

Fagrapport ingeniørgeologi – tunnel og forskjæringer

April | 22

E39 Bue – Ålgård. Detaljreguleringsplan.

Oppdragsnr:	A128052 (COWI)
Oppdragsnavn:	E39 Bue – Ålgård. Detaljreguleringsplan.
Dokument nr.:	RAP-GEO-Ingeniørgeologisk rapport tunnel
Filnavn	Ingeniørgeologisk fagrapport tunnel og forskjæringer.pdf

Revisjonsoversikt

Revisjon	Dato	Revisjon gjelder	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
0	09.04.21		SKAN	PSCS/CDAN	JAON
1	28.01.22	Retting etter uavhengig kontroll og traséendringer	SKAN	CDAN	JKPN
2	22.04.22	Retting etter uavhengig kontroll	SKAN	CDAN	JKPN

Forord

Denne fagrapporten er utarbeidet som en del av arbeidet med detaljreguleringsplan for E39 Bue - Ålgård, i Bjerkreim kommune og Gjesdal kommune. Rapporten tar for seg temaet ingeniørgeologi for tunnel og forskjæringer.

Tiltakshaver og ansvarlig for utredningen er Nye Veier.

Hos Nye Veier har Kjetil Medhus og Tordis Vandeskog ledet arbeidet med reguleringsplanen. Kristian de Lange, Jannicke Neteland Olsen og Joachim Krogh Pedersen har vært prosjektledere hos COWI AS. Fagansvarlig for ingeniørgeologi har vært Siv Krane Adamsen.

Januar 2022
Stavanger

Innhold

Forord	3
1 Sammendrag.....	6
2 Innledning	8
2.1 Bakgrunn	8
2.2 Mål for prosjektet og planarbeidet	8
2.3 Tiltaket	9
2.4 Regulerte alternativ og varslingsområde	9
3 Om denne rapporten	11
4 Geoteknisk kategori.....	12
4.1 Geotekniske kategori for tunnel, påhugg og forskjæringer	12
5 Kartgrunnlag	13
6 Faktadel	14
6.1 Tidligere utførte grunnundersøkelser	14
6.2 Utførte undersøkelser i denne planfase	14
6.3 Geologiske kart og lengdeprofiler.....	16
6.4 Forskjæringer i traseen.....	17
6.5 Overordnet geologi	18
6.6 Kjerneboringer.....	20
6.7 Ingeniørgeologisk kartlegging	28
6.8 Resultater av geofysiske undersøkelser.....	38
6.9 Skredkartlegging.....	39
6.10 Hydrogeologi.....	40
7 Tolkningsdel	43
7.1 Skred	43
7.2 Forskjæringer og tunnel	43
7.3 Bergoverdekning	50
7.4 Bergspenninger	51
7.5 Svakhetssoner.....	51
7.6 Bergmasseklassifisering.....	53
7.7 Sikringsestimat tunnel	56
7.8 Hydrogeologiske forhold.....	57
7.9 Miljøgeologiske forhold	60
8 Vibrasjoner	61
9 Driveforhold	62
10 Påpekning av usikkerheter og spesielle risikoer	63

11	Oppfølging i byggefasen	64
12	Referanser	66
13	Vedlegg	68

Vedleggsliste

Vedlegg 1 – Ingeniørgeologisk kart

Vedlegg 2 – Kinematisk analyse

Vedlegg 3 - Lengdeprofiler, oversiktskart, tverrprofiler

1 Sammenheng

Ingeniørgeologisk fagrapport tunnel og forskjæringer for E39 Bue – Ålgård omhandler Tindafjelltunnelen og tilhørende forskjæringer. Basert på eksisterende grunnlagsmateriale og nye vurderinger, anses Tindafjelltunnelen og tilhørende forskjæringer som gjennomførbare med tanke på ingeniørgeologiske, skredmessige og hydrogeologiske utfordringer.

Tindafjelltunnelen er planlagt som en toløps tunnel med T10,5 profil. Det vestre løp går fra profil 10 050 til 10 950 og det østre løp fra profil 10 040 til 10940. Begge løp er dermed planlagt med lengde 900 m. Tindafjelltunnelen har tunnelklasse E.

I henhold til Eurocode 7, N500 og N200 vurderes tunnelen, inkludert påhuggsområde og forskjæringer å ligge i geoteknisk kategori 3, konsekvensklasse 3, pålitelighetsklasse 3 og utførelseskontrollklasse 3

Det er i prosjektet generelt gitt en fleksibilitet på ± 2 m i alle retninger. I rapporten er det tatt utgangspunkt i de gjeldende modeller og tegninger. En eventuell løfting av traseen vil redusere overdekningen, dette må hensyntas i påhuggsområdene og i profil 10775-10850 spesielt. Ved forskyvning ± 2 m horisontalt, vil det redusere sidetaket, dette gjelder spesielt ved østlig forskyvning ved påhugget.

Hvis tunnelen legges høyere, så må det vurderes hvilke drivemessige konsekvenser dette vil få for drifvingen gjennom de områder hvor overdekningen er lav og/eller fjellet har dårlig kvalitet. Det samme gjelder for østlig forskyvning i påhuggsområdet.

Fagrapporten oppsummerer geologiske observasjoner og vurderinger knyttet til tunneltraseen og tilhørende forskjæringer. bergmassekvalitet og bergsikringsbehov. I tillegg oppsummerer fagrapporten resultater fra tidligere og supplerende grunnundersøkelser (GU), samt skred, miljø, natur og hydrogeologiske aspekter med fokus på innlekkasjekrav til tunnelene. I arbeidet med reguleringsplanen ble det vurdert flere traséalternativer, men i denne rapporten er det bare tatt hensyn til valgt trasé, veilinje 10000.

Arbeidet i denne fasen har også fokusert rundt å skaffe informasjon om bergoverdekning langs tunneltraseen og portalområder, i tillegg til informasjon om bergmassen ved kjerneboringer. Vurdering av bergmassekvalitet og bergsikringsbehov er hovedsakelig basert på rapporter i grunnlagsmaterialet, befaringer i planområdet, kjerneboringer, topografiske og geologiske kart, relieffkart og lengdeprofiler av tunnelene.

Befaringsobservasjoner viser generelt sett lite til moderat oppsprukket berg av god kvalitet, kjerneboringene bekreftet noen av svakhetssoner og avdekket informasjon om bergmassekvaliteten i begge påhuggsområdene og langs traseen. Antatte svakhetssoner ved begge tunnelløp er tolket ut ifra relieffkart, geofysiske undersøkelser og feltkartlegging. Det er funnet flere lineamenter/forsenkninger som krysser terrenget over tunneltraseen og som vurderes å kunne representere mulige svakhetssoner. Det er svært sannsynlig at man i løpet av tunneldrifvingen vil kunne møte på svakhetssoner eller partier med dårligere bergmassekvalitet som ikke er fanget opp under forundersøkelsene.

Vurderingene i denne rapporten vil gi en indikasjon på bergmassekvalitet og bergsikringsomfang. Det er sterkt anbefalt at det utføres sonderboring i drivefasen. Etter å ha vurdert grunnlagsmaterialet, tidligere grunnundersøkelser, relieffkart, resultater fra kjernelogging og gjennomføring av flere ingeniørgeologiske befaringer, er det laget et estimat over fordeling av sikringsklasse for tunnelen, se Tabell 1-1.

Tabell 1-1: Fordeling av sikringsklasser i tunnelen.

Bergmasseklasse	Q-verdi	Sikringsklasse	Andel av tunnel [%]	Lengde ett løp [m]	Lengde to løp [m]
A/B	>10	I	26	230	460
C	10-4	II	19	165	330
D	4-1	III	31	270	540
E1	1-0,2	IVa	4	35	70
E2	0,2-0,1	IVb	12	115	230
F	0,1-0,01	V	8	70	140
G	<0,01	VI	0	0	0

Potensialet for innlekkasje til tunnelen vil bestemmes av sprekkeåpninger og svakhetssonenes vannførende evne og av dybden til tunnelene i forhold til vannspeilet i berget. Konsekvensen av innlekkasje vurderes som liten, med unntak i den sørlige enden hvor det er en myr og noe skog som kan bli påvirket. Innlekkasjekravene for de to tunnelløp settes derfor til 10 l/min/100 meter i den sørlige enden, og til 30 liter/min/100 meter for resten av tunnelen.

Driving av tunnelen kan utføres med konvensjonell metode (boring og sprengning). Det anbefales systematisk sonderboring i hele tunnelenes lengde. Det anbefales også å sonderbore for overdekning i nordre området av traseen. I områder med lav overdekning, eller dårlig bergkvalitet kan det være aktuelt med forsiktig sprengning. Det er strekk langs tunneltraseen (spesielt ved kryssing av svakhetssoner) hvor det forventes behov for tyngre bergsikring/forsiktig driving med bruk av for eksempel forbolter, sprøytebetongbuer på stoff, og korte salvelengder/delte tverrsnitt og støp.

Spesielle utfordringer i løpet av tunneldriving forventes å være:

- Tunnelpåhuggene
- Partier med lav bergoverdekning
- Passering av svakhetssoner, spesielt i nordre område av tunnelen
- Forskjæringer
- Skredsikring ved nordre påhugg

Ved gjennomføringen av prosjektet anses det å være svært viktig å sikre tilstedeværelse av ingeniørgeolog(er) med tilstrekkelig erfaring. Arbeidene må følges opp tett, og kvalitet av materialer og utført arbeid må kontrolleres. I organisasjonen må det være personer med kompetanse til kontinuerlig å verifisere gyldigheten av prosjekteringsforutsetningene, til raskt å kunne vurdere behov for justeringer, og med myndighet til å gjennomføre disse.

2 Innledning

2.1 Bakgrunn

Nye Veier ble opprettet av Stortinget i 2016 med mål om å etablere en slank, effektiv og spesialisert byggherreorganisasjon. Nye Veier sitt oppdrag er å planlegge, bygge, drifte og vedlikeholde trafikksikre hovedveier. Disse veiene reduserer reisetid, knytter sammen bo- og arbeidsmarkedsregioner, og sørger for færre drepte og hardt skadde i trafikken. Nye Veier har per i dag ansvaret for 700 kilometer hovedvei, og en investeringsramme på 150 milliarder kroner.

Nye Veier har ansvar for strekningen mellom Kristiansand og Ålgård. Dagens E39 er av variabel standard, og sikkerhet og framkommelighet er ikke tilfredsstillende. Veien er og vil være en del av TEN-T (det transeuropeiske transportnettverket), og dermed en viktig transportkorridor. Denne strekningen er delt opp i flere delstrekninger, med ulik status:

- Kristiansand vest - Mandal øst: utbygging pågår, med planlagt ferdigstilling i 2022
- Mandal øst – Mandal by: utbygging pågår, med planlagt ferdigstilling i 2022
- Mandal – Lyngdal øst: områderegulering er vedtatt. Arbeid med detaljregulering starter i 2020, og planlagt anleggsstart er årsskiftet 2021/2022 med mulig ferdigstilling 2025
- Herdal – Røyskår: detaljregulering ble sluttbehandlet i Lyngdal kommunestyre i juni 2020. Byggestart er planlagt til 2021, med mulig ferdigstilling i 2024
- Lyngdal vest – Ålgård: Kommunal- og moderniseringsdepartementet vedtok kommunedelplanen 25. juni 2021
- Bue – Ålgård: detaljregulering pågår

2.2 Mål for prosjektet og planarbeidet

Ny E39 mellom Bue og Ålgård er en del av Nye Veier sitt prosjekt E39 mellom Kristiansand og Ålgård. Bygging av ny E39 skal binde regionen sammen, skape et større bo- og arbeidsmarked, gi kortere reisetid og langt bedre sikkerhet for trafikantene. Målsettingen er samtidig å redusere utslippet av klimagasser og andre miljøkonsekvenser.

2.2.1 Hovedmål og delmål

Reguleringsplan for E39 Bue - Ålgård skal bidra til at de sektorpolitiske målene i Meld. St. 33 (2016-2017) Nasjonal transportplan 2018-2029 nås (Det kongelige samferdselsdepartement, 2017).

Nasjonal transportplan sine hovedmål er:

- Bedre framkommelighet for personer og gods i hele landet
- Redusere transportulykkene i tråd med nullvisjonen
- Redusere klimagassutslippene i tråd med en omstilling mot et lavutslippssamfunn og redusere andre negative miljøkonsekvenser

Videre gjelder følgende delmål for planprosjektet:

- Samfunnsøkonomisk lønnsomt prosjekt
- Sikre økt framkommelighet og trafikantnytte
- Fornøyd lokalsamfunn, naboer og berørte grunneiere
- Minimere negative effekter for de ikke-prissatte konsekvensene

2.3 Tiltaket

Vei

Detaljregulering med konsekvensutredning for E39 Bue - Ålgård gjelder ny firefelts motorvei fra Bue i Bjerkreim kommune til Ålgård i Gjesdal kommune. Strekningen er på ca. 15 km. Ved Bue og Ålgård kobles ny vei til dagens E39, samtidig som det tilrettelegges for kobling mot ny E39 mot sør og nord. Det planlegges for fartsgrense på 110 km/t, med normalprofil på 23 meter.

Masseuttak og permanent masselagring

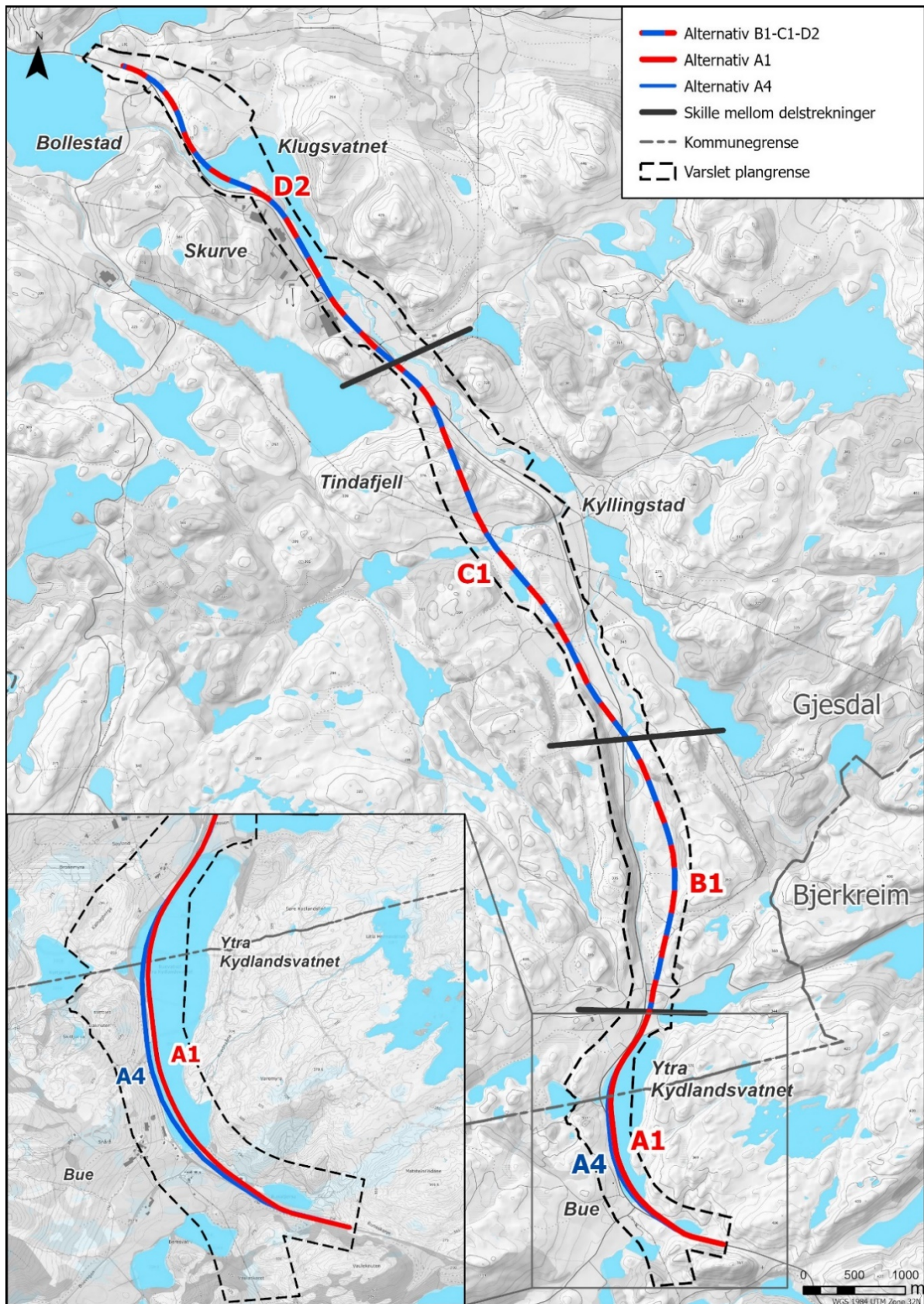
Reguleringsplanen for ny E39 legger også opp til etablering av masseuttak og permanent masselagring. Prinsipper som er lagt til grunn for valg av arealer til disse formålene er nærhet til vegtiltaket, behov for masser i veikonstruksjon, behov for lagring av løsmasser og muligheter for tilrettelegging for landbruksformål.

Midlertidige tiltak

Midlertidige tiltak som planen gir rom for er anleggsområde/anleggsbelte med tilhørende anleggsveier, riggområder, knuseverk og midlertidige kryssområder ved etappevis utbygging.

2.4 Regulerte alternativ og varslingsområde

Figur 2-1 viser regulerte veilinjer og varslingsområde for planarbeidet. Området er delt inn i fire delstrekninger. I område A, som ligger i grensen til Bjerkreim og Gjesdal kommune, ble det regulert to alternativer: Alternativ A1 og A4. I delområde B, C og D er det kun et alternativ som er regulert, henholdsvis alternativ B1, C1 og D2. Etter høring og offentlig ettersyn fremmes kun alternativ A4 til andregangsbehandling. Det vises til planbeskrivelse for videre omtale.



Figur 2-1 Oversikt regulerte alternativ for hver delstrekning.

3 Om denne rapporten

Ingeniørgeologisk fagrapport tunnel og forskjæringer for detaljreguleringsplan E39 Bue – Ålgård, omhandler Tindafjelltunnelen og tilhørende forskjæringer. Denne fagrapporten oppsummerer geologiske observasjoner og vurderinger knyttet til tunneltraseen og tilhørende forskjæringer, bergmassekvalitet og bergsikringsbehov. I tillegg oppsummerer fagrapporten resultater fra tidligere og supplerende grunnundersøkelser (GU), samt skred, miljø, natur og hydrogeologiske aspekter med fokus på innlekkasjekrav til tunnelene. I arbeidet med reguleringsplanen ble det vurdert flere traséalternativer, men i denne rapporten er det bare tatt hensyn til valgt trasé 10000.

4 Geoteknisk kategori

Statens Vegvesen håndbok N500 Vegtunneler [1] har et kapittel om geologiske forundersøkelser som omhandler krav til gjennomføring av undersøkelser, kartlegging og geologisk rapport for reguleringsplan.

Håndbøkene vil etter første benevnelse med referanse, etterfølgende avkortes kun til nummer.

I henhold til N500 [1] og Statens Vegvesen håndbok N200 vegbygging [2] skal geoteknisk kategori henholdsvis for tunneler og for bergskjæringer, fastsettes i henhold til Eurokode 7 [3]. Det henvises til 4.1 for fastsettelse av geotekniske kategorier, pålitelighetsklasse, etc.

4.1 Geotekniske kategori for tunnel, påhugg og forskjæringer

I N500 står det at alle vegtunnelprosjekter i utgangspunktet skal ligge i geoteknisk kategori 3. Det åpnes for å nedklassifisere til geoteknisk kategori 2 for tunneler hvor forundersøkelsene viser godt og forutsigbart berg.

For tunnelen gjennom Tindafjellet har forundersøkelsene avdekket områder med svakhetssoner, mulige krevende driveforhold i nordre del av tunnelen, slik at det vurderes at geoteknisk kategori 3 beholdes for hele tunnelen. Påhugg skal ha geoteknisk kategori 3 gjennom prosjektering og bygging.

Både søndre og nordre forskjæring vil ha en forventet høyde høyere enn 10 m over ferdig veg og vil dermed også ligge i geoteknisk kategori 3, i henhold til Tabell 4-1 som beskriver kriterier for plassering av bergskjæringer i geotekniske kategorier.

Tabell 4-1 Geoteknisk kategori for bergskjæringer i henhold til N200 [2].

Geoteknisk kategori	Kriterier
1	Lave bergskjæringer <5 m.
2	Middels høye bergskjæringer (>5 m og <10 m) uten spesiell risiko eller vanskelige/uvanlige grunnforhold mht. sprengning og stabilitet.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Bergskjæringer høyere enn 10 m (målt fra ferdig vei). • Bergskjæringer der svakhetssoner/slepper vil kunne føre til større utglidninger. • Bergskjæringer i foten av høye skrånninger/fjellsider der inngrep vil kunne føre til stabilitetsproblemer. • Bergskjæringer med skrånende terreng over skjæring, hvor det er nødvendig å ivareta skredfare og stabilitet. • Bergskjæringer der det er nødvendig å ta hensyn til bygninger, konstruksjoner, infrastruktur o.l. i umiddelbar nærhet. • Bergskjæringer i bergarter som vil kunne gi forurensende avrenning.

Geoteknisk kategori 3 medfører: konsekvensklasse CC3, pålitelighetsklasse RC3, prosjekteringskontrollklasse PKK3 og Utførelseskontrollklasse UKK3.

