

Fagrappport Ingeniørgeologi - Frivolltunnelen

E18 Arendal -Grimstad. Forprosjekt.

Oppdragsnr:	A234538
Oppdragsnavn:	E18 Arendal-Grimstad. Forprosjekt
Dokument nr.:	NV42E18AG-GEO-RAP-0004
Filnavn	NV42E18AG-GEO-RAP-0004_Fagrapport Ingeniørgeologi - Frivolltunnelen.pdf

Revisjonsoversikt

Revisjon	Dato	Revisjon gjelder	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
01	30.06.22	Utgivelse	SSBO, CSSE, MAPM	SKAN	KDLA
02	21.11.22	Innarbeiding av kommentarer fra NV	SHSV	SKAN	KDLA

Forord

Denne fagrapporten er utarbeidet som en del av arbeidet med forprosjekt for E18 mellom Arendal og Grimstad. Veistrekningen går gjennom kommunene Arendal og Grimstad i Agder. Rapporten tar for seg temaet ingeniørgeologi for Frivolltunnelen.

Tiltakshaver og ansvarlig for utredningen er Nye Veier.

Hos Nye Veier leder Håkon Lohne arbeidet med forprosjekt. Kristian de Lange er prosjektleder hos COWI AS. Fagansvarlig for ingeniørgeologi har vært Martin Palm.

Rapporten er utarbeidet av Christopher Sæbø Serck, Susanne Bøe og Martin Palm.

November 2022

Innhold

Forord.....	3
1 Sammen drag.....	6
2 Innledning	7
2.1 Bakgrunn	7
2.2 Mål for prosjektet og planarbeidet	7
2.3 Kort beskrivelse av tiltaket	8
2.4 Om rapporten	8
3 Geoteknisk kategori.....	9
4 Grunnlag.....	11
4.1 Prosjekteringsforutsetninger.....	11
4.2 Trasévalg, linjeføring og tunneltverrsnitt	12
4.3 Kartgrunnlag	14
4.4 Tidligere grunnundersøkelser	14
4.5 Utførte grunnundersøkelser i denne fasen	15
DEL 1: FAKTADEL	18
5 Fakta.....	19
5.1 Topografi	19
5.2 Kvartærgeologi.....	20
5.3 Berggrunnsgeologi.....	21
5.4 Lineamenter	22
5.5 Dypforvitring	23
5.6 Hydrogeologi.....	25
5.7 Miljøgeologi.....	26
5.8 Skred	30
5.9 Bergmassens egnethet til vegformål.....	30
5.10 Naturtyper	31
5.11 Bebyggelse.....	32
6 Ingeniørgeologisk kartlegging	33
6.1 Frivolltunnelen.....	34
7 Resultater fra øvrige grunnundersøkelser.....	48
7.1 Geofysiske undersøkelser	48
7.2 Grunnboringer	48
DEL 2: TOLKNINGSDEL.....	49
8 Bergmassens kvalitet og stabilitet	50
8.1 Bergmasseklasser, sikringsklasser og sikringsestimater	50

8.2	Mekanismer for utfall og ustabilitet	50
8.3	Tolkning av løsnemekanismer	51
9	Tolkning for Frivolltunnelen	54
9.1	Påhugg og forskjæring nord – lokalitet S008.....	54
9.2	Frivolltunneltraséen	55
9.3	Påhugg og forskjæring sør – lokalitet S005 og S006.....	71
9.4	Sikringsestimat forskjæringer og påhuggsflater	73
9.5	Alternativer for påhugg og portalområde i søndre ende av Frivolltunnelen	74
10	Boring og sprengning.....	76
10.1	Borbarhet og sprengbarhet	76
10.2	Vibrasjoner	77
11	Anvendelse av steinmateriale	79
12	Usikkerheter	80
13	Videre arbeid.....	83
14	Vedlegg	84
15	Referanser	85

1 Sammendrag

Denne fagrapporten omhandler Frivolltunnelen med tilhørende forskjæringer.

Frivolltunnelen planlegges som en toløpstunnel med tunnelprofil T10,5. Det vil være steder hvor profilet utvides grunnet sikt, samt for å få plass til nødvendig sikkerhetskonstruksjoner i henhold til tunnelklasse E.

Det er i dette forprosjektet utført grunnundersøkelser i form av geofysiske undersøkelser, geotekniske boringer og ingeniørgeologisk kartlegging i tillegg til prøvetaking av bergarter for å undersøke syredanningspotensiale. I denne ingeniørgeologiske rapporten er det gitt en generell beskrivelse av grunnlag og forutsetninger for videre ingeniørgeologisk prosjektering av tunnelen. Fagrapporten oppsummerer geologiske observasjoner og vurderinger knyttet til tunneltraséen og tilhørende forskjæringer, bergmassekvalitet og bergsikringsbehov. I tillegg oppsummerer fagrapporten resultater fra tidligere og supplerende grunnundersøkelser (GU). Det er gitt en kort oppsummering av skred, miljø, natur og hydrogeologiske aspekter.

Arbeidet i dette forprosjektet har fokusert på å identifisere kostnadsdrivere i prosjektet, som områder med lav overdekning, dårlig bergmassekvalitet, syredannede bergmasser og annen prosjektrisiko knyttet til ingeniørgeologi. Vurdering av bergmassekvalitet og bergsikringsbehov er basert på befaringer i planområdet, grunnboringer, topografiske og geologiske kart, relieffkart, lengdeprofil av tunnelen, i tillegg til rapporter i grunnlagsmaterialet.

Befaringsobservasjoner i dagen viser generelt sett lite til middels oppsprukket berg av god kvalitet. Antatte svakhetssoner langs tunnellopene er tolket ut ifra relieffkart, geofysiske undersøkelser og feltkartlegging. Det er funnet flere lineamenter/forsenkninger som krysser terrenget over tunneltraséen og som vurderes å kunne representere mulige svakhetssoner. To tolkede svakhetssoner kan være dypforvitrede svakhetssoner. Tunnelen går under antatt sensitive løsmasser.

2 Innledning

2.1 Bakgrunn

E18 Arendal – Grimstad inngår i kommunedelplanen for E18 Dørdal – Grimstad som ble vedtatt i de åtte berørte kommunene høsten 2019. Styret i Nye Veier har igangsatt forprosjekt for strekningen E18 Arendal – Grimstad. Veistrekningen som det skal utarbeides forprosjekt for går gjennom kommunene Arendal og Grimstad i Agder.

COWI har i 2020-21 gjennomført verdioptimalisering med bla. linjen som nå er gått videre til et forprosjekt. Resultatene av verdioptimaliseringen legges til grunn for dette forprosjektet som omfatter ca. 22 km med ny 4-felt motorveg fra Harebakken (Arendal) i øst til Morholt (Grimstad) i vest.



Figur 2-1 Utsnitt av utbyggingsområde E18 Sørøst.

2.2 Mål for prosjektet og planarbeidet

Målet med forprosjektet er det samme som i verdioptimaliseringen: Å finne løsninger som kan øke den samfunnsøkonomiske lønnsomheten i prosjektet, slik at veistrekningen kan prioriteres for utbygging. Ved beregning av samfunnsøkonomisk lønnsomhet i Nye Veiers prosjekter, vurderes blant annet

- › Trafikkmengde
- › Trafikksikkerhet
- › Reisetid
- › Rasfare
- › Klimagassutslipp

I tillegg vil selvsagt investeringskostnad være sentralt i vurderingen.

3 Geoteknisk kategori

Vegnormal N500 [3] knytter ikke lenger kontroll og kvalitetssikring til geotekniske kategorier gitt i NS-EN 1997-1+NA [4], men utelukkende til konsekvens- og pålitelighetsklasser i henhold til Eurokode 0 [5].

Ut fra kriterier gitt i Eurokode 0 [5] skal det velges konsekvensklasse (CC). Videre skal det basert på Nasjonalt tillegg i Eurokode 0 angis pålitelighetsklasse (RC), hvor et utdrag er vist i Tabell 3-1. Ifølge N500 skal vegtunnelprosjekter i plan- og prosjekteringsfase generelt klassifiseres i konsekvensklasse 3 og pålitelighetsklasse 3.

Tabell 3-1: Utdrag av tabell NA.A1 (901) i Nasjonalt tillegg til Eurokode 0 [5].

Veiledende eksempler for klassifisering av byggverk, konstruksjoner og konstruksjonsdeler	Pålitelighetsklasse (CC/RC)			
	1	2	3	4
Atomreaktorer, lager for radioaktivt avfall				X
Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg i kompliserte tilfeller*.		(X)	X	(X)
Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg i enkle og oversiktlige grunnforhold*	X	(X)		

*Ved vurdering av pålitelighetsklasse for grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg skal det også tas hensyn til omkringliggende områder og byggverk.

Som det fremgår av Tabell 3-1 er grunn- og fundamenteringsarbeider splittet i to alternativer; "kompliserte tilfeller" og "enkle og oversiktlige grunnforhold". Det er vurdert at Frivolltunnelen langs ny trasé til E18 Arendal-Grimstad skal ligge i pålitelighetsklasse CC/RC 3.

Pålitelighetsklasse RC3 medfører at Frivolltunnelen havner i prosjekteringskontrollklasse PKK3, se Tabell 3-2, og utførelseskontrollklasse UKK3, se Tabell 3-3.

Tabell 3-2: Tabell NA.A1(902) i Nasjonalt tillegg til Eurokode 0 [5], med beskrivelse og bestemmelse av prosjekteringskontrollklasse.

Valg av prosjekteringskontrollklasse		Krav til kontrollform		
Pålitelighetsklasse	Minste prosjekteringskontrollklasse	Egenkontroll (DSL 1) ¹⁾	Intern systematisk kontroll (DSL 2) ¹⁾	Utvidet kontroll (DSL 3) ¹⁾
1	PKK1 ²⁾	kreves	kreves ikke	kreves ikke
2	PKK2 ²⁾	kreves	kreves	kreves
3	PKK3	kreves	kreves	kreves
4	Skal spesifiseres	kreves	kreves	kreves

¹⁾ Se punkt B4 (informativt tillegg B) for betegnelsen DSL.
²⁾ Det kan velges høyere prosjekteringskontrollklasse.

Tabell 3-3: Tabell NA.A1(903) i Nasjonalt tillegg til Eurokode 0 [5], med beskrivelse og bestemmelse av utførelseskontrollklasse.

Valg av utførelseskontrollklasse		Krav til kontrollform		
Pålitelighetsklasse	Minste utførelseskontrollklasse	Egenkontroll (IL 1) ¹⁾	Intern systematisk kontroll (IL 2) ¹⁾	Utvidet kontroll (IL 3) ¹⁾
1	UKK1 ²⁾	kreves	kreves ikke	kreves ikke
2	UKK2 ²⁾	kreves	kreves	kreves
3	UKK3	kreves	kreves	kreves
4	UKK3, eventuelt med tilleggsbestemmelser	kreves	kreves	kreves

¹⁾ Se punkt B5 (informativt tillegg B) for betegnelse IL.
²⁾ Det kan velges høyere utførelseskontrollklasse.

4 Grunnlag

4.1 Prosjekteringsforutsetninger

For dette prosjektet gjelder følgende regelverk, standarder og veiledninger:

- Håndbok N100 Veg- og gateutforming, 2021
- Håndbok N101 Rekkverk og vegens sideområder, 2022
- Håndbok N200 Vegbygging, 2021
- Håndbok V225 Bergskjæringer, 2020
- Håndbok N500 Vegtunneler, 2022
- Håndbok V521 Geologi og bergsikring i tunnel, 2022
- Statens vegvesen Publikasjon 103 – Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø, 2003
- Statens vegvesen Publikasjon 104 – Berginjeksjon i praksis, 2004
- Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner, NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016
- Geoteknisk prosjektering del 1: Allmenne regler (Eurokode 7), NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2020
- Geotekniske felt- og laboratorieundersøkelser - Identifisering, beskrivelse og klassifisering av berg, NS-EN ISO 14689:2018
- Vibrasjoner og støt - Måling av svingehastighet og beregning av veiledende grenseverdier for å unngå skade på byggverk, NS 8141:2001
- Vibrasjoner og støt - Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk – Del 2, NS 8141-2:2013
- Vibrasjoner og støt - Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk - Del 3, NS 8141-3:2014
- Bruk av Q-systemet, 2015

I forbindelse med kommunedelplanen for prosjektet ble det utarbeidet følgende geologiske rapport:

- Temarapport Ingeniørgeologi – KU E18 Dørdal - Grimstad [6].

I forbindelse med verdioptimalisering ble det også utarbeidet aktuelle dokumenter:

- Fagnotat: Veiføring, anleggskostnader, konstruksjoner og grunnforhold [7].

4.2 Trasévalg, linjeføring og tunneltverrsnitt

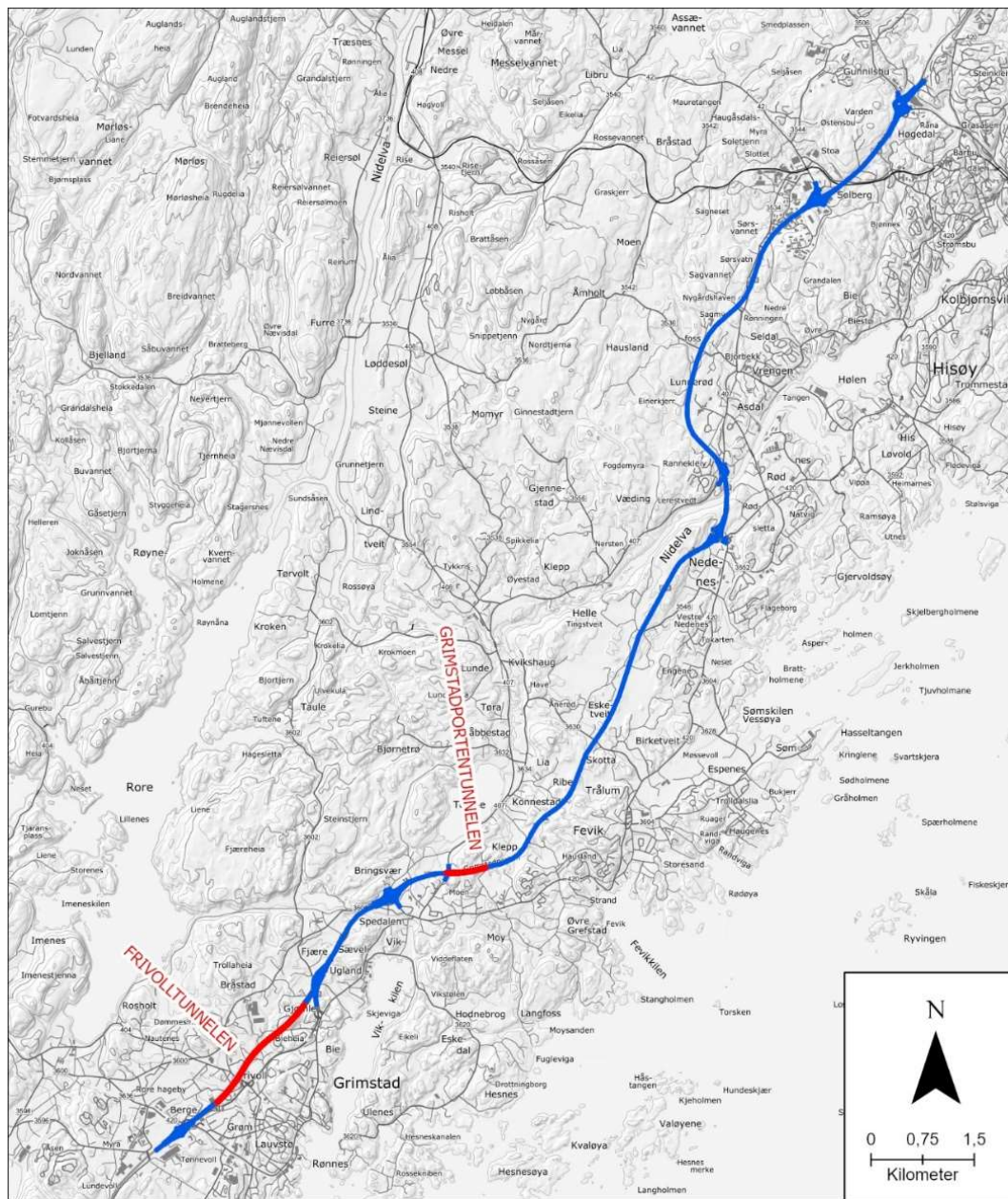
Frivolltunnelen er lokalisert helt sør i prosjektområdet, nordvest for Grimstad sentrum. Figur 4-1 viser plasseringen til blant annet Frivolltunnelen i prosjektet. Tunnelen er prosjektert med separate løp, havarilommer og breddeutvidelser som ivaretar krav til stoppsiktkrav.

Tunneltrasé går ned under dagens terreng nord for Bieheia og krysser under krysset Bieveien/Jerpeveien og ut under Frivolldalen. Den går så videre under gartneriområdet på Dybdedal, Dybdedalsveien, Opplandsveien Fv. 48, Frivoll skole, på østsiden av kirkegården og kommer ut under Klingremoheia. På denne strekningen er det utført totalsonderinger og det antas sikker overdekning av berg.

Mot Frivolldalen fra nordøst ligger berget med liten dybde og stedvis fremme i dagen, frem og ned mot Frivoldveien. Ved kryssingen under Frivollveien er det avsetninger av bløte løsmasser (antatt kvikkleire) i dybder inntil 15 meter, registrert i borepunkter.

Berget stiger så opp igjen, og er fremme i dagen i området ved gartneriet i Dybdedal og synes å ha sikker overdekning med berget fremme i dagen frem til hvor linja krysser under Opplandsveien Fv.48. Her er det registrert løsmassetykkelser på 3-10 meter. I dybder under 3-4 meter synes det å være bløte, sensitive masser som antas å være antatt kvikkleire.

Videre antas det sikker bergoverdekning langs partiet inn mot Frivoll skole. Fra partiet Frivoll skole og hvor linja går inn under Klingremoheia, er det noe varierende fastheter og dybder på løsmassene. På de dypere boringene i dybder større enn 3-4 meter er bløt, sandig, sensitiv leire indikert.



— Senterlinje
 — Tunneltrase

Figur 4-1: Oversiktskart som viser plasseringen til tunnelene i prosjektet.

4.2.1 Utforming av tunnel

E18 Arendal – Grimstad planlegges som motorvei med fire felt, fartsgrense 110/100 km/t og normalprofil i henhold til dimensjoneringsklasse H3 i Statens Vegvesens håndbok N100 [8].

For denne dimensjoneringsklassen angir N100 [8], Tillegg B, at tunnelprofil T10,5 skal legges til grunn. Tverrsnittarealet til T10,5 normalprofil er 60,64 m² og til sprengingsprofil er 74,59 m² [3]. Det må etableres to tunnellop. ÅDT på strekningen er mellom 12 000 – 50 000 som plasserer tunnelen i tunnelklasse E.

Tunnelklasse E gir blant annet krav om havarinisje hver 500 m samt tverrforbindelse mellom tunnellopene hver 250 m.

Bergsikringsomfang og -metoder i tunnelene skal bestemmes vha. Q-metoden i henhold til håndbok N500 [3]. Forskjæringer og tunnelpåhugg skal utformes og sikres som skjæringer for øvrig i henhold til håndbok N200 [9], og skal også vurderes mht. skredhendelser. Både tunneler og forskjæringer skal også sikres mot vann og is.

4.3 Kartgrunnlag

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

- Berggrunnskart, NGU [10]
- Løsmassekart, NGU [11]
- Grus-, pukk- og steintippdatabasen [12]
- Nasjonalt aktsomhetskart for radon [13]
- GRANADA [14]
- Relieffkart [15]
- Aktsomhetskart for tunnelplanlegging [16]

Kartene/datasettene inneholder data under Norsk lisens for offentlige data (NLOD) tilgjengeliggjort av Norges geologiske undersøkelse (NGU).

4.4 Tidligere grunnundersøkelser

4.4.1 KDP

Under kommunedelplanfasen (KDP) ble det utført ingeniørgeologisk kartlegging over 2 dager og grunnboringer [6, 17]. Kartleggingen hadde fokus på mulige påhuggsområder, tunnelstrekninger og generell geologi i området. Grunnboringer kartla dybde til berg og løsmassesammensetning. Det ble utført totalt 123 stk. totalsonderinger med avslutning i faste masser, med stopp mot

antatt berg, og mot antatt berg med kontrollboring i berg ("vanligvis ca. 3m", se [17]). Borede dybder varierer fra 0,3 – 45,8 meter. Data fra KDP er gjort tilgjengelig og brukt som grunnlag for denne rapporten.

I forlengelse av KDP ble det utført totalt 77 stk. totalsonderinger med avslutning mot antatt berg, og med stopp mot berg med kontrollboring inn i berg. Kontrollboring er utført i 62 borpunkter. Boringene er oppsummert i rapport "Datarapport Lang tunnel Bieheia – Frivoll" [18]. Borede dybder til kontrollert bergnivå varierer fra 1,0 – 16,4 meter. Disse boringene er hovedsakelig boring for kontroll av overdekning for en mulig tunnellinje, men er utført som totalsonderinger, som gjør at type og sammensetning av løsmasser over berget kan tolkes.

4.4.2 Verdioptimalisering våren 2021

I forbindelse med verdioptimalisering ble det utført skredfarekartlegging for planlagt veistrekning. Skredfarevurdering er gitt i kapittel 7.6-7.10 i "Fagnotat: Veiføring, anleggskostnader, konstruksjoner og grunnforhold" fra verdioptimaliseringen [7].

