinat Y:** 6924451

Sprekkeruhetstall, Jr
4,0: Diskontinuerlige
3,0: Ru, ujevn, bølgete
2,0: Glatt, bølgete
1,5: Glidespeil, bølgete
1,5: Ru, ujevn, plan
1,0: Glatt, plan
0,5: Glidespeil, plan

RQD
90-100: Meget lite oppsprukket
75-90: Lite oppsprukket
50-75: Moderat oppsprukket
25-50: Sterkt oppsprukket
0-25: Meget sterkt oppsprukket

Bergart
Granittisk gneis
Pegmatittisk gneis
Kjernetap

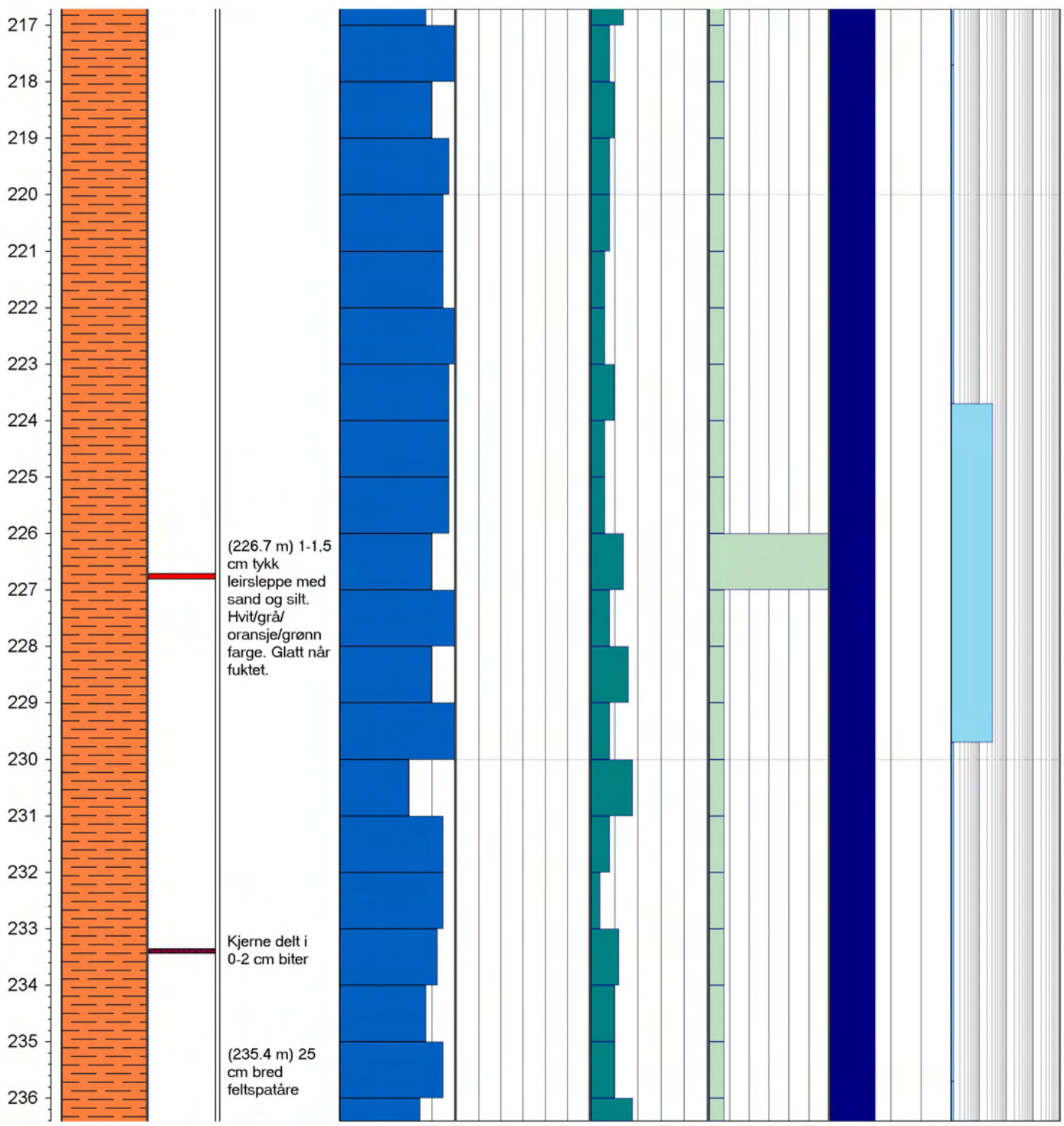
Soner
Gjenstøpt under boring
Knust
Svært oppsprukket
Svakhetssone
Boreteknisk feil

Sprekkemateriale
le=leire, ep=epidot
ca=kalsitt, kl=kloritt, kv=kvarts
fel=feltspat, ru=rust
kis=kismineraler

Forvitring
1: Ingen
2: Litt
3: Moderat
4: Sterkt
5: Fullstendig
6: Jord

Vanntap (LU)
<1 Meget lavt
0,1-1 Lavt
1-10 Moderat
10-100 Moderat
> 100 Svært høyt

Dyp (m)	Bergart	Soner	Merknader	RQD 0–100	Forvitring 0–6	F (spr./m) 0–25	Ja 0–8	Jr 0–4	Lugeon 0–1–100 (0,1–10)



Kongshaugstranda RA - Kjernelogg

Multiconsult

Rapport nr. AVM-20-G-RAP-002 Vedlegg nr. A

Borhull: BH-1 **Høyde:** 57	**Orientering:** 297 **Inklinasjon:** -10°	**Total lengde:** 300,7 m **Side 13 av 16**	**Koordinat X:** 363113 **Koordinat Y:** 6924451

Sprekkeruhetstall, Jr
4,0: Diskontinuerlige
3,0: Ru, ujevn, bølgete
2,0: Glatt, bølgete
1,5: Glidespeil, bølgete
1,5: Ru, ujevn, plan
1,0: Glatt, plan
0,5: Glidespeil, plan

RQD
90-100: Meget lite oppsprukket
75-90: Lite oppsprukket
50-75: Moderat oppsprukket
25-50: Sterkt oppsprukket
0-25: Meget sterkt oppsprukket

Bergart
Granittisk gneis
Pegmatittisk gneis
Kjernetap

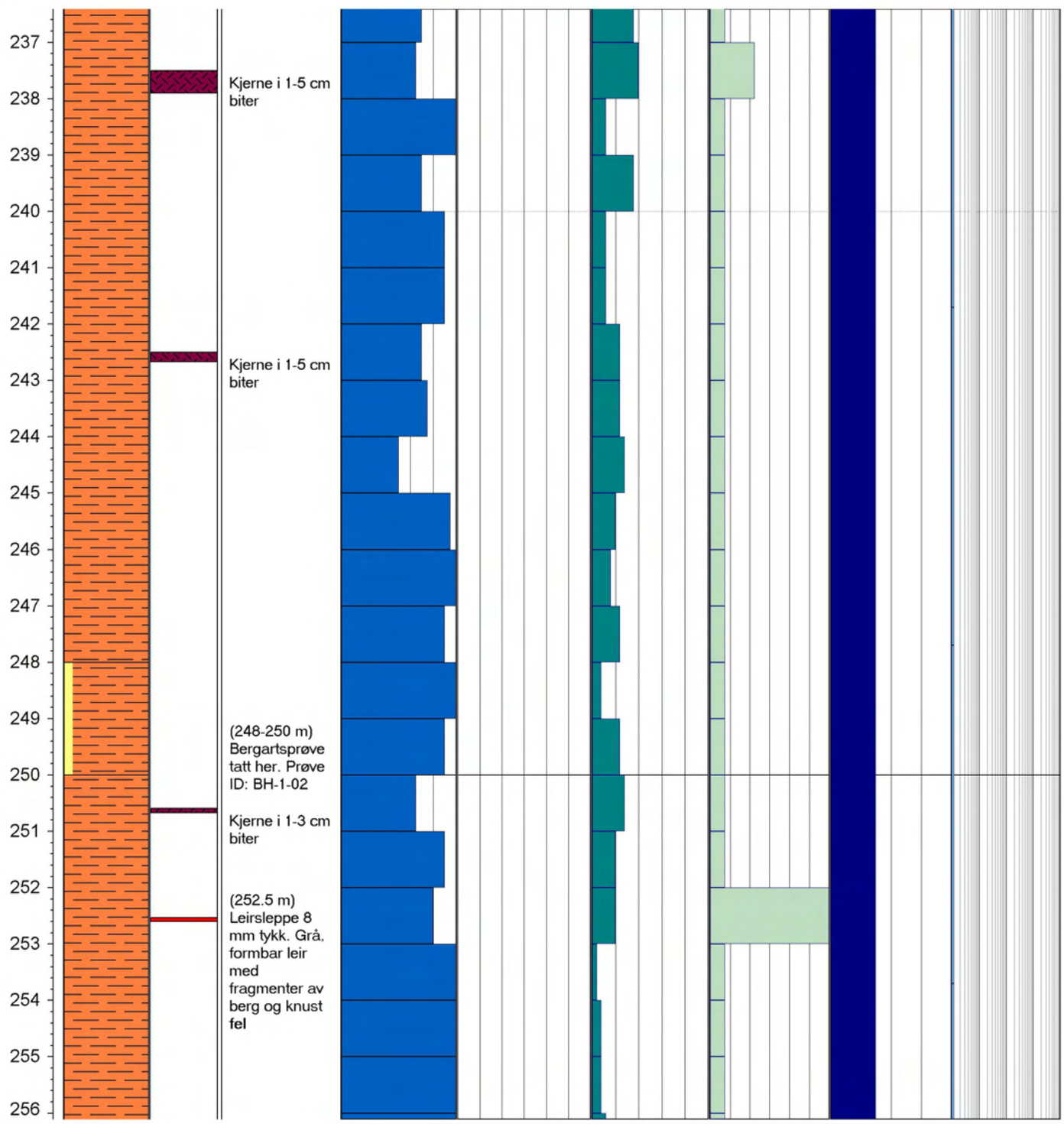
Soner
Gjenstøpt under boring
Knust
Svært oppsprukket
Svakhetssone
Boreteknisk feil

Sprekkemateriale
le=leire, ep=epidot
ca=kalsitt, kl=kloritt, kv=kvarts
fel=feltspat, ru=rust
kis=kismineraler

Forvitring
1: Ingen
2: Litt
3: Moderat
4: Sterkt
5: Fullstendig
6: Jord

Vanntap (LU)
<1 Meget lavt
0,1-1 Lavt
1-10 Moderat
10-100 Moderat
> 100 Svært høyt

Dyp (m)	Bergart	Soner	Merknader	RQD 0–100	Forvitring 0–6	F (spr./m) 0–25	Ja 0–8	Jr 0–4	Lugeon 0–1–100 (0,1–10)



Multiconsult

Kongshaugstranda RA - Kjernelogg

Rapport nr. AVM-20-G-RAP-002 Vedlegg nr. A

Borhull: BH-1 **Høyde:** 57	**Orientering:** 297 **Inklinasjon:** -10°	**Total lengde:** 300,7 m **Side 14 av 16**	**Koordinat X:** 363113 **Koordinat Y:** 6924451

Sprekkeruhetstall, Jr
4,0: Diskontinuerlige
3,0: Ru, ujevn, bølgete
2,0: Glatt, bølgete
1,5: Glidespeil, bølgete
1,5: Ru, ujevn, plan
1,0: Glatt, plan
0,5: Glidespeil, plan

RQD
90-100: Meget lite oppsprukket
75-90: Lite oppsprukket
50-75: Moderat oppsprukket
25-50: Sterkt oppsprukket
0-25: Meget sterkt oppsprukket

Bergart
Granittisk gneis
Pegmatittisk gneis
Kjernetap

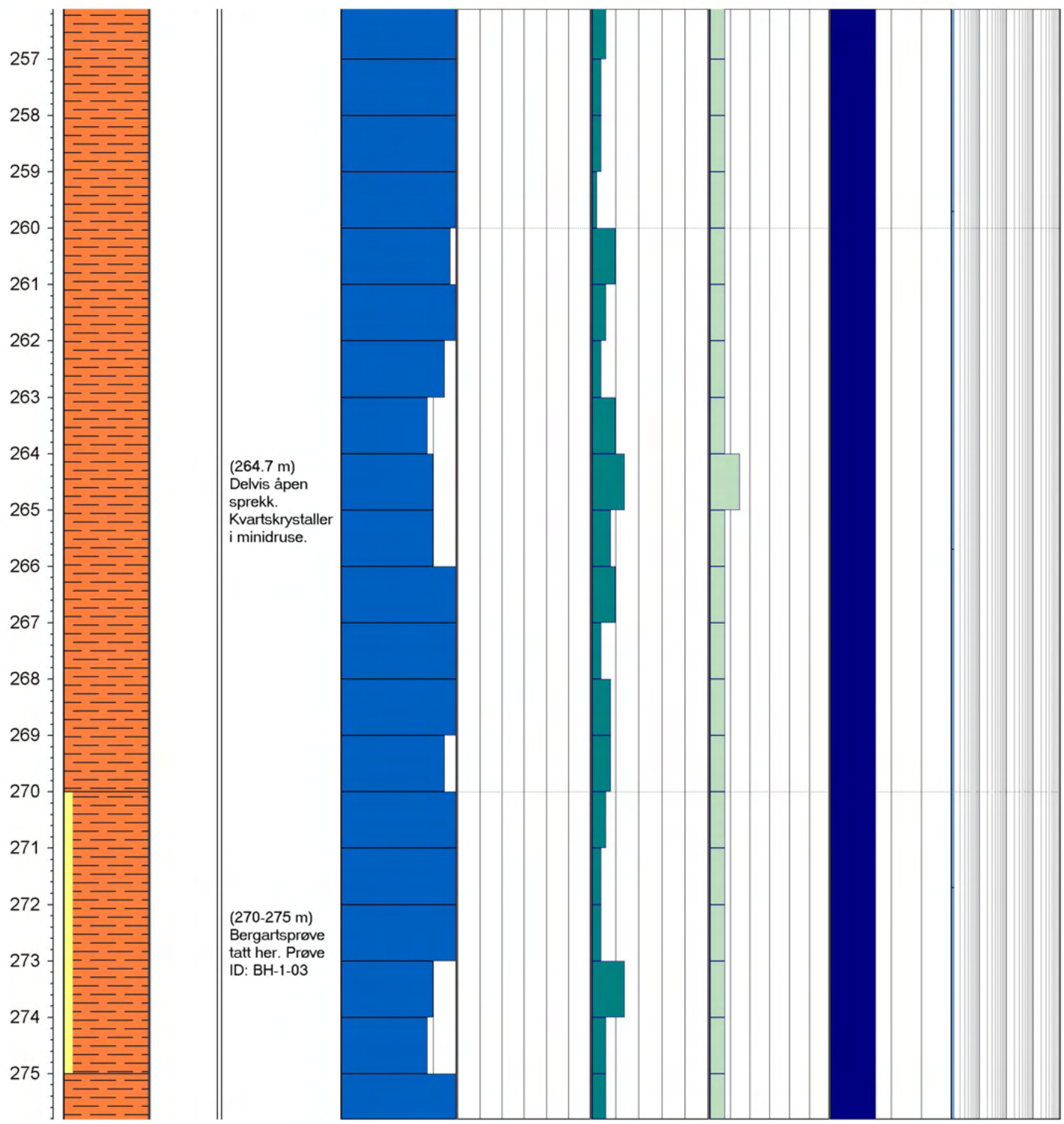
Soner
Gjenstøpt under boring
Knust
Svært oppsprukket
Svakhetssone
Boreteknisk feil

Sprekkemateriale
le=leire, ep=epidot
ca=kalsitt, kl=kloritt, kv=kvarts
fel=feltspat, ru=rust
kis=kismineraler

Forvitring
1: Ingen 4: Sterkt
2: Litt 5: Fullstendig
3: Moderat 6: Jord

Vanntap (LU)
<1 Meget lavt 10-100 Moderat
0,1-1 Lavt > 100 Svært høyt
1-10 Moderat

Dyp (m)	Bergart	Soner	Merknader	RQD 0–100	Forvitring 0–6	F (spr./m) 0–25	Ja 0–8	Jr 0–4	Lugeon 0, 1, 100 (0,1, 10)



Kongshaugstranda RA - Kjernelogg

Multiconsult

Rapport nr. AVM-20-G-RAP-002 Vedlegg nr. A

Borhull: BH-1 **Høyde:** 57	**Orientering:** 297 **Inklinasjon:** -10°	**Total lengde:** 300,7 m **Side 15 av 16**	**Koordinat X:** 363113 **Koordinat Y:** 6924451

Sprekkeruhetstall, Jr
4,0: Diskontinuerlige
3,0: Ru, ujevn, bølgete
2,0: Glatt, bølgete
1,5: Glidespeil, bølgete
1,5: Ru, ujevn, plan
1,0: Glatt, plan
0,5: Glidespeil, plan

RQD
90-100: Meget lite oppsprukket
75-90: Lite oppsprukket
50-75: Moderat oppsprukket
25-50: Sterkt oppsprukket
0-25: Meget sterkt oppsprukket

Bergart
Granittisk gneis
Pegmatittisk gneis
Kjernetap

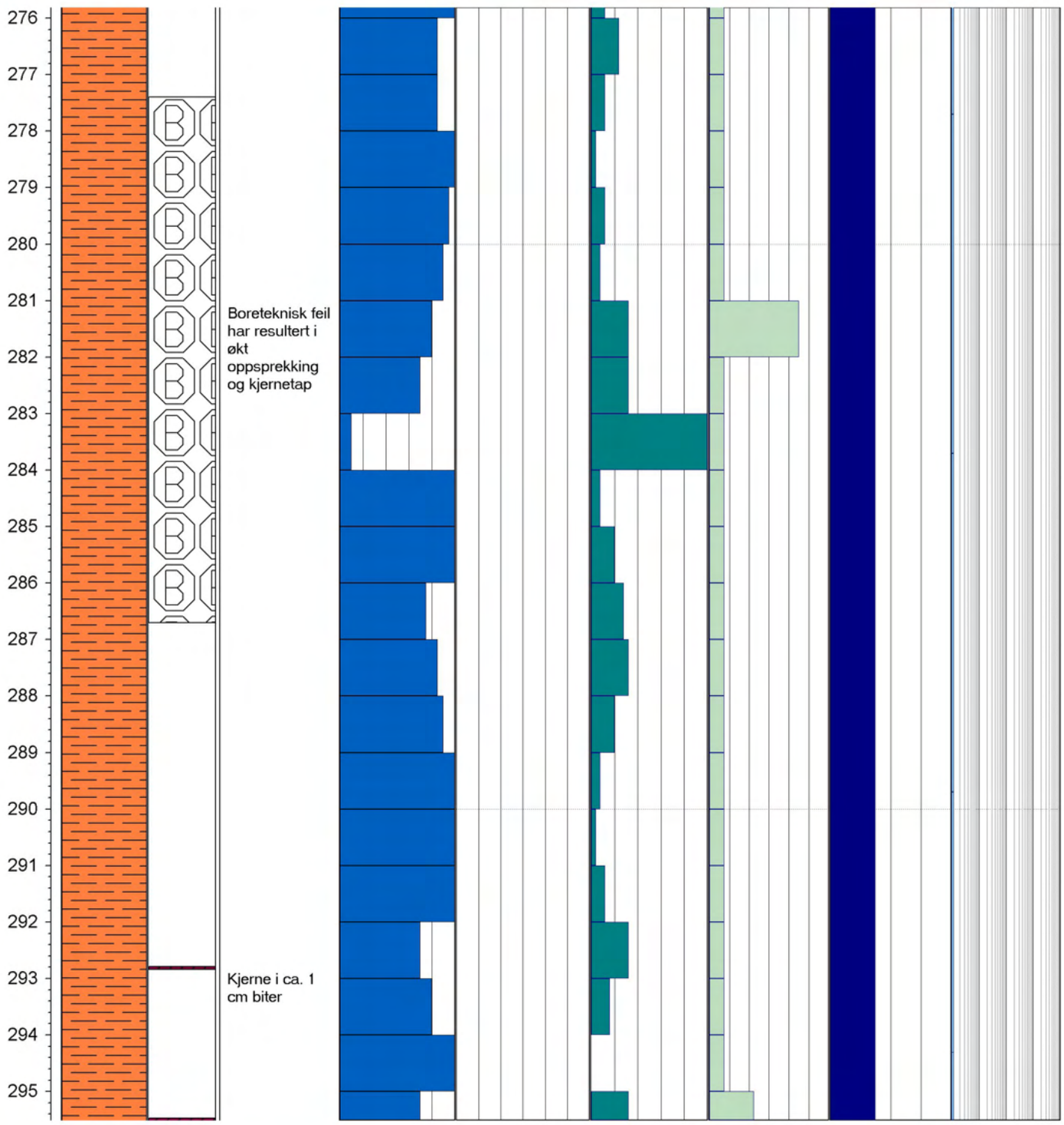
Soner
Gjenstøpt under boring
Knust
Svært oppsprukket
Svakhetssone
Boreteknisk feil

Sprekkemateriale
le=leire, ep=epidot
ca=kalsitt, kl=kloritt, kv=kvarts
fel=feltspat, ru=rust
kis=kismineraler

Forvitring
1: Ingen 4: Sterkt
2: Litt 5: Fullstendig
3: Moderat 6: Jord

Vanntap (LU)
<1 Meget lavt 10-100 Moderat
0,1-1 Lavt > 100 Svært høyt
1-10 Moderat

Dyp (m)	Bergart	Soner	Merknader	RQD 0–100	Forvitring 0–6	F (spr./m) 0–25	Ja 0–8	Jr 0–4	Lugeon 0–1–100 (0,1–10)



Multiconsult

Kongshaugstranda RA - Kjernelogg

Rapport nr. AVM-20-G-RAP-002 Vedlegg nr. A

Borhull: BH-1 **Høyde:** 57	**Orientering:** 297 **Inklinasjon:** -10°	**Total lengde:** 300,7 m **Side 16 av 16**	**Koordinat X:** 363113 **Koordinat Y:** 6924451

Sprekkeruhetstall, Jr
4,0: Diskontinuerlige
3,0: Ru, ujevn, bølgete
2,0: Glatt, bølgete
1,5: Glidespeil, bølgete
1,5: Ru, ujevn, plan
1,0: Glatt, plan
0,5: Glidespeil, plan

RQD
90-100: Meget lite oppsprukket
75-90: Lite oppsprukket
50-75: Moderat oppsprukket
25-50: Sterkt oppsprukket
0-25: Meget sterkt oppsprukket

Bergart
Granittisk gneis
Pegmatittisk gneis
Kjernetap

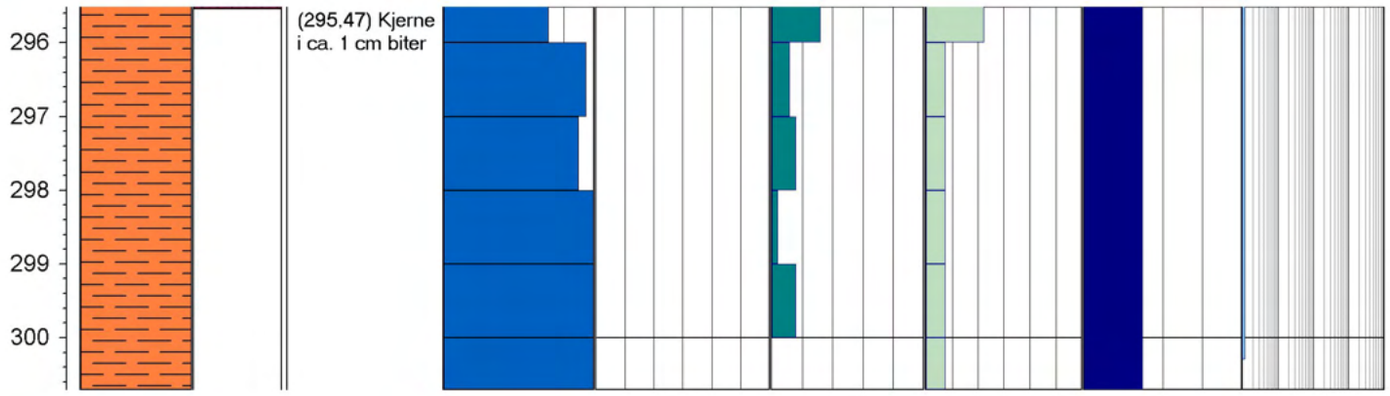
Soner
Gjenstøpt under boring
Knust
Svært oppsprukket
Svakhetssone
Boreteknisk feil

Sprekkemateriale
le=leire, ep=epidot
ca=kalsitt, kl=kloritt, kv=kvarts
fel=feltspat, ru=rust
kis=kismineraler

Forvitring
1: Ingen 4: Sterkt
2: Litt 5: Fullstendig
3: Moderat 6: Jord

Vanntap (LU)
<1 Meget lavt 10-100 Moderat
0,1-1 Lavt > 100 Svært høyt
1-10 Moderat

Dyp (m)	Bergart	Soner	Merknader	RQD 0 100	Forvitring 0 6	F (spr./m) 0 25	Ja 0 8	Jr 0 4	Lugeon 0 1 100 0,1 10



AVM-20-G-RAP-002

Vedlegg 2: Kjernefoto

Kongshaugstranda Renseanlegg Vedlegg 2 Kjernefoto

Oversikt kjernefoto

Foto 1: BH-1, 0–5 m 1
Foto 2: BH-1, 5–10 m 1
Foto 3: BH-1, 10–15 m 1
Foto 4: BH-1, 15–20 m . Merk sone på ca. 15,45 m. 2
Foto 5: BH-1, 20–25 m 2
Foto 6: BH-1, 25–30 m 2
Foto 7: BH-1, 30–35 m 3
Foto 8: BH-1, 35–40 m 3
Foto 9: BH-1, 40–45 m 3
Foto 10: BH-1, 45–50 m 4
Foto 11: BH-1, 50–55 m 4
Foto 12: BH-1, 55–60 m 4
Foto 13: BH-1, 60–65 m 5
Foto 14: BH-1, 65–70 m 5
Foto 15: BH-1, 70–75 m 5
Foto 16: BH-1, 75–80 m 6
Foto 17: BH-1, 80–85 m 6
Foto 18: BH-1, 85–90 m 6
Foto 19: BH-1, 90–95 m 7
Foto 20: BH-1, 95–100 m 7
Foto 21: BH-1, 100–105 m 7
Foto 22: BH-1, 105–110 m 8
Foto 23: BH-1, 110–115 m 8
Foto 24: BH-1, 115–120 m 8
Foto 25: BH-1, 120–125 m 9
Foto 26: BH-1, 125–130 m 9
Foto 27: BH-1, 130–135 m 9
Foto 28: BH-1, 135–140 m 10
Foto 29: BH-1, 140–145 m 10
Foto 30: BH-1, 145–150 m 10
Foto 31: BH-1, 150–155 m 11
Foto 32: BH-1, 155–160 m 11
Foto 33: BH-1, 160–165 m 11
Foto 34: BH-1, 165–170 m 12
Foto 35: BH-1, 170–175 m 12
Foto 36: BH-1, 175–180 m 12
Foto 37: BH-1, 180–185 m 13
Foto 38: BH-1, 185–190 m 13
Foto 39: BH-1, 190–195 m 13
Foto 40: BH-1, 195–200 m 14
Foto 41: BH-1, 205–210 m 14
Foto 42: BH-1, 210–215 m 14
Foto 43: BH-1, 210–215 m 15
Foto 44: BH-1, 215–220 m 15
Foto 45: BH-1, 220–225 m 15
Foto 46: BH-1, 225–230 m 16
Foto 47: BH-1, 230–235 m 16
Foto 48: BH-1, 235–240 m 16
Foto 49: BH-1, 240–245 m 17
Foto 50: BH-1, 245–250 m 17
Foto 51: BH-1, 250–255 m 17
Foto 52: BH-1, 255–260 m 18
Foto 53: BH-1, 260–265 m 18
Foto 54: BH-1, 265–270 m 18
Foto 55: BH-1, 270–275 m 19
Foto 56: BH-1, 275–280 m 19
Foto 57: BH-1, 280–285 m 19
Foto 58: BH-1, 285–290 m 20
Foto 59: BH-1, 290–295 m 20
Foto 60: BH-1, 295–300 m 20
Foto 61: BH-1, 300–300,7 m (siste kasse) 21

Foto 1: BH-1, 0–5 m

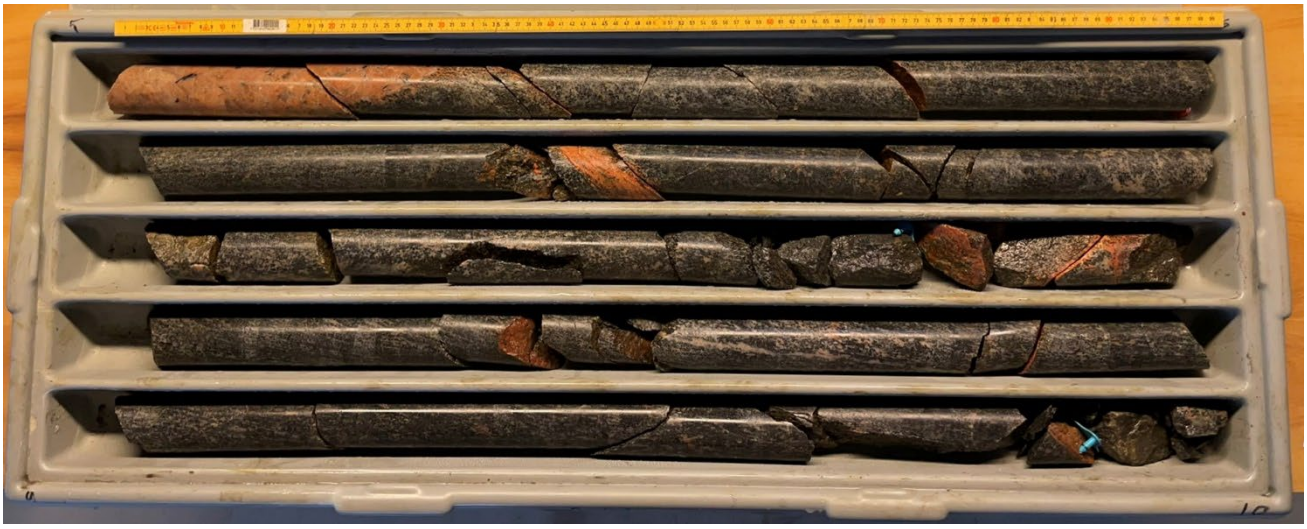


Foto 2: BH-1, 5–10 m

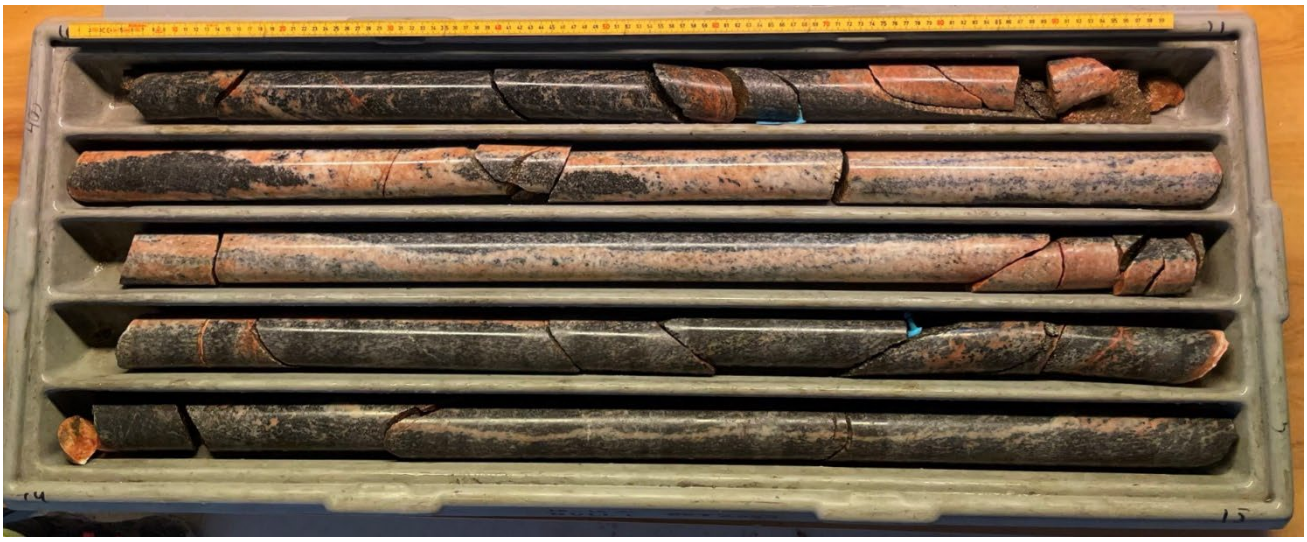


Foto 3: BH-1, 10–15 m

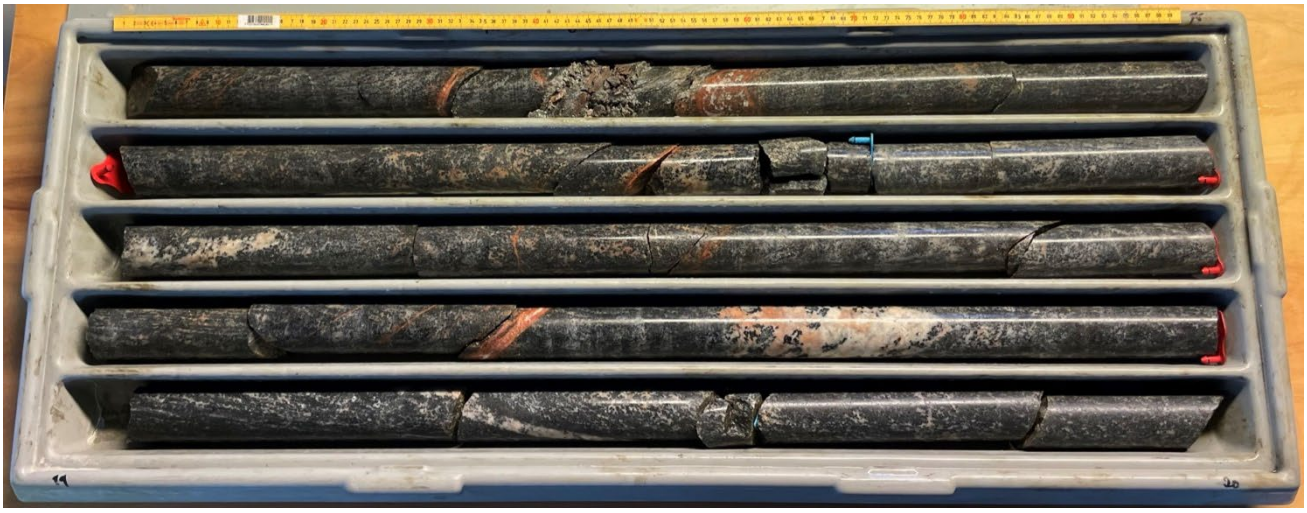


Foto 4: BH-1, 15–20 m (merk sone på ca. 15,45 m)

