



Fagrapport Ingeniørgeologi: Eikeråshei tunnelen Detaljregulering E39 Mandal-Lyngdal øst

LYNGDAL KOMMUNE

Oppdragsnr:	10219378
Oppdragsnavn:	E39 Mandal - Lyngdal øst
Dokument nr.:	NV42E39ML-GEO-RAP-0003
Filnavn	E39_ML_Lyngdal_Ingeniørgeologi_Eikeråsheitunnelen_Fagrapport

Revisjonsoversikt

Revisjon	Dato	Revisjon gjelder	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
01	18.05.2021	1.gangsbehandling	NOMOCR	NOLOHN	NOHOLL

Sammendrag

Eikeråsheiattunnelen er ca. 3000 m lang og planlegges med doble løp med tverrsnitt T10,5.

Tunnelen planlegges etablert i en homogen, lite oppsprukket hornblendegranitt med antatt middels til god borbarhet og sprengbarhet. Bergmassekvaliteten på tunnelnivå antas jevnt over å være god. Det er identifisert minst 16 mulige svakhetssoner som vil kunne få betydning for driving og sikring av tunnelen. En del av disse er ugunstig orientert (stryker nær parallelt med tunnelen), som vil kunne medføre stabilitetsutfordringer over lengre strekninger på tunnelnivå.

Overdekningen er på over 100 m på mesteparten av strekningen, maksimalt ca. 185 m, og laveste overdekning er ca. 16 m i senterlinjen under Grummedal.

Påhugget i øst ved Haugdal ligger i en nær vertikal, naturlig skrent. Her må det utføres omfattende rensk- og sikringsarbeid før tunnelarbeidene kan starte opp, og detaljert påhuggplassering må fortetas etter innmåling av bergoverflaten når urmassene er rensket vekk. Påhugget i vest ved Lene er mindre krevende mht stabilitetssikring og anleggstekniske forhold sammenlignet med østsiden.

Det er etablert relativt strenge strekningsvise krav til innlekkasje i tunnelen. Kravene medfører trolig at det blir behov for systematisk forinjeksjon i ca. 45% av den totale tunnallengden. Ellers antas det behovsprøvd injeksjon. Omfanget av faktisk utført injeksjon avhenger av innlekkasjene på tunnelnivå. Dette er vanskelig å prognosere i forkant av tunneldrivingen.

Innhold

Sammendrag	3
1 Innledning	6
1.1 Bakgrunn	6
1.2 Rapportens innhold.....	7
1.3 Trasévalg, linjeføring og tunneltverrsnitt.....	7
1.4 Geoteknisk kategori, kontroll og kvalitetssikring.....	8
2 Grunnlag og utførte undersøkelser	10
2.1 Grunnlag	10
2.2 Tidligere undersøkelser	11
2.3 Utførte undersøkelser i reguleringsplanfasen	12
3 FAKTADEL	13
3.1 Topografi.....	13
3.2 Kvartærgeologi og løsmassemektigheter	14
3.3 Berggrunnsgeologi.....	16
3.4 Strukturgeologi.....	18
3.5 Steinmaterialets kvalitet.....	21
3.6 Borbarhet og sprengbarhet.....	22
3.7 Vannforhold – Hydrologi/hydrogeologi	22
3.8 Skredfare i påhuggsområder	24
4 TOLKNINGSDEL	25
4.1 Bergoverdekning - sammendrag	25
4.2 Bergoverdekning - detaljert beskrivelse	25
4.3 Svakhetssoner	27
4.4 Bergmassekvalitet	35
4.5 Bergspenninger	35
4.6 Brukbarhet av steinmaterialet.....	36
4.7 Borbarhet og sprengbarhet.....	36
4.8 Påhugg og forskjæringer	36
4.9 Bergsikring.....	44
4.10 Vannforhold.....	46
4.11 Miljøhensyn	52
5 Usikkerheter, anbefalinger og videre undersøkelser	54
5.1 Usikkerheter.....	54
5.2 Ingeniørgeologisk kompetanse i byggefasen	54
5.3 Krav til overvåking av spesielle forhold	55
5.4 Forslag til supplerende undersøkelser	55
6 Referanser	56

VEDLEGG

- Vedlegg 1 Ingeniørgeologiske tegninger V3002-V3014
- Vedlegg 2 Sprekkeroser og stereonett

1 Innledning

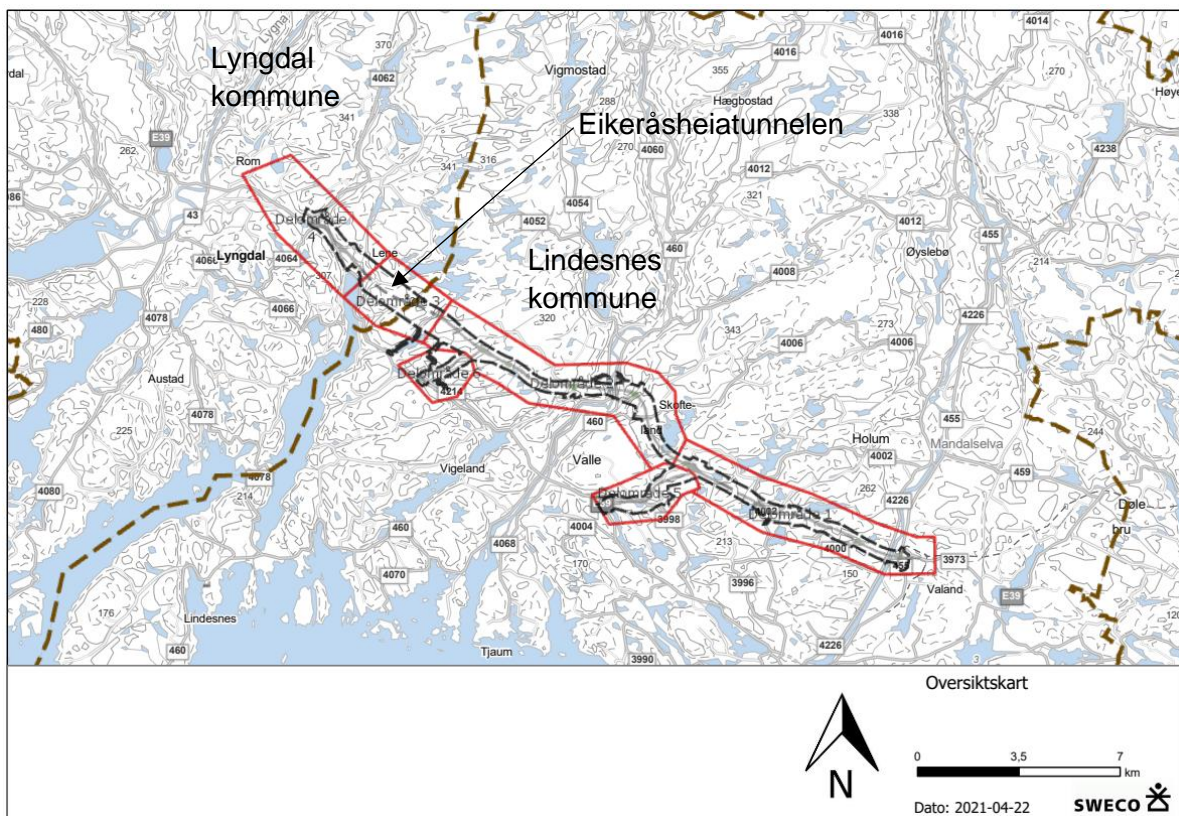
1.1 Bakgrunn

Sweco utarbeider på oppdrag fra Nye Veier AS detaljreguleringsplan for E39 Mandal – Lyngdal øst. Nåværende E39 mellom Kristiansand og Stavanger er om lag 208 km lang og har ikke god nok standard i henhold til dagens trafikkmengde og trafikkavvikling. Det er høy årsgjennsnitts trafikk (ÅDT) og mange trafikkulykker på strekningen. Dette er bakgrunnen for at nåværende E39 skal erstattes med ny, trafiksikker firefelts motorvei med fartsgrense 110 km/t. Ny motorvei vil gi vesentlig kortere reisetid for brukere, og dermed knytte Agder og Rogaland tettere sammen som felles bo- og arbeidsmarked. Planområdet er om lag 25 kilometer og strekker seg fra Mandalselva i Lindesnes kommune til Herdal i Lyngdal kommune (Figur 1). Det ligger nord for nåværende E39 og går hovedsakelig gjennom naturområder. Området er delt inn i 6 delområder fra øst mot vest.

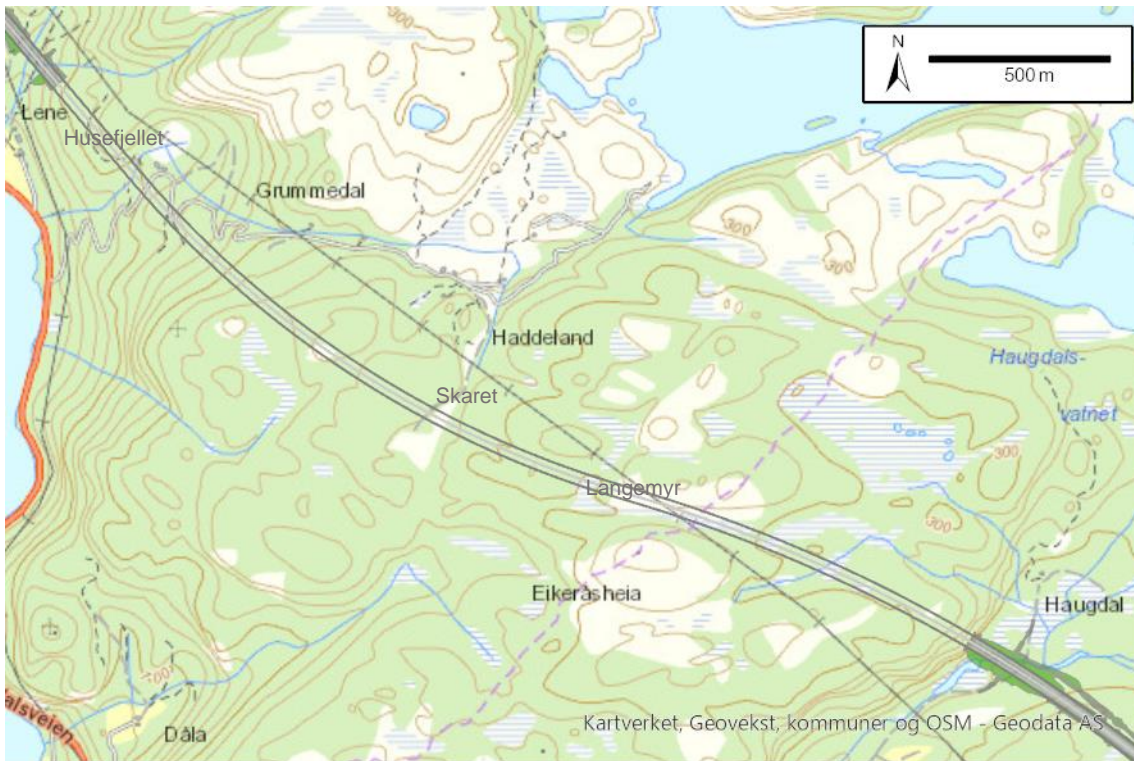
Totalt planlegges det 3 tunneler og over 10 000 løpemeter med høye bergskjæringar. Tunnelene i prosjektet er:

- Skreheiattunnelen (ca. 230 meter)
- Vråheiattunnelen (ca. 700 meter)
- Eikeråsheiattunnelen (ca. 3000 meter)

Eikeråsheiattunnelen ligger i delområde 3. 27% av tunnelen ligger i Lindesnes og 73% i Lyngdal kommune. Oversiktskart over tunnelen er vist i Figur 2.



Figur 1: Oversiktskart. Plangrense (sort stiplestrek), delområder 1-6 (rød strek).



Figur 2: Oversiktskart over tunneltraséen fra Haugdal i øst til Lene i vest.

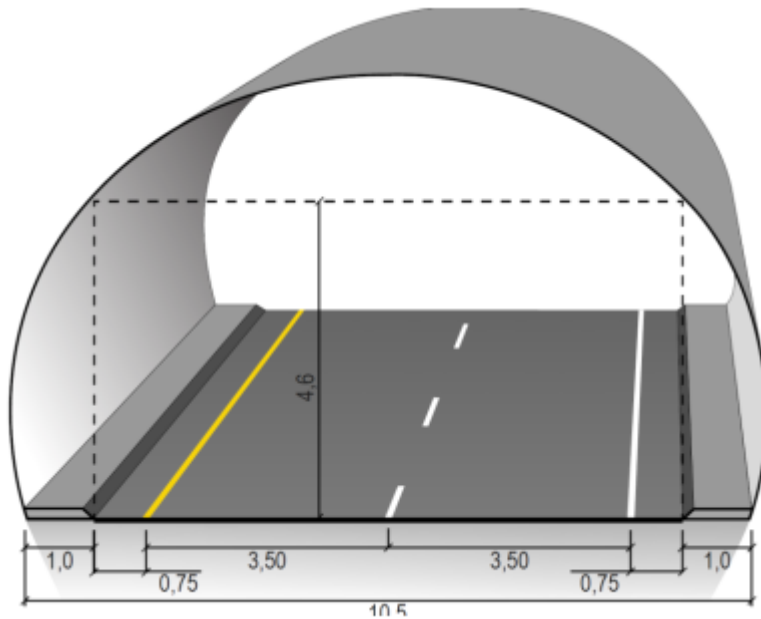
1.2 Rapportens innhold

Foreliggende rapport omhandler de geologiske forholdene ved Eikeråsheitunnelen. Tunnelen er i overkant av 3000 meter der ca. 2200 meter ligger i Lyngdal kommune og de resterende 800 meterne i Lindesnes kommune.

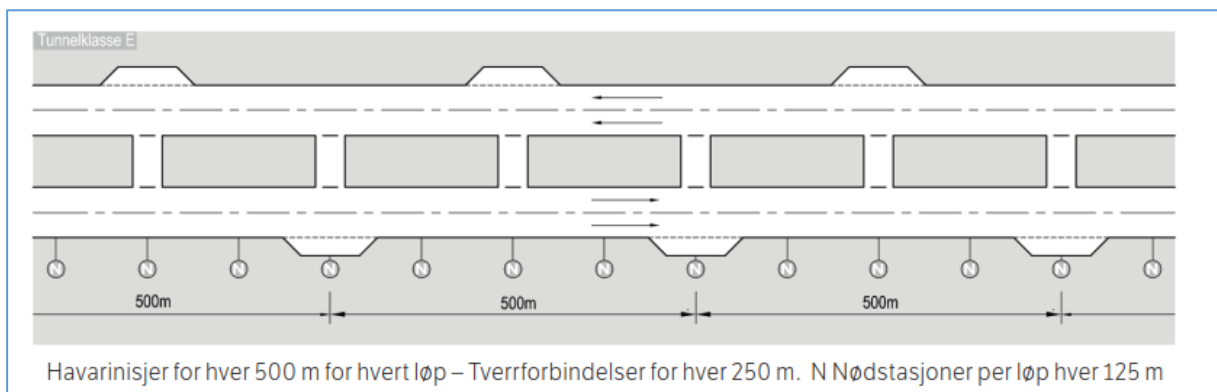
Rapporten er basert på disposisjon fra SVVs håndbøker N500 [1] og V520 [2]. Teksten er delt inn i en faktadel og en tolkningsdel. Rapporten baserer seg på faglige vurderinger, feltobservasjoner, grunnundersøkelser og eksisterende litteratur, kart- og bildedatabaser.

1.3 Trasévalg, linjeføring og tunnelvernsnitt

Veglinjen planlegges som vegklasse H3 med fire kjørefelt og fartsgrense på 110 km/t. Tunnelen vil ha to løp med profil T10,5 (Figur 3). Tunnelen ligger i tunnelklasse E med krav om havarinisje hver 500 meter og nødutganger hver 250 meter (Figur 4). Tunnelen har et fall på 4,8 % mot Grummedalområdet. Herfra flater reduseres lengdefallet til 2% frem mot portalen ved Lene.



Figur 3: Tunnelprofil T10,5. Hentet fra N100 [3]



Figur 4: Tunnelklasse E med havarinisjer, nødstasjoner og tverrforbindelser [1].

1.4 Geoteknisk kategori, kontroll og kvalitetssikring

Geoteknisk kategori (GK) har betydning for utførelse under planlegging, bygging og drift av prosjektet. Geoteknisk kategori og kontrollnivå skal angis i henhold til Eurokode 7 [4]. Den er en funksjon av vanskelighetsgrad og pålitelighetsklasse, og er gitt av Tabell 1.

Tabell 1: Definisjon av geoteknisk kategori [4].

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

* Vurderes særskilt

Vanskelighetsgraden avhenger av grunnforholdenes kompleksitet og type prosjekt, og klassifiseres som angitt i Tabell 2.

Tabell 2: Klassifisering av vanskelighetsgrad [4].

Vanskelighetsgrad	Beskrivelse
Lav	Oversiktlige og enkle grunnforhold eller et prosjekt som er lite påvirket av grunnforholdene. Ingen eller bare enkle grunnundersøkelser kreves for å fastlegge eventuelle nødvendige geotekniske parametere. Tilfredsstillende erfaringer fra tilsvarende grunnforhold og konstruksjoner kan dokumenteres.
Middels	Uoversiktlige eller vanskelige grunnforhold og et prosjekt som er påvirket av grunnforholdene. Metoder for fastleggelse av grunnforhold og for dimensjonering er godt utviklet. Tilfredsstillende erfaringer fra tilsvarende grunnforhold og konstruksjoner kan dokumenteres.
Høy	Uoversiktlige eller vanskelige grunnforhold og et prosjekt som er påvirket av grunnforholdene. Metoder for fastleggelse av pålitelige parametere eller for dimensjonering er lite utviklet. Bare begrensede erfaringer fra tilsvarende grunnforhold og konstruksjoner kan dokumenteres.

For valg av pålitelighetsklasse refereres til NS-EN 1990 og tabell NA.A1 (901) i nasjonalt tillegg, se Tabell 3.

Tabell 3: Gjengitt fra tabell NA.A1 i nasjonalt tillegg til NS-EN 1990 [3]

Veiledende eksempler for klassifisering av byggverk, konstruksjoner og konstruksjonsdeler	Pålitelighetsklasse(CC/RC)			
	1	2	3	4
Atomreaktor, lager for radioaktiv avfall				x
Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg i kompliserte tilfeller ¹⁾		(x)	x	(x)
Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg i enkle og oversiktlige forhold ¹⁾	x	(x)		

¹⁾ Ved vurdering av pålitelighetsklasse for grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg skal det også tas hensyn til omkringliggende områder og byggverk

I utgangspunktet skal alle tunnelprosjekter ligge i geoteknisk kategori 3 [1]. For tunneler der forundersøkelsene viser godt og forutsigbart berg kan det være aktuelt å benytte geoteknisk kategori 2.

De mest kompliserte og kritiske områdene ved driving av Eikeråshei tunnelen antas å være påhuggsområdene samt passeringen under Grummedal der bergoverdekningen er ned mot ca. 14 m på det minste. Det er noe usikkerhet omkring i hvilken grad svakhetssonene som krysser tunneltraséen vil påvirke på stabiliteten i tunnelen. I tillegg har vi begrenset kunnskap om sammensetning, mektighet og kompleksitet av disse på tunnelnivå. På bakgrunn av dette vurderes det som naturlig å plassere hele tunnelen i geoteknisk kategori 3.

For Eikeråshei tunnelen benyttes prosjektering ved beregning, prosjektering ved konstruktive tiltak og observasjonsmetoden. Erfaring, normal praksis og etablerte klassifiseringssystem benyttes for å oppnå tilfredsstillende stabilitet.

Avhengig av pålitelighetsklasse CC/RC stilles krav til prosjekteringskontrollklasse (PKK) med tilhørende krav til kontrollform slik det fremgår av Tabell 4 nedenfor. For CC/RC3 får man PKK3 med krav til egenkontroll, intern systematisk kontroll og utvidet kontroll. Det er byggherrens ansvar å få gjennomført utvidet kontroll.

Tabell 4: Valg av prosjekteringskontrollklasse og krav til kontrollform ved prosjektering, tabell NA-A (902) i NS-EN 1990 [5].

Valg av prosjekteringskontroll-klasse		Krav til kontrollform		
Pålitelighets-klasse	Minste prosjekterings-kontrollklasse	Egenkontroll	Intern systematisk kontroll	Utvidet kontroll
CC/RC1	PKK1	Kreves	Kreves ikke	Kreves ikke
CC/RC2	PKK2	Kreves	Kreves	Kreves
CC/RC3	PKK3	Kreves	Kreves	Kreves
CC/RC4	Skal spesifiseres	Kreves	Kreves	Kreves

2 Grunnlag og utførte undersøkelser

2.1 Grunnlag

2.1.1 Kart- og bildedatabaser

Følgende grunnlagsmateriale er benyttet til forberedelse av feltarbeid og utforming av ingeniørgeologisk rapport:

- Berggrunnskart fra NGU i 1:250.000-skala og 1:50.000-skala [6]
- Kvartærgeologisk kart fra NGU [7].
- Grunnvannsdatabase GRANADA fra NGU [8].
- Skredhendelser og aktsomhetskart fra NVE [9].
- Vegkart, database hos Statens vegvesen [10].
- Aktsomhetskart for Radon fra NGU [11].
- Nettbasert kartverktøy: «Norgebilder», «Norgei3D», «Norgeskart», «Google Maps».
- GEODATA – Grunnlagkart i WMS-løsning av tilgjengelige kartdata fra kartverket [12].
- Kart over naturtyper, miljøstatus fra Miljødirektoratet [13].

