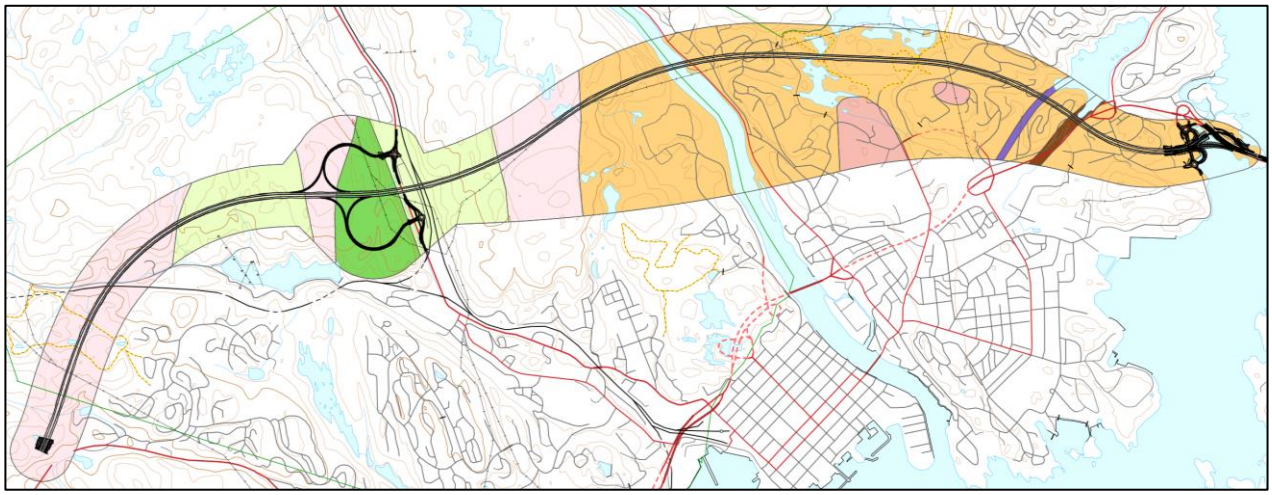


Juni 23

Detaljregulering E18 Ytre ringvei

Fagrapport ingeniørgeologi

Ingeniørgeologisk fagrapport for reguleringsplan

Nye Veier AS | Kjøita 6
4630 Kristiansand
nyeveier.no

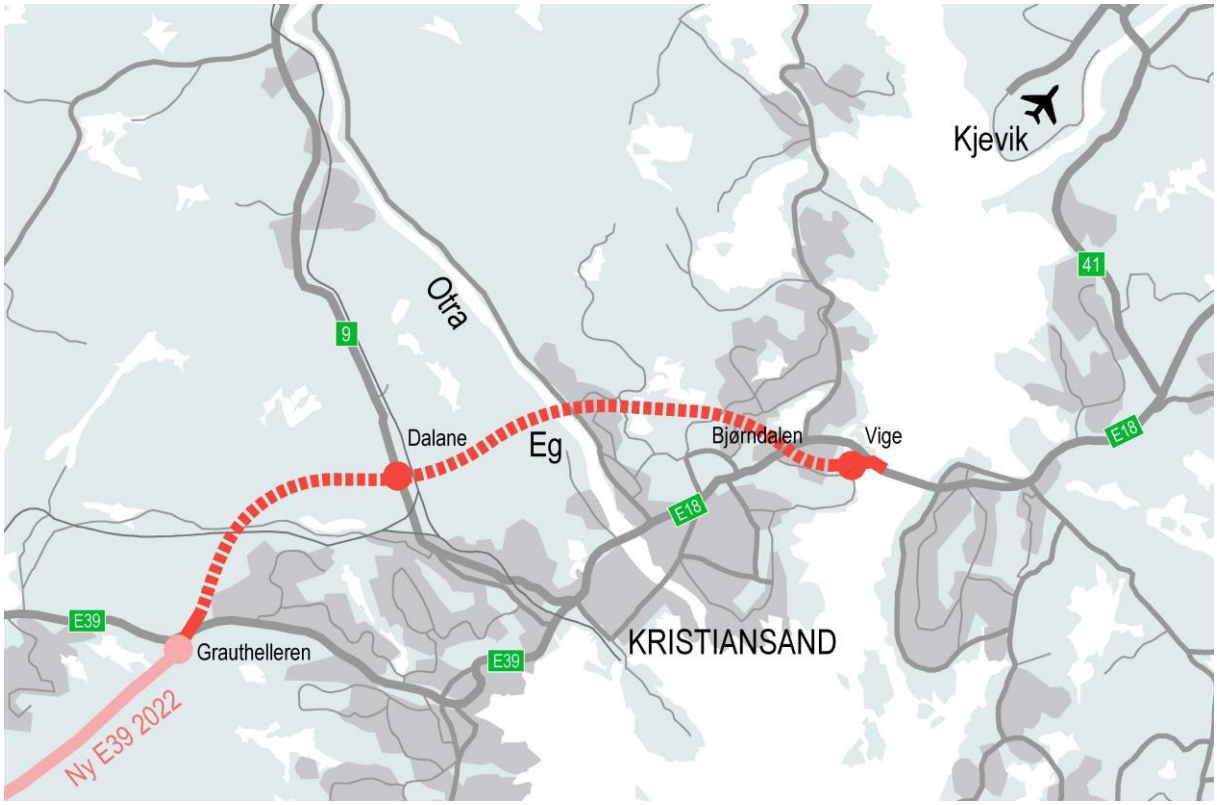
Oppdragsnr:	5206182
Oppdragsnavn:	Detaljregulering E18 Ytre ringvei
Dokument nr:	NV42E18YR-GEO-RAP-0001
Filnavn:	Fagrapport ingeniørgeologi

Revisjonsoversikt

Revisjon	Dato	Revisjon gjelder	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
c01	16.02.2022	Foreløpig versjon til tredjepartskontroll	AndeBe GurBoe	KriSae	TeFaa
c02	06.04.2022	For tredjepartskontroll	AndeBe GurBoe	KriSae	TeFaa
c03	29.08.2022	Oppdatert etter kommentarer fra tredjepartskontroll	GurBoe AndeBe	KriSae	TeFaa
d04	30.09.2022	For godkjenning hos Nye Veier	AndeBe	KriSae	TeFaa
e05	30.11.2022	For godkjennelse hos myndigheter	AndeBe GurBoe	KriSae	TeFaa
d06	26.05.2023	For kontroll hos oppdragsgiver	AndeBe	KriSae	TeFaa
e07	27.06.2023	For behandling hos kommunen	DeuTse	KriSae	TeFaa

Forord

E18 Ytre ringvei på stekningen fra Vige til Grauthelleren er en del av hovedveiforbindelsen forbi Kristiansand. Nye Veier AS har ansvar for planlegging, bygging og drift av denne veistrekningen.



På vegne av Nye Veier AS har Norconsult as utarbeidet Fagrapport ingeniørgeologi i forbindelse med reguleringsplanen for E18 Ytre ringvei. Fagrapport ingeniørgeologi er utarbeidet etter krav fra vegnormal N500 [1], N200 [2] og N400 [3], samt Vannressursloven [4], TEK17 [5] og plan- og bygningsloven [6], og inngår som en del av grunnlaget for utarbeidelse av Reguleringsplanen for E18 Ytre ringvei.

Kontaktinformasjon:

Fagansvarlig for ingeniørgeologi, Norconsult AS, Kristine Thorsen Sæthern, +4797574731, Kristine.Thorsen.Saethern@norconsult.com

Sammendrag

Norconsult utarbeider på oppdrag fra Nye Veier detaljreguleringsplan for Ytre ringvei i Kristiansand kommune. Strekningen går fra Vige til Grauthelleren og er på ca. 9,7 km, hvorav ca. 8,9 km er tunnel. Veien bygges som en 4-felts motorvei, med fartsgrense på 110 km/t på mesteparten av strekningen. Tunnelen bygges med to parallelle løp med tunnelprofil T10,5. Ytre ringvei starter i Vige med kryss mot E18. I Dalane bygges det et kryss i berg for tilkobling mot rv. 9. Det etableres separate tilførselstunneler for hvert av tunnelløpene. Ved Grauthelleren blir det en tilkobling mot ny og eksisterende E39.

Tunnelen skal i hovedsak drives igjennom forskjellige typer gneiser. Det er observert amfibolittisk gneis, granittisk gneis, båndgneis, glimmergneis og øyegneis ved ingeniørgeologisk feltkartlegging. Dette samsvarer med NGUs berggrunnskart. I tillegg er det registrert innslag av pegmatittlinser langs hele traseen. Bergmassen er generelt grovblokkig og av god til middels kvalitet (utenom svakhetssoner). Det er generelt registrert 3 sprekkesett pluss tilfeldige sprekker.

Det er utført en rekke grunnundersøkelser langs traseen. Totalsonderinger er utført for å verifisere bergoverdekning. Det er også utført geofysiske undersøkelser i form av elektrisk resistivitetstomografi (ERT), refraksjonsseismikk (tradisjonell og tomografisk tolkning) og akustisk profilering for å verifisere bergoverdekning og for å få indikasjon på plassering og orientering av potensielle svakhetssoner. Hammerhullsboring er utført i hovedsak for hydrogeologiske undersøkelser. Det er i tillegg utført borehullslogging for å kartlegge blant annet geologi og oppsprekking. I tillegg er det utført kjerneboring i Otra, Dalane og Kjerrane for å kartlegge svakhetssoner og for å få informasjon om bergmassekvalitet på tunnelnivå.

Bergoverdekningen over tunnelen er hovedsakelig god. Maksimal terrengoverdekning er på ca. 200 m. I enkelte partier skal tunnelen drives igjennom områder med liten bergoverdekning. Tunnelen krysser Dalane med ca. 15 m bergoverdekning, Kjerrane med ca. 10 m og under elva Otra med ca. 25 m. I tillegg er det forventet lav bergoverdekning i påhugg for nordre tilførselstunnel i Dalane (<5 m i planlagt påhugg).

Basert på utførte undersøkelser er det kartlagt minst 99 svakhetssoner som krysser eller kan påvirke tunnelen. Det er usikkerhet tilknyttet svakhetssonenes forløp mot dypet, og sonenes mektighet og bergmassekvalitet på tunnelnivå. Det er ved kjerneboring påvist svelleleire i svakhetssonene under Otra, Dalane og Kjerrane. Det kan forventes å påtreffe svelleleire også i andre svakhetssoner langs traseen. Her må det forventes omfattende bergsikring. De fleste sonene har en orientering på tvers av tunnelen, mens enkelte soner krysser tunnelen med spiss vinkel, slik at den påvirker tunnelen over en lengre strekning. Det kan ikke utelukkes at tunnelen vil påtreffe flere svakhetssoner enn det som er registrert fra ingeniørgeologisk feltkartlegging, kartstudier og grunnundersøkelser.

Påhugget i Vige etableres i et område med forventet god bergmassekvalitet. Påhuggsflaten blir opp mot 36 m høy. Påhugget ved Grauthelleren etableres i en svakhetssone med sideberg av forventet god kvalitet. Påhuggsflaten blir opp mot 45 m høy. I tillegg til påhugg for hovedløpene skal det etableres to påhugg i Dalane for tilførselstunneler. Begge påhuggene ligger i skredutsatte områder. Nordre påhugg etableres i urmasser.

Bergoverflaten under disse massene er ikke kartlagt. Endelig påhuggsplassering må derfor avklares etter at urmassene er avgravd.

Tunnelen drives under flere områder med setningsømfintlige løsmasser og fuktkrevende naturtyper. I disse områdene blir det nødvendig med systematiske tiltak for å tette berget slik at tettekravene tilfredsstilles. I resterende områder må tiltak vurderes fortløpende ved sonderingboring under driving av tunnelen.

Det er identifisert syredannende berg i borkaksprøver fra hammerhull. Disse prøvene er knyttet til dagberg og sprekkefyllinger. Det er ikke påvist på tunnelnivå, men det kan ikke utelukkes at deler av tunnelmassene er syredannende. Ingeniørgeologisk kartlegging under driving vil kunne avdekke behov for prøvetaking.

Resultater fra utførte tester på steinmateriale langs traseen indikerer varierende egnethet av sprengsteinen til bruk for ulike formål. Det antas at deler av massene kan gjenbrukes, men dette må verifiseres. Prøver fra enkelte punkter tilfredsstiller krav mekaniske egenskaper for bruk i bærelag og forsterkningslag i vei. Det vurderes at store deler av tunnelmassene kan benyttes i frostsikringslag i vei og potensielt i fyllinger.

Innhold

FORORD 3

SAMMENDRAG 4

1 INNLEDNING 8
1.1 Tiltaksbeskrivelse 8
1.2 Om rapporten 8
1.3 Geoteknisk kategori og pålitelighetsklasse 9
1.4 Krav til sikkerhet mot skred 10
1.5 Bestemmende krav for hydrogeologisk prosjektering 13
1.6 Grunnlagsmateriale 13

2 FAKTADEL – UTFØRTE GRUNNUNDERSØKELSER 14
2.1 Tidligere utførte grunnundersøkelser 14
2.2 Grunnundersøkelser i reguleringsplanfasen 15

3 FAKTADEL – BESKRIVELSE AV GRUNNFORHOLD 42
3.1 Topografi 42
3.2 Løsmasser 42
3.3 Avrenningsforhold og sårbar natur 43
3.4 Berggrunnsgeologi 43
3.5 Bergmassens detaljoppsprekking 46
3.6 Svakhetssoner 55
3.7 Radon 56
3.8 Bergarter med syredannende potensiale 56
3.9 Tunneler og bergrom nær tunnelen 58
3.10 Oppsummering faktadel 61

4 TOLKNINGSDEL – VURDERING AV GRUNNFORHOLDENE 63
4.1 Tolkning av svakhetssoner 63
4.2 Bergmassekvalitet 76
4.3 Bergoverdekning og bergspenninger 91
4.4 Vurdering av geotekniske forhold 93
4.5 Vurdering av potensielle stabilitetsproblemer i tunnel 93
4.6 Vurdering av påhuggsområder og forskjæringer 94
4.7 Vurderinger med hensyn til tunnelgeometri 106
4.8 Innledende vurdering av bratt sideterreng ved område for massedeponi ved Øygardsvann 107
4.9 Anvendbarhet av steinmateriale 107
4.10 Svelleleire 108

5 TOLKNINGSDEL – ANLEGGSGJENNOMFØRING 110
5.1 Vurdering av drivetekniske forhold 110

5.2 Grunnlag for fastsettelse av innlekkasjekrav 113
5.3 Sonderboring og injeksjon 114
5.4 Syredannende bergmasse 115
5.5 Fundamentering av konstruksjoner 115

6 GROVT ESTIMAT AV SIKRINGSMENGDER OG INJEKSJON I TUNNEL 118
6.1 Estimerte sikringsmengder 118
6.2 Estimerte injeksjonsmengder 118

7 OPPFØLGING I BYGGEFASE 120

8 RESTRISIKO OG VIDERE ARBEID 121

9 REFERANSER 122

Vedlegg

Vedlegg 1: Ingeniørgeologiske tegninger – plan, lengdeprofil og tverrsnitt

Vedlegg 2: Rapporter fra geofysiske undersøkelser

Vedlegg 3: Borehullslogger fra hammerhull

Vedlegg 4: Prøving av steinmateriale

Vedlegg 5: Ceequal tabell

Vedlegg 5 finnes i slutten av dette dokumentet, mens vedlegg 1-4 finnes i separate dokumenter.

1 Innledning

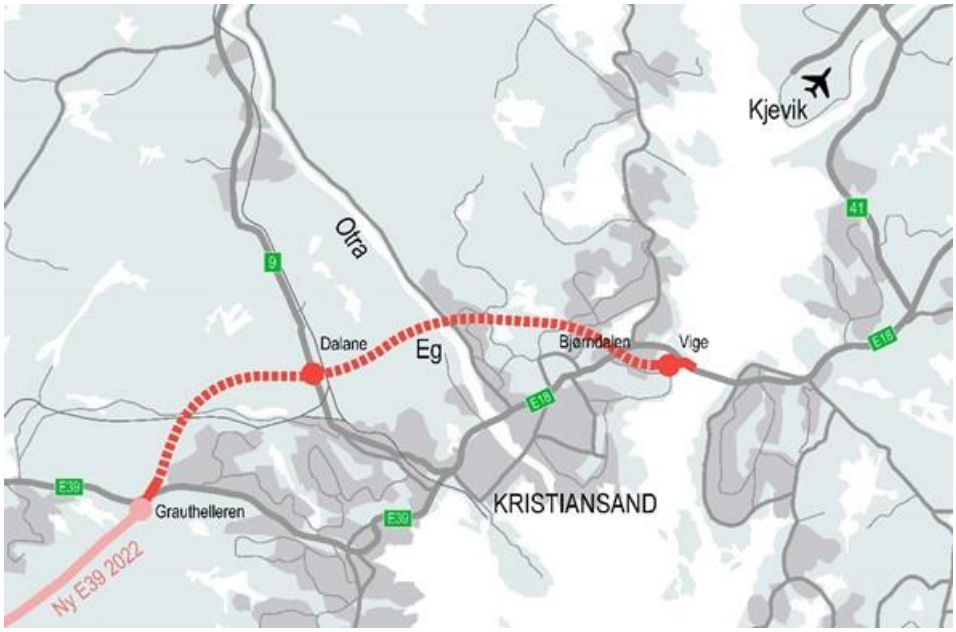
1.1 Tiltaksbeskrivelse

Norconsult utarbeider detaljreguleringsplan for Ytre ringvei i Kristiansand kommune på oppdrag fra Nye Veier AS. Ytre ringvei er om lag 10 kilometer og strekker seg fra Vige i øst til Grauthelleren i vest (figur 1-1). Veianlegget inngår i den 200 kilometer lange strekningen mellom Kristiansand i Agder og Ålgård i Rogaland som Nye Veier har ansvar for å bygge ut.

Ytre ringvei skal bygges for at transportkorridoren mellom Vige og Grauthelleren skal bli mer effektiv og mindre sårbar, samt for å avlaste dagens hovedveisystem gjennom Kristiansand sentrum. Veianlegget er planlagt med løsninger som har en positiv netto nytte per investert krone. I utformingen av veianlegget er det lagt stor vekt på å finne bærekraftige løsninger.

Ytre ringvei skal bygges som 4-felts motorvei, med fartsgrense 110 km/t på mesteparten av strekningen. Veien vil i hovedsak gå i tunnel. Det skal opparbeides to parallelle tunnelløp, et for østgående og et for vestgående trafikk. På bakkeplan vil veien få tilkobling til E18 i Vige, riksvei 9 i Dalane og E39 ved Grauthelleren.

Etablering av tunnelsystemet vil generere et masseoverskudd i størrelsesorden 3 millioner m^3 steinmasser. Reguleringsplanen sikrer mulighet for at masseoverskuddet kan fraktes til Mjåvannsområdet vest for Grauthelleren.



Figur 1-1: Oversiktsfigur av planlagt Ytre ringvei mellom Vige og Grauthelleren.

1.2 Om rapporten

Denne ingeniørgeologiske rapporten gir en geologisk beskrivelse og en ingeniørgeologisk tolkning av forholdene langs traseen for Ytre ringvei. Rapporten omhandler Otratunnelen med tilhørende rampe- og tilførselstunneler, forskjæringer og påhuggsområder i Vige, Dalane og Grauthelleren, skredfarevurderinger i Dalane, samt brufundamentering i Vige. Se

vedlegg 1 – tegning V501 og V502 for oversiktskart. For delene som omhandler tunnelen følger rapporten krav til geologiske forundersøkelser i reguleringsplanfasen gitt av Statens vegvesen vegnormal N500 *Vegtunneler* [1]. For delene som omhandler forskjæringer følger rapporten krav gitt i vegnormal N200 [2].

Rapporten er delt inn i to deler for å tydeliggjøre forskjellen mellom observasjoner/fakta og vurderinger/tolkninger:

- Del 1: Faktadelen, bestående av kapitlene 2 og 3, omhandler eksisterende grunnlagsmateriale og resultater fra utførte forundersøkelser/grunnundersøkelser. Faktadelen inneholder ikke vurderinger og tolkninger som går ut over de observerte eller dokumenterte geologiske forholdene.
- Del 2: Tolkningsdelen, bestående av kapitlene 4 og 5, omhandler vurderinger og tolkninger av geologiske forhold, slik som bergmassekvalitet, bergspenninger, stabilitet, og vurderinger av sikringsbehov og forinjeksjon. I kapitlene 6, 7 og 8 gjøres det vurderinger av restrisiko, gjenstående arbeid fram mot byggestart og anbefaling for videre oppfølging og undersøkelser i anleggsfasen.

I henhold til vegnormal N500 [1] skal ingeniørgeologisk fagrapport også beskrive hydro- og miljøgeologiske forhold. Det er utarbeidet en egen hydrogeologisk fagrapport [7] for dette prosjektet. I Fagrapport ingeniørgeologi gjengis kun hovedtrekkene fra denne rapporten. For detaljer henvises det til NV42E18YR-GEO-RAP-0004 Fagrapport hydrogeologi [7], NV42E18YR-YML-RAP-0003 Miljøprogram med miljøoppfølgingsplan [8] og NV42E18YR-YML-RAP-0006 Fagrapport forurensning [9].

Med mindre annet er angitt refererer profilnummer til vestgående løp.

1.2.1 Tegningsvedlegg til Fagrapport ingeniørgeologi

I 3D-modellen i ISY Prosjekt fremgår tunnelanlegget sammen med terreng, bergoverflate, utførte grunnundersøkelser, tolkning av svakhetssoner, prognose for bergkvalitet og anbefalte innlekkasjekrav for tunnelen. I GIS-modellen i ISY Prosjekt (2D/kartbasert) finnes resultater fra feltkartlegging, svakhetssoner, utførte grunnboringer, samt kartgrunnlag fra NGU (berggrunn og løsmassekart) og NVE (aktsomhetskart).

I henhold til vegnormal N500 [1] skal det utarbeides ingeniørgeologiske tegninger som vedlegg til fagrapporten. Etter avtale med Nye Veier er ikke kravet om målestokk 1:1000 (på A3) fulgt der det er hensiktsmessig med en mindre målestokk. De ingeniørgeologiske tegningene er basert på BIM-modellen.

1.3 Geoteknisk kategori og pålitelighetsklasse

I henhold til vegnormal N500 [1] klassifiseres vegtunnelprosjekter generelt i konsekvensklasse (CC) 3 og pålitelighetsklasse (RC) 3, og i særskilte tilfeller i pålitelighetsklasse 4. Otratunnelen krysser igjennom flere partier som i henhold til N500 må vurderes opp mot pålitelighetsklasse 4. Områdene som er vurdert til å klassifiseres i pålitelighetsklasse 4 er vist i tabell 1-1. Disse områdene klassifiseres i konsekvensklasse 3 og pålitelighetsklasse 4. Det vurderes at disse områdene utløser prosjekteringskontrollklasse

3 (PKK3) og utførelseskontrollklasse 4 (UKK4). De resterende områdene langs tunnelen klassifiseres i konsekvensklasse 3 og pålitelighetsklasse 3. Dette utløser prosjekteringskontrollklasse 3 og utførelseskontrollklasse 3. Denne kontrollen skal utføres av et uavhengig foretak.

Tabell 1-1: Områder med pålitelighetsklasse4 (RC4).

Område	Profilnummer (vestgående)	Bakgrunn for RC4
Bjørndalen	1570-1700	Tetthetskrav og tettbygd strøk
Otra	3860-4300	Ugunstige grunnforhold, tetthetskrav og tettbygd strøk
Dalane	6170-6350	Tettbygd strøk og ugunstige grunnforhold
Kjerrane	8450-8540	Ugunstige grunnforhold, bergoverdekning mindre enn spennvidde

Geoteknisk kategori for bergskjæringer settes i henhold til Eurokode 7 [10]. I henhold til vegnormal N200 [2] skal bergskjæringer over 10 m plasseres i geoteknisk kategori 3. Dette gjelder alle forskjæringer for påhugg, både i Vige, Dalane og Grauthelleren. Slike skjæringer legges i konsekvensklasse 3 og pålitelighetsklasse 3. Dette utløser prosjekteringskontrollklasse 3 og utførelseskontrollklasse 3.

I henhold til Eurokode 0, tabell NA.A1 (901) [11] plasseres bru og dets tilhørende fundamenter i pålitelighetsklasse 3 (CC/RC 3).

I Vige skal Ytre ringvei for kjørende retning vest føres i bru over E18 og sykkelekspressveien. Ett av fundamentene er forutsatt fundamentert på berg. På grunn av uoversiktlige grunnforhold, og der prosjektet påvirkes av grunnforholdene, vurderes vanskelighetsgraden som høy. Det er på bakgrunn av pålitelighetsklasse 3 og høy vanskelighetsgrad vurdert at fundamenteringsarbeidene for brua vil ligge i geoteknisk kategori 3, i henhold til Eurokode 7. Pålitelighetsklasse 3 tilsier prosjekteringskontrollklasse PKK3 og utførelseskontrollklasse UKK3, noe som medfører krav til utvidet kontroll av prosjektering og utførelse.

1.4 Krav til sikkerhet mot skred

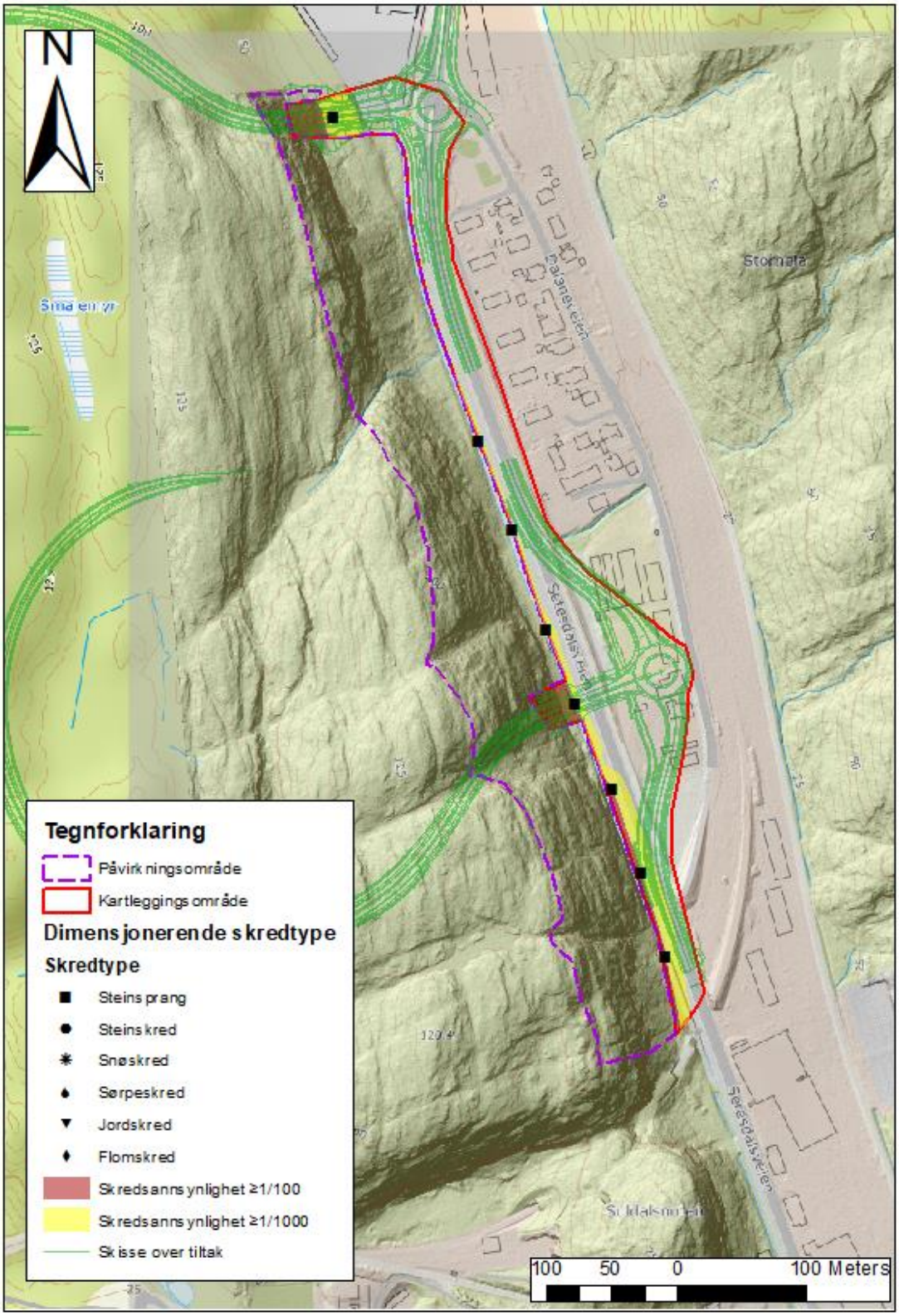
Det er utarbeidet en egen rapport som omhandler skred fra naturlig sideterreng, se rapport NV42E18YR-GEO-RAP-0002 [12]. I Dalane er det gjennomført en skredfarevurdering av påhuggsområder, veistrekning mellom påhuggsområdene, ny veistrekning ved søndre påhuggsområde, gang- og sykkelvei og fordrøyningsareal.

Det er steinsprang som er dimensjonerende skredtype for fastsettelse av faresoner innenfor kartleggingsområdet. Kartleggingsområdet er vurdert av Norconsult for sikkerhetsklasse S1 og S2 for skred i bratt terreng etter sikkerhetskrav i TEK17 §7-3 [5]. I tillegg er området

vurdert ut ifra sikkerhetskrav i N200 for ÅDT ≥12 000 og 6 000-11 999. Basert på skredfarevurderingen er faresone opptegnet for nominell årlig sannsynlighet ≥ 1/100 og ≥ 1/1 000 (figur 1-2).

Markerte deler av kartleggingsområdet vist på figur 1-2 tilfredsstiller ikke krav til sikkerhet mot skred for sikkerhetsklasse S1, S2 og sikkerhetskrav i N200 for ÅDT >12 000. Begge påhuggsområder ligger innenfor faresone S1. Planlagt gang- og sykkelvei ligger stort sett innenfor S2 langs søndre del av kartleggingsområdet. Bilveien med ÅDT >12 000 ligger kun innenfor S2 like utenfor søndre tunnelportal. Årlig nominell sannsynlighet for skred er større enn sikkerhetskravet for disse områdene. Områder utenfor markerte faresoner tilfredsstiller krav til sikkerhet mot skred for sikkerhetsklasser S1, S2 og sikkerhetskravene i N200. Fordrøyningsareal og bilvei med ÅDT 6 000-11 999 tilfredsstiller disse kravene.

Det er steinsprang fra skrenter innenfor påvirkningsområdet som utløser behov for sikringstiltak for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet mot skred for tiltak innenfor definerte faresoner (figur 1-2). Aktuelle sikringstiltak kan være spredt blokkbolting og bruk av steinsprangnett eller wirenett i skrenter. Fanggjerde kan også være et mulig sikringstiltak. Eventuelle sikringstiltak må detaljprosjekteres.



Figur 1-2: Oversikt over faresoner.

1.5 Bestemmende krav for hydrogeologisk prosjektering

Bygging av tunneler kan påvirke grunnvannet. Tetthetskravene er vurdert opp mot vannressursloven. Utredningskrav i Plan og bygningsloven kapittel 4 er relevant for områder med bebyggelse eller infrastruktur som er sårbare for setninger [6]. Tetthetskravene er beregnet ut ifra hensyn til både naturmiljø og setninger. Det henvises til NV42E18YR-GEO-RAP-0004 Fagrapport hydrogeologi [7] for detaljer.

1.6 Grunnlagsmateriale

Følgende grunnlagsmateriale er benyttet i forbindelse med utarbeidelse av denne rapporten:

- E18/E39 Ytre ringvei, Vige-Volleberg – Fagrapport ingeniørgeologi. Kommunedelplan. 2015 [13].
- E39 Kristiansand vest – Mandal øst. Sluttrapport sulfidholdig berg. 2020 [14].
- Vanntunnel Krossen – Dalane, vurdering av ras og sikringsarbeider. 1984 [15].
- Baneheia – driving, sikring, tetting. 2000 [16].
- Analyse av ingeniørgeologiske problemstillinger for Vågsbygdporten. 2012 [17].

Følgende kartdata er benyttet i forbindelse med utarbeidelse av rapporten:

- Berggrunnsgeologisk kart fra NGU i 1:250 000-skala [18].
- Kvartærgeologisk kart fra NGU i målestokk 1:50 000 [19].
- Aktsomhetskart for radon fra NGU [20].
- Skredhendelser og aktsomhetskart fra NVE [21].
- Nettbaserte kartverktøy: «Norgeibilder», «Norgeskart», «Google maps»

2 Faktadel – Utførte grunnundersøkelser

2.1 Tidligere utførte grunnundersøkelser

Det er utført grunnundersøkelser i prosjektområdet i flere omganger tidligere. Undersøkelsene er utført i tidligere faser av Ytre ringvei-prosjektet, men også i forbindelse med andre prosjekter. Spesielt er det utført omfattende undersøkelser på Eg i forbindelse med kvikkleirestabilitet på sykehusområdet og planlegging av bru mellom Eg og Sødal.

Statens vegvesen har utarbeidet ingeniørgeologisk rapport til kommunedelplan (KDP) for strekningen Vige-Volleberg [13]. Strekningen Grauthelleren-Volleberg er en del av prosjektet E39 Kristiansand vest – Mandal øst, som er under bygging. I forbindelse med KDP-fasen er det utført både geofysiske undersøkelser [22] og totalsonderinger. Det er også utført en feltkartlegging av utvalgte punkter lags traseen. På grunn av at traseen i reguleringsplan følger en annen korridor enn KDP-alternativet, har grunnundersøkelser fra KDP-fasen bare til en viss grad relevans for traseen i reguleringsplanen.

Vinteren 2020 ble det utført refraksjonsseismiske undersøkelser i Otra på oppdrag fra Nye Veier i forbindelse med en verdianalyse. Det ble utført flere profiler på tvers av elva. Disse er tolket ved hjelp av tomografisk inversjon. Profil OT04 ligger noe sør for traseen.

En oppsummering av tidligere utførte grunnundersøkelser over traseen er gitt i tabell 2-1. En sammenstilling av eksisterende undersøkelser er vist i BIM-modellen og i vedlegg 1 (tegning V511-V536). En oversikt over utvalgte og relevante geotekniske undersøkelser er gitt i geoteknisk datarapport [23].

Tabell 2-1: Oversikt over tidligere utførte grunnundersøkelser.

År	Type undersøkelse	Område	Bakgrunn/omfang	Referanse
2020	Refraksjonsseismikk – tolket med tomografisk inversjon	Otra	15 profiler på tvers av elva i forbindelse med verdianalyse Ytre ringvei.	Rambøll DK, prosjektnr. 1100040402 [24]
2015	Totalsonderinger	Vollevannet (tegning V511 og V512 i vedlegg 1)	Ytre ringvei KDP.	Statens vegvesen, rapport 2013038140-227 [25]
2015	Totalsonderinger	Sødal (tegning V515 og V516 i vedlegg 1)	Ytre ringvei KDP.	Statens vegvesen, rapport 2013038140-228 [26]
2014	Refraksjonsseismikk, ekkolodd	Trasé KDP	Ytre ringvei KDP. Profilene i Vollevannet, Bjørndalen og ved Nedre Jegersbergvann er relevant for valgt trasé i reguleringsplan.	Geophysix, prosjektnr. 13501 [22]
2009	Totalsonderinger	Bjørndalen (tegning V512 i vedlegg 1)	Utført i forbindelse med leilighetsutbygging i Bjørndalen.	Multiconsult, rapport 311890-1 [27]
1992	Refraksjonsseismikk, Akustisk profilering	Otra	Kartlegging av bergoverflate med hensyn til driving av tunnel under Otra.	GeoMap [28]

2.2 Grunnundersøkelser i reguleringsplanfasen

2.2.1 Generelt

I henhold til vegnormal N500 [1] skal alle grunnundersøkelser (for tunnel) være utført i reguleringsplanfasen. Det samme gjelder for skjæringer i henhold til vegnormal N200 [2]. Omfang av grunnundersøkelser er avklart forløpende med Nye Veier.

Følgende undersøkelser er utført i reguleringsplan:

- Ingeniørgeologisk feltkartlegging
- Geofysiske undersøkelser
    - Akustisk profilering
    - Refraksjonsseismikk (tradisjonell og tomografisk tolkning)

    - 2D resistivitetsmålinger (ERT)
- Totalsonderinger
- Kjerneboring
- Hammerhullsboring/borehullslogging
    - Vanntapsmåling
    - Optisk- og akustisk televiewer
    - Mekanisk caliper
    - Naturlig- og spektral gammastråling
    - Resistivitet i berg
    - Magnetisk susceptibilitet
    - Indusert polarisasjon
    - Temperatur og ledningsevne i vann
    - pH i vann
    - Impeller flowmeter (vannstrømning i borehull)

En sammenstilling av utførte grunnundersøkelser i reguleringsplanfasen er vist i BIM-modellen og i vedlegg 1 (tegning V511-V536).

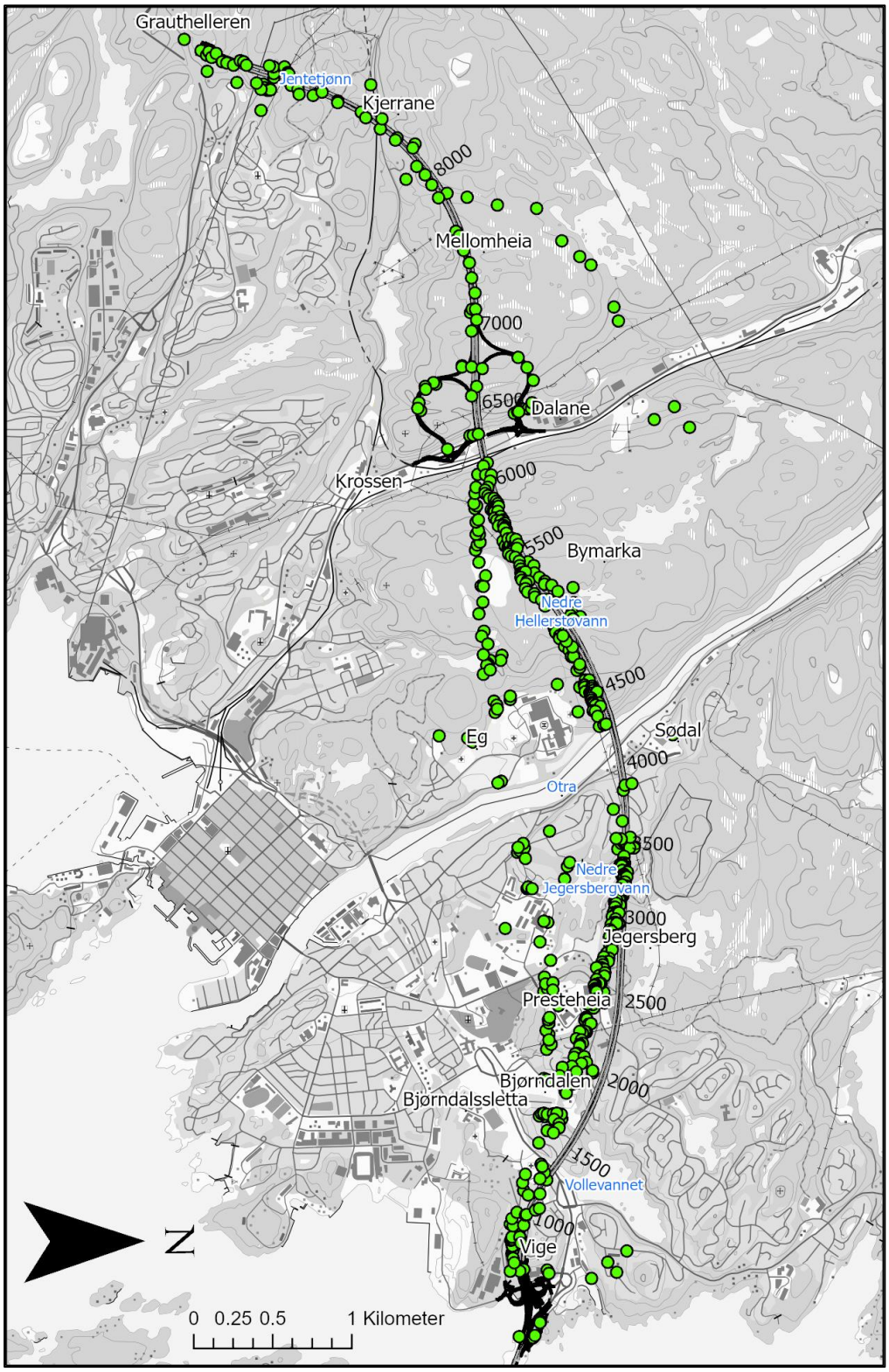
Undersøkelsene er utført i flere faser. Tidlig i prosjektet ble det utført undersøkelser over et større område for å danne grunnlag for trasévalg. Etter dette har det blitt foretatt suppleringer langs valgt linje for å tilfredsstille krav til omfang av grunnundersøkelser i vegnormal N500.

2.2.2 Feltkartlegging

Ingeniørgeologisk kartlegging langs tunneltraseen og ved påhugg/forskjæringer er utført oktober 2020, april 2021 og september 2021. En oversikt over deltakere og formål med de ulike befaringene er gitt i tabell 2-2. Områder der det er utført kartlegging fremgår i GIS-modellen og i figur 2-1. Figur 2-1 angir også relevante stedsnavn som er benyttet i rapporten.

Datainnsamlingen er gjort med digitale verktøy, slik at alle registreringer er koordinatfestet.

Hovedvekten av befarte punkter er bergblotninger i terrenget (ikke utsprengte skjæringer). Dette berget er ofte det mest motstandsdyktige mot erosjon. Berg dekket av løsmasser i nærheten av disse punktene kan derfor være av dårligere kvalitet. Registreringene kan derfor ha en tendens til å angi de bedre bergforholdene. Det kan derfor være en skjevhet i kartlagte Q-parametere.



Figur 2-1: Oversikt over stedsnavn og befarte områder. Befarte punkter er markert med grønt. Profilnummer for vestgående løp.

Det er ikke utført ingeniørgeologisk feltkartlegging direkte over tunneltraseen mellom profil ca. 1 300-3 000. Årsaken til dette er flytting av tunnellinjen i dette området etter at alle befaringer var utført. Det er vurdert at utført feltkartlegging er representativ for området hvor ny trasé er planlagt.

Tabell 2-2: Oppsummering av befaringer.

Periode	Deltakere	Formål
26.-28. oktober 2020	Kristine Thorsen Sæthern og Deuts Tse	Formålet med befaringen var å få en innledende oversikt over geologi, oppsprekking og bergmassekvalitet i forbindelse med valg av linje for teknisk plan.
19.-22. april 2021	Kristine Thorsen Sæthern og Anders Bergum Lauvli	Formålet med befaringen var å utføre en systematisk ingeniørgeologisk kartlegging over planlagt tunneltrasé, over område for kryss i berg i Dalane og ved påhugg/forskjæringer. Det er samlet inn data om bergmassekvalitet, oppsprekking, svakhetssoner, bergarter, mm.
Uke 19 2021	Skjalg Lie Bakken	Skredfarevurdering for påhugg og bussholdeplass i Dalane. Vurderingene fra denne kartleggingen er omtalt i en egen rapport [12].
7.-9. september 2021	Kristine Thorsen Sæthern og Deuts Tse	Formålet med befaringen var å utføre en systematisk ingeniørgeologisk kartlegging etter flytting av trasé mellom Vige og Dalane. Det er samlet inn data om bergmassekvalitet, oppsprekking, svakhetssoner, bergarter, mm.

2.2.3 Grunnboringer

Det er utført grunnboringer/totalsonderinger i utvalgte områder langs traseen. Disse boringene er hovedsakelig utført for å verifisere bergoverdekning, men også med tanke på karakterisering av løsmasser og vurdering av kvikkleirestabilitet. Se NV42E18YR-GTK-RAP-0002 Fagrapport geoteknikk for detaljer [23]. Resultatene fra boringene har vært med på å danne grunnlaget for bergmodellen.

Områdene der det er utført totalsonderinger er Vige, Bjørndalen/Bjørndalssletta, Jegersberg, Sødal, Otra, Eg, Dalane og Kjerrane. Det er utført totalt 317 totalsonderinger i forbindelse med utarbeidelse av detaljreguleringsplan.