Foto 5: BH-1, 20–25 m

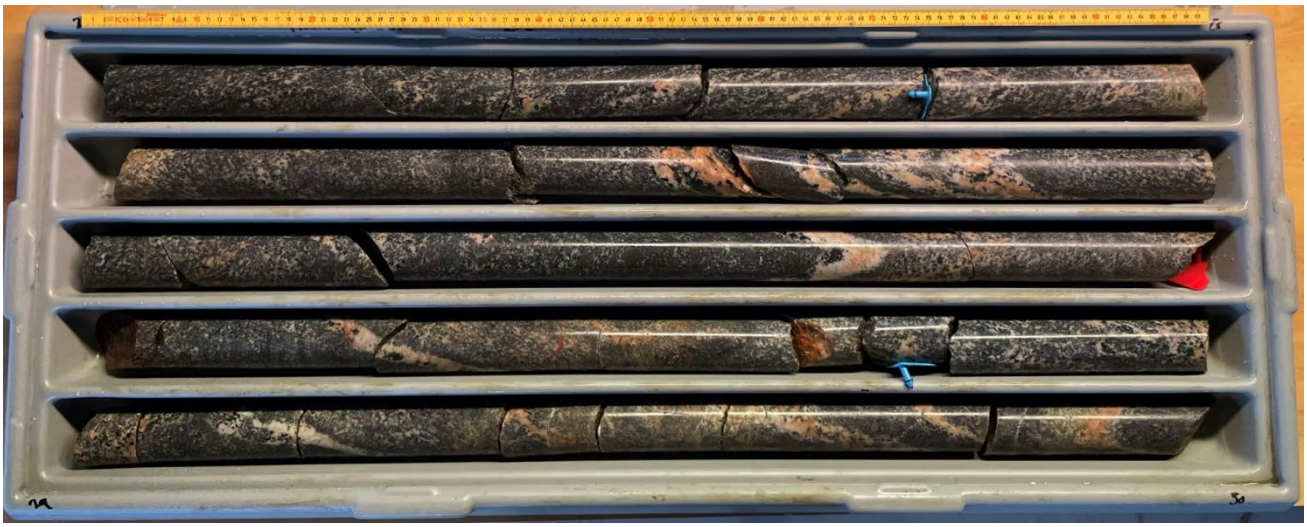


Foto 6: BH-1, 25–30 m

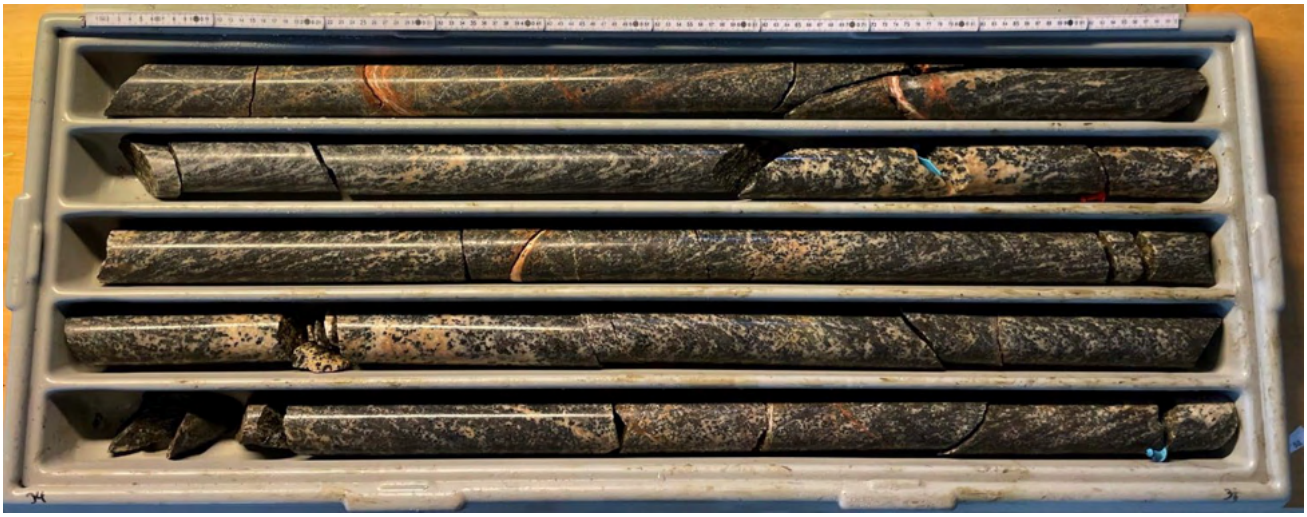


Foto 7: BH-1, 30–35 m

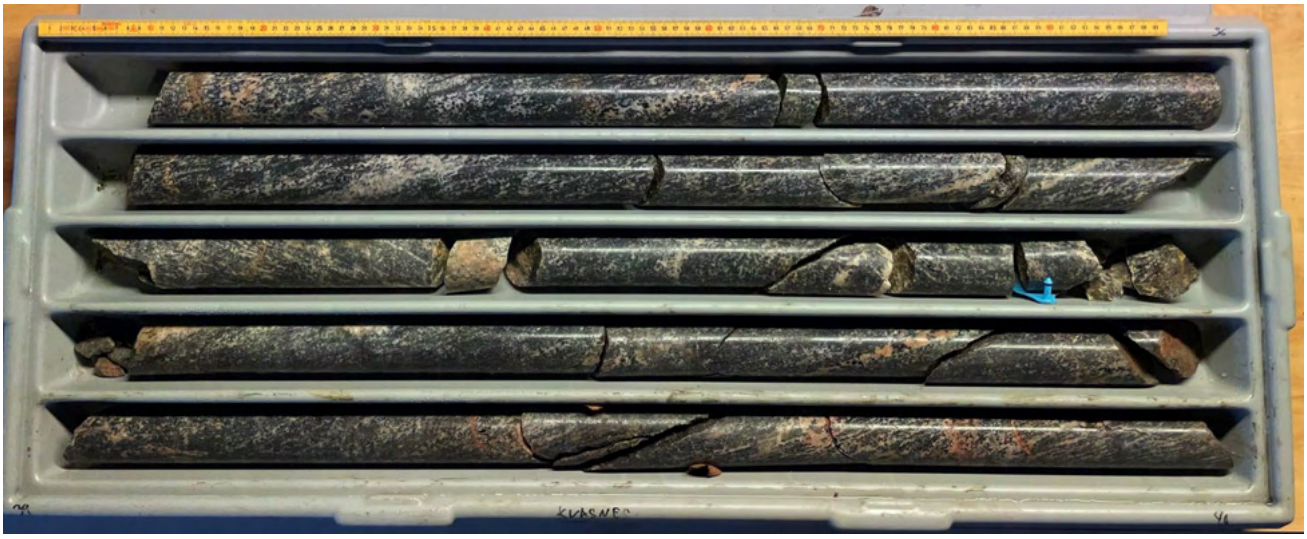


Foto 8: BH-1, 35–40 m

Foto 9: BH-1, 40–45 m

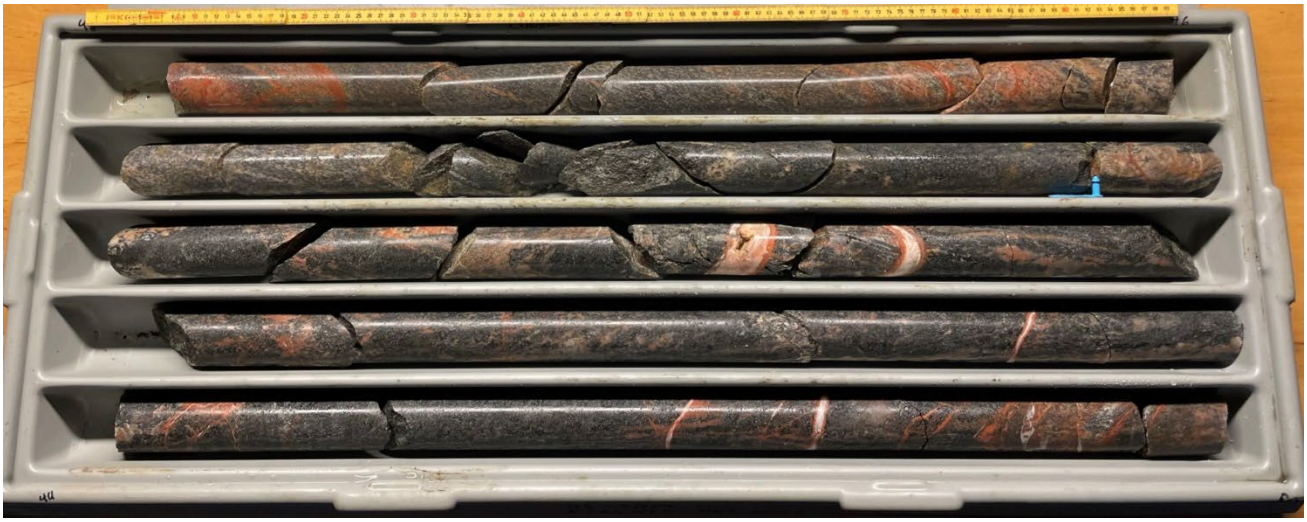


Foto 10: BH-1, 45–50 m

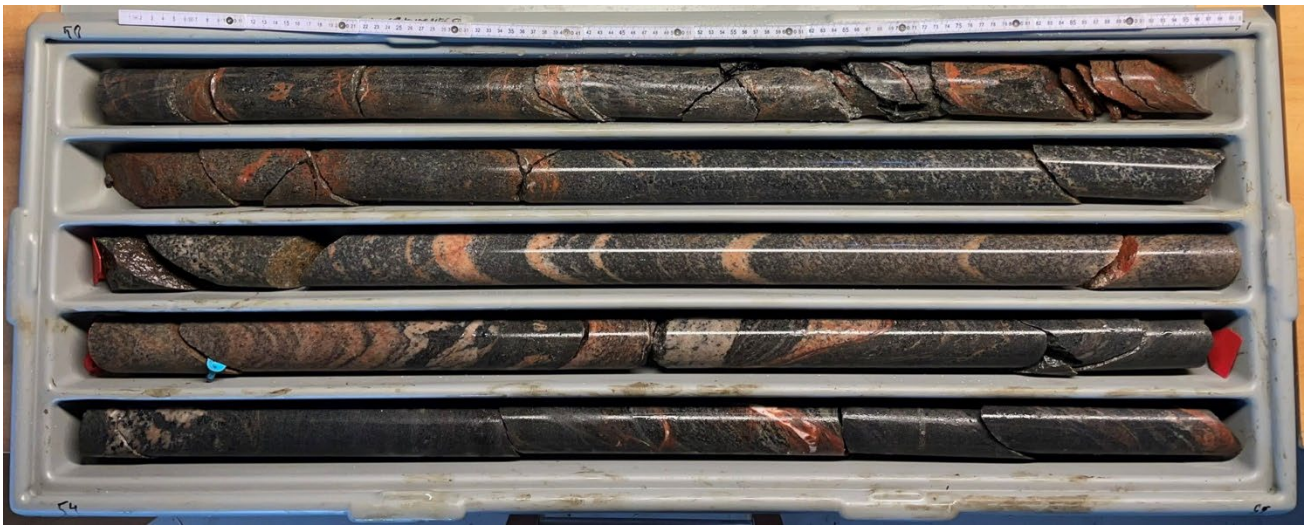


Foto 11: BH-1, 50–55 m

Foto 12: BH-1, 55–60 m

Foto 13: BH-1, 60–65 m

Foto 14: BH-1, 65–70 m

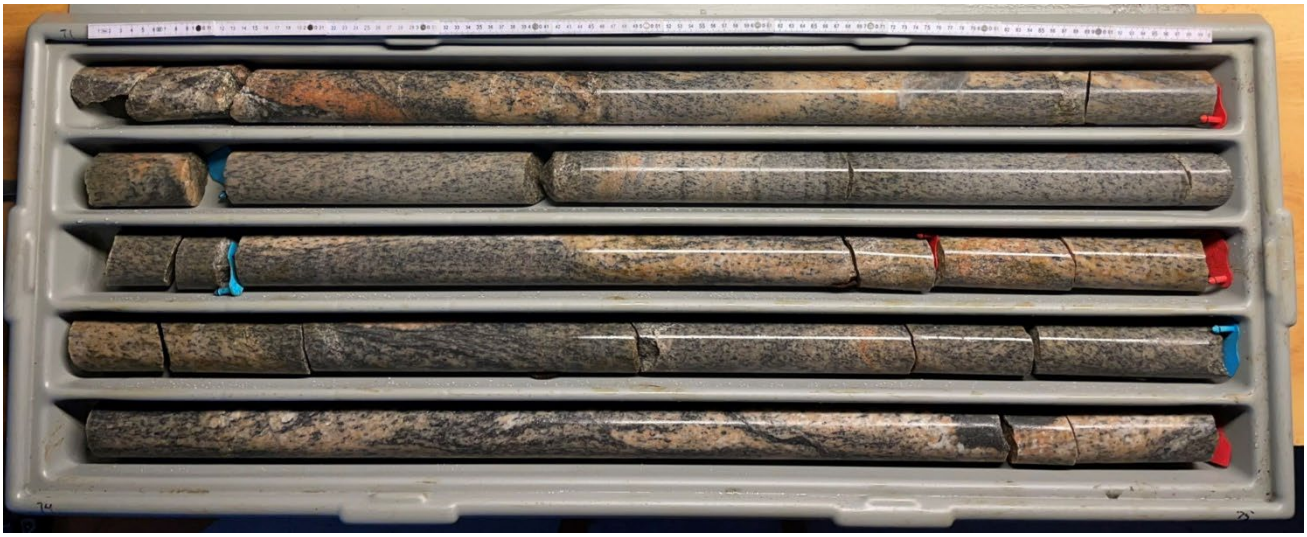


Foto 15: BH-1, 70–75 m

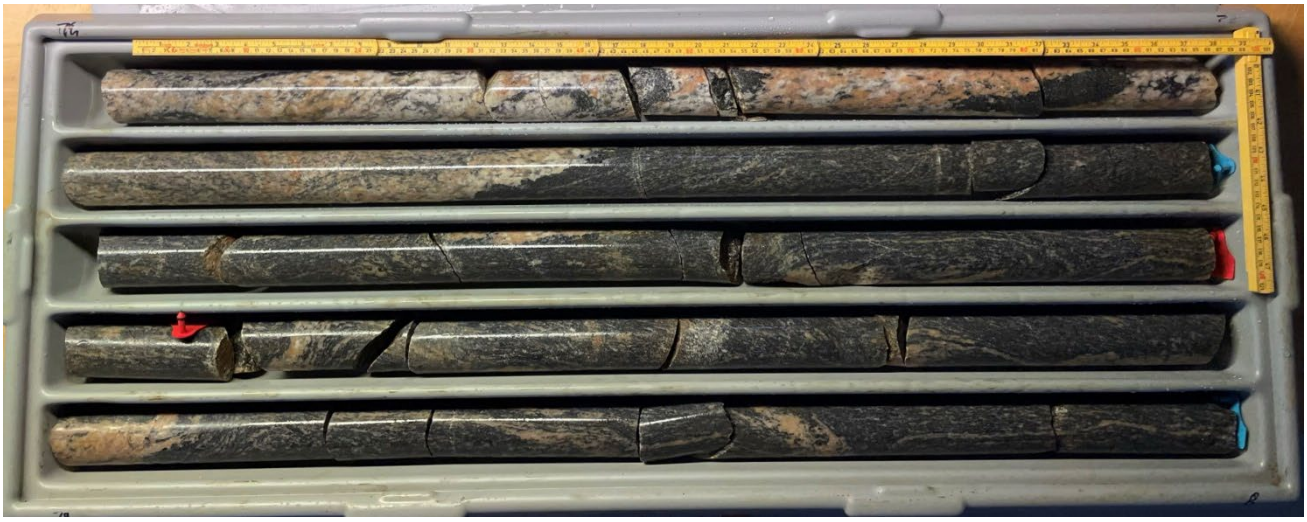


Foto 16: BH-1, 75–80 m

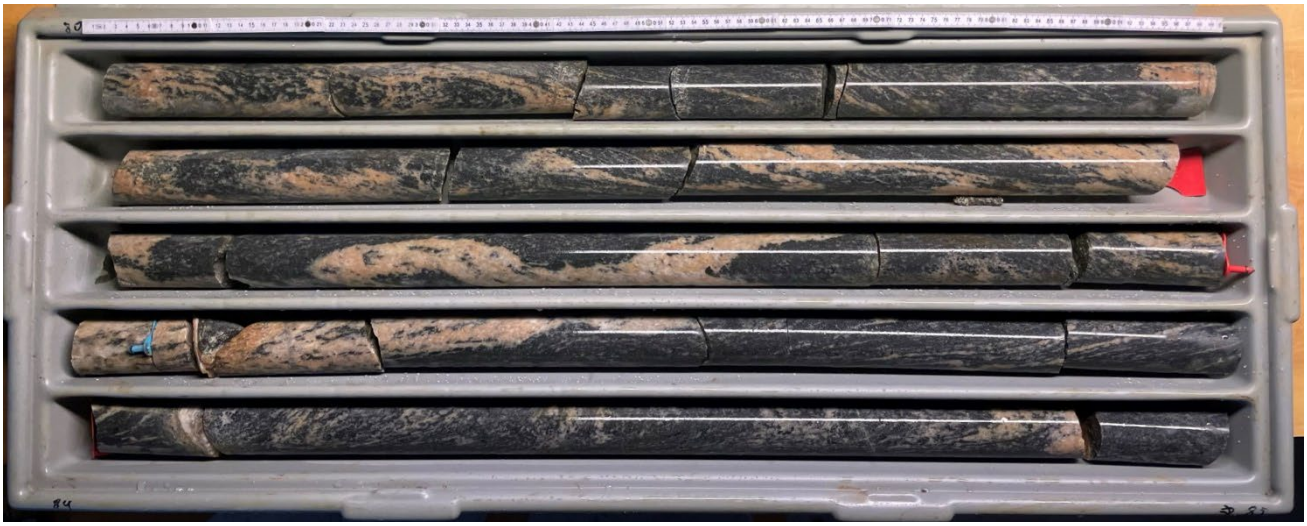


Foto 17: BH-1, 80–85 m

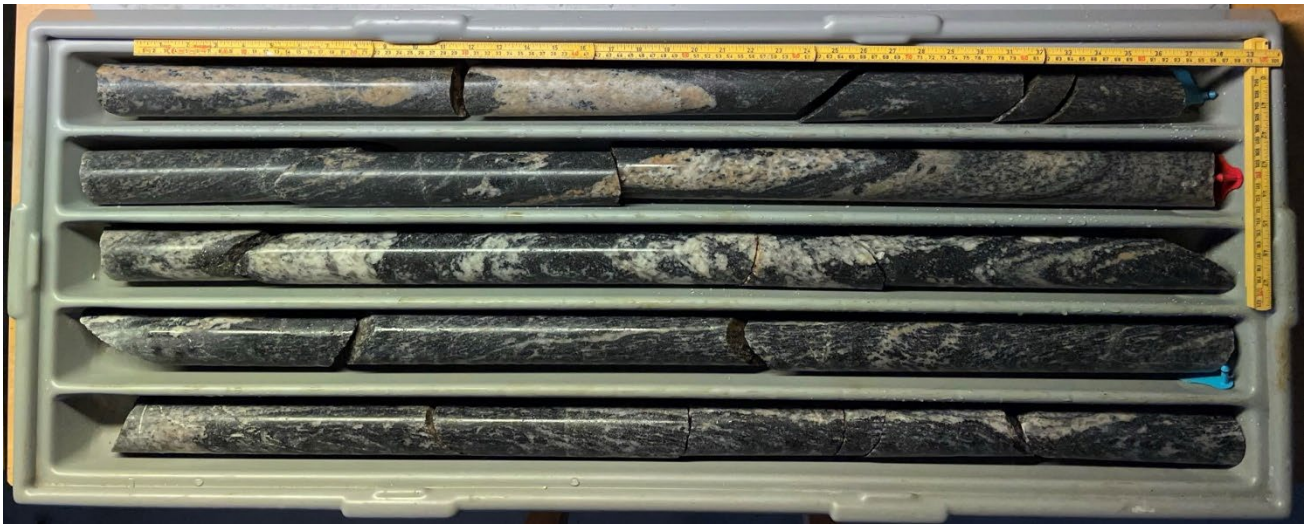


Foto 18: BH-1, 85–90 m

Foto 19: BH-1, 90–95 m

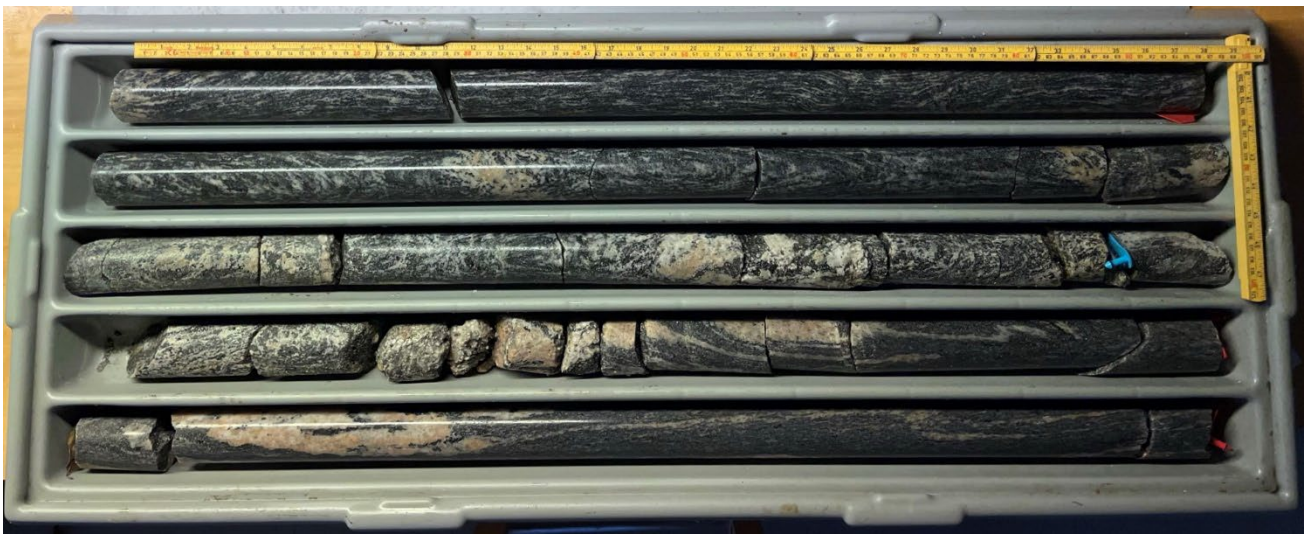


Foto 20: BH-1, 95–100 m

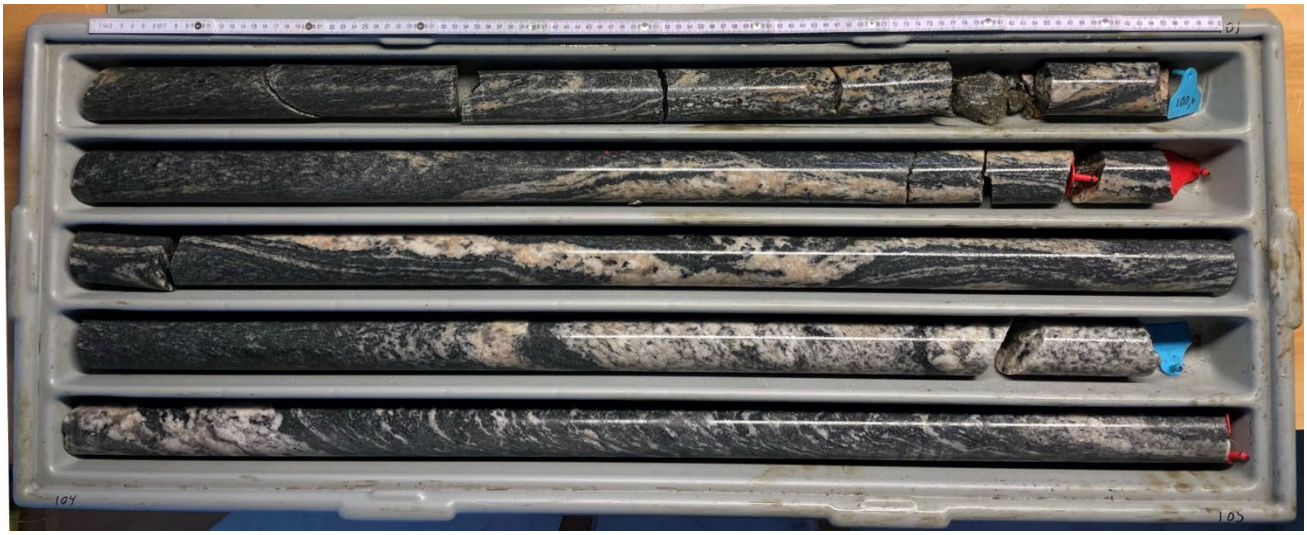


Foto 21: BH-1, 100–105 m

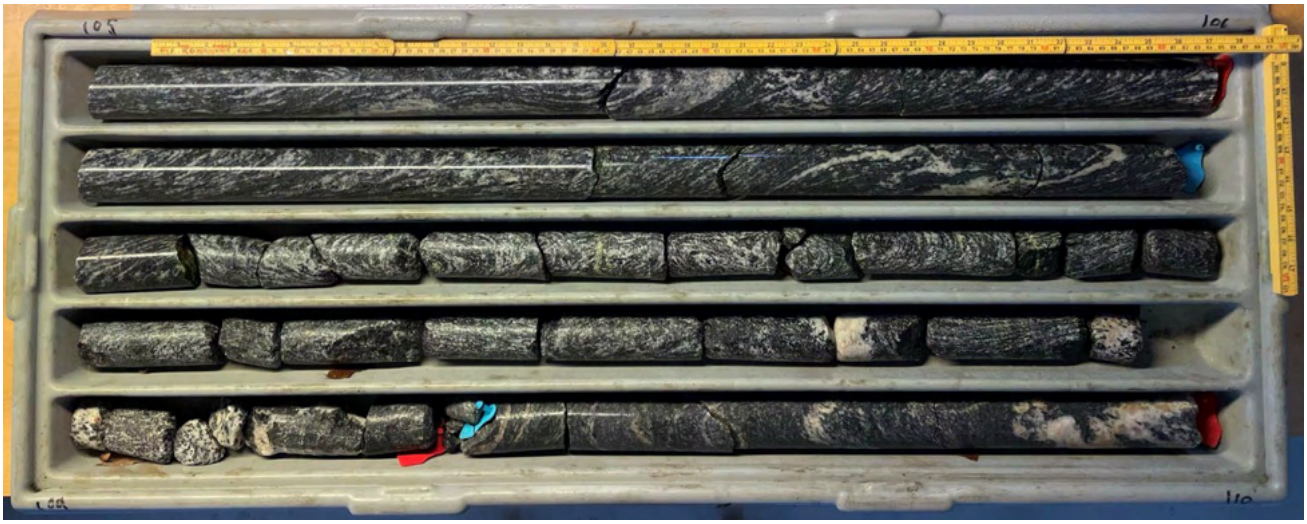


Foto 22: BH-1, 105–110 m

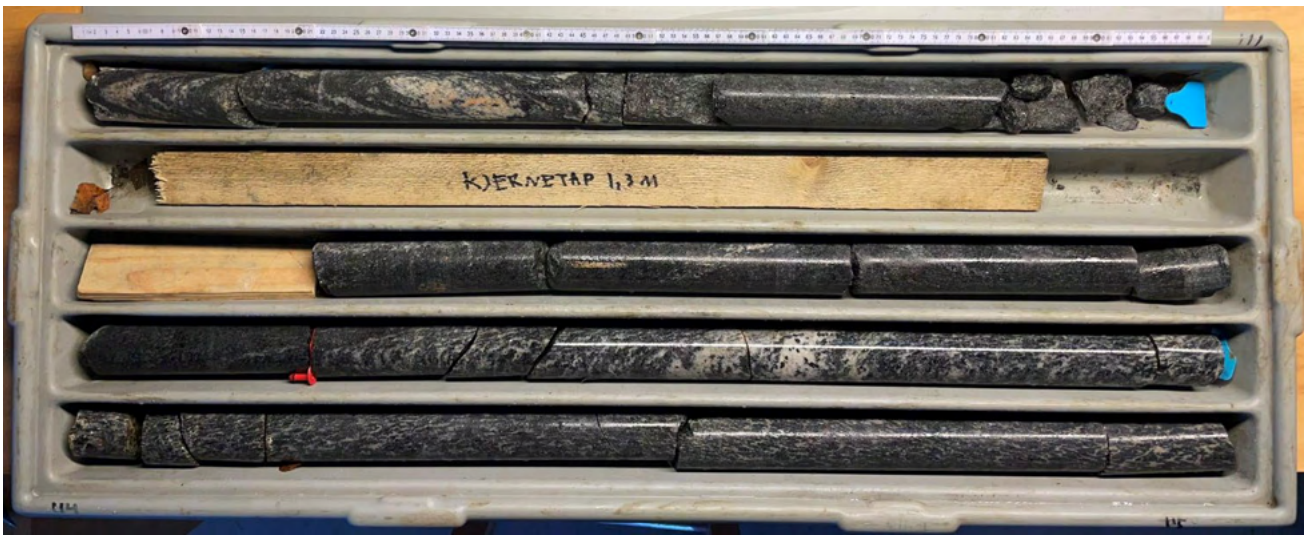


Foto 23: BH-1, 110–115 m

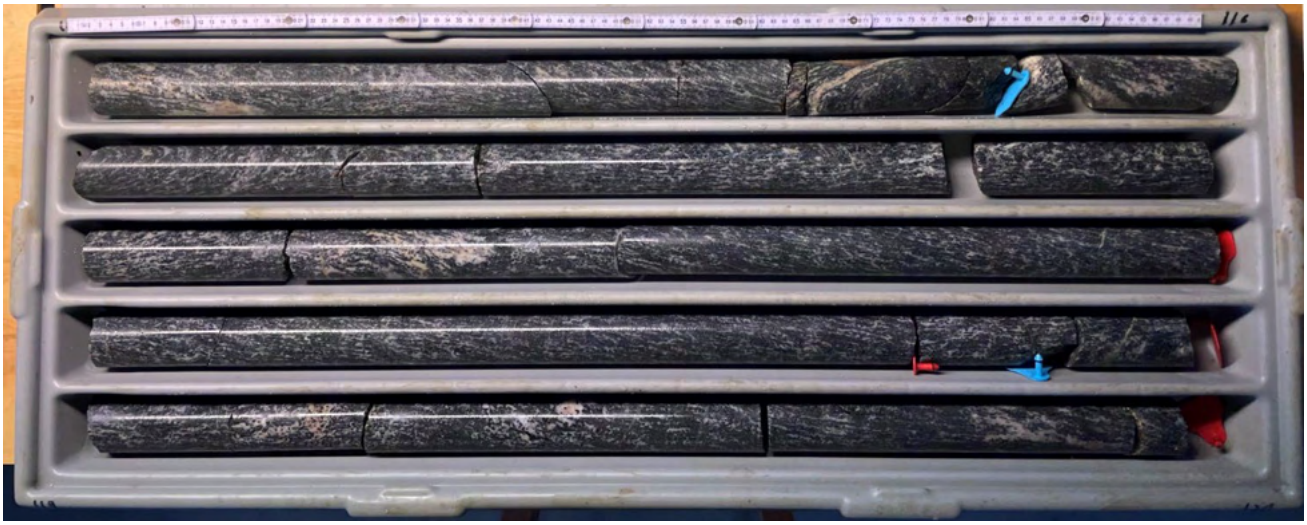


Foto 24: BH-1, 115–120 m

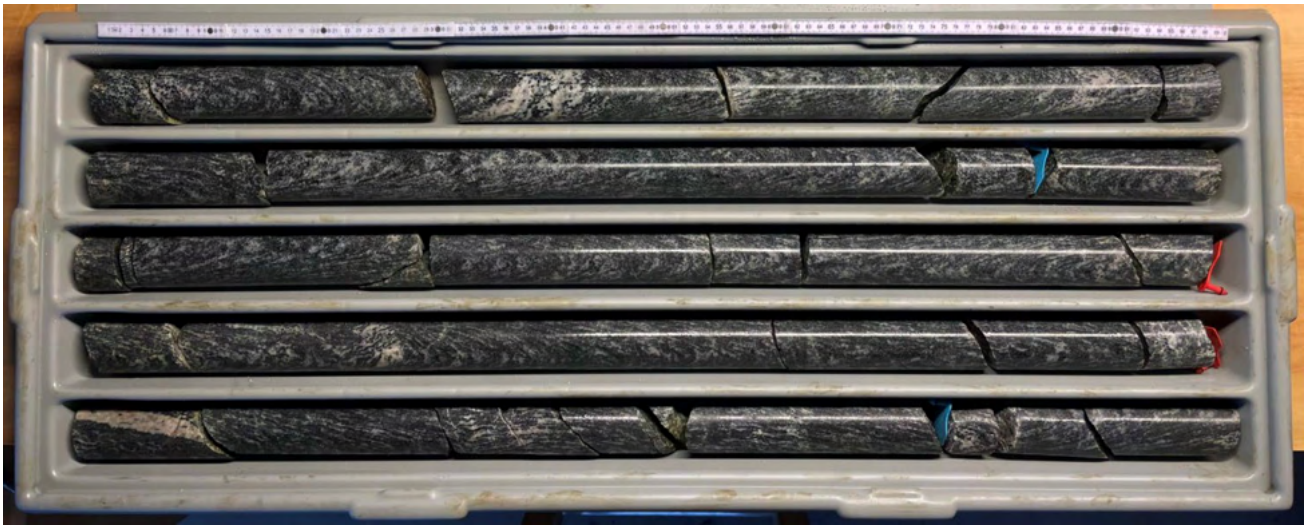


Foto 25: BH-1, 120–125 m

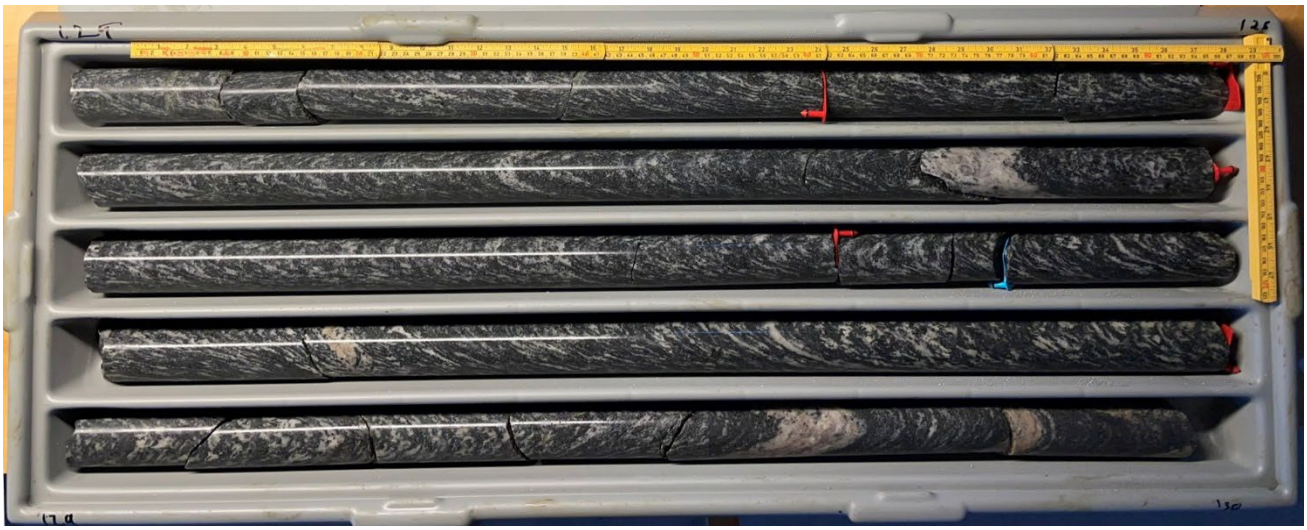


Foto 26: BH-1, 125–130 m

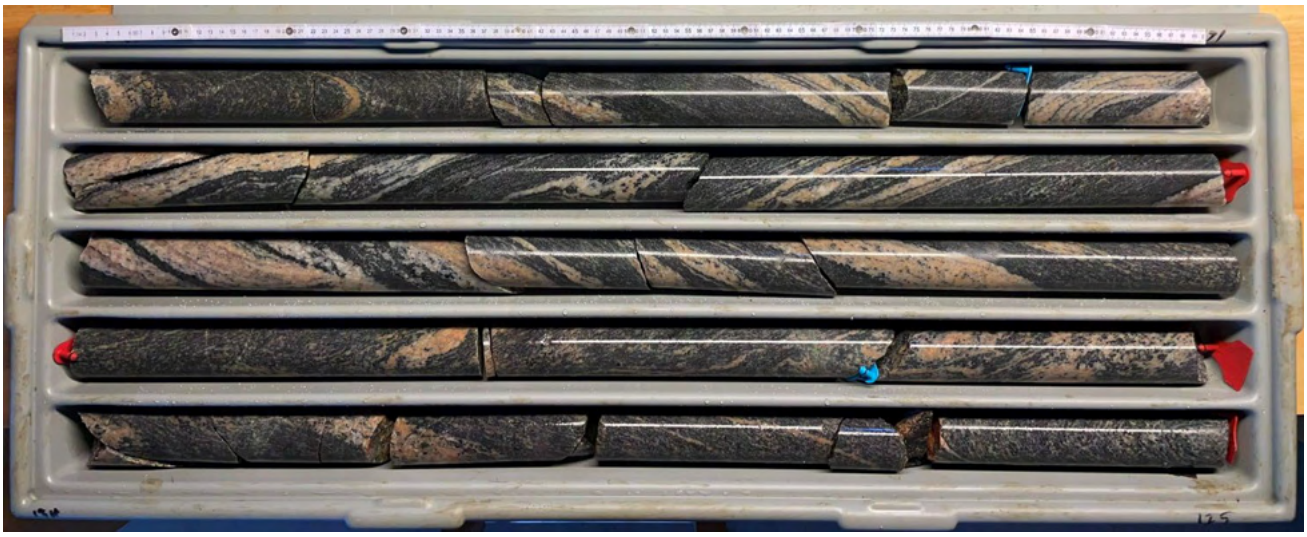


Foto 27: BH-1, 130–135 m

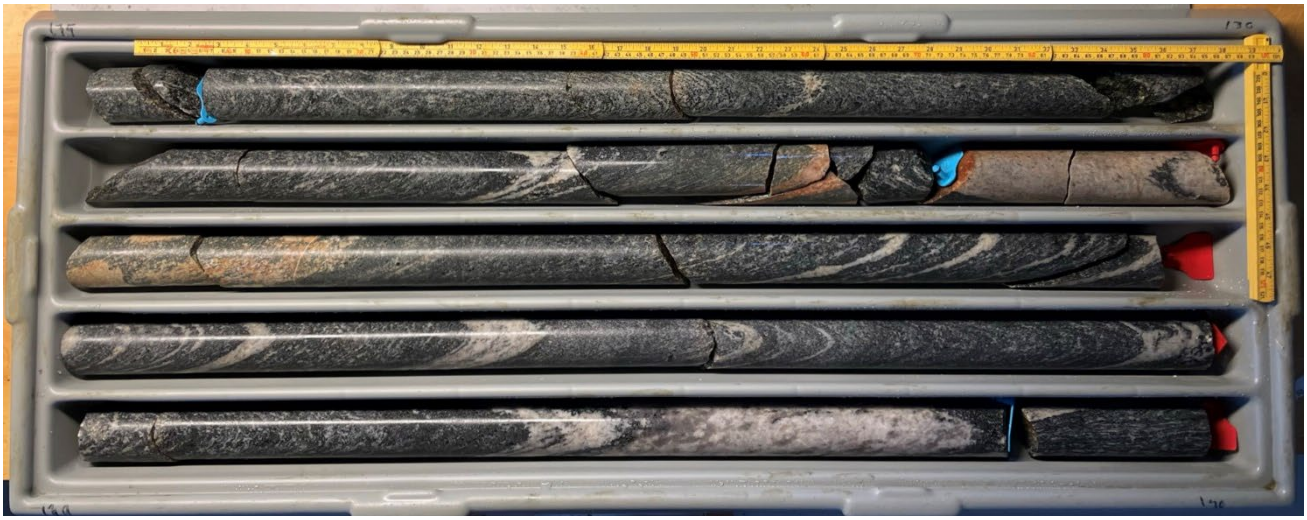


Foto 28: BH-1, 135–140 m

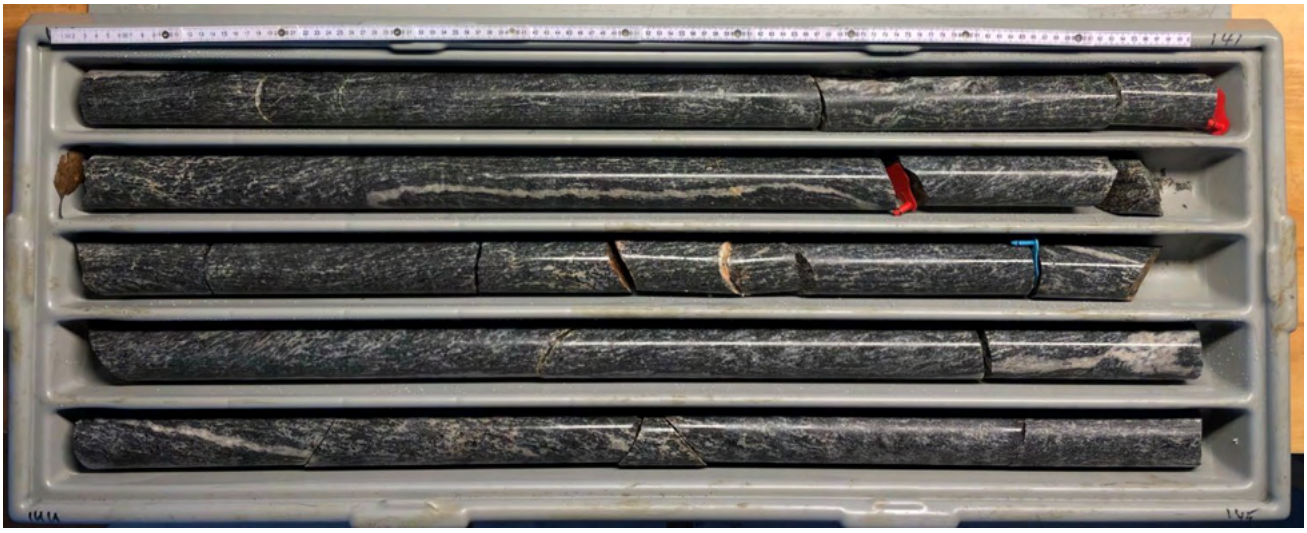


Foto 29: BH-1, 140–145 m

Foto 30: BH-1, 145–150 m

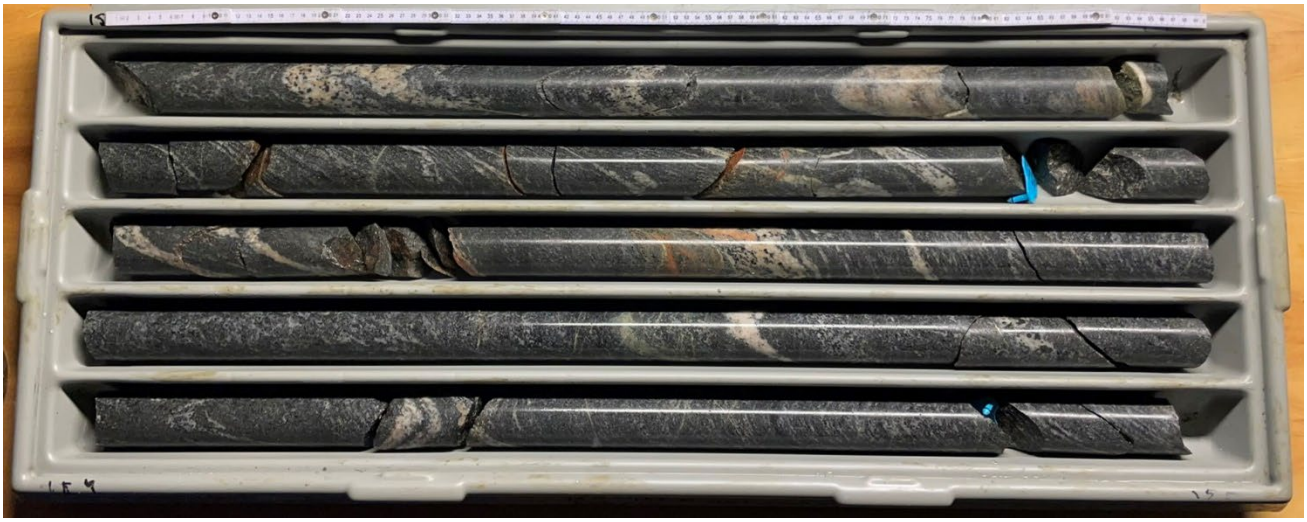


Foto 31: BH-1, 150–155 m

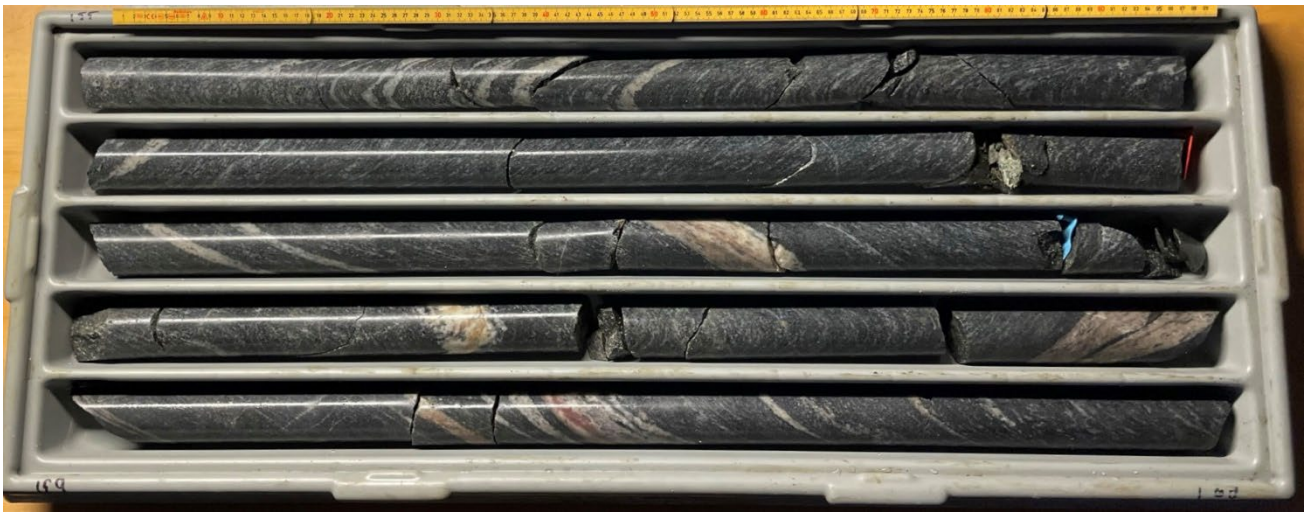


Foto 32: BH-1, 155–160 m

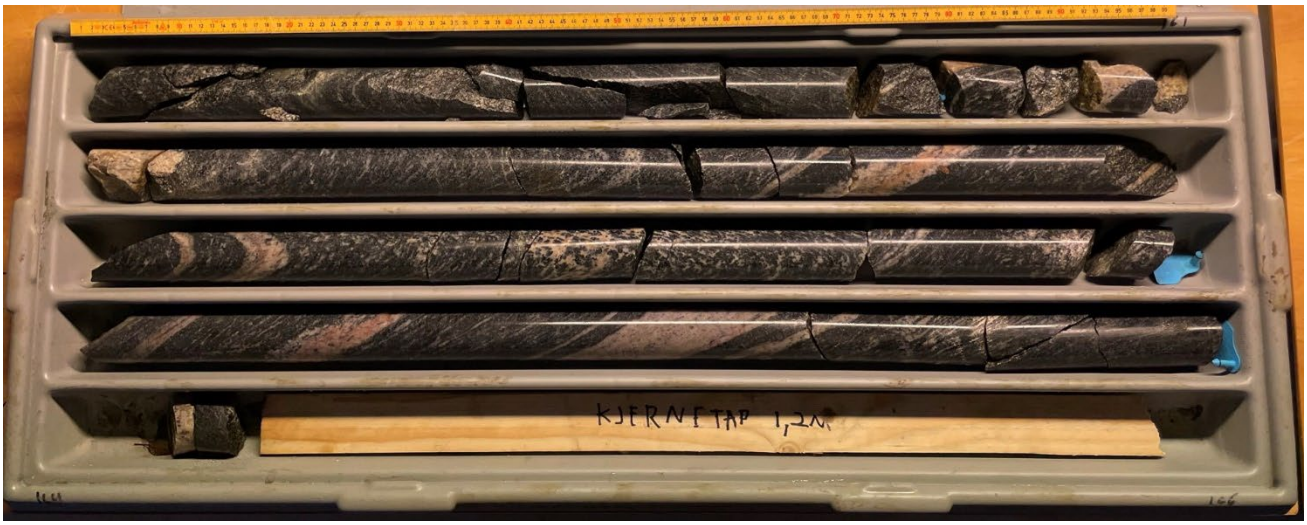


Foto 33: BH-1, 160–165 m

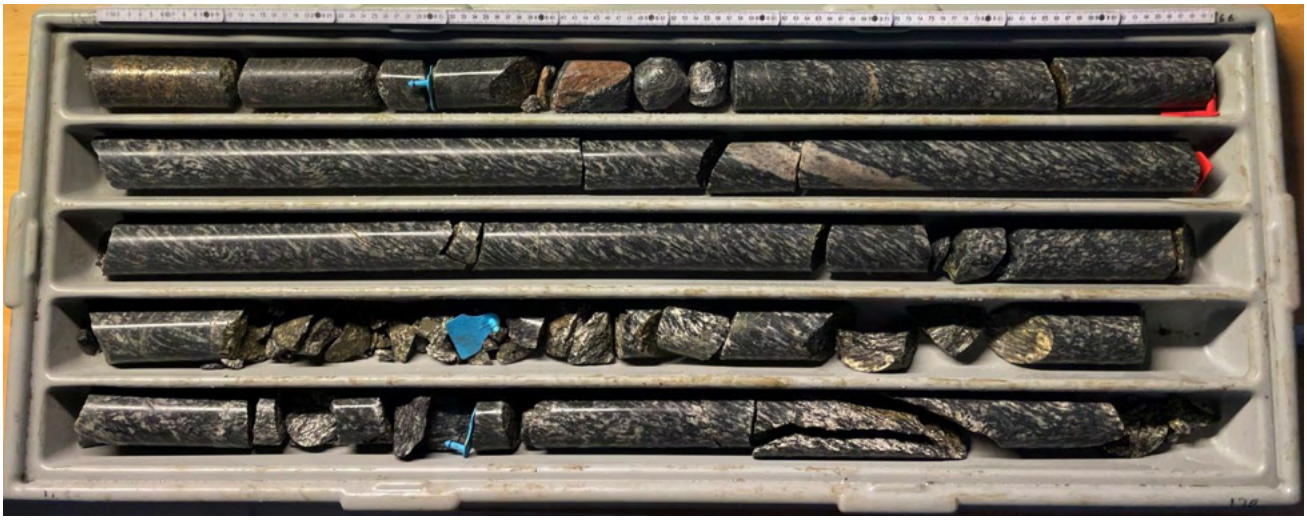


Foto 34: BH-1, 165–170 m

Foto 35: BH-1, 170–175 m

Foto 36: BH-1, 175–180 m

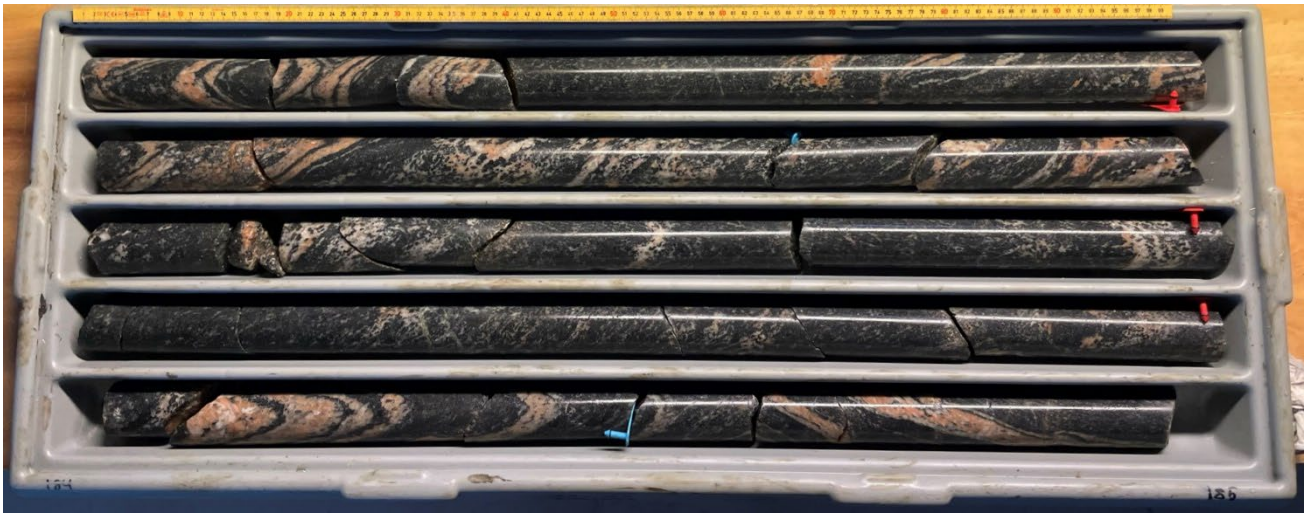


Foto 37: BH-1, 180–185 m

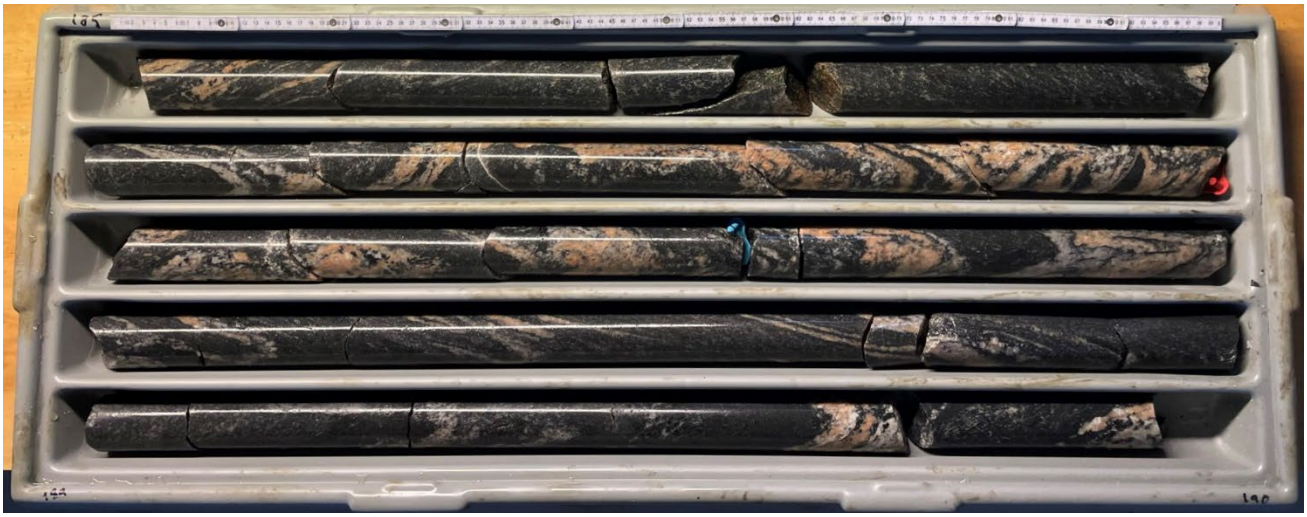


Foto 38: BH-1, 185–190 m

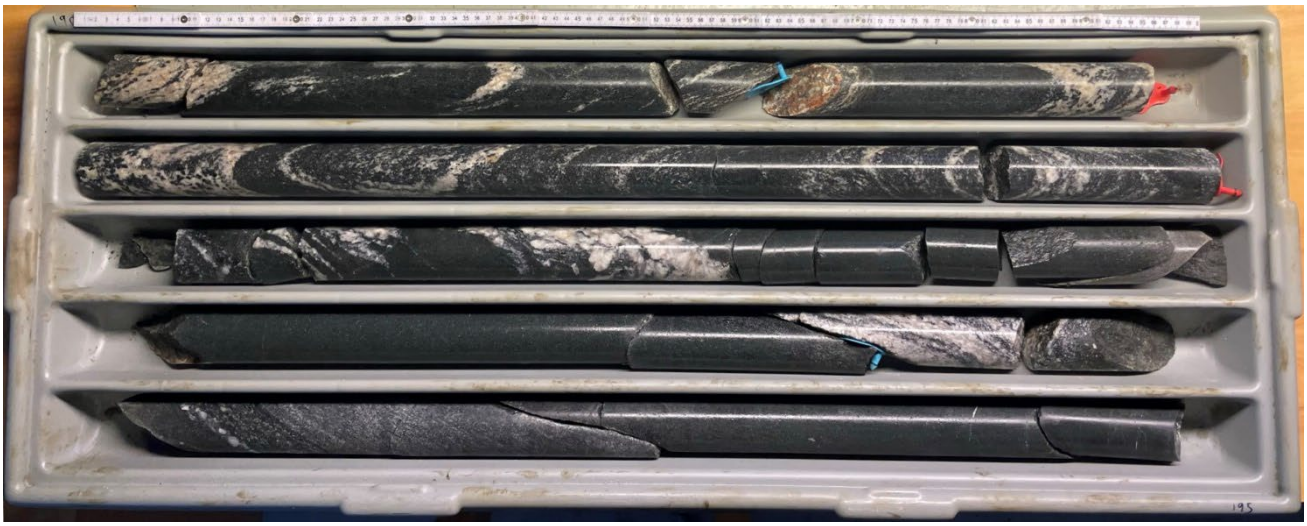


Foto 39: BH-1, 190–195 m

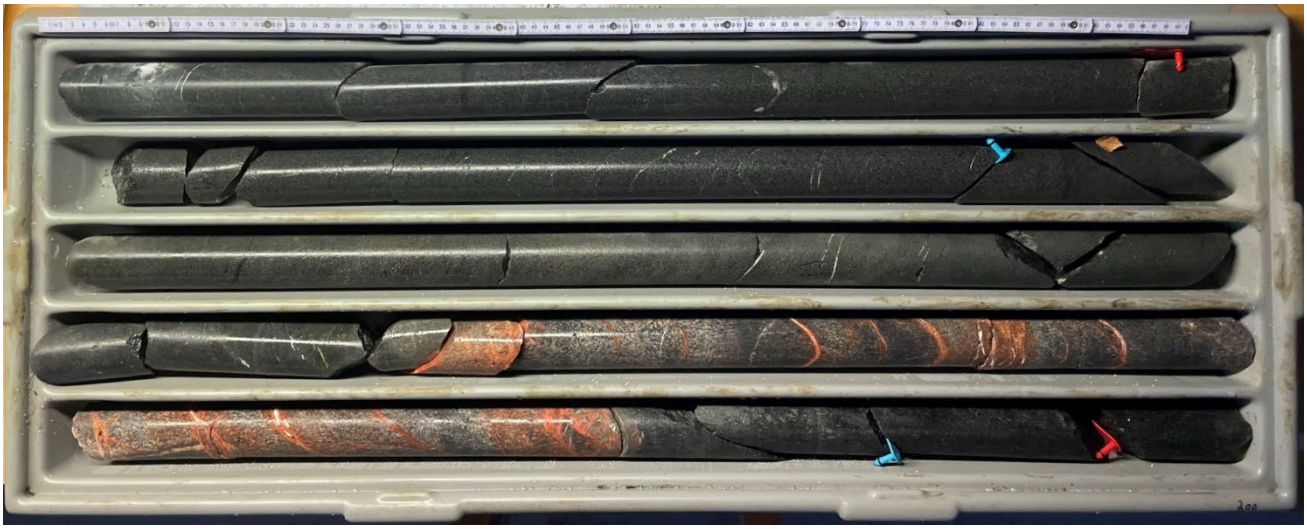


Foto 40: BH-1, 195–200 m

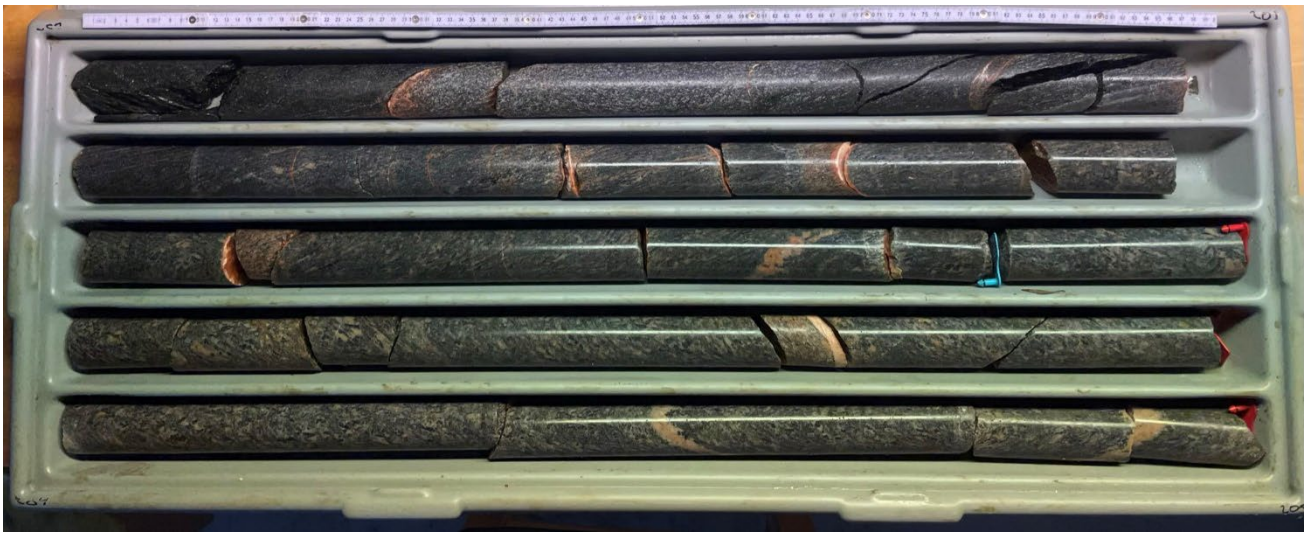


Foto 41: BH-1, 205–210 m

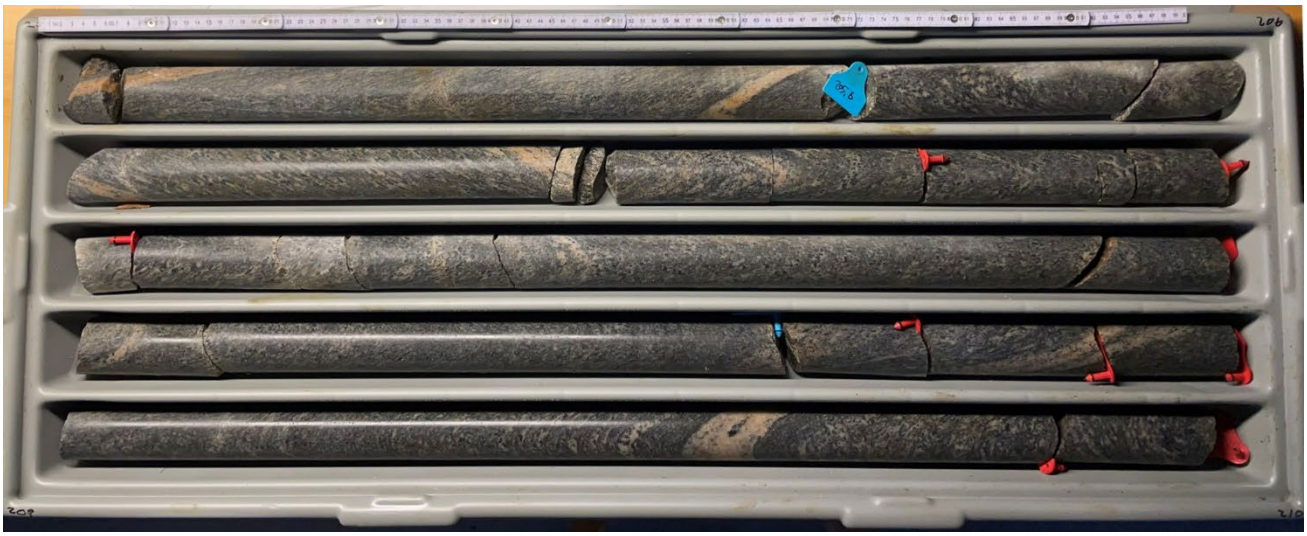


Foto 42: BH-1, 210–215 m

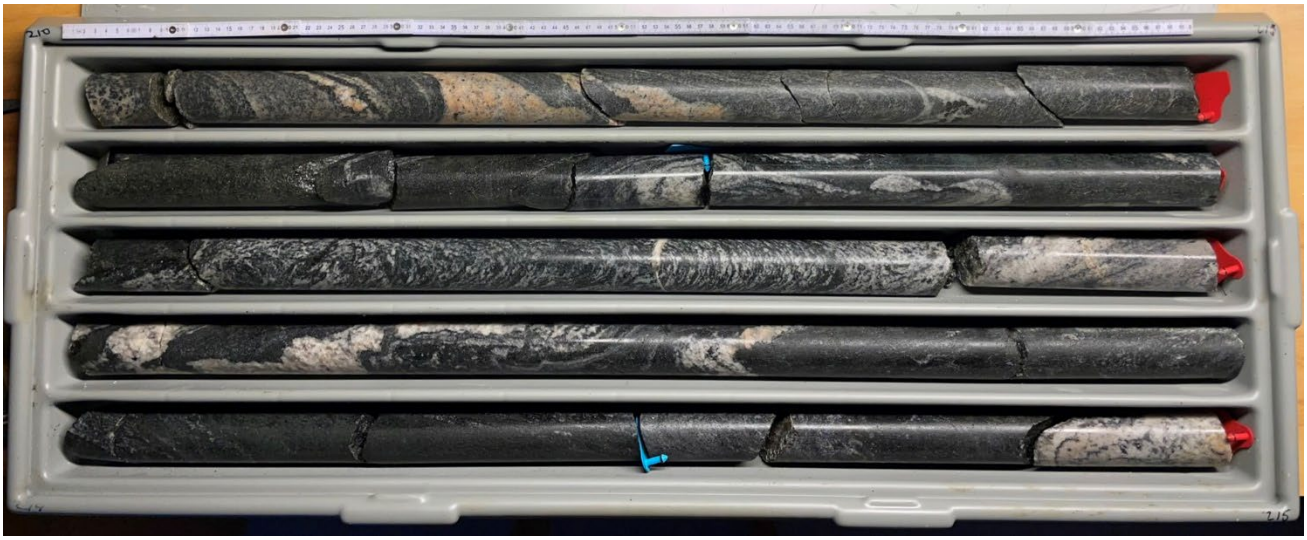


Foto 43: BH-1, 210–215 m

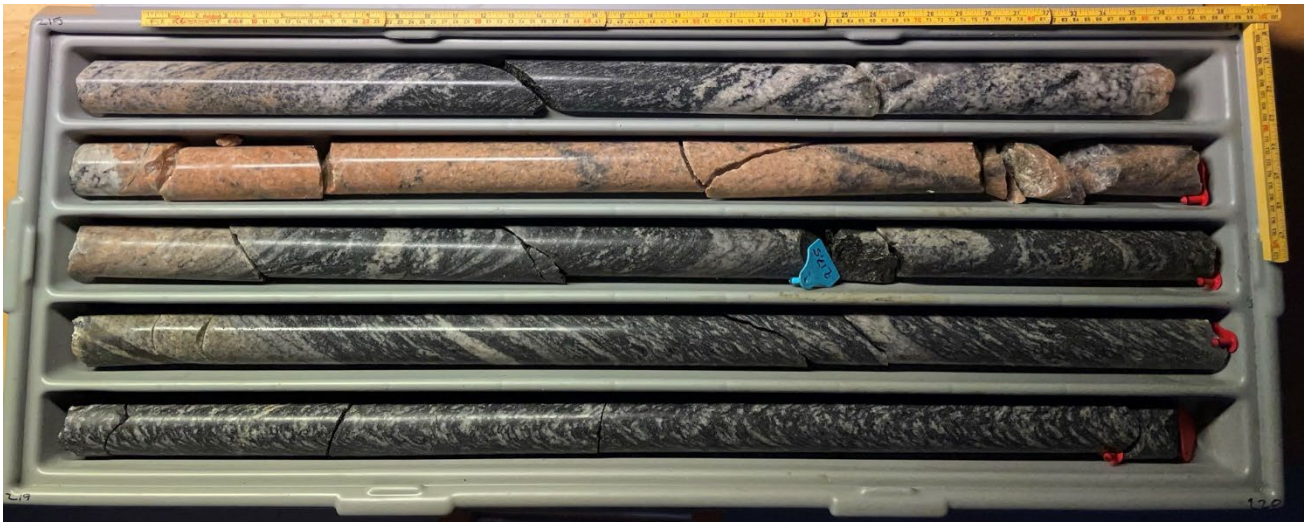


Foto 44: BH-1, 215–220 m

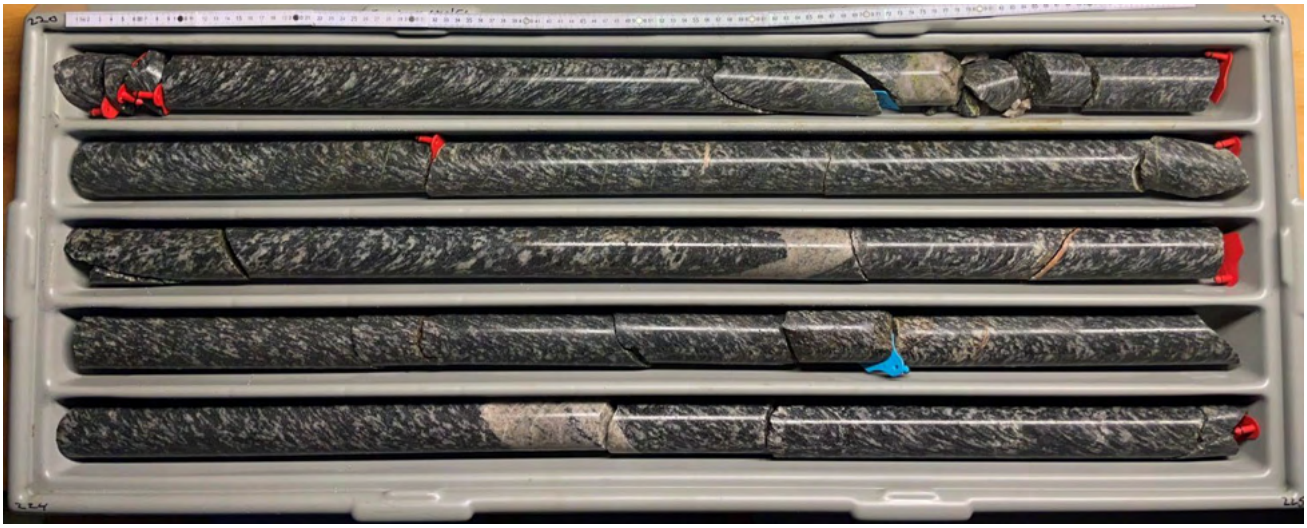


Foto 45: BH-1, 220–225 m

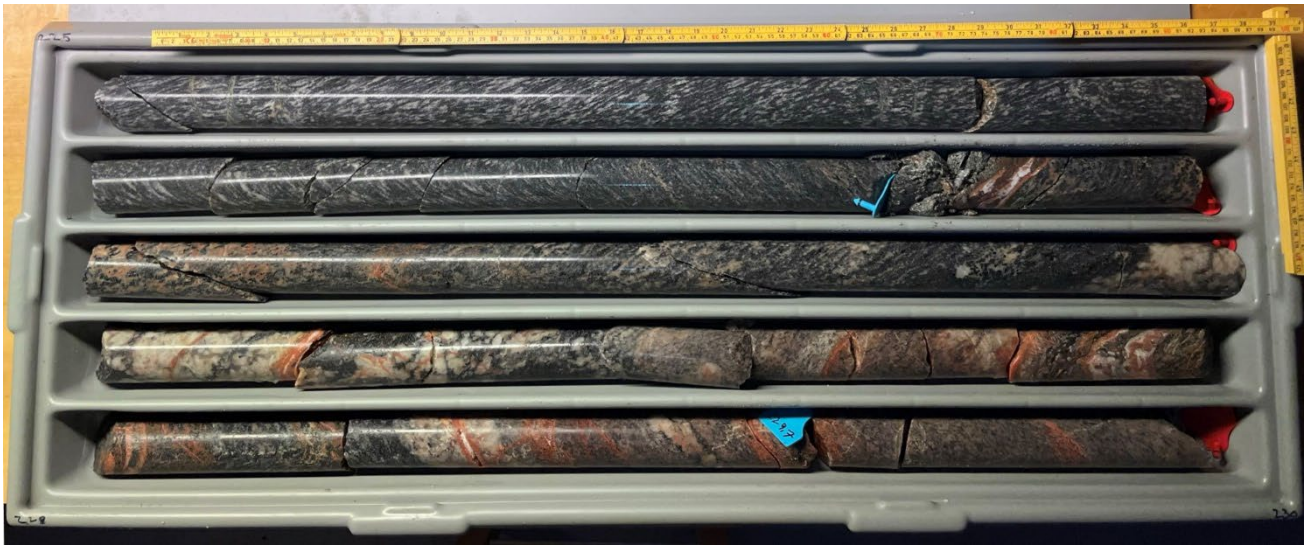


Foto 46: BH-1, 225–230 m

Foto 47: BH-1, 230–235 m

Foto 48: BH-1, 235–240 m

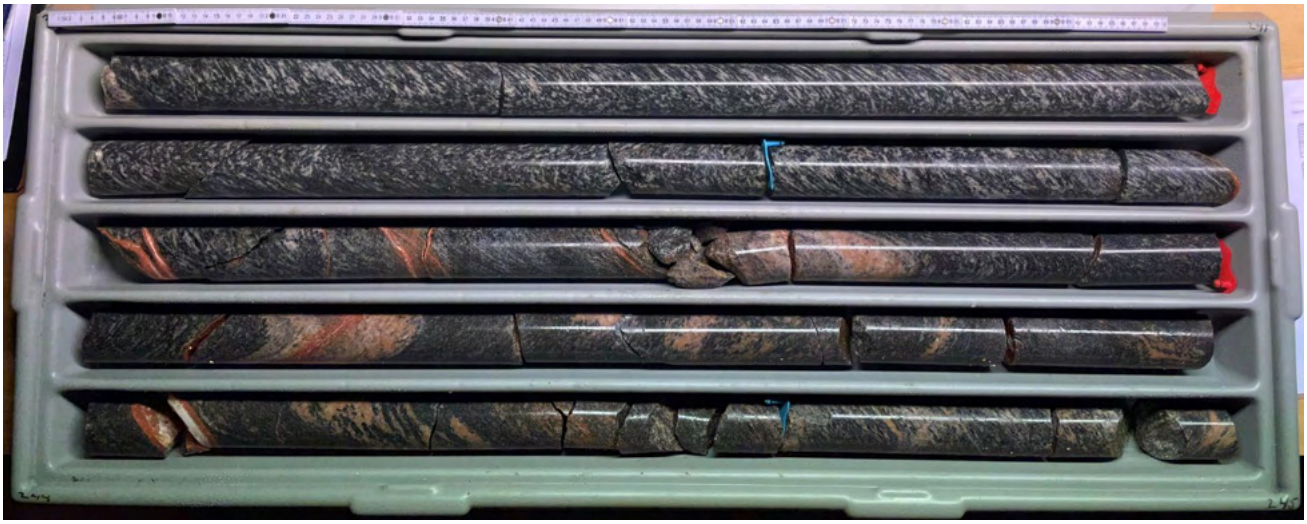


Foto 49: BH-1, 240–245 m

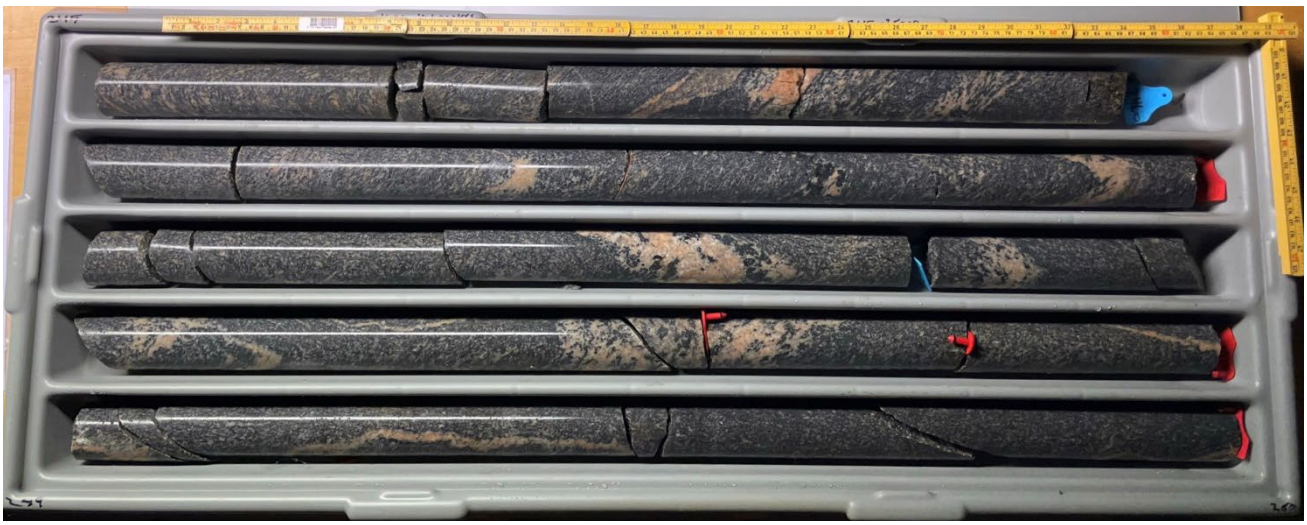


Foto 50: BH-1, 245–250 m

Foto 51: BH-1, 250–255 m

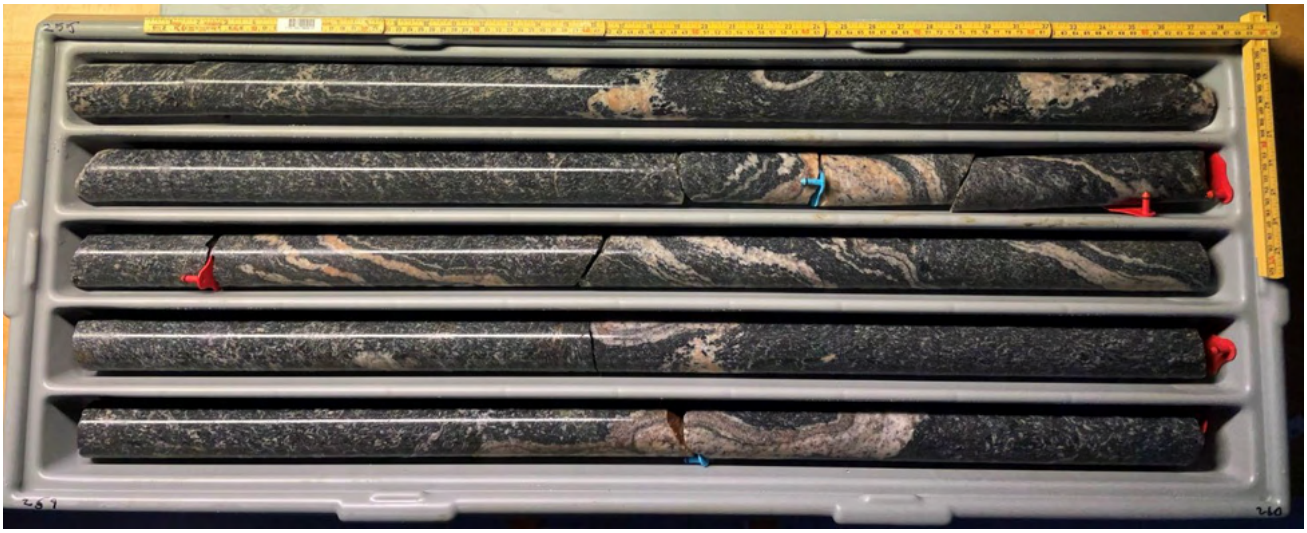


Foto 52: BH-1, 255–260 m

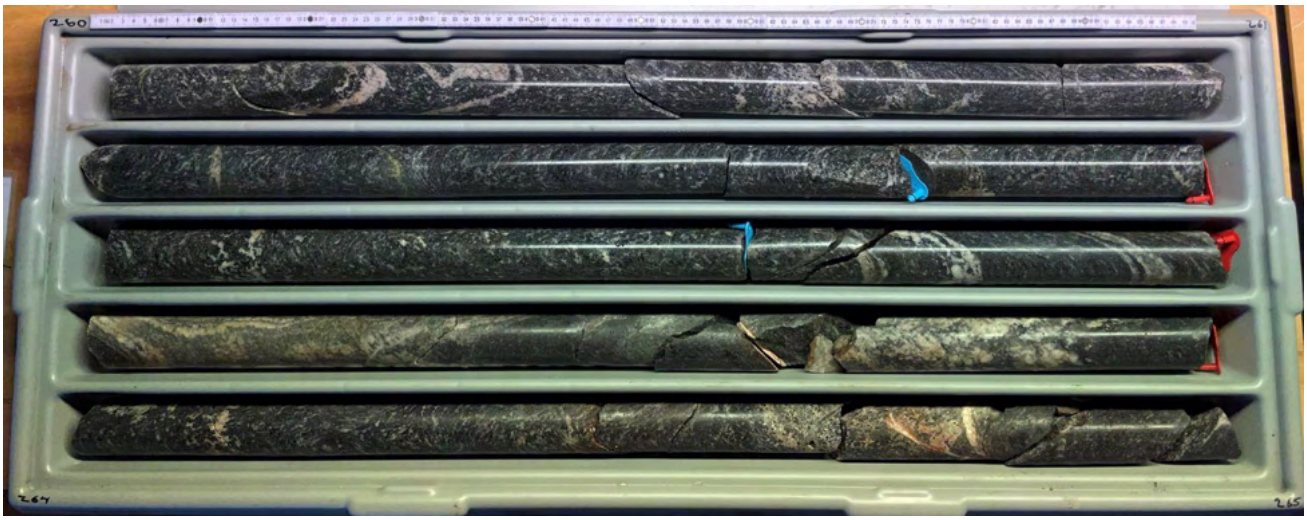


Foto 53: BH-1, 260–265 m

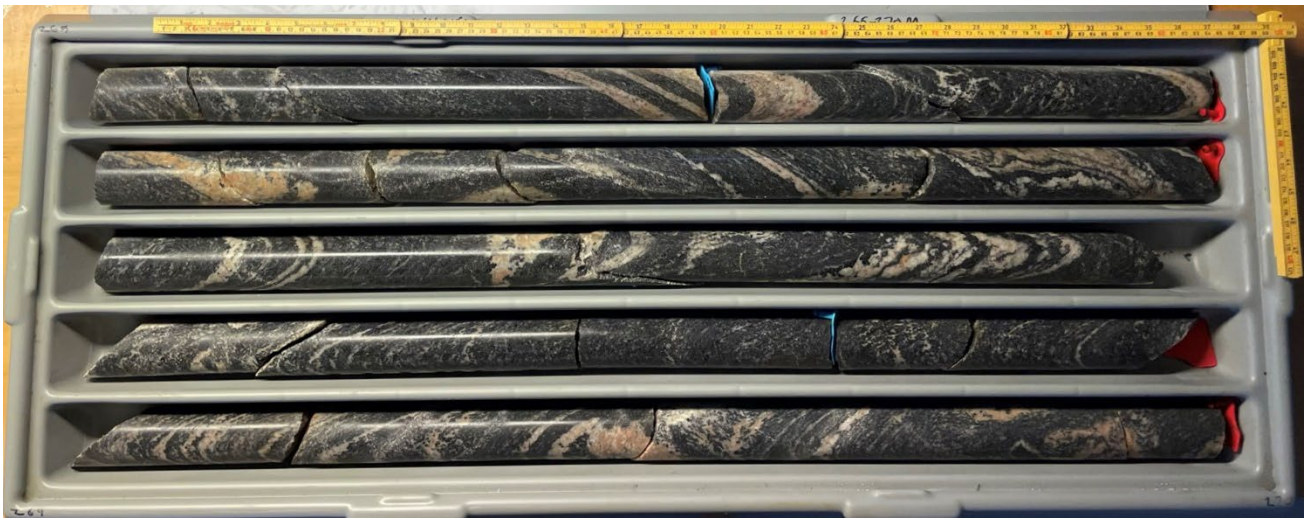


Foto 54: BH-1, 265–270 m

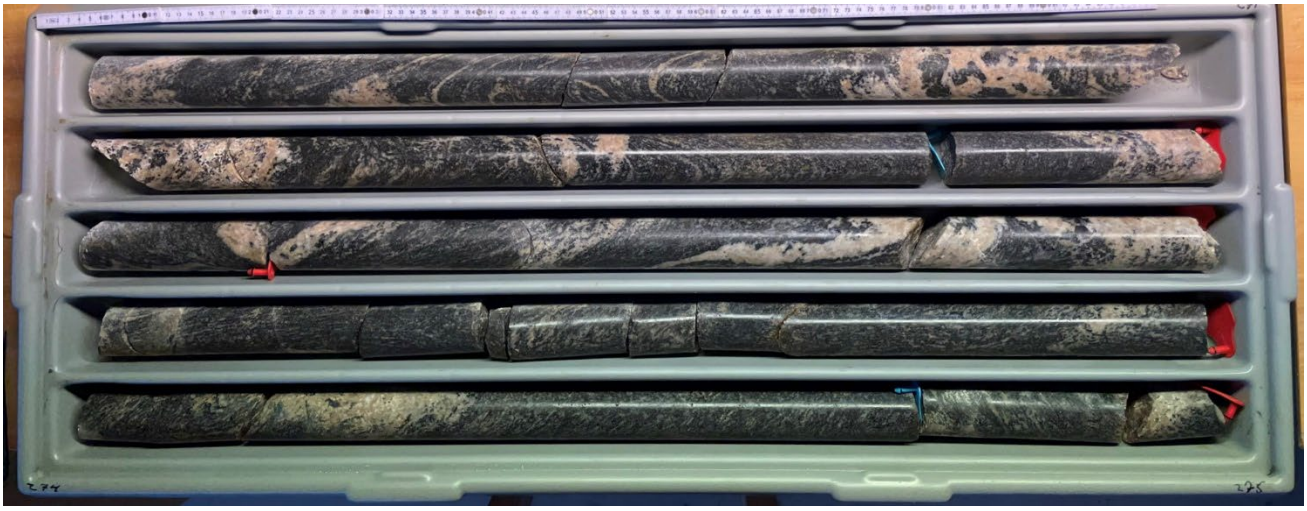


Foto 55: BH-1, 270–275 m

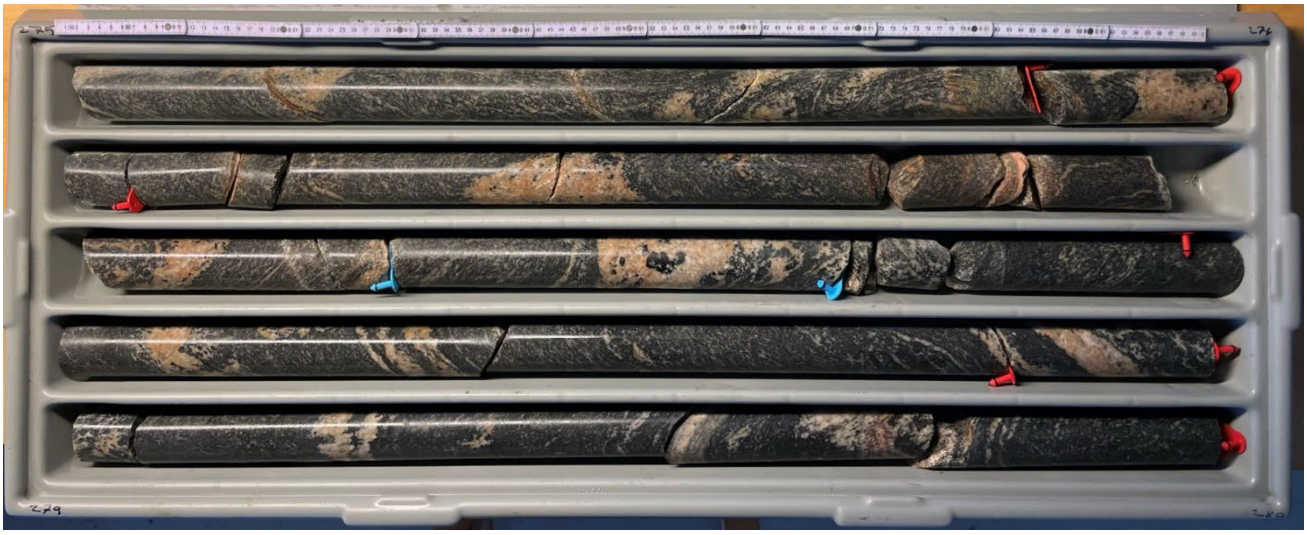


Foto 56: BH-1, 275–280 m

Foto 57: BH-1, 280–285 m

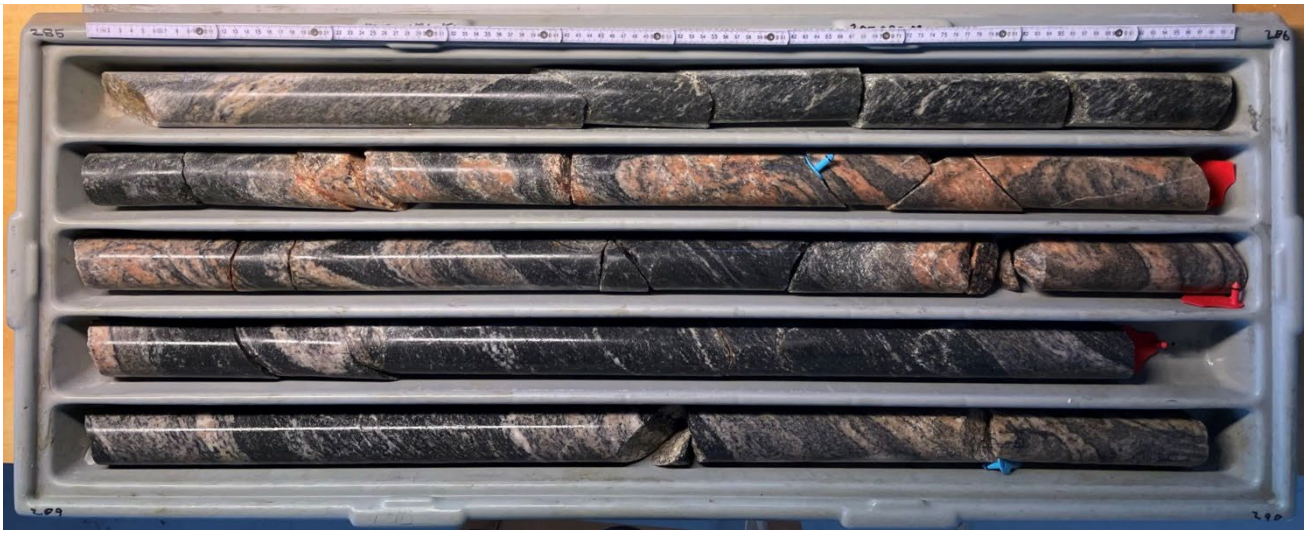


Foto 58: BH-1, 285–290 m

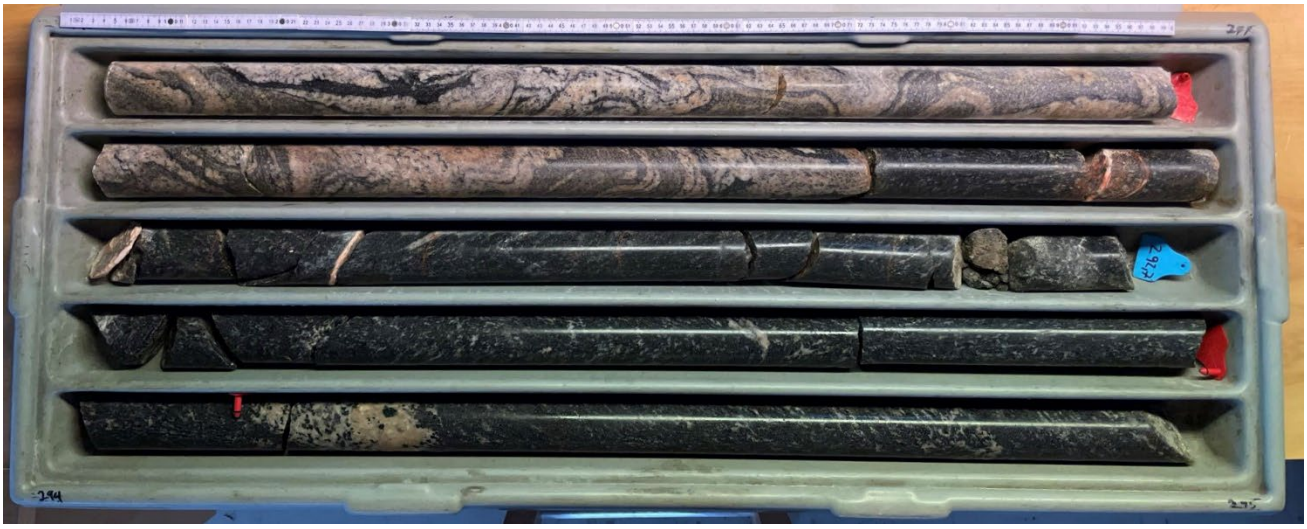


Foto 59: BH-1, 290–295 m

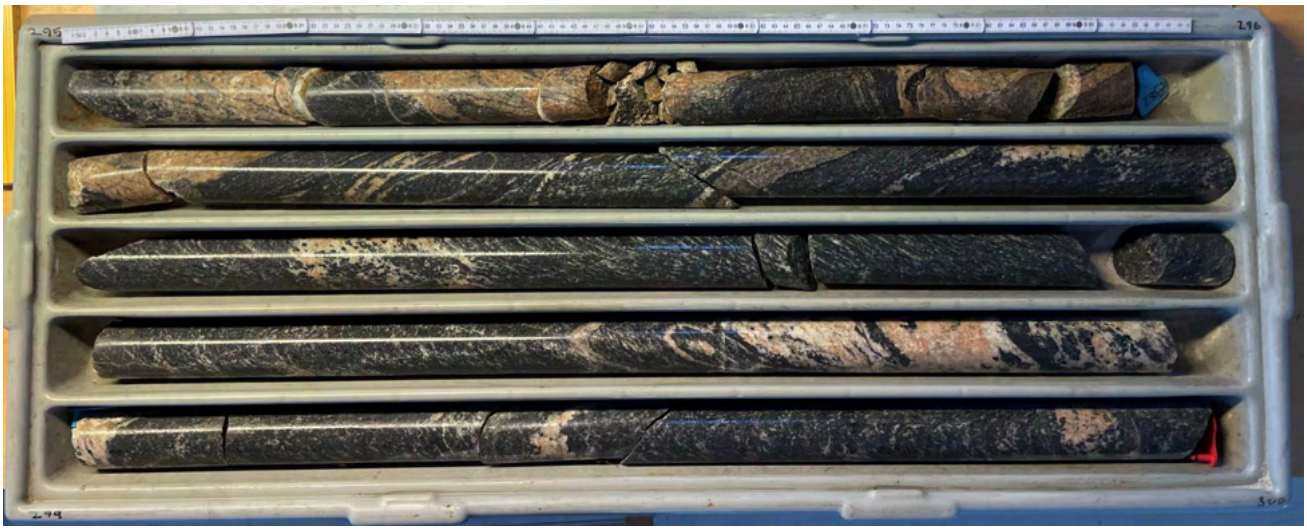


Foto 60: BH-1, 295–300 m

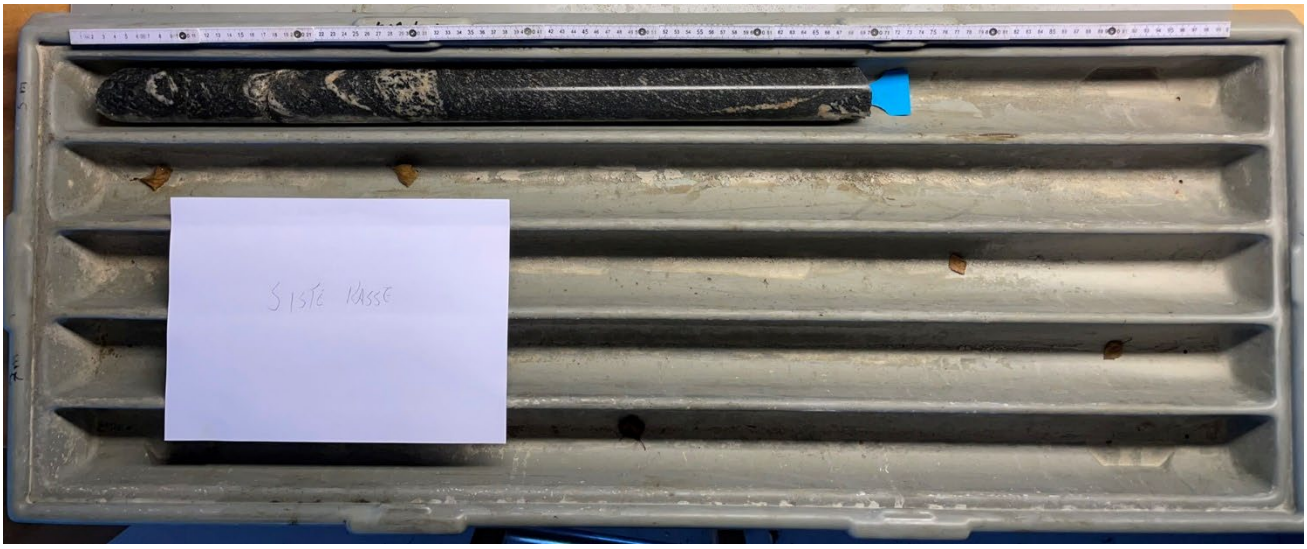


Foto 61: BH-1, 300–300,7 m (siste kasse)

asplan viak

Multiconsult

AVM-20-G-RAP-002

Vedlegg 3: Avviksmåling

Survey Report **16453 Kvasnes Avløpsrenseanlegg**

Survey ID		Survey Name	DeviShot_20221019_1541
Created	19.10.2022 15:51	Modified	19.10.2022 15:51
Location		Survey Run On	19.10.2022 15:51
Operator		Customer	
Tool	DeviShot	Serial nr.	1023
		Meas. Interval (s)	5

Recorded Data:

Depth	Az.	Incl.
6	295,57	-9,21
9	295,77	-9,2
12	295,81	-9,21
15	295,97	-9,21
18	295,37	-9,21
21	295,87	-9,21
24	295,63	-9,22
27	295,48	-9,21
30	293,74	-9,18
33	296,06	-9,15
36	296,31	-9,1
39	296,65	-9,1
42	296,23	-9,12
45	296,22	-9,12
48	291,58	-9,13
51	293,65	-9,16
54	293,55	-9,17