2.1.2 Retningslinjer og krav

Følgende styrende dokumenter er lagt til grunn ved utarbeidelse av denne rapporten:

- Eurokode 0: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 [5].
- Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering – Del 1 Allmenne regler NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2016 [4].
- Veileder til bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering [14].
- Statens vegvesen Håndbok N500 – Vegtunneler [1]
- Statens vegvesen V520 Tunnelveiledning [15]
- Statens vegvesen Håndbok N200 Vegbygging [16]

- Statens vegvesen Håndbok R760 Styring av vegprosjekter [17].
- Statens vegvesen, Publikasjon nr 103. Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø [18].
- NS-EN ISO 14689-1, Geotekniske felt- og laboratorieundersøkelser - Identifisering, beskrivelse og klassifisering av berg [19].
- NGI, Bruk av Q-systemet. Bergmasseklassifisering og bergforsterkning [20].

2.1.3 Sikkerhet mot skred

Sikkerhet mot skred er omtalt i håndbok N200 [16]. Basert på samlet skredsannsynlighet pr. km veg og dimensjonerende trafikkmengde skal det velges sikkerhetsnivå (restrisiko). Restrisikoen skal være lavere enn tolererbar skredsannsynlighet og bør være lavere enn akseptabel skredsannsynlighet gitt i Figur 5. I valg av endelig sikkerhetsnivå skal det legges vekt på skredintensitet og skadepotensiale fra skred, konsekvenser av stengt veg regionalt og lokalt, samt kostnader for å oppnå ulike sikkerhetsnivå.

Ved framskriving av trafikkmengde neste 20 år er ÅDT for prosjektet oppgitt til >8000. Det er derfor lagt til grunn at veganlegget ikke skal ha større årlig nominell sannsynlighet for skred enn 1/1000 (Figur 5).

Dimensjonerende trafikkmengde \ Skred-sannsynlighet	< 200	200 – 499	500 – 1499	1500 – 3999	4000 – 7999	> 8000
Akseptabel skredsannsynlighet pr. km og år (bør-krav)	1/10	1/20	1/50	1/50	1/100	1/1000
Tolererbar skredsannsynlighet pr. km og år (skal-krav)	1/2	1/5	1/10	1/20	1/50	1/100

Figur 5. Matrise som angir sikkerhetskrav for skredsannsynlighet på veg [16].

Påhuggsområdene ligger innenfor NVEs aktsomhetssoner for skred. Skredvurderingene er utført ved hjelp av terrengeanalyser, klimaanalyse, befaringer i felt, modelleringer av skred og faglig skjønn. Skredtypene som er vurdert er steinsprang, steinskred, snøskred, sørpeskred, jordskred og flomskred [21]. Kvikkleireskred og fjellskred er ikke vurdert spesifikt, da årlig nominell sannsynlighet for slike skredtyper vanskelig kan fastsettes. Det er ikke gjort observasjoner som tilsier at kvikkleireskred og fjellskred er en relevant problemstilling i området. Potensielle kvikkleireområder innenfor planavgransningen er omtalt geoteknisk fagrapport [22].

2.2 Tidligere undersøkelser

Det ble utarbeidet en ingeniørgeologisk fagrapport i forbindelse med områdereguleringen [23]. Her ble det gjennomført befaringer til kritiske områder. Det ble utført sprekkekartlegging, skredvurdering, analyse av noe bergmateriale, geotekniske boringer og geoelektriske målinger (ERT og IP). De geofysiske målingene utført i områdereguleringen er ikke relevante for denne rapporten.

Det ble i kommunedelplanfasen også utarbeidet geologiske rapporter, men disse er lokalisert vest for nåværende planområde, og er dermed ikke aktuelle lenger.

2.3 Utførte undersøkelser i reguleringsplanfasen

2.3.1 Feltarbeid

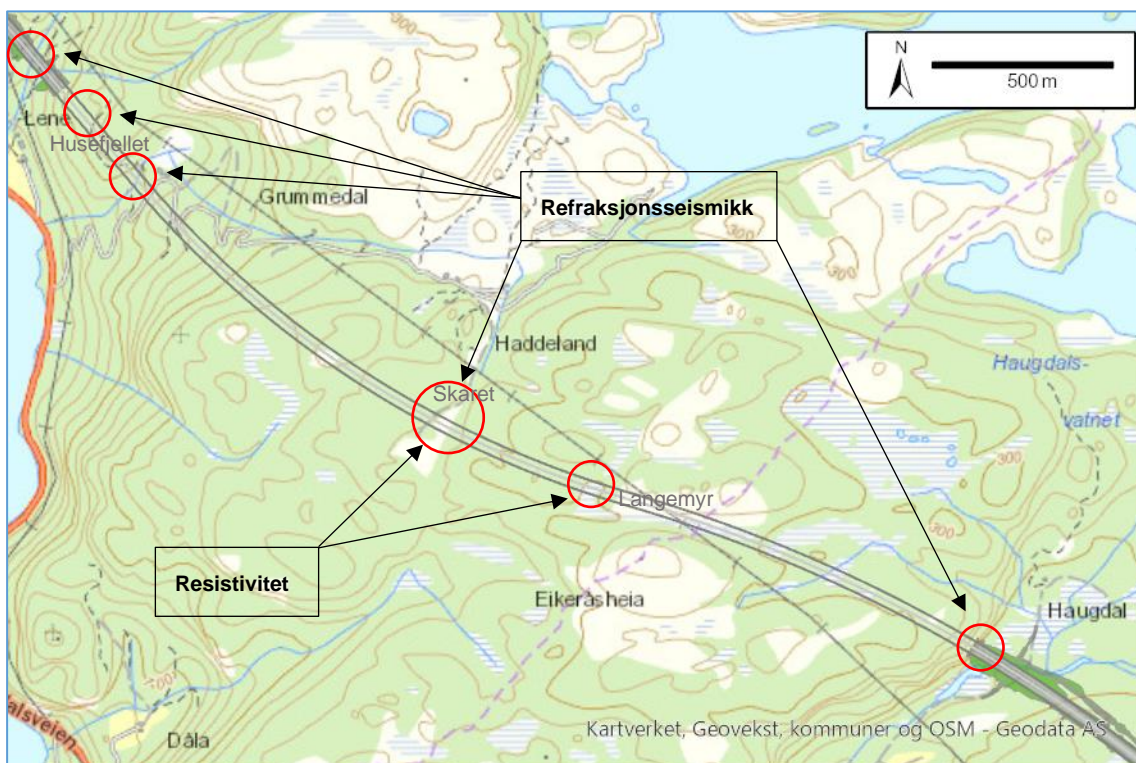
Det er gjennomført befaringer med ingeniørgeologisk kartlegging langs hele tunnelen og ved påhuggsområdene. På befaring er veigrunnet lagt inn i ArcGIS programvare (Collector) slik at data kan tas med ut i felt på mobil eller tablet.

Drone er benyttet for å ta bilder og til å lage en 3D-modell basert på fotogrammetri av påhuggsområdet i øst. Modellen er benyttet til å hente ut strukturdata (sprekkeplan) til bruk i kinematisk analyse av stabilitetsforholdene samt generell karakteristik av påhuggsområdet.

Sprekkekartlegging er utført med høyrehåndsgelen.

2.3.2 Geofysikk

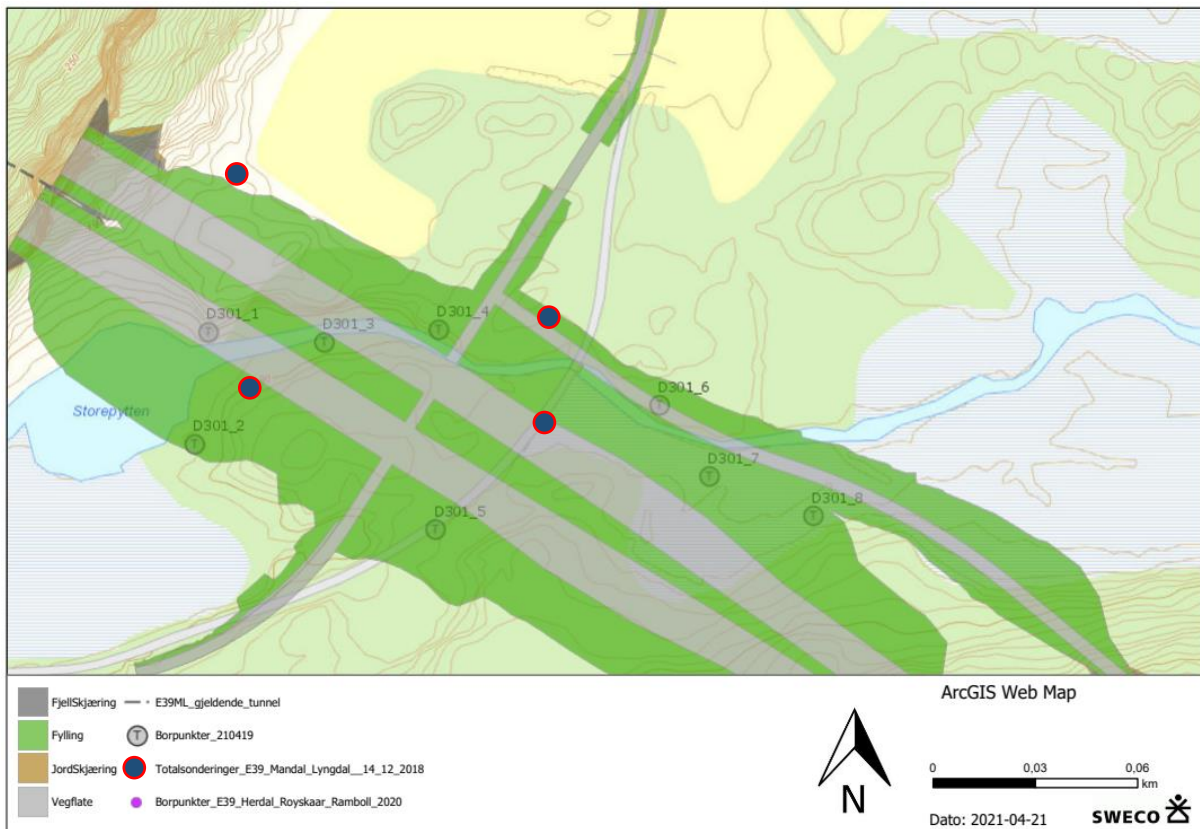
Det er utført refraksjonsseismikk ved begge påhuggsområdene samt ved Husefjellet, Grummedal og Skaret. I tillegg er det gjennomført resistivetsmålinger (ERT) ved Skaret og Langemyr over tunnelen. Hensikten har vært å undersøke mulige svakhetssoner og bergoverdekning. Områder med utførte geofysiske undersøkelser er vist på Figur 6. Detaljer om undersøkelsene er gitt i egen datarapport [24].



Figur 6: Områder der det er utført geofysiske undersøkelser vist med rød sirkel.

2.3.3 Totalsonderinger

Det er utført enkelte totalsonderinger i nærheten av påhugg i øst (Haugdal) i tidligere faser. Det er også planlagt supplerende punkter i samme område i denne fasen (Figur 7). Boringene for detaljregulering er foreløpig ikke utført. Utdypende informasjon om grunnboringer er gitt i geoteknisk rapport [22].



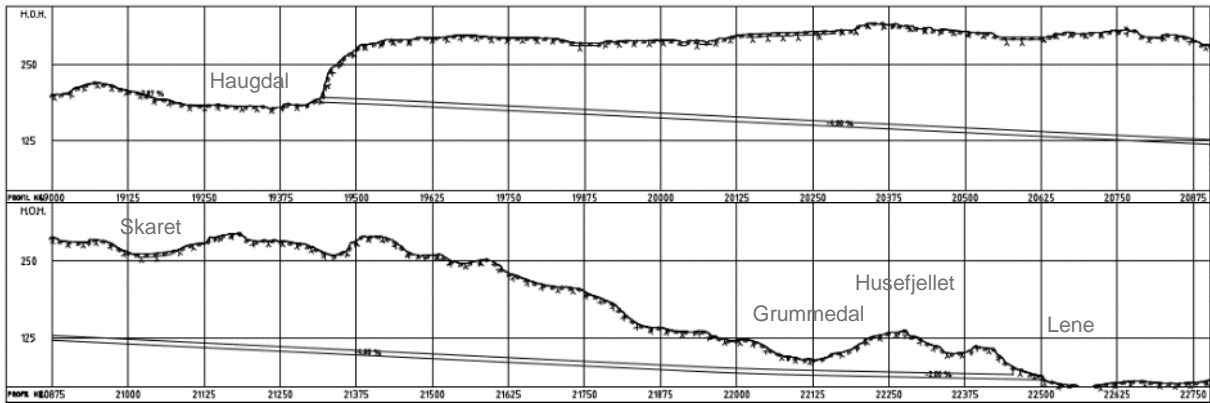
Figur 7: Utførte (2018) og planlagte (sirkel med T) totalsonderinger ved påhugg øst i Haugdal.

3 FAKTADEL

3.1 Topografi

Eikeråsheiatunnelen planlegges under Eikeråsheia mellom Haugdal i øst og Lene i vest. Fra Haugdal stiger terrenget bratt opp en bergskrent fra ca. kote 180 i dalbunnen til ca. kote 290 på toppen. Fra her er terrenget småkupert langs tunnelen, før terrenget synker ned mot Grummedal (Figur 8).

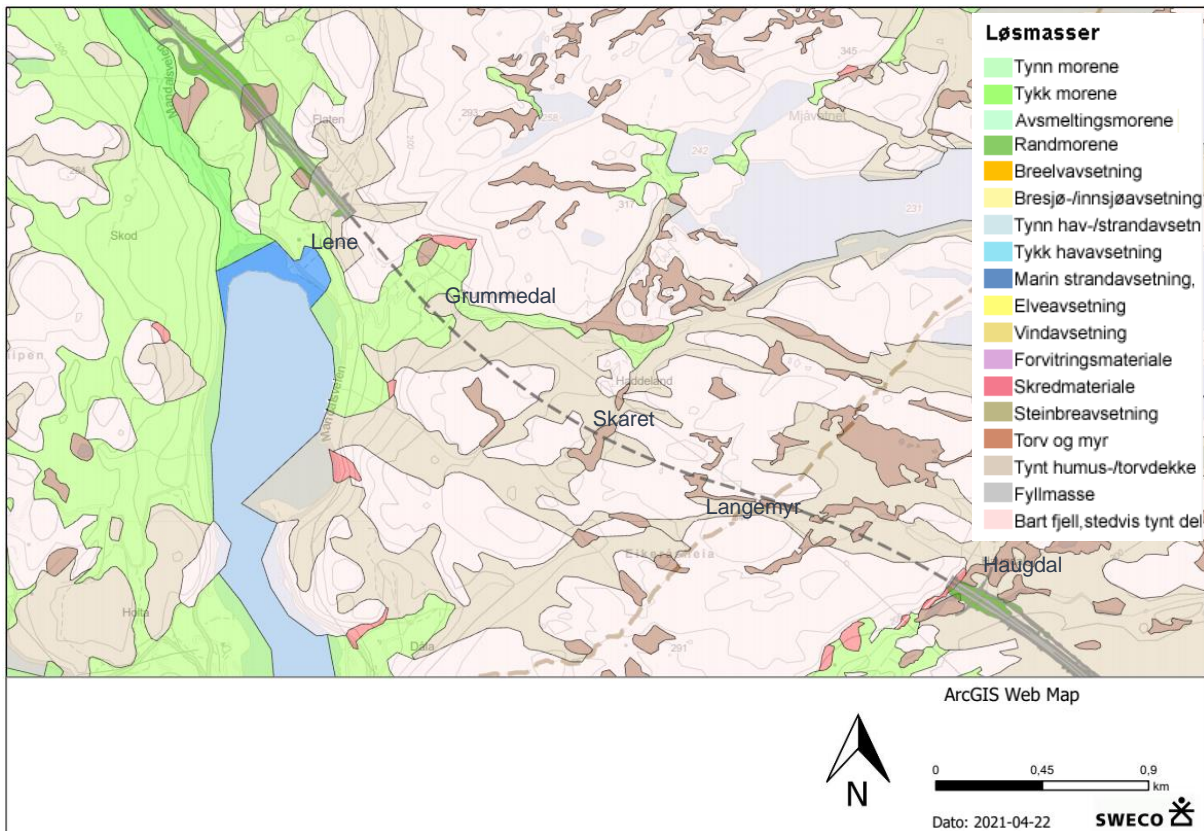
Langemyr



Figur 8: Lengdeprofil langs Eikeråsheiatunnelen (Fra tegning V3014 i vedlegg 1).

3.2 Kvartærgeologi og løsmassemektheter

Løsmassene over tunnelen er kartlagt som torv og myr, humusdekke/tynt torvdekke med mektighet rundt 0,2-0,5 meter og bart berg ifølge NGU (Figur 9). Det er angitt «Tykk morene» ved Grummedal. I påhuggsområdet i øst er det kartlagt skredmateriale [7].



Figur 9: Kvartærgeologisk kart [7]. Stort sett bart berg eller tynt humus-/torvdekke over tunnel (stiplert).

I påhuggsområdet i øst er det observert urmasser i foten av bergveggen (Figur 10). Blokkene er i størrelsesorden 1-5 m³. Refraksjonsseismiske profiler S13 og S15 indikerer mektighet på urmassene ca. 10 m [24].

Over tunnelen videre vestover er det en del myrområder i tillegg til tynt vegetasjonsdekke over berg. Det er registrert mye berg i dagen i oppstikkende koller, knauser og svaberg. I søkkene er det stort sett myrområder som ut fra terrengforhold antas grunne. Ved Langemyr, ca. pel 20550-20600, er det utført resistivitetmålinger som indikerer maksimal mektighet av løsmasser opp mot 10 m [24].

Sør for Haddeland (ved Skaret, ca. pel 21000-21100) er løsmassemektigheten opp mot ca. 10 meter i midtre/østre del av dalbunnen, basert på refraksjonsseismiske profiler S10 og S11 samt resistivetsprofiler R1, R2 og R3 [24].

I Grummedal (ca. pel 22000 – 22150) er løsmassemektigheten opp mot 9 meter i østre ende av refraksjonsseismiskprofil S9 og ca. 1-2 meter i vest. Det er generelt lite løsmasseoverdekning langs profilene S8 og S9 [24]. I forbindelse med feltkartlegging er det registrert mye berg i dagen i området rundt og i bekken som renner ned fra Grummedal.

I søkket nordvest for Husefjellet (ca. pel 22300-22400) viser refraksjonsseismikken at det er mellom 5 til 10 meter med løsmasser i profil S5, S6 og S7 [24].

I vest er det registrert bart berg og humusdekke i påhuggsområdet. I underkant av skrentene er det registrert noe urmasser/morene. Refraksjonsseismiske profiler S1, S2 og S3 utført i dette området indikerer maksimalt ca. 4,5 m løsmasseoverdekning [24].