Det er utført boringer fra flåte i Otra. Innmåling av bergoverflaten i disse hullene er beheftet med noe større usikkerhet enn boringene på land. For det første er det i noen av punktene ikke boret 3 m inn i berg. Dette på grunn av risiko for stangbrudd. For det andre er det usikkerheter knyttet til innmåling av elvebunnen. Denne innmålingen er basert på måling av vanndyp med målebånd. På grunn av strøm i elva har målebåndet ikke vært helt rett. Dette er forsøkt korrigert ved å sammenligne med lengden på foringsrør. I tillegg er massene på elvebunnen stedvis svært løse, slik at det er vanskelig å identifisere elvebunnen. Usikkerheten i innmålingen av bergoverflaten i Otra er antatt å være opp mot 1 meter (z-koordinat).

2.2.4 Geofysiske undersøkelser

Det er utført geofysiske undersøkelser i utvalgte områder. De forskjellige typene undersøkelser som er utført er akustisk profilering (refleksjonsseismikk), refraksjonsseismikk (både med tradisjonell og tomografisk tolkning) og elektrisk resistivitetstomografi (ERT).

Akustisk profilering er utført for å kartlegge bergnivå. Refraksjonsseismikk er utført for å kartlegge bergoverflatens forløp, samt for å få indikasjoner på bergmassekvalitet. ERT er hovedsakelig utført for å få indikasjoner på bergmassekvalitet og svakhetssoners forløp mot dypet. Resultatene fra undersøkelsene har vært med på å danne grunnlaget for bergmodellen. For detaljer henvises det til vedlegg 2.

Refraksjonsseismikk er utført i/ved Vige, Bjørndalssletta, Nedre Jegersbergvann, Otra, Eg, Bymarka, Dalane, Kjerrane, Jentetjønn og Grauthelleren. Det er samlet inn data langs totalt 49 linjer på til sammen 7 436 m. For profilene i Bymarka, Otra og ved Nedre Jegersbergvann er det i tillegg utført tomografisk tolkning. Totalt 2 256 m (14 profiler) er tolket med denne metoden. Tomografisk tolkning er utført for å kartlegge orientering av svakhetssoner (fallretning/fallvinkel).

Refleksjonsseismikk er utført i Otra. Det er samlet inn data langs to linjer på til sammen 3 800 m. Dette er utført som en supplering til tidligere utført akustisk profilering (utført av GeoMap i 1992 [28]) [28].

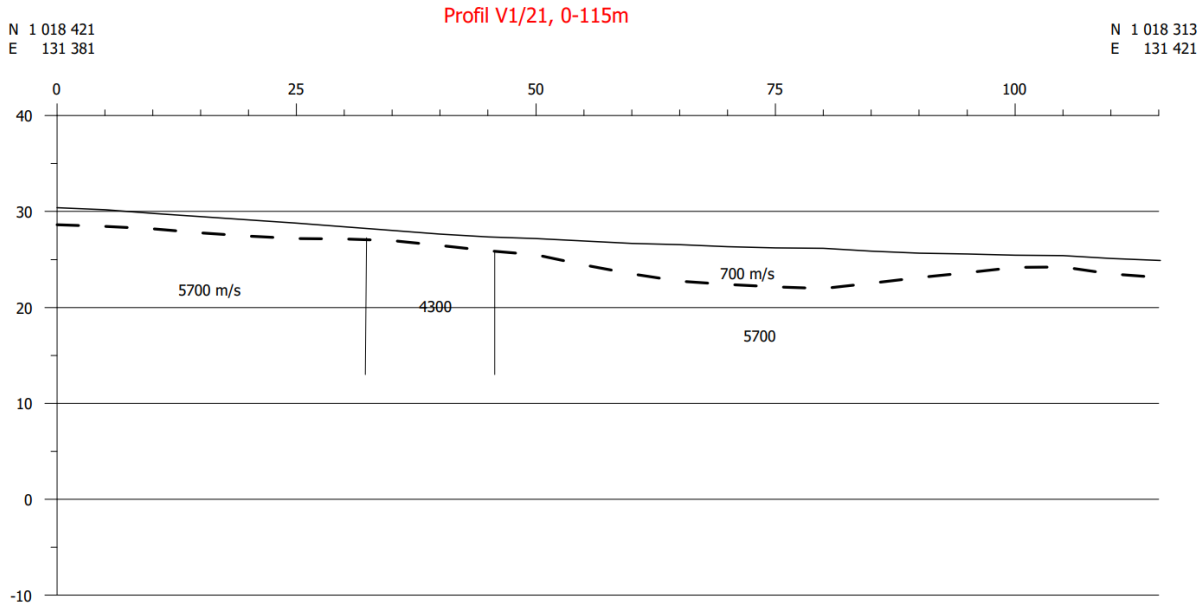
ERT er utført i Bymarka. Det er samlet inn data langs 7 linjer på til sammen 2 800 m.

2.2.4.1 Vige/Bjørndalssletta

Figur 2-2: Oversikt over utført refraksjonsseismikk ved Vige/Bjørndalssletta. Røde linjer indikerer lavhastighetssoner og er oppgitt i m/s.

Det er her utført totalt 8 profiler med refraksjonsseismikk (figur 2-2), V1-V8. I tillegg er det fra tidligere utført 4 profiler med refraksjonsseismikk i Bjørndalen og 6 profiler i Vollevannet i forbindelse med kommunedelplan for Ytre ringvei (figur 2-4 og figur 2-5) [22].

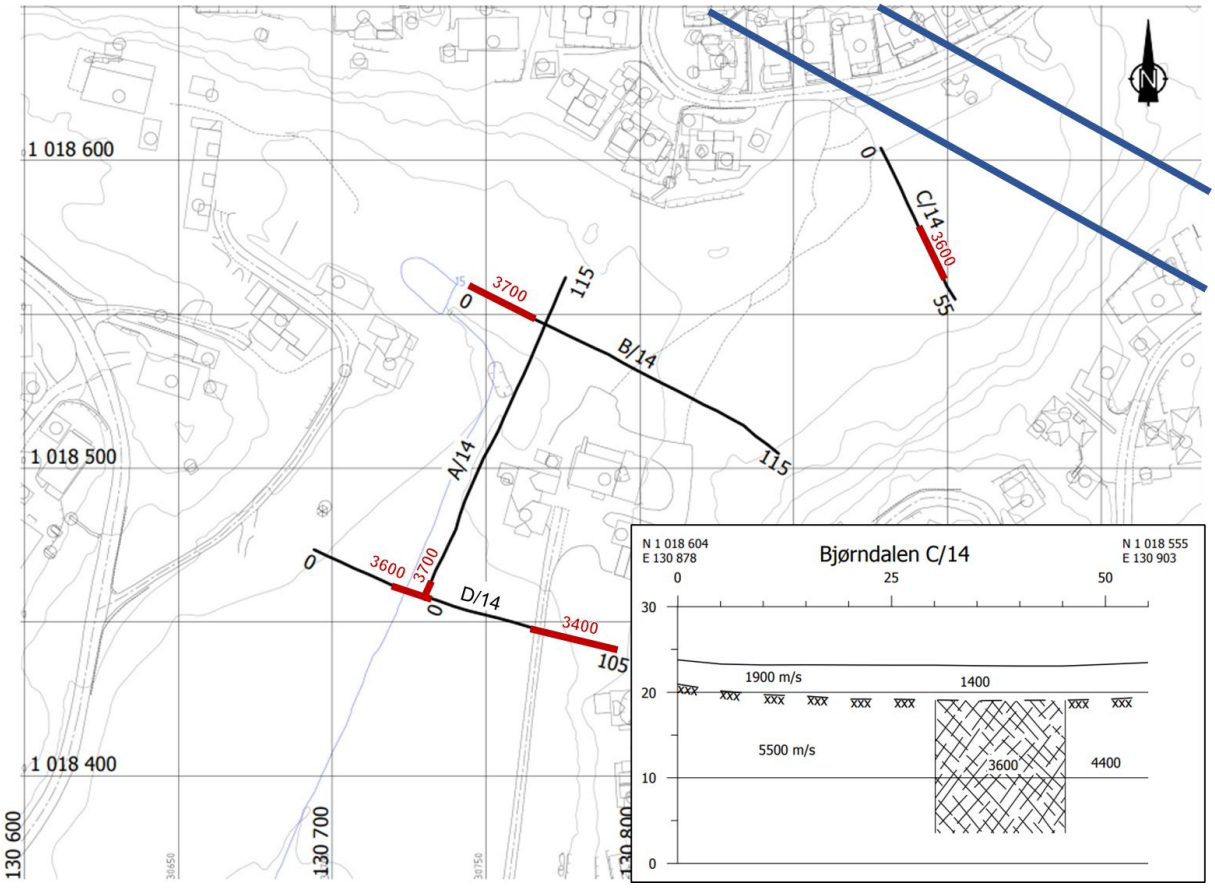
I profil V1 er det kartlagt et parti med hastighet 4 300 m/s (mektighet ca. 15 m), se figur 2-3. Dette er ikke definert som en lavhastighetssone (<4 000 m/s), men skiller seg ut fra omkringliggende områder (hastighet 5 700 m/s).



Figur 2-3: Resultater fra refraksjonsseismikk i profil V1. Profilnummer 0 er i nordvestre ende av profilet.

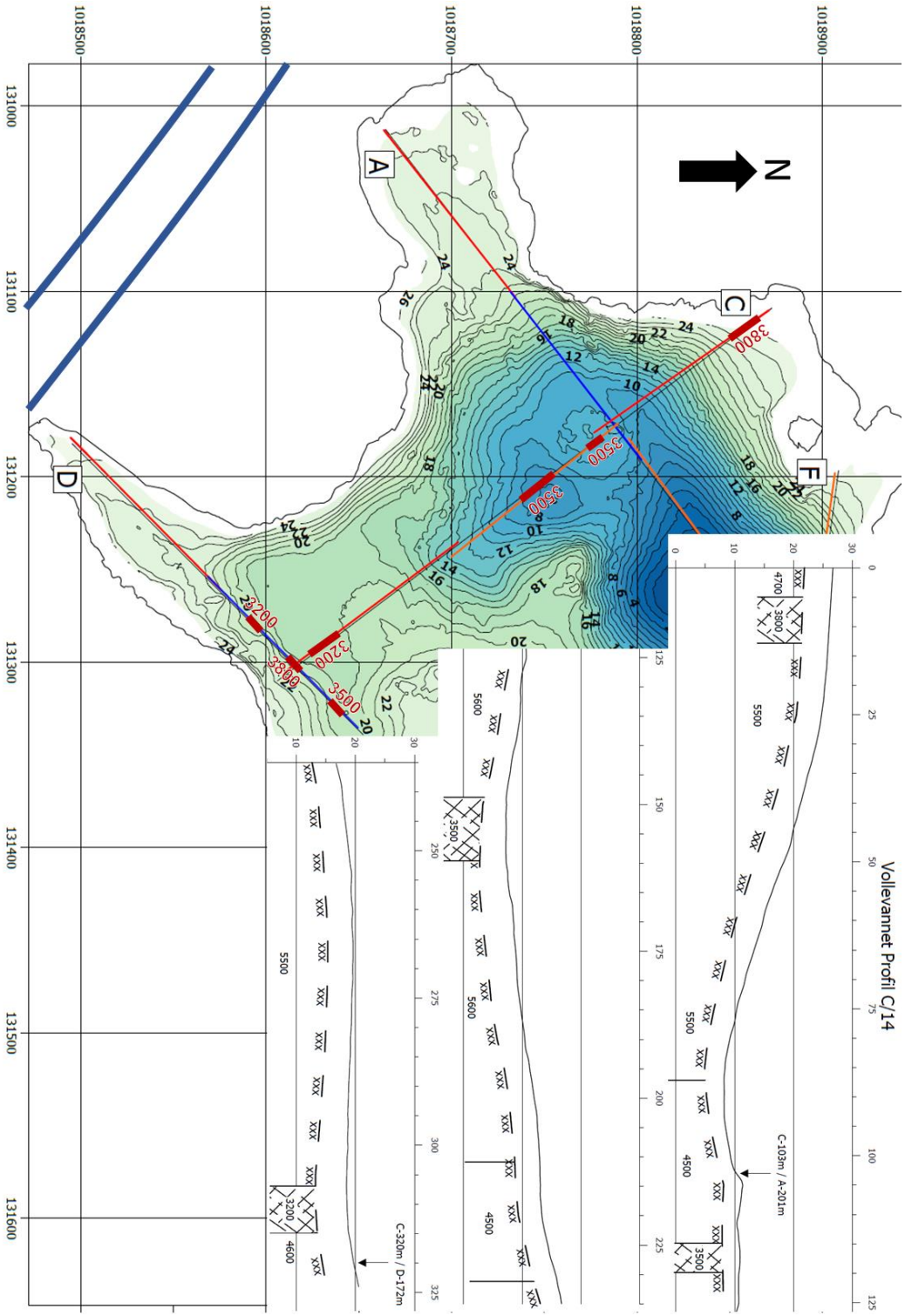
I profil V2 er det registrert en lavhastighetssone (3 000 m/s, mektighet ca. 15 m). I profil V4 er det registrert en lavhastighetssone (3 500 m/s, mektighet ca. 15 m). I profilene V5 og V8 er det registrert lavhastighetssoner på henholdsvis 3 400 (mektighet 7 m) og 2 900 m/s (mektighet ca. 12 m). I profil V6 er det registrert en lavhastighetssone (2 700 m/s, mektighet ca. 15 m).

Profiler i Bjørndalen utført i forbindelse med KDP er vist i figur 2-4 [22]. Som vist er det i profil C registrert en lavhastighetssone på 3 600 m/s (mektighet ca. 15 m). I profil A er det registrert en lavhastighetssone på 3 700 m/s (mektighet ca. 7 m) og et parti med hastighet 4 200 m/s (mektighet ca. 20 m i enden av profilet). I profil B er det registrert en sone på 3 700 m/s (mektighet ca. 20 m). I profil D er det registrert en sone på 3 900 m/s (mektighet ca. 15 m) og en sone på 3 400 m/s (mektighet ca. 30 m). Basishastigheten varierer mellom 5 300 og 5 900 m/s.



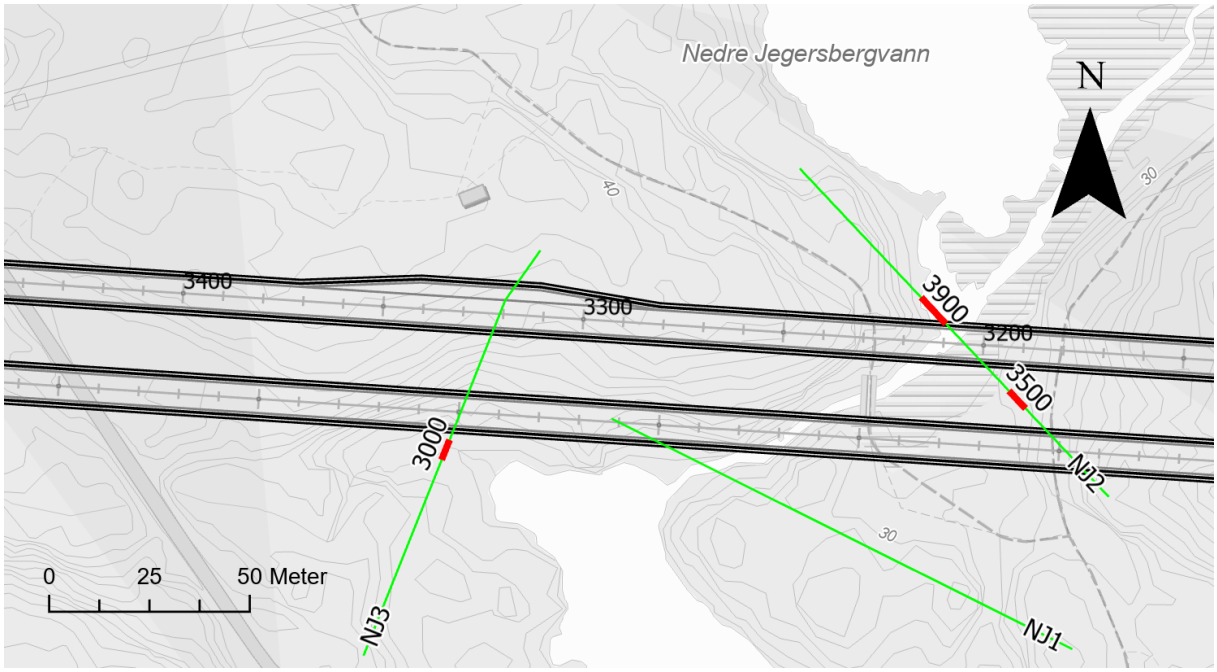
Figur 2-4: Seismikkprofiler i Bjørndalen utført 2014 i forbindelse med KDP [22]. Senterlinjen for hvert av tunnelløpene er vist med blå linjer.

Profiler i Vollevannet utført i forbindelse med KDP er vist i figur 2-5. Som vist er det i profil C registrert lavhastighetssoner på 3 800 m/s (mektighet ca. 10 m), 3 500 m/s (mektighet ca. 5 m), 3 500 m/s (mektighet ca. 15 m) og 3 200 m/s (mektighet ca. 10 m). Det er også registrert flere partier med generelt lav basishastighet (4 500-4 700 m/s). I profil A er basishastigheten på 5 000 m/s i sørøstre del av profilet (nærmest tunnelen). I profil D er basishastigheten på 5 500 m/s i sørøstre del av profilet (nærmest tunnelen).



Figur 2-5: Seismikkprofiler i Vollevannet utført 2014 i forbindelse med KDP. Senterlinjen for hvert av tunnelløpene er vist med blå linjer.

2.2.4.2 Nedre Jegersbergvann



Figur 2-6: Oversikt over utført refraksjonsseismikk ved Nedre Jegersbergvann. Røde linjer indikerer lavhastighetssoner og er oppgitt i m/s.

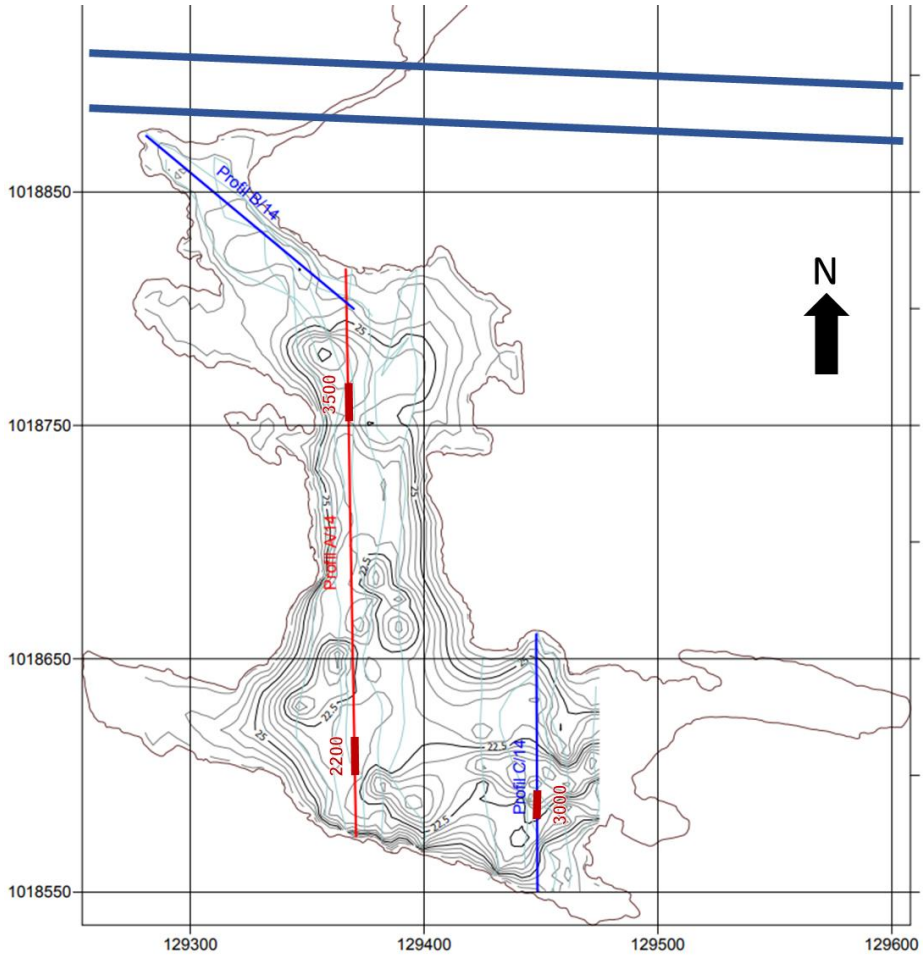
Det er utført undersøkelser i 3 profiler med refraksjonsseismikk ved Nedre Jegersbergvann (figur 2-6), NJ1 – NJ3. Profilene er også tolket ved tomografisk inversjon. I tillegg er det fra tidligere utført 3 profiler med refraksjonsseismikk i Nedre Jegersbergvann i forbindelse med kommunedelplan for Ytre ringvei [22] (figur 2-7).

I profil NJ1 er det ikke registrert noen lavhastighetssoner. Den registrerte seismiske hastigheten er likevel noe lavere (5 400 m/s) i vest enn i øst (6 500 m/s), der linjen krysser en bekk. Bekker representerer typisk svake lag i berget og denne potensielle svakhetssonen er registrert i profil NJ2 (3 900 m/s, mektighet ca. 9 m). I samme profil, lengre mot øst, er det også registrert en lavhastighetssone på 3 500 m/s (mektighet ca. 6 m).

Den tomografiske tolkningen utført for NJ2 indikerer ingen lavhastighetssoner under 4 000 m/s. Den indikerer likevel flere soner med hastighet 4 000-4 500 m/s, men disse korresponderer ikke med resultatene fra tradisjonell tolkning.

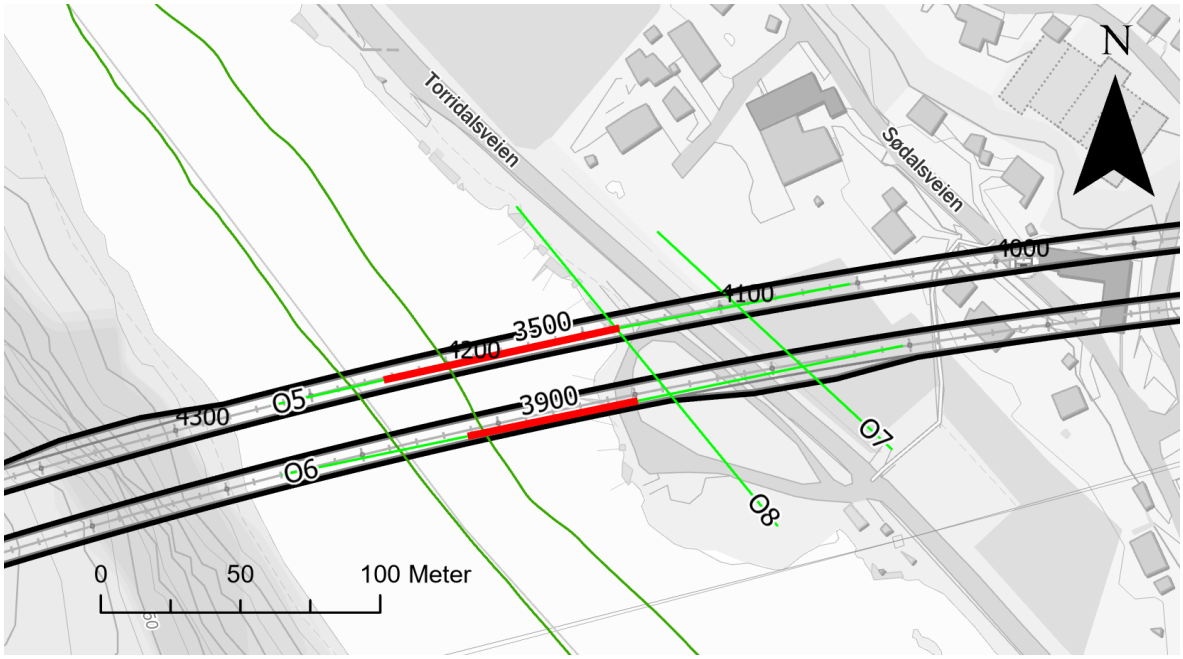
I profil NJ3 er det kartlagt en smal lavhastighetssone (3 000 m/s, mektighet ca. 5 m). Den tomografiske tolkningen indikerer at denne sonen har et fall på ca. 60-70 mot SSV, altså bort fra tunnelen.

Profiler i Nedre Jegersbergvann utført i forbindelse med KDP er vist i figur 2-7. Profil B, som ligger nærmest traseen, viser ingen lavhastighetssoner. Registrert basishastighet er på 5 700 m/s. I profil A er det registrert en lavhastighetssone på 2 200 m/s (mektighet ca. 15 m) og en på 3 500 m/s (mektighet ca. 15 m). I profil C er det registrert en lavhastighetssone på 3 000 m/s (mektighet ca. 10 m).



Figur 2-7: Seismikkprofiler i Nedre Jegersbergvann utført 2014 i forbindelse med KDP [22]. Senterlinjen for hvert av tunnelløpene er vist med blått.

2.2.4.3 Otra/Sødal/Eg



Figur 2-8: Oversikt over utført refleksjonsseismikk (grønne linjer) og refraksjonsseismikk (lysegrønne linjer) ved Otra/Sødal/Eg. Røde linjer indikerer lavhastighetssoner og er oppgitt i m/s.

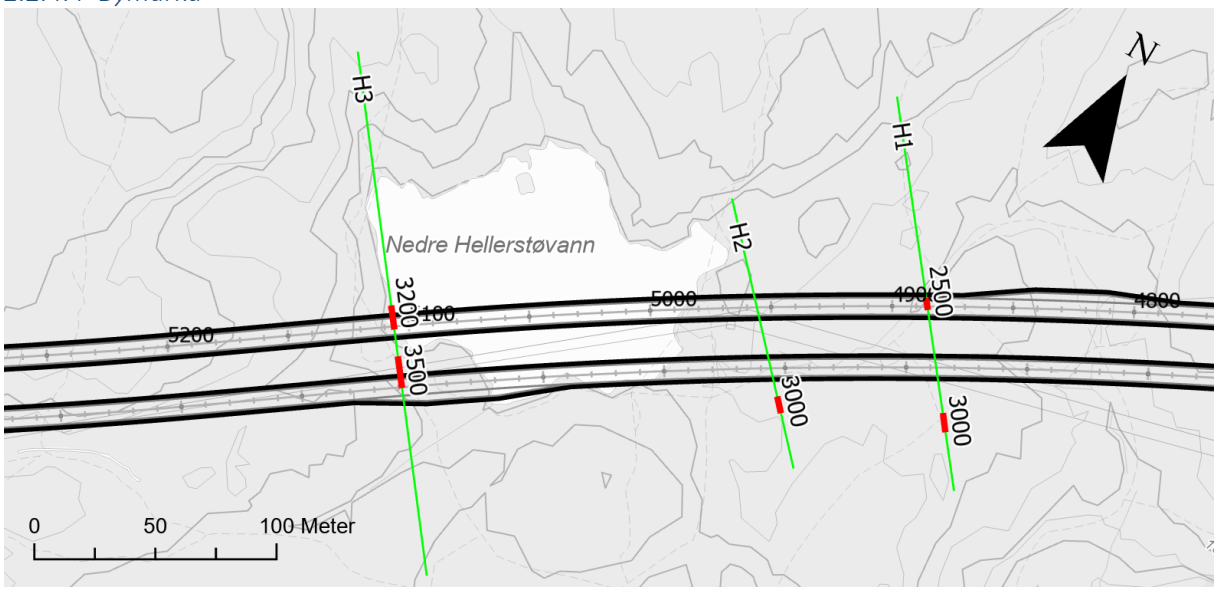
Det er utført 4 profiler med refraksjonsseismikk over tunnelen ved Otra/Sødal (figur 2-8). I tillegg er det lenger sør utført 2 profiler over Otra (O3 og O4), 7 profiler ved Eg (E1-E7) og 3 profiler rett øst for Otra (S1-S3), i forbindelse med et tidligere vurdert traséalternativ (se vedlegg 2). Resultatene fra disse profilene har begrenset relevans for planlagt tunneltrasé, men samsvarer med resultatene i profil O5 og O6 ved at de indikerer en bred lavhastighetssone under elva.

Det er også utført akustisk profilering/refleksjonsseismikk i Otra langs to linjer, Q1 og Q2 (parallelt med elva). Disse er utført i en tidlig fase av prosjektet for å få informasjon om bergoverflatens og elvebunnens forløp. På tidspunktet for tolkning av data fra akustisk profilering var det ikke utført totalsonderinger i Otra over tunneltraseen. Det er derfor ikke utført tolkning av bergoverflatens forløp i dette området.

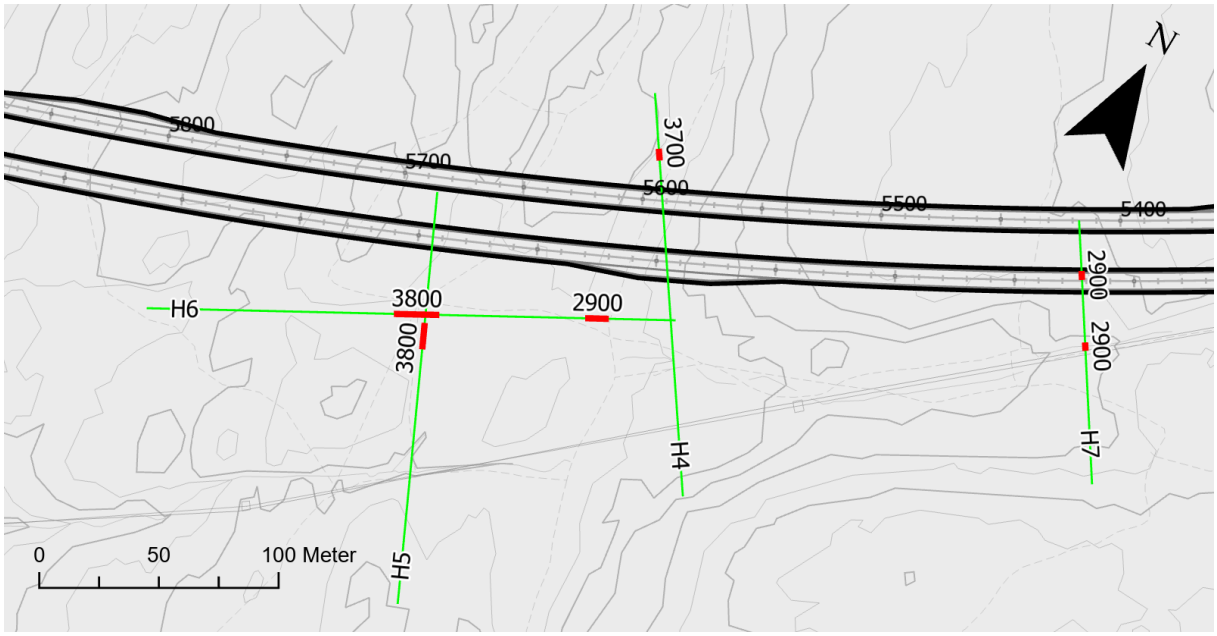
De to profilene som krysser Otra (O5 og O6), indikerer en lavhastighetssone øst i elva, med hastigheter på henholdsvis 3 500 m/s (O5) og 3 900 m/s (O6). Sonens mektighet er på 90 m i profil O5 og 60 m i profil O6. Utenfor denne sonen er basishastigheten på 6 000-6 500 m/s.

I profilene O7 og O8 er det ikke registrert partier som er definert som lavhastighetssoner (<4 000 m/s). Det er likevel kartlagt flere partier med hastigheter mellom 4 000 og 4 600 m/s.

2.2.4.4 Bymarka



Figur 2-9: Oversikt over utført refraksjonsseismikk ved Nedre Hellerstøvann i Bymarka. Røde linjer indikerer lavhastighetssoner og er oppgitt i m/s. Merk at figuren er orientert mot NV.



Figur 2-10: Oversikt over utført refraksjonsseismikk vest i Bymarka. Røde linjer indikerer lavhastighetssoner og er oppgitt i m/s. Merk at figuren er orientert mot NV.

I Bymarka er det utført undersøkelser langs totalt 7 profiler (figur 2-9 og figur 2-10). Disse profilene er undersøkt med både ERT og refraksjonsseismikk. Refraksjonsseismikken er tolket ved både tomografisk inversjon og tradisjonell tolkning. Hensikten med disse undersøkelsene var å kartlegge orienteringen av en antatt svakhetssone (sone nummer 45, se vedlegg 1 – tegning V517 og V518, og tabell 4-1 for informasjon om svakhetssoner) med orientering VSV-ØNØ. ERT-profilene er noe lengre enn profilene for refraksjonsseismikk.

Dette for å få tilstrekkelig dybderekkevidde til å kunne vurdere fallvinkel. De tre metodene viser en varierende grad av overenstemmelse, og spesielt de mindre sonene er ikke synlige med alle metoder.

I profil H1 er det registrert to lavhastighetssoner på 2 500 (mektighet ca. 5 m) og 3 000 m/s (mektighet ca. 8 m). Disse sonene er ikke registrert ved ERT. I ERT-profilet er det derimot registrert en sone som ikke er registrert med seismikk, denne har en resistivitet ned mot 3 000 Ωm.

I profil H2 er det registrert en lavhastighetssone på 3 000 m/s (mektighet ca. 7 m). Det er også registrert en sone med ERT som ikke fanges opp av de andre metodene. Denne har en resistivitet under 3 000 Ωm. Dette er antatt å være den samme sonen som også i H1 kun fanges opp av ERT. For detaljer henvises det til vedlegg 2.

I profil H3 er det registrert indikasjoner på svakhetssoner i alle metodene. Området der dette profilet er plassert, representerer et kryssområde mellom flere svakhetssoner. Dette gir en komplisert respons på resultatene, hvilket også kompliserer tolkningen.

Profil H4 krysser svakhetssone nummer 45. Det er registrert to partier med seismiske hastigheter på 4 400 og 4 600 m/s, som korresponderer med den antatte svakhetssonen. Sonen er også kartlagt med ERT og tomografisk tolkning av seismikken. Det er i profil H4 også registrert, ved refraksjonsseismikk, en lavhastighetssone på 3 700 m/s (mektighet ca. 5 m). Denne korresponderer med en antatt svakhetssone (sone nummer 46).

I profil H5 er det registrert en lavhastighetssone (3 800 m/s, mektighet ca. 11 m). Denne er til en viss grad også synlig på ERT og tomografisk tolkning av seismikken, men viser ikke noen stor utbredelse mot dypet ved noen av disse metodene. Lavhastighetssonen er registrert i et område der det er forventet et kryss mellom to svakhetssoner. I ERT-profilet er det kartlagt en sone med lav resistivitet (ca. 3 000 Ωm). Denne korresponderer godt med en forventet svakhetssone (sone nummer 44). Resultatene fra ERT indikerer et steilt fall (ca. 80 grader) mot NNV.

I profil H6 er det registrert 2 lavhastighetssoner ved refraksjonsseismikk. Sonen på 3 800 m/s (mektighet ca. 19 m) korresponderer med et kryss mellom svakhetssoner som også er registrert i profil H5. Sonen hvor det er registrert en hastighet på 2 900 m/s (mektighet ca. 10 m) korresponderer med en antatt svakhetssone (sone nummer 46). Det er ikke registrert noen tydelige svakhetssoner i ERT-profilet. Den tomografiske tolkningen av seismikken gir en respons i samme område som sonen med 3 800 m/s, men den gir en uklar respons på fallvinkelen. Lavhastighetssonen på 2 900 m/s er også registrert med tomografi, tolkningen indikerer et fall på ca. 60 grader mot ØNØ.

Profil H7 krysser sone nummer 45. Ved refraksjonsseismikken er denne registrert som et parti med 4 100 m/s i den sørlige delen av sonen og 2 900 m/s (mektighet ca. 3,5 m) i den nordlige delen. Med ERT er sonen registrert som en sammenhengende sone med lav resistivitet (<2 800 Ωm) over hele forsenkningen i terrenget, med vertikalt fall. Tomografisk tolkning gir en respons som antyder at sonene finnes noe lengre nordvest enn der man kan forvente at de ligger basert på kartstudier.

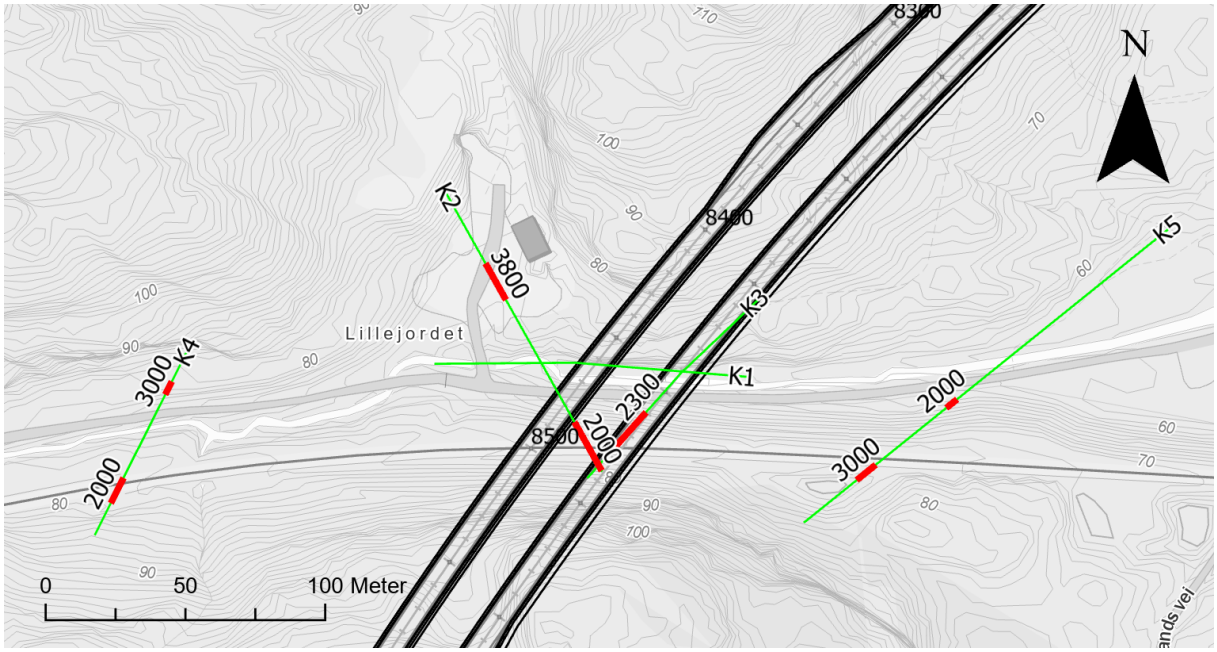
I profil H7 er det registrert en dagbergsone med svært lav hastighet (2 200-2 800 m/s), se vedlegg 2. Resultatene viser at hastigheten øker mot dypet.

2.2.4.5 Dalane

Figur 2-11: Oversikt over utført refraksjonsseismikk ved Dalane.

I Dalane er det utført totalt 5 profiler med refraksjonsseismikk (figur 2-11). Det er ikke registrert noen lavhastighetssoner (<4 000 m/s) i dette området. Profilene som går parallelt med dalen viser en hastighet på 5 900-6 000 m/s, mens profilene på tvers av dalen viser en hastighet på 4 400-4 900 m/s. Tverrprofilet som ligger nærmest tunnelen (D5) viser en hastighet på 4 500 m/s.

2.2.4.6 Kjerrane



Figur 2-12: Oversikt over utført refraksjonsseismikk ved Kjerrane. Røde linjer indikerer lavhastighetssoner og er oppgitt i m/s.

Det er utført totalt 5 profiler med refraksjonsseismikk (figur 2-12). 3 av disse krysser traseen.

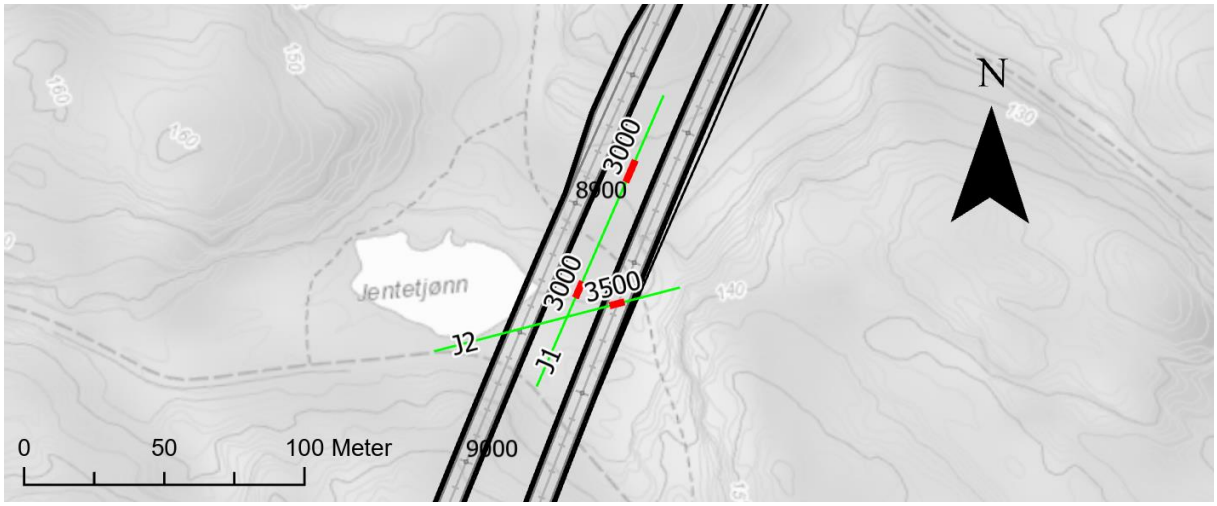
Profil K1 krysser vinkelrett på traseen. Langs deler av profilet er det registrert berg i dagen, og generelt høy seismisk hastighet (5 400 m/s).

I profil K2 er det registrert 2 lavhastighetssoner. Den nordligste sonen har en hastighet på 3 800 m/s (mektighet ca. 15 m) og den sørligste sonen en hastighet på 2 000 m/s (mektighet ca. 20 m).

I profil K3 er det registrert en lavhastighetssone med hastighet på 2 300 m/s (mektighet ca. 17 m). I krysningspunktet mellom K2 og K3 er det registrert en lavhastighetssone i profil K2, denne lavhastighetssonen er ikke registrert i K3.

I både profil K4 og K5 er det registrert 2 lavhastighetssoner med hastigheter på 2 000-3 000 m/s (mektigheter ca. 5-10 m).

2.2.4.7 Jentetjønn



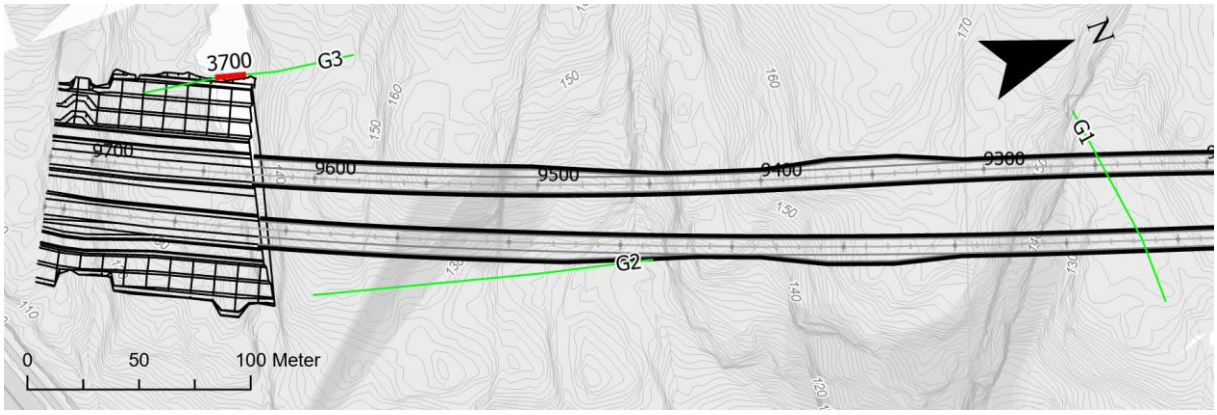
Figur 2-13: Oversikt over utført refraksjonsseismikk ved Jentetjønn. Røde linjer indikerer lavhastighetssoner og er oppgitt i m/s.

Ved Jentetjønn er det utført totalt 2 profiler med refraksjonsseismikk (figur 2-13).

I profil J1 er det registrert 2 lavhastighetssoner på 3 000 m/s (mektighet ca. 6 og 8 m).