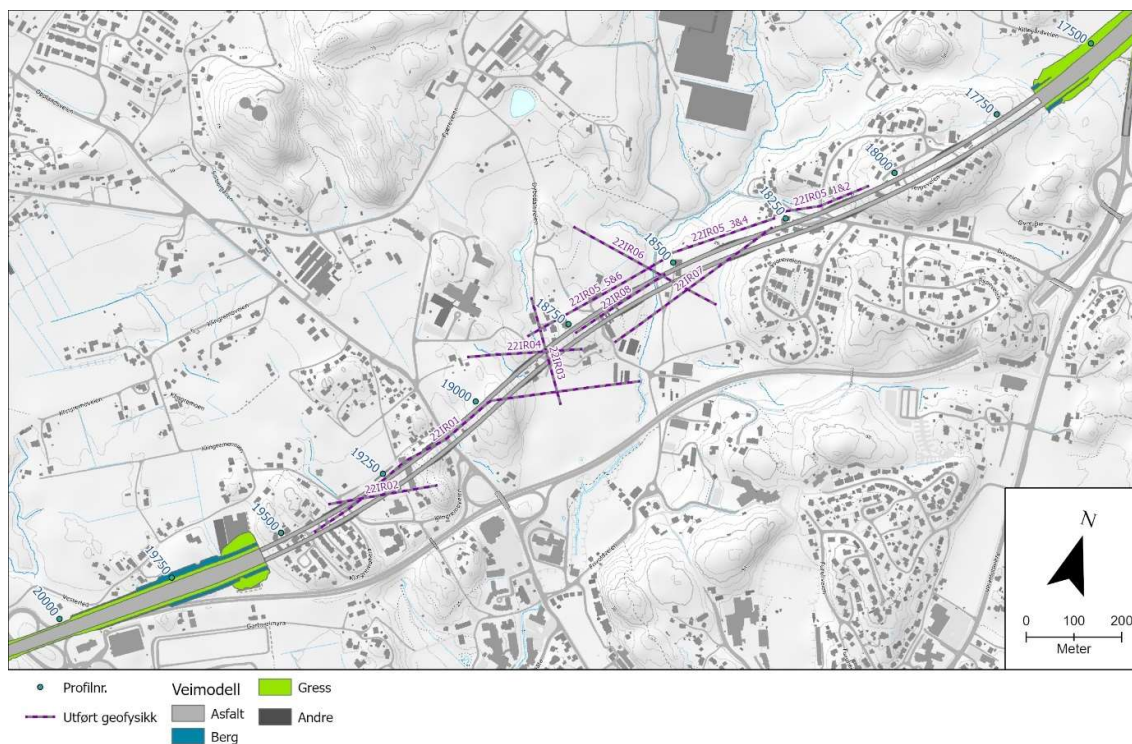
4.5 Utførte grunnundersøkelser i denne fasen

Det er utført flere typer undersøkelser i denne planfasen.

- Geofysiske undersøkelser.
- Geotekniske boringer og prøvetakinger.
- Ingeniørgeologisk kartlegging.
- Prøvetaking og undersøkelser for bergartenes syredanningspotensiale.

4.5.1 Geofysiske grunnundersøkelser

Flere refraksjonsseismiske profiler er samlet inn over Frivolltunnelen, se Figur 4-2. Refraksjonsseismiske data gir et bilde av seismiske hastigheter i løsmasser og berg. Dataene indikerer derfor både bergkvalitet og løsmassetykkelse, og dermed bergoverdekning i tunnelen. De seismiske profilene samtolkes med utførte totalsonderinger og tolkede lineamenter. Det henvises til kapittel 7.1 og 9.2.2, samt vedlegg 3-6.



Figur 4-2: Utførte geofysikklinjer over Frivolltunnelen.

4.5.2 Geotekniske grunnboringer og prøvetakninger

Det er gjort flere geotekniske grunnboringer i planområdet. Hovedsakelig er det utført totalsonderinger, men også prøveserier, CPTu og poretrykkmålinger i utvalgte punkter. Det henvises til geoteknisk datarapport for detaljer [19].

4.5.3 Ingeniørgeologisk kartlegging

Det er utført ingeniørgeologisk kartlegging i to omganger i dette forprosjektet.

Grimstadportent ble befart i forbindelse med planlagt vedlikehold og stenging av tunnelen 16. til 17. februar 2022. Det ble også utført en ingeniørgeologisk befaring 14. til 16. mars 2022. Da ble blant annet forskjæringer/påhuggsområder og utvalgte områder langs traséen til Frivolltunnelen befart og kartlagt.

Observasjoner og tolkninger knyttet til utført feltbefaring er gjengitt i kapittel 5, 6 og 9.

4.5.4 Undersøkelser for sulfidinnhold

Det er foretatt en innledende testing og vurdering for å avdekke forekomster av syredannende bergarter langs traséen. Bergartene som ifølge NGUs berggrunnskart skal påtreffes er prøvetatt og sendt til laboratorium for

undersøkelse med XRF og peroksidtest. Resultater omtales i kapittel 5.7.1 og 9.2.7.

Foreløpige

DEL 1: FAKTADEL

Foreløpige

5 Fakta

5.1 Topografi

Topografien i området er preget av erosjon og forvitring langs eksisterende strukturer i bergmassen. Landskapet over tunnelen er småkupert med små koller og forsenkninger mellom disse. Terrengformene i området varierer i orientering; mange stryker enten vinkelrett på, eller parallelt med kysten. Grimstadgranitten stikker opp av landskapet i markerte høyledrag, som for eksempel Bieheia ved tunnelens nordlige påhugg. Høyreliggende områder har avrundede til flate partier langs toppene og brattkanter ned mot omkringliggende dalsøkk. Landskapet har i stor grad vært påvirket av isbrebevegelse, som har slipt og polert bergoverflaten [6, 7]. Arealdekket utgjøres av boligbebyggelse, jordbruk, grøntarealer og noe næringsbebyggelse. Det er større og mindre lokalveier i området. Topografisk kart vises i Figur 5-1.

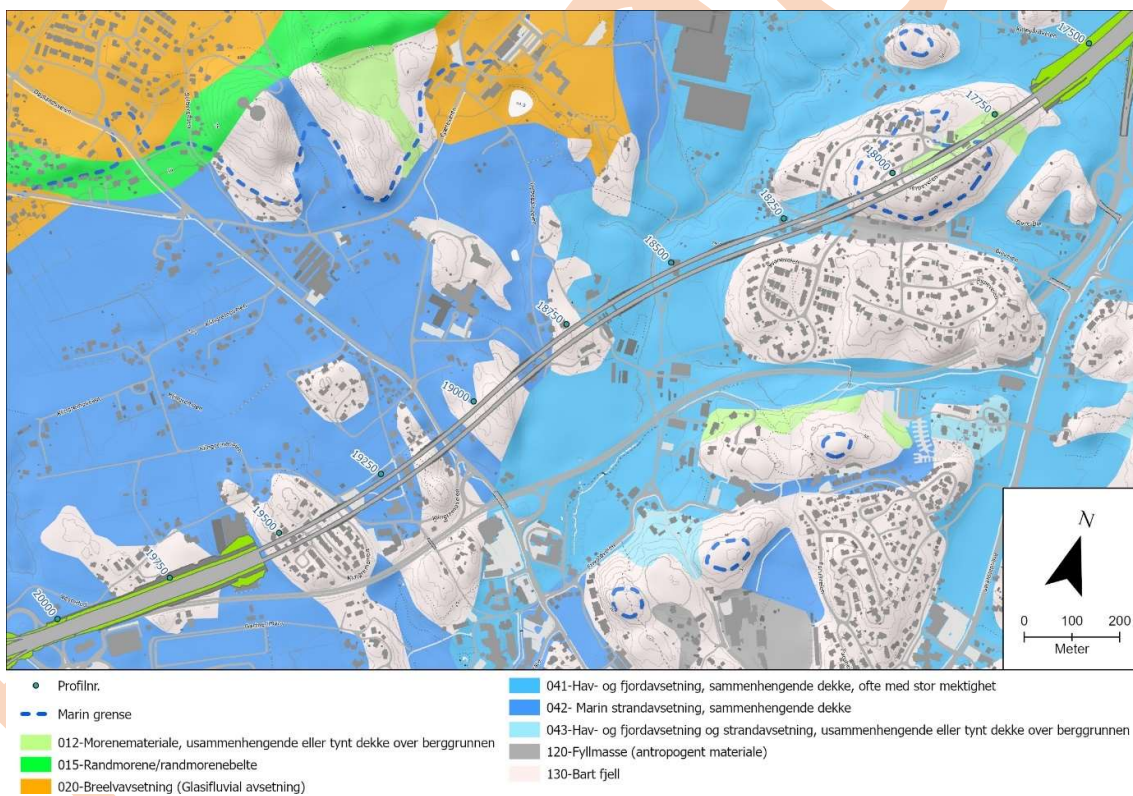


Figur 5-1: Topografisk kart over traséen til Frivolltunnelen.

5.2 Kwartærgeologi

Langs strekningen til Frivolltunnelen finner man ifølge NGUs løsmassekart [11] hav- og fjordavsetninger i både tynt og tykt dekke, marine strandavsetninger, samt noe tynt dekke med morenemateriale. Løsmassene finnes i lavereliggende områder (for eksempel Frivolldalen) mens markerte høydedrag (Bieheia, Klingremoheia) typisk har berg i dagen. Hav- og fjordavsetninger består ofte av leirig materiale mens strandavsetninger vanligvis inneholder mer sand. Hele prosjektområdet er under marin grense, som her påtreffes ca. 60 meter over havet. Kwartærgeologisk kart vises i Figur 5-2.

Totalsonderinger fra KDP over Frivolltunnelen indikerer bløte marine avsetninger og sensitive masser flere steder [17] [18]. Det er registrert løsmassemektigheter mellom 0 og 15 m. Geoteknisk datarapport for dette forprosjektet forventes ferdig i løpet av august 2022 [19].



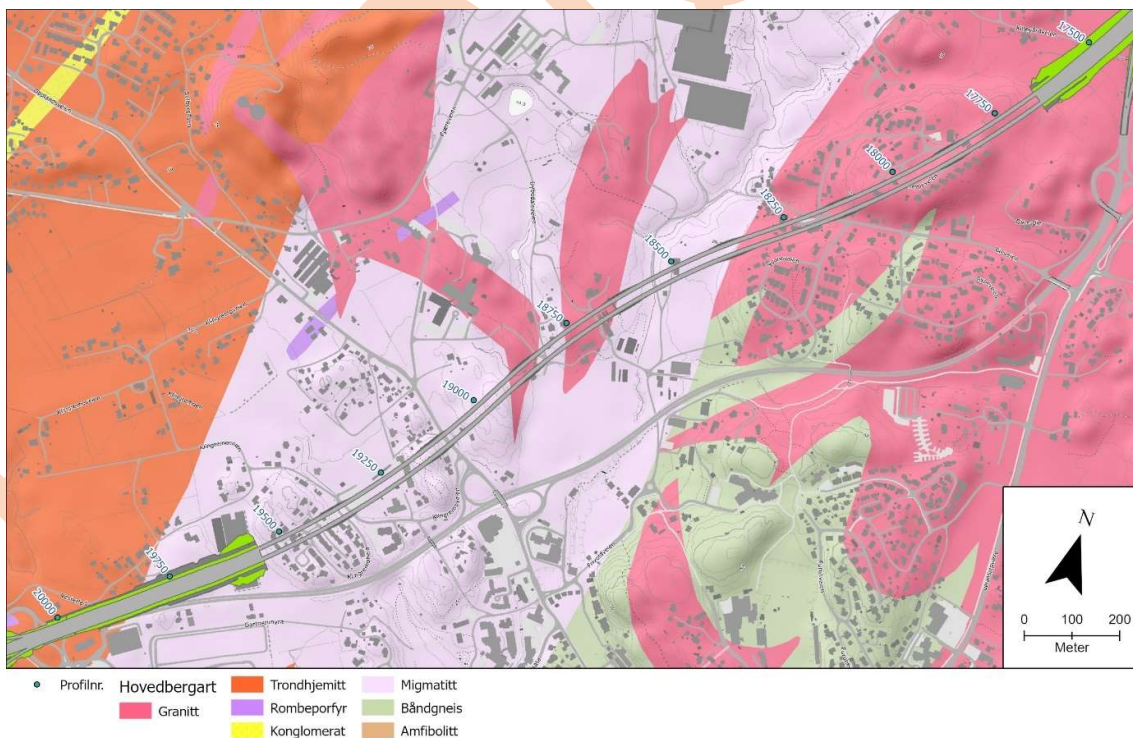
Figur 5-2: Kwartærgeologisk kart over traséen til Frivolltunnelen [11].

5.3 Berggrunnsgeologi

Ifølge NGUs berggrunnskart [10] skal traséen til Frivolltunnelen gå gjennom bergmasse av granitt og migmatitt. Et berggrunnskart for Frivolltunnelen vises i Figur 5-3.

Migmatitten tilhører Bamble-komplekset, som består av prekambriske (ca. 1600-1000 millioner år gamle) gneiser, amfibolitter, migmatitter og kvartsitter [20] [21]. Bergartene bestod opprinnelig av sedimentære bergarter og vulkanske dag- og dypbergarter som har blitt metamorfoserte under den Svekonorvegiske fjellkjedefoldingen. Bergartsstrukturen domineres av isoklinale folder som stryker NØ-SV.

Granitten er en del av Grimstadgranitten, som intruderte de eldre grunnfjellsbergartene senere (ca. 1000-900 millioner år siden) [20]. Den yngre granitten har ofte markante grenser til omkringliggende eldre bergarter. Det forekommer også ganger med rompeporfyr (ca. 300 millioner år gamle) i området som skjærer igjennom både de eldre gneisene og Grimstadsgranitten [20]. Ifølge NGUs berggrunnskart krysser ikke tunneltraséen rombeporfyranger [10].



Figur 5-3: Berggrunnskart for Frivolltunnelen [10].

5.4 Lineamenter

Det er utført lineamentstudier i området ved hjelp av relieffkart, topografisk kart og befaring.

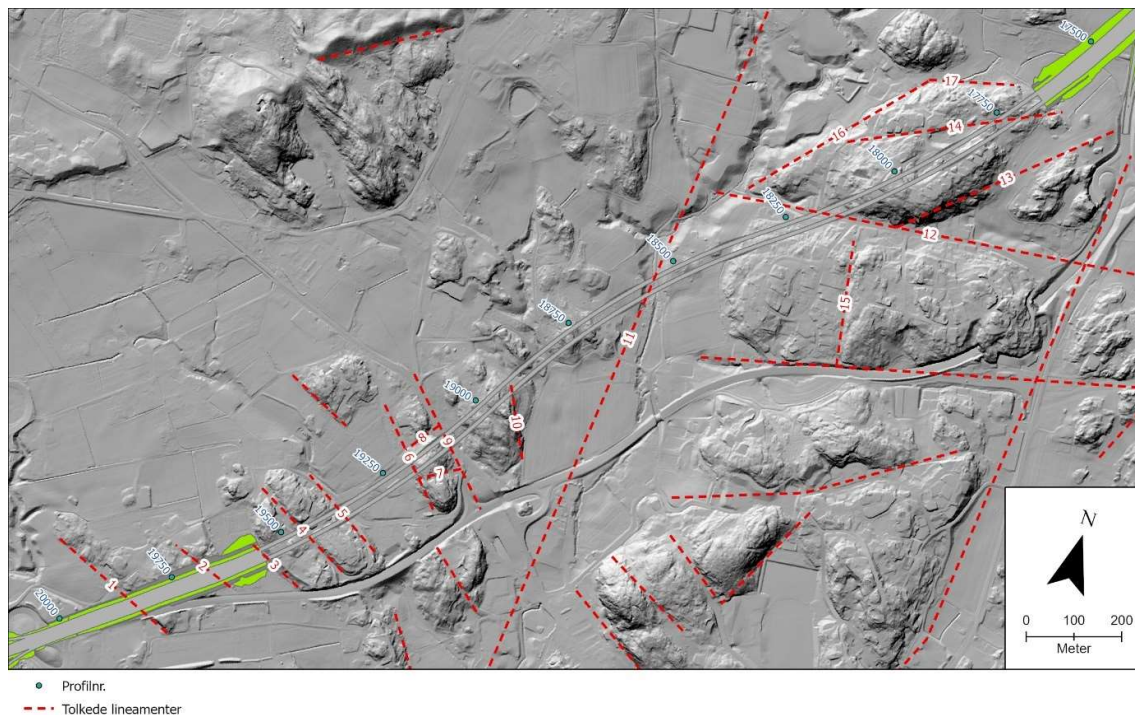
Det er to til tre dominerende orienteringer til tolkende lineamenter i planområdet:

- A. NNØ-SSV til N-S
- B. NV-SØ til NNV-SSØ
- C. Ø-V til ØNØ-VSV

Av disse er orienteringene i punkt A og B klart mest dominerende i området.

Figur 5-4 viser kart med tolkede lineamenter fra relieffkart. Det er kun området nærmest traséen som er vurdert. Lineamentene som krysser eller har nærføring til planlagt veitrasé er nummerert fra 1 og opp langs Frivolltunnelen. Ved og langs Frivolltunnelen er det tolket lineamenter av ulike lengder. De viser gjentakende orienteringer. Lineament nr. 11 er det lengste lineamentet som krysser Frivolltunnelen.

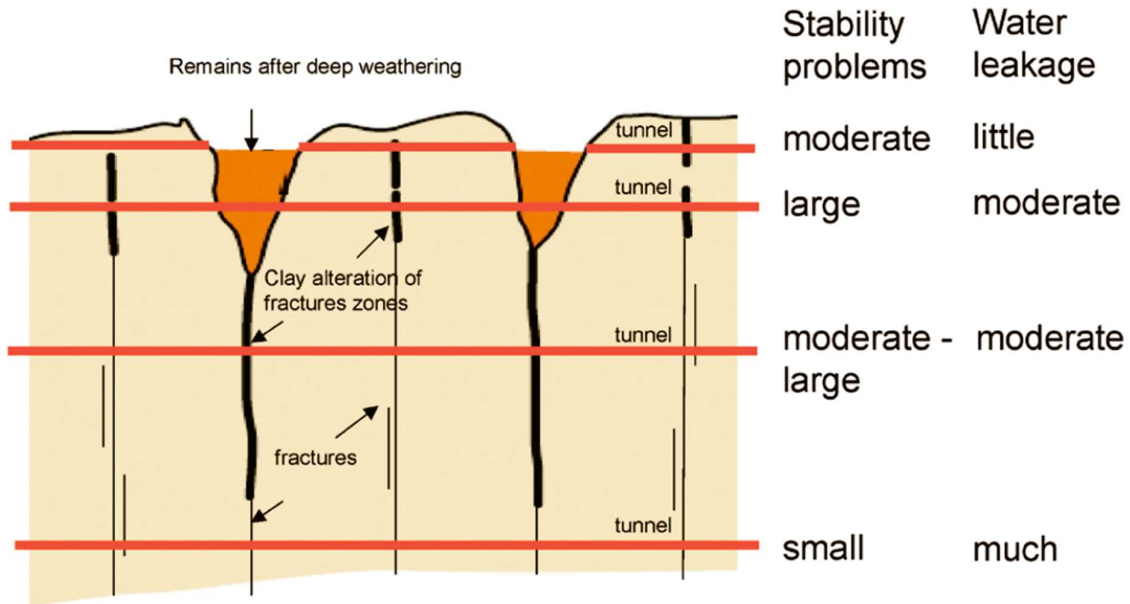
Generelt viser resultater fra grunnboringer ofte større løsmassemekktigheter langs lineamenter, men ikke alltid.



Figur 5-4: Skyggerelieffkart med oversikt over tolkede lineamenter langs Frivolltunnelen. Lineamentene som krysser eller er nærliggende traséen er nummerert fra 1 til 17.

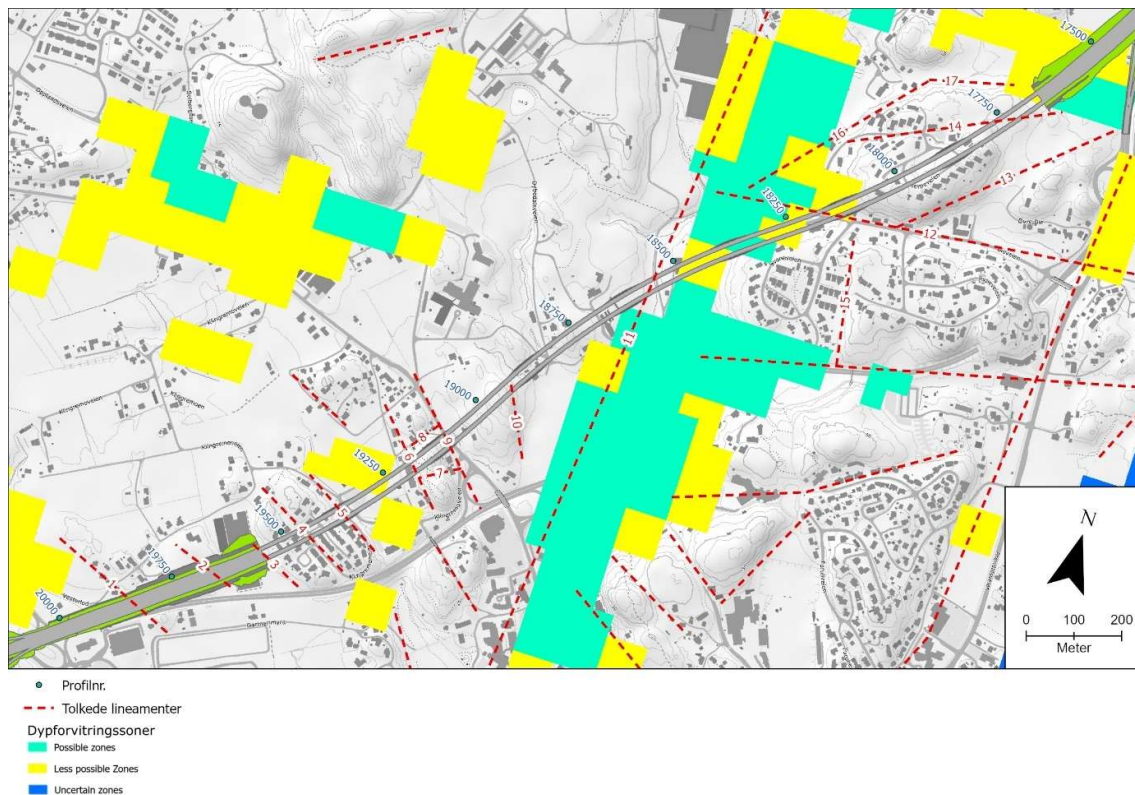
5.5 Dypforvitring

Eksponert grunnfjell ble utsatt for kjemisk forvitring da Norge lå ved tropiske breddegrader i Trias- og Juratiden [22]. Forvitningsprosessen var styrt av sirkulasjon av surt vann og sprekkesystemer og svakhetssoner var derfor ekstra utsatt. Silikatmineraler i grunnfjellsbergartene ble omdannet til leirmineraler (f.eks. smektit og kaolinit), som kan gi problemer både med svelling og lav friksjon på sprekker. Erfaring fra bygging i bergartene i området tilsier at det kan forventes å påtreffes svakhetssoner med leire og svelleleire, se f.eks. [23]. Dypforvitrede sprekkesystemer kan påtreffes ned til flere hundre meter under bakken [22] og dermed gi utfordringer med bygging av undergrunnsanlegg (Figur 5-5). Et typisk forvitningsprofil går fra friskt berg, via kantete til avrundete blokker av friskt berg ("core stones"/reststeiner) omgitt av forvitningsprodukter til sjikt som består nesten utelukkende av forvitningsprodukter [24].



Figur 5-5: Utfordringer for tunneler i ulike dyp i forhold til dypforvitrede svakhetssoner [22].