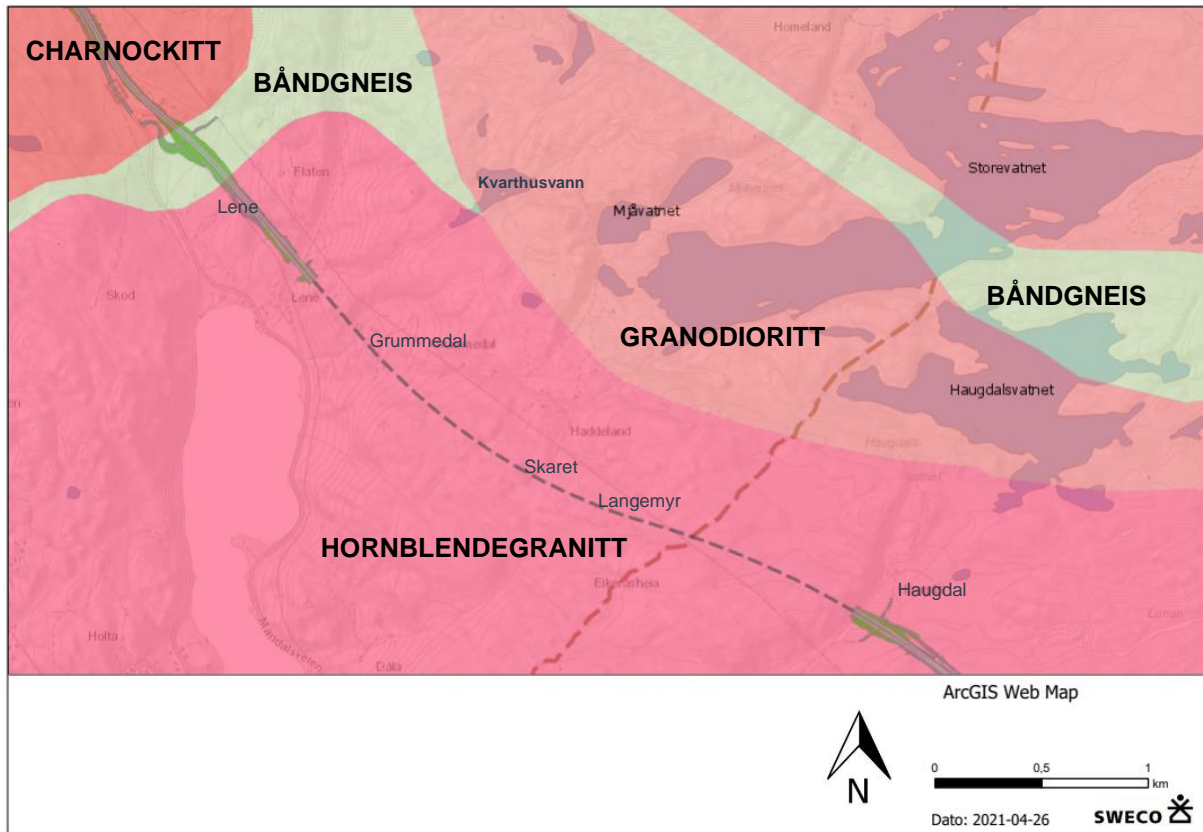
Figur 10: Dronefoto av østlig påhuggsvegg med omtrentlig påhuggsplassering.

3.3 Berggrunnsgeologi

På berggrunnsgeologisk kart N250 på www.ngu.no [6] er berggrunnen i området for Eikeråshei tunnelen angitt som granitt (Figur 11). Granitten grenser mot granodioritt i nord og mot båndgneis i nordvest. På trykt berggrunnskart N250 [25] er bergarten angitt som «Hornblendegranitt, stedvis biotittførende». Bergarten er tilhørende gruppen granittiske dypbergarter (yngre enn bergartene i Telemark-suiten og Agderkomplekset).

Feltkartlegging langs traséen bekrefter at bergarten i hele området for tunnelen består av homogen, lys/grålig middels- til grovkornet hornblendegranitt. Bergmassen i blotningene fremstår nærmest som massiv med lav oppsprekingsgrad (Figur 12).

Det er ikke registrert mineralressurser i berggrunnen ifølge databasene til NGU.



Figur 11: Berggrunnskart N250 [6].



Figur 12: Eksempel på typisk bergblotning i terrenget over tunnelen.

3.4 Strukturgeologi

3.4.1 Strukturer, foliasjon, skifrihet og oppsprekking

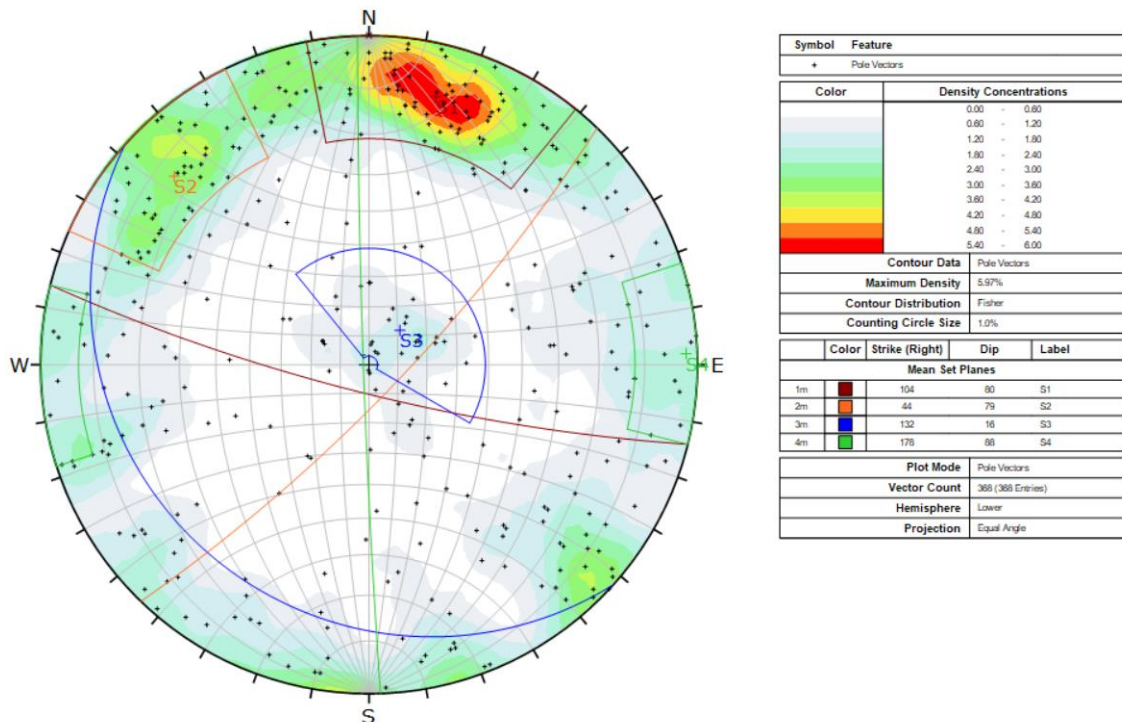
Det er utført sprekkemålinger langs hele traséen. Alle målinger er utført etter høyrehåndsregelen. Figur 13 viser samlet stereoplott for samtlige utførte sprekkemålinger i felt. Generelt er det kartlagt 3 hovedsprekkesett i området. I østlig del er det et fjerde sprekkesett i tillegg. Figur 13 viser at det er en viss variasjon i strøkretningen for sprekke langs tunneltraséen, men at det er en klar tendens i at sprekke er enten steile/nær vertikale eller flattliggende/sub-horisontale. Sprekkesett S1 og S2 peker seg ut, mens det statistiske grunnlaget for å definere sprekkesettene S3 og S4 er noe svakere.

Detaljer om sprekkesettene som er gjennomgående over tunneltraséen er gitt i Tabell 5. Det er generelt ikke registrert belegg på sprekke. Dette kan skyldes at eventuelt belegg er vasket bort, da sprekkeregistreringer i all hovedsak er foretatt på naturlige svaberg og i skrenter som har vært eksponert for vær og vind siden istiden.

Sprekkeroser langs tunnelen er vist på ingeniørgeologiske tegninger i vedlegg 2. Videre er sprekkeroser og stereoplott for ulike strekninger av tunnelen gitt i vedlegg 3.

Tabell 5: Kartlagte sprekkesett over Eikeråsheiatunnelen.

Sprekkesett	Strøk/fall	Kommentar
S1 (1m)	084-127°/74-90°	Ru og plane til bølgete overflate. Sprekkeavstanden er 1 - 3 m.
S2 (2m)	034-071°/76-86°	Plan ru overflate, sprekkeavstand på 1-2 m.
S3 (3m)	098-166°/10-21°	Subhorisontale eks-foliasjonssprekker med 2-3 m avstand.
S4 (4m)	199-352°/83-85°	Generelt ru og plane til litt bølgete. Varierende sprekkeavstand 1 - 5 m.

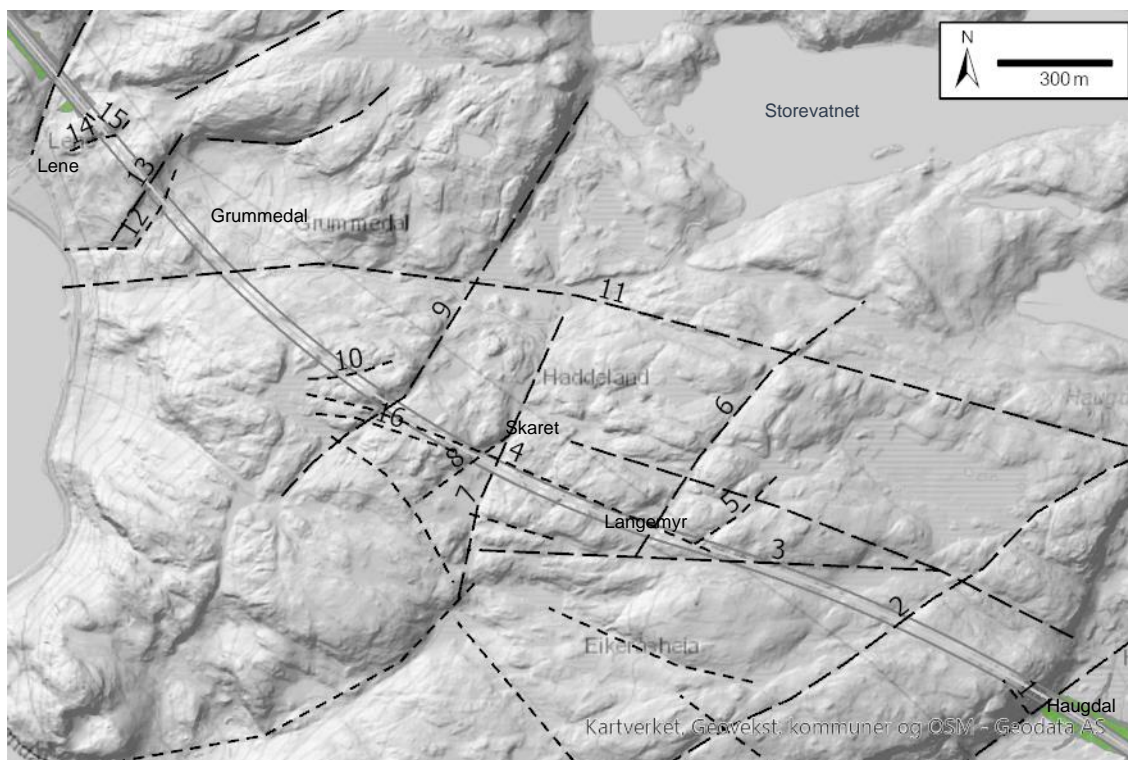


Figur 13: Konturplott av alle sprekkemålingene over Eikeråshei tunnelen med definerte sprekkesett.

3.4.2 Lineamenter

Det er utført lineamentstudie i området ved hjelp av skyggekart, topografiske kart og befaringer. I hovedsak har de større lineamentene i området retning nordøst-sørvest. I tillegg er det mindre lineamenter som krysser omtrent vinkelrett på disse. Det er kartlagt 16 lineamenter som krysser tunneltraséen, se Figur 14.

I felt er det observert at sideberget til lineamentene i stor grad har steile overflater med ca. 70°-90° fall.

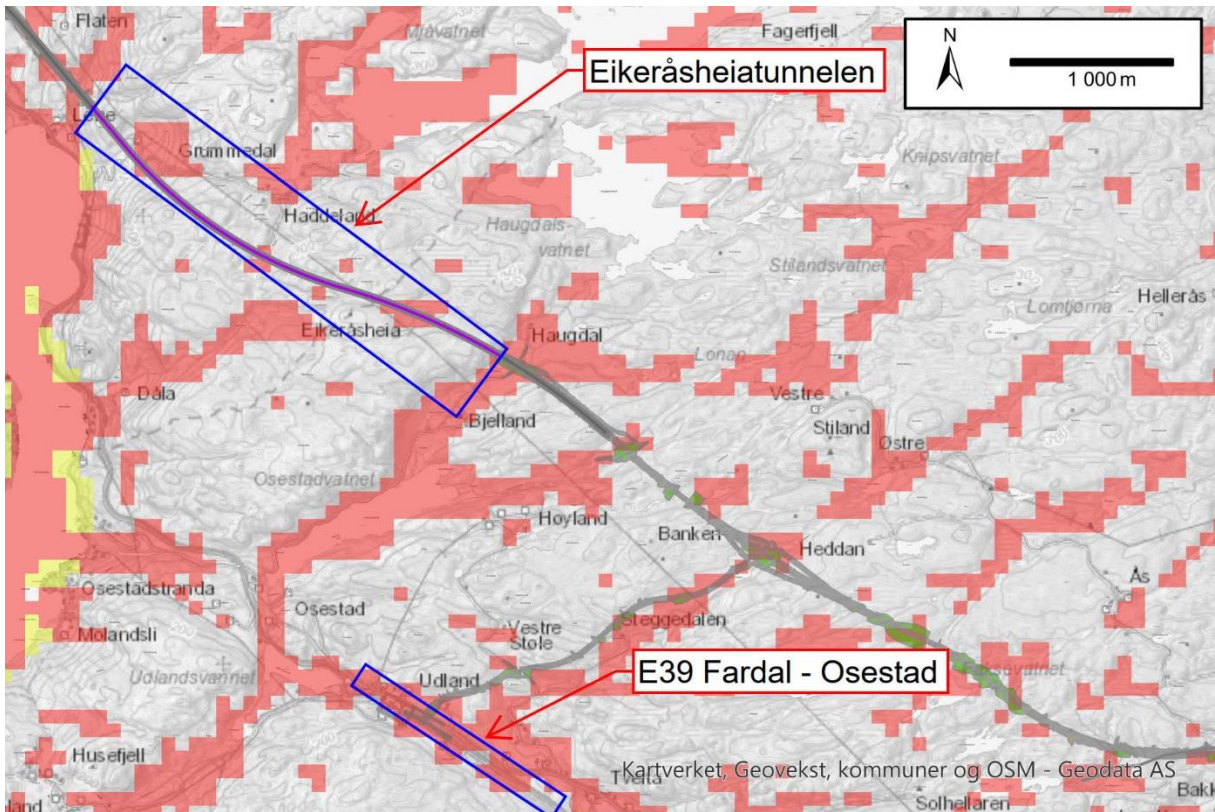


Figur 14: Kartlagte lineamenter i området over Eikeråshei-tunnelen. Hvert enkelt lineament er nummerert.

3.4.3 Dypforvitring

Det foreligger et aktsomhetskart for dypforvitring for Sør-Norge [26]. Kartene indikerer stort sett at alle større forsenkninger i topografien kan være påvirket av dypforvitring. Kartene er ganske grovkornede, og det er ikke mulig å lese ut detaljer i en målestokk som er tilpasset denne tunnelen. Fra områdereguleringen er det kjent at det finnes soner med indikert mulighet for dypforvitring i området. Dypforvitring kan være vanskelig å lokalisere ved vanlig feltarbeid, men er mest sannsynlig å påtreffes i granitt som inneholder mørke mineraler, slike som Eikeråshei-tunnelen befinner seg i. Områder med mulig dypforvitring basert på geofysiske målinger er vist i Figur 15.

Erfaringene fra bygging av eksisterende E39 mellom Fardal og Osestad som ble ferdigstilt i 2011 (Figur 15) er at bergmassen på sørvestsiden av dalføret er sterkt preget av dypforvitring mens bergartene på østsiden er friske og fremstår som tilnærmet uforvitret i dagen. Statens vegvesen erfarte betydelige utfordringer med stabilisering av bergmassene i skjæringene langs sørvestsiden av veien. Tilsynelatende kompetent bergmasse hadde lett for å forvitte raskt når den ble eksponert etter utsprenning. Dette førte bl.a. til at enkelte skjæringer måtte avlastes i toppen ved å etablere brede toppaller for å få stabile skjæringer. Denne informasjonen stammer fra forfatterens egne erfaringer som prosjektets ingeniørgeolog for Statens vegvesen.



Figur 15: Kart over mulig dyppforvitring, markert med rødt (kilde: [26]). Strekning med kjent dyppforvitring på dagens E39 mellom Fardal og Osestad markert.

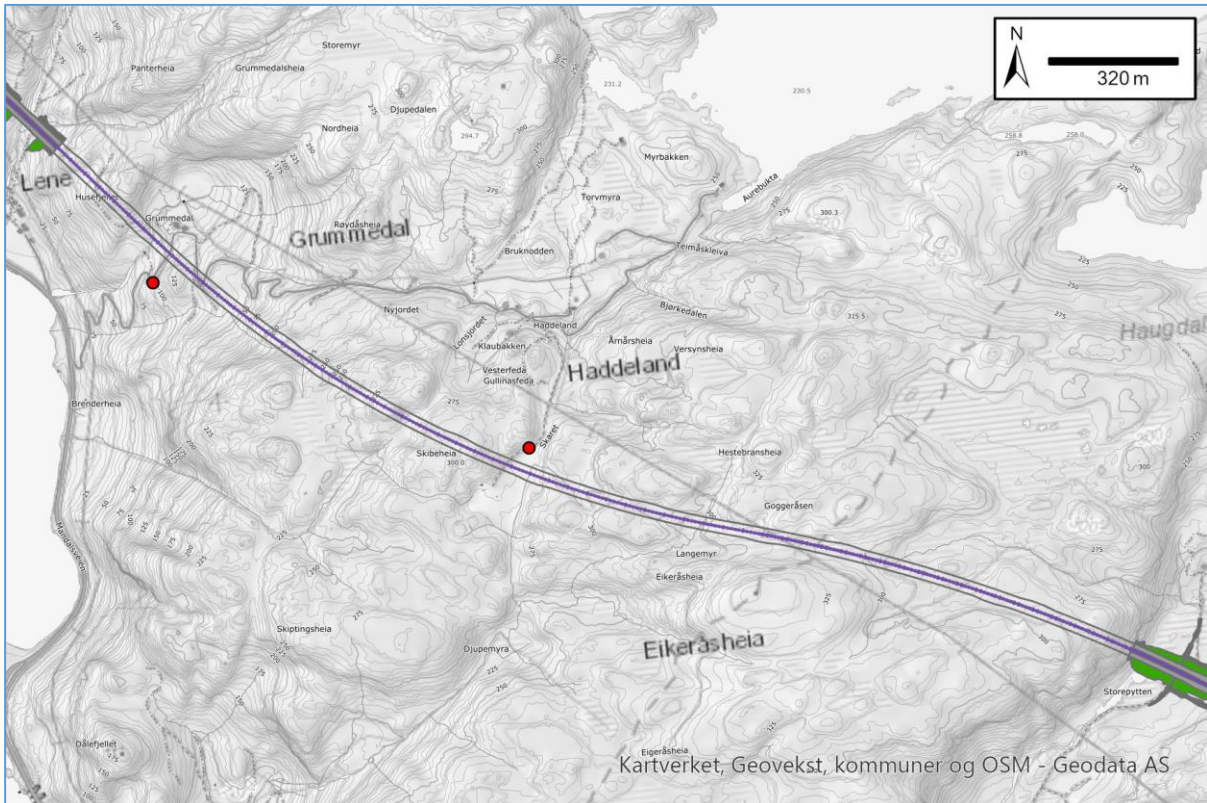
3.5 Steinmaterialets kvalitet

Det er i denne fasen utført tester av steinmateriale fra to områder over tunnelen (Figur 16).

Kravene til bruk i bærelag er LA-verdi < 35 og MD-verdi < 15 . Prøven fra Grummedal er innenfor kravene til bruk i bærelag. Prøven fra Haddeland er så vidt utenfor (Tabell 6)

Tabell 6: Resultatet av granittprøve hentet fra Grummedal og Haddeland.

Bergart	Årstall	Lokalitet	LA	MD
Granitt	2021	Grummedal	24	12
Granitt	2021	Haddeland	36	15



Figur 16: Røde prikker indikerer områdene hvor steinprøvene er hentet fra.

3.6 Borbarhet og sprengbarhet

Borbarhet er definert ved indeksene DRI (Drilling Rate Index, borbarhetsindeks) og BWI (Bit Wear Index, borslitasjeindeks). Avhengig av testresultat klassifiseres bergarten i kategorier fra 'ekstremt lav' til 'ekstremt høy'. Sprengbarhet beskrives ved sprengbarhetsindeksen, SPR. Indeksen er et mål på sprengstofforbruk (kg/m^3) for å oppnå en gitt fragmentering ($d_{50} = 270 \text{ mm}$). SPR-skalaen til bergarten fastsettes som god, middels eller dårlig.

Det er ikke utført tester for å beregne/fastsette DRI, BWI eller SPR for dette prosjektet. Det er derfor benyttet erfaringsdata fra testing av tilsvarende bergarter (granitt).