I profil J2 er det registrert en lavhastighetssone på 3 500 m/s (mektighet ca. 5 m). I tillegg er det registrert en sone med hastighet på 4 300 m/s rett over vestgående løp.

2.2.4.8 Grauthelleren



Figur 2-14: Oversikt over utført refraksjonsseismikk ved Grauthelleren. Røde linjer indikerer lavhastighetssoner og er oppgitt i m/s. Merk at figuren er orientert mot VNV.

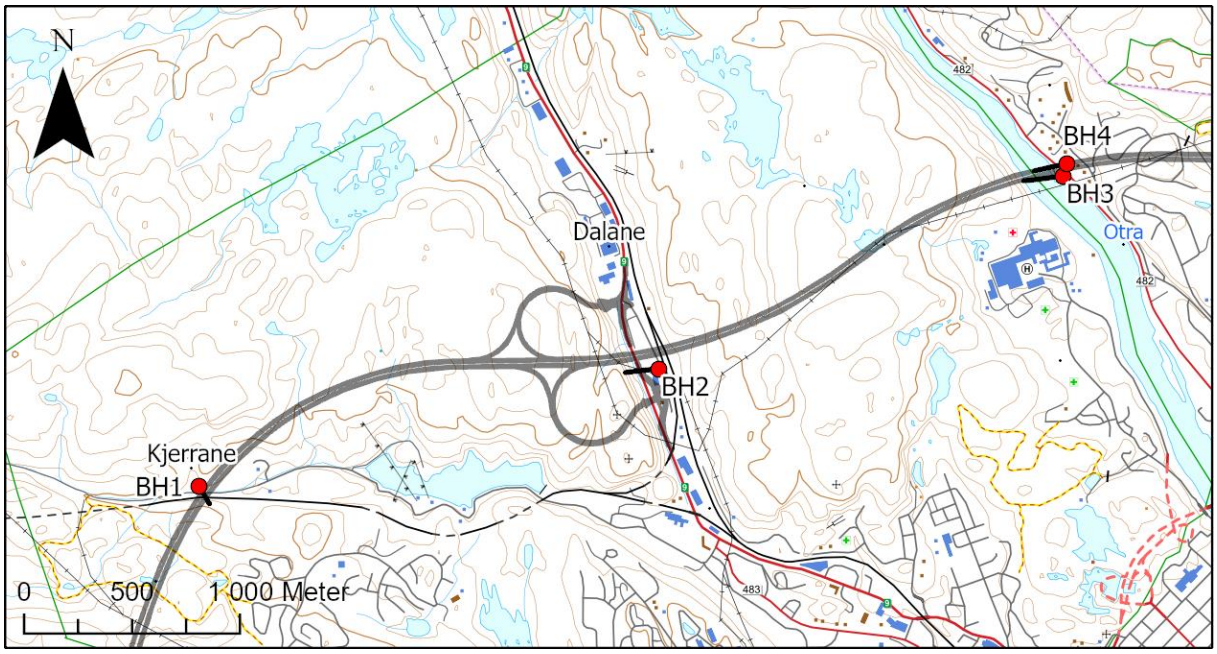
Ved Grauthelleren er det utført totalt 3 profiler med refraksjonsseismikk (figur 2-14).

I profil G1 og G2 krysses markerte søkk i terrenget uten at det registrert noen definerte lavhastighetssoner. I begge profilene er det registrert en dagbergsone med hastighet 4 000 m/s.

I profil G3 er det registrert en lavhastighetssone (3 700 m/s, mektighet ca. 14 m). Denne krysser et markert søkk i terrenget.

2.2.5 Kjerneboring

Det er utført kjerneboring i 4 hull: 2 stk. under Otra (BH 3 og BH4),1 stk. ved Dalane (BH2) og 1 stk. ved Kjerrane (BH1). Boringene er utført for å få informasjon om bergmassen på tunnelnivå. Det er utført en kartlegging av bergartstyper, sprekkeegenskaper, bergartsgrenser og svakhetssoner/slepper. Det er også tatt prøver av leirpartier. Det er utført vanntapsmålinger i alle hull. Resultater fra kjerneboring er omtalt i egen datarapport (se rapport NV42E18YR-GEO-RAP-0003) [29], en oppsummering er gitt i dette kapittelet. Plassering av hullene er vist i figur 2-15, mens orientering og lengde er vist i tabell 2-3.



Figur 2-15: Plassering av kjerneborehull. Rødt punkt viser ansett, og sort strek viser hullbanen.

Tabell 2-3: Oversikt over utførte borehull.

Borehull	Fall	Hullorientering	Easting (NTM7)	Northing (NTM7)	Hulldybde [m]	Sted
BH1	30°	N166°Ø	124523.837	1017379.039	107,3	Kjerrane
BH2	23,3°	N265°Ø	126650.367	1017923.62	174,5	Dalane
BH3	35°	N263°Ø	128523.838	1018814.842	216,9	Otra
BH4	38°	N257°Ø	128543.09	1018872.80	204,6	Otra

I to av hullene, i Dalane og Kjerrane, har det blitt boret i en annen retning enn det som har blitt bestilt. Retningsavviket er på ca. 30 grader i Dalane og ca. 20 grader i Kjerrane (i horisontalplanet, vinkelen i vertikalplanet er riktig). Feilen har oppstått som følge av en oppdatering på utstyret brukt til utstikking av borehullet. I forbindelse med oppdateringen har vinkelmålet blitt endret fra grader til gon. Det er vurdert at hullene gir tilfredsstillende informasjon om bergmassekvaliteten på tunnelnivå.

Hullet i Otra er boret med riktig retning i horisontalplanet, mens vinkelen i vertikalplanet avviker noe fra det som er spesifisert. Utgangsvinkelen på hullet er som spesifisert (35°), men blir vesentlig slakere mot dypet. Dette skyldes geologiske forhold. Starten av hullet er dermed boret svært nært overflaten og bergmassen kan fremstå som noe mer oppsprukket enn det som kan forventes i tunnelnivå.

Under kjerneloggingen er det registrert amfibolittisk gneis, øyegneis, granittisk gneis, biotittisk gneis, granitt og pegmatitt. Stedvis er det hyppige vekslinger mellom de ulike bergartene. Bergmassen fremstår som generelt massiv, foruten to lengre soner med gjennomgående dårlig bergmassekvalitet ved Otra og Kjerrane, med lengder på henholdsvis ca. 10 m og ca. 38 m. I tillegg er det registrert flere mindre seksjoner med knusningssoner og slepper i borehullene.

2.2.5.1 BH4 Otra

Bergmassekvaliteten i BH4 varierer fra massiv til noe oppsprukket. Det er registrert amfibolittisk gneis, granittisk gneis og pegmatitt, samt noe granitt og biotittisk gneis. Granitten er stedvis grovkornet. Ved ca. 120-170 m er det registrert hyppige vekslinger mellom ulike bergartstyper, der bergmassekvaliteten ofte er dårligere i overgangssonene. Det er registrert kalsitt, pyritt og epidot på åpne sprekker langs foliasjonen. Pyritten er registrert lokalt. Det er utført seksjonsvis vanntapsmåling fra 40-142 m. På grunn av dårlig hullstabilitet er det kun utført måling av returvann fra 140-204.

2.2.5.2 BH3 Otra

Borehull BH3 i Otra viser generelt dårlig bergmassekvalitet. Fram til ca. 145 m er det rapportert om utfordringer knyttet til gjenrasning i hullet samt stor slitasje på borkronen. På grunn av dette er hullet støpt igjen fra bunn foringsrør (ca. 60 m) ned til ca. 145 m, før det er boret opp på nytt som et grovhull. Fra ca. 145 m til bunn (217 m) er det ikke utført utstøping.

På grunn av risiko for at pakkere skulle sitte fast i hull på grunn av gjenrasing er det utført vanntapsmåling i hele seksjoner fra 60-145 m og fra 145-217m.

Kjernene fra BH3 består hovedsakelig av amfibolittisk gneis, granittisk gneis og granitt, samt noe biotittisk gneis og pegmatitt. Fra ca. 156-166 m er det boret gjennom en sone som inneholder mye leire/leirklumper, samt noe sandig og siltige materialer. Nedknusningsgraden langs denne sonen varierer. Det er registrert noe pyritt som sprekkefylling i amfibolittisk gneis.

2.2.5.3 BH2 Dalane

Det er utført seksjonsvis vanntapsmåling fra 90-168 m. Fra 126-138 m er det ikke utført vanntapsmåling på grunn av lekkasje rundt pakkeren. Ved 90 m satte pakkeren seg fast og

det er ikke utført vanntapsmåling over dette. Pakkeren står igjen i hullet og det var ikke mulig å støpe igjen hullet under 90 m.

På grunn av retningsavviket i borehullet, er det på det nærmeste ca. 50 m fra kjerneborehullet og til tunnelen.

Borehullet består hovedsakelig av amfibolittisk gneis, samt granittisk gneis, grovkornet granitt og pegmatitt. Stedvis er det hyppige vekslinger mellom amfibolittisk gneis og granittisk gneis. Det er registrert pyritt som sprekkefylling og i matriks for amfibolittisk gneis. Det er også registrert en leirsone med mektighet på ca. 20 cm ved 159 m.

2.2.5.4 BH1 Kjerrane

I Kjerrane ble det boret gjennom flere knusningssoner. Den dårlige bergmassekvaliteten startet ca. 40 m ned i hullet, og varte til 78 m. På grunn av dårlig bergmassekvalitet og risiko for kollaps i hullet, ble det besluttet å ikke utføre vanntapsmålinger med dobbeltpakker under 43 m. Vanntapsmålinger ble derfor utført ved at det ble plassert en enkeltpakker på 43 m for å måle det totale vanntapet under dette. Over 43 m ble det utført vanntapsmåling i 6-meters seksjoner slik som opprinnelig planlagt.

På grunn av retningsavviket i borehullet dekker det en kortere strekning av tunnelen enn planlagt. Det vurderes likevel å være relevant for den samme tunnelstrekningen, da det er boret gjennom hele svakhetssonen som krysser tunnelen i dette området.

Borehullet består hovedsakelig av øyegneis, med sporadisk innslag av pegmatitt, granitt og granittisk gneis. Fra ca. 40-78 m er det en sone bestående av bergpartier med dårlig kvalitet som inneholder leirige og siltige sleppematerialer.

2.2.5.5 Resultater fra svelletester

Tabell 2-4 angir resultater fra svelletester på materiale fra enkelte av sleppene registrert i kjerneborehullene. Klassifisering av fri svelling og svelletrykk i henhold til NBG [30] er angitt i parentes. Andelen materiale <20 µm varierer fra 1-7 %. Fri svelling klassifiseres som høy til meget høy, og svelletrykk fra middels til meget høy.

XRD-analyser av samtlige prøver påviser innhold av smektitt. I tillegg inneholder samtlige prøver glimmer, kloritt og alkalifeltspat. Samtlige prøver fra BH3 inneholder i tillegg plagioklas, mens prøven fra BH2 og den dypeste prøven fra BH1 inneholder kvarts.

Det er ikke utført tester på materiale fra BH4, da det antas at resultater fra BH3 gir en tilfredsstillende indikasjon på forventede egenskaper for eventuell påtruffen leire under Otra.

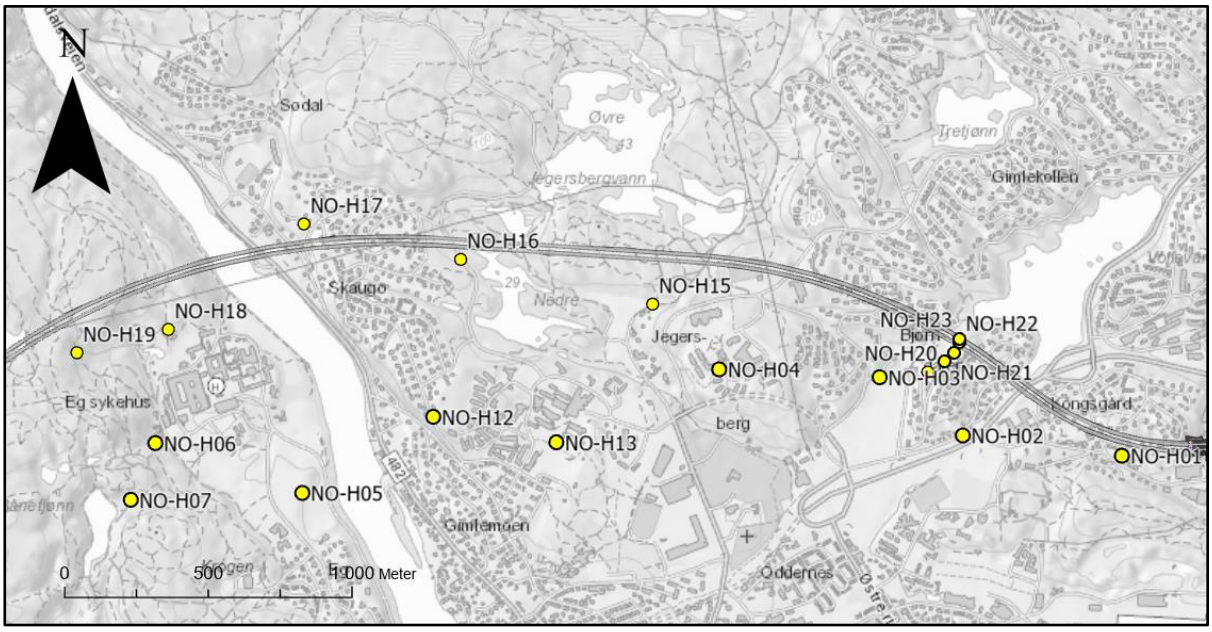
Tabell 2-4: Resultater for undersøkelse av svelleegenskaper. For fri svelling og svelletrykk er klassifisering i henhold til NGB [30] gitt i parentes.

Borehull, hulldybde	Andel materiale <20 µm [%]	Fri svelling [%] (klassifisering)	Svelletrykk [MPa] (klassifisering)
BH1; 41,0-41,5 m	2	220 (meget høy)	-
BH1; 58,15-59,6 m	3	180 (høy)	0,34 (høy)
BH2; 159,2-159,4 m	7	250 (meget høy)	0,47 (høy)
BH3; 82,2-82,3 m	1	230 (meget høy)	-
BH3; 157,2-157,7 m	3	205 (meget høy)	0,20 (middels)
BH3; 164,8-165,3 m	4	600 (meget høy)	1,15 (meget høy)

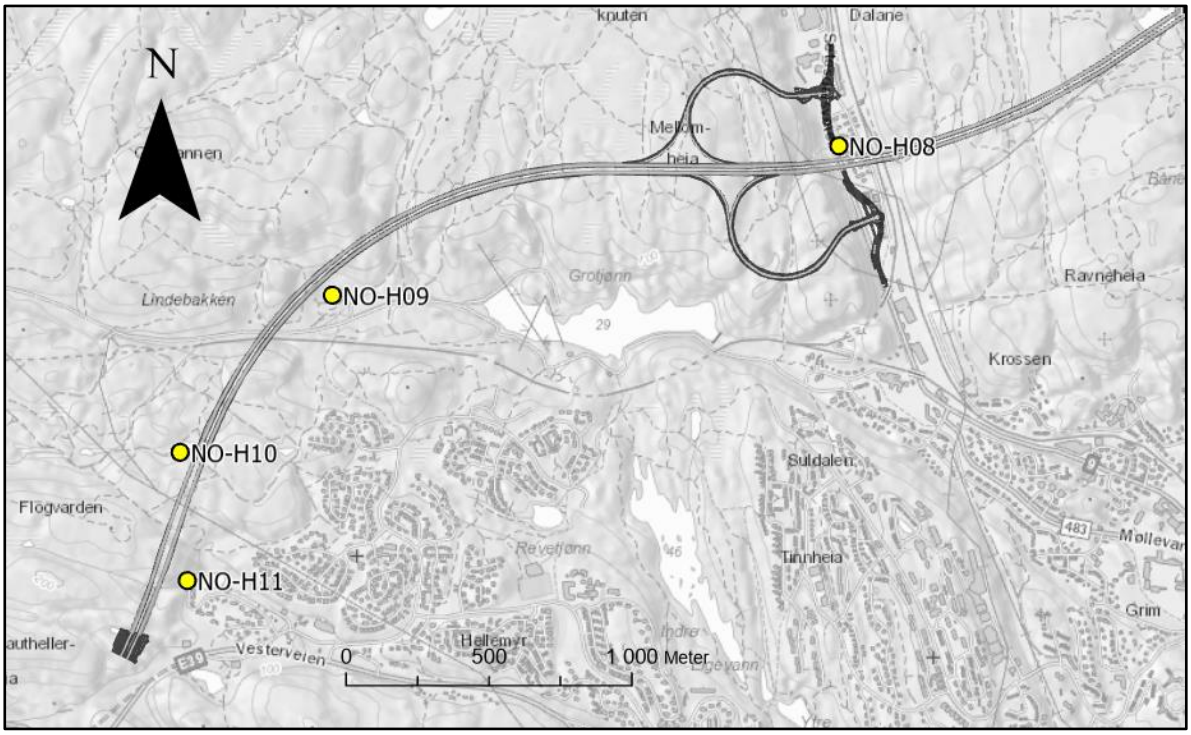
2.2.6 Hammerhull

Det er totalt boret 23 hammerhull langs traseen. Hullene er boret med senkhammer med en diameter på 113-140 mm. Boredybden for brønnen er satt til å være lik sålen til planlagt tunnel. Formålet med hammerhullene er blant annet å kartlegge grunnvannstand i berg, naturlige variasjoner i grunnvannstand, bergartsgrenser og vannførende sprekkesoner. En kort oppsummering blir gitt i det følgende.

Hammerhull H05, H07, H12 og H13 er ikke omtalt i denne rapporten, da disse vurderes å ha begrenset relevans for planlagt tunneltrasé. For detaljer henvises det til vedlegg 3 og NV42E18YR-GEO-RAP-0004 Fagrapport hydrogeologi [7]. En oversikt over plassering av hammerhullene er vist i figur 2-16 og figur 2-17.



Figur 2-16: Plassering av hammerhull mellom Vige og Eg.



Figur 2-17: Plassering av Hammerhull mellom Dalane og Grauthelleren.

I hammerhullene H-01 til H-19 er det utført geofysisk borehullslogging. Dette utføres ved at måleutstyr senkes ned i borehullet og logger ulike parametere. En beskrivelse av de ulike måleinstrumentene som er benyttet i forbindelse med borehullsloggingen er vist i tabell 2-5. Det er ikke utført borehullslogging i hammerhullene H-20 til H-23.

Tabell 2-5: Oversikt over målemetoder benyttet ved borehullslogging. Hentet fra NV42E18YR-GEO-RAP-0004 Fagrapport hydrogeologi [7].

Metode/måleutstyr	Beskrivelse/anvendelse
Optisk Televiewer	360 graders optiske bilder genereres av et optisk kamera. Dette kan brukes til å identifisere bergartstyper, geologiske strukturer og laggrenser (inkludert strøk og fall). Logging med Optisk Televiewer krever at borehullet enten er luftfylt eller er fylt med klart vann.
Akustisk Televiewer	En akustisk lydpuls sendes ut fra måleinstrumentet og reflekteres fra borehullsveggen. Dersom lydpulsen treffer en sprekk vil amplituden avta. Dette resulterer i et 360 graders innvendig "akustisk bilde" av borehullsveggen. Metoden brukes til å kartlegge sprekker (inkludert strøk og fall) og soner med dårlig bergkvalitet. Logging med Akustisk Televiewer krever at borehullet er fylt med vann.
Mekanisk Caliper	Måling av diameteren i borehullet er nyttig for å kartlegge soner hvor berg har rast ut (på grunn av dårlig bergkvalitet). Dersom diameteren er ulik boret diameter kan det tyde på utrasning i borhullet.
Naturlig gammastråling	Måler naturlig radioaktivitet i bergartene. Ulike bergartstyper har ulikt nivå når det gjelder radioaktivitet. Metoden kan derfor brukes til å kartlegge bergartstyper og geologiske laggrenser.
Spektral gammastråling	Måler relative elementkonsentrasjoner for Uran, Thorium og Kalium. Brukes til å kartlegge geologiske grenser og i enkelte tilfeller kartlegging av syredannende berg.
Resistivitet i berg	Resistivitetsmålinger i berg brukes til å kartlegge svakhetssoner i berg, samt geologiske grenser. Bergarter har ulik resistivitet, og oppsprukket og forvitret berg tenderer å ha redusert resistivitet.
Magnetisk Susceptibilitet	Måler bergformasjonens magnetiserbarhet og brukes først og fremst i forbindelse med kartlegging av bergartsgrenser. Magnetiske mineraler har ulik magnetisk susceptibilitet.
Temperatur og ledningsevne i vann	Måler temperatur og elektrisk konduktivitet av vannet i borehullet. Dette brukes til å kartlegge vannførende soner i berg. Den elektriske konduktiviteten er ofte høyere i grunnvann sammenlignet med overflatevann og høyere elektrisk konduktivitet indikerer lengre oppholdstid uten påvirkning fra overflatevann.
pH i vann	Måler pH til vannet i borehullet. Brukes først og fremst til kartlegging av vannkvalitet og vannførende soner i berg.
Impeller flowmeter (vannstrømning i borehull)	Måler vertikal strømningshastighet i borehull som er en funksjon av vannførende sprekkesoner. Metoden brukes til å kartlegge vannførende soner i berg.

Under boring av hammerhull ble det tatt borkaksprøver av berg for hver 10. m, samt ved overgang til ny bergkarakter. Borkaksprøver fra hammerhullene er analysert for å vurdere potensialet for syredannende berg og innhold av tungmetaller. Det ble utført XRF analyser av alle borkaksprøvene for å vurdere hvilke prøver som var mest aktuelle å sende videre til hydrogenperoksidtest. Det er også utført vanntapsmålinger med enkeltpakker og dobbeltpakker i 10 av hammerhullene etter ferdig boring. I tillegg er geofysisk borehullslogging utført i 18 hammerhull. Dette kan gi informasjon om oppsprekkingsgrad og sprekkeorientering.

2.2.6.1 H01

Berggrunnen består av granittisk og amfibolittisk gneis i veksling med noe innslag av pegmatitt. Mellom 15,0-16,5 m er det kartlagt noe lavere resistivitet og amplitude, og høyere caliper-verdi.

2.2.6.2 H02

Berggrunnen består av granittisk og amfibolittisk gneis i veksling med noe innslag av pegmatitt. Det er tilsynelatende mye epidot i hele hullet. Det er kartlagt lav resistivitet mellom 28,5-34,5 m. Mellom 32,5-34,5 m er det lav akustisk amplitude. Det er kartlagt høye caliper-verdier mellom 32,5-24,5 m og delvis også mellom 28,5-32,5 m.

Det er utført hydrogenperoksidtest på prøver hentet fra 10, 11, 12, 13, 14, 24, 34 og 44 m. Resultater er presentert i NV42E18YR-YML-RAP-0006 Fagrapport forurensning [9].

2.2.6.3 H03

Berggrunnen består av granittisk, amfibolittisk og diorittisk gneis i veksling. Det er også noe innslag av pegmatitt. Caliper-målingene viser flere partier med lavere verdier enn boret diameter.

Det er utført hydrogenperoksidtest på prøver hentet fra 16 og 56 m. Resultater er presentert i NV42E18YR-YML-RAP-0006 Fagrapport forurensning [9].

2.2.6.4 H04

Berggrunnen består hovedsakelig av granittisk og diorittisk gneis i veksling. Det er også registrert noe innslag av amfibolittisk gneis og pegmatitt. Mellom 33,5-36,5 m er det kartlagt lav akustisk amplitude og høye caliper-verdier. Det er kartlagt lav resistivitet og amplitude mellom 46,0-48,5 m. Mellom 56-60 m er det lav resistivitet og amplitude, samt høye caliper-verdier. Dette gjelder også mellom 70,5-72 m og 82,0-84,5 m. I disse partiene er resistiviteten ned mot 1 000 Ωm.

Det er utført hydrogenperoksidtest på prøver hentet fra 93 m. Resultater er presentert i NV42E18YR-YML-RAP-0006 Fagrapport forurensning [9].

2.2.6.5 H06

Berggrunnen består av granittisk og amfibolittisk gneis i veksling. Det er noe innslag av pegmatitt og diorittisk gneis. Det er flere partier med lav resistivitet, lav akustisk amplitude og høye caliper-verdier. Dette gjelder mellom 28-32 m, 36-42 m, 48-52m og 54-56 m.

Det er utført hydrogenperoksidtest på prøver hentet fra 6, 7 og 49 m. Resultater er presentert i NV42E18YR-YML-RAP-0006 Fagrapport forurensning [9].

2.2.6.6 H08

Berggrunnen består av amfibolittisk og granittisk gneis i veksling med noe innslag av pegmatitt. Det er kartlagt et parti med lav resistivitet og amplitude og høy caliber-verdi mellom 44-45 m. Det er også kartlagt noe lav amplitude mellom 51,5-52 m.

2.2.6.7 H09

Berggrunnen består av øyegneis, med intrusjoner av pegmatitt. Det er registrert noe amfibolittisk gneis i toppen av hullet (på dyp 10-11 m). Det er generelt høye resistivitetsverdier. Det er flere partier med lavere resistivitet. Dette gjelder mellom 17-18 m, 20-21 m, 23,5-24,5 m, 32-33 m, 38-39 m og 39,5-40,5 m. Mellom 17-18 m og 20-21 m er det også registrert høye caliper-verdier.

2.2.6.8 H10

Berggrunnen består hovedsakelig av øyegneis, med innslag av granittisk gneis og pegmatitt. Det er registrert redusert resistivitet (ca. 6 000 Ωm) og høye caliper-verdier mellom 22-25 m. Mellom 37-41 m er det registrert både lav resistivitet og akustisk amplitude, samt høye caliper-verdier. Mellom 50-53 m er det registrert svært lave resistivitetsverdier (<300 Ωm), lav amplitude og høye caliper-verdier.

Det er utført hydrogenperoksidtest på prøver hentet fra 62 m. Resultater er presentert i NV42E18YR-YML-RAP-0006 Fagrapport forurensning [9].

2.2.6.9 H11

Berggrunnen består hovedsakelig av øyegneis, med innslag av granittisk gneis og pegmatitt. Det er registrert et avgrenset parti med lav resistivitet, lav amplitude og høy caliper-verdi mellom 8,5-9,5 m.

2.2.6.10 H14

Berggrunnen består av granittisk og amfibolittisk gneis i veksling med noe innslag av pegmatitt. Det er registrert et parti med lav resistivitet og akustisk amplitude, samt høye caliper-verdier, mellom 15-21 m, 51,5-55,5 m og 58,5-63 m.

2.2.6.11 H15

Berggrunnen består av granittisk og amfibolittisk gneis i veksling med noe innslag av pegmatitt. Det er registrert partier med lav resistivitet og akustisk amplitude, samt høye caliper-verdier, mellom 21-25 m og 30-35,5 m. Mellom 63,5-68 m er det generelt lav amplitude og høye caliper-verdier.

2.2.6.12 H16

Berggrunnen består av granittisk og amfibolittisk gneis i veksling med noe innslag av pegmatitt. Det er registrert en rekke avgrensede partier med lav akustisk amplitude og høy caliper-verdi. Disse partiene er typisk på <1 m.

2.2.6.13 H17

Berggrunnen består av granittisk og amfibolittisk gneis i veksling med noe innslag av pegmatitt. Det er registrert en rekke avgrensede partier med lav akustisk amplitude og høy caliper-verdi. Disse partiene er typisk på <1 m. Mellom 99-105 m er det registrert et mer sammenhengende parti med slike utslag.

2.2.6.14 H18

Berggrunnen består av granittisk og amfibolittisk gneis i veksling med noe innslag av pegmatitt. Ned til ca. 33 m er det generelt lave resistivitetsverdier. Det er også generelt høye caliper-verdier og noe høyere akustisk amplitude i dette området. Det er registrert partier med lav resistivitet og akustisk amplitude og høye caliper-verdier mellom 45-48 m, 68-74 m, 87-91 m, 98-105 m og 112-124 m.

2.2.6.15 H19

Berggrunnen består av granittisk og amfibolittisk gneis i veksling med noe innslag av pegmatitt. Det er partier med lav resistivitet og akustisk amplitude og høye caliper-verdier mellom 41-43 m, 89-91 m, 99-104 m, 114-118 m, 146-151 m.

2.2.6.16 H20

Det er utført hydrogenperoksidtest på prøver hentet fra 34, 36, 39, 49, 59 og 99 m. Resultater er presentert i NV42E18YR-YML-RAP-0006 Fagrapport forurensning [9].

2.2.6.17 H21

Det er utført hydrogenperoksidtest på prøver hentet fra 63 m. Resultater er presentert i NV42E18YR-YML-RAP-0006 Fagrapport forurensning [9].

2.2.6.18 H22

Det er utført hydrogenperoksidtest på prøver hentet fra 4, 6, 26, og 76 m. Resultater er presentert i NV42E18YR-YML-RAP-0006 Fagrapport forurensning [9].

2.2.6.19 H23

Det er utført hydrogenperoksidtest på prøver hentet fra 5 og 65 m. Resultater er presentert i NV42E18YR-YML-RAP-0006 Fagrapport forurensning [9].

2.2.6.20 Resultater fra analyse av borkaksprøver

Borkaksprøvene er klassifisert ut ifra «*Retningslinjer for tiltak i områder med syredannende gneis*», utarbeidet av Prosjektgruppen for kontroll på svovelholdig avrenning i Agder [31]. Totalt ble 105 prøver fra ca. hver 10. meter fra 11 hammerhull (H02-04, H06, H09-11 og H20-23) undersøkt. Borkaksprøver av løsmasser ble ikke analysert. Alle prøver med et svovelinnhold større enn 1 000 mg/kg, pluss noen med lavere svovelinnhold, ble sendt til Vannlaboratoriet AS for en hydrogenperoksid-test.

XRF-analyser av borkaksprøvene ga en gjennomsnittskonsentrasjon av svovel på 590±900 mg/kg (1SD). Av disse hadde 15 prøver (14% av prøvene) en svovelkonsentrasjon større enn 1500 mg/kg, hvorav høyeste konsentrasjon var 5633 mg/kg. Bergartstypene langs

hammerhullene er ikke kartlagt, men det antas at svovelkonsentrasjonene over 1500 mg/kg også skyldes sprekkesoner, tilsvarende kjerneprøver.

Fem av 28 prøver som ble sendt inn for testing var klassifisert som syredannende. I alle tilfeller skyldes denne klassifiseringen temperaturøkningen fra hydrogenperoksidtesten og ikke fra målt svovelkonsentrasjon.

Det henvises til NV42E18YR-YML-RAP-0006 Fagrapport forurensning [9] for resultat og supplerende informasjon.

2.2.7 Prøvetakning steinmateriale

Det er tidligere utført tester på glimmergneis fra Kristiansand pukkverk [32], se lokalitet K i figur 2-18. Fra tynnslip av glimmergneis er det påvist en andel kvarts på 50 % og 18 % glimmer. I bruddet er det generelt registrert biotittisk og granittisk gneis, med tykke lag med høyt glimmerinnhold. Prøvene er tatt omtrent 700 m nord for hovedtraseen for Ytre ringvei, og ca. 380 m nord for påkjæringsrampen ved Dalene. Det kan antas tilsvarende bergmasse langs deler av tunnelen.

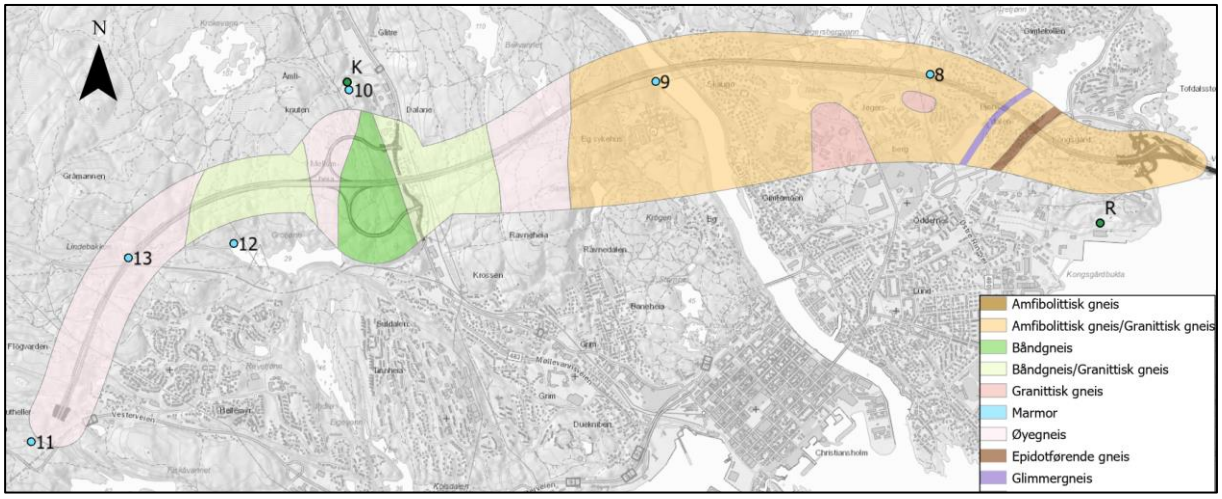
Ved Ringknuten pukkverk (lokalitet R i figur 2-18) er det registrert granitt og biotittisk gneis [33]. For gneisen er det påvist 42 % kvart og 7 % glimmer fra tynnslip. Det er også utført tester for veiformål, en oppsummering av resultatet er gitt i tabell 2-6. Ringknuten pukkverk er omtrent 350 m sør for traseen ved påhuggsområdet ved Vige. Det kan antas tilsvarende bergarter langs deler av tunnelen.

Tabell 2-6: Oppsummering av testresultat for gneis fra Ringknuten pukkverk [33].

Testmetode	Gjennomsnittsverdi (minimum-maksimum)
Abrasjon (Abrasjonsverdi)	0,43 (0,37-0,48)
Abrasjon (SA-verdi)	2,75 (2,5-3,0)
Fallprøve (Sprøhetstall)	41,8 (39,2-44,4)
Fallprøve (Flisighet)	1,39 (1,34-1,43)
Fallprøve (Steinklasse)	2,0 (2,0-2,0)
Kulemølleverdi	15,1
Flisighetsindeks	29
Los Angeles-verdi	25
Micro-Deval-koeffisient	11
Poleringsmotstand	52

I tilknytning til prosjektering av Ytre ringvei er det foretatt prøvetakning av steinmateriale fra 6 ulike lokaliteter, innhentet av TT-anlegg 03.03.2022, fra skjæringer og bergblotninger i dagen. Prøvelokalitetene er vist i figur 2-18. Steinmaterialet er testet for Los Angeles-verdi

(LA) og Micro-Deval-koeffisient (MD). Resultatet fra testene er vist tabell 2-7. For bilder av prøvelokalitetene og resultater oversendt fra TT-anlegg henvises det til vedlegg 4.



Figur 2-18. Oversikt over prøvelokaliteter for test av steinmateriale. K og R henviser til prøvelokaliteter ved henholdsvis Kristiansand og Ringknuten pukkverk.

Tabell 2-7. Los Angeles-verdi (LA) og Micro-Deval-koeffisient (MD) fra prøvetakning av steinmateriale.

Prøvenr.	LA	MD	Prøvested	Antatt bergart
8	25	8	V/Tretjønnveien	Granittisk gneis
9	33	9	Otraelva v/Sørlandet sykehus	Granittisk/amfibolittisk gneis
10	28	11	Setesdalsveien v/Jernstøperiet	Øyegneis
11	53	16	Grauthellerheia	Øyegneis
12	64	29	Grotjønn	Båndgneis/granittisk gneis
13	68	23	Lillejordet	Øyegneis

Norconsult har fått opplyst fra E39 Kristiansand vest – Mandal øst at steinmaterialet fra prosjektet benyttes som frostsikringslag og forsterkningslag.

3 Faktadel – Beskrivelse av grunnforhold

3.1 Topografi

Tunneltraseen er planlagt gjennom et varierende terreng. Generelt er landskapet svært kupert, men det finnes også områder med flatere terreng. Traseen krysser tre markerte daler: ved Otra, Dalane og Kjerrane.

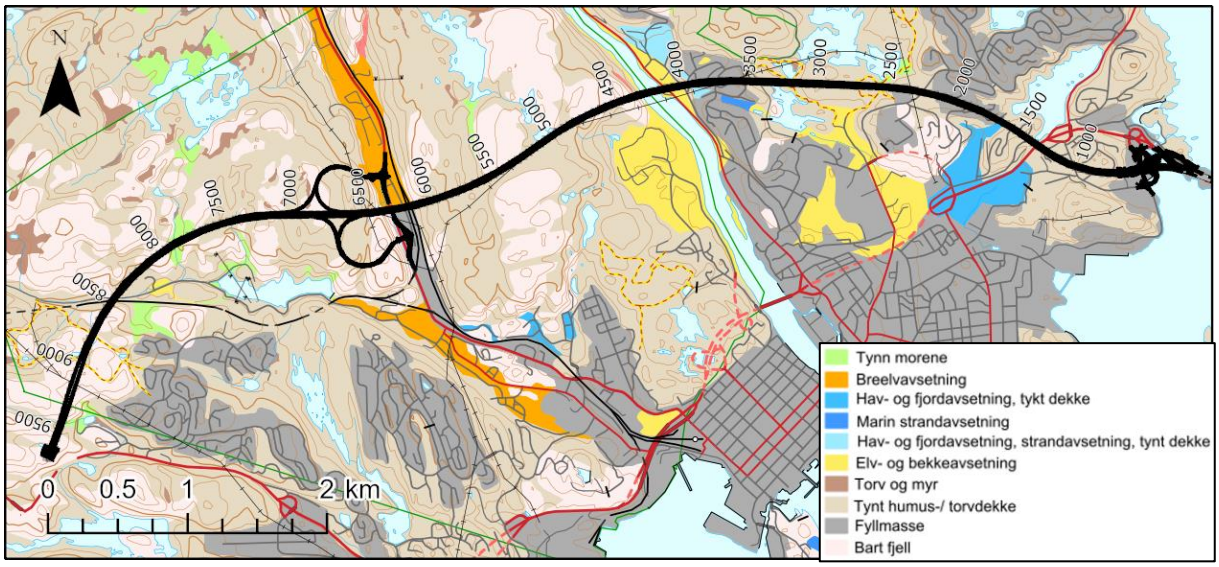
Mellom Vige og Sødal skal tunnelen drives hovedsakelig under områder med bebyggelse. Terrenget har varierende grad av kupering. Tunnelen drives under flere heier/fjellpartier, som gir god overdekning, men drives også under flere relativt flattliggende områder med varierende løsmassetykkelse. Mellom Otra og Grauthelleren skal tunnelen stort sett drives under skogsområder og utmark, med unntak av kryssingen av Dalane hvor det er bebyggelse over traseen. Terrenget er i disse områdene kupert, og veksler mellom høydedrag med berg i dagen og dalsøkk med løsmasser, et landskap som er typisk for regionen. Sidene av dalsøkkene er generelt svært steile.

Bergoverdekningen varierer mellom ca. 10 og 200 m. Hovedsakelig er det god overdekning, men det er også enkelte partier med lav overdekning. Dette er omtalt i kapittel 4.3.

3.2 Løsmasser

Figur 3-1 viser NGUs kvartærgeologiske kart over området [19]. I heiområdene er det typisk bart berg eller tynt torvdekke på toppene, og morenedekke i bunn av dalsøkkene. Det er også enkelte partier med torv og myr. I de flattliggende områdene er det forskjellige typer løsmasser. Flere av disse områdene er dekket av marine avsetninger. Det er også partier med elv- og breelvavsetninger. I vestsiden av Dalane ligger det urmasser i skråningen ned mot dalbunnen.

Det er påvist kvikkleire i flere områder langs tunneltraseen [34]. Dette gjelder ved Bjørndalssletta, Sødal og Eg.



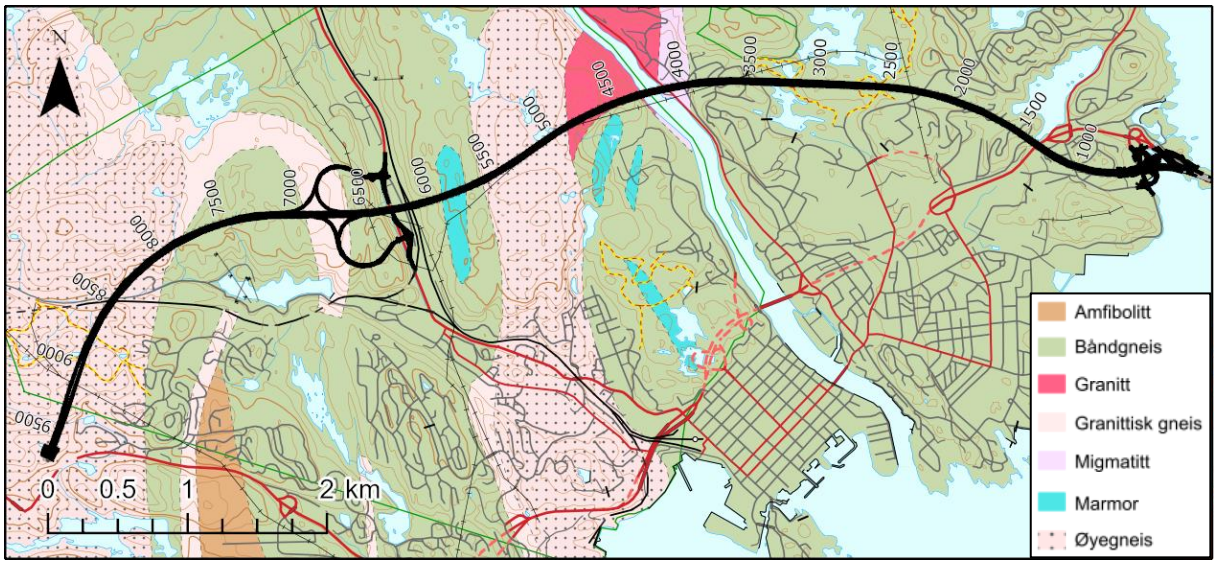
Figur 3-1: Kvartærgeologisk kart fra NGU (kartleggingsmålestokk 1:50 000). Hentet fra [19]. Profilnummer for vestgående løp.

3.3 Avrenningsforhold og sårbar natur

Avrenningsforhold og sårbar natur er omtalt i NV42E18YR-GEO-RAP-0004 Fagrapport hydrogeologi [7].

3.4 Berggrunnsgeologi

Prosjektet ligger innenfor grunnfjellsområdet i Sør-Norge. Dette domineres av prekambriske bergarter som granitt og gneis. NGUs berggrunnskart [18] over området (kartleggingsmålestokk 1:250 000) er vist i figur 3-2.



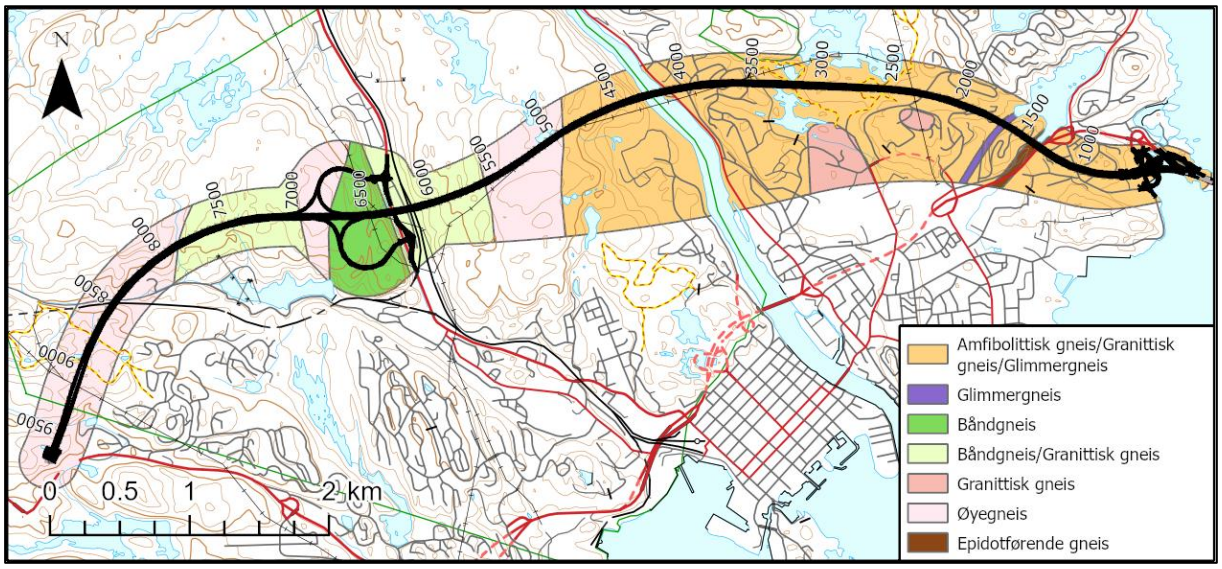
Figur 3-2: Berggrunnsgeologisk kart fra NGU (Kartleggingsmålestokk 1:250 000), hentet fra [18]. Profilnummer for vestgående løp.