NGU har publisert aktsomhetskart for dypforvitring basert på sammenfall av topografiske forsenkninger og negative magnetiske anomalier fra flybåren magnetometri [16]. I prosjektområdet indikerer kartene at stort sett alle større forsenkninger i topografien kan være påvirket av dypforvitring. Aktsomhetskartet indikerer to mulige dypforvitringssoner som skal krysse tunneltraséen til Frivolltunnelen (Figur 5-6).



Figur 5-6: Aktsomhetskart for dypforvitring med mulige dypforvittringssoner langs Frivolltunnelen.

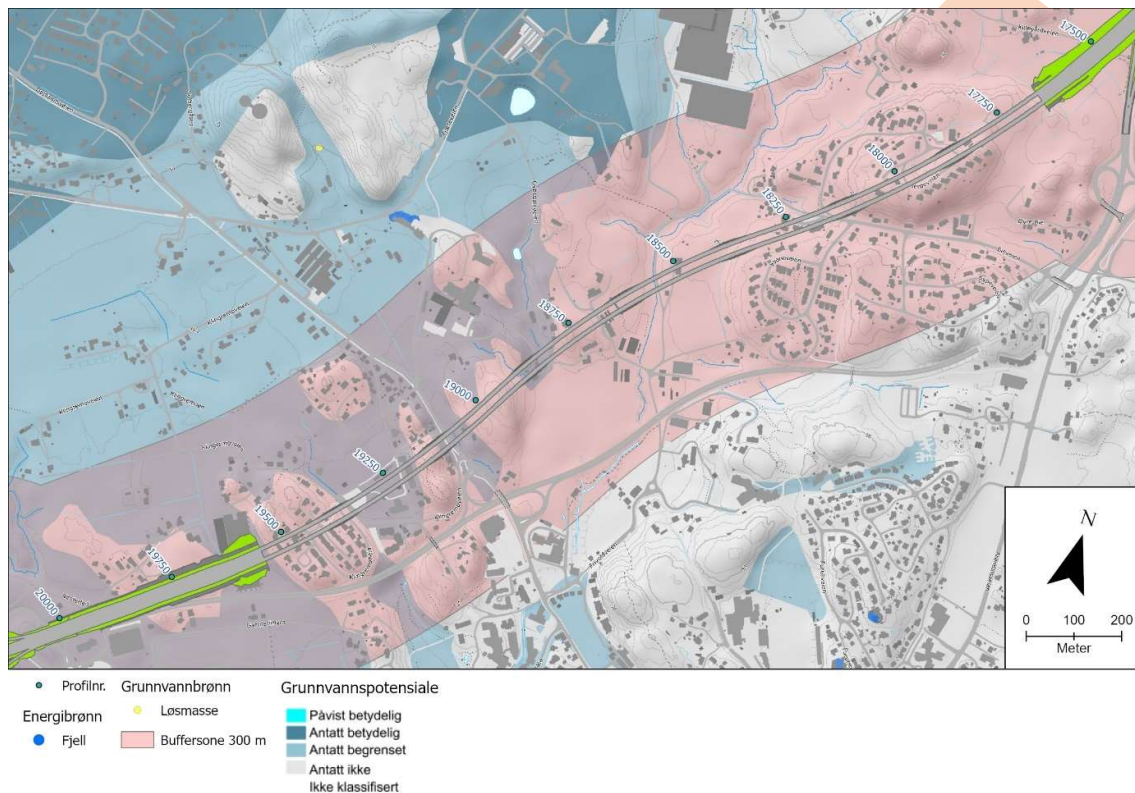
5.6 Hydrogeologi

NGUs løsmassekart [11] viser varierende grunnvannspotensiale langs tunneltrasé (Figur 5-7). Grunnvannspotensialet er relatert til massenes vannledningsevne og følger i grove trekk dominerende kornstørrelse i avsetningene, slik at grovkornete strandavsetninger, elveavsetninger og breelvavsetninger har større grunnvannspotensiale enn leirige hav- og fjordavsetninger. Frivolltunnelen planlegges under hav- og fjordavsetninger i Frivolldalen og strandavsetninger mellom Vestre Frivold og det sørlige påhugget (Figur 5-2).

Granada [14] viser at det er flere brønner rundt planlagt veitrasé, både for vannforsyning og andre formål. Tunnelbygging kan i noen tilfeller medføre f.eks. redusert vannføring og endret vannkemi i nærliggende grunnvannsbrønner. Det tas utgangspunkt i at grunnvannsforhold kan påvirkes innen et influensområde på 300 m fra tiltaket [25]. Det er ikke registrert brønner innenfor influensområdet rundt Frivolltunnelen. Følgelig forventes det ikke direkte konflikt mellom brønner og bygging av Frivolltunnelen. Det anbefales likevel det foretas

en nærmere kartlegging av brønner i influensområdet som ikke er registrert i Granada.

Frivolltunnelen krysser under Groosebekken, som er tilknyttet ravinlandskapet i Frivolldalen, samt noen andre vassdrag.



Figur 5-7: Hydrogeologisk kart med oversikt over grunnvannspotensiale og brønner for Frivolltunnelen. Det er ikke registrert noen brønner innenfor buffersonen som strekker seg 300 m fra senterlinjen.

5.7 Miljøgeologi

5.7.1 Syredannende bergarter

Tidligere byggeprosjekter på Sørlandet, inkludert tilstøtende veistrekninger både nord og sør for E18 Arendal-Grimstad, har hatt utfordringer med syredannende bergarter og sur avrenning [6] [26] [27]. Disse utfordringene har blitt knyttet til sulfidinnhold i gneiser i det prekambriske Bamblegruppen, som utgjør mesteparten av berget i kystnære områder mellom Bamble og Kristiansand, inkludert traséen for ny E18 Arendal-Grimstad. Det er utført prøvetaking for å undersøke sulfidinnhold i migmatitt to steder over traséen til Frivolltunnelen (Figur 5-10). Grimstadgranitten, som også skal påtreffes langs Frivolltunnelen, ble

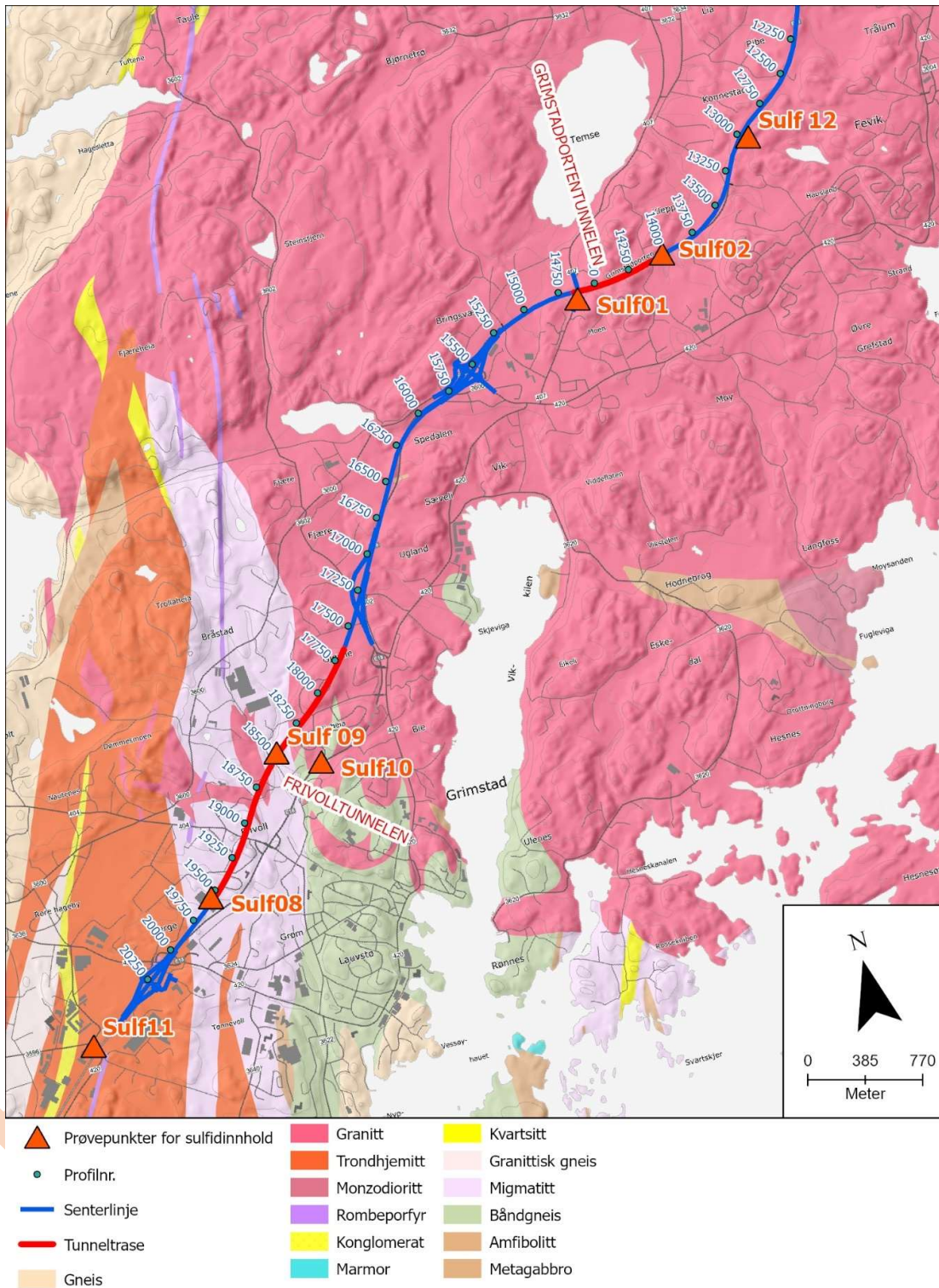
prøvetatt lenger nord. Prøvene er undersøkt i laboratorium med to undersøkelsesmetoder. Den ene undersøkelsesmetoden som er benyttet er X-Ray Fluorescens (XRF), som gir et estimat av svovelinnhold, hvilket gir en indikasjon på sulfidinnhold. Den andre undersøkelsesmetoden som er benyttet er peroksidtesting, der knust bergart blandes ut i 7% hydrogenperoksid og temperaturendring måles etter 25 minutter. Dette gir indikasjon på bergartens syredanningspotensial. Klassifikasjonskriteriene for syredannende/ikke-syredannende bergarter er gitt i *Retningslinjer for tiltak i områder med syredannende gneis* av Prosjektgruppen for kontroll på svovelholdig avrenning i Agder [28], gjengitt her i Figur 5-8. Berg som etter disse retningslinjene vises å ha middels eller lav forvittringsgrad, klassifiseres som syredannende/ikke-syredannende etter Figur 5-9 [29]. Tabell 5-1 oppsummerer resultatene fra XRF svovelanalyse og testing etter peroksidmetoden, som ble utført av Vannlaboratoriet AS.

Faktor	Kategorier		
	Lav	Middels	Høy
Forvittringsgrad			
Innhold av svovel	<0,15 %	0,15 – 0,8 %	>0,8 %
Hydrogenperoksidtest	<0,7 C°	>0,7 C° - <1,2 C°	>1,2 C°

Figur 5-8: Faktorer som vurderes i undersøkelser av mulig syredannende bergarter [28].

Hydrogenperoksidtest (Avsnitt 5.5)			
Innhold av svovel (Avsnitt 5.4)	Lavt syredanningspotensial	Middels syredanningspotensial	Høyt syredanningspotensial
Lavt svovelinnhold	ikke-syredannende	ikke-syredannende	Syredannende
Middels svovelinnhold	ikke-syredannende	Syredannende	Syredannende
Høyt svovelinnhold	Syredannende	Syredannende	Syredannende

Figur 5-9: Klassifikasjon av syredannende egenskaper i berg med middels eller lav forvittringsgrad [28].



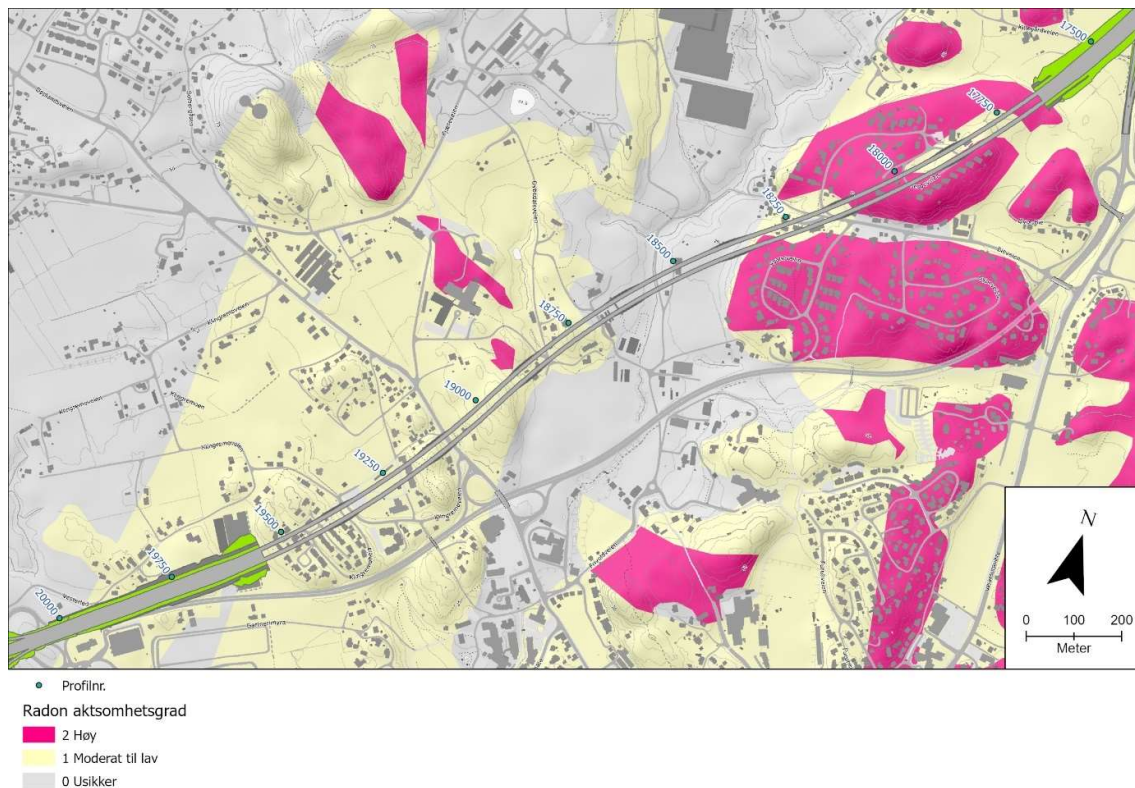
Figur 5-10: Berggrunnskart over sørlig halvdel av prosjektområdet med oversikt over plassering til sulfidprøver som er innhentet [10].

Tabell 5-1: Utdrag fra resultater fra undersøkelse av syredanningspotensiale i bergarter som opptrer langs Frivolltunnelen. Kun resultater for bergarter som skal påtreffes langs Frivolltunnelen er tatt med. Det vises resultater fra XRF svovelanalyser og peroksidtest med kategorisering og klassifisering etter Lillesand Kommunes retningslinjer for tiltak i områder med syredannende gneis [28].

Bergart	XRF svovelanalyser			Peroksid-metode		Forvittrings-grad	Klassifisering
	Prøve-nr.	Resultat	Kategori	Temp.	Kategori	Kategori	
		%		diff. ° C			
Granitt	1	0,091	Lav	0,0	Lav	Lav	Ikke-syredannende
Granitt	2	0,105	Lav	0,1	Lav	Lav	Ikke-syredannende
Migmatitt	8	0,171	Middels	0,2	Lav	Lav	Ikke-syredannende
Migmatitt	9	0,125	Lav	0,0	Lav	Lav	Ikke-syredannende
Granitt	12	0,049	Lav	0,6	Lav	Lav	Ikke-syredannende

5.7.2 Radon

Store deler av Frivolltunnelen er merket som områder med moderat til lav eller usikker aktsomhet for radon ifølge aktsomhetskart fra NGU [13]. Kortere strekker antas å drives gjennom Grimstadgranitten (Figur 5-3), som har aktsomhetsnivå høy. Dette kan medføre behov for overvåkning med radonmålere under driving. Høye målte radonverdier vil utløse behov for tiltak som for eksempel tetting, endring av trykkforhold, ventilasjon, redusert oppholdstid og personlig verneutstyr. Aktsomhetskart for radon vises i Figur 5-11.



Figur 5-11: Aktsomhetskart for radon for Frivolltunnelen [13].

5.8 Skred

I forbindelse med verdioptimalisering i 2021 [7] ble det utført en skredfarevurdering for traséen. Det er registrert flere skredhendelser langs eksisterende E18 mellom Arendal og Grimstad, hovedsakelig i form av steinsprang. Disse er utløst i eksisterende veiskjæringer. Det er ikke registrert skredhendelser med tilknytning til påhuggsområder til Frivolltunnelen. NVE har ikke kartlagt aktsomhetsområder for hverken jord-, flomskred eller steinsprang som berører selve traséen.

Skredfarevurderingen stadfester at planlagt veitrasé generelt ligger i et relativt flatt terreng uten betydelig problematikk knyttet til skred fra naturlig terreng. Det er ikke kartlagt noen faresoner for skred langs traséen til Frivolltunnelen eller dens forskjæringer. Det henvises til fagnotat fra verdioptimaliseringen for kart og andre detaljer [7].

5.9 Bergmassens egnethet til vegformål

Granitt, og trolig også migmatitt, som er kartlagt langs traséen til Frivolltunnelen kan egne seg til bruk i både veifundament, toppdekke og bærelag [10] [30].

I forbindelse med KDP ble NGUs grus- og pukkdatabase [12] gjennomgått for en innledende vurdering bergmassens egnethet til bruk i veioppbygging langs planlagt trasé for E18 Arendal-Grimstad. Det foreligger resultater (Los Angeles- og Micro-Deval verdi) fra Landvik pukkverk som indikerer at massene herfra kan brukes blant annet som forsterkningslag, bærelag og asfalt. Landvik pukkverk ligger 4 km fra nærmeste punkt på E18 ved Øygardsdal-krysset ved Frivolltunnel påhugg S. Massene fra Klodeborg pukkverk har noe høyere verdier, men skal være godkjent ihht. NS-EN 13043. Klodeborg pukkverk ligger 0,6 km fra nærmeste punkt på traséen ved Stoa. Masser fra Vestre Dale pukkverk er brukt av Vegvesenet tidligere, men det opplyses ikke om resultater herfra. Vestre Dale pukkverk ligger 14 km fra nærmeste punkt på traséen ved Stoa. De nevnte pukkverkene driver i (meta)gabbroide bergarter innhyllet i amfibolitt og gneis [12] [31].

De metamorfe bergartene i planområdet tilhører Bamble-komplekset, som strekker seg fra Bamble til Kristiansand, og er derfor nært beslektet med bergartene påtruffet i E18 Tvedestrand – Bamble [20] [32]. Dette gjelder migmatittiske bergarter langs Frivolltunnelen. Resultatene fra E18 Tvedestrand - Bamble antyder varierende bergartsegenskaper og at hyppig testing er nødvendig for å bestemme om de utsprengte massene egner seg til veioppbygging [32]. Det er ikke utført tester på dette for bergartene langs E18 Arendal-Grimstad i forbindelse med KDP eller dette forprosjektet. Det anbefales å gjøre uttak av prøver og for testing av bergmassens egnethet i neste planfase.

5.10 Naturtyper

Selv om tunneldrift fører til mindre negative konsekvenser på naturmangfold enn andre arealbeslag, kan tunnelanlegg føre til lekkasje og endringer i grunnvannstand, spesielt i naturtyper som myr, sumpskog, tjern og vassdrag. Det er viktig å vurdere om det er naturtyper som kan påvirkes over tunnel.

Over Frivolltunnelen er det registrert tre naturtyper [33]. To består av den utvalgte naturtypen hul eik, og anses ikke som påvirket av eventuelle endringer i grunnvannstand. Én naturtype består av et viktig bekkedrag (Groosebekken) som går sentralt gjennom Frivolldalen. Dette bekkedraget beskrives som lavereliggende ravinesystemer og er rødlistet som sårbar på Artsdatabankens liste over truede naturtyper i 2011. Bakkeplanering, oppdyrking og boligbygging har desimert naturtypen over tid. Skogkledde ravinedaler som denne er derfor sjeldne og verdifulle for et biologisk mangfold som er knyttet til svært

høyproduktive økosystemer. En del negativ påvirkning og mangel på skoglig kontinuitet trekker verdien ned fra svært viktig til viktig (B-verdi).

Ravinesystemet er av vekslende bredde og dybde og har tre mindre avgreininger, alle daler med mindre bekker med vekslende vannføring. Dalbunnene er stort sett flate og bekkene er stedvis svakt meanderende. Området har trolig vært mer åpent tidligere, men er nå vokst igjen med ulike typer løvskog avhengig av markfuktighet, suksesjonsfase og historisk påvirkning. I nedre deler er det kun et smalt belte igjen langs bekken med skogdekt kantsone. Her dominerer til dels grov svartor. Lenger nord er det partier med gråor og hegg, ospeskog, innslag av eik, ask, bjørk, rogn, hassel og selje. Stedvis er skogen forholdsvis grov og med tilløp til dødveddannelse. Mange trær av flere treslag er grove med enkelttrær opp mot 70 cm i diameter, men det er også en del krattskog i området. Skogen er flersjiktet med god aldersspredning. Vegetasjonen virker noe preget av å ha vært tidligere åpen kulturmark med mye mjødurt og kratthumbleblom i åpne engpartier. Ellers finnes noe strutseving langs bekk i hoveddal, krypsolie, skogsivaks, mannasøtegras, sølvbunke, vendelrot, skogburkne og krossved [33].

Løsmassene i området består av et sammenhengende dekke med hav- og fjordavsetninger, ofte med stor mektighet [11]. Det er dårlig eller ingen infiltrasjonsevne. Leire virker som et tettende lag, og har liten risiko for lekkasjer.

5.11 Bebyggelse

Landskapet over Frivolltunnelen består av koller med bart berg adskilt av løsmassefylte forsenkninger [11], bestående av blant annet antatt leirige hav- og fjordavsetninger. På disse løsmassene finnes det spredt bolig- og landbruksbebyggelse i tillegg til lokale og regionale veier innenfor 300 meter fra Frivolltunnelen (Figur 5-2, Figur 5-7). Områdene med tettest bebyggelse over og rundt tunnelen ser imidlertid ut til å være anlagt på berg.

6 Ingeniørgeologisk kartlegging

Det er utført ingeniørgeologisk kartlegging i to omganger i dette forprosjektet; en befaring i februar og en i mars. På befaringen i februar var det regnvær, mens det for det meste var oppholdsvær på befaringen i mars.