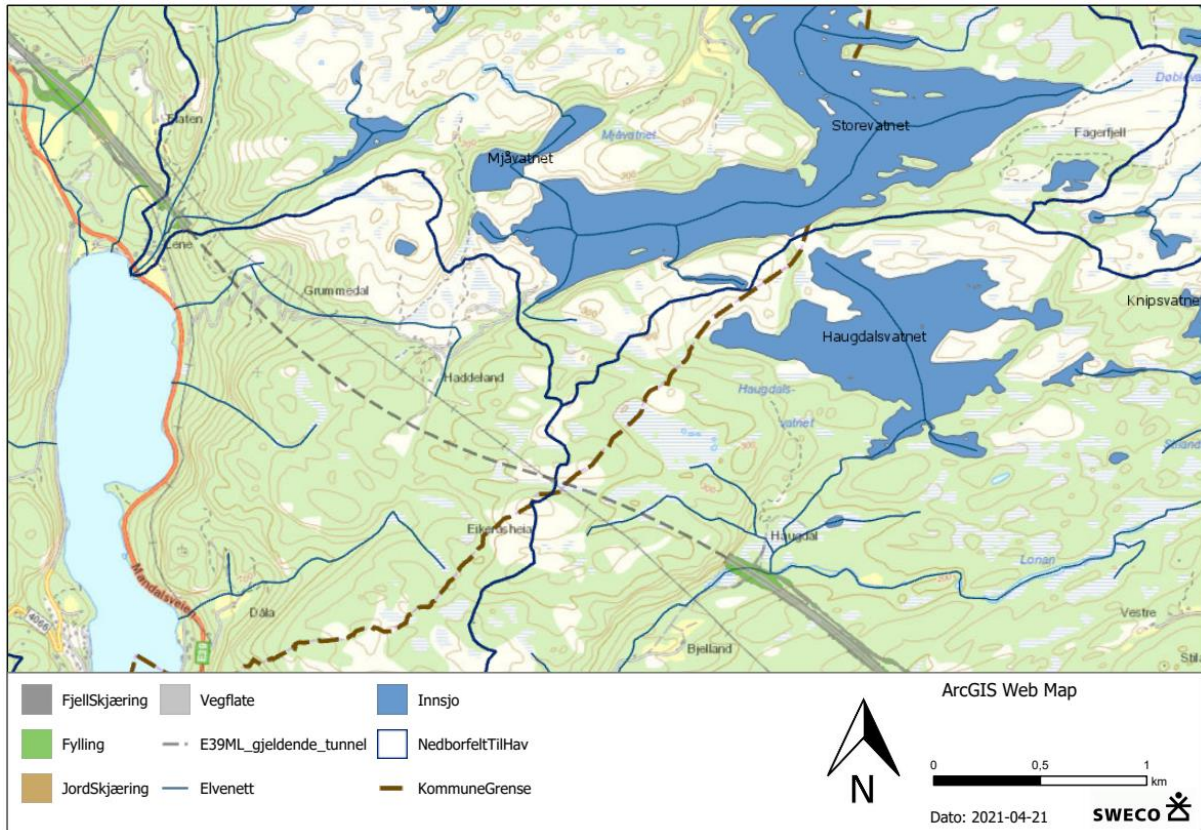
3.7 Vannforhold – Hydrologi/hydrogeologi

3.7.1 Drenering, myrområder og overflatevann

Tunnelen krysser under flere myrdrag og myrområder. Det største er lokalisert langs Langemyr fra ca. profil 20150 til 20650.

Berørte nedbørfelt er vist i Figur 17. Den delen av tunneltraséen som ligger i Lyngdal kommune ligger hovedsakelig innenfor nedbørfelt 024.142 som har et areal på $4,06 \text{ km}^2$ [9]. Den delen av tunnelen som ligger i Lindesnes kommune befinner seg innenfor nedbørfelt 024.14B som har et areal på $5,45 \text{ km}^2$ [9]. Figuren viser også de største elvene og bekkene i

området. Over tunnelen befinner det seg ca. 4 mindre vassdrag (bekker), hvorav den største er bekken som drenerer ned fra Haddeland mot Grummedal og Lenefjorden.



Figur 17: Elvenett, innsjøer og nedbørfelt til hav over/nær tunnelen. Hydrologisk datagrunnlag fra [9].

3.7.2 Naturtyper

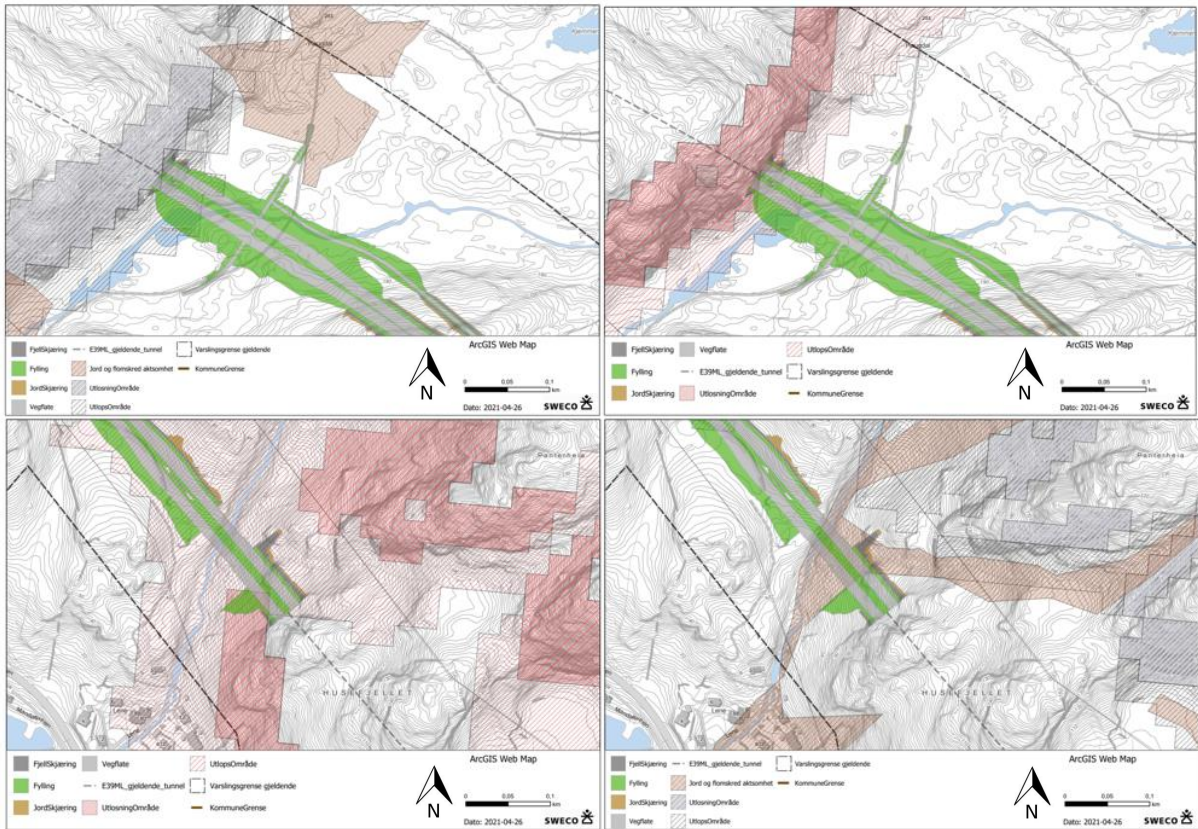
Det er utført en gjennomgang av kjente naturmangfold-verdier over planlagte tunneler innenfor planområdet [27]. I vurderingen er det ikke registrert noen spesielt sårbare naturtyper i området over Eikeråshei tunnelen. Påhugget ved Haugdal i øst vil i stor grad berøre et bekkesystem og et lite tjern, men det er ikke gjort noen registreringer her spesielt. Eikeråsheia er et viktig trekkområde, spesielt for hjort i deler av året. Dette vil ikke bli påvirket negativt av tiltaket så fremt det ikke fører til endringer i vannforholdene på overflaten. Sør for vestlig påhugg ved Lene er det et område med rik edellauvskog som er registrert som viktig naturtype. Avstanden er rundt 150 m. Tunnelen vil ikke påvirke dette området.

3.7.3 Bebyggelse

Det er ingen bebyggelse i nærheten av tunnelpåhuggene i øst. Det er enkelte boliger på Haddeland ca. 300 meter nord for tunneltraséen. Tunnelene går under bolig/småbruk i Grummedal. Videre er det boliger i Lene omtrent 150 m sør for tunnelpåhuggene i vest.

3.8 Skredfare i påhuggsområder

Det er foretatt en gjennomgang av aktuelle aktsomhetsområder for skred i påhuggsområdene på bakgrunn av kartene til NVE [9]. Østre påhuggsområde ved Haugdal ligger innenfor utløpsområde for både snøskred og steinsprang. Vestre påhuggsområde ved Lene ligger innenfor aktsomhetsområde for snøskred samt nær aktsomhetsområde for jord- og flomskred (Figur 18).



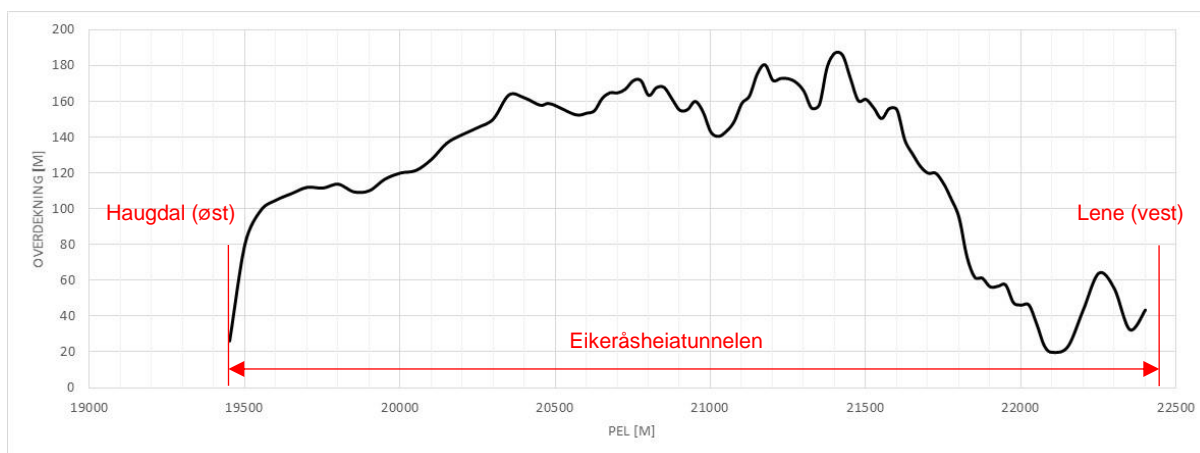
Figur 18: Aktsomhetsområder skred østre påhugg ved Haugdal (de 2 øverste) og vestre påhugg ved Lene (de to nederste).

4 TOLKNINGSDEL

4.1 Bergoverdekning - sammendrag

Terrenget over Eikeråsheiattunnelen er generelt preget av oppstikkende knauser bestående av bart berg med myrsøkk imellom. Diagrammet viser vertikal overdekning over tunnelen (Figur 19). Tunnelen heller 4,80% fra øst mot vest, og fallet flater ut til 2% de siste ca. 250 m mot påhugget ved Lene i vest.

Påhugget i øst ved Haugdal ligger ved ca. pel 19440 i en nær vertikal naturlig fjellskrent. Tunnelens overdekning er mellom 100 – 185 m mellom pel 19550 – 21800. Fra pel 21800 reduseres overdekningen ned til minimum på omtrent 16 m i pel ca. 22125. Herfra stiger overdekningen igjen til ca. 65 m under Husefjell (pel ca. 22750). Påhugget i vest er plassert i skråningen mot bekken som drenerer sørover mot Lenefjorden. Detaljert beskrivelse av de enkelte delstrekningene er gitt i de etterfølgende avsnitt.



Figur 19: Diagram som viser vertikal bergoverdekning for senterlinjen mellom tunnellopene mot pelnummer.

4.2 Bergoverdekning - detaljert beskrivelse

Bergoverdekningen stiger nesten umiddelbart fra påhugget ved ca. pel 19440 til ca. 55 m ved pel 19460, 20 m innenfor påhuggsflaten, før terrenget flater ut på ca. kote 290 m. Overdekningen stiger likevel ganske jevnt til ca. 170 m ved pel 20750 på grunn av tunnelens fall på 4,80% mot vest. Terrengoverflaten antas å tilsvare bergoverflaten i dette området på grunn av lite løsmasser og stort sett berg i dagen fra kvartærgeologisk kart, flyfoto og feltregistreringer.

Resistivetsmålinger i Langemyr (ca. pel 20550 – 20600) tyder på relativt liten løsmassemekthet i myrområdene. Resistiviteten er ikke best egnet til å måle løsmassemekthet, men det antydes en maksimal mektighet på ca. 10 m i Langemyr. Det er ikke utført manuelle sonderinger med stikkstang i denne omgang da myrene var tilfrosset på befaringstidspunktet. Bergoverdekningen er derfor antatt ca. 140 m i dette området.

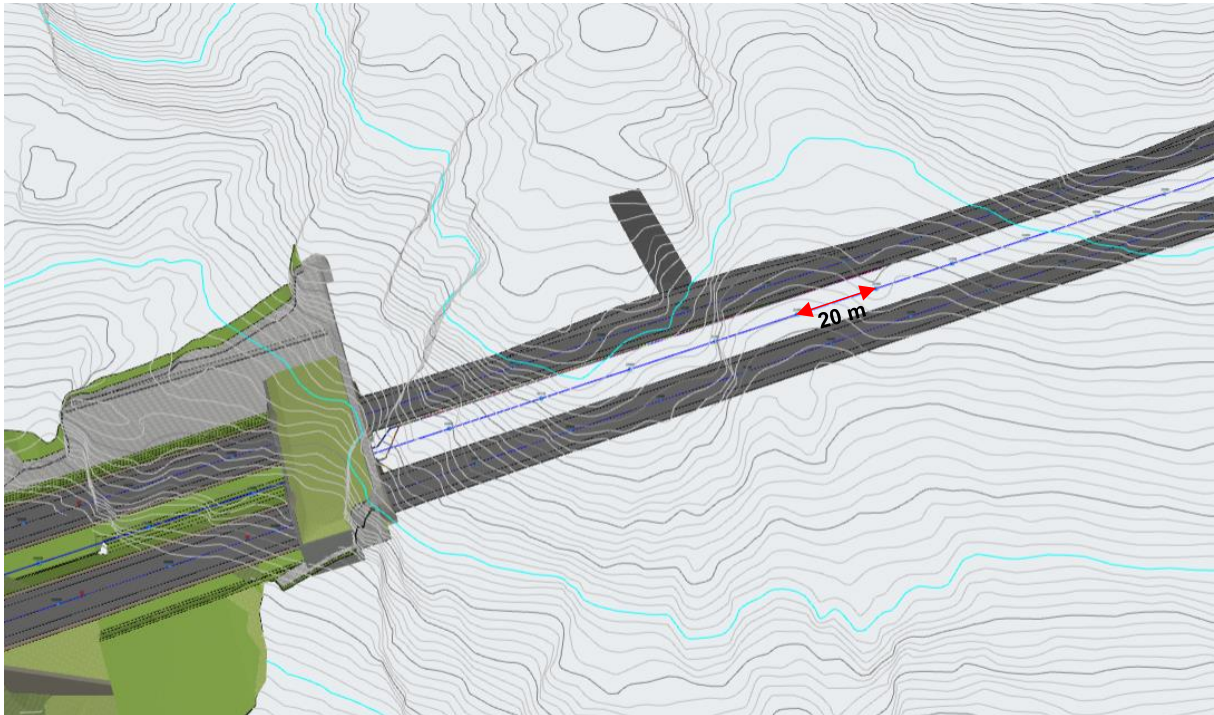
Resistivetsmålinger og refraksjonsseismiske målinger ved Skaret (ca. pel 21000-21100) viser generelt lite løsmasser. Maksimal mektighet er ca. 10 meter. Bergoverdekningen vurderes derfor å være minimum ca. 130 m i dette området.

Maksimal bergoverdekning er ca. 185 m rundt pel 21400. Dette er et område med en oppstikkende bergkulle (berg i dagen).

I skråningen ned mot Grummedal (ca. pel 21800 – 22100) er det noe blokk- og løsmassedekke med spredte bergblotninger. Det antas tynt løsmassedekke i området, ca. 1-3 m i gjennomsnitt. Bergoverdekningen reduseres ned mot minste overdekning på ca. 16 m i senterlinjen rundt pel 22125. Nær Haddelandsveien faller terrenget av mot vest (Lenefjorden) og det er derfor noe variasjon i overdekning for de enkelte løpene. Refraksjonsseismikken tyder på liten løsmassemekktighet i søkket, og det er registrert mye berg i dagen langs bekken som renner ned mot Lenefjorden samt tilstøtende områder. Refraksjonsseismikken (profil S8 og S9) har ikke registrert tydelige tegn til vesentlige svakhetssoner i berggrunnen i dette området, og det er målt høye lydshastigheter (ca. 4900 – 5800 m/s). seismikkprofil S8 indikerer imidlertid mulig tilstedeværelse av 1-2 soner basert på den tomografiske tolkningen som ikke fremkommer på den tradisjonelle tolkningen, så svakhetssoner kan ikke helt utelukkes. Bergoverdekningen vurderes ut fra seismikken og feltregistreringene til å være minimum ca. 14 m for østgående og 19 m for vestgående løp.

Videre mot vest stiger bergoverdekningen til maksimalt ca. 65 m under Husefjellet rundt pel 22250. Herfra faller overdekningen igjen til ca. 30 m i søkket ved pel ca. 22350. Tunnelens helning er redusert til 2% mot vest i dette området. Utført refraksjonsseismikk på overflaten i dette søkket tyder på løsmassemekktighet på ca. 5-10 m, så bergoverdekningen kan være ned mot 20 m i dette området. Her er det også planlagt breddeutvidelse for havarilomme samt tverrstoll for sedimentasjonsbasseng for vaskevann. Sedimentasjonsbassenget planlegges etablert midt i havarilommen ved ca. pel 22210 der det i all hovedsak er berg i dagen (Figur 20).

Påhugg i vest er plassert ved ca. pel 22455 der bergoverdekningen i senterlinjen mellom løpene er ca. 10 m og henholdsvis ca. 14 m og 11 m for øst- og vestgående løp.



Figur 20: Tverrstoll for sedimentasjonsbasseng nær påhugg ved Lene (fra BIM-innsynsmodell).

4.3 Svakhetssoner

4.3.1 Generelt

Eikeråsheiattunnelen krysser endel lineamenter hvor enkelte er tolket til å representere svakhetssoner, se Figur 14 for plassering. De mest markerte sonene er lokalisert ved Langemyr, Skaret og Grummedal. Tabell 7 gir en samlet oversikt over antatt fall og mektighet samt plassering av sonene i relasjon til senterlinjen mellom tunneløpene.

I det etterfølgende er det gitt en mer detaljert beskrivelse av de enkelte sonene og tolkninger av egenskapene til disse.

Sonene utgående i dagen samt antatte skjæringspunkt for øst- og vestgående løp er også vist på ingeniørgeologiske tegninger.

Tabell 7: Informasjon om kartlagte lineamenter

Nummer	Antatt fall	Antatt mektighet	Krysser tunnelen ved profil nr.	Kommentar
1	90°	< 5 meter	19550	Sprekkesone
2	90°	5-10 meter	19870	Myrområde
3	90°	10-20 meter	20300	Langemyr
4	90°	5-10 meter	20450 og 21200	Går subparallelt med tunnelen over en lengde på ca. 1 km

16	90°	5-10 meter		
5	90°	< 5 meter	20450	Lite skar
6	90°	10-20 meter	20570	Myrdrag
7	90°	10-15 meter	21020	Myrområde Skaret
8	90°	< 5 meter	21070	Myrområde Skaret
9	90°	10-15 meter	21340	
10	70-80°	< 5 meter	21480	
11	90°	10-20 meter ?	21900	Stort dalsøkk langs Grummedal
12	90°	< 5 meter	22140	Langs bekk
13	70°	< 5 meter	22200	
14	90°	5-10 meter	22370	
15	85°	<5 meter	22430	Mulig sone i østgående påhugg
16	90°	5-10 meter	21150	Sone i østgående løp.

4.3.2 Sone 1

Sonen stryker ca. NV-SØ og er synlig i bergveggen ved østre påhugg (Haugdal) som et mindre søkk. Sonen er antatt å være steiltstående, og antas å ha en mektighet på mindre enn 5 meter. Sonen stryker nær parallelt med tunnelens orientering så den vil trolig påvirke bergmassekvaliteten i østgående løp. Den later til å dø ut, så det er mindre sannsynlig at den vil påvirke vestgående løp.

4.3.3 Sone 2

Sonen stryker ca. NØ-SV og kommer til uttrykk i overflaten som en tydelig definert forsenkning som kan følges over minst 2,5 kilometer på relieffkartet. Søkket er stort sett dekket av myrer i bunnen med bart berg på begge sider. Antatt mektighet på sonen er ca. 5-10 meter mot dypet. På bakgrunn av sonens utgående i dagen over høydedraget på tvers av tunneltraséen og topografien i de steile sideveggene, antas sonen å ha steilt/nær vertikalt fall. Basert på antatt mektighet og orientering antas det at sonen vil kunne påvirke stabiliteten i tunnelen over en strekning på ca. 15-20 meter.