5 Kartgrunnlag

Nedenfor er det opplistet kart som brukes i forbindelse med rapporten:

- Berggrunnskart HØLE 1212 I, M 1:50 000 [4]
- Berggrunnskart BJERKREIM 1212-2, M1:50 000 [5]
- Berggrunns- og kvartærgeologiske kart fra NGU [6] [7] [8]
- Grus- og pukkdatabasen fra NGU [9]
- Aktsomhetskart for snø-, stein- og jordskred fra NVE [10]
- Relieffkart fra Kartverket [11]
- GRANADA, Norges nasjonale grunnvannsdatabase [12]

6 Faktadel

6.1 Tidligere utførte grunnundersøkelser

Statens vegvesen har utført grunnundersøkelser i den nordlige delen av planområdet, ved Skurve bru og ved Bollestad, dette er langt fra forskjæringene og tunnelen. Det er i forbindelse med Kommunedelplanen for E39 utarbeidet både ingeniørgeologisk rapport [13] og geoteknisk rapport [14].

6.2 Utførte undersøkelser i denne planfase

Det er utført flere typer undersøkelser i denne planfasen.

- Geofysiske undersøkelser
- Geotekniske boringer og prøvetakinger
- Kjerneboringer
- Miljøkartlegging
- Skredkartlegging
- Ingeniørgeologiske kartlegginger

Det gjengis nedenfor en kort oppsummering av resultater fra grunnundersøkelsene. Skred er omtalt i avsnitt 6.9 og 7.1.

6.2.1 Geofysiske undersøkelser

Multiconsult har utarbeidet en samlerapport for de geofysiske undersøkelsene. Oppsummering av resultater vises i kap. 6.7. For ytterligere informasjon henvises det til samlerapporten [15].

Batymetri

Det ble utført kartlegging av vanddybde i Ytre Kydlandsvannet og Klugsvatnet med multistråle-ekkolodd fra båt og fra vannscooter. De innsamlede data ble sammenstilt i en terrengmodell.

Refraksjonsseismikk

Det ble utført 7 refraksjonsseismiske linjer i området for planlagt tunnel og tunnelpåhugg i Tindafjell. Det ble observert løsmassedekke av varierende tykkelse, inntil ca. 15 m og flere potensielle svakhetssoner i berget. Refraksjonsseismikken er markert på det ingeniørgeologiske kartet. Generelt er det god overensstemmelse mellom tolket bergnivå i sonderinger og refraksjonsseismiske linjer. Ved søndre påhugg er det noe avvik i tolket bergoverflate, dette er forventet da det er lave hastigheter i fjellet og det er vanskelig å tolke overgangen. Resultatene er nærmere omtalt i kapittel 6.8.

Georadar og Sub Bottom Profiler

Georadar (GPR) og Sub Bottom Profiler (SBP) ble utført både på land og i vann for utvalgte områder. Resultatene var generelt av god kvalitet, med god penetrasjonsdybde og tydelige reflektorer. Det var områder med dårligere datakvalitet og muligens også noe utfall grunnet gasslommer i Klugsvatnet. Resultater fra georadar i påhuggsområdene omtales nærmere i kapittel 6.8.

6.2.2 Geotekniske boringer og prøvetakinger

Det er utarbeidet en fagrapport for geoteknikk for prosjektet, se [16]. Multiconsult utførte geotekniske boringer inkludert prøvetaking og analyse. Det ble i den forbindelse utarbeidet en datarapport [17]. Overordnet oppsummering angående grunnforholdene er som følger:

Undersøkelsene på land viser at store deler av traseen inneholder faste masser under et øvre lag av torv/organiske masser. De faste massene består hovedsakelig av sand-, grus- og siltmasser. Sonderingene utført i Ytra Kydlandsvatnet (Bue) og Klugsvatnet (Skurve) viser hovedsakelig et motstandsløst topplag av organiske masser over løst lagrede sand- og siltmasser. Derunder er massene fastere.

Dybde til antatt berg er registrert i omtrent 70 % av boringene.

Det ble også utarbeidet en grunnforholdsmodell, den er nærmere beskrevet i den geotekniske fagrapporten. Modellen består av tre lag:

1. Organiske og/eller bløte masser.
2. Faste masser.
3. Bergoverflate.

Resultater fra geotekniske boringer i påhuggsområdene omtales nærmere i kapitlene 6.7 og 7.2 og kan sees i det ingeniørgeologiske kartet, V120-V124.

6.2.3 Kjerneboringer

Det er utført 3 kjerneboringer; K001, K002 og K003. Kjerneboringene er lokalisert langs tunneltraseen. Det henvises til kjerneloggingsrapporten [18], resultatene omtales også nærmere i avsnitt 6.6 om Kjerneboringer. Kjerneboringene er tegnet inn i det ingeniørgeologiske kartet, vedlegg 1.

6.2.4 Miljøkartlegging

Det er utarbeidet et overvåkningsprogram for resipienter i området og det tas vannprøver for å få oversikt over tilstanden i området. Det er utarbeidet en egen YM-plan for prosjektet [19].

COWI har foretatt en visuell sjekk med uttak av utvalgte håndstykkeprøver til undersøkelse av sulfidinnhold og vurdering av syredannende potensiale. Det er utarbeidet et eget notat angående syredannende berg for E39 Bue Ålgård [20]. De undersøkte bergartene er lite eller ikke syredannende. Det kan forekomme linser eller bånd med syredannende mineraler av begrenset utbredelse, men disse vil normalt ikke ha potensiale til større mengder med sur avrenning. For ytterligere informasjon om syredannende bergarter i traseen, henvises det til notatet [20].

Det er utarbeidet KU for naturmangfold, det henvises til denne for ytterligere detaljer. Fire forhold fremheves, da disse kan ha konsekvenser for uttak av skjæringer.

1. Elvemusling i Figgjovassdraget. Undersøkelse vår/sommer 2020. Figgjovassdraget er vernet vassdrag [21].
2. Overvåkningsprogram for økologisk tilstand i vannresipient.
3. Fremmede arter, i hovedsak karplanter. Før oppstart av anleggsarbeid er det anbefalt kartlegging av fremmede karplanter innenfor anleggsgrense.

4. Det er registrert hekkeområder til rødlistearten vipe, her skal det utføres befaring/kartlegging for å sikre at anleggsarbeidet ikke forstyrrer hekkingen.

I tillegg angis i avsnitt 7.1 av KU Naturmangfold at det i anleggsperioden skal hensyntas et delområde, C15: *Det er viktig å ta hensyn til delområdet C15 natur unntatt offentligheten i den sårbare perioden mellom februar og juli måned. Aktiviteter som sprenging, bakkearbeid og terrengtrans-port bør ikke forekomme mindre enn 1 km [22]. fra registrert forekomst. Dette er spesielt viktig i områder med fri sikt inn i delområdet.*

6.2.5 Ingeniørgeologisk kartlegging

Det ble utført ingeniørgeologiske feltkartlegginger i to omganger i forbindelse med detaljreguleringsplanen, januar 2020 og mars/april 2020. Befaringslokalitetene og observasjonspunkter er markert på det ingeniørgeologiske kartet.

Den geologiske informasjonen som er tilgjengelig for dette prosjektet er sammenstilt i de ingeniørgeologiske kartene. Observasjoner og tolkninger fra befaringen fremkommer i henholdsvis kapittel 6 og underkapittel 6.7 og 6.7.6, og kapittel 7, underkapittel 7.2.

6.3 Geologiske kart og lengdeprofiler

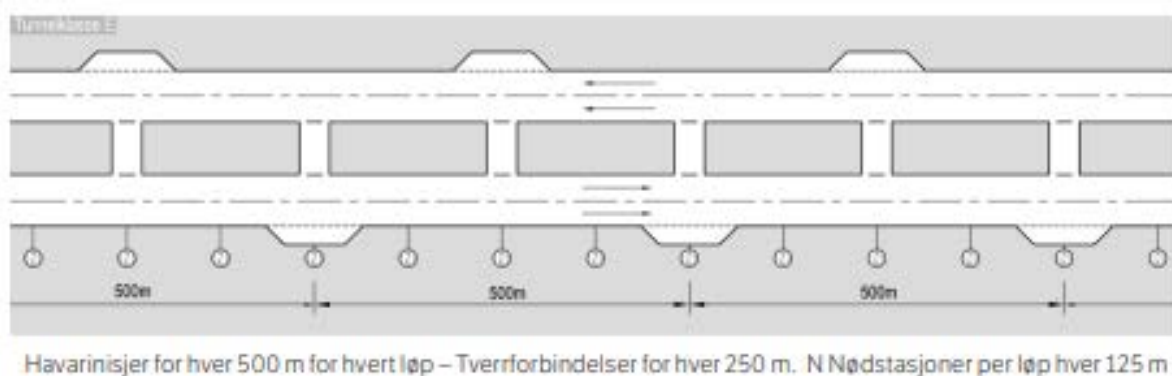
Tabell 6-1 viser tegninger vedlagt rapporten.

Geologiske lengdeprofiler, med høyde/lengde 1:1 og målestokk 1:1000 i A3, er også vedlagt. Lengdeprofiler er tatt ut langs senterlinje vei og i tunneltraseen langs senterlinje for det doble løpet, dette medfører at det i skrånende terreng kan være forskjell mellom østre og vestre side, som ikke fremkommer på lengdeprofilen. Det er derfor laget en lengdeprofil for hvert løp også, tegning V141, men i noe større målestokk, 1:4000.

Tabell 6-1: Oversikt over tegninger vedlagt rapporten.

Tegningsnr.	Profil fra	Profil til	Lengde	Kommentar
V120	9700	10090	390 m	Ingeniørgeologisk kart i plan
V121	10090	10480	390 m	Ingeniørgeologisk kart i plan
V122	10480	10880	400 m	Ingeniørgeologisk kart i plan
V123	10880	11280	400 m	Ingeniørgeologisk kart i plan
V140				Oversiktskart tunnel 1:4000
V141				Oversikt lengdeprofil begge løp 1:4000
V142	10000	10350	350	Lengdeprofil 1:1000, profil 10000-10350
V143	10350	10700	350	Lengdeprofil 1:1000, profil 10350-10700
V144	10700	10950	250	Lengdeprofil 1:1000, profil 10700-10950
V145	10065			Tverrprofil, søndre påhugg
V146	10935			Tverrprofil, nordre påhugg
V147	10953			Tverrprofil, nordre påhugg

Forventet ÅDT i kombinasjon med lengde tilsvarer tunnelklasse E. Dette medfører krav om to løp, havarinisje hver 500 m samt tverrforbindelse mellom løpene hver 250 m, se Figur 6-1. Disse er i denne fasen ikke tegnet inn i tunnelen og er ikke optimalisert. Enkelte av havarinisjene og tverrforbindelsene vil trolig måtte flyttes på grunn av bergforhold.



Figur 6-1: Sikkerhetstiltak i form av havarinisjer, tverrforbindelser og nødstasjoner for tunnelklasse E, figur er hentet fra N500.

6.4 Forskjæringer i traseen

Det brukes profilnummer som hoved identifikasjon på skjæringer, forskjæringene omtales sør og nord. Det er forskjæring både sør og nord for tunnelen, Tabell 6-2 viser en oversikt over lengde og forventet maksimal høyde fra ferdig veg. Det henvises også til de ingeniørgeologiske tegningene, se Tabell 6-1 for oversikt over tegningsnumre.

Tabell 6-2: Oversikt over forskjæringer.

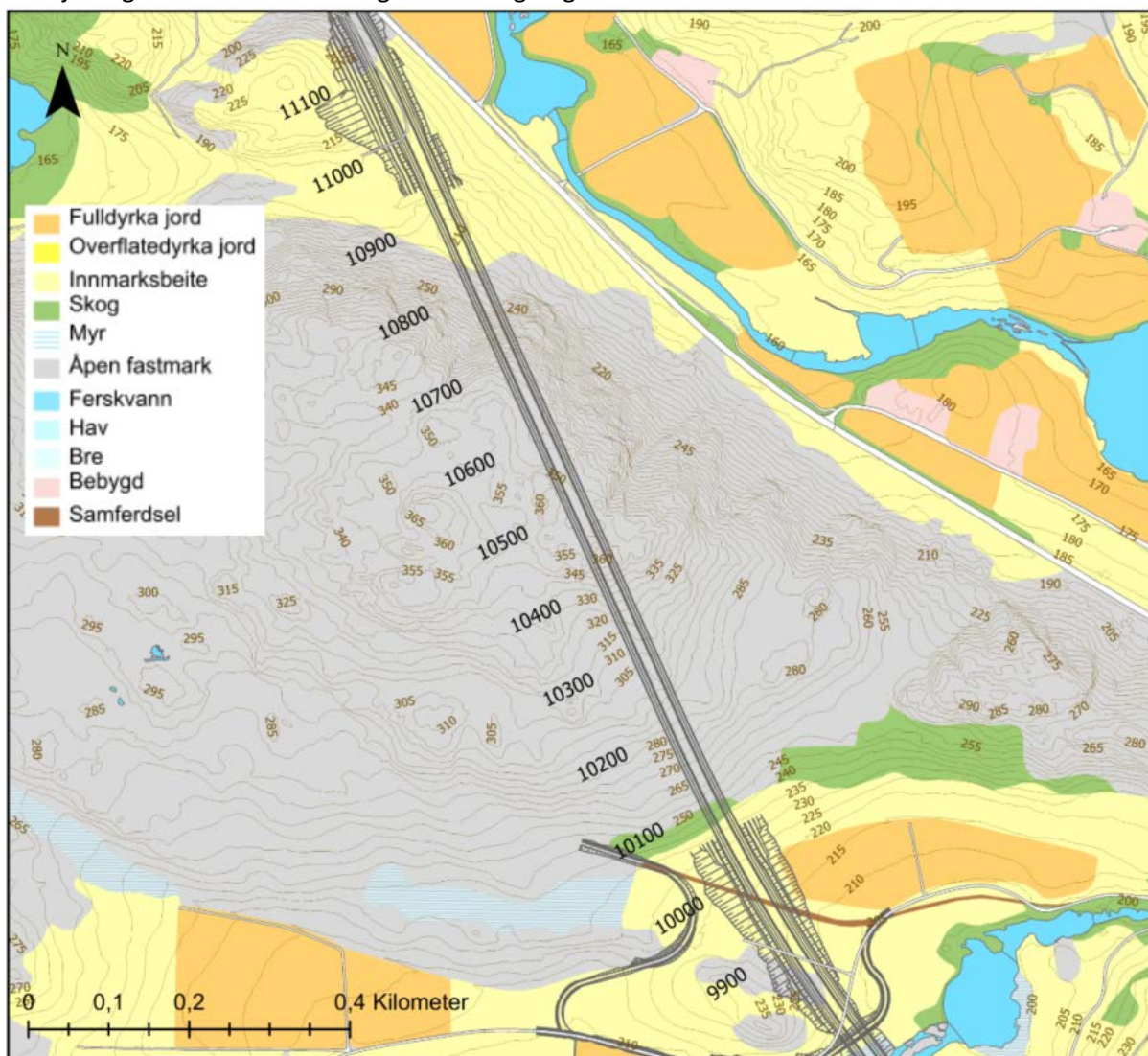
Skjæring	Øst/vest	Maks. høyde fra ferdig vei [m]	Lengde [m]
Forskjæring sør	Øst	26	150
Forskjæring sør	Vest	22	280
Forskjæring nord	Øst	13	170
Forskjæring nord	Vest	38	260

Bergskjæringer, unntatt forskjæringer til tunnel, er omtalt i ingeniørgeologisk rapport for bergskjæringer [23].

6.5 Overordnet geologi

6.5.1 Topografi og terreng

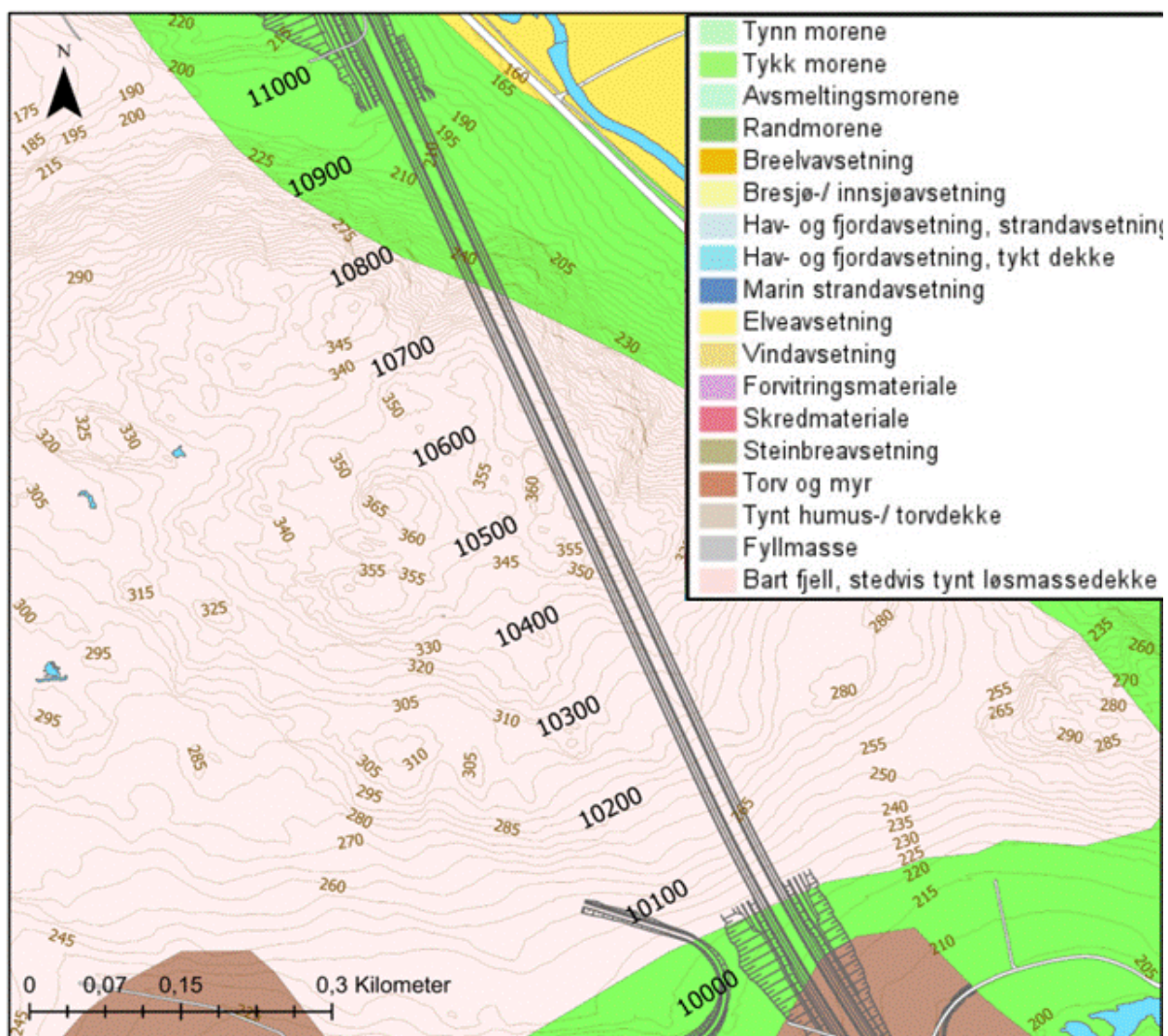
Tunnelen og de tilhørende forskjæringer ligger ved Tindafjell. Sør for Tindafjell, er terrenget noe slakere og det er dyrket mark. Selve Tindafjellet har tynt løsmassedekke og også tidvis bart. Nordre side av Tindafjell er bratt ned mot tunnelpåhugget. Figur 6-2 viser tunneltraséen og tilhørende forskjæringer. Tunneltrasé kan også sees i tegning V120-V123.



Figur 6-2: Oversikt over tunneltrasé og forskjæringer.

6.5.2 Kvartærgeologi

Tindafjellet er hovedsakelig bart, med tilsynelatende tynt løsmassedekke i forsenkningene mellom kollene. Som det kan sees i Figur 6-3 et det morene og myr på sidene av Tindafjell. I påhuggsområdene er det utført geotekniske boringer og geofysiske undersøkelser for å avdekke dybde til berg og type og egenskaper for løsmassene.



Figur 6-3: Løsmassekart [8] med planlagt trasé.

6.5.3 Berggrunnsgeologi

I den ingeniørgeologiske rapporten for kommunedelplanen ble den overordnede geologien kort gjennomgått. Det gis her en kort gjennomgang av geologien i området, basert på berggrunnskart i 1:50 000 (ref. [7], [4] og [5]). Figur 6-2 viser berggrunnen i tunnelområdet.

Planområdet ligger nord for Egersundfeltets anortosittmassiv. I 2001 ble området kartlagt av Mogens Marker og det foreligger flere rapporter fra et større prosjekt, Rogalandsprogrammet [24], som pågikk fra 2000-2005. Undersøkelsene viste at Sør-Rogaland består av flere typer gneiser av plutonisk opprinnelse, som er blitt deformert og omdannet under høye trykk og temperaturforhold. Gneisene veksler med lag av omdannet smeltet sediment, som er blitt skjøvet sammen mellom gneisene og foldet. Det er anslått at dette skjedde for mer enn tusen millioner år siden i forbindelse med dannelsen av en fjellkjede gjennom Sør-Norge. Denne fjellkjeden er i dag erodert ned. De omdannede sedimentene antas å være av to typer: Et leirsediment som er omdannet til sterkt smeltet granat-biotitt-gneis og et kalkførende, kvartsrikt sediment som finnes som kvartsrike diopsid-gneiser i dag [25].

Vegstrekingen går over to kartblad fra NGU, Berggrunnskart 1212-1 HØLE [4] og Berggrunnskart 1212-2 BJERKREIM [5], tunneltraseen og tilhørende forskjæringsområder ligger i [5]. NGU har i hovedsak anslått til å være 1500-1200 millioner år gamle (Proterozoikum) og er i hovedsak metamorfe/omdannede. Unntaket er en kvarts-diopsidgneis som var anslått til omkring 1200 millioner år og yngre. Nedenfor er den beskrivelsen av bergartene som er benyttet for kartbladene. Det er utvalgt de bergartene som er relevant for tunneltraseen og tilhørende forskjæringsområder. For ytterligere informasjon henviser vi til kartbladene og NGUs berggrunnsdatabase [6] [7], i tillegg til løsmassedatabasen [8].