Navngivingen til befaringslokalitetene er satt sammen av en bokstav som identifiserer ingeniørgeologen som har kartlagt lokaliteten og et løpenummer som starter på 001 for hver bokstav. Videre er befaringslokalitetene klassifisert som *fullstendige befaringslokaliteter* eller *korte befaringslokaliteter* etter detaljnivå på innsamlede data. Data er samlet inn med ArcGIS Field Maps.

Befaringspunkter er kartlagt i henhold til standard NS-EN ISO 14689:2018 [34] og Q-systemet [35]. Orientering til plane strukturer oppgis i fall og fallretning. Standarden definerer ulike geologiske begreper. Standarden er på engelsk og utvalgte begreper relevant for dette dokumentet er oversatt i Tabell 6-1.

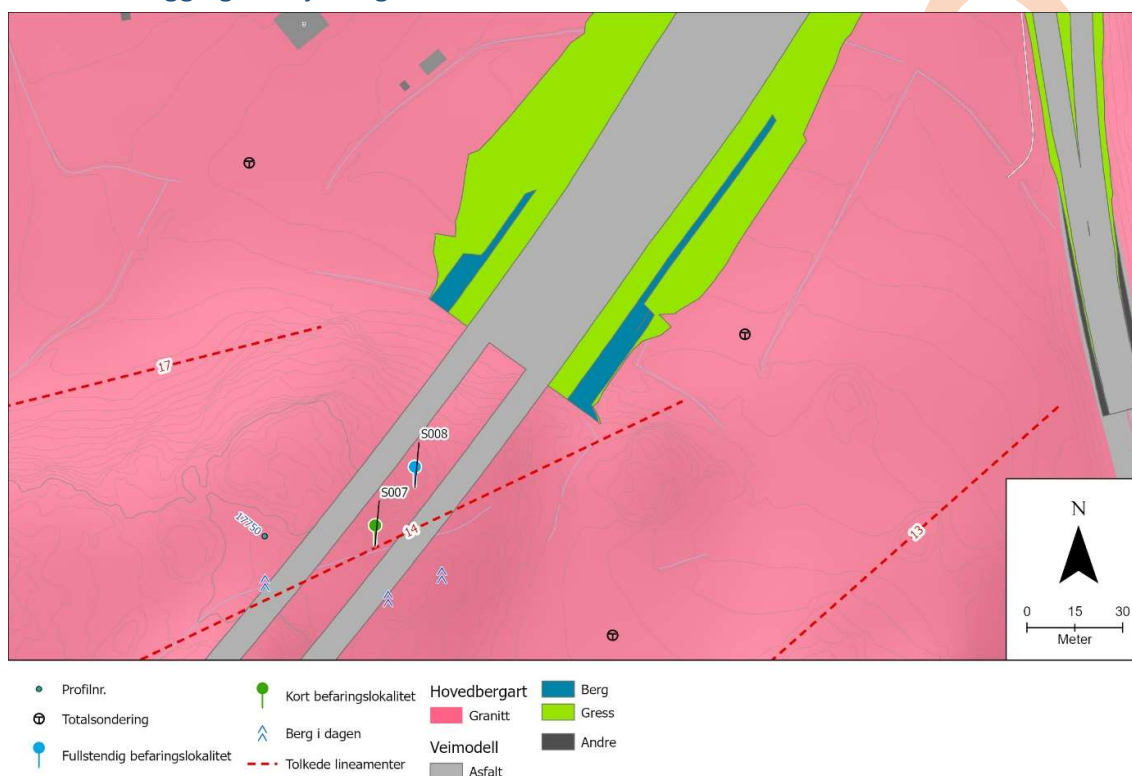
Tabell 6-1: Kvalitative begreper oversatt fra engelsk til norsk

	Begrep på engelsk	Begrep på norsk
UCS felttest	Extremely strong	Ekstremt sterk
	Very Strong	Veldig sterk
	Strong	Sterk
	Medium strong	Moderat sterk
	Moderately weak	Moderat svak
Sprekkeåpning	Very tight	Veldig tett
	Tight	Tett
	Partly open	Delvis åpen
	Open	Åpen
	Moderately wide	Moderat bred
	Wide	Bred
	Very wide	Veldig bred
Sprekkeruhet	Extremely wide	Ekstremt bred
	Striated	Striasjon
	Planar	Plan
	Straight	Rett
	Smooth	Glatt
	Rough	Ru
	Undulating	Undulerende
	Curved	Krummet
	Stepped	Hakkete
Wavy	Bølgete	
Forvittringsgrad	Fresh	Uforvitret
	Slightly weathered	Svakt Forvitret
	Moderately weathered	Moderat Forvitret

Det er i det videre gitt en beskrivelse av Frivolltunnelen med tilhørende forskjæringer og aktuelle feltresultater. Se også geologisk kartvedlegg for hele veistrekningen i vedlegg 1.

6.1 Frivolltunnelen

6.1.1 Påhugg og forskjæring nord



Figur 6-1: Oversiktskart over nordre påhuggsområde til Frivolltunnelen.

Geometri

Nøyaktig plassering av påhugg er ikke detaljprosjektert, men er vurdert plassert med tilstrekkelig nøyaktighet for forprosjektet. Geometrien til forskjæringen nord for Frivolltunnelen er beskrevet i Tabell 6-2. En oversikt over veigeometrien og annen informasjon ved forskjæringen kan sees i Figur 6-1. Påhuggene til tunneløpene er lokalisert ved profilnr. 17653. Påhuggsflaten vil være på ca. 900 m² og med en snitthøyde på ca. 18,5 m. Overdekningen er forventet ca. 10 m.

Tabell 6-2: Oversikt over geometrien til forskjæringen nord for Frivolltunnelen.

	Fra profil	Til profil	Lengde [m]	Høyde [m]	Areal [m ²]
Forskjæring øst	17545	17653	108	20	700
Forskjæring vest	17605	17653	48	17	300

Berggrunn og løsmasser

Ifølge NGUs berggrunnskart [10] skal bergmassen bestå av granitt i forskjæringen og påhugget. Dette samsvarer med observasjoner fra befaringslokalitet S008. Løsmassedekket er generelt observert tynt, men kan være noe tykkere i forsenkninger i terrenget. Grunnboringer på jordet nord for påhugget indikerer løsmassemektheter mellom ca. 4 og 16 m. Det er stigende terreng over påhugget mot sørvest.

Veibanen krysser lineament 14 med omtrent 25 graders vinkel sør for påhugget. I terrenget sees lineamentet som en ca. 15-25 meter bred forsenkning mellom koller av frisk granitt. Ved overgang mellom kollene og forsenkningen sees mange avrundede granittblokker, se Figur 6-3. Forsenkningen er rett og følger antageligvis en svakhetszone.

Befaringsobservasjoner

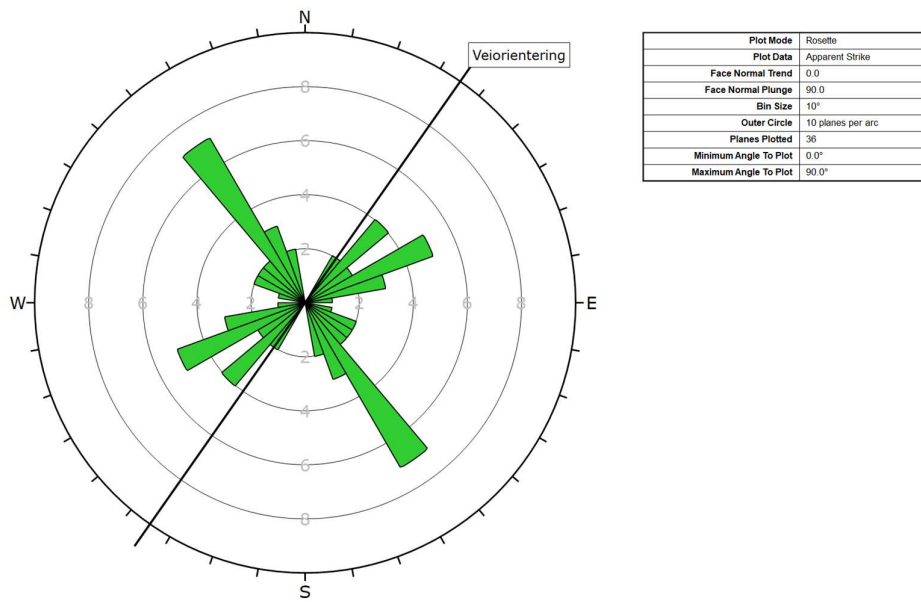
Befaringslokalitet S008 er lokalisert ved Frivolltunnelens nordlige påhuggsområde. Befaringsdata og sprekkesettregistreringer er vist i henholdsvis Tabell 6-3 og Tabell 6-4. Sprekkerose for lokaliteten kan sees i Figur 6-2. Figur 6-3 og Figur 6-4 viser bilder fra befaringslokaliteten.

Tabell 6-3: Generell geologisk beskrivelse for befaringslokalitet S008.

Egenskap	S008
Bergbeskrivelse	Krystallin bergart, avrundet/forvitret overflate
Bergart	Granitt
Isotropi	Isotrop
UCS	Veldig sterk (100-250MPa)
RQD	90-100
Antall sprekkesett	2+
J_r	1,5 Ru, ujevn, plan
J_a	1 a)
Forvitningsgrad	Svakt forvitret
Bergvann	Tørt
Overvann	Tørt
Blokkstørrelse	>2000mm
Blotningsstørrelse	L= 50 m. B= 10 m. H= 5 m.
Eksisterende bergsikring	Ingen; naturlig blotning

Tabell 6-4: Sprekkesettregistreringer fra befaringslokalitet S008.

	S1	S2
Orientering (fall/fallretning)	60/230	75/160
Sprekkeutstrekning	1-3 m	1-5 m
Sprekkeavstand	200 - 600 mm. Middels.	600 - 2000 mm. Stor.
Sprekkeåpning	<0,1 mm. Veldig tett	<0,1 mm. Veldig tett
Sprekkefyll	-	-
Sprekkeruhet mm	Ru	Ru
Sprekkeruhet cm	Plan	Plan
Sprekkeruhet m	Rett	Rett



Figur 6-2: Sprekkerose for befaringslokalitet S008.

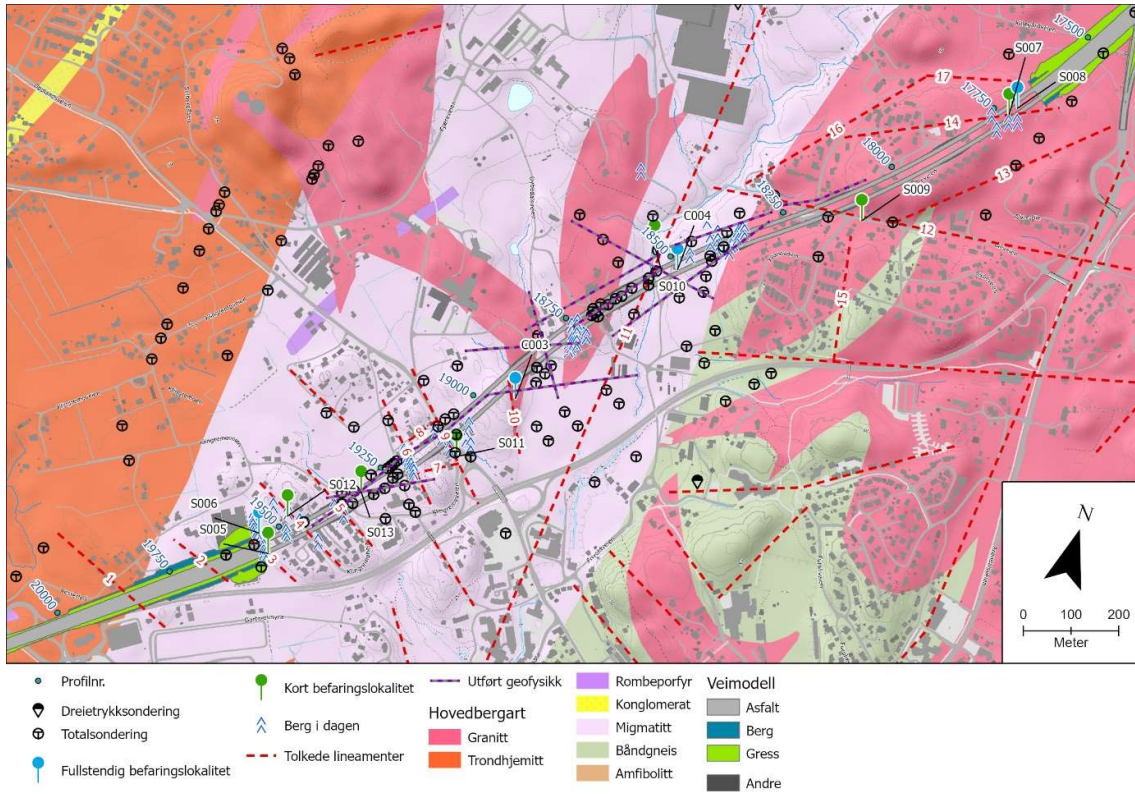


Figur 6-3: Befaringslokalitet S008. Avrundede koller av granitt. Bilde tatt mot nord.



Figur 6-4: Befaringslokalitet S008. Bilde tatt mot vest. Lineament 14 går i kløft til venstre (sør).

6.1.2 Tunneltraséen



Figur 6-5: Oversiktskart over Frivolltunnelen.

Geometri

Frivolltunnelen planlegges med to løp med tunnelprofil T10,5 til T13,5 pga. siktutvidelse. Ved nisjer økes tverrsnittet til ca. T15. Tunnelen skal bli 1897 m lang, se Tabell 6-5. En oversikt over veigeometrien og annen informasjon kan sees i Figur 6-5. Bergoverdekningen varierer mellom ca. 7 og 60 m. Den forventes lavest i forbindelse med kryssing under tolkede lineamenter. Minste bergoverdekning forventes ved ca. profilnr. 19350 i forbindelse med kryssing under forsenkning mellom tolkede lineament nr. 5 og 6. Avstanden mellom løpene er ca. 10 m. Tunnelen planlegges med 4,5 % stigning/senk.

Tabell 6-5: Oversikt over geometrien til Frivolltunnelen.

	Fra profil	Til profil	Lengde [m]
Sørgående løp	17653	19550	1897
Nordgående løp	17653	19550	1897

Berggrunn og løsmasser

Ifølge NGUs berggrunnskart skal bergmassen bestå av granitt og migmatitt langs tunneltraséen. Begge disse bergartene er observert i felt. Løsmassedekket er tynt på koller og åser og tykkere i forsenkninger mellom disse. Grunnboringer langs tunnellopene indikerer løsmassetykkelse mellom ca. 0 og 15 m. Flere tolkede lineamenter krysser tunneltraséen med ca. 25 til 80 graders vinkel. Lineament 11 sammenfaller med sone med mulig dypforvitring i NGUs aktsomhetskart for dypforvitring [16], se også kapittel 5.5.

Befaringsobservasjoner

Befaringslokalitet C004 ligger sentralt i Frivolldalen over planlagt trasé, ved tolket lineament nr. 11 (Figur 6-8). C003 ligger litt sør for traséen, vest i Frivolldalen, nær Dybedalsveien, ved tolket lineament nr. 10 (Figur 6-9). Det er ikke observert tydelige tegn på svakhetssoner på befaringslokalitetene. Data og sprekkesettregistreringer for befaringslokalitetene finnes i Tabell 6-6 til Tabell 6-8. Sprekkeroser for C004 og C003 finnes i Figur 6-6 og Figur 6-7. En generell merknad fra området over Frivolltunnelen er at geologien fremstår som mer kompleks enn det som kommer frem fra berggrunnskart, med lokal veksling av bergarter. Flere lineamenter langs traséen er befart for å se etter tegn til svakhetssoner og forsøke å estimere bredder til forsenkninger. Disse resultatene vises i Tabell 6-9.

Tabell 6-6: Generell geologisk beskrivelse for befaringslokaliteter C004 og C003.

Egenskap	C004	C003
Bergbeskrivelse	Foliert bergart med steiltstående foliasjon, vekselvis lyse og mørke mineraler. Granatførende. Foldete pegmatittganger.	Grovkornet magmatisk bergart. Overflate lett forvitret (kan brette av biter med fingrene), ellers er bergarten solid.
Bergart	Migmatitt	Granitt
Isotropi	Anisotrop	Isotrop
UCS	Veldig sterk (100-250MPa)	Veldig sterk (100-250MPa)
RQD	50-75	90-100
Antall sprekkesett	3+	3
J_r	1,5 Ru, ujevn, plan	1,5 Ru, ujevn, plan
J_a	1 a)	1 a)
Forvitringsgrad	Svakt forvitret	Svakt forvitret
Bergvann	Tørt	Tørt
Overvann	Tørt	Tørt
Blokkstørrelse	600-2000mm	>2000mm
Blotningsstørrelse	L= 20m. B= 20m. H= 3m	L= 150m. B= 15m. H= 10m.
Eksisterende bergsikring	Usikret. Naturlig blotning.	Usikret. Naturlig blotning.

Tabell 6-7: Sprekkesettregistreringer fra befaringslokalitet C004.

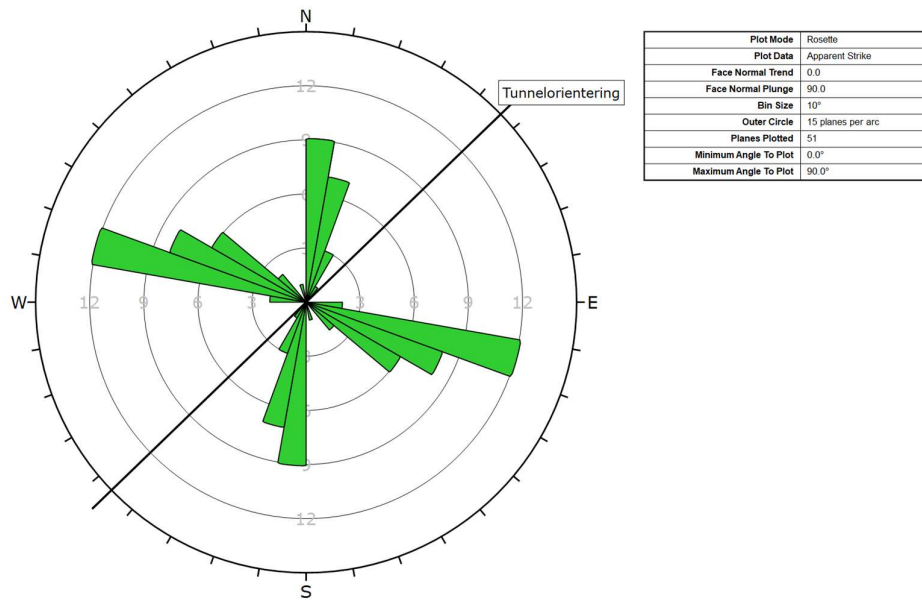
	S1 - foliasjonssprekker	S2	S3
Orientering (fall/fallretning)	85/290	70/200	10/210
Sprekkeutstrekning	0,5-2m	0,5-2m	1-5 m
Sprekkeavstand	200 - 600 mm. Middels.	200 - 600 mm. Middels.	60 - 200 mm. Tett
Sprekkeåpning	<0,1 mm. Veldig tett	<0,1 mm. Veldig tett	<0,1 mm. Veldig tett
Sprekkefyll	-	-	-
Sprekkeruhet mm	Ru	Ru	Ru
Sprekkeruhet cm	Plan	Undulerende	Plan
Sprekkeruhet m	Rett	Rett	Rett

Tabell 6-8: Sprekkesettregistreringer fra befaringslokalitet C003.

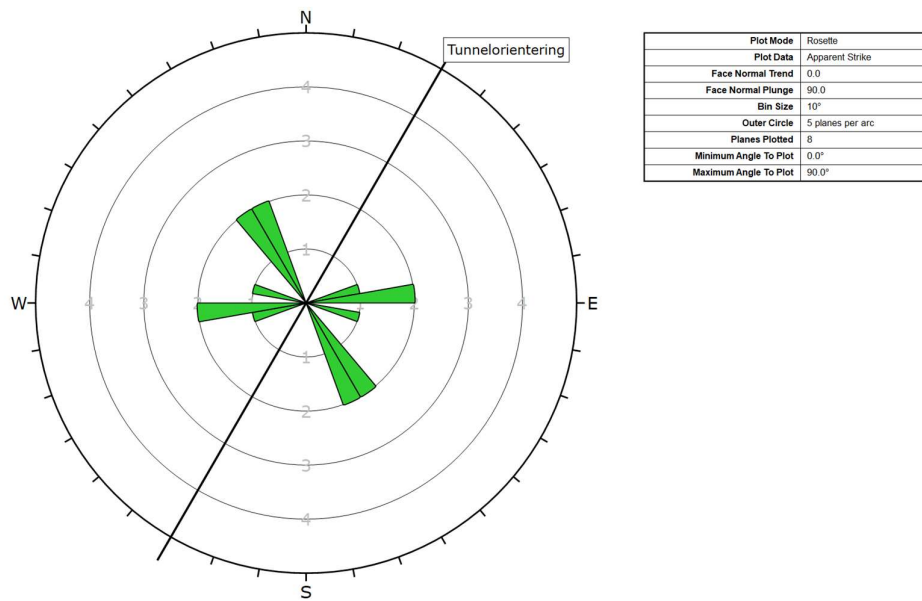
	S1	S2	S3
Orientering (fall/fallretning)	85/055	23/350	70/185
Sprekkeutstrekning	Gjennomgående	0,5-2 m	1-5 m
Sprekkeavstand	-	200 - 600 mm. Middels.	600 - 2000 mm. Stor.
Sprekkeåpning	-	<0,1 mm. Veldig tett	<0,1 mm. Veldig tett
Sprekkefyll	-	-	-
Sprekkeruhet mm	Ru	Ru	Ru
Sprekkeruhet cm	Plan	Plan	Plan
Sprekkeruhet m	Rett	Rett	Rett
Kommentar	Parallell med blotning og tolket lineament 10	-	-

Tabell 6-9: Oversikt over anslåtte bredder til utvalgte, befarte lineamenter langs strekningen til Frivolltunnelen.

Lineamentnr.:	Tolket bredde fra dagen [m]	Orientering	Kommentar
4	15	NV-SØ	
5 og 6	180	NV-SØ	Tolket maksimumsbredde mellom lineament 5 og 6 på hver sin side av forsøkningslinjen.
9	40	NV-SØ	
11	100-150	NNØ-SSV	
12	25	ØNØ-VSV	
14	15-25	NØ-SV	



Figur 6-6: Sprekkerose for befaringslokalitet C004.



Figur 6-7: Sprekkerose for befaringslokalitet C003.