57	293,47	-9,17
60	296,31	-9,15
63	296,54	-9,14
66	296,33	-9,17
69	296,27	-9,23
72	296,87	-9,2
75	296,61	-9,16
78	296,43	-9,1
81	296,4	-9,06
84	296,52	-9,03
87	296,64	-9
90	296,7	-8,94
93	296,77	-8,89
96	296,72	-8,83
99	296,62	-8,84
102	296,7	-8,86
105	296,16	-8,9
108	296,35	-9,16
111	296,57	-9,26
114	296,92	-9,21
117	297	-9,15

120	297,22	-9,06
123	297,36	-9,04
126	297,38	-8,96
129	297,41	-8,89
132	297,44	-8,78
135	297,51	-8,74
138	297,59	-8,65
141	297,78	-8,59
144	297,74	-8,5
147	298,15	-8,42
150	298,45	-8,35
153	298,48	-8,3
156	298,5	-8,22
159	298,7	-8,15
162	298,7	-8,08
165	298,71	-8,04
168	298,69	-7,95
171	298,73	-7,88
174	298,66	-7,81
177	298,8	-7,77
180	298,42	-7,74
183	298,49	-7,6
186	298,55	-7,47
189	298,64	-7,36
192	298,77	-7,24
195	298,65	-7,11
198	298,79	-7,02
201	298,96	-6,95
204	299,04	-6,88
207	298,93	-6,8
210	298,98	-6,71
213	298,72	-6,63
216	298,47	-6,57
219	298,52	-6,52
222	299,8	-6,45
225	299,85	-6,38
228	299,97	-6,32
231	300,11	-6,28
234	300,57	-6,23
237	300,53	-6,2
240	299,6	-6,13
243	300,21	-6,1
246	299,97	-6,06
249	299,95	-6,03
252	300,18	-5,99
255	300,64	-5,95
258	300,32	-5,9
261	300,55	-5,86
264	301,07	-5,81
267	301,01	-5,75

270	300,6	-5,66
273	300,57	-5,61
276	300,33	-5,56
279	300,93	-5,59
282	301,04	-5,81
285	301,12	-5,9
288	301,19	-6,05
291	301,24	-6,08
294	301,25	-6,11
297	300,32	-6,11
299	301,53	-6,12
300	301,56	-6,13

asplan viak

Multiconsult

AVM-20-G-RAP-002

Vedlegg 4: Borerapport

ENTREPRENØRSERVICE

Anlegg: Kvasnes avløpsreinseanlegg
Oppdragsgiver: Multiconsult
Beliggenhet: Torvmyrvegen 4, 6037 Eidsnes
Borerigg: Diamec U8

Sak nr.: 16453
Hull nr.: K 01
Helning: -10°
Bore type: NQ2

30.09.2022
Borebas:AGU/MB/VP
Ø kjerne: 50,7mm

Dato	Krone type	Krone nr.	Boret			Boret betong	Antall opptak	Merknad	Borsynk	Vatn	Matetrykk	Rotasjons-trykk	Merknad Kjernetap			
			frå	til	m	m			*cm/min*	*farge*	*kN*	*bar*	frå	til	cm	
30.09.2022	Boart	Red	0	3,1	3,1		1	Kjerneboring før casingboring	5	grått	10	60-90				
30.09.2022	Juferma	2	0	2	2			Casingboring	7		10					
01.10.2022	Juferma	NCB	0	3,1	3,1	3,1		Sementboring								
01.10.2022	Boart	Red	3,1	37,6	34,5		14	kjb.mange sprekker ,stort vanntap til 12,6m	20-30	grått/hvitt	10-28	95-100				
								Støpt hull pga. stort vanntap.								
03.10.2022	Juferma	NCB	0	37,6	37,6	37,6		Sementboring								
03.10.2022	Boart	Red	37,6	61,6	24		8	oppsprukket fjell , lettboret	20-30	grått/hvitt	15-22	95-105				
04.10.2022	Juferma	NCB	0	14	14	14		Sementboring								
04.10.2022	Boart	Red	61,6	97,6	36		13	kjerneboring, oppsprukket,men fint fjell	20-30	grått/hvitt	20-27	100-155				
05.10.2022	Boart	Red	97,6	110,3	12,7		6	Kjernetap pga borteknisk feil	15-20	grått	15-28	105-155	111	112,3	130	
08.10.2022	Boart	Yellow	110,3	115,7	5,4		6		15-20	grått	16-25	105-160				
10.10.2022	Boart	Yellow	115,7	139,7	24		9		10-20	grått/hvitt	12-21	110-160				
11.10.2022	Boart	Yellow	139,7	163,7	24		13	148,7-149m: Knust/sleppe 152,3: Oppsprekt	10-20	Grått/rødt	13-20	110-165				
12.10.2022	Boart	Yellow	163,7	175,7	12		8	Vanninntregning i hull 163,7-166,4m	8-35	Grått	9-18	95-170	164	165,2	120	Vann ut av borhull 129 l/min 2 bar
13.10.2022	Boart	Yellow	175,7	202,7	27		10	168-180: Oppsprekt	12-20	Grått/rødt	18-22	115-170				
14.10.2022	Boart	Yellow	202,7	226,7	24		8	233,5: Knust	15-23	Grått	17-25	125-170				
15.10.2022	Boart	Yellow	226,7	256,7	30		11		18-25	Grått	17-21	130-170				Vann ut av borhull 129 l/min 1 bar
17.10.2022	Boart	Orange	256,7	277,4	20,7		8		18-25	Grått	18-22	135-175				
18.10.2022	Boart	Orange	277,4	286,7	9,3		7	Kjernetap pga innerrør ikke har vært i lås	18-25	Grått	17-22	135-175	283,4	284	60	
19.10.2022	Boart	Orange	286,7	300,3	13,6		5	295,5: Knust	18-25	Grått	17-22	140-180				

20.10.2022
Gjenstøping/injisering av borehull. Packer for injeksjon satt på 15m for å unngå vanntap i starten av hull. Benyttet Sement Scan STD. 25kg sekker. Benyttet Putzmeister SP11 for injeksjon
Hullet fylt med 100kg Nonset 50 fra packer (15m) og til 0m for å tette hele hullet.