Det pågår for tiden arbeid med geologisk kartlegging i Kristiansand-området av NGU. Dette skal resultere i et geologisk kart i målestokk 1:50 000. Til nå er det gjort svært lite kartlegging innenfor traséområdet for Ytre ringvei. Norconsult og Nye Veier har hatt dialog med NGU for å utveksle informasjon om geologien i området.

I området finnes det ifølge NGU bergarter som øyegneis, båndgneis, pegmatitt, migmatitt, kvartsitt, glimmergneis, granittisk gneis og marmor. Hoveddelen av tunnelen skal drives gjennom forskjellige typer gneiser. Gneisene har en varierende sammensetning, typisk amfibolittisk eller granittisk. Båndgneis og øyegneis er vanlig. I tillegg er det registrert innslag av pegmatitt. Pegmatittlinsene har en typisk størrelse på cm- til meter-skala.

Ifølge NGUs berggrunnskart er det forekomster av marmor i Bymarka. Det har historisk også vært drift på små forekomster av kalkspatmarmor ved Jegersbergvannene (Kalkheia landskapsvernområde). Linsene er i dette området flattliggende strukturer. Det er ikke registrert marmor under befaring. På grunn av målestokken på NGU-kartet (1:250 000), vil størrelsen på disse forekomstene være overdrevet. Nyere kartlegging av NGU nær prosjektområdet har påvist slike soner med typisk mektighet 3-4 m. Det kan ikke utelukkes at det kan påtreffes mindre linser av marmor på tunnelnivå.

Registreringer av bergarter i forbindelse med feltkartlegging stemmer bare til en viss grad med registreringene på NGUs berggrunnskart. Typisk veksler det mellom båndgneis, pegmatitt og granittisk/amfibolittisk gneis over korte avstander, dette er ikke mulig å representere på kart med målestokk 1:250 000. Et modifisert berggrunnskart basert på en detaljert kartlegging over tunneltraseen er vist i figur 3-3. Bergartene er i dette kartet ikke inndelt på samme måte som på NGUs kart. På grunn av hyppige vekslinger mellom ulike gneistyper, er det delt inn i områder basert på hvilke bergarter som er mest representert. Bergartsgrensene på kartet representerer derfor ikke nødvendigvis skarpe overganger, men en endring i mengdeforholdet av de ulike gneistypene. Det eneste unntaket fra dette er grensen mellom øyegneis og granittisk gneis/båndgneis i Bymarka (profil 5600). Denne sammenfaller med en forventet svakhetssone (nummer 46, se vedlegg 1 – tegning V518 og figur 4-5) og et gjennomgående søkk i terrenget.



Figur 3-3: Berggrunnskart basert på detaljert ingeniørgeologisk kartlegging over tunneltraseen. Profilnummer for vestgående løp.

3.4.1 Vige-Bjørndalen

Geologien i dette området er karakterisert av en hyppig endring i bergartstype og orienteringer av bergartsgrenser. Det veksles mellom bergarter som amfibolittisk gneis, granittisk gneis, øyegneis og pegmatitt. Det er også observert noe diorittisk gneis.

Ved Bjørndalssletta er det påtruffet en epidotførende sone. Denne er identifisert ved kartlegging i dagen og i hammerhull H02.

På østsiden av Bjørndalen og ved Bjørndalssletta har det blitt kartlagt glimmergneis. Ved Bjørndalen har denne bergarten en plan foliasjon, og er stedvis skifrig. Foliasjonsretningen faller her ca. 30 grader mot SØ.

3.4.2 Presteheia-Otra

Mellom Presteheia og Otra veksles det mellom amfibolittisk og granittisk gneis. Det er også observert noe diorittisk gneis. I enkelte områder er det også registrert større sammenhengende partier med granittisk gneis. I Presteheia er det observert kvartslinser. Det kan ikke utelukkes at det påtreffes partier med kvartslinser på tunnelnivå.

Foliasjonen er i dette området generelt subhorisontal, men noe undulerende.

3.4.3 Otra-Dalane

Fra profil 0 til 4 900 er det observert en veksling mellom glimmergneis, amfibolittisk gneis og granittisk gneis. Det er observert partier med høyt kvartsinnhold. Mellom profil 4 900 og profil 5 600 er det registrert et parti med ren granittisk gneis/øyegneis. Etter profil 5 600 er det en veksling mellom granittisk gneis og båndgneis, med mer utpregede foliasjonssprekker.

Observerte bergblotninger viser en generelt massiv bergmasse.

Foliasjonen i dette området er varierende. Fra profil 0 til 5 600 er foliasjonen svært undulerende. Etter dette faller den i hovedsak 40-50 grader mot VSV.

3.4.4 Dalane-Grauthelleren

Mellom profil 6 200 og 6 700 er det hovedsakelig observert båndgneis. Det er registrert berg av god kvalitet helt ned mot dalbunnen på vestsiden av Dalane. Mellom profil 6 700 og profil 6 950 er det registrert et parti med granittisk gneis/øyegneis. Deretter er det et parti med veksling mellom granittisk gneis og båndgneis mellom profil 6 950 og profil 7 850. Dette er ifølge NGUs berggrunnskart en del av en synklinal-struktur, med foldakse i retning NNV-SSØ. Fra profil 7 850 og til Grauthelleren består berggrunnen av granittisk gneis/øyegneis. Mange blotninger viser en svært massiv bergmasse.

Den granittiske gneisen er i området stedvis grovkornet.

Mellom Jentetjønn og Grauthelleren krysser tunnelen flere dype markerte søkk i terrenget som har en orientering Ø-V. Bergmassen i sideberget fremstår som grovblokkig og kompetent. Det er stedvis observert berg i dagen i midten av søkkene.

Foliasjonsretningen varierer langs denne strekningen. Mellom ca. profil 5 600 og 6 950 er foliasjonsretningen relativt konstant, med et fall på ca. 50 grader mot vest. Deretter drives tunnelen gjennom synklinalstrukturen, slik at fallet gradvis dreier mot sør og deretter mot øst. Fra Kjerrane til Grauthelleren har foliasjonen en fallretning på ca. 60 grader mot ØSØ.

3.5 Bergmassens detaljoppsprekking

3.5.1 Generelt

Utenfor områder påvirket av svakhetssoner, fremstår bergmassen som grovblokkig til moderat oppsprukket, stedvis massiv. Oppsprekkingen skjer i hovedsak langs tre gjentakende sprekkeretninger (sprekkesett). I tillegg forekommer villsprekker, sprekker som ikke synes å følge noe bestemt retning eller mønster.

Orienteringen på hovedsprekkesettene varierer langs tunneltraseen. I de østligste partiene av traseen er foliasjonssprekkene generelt subhorisontale. Dette gjelder øst for en større svakhetssone i Bymarka (sone nummer 46, se tabell 4-1). Mellom denne sonen og Mellomheia faller foliasjonen generelt 40-60 grader mot vest. Vest for Mellomheia dreier orienteringen på foliasjonen seg, først med slakt fall mot sør, og deretter mot øst. Mellom Kjerrane og Grauthelleren har foliasjonen et varierende fall mot øst.

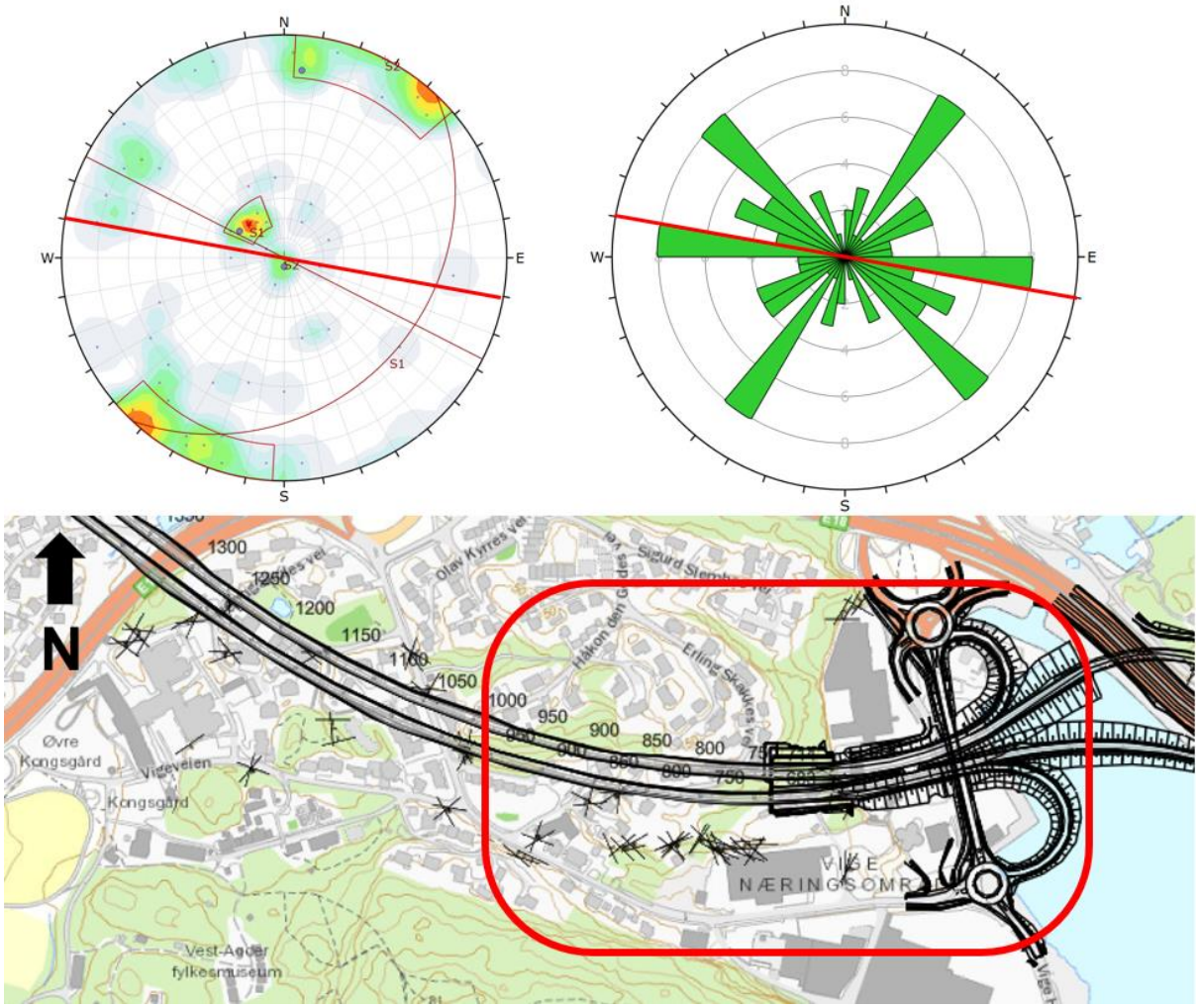
Typisk kartlagt sprekkeavstand er i intervallet 0,2-2 m, men varierer lokalt fra 0,01 m til over 8 m. Utholdenheten til sprekkene er hovedsakelig kartlagt til 2-5 m, men varierer fra 0,2 m til over 20 m.

Foliasjonen har en kartlagt typisk sprekkeavstand på 0,5-1 m og en typisk utholdenhet på 3-10 m, men dette varierer noe.

Grunnet variasjon i sprekkeorientering langs tunneltraseen samsvarer ikke nummereringen på sprekkesett i figurene i påfølgende kapitler mellom de ulike områdene.

3.5.2 Vige (profilnummer 650-950)

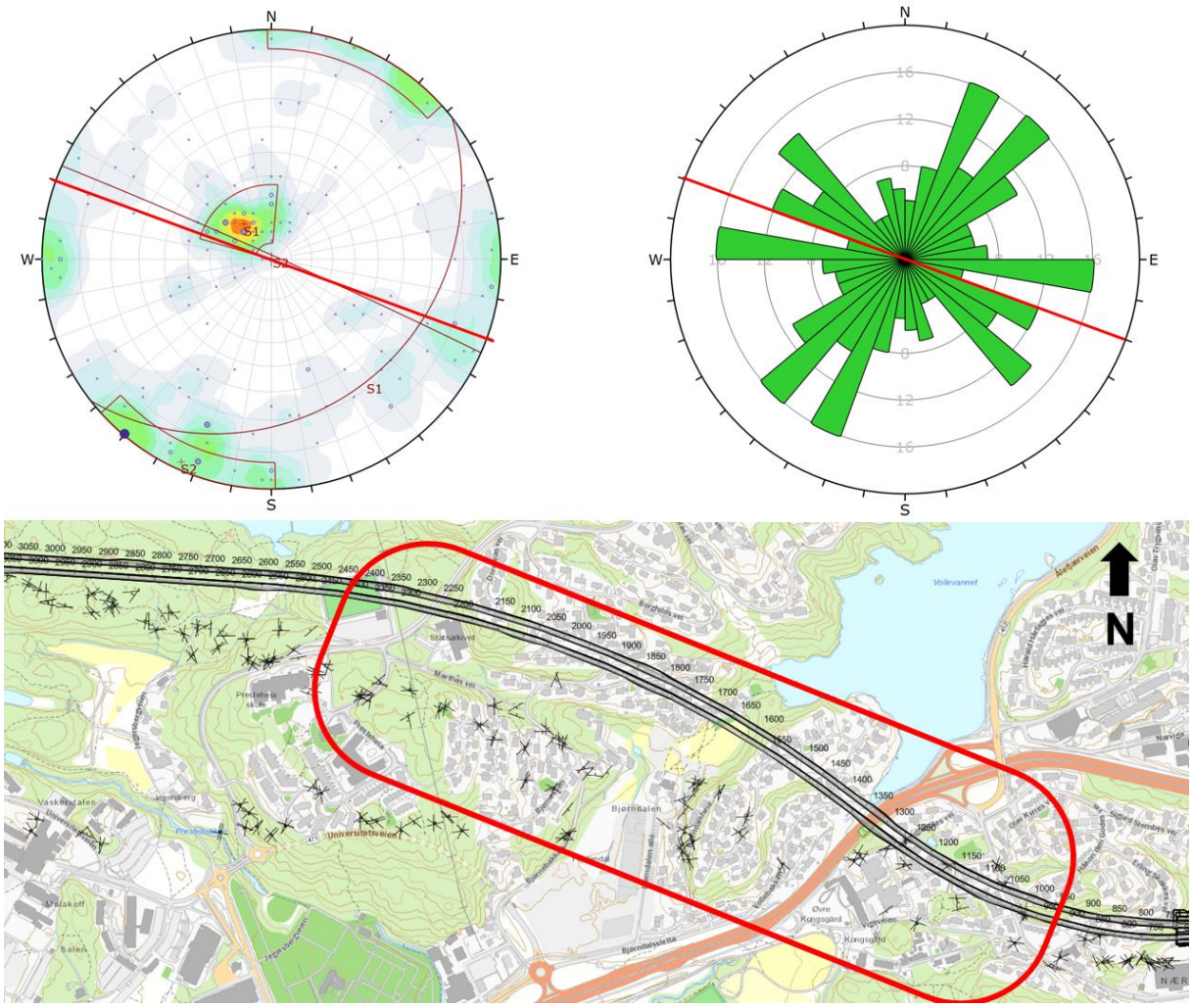
Sprekkemålingene nær forskjæring og påhugg i Vige er vist i figur 3-4. Generelt er inntrykket av oppsprekkingen i dette området at det er svært varierende sprekkeretninger. Det er registrert to hovedsprekkesett i området med henholdsvis gjennomsnittlig fall/fallretning 24°/133° og 90°/209°. Følgelig vil ett registrert sprekkesett ha et slakt fall med strøk på tvers av tunnelen, og ett vil ha steilt fall med strøk subparallelt tunnelen. I tillegg er det registrert en del villsprekker med varierende strøk og fall i området.



Figur 3-4: Sprekkeanalyse for område 1, ved påhugg Vige, profilnummer 650-950. Omtrentlig tunnelorientering i området er tegnet inn i stereoplot og sprekkerose. Det er utført 59 målinger i området.

3.5.3 Bjørndalssletta-Presteheia (profilnummer 950-2 450)

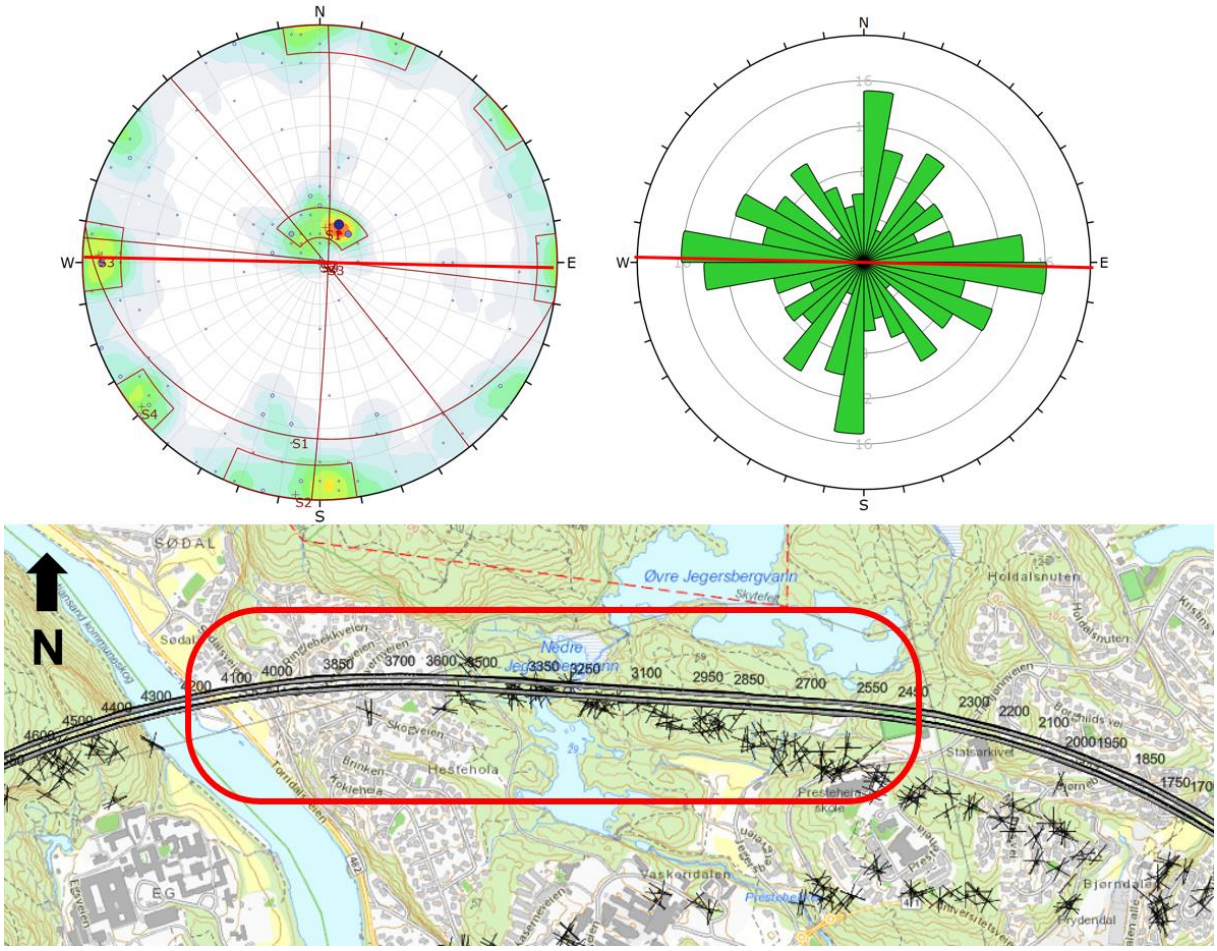
Sprekkeregistreringer i område Vige-Bjørndalen-Presteheia er vist i figur 3-5. Det er registrert to hovedsprekkesett i området med gjennomsnittlig fall/fallretning 22°/142° og 88°/024°. I tillegg er det registrert forholdsvis mange villsprekker. Sprekkesettene vil henholdsvis ha et slakt fall med strøk på tvers av tunnelen og et steilt fall subparallelt med tunnelen.



Figur 3-5: Sprekkeanalyse område 2, Vige-Bjørndalen-Presteheia, profilnummer 950-2 450. Omtrentlig tunnelorientering i området er tegnet inn i stereoplot og sprekkerose. Det er utført 161 målinger i området.

3.5.4 Jegersberg (profilnummer 2 450-4 200)

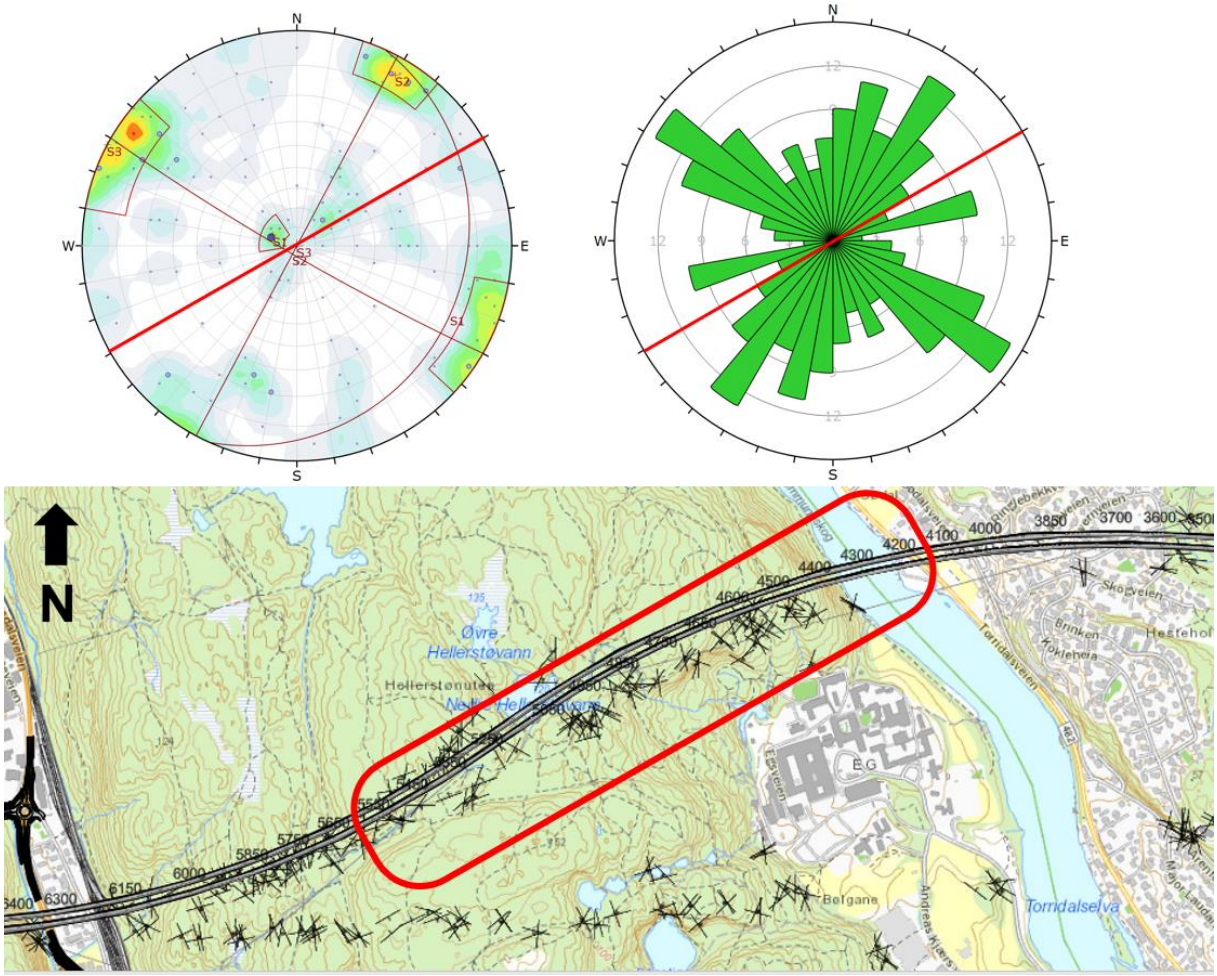
Sprekkeregistreringer er vist i figur 3-6. Det er registrert fire sprekkesett i området med gjennomsnittlig fall/fallretning 17°/189°, 89°/006°, 86°/092° og 88°/051°. Ett sprekkesett har steilt fall og strøk subparallelt tunnelen, to sprekkesett har steilt fall som krysser på tvers av tunnelen og ett sprekkesett har slakt fall med strøk subparallelt tunnelen. Det er også en del villsprekker i området.



Figur 3-6: Sprekkeanalyse område 3, Jegersberg, profilnummer 2 450-4 200. Omtrentlig tunnelorientering i området er tegnet inn i stereoplot og sprekkerose. Det er utført 158 målinger i området.

3.5.5 Bymarka øst (profilnummer 4 200-5 600)

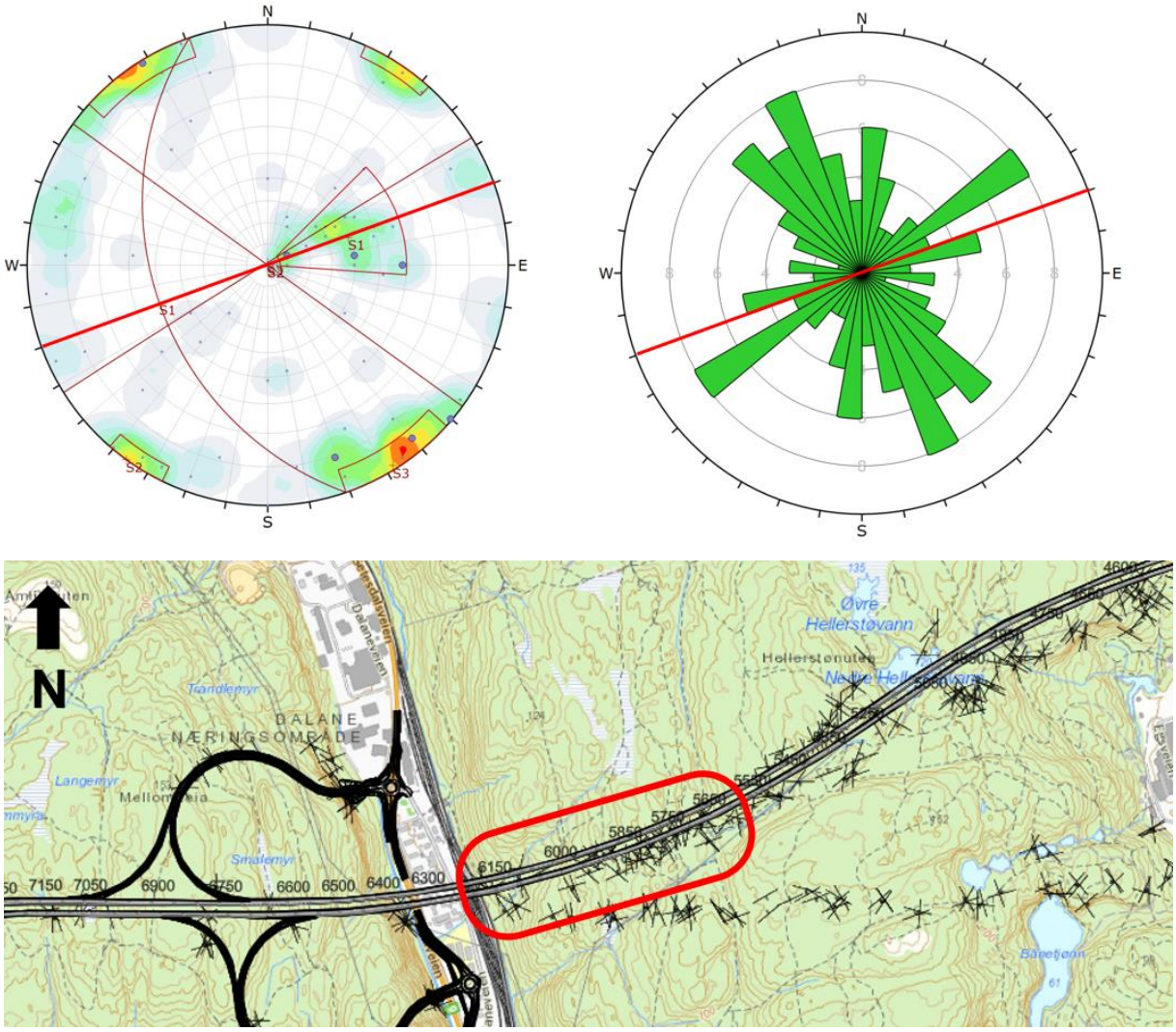
Sprekkeregisteringer i Bymarka øst er vist i figur 3-7. Det er registrert tre sprekkesett i området med gjennomsnittlig fall/fallretning 14°/114°, 85°/210° og 90°/118°. To sprekkesett krysser på tvers av tunnelskasen med et steilt fall, mens ett sprekkesett har slakt fall med strøk på tvers av tunnelen. Det er også en del villsprekker i området.



Figur 3-7: Sprekkeanalyse område 4, Bymarka øst, profilnummer 4 200-5 600. Omtrentlig tunnelorientering i området er tegnet inn i stereoplot og sprekkerose. Det er utført 140 målinger i området.

3.5.6 Bymarka vest (profilnummer 5 600-6 200)

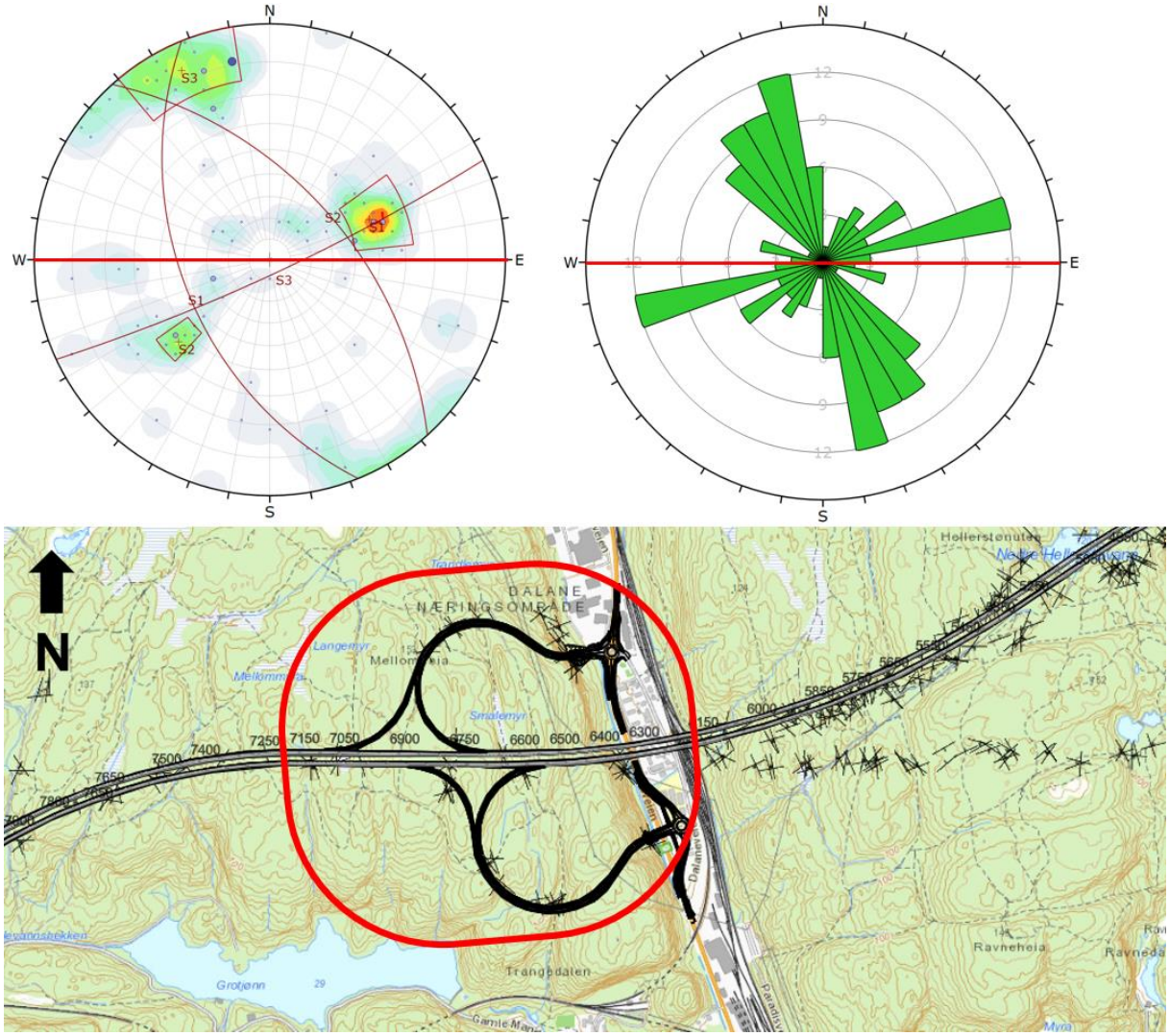
Sprekkeregisteringer i Bymarka vest er vist i figur 3-8. Det er registrert tre sprekkesett i området med gjennomsnittlig fall/fallretning 39°/251°, 90°/036° og 89°/328°. Ett sprekkesett har steilt fall subparallelt tunnelen, ett har steilt fall på tvers av tunnelen og ett har et slakt fall på tvers av tunnelen. Det er også en del villsprekker i området.



Figur 3-8: Sprekkeanalyse område 5, Bymarka vest, profilnummer 5 600-6 200. Omtrentlig tunnelorientering i området er tegnet inn i stereoplot og sprekkerose. Det er utført 75 målinger i området.

3.5.7 Kryss Dalane (profilnummer 6 200-7 100)

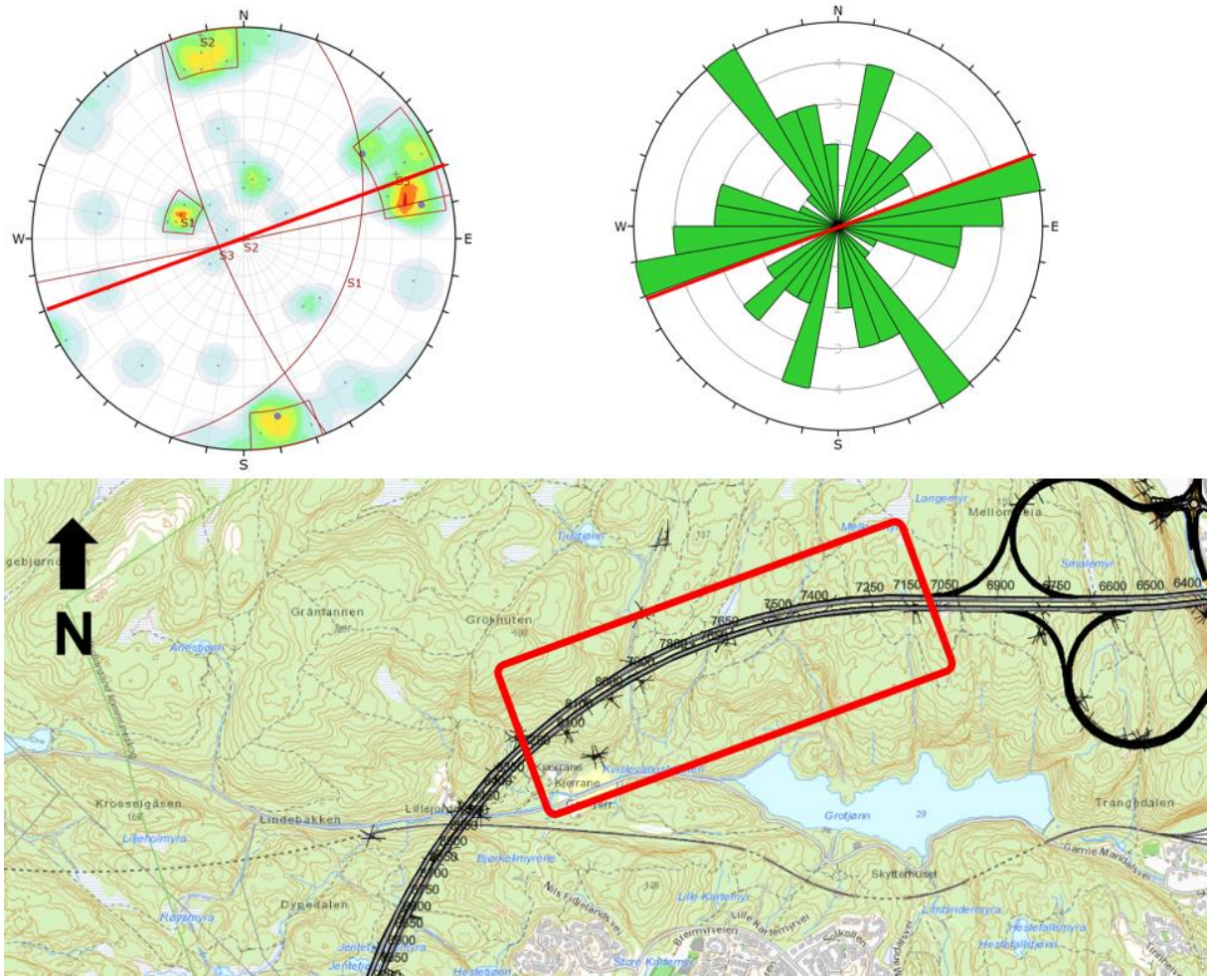
Sprekkeregisteringer ved krysset i Dalane er vist i figur 3-9. Som vist i figuren er det registrert tre markerte sprekkesett. Foliasjonsparallelle sprekker har gjennomsnittlig fall/fallretning 49°/248°, mens de to resterende sprekkesettene har orientering 55°/048° og 83°/155°. To av sprekkesettene vil ha moderat fall med strøk på tvers av tunnelen, mens ett sprekkesett vil ha et steilt fall som krysser tunnelen med lav vinkel. Det er også registrert en del villsprekker i området.



Figur 3-9: Sprekkeanalyse område 6, kryss Dalane, profilnummer 6 200-7 100. Omtrentlig tunnelorientering for hovedløpene til tunnelen i området er tegnet inn i stereoplot og sprekkerose. Det er utført 90 målinger i området.

3.5.8 Mellomheia (profilnummer 7100-8 200)

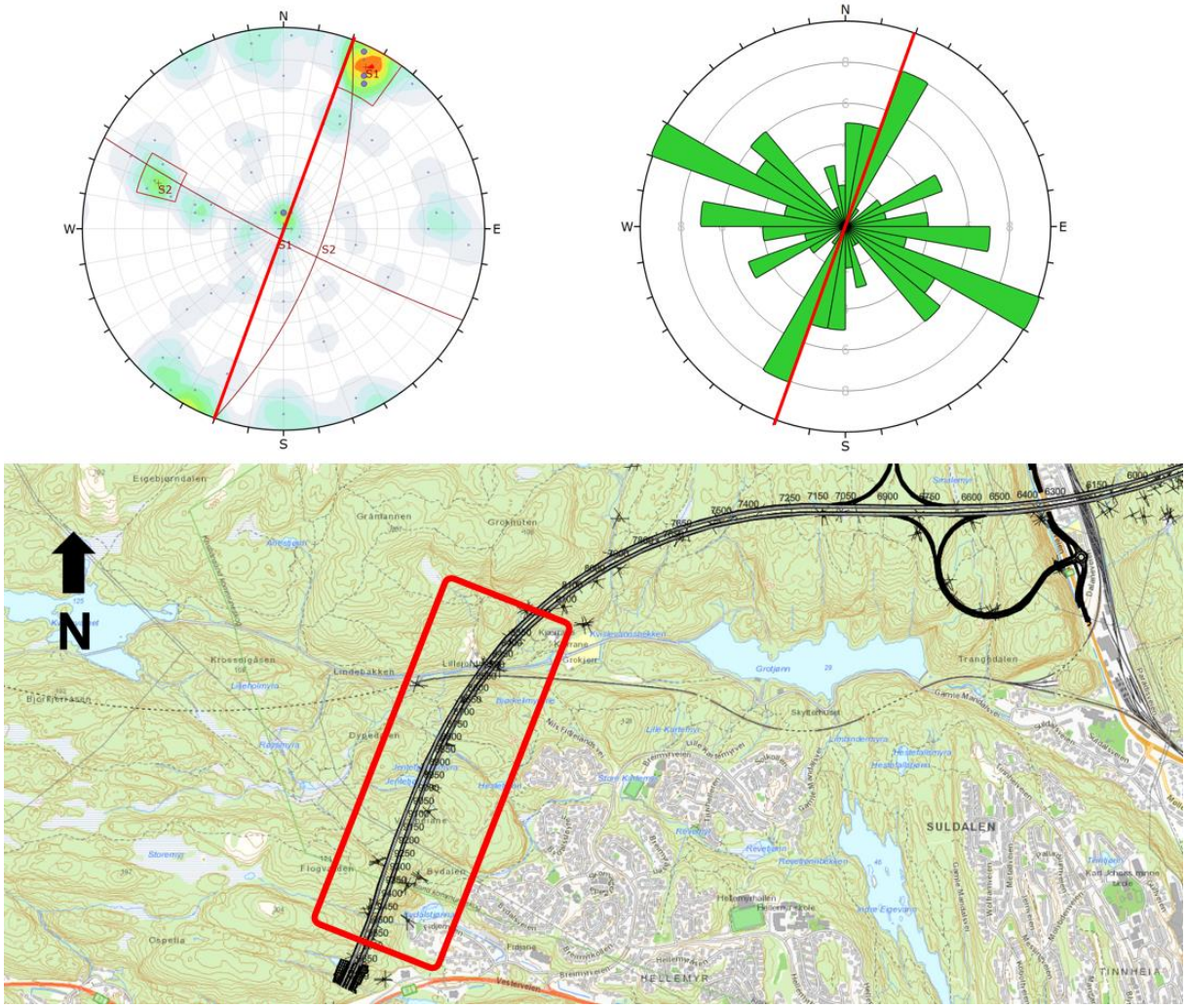
Sprekkeregisteringer i Mellomheia er vist i figur 3-10. Det er registrert tre sprekkesett i området med gjennomsnittlig fall/fallretning 35°/110°, 89°/168° og 76°/247°. Ett sprekkesett vil ha steilt fall subparallelt med tunnelen, mens to sprekkesett vil strøk på tvers av tunnelen med slakt til steilt fall. Det er også registrert en del villsprekker i området.



Figur 3-10: Sprekkeanalyse område 7, Mellomheia, profilnummer 7 100-9 500. Omtrentlig tunnelorientering i området er tegnet inn i stereoplot og sprekkerose. Det er utført 43 målinger i området.