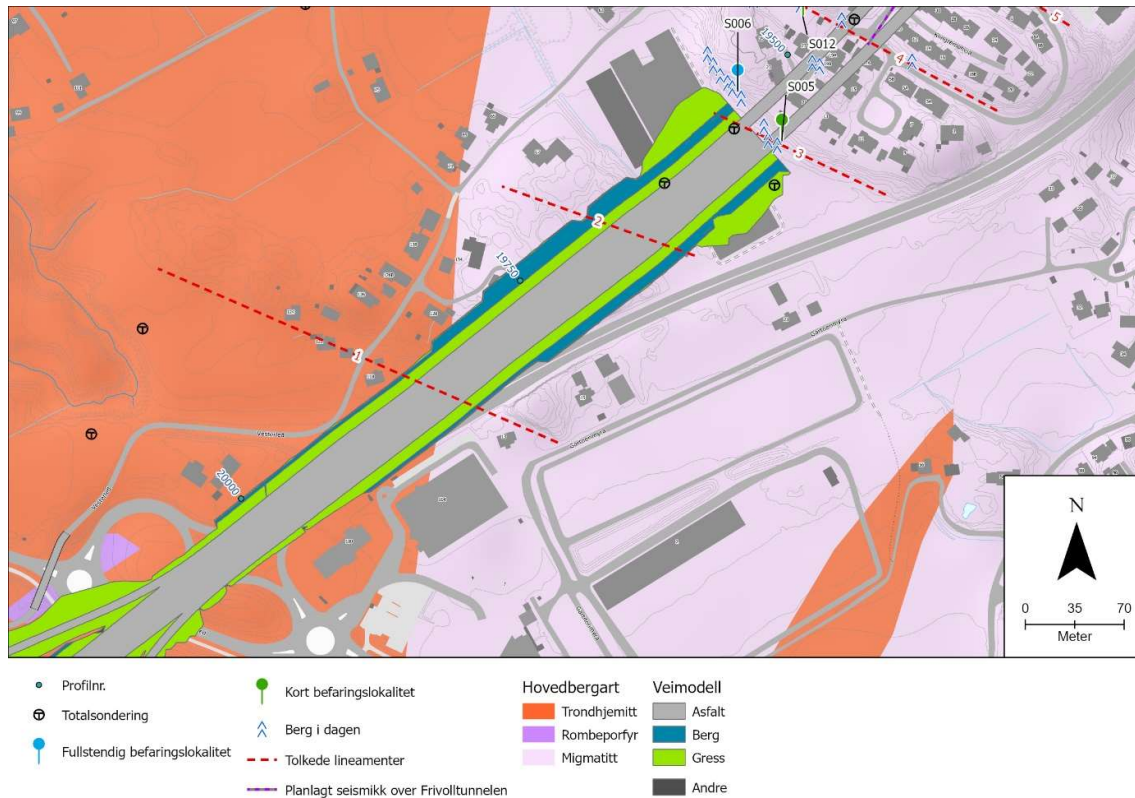


Figur 6-8: Befaringslokalitet C004 sentralt i Frivolldalen. Granatførende migmatitt med foldede pegmatittganger. Bilde tatt mot nord.



Figur 6-9: Befaringslokalitet C003 vest i Frivolldalen ved Dybedalsveien. Bratt, rett klippe i grovkornet granitt. Bilde tatt mot øst.

6.1.3 Påhugg og forskjæring sør



Figur 6-10: Oversiktskart over søndre påhuggsområde til Frivolltunnelen.

Geometri

Nøyaktig plassering av påhugg er ikke detaljprosjektert, men er vurdert plassert med tilstrekkelig nøyaktighet for forprosjektet. Geometrien til forskjæringen sør for Frivolltunnelen er beskrevet i Tabell 6-10. En oversikt over veigeometrien og annen informasjon ved forskjæringen kan sees i Figur 6-10. Påhugget til tunneløpene er lokalisert ved profilnr. 19550. Påhuggsflaten vil være på ca. 1000 m² og med en snitthøyde på ca. 20 m. Overdekningen er forventet ca. 12 m.

Tabell 6-10: Oversikt over geometrien til forskjæringen sør for Frivolltunnelen.

	Fra profil	Til profil	Lengde [m]	Høyde [m]	Areal [m ²]
Forskjæring øst	19550	19920	370	20	3300
Forskjæring vest	19550	20020	470	25	4900

Berggrunn og løsmasser

Ifølge NGUs berggrunnskart [10] skal bergmassen bestå av migmatitt i forskjæringen og påhugget. På befaringslokalitet S006 er bergarten tolket som

migmatitt, men andre bergarter er også observert i området (Tabell 6-11). Løsmassedekket er tynt i skråningen ved lokalitet S005 og S006. Grunnboringer sør for skråningen indikerer løsmassemekktigheter mellom ca. 2 og 13 m. Det er stigende terreng over påhugget mot nordøst. Videre går det et tolket lineament langs åsen der påhugget skal etableres, som krysser veibanen med ca. 65 grader.

Befaringsobservasjoner

Befaringslokalitet S005 og S006 ligger ved Frivolltunnelens sørlige påhuggsområde. S005 ligger 40 m sørøst for S006 langs samme skrent på Klingremoheias sørvestside. Data og sprekksettregistreringer er vist i Tabell 6-11 til Tabell 6-13. Sprekkeroser for S005 og S006 sees i Figur 6-11 og Figur 6-12. Geologien i påhuggsområdet er betydelig mer kompleks enn angitt i NGUs berggrunnskart [10], med lokale variasjoner i bergarter med tilhørende bergartsgrenser, foliasjon og oppsprekking. Figur 6-13 til Figur 6-15 gir et inntrykk av geologien i påhuggsområdet. I skråningen til Klingremoheia ved befaringslokalitet S005 er det observert en steinfylling med blokkstørrelse anslått ca. 0,5-1,5 m.

Tabell 6-11: Generell geologisk beskrivelse for befaringslokaliteter S006 og S005.

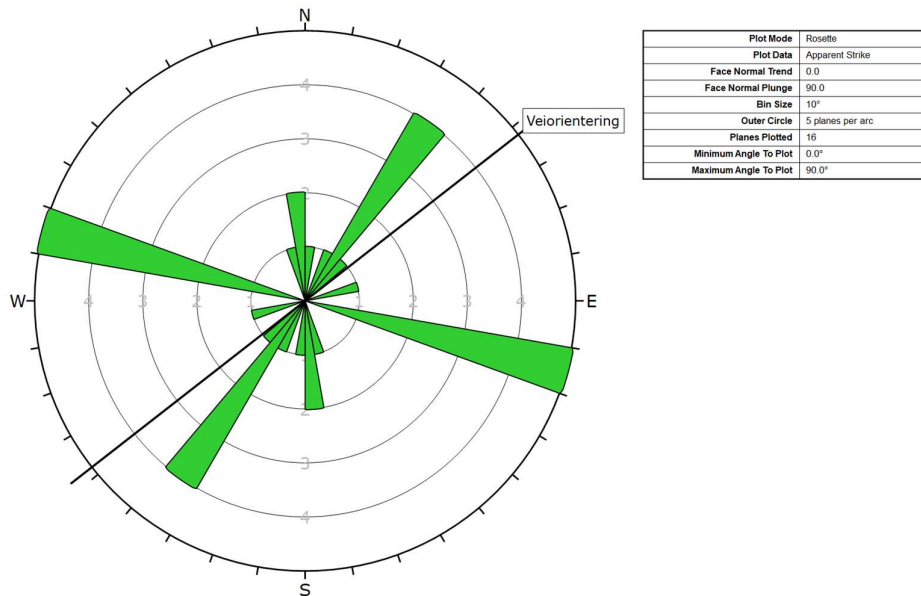
Egenskap	S006	S005
Bergbeskrivelse	Metamorf, foliert bergart med bølgete foliasjon. Mot NV finnes grense mot granittisk pegmatitt med kontakt 80/305. Foliasjonen i migmatitten er slept langs bergartskontakten. Pegmatitt utgjør resten av skrent mot NV. Flere sprekker enn bare ett sett er observert, men orientering er inkonsistent over noen få meters avstand.	Metamorf, foliert bergart med ganger som kutter foliasjon
Bergart	Migmatitt	Amfibolitt/metagabbro
Isotropi	Anisotrop	Anisotrop
UCS	Veldig sterk (100-250MPa)	-
RQD	75-90	-
Antall sprekkese	1+	1+
J_r	1,5 Ru, ujevn, plan	-
J_a	1 a)	-
Forvittringsgrad	Svakt forvitret	-
Bergvann	Tørt	Tørt
Overvann	Tørt	Tørt
Blokkstørrelse	600-2000mm	-
Blotningsstørrelse	L= 20m. B= 3m. H= 4m.	-
Eksisterende bergsikring	Usikret. Naturlig blotning.	Usikret. Naturlig blotning.

Tabell 6-12: Sprekkesettregistreringer fra befaringslokalitet S006.

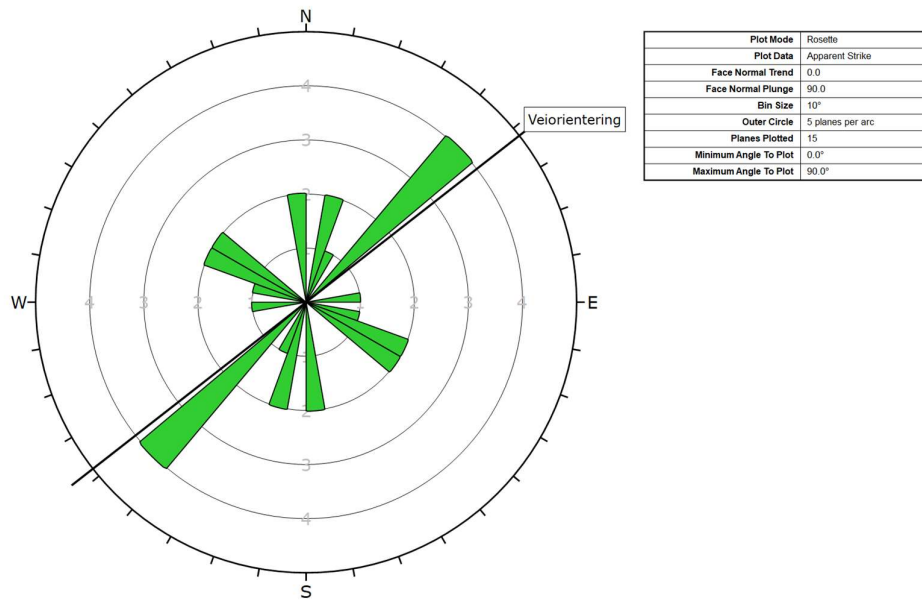
	S1 - foliasjonssprekker
Orientering (fall/fallretning)	75/125
Sprekkeutstrekning	1-3 m
Sprekkeavstand	200 - 600 mm. Middels.
Sprekkeåpning	<0,1 mm. Veldig tett
Sprekkefyll	-
Sprekkeruhet mm	Ru
Sprekkeruhet cm	Plan
Sprekkeruhet m	Bølget

Tabell 6-13: Sprekkesettregistreringer fra befaringslokalitet S005.

	S1 - foliasjonssprekker
Orientering (fall/fallretning)	50/085



Figur 6-11: Sprekkerose for befaringslokalitet S005.



Figur 6-12: Sprekkerose for befaringslokalitet S006.



Figur 6-13: Befaringslokalitet S006. Migmatitt med deformert pegmatittgang (grenser mot migmatitt i grønn strek). Bilde tatt mot nord.



Figur 6-14: Befaringslokalitet S006 detaljbilde. Slepning i migmatittisk foliasjon (gule streker) mot pegmatitt som utgjør nordvestre del av blotning. Stiplet grønn linje viser bergartsgrensen, som stryker mot planlagt trasé. Bilde tatt mot nord.



Figur 6-15: Befaringslokalitet S005. Person står på kvartsrik gang i amfibolitt/metagabbro. Bilde tatt mot nord.

7 Resultater fra øvrige grunnundersøkelser

7.1 Geofysiske undersøkelser

Det er samlet inn data med refraksjonsseismikk over Frivolltunnelen, se Figur 9-3 og Figur 9-4. Totalt er det utført refraksjonsseismikk langs 8 linjer over Frivolltunnelen. Disse har ID 22IR0X, hvor X er et løpenummer som løper fra 1 til 8. Linjen 22IR05 er delt opp i tre deler og hver del er identifisert med _1&2, _3&4 og _5&6 etter 22IR05.

Fra de geofysiske dataene er det tolket svakhetssoner og topp av berg. Tolkningen av topp av berg mates inn som grunnlag i bergmodellen til prosjektet. Det er identifisert flere svakhetssoner og områder med dårligere bergkvalitet i de geofysiske dataene. Samtlige tolkede lineamenter som er krysset med refraksjonsseismiske linjer kan gjenkjennes i dataene. Det er også identifisert mulige nye svakhetssoner og/eller mulige skadesoner rundt mulige større forkastninger. Seismiske hastigheter er tolket ned mot 2100-3500 m/s i tolkede svakhetssoner. Ellers er seismisk hastighet i bergmassen generelt over 5000 m/s og opp mot 5500 m/s.

De geofysiske dataene er tolket vha. lagbasert tolkning, tomografi, tolkede lineamenter og nærliggende grunnboringer. Tolkede svakhetssoner fra geofysiske data har generelt middels til lav sikkerhet. Denne sikkerheten er vurdert ut fra hvor tydelig en sone vises i tolkningsmetodene som er benyttet. Det henvises til vedlegg 3-6 for geofysisk notat, kart og profiler. Tolkning av de geofysiske dataene opp mot tolkede lineamenter beskrives i kapittel 9.2.2 i denne rapporten.

7.2 Grunnboringer

Det er utført flere grunnboringer i forbindelse med dette forprosjektet. Resultatene fra boringene over Frivolltunnelen er vist i tegning V049-V051 i geoteknisk datarapport [19]. Se ellers kap. 4.5.2.

DEL 2: TOLKNINGSDEL

Foreløpige

8 Bergmassens kvalitet og stabilitet

8.1 Bergmasseklasser, sikringsklasser og sikringsestimater

Q-verdi beregnes ut fra følgende formel:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

De seks parameterne i formelen er beskrevet i Tabell 8-1, for ytterligere informasjon om parameterne henvises det til håndbok for Q-systemet [35]. Ved befaring i felt kan ikke J_w eller SRF bestemmes. Da kan Q'-verdi beregnes basert på RQD, J_n , J_r og J_a .

Tabell 8-1: Parametere for Q-verdi.

Parameter	Beskrivelse
RQD	Tall for oppsprekking av bergmasse
J_n	Tall for antall sprekesett
J_r	Tall for sprekkeruhet
J_a	Tall for sprekkeomvandling
J_w	Tall for sprekkevannstrykk
SRF	Spenningsreduksjonsfaktor

Videre angir håndbok N500 [3] hvilke bergmasseklasser og sikringsklasser som defineres for ulike intervaller av Q-verdi, samt hvordan de ulike sikringsklassene skal sikres.

Basert på utført kartlegging, geofysiske og geotekniske undersøkelser, vurdering av overdekning, bergmassekvalitet, svakhetssoner og grovt estimat av bergspenninger, er det laget en vurdering av Q-verdi og tilhørende bergmasse- og sikringsklasse for tunnelen. Vurderingen av Q-verdi er basert på tilgjengelig data, og er beheftet med usikkerhet, da klassifisering etter Q-metoden egner seg best for kartlegging under tunneldriving, men den kan også anvendes ute i felt [35]. Det henvises til kapittel 9.2.3 og 9.2.5 for oversikt over anslåtte Q-verdier, bergmasseklasser og sikringsestimater. Det endelige sikringsomfanget fastsettes etter kartlegging på stoff under driving av tunnelen.

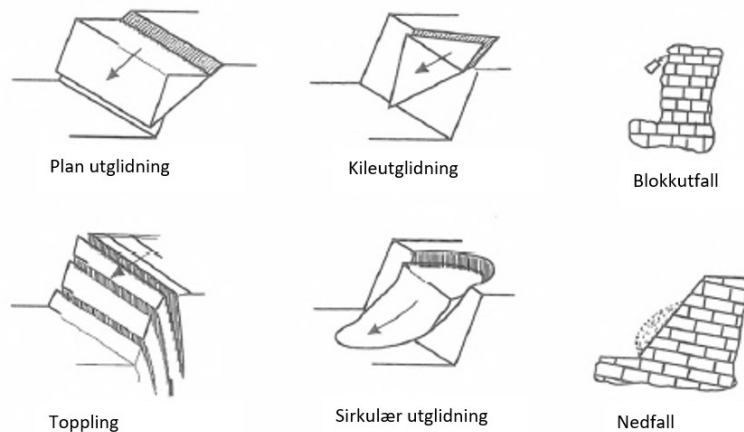
8.2 Mekanismer for utfall og ustabilitet

Det finnes ulike mekanismer som kan gi utfall fra forskjæringer og i tunneler. Utfall er avhengig av bergartenes oppsprekking, sprekkeorienteringer, svakhetssoner og eventuelt leire/svelleleire i sprekken. Orientering til tunnelakse og forskjæringer har også stor betydning for utfall fordi de påvirker

hvordan sprekkesettene kutter disse konstruksjonene. Bergspenninger og vannforhold kan også være medvirkende årsaker til utfall.

Det er i Figur 8-1 gitt en illustrasjon av de vanligste mekanismene for utfall fra bergvegger. De vanligste løsnemekanismene er plan utglidning, kileutglidning, toppling og blokkutfall. For plan utglidning kan man skille mellom ubegrenset plan utglidning og plan utglidning med sideavgrensning, som normalt settes til 20 grader. Dette er fordi plan utglidning er mer sannsynlig når sprekkeplans fallretning er tilnærmet normal på veilinja. Sirkulær utglidning forekommer oftest i svake bergarter eller løsmasser, og er ikke vanlig i bergskjæringer og tunneler. Nedfall er vanligvis forårsaket av overflateprosesser slik som forvitring og erosjon. Hyppige nedfall kan være indikasjon på større utglidninger [36].

I tunnel vil det også være mulighet for nedfall av kiler og blokker fra tak, ikke bare tunnelvegger. Dette er særlig kritisk når man har langsgående, gjennomsettende, steile sprekker i hengen, samt ved lav innspenning. Svakhetssoner gir normalt de største stabilitetsproblemene i tunneler.



Figur 8-1: Ulike mekanismer for utfall i berg [36] (figuren er oversatt til norsk).

8.3 Tolkning av løsnemekanismer

For å vurdere stabilitet i de ulike forskjæringene langs E18 Arendal-Grimstad, er det utført kinematiske analyser basert på felldata fra nærliggende

befaringslokaliteter. Aktuelle felldata for de ulike forskjæringene er presentert i kapittel 6.1.1 og 6.1.3.

For hver befaringslokalitet hvor det er gjort målinger av sprekkeplan er disse sprekkemålingene brukt til å utføre kinematiske analyser med dataprogrammet DIPS 8.0. Detaljerte resultater fra de kinematiske analysene er gitt i vedlegg 2. En kort sammenfatning av disse, med mer, gis i kapittel 9.1 og 9.3. I disse kapitlene presenteres det blant annet tabeller med vurdering av løsnemekanismer. En forklaring av de ulike løsnemekanismene gis i kapittel 8.2. DIPS gir resultater for plan utglidning (planar sliding), ubegrenset plan utglidning (planar sliding (no limits)), kileutglidning (wedge sliding), toppling (flexural toppling) og blokkutfall (direct toppling). Det brukes norske begreper i denne rapporten, mens resultatene i vedlegg 2 står på engelsk.

For løsnemekanismene er det vurdert en grad av fremtreden i henhold til andel av målte sprekker i sprekkesett som det indikeres at kan gi en løsnemekanisme i de kinematiske analysene. 1 til 15 % beskrives som lite fremtredende, fra 15 til 40 % beskrives som middels fremtredende og fra 40 til 100 % beskrives som sterkt fremtredende. Det er i tillegg gjort en vurdering av stabiliteten mht. feltresultater og visuelle observasjoner i stereoplott.

De kinematiske analysene er utført med representative forskjæringsorienteringer og med forskjæringshelning på 84° (10:1). Det er benyttet en friksjonsvinkel på 30° og sideavgrensning på 20° . For plan utglidning er det oppgitt mulighet for både begrenset (20° sideavgrensning) og ubegrenset plan utglidning. Ubegrenset utglidning er tatt med for å synliggjøre om plan utglidning kan bli aktuelt om forhold som sprekke- eller forskjæringsorientering endrer seg betydelig langs skjæringen.

Sprekkesett som vises i polplott, og som er brukt i de kinematiske analysene, er definert mht. feltobservasjoner. Eventuelle samlinger i plott som i felt ikke er vurdert som sprekkesett, er heller ikke blitt definert som sprekkesett i polplott. Der det er vurdert som aktuelt, er stabilitet også vurdert opp mot udefinerte samlinger, i tillegg til eventuelle sprekkesett.

Ettersom det er usikkerhet i representativiteten til felldataene både lokalt og mot dypet er det naturligvis også usikkerhet i analyseresultatene og deres representativitet for forskjæringene og stabilitetsutfordringene de belyser. Der en forskjæring går langs en kurve vil det være tatt ut en omtrentlig

forskjæringsorientering til den kinematiske analysen. Dette har også betydning for hvor representative analyseresultatene er. Analyseresultatene ansees å være indikasjoner for hva slags stabilitetsutfordringer som kan oppstå i forskjæringene, men er ingen fasit. Det kan ikke utelukkes hverken flere eller færre fremtredende løsnemekanismer i de enkelte forskjæringene.

De kinematiske analysene som er utført i denne rapporten danner, sammen med feltresultatene, grunnlaget for vurdering av sikringsbehov for hver forskjæring og sikringsestimat.

Dette er ikke en endelig vurdering av skjæringenes total- eller detaljstabilitet. Endelig vurdering av detalj- og totalstabilitet må gjøres etter at berget er avdekket og forskjæringene er etablert. Analysene i denne rapporten kan brukes til en innledende vurdering av hvilke forskjæringer som kan være krevende å utforme og sikre. I forbindelse med evt. kinematiske analyser i videre faser av prosjektet bør for eksempel friksjonsvinkel vurderes for hver enkelt forskjæring. Dette gjelder spesielt der det er registrert lave J_r - og/eller høye J_a -verdier med Q-systemet på befaringslokaliteter.

