



# Fagrappport ingeniørgeologi Øyetunnelen

Detaljregulering E39 Lyngdal vest - Kvinesdal

---

NV Dokumentnummer: NV42E39LK-GEO-RAP-0005

ENT Dokumentnummer: 10220781\_E39LK\_200\_geo\_rap\_05

Nye Veier AS | Kjøita 6  
4630 Kristiansand  
nyeveier.no



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	NOMGAM/NOMOCR/ NOPADT	NOKNSK	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 4 tunneler og ca. 7 km med bergskjæringer over 10 m. Denne rapporten omhandler ingeniørgeologiske og hydrogeologiske forhold for Øyetunnelen som er en tilførselstunnel fra ny E39 ned til Kvinesdal og Fedafjorden.

Øyetunnelen er planlagt med ett løp, lengde på ca. 2,7 km og tunnelprofil T9,5. Det er valgt å plassere tunnel og påhuggsområder i pålitelighetsklasse 3.

Terrenget over tunnelen er kupert over den østre delen, med enkelte søkk og forsenkninger. Over den vestre delen er løsmassemektheten større og terrenget mindre kupert. Østre påhugg ved Øyesletta etableres i urmasser nedenfor en bratt og høy bergskrent, mens vestre påhugg etableres i en bergskrent med noe omkringliggende løsmasser ved Frøytland.

Tunnelen er antatt å ligge i sin helhet i granittisk gneis. Det forventes at tunnelen krysser fire svakhetssoner, og at en femte svakhetssone påvirker bergmassekvaliteten ved østre påhugg noe. Forventet bergmassekvalitet er basert på feltkartlegging og tolkning fra skyggerelieffkart. Omtrent 40 % av traséen forventes å ha god til svært god bergkvalitet, 55 % middels og i overkant av 5 % dårlig bergkvalitet. Det forventes at den permanente bergsikringen primært vil bestå av bolter og sprøytebetong, men det kan også bli aktuelt med sprøytebetongbuer ved behov.

Det er fastsatt grenseverdier for innlekkasje av grunnvann i tunnelen. Verdiene er satt på bakgrunn av vannbalanseanalyse. Tunnelen går under utmark og et jordbruksområde hvor grenseverdien generelt er 25-30 L/min/100 m. I vestre ende av traséen er grenseverdien satt til 10 L/min/100 m pga. nærhet til Refstiheitunnelen. Det vurderes generelt å være nødvendig med behovsprøvd forinjeksjon. Der kravet er lavere enn 10-15 L/min/100 m bør det utføres systematisk forinjeksjon.

Spesielle hensyn/utfordringer for denne tunnelen anses å være etablering av forskjæring og påhugg i den bratte skråningen ved Øyesletta hvor det også ligger urmasser med stor mektighet.

## Innhold

1	SAMMENDRAG .....	3
2	INNLEDNING .....	6
2.1	BAKGRUNN .....	6
2.2	OM RAPPORTEN .....	7
2.3	TRASÉVALG, LINJEFØRING OG TUNNELTVERRSNITT .....	8
2.4	PROSJEKTERINGSFORUTSETNINGER/GEOTEKNISK KATEGORI .....	10
3	GRUNNLAG OG UTFØRTE UNDERSØKELSER.....	15
3.1	TIDLIGERE FASER/UNDERSØKELSER .....	15
3.2	NÆRLIGGENDE ANLEGG .....	15
3.3	ANDRE PROSJEKTER.....	15
3.4	KART- OG BILDEDATABASER .....	16
3.5	UTFØRTE UNDERSØKELSER I REGULERINGSPLANFASEN .....	16
3.5.1	<i>Feltarbeid</i> .....	16
3.5.2	<i>Refraksjonsseismikk</i> .....	16
3.5.3	<i>Totalsonderinger</i> .....	17
4	FAKTADEL .....	19
4.1	TOPOGRAFI .....	19
4.2	KVARTÆRGEOLOGI OG LØSMASSER.....	19
4.3	BERGGRUNNSGEOLOGI .....	21
4.4	STRUKTURGEOLOGI .....	24
4.4.1	<i>Lineamenter</i> .....	24
4.4.2	<i>Strukturer, foliasjon, skifrihet og oppsprekking</i> .....	25
4.4.3	<i>Dypforvitring</i> .....	27
4.5	PÅHUGGSOMRÅDER OG FORSKJÆRINGER.....	28
4.5.1	<i>Påhugg og forskjæring vest</i> .....	28
4.5.2	<i>Påhugg og forskjæring øst</i> .....	32
4.6	BERGMEKANISKE EGENSKAPER .....	36
4.7	BERGARTENES SYREDANNENDE OG RADON-EGENSKAPER .....	39
4.7.1	<i>Sulfidholdige bergarter</i> .....	39
4.7.2	<i>Radonholdige bergarter</i> .....	40
4.8	NATUR- OG KULTURVERDIER .....	40
4.9	BEBYGGELSE OG BRØNNER.....	42
4.10	VANNFORHOLD .....	43
4.10.1	<i>Vannforhold ved påhugg/forskjæringer</i> .....	43
4.10.2	<i>Hydrologi</i> .....	43
4.10.3	<i>Hydrogeologi</i> .....	45
5	TOLKNINGSDEL.....	47
5.1	BERGOVERDEKNING OG BERGSPENNINGER .....	47
5.2	BERGSPENNINGER.....	47
5.3	PÅHUGG OG FORSKJÆRINGER.....	48
5.3.1	<i>Skredfare og sikringstiltak</i> .....	48
5.3.2	<i>Utforming/uttaksmetode</i> .....	48
5.3.3	<i>Vurdering påhugg/forskjæring vest</i> .....	48
5.3.4	<i>Påhugg og forskjæring øst</i> .....	49

5.4	SVAKHETSSONER .....	50
5.4.1	Generelt.....	50
5.5	SPESIELLE OMRÅDER.....	53
5.6	BERGMASSEKVALITET .....	53
5.7	BERGSIKRING .....	54
5.7.1	Bergsikring tunnel .....	54
5.7.2	Bergsikring påhugg og forskjæringer .....	57
5.7.3	Sikring av overliggende terreng .....	57
5.8	BERGMEKANISKE EGENSKAPER .....	57
5.8.1	Borbarhet og sprengbarhet.....	57
5.8.2	Anvendelse av sprengstein .....	58
5.9	MILJØHENSYN.....	58
5.9.1	Syredannende bergarter .....	58
5.9.2	Radon .....	59
5.9.3	Vibrasjoner fra sprengning.....	59
5.10	HYDROGEOLOGISKE VURDERINGER .....	60
5.10.1	Konsekvenser ved senkning av grunnvann .....	60
5.10.2	Influensområdet.....	60
5.10.3	Vannbalanseberegning og innlekkasjekrav .....	62
5.10.4	Overvåkningsbrønner.....	67
5.11	SONDERBORING OG INJEKSJON .....	67
6	USIKKERHETER.....	67
6.1	SPESIELLE USIKKERHETER .....	67
6.2	KRAV TIL OVERVÅKING AV SPESIELLE FORHOLD .....	68
6.3	INGENIØRGEOLOGISK KOMPETANSE I BYGGEFASEN .....	68
6.4	ANBEFALTE VIDERE UNDERSØKELSER.....	69
7	REFERANSER.....	70

## VEDLEGG

1. Konturplott og sprekkeroser
2. Tegninger:
  - V-1400 Plan og profil, oversikt, 1:4000
  - V-1401 Plan og profil, 1:2000
  - V-1402 Plan og profil, 1:2000
  - V-1403 Plan og profil, 1:2000
  - V-1404 Plan og profil, 1:2000
  - V-1405 Plan og profil, påhugg vest, 1:500
  - V-1406 Plan og profil, påhugg øst, 1:50

## 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 trafikksikker 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.



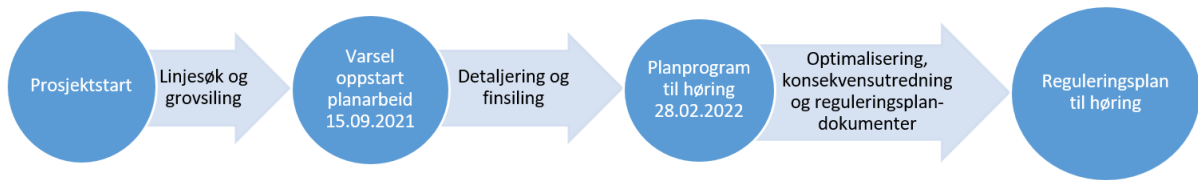
Figur 1. Parsellen E39 Lyngdal vest-Kvinesdal

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 ferdigstilling 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.

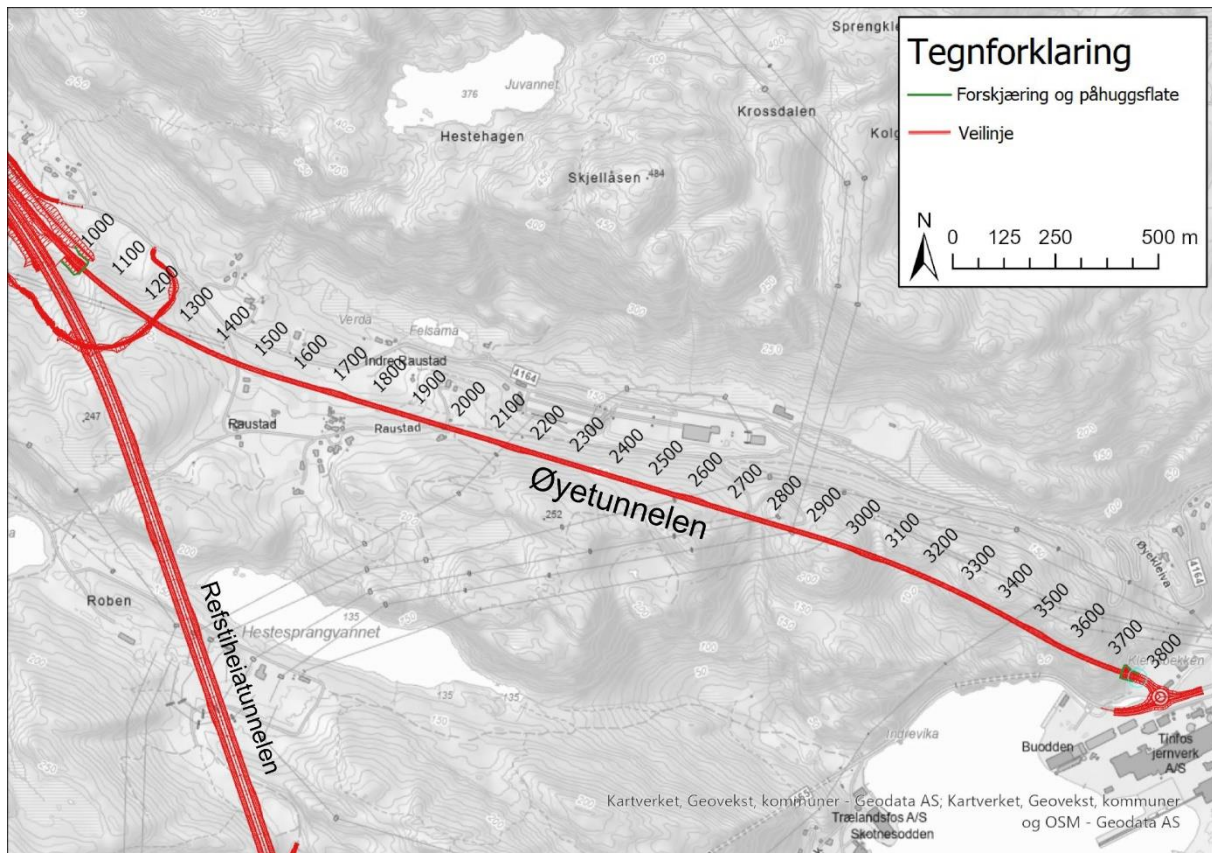


Det henvises til silingsrapporter, planprogram, prosjektrapport, konsekvensutredning, reguleringsplandokumenter og fagrapporter for ytterligere detaljert informasjon om prosjektet. Dokumentene kan finnes på nettsidene til Nye Veier, Lyngdal og Kvinesdal kommune.

## 2.2 Om rapporten

Denne rapporten gir en ingeniørgeologisk og hydrogeologisk vurdering av Øyetunnelen inkl. forskjæringer. Tunnelen har en planlagt lengde på 2718 m. Oversiktskart for tunnelen er vist i Figur 2-2.

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

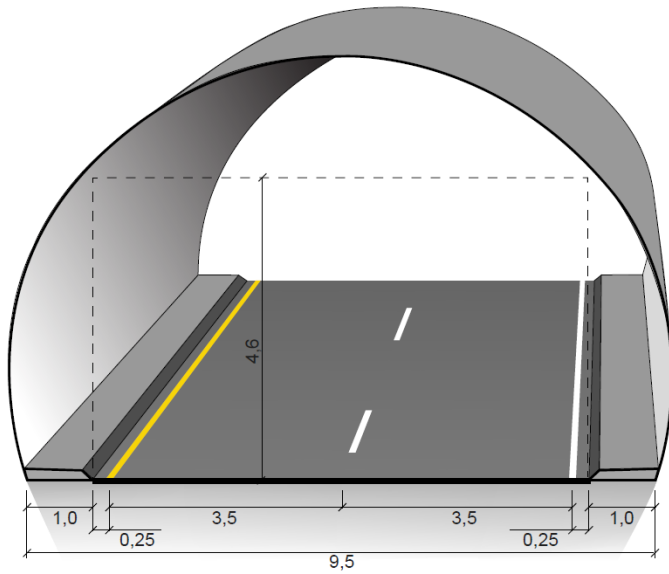


Figur 2-2: Oversiktskart over Øyetunnelen fra Øyesletta i øst til Frøymland i vest. Refstiheitunnelen nederst til venstre i oversiktskartet.

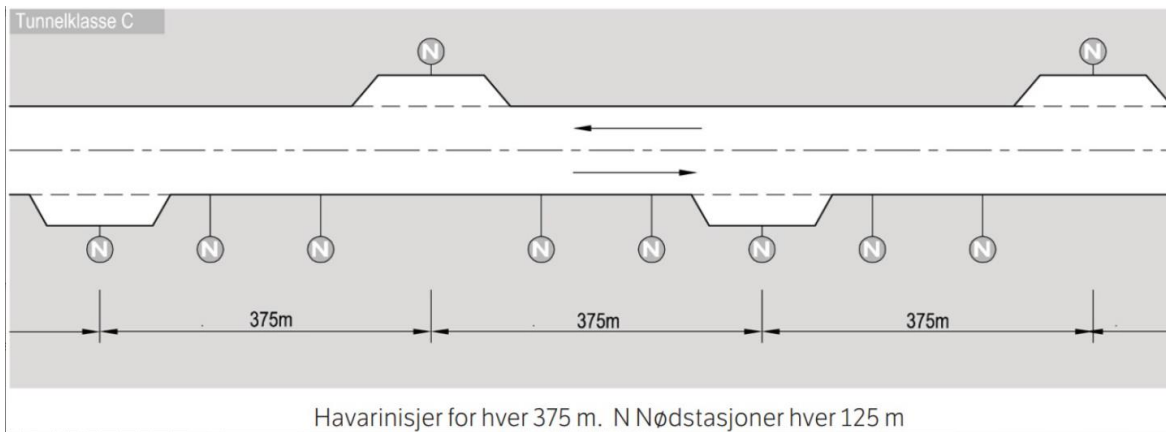
### 2.3 Trasévalg, linjeføring og tunneltverrsnitt

Geometrisk utforming, valg av tunnelklasser og trafikkberegninger er gitt i rapport for planleggingspremissar [1]. For tunneler langs tilførselsveier (dimensjoneringsklasse Hø1) legges det til grunn tunnelklasse C. Tunneltverrsnittet skal være T9,5 (Figur 2-3). Det er ikke krav til nødutganger fordi  $\text{ÅDT} < 8000$  og det er ikke krav om snunisjer fordi tunnellengden  $< 3$  km. Trafikkberegningene viser at dimensjonerende trafikkmengde er  $\text{ÅDT} = 2500$  med 14 % store kjøretøy i år 2050 [1].





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



Figur 2-4: Tunnelklasse C med havarinisjer og nødstasjoner [3].

## 2.4 Prosjekteringsforutsetninger/geoteknisk kategori

### 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 [4]
- Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering – Del 1 Allmenne regler NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2020 [5]
- NS-EN ISO 14689-1, Geotekniske felt- og laboratorieundersøkelser - Identifisering, beskrivelse og klassifisering av berg [6]
- Veileder til bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering [7]
- Statens vegvesen Vegnormal N500 – Vegtunneler (2022) [3]
- Statens vegvesen Veileder V521 Geologi og bergsikring i tunnel (2022) [8]
- Statens vegvesen Håndbok V225 Bergskjæringer (2020) [9]
- Statens vegvesen Vegnormal N200 Vegbygging (2021) [10]
- Statens vegvesen Håndbok R760 Styring av vegprosjekter (2019) [11]
- Statens vegvesen, Publikasjon nr 103. Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø [12]
- NGI, Bruk av Q-systemet. Bergmasseklassifisering og bergforsterkning [13]

### 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 NA.A1 i nasjonalt tillegg til NS-EN 1990 [4].

Veiledende eksempler for klassifisering av byggverk, konstruksjoner og konstruksjonsdeler	Pålitelighetsklasse <sup>2)</sup> (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 <sup>1)</sup>		(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, taktekking og lignende komponenter	x	(x)		
Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg ved enkle og oversiktlige grunnforhold <sup>1)</sup>	x	(x)		
Småhus, rekkehus, mindre lagerhus osv.	x			
Kaier og fortøyningsanlegg for sport og fritid	x			

<sup>1)</sup> Ved vurdering av pålitelighetsklasse for grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg skal det også tas hensyn til omkringliggende områder og byggverk.  
<sup>2)</sup> 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: Valg av prosjekteringskontrollklasse og krav til kontrollform ved prosjektering, tabell NA-A (902) i NS-EN 1990 [4].

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

### 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 [5]. I veileder til Eurokode 7 [7] 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 [7].

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 [7]

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

Tunnelen går under utmark med unntak av Raustad-området der det befinner seg noe spredt småhusbebyggelse og gårder. Her er det også en god del løsmasser og lite registrerte bergblotninger. Øst for Raustad er Nordned 1 strømrerteranlegg som har en avstand på ca. 50 m til tunnelen. Det er stort sett god overdekning for tunnelen. Ved påhugget i vest er det god kontroll på bergforhold og løsmasser. Ved påhugget i øst er det en god del usikkerheter knyttet til nøyaktig plassering av påhugg og lokal bergtopografi på grunn av urmasser som det er vanskelig å få gjennomført grunnundersøkelser i. I dette området vil det også bli nødvendig med omfattende skredsikring i ovenforliggende terreng på grunn av steinsprangfare.

Pålitelighetsklassen for tunnelen vurderes å være generelt i klasse 2 til 3, mens påhugg øst er i Pålitelighetsklasse 3. Vanskelighetsgraden er vurdert til middels.

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 i følgende:

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

For tunnelen/forskjæring 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 Vegnormal N200 [10]. 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 . 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.

Dimensjonerende trafikkmengde er beregnet til ÅDT=2500 [1]. Det er derfor lagt til grunn at Øyetunnelens påhuggs- og forskjæringsområder ikke skal ha større årlig nominell sannsynlighet for skred enn 1/50 (Tabell 2-5).

Tabell 2-5: Matrise som angir sikkerhetskrav for skredsannsynlighet på vei [10].

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

Påhuggsområdet ved Øye i øst ligger innenfor aktsomhetsområder jord-/flomskred, snøskred og steinsprang. Skredvurdering er utført ved hjelp av terenganalyser, klimaanalyse, befaringer i felt, modelleringer av skred og faglig skjønn. Skredvurdering er utført i egen fagrapport [14].

## 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. Øyetunnelen har ikke vært utredet i tidligere planfaser.

#### 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 [15]. 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) [16]. 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, Lindlandstunnelen og Feduheitunnelen) 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.

Sørøst for traséen på fv. 465 er det to tunneler, Lervikatunnelen og Kleventunnelen. Disse går gjennom samme bergarter som Refstiheitunnelen. Sweco har vært i kontakt med Statens vegvesen om å få oversendt grunnlag fra bygging av disse tunnelen. Per nå er det ikke mottatt dokumentasjon utover inspeksjonsrapporter.

Statnetts strømretteranlegg NorNed ligger lokalisert nord for planlagt trasé for Øyetunnelen. Anlegget har en tunnel som går ned mot Fedafjorden. Øyetunnelen vil krysse under denne tunnelen med en avstand på mer enn 50 m. Informasjon om denne tunnelen er gradert.

### 3.3 Andre prosjekter

NGU har utført skredfarekartlegging langs Fedafjorden [17], [18].

## 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 [19]
- Kvartærgeologisk kart fra NGU [20].
- Grunnvannsdatabase GRANADA fra NGU [21].
- Skredhendelser og aktsomhetskart fra NVE [22].
- Vegkart, database hos Statens vegvesen [23].
- Aktsomhetskart for Radon fra NGU [24].
- Nettbasert kartverktøy: «Norgebilder», «Norgei3D», «Norgeskart», «Google Maps».
- GEODATA – Grunnlagkart i WMS-løsning av tilgjengelige kartdata fra kartverket [25].
- Kart over naturtyper, miljøstatus fra Miljødirektoratet [26].

## 3.5 Utførte undersøkelser i reguleringsplanfasen

### 3.5.1 Feltarbeid

Det er gjennomført befaringer av Sweco i mai-august 2022 med ingeniørgeologisk kartlegging langs tunneltraséen og ved påhuggsområdene. ArcGIS programvare (Collector) med innlagt veilinje er anvendt på mobil/nettbrett i felt. Svakhetssoner, bergblotninger, bergarter og sprekkemålinger ble registrert. Sprekkekartlegging er utført med appen Clino.

Befaringene har blitt gjennomført i flere omganger av ingeniørgeologene Kristina Amdahl, Fredrik Aas, Morten Christiansen, Ingvild Sangesland og Magni Strøm Mausest.

Det er utarbeidet egen skredfarerapport for prosjektet som blant annet omtaler påhuggsområdet for Øyetunnelen i øst [14]. Det er gjennomført eget feltarbeid og kartlegging for skredrapporten.

### 3.5.2 Refraksjonsseismikk

Geomap har utført refraksjonsseismikk i perioden juli-august 2022. Det er utført målinger for å undersøke løsmassemektighet og bergkvalitet ved følgende steder:

- Påhugg vest, 3 profiler
- Raustad, 3 profiler
- Påhugg øst, ett profil

Se Vedlegg 1 for plassering av profiler med hastigheter og [27].