Kvarts-diopsidgneis; migmatittisk med rødligge årer, kvartsrik, ±granat.

Kvartsbergart; grovkornet, mulig hydrotermal opprinnelse.

Migmatittisk granodiorittisk til granittisk ortogneis; grå, middelskornet, litt varierende typer, ortopyroksenførende ± litt biotitt, vanligvis med spredte tynne lag av pyribolitt.

Migmatittisk granittisk gneis; grå, finkornet, metavulkanitt.

Omdannet granitt til granodioritt; grå, til dels ganske grovkornet, litt varierende typer, ortopyroksen-førende, med perthittisk alkalifeltspat, med svak til velutviklet foliasjon.

6.5.4 Kvalitet på steinmaterialer

I Fylkesdelplan for byggeråstoff fra 2006, nevnes forekomst 304 – Søylandsdalen N, dette er sammenfallende med store deler av tunneltraseen. I pukkdatabasen [9] er det registrert en forekomst Bastlitjørna. Denne ligger i samme geologiske provins som Tindafjell, og prøvene herfra kan benyttes som en indikasjon på kvalitet på steinmaterialet i tunneltraseen, resultatene fra prøvene finnes i Tabell 6-3. For å kunne benytte massene til noe annet enn fyllmasser må massene testes i henhold til N200. I rapporten for bergskjæringer omtales andre forekomster, som ligger i planområdet, disse finnes i avsnitt 5.1.5.

Tabell 6-3: Bergmekaniske tester utført ved forekomst Bastlitjørna.

Testmetode	Antall analyser	Testfraksjon [mm]	Resultat
Densitet	1	8.0-11.2	2.81 g/cm ³
Los-Angeles	1	10.0-14.0	17.5
Kulemølle	1	11.2-16.0	13.1

6.6 Kjerneboringer

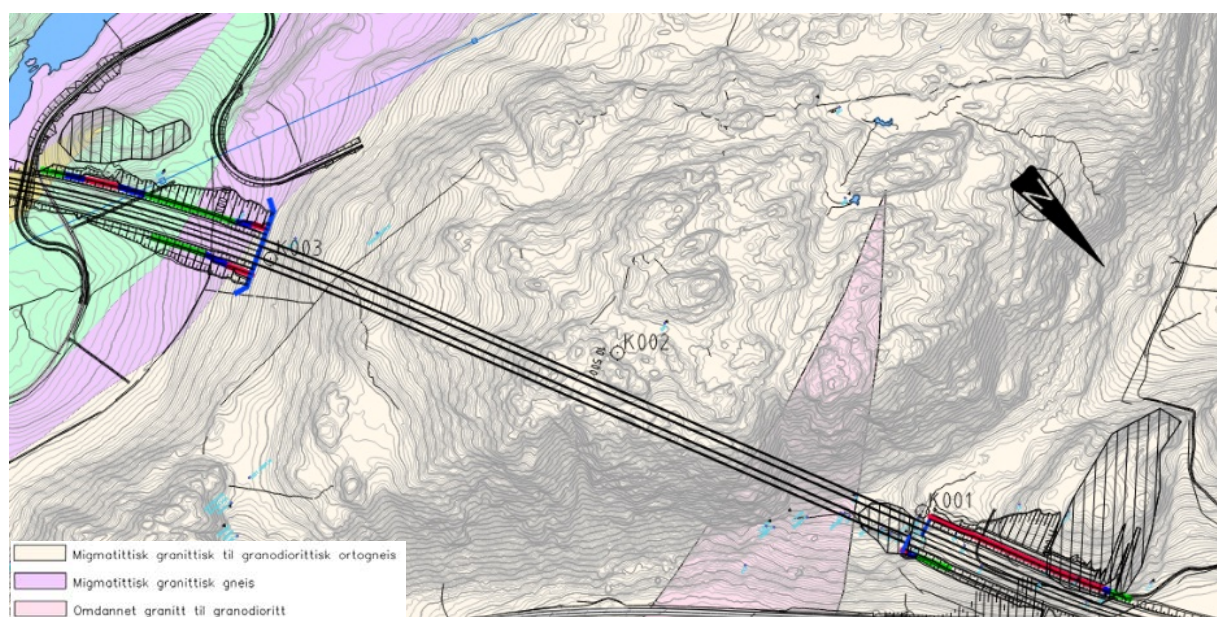
Det er utført tre kjerneboringer i forbindelse med detaljreguleringsplan, K001, K002 og K003. Plasseringen til kjerneboringene kan sees på kart i Figur 6-4 og som koordinater i Tabell 6-4, lengde, helning og retning er vist i Tabell 6-5. Det henvises i tillegg til tegning V120, V122 og V123. Kjernelene ble transportert til Oslo og den ingeniørgeologiske loggingen ble utført i COWIs laboratorium i Oslo. Kjerneloggingrapporten finnes i referanselisten under [18]. Q-verdiene kjerneloggingen har brukt $J_w=1$ og $SRF=1$, noe som egentlig refererer til Q' (apparent Q). Vi må være oppmerksomme at Q' -verdiene kanskje er ikke representative for hele tunnelen, men her refereres det til verdiene kun fra kjerneloggingrapporten [18].

Tabell 6-4: Koordinater kjerneboringer.

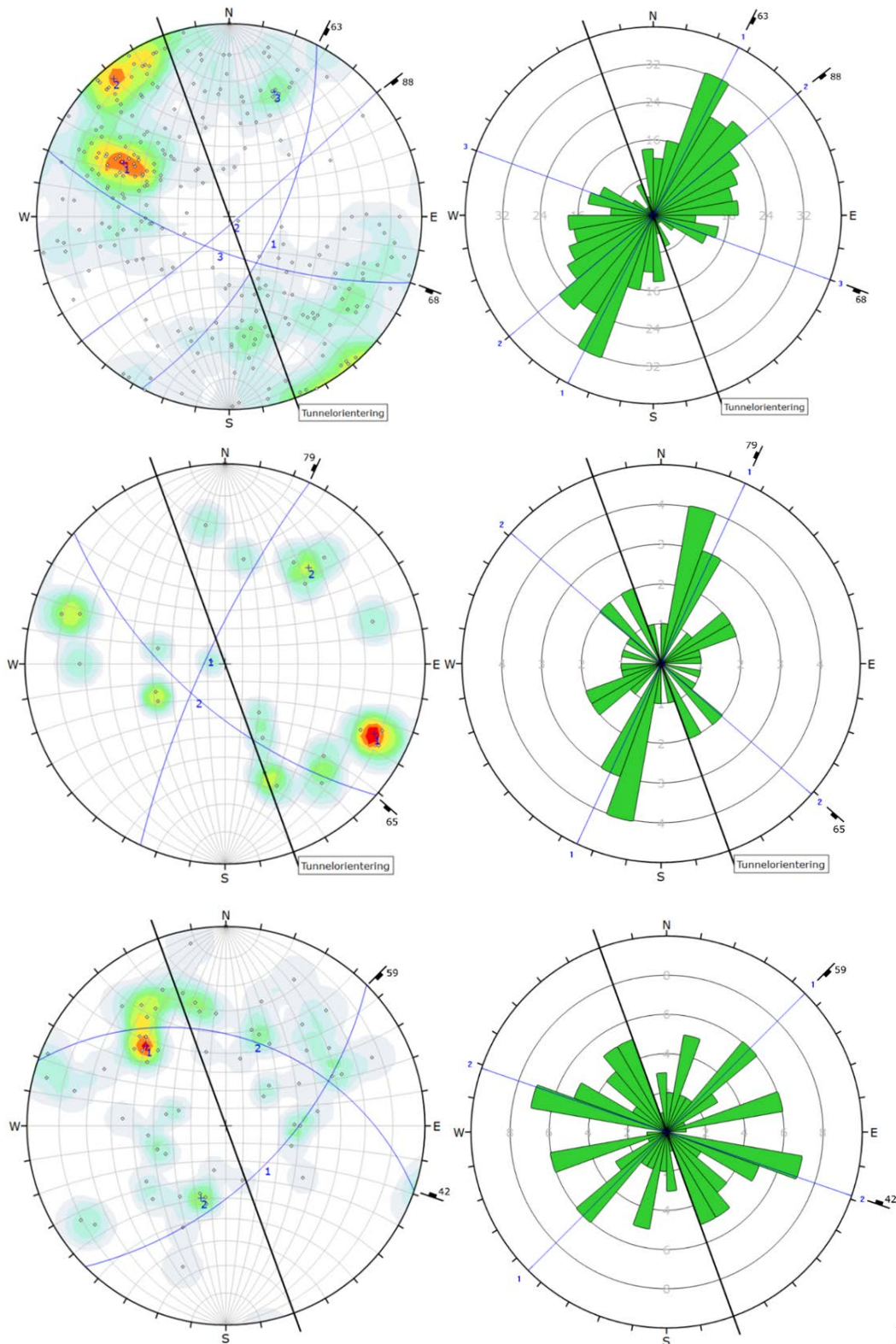
Hull	Koordinater startpunkt (NTM-5 og NN2000)			Anslått bergkote
	X	Y	Z	
K001	1 081 823.918	126 005.761	195.8	195.8
K002	1 081 427.820	126 151.870	350.2	349.5
K003	1 081 055.682	126 389.623	237.7	234.7

Tabell 6-5: Informasjon kjerneboringer.

	Borehull		
	K001	K002	K003
Total boret lengde	128 m	184.5 m	40 m
Boret i berg	128 m	184 m	37 m
Retning (ift. nord)	136°	090°	314°
Inklinasjon (ned fra horisontalen)	0,5°	60°	70°
Vanntapsmåling	Ja	Ja	Ja
Kjerneorientering	Ja	Ja, fra 159 m til 179 m.	Ja
Avviksmåling	Nei	Ja	Ja



Figur 6-4: Oversikt over tunnelen og de tre kjerneboringshullene. Henviser også til tegning V140.



Figur 6-5: Stereoplott og sprekkeroser for K001(øverst), K002(midten) og K003(nederst).

6.6.1 K001

K001 er lokalisert ved nordre påhugg (se Figur 6-4) og tegning V123 og V144. K001 er boret tilnærmet horisontalt inn i det nordre påhugget, og går over begge løp av den planlagte tunnelen. Borehullet var planlagt med en lengde på 180 m, men grunnet svært dårlig fremdrift, stort kjernetap og mye gjenstøp, ble hullet avsluttet etter 128 m. Bergarten ble vurdert som hovedsakelig migmatitt, og er i samsvar med NGUs berggrunnskart, hvor bergarten er beskrevet som migmatittisk granodiorittisk til granittisk gneis. Ifølge NGUs berggrunnskart skulle det være en "kile" med omdannet granitt til granodioritt, dette lot seg ikke skille fra migmatitten.

Bergmassekvaliteten varierer mellom god (Q' -verdi over 10) til svært dårlig (Q' -verdi mellom 0,1 og 1). Fra 80 meter og til enden av borehullet er Q' -verdien under 2, som vist i Tabell 6-6. Knuste soner finnes i hele kjernen, men frem til ca. 70 meter er de under 0,5 m lange. Tabell 6-7 gir en oversikt over knuste soner over 0,5 meter med tilhørende Q' parameter tolkning. Det er stort kjernetap mot slutten av borehullet (110 m og utover), i intervallet fra 120 m til 125 m, er 75 % av kjernen tapt. Kjernen som ble tatt opp har en Q' -verdi på 0,2 i dette intervallet.

Fra omkring 110 m er det enten kjernetap eller knust materiale, bortsett fra noen kortere (<0,5 m) stykker som ikke karakteriseres som knust. Figur 6-6 viser bilde av kasser med stort kjernetap i K001 og i kolonnen lengst til høyre i Tabell 6-6 er kjernetapet¹ for hver 5 m intervallet notert.

Fra og med 90 m, er det i 5 m intervaller Q' -verdier på under 1, det vil si sikringsklasse IV eller V. Det er funnet oppbløtelig sprekkebelegg med lav friksjon. Det var ikke nok materiale til å sende inn for testing.

¹ Forutsatt at kjernetapet er større enn 10 %.

Tabell 6-6: K001, sprekkeparameterne og Q'-verdier. Farget Q'-verdi basert på korresponderende bergmasseklasse (se Tabell 7-7).

Fra	Til	RQD	Typisk J _n	Typisk J _r	Typisk J _a	Q'	Kjernetap
0	5	62	9	2	4	3,4	-
5	10	81	9	2	3	6	-
10	15	61	6	2	4	5,1	-
15	20	56	9	2	3	4,1	-
20	25	52	9	1,5	3	2,9	-
25	30	57	9	1,5	6	1,6	-
30	35	60	9	1,5	6	1,7	-
35	40	10	6	1,5	6	3	-
40	45	56	6	1,5	6	2,3	-
45	50	79	2	1,5	3	19,8	-
50	55	71	3	2	3	15,8	-
55	60	86	4	2	6	7,2	-
60	65	70	4	2	3	11,7	-
65	70	37	6	1	6	1	-
70	75	52	4	2	6	4,3	-
75	80	38	6	2	6	2,1	19 %
80	85	29	6	2	8	1,2	-
85	90	41	9	2	8	1,1	-
90	95	40	9	1,5	8	0,83	-
95	100	30	9	2	8	0,83	-
100	105	25	9	2	10	0,56	-
105	110	30	9	1,5	10	0,5	13 %
110	115	13	15	2	10	0,17	41 %
115	120	10	15	2	2	0,67	68 %
120	125	10	15	1	3	0,22	75 %
125	130	10	15	2	4	0,33	-

Tabell 6-7: K001, svakhetssoner lengre enn 0,5 m.

Fra	Til	Lengde [m]	RQD	Typisk J _n	Typisk J _r	Typisk J _a	Q'
67,65	68,8	1,15	10	15	1	6	0,11
81,8	82,6	0,8	10	15	1	8	0,08
83,25	85,1	1,85	10	15	1	8	0,08
85,4	86,1	0,7	10	15	1	8	0,08
101,9	103,4	1,5	10	15	1	8	0,08
108,5	109,15	0,65	10	15	1	10	0,07
112,5	113,05	0,55	10	15	1	6	0,11
113,05	113,95	0,9	10	15	1	6	0,11
116,3	116,95	0,65	10	15	1	6	0,11
117,55	118,15	0,6	10	15	1	6	0,11
119	119,55	0,55	10	15	1	6	0,11
121,7	122,55	0,85	10	15	1	6	0,11
125,75	126,25	0,5	10	15	1	6	0,11



Figur 6-6: K001, bilde av de siste to kassene. Stort kjernetap og knust kjerne. Bildet er hentet fra [18].

6.6.2 K002

K002 er lokalisert i den planlagte tunneltraseen, omkring profil 10500 (se Figur 6-4 og tegning V122). Ifølge NGU sitt berggrunnskart er bergarten migmatittisk granodiorittisk til granittisk gneis, under loggingen ble bergarten karakterisert som granodioritt.

Bergmassekvaliteten varierer hovedsakelig mellom god (Q' -verdi over 10) og dårlig (Q' -verdi mellom 1 og 4), som vist i Tabell 6-8. To 5 meters intervaller karakteriseres som svært god bergmassekvalitet (Q' -verdi over 40). Knuste soner forekommer i større og mindre grad langs kjerneborehullet, men kun et fåtall er over 0,5 m. En oversikt over disse vises i Tabell 6-9. Kjernetap er kun målt i de første 5 m av dette borehullet.

Tabell 6-8: K002, sprekkeparameterne og Q'-verdier.).

Fra	Til	RQD	Typisk J _n	Typisk J _r	Typisk J _a	Q'	Kjernetap
0	5	37	12	3	3	3,1	15.1 %
5	10	91	9	3	2	15,2	*
10	15	82	12	3	2	10,3	*
15	20	83	9	3	2	13,8	*
20	25	94	9	3	2	15,7	*
25	30	57	12	3	4	3,6	*
30	35	52	12	3	4	3,3	*
35	40	96	4	3	4	18	*
40	45	100	2	3	3	50	*
45	50	94	4	2	3	15,7	*
50	55	91	4	3	3	22,8	*
55	60	96	4	3	2	36	*
60	65	97	4	3	1	72,8	*
65	70	96	4	3	2	36	*
70	75	76	12	3	2	9,5	*
75	80	90	12	3	2	11,3	*
80	85	89	6	2	3	9,9	*
85	90	88	6	2	3	9,8	*
90	95	90	12	3	2	11,3	*
95	100	85	12	2	2	7,1	*
100	105	88	12	2	2	7,3	*
105	110	83	9	2	2	9,2	*
110	115	72	9	2	2	8	*
115	120	62	12	2	3	3,4	*
120	125	71	12	2	3	3,9	*
125	130	91	12	2	2	7,6	*
130	135	90	4	2	2	22,5	*
135	140	99	9	2	2	11	*
140	145	75	12	3	2	9,4	*
145	150	86	6	2	2	14,3	*
150	155	59	12	3	2	7,4	*
155	160	86	12	2	2	7,2	*
160	165	100	9	3	2	16,7	*
165	170	44	12	2	2	3,7	*
170	175	79	12	2	2	6,6	*
175	180	80	12	2	2	6,7	*
180	185	45	12	3	2	5,6	*

Tabell 6-9: K002, Q'-verdier for svakhetssoner > 0,5 m.

Fra	Til	Lengde [m]	RQD	Typisk J _n	Typisk J _r	Typisk J _a	Q'
118,8	119,4	0,6	10	12	1	6	0,14
119,6	120,1	0,5	10	12	1	6	0,14
152,25	152,75	0,5	10	12	1	6	0,14
154	154,7	0,7	10	12	1	6	0,14
166,7	167,2	0,5	10	12	1	6	0,14

6.6.3 K003

K003 er lokalisert like nord for det søndre påhugget ved profil 10070, se Figur 6-4 og tegning V120. Bergarten er tolket som veksling mellom granat-biotittgneis og kvarts-diopsidgneis, NGU har kartlagt området som migmatittisk granodiorittisk til granittisk gneis, like sør for påhugget er bergarten migmatittisk granittisk gneis og noe sørligere kvarts-diopsidgneis. Fra ca. 31 m er det observert pyrittmineralisering i sprekker.

Bergmassekvaliteten varierer mellom god (Q'-verdi over 10) til dårlig (Q'-verdi mellom 1 og 4), som vist i Tabell 6-10, der dårlig og middels (Q'-verdi mellom 4 og 10) kvalitet er vanligst. Knuste soner finnes i hele kjernen, men bare et fåtall er over 0,5 m. En oversikt over disse vises i Tabell 6-11. Det er ikke registrert kjernetap i K003.

Strukturmålinger er utført mellom 8,4 m og 40,4 m i K003. Polplott og sprekkerose er vist i Figur 6-5. I disse dataene er det tolket to sprekkesett. Registrering av J_n under kjernelogging viser at det er observert flere sprekkesett i kjernematerialet enn hva som fremkommer i Figur 6-6.

Tabell 6-10: K003, sprekkeparameterne og Q'-verdier. Farget Q'-verdi basert på korresponderende bergmasseklasse (se Tabell 7-7).

Fra	Til	RQD	Typisk J_n	Typisk J_r	Typisk J_a	Q'	Kjernetap
0	5	29	12	2	2	2,4	-
5	10	48	12	2	2	4	-
10	15	70	9	3	2	11,7	-
15	20	12	12	3	2	1,5	-
20	25	63	12	3	2	7,9	-
25	30	62	12	3	2	7,8	-
30	35	67	12	2	2	5,6	-
35	40	69	12	3	2	8,6	-
40	45	14	9	3	2	2,3	-

Tabell 6-11: K003, oversikt over knuste soner >0,5 m.

Fra	Til	Lengde [m]	RQD	Typisk J_n	Typisk J_r	Typisk J_a	Q'
5,8	6,4	0,6	10	12	1	6	0,14
16,9	17,8	0,9	10	12	1	6	0,14
19,2	19,8	0,6	10	12	1	6	0,14
29,1	29,8	0,6	10	12	1	6	0,14

6.7 Ingeniørgeologisk kartlegging

Observasjoner relevant for tunnel og tilhørende forskjæringer fra ingeniørgeologisk kartlegging presenteres i dette kapitlet. Observasjonsstedene er opplistet fra sør til nord. Lokalitetene ble registrert under befaring med forbokstav til kartlegger og løpenummer. Det påpekes at en av seriene begynner med S, og det foreligger derfor lokaliteter med benevnning Sxx.

I avsnitt 6.7.6 vises en tabell, Tabell 6-14, med oversikt over registreringer

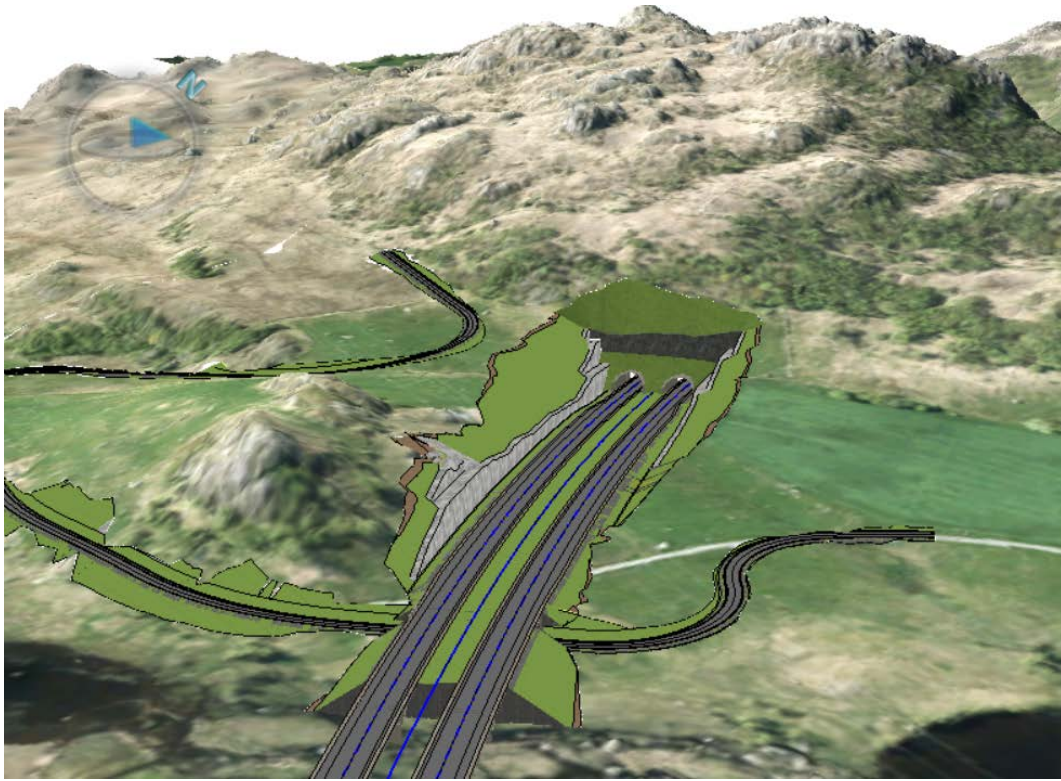
6.7.1 Forskjæring sør 9900 og søndre påhugg

Skjæringsgeometri: Forskjæring sør er tosidig og omkring 150 m lang på østsiden og 280 m lang på vestsiden. Tabell 6-2 viser maksimal forventet høyde av skjæringens østre og vestre side. Selve påhuggsflaten er forventet å ha en høyde over veibanen på ca. 22-26 m. Figur 6-7 viser planlagt forskjæring og påhugg. Tegning V145 viser tverrprofil av påhugget.