3.5.9 Kjerrane (profilnummer 8 200-9 500)

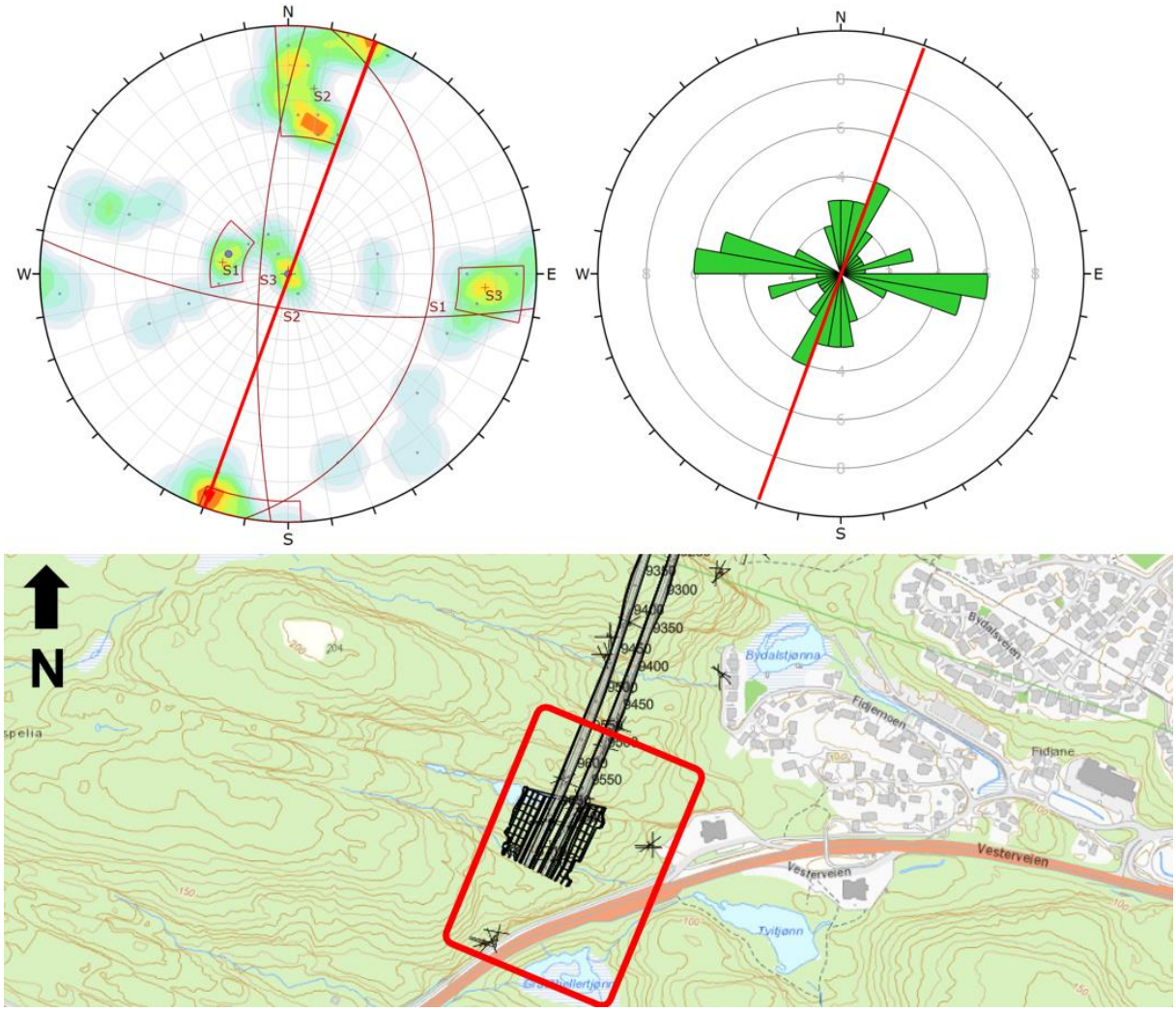
Sprekkeregisteringer i Kjerrane er vist i figur 3-11. Det er tolket ett sprekkesett i området med gjennomsnittlig fall/fallretning 84°/207° og 67°/110°. Sprekkesettet med steilt fall krysser på tvers av tunnelen, mens sprekkesett med moderat fall har strøk parallelt med tunnelen. Det er registrert en del villsprekker i området.



Figur 3-11: Sprekkeanalyse område 8, Kjerrane, profilnummer 8 200-9 500. Omtrentlig tunnelorientering i området er tegnet inn i stereoplot og sprekkerose. Det er utført 71 målinger i området.

3.5.10 Påhugg og forskjæring Grauthelleren (profilnummer 9 500-9 719)

Sprekkeregisteringer ved påhuggsområdet i Grauthelleren er vist i figur 3-12. Det er registrert tre sprekkesett i området med gjennomsnittlig fall/fallretning 30°/100°, 74°/188° og 77°/274°. Ett sprekkesett har et steilt fall på tvers av tunnelen, mens de to øvrige sprekkesettene har strøk subparallelt tunnelen og slakt til steilt fall.



Figur 3-12: Sprekkeanalyse område 9, påhugg Grauthelleren, profilnummer 9 500-9 719. Omtrentlig tunnelorientering i området er tegnet inn i stereoplot og sprekkerose. Det er utført 37 målinger i området.

3.6 Svakhetssoner

Tunneltraseen krysser et større antall forsenkninger i terrenget som antas å representere utgående av svakhetssoner. Sonene er identifisert ved kartstudier, feltkartlegging, kjerneboring og geofysiske undersøkelser (inkludert borehullsgeofysikk). De fleste sonene er befart i felt.

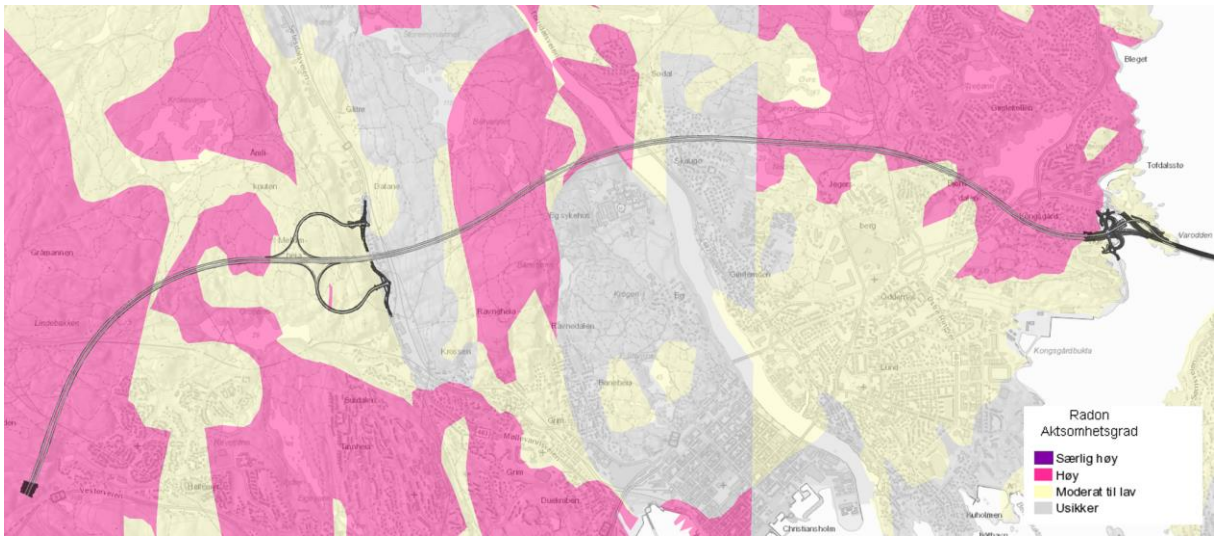
Det er hovedsakelig to systemer med svakhetssoner som dominerer området. Retningen på systemene varierer langs traseen. Øst for Otra går det ett system VNV-ØSØ og ett NNØ-SSV. Otra og Dalane markerer to større svakhetssoner i retning NNV-SSØ. Mellom disse går hovedstrukturene i retning NNV-SSØ og ØNØ-VSV. Vest for Dalane går hovedstrukturene i retning VNV-ØSØ og NNØ-SSV. Et oversiktskart med tolkede svakhetssoner i området er vist i vedlegg 1 – tegning V502.

Bergmassen i forsenkningene som utgjør sonenes utgående er generelt tildekket av løsmasser. Langs forsenkningene er bergmassen lokalt av dårligere kvalitet. Mekanisk forvitring (frostsprengning, avskalling fra bergsider (eksfoliasjon)) gir en del blokk- og flakdannelser i sideberget til svakhetssonene. Det er observert lite kjemisk forvitring av dagberget, med unntak av bergmassen på hver side av Bjørndalen. På vestsiden av Bjørndalen er det observert et tett oppsprukket parti. På østsiden er det registrert et parti med skifrig bergmasse.

Beskrivelse og tolkning av de enkelte svakhetssonene er listet i tabell 4-1, og tolkning av sonenes antatte forløp mot tunnelnivå er vist i BIM-modellen, samt i vedlegg 1 (tegning V511-V536).

3.7 Radon

Deler av traseen vil passere gjennom områder som er klassifisert med høy aktsomhetsgrad for radon [35], se figur 3-13. Deler av traseen passerer også gjennom områder klassifisert med usikker aktsomhetsgrad. Langvarig eksponering for radon er forbundet med økt risiko for enkelte sykdommer. Med hensyn til trafikanter og personell med kortvarig opphold i tunnelen, som for eksempel ved vedlikeholdsarbeid i driftsfasen, er det liten sannsynlighet for at radon skal utgjøre noe helsefare. Med hensyn til personer som skal oppholde seg i tunnelen over lenger tidsrom, som under driving av tunnelen, kan det være aktuelt å gjennomføre avbøtende tiltak dersom det er høye nivåer av radon. Det anbefales å gjennomføre målinger av radonnivået i tunnelen over tid for å avdekke eventuelt behov for tiltak mot forhøyede verdier av radon. Eksempler på avbøtende tiltak er forsterket ventilasjon og radonbrønner.



Figur 3-13. Aktsomhetskart for radon [35].

3.8 Bergarter med syredannende potensiale

Grunnfjellsområdet i Sør-Norge inneholder flere steder bergarter med syredannende potensiale. Når det sprenges i slike bergarter vil man få en økt hastighet i naturlig

syredannelse, som kan føre til en forsuring av vannmiljøet. Syredannende berg må håndteres spesielt for å unngå skader på ytre miljø.

Det har i forbindelse med bygging av E39 Kristiansand vest – Mandal øst blitt registrert mindre forekomster av sulfidholdig berg i veitraseen [14]. Forekomstene er vist i figur 3-14. Det er over 8 km fra nærmeste forekomst til Ytre ringvei. Likevel er forekomstene påtruffet i samme bergartstype som store deler av Ytre ringvei drives gjennom.

Figur 3-14: Forekomster av sulfidholdig berg på prosjektet E39 Kristiansand vest – Mandal øst.

Rustutfelling og pyritt kan være tegn på berg med syredannende potensiale. Generelt er det ved feltkartlegging observert lite av dette. Der dette er observert, er det i hovedsakelig i sammenheng med mørke gneiser. Det største partiet med rustutfellinger er observert vest for Bjørndalen (figur 3-15). Ellers er det svært liten grad av rust på sprekker.

Det er påvist materiale med syredannende potensiale i fem borkaksprøver fra hammerhull (se kapittel 2.2.6.20). For H20 er det påvist syredannende potensiale i dypet. For de resterende hammerhullene er det kun registrert syredannende bergmasse nær bergoverflaten.

Figur 3-15: Parti med rustutfelling vest for Bjørndalen.

3.9 Tunneler og bergrom nær tunnelen

En oversikt over eksisterende og planlagte tunnelanlegg i nærheten av traseen er gitt i påfølgende underkapitler.

3.9.1 Vanntunnel Krossen-Dalane

I vanntunnel Krossen-Dalane [15] er det ved to anledninger registrert ras inni tunnelen. I området for raset er det registrert to parallelle knusningssoner med bredder på 3-5 m. De to knusningssonene har et fall på ca. 70° mot NNV. Bergarten i området er registrert som en gneis-granitt gjennomsatt av svelleleire. Vanntunnelen befinner seg ca. 160 m fra påhugg ved Dalane sør.

3.9.2 Baneheitunnelen

Baneheitunnelen [16] ble åpnet i 2001 og er drevet gjennom gneis, tilsvarende bergarttype som deler av Ytre ringvei er forventet drevet gjennom. Baneheitunnelen befinner seg omtrent 1,8 km sørøst for planlagt tunnel, ved Kristiansand sentrum. Tunnelen har en bergoverdekning på 10-40 m. Tunnelsystemet består av flere kryss, samt tunneler som krysser over hverandre med relativt liten vertikalavstand. I tillegg ga krav til siktutvidelse i kurver tunnelbredder på opptil 20-30 m. Sikring ble utført systematisk bolting og sprøytebetong. Dette ga tilfredsstillende stabilitet, også i områder med store spenn kombinert med liten bergoverdekning.

I snitt ble det satt et tetthetskrav på 6 l/min/100 m tunnel for å ivareta vannstanden i Stampene over tunnelen. Prosjektet satte seg et mer ambisiøst mål med 2 l/min/100 m tunnel. Ved drivingens slutt er innlekkasjen målt til under 2 l/min/100 m tunnel. Dette ble oppnådd ved bruk av systematisk forinjeksjon med mikrosement tilsatt mikrosilika. Enkelte ganger ble Thermax benyttet for å tette grove utganger. Industrisement ble ikke benyttet. Det var i utgangspunktet planlagt at kun deler av tunnelen skulle injiseres, men det ble behov for forinjeksjon i hele tunnelen. All vanntetting ble utført ved forinjeksjon.

3.9.3 Vågsbygdporten tunnel

Vågsbygdporten tunnel [17] er en totalt 3,3 km lang tunnel fra Kolsdalen til Lumberkrysset, omtrent 2,4 km sør for Ytre ringvei. Tunnelen ble åpnet i 2014. Det er kartlagt varierende bergkvalitet, fra godt berg til svært oppsprukket bergmasse, samt flere svakhetssoner og slepper som krysser tunnelen. Mesteparten av bergmassen er kartlagt til klasse C og D i henhold til Q-systemet. Enkelte partier er fullt utstøpt, totalt 56 m. Utstøpning er gjort i partier der en av rampetunnelene krysser hovedløpene med liten avstand (ca. 2 m).

Under kartlegging på stuff er det registrert flere soner med innlekkasje. Enkelte partier ble injisert. Det var ikke satt noen tettekrav i tunnelen ettersom en eventuell grunnvannssenkning i området som følge av tunneldriften ble antatt å ikke medføre noen risiko for skade på omgivelsen. Behov for forinjeksjon ble derfor vurdert ut ifra drivetekniske aspekter.

3.9.4 Presteheitunnelen

Presteheitunnelen er ca. 500 m lang, og går fra Bjørndalen mot universitetet. Tunnelen ligger ca. 400 m fra Ytre ringvei. Det eksisterer ikke en geologisk rapport for prosjektet, men det er utarbeidet notater i forbindelse med tunnelinspeksjon [36] [37].

Berggrunnen består av granittisk gneis og glimmergneis, gjennomsatt av pegmatitter. Det ble under driving registrert Q-verdier mellom 1,25 og 7,5. Tunnelen krysses ikke av noen større svakhetssoner, men det er påtruffet enkelte sprekkesoner/slepper med noe leire.

3.9.5 Jernbanetunnel Dalane-Vige (plan)

Det er planer for en jernbanetunnel for godstrafikk mellom Dalane og ny havn i Vige. Ved planlegging av trasé for Ytre ringvei er det tatt hensyn til tunnelforslaget som foreligger, slik at veitunnelen ikke kommer i direkte konflikt med planlagt jernbanetunnel. Minste avstand mellom planlagt vei- og jernbanetunnel er ca. 15 m ved profil 1 230 for østgående løp.

3.9.6 E39 Kristiansand vest - Mandal øst (under bygging)

E39 Kristiansand vest - Mandal grenser til Ytre ringvei ved Grauthelleren. Prosjektet er på totalt 19 km, med 5 tunneler på strekningen, der den lengste er på ca. 4 km.

På prosjektet er det påtruffet svakhetssoner med svelleleire. Blant annet er det i Vollebergtunnelen påtruffet en sone med frisvelling på 200 % og svelletrykk på 0,33 MPa [38]. Sonen ble sikret med sprøytebetongbuer (c/c 2 m) [39]. I Søgnetunnelen ble det kartlagt 11 svakhetssoner med bergmasseklasse ned til klasse E [40]. Svakhetssonene har typisk en brå overgang fra bergmasseklasse C til E. Sonene er typisk sikret med enkeltarmerte sprøytebetongbuer.

3.9.7 Groheitunnelen

Groheitunnelen er en ca. 2 km lang jernbanetunnel på Sørlandsbanen som strekker seg fra Grotjønn ved Kjerrane til Grohei ved Nodeland i Kristiansand. Tunnelen ble åpnet i 1943. Det foreligger ikke noe kjent dokumentasjon fra drivingen av tunnelen.

I oktober 2020 befarte Norconsults ingeniørgeologer (Deuts Tse og Kristine Sæthern) tunnelen sammen med en representant fra Bane NORs driftsavdeling (Odd Jarle Bilstad). Grunnet begrenset tilgjengelig tid mellom togavganger ble det ikke utført noen detaljert kartlegging i tunnelen.

Basert på observasjoner er det rimelig å anta svært vekslende bergmassekvalitet i området. Registrert bergmasse viser alt fra massivt berg (figur 3-16) til tett oppsprukket berg (figur 3-17) i svakhetssoner. Enkelte steder er det drevet mindre tunneler parallelt med hovedtunnelen i forbindelse med spesielt dårlig berg og behov for full utstøpning.

Figur 3-16. Massivt berg i jernbanetunnelen.

Figur 3-17. Oppsprukket berg i mindre tunnel drevet parallelt med hovedtunnel.

3.9.8 Vanntunnel Dalane-Eg

Mellom Dalane og Eg finnes det en VA-tunnel. Prosjektet har ikke kjennskap til om det finnes dokumentasjon fra driving av denne tunnelen.

3.10 Oppsummering faktadel

Langs traseen er det utført geologisk feltkartlegging, totalsonderinger, elektrisk resistivitetstomografi (ERT), refraksjonsseismikk (tradisjonell og tomografisk tolkning), akustisk profilering, hammerhullsboring og kjerneboring. Det er også utført tester av bergartsmateriale med hensyn til anvendelse av steinmateriale fra enkelte lokaliteter langs traseen.

Tunnelen skal i hovedsak drives gjennom ulike typer gneiser, herunder amfibolittisk gneis, granittisk gneis, båndgneis, glimmergneis og øyegneis, samt pegmatitt. Bergmassen er generelt grovblokkig og av god til middels kvalitet (utenom svakhetssoner). Det er generelt registrert 3 sprekkesett pluss tilfeldige sprekker.

Tunneltraseen krysser et større antall forsenkninger i terrenget som antas å representere utgående av svakhetssoner. Det er ved kjerneboring påvist svelleleire i svakhetssonene

under Otra, Dalane og Kjerrane. Tester viser at svelleleiren har meget høy frisvelling og meget høyt svelletrykk

Bergoverdekningen varierer, mellom ca. 10 og 200 m. Under Otra, Dalane og Kjerrane er det lav bergoverdekning, samt ved påhugg for nordre tilførselstunnel i Dalane.

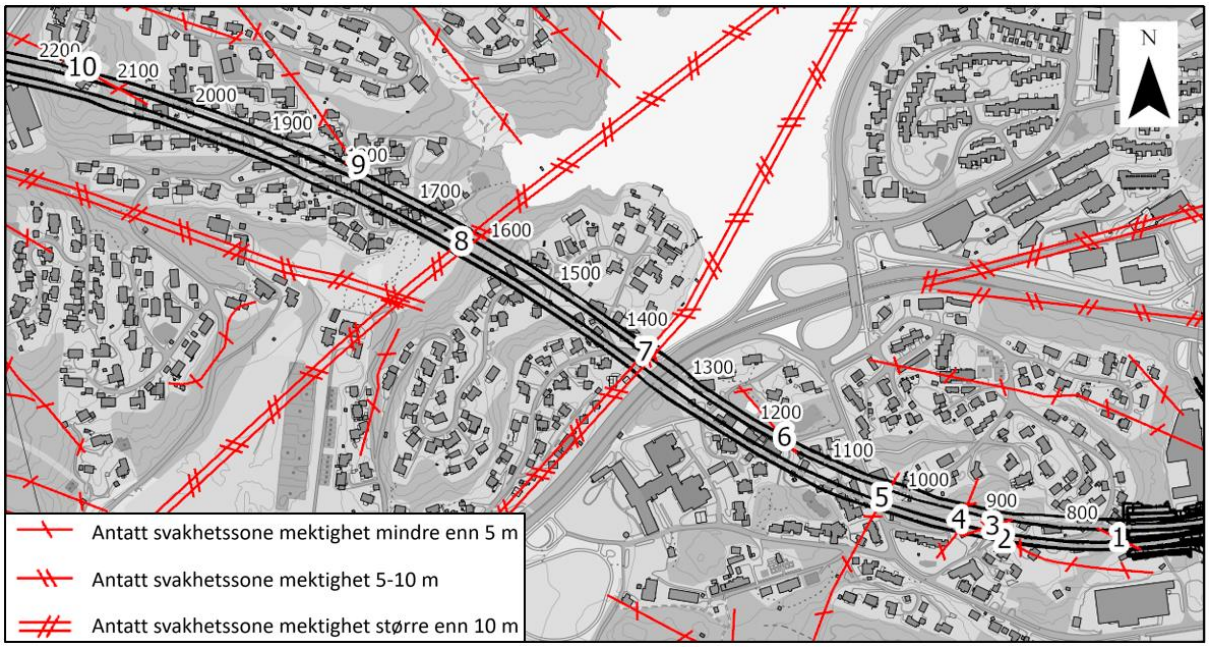
Tunnelen drives under flere områder med setningsømfintlige løsmasser og fuktkrevende naturtyper.

4 Tolkningsdel – Vurdering av grunnforholdene

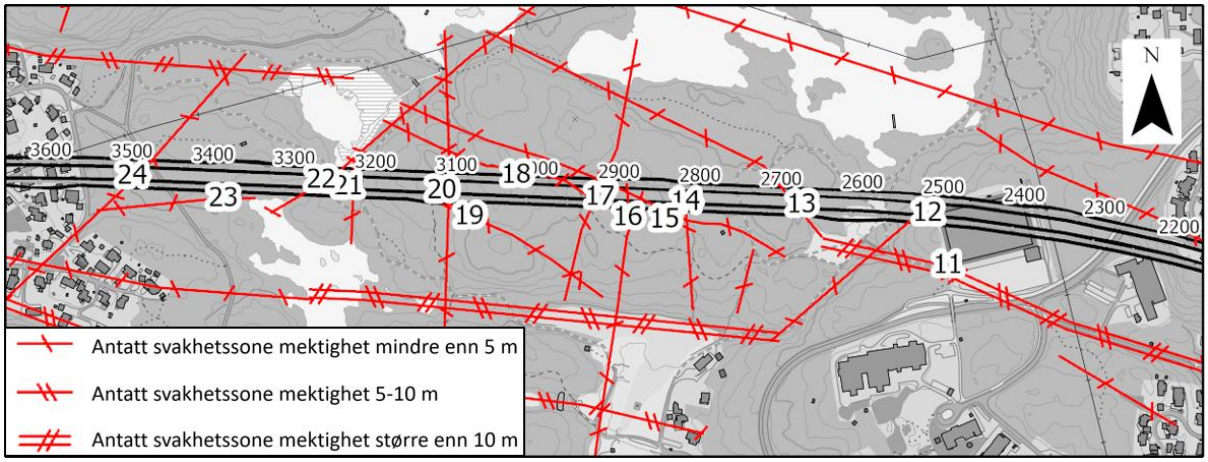
4.1 Tolkning av svakhetssoner

Det forventes at tunnelen krysser et større antall svakhetssoner. Det er utført grunnundersøkelser for å få informasjon om bergmassekvalitet og mektighet for enkelte av svakhetssonene. For resten av sonene (basert på kartstudier og feltbefaringer) er omfang og karakter av svakhetssonene svært usikkert. Som beskrevet i kapittel 3.6 er svakhetssonenes utgående generelt tildekket av løsmasser. Det er sideberget som hovedsakelig er eksponert ved sonens utgående. Dette forventes generelt å være av bedre kvalitet enn kjernen av sonen.

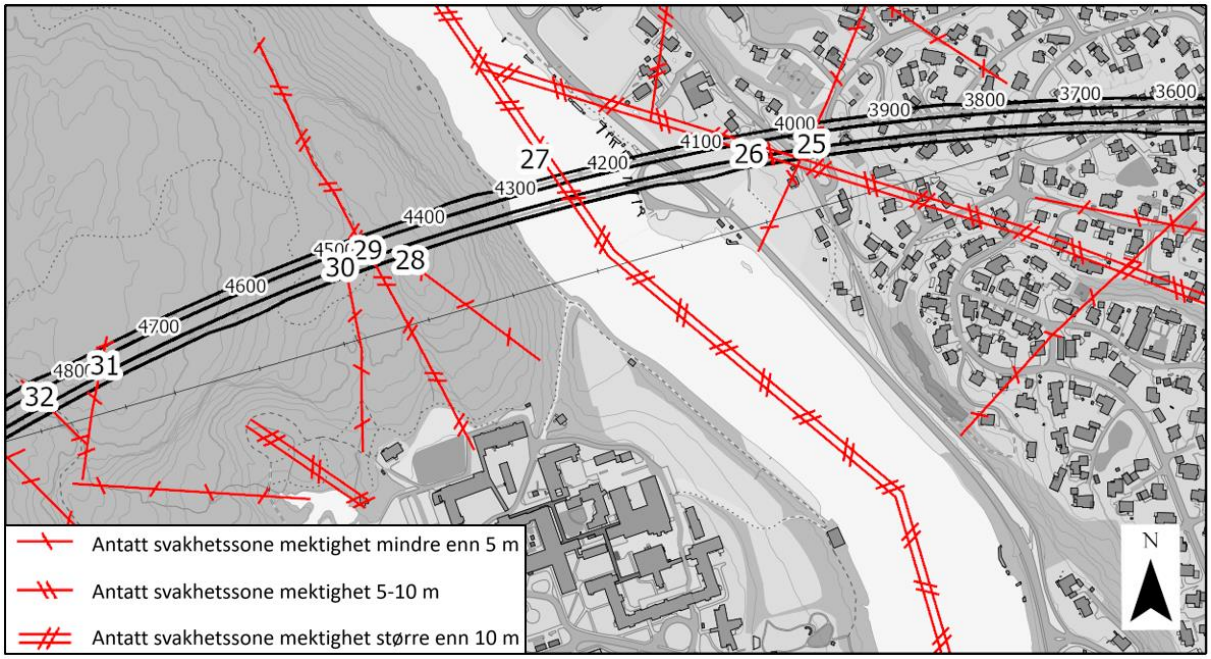
En oversikt over svakhetssoner (med nummerering) er vist i figur 4-1 til figur 4-7. Svakhetssonenes forløp mot dypet fremgår av BIM-modellen samt vedlegg 1 (tegning V511-V536). Beskrivelse og tolkning av de enkelte svakhetssonene er listet opp i tabell 4-1. Estimerte Q-verdier og bergmasseklasser for sonene fremgår av tabell 4-3.



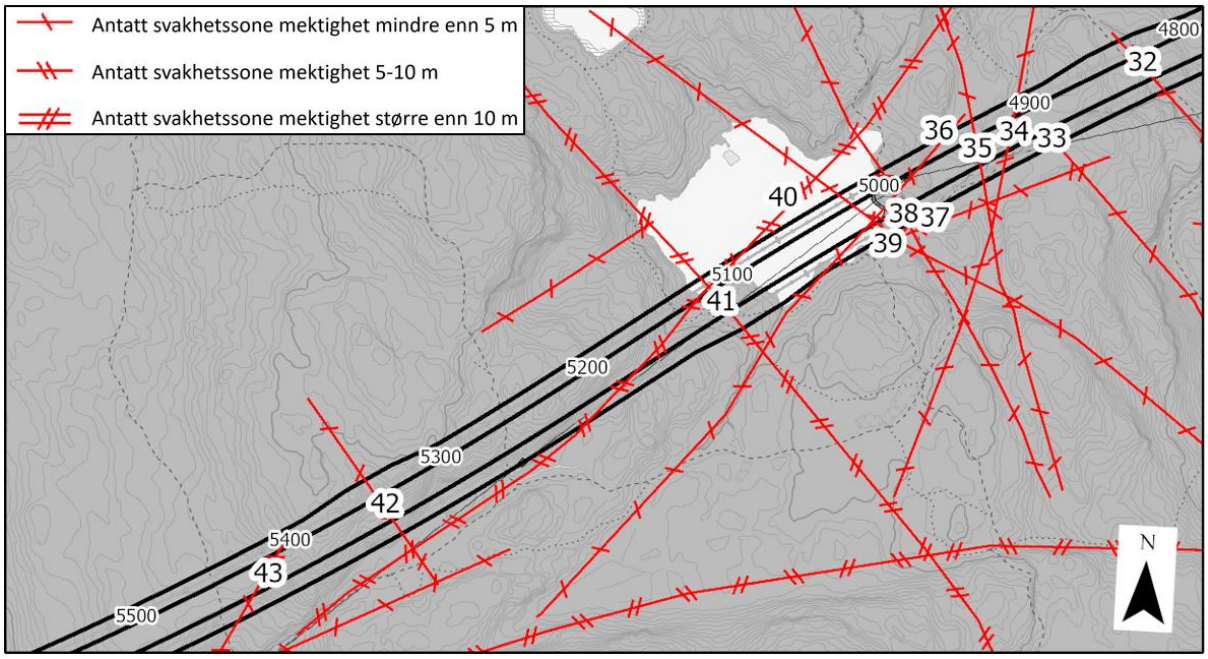
Figur 4-1: Svakhetssoner profil 700-2 200. Profilnummer for vestgående løp.



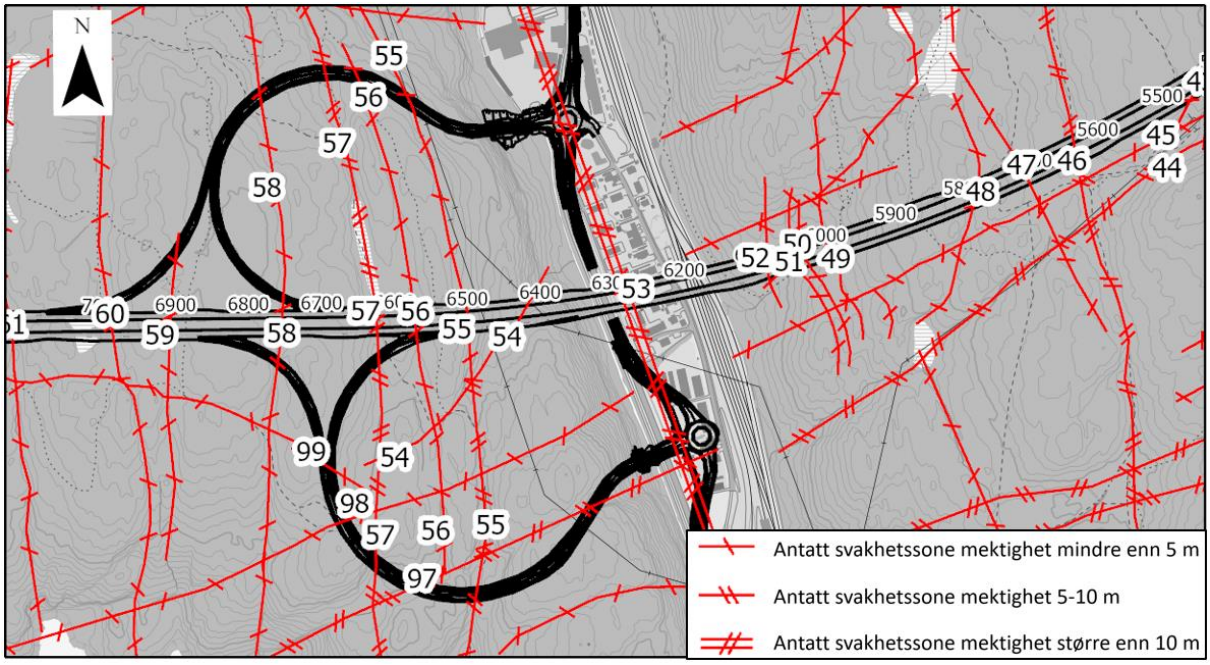
Figur 4-2: Svakhetssoner profil 2 200-3 600. Profilnummer for vestgående løp.



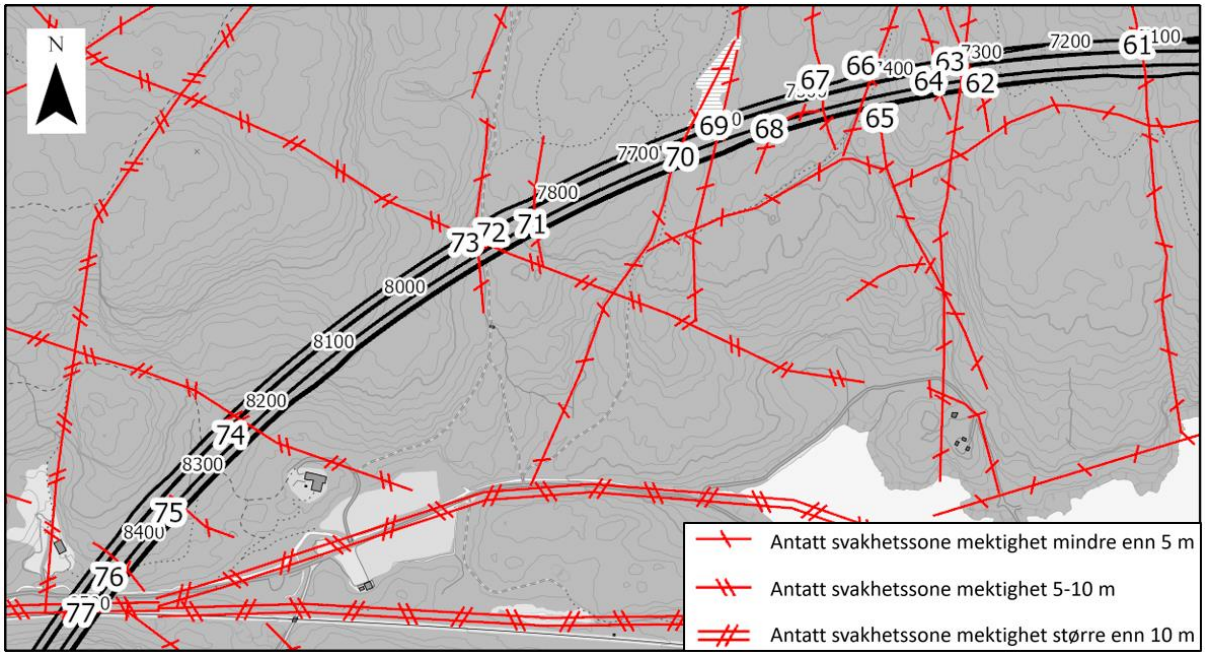
Figur 4-3: Svakhetssoner profil 3 600-4 800. Profilnummer for vestgående løp.



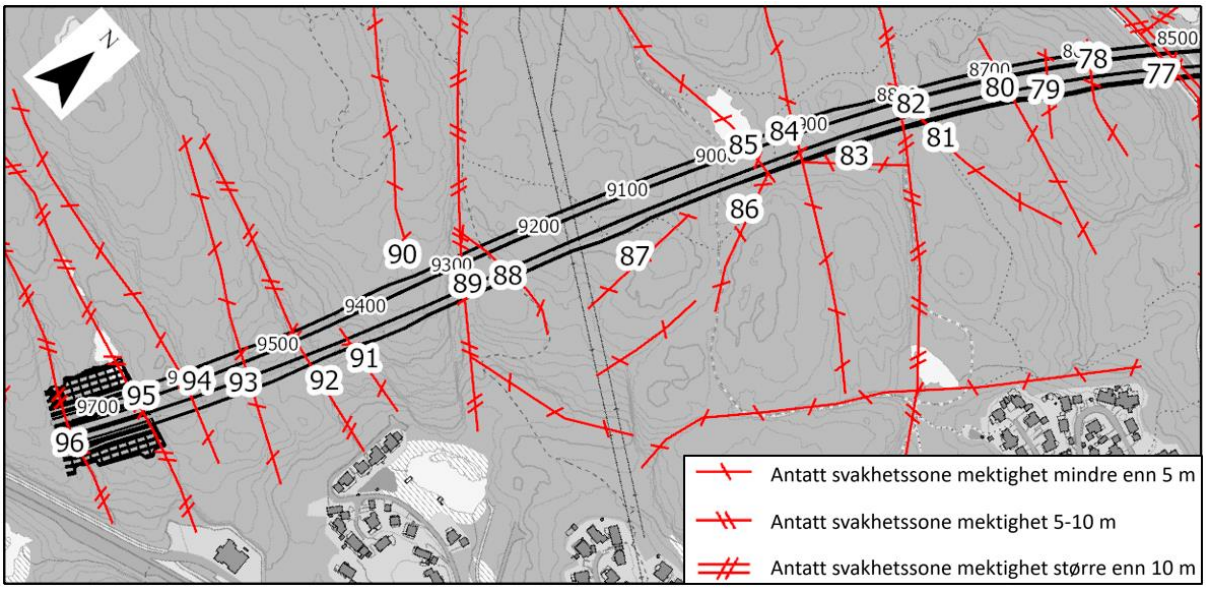
Figur 4-4: Svakhetssoner profil 4 800-5 500. Profilnummer for vestgående løp.



Figur 4-5: Svakhetssoner profil 5 500-7 100. Profilnummer for vestgående løp.



Figur 4-6: Svakhetssoner profil 7 100-8 500. Profilnummer for vestgående løp.



Figur 4-7: Svakhetssoner profil 8 500-9 700

Tabell 4-1: Tolkede svakhetssoner som antas å krysse eller influere tunneltraseen.

Sone	Profil ved antatt kryssing av tunneltrasé		Orien-tering (strøk)	Fall	Antatt mektighet	Registreringer av sone
	Vestg. løp	Østg. løp				
1	750-755	-	VNV-ØSØ	90	< 5 m	Kartstudie
2	-	825-897	VNV-ØSØ	80	< 5 m	Felt
3	867-875	825-897	VSV-ØNØ	90	< 5 m	Kartstudie
4	915-919	825-897	NNØ-SSV	90	< 5 m	Seismikk, hastighet 2 000 m/s i profil V8 og 3 400 m/s i V5.
5	1 011-1 015	995-999	NNØ-SSV	90	< 5 m	Seismikk, hastighet 3 500 m/s i profil V4.
6	1 140-1 167	-	NV-SØ	90	< 5 m	Seismikk, hastighet 3 000 m/s i profil V2.
7	1 335-1 365	1 330-1 360	NØ-SV	90	> 15 m	Kartstudie og seismikk, hastighet 3 200-4 600 m/s i profil C i Vollevannet, utført 2014. Sonen er forventet å ha sammenheng med et parti med epidotførende gneis som er kartlagt ved Bjørndalssletta.
8	1 510-1 540	1 490-1 520	NØ-SV	50 SØ	> 10 m	Seismikk, hastighet 3 600 m/s i profil C, Bjørndalen 2014.
9	1 760-1 770	-	NV-SØ	90	< 5 m	Kartstudie
10	2 085-2 140	-	VNV-ØSØ	90	< 5 m	Kartstudie
11	-	-	VNV-ØSØ	90	> 10 m	Felt
12	2 486-2 498	2 478-2 493	NØ-SV	85 NV	< 5 m	Kartstudie
13	2 646-2 660	2 595-2 608	NNV-SSØ	85 NØ	< 5 m	Kartstudie
14	2 785-2 790	2 752-2 757	N-S	90	< 5 m	Kartstudie

Sone	Profil ved antatt kryssing av tunneltrasé		Orien-tering (strøk)	Fall	Antatt mektighet	Registreringer av sone
	Vestg. løp	Østg. løp				
15	2 865-2 890	2 775-2 815	VNV-ØSØ	90	< 5 m	Kartstudie
16	-	2 775-2 815	NNØ-SSV	90	< 5 m	Felt
17	2 865-2 890	2 864-2 871	NNØ-SSV	90	< 5 m	Kartstudie
18	2 903-2 925	2 864-2 871	VNV-ØSØ	85 NNØ	< 5 m	Kartstudie
19	-	-	VNV-ØSØ	90	< 5 m	Kartstudie
20	3 073-3 078	3 042-3 047	N-S	90	< 5 m	Kartstudie
21	3 191-3 196	3 161-3 166	N-S	90	< 5 m	Seismikk, hastighet 3 500 m/s i profil NJ2. Sonen er også kartlagt i felt.
22	3 206-3 220	3 210-3 228	NØ-SV	90	< 5 m	Seismikk, hastighet 3 900 m/s i profil NJ2. Sonen er også kartlagt i felt.
23	-	-	Ø-V	90	< 5 m	Seismikk, hastighet 3 000 m/s i profil NJ3. Tomografisk tolkning indikerer et fall på ca. 60-70 grader mot SSV, men det kan ikke utelukkes at sonen vil påvirke tunnelen. Sonen er også kartlagt i felt.
24	3 442-3 450	3 433-3 445	SØ-NV	90	< 5 m	Kartstudie
25	3 945-3 956	3 925-3 975	NNØ-SSV	90	< 5 m	Kartstudie
26	4 010-4 065	3 925-3 975	VNV-ØSØ	90	> 10 m	Kartstudie
27	4 165-4 295	4 117-4 247	NNV-SSØ	90	115 m	Seismikk, hastighet henholdsvis 3 500 og 3 900 m/s i profil O5 og O6. Partiet i enden av profil O8 (4 600 m/s) er også antatt å være påvirket av denne svakhetssonen, men hastigheten kan være påvirket av at profilet går parallelt med svakhetssonen. Sonen er også påvist ved kjerneboring (mektighet ca. 10 m i BH3).

Sone	Profil ved antatt kryssing av tunneltrasé		Orien-tering (strøk)	Fall	Antatt mektighet	Registreringer av sone
	Vestg. løp	Østg. løp				
28	-	4 363-4 368	NV-SØ	90	< 5 m	Felt
29	4 435-4 446	4 390-4 402	NNV-SSØ	90	5-10 m	Felt
30	-	4 422-4 429	N-S	90	< 5 m	Felt
31	4 725-4 738	4 708-4 717	NNØ-SSV	90	< 5 m	Kartstudie
32	4 814-4 822	4 764-4 771	NV-SØ	90	< 5 m	Kartstudie
33	-	4 829-4 841	NV-SØ	90	< 5 m	Kartstudie
34	4 757-4 768	4 735-4 742	N-S	59 Ø	< 5 m	Seismikk, hastighet 2 500 m/s i profil H1.
35	4 867-4 873	4 829-4 841	NNV-SSØ	75 ØNØ	< 5 m	Felt
36	-	-	NØ-SV	74 SØ	< 5 m	Kartstudie
37	-	-	ØNØ-VSV	90	< 5 m	Seismikk, hastighet 3 000 m/s i profil H1 og H2.
38	4 965-4 995	4 947-4 951	NNV-SSØ	85 SV	< 5 m	Felt
39	4 965-4 995	4 908-4 917	NV-SØ	80 NØ	< 5 m	Felt
40	5 050-5 120	5 095-5 185	NØ-SV	90	5-10 m	Seismikk, hastighet 3 200 m/s i profil H3.
41	5 050-5 120	5 045-5 053	NV-SØ	90	5-10 m	Kartstudie
42	5 326-5 329	5 278-5 282	NV-SØ	90	< 5 m	Felt
43	4 384-5 395	5 370-5 390	NØ-SV	90	< 5 m	Seismikk, hastighet 2 900 m/s i profil H7.

