



Fagrapport ingeniørgeologi Espedalstunnelen

Detaljregulering E39 Lyngdal vest - Kvinesdal

NV Dokumentnummer: NV42E39LK-GEO-RAP-0001

ENT Dokumentnummer: 10220781-E39LK_100_geo_rap_01

Prosjekt nr:	115510
Oppdragsnavn:	E39 Lyngdal vest - Kvinesdal
Kunde	Nye Veier AS

Revisjonsoversikt

Revisjon	Dato	Årsak til utgivelse	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
01	15.05.2023	Første gangs behandling	NOBJGR NOPADT	NOKNSK NOLUND	NONOTT

Endringsoversikt

Revisjon	Endringsbeskrivelse
01	Til første gangs behandling i Lyngdal og Kvinesdal kommune

1 Sammendrag

På oppdrag fra Nye Veier AS utarbeider Sweco detaljreguleringsplan for E39 Lyngdal vest – Kvinesdal. Nåværende E39 skal erstattes med ny, firefelts motorvei med fartsgrense 110 km/t. Strekningen er ca. 24 km lang, hvor det planlegges totalt 4 tunneler og ca. 7 km med bergskjæringer over 10 m. Denne rapporten omhandler ingeniørgeologiske og hydrogeologiske forhold for Espedalstunnelen.

Espedalstunnelen er planlagt med to løp, lengde på ca. 1,7 km og tunnelprofil T9,5. Det er valgt å plassere tunnel og påhuggsområder i pålitelighetsklasse 3.

Terrenget over tunnelen er småkupert og preget av markerte rygger/kløfter i NØ-SV retning samt mindre kløfter i NV-SØ retning. Det søndre påhugget for ny tunnel skal etableres i et slakt skrånende terreng hvor det er løsmasser med ca. 2-4 m tykkelse, samt myr. Bergoverdekningen er ca. 20 m i påhugget. Det nordlige påhugget skal etableres i bratt skråning ut mot Fedafjorden på ca. kote 58. Det er blokkur med antatt ett par meter tykkelse ovenfor påhugget som må renskes ned eller sikres. Tunnelen drives innenfra og ut i skråningen. Bergoverdekningen er mer enn 20 m i påhugget.

Tunnelen blir drevet gjennom bergartene båndgneis, granittisk gneis og granittisk øyegneis. Det forventes at tunnelen krysser ca. 14 svakhetssoner, hvor fire av dem følger en tydelig foliasjon i berggrunnen med moderat fall. Forventet bergmassekvalitet er basert på feltkartlegging og erfaring fra den nærliggende Teistedalstunnelen. Størstedelen av traséen (75 %) forventes å ligge i klasse A-C, mens resten er i klasse D og E. Det forventes at den permanente bergsikringen primært vil bestå av bolter og sprøytebetong, men det kan også bli aktuelt med sprøytebetongbuer.

Det er fastsatt grenseverdier for innlekkasje av grunnvann i tunnelen. Verdiene er satt på bakgrunn av vannbalanseanalyse. Tunnelen går under utmark hvor grenseverdien generelt er 30 L/min/100 m per to løp. Under myrene er grenseverdien redusert til 15L/min/100m per to løp. Det vurderes generelt å være nødvendig med behovsprøvd forinjeksjon. Der kravet er 15L/min/100 m per to løp bør det utføres systematisk forinjeksjon.

Spesielle utfordringer for denne tunnelen anses å være driving av tunnel ut mot Fedafjorden og etablering av forskjæring her. Det må utføres nøye planlegging av anleggsgjennomføring og risikovurderinger knyttet til arbeid i bratt terreng og med steinsprangfare fra overliggende skrent.

Innhold

1	SAMMENDRAG	3
2	INNLEDNING	7
2.1	Bakgrunn	7
2.2	Om rapporten	8
2.3	Trasévalg, linjeføring og tunnelverrsnitt	9
2.4	Prosjekteringsforutsetninger og kontroll	11
3	GRUNNLAG OG UTFØRTE UNDERSØKELSER	15
3.1	Tidligere faser/undersøkelser	15
3.2	Nærliggende anlegg	15
3.3	Andre prosjekter	16
3.4	Kart- og bildedatabaser	16
3.5	Utførte undersøkelser i reguleringsplanfasen	16
3.5.1	Feltarbeid	16
3.5.2	Refraksjonsseismikk	16
3.5.3	Totalsonderinger	17
4	FAKTA-DEL	19
4.1	Topografi	19
4.2	Kvartærgeologi og løsmassemektheter	19
4.3	Berggrunnsgeologi	20
4.4	Strukturgeologi	24
4.4.1	Lineamenter og svakhetssoner	24
4.4.2	Strukturer, foliasjon og oppsprekking	25
4.4.3	Dypforvitring	33
4.5	Påhuggsområder	34
4.5.1	Påhugg/forskjæring sør	34
4.5.2	Påhugg/forskjæring nord	34
4.6	Eksisterende Teistedalstunnelen	36
4.7	Bergmekaniske egenskaper	37
4.8	Anvendelse av sprengstein	41
4.9	Bergartens syredannende og radon egenskaper	43
4.9.1	Sulfidholdige bergarter	43
4.9.2	Radonholdige bergarter	43
4.10	Natur- og kulturverdier	44
4.11	Bebyggelse og brønner	45
4.12	Vannforhold	46
4.12.1	Vannforhold ved påhugg/forskjæringer	46

4.12.2	Hydrologi.....	48
4.12.3	Hydrogeologi.....	48
5	TOLKNINGSDEL.....	52
5.1	Bergoverdekning og bergspenninger.....	52
5.2	Påhugg og forskjæringer.....	52
5.2.1	Skredfare.....	52
5.2.2	Utforming/uttaksmetode.....	53
5.2.3	Påhugg/forskjæring sør.....	53
5.2.4	Påhugg/forskjæring nord.....	53
5.3	Svakhetssoner.....	57
5.3.1	Generelt.....	57
5.4	Spesielle områder/hensyn.....	62
5.5	Bergmassekvalitet.....	63
5.6	Bergsikring.....	64
5.6.1	Bergsikring tunnel.....	64
5.6.2	Bergsikring påhugg og forskjæringer.....	67
5.6.3	Sikring av overliggende terreng.....	67
5.7	Bergmekaniske egenskaper.....	68
5.7.1	Borbarhet og sprengbarhet.....	68
5.7.2	Anvendelse av sprengstein.....	68
5.8	Miljøhensyn.....	69
5.8.1	Syredannende bergarter.....	69
5.8.2	Radon.....	69
5.8.3	Vibrasjoner fra sprengning.....	70
5.9	Hydrogeologiske vurderinger.....	70
5.9.1	Konsekvenser ved senkning av grunnvann.....	70
5.9.2	Influensområdet.....	70
5.9.3	Vannbalanseberegning og innlekkasjekrav.....	72
5.9.4	Overvåkningsbrønner.....	76
5.10	Sonderboring og injeksjon.....	76
6	USIKKERHETER OG ANBEFALINGER.....	77
6.1	Spesielle usikkerheter.....	77
6.2	Krav til overvåking av spesielle forhold.....	77
6.3	Ingeniørgeologisk kompetanse i byggefasen.....	77
6.4	Anbefalte videre grunnundersøkelser.....	78
7	REFERANSER.....	79

VEDLEGG

1. 10220781-V1200-1205-Ingeniørgeologi_Espedalstunnelen. Tegninger:

V-1200 Plan/profil, Oversikt, 1:2500

V-1201 Plan/profil, 1:2000

V-1202 Plan/profil, 1:2000

V-1203 Plan/profil, 1:2000

V-1204 Plan/profil, Påhugg sør, 1:500

V-1205 Plan/profil, Påhugg nord, 1:500

2. Stabilitetsanalyse av påhugg nord

2 Innledning

2.1 Bakgrunn

Nye Veier har ansvaret for utbygging av E39 fra Kristiansand i Agder til Ålgård i Rogaland, en strekning på om lag 200 kilometer. Ny E39 planlegges som trafiksikker firefelts motorvei med fartsgrense 110 km/t. Motorveien vil, i tillegg til reduksjon i antall ulykker, gi vesentlig kortere reisetid for brukerne og knytte Agder og Rogaland tettere sammen som felles bo- og arbeidsmarked.

Utarbeiding av reguleringsplan med konsekvensutredning for parsellen Lyngdal vest-Kvinesdal er en del av dette arbeidet. Planlegging av ny vei og tunnel fra E39 til Øyesletta inngår i prosjektet. Det er Lyngdal og Kvinesdal kommuner som er planmyndighet.

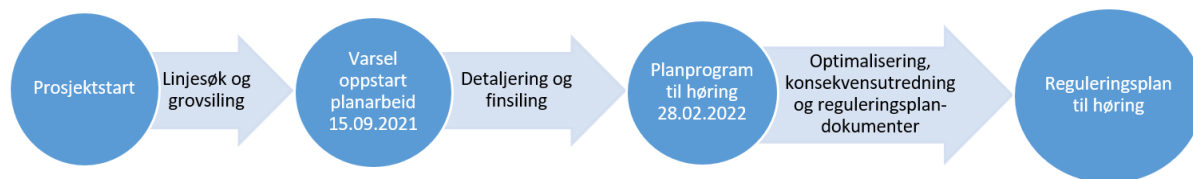


Figur 1. Parsellen E39 Lyngdal vest-Kvinesdal

Det foreligger trasé for veiløsning i de gjeldende kommunedelplanene E39 Vigeland-Lyngdal vest og E39 Lyngdal vest-Ålgård, men strekningen gjennom Kvinesdal kommune er ikke vedtatt. Ny trasé fra Røyskår til kommunegrensen mot Flekkefjord er nå utredet av Nye Veier.

I arbeidet med reguleringsplan er det gjennomført linjesøk og tverrfaglige vurderinger av et bredt utvalg av løsninger for å finne den samlet sett beste traséen fra Røyskår i Lyngdal, gjennom Kvinesdal, til kommunegrensen mot Flekkefjord, der fremtidig ny E39 skal fortsette i den vedtatte traséen i kommunedelplan videre vestover. Østover fra Røyskår er prosjektet E39 Lyngdal øst-Lyngdal vest under bygging, med forventet ferdigstillelse i 2025.

Til varsel om oppstart av planarbeid (15.09.2021) ble det gjennomført en grovsiling av et stort antall alternative veilinjer for ny E39. Anbefalte linjer fra grovsilingen dannet grunnlaget for videre detaljering og vurdering. Frem mot utlegging av planprogram til offentlig høring (28.02.2022) ble det gjennomført en finsiling av de gjenstående linjene fra grovsilingen. Anbefalt linje fra finsilingen, sammen med linjer og kryssløsninger som kommunene vedtok utredet i planprogrammet, har dannet grunnlaget for videre optimalisering, detaljering, konsekvensutredning og utarbeidelse av reguleringsplandokumenter.

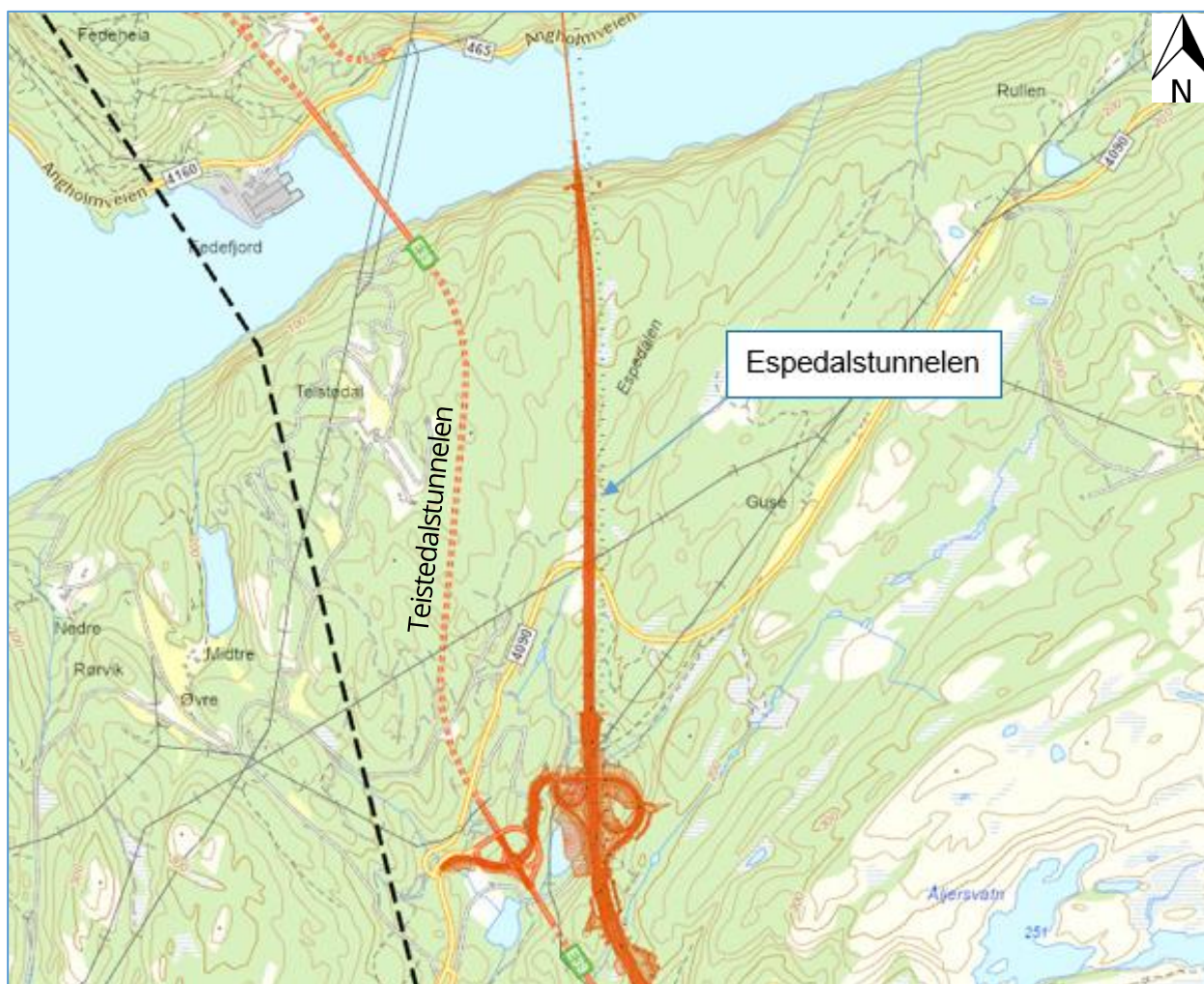


Det henvises til silingsrapporter, planprogram, prosjektrapport, konsekvensutredning, reguleringsplandokumenter og fagrapporter for ytterligere detaljert informasjon om prosjektet. Dokumentene kan finnes på nettsidene til Nye Veier, Lyngdal og Kvinesdal kommune.

2.2 Om rapporten

Denne rapporten gir en ingeniørgeologisk og hydrogeologisk vurdering av Espedalstunnelen inkl. forskjæringer. Tunnelen har en planlagt lengde på 1740 m. Oversiktskart for tunnelen er vist i Figur 2-2.

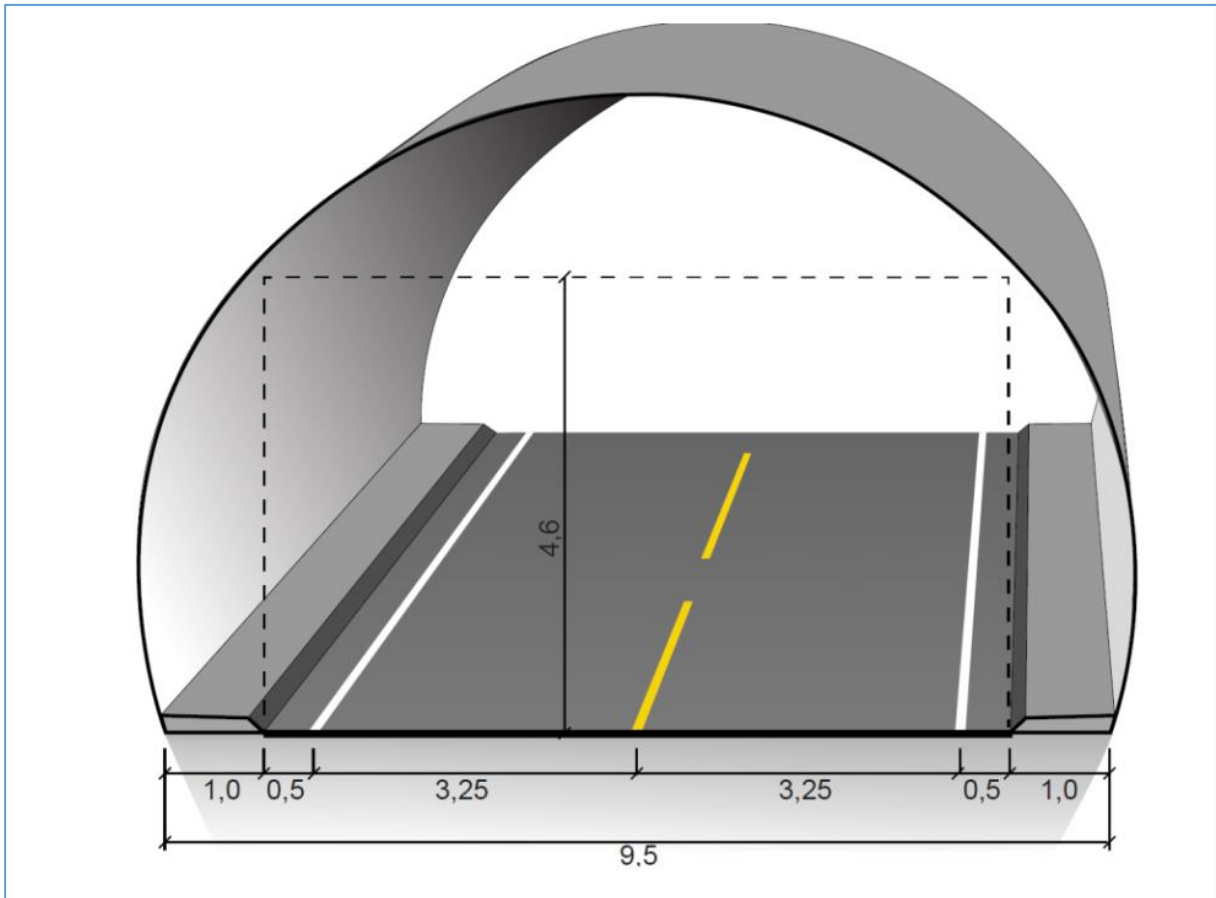
Rapporten er et vedlegg til reguleringsplan for E39 Lyngdal vest-Kvinesdal.



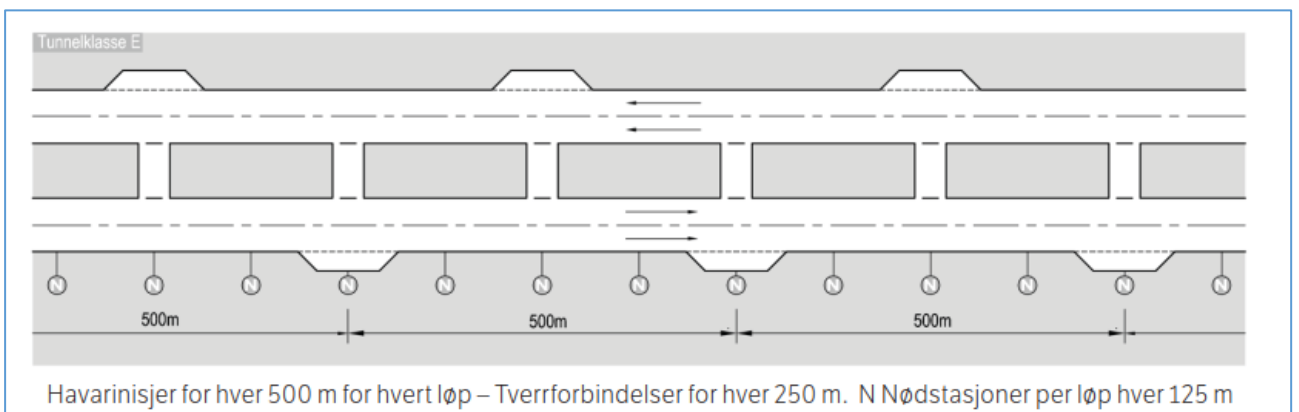
Figur 2-2, Oversiktskart over tunneltraséen fra Teistedal/Oppofte i sør til Fedafjorden i nord.

2.3 Trasévalg, linjeføring og tunnelvernsnitt

Veilinen planlegges med vegklasse H3, ÅDT>12 000 og med fire kjørefelt og fartsgrense på 110 km/t. Tunnelen vil ha to løp med profil T9,5 (Figur 2-3). Tunnelen ligger i tunnelklasse E med krav om havarinisje hver 500 meter og tverrforbindelser hver 250 meter [1]. Tunnelen har på det meste ca. 4 % helning.



Figur 2-3, Tunnelprofil T9,5. Hentet fra N100 [2].



Figur 2-4, Tunnelklasse E med havarisisjer, nødastasjoner og tverrfordelset [1].

2.4 Prosjekteringsforutsetninger og kontroll

Styrende dokumenter

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 [3].
- Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering – Del 1 Allmenne regler NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2020 [4].
- NS-EN ISO 14689-1, Geotekniske felt- og laboratorieundersøkelser - Identifisering, beskrivelse og klassifisering av berg [5].
- Veileder til bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering [6].
- Statens vegvesen Vegnormal N500 – Vegtunneler [1]
- Statens vegvesen Veiledning V521 – Geologi og bergsikring [7]
- Statens vegvesen Vegnormal N200 Vegbygging [8]
- Statens vegvesen Håndbok R760 Styring av vegprosjekter [9].
- Statens vegvesen Håndbok V225 Bergskjæringer [10]
- Statens vegvesen, Publikasjon nr. 103. Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø [11].
- NGI, Bruk av Q-systemet. Bergmasseklassifisering og bergforsterkning [12].

Pålitelighetsklasse

For valg av Pålitelighetsklasse refereres til NS-EN 1990 og tabell NA.A1 (901) i nasjonalt tillegg, se Tabell 2-1.

Tabell 2-1: Klassifisering av pålitelighetsklasse, fra tabell NAA1 i nasjonalt tillegg til NS-EN 1990 [3].

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

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

Prosjekteringskontrollklasse

Avhengig av pålitelighetsklasse CC/RC stilles krav til prosjekteringskontrollklasse (PKK) med tilhørende krav til kontrollform slik det fremgår av

Tabell 2-2 nedenfor. CC/RC3 gir PKK3 som krever egenkontroll, intern systematisk kontroll og utvidet kontroll.

Tabell 2-2: Prosjekteringskontrollklasse og krav til kontrollform ved prosjektering, tabell NA-A (902) i NS-EN 1990 [3].

Valg av prosjekteringskontrollklasse		Krav til kontrollform		
Pålitelighetsklasse	Minste prosjekteringskontrollklasse	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

Geoteknisk kategori

Geoteknisk kategori (GK) gir føringer på omfang av arbeid under planlegging, bygging og drift av prosjektet. Geoteknisk kategori skal angis i henhold til Eurokode 7 [4]. I veileder til Eurokode 7 [6] er geoteknisk kategori definert som en funksjon av vanskelighetsgrad og pålitelighetsklasse, se Tabell 2-3. Vanskelighetsgraden avhenger av grunnforholdenes kompleksitet og type prosjekt, og klassifiseres som angitt i Tabell 2-4.

Tabell 2-3: Definisjon av geoteknisk kategori [6].

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

Tabell 2-4: Klassifisering av vanskelighetsgrad [6].

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.

Fastsettelse av pålitelighetsklasse/geoteknisk kategori

For denne tunnelen er det generelt rimelig oversiktlige grunnforhold. Berggrunnen ligger i stor grad i eller nær overflaten, det er god overdekning og bergarter som erfaringsmessig ikke gir unormalt krevende driveforhold. Det er kartlagt en del svakhetssoner og hvor enkelte av disse kan følge

tunnelen over lengre strekningen på grunn av middels fall. Tunnelen går under utmark med skog og den krysser to større myrer. Basert på dette anses tunnelen generelt å ha rimelig oversiktlige og enkle grunnforhold uten spesielle risikoer. Påhuggsområdet i nord anses som av mer krevende art mtp. anleggsteknisk gjennomføring. Påhugget har vanskelig adkomst i en bratt skråning ned mot Fedafjorden, og stor spennvidde i åpningen fordi de to tunnellopene er ført sammen til en stor berghall. Terrenget over påhugget er bratt og har høy risiko for steinsprang. Det ligger også urmasser over påhugget som må håndteres. Søndre påhugg er relativt enklere. Dette får høy forskjæring/påhuggsflate og det ligger opptil 4 m løsmasser i terrenget bak påhugget ut fra fjellkontrollboringer. Forskjæringene har høyde på mer enn 10 m.

Pålitelighetsklassen for tunnelen vurderes å være generelt i klasse 2 til 3, mens påhuggene i klasse 3. Vanskelighetsgraden er vurdert til høy ved påhuggsområder og middels i tunneltraséen for øvrig.

N500 stiller krav om at veitunneler generelt skal være i Pålitelighetsklasse 3 og særskilte elementer i Pålitelighetsklasse 4. Det åpnes også for å benytte Pålitelighetsklasse 2 for noen tunneler.

Med bakgrunn i ovenstående plasseres hele tunnelen/forskjæringene i følgende:

- Pålitelighetsklasse/konsekvensklasse 3
- Prosjekteringskontrollklasse PKK3
- Geoteknisk kategori 3

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

Det skal utføres egenkontroll, intern systematisk kontroll, samt utvidet kontroll av prosjektering.