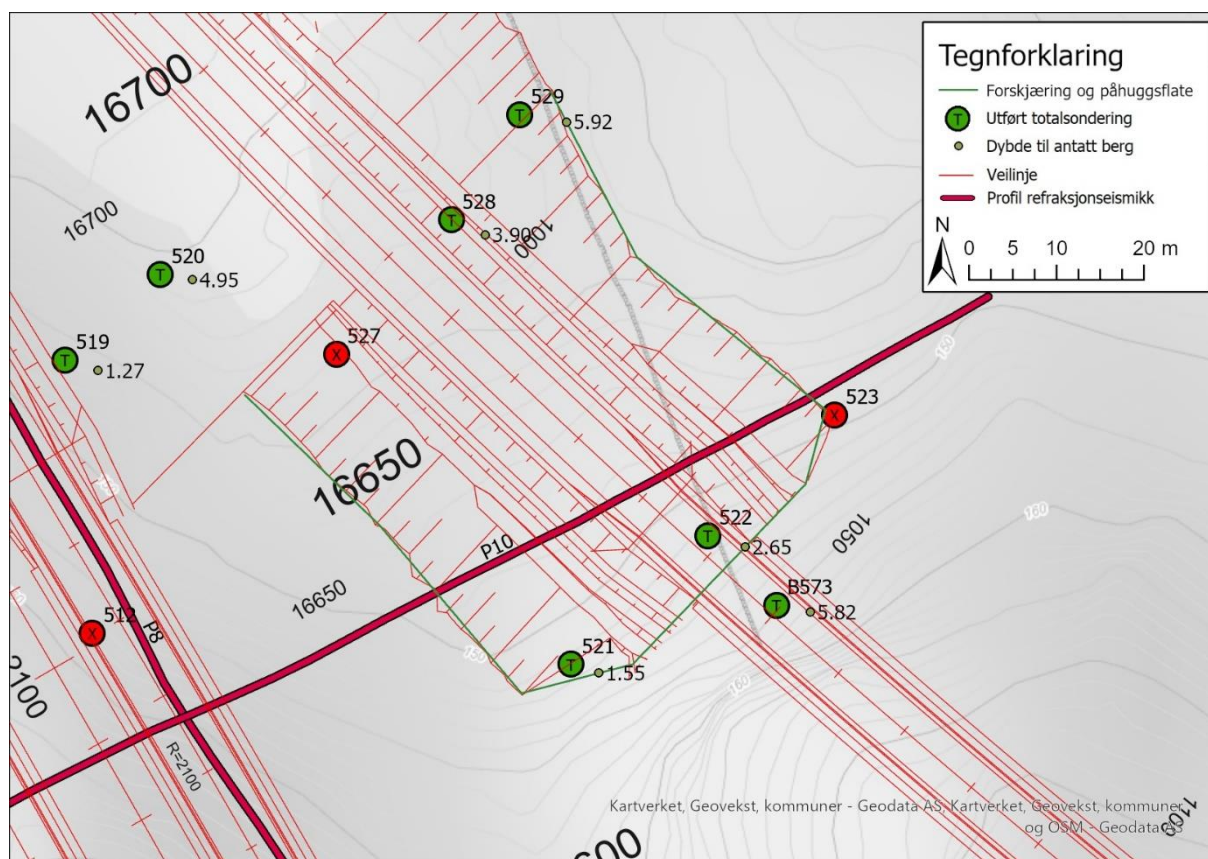
### 3.5.3 Totalsonderinger

Sweco har i 2022 utført totalsonderinger ved:

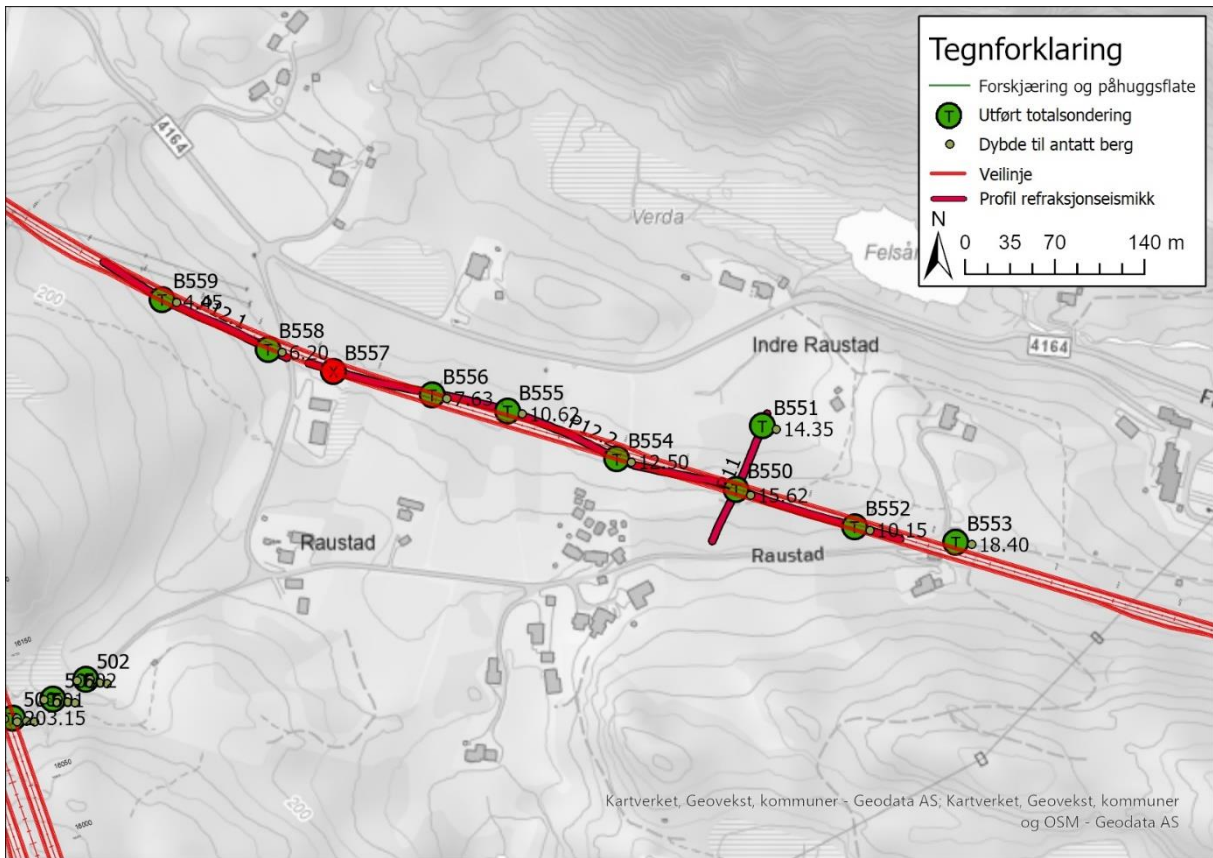
- Vestre påhugg og forskjæring.
- Raustad der det er lite/ingen bergblotninger. Boringene på Raustad er plassert på/nær utførte seismikklinjer for å bekrefte og kalibrere den refraksjonsseismiske tolkningen av bergoverflaten.

Boringene som er relevante for Øyetunnelen ble utført november/desember 2022. Utførte borpunkter er vist på tegninger V1400, V1401 og V1402 i Vedlegg 1, og i Figur 3-1 og Figur 3-2.

Mer detaljert informasjon om grunnboringene og løsmassenes egenskaper er gitt i geoteknisk rapport [28].



Figur 3-1: Oversikt over totalsonderinger ved påhugg vest.



Figur 3-2: Oversikt over totalsonderinger ved Raustad.

## 4 FAKTADEL

### 4.1 Topografi

Øyetunnelen er planlagt å gå fra Frøyland til Øyesletta med lengdefall på ca. 4,8 % mot øst. Tunnelen er orientert omtrent NV-SØ

Vestre påhugg ligger på profil 1050 ved Frøyland, i en slak skråning mot nordvest på 140 moh. Terrenget ved påhugget består av bergskrenter med tynne lag av løsmasser på topp av bergskrent. Rett over påhuggsflaten er terrenget bratt.

Fra vestre påhugg stiger overdekningen gradvis og ovenforliggende terreng er slakt og i stor grad løsmassedekket fram mot profil 2100. Mellom profil 2100 og 2800 øker overdekningen gradvis og traséen går under ei nordvendt skråning. Det er fremdeles mye løsmasser, antatt middels mektighet, fram til profil 2800. Ved profil 2800 er det et mindre søkk, før terrenget stiger opp til profil 3050 som markerer terrengets høyeste punkt over traséen på rundt 230 moh. Fra profil 2800 til østre påhugg er det dominerende med berg i dagen og tynne løsmassedekker. Videre er det et markant søkk mellom 3070 og 3170 med NNV-SSØ-orientering før terrenget stiger opp til ~190 moh ved profil 3400.

Fra profil 3400 og ned mot østre påhugg ved 3760 synker terrenget jevnt. Her er det bratt naturlig bergskrent ned mot påhuggsområdet.

Østre påhugg ligger ved bratt naturlig fjellskrent hvor det per i dag er grovblokkige urmasser, med enkeltblokker opp i mot 40 m<sup>3</sup>. Urmassene har en mektighet opp i mot 30 m basert på ett enkelt seismikkprofil. Ytterligere profiler var ikke gjennomførbare på grunn av sikkerhetsrisiko ved å bevege seg i ura samt praktiske utfordringer med plassering av sprengladninger for å få tolkbare resultater av seismikken.

Vestre forskjæring er ca. 55 meter lang med dobbeltsidig skjæring, som stiger fra 4 til 20 meters høyde i søndre side, og fra 5 til 20 meters høyde i nordre side. Nordre side er en lengre langsgående skjæring som fortsetter mot Frøyland-krysset med lav høyde, mens søndre side avbrytes av påhuggsflaten til Refstiheiattunnelen. Terrenget over forskjæringen er til dels bratt.

Østre forskjæring får en antatt kort dobbeltsidig forskjæring. Høyde og lengde er usikker pga. mye urmasser inn mot påhugget. Det blir en oppmot ca. 80 m bratt skråning ovenfor påhugget.

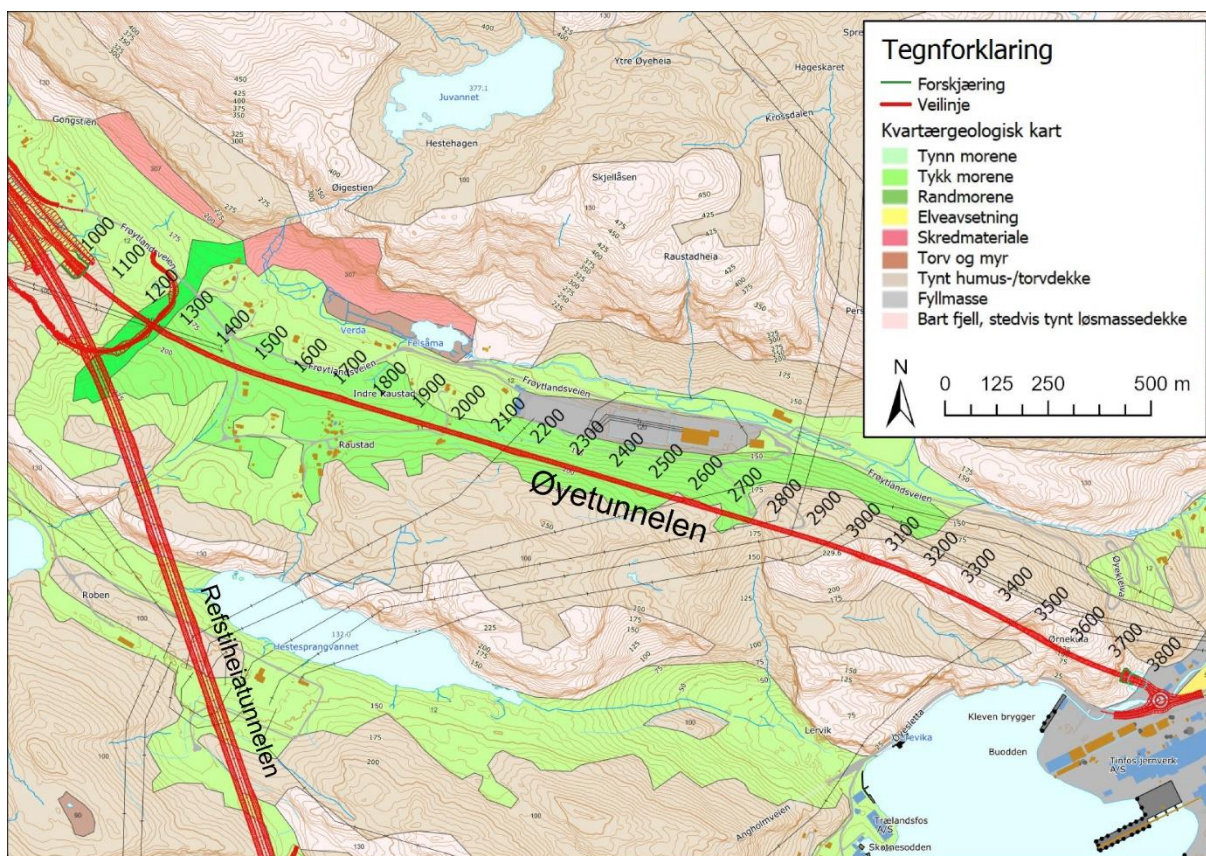
### 4.2 Kvartærgeologi og løsmasser

NGUs kvartærgeologiske kart [20] over området er vist i Figur 4-1. Kartet viser at terrenget over den østlige delen av tunnelen er dominert av bart berg med stedvis tynt

løsmassedekke, mens den midtre og vestlige delen av terrenget over tunnelen er dominert av morenemateriale med sammenhengende dekke over berggrunn. Ved vestre påhugg er det ei lomme med bart berg med stedvis tynt løsmassedekke.

I felt er det registrert at vestre påhugg er lagt inntil en bergskrent og det er tynt torvdekke mellom påhugget på profil 1048 og frem til ca. profil 1200. Videre mellom profil 1200 og 2350, er terrenget dekket av morenemateriale med til dels antatt stor mektighet, med ingen registrerte bergblotninger. Mellom profil 2350 og 2600 antas det å være noe tynnere morenedekke, før det mellom 2600 og 2750 er betydelig tynnere med jevnlig bergblotninger. I søkket mellom profil 2750 og 2800 er det ingen synlige bergblotninger, men fra 2800 og østover mot østre påhugg registreres det tynt torvdekke over berggrunn med jevnlig bergskrenter med synlig berg. Feltregistreringene bygger dermed stort sett oppunder NGUs kvartærgeologiske kart.

Ved østre forskjæring er det skredmasser/urmasser med mektighet på opp mot 30 meter i underkant av den bratte skråningen. Skred-/urmassene består av blokker med størrelser mellom 0,5 m<sup>3</sup> og ~40 m<sup>3</sup>.



Figur 4-1: Kvartærgeologisk kart [20]. Tynt torvdekke og bart berg over østre del av tunnel, morene over vestre del av tunnel.

### 4.3 Berggrunnsgeologi

Beskrivelsen av regionalgeologien i planområdet er basert på berggrunnskart fra NGU for området i målestokk 1:250 000, se Figur 4-2. Dette er basert på Torgeir Falkums sammenstilling av geologisk kartlegging utført av Falkum selv og andre geologer i årene 1964-1978. Sammenstillingen ble avsluttet i 1981 og er presentert på eget kartblad for Mandal, se Figur 4-3.

Det digitale berggrunnskartet fra [www.ngu.no](http://www.ngu.no) avviker noe fra kartbladet for Mandal, som det digitale berggrunnskartet er basert på. De to berggrunnskartene er i hovedsak like bortsett fra at det som er kartlagt som granittiske gneiser og øyegneis på Mandal kartbladet er betegnet som granodioritt på det digitale berggrunnskartet, samt at bergartsgrensen for båndgneis avviker noe mellom kartene. Registreringer i felt bekrefter at bergartene i området generelt er granittisk gneis og øyegneis, og ikke granodioritt.

Berggrunnsgeologien i områdene hvor Øyetunnelen er lokalisert, er dominert av grunnfjellsbergarter i gneis-migmatittkomplekset «Agderkomplekset», samt granittiske dypbergarter. Agderkomplekset består av de eldste bergartene i planområdet, herunder migmatittiske båndgneiser, granittiske gneiser og øyegneiser med mindre mengder av andre bergarter. Gneisgrunnet ble opprinnelig etablert i den første deformasjonsfase for ca. 2 milliarder år siden (Svekokarelske fjellkjededannelse), deretter fulgte en periode med strekk/avlastning, før en ny kompresjonsperiode startet med den Svekonorvegiske fjellkjededannelse (ca. 1200-850 millioner år siden).

De granittiske dypbergarter utgjør en gruppe granitter som er trent inn i de omgivende bergarter etter at deformasjonsbevegelsene er stanset (antatt 1000 millioner år siden). De fleste av granittene er yngre og udeformerte, de eldste kan være noe deformert og metamorfosert. I planområdet finnes større kroppar av granittene sør for Fedafjorden og nordvest for Kvinesdal.

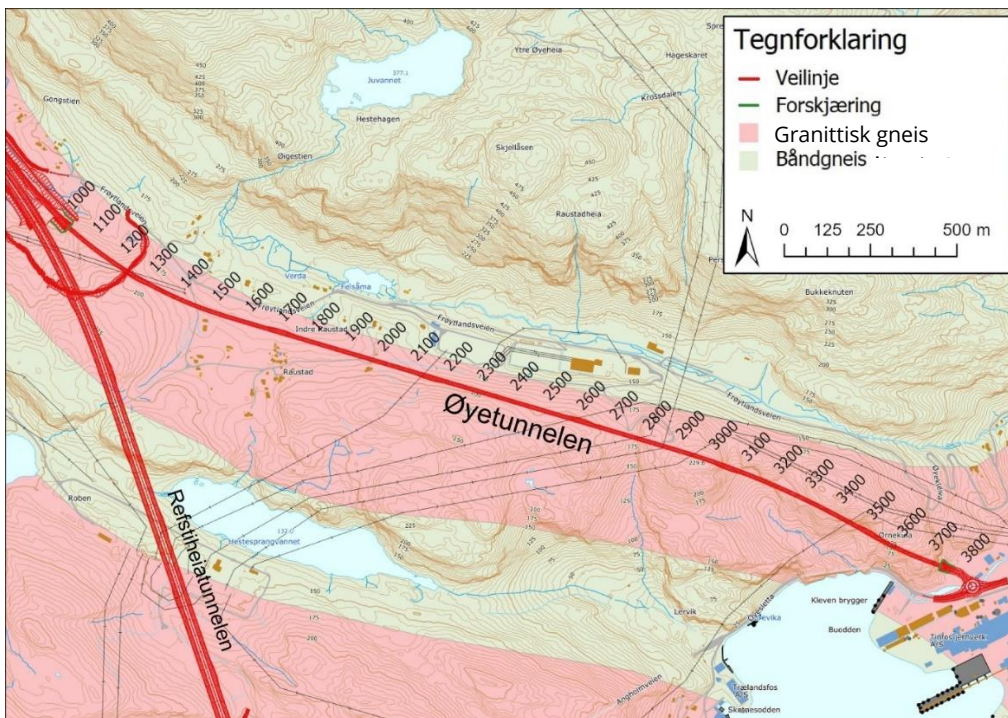
Blotningsgraden fra påhugget i vest og frem til ca. pel 2000 er lav. Det er løsmassedekke på store deler av strekningen som gjør bergartssammensetningen i traséen usikker. Fra ca. pel 2000 og til påhuggsområdet i øst ca. pel 3750 er det stort sett berg i dagen eller antatt tynt løsmassedekke. Her er det kartlagt granittisk gneis med tydelig foliasjon i felt på blotninger i og i nærheten av tunneltraséen. Feltkartleggingen stemmer derfor bedre overens med kartleggingen fra 1964-68 enn beskrivelsen i N250-kartet.

Foto av den granittiske gneisen i området er vist på Figur 4-4. Bergmassen er lys og fremstår som frisk og lite preget av overflateforvitring. Det er ikke registrert oppknuste soner eller plan med sprekkefyll. Ellers registreres krystallene i felt å være fra fine til middelskornede i størrelse med lokale variasjoner. Bergmassen er preget av tre sprekkesett hvorav det ene er foliasjon. Foliasjonen er synlig i bergblotningene gjennom

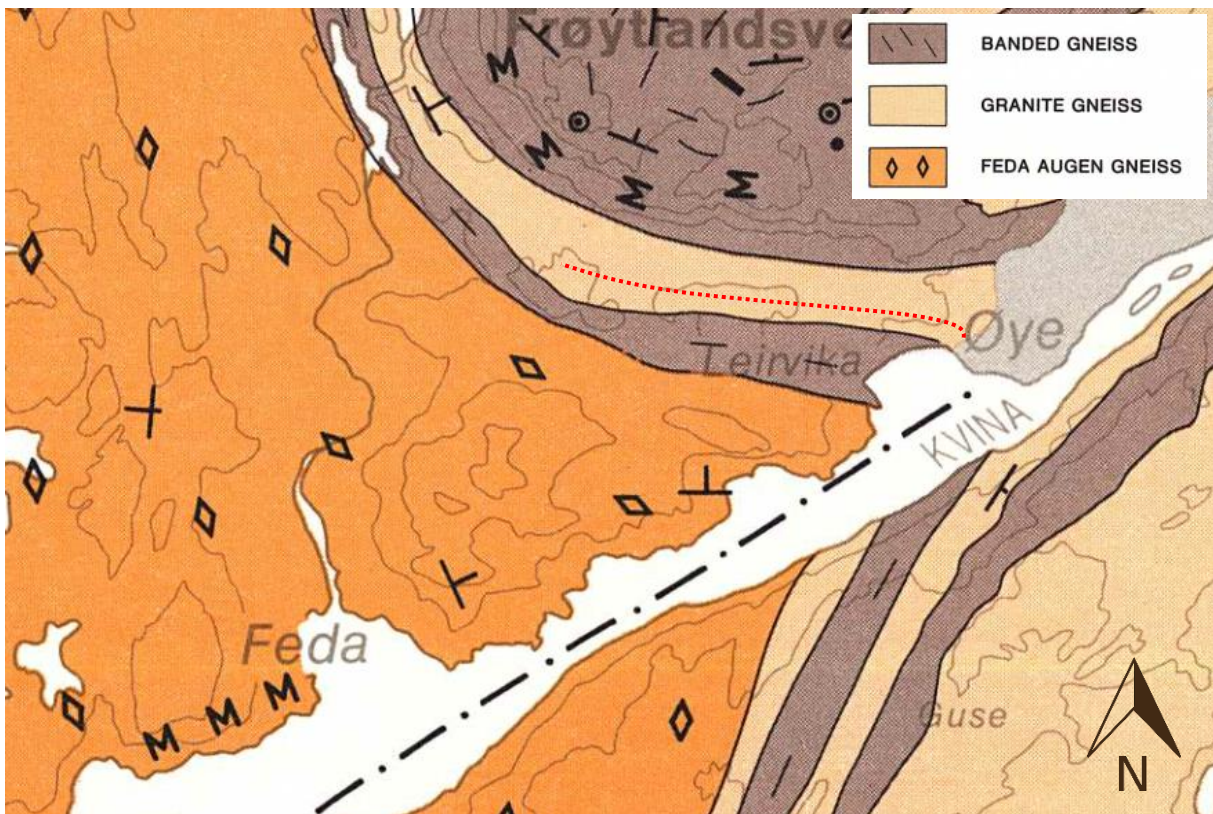
hele traséen, men det varierer om foliasjonens sprekkesett er utpreget i bergblotningene. Bergmassen fremstår ellers i stor grad som grovblokkig eller massiv med lite sprekker, med lokale mindre variasjoner i fremtoning.