Berggrunn og løsmasse informasjon: Store deler av den planlagte skjæringen er dekket av løsmasser. Det er utført både geotekniske borer, georadar og refraksjonsseismikk i skjæringsområdet. Det geotekniske sonderinger i området viser løsmassemekthet mellom 2-3 m og 16 m. I refraksjonsseismikken ble det avdekket et område med lavere seismiske hastigheter som krysser forskjæringen. Kvartsbergarten, helt sør i den planlagte skjæringen, ble ikke observert i felt, men den kan godt være der. Kvarts - diopsidgneisen ble antatt observert ved lokalitet S50, men overflatene viser seg å være noe forvitret. Migmatitt granitt gneisen ble ikke observert i felt, da den var dekket av løsmasser i dette området, bilde av påhuggsområdet sees i Figur 6-8.

Befaringsobservasjoner og målinger:

Det ble gjort sprekkemålinger like vest for planlagt skjæring ved lokalitet S50, se Figur 6-9. I tillegg er kjerneboringshull K003 like nord for skjæringen. Sprekkesmålinger fra disse to lokalitetene vil kunne gi en indikasjon på hvilke strukturer som kan forventes i skjæringen og påhugget. Det går en høyspentledning på tvers av forskjæringen, og like nordøst for S50 står en høyspentmast. Det går en anleggsvei opp til vindmøllene på Tindafjell, langs veien er det en liten bekk i den ene av grøftene. Tabell 6-14 med oversikt over sprekkesmålinger finnes i kapittel 6.7.6, stereoplott og sprekkerose med tolkede sprekkesett finnes i Figur 7-3, for informasjon om kjerneboring K003, se kapittel 6.6.3.



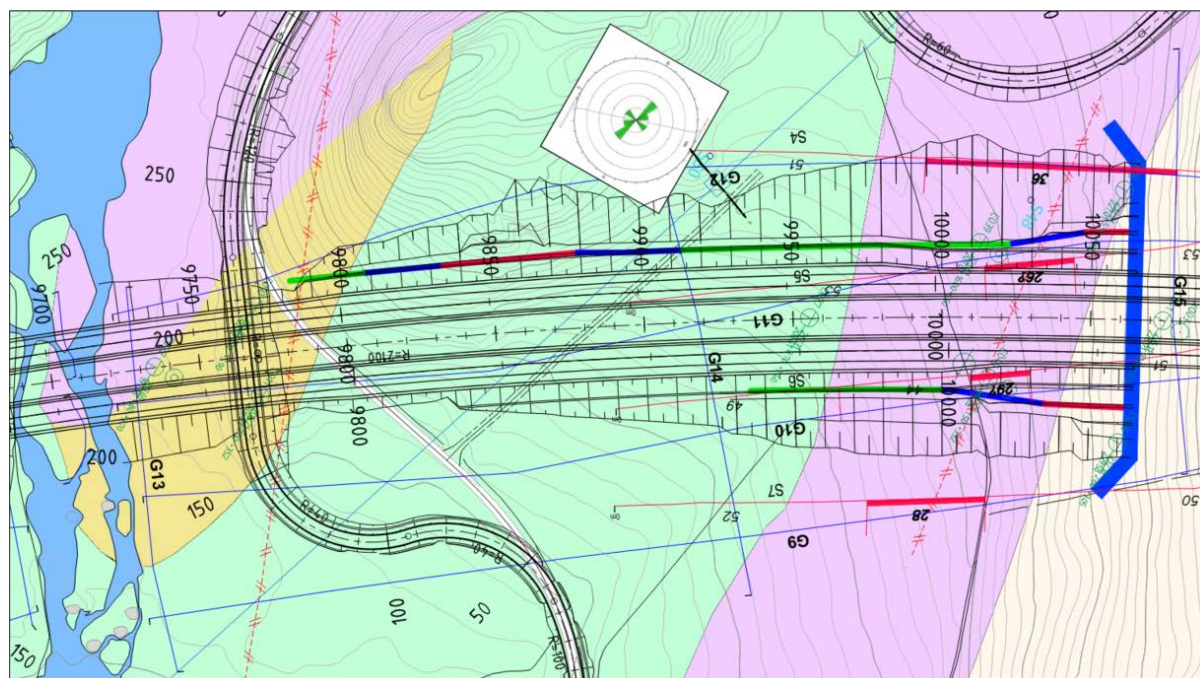
Figur 6-7: Forskjæring og påhugg sør fra Novapoint.



Figur 6-8: Bilde fra lokalitet S50 mot nord. Planlagt påhugg er i rød sirkel.



Figur 6-9: Lokalitet S50, blotning.



Figur 6-10: Utsnitt fra ingeniørgeologisk kart (tegning V120), røde streker er refraktsjonsseismikk, tykkere rød markering viser antatt svakhetszone.

6.7.2 Lokalitet S45, blotning langs planlagt tunneltrasé

Det var sprengt ut ved vindmøllen og her ble det gjort en del ingeniørgeologiske observasjoner, lokalitet S45, se tegning V122 og V140.

Det kunne observeres åpne sprekker og det var sporadisk bolting i skjæringen. RQD >80, men noen områder med RQD < 50. Noen sprekker var svært utholdende, > 10 m, dette sees på Figur 6-11. Tabell 6-12 viser en oppsummering av sprekkemålinger ved S45. Stereoplott og sprekkerose kan sees i avsnitt 7.2.3 Tunneltrasé i Figur 7-4.

Figur 6-12 viser et område ved S45, med lysere mineraler enn det omkringliggende berg, som hadde mørke (mafiske) mineraler i tillegg. Man kan se at det er noe lettere forvitring langs noen av sprekkeflatene. Enkeltsprekker med kvarts/feltspat som sprekkefyll, men de fleste sprekker var uten sprekkefyll.

Tabell 6-12: S45, sprekkemålinger.

Sprekkesett	Fallvinkel	Fallretning	Sprekkeavstand	Sprekkelengde
1	72° - 89°	356° - 028°	< 1 m	> 10 m
2	81° - 89°	090° - 114°	0,3 - 1,5 m	1 - > 10 m
3	30° - 60°	020° - 336°	0,5 m - 2 m	> 10 m



Figur 6-11: Lokalitet S45 oversiktsbilde, noen svært utholdende sprekker.



Figur 6-12: S45, detalj, lysere bergart.

6.7.3 Lokalitet S46, blotning langs anleggsvei

Fjellet består av massive blokker med lite oppsprekking, med vurdert RQD >80. Sprekkesett 3 sammenfaller med foliasjonen. Observert foliasjonen stemmer overens med foliasjonen som er opptegnet på NGU's berggrunnskart [7]. Sprekkemålingene er oppsummert i Tabell 6-13 tilhørende stereoplott og sprekkeroser kan sees i avsnitt 7.2.3 Tunneltrasé i Figur 7-5. Lokalitet S46 kan sees på tegning V146.

Tabell 6-13: S46, sprekkemålinger.

Sprekkesett	Fallvinkel	Fallretning	Sprekke-avstand	Sprekkelengde
1	65° - 88°	196° - 208° / 22°	< 1 m	1 – 5 m
2	75° - 84°	076° - 111°	< 1 m	1 – 5 m
3	45° - 51°	318° - 330°	< 1 m	1 – 5 m

6.7.4 Lokalitet S47, svakhetszone

Det ble observert en svakhetszone med fall på 89° og fallretning 015°-020° ved lokalitet S47. Svakhetssonen ser ut til å falle sammen med det ene sprekkesettet. Bredden varierte noe, og den ble

observert til å være ca. mellom 5 og 10 m bred. Figur 6-13 viser sonen i terrenget. Sonen kan også sees på flyfoto over området. Lokalitet S47 kan sees på tegning V146.



Figur 6-13: Lokalitet S47, tolket svakhetszone, 5-10 m bred gjennomgående i terrenget. Bildet er tatt mot sørøst.

6.7.5 Forskjæring nord og nordre påhugg

Skjæringsgeometri: Forskjæring nord er tosidig og omkring 260 m. Tabell 6-2 viser maksimal forventet høyde av forskjæringens østre og vestre side. Selve påhugget er forventet å ha en høyde over veibanen på ca. 15 til 20 m. Den vestre side av forskjæringen vil være vesentlig lengre og høyere enn den østre. Det henvises også til lengde- og tverrprofiler, V141, V144, V146 og V147.

Berggrunn og løsmasseinformasjon: Store deler av den planlagte skjæringen er dekket av løsmasser. Det er utført både geotekniske borer, georadar og refraksjonsseismikk i forskjæringsområdet. Geotekniske sonderinger i området viser løsmassemektighet mellom 2-3 m og 16 m. I refraksjonsseismikken ble det avdekket et område med lavere seismiske hastigheter som krysser forskjæringen. Kvartsbergarten helt sør i den planlagte skjæringen, ble ikke observert i felt., Kvarts - diopsidgneisen ble antatt observert ved lokalitet S50, men overflatene var noe forvitret. Migmatitt granitt gneisen ble ikke observert i felt, da den var dekket av løsmasser i dette området.

Befaringsobservasjoner og målinger: Det ligger en del løse blokker ved lokalitet S42 som bør hensyntas i anleggsperioden. I området med løse blokker i fjellveggen ble det av sikkerhetsmessige hensyn ikke foretatt noen målinger, dette kan sees i Figur 6-16. Lenger nord, var det mer egnet for

målinger og her ble det gjort sprekkemålinger ved to lokasjoner. Det kunne ikke observeres noen forkastninger mellom lokasjonene, da området var dekket med løsmasser, men det kan ikke utelukkes at det her kan være en forkastning. Det ble observert et vannsig omtrent hvor påhugget er planlagt, dette kan sees i Figur 6-14. Figur 6-15 viser østsiden av høyden som påhugget er planlagt lagt i. Figur 6-17 viser et utsnitt av det ingeniørgeologiske kartet for påhugget, det henvises til tegning V123 i tillegg.



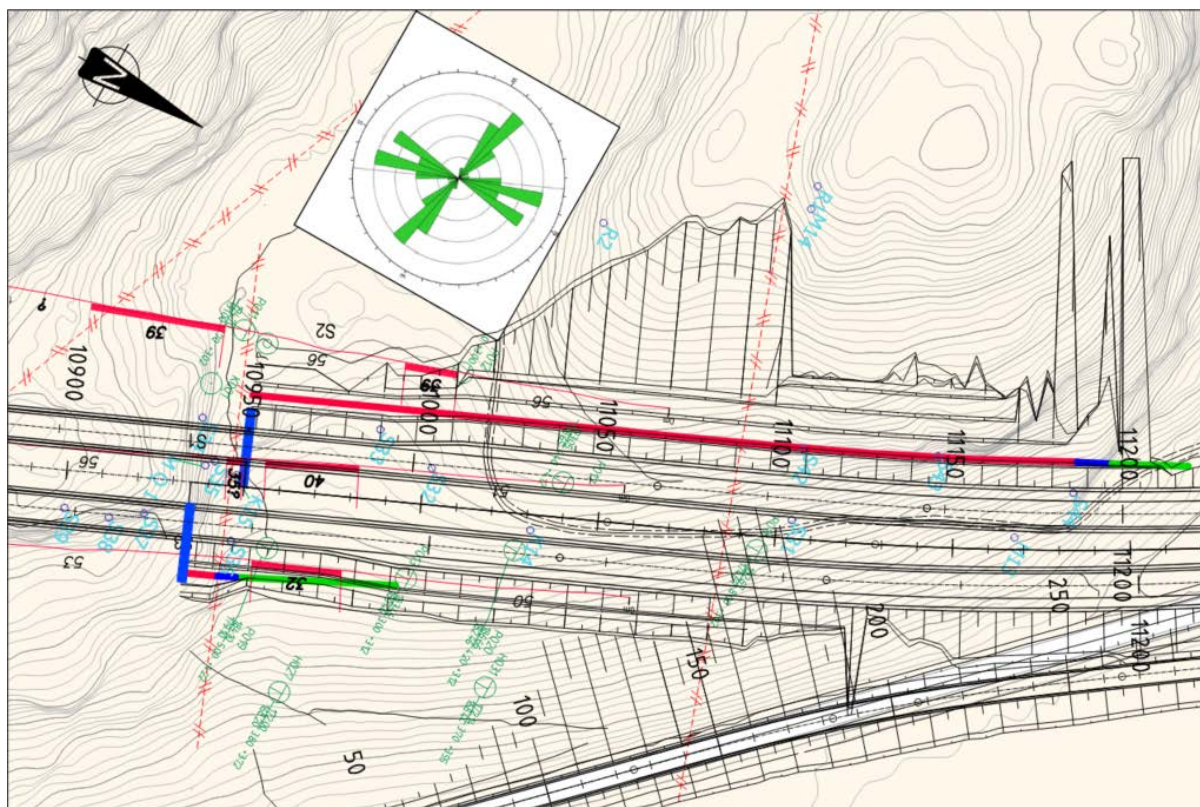
Figur 6-14: Lokalitet S34, Bilde mot øst. Påhugg N, vannsig like over påhugget. Vannmettede masser, det hadde regnet dagen før.



Figur 6-15: Lokaltet S36, bilde mot vest, på nedsiden av haugen, trappetrinns form.



Figur 6-16: Lokalitet S42, bilde mot nord. Det var flere løse blokker i blotningen ved skjæringen.



Figur 6-17: Ingeniørgeologisk kart over forskjæringsområdet og påhugg nord, se tegning V123.

6.7.6 Oversikt sprekkemålinger

Tabell 6-14: Oversikt over registrerte sprekkemålinger i tunneltraseen, kjerneboringene og forskjæringsområdene.

Lokalitet /kjerneborhull	Sett	Fallretning	Fall	Spr. avst.	Spr. lengde	RQD	Spr. ruhet	Spr. fyll
		[°]	[°]	[m]	[m]			
Forskjæring S								
S50	1	030 - 052	50 - 60	i.o.*	> 5	>80	ru, plan	i.o.
	2	199 - 206	45 - 70	0,3 – 0,4	< 5		ru, plan	i.o.
	3	097 - 114	85 - 89	80 c – 1	< 2		ru, plan	i.o.
Søndre påhugg								
K003	1	135	59	Se avsnitt 6.6.3 K003 for informasjon om de andre parameterne langs borehullet.				
	2	019	42					
	3	J _n er typisk mellom 9 og 12. Slik at et tredje sett er forventet, om enn ikke observert.						
Tunneltrasé								
S45	1	356 - 28	72 - 89	< 1	> 10	>80, stedvis <50	ru, plan	stedvis spr. fyll
	2	090 - 114	81 - 89	0,3 - 1,5	1 - > 10		ru, plan	i.o.
	3	020 - 336	30 - 60	0,5 – 2	> 10		ru, plan	i.o.
S46	1	196 - 208/22	65 - 88	< 1	1 – 5	>80		i.o.
	2	076 - 111	75 - 84	< 1	1 – 5			i.o.
	3	318 - 330	45 - 51	< 1	1 – 5			i.o.
S47	1	045 - 050	55 - 62	< 1	1 – 5	>80		i.o.
	2	290 - 300	55	< 1	1 – 5			i.o.
	3	015 - 020	89	< 1	5 -> 20			i.o.
K002	1	295	79	Se avsnitt 6.6.2 K002 for informasjon om de andre parameterne langs borehullet.				
	2	221	65					
	3	Begrenset antall målbare sprekker i det orienterte område. Antatt 3 sprekkesett.						
Nordre påhugg								
K001	1	117	63	Se avsnitt 6.6.1 K001 for informasjon om de andre parametre langs borehullet.				
	2	142	88					
	3	201	68					
S37, S38, S39	1	316-350	45-68	i.o.	> 1	>80, stedvis >90	ru, plan	i.o.
	2	045-070/200-213	50-88	0,5 - 1	> 2		ru, plan	i.o.
	3	110-148	45-65	0,5-1,5	> 2		ru, plan	i.o.
S35	1	356 - 319	03-15	0,1 - 0,3	< 1	> 80		i.o.
	2	111 - 130	79 - 80	0,2 – 2	< 5			i.o.
	3	018-020 / 201-206	81 - 88	-	1 – 10			i.o.
Forskjæring N								
S43	1	186-208	66-76	0,1-1	> 7	> 80		i.o.
	2	018-054	30-50	> 0,5	> 5			i.o.
	3	270-274 /098	84-88	0,5 – 1,5	1 - >3			i.o.
S44	1	358-006	70-90	-	-	> 80		i.o.
	2	002-034	20-44	0,5 – 1	> 10			i.o.
	3	252-266 /094	72-90	0,2 - 0,3	-			i.o.
R1	1	065-080	45-70	0,1 - 1	> 5	i.v**	ru, plan	i.o.
	2	180-200	70-90	0,5 - 1	> 10	i.v	ru, plan	i.o.
M14	1	065-095	50-70	0,1 - 0,5	> 10	i.v	ru, plan	i.o.
	2	To sprekkeplan, kun ett innmål. Det andre steilt					i.v	

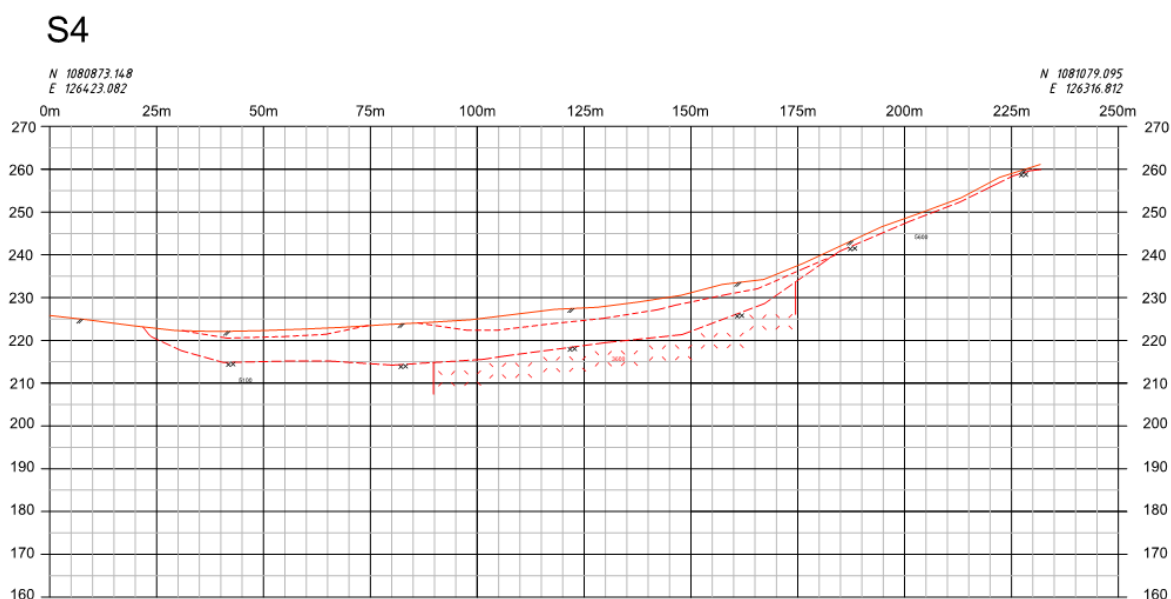
* = ikke observert.

** = ikke vurdert.

6.8 Resultater av geofysiske undersøkelser

6.8.1 Søndre påhugg og forskjæring

Ved søndre påhugg er det utført både refraksjonsseismikk, georadar, totalsonderinger og en kjerneboring, K003, som er omtalt i kap. 6.6 . Georadaren viser generelt et høyere bergnivå enn boringene og refraksjonsseismikken. Det er også funnet i området en lavhastighetszone og det er tolket som bestående av to løsmasselag. Noen uoverensstemmelser i tolkningen kan skyldes at overgangen mellom fast lagrede løsmasser og berg med lav seismisk hastighet er vanskelig å tolke. Det henvises til tegning V142 for lengdeprofil og V120 for ingeniørgeologisk kart i plan.



Figur 6-18: Refraksjonsseismikk linje S4, her er det tolket to løsmasselag og en lavhastighetszone. Illustrasjon hentet fra samlerapport geofysikk [15].

6.8.2 Tunneltrasé

Det ble utført to refraksjonsseismiske linjer langs tunneltraseen. Det ble avdekket noen potensielle svakhetssoner, noen soner forekom i begge linjer, mens andre kun i en.

Omkring ved profil 10280 forekommer det en noe usikker middels lavhastighetszone (med 4000 m/s) kun i vestre linje. Ved profil 10325 forekommer det en noe usikker lavhastighetszone (3500 m/s), registrert på begge linjer og mulig i samsvar med strukturer som kan sees i terrenget. Det henvises til samlerapport geofysikk [15] og tegninger V120-V123.