4.3.4 Sone 3, 4, 5 og 6

Sonen 3 stryker ca. ØNØ-VSV igjennom myrområdet «Langemyr» langs foten av Goggeråsen. Søkket som sonen danner er stort sett dekket av myrflater og avgrenset av bart berg på begge sider, og kan følges på relieffkartet over minst 1,5 kilometer. Selve søkket er opp mot ca. 30 bredt i overflaten, men vi antar at sonen er uterodert av innlandsisen og derfor er smalere mot dypet, antakelig maksimalt ca. 10-20 meter. Basert på topografien og sonens rettlinjede utgående i dagen vurderes sonen å ha nær vertikalt fall. Sone 3 ser ut til å krysse sone 4 i området rundt Langemyr, direkte over tunnelen.

Sone 4 later til å være mindre markert, men kan likevel følges på relieffkart over en strekning på ca. 1,5 kilometer. Basert på sonens utgående i dagen og avgrensning mot steile bergvegger på hver side antas det at sonens fall er steilt/nær vertikalt med strøkretning ca. ØSØ-VNV. Mektigheten anstas å være ca. 5-10 meter mot dypet.

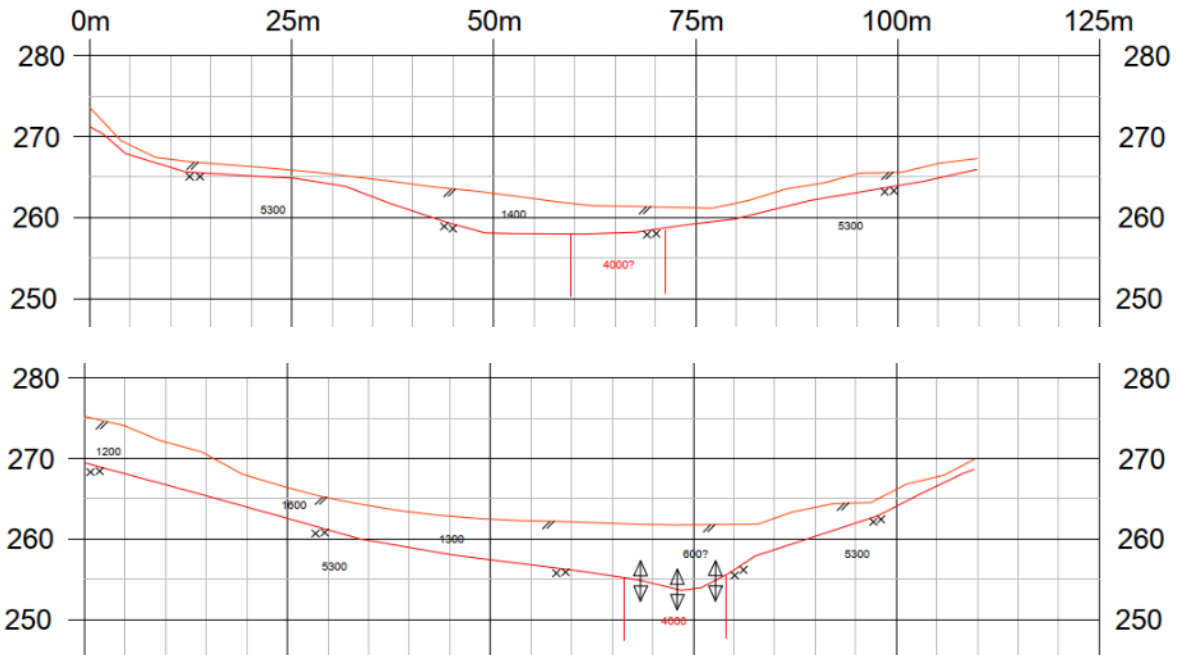
Sone 5 er representert ved et mindre markert lineament som er orientert ca. NØ-SV og ser ut til å terminere mot sone 4 rett øst for Langemyr. Lineamentet kan følges i terrenget over en strekning på ca. 200-250 meter fra Langemyr før det forsvinner under et myrområde i NØ. På bakgrunn av topografien antas sonen å ha nær vertikalt fall, og antatt mektighet er maksimalt 5 m.

Sone 6 stryker ca. NØ-SV og kan følges på relieffet fra området NØ for Versynsheia over en strekning på ca. 850-900 meter før den ser ut til å terminere mot sone 3 i Langemyr. Sonen antas å ha en mektighet mot dypet på ca. 10-20 meter, og vurderes ut fra topografien å ha steilt til nær vertikalt fall.

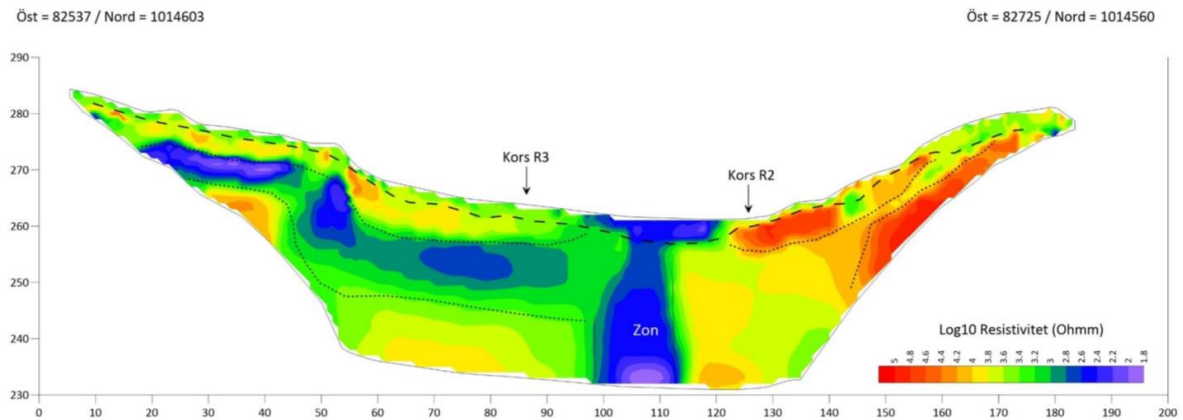
I dette området (pel ca. 20450 – 20700) er det mulighet for flere kryssende svakhetssoner av varierende mektighet på tunnelnivå. Særlig sone 3 og 4 kan gi stabilitetsutfordringer i tunnelen på grunn av sin orientering nær parallelt med tunnelaksen. Det er utført 2 resistivetsprofiler i Langemyr-området, profil R4 og R5. Hensikten med disse var å få et inntrykk av sonenes mektighet og eventuelt forløp mot dypet, spesielt på grunn av den ugunstige orienteringen av Sone 3 og 4. Målingene har ikke lyktes i å registrere vesentlige svakhetssoner i området. Basert på målingene anslås det rundt 10 meter løsmassemekthet ute i Langemyr, men det er målt høy resistivitet i sideberget og mot dypet uten indikasjon på svakhetssoner. Det er derfor mulighet for at disse sonene likevel ikke vil representere store stabilitetsutfordringer i tunnelen, men det vil likevel være nødvendig å gå forsiktig frem med systematisk sonderboring fra stoff i god tid før man nærmer seg området.

4.3.5 Sone 7, 8 og 16

Sone 7 stryker ca. NNØ-SSV og kan følges på relieffet over ca. 1 kilometer. Den fortsetter trolig mot SV utenfor planområdet, men utgående av sonen blir her noe mer utydelig. Basert på topografien antas sonen å ha en bredde på ca. 10-15 meter med antatt steilt fall. Disse vurderingene styrkes av resultater fra geofysiske målinger i området. Det er utført refraksjonsseismikk (profil S10 og S11) samt resistivetsprofiler (R1, R2 og R3) i området. R1 og S10/S11 er utført langs tunneltraséen mellom pel ca. 20940 – 21140. Seismikkprofilene indikerer en lavhastighetssone med ca. 10-15 meter bredde (Figur 21). Ellers måles kun tynt med løsmasser over berg (ca. 5-10 meter), og bergmassen rundt har en lydshastighet på ca. 5300 m/s som representerer godt berg. Resistivitesprofilen R1 gir også tydelige indikasjoner på en sone i de sentrale delene av profilet som tolkes som en vertikal svakhetszone med bredde ca. 10-15 meter (**Feil! Fant ikke referanse kilden.**).



Figur 21: Seismikkprofiler S10 øverst og S11 nederst [24]. Lavhastighetszone antas å være sone 7.



Figur 22: Resistivetsprofil R1 [24]. Antatt nær vertikal sone 7 (merket «Zon»)

Sone 8 ser fra topografien ut til å stryke ca. NØ-SV, og sonens utgående kan følges over en strekning på ca. 350-400 meter. Den antas å være en del smalere enn sone 7, trolig inntil 5 meter mektighet, og sannsynligvis med steilt til vertikalt fall. Til tross for at den er et tydelig lineament i topografien trer ikke sonen klart frem på refraksjonsseismikken eller resistivetsprofil R1. Den svært lave resistiviteten i et lag til venstre for sone 7 i Figur 22 antar vi skyldes at profilet er målt i bunnen av et søkk som representerer sone 4. Den lave resistiviteten er altså mest sannsynlig et uttrykk for redusert bergmassekvalitet i de sentrale delene av sone 4. Det er en interessant observasjon at denne sonen sannsynligvis er registrert i profil R1, men ikke i profilene R4 og R5 som også krysser sone 4 lengre øst i Langemyr-området.

Resistivetsprofilene R2 og R3 ble utført for å se på muligheten for tilstedeværelsen av flere soner som ikke fremgår så tydelig av relieffkartene, men som likevel kan være orientert ca. parallelt med tunneltraséen. Profilene gir ikke tydelig indikasjon på tilstedeværelsen av slike soner. Det er generelt målt tynt med løsmasser over berg (5 - maksimalt 10 meter) i profilene med høy resistivitet mot dypet. Det må imidlertid bemerkes at resistivitet ikke er spesielt godt egnet til å måle overgangen løsmasser-berg, så her ligger det en del usikkerhet.

Sone 16 stryker parallelt med sone 4 (ca. ØSØ-VNV) og kan egentlig regnes som en del av samme struktur. Sone 16 og 4 er adskilt av en oppstikkende bergknaus. Avgrensede bergflater indikerer sannsynlig steilt fall. Mektigheten antas å være ca. 5-10 meter mot dypet, tilsvarende som for sone 4.

4.3.6 Sone 9

Sonen stryker NNØ-SSV og fremstår tydelig på relieffet over en strekning på ca. 2 kilometer mellom Storevatnet og Dålefjellet. Sonen antas ut fra topografien å være ca. 10-15 meter bred mot dypet med steilt til vertikalt fall. Sonen krysser tunneltraséen ved ca. pel 21340. Dette området er en myrflate omkranset av steile knauser bestående av bart berg. Myrflaten antas å representere et område der svakhetssonene 4 og 9 krysser. Områder med kryssende svakhetssoner kan representere partier med krevende stabilitetsmessige forhold på tunnelnivå. Det blir derfor avgjørende å foreta systematisk sonderboring når tunnelstoffene nærmer seg området der sonene kan forventes på tunnelnivå.

4.3.7 Sone 10

Sonen stryker ca. NØ-SV og krysser tunneltraséen i plan rundt pel ca. 21470. Mektigheten av sonen er trolig liten, antatt maksimalt 5 meter mot dypet basert på bredden av kløftene i bergskrenten over tunnelen. Den kan følges på relieffet over en strekning på ca. 150 meter, og sonens buformede utgående i dagen over høydedraget indikerer at den har et fall på anslagsvis 70-80° mot NV.

4.3.8 Sone 11

Sonen stryker ca. Ø-V og skjærer trolig tunneltraséen rundt pel 21900. Den kan følges over en strekning på ca. 2,5 kilometer fra Haugdalsvannet i øst til Lenefjorden i vest. Fallet er noe usikkert, men den relativt rettlinjede formen på sonens utgående tyder på steilt til vertikalt fall. Sonens mektighet er ikke kjent, men det antas at den kan være fra 10 meter til kanskje opp mot 20 meter total bredde basert på tolkninger ut fra topografien. Usikkerheten i dette anslaget er stor. Eksempelvis kan det nevnes at sone 3 er tolket til å ha en mektighet på opp mot ca. 10-20 meter ut fra topografien mens den ikke fremkommer på geofysiske målinger, noe den burde gjøre hvis den faktiske mektigheten er så stor. Nær området der sonen skjærer tunnelen er det registrert en god del berg i dagen, og vertikal overdekning er ca. 50 meter i senterlinjen. Tilsvarende som for andre markerte soner må det startes opp med systematisk sonderboring i god tid før man forventer sonen på tunnelnivå, og ut fra dette ta stilling til om man driver med utvidet profil inn mot den mulige sonen.

4.3.9 Sone 12

Sone 12 stryker omtrent NNØ-SSV over tunneltraséen og krysser denne ca. i pel 22140. Sonen er antatt plassert i bekkeløpet som drenerer fra gårdsbruket ved Grummedal og ned mot Lenefjorden. Sonen er antatt smal, maksimalt 5 meter mektighet basert på topografiske forhold, og befinner seg nær området i tunnelen med minst overdekning (ca. 14 meter for østgående løp). Det er en god del berg i dagen rundt bekkeløpet og i nærheten, men da dette er et kritisk område med tanke på overdekning og mulig svakhetszone er det utført 2 refraksjonsseismiske profiler over hvert tunnellop i området, S8 og S9. Disse profilene har kun påvist tynt løsmassedecke, maksimalt ca. 10 meter i starten av profil S9 (lengst øst i profilet). Lydhastigheten i berg er beregnet til ca. 4900-5600 m/s, noe som indikerer godt, intakt berg. Det er heller ikke registrert lavhastighetssoner på profilene som indikerer at sone 12 er en vesentlig svakhetszone. Alt i alt tyder dette på at forsenkningen der bekken fra Grummedal renner ikke representerer noen vesentlig svakhetszone, men siden den ligger i et område der tunnelens overdekning er minst på hele strekningen så er det all grunn til å ta forholdsregler ved driving inn mot dette området. Det innebærer eksempelvis systematisk sonderboring fra stoff og driving med utvidet profil inn mot partiet. Det kan også forventes innlekkasjer fra bekken ved driving inn under området.

4.3.10 Sone 13

Denne sonen er orientert omtrent parallelt med sone 12. Sonens utgående kan følges omtrent 350-400 meter på relieffkartet. Vestre avgrensning av sonen er en slett bergvegg som faller ca. 70° mot SØ, noe som trolig sammenfaller med sonens fall og fallretning (Figur 23). Som bildet viser, er sonen omgitt av bergblotninger av granitt av nær massiv karakter. Antatt maksimal bredde er ca. 5 meter basert på en tolkning av utgående i dagen. Seismikkprofilene S8 og S9 krysser ikke over denne sonen, og estimatene er usikre. Sonen krysser senterlinjen mellom løpene i ca. profil 22200. I samme område er det også planlagt breddeutvidelse for havarilommer i begge løp med en bergoverdekning varierende mellom ca. 18-47 meter. På grunn av sone 12 og 13 i kombinasjon med breddeutvidelsene for havarilommene blir det trolig behov for systematisk sonderboring fra stoff i dette området.



Figur 23: Sideberget til sone 13, bilde tatt mot NØ.

4.3.11 Sone 14

Denne sonen er naturlig å anse som en forlengelse av den markerte sonen som stryker NØ-SV i søkket fra Kvarthusvann, sør for Panterheia og videre ned mot Husefjellet og bebyggelsen nede ved Lenefjorden. Terrengformen ved pel ca. 22360 gir grunn til å anta at det foreligger en svakhetszone i dette området. Relieffet er ikke så tydelig her som oppover mot Kvarthusvann, men den er i utgangspunktet tolket å være maksimalt ca. 5-10 meter bred mot dypet og steilt til vertikalt fall basert på topografien i søkket. Det er utført 3 seismikkprofiler her, S5, S6 og S7. Profilene indikerer inntil opp mot 10-12 meter løsmassedekke, men det er ikke registrert lavhastighetssoner som gir klar indikasjon på svakhetssoner i området. Lydhastighetene i berg er beregnet til mellom 4800-5600 m/s om indikerer god bergmasse med klar kontrast til de overliggende løsmassene. På profil S6 har man ikke klart å beregne lydhastigheten i de første ca. 15 meter av profilet, så her ligger det en liten usikkerhet i vurderingene. Dette kan imidlertid skyldes enderefleksjoner fra den bratte bergveggen i bakkant. I området er det planlagt en breddeutvidelse for havarilomme med tverrstoll for sedimentasjonsbasseng til vaskevann (Figur 20). Det forventes ikke at en eventuell svakhetszone i dette området vil påvirke havarilomme og sedimentasjonsbasen direkte. Det blir behov for systematisk sonderboring inn mot dette partiet.

4.3.12 Sone 15

Ned mot påhuggsområdet i vest er det lokalisert et mindre søkk, ca. 60 meter langt, som kan representere en svakhetszone som eventuelt vil gjøre seg gjeldende i og rundt vestgående tunnelpåhugg. Estimert mektighet ut fra stedlige observasjoner er maksimalt ca. 5 meter med strøkretning ca. VNV-ØSØ og ca. 85° fall mot NNØ basert på innmålinger av fallet på den steile sideveggen i søkket (Figur 24). Sonen vil kunne medføre noe problemer med å holde på profilet i de første salvene inn fra påhugget, men det vil uansett normalt være behov for tung sikring i de første salvene inn fra påhugget i form av forbolter, sprøytebetong og eventuelle sprøytebetongbuer. Det er også vanlig å gjennomføre de første salvene med oppdelt tverrsnitt og korte salvelengder, eventuelt en mindre pilotunnel ut og strossing til fullt tverrsnitt fra utsiden hvis det drives fra innsiden og mot vest. Sonens eventuelle omfang vil bli tydeligere i forbindelse med etablering av forskjæringen og påhuggsflaten, og må kartlegges mer i detalj da.



Figur 24: Bart berg, steil sidevegg til antatt mindre svakhetszone 15.

4.3.13 Dypforvitring

På bakgrunn av aktsomhetskartene [26] er det mulighet for dypforvitring i Langemyr- og Grummedalområdet, men kartet er veldig grovkornet. Resistivetsmålingene i Langemyr indikerer ikke at dette er omfattende og utbredt. Tvert imot er det målt høy resistivitet i

bergmassen i området. Det er heller ikke indikasjon på dette ved Grummedal basert på refraksjonsseismikken som ikke påviser lavhastighetssoner i berggrunnen.

4.4 Bergmassekvalitet

Bergmassekvaliteten er kartlagt i felt på blotninger over tunneltraséen. Bergmassen som er synlig i dagen er i stor grad massiv granitt med lav oppsprekingsgrad. Q-verdiene har i all hovedsak vært over 10, noe som indikerer godt berg. Det må imidlertid påpekes at kartleggingen er utført på oppstikkende berg i dagen som ofte fremstår som avrundede svaberg, og at det ikke nødvendigvis er representativt for bergmassen nede på tunnelnivå. Q-metoden er utviklet for kartlegging etter sprengning i tunnel, og man vil derfor ofte ikke kunne si noe særlig sikkert om f.eks. parameterne J_w og SRF. I tillegg er det muligheter for at sprekkebelegg er vasket bort slik at J_a -parameteren ikke fastsettes korrekt.

Det er utfordrende å gi noen prognoser for bergmassekvalitet i svakhetssonene, da disse generelt ligger i søkk som er fylt opp av løsmasser eller dekket av myrflater med massivt berg på sidene. Det må antas at kvaliteten vil være betydelig dårligere langs enkelte av svakhetssonene sammenlignet med de intakte bergblotningene som er benyttet til estimater av Q-verdier, og at man derfor får en naturlig overrepresentasjon av godt berg i registreringene.

For svakhetssonene er det generelt antatt $J_w=0,66 - 1$ (avhengig av om det er fuktige områder over tunnelen) og $SRF = 2,5 - 5$. Antatt fordeling av bergmassekvalitet er gitt i Tabell 8.

Tabell 8. Antatt fordeling av bergmasse langs Eikeråsheitunnelen i de respektive bergmasseklasser A-F.

	A		B		C		D		E		E		F	
	Q >40		Q 10-40		Q 4-10		Q 1-4		Q 0.2-1		Q 0.1-0.2		Q 0.01-0.1	
	%	m	%	m	%	m	%	m	%	m	%	m	%	m
Østgående	-	-	74	2232	6	170	10	310	9	260	1	45	-	-
Vestgående			55	1645	13	395	22	657	7	215	3	105		

4.5 Bergspenninger

Det er ikke foretatt bergspenningsmålinger i denne planfasen, og Sweco er ikke kjent med at det er foretatt bergspenningsmålinger i nærliggende anlegg eller i tilknytning til tidligere utført planarbeid for E39 i området. Som utgangspunkt for eventuelle stabilitetsberegninger antas det derfor pr. i dag et gravitativt spenningsbilde med rene vertikal- og horisontalspenninger. Gitt deformasjonshistorikken til berggrunnen utgjøres trolig det faktiske spenningsbildet av tektoniske spenninger i tillegg til gravitative, og hovedspenningsretningene er sannsynligvis ikke rent vertikale/horisontale.

Eikeråsheitunnelen har moderat overdekning slik at det er lite sannsynlig med utfordringer som bergslag o.l. knyttet til høye bergspenninger. I påhuggsområder, ved kryssing av svakhetssoner og i områder med redusert overdekning (Grummedal) må det forventes

redusert innspenning av bergmassen, som også kan føre til stabilitetsproblemer og økt sikringsbehov.