Sone	Profil ved antatt kryssing av tunneltrasé		Orien-tering (strøk)	Fall	Antatt mektighet	Registreringer av sone
	Vestg. løp	Østg. løp				
44	-	-	ØNØ-VSV	80-90 SSØ	5-10 m	
45	-	-	ØNØ-VSV	90	< 5 m	Seismikk, hastighet 2 900 i H7, 4600 i H4 og 3 800 i H5. Sonen er også registrert i felt.
46	5 720-5 735	5 687-5 701	N-S	50 VSV	5-10 m	Seismikk, hastighet 3 700 m/s i profil H4 og 2 900 i H6. Sonen er også registrert i felt. Sonen er registrert på ERT og seismisk tomografi, men pga. skrå vinkel mellom sone og profil er det vanskelig å tolke fallvinkel ut ifra disse metodene. Sprekkemålinger og kartstudier indikerer en motsatt fallvinkel enn ERT og tomografi.
47	5 673-5 678	5 631-5 635	NNV-SSØ	90	< 5 m	Seismikk, hastighet 2 800 m/s i profil H6. Sonen er også registrert i felt.
48	5 930-5 950	5 906-5 925	N-S	40 V	< 5 m	Felt
49	6 053-6 066	6 017-6 031	N-S	44 V	< 5 m	Felt
50	6 080-6 110	6 040-6 073	N-S	44 V	< 5 m	Felt
51	6 080-6 110	6 040-6 073	N-S	41 V	< 5 m	Felt
52	6 080-6 110	6 040-6 073	N-S	54 V	< 5 m	Felt
53	6 225-6 300	6 190-6 265	NNV-SSØ	55 VSV	55 m	Seismiske undersøkelser indikerer hastigheter på 4 400-4 900 m/s i profiler på tvers av sonen. Slike hastigheter kan være forbundet med dårlig bergmassekvalitet. I profil D5 er det to forsenkninger i bergoverflaten som kan tyde på at det er et parti med bedre bergmassekvalitet i midten. Ved kjerneboring er det påvist en sone med mektighet ca. 2 m med svellende egenskaper. Kjerneboringen indikerer at sonen har et fall mot vest.
54	6 370-6 383	6 356-6 373	NØ-SV	90	< 5 m	Felt

Sone	Profil ved antatt kryssing av tunneltrasé		Orien-tering (strøk)	Fall	Antatt mektighet	Registreringer av sone
	Vestg. løp	Østg. løp				
55	6 532-6 543	6 495-6 504	N-S	60 V	< 5 m	Felt
56	6 601-6 610	6 566-6 576	N-S	60 V	< 5 m	Felt
57	6 650-6 665	6 617-6 630	N-S	60 V	< 5 m	Felt
58	6 789-6 797	6 755-6 765	N-S	60 V	< 5 m	Felt
59	6 943-6 952	6 913-6 922	N-S	60 V	< 5 m	Felt
60	7 022-7 030	6 988-6 996	N-S	60 V	< 5 m	Felt
61	7 087-7 094	7 053-7 058	N-S	90	< 5 m	Felt
62	7 286-7 308	7 257-7 268	NNV-SSØ	80 V	< 5 m	Kartstudie
63	7 286-7 308	7 257-7 268	N-S	90	< 5 m	Kartstudie
64	7 320-7 324	7 284-7 288	N-S	90	< 5 m	Felt
65	-	7 354-7 357	N-S	90	< 5 m	Kartstudie
66	7 388-7 398	7 371-7 377	NNØ-SSV	90	< 5 m	Felt
67	7 412-7 419	7 381-7 387	N-S	70 Ø	< 5 m	Felt
68	-	-	NØ-SV	26 SØ	< 5 m	Kartstudie
69	7 517-7 530	7 495-7 508	NNØ-SSV	70 ØSØ	< 5 m	Kartstudie
70	7 598-7 615	7 588-7 599	NNV-SSØ	90	< 5 m	Kartstudie
71	7 789-7 800	7 760-7 768	N-S	90	< 5 m	Kartstudie

Sone	Profil ved antatt kryssing av tunneltrasé		Orien-tering (strøk)	Fall	Antatt mektighet	Registreringer av sone
	Vestg. løp	Østg. løp				
72	7 862-7 883	7 802-7 820	NV-SØ	90	5-10 m	Kartstudie
73	7 862-7 883	7 830-7 839	N-S	90	< 5 m	Kartstudie
74	8 205-8 215	8 146-8 156	NV-SØ	85 SV	5-10 m	Felt
75	-	8 267-8 271	NV-SØ	90	< 5 m	Felt
76	8 408-8 413	8 357-8 362	NV-SØ	85 NØ	< 5 m	Felt
77	8 475-8 505	8 400-8 430	Ø-V	90	30 m	Seismikk, hastigheter mellom 2 000 og 3 000 m/s i profilene K2, K3, K4 og K5. Det er registret to lavhastighetssoner i både profil K4 og K5 som er vurdert å ha en sammenheng med denne svakhetssonen, noe som kan tyde på at det stedvis er partier med bedre bergmassekvalitet i midten av sonen. Sonen er også kartlagt ved kjerneboring.
78	8 544-8 549	8 487-8 492	NV-SØ	70 NØ	< 5 m	Kartstudie
79	8 585-8 592	8 530-8 536	NV-SØ	70 NØ	< 5 m	Felt
80	8 660-8 666	8 593-8 598	Ø-V	90	< 5 m	Felt
81	-	8 689-8 697	Ø-V	90	< 5 m	Kartstudie
82	8 765-8 774	8 708-8 717	VNV-ØSØ	90	5-10 m	Kartstudie
83	-	8 812-8 824	NØ-SV	90	< 5 m	Kartstudie
84	8 870-8 875	8 812-8 824	VSV-ØSØ	80 NNØ	< 5 m	Seismikk

Sone	Profil ved antatt kryssing av tunneltrasé		Orien-tering (strøk)	Fall	Antatt mektighet	Registreringer av sone
	Vestg. løp	Østg. løp				
85	8 333-8 339	8 862-8 868	Ø-V	90	< 5 m	Seismikk
86	8 923-8 935	8 852-8 854	NNV-SSØ	80 NØ	< 5 m	Kartstudie
87	-	-	N-S	90	< 5 m	Kartstudie
88	9 277-9 298	9 192-9 213	ØNØ-VSV	50 SSØ	< 5 m	Felt
89	9 251-9 263	9 192-9 213	NV-SØ	90	5-10 m	Felt
90	-	-	VNV-ØSØ	90	< 5 m	Kartstudie
91	-	9 329-9 333	Ø-V	80 N	< 5 m	Felt
92	9 451-9 459	9 382-9 392	Ø-V	80 S	5-10 m	Felt
93	9 514-9 517	9 451-9 454	VNV-ØSØ	80 S	< 5 m	Felt
94	9 573-9 577	9 510-9 513	Ø-V	90	< 5 m	Kartstudie
95	9 625-9 628	9 559-9 562	Ø-V	90	5-10 m	Seismikk, hastighet 3 700 m/s i profil G3. Sonen er også kartlagt i felt.
96	-	-	VNV-ØSØ	90	5-10 m	Felt
97	Søndre tilførselstunnel Dalane, profil 160-193 og 460-495		ØNØ-VSV	90	5-10 m	Felt
98	Søndre tilførselstunnel Dalane, profil 915-918		ØNØ-VSV	90	< 5 m	Kartstudie

Sone	Profil ved antatt kryssing av tunneltrasé		Orien-tering (strøk)	Fall	Antatt mektighet	Registreringer av sone
	Vestg. løp	Østg. løp				
99	-		VNV-ØSØ	50 SV	< 5 m	Kartstudie

Tolkning av fallvinkel i tabell 4-1 er basert på et begrenset grunnlag. Det er derfor en usikkerhet knyttet til fall på de enkelte svakhetssonene, og dermed hvor de skjærer tunnelen på tunnelnivå.

Svakhetssone nummer 46 er forventet å samsvare med bergartsgrensen mellom øyegneis og båndgneis/granittisk gneis ved profil 5 600. Det er ikke kjent om noen av de andre svakhetssonene er direkte sammenfallende med bergartsgrenser mellom ulike typer av gneis.

Det er i BIM-modellen modellert med en gjennomgående tykkelse på svakhetssone fra terreng og ned til tunnelnivå. Det må forventes at karakter på sonene endrer seg fra terrengnivå til tunnelnivå. De minste svakhetssonene kan slukke helt eller tilnærmet ut før de når tunnelnivå, dette gjelder de områdene hvor man har særlig stor bergoverdekning. For eksempel ved at en tett oppsprukket/oppknust vertikal sone nær terrengoverflaten mot dypet endrer karakter til å gå mer over til å være en sprekkesone med et begrenset antall sprekker hvor kun de mest utholdende sprekkene forekommer på tunnelnivå. For de større sonene er det større grunn til å tro at de opprettholder mektighet og karakter fra terrengnivå og ned til tunnelnivå enn for de mindre. Det kan heller ikke utelukkes at bergmassekvalitet stedvis er dårligere enn det som er estimert.

For de mindre sonene er sideberget generelt av god kvalitet gitt informasjon fra feltkartlegging, sonene forventes derfor å kun påvirke tunnelstabiliteten over et kort parti.

Orienteringen på svakhetssonene er stort sett gunstige, ved at de har et observert strøk som er tilnærmet vinkelrett med tunnelen. Det er likevel påvist flere soner som krysser nær parallelt med tunnelen, og det må antas at disse kan påvirke bergmassekvaliteten i tunnelen over en lengre strekning.

I seismikkprofil H3 i Bymarka (kapittel 2.2.4.4, figur 2-9) krysser antatte svakhetssoner både vinkelrett på og parallelt med profilet. På grunn av denne kompleksiteten er det vanskelig å benytte resultatene fra de geofysiske undersøkelsene til å tolke sonenes orientering. Sone nr. 40 krysser mellom to lavhastighetssoner i dette profilet. Sonen er antatt å følge fordypningen i terrenget, selv om lavhastighetssonene er plassert på sidene av forsenkningen. Det er dermed knyttet noe usikkerhet til denne tolkningen.

Mellom profil 5 600 og 6 900 (i og ved Dalane), forventes det å påtreffe flere soner med fall på ca. 40-60 grader mot vest. Søkkene er bratte på vestsiden og slake på østsiden. Stedvis

er det observert en tettere oppsprekking mot bunn av vestre side av terrengsøkkene. Det er også observert flere terrengsøkk i retning Ø-V. Disse er antatt å være subvertikale.

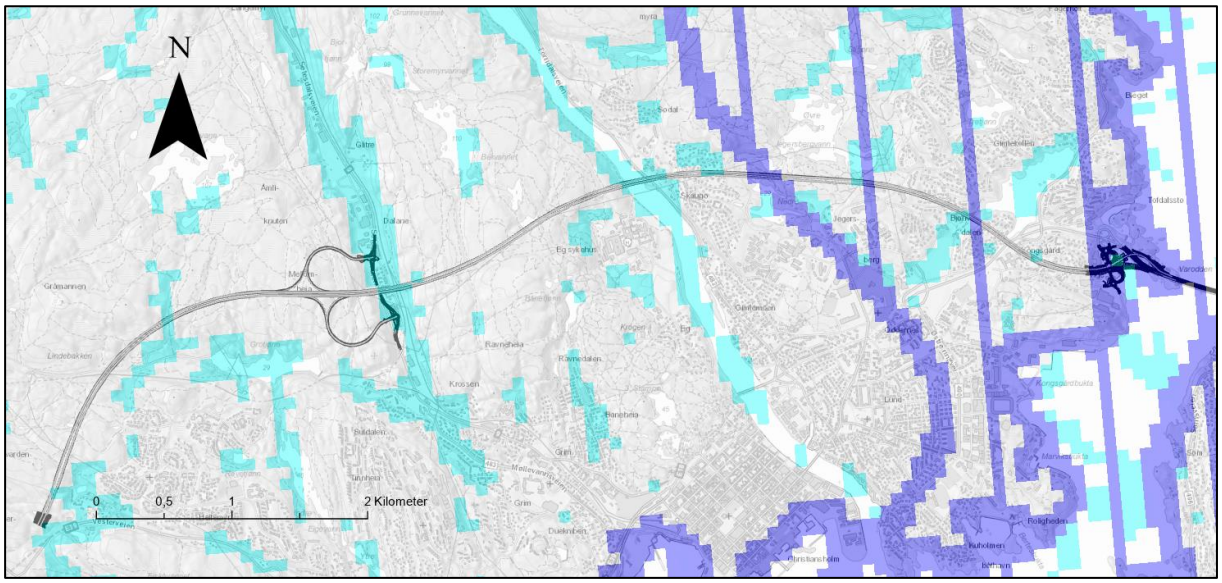
Enkelte av de antatte svakhetssonene (basert på kartstudier) er fanget opp som lavhastighetssoner på seismikken, men ikke alle. Blant annet viser resultatene fra seismiske undersøkelser i Dalane ingen lavhastighetssoner (se kapittel 2.2.4.5). Dette tyder på at det ikke nødvendigvis er spesielt dårlig bergmassekvalitet i dette området, selv om Dalane representerer et markant søkk i terrenget. Både borehullsgeofysikk og kjerneboring indikerer at bergmassekvaliteten ikke er av svært dårlig kvalitet i dette området. Den relativt lave basishastigheten kan tyde på at bergmassen under Dalane kan bestå av flere mindre soner. Det er forventet at disse sonene har et fall mot vest. Det kan ikke utelukkes at det likevel påtreffes større partier med dårlig bergmasse. For eksempel har det ved driving av Knappetunnelen i Bergen blitt påtruffet dårlig og delvis meget dårlig bergmasse i områder der det fra seismikken ble påvist en hastighet på 4 700 m/s [41]. Denne sonen viste forøvrig en sterk respons i resistivitetsdata. Grunnet infrastruktur i bakken i Dalane har det ikke vært mulig å utføre resistivitetsmålinger her.

I seismikkprofil V1 er det registrert et parti med hastighet 4 300 m/s med mektighet ca. 15 m (se kapittel 2.2.4.1 og figur 2-3). Dette partiet er ikke tolket som en svakhetssone, men kan representere et parti med dårligere bergmassekvalitet. Det er usikkert om denne sonen vil påvirke tunnelen.

I profil V6 er det kartlagt en lavhastighetssone (2 700 m/s). Denne er antatt å representere en struktur med retning ØSØ-VNV som går gjennom Vigeområdet. Sonen er ikke kartlagt i profil V7. Den samme strukturen er tilsynelatende heller ikke kartlagt i profilene V4, V5 og V8. Disse profilene går parallelt med sonen, og har generelt høy basishastighet (5 500-5 800 m/s). En grunn til at disse profilene ikke viser generelt lavere hastigheter kan være at de seismiske bølgene følger lag med bedre bergmassekvalitet innad i sonen, slik at de dårligere partiene ikke fanges opp. Sonen er ikke forventet å påvirke tunnelen.

Det er kartlagt flere svakhetssoner i retning Ø-V mellom Kjerrane og Grauthelleren. Bergmassen i sidene av søkkene er av generelt god kvalitet, og det er stedvis observert berg i dagen i midten av søkkene. Dette kan tyde på at bergmassekvaliteten i disse sonene er spesielt dårlig, og at sideberget til svakhetssonene er av god kvalitet.

I forbindelse med NGUs BRUK-prosjekt er det kartlagt flere markerte lineamenter med orientering N-S og Ø-V i prosjektområdet. Disse er tolket som dypforvitringssoner, og det må forventes å påtreffe leire i disse sonene [42]. Dypforvitring er forvitrede soner i bergmassen fra trias-jura-tid som befinner seg under overflaten og som ikke er fjernet av iserosjon [43]. Figur 4-8 viser områder med mulig dypforvitring basert på geofysiske målinger og topografi [44]. Av figuren kan man se at slike områder er tolket i Bymarka vest, Otra, Dalane, Mellomheia og litt nord for Grauthelleren. Disse områdene sammenfaller med tolkede svakhetssoner.



Figur 4-8: Kart som viser mulig dypforvitring i området [44]. Lys blå farge indikerer sannsynlig områder for dypforvitring. Område med mørk blå skravur indikerer områder med mindre pålitelige data.

4.2 Bergmassekvalitet

Bergmassekvalitet langs tunneltraseen er vurdert og klassifisert ved bruk av Q-systemet og vegnormal N500 sin inndeling av bergmasseklasser (tabell 4-2). Fordelingen er basert på utført kartlegging i felt og faglig vurdering av Q-parametere der ikke kartleggingsdata foreligger (hovedsakelig for svakhetssoner).

Tabell 4-2: Sammenhengen mellom bergforhold (Q-verdi) og bergmasseklasse i vegnormal N500 (Basert på tabell 7.5-1 i N500).

Q-verdi	Bergforhold	Bergmasseklasse
100 – 10	Lite oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand > 1 m	A/B
10 – 4	Moderat oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand 0,3 – 1 m	C
4 – 1	Tett oppsprukket bergmasse eller lagdelt skifrig bergmasse Midlere sprekkeavstand < 0,3 m	D
1 – 0,1	Svært dårlig bergmasse	E
0,1 – 0,01	Ekstremt dårlig bergmasse	F
<0,01	Eksepsjonelt dårlig bergmasse, stort sett løsmasse	G

For beskrivelse av Q-systemet og de enkelte parameterne som inngår i Q-verdien, henvises det til NGIs håndbok [45]. Norconsult har følgende kommentarer i forbindelse med vurdering av de ulike Q-parameterne:

- **RQD:** Basert på feltkartlegging.
- **Jn:** Basert på feltkartlegging. Det er registrert fra 2 eller flere sprekkesett + villsprekker. Det er i prognosen hovedsakelig antatt at det er minst 3 sprekkesett, da det ved enkelte bergblotninger er vanskelig å identifisere alle potensielle sprekkesett.
- **Ja:** Ved kartlegging på bergblotninger i overflaten kan sprekkemateriale ofte være vasket bort. Det er hovedsakelig antatt Ja-verdier på 2 for områder utenfor svakhetssoner, 4 for mindre svakhetssoner og 6 for større soner.
- **Jw:** Parameteren er derfor skjønnsmessig vurdert ut fra antatt oppsprekking, topografi, nærliggende vann, myrer og bekker og sannsynligheten for vanninntrengning.
- **SRF:** Antatt å være 1 for det meste av tunnelstrekningen. I svakhetssoner er parameteren antatt å ha verdier på mellom 2,5 og 10. I områder med lav overdekning er parameteren satt til 2,5.

Området som tunnelen skal drives igjennom preges generelt av god til middels god bergmassekvalitet utenom svakhetssoner. Det er hovedsakelig lite oppsprukket berg og generelt god bergoverdekning. Det forventes at bergmassen her i hovedsak ligger i bergmasseklasse A/B og C.

Tunnelen krysser i all hovedsak svakhetssoner på tvers (med stor vinkel), noe som medfører at sonene får begrenset innvirkning på tunnelløpene utover bredden til selve sonen. I prognosen er hele tunnelstrekningen som antas influert av svakhetssoner regnet som svakhetssone, selv om deler av tunnelprofilet vil kunne ha bergmasse av bedre kvalitet. I områder med svakhetssoner forventes det bergkvalitet i bergmasseklasser D, E, F og G. Det er usikkert hvorvidt de mindre svakhetssonene er utholdende nok til at de influerer på tunnelnivå. Slike svakhetssoner er klassifisert som bergmasseklasse D og E.

I de seismiske undersøkelsene er det kartlagt flere partier med relativt lav hastighet rett under bergoverflaten. Dette gjelder profil H7, G1 og G2. Disse partiene er antatt å representere dagberg. Det er ikke forventet at disse partiene strekker seg ned på tunnelnivå.

4.2.1 Otratunnelen

Antatt fordeling med spenn i Q-verdier for hovedløpene fremgår av tabell 4-3.

Tabell 4-3: Prognose for Q-verdier og bergmasseklasser for vest- og østgående løp

Vestgående løp							Østgående løp						
Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasse-klasse (spenn)		Sv. sone	Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasse-klasse (spenn)		Sv. sone
714	729	1,3	4,5	D	C		683	698	1,3	4,5	D	C	
729	750	6,3	23	C	A/B		698	825	6,3	23	C	A/B	
750	755	0,042	1,7	F	D	1							
755	867	4,4	30	C	A/B								
867	875	0,05	3,5	F	D	3	825	897	0,05	3,5	F	D	2, 3, 4
875	915	4,4	30	C	A/B		897	995	4,4	30	C	A/B	
915	919	0,05	3,5	F	D	4							
919	1 011	13	33	A/B	A/B								
1 011	1 015	0,05	3,5	F	D	5	995	999	0,05	3,5	F	D	5
1 015	1 140	5	33	C	A/B		999	1 330	5	33	C	A/B	
1 140	1 167	0,3	5,6	E	C	6							
1 167	1 335	5	33	C	A/B								
1 335	1 365	0,05	3,5	F	D	7	1 330	1 360	0,05	3,5	F	D	7
1 365	1 480	2,5	33	D	A/B		1 360	1 460	2,5	33	D	A/B	
1 480	1 510	3,1	33	D	A/B		1 460	1 490	3,1	33	D	A/B	
1 510	1 540	0,05	3,5	F	D	8	1 490	1 520	0,05	3,5	F	D	8
1 540	1 570	3,1	33	D	A/B		1 520	1 550	3,1	33	D	A/B	
1 570	1 760	10	50	C	A/B		1 550	2 150	10	50	C	A/B	
1 760	1 770	0,3	5,6	E	C	9							
1 770	2 085	10	50	C	A/B								
2 085	2 140	0,3	5,6	E	C	10							

Vestgående løp							Østgående løp						
Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasse-klasse (spenn)		Sv. sone	Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasse-klasse (spenn)		Sv. sone
2 140	2 486	8,8	50	C	A/B		2 150	2 478	8,8	50	C	A/B	
2 486	2 498	0,3	5,6	E	C	12	2 478	2 493	0,3	5,6	E	C	12
2 498	2 646	8,8	50	C	A/B		2 493	2 595	8,8	50	C	A/B	
2 646	2 660	0,3	5,6	E	C	13	2 595	2 608	0,3	5,6	E	C	13
2 660	2 785	14	50	A/B	A/B		2 608	2 752	14	50	A/B	A/B	
2 785	2 790	0,3	5,6	E	C	14	2 752	2 757	0,3	5,6	E	C	14
2 790	2 865	13	50	A/B	A/B		2 757	2 775	13	50	A/B	A/B	
2 865	2 897	0,3	5,6	E	C	15, 17	2 775	2 815	0,3	5,6	E	C	15, 16
2 897	2 903	13	50	A/B	A/B		2 815	2 864	13	50	A/B	A/B	
2 903	2 925	0,3	5,6	E	C	18	2 864	2 871	0,3	5,6	E	C	17, 18
2 925	3 073	5,8	75	C	A/B		2 871	3 042	5,8	75	C	A/B	
3 073	3 078	0,3	5,6	E	C	20	3 042	3 047	0,3	5,6	E	C	20
3 078	3 191	5,8	75	C	A/B		3 047	3 161	5,8	75	C	A/B	
3 191	3 196	0,3	5,6	E	C	21	3 161	3 166	0,3	5,6	E	C	21
3 196	3 206	5,8	45	C	A/B		3 166	3 210	5,8	45	C	A/B	
3 206	3 220	0,3	5,6	E	C	22	3 210	3 228	0,3	5,6	E	C	22
3 220	3 442	4,4	75	C	A/B		3 228	3 433	4,4	75	C	A/B	
3 442	3 450	0,3	5,6	E	C	24	3 433	3 445	0,3	5,6	E	C	24
3 450	3 945	5	33	C	A/B		3 445	3 925	5	33	C	A/B	
3 945	3 956	0,3	5,6	E	C	25	3 925	3 975	0,05	3,5	F	D	25, 26
3 956	4 010	5	33	C	A/B								
4 010	4 065	0,05	3,5	F	D	26							
4 065	4 165	5	33	C	A/B		3 975	4 117	5	33	C	A/B	
4 165	4 242	0,53	10	E	C		4 117	4 195	0,53	10	E	C	
4 242	4 257	0,05	3,5	F	D	27	4 195	4 210	0,05	3,5	F	D	27

Vestgående løp							Østgående løp						
Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasse-klasse (spenn)		Sv. sone	Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasse-klasse (spenn)		Sv. sone
4 257	4 295	0,53	10	E	C		4 210	4 247	0,53	10	E	C	
4 295	4 435	16	50	A/B	A/B		4 247	4 363	16	50	A/B	A/B	
							4 363	4 368	0,05	3,5	F	D	28
							4 368	4 390	16	50	A/B	A/B	
4 435	4 446	0,05	3,5	F	D	29	4 390	4 402	0,05	3,5	F	D	29
4 446	4 725	8,8	50	C	A/B		4 402	4 422	8,8	50	C	A/B	
							4 422	4 429	0,05	3,5	F	D	30
							4 429	4 708	8,8	50	C	A/B	
4 725	4 738	0,05	3,5	F	D	31	4 708	4 717	0,05	3,5	F	D	31
4 738	4 757	10	33	C	A/B		4 717	4 735	10	33	C	A/B	
4 757	4 768	0,05	3,5	F	D	34	4 735	4 742	0,05	3,5	F	D	34
4 768	4 814	10	33	C	A/B		4 742	4 764	10	33	C	A/B	
4 814	4 822	0,05	3,5	F	D	32	4 764	4 771	0,05	3,5	F	D	32
4 822	4 867	10	33	C	A/B		4 771	4 829	10	33	C	A/B	
4 867	4 873	0,05	3,5	F	D	35	4 829	4 841	0,05	3,5	F	D	33, 35
4 873	4 965	10	33	C	A/B		4 841	4 908	10	33	C	A/B	
4 965	4 995	0,033	3,5	F	D	38, 39	4 908	4 917	0,05	3,5	F	D	39
4 995	5 050	10	33	C	A/B		4 917	4 947	10	33	C	A/B	
							4 947	4 951	0,05	3,5	F	D	38
							4 951	5 045	10	33	C	A/B	
5 050	5 120	0,033	3,5	F	D	40, 41	5 045	5 053	0,033	3,5	F	D	41
5 120	5 326	8,8	33	C	A/B		5 053	5 095	8,8	33	C	A/B	
							5 095	5 185	0,033	3,5	F	D	40
							5 185	5 278	8,8	33	C	A/B	
5 326	5 329	0,05	3,5	F	D	42	5 278	5 282	0,05	3,5	F	D	42

Vestgående løp							Østgående løp						
Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasse-klasse (spenn)		Sv. sone	Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasse-klasse (spenn)		Sv. sone
5 329	5 384	8,8	33	C	A/B		5 282	5 370	8,8	33	C	A/B	
5 384	5 395	0,05	3,5	F	D	43	5 370	5 390	0,05	3,5	F	D	43
5 395	5 673	5	75	C	A/B		5 390	5 631	5	75	C	A/B	
5 673	5 678	0,05	3,5	F	D	47	5 631	5 635	0,05	3,5	F	D	47
5 678	5 720	5	75	C	A/B		5 635	5 687	5	75	C	A/B	
5 720	5 735	0,05	3,5	F	D	46	5 687	5 701	0,05	3,5	F	D	46
5 735	5 930	3,8	45	D	A/B		5 701	5 906	3,8	45	D	A/B	
5 930	5 950	0,05	3,5	F	D	48	5 906	5 925	0,05	3,5	F	D	48
5 950	6 053	3,8	45	D	A/B		5 925	6 017	3,8	45	D	A/B	
6 053	6 066	0,05	3,5	F	D	49	6 017	6 031	0,05	3,5	F	D	49
6 066	6 080	3,8	45	D	A/B		6 031	6 040	3,8	45	D	A/B	
6 080	6 110	0,033	3,5	F	D	50, 51, 52	6 040	6 073	0,033	3,5	F	D	50, 51, 52
6 110	6 175	5,6	33	C	A/B		6 073	6 140	5,6	33	C	A/B	
6 175	6 225	1,2	13	D	A/B		6 140	6 190	1,2	13	D	A/B	
6 225	6 300	0,05	3,5	F	D	53	6 190	6 265	0,05	3,5	F	D	53
6 300	6 350	0,5	13	E	A/B		6 265	6 315	0,5	13	E	A/B	
6 350	6 370	4,4	33	C	A/B		6 315	6 356	4,4	33	C	A/B	
6 370	6 383	0,05	3,5	F	D	54	6 356	6 373	0,05	3,5	F	D	54
6 383	6 532	8,8	30	C	A/B		6 373	6 495	8,8	30	C	A/B	
6 532	6 543	0,05	3,5	F	D	55	6 495	6 504	0,05	3,5	F	D	55
							6 504	6 523	2,9	10	D	C	
6 543	6 601	8,8	30	C	A/B		6 523	6 566	8,8	30	C	A/B	
6 601	6 610	0,05	3,5	F	D	56	6 566	6 576	0,05	3,5	F	D	56
6 610	6 650	8,8	30	C	A/B		6 576	6 617	8,8	30	C	A/B	

Vestgående løp							Østgående løp						
Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasse-klasse (spenn)		Sv. sone	Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasse-klasse (spenn)		Sv. sone
6 650	6 665	0,05	3,5	F	D	57	6 617	6 630	0,05	3,5	F	D	57
6 665	6 710	2,9	10	D	C								
6 710	6 789	8,8	30	C	A/B		6 630	6 725	8,8	30	C	A/B	
							6 725	6 755	2,9	10	D	C	
6 789	6 797	0,05	3,5	F	D	58	6 755	6 765	0,05	3,5	F	D	58
6 797	6 943	8,8	30	C	A/B		6 765	6 913	8,8	30	C	A/B	
6 943	6 952	0,017	1,2	F	D	59	6 913	6 922	0,05	3,5	F	D	59
6 952	6 970	7,5	17	C	A/B		6 922	6 988	23	50	A/B	A/B	
6 970	7 022	23	50	A/B	A/B								
7 022	7 030	0,05	3,5	F	D	60	6 988	6 996	0,05	3,5	F	D	60
7 030	7 070	23	50	A/B	A/B		6 996	7 033	23	50	A/B	A/B	
7 070	7 087	6,6	30	C	A/B		7 033	7 053	6,6	30	C	A/B	
7 087	7 094	0,05	3,5	F	D	61	7 053	7 058	0,05	3,5	F	D	61
7 094	7 102	6,6	30	C	A/B		7 058	7 066	6,6	30	C	A/B	
7 102	7 286	13	50	A/B	A/B		7 066	7 257	13	50	A/B	A/B	
7 286	7 308	0,05	3,5	F	D	62, 63	7 257	7 268	0,05	3,5	F	D	62, 63
7 308	7 320	13	50	A/B	A/B		7 268	7 284	13	50	A/B	A/B	
7 320	7 324	0,05	3,5	F	D	64	7 284	7 288	0,05	3,5	F	D	64
7 324	7 378	13	50	A/B	A/B		7 288	7 354	13	50	A/B	A/B	
							7 354	7 357	0,05	3,5	F	D	65
7 378	7 388	8,8	33	C	A/B		7 357	7 369	5,8	33	C	A/B	
7 388	7 398	0,05	3,5	F	D	66	7 369	7 385	0,05	3,5	F	D	66, 67
7 398	7 408	8,8	33	C	A/B								
7 408	7 415	0,05	3,5	F	D	67							
7 415	7 425	8,8	33	C	A/B		7 385	7 395	5,8	33	C	A/B	

Vestgående løp							Østgående løp						
Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasse-klasse (spenn)		Sv. sone	Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasse-klasse (spenn)		Sv. sone
7 425	7 507	25	50	A/B	A/B		7 395	7 485	25	50	A/B	A/B	
7 507	7 517	7,4	25	C	A/B		7 485	7 495	7,4	25	C	A/B	
7 517	7 530	0,05	3,5	F	D	69	7 495	7 508	0,05	3,5	F	D	69
7 530	7 598	7,4	25	C	A/B		7 508	7 588	7,4	25	C	A/B	
7 598	7 615	0,05	3,5	F	D	70	7 588	7 599	0,05	3,5	F	D	70
7 615	7 625	7,4	25	C	A/B		7 599	7 609	7,4	25	C	A/B	
7 625	7 789	30	50	A/B	A/B		7 609	7 760	30	50	A/B	A/B	
7 789	7 800	0,05	3,5	F	D	71	7 760	7 768	0,05	3,5	F	D	71
7 800	7 862	30	50	A/B	A/B		7 768	7 802	30	50	A/B	A/B	
7 862	7 883	0,05	3,5	F	D	72, 73	7 802	7 820	0,05	3,5	F	D	72
							7 820	7 830	8,8	25	C	A/B	
							7 830	7 839	0,05	3,5	F	D	73
7 883	7 893	8,8	25	C	A/B		7 839	7 849	8,8	25	C	A/B	
7 893	8 205	11	33	A/B	A/B		7 849	8 146	11	33	A/B	A/B	
8 205	8 215	0,05	3,5	F	D	74	8 146	8 156	0,05	3,5	F	D	74
							8 156	8 257	15	33	A/B	A/B	
							8 257	8 267	12	23	A/B	A/B	
							8 267	8 271	0,05	3,5	F	D	75
							8 271	8 281	12	23	A/B	A/B	
8 215	8 408	15	33	A/B	A/B		8 281	8 357	15	33	A/B	A/B	
8 408	8 413	0,05	3,5	F	D	76	8 357	8 362	0,05	3,5	F	D	76
8 413	8 455	15	33	A/B	A/B		8 362	8 380	15	33	A/B	A/B	
8 455	8 470	0.53	7	E	C		8 380	8 395	0.53	7	E	C	
8 470	8 486	0.022	1	F*	E*		8 395	8 411	0.022	1	F*	E*	
8 486	8 512	0.004	0.1	G*	F*	77	8 411	8 437	0.004	0.1	G*	F*	77

Vestgående løp							Østgående løp						
Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasse-klasse (spenn)		Sv. sone	Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasse-klasse (spenn)		Sv. sone
8 512	8 520	0.53	7	E*	C*		8 437	8 445	0.53	7	E*	C*	
8 520	8 528	0.022	1	F*	E*		8 445	8 453	0.022	1	F*	E*	
8 528	8 535	1.3	18	D	A/B		8 453	8 460	1.3	18	D	A/B	
8 535	8 544	13	50	A/B	A/B		8 460	8 487	13	50	A/B	A/B	
8 544	8 549	0,05	3,5	F	D	78	8 487	8 492	0,05	3,5	F	D	78
8 549	8 585	15	33	A/B	A/B		8 492	8 530	15	33	A/B	A/B	
8 585	8 592	0,05	3,5	F	D	79	8 530	8 536	0,05	3,5	F	D	79
8 592	8 660	15	33	A/B	A/B		8 536	8 593	15	33	A/B	A/B	
8 660	8 666	0,05	3,5	F	D	80	8 593	8 598	0,05	3,5	F	D	80
8 666	8 750	15	33	A/B	A/B		8 598	8 689	15	33	A/B	A/B	
							8 689	8 697	0,05	3,5	F	D	81
8 750	8 765	10	25	C	A/B		8 697	8 708	10	25	C	A/B	
8 765	8 774	0,05	3,5	F	D	82	8 708	8 717	0,05	3,5	F	D	82
8 776	8 870	25	50	A/B	A/B		8 717	8 812	25	50	A/B	A/B	
8 870	8 875	0,05	3,5	F	D	84	8 812	8 824	0,05	3,5	F	D	83, 84
8 875	8 933	23	50	A/B	A/B		8 824	8 862	23	50	A/B	A/B	
8 933	8 939	0,05	3,5	F	D	85	8 862	8 868	0,05	3,5	F	D	85
8 939	8 970	10	25	C	A/B		8 868	8 923	10	25	C	A/B	
8 970	9 231	10	50	C	A/B		8 923	9 172	10	50	C	A/B	
9 231	9 251	4	20	D	A/B		9 172	9 192	4	20	D	A/B	
9 251	9 263	0,05	3,5	F	D	89	9 192	9 213	0,05	3,5	F	D	88, 89
9 263	9 277	4	20	D	A/B								
9 277	9 298	0,05	3,5	F	D	88							
9 298	9 318	4	20	D	A/B		9 213	9 233	4	20	D	A/B	
							9 233	9 329	11	33	A/B	A/B	

Vestgående løp							Østgående løp						
Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasse-klasse (spenn)		Sv. sone	Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasse-klasse (spenn)		Sv. sone
							9 329	9 333	0,05	3,5	F	D	91
9 318	9 451	11	33	A/B	A/B		9 333	9 382	11	33	A/B	A/B	
9 451	9 459	0,05	3,5	F	D	92	9 382	9 392	0,05	3,5	F	D	92
9 459	9 514	10	25	C	A/B		9 392	9 451	10	25	C	A/B	
9 514	9 517	0,05	3,5	F	D	93	9 451	9 454	0,05	3,5	F	D	93
9 517	9 573	11	25	A/B	A/B		9 454	9 510	11	25	A/B	A/B	
9 573	9 577	0,05	3,5	F	D	94	9 510	9 513	0,05	3,5	F	D	94
9 577	9 612	7,5	33	C	A/B		9 513	9 555	7,5	33	C	A/B	
9 612	9 625	3,8	17	D	A/B		9 547	9 559	3,8	17	D	A/B	
9 625	9 628	0,025	1,8	F	D	95	9 559	9 562	0,025	1,8	F	D	95

* For svakhetssone 77 er bergmassekvaliteten i og ved siden av sonen blant annet estimert ut ifra kjerneborehull BH1. Informasjonen fra borehullet er ekstrapolert basert på en antagelse om at strukturene/svakhetssonen er vertikal og har en strøkretning på ca. 89 grader.

Prognosen for bergmassekvalitet langs tunneltraseen er basert på foreliggende grunnlagsmateriale og kartlegging langs tunneltraseen. Påtrufne bergmassekvaliteter ved tunneldrivingen vil kunne avvike fra de antatte verdier vist i tabellen, både med hensyn til fordeling av bergmasseklasser, lengder og plassering langs traseen.

I tabell 4-4 er det gitt en sammenstilling av antatte bergmassekvaliteter med tilførende sikringsklasser i henhold til tabell 7.5-1 i vegnormal N500 [1] for de to tunnelløpene. Ved antatt fordeling av bergmasseklasse oppgitt i tabell 4-4 er det valgt et gjennomsnitt av intervallet av prognosen oppgitt i tabell 4-3. Sikringstabellen 7.5-1 i N500 er vist i tabell 4-12.

Tabell 4-4: Antatt fordeling av bergmassekvalitet og sikringsklasser for hovedløpene.

Bergmasseklasse	Sikringsklasse i henhold til N500	Vestgående løp, antatt fordeling	Østgående løp, antatt fordeling
A/B	I	47,5 %	45,2 %
C	II	36,1 %	39,0 %
D	III	6,2 %	4,9 %
E	IV	7,9 %	8,7 %
F	V	2,0 %	1,9 %
G	VI	0,3 %	0,3 %

Sikringstabellen i N500 gjelder utsprengt tunneltverrsnitt for T8,5-T12,5. Tunnelen har hovedsakelig et T10,5-profil. I nisjer benyttes T13,5, mens det største tverrsnittet (utenom kryssområdet) er T14,5. Mellom profil 7 100 og 8 850 for vestgående løp og mellom 7 100 og 8 900 for østgående løp er det en breddeutvidelse pga. kurve med lav radius. Utvidelsen er på 1 m for vestgående løp og 2 m for østgående løp (T12,5 profil). Det er ikke tatt hensyn til områder med tverrsnitt større enn T12,5 i utarbeidelse av prognosen. Her må sikring dimensjoneres spesielt. Det er heller ikke tatt hensyn til tverrforbindelser og stoller for tekniske rom. I disse områdene skal Jn-verdier oppjusteres med en faktor 3 i henhold til Q-metoden.

4.2.2 Tilførsels- og rampetunneler Dalane

Antatt fordeling med spenn i Q-verdier for tilførsels- og rampetunneler for vestgående løp fremgår av tabell 4-5, tabell 4-6 og tabell 4-7.

Tabell 4-5: Prognose for Q-verdier og bergmasseklasser for avkjøringsrampe vestgående løp

Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasseklasse (spenn)		Sv.sone
605	620	3.9	15	D	A/B	
620	640	12	45	A/B	A/B	
640	693	0.05	3.5	F	D	58
693	795	12	45	A/B	A/B	
795	810	3.9	15	D	A/B	

Tabell 4-6: Prognose for Q-verdier og bergmasseklasser for påkjøringsrampe vestgående løp

Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasseklasse (spenn)		Sv.sone
235	250	3.9	15	D	A/B	
250	435	12	45	A/B	A/B	
435	442	0.017	1.2	F	D	59
442	450	3.9	15	D	A/B	

Tabell 4-7: Prognose for Q-verdier og bergmasseklasser for tilførselstunnel vestgående løp (toveis trafikk)

Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasseklasse (spenn)		Sv.sone
110	125	3.5	11	D	A/B	
125	290	7	23	C	A/B	
290	310	0.05	3.5	F	D	55
310	358	7	23	C	A/B	
358	370	0.05	3.5	F	D	56
370	395	8.8	23	C	A/B	
395	415	0.05	3.5	F	D	57
415	525	8.8	30	C	A/B	
525	600	0.05	3.5	F	D	58
600	605	3.9	15	D	A/B	

Antatt fordeling med spenn i Q-verdier for tilførsels- og rampetunneler for østgående løp fremgår av tabell 4-8, tabell 4-9 og tabell 4-10.

Tabell 4-8: Prognose for Q-verdier og bergmasseklasser for avkjøringsrampe østgående løp

Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasseklasse (spenn)		Sv.sone
730	745	2.9	11	D	A/B	
745	900	8.8	33	C	A/B	
900	915	2.9	11	D	A/B	

Tabell 4-9: Prognose for Q-verdier og bergmasseklasser for påkjøringsrampe østgående løp

Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasseklasse (spenn)		Sv.sone
720	735	2.9	11	D	A/B	
735	750	8.8	33	C	A/B	
750	788	0.05	3.5	F	D	57
788	840	8.8	33	C	A/B	
840	853	0.05	3.5	F	D	56
853	875	8.8	33	C	A/B	
875	890	2.9	11	D	A/B	

Tabell 4-10: Prognose for Q-verdier og bergmasseklasser for tilførselstunnel vestgående løp (toveis trafikk)

Profil fra	Profil til	Q-verdi (spenn)		Bergmasseklasse (spenn)		Sv.sone
98	113	8.8	17	C	A/B	
113	160	18	33	A/B	A/B	
160	193	0.05	3.5	F	D	97
193	427	4.4	50	C	A/B	
427	435	0.05	3.5	F	D	55
435	460	18	45	A/B	A/B	
460	495	0.05	3.5	F	D	97
495	605	18	45	A/B	A/B	
605	665	0.05	3.5	F	D	57, 98
665	715	8.8	33	C	A/B	
715	730	2.9	11	D	A/B	

I tabell 4-11 er det gitt en sammenstilling av antatte bergmassekvaliteter med tilhørende sikringsklasser i henhold til tabell 7.5-1 i vegnormal N500 [1] for tilførsels- og rampetunneler i Dalane. Ved antatt fordeling av bergmasseklasse oppgitt i tabell 4-11 er det valgt et gjennomsnitt av intervallet av prognosene oppgitt i tabell 4-5, tabell 4-6, tabell 4-7, tabell 4-8, tabell 4-9 og tabell 4-10. Sikringstabellen 7.5-1 i N500 er vist i tabell 4-12.

Tabell 4-11: Antatt fordeling av bergmassekvalitet og sikringsklasser for rampetunnelene i krysset i Dalane

Bergmasse-klasse	Sikrings-klasse i henhold til N500	Vestgående løp			Østgående løp		
		avkjøring	påkjøring	tilførsel	avkjøring	påkjøring	tilførsel
A/B	I	60 %	86 %	0 %	84 %	52 %	37 %
C	II	15 %	11 %	71 %	16 %	18 %	42 %
D	III	0 %	0 %	3 %	0 %	0 %	0 %
E	IV	26 %	3 %	26 %	0 %	30 %	22 %
F	V	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
G	VI	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Tabell 4-12: Sammenheng mellom bergmasseklasser (Q-systemet) og sikringsklasser for permanent sikring gitt i N500 [1].

Bergmasse-klasse	Bergforhold Q-verdi (sprengt berg)	Sikringsklasse Permanent sikring
A/B	Lite oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand > 1 m. Q = 100 – 10	**Sikringsklasse I** - Spredt bolting - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm
C	Moderat oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand 0,3 – 1 m.	**Sikringsklasse II** - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm - Systematisk bolting c/c 2,0 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
E	Svært dårlig bergmasse. Q = 1 – 0,2 ---------- Q = 0,2-0,1	**Sikringsklasse IV** - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm - Systematisk bolting c/c 1,5 m ---------- - 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 D60/6+4 ø20, c/c buer 1,5-2,0 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 løsmasser, Q < 0,01	**Sikringsklasse VI** Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt.
Salvelengder skal reduseres senest fra og med sikringsklasse IV. Det skal ved driving inn mot svakhetssoner og andre kritiske partier etableres en sikringssone foran sonen. Avstanden til sonen fra stuff bestemmes på grunnlag av tilgjengelig informasjon og grad av usikkerhet, minimum 8-10 m.		

4.3 Bergoverdekning og bergspenninger

Tunnelen drives under et kupert terreng, noe som fører til en varierende bergoverdekning langs traseen. Tunnelen krysser flere daler, samt flere større og mindre dalsøkk, der bergoverdekningen er lav. Se underkapitler for detaljer.

Det kan typisk oppstå bergspenningskonsentrasjoner i forbindelse med dalsider og dalbunn, samt i kompetent sideberg til svakhetssoner. Da tunnelen krysser på tvers av de største dalene i området, altså på tvers av største forventede hovedspenningsretning, forventes det ikke bergspenningsproblematikk i forbindelse med kryssing av disse områdene.

Det er ikke kjent at det er utført bergspenningsmålinger i området.

4.3.1 Vige - Jegersberg

Ved profil 880 (østgående) er bergoverdekningen ca. 19 m for østgående løp, se tegning V541. Ved profil 1 060 (vestgående) er bergoverdekningen på ca. 26 m for begge løp. Tunnelen passerer nær Vollevannet ved profil 1 350 med ca. 45 m overdekning og ved profil 1 630 med ca. 49 m overdekning. Det er utført totalsonderinger og refraksjonsseismikk for å verifisere bergoverdekningen. På grunn av usikkerhet tilknyttet interpolering mellom borepunkter og tolkning av bergoverflaten ved seismikk, er det noe usikkerheter knyttet til faktisk bergoverdekning.

Ved profil 3 200-3 300 krysser tunnelen under nordenden av Nedre Jegersbergvann. Her er overdekningen ca. 90 m.