Sikkerhet mot skred

Sikkerhet mot skred er omtalt i håndbok N200 [8]. Basert på samlet skredsannsynlighet pr. km vei og dimensjonerende trafikkmengde skal det velges sikkerhetsnivå (restrisiko). Restrisikoen skal være lavere enn tolererbar skredsannsynlighet og bør være lavere enn akseptabel skredsannsynlighet gitt i Tabell 2-5. I valg av endelig sikkerhetsnivå skal det legges vekt på skredintensitet og skadepotensiale fra skred, konsekvenser av stengt vei regionalt og lokalt, samt kostnader for å oppnå ulike sikkerhetsnivå.

Ved framskriving av trafikkmengde neste 20 år er ÅDT for prosjektet oppgitt til <12.000. Det er derfor lagt til grunn at veianlegget ikke skal ha større årlig nominell sannsynlighet for skred enn 1/1000 (Tabell 2-5).

Tabell 2-5. Matrise som angir sikkerhetskrav for skredsannsynlighet på vei [8].

Dimensjonerende trafikkmengde	Samlet skredsannsynlighet per km og år
< 500	1/20
500 – 3999	1/50
4000 – 5999	1/100
6000-11999	1/300
≥ 12000	1/1000

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 [13]. 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.

3 Grunnlag og utførte undersøkelser

3.1 Tidligere faser/undersøkelser

Gjeldende veilinje ble anbefalt av Nye Veier gjennom en silingsprosess i 2021. Prosjektet gikk direkte over i detaljreguleringsfase i 2022.

Kommunedelplan Statens vegvesen 2018

Det er utarbeidet kommunedelplan for ny motorvei gjennom samme område (E39 Lyngdal vest til Ålgård) hvor det lå til grunn gjenbruk av eksisterende E39 på strekningen [14]. Dette inkluderte nytt løp inntil eksisterende Teistedalstunnel. Denne tunnelen er ca. 4-500 m vest for planlagt Espedalstunnel. I fb. KDPen ble det ikke utført grunnundersøkelser eller feltarbeid.

Mulighetsstudie Nye Veier 2020

Norconsult gjennomførte mulighetsstudie av ny motorvei på strekningen (Røyskår til Lølandsvatnet) [15]. Det ble vurdert et hovedalternativ med fjordkryssing ved Diganes på nordsiden av fjorden. Dette er lengre inn i fjorden enn veilinjen som ligger til grunn i dette prosjektet. I fb. studien ble det ikke utført grunnundersøkelser eller feltarbeid.

3.2 Nærliggende anlegg

Dagens E39 på strekningen ble ferdigstilt i 2006 som et OPS prosjekt med Allfarvei/Veidekke som entreprenør og driftsansvarlig. Grunnlag fra tunnelene på dagens E39 (Vatlandstunnelen, Oppoftetunnelen, Teistedalstunnelen og Fedaheitunnelen) er relevant å benytte i vurderingene. Det foreligger tunnelkartleggingsskjema (bergmassekvalitet, hovedsprekker/soner, utført sikring/injeksjon), utført vann- og frostsikring, ingeniørgeologisk rapport til byggeplan,

inspeksjonsrapporter, samt bergmekaniske tester fra byggefasen. Sweco har hatt muntlig kommunikasjon med Veidekke om erfaringer fra bygging av eksisterende E39 på strekningen

3.3 Andre prosjekter

NGU har utført skredfarekartlegging langs fedafjorden [16], [17].

3.4 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 manuskart Flekkefjordområdet i 1:50.000-skala [18]
- Kvartærgeologisk kart fra NGU [19].
- Grunnvannsdatabase GRANADA fra NGU [20].
- Skredhendelser og aktsomhetskart fra NVE [21].
- Aktsomhetskart for Radon fra NGU [22].
- GEODATA – Grunnlagkart i WMS-løsning av tilgjengelige kartdata fra kartverket [23].
- Naturbase, kart med naturtyper/-verdier, Miljødirektoratet [24].

3.5 Utførte undersøkelser i reguleringsplanfasen

3.5.1 Feltarbeid

Det er gjennomført befaringer med ingeniørgeologisk kartlegging langs tunneltraséen og ved påhuggsområdene. ArcGIS programvare (Collector) med innlagt veilinje er anvendt på mobil/tablet i felt. Svakhetssoner, bergarter og sprekkemålinger ble registrert. Sprekkekartlegging er utført med manuelle målinger med kompass.

Befaring av påhugget ved Fedafjorden er krevende pga. bratt og lite tilgjengelig terreng. Det er utført befaring på nedsiden av påhugget der man gikk inn med båt. Skrenten ovenfor påhugget er befart og da gikk man inn ovenfra.

Det er utarbeidet egen skredfarerapport for prosjektet som blant annet omtaler påhuggsområdene for Espedalstunnelen [25]. Det er gjennomført eget feltarbeid for skredrapporten.

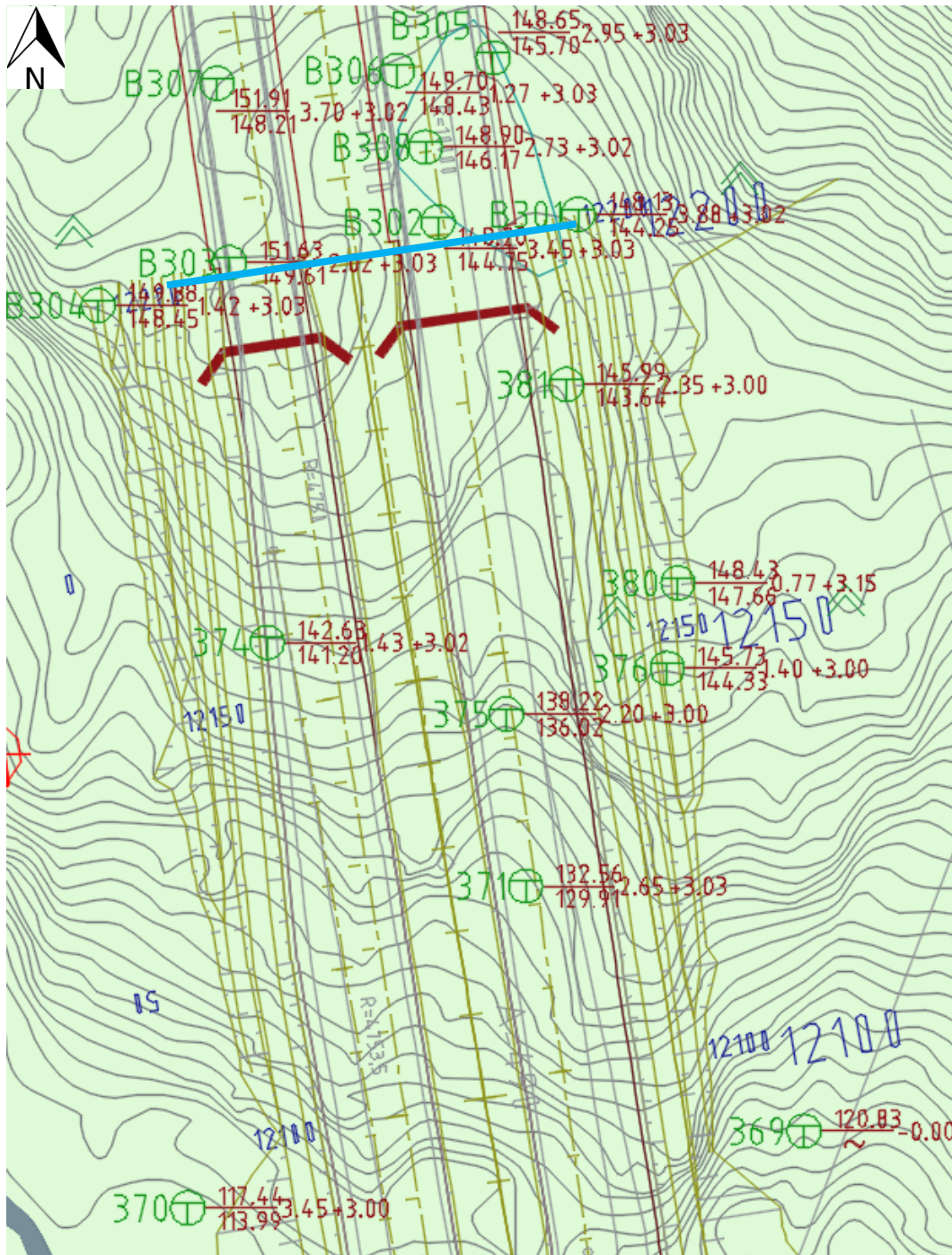
3.5.2 Refraksjonsseismikk

Geomap har utført refraksjonsseismikk i perioden juli-august 2022 [26]. Det er målt langs to profiler for å undersøke løsmassemekanikk og bergkvalitet mellom Åsevegen og Gusemyr. Undersøkelsen er utført langs to profiler med lengde 445 m og 205 m, som var orientert nær vinkelrett på hverandre, se Vedlegg 1 for plassering av profiler med hastigheter.

3.5.3 Totalsonderinger

Det er utført totalsonderinger ved søndre påhugg/forskjæring, se Figur 3-1. Boringene viser løsmassemektigheter på opp mot 4 meter i påhugget.

Se Vedlegg 1 for plassering av borpunkter med resultater. Mer detaljert informasjon om grunnboringene og løsmassenes egenskaper er gitt i geoteknisk rapport [27].



Figur 3-1, Oversikt over totalsonderinger ved påhugg/forskjæring sør (påhugg=blå linje).

4 FAKTA-DEL

4.1 Topografi

Langs tunneltraséen ligger terrenget generelt på ca. kote 200-220, høyeste punkt er ved Geiteknappen ved kote ca. 230. Laveste punkter utenom påhuggsområdene er Gusemyr på kote ca. 190 og Storamyra på kote ca. 198. Terrenget er generelt småkupert, og det forekommer søkk og forsenkninger i terrenget. De mest markerte søkkene har retning NØ, men det forekommer også søkk som har NV-lig retning. Minste overdekning er ved søndre påhugg med rundt 25 m. Terrenget stiger raskt på etter 100-150 m innenfor påhugget slik at tunnelen får god overdekning. Videre mot nordre påhugg er overdekningen rundt 100 m med økning til rundt 150 m før terrenget synker bratt ned mot Fedafjorden.

Tunnelen går på synk i retning Fedafjorden med fall på maks 4 %.

Tunnelens søndre påhugg er lokalisert i en sørvestvendt li (Guseheia). Lia har helning 25-35° og flater ut ca. i kote 200. Brattere terrengformer forekommer lokalt i lia. Akkurat der påhugget er plassert, ca. i kote 150, er terrenget slakt. Like over østre tunnellop, rett innenfor påhugget er det en liten myr (ca. i kote 149).

Ved nordre påhugg synker terrenget bratt ned mot Fedafjorden. I brattkanten ned mot fjorden varierer terrenget mellom nesten loddrette skrenter/stup og slakere terreng med 30-40° helning. Påhuggsflatens høyde er 20-40 m, økende fra øst til vest. Det blir dobbeltsidig forskjæring med ca. 20 m lengde. Det skal etableres et plant areal på østsiden av ny vei i påhuggsområdet. Vestre skjæring etableres tett inntil veibanen og har høyde på mer enn 40 m. Østre skjæring etableres litt over 50 m fra veibanen, og har skjæringshøyde på i snitt ca. 15 m.

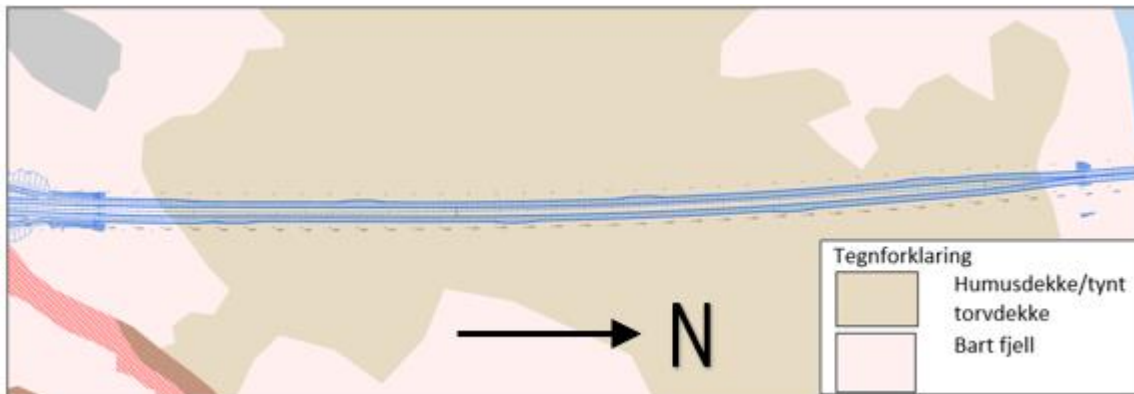
Søndre forskjæring er dobbeltsidig og ca. 100 m lang. Vestre side er opp mot 20 m høy på midtre del, mens østre side i hovedsak er ca. 20-30 m høy. Terrenget flater ut ovenfor østre side, mens det faller av ovenfor vestre side.

4.2 Kvartærgeologi og løsmassemektheter

NGU sitt kvartærgeologisk kart over området er vist i Figur 4-1. Kartet viser at løsmassene i området domineres av tynt torv/humusdekke og mindre partier med bart fjell.

Ved feltbefaringen ble det observert fuktige myrer i søkk og ved større flate områder, ellers stort sett tynt løsmassedekke. Bart berg ble observert ved kløfter og noen kollepartier. Større myrer/våtmarksområder finnes ved Gusemyr, nær midtre delen av tunneltraséen, og ved Storamyra, litt før det nordre påhugget. Prosjektområdet ligger over marin grense. Over og rundt nordre påhugg ble det også observert ur/skredavsetninger.

Ovenfor påhugget i sør er det boret ca. 3-4 meter til berg på det meste. I forskjæringen er det i hovedsak 1-2 m løsmassetykkelse basert på boringer.



Figur 4-1, kvartærgeologisk kart, NGU. Humusdekke over store deler av tunnelen.

4.3 Berggrunnsgeologi

Berggrunnen i sørvest-Norge består hovedsakelig av grunnfjellsbergarter av prekambrisk alder (jordas urtid). Bergarter har forskjellig opprinnelse og alder, og er i varierende grad blitt utsatt for tektonisk påvirkning. Beskrivelsen av regionalgeologien i planområdet er basert på kartblad for Mandal i målestokk 1:250 000, ref. Figur 4-5 [28]. Dette er basert Torgeir Falkums sammenstilling av geologisk kartlegging utført i årene 1964-1978. Sammenstillingen ble avsluttet i 1981 og er presentert på eget kartblad for Mandal.

Det digitale berggrunnskartet fra www.ngu.no aviker noe fra kartbladet for Mandal, som det digitale berggrunnskartet er basert på. De to berggrunnskartene er identiske bortsett fra at det som er kartlagt som granittiske gneiser og øyegneis på Mandal kartbladet er betegnet som granodioritt på det digitale berggrunnskartet. Registreringer i felt og eksisterende tunneler langs E39 (Oppoftetunnelen og Vatlandstunnelen) bekrefter at bergartene er granittisk gneis og øyegneis, og ikke granodioritt.

Berggrunnsgeologien i områdene hvor Espedalstunnelen er lokalisert, er dominert av grunnfjellsbergarter i gneis-migmatittkomplekset «Agderkomplekset». Agderkomplekset består av de eldste bergartene i planområdet, som omfatter migmatittiske båndgneiser, granittiske gneiser og øyegneiser med mindre mengder av andre bergarter. Dette gneisgrunnlaget ble dannet i forbindelse med den svekokarelske fjellkjededannelse for 2 milliarder år siden. I forbindelse med den svekonorvegiske fjellkjededannelse for 1200 millioner år siden (varte i omtrent 350 millioner år), steg temperaturen og bergartene ble omkrystallisert til amfibolittfaciesgneis, amfibolitt, kvartsitt, mormor og granat-cordieritt-sillimanitt-gneis. Noe senere ble området gjennomgått av granittbatholitter. Batholittene har blitt deformert og omdannet i flere faser, og utgjør i dag granittiske gneiser og øyegneis. Basert på berggrunnskartet i Figur 4-5 forekommer følgende bergarter langs tunnelen som er bekreftet ved befaring:

- Øyegneis, vesentlig omdannede porfyriske granitter og granodioritter med store krystaller (1-20 cm) av alkalifeltspat. Dette stemmer med observasjoner i felt. Bergarten som ble observert var en grovkornet granittisk øyegneis. Eksponert bergmasse er generelt preget av forvittringshud og ofte bevokst med lav og mose. Gir et «massivt» inntrykk med stor sprekkeavstand.



Figur 7. Eksempel på øyegneis fra feltbefaring.

- Granittiske gneiser, varierende fin- til middelskornete kvarts- og feltspatrike gneiser. Opptrer i felt som mer lysere og mer finkornet enn øyegneisen. Denne bergarten gi også et «massiv» inntrykk med få sprekker/stikk.



Figur 8. Lys granitt.

- Båndgneis, stedvis migmatittisk (amfibolitt, biotittgneis i bånding med lys gneis, stedvis granat-sillimanitt-cordieritt biotittgneis og tynne lag av kvartsitt). Båndingen i bergarten fremgår tydelig i bildet under fra feltbefaringen. Det er tydelige svakhetsplan langs foliasjonen.

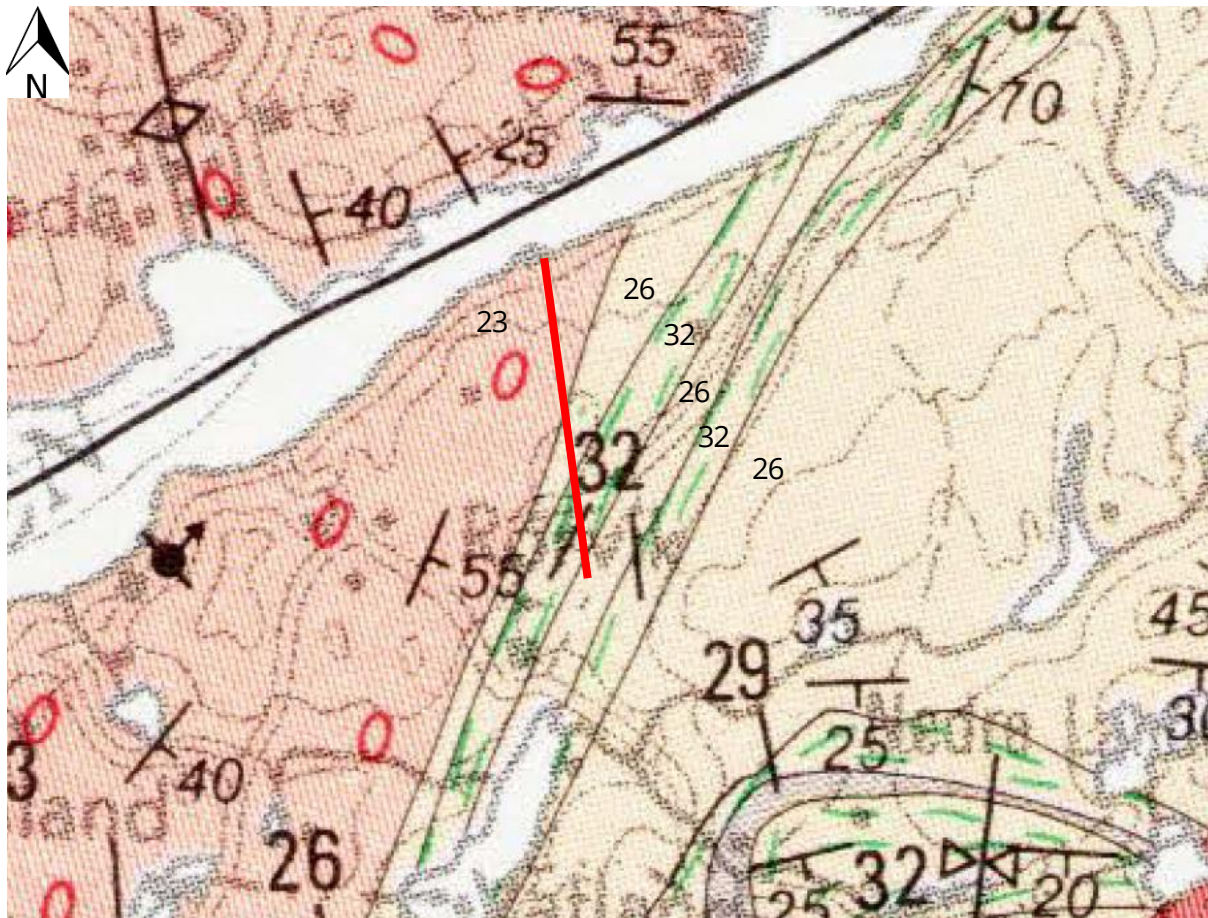


Figur 9. Båndgneis.

Basert på berggrunnskartet vist i Figur 4-5 vil de første ca. 1100 m av tunnelen fra påhugg og forskjæring i sør ligge i båndgneis og granittisk gneis i veksling. Deretter vil tunnelen ligge i øyegneis frem til påhugg og forskjæring ved Fedafjorden. Bergarter og bergartsgrenser kartlagt i felt i reguleringsplanfasen samsvarer i hovedsak med berggrunnskartet, men det er enkelte avvik.

Det understrekes at store deler av området er dekket av humus/torvdekke som gjør det vanskelig å kartlegge bergartsgrenser i detalj.

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

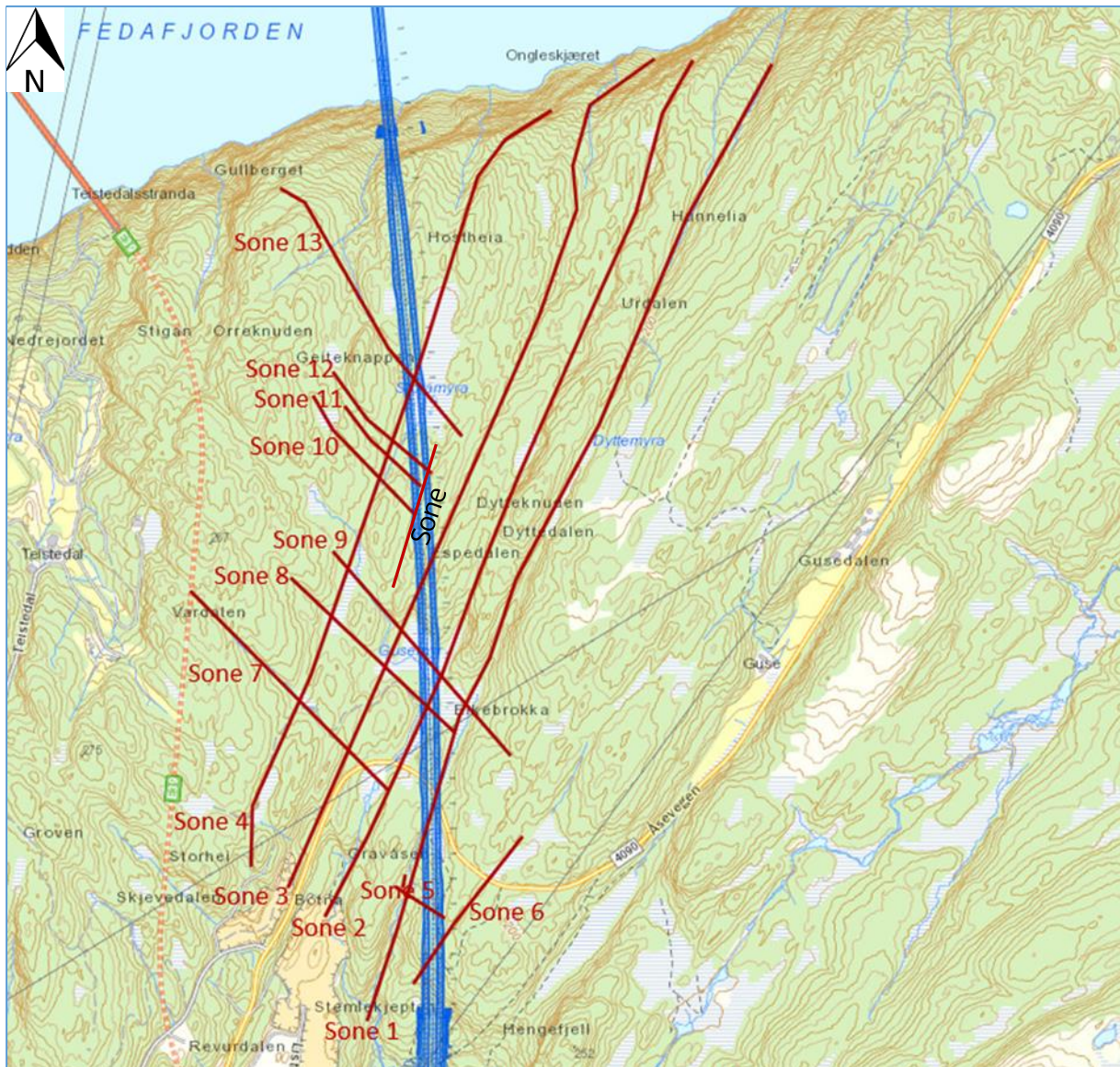


Figur 4-5, Berggrunnskart M:1:250.000 [18]. Rød linje=tunnel. Forklaring bergartsnr.:
Bergart nr. 23: Øyegneis, Bergart nr. 26: Granittiske gneiser, Bergart nr. 32: Båndgneis

4.4 Strukturgeologi

4.4.1 Lineamenter og svakhetssoner

Det er utført lineamentstudie i området ved hjelp av skyggerelieffkart, topografiske kart og befarings. En oversikt over de kartlagte lineamentene er vist i Figur 4-11. Det er i hovedsak to lineamentsretninger som er kartlagt. Den mest fremtredende er langs bergmassens foliasjonsretning NØ-SV og med fall mot øst. Det andre har strøkkretning SØ-NV og har steilt fall.



Figur 4-11, Kartlagte lineamenter i området over Espedalstunnelen. Hvert enkelt lineament er nummerert.

4.4.2 Strukturer, foliasjon og oppsprekking

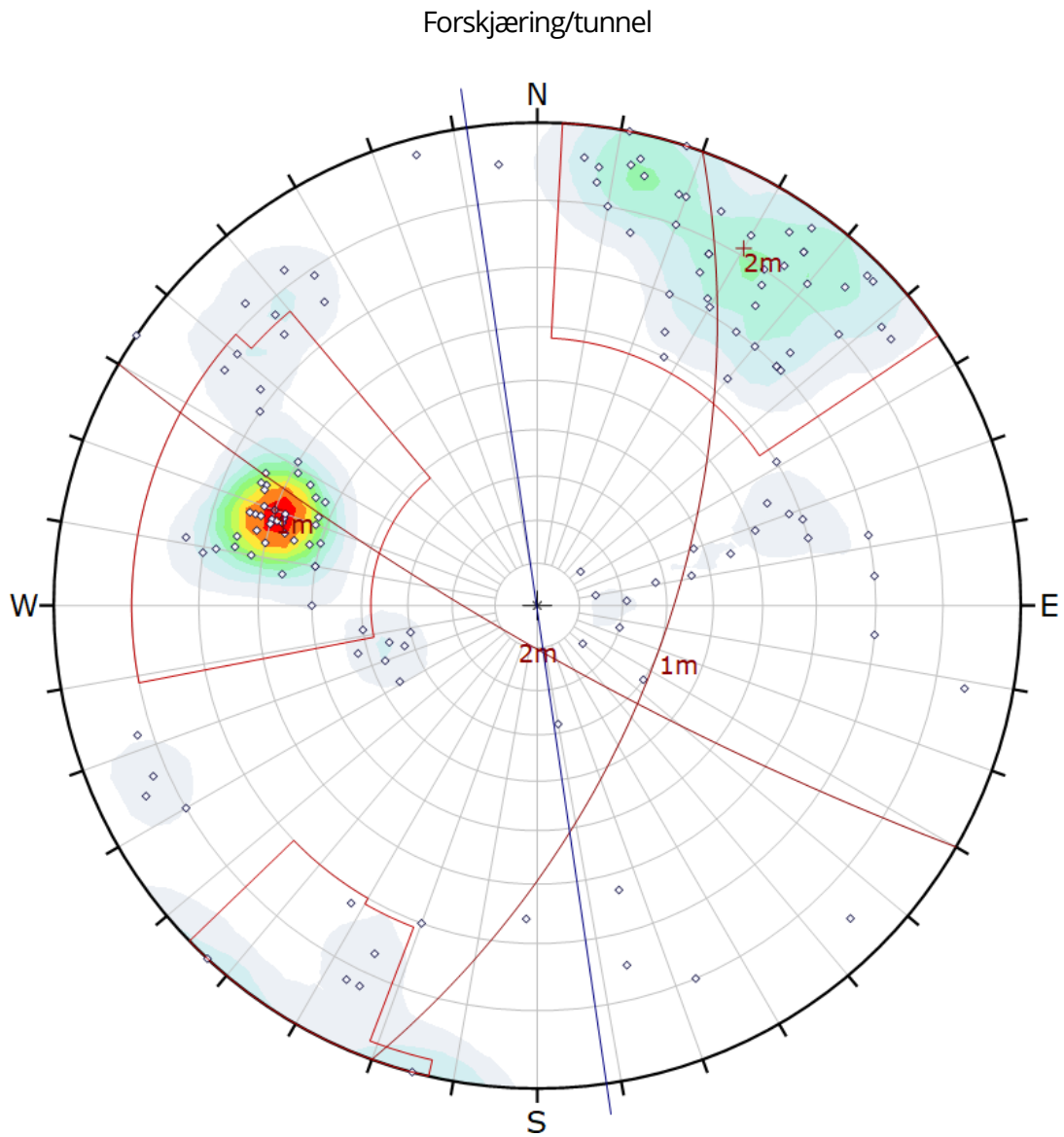
Det er utført sprekkemålinger langs tunneltraséen og påhuggsområder (Figur 4-13 til Figur 4-21). Sprekkemålingene er hovedsakelig utført på naturlige bergblotninger, samt i sprengte skjæringer langs Åsevegen. Generelt er det kartlagt to sprekkesett, et steilstående sett med strøk SØ-NV og sprekker langs foliasjonen med strøk NØ-SV og fall rundt 50-60 grader, ref. Figur 4-13. Sporadisk er det subhorisontale sprekker med strøk N-S og fall mot vest. I nordligste del av tunneltraséen endrer foliasjonens strøketretning seg til NV-SØ, og fallet er noe slakere (35-40°).

Det steiltsående sprekkesettet i retning SØ-NV har sprekkeavstand over 1 m og stor utholdenhet. Sprekkekarakter er plan og ru. Det er observert forvittringshud på sprekkeplan. Sprekkesett med

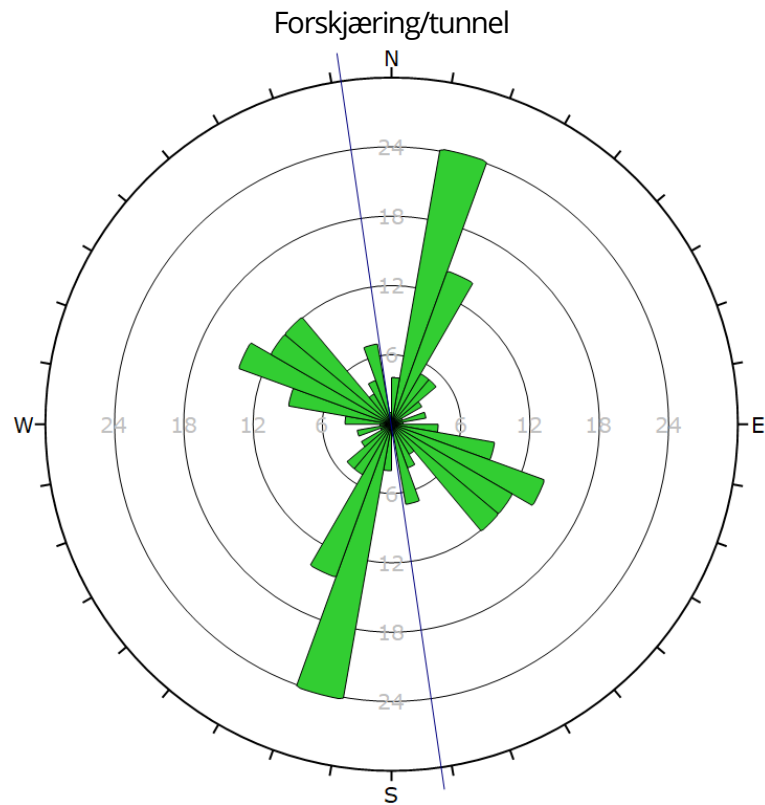
retning langs foliasjon er plane og ru i øyegneisen og den mer finkornete granittiske gneisen. I båndgneisen er det imidlertid noen partier hvor disse sprekkeene kan være glatte og plane. Sprekkeavstanden kan også være mindre i denne bergarten, stedvis soner med ned mot 20 cm avstand. Det mer sporadiske subhorisontale sprekkesettet er ru og undulerende, og har stor sprekkeavstand.



Figur 12. Eksempel på sprekker langs foliasjonen i båndgneis.



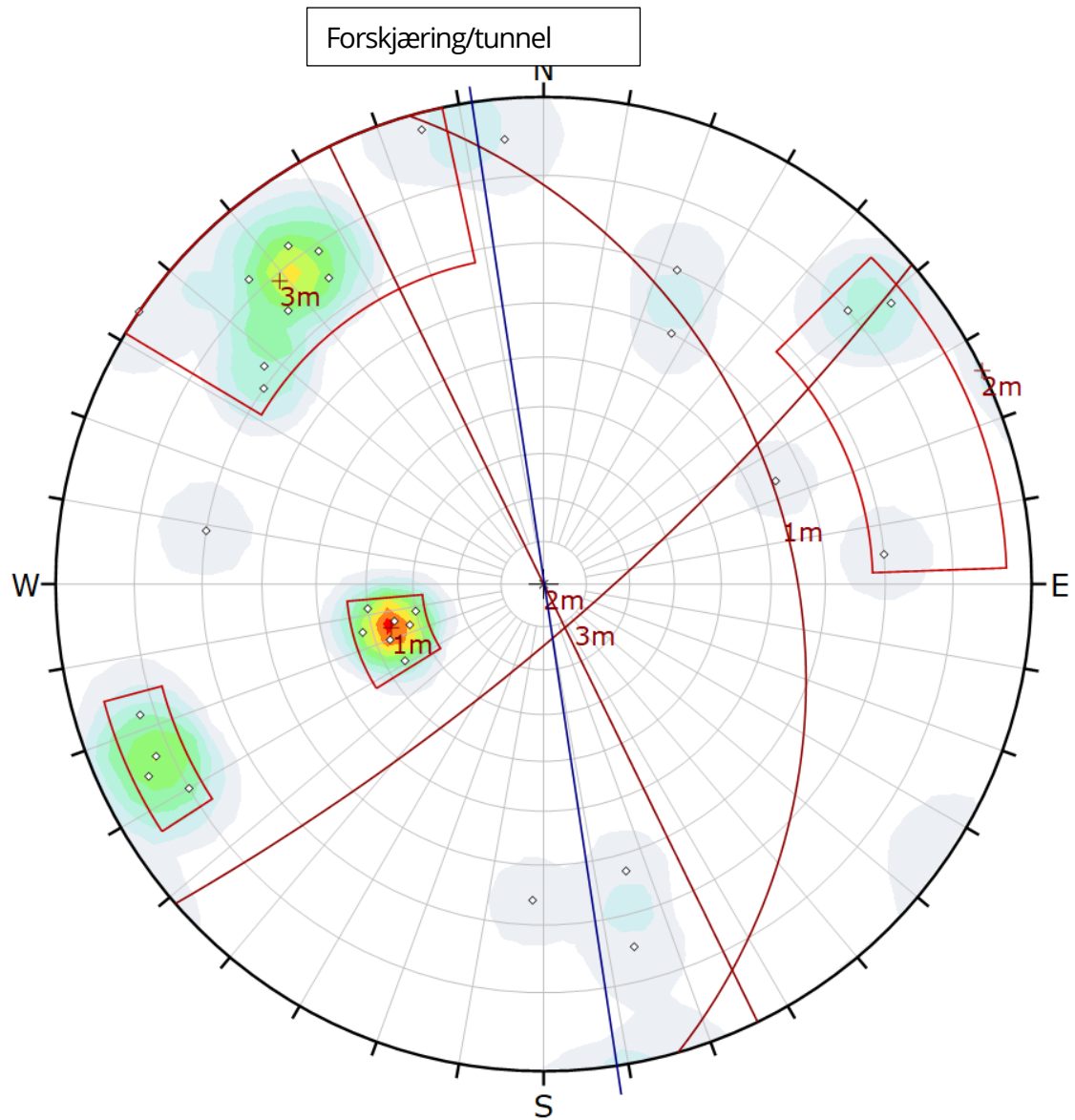
Figur 4-13. Konturplott av alle sprekkemålingene langs Espedalstunnelen med definerte sprekkesett.



Figur 4-14. Sprekkerose av alle sprekkemålingene langs Espedalstunnelen med definerte sprekkesett.

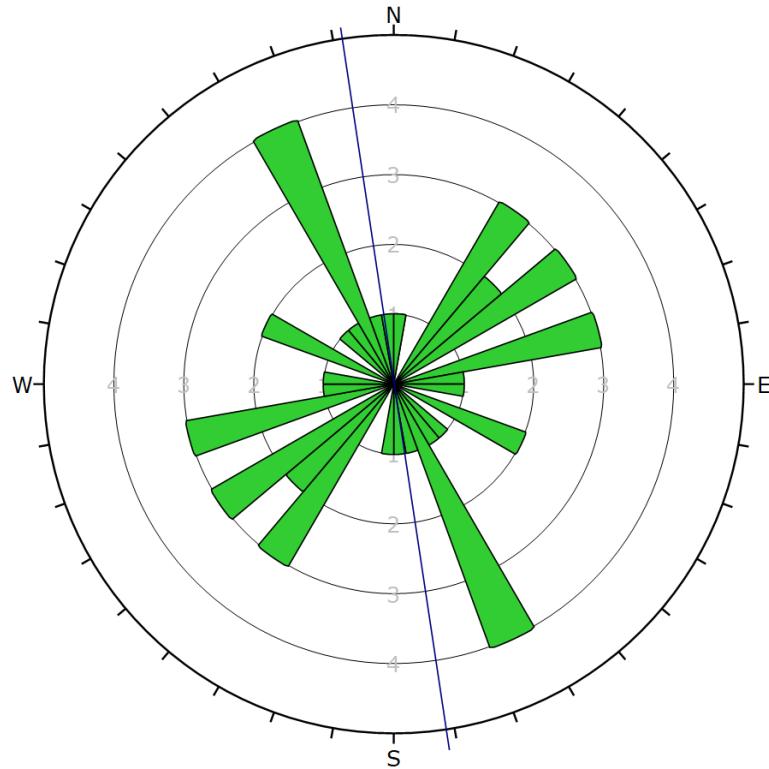
Symbol	Set	Quantity																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Color</th> <th>Density Concentrations</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td></td><td>0.00 - 1.80</td></tr> <tr><td></td><td>1.80 - 3.60</td></tr> <tr><td></td><td>3.60 - 5.40</td></tr> <tr><td></td><td>5.40 - 7.20</td></tr> <tr><td></td><td>7.20 - 9.00</td></tr> <tr><td></td><td>9.00 - 10.80</td></tr> <tr><td></td><td>10.80 - 12.60</td></tr> <tr><td></td><td>12.60 - 14.40</td></tr> <tr><td></td><td>14.40 - 16.20</td></tr> <tr><td></td><td>16.20 - 18.00</td></tr> </tbody> </table>			Color	Density Concentrations		0.00 - 1.80		1.80 - 3.60		3.60 - 5.40		5.40 - 7.20		7.20 - 9.00		9.00 - 10.80		10.80 - 12.60		12.60 - 14.40		14.40 - 16.20		16.20 - 18.00
Color	Density Concentrations																							
	0.00 - 1.80																							
	1.80 - 3.60																							
	3.60 - 5.40																							
	5.40 - 7.20																							
	7.20 - 9.00																							
	9.00 - 10.80																							
	10.80 - 12.60																							
	12.60 - 14.40																							
	14.40 - 16.20																							
	16.20 - 18.00																							
Contour Data		Pole Vectors																						
Maximum Density		17.87%																						
Contour Distribution		Fisher																						
Counting Circle Size		1.0%																						
	Color	Trend	Plunge	Label																				
Mean Set Planes																								
1m		290	30																					
2m		30	9																					
Plot Mode		Pole Vectors																						
Vector Count		143 (143 Entries)																						
Hemisphere		Lower																						
Projection		Equal Angle																						
Plot Mode		Rosette																						
Plot Data		Apparent Strike																						
Face Normal Trend		0.0																						
Face Normal Plunge		90.0																						
Bin Size		10°																						
Outer Circle		30 planes per arc																						
Planes Plotted		126																						
Minimum Angle To Plot		45.0°																						
Maximum Angle To Plot		90.0°																						

Figur 4-15. Tegnforklaring til Figur 4-13 og Figur 4-14.



Figur 4-16, Konturplott av sprekkemålingene langs nordlige del av Espedalstunnelen med definerte sprekkesett.

Forskjæring/tunnel



Figur 4-17. Sprekkerose av sprekkemålingene langs nordlige del av Espedalstunnelen.

Symbol	Feature
◇	Pole Vectors

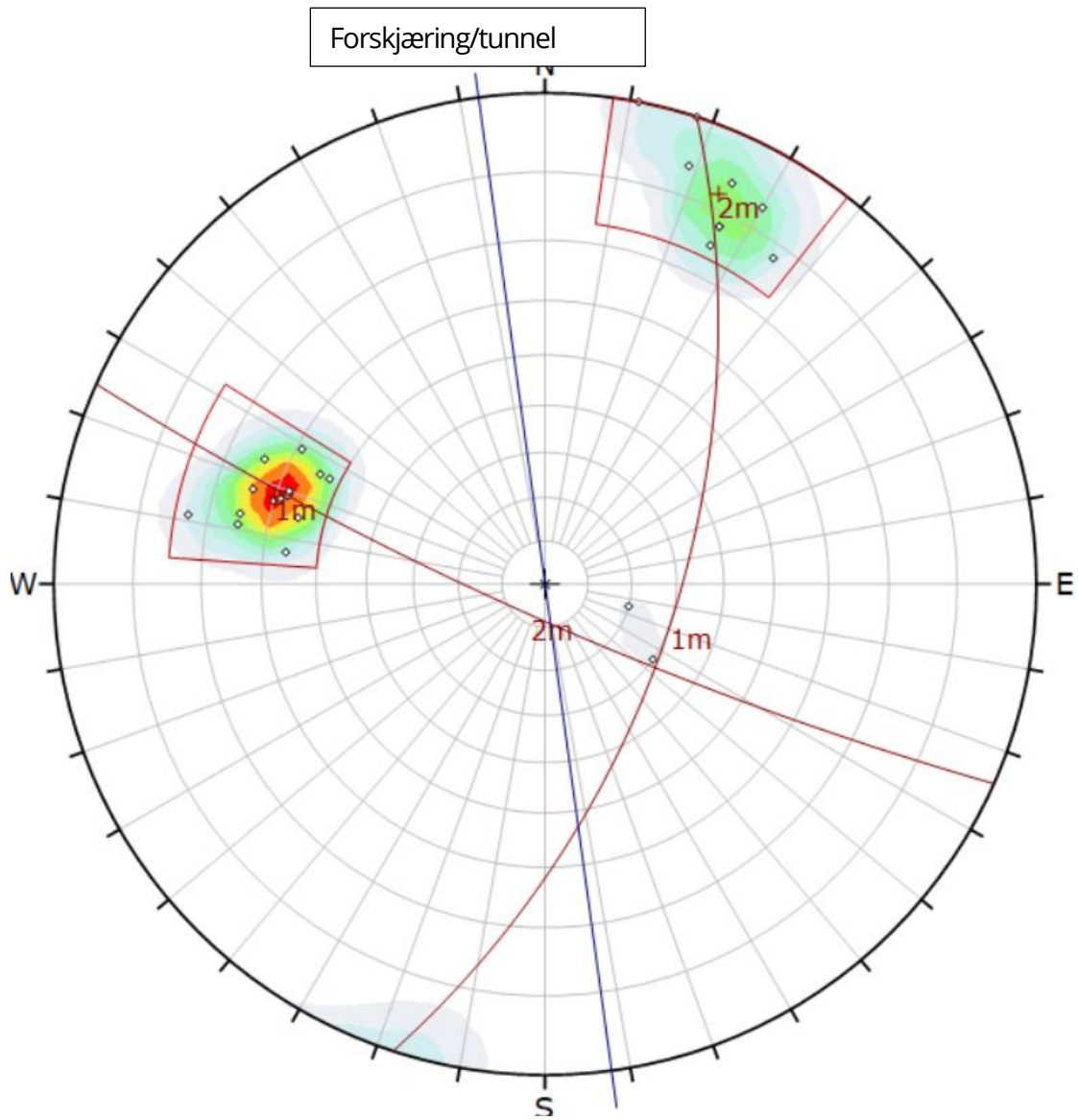
Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.90
	1.90 - 3.80
	3.80 - 5.70
	5.70 - 7.60
	7.60 - 9.50
	9.50 - 11.40
	11.40 - 13.30
	13.30 - 15.20
	15.20 - 17.10
	17.10 - 19.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	18.01%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	31 (31 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

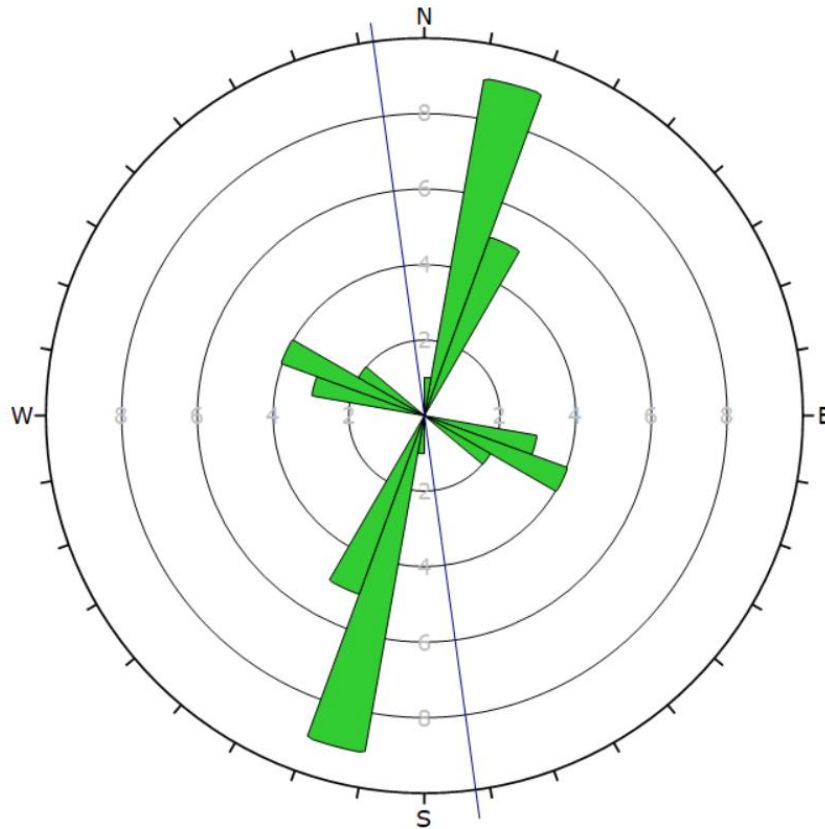
Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	5 planes per arc
Planes Plotted	24
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°

Figur 4-18. Tegnforklaring til Figur 4-16 og Figur 4-17.



Figur 4-19, Konturplott av sprekemålingene ved søndre påhugg med definerte sprekkesett.

Forskjæring/tunnel



Figur 4-20, Sprekkerose av sprekkemålingene ved søndre påhugg.

Symbol	Feature
◇	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.80
	3.80 - 7.60
	7.60 - 11.40
	11.40 - 15.20
	15.20 - 19.00
	19.00 - 22.80
	22.80 - 26.60
	26.60 - 30.40
	30.40 - 34.20
	34.20 - 38.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	37.17%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	26 (26 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

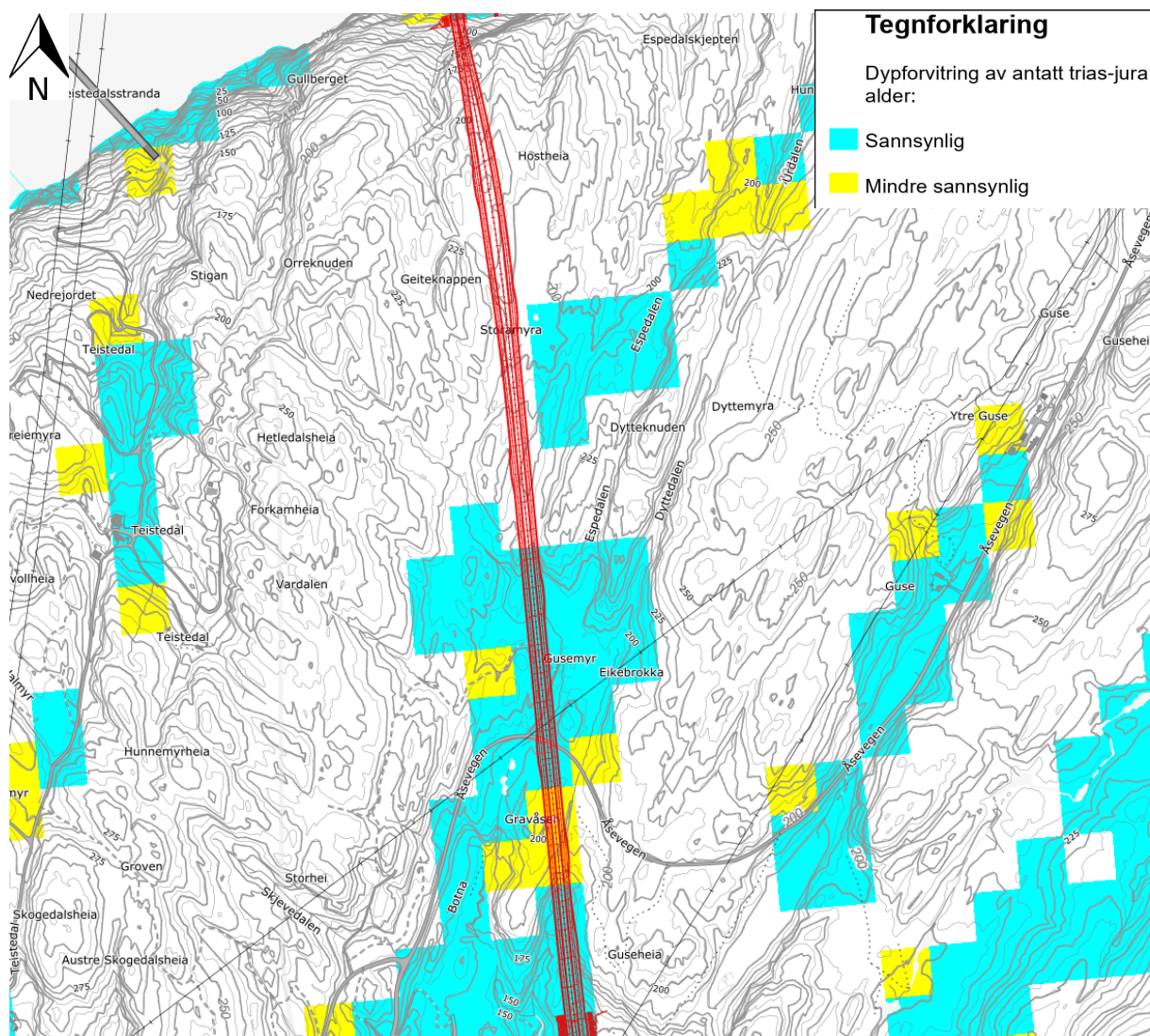
Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	10 planes per arc
Planes Plotted	24
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°

Figur 4-21. Tegnforklaring til Figur 4-19 og Figur 4-20.

4.4.3 Dypforvitring

Det foreligger et aktsomhetskart for dypforvitring for Sør-Norge [29]. Sonene som viser sannsynlig dypforvitring er lagt inn på utsnitt fra ingeniørgeologisk kart vist i Figur 4-22.

I følge kartet indikerer undersøkelsen at det sannsynligvis er dypforvitring i berget mellom søndre påhugg og Gusemyra. Under feltbefaringen ble det ikke gjort observasjoner av dypforvitring. Dette er vanskelig å observere i felt da slike soner ofte er dekket med løsmasser i terrenget.



Figur 4-22, Kart med AMAGER-undersøkelse som indikerer dypforvitring [29].

4.5 Påhuggsområder

4.5.1 Påhugg/forskjæring sør

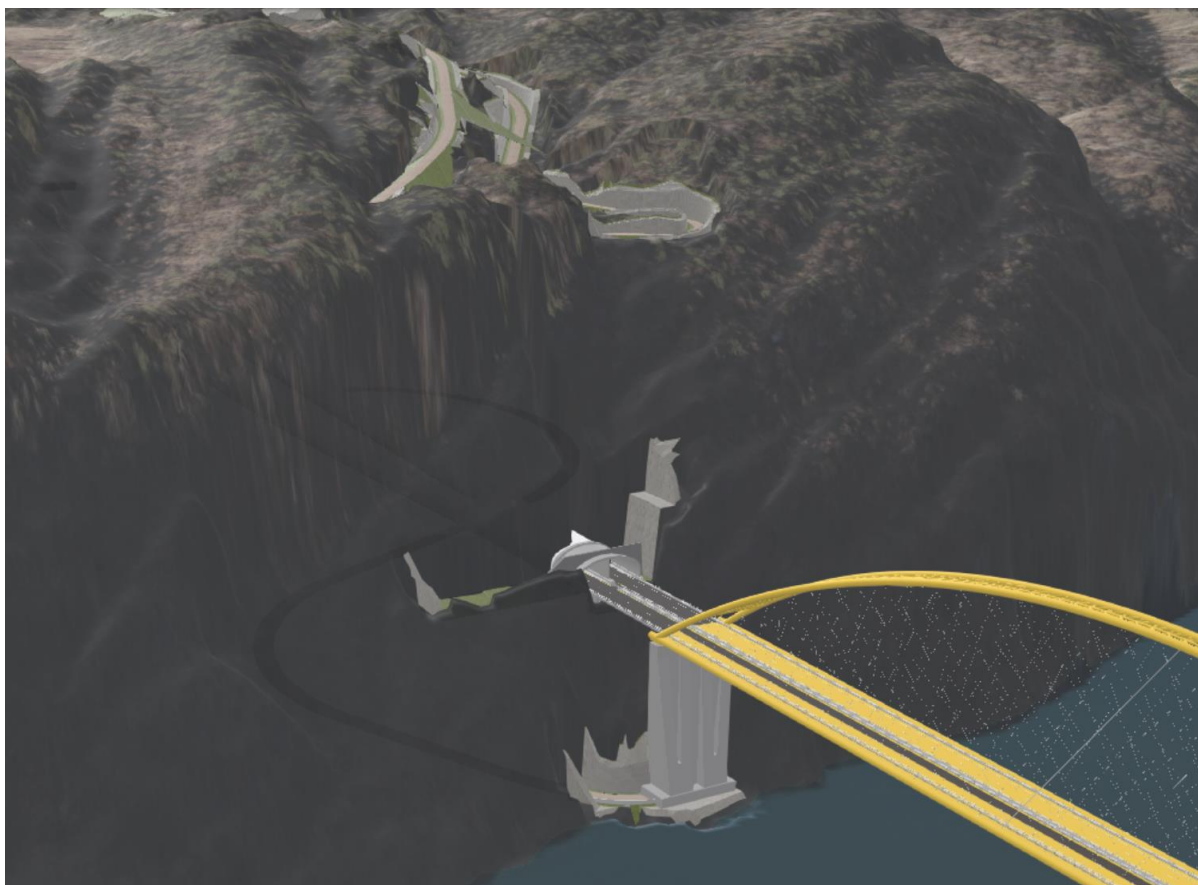
Påhugg/forskjæring er plassert inn i bunnen av en fjellside på nordsiden av Oppofte (se Figur 4-23). Ved feltbefaring ble det i området rundt påhugg/forskjæring observert båndgneis. Det er en mindre myr med opp mot 3-4 m dybde innenfor det østre påhugget, ellers er det ved befaring observert tynt vegetasjonsdekke. Det er utført fjellkontrollboringer i påhuggsområdet. Disse viser opptil ca. 4 meter til berg i påhugget.



Figur 4-23. Påhugg/forskjæring sør, samordningsmodell.

4.5.2 Påhugg/forskjæring nord

Påhugg og forskjæring i nord ligger ved en høy brattkant mot Fedafjorden, se Figur 4-24 og Figur 4-25. Terrenget faller fra ca. kote 200 ned til kote 0 på en avstand på rundt 100 m. Ved påhugget går ny vei nesten direkte fra tunnel til bru. For å unngå å bygge to separate bruer går de to tunnellopene sammen i en stor berghall innenfor påhugget. Det er lagt inn brannskille (betongvegg) mellom de to kjøreretningene. Påhugget får stor spennvidde, rundt 24 m. Topografien stiger bratt på slik at tilstrekkelig bergoverdekning oppnås med forholdsvis kort forskjæring. Ved feltbefaring er det observert berg i dagen foran påhugget ved en bratt skrent. Ved det flattere partiet over påhugget ble det observert blokkterreng. Det er urmasser i terrenget over påhugget noe som tyder på steinsprangaktivitet fra ovenforliggende brattkant.



Figur 4-24. Påhugg/forskjæring nord, samordningsmodell.



Figur 4-25. Påhugg/forskjæring nord, samordningsmodell.

4.6 Eksisterende Teistedalstunnelen

Generelt

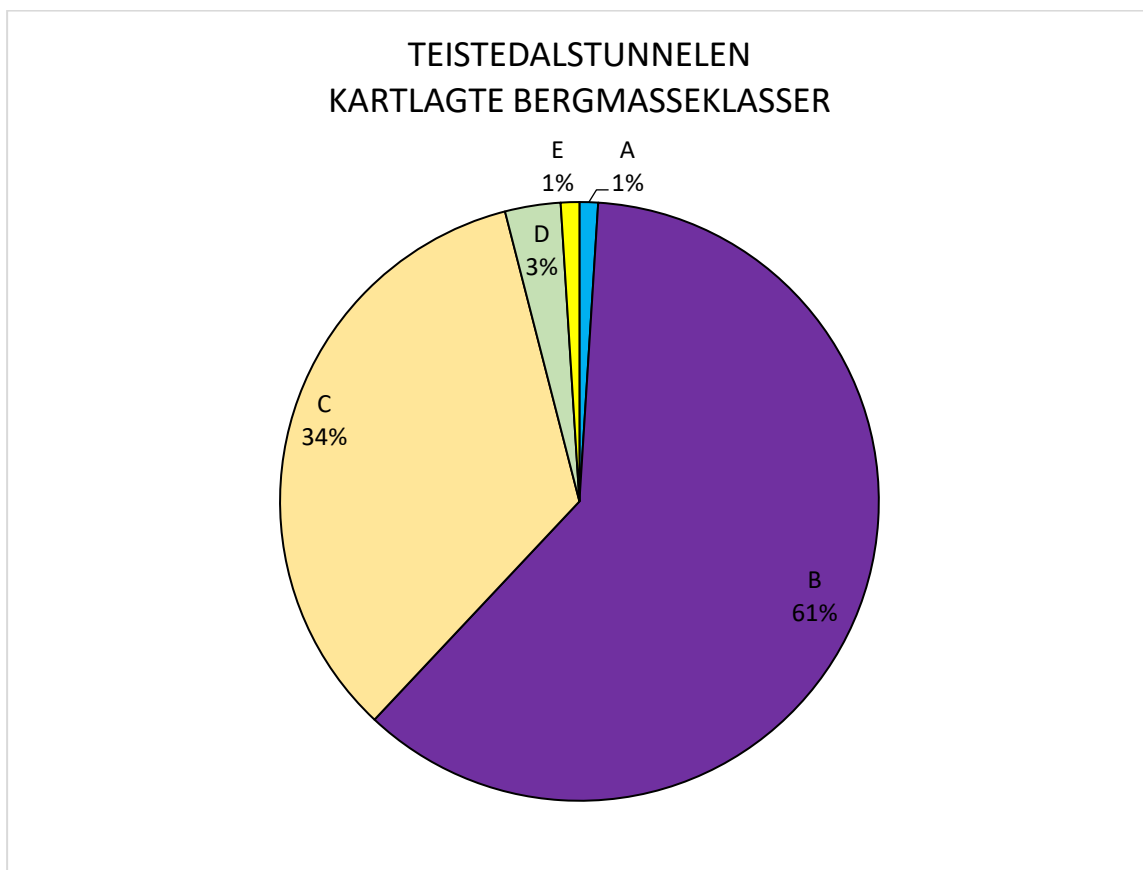
Tunnelen er 1,9 km lang med T8,5-profil, har opp mot 200 m overdekning og ble drevet gjennom øyegneis. Avstand i fra Espedalstunnelen er ca. 400-500 m.

Vann- og frostsikring

Tunnelen ble drevet uten forinjeksjon. Det ble montert vann- og frostsikring i hver ende. En del drypp/rennende vann stedvis i tunnelen ble sikret med vannavskjerming [30].

Bergmassekvalitet

Kartlegging fra eksisterende Teistedalstunnel i 2004 viser generelt god bergkvalitet. Figur 4-26 viser en sammenstilling av %-fordeling bergmasseklasser [30].



Figur 4-26, Fordeling av bergmasseklasser i eksisterende Teistedalstunnel

Ca. 2/3 deler av Teistedalstunnelen er kartlagt i klasse A/B (Lite oppsprukket, god til svært god bergmassekvalitet) og ca. 1/3 er klasse C (moderat oppsprukket, middels bergkvalitet). Kun 4 % av tunnallengden er kartlagt i lavere kvalitet, klasse D og E (tett oppsprukket eller lagdelt, dårlig bergmasse. Ved lineamentsanalysen kan det også sees at Teistedalstunnelen har færre markerte

lineamenter/mulige svakhetssoner langs foliasjonsretningen enn det som er vurdert for Espedalstunnelen.

Kartlagt bergart i tunnelen er øyegneis og et par mindre ganger med rød granitt.

Hovedsprekkesettet i tunnelen er steiltstående sprekker med strøk NV-SØ. Disse sprekke har ofte vann og stedvis er det leirbelegg/slepper. Flere steder er det notert lekkasjer med mengde opptil 10 l/min.

Sprekker parallelt foliasjonsretningen er også vanlig. Fallvinkel er registrert mellom 40-60 grader. Stedvis er det registrert utfall fra denne sprekkeorienteringen.

Det er registrert flere mindre soner i retning NV-SØ, hovedsaklig sprekkesoner. Disse kan korreleres med lineamenter i overflaten. Det er på prøvemateriale fra leirslepper målt svelletrykk i området 410-1000 kPa som er høyt til meget høyt svelletrykk.

Det er også en sone som sammenfaller med foliasjonsretningen. Dette kan også korreleres med et tydelig lineament i dagen. Det var her utfall fra leirslepper. Det er også vannlekkasjer langs denne sonen.

I den nordre delen av Teistedalstunnelen i området 250-380 m inn fra portalen er det notert spenningsutløst avskalling i høyre vegg i kartleggingsskjema fra byggingen. Det står ikke om dette er registrert i berget eller sprøytebetongen.

Nær portalen mot Fedafjorden ble det utført tung sikring med buer på grunn av sprekker i sprøytebetongen/bevegelser i berget.

4.7 Bergmekaniske egenskaper

Det er ikke utført tester på bergprøver langs tunneltraséen. Tunnelen går gjennom (granittisk) øyegneis, båndgneis og granittisk gneis. Det gis i det følgende erfaringstall fra tilsvarende bergarter andre steder, samt testing på øyegneis ved Fedafjorden da denne antas å ha omtrent samme egenskaper som langs tunneltraséen.

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/fm³) for å oppnå en gitt fragmentering (d₅₀ = 270 mm). SPR-skalaen til bergarten fastsettes som god, middels eller dårlig [31].

Klassifisering av borbarhet og sprengbarhet er gitt i Tabell 4-1 og Tabell 4-2. Sweco har ikke mottatt opplysninger fra OPS-prosjektet om erfaringer med borbarhet/sprengbarhet langs dagens E39 på strekningen.

I fb. kjerneboring for brufundamenter ved Fedafjorden er det utført testing av bergmekaniske egenskaper hos SINTEF. Borpunktene er nær tunneltraséen og NGUs berggrunnskart viser at det er samme bergart (øyegneis) langs fjorden og i deler av Espedalstunnelen. Det er utført to kjerneborhull på nordsiden av fjorden i øyegneis (P3/4), og to kjerneborhull på sørsiden i øyegneis (P1/2). Det er utført tester med hensikt å bestemme densitet, enaksiell trykkfasthet, E-modul, Poisons forhold, borbarhet (DRI/BWI) og sprengbarhet (SPR). Resultatene er gitt i Tabell 4-4 og [32].

I to doktorgradsavhandlinger fra 1998 [33] og 2009 [34] er det gitt testverdier (DRI, BWI) for granittisk gneis/øyegneis/amfibolitt gneis fra andre prosjekter rundt i landet, se

Tabell 4-5.

Tabell 4-6 gir tilsvarende verdi for SPR for øyegneis/amfibolitt gneis [34]. Resultatene er basert på et begrenset antall tester.

Basert på [31] har gneiser i Skandinavia gjennomsnittlige verdier for hhv. enaksiell trykkfasthet (UCS) og E-modul på 130 MPa og 50 GPa. Tilsvarende verdier for granitter i Skandinavia er 169 MPa og på 42 GPa.

Tabell 4-1: Klassifisering av DRI og BWI verdier basert på [35].

Begrep	DRI	BWI
Ekstremt lav	< 26	< 11
Meget lav	26-32	11-13
Lav	33-42	21-30
Medium	43-57	31-44
Høy	58-69	45-55
Meget høy	70-82	56-69
Ekstremt høy	> 82	> 69

Tabell 4-2: Klassifisering av SPR verdier basert på [34].

Sprengbarhet	SPR	Beskrivelse
God	0,38	Grovkornet homogen granitt, syenitt og kvarts dioritt
Middels	0,47	Bergarter med sprengbarhet mellom god og dårlig, f.eks. gneis
Dårlig	0,56	Metaforfosert berg med lagstruktur ofte med høyt innhold av glimmer og lav enaksial trykkfasthet. Karakteristisk for bergartene er høy grad av anisotropi

Tabell 4-3. Bergmekaniske tester (DRI, BWI, SPR) på øyegneis utført av SINTEF [32]. P2 og P3/4 er kjerneborpunkt for brufundament ved hhv. sørside og nordside av Fedafjorden.

PRØVE NR. (GITT AV SINTEF) PRØVE ID (GITT AV OPPDRAGSGIVER)		1 P2: 14,84-16,39m	2 P3: 42,02-43,71m
EGENSKAP	ENHET	GJENNOMSNITTSVERDIER	
SPRØHETSTALL (S_{20})	%	66,0 <i>Meget høy</i>	54,3 <i>Høy</i>
SIEVERS' J VERDI (SJ)	mm/10	94,3 <i>Ekstremt lav overflatehardhet</i>	5,4 <i>Høy overflatehardhet</i>
SLITASJEVERDI HARDMETALL (AV)	mg	3,5 <i>Meget lav</i>	4,5 <i>Lav</i>
BORSYNKINDEKS (DRI™)	<i>Indeks</i>	77 <i>Meget høy</i>	51 <i>Middels</i>
BORSLITASJEINDEKS (BWI™)	<i>Indeks</i>	13 <i>Meget lav</i>	27 <i>Lav</i>

PRØVE NR. (GITT AV SINTEF) PRØVE ID (GITT AV OPPDRAGSGIVER)		2 P3: 20,8-21,45m, 25,23 – 25,79m P4: 20,6-21,15m
EGENSKAP	ENHET	
Sprengbarhet (SPR)	<i>Indeks</i>	0,36 <i>God sprengbarhet</i>

Tabell 4-4. Bergmekaniske tester på øyegneis utført av SINTEF [32]. P1/2 og P3/4 er kjerneborpunkt for brufundament ved hhv. sørside og nordside av Fedafjorden.

PRØVE NR. (GITT AV SINTEF) PRØVE ID (GITT AV OPPDRAGSGIVER)		1	2
		P1: 23,25-23,65m P2: 26,33-26,93m	P3: 20,8-21,45m, 25,23 – 25,79m P4: 20,6-21,15m
EGENSKAP	ENHET	GJENNOMSNITTSVERDIER	
DENSITET (ρ)	kg/m ³	2640	2700
E-MODUL (E)	GPa	54,5	65,6
POISSONS FORHOLD (ν)	(<i>tverr- kontraksjonstall</i>)	0,221	0,205
ENAKSIELL TRYKKFASTHET (σ_c)	MPa	112,8	173,8
BRUDDVINKEL (β)	gr °	21	23

Tabell 4-5. Tester for DRI/BWI hos SINTEF for andre prosjekter [36].

Bergart	Test	Antall tester	Median verdi	25 %-75 % persentil	10 %-90 % persentil
Granittisk gneis	DRI	247	52	44-61	37-72
Granittisk gneis	BWI	369	37	30-42	22-56
Øyegneis	DRI	16	42	39-50	34-70
Øyegneis	BWI	15	41	38-52	33-55
Amfibolitt gneis	DRI	49	43	36 - 51	31 - 57
Amfibolitt gneis	BWI	45	42	33 - 49	29 - 57

Tabell 4-6: Tester for SPR hos SINTEF for andre prosjekter [34].

Bergart	Test	Median verdi	25 %-75 % persentil	10 %-90 % persentil
Granittisk gneis	SPR	0,419	0,412-0,426	0,406-0,432
Amfibolitt gneis	SPR	0,462	0,388-0,540	0,314-0,608

4.8 Anvendelse av sprengstein

Aktuelle laboratorietester for å avdekke bergmaterialenes egnethet i veioppbygging er:

- Los-Angeles – evne til å motstå nedknusing
- Micro Deval – evne til å motstå slitasje i veifundament
- Kule mølle – Evne til å motstå piggdekkslitasje
- Flisighet – Kornform

Det er i dette prosjektet ikke utført tester for anvendelse av bergartene langs traséen.

Sweco har mottatt dokumentasjon på steinmateriale for eksisterende Vatlandstunnelen, Teistedalstunnelen og Fedaheitunnelen fra Veidekke, se Tabell 4-7 . Sweco har lagt inn kolonne med antatt bergart som er testet.

Tabell 4-7. Testverdier (LA, MDE, F) mottatt fra Veidekke for OPS E39 Lyngdal-Flekkefjord.

	LA	MDE	F	Anmerkning	Bergart (Sweco vurdert)
Vatland tunnel vest	(32)	10,3	F ₂₀	Lab.pukket	Usikkert, Granittisk gneis-båndgneis
Vatland tunnel vest	(36)	13,3	F ₂₀	Prøveknust i Lyngdal	
Vatland tunnel vest	(42)	33,3	F ₂₀	Prøveknust i Lyngdal, Pel nr.: 19000-18550	
Vatland tunnel vest				Prøveknust i Lyngdal, Pel nr.: 19000-18550, analysert hos NBTL	
Vatland tunnel øst	(37)	18,5	F ₂₀	Lab.pukket	Usikkert, Granitt-båndgneis
Vatland tunnel øst	(43)	15,0	F ₂₀	Prøveknust i Lyngdal	
Vatland tunnel øst	30	19,2	F ₂₀	ferdigknust 0-32 fraksjon PEL 16400-16800	
Vatland tunnel øst	31	22,9	F ₂₀	ferdigknust 0-32 fraksjon PEL 17100	
Teistedalstunnelen	(40)	18,2	(7)	Lab.pukket	Øyegneis
Fedaheitunnelen	49	18,2	F ₂₀	Lab.pukket	
Fedaheitunnelen	50	30,1	F ₂₀	ferdigknust 0-32 fraksjon PEL 24700	
Fedaheitunnelen	33		F ₂₀	ferdigknust 0-32 fraksjon (NBTL)	
Fedaheitunnelen	44		F ₂₀	ferdigknust 0-32 fraksjon (NBTL og Kolo-lab)	
Fedaheitunnelen	35,1			gravd opp utlagt masse pelnr 26100 (NBTL)	
Fedaheitunnelen	36,5			gravd opp utlagt masse pelnr 25410 (kolo)	

* Grønt oppfyller krav til forsterkningslag/bærelag i trafikkgruppe B-F i N200:2022

* Gult oppfyller krav til forsterkningslag i trafikkgruppe B-F i N200:2022

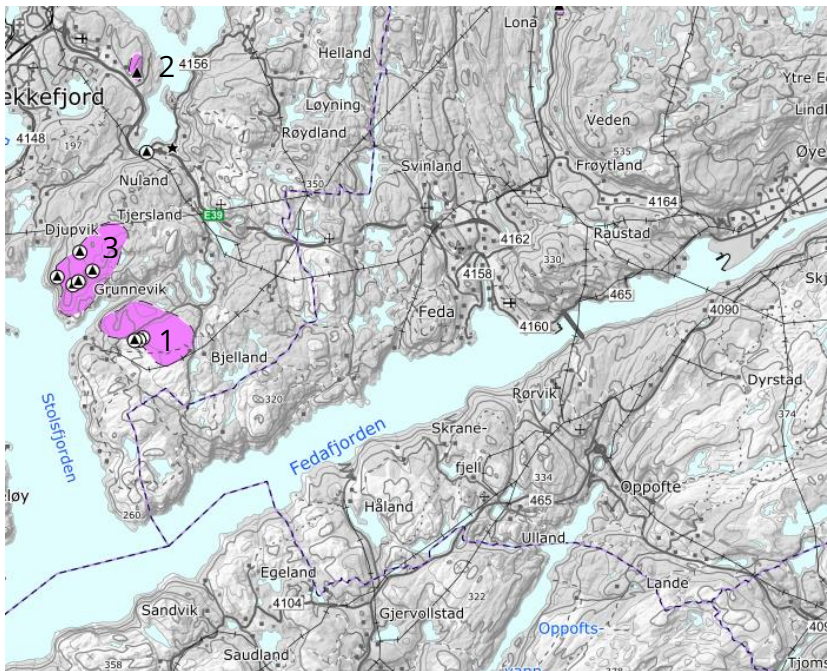
* Bergart er basert på kartleggingsskjema fra OPS E39LF.

I NGU sin pukkdatabse er det registrert ressurser mellom Flekkefjord og Fedafjorden, se Figur 4-27. Tester på bergartene ved disse ressursene er oppsummert i Tabell 4-8.

Tabell 4-8. Resultatet av prøvemateriale fra pukverk nord for Fedafjorden.

Nr.	Bergart	Årstall	Lokalitet	LA, snitt	Kulemølle, snitt
1	Båndgneis	1996	Ståby	24,8	
2	Båndgneis	1996	Knaben	18,8	
3	Granittisk gneis	1997	Grunneviksheia	33 (23,9 - 38,6)	13,7 (8,3 - 16,8)

- Nr viser til forekomst i Figur 4-27.



Figur 4-27. Grus- og pukkforekomster i området [37].

4.9 Bergartens syredannende og radon egenskaper

4.9.1 Sulfidholdige bergarter

Sulfider er forbindelser mellom metaller og svovel. Vanligste sulfidmineral er jernsulfider som svovelkis (pyritt) og magnetkis (pyrrhotitt). Sulfidene kan ved forvitring danne en sterk syre og utlekking av tungmetaller. Sulfidførende bergarter kan derfor føre til forurensning ved utsprengning.

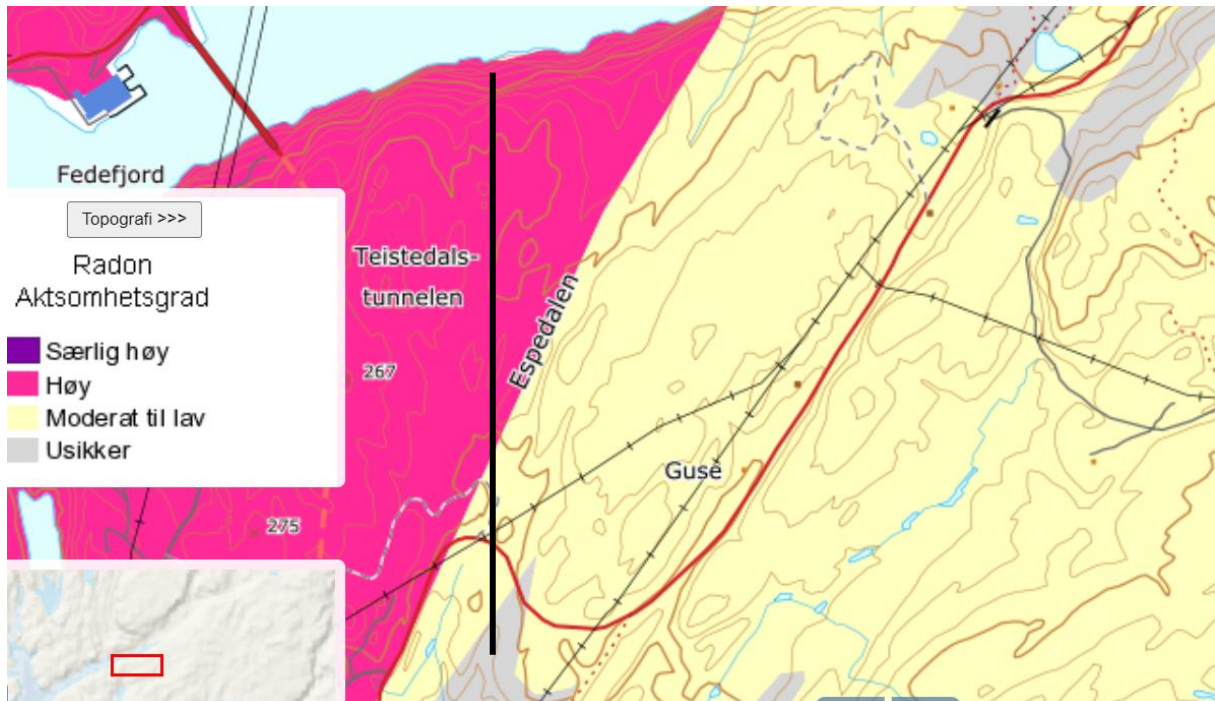
Forekomst av sulfid i Agder er oftest knyttet til båndgneisområder. Generelt er sulfidproblematikken størst i øst (Grimstad-Lillesand), og det har i mindre grad vært utbredt i E39-prosjektene vest for Kristiansand i dag som er utbygd/under bygging.

Under feltbefaring er det ikke registrert indikasjoner på sulfidholdig berg som kan gi problemer. Det er ikke utført testing av kjemisk innhold av bergartene langs traséen.

4.9.2 Radonholdige bergarter

Det nasjonale aktsomhetskartet for radon viser hvilke områder i Norge som kan være mer radonutsatt enn andre. Kartet er utviklet ved at kunnskap om andel høye radonkonsentrasjoner i boliger som ligger på kjent geologi er overført til andre områder med tilsvarende geologiske forhold. Aktsomhetskartet (Figur 4-28) indikerer at nordre del av tunneltraséen, som er i grovkornet

granittisk øyegneis er klassifisert til høy aktsomhetsgrad. Søndre del i båndgneiser og granittisk gneis er klassifisert til moderat til lav, samt usikker mot søndre påhugg.



Figur 4-28, Aktsomhetskart radon, NGU.

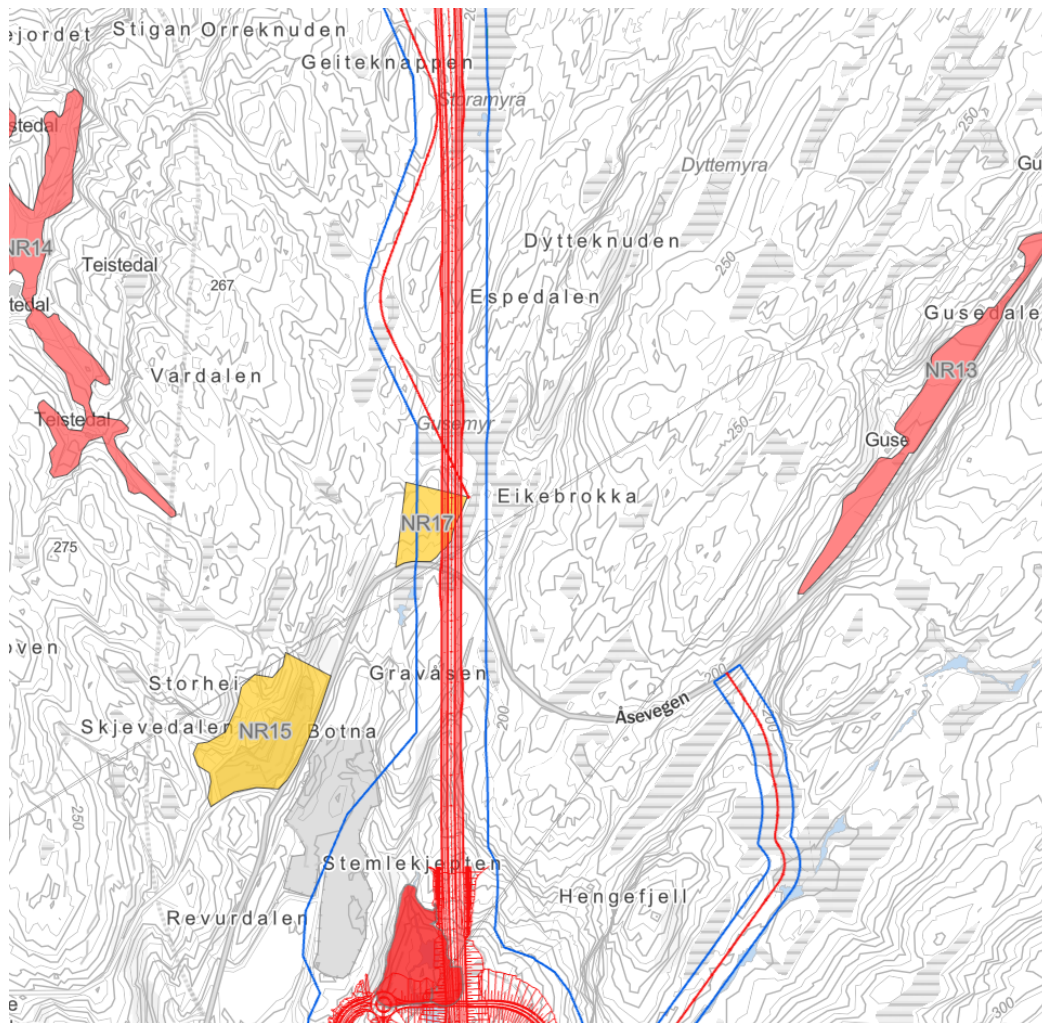
4.10 Natur- og kulturverdier

Det er utført kartlegging av natur- og kulturverdier langs tunneltraséen. Det er ikke registrert kulturminner og eller vegetasjon som krever spesielle hensyn. Traséen går nær to større myrer; Storamyra og Gusemyr (se tegning i vedlegg 1). Det må unngås nedtapping av vannstand i disse.

Det er registrert et område med mineralressurs nær traséen, se Figur 4-29;

Delområde består av et areal som i Kvinesdal kommuneplans arealdel er avsatt som hensynssone for fremtidig steinbrudd/masseuttak. Det er ikke noe drift her i dag, men det kan komme drift her i fremtiden avhengig av behov for blant annet opparbeidelse til næringsareal ved Oppofte.

Etter tunnelen er bygd vil det bli satt restriksjoner på berguttak nær tunnelen.



Figur 4-29. Mineralressurs nær tunneltraséen (Nr17).

4.11 Bebyggelse og brønner

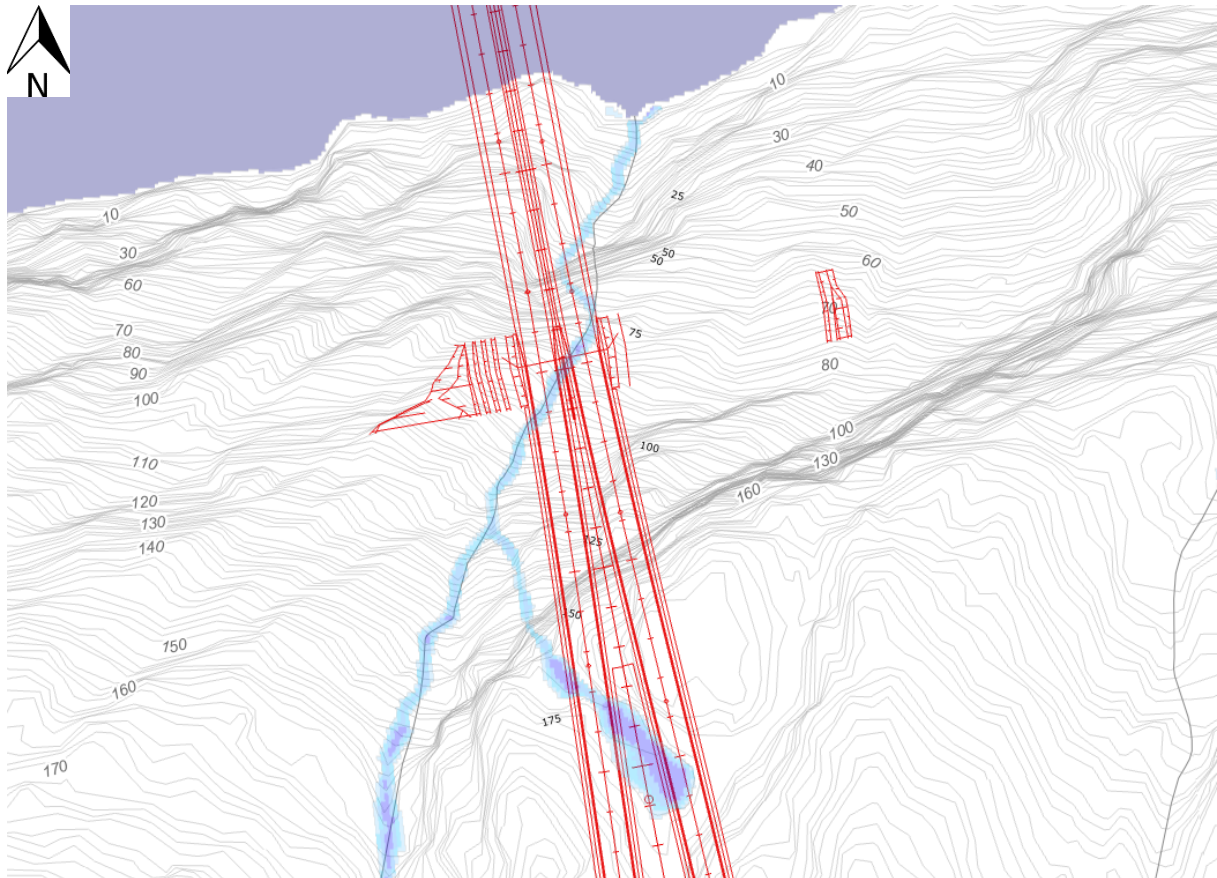
Tunnelen går kun gjennom utmark og det forventes derfor ikke å være brønner i nærhet til tunnelen. Ved søk i den nasjonale grunnvannsdatenbanken Granada [20], er det ikke registrert brønner i nærheten. Nærmeste brønn er ca. 600 m fra traséen ved Guse.

4.12 Vannforhold

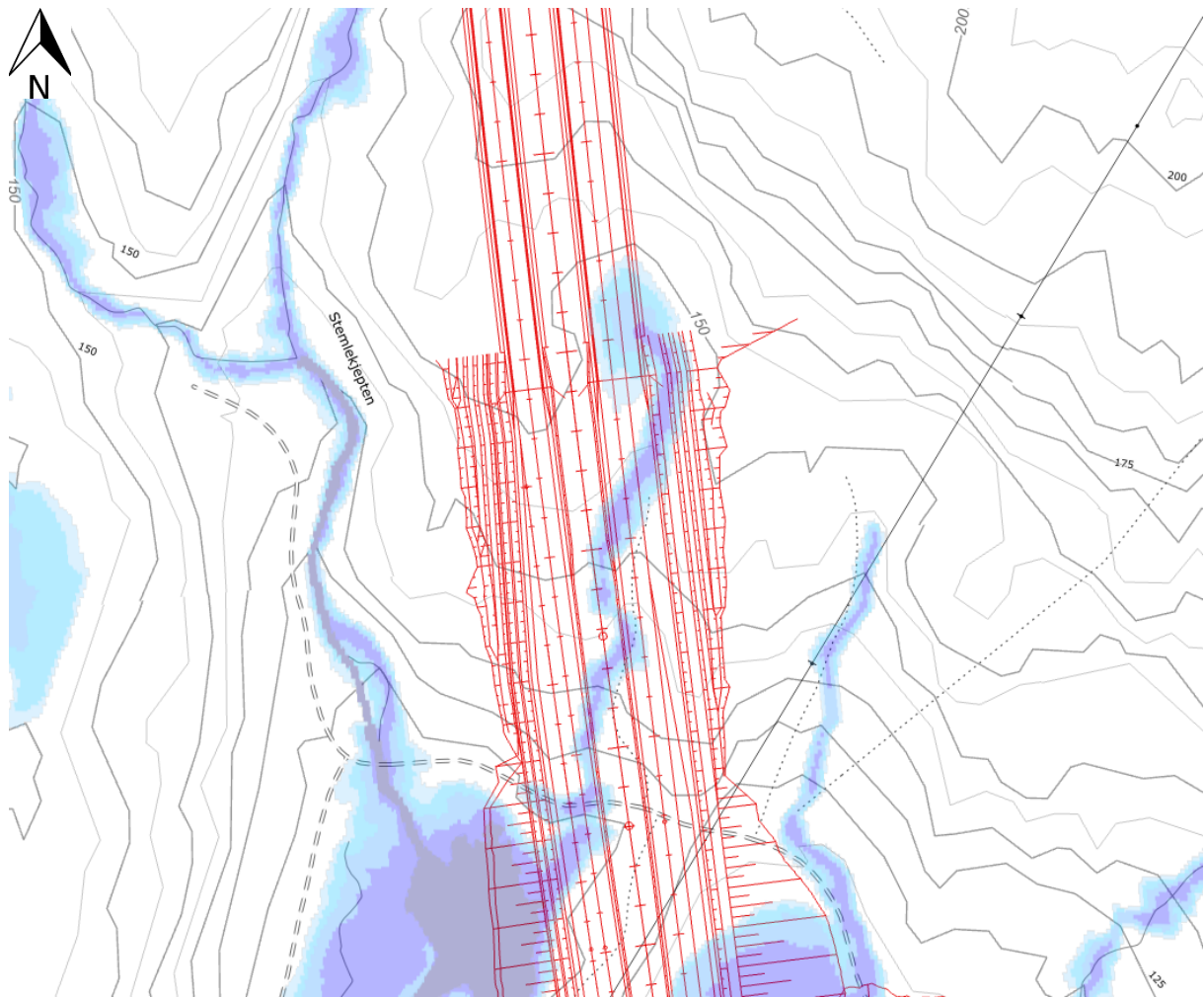
4.12.1 Vannforhold ved påhugg/forskjæringer

Ved nordre påhugg går det en bekk ned der østgående tunnellop er planlagt, se Figur 4-30.

Det er ikke registrert bekker ved søndre forskjæring, men det er en mindre myr ovenfor østgående tunnelpåhugg. Mulig drenasjevei fra myra ned langs østre forskjæring er vist i Figur 4-31.



Figur 4-30. Markfuktighetskart fra NIBO. Viser bekk ved nordre påhugg/forskjæring.



Figur 4-31. Markfuktighetskart fra NIBO. Viser myr ved påhugg til vestgående løp, samt mulig drenasjevei fra myra.

4.12.2 Hydrologi

Tunnelen krysser en rekke antatte svakhetssoner som har kontakt med myrområder som ligger i sprekkedalene og forsenkningene over og langs tunnelen. Det finnes ikke større innsjøer nær traséen.

Tunneltraséen krysser to nedbørsfelt (Figur 4-32). Fra pel ca. 12190 til 13170 ligger tunnelen i nedbørsfelt 024.5B som er registrert med lokalnavnet Oppåptavatnet. Fra pel ca. 13170 til 13980 ligger tunnelen i kystfelt 025.22. Alt overvann i dette nedbørsfeltet strømmer mot Fedafjorden.

NVEs verktøy NEVINA er benyttet for å utføre vannbalanseberegninger for disse nedbørsfeltene. NEVINA kan ikke brukes for å analysere kystfelt siden det ikke dannes ett normalt vassdrag i slike felter, kun små bekker som fører overvannet til kysten. NEVINA anser 024.51C som en fortsettelse av 024.51B og dermed er det enklere å analysere de to nedbørsfeltene sammen. I Tabell 4-9 oppsummeres resultatene som anses som de viktigste i forbindelse med tunnelpåvirkninger dvs. årlig middelavrenning og årlig nedbør. Estimatenes er gjennomsnittlige årlige verdier og generelt viser de at nedbørsfeltene tar imot store mengder nedbør hvert år og at største delen av det brukes til overvannsavrenning.

Tabell 4-9. Oppsummering av resultatene fra NVEs verktøy NEVINA.

Vassdragsnummer	Areal km ²	Årlig 1961-1990 middelavrenning mm/år	Årlig nedbør mm/år
024.5B	13,91	1533 (1539)	1887 (1852)
024.22	7,09	1563	-

4.12.3 Hydrogeologi

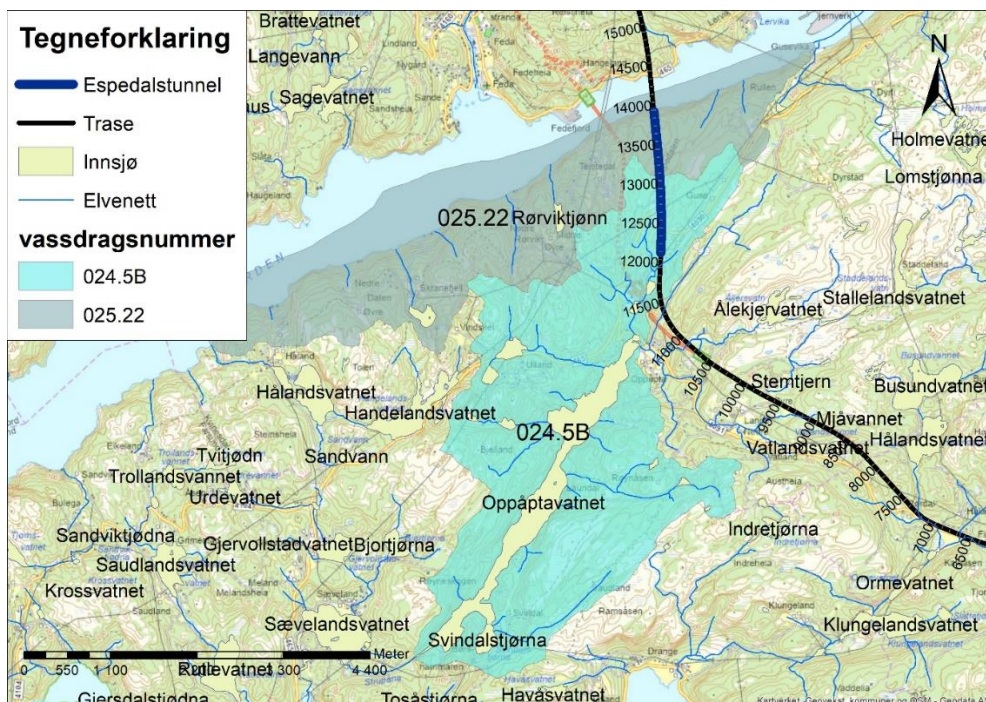
Nydannelse av grunnvann skjer ved at overflatevann infiltrerer i bakken. Det er som regel nedbør, men i vise tilfeller kan det være vann fra elver og innsjøer. I hydrogeologi skiller vi mellom grunnvann i løsmasser og grunnvann i fjell siden strømningsmekanismen ikke er den samme (strømning gjennom porøse løsmasser vs. gjennom sprekker og svakhetssoner i fjell). Grunnvann i løsmasser og fjell er ofte hydraulisk knyttet til hverandre og må dermed studeres som et helhetlig system.

Løsmassene i området over tunnelen vises i Figur 4-33 (se også kap. 4.2). Figuren viser to løsmassetyper; myr/torv og løsmasser rik på organisk materiale. Resten av området er stort sett bart fjell. Løsmasser som er rike på organisk materiale er godt egnet til jordbruk, men NGU som har kartlagt disse løsmassene indikerer at det kun er et tynt dekke over fjell. Stedvis, i forsenkninger, vil det kunne ligge løsmasser med større mektighet. Slike løsmasser kan magasinere litt grunnvann, men siden løsmassene er usammenhengende kan en ikke karakterisere dem som en

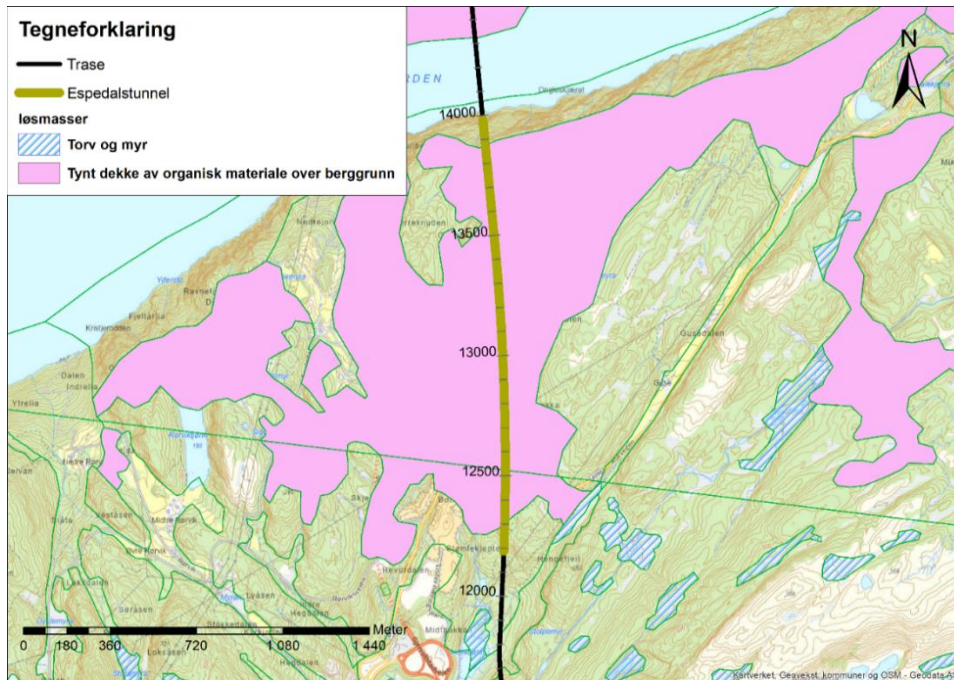
grunnvannsforekomst. Myrområdene kan magasinere litt vann, men på mange måter er forholdene mer sammenlignbare med de i en innsjø/tjern enn i grunnvannsforekomster. NGUs kart viser kun løsmasser rik på organisk materiale over tunneltraséen, men kart fra Kartverket viser at tunneltraséen krysser to store myrområder; Gusemyr og Storamyra (Figur 4-34 og Figur 4-35).

I kap. 4.3 og 4.4 er det gitt en detaljert beskrivelse av bergforholdene i området. Fra et hydrogeologisk perspektiv er det viktig å påpeke at bergart og strukturer i bergmassene bestemmer hvor utviklet sprekkesystemet i berggrunnen er og retninger som grunnvann vil bevege seg i. Foliasjonsplan og svakhetssoner kan være vannførende.

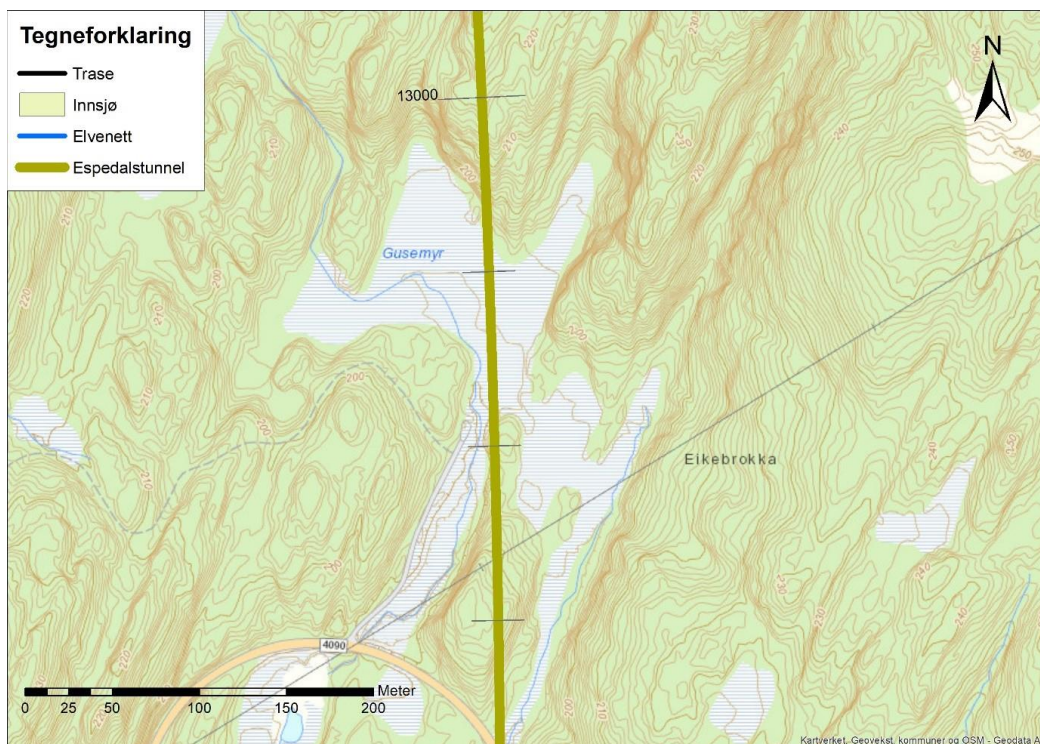
Statistiske studier utført av NGU basert på informasjon fra brønndatabasen viser en gjennomsnittlig vannkapasitet mellom 300 og 400 liter/time for slike bergarter. 4-12 % av brønnene er tørre (mindre enn 50 liter/time) og 20-30 % viser kapasitet over 1000 liter/time.



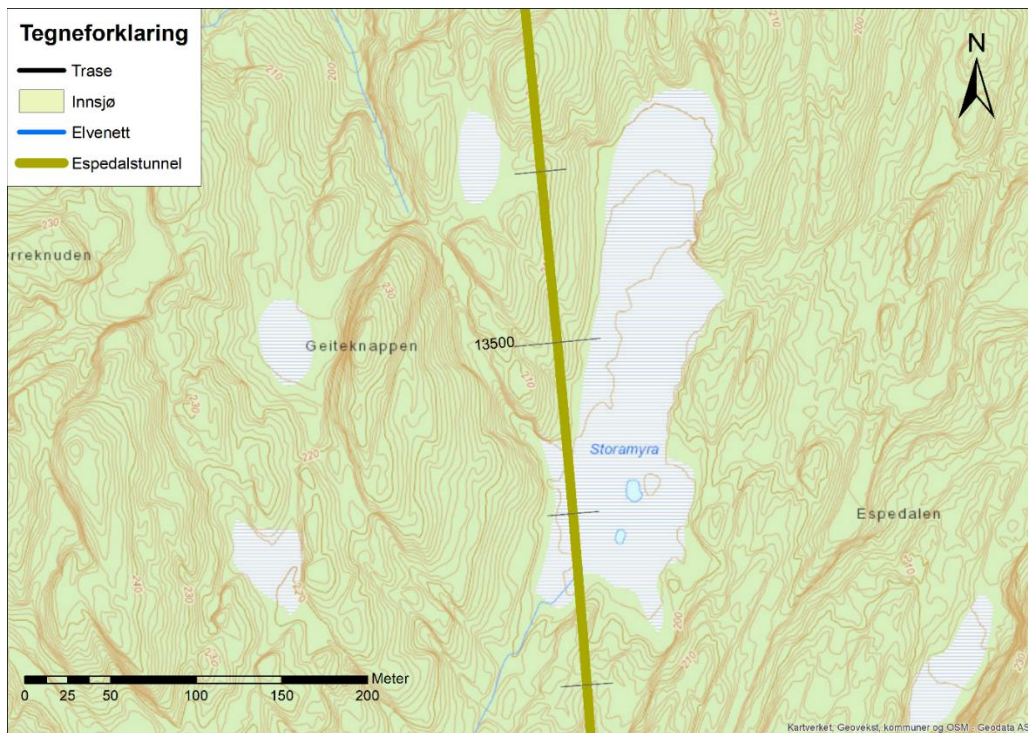
Figur 4-32: Elvenett, innsjøer og nedbørsfelt til havet over/nær tunnelen. Hydrologisk datagrunnlag fra [21].



Figur 4-33. Løsmassekart fra NGU som viser myr og tynt dekke av organisk materiale over berggrunn.



Figur 4-34. Gusemyr.



Figur 4-35. Storamyra.

5 TOLKNINGSDEL

5.1 Bergoverdekning og bergspenninger

Terrenget over tunnelen er småkupert med mindre rygger/kløfter i NØ-SV retning. Overdekningen er 70-80 m i første del av tunnelen og 120-150 i siste del.

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. Espedalstunnelen har moderat overdekning og det forventes ikke utfordringer med sprakeberg knyttet til høye bergspenninger. I det nordre påhugget ved Fedafjorden kan det forventes redusert innspenning av bergmassen. I tilsvarende påhugg for Teistedalstunnelen opplevde man oppsprekking i utført sprøytebetong og det ble nødvendig å sikre med et antall sprøytebetongbuer innenfor tunnelportalen.

5.2 Påhugg og forskjæringer

5.2.1 Skredfare

Det er gjort en overordnet skredfarevurdering for de områder hvor det er bratt terreng og aktsomhetskartene til NVE viser skredfaresoner, se egen skredfaglig rapport [25]. Begge påhugg/forskjæringer omtales i rapporten. Rapporten konkluderer med følgende:

- Påhugg/forskjæring sør:

Det er avløste blokker i skrenter ovenfor påhugget til vestgående løp. Steinsprang forventes i hovedsak å ha kort utløpslengde, men det kan ikke utelukkes at blokker kan nå veien. Det må i byggefasen utføres nærmere inspeksjon av skråningen og utføres rensk/bolting av blokker etter behov.

- Påhugg/forskjæring nord:

Terrenget bak påhugget kan være utsatt for steinsprang fra ovenforliggende brattkant. Skråningen/skrenter ovenfor påhugget må gås over med renskelag i sele. Rasfarlige blokker må boltes. Bruk av nett kan være aktuelt.

Det må legges opp til å montere fanggjerder mot steinsprang ovenfor påhugget. Det er også aktuelt å bygge forsterket portal som kan tåle påkjenning fra større blokker. Det vises til skredrapport for nærmere vurderinger knyttet til skredfare ved påhugget.

5.2.2 Utforming/uttaksmetode

Det vises til skjæringsrapporten [38] for omtale av utforming av skjæringer i prosjektet. Det er aktuelt å legge inn hyller der skjæringene blir høyere enn ca. 20 m. Dette må detaljprosjekteres i neste fase. Det vil i denne fasen bli regulert inn plass til at det blir mulighet for hyller med 4-6 m bredde.

Ved utsprenning av skjæringene bør det legges opp til kontursprengning. En jevn kontur i bergskjæringene er avgjørende for å minimere omfanget av nødvendig stabilitetssikring.

Tverrprofil av påhugg og forskjæringer er vist i Vedlegg 1.

5.2.3 Påhugg/forskjæring sør

På grunn av avstandskrav til veikryss er påhugget plassert ganske dypt inn i sørvestvendt naturlig bergskråning, se Figur 4-23. Som en konsekvens av dette blir det høye bergskjæringer i påhugget med høyde mellom 25-30 m.

Det er en kløft i terrenget med spiss vinkel til traséen ved det østre påhugget, som kan innebære redusert bergkvalitet i østre skjæringsvegg og påhugget. Ved forlengelsen av kløften forbi påhugget er det en myr. Vann fra myrområdet må ledes bort fra påhugget med for eksempel grøft eller nedføringsrenne. Det kan bli behov for isnett her.

Feltmålinger av sprekkeorienteringer er plottet i et polplott og det er utført en tolkning av hovedsprekkeretninger. Det er tre hovedsprekkeretninger som vist i Figur 4-19. Det er deretter gjort en kinematisk analyse av mulige utglidningsmekanismer fra påhuggs- og forskjæringsvegger. I vestre skjæringsvegg kan det oppstå plan utglidning langs foliasjonssprekkene. Det kan også oppstå kilutglidninger i vestre forskjæringsvegg og i påhuggsskjæringen.

Terrenget ovenfor vestgående påhugg må inspiseres og evn. renskes/sikres med bolt/nett. Omfanget av sikring antas å bli begrenset i omfang.

5.2.4 Påhugg/forskjæring nord

Påhugg/forskjæring nord ligger ved en høy brattkant mot Fedafjorden. Terrenget faller fra ca. kote 200 ned til kote 0 på en avstand på rundt 100 m. Basert på feltobservasjoner er det stedvis grove urmasser med anslått mektighet 2-3 m ved påhuggsområdet. Figur 5-1 viser omtrentlig plassering av påhugget sett fra nordsiden av fjorden og Figur 5-2 utklipp fra 3D modell. Tverrsnitt gjennom forskjæringen er vist i Vedlegg 1.

Det er lagt opp til tunnelen skal drives innenfra og ut i skråningen mot Fedafjorden. Etter gjennomslag strosses forskjæring/påhugg ut. Det blir felles tunnel for de to løpene fra påhugget og et stykke innover. Påhugget får derfor stor spennvidde, rundt 24 m. Topografien stiger bratt på slik at tilstrekkelig bergoverdekning oppnås med forholdsvis kort forskjæring. På grunn av tunnelspennvidden ved påhugget kan det være nødvendig med å dele opp tunneltverrsnittet i flere deler som sikres før neste stross utføres.

Det er utfordrende tilkomst til toppen av den >40 m høye skjæringen, samt overliggende urmasser som eventuelt må renskes ned. Det er lagt inn en bred utvidelse i østre forskjæring for å gi et større handlingsrom med mulighet for å bygge en anleggsvei opp langs skråningen (på tvers av forskjæringen) til vestre skjæring og videre oppover til urmassene. I forskjæringen vil det også være plass til lager og etablering av heiseutstyr. Det er lagt inn fleksibilitet i reguleringsplanen som muliggjør anleggstunneler til ulike nivåer i skråningen hvis totalentreprenøren vurderer at det er nødvendig for å fjerne urmassene.

Etablering av adkomsttunneler til ulike nivåer kan være aktuelt. Det er regulert inn mulighet for etablering av anleggsvei inn til toppen av skrenten mtp. sikring av denne (det er ikke mulig å bygge denne nedover i skråningen). Metode for utførelse må ses nærmere på av totalentreprenør i neste fase.

Terrenget synker mot øst slik at den østre forskjæringsveggen blir lavere med høyde rundt 15-20 m.

Et bekkeløp er lokalisert på vestre side av påhugget. Bekken kan ledes bort i grøft eller nedføringsrenne på siden av påhuggsflaten. Det kan bli behov for isnett her.

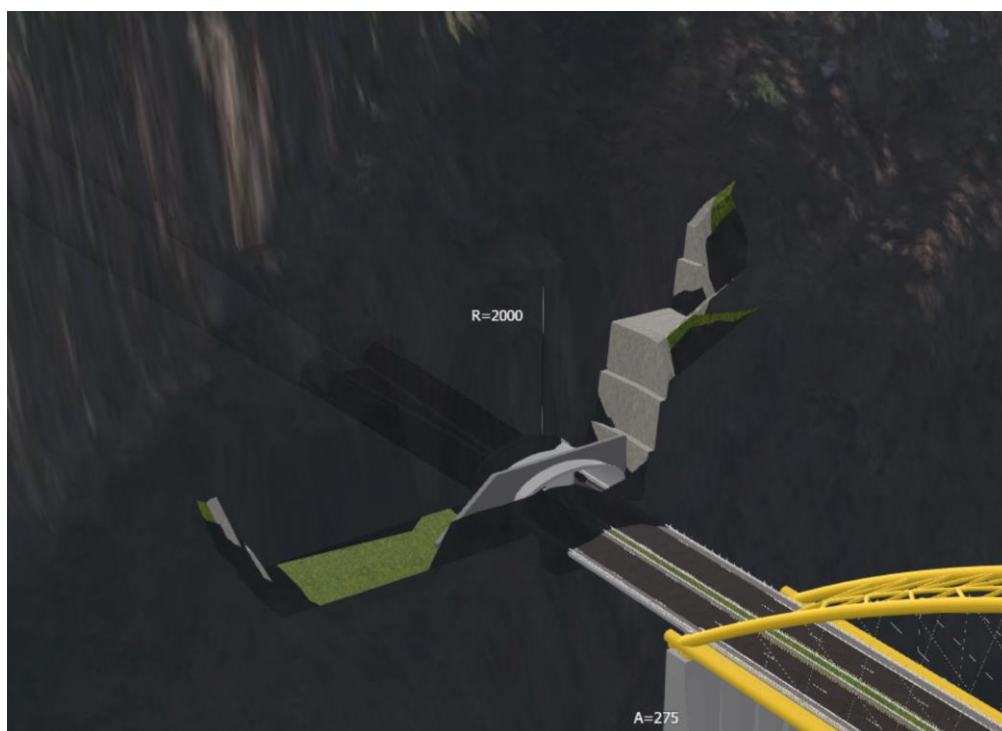
Bergmassen nærmest fjellsiden mot Fedafjorden antas at er preget av tidligere forkastningsaktivitet og avlastning. Tilsynelatende avløste blokker med svært åpne baksprekker indikerer lave/minimale spenninger. Fravær av spenninger kan føre til økt potensiale for blokknedfall i tunnelen nærmest påhugget. Bergarten i området er en grovblokkig granittisk øyegneis.

Generelt er det observert grovblokkig berg, men tung bergsikring må likevel påregnes på grunn av stor spennvidde og avløste berg i dalsiden. Det er en del ur/blokker ovenfor påhugget/forskjæring. Dette må fjernes i den grad det er nødvendig for å etablere stabil skråning. Det kan være aktuelt å montere for eksempel rørsputt hvis det er mye masser.

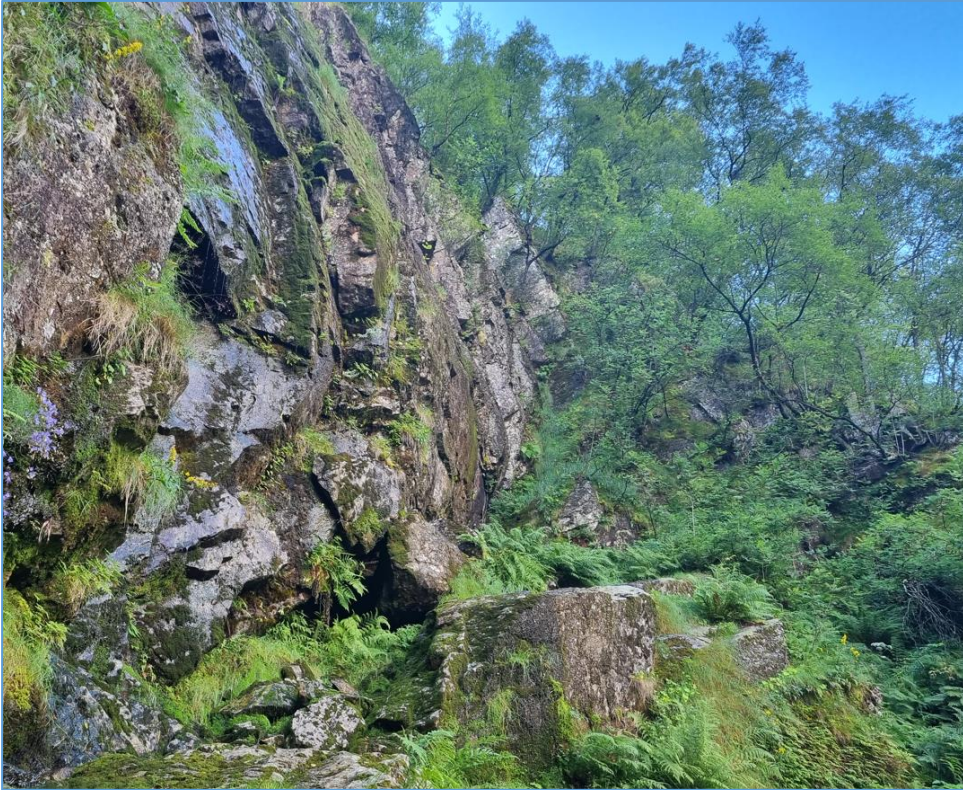
Basert på sprekkemålinger er det tolket fire sprekkesett, se konturplott i Figur 4-17. Kinematisk analyse viser at det ved vestre skjæringsvegg kan være potensiale for kilutglidning med kombinasjoner av steile sprekkesett. Foto i Figur 5-3 viser en naturlig bergskrent i starten av forskjæring. Det kan sees sprekker parallelt med påhuggsskjæringen. Dette sprekkesettet er orientert slik at det kan dannes plan utglidning og «toppling» av blokker i skjæring langs påhugget.



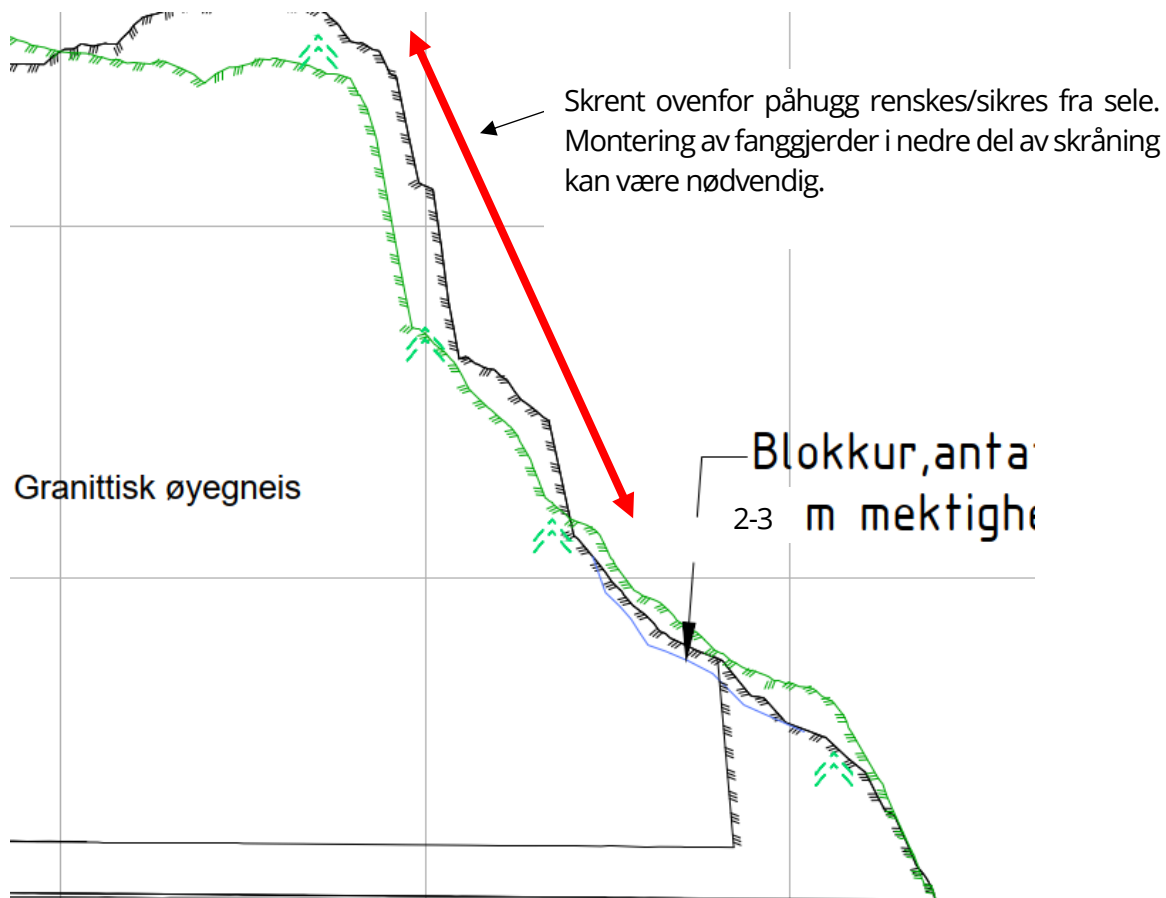
Figur 5-1, Omtrentlig plassering av påhugg nord sett fra nordsiden av Fedaffjorden.



Figur 5-2, Utklipp fra 3D modell som viser forskjæring/påhugg nord og nærhet til bru.



Figur 5-3, Forskjæring nord kommer til høyre og med såle rundt 20-25 m opp i skrenten i bildet.



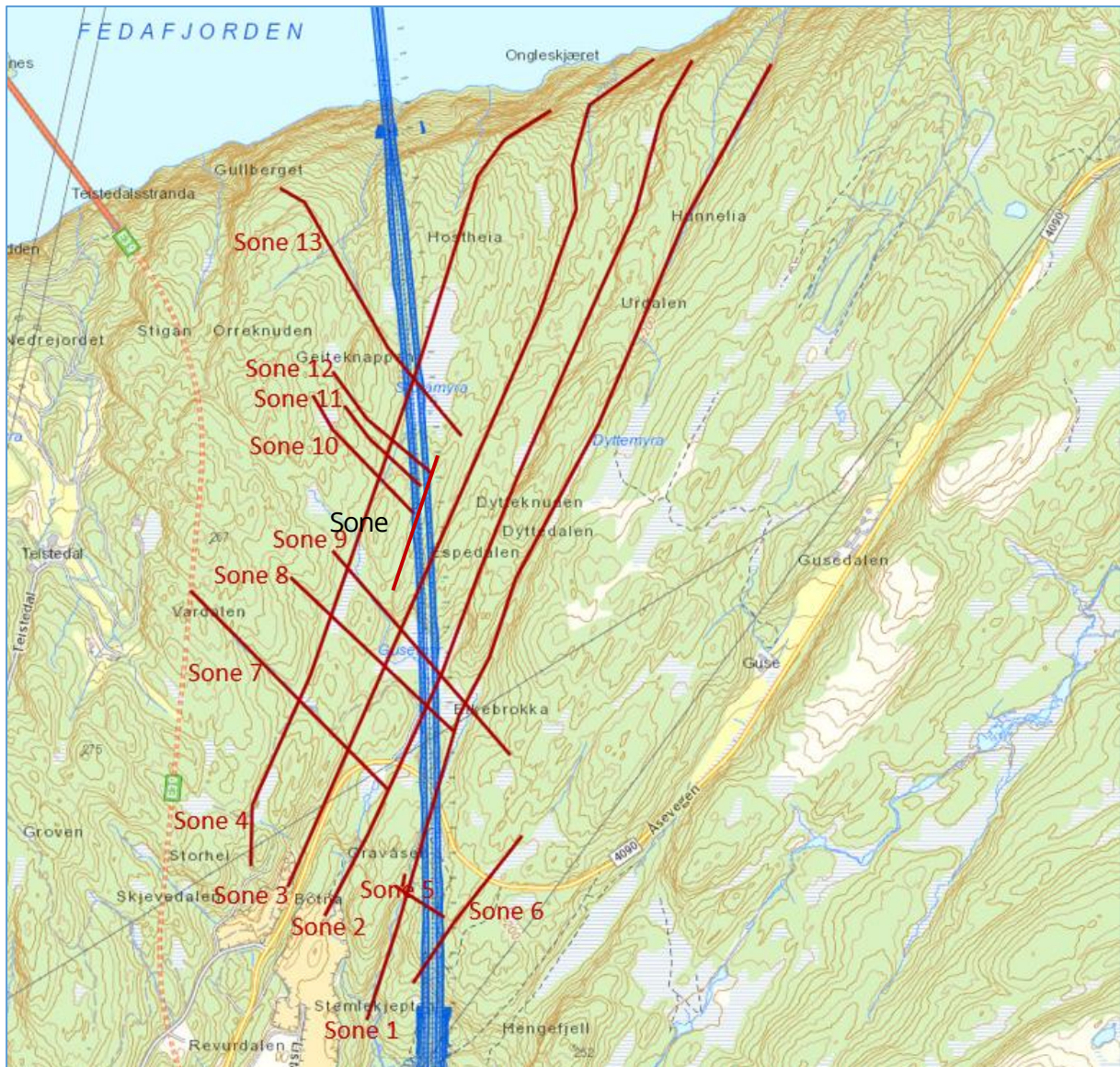
Figur 5-4. Skrent ovenfor påhugg nord.

5.3 Svakhetssoner

5.3.1 Generelt

Espedalstunnelen krysser flere lineamenter som er tolket til å representere svakhetssoner, se Figur 5-5 og Tabell 5-1. Lineamentsanalysen viser et tydelig skille i orientering av antatte soner i områdene ved nordre/søndre del og midtre del av traséen. Dette sammenfaller også med bergartsvariasjonen. De mest markerte og antatt største lineamentene/sonene følger parallelt bergartsfoliasjonen i båndgneisen i midtre del, mens øyegneisen i nordre og i deler av søndre del har markante steilstående soner i NV-SØ retning.

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



Figur 5-5, Oversikt over tolkede svakhetssoner fra lineamenter.

Tabell 5-1, Oversikt svakhetssoner.

Sone ID, nr.	Antatt fall	Antatt mektighet	Antatt profil nr i tunnel-nivå, senterlinje	Kommentar
1	60	5-10 m	12460	Sone langs bergartsgrense/foliasjon
2	60	5-10	12710	Sone parallell foliasjon
3	60	5-10	12990	Sone parallell foliasjon
4	60	5-10	13250	Sone parallell foliasjon
5	80-85	1-2 m	12430	Antatt mindre subvertikal sone
6	80-85 SV	1-3 m	12230	Smal sone langs bekk Åsevegen
7	80-85	2-5	(12590)	Market vest for tunnel, usikkert forløp over tunneltrasé (utrasing fra stuff og heng, RQD 50 %)
8	80-85 SV	2-5	12830	Market vest for tunnel, usikkert forløp over tunneltrasé
9	80 SV	2-5	12940	Subvertikal sone fuktig bunn, bekk og myr
10	85 SV	2-3	13205	Mindre subvertikal sone
11	85 SV	1-2	13265	Mindre subvertikal sone
12	85 SV	4-5	13305	Subvertikal sone, torv i bunn
13	75-85 SV	5-7	13490	Løsmassedekt subvertikal sone. Myrdekt langs bunn av kløft.
14	60 Ø	<5m	13470	Sone parallell foliasjon

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

Sone 1

Antatt svakhetszone følger foliasjonsretningen. Ved feltbefaring er det observert granittisk gneis på østsiden og øyegneis på vestsiden. Kløften er ett av hovedlineamentene i området over tunneltraséen. Sør for Åsevegen er det en dyp kløft langs dette lineamentet med en del store blokker og en bekk i bunn. Nord for Gusemyr er en dyp kløft i terrenget langs bergartskillet, se Figur 5-6. Venstre flanke av sonen på foto følger foliasjonen. Det er en mindre bekk og generelt fuktig grunn langs kløften i dette området. Anslått bredde av mulig svakhetszone er i overkant av 5 m.



Figur 5-6, Sone 1 nord for Gusemyr

Sone 2

Antatt svakhetssone langs foliasjonen. Noe mindre tydelig i terrenget enn sone 1. Sammenfaller med bergartsgrense mellom granittisk øyegneis og båndgneis. I terrenget nord og syd for Åsevegen er det flere myrer langs lineamentet.

Sone 3

Sone langs foliasjonen. Kartlagt ved veiskjæring langs Åsevegen. Tett oppsprukket langs foliasjonen med avstand 5-20 cm, se Figur 5-7. Plane sprekker med glimmerbelegg. Kartlagt Q-verdi er i intervallet 0,75-1 som tilsvarer sikringsklasse E. Bredde av sone anslått til rundt 10 m.

$Q=30-40/6*1,5/4*1/2,5=0,75-1$ (SRF 2,5 ved tunnelnivå > 50 m overdekning)



Figur 5-7, Tett oppsprekking langs foliasjonen ved skjæring Åsevegen.

Sone 4

Sone 4 er også vurdert å være en eller flere parallelle nærliggende svakhetssoner langs foliasjonen med tettere oppsprekking. Sonen sammenfaller med bergartsgrense mellom båndgneis og granittisk øyegneis. Det er et tydelig lineament som kan følges helt til Fedafjorden. I terrenget er det flere myrområder langs lineamentet, blant annet Storamyra. Sonen antas å ha bredde på mer enn 5 m.

Sone 5

Er vurdert til å være en mindre sone med steile sprekker i NV-SØ retning. Bredde rundt 1 m.

Sone 6

Mulig sone langs bekk ved Åsevegen. Retning NØ-SV og steiltstående. Bredde rundt 1-2 m.

Sone 7

Sone 7 er et tydelig lineament vest for tunneltraséen og er observert i Teistedalstunnelen. Sonen er steiltstående og med retning NV-SØ. I Teistedalstunnelen er det registrert utrasing fra stuff og heng i kartleggingskjema og tettere oppsprekking med RQD 50 %. I terrenget er det en kløft med bredde rundt 5 m.

Sone 8

Sone 8 er parallell sone 7, steiltstående og med retning NV-SØ. Den fremtrer i terrenget med et tydelig lineament vest for Espedalstunnelen og svakere på østsiden. I Teistedalstunnelen er det ved passering av denne sonen registrert leirsone med vann, men fortsatt middels god bergkvalitet. Antatt bredde < 5 m.

Sone 9

Sone 9 er også en steiltstående sone med retning NV-SØ. Det er et tydelig lineament i terrenget spesielt vest for Espedalstunnelen, over Teistedalstunnelen og ned mot Fedafjorden. Over traséen for Espedalstunnelen er det en større våt myr. Ved bygging av Teistedalstunnelen var det et parti over 30 m som ble sprøytet fra såle til såle før kartlegging ble utført. Bredde og karakter av sonen er derfor ukjent. Det er på kartleggings skjema likevel anslått klasse C.

Sone 10

Kløft med bredde 2-3 m. Retning NV-SØ og steilt fall mot SV. Ingen bergblotninger i kløftebunn.

Sone 11

Smal kløft bredde 1-2 m, parallell sone 10. Ingen bergblotninger i kløftebunn.

Sone 12

Kløft med bredde 4-5 m. Retning NV-SØ og steilt fall mot SV. Myrlendt i bunn. Ingen bergblotninger i kløftebunn.

Sone 13

4-5 m bred kløft med retning NV-SØ og steiltstående fall mot SV. Krysser Storamyra over tunneltrasé. Ingen bergblotninger i kløftebunn.

Det er i tillegg tolket noen svakhetssoner fra lineamentsstudie vist på tegning V1200 med antatt bredde under 5 m. Disse er markert som SS14-SS18.

Sone 14

Kløft med bredde < 5 m. Retning NØ-SV og fall mot Ø. Myrlendt i bunn. Ingen bergblotninger i kløftebunn.

5.4 Spesielle områder/hensyn

Nordre forskjæring

Påhuggsområdet anses å være spesielt krevende da det er lagt til et bratt terreng ut mot Fedafjorden hvor det ikke er veiforbindelse i dag. Det er bratt skråning både ovenfor og nedenfor påhugg/forskjæring. Ovenfor påhugget er det urmasser. Nedenfor påhugg/forskjæring skal det

bygges brutårn. Det antas at tunnelen må bygges ferdig før oppstart med brutårnene pga. fare for at sprengsteinsmasser kan falle ned og treffe tårnet.

Løsning for tilkomst til ulike nivåer i fjellsiden (for eksempel. adkomsttunneler, heisekran etc.) må vurderes nærmere av totalentreprenør i neste fase.

Nordre ende av tunnelen inkl. påhugg

De siste ca. 65 m av tunnelen i nord skal drives ut med felles løp for begge kjøreretninger. Spennet blir på ca. 28 m innerst og ca. 24 m i påhugget. Det er god bergoverdekning i påhugget og videre innover i tunnelen. Bergklassen i påhuggsområdet er vurdert til klasse E. Den lave klassen er på bakgrunn av at det ved nordre påhugg i Teistedalstunnelen ble erfart spenningsproblemer i form av oppsprekking av sprøytebetong. Det er lav til moderat oppsprekking i fjellsiden der Espedalstunnelen er planlagt.

Det er i denne fasen lagt inn et tunnelprofil med jevn buet heng. Hvis berget skulle vise seg å være mer oppsprukket enn forutsatt kan det være aktuelt å heller drive ut et profil med lavere heng i midten og hvor berget støttes opp med en betongvegg i midtre del.

5.5 Bergmassekvalitet

Ved vurdering av bergmassekvalitet er det anvendt data fra feltkartlegging og informasjon fra eksisterende Teistedalstunnel. Q-metoden er anvendt for å kvantifisere bergmassekvalitet. Ved befaring over tunneltraséen er det ved bergblotinger generelt observert god bergmassekvalitet med stor sprekkavstand. Det er imidlertid få blotninger av berg ved antatte svakhetssoner. Det er også usikkerhet ved bestemmelse av Q-parametere i terrengoverflaten i forhold til tunnel, spesielt når det gjelder sprekkevannforhold og spenninger. Eksisterende Teistedalstunnel er i granittisk øyegneis, som det også er i den nordre delen av Espedalstunnelen. Ved Espedalstunnelen er det antatt flere svakhetssoner langs bergartsfoliasjonen enn det som ble erfart ved Teistedalstunnelen. Det er derfor antatt større andel berg i klasse D-F enn det som ble erfart ved Teistedalstunnelen. Tabellen under viser antatt fordeling av bergmasseklasser i Espedalstunnelen. For vurdering av bergmassekvalitet ved svakhetssoner er det kun ved sone SS2 som det har vært mulig å vurdere Q-parametere ved feltkartleggingen. Refraksjonsseismiske profiler krysser noen av sonene. Det er antydning av svakhetssoner på disse, men ikke angitt hastighet på sonene som kunne gitt indikasjoner på bergkvaliteten. Det er vurdert at de største sonene langs foliasjonen har karakter av tett parallell oppsprekking og redusert friksjon på grunn av glimmer- eller tynt leirbelegg. Tabell 5-2 viser antatt fordeling av bergmassekvalitet langs de to tunneløpene. Vurdering av fordeling av bergmassekvalitet er basert på:

- A/B i granittisk gneis og øyegneis utenom svakhetssoner og påhugg. I Teistedalstunnelen er det kun 1 % i klasse A, men feltbefaring over Espedalstunnelen har gitt Q-verdier over 50 ved noen lokaliteter i øyegneis. Det er derfor valgt en fordeling på 25 % i A og 75 % i B.
- C i båndgneis utenom svakhetssoner og påhugg.

- D ved de første 50 m fra påhugg sør samt i nærrområde til svakhetssoner (20 m ved foliasjonssoner med liten vinkel til tunnelen og 10 m ved de subvertikale sonene)
- E ved de første 25 m fra påhugg nord samt i svakhetssoner (20 m ved hver foliasjonssoner med liten vinkel til tunnelen og 5 m ved de subvertikale sonene). Det er antatt 50 m kan være i EII (behov for sikringsbuer).

Tabell 5-2. Antatt fordeling av bergmasse langs senterlinje tunnel i de respektive bergmasseklasser A-F.

	A		B		C		D		EI		EII		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
Senterlinje	10	200	35	600	30	525	15	250	7	115	3	50	0	

5.6 Bergsikring

5.6.1 Bergsikring tunnel

Sikring i tunnelen bestemmes ut fra kartlagte Q-verdier sammenholdt med tabell 7.5-1 fra Vegnormal N500, se Tabell 5-4. Estimert fordeling av sikringsklasser i Espedalstunnelen er vist i Tabell 5-3

I enden av tunnelen i nord går tunnelen over i ett felles løp for begge kjøreretninger. Det er utført stabilitetsanalyse med programmet Unwedge fra Rocscience for påhugg nord, se Vedlegg 2. Analysen viser at det med kartlagte sprekker i området er potensiale for at det dannes kiler på opp mot 14 MN i hengen i det store bergrommet inn fra påhugget. Kilene vil få tilfredsstillende sikkerhetsfaktor mot utrasing ved sikring med systematisk bolting ($L=5\text{m}$, $c/c=1,75\text{m} \times 1,75\text{m}$) og fiberarmert sprøytebetong (10 cm). Boltelengde er beheftet med usikkerhet og lengre bolter kan bli nødvendig. Innover i tunnelen økes også spennet til 28 m slik at dette også øker nødvendig boltelengde.

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 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 svelletester kommer tilbake fra laboratoriet i drivefasen.

Tabell 5-3, Grovt estimat på forventet fordeling av bergmasse- og sikringsklasser i Espedalstunnelen.

Bergmasseklasse	Q-verdi	Betegnelse	Sikringsklasse	Andel av tunnelen [%]
A/B	100-10	Veldig god/god	I	45
C	10-4	Middels	II	30
D	4-1	Dårlig	III	15
E	1-0,1	Veldig dårlig	IV	7
F	0,1-0,01	Ekstremt dårlig	V	3
G	<0,01	Eksepsjonelt dårlig	VI	0

Tabell 5-4, Tabell 7.5-1 fra Vegnormal N500. Sammenheng mellom bergmasseklasser (Q-systemet) og sikringsklasser – permanent sikring.

Bergmasse-klasse	Bergforhold Q-verdi (sprengt berg)	Sikringsklasse Permanent sikring
A/B	Lite oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand > 1 m Q = 100-10	Sikringsklasse I <ul style="list-style-type: none"> • Spredt bolting • Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm
C	Moderat oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand 0,3-1 m Q = 10-4	Sikringsklasse II <ul style="list-style-type: none"> • 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 <ul style="list-style-type: none"> • Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 100 mm • Systematisk bolting c/c 1,75 m
E	Svært dårlig bergmasse Q = 1-0,2	Sikringsklasse IVa <ul style="list-style-type: none"> • Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm • Systematisk bolting, c/c 1,5 m
	Q = 0,2-0,1	Sikringsklasse IVb <ul style="list-style-type: none"> • 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, ev. gitterbuer <ul style="list-style-type: none"> ○ 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 <ul style="list-style-type: none"> • 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, ev. gitterbuer <ul style="list-style-type: none"> ○ Buene boltes systematisk, c/c 1,0 m, boltelengde 3-6 m • Sålestøp vurderes
G	Eksepsjonelt dårlig bergmasse, stort sett løsmasse Q < 0,01	Sikringsklasse VI <ul style="list-style-type: none"> • Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt

5.6.2 Bergsikring påhugg og forskjæringer

Anslåtte bergsikringsmengder for forskjæringene/påhugg er gitt i Tabell 5-5. Det forventes sikring i form av rensk, bolter, sprøytebetong og steinsprangnett/isnett. Erfaringsmessig benyttes ofte sprøytebetong i påhuggsflaten som arbeidssikring. I mengdene er det lagt inn 50 % sprøytebetong i påhuggsflatene.

I påhuggene antas det å være behov for spiling. Det skal påføres sprøytebetong over og rundt spilingen med armering/oppheng rundt påhuggene for å holde på profilet ved åpningsvalver.

Blokkterreng over påhugg nord kan kreve spesielle tiltak. Det er lagt opp til å bygge anleggsvei ned fra toppen av fjellet. Via denne kan løsmassene ovenfor påhugget, hvis de vurderes å være ustabile, renskes kontrollert ned. Ellers må det etableres forstøtning i foten av massene.

Tabell 5-5. Anslåtte bergsikringsmengder i forskjæringer/påhugg.

	Forskjæring/påhugg nord	Forskjæring/påhugg sør	Sum
Rensk, m2	3 800	5 200	9 000
Sikringsbolt, stk.	300	300	600
Steinsprangnett, m2	650	1 150	1 800
Sprøytebetong, m3	100	100	200

5.6.3 Sikring av overliggende terreng

Ved påhugg/forskjæring i nord er det risiko for steinsprang fra overliggende terreng. Skredfaren er vurdert i egen skredfaglig rapport. For å redusere risikoen for steinsprang er det i rapporten nevnt følgende tiltak: "Dette vil sannsynligvis kreve at det utføres grundig rensk før installering av lange og kraftige stag, samt mer konvensjonelle sikringsmidler som bolter og nett for mindre blokker. Det kan også bli aktuelt å installere steinspranggjerders dersom det vurderes at nevnte tiltak ikke er tilstrekkelig. Sikringsarbeider vil være krevende og må sannsynligvis utføres av klatrelag og med håndholdt utstyr."

Ved søndre påhugg/forskjæring lengre opp i fjellsiden mot nordøst. Det kan her være aktuelt med rensk og sikring med bolter og nett.

5.7 Bergmekaniske egenskaper

5.7.1 Borbarhet og sprengbarhet

Borbarhet og sprengbarhet for bergartene langs tunnelen er usikker da det ikke er utført tester langs traséen.

Fra [34] og [36] kan følgende antas generelt om bergartene langs traséen:

- Granittisk gneis
 - o medium til høy DRI
 - o lav til medium BWI
 - o medium til god sprengbarhet
- Øyegneis
 - o lav til medium DRI
 - o medium til høy BWI
- Båndgneis
 - o lav til medium DRI
 - o medium til høy BWI
 - o dårlig til høy sprengbarhet

De fleste tester for granittisk gneis/øyegneis har middels til god sprengbarhet, mens båndgneis har dårlig til god sprengbarhet. Det er større variasjon i testene for båndgneis enn for granittisk gneis/øyegneis.

Tester på øyegneis som er gjort hos SINTEF kan ha andre egenskaper enn granittisk øyegneis som man har ved Espedalstunnelen. Tester på øyegneisen ved nordre brufundament ved Fedafjorden indikerer middels DRI, lav BWI, og god sprengbarhet (SPR).

5.7.2 Anvendelse av sprengstein

Det er ikke utført tester på bergartene langs traséen og det er derfor usikkert hvor godt egnet steinmassene vil være til ulike formål. Det kan være stedegne og lokale variasjoner i bergmassen som gjør at denne ikke tilfredsstillende alle krav til steinmaterialer (for eksempel til bruk i de øvre lag av veikroppen) [39].

I muntlig kommunikasjon med Veidekkke har de sagt at all sprengstein ble brukt i linjen, men steinen er av varierende kvalitet til veioppbygging/bærelag.

Alle bergartene langs tunnelen forventes erfaringsmessig å være egnet som grovfylling.

Tester gjort på øyegneis i Fedaheitunnelen/Teistedalstunnelen viser at bare en av syv tester oppfylder kravene til LA-verdien for bærelag/forsterkningslag (trafikkgruppe B-F). Krav til flisighet oppfylles for alle tester. Det er gjort få tester av MDE og disse oppfylder kravene delvis. Testene for

granittisk gneis ved Flekkefjord viser verdier som både er over og under kravet til LA for bærelag/forsterkningslag.

Båndgneis kan ha store variasjoner med tanke på brukbarheten til massene. Der båndgneis inneholder mye glimmer vil massene ventelig ikke tilfredsstillende krav for bruk i øvre del av overbygningen. Det ser man også fra tester gjort i Vatlandstunnelen, hvor det antas at flere tester gjort på båndgneis (amfibolitt gneis). Mange tester oppfylte ikke krav til LVMDE-verdi. Testene for båndgneis gjort ved Flekkefjord (pukkdatabasen) viser derimot lavere LA verdier som oppfyller kravet til bærelag/forsterkningslag.

5.8 Miljøhensyn

5.8.1 Syredannende bergarter

Sweco har fått informasjon fra Veidekke at det i OPS prosjektet E39 Lyngdal-Flekkefjord ikke var et problem med sulfidholdig berggrunn og sur avrenning. Alt berg ble benyttet i linjen. Driftsvann gikk gjennom sedimenteringsbasseng og ut i naturen.

Risikoen for problemer knyttet til sulfidholdig berggrunn anses som liten, men det kan ikke utelukkes at det stedvis (spesielt ved båndgneis) kan påtreffes bergmasse med økt sulfidinnhold og syredannende potensiale som må håndteres. Behov for prøvetaking av berget må vurderes under driving dersom det observeres tegn på sulfidholdig bergmasse. Slike masser kan f.eks. identifiseres med røntgendiffraksjon eller laboratorieanalyser. Videre må det gjøres en vurdering av behov for spesielle tiltak i forbindelse med deponering basert på innhold av sulfider og volumet av disse.

5.8.2 Radon

Det nasjonale aktsomhetskartet for radon viser at nordre del av tunneltraséen, som er i grovkornet granittisk øyegneis er klassifisert til høy aktsomhetsgrad. Søndre del i båndgneiser og granittisk gneis er klassifisert til moderat til lav, samt usikker mot søndre påhugg.

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 drivefasen 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.

Ved eventuell bruk av sprengstein som fyllmasse under bygg bør radonnivåer kontrolleres og tiltak eventuelt gjennomføres.

5.8.3 Vibrasjoner fra sprengning

I henhold til NS8141 [40] skal det fastsettes krav til maksimale vibrasjoner fra sprengning på bygninger innenfor en avstand på 50-100 m fra sprengningsstedet. Det er ingen bygninger innenfor denne avstanden fra tunnelen/forskjæringen. Et luftspenn krysser like sør for påhuggsområdet, men dette antas at skal legges om i forbindelse med motorveiprojektet. Det anses derfor ikke som nødvendig å etablere noe måleprogram for vibrasjoner i forbindelse med driving av Espedalstunnelen.

5.9 Hydrogeologiske vurderinger

5.9.1 Konsekvenser ved senkning av grunnvann

Konsekvenser for ytre miljø ved innlekkasje i tunnelanlegg er:

- Reduksjon i grunnvannsnivå eller vanntilførsel til vannkrevende flora og fauna. Det gjelder for eksempel myrområder der grunnvannsspeilet ligger generelt høyt eller jordbruksarealer som er vannavhengige
- Reduksjon i vannstand i tjern og vann
- Reduksjon i grunnvannsnivå som påvirker grunnvannsbrønner innenfor influensområdet
- Poretrykkreduksjon som kan gi setningsskader

Myr

Tunnelen passerer under større myrer ved to steder. Myrområder betraktes som sårbare områder siden selv små lekkasjer kan tørke dem ut med betydelige biologiske konsekvenser for økosystemet knyttet til dem.

Det er generelt usikkert om en myr står i kontakt med grunnvannet i området og har potensiale for uttørking pga. innlekkasjer i tunnel. Hvis grunnvannstand i fjellet ligger under bunnen av myrene vil vannet i myren være uavhengig av grunnvannet i området. Endringer i grunnvannstand i fjell på grunn av eventuelle lekkasjer kommer ikke til å påvirke myrene hvis disse ikke står i kontakt med grunnvannet.

For å kunne vurdere om myren står i kontakt med grunnvannet i fjellet kan det vurderes å utføre undersøkelse med boring av fjellbrønn. En undersøkelsesbrønn vil ikke nødvendigvis gi et umiddelbart svar på om myrene er i hydraulisk kontakt med grunnvannet i fjellet. Grunnvannstanden kan på kort tid stige flere 10 talls meter etter moderate nedbørhendelser, slik at man må basere analysen på gjennomsnittlig grunnvannstand over en viss tid.

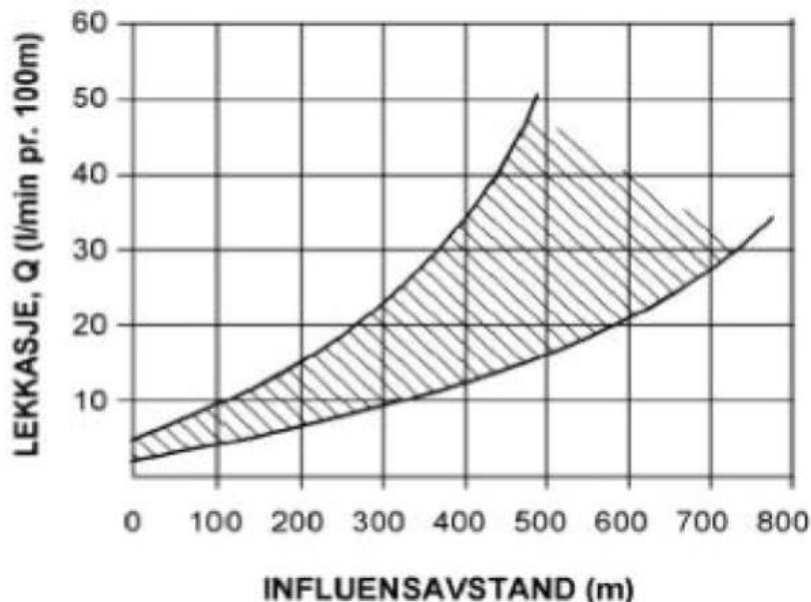
5.9.2 Influensområdet

Influensområdet til en tunnel kan defineres som avstanden fra tunnelen der det kan forventes redusert grunnvannsnivå i en slik grad at brønner, naturforekomster eller poretrykk i

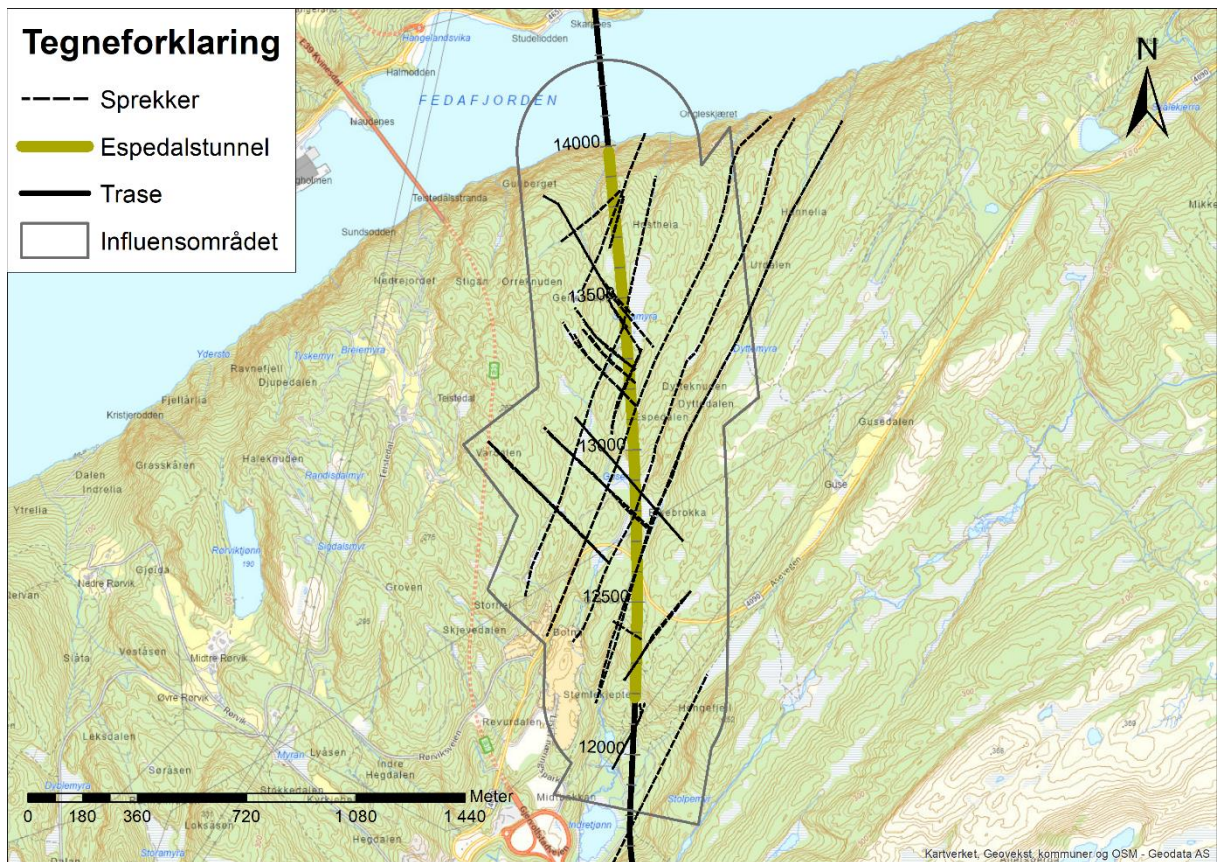
leiravsetninger kan bli påvirket. Generelt vil det, i områder hvor tunnelen ligger dypt, forventes noe større influensområde enn der hvor det er liten overdekning. På en annen side vil effekten av en lekkasje fordeles over et større område, og senkning av grunnvannsnivået rett over tunnel vil kunne bli mindre. En senkning i grunnvannstrykk ved tunnelnivå vil ikke nødvendigvis medføre en direkte senkning av grunnvannstand høyere opp i bergmassen direkte over tunnel. I stedet kan trykkreduksjonen ofte følge sprekker og svakhetssoner, og kan bli avskåret av tette lag. Tidligere studier rundt grunnvannssenkning og tunneldriving argumenterer med at influensområdet til et tunnelanlegg sjeldent er bredere enn 300 i fra tunnelen [11]. Det vises også til Figur 5-8 som viser empirisk sammenheng mellom innlekkasjer og influensavstand.