In-situ spenningsbilde kan måles med hydraulisk splitting i vertikalt borehull eller med 3D-celle i horisontalt borehull i skjæring ved behov i senere planfaser.

4.6 Brukbarhet av steinmaterialet

Normalt er granitt en bergart som egner seg til gjenbruk i både fyllinger og i veioppbygging. Det forventes derfor at tunnelsteinen vil kunne brukes til fyllinger i de fleste tilfeller. Steinmaterialets brukbarhet til kvalitetsfyllinger og f.eks. som bærelag vil trolig være varierende. Basert på 2 prøver fra dagen er det kun den ene som tilfredsstiller kravene til LA- og Md-verdi (se Tabell 6).

4.7 Borbarhet og sprengbarhet

Det foreligger ikke laboratorieanalyser av borbarhetsindeks DRI, slitasjeindeks BWI eller sprengbarhet SPR. Verdier må derfor estimeres fra erfaringsdata på bakgrunn av empiriske data. For granitt estimeres DRI = 45-60 («middels til høy») og BWI = 30-45 («middels») ifølge [28]. Sprengbarhetsindeksen estimeres til SPR = ca. 0,42 – 0,45 tilsvarende «middels til god» for granitt [29].

4.8 Påhugg og forskjæringer

4.8.1 Påhugg øst

Østlig påhugg skal etableres i en ca. 100 meter høy bergskrent (Figur 26). Høyden på forskjæringerne er avhengig av hvor påhugget kan etableres. Urmassene i forkant av påhuggsveggen må fjernes før eksakt påhuggsplassering kan bestemmes. I forkant av fjerning av urmassene må hele bergveggen inspiseres og vurderes. Det er utført dronemotografiering av veggen som danner grunnlaget for modell som sprekkeorienteringer hentes fra. Det vil i tillegg være behov for kartlegging fra tau i veggen.

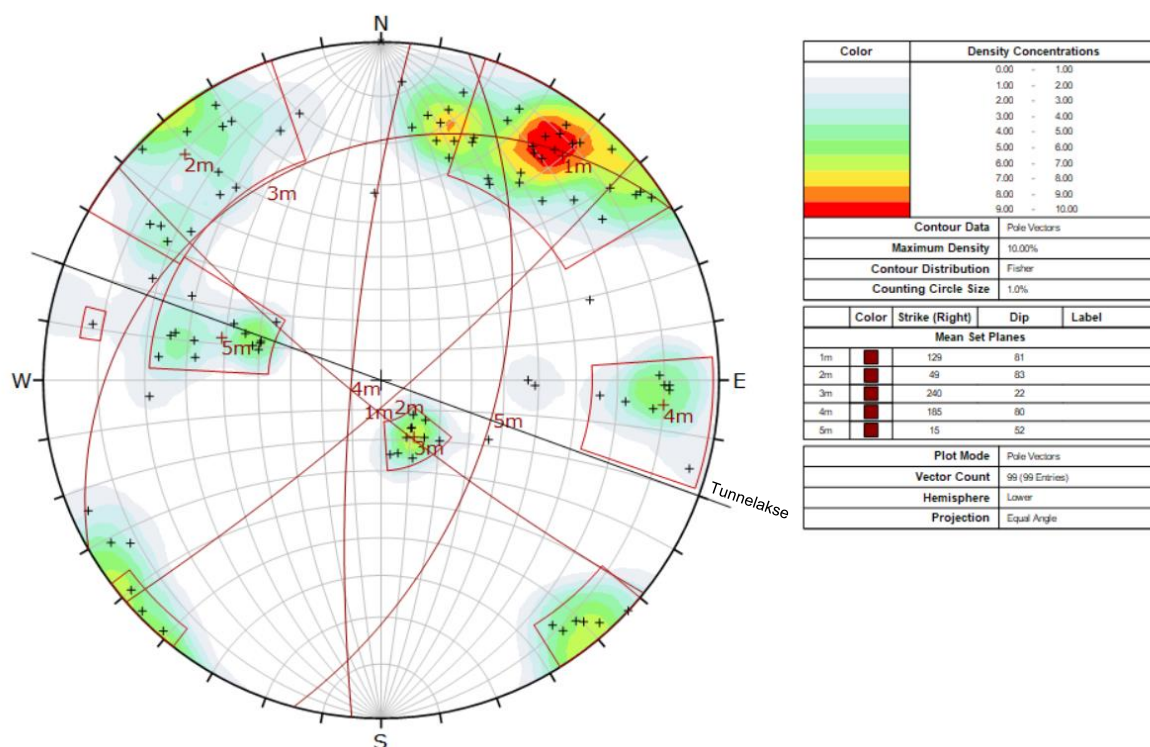
Skredfare

Steinsprang vurderes som mest aktuelle skredtype i området. Det er utført sprekkemålinger i felt over påhuggsområdet samt plukket sprekkeorienteringer fra 3d-modell av bergveggen. Resulterende polplott med tilhørende tolkede hovedsprekkeretninger er vist i Figur 25. Hovedsprekkeretningene (1m, 2m 3m og 4m) er ganske tilsvarende S1-4 som vist i Figur 13. I tillegg opptrer det et mulig sett (5m) med orientering ca. 015°/52°. Basert på en kinematisk analyse av mulige bruddmekanismer i veggen er det mulig med plan glidning på sprekkesett 2m og 5m. Det er også mulig med kileutglidninger ved kombinasjoner av de øvrige sprekkesettene, der de mest kritiske ser ut til å være kombinasjon av sprekkesett 1m/5m og 2m/5m. Det er også mulig med toppling knyttet til sprekkesett 2m.

Skrenten er generelt for bratt til at større snømengder kan akkumuleres, men det vurderes som mulig at svaberg på toppen kan akkumulere nok snø til at løssnøskred kan inntreffe. Sannsynligheten for slike skred antas å være større enn 1/1000 uten tiltak, og det vurderes derfor som behov for sikringstiltak på toppen av skrånningen

Stabilitetssikring/skredsikring

Analysen viser at alle bruddmekanismer er kinematisk mulige i veggen, og det derfor er behov for stabilitetssikring for å oppnå akseptabelt sikkerhetsnivå for vei og portalkonstruksjoner i anleggsfasen så vel som i permanent situasjon. Stedvis vil det trolig også være nødvendig med stag dersom det avdekkes store kiler som ikke kan renskes ned. I områder med oppsprukket og småfallent berg kan det være hensiktsmessig med steinsprangnett eller sprøytebetong. Rensk og sikring må komme i gang tidlig, da sikringen må ferdigstilles før øvrige arbeider med tunnelen kan starte opp. Det blir trolig aktuelt å opparbeide et areal på toppen av ura for oppstilling av lift og eventuelt kranutstyr til arbeid i høyden. Det kan også bli aktuelt med tauarbeid.



Figur 25: Stereoplott av sprekkepoler for østre påhuggsflate/skråning.

Sikringstiltak mot løssnøskred kan f.eks. være stålkonstruksjoner for å forankre et eventuelt snødekke. Gjerdene plasseres i mulige løsneområder.

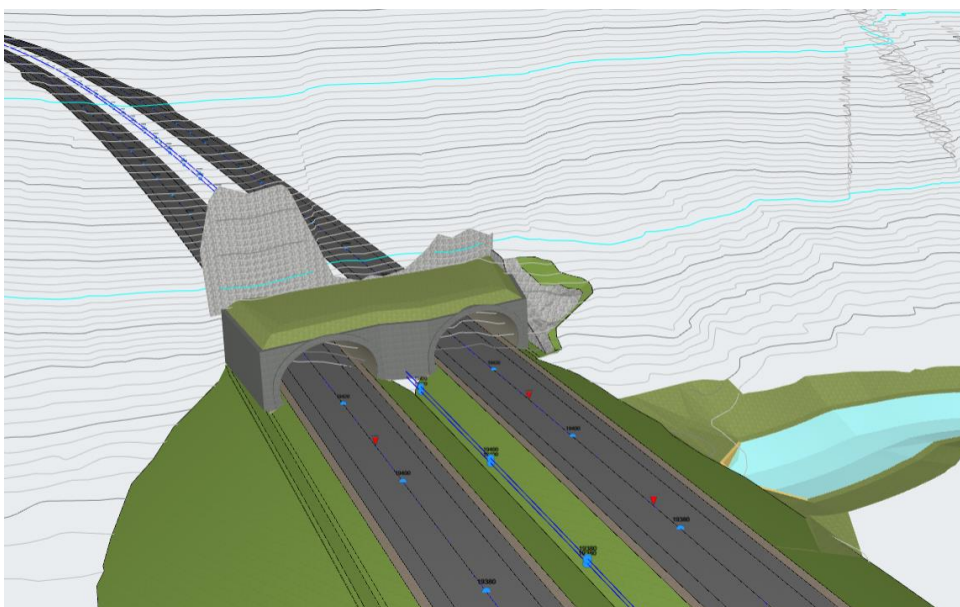
Det kan også være hensiktsmessig å forlenge betongportalen et stykke ut fra påhuggsveggen og at denne tildekkes med støtabsorberende masser som et ekstra sikringstiltak (Figur 28). Dette er et effektivt risikoreduserende tiltak mot begge de aktuelle skredmekanismene. Påhuggsområdet med tunnel er også vist på Figur 28.

Anleggs-/sprengningstekniske forhold

Siden påhugget etableres i en naturlig skråning blir det behov for et tilpasset sprengningsopplegg for å få rettet opp stufen før tunneldriving. Detaljene rundt dette samt endelig plassering av påhuggsflatene må avklares ved detaljert innmåling i byggefasen. Påhuggene er plassert så langt ut mot antatt bergoverflate i skråningen som mulig basert på foreliggende terrengmodell, pel 19441 for linje 14100 og 14200. Dette gir en teoretisk forskjæringsflate på ca. 18 m for østgående løp (Figur 27).



Figur 26: Dronefoto av østlig påhuggsvegg.



Figur 27: Påhugg Haugdal med teoretisk forskjæringsflate.

Det vurderes imidlertid ikke som realistisk å sprengne forskjæringsflate ovenfra i dette bratte terrenget på grunn av vanskelig tilkomst. Påhugget må etableres i skråningen ut fra lokale tilpasninger. Basert på dronmodellen ser det ut til at terrenget over påhugget for østgående løp er noe overhengende slik at bergflaten faktisk ikke vises helt korrekt i terrengmodellen, og dette gir seg utslag i den teoretiske forskjæringsflaten. I praksis må det fortas nøye innmålinger av bergoverflaten for å detaljere påhuggsplasseringen. Det antas at påhugg kan etableres ved å montere spiling som henges opp og armeres i påhuggsflaten. Videre blir det behov for en eller flere buer rett innenfor påhugget. Det blir sannsynligvis behov for oppdelt tverrsnitt og korte salvelengder i starten. Påhugget kan bli noe skråstilt, noe som medfører at kontaktstøpen for portalkonstruksjonen kan bli noe asymmetrisk.



Figur 28: Utklipp fra modell som viser østlig påhuggsområde med prosjektert tunnel plassert omtrentlig som prosjektert.

4.8.2 Påhugg vest

Forskjæring på nordsiden av påhugget får høyde opp mot 30 m (Figur 29). På sørsiden av påhuggsflaten blir høyden i underkant av 20 m. Terrenget i overkant av påhugget er stedvis bratt og består stort sett av bergskrenter (Figur 30).

Oversiktskart over påhuggsområdet i vest med tilstøtende områder er vist i Figur 31.

Skredfare

Steinsprang fra terrenget over påhuggsområdet vurderes som dimensjonerende skredmekanisme for påhuggsområdet. Det må påregnes rensk og boltesikring i forkant av etablering av påhugget. Det kan også forekomme steinsprang fra de bratte skrentene opp mot Panterheia, men sannsynligheten for at steinsprang herfra kan nå frem til påhuggsområdet vurderes som lavere enn 1/1000.

Registreringer fra felt og gjennomgang av kvartærgeologisk kart tyder på lite løsmasser i området. Derfor vurderes jord- og flomskredfare som akseptabel, dvs. nominell sannsynlighet mindre enn 1/1000.



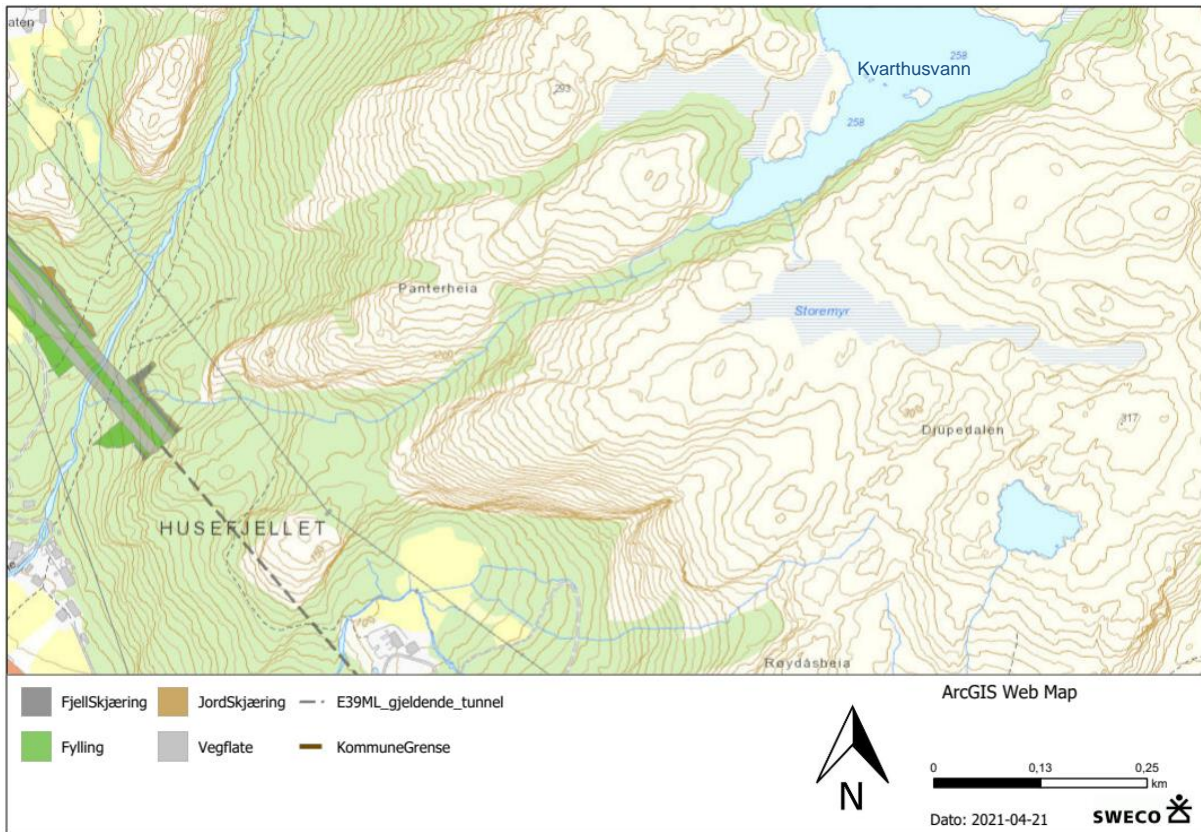
Figur 29: Utklipp fra modell som viser vestlig påhuggsområde.



Figur 30: Område for vestlig påhugg.

Skrentene direkte over påhuggsområdet er stort sett vegeterte (trær og busker), og det vurderes derfor at risiko for snøskred på vei/påhuggsområde fra dette området er mindre enn 1/1000, og derfor akseptabel. De mulige løsneområdene i skråningen på nordsiden av påhuggsområdet (Panterheia) er generelt for bratte til å akkumulere snø. Det kan være risiko for enkelte mindre løssnøskred fra svaberg der det finnes mulighet for å samle noe snø, men disse vurderes ikke å ha skadepotensiale for vei/påhuggsområde.

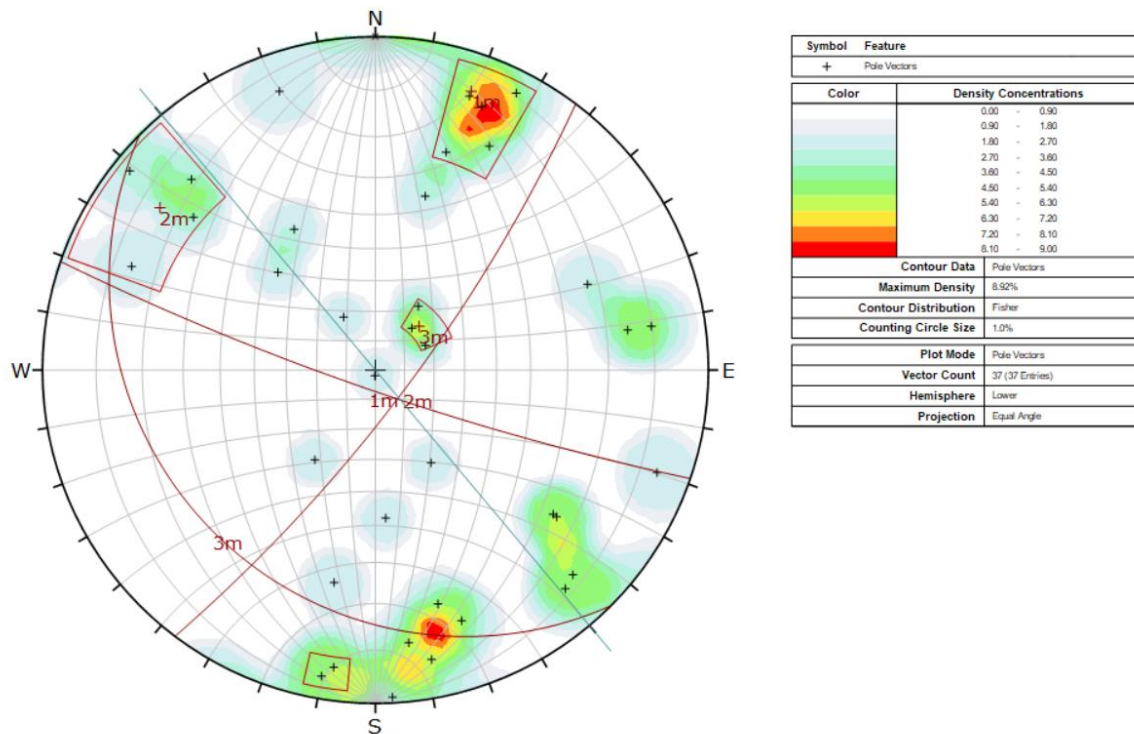
Det kan være en viss risiko for sørpeskred i forbindelse med bekkedalen på østsiden Panterheia opp mot Kvarthusvann. Skredfaren vurderes pr. i dag som liten og innenfor akseptabelt nivå med nominell årlig sannsynlighet mindre enn 1/1000. Faren for denne typen skred er som regel vanskelig å vurdere, og det er derfor knyttet usikkerhet til vurderingen. Om det skulle oppdages forhold som gjør at faren for sørpeskred likevel er høyere enn 1/1000, for eksempel ved at det registreres skred i området, vil dette medføre at det er behov for sikringstiltak. Derfor er det tatt med et areal mellom Husefjellet og Panterheia i reguleringsplanen slik at det er mulig å etablere sikringstiltak i dette området om det skulle bli nødvendig. Aktuelle sikringstiltak for å sikre mot sørpeskred er valler/murer for å lede eventuelle skredmasser vekk fra vei/konstruksjoner/bebyggelse, evt. vaiernett.



Figur 31: Oversiktskart over påhugg vest og tilstøtende områder.

Stabilitet i påhuggsflate og forskjæringer

Stereoplott av innmålte sprekkeretninger i påhuggsområdet samt orientering av tunnelaksen er vist på Figur 32. Basert på kartleggingen er det tolket 3 hovedsprekkesett i området. Sprekkesett 1m, 2m og 3m ser i stor grad ut til å sammenfalle med sprekkesett S1, S2 og S3 (Figur 13), men sprekkesett S4 later ikke til å gjøre seg gjeldende i det vestre påhuggsområdet.



Figur 32: Stereoplott av sprekkepoler ved påhugg i vest. Tunnelaksen indikert med linjen igjennom sentrum.

Det er foretatt en kinematisk analyse av mest aktuelle bruddmekanismer i forskjæringene på nord- og sørsiden samt selve påhuggsflaten.

Forskjæring nordside

Det er kinematisk mulig med plan glidning langs sprekkesett 1m samt enkelte andre mer tilfeldige sprekkeretninger. Det er generelt liten mulighet for kileutglidning langs hovedsprekkeretningene, men enkelte kombinasjoner av tilfeldige sprekkeretninger kan gi kiledannelser lokalt. Toppling er ikke aktuell bruddmekanisme.

Forskjæring sørside

Det er generelt liten sannsynlighet for plan glidning eller toppling på denne siden. Kombinasjoner av sprekkesett 1m+2m samt enkelte tilfeldige sprekkeretninger gir noe mulighet for kiledannelser. Det er kinematisk sett gode stabilitetsmessige forhold på denne siden.