4.3.2 Otra

Tunnelen passerer under Otra ved ca. profil 4 140-4 280. Elva er her ca. 130 m bred, og minste bergoverdekning er på 24,5 m (profil 4 160 for østgående løp). Midt i elva er det en strekning på ca. 70 m med mellom 25 og 30 m bergoverdekning. Bergoverdekningen er verifisert ved totalsonderinger over hvert av tunnelløpene med en senteravstand på ca. 10 m. På grunn av usikkerheter knyttet til innmåling av elvebunn (kapittel 0) er det noe usikkerhet tilknyttet faktisk bergoverdekning. Blant annet kan det se ut til at boring NO724 er målt inn for høyt (tegning V563 og V566), noe som igjen kan føre til at bergoverdekningen kan være noe mindre under dette punktet.

Se vedlegg 1, tegning V561-V566, for detaljer.

Som nevnt krysser tunnelen Otra med en minste bergoverdekning på ca. 24,5 m. Otra ligger i dette området på ca. kote 0. Det er gjort en vurdering av at tunnelen ikke skal defineres som undersjøisk. Dette er også avklart med Vegdirektoratet. Det er ikke funnet saltvannspåvirket vann nord for Oddernesbrua [46], og et tilfelle hvor saltvannspåvirket vann strekker seg opp til Eg/Sødal for så å trenge ned i løsmasser og sprekker ned til tunnelnivå vurderes som lite sannsynlig. Det vurderes dermed at det ikke er behov for å dimensjonere sikring i tunnelen med hensyn til saltvannsinntrengning.

4.3.3 Bymarka

Maksimal bergoverdekning over tunnelen er ved profil 5 250 og er på ca. 200 m. Denne overdekningen gir kun moderate gravitasjonsspenninger, og det forventes derfor ikke utfordringer tilknyttet høye bergspenninger (avskalling, sprakeberg). Ved profil 5 000 passerer tunnelen under Nedre Hellerstøvann med ca. 170 m overdekning.

4.3.4 Dalane

Tunnelens hovedløp krysser Dalane ved ca. profil 6 120-6320. Her er det stedvis stor løsmassemektighet, opp mot 30 m. Minste bergoverdekning er på 15,5 m (vestgående løp profil 6235). Bergoverdekningen er på mellom 15 og 25 m over en strekning på ca. 90 m (gjelder begge løp). Det er utført totalsonderinger og refraksjonsseismikk for å verifisere bergoverdekningen. På grunn av usikkerhet tilknyttet interpolering mellom borepunkter og tolkning av bergoverflaten ved seismikk, er det noe usikkerheter knyttet til faktisk bergoverdekning.

Se vedlegg 1, tegning V547, V548 og V554, for detaljer.

4.3.5 Kjerrane - Grauthelleren

Tunnelen krysser Kjerrane ved ca. profil 8 450. Her er det registrert berg i dagen nord for turveien samt i bekken som renner langs dalen. Det er i tillegg registrert berg i dagen sør for jernbanelinja. Minste registrerte bergoverdekning er ca. 10 m (østgående løp profil 8 420). Bergoverdekningen er mindre enn 15 m over en strekning på 35 m for østgående løp og 22 m for vestgående løp.

Se vedlegg 1, tegning V550, V551 og V555, for detaljer.

På grunn av konflikt med en vannledning, bratt terreng og jernbanelinjen har det ikke vært mulig å gjennomføre totalsonderinger direkte over tunneltraseen. Det er utført en totalsondering nært seismikkprofil K2 og en nært profil K5 (se vedlegg 1 – tegning V522), disse er til en viss grad benyttet til å kalibrere seismikken. Overdekningen er derfor verifisert ved hjelp av refraksjonsseismikk og observasjoner av berg i dagen i Kvislevannsbekken. På grunn av usikkerheter tilknyttet tolkning av bergoverflaten ved refraksjonsseismikk, er det noe usikkerhet tilknyttet faktisk bergnivå.

Den lave overdekningen ved Kjerrane kan føre til liten innspenning. Kombinert med en svakhetssone med svelleleire kan dette gi driveteknisk utfordrende forhold i dette området, se kapittel 5.1.3.6.

Hovedvannledningen inn til Kristiansand går gjennom Kjerrane. I forbindelse med legging av denne ledningen har det blitt sprengt ut en skjæring for omlegging av bekken. Det er ikke forventet at sprengningsskadesonen strekker seg ned på tunnelnivå. Bergmassekvaliteten i den sprengte skjæringen er noe dårligere enn ellers i området, og er antatt å være påvirket av svakhetssonen.

Nær Grauthelleren krysser tunnelen flere dalsøkk med liten overdekning (på det minste ca. 14 m). Her er det ikke utført totalsonderinger for å bekrefte overdekning, på grunn av utfordrende tilkomst for geoteknisk borerigg og urmasser (som vanskeliggjør tolkning av

overgangen mellom løsmasser og berg). De refraksjonsseismiske undersøkelsene utført ved Grauthelleren indikerer at det er liten løsmassemektighet (<5 m). Disse dalsøkkene har også en begrenset bredde (typisk ca. 10 m).

4.4 Vurdering av geotekniske forhold

De geotekniske forholdene er omtalt i NV42E18YR-GTK-RAP-0002 Fagrapport geoteknikk [34], med tilhørende notater. En oppsummering er gitt i det følgende, men det henvises til egen rapport for detaljer.

I Vige består grunnen generelt av utlagt steinfylling, stedvis gytje/silt/sand over et tykt lag med bløt leire ned til berg. Dybde til berg varierer mellom ca. 10 og 30 m. Leiren betegnes som sprøbruddmateriale i enkelte borepunkter.

Løsmassene ved Bjørndalen består generelt av stor mektighet bløt leire eller kvikkleire opptil 35 m dybde under terreng. Dybde til berg varierer.

Grunnundersøkelsene ved vestsiden av elva i Otra (Eg-området) indikerer et topplag bestående av sand og silt over leire og kvikkleire. Det er påvist kvikkleire i hele sykehusområdet. Nedenfor sykehuset er det tidligere utført tiltak som motfylling og erosjonssikring. Ved østsiden av elva (Sødal-området) viser tidligere utførte grunnundersøkelser et topplag med sand og grus over leire og kvikkleire. Under leiren/kvikkleiren et det et lag med morene over berg. Mektigheten av de forskjellige lagene varierer, og noen steder er det mer lagdelt med flere lag av sand og leire.

Gjennomførte grunnundersøkelser i Dalane viser løsmasser stort sett bestående av siltige, sandige masser over morene over berg. I enkelte områder er det også mindre mektigheter med leire. Det er ikke funnet sprøbruddmateriale i Dalane.

Tunnelen krysser nær flere kartlagte kvikkleiresoner ved Kristiansand by [21]. De nærmeste kartlagte kvikkleiresonene er ved Eg og Sødal, ved kryssingen under Otra. Den nye veien ligger i tunnel, og har ikke fysisk inngrep i dagsoner i åpent terreng i de kartlagte kvikkleiresonene. Det er følgelig ikke krav om utredning av områdestabilitet, men det er likevel kontrollert om dagens stabilitet i de kartlagte områdene holder krav til robusthet som ville gjelde for tiltakskategori K3 og K4.

Det er utført en vurdering av setningspotensiale som følge av grunnvannssenking forårsaket av innlekkasje til tunnel, med bruk av konservative antagelser av grunnvannssenkning under terreng. Resultatene viser at områdene ved Bjørndalen og Eg er mest utsatt for setninger. For øvrige deler av tunnelen kan det aksepteres noe setninger som angitt i notat GTK-NOT-0004 [47].

4.5 Vurdering av potensielle stabilitetsproblemer i tunnel

Basert på den utførte sprekkekartleggingen er det identifisert hovedsakelig 3 sprekkesett. Disse endrer retning langs traseen. De tre sprekkesettene, kombinert med tunnelkonturen som fri flate, vil kunne avløse kiler/blokker.

Selv om sprekkenes orientering varierer langs traseen, er det stort sett alltid ett sprekkesett med subhorisontal orientering. En slik orientering kan føre til utfordringer tilknyttet i utfall i hengen og bevaring av kontur.

Det er registrert et sprekkesett med steilt fall og strøk parallelt/subparallelt tunnelens lengdeakse fra påhugg Vige og fram til Otra, samt i Bymarka vest, i Mellomheia og mellom Kjerrane og Grauthelleren. En slik sprekkekonfigurasjon med langsgående sprekker kan potensielt gi avløste blokker i kombinasjon med liten innspenning. Spesielt der tunnelen har begrenset bergoverdekning i områdene ved Vige og Kjerrane vil dette være gjeldene. Sprekkeplanenes vinkel i forhold til systematisk bolting med radielle bolter kan være noe ugunstig for å feste potensielle løse blokker.

Bergsikringen må tilpasses de stedlige geologiske forholdene i tunnelen. I områder utenom svakhetssonene forventes det at sikringen består av rensk, sprøytebetong og bolter.

Svakhetssoner vil medføre behov for omfattende sikring. Avhengig av mektighet og karakteristikk på svakhetssonene er aktuelle sikringsmetoder tettere bolting og tykkere lag med sprøytebetong, eller enkelt- og dobbeltarmerte sprøytebetongbuer. Det er i tilstøtende prosjekter identifisert svakhetssoner med svelleleire, som også har medført utfall i tunnel [15]. Det er i kjerneborehullene identifisert flere partier med svelleleire. Det kan ikke utelukkes at det påtreffes svakhetssoner med svelleleire også i andre områder langs traseen.

Der tunnelen drives gjennom svakhetssoner og/eller områder med liten bergoverdekning, kan det bli behov for forbolter for å stabilisere bergmassen foran stuff før videre berguttak, samt opprettholde planlagt kontur. Forboltene festes i bakkant av radielle bolter kombinert med bergbånd og sprøytebetong, eller de forankres i en sprøytebetongbue. Behov for reduserte salvelengder kan også være aktuelt.

I områder der omfattende sikring installeres vil det være behov for utvidelse av tunnelprofilet for å få plass til stabilitetssikringen. Dette vil avhengig av mektighet, svellegenskaper og geometri på sonen.

4.6 Vurdering av påhuggsområder og forskjæringer

4.6.1 Påhugg og forskjæring Vige

Påhugget er plassert i profil 714 for vestgående løp og 683 for østgående løp (se vedlegg 1 – tegning V511, V541 og V552). Påhugget etableres i en skråning med helning på ca. 20 grader mot SØ. Terrengets helning går skrått på påhuggsflaten, slik at overdekningen er størst i nord og avtar mot sør. Løsmassedekket er tynt eller fraværende (berg i dagen). Bergoverdekningen er 16-23 m for vestgående løp og 10-12 m for østgående løp. Det kan bli behov for mindre justeringer av plasseringen av påhuggsflaten etter avdekking av berg og kartlegging av de faktiske forholdene. Justering av påhuggene må vurderes opp mot godkjent fravikssøknad for avstand mellom akselerasjonsfelt og tunnelåpning (se NV42E18YR-VEI-RAP-0002 Fagrapport infrastruktur for detaljer rundt fravikssøknader [48]). Portalene kan ikke være lenger enn 10 m hvis vilkårene for søknaden skal være oppfylt. Dersom påhugget flyttes lengre vest, kan portalen bli tilsvarende lengre. Dersom påhugget

flyttes lengre øst, må portalen forkortes tilsvarende. Det må forventes bruk av forbolter ved etablering av påhugg.

Forskjæringen for vestgående løp er planlagt med paller på 12 m og hyllebredder på 6 m (nederst) og 4 m (øverst). I påhuggsflaten er det planlagt en hylle på 4 m i øverste pall. Maksimal skjæringshøyde er på 36 m. Forskjæringen for østgående løp er planlagt etablert i en pall med maksimal høyde på 15 m. Det kan bli behov for justering av pallhøyder og hyllebredder basert på ingeniørgeologisk kartlegging etter at berget er avdekket. Det kan også bli aktuelt å legge pallene parallelt med eksisterende sprekkeplan for å ivareta stabiliteten. Skjæringsutformingen er valgt for å passe inn i eksisterende terreng, samt gi tilpasningsmuligheter for entreprenør.

Ca. 60 m øst for påhuggsflaten er det en eksisterende skjæring. Bergmassekvaliteten er generelt god. I den søndre delen av eksisterende skjæring, der forskjæringen for Ytre ringvei skal etableres, er det ikke utført bergsikring. Et bilde av skjæringen er vist i figur 4-9.

Svakhetssone 1 kan influere noe på bergmassekvaliteten i påhugget for vestgående løp og en kort avstand inn i tunnelen, se vedlegg 1 – tegning V511 og V541.

Figur 4-9: Eksisterende skjæring ved Vige Havnevei 6. Skjæringen ligger ca. 60 m øst for påhuggsflaten. Bilde tatt mot vest.

Følgende potensielle utglidningsscenarier for påhuggsflaten er identifisert på bakgrunn av enkle kinematiske analyser i programvaren DIPS fra Rocscience (se figur 4-10):

i. Plan utglidning som følge av avløse blokker langs sprekker med gjennomsnittlig fall/fallretning 76°/105°.

Sprekkene som er kartlagt med en orientering på 76°/105° (fall/fallretning) er underrepresentert i stereoplottet. Under feltkartlegging var sprekker med denne orienteringen svært tydelige i skjæringen ved tenkt påhugg (se figur 4-9), og denne sprekkeorienteringen er derfor vektet høyere ved vurdering av den kinematiske analysen. Dette planet er nær parallelt påhuggsflaten. Om dette sprekkesettet er til stede i påhuggsflaten, kan det bli aktuelt å legge påhuggsflaten parallelt med dette. Alternativt vil det være en risiko for utglidning/bakbrytning langs dette planet. I begge tilfeller vil det være behov for mer plass innover mot Erling Skakkes vei enn foreløpig prosjektert påhugg. Dette er det tatt høyde for ved regulering. Detaljprosjektering av skjæringer må utføres etter at berget er avdekket.

For forskjæringene er følgende potensielle utglidningsscenarier identifisert (se figur 4-10):

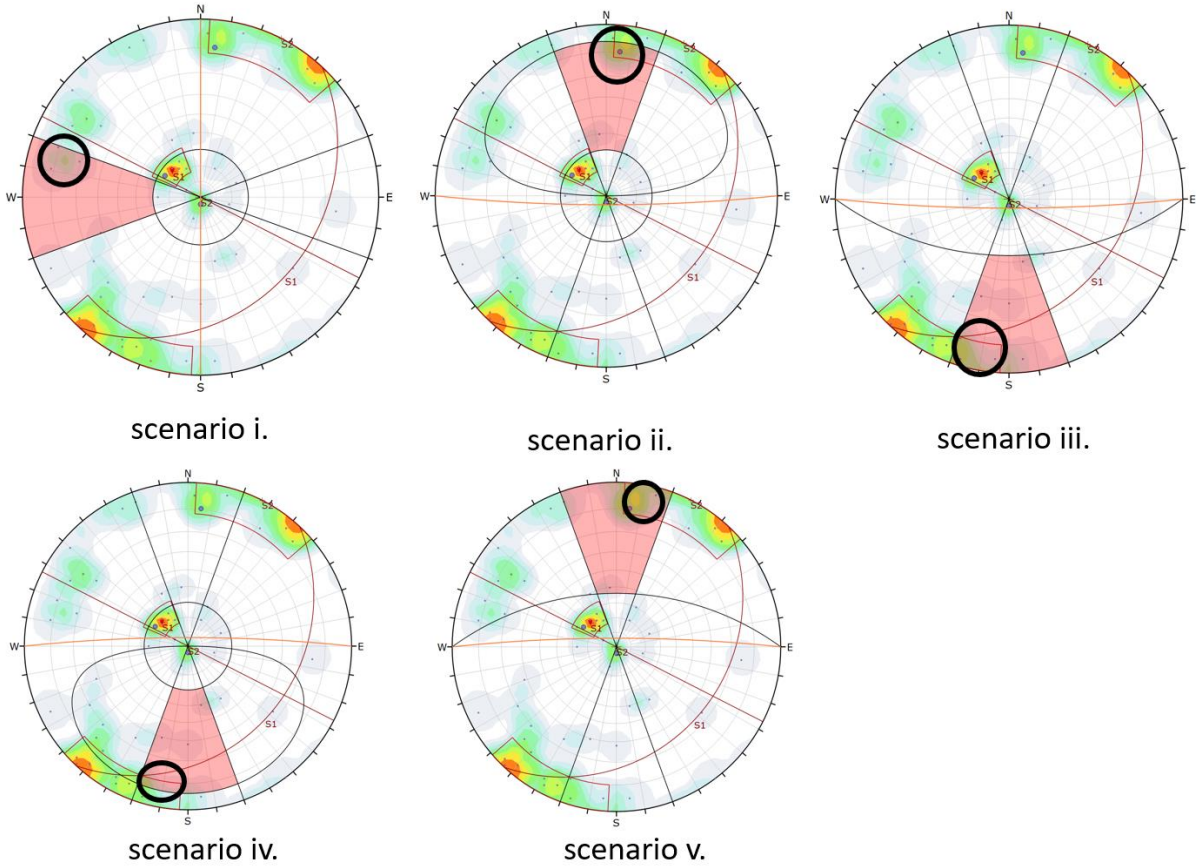
ii. Plan utglidning i forskjæring mot nord som følge av avløste blokker langs sprekker med gjennomsnittlig fall/fallretning 90°/207°.

iii. Utvelting/toppling i forskjæring mot nord forårsaket av gjennomsettende sprekker tilhørende et sprekkesett med gjennomsnittlig fall/fallretning 90°/207°.

iv. Plan utglidning i forskjæring mot sør som følge av avløste blokker langs sprekker med gjennomsnittlig fall/fallretning 90°/207°.

v. Utvelting/toppling i forskjæring mot sør forårsaket av gjennomsettende sprekker tilhørende et sprekkesett med gjennomsnittlig fall/fallretning 90°/207°.

Hvorvidt det er plan utglidning eller utvelting/toppling som potensielt vil skje i forskjæringene langs et sprekkesett med gjennomsnittlig fall/fallretning 90°/207° vil avhengig av sprekkenes orientering lokalt. Den kinematiske analysen tar i stor grad for seg utglidningsscenarier som er kritisk for bergskjæringens totalstabilitet. Opptreden av villsprekker eller spenningsinduserte sprekker som ikke er fanget opp i inneværende planfase vil kunne medføre behov for rensk og sikring av mindre avløste steiner og blokker. Stor fallhøyde gjør at slik detaljproblematikk vil kunne medføre store konsekvenser ved nedfall mot vei.



Figur 4-10: Illustrasjon av hovedresultater fra utført kinematisk analyse for forskjæring ved påhugg Vige. Scenario i gjelder for påhuggsflaten, scenario ii-iii gjelder for forskjæring mot nord, og scenario iv-v gjelder for forskjæring mot sør. Anvisning av potensielle utglidningsscenarier med sort ring.

4.6.2 Påhugg og forskjæring Dalane nord

Påhugget etableres i en ca. 80 m høy dalside. Over påhugget er det en nær vertikal bergvegg. Forskjæringen vil i stor grad bestå av urmasser. Bergarten i påhugget er en båndgneis/glimmergneis av god kvalitet. Det er observert en pegmatittgang i nærheten av påhugget. Det må forventes bruk av forbolter ved etablering av påhugg. Et bilde av påhuggsområdet er vist i figur 4-11.

Det er observert mye urmasser i området ved påhugget. Det er ikke utført grunnundersøkelser for å kartlegge mektigheten, da det ikke er mulig å kartlegge dette med tradisjonelle metoder, men det er gjort registreringer av berg i dagen rett over påhugget (se vedlegg 1 – tegning V543). Endelig oversikt over bergoverflatens beliggenhet får man derfor ikke før urmassene er gravd bort. Urmassene må tas ut forsiktig for ikke å gjøre overliggende masser ustabile. Dersom løsmassemektigheten i påhugget er større enn forutsatt, kan det bli aktuelt å tilpasse forskjæring og påhuggsflate til de stedlige forholdene. Et aktuelt tiltak kan for eksempel være å etablere et skrått påhugg parallelt med dalsiden.

Påhugget er plassert i profil 110 (se vedlegg 1 – tegning V531, V543, V544 og V553). Antatt overdekning i påhuggsflaten er ca. 4 m. Det er sannsynlig at det vil bli behov for justeringer av plasseringen av påhuggsflaten etter avdekking av berg og kartlegging av de faktiske forholdene. Justering av påhugget må vurderes opp mot godkjent fravikssøknad for tunnelåpning. Portalen kan ikke være lenger enn 10 m hvis vilkårene for søknaden skal være oppfylt (se NV42E18YR-VEI-RAP-0002 Fagrapport infrastruktur for detaljer [48]).

Det vil bli aktuelt med sikring av bergskrenten i form av bolter, bånd og nett. Det kan også bli aktuelt å benytte fanggjerde. For detaljer rundt skredfarevurderingen henvises det til egen rapport [12].

Figur 4-11: Bilde fra søndre del av nordre påhugg i Dalane. Bilde er tatt mot nordvest.

Følgende potensielle utglidningsscenarier for påhuggsflaten er identifisert på bakgrunn av enkle kinematiske analyser i programvaren DIPS fra Rocscience (se figur 4-12):

i. Plan utglidning som følge av avløse blokker langs sprekker tilhørende et sprekkesett med gjennomsnittlig fall/fallretning 55°/048°.

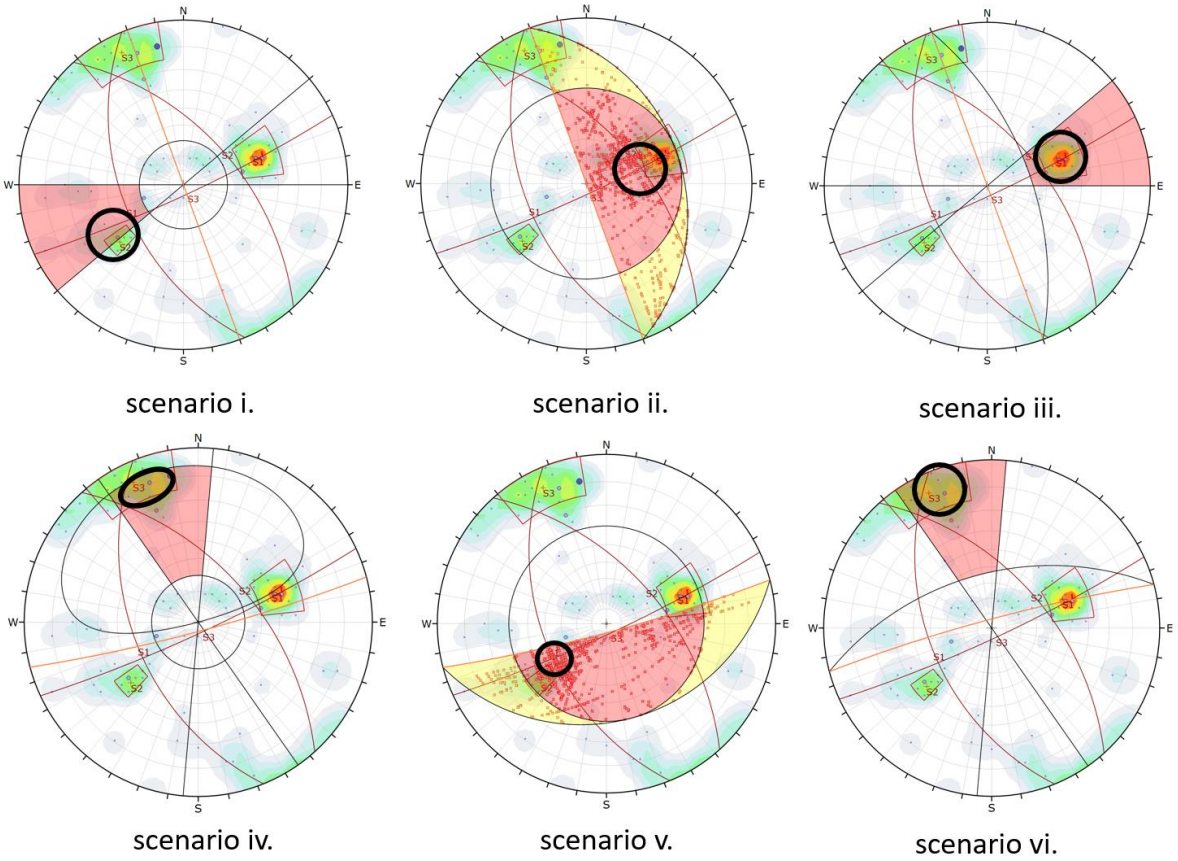
ii. Kileutglidning som følge av krysning mellom sprekker tilhørende sprekkesett med gjennomsnittlig fall/fallretning henholdsvis 55°/048° og 83°/155°.

iii. Utvelting/toppling forårsaket av gjennomsettende sprekker tilhørende et sprekkesett med gjennomsnittlig fall/fallretning 49°/248°.

For forskjæringene er følgende potensielle utglidningsscenarier identifisert (se figur 4-12)

iv. Plan utglidning i forskjæringer mot nord som følge av avløste blokker langs sprekker tilhørende et sprekkesett med gjennomsnittlig fall/fallretning 83°/155°.
v. Kileutglidning i forskjæringer mot nord som følge av krysning mellom sprekker tilhørende et sprekkesett med gjennomsnittlig fall/fallretning henholdsvis 49°/248° og 83°/155°.
vi. Utvelting/toppling i forskjæringer mot sør forårsaket av sprekker tilhørende et sprekkesett med gjennomsnittlig fall/fallretning 83°/155°.

Den kinematiske analysen tar i stor grad for seg utglidningsscenarier som er kritisk for bergskjæringens totalstabilitet. Opptreden av villsprekker eller spenningsinduserte sprekker som ikke er fanget opp i inneværende planfase vil kunne medføre behov for rensk og sikring av mindre avløste steiner og blokker. Stor fallhøyde gjør at slik detaljproblematikk vil kunne medføre store konsekvenser ved nedfall mot vei.



Figur 4-12: Illustrasjon av hovedresultater fra utført kinematisk analyse for påhugg ved Dalane. Scenario i-iii gjelder for påhuggsflater, scenario iv-v gjelder for forskjæringer mot nord, og scenario vi gjelder for forskjæring mot sør. Anvisning av potensielle utglidningsscenarier med sort ring.

4.6.3 Påhugg og forskjæring Dalane sør

Påhugget etableres i en ca. 100 m høy dalside. Skråningen har i påhugget en helning på 60-80 grader. Et bilde av påhuggsområdet er vist i figur 4-13.

Påhugget er plassert i profil 100 (se vedlegg 1 – tegning V534, V542 og V553). Det kan bli behov for mindre justeringer av plasseringen av påhuggsflaten etter avdekking av berg og kartlegging av de faktiske forholdene. Justering av påhugget må vurderes opp mot godkjent fravikssøknad for tunnelåpning. Portalen kan ikke være lenger enn 10 m hvis vilkårene for søknaden skal være oppfylt (se NV42E18YR-VEI-RAP-0002 Fagrapport infrastruktur for detaljer [48]).

Påhugget er plassert nær et markert søkk i terrenget som antas å representere en svakhetssone. Bergmassen i påhugget fremstår som middels oppsprukket. Det er ingen synlig sprekkefylling. Det er et tynt vegetasjonsdekke over berg. Det er observert en knusningssone med ca. 1 m mektighet (RQD ca. 50). Det må forventes bruk av forbolter ved etablering av påhugg.

Aktuelle sikringstiltak for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet mot skred for tiltak innenfor definerte faresoner kan være spredt blokkbolting og bruk av steinsprangnett eller wirenett i skrenter. Fanggjerde kan også være et mulig sikringstiltak. Eventuelle sikringstiltak må detaljprosjekteres. Se egen rapport for utdypende informasjon om skredfarevurdering [12].

Figur 4-13: Bilde av søndre påhuggsområde i Dalane. Bilde tatt mot sørvest.

For påhugg Dalane sør er det i nåværende planfase identifisert de samme potensielle utglidningsscenariene som for påhugg Dalane nord, se kapittel 4.6.2.

4.6.4 Påhugg og forskjæring Grauthelleren

Påhugget etableres i et markert søkk i terrenget. Selve søkket er ca. 10-20 m dypt og har en orientering VNV-ØSØ med antatt steilt fall. Det er observert massivt berg i midten av forsenkningen. Påhuggsflaten ligger tilnærmet parallelt med søkket. Terrengoverdekning i påhugget er 21,4 til 35 m.

Påhugget er plassert i profil 9 628 for vestgående- og 9 562 for østgående løp (Se vedlegg 1 – tegning V523, V545 og V556).

Basert på observasjoner av berg i dagen i midten av søkket er det forventet en begrenset løsmassemektighet. Endelig påhuggsplassering kan likevel ikke bestemmes før alt berg er avdekket. Dersom mulig, bør påhuggsflaten plasseres så langt sør i søkket som mulig (forutsatt at lengden mellom akselerasjonsfelt og tunnelåpning som ble lagt til grunn i godkjent fravikssøknad opprettholdes, se NV42E18YR-VEI-RAP-0002 Fagrapport infrastruktur for detaljer [48]), slik at bunnen av søkket kan fungere som en hylle for eventuelle nedfall fra fjellskrenten over. Justering av påhuggene må vurderes opp mot godkjent fravikssøknad for tunnelåpninger. Portalene kan ikke være lenger enn 10 m hvis vilkårene for søknaden skal være oppfylt. Det forutsettes at bergmassekvaliteten er tilstrekkelig god til at påhugget kan etableres i dette søkket. Ved behov er det mulig å flytte påhuggsflaten noe lenger mot nord. Det må forventes noe rensk og sikring av fjellskrenten. Det må også forventes bruk av forbolter ved etablering av påhugg.

Søkket påhugget er plassert i representerer en svakhetssone. Svakhetssonen er registrert som en lavhastighetssone (3 700 m/s) i seismikkprofil G3. Det må forventes dårlig bergmassekvalitet i påhuggsflaten, men det er ikke forventet at sonen påvirker bergmassekvaliteten over et lengre område.

Et bilde av påhuggsområdet er vist i figur 4-14.

Deler av forskjæringen er en del av prosjektet E39 Kristiansand vest - Mandal øst, som er under bygging. Grensesnittet mellom prosjektene går ved profil 9719 for vestgående løp og 9659 østgående løp. Utformingen av forskjæringen på Ytre ringvei er tilpasset prosjektert skjæring for E39 Kristiansand vest - Mandal øst.

Forskjæringen er planlagt etablert med paller på 12 m, med 6 meters hyller. Største skjæringshøyde er 43 m i vestgående løp og 33 m i østgående løp. Det kan bli behov for justering av pallhøyder og hyllebredder basert på ingeniørgeologisk kartlegging etter at berget er avdekket. Det kan også bli aktuelt å legge pallene parallelt med eksisterende sprekkeplan for å ivareta stabiliteten. Justeringer i skjæringsgeometrien sørvest for grensesnittet (E39 Kristiansand vest - Mandal øst) kan også påvirke forskjæringen for Ytre ringvei.

Figur 4-14: Påhuggsområdet ved Grauthelleren. Bildet er tatt mot øst, fra et punkt mellom løpene.

Følgende potensielle utglidningsscenarier for påhuggsflaten er identifisert på bakgrunn av enkle kinematiske analyser i programvaren DIPS fra Rocscience (se figur 4-15):

i. Plan utglidning som følge av avløse blokker langs sprekker tilhørende et sprekkesett med gjennomsnittlig fall/fallretning 74°/188°.

ii. Kileutglidning som følge av krysning mellom sprekker tilhørende sprekkesett med gjennomsnittlig fall/fallretning henholdsvis 74°/188° og 77°/274°.

iii. Utvelting/toppling forårsaket av gjennomsettende sprekker tilhørende et sprekkesett med gjennomsnittlig fall/fallretning 74°/188°.

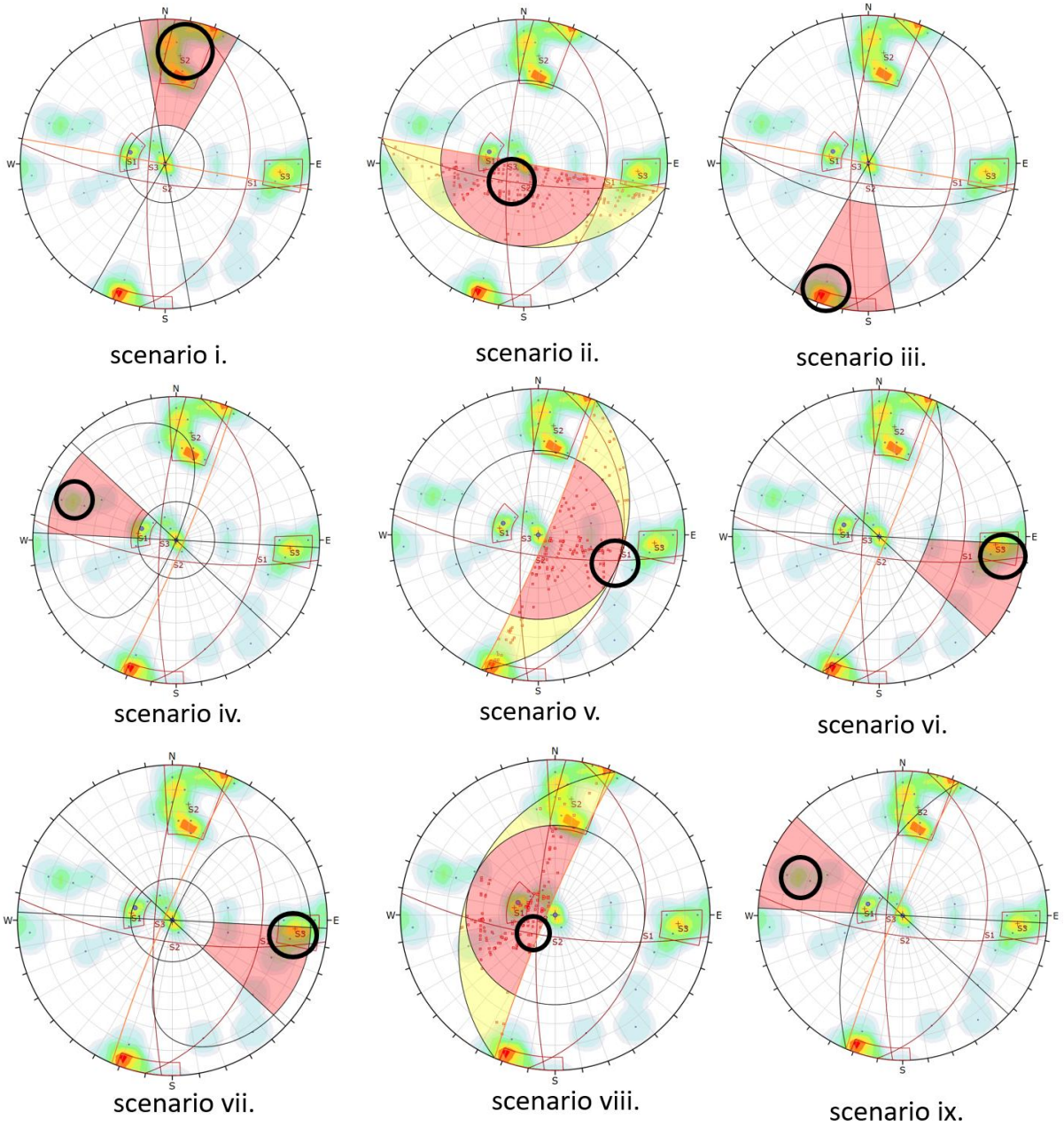
Hvorvidt det er plan utglidning eller utvelting/toppling som potensielt vil skje langs et sprekkesett med gjennomsnittlig fall/fallretning 74°/188° vil avhengig av sprekkes orientering lokalt.

For forskjæringene er følgende potensielle utglidningsscenarier identifisert (se figur 4-15):

iv. Plan utglidning i forskjæring mot vest som følge av avløste blokker langs sprekker med gjennomsnittlig fall/fallretning 74°/110°.
v. Kileutglidning i forskjæring mot vest som følge av krysning mellom sprekker tilhørende et sprekkesett med gjennomsnittlig fall/fallretning henholdsvis 30°/100° og 74°/188°.
vi. Utvelting/toppling i forskjæring mot vest forårsaket av gjennomsettende sprekker tilhørende et sprekkesett med gjennomsnittlig fall/fallretning 77°/274°.
vii. Plan utglidning i forskjæring mot øst som følge av avløste blokker langs sprekker tilhørende et sprekkesett med gjennomsnittlig fall/fallretning 77°/274°.
viii. Kileutglidning i forskjæring mot øst som følge av krysning mellom sprekker tilhørende et sprekkesett med gjennomsnittlig fall/fallretning henholdsvis 74°/188° og 77°/274°.
ix. Utvelting/toppling i forskjæring mot øst forårsaket av sprekker med gjennomsnittlig fall/fallretning 74°/110°.

Med hensyn til utglidningsscenario iv. og ix., er det kun identifisert sporadiske sprekker og ikke sprekkesett med denne orienteringen. Disse sprekkene er allikevel vektlagt i den kinematiske analysen ettersom de har en orientering som kan påvirke både total- og detaljstabiliteten til forskjæringene.

Den kinematiske analysen tar i stor grad for seg utglidningsscenarier som er kritisk for bergskjæringens totalstabilitet. Opptreden av villsprekker eller spenningsinduserte sprekker som ikke er fanget opp i inneværende planfase vil kunne medføre behov for rensk og sikring av mindre avløste steiner og blokker. Stor fallhøyde gjør at slik detaljproblematikk vil kunne medføre store konsekvenser ved nedfall mot vei.



Figur 4-15: Illustrasjon av hovedresultater fra utført kinematisk analyse for påhugg Grauthelleren. Scenario i-ii gjelder for påhuggsflaten, scenario iv-vi gjelder for forskjæring mot vest, og scenario vii-ix gjelder for forskjæring mot øst. Anvisning av potensielle utglidningsscenarier med sort ring.

4.7 Vurderinger med hensyn til tunnelgeometri

Tunnelen bygges som en toløps tunnel der hvert av løpene har et tverrsnitt på T10,5. Ved havarinisjer benyttes tverrsnitt T14. Ved plassering av nisjer er det tatt hensyn til svakhetssoner og partier med liten overdekning. Det er også flere steder nødvendig med mindre utvidelser for å oppnå tilstrekkelig sikt (se NV42E18YR-VEI-RAP-0002 Fagrapport infrastruktur for detaljer [48]).

Havarinisjer er plassert hver 500 meter, mens det er tverrforbindelser mellom tunnelløpene hver 250 m. Det er totalt 18 nisjer i vestgående løp, 19 i østgående løp og 1 i hver av rampetunnelene og 1 i hver av tilførselstunnelene. Det er totalt 35 tverrforbindelser. Det etableres også 9 stoller for tekniske bygg, 1 stoll for teknisk bygg i hver av rampetunnelene (totalt 2 stk.) og 3 stoller for pumpestasjoner.

Kryssområdet i Dalane er utformet med separate tilførsels- og rampetunneler for øst- og vestgående løp. Rampetunnelene har tverrsnitt T7,5 og tilførselstunnelene T14. De største tverrsnittene opptrer der rampetunnelene kobles på hovedløpene. Foreløpige beregninger viser at største spennvidde her er 28,3 m. Ved sammenkobling av tilførsels- og rampetunneler er spennvidden på 22,0 m.

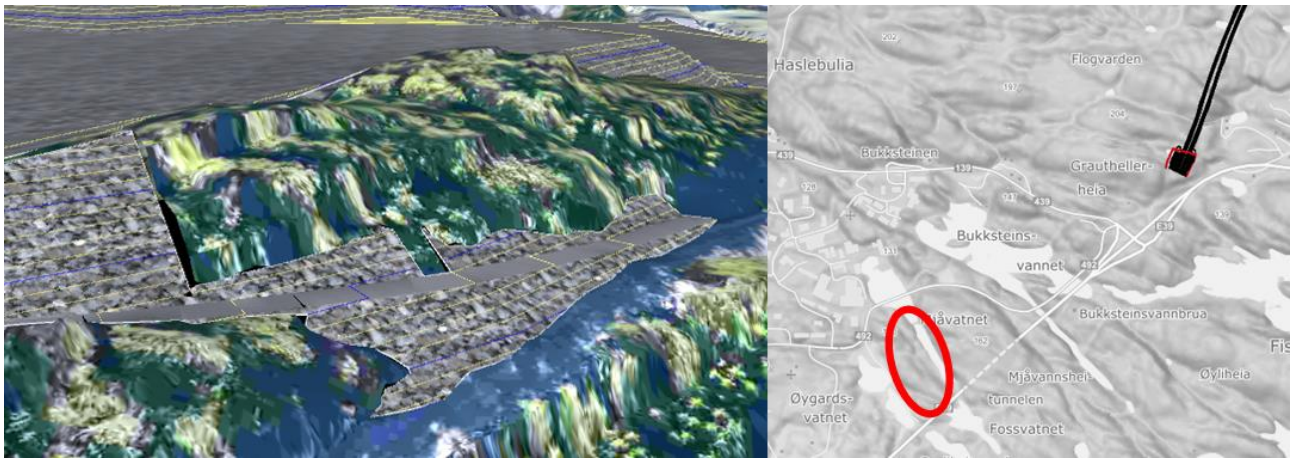
Nisjer, tverrforbindelser og stoller vil være geometriske elementer i tunnelen som lokalt øker tunnelspennet eller som på annen måte påvirker spenningsomlagring og innspenning rundt berghvelvingen. Det er ved prosjekteringen, i den grad dette har latt seg gjøre i grensesnittet mot de øvrige fagene, søkt å plassere disse elementene så de ikke blir lokalisert i områder som antas ha redusert bergkvalitet som følge av svakhetssoner eller lav bergoverdekning. Det er knyttet usikkerhet til svakhetssonenes forløp/utholdenhet mot dypet. Det kan derfor ikke utelukkes at det påtreffes svakhetssoner ved driving av enkelte havarilommer/tekniske rom. MWD-data fra sonderboring/injeksjonsboring kan benyttes for å få informasjon om bergmassekvalitet foran stuff. Denne informasjonen kan benyttes for å vurdere justering av plassering av havarilommer/tekniske rom. I N500 er det en toleranse med hensyn til plassering av havarilommer innenfor +/-50 m, slik at endelig plassering vil kunne tilpasses de lokale forholdene.

Stoll for teknisk bygg etableres i forbindelse med havarilommer. Også her vil det generelt kunne være behov for noe økt sikringsinnsats grunnet økt spennvidde og den endrede spenningssituasjonen man får i området ved etablering (av påhugg for) disse tunnelelementene.

Krav til stabbebredde i henholdt til N500 er minst 10 m (kapittel 4.1 i N500). Dette kravet er tilfredsstilt i hele tunnelen, også i påhuggsområdene. Avstanden mellom løpene er generelt 12.9 m, 10,5 m ved påhugget i Vige og 11,8 m ved påhugget ved Grauthelleren. Disse stabbebreddene er ikke medregnet eventuelle tverrsnittsutvidelser for tung sikring og/eller forbolter.

4.8 Innledende vurdering av bratt sideterreng ved område for massedeponi ved Øygardsvann

I forbindelse med område for massedeponi ved Øygardsvann, skal det bygges en turvei. På oversiden av traseen finnes det en bratt skrent (figur 4-16). Skråningens høyde over veien er ca. 15 meter over en strekning på ca. 80 m. Her må det forventes rensk og sikring av sideterrenget for å unngå nedfall på turveien.



Figur 4-16: Turvei tilknyttet område for massedeponi ved Øygardsvann.

4.9 Anvendbarhet av steinmateriale

Langs tunneltraseen er det kartlagt amfibolittisk gneis, granittisk gneis og øyegneis, samt noe biotittisk gneis, pegmatitt og granitt. Normalt vil kompetente grunnfjellsbergarter kunne gjenbrukes på anlegget, men dette vil blant annet avhengig av bergmassens egenskaper lokalt. Generelt indikerer resultatene fra Kristiansand og Ringknuten pukkverk, og resultatene utført for Ytre ringvei spesielt, noe varierende egnethet til bruk for ulike formål.

Tester på bergartsmaterialer i tilgrensede områder (ved Kristiansand og Ringknuten pukkverk) indikerer stedvis et høyt innhold av glimmer. Flisighetsindeks og kulemølleverdi, testet på materiale fra Ringknuten pukkverk, indikerer begrenset egnethet til asfalt og som bærelag i vei. Glimmerinnholdet indikerer også begrenset egnethet som tilslag til betong.

Testene indikerer varierende mekaniske egenskaper. Prøvene tatt av antatt granittisk/amfibolittisk gneis (prøvepunkt 8 og 9) oppfyller kravene til Los Angeles-verdi og Micro-Deval-koeffisient for bærelag og forsterkningslag i vei gitt i N200 [2]. Én prøve av antatt øyegneis (prøve 10) oppfyller kravene, mens to prøver av antatt øyegneis (prøve 11 og 13) ikke oppfyller kravene. Heller ikke prøve av båndgneis/granittisk gneis (prøve 12) oppfyller kravene. Overnevnte prøver er testet kun for Los Angeles-verdi og Micro-Deval-koeffisient. For bruk til overbygning i vei stilles det i tillegg krav til andre geometriske egenskaper. Dersom massene skal gjenbrukes forutsettes det at også disse egenskapene oppfyller kravene.