Eksisterende data, erfaringstall og simuleringer som Sweco har utført for andre tunnelstrekninger er benyttet som grunnlag for å anslå influensavstanden til tunnelen. For Espedalstunnelen antar vi en influensavstand på 300 meter, men stedvis kan det være opp til 400 meter for å kompensere for svakhetssoner og andre hydrologiske/hydrogeologiske forhold som indikerer økt fare for påvirkninger fra lekkasjene i tunnelen. Den antatte influensavstanden forutsetter at innlekkasjekravet i tunnelen overholdes. I uheldige situasjoner hvor det kan oppstå store lekkasjer i tunnelen vil påvirkningsområdet kunne være betydelig større.

Figur 5-9 viser tunnelens influensområde. I områder hvor det er myr, svakhetssoner, bekker og innsjøer er influensområdet utvidet/tilpasset manuelt.



Figur 5-8. Influensavstand som funksjon av innlekkasje [11].

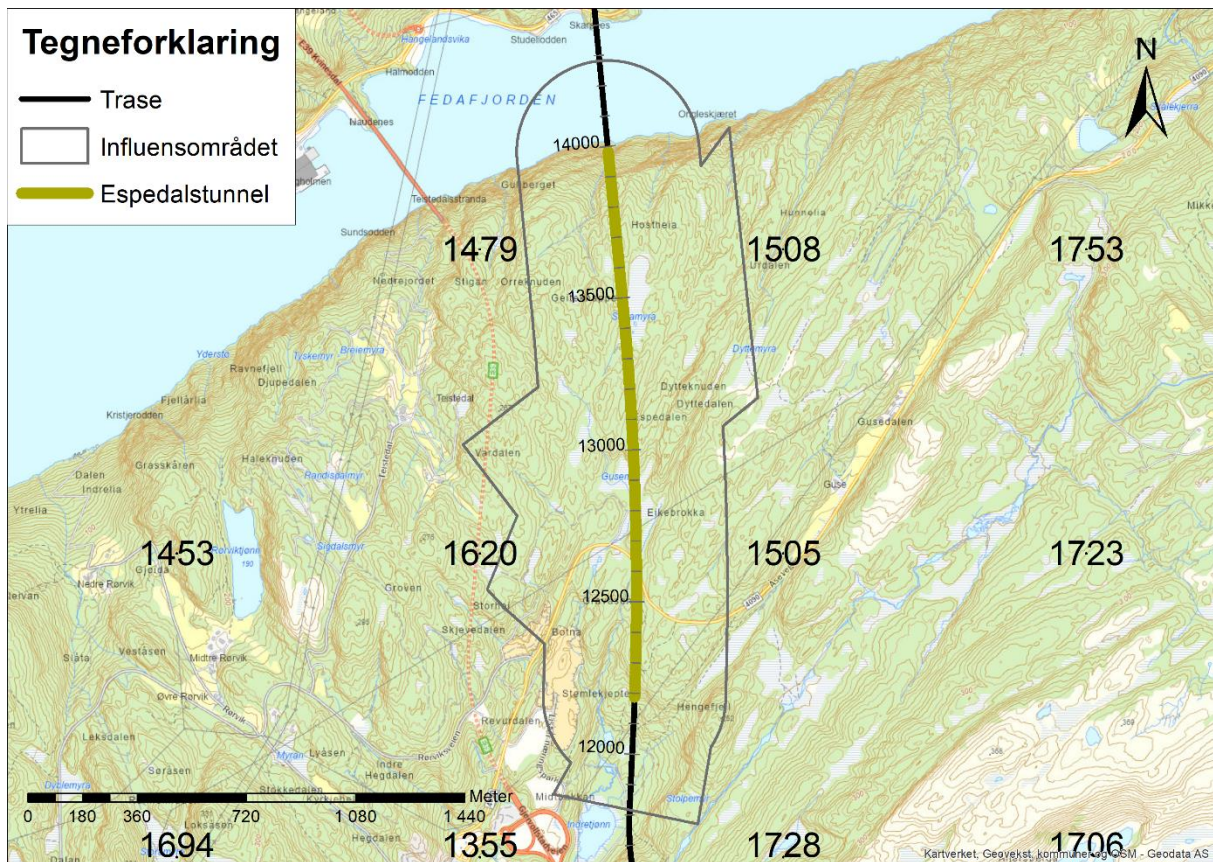


Figur 5-9. Tunnelens influensområde.

5.9.3 Vannbalanseberegning og innlekkasjekrav

Metoden som brukes for å beregne innlekkasjekrav er basert på vannbalanseberegninger. Det finnes flere måter å utføre disse beregningene på. Det som er problematisk med beregningene er at en er nødt til å innføre antagelser som påvirker resultatene. For å unngå antagelser om de klimatiske forhold i området skal analysen basere seg på datasett som er korrigert og verifisert av NVE for perioden 1961-1990. En burde helst bruke nyere datasett for perioden 1991-2020 som fanger opp klimaendringene, men NVE ikke har publisert disse ennå.

En stor fordel med å estimere innlekkasjekrav basert på grunnvannsdannelse i fjell er at man ivaretar vannbalansen i området. I fjellområder kan man grovt estimere at mellom 3 % og 20 % av årlig avrenning vil infiltreres i bakken. Det er mange lokale forhold som påvirker dette. Prosentandelen som infiltreres vil variere blant annet med bergarttype, landskapsformen og årlige nedbør.



Figur 5-10. Årlig normale avrenning 1961-1990 fra NVE. Tallene viser avrenning i mm/år

Analysen starter med å bruke årlige normale avrenningsdata fra NVE (se Figur 5-10). Disse data er basert på simuleringer utført av NVE og viser avrenningsestimater etter vannbalanseanalyser som er utført på et grid 1 km x 1 km over hele Norge. Simuleringene er kalibrert mot eksisterende data for perioden 1961-1990 og kan betraktes som de mest pålitelige data vi har i Norge om avrenningsestimater. Avrenningsestimater fra et hydrogeologisk perspektiv er tall som viser maksimum grunnvannsdannelse i et område. Grunnvannsdannelse i fjell ligger på mellom 3 og 20 % av disse estimatene. I områder med høy nedbør, slik som er tilfellet med Espedalstunnelen, burde grunnvannsdannelsen ligge rundt 10 %.

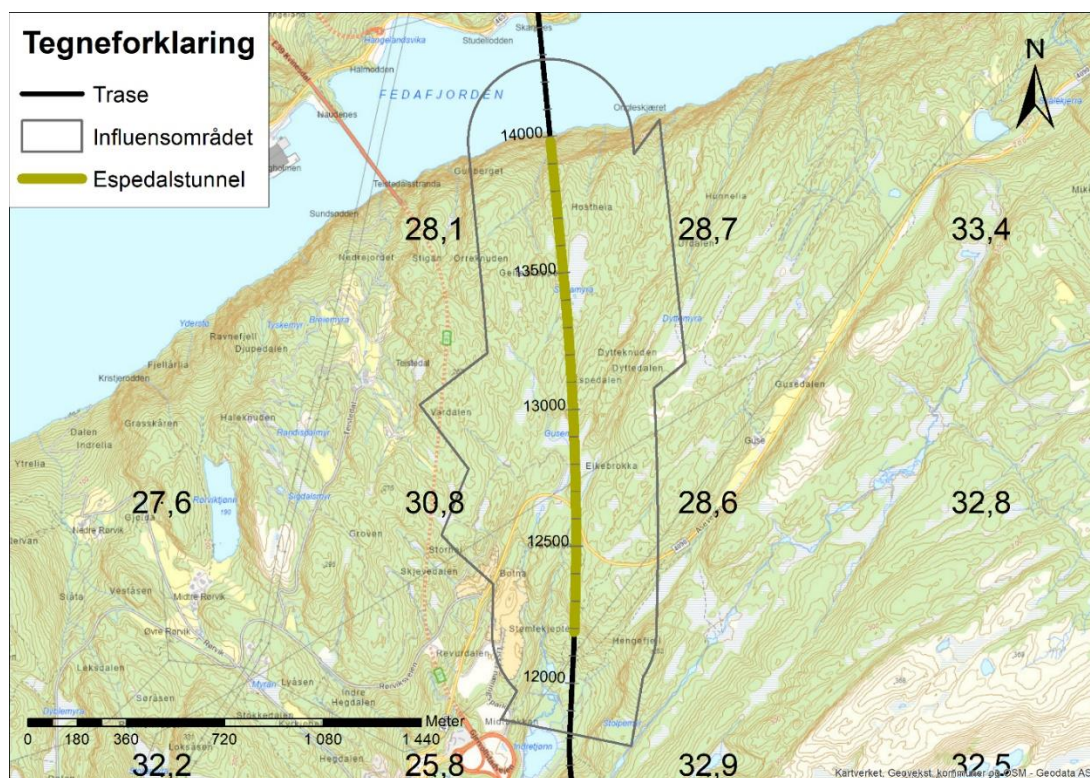
Ved å bruke 10 % av avrenningsestimatene som grunnvannsdannelse i fjell kan en estimere hvor store lekkasjer det kan være i tunnelen som kompenseres av naturlig grunnvannsdannelse (Figur 5-11). Hvis lekkasjene i tunnelen er mindre enn grunnvannsdannelsen vil grunnvannsstanden være stabil og skaderisikoen være lav.

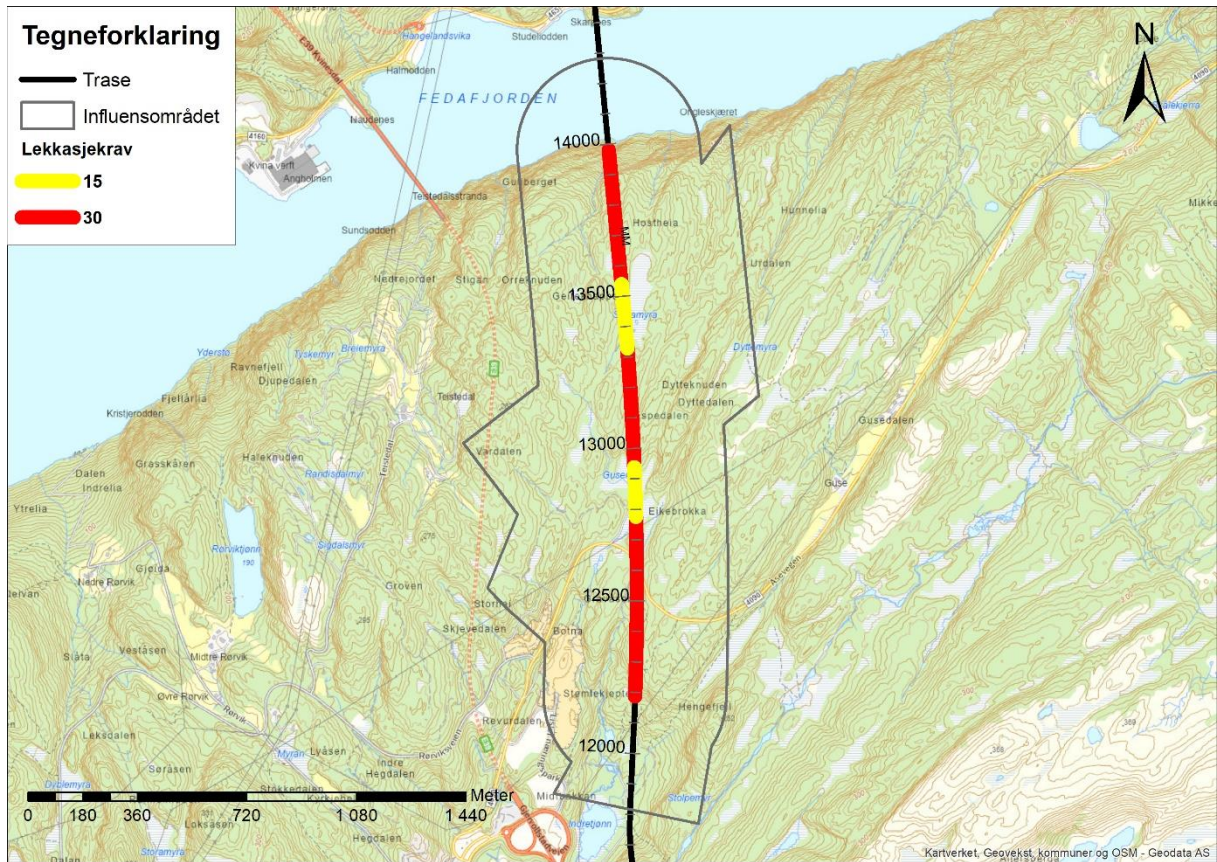
Området viser en relativt høy årsavrenning som generelt sett indikerer at en kan tolerere lekkasjer opp til 28-30 l/min pr 100 meter tunnel uten å skape problemer for vannbalansen i området. For å lage innlekkasjekrav for tunnelen interpoleres de estimerte verdiene for de strekninger i tunnelen man ønsker å få konkrete lekkasjeestimer for.

Denne metoden er brukt for å estimere innlekkasjekravene som vises i Figur 5-11. Estimatenes er avrundet. Å bruke disse estimatene i praksis kan stedvis være komplisert noe som diskuteres nærmere under.

Har man to tunneløp burde kravet deles mellom dem. Dvs. at hvis man har totalt 30 l/min per 100 meter tunnel, burde kravet være 15 l/min per 100 meter tunnel for hvert løp. Dette er vanlig praksis i prosjekter med to tunneler.

Ved innsjø og myr vil ikke kravet som fås fra vannbalanseanalysen være tilstrekkelig til å ivareta risiko forbundet med disse. Myrer vil kunne være spesielt sensitive for også mindre fall i grunnvannsnivå. Helst bør man ha et strengest mulig krav ved disse, men det blir en avveining mot kostnader. Det er foreslått å redusere kravet med 50 % til 15 l/min per 100 meter tunnel, dvs. 7,5 l/min per 100 meter tunnel per tunneløp. Ved å undersøke grunnvannsnivået nær myrene med boring av fjellbrønn kan man få mer kunnskap om forholdene og ev. kunne justere innlekkasjekravet opp/ned.





Figur 5-12. Innlekkasjekrav og influensområde for Espedalstunnelen.

Tabell 5-6. Innlekkasjekrav for Espedalstunnelen.

Nr.	Pel	Strekning [m]	Tetthetskrav tunnel (2 løp) [l/min/100 m]	Tetthetskrav pr. løp [l/min/100 m]	Kommentar
1	12200-12775	575	30	15	Lite sårbart område. Noen utsatte myrer i svakhetssoner. Maksimal punktlekkasje < 10 l/min
2	12775-12938	163	15	7,5	Gusemyr Maksimal punktlekkasje < 10 l/min
3	12938 - 13327	389	30	15	
4	13327-13540	213	15	7,5	Storamyra
5	13540-13940	400	30	15	

5.9.4 Overvåkningsbrønner

Det vil være nødvendig å installere overvåkningsbrønner langs traséen. Brønnene skal hovedsakelig installeres for å kunne dokumentere grunnvannsforholdene langs tunnelen. En slik dokumentasjon er påkrevd av NVE. Etablering av brønn bør skje minst seks måneder før byggestart og helst tidligere. Målingene avsluttes normal ett år etter tunnelens ferdigstilling. Plasseringen av overvåkningsbrønner nær myrene vurderes å være det beste, men også det mest krevende i forhold til etablering.

5.10 Sonderboring og injeksjon

Det vurderes som nødvendig å utføre sonderboring med lekkasjemåling på strekninger der det er satt krav til maksimal innlekkasje. 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 skjermmer uavhengig av innlekkasje i sonderhull. Systematisk forinjeksjon utføres typisk på strekninger med strenge innlekkasjekrav og/eller under sårbare områder på overflaten.

Det vurderes at der kravet er 15 L/min/100 m for ett løp vil det være tilstrekkelig med behovsprøvd forinjeksjon. Ved strengere krav enn dette bør det utføres systematisk forinjeksjon.

6 Usikkerheter og anbefalinger

6.1 Spesielle usikkerheter

- Etablering av forskjæring og tunnel ut mot Fedafjorden
- Skredfare over påhugg ved Fedafjorden
- Steinmaterialets kvalitet – dersom det er ønskelig å bruke bergmassen til anleggstekniske formål må det gjennomføres tester av bergmassen fortløpende i anleggsfasen da kvaliteten kan endres over korte avstander.
- Bredde 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.

6.2 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.
- Innlekkasjen til tunnelen må måles jevnlig i drivefasen for å overvåke om strekningskravene til tetthet er oppfylt.
- Grunnvannsendring pga. tunneldriving må overvåkes og dokumenteres med fjellbrønner.
- Vibrasjoner fra sprengning måles fortløpende på utvalgte objekter.

6.3 Ingeniørgeologisk kompetanse i byggefasen

Prosjektet skal være bemannet med en ansvarlig ingeniørgeolog i 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. Tilsvarende skal utsprengning av skjæringer følges opp underveis med ingeniørgeologisk kartlegging og prosjektering av sikring.

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.

Det skal utarbeides ingeniørgeologisk sluttrapport for tunnel og forskjæringer.

6.4 Anbefalte videre grunnundersøkelser

Det anbefales følgende videre undersøkelser:

- Bygningsbesiktigelse utføres i forkant av sprengningsarbeider for Statnetts anlegg og bygninger som ligger innenfor det forventede influensområdet med hensyn til sprengningsvibrasjoner. Dette danner også grunnlag for fastsettelse av grenseverdier for rystelser.
- Boring av grunnvannsbrønner for å undersøke om myrer i området står i kontakt med grunnvannet i fjellet, og for å etablere kunnskap om variasjoner i grunnvannstand gjennom året. Hensikten er å få bedre grunnlag for fastsettelse av innlekkasjekrav i tunnel nær myrer og større kunnskap om naturlige svingninger for å kunne fange opp eventuell senkning i grunnvannstand som følge av tunneldriving.

7 Referanser

- [1] Statens vegvesen, «Vegnormal N500 Vegtunneler,» 2022.
- [2] Statens vegvesen, «Vegnormal N100 Veg- og gateutforming,» 2021.
- [3] Standard Norge, «NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner,» 2016.
- [4] Standard Norge, «NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2020 Eurokode 7 Geoteknisk prosjektering,» 2020.
- [5] NS-EN ISO 14689-1, «Geotekniske felt- og laboratorieundersøkelser - Identifisering, beskrivelse og klassifisering av berg,» 2018.
- [6] Norsk bergmekanikkgruppe, «Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering,» 2011.
- [7] Statens vegvesen, «Veiledning V521 Geologi og bergsikring i tunnel,» 2022.
- [8] Statens vegvesen, Vegnormal N200 Vegbygging, 2021.
- [9] Statens vegvesen, «Håndbok R760 Styring av vegprosjekter,» 2021.
- [10] Statens vegvesen, «Håndbok V225 Bergskjæringer,» 2020.
- [11] Statens vegvesen, «Publikasjon 103 - Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø,» 2003.
- [12] NGI, «Bruk av Q-systemet. Bergmasseklassifisering og bergforsterkning,» 2015.
- [13] NVE, «Flaum- og skredfare i arealplanar,» 2011.
- [14] Norconsult, «E39 Lyngdal vest - Ålgård. Ingeniørgeologisk rapport til kommunedelplan,» 2018.
- [15] Norconsult, «E39 Røyskår-Lølandsvatnet. Mulighetsstudie,» 2020.
- [16] NGU, «Skredfarevurdering ifb. undersjøisk kabeltraséer i Fedafjorden,» 1998.
- [17] NGU, «Fare for fjellskred i Fedafjorden,» 2008.
- [18] NGU, «Berggrunn - Nasjonal berggrunnsdatabase,» [Internett]. Available: http://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/.
- [19] NGU, «Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase,» [Internett]. Available: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>.
- [20] NGU, «GRANADA Nasjonal grunnvannsdatabase,» [Internett]. Available: <http://geo.ngu.no/kart/granada/>.
- [21] NVE, «NVE Atlas,» [Internett]. Available: www.atlas.nve.no.
- [22] NGU, «Aktsomhetskart radon,» [Internett]. Available: geo.ngu.no/kart/radon/.
- [23] Kartverket, «FKB4,» [Internett]. Available: <https://openwms.statkart.no/skwms1/wms.fkb4?request=GetCapabilities&service=WMS>.

- [24] Miljødirektoratet, «Miljøstatus - Naturtyper - DN-håndbok 13 - kartdatabase,» 2020. [Internett]. Available: <https://miljoatlas.miljodirektoratet.no/MAKartWeb/KlientFull.htm?>
- [25] Sweco, «NV42E39LK-GEO-RAP-0006 Fagrapport Skred,» 2022.
- [26] Geomap Norge AS, «Rapport seismiske undersøkelser, E39 Lyngdal-Kvinesdal,» 2022.
- [27] Sweco, «Geoteknisk vurderingsrapport delområder 1-7,» 2022.
- [28] T. Falkum, «Beskrivelse til geologisk kart over Norge - 1:250.000, Mandal,» Norges geologiske undersøkelse (NGU), 1981.
- [29] NGU, «Rock construction awareness map from South Norway (report no. 2017.048),» Norges Geologiske Undersøkelse, 2017.
- [30] Allfarvei/Veidekke, «OPS Prosjekt E39 Lyngdal-Flekkefjord. Sluttdokumentasjon fra byggefasen, muntlig kommunikasjon.»
- [31] Norwegian group for rock mechanics (NBG), Engineering geology and rock engineering. Handbook No 2, Norwegian group for rock mechanics (NBG), 2000.
- [32] SINTEF, «Bergmekaniske egenskaper. Testing av prøver fra Fedafjorden, E39 Lyngdal-Kvinesdal,» 2022.
- [33] Standard Norge, «NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2020 Eurokode 7 Geoteknisk prosjektering,» 2020.
- [34] V. Olsen, «Rock Quarrying - Blast design (Doctoral theses),» NTNU, 2009.
- [35] NBG, «Håndbok 02. Engineering Geology and Rock Engineering,» 2000.
- [36] A. Bruland, «Hard Rock Tunnel Boring (Vol. 10 of 10) - Statistics of Drillability Test Results (Doctoral theses),» NTNU, 1998.
- [37] NGU, Grus og pukk, NGU. Internett. Available: www.ngu.no, 2022.
- [38] Sweco, «NV42E39LK-GEO-RAP-0003. Fagrapport ingeniørgeologi, Bergskjæringer,» 2022.
- [39] Sweco, «Ingeniørgeologisk rapport for Kålsåstunnelen for detaljprosjektering,» 2022.
- [40] Standard Norge, «NS-EN 8141-1:2022 Vibrasjoner og støt, Del 1: Virkning av vibrasjon og lufttrykkstøt på byggverk, inkl. tunneler og bergrom.»
- [41] NGI, «Bruk av Q-systemet. Bergmasseklassifisering og bergforsterkning,» 2015.
- [42] Statens vegvesen, «Håndbok V520, Tunnelveiledning,» 2020.
- [43] Statens vegvesen, «Vegkart,» [Internett]. Available: <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/nasjonal+vegdatatabank/kart>. [Funnet 13 12 2018].
- [44] Geomap Norge AS, «Geofysiske undersøkelser til detaljreguleringsplan,» 2021.
- [45] NGU, «Berggrunnskart Mandal 1:250 000,» Norges Geologiske Undersøkelse, 1982.
- [46] Y. Sandvik, «E39 ML Verdier over planlagte tunneler,» Sweco Norge AS, 2021.
- [47] NVE, «REGINE register over nedbørfelt,» Norges vassdrag- og energidirektorat, [Internett]. Available: <https://www.nve.no/kart/kartdata/vassdragsdata/nedborfelt-regine/>.

- [48] O. F. Frigstad, «Sulfidholdige bergarter i Kristiansandsregionen,» Agder naturmuseum og botaniske hage, Kristiansand, 2009.
- [49] SINTEF, «Byggforskserien».
- [50] R. H. Gabrielsen, A. Braathen, J. Dehls og D. Roberts, Tectonic lineaments of Norway. Vol. 82, pp. 153-174., Trondheim: Norwegian journal of geology, 2002.
- [51] A. Bruland, Prosjektrapport anleggsdrift 13B-98, Borbarhe, Katalog over borbarhetsindekser, NTNU, Institutt for bygg- og anleggsteknikk, 1998.
- [52] A. Bruland, Anleggsteknikk GK. Kompendium del I, NTNU, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, institutt for bygg, anlegg og transport, 2016.
- [53] Håndbok nr. 3, Arbeidsmiljø under jord, Norsk forening for fjellsprenningsteknikk (NFF), 2000.
- [54] Sweco, «Ingeniørgeologisk rapport Kålstunnelen for detaljprosjektering,» 2022.
- [55] NTNU, «Rock Quarrying. Blast design,» 2009.
- [56] NTNU, «Hard Rock Tunnel Boring Vol. 10 - Drillability - Statistics of Drillability Test,» 1998.
- [57] Standard Norge, «NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2020 Eurokode 7 Geoteknisk prosjektering,» 2020.
- [58] Standard Norge, «NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurokode 0: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner,» 2016.
- [59] A. Bruland, «Hard Rock Tunnel Boring (Vol. 10 of 10) - Statistics of Drillability Test Results (Doctoral theses). 13c98-eng,» NTNU, 1998.
- [60] SINTEF, «Bergmekaniske tester utført på borkjerner fra Skarpnes/Fedafjorden,» 2022.