9 Tolkning for Frivolltunnelen

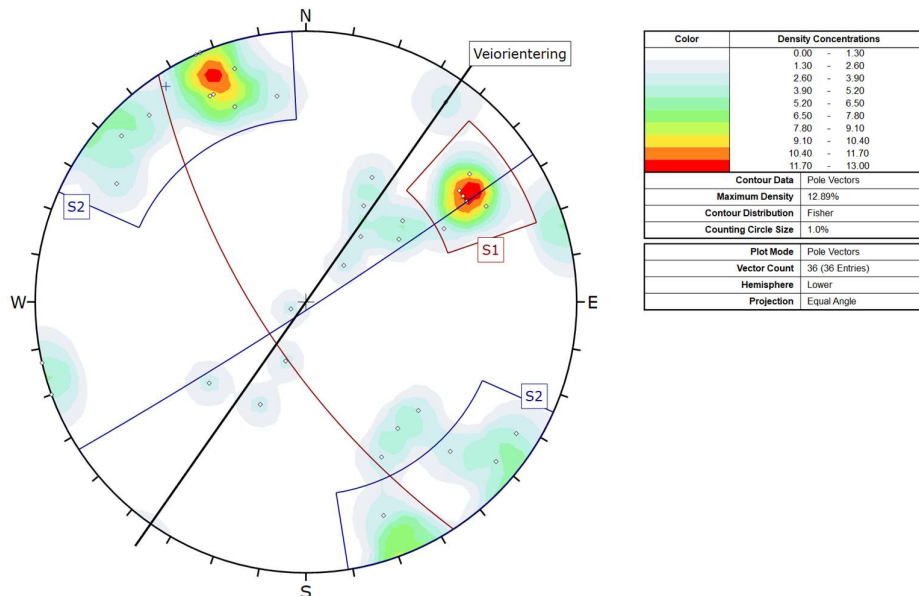
9.1 Påhugg og forskjæring nord – lokalitet S008

9.1.1 Tolkning av sprekkesett og stabilitet

For Frivolltunnelens nordlige påhugg er det utført kinematisk analyse basert på data fra befaringslokalitet S008. Sprekkemålingene fra S008 er vist i Figur 9-1 og en oppsummering av de mest fremtredende løsnemekanismene i den kinematiske analysen kan sees i Tabell 9-1.

Den kinematiske analysen indikerer at sprekkesett 1 kan gi plan utglidning i begge forskjæringsvegger. Sprekkesett 1 kan også danne kiler med sprekkesett 2 i begge forskjæringsveggene. Videre kan sprekkesett 1 gi toppling i påhuggsflaten og sprekkesett 2 kan gi toppling i begge forskjæringsveggene. Det er også mulighet for blokkutfall i begge forskjæringsveggene.

Stor sprekkavstand for sprekkesett 2 og moderat fall for begge sprekkesettene på befaringslokaliteten gir mulighet for stort blokkvolum. Det kan være hensiktsmessig å legge forskjæringen langs sprekkesett 2 for å redusere mengden nødvendig bergsikring.



Figur 9-1: Polplott med sprekkeavstander og tolkede sprekkesett fra lokalitet S008.

Tabell 9-1: Fremtredende løsnemekanismer fra kinematisk analyse av sprekker fra lokalitet S008.

Side	Plan utglidning	Ubegrenset plan utglidning	Kileutglidning	Toppling	Blokkutfall
Påhuggsflate				Middels S1	
Vestre forskjæringsvegg	Lite S2	Middels S2	Lite S1 og S2	Middels S2	Lite S2 + S1 og S2
Østre forskjæringsvegg	Lite S2	Sterkt S1 S2	Middels S1 og S2	Middels S2	Lite S2 + S1 og S2
Blank celle = løsnemekanisme indikeres ikke Lite = lite fremtredende; 1-15.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Middels = middels fremtredende; 15.1-40.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Sterkt = Sterkt fremtredende; 40.1-100 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme S = sprekkesett (for blokkutfall oppgis baseplan-sprekkesett + to sprekkesett som skjærer hverandre)					

9.1.2 Sikringsbehov

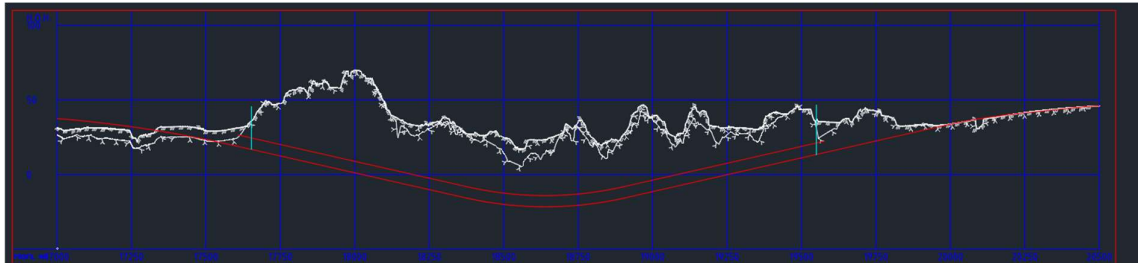
En tolket svakhetssone krysser forskjæringen ved påhugget med ca. 25 graders vinkel. Det kan forventes økt sikringsbehov hvis svakhetssonen påtreffes. Det er flere mindre vassdrag som krysser forskjæringen. Disse kan gi utfordringer med vann og is i forskjæringen og kan gi behov for vann- og frostsikring. Pga. stigende terreng over påhugget kan forskjæringshøyden og høyden til påhuggsflaten bli høyere enn anslått i kapittel 6.1.1 avhengig av utformingen og plasseringen av påhugget.

Det forventes at nordre forskjæring til Frivolltunnelen generelt kan sikres med delvis systematisk og delvis spredt bolting. Påhuggsflaten kan generelt sikres med systematisk bolting. Andre aktuelle sikringstiltak kan være f.eks. steinsprangnett, sprøytebetong, forbolter og stag.

9.2 Frivolltunneltraséen

9.2.1 Bergoverdekning og bergspenninger

Bergoverdekningen er ca. 10 m ved påhuggene. Største bergoverdekning langs tunnelen oppnås under Bieheia. Her skal bergoverdekningen komme opp i ca. 60 m på det høyeste. Ellers forventes overdekningen å variere mellom ca. 20 og 50 m. Laveste overdekning oppnås under lineament nr. 5 ved Frivoll Skole i et ca. 30 m langt strekke. Her er overdekningen ned mot 6 m på det laveste. Lengdeprofil over tunnelen sees i Figur 9-2. Det utelukkes ikke at det lokalt er lavere bergoverdekning.



Figur 9-2: Lengdeprofil av Frivolltunnelen med 5 ganger vertikaloverdrivelse. Sørvest er til høyre. Rødt er tunneltrasé, der den nederste linjen er topp vei og den øverste er antatt topp av sprengningsprofil for T10,5, 7,5 meter over veibanen. Lyseblått indikerer påhugg.

Det er ikke utført bergspenningsmålinger i forbindelse med prosjektet. Det antas et rent gravitativt spenningsbilde. Det forventes ikke store problemer knyttet til høye bergspenninger. Det kan bli problemer med lite innspenning i områdene der tunnelen drives med liten overdekning [6]. Generelt forventes det lave bergspenninger langs tunnelen.

9.2.2 Svakhetssoner

En tolkning av svakhetssoner har blitt gjort på grunnlag av topografiske kart, digital terrengmodell (DTM), samt utført geofysikk (vedlegg 3-6). Lineamentene som krysser planlagt tunneltrasé er beskrevet i påfølgende underkapitler. Nummereringen av lineamentene vises i Figur 5-4. Alle lineamentene som krysser traséen er undersøkt nærmere med geofysikk og/eller grunnboringer.

I de geofysiske dataene indikeres svakhetssoner med seismiske hastigheter ned mot 2000 m/s. Dette tolkes som soner med svært oppsprukket berg med mulighet for luftfylte sprekker. Basert på løsmassemekting over berg forventes slike sprekker å være fylt med leire/finstoff eller vann. Det bemerkes at hastigheter tolket fra tomografisk inversjon har stor usikkerhet.

DTM skyggerelieffkart med tolkede lineamenter er vist i Figur 5-4. Se også Figur 5-6 for oversikt over aktsomhetskart for dypforvitring langs traséen.

Lineament 14 – Bieheia nordøst

Lineament 14 stryker nordøst-sørvest og krysser traséen med ca. 25 grader sør for Frivolltunnelens nordlige påhugg ved ca. profilnr. 17750. Lineamentet følger en ca. 15-25 m bred forsenkning hvor det renner en bekk. Langs ytterkantene av forsenkningen sees avrundede, granittblokker som antas å være reststeiner ("core stones"). Dette kan indikere en forvitret svakhetszone langs lineamentet. Opptreden av sterkt forvitret granitt og svelleleire i sonen kan forekomme. Dette

lineamentet er ikke undersøkt med geofysikk, men med totalsondering. En dypforvittringssone som krysser traséen vil ha konsekvenser for driving og sikring av tunnelen, derfor anbefales det å undersøke forholdene her nærmere.

Bieheia

Ca. 70 m nord for tolket lineament 12 er det tolket en svakhetszone basert på tomografisk inversjon av refraksjonsseismiske data langs linje 22IR05_1&2, se Figur 9-3. De seismiske hastighetene som kommer frem av den lagbaserte tolkningen er 5300 m/s. Det er ikke tolket noe lineament her og tolkningen fra geofysiske data vurderes å ha lav sikkerhet. Sonen vil trolig krysse veibanen mellom profilnr. 18060 og 18080 gitt vertikalt forløp mot dypet.

Lineament 12 – Bieheia sørvest

Lineament 12 er tolket langs en løsmassefylt forsenkning orientert omtrent øst-vest langs Bieveien i Bieheia. Det skal krysse traséen ved ca. profilnr. 18160 med ca. 30 grader. Anslått bredde på lineamentet er ca. 25 meter i felt. Deler av lineamentet gir utslag på NGUs aktsomhetskart for dypforvitring [16]. Det forventes at det opptrer en svakhetszone her, med sjanse for å påtreffes både forvitret berg og svelleleire.

I den tomografiske inversjonen av linje 22IR05_1&2 kan lineament 12 sees som et område med meget lave hastigheter, tilsynelatende uten samsvar mellom tolket topp berg og hastighetsfeltet i de inverterte dataene. Dette gjør dataene vanskelig å tolke, noe som mistenkes å skyldes topografiske effekter under datainnsamling. Sonens synes ikke i den lagbaserte tolkningen. Det tolkes likevel en svakhetszone i de geofysiske dataene her, se Figur 9-3. Det er også tolket en svakhetszone like sør for lineament 12 i starten av linjen 22IR05_3&4. Sonen er indikert som et område med lavere hastighet i den tomografiske inversjonen, mens hastighetene fra lagbasert tolkning er høye (5200 m/s). Sonen kan indikere den sørlige utstrekningen av svakhetssonen langs lineament 12. Dette gir den mulige svakhetssonen som følger lineament 12 en anslått mektighet på omtrent 50 m, som er vesentlig større enn det som ble anslått i felt.

Videre er det tolket en liten svakhetszone fra tomografi rett nord for lineament 12, med lav sikkerhet. Sammen med den indikerte mulige utbredelsen til lineament 12 forventes det følgelig dårligere bergmassekvalitet mellom ca. profilnr. 18100 og 18280 gitt vertikalt forløp av sonene mot dypet.

Det anbefales å undersøke lineament 12 nærmere med ytterligere geofysiske undersøkelser i form av refraksjonsseismikk og eventuelt også

resistivitetmålinger. Nye geofysikklinjer bør ligge mer vinkelrett på lineament 12. Videre kan kjerneboring vurderes. Bergoverdekningen til tunnelen forventes å være minimum 25 m i dette området.

Lineament 11 - Frivolldalen

Lineament 11 krysser traséen til Frivolltunnelen i Frivolldalen ved ca. profilnr. 18550 med ca. 40 grader. Lineamentet følger Frivolldalen og topografiske forsenkninger flere kilometer nord og sør for traséen. Frivolldalen er fylt av løsmasser og kan beskrives som et platå- og ravinelandskap. Løsmasseykkelsen indikert av grunnboringer og feltobservasjoner varierer, men er registrert opp til ca. 27 m langs lineamentet. Over tunneltraséen forventes imidlertid ikke løsmasseykkelser større enn ca. 15 m langs lineamentet. Ved befaringslokalitet S010 er bredden på lineamentet anslått til ca. 100-150 m. Frivolldalen korresponderer godt med aktsomhetskartet for dypforvitring, der kartet peker på "mulig dypforvitringssone" langs lineamentet [16]. Dette, sammen med stor tolket bredde og lengde av lineamentet, gjør at det forventes at det opptrer en svakhetssone av større mektighet her. Svakhetssonen kan inneholde både sterkt forvitret berg og svelleleire.

Denne svakhetssonen indikeres i flere geofysikklinjer fra de refraksjonsseismiske undersøkelsene. Det er tolket svakhetssoner i dette området fra de geofysiske dataene langs linje 22IR01, 22IR5_3&4, 22IR05_5&6, 22IR06, 22IR07 og 22IR08, se Figur 9-3 og Figur 9-4. Fire tolkede soner langs disse linjene sammenfaller med plassering av tolket lineament 11. De fleste av disse er tolket fra tomografi, mens i linje 22IR07 er hastigheten i sonen tolket omtrent 2400 m/s i den lagbaserte tolkningen.

Det er også tolket soner ut til hver side av lineament 11. Disse vurderes som selvstendige svakhetssoner. Flere av disse sonene er tolket med lav sikkerhet og flere av tolkningene baseres på hastighetsvariasjoner i den tomografiske inversjonen. Den lagbaserte tolkningen av de fleste linjene som krysser lineament 11 gir høye seismiske hastigheter, mens den tomografiske inversjonen viser en forsenkning i tolket topp berg, noen steder med underliggende lavere seismiske hastigheter enn omkringliggende berg. Der svakhetssoner er tolket fra lagbasert tolkning indikeres seismiske hastigheter rundt 3200 m/s.

Tolkning av geofysikken indikerer at lineament 11 kan ha en mektighet på rundt 30-40 m. Med sonene på hver side av lineament 11 anslås det at dårligere berg kan påtreffes i et område som er opp mot 200 meter bredt og parallelt med

For å forstå kompleksiteten i geologien her anbefales det å utføre ytterligere grunnundersøkelser. Det bør vurderes resistivitetmålinger for å få bedre kontroll på helningen til soner, men det er usikkerhet tilknyttet til nøyaktigheten til resultater pga. elektrisk støy fra kabler i bakken. Etter utførte resistivitetmålinger bør det vurderes kjerneboring. Det forventes en bergoverdekning ned mot ca. 22 m i dette området.

Lineament 10 – Vestre Frivoll

Lineament 10 er tolket langs en bratt øst- til østnordøstvendt skrent og krysser traséen ved profilnummer ca. 18920 med ca. 55 grader. Nordøst for lineamentet er et større løsmasseområde i Frivolldalen, og bredde er derfor vanskelig å anslå i felt. Lineamentet gir ikke utslag i NGUs aktsomhetskart for dypforvitring [16].

Lineament 10 kan indikeres som en svakhetsone i refraksjonsseismikklinjen 22IR01 ca. 30 m nordøst for der lineamentet er tegnet, med en seismisk hastighet på 2100 m/s ifølge den lagbaserte tolkningen, se Figur 9-4. Der lineamentet er tolket i kart er hastigheten også relativt lav (3300 m/s) sammenlignet med hastigheter i god avstand fra tolkede svakhetssoner (4700-5400 m/s). Et bredere område med lavere bergmassekvalitet forventes i forbindelse med lineament 10. Sonen beskrevet her kan korreleres med en eller flere av sonene som er tolket langs linjen 22IR04, men det foreliggende seismiske datasettet gir ikke grunnlag for å bestemme sonens orientering. Langs linje 22IR04 gir den lagbaserte tolkningen seismiske hastigheter mellom ca. 2500 og 3200 m/s i svakhetssonene.

Tolkning av det seismiske datasettet indikerer at svakhetssonen langs lineamentet 10 kan ha en mektighet på rundt 10-20 m. Avhengig av hvilken retning man tolker svakhetssonen kan den påtreffes mellom ca. profilnr. 18870 og 18930 gitt vertikalt forløp mot dypet.

Det vurderes å være høy sannsynlighet for å påtreffe en eller flere svakhetssoner i området fra rundt lineament 10 til like nordvest for Dybedalsveien. Geologien er kompleks, med veksling mellom migmatitt og granitt langs randsonen til Grimstadgranitten (Figur 5-3) [10]. I tillegg er det vanskelig å tolke retning og utbredelse til indikerte svakhetssoner. For å forstå kompleksiteten anbefales det å utføre ytterligere grunnundersøkelser. Det bør vurderes resistivitetmålinger for å få bedre kontroll på helningen til soner, men det er usikkerhet tilknyttet til nøyaktigheten til resultater pga. elektrisk støy fra kabler i bakken. Etter utførte

tolkning og tomografi langs sørvestsiden av denne antatte svakhetssonen. Tolkning av geofysikken indikerer at svakhetssonen kan ha en mektighet på rundt 40 m, men dette er noe usikkert. Sonens forløp mot dypet er også usikkert. Gitt vertikalt forløp mot dypet, forventes det at svakhetssonen kan påtreffes mellom ca. profilnr. 19070 og 19110.

Det anbefales å undersøke lineament 9 nærmere med resistivitetsmålinger og refraksjonsseismiske profiler som krysser veien. Trolig er også kjerneboring aktuelt pga. den svært lave tolkede hastigheten. Det forventes bergoverdekning ned mot ca. 24 m her. Det anbefales videre at planlagte nisjer og tverrforbindelse i dette området flyttes for å gå klar av svakhetssonen.

Lineament 6 – Frivoll Skole

Lineament 6 er tolket langs den sørvestlige skrenten av kollen bak Frivoll Skole. Dette ble opprinnelig tolket som nordøstre grense til en større svakhetszone mellom lineament 5 og 6. Etter geofysiske undersøkelser er det grunnlag for å tolke disse to lineamentene som separate svakhetssoner. Lineament 6 krysser traséen ved ca. profilnr. 19190 med ca. 80 grader. Dette lineamentet indikeres i geofysikklinjen 22IR01 fra de refraksjonsseismiske undersøkelsene, se Figur 9-5. Linje 22IR01 går gjennom Frivoll skole. Fjernskudd er benyttet for å sikre dekning for den lagbaserte tolkningen, men datadekningen tillater ikke tomografisk inversjon under skolen. Den lagbaserte tolkningen indikerer hastigheter mellom 5200 og 5500 m/s under skolen, men tomografien indikerer en mulig svakhetszone under skolen, med brått fall i tolket hastighet. Svakhetssonen har ukjent dybde. Tolkning av geofysikken indikerer at svakhetssonen kan ha en mektighet på rundt 40 m og at den kan påtreffes mellom ca. profilnr. 19170 og 19220 gitt vertikalt forløp mot dypet.

Det vurderes at vi har god kontroll på bergoverflaten i området ved dette lineamentet [37]. Videre vurderes det som utfordrende å legge ut ytterligere geofysikklinjer som kan gi resultater med god kvalitet. Generelt viser både lagbasert og tomografisk tolkning godt berg nær skolen, slik at det ikke vurderes som behov for å utføre kjerneboring her. Det anbefales derfor ikke å undersøke denne svakhetssonen nærmere på nåværende tidspunkt. Bergoverdekningen forventes ned mot ca. 14 m her.

Klingremoen

Langs linje 22IR02 indikeres en mulig svakhetszone med lav sikkerhet ca. 50 m sørvest for tolket lineament 6, se Figur 9-5. Høye hastigheter (5350 m/s) i den lagbaserte tolkningen antyder godt berg, men den tomografiske inversjonen

indikerer en mulig svakhetssone. Det er usikkert om denne indikerer lineament 6 eller om den kan være en selvstendig svakhetssone som ikke synes i tolkning av 22IR01. Bergoverdekningen under Klingremoene forventes å være omtrent 17 m.

Aktsomhetskartet for dypforvitring fremhever mulighet for dypforvitret berg under Klingremoene mellom lineament 5 og 6 [16]. Svakhetssonen som er tolket her fra tomografisk inversjon av linje 22IR02 kan også peke i retning av dypforvitring i berget mellom lineament 5 og 6. Likevel indikerer hastighetene i den lagbaserte tolkningen av seismisk linje 22IR01 og 22IR02 godt berg, med hastigheter rundt mellom 4700 m/s og 5500 m/s og bare ett lite område med hastighet 4000 m/s. Det forventes generelt behov for noe tyngre sikring under Klingremoene.

Lineament 5 - Klingremoheia

Lineament 5 er tolket langs Klingremoheias nordøstlige skrent. Dette ble opprinnelig tolket som sørvestre grense til en større svakhetssone mellom lineament 5 og 6. Etter geofysiske undersøkelser er det grunnlag for å tolke disse to lineamentene som separate svakhetssoner. Lineament 5 krysser traséen ved ca. profilnr. 19370 med ca. 80 grader. Dette lineamentet indikeres i geofysikklinjene 22IR01 og 22IR02 fra de refraksjonsseismiske undersøkelsene, med en seismisk hastighet fra lagbasert tolkning på omtrent 3500-3800 m/s, se Figur 9-5. Tolkningen av geofysikken indikerer at svakhetssonen kan ha en mektighet på rundt 40-50 m og at den kan påtreffes mellom ca. profilnr. 19340 og 19380 gitt vertikalt forløp mot dypet. Her forventes bergoverdekningen på sitt laveste langs tunnelen, ned mot 6 m. Grunnet den lave bergoverdekningen anbefales det å utføre ytterligere grunnundersøkelser i neste planfase.



Figur 9-5: Kart med tolkede svakhetssoner fra geofysikk sammen med tolkede lineamenter. Kartet dekker et område over Frivolltunnelen fra Opplandsveien til Klingremoheia. Anslått seismisk hastighet i de ulike tolkede svakhetssonene er indikert, oppgitt i m/s.

Lineament 4 - Klingremoheia

Lineament 4 krysser Klingremoheia i nordvest-sørøstlig retning og sees som en ca. 15 m bred forsenkning. Lineamentet krysser traséen ved ca. profilnr 19450 med ca. 70 grader. Aktsomhetskartet for dypforvitring [16] gir ingen indikasjon på dypforvitring langs lineament 4, men det bemerkes at lineamentet antageligvis er for lite til å kunne gi utslag i aktsomhetskartet. Dette lineamentet er ikke undersøkt med geofysikk, men totalsondering indikerer 1 m til berg. Det er ikke observert tegn til svakhetszone i felt utover en forsenkning i terrenget.

Lineament 2 og 3 - Klingremoheia

Lineament 3 er tolket langs den sørvestlige skrenten av Klingremoheia, der det krysser traséen ved Frivolltunnelens sørlige påhugg. Det krysser traséen ca. ved profilnr. 19550 med ca. 70 grader. Forskjæringen strekker seg sørvestover, forbi lineament 2, som krysser gjennom en kolle med berg i dagen. Lineament 2 krysser traséen ved ca. profilnr. 19670 med ca. 60 grader. Det er en løsmassefylt forsenkning mellom lineamentene. Dypforvitring er ikke indikert mellom lineament 3 og 2 i NGUs aktsomhetskart [16]. Økende løsmassetykkelse mot

lineament 3 kan likevel indikere tilstedeværelse av en underliggende svakhetszone. Disse lineamentene er ikke undersøkt med geofysikk. Det anbefales å undersøke forholdene her nærmere. Lineamentene krysser sør for tunnelportalen, i forskjæringsområdet, og bergoverdekning her er ikke relevant.