Basert på tidligere og utførte tester på steinmateriale vurderes det som aktuelt å benytte massene til frostsikringslag i vei. Avhengig av påtruffen bergmasse vurderes det også som aktuelt å benytte deler av massene til bærelag og forsterkningslag i vei, men det er ikke alle

prøvene som oppfyller kravene for slike masser. Det kan være aktuelt å benytte massene til fyllinger, men dette vil avhenger av fyllingstype, bergartstype og finstoffandel.

Anvendbarheten må verifiseres av tester på materiale fra tunnelene på Ytre ringvei som har gjennomgått fullskala nedknusnings i knuseverk som skal benyttes i prosjektet. Det må påberegnes uttak og testing av steinmateriale i byggefasen for å supplere eksisterende undersøkelser og fange opp lokale variasjoner. Egenskapene og karakteristikk til bergarter kan endres over korte avstander og det materialet som er testet fra pukkverkene og andre prøvelokaliteter i dagen er ikke nødvendigvis representative for bergmassen på tunnelnivå for Ytre ringvei. Foreliggende tester indikerer lokale variasjoner. Det kan ikke utelukkes at steinprøver fra lokaliteter i dagen tilhører dagfjellsonen og har en lavere mekanisk styrke sammenliknet med bergmasse på tunnelnivå som befinner seg under dagfjellsonen. Påtruffen bergmassen kan dermed ha bedre egenskaper enn hva som er identifisert så langt, men dette må verifiseres.

Steinmaterialet kan også ha andre bruksområder, der kvalitetskravene til massene er lavere. Det kan i denne sammenheng nevnes støyvoller, erosjonssikring, forstøtninger og murer. I tillegg vil massene være godt egnet for utfylling til f.eks. havner eller bolig- og næringstomter. Ved utfylling i sjø stilles det blant annet strenge krav til vern mot forurensning og avfall, samt finstoffinnhold. Sprengstein fra tunnel kan også inneholde plast.

For en mer utdypende vurdering av gjenbruk av tunnelmasser henvises det til notat NV42E18YR-GEO-NOT-0006 *Gjenbruk av sprengstein fra tunnel* [49].

4.10 Svelleleire

Svelleleire er leire som ved kontakt med vann vil få en vesentlig volumutvidelse. Smektitt er en fellesbetegnelse på en rekke leirmineraler som har slike egenskaper. Svelleleire er et vanlig produkt som dannes under mekanisk og kjemisk nedbryting av bergarter, og er dermed forholdsvis vanlig forekommende i norske tunnelanlegg.

Svelleleire kan skape problemer i tunneler ved at den etter en tunnel/bergrom er ferdigstilt trekker til seg vann og ekspanderer. Denne ekspansjonen kan medføre et betydelig trykk på sikringskonstruksjoner, eller på sprekker i usikret bergmasse, og kan dermed medføre brudd i sikringskonstruksjonen og eventuell utrasing.

Svelleleire kan forekomme generelt fordelt på sprekker i bergmassen, og dersom mengden av svelleleire er beskjeden, vil denne i mange tilfeller ikke ha betydning for tunneldriving. Dersom leiren opptrer i større mektighet, eksempelvis kombinert med oppknust berg i svakhetssoner, vil det akkumulerte svelletrykket kunne medføre utrasing og suksessiv utgraving av massene i svakhetssonen. Om leiren opptrer "bak" potensielt løse blokker, med ugunstig sprekkeretning, vil svelling kunne medføre at enkeltblokker presses ut. En sprekk med belegg av leire vil også ha redusert friksjon sammenlignet med en sprekk uten belegg.

I forbindelse med kjerneboring er det påtruffet flere partier med svelleleire [29].

Dersom man under tunneldrivingen påtreffer soner med svellende leire må design av permanent sikring ta hensyn til dette. Svellende leire kan medføre at ustabiliteter utvikler seg over tid i bergmassen. Det er viktig at det utføres prøving av påtruffet leirmateriale under

tunneldriving og at sikringen blir dimensjonert i henhold til svellegenskapene til leiren. Deformasjonsmålinger kan være aktuelt for å verifisere den permanente sikringen.

5 Tolkningsdel – Anleggsgjennomføring

5.1 Vurdering av drivetekniske forhold

5.1.1 Borbarhet og sprengbarhet

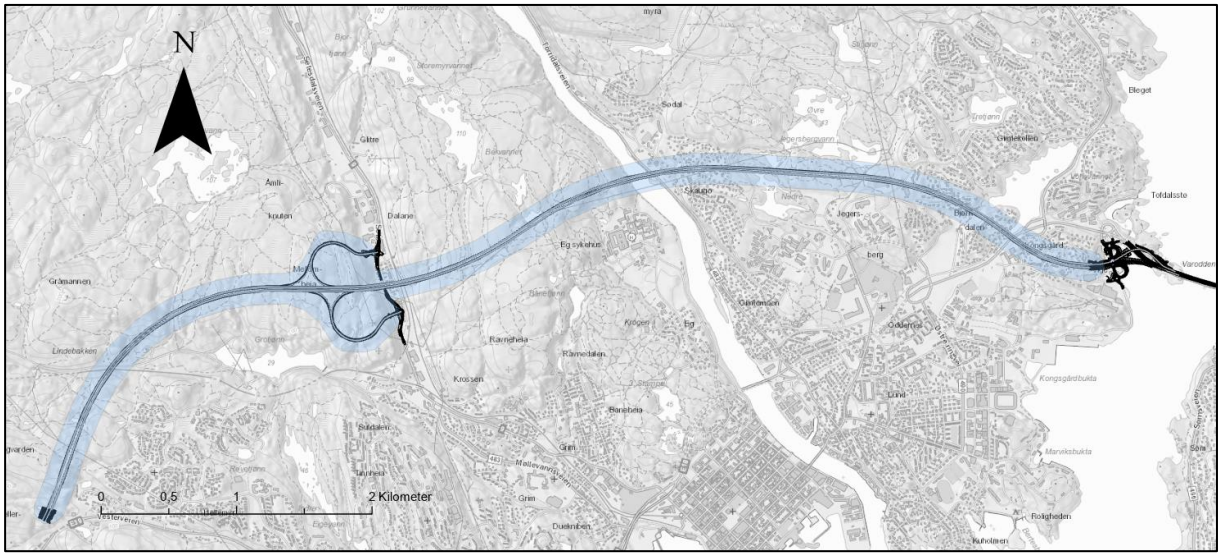
Bergmassens borbarhet vil trolig variere lokalt avhengig av kvartsinnhold og foliasjonsretning. Generelt forventes middels borslitasje basert på erfaringer fra lignende grunnfjellsbergarter [50], men områder med et høyt kvartsinnhold vil medføre økt borslitasje. Basert på erfaringstall forventes det middels borsynk [50]. Boring med liten vinkel mot foliasjonsplan vil kunne redusere borsynken noe.

Sprengbarheten er forventet å være påvirket av foliasjonen til gneisbergartene. Markant foliasjon og anisotropi vil redusere sprengbarheten. Folding av bergarten vil redusere sprengbarheten av gneis ytterligere. Sprengbarheten vil også påvirkes av bergmassens oppsprekkingsgrad.

5.1.2 Vibrasjonsgrenseverdier

Sprengning av tunnelen medfører vibrasjoner. Der tunnelen drives tett under bebyggelse vil det være en risiko for skader på bygninger dersom det ikke tas nødvendige hensyn. Før bygging må det utarbeides vibrasjonsgrenseverdier for sprengning i henhold til NS8141 [51]. Det må utføres bygningsbesiktigelse i forkant av sprengning. NS8141 anbefaler bygningsbesiktigelse av bygninger nærmere enn 50 m til tunnelen for bygg fundamentert på berg og 100 m for bygg fundamenter på løsmasse, i områder med sammenhengende bebyggelse. Bygningsbesiktigelsen vil gi ytterligere informasjon om grunnforholdene og i nærhet til planområdet.

Foreløpig foreslått område for bygningsbesiktigelse er vist i figur 5-1. Området er basert på et kriterium om 100 m avstand til sprengingsstedet.



Figur 5-1: Innledende anbefaling til område som bør besiktiges før sprengning av tunnel vist med blått. Området er basert på kriteriet om 100 m avstand for bygninger fundamentert på løsmasse.

Maksimal tillatte grenseverdier for tunneler og bergrom i nærheten til Ytre ringvei må fastsettes i samråd med eier av tunnel/bergrom.

Under bebygde områder må det tas hensyn til vibrasjoner. Dette gjelder området fra Vige til Presteheia, Sødal, Eg, Dalane og ved Hellemyr. Fundamenteringsforholdene er oppsummert i NV42E18YR-GEO-RAP-0004 Fagrapport hydrogeologi kapittel 3.3.3 [7]. Det vil være nødvendig å tilpasse sprengningstidspunkter for å minimere ulemper for naboer. Ved sykehuset må det tas ekstra hensyn til vibrasjoner på grunn av spesielt vibrasjonssensitivt utstyr samt medisinske prosedyrer som er kritiske med hensyn til vibrasjoner. Tunnelen er plassert for å minimere påvirkning av sykehuset under driving. Det vil likevel være behov for tett oppfølging mot sykehuset og det må påregnes faste sprengningstidspunkter som avtales spesielt med sykehuset.

Ved Eg og Sødal drives tunnelen nær områder med kvikkleire. Det må i disse områdene settes vibrasjonsgrenseverdier basert på risiko for utløsning av kvikkleireskred.

Tunnelen skal drives under Statsarkivet, med en bergoverdekning på ca. 110 m. Bygget må spesielt hensyntas i forbindelse med fastsettelse av vibrasjonsgrenseverdier, for å tilfredsstille arkivlovverkets bygningskrav for å hindre skade på bygninger og arkiver. Det kan bli aktuelt med strenge vibrasjonskrav som blir dimensjonerende for sprengningen under dette området.

5.1.3 Områder som krever spesielle hensyn

5.1.3.1 Vige og Bjørndalen

Som nevnt i kapittel 3.5.2 er det i Vige observert et sprekkesett med strøkretning nær parallelt med tunnelen og steilt fall. I dette området er det også stedvis relativt lav bergoverdekning (ned mot 19 m). Dette kan gi utfordringer tilknyttet liten innspenning, avløste blokker og utgang av injeksjonsmasser.

I området Vige og Bjørndalen drives tunnelen under bebyggelse. Flere bygg er fundamentert på setningsømfintlige løsmasser (se NV42E18YR-GEO-RAP-0004 Fagrapport hydrogeologi [7]). Dette setter strenge krav til innlekkasje i disse områdene.

5.1.3.2 Otra

Det er i kjerneborehull BH3 under Otra påvist leirmateriale med et svelletrykk på 1,15 MPa. Dette er et svært høyt svelletrykk, men det vil være håndterbart å sikre stabiliteten ved bruk av sprøytebetongbuer.

Otra representerer en større svakhetssone. Tunneldriving under en elv krever spesielle hensyn ved driving, da det må forventes at man kan påtreffe vann. Det må forventes systematisk forinjeksjon, omfattende bergsikring og behov for forbolter.

Det anbefales systematisk sonderboring på stuff for å få informasjon om bergmassen foran stuff. Sonderborhullene tolkes med MWD/boreparametertolkning.

Det kan også være aktuelt å utføre kjerneboring på stuff for å innhente ytterligere opplysninger om bergmassen foran stuff.

5.1.3.3 Sødal og Eg

Ved Sødal er det registrert setningsømfintlig leire. Det må forventes systematisk forinjeksjon ved driving under dette området for å unngå setningsskader på bygg.

5.1.3.4 Dalane

Tunnelen krysser Dalane med relativt liten bergoverdekning (15 m). Det må forventes dårlig bergmassekvalitet. I kjerneborehull BH2 er det også påvist leirmateriale med et svelletrykk på 0,47 MPa. Det vil trolig bli behov for omfattende bergsikring. For å hindre setninger på overliggende boligområde vil det være behov for systematisk forinjeksjon.

Det anbefales å utføre sonderboring fra stuff for å vurdere bergmassekvalitet og bergoverdekning.

5.1.3.5 Kryssområde Dalane

Bergmassekvaliteten i kryssområdet forventes i utgangspunktet å være god. Det er likevel kartlagt flere svakhetssoner i området som forventes å krysse tunnelen. I disse områdene må det forventes mer omfattende sikring i form av forbolter og sprøytebetongbuer. Det må også forventes behov for injeksjon.

Forventet plassering av svakhetssoner på tunnelnivå er vist i BIM-modellen, i vedlegg 1 og i tabell 4-1. Det er usikkerhet rundt faktisk plassering på tunnelnivå, da små utslag i sonenes orientering kan gi store utslag på tunnelnivå. Det kan ikke utelukkes at noen av svakhetssonene kan treffe de største tverrsnittene i kryssområdet.

Stabbebredden mellom rampetunnelene og hovedløp er på ca. 5 m ved krysset. Vinkelen mellom løpene er spiss, så stabbebredden vil være relativt lav de første 20-30 m innenfor avkjøringen. Det må forventes forsiktig berguttak og omfattende sikring i disse partiene for å ivareta stabiliteten. Det kan også bli aktuelt å støpe en betongkonstruksjon for å ivareta stabiliteten for stabbene.

I kryssområdet blir det totalt 6 større bergrom i forbindelse med sammenkobling av ulike tunnelløp. I disse områdene vil det bli behov for delte tverrsnitt for å ivareta stabiliteten. Det kan også bli behov for etappevis sikring. Store tverrsnitt kan føre til potensielt større avløste blokker, og det vil derfor bli behov for større boltelengder i disse områdene.

5.1.3.6 Kjerrane

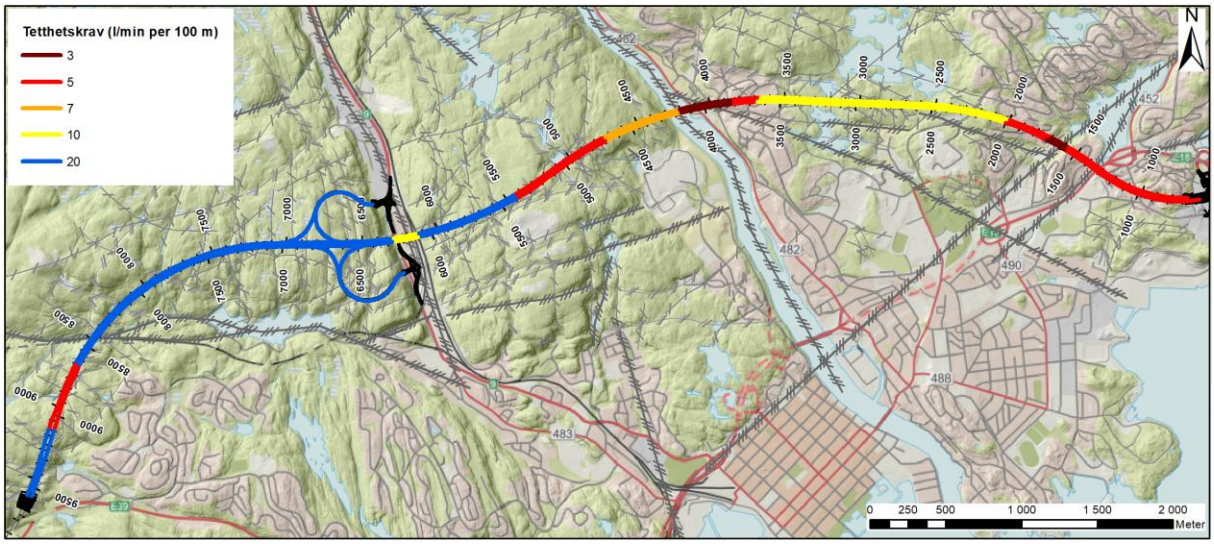
Kjerrane representerer en markert svakhetssone. Sonen har en mektighet på ca. 30 m, og det er påvist leirmateriale med høyt svelletrykk i sonen. På det minste er overdekningen ca. 10 m. Ved driving gjennom denne sonen vil det være behov for forbolting, reduserte salvelengder, delte tverrsnitt og omfattende sikring med sprøytebetongbuer for å ivareta stabiliteten. Det kan også være aktuelt å benytte rørskjerm ved driving gjennom de verste områdene.

Den lave bergoverdekningen under Kjerrane kan føre til utfordringer ved injeksjon. Problemstillingene er tilknyttet utgang av injeksjonsmasse i dagen og utfordringer med å oppnå tettekrav. Aktuelle tiltak kan være å etablere sperreskjerm, samt injeksjon med lavt trykk.

Bergoverflaten i Kjerrane er tolket ut ifra resultater fra seismiske undersøkelser. Slike undersøkelser har en oppgitt nøyaktighet på ca. 2 m eller 15 %. Det er derfor noen usikkerheter knyttet til faktisk bergoverdekning. Det vil være nødvendig med omfattende sonderboring foran stuff i dette området for å verifisere bergoverdekning.

5.2 Grunnlag for fastsettelse av innlekkasjekrav

Profillengder med anbefalte tettekrav er listet i tabell 5-1, og vist i figur 5-2. Tetthetskrav er gitt per tunnelløp. Ved vurdering er det tatt hensyn til hvordan vannforekomster, fuktkrevende natur og nedbørsfelt ligger i forhold til tunneltrasé og influensområde, samt en vurdering av setningsømfintlighet. Generelt er tetthetskravet bestemt ut fra den faktoren som stiller de strengeste kravene. Det anbefales å overvåke grunnvannstand, vannstand og poretrykk før, under og etter anleggsfasen for å detektere behov for, samt iverksette, eventuelle ekstra tettetiltak i setningsømfintlige områder og/eller under små tjern. For en detaljert beskrivelse av vurderingene, samt forventet vanninnslag langs traseen, henvises det til NV42E18YR-GEO-RAP-0004 Fagrapport hydrogeologi [7].



Figur 5-2: Anbefalte tetthetskrav per tunnelløp for tunneltraseen.

Tabell 5-1: Tetthetskrav for øst- og vestgående tunnelprofil. Tetthetskrav er gitt per tunnelløp.

Fra profil (øst-gående)	Til profil (øst-gående)	Lengde (m) øst-gående	Fra profil (vest-gående)	Til profil (vest-gående)	Lengde (m) vest-gående	Tetthetskrav (l/min per 100 m)
683	1 550	867	714	1 570	856	<5
1 550	1 700	150	1 570	1 700	130	<3
1 700	2 000	300	1 700	2 000	300	<5
2 000	3 650	1 650	2 000	3 660	1 660	<10
3 650	3 820	340	3 660	3 860	340	<5
3 820	4 160	540	3 860	4 200	550	<3
4 160	4 700	540	4 200	4 750	550	<7
4 700	5 400	700	4 750	5 450	700	<5
5 400	6 070	670	5 450	6 120	670	<20
6 070	6 270	200	6 120	6 320	200	<10
6 270	8 650	2 380	6 320	8 700	2 380	<20
8 650	9 100	450	8 700	9 170	470	<5
9 100	9 559	459	9 170	9 628	458	<20
Ramper og tilførselstunneler i Dalane, total lengde 1 940 m						<20

5.3 Sonderboring og injeksjon

Det anbefales systematisk forinjeksjon i de seksjonene av tunnelen hvor tettekravet er <10 l/min/100 m. Der tettekravet er <5 l/min/100 m tunnel må det forventes flere runder med injeksjon på samme stuff eller større overlapp mellom injeksjonsskjermene enn normalt (typisk injeksjonsskjerm hver 15. m) for å oppnå tilfredsstillende resultater. Det kan også bli aktuelt med etterinjeksjon for å oppnå tettekrav spesielt i områdene med tettekrav <3 l/min/100 m tunnel. Etterinjeksjon er kostbart og tidkrevende, og det er ofte vanskelig å oppnå tilfredsstillende resultater. Det bør derfor etterstrebes et injeksjonsopplegg hvor det i minst mulig grad blir nødvendig med etterinjeksjon.

I områdene med tettekrav >10 l/min/100 m anbefales det behovsprøvd forinjeksjon med systematisk sonderboring foran stuff. Sonderboring gir informasjon om potensiale for vanninnlekkasje i tunnelen. I tillegg vil sonderboringen gi informasjon om eventuelle svakhetssoner som kan kreve spesielle sikringstiltak. Dersom det registreres større vanninnlekkasje enn fastsatte tettekrav tillater, skal det utføres forinjeksjon for å tette bergmassen.

Ved injeksjon forutsettes bruk av sementbaserte injeksjonsmidler samt nødvendige tilsetningsstoffer som for eksempel silikaslurry, (super)plastiserende stoffer, akselerator for styrt herding etc. Det anbefales generelt å tilpasse injeksjonstrykket til bergforholdene, med mål om å opprettholde så høyt injeksjonstrykk som forholdene tillater. Arbeidene må vurderes spesielt med hensyn til risiko for masseutgang i dagen. Dette gjelder spesielt ved Vige og Kjerrane der tunnelen har begrenset bergoverdekning.

Basert på erfaringer fra nærliggende anlegg må det forventes å benytte mikrosement for å oppnå tettekravene. Dette gjelder spesielt i områder med krav på < 10 l/min/100 m tunnel.

Det må etableres måleterskler for å dokumentere oppnådd tettekrav, dette er tidkrevende og krever nøye planlegging for gjennomføring.

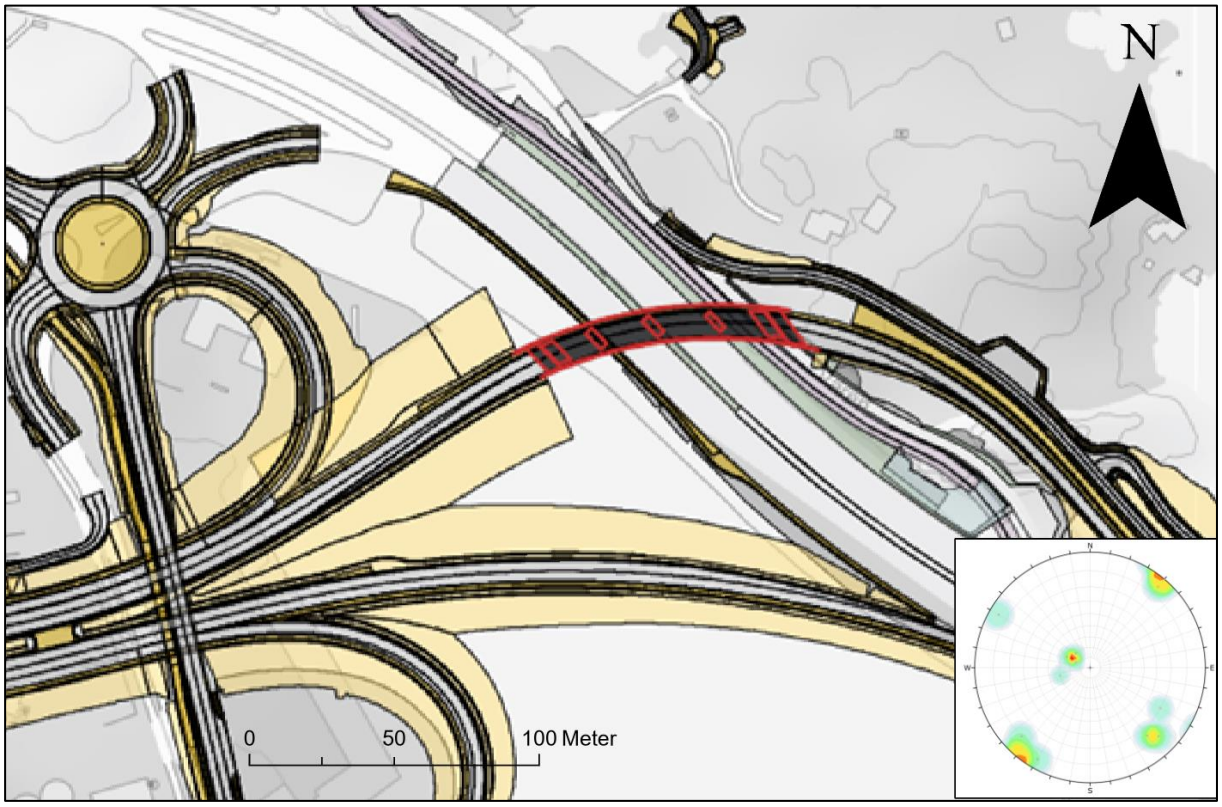
5.4 Syredannende bergmasse

Det er utført innledende undersøkelser på kjerne- og hammerhullprøver for å se på bergets syredannende potensiale og utlekkingspotensiale. Fem borkaksprøver er klassifisert som syredannende basert på svovelkonsentrasjon og hydrogenperoksid-test. Mesteparten av prøvene er derimot klassifisert som ikke syredannende. Det er det observert pyritt i sprekkefyllinger og det er vurdert at sprekkefyllinger mest sannsynlig er årsak til at noen prøver er klassifisert som syredannende. Sprekkefyllinger er ikke representative for selve bergarten og en klassifisering av berg bør ikke baseres på sprekkefyllinger. Dessuten forekommer pyritt i sprekkene sammen med kalsitt som vil kunne nøytralisere eventuell dannelse av syre. Bergartene langs den planlagte veitraseen er dermed vurdert å ha lavt potensiale for syredannelse og kan i utgangspunktet betraktes som ikke syredannende. Det er dermed ikke krav til en tiltaksplan for håndtering av syredannende berg jf. forurensningsforskriften kapittel 2. Det anses at det ikke er behov for systematisk prøvetaking i byggefasen med tanke på syredannende bergarter utover normal geologisk kartlegging. Det kan likevel ikke utelukkes at det påtreffes syredannende berg under driving. Dersom det under geologisk kartlegging under driving avdekkes tegn på syredannende berg, som for eksempel rustutfelling, må det utføres prøvetaking i henhold til veileder «Retningslinjer for tiltak i områder med syredannende gneis» [31].

Det henvises til NV42E18YR-YML-RAP-0006 Fagrapport forurensning [9] for supplerende informasjon.

5.5 Fundamentering av konstruksjoner

I Vige skal Ytre ringvei for kjørende retning vest føres i bru over E18 og sykkelekspressveien. Brua bygges i 4 spenn. Det forutsettes at akse 5 (lengst øst) direktefundamenteres på berg, mens det pelefundamenteres til berg i de andre aksene. Bruas plassering er vist i figur 5-3.



Figur 5-3: Kryssløsning i Vige, med stereoplot over kartlagte sprekker i område. Bru over E18 er vist med rødt.

Berggrunnen ved fundamentet består av båndet amfibolittisk gneis med innslag av pegmatittlinser. Det er observert 3 sprekkesett med retning 315/80, 045/80 og 110/15. Sistnevnte sprekkesett er foliasjonsparallelt. Det er observert glimmer på dette sprekkeplanet. Det er observert rustutfelling på alle sprekkeplan. Et bilde av bergmassen er vist i figur 5-4.

Figur 5-4: Bilde av bergmassen ved brufundament ved eksisterende E18. Bilde tatt mot nord-øst.

Fundamentet i akse 5 er forutsatt direktefundamentert på berg. Sprekkegeometrien er ikke forventet å kunne føre til noen potensielle utglidningsmekanismer. Tillatt såletrykk må vurderes i henhold til N400 [3] etter at berget er avdekket.

6 Grovt estimat av sikringsmengder og injeksjon i tunnel

6.1 Estimerte sikringsmengder

Basert på definerte sikringsklasser i N500 tabell 7.5-1 og antatt fordeling av bergmasseklasser og svakhetssoner i tunnel (kapitlene 4.1 og 4.2), kan sikringsmengder estimeres.

Det er utført beregninger for begge hovedløpene, samt krysset i Dalane. Utvidelser for havarinisjer, tverrforbindelser og stoller for tekniske bygg er ikke medtatt. Et samlet estimat er presentert i Tabell 6-1.

Tabell 6-1: Oppsummering estimerte mengder sikringsmidler for tunneler (utvidelser for havarinisjer, tverrforbindelser og stoller for tekniske bygg er ikke medtatt).

Sikringsmidler	Estimert mengde
Sikringsbolter, M20, lengde 3-6 m	120 000 stk.
Sprøytebetong, uarmert og fiberarmert	56 000 m^3
Forbolter, Ø32mm, lengde 6-8 m	26 000 stk.
Bergbånd	6 500 stk.
Armerte sprøytebetongbuer	700 stk.
Armert sålestøp	240 lm

6.2 Estimerte injeksjonsmengder

Basert på tetthetskrav i NV42E18YR-GEO-RAP-0004 Fagrapport hydrogeologi [7], er det utarbeidet et grovt estimat for injeksjonsmengder. Det er tatt utgangspunkt i tre injeksjonsklasser: 20 l/min/100m, 7-10 l/min/100m og 3-5l/min/100m. Det er utført beregninger for begge hovedløpene, samt krysset i Dalane. Utvidelser for havarinisjer, tverrforbindelser og stoller for tekniske bygg er ikke medtatt. Beregningsgrunnlaget er presentert i tabell 6-2. Basert på disse beregningene er det estimert et injeksjonsbehov på 22 000 000 kg for hele tunnelen. Estimatet er beheftet med betydelig usikkerhet.

Tabell 6-2: Beregningsgrunnlag for estimering av injeksjonsmengder

Injeksjonsklasse	Andel som injiseres (% av løpemeter)	Hull per skjerm	Hullengde (m)	Avstand mellom skjermer (m)	Masse-inngang per bm (kg)
20 liter per minutt/100m/løp	50	30	24	15	10
7-10 liter per minutt/100m/løp	100	40	24	15	12
3-5 liter per minutt/100m/løp	100	60	24	15	15

Risiko for utgang av injeksjon i dagen er hovedsakelig lav. Dette på grunn av hovedsakelig god overdekning. Ved Kjerrane vil det være noe risiko, på grunn av lav overdekning. Her vil det være viktig å overvåke forholdene over tunnelen under injeksjon.

7 Oppfølging i byggefase

Det forutsettes at tunneldriften, herunder sonderboring, injeksjon og stabilitetssikring, blir fulgt opp gjennom hele byggefasen av personell med ingeniørgeologisk kompetanse. Personell må også ha kompetanse på syredannende berg og injeksjonsarbeider i tunnel.

Sikringsklasser, med sikringsomfang og sikringsmetoder, skal bestemmes med utgangspunkt i tabell 4-12 (sikringstabell fra N500). Geologisk kartlegging og bergmasseklassifisering i henhold til Q-metoden skal danne grunnlaget for sikringsomfang og -metoder, sammen med spesielle forhold som grensesnitt mot andre konstruksjoner. Angitt Q-verdi er å anse som en veiledning for et sikringsnivå. Justeringer og detaljbeslutninger om sikring vil alltid måtte foretas på grunnlag av en ingeniørgeologisk vurdering.

Ingeniørgeologisk sluttrapportering for tunnelen skal utføres i henhold til bestemmelser gitt i Statens vegvesen vegnormal N500.

I dagsonen skal personell med ingeniørgeologisk kompetanse følge opp uttak av berg. Rekkefølge på berguttak, behov for bergsikring og tilpasning av sprengingsopplegget skal gjøre i samråd mellom entreprenør og personell med ingeniørgeologisk kompetanse.

Sluttrapportering av berguttak i dagsonen skal ta for seg kartlegging og vurdering av stabilitetsforholdene, samt utført stabilitetssikring av disse.

8 Restrisiko og videre arbeid

Mellom Vige og Jegersberg (profil 1 000-3 000) er det ikke utført befaring over traseen. Dette på grunn av at traseen ble flyttet etter at siste befaring var utført. Maksimal justering av traseen er ca. 150 m. Det vurderes at utført befaring er representativt for justert trasé.

Fordeling av bergmasseklasser (kap. 4.1) og beregning av sikrings- og injeksjonsmengder (kap. 6) er estimater basert på kartlegging i overflaten og utførte grunnundersøkelser. Bergmassekvalitet på tunnelnivå kan derfor avvike fra disse estimatene. Endelig prosjektering av bergsikring utføres under driving etter kartlegging på stuff.

Alle påhuggene er i større eller mindre grad dekket av løsmasser. Endelig prosjektering av geometrisk utforming og bergsikring for påhugg og forskjæringer må utføres etter at berget er avdekket. En eventuell justering av påhuggsplasseringer må vurderes opp mot godkjente fravikssøknader for tunnelåpninger. Dette gjelder alle påhugg.

For de fleste av de mindre svakhetssonene er det ikke utført grunnundersøkelser. Vurderinger er derfor kun basert på kartstudier og/eller kartlegging i felt. Det er usikkerhet tilknyttet bergmassekvaliteten i disse sonene, og om sonene strekker seg ned til tunnelnivå. Det er anbefalt systematisk sonderboring foran stuff for å kunne oppdage eventuelle svakhetssoner, samt potensielle lekkasjer og iverksettelse av eventuell injeksjon.

Resultater fra grunnundersøkelser i Otra viser noe manglende samsvar. Refraksjons-seismikken indikerer en bred svakhetssone (mektighet 60-90 m) øst i elva. I kjerneborehull BH3 er det kun kartlagt en sone med mektighet 10 m vest i elva, mens det i BH4 er kartlagt et parti med mektighet ca. 20 m øst i elva (RQD-verdier på typisk 30-70). Det er forutsatt at kjerneboringen gir det beste vurderingsgrunnlaget med tanke på forventet bergmassekvalitet på tunnelnivå. Selv om det er knyttet noe usikkerhet til de faktiske bergmasseforholdene under Otra, vurderes prosjektet som gjennomførbart forutsatt at anbefalte undersøkelser og tiltak under driving utføres.

Krysset i Dalane er plassert i et område med flere svakhetssoner. På grunn av stor overdekning, og usikkerhet tilknyttet sonenes fall, er det usikkert hvor sonene vil treffe tunnelen. Det kan ikke utelukkes at enkelte svakhetssoner kan opptre i de største tverrsnittene i kryssområdet.

Det vurderes som svært lite sannsynlig at et jordskjelv vil få konsekvenser for Ytre ringvei. Tunnelen bygges i et område med lav seismisitet (akselerasjon 0,35 m/s^2, i henhold til Eurokode 8 NS-EN 1998-1:2004+A1:2013+NA:2021 [52]). Tunneler er generelt ikke sårbare for jordskjelv i slike områder [53]. Det er ikke kjent at tunnelen krysser noen aktive forkastningssoner som kan utgjøre potensiale for forskyvninger på tunnelkonturen. Ved svært lav overdekning (<5 m), må det gjøres en vurdering av mulige effekter av strekkspenninger som følge av P-bølger fra jordskjelv. Det er ikke kartlagt noen slike partier i forbindelse med prosjektet.

9 Referanser

[1] Statens vegvesen, «Vegnormal N500 - Vegtunneler,» 2022.

[2] Statens vegvesen, «Vegnormal N200 Vegbygging,» 2021.

[3] Statens vegvesen, «N400 Bruprosjektering,» 2022.

[4] Lov om vassdrag og grunnvann (vannressursloven), «Lov om vassdrag og grunnvann (vannressursloven) (LOV-2000-11-24-82),» 2001. [Internett]. Available: https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2000-11-24-82.

[5] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning - §7-3. Sikkerhet mod skred,» 1 september 2022. [Internett]. [Funnet 27 september 2022].

[6] Plan- og bygningsloven, «Lov om planlegging og byggesaksbehandling (LOV-2008-06-27-71),» 2008. [Internett]. Available: https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71.

[7] Norconsult, «NV42E18YR-GEO-RAP-0004 Fagrapport hydrogeologi,» 2023.

[8] Norconsult, «NV42E18YR-YML-RAP-0003 Miljøprogram med miljøoppfølgingsplan,» 2023.

[9] Norconsult, NV42E18YR-YML-RAP-0006 Fagrapport forurensning, 2023.

[10] Norsk Standard, «Eurokode 7 - geoteknisk prosjektering - Del 1: Almenne regler,» 2020.

[11] Standard Norge, «Eurokode 0 - Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner og Eurokode 1 - Laster på konstruksjoner, Samling av nasjonale tillegg (NA),» 2013.

[12] Norconsult, «NV42E18YR-GEO-RAP-0002 Skredfarevurdering - påhuggsområder og bussholdeplass for E39 Ytre ringvei-Dalane,» 2023.

[13] Statens Vegvesen, «E18/E39 Ytre ringvei, Vige-Volleberg - Fagrapport ingeniørgeologi. Oppdragsnr. 206417.,» 2015.

[14] AF Gruppen, «E39 Kristiansand vest - Mandal øst. Sluttrapport sulfidholdig berg.,» 2020.

[15] NOTEBY, «Vanntunnel Krossen - Dalane, vurdering av ras og sikringsarbeider (Oppdrag 15683),» 1984.

[16] Statens vegvesen Vest-Agder, Egil Tveide, «Baneheia - driving, sikring, tetting.,» Fjellsprengningsdagen 2000, 2000.

[17] J. Færan, «Analyse av ingeniørgeologiske probelmstillinger for Vågsbygporten. Masteroppgave,» 2012.

[18] NGU, «Berggrunn WMS,» [Internett]. Available: http://geo.ngu.no/mapserver/BerggrunnWMS2?request=GetCapabilities&SERVICE=WMS.

[19] NGU, «Løsmasser WMS,» [Internett]. Available: http://geo.ngu.no/mapserver/LosmasserWMS?request=GetCapabilities&service=WMS.

[20] NGU, «Radon WMS,» [Internett]. Available: https://geo.ngu.no/mapserver/RadonWMS2?request=GetCapabilities&service=WMS.

[21] NVE, «NVEs temakart,» [Internett]. Available: https://temakart.nve.no/.

[22] GeoPhysix, «Kartlegging av vanndybder, løsmasser og bergdybder i fobindelse med ringveg E18-E39 gjennom Kristiansand og E39 i Søgne. Prosjekt nr. 13501.,» 2014.

[23] Norconsult, «NV42E18YR-GTK-RAP-0001 Geoteknisk datarapport,» 2023.

[24] Rambøll, «Otra - Refraksjonsseismiske undersøkelser. Prosjektnr. 1100040402,» 2020.

[25] Statens vegvesen, «Geoteknikk - E18/E39 Ytre ringveg Kristiansand. Kommunedelplan. Datarapport Vollevann.,» 2015.

[26] Statens vegvesen, «Geoteknikk - E18/E39 Ytre ringveg Kristiansand. Kommunedelplan. Datarapport Brukryssing over Otra.,» 2015.

[27] Multiconsult, «Bjørndalen Kristiansand - Grunnundersøkelser, geoteknisk datarapport. Rapportnummer 311890-1.,» 2009.

[28] GeoMap, «Rapport nr. 92424/1. Planlegging av E18 Kristiansand. Geofysiske undersøkelser. 190992.,» 1992.

[29] Norconsult, «NV42E18YR-GEO-RAP-0003 Datarapport kjernelogging,» 2023.

[30] NBG, «Handbook in engineering geology - rock.,» 1985.

[31] Prosjektgruppen for kontroll på svovelholdig avrenning i Agder, «Retningslinjer for tiltak i områder med syredannende gneis. Versjon 2,4,» 2021.

[32] NGU, «Pukkdatabasen - Kristiansand pukkverk,» 1987.

[33] NGU Pukkdatabasen, «Pukkdatabasen - Ringknuten pukkverk».

[34] Norconsult, «NV42E18YR-GTK-RAP-0002 Fagrapport geoteknikk,» 2023.

[35] NGU, «Radon aktsomhetskart,» [Internett]. Available: http://geo.ngu.no/kart/radon_mobil/.

[36] Statens vegvesen, «Fv471 Prestheitunnelen, Kristiansand kommune, Vest-Agder. Inspeksjon 21-22. mars 2013. 26070-460.,» 2013.

[37] Statens vegvesen, «Rv471/Hp01/km 0,510-0,990 Prestheitunnelen i Kristiansand kommune i Vest-Agder. Tunnelinspeksjon 23.10.2008. 20055-460.,» 2009.

[38] I. Kalhagen, «Stabilitetsvurdering av Volleberg- og Bruliheitunnelen med fokust på blokkutfall og stabilitetsproblem som følgje av svelleleire,» 2021.

[39] Norconsult, «E39 Kristiansand vest - Mandal øst. Ingeniørgeologisk sluttrapport, Vollebergtunnelen,» 2021.

[40] Norconsult, «E39 Kristiansand vest - Mandal øst. Ingeniørgeologisk sluttrapport, Søgnetunnelen,» 2021.

[41] NGU, «Retolkning av geofysiske data og sammenligning med resultater fra tunneldriving - Knappetunnelen ved Ringveg Vest i Bergen - Rapportnr. 2016.048,» 2016.

[42] NGU, *Personlig kommunikasjon,* 2022.

[43] NGU, Dypforvitring: Fortidens klima gir tunnelproblemer, 2008.

[44] NGU, Rock construction awareness map from South Norway (report no. 2017.048), 2017.

[45] NGI, Bruk av Q-systemet, 2015.

[46] Mosby; Langevoll; Philip, «Årsrapport Otra 2018 - Kultiveringsutvalget,» Otra Laxefiskelag, 2019.

[47] Norconsult, NV42E18YR-GTK-NOT-0004 Vurdering av fare for setninger, 2023.

[48] Norconsult, «NV42E18YR-VEI-RAP-0002 Fagrapport infrastruktur,» 2023.

[49] Norconsult, «NV42E18YR-GEO-NOT-0006 Gjenbruk av sprengstein fra tunnel. Oppdrag 5206182.,» 2023.

[50] NTNU, Institutt for bygg- og anleggsteknikk, «Prosjektrapport anleggsdrift 13B-98, Borbarhet, Katalog over borbarhetsindekser,» 1998.

[51] Standard norge, «NS8141-1:2022 - Vibrasjoner og støt. Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk - Del 1: Virkning av vibrasjoner og lufttrykkstøt på byggverk, inkludert tunneler og bergrom,» 2022.

[52] Standard Norge, «Eurokode 8: Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning - Del 1: Allmenne regler, seismiske laster og regler for bygninger. NS-EN 1998-1:2004+A1:2013+NA:2021,» 2021.

[53] US Federal Highway Administration, Earthquake Engineering of Large Underground Structures, Washington D.C. , 1980.

Vedlegg 5 – CEEQUAL tabell

Denne rapporten dekker ett eller flere dokumentasjonskrav under CEEQUAL (BREEAM Infrastructure). CEEQUAL har evidensbaserte vurderingskriterier og ekstern verifisering, og brukes for å måle bærekraft i et prosjekt. For å forbedre erfaringsoverføring til neste fase er de relevante kravene oppsummert og referert til i følgende tabell.

Tabell 1: CEEQUAL-tabell

Krav i CEEQUAL-manualen	*Relevant avsnitt med dokumentasjon i dette dokument*	*Kommentar*
2.1.4 Identifying and assessing risks	Kapittel 4, 5, 7 og 8	Vurderer forventede forhold og forslag til hvordan disse skal håndteres underveis i arbeidene. Vurdering av restrisiko.
2.1.5 Communicating risks	Kapittel 4.5, 5.1.3, 7 og 8	Vurdering av mulige risikoer. Spesifiserer krav til sluttrapportering for arbeidene, og identifiserte restrisikoer.
3.1.3 Stakeholder consultation on effects during construction and operation	Kapittel 5.1.2	Anbefaling om bygningsbesiktigelse i forbindelse med fastsettelse av vibrasjonsgrenser.
4.1.4 Site suitability	Kapittel 3, 4 og 5.	Det er utført omfattende kartstudier, ingeniørgeologisk feltkartlegging og grunnundersøkelser. Hensyn til eksisterende infrastruktur er også vurdert i valg av trasé.
4.2.6 Ground generated gases	Kapittel 3.7	I henhold til NGUs aktsomhetskart for radon er det høy aktsomhet langs deler av traseen.
6.2.1 Identification of potential effects on neighbors during construction	Kapittel 5.1.2	Vurdering av grenseverdier under driving for vibrasjoner med hensyn til nærliggende områder.
6.2.5 Mitigating effects on neighbors during construction	Kapittel 5.1.2	Det skal fastsettes grenseverdier for sprengning basert på grunn- og fundamenteringsforhold. Sprengningstidspunkt tilpasses for å minimere ulemper for naboer.

6.2.11 Physical damage by vibration	Kapittel 5.1.2	Bygningsbesiktigelse i forkant av bygging for å dokumentere om skader er forårsaket av vibrasjoner fra sprengningsarbeidet.
7.4.14 Beneficial re-use of excavated material	Kapittel 4.8	Evaluering av anvendbarheten til sprengsteinen til andre formål i prosjektet eller i andre prosjekter.