Mengde	**Trykk**	
1525kg	2-10bar	Stoppet injisering ved 10 bar trykk da det ikke går inn mer mengde.

asplan viak

Multiconsult

AVM-20-G-RAP-002

Vedlegg 5: Vanntapsmåling

Vanntapsmåling

KBH:	K 01	Sted:	Torvmyrvegen 4	Prosjekt:	16453
Dato:	20.10.2022	Oppdragsgiver:	Multiconsult	Signatur:	AGU/MB

Fra M	Til M	Liter 5 min/	Lengde i M /	Tid Min x10 /	Trykk Bar =	Lugeon
1,6	7,6	325	6	5	10	10,8333333
7,6	13,6	245	6	5	10	8,16666667
13,6	19,6	0	6	5	10	0
19,6	25,6	10	6	5	10	0,33333333
25,6	31,6	20	6	5	10	0,66666667
31,6	37,6	15	6	5	10	0,5
37,6	43,6	10	6	5	10	0,33333333
43,6	49,6	0	6	5	10	0
49,6	55,6	5	6	5	10	0,16666667
55,6	61,6	0	6	5	10	0
61,6	67,6	25	6	5	10	0,83333333
67,6	73,6	0	6	5	10	0
73,6	79,6	10	6	5	10	0,33333333
79,6	85,6	0	6	5	10	0
85,6	91,6	20	6	5	10	0,66666667
91,6	97,6	0	6	5	10	0
97,6	103,6	15	6	5	10	0,5
103,6	109,6	45	6	5	10	1,5
109,7	115,7	0	6	5	10	0
115,7	121,7	0	6	5	10	0
121,7	127,7	0	6	5	10	0
127,7	133,7	0	6	5	10	0
133,7	139,7	40	6	5	10	1,33333333
139,7	145,7	0	6	5	10	0
145,7	151,7	0	6	5	10	0
151,7	157,7	5	6	5	10	0,16666667
157,7	163,7	20	6	5	10	0,66666667
163,7	169,7	180	6	5	12	5
169,7	175,7	0	6	5	10	0
175,7	181,7	30	6	5	10	1
181,7	187,7	30	6	5	10	1
187,7	193,7	15	6	5	10	0,5
193,7	199,7	5	6	5	10	0,16666667
199,7	205,7	25	6	5	10	0,83333333
205,7	211,7	0	6	5	10	0
211,7	217,7	0	6	5	10	0
217,7	223,7	0	6	5	10	0
223,7	229,7	10	6	5	10	0,33333333
229,7	235,7	0	6	5	10	0
235,7	241,7	0	6	5	10	0
241,7	247,7	0	6	5	10	0
247,7	253,7	0	6	5	10	0
253,7	259,7	0	6	5	10	0
259,7	265,7	0	6	5	10	0
265,7	271,7	0	6	5	10	0
271,7	277,7	0	6	5	10	0
277,7	283,7	0	6	5	10	0
283,7	289,7	0	6	5	10	0
289,7	295,7	0	6	5	10	0
294,3	300,3	0	6	5	10	0

Lugeonverdi blir regnet ut påfølgende måte ved å bruke denne formele:
Lugeon verdi = V / L / T x 10 bars / P
Hvor: V = Totalt vanntap (liter); L = Måle lengde (meter);T = Tid (minuttter); P = Trykk (bar).

asplan viak

Multiconsult

AVM-20-G-RAP-002

Vedlegg 6: SINTEF test rapport

SINTEF

Testrapport

Kongshaugstranda Renseanlegg

Undersøkelse av bergmekaniske egenskaper samt motstand mot knusing og slitasje.

Forfattere

Joakim L. Eggen, Kevin Aaserud Dahlen, Kjartan Følke

Rapportnr:

2022-12-09 -22125TSBM

Oppdragsgiver:

Multiconsult AS

Teknologi for et bedre samfunn

SINTEF Community
Postadresse:
Postboks 4760 Torgarden
7465 Trondheim

Sentralbord: 40005100

info@sintef.no

Foretaksregister:
NO 919 303 808 MVA

NTNU
Samarbeidende laboratorium

Rapport

Kongshaugstranda Renseanlegg

EMNEORD:
Tilslagstesting, Los Angeles, micro-Deval, UCS, E-modul, Poisson

VERSJON
1.0

DATO
2022-12-09

FORFATTER
Joakim L. Eggen, Kevin Aaserud Dahlen, Kjartan Følke

OPPDRAGSGIVER
Multiconsult AS

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE
Henki Ødegaard

PROSJEKTNUMMER
102026821-125

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
18

SAMMENDRAG
Det tilsendte prøvematerialet er analysert ved SINTEF Community, faggruppe for Berg- og geoteknikk for bestemmelse av:

- Los Angeles (LA)
- Micro-Deval (MD)
- Densitet
- Lydhastighet
- Enaksiell trykkfasthet
- E-modul og Poisson's forhold

Prøvematerialet er analysert i henhold til:

- NS-EN 1097-2 Prøvingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag, Del 2: Metoder for bestemmelse av motstand mot knusing
- NS-EN 1097-1 Prøvingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag. Del 1: Bestemmelse av motstand mot slitasje (micro-Deval)
- ISRM SM for bergmekanisk testing

UTARBEIDET AV
Joakim Leraand Eggen

SIGNATUR

GODKJENT AV
Simon Alexander Hagen

SIGNATUR

RAPPORTNUMMER
22125TSBM

GRADERING
Fortrolig

GRADERING DENNE SIDE
Åpen

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATION
DNV·GL
ISO 9001 ISO 14001
OHSAS 18001

Innholdsfortegnelse

1 Oppsummering testresultat 3

2 Resultat densitet (ρ), lydhastighet (υ_p), E-modul (E), Poisson's forhold (ν), enaksiell trykkfasthet (σ_c) og bruddvinkel (β) 4

3 Resultater Los Angeles 7

4 Resultater micro-Deval 9

5 Los Angeles metoden 11

6 Micro-Deval metoden 11

7 Foto av kjernemateriale mottatt for testing 12

8 Testutstyr ved Berglaboratoriet SINTEF/NTNU 14

8.1 Testutstyr brukt til bestemmelse av Los Angeles og Micro-deval 14

8.2 Preparering av kjerner for testing 15

8.3 Bilder av utstyr brukt til bestemmelse av E-modul, Poisson`s forhold og enaksiellstyrke. ... 16

1 Oppsummering testresultat

Tabell 1 viser gjennomsnittsverdier for de utførte testene på de mottatte prøvene. Prøvene ble levert som ferdig utborede kjerner til SINTEF av oppdragsgiver. Bergartsnavn var oppgitt av oppdragsgiver til å være granittisk gneis.

PROSJEKT NR: 102026821-125
LOKALITET: Kongshaugstranda Renseanlegg

Tabell 1 Gjennomsnittsverdier testresultat

PRØVE NR. (GITT AV SINTEF) PRØVE ID (GITT AV OPPDRAGSGIVER)		1 BH-1-01, 191-192m	2 BH-1-02, 248-250m	3 BH-1-03, dyp 270-275m	4 BH-1-04, 117,5-118,5m	5 BH-1-05, dyp 65-70m
	ENHET	GJENNOMSNITTSVERDIER				
DENSITET (ρ)	kg/m³	2783	2695	-	2814	-
LYDHASTIGHET (υ_p)	m/s	5643	5374	-	5403	-
E-MODUL *(E)*	GPa	70,9	68,5	-	64,8	-
POISSONS FORHOLD *(v)*	*(tverr-kontraksjonstall)*	0,210	0,195	-	0,195	-
ENAKSIELL TRYKKFASTHET (σ_c)	MPa	182,7	278,8	-	215,2	-
BRUDDVINKEL (β)	gr °	21	21	-	22	-
MICRO DEVAL VERDI (MDE)		-	-	7,2	-	6,4
LOS ANGELES VERDI (LA)		-	-	19,6	-	17,8

Merknader:

- E-modul og Poisson's forhold er beregnet ved hjelp av tangent metoden iht. ISRM.
- Lydhastighet utført ved bruk av 54 kHz transducer.

Figur 1 Mottatt kjernekasse med prøver til UCS, E-mod og Poisson's forhold

2 Resultat densitet (ρ), lydhastighet (υ_p), E-modul (E), Poisson's forhold (ν), enaksiell trykkfasthet (σ_c) og bruddvinkel (β)

TEST METODE: ISRM Suggested Methods for Rock Testing

PRØVE ID:	**1, BH-1-01, 191-192m**	**OPERATØR:**	KFo
JOURNAL NR:	22125BM	**TESTMASKIN:**	Robcon/FTS
PROSJEKT NR:	102026821-125	**DATO:**	05.12.2022 til 07.12.2022
LOKALITET:	Kongshaugstranda Renseanlegg	**VANNINNHOLD:**	Uspesifisert
BERGART:	Granittisk gneis	**LASTHASTIGHET:**	0,5 MPa/s
LASTRETNING:	Parallelt med lagdeling	**LAST E-MODUL:**	45 MPa

PRØVE Nr.	DIAMETER [mm]	LENGDE [mm]	VEKT [g]	TID [µs]	LENGDE/DIA. FORHOLD	DENSITET [kg/m³]	LYDHASTIGHET [m/s]	E-MODUL [GPa]	POISSON`S FORHOLD	TRYKKFASTHET [MPa]	BRUDDVINKEL [°]	BRUDDTYPE (visuell evaluering)
01-1	50,65	125,95	700,62	21,9	2,49	2761	5751	73,7	0,198	208,0	23	Foliasjonsbrudd
01-2	50,65	125,95	696,62	21,9	2,49	2745	5751	75,3	0,194	216,1	21	Mangfoldig skjærbrudd
01-3	50,65	125,95	697,89	22,9	2,49	2750	5500	69,6	0,212	201,6	18	Foliasjonsbrudd
01-4	50,65	125,95	730,41	22,0	2,49	2878	5725	67,0	0,227	131,5	24	Foliasjonsbrudd
01-5	50,65	125,68	704,31	22,9	2,48	2781	5488	69,0	0,220	156,2	26	Foliasjonsbrudd
GJENNOMSNITT						**2783**	**5643**	**70,9**	**0,210**	**182,7**	**21**	
STD. AVVIK						55	136	3,4	0,014	36,9	**4**	

MERKNADER:
1. E-modul og Poisson's forhold er beregnet ved hjelp av Tangent metoden.
2. Lydhastighet utført ved bruk av 54 kHz
3. Foliasjonsbrudd på prøve 01-1 er ikke inkludert i gjennomsnittsverdi.

Bilder av prøver før og etter brudd

PRØVE ID:	**2, BH-1-02, 248-250m**	**OPERATØR:**	KFo
JOURNAL NR:	22125BM	**TESTMASKIN:**	Robcon/FTS
PROSJEKT NR:	102026821-125	**DATO:**	06.12.2022 til 08.12.2022
LOKALITET:	Kongshaugstranda Renseanlegg	**VANNINNHOLD:**	Uspesifisert
BERGART:	Granittisk gneis	**LASTHASTIGHET:**	0,5 MPa/s
LASTRETNING:	Parallelt med lagdeling	**LAST E-MODUL:**	45 MPa

PRØVE Nr.	DIAMETER [mm]	LENGDE [mm]	VEKT [g]	TID [µs]	LENGDE/DIA. FORHOLD	DENSITET [kg/m³]	LYDHASTIGHET [m/s]	E-MODUL [GPa]	POISSON`S FORHOLD	TRYKKFASTHET [MPa]	BRUDDVINKEL [°]	BRUDDTYPE (visuell evaluering)
02-1	50,38	125,68	675,38	22,9	2,49	2696	5488	75,7	0,226	274,6	25	Skjærbrudd
02-2	50,38	125,68	677,54	23,9	2,49	2704	5259	66,6	0,190	293,8	20	Dobbelt skjærbrudd
02-3	50,38	125,68	674,06	23,4	2,49	2690	5371	66,6	0,193	263,7	20	Dobbelt skjærbrudd
02-4	50,38	125,78	675,42	23,4	2,50	2694	5375	69,0	0,185	290,4	19	Dobbelt skjærbrudd
02-5	50,38	125,78	674,72	23,4	2,50	2691	5375	64,4	0,180	271,7	23	Dobbelt skjærbrudd
GJENNOMSNITT						**2695**	**5374**	**68,5**	**0,195**	**278,8**	**21**	
STD. AVVIK						6	81	4,4	0,018	12,8	**3**	

MERKNADER: 1. E-modul og Poisson's forhold er beregnet ved hjelp av Tangent metoden.

2. Lydhastighet utført ved bruk av 54 kHz

Bilder av prøver før og etter brudd

PRØVE ID:	**4, BH-1-04, 117,5-118,5m**	**OPERATØR:**	KFo
JOURNAL NR:	22125BM	**TESTMASKIN:**	Robcon/FTS
PROSJEKT NR:	102026821-125	**DATO:**	06.12.2022 til 08.12.2022
LOKALITET:	Kongshaugstranda Renseanlegg	**VANNINNHOLD:**	Uspesifisert
BERGART:	Granittisk gneis	**LASTHASTIGHET:**	0,5 MPa/s
LASTRETNING:	Parallelt med lagdeling	**LAST E-MODUL:**	45 MPa

PRØVE Nr.	DIAMETER [mm]	LENGDE [mm]	VEKT [g]	TID [µs]	LENGDE/DIA. FORHOLD	DENSITET [kg/m³]	LYDHASTIGHET [m/s]	E-MODUL [GPa]	POISSON`S FORHOLD	TRYKKFASTHET [MPa]	BRUDDVINKEL [°]	BRUDDTYPE (visuell evaluering)
04-1	50,45	125,78	705,03	22,4	2,49	2804	5615	65,5	0,207	210,1	21	Mangfoldig skjærbrudd
04-2	50,45	125,78	706,88	22,9	2,49	2811	5493	66,6	0,188	221,9	20	Mangfoldig skjærbrudd
04-3	50,45	125,70	707,49	24,9	2,49	2816	5048	62,4	0,193	207,7	25	Mangfoldig skjærbrudd
04-4	50,45	125,70	708,02	23,4	2,49	2818	5372	66,0	0,196	218,1	21	Mangfoldig skjærbrudd
04-5	50,45	125,70	708,38	22,9	2,49	2819	5489	63,3	0,190	218,3	25	Mangfoldig skjærbrudd
GJENNOMSNITT						**2814**	**5403**	**64,8**	**0,195**	**215,2**	**22**	
STD. AVVIK						6	216	1,8	0,007	6,0	2	

MERKNADER: 1. E-modul og Poisson's forhold er beregnet ved hjelp av Tangent metoden.

2. Lydhastighet utført ved bruk av 54 kHz

Bilder av prøver før og etter brudd

3 Resultater Los Angeles

JOURNAL NR:	22125TSBM	**DATO:**	24.11.2022
OPPDRAGSGIVER:	Multiconsult Norge AS	**PRØVE NR:**	3
OPERATØR:	KAD	**PRØVE ID:**	**3, BH-1-03, dyp 270-275**

FRAKSJONER	VEKT PRØVE [g]
10.0-12.5 mm	3250
12.5-14.0mm	1750
SUM	**5000**

VEKT ETTER FORSØK	VEKT PRØVE [g]
> 1.6 mm	4022
< 1.6 mm	978

Los Angeles Koeffisient (LA)	**19.6**

Prøve 3 merket '' ID: "BH-1-03", dyp 270-275. LA/Mdv ''

JOURNAL NR:	22125TSBM	**DATO:**	24.11.2022
OPPDRAGSGIVER:	Multiconsult Norge AS	**PRØVE NR:**	5
OPERATØR:	KAD	**PRØVE ID:**	**5, BH-1-05, dyp 65-70**

FRAKSJONER	VEKT PRØVE [g]
10.0-12.5 mm	3250
12.5-14.0mm	1750
SUM	5000

VEKT ETTER FORSØK	VEKT PRØVE [g]
> 1.6 mm	4111
< 1.6 mm	889

Los Angeles Koeffisient (LA)	**17.8**

Prøve 5 merket '' ID: "BH-1-05", dyp 65-70. LA/Mdv ''

4 Resultater micro-Deval

JOURNAL NR:	22125TSBM	**DATO:**	24.11.2022
OPPDRAGSGIVER:	Multiconsult Norge AS	**PRØVE NR:**	3
OPERATØR:	KAD	**PRØVE ID:**	**3, BH-1-03, dyp 270-275**

FRAKSJONER	VEKT PRØVE 1 [g]	VEKT PRØVE 2 [g]
10.0-12.5 mm (325±1g)	325	325
12.5-14.0mm (175±1g)	175	175
SUM	**36**	**36**

VEKT ETTER FORSØK	VEKT PRØVE 1 [g]	VEKT PRØVE 2 [g]
> 1.6 mm	464	464
< 1.6 mm	36	36

MICRO-DEVAL KOEFFISIENT	7,2	7,2
MIDDELVERDI	**7,2**	

Prøve 3 merket ''ID: "BH-1-03", dyp 270-275. LA/Mdv''

JOURNAL NR:	22125TSBM	**DATO:**	24.11.2022
OPPDRAGSGIVER:	Multiconsult Norge AS	**PRØVE NR:**	5
OPERATØR:	KAD	**PRØVE ID:**	**5, BH-1-05, dyp 65-70**

FRAKSJONER	VEKT PRØVE 1 [g]	VEKT PRØVE 2 [g]
10.0-12.5 mm (325±1g)	325	325
12.5-14.0mm (175±1g)	175	175
SUM	500	500

VEKT ETTER FORSØK	VEKT PRØVE 1 [g]	VEKT PRØVE 2 [g]
> 1.6 mm	470	466
< 1.6 mm	30	34

MICRO-DEVAL KOEFFISIENT	6,0	6,8
MIDDELVERDI	**6,4**	

Prøve 5 merket ''ID:"BH-1-05", dyp 65-70. LA/Mdv ''

5 Los Angeles metoden

Los Angeles metoden sier noe om motstandsevnen et tilslag har mot nedknusing, og simulerer påkjenningen tilslaget utsettes for i en vei. Testen utføres ved at tilslaget tromles 500 omdreininger sammen med 11 stålkuler med diameter mellom 45 og 49 mm. i en hastighet mellom 31 og 33 omdreininger per minutt. LA-verdien er prosent gjennomgående materiale på et 1,6 mm sikt. Lav LA verdi kan indikere god motstand mot knusing.

Los Angeles koeffisient er oppgitt ved følgende formel:

$$LA = \frac{5000 - m}{50}$$

LA = Los Angeles koeffisient
M = masse igjen på 1,6 mm sikt

6 Micro-Deval metoden

Micro-Deval metoden sier noe om motstandsevnen et tilslag har mot slitasje. Testen utføres ved at tilslaget tromles 12 000 omdreininger med en fart på ca. 100 omdreininger per minutt sammen med 5000 ± 5 g stålkuler med diameter på 10 ± 0,5 mm. Micro-Deval verdien er prosent gjennomgående materiale på et 1,6 mm sikt. Lav micro-Deval verdi kan indikere god motstand mot slitasje.

Micro-Deval koeffisient er oppgitt ved følgende formel:

$$M_{DE} = \frac{500 - m}{5}$$

M_{DE} = Micro-Deval koeffisient
m = masse igjen på 1,6 mm sikt

7 Foto av kjernemateriale mottatt for testing

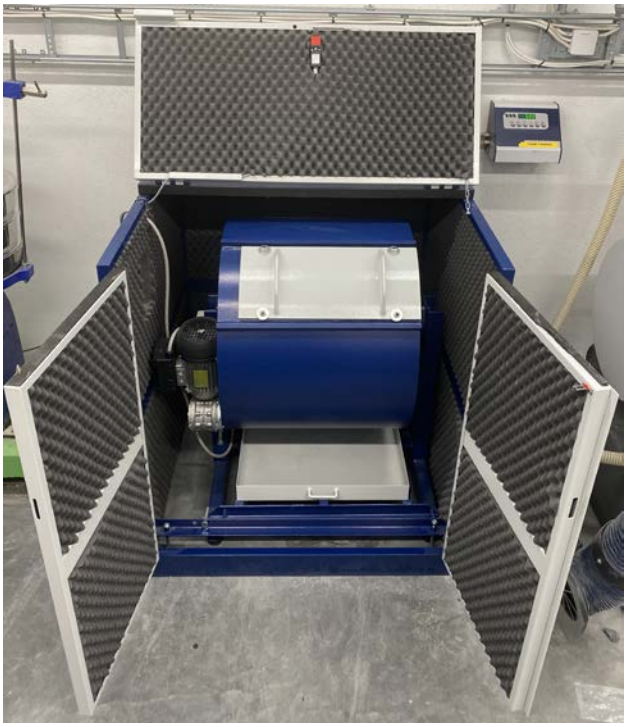
Mottatt kjernekasse med prøver til UCS, E-mod og Poisson's forhold merket ID: "BH-1-01", dyp 191-192. UCS/E-mod, BH-1-02 ", dyp 248-250. UCS/E-mod og BH-1-04", dyp 117,5-118,5. UCS/E-mod''

Prøve 3 merket '' ID: "BH-1-03", dyp 270-275. LA/Mdv''

Prøve 5 merket '' ID: "BH-1-05", dyp 65-70. LA/Mdv''

8 Testutstyr ved Berglaboratoriet SINTEF/NTNU

8.1 Testutstyr brukt til bestemmelse av Los Angeles og Micro-deval



MATEST Los Angeles apparatur

MATEST micro-Deval apparatur

8.2 Preparering av kjerner for testing

MAS VO32 Kjerneboremaskin og Kaspo plansliper.

Pundit lab brukt til bestemmelse av lydhastighet, Mettler Toledo vekt and Mitutoyo skyvelære/høydemåler/planhetsmåler.

8.3 Bilder av utstyr brukt til bestemmelse av E-modul, Poisson`s forhold og enaksiellstyrke.

"Robcon" hydraulisk presse og datalogging for spenning-tøyningskurver brukt for bestemmelse av E-modul. Poisson`s forhold, enaksiell trykkfasthet og strekkfasthet (Brazililianer).

"FORM + TEST Prüfsystem, Alpha 3-2000S og Delta 6-100" hydraulisk presse og datalogging for spenningskurver brukt for bestemmelse av Enaksiell trykkfasthet, bøyestrekkfasthet, punktlast og brazilianer.

SINTEF

Teknologi for et bedre samfunn

ANALYSERAPPORT

Ordrenummer	: **NO2224918**	Side	: 1 av 5
Kunde	: **Multiconsult Norge AS**	Prosjekt	: Kvasnes Renseanlegg
Kontakt	: Henki Ødegaard	Prosjektnummer	: Referanse: Christian Havnegjerde
Adresse	: Skansekaia 3a 6002 Ålesund Norge	Prøvetaker	: ----
		Sted	: ----
		Dato prøvemottak	: 2022-11-28 13:15
Epost	: henki.oedegaard@multiconsult.no	Analysedato	: 2022-12-04
Telefon	: ----	Dokumentdato	: 2022-12-14 08:20
COC nummer	: ----	Antall prøver mottatt	: 2
Tilbuds- nummer	: OF211599	Antall prøver til analyse	: 2

Om rapporten

Forklaring til resultatene er gitt på slutten av rapporten.
Denne rapporten erstatter enhver foreløpig rapport med denne referansen. Resultater gjelder innleverte prøver slik de var ved innleveringstidspunktet. Alle sider på rapporten har blitt kontrollert og godkjent før utsendelse.

Denne rapporten får kun gjengis i sin helhet, om ikke utførende laboratorium på forhånd har skriftlig godkjent annet. Resultater gjelder bare de analyserte prøvene.

Hvis prøvetakingstidspunktet ikke er angitt, prøvetakingstidspunktet vil bli default 00:00 på prøvetakingsdatoen. Hvis datoen ikke er angitt, blir default dato satt til dato for prøvemottak angitt i klammer uten tidspunkt.

Kommentarer

Prøve(r) NO2224918-002: På grunn av lite eluat ble analysen fortynnet (108mL / 216mL).
Resultater for andre analyser er vedlagt i separat vedlegg nr. 1 til analyserapporten for arbeidsordre NO2224918.
Prøve(r) NO2224918/002, metode W-METMSFX - Rapporteringense økt på grunn av matriksinterferens.

Underskrivere	*Posisjon*
Torgeir Rødsand	DAGLIG LEDER

asplan viak

Multiconsult

AVM-20-G-RAP-002

Vedlegg 7: ALS test rapport

Analyseresultater

Submatriks: **BYGNINGSMATERIALE**

			Kundes prøvenavn	**BH-1-06 Ristetest**				
			Prøvenummer lab	*NO2224918001*				
			Kundes prøvetakingsdato	*2022-11-28 00:00*				
Parameter	**Resultat**	MU	*Enhet*	*LOR*	*Analysedato*	*Metode*	*Utf. lab*	*Acc.Key*
Analyser ristetest								
Mengde innveid	**80.1**	----	g	0.1	2022-12-06	S-PPL24INE	PR	a ulev
Volum eluat L/S = 10	**500**	----	mL	0.1	2022-12-06	S-PPL24INE	PR	a ulev
Volum tilsatt	**800**	----	mL	0.1	2022-12-06	S-PPL24INE	PR	a ulev
Fysikalsk								
Tørrstoff ved 105 grader	**99.9**	± 6.02	%	0.10	2022-12-04	S-DRY-GRCI	PR	a ulev
Temperatur	**21.0**	----	°C	0.5	2022-12-06	S-PPL24INE	PR	a ulev
pH	**8.10**	----	-	1.00	2022-12-06	S-PPL24INE	PR	a ulev
Ledningsevne (konduktivitet)	**4.20**	----	mS/m	0.10	2022-12-06	S-PPL24INE	PR	a ulev
Totale elementer/metaller								
As (Arsen)	<0.010	----	mg/kg TS	0.010	2022-12-07	W-METMSFX1	PR	a ulev
Ba (Barium)	**0.446**	± 0.04	mg/kg TS	0.010	2022-12-07	W-METMSFX2	PR	a ulev
Cd (Kadmium)	<0.0020	----	mg/kg TS	0.0020	2022-12-07	W-METMSFX1	PR	a ulev
Cr (Krom)	<0.050	----	mg/kg TS	0.050	2022-12-07	W-METMSFX1	PR	a ulev
Cu (Kopper)	**0.021**	± 0.002	mg/kg TS	0.010	2022-12-07	W-METMSFX2	PR	a ulev
Hg (Kvikksølv)	<0.00010	----	mg/kg TS	0.00010	2022-12-07	W-HG-AFSFX	PR	a ulev
Mo (Molybden)	<0.010	----	mg/kg TS	0.010	2022-12-07	W-METMSFX1	PR	a ulev
Ni (Nikkel)	<0.030	----	mg/kg TS	0.030	2022-12-07	W-METMSFX1	PR	a ulev
Pb (Bly)	<0.010	----	mg/kg TS	0.010	2022-12-07	W-METMSFX1	PR	a ulev
Sb (Antimon)	<0.010	----	mg/kg TS	0.010	2022-12-07	W-METMSFX1	PR	a ulev
Se (Selen)	<0.010	----	mg/kg TS	0.010	2022-12-07	W-METMSFX1	PR	a ulev
Zn (Sink)	**0.090**	± 0.009	mg/kg TS	0.020	2022-12-07	W-METMSFX2	PR	a ulev
Anioner								
Klorid (Cl-)	**8.46**	± 1.27	mg/kg TS	0.60	2022-12-07	W-ANI-ENV	PR	a ulev
Fluorid (F-)	**0.71**	± 0.11	mg/kg TS	0.20	2022-12-07	W-ANI-ENV	PR	a ulev
Sulfat (SO4)	**12.3**	± 1.84	mg/kg TS	0.60	2022-12-07	W-ANI-ENV	PR	a ulev
Fysikalsk								
Fenolindeks	<0.05	----	mg/kg TS	0.05	2022-12-08	W-PHI-CFA	CS	a ulev
Andre analyser								
Løst organisk karbon (DOC)	**10.2**	± 2.04	mg/kg TS	5.0	2022-12-07	W-DOC-IR	PR	a ulev
Suspendert stoff	**50**	± 6.50	mg/kg TS	20	2022-12-07	W-TSS-GR	PR	a ulev

Dokumentdato : 2022-12-14 08:20
Side : 3 av 5
Ordrenummer : NO2224918
Kunde : Multiconsult Norge AS

Submatriks: **BYGNINGSMATERIALE**

			Kundes prøvenavn	**BH-1-06 Kolonnetest L/S=0.1**				
			Prøvenummer lab	*NO2224918002*				
			Kundes prøvetakingsdato	*2022-11-28 00:00*				
Parameter	**Resultat**	MU	*Enhet*	*LOR*	*Analysedato*	*Metode*	*Utf. lab*	*Acc.Key*
Tørrstoff								
Tørrstoff ved 105 grader	**99.9**	± 6.02	%	0.10	2022-12-09	S-DRY-GRCI	PR	a ulev
Prøvepre-preparering								
Gjennomsnittlig flow (ikke akkreditert)	**13.0**	----	mL/h	0.1	2022-12-09	S-PPLPER	CS	a ulev
Høyde av materiale i kolonnen (ikke akkreditert)	**28.0**	----	cm	0.1	2022-12-09	S-PPLPER	CS	a ulev
Indre diameter i kolonnen (ikke akkreditert)	**5.0**	----	cm	0.1	2022-12-09	S-PPLPER	CS	a ulev
Mengde tørt materiale i kolonne (ikke akkreditert)	**913**	----	g	0.1	2022-12-09	S-PPLPER	CS	a ulev
pH av første 15 mL	**9.05**	----	--	1.00	2022-12-09	S-PPLPER	CS	a ulev
pH av rest L/S=0.1	**8.85**	----	--	1.00	2022-12-09	S-PPLPER	CS	a ulev
Temperatur av rommet (ikke akkreditert)	**20 ±5**	----	°C	0.5	2022-12-09	S-PPLPER	CS	a ulev
Fysikalsk								
pH-verdi	**8.95**	----	--	1.00	2022-12-09	S-PPLPERS	CS	a ulev
Elektrisk konduktivitet	**302**	----	µS/cm	10	2022-12-09	S-PPLPERS	CS	a ulev
Totale elementer/metaller								
As (Arsen)	<0.0050	----	mg/L	0.0010	2022-12-12	W-METMSFX1	PR	a ulev
Ba (Barium)	**0.166**	± 0.02	mg/L	0.0010	2022-12-12	W-METMSFX2	PR	a ulev
Cd (Kadmium)	<0.00050	----	mg/L	0.00050	2022-12-12	W-METMSFX1	PR	a ulev
Cr (Krom)	<0.0050	----	mg/L	0.0050	2022-12-12	W-METMSFX1	PR	a ulev
Cu (Kopper)	<0.0250	----	mg/L	0.0010	2022-12-12	W-METMSFX2	PR	a ulev
Hg (Kvikksølv)	**0.000088**	± 0.000009	mg/L	0.000010	2022-12-12	W-HG-AFSFX	PR	a ulev
Mo (Molybden)	<0.0250	----	mg/L	0.0010	2022-12-12	W-METMSFX1	PR	a ulev
Ni (Nikkel)	**0.0093**	± 0.0009	mg/L	0.0030	2022-12-12	W-METMSFX1	PR	a ulev
Pb (Bly)	**0.0015**	± 0.0001	mg/L	0.0010	2022-12-12	W-METMSFX1	PR	a ulev
Sb (Antimon)	**0.0032**	± 0.0003	mg/L	0.0010	2022-12-12	W-METMSFX1	PR	a ulev
Se (Selen)	<0.0050	----	mg/L	0.0010	2022-12-12	W-METMSFX1	PR	a ulev
Zn (Sink)	**0.0852**	± 0.008	mg/L	0.0020	2022-12-12	W-METMSFX2	PR	a ulev
Anioner								
Klorid (Cl-)	**12.4**	± 1.86	mg/L	0.500	2022-12-12	W-ANI-ENV	PR	a ulev
Fluorid (F-)	**0.921**	± 0.14	mg/L	0.020	2022-12-12	W-ANI-ENV	PR	a ulev
Sulfat (SO4)	**57.2**	± 8.58	mg/L	0.500	2022-12-12	W-ANI-ENV	PR	a ulev
Fysikalsk								
Suspendert stoff	<10.0	----	mg/L	5.0	2022-12-12	W-TSS-GR	PR	a ulev
Fenolindeks	<0.005	----	mg/L	0.005	2022-12-13	W-PHI-CFA	CS	a ulev
Andre analyser								
Løst organisk karbon (DOC)	**2.74**	± 0.55	mg/L	0.50	2022-12-12	W-DOC-IR	PR	a ulev

Dette er slutten av analyseresultatdelen av analysesertifikatet

Kort oppsummering av metoder

Analysemetoder	*Metodebeskrivelser*
W-PHI-CFA	CZ_SOP_D06_07_066 (CSN EN ISO 14402, CSN EN 16192, SKALAR company methodology) Bestemmelse av fenol spektrofotometrisk ved CFA.
S-DRY-GRCI	CZ_SOP_D06_01_045 (CSN ISO 11465, CSN EN 12880, CSN EN 14346), CZ_SOP_D06_07_046 (CSN ISO 11465, CSN EN 12880, CSN EN 14346, CSN 46 5735) Bestemmelse av tørrstoff gravimetrisk og bestemmelse av vanninnhold ved utregning fra målte verdier.
W-ANI-ENV	CZ_SOP_D06_02_068 (CSN EN ISO 10304-1, CSN EN 16192) Bestemmelse av løst fluorid, klorid, nitritt, bromid, nitrat og sulfat ved IC og bestemmelse av nitritt-N og nitrat-N og sulfat-S ved utregning fra målte verdier inkludert utregning av total mineralisering.
W-DOC-IR	CZ_SOP_D06_02_056 (CSN EN 1484, CSN EN 16192, SM 5310) Bestemmelse av totalt organisk karbon (TOC), løst organisk karbon (DOC), totalt uorganisk karbon (TIC) og totalt karbon (TC) ved IR-deteksjon.
W-HG-AFSFX	CZ_SOP_D06_02_096 (US EPA 245.7, CSN EN ISO 178 52, CSN EN 16192, prøver opparbeidet i henhold til CZ_SOP_D06_02_J02 kap. 10.1 og 10.2.) Bestemmelse av Kvikksølv ved Fluorescens-spektrometri.
W-METMSFX1	CZ_SOP_D06_02_002 (US EPA 200.8, CSN EN ISO 17294-2, US EPA 6020A, CSN 75 7358) - Bestemmelse av elementer ved MS med ICP og støkiometriske utregninger av konsentrasjonen til aktuelle forbindelser fra målte verdier inkludert utregning av total mineralisering og kalkulering av summen Ca+Mg. Prøven ble fiksert med salpetersyre før analyse.
W-METMSFX2	CZ_SOP_D06_02_002 (US EPA 200.8, CSN EN ISO 17294-2, US EPA 6020A, CSN 75 7358) - Bestemmelse av elementer ved MS med ICP og støkiometriske utregninger av konsentrasjonen til aktuelle forbindelser fra målte verdier inkludert utregning av total mineralisering og kalkulering av summen Ca+Mg. Prøven ble fiksert med salpetersyre før analyse.
W-TSS-GR	CZ_SOP_D06_02_070 (CSN EN 872, CSN 757350) Bestemmelse av tørt suspendert stoff og glødet suspendert stoff gravimetrisk og bestemmelse av glødetap av suspendert stoff og totalt faststoff ved utregning fra målte verdier (glassmikrofiberfilter av porestørrelse 1,5 µm - Environmental Express).

Prepareringsmetoder	*Metodebeskrivelser*
S-LPER-A	CZ_SOP_D06_07_087 (CSN P CEN/TS 14405, CSN ISO 10523, CSN 75 7342, CSN EN 27888) Bestemmelse av pH, temperatur og ledningsevne (konduktivitet) ved kolonnetest.
*S-PPHOM10	CSN EN 12457-4 Sikting og knusing av prøve med kornstørrelse < 10 mm.
S-PPLPER	CZ_SOP_D06_07_087 (CSN P CEN/TS 14405, CSN ISO 10523, CSN 75 7342, CSN EN 27888) Bestemmelse av pH, temperatur og ledningsevne (konduktivitet) ved kolonnetest.
S-PPLPERS	CZ_SOP_D06_07_087 (CSN P CEN/TS 14405, CSN ISO 10523, CSN 75 7342, CSN EN 27888) Bestemmelse av pH, temperatur og ledningsevne (konduktivitet) ved kolonnetest.
*S-LS10-A	CSN EN 12457-2 Karakterisering av avfall - Eluering - Utlekkingstest av granulert avfall, materialer og slam - Part 2: Ett-stegs test ved væske to solid ratio 10 l/kg for prøvemateriale med partikkelstørrelse under 4 mm (uten or med størrelsesreduksjon).
*S-PPHOM4	CZ_SOP_D06_07_P01 Prøvepreparering av faste prøver for analyse (knusing, kverning og pulverisering).
S-PPL24INE	CZ_SOP_D06_07_P03 Prøvepreparering av eluat 1:10 fra fast stoff, soils, avfall (basert på DIN 38414 S4, ÖNORM S2072, EN 12457-2, att. no. 4 MZP no. 383/2001 a MP MZP 12/2002). Liquid to Solid ratio var 10:1.

Dokumentdato	:	2022-12-14 08:20
Side	:	5 av 5
Ordrenummer	:	NO2224918
Kunde	:	Multiconsult Norge AS

Noter:

LOR = Rapporteringsgrenser representerer standard rapporteringsgrenser for de respektive parameterne for hver metode. Merk at rapporteringsgrensen kan bli påvirket av f.eks nødvendig fortynning grunnet matriksinterferens eller ved for lite prøvemateriale

MU = Måleusikkerhet

a = A etter utøvende laboratorium angir akkreditert analyse gjort av ALS Laboratory Norway AS

a ulev = A ulev etter utøvende laboratorium angir akkreditert analyse gjort av underleverandør

***** = Stjerne før resultat angir ikke-akkreditert analyse.

< betyr mindre enn

> betyr mer enn

n.a. – ikke aktuelt

n.d. – Ikke påvist

Måleusikkerhet:

Måleusikkerhet skal være tilgjengelig for akkrediterte metoder. For visse analyser der dette ikke oppgis i rapporten, vil dette oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

Måleusikkerheten angis som en utvidet måleusikkerhet (etter definisjon i "Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement", JCGM 100:2008 Corrected version 2010) beregnet med en dekningsfaktor på 2 noe som gir et konfidensinterval på om lag 95%.

Måleusikkerhet fra underleverandører angis ofte som en utvidet usikkerhet beregnet med dekningsfaktor 2. For ytterligere informasjon, kontakt laboratoriet.

Utførende lab

	Utførende lab
CS	*Analysene er utført av:* ALS Czech Republic, s.r.o., Bendlova 1687/7 Ceska Lipa 470 01
PR	*Analysene er utført av:* ALS Czech Republic, s.r.o., Na Harfe 336/9 Prague 9 - Vysocany 190 00

Attachment no. 1 to the certificate of analysis of the work order NO2224918

Sample label:	**BH-1-06 Ristetest**
Lab. ID:	**NO2224918001**

Leachate (L/S 10) - the basic parameters		**L/S 10**
Analyses (parameters)	**Unit**	**Values**
Dry matter @ 105°C	[%]	99.9
Mass of Analytical Sample	[g]	80.1
Volume of Leach L/S = 10	[mL]	500
Volume of Water added for Leach L/S = 10	[mL]	800
pH	--	8.10
Electrical Conductivity @ 25°C	[mS/m]	4.20
Temperature	°C	21.0

Calculated results in "mg/l", i.e. the amounts leached out from the sample in the first stage (L/S ratio 10)

Analyses (parameters)	**Unit**	**L/S 10**	
		Values	**MU %**
DOC	mg/L	1.02	± 32
Phenol Index	mg/L	<0.00500	-
Cl^-	mg/L	0.846	± 29
F^-	mg/L	0.0710	± 29
TSS	mg/L	5.00	± 28
$SO4^{2-}$	mg/L	1.23	± 29
Sb	mg/L	<0.00100	-
As	mg/L	<0.00100	-
Ba	mg/L	0.0446	± 27
Cd	mg/L	<0.000200	-
Cu	mg/L	0.00210	± 27
Cr	mg/L	<0.00500	-
Pb	mg/L	<0.00100	-
Hg	mg/L	<0.0000100	-
Mo	mg/L	<0.00100	-
Ni	mg/L	<0.00300	-
Se	mg/L	<0.00100	-
Zn	mg/L	0.00900	± 27

Test method specification: ČSN EN 12457-2 Characterisation of waste - Leaching – Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges - Part 2: One stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 L/kg for materials with particle size below 4 mm

MU % = Measurement uncertainty in relative per cents is expressed as an expanded measurement uncertainty with coverage factor k = 2, representing 95% confidence level.