9.2.3 Bergmasseklassifisering

Tabell 9-2 gir en oversikt over beregnet Q' fra befaringslokaliteter langs Frivolltunnelen. Generelt ser oppstikkende berg i dagen ut til å ha god bergmassekvalitet, men det antas at det også vil påtreffes dårligere bergmassekvalitet i tunnelen, særlig i forbindelse med tolkede svakhetssoner. Q' tar ikke inn alle parameterne for Q -verdi, hvilket er en feilkilde.

En oversikt over estimerte bergmasseklasser langs Frivolltunnelen er vist i Tabell 9-3 og Figur 9-6. Det antas at forholdene er like for begge løp. Dette er den innledende vurderingen av bergmasseklasse, som igjen fører til et anslag på sikringsmengder.

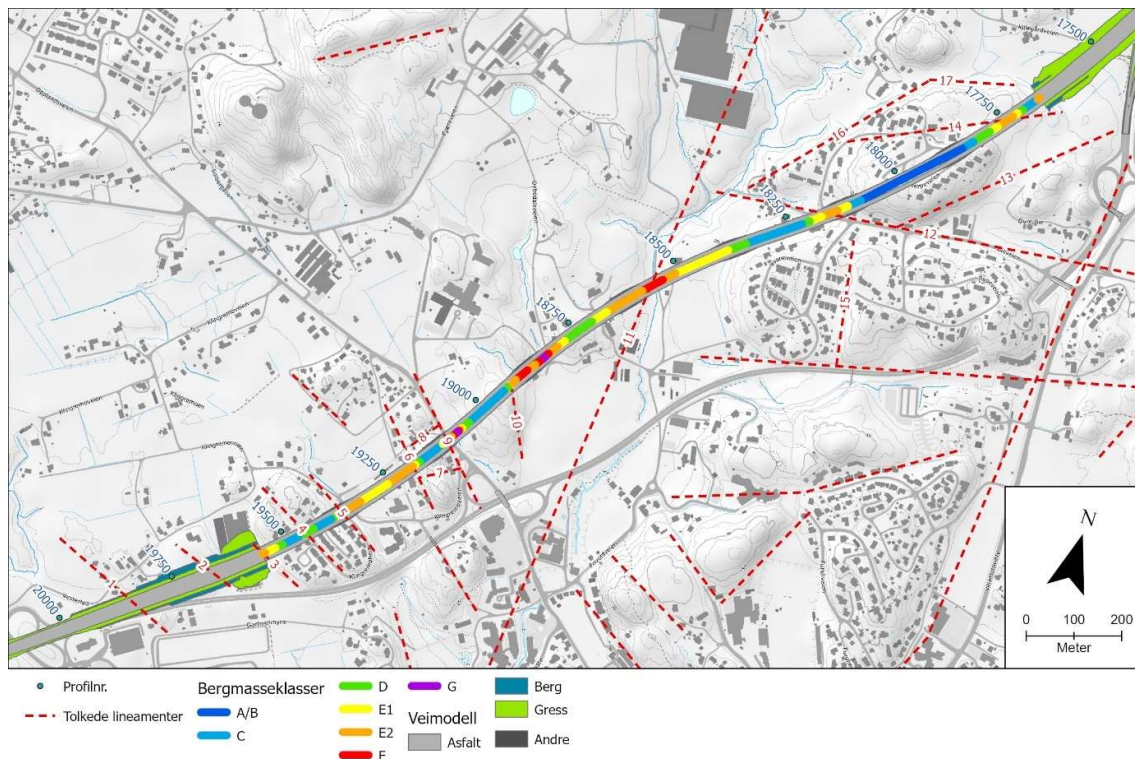
Tabell 9-2: Beregnet Q' fra befaringslokaliteter langs Frivolltunnelen.

Lokalitetsnr.	RQD _{min}	RQD _{snitt}	RQD _{max}	J _n	J _r	J _a	Q' _{min}	Q' _{snitt}	Q' _{max}
S006	75	82,5	90	3	1,5	1	37,5	41,3	45,0
C003	90	95	100	9	1,5	1	15,0	15,8	16,7
C004	50	62,5	75	12	1,5	1	6,3	7,8	9,4
S008	90	95	100	6	1,5	1	22,5	23,8	25,0

Tabell 9-3: Estimert bergmassekvalitet langs Frivolltunnelen.

Fra profil [m]	Lengde [m]	Til profil [m]	Kommentar	Bergmasseklasse
17653	5	17658	Påhugg N	E2
17658	39	17697	Normal	C
17697	15	17712	Normal	D
17712	10	17722	Overgang svakhetszone	E1
17722	40	17762	Svakhetszone	E2
17762	20	17782	Overgang svakhetszone	E1
17782	40	17822	Normal	D
17822	30	17852	Normal	C
17852	240	18092	Normal	A/B
18092	30	18122	Normal	C
18122	25	18147	Overgang svakhetszone	E1
18147	35	18182	Svakhetszone	E2
18182	25	18207	Overgang svakhetszone	E1
18207	15	18222	Normal	D
18222	125	18347	Normal	C
18347	40	18387	Normal	D
18387	120	18507	Overgang svakhetszone	E1
18507	30	18537	Svakhetszone	E2
18537	50	18587	Svakhetszone	F
18587	85	18672	Svakhetszone	E2

18672	35	18707	Overgang svakhetszone	E1
18707	70	18777	Normal	D
18777	20	18797	Overgang svakhetszone	E1
18797	25	18822	Svakhetszone	E2
18822	10	18832	Svakhetszone	F
18832	15	18847	Svakhetszone	G
18847	10	18857	Svakhetszone	F
18857	20	18877	Svakhetszone	E2
18877	30	18907	Svakhetszone	F
18907	10	18917	Svakhetszone	E2
18917	10	18927	Overgang svakhetszone	E1
18927	15	18942	Normal	D
18942	100	19042	Normal	C
19042	20	19062	Normal	D
19062	5	19067	Overgang svakhetszone	E1
19067	5	19072	Svakhetszone	E2
19072	5	19077	Svakhetszone	F
19077	15	19092	Svakhetszone	G
19092	5	19097	Svakhetszone	F
19097	5	19102	Svakhetszone	E2
19102	15	19117	Overgang svakhetszone	E1
19117	10	19127	Normal	D
19127	50	19177	Normal	C
19177	10	19187	Normal	D
19187	5	19192	Overgang svakhetszone	E1
19192	65	19257	Svakhetszone	E2
19257	70	19327	Overgang svakhetszone	E1
19327	55	19382	Svakhetszone	E2
19382	10	19392	Overgang svakhetszone	E1
19392	5	19397	Normal	D
19397	40	19437	Normal	C
19437	35	19472	Normal	D
19472	35	19507	Normal	C
19507	15	19522	Normal	D
19522	23	19545	Overgang svakhetszone	E1
19545	5	19550	Påhugg S/svakhetszone	E2



Figur 9-6: Oversikt over antatt fordeling av bergmasseklasser langs Frivolltunnelen. Antagelsene er basert på hastigheter i seismiske data, lineamentstolkning fra flyfoto og flybåren LiDAR, og NGUs aktsomhetskart for dypforvitring.

9.2.4 Stabilitet

Fra nord skal tunnelen krysse flere lineamenter med forholdsvis lav vinkel. Disse vil kunne gi stabilitetsutfordringer over lengre strekninger. Sørover øker vinkelen mellom lineamenter og tunneltraséen. Det kan fortsatt oppstå økt sikringsbehov i forbindelse med kryssing av disse, men over strekninger som i større grad forventes å korrelere bedre med anslått mektighet. Det er på nåværende tidspunkt ikke observert svellende sprekkebelegg på befaringer, men det betyr ikke at det ikke kan påtreffes. Svellende mineraler på sprekkeoverflater vil kunne påvirke stabiliteten negativt. I områder hvor det forventes lav overdekning forventes det også dårlig innspenning av berget og potensielt strekkspenninger som kan gi ytterligere stabilitetsutfordringer i tverrsnittet. Dette kan gi behov for ekstra sikring.

9.2.5 Sikringsbehov

Sikringsestimater gjøres i henhold til tabell 7.5-1 i N500 [3]. Fordeling av estimerte sikringsklasser er vist i Tabell 9-4 for ett løp. Det antas at fordelingen av sikringsklasser er tilnærmet den samme i begge løp. Sikringsestimat for begge løp er vist i Tabell 9-5. For å beregne sikringsmengder er det antatt at

gjennomsnittlig tunnelprofil er T12,5 når man inkluderer nisjer og siktutvidelse. Sikringsklasse VI (bergmasseklasse G) er dimensjonert med full utstøpning. Det gjøres oppmerksom på at dette er et innledende estimat.

Tabell 9-4: Fordeling av sikringsklasser for ett løp i Frivolltunnelen.

Bergmasseklasse	Q-verdi fra	Q-verdi til	Sikringsklasse	Antall	Lengde [m]	Andel [%]
A/B	10	100	I	1	240	13 %
C	4	10	II	5	449	24 %
D	1	4	III	8	290	15 %
E1	0,2	1	IVa	10	393	21 %
E2	0,1	0,2	IVb	10	385	20 %
F	0,01	0,1	V	6	110	6 %
G	0	0,01	VI	2	30	2 %

Tabell 9-5: Sikringsestimater for Frivolltunnelen, begge løp.

Bergmasse-klasse	Bolter	Forbolter	Sprøytebetong E700	Sprøytebetong E1000	Sålestøp lengde	Sprøytebetong-buer	Sikrings-støp lengde
-	stk	stk	m ³	m ³	m	stk	m
A/B	2438	0	1422	0	0	0	0
C	4562	0	2660	0	0	0	0
D	3943	0	0	2148	0	0	0
E1	7448	0	0	4366	0	0	0
E2	7296	11550	0	4277	0	308	0
F	2085	4400	0	1629	220	110	0
G	569	1200	0	444	60	30	60
SUM	28340	17150	4082	12863	280	448	60

9.2.6 Hydrogeologiske forhold og injeksjon

Flere mindre vassdrag/bekker krysser over planlagt tunneltrasé ved ca. profilnr. 17750, 18550, 18900 og 19080. Overliggende vann kan gi utfordringer med innlekkasjer i tunnel, særlig hvis det også opptrer åpne sprekker eller knusningssoner i forbindelse med disse.

Bekkedraget sentralt i Frivoldalen ved ca. profilnr. 18550, som omtales som sårbart i kapittel 5.10, har vekslende vannføring, men det antas at grunnvannstanden har relativt god vanntilføring. Løsmassene i området, med mye leire, har dårlig eller ingen infiltrasjonsevne med liten risiko for lekkasjer. Samlet sett, vurderes det at det ikke vil være stor risiko for endringer i grunnvannstanden, eller risiko for store miljøskader på naturmangfoldet i naturtypen ved bekken. Det er likevel anbefalt å gjennomføre skadereduserende tiltak i form av tetning i tunnel i dette området.

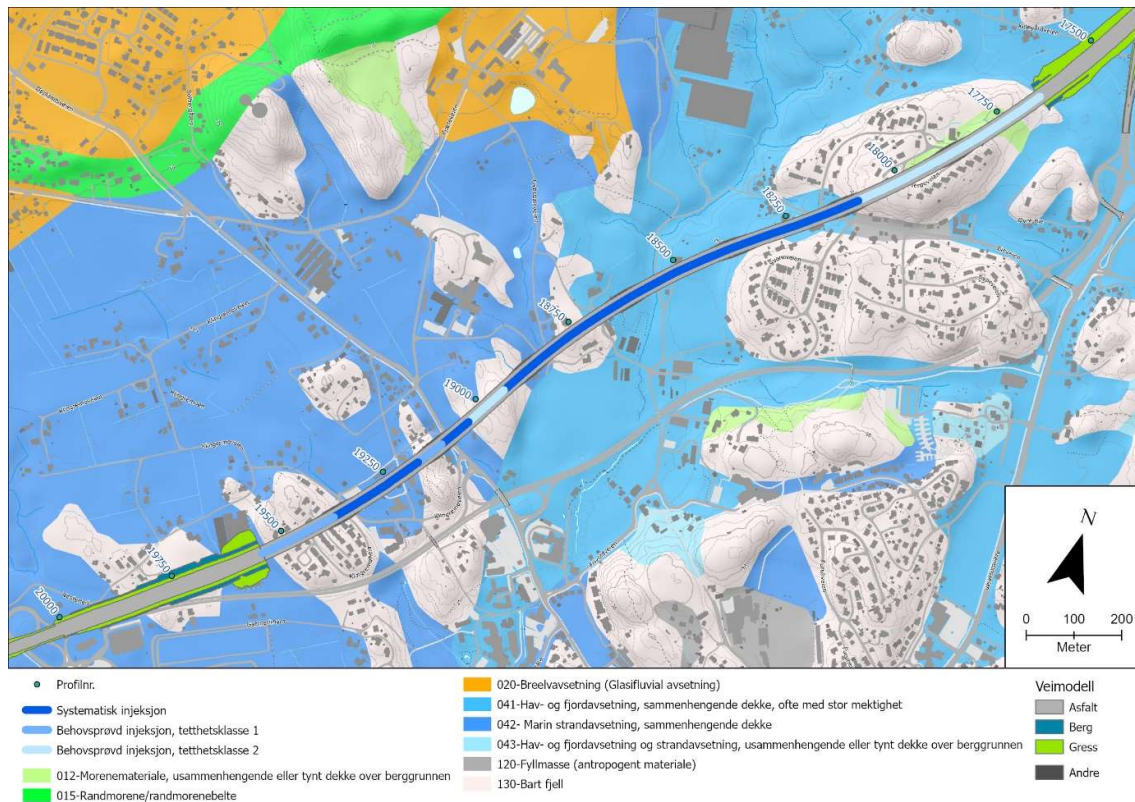
Det er ikke registrert noen brønner innenfor influensområdet til planlagt trasé, men det bør kartlegges om det finnes brønner i området som ikke er registrert i Granada [14]. Veibygging kan potensielt medføre f.eks. redusert vannføring og endret vannkjemi i nærliggende grunnvannsbrønner.

Løsmassene direkte over tunnelen vurdert å kunne være utsatt for setninger. Det er kartlagt bebyggelse på disse løsmassene og det vil derfor være viktig å iverksette tiltak for å hindre setningsskader. Et sentralt tiltak for dette er injeksjon i tunnel. Den henvises til geotekniske fagrapport for detaljer om setninger [37].

Pga. setningsømfintlige masser over tunnel, flere kryssende vassdrag, hvorav ett vassdrag er forbundet med en sårbar og verdifull naturtype, samt mye bebyggelse i området, er det vurdert som aktuelt å injisere tunnelen.

I deler av tunnelen som krysser under setningsømfintlige løsmasser og løsmasser med bebyggelse vurderes det at systematisk injeksjon kan være aktuelt. Behovsprøvd injeksjon vurderes som aktuelt der tunnelen krysser under koller hvor det ikke forventes løsmasser. En oversikt over dette er gitt i Figur 9-7. Her benyttes to ulike tetthetsklasser for behovsprøvd injeksjon. I tetthetsklasse 1 er det satt tetthetskrav 10 L/min/100 m per løp og i tetthetsklasse 2 er det satt tetthetskrav 20 L/min/100 m per løp. For systematisk injeksjon er det satt tetthetskrav 5 L/min/100 m per løp. Det er anslått at ca. 75 % av tunnelens lengde vil trenge injeksjon. Det gjøres oppmerksom på at dette er et innledende estimat gjort primært basert på kartstudier.

Basert på poretrykkmålinger i tre punkter langs tunnelen ser grunnvannsspeilet ut til å ligge ca. 0,4 til 3 m under terreng. Dette ble avlest i starten av mai 2022. Det anbefales å utføre flere hydrogeologiske undersøkelser i neste planfaser.



Figur 9-7: Innledende anslag for tetthetskrav og injeksjon i Frivolltunnelen. Løsmassekart er vist som bakgrunnskart.

9.2.7 Miljøgeologi

Bergarter forventet påtruffet i tiltaksområdet har blitt prøvetatt og undersøkt med XRF-analyser for svovel og testing etter peroksidmetoden. Resultatene er presentert i Tabell 5-1. Bergartene som er kartlagt langs Frivolltunnelen og omkringliggende områder kategoriseres som ikke syredannende. Tidligere erfaring tilsier likevel at forhøyet konsentrasjon av svovel kan forekomme i båndgneis, pelittisk gneis og migmatitt nær tiltaksområdet [38] [39]. Testing under anleggsfasen kan derfor være nødvendig, og høye svovelverdier fra XRF-analyser vil kunne utløse behov for tiltak.

9.2.8 Vann- og frostsikring

Veitunneler skal sikres mot vann og is, slik at det ikke er lekkasjevann eller isdannelse i trafikkrommet, i nødutganger, i nisjer til tekniske bygg eller i ventilasjonssjakter. Lekkasjer i vegg og heng skal håndteres vha. vanntett tunnelkledning. Vann- og frostsikring må utføres i henhold til funksjonskrav gitt i

punkt 8.1 i vegnormal N500 [3] og det henvises til denne for detaljer om vann- og frostsikring.

Kjente løsninger kan benyttes ved valg av vann- og frostsikringshvelv og skal utføres i henhold til punkt 8.4 i N500. For tunnelklasse E skal hvelvet bestå av frostisolerte veggelementer av betong med nettarmert sprøytebetong i heng. Vannsikring utføres med membran type III. I området der tunnelen skal etableres er frostmengden (F_{10}) anslått til ca. 6000h°C. Følgelig skal det ikke være nødvendig med frostsikring med PE-skum i tunnelkledningen.

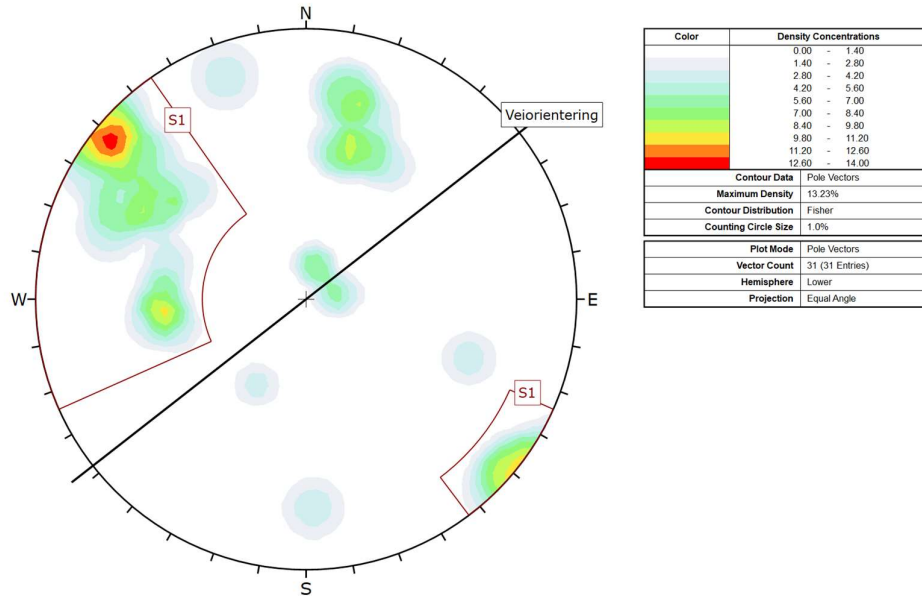
9.3 Påhugg og forskjæring sør – lokalitet S005 og S006

9.3.1 Tolkning av sprekkesett og stabilitet

For Frivolltunnelens sørlige påhugg er det utført kinematisk analyse basert på data fra befaringslokalitet S005 og S006. Sprekkemålingene fra S005 og S006 er vist i Figur 9-8 og en oppsummering av de mest fremtredende løsnemekanismene i den kinematiske analysen kan sees i Tabell 9-6.

Den kinematiske analysen indikerer at sprekkesett 1 kan gi plan utglidning i nordre forskjæringsvegg. I søndre forskjæringsvegg kan sprekkesett 1 gi toppling. Det bemerkes at det både er stor variasjon i fall og fallretning for sprekkesett 1 og i tillegg samlinger av andre sprekker som ikke ble identifiserte som egne sprekkesett i felt. Ytterligere løsnemekanismer enn de som er indikert i Tabell 9-6 kan derfor ikke utelukkes.

Det kan være aktuelt å legge forskjæringen langs sprekkesett 1 for å redusere mengden nødvendig bergsikring.



Figur 9-8: Polplott med sprekke målinger og tolkede sprekkesett fra lokalitet S005 og S006.

Tabell 9-6: Fremtredende løsnemekanismer fra kinematisk analyse av sprekker fra lokalitet S005 og S006.

Side	Plan utglidning	Ubegrenset plan utglidning	Kileutglidning	Toppling	Blokkutfall
Påhuggsflate					
Nordre forskjæringsvegg	Middels S1	Sterkt S1			
Søndre forskjæringsvegg				Sterkt S1	

Blank celle = løsnemekanisme indikeres ikke
 Lite = lite fremtredende; 1-15.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme
 Middels = middels fremtredende; 15.1-40.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme
 Sterkt = Sterkt fremtredende; 40.1-100 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme
 S = sprekkesett (for blokkutfall oppgis baseplan-sprekkesett + to sprekkesett som skjærer hverandre)

9.3.2 Sikringsbehov

Det er en tolket svakhetssone som krysser forskjæringen ved påhugget med ca. 65 graders vinkel. Det kan forventes økt sikringsbehov hvis svakhetssonen påtreffes. Ellers er det ikke observert forhold som skulle tilsi spesielle utfordringer med vann og is i forskjæringen. Pga. stigende terreng over påhugget kan forskjæringshøyden og høyden til påhuggsflaten bli høyere enn anslått i kapittel 6.1.3 avhengig av utformingen og plasseringen av påhugget.

Det forventes at søndre forskjæring og påhugg til Frivolltunnelen generelt kan sikres med systematisk bolting. Andre aktuelle sikringstiltak kan være f.eks. steinsprangnett, sprøytebetong, forbolter og stag.

9.4 Sikringsestimat forskjæringer og påhuggsflater

Det er gjort et grovt estimat på sikringsmidler og -mengder for forskjæringer og påhuggene. Estimering av stabilitetssikring er forenklet ved å dele bergmassen inn i fire kategorier og anslå sikringen basert på disse og tilpasning for den enkelte forskjæring.

Basert på vurderinger angående sikringsbehov for forskjæringer og påhuggsflater for Frivolltunnelen, er det laget et sikringsestimat, se Tabell 9-7.

