

Geologi, tunnel



Geologi

E45 Kløfta, kontrakt E02 Tunnel,
Geologisk rapport til konkurransegrunnlag

Alta kommune

Fagressurser Utbygging

B12016-GEOL-03



Foto: Håkon Vikeså



Statens vegvesen



Oppdragsrapport

Nr. B12016-GEOL-03

Labsysnr.

Geologi

E45 Kløfta, kontrakt E02 Tunnel,
Geologisk rapport til konkurransegrunnlag

Utbygging

Fagressurser Utbygging

Geofag Utbygging

Postadresse Pb. 1010 Nordre Ål

2605 Lillehammer

Telefon (+47) 22 07 30 00

www.vegvesen.no

UTM-sone	Euref89 Ø-N	Oppdragsgiver:	Antall sider:
33	819264 - 7762948	Prosjekt Finnmark v/Edgar Olsen	66
Kommune nr.	Kommune	Dato:	Antall vedlegg:
5601	Alta	2026-10-01	42
		Utarbeidet av	Antall tegninger:
		Håkon Jensen Vikeså	
Prosjektnummer		Seksjonsleder	Kontrollert
B12016		Roar Øvre	Gustav Aarre Mohus
Sammendrag			

Prosjekt E45 Kløfta E02 omfatter bygging av en ca. 4,2 km lang tunnel og tilhørende bergskjæringer sør for tunnelen. Formålet med tiltaket er å forbedre trafikksikkerhet og framkommelighet på E45 ved å erstatte dagens veg gjennom Kløfta, som er utsatt for steinsprang, snøskred og utfordrende kurvatur.

Tunneltraséen ligger hovedsakelig i metaarkose tilhørende Kalakdekkekomplekset. Bergarten vurderes generelt som sterk og kompetent. Både tidligere og nyere undersøkelser viser at hoveddelen av tunnelen vil gå i middels til god bergmassekvalitet. Det er registrert fire dominerende sprekkesett og totalt 18 tolkede svakhetssoner langs traseen. De fleste sonene krysser tunnelen med gunstige vinkler, men enkelte soner kan gi redusert bergkvalitet, økt sikringsbehov og lokal vanninntrengning. Spesielt vurderes områdene ved nordre påhugg, den regionale forkastningssonen rundt profil 6820-7030 og strekningen mellom profil 8780-9260 som de mest krevende delene av tunnelen.

Løsmassedekke over tunnelen er generelt tynt, og store deler av traseen har berg nær overflaten. De største geologiske utfordringene er knyttet til lav bergoverdekning ved påhuggene, flere svakhetssoner og risiko for blokkutfall som følge av den flattliggende foliasjonen i bergmassen. Bergslag og høye spenningsproblemer vurderes derimot som lite sannsynlig.

Hydrogeologisk vurderes området som relativt lite sårbart. Det finnes enkelte vann og bekker nær traseen, men det forventes begrenset påvirkning på grunnvann og overflatevann dersom innlekkasjen holdes innenfor fastsatte krav. Tetthetskravet er satt til 20 l/min per 100 m tunnel, og det anbefales systematisk sonderboring og forinjeksjon ved kryssing av vannførende svakhetssoner. Om lag 690 meter tunnel er vurdert å kunne kreve injeksjonstiltak.

Bergsikringsbehovet forventes å variere betydelig gjennom tunnelen. Omtrent 61 % av tunnelen er vurdert å ligge i sikringsklasse I-II, mens rundt 16 % kan kreve kraftigere sikring i klassene IV-VI. Rapporten anbefaler systematisk bruk av bolter, fiberarmert sprøytebetong og økt omfang av forbolter, særlig på grunn av store blokkstørrelser og erfaringer fra lignende tunneler i samme bergart. Bergmassen vurderes som godt egnet til bruk som bygge- og vegmaterialer, og analysene viser ikke risiko for syredannelse eller miljøproblemer knyttet til tungmetaller.

Samlet sett vurderes prosjektet som geologisk gjennomførbart med hovedsakelig gode bergforhold. Utfordringene er i hovedsak knyttet til svakhetssoner, lav overdekning ved påhuggene og behov for tilpasset sikring og injeksjon under drivingen. Med anbefalte tiltak forventes tunnelen å kunne bygges uten særskilte geologiske hindringer.