Påhuggsflate

Toppling avgrenset av sprekkesett 2m vurderes som dimensjonerende mekanisme i påhuggsflaten. Det er kinematisk mulig med plan glidning langs ca. 1/3 av polene tilhørende sprekkesett 1m samt enkelte øvrige tilfeldige sprekkeretninger. Det er ikke kinematisk mulighet for kiledannelse ved kombinasjoner av hovedsprekkesettene, men det er i noen grad mulig ved kombinasjoner av mer tilfeldige retninger.

Det må utføres ingeniørgeologisk kartlegging i påhuggsområdet etter at løsmassene er gravd av for endelig detaljprosjektering av nøyaktig påhuggsplassering. Videre må det tas stilling til behov for forbolting langs skjæringsstoppene, spesielt for påhuggsflaten.

4.9 Bergsikring

Sikring i tunnelen bestemmes ut fra kartlagte Q-verdier sammenholdt med tabell 6.1 fra håndbok N500 [1]. Denne er gjengitt i tabell 10.

Tabell 9. Grovt estimat på forventet fordeling av bergmasse- og sikringsklasser i Eikeråsheitunnelen.

Bergmasseklasse	Q-verdi	Betegnelse	Sikringsklasse	Andel av tunnelen [%]
A/B	100-10	Veldig god/god	I	65
C	10-4	Middels	II	9
D	4-1	Dårlig	III	16
E	1-0,1	Veldig dårlig	IV	10
F	0,1-0,01	Ekstremt dårlig	V	-
G	<0,01	Eksepsjonelt dårlig	VI	-

Tabell 10. Tabell 6.1 fra håndbok N500. Sammenheng mellom bergmasseklasser og sikringsklasser.

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

4.9.1 Bergsikring tunnel

Permanent sikring i tunnelen utføres ved fortløpende kartlegging etter Q-metoden med påfølgende valg av sikringsklasse iht. Tabell 10.

Basert på de kartlagte sprekkesettene er det muligheter for at en kan få benkning i hengen på grunn av hovedsprekkesettet som er subparallelt med tunnelretningen sammen med subhorisontalt sprekkesett.

Det forventes at bergsikringen i all hovedsak kan gjennomføres med maskinrensk og manuell rensk i kombinasjon med bolting og sprøytebetong. Ved passering av svakhetssoner vil det stedvis også bli behov for tung sikring i form av forbolting og sprøytebetongbuer. Ved svært krevende soner og partier med liten overdekning (f.eks. under Grummedal) vil det også kunne bli nødvendig å benytte korte salvelengder og oppdelt tverrsnitt for å ivareta stabiliteten under driving og i permanent situasjon.

Tunnelen vil kunne komme inn i soner med svellende leire, og dette må man ta hensyn til ved design av permanent sikring. Det kan bli nødvendig å revurdere utført sikring og eventuelt ettersikre bak stuff når resultater fra svellestester kommer tilbake fra laboratoriet i drivefasen.

4.9.2 Bergsikring påhugg og forskjæringer

Forskjæringer i vest og påhuggsflatene forventes sikret ved konvensjonelle midler (rensk, bolter, bånd og eventuelt nett). Det blir sannsynligvis også påført et lag med sprøytebetong over og rundt forbolter med armering/oppheng rundt påhuggene for å holde på profilet i drivefasen. Det forventes tung sikring ca. 20 inn fra påhuggsområdene.

4.9.3 Sikring av overliggende terreng

Sikring av den bratte skråningen over påhugget i øst med Haugdal blir noe mer krevende enn "vanlige" påhugg på grunn av den store høydeforskjellen fra påhugg til toppen av skråningen. Det vurderes likevel som gjennomførbart å oppnå tilfredsstillende sikkerhetsnivå i skråningen ved å benytte konvensjonelle sikringsmidler. Påhugget ved Haugdal minner om påhugget ved Monan for Søgnetunnelen på E39 i Kristiansand kommune der samme fremgangsmåte er benyttet. For Søgnetunnelen ble tunnelportalen i tillegg trukket ut fra bergveggen og tilbakefylt som et ekstra sikringstiltak bl.a. mot nedfall av mindre stein, is og snø. Sikring over påhugg i øst er ellers omtalt i kapittel 4.8.1.

Sikring av terrenget ovenfor påhugget i vest forventes å bli utført ved hjelp av rensk, bolter, bånd og nett. Det kan bli behov for noe tauarbeid hvis ikke det er mulig å rekke opp med lift nedenfra.

Det er vanskelig å anslå omfang av sikring og tidsbruk i påhuggsområdene på forhånd. Detaljprosjektering av sikringen må utføres i byggefasen når områdene er avskoget og det er mulig å komme til med lift/kran. Da kan det gjennomføres detaljert kartlegging og sikringsanvisning, eventuelt supplert med drone og inspeksjon/kartlegging fra tau.

I begge tilfeller er det av hensyn til sikkerheten i gjennomføringsfasen avgjørende at sikringen utføres før de øvrige anleggsarbeidene starter.

4.10 Vannforhold

4.10.1 Bakgrunn

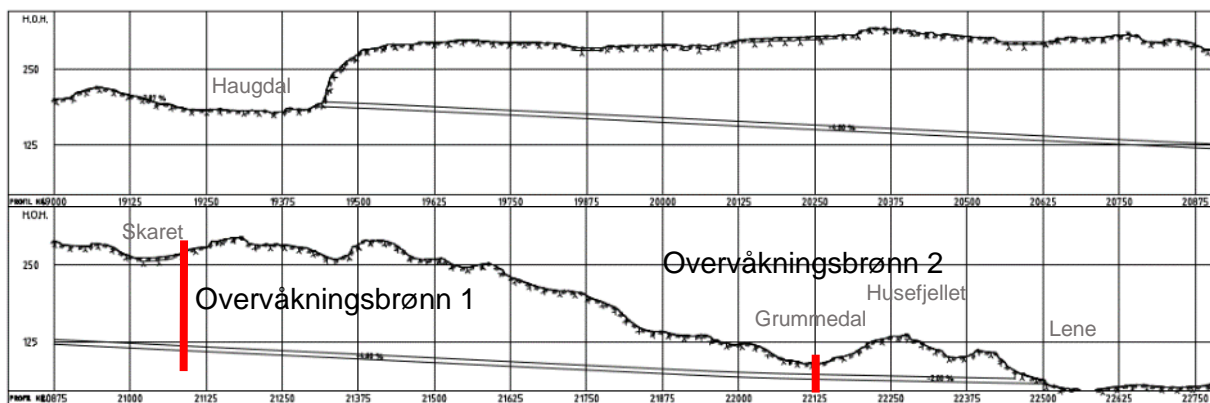
Grunnvannstanden endrer seg hele tiden i respons til nedbørshendelser og tørkeperioder. Senkning av grunnvannstand kan ha negative effekter på sårbare naturtyper og nærliggende vannforekomster. Krav til grunnvannssenkning er satt av NVE som er forvaltningsmyndighet for store deler av vannressursloven og er delegert myndighet til å gi konsesjon til blant annet grunnvannsuttak og andre tiltak som kan påvirke grunnvannet [33]. Innlekkasjekravene skal sørge for at grunnvannet ikke skal betydelig endre seg eller føre til skader for miljø og infrastruktur.

4.10.2 Kartlegging av brønner

Det pågår kartlegging av brønner langs hele traséen fra Mandal til Lyngdal for å fange opp uregistrerte brønner. I henhold til Granada – Nasjonal grunnvannsdatabase er det ingen brønner som er lokalisert i nærheten den planlagte tunnelen, de har således ingen hydraulisk forbindelse med tunnelen. Dersom det er brønner innenfor en gitt buffersone må det utarbeides en beredskapsplan dersom en grunnvannssenkning skulle oppstå.

4.10.3 Overvåkningsbrønner

Som en del av den hydrogeologiske vurderingen skal det installeres overvåkningsbrønner langs traséen. Overvåkningsbrønnene vil kunne hjelpe med å danne et bilde av grunnvannsnivået i bergmassen samt kunne overvåke variasjoner eller plutselige endringer i grunnvannstanden. Overvåkningsbrønnene vil også kunne gi en indikasjon på om myrene kommuniserer med grunnvannet eller er hovedsakelig matet av nedbør. Plassering av overvåkningsbrønner er vist i Figur 33.



Figur 33: Lengdeprofil langs Eikeråshei tunnelen (Fra tegning V3014 i vedlegg 1). Røde streker viser ca. plassering av overvåkningsbrønner

Overvåkningsbrønnene skal i hovedsak brukes til å dokumentere grunnvannsforholdene før og etter arbeidene er utført for å kunne bevise at de planlagte tiltakene har vært effektive og

ikke skapt endringer i grunnvannstanden. Dokumentasjonen av forholdene er en viktig komponent i forbindelse med meldeplikten til NVE.

4.10.4 Beregning av innlekkasjekrav

Anbefalte krav til innlekkasje er satt på bakgrunn av vannbalanseanalyse samt ytre miljø. Flere faktorer spiller inn ved vurdering av innlekkasjekrav til tunnel. Dette er avhengig av sårbare naturtyper, bebyggelse, grunnforhold, grunnvann- og energibrønner og vannlevende arter m.m. Generelt er det fokus på å bevare det ytre miljø som kan få store konsekvenser dersom en innlekkasje drenerer vekk grunnvannet. Det gjelder for eksempel myrområder der grunnvannsspeilet (i løsmasse) ligger generelt høyt eller jordbruksarealer som er vannavhengige og reduksjon i grunnvannsspeil eller vanntilførsel til vannkrevende flora og fauna. Disse vurderes i utgangspunktet å være lite ømfintlig for grunnvannssenkning, så fremt senkningen ikke er betydelig.

Senkning av grunnvannsnivå vil for det ytre miljø føre til: Drenering av eventuelle brønner, tjern, vann og vassdrag over tunnelen, og tapping av grunnvannsmagasiner generelt. Det kan også medføre setninger i løsmassene dersom det er setningsutsatte masser innenfor influensområdet.

4.10.5 Metode

Grenseverdiene for tunnellekkasjer er bestemt ut ifra praktiske betraktninger og ved å utføre en vannbalanse-analyse i influensområdet for tunnelen. For å forhindre merkbare senkninger av grunnvannsnivået i sårbare områder er det fastsatt innlekkasjekrav i tunnelen. Arbeidet er utført hovedsakelig via informasjon som ble hentet inn fra tilgjengelige databaser og bakgrunnsdata fra prosjektet.

Følgende grunnlagsmateriale er benyttet: Fra NVE (www.nve.no) informasjon om normal avrenningsdata 1961-1990. Bakgrunnskart og flybilder fra Norgeskart (www.norgeskart.no) men også flere terrengmodeller, matrikkel- og eiendomsinformasjon. Andre beregninger som nedbørsfelt er hentet fra Scalgo live.

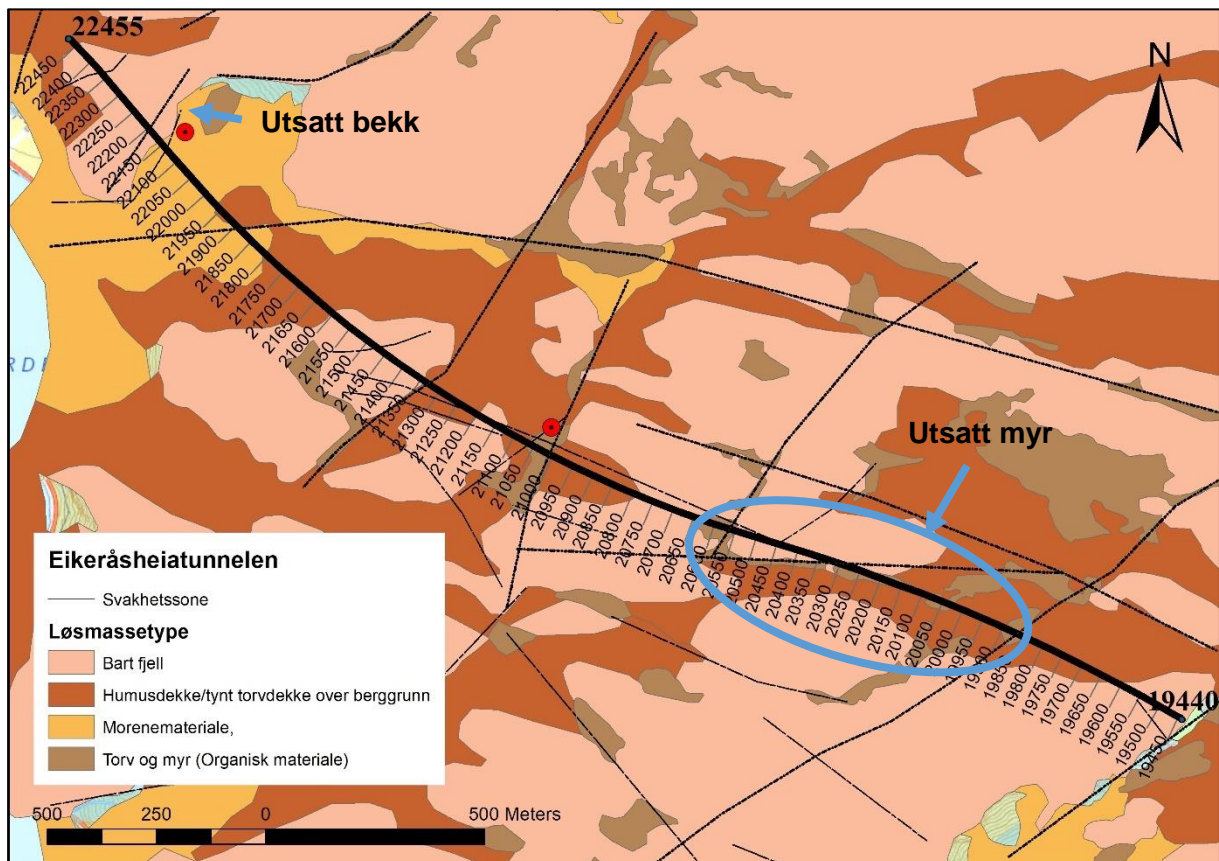
ArcGIS pakken fra ESRI er benyttet for å behandle dataene hentet fra databasene. Dataene ble i noen tilfeller lastet ned fra databasene slik at man kunne utføre beregninger og foreta endringer.

4.10.6 innlekkasjekrav

Den planlagte traséen for Eikeråsheiattunnelen ligger ovenfor østsiden av Lenefjorden. Lenefjorden ligger nedstrøms den naturlige dreneringsretningen til området. Tunnelen vil kunne endre grunnvannsstrømningen på området og fungere som en drens som fjerner grunnvann fra området. Det kan derfor være fare for at myrer/våte naturtyper som krysser tunnelen vil dreneres. Langemyra ligger høyere enn tunneltraséen, og det kan ikke utelukkes at denne kan tørrelleges uten tetting på tunnelnivå. Mulighet for utdrenering er svært avhengig av hvor tett bunnsjiktene er (som holder tilbake vann i naturforekomstene) og den

hydrauliske konduktiviteten i bergmassen rundt tunnelen. Mindre vannføring i vil kunne påvirke det biologiske mangfoldet i myrområdene.

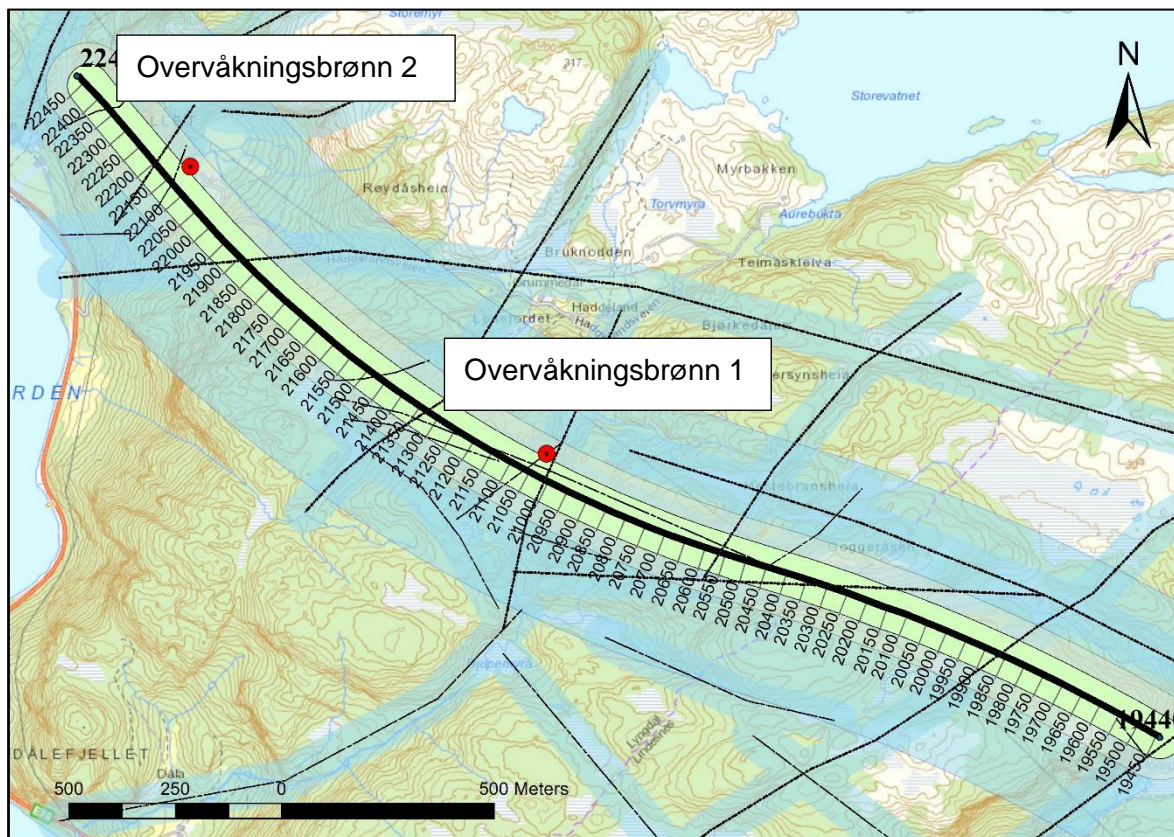
Langs tunneltraséen er det gjort en lineamentstudie som viser at det er store og små svakhetssoner som krysser traséen hyppig. Figur 34 illustrerer løsmassetypene som fremhever områder med humus/torvdekke samt svakhetssoner. Som nevnt finnes det flere myrdrag langs traséen, men er mest dominant i østre del hvor terrenget er småkupert med hyppig opptredende bergblotninger. Det største myrområdet (Langemyr) er lokalisert fra ca. profil 20150 til 20650 og er markert i Figur 34. De våte naturtypene og bekkeløper kan bli negativt påvirket av en reduksjon i grunnvannstand. Flere av disse bekkene og myrene samt flere store og små svakhetssoner krysser over tunnelen. Avhengig av avstand fra tunnelen og andre lokale forhold, vil svakhetssonene påvirke bestemmelse av innlekkasjekrav. Influensområde til svakhetssoner er vurdert med en radius på 50 meter, og er vist i Figur 35. På bakgrunn av svakhetssonens influensområde og avstand fra tunneltraseen kan man derfor ikke utelukke at svakhetssonene har hydraulisk kontakt med myrene.



Figur 34: Kart som illustrerer løsmassen og utsatte naturtyper som må hensyntas i vurderingen av innlekkasjekrav for Skreiheiattunnelen. Store og små svakhetssoner krysser tunnelen og markert med svarte små streker (Løsmassedekke er tatt fra NGU).

Det er i tillegg satt et influensområde basert på avstanden fra tunnel og potensiell distanse for påvirkning fra tunneldriving. En mulig innlekkasje på 10 l/min/100 meter kan ha et influensområde på 100-300 m. Tidligere studier rundt grunnvannssenkning og tunneldriving

argumenterer at endringer i grunnvannsnivå sjelden påvirkes av tunneldrift på avstander mer enn 300m [33]. På bakgrunn av dette er Influensområde vurdert med en radial økning fra 0-50m, 50-100m, 100-300m hvorav det innen 0-50 meter er størst sannsynlighet for påvirkning av en grunnvannsendring.



Figur 35: Influenssone rund Eikeråsheiaheiatunnelen og svakhetssoner. Rundt tunnelen er det satt en sone med en radial økning fra 0-50m (lys grønn), 50-100m (lys rød), 100-300m (lys blå) hvorav det innen 0-50 meter er størst sannsynlighet for påvirkning av en grunnvannsendring. Rundt svakhetssonene er det satt en kritisk sone på 50 meter (lys blå).