Tabell 9-7: Sikringsestimat for forskjæringer og påhuggsflater for Frivolltunnelen.

Sikringstiltak	Mengder	Enhet
Bolter	2115	stk
Steinsprangnett	2540	m ²
Sprøytebetong	60	m ³
Forbolter	520	stk
Stag	10	stk

9.5 Alternativer for påhugg og portalområde i søndre ende av Frivolltunnelen

Plassering av sørlig påhugg til Frivolltunnelen er slik at tunnelen kommer ut under terrengnivå sørvest for Klingremoheia og inn i en ca. 80 m bred løsmasserenna, før veien fortsetter gjennom bergskjæring (Figur 9-2). Det er registrert opptil ca. 10-13 m løsmassemektighet over veibanen i løsmasserenna og det er indikert sensitive løsmasser som vil kreve bortgraving eller stabiliserende tiltak.

Påhuggsflaten er plassert rett etter sørvestlig skrent til Klingremoheia for å sikre god bergoverdekning. Det har videre blitt diskutert hvordan portalområdet bør utformes både mtp. stabilitet i løsmasser og av hensyn til de som bor og ferdes i området. Ett alternativ er å etablere en forholdsvis kort portal som avsluttes noen meter inn i løsmasserenna. De sensitive løsmassene i løsmasserenna vil medføre behov for etablering av slake skråninger for å ivareta stabilitet. Dette gir stort arealbeslag. Et annet alternativ er å etablere en portal som krysser hele løsmasserenna. Dette tillater tilbakefylling over portalen og evt. reetablering av bebyggelse, hvilket reduserer endelig arealbeslag ved påhugget.

Et tredje alternativ som er diskutert er å forlenge tunnelen og flytte påhugget til et sted mellom ca. profilnr. 19750-19850. I den forbindelse foreslås det å redusere stigningen i tunnelen fra lavbrekket, slik at tunnelen vil ligge på enda lavere kote der hvor påhugget planlegges etablert i dag. Dette vil gi bedre overdekning gjennom løsmasserenna, hvor bergoverdekningen uten denne tilpasningen forventes ca. 2 m på det laveste. Det vil også gi bedre bergoverdekning gjennom kollen sørvest for Klingremoheia, hvor planlagt forskjæringshøyde er anslått opp til ca. 25 m. Eksakt plassering av nytt påhugg vil være avhengig av hvor lavt man legger tunnelen. Dette kan spare bebyggelse i kollen sør for Klingremoheia og endelig arealbeslag i løsmasserenna.

Det er ikke vurdert at forlengelse av portal vil medføre redusert behov for stabilisering av løsmassene i løsmasserenna, da disse uansett må stabiliseres for å sikre trygge arbeidsforhold under anleggsarbeidene. Dersom tunnel legges tilstrekkelig lavt til at det vurderes at man kan forsere under løsmasserenna i berg uten å blottlegge berget, vil trolig geotekniske tiltak i løsmasserenna forenkles noe. Det vil også bli besparelser i bergguttak ved å velge tunnel fremfor skjæring gjennom kollen sørvest for Klingremoheia. Samtidig forventes lav overdekning og behov for tung sikring og korte salver under løsmasserenna. Viktige fordeler med å forlenge portal og/eller tunnel er mht. støy og forurensning for de som bor og ferdes i området, samt senere utnyttelse av

arealet som beslaglegges under anleggsarbeidene avhengig av valgt løsning. Det anbefales å vurdere disse alternativene videre mht. ulike fag og ikke-prissatte verdier. I tillegg anbefales nærmere undersøkelser og optimalisering av trasé i vertikalnivå.

Foreløpige

10 Boring og sprengning

10.1 Borbarhet og sprengbarhet

I Norge er det vanlig å benytte borbarhetsindeksene DRI_{TM} (Drilling Rate Index) og BWI_{TM} (Bit Wear Indeks) for å tallfeste borbarhet, hvor DRI er borsynkindeks og BWI er borslitasjeindeks. Høy borsynk (DRI) og lav borslitasje (BWI) indikerer god borbarhet. Og i motsatt tilfelle indikerer lav borsynk og høy borslitasje dårlig borbarhet.

Det er ikke utført laboratorietesting av borbarhet eller sprengbarhet i forbindelse med dette prosjektet. Erfaringsdata for borbarhet for aktuelle bergarter fra Øst- og Vest-Agder og Telemark [40] er oppsummert i Tabell 10-1. En klassifisering av DRI og BWI er vist i Tabell 10-2. Generelt forventes derfor dårlig til god borbarhet i Frivolltunnelen.

Tabell 10-1: Oversikt over DRI og BWI for ulike aktuelle bergarter langs veitraséen fra Vest- og Øst-Agder og Telemark [40].

Bergart	Antall tester	DRI min	DRI snitt	DRI max	BWI min	BWI snitt	BWI max
Gneis	24	18	49	63	24	39	71
Amfibolitt	6	26	48	67	18	27	36
Kvartsitt	5	33	45	60	33	58	79
Granitt	2	54	55	55	28	28	28
Glimmergneis	5	37	54	70	19	27	39

Tabell 10-2: Klassifisering av DRI og BWI (oversatt fra engelsk) [36].

Betegnelse	DRI	BWI
Ekstremt lav	26	<11
Meget lav	26-32	11-20
Lav	33-42	21-30
Middels	43-57	31-44
Høy	58-69	45-55
Meget høy	70-82	56-69
Ekstremt høy	>82	>69

Generelt kan bergarter med fremtredende foliasjon eller lagdeling ha utfordringer med tanke på sprengbarhet [36]. Svakhetssoner og sprekkesett vil også kunne påvirke boring og sprengningsresultat. Mye oppsprekking, åpne sprekker, høyt glimmerinnhold og sprekker parallell med tunnelakse reduserer sprengbarhet. Det forventes det middels til god sprengbarhet i Frivolltunnelen [41].

10.2 Vibrasjoner

N200 kapittel 1.3.4.4 setter krav til at det skal fastsettes grenseverdier for sprengnings- eller anleggsinduserte vibrasjoner. Veiledende grenseverdier for vibrasjoner fra bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk, NS 8141, har vært igjennom revisjoner og på tidspunktet for rapporten, er følgende versjoner gyldige:

- NS 8141:2001 [42]
- NS 8141-2:2013 [43]
- NS 8141-3:2014 [44]
- NS 8141-4:2021 [45]

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

I henhold til NS 8141:2001 [42] skal omkringliggende bygninger og andre konstruksjoner som kan tenkes å bli påvirket av grunnarbeidet besiktiges før og etter at arbeidet er utført. Den anbefalte avstanden er, i henhold til NS 8141:2001, 50 m for byggverk fundamentert på berg og 100 m for byggverk fundamentert på løsmasser. Ved omfattende sprengningsarbeider, skal et større område for besiktigelse vurderes. Dersom den utførte besiktigelsen tilsier det, må det utføres vibrasjonsovervåking og oppfølging av aktuelle områder i anleggsfasen.

Det er konstatert at det i dag eksisterer bygg som ligger innenfor 50 eller 100 m avstand fra planlagt veglinje. Det er ikke foretatt en detaljert undersøkelse av hvor disse byggene er, hvordan disse er fundamentert eller hvor mange bygg det gjelder.

Det er ikke påvist kvikkleire i planområdet, men det er indikasjon på sprøbruddmateriale i totalsonderinger. Det er anvist prøveserier i dette forprosjektet for å undersøke dette nærmere. Resultatene er imidlertid ikke klare enda. Det henvises til geoteknisk datarapport [19], områdestabilitetsvurdering [46] og geoteknisk rapport [37] for detaljer.

Sprengning nær kvikkleire har egne krav til rystelser, som er beskrevet i NS8141-3:2013. Grenseverdien for svingehastighet er 45 mm/s der bølgene når frem til kvikkleiren [44] [47]. Generelt må det sikres at sprengning nær kvikkleire ikke påvirker kvikkleirens stabilitet negativt. Dette innebærer å:

- Sikre at berg ikke bryter direkte ut mot kvikkleiren
- Sikre at berg ikke kastes opp på kvikkleiren og fungerer som tilleggslast
- Sikre at sprenggasser ikke virker som dynamisk last på kvikkleiren
- Unngå for store vibrasjoner
- Sikre at lufttrykk ikke virker som en kortvarig flatebelastning på kvikkleireoverflaten

Antatt minste bergoverdekning for Frivolltunnelen er ned mot 6 m. Der lav bergoverdekning opptrer i kombinasjon med bekreftet, overliggende kvikkleire forventes reduserte enhetsladninger å være nødvendig ved tunneldriving. Vibrasjonsmålere installeres før sprengning starter i aktuelt område. Det forventes at sprengningen justeres underveis på bakgrunn av vibrasjonsmålinger.

11 Anvendelse av steinmateriale

Som nevnt i kapittel 5.9 kan trolig både granitten og migmatitten som skal påtreffes i Frivolltunnelen brukes i både veifundament, bærelag og toppdekke. Bergartene i prosjektet er imidlertid ikke testet for å vurdere dette og tester fra detaljprosjekteringen av E18 Tvedestrand-Bamble indikerer varierende egnethet for migmatitt. Bergmassens egnethet bør kartlegges videre i senere planfase, men det skal også utføres løpende testing under anleggsfasen som angitt i N200 [9]. I tillegg til krav til mekaniske egenskaper må også hensyn til miljø ivaretas ved bruk av masser, se kapittel 9.2.7.

12 Usikkerheter

Rapporten er skrevet med bakgrunn i skrivebords-/kartstudier og enkelte feltbefaringer. Det er gjort en vurdering rundt gjennomførbarheten til den spesifikke veilinjens med tanke på ingeniørgeologiske problemstillinger. Det er flere usikkerheter tilknyttet innholdet i denne rapporten.

- Forskjæringsutforming

Endelig forskjæringsutforming og bergsikringsbehov fastsettes i senere planfaser. Plassering av påhugg er ikke endelig og kan justeres i senere planfaser.

- Borbarhet og sprengbarhet

Det er usikkerhet knyttet til borbarhets- og sprengbarhetsparametere da det ikke er utført testing på bergarter i planområdet.

- Geologiske forhold og utført feltkartlegging

Faktiske geologiske forhold kan avvike fra observasjoner utført i nærliggende bergblotninger og bergskjæringer, selv om avstanden er relativt liten.

- Svakhetssoner

Tolkning av svakhetssoner er utført basert på topografiske kart, relieffkart og observasjoner fra feltbefaringer og geofysiske data. Det er knyttet usikkerhet til tolkning av svakhetssonene, både i eksistens, kvalitet, plassering, retning, forløp mot dypet og mektighet. Omfang av evt. dypforvitring og svelleleire tilknyttet svakhetssoner er også ukjent.

- Syredannende bergarter

Prøver for testing av svovelinhold og syredannende potensiale hos bergartene i planområdet har generelt lave konsentrasjoner av svovel. Tidligere erfaring tilsier likevel at forhøyet konsentrasjon av svovel kan forekomme i flere aktuelle bergarter nær planområdet. Testing under

anleggsfasen kan derfor være nødvendig, og høye svovelverdier vil kunne utløse behov for tiltak.

- Bergmassens egnethet til veiformål

Bergartene i planområdet er ikke testet for egnethet til veiformål. Vurderinger tilknyttet dette baserer seg på erfaringer fra andre prosjekter og generelle data.

- Løsmasser

Utbredelsen av kvikkleire og andre sensitive løsmasser er ikke kjent. For detaljer tilknyttet dette henvises det til geoteknisk datarapport [19] og rapport om områdestabilitet [46].

- Sikringsmengder

Sikringsestimatet for tunneler er gitt ut ifra antatte og foreløpige Q-verdier. Sikringsestimatet for forskjæringer er basert på hvordan forskjæringene er beskrevet i foreliggende rapport. Beregnede sikringsmengder er grove anslag, og endelig omfang av sikring vil være usikker frem til bergmassen sprenges ut og vurderes videre av ingeniørgeolog. Ytterligere undersøkelser med kjerneboring vil redusere usikkerhet i sikringsestimatet.

- Hydrogeologi

Det er kun gjort enkle estimater på tetthetskrav og injeksjonsomfang. Det er ikke gjort hydrogeologiske undersøkelser i planområdet. Setningsømfintlighet i løsmasser og bebyggelse og nærliggende sårbar natur, som myr, er ikke vurdert eller kartlagt i detalj. Det er anvist noen piezometermålinger, men resultatene fra disse foreligger ikke. Det er derfor usikkerhet knyttet til innlekkasjekrav, behov for injeksjon og andre tiltak for vann både i tunnel og ved og i forskjæringer.

- Bergspenninger

Bergspenninger er ikke målt i området og det er kun antatt gravitative spenninger. Spenningsnivå i tunnel er antatt ut fra bergoverdekning.

- Vibrasjoner

Det er ikke fastsatt vibrasjonsgrenser eller utarbeidet måleprogram for vibrasjoner.

Foreløpig

13 Videre arbeid

Videre arbeid må basere seg på krav gitt i N500.

I senere planfaser anbefales det ytterligere ingeniørgeologisk kartlegging for å kartlegge geologien langs tunnelen og ved påhuggsområdene bedre. Det er i kapittel 9.2.2 beskrevet forslag og anbefalinger til videre undersøkelser av flere svakhetssoner og områder med særlig lav bergoverdekning med både geofysiske metoder og kjerneboring.

Hvis det påtreffes leirførende soner i tunnelen anbefales det å gjennomføre laboratorieanalyser for å avdekke eventuelle svellende egenskaper. Hvis det avdekkes svelleleire med stort svellepotensiale/-trykk må den aktuelle sonen revurderes med hensyn til om det er aktuelt å utføre tilleggssikring på bakgrunn av ny informasjon.

Videre anbefales det å teste bergmassens egnethet til veiformål mht. mekaniske egenskaper, testing av borbarhet og sprengbarhet, samt ytterligere testing av syredannende berg.

Det bør også utføres flere undersøkelser knyttet til hydrogeologiske forhold. Dette innebærer blant annet å kartlegge om det finnes brønner i planområdet som ikke er registrert i Granada og undersøke setningsømfintlighet i området. Innlekkasjekrav og behov for injeksjon må vurderes nærmere. Før og under utførelse kan det være aktuelt med hydrogeologisk overvåkning.

Det må vurderes behovet for spenningsmålinger spesielt ved større tverrprofiler i kombinasjon med andre utvidelser som f.eks. nisjer m.m.

Numerisk analyse tilknyttet områder med spesielt lav overdekning eller andre utfordrende strekker kan bli aktuelt i senere planfaser.

Jf. diskusjon i kapittel 9.5 anbefales det også å utrede de ulike alternativene som er nevnt for portal og evt. forlengelse av tunnelen sørvest for Klingremoheia.

Vibrasjonsgrenseverdier og evt. måleprogram for vibrasjoner må bestemmes. Det bør også utføres en fullverdig skredfarekartlegging for veistrekningen.

14 Vedlegg

Følgende vedlegg hører til denne rapporten:

- Vedlegg 1: Geologisk kartvedlegg
- Vedlegg 2: Kinematisk analyse
- Vedlegg 3: Notat om geofysikk ved Frivoll- og Grimstadporten-tunnelen
- Vedlegg 4: Kartserie fra geofysisk refraksjonsseismisk kartlegging
- Vedlegg 5: Grimstad 2022, Geofysiske undersøkelser, 2022006. Impakt Geofysik AB. 2022-06-03
- Vedlegg 6: Digital leveranse geofysikk

15 Referanser

- [1] COWI, «NV42E18AG-GEO-RAP-0005_Fagrapport Ingeniørgeologi - Bergskjæringer,» 2022.
- [2] COWI, «NV42E18AG-GEO-RAP-0003_Fagrapport Ingeniørgeologi - Grimstadportentunnelen,» 2022.
- [3] Statens vegvesen Vegdirektoratet, «Håndbok N500 Vegtunneler,» 2022.
- [4] Standard Norge, «NS-EN 1997-1:2004+NA:2008 (Eurokode 7),» 2008.
- [5] Standard Norge, «NS-EN 1990:2002+NA:2008 (Eurokode 0),» 2008.
- [6] Asplan Viak og Rambøll, «Dok-D-007 - Temarapport Ingeniørgeologi – KU E18 Dørdal - Grimstad,» 2019.
- [7] COWI, «NV42E18AG-PLA-NOT-0008 Fagnotat: Veiføring, anleggskostnader, konstruksjoner og grunnforhold fase 4B,» 2021.
- [8] Statens Vegvesen, «N100 Veg- og gateutforming,» Statens Vegvesen, Oslo, 2021.
- [9] Statens vegvesen Vegdirektoratet, «Håndbok N200 Vegbygging,» 2021.
- [10] NGU, «B e r g g r u n n - Nasjonal berggrunnsdatabase,» 2022. [Internett]. Available: http://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/.
- [11] NGU, «L ø s m a s s e r - Nasjonal løsmassedatabase,» 2022. [Internett]. Available: http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/.
- [12] NGU, «Grus og pukk,» 2022. [Internett]. Available: http://geo.ngu.no/kart/grus_pukk_mobil/.
- [13] NGU, «Nasjonalt aktsomhetskart for radon,» 2022. [Internett]. Available: <http://geo.ngu.no/kart/radon/>.
- [14] NGU, «GRANADA,» 2022. [Internett]. Available: http://geo.ngu.no/kart/granada_mobil/.
- [15] GeoNorge, «GeoNorge,» [Internett]. Available: <https://kartkatalog.geonorge.no/>.
- [16] NGU, «Rock construction awareness map from South Norway,» 2017.
- [17] Rambøll, «Dok-D-017 - Grunnundersøkelser E18 D-G Datarapport for planområder E18 A-G,» 2018.
- [18] Rambøll, «Dok-D-018 Grunnundersøkelser E18 D-G Datarapport lang tunnel Bieheia-Frivoll,» 2019.
- [19] COWI, «NV42E18AG-GEO-RAP-0006_Geoteknisk datarapport,» 2022.
- [20] P. Padget, «Arendal berggrunnskart 1611 4 1:50000,» NGU, 2000.

- [21] T. G. Nijland, D. E. Harlov og T. Andersen, «The Bamble Sector, South Norway: A review,» *Geoscience Frontiers*, vol. 5, nr. 5, pp. 635-658, 2014.
- [22] O. Olesen, J. F. Dehls, J. Ebbing, H. Henriksen, O. Kihle og E. Lundin, «Aeromagnetic mapping of deep-weathered fracture zones in the Oslo Region - a new tool for improved planning of tunnels,» *Norwegian Journal of Geology*, vol. 87, pp. 253-267, 2007.
- [23] Sweco Grøner, «Statens Vegvesen, Region Sør - Grimstadporten Ingeniørgeologisk tunnelinspeksjon,» 2007.
- [24] R. I. Acworth, «The development of crystalline basement aquifers in a tropical environment,» *Quarterly Journal of Engineering Geology*, vol. 20, pp. 265-272, 1987.
- [25] K. Karlsrud, L. Erikstad og P. Snilsberg, «Publikasjon 103 - Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø,» Statens vegvesen, 2003.
- [26] A. Hindar, «Highway E18 Grimstad-Kristiansand; effects and quantification of acid runoff from deposits of sulphide-bearing rock,» NIVA - Norsk Institutt for Vannforskning, 2011.
- [27] A. T. Pearce, «A Mineralogical and Geochemical Description of Potentially Acid-producing Gneisses from the Lillesand Area - Implications for Leaching Behaviour,» Universitetet i Oslo, 2018.
- [28] Prosjektgruppen for kontroll på svolveholdig avrenning i Agder, «Retningslinjer for tiltak i områder med syredannende gneis versjon 2.4,» 2021.
- [29] Lillesand Kommune, «Retningslinjer for tiltak i områder med syredannende gneis: Versjon 2,4,» Lillesand Kommune, 2021.
- [30] K. A. Aasly, A. M. E. Erichsen, T. Rise og L. I. Alnæs, «Forundersøkelser og bruk av kortreist stein,» 2019.
- [31] R. Nålsund og P. Padget, «Pukkundersøkelser i Aust-Agder,» NGU, 1987.
- [32] COWI, «Fagrapport Vurdering bergkvalitet. E18 Tvedestrand - Bamble. Detaljreguleringsplan,» 2021.
- [33] Miljødirektoratet, «Naturbase kart,» 2022. [Internett]. Available: <https://geocortex01.miljodirektoratet.no/Html5Viewer/?viewer=naturbase>. [Funnet 26. 04. 2022].
- [34] Standard Norge, «NS-EN ISO 14689:2018 Geotekniske felt- og laboratorieundersøkelser - Identifisering, beskrivelse og klassifisering av berg (ISO 14689:2017)».
- [35] NGI, Bruk av Q-systemet, 2015.

- [36] Norwegian Group for Rock Mechanics / Norsk bergmekanikkgruppe (NBG), «Haandbook No 2 Engineering geology and rock engineering,» 2000.
- [37] COWI, «NV42E18AG-GEO-RAP-0001_Fagrapport geoteknikk,» 2022.
- [38] COWI, «Aprova AS - Sulfidvurderinger for VA-anlegg Rorevann-Lindtveit i Grimstad og Arendal Kommune,» 2021.
- [39] COWI, «Eimyr AS - Morholtåsen - tiltaksplan til håndtering av avrenning fra sulfidholdig berg,» 2020.
- [40] NTNU, «Prosjektrapport anleggsdrift 13B-98: Borbarhet, katalog over borbarhetsindekser,» 1998.
- [41] S. Zare, «Drill and Blast Tunneling Blast Design,» 2007.
- [42] Standard Norge, «NS8141:2001. Vibrasjoner og støt - Måling av svingehastighet og beregning av veiledende grenseverdier for å unngå skade på byggverk.,» 2001.
- [43] Standard Norge, «NS 8141-2:2013 Vibrasjoner og støt - Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk - Del 2: Virkning av vibrasjoner på byggverk fra annen anleggsvirksomhet enn sprengning, og fra trafikk,» 2013.
- [44] Standard Norge, «NS 8141-3:2014 Vibrasjoner og støt - Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk - Del 3: Virkning av vibrasjoner fra sprengning på utløsning av skred i kvikkleire,» 2014.
- [45] Standard Norge, «NS8141-4:2021: Vibrasjoner og støt - Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk - Del 4: Retningslinjer for besiktigelse av byggverk og eiendom før bygge- eller anleggsstart,» 2021.
- [46] COWI, «NV42E18AG-GEO-RAP-0002_Fagrapport geoteknikk- Innledende områdestabilitetsvurdering,» 2022.
- [47] Statens Vegvesen, «Rettelser i håndbok V220, 2018-utgaven (utgitt 20. desember 2018),» Statens Vegvesen, 2019.
- [48] Norsk bergmekanikkgruppe, «Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering, versjon 1,» Norsk bergmekanikkgruppe, 2011.