6.8.3 Nordre påhugg og forskjæring

Ved det nordre påhugget ble det avdekket flere svakhetssoner som også samsvarer med terrenget og kjerneboring K001. Det er også godt samsvar mellom totalsonderingene i området og refraksjonsseismikken.

Ved slutten av profil S2 og S3 er tolkningen usikker grunnet urmasser/blokkmasser. Se også Figur 7-8 og tegningene V123. Resultatene diskuteres i kapittel 7.6.

6.9 Skredkartlegging

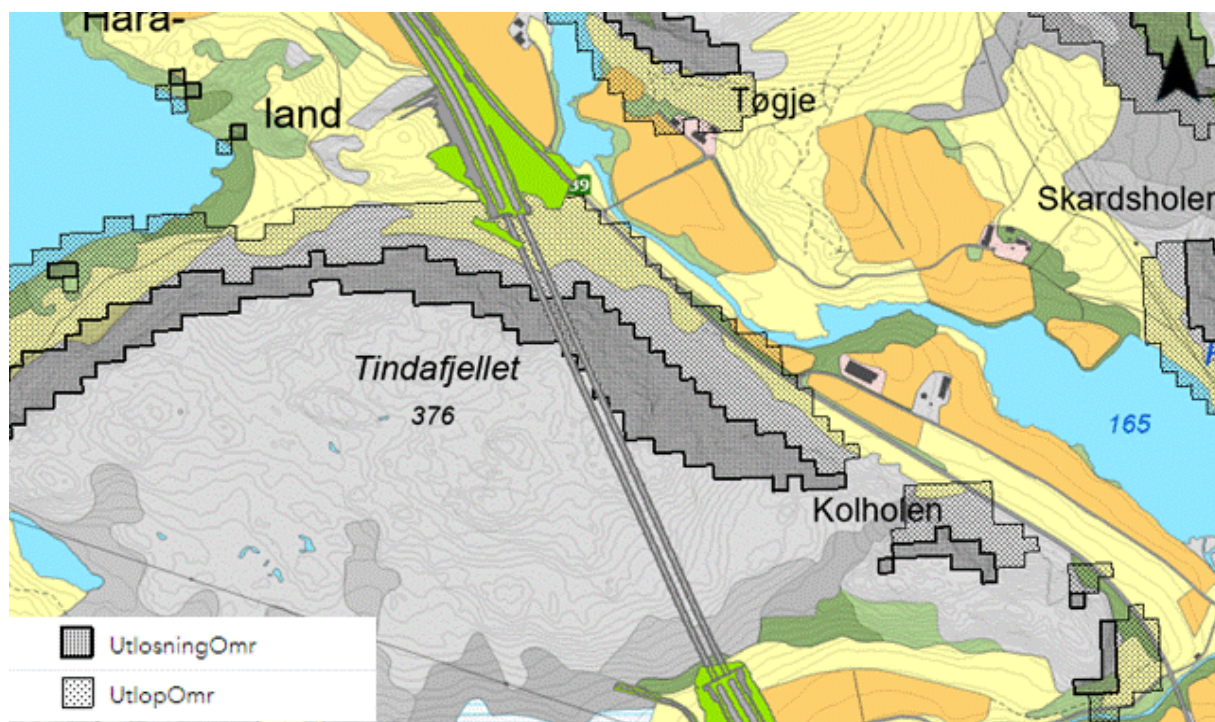
Skred AS har utført skredkartlegging og utarbeidet skredrapport for prosjektet. Det henvises til rapport 20106-04-01 som omhandler skred for strekningen. Det er gjort vurderinger i flere omganger, dette er oppsummert i Tabell 6-15.

Tabell 6-15: Oversikt vurderinger fra Skred AS.

Rapport nr.	Dato	Beskrivelse	Referanse
20106-01-1	06.03.2020	Opprinnelig rapport. To linjer vurdert.	[26]
20106-02-1	02.06.2020	Tilleggsvurdering, ny linje Søylandsdalen.	[27]
20106-03-2	30.11.2020	Tilleggsvurdering ny linje nord for Tindafjell.	[28]
E-post	31.08.2021	Korrespondanse angående skredvoll Tindafjell.	-
20106-04-1	05.11.2021	Revisjon av 20106-01-1, inkluderer kun ny linje.	[29]

Vurdering for utsatte strekninger finnes i avsnitt 7.1.

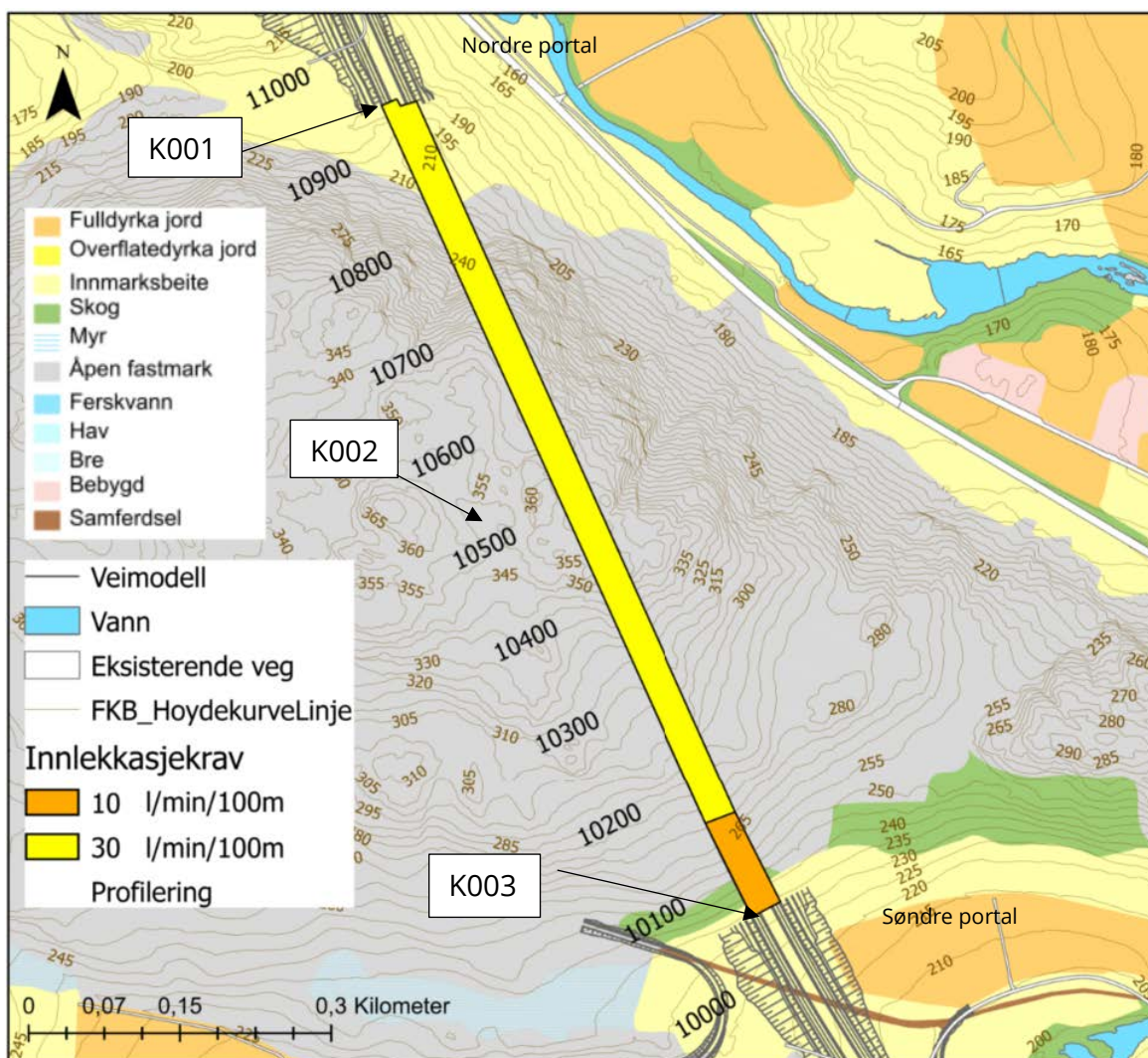
I Figur 6-19 er NVEs aktsomhetskart [10] for steinsprang med veitraseen inntegnet. Som det kan sees av figuren går traseen gjennom områder som er i den teoretiske løsne- og utløpssonen for disse steinsprang. Det henvises her til [29] for observasjoner fra feltbefaring og simuleringer.



Figur 6-19: Aktsomhetskart for steinsprang, kilde: nve.no.

6.10 Hydrogeologi

Tunnelens såle ligger på kote +175 i tunnelens nordlige ende og på kote +205 i dens sørlige ende. Store vannmasser i nordlige ende, som Langavatnet (kote +161) og elven i øst (ca. kote +162), ligger i nivå lavere enn tunnelen. I den sørlige ende ligger Nordlivatnet (kote +203) og Hadvarshølen (kote +199) i et nivå lavere enn tunnelportalen, mens Errevatnet (kote +210) ligger i et nivå noen få meter høyere enn tunnelens sørlige ende.



Figur 6-20. Oversiktsbilde av tunnelen, portaler og kjerneborehull. Kotehøyder for vann og tunnelportaler er markert i parentes.

Normal årsnedbør for to målestasjoner i nærheten er oppgitt i Tabell 6-16.

Tabell 6-16. Årsnedbør i Gjesdal [30].

Målestasjon	Normal årsnedbør (mm/år)
Søyland i Gjesdal	2130
Helland i Gjesdal	2070

I alle kjerneborhullene er det utført vanntapsmåling. Tabell 6-17 viser en oversikt over Lugeonverdier i kjerneborhullene.

Tabell 6-17. Lugeonverdier i kjerneborhullene.

K001			K002			K003		
Fra (m)	Til (m)	Lugeon	Fra (m)	Til (m)	Lugeon	Fra (m)	Til (m)	Lugeon
2,2	8,2	2,7	151,5	157,5	3,2	6,8	11,8	7,2
8,1	14,6	3,4	156,1	162,1	1,5	11,4	17,9	4,3
14,6	20,6	3,0	162,1	168,1	3,0	17,5	24,0	4,9
20,3	26,3	3,3	168,1	174,1	2,5	23,6	29,6	3,7
26,1	32,6	3,7	173,8	179,8	4,0	28,8	32,8	7,0
32,3	38,3	4,7	178,6	184,6	5,3	32,4	38,9	5,2
38,1	44,6	5,5				37,5	40,5	7,3
44,6	50,6	2,0						
50,3	56,3	2,5						
56,6	62,6	3,0						
62,4	68,9	3,1						
67,6	71,6	4,5						
71,6	77,6	4,0						
77,3	83,3	4,7						
82,6	86,6	8,5						
85,3	89,3	5,5						
89,1	95,6	5,5						
95,6	101,6	6,3						
100,2	104,2	9,0						

I databasen Granada er det registrert to energibrønner ved Haraland nord for tunnelen, se Figur 6-21 **Error! Reference source not found.** Det er ikke registrert private drikkevannsbrønner i området.

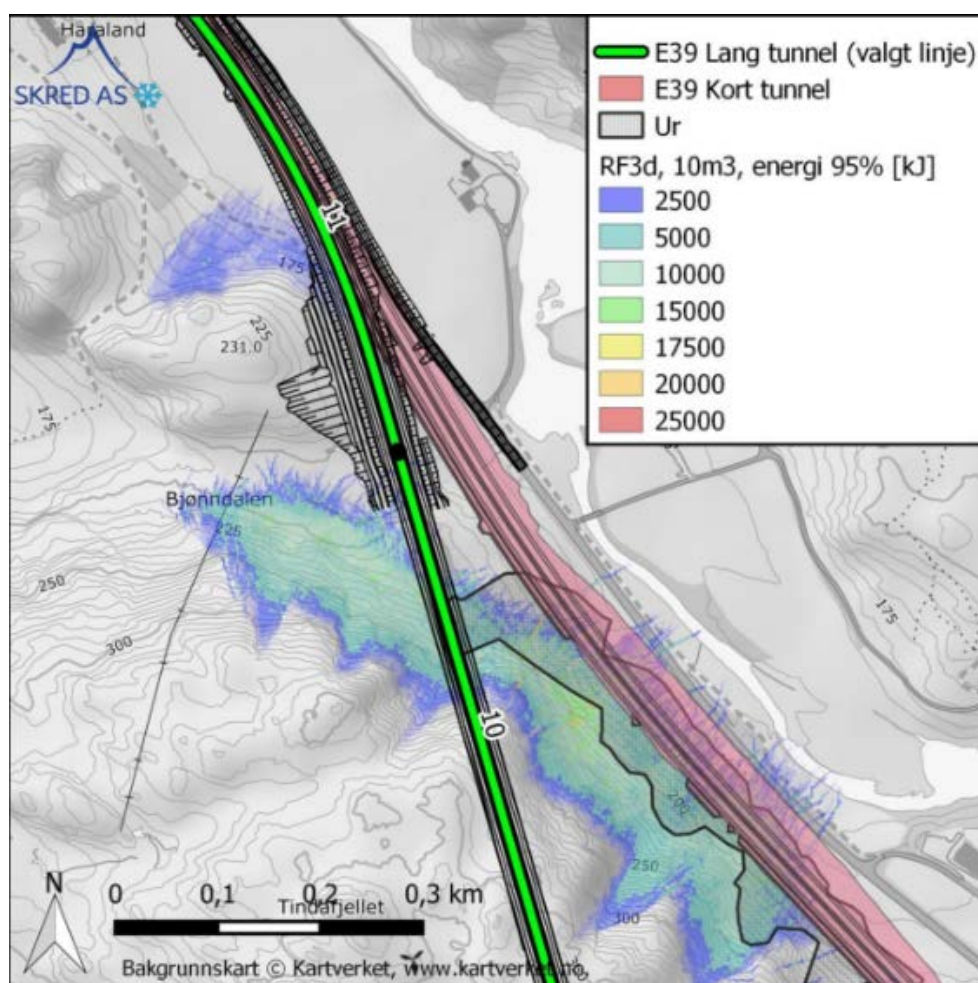


Figur 6-21: Registrerte grunnvannsbrønner i Grunnvannsdatenbanken Granada [12].

7 Tolkningsdel

7.1 Skred

I Skredrapport [29] omtales de områder hvor det kreves skredsikring slik at skredrisikoen er innenfor det akseptable, Figur 6-19 viser resultater fra en RockyFor3D (RF3d) modellering. For denne rapporten, som omhandler tunnel og forskjæringer, er det relevant at nordre påhugg ikke oppfyller krav iht. N200 til sikkerhet mot skredhendelser uten sikringstiltak. I rapporten fra Skred AS anbefales det skredsikring for nordre påhuggsområde. Det er dermed lagt inn tiltak mot skred i form av skredvoll ved nordre påhuggsområde, ytterligere informasjon om skredvullen finnes i rapporten fra Skred AS [29].



Figur 7-1: Kartlagt steinsprangur og eksempel på modelleringsresultat i RF3d med blokker på 10m³, som viser at blokker kan nå ned til det nordlige påhugget til tunnelen.

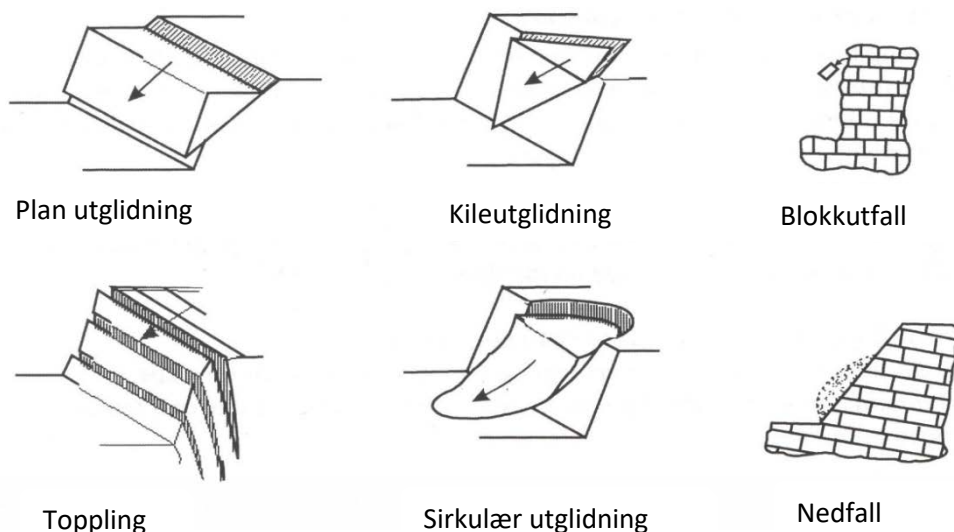
7.2 Forskjæringer og tunnel

7.2.1 Løsnemekanismer for skjæringer

Avhengig av bergmassen, sprekkesettens orientering og andre egenskaper og skjærings orientering, er det forskjellige løsnemekanismer som kan være aktuelle for hver enkelt skjæring. Det gis i dette avsnittet en generell beskrivelse av de ulike løsnemekanismene illustrert i Figur 7-2.

Plan utglidning er mest aktuelt når skjæringens orientering er nær parallell med strøkretningen til sprekke og sprekkens fallretning er inn mot veitraseen. Kileutglidning er når to sprekker krysser hverandre og dermed lager en kile som kan utløses. Utfall av enkeltblokker eller mange småblokker vil kunne forekomme etter fryse-tine prosesser, forvitring eller rotsprengning.

Sirkulært brudd forekommer oftest i svake bergarter eller løsmasser. Det er ikke observert berg som er så svakt at sirkulær utglidning er aktuelt. Toppling er aktuelt hvis det er markerte, steile, sprekkestett med strøkretning parallell med skjæringen og fallet til sprekkesettet er inn i skjæringen.



Figur 7-2: Forskjellige løsnemekanismer for bergmasser. Figuren er hentet fra [31] og oversatt til norsk.

Under befaring er det samlet inn sprekkemålinger for skjæringer og områder. Disse er vurdert og tolket, det er også gjort noen enkle betraktninger av kinematiske analyser i Dips. Det er brukt Dips versjon 7.018 fra RocScience. Dette er kun ment som et utgangspunkt og det er svært viktig at observasjonene og tolkningene følges opp med ingeniørgeologisk kompetanse i senere faser, både i felt og eventuelt med ytterligere detaljering i form av analyser og sikkerhetsfaktorer.

Det kan være mer enn en bergmekanisme som er aktuell for utgliding/utvelting av bergblokker ved hver skjæring. Selv om en kinematisk analyse indikerer potensiale for utglidninger, kan det være faktorer som resulterer i at utglidning ikke skjer. Og også motsatt, det kan være faktorer som gjør at det skjer en utglidning, selv om den kinematiske analysen ikke gir noen indikasjoner på dette (eksempelvis vanntrykk). Det er også slik at svakhetssoner, skjæringssoner og andre dominerende bergstrukturer kan påvirke stabiliteten og det kommer ikke nødvendigvis like godt frem i en statistisk analyse.

I Dips kan følgende løsnemekanismer betraktes:

- Plan utglidning (både med og uten grenser).
- Kileutglidning.
- Toppling (direkte og "flexural"). Direkte toppling er noe mer komplisert enn flexurell toppling og er når to sprekkesett danner blokker som så avløses av et nært horisontalt sprekkesett.

Dette er sjekket for hver skjæring og beskrevet kort. Vedlegg 2 inneholder figurer fra den kinematiske analysen. Det er også kommentert kort resultat for hver enkelt skjæring.

Det er tatt utgangspunkt i en friksjonsvinkel på 30°, dette er ikke nødvendigvis den korrekte friksjonsvinkel for alle skjæringer, men for dette prosjektets detaljeringsnivå vurderes det som en god nok antakelse. En skjæringsutforming på 10:1 tilsvarer helning omkring 84°.

7.2.2 Forskjæring Sør og påhugg

Tolkninger under befarig: Det er utført totalt 10 strukturmålinger som viser at det finnes 3 tydelige hovedsprekkesett. Sprekkesett 3 fulgte blotningen, det var derfor ikke mulig å observere sprekeavstand for dette settet. RQD ble i felt vurdert til >80. Det forventes løsmasser over bergskjæringen, disse må sikres i samarbeid med geoteknikk. Det kan være aktuelt med sognemur.

Tolkning av strukturmålinger og stabilitet: Tabell 7-1 viser de tolkede sprekkesettene og deres sprekeavstand, Figur 7-3 viser registreringene som stereoplott og sprekkerose, med tolkning av sprekkesett inntegnet.

Løsnemekanismer: Tabell 7-2 viser aktuelle løsnemekanismer for forskjæringen med de målingene som ble gjort ved lokalitet S50. For den østre skjæringen er sprekkesett 1 aktuelt for ubegrenset plan utglidning. For den østre skjæring antas det at hoveddelen av skjæringen i en bergart som ikke hadde blotning i dagen, i henhold til berggrunnskartet [7]. Bergarten som antas er forskjellig fra K003. Dette medfører at det er noe usikkert om observasjonene i lokalitet S50 er dekkende for skjæringen, men dette er den beste tilnærmingen med den foreliggende informasjonen. Bergmassen vurderes til å ha behov for vekselvis spredt bolting og systematisk bolting.

For påhugget regnes registreringene fra kjerneborehull K003 å være mest relevante. Her vurderes det at plan og ubegrenset plan utglidning vil kunne være aktuelt, i tillegg til kileutglidning. Orienteringen til det forventede tredje sprekkesettet kunne ikke identifiseres, men om det er ugunstig orientert, kan det medføre ytterligere sikringsbehov. Bergmassen vurderes til å ha behov for vekselvis spredt bolting og systematisk bolting, i tillegg til sprøytebetong, bolter og fjellbånd i forbindelse med etablering av påhugget.