Det er også registrert en enkelt bergblotning hvor bergmassen er kartlagt som øyegneis i nærheten av vestre påhugg, men øyestrukturene er ikke så utpregede annet enn at det kan være en mer grovkornet granittisk gneis. Det er derfor valgt å la dette vises som granittisk gneis på ingeniørgeologisk kart i Vedlegg 2, tilsvarende som NGU sitt kart.

Det er ikke registrert grus- og pukkforekomster i nærheten av traséen [29].



Figur 4-2: Berggrunnskart N250 [30].



Figur 4-3: Utsnitt av geologisk kart over Flekkefjordområdet, sammenstilt fra [31]. Omtrentlig plassering av Øyetunnelen vist med rød stiplet strek.



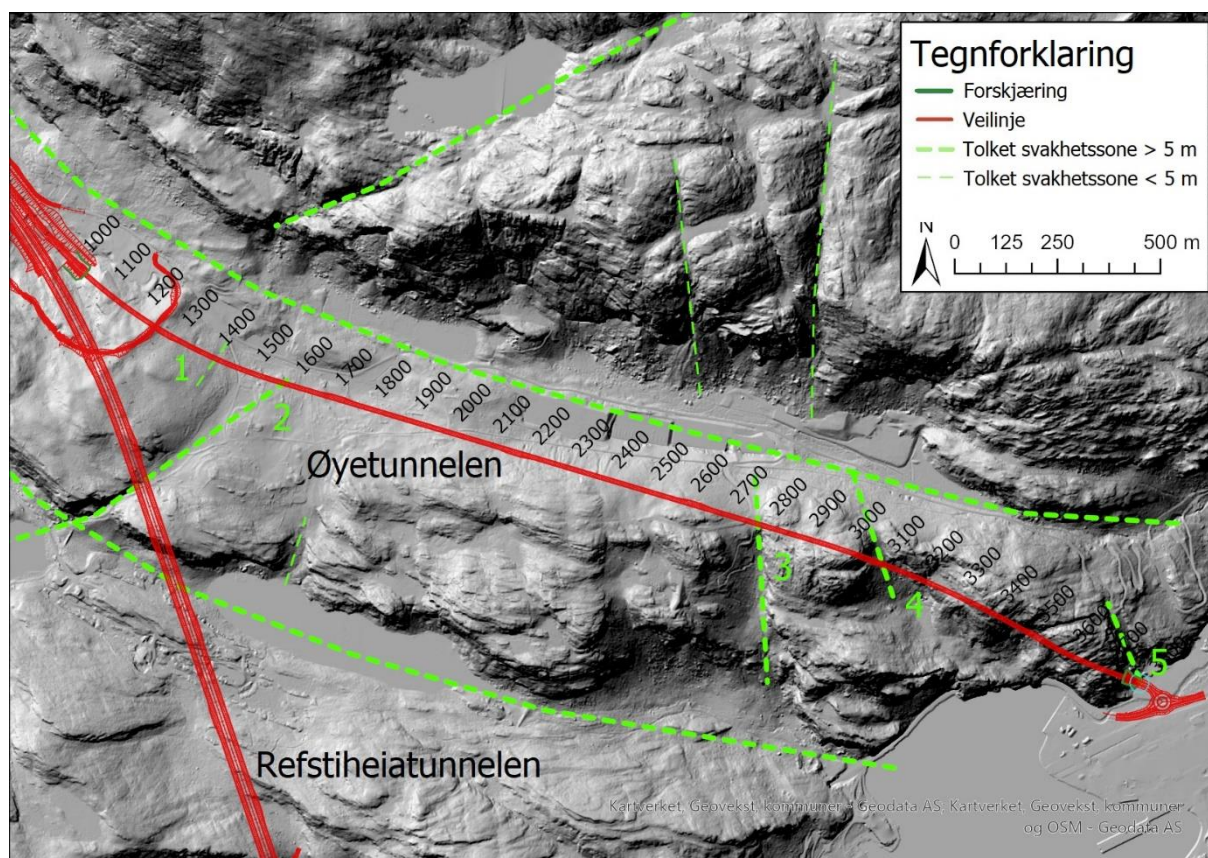
Figur 4-4: Blotning av granittisk gneis ved traséen.

## 4.4 Strukturgeologi

### 4.4.1 Lineamenter

Det er utført lineamentstudier i området ved hjelp av skyggekart, topografiske kart og befarings. Detaljer om tolkede lineamenter over og ved tunneltraséen vises i Figur 4-5. Topografien i området er preget av to antatt store svakhetssoner orientert NV-SØ med antatt fall mot nordøst. Øyetunnelen er plassert langs en rygg mellom de to svakhetssonene og krysser ikke sonene. Lineamentene som krysser Øyetunnelen er orienterte NNØ-SSV i den vestre delen av traséen, og orienterte NNV-SSØ i den østre delen av traséen. Den ene krysser rett ved østre påhugg.

Lineament 1 er ikke registrert i felt eller og er ikke synlig på skyggerelieffkart, men tolket fra refraksjonsseismikk. Seismikken viser en sone på rundt 10 m bredde under løsmassene. Lineament 2 er ikke synlig i topografien over tunneltraséen, men det er utført registreringer for lineament 2 over Refstiheitunnelen. Lineament 3 hadde ikke tilgjengelig sideberg i felt. Sideberget til lineament 4 ble registrert til å ha et fall på 82° mot VSV i felt. Vestre sideberg til lineament 5 utgjør steil bergvegg i overkant av påhugg, her er det registrert et steilt fall på 80°.



Figur 4-5: Kartlagte lineamenter i området over Øyetunnelen. Hvert kryssende lineament er nummerert fra 1 til 5.



#### 4.4.2 Strukturer, foliasjon, skifrihet og oppsprekking

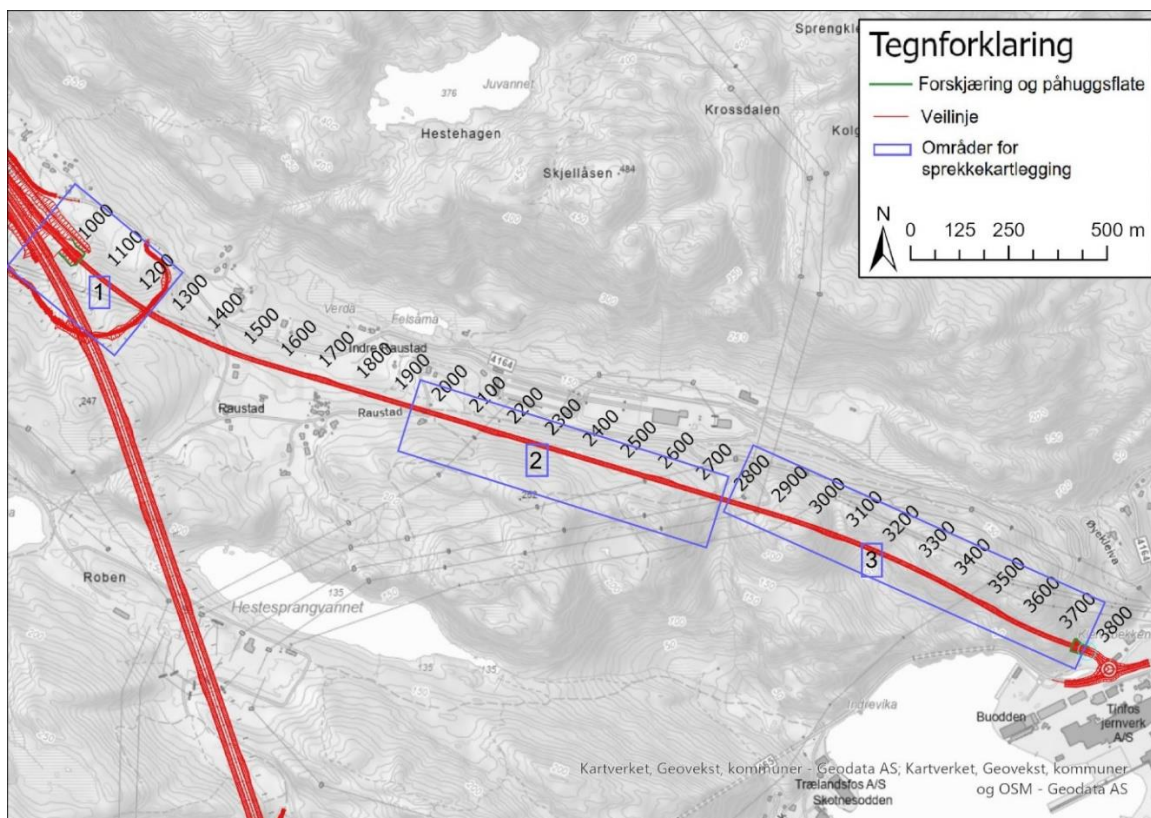
Det er utført sprekkemålinger langs hele traséen i flere omganger, med unntak for området ved Raustad som er løsmassedekket. Sprekkemålingene er utført på naturlige bergblotninger, samt i sprengte skjæringer. Konturplott og sprekkeroser for de ulike områdene vist i Figur 4-6 er samlet i vedlegg 1. Sprekkeflatene er stort sett registrert med appen Clino i tillegg til enkelte målinger med kompass, og RocScience Dips er brukt for sammenstilling av sprekkeanalyse.

Registreringene viser at foliasjonsretningen er stort sett den samme i hele området. For øvrig er det i hovedsak steiltstående sprekker med varierende strøketretninger, se Tabell 4-1.

Det er ikke gjort noen registreringer av sprekkefyllinger på sprekkeflatene, men dette kan være utvasket. Ved flere lokasjoner er sprekkeflatene bølgete, og det er ingen registreringer av glatte sleppeplan.

Tabell 4-1: Kartlagte sprekkesett, alle registreringer for tunnelen.

Sprekkesett nr.	Strøk	Fallvinkel	Sprekke-avstand	Sprekkeruhet	Sprekkestilstand
<b>1 (foliasjon)</b>	287°	37°	0,2 - 1 m	Bølgete, ru	Til dels gjennomsettende med stor utholdenhet. Fra 0 - 5 cm sprekkeåpning. Ingen registrert sprekkefylling.
<b>2</b>	58°	81°	0,5 - 3 m	Bølgete, ru	Gjennomsettende sprekker ved påhugg øst. Ikke synlig belegg.
<b>3</b>	155°	85°	0,1 - 3 m	Bølgete og plane, ru	Ikke synlig belegg. Gjennomsettende og utholdende ved påhugg øst, ellers antatt lite utholdende.



Figur 4-6: Områdeinndeling for sprekkeregistreringer over Øyetunnelen.

Den vestre delen av traséen har sammenfallende sprekkesett med tolkede sprekkesett for hele traséen. Bergmassens oppsprekking i området er vist i Tabell 4-2. Bergmassen er preget av tre hovedsprekkeretninger.

I traséens midtre del er foliasjonsplanet nokså likt orientert som for resten av traséen, men noe mer rett mot nord. Utenom foliasjonsplanet er sprekkesystemene tilsynelatende noe ulikt fra resten av traséen, se stereografisk polplott i vedlegg 1.

Sprekkesett 2 har et steilt fall og en orientering som tilsvarer sprekkesett 3 for hele tunnelen dersom settet har undulert rundt vertikalen. Det er ikke gjort direkte registreringer i felt for sprekkesett 2, men sprekkesettet antas å ha tilsvarende egenskaper som sprekkesett 3m for hele traséen.

I den midtre delen av traséen (Tabell 4-3) er ikke det steile sprekkesettet med fall mot sørøst registrert. Sprekkeregistreringene er i hovedsak gjort noe sør for traséen, da terrenget direkte over traséen i stor grad er dekket av løsmasser med ulik mektighet.

I traséens østre del (Tabell 4-4), mot påhugg ved Øyesletta, er det store deler av strekningen synlig tre sprekkesett, til dels to sprekkesett + sporadiske. Noe utenfor traséen er det registrert plane, glatte sprekker, mens over traséen er sprekke

registrerte som varierende mellom bølgete og plane, og ru. Sprekker i påhuggsvegg skaper til dels store blokker med baksprekk parallelt med bergvegg.

Tabell 4-2: Sprekkeregistreringer ved område 1, vestre del av tunnelen inkl. påhugg (profil 1045 – 1200).

Sprekkesett nr.	Strøk	Fallvinkel	Sprekke-avstand	Sprekkeruhet	Sprekkestilstand
1 (foliasjon)	295	32°	0,5 – 1 m	Bølgete, ru	Ikke synlig belegg
2	33	79°	0,5 – 3 m	Bølgete, ru	Ikke synlig belegg
3	123	72°	0,5 – 3 m	Bølgete og plane, ru	Ikke synlig belegg

Tabell 4-3: Sprekkeregistreringer ved område 2, midtre del av tunnelen (profil 1200 – 2800).

Sprekkesett nr.	Strøk	Fallvinkel	Sprekke-avstand	Sprekkeruhet	Sprekkestilstand
1 (foliasjon)	272	40°	0,2 – 1 m	Bølgete og plane, ru	Ikke synlig belegg. Opptil fem cm sprekkeåpning på enkeltsprekker.
2	338	81°	0,1 – 3 m	Bølgete og plane, ru	Ikke synlig belegg

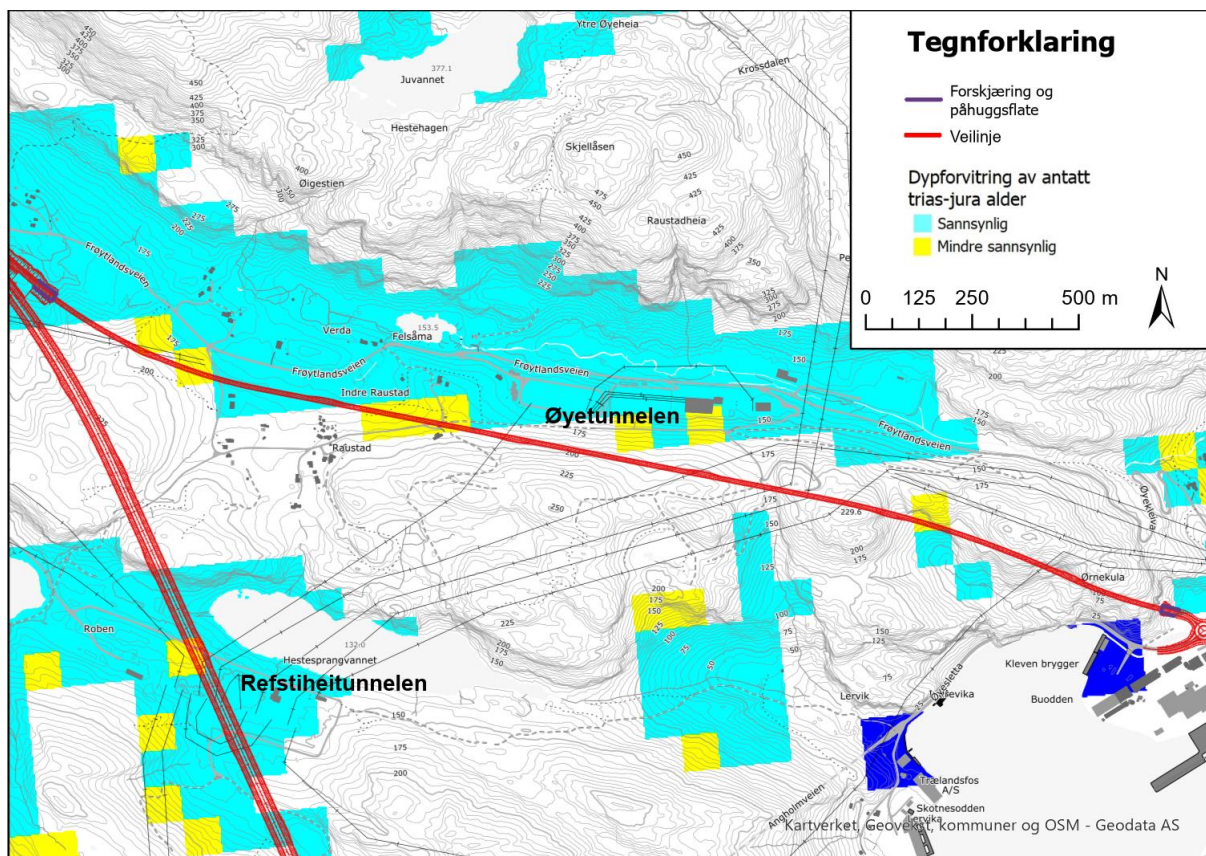
Tabell 4-4: Sprekkeregistreringer ved område 3, østre del av tunnelen inkl. påhugg (profil 2800 – 3760).

Sprekkesett nr.	Strøk	Fallvinkel	Sprekke-avstand	Sprekkeruhet	Sprekkestilstand
1 (foliasjon)	292	41°	0,15 – 2 m	Bølgete og plane, ru	Ikke synlig belegg
2	62	79°	0,5 – 5 m	Undulerende, ru	Gjennomsettende sprekker parallelt med bergvegg ved påhugg. Ikke synlig belegg.
3	167	78°	1 – 5 m	Plane, ru	Ikke synlig belegg. Gjennomsettende.

#### 4.4.3 Dypforvitring

Det foreligger et aktsomhetskart for dypforvitring for Sør-Norge [31]. Sonene som viser sannsynlig dypforvitring er vist i Figur . I følge kartet indikerer de geomagnetiske målingene at det sannsynligvis er dypforvitring i området rundt Hestesprangvannet og i dalsøkket på nordsiden av Øyetunnelen (langs Frøytlandsveien). Under feltbefaringene er

det ikke gjort observasjoner av dypforvitring, men dette er vanskelig å observere i felt da slike soner ofte er dekket med løsmasser i terrenget.



Figur 4-7. Kart over mulig dypforvitring [31].

## 4.5 Påhuggsområder og forskjæringer

### 4.5.1 Påhugg og forskjæring vest

Påhugget er planlagt i en bergrygg som er orientert ca. parallelt med tunnelaksen (NV-SØ). Påhugget er planlagt ved pel 1045. Over påhuggsområdet er det begrenset med bergblotninger, og terrenget over tunneltraséen i nærheten av påhuggsområdet er dekket av spredte trær og busker (Figur 4-8).



Figur 4-8: Påhugg vest, utklipp fra innsynsmodell. Påhuggsflate til Refstiheitunnelen er synlig til høyre.

Ved planlagt påhugg er det registrert berg i dagen i brattskrenten rett bakenfor. I underkant av brattskrentene er det noe løsmasser og urblokker. Totalsonderinger 522 og B573 viser tolket dybde til berg på hhv. 2,5 og 5,5 m. Nordøst for brattskrenten ved pel 1055 er det løsmassedekke og ikke registrert berg i dagen. I felt er det registrert tynt torvdekke mellom påhugget på profil 1045 og frem til profil 1150. Videre mot sørøst er det utført snauhogst (Figur 4-9).

I bakkant av brattskrentene er terrenget stort sett slakt hellende 10-25° ifølge helningskart. Påhuggsområdet ligger ikke innenfor aktsomhetsområder for skred ifølge NVE [22].

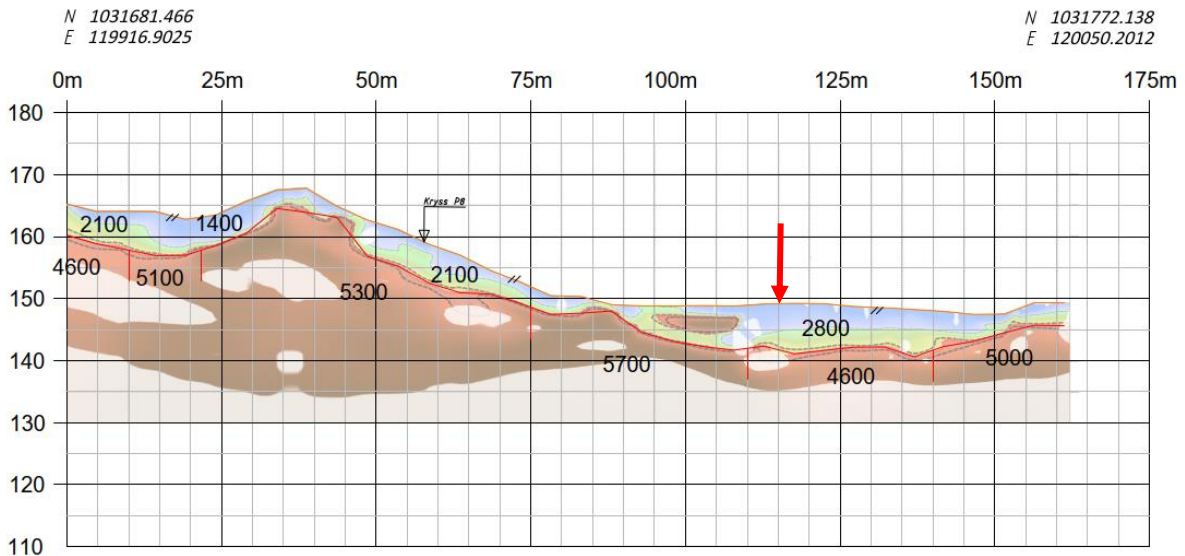


*Figur 4-9: Bilde tatt mot nordvest, mot påhuggsområdet som ligger i underkant av skrentene sentralt i bildet. Bildet viser blokkmark/morene, og det er ikke registrert berg i dagen direkte over tunneltraséen fra pel 1050 og sørover.*

Det er utført tre refraksjonsseismiske profiler i nærheten av påhugget, P8-10. P10 krysser ca. normalt på veilinjens ca. 15 m NV for planlagt påhugg for Øyetunnelen. I tillegg er det utført en del totalsonderinger i området, se tegning V1405 og Figur 3-1.

Tolkning av refraksjonsseismikken tyder på at løsmasseemektigheten ca. 15 m nordvest for påhugget er ca. 5-8 m i senterlinjen av veien (Figur 4-10). Bergmassen (brun farge) har tolket lydshastighet ca. 4600-5700 m/s, og løsmassene over bergoverflaten antas å bestå av jord/løst lagrede masser (blåfarge) over hardpakket morene/ur, eventuelt oppsprukket dagsoneberg (grønnfarge).

## P10



Figur 4-10: Refraksjonsseismisk tolkning P10. SV-ende av profilet er til venstre. Ca. plassering av senterlinje vei NV for vestre påhugg for Øyetunnelen er vist med rød pil.

Det er registrert berg i dagen i påhuggsområdet (Figur 4-11). Bergmassen er kartlagt som granittisk gneis, og det er registrert tre sprekkesett. To av settene er steile og stryker ca. normalt på og parallelt med tunnelaksen. I tillegg er det registrert oppsprekking langs foliasjonen som danner de mosedekte hyllene i skrenten.

Høydeforskjellen mellom ferdig vei og terreng i forskjæringen er i underkant av 20 m på det meste. Utforming/normalprofil av forskjæringene følger normalprofilen slik det er definert langs veiene for øvrig.

Det er ikke registrert vann/bekkefar eller vesentlige svakhetssoner i påhuggsområdet.



Figur 4-11: Påhuggsområdet sett fra sør mot nord.

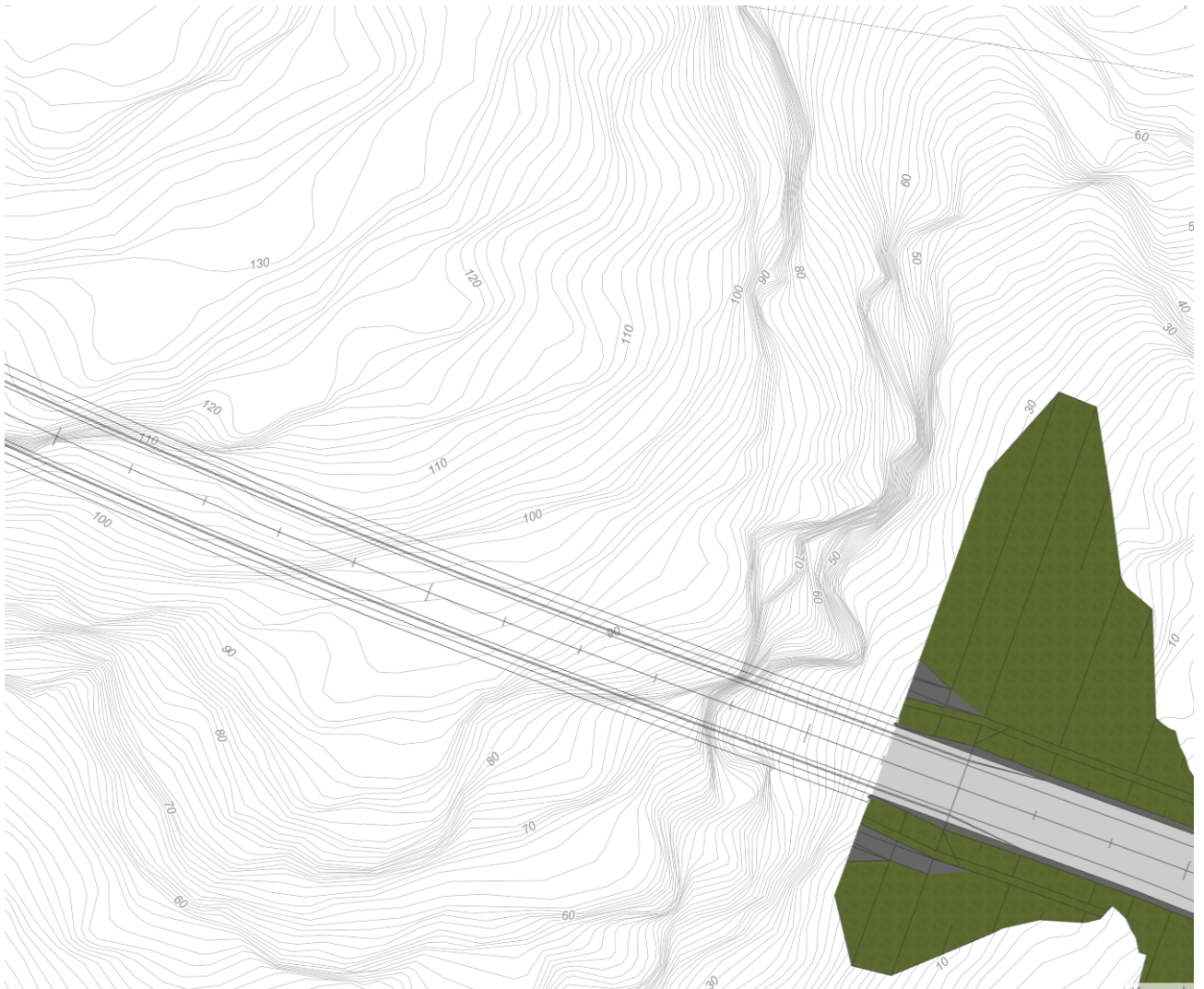
#### 4.5.2 Påhugg og forskjæring øst

Påhugget er plassert under en nær vertikal, østvendt bergskrent, se Figur 4-13. Planlagt plassering av påhugget er ca. pel 3760 (Figur 4-14). På østsiden av skrenten er det en løsmassefylt forsenkning orientert ca. NNV-SSØ som antas å representere en svakhetssone.

Sålenivå for tunnelen er ca. på kote 6 i påhuggsområdet. Terrenget ovenfor påhugget stiger opp til ca. kote 100 før det slaker ut noe mot nordvest over påhuggsområdet. Videre mot nordvest stiger terrenget opp mot maksimal høyde på ca. kote 200 rundt pel 3350 - 3420. På nordsiden av påhugget stiger terrenget bratt opp til ca. kote 60-70 før det slaker noe ut og stiger videre oppover mot ca. kote 100 ved Frøytlandsveien.

I underkant av skrenten er det urmasser med til dels store blokker. Blokker opp mot estimert ca. 40 m<sup>3</sup> er observert i felt. I forbindelse med skredfarekartleggingen er det registrert at blokkene i ura fremstår som mosegrodde i nedre del, men at det er noe mindre vegetasjon i øvre del.





Figur 4-12: Forskjæring og påhugg øst for Øyetunnelen, ved Øyesletta.



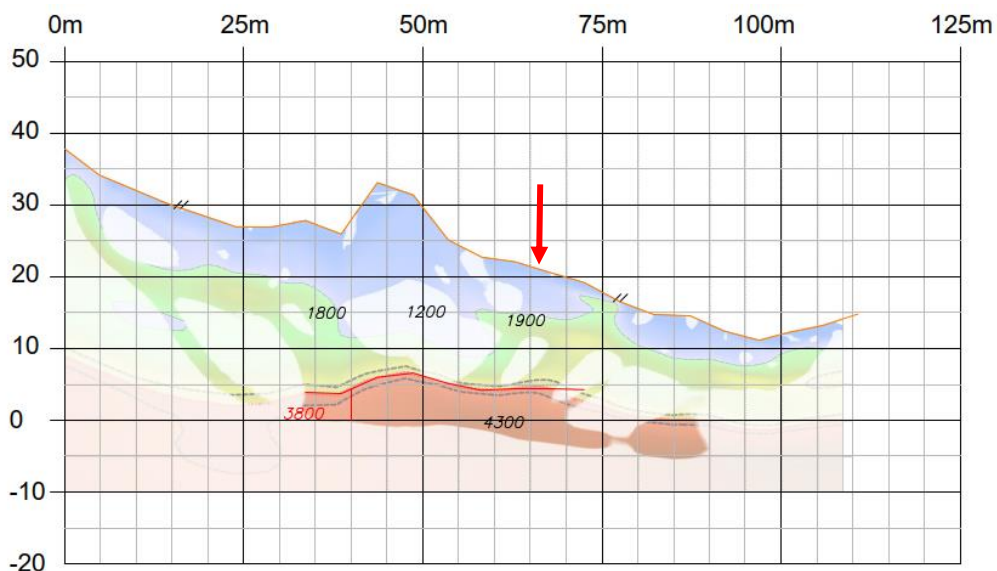
Figur 4-13: Forskjæring og påhugg øst for Øyetunnelen, ved Øyesletta. Utklipp fra modell.

Det er utført ett refraksjonsseismisk profil i ura. Plassering av profilet er vist på tegning V1404 og 1406, og tolket profil er vist i Figur 4-15. I de sentrale delene av profilet kan berggrunnen lokaliseres på ca. kote 5, noe som gir en mektighet av ura på over 30 m. På kantene av profilet er bergoverflaten ikke avdekket, noe som ifølge utførende trolig tyder på at den ligger dypere. Ytterligere detaljer er gitt i vedlegg 2.

Det er ikke vurdert som mulig med totalsonderinger i ura på grunn av vanskelig tilkomst for rigg. Dessuten er det praktiske vanskeligheter med å tolke forskjellen på store blokker og bergnivå ved boring i grov ur som kan gjøre resultatene usikre.



Figur 4-14: Påhuggsområdet i øst. Bilde tatt mot nordvest. Det løsmassefylte søkket går oppover til høyre i bildet.



Figur 4-15: Refraksjonsseismisk profil P5. 0 m (til venstre) er lengst nord. Pilen indikerer plassering av senterlinjen for veien i området.

Omfang og høyde av forskjæring/påhuggsflate avhenger av faktisk bergtopografi under urdekket. Det er berg i dagen rundt ca. pel 3740. Videre er det målt berg i ca. kote +5 rundt pel 3770.

Slik det ser ut basert på observasjoner og seismikkprofilen later det til at det blir kombinerte løsmasse- og bergskjæringer inn mot antatt påhuggplassering ved ca. pel 3760. Skjæringer i urmassene legges på helning maksimalt 1:1,5. Bergskjæringene antas å følge normalprofilen med pallhøyder på inntil 10 m. Fordelingen berg/løsmasse er usikker i området.

Påhuggsområdet ligger innenfor aktsomhetsområde for skred (flere skredmekanismer). Det er derfor utført egen skredfarevurdering for området [14].

#### 4.6 Bergmekaniske egenskaper

Det er ikke utført tester på bergprøver langs tunneltraséen. Tunnelen går gjennom granittisk gneis. Det gis i det følgende erfaringstall fra tilsvarende bergart andre steder.

Borbarhet er definert ved indeksene DRI (Drilling Rate Index, borbarhetsindeks) og BWI (Bit Wear Index, borslitasjeindeks). Avhengig av testresultat klassifiseres bergarten i kategorier fra 'ekstremt lav' til 'ekstremt høy'. Sprengbarhet beskrives ved sprengbarhetsindeksen, SPR. Indeksen er et mål på sprengstofforbruk (kg/m<sup>3</sup>) for å oppnå en gitt fragmentering ( $d_{50} = 270$  mm). SPR-skalaen til bergarten fastsettes som god, middels eller dårlig [32].

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
- Kulemølle – Evne til å motstå piggdekkslitasje
- Flisighet – Kornform

I to doktoravhandlinger fra 1998 [33] og 2009 [34] er det gitt testverdier (DRI, BWI, SPR) for granittisk gneis fra andre prosjekter rundt i landet, se Tabell 4-5 og Tabell 4-6

I følge [32] har granittiske gneiser i Skandinavia gjennomsnittlige verdier for UCS og E-modul på hhv. 89 MPa og 29 Gpa (basert på 5 tester).

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.

I NGU sin pukkdatabse er det registrert ressurser mellom Flekkefjord og Fedafjorden, se Figur 4-16. Tester på bergartene ved disse ressursene er oppsummert i Tabell 4-8.

Tabell 4-5. Tester for DRI/BWI hos SINTEF for andre prosjekter [33].

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
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

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

	LA	MDE	Fl	Anmerkning	Bergart
Vatland tunnel vest	(32)	10,3	Fl <sub>20</sub>	Lab.pukket	Usikkert, Granittisk gneis- amfibolitt gneis
Vatland tunnel vest	(36)	13,3	Fl <sub>20</sub>	Prøveknust i Lyngdal	
Vatland tunnel vest	(42)	33,3	Fl <sub>20</sub>	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	Fl <sub>20</sub>	Lab.pukket	Usikkert, Granitt- amfibolitt gneis
Vatland tunnel øst	(43)	15,0	Fl <sub>20</sub>	Prøveknust i Lyngdal	
Vatland tunnel øst	30	19,2	Fl <sub>20</sub>	ferdigknust 0-32 fraksjon PEL 16400-16800	
Vatland tunnel øst	31	22,9	Fl <sub>20</sub>	ferdigknust 0-32 fraksjon PEL 17100	
Teistedalstunnelen	(40)	18,2	(7)	Lab.pukket	Øyegneis
Fedaheitunnelen	49	18,2	Fl <sub>20</sub>	Lab.pukket	
Fedaheitunnelen	50	30,1	Fl <sub>20</sub>	ferdigknust 0-32 fraksjon PEL 24700	
Fedaheitunnelen	33		Fl <sub>20</sub>	ferdigknust 0-32 fraksjon (NBTL)	
Fedaheitunnelen	44		Fl <sub>20</sub>	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

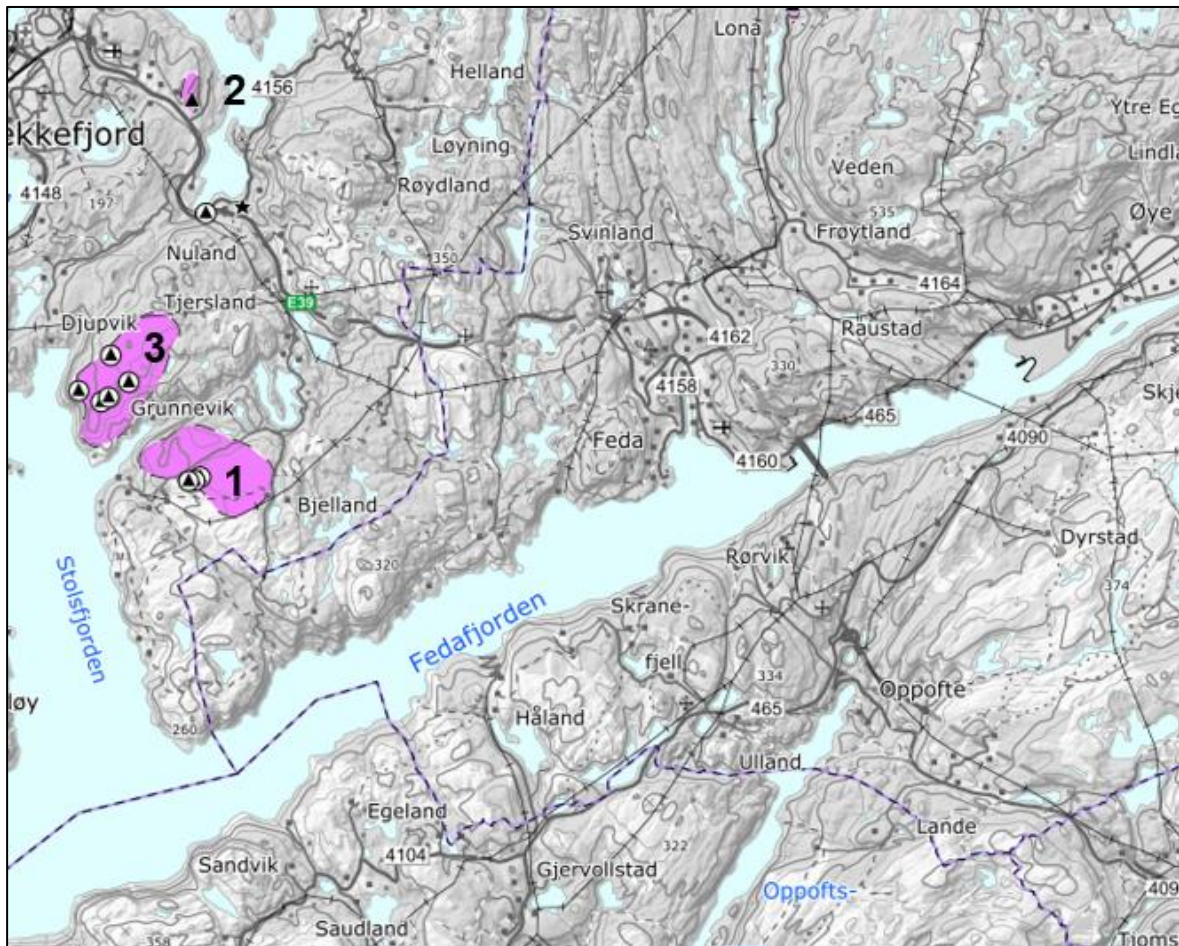
\* Gult oppfyller krav til forsterkningslag i trafikkgruppe B-F i N200:2022

\* Bergart er basert på kartleggingsskjema fra OPS E39LF.

Tabell 4-8: Resultatet av prøvemateriale fra pukkverk nord for Fedaffjorden. Nr. viser til forekomst i Figur 14.

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)

Nummer viser til forekomst i Figur 4-16.



Figur 4-16: Grus- og pukkforekomster i området [35].

## 4.7 Bergartenes syredannende og radon-egenskaper

### 4.7.1 Sulfidholdige bergarter

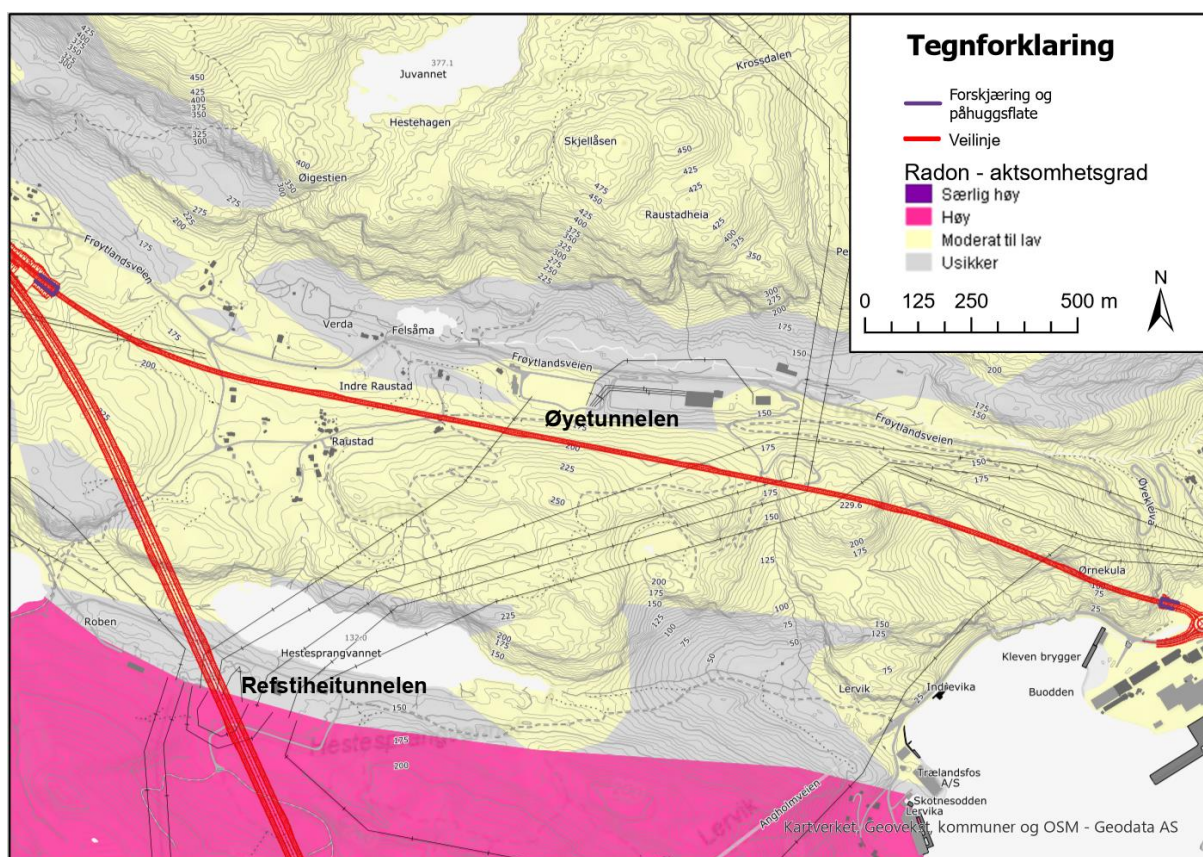
Sulfider er forbindelser mellom metaller og svovel. Vanligste sulfidmineral er jernsulfider som svovelkis (pyritt) og magnetkis (pyrrhotitt). Sulfidene kan ved forvitring danne en sterk syre og utlekking av tungmetaller. Sulfidførende bergarter kan derfor føre til forurensning ved utsprenkning.

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.

Tunnelen er antatt å ligge i granittisk gneis i sin helhet. Dette er en bergart som erfaringsmessig ikke vurderes som typisk problembergart med hensyn til syredannende egenskaper. Det er heller ikke registrert rusten gneis i felt, men det må tas forbehold om at ca. halvparten av traséen har lav blotningsgrad. I tillegg vil eventuelle sulfidsoner være uteroderte og igjenfylt med løsmasser, noe som typisk gjør de vanskelig å kartlegge i jomfruelig terreng.

#### 4.7.2 Radonholdige bergarter

Det nasjonale aktsomhetskartet for radon [24] 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 indikerer at det er moderat til lav fare for radon i Øyetunnelen (Figur 4-17).



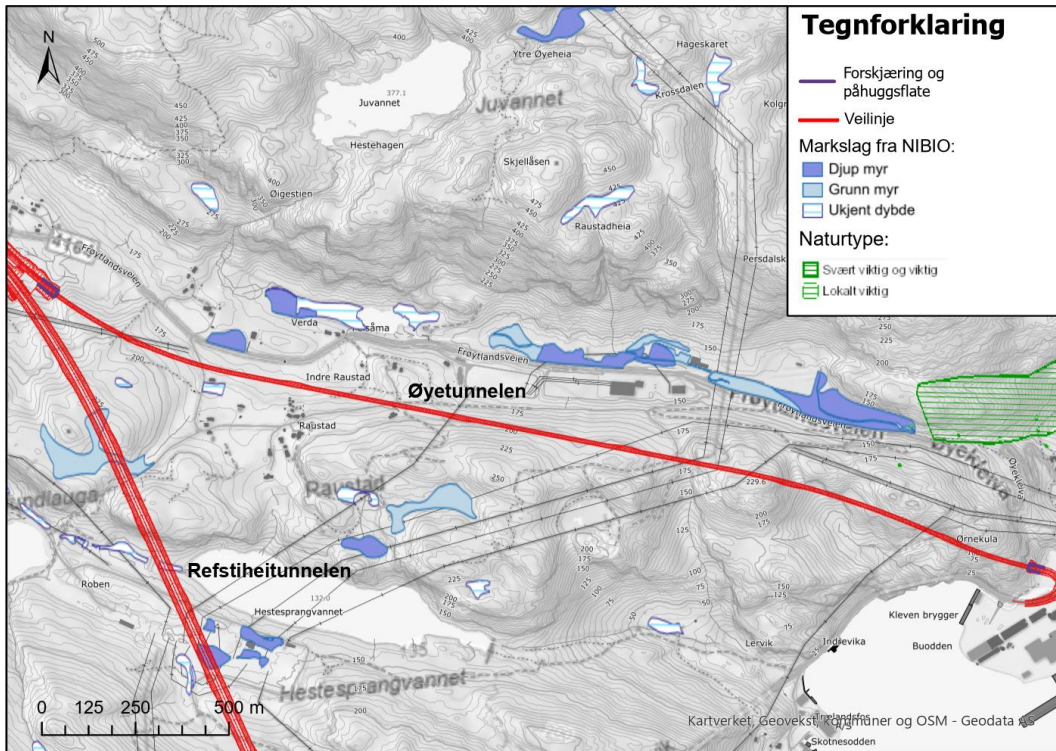
Figur 4-17: Aktsomhetskart radon, fra [24]. Øyetunnelen midt i figuren og Refstiheitunnelen nede til venstre.

#### 4.8 Natur- og kulturverdier

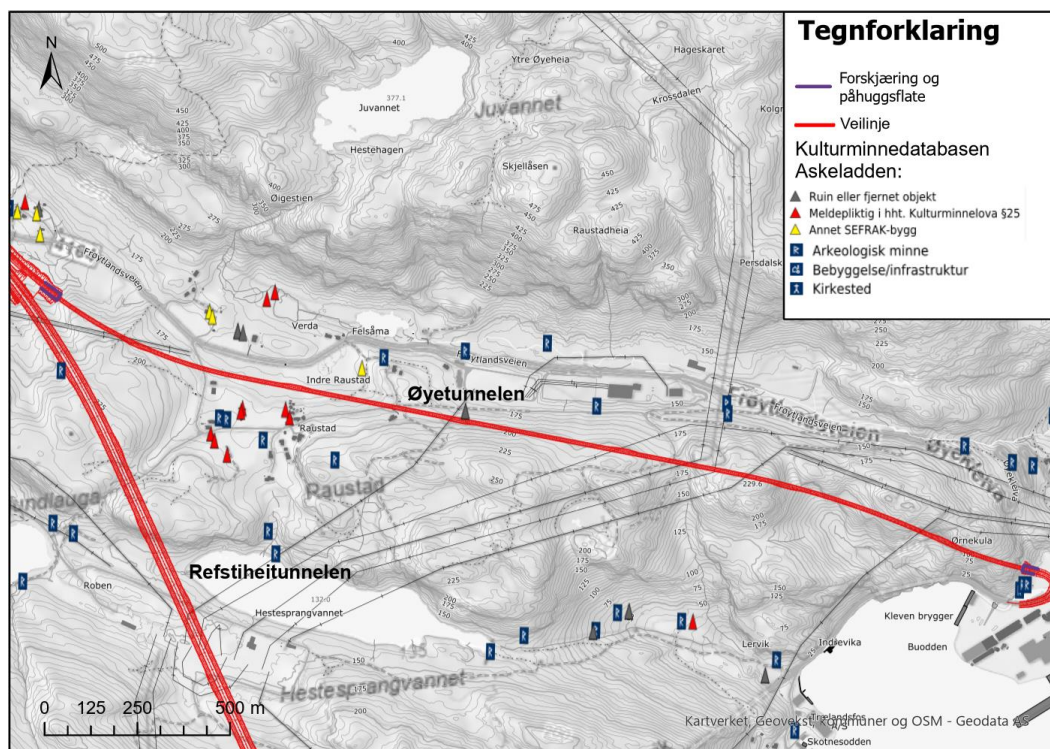
Det er ikke registrert noen spesielt sårbare naturtyper i området over Øyetunnelen. Det er noen myrer nord for Øyetunnelen (Figur 4-18).



Det er registrert noen kulturminner ved Raustad i kulturminnedatabasen [36] litt sør for tunneltraséen (Figur 4-19).



Figur 4-18: Kartdatabase for naturtyper fra Miljødirektoratet [26] og markslagskart fra NIBIO [37].



Figur 4-19: Kulturminnedatabasen Askeladden [36]

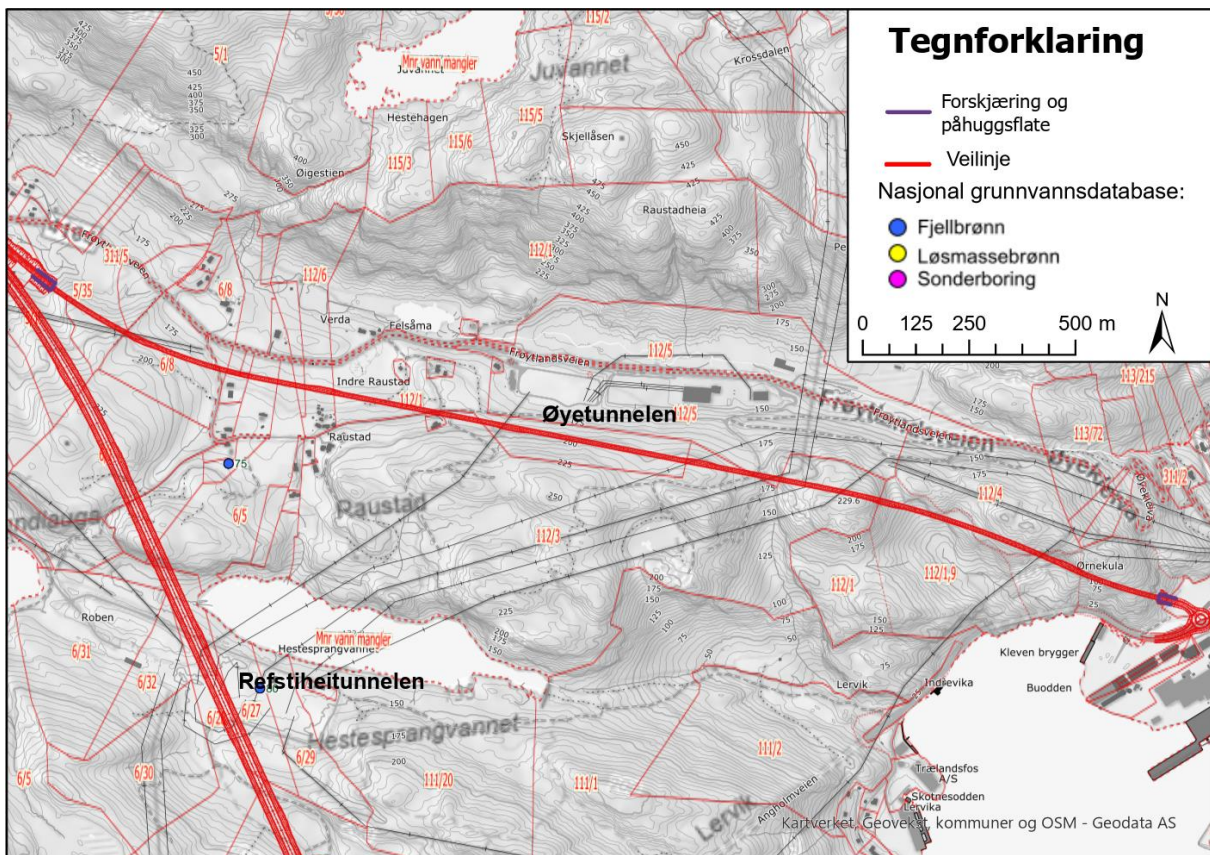
#### 4.9 Bebyggelse og brønner

Tunnelen passerer under et område med spredt bebyggelse på Raustad mellom ca. pel 1500-2000, men går ellers stort sett under utmark. Bebyggelsen består i hovedsak av bolighus/gårdshus samt driftsbygninger og garasjer. Bebyggelsen nærmest tunneltraséen antas å være fundamentert med ringmur på stedlige løsmasser avrettet med pukk-/gruspute. Bebyggelsen befinner seg i horisontal avstand fra 0 – ca. 250 m fra tunnelens senterlinje. De bygningene som befinner seg i avstand > ca. 200 m fra tunnelens senterlinje ligger litt oppe i skråningen på hver side av dalen der løsmassemektigheten antas å være noe mindre enn i de sentrale delene. Derfor antas disse bygningene å være fundamentert på avrettingslag av pukk over berg.

Det er registrert lave bergskjæringar i bakkant av trafostasjonen langs Frøytlandsveien. Derfor antas det at trafostasjonen er fundamentert med sprengsteinsfylling på berg. Horisontal avstand fra trafostasjonen til tunnelen er ca. 80 – 180 m. Enkelte mastefundamenter er plassert nærmest direkte over planlagt tunneltrasé.

Det er registrert en fjellbrønn ved Raustad på eiendommen 6/1 (Figur 4-20). Brønnen er 75 m dyp med 8 m foringsrør i løsmassene i toppen. Vannforsyningen er registrert som bruk til hytte/fritidsbolig. Minste horisontalavstand fra brønnen til Øyetunnelen er ca. 200 m.

En undersøkelse i matrikkeldatabase viser at det finnes flere eiendommer i tunnelens influensområde. Mange eiendommer har ikke offisiell adresse mens andre eiendommer har flere eiere. Alle adressene ligger i Kvinesdal. En bør ta kontakt med grunneierne ved Frøytland og Raustad for å sjekke om de har brønner som ikke er registrert. Ved påviste brønner bør det registreres type brønn, vannkvalitet/kapasitet, samt effektuttak ved energibrønn slik at man har dokumentasjon til ettertid hvis det skulle skje noe med brønnene.



Figur 4-20: NGUs grunnvannsdatabse (GRANADA) [38]. En fjellbrønn er registrert ved Rauland (blå prikk).

## 4.10 Vannforhold

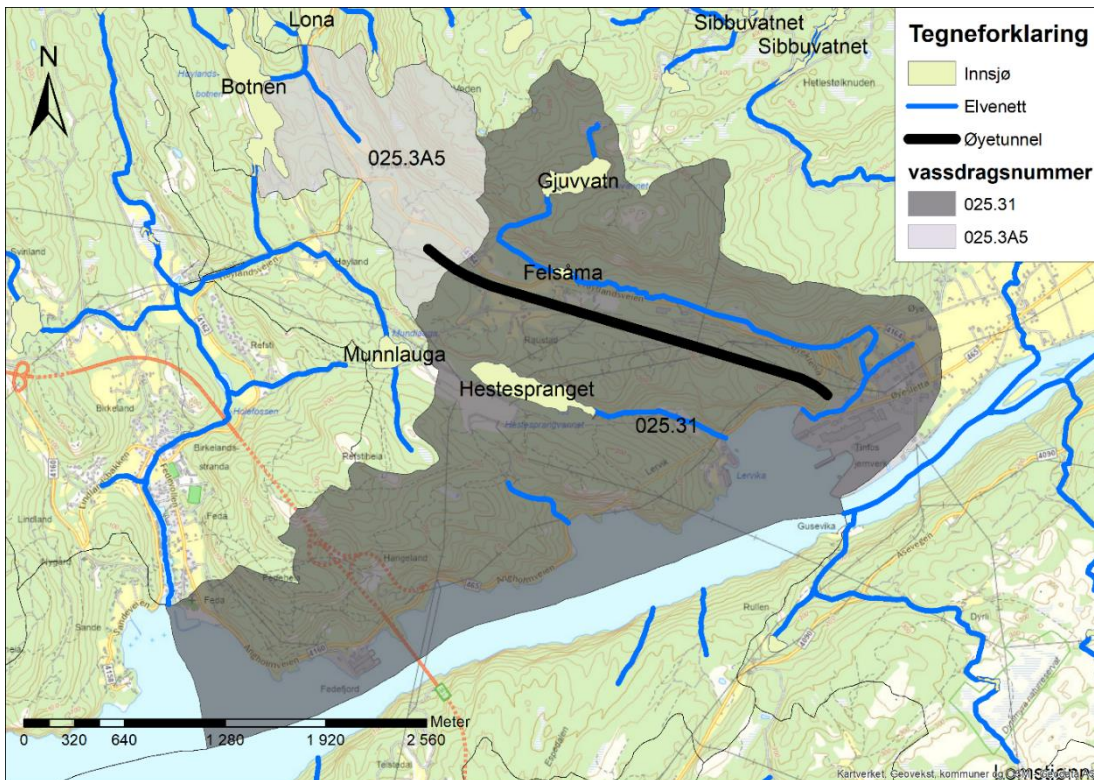
### 4.10.1 Vannforhold ved påhugg/forskjæringer

Det er ikke registrert bekker ved forskjæringene/påhuggene.

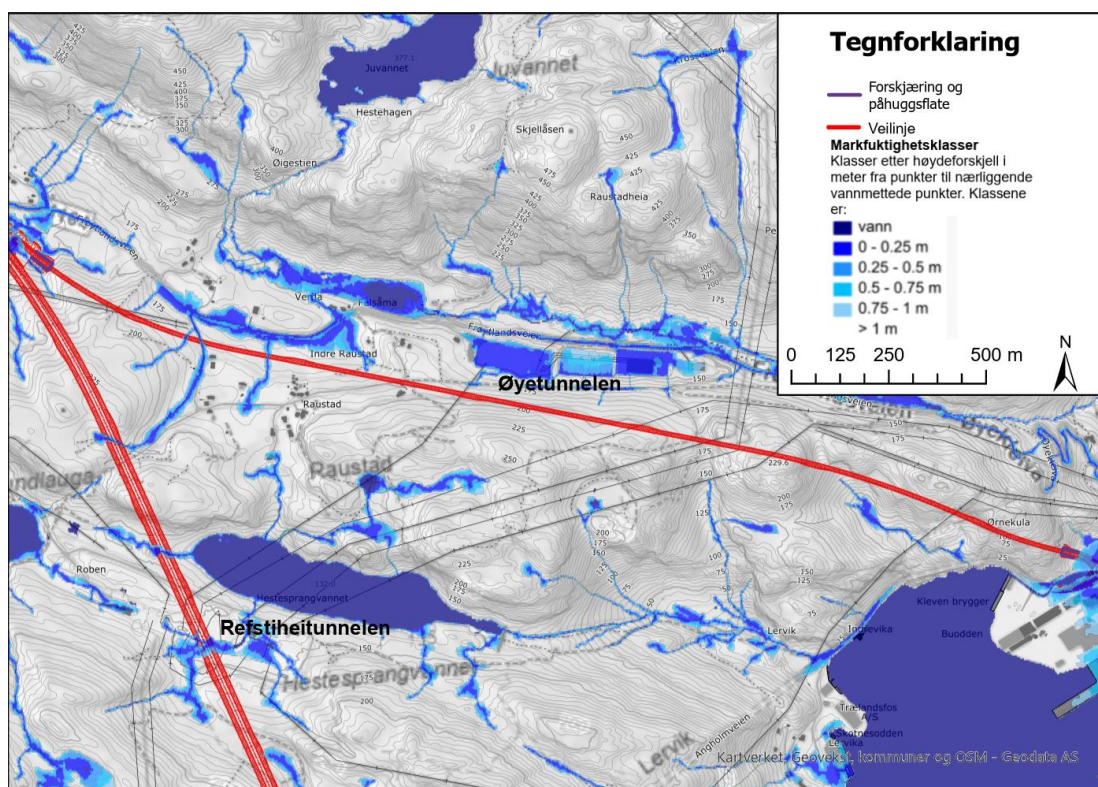
### 4.10.2 Hydrologi

Berørte nedbørfelt er vist i Figur 4-21. Det største del av tunnelen ligger i kystfeltet 025.31, mens resten av tunnelen ligger i 025.3A5 som er et lokalt nedbørfelt og en del av Fedavassdraget. Markfuktighetsklasser er vist i Figur 4-22.

Generell informasjon om nedbørsfeltene fra NVE (REGINE) og NVEs verktøy NEVINA ble brukt til for å utføre vannbalanse beregninger for disse nedbørsfeltene. Som regel finnes det ikke fullstendig informasjon for kystfelt og en må kombinere flere forskjellige estimater for nedbør og avrenning. Resultatene er oppsummert i Tabell 4-9.



Figur 4-21: Elvenett, innsjøer og nedbørsfelt til hav over/nær tunnelen [39], [40], [41].



Figur 4-22: NIBIOs markfuktighetskart over området [42].

Tabell 4-9: Oppsummering av resultatene fra NVEs verktøy NEVINA, NVEs REGINE database og Swecos analyseverktøy i ArcGIS.

Vassdragsnummer	Areal km <sup>2</sup>	Årlig 1961-1990 middelavrenning mm/år	Årlig nedbør mm/år
025.31	7,3	1517	1847
025.3A5	1,44	1588	1845

#### 4.10.3 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.

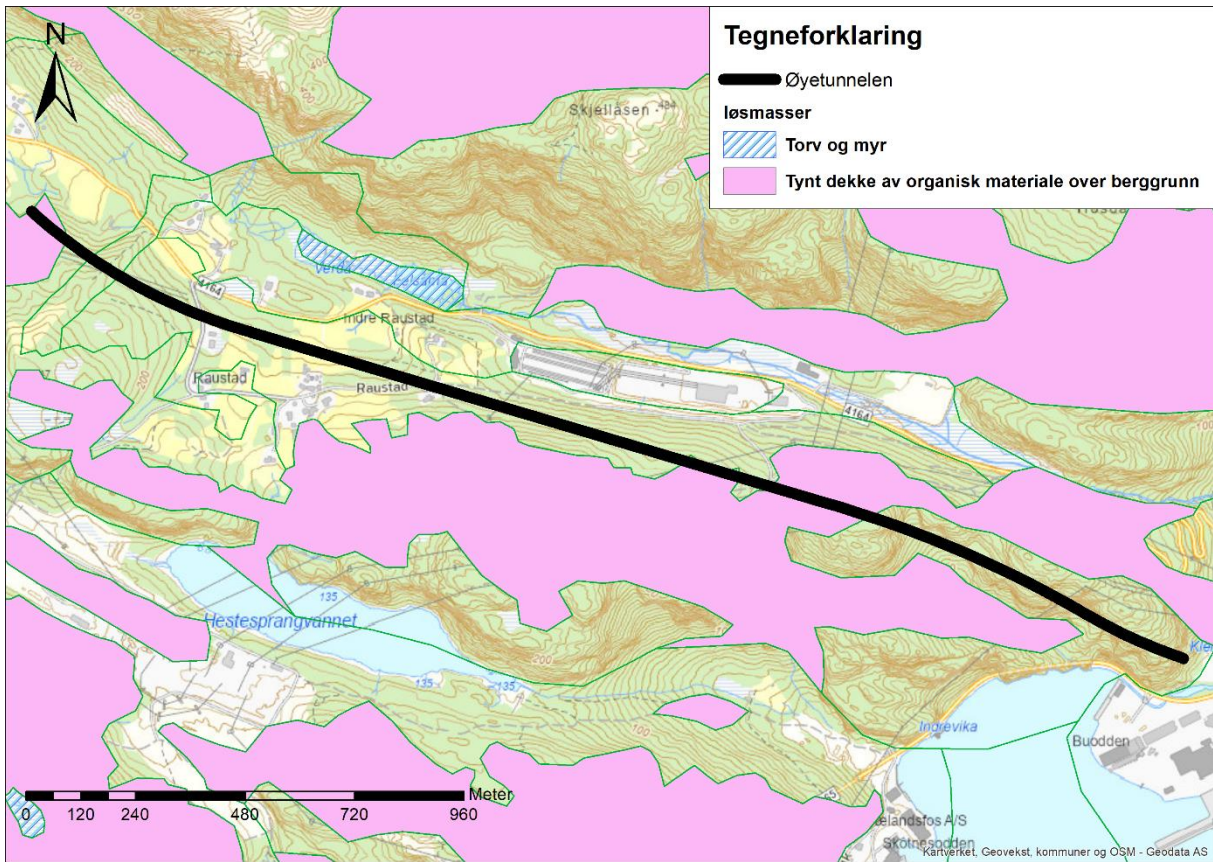
Løsmassene i området over tunnelen vises i Figur 4-23 (se også kap.4.2). Figuren viser to løsmassetyper; myr/torv og løsmasser rik på organisk materiale. Løsmasser som er rike på organisk materiale er godt egnet til jordbruk, men NGU som har kartlagt disse løsmassene indikerer at det kun er et tynt dekke 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. I figuren er et vist noen myrer, men de ligger stort sett utenfor tunnelens influensområde. Kart fra Kartverket viser noen myrer vest for Raustad som ikke er definert i NGUs kart. Myrområdet vises i Figur 4-23 og tunneltraséen krysser over det.

Løsmassene i området forsynes hovedsakelig av nedbør og tunnellekkasjer vil ha lite påvirkning på dem. Myrer er derimot sårbare områder og disse blir nærmere omtalt i kap. 5.10.1.

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 4-23: Løsmassekart fra NGU som viser myr/torv, og tynt dekke av organisk materiale over berggrunn.

## 5 TOLKNINGSDEL

### 5.1 Bergoverdekning og bergspenninger

Overdekningsforhold er basert på utførte grunnundersøkelser og feltregistreringer. Antatt bergoverdekning er også vist på lengdesnitt i tegningene i vedlegg 2, og i det etterfølgende gis det en kortfattet beskrivelse av antatte overdekningsforhold langs linja.

Pel 1045 (Påhugg Frøytland) - pel 1320

Ved påhugget ved Frøytland i vest ca. pel 1060 antas det i underkant av 10 m bergoverdekning. Frem mot pel ca. 1100 antas det å være grunt til berg. Bergoverdekningen antas å stige til opp mot ca. 40 m. Videre mot pel 1320 er det ikke registrert berg i dagen i linja. Løsmassedekket antas å være ca. 10-15 m i området basert på seismikken som er utført lengre øst. Dette gir en bergoverdekning på ca. 30-50 m på denne strekningen.

Pel 1320 – 2000 (Raustad-området):

Det er utført seismikk og 10 stk totalsonderinger i linja. Totalsonderingene viser stort sett samsvar med seismikken. Ved borpunkt 559 og 556 er det registrert berg noe høyere opp enn seismikken indikerer. Bergoverdekningen antas å variere mellom ca. 30-50 m på strekningen. Overdekningen øker mot øst fra ca. pel 1900 da det ser ut til at løsmassedekket avtar i mektighet.

Pel 2000- 3760 (Påhugg Øyesletta)

Bergoverdekningen tilsvarer i hovedsak terrengoverdekningen i området, med unntak av svakhetssonene der det trolig befinner seg noe løsmasser i søkkene.

### 5.2 Bergspenninger

Det er ikke foretatt bergspenningsmålinger i denne planfasen, og Sweco er ikke kjent med at det er foretatt bergspenningsmålinger i nærliggende anlegg eller i tilknytning til tidligere utredninger 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.

Øyetunnelen har moderat overdekning slik at det er lite sannsynlig med utfordringer som bergslag o.l. knyttet til høye bergspenninger. I påhuggsområder, ved kryssing av svakhetssoner og i områder med redusert overdekning må det forventes redusert innspenning av bergmassen, som også kan føre til stabilitetsproblemer og økt sikringsbehov.



## 5.3 Påhugg og forskjæringer

### 5.3.1 Skredfare og sikringstiltak

Skredfaren for området er utredet i egen rapport [14]. Påhugg og forskjæring øst omtales i rapporten. Det konkluderes her med at det er steinsprang som er dimensjonerende skredmekanisme, og at det må forventes omfattende sikringstiltak for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet mot skred. Det er aktuelt å sikre skrenten med rensk, bolt og steinsprangnett.

Steinspranggjerdar kan også bli aktuelt. Eventuelle stabilitets-sikringstiltak i naturlig bergskrent må trolig utføres fra sele, eventuelt i kombinasjon med mobilkran.

For påhugg/forskjæring i vest er ikke terrenget bratt nok til at det er mulig med skred, utenom fra eventuelle mindre skrenter ovenfor påhugget. Skrentene sikres ved behov mot steinsprang med rensk, bolter og nett.

### 5.3.2 Utforming/uttaksmetode

Det vises til skjæringsrapporten [43] 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 utsprengning 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 2.

### 5.3.3 Vurdering påhugg/forskjæring vest

Det blir kombinert påhuggsområde for Refstiheitunnelen nord og Øyetunnelen ved Frøyland. Detaljer ved påhugget er vist på tegning V1405 (vedlegg 2).

Det er observert berg i dagen over/rundt i brattskrent ved ca. pel 1055, og ved påhugg ca. pel 1040 antas det at bergoverdekningen er ca. 10 m i senterlinjen. Totalsonderinger i påhuggsområdet viser at løsmassemekktigheten er ca. 5,5 – 2,5 m mellom pel 1040-1050, og basert på seismikkprofil P10 er løsmasseoverdekningen tolket til ca. 5-8 m rundt ca. pel 1030.

Det vurderes som gjennomførbart å etablere påhuggsflate i denne skrenten. I forkant av sprengningsarbeidene må ur- og morenemassene langs foten av skrenten samt over påhuggsflaten mot nordvest graves vekk. Basert på registreringer fra feltarbeidet antas løsmassedekket i dette området å være tynt torvdekke, men graveskråningen vil kunne få betydelig utslag mot nordvest hvis løsmassemekktigheten her er større enn antatt. Det bør reguleres tilstrekkelig areal i påhuggsområdet til å ivareta dette. I veimodellen er løsmasseoverdekningen i området antatt betydelig mindre enn det som er tolket fra

refraksjonsseismikken. Dette medfører at faktiske skråningsutslag for løsmasseskjæringene på bergskjæringstoppene trolig blir større.

Det er foretatt en kinematisk analyse av mest aktuelle bruddmekanismer i forskjæringene på nord- og sørsiden samt selve påhuggsflaten basert på kartlagte sprekkesett i området. Registreringene og definerte sprekkesett er beskrevet i 4.4.2. Sprekkesett 1 representerer foliasjonen i området. Sprekkesett 2 og 3 er ca. ortogonale og steiltstående.

#### Påhuggsflate

Det er registrert en del steile sprekker med fall mot NV i påhuggsområdet som trolig er representert ved enkeltpolene i sørøstre kvadrant i polplottet, se vedlegg 1. Dette kan være sprekkesett 3m som har fallretning mot nordvest lokalt. Disse sprekkeene trer tydelig frem på Figur , og gir kinematisk mulighet for plan glidning ved etablering av vertikal påhuggsflate. Derfor er det stabilitetsmessig gunstig å legge påhuggsflaten parallelt med denne retningen. De øvrige hovedsprekkeretningene faller enten ca. normalt på senterlinjen (1m og 2m) eller parallelt med og inn mot påhuggsflaten (3m). Kileutglidninger vurderes derfor som mindre aktuell mekanisme i påhuggsflaten.

#### Forskjæring nordside

Mest aktuelle bruddmekanisme er plan glidning langs sprekkesett 2m. Det er også kinematisk mulig med kileutglidninger, primært ved kombinasjon av sprekkesett 2m+3m men også ved kombinasjoner av mer tilfeldige sprekkeretninger.

#### Forskjæring sørside

Det er kinematisk mulig med plan glidning langs foliasjonen (1m) forutsatt friksjonsvinkel < ca. 40°. I tillegg er kileutglidning, avgrenset av 1m+3m, en aktuell bruddmekanisme på denne siden, men det forutsetter også forholdsvis lav friksjonsvinkel (<40°) på sprekkeplanene.

Det antas behov for normalt omfang av bolter, nett og sprøytebetong i påhuggsflate og forskjæring.

#### 5.3.4 Påhugg og forskjæring øst

Påhuggsområdet er anleggsteknisk krevende da det er plassert i en nær 100 m høy og bratt skråning, samt at det ligger urmasser med stor mektighet rundt planlagt påhugg. Mye av ura må fjernes ifb. etablering av påhugget.

Eksakt påhuggsplassering er usikker da det ikke er mulig å verifisere bergoverflaten ved boring. Påhugget er plassert på bakgrunn av ekstrapolering av synlig bergskråning ned under ura.

Det antas behov for bolter, nett og sprøytebetong i påhuggsflate og forskjæringer. Omfanget er usikkert da bergmassene i området kan være påvirket av svakhetszone 5. Det forventes omfattende og krevende sikring av skrent ovenfor påhugget fra sele/mobilkran, og det kan bli nødvendig med fanggjerder.

## 5.4 Svakhetssoner

### 5.4.1 Generelt

I det etterfølgende er det gitt en mer detaljert beskrivelse av de enkelte sonene vist i Figur 4-5 og tolkninger av egenskapene til disse.

Sonenes utgående i dagen samt antatte skjæringspunkt med tunnel er også vist på ingeniørgeologiske tegninger.

Sonene som antas å påvirke tunneltraséen er i vestre del av traséen orientert NØ-SV, mens i den østre del av traséen NNW-SSØ-orientert. Det er også tolket to større Ø-V-orienterte svakhetssoner nord og sør for tunneltraséen, men basert på beliggenheten av tunnelen og tolkning av svakhetssonenes orientert så vurderes ikke disse å virke inn på bergmassekvaliteten langs tunnelen.

Tabell 5-1: Oversikt svakhetssoner.

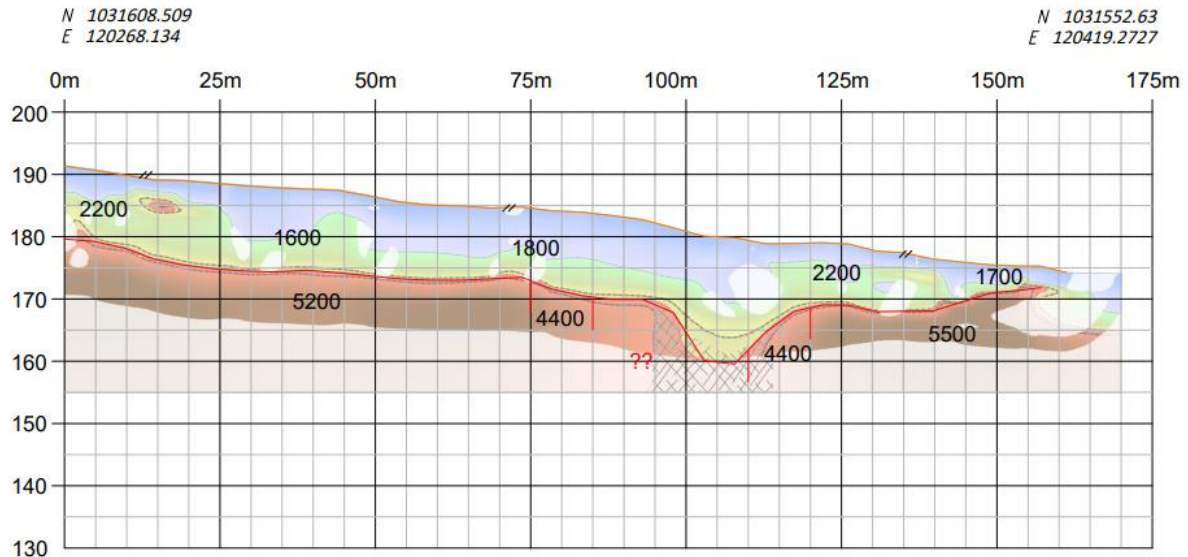
Sone-ID, nr.	Antatt fall	Antatt mektighet	Antatt profilnummer i tunnelnivå, senterlinje	Kommentar
1	Steilt	10 m	1425	Ikke synlig i terrenget over tunneltraséen, men tolket fra seismikk.
2	Seismikk: litt mot ØSØ	15 m	1595	Synlig som søkk mot SV. I seismikkprofil over tunneltrasé.
3	80°-90°	5 m	2795	Synlig i terrenget som lite søkk, orientert tilnærmet N-S.
4	80°-90°	10 -15 m	3112	Synlig i terrenget som søkk, orientert NNW-SSØ.
5	80°-90°	10 m		Treffer ikke tunnel eller forskjæring.

#### Sone 1

Sone 1 er tolket som mulig svakhetszone fra refraksjonsseismikk. Sonen er ikke synlig i terrenget eller på skyggerelieff, sonens karakter er dermed uviss. Området er dekket av løsmasser, noe som også er synlig på refraksjonsseismikken som rundt ti meter mektighet

av løsmasser. Sonen er tolket å ha omtrent 10 m bredde fra refraksjonsseismikk, se Figur 5-1.

## P12.1



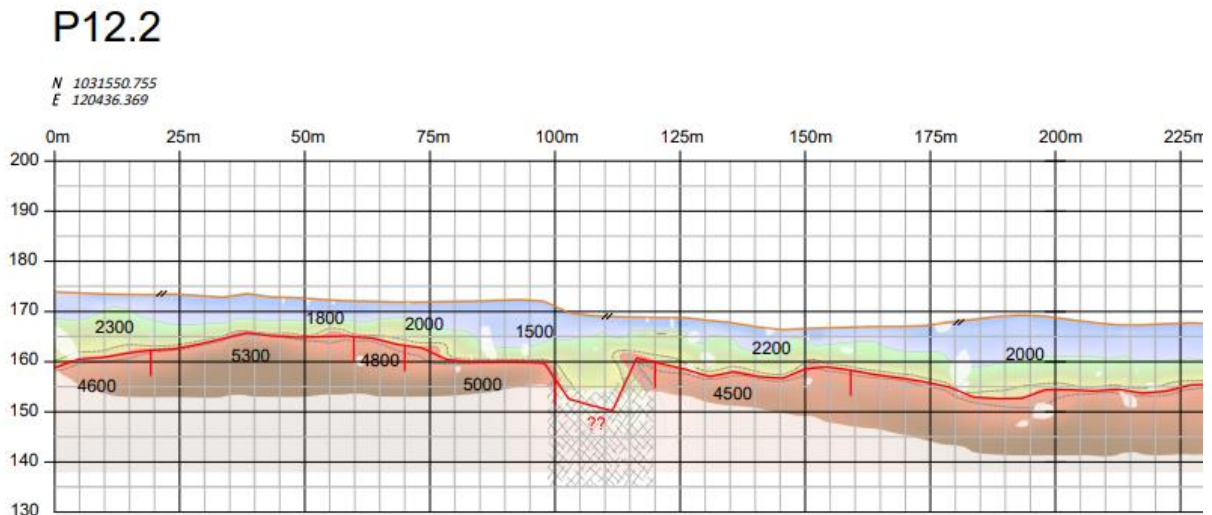
Figur 5-1: Resultat av refraksjonsseismikk profil 12.1. Mulig svakhetszone 1 tolket inn mellom profil 100 og 110 m med steilt fall.

### Sone 2

Sone 2 er orientert NØ-SV, og er synlig i terrenget som en kløft sørvest for tolket kryssing av tunneltraséen. Kløften har steil sidevegg på vestsiden (Figur 5-2) og slakere sidevegg på østsiden. Svakhetssonen er tolket å treffe seismikkprofil 12.2 over en strekning på 15 meter, med fall rundt 60 grader mot sørøst, se Figur 5-3.



Figur 5-2: Nordvestre sidevegg til tolket svakhetszone 2, sett mot nord. Tydelig foliasjonen synlig i bergmassen.



Figur 5-3: Resultat av seismikkprofil 12.2. Svakhetszone 2 tolket inn mellom profil 100 og 115 m med fall mot sørvest.

Sone 3

Sone 3 er synlig i terrenget rett over tunneltrasé. Den antas å være av begrenset utstrekning. Basert på sonens orientering er den antatt å ha et steilt fall. Den er i skyggerelieff og i felt tolket å være tilnærmet N-S-orientert.

#### Sone 4

Sone 4 er synlig i terrenget over tunneltraséen, og fortsetter muligens på nordsiden av dalen. Den er fra skyggerelieff vurdert å være NNW-SSØ-orientert. Innmålt sideberg i sonen viser steilt fall på 82°, og sonen er antatt å være tilnærmet steil.

#### Sone 5

Sone 5 er på østsiden av påhugg øst. Den er synlig som en bred kløft som går opp skråningen mot Øyekleiva. Det er steile sidevegger i kløften. Planlagt plassering av påhuggsflaten tilsier at en ikke kommer i direkte berøring med svakhetssonen, men det kan antas at det ytterste berget er noe påvirket av sonen. Det er i felt registrert synlige avløste sprekker orientert parallelt med bergflaten. Urmassene i kløfta er grovblokkige, og det er ikke synlig leire eller andre fyll på sprekkeplan i tilknytning til bergflaten.

## 5.5 Spesielle områder

### Kryssende tunnel

Som omtalt i avsnitt 3.2 krysser traséen til Øyetunnelen en tunnel knyttet til Statnetts anlegg. Det er stor avstand mellom tunnelene slik at disse ikke vil komme i konflikt med hverandre. Det vil måtte settes krav til grenseverdi for rystelser i denne tunnelen. Grenser må avklares med Statnett.

### Østre påhugg/forskjæring

Påhuggsområdet vurderes å være krevende da det er usikkerhet knyttet til dybde og plassering av faktisk bergoverflate. Etablering av forskjæring i grove urmasser medfører store usikkerhetsmomenter knyttet til stabiliteten og utformingen av forskjæringen.

## 5.6 Bergmassekvalitet

Q-metoden er brukt for vurdering av bergmassekvalitet. Bergmassekvalitet er vurdert ut fra antatte svakhetssoner som berører tunnelen samt generell bergmassekvalitet registrert på befarings.

Hele tunnelen vil bli drevet i granittisk gneis, som er vurdert å ha en generelt god bergmassekvalitet. Det er markert oppsprekking langs foliasjon i tillegg til variasjon mellom ett og to sprekkesett.

Karakter og bredde til svakhetssoner er vurdert ut ifra seismikk og kløftebredder i terrenget. De fleste sonene krysser tunnelen med stor vinkel og påvirker dermed tunnelen over korte strekninger.

Antatt fordeling av bergmassekvalitet er vist i Tabell 5-2. Bergmasseklasse E er delt i to på grunn av at behovet for sikringsbuer inntreer ved  $Q < 0,1$  som er innenfor Q-intervallet for klasse E.

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

A		B		C		D		E1		E2		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
0	0	39	1061	54	1469	4	109	2	4	1	10	0	0

## 5.7 Bergsikring

### 5.7.1 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 Øyetunnelen er vist i Tabell 5-3.

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 Øyetunnelen.

Bergmasseklasse	Q-verdi	Betegnelse	Sikringsklasse	Andel av tunnelen [%]
A/B	100-10	Veldig god/god	I	39
C	10-4	Middels	II	54
D	4-1	Dårlig	III	4
E	1-0,1	Veldig dårlig	IV	2
F	0,1-0,01	Ekstremt dårlig	V	1
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 > 1m Q = 100-10	Sikringsklasse I <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spredt bolting</li> <li>• Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm</li> </ul>
C	Moderat oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand 0,3-1 m Q = 10-4	Sikringsklasse II <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm</li> <li>• Systematisk bolting c/c 2 m</li> </ul>
D	Tett oppsprukket bergmasse eller lagdelt skifrig bergmasse. Midlere sprekkeavstand < 0,3 m Q = 4-1	Sikringsklasse III <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 100 mm</li> <li>• Systematisk bolting c/c 1,75 m</li> </ul>
E	Svært dårlig bergmasse Q = 1-0,2	Sikringsklasse IVa <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm</li> <li>• Systematisk bolting, c/c 1,5 m</li> </ul>
	Q = 0,2-0,1	Sikringsklasse IVb <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm</li> <li>• Systematisk bolting, c/c 1,5 m</li> <li>• Armerte sprøytebetongbuer, buedimensjon E30/6 ø20 mm, c/c buer 2-3 m, ev. gitterbuer <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Buene boltes systematisk, c/c bolt = 1,5 m, boltelengde 3-4 m</li> </ul> </li> <li>• Sålestøp vurderes</li> </ul>
F	Ekstremt dårlig bergmasse Q = 0,1-0,01	Sikringsklasse V <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150-250 mm</li> <li>• Systematisk bolting, c/c 1,0-1,5 m</li> <li>• Armerte sprøytebetongbuer, buedimensjon D60/6+4, ø20 mm, c/c buer 1,5-2 m, ev. gitterbuer <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Buene boltes systematisk, c/c 1,0 m, boltelengde 3-6 m</li> </ul> </li> <li>• Sålestøp vurderes</li> </ul>
G	Eksepsjonelt dårlig bergmasse, stort sett løsmasse Q < 0,01	Sikringsklasse VI <ul style="list-style-type: none"> <li>• Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt</li> </ul>

### 5.7.2 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 åpningssalver.

Det ligger noe løsmasser/urmasser ovenfor påhugget i vest. Det må etableres løsmasseskråning med stabil vinkel eller benyttes forstøtning/spunt. Påhugg øst ligger i en løsmasseskråning. Det må her fjernes store mengder urmasser. Ovenfor påhugget er det en steil bergvegg.

Tabell 5-5. Anslått bergsikringsmengde i forskjæringer/påhuggsflate.

	Forskjæring/påhugg vest	Forskjæring/påhugg øst	Sum
Rensk, m2	1 450	750	2 200
Sikringsbolt, stk	150	80	230
Steinsprangnett, m2	500	80	580
Sprøytebetong, m3	10	50	60

### 5.7.3 Sikring av overliggende terreng

Østre påhugg er lokalisert i etablert ur rett under tilnærmet steil bergskråning. Det vurderes å være behov for omfattende renske- og sikringsarbeider i bergskråningen. For å sikre et trygt arbeidsmiljø antas det minimum behov for inspeksjon og rensk av skrenten med klatrelag i forkant av oppstart av anleggsarbeid i underkant av bergskråningen. Ustabile blokker boltes fast. Hvis man ikke får sikret godt nok fra sele må det monteres fanggjerder i skråningen ovenfor påhugget. Disse kan monteres nær horisontalt. Det er også aktuelt å bygge forsterket portal som tåler påkjenning fra større blokker.

Ved vestre påhugg antas det å være lite behov for skredsikring i sideterreng, eventuelle mindre skrenter kan sikres med bolter og nett ved behov.

## 5.8 Bergmekaniske egenskaper

### 5.8.1 Borbarhet og sprengbarhet

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

Fra Tabell 4-5 og Tabell 4-6 kan følgende antas generelt om bergarten langs traséen:

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

De fleste tester for granittisk gneis har middels til god sprengbarhet.

### 5.8.2 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 berget ikke tilfredsstillende alle krav til steinmaterialer (for eksempel til bruk i de øvre lag av veikroppen).

I muntlig kommunikasjon med Veidekke angående bygging av dagens E39 på strekningen 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.

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

## 5.9 Miljøhensyn

### 5.9.1 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 [44].

Bergarten langs Øyetunnelen forventes å bestå av granittisk gneis. Dette er erfaringsmessig ikke en typisk problebergart med hensyn til syredannende egenskaper. I forbindelse med feltarbeidet er det heller ikke registrert indikasjoner på sulfid i berggrunnen. Typiske feltobservasjoner som gir opphav til mistanke om forekomst av syredannende berg er rustfarget gneis og gult til gulgrønt sprekkefyll.

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.

### 5.9.2 Radon

Det nasjonale aktsomhetskartet indikerer at den granittiske gneisen i traséen for Øyetunnelen har lav til moderat aktsomhet.

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.

### 5.9.3 Vibrasjoner fra sprengning

I henhold til NS8141 [45] skal det fastsettes krav til maksimale vibrasjoner fra sprengning på bygninger innenfor en avstand på 50-100 m fra sprengningsstedet. Det er aktuelt å montere rystelsesmålere på bygg og konstruksjoner i nærheten.

Det er en del bebyggelse langs tunneltraséen, både ved Raustad og ved Øyesletta. Spesielle hensyn må også tas ved Statnetts likeretteranlegg.

Enkelte høyspentmaster er lokaliserte direkte over traséen. Disse er antatt fundamenterte på berg og det er omtrent 100 meter overdekning i disse områdene, men det vurderes som fornuftig å innhente informasjon fra Statnett om eventuelle rystelseskrav knyttet til høyspentmaster.

## 5.10 Hydrogeologiske vurderinger

### 5.10.1 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

Det finnes flere myrområder i nærheten av tunneltraséen. Myrer 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 grunnvannsnivå over en viss tid.

### 5.10.2 Influensområdet

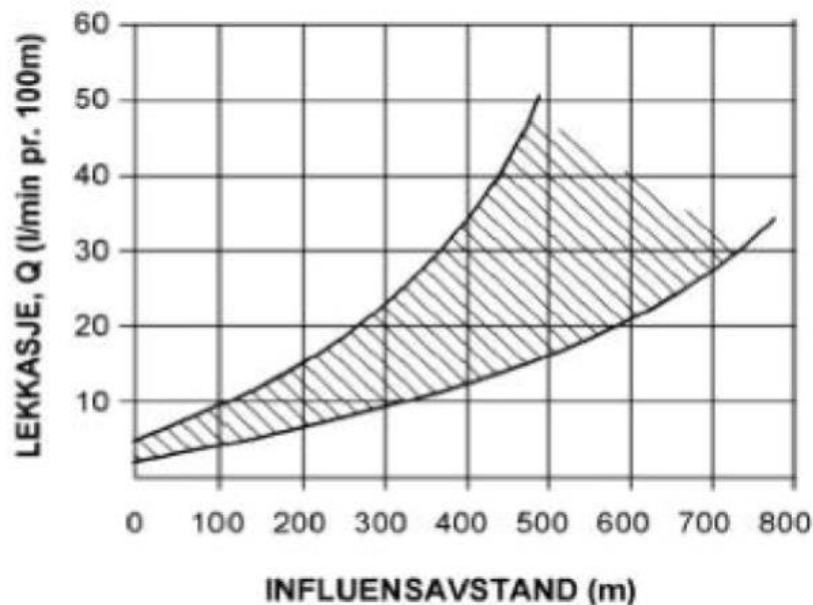
Influensområdet til en tunnel kan defineres som avstanden fra tunnelen der det kan forventes

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 tunnelen 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

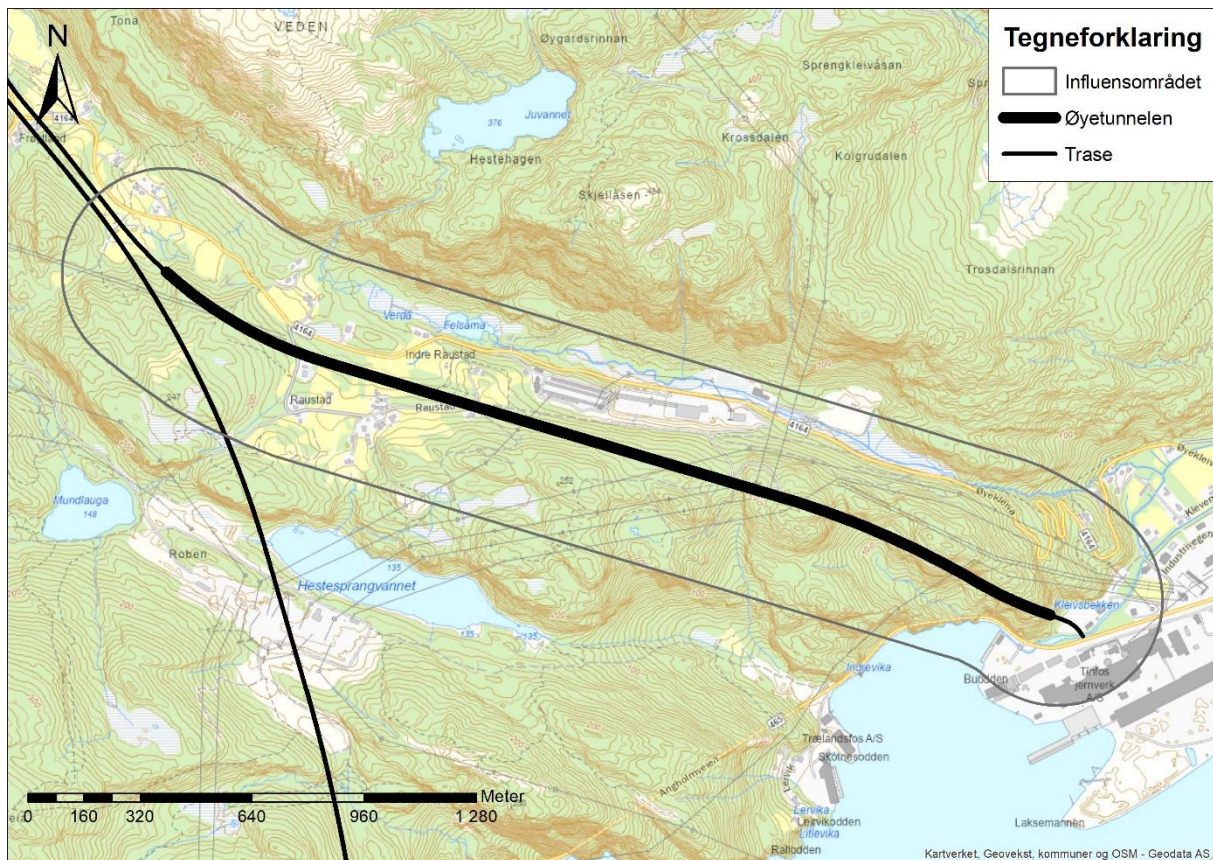
grunnvannssenking og tunneldriving argumenterer med at influensområdet til et tunnelanlegg sjeldent er bredere enn 300 i fra tunnelen [12]. Det vises også til Figur 5-4 som viser empirisk sammenheng mellom innlekkasjer og influensavstand.

Eksisterende data, erfaringstall og simuleringer som Sweco har utført for andre tunnelstrekninger er benyttet som grunnlag for å anslå influensavstanden til tunnelen. For Øyetunnelen 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 5-5 viser tunnelens influensområde. I områder hvor det er myr, svakhetssoner og bekker er influensområdet utvidet/tilpasset manuelt.



Figur 5-4. Influensavstand som funksjon av innlekkasje [12].

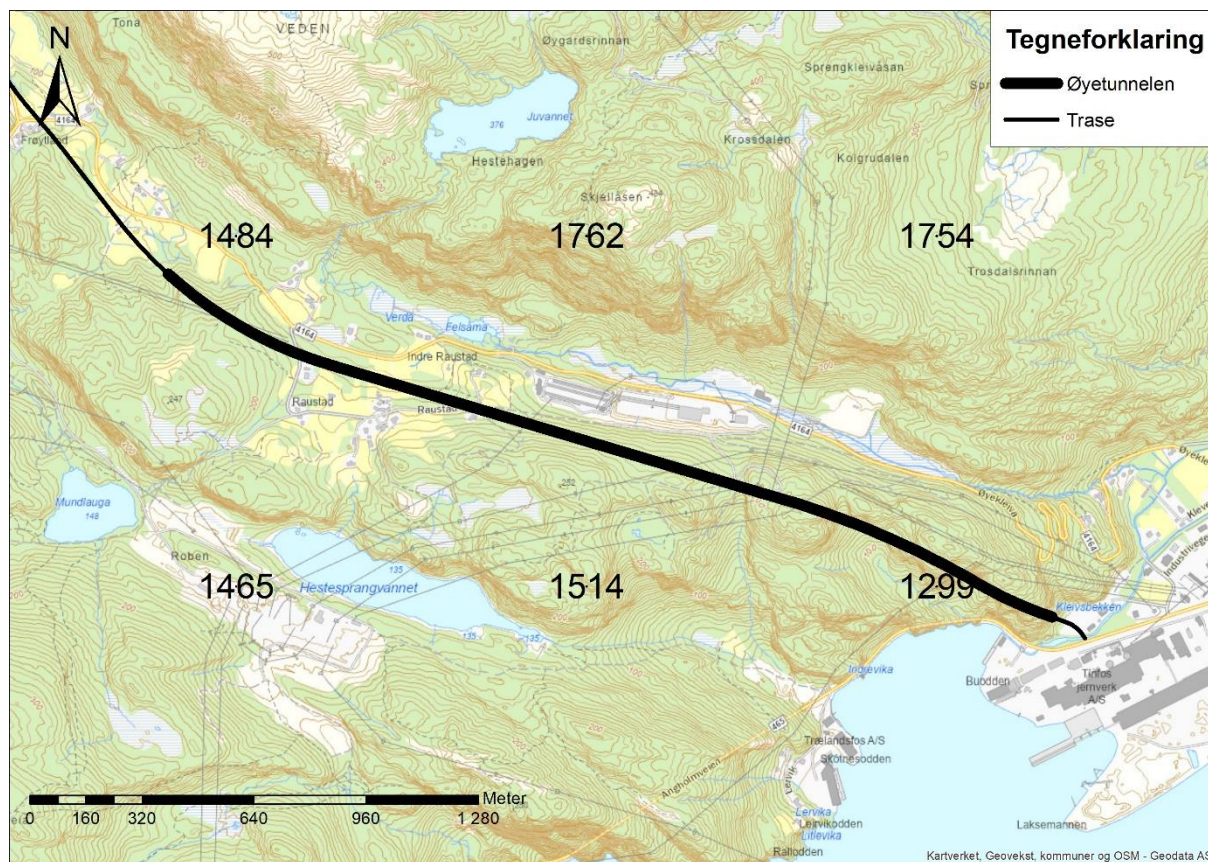


Figur 5-5. Tunnelens influensområde.

### 5.10.3 Vannbalanseberegning og innlekkasjekrav

Metoden som brukes for å beregne innlekkasjekrav er basert på vannbalanseberegninger. Det finnes flere måter å utføre disse beregninger 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 har ikke 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 bergartstype, landskapsform og årlig nedbør.



Figur 5-6. 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 5-6). 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 Øyetunnelen, 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 5-7). 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 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.

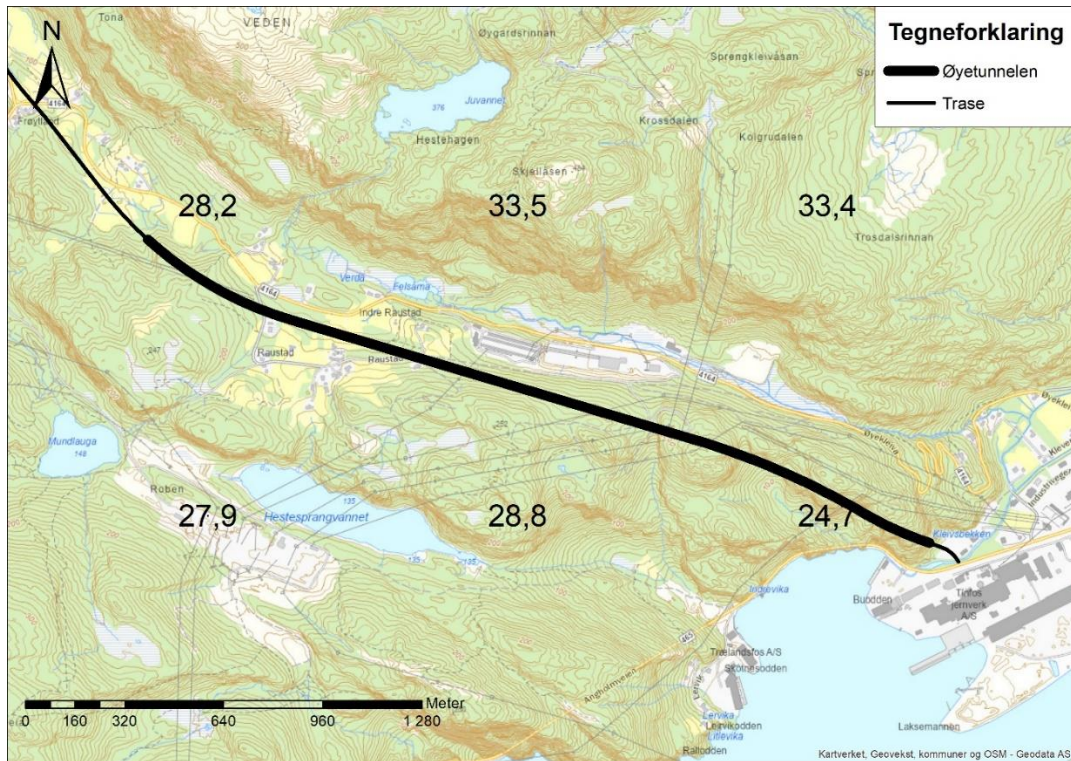


Denne metoden er brukt for å estimere innlekkasjekravene som vises i Figur 5-7. Estimatene er avrundet. Å bruke disse estimatene i praksis kan stedvis være komplisert noe som diskuteres nærmere under.

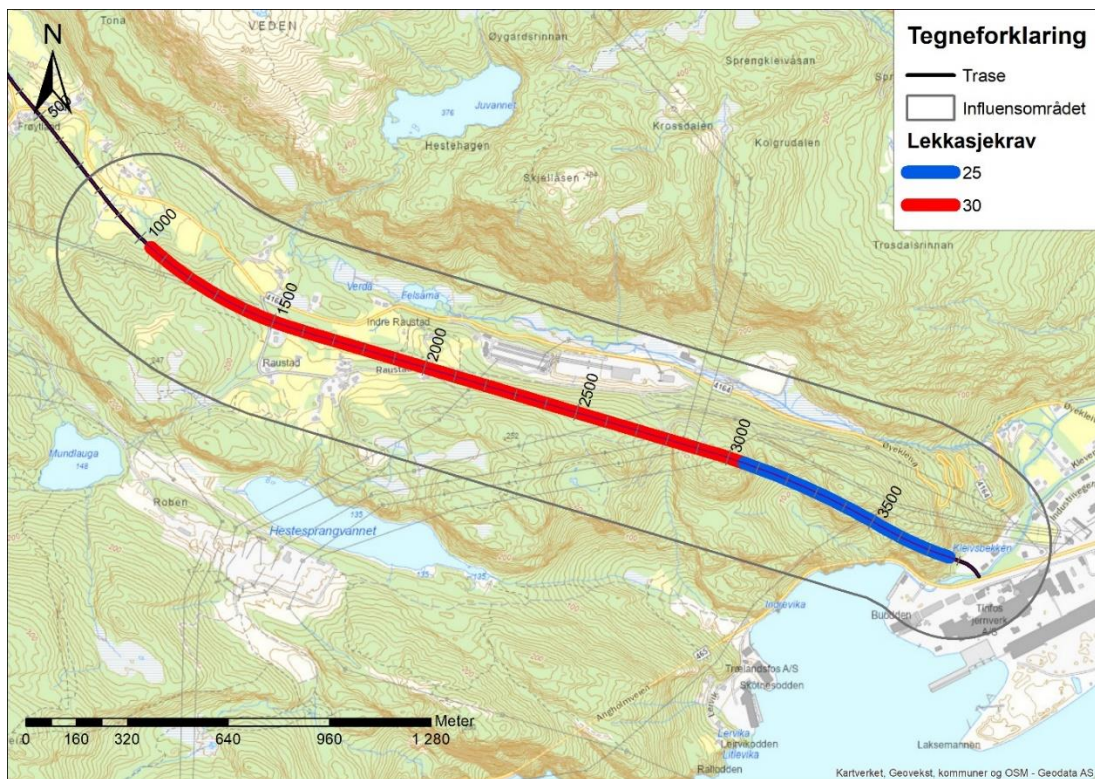
Ved innsjø og myr vil ikke kravet som fås fra vannbalanseanalysen være tilstrekkelig til å ivareta risiko forbundet med disse. Myrer vil kunne være spesielt sensitive for også mindre fall i grunnvannsnivå. Helst bør man ha et strengest mulig krav ved disse, men det blir en avveining mot kostnader. Det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

For Øyetunnelen er det ikke identifisert problematiske myrområder. Myrene ligger langs bekken som har kilde i Juvannet og som kommer ned til Felsåma, og går videre nedover dalen. De fleste myrer er etablert langs bekken og myrenes vannbalanse er nær knyttet til bekkens vannføring. En 10 % reduksjon pga. tunnellekkasjer burde ikke ha noe effekt på vannføringen i bekken siden en betydelig del av vannføringen kommer fra Juvannet som ligger utenfor tunnelens influensområde. Det finnes en liten myr nord for Raustad som ligger kun 50 m fra tunneltraséen, men basert på flybilder fra 60-tallet var myrarealene før i tiden jordbruksområder. Flybildene fra 1966 og 1967 er etterfulgt av flybilder fra 2005 til 2021 som viser at arealet er delvis beskoget. En vis uttørking av disse arealene burde ikke være problematiske.

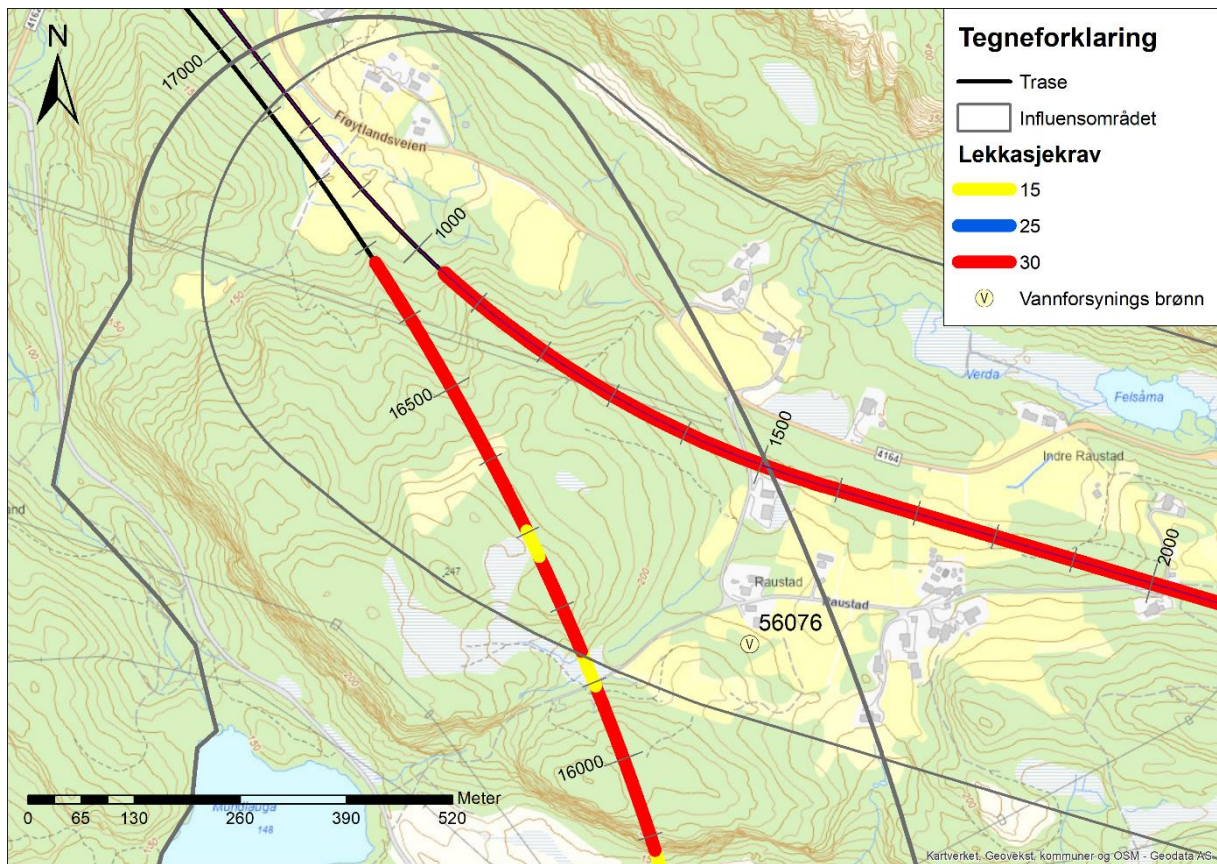
Figur 5-9 viser de nordlige delene av Øyetunnelen og Refstiheitunnelen. Traséen fra de to tunnelene er nær hverandre og som et resultat av dette overlapper influensområdene for de to tunnelene hverandre. I praksis betyr dette at lekkasjekravene må deles mellom alle tunnellopene i det felles influensområdet. Dvs. lekkasjekravet for Øyetunnelen blir 10 L/min/100m på en ca. 500 m strekning lengst vest. Det bemerkes at det også er en vannforsyningsbrønn i dette området.



Figur 5-7. Grunnvannsdannelse fra NVE uttrykt i l/min per 100 meter tunnel.



Figur 5-8. Innlekkasjekrav og influensområde for Øyetunnelen.



Figur 5-9. Influensområdet for Øyetunnelen overlapper med influensområdet for Refstiheitunnelen.

Tabell 5-6. Innlekkasjekrav for Øyetunnelen.

Nr.	Pel	Strekning [m]	Tetthetskrav tunnel [l/min/100 m]	Kommentar
1	1040 - 1510	470	10	Deles med Espedalstunnelen
2	1510 - 3769	2259	30	
3	3054 - 3769	715	25	

#### 5.10.4 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 ferdigstillelse. Plasseringen av overvåkningbrønner nær myrene vurderes å være det beste, men kan også være det mest krevende i forhold til etablering.

### 5.11 Sonderboring og injeksjon

Det vurderes som nødvendig å utføre sonderboring med lekkasjemåling på strekninger der det er satt krav til maksimal innlekkasje.

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 skjerm uavhengig av innlekkasje i sonderhull. Systematisk forinjeksjon utføres typisk på strekninger med strenge innlekkasjekrav og/eller under sårbare områder på overflaten.

Ved innlekkasjekrav på ned mot 10-15 L/min/100 m bør det utføres systematisk forinjeksjon. Ved høyere krav enn dette vil det være tilstrekkelig med behovsprøvd forinjeksjon.

## 6 Usikkerheter

### 6.1 Spesielle usikkerheter

- Etablering av påhugg ved Øyesletta hvor det er høy og bratt ovenforliggende skråning som må sikres, samt mye urmasser som må graves bort. Det er stor usikkerhet knyttet til dybde til berg i påhuggsområdet og dermed om foreslått plassering av påhugget er egnet. Urmassene må fjernes og berget avdekkes før eksakt påhuggsplassering kan bestemmes.
- Steinmaterialets kvalitet – dersom det er ønskelig å bruke bergmassen til anleggstekniske formål må det gjennomføres tester av bergmassen forløpende 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).
- 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 tilleggs sikring 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 undersøkelser

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] Sweco Norge AS, "E39LF\_000\_tvfa\_Planleggingspremisser trinn 3," 2022.
- [2] Statens vegvesen, "Vegnormal N100 Veg- og gateutforming," 2021.
- [3] Statens vegvesen, "Vegnormal N500 Vegtunneler," 2022.
- [4] Standard Norge, "NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner," 2016.
- [5] Standard Norge, "NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2020 Eurokode 7 Geoteknisk prosjektering," 2016.
- [6] NS-EN ISO 14689-1, "Geotekniske felt- og laboratorieundersøkelser - Identifisering, beskrivelse og klassifisering av berg," 2018.
- [7] Norsk bergmekanikkgruppe, "Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering," 2011.
- [8] Statens vegvesen, "Veileder V521 Geologi og bergsikring i tunnel," 2022.
- [9] Statens vegvesen, "Håndbok V225 Bergskjæringer," 2020.
- [10] Statens vegvesen, Vegnormal N200 Vegbygging, 2021.
- [11] Statens vegvesen, "R760 Styring av vegprosjekter," 2019.
- [12] Statens vegvesen, "Publikasjon 103 - Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø," 2003.
- [13] NGI, "Bruk av Q-systemet. Bergmasseklassifisering og bergforsterkning," 2015.
- [14] Sweco Norge AS, "NV42E39LK-GEO-RAP-0006 Fagrapport skred," 2022.
- [15] Norconsult, "E39 Lyngdal vest - Ålgård. Ingeiørgeologisk rapport til kommunedelplan," 2018.
- [16] Norconsult, "E39 Røyskår-Lølandsvatnet. Mulighetsstudie," 2020.
- [17] NGU, "Skredfarevurdering ifb. undersjøisk kabeltraséer i Fedafjorden," 1998.
- [18] NGU, "Fare for fjellskred i Fedafjorden," 2008.
- [19] NGU, "Berggrunn - Nasjonal berggrunnsdatabase," [Online]. Available: [http://geo.ngu.no/kart/berggrunn\\_mobil/](http://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/).
- [20] NGU, "Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase," [Online]. Available: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>.
- [21] NGU, "GRANADA Nasjonal grunnvannsdatabase," [Online]. Available: <http://geo.ngu.no/kart/granada/>.
- [22] NVE, "NVE Atlas," [Online]. Available: [www.atlas.nve.no](http://www.atlas.nve.no).
- [23] Statens vegvesen, "Vegkart," [Online]. Available: <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/nasjonal+vegdatabank/kart>. [Accessed 13 12 2018].