Emneord

Ingeniørgeologi, Tunnel, Kløfta, Alta



Statens vegvesen
Pb. 1010 Nordre Ål
2605 Lillehammer

Tlf: (+47) 22 07 30 00

firmapost@vegvesen.no

vegvesen.no

Tryggere, enklere og grønnere reisehverdag

INNHALDSFORTEGNELSE

1	INNLEDNING	6
1.1	Bakgrunn	6
1.2	Rapportens innhold/Inndeling	7
1.3	Linjeføring, tunnelklasse og –tverrsnitt	8
1.4	Konsekvensklasse/pålitelighetsklasse og krav til kontroll	12
1.5	Bakgrunnsmateriale, inkludert rapporter fra tidligere undersøkelser	13
2	Grunnforhold – Utførte undersøkelser	15
2.1	Tidligere undersøkelser	15
2.2	Undersøkelser ifm. denne rapporten	15
2.2.1	Lineament – og strukturanalyse (Svakhetssoner)	15
2.2.2	Feltarbeid og geologisk kartlegging	15
2.2.3	Boring.....	16
2.3	Bergartsanalyser	16
3	GRUNNFORHOLD – Generelt	18
3.1	Topografi og områdebeskrivelse, inkl– bebyggelse og infrastruktur	18
3.2	Løsmasser – kvartærgeologi, overdekning	18
3.2.1	Påhugg nord.....	19
3.2.2	Påhugg Sør	20
3.2.3	Tunnelen ellers.....	21
3.3	Berggrunnsgeologi	21
3.3.1	Bergarten generelt.....	21
3.3.2	Generelt om sprekkesystemer og lineamenter	22
3.3.3	Bergartskjemien generelt.....	25
3.4	Vannforhold – hydrologi/hydrogeologi	25
3.5	Nærliggende tunneler og bergrom.....	26
3.6	Naturfarer.....	27
3.7	Naturressurser, inkl. Geologisk arv.....	27
4	INGENIØRGEOLOGISKE VURDERINGER – TOLKNINGSDEL	28
4.1	Utforming av anlegget	28
4.2	Løsmasser og bergoverdekning	28
4.2.1	Tunnel.....	Feil! Bokmerke er ikke definert.

4.2.2	Bergskjæringer	28
4.3	Utforming av anlegget og bergspenninger	29
4.4	Oppsprekking og svakhetssoner.....	30
4.4.1	Oppsprekking.....	30
4.4.2	Svakhetssoner	31
4.5	Forskjæringer og påhugg	36
4.5.1	Påhugg nord, pel 5680	37
4.5.2	Påhugg sør, pel 9884	37
4.6	Beskrivelser langs tunneltraseen.....	37
4.6.1	Delstrekninger.....	37
4.7	Stabilitet bergskjæring	38
4.8	Bergmassekvalitet.....	42
4.9	Sikringsarbeider, sikringsmetoder/omfang	43
4.9.1	Anbefalt sikring tunnel	44
4.9.2	Sikring bergskjæring inkludert tunnelpåhugg.....	45
4.9.3	Sikring av løsmasser over bergskjæring	46
4.10	Steinkvalitet.....	46
4.10.1	Mekaniske egenskaper	46
4.10.2	Bergartskjemi	47
4.10.3	Borbarhet og sprengbarhet.....	47
4.11	Uttaksmetode	47
5	Vann og hydrogeologiske vurderinger – Tolkning	49
5.1	Overflatevann	49
5.1.1	Nedbørsfelt	49
5.2	Vann i berggrunnen generelt (permeabilitet og teoretisk innlekkasje)	49
5.2.1	Grunnvannsforhold og vannbalanse	50
5.2.2	Hydrogeologisk usikkerhet.....	50
5.3	Sårbarhetsanalyse.....	51
5.3.1	Influensområde, naturmiljø, grunnvannssenking, ev. setningsfare	51
5.3.2	Risiko for innlekkasje til tunnel	52
5.3.3	Påvirkning på omgivelsene	52
5.4	Tetthetskrav, sonderboring og forinjeksjon.....	52
5.4.1	Tetthetskrav og injeksjonsstrategi.....	52

5.4.2	Sonderboring.....	53
5.4.3	Injeksjonsmengder	54
5.5	Vann- og frostsikring	55
6	Geologiske og hydrogeologiske modeller.....	57
6.1	Fagmodeller i 3D	57
6.1.1	Usikkerhet i geologiske modeller	57
7	ANBEFALINGER OG KRAV	59
7.1	Grunnforhold. Vibrasjoner ihht NS8141	59
7.2	Krav til overvåking av spesielle forhold.....	59
7.3	Sprengsteinsmasser (brukbarhet, deponering og syredanning)	59
7.4	Bemannings og geologisk kompetanse i byggefasen.....	59
7.5	Geologisk arv.....	Feil! Bokmerke er ikke definert.
8	SIKKERHET HELSE ARBEIDSMILJØ (SHA)–FORHOLD	61
8.1	Sikkerhetsforhold	61
8.2	Helseforhold	62
8.3	Arbeidsmiljøforhold.....	62
9	Sammendrag av geologisk rapport for E45 Kløfta E02.....	Feil! Bokmerke er ikke definert.
10	Referanser	64