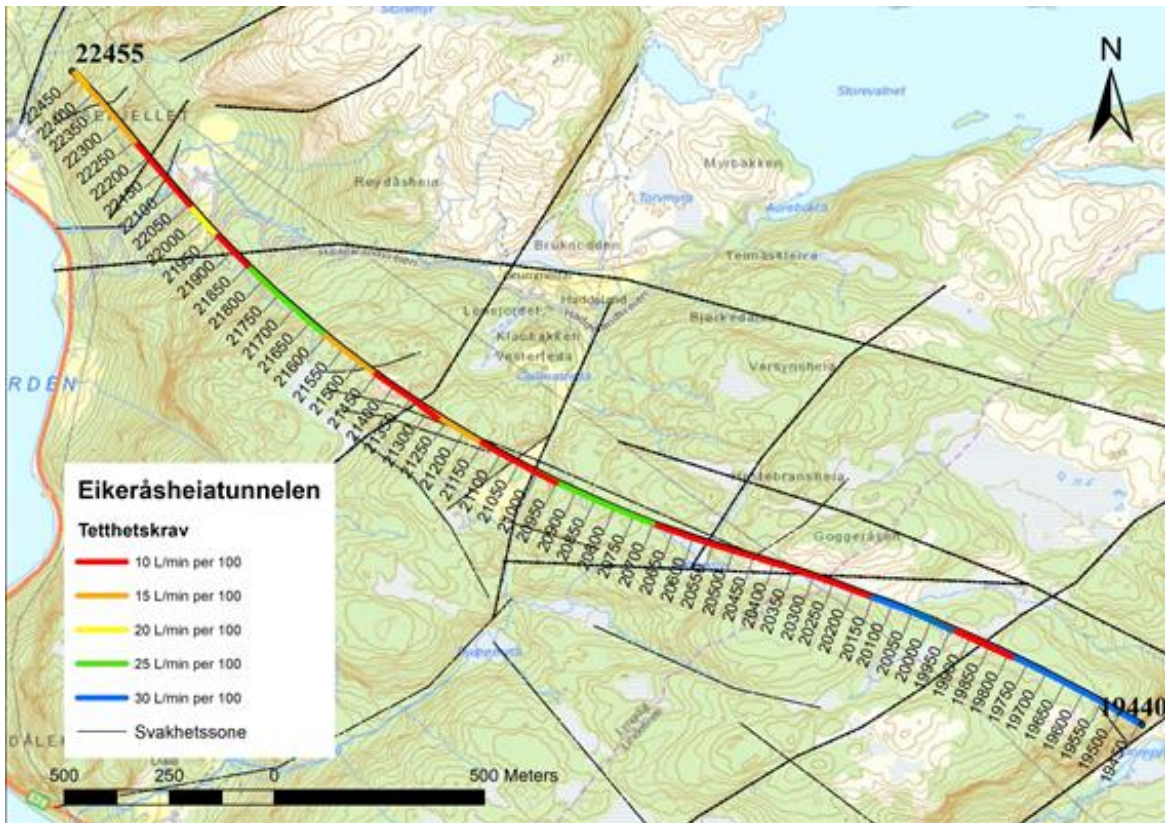
Tunnelen har et østre påhugg i fjell ved Haugdal (kote 188) og et vestre påhugg ved Lene (kote 57). Bergoverdekningen over hele traséen varierer fra minste overdekning på ca. 16 meter (Pel ca. 22125) og største overdekning på 185 meter (ca. pel 21400). Som nevnt tidligere i denne rapporten består berget langs tunneltraséen av massiv hornblendegranitt med lav oppsprekkningsgrad. I teorien vil granitten ha en dårlig primær permeabilitet, men en relativt høy permeabilitet gjennom sprekker dersom dette er tilstedet. Grunnvannets bevegelser i fjellet er påvirket av bergets kvalitet og grad av forvitring av mineraler og oppsprekkningsgrad. Vannstrømning i bergmassen og potensiell innlekkasje til tunnelen forventes i hovedsak i forbindelse med vannførende soner i grunnen.

På bakgrunn av faren for punktering eller drenering av de overnevnte naturtyper og for å kontrollere grunnvannssenkingen, anbefales det å dele inn tunnelen i strekninger med krav til innlekkasje angitt som l/min/100m. Strekningsvise innlekkasjekrav er vist i **Feil! Fant ikke referanseilden.** og illustrert i Figur 36.

Resultatene representerer mengde lekkasjer som kompenseres av grunnvannsdannelsen basert på årlige gjennomsnittsverdier for årsavrenning over et større areal. En stor fordel med å estimere lekkasjekrav basert på grunnvannsdannelse i fjell er at man ivaretar vannbalansen i området. Ved dette tilfelle har vi vurdert at kun 10% av potensiell grunnvannsdannelsen vil klare å infiltrere i bakken, således får man 90% som skal bidra til overflateavrenning. Det vil si at hvis man klarer å tette tunnelen nok til å tilfredsstillere lekkasjekravene vil man få etter hvert en stabil grunnvannstand i området. Innsjøer, elver og myrer område vil dermed få minimal påvirkning på sin vannbalanse. Lekkasjer som overskrider disse verdiene vil føre til senkning av grunnvannsstanden, i ytterste konsekvens helt ned til tunnelnivå.

Tabell 11: Tetthetskrav.

Nr.	Pel	Strekning [m]	Tetthetskrav tunnel (2 løp) [l/min/100 m]	Tetthetskrav pr. løp [l/min/100 m]
1	19440-19800	360	30	15+15
2	19800-19950	150	10	5+5
3	19950-20150	200	30	15+15
4	20150-20700	550	10	5+5
5	20700-20950	250	25	12,5+12,5
6	20950-21150	200	10	5+5
7	21150-21250	100	15	7,5+7,5
8	21250-21400	150	10	5+5
9	21400-21600	200	15	7,5+7,5
10	21600-21850	250	25	12,5+12,5
11	21850-21950	100	10	5+5
12	21950-22050	100	20	10+10
13	22050-22250	200	10	5+5
14	22250-22455	216	15	7,5+7,5
	SUM	Ca. 3000		



Figur 36: Kartet illustrerer innlekkasjekrav langs tunneltraseen. Blå stripe indikerer et tetthetskrav på 30L/min Per 100 meter tunnel. Rød stripe indikerer et tetthetskrav på 10L/min per 100 meter tunnel. oransje stripe indikerer et tetthetskrav på 15L/min per 100 meter tunnel. Gul stripe indikerer et tetthetskrav på 20L/min per 100 meter tunnel.

4.10.7 Sonderboring og injeksjon

Det vurderes som nødvendig å utføre sonderboring med lekkasjemåling på strekninger der det er satt krav til maksimal innlekkasje. Det vil også være nødvendig med sonderboring inn mot forventede svakhetssoner. Dette må startes opp minimum 25 meter før det er forventet at en sone skal komme inn i tunnelprofilen. Iht. N500 skal tunnelstoffene i de parallelle løpene også drives slik at den ene stoffen ligger noe foran den andre slik at erfaringer fra det ene løpet kan overføres til det andre.

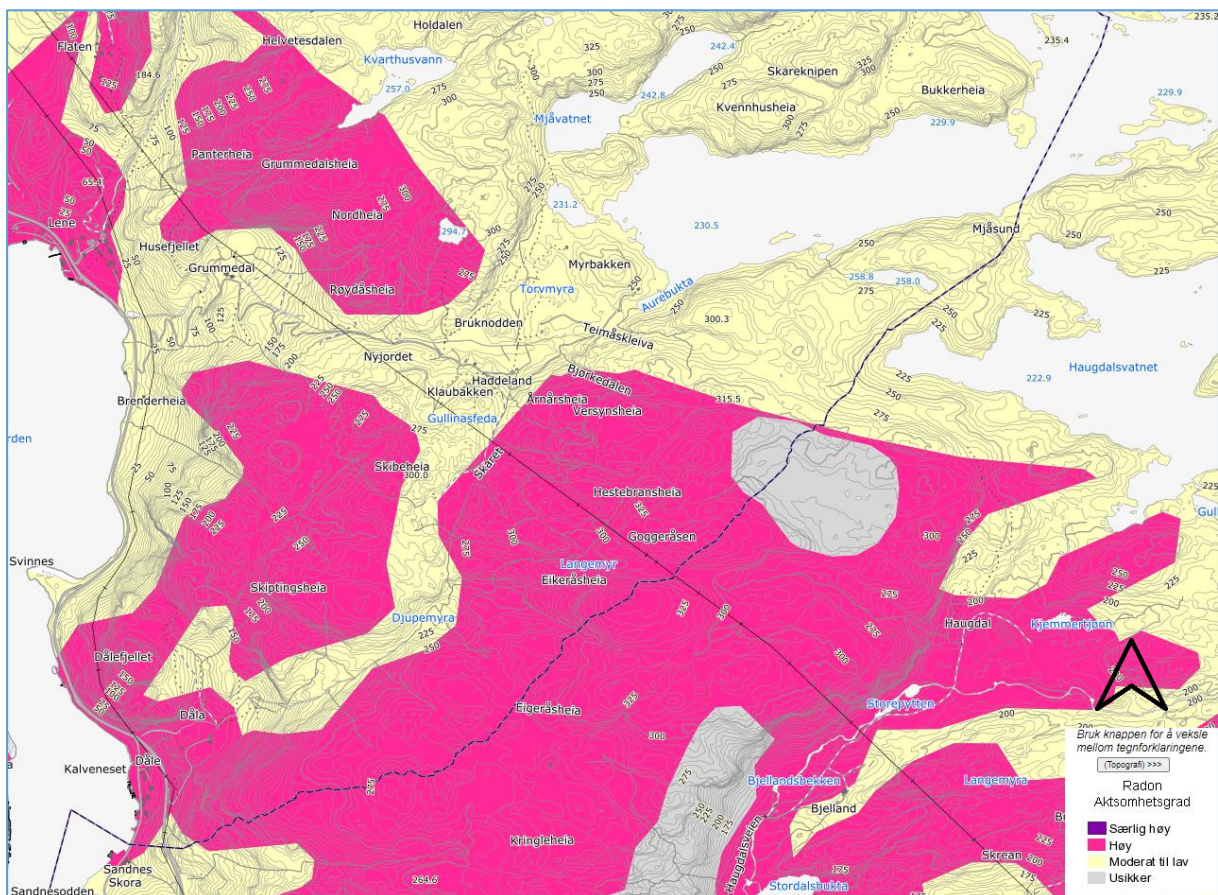
Injeksjon utføres enten som behovsprøvd eller systematisk forinjeksjon. Ved behovsprøvd injeksjon utløses en injeksjonsskjerm av et fastsatt nivå for maksimal innlekkasje målt i sonderhull. Systematisk forinjeksjon utføres over sammenhengende strekninger med overlappende skjerming uavhengig av innlekkasje i sonderhull. Systematisk forinjeksjon utføres typisk på strekninger med strenge innlekkasjekrav og/eller under sårbare områder på overflaten.

For Eikeråshei tunnelen antar vi behov for systematisk forinjeksjon på tunnelstrekninger med krav til total innlekkasje på 5 l/min/100m pr. tunnelløp eller lavere. Dette utgjør 45% av tunnelen. For strekninger med krav til innlekkasje på 7,5 l/min/100m eller mer pr. løp antar vi at det er tilstrekkelig med behovsprøvd injeksjon.

4.11 Miljøhensyn

4.11.1 Radon og syredannende bergarter

Store deler av tunnelen vil passere igjennom områder som er merket av med "høy aktsomhetsgrad" for radon (Figur 37). Radon er tyngre enn luft og vil kunne samle seg i kummer, pumpesumper o.l. Helsefare forbundet med radon er imidlertid knyttet til eksponering mot høye nivåer over lang tid, f.eks. i boliger der man oppholder seg store deler av døgnet. På denne måten er det lite sannsynlig at eventuelt forhøyede radonnivå i tunnelen vil representere noen helsefare for trafikanter eller andre som er innom i tunnelen for å utføre vedlikeholdsarbeid i driftsfasen. Ved høye nivåer kan det imidlertid være aktuelt å gjennomføre avbøtende tiltak i driftsfasen for å beskytte arbeidere i tunnelen som oppholder seg der flere timer i døgnet. Det bør gjennomføres luftmålinger over tid for å dokumentere radonnivået, og aktuelle tiltak mot forhøyede verdier er f.eks. forsterket ventilasjon og/eller radonbrønner.



Figur 37: Aktsomhetskart radon [11].

Bergmassen der tunnelen passerer igjennom består av granitt. Dette er ikke en bergart som erfaringsmessig vurderes som en problembergart med hensyn til sulfidmineralisering og fare for sur avrenning fra sprengstein [30].

4.11.2 Vibrasjoner fra sprengning

Det må fastsettes krav til maksimale vibrasjoner fra sprengning på bygninger innenfor en avstand av 200 m fra sprengningsstedet. Maksimale vibrasjoner bestemmes ut fra NS8141:2001 basert på informasjon fra foregående bygningsbesiktigelse, herunder bygningsmaterialer og fundamenteringsforhold.

5 Usikkerheter, anbefalinger og videre undersøkelser

5.1 Usikkerheter

- Steinmaterialets kvalitet – det må gjennomføres tester av bergmassen forløpende i anleggsfasen da kvaliteten kan endres over korte avstander.
- Reell skredfare mht sørpeskred over påhuggsområdet i ved Lene vest.
- Bredder på og vanskelighetsgrad knyttet til driving gjennom og sikring av svakhetssoner (bla. knyttet til eventuell dypforvitring).
- Orientering av soner på tunnelnivå: Fare for at en del soner stryker nær parallelt med tunnelaksen og medfører økt sikringsbehov over lengre strekninger.
- Omfang av innlekkasje på tunnelnivå og tilhørende injeksjonsarbeider.
- Eksakt påhuggsplassering og anleggs-/drivetekniske forhold for påhugg øst ved Haugdal.

5.2 Ingeniørgeologisk kompetanse i byggefasen

I henhold til N500 [1] skal det utføres geologisk kartlegging før påføring av sprøytebetong i hele tunnelens lengde som grunnlag for bestemmelse og senere dokumentasjon av geologi og utført bergsikring.

Ansvarlig ingeniørgeolog for prosjektet bør utnevnes før byggefasen. Ingeniørgeologen anbefales å inneha minimum 5 års relevant erfaring fra tunnelanlegg. Ingeniørgeologisk kompetanse er viktig i byggefasen for å sørge for god oppfølging og anbefalinger av sprengning- og bergsikringsarbeider.

Byggherren må i tillegg tilknytte seg kontrollingeniører til å følge skiftene. Disse må ha ingeniørgeologisk kompetanse. For hver tunnelsalve gjennomføres «byggherrens halvtime» med geologisk kartlegging av siste salve, samt beregning av Q-verdi for beslutning av endelig sikringsomfang.

Kontrollingeniøren som utfører geologisk kartlegging på stuff, samt gjennomfører vurdering av permanent sikring, anbefales iht. N500 å ha følgende kompetanse:

- Erfaring med ingeniørgeologisk kartlegging og kartlegging etter Q-metoden og beskrivelse av bergmassekvalitet.
- Erfaring med og kjennskap til relevante metoder for bergsikring i tunneler og forskjæringer.
- Kunnskap om ingeniørgeologiske forundersøkelser, og med laboratorieanalyser av stein og løsmasseprøver.
- God kunnskap om innholdet i ingeniørgeologisk rapport, samt utførte grunnundersøkelser og relevant bakgrunnsinformasjon.
- Kunnskap om innholdet i relevante regelverk og håndbøker.
- Kjennskap til prosjektets risiko og sårbarhetsanalyse.
- Erfaring med og kunnskap om injeksjon i tunnel.

En ingeniørgeologisk sluttrapport skal utarbeides senest tre måneder etter at prosjektet er

overlevert.

5.3 Krav til overvåking av spesielle forhold

- Hvis det påtreffes leirførende soner i tunnelen anbefales det å gjennomføre laboratorieanalyser av denne 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.
- Hydrogeologiske forhold (grunnvannsbrønner) – løpende overvåking videre inn mot byggefase og etter bygging.
- Innlekkasjen til tunnelen må måles jevnlig i drivefasen for å overvåke om strekningskravene til tetthet er oppfylt.
- Vibrasjoner fra sprengning måles fortløpende på utvalgte objekter.

5.4 Forslag til supplerende undersøkelser

5.4.1 Geofysiske undersøkelser

Det kan være aktuelt å utføre supplerende seismikk og eventuelt resistivitetsmålinger ved Grummedal i tilknytning til Sone 11.

5.4.2 Kjerneboring

Dette er ikke vurdert som nødvendig per i dag. En borkjerne eller to vil imidlertid kunne bidra til å øke kunnskapen om svakhetssonene og redusere risiko knyttet til bergmassekvalitet på tunnelnivå. Det er i øyeblikket svært vanskelig å anskaffe kjerneboring. Det er for tiden flere måneders ventetid hos de kjente norske aktørene.

5.4.3 Grunnvannstand

Etablering av grunnvannsbrønner er under utførelse. Resultater fra hydrogeologiske brønner må eventuelt innarbeides i forbindelse med fremtidige revisjoner av denne rapporten.

5.4.4 Bygningsbesiktigelse

Bygningsbesiktigelse utføres i forkant av sprengningsarbeider til bygninger som ligger innenfor det forventede influensområdet ned hensyn til sprengningsvibrasjoner.

6 Referanser

- [1] Statens vegvesen, «Håndbok N500 - Vegtunneler,» Vegdirektoratet, 2020.
- [2] Statens vegvesen, «Håndbok V520, Tunnelveiledning,» 2020.
- [3] Statens vegvesen, «Håndbok N100 Veg- og gateutforming,» Vegdirektoratet, 2019.
- [4] Standard Norge, «NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2016 Eurokode 7 Geoteknisk prosjektering,» 2016.
- [5] Standard Norge, «NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner,» 2016.
- [6] NGU, «Berggrunn - Nasjonal berggrunnsdatabase,» [Internett]. Available: http://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/.
- [7] NGU, «Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase,» [Internett]. Available: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>.
- [8] NGU, «GRANADA Nasjonal grunnvannsdatabase,» [Internett]. Available: <http://geo.ngu.no/kart/granada/>.
- [9] NVE, «NVE Atlas,» [Internett]. Available: www.atlas.nve.no.
- [10] Statens vegvesen, «Vegkart,» [Internett]. Available: <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/nasjonal+vegdatatabank/kart>. [Funnet 13 12 2018].
- [11] NGU, «Aktsohmetskart radon,» [Internett]. Available: geo.ngu.no/kart/radon/.
- [12] Kartverket, «FKB4,» [Internett]. Available: <https://openwms.statkart.no/skwms1/wms.fkb4?request=GetCapabilities&service=WMS>.
- [13] Miljødirektoratet, «Miljøstatus - Naturtyper - DN-håndbok 13 - kartdatabase,» 2020. [Internett]. Available: <https://miljoatlas.miljodirektoratet.no/MAKartWeb/KlientFull.htm?>.
- [14] Norsk bergmekanikkgruppe, «Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering,» 2011.
- [15] Statens vegvesen, Håndbok V520 Tunnelveiledning., Vegdirektoratet, 2020.
- [16] Statens vegvesen, Håndbok N200 Vegbygging, Vegdirektoratet, 2018.
- [17] Statens vegvesen, «R760 Styling av vegprosjekter,» 2019.
- [18] Statens vegvesen, «Publikasjon nr. 103. Undersøkelser for å ivareta ytre miljø,» 2003.
- [19] NS-EN ISO 14689-1, «Geotekniske felt- og laboratorieundersøkelser - Identifisering, beskrivelse og klassifisering av berg,» 2018.
- [20] NGI, «Bruk av Q-systemet. Bergmasseklassifisering og bergforsterkning,» 2015.
- [21] NVE, «Flaum- og skredfare i arealplanar,» 2011.
- [22] Sweco Norge AS, «E39 Mandal Lyngdal øst. Fagrapport Geoteknikk,» 2021.
- [23] Sweco Norge AS, «Teknisk fagrapport: INGENIØRGEOLOGI. Områderegulering med KU for E39 Mandal-Lyngdal øst.,» 2019.
- [24] Geomap Norge AS, «Geofysiske undersøkelser til detaljreguleringsplan,» 2021.
- [25] NGU, «Berggrunnskart Mandal 1:250 000,» Norges Geologiske Undersøkelse, 1982.

- [26] NGU, «Rock construction awareness map from South Norway (report no. 2017.048),» Norges Geologiske Undersøkelse, 2017.
- [27] Y. Sandvik, «E39 ML Verdier over planlagte tunneler,» Sweco Norge AS, 2021.
- [28] A. Bruland, «Hard Rock Tunnel Boring (Vol. 10 of 10) - Statistics of Drillability Test Results (Doctoral theses),» NTNU, 1998.
- [29] V. Olsen, «Rock Quarrying - Blast design (Doctoral theses),» NTNU, 2009.
- [30] O. F. Frigstad, «Sulfidholdige bergarter i Kristiansandsregionen,» Agder naturmuseum og botaniske hage, Kristiansand, 2009.
- [31] DiBK, «Byggteknisk forskrift,» [Internett]. Available: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/7/7-3/>.
- [32] NVE, «8/2014 - Sikkerhet mot skred i bratt terreng - Kartlegging av skredfare i arealplanlegging og byggesak,» 2014.
- [33] Statens vegvesen, «Publikasjon 103 - Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø.,» 2003.