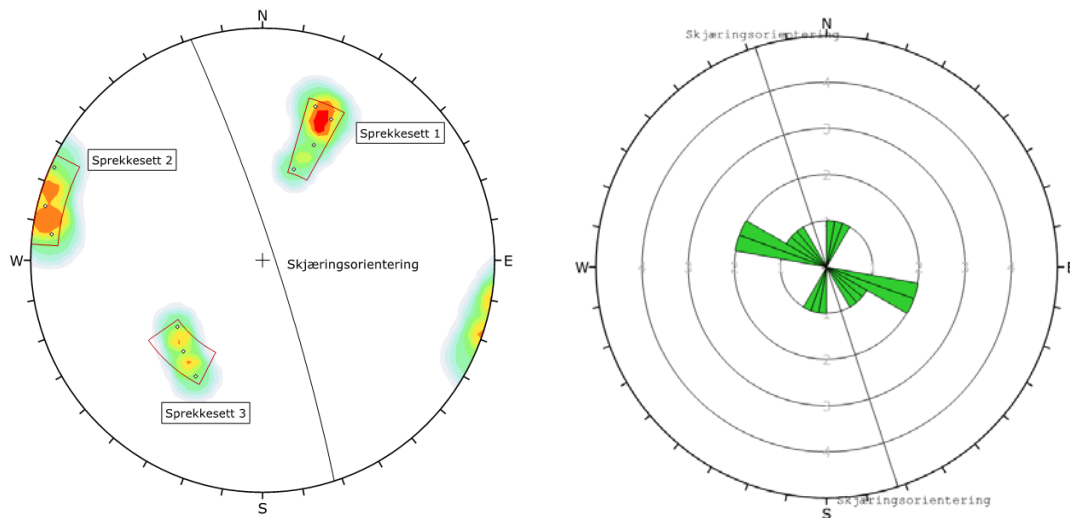
Et sikringsestimert for forskjæringene finnes i Tabell 7-5. Ved avdekking av skjæringen og ved sprengning må endelig omfang av sikringsbehov vurderes av fagpersonell på stedet.

Tabell 7-1: Forskjæring S, orientering av tolkede sprekkesett.

Sprekkesett	Fallvinkel	Fallretning	Sprekkeavstand	Sprekkelengde
1	45° - 70°	199° - 206°	0,3 - 0,4 m	< 5 m
2	85° - 89°	097° - 114°	80 cm - 1 m	< 2 m
3	50° - 60°	030° - 052°	Ikke observerbart	> 5 m

Tabell 7-2: Forskjæring S, sammenfattet resultat fra Kinematisk Analyse i Dips. Prosentene angir hvor stor andel av de målte strukturene som muliggjør hver løsnemekanisme. Dette er ikke en sannsynlighetsanalyse for utrasing.

Løsnemekanisme	% Kritisk Vest	% Kritisk Øst
Planar Sliding	10 %	0 %
Planar Sliding (No limits)	30 %	40 %
Wedge Sliding	36 %	27 %
Flexural Toppling	0 %	10 %
Direct Toppling	10 %	0 %

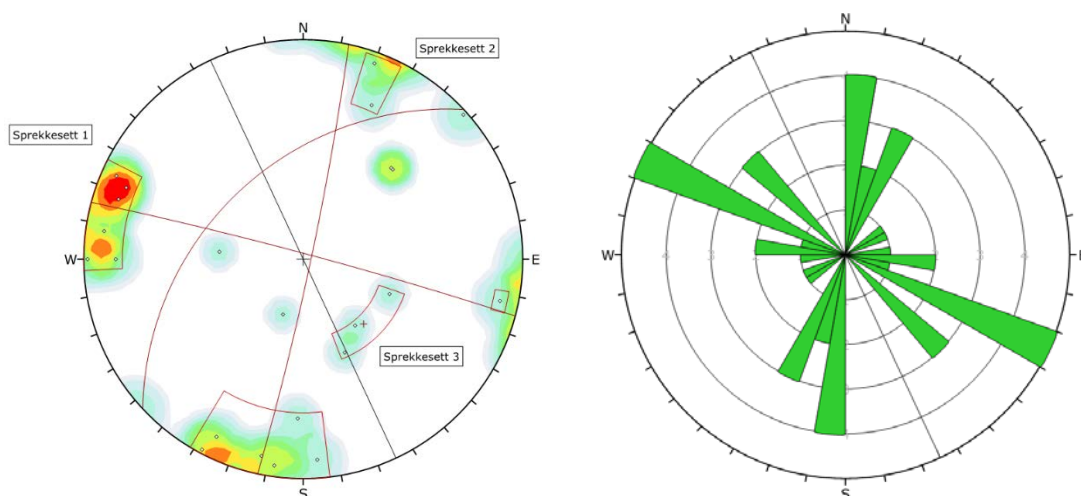


Figur 7-3: S50, stereoplott med sprekksettetolkning og sprekkerose.

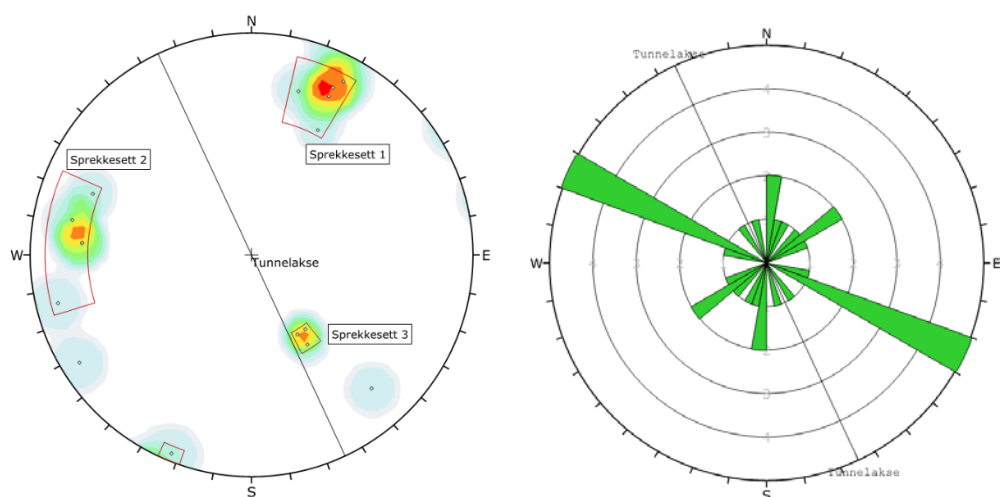
7.2.3 Tunneltrasé

Det ble målt inn sprekker ved tre lokasjoner i tillegg til ved påhuggsområdene. Det ble observert tre sprekksett på hver av lokasjonene. S47 har færrest målinger og ble i hovedsak brukt for å måle inn svakhetssonen som ble observert i terrenget. S45 og S46 har begge to steilstående sprekksett med omtrentlig samme orientering, og det tredje sprekksettet er med noe lavere vinkel. Figur 7-4, Figur 7-5 og Figur 7-6 viser stereoplott og sprekkeroser for lokasjonene S45, S46 og S47. Kjerneboring K002, har det nord-sørgående sprekksettet, i tillegg et sprekksett som ligner sett 1 i S45 og sett 2 i S46.

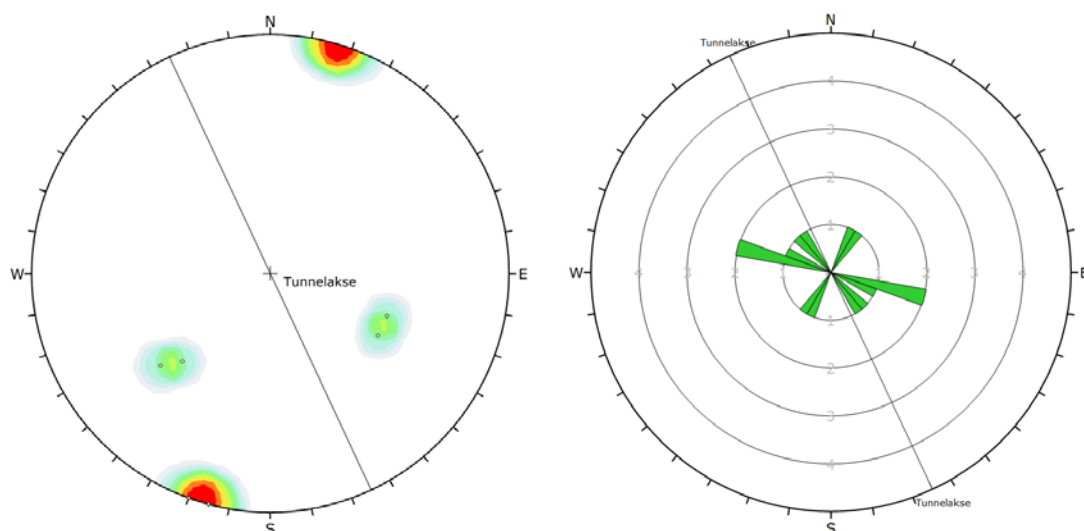
Det forventes noe utfall i vederlaget. Det er ikke registrert mange sprekker hverken i kjerneboringer eller i felt, som har samme orientering som tunneltraséen, men unntak av noen sprekker i kjerneboring K003.



Figur 7-4: S45 Stereoplott og sprekkerose. Tunneltrasé er tegnet inn med sort strek.



Figur 7-5: S46, Stereoplott og sprekkerose. Tunneltrasé er tegnet inn med sort strek.



Figur 7-6: S47 stereoplott. Kun seks målinger utført ved denne lokasjon, i hovedsak for å fastslå orientering til svakhetssone.

7.2.4 Forskjæring Nord og påhugg

Tolkninger under befarings: Det er utført totalt 45 strukturmålinger ved flere lokaliteter som viser at det finnes 3 tydelige sprekkeseett med noen sporadiske sprekker. Det subhorisontale sprekkeseett varierer noe i både vinkel og orientering og ble kun observert ved S43 og S44. RQD ble i felt vurdert til >80.

Tolkning av strukturmålinger og stabilitet: Tabell 7-3 viser de tolkede sprekkeseettene og deres sprekkeavstand. Figur 7-7 viser sprekkemålingene i et stereoplott, med tolkede sprekkeseett. Tabell 7-4 gir en oppsummering av resultatene fra Dips (figurer fra den kinematiske analysen og kortfattet data omkring det, kan sees i vedlegg 2).

Løsnemekanismer: I vestre skjæringsvegg er det risiko for plan utglidning, kileutglidning og utvelting. Det vurderes dermed at vestre skjæring har behov for systematisk sikring. Sprekkesett 1 er ugunstig orientert for den østre side av skjæringen med henblikk på fleksurell utvelting. Bergmassen vurderes til å ha behov, vekselvis for spredt bolting og systematisk bolting.

For påhugget regnes registreringene fra kjerneborehull K001 å være mest relevante. Orienteringen til de forventede sprekkesettet gir ikke aktuelle løsnemekanismer, men det er registrert mange sporadiske sprekker som kan gi grunnlag for alle løsnemekanismer. Det er indikert en svakhetszone fra geofysikken, som kan komme nær påhuggsflaten, nesten parallelt med den, det kan medføre ytterligere sikringsbehov. Bergmassen vurderes til å ha behov for vekselvis spredt bolting og systematisk bolting, i tillegg til sprøytebetong, bolter og fjellbånd i forbindelse med etablering av påhugget.

Et sikringsestimat for forskjæringene finnes i Tabell 7-5. Ved avdekking av skjæringen og ved sprengning må endelig omfang av sikringsbehov vurderes av fagpersonale.

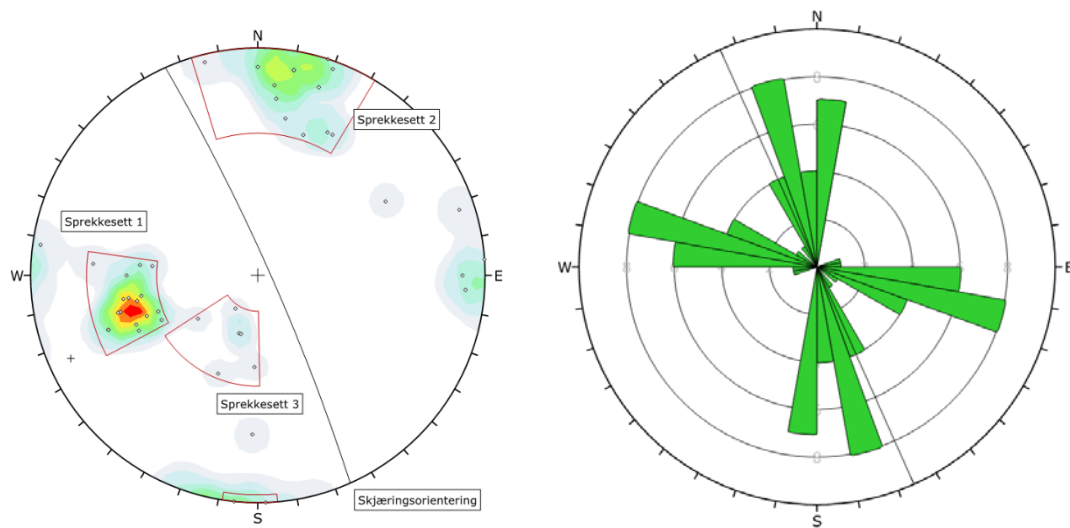
Tabell 7-3: Forskjæring Nord, sprekkeregistreringer. Sammenfattet fra R1, M14, S43 og S44.

Sprekkesett	Fallvinkel ²	Fallretning	Sprekkeavstand	Sprekkelengde
1	59°	078°	0,1 – 1,5 m	1 m - > 3 m
2	81°	190°	< 1 m	2 – > 7 m
3	34°	023°	< 1 m	>5 m

Tabell 7-4: Forskjæring Nord, sammenfattet resultat fra Kinematisk Analyse i Dips. Prosentene angir hvor stor andel av de målte strukturene som muliggjør hver løsnemekanisme. Dette er ikke en sannsynlighetsanalyse for utrasing.

Løsnemekanisme	% Kritisk Vest	% Kritisk Øst
Planar Sliding	31 %	2 %
Planar Sliding (No limits)	50 %	13 %
Wedge Sliding	61 %	13 %
Flexural Toppling	7 %	29 %
Direct Toppling	4 %	7 %

² Fallvinkel og fallretning er tatt for senterpol for settet.



Figur 7-7: Forskjæring Nord, stereoplott med sprekkeseett-tolkning og sprekkerose, skjæringsorienteringen er for den vestre skjæringen i stereoplottet.

7.2.5 Sikringsestimat forskjæringer og påhuggsflater

For prosjektets forskjæringer og påhuggsflater er det foretatt en vurdering av sikringsomfang for hver enkelt skjæring. Ut ifra dette er sikringsmengde estimert for forskjæringene. Svakhetssoner som krysser skjæringene kan medføre behov for tyngre sikring lokalt innenfor avgrensede områder. Sognemur, eller andre egnede tiltak kan være nødvendige for å holde tilbake løsmasser, her nevnes spesielt søndre forskjæring.

Estimatet er basert på det som kunne observeres i den ingeniørgeologiske kartleggingen, i tillegg til erfaringer fra tilsvarende bergmasser. Dette er kun et innledende estimat, basert på nåværende geometri, endelig fastsetting av sikringsomfang må gjøres i byggefasen, se kapittel 11. Spesielt for bergskjæringene med høyde over 10 meter er det knyttet usikkerhet til behov for lange bolter og stag. Total- og detaljstabilitet må avklares i anleggsfasen, når bergmassen er avdekket.

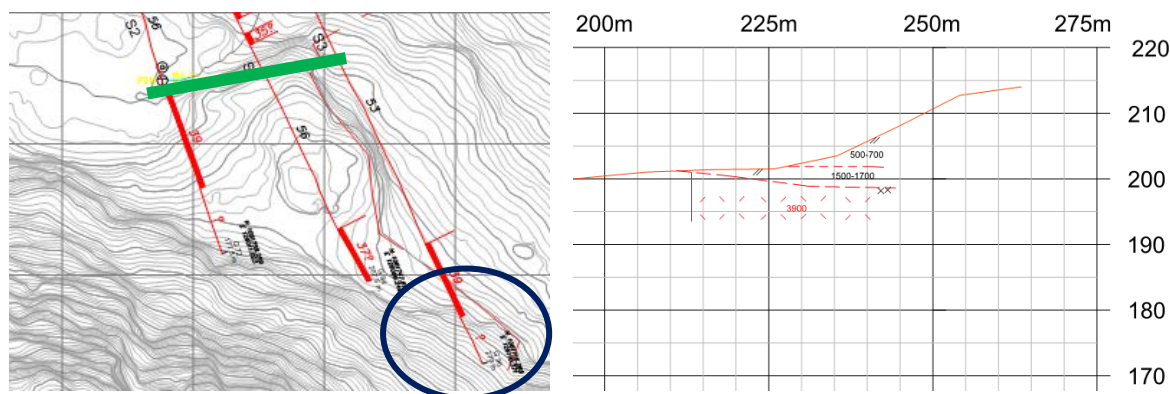
Forskjæringene og påhuggsflater antas å kunne sikres med en kombinasjon av systematisk og spredt bolting, i tillegg til andre sikringsmidler. Det er tatt med 200 m³ sprøytebetong, buer og fjellbånd for sikring av påhugg. Det må påregnes bruk av forbolter både på påhuggsflatene og i forbindelse med forskjæringene. Det totale estimerte sikringsomfang for forskjæringer og påhuggsflate er angitt i Tabell 7-5. Det må i tillegg påregnes rensk.

Tabell 7-5: Estimert sikringsomfang for forskjæringer og påhuggsflater.

Sikringsmetode	Mengde	Enhet
Bolter	1300	stk
Steinsprangnett	2550	m ²
Forbolter	1560	stk
Sprøytebetong	215	m ³
Fjellbånd	400	stk
Buer	12	stk

7.3 Bergoverdekning

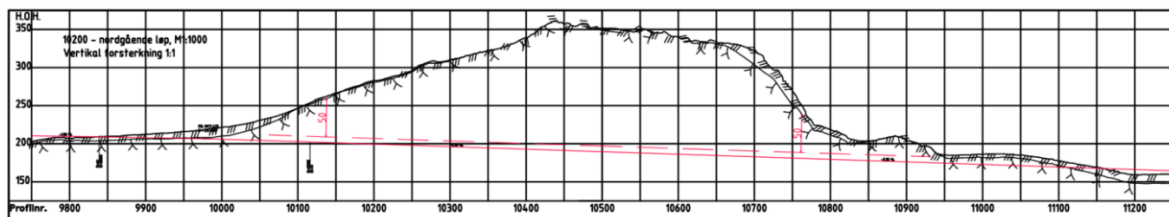
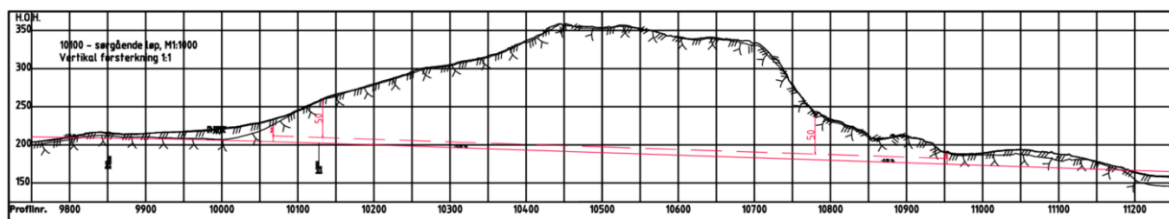
Bergoverdekningen i tunneltraseen er, med unntak av påhuggsområdene, og den nordre del av tunnelen, >50 m. Spesielt i den nordre del av tunnelen, fra omkring profil 10775 og til 10875 går tunnelen under et område med urmasser og fra refraksjonsseismikk i området, kan en økning i løsmassemekktigheten observeres. Figur 7-8 viser refraksjonsseismikk i området og Figur 7-9 viser bilder fra området. Refraksjonsseismikklinjene i påhuggsområdet er S2, S1 og S3 (fra vest mot øst). Det er usikkert hvor dyp ura i området er, det anbefales å sonderbore for overdekning og bergkvalitet i nordre området av traseen, omkring profil 10775-10850. Det henvises til samlerapport for geofysikk for ytterligere detaljer om refraksjonsseismikken [15]. Figur 7-10 viser bergoverdekning langs lengdeprofilen. De vedlagte tverrprofilene fra det nordre området av tunnelen viser også antatt bergoverdekning basert på bergmodellen, se tegninger V141 og V144.



Figur 7-8: Refraksjonsseismikk ved nordre påhugg, påhugget er indikert med grønn strek. Det er noe usikkert i enden av S3, blå sirkel, grunnet urmasser og siste del av linjen, men det observeres en forventet lavhastighetszone.



Figur 7-9: T.h.: S41, bilde mot sør, urmassene sees her. T.v.: Ur, bilde mot vest.



Figur 7-10: Oversikt bergoverdekning. Markering ved 50m overdekning (profil 10140 og 10780). Vær oppmerksom på at dette er lengdeprofil for senterlinje for tunneløpene. Det henvises til

7.4 Bergspenninger

Det er ikke utført bergspenningsmålinger. I områder med lav overdekning kan det forventes stabilitetsproblemer som følge av lav innspenning. I nord er fjellsiden bratt, men tunnelen går ikke tett på fjellsiden, slik at det ikke forventes problemer med anisotropiske spenninger i det området.

7.5 Svakhetssoner

Lineamenter, som daler og forsenkninger, er ofte tegn på en svakhetszone. Svakhetssoner kan komme av svake bergartslag (svake bergarter, men også skyveplan, forkastningssoner og gangbergarter) eller tektoniske soner (spaltesoner og knusningssoner).

Det er under befarung målt inn en tolket svakhetszone ved lokalitet S47. Svakhetssonen ble observert med fall 89° og fallretning 015-020. Svakhetssoner med omtrent denne orientering observeres flere steder i relieffkartet. Refraksjonsseismikken indikerte også flere soner. Svakhetssonen ved lokalitet S27 var 5-10 m bred i dagen. I bergmasseklassifiseringen, er alle soner antatt 10 m bredde, men sonenes forløp, utholdenhet og eksistens mot dypet er ukjent. Unntaket er den svakere sonen som ble avdekket i kjerneboring K001, som er av større mektighet. Svakhetssonene er tegnet inn i ingeniørgeologisk kart, tegning V120-V123.