Tegning	Målestokk	Format
V01: Oversiktskart	1:18 000	A3
V02–V15: Geologisk tegning tunnel	1:1 000	A3
V015–V20: Geologisk tegning bergskjæring	1:1 000	A3
V21–26: Lengdeprofil tunnel	1:1 000	A3
V05: Tverrprofiler 1:1 xxxx–xxxx bergskjæring	1:100–200	A3
V43: Nedbørsfeltparametre		A4

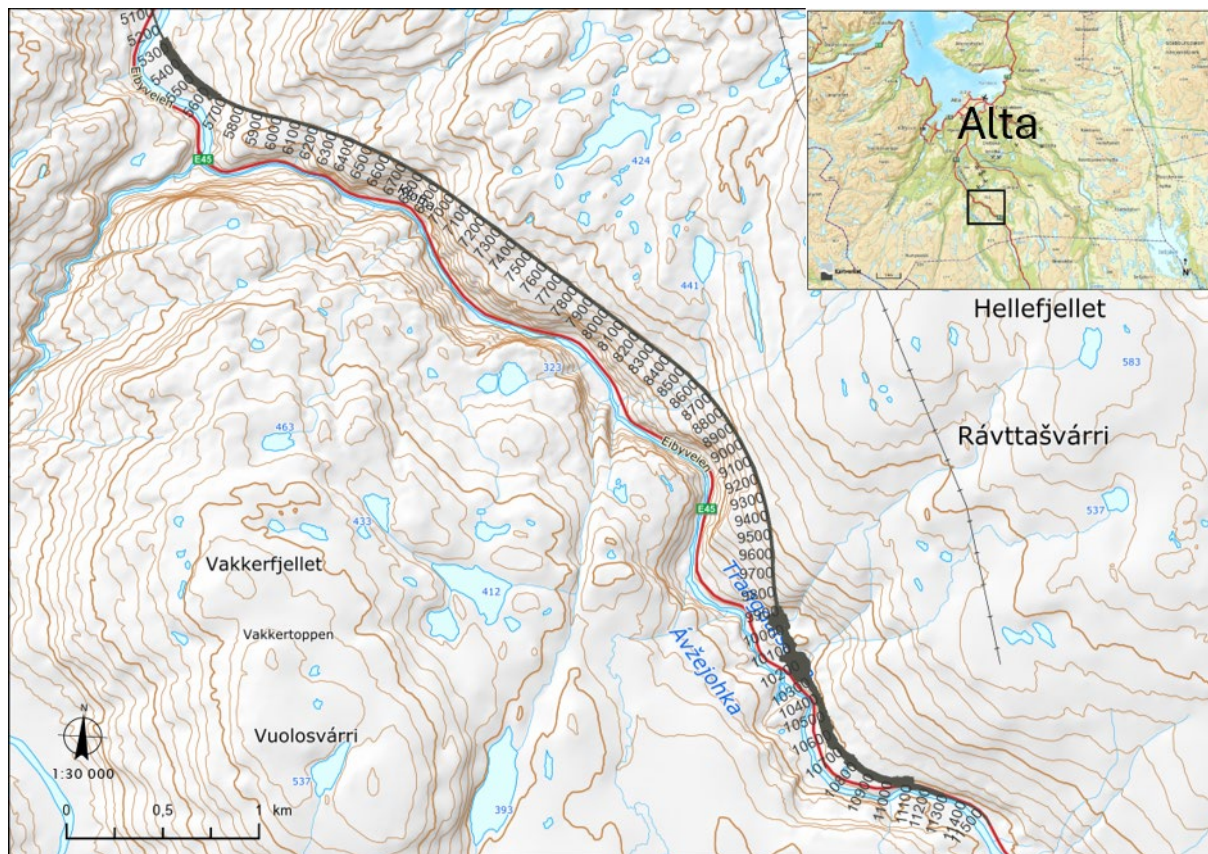
1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Statens vegvesen Utbyggingsområde nord har utarbeidet byggeplan for deler av E45 som går fra Alta, via Kautokeino, til riksgrensen til Finland. Veien er hovedfartsåren til Finnmarksvidda og danner en viktig nord-sør akse til Finland for tungtrafikk som skal sørover. Veien har fått økt betydning etter Finlands innmelding i NATO.

For at E45 skal komme opp til Finnmarksvidda går vegen i dagen gjennom Kløfta. Kløfta er en elvecanyon preget av bratte fjellsider. Her går det jevnlig steinsprang og snøskred. I tillegg preges vegen av mangel på midtskille samt dårlig vertikal- og horisontal kurvatur som medfører dårlig fremkommelighet, spesielt på vinterstid. E45 gjennom Kløfta har en ÅDT på 1060, med en andel lange kjøretøy på 37%.

For å unngå skredproblematikk og fikse dårlig kurvatur er det besluttet å legge E45 gjennom en 4,2 km lang tunnel. Hele prosjektet er delt i tre ulike entrepriser. Enterