



Fagrapport: Ingeniørgeologi Vråheiatunnelen

Detaljregulering E39 Mandal-Lyngdal øst

LINDESNES KOMMUNE

Oppdragsnr:	10219378
Oppdragsnavn:	E39 Mandal - Lyngdal øst; Detaljregulering
Dokument nr.:	NV42E39ML-GEO-RAP-0004
Filnavn	E39_ML_Lindesnes_Ingeniørgeologi_Vråheiatunnelen_fagrapport

Revisjonsoversikt

Revisjon	Dato	Revisjon gjelder	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
01	07.07.2021	1. gangsbehandling	NOMGAM	NOBJGR	NOHOLL

Sammendrag

Vråheiatunnelen er ca 700 meter lang, og planlegges med doble løp med tverrsnitt T10,5.

Tunnelen etableres i båndgneis med jevnt over god kvalitet, med antatt middels borbarhet og sprengbarhet. Bergmassekvaliteten på tunnelnivå antas å være god. Det er identifisert seks svakhetssoner som kan få betydning for driving og sikring av tunnelen.

Tunnelen har over store deler av traseen mindre enn 50 meter overdekning. På grunn av begrenset overdekning antas det at også mindre svakhetssoner vil ha påvirkning ned til tunnelnivå.

Påhuggsområdene er vurdert som oversiktlige, men med noe usikkerhet knyttet til løsmassemekktigheten ved påhugg vest. Det er derfor planlagt totalsonderinger her, og det kan være nødvendig å avvente endelig plassering av påhugg til etter avgraving av løsmassene.

På grunn av myrområder er det satt et strengt innlekkasjekrav for en strekning på 205 meter. Kravene medfører trolig at det blir behov for systematisk forinjeksjon i omtrent 30% av den totale tunnallengden. Ellers antas det behovsprøvd injeksjon. Omfanget av faktisk utført injeksjon avhenger av innlekkasjene på tunnelnivå. Dette er vanskelig å prognosere i forkant av tunneldrivingen.

Innhold

Sammendrag	3
1 Innledning	6
1.1 Bakgrunn.....	6
1.2 Rapportens innhold	7
1.3 Trasevalg, linjeføring, tunneltverrsnitt.....	7
1.4 Geoteknisk kategori, kontroll og kvalitetssikring	8
2 Grunnlag og utførte undersøkelser	11
2.1 Grunnlag	11
2.2 Tidligere undersøkelser	12
2.3 Utførte undersøkelser	12
3 Grunnforhold Faktadel	14
3.1 Topografi.....	14
3.2 Kvartærgeologi.....	15
3.3 Berggrunnsgeologi	16
3.4 Strukturgeologi	18
3.5 Steinmaterialets kvalitet.....	21
3.6 Borbarhet og sprengbarhet	22
3.7 Vannforhold – Hydrologi/hydrogeologi	22
3.8 Omgivelser	23
3.9 Skredfare	23
4 Tolkningsdel Vråheiatunnelen.....	24
4.1 Bergoverdekning	24
4.2 Svakhetssoner.....	24
4.3 Bergmassekvalitet	28
4.4 Bergspenninger	29
4.5 Brukbarhet av steinmaterialet	29
4.6 Borbarhet og sprengbarhet	30
4.7 Påhugg og forskjæringer.....	30
4.8 Bergsikring	35
4.9 Vurdering av innlekkasjekrav	37
4.10 Miljøhensyn.....	44
5 Usikkerheter, anbefalinger og videre undersøkelser	46
5.1 Usikkerheter	46
5.2 Ingeniørgeologisk kompetanse i byggefasen.....	46
5.3 Krav til overvåking av spesielle forhold	47
5.4 Forslag til supplerende undersøkelser	47
6 Referanser	48

VEDLEGG

- Vedlegg 1 Ingeniørgeologiske tegninger plan og profil
- Vedlegg 2 Sprekkeroser og stereonett
- Vedlegg 3 Resultat laboratorietest av steinmateriale

1 Innledning

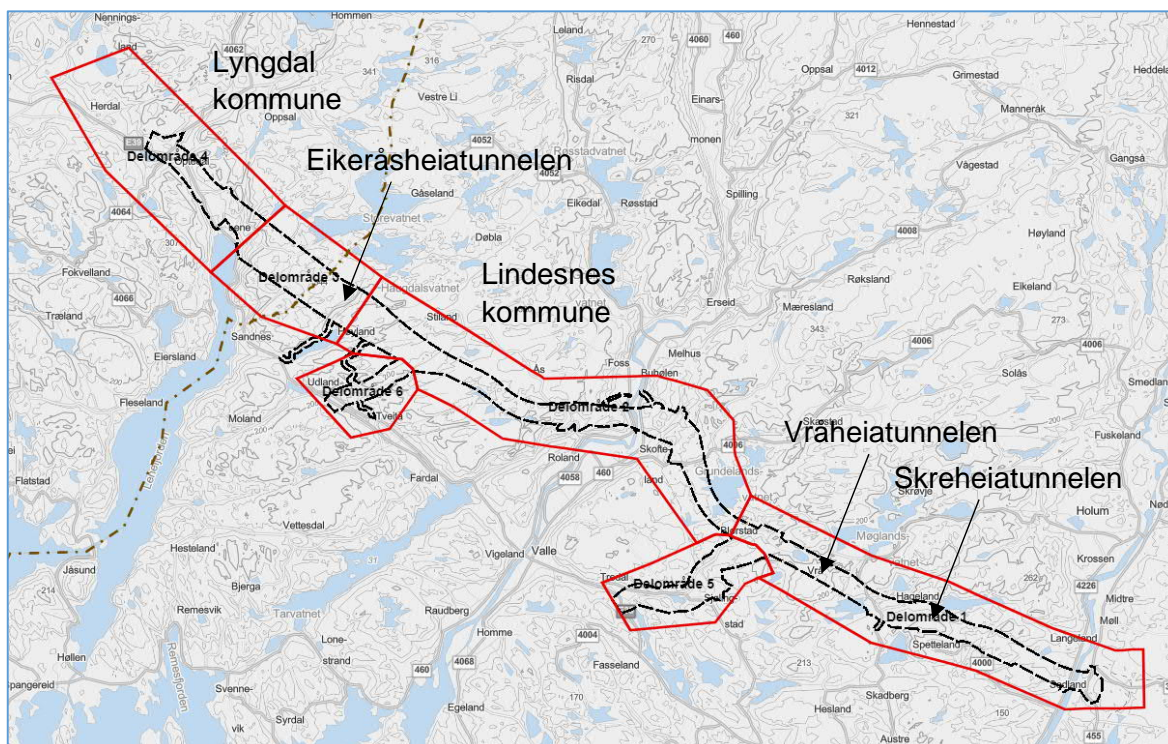
1.1 Bakgrunn

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

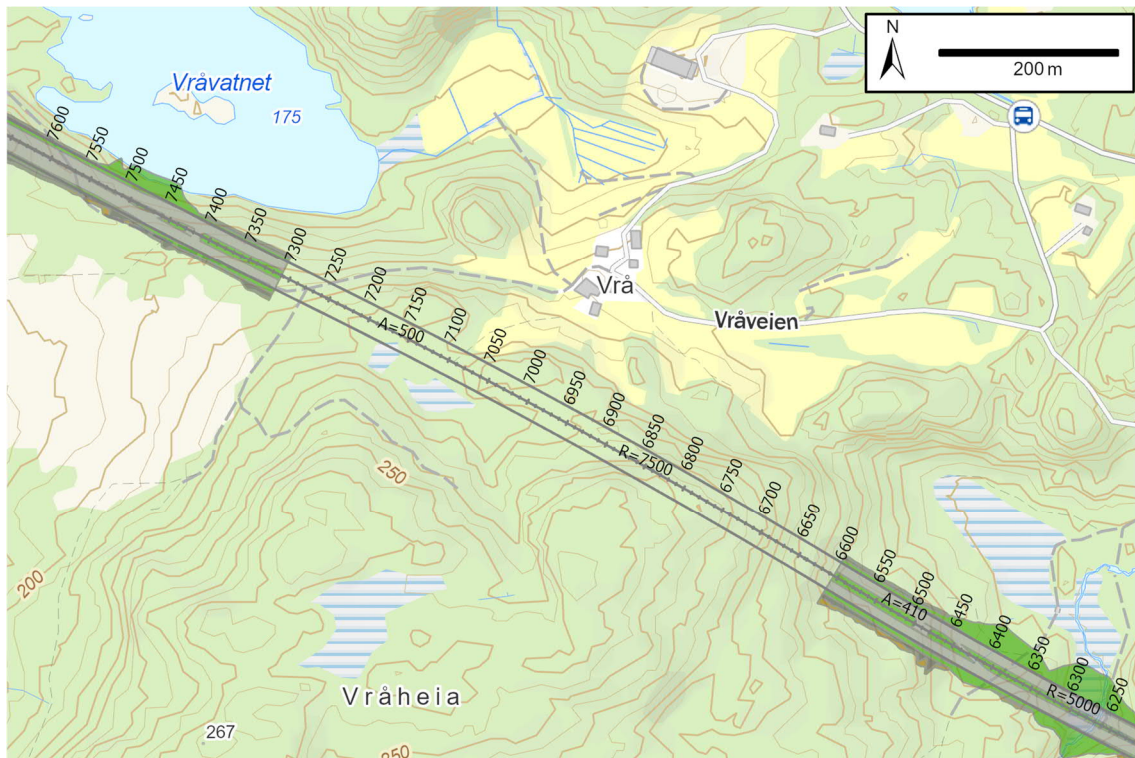
Totalt planlegges det 3 tunneler og over 10 000 løpemeter med høye bergskjæringar. Tunnelene i prosjektet er:

- Skreheiatunnelen (ca. 230 meter)
- Vråheiatunnelen (ca. 700 meter)
- Eikeråsheiatunnelen (ca. 3000 meter)

Vråheiatunnelen ligger i delområde 1, i Lindesnes kommune. Oversiktskart over tunnelen er vist i Figur 2: Oversiktskart over tunneltraseen for Vråheiatunnelen..



Figur 1: Oversiktskart over prosjektområdet. Mandalselva til høyre og Herdal til venstre.



Figur 2: Oversiktskart over tunneltraseen for Vråheiatunnelen.

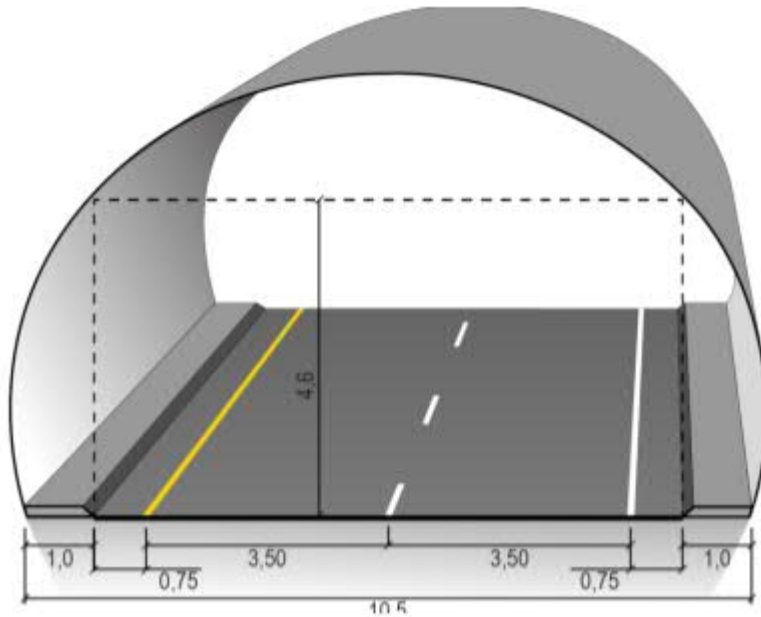
1.2 Rapportens innhold

Foreliggende rapport omhandler de geologiske forholdene ved Vråheiatunnelen. Tunnelen er i overkant av 700 meter og er lokalisert i delområde 1 i Lindesnes kommune.

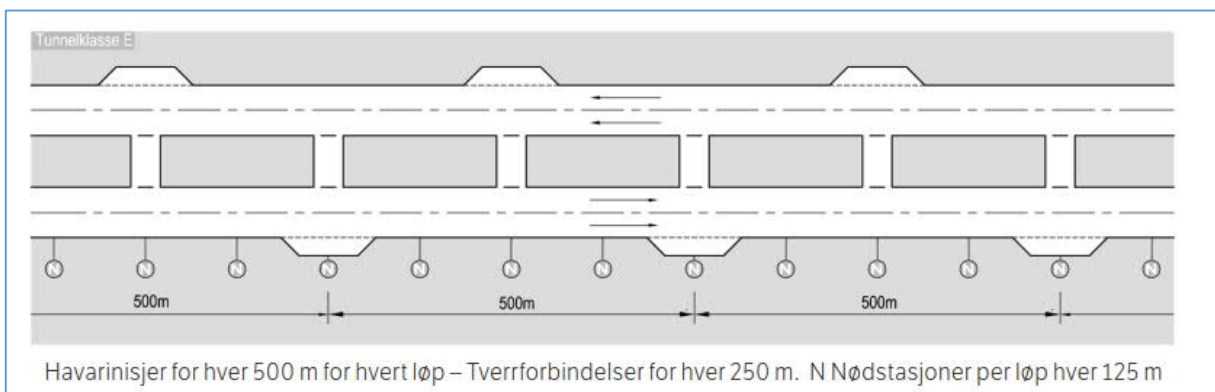
Rapporten er basert på disposisjon fra SVVs håndbøker N500 [1] og V520 [2]. Teksten er delt inn i en faktadel og en tolkningsdel. Rapporten baserer seg på faglige vurderinger, feltobservasjoner, grunnundersøkelser og eksisterende kart- og bildedatabaser.

1.3 Trasevalg, linjeføring, tunnelvernsnitt

Veglinjen planlegges som vegklasse H3 med fire kjørefelt og fartsgrense på 110 km/t. Tunnelen vil ha to løp med profil T10,5 (Figur 3). Tunnelen ligger i tunnelklasse E med krav om havarinisje hver 500 meter og nødutganger hver 250 meter (Figur 4). Tunnelen har et jevnt fall på 1,75 % mot øst.



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



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

1.4 Geoteknisk kategori, kontroll og kvalitetssikring

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

Tabell 1: Definisjon av geoteknisk kategori [4].

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

* Vurderes særskilt

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

Tabell 2: Klassifisering av vanskelighetsgrad [4].

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

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

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

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

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

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

De mest kompliserte og kritiske områdene ved driving av Vråheiatunnelen antas å være påhuggsområdene og svakhetssonene med begrenset overdekning. På bakgrunn av dette vurderes det som naturlig å plassere hele tunnelen i geoteknisk kategori 3.

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

Avhengig av pålitelighetsklasse CC/RC stilles krav til prosjekteringskontrollklasse (PKK) med tilhørende krav til kontrollform slik det fremgår av Tabell 4 nedenfor. For CC/RC3 får man PKK3

med krav til egenkontroll, intern systematisk kontroll og utvidet kontroll. Det er byggherrens ansvar å få gjennomført utvidet kontroll.

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

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

2 Grunnlag og utførte undersøkelser

2.1 Grunnlag

2.1.1 Kart- og bildedatabaser

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

- Berggrunnskart fra NGU i 1:250.000-skala og 1:50.000-skala [6]
- Kwartærgeologisk kart fra NGU [7].
- Grunnvannsdatabase GRANADA fra NGU [8].
- Dypforvittringsrapport fra NGU [9].
- Skredhendelser og aktsomhetskart fra NVE [10].
- Vegkart, database hos Statens vegvesen [11].
- Aktsomhetskart for Radon fra NGU [12].
- Nettbasert kartverktøy: «Norgebilder», «Norgei3D», «Norgeskart», «Google Maps».
- GEODATA – Grunnlagkart i WMS-løsning av tilgjengelige kartdata fra kartverket [13].
- Kart over naturtyper, miljøstatus fra Miljødirektoratet [14].

2.1.2 Retningslinjer og krav

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

- Eurokode 0: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 [5].
- Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering – Del 1 Allmenne regler NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2020 [4].
- Veileder til bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering [15].
- Statens vegvesen Håndbok N500 – Vegtunneler [1].
- Statens vegvesen V520 Tunnelveiledning [2].
- Statens vegvesen Håndbok N200 Vegbygging [16].
- Statens vegvesen Håndbok R760 Styling av vegprosjekter [17].
- Statens vegvesen, Publikasjon nr 103. Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø [18].
- NS-EN ISO 14689-1, Geotekniske felt- og laboratorieundersøkelser - Identifisering, beskrivelse og klassifisering av berg [19].
- NGI, Bruk av Q-systemet. Bergmasseklassifisering og bergforsterkning [20].

2.1.3 Sikkerhet mot skred

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

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

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

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

Påhuggsområdene ligger ikke innenfor NVE sine aktsomhetssoner for skred, alle skredtyper. Det er moderat bratt terreng over forskjæring og påhugg ved østre påhugg. Vurdering av tiltak og sikring av dette området må gjøres under etablering av påhuggsflate.

2.2 Tidligere undersøkelser

Det ble utarbeidet en teknisk fagrapport for ingeniørgeologi i forbindelse med områderegulering [21]. Her ble det gjennomført befaringer til kritiske områder. Det ble utført sprekkekartlegging, skredvurdering, analyse av noe bergmateriale, geotekniske borer og geoelektriske målinger (ERT og IP).

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

2.3 Utførte undersøkelser

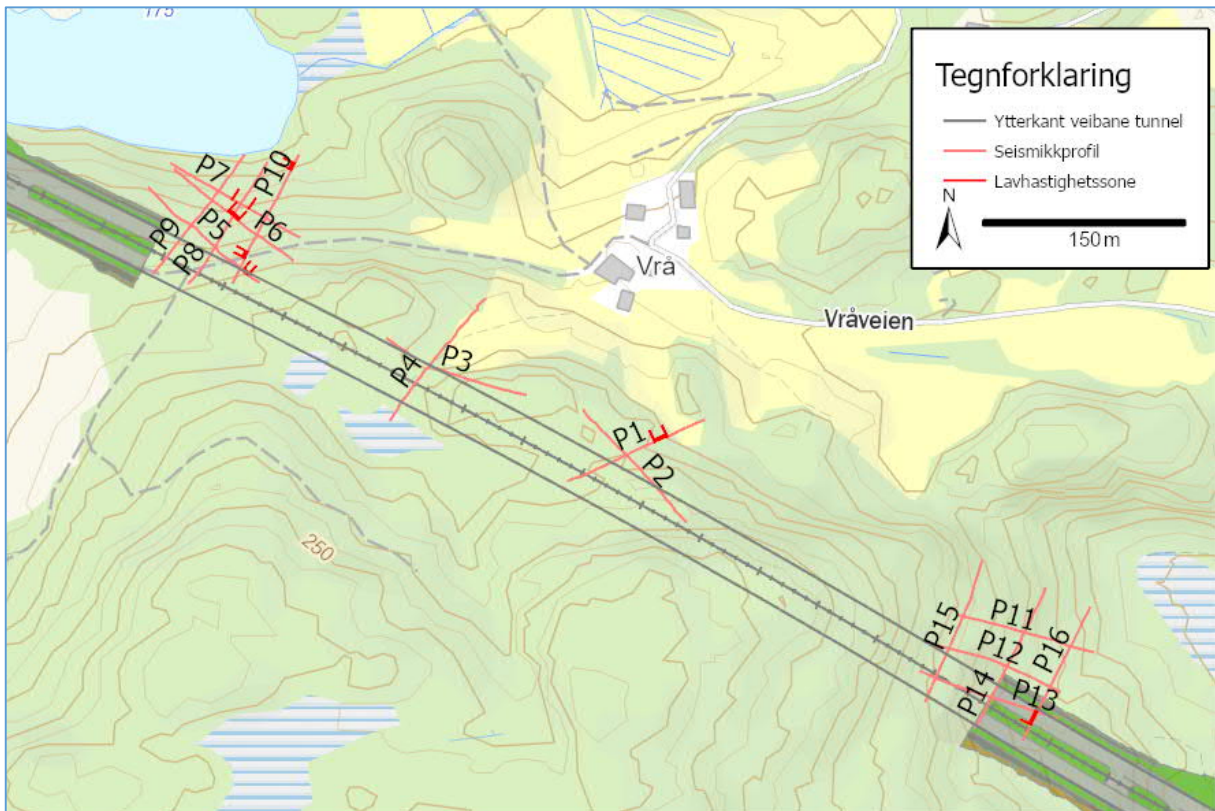
2.3.1 Feltbefaringer

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

Sprekkekartlegging er utført med høyrehåndsregelen.

2.3.2 Geofysikk

Det er utført refraksjonsseismikk ved begge påhuggsområdene samt over tunnelen i tilknytning til myrområder og søkk. Undersøkelsene ble utført på bakgrunn av forrige planfase da linjen lå noe lenger mot nord. Hensikten med refraksjonsseismikken var å undersøke potensielle svakhetssoner og bergoverdekning. Områder med utført seismikk er vist på Figur 6.

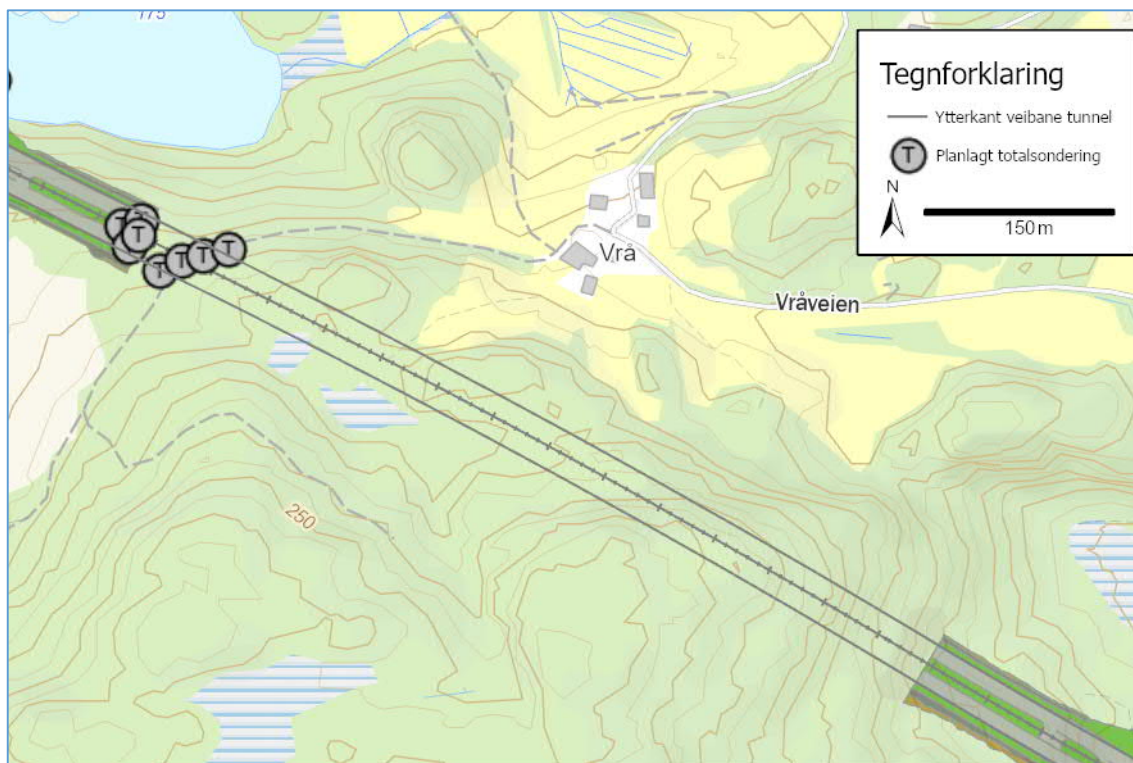


Figur 6: Oversikt over utførte profil med refraksjonsseismikk over Vråheiatunnelen.

Detaljer om seismikken er gitt i egen rapport [22].

2.3.3 Grunnboringer

Det er planlagt grunnboringer for detaljregulering i tilknytning til vestlig påhugg, som foreløpig ikke er utførte. Plassering av planlagte totaltsonderinger er vist i Figur 7. Utdypende informasjon om planlagte grunnboringer er gitt i geoteknisk rapport [23].



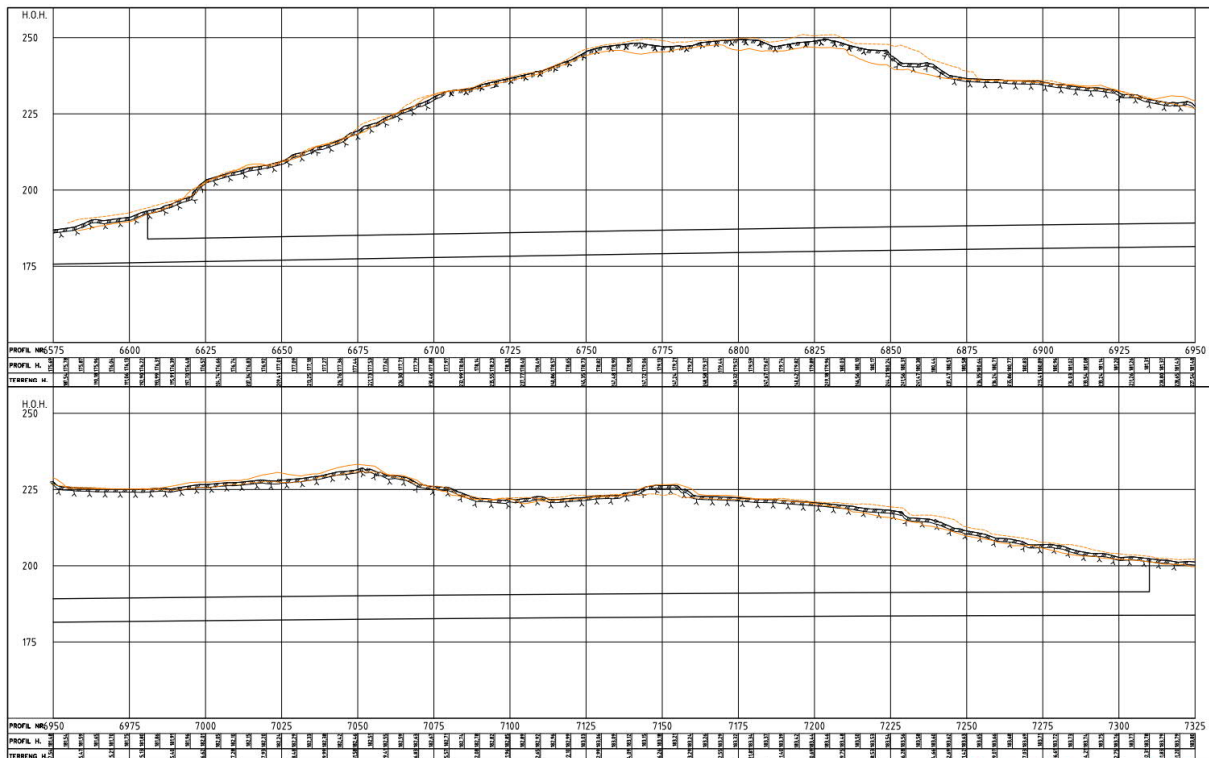
Figur 7: Plassering av planlagte totalsoneringer i tilknytning til vestre påhugg for Vråheiatunnelen.

Det er utført tester av steinmateriale hentet over vestlig del av tunnelen, se avsnitt 3.5 for mer detaljer.

3 Grunnforhold Faktadel

3.1 Topografi

Vråtunnelen er planlagt gjennom nordlig del av Vråheia (267 moh). Ved østlig påhugg har terrenget en helning mellom 20-30° med enkelte brattere bergskreanter. Høyeste punkt over tunneltraseen er ca. 255 moh. Mot vest krysser tunnelen under noen mindre myrområder før overdekningen slakt synker ned mot vestlig påhugg som kommer ut noe skrått på terrengoverflaten.



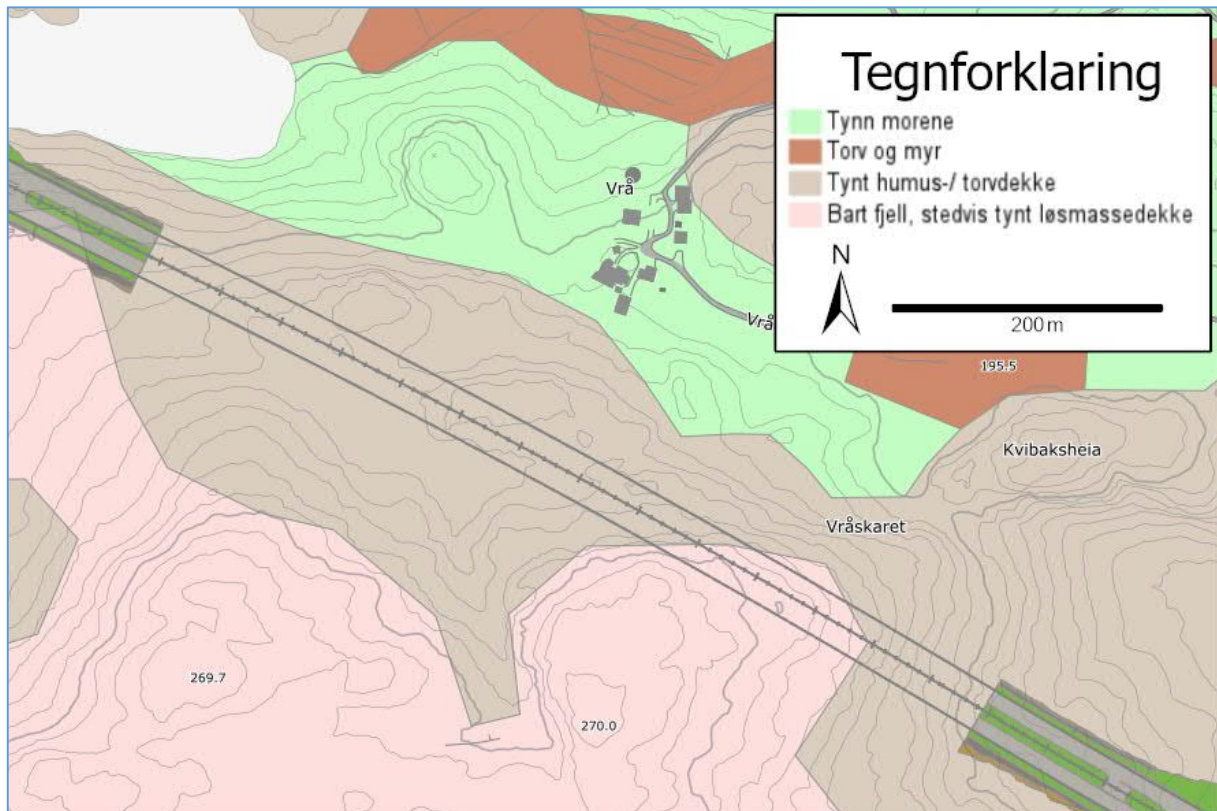
Figur 8: Lengdeprofil langs Vråheiatunnelen.

3.2 Kvartærgeologi

Løsmassene er av NGU kartlagt som torv og myr, humusdekke/tynt torvdekke med mektighet rundt 0,2-0,5 meter i midtre og vestre del av tunneltraseen, og bart berg over østre del av tunnelen [7]. Nord for tunnelen er løsmassene registrert som tynt morenedekke.

På befaring registreres det tynt løsmassedekke, antatt 0,5 – 2 m, av torv tilknytning til østre påhugg. Her er det spredte bergblotninger i skrenter. Ved høyeste punkt over traseen er det skinnere løsmassedekke og stor grad av bergblotninger. I midtre del av trasé og vestover mot vestre påhugg preges terrenget av fuktige myrer med mindre knauser med tynt torvdekke.

I vestre påhuggsområde er det registrert oppstikkende bergsua i ytterkant av østgående løp, med tynt torvdekke i overkant. Påhugget er plassert N-NØ – S-SV i en nordvendt skråning, noe som gir sideveis skråning i påhuggsområdet. For vestgående løp er det registrert torv av ukjent tykkelse, det ble ikke registrert noen bergblotninger her på befaring. Fra påhugg stiger terrenget slakt østover, og det er registrert bergblotninger rundt 15 meter fra påhugg.



Figur 9: Kvartærgeologisk kart [7]. Bart berg eller tynt humus-/torvdekke over hele tunnelen.

Det er ikke utført manuelle sonderinger i myrområdene over Vråhei-tunnelen for å måle dybden av myrene, men basert på stikking i tilsvarende myrområder langs traseen antas dybden å være opptil 2 meter.

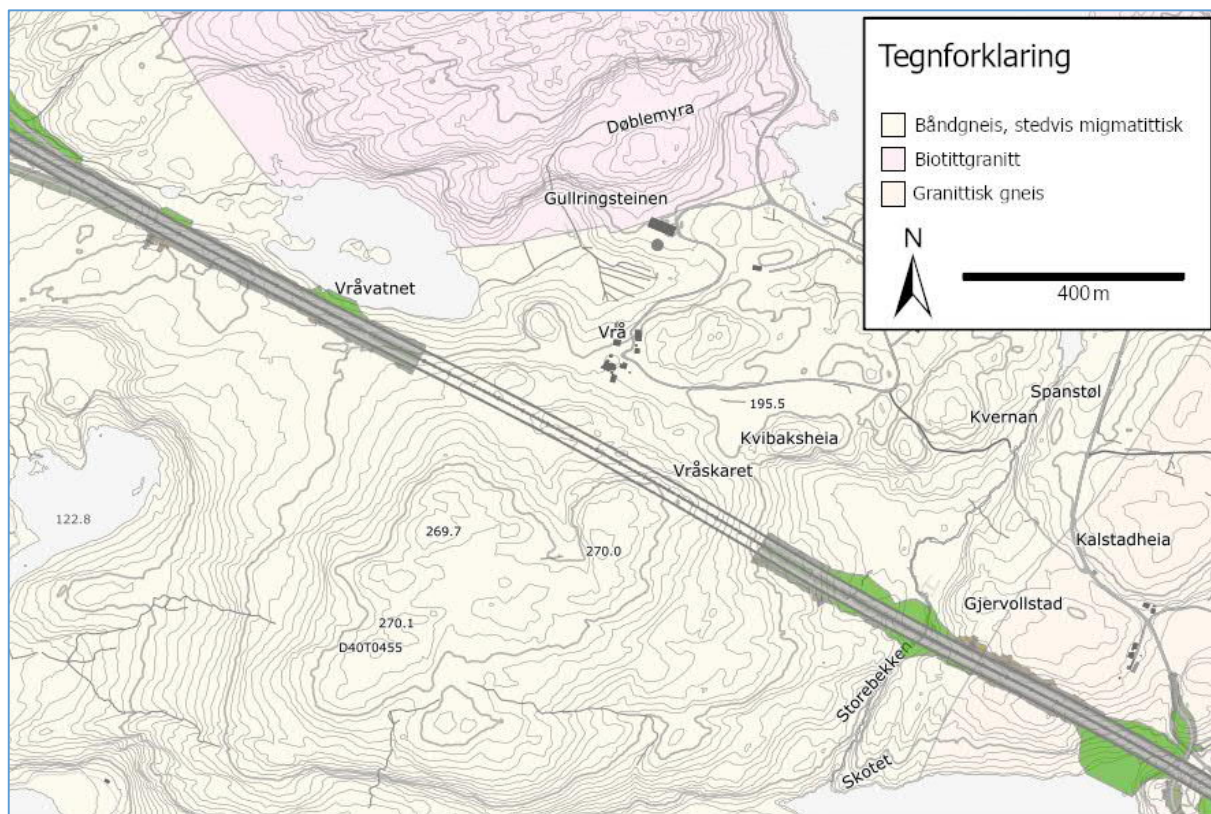
Resultatene fra refraksjonsseismikk viser opptil 3 meter med løsmasser i tilknytning til forsenkninger ved ulike profil.

3.3 Berggrunnsgeologi

På berggrunnsgeologisk kart N50 fra NGU (Figur 10) ligger tunnelen i sin helhet i båndgneis, stedvis migmatittisk, amfibolitt og biotittgneis i bånding med lys gneis [6]. Rundt 300 meter nord for Vråheia er det bergartsgrense mot biotittgranitt, middels- til grovkornet, mens det rundt 400 meter øst for østlig påhugg er markert som granittisk gneis, varierende fin- til middelskornete kvarts- og feltspatrike gneiser.

På feltkartlegging langs traseen registreres lys båndgneis (Figur 11), med innslag av granitt (Figur 12) og pegmatitt i de oppstikkende bergknausene ved myrene. Enkelte steder er båndgneisen lokalt sterkt foldet. Bergmassen er i stor grad massiv med lav oppsprekingsgrad.

Det er ikke registrert mineralressurser i berggrunnen ifølge databasene til NGU [24].



Figur 10: Berggrunnskart, målestokk 1:50 000 [6].



Figur 11: Bergblotning ved ca. pel 6880 med foldet båndgneis. Sideberg til svakhetssone 6.



Figur 12: Lokal variasjon i bergmasse. Finkornet granitt nede til høyre, båndgneis oppe til venstre i bildet. Bilde ved ca. pel 7185.

3.4 Strukturgeologi

3.4.1 Strukturer, foliasjon, skifrihet, oppsprekking

Det er utført sprekkemålinger langs hele traseen, se Figur 13 for samlet stereoplott for samtlige utførte sprekkemålinger i felt. Appen Clino er brukt for måling av sprekkeflater, og RocScience Dips for sammenstilling av sprekkeanalyse.

Generelt gjennom området er det kartlagt tre hovedsprekkesett. I tillegg opptrer det enkelte steder et subhorizontalt plan. Sprekkesett 1 undulerer rundt vertikalt fall, med fallretning både mot nord og mot sør. Både S1 og S2 er jevnlig langs hele traseen.

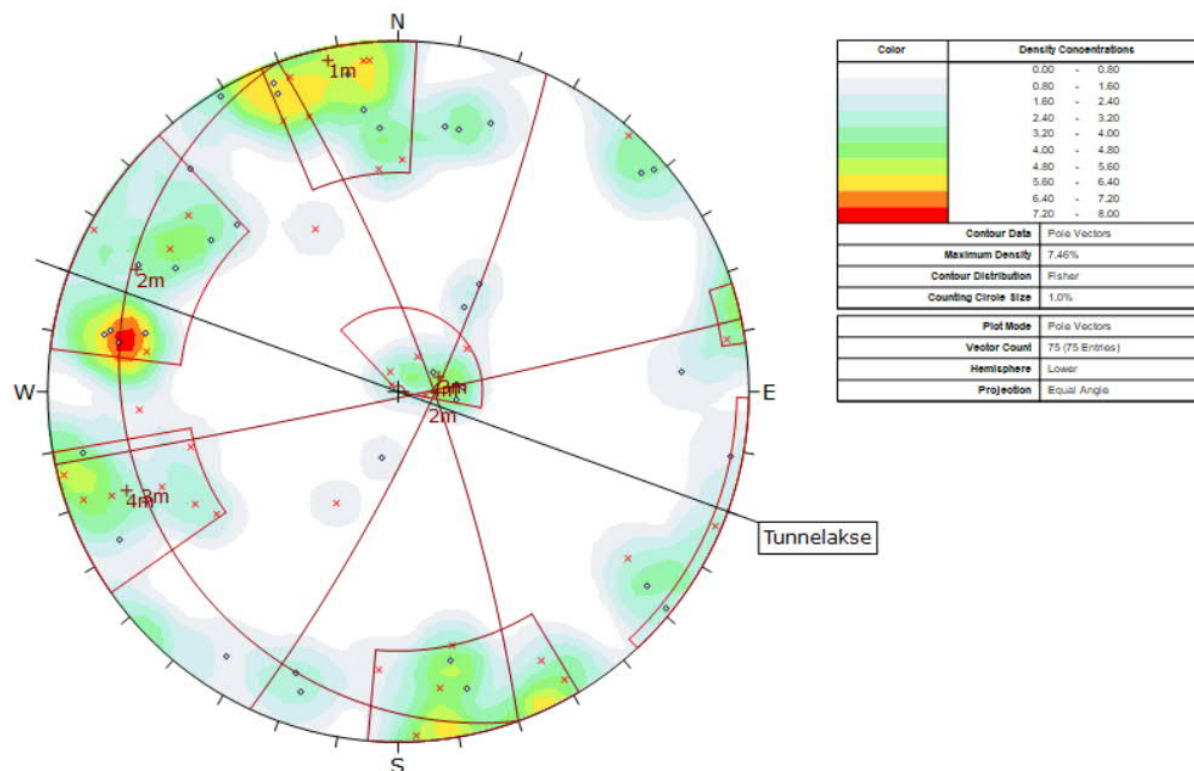
Detaljer om sprekkesettene som er gjennomgående over tunneltraseen er gitt i Tabell 5. Det er ikke registrert noen form for belegg på sprekkeflater. Dette kan skyldes at eventuelt belegg er vasket bort, da sprekkeregistreringer i all hovedsak er foretatt på naturlige svaberg og i skrenter som har vært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

Sprekkeroser langs tunnelen er vist på ingeniørgeologiske tegninger i vedlegg 1. Videre er sprekkerose og stereoplott for østre og vestre del av tunnelen gitt i vedlegg 2.

Tabell 5: Kartlagte sprekkesett over Vråheiatunnelen.

Sprekkesett	Strøk/fall	Kommentar
1m	78° / 88°	Plane, ru.
2m	25° / 79°	Plane, ru.
3m	160° / 14°	Subhorizontalt plan, sees enkelte steder. Ru, bølgete.

4m	340 ° / 79°	Foliasjon. Glatte, bølgete.
----	-------------	-----------------------------

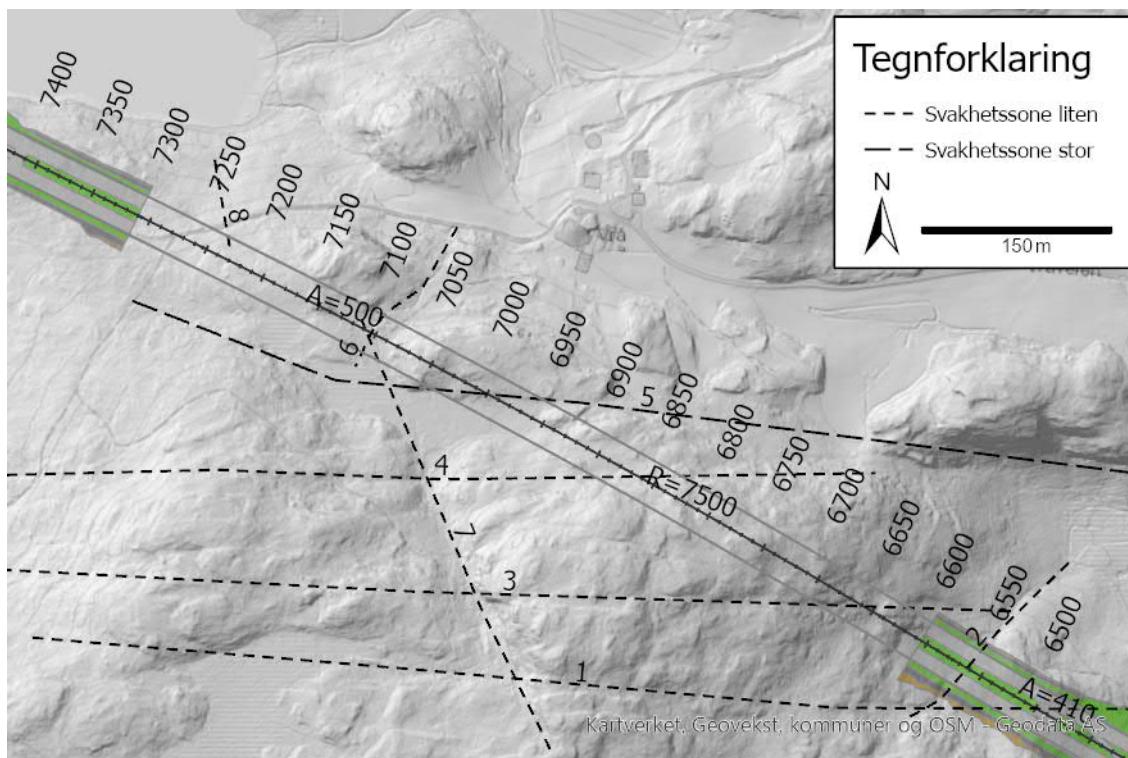


Figur 13: Konturplott av alle sprekemålingene over Vråheiatunnelen (75 stk). Trendlinje for tunnelakse markert.

3.4.2 Lineamenter

Det er utført lineamentstudie i området ved hjelp av skyggekart, topografiske kart og befarings. I hovedsak har de største og mest fremtredende lineamentene i området retning øst-vest. I tillegg finnes det noen mindre lineamenter. Det er kartlagt fem lineamenter som krysser tunneltraseen, og to som krysser forskjæring til østre påhugg. Detaljer om lineamentene er gitt i Figur 14. Her er det i tillegg markert en åttende svakhetszone som er tolket fra refraksjonsseismikken, se avsnitt 4.2.8.

I felt er det observert at sideberget til lineamentene i stor grad har steile overflater, 80-90°. Fall på sonene er dermed antatt å være tilnærmet vertikalt.



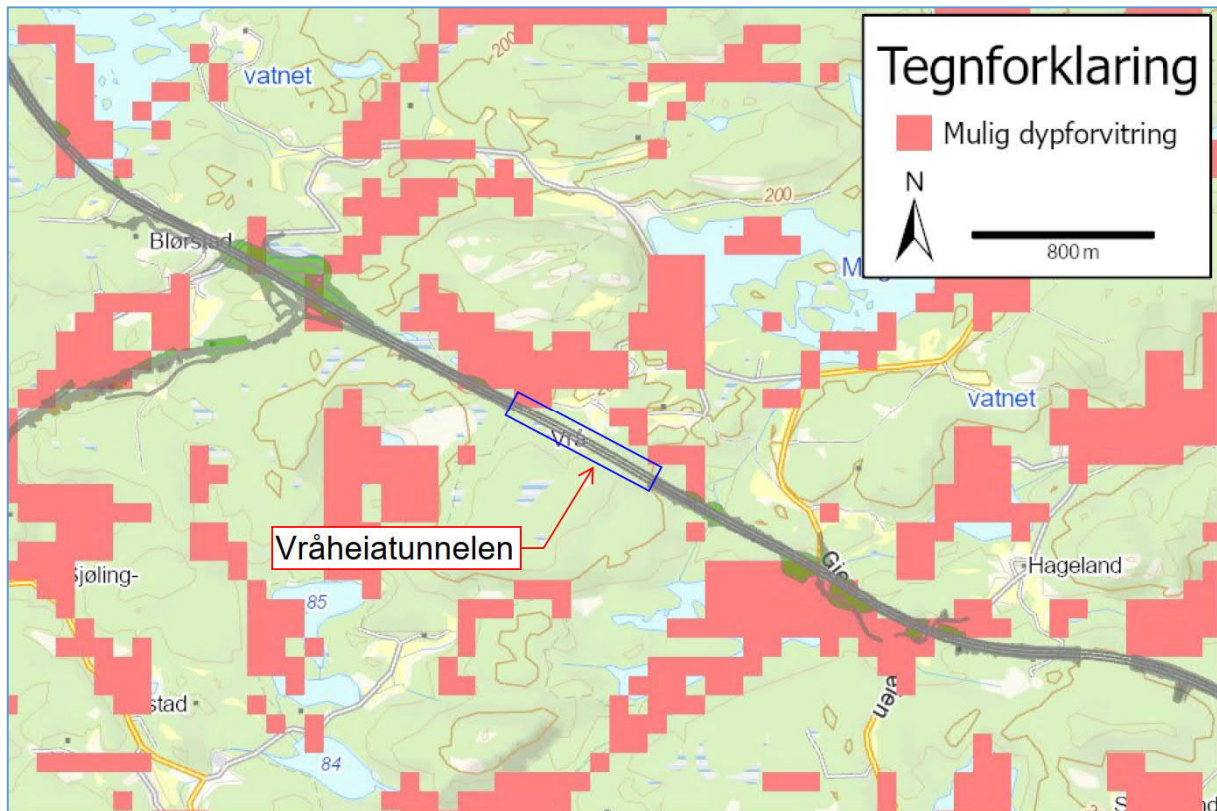
Figur 14: Kartlagte lineamenter i området over Vråheiatunnelen.

3.4.3 Dypforvitring

Det foreligger et aktsomhetskart for dypforvitring for Sør-Norge [9]. Kartene indikerer stort sett at alle større forsenkninger i topografien kan være påvirket av dypforvitring. Kartene er ganske grovkornede, og det er ikke mulig å lese ut detaljer i en målestokk som er tilpasset denne tunnelen. Fra områdereguleringen er det kjent at det finnes soner med indikert mulighet for dypforvitring i planområdet.

Områder med mulig dypforvitring basert på geofysiske målinger er vist i Figur 15. Generelt er det her registrert at dypforvitringssonene i stor grad følger regionale svakheter i NØ-SV- og VNV-ØSØ-retning.

Dypforvitring kan være vanskelig å lokalisere ved vanlig feltarbeid, og det er ikke gjort registreringer ved befaring som legger til grunn at det finnes dypforvitring langs tunneltraseen. I biotittgranitten rett nord for Vråheia på Figur 15 er delvis markert med mulig dypforvitring.



Figur 15: Mulig dypforvitring, markert med rødt [9].

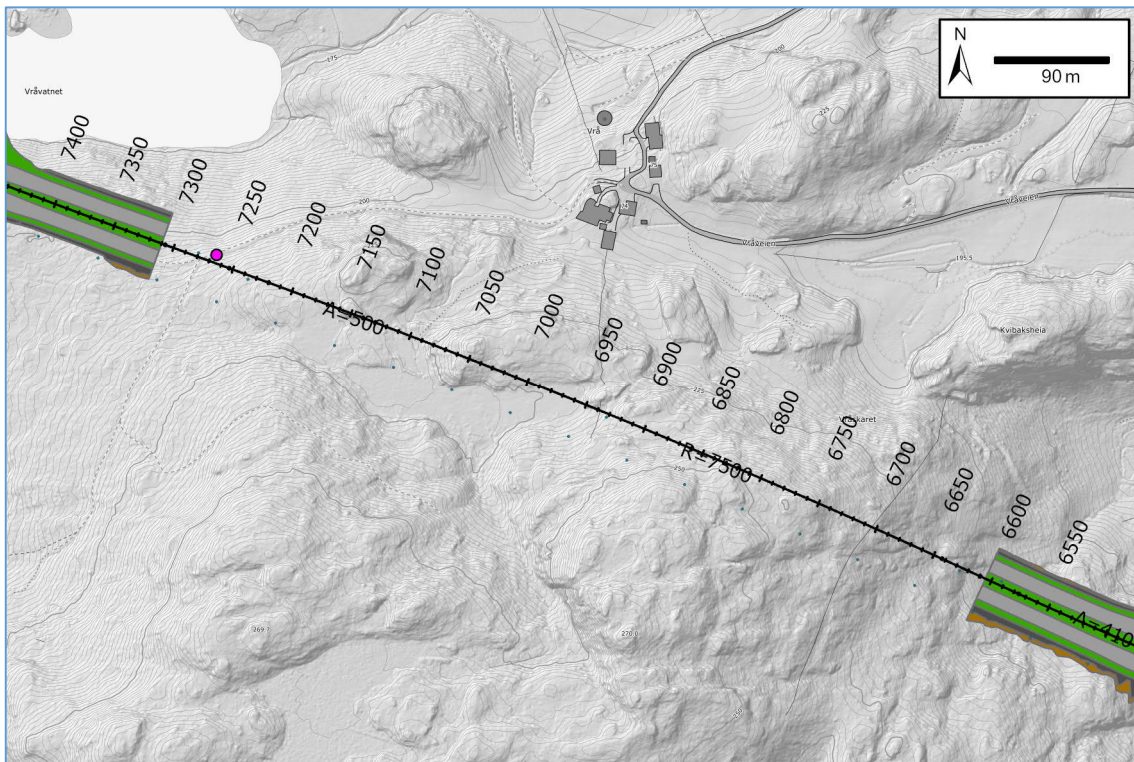
3.5 Steinmaterialets kvalitet

Det er i denne fasen utført test av steinmateriale fra en lokasjon for Vråheiatunnelen (Tabell 6, Figur 16 og vedlegg 3). Kravene til bruk i bærelag er LA-verdi < 35 og MD-verdi < 15.

Tabell 6: Resultater fra testing av LA og MD.

Bergart	Årstall	Lokalitet	LA	MD
Båndgneis	2021	Vråheiatunnelen	85	24

Prøven fra Vråheia er har for høye verdier på både LA og MD, og basert på kun denne prøven er ikke steinmaterialet egnet til bruk i bærelag. Det må gjøres flere tester av bergmassen i anleggsfasen da det kan være variasjoner i bergarten. I tillegg er resultatet over kun basert på en enkelt prøve. Massene kan fortsatt benyttes i fyllinger o.l.



Figur 16: Lilla prikk indikerer området hvor steinprøven er hentet fra.

Normalt er gneis en bergart som egner seg til gjenbruk i både fyllinger og i vegoppbygging. Båndgneisen kan være sulfidholdig, men det er ikke observert.

3.6 Borbarhet og sprengbarhet

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

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

3.7 Vannforhold – Hydrologi/hydrogeologi

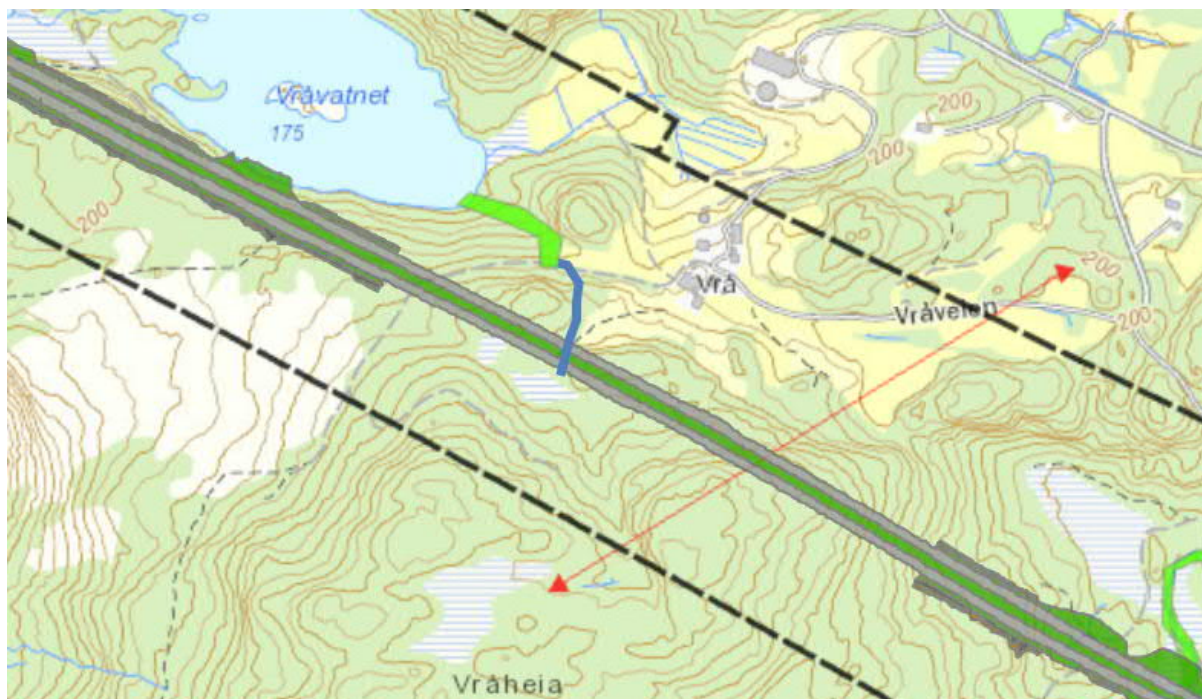
3.7.1 Drenering, myrområder og overflatevann

Tunnelen krysser under noen mindre myrområder. Det er registrert en liten bekk som renner nordover fra myrområdene, omtrent plassert som vist med blått i Figur 17. Vestlig påhugg er plassert ved en skogsvei hvor det er en liten grøft i overkant (sørside). Det finnes noe vann i denne, men tilsiget fra tilliggende terreng antas begrenset.

3.8 Omgivelser

3.8.1 Naturtyper

Det er utført en gjennomgang av kjente naturmangfold-verdier over planlagte tunneler innenfor planområdet [25]. I vurderingen er det ikke registrert noen spesielt sårbare naturtyper i området direkte over Vråheiatunnelen, men det finnes myrområder rett over tunnelen som kan bli direkte påvirket. Vråheia er et trekkområde for vilt, spesielt for hjort i deler av året. Vråvatnet er et viktig fiskevann for ørret og er sårbart for partikkeltransport og påvirkning fra nitrogenforbindelser i anleggsfasen. Det er en liten, men svært viktig gytebekk som renner ut i sørøstre ende av Vråvatnet. Det antas at bekken får tilført vann fra myrområdene over tunnelen. Denne bekken er svært sensitiv om det skulle vise seg at tunnelen vil kunne føre til drenering av myr eller annen påvirkning av vannregimet i området.



Figur 17: Gytebekk markert med grønt, antatt tilførsel fra myrområdene vist med blått. Omtrentlig trekkroute for vilt vist med rødt. [25]

3.8.2 Bebyggelse

Det er ingen bebyggelse i nærheten av tunnelpåbyggene. Det ligger en gard på Vrå omtrent 100 meter nord for tunnelen.

3.9 Skredfare

Tunnelen ligger ikke i utløpsområde for skred ifølge aktsomhetskartene til NVE [10].

4 Tolkningsdel Vråheiatunnelen

4.1 Bergoverdekning

Terrenget over Vråheiatunnelen er preget av en topp på rundt 250 moh i østre del av traseen, og terreng på rundt 225 moh med oppstikkende knauser bestående av bart berg med myrsøkk i mellom i midtre og vestre del. I skråningen ned mot østre påhugg (ca pel 6600 – 6750) er det antatt tynt løsmassedekke av torv, med enkelte spredte bergblotninger.

I tidligere fase er det utført refraksjonsseismikk over antatte svakhetssoner over tunneltraseen, i tillegg til påhuggsområdene. Påhuggene og trasé er nå flyttet noe mot sørvest, men noen av profilene er fremdeles innenfor ny linje, i størst grad vestgående løp. Målingene tyder på relativt liten løsmassemekthet i myrområdene.

Det er ikke utført manuelle sonderinger med stikkstang i denne omgang da myrene var tilfrosset på befaringstidspunktet. Basert på erfaringer fra tilsvarende myrer i planområdet er det antatt at dybden på myrene ligger opp imot to meter. Det kan derfor antas at bergoverdekningen i stor grad tilsvarer terrengnivået.

Østre påhugg ligger ved pel 6605 i en løsmassedekket skråning i hogstfelt, med anslått 8 meter bergoverdekning ved påhugg. Det anslås at skråningen har en helningsgrad varierende mellom 25-40 grader. Bergoverdekningen stiger jevnt opp til rundt 25 m ca. 50 meter innenfor påhugg. Overdekningen stiger videre til en maksimal overdekning på rundt 63 meter ved pel 6820. Etter dette reduseres overdekningen ned til rundt 30-35 meter ved pel 6950, hvor en kommer til svakhetssone 5. Her er det i tidligere fase gjort refraksjonsseismikk som tyder på en løsmassedybde rundt 7 meter, og relativt godt berg under dette. Overdekningen ligger så jevnt fram til rundt pel 7200. Heretter reduseres overdekningen ytterligere jevnt ned til rundt 9,5 m ved vestre påhugg ved pel 7310.

4.2 Svakhetssoner

Vråheiatunnelen krysser endel lineamenter hvor enkelte er tolket til å representere svakhetssoner, se Tabell 7 og Figur 14 for plassering. Den mest markerte og antatt største sonen er lokalisert som en forlengelse av Vråskaret.

Tabell 7: Informasjon om antatte svakhetssoner

Nummer	Antatt fall	Antatt mektighet	Antatt kryssning av senterlinje	Kommentar
1	90°	5 - 10 m	Krysser ikke	Forskjæring
2	90°	< 5 m	Krysser ikke	Forskjæring
3	90°	< 5 m	6658	Søkk
4	90°	< 5 m	6862	Nordre skråning for Vråheiotoppen
5	90°	10 - 20 m	7000	Fremtredende i terrenget, Vråskaret og ØV-orientert myr.

6	90°	< 5 m	7104	Søkk mellom oppstikkende bergknauser, liten bekk fra myr.
7	90°	5 - 10 m	7140	Tolket fra kart
8	90°	< 5 m	7230	Tolket fra refraksjonsseismikk

4.2.1 Sone 1

Sonen stryker omtrent Ø-V, ved pel 6500, rundt 150 meter øst for påhugg øst. Den antas å ha et nært vertikalt fall, og en antatt utbredelse på 5-10 meter. Sonen antas å ikke påvirke påhugget, men kan opptre i forskjæringen.

4.2.2 Sone 2

Sonen stryker ca. NØ-SV, og krysser veilinjens ved pel 6565 nesten normalt rundt 40 meter øst for østre påhugg. Den er lite markert i terrenget, men det renner noe vann her. Området er dekket av løsmasser, anslått dybde 1 - 5 meter, med enkelte store moreneblokker. Sonen antas å ha en mektighet på mindre enn 5 meter, og er antatt å ha et nært vertikalt fall.

4.2.3 Sone 3

Sone 3 er ikke markert i terrenget, men tolket fra lineamentkart, med tilnærmet lik orientering som sone 1. Den antas å ha nært vertikalt fall, med en antatt mektighet på < 5 meter, og krysser tunnelens senterlinje ved pel 6658. Basert på antatt mektighet og orientering antas det at sonen vil kunne påvirke stabiliteten i tunnelen over en samlet strekning på ca. 60 meter.

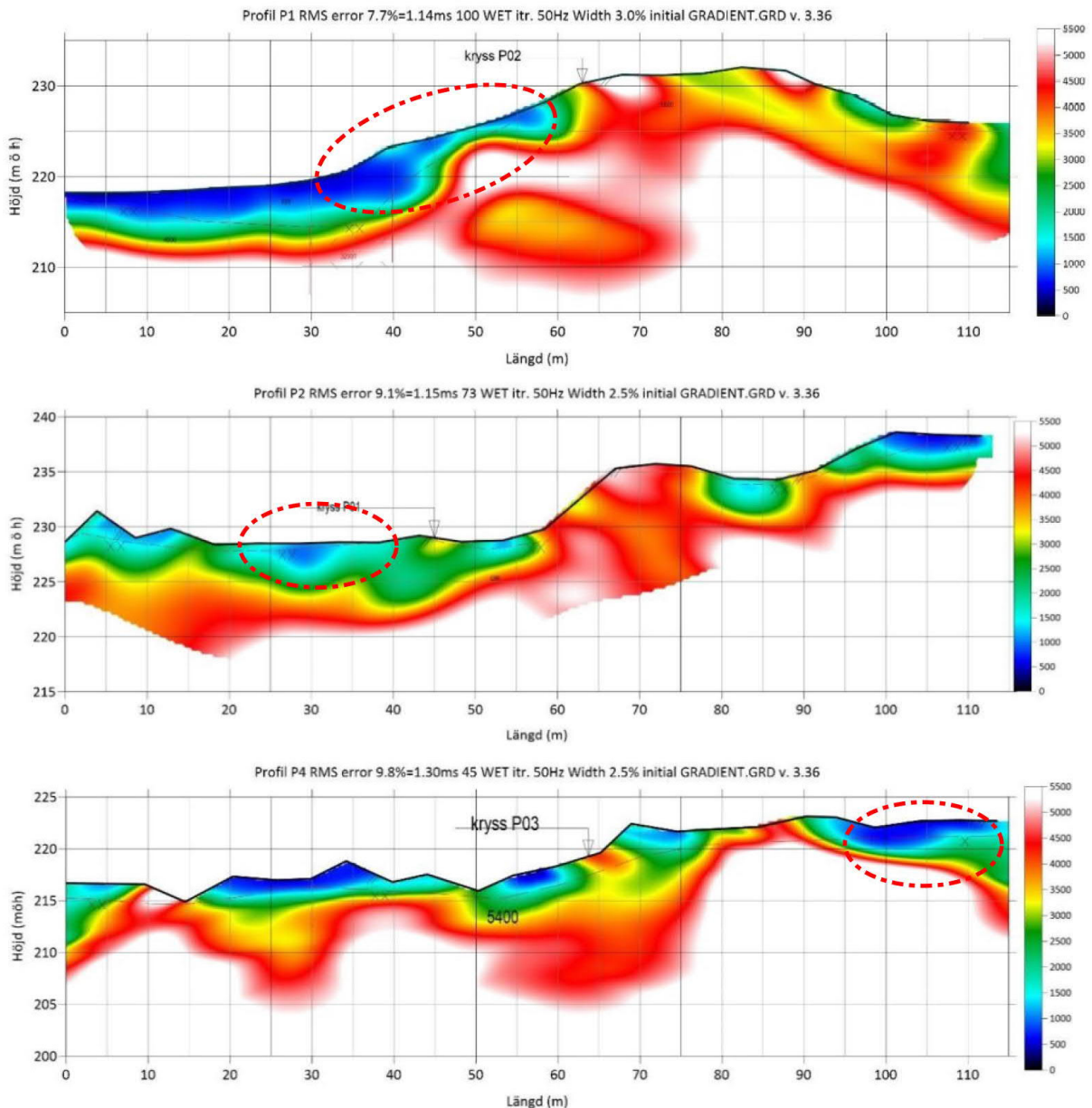
4.2.4 Sone 4

Sone 4 har tilnærmet lik orientering Ø-V som sone 1 og 3 og krysser tunnelens senterlinje ved pel 6865. Den kommer til uttrykk som skråning som avgrenser heia, med synlig steilt sideberg, se Figur 11. Det måles fall på 87-89° i sideberget, og den antas dermed å være tilnærmet vertikal. Den dør ut mot sone 5 i Vråskaret. Basert på antatt mektighet og orientering antas det at sonen vil kunne påvirke stabiliteten i tunnelen over en samlet strekning på ca. 60 meter.

4.2.5 Sone 5

Sone 5 har orientering Ø-V, og er den mest markerte svakhetssonen i området. Den kan følges rundt 800 meter på lineamentskartet, fra bratte skrenter i øst, over Vråskaret og så langsetter hovedmyra over tunneltraseen. Den antas å krysse tunnelens senterlinje ca. ved pel 7000. I Vråskaret er det en blanding av skog og dyrka mark, mens det lenger vest blir delvis skogkledde myrer. Det antas at svakhetssonen endrer orienteringen noe mot SØ-NV lengst vest basert på topografien og plasseringen av myra. Profil 1 og 2 fra utført refraksjonsseismikk krysser svakhetssonen, mens profil 4 når bort til myrområdet som følger sonen (Figur 18). Profil 1 indikerer et tynt løsmasselag på 2-3 m over berg, som er tolket til å være drenert jord som ligger over grunnvannsnivå. Det er indikert en mulig lavhastighetszone eller svakhet i berget rett nord for lineamentsmarkeringen, med tolket løsmassedyp på 3 – 7 meter. Profil 2 indikerer et lag på 2 – 5 meter mektighet med hastigheter i intervallet 1500 – 3000 m/s, noe som tilsvarer hardpakket morene og trolig oppknust berg ned mot dypet. Total mektighet av løsmasser og oppknust berg indikeres å være omtrent åtte meter. Profil 4 indikerer over fem

meter med løsmasser i myrområdet, men store, høgfrequente topografiske variasjoner langs profilet reduserer kvaliteten på modelleringen av de seismiske dataene.

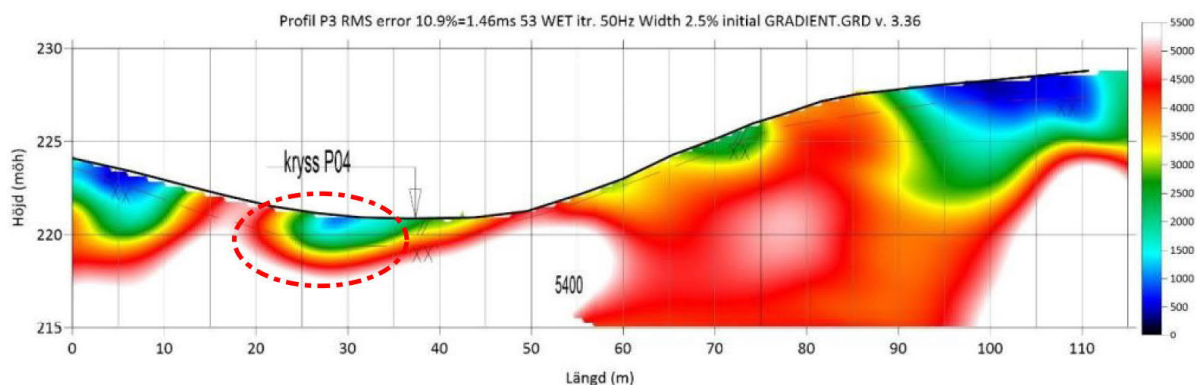


Figur 18: Refraksjonsseismiske profil som dekker svakhetssone 5. [22] Plassering for sone markert med stiplet rød sirkel.

Modelleringen for profil 2 og 4 er antatt å ha en dårlig tilpasning til måledata, mens modelleringen for profil 1 er antatt å ha en mindre bra tilpasning til måledata, noe som gir rom for feiltolkninger. [22] Basert på dette antas det at sonen har en mektighet på 10 – 20 m som gir noe oppsprukket berg. Basert på antatt mektighet og orientering antas det at sonen vil kunne påvirke stabiliteten i tunnelen over en samlet strekning på ca. 100 meter.

4.2.6 Sone 6

Sone 6 har orientering N/NØ – S/SV, og er ei forholdsvis kort sone som opptrer som et søkk i terrenget mellom bergknauser. Sonen antas å krysse senterlinje ved pel 7105. Midt i søkket er det noe vann som drenerer nordover, fra myra og nordvestover mot Vråvatnet. Profil 3 (Figur 19) fra utført refraksjonsseismikk krysser svakhetssonen, mens profil 4 (Figur 18) ligger parallelt med sonen. Profil 3 indikerer et 0 – 3 m mektig lag med hastigheter i intervallet 500 – 1500 m/s, noe som tilsvarer drenert jord som ligger over grunnvannsnivå. Gunstig orienteringen av sonen omtrent normalt på tunneltraseen gjør at påvirkningsområdet for tunnelen er kort, antatt rundt 5-10 meter. Sonen dør ut mot antatt svakhetszone 7.



Figur 19: Refraksjonsseismisk profil 3, som krysser antatt svakhetszone 6. [22] Plassering av sone markert med stiplet rød sirkel.

4.2.7 Sone 7

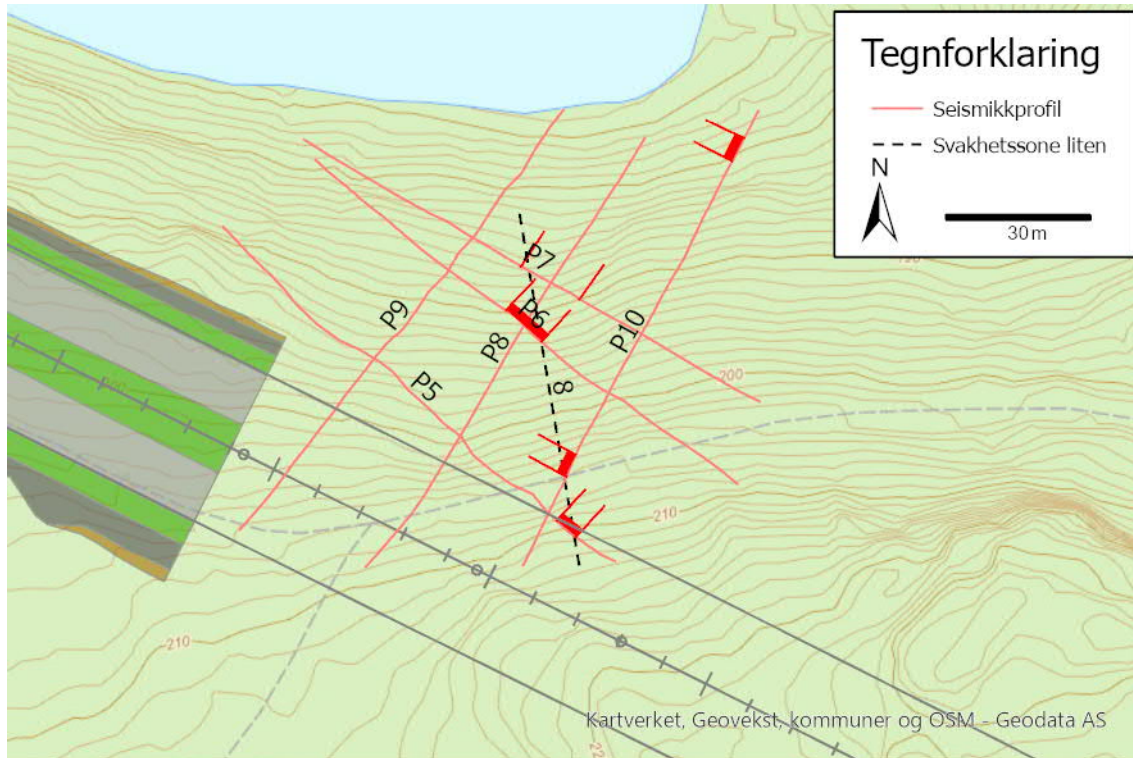
Sone 7 har orientering N/NV – S/SØ og er tolket ut fra lineamentsstudie. Den er tydelig avgrenset av et søkk som strekker seg fra myrområdet tilknyttet svakhetszone 5 og mot sør-sørøst. Hvor langt sonen strekker seg nordover, om den dør ut mot svakhetszone 5 eller om den fortsetter videre mot sone 6 er uklart. Det er her valgt å tolke at den strekker seg forbi sone 5. Den treffer da sone 6 i ytterkant av østgående løp, noe som gjør at tunnelen her potensielt blir påvirket av to mindre svakhetssoner. Profil 4 (Figur 18) fra utført refraksjonsseismikk antas å nå bort til sone 7, i samme område som markert svakhetszone 5. Det indikeres fem meter med løsmasser i myrområdet, men store, høgfrequente topografiske variasjoner langs profilet reduserer kvaliteten på modelleringen av de seismiske dataene. Sonen antas å ha en mektighet på 5 – 10 meter, og kan på grunn av orienteringen påvirke østgående tunneløp over en strekning på 30 – 40 meter.

Denne sonen er den eneste som har en orientering som ligger noe tilsvarende som de tolkede dypforvitringssonene i Figur 15. Området over tunneltraseen er ikke markert med potensiale for dypforvitring, men siden det er registrert variasjoner i bergarter langs tunneltraseen på feltbefaring så kan ikke muligheten for dypforvitring utelukkes helt.

4.2.8 Sone 8

Sone 8 har en orientering på N/NV – S/SØ, og er tolket ut fra refraksjonsseismikken (Figur 20). Den er ikke registrert på feltbefaring, og er heller ikke synlig ved lineamentsstudiet. Området

er dekket av løsmasser og vegetasjon (plantefelt for skog) av ukjent tykkelse da det ikke er utført totalsonderinger her, men profil 5 og 10 fra refraksjonsseismikken viser en mulig lavhastighetssone med opptil 10-15 m mektighet. Resten av profilene anslår jevnt over 0 – 3 m løsmasseytykkelse for området. Det tolkes dermed dithen at det ligger en svakhetssone med 5 – 10 meter mektighet som kan påvirke vestgående løp, mulig også østgående løp. Det antas at svakhetssonen kan ha påvirkning på bergmassekvalitet opp i mot 40 meter av tunneltraseen.



Figur 20: Tolket svakhetssone fra refraksjonsseismikk

4.3 Bergmassekvalitet

Bergmassekvaliteten er kartlagt i felt på blotninger over tunneltraséen. Bergmassen som er synlig i dagen er båndgneis, med lav oppsprekkingsgrad. Estimerte Q-verdier under befaring har vært fra 10 og over, også i påhuggsområdene. Det må imidlertid påpekes at kartleggingen i stor grad er utført på oppstikkende berg i dagen som ofte fremstår som avrundede svaberg, og at det ikke nødvendigvis er representativt for bergmassen nede på tunnelnivå. Q-metoden er utviklet for kartlegging etter sprengning i tunnel, og man vil derfor ofte ikke kunne si noe særlig sikkert om f.eks. parameterene J_w og SRF.

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

For svakhetssonene er det generelt antatt $J_w = 0,66 - 1$ (avhengig av om det er fuktige områder over tunnelen) og $SRF = 2,5 - 7,5$. Det er antatt $RQD = 40$ for påhuggsområdene, og ved kryssende svakhetssoner (sone 6 og 7). Ellers er det antatt $RQD = 40$ for svakhetssonene, da det er relativt lav bergoverdekning og det antas at også mindre soner vil føre til redusert bergmassekvalitet på tunnelnivå. Antatt fordeling av bergmassekvalitet er gitt i Tabell 8.

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

	A		B		C		D		E		E		F	
	Q >40		Q 10-40		Q 4-10		Q 1-4		Q 0.4-1		Q 0.1-0.4		Q 0.01-0.1	
	%	m	%	m	%	m	%	m	%	m	%	m	%	m
Østgående løp	-	-	28	195	34	243	24	170	14	97	-	-	-	-
Vestgående løp	-	-	23	165	36	256	28	200	12	84	-	-	-	-

4.4 Bergspenninger

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

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

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

4.5 Brukbarhet av steinmaterialet

Normalt er gneis en bergart som egner seg til gjenbruk i både fyllinger og i veioppbygging. Basert på én prøve fra dagen tilfredsstillende ikke båndgneisen ved påhugg vest kravene til kvalitet for bruk som veioppbygging. Steinmaterialets brukbarhet til kvalitetsfyllinger og f.eks. som bærelag kan være varierende på grunn av lokale variasjoner med innslag av granitt og pegmatitt langs traseen. Dersom det er ønskelig å kunne gjenbruke tunnelmassen anbefales det å foreta ytterligere analyser av steinmaterialet ved senere planfaser.

4.6 Borbarhet og sprengbarhet

Det foreligger ikke laboratorieanalyser av borbarhetsindeks DRI, slitasjeindeks BWI eller sprengbarhet SPR. Verdier må derfor estimeres fra erfaringsdata på bakgrunn av empiriske data. Da det ikke foreligger data spesifikt for båndgneis så brukes verdiene for gneis. Der estimeres DRI = 35-55 («middels») og BWI = 35-50 («middels») ifølge [26]. Til sammenligning ble det i en rapport fra ny E18 [27] estimert for båndgneis DRI = 45 – 60 («middels – god»), BWI = 20 – 40 («lav – middels») og SPR «middels».

4.7 Påhugg og forskjæringer

4.7.1 Påhugg øst

Østlig påhugg etableres i en skråning med helning rundt 30-45 grader (Figur 21). Området er i stor grad dekket av løsmasser av ukjent tykkelse, og er delvis i et plantefelt for gran. Mellom tunnellopene er det langsgående et lite lokalt søkk hvor det dreneres noe vann. Det finnes noen bergblotninger i tilknytning til påhugget, og det antas at løsmassedeckket har en maksimal dybde på 1-5 meter. Dette må fjernes før nøyaktig plassering av påhugget kan bestemmes.

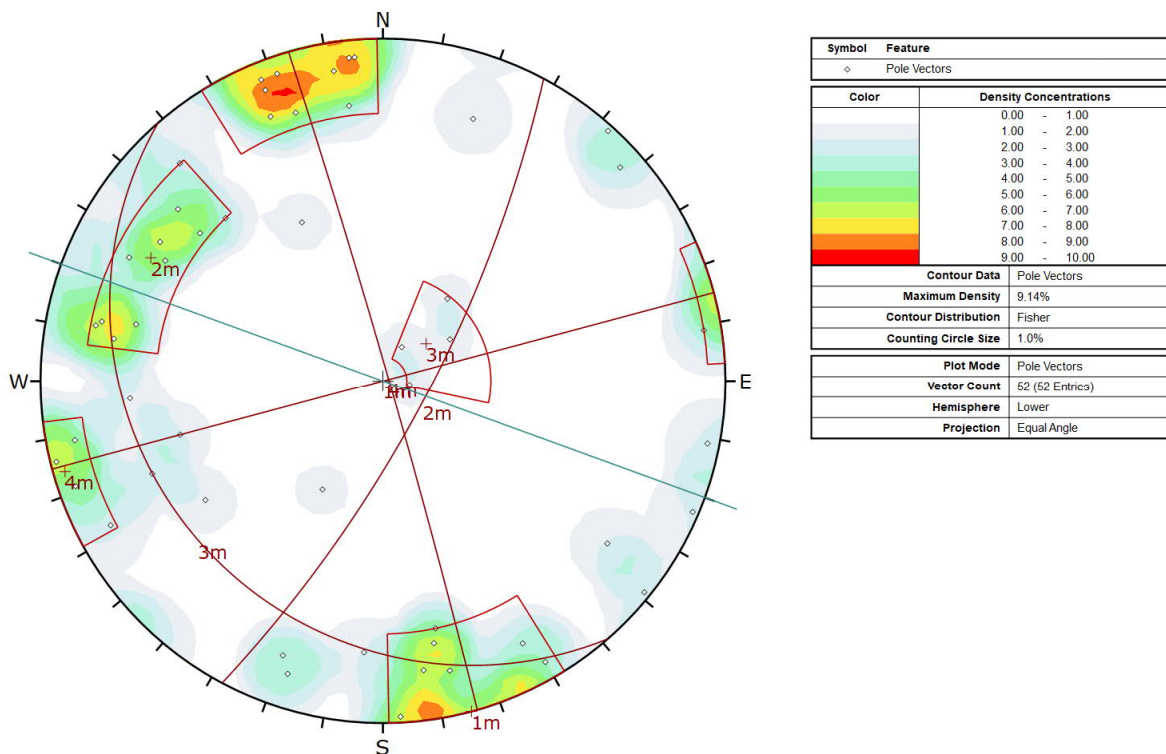
Forskjæringen vil på begge sider bli omtrent 20 meter høy mens antatt overdekning ved påhugget vil være omtrent 8 meter (Figur 23). Registrerte bergblotninger tyder på god bergkvalitet, men det må forventes en sone med mer oppsprukket dagberg i tilknytning til påhugget. Estimert Q-verdi for området er 10.



Figur 21: Foto av østre påhuggsområde.

Stabilitet i påhuggsflate og forskjæringer

Stereoplott av innmålte sprekkeretninger i påhuggsområdet samt orientering av tunnelaksen er vist på Figur 22. Basert på kartleggingen er det tolket fire sprekkeseett i området. De ser i stor grad ut til å sammenfalle med samtlige sprekkeseett vist i Figur 13, med variasjoner i utbredelse.



Figur 22: Stereoplott av sprekketretninger ved påhugg i øst. Tunnelaksen indikert med linjen igjennom sentrum.

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

Forskjæring nordside

Det er lite sannsynlig med plan utglidning, men noe mulig med toppling. Det er også mulig med kiledannelse mellom settene 2m og 4m.

Forskjæring sørside

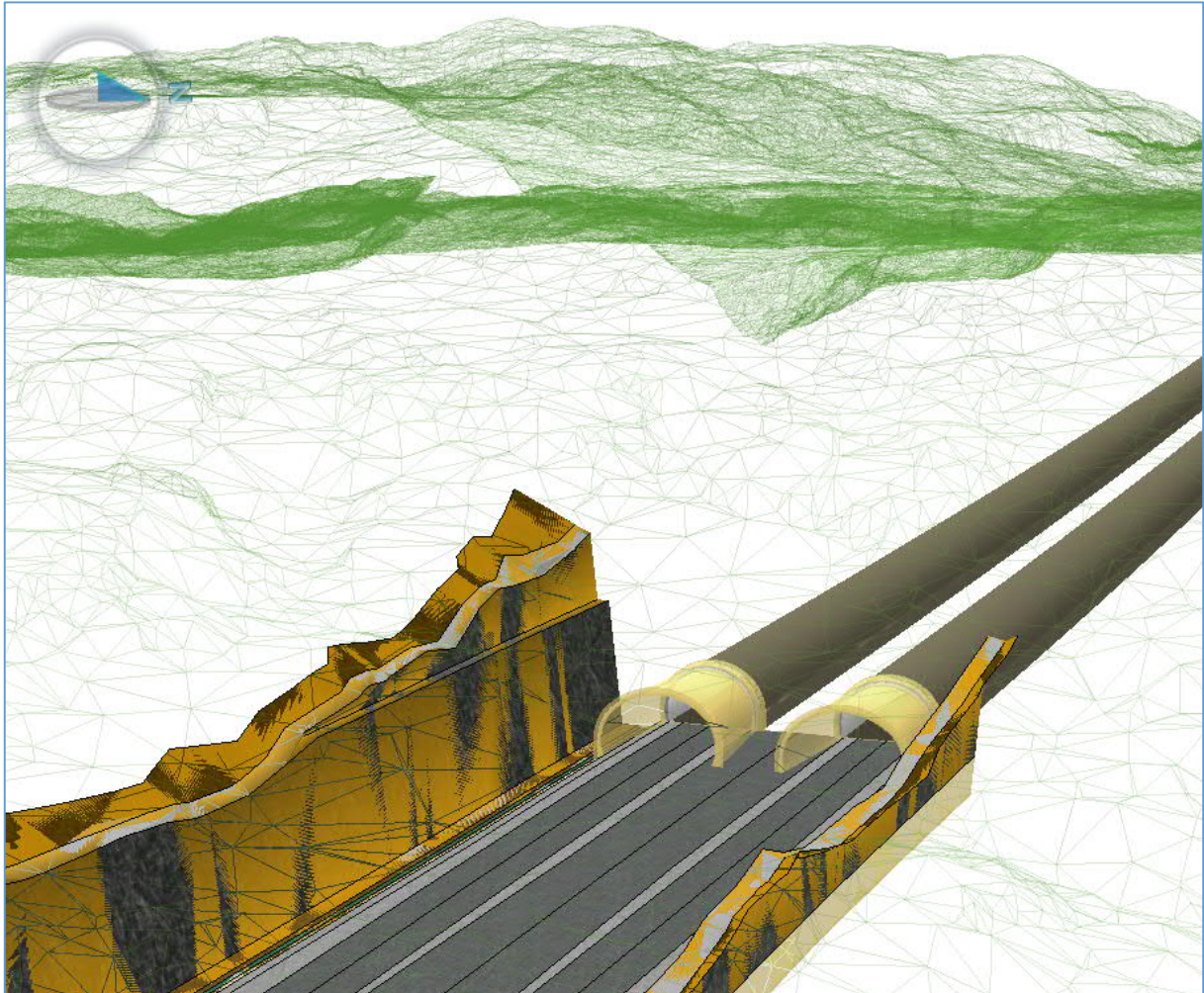
Dimensjonerende mekanisme her er kiledannelse mellom sprekkeseett 1m og 2m, da det er lite sannsynlig med toppling her og kun få, tilfeldige sprekker som gir mulighet for plan utglidning.

Påhuggsflate

Plan utglidning langs sprekkeseett 2m er dimensjonerende mekanisme i påhuggsflaten, men det er også mulig med kiledannelse mellom sprekkeseettene 2m og 4m, og 1m og 2m. I tillegg er det noe mulig med toppling.

Det må utføres ingeniørgeologisk kartlegging i påhuggsområdet etter at løsmassene er gravd av for endelig detaljprosjektering av nøyaktig påhuggsplassering. Videre må det tas stilling til

behov for forbolting langs skjæringstoppene, spesielt for påhuggsflaten, da både nord- og sørside av forskjæringa jevnt over har gunstig orientering.



Figur 23: Utklipp fra modell som viser østlig påhuggsområde Vråheiatunnelen.

4.7.2 Påhugg vest

Vestlig påhugg etableres N/NØ-S/SV i en skråning med helning rundt 25 – 30 grader mot nord. Området er dekket av løsmasser av ukjent tykkelse, og er et plantefelt for gran (Figur 24). Ytterkant av østgående løp er lokalisert i overkant av en lokal skogsvei, og rett i overkant av skogsveien er det bergblotninger av avrundede sva. Det er utført refraksjonsseismikk nordøst for planlagt påhugg. Profil P9 (Figur 20) er nærmest påhugget. Her tolkes det til å være rundt fem meter løsmasseektighet, men også muligens en lavhastighetszone som kan tyde på oppkjust berg noe dypere. Løsmassene må fjernes før nøyaktig plassering av påhugget kan bestemmes.

Forskjæring sørside blir omtrent 25 meter høy, mens forskjæring nordside blir omtrent 15 meter høy (Figur 26). Antatt overdekning ved påhugget vil være omtrent 9,5 meter. Registrerte bergblotninger tyder på god bergkvalitet, men det må forventes en sone med mer oppsprukket

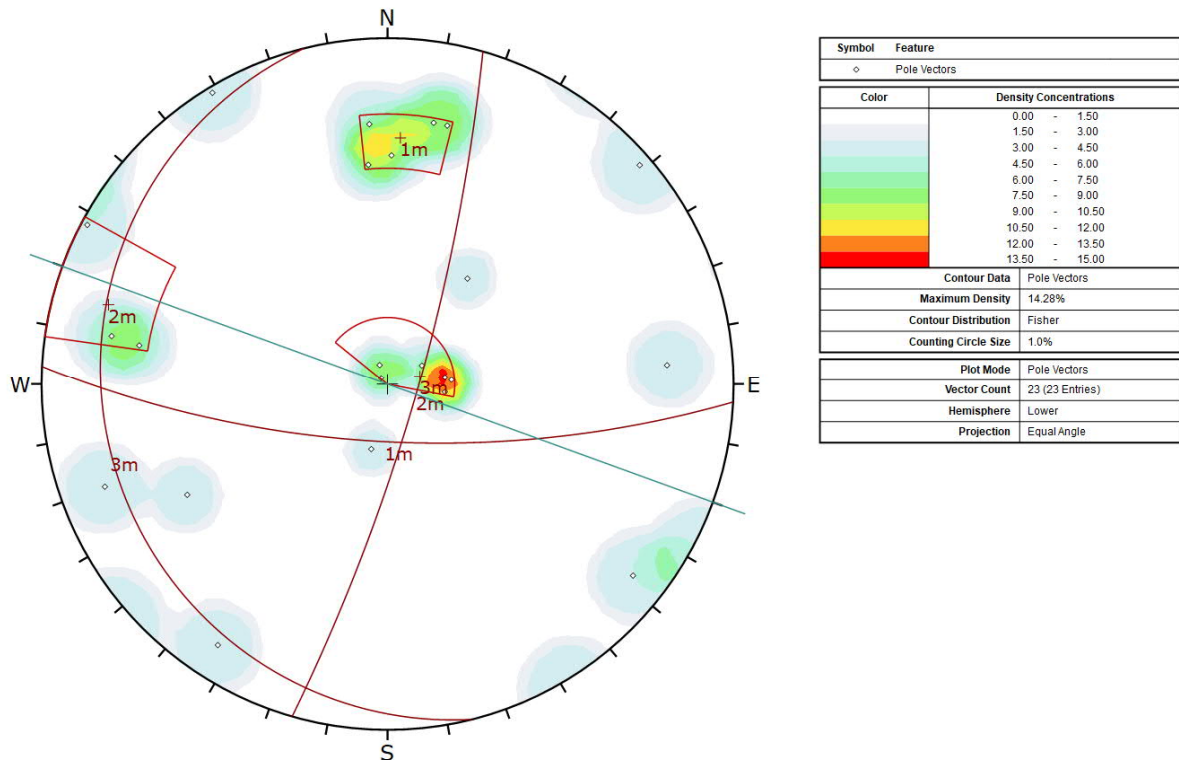
dagberg i tilknytning til påhugget. Estimert Q-verdi i felt for området er 16. Det må påregnes noe lavere Q-verdi ved driving.



Figur 24: Område for påhugg vest, sett mot nordøst.

Stabilitet i påhuggsflate og forskjæringer

Stereoplott av innmålte sprekkeretninger i påhuggsområdet samt orientering av tunnelaksen er vist på Figur 25. Basert på kartleggingen er det tolket fire sprekkeseett i området. De ser i stor grad ut til å sammenfalle med tre av sprekkeseettene vist i Figur 13, men med noe snevrere felt på grunn av begrenset antall sprekkeregistreringer i området.



Figur 25: Stereoplott av sprekkepoler ved påhugg i vest. Tunnelaksen indikert med linjen igjennom sentrum.

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

Forskjæring nordside

Det er noe mulighet for plan utglidning langs sprekkesett 1m og kiledannelse mellom settene 1m og 2m, og lite sannsynlig med toppling.

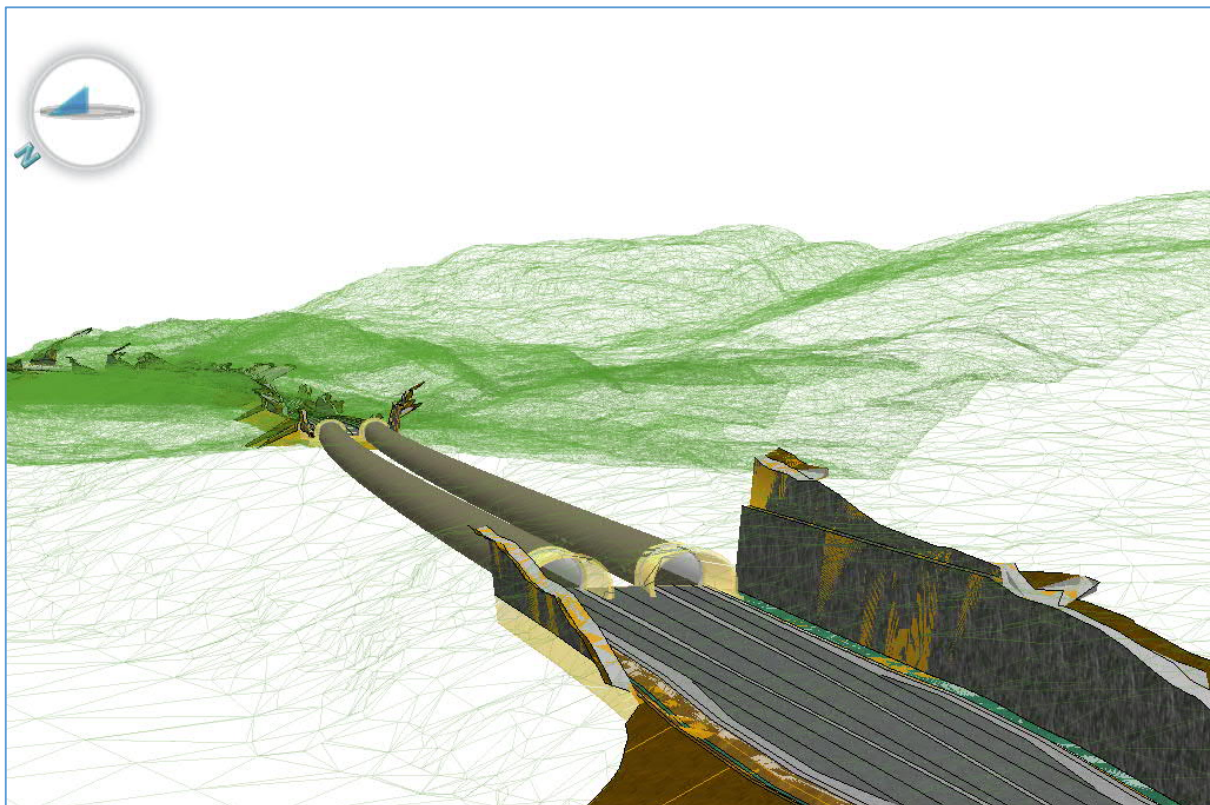
Forskjæring sørside

Det er lite sannsynlig med plan utglidning eller kiledannelser da dette kun opptrer langs noen få registrerte villsprekker. Det er noe mulighet for toppling fra sett 1m.

Påhuggsflate

Det er lite sannsynlig med plan utglidning eller kiledannelser da dette kun opptrer langs noen få registrerte villsprekker. Det er noe mulighet for toppling fra sett 2m.

Det må utføres ingeniørgeologisk kartlegging i påhuggsområdet etter at løsmassene er gravd av for endelig detaljprosjektering av nøyaktig påhuggsplassering. Videre må det tas stilling til behov for forbolting langs skjæringstoppene. Det er jevnt over gunstige forhold for både påhuggs- og forskjæringsflater for påhugg vest.



Figur 26: Utklipp fra modell som viser vestlig påhuggsområde Vråheiatunnelen.

4.8 Bergsikring

Tabell 9. Grovt estimat på forventet fordeling av bergmasse- og sikringsklasser i Vråheiatunnelen, gjennomsnitt av anslått bergmasseklasse per løp.

Bergmasseklasse	Q-verdi	Betegnelse	Sikringsklasse	Andel av tunnelen [%]
A/B	10-100	Veldig god/god	I	26
C	4-10	Middels	II	35
D	1-4	Dårlig	III	26
E	0,1-1	Veldig dårlig	IV	13
F	0,01-0,1	Ekstremt dårlig	V	
G	<0,1	Eksepsjonelt dårlig	VI	

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

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

Bergmasse klasse	Bergforhold Q-verdi (sprengt berg)	Sikringsklasse Permanent sikring
A/B	Lite oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand > 1m. Q = 100 – 10	Sikringsklasse I - Spredt bolting - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm
C	Moderat oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand 0,3 – 1 m Q = 10 – 4	Sikringsklasse II - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm - Systematisk bolting c/c 2 m
D	Tett oppsprukket bergmasse eller lagdelt skifrig bergmasse. Midlere sprekkeavstand < 0,3 m. Q = 4 - 1	Sikringsklasse III - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 100 mm - Systematisk bolting c/c 1,75 m
E	Svært dårlig bergmasse. Q = 1 - 0,2	Sikringsklasse IV - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm - Systematisk bolting, c/c 1,5 m
	----- Q = 0,2 - 0,1	- Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm - Systematisk bolting, c/c 1,5 m - Armerte sprøytebetongbuer. Buedimensjon E30/6 \varnothing 20 mm, c/c buer 2–3 m. Buene boltes systematisk, c/c bolt = 1,5 m, boltelengde 3–4 m - Sålestøp vurderes
F	Ekstremt dårlig bergmasse. Q = 0,1 - 0,01	Sikringsklasse V - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150–250 mm - Systematisk bolting, c/c 1,0 – 1,5 m - Armerte sprøytebetongbuer Buedimensjon D60/6+4, \varnothing 20 mm, c/c buer 1,5–2 m Buene boltes systematisk, c/c 1,0 m, boltelengde 3–6 m Doble buer kan erstattes med gitterbuer. - Armert sålestøp, pilløyde min. 10 % av tunnelbredden
G	Eksepsjonelt dårlig bergmasse, stort sett løsmasse, Q < 0,01	Sikringsklasse VI - Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt

4.8.1 Bergsikring tunnel

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

Det forventes at bergsikringen i all hovedsak kan gjennomføres med maskinrensk og manuell rensk i kombinasjon med bolting og sprøytebetong. Ved passering av svakhetssoner kan det stedvis bli behov for arbeidssikring i form av forbolting. Basert på antagelser knyttet til bergmassekvaliteten tilknyttet svakhetssoner antas det ikke behov for tung sikring i form av buer eller lignende.

Selv om det ikke er registrert leire eller annet sprekkefyll på befaring kan tunnelen komme inn i svakhetssoner 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.

4.8.2 Bergsikring påhugg og forskjæringer

Forskjæringer i vest og påhuggsflatene forventes sikret ved konvensjonelle midler (rensk, bolter, bånd og eventuelt nett). Det blir sannsynligvis også påført et lag med sprøytebetong over og rundt forbolter med armering/oppheng rundt påhuggene for å holde på profilet i drivefasen. Det antas å ikke være nødvendig med buer i tilknytning til påhuggene da registrert

bergmasse ved påhuggene er god, men dersom det blir aktuelt er det mest sannsynlig ved vestre påhugg da det her er begrenset overdekning med ukjent løsmassemekktighet i overkant inntil totalsonderingene er utførte.

4.8.3 Sikring av overliggende terreng

Det forventes ingen spesielle forhold knyttet til overliggende terreng som krever omfattende sikring. Ved påhugg øst er det bergskrenter i overliggende terreng som har helning over 45°, noe som gjør at området må vurderes for sikring. Det antas at rensk og konvensjonelle sikringsmidler er tilstrekkelig. Ved påhugg vest er sideterreng slakt skrånende og det ventes ikke behov for sikring av overliggende terreng.

4.9 Vurdering av innlekkasjekrav

4.9.1 Bakgrunn

Grunnvannstanden endrer seg hele tiden i respons til nedbørshendelser og tørkeperioder. Senkning av grunnvannstand kan ha negative effekter på sårbare naturtyper og nærliggende vannforekomster. Krav til grunnvannssenkning er satt av NVE som er forvaltningsmyndighet for store deler av vannressursloven og er delegert myndighet til å gi konsesjon til blant annet grunnvannsuttak og andre tiltak som kan påvirke grunnvannet [28]. Innlekkasjekravene skal sørge for at grunnvannet ikke skal betydelig endre seg eller føre til skader for miljø og infrastruktur.

Grenseverdiene for tunnellekkasjer er bestemt ut ifra praktiske betraktninger og ved å utføre en vannbalanseanalyse av forholdene i tunnelområdet.

4.9.2 Kartlegging av brønner

I forbindelse med detaljreguleringen pågår det en kartlegging av brønner langs hele traseen for å fange opp uregistrerte brønner. Dersom det er brønner innenfor en gitt sikringszone må det utarbeides en beredskapsplan dersom en grunnvannssenkning skulle oppstå.

I henhold til NGUs Nasjonal brønndatabase (Granada) og henvendelser fra grunneiere er det registrert én løsmassebrønn innenfor en hensynssone på 200 m rundt Vråheiatunnelen og én løsmassebrønn som ligger innenfor ytterligere 300 m som også bør hensyntas.

4.9.3 Overvåkningsbrønner

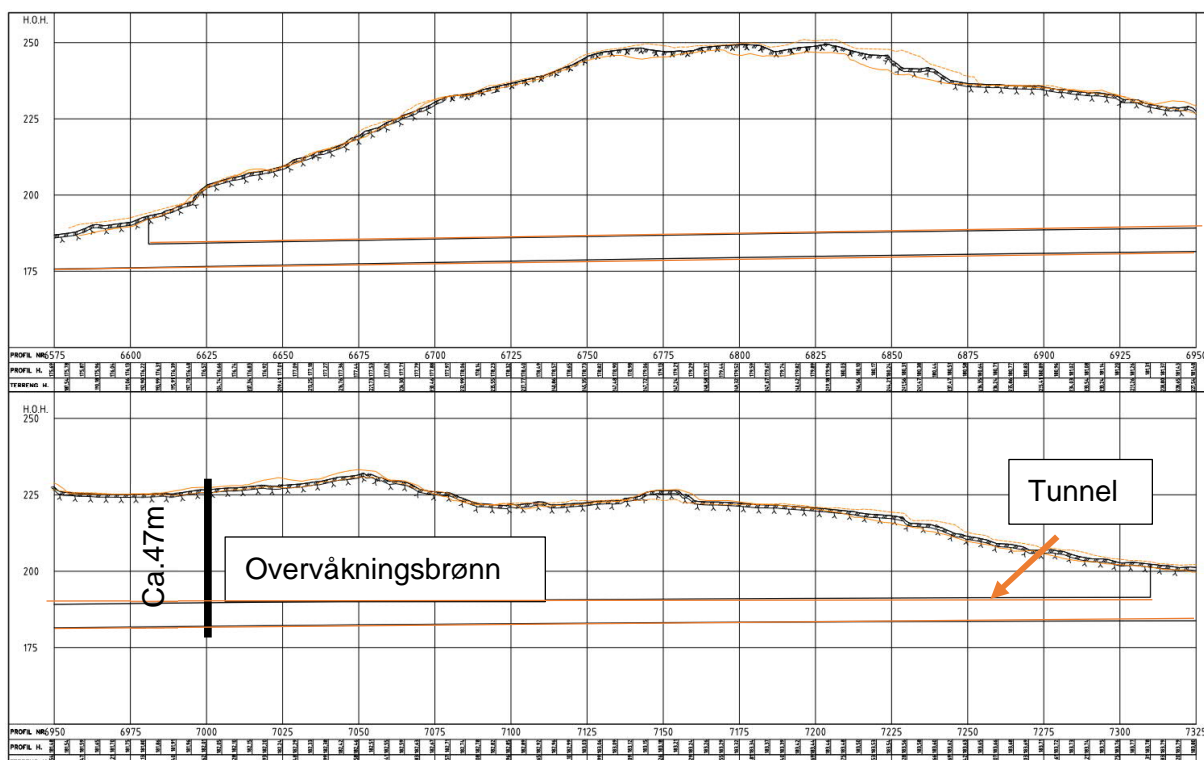
Som en del av den hydrogeologiske vurderingen skal det installeres overvåkningsbrønner langs traseen. Overvåkningsbrønnene vil kunne hjelpe med å danne et bilde av grunnvannsnivået i fjellet samt kunne overvåke variasjoner eller plutselige endringer i grunnvannstanden. Overvåkningsbrønnene vil også kunne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

Overvåkningsbrønnene skal i hovedsak brukes til å dokumentere grunnvannsforholdene før og etter arbeidene er utført for å kunne bevise at de planlagte tiltakene har vært effektive og ikke skapt endringer i grunnvannstanden. Dokumentasjonen av forholdene er en viktig

komponent i forbindelse med meldeplikten til NVE. Det vil bli installert en overvåkningsbrønn (Vrå1) ca. 47 m dyp ved profil 7000, se Figur 27.

Annen overvåkning

I henhold til notat «E39_ML_Verdier over planlagte tunneler» er det registrert en myr sør for tunnelen som har høy verdi. Denne myren mater trolig en svært viktig gytebekk som renner ut i Vråvatnet. Vråheia er et område der vilt ferdes, det er derfor viktig å bevare eksisterende vegetasjon og at dette ikke tørrlegges. Vråvatnet kan være utsatt for partikkel- og nitrogenpåvirkning som følge av tunneldriving [25]. Opprettholdelse av vannforholdene en viktig og myrene bør derfor overvåkes for å observere variasjoner i grunnvannstanden som kan oppstå. Det er anbefalt å sette ned piezometere ved myrene, dette er foreløpig ikke avklart om gjennomføres. De sårbare naturtypene er vist i Figur 28.



Figur 27: Lengdeprofil langs Vråheiatunnelen med plassering av overvåkingsbrønn. Brønnen plasseres ved profil ca. 7000.

4.9.4 Beregning av innlekkasjekrav

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

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

4.9.5 Metode

Grenseverdiene for tunnellekkasjer er bestemt ut ifra praktiske betraktninger og ved å utføre en vannbalanse analyse av forholdene i tunnelområdet. For å forhindre merkbare senkning av grunnvannsnivået i sårbare områder er det stilt innlekkasjekrav i tunnelene under driving. Arbeidet er utført hovedsakelig via informasjon som ble hentet inn fra tilgjengelige databaser og bakgrunnsdata fra prosjektet.

Følgende grunnlagsmateriale er benyttet til utforming av delkapittel 4.9.6 Innlekkasjekrav:

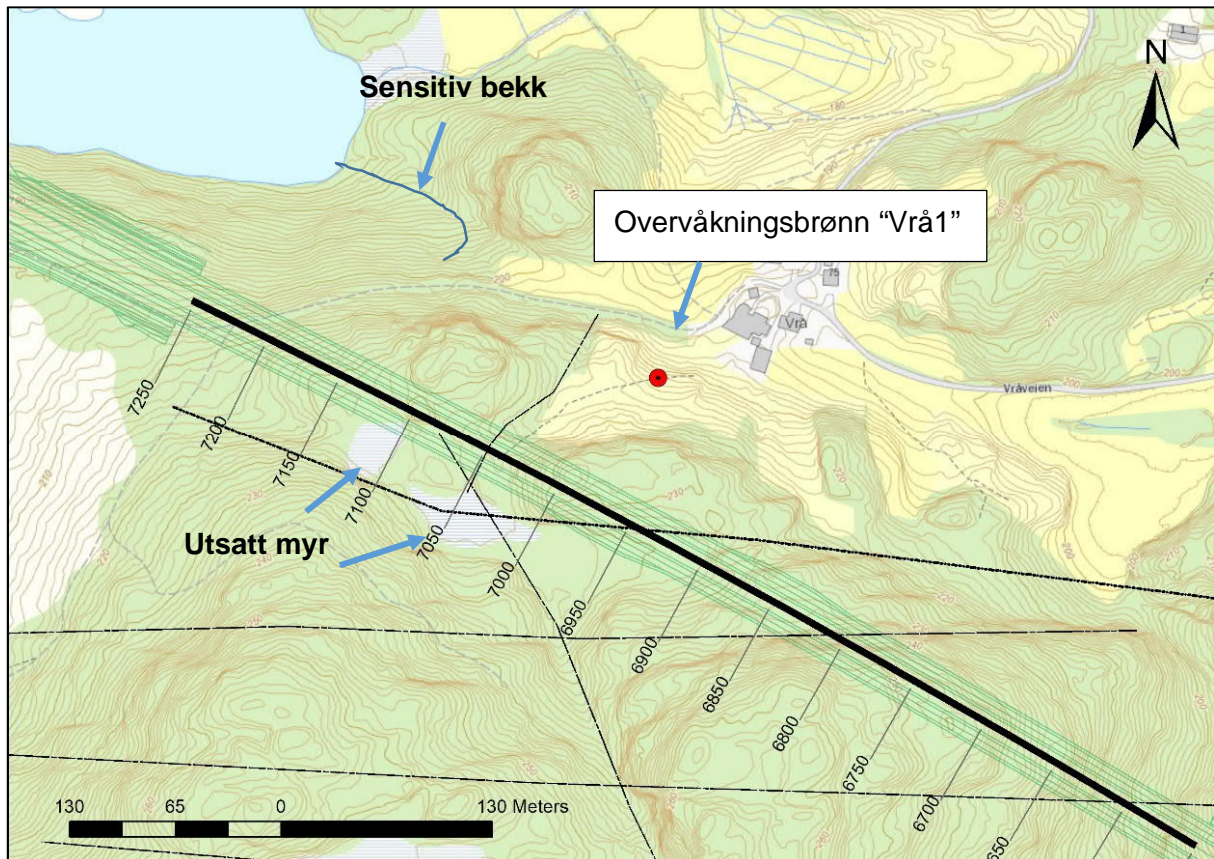
- Informasjon om normal avrenningsdata 1961-1990 fra NVE (www.nve.no)
- Bakgrunnskart og flybilder fra Norgeskart (www.norgeskart.no) men også flere terrengmodeller, matrikel- og eiendomsinformasjon.

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

4.9.6 Innlekkasjekrav

Vråheiatunnelen krysser flere nedbørsfelt, blant annet til: Ommundsvatnet, Vråvatnet, Holstjørna og Utjordsvatnet. Tunnelen ligger topografisk mye høyere enn vannforekomstene og utgjør således ingen fare for disse. Tunneldriving kan endre grunnvannstrømninger og fungere som en drens i fjellet med mulig påvirkningsgrad. Det kan derfor være fare for at myrer/våte naturtyper er utsatte. Tunneldriving vil ikke normalt endre grunnvannstrømninger dersom dette blir utført på en riktig måte ved å ivareta lekkasjekravene som definert.

Det er ingen bekker som krysser den planlagte tunneltraseen. Myrdragene sør for tunnelen er svært utsatte. Det er særlig disse naturtyper som kan være betinget av grunnvannsenkning. Disse er lokalisert ved profil ca 7000 til 7125 og kote 221-222 moh. I forhold til tunnelen vil myrene ligge over tunnelnivå (Tunnelen ligger på kote 175-184 moh.) og er derfor i faresonen. Som nevnt tidligere er også dette svært avhengig av tettheten til bunnsjiktet og kommunikasjonen med myrene og grunnvannet i fjellet. Det kan derfor ikke utelukke at myrene kan bli påvirket.

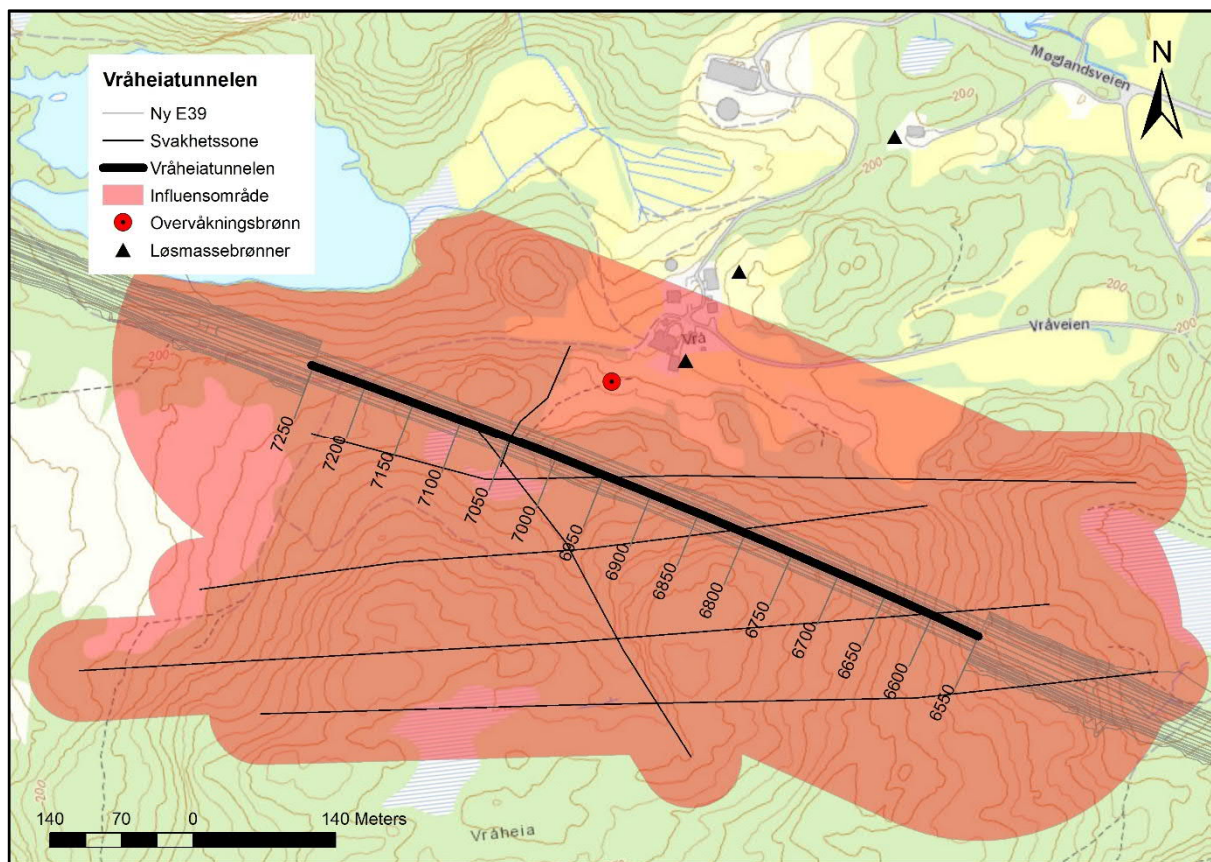


Figur 28: Kart som illustrerer utsatte naturtyper som må hensyntas i vurderingen av innlekkasjekrav for Vråhei-tunnelen

I området rundt tunnelen er det kartlagt noen potensielle svakhetssoner, beskrevet i delkapittel 3.4.2. Lineamentstudiet antyder at flere svakhetssoner krysser tunneltraseen. Influensområde rundt svakhetssonene er vurdert med en radius på 50 meter, som vist i Figur 29. Svakhetssonene i tandem med de små myrdragene sør for tunnelen er noen av faktorene som må hensyntas og vektlegges ved bestemmelser av tetthetskravet.

Influensområde til svakhetssonene er definert med en radius på 50 meter, og er vist i Figur 29. På bakgrunn av svakhetssonens influensområde og avstand fra tunneltraseen kan man derfor ikke utelukke at svakhetssonene har hydraulisk kontakt med myrene. I tillegg er det satt et influensområde rundt tunnelen på bakgrunn av sannsynlig påvirkning av tunneldriving. En mulig innlekkasje på 10 l/min/100 m kan ha et influensområde på 100-300 m. Tidligere studier rundt grunnvannssenkning og tunneldriving argumenterer for at endringer i grunnvannsnivå sjelden påvirkes av tunneldrift på avstander inntil 300 m [28].

På bakgrunn av de overnevnte betraktningene samt erfaring, er influensområdet en sone på 200 m. I nordvest er influensområde begrenset etter kote ca. 175 som er ca 7-8 meter under tunnelnivå (se Figur 29). Det «definerte» influensområde er et resultat av vurdering av de topografiske samt hydrogeologiske forholdene rundt tunnelen. Lokal påvirkning kan fortsatt forekomme utenfor de fastsatte grensene.



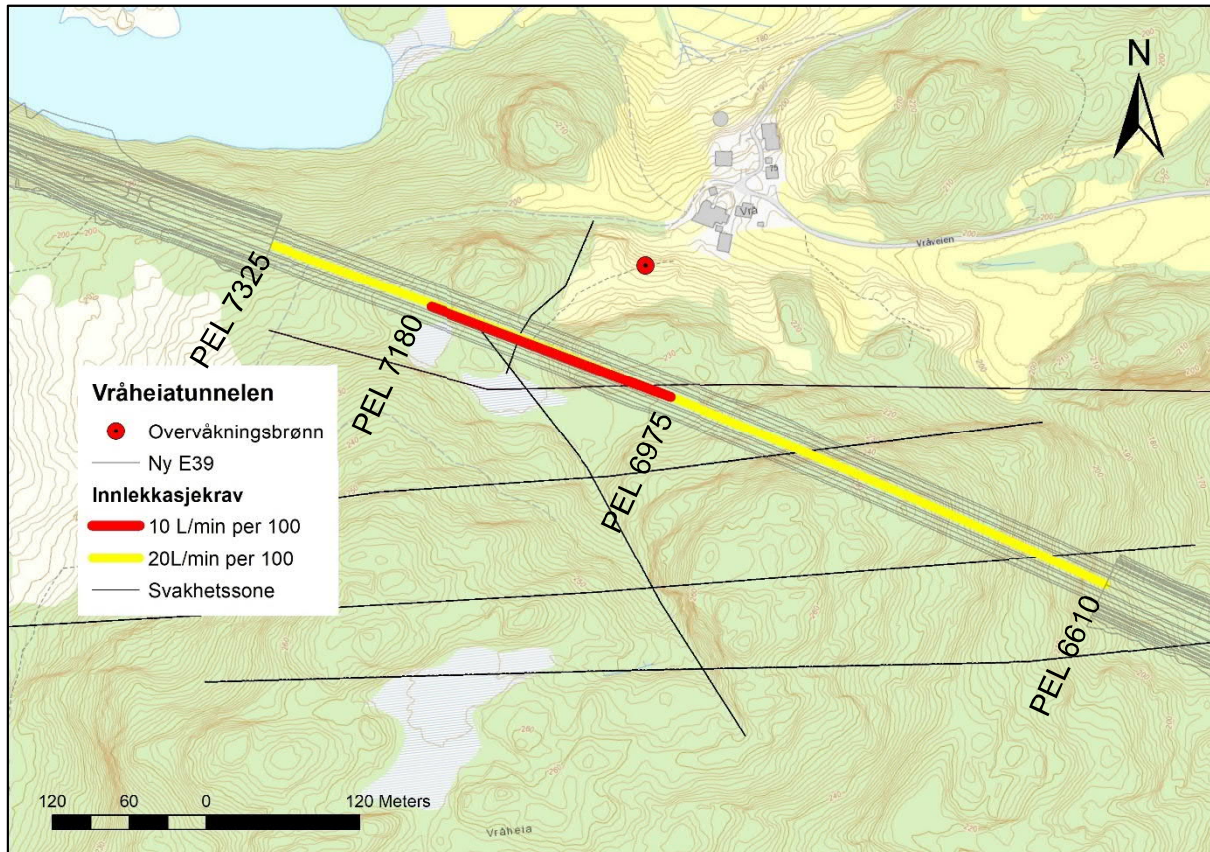
Figur 29: Influensområde rund Vråheiatunnelen og svakhetssoner. Rundt tunnelen er det satt en influenssone med 200m. Rundt svakhetssonene er det satt en kritisk sone på 50 meter.

Tunneltrasèen har et østre påhugg i berg ved profil 6610 (kt. 178) og et vestre påhugg ved profil 7315 (kt.183). Bergoverdekningen over hele traseen varierer fra minst overdekning med 7 meter ved påhuggene og størst overdekning med ca. 60 meter. Myrene er lokalisert ved ca. profil 7000 til 7125 og ligger høyere i terrenget enn selve tunnelen. Som nevnt tidligere i denne rapporten består berget langs tunneltraseen av båndgneis. I teorien vil metamorfe bergarter ha en dårlig primær permeabilitet, men kan ha en større sekundær permeabilitet gjennom sprekker som følge av stress. Grunnvannets bevegelser i fjellet er påvirket av bergets kvalitet og grad av forvitring av mineraler og oppsprekingsgrad. Vannstrømning i bergmassen og potensiell innlekkasje til tunnelen forventes i hovedsak i forbindelse med vannførende soner og eventuelle åpne sprekker i grunnen.

På bakgrunn av faren for punktering eller drenering av de overnevnte naturtyper og for å kontrollere grunnvannssenkningen, anbefales det et strengt innlekkasjekrav ved profil 6975-7180. Innlekkasjekrav er satt til 10 l/min per 100 meter tunnel, det vil si 5 L/min per 100 meter per løp. For profil 6610-6975 og profil 7180-7315 settes innlekkasjekravet til 20 l/min/100 m, det vil si 10 L/min per 100 meter tunnel. Området med innlekkasjekrav er illustrert i Figur 30 og vist i Tabell 11.

Resultatene representerer mengde lekkasjer som kompenseres av grunnvannsdannelsen basert på årlige gjennomsnittsverdier for årsavrenning over et større areal.

En stor fordel med å estimere lekkasjekrav basert på grunnvannsdannelse i fjell er at man ivaretar vannbalansen i området. Ved dette tilfelle har vi vurdert at kun 10% av potensiell grunnvannsdannelsen vil klare å infiltrere i bakken, således får man 90% som skal bidra til overflateavrenning. Det vil si at hvis man klarer å tette tunnelen nok til å tilfredsstillere lekkasjekravene vil man få etter hvert en stabil grunnvannstand i området. Innsjøer, elver og myrer område vil få minimal påvirkning på sin vannbalanse.



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

Tabell 11: Tetthetskrav

Nr.	Pel	Strekning [m]	Tetthetskrav tunnel (2 løp) [l/min/100 m]	Tetthetskrav pr. løp [l/min/100 m]
1	6610-6975	365	20	10+10
2	6975-7180	205	10	5+5
3	7180-7315	135	20	10+10
	SUM	Ca. 705		

4.9.7 Sonderboring og injeksjon

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

forventede svakhetssoner. Dette må startes opp minimum 25 meter før det er forventet at en sone skal komme inn i tunnelprofilen. Iht. N500 skal tunnelstoffene i de parallelle løpene også drives slik at den ene stoffen ligger noe foran den andre slik at erfaringer fra det ene løpet kan overføres til det andre.

Injeksjon utføres enten som behovsprøvd eller systematisk forinjeksjon. Ved behovsprøvd injeksjon utløses en injeksjonsskjerm av et fastsatt nivå for maksimal innlekkasje mål 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.

For Vråheiatunnelen forventes det behov for systematisk forinjeksjon på tunnelstrekninger med krav til innlekkasje på 5 l/min/100m per løp eller lavere. Dette utgjør 20% av tunnelstrekningene. For strekninger med krav til innlekkasje på 10 l/min/100m eller mer forventes det behov for behovsprøvd injeksjon.

4.10 Miljøhensyn

4.10.1 Radon

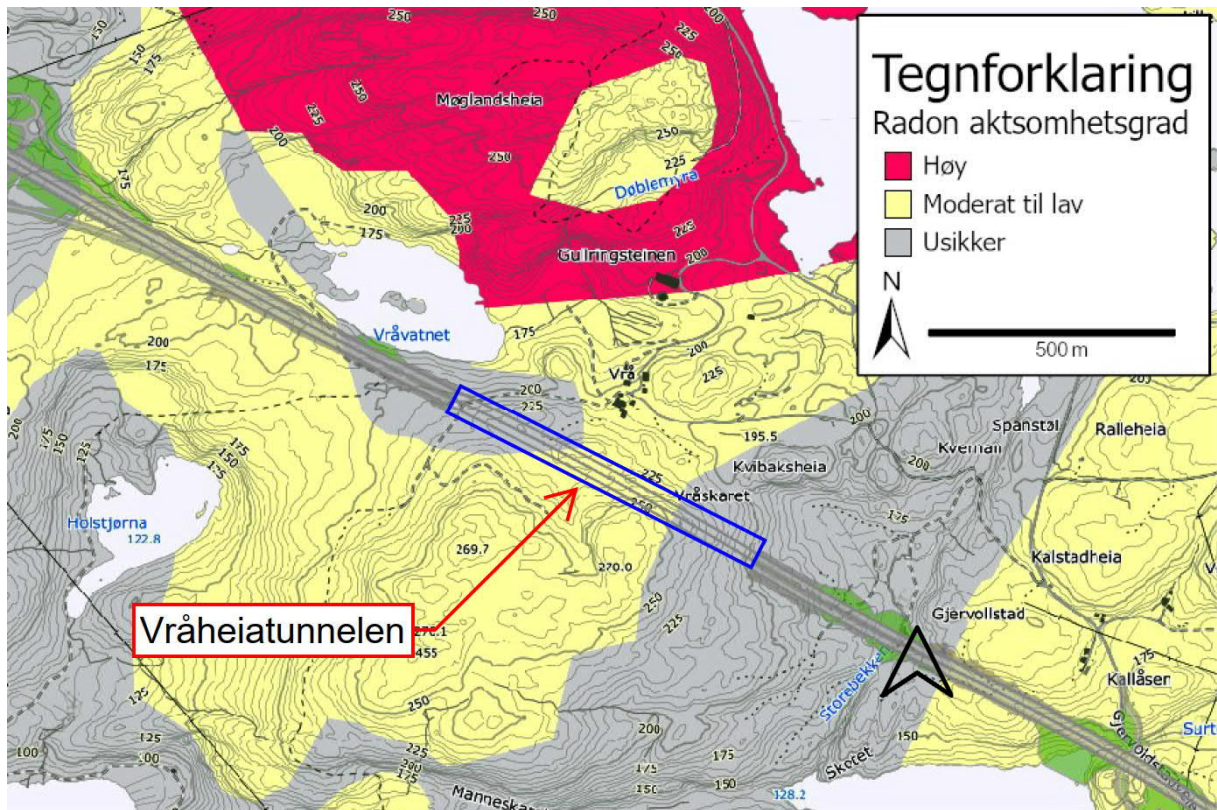
Vråheiatunnelen vil i hovedsak gå gjennom områder som er merket med «moderat til lav aktsomhetsgrad» for radon, i tillegg til «ukjent aktsomhetsgrad» (Figur 31).

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 kan være aktuelt å foreta luftmålinger over tid for å dokumentere radonnivået når en befinner seg i områder med usikker aktsomhetsgrad for å dokumentere radonnivået.

4.10.2 Syredannende bergarter

Båndgneis kan i enkelte tilfeller være utsatt for sur avrenning fra sprengstein. Det blir behov for prøvetaking av borstøv for analyse av svovelinnhold. Ved et eventuelt forhøyet svovelinnhold må det utarbeides tiltaksplan etter forurensningsloven. Prøvetakingsomfang, foreslåtte grenseverdier og analyser er gitt i «Retningslinjer for tiltak i områder med syredannende gneis» utgitt av prosjektgruppen for kontroll på svovelholdig avrenning i Agder.



Figur 31: Aktsomhetskart for radon [12].

4.10.3 Vibrasjoner fra sprengning

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

For Vråheiatunnelen så må det fastsettes krav til maksimale vibrasjoner for samtlige eiendommer ved Vrå da disse ligger innenfor 200 m-beltet.

5 Usikkerheter, anbefalinger og videre undersøkelser

5.1 Usikkerheter

- Steinmaterialets kvalitet – dersom det er ønskelig å bruke bergmassen til anleggstekniske formål må det gjennomføres tester av bergmassen fortløpende i anleggsfasen da kvaliteten kan endres over korte avstander.
- Bredde på og vanskelighetsgrad knyttet til driving gjennom og sikring av svakhetssoner.
- Orientering av soner på tunnelnivå: Fare for at en del soner stryker nær parallellt med tunnelaksen og medfører økt sikringsbehov over lengre strekninger.
- Forekomster av sulfidholdig berg.
- Omfang av innlekkasjer og injeksjon.

5.2 Ingeniørgeologisk kompetanse i byggefasen

I henhold til N500 [1] skal det utføres geologisk kartlegging før påføring av sprøytebetong i hele tunnelens lengde som grunnlag for bestemmelse og senere dokumentasjon av geologi og utført bergsikring. Dette stiller krav til kontinuerlig oppfølging av driften av personell med ingeniørgeologisk kompetanse. Ved tradisjonell entreprisform er dette løst ved «byggherrens halvtime» som setter av tid til at byggherren får utført geologisk kartlegging av siste salve, samt beregning av Q-verdi for beslutning av endelig sikringsomfang. Ved totalentreprise vil entreprenør ha ansvaret for at det er tilgjengelig personell i hele driftsfasen som har kompetanse for oppfølging iht. anbefalingene gitt i N500:

- 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.

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

Kontrollingeniøren som utfører geologisk kartlegging på stuff, samt gjennomfører vurdering av permanent sikring skal ha kompetanse iht. anbefalingene i N500.

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

5.3 Krav til overvåking av spesielle forhold

- Hvis det påtreffes leirførende soner i tunnelen anbefales det å gjennomføre laboratorieanalyser av denne for å avdekke eventuelle svellende egenskaper. Hvis det avdekkes svelleleire med stort svellepotesiale/-trykk må den aktuelle sonen revurderes med hensyn til om det er aktuelt å utføre tilleggssikring på bakgrunn av ny informasjon.
- Eventuelt svovelinnhold i bergmassen bør kontrolleres iht. «Retningslinjer for tiltak i områder med syredannende gneis».
- Hydrogeologiske forhold (grunnvannsbrønner) – løpende overvåking (Etablering av grunnvannsbrønner er under planlegging).
- Innlekkasjen til tunnelen må måles jevnlig i drivefasen for å overvåke om strekningskravene til tetthet er oppfylt.
- Vibrasjoner fra sprengning måles fortløpende på utvalgte objekter.

5.4 Forslag til supplerende undersøkelser

5.4.1 Geofysiske undersøkelser

Dette er ikke vurdert som nødvendig per i dag.

5.4.2 Kjerneboring

Dette er ikke vurdert som nødvendig per i dag.

5.4.3 Grunnboring

Utførelse av åtte totalsonderinger i tilknytning til påhugg vest er planlagt.

5.4.4 Grunnvannstand

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

5.4.5 Bygningsbesiktigelse

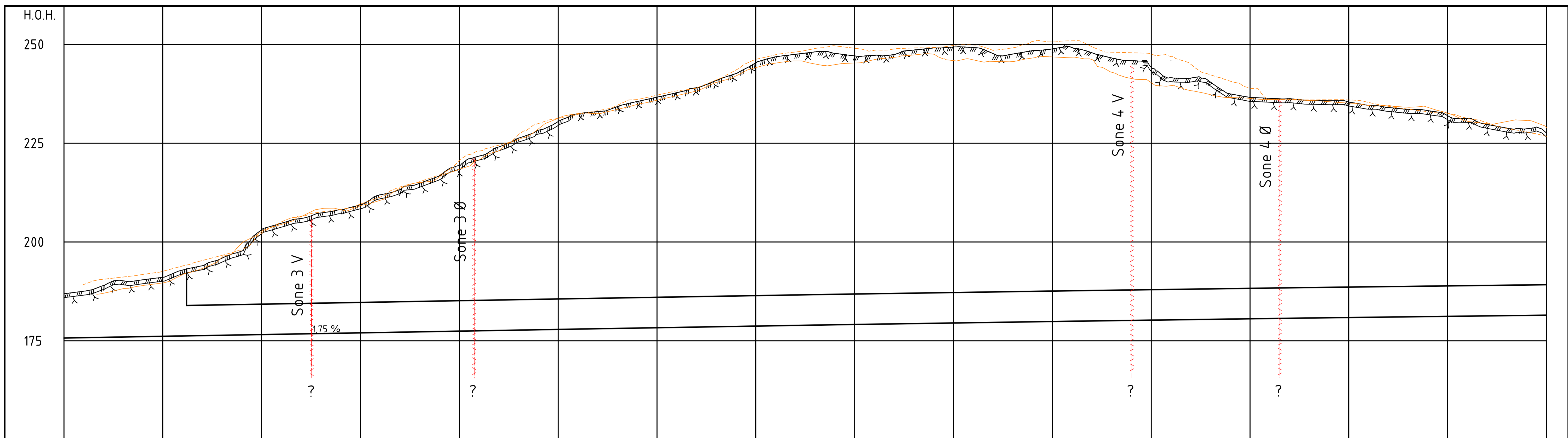
Bygningsbesiktigelse utføres i forkant av sprengningsarbeider til bygninger som ligger innenfor det forventede influensområdet ned hensyn til sprengningsvibrasjoner.

6 Referanser

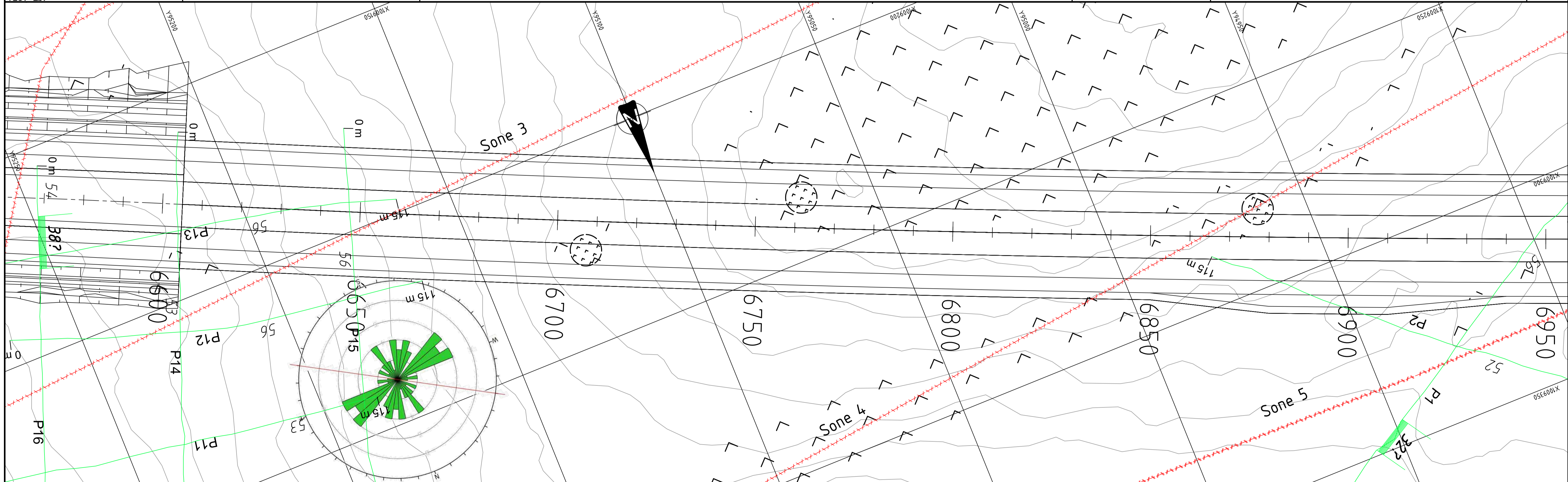
- [1] Statens vegvesen, «Håndbok N500 - Vegtunneler,» Vegdirektoratet, 2020.
- [2] Statens vegvesen, «Håndbok V520, Tunnelveiledning,» 2020.
- [3] Statens vegvesen, «Håndbok N100 Veg- og gateutforming,» Vegdirektoratet, 2019.
- [4] Standard Norge, «NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2020 Eurokode 7 Geoteknisk prosjektering,» 2020.
- [5] Standard Norge, «NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner,» 2016.
- [6] NGU, «Berggrunn - Nasjonal berggrunnsdatabase,» [Internett]. Available: http://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/.
- [7] NGU, «Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase,» [Internett]. Available: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>.
- [8] NGU, «GRANADA Nasjonal grunnvannsdatabase,» [Internett]. Available: <http://geo.ngu.no/kart/granada/>.
- [9] NGU, «Rock construction awareness map from South Norway (report no. 2017.048),» Norges Geologiske Undersøkelse, 2017.
- [10] NVE, «NVE Atlas,» [Internett]. Available: www.atlas.nve.no.
- [11] Statens vegvesen, «Vegkart,» [Internett]. Available: <https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/nasjonal+vegdatatabank/kart>. [Funnet 13 12 2018].
- [12] NGU, «Aktsohmetskart radon,» [Internett]. Available: geo.ngu.no/kart/radon/.
- [13] Kartverket, «FKB4,» [Internett]. Available: <https://openwms.statkart.no/skwms1/wms.fkb4?request=GetCapabilities&service=WMS>.
- [14] Miljødirektoratet, «Miljøstatus - Naturtyper - DN-håndbok 13 - kartdatabase,» 2020. [Internett]. Available: <https://miljoatlas.miljodirektoratet.no/MAKartWeb/KlientFull.htm?>.
- [15] Norsk bergmekanikkgruppe, «Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering,» 2011.
- [16] Statens vegvesen, Håndbok N200 Vegbygging, Vegdirektoratet, 2018.
- [17] Statens vegvesen, «R760 Styring av vegprosjekter,» 2019.
- [18] Statens vegvesen, «Publikasjon nr. 103. Undersøkelser for å ivareta ytre miljø,» 2003.
- [19] NS-EN ISO 14689-1, «Geotekniske felt- og laboratorieundersøkelser - Identifisering, beskrivelse og klassifisering av berg,» 2018.
- [20] NGI, «Bruk av Q-systemet. Bergmasseklassifisering og bergforsterkning,» 2015.
- [21] Sweco Norge AS, «Teknisk fagrapport: INGENIØRGEOLOGI. Områderegulering med KU for E39 Mandal-Lyngdal øst.,» 2019.
- [22] Geomap Norge AS, «Grunnundersøkelser E39 Mandal - Herdal; Refraksjonsseismika grundundersøkingar,» 2020.
- [23] Sweco Norge AS, «E39 Mandal Lyngdal øst. Fagrapport Geoteknikk,» 2021.

- [24] NGU, «Mineralressurser - Industrimineraler, naturstein og metaller,» [Internett]. Available: http://geo.ngu.no/kart/mineralressurser_mobil/.
- [25] Sweco Norge AS, «E39 ML Verdier over planlagte tunneler,» 2021.
- [26] A. Bruland, «Hard Rock Tunnel Boring (Vol. 10 of 10) - Statistics of Drillability Test Results (Doctoral theses),» NTNU, 1998.
- [27] Rambøll, «OPS Project. New E18 Grimstad – Kristiansand. Open cut road, section 4. Report no. 2060134,» 2009.
- [28] Vegdirektoratet, «Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø- og samfunnstjenelige tunneler. Publikasjon nr. 103.,» Statens vegvesen. Teknologiavdelingen. Kjell Karlsrud, Lars Erikstad, Petter Snilsberg. , 2003.
- [29] DiBK, «Byggteknisk forskrift,» [Internett]. Available: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/7/7-3/>.
- [30] NVE, «8/2014 - Sikkerhet mot skred i bratt terreng - Kartlegging av skredfare i arealplanlegging og byggesak,» 2014.
- [31] NVE, «Flaum- og skredfare i arealplanar,» 2011.
- [32] Statens vegvesen, «Publikasjon 103 - Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø.,» 2003.
- [33] Geomap Norge AS, «Geofysiske undersøkelser til detaljreguleringsplan,» 2021.
- [34] V. Olsen, «Rock Quarrying - Blast design (Doctoral theses),» NTNU, 2009.

Vedlegg 1 - Ingeniørgeologiske tegninger plan og profil



PROFIL NR6575	6600	6625	6650	6675	6700	6725	6750	6775	6800	6825	6850	6875	6900	6925	6950
BERGM.KL ØST LØP		D	C	B		D		B		D		D		B	
BERGM.KL VEST LØP			D				B				D		B		D



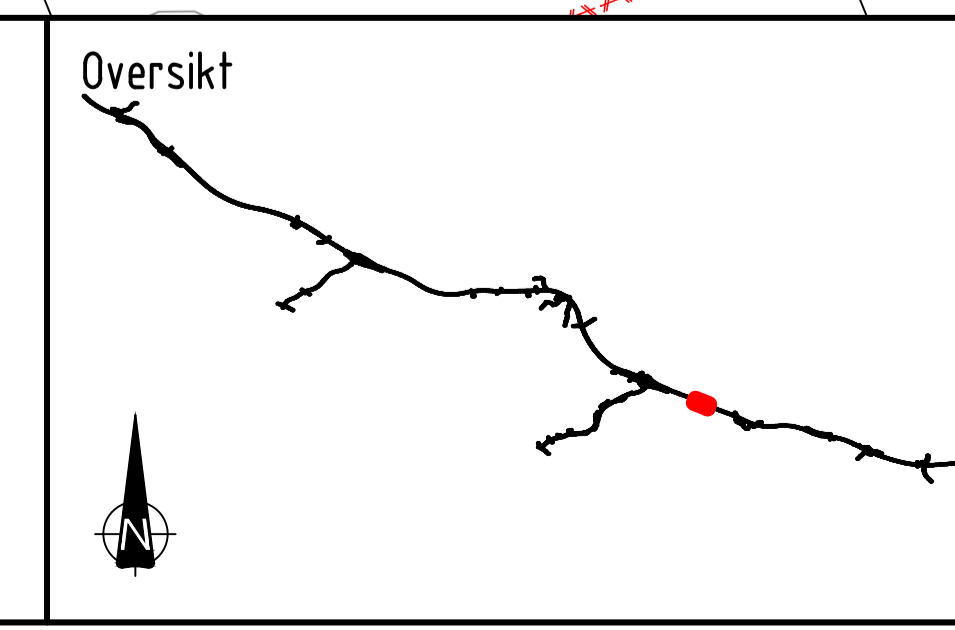
Tegnforklaring	
	Eksisterende terreng
	Antatt berg
	Terreng over vestgående løp
	Terreng over østgående løp
	Seismikk
	ERT
	Planlagt totalsondering
	Utført totalsondering
	Observasjonspunkter berg i dagen
	Berg i dagen
	Myr
	Strøk/fall
	Antatt svakhetssone, mektighet < 5 m
	Antatt svakhetssone, mektighet > 5 m

Merknader

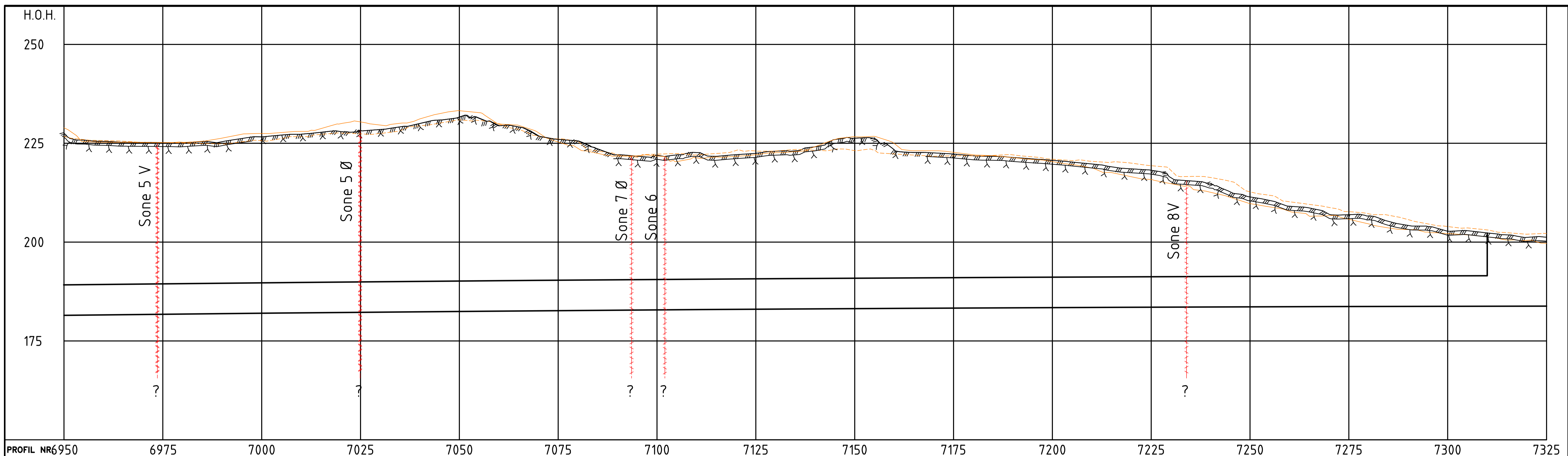
Bergart: Båndgneis

Lengdeprofilen følger senterlinjen mellom tunneløpene.

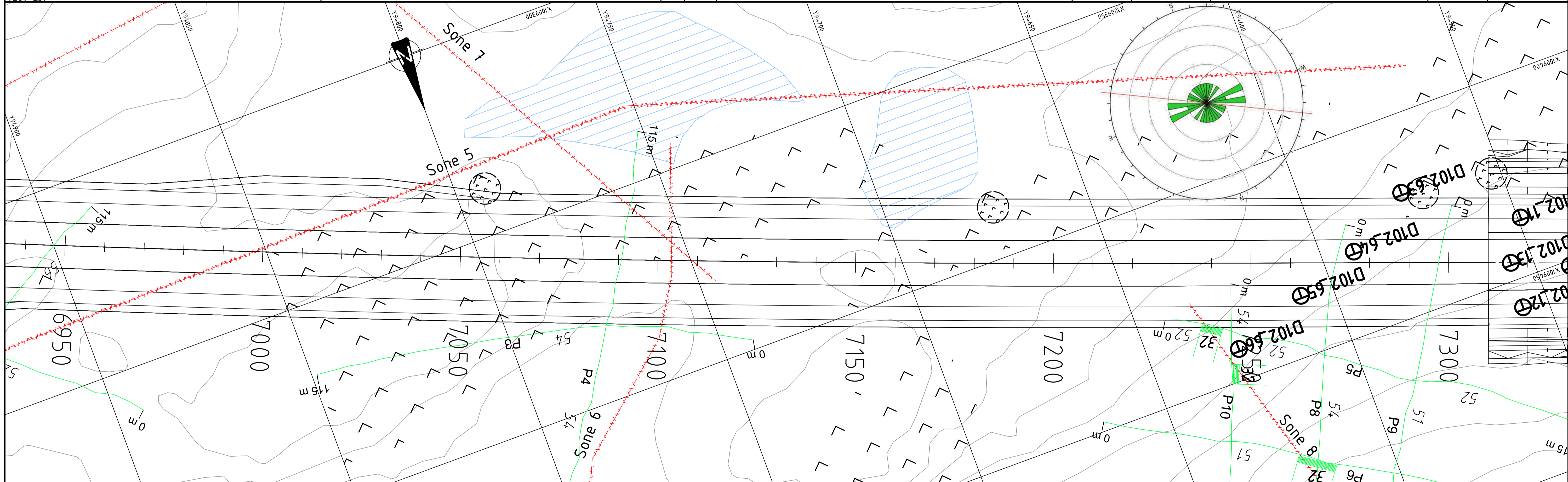
Svakhetssonene er indikert i lengdeprofilen slik de estimeres å krysse østgående (Ø) og vestgående (V) tunneløp.



Revisjon	Revisjonen gjelder	Utarb.	Kontr.	Godkjent	Rev. dato
Saksnr.		28.05.2021			
Tegningsdato		Håkon Lohne			
Bestiller		Nye Veier			
Prosjektnummer		115400			
Arkivreferanse					
Byggverk nummer					
Koordinatsystem		Euref NTM-07			
Høydesystem		NN2000			
Vråhestokk A1		1:500			
Tegningsnummer/		1:1000			
revisjon		V1005			
Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av	Konsulentarkiv		
NØKALR	NOBJGR	NOHOLL	10219378		

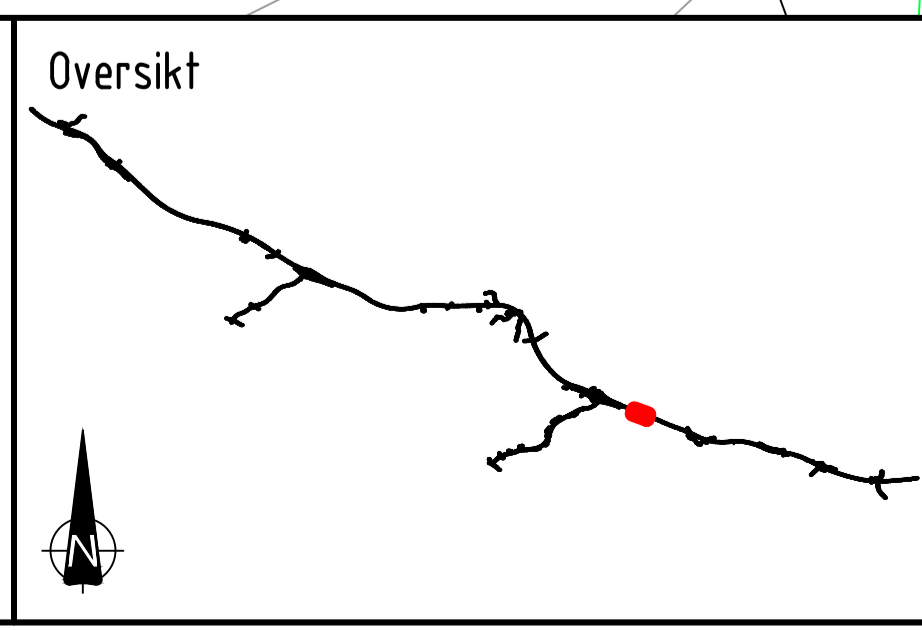


BERGM.KL ØST LØP	B	D	B	D	E	D	B	C	D	C	D
BERGM.KL VEST LØP	D	B	E	D	B	C	D	C	D	D	

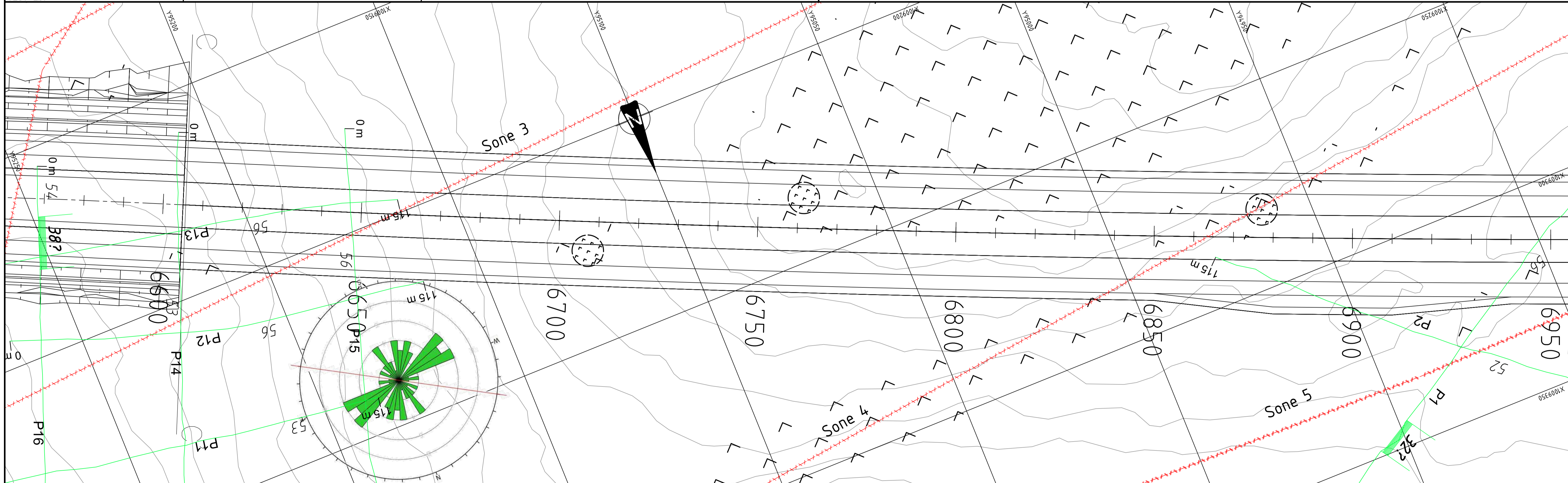
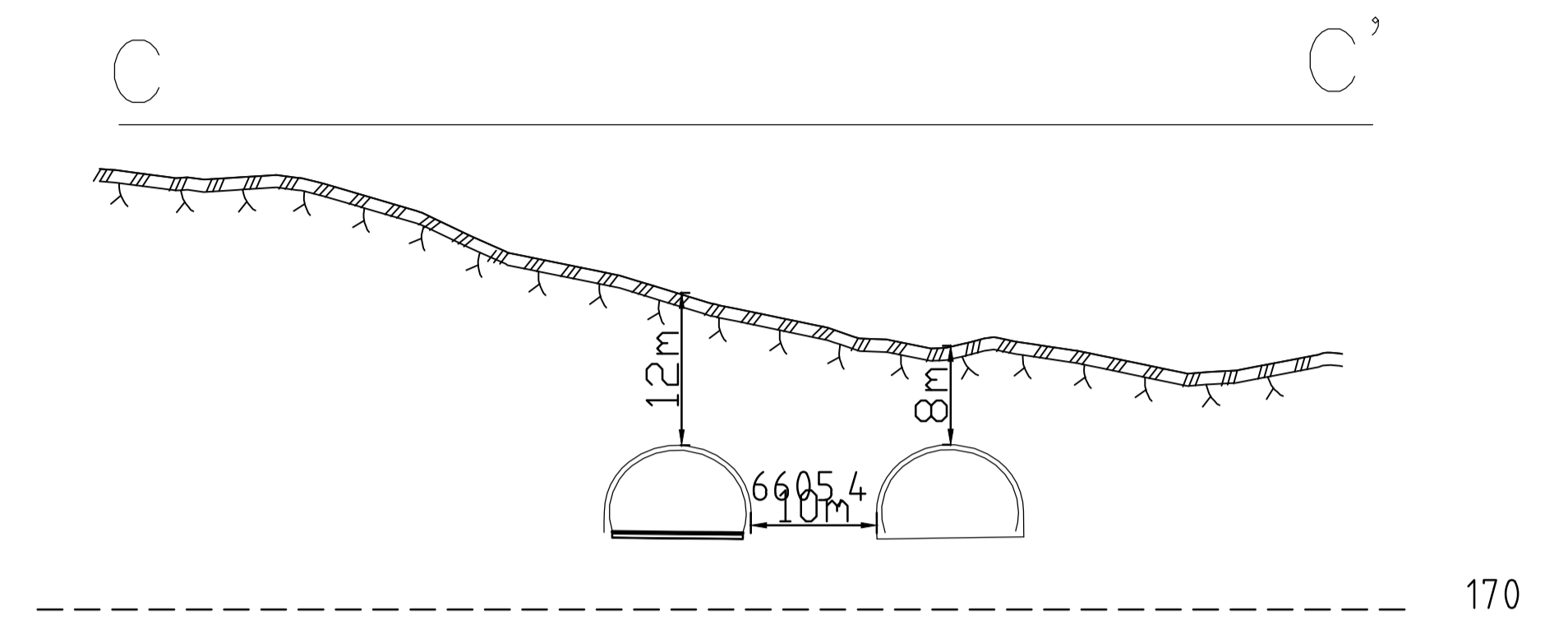
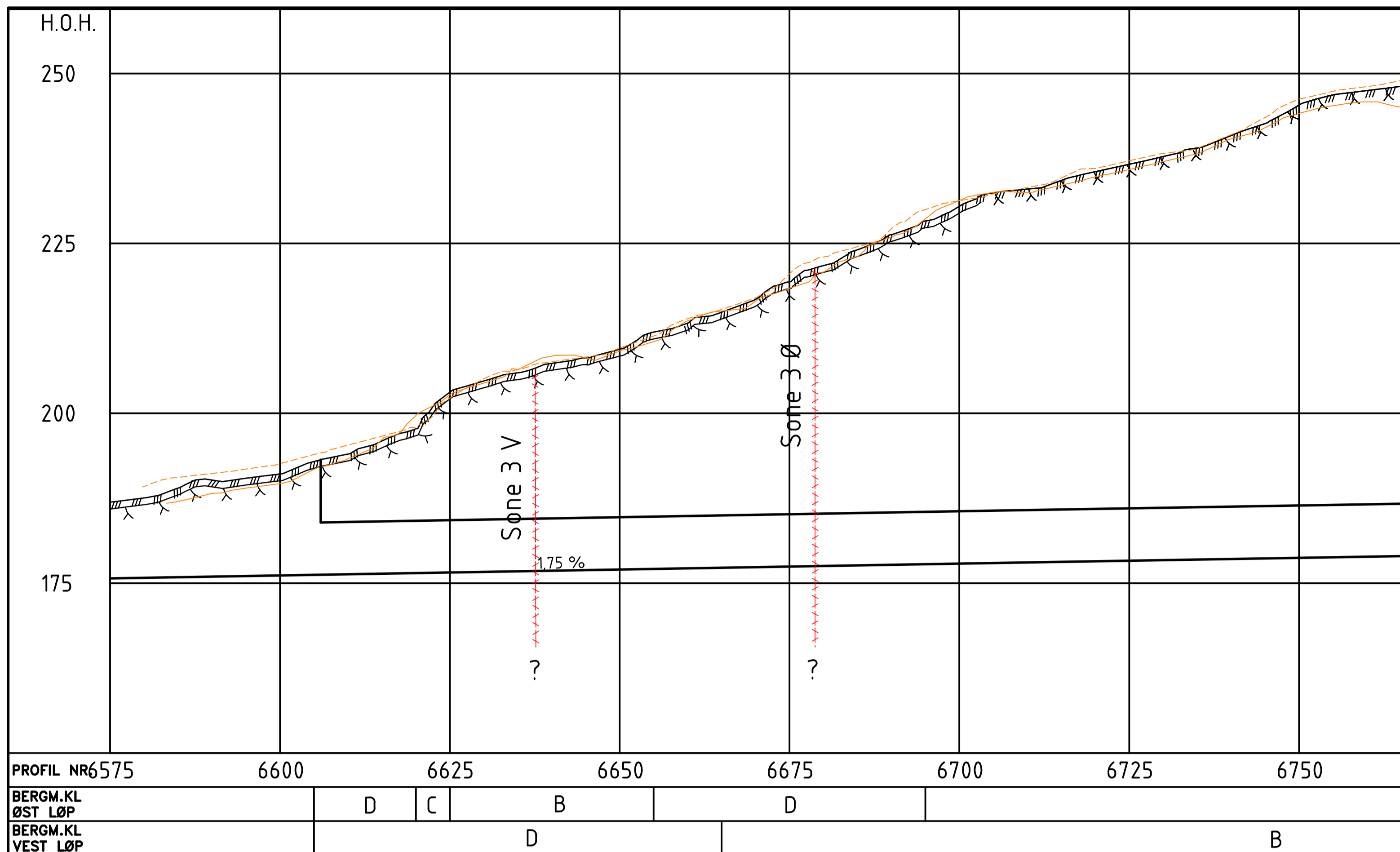


Tegnforklaring		Merknader	
	Eksisterende terreng		Berg i dagen
	Antatt berg		Myr
	Terreng over vestgående løp		Strøk/fall
	Terreng over østgående løp		Antatt svakhetssone, mektighet <5 m
	Seismikk		Antatt svakhetssone, mektighet >5 m
	ERT		Observasjonspunkter berg i dagen
	Planlagt totalsonering		Berg i dagen
	Utført totalsonering		Myr

Merknader
 Bergart: Båndgneis
 Lengdeprofilen følger senterlinjen mellom tunnellopene.
 Svakhetssonene er indikert i lengdeprofilen slik de estimeres å krysse østgående (Ø) og vestgående (V) tunnellop.



Revisjon	Revisjonen gjelder	Utarb.	Kontr.	Godkjent	Rev. dato
		Utfer av:			
E39		Saksnr.:			
Mandal - Lyngdal øst		Tegningsdato: 28.05.2021			
Oversiktsplan, lengdeprofil		Bestiller: Håkon Lohne			
Fagrapport tunnel ingeniørgeologi		Produsert for: Nye Veier			
Vråheiatunnelen		Prosjektnummer: 115400			
Teknisk plan til reguleringsplan		Arkivreferanse:			
Utarbeidet av: NOKALR		Byggeværk nummer:			
Kontrollert av: NOBJGR		Koordinatsystem: Euref NTM-07			
Godkjent av: NOHOLL		Høydesystem: NN2000			
Konsulentarkiv: 10219378		Målestokk A1: 1:500			
		Målestokk A3: 1:1000			
		Tegningsnummer/ revisjon: V1006			

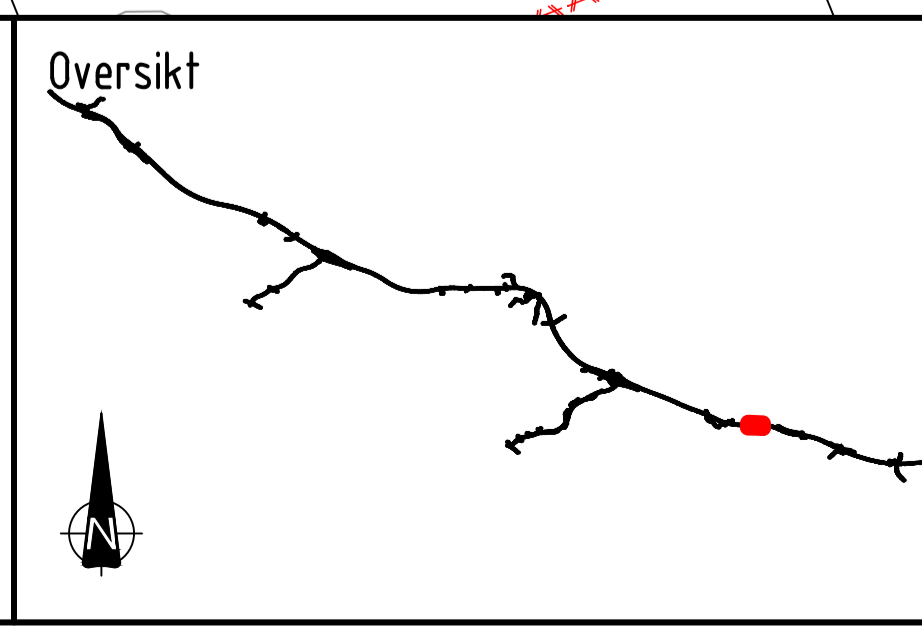


Tegnforklaring

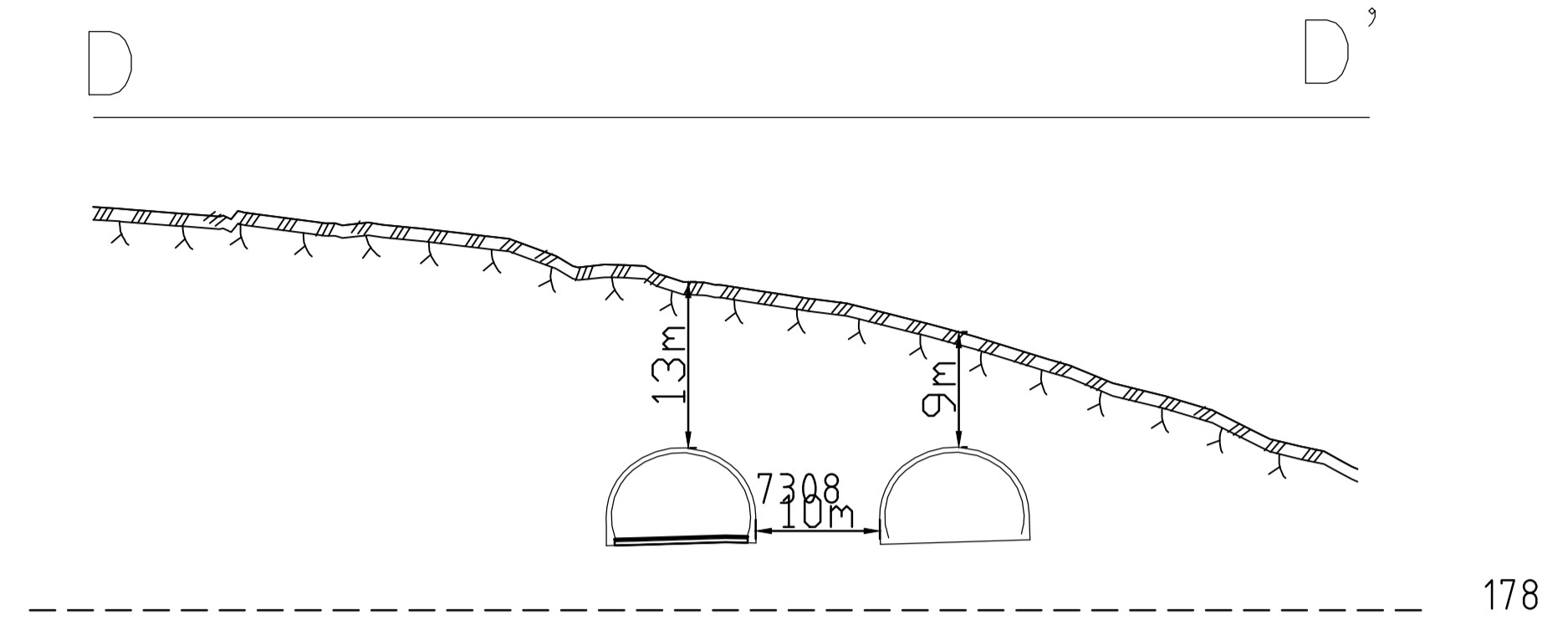
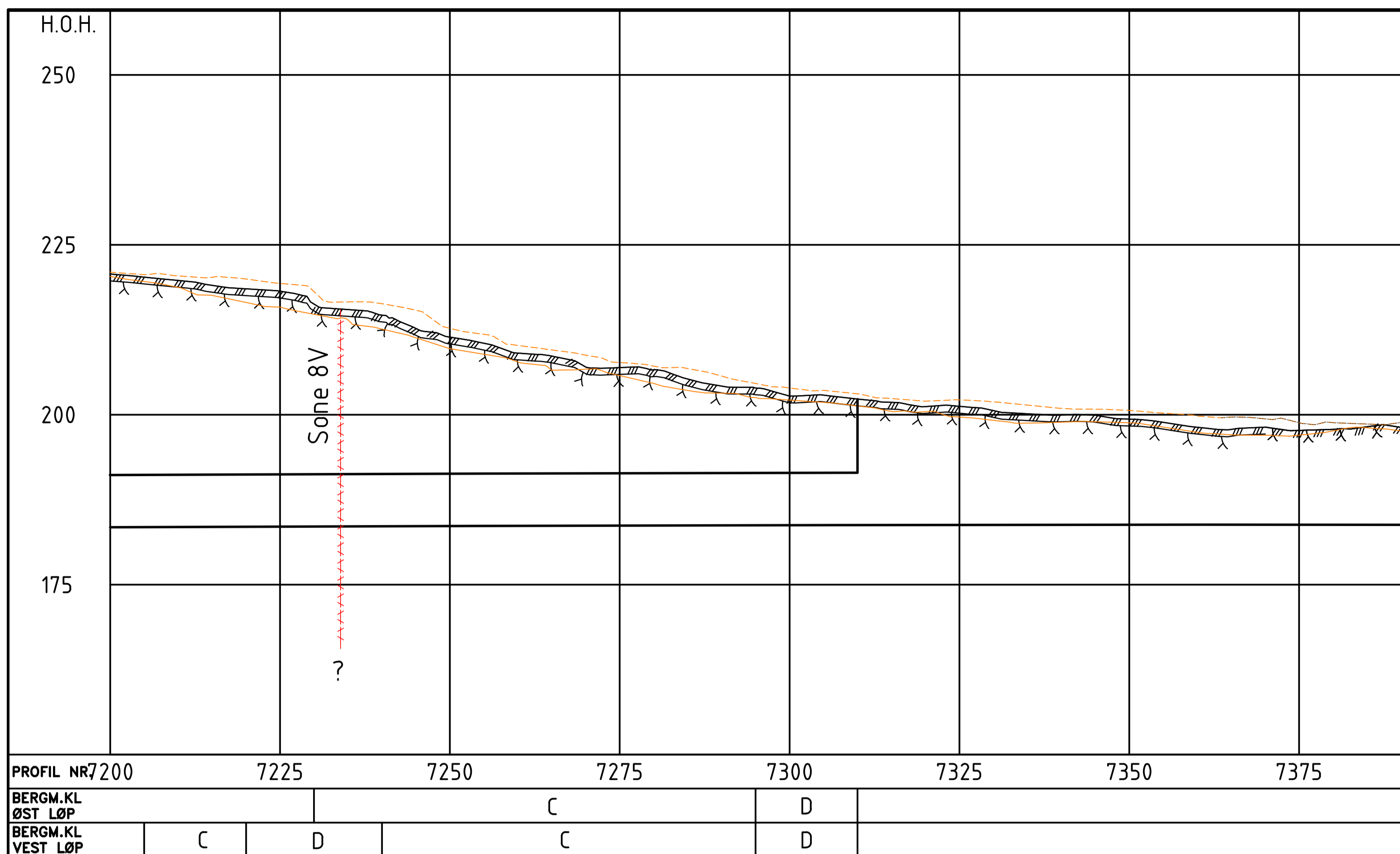
Eksisterende terreng	Seismikk	Observasjonspunkter berg i dagen
Antatt berg	ERT	Berg i dagen
Terreng over vestgående løp	Planlagt totalsondring	Myr
Terreng over østgående løp	Utført totalsondring	Strøk/fall
		Antatt svakhetssone, mektighet <5 m
		Antatt svakhetssone, mektighet >5 m

Merknader

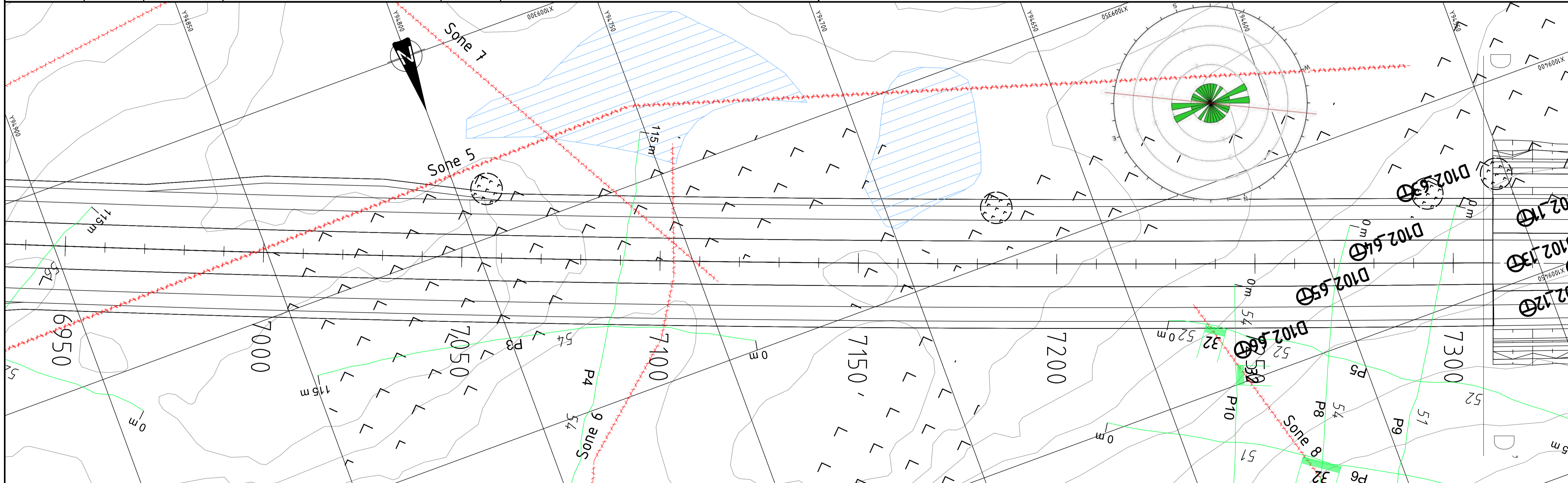
Bergart: Båndgneis
 Lengdeprofilen følger senterlinjen mellom tunneløpene.
 Svakhetssonene er indikert i lengdeprofilen slik de estimeres å krysse østgående (Ø) og vestgående (V) tunneløp.



Revisjon	Revisjonen gjelder	Utarb.	Kontr.	Godkjent	Rev. dato
		Saksnr.			
		Tegningsdato			28.05.2021
		Bestiller			Håkon Lohne
		Produsert for			Nye Veier
		Prosjektnummer			115400
		Arkivreferanse			
		Byggverk nummer			
		Koordinatsystem			Euref NTM-07
		Haydesystem			NN2000
		Målestokk A1			1:500
		Målestokk A3			1:1000
Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av	Konsulentarkiv	Tegningsnummer/ revisjon	
NOKALR	NOBJGR	NOHOLL	10219378	V1007	



PROFIL NR	7200	7225	7250	7275	7300	7325	7350	7375
BERGM.KL ØST LØP				C		D		
BERGM.KL VEST LØP	C	D		C		D		



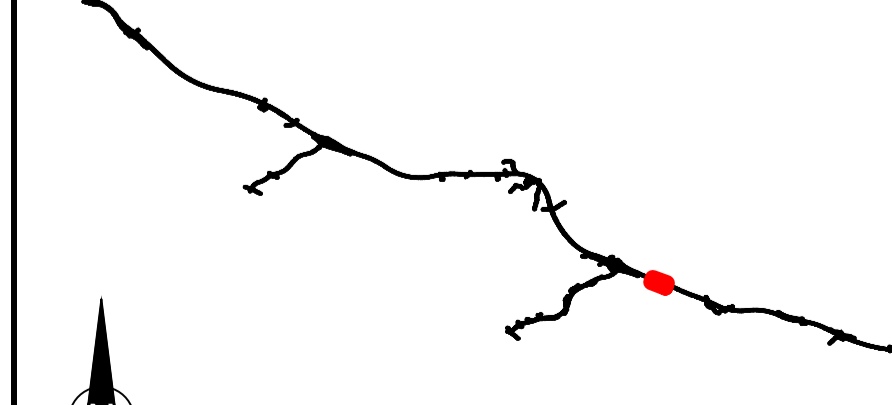
Tegnforklaring

- Eksisterende terreng
- Antatt berg
- Terreng over vestgående løp
- Terreng over østgående løp
- Seismikk
- ERT
- Planlagt totalsonering
- Utført totalsonering
- Observasjonspunkter berg i dagen
- Berg i dagen
- Myr
- Strøk/fall
- Antatt svakhetssone, mektighet <5 m
- Antatt svakhetssone, mektighet >5 m

Merknader

Bergart: Båndgneis
 Lengdeprofilen følger senterlinjen mellom tunnelløpene.
 Svakhetssonene er indikert i lengdeprofilen slik de estimeres å krysse østgående (Ø) og vestgående (V) tunneløp.

Oversikt



Revisjon	Revisjonen gjelder	Utarb.	Kontr.	Godkjent	Rev. dato
		Saksnr.			28.05.2021
		Tegningsdato	Håkon Lohne		
		Bestiller	Nye Veier		
		Prosjektnummer	115400		
		Arkivreferanse			
		Byggeværk nummer			
		Koordinatsystem	Euref NTM-07		
		Haydesystem	NN2000		
		Vrøshøiatunnelen, vestlig påbygg	1:500		
		Målestokk A1	1:500		
		Målestokk A3	1:1000		
Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av	Konsulentarkiv		
NOKALR	NOBJGR	NOHOLL	10219378		
		Tegningsnummer/	revisjon		
			V1008		

Vedlegg 2 - Sprekkeroser og stereonett

Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	5 planes per arc
Planes Plotted	15
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°

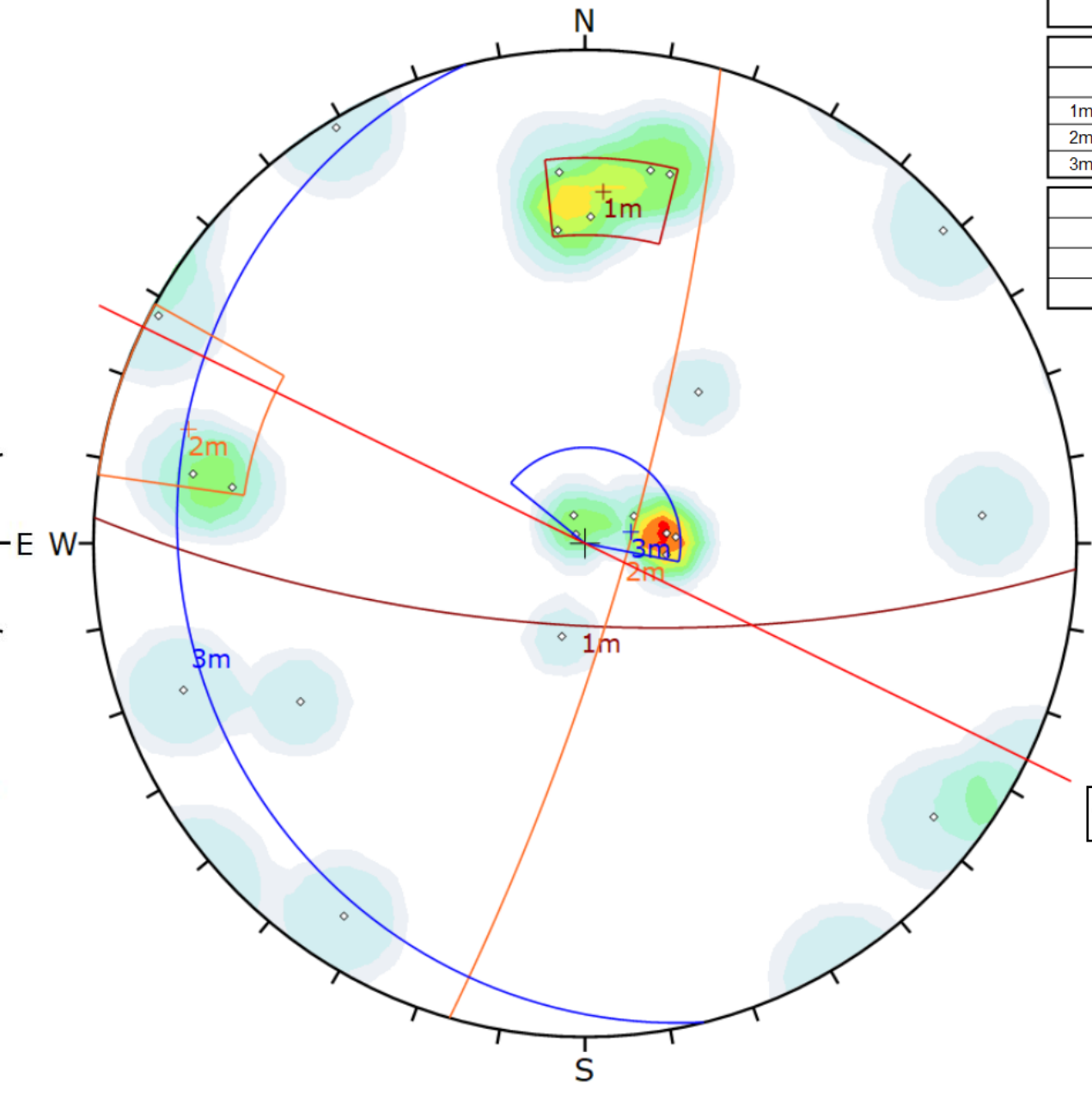
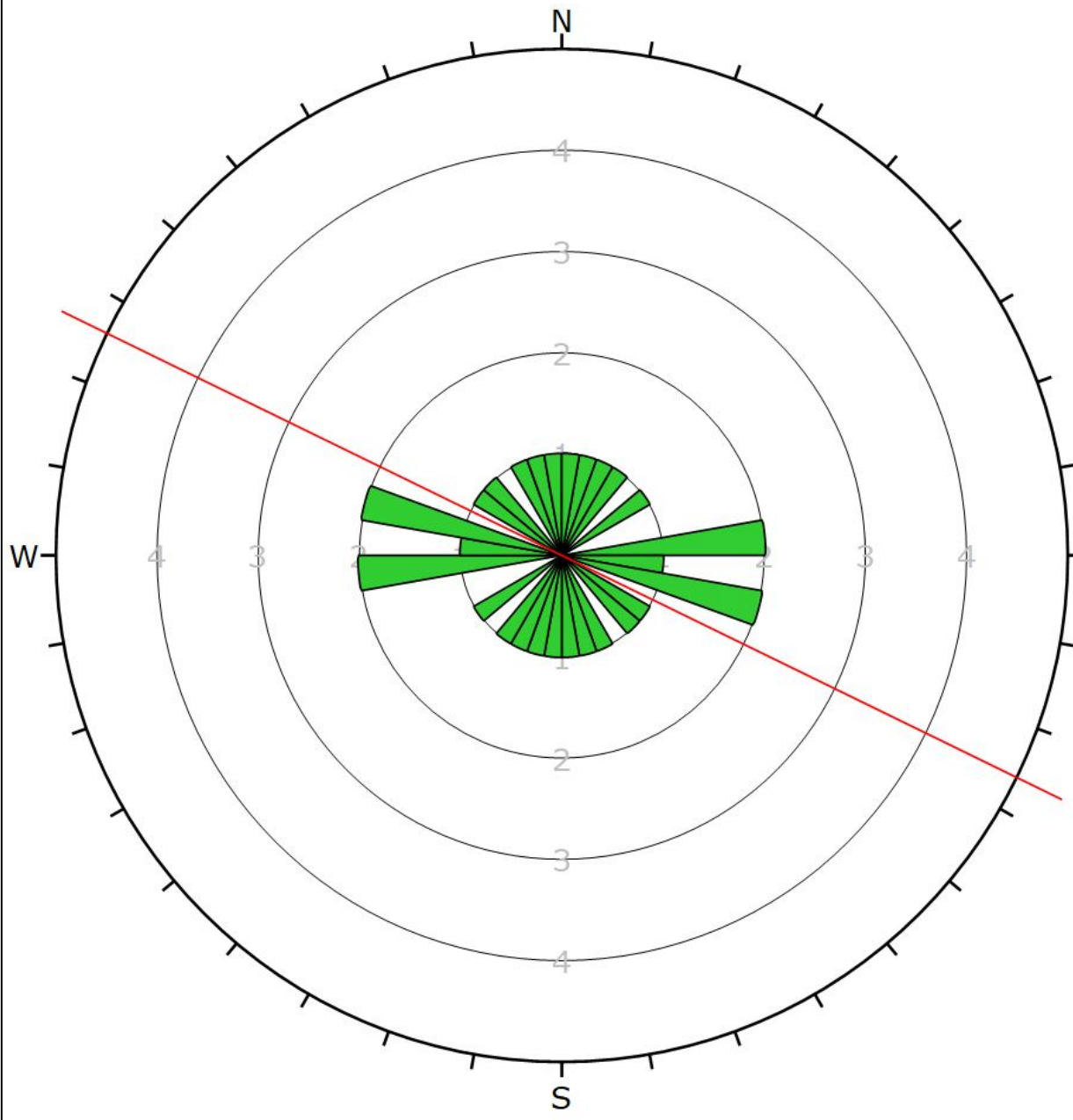
Symbol	Feature
◇	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.50
	1.50 - 3.00
	3.00 - 4.50
	4.50 - 6.00
	6.00 - 7.50
	7.50 - 9.00
	9.00 - 10.50
	10.50 - 12.00
	12.00 - 13.50
	13.50 - 15.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	14.28%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Color	Strike (Right)	Dip	Label
Mean Set Planes			
1m	93	71	
2m	16	80	
3m	168	14	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	23 (23 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle



Orientering tunnel

Prosjekt	Oppdragsnr.			Kommentarer
E39 Mandal - Lyngdal øst	10219378			
Lokalitet	Utført	Kontr.	Dato	
Vråheiatunnelen vestre del	nomgam	novatn	16.05.2021	Rød linje viser tunnelens orientering

Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	10 planes per arc
Planes Plotted	47
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°

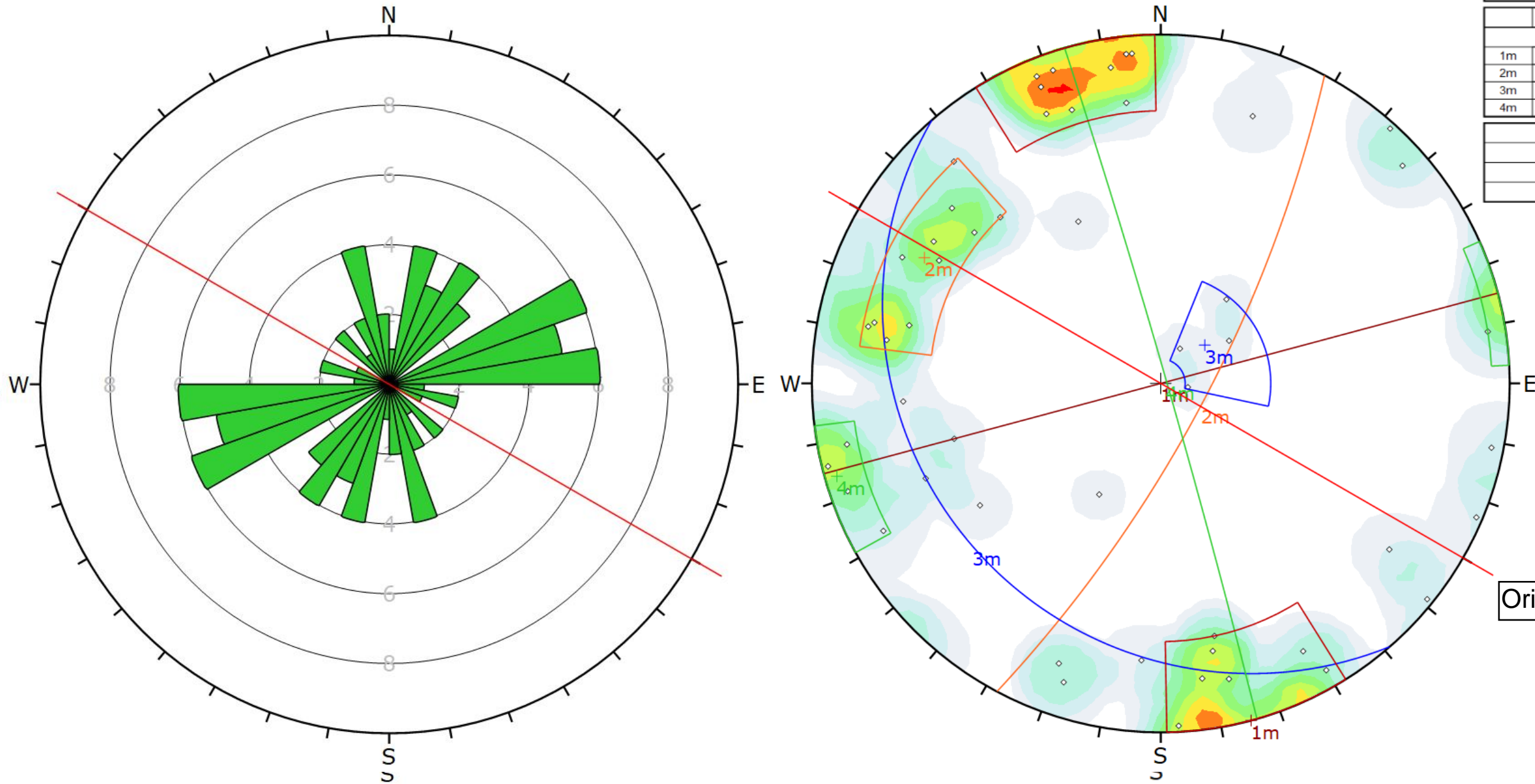
Symbol	Feature
◊	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.00
	1.00 - 2.00
	2.00 - 3.00
	3.00 - 4.00
	4.00 - 5.00
	5.00 - 6.00
	6.00 - 7.00
	7.00 - 8.00
	8.00 - 9.00
	9.00 - 10.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density		9.14%
Contour Distribution		Fisher
Counting Circle Size		1.0%

Color	Strike (Right)	Dip	Label
Mean Set Planes			
1m	255	90	
2m	28	75	
3m	139	19	
4m	344	88	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	52 (52 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle



Orienting tunnel

Prosjekt	Oppdragsnr.			Kommentarer
E39 Mandal - Lyngdal øst	10219378			
Lokalitet	Utført	Kontr.	Dato	Rød linje viser tunnelens orientering
Vråheiattunnelen østre del	nomgam	novatn	16.05.2021	

Vedlegg 3 - Resultat laboratorietest av steinmateriale



Samlestatistikk tilslag

Oppdragnr.	25210003	Navn	Nye Veier AS	Massetaknr.		Navn	
Vegprosjektnr.		Navn		Grenseverdir.	LA og MD prøve	Navn	LA og MD prøve
Kundenr.	55	Navn	Nye Veier AS	Fraksjon (mm)		Dato	

Kategori/Serie							<20µm	<63µm	LA	M _{DE}
Øvre									35.0	15.0
Oppdrnr.	Pr.nr.	Dato	Grensev.nr	Kundenr	Stedskode	Prfnedre				
25210003	5 _(P)	08.03.2021	LA og MD prøve	55					36	15
25210003	6 _(P)	08.03.2021	LA og MD prøve	55					24	12
25210003	7 _(P)	09.03.2021	LA og MD prøve	55					85	24

Forkortelse	Beskrivelse
LA	Los Angeles-verdi
M _{DE}	Micro-Deval-koeffisient



Merknader, Samlest statistikk tilslag

Interne prosjekter

Prøvenr. 5

10.03.2021	Eikeråstunnelen. Supplerende prøvepunkt 3
------------	-------------------------------------------

Prøvenr. 6

10.03.2021	Eikeråstunnelen. Supplerende prøvepunkt 2
------------	-------------------------------------------

Prøvenr. 7

10.03.2021	Vråtunnelen. Supplerende prøvepunkt 1
------------	---------------------------------------