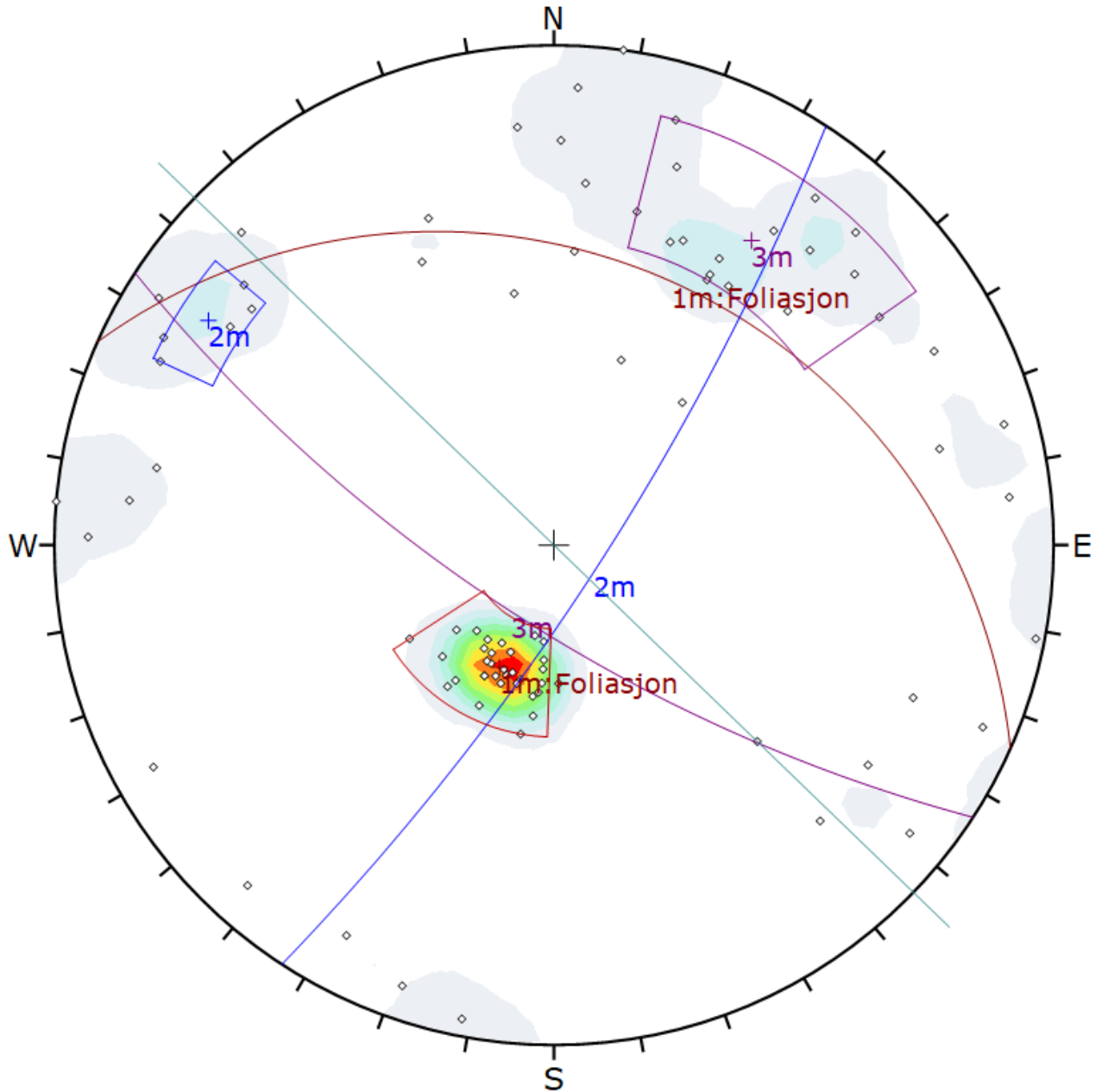
- [24] NGU, "Aktsomhetskart radon," [Online]. Available: [geo.ngu.no/kart/radon/](https://geo.ngu.no/kart/radon/).
- [25] Kartverket, "FKB4," [Online]. Available: <https://openwms.statkart.no/skwms1/wms.fkb4?request=GetCapabilities&service=WMS>.
- [26] Miljødirektoratet, "Miljøstatus - Naturtyper - DN-håndbok 13 - kartdatabase," 2020. [Online]. Available: <https://miljoatlas.miljodirektoratet.no/MAKartWeb/KlientFull.htm?>.
- [27] GeoMap Norge AS, "Rapport seismiske undersøkelser, E39 Lyngdal-Kvinesdal," 2022.
- [28] Sweco Norge AS, "Geoteknisk vurderingsrapport delområder 1-7," 2023.
- [29] NGU, Grus og pukk, NGU. Internett. Available: [www.ngu.no](http://www.ngu.no), 2022.
- [30] NGU, "Berggrunnskart Mandal 1:250 000," Norges Geologiske Undersøkelse, 1982.
- [31] T. Falkum, "Geological map of the Flekkefjord area, Vest-Agder, southern Norway," NGU, 1972.
- [32] NGU, "Rock construction awareness map from South Norway (report no. 2017.048)," Norges Geologiske Undersøkelse, 2017.
- [33] Norwegian group for rock mechanics (NBG), Engineering geology and rock engineering. Handbook No 2, Norwegian group for rock mechanics (NBG), 2000.
- [34] A. Bruland, "Hard Rock Tunnel Boring (Vol. 10 of 10) - Statistics of Drillability Test Results (Doctoral theses)," NTNU, 1998.
- [35] V. Olsen, "Rock Quarrying - Blast design (Doctoral theses)," NTNU, 2009.
- [36] Norges Geologiske Undersøkelse, "Grus og pukk," NGU, 2022. [Online]. Available: [www.ngu.no](http://www.ngu.no).
- [37] Riksantikvaren, "Kulturminner (WMS)," Riksantikvaren, [Online]. Available: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/kulturminner-wms/30369f29-e21a-464f-97f7-a202ca7c97e7>. [Accessed 2023].
- [38] NIBIO, "Digitalt markslagskart (DMK) - WMS - Historisk datasett," NIBIO, [Online]. Available: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/digitalt-markslagskart-dmk-wms-historisk-datasett/af6bb75c-b10b-4ef4-8fed-1ea01b6d37c6>. [Accessed 2023].
- [39] NGU, "Grunnvann (GRANADA) WMS," NGU, [Online]. Available: <https://geo.ngu.no/mapserver/GranadaWMS5?request=GetCapabilities&service=WMS>.
- [40] NVE, "Innsjødatabase WMS," NVE, [Online]. Available: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/innsjoedatabase-wms/a7cbda94-e62e-471e-8f47-cca1c6228535>.
- [41] NVE, "Elvenett Elvis WMS," NVE, [Online]. Available: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/elvenett-elvis-wms/d847521e-cca5-4934-a2cf-0cf134757f09>. [Accessed 2023].

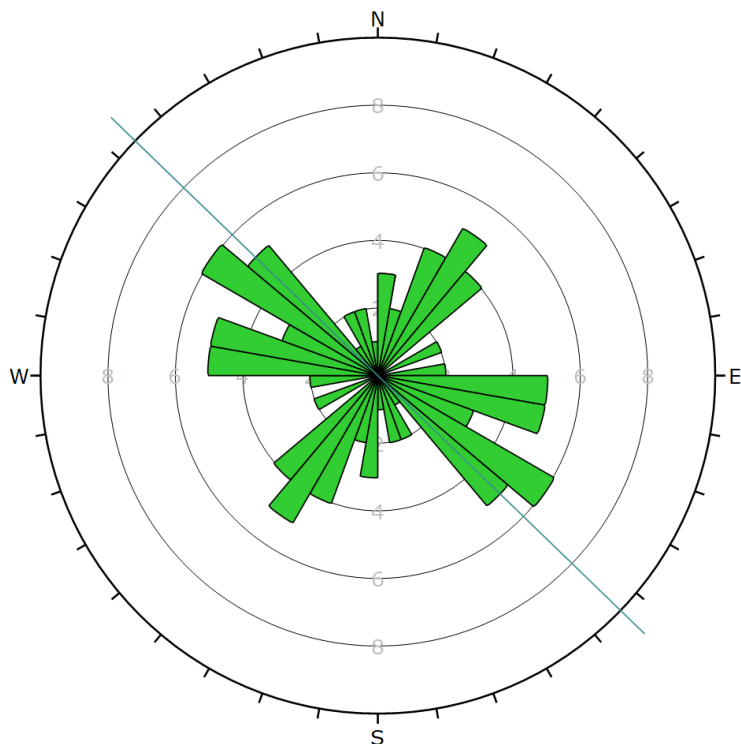


- [42] NVE, "REGINE register over nedbørfelt," Norges vassdrag- og energidirektorat, [Online]. Available: <https://www.nve.no/kart/kartdata/vassdragsdata/nedbørfelt-regine/>.
- [43] NIBIO, "Markfuktighet," NIBIO, [Online]. Available: <https://www.nibio.no/tjenester/wms-tjenester/markfuktighet>. [Accessed 2023].
- [44] Sweco Norge AS, "NV42E39LK-GEO-RAP-0003. Fagrapport ingeniørgeologi, Bergskjæringer," 2022.
- [45] Allfarvei/Veidekke, "OPS Prosjekt E39 Lyngdal-Flekkefjord. Sluttdokumentasjon fra byggefasen, muntlig kommunikasjon".
- [46] Standard Norge, "NS-EN 8141-1:2022 Vibrasjoner og støt, Del 1: Virkning av vibrasjon og lufttrykkstøt på byggverk, inkl. tunneler og bergrom".
- [47] Y. Sandvik, "E39 ML Verdier over planlagte tunneler," Sweco Norge AS, 2021.
- [48] NTNU, "Rock Quarrying. Blast design," 2009.
- [49] Standard Norge, "NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2020 Eurokode 7 Geoteknisk prosjektering," 2020.

## Vedlegg 1. Konturplott og sprekkerose

### 1. PÅHUGG VEST (Frøymland)





Symbol	Feature
◊	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.10
	2.10 - 4.20
	4.20 - 6.30
	6.30 - 8.40
	8.40 - 10.50
	10.50 - 12.60
	12.60 - 14.70
	14.70 - 16.80
	16.80 - 18.90
	18.90 - 21.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	20.92%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

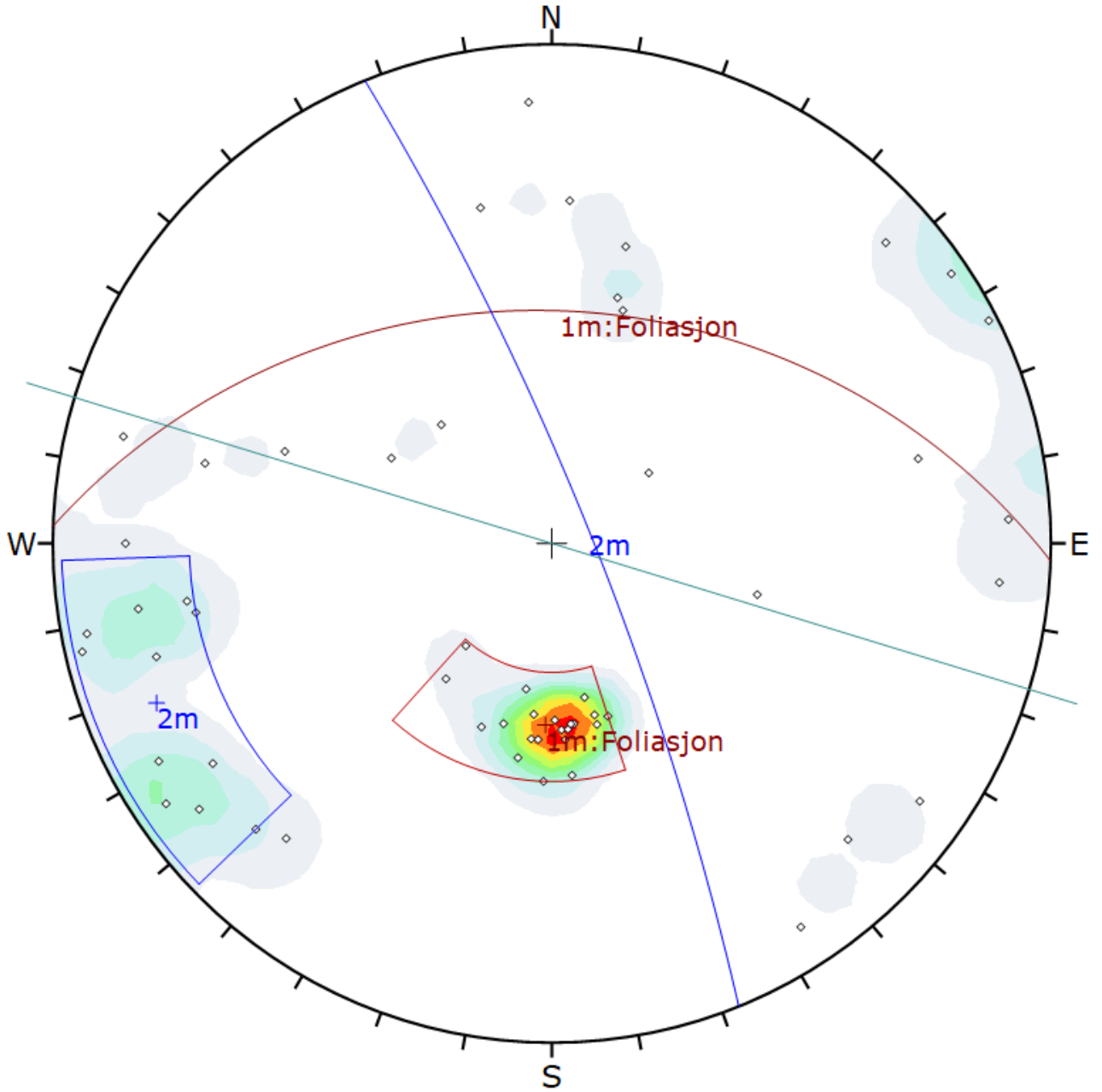
	Color	Dip	Dip Direction	Label
<b>Mean Set Planes</b>				
1m	■	30	24	Foliasjon
2m	■	79	123	
3m	■	72	213	

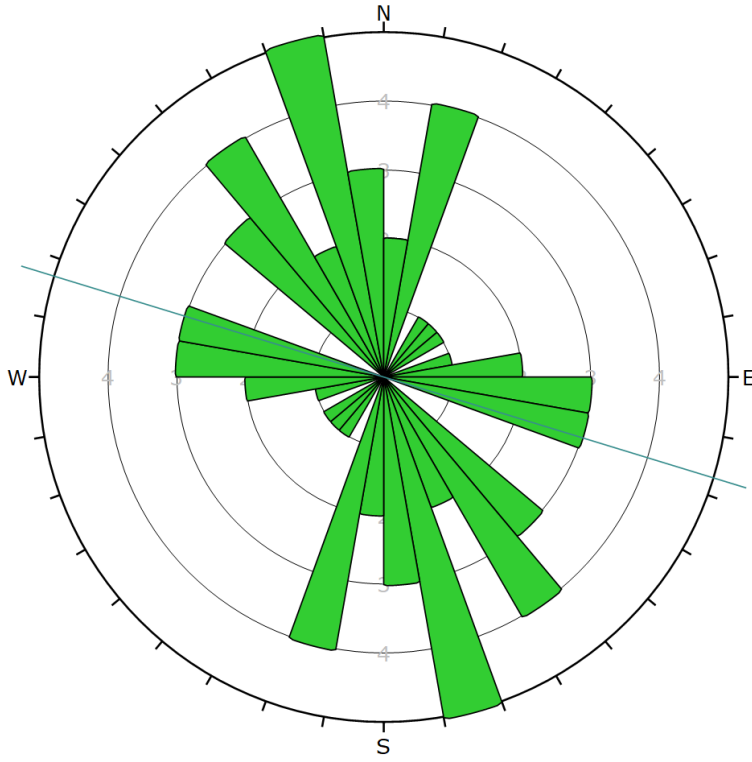
  

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	87 (87 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

<b>Plot Mode</b>	Rosette
<b>Plot Data</b>	Apparent Strike
<b>Face Normal Trend</b>	0.0
<b>Face Normal Plunge</b>	90.0
<b>Bin Size</b>	10°
<b>Outer Circle</b>	10 planes per arc
<b>Planes Plotted</b>	52
<b>Minimum Angle To Plot</b>	45.0°
<b>Maximum Angle To Plot</b>	90.0°

2. MIDTRE DEL (profil 1200 - 2800)





Symbol	Feature
◊	Pole Vectors



  

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.00
	2.00 - 4.00
	4.00 - 6.00
	6.00 - 8.00
	8.00 - 10.00
	10.00 - 12.00
	12.00 - 14.00
	14.00 - 16.00
	16.00 - 18.00
	18.00 - 20.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	19.06%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

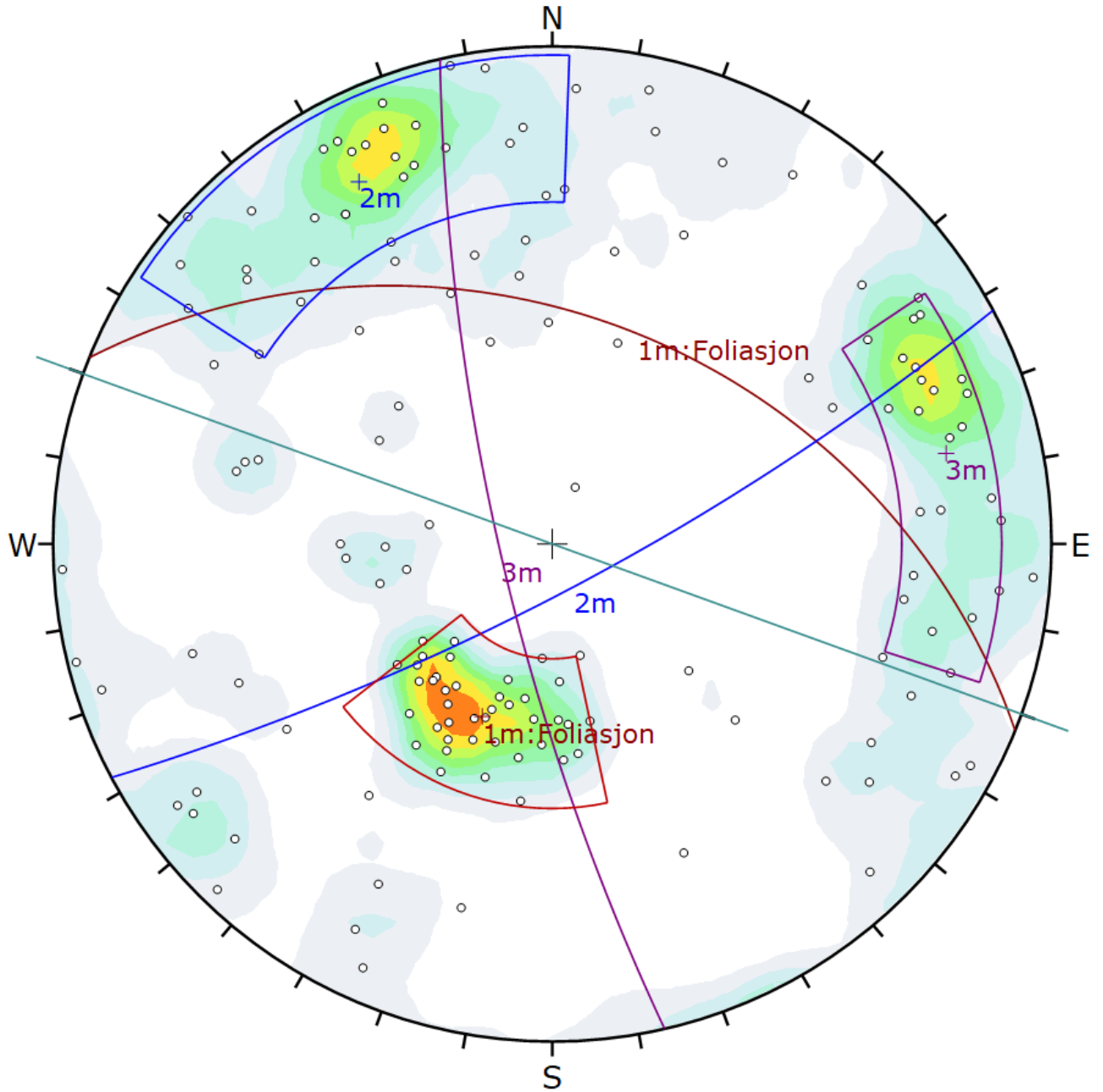
	Color	Dip	Dip Direction	Label
<b>Mean Set Planes</b>				
1m		40	2	Foliasjon
2m		81	68	

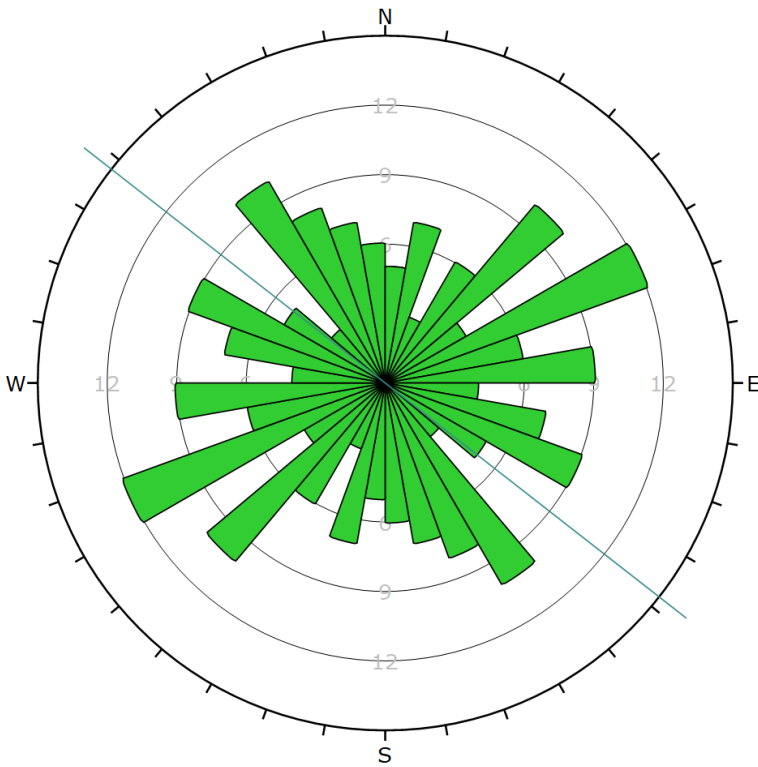
  

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	56 (56 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

<b>Plot Mode</b>	Rosette
<b>Plot Data</b>	Apparent Strike
<b>Face Normal Trend</b>	0.0
<b>Face Normal Plunge</b>	90.0
<b>Bin Size</b>	10°
<b>Outer Circle</b>	5 planes per arc
<b>Planes Plotted</b>	35
<b>Minimum Angle To Plot</b>	45.0°
<b>Maximum Angle To Plot</b>	90.0°

### 3. PÅHUGG ØST (profil 2800 til Øyesletta)





Symbol	Feature
◇	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 0.80
	0.80 - 1.60
	1.60 - 2.40
	2.40 - 3.20
	3.20 - 4.00
	4.00 - 4.80
	4.80 - 5.60
	5.60 - 6.40
	6.40 - 7.20
	7.20 - 8.00

<b>Contour Data</b>	Pole Vectors
<b>Maximum Density</b>	7.14%
<b>Contour Distribution</b>	Fisher
<b>Counting Circle Size</b>	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
<b>Mean Set Planes</b>				
1m	■	40	23	Foliasjon
2m	■	78	260	
3m	■	78	151	

<b>Plot Mode</b>	Pole Vectors
<b>Vector Count</b>	155 (155 Entries)
<b>Hemisphere</b>	Lower
<b>Projection</b>	Equal Angle

<b>Plot Mode</b>	Rosette
<b>Plot Data</b>	Apparent Strike
<b>Face Normal Trend</b>	0.0
<b>Face Normal Plunge</b>	90.0
<b>Bin Size</b>	10°
<b>Outer Circle</b>	15 planes per arc
<b>Planes Plotted</b>	121
<b>Minimum Angle To Plot</b>	45.0°
<b>Maximum Angle To Plot</b>	90.0°