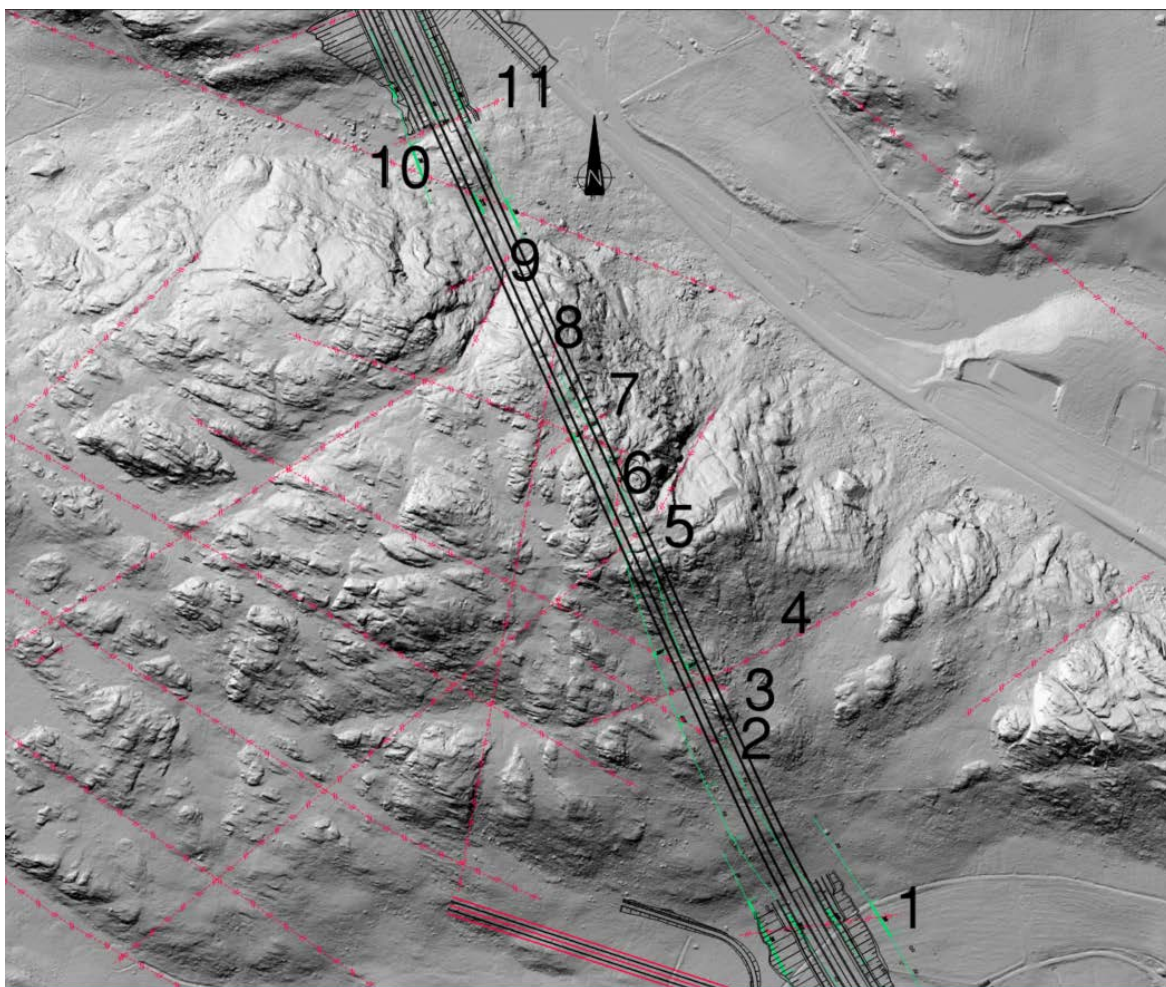
Figur 7-11 viser de tolkede svakhetssoner og relieffkart, Tabell 7-6 viser en oversikt over vinkelen mellom svakhetszone og tunnel. I listen under er sonene i Figur 7-11 beskrevet i litt nærmere detalj.

1. Refraksjonsseismikken indikerte en lavhastighetssone (2800 m/s – 3600 m/s) over alle fire linjer i søndre påhuggsområde. Dette området er dekket av løsmasser. Denne indikerte svakhetssonen krysser traseen i forskjæring Sør. Vinkelen mellom sonen og tunneltraseen er omkring 65° .
2. Refraksjonsseismikken indikerte kun lags den ene linja en lavhastighetssone (4000 m/s), denne ser ut til å krysse traseen omkring profil 10240. Vinkelen mellom sonen og tunneltraseen er omkring 40° .

3. Refraksjonsseismikken indikerte en lavhastighetszone (3500 m/s) omkring profil 10320. Vinkelen mellom sonen og tunneltraseen er omkring 40°.
4. Omkring profil 10310 er tolket en svakhetszone ut fra relieffkartet. Vinkelen mellom sonen og tunneltraseen er omkring 90°.
5. Omkring profil 10470 er det tolket en svakhetszone ut fra relieffkartet. sonen forventes å ha relativt steilt fall. Vinkelen mellom sonen og tunneltraseen er omkring 75°.
6. Omkring profil 10520 er det tolket en svakhetszone ut fra relieffkartet. Vinkelen mellom sonen og tunneltraseen er omkring 40°.
7. Refraksjonsseismikken indikerte en lavhastighetszone (3500 m/s) omkring profil 10600. Vinkelen mellom sonen og tunneltraseen er omkring 85°.
8. Omkring profil 10680 er det tolket en svakhetszone ut fra relieffkartet. Vinkelen mellom sonen og tunneltraseen er omkring 35°.
9. Omkring profil 10790 er det tolket en svakhetszone ut fra relieffkartet. sonen forventes å ha relativt steilt fall. Vinkelen mellom sonen og tunneltraseen er omkring 90°. Utgående for sonen sees i fjellsiden, og dermed får utgående som en "knekk".
10. Omkring profil 10875 er det en svakhetszone som sees på relieffkartet, i refraksjonsseismikken og i kjerneboringen. Vinkelen mellom sonen og tunneltraseen er omkring 55°.
11. Omkring profil 10950 er det tolket en svakhetszone som sees på relieffkartet og i en av linjene fra refraksjonsseismikken (3500 m/s). Vinkelen mellom sonen og tunneltraseen er omkring 90°.

Tabell 7-6: Oversikt over vinkel mellom tunneltrasé og svakhetszone (0-90°).

Svakhetszone nr.	Vinkel mellom sone og trasé [°]
1	65
2	40
3	40
4	90
5	75
6	40
7	85
8	35
9	90
10	55
11	90



Figur 7-11: Tolkede svakhetssoner overlatt relieffkart (WMS) og refraksjonsseismikk (farget grønt for synlighet).

7.6 Bergmasseklassifisering

Basert på utført kartlegging, kjerneboring, vurdering av overdekning, bergmassekvalitet, svakhetssoner og grovt estimat av bergspenninger, er det laget en vurdering av Q-verdi og tilhørende bergmasse- og sikringsklasse. Dette er den innledende vurderingen av sikringsklasse, som igjen fører til et anslag på sikringsmengder. Det endelige omfang må bestemmes av kompetent personale under utførelse.

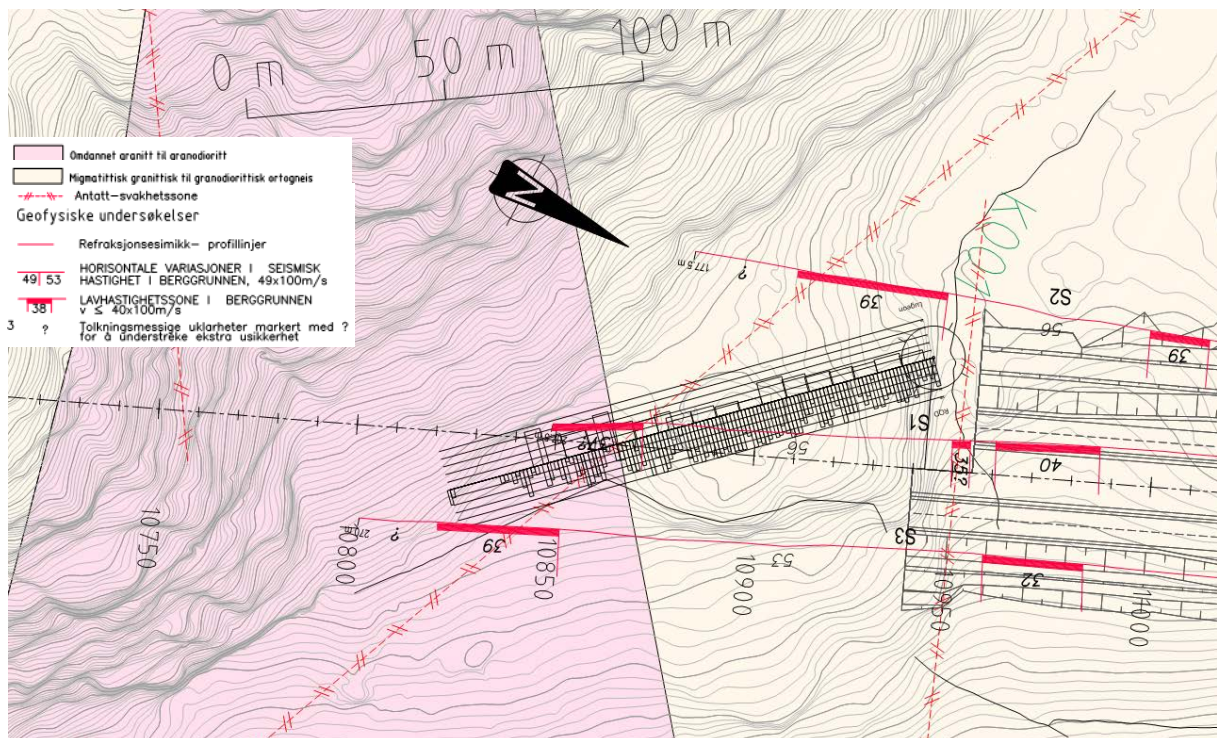
V520 har en tabell for bergsikringsmengder i vedlegg C, de samme fargene er brukt her for de forskjellige bergmasseklassene i Tabell 7-7. Disse fargene går også igjen i inndelingen i det ingeniørgeologiske lengdeprofilene, se tegning V145-V147.

Tabell 7-7: Sammenheng mellom bergmasseklasse, Q-verdi og sikringsklasse.

Bergmasseklasse	Q-verdi fra	Q-verdi til	Sikringsklasse
A/B	10	100	I
C	4	10	II
D	1	4	III
E1	0,2	1	IVa
E2	0,1	0,2	IVb
F	0,01	0,1	V
G	0	0,01	VI

Spesielt for området mellom pel 10750 og 10950 er det på forventet utfordringer på bakgrunn av berggrunnskart, topografi og feltbefaring. Refraksjonseismikken og kjerneboringen, K001, gir ytterligere indikasjoner på et mulig krevende område. Som det kan sees fra Figur 7-12 er det sammenfall mellom økt Lugeon-verdi, lav RQD og bergartsgrense. Berget har lavere RQD og markant høyere kjernetap mot slutten av borehullet enn i starten av hullet. Overdekningen er og noe mindre i dette området. Dette gjør at bergmasseklassen er vurdert til F og sikringsklassen som er forventet er V.

Bergmasseklassevurderingen er presentert i Tabell 7-8 og i lengdeprofilene i tegningene V142-V144.



Figur 7-12: Utsnitt av ingeniørgeologisk kart, V123, ved påhugg Nord. I denne figuren er det lagt til kjerneloggingsdiagram for K001, samt nordpil og målestokk. RQD registrert i K001 og tilhørende Lugeon verdier er representert langs antatt trase for K001. Det kan sees at RQD går ned i overgangen mellom bergartene. Dette sammenfaller også med svakhetssonen som er tolket fra terreng, indikert i refraksjonseismikken og som også gjenfinnes i kjerneboringen.

Tabell 7-8: Anslag av Q-verdier langs tunneløpet, med tilhørende bergmasseklasse.

Kommentar	Profilnummer		Lengde	Estimerte parameterverdier								Bergmasse-klasse etter Q
	Profil fra	Profil til		R Q D	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Est. Q*		
[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	
Søndre påhugg	10065	10080	15	35	24	2	2	0,66	2,5	0,39	E1	
Overgang til bedre overdekning	10080	10095	15	50	12	2	2	1	2,5	1,67	D	
K003 snitt	10095	10215	120	65	9	2,5	2	1	1	9,03	C	
Overgang	10215	10225	10	50	12	1	3	1	1	1,39	D	
Antatt sv. sone, refraksjonsseismikk	10225	10235	10	30	12	1	6	0,66	2,5	0,11	E2	
Overgang	10235	10245	10	50	12	1	3	1	1	1,39	D	
K003 snitt	10245	10290	45	65	9	2	2	1	1	7,22	C	
Overgang	10290	10300	10	50	12	1	3	1	1	1,39	D	
Antatt to sv. sonet, relieffkart	10300	10320	20	30	12	1	6	0,66	2,5	0,11	E2	
Overgang	10320	10330	10	50	9	2	4	1	2,5	1,11	D	
K002 normal	10330	10455	125	80	9	2,5	2	1	1	11,11	A/B	
Overgang	10455	10465	10	50	9	2	4	1	2,5	1,11	D	
Antatt sv. sone, relieffkart	10465	10475	10	30	12	1	6	0,66	2,5	0,11	E2	
Overgang	10475	10485	10	65	9	1,5	4	1	2,5	1,08	D	
K002 normal	10485	10500	15	80	9	2,5	2	1	1	11,11	A/B	
Overgang	10500	10510	10	50	9	2	4	1	2,5	1,11	D	
Antatt sv. sone, relieffkart	10510	10520	10	30	12	1	6	0,66	2,5	0,11	E2	
Overgang	10520	10530	10	65	9	1,5	4	1	2,5	1,08	D	
K002 normal	10530	10570	40	80	9	2,5	2	1	1	11,11	A/B	
Overgang	10570	10580	10	65	12	2	4	1	2,5	1,08	D	
Antatt sv. sone, refraksjonsseismikk	10580	10600	20	30	12	1	6	0,66	2,5	0,11	E2	
Overgang	10600	10610	10	65	12	2	4	1	2,5	1,08	D	
K002 normal	10610	10660	50	80	9	2,5	2	1	1	11,11	A/B	
Overgang	10660	10670	10	65	12	2	4	1	2,5	1,08	D	
Antatt sv. sone, refraksjonsseismikk	10670	10680	10	30	12	1	6	0,66	2,5	0,11	E2	
Overgang	10680	10690	10	65	12	2	4	1	2,5	1,08	D	
Fjellside	10690	10720	30	70	9	1,5	2	1	2,5	2,33	D	
Antatt bergartsgrense, NGU, i.o.	10720	10730	10	50	12	1	3	0,66	2,5	0,37	E1	
Fjellside	10730	10775	45	60	9	1,5	2	0,66	2,5	1,32	D	
Svakhetssone relieffkart	10775	10790	15	30	12	1	6	0,66	2,5	0,11	E2	
Svakhetssone relieff/kjerneboring	10790	10860	70	15	15	2	8	0,5	10	0,01	F	
Antatt bergartsgrense, NGU, i.o.	10860	10870	10	35	9	2	8	0,66	5	0,13	E2	
Overgang mot ba grense	10870	10880	10	40	9	2	8	1	1	1,11	D	
K001 normal	10880	10930	50	70	9	2	6	1	1	2,59	D	
Overgang	10930	10940	10	60	9	1,5	4	1	2,5	1,00	E1	
Nordre påhugg	10940	10950	10	60	18	1,5	6	0,66	5	0,11	E2	

7.7 Sikringsestimat tunnel

I N500 står det at sikringsestimatet skal gjøres i henhold til tabell 6.1 i N500, se i Tabell 7-9. Det henvises også til Tegning V125 for skisse av sikringsmengder for de enkelte bergmasseklasser. Det gjøres oppmerksom på at dette er et innledende estimat, og at endelig sikringsomfang må fastsettes i byggefasen, se kapittel 11. Tabell 7-10 viser en oversikt over lengde av bergmasseklasser og sikringsklasser for Tindafjelltunnelen. Tabell 7-11 viser estimerte sikringsmengder for tunnelen.

Tabell 7-9: Bergmasseklasse, bergforhold og tilhørende sikringsklasse.

Bergmasseklasse	Bergforhold Q-verdi (sprengt berg)	Sikringsklasse Permanent sikring
A/B	Lite oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand > 1m. Q = 100 - 10	Sikringsklasse I - Spredt bolting - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm
C	Moderat oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand 0,3 - 1 m Q = 10 - 4	Sikringsklasse II - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm - Systematisk bolting c/c 2 m
D	Tett oppsprukket bergmasse eller lagdelt skifrig bergmasse. Midlere sprekkeavstand < 0,3 m. Q = 4 - 1	Sikringsklasse III - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 100 mm - Systematisk bolting c/c 1,75 m
E1	Svært dårlig bergmasse. Q = 1 - 0,2	Sikringsklasse IV - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm - Systematisk bolting, c/c 1,5 m
E2	Svært dårlig bergmasse. Q = 0,2 - 0,1	Sikringsklasse IV - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm - Systematisk bolting, c/c 1,5 m - Armerte sprøytebetongbuer. Buedimensjon E30/6 ø20 mm, c/c buer 2-3 m, Buene boltes systematisk, c/c bolt = 1,5 m, boltelengde 3-4 m - Sålestøp vurderes
F	Ekstremt dårlig bergmasse. Q = 0,1 - 0,01	Sikringsklasse V - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150-250 mm - Systematisk bolting, c/c 1,0 - 1,5 m - Armerte sprøytebetongbuer Buedimensjon D60/6+4, ø20 mm, c/c buer 1,5- 2 m Buene boltes systematisk, c/c 1,0 m, boltelengde 3-6 m Doble buer kan erstattes med gitterbuer. - Armert sålestøp, pilhøyde min. 10 % av tunnelbredden
G	Eksepsjonelt dårlig bergmasse, stort sett løsmasse, Q < 0,01	Sikringsklasse VI - Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt

Tabell 7-10: Anslag på fordeling av bergmasseklasser og sikringsklasser for et enkeltløp av Tindafjelltunnelen.

Bergmasseklasse	Q-verdi	Sikringsklasse	Andel av tunnel [%]	Lengde ett løp [m]	Lengde to løp [m]
A/B	>10	I	26	230	460
C	10-4	II	19	165	330
D	4-1	III	31	270	540
E1	1-0,2	IVa	4	35	70
E2	0,2-0,1	IVb	13	115	230
F	0,1-0,01	V	8	70	140
G	<0,01	VI	0	0	0

Tabell 7-11: Estimert bergsikringsmengder for Tindafjelltunnelen med tunnelprofil T10,5, (to løp)³.

Bergsikring	Estimert mengde	Kommentar
Bolter	12 200 stk	
Forbolter	8 500 stk	
Sprøytebetong E700	2 130 m ³	Sprøytebetong for armerte sprøytebetongbuer og sålestøp kommer i tillegg.
Sprøytebetong E1000	4 280 m ³	
Armerte sprøytebetongbuer	175 stk	
Sålestøp	140 m i sikringsklasse V, hvor det anbefales armert sålestøp, pilhøyde min. 10 % av tunnelbredden og 230 m i sikringsklasse IVb hvor sålestøp skal vurderes.	

7.8 Hydrogeologiske forhold

Tunnelen går gjennom Tindafjellet (376 m.o.h.) som er et lokalt høydepunkt i terrenget. Den normale årsnedbøren i området er stor, rundt 2100 millimeter. Størstedelen av regnet som faller på fjellet vil dreneres nedover fjellet på alle sider. Nydannelsen av grunnvann vurderes som beskjeden, i størrelsesordenen 10-20% av regnmengden. Det meste av vannet vurderes derfor til å renne bort som overflatevann. Se Figur 7-13 for vannveier over fjellet basert på høydedata.

Den nordlige og østlige siden av Tindafjellet består av steile bergsider uten særlig vegetasjon. Ved det nordlige påhugget, i Bjønndalen, er terrenget beskrevet under befaring som svært vått. Ved påhugget var det overflateavrenning mot øst. Inntrykket under befaring var at vannet i Bjønndalen kom som overflatevann ned fra Tindafjellet.

Oppå Tindafjellet stikker bart berg opp i langsgående rygger med tilnærmet strøk på 310°. Trauene mellom ryggene er dekket av tolket morenemasse. Mektigheten til løsmassene i trauene antas å stå i relasjon til avstanden mellom ryggene, rundt 5-10 meter. Under befaring ble disse løsmassene vurdert som våte. Den magasinerende kapasiteten til disse løsmassene vurderes som liten på grunn av dens begrensede mektighet og utbredelse.

Fra toppen av Tindafjellet og mot sør og vest faller berget slakere enn mot nord og øst. Terrenget i sør har omtrent 10° helning. Løsmassedekket er tynt ved toppen av fjellet, men øker i mektighet lenger ned mot den sørlige tunnelportalen. Berget ble her observert med issikringsstriper.

Ved tunnelens sørlige ende er det i K003 registrert en Lugeon verdi opptil 7. Dette beskrives som moderat og representerer berg med få og delvis åpne sprekker. I K002 lengere mot nord er det registrert opptil Lugeon verdi 5 i omtrent samme dybde som tunnelen. I dette hullet ble det observert en sone med større grad av oppsprekking mellom 165 og 170 meter i dybde, med RQD på 44, uten at dette økte Lugeon verdien i dette intervallet. I tunnelens nordlige ende ved K001 er det

³ Det vil bli behov for ytterligere sikringsmidler for tverrforbindelser, nisjer, sjakter og andre utvidelser. Disse er ikke tatt med i estimatet.

registrert en Lugeon verdi på opptil 9. Lugeon verdiene er samlet sett relativt moderate. Det er funnet leire i sprekke, særlig i K001, som kan forklare at det er målt moderate Lugeon verdier, selv når berget er meget oppsprukket.