The end of result part of the attachment the certificate of analysis

Attachment no. 1 to the certificate of analysis for work order NO2224918

Analytical Results – Leaching test according to the standard CSN EN 14405
"Characterization of waste – Leaching behavior tests –
Up-flow percolation test (under specified conditions)"

Laboratory ID of the analysed sample: **NO2224918002**
Client's ID of the analysed sample: **BH-1-06 Kolonnetest**

Sample preparation:
The tested material was crushed below 4 mm and after homogenization the aliquot part was used to fill the column according to the standard CSN EN 14405.

General information about the experiment

The column has been used with the inner diameter:	**5.0**	**cm**
Dry matter content:	**99.9**	**%**
Amount of wet sample in the column:	**913.9**	**g**
Amount of dry sample in the column:	**913**	**g**
Height of the tested sample in the column:	**28.0**	**cm**
The experiment has been carried out at room temperature:	**22.4**	**°C**
Average flow (permitted range = 10.6 – 13.9 mL/h)	**13.0**	**mL/h**

Measurements in the eluates

Laboratory ID	L/S ratio	L/S ratio removed	L/S acceptable range	Volume of eluate[mL]	pH	T [°C]	EC [µS/cm]
NO2224918002	0.100	0.118	0.08 – 0.12	108	8.95	22.4	302

Removal of the eluates (L/S ratio removed in the permitted range)

Comments pH of the first 15 mL **9.05**
pH of the rest eluate L/S = 0.10: **8.85**
Equilibrium achieved (the difference of pH values above is less than 0.5)

Concentration of pollutants in the eluate L/S=0.10

Analyte	Fraction 0.00 - 0.10 [µg/L]
Dissolved Organic Carbon	2740
Phenol Index	<5.00
Chloride	12400
Fluoride	921
Suspended solids dried at 105 °C	<10000
Sulphate as SO4 2-	57200
Cadmium	<0.500
Lead	1.50
Arsenic	<5.00
Chromium	<5.00
Nickel	9.30
Molybdenum	<25.0
Antimony	3.20
Selenium	<5.00
Barium	166
Copper	<25.0
Zinc	85.2
Mercury	0.0880

Attachment no. 1 to the certificate of analysis for work order NO2224918

Analytical Results – Leaching test according to the standard CSN EN 14405 "Characterization of waste – Leaching behavior tests – Up-flow percolation test (under specified conditions)"

Cumulative amount leached out of the sample for L/S ratio 0.100

L/S =	0.10
Analyte (parameter)	mg/kg DW
DOC	0.324
Phenol Index	0-0.000591
Chloride	1.47
Fluoride	0.109
Suspended solids dried at 105 °C	0-1.18
Sulphate as SO4 2-	6.77
Cadmium	0-0.0000591
Lead	0.000177
Arsenic	0-0.000591
Chromium	0-0.000591
Nickel	0.00110
Molybdenum	0-0.00296
Antimony	0.000379
Selenium	0-0.000591
Barium	0.0196
Copper	0-0.00296
Zinc	0.0101
Mercury	0.0000104

L/S =	0.10
Analyte	µg/kg DW
DOC	324
Phenol Index	0-0.591
Chloride	1470
Fluoride	109
Suspended solids dried at 105 °C	0-1180
Sulphate as SO4 2-	6770
Cadmium	0-0.0591
Lead	0.177
Arsenic	0-0.591
Chromium	0-0.591
Nickel	1.10
Molybdenum	0-2.96
Antimony	0.379
Selenium	0-0.591
Barium	19.6
Copper	0-2.96
Zinc	10.1
Mercury	0.0104

Remarks:

DOC - Dissolved Organic Carbon; **TSS** - Suspended solids dried at 105 °C

All the leaching column tests as well as the chemical analyses were performed in ALS Czech Republic, s.r.o.

When there is only 1 value reported in the "cumulative amount table" above, it means that the concentration of this parameter in this fraction was greater than limit LOR.

If there the interval of concentrations is reported it means that the concentration of the involved parameter was less than LOR value. The lower value of the interval was evaluated using "zero concentration 0.000 µg/L" for the involved parameter and the upper value of the interval was evaluated using the value of reported limit (LOR) for the involved parameter.

When the lower value of the interval is zero it means that the concentration of the involved parameter was "less than LOR" in this fraction L/S = 0-0.10.

The end of result part of the attachment the certificate of analysis

asplan viak

Multiconsult

AVM-20-G-RAP-003

Ingeniørgeologisk rapport for berganlegget

Vedlegg 4 Numerisk analyse berghaller

Oppdragsgiver:	Ålesund og Sula kommuner
Oppdragsnavn:	Kongshaugen RA
Oppdragsnummer:	637269-02
Utarbeidet av:	Ingvild Lausund, Multiconsult
AVM dokumentkode:	AVM-20-G-NOT-005
Oppdragsleder:	Cathrine Lyche
Dato:	10.08.2023
Tilgjengelighet:	Åpent

Notat: Numerisk stabilitetsanalyse berghaller

Sammendrag

Multiconsult Norge AS i samarbeid med Asplan Viak er engasjert av Ålesund og Sula kommune for prosjektering av felles avløpsanlegg, Kongshaugen RA. For å kvalitetssikre og optimalisere geometrisk utforming av berganlegget er det utført numerisk modellering av to kritiske snitt, berghaller og kjøresløyfe, i programvaren RS^2.

Simuleringen er utført med fire ulike spenningssituasjoner fra K=0,5 til K=3. Med GSI-verdi lik 80 er det for begge snitt registrert lite deformasjon og ingen brudd i bergmassen, uavhengig av spenningssituasjon. Ved å redusere GSI-verdien til konservativ verdi (GSI=60) oppstår det brudd i begge snitt. Deformasjon og utstrekning av bruddsonen øker ved økende horisontalspenning. Selv ved konservativ GSI-verdi er likevel tøyningen relativt lave (under 1%), og stabiltetsutfordringene er antatt å være håndterbare. Simuleringene verifiserer at geometrisk utforming av berganlegget er tilfredsstillende.

Modellen og inputparameterne representerer en forenklet versjon av virkeligheten med flere antagelser og mangler. Behov for oppdatering av modellen må vurderes fortløpende.

Versjonslogg:

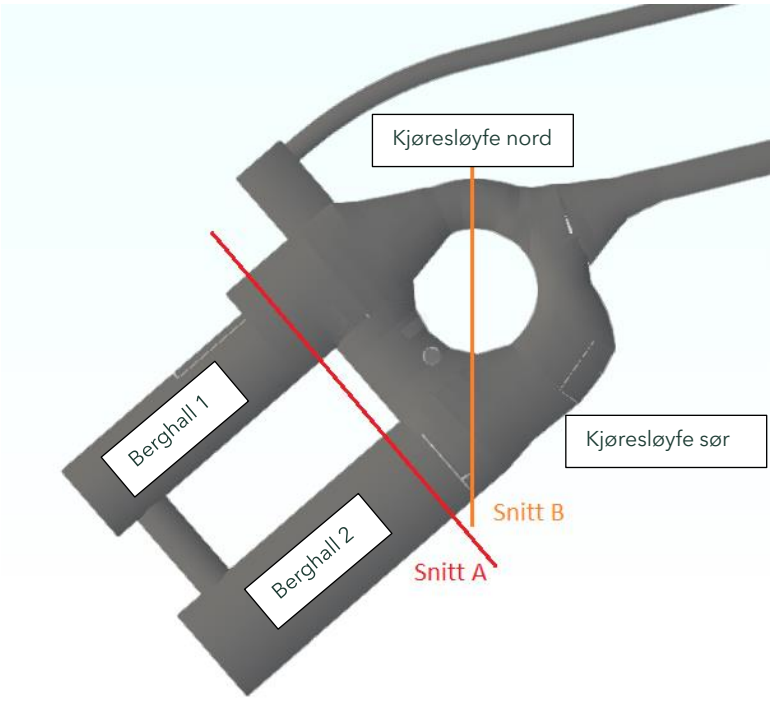
01	10.08.2023	Første utsendelse	I.L.	heoe	EMG
VER.	**DATO**	**BESKRIVELSE**	**Utarb.**	**Kontroll**	**Godkjent**

1. Innledning

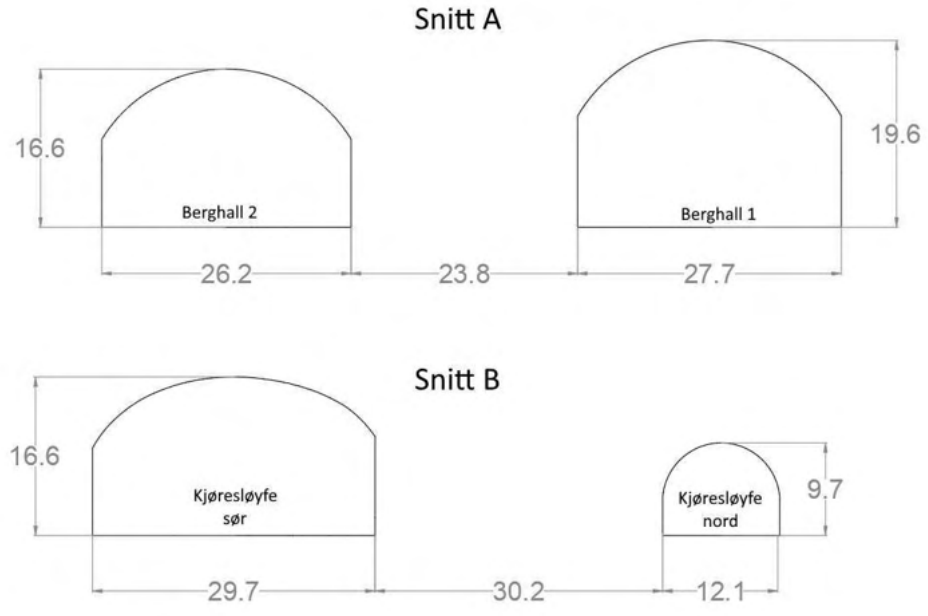
Multiconsult Norge AS er i samarbeid med Asplan Viak engasjert av Ålesund og Sula kommune til å utarbeide konkurransegrunnlag for bygging av felles avløpsrenseanlegg, Kongshaugen RA, på Veibust i Møre og Romsdal. Renseanlegget skal plasseres i berg, med berghaller planlagt plassert under Breidalen. Tilkomst til anlegget blir via tunneler fra tomten hvor renseanleggets administrasjonsbygg skal plasseres ved lokalvegen Kongshaugstranda, se Figur 1-1.

Figur 1-1 Oversikt over berganlegget fra samhandlingsmodell. Kilde bakgrunnskart: Norgeskart.no

Som følge av endringer i de rensetekniske prosessløsningene har hallenes geometri blitt justert sammenlignet med forprosjektets utforming– og det er denne justerte geometrien som har blitt benyttet i vår analyse. Det primære formålet med analysen har vært å undersøke berganleggets stabilitet med den valgte utformingen og for å vurdere eventuelle optimaliseringer av geometrien. Det er utført 2D modellering av to snitt: Snitt A, normalt på berghallenes lengdeakse der tverrsnittet er størst, og Snitt B der spennvidden i kjøresløyfen er størst, se Figur *1-2* og *Figur 1-3*. Modellering er utført ved hjelp av endelig element metode (Finite Element Method – FEM) i programvaren RS² versjon 11.007 fra Rocscience.



Figur 1-2 Snitt av modell A) Berghaller markert med rød strek B) Kjøresløyfe markert med oransje strek (utsnitt fra samhandlingsmodellen)



Figur 1-3 Oversikt over de to snittene

2. Etablering av modell

2.1. Geometrisk utforming

Geometrisk utforming av profilene i modellen er oppsummert i Tabell 2-1.

Tabell 2-1 Geometrisk utforming av berghallene og kjøresløyfe

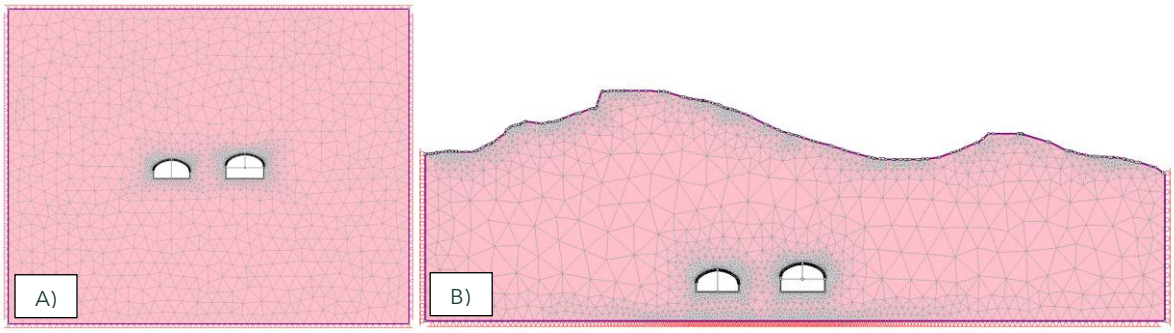
	Berghall 1	Berghall 2	Kjøresløyfe sør	Kjøresløyfe nord
Bredde [m]	27,7	26,2	29,7	12,1
Høyde [m]	19,6	16,6	16,6	9,7

2.2. Randbetingelser og spenninger

Analysen er utført med og uten terrengoverflate, se Figur 2-1.

Modellen uten terrengoverflate har en kvadratisk yttergrense med utvidelsesfaktor (Expansion Factor) lik 6. Randbetingelsene er låst, og tillater ikke deformasjon i x- og y-retning (markert med trekanter). Før driving påbegynnes (stage 1) er spenningsfeltet konstant dvs. uavhengig av posisjon i x- og y-retning.

Modellen med terrengoverflate har stedlig topografi som øvre randgrense. Terrengoverflaten er en fri flate, og tillater deformasjon i både x- og y-retning. Vertikale randbetingelser er begrenset til å bare tillate deformasjon i y-retning (markert med sirkler). Nedre randgrense er låst og tillater ikke deformasjon i x- og y-retning (markert med trekanter). Spenningsfeltet i vertikalretning er gravitativt.



Figur 2-1 Randbetingelser i modell A) Uten terrengoverflate, låst kvadratisk grense B) Terrengoverflaten er inkludert i modellen (utklipp fra modellen i RS²)

Det er foreløpig ikke utført spenningsmålinger på prosjektet, men det er planlagt å gjennomføre spenningsmålinger i byggefasen. Det anbefales å oppdatere modellen etter spenningsmålinger er utført, sammen med kartlagte bergmasseparametere undersøkt under drivingen.

Vertikalspenningen, σ_v, er beregnet gravitativt fra Formel 1.

$$\sigma_v = \rho g h \qquad \text{Formel 1}$$

hvor ρ er bergets densitet i kg/m³, g er tyngdens akselerasjon og h er bergoverdekningen i meter. I modellen med terrengoverflate beregner RS[2] vertikalspenningen gravitativt (Formel 1) ut fra faktisk topografi. Uten terrengoverflate er spenningsfeltet definert som konstant. I dette tilfellet er vertikalspenningen beregnet gravitativt (Formel 1) ut ifra en anslått gjennomsnittlig bergoverdekning på 110 m. Ved å bruke Formel 1 er vertikalspenning estimert til 3 MPa (ρ=2764 kg/m^3, g=9,81m/s^2 og h=110m).

Forholdet mellom horisontalspenning (σ_H) - og vertikalspenning utrykkes med en faktor K som vist i Formel 2.

$$K = \frac{\sigma h}{\sigma v} \qquad \text{Formel 2}$$

Ettersom det ikke er utført spenningsmålinger er det utført analyser med fire ulike spenningssituasjoner, K lik 0.5, 1, 2 og 3. I Norge er horisontalspenningene ofte større enn vertikalspenningene, slik at K-faktorer normalt overstiger 1.

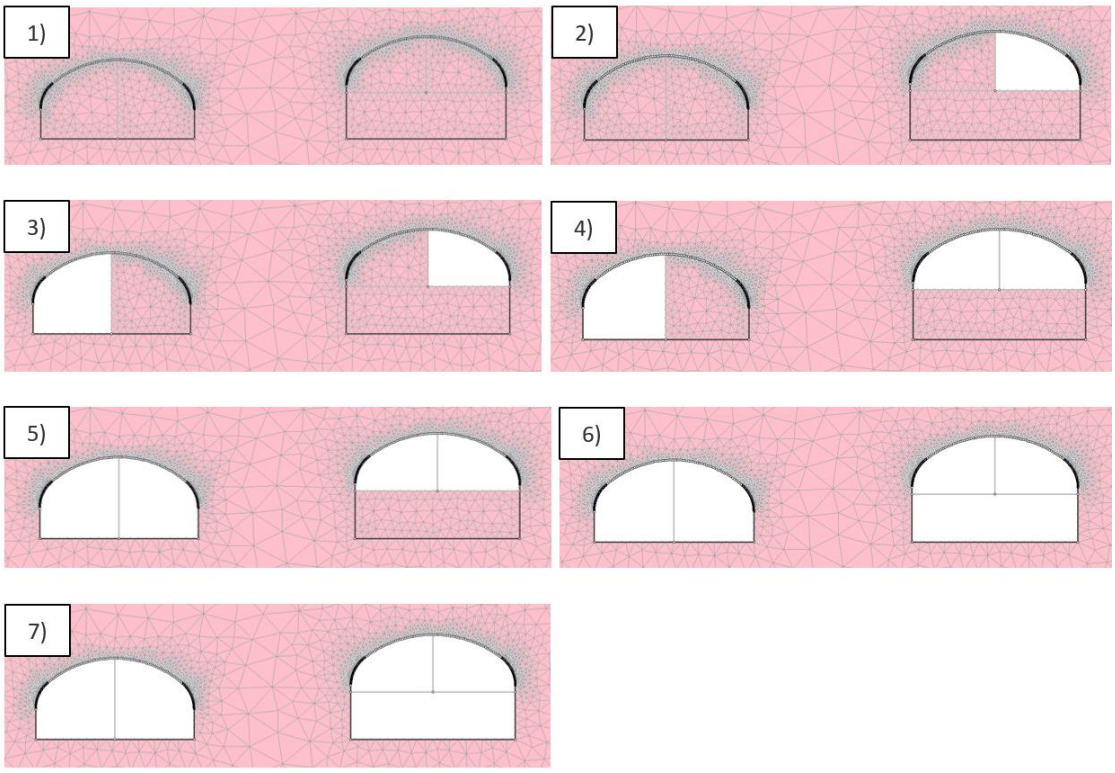
Det er benyttet 6 nodede triangler i for oppbygging av nettet (mesh).

2.3. Uttakssekvenser

For å simulere en sannsynlig uttakssekvens for berghallene er profilene delt inn i uttakssekvenser avhengig av profilstørrelse.

Uttakssekvenser for berghallene, inndelt i 7 steg (stages), se Figur 2-2:

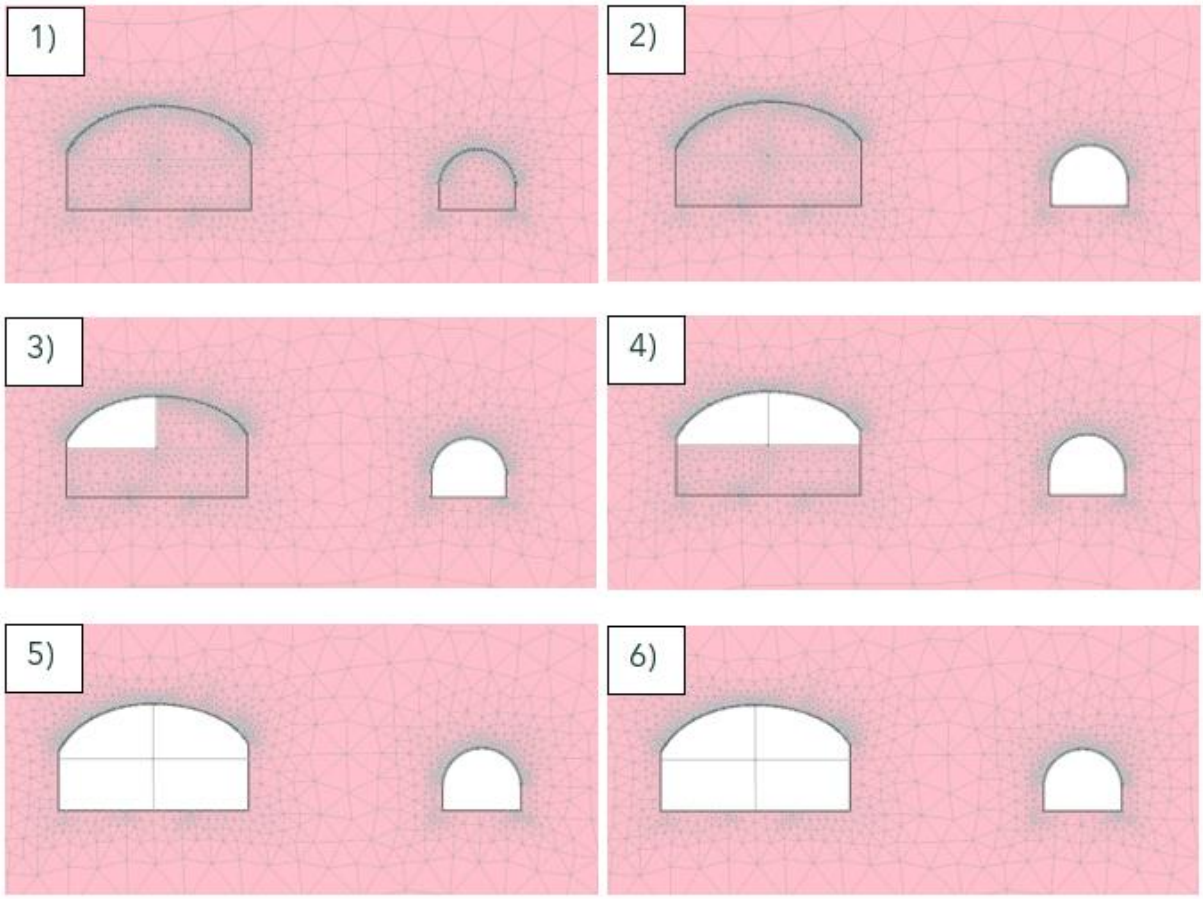
1) Før driving
2) Takskive del 1, Berghall 1
3) Del 1 av Berghall 2
4) Takskive del 2, Berghall 1
5) Del 2 av Berghall 2
6) Bunnstross Berghall 1
7) Ferdig drevet



Figur 2-2 Uttakssekvenser 1) Før driving 2) Takskive del 1, Berghall 1 3) Del 1 av Berghall 2 4) Takskive del 2, Berghall 1 5) Del 2 av Berghall 2 6) Bunnstross Berghall 1 7) Ferdig drevet (utsnitt fra RS²)

Uttakssekvens for kjøresløyfe, inndelt i 6 steg (stages), se Figur 2-3:

1) Før driving
2) Hele profilet, kjøresløyfe nord
3) Takskive del 1, kjøresløyfe sør
4) Takskive del 2, kjøresløyfe sør
5) Bunnstross kjøresløyfe sør
6) Ferdig drevet



Figur 2-3 Uttakssekvenser for driving av kjøresløyfe 1) Før driving 2) Hele profilet, kjøresløyfe nord 3) Takskive del 1, kjøresløyfe sør 4) Takskive del 2, kjøresløyfe sør 5) Bunnstross kjøresløyfe sør 6) Ferdig drevet (utsnitt fra RS²)

Dersom berguttaket skal utføres i en annen sekvens enn hva som er modellert her anbefales det å oppdatere modellen for bedre å reflektere de faktiske forholdene.

2.4. Materialparametere

Berggrunnen i prosjektområdet består av granittisk gneis. Prøver fra kjerneboringen er testet i laboratorie for bestemmelse av bergmekaniske egenskaper. Testene er utført av SINTEF Community og testresultatene er vist i Tabell 2-2.

Tabell 2-2 Resultat fra bergmekaniske tester (SINTEF Community, 2022)

Tabell 1 Gjennomsnittsverdier testresultat

PRØVE NR. (GITT AV SINTEF) PRØVE ID (GITT AV OPPDRAGSGIVER)		1 BH-1-01, 191-192m	2 BH-1-02, 248-250m	3 BH-1-03, dyp 270-275m	4 BH-1-04, 117,5-118,5m	5 BH-1-05, dyp 65-70m
	ENHET	GJENNOMSNITTSVERDIER				
DENSITET (ρ)	kg/m³	2783	2695	-	2814	-
LYDHASTIGHET (u_p)	m/s	5643	5374	-	5403	-
E-MODUL *(E)*	GPa	70,9	68,5	-	64,8	-
POISSONS FORHOLD *(v)*	*(tverr-kontraksjonstall)*	0,210	0,195	-	0,195	-
ENAKSIELL TRYKKFASTHET (σ_c)	MPa	182,7	278,8	-	215,2	-
BRUDDVINKEL (β)	gr °	21	21	-	22	-
MICRO DEVAL VERDI (MDE)		-	-	7,2	-	6,4
LOS ANGELES VERDI (LA)		-	-	19,6	-	17,8

Merknader:

- E-modul og Poisson's forhold er beregnet ved hjelp av tangent metoden iht. ISRM.
- Lydhastighet utført ved bruk av 54 kHz transducer.

Det forutsettes at bergmassen tilfredsstiller det generaliserte Hoek-Brown bruddkriterium vist i Formel 3.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci}\left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma ci} + s\right)^a \qquad \text{Formel 3}$$

Bergartsparameterne m_b, s og a estimeres direkte i programvaren med GSI (Geological Strength Index) og mi (intact rock constant) som input. GSI er et system som tillater estimering av den reduserte styrken av en bergmasse basert på styrken til intakt berg, ut fra en vurdering av bergmassens struktur og sprekkens karakter.

Det er valgt å modellere med to ulike GSI-verdier på 80 og 60. GSI-verdi lik 80 representerer det som anses som sannsynlig bergmassekvalitet ut ifra feltkartlegging og undersøkelse av kjerneprøvene. Kjerneprøvene er beskrevet i rapport AVM-20-G-RAP-002 (Multiconsult, 2023). I tillegg er det valgt å analysere med en mer konservativ verdi, GSI=60 for å undersøke den potensielle effekten av mindre gunstige bergforhold. I begge tilfeller er det forutsatt forsiktig sprengning med kontursprengning slik at forstyrrelsesfaktoren (D) settes lik 0.

Materialparameterne som er benyttet i RS^2 er opplistet i Tabell 2-3.

Tabell 2-3 Materialparametere benyttet i RS^2

Parameter	Verdi	Kommentar
Densitet (ρ)	2764 kg/m^3	Gjennomsnittlig testresultat iht. Tabell 2-2
E-modul (E)	68,067 GPa	Gjennomsnittlig testresultat iht. Tabell 2-2
Poissons forholdstall (ν)	0,2	Gjennomsnittlig testresultat iht. Tabell 2-2
Enaksiell trykkfasthet (σ_c)	225,6 MPa	Gjennomsnittlig testresultat iht. Tabell 2-2
Geological Strength Index (GSI), peak	80 60	Sannsynlig GSI Konservativ GSI
Geological Strength Index (GSI), residual	40 30	50% av GSI peak (M. Cai, 2006)
Intakt bergkonstant (m_i)	28	Anbefalt konstant i RS^2 for gneis
Disturbance factor (D)	0	Anbefalt konstant i RS^2 ved kontursprenging
m_b (materialparameter)	Varierer med GSI	Beregnet av RS^2 iht. Generalisert Hoek-Brown bruddkriterium
s (konstant)	Varierer med GSI	Beregnet av RS^2 iht. Generalisert Hoek-Brown bruddkriterium
a (konstant)	Varierer med GSI	Beregnet av RS^2 iht. Generalisert Hoek-Brown bruddkriterium
Materialtype	Elastisk/Plastisk	Deformasjonsforløp
Initial last	Field stress and body force Field stress	Gjelder for modell med terrengoverflate Gjelder for modell uten terrengoverflate

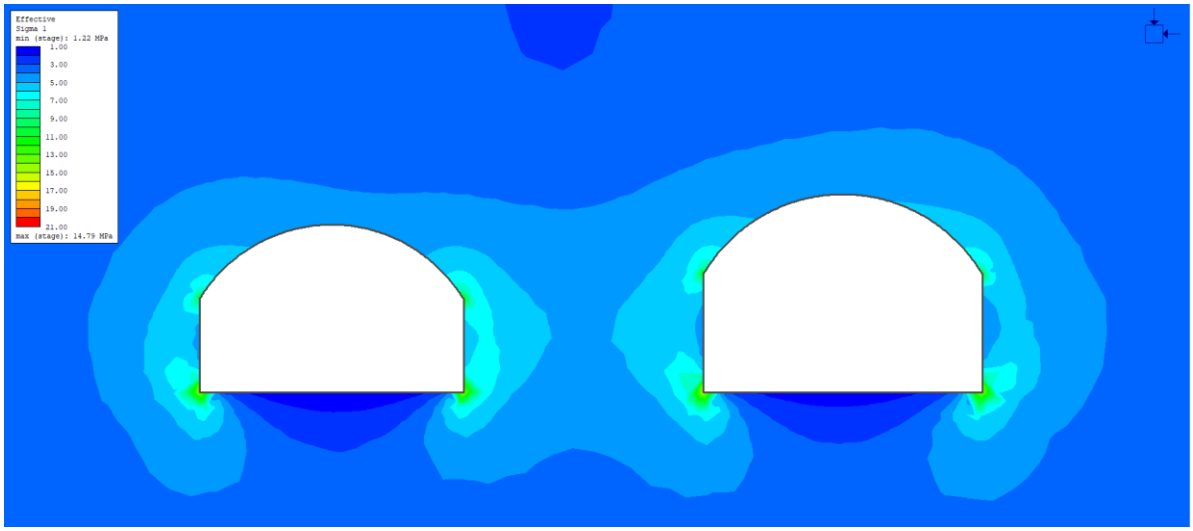
3. Modellering

Numerisk modellering i RS^2 simulerer spenningsfordeling, deformasjon, brudd og forholdet mellom bergmassens styrke/induserte spenninger.

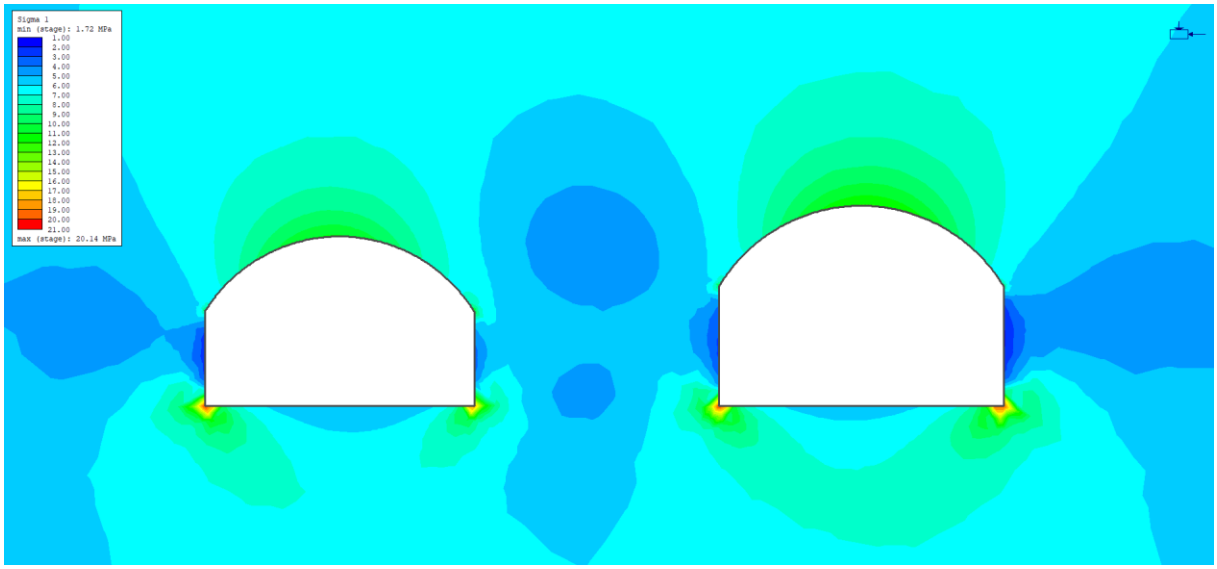
3.1. Modelleringsresultater Snitt A, Berghall 1 og 2

3.1.1. Spenningsfordeling

Berguttaket vil endre in-situ spenning rundt bergrommet avhengig av eksisterende spenninger i berggrunnen og faktisk berguttak. Spenningskonsentrasjon oppstår i de delene av bergrommet hvor konturen er parallell med største hovedspenning, se Figur 3-1 og Figur 3-2. Ved lave horisontalspenninger (K=0,5) er det størst spenninger i vegger/vederlag, og sålen er avspent (0 MPa). Ved isotrop spenningstilstand, dvs. K=1, er det spenningskonsentrasjon i vederlag og vegger. Ved høyere horisontalspenninger (K=2 og K=3) er det størst spenninger i heng og såle. I knekkpunkt mellom såle/vegg og vederlag oppstå det spenningskonsentrasjon i alle spenningssituasjoner pga. ugunstig utforming. Ved GSI lik 80 er maksimal spenning lik 28 MPa for K=3, noe som kun tilsvarer ca. 12% av bergets enaksielle trykkfasthet.



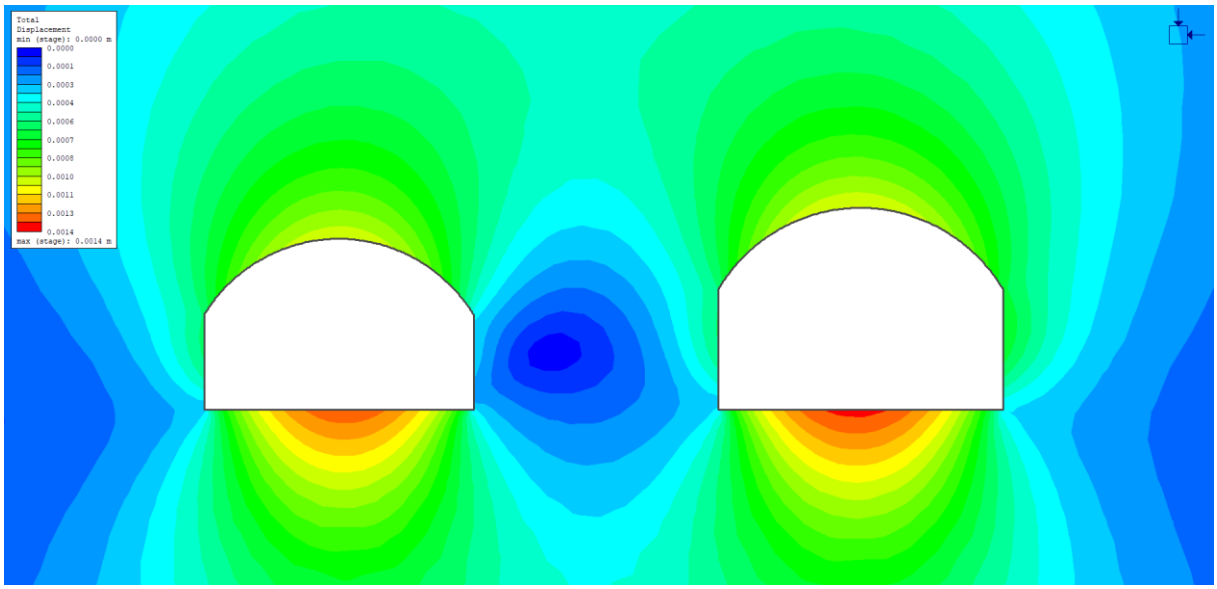
Figur 3-1 Spenningsfordeling «Effective Sigma 1» med K=1 og GSI=80 (utsnitt RS^2)



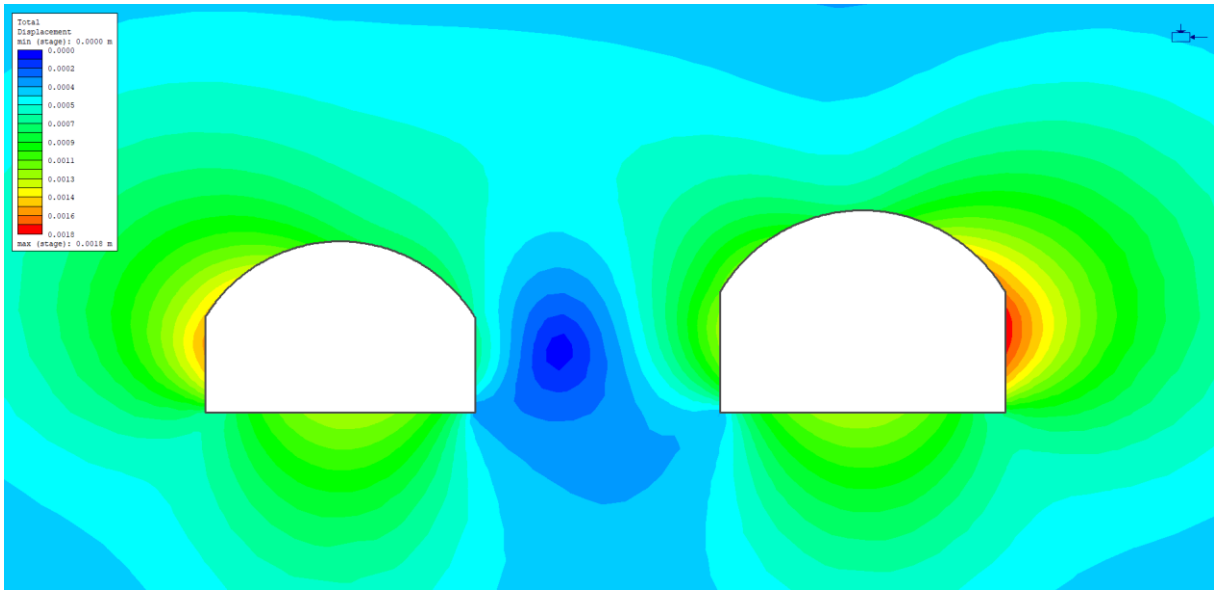
Figur 3-2 Spenningsfordeling «Effective Sigma 1» med K=2 og GSI=80 (utsnitt RS²)

3.1.2. Deformasjon

Når K er lik 0.5 og 1 er deformasjonen størst i heng og såle, se Figur 3-3. Maksimal deformasjon er lokalisert i sålen i begge berghallene, inntil 1,4 mm. Simuleringene indikerer økende deformasjon ved økende horisontalspenninger. Deformasjonen er størst i høyre vegg til høyre vederlag for Berghall 1 og venstre vegg for Berghall 2. Ved økende horisontalspenning (K=3) øker maksimal deformasjon til 2,9 mm i Berghall 1, se Figur 3-4. Pilaren mellom berghallene har en kjerne uten deformasjon.

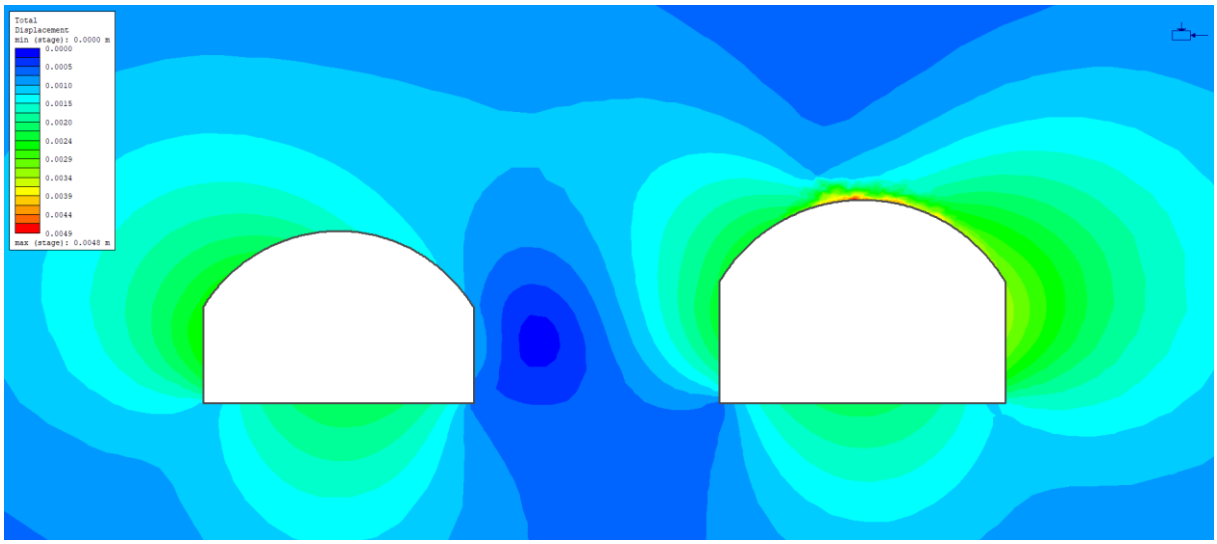


Figur 3-3 Deformasjon «Total Displacement» med GSI=80 og K=1 (utsnitt RS²)



Figur 3-4 Deformasjon «Total Displacement» med GSI=80 og K=2 (utsnitt RS²)

Ved å redusere GSI til konservativ verdi (GSI lik 60) øker deformasjonen i alle spenningssituasjoner. Ved K lik 2 øker deformasjonen til Berghall 1 fra 1,8 mm til 3,3 mm i høyre vegg, se Figur 3-5. I tillegg oppstår brudd i hengen nært konturen med maksimal deformasjon lik 4,8 mm. Inntil konturen (< 0,5 m) i hengen er det betydelig høyere deformasjon enn i resterende deler av bergmassen, uten at dette er forventet å bidra til betydelige stabilitetsutfordringer. Deformasjonen i Berghall 2 er fremdeles konsentrert i venstre vegg/vederlag, og har økt fra maksimal deformasjon lik 1,6 mm til 2,7 mm.



Figur 3-5 Deformasjon «Total Displacement» med GSI=60 og K=2 (utsnitt RS²)

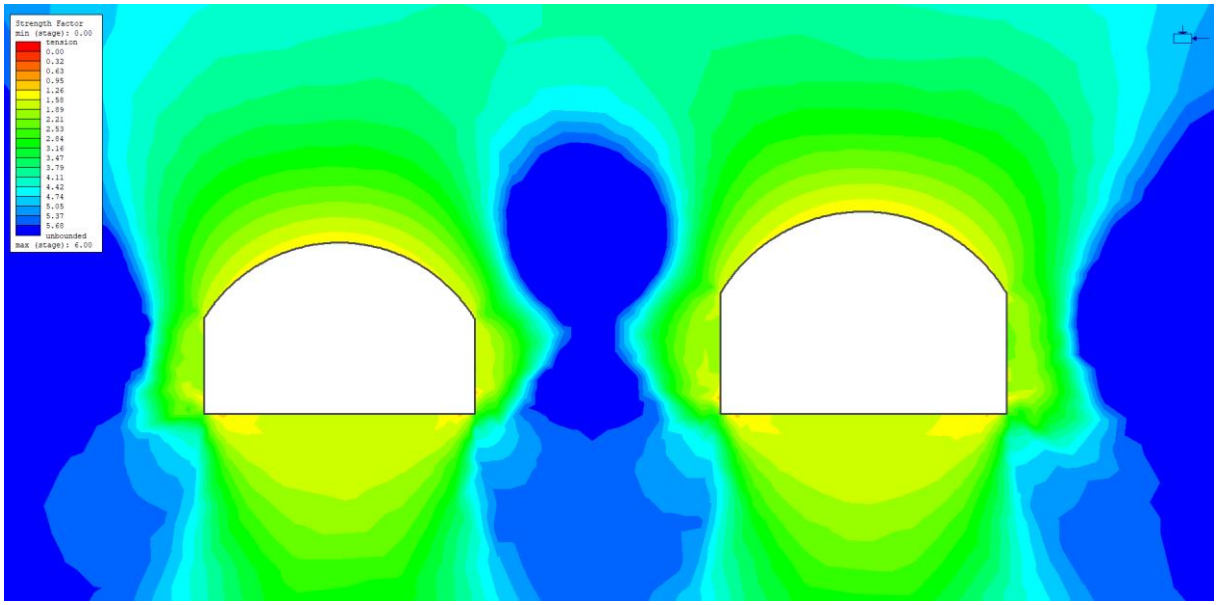
For å vurdere hva slike deformasjonsnivå har å si for stabiliteten kan man trekke paralleller til den anerkjente publikasjonen «Big tunnels in bad rock» (Hoek, 2001), hvor det presenteres hvordan tøyning under 1 % typisk gir få stabilitetsproblemer. Selv om eksempelet i den nevnte publikasjonen ikke er direkte overførbart siden den er basert på sirkulære tverrsnitt er det vår vurdering at det gir en nyttig innsikt – og det gjøres derfor i det følgende en sammenligning av tøyningsnivå også for vårt tilfelle: Tøyning i denne sammenheng defineres i formel 4.

$$\text{Tøyning } (\varepsilon) = \frac{\text{Deformasjon}}{\text{Spennvidde}} \times 100\% \qquad \text{Formel 4}$$

Estimert tøyning ved K=2 lik 0,009-0,016% ved GSI=80, og 0,014-0,035% ved GSI=60. Det betyr at tøyningen selv ved konservativ GSI verdi er relativt lav, og på så lave nivåer at det ikke ventes stabilitetsutfordringer som følge av bergmassens deformasjon.

3.1.3. Styrkefaktor

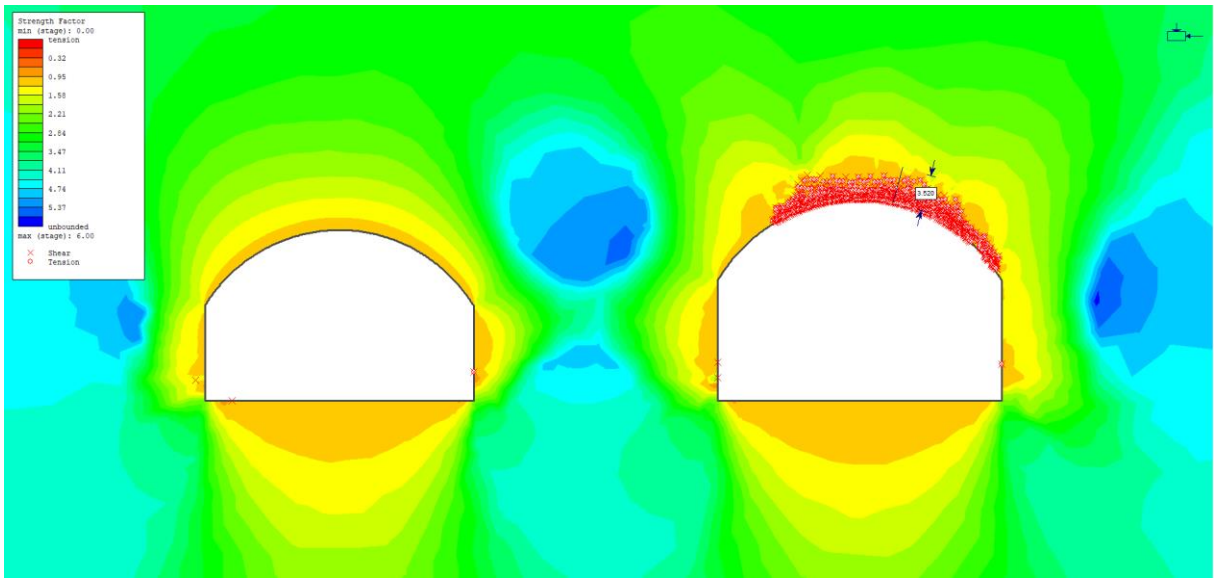
Styrkefaktoren angir forholdet mellom bergmassens styrke og induserte spenninger. Med GSI lik 80 er styrke faktoren over 1 i samtlige analyser (K=0,5-3). Det betyr at bergmassen ikke går i brudd med input parameterne beskrevet i Kapittel 2 og GSI lik 80. Figur 3-6 viser styrkefaktoren med GSI lik 80 og K lik 2.



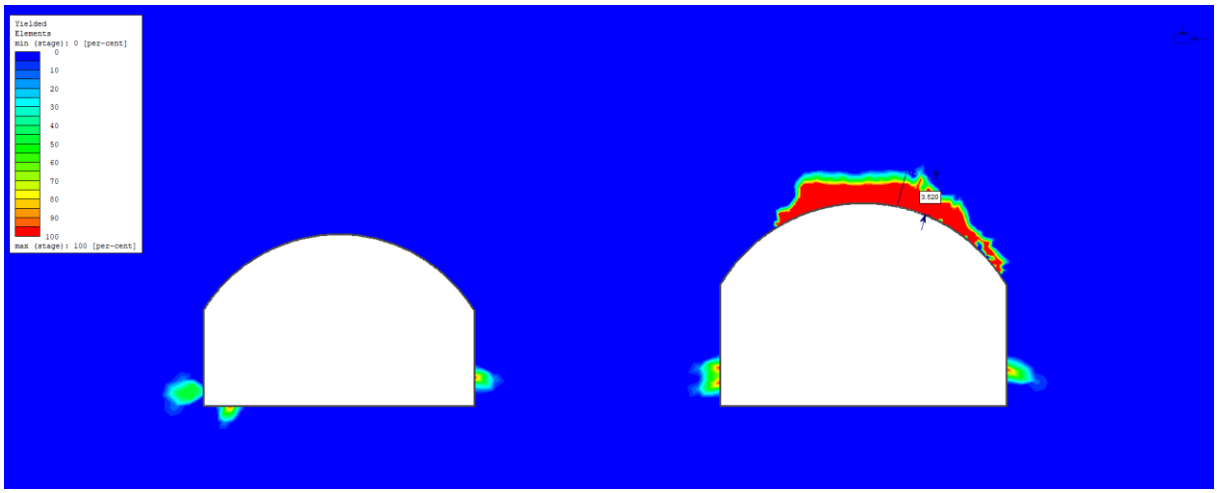
Figur 3-6 Styrkefaktor «Strength Factor» med GSI=80 og K=2 (utsnitt RS²)

Dersom GSI-verdien reduseres til 60 (konservativ GSI-verdi) oppstår det brudd i alle spenningssituasjonene. Ved K lik 0,5 og 1 oppstår det bare mindre brudd helt inntil

konturen midt i hengen til Berghall 1. Når horisontalspenningen øker (K=2) vil det oppstå ytterligere brudd i hengen og ned til høyre vederlag inntil ca. 3.5 m utenfor profilet til Berghall 1, vist i Figur 3-7 og Figur 3-8. Rundt Berghall 2 oppstår det mindre brudd i vegg og såle.

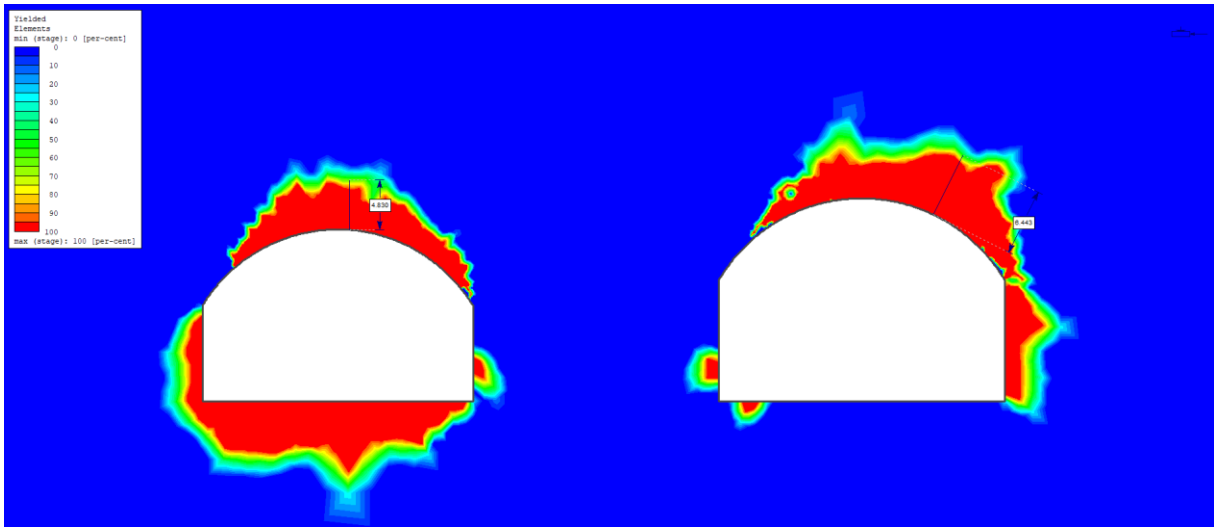


Figur 3-7 Styrkefaktor «Strength Factor» med GSI=60 og K=2 (utsnitt RS²)



Figur 3-8 Bruddelementer «Yielded element» med K=2 og GSI=60 (utsnitt RS²)

Ved enda høyere horisontalspenning (K=3) går bergmassen i brudd rundt begge berghallene, vist i Figur 3-9. Utbredelsen av bruddsonen langs hengen til Berghall 1 utvides til ca. 6,5 m, og strekker seg ned langs høyre vegg til sålen. Langs bergtunnel 2 oppstår det brudd ca. 5 m utenfor hengen, i tillegg til venstre vegg og såle.

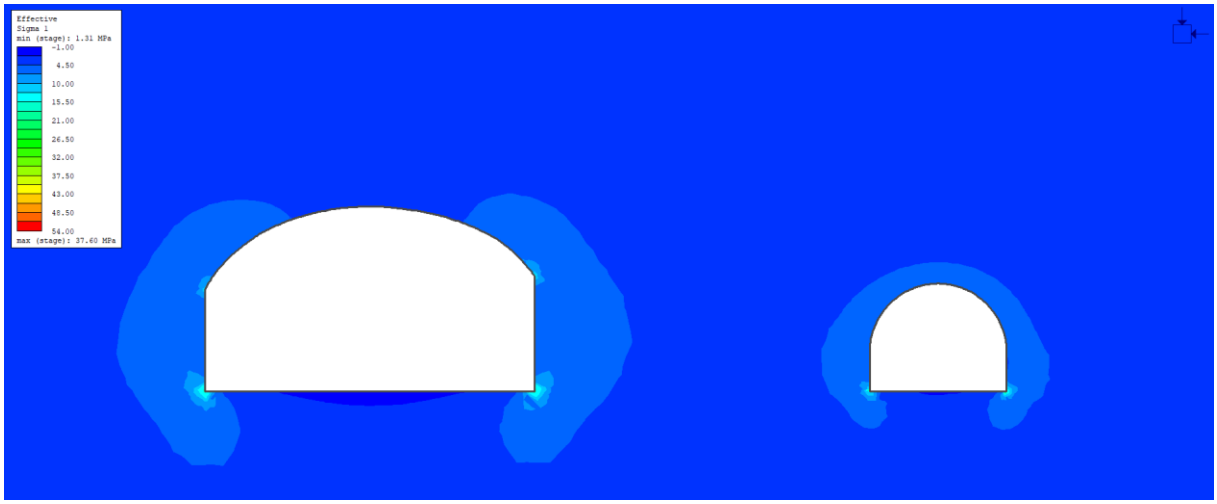


Figur 3-9 Bruddelementer «Yielded element» med K=3 og GSI=60 (utsnitt RS²)

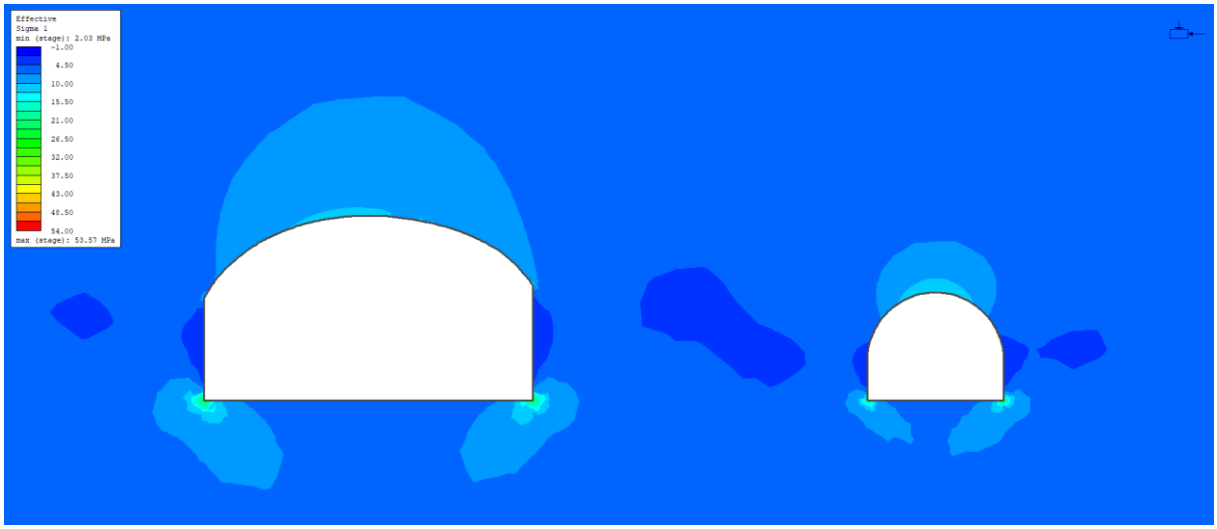
3.2. Modelleringsresultater Snitt B, kjøresløyfe nord og sør

3.2.1. Spenningsfordeling

Berguttaket vil endre in-situ spenning rundt bergrommet avhengig av eksisterende spenninger i berggrunnen og faktisk berguttak. Spenningskonsentrasjon oppstår i de delene av bergrommet hvor konturen er parallell med største hovedspenning. Ved K lik 0,5 og 1 oppstår spenningskonsentrasjon i vegger/vederlag, se Figur 3-10. Ved høyere horisontalspenning (K=2 og K=3) dannes det spenningskonsentrasjon i heng og såle, se Figur 3-11. Pilaren mellom kjøresløyfene er delvis avspent under simuleringen. I knekkpunktene mellom såle/vegg og vederlag (gjelder bare kjøresløyfe sør) oppstå det spenningskonsentrasjon i alle spenningssituasjoner pga. ugunstig utforming. Ved GSI lik 80 er maksimal spenning til kjøresløyfe sør lik 17,1 MPa og 21 Mpa for kjøresløyfe nord, i begge tilfeller er det i hengen for K lik 3. Dette tilsvarende bare inntil ca. 9,3% av enaksiell trykkfasthet.



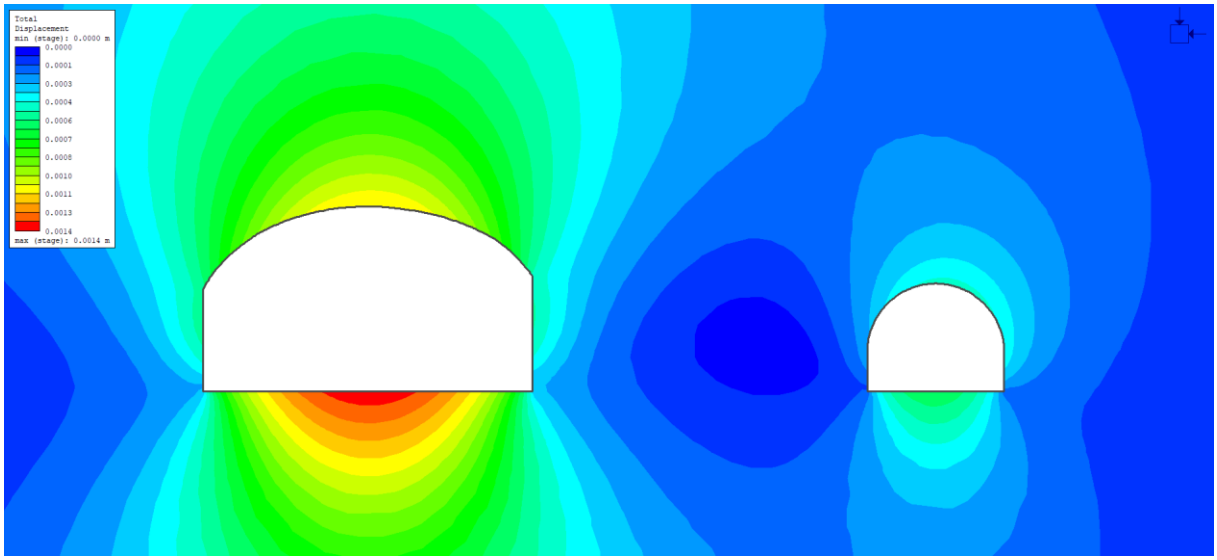
Figur 3-10 Spenningsfordeling «Effective Sigma 1» med GSI=80 og K=1 (utsnitt RS²)



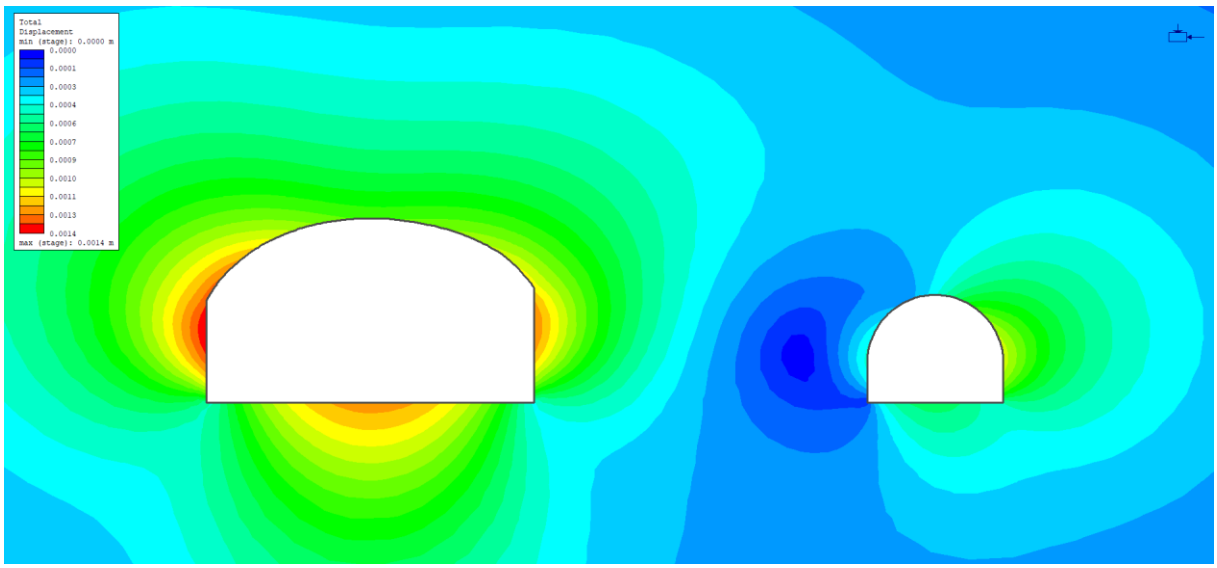
Figur 3-11 Spenningsfordeling «Effective Sigma 1» med GSI=80 og K=2 (utsnitt RS²)

3.2.2. Deformasjon

Deformasjonen ved K lik 0,5 og 1 er størst i såle for både kjøresløyfe nord (0,6 mm) og kjøresløyfe sør (1,4 mm), vist i Figur 3-12. Ved høyere horisontalspenninger øker deformasjon, og er størst i venstre vegg for kjøresløyfe sør (1,4 mm for K=2 og 2,3 mm for K=3) og høyre vegg for kjøresløyfe nord (1 mm for K=2 og 1,7 mm for K=3), vist i Figur 3-13.

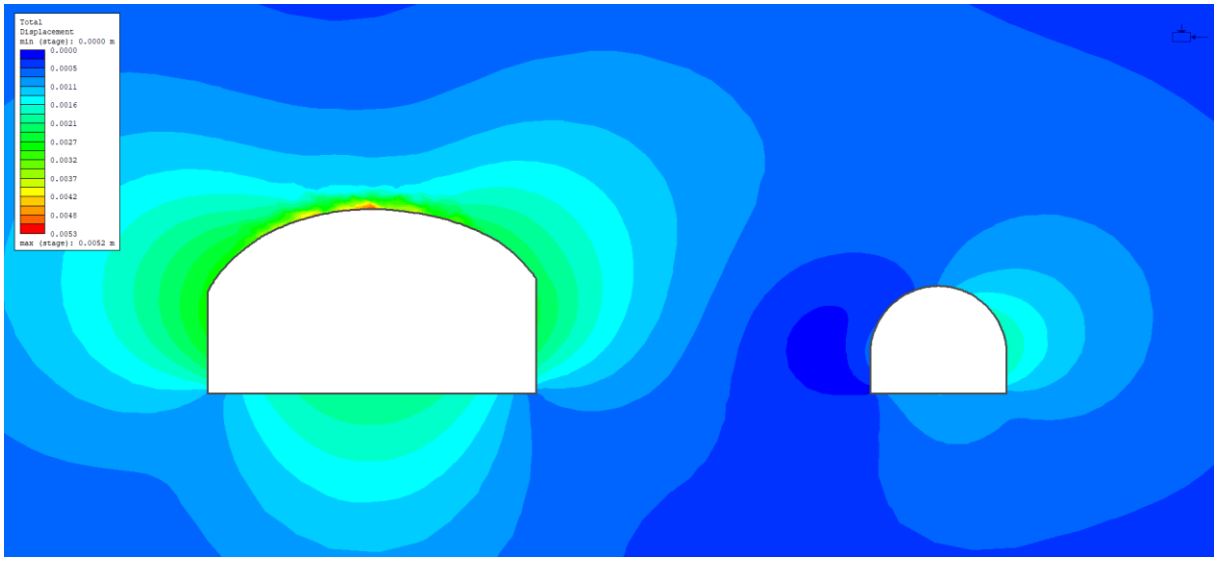


Figur 3-12 Deformasjon «Total Displacement» med GSI=80 og K=1 (utsnitt RS²)



Figur 3-13 Deformasjon «Total Displacement» med GSI=80 og K=2 (utsnitt RS²)

Ved å redusere GSI til konservativ verdi (GSI lik 60) øker deformasjonen i alle spenningssituasjonene. Med K lik 2 dobles deformasjonen i venstre vegg til 2,8 mm langs kjøresløyfe sør, vist i Figur 3-14. I tillegg oppstår brudd i hengen med maksimal deformasjon lik 5,2 mm. Helt inntil konturen (< 0,5 m) i hengen er det betydelig høyere deformasjon enn i resterende deler av bergmassen, uten at dette er forventet å resultere i betydelige stabilitetsutfordringer. Deformasjonen langs kjøresløyfe nord er fremdeles konsentrert i høyre vegg, maksimalt 1,8 mm.

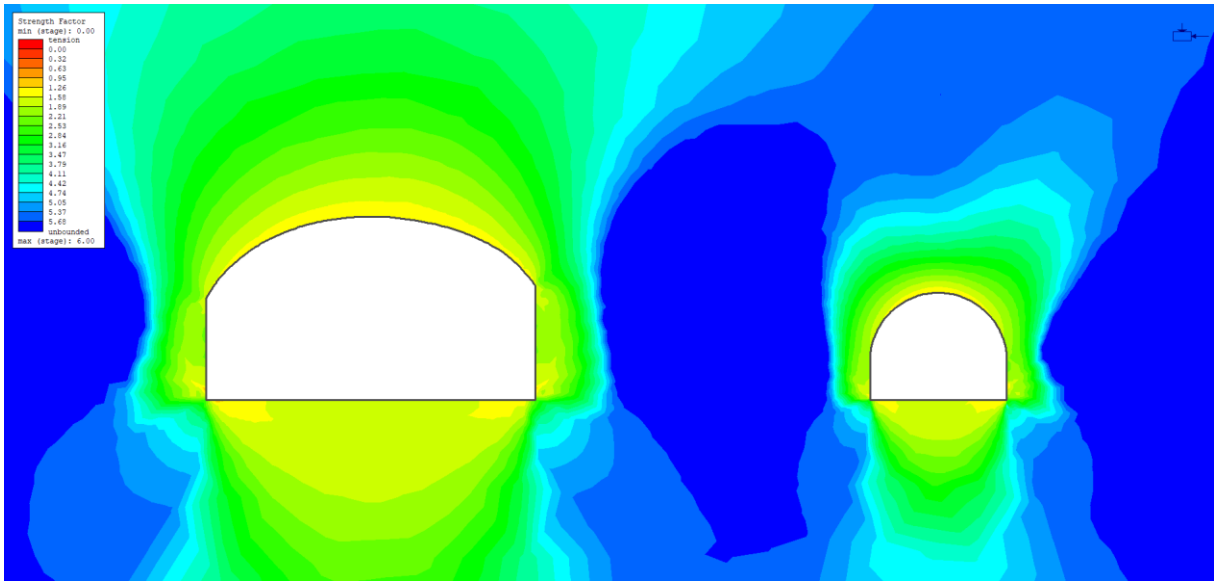


Figur 3-14 Deformasjon «Total Displacement» med GSI=60 og K=2 (utsnitt RS²)

Ved å gjøre samme vurdering av tøyning som i Kapittel 3.1.2 finner man at tøyningen med K=2 varierer mellom 0,009-0,016% ved GSI=80, og 0,018-0,044% ved GSI=60. Det betyr at tøyningene er lave selv ved konservativ GSI-verdi, og det er også her forventet håndterbare stabilitetsutfordringer.

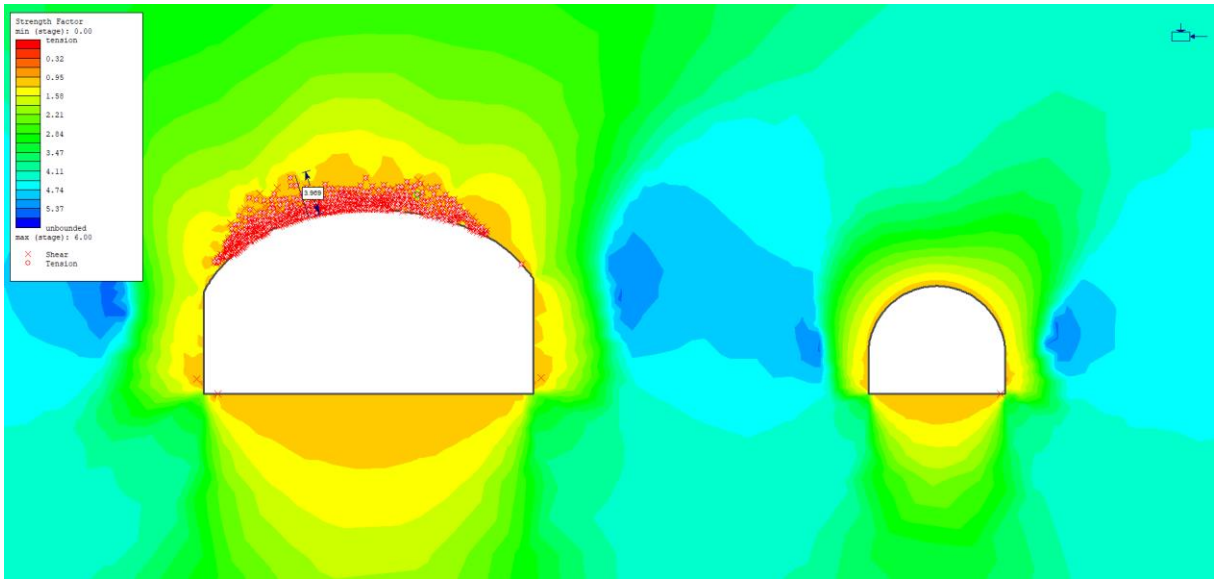
3.2.3. Styrkefaktor

Styrkefaktoren angir forholdet mellom bergmassens styrke og induserte spenninger. Med GSI lik 80 er styrkefaktoren over 1 i samtlige analyser (K=0,5-3). Det betyr at bergmassen ikke går i brudd med inputparameterne beskrevet i Kapittel 2 og GSI lik 80. Figur 3-14 viser styrkeforholdet i tilfelle med K lik 2.

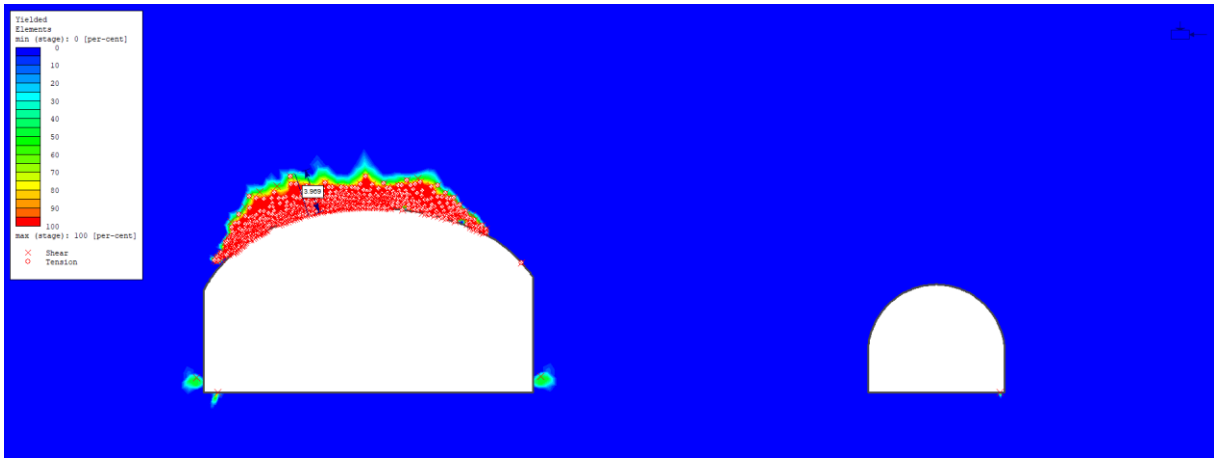


Figur 3-15 Styrkefaktor «Strength Factor» med GSI=80 og K=2 (utsnitt RS²)

Dersom GSI-verdien reduseres til 60 (konservativ GSI-verdi) oppstår det brudd i alle spenningssituasjonene. Ved K lik 0,5 og 1 oppstår det bare mindre sporadiske brudd inntil konturen og i sålen. Ved økende horisontalspenning (K=2) vil det oppstå ytterligere brudd i hengen og ned mot venstre vederlag inntil ca. 4 m utenfor profilet til kjøresløyfe sør, se Figur 3-16 og Figur 3-17. Bergmassen rundt kjøresløyfe nord går ikke i brudd under simuleringen, men styrkefaktoren er redusert sammenlignet med GSI-verdi lik 80.

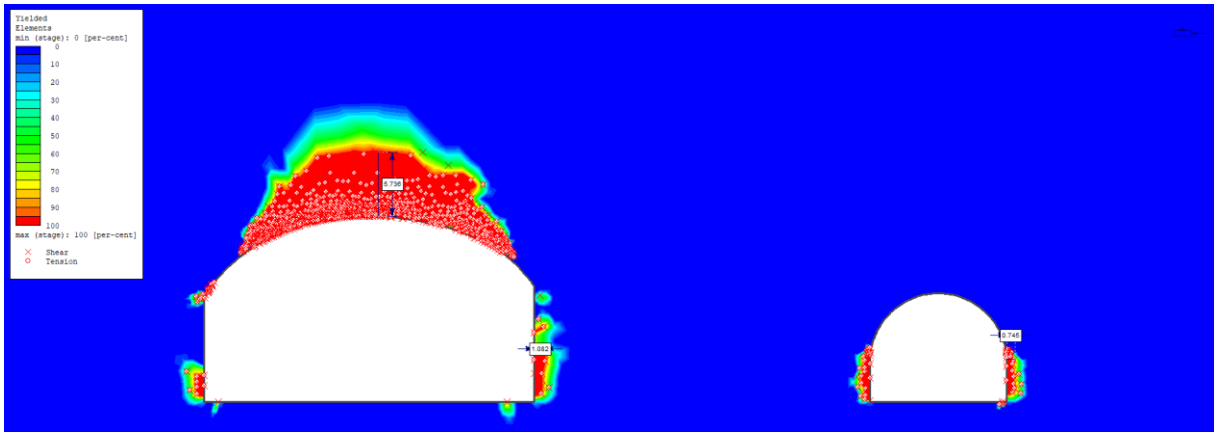


Figur 3-16 Styrkefaktor «Strength Factor» med GSI=60 og K=2 (utsnitt RS²)



Figur 3-17 Bruddelementer «Yielded Elements» med GSI=60 og K=2 (utsnitt RS²)

Ved enda høyere horisontalspenning (K=3) går bergmassen i brudd rundt begge bergrommene, vist i Figur 3-18. Utbredelsen av bruddsonen langs hengen til kjøresløyfe sør utvides til ca. 6 m. Videre oppstår det brudd langs veggen til kjøresløyfe nord og delvis i kjøresløyfe sør ca. 1 m utenfor profilet.



Figur 3-18 Bruddelementer «Yielded Elements» med GSI=60 og K=3 (utsnitt RS²)

4. Diskusjon

Modellen tar utgangspunkt i input verdiene beskrevet i Kapittel 2. Det er utført simuleringer med fire ulike spenningsalternativer ettersom det foreløpig ikke er utført spenningsmålinger. Materialparameterne i modellen er basert på antagelsen at bergmassen vil oppføre seg homogent, uten definerte sprekker eller svakheter som dominerer bergets bruddforløp, og med gjennomsnittlige styrkeparametere fra bergmekaniske tester.

De bergmekaniske testene indikerer svært sterkt berg, og det sterke berget er en av hovedgrunnene til at berget ikke går i brudd før GSI-verdien reduseres til konservativ verdi.

For de modellerte områdene som går i brudd, dvs. spenningsindusert lokal oppsprekking av berget, viser beregningene at bruddene ikke går dypere at de er håndterbare med vanlig bergsikring.

Bruddkriteriumet i modellen er basert på plastiske deformasjoner. Bergmassen er vurdert som en homogen bergmasse, men i praksis kan det forekomme lokale variasjoner, svakhetssoner, ugunstige sprekkeorienteringer, knusningssoner, vannførende soner og slepper m.m., som resulterer i en inhomogen berggrunn. Lokale variasjoner er ikke hensyntatt i modellen ettersom stedlige forhold må kartlegges fortløpende under driving, og vurderes spesifikt i hvert enkelt tilfelle.

Det er forutsatt en gitt uttakssekvens i modellen. Ved avvik fra denne sekvensen, eksempelvis med uttak av større salver må stabiliteten vurderes spesielt.

Det ikke lagt inn bergsikring i modellen. I praksis vil bergrommene sikres fortløpende under driving, og bidra til å stabilisere bergmassen. Siden RS^2 er en todimensjonal modell tar det utgangspunkt i ett utsnitt uten hensyn til øvrige bergrom. Modellen og input parameterne representerer en forenklet versjon av virkeligheten med flere antagelser og mangler. Simuleringene viser at resultatene er avhengig av input parameterne.

Foreløpige resultater indikerer at berghallenes utforming er akseptabel, og at ved de kartlagte bergmasseforholdene ikke ventes spesielle stabilitetsutfordringer. Endringer i forutsetninger og inngangsparametere til modellen kan endre resultatene. Behov for å oppdatere modell må derfor vurderes forløpende.

5. Konklusjon

Den utførte analysen indikerer at den planlagte utformingen av berganlegget gir tilfredsstillende stabilitetsforhold og kan bygges iht. prosjektert løsning.

Modellen og input parameterne representerer en forenklet versjon av virkeligheten med flere antagelser og mangler. Behov for oppdatering av modell må vurderes forløpende. Lokale variasjoner er ikke hensyntatt i modellen og må kartlegges og vurderes spesielt under driving.

6. Referanser

Hoek, E. (2001). *Big tunnels in bad rock. 2000 Terzaghi lecture.* ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Vol. 127, No. 9. September 2001, pages 726-740.

M. Cai, P. Y. (2006). *Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system.* International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 44 (2007) 247-265.

Multiconsult. (2023). *Kongshaugstranda RA Datarapport kjerneboring. AVM-20-G-RAP-002.*

SINTEF Community. (2022). *Testrapport Kongshaugstranda Renseanlegg 22125TSBM.*

asplan viak

Multiconsult

AVM-20-G-RAP-003

Ingeniørgeologisk rapport for berganlegget

Vedlegg 5 Hydrogeologisk notat

Oppdragsgiver:	Ålesund og Sula kommune
Oppdragsnavn:	Kongshaugstranda RA
Oppdragsnummer:	637269-02
Utarbeidet av:	Silje Vasstein, Multiconsult
AVM dokumentkode:	AVM-20-G-NOT-007
Oppdragsleder:	Cathrine Lyche
Dato:	15.09.2023
Tilgjengelighet:	Åpent

Notat: Hydrogeologisk vurdering

Sammendrag

Sula- og Ålesund kommune planlegger nytt felles avløpsanlegg på Veibust i Møre og Romsdal. Avløpsanlegget er planlagt i berg under Breidalen. Multiconsult Norge AS har utført hydrogeologiske vurderinger i tilknytning til berganlegget.

Berganlegget vil krysse Breidalen hvor det er registrert å ligge et myrområde og en bekk, som sammenfaller med kartlagt svakhetssone som er vurdert å ville treffe tunnelene. Det er i tillegg kartlagt sprekkesystemer som antas å treffe berghallene. Da myren ligger i en liten forsenkning i terrenget er det sannsynlig at grunnvannet kan stå i dagen her, og det kan ikke utelukkes at grunnvannsnivået i myren avhenger av grunnvannsnivået i berget. Det vurderes at myrområdet i Breidalen er sårbart for påvirkning ved innlekkasje til berganlegget.

Empiriske beregninger viser at innlekkasje til berganlegget avhenger av hvor stor del av berget som er oppsprukket og den hydrauliske ledningsevnen i slike områder. Av de empiriske beregningene og sårbarhetsvurderingen er det fastsatt innlekkasjekrav for henholdsvis tunneler, berghaller og ventilasjonssjakter.

På grunn av usikkerheter rundt negativ påvirkning av myrområdet i Breidalen, anbefales det å etablere poretrykksmålere i tre ulike punkt for å overvåke grunnvannsforhold før anleggsfasen og underveis.

Versjonslogg:

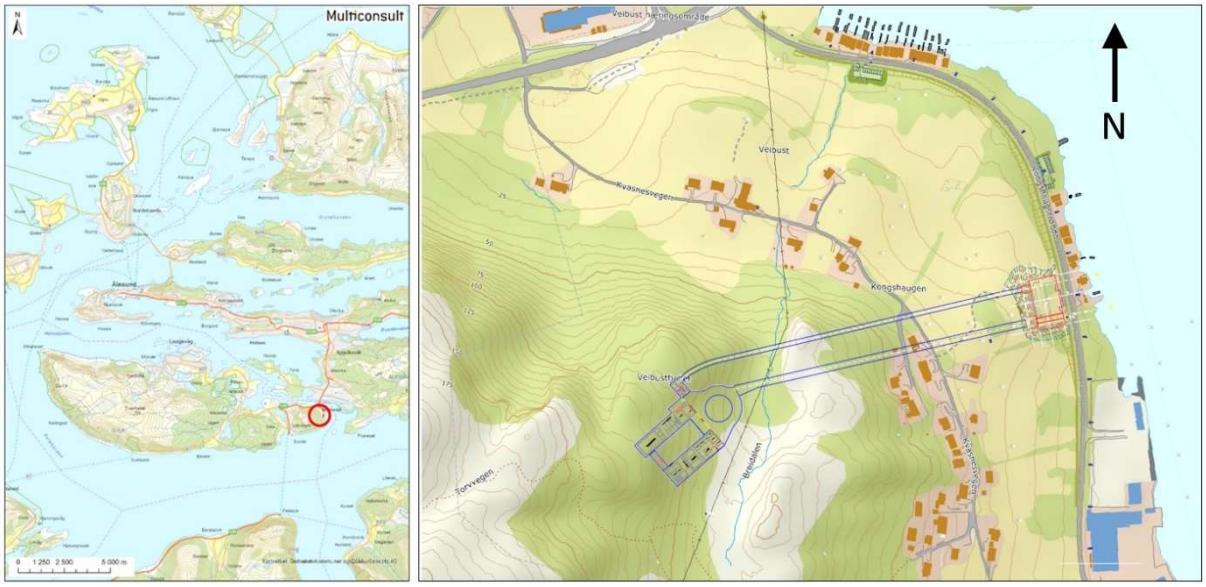
01	21.09.2023	Klar for utsendelse	SMV	SRL	HEOE
VER.	**DATO**	**BESKRIVELSE**	**Utarb.**	**Kontroll**	**Godkjent**

1. Innledning

Det skal bygges nytt felles avløpsrenseanlegg for Sula- og Ålesund kommune på Veibust i Møre og Romsdal. Anlegget er planlagt plassert i berg under Breidalen, med tilkomst via tunnel fra en tomt i dagen langs lokalvegen Kongshaugstranda, se Figur 1-1. På tomten, som etableres i den forutgående Entreprise 00, skal renseanleggets administrasjonsbygg stå.

Multiconsult Norge AS er i samarbeid med Asplan Viak, engasjert av Ålesund og Sula kommuner til å utarbeide konkurransegrunnlag for bygging av renseanlegget.

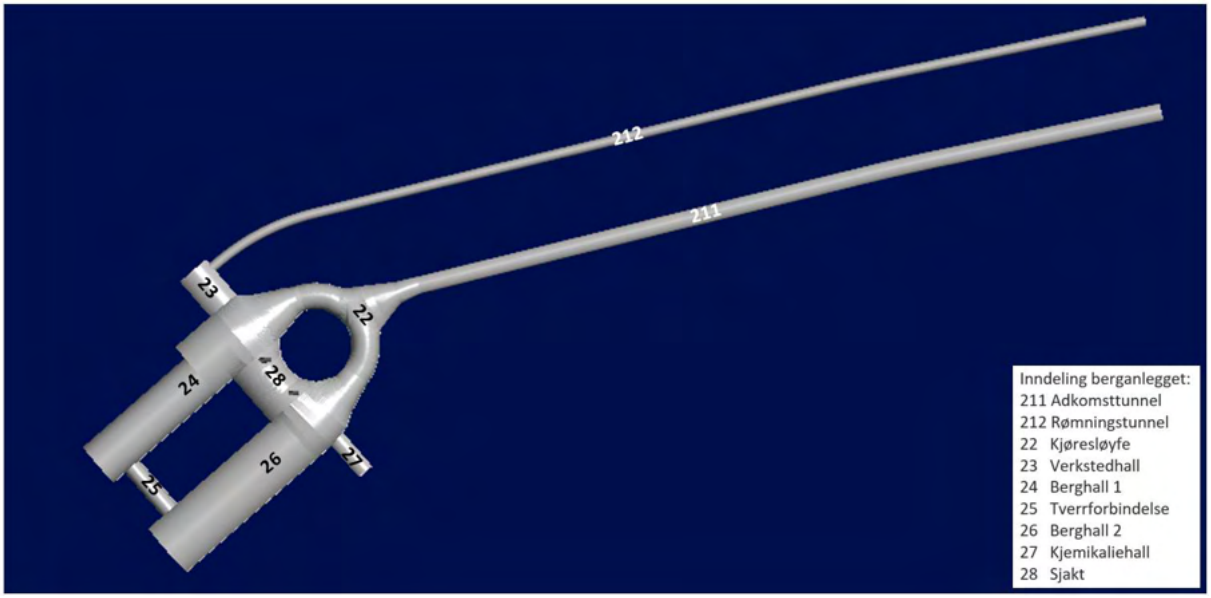
Foreliggende notat beskriver relevante forhold tilknyttet hydrogeologiske vurderinger tilhørende entreprise E01.



Figur 1-1: Oversiktskart over prosjektområdet. Berganleggets plassering er markert med rød sirkel (venstre). Berganleggets tunneler og berghaller er indikert til høyre, med blå linjer og påhuggsområdet med rød strek (1).

1.1. Anleggets utforming og plassering

Renseanlegget er planlagt i to berghaller med tilhørende verkstedhall, kjemikalierom, tverrforbindelse, luftesjakt og tilkomst via adkomsttunnel inkl. kjøresløyfe og parallell rømningstunnel. Skisse over berganlegget er vist i Figur 1-2.



Figur 1-2 Inndeling berganlegget 211: Adkomsttunnel 212: Rømningstunnel 22: Kjøresløyfe 23: Verkstedhall 24: Berghall 1 25: Tverrforbindelse 26: Berghall 2 27: Kjemikaliehall 28: Sjakt. (1)

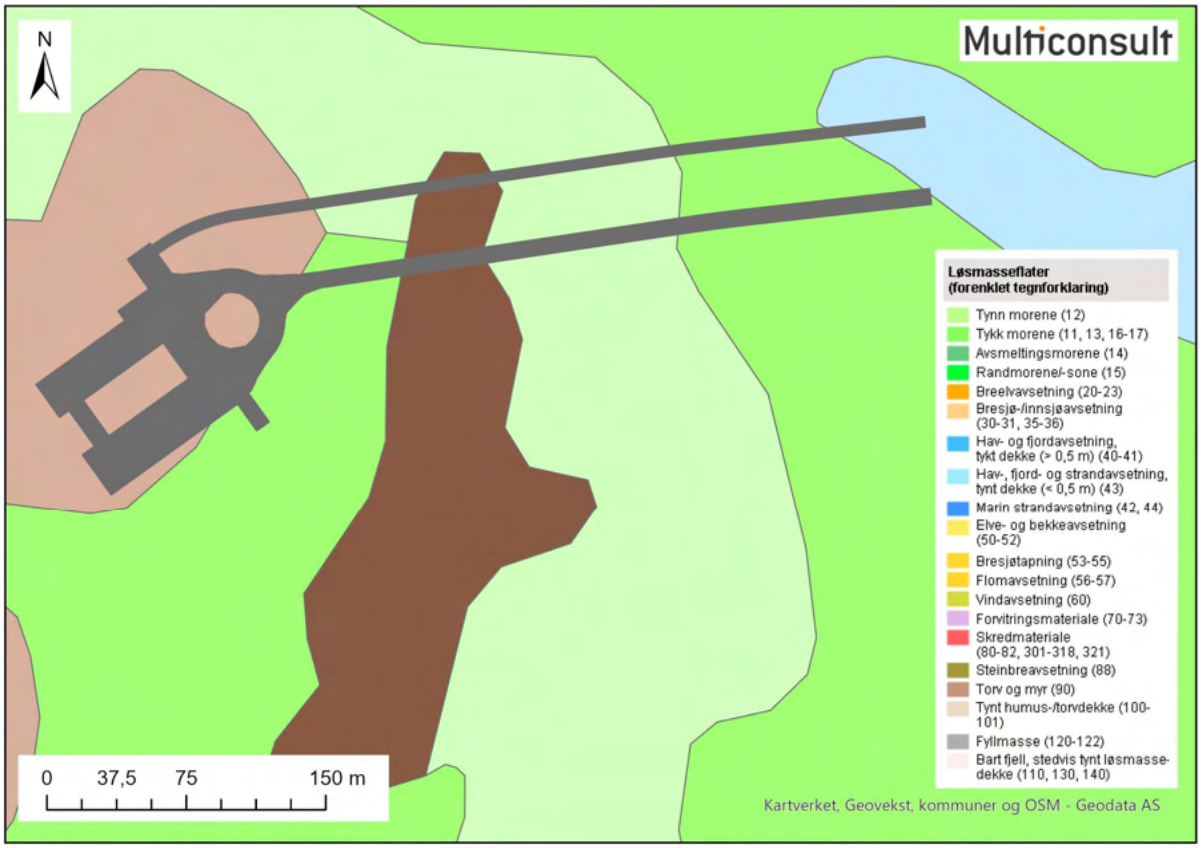
2. Utførte undersøkelser

For beskrivelse og resultater fra tidligere utførte undersøkelser og undersøkelser utført i denne planfasen, henvises det til ingeniørgeologisk rapport (1). Det er blant annet utført geotekniske grunnundersøkelser, refraksjonsseismiske undersøkelser, ingeniørgeologisk feltkartlegging og boring av kjernehull inkl. vanntapsmålinger (1).

3. Grunnforhold

3.1. Kvartærgeologi

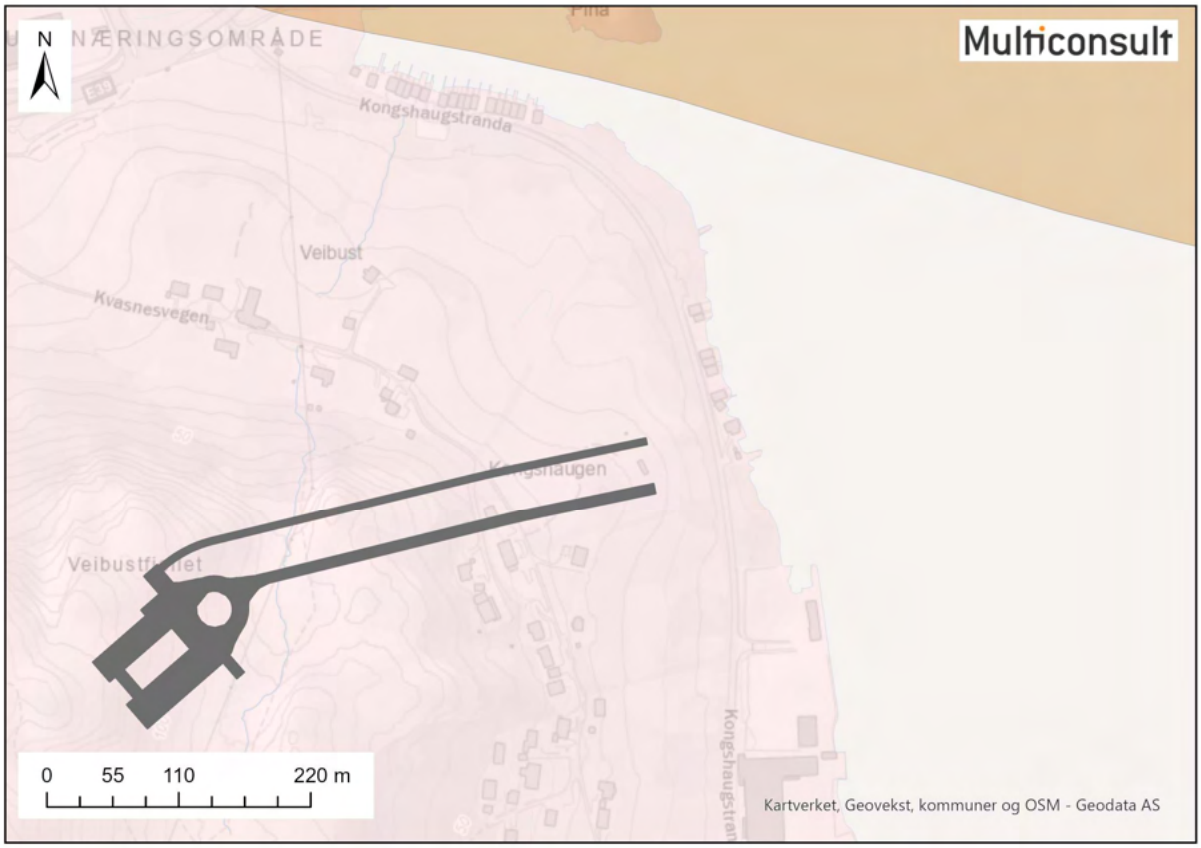
Utsnitt av NGUs kvartærgeologiske kart (2) ovenfor berganlegget er vist i Figur 3-1. Løsmassene består hovedsakelig av morenemateriale med antatt størst mektighet i Breidalen og nordøst for Kvasnesvegen. Morene består av usortert løsmateriale av stein og finere fraksjoner avsatt av isbre. Løsmassene vil slik bestå av ulike sammensetninger av usorterte fine og grove masser. I tillegg til morenemateriale er det registrert tynne hav- og strandavsetninger ved påhuggsområdet. Vest for Breidalen (Veibustfjellet) er det registrert tynt dekke av organisk materiale over berggrunn, og øst for Breidalen (ukjent navnløs fjellknaus) er det torv og myr.



Figur 3-1 Løsmassekart fra NGU i målestokk 1:50 000 (2). Tegnforklaring: Lys grønn=Tynn morene, Mørk grønn=Tykk morene, Blå=Hav-, fjord- og strandansetning, tynt dekke, Lys brun=Tynt humus-/torvdekke, Mørk bruk=Torv og myr og Grå skravur=Berganlegget (1).

3.2. Berggrunnsgeologi

Ifølge NGUs berggrunnskart (2) i målestokk 1:50 000 er berganlegget lokalisert i granittisk gneis tilhørende Sulakomplekset. Nord for berganlegget er det registrert amfibolitt. Utsnitt av NGUs berggrunnskart ovenfor berganlegget er vist i Figur 3-2. Ingeniørgeologisk kartlegging viser at berggrunnen i området i hovedsak består av granittisk gneis. Det er i alt identifisert tre sprekkesett, i tillegg til andre mer sporadiske sprekker. For detaljert bergartsbeskrivelse og berggrunnens oppsprekking vises det til ingeniørgeologisk rapport (1).



Figur 3-2 Berggrunnskart kartlagt i målestokk 1:50 000 av NGU (2). Tegnforklaring: Rosa= granittisk gneis, Brun=Amfibolitt og Grå skravur=Berganlegget (1).

3.3. Hydrologi

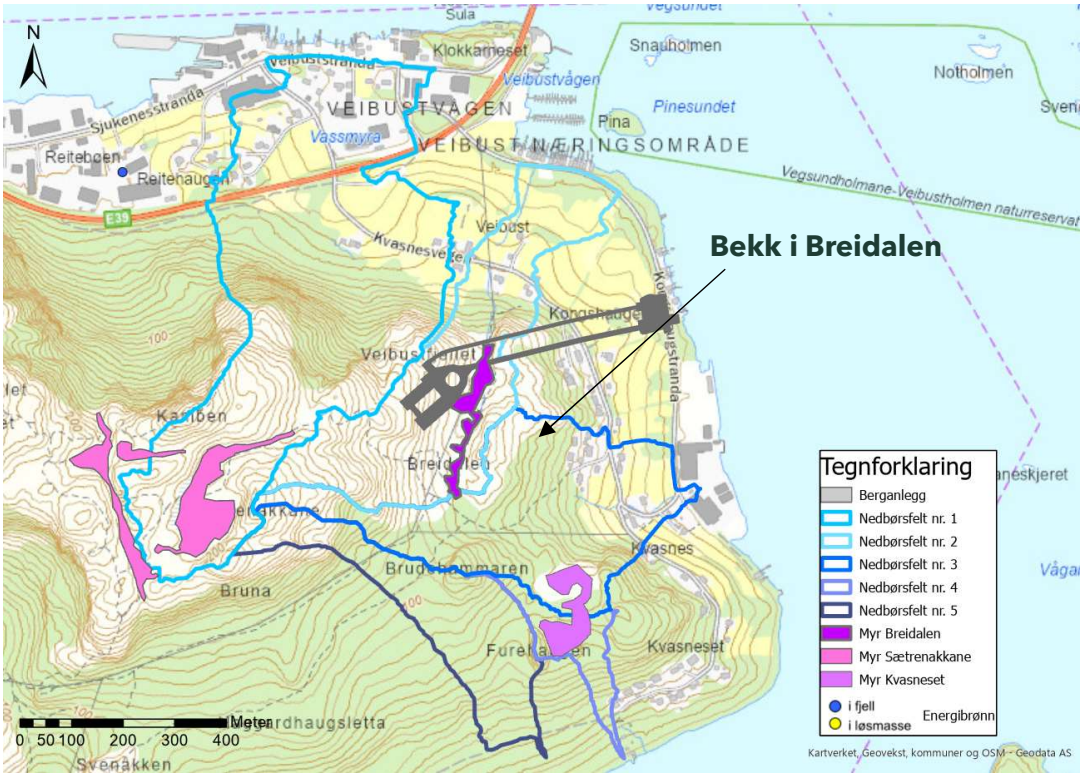
De planlagte tunnelene krysser én bekk, som følger et markert søkk gjennom Breidalen i nordøstlig retning med utløp i Veibustvågen (0301020300-1-C Vannforekomst Storfjorden-Ytre). Utover bekken i Breidalen, vises det på *norgeskart.no* en bekk som renner mot øst, i et søkk like nord for Brudehammeren, med utløp gjennom det tidligere fabrikkområdet.

Det vises også en liten bekk som renner i sørøstlig retning, med utløp i fjorden på Kvasneset.

Ingen av bekkene er registrert i Vann-nett (3) eller NVE sine karttjenester. Utover bekkene og fjorden (0301020300-1-C Vannforekomst Storfjorden-Ytre), er det ikke funnet andre aktuelle vannforekomster ved eller i nærheten av det planlagte tunnel- og berganlegget.

Nedbørsfeltene ved eller i nærheten av berganlegget er generert ved hjelp av Scalgo Live, og vises i Figur 3-3. I alt er det fem ulike nedbørsfelt rundt det planlagte anlegget, hvor berganlegget ligger i nedbørsfelt nr. 2 i Figur 3-3, som også omfatter bekken i Breidalen. I nedbørsfelt nr. 1 er det ikke registrert noen vannforekomster i dagen (elv, bekk, tjern eller vann), men der er et myrområde lengst oppstrøms i nedbørsfeltet som antast å drenere i samme retning som bekken i Breidalen, mot nordøst (lilla farget felt i Figur 3-3). Nedbørsfelt nr. 3 og 4 utgjør feltene til henholdsvis bekken like nord for Brudehammeren og bekken på Kvasneset. I nedbørsfelt nr. 5 er det ikke registrert vannforekomster i dagen.

Det vurderes at nedbørsfelt nr. 3 – 5 ligger sør for et vannskille definert av høydedrag i terrenget, som gjør at de ikke er sårbare for eventuell påvirkning fra det planlagte tunnel- og berganlegget. Videre i rapporten er derfor kun nedbørsfelt nr. 1 og 2 omtalt.



Figur 3-3: Oversikt av de ulike nedbørsfeltene som ligger i nærheten av berganlegget, generert ved hjelp av verktøyet Scalgo Live. Aktuelle myrområder er markert med lilla farger og hentet fra Miljødirektoratets Naturbase-kart (4).

Vannbalansen for aktuelle nedbørsfelt har blitt analytisk beregnet. En vannbalanse gir informasjon om hvor mye vann som naturlig går inn og ut av et nedbørsfelt og kan brukes i vurderingen av hvilken grad utbygging vil kunne påvirke vannressursene i et område. Vannbalansen er beregnet etter følgende prinsipp:

$$P = ET + Q + \Delta S \qquad (5)$$

P er total nedbør, ET er evapotranspirasjon, Q er overflateavrenning og ΔS er nydannelse av grunnvann i løsmasser eller berg. Dette er en grov beregning til bruk for innledende vurderinger.

Deler av nedbøren som faller innenfor nedbørsfeltet vil evapotranspirere, og Tamms formel kan benyttes til å estimere denne mengden:

$$ET = 221{,}5 + 29T \qquad (6)$$

T er midlere årstemperatur. For å beregne mengde nedbør og evapotranspirasjon, har klimanormaler fra værstasjonene Ålesund IV (SN60945) og Brusdalsvatn II (SN60890) blitt benyttet ved å beregne gjennomsnittet fra de to stasjonene. Nedbørsnormalen er på 1684 mm/år og temperaturnormalen er på 7,9°C i perioden 1991-2020 (7).

Mengden vann som går til overflateavrenning avhenger av type overflate og kan vurderes ved bruk av en avrenningsfaktor angitt av Statens vegvesen i rapport 681 (8). Nedbørsfeltene dekker stort sett ubebygde områder der det i hovedsak er morenemateriale, bart fjell/tynt dekke og torv/myr. For morenemateriale anslås det en avrenning på 80%, for bart fjell/tynt dekke en avrenning på 90% og for torv/myr en avrenning på 30%. Arealene på nedbørsfeltene er redusert til å kun omfatte de områder som antas å være mest sårbare med tanke på eventuell negativ påvirkning fra berganlegget.

Tabell 3-1 viser beregnet vannbalanse til de aktuelle nedbørsfeltene som potensielt kan være sårbare ved prosjektgjennomføringen (videre diskutert i kapittel 4.8). De empiriske beregningene indikerer at det er 27% evapotranspirasjon, 59% overflateavrenning og 15% infiltrasjon til grunnen og dermed grunnvannsmating. Dette er beregninger som er beheftet med stor usikkerhet gitt de nødvendige forenklingene som er utført, men foreligger likevel som en indikasjon på de forhold som virker i områdene.

Tabell 3-1: Vannbalanse for aktuelle nedbørsfelt ved planlagt berganlegg.

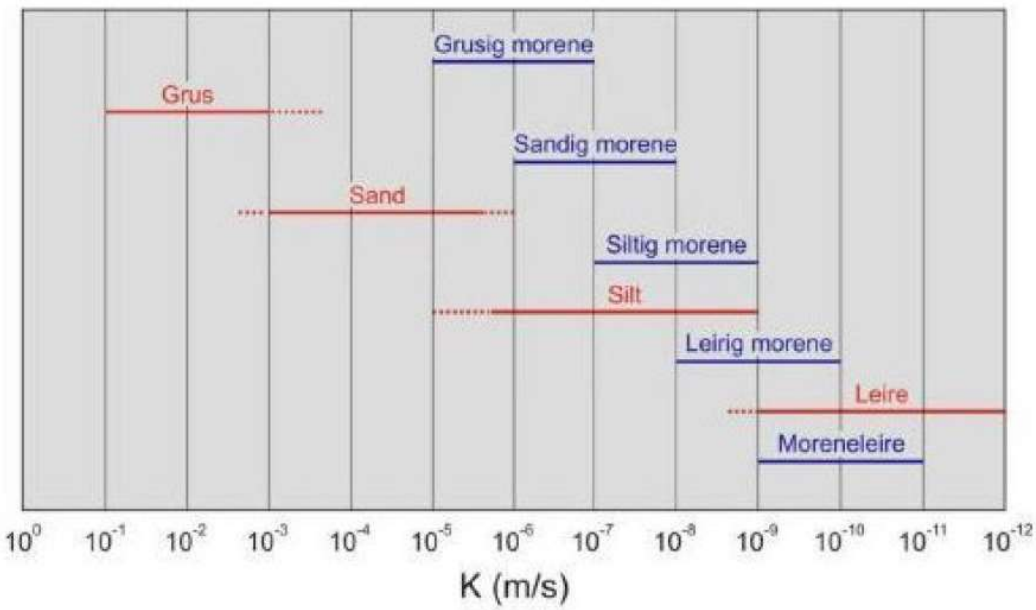
Nedbørfelt	Areal		P	ET	Q	S
	km²	m²	m³/år	m³/år	m³/år	m³/år
Nedbørsfelt nr. 1 - Sætrenakkane	0,12	123794	208469,1	55781,576	122150	30538
	% av total nedbør		100 %	27 %	59 %	15 %
Nedbørsfelt nr. 2 - Breidalen	0,11	105326	177369	47460	103927	25982
	% av total nedbør		100 %	27 %	59 %	15 %

3.4. Hydrogeologi

3.4.1. Hydraulisk ledningsevne

Løsmasser

Morenemasser har varierende hydraulisk ledningsevne, K (hydraulisk ledningsevne), avhengig av massesammensetning, sorteringsgrad og fasthet/pakningsgrad. Som vist i Figur 3-4 kan K være i intervallet 10^{-11} – 10^{-5} m/s. Med K i nedre del av dette intervallet anses morene som relativt impermeabel, og kan dermed fungere som en begrensende faktor for nydannelse av grunnvann.



Figur 3-4: Hydraulisk ledningsevne, K, for noen typiske løsmasser (9)

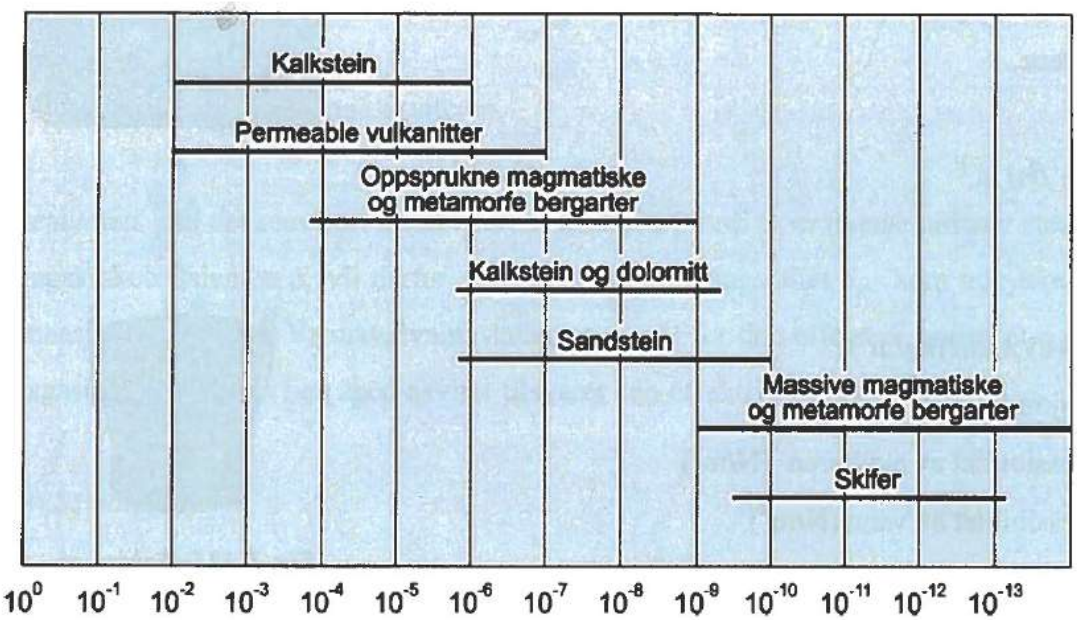
Fra geotekniske grunnundersøkelser (10) i Breidalen er det registrert mellom 1,7-5,8 m med løsmasser under terrengoverflaten. Fra rapporten antas det oppsprukket berg/flussberg i topp over fast berg. Grunnundersøkelsene viser at løsmassene i hovedsak består av et øvre lag av organisk jord (antatt torv i myrområdet), og ellers faste og usorterte masser av sand, grus og stein over berg. Det ble tatt prøveserie fra to punkt i Breidalen, for undersøkelse av korngradering. Prøvene ble tatt fra dybde mellom 1,3-2,3 m og 1-1,5 m under terreng, altså under øvre lag av organisk jord. Korngraderingene viser at de prøvetatte massene er lite sortert og kategorisert som grusig, sandig, siltig. Vanninnholdet er målt til mellom 12,9 % og 13,8 %.

Basert på de geotekniske undersøkelsene, antas det at løsmasser av morene i det aktuelle området har en K-verdi mellom 10^{-5} - 10^{-8} m/s iht. Figur 3-4. De faste massene av morene kan være til dels permeable, og i kombinasjon med at det er registrert oppsprukket berg like under løsmassene, antas det hydraulisk kontakt mellom overliggende løsmasser og underliggende berg og dertil mating av grunnvann til berg.

Berg

Hydraulisk ledningsevne i berggrunnen er direkte knyttet opp mot graden av oppsprekking i bergmassen, størrelsen av kontinuerlige sprekkeåpninger og tilstedeværelse av sekundærmineraler (avleiringer i sprekkeåpninger), samt vanntrykk fra overliggende vannsøyle.

I Figur 3-5 er typisk hydraulisk ledningsevne i noen vanlige bergarter inkludert. Tunnelen vil i hovedsak gå gjennom granittisk gneis, en metamorf bergart. Figuren indikerer at for massive metamorfe bergarter kan den hydrauliske ledningsevnen ligge mellom 10^{-14} – 10^{-9} m/s, mens for oppsprukne metamorfe bergarter kan ledningsevne ligge mellom 10^{-9} – 10^{-4} m/s.



Figur 3-5: Hydraulisk ledningsevne, K, i noen vanlige bergarter (9)

Det er utført vanntapsmåling i kjerneborehullet etter boring. Resultater fra kjerneboring, kartlegging av kjerneprøver og vanntapsmålinger er presentert som vedlegg til ingeniørgeologisk rapport (1).

Vanntapsmålinger kan benyttes til å si noe om berggrunnens hydrauliske ledningsevne, der hensikten er å bestemme den gjennomsnittlige hydrauliske ledningsevnen til bergmassen. Målingene utføres ved å måle vannmengden som injiseres i et testintervall som er isolert fra borehullet med en pakker. I dette tilfellet ble det benyttet enkeltpakker-metode under nedboring, og det ble benyttet 6 m lange testintervaller. Tabell 3-2 viser resultater fra vanntapsmålingene hvor det ble registrert vanntap. Områder hvor det ikke ble registrert vanntap (K_{lu}=0) er ikke tatt med i Tabell 3-2.

Ved å anta homogene forhold kan Lugeon benyttes til å empirisk beregne hydraulisk ledningsevne, K, som følger:

$$K = K_{lu} \times (1 \times 10^{-7}) \quad (11)$$

K_{lu} er Lugeon. Utenom de første syv meterne, varierer den hydrauliske ledningsevnen i områdene med vanntap mellom 1,7x10^{-8} til 8,2x10^{-7} m/s. I det første testintervallet er K-verdi beregnet til 1,1x10^{-6} m/s. Se beregnede K-verdier i Tabell 3-2. Vanntapsmålinger indikerer relativt høy hydraulisk ledningsevne i dagberget, og antas å være representativt for oppsprukket dagberg. Dypere inn i berget mot planlagt berganlegg, er det lavere

hydraulisk ledningsevne. De siste 70 meterne av borehullet er det ikke registrert vanntap, noe som indikerer relativt tett berg (1). Dette skyldes trolig at graden av forvitring synker mot dypet og i avstand fra dagen, samtidig som at økende overdekning typisk medfører økte bergspenninger som sørger for tettere sprekkesystemer med mindre potensiale for vannstrømning.

Tabell 3-2: Resultater fra vanntapsmålinger utført for hver 6 m med 10 bars overtrykk. Kun områder hvor det er registrert vanntap er gjengitt (Klu>0). I totalt 168 m av borehullet er det ikke registrert vanntap. For fullstendig oversikt av resultater vises det til ingeniørgeologisk rapport for berganlegg (1).

Fra (m)	**Til (m)**	**K_{lu}**	**K-verdi (m/s)**	**Kommentar**
1,6	7,6	10,8	1,08E-06	Stort vanntap til 12,6 m. Støpt hull pga. stort vanntap til 37,6 m.
7,6	13,6	8,2	8,17E-07	
19,6	25,6	0,3	3,33E-08	
25,6	31,6	0,7	6,67E-08	
31,6	37,6	0,5	5,00E-08	
37,6	43,6	0,3	3,33E-08	
49,6	55,6	0,2	1,67E-08	
61,6	67,6	0,8	8,33E-08	
73,6	79,6	0,3	3,33E-08	
85,6	91,6	0,7	6,67E-08	
97,6	103,6	0,5	5,00E-08	
103,6	109,6	1,5	1,50E-07	
133,7	139,7	1,3	1,33E-07	
151,7	157,7	0,2	1,67E-08	
157,7	163,7	0,7	6,67E-08	
163,7	169,7	5,0	5,00E-07	Innlekkasje kjernehull, 129 l/min 2 bar, 163,7 - 175,7 m.
175,7	181,7	1,0	1,00E-07	
181,7	187,7	1,0	1,00E-07	
187,7	193,7	0,5	5,00E-08	
193,7	199,7	0,2	1,67E-08	
199,7	205,7	0,8	8,33E-08	
223,7	229,7	0,3	3,33E-08	Innlekkasje kjernehull, 129 l/min 1 bar, 226,7-256,7 m.

3.4.2. Grunnvannsbrønner

Ifølge NGU sin nasjonale grunnvannsdatabase GRANADA (12), ligger det én fjellbrønn benyttet til energiformål (brønn nr. 125706), ca. 750 m nordvest for fjellanlegget (12). Fjellbrønnen er 170 m dyp og ble etablert 07.05.2021. Ifølge GRANADA er det 4,5 m dyp til fjell og det ble registrert 200 l/time i brønnen før trykking/sprengning. Det ble registrert mellom 50-500 l/time vanninnslag fra dybde 39-80 m under terreng, mens det i dybde 118-119 m ble registrert <50 l/time. Det foreligger ingen registeringer av grunnvannsnivå i fjellbrønnen. Utenom dette er det ingen andre aktuelle registreringer av grunnvannsbrønner i området. Det vurderes at fjellbrønn nr. 125706 ikke vil bli berørt av de planlagte arbeidene, da den ligger utenfor antatt influensradius til berganlegget.

For å fange opp eventuelle brønner som ikke ligger inne i GRANADA vil det gjennomføres ytterligere kartlegging av brønner i forbindelse med bygningsregistreringen.

3.4.3. Sårbare områder

I berggrunnen beveger grunnvann seg gjennom sprekkesystemer, og hvor mye vann som drenerer gjennom bergmassen avhenger av utforming av sprekkesystemet og åpningen til de enkelte sprekkene. Høyere vannføring kan forventes i svakhetssoner, forkastninger, bergartsskiller, større enkeltsprekker, dagberg og gangbergarter. Der en tunnel/berghall kommer i kontakt med disse kan det forekomme innlekkasje av grunnvann, med påfølgende konsekvenser som poretrykksfall i løsmasser og negativ påvirkning på vannbalansen til nedbørsfelt i tunnelens influensområde. For eksempel kan innlekkasje føre til drenering av overflatevann, påvirke natur- og våtmarksområder, redusere tilsig i nærliggende brønner og føre til setningsproblematikk på eksisterende bebyggelse/infrastruktur. På bakgrunn av dette er det nødvendig å utføre en sårbarhetsvurdering av hva som potensielt sett kan påvirkes som følge av prosjekt-gjennomføring.

For overflatevann og myrer er sårbarheten en funksjon av vannbalansen, der størrelse på nedbørsfelt, avrenningsforhold og omfanget av grunnvannstilsig i forhold til overflate-avrenning, er medvirkende faktorer. Videre vil de geologiske forholdene påvirke i hvilken grad en lekkasje i tunnel medfører grunnvannssenkning i et gitt område. Naturforekomster sin sårbarhet til grunnvannssenkning avhenger bl.a. av om artene som inngår i naturtypen er fuktkrevende eller tørketolerante, og i hvilken grad grunnvannstilsig er en viktig faktor for opprettholdelse av markfuktigheten.

Det er antatt at senkning av grunnvannstanden vil ha størst konsekvenser for natur der naturtypen er direkte avhengig av grunnvannet og med et nedbørsfelt der vanntilførselen er liten. Sårbarhet for myrer og/eller vann kan klassifiseres etter størrelsen på nedbørsfeltet til forekomsten, med sårbarhetsklasse 1 som mest sårbart (13), se Tabell 3-3.

Tabell 3-3: Sårbarhetsklasser for myrer/vann basert på størrelse av nedbørsfelt (13).

Sårbarhetsklasse	Størrelse på nedbørsfelt
1	<0,5
2	0,5-1
3	1-2
4	2-5
5	Vann tilhørende vassdrag som renner gjennom modellområdet. Betydelig nedbørsfelt og liten sårbarhet.

Nedbørsfeltene i det aktuelle området er alle mindre enn 0,5 km^2 og vil derfor være sårbare ved eventuell innlekkasje til berganlegget. Vannbalanseberegninger gir en indikasjon på hvor store endringer i vannbalansen forekomsten tåler.

Naturmiljøet over planlagt anlegg er i hovedsak områder med bart fjell og områder med løsmasser av morene og myr. Tunnelene krysser under én bekk, som renner gjennom Breidalen. Utover dette er det ikke registrert vannforekomster som antas å bli påvirket av det planlagte anlegget.

I henhold til Miljødirektoratets Naturbasekart (4) finnes det ingen vernede vassdrag eller naturvernområder i området.

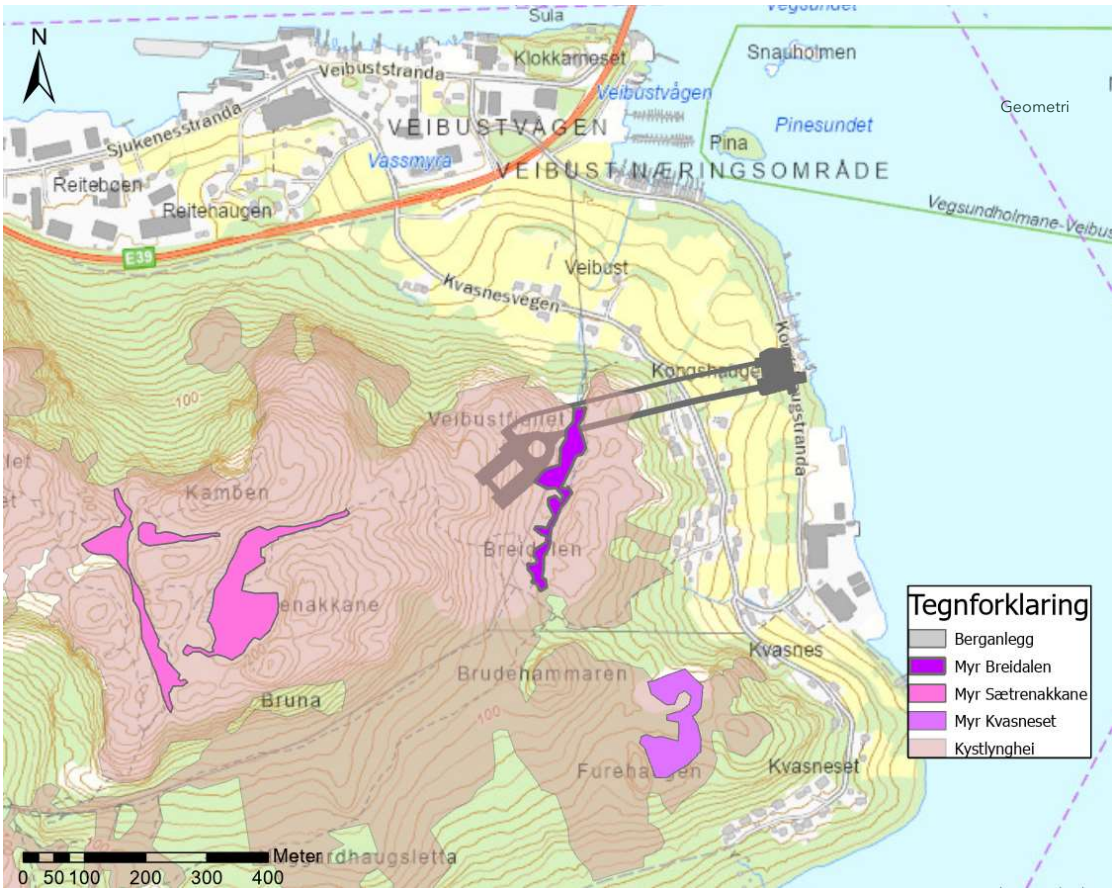
I Breidalen er det i Naturbase registrert naturtype *terrengdekkende myr* (NIN id NINFP1910052357). Myren er av type *nedbørsmyr* og er registrert med *god tilstand*. Ifølge naturbase fremstår myren som intakt foruten slitasje i form av sti, som er utslagsgivende for en god tilstand. Samme type myr er registrert lengre sør mot Kvasneset (NIN id NINFP1910032499). Vest for berganlegget mellom Sætrenakkane og Kamben er det registrert naturtype *sørlig nedbørsmyr*. Tilstanden er vurdert å være god, og fremstår intakt foruten svak slitasje i form av tursti. På hele Leirvågfjellet er det registrert naturtype *kystlynghei* (NIN id NINFP1910030988). Se registrerte naturtyper i Figur 3-6.

Nedbørsmyr omfatter myr der overflatetorv ikke har kontakt med jordvann, slik at artene bare får tilført vann og mineralnæring fra nedbøren. Over tid kan nedbørsmyr dannes ved

at torvlagene bygger seg opp og etter hver hever seg over omgivelsene, slik at vegetasjonen ikke når ned til grunnvannet. Torvas evne til å holde på vannet gjør at grunnvannsspeilet i nedbørsmyr kan ligge høyere enn i omgivelsene (14).

De geotekniske grunnundersøkelsene i Breidalen (10) har vist at øvre lag er organiske masser med underliggende til dels faste masser og oppsprukket dagberg. Det antas at myra har en omtrentlig mektighet på ca. 1 m med underliggende morenemasser over berg. Dersom grunnvannsnivå i underliggende masser av myr senkes, kan dette medføre en senkning i grunnvannsnivå i myr. Selv om vegetasjon i nedbørsmyr avhenger av nedbør, vil grunnvannsnivå i myr trolig være avhengig av dypereliggende grunnvannsnivåer.

Det er ikke utført noen registrering av grunnvannsnivå i myra i Breidalen, hvordan grunnvann i myr henger sammen med grunnvann i underliggende masser og berg, er derfor ukjent.



Figur 3-6: Kart som viser registreringer av de ulike naturtypene på Leirvågfjellet iht. Miljødirektoratets naturbasekart (4).

4. Hydrogeologiske vurderinger

4.1. Influensområdet

Størrelsen på influensområdet kan beregnes med empiriske formler. For grunnvann i berg kan influensområdet beregnes med følgende empirisk formel fra Cooper og Jacob (1946):

$$R = \sqrt{2{,}25Tt/S} \qquad (15)$$

Der T er transmissivitet i m^2/s, t er tid i s og S er magasinkoeffisient. Formelen egner seg best til korte perioder med påvirkning ettersom den gir urealistisk høye verdier ved påvirkning over lang tid. På bakgrunn av dette har antall dager blitt satt til 14. Magasinkoeffisienten er ikke kjent i området, men da den generelt sett ligger mellom 10^{-5} og 10^{-3} er den her satt til 10^{-4}. Transmissiviteten beregnes som følger:

$$T = bK \qquad (16)$$

Der b er tykkelsen til akviferen i m og K er vertikal hydraulisk ledningsevne i m/s. Beregninger er utført for henholdsvis tunnelene og berghallene ved å benytte antatt hydraulisk ledningsevne for bergmassen på 10^{-8} m/s, 10^{-7} m/s og 10^{-6} m/s og en akvifertykkelse på opptil 100 m (i.e. tilsvarende maksimal bergoverdekning).

For tunnelene gir de empiriske beregningene influensområder med radius mellom 59 til 1650 m avhengig av akvifertykkelse og hydraulisk ledningsevne, se verdier i Tabell 4-1. For berghallene varierer influensradius mellom 148 til 522 m, se Tabell 4-2.

Tabell 4-1: Empirisk beregnede influensradius for tunneler.

Akvifertykkelse (m)	**Influensradius tunneler (m)**		
	K = 10^{-6}	**K = 10^{-7}**	**K = 10^{-8}**
100	1650	522	165
80	1476	467	148
60	1278	404	128
40	1043	330	104
20	738	233	74
13	595	188	59

Tabell 4-2: Empirisk beregnende influensradius for berghallene.

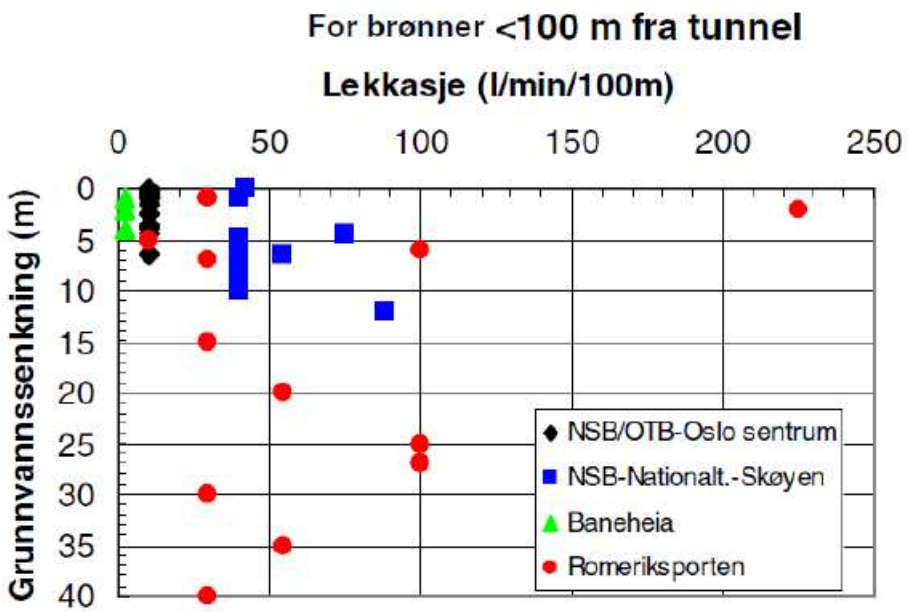
Akvifertykkelse (m)	Influensradius berghaller (m)	
	$K = 10^{-7}$	$K = 10^{-8}$
100	522	165
90	495	157
80	467	148

Ifølge beregningene vurderes det som svært lite realistisk at områder opptil 1,7 km unna berganlegget påvirkes, særlig ettersom det strekker seg utover flere høydedrag og fjordområder. Beregningene indikerer derimot at sprekke – og svakhetssoner med høyere hydraulisk ledningsevne kan medføre at større områder påvirkes av berganlegget.

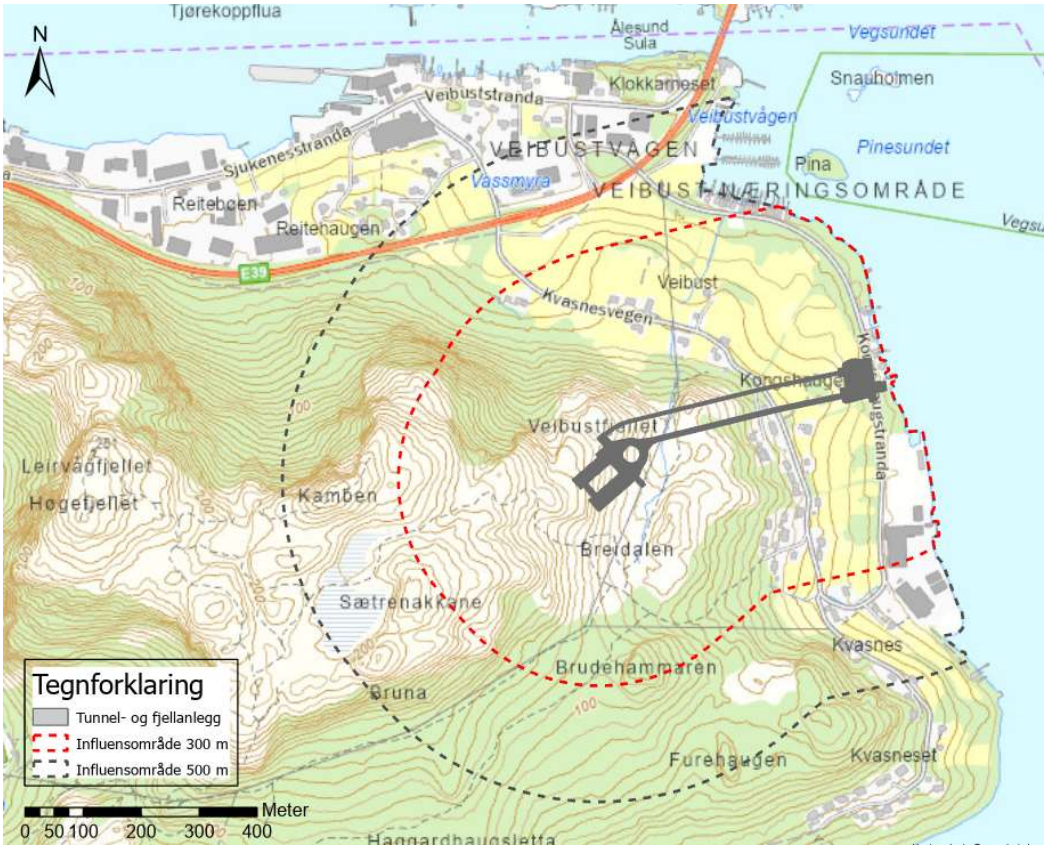
Erfaringer fra eksisterende tunnelanlegg som vist i Figur 4-1, indikerer at grunnvannet i hovedsak kan påvirkes i en avstand opp til 300 m fra tunnelen samt at størst påvirkning kan forventes opp til 100 m fra tunnel (5).

Det vurderes som mest sannsynlig at planlagt anlegg vil kunne påvirke grunnvannet opp til en influensradius på 300 m. Som empiriske beregninger viser samt erfaring fra enkelte tunnelprosjekter, kan grunnvannet påvirkes i større avstander enn dette, og det er derfor gjort en vurdering av sårbare områder som ligger innenfor en influensradius på 500 m.

Utstrekningen av influensområder på 300 m og 500 m er vist i Figur 4-2. En eventuell påvirkning i form av grunnvannssenkning er størst i umiddelbar nærhet til tunnelen og vil avta med økende avstand. Utstrekningen av influensområdene er i foreliggende rapport avgrenset ved Storfjorden. Det kan også finnes andre avgrensende faktorer, men ved å bruke fjorden anses usikkerheten som minst ved at det er den mest konservative tilnærmingen.



Figur 4-1: Sammenheng mellom grunnvannssenkning og innlekkasje for noen utvalgte tunneler (5).



Figur 4-2: Influensområder med radius på 300 m og 500 m rundt planlagt berganlegg.

4.2. Innlekkasjepotensiale

Innlekkasjepotensialet i planlagt berganlegg avhenger av balansen mellom overvann og nydannelse av grunnvann i respektive nedbørsfelt langs/tvers av berganlegget, og grunnens hydrauliske ledningsevne, som i hovedsak avhenger av berggrunnens hydrauliske egenskaper. Som beskrevet i kapittel 3.4.1 er berggrunnens hydrauliske egenskaper blant annet knyttet opp mot graden av oppsprekking i bergmassen og grunnvannshøyde over anlegget.

Teoretisk innlekkasje, Q, avhenger av grunnens permeabilitet og vanntrykk over tunnel, og har i foreliggende vurdering blitt empirisk beregnet med følgende formel av Karlsrud (2002):

$$Q = \pi k h \frac{2}{\ln\left(2\frac{h}{r} - 1\right)} \qquad (17)$$

Der k er hydraulisk ledningsevne i m/s, h er dyp under grunnvannsspeilet i m og r er tunnelradius i m. Vanntapsmålingene indikerer som tidligere beskrevet, at bergmassen på tunnelnivå har en hydraulisk ledningsevne mellom 10^{-6} m/s til 10^{-8} m/s. Som beskrevet i kap. 3.4.1 er det mest sannsynlig områder av bergmassen som har enda lavere hydraulisk ledningsevne, ned mot 10^{-9} til 10^{-11} m/s. For at beregningene som er beheftet med usikkerheter skal være på den konservative siden, er det utført beregninger for innlekkasje med gjennomsnittlig hydraulisk ledningsevne i bergmassen på 10^{-8} m/s, 10^{-7} m/s og 10^{-6} m/s for både tunnelene og berghallene. Radius for tunnel er satt til ca. 4 m og hentet fra adkomsttunnel med størst tverrsnitt. Radius for berghall er satt til ca. 40 m og hentet fra det største spennet gjennom begge berghallene inkl. tverrforbindelsen.

Beregningene indikerer at potensialet for innlekkasje langs tunnelene ligger mellom 7 l/min per 100 m og 997 l/min per 100 m, dersom bergmassen har en gjennomsnittlig hydraulisk ledningsevne i sjiktet 10^{-8} m/s til 10^{-6} m/s. For berghallene ligger innlekkasjepotensiale mellom 16 l/min per 100 m til 1616 l/min per 100 m. Se Tabell 4-3 og Tabell 4-4.

Tabell 4-3: Empirisk beregnet innlekkasje for tunneler ved ulike hydrauliske ledningsevner og overdekning. Resultater for ett tunnelløp.

K-verdi	Innlekkasje ved maksimal bergoverdekning i l/min per 100 m tunnel	Innlekkasje ved svakhetssone Breidalen i l/min per 100 m tunnel
1×10^{-8}	10	7
1×10^{-7}	100	68
1×10^{-6}	997	676

Tabell 4-4: Empirisk beregnet innlekkasje for berghaller ved ulike hydrauliske ledningsevner og overdekning. Resultater for hele spennvidden på berghallene inkl. kjøresløyfe (ca. 40 m diameter).

K-verdi	Innlekkasje berghall i l/min per 100 m
$1x10^{-8}$	16
$1x10^{-7}$	162
$1x10^{-6}$	1616

Beregningene indikerer at i områder der bergmassen er lite oppsprukket og med lav K-verdi forventes det begrenset innlekkasje, mens det i områder med høyere K-verdi, som eksempelvis i svakhetssoner, er det svært høyt potensiale for innlekkasje av grunnvann. Høyeste registrerte K-verdi på 10^{-6} m/s var i dagberget, slik at beregningene anses som svært konservative estimat. Ledningsevnen vil trolig variere mellom de benyttede verdiene, og innlekkasjemengden kan med det være lavere enn det som er empirisk og analytisk beregnet, men det vurderes å være størst potensiale for innlekkasje i områder med oppsprukne, metamorfe bergarter.

4.3. Sårbarhetsvurdering

Figur 4-3 viser planlagt berganlegg med aktuelle sårbare områder omfattet av foreliggende sårbarhetsvurdering.

4.3.1. Grunnvannsbrønner og -forekomster

Grunnvannsbrønnen som er registrert i GRANADA ved Reitehaugen ligger utenfor 500 m influensområde, og vurderes dermed å ikke bli berørt av de planlagte arbeider. Utover dette er det ingen andre grunnvannsbrønner i influensområdet som Multiconsult er kjent med. Det anbefales at det utføres registrering av grunnvannsbrønner samtidig som det eventuelt utføres en bygningsbesiktigelse i forkant av anleggsarbeider.

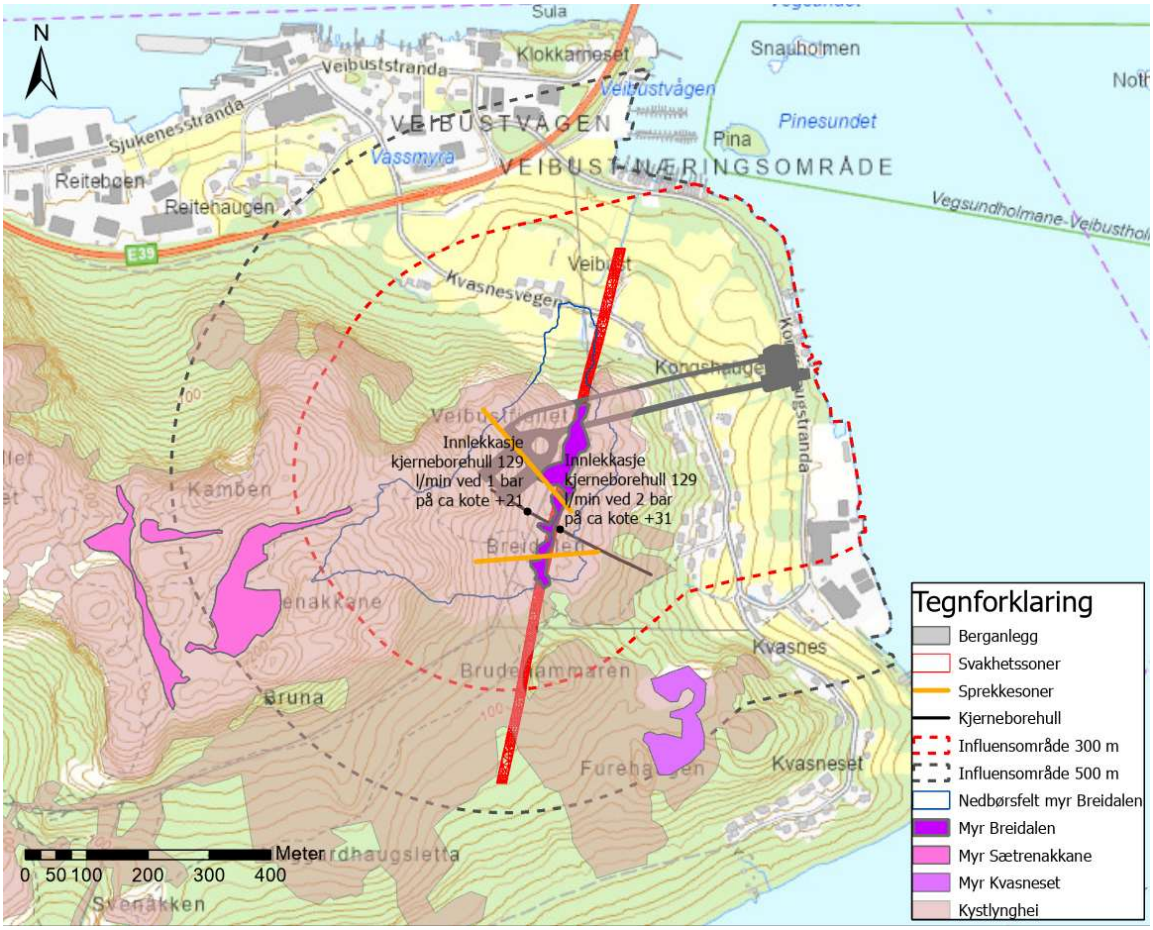
4.3.2. Viktige naturtyper

Det er registrert en viktig naturtype i fjellområdet over berganlegget som følge av forekomst av kystlynghei. Kystlynghei får vann fra overflateavrenning og er ikke avhengig av grunnvannet i seg selv.

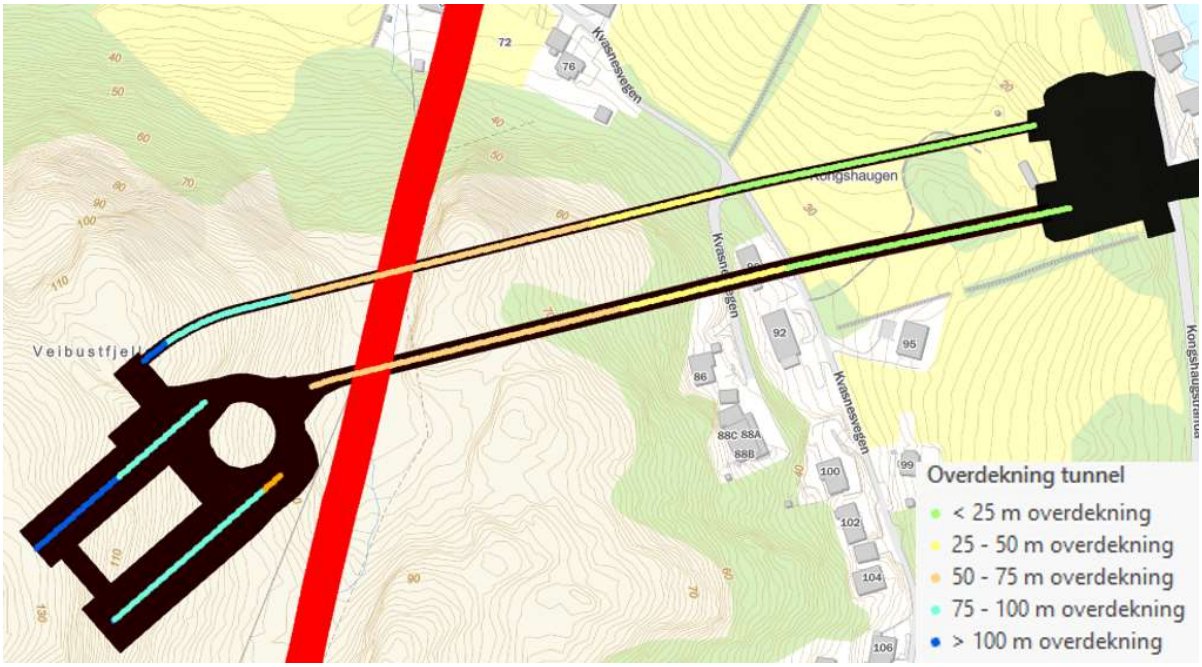
Myren og bekken som er registrert å ligge i Breidalen sammenfaller med kartlagt svakhetssone, som er vurdert å krysse tunnelene. Det er i tillegg kartlagt sprekkesystemer som antas å krysse berghallene (Figur 4-3). Myren i Breidalen overlapper på deler av tunnelstrekningen og i deler av berghallene. Overdekningen hvor tunnelen krysser under

myren er mindre enn 100 m, se Figur 4-4. Da myren ligger i en liten forsenkning i terrenget er det sannsynlig at grunnvannet kan stå i dagen her, og det kan ikke utelukkes at grunnvannsnivået i myren avhenger av grunnvannsnivået i berget. Det vurderes at myrområdet i Breidalen er sårbart for påvirkning.

Myrområdet ved Sætrenakkane ligger utenfor influensområdet på 300 m, men innenfor 500 m influensområdet. Det er ingen kartlagte svakhetssoner eller sprekkesoner ved berganlegget som antas å stå i kontakt med myrområdet på Sætrenakkene. Det vurderes at myrområdet på Sætrenakkene ikke forventes å bli påvirket som følge av de planlagte arbeider med berganlegget. Det samme gjelder myrområdet på Kvasneset, som også ligger utenfor influensområdet på 300 m, men innenfor radius 500 m.



Figur 4-3: Kartutsnitt viser planlagt berganlegg, influensområder på 300 og 500 m, nærliggende brønner, viktige naturtyper, aktuelle nedbørsfelt, kartlagte svakhets- og sprekkesoner.



Figur 4-4: Oversiktskart av berganlegg med kartlagt svakhetssone og overdekning fra berganlegg til terreng.

4.3.3. Effekt på sårbare naturområder

Effekt på sårbare naturområder kan vurderes gjennom vannbalansevurderinger, hvor forholdet mellom vanntilførsel til respektivt område og estimert innlekkasje av grunnvann i planlagt berganlegg undersøkes. Det mest sårbare scenariet er i tilfeller hvor grunnvannsnivå i naturtypen, i dette tilfelle et myrområde, er i direkte hydraulisk kontakt med det planlagte berganlegg. Senkning av grunnvannsnivå vil i slike tilfeller medføre en senkning av grunnvannsnivå i myren, som medfører uttørking og forringelse av myr, dersom grunnvannstilsig er en viktig faktor for å opprettholde fuktigheten i myren. En situasjon hvor det ikke er en direkte hydraulisk kontakt mellom grunnvannsnivå i myr og omkringliggende grunnvann i berg, altså et hengende vannspeil, vil være mindre sårbar ved en lokal grunnvannssenkning, med mindre vanntilførsel via grunnvann til myren reduseres som følge av grunnvannssenkningen. Myrområdet ligger i et nedbørsfelt med lite løsmasser og et samlet areal <0,5 km^2 (sårbarhetsklasse 1 iht. kap. 3.4.3). Myren vurderes dermed å være sårbar for endringer i grunnvannsnivå.

I foreliggende rapport er det beregnet innlekkasje sammenlignet med estimert nydannelse av grunnvann og med normalavrenning i respektivt nedbørsfelt. Det førstnevnte er mest konservativt, og deretter vurdert potensiell effekt på myrområdet.

Til sammenligning har effekt på vannforekomster i forbindelse med Holsfjordtunnelen og Sommersettunnelen (sistnevnte har planlagt anleggsstart i 2023), blitt utført kun ved bruk av normalavrenning. Følgende klassifisering av effekt på vannforekomster ble da benyttet, og benyttes i foreliggende rapport (18):

Lekkasje < 10% av normalavrenning/grunnvannsmating – ingen eller liten effekt

Lekkasje 10-20% av normalavrenning/grunnvannsmating – middels effekt

Lekkasje > 20% av normalavrenning/grunnvannsmating – stor effekt

Sårbarheten til myrområdet i Breidalen avhenger av om innlekkasjen til det planlagte berganlegget vil være større enn tilførsel av vann til myrområdet. Gjennom vurdering av effekt/konsekvens av beregnet innlekkasje sammenlignet med normalavrenning, antas det at vannforekomsten i mindre grad avhenger av et høyt grunnvannsnivå enn ved innlekkasje sammenlignet med nydannelse av grunnvann (grunnvannsmating). Det sistnevnte vil derfor gi de mest konservative innlekkasjekravene.

Det er utført empiriske beregninger av effekt/konsekvens for myren i Breidalen, da denne potensielt kan være sårbare for påvirkning ved innlekkasje i henholdsvis tunneler og berghaller. Det er utført beregninger for scenario hvor myren påvirkes som følge av innlekkasje til tunnelene, og der myren påvirkes som følge av innlekkasje til berghallene.

For beregning av innlekkasje til tunnelene et det antatt 18 m bredde på vannførende sone på tunnelnivå, og hydraulisk ledningsevne på 10^{-8} m/s, 10^{-7} m/s og 10^{-6} m/s. Resultater fra de empiriske beregningene er inkludert i Tabell 4-5.

For beregning av innlekkasje til berghallene er det utført beregninger for to scenario, ett hvor innlekkasje foregår via et kartlagt sprekkesystem med en antatt bredde på 5 m på berghallnivå, og et annet der innlekkasje vil foregå over hele berghallens lengderetning på ca. 130 m. Det er benyttet verdier av hydraulisk ledningsevne på 10^{-9} m/s, 10^{-8} m/s, 10^{-7} m/s og 10^{-6} m/s. Resultater fra de empiriske beregningene er inkludert i Tabell 4-6. Beregningene er utført uten randbetingelser, som medfører at en beregnet innlekkasje kan overstige 100% av normalavrenning/grunnvannsmating i nedbørsfeltet.

Tabell 4-5: Estimert effekt på myrområdet i Breidalen ved innlekkasje til tunneler.

Hydraulisk ledningsevne, K (m/s)	% av normalavrenning	Effekt	% av grunnvannsmating	Effekt
1,00E-08	0,1 %	Ingen/liten	0,2 %	Ingen/liten
1,00E-07	1 %	Ingen/liten	2 %	Ingen/liten
1,00E-06	6 %	Ingen/liten	25 %	Stor

Tabell 4-6: Estimert effekt på myrområdet i Breidalen ved innlekkasje til berghallene.

Scenario	Antatt bredde på oppsprukket område (m)	Innlekkasje i tunnel når K = 1E-9			
		% av normalavrenning	Effekt	% av grunnvannsmating	Effekt
Innlekkasje til berghall, total lengde retning	130	1,8 %	Ingen/liten	7 %	Ingen/liten
Innlekkasje til berghall via sprekkesone	5	0,1 %	Ingen/liten	0,3 %	Ingen/liten

Scenario	Antatt bredde på oppsprukket område (m)	Innlekkasje i tunnel når K = 1E-8			
		% av normalavrenning	Effekt	% av grunnvannsmating	Effekt
Innlekkasje til berghall, total lengde retning	130	18 %	Middels	72 %	Stor
Innlekkasje til berghall via sprekkesone	5	1 %	Ingen/liten	3 %	Ingen/liten

Scenario	Antatt bredde på oppsprukket område (m)	Innlekkasje i tunnel når K = 1E-7			
		% av normalavrenning	Effekt	% av grunnvannsmating	Effekt
Innlekkasje til berghall, total lengde retning	130	179 %	Stor	717 %	Stor
Innlekkasje til berghall via sprekkesone	5	7 %	Ingen/liten	27 %	Stor

Scenario	Antatt bredde på oppsprukket område (m)	Innlekkasje i tunnel når K = 1E-6			
		% av normalavrenning	Effekt	% av grunnvannsmating	Effekt
Innlekkasje til berghall, total lengde retning	130	1793 %	Stor	7173 %	Stor
Innlekkasje til berghall via sprekkesone	5	68 %	Stor	274 %	Stor

For tunnelene indikerer de empiriske beregningene som vist i Tabell 4-5, at ved en hydraulisk ledningsevne på 10^{-7} m/s eller lavere, vil innlekkasje i tunnel ha ingen eller liten påvirkning på myren i Breidalen. Ved en hydraulisk ledningsevne på 10^{-6} m/s eller høyere, vil innlekkasje i tunnel kunne ha stor påvirkning på myren.

Når det gjelder berghallene viser de empiriske beregningene i Tabell 4-6 at innlekkasje vil avhenge av hvor stor del av berghallen som er oppsprukket og hydraulisk ledningsevne i slike områder. Generelt vil en hydraulisk ledningsevne på 10^{-8} m/s eller høyere, kunne medføre innlekkasjer som har middels til stor effekt på myrområdet i Breidalen. De to tabellene illustrerer hvor store usikkerheter det er knyttet til estimering av innlekkasje.

4.4. Potensiale for setninger

I henhold til NGU sitt kvartærgeologiske kart (se Figur 3-1), er det hovedsakelig løsmasser av morenemateriale i områder med bygninger innenfor antatt influensområde. Morenemasser er generelt sett lite sensitive for setninger, og det vurderes derfor som lite sannsynlig at det vil oppstå setningsproblematikk i disse områdene som følge av innlekkasje av grunnvann til tunnelen.

Innlekkasjekrav i tunnel er derfor ikke vurdert som følge av setningsproblematikk.

4.5. Innlekkasjekrav

Vurdering av innlekkasjekrav baserer seg på en rekke forhold, som grovt kan deles inn i følgende hovedgrupper (19):

- Konsekvenser av innlekkasje for omgivelsene (ytre miljø og setninger)
- Konsekvenser for selve anleggsdriften (tunneldrift og kvalitet på anleggsarbeidet)
- Konsekvenser for det permanente anlegget (levetid og driftskostnader)

Ved store vannmengder/vanntrykk kan det være aktuelt å injisere av anleggstekniske årsaker. Et slikt innlekkasjebehov kommer som følge av entreprenørens evne til å håndtere vannmengder under driving og ikke fra innlekkasjekrav. Dimensjonerende for innlekkasjekrav er i dette tilfellet omgivelsene (her ytre miljø, da det ikke er registrert setningsutsatte områder), tekniske forutsetninger for tunneldriving samt drift og vedlikehold.

Som beskrevet i kapittel 4.3 vurderes det at akseptabel innlekkasje i tunnel utgjør opptil 10% av normalavrenning/grunnvannsmating til et naturområde. 10% av grunnvanns-

matingen til en vannforekomst utgjør det mest konservative estimatet, og behov for innlekkasjekrav er vurdert basert på dette.

4.5.1. Tunneler:

Det er usikkert hvor bred den kartlagte svakhetssonen som krysser tunnelene er. I beregningene er innlekkasjekravet vurdert for en bredde på 18 m, som da inkluderer 5 meter buffer på hver side av svakhetssonen. Innlekkasjekravet settes til 20 l/min per 100 m for tunnelene som krysser svakhetssonen. Det settes overordnet 10 l/min per 100 m per tunnel, men at det samlet ikke skal være større innlekkasje enn 20 l/min per 100 m tunnel.

Utover området med svakhetssonen i Breidalen settes det ikke innlekkasjekrav i tunnelene, utover tetting av innlekkasjer med tanke på driftshensyn. Det er likevel viktig at man under utførelse følger med på innlekkasjen og kontinuerlig vurderer injeksjon også langs strekningen uten innlekkasjekrav. Metodikken som brukes for måling av innlekkasje er terskelmålinger og målinger på stuff når en eventuelt treffer på vann.

Det er viktig at det utføres god tetting ved kryssing av svakhetssoner, da det antas at disse kan utgjøre en betydelig negativ påvirkning dersom tettetiltak ikke utføres.

4.5.2. Berghaller:

For berghallene inkl. tverrslag og kjøreløkke, vurderes det å være overordnet tett berg, men det antas at det kan forekomme vannførende sprekkesoner. Det foreligger usikkerheter rundt utbredelsen av eventuelle vannførende sprekkesoner der berghallene skal ligge.

Det forutsettes at det utføres behovsprøvd injeksjon som følge av forløpende målinger av innlekkasje under driving. Metodikken som brukes for måling av innlekkasje er terskelmålinger og målinger på stuff når en eventuelt treffer på vann. Som sluttkontroll settes innlekkasjekrav til 20 l/min samlet for berghallene inkl. tverrslag og kjøreløkke.

4.5.3. Ventilasjonssjakter:

Det skal bores ventilasjonssjakter med diameter ca. 2,4 m, og disse er planlagt boret fra dagen og ned i berghallen. Sjaktene må tettes i øverste del hvor det forventes oppsprukket og vannførende dagberg. Det antas at ventilasjonssjaktene må injiseres minimum øverste 12 m, deretter behovsprøvd injeksjon videre ned mot berghallene.

4.6. Usikkerheter

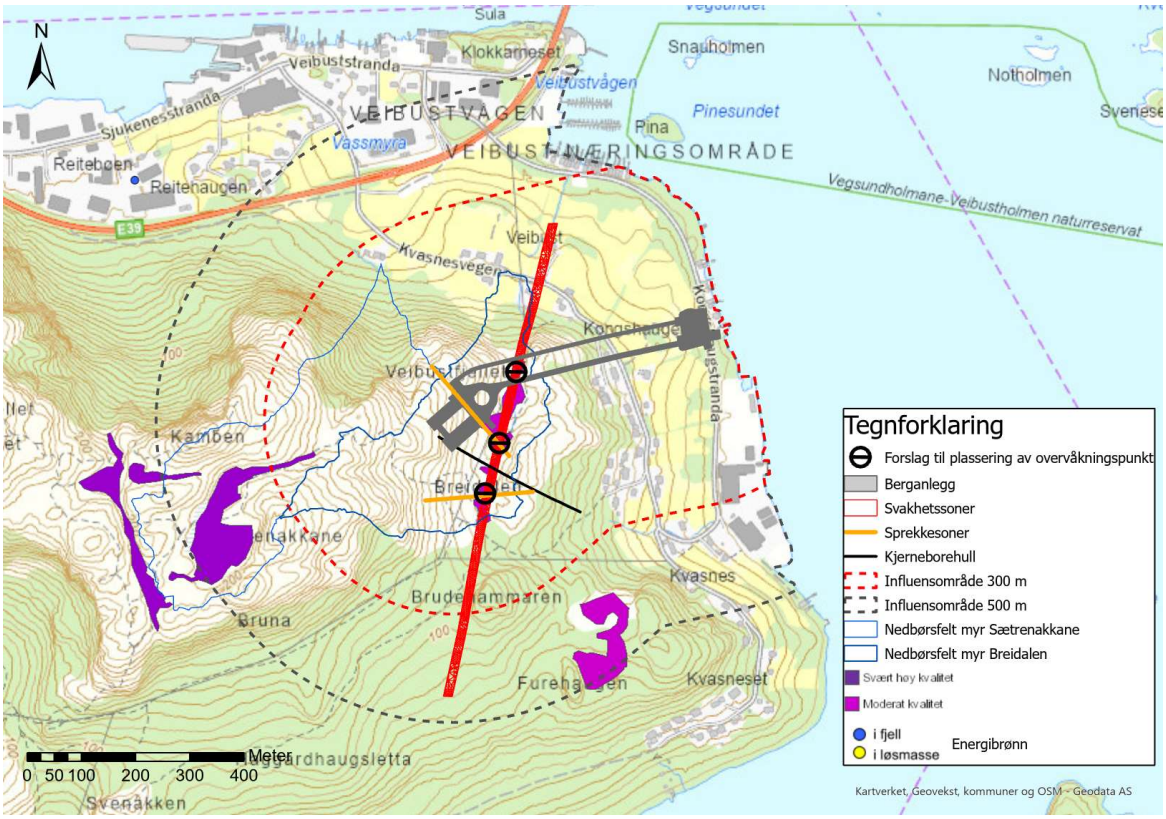
Det er store usikkerheter knyttet til de empiriske, analytiske beregningene. Ved beregning av vannbalanse er normalverdi for nedbør og temperatur benyttet. Disse tar ikke hensyn til sesongmessige variasjoner, tillegg til at det kan forekomme lokale forskjeller som ikke er kartlagt per nå. Det er også benyttet en empirisk formel for beregning av evapotranspirasjon. I denne inngår kun normalverdi for temperatur og den tar ikke hensyn til sesongmessige variasjoner (for eksempel er evapotranspirasjon neglisjerbart på vinteren og større om sommeren).

Videre antas det i beregningene at sprekkeåpningen gjennom bergmassen og på tunnelnivå er tilsvarende den som ble målt under sprekkekartlegging. Sprekkene kan imidlertid ha mindre sprekkeåpning dypere i bergmassen, eller være helt/delvis fylt igjen. Begge scenarier vil medføre en lavere vannføringsevne gjennom bergmassen og dermed en lavere påvirkning på naturområdet enn det som er vurdert i foreliggende rapport. I beregningene antas det at oppsprukket bergmasse har en hydraulisk ledningsevne på 10^{-6} m/s. Dette utgjør et konservativt estimat da det er lite sannsynlig at alle de oppsprukne områdene har denne vannledningsevnen. Det er til sammenligning også utført innlekkasjeberegninger for en situasjon med k = 10^{-9} m/s, for å vise hvilket spenn det er i de analytiske beregningene basert på eksisterende datagrunnlag.

Det er også svært stor usikkerhet knyttet til i hvilken grad myrområdet i Breidalen er i kontakt med underliggende grunnvannssystemer. Myrområder som er avhengig av underliggende grunnvann eller tilstrømmende grunnvann for å opprettholde fuktigheten, vil være mer sårbare for grunnvannssenkning enn for naturtyper som utelukkende er avhengig av kun nedbør/normalavrenningen i respektivt nedbørsfelt. Siden andelen av nedbør som går til nydannelse av grunnvann i de fleste tilfeller er lavere enn normalavrenningen, vil det være behov for strengere innlekkasjekrav i områder med naturområder som avhenger av grunnvannsnivået. For å redusere usikkerheter knyttet til slike hydrogeologiske forhold og dermed potensielt kunne oppjustere anbefalte innlekkasjekrav i foreliggende rapport, er det behov for overvåkning av grunnvannsnivå/poretrykk i myra i Breidalen før, under og etter anleggsfasen.

4.7. Overvåkning grunnvannsnivå

På grunn av usikkerheter rundt negativ påvirkning av myrområdet i Breidalen, anbefales det å etablere poretrykksmålere i tre ulike punkt for å overvåke grunnvannsforhold før, under og etter anleggsfasen. Forslag til plassering av målepunkt vises i Figur 4-5. Det anbefales å installere målespiss i myra og i underliggende morenemasser (to målespisser i hvert målepunkt,i alt seks piezometere/vannstandsrør). Før oppstart av anleggsarbeider anbefales det å utarbeide et program for grunnvannsovervåkning. Oppfølging av poretrykk og innlekkasjer i tunnel er viktig i anleggsfasen, og det bør utføres kontinuerlig logging minimum to ganger i døgnet. Det bør settes alarmnivåer på poretrykkmålere, slik at det kan gjøres tiltak i berganlegget dersom poretrykket/grunnvannsnivået synker til et lavere nivå enn det som er akseptabelt. Hva som er å anse som akseptable variasjoner i poretrykk/grunnvannsnivå, bestemmes best ved overvåkning av naturlige variasjoner i minimum ett år før anleggsstart Det anbefales derfor å installere poretrykksmålere så snart som mulig. Det anbefales at hydrogeolog setter alarmnivå og vurderer akseptable variasjoner. Ved eventuell etablering av poretrykksmålere må arbeidet utføres skånsomt uten å skade myrområdet.



Figur 4-5: Forslag til plassering av målepunkt for overvåkning av grunnvannsnivå/poretrykk i myren i Breidalen.

5. Referanser

1. **Multiconsult.** *AVM-20-G-RAP-003 Ingeniørgeologisk rapport berganlegg.* s.l. : Multiconsult Norge AS, 2023.

2. **NGU.** Berggrunn. [Internett] https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/.

3. **Miljødirektoratet.** Vann-Nett, Vannportalen. [Internett] https://vann-nett.no/portal/#/mainmap.

4. **Miljødirektioratet, Naturbase kart.** Naturbase. [Internett] https://geocortex02.miljodirektoratet.no/Html5Viewer/?viewer=naturbase.

5. **Statens vegvesen.** *Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Publikasjon nr. 103. Undersøkelser og krav til innlekkasjer for å ivareta ytre miljø.* Oslo : Statens vegvesen. Teknologiavdelingen., 2003. Nr. 103..

6. **Bane Nor.** *FRE-10-A-25120-02A Sandvika - Sundvollen. Detaljplan og teknisk plan. Fagrapport hydrogeologi. Strekning 1.* 2018.

7. **Norsk Klimaservicesenter.** *Klimanormaler.* [Internett] https://klimaservicesenter.no/kss/vrdata/normaler.

8. ***Statens vegvesen.*** *Rapport nr. 681. Lærebok. Drenering og håndtering av overvann.* 2018.

9. Brattli, Bjørge. *Pensumhefte.* *Fysisk og kjemisk hydrogeologi. Anvendelse og metodikk.* . Trondheim : Akademia, 2021.

10. Multiconsult Norge AS. *10243684-RIG-RAP-200-001 Geotekniske grunnundersøkelser, datarapport.* 2023.

11. NFF. *Håndbok nr. 1 - Berginjeksjon.* 2001.

12. (NGU), Norges Geologiske Undersøkelse. Nasjonal grunnvannsdatabase (GRANADA). [Internett] https://geo.ngu.no/kart/granada_mobil/.

13. (NINA), Norsk Institutt for naturforskning. *Analyse av naturen sårbarhet i forhold til planlagt ny vannoverføringstunnel Holsfjorden - Oslo.* Oslo : s.n., 2000. Nr. 637 Oppdragsmelding.

14. Artsdatabanken. [Internett] https://artsdatabanken.no/Pages/171965.

15. Fileccia, Alessio. *Some simple procedures for the calculation of the influence radius and well head protection areas (theoretical approach and field case for a water table aquifer in an alluvial plain).* s.l. : Italian Journal of Groundwater, 2015.

16. Schwartz, Franklin W. og Zhang, Hubao. *Fundamentals of Groundwater. s.l. : John Wiley & Sons, INC.* 2003.

17. Nye Veier. *E6 Ulsberg-Melhus. Regulering Prestteigen-Gyllan. Fagrapport ingeniørgeologi og hydrogeologi for tunneler. Dok.nr. G-301. Versjon 04.* 2020.

18. Statens vegvesen Region Nord. *E6 Megården - Mørsvikbotn: Parsell Sommerset-Tverrdalen. Ingeniørgeologisk rapport for Sommersettunnelen. Rapportnr: 02-IGEO-01_D02.* s.l. : Statens vegvesen, 2022.

19. Norsk forening for Fjellspreningsteknikk. *Praktisk berginjeksjon for underjordsanlegg.* s.l. : NFF, 2010.

16. Fileccia, Alessio. ***Some simple procedures for the calculation of the influence radius and well head protection areas (theoretical approach and field case for a water table aquifer in an alluvial plain).*** **s.l. : Italian Journal of Groundwater, 2015.**

17. Schwartz, Franklin W. og Zhang, Hubao. ***Fundamentals of Groundwater. s.l. : John Wiley & Sons, INC.*** **2003.**

18. Veier, Nye. ***E6 Ulsberg-Melhus. Regulering Prestteigen-Gyllan. Fagrapport ingeniørgeologi og hydrogeologi for tunneler. Dok.nr. G-301. Versjon 04.*** **2020.**

19. Statens vegvesen Region Nord. ***E6 Megården - Mørsvikbotn: Parsell Sommerset-Tverrdalen. Ingeniørgeologisk rapport for Sommersettunnelen. Rapportnr: 02-IGEO-01_D02.*** **s.l. : Statens vegvesen, 2022.**

20. Norsk forening for Fjellspreningsteknikk. ***Praktisk berginjeksjon for underjordsanlegg.*** **s.l. : NFF, 2010.**

asplan viak

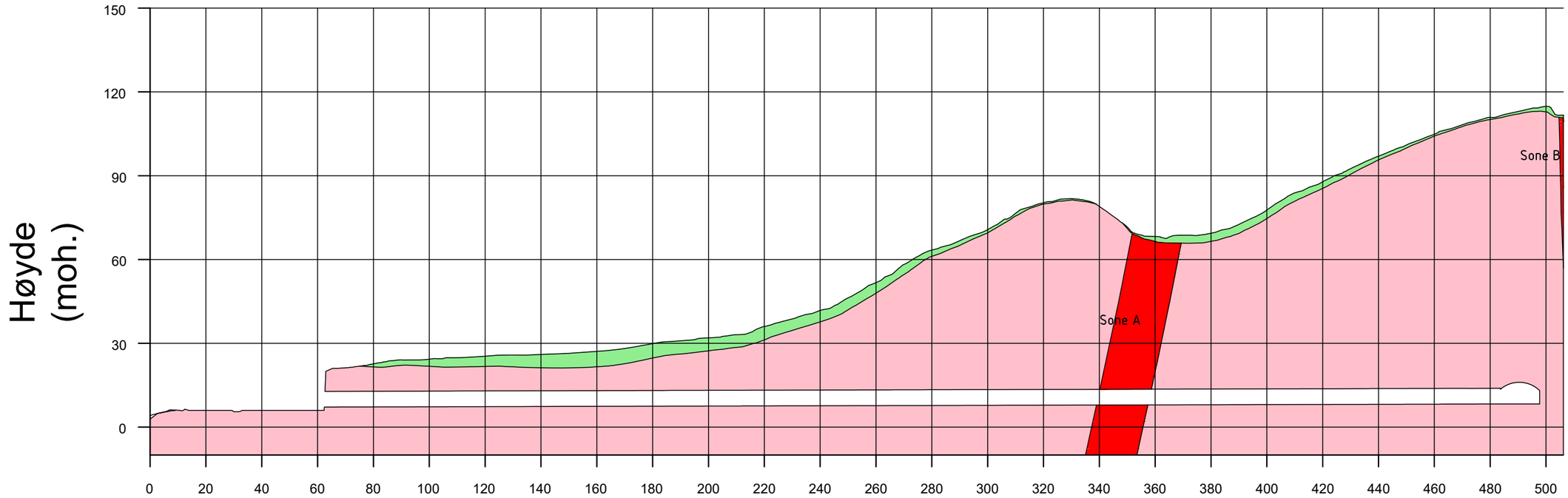
Multiconsult

AVM-20-G-RAP-003

Ingeniørgeologisk rapport for berganlegget

Vedlegg 6 Ingeniørgeologiske kart

Kongshaugen RA - lengdesnitt rømningstunnel



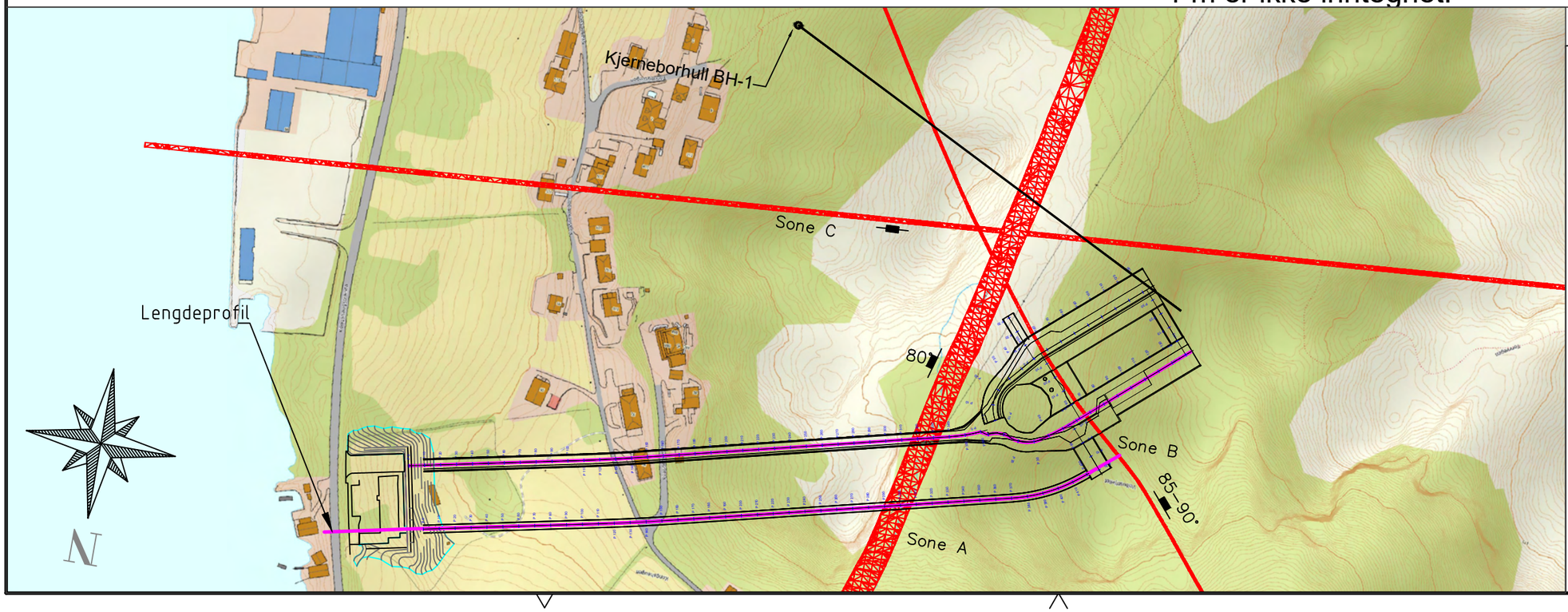
Profil (m)

Granittisk gneis

Løsmasse

Tolkede svakhetssoner

Svakhetssonenes plassering, orientering og bredde er basert på tolkning av geologiske data og er slik usikre. Eventuelle soner smalere enn 1 m er ikke inntegnet.



Rev.	Tekst:	Rev.dato:	Tegn:	Kontr:
-				
-				
-				
-				
-				
-				
-				
-				
00		08.11.2023	RENG	HEOE

Prosjekt
Avløpsrensing Sula og Ålesund
E01 Bergarbeider

Oppdragsgiver: Ålesund kommune, Sula kommune

Oppdragstaker: asplan viak, Multiconsult

Prosjektfase
Konkurransegrunnlag

Dato	Oppdragsnr	Koordinatsystem	Høydereferanse
08.11.23	637269-03	UTM32	NN2000

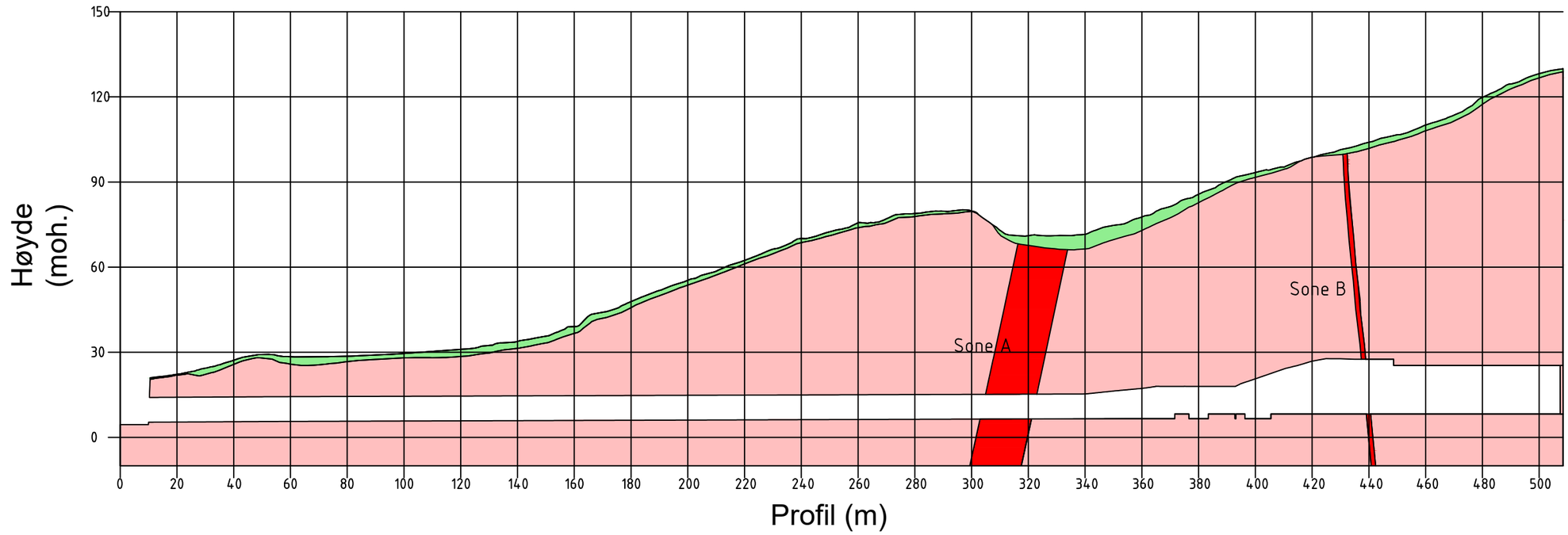
Utført av	Kontrollert av	Godkjent av	Målestokk	Format
RENG	HENØ	EMG	Som vist	A3

Kongshaugen Reinseanlegg
Ingeniørgeolgisk kart - rømningstunnel
V000

Tegningsnummer: Opphav - Delområde - Fag Type -V000 Løpenr.

Revisjon -00

Kongshaugen RA - lengdesnitt adkomsttunnel

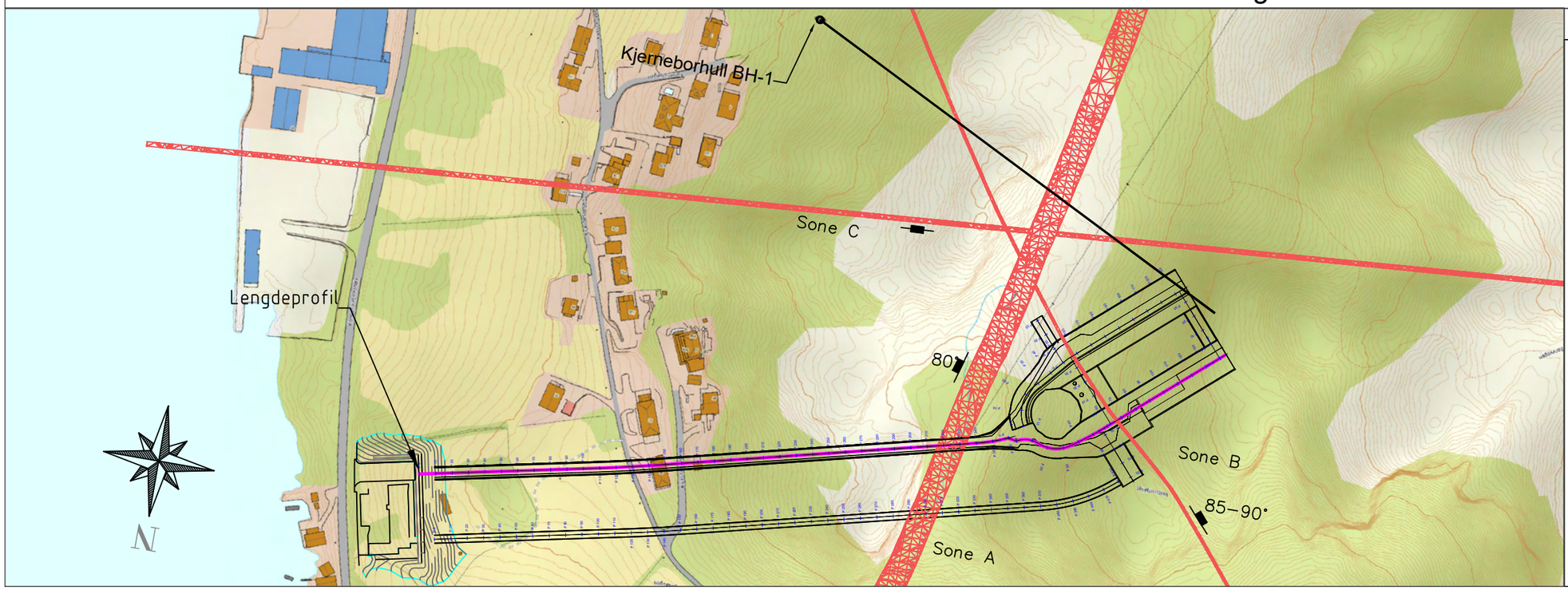


Granittisk gneis

Løsmasse

Tolket svakhetssone

Svakhetssonenes plassering, orientering og bredde er basert på tolkning av geologiske data og er slik usikre. Eventuelle soner smalere enn 1 m er ikke inntegnet.



Rev.	Tekst:	Rev.dato:	Tegn:	Kontr:
-				
-				
-				
-				
-				
-				
-				
-				
- 00		08.11.2023	RENG	HEOE

Prosjekt
Kongshaugen Reinseanlegg
E01 Bergarbeider

Oppdragsgiver: Ålesund kommune, Sula kommune

Oppdragstaker: Aspelin Vik, Multiconsult

Prosjektfase
Konkurransegrunnlag

Dato	Oppdragsnr	Koordinatsystem	Høydereferanse
08.11.23	637269-03	UTM32	NN2000

Utført av	Kontrollert av	Godkjent av	Målestokk	Format
RENG	HEOE	EMG	Som vist	A3

Berganlegg Kongshaugen
Ingeniørgeologisk kart adkomsttunnel
V001

Tegningsnummer: Opphav - Delområde - Fag - Type -V001 Løpenr. Revisjon -00