På grunn av det tynne løsmassedekket og bart berg på Tindafjellets overside og lav grad av oppsprekking utenom svakhetssonen i den nordlige delen, vurderes Tindafjellets magasinerende kapasitet som liten. Konduktiviteten i berget vurderes samlet sett som moderat.

Tunnelen har en maksimal overdekning på omtrent 160 meter. Sprekkekartleggingen gjort i felt og i orientert kjerne viser at berget har to steile sprekkesett. Om disse sprekke har stor utstrekning kan det være hydraulisk forbindelse opp til dagen. Dette kan føre til høye vanntrykk i tunnelen.

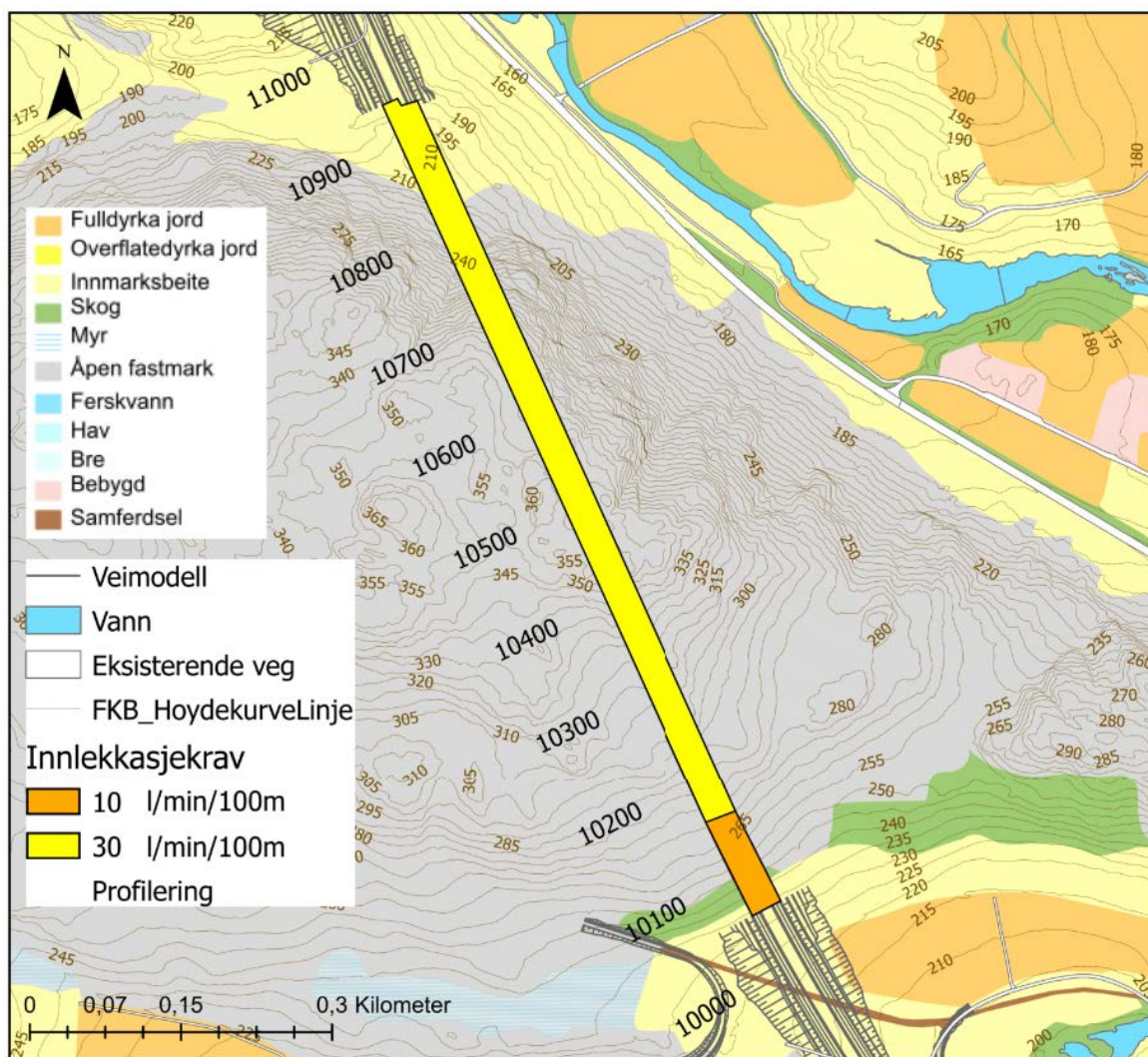


Figur 7-13. Vannveier over Tindafjellet basert på høydedata.

7.8.1 Innlekkasjekrav

Lekkasjekravene er satt med hensyn på konsekvensen som et endret grunnvannssystem vil ha. Det er utført en konsekvensutredning av naturpåvirkningen til hele prosjektet [32]. I konsekvensutredningen nevnes ikke naturen over Tindafjellet spesifikt i sammenheng med mulig grunnvannssenkning. I arealtypekartet til Nibio finnes det en myr omtrent 150 meter vest for den sørlige tunnelportalen, se Figur 7-14. Denne myren ligger over tunnelsålen. Over og til øst for den sørlige portalen finnes det skog. Særlig myra, men også skogen, kan påvirkes om grunnvannspeilet endres som følge av innlekkasje til tunnelen.

På selve Tindafjellet er det anlagt 3 vindmøller med kraftlinje som går mot nord. Disse konstruksjonene vil ikke påvirkes negativt av et senket grunnvannspeil eller endret grunnvannstrøm, siden vindmøllene er forankret i fjell.



Figur 7-14: Arealtyper ved Tindafjellet (NIBIO, AR5) og valgte innlekkasjekrav.

Konsekvensen av innlekkasje vurderes derfor generelt som liten, med unntak i den sørlige enden hvor det er en myr og noe skog som kan påvirkes. Innlekkasjekravet, samlet for begge tunneløp, settes derfor til 10 l/min/100 meter i den sørlige enden og til 30 liter/min/100 meter for resten av tunnelen. Lekkasjekravene, kan ses i Tabell 7-12 og Figur 7-14.

10 l/min/100 m er et rimelig krav, for å minimere risiko for uakseptabel senkning av grunnvannsspeil ved myra (i ca. 150 m avstand fra tunnelen). Kravet støttes av SV publikasjon 103 "Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø" [33]. I denne publikasjonen er det konkludert at innlekkasje på 10 l/min/100 m typisk har resultert i en poretryksreduksjon på 2-3 m rett over tunnelen og at poretryksreduksjon typisk avtar med 2 m pr. 100 m avstand fra tunnelaksen. Dette tyder på at det i en avstand på 150 m fra tunnel kan forventes at det ikke lenger vil ses noen (betydelig) poretryksreduksjon.

Tabell 7-12: Inndeling av lekkasjekrav. Kravene gjelder for tunnellopene samlet.

Fra pel	Til pel	Lekkasjekrav l/min/100m
10063 (start tunnel i sør, sørgående løp)	10164	10
10164	10932 (slutt tunnel i nord, sørgående løp)	30

Lekkasjen inn til tunnelen, og dermed behovet for injeksjon, styres av forekomsten av åpne sprekker. Fra Lugeonmålingene antas berget stedvis å ha delvis åpne sprekker. Dette betyr at det også er risiko for lokale sprekker med tilhørende betydelig innlekkasje. Ved betydelig innlekkasje, kan det skape utfordringer under driving.

Omfanget av injeksjonsarbeider er vurdert med hensyn på nåværende viten om fjellets oppsprekking og de satte lekkasjekravene.

I sonen med krav om 10 l/min/100m forventes det injeksjon tilsvarende systematisk injeksjon. Under selve Tindafjellet, i området med krav om 30 l/min/100m forventes det stedvis innlekkasje og behov for injeksjon. Særlig i områdene rundt og i svakhetssonene forventes det at injeksjon tilsvarende systematisk injeksjon. Ved begge påhuggene samt de første 150 meterne i den nordlige enden er det lav overdekning. Dette gjør at utgang av injeksjonsmasse i dagen kan bli en utfordring. I den nordlige enden er det forventet svært dårlig bergkvalitet med leirfylte sprekker. Dette kan gjøre det vanskelig å oppnå god inntrenging med tilhørende dårlig injeksjonsresultat.

7.9 Miljøgeologiske forhold

Det er ikke avdekket syredannende bergarter under befarings, med det utelukkes ikke at en kan finne bergarter med syredannende potensiale under utførelsen [20].

8 Vibrasjoner

Veiledende grenseverdier for vibrasjoner fra bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk, NS 8141, har vært igjennom revisjoner og på tidspunktet for rapporten, er følgende versjoner gyldige:

- NS 8141:2001
- NS 8141-2:2013
- NS 8141-3:2014

Det anbefales at det i utførelsesfasen sjekkes hvilke standarder som er gjeldende, da det pågår revisjonsarbeid for NS8141-1.

I henhold til NS 8141:2001 skal omkringliggende bygninger og andre konstruksjoner som kan tenkes å bli påvirket av grunnarbeidet besiktiges før og etter at arbeidet er utført. Den anbefalte avstanden er, i henhold til NS 8141, 50 m for byggverk fundamentert på berg og 100 m for byggverk fundamentert på løsmasser. Ved omfattende sprengningsarbeider, skal et større område for besiktigelse vurderes.

Ved lokasjon S45 står det en vindmølle nær den planlagte tunneltraseen, her forventes det behov for oppfølging i utførelsen, og det forventes krav om vibrasjonsmålinger og grense for tillatte vibrasjoner.

9 Driveforhold

Det kan i områder med lav overdekning eller dårlig bergmassekvalitet, være aktuelt med forsiktig sprengning og redusert og halve salvelengder. Som det kan sees i Tabell 7-10, er det strekninger i tunnelen med bergmasseklasse E1, E2 og F. Det ble i K001 funnet noe som kunne være svellende sprekkemateriale, dermed kan det være potensiale for svelleleire i tunnelen. Ved mistanke om dette under driving, bør det tas prøver og sikring må tilpasses eventuell svelleleire.

Ved det søndre påhugg er det en svakhetssone omtrent akkurat i påhugget, her kan det bli aktuelt å flytte påhugget for å komme ut av svakhetssonen, hvis den opptrer slik som refraksjonsseismikken indikerer. Bergmassen har RQD <50 de første 10 m i K003.

Av refraksjonsseismikken og flyfoto sees de markerte svakhetssoner i terrenget, noen av disse vil krysse traseen og vil i sin utstrekning kreve ekstra sikring.

Fra profil 10775 og til omkring profil 10875 er det lav overdekning, en antatt svakhetssone (indikert av refraksjonsseismikken, delvis påvist av kjerneborehullet) og det er et lengre parti med bergmasseklasse F. Her kan det være utfordringer med boring og lading under driving.

Det nordre påhugget ligger nær (og høyere enn) eksisterende E39, dette må hensyntas under utførelse.

Sonderboring i en lengde på minst 25-30 m under utførelse er sterkt anbefalt og i et område anbefales sonderboring for overdekning og bergkvalitet. Dette for å fortløpende kunne vurdere behovet for injeksjon og for å redusere sannsynligheten for punktlekkasjer med høyt trykk. I områder der det forventes svakhetssoner, anbefales det å injisere uavhengig av resultatet på innlekkasjemålingene da injeksjonsmassen også kan ha en stabiliserende effekt på bergmassen.

Eventuelle større innlekkasjer og/eller innlekkasjer med høye trykk vil kunne forringe fremdriften, øke kravet til standard og vedlikehold av anleggsveien og øke kapasitetskravet til pumper og rensbassenger. Det anbefales at det etableres måleterskler, slik at en har oversikt på faktisk innlekkasje og fortløpende kan vurdere dette opp mot innlekkasjekrav og prosjektert kapasitet på pumper og bassenger.

Innlekkasjer kan også gi utfordringer med gysing av sikringsboltene ved at mørtelen blir skylt ut. Boltelengdene må tilpasses både sikringsklasse og evt. injeksjonsskjermer slik at en ikke punkterer injeksjonsskjermene. Bolter som ikke kan gyses pga. vann anbefales tettes med injeksjon av polyuretan eller tilsvarende. Det er kun gyste sikringsbolter som inngår i permanent sikringen.

Ved etablering av permanent vann- og frostsikring anbefales det at det monteres et lag med membran lokalt bak PE-skummet, dette for å øke levetiden på sikringen.

10 Påpekning av usikkerheter og spesielle risikoer

Det går en høyspentledning ved den søndre forskjæringen og påhugget. Ved det nordre påhugget er det en strømkabel fra vindmølleparken som må håndteres i anleggsfasen. Nærheten til vindmølleparken, og spesielt den ene vindmølla, må hensyntas i utførelsen.

I K001 ble det funnet belegg som kunne indikere svelleleire, men det var ikke nok til å teste, dette må følges opp i utførelsesfasen.

Skredsikring må utføres slik at riggområdet er sikkert og på en måte at arbeidet med skredsikringen ikke kommer i konflikt med drivingen av tunnelen.

Sprengning vil i det nordre område foregå nær eksisterende E39 noe som kan innebære sperring av veien i korte perioder. Ved søndre påhugg er det en mindre veg og adkomst til vindmølleparken må hensyntas i anleggsfasen.

Det er i prosjektet generelt gitt en fleksibilitet på ± 2 m i alle retninger. I rapporten er det tatt utgangspunkt i de gjeldende modeller og tegninger. En eventuell løfting av traseen vil redusere overdekningen, dette må hensyntas i påhuggsområdene og i profil 10775-10850 spesielt. Ved forskyvning ± 2 m horisontalt, vil det redusere sidetaket, dette gjelder spesielt ved østlig forskyvning ved profil 10775-10850.

11 Oppfølging i byggefasen

Under etablering av forskjæringene, må berget fortløpende kartlegges etter avdekking/sprengning med ingeniørgeologisk kompetanse. Dermed kan stabilitetsforholdene vurderes nærmere og uttaksmetode, helninger for bolter og forskjæringer (skal helninger følger for eksempel den dominerende foliasjonsstruktur eller ikke), omfang for permanent sikring tilpasses de geologiske forholdene.

Det bør etterstrebes en helhetlig forståelse av de ingeniørgeologiske forhold, og derfor bestemmes rekkefølge, eventuell fortløpende sikring, begrensninger av boret dybde, salvestørrelse, omfang av permanent sikring etc. i samråd med ingeniørgeolog.

Det gjøres oppmerksom på at de deler av prosjektet som faller inn under geoteknisk kategori 3, også i utførelsesfasen skal ha uavhengig kontroll (jf. N200/EC 07, og kort beskrevet avsnitt 4).

Anleggets dagsoner må følges opp av en ingeniørgeolog som vurderer endelig utforming av skjæringene, samt behov for permanente sikringstiltak.

I henhold til Statens vegvesen håndbok N500 skal geologisk kartlegging utføres i hele tunnelens lengde og i hele tunnelprofilen [1].

Prosjektet må ha tilstrekkelig bemanning med den nødvendige kompetanse ut fra forventede geologiske utfordringer. Minst én person må ha ingeniørgeologisk kompetanse. Vedkommende skal ha overordnet faglig ansvar for permanent sikring og sørge for:

- At det utarbeides kvalitetssikringssystem for geologisk kartlegging, sikring og dokumentasjon. Dokumentasjonen bør inneholde følgende:
 - Tegning eller skissering av geologiske forhold og geologiske data under driving av tunnel.
 - Fotografering av hver salve (bør gjøres etter vask og før betongsprøyting, eventuelt i samarbeid med byggherre/entreprenør).
 - Registrering av ingeniørgeologiske data i programvaren Novapoint Tunnel (eller tilsvarende), med sammenstilling og kontroll mot utført sikring.
- Prøvetaking av leirmaterialer fra svakhetssoner, sprekker og slepper for videre analyser i laboratorium.
- Utføre deformasjonsmålinger i større svakhetssoner, spesielt ved påvisning av svelleleire.
- At berget blir kartlagt for å bestemme omfang og metode for permanent sikring, registrere og dokumentere geologi og utført sikring iht. gjeldende krav.
- Måling av innlekkasje og vurdering av injeksjonsbehov.
- Å følge opp vibrasjonskrav i forhold til sprengning.
- Å utarbeide ingeniørgeologisk sluttrapport med angivelse av fremtidig inspeksjonsbehov.

Det presiseres at den ingeniørgeologiske oppfølgingen inkluderer forskjæringerne. Da det er vanskelig å fastsette den optimale plassering av påhuggene uten at løsmassene er avdekket, anbefales det å legge opp til tett dialog mellom involverte ingeniørgeologer når endelig påhuggsflate skal bestemmes.

Arbeidene må følges opp tett, og kvalitet av materialer og utført arbeid må kontrolleres. I organisasjonen må det være personer med kompetanse til kontinuerlig å verifisere gyldigheten av prosjekteringsforutsetningene, til raskt å kunne vurdere behov for justeringer, og med myndighet til å gjennomføre disse.

12 Referanser

- [1] Statens Vegvesen, "Håndbok N500 Vegtunneler," Statens Vegvesen, 2021.
- [2] Statens Vegvesen, Håndbok N200 Vegbygging, 2021.
- [3] NS-EN 1997-1:2004+NA:2008, Eurocode 7: Geoteknisk prosjektering, del 1: Allmenne regler, 1997/2004/2008.
- [4] M. Marker and T. Slagstad, *Berggrunnskart HØLE 1212 I, M 1:50 000*, Norges geologiske undersøkelse, 2018.
- [5] M. Marker and T. Slagstad, *Berggrunnskart BJERKREIM 1212-2, M1:50 000*, Norges geologiske undersøkelse, 2018.
- [6] NGU, "Berggrunn N250," 2019. [Online]. Available: http://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/. [Accessed 2019].
- [7] NGU, "Berggrunn N50," 2019. [Online]. Available: http://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/. [Accessed 2019].
- [8] NGU, "Løsmassedatabase," 2019. [Online]. Available: http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/. [Accessed 2019].
- [9] NGU, "Grus-, pukk- og steintippdatabasen," 2019. [Online]. Available: http://geo.ngu.no/kart/grus_pukk_mobil/. [Accessed 2019].
- [10] NVE, "Aksomhetskart," Noregs vassdrags- og energidirektorat , 2020. [Online]. Available: <https://gis3.nve.no/link/?link=aktsomhet>.
- [11] Kartverket, "Høyde DTM skyggerelieff sømløs WMS," Kartverket, 2019. [Online]. Available: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>. [Accessed 2019].
- [12] NGU, "GRANADA," [Online]. Available: <http://geo.ngu.no/mapserver/GranadaWMS2>.
- [13] Statens Vegvesen/Norconsult, "Rapport ingeniørgeologi. E39 Lyngdal vest - Ålgård," Statens Vegvesen Region Sør, 10.12.2018.
- [14] Statens Vegvesen/Norconsult, "Kommunedelplan E39 Lyngdal - Ålgård Geoteknisk vurdering," 2019.
- [15] Multiconsult, "10216195-RIG-RAP-002 Samlerapport. Geofysiske undersøkelser," 2020.
- [16] COWI AS, "Fagrapport geoteknikk E39 Bue - Ålgård reguleringsplan," 2022.
- [17] Multiconsult, «10216195_RIG-RAP-001 Datarapport grunnundersøkelser,» 2020.
- [18] COWI AS, "RAP_GEO_Kjernelogging," 2020.
- [19] COWI AS, "Ytre miljøplan E39 Bue - Ålgård," 2021.
- [20] COWI AS, "E39 Bue - Ålgård: Overordnet vurdering forekomst syredannende berg," 2020.
- [21] St. prp. nr. 4, "Om verneplan for vassdrag," 1972-73.
- [22] Multiconsult, "Anbefalte hensynssoner for sårbare arter av fugl," 2018.

- [23] COWI AS, "Ingeniørgeologisk rapport bergskjæringer," 2021.
- [24] M. Marker, T. Bjerkgård, E. Erichsen, H. Gautneb, S. Gjelle, T. Haldal, P. Ihlen, A. Korneliussen, B. Lund, G. Meyer, J. S. Sandstad, H. Schiellerup, T. Slagstad, A. Solli, A. Ulvik and K. Wolden, "Sluttrapport for Rogalandsprogrammet 2000-05," NGU, 2006.
- [25] M. Marker, "Geologiske undersøkelser innenfor Rogalandsprogrammet - Statusrapport for 2003," NGU, 2004.
- [26] Skred AS, "20106-01-1 Reguleringsplan E39 Bue - Ålgård: Skredfarevurdering og kostnadsestimat av skredsikring," 2020.
- [27] Skred AS, *20106-02-1 Tilleggs vurdering nytt forslag til vegtrasé Søylandsdalen*, 2020.
- [28] Skred AS, "20106-03-2, Reguleringsplan E39 Bue - Ålgård: Vurdering av nye forslag til vegtrasé nord for Tindafjelletmht. skredfare," 30.11.2020.
- [29] Skred AS, "20106-04-1, Reguleringsplan E39 Bue - Ålgård Skredfarevurdering og kostnadsestimat av skredsikring," 05.11.2021.
- [30] M. institutt, "Norsk Klimaservicesenter," [Online]. Available: <https://klimaservicesenter.no/observations/>. [Accessed September 2020].
- [31] Norwegian Group for Rock Mechanics / Norsk Bergmekanikergruppe, Handbook No 2 Engineering Geology and Rock Engineering, 2000.
- [32] COWI, "Fagrapport KU Naturmangfold," Nye Veier, 2022.
- [33] Statens vegvesen, "Publikasjon 103; Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø," Statens vegvesen, Oslo, 2003.
- [34] Statens Vegvesen, Håndbok N500 Vegtunneler, 2016.

13 Vedlegg

1. Ingeniørgeologisk kart
 - V120-V123
2. Kinematisk analyse
3. Lengdeprofiler, oversiktskart, tverrprofiler
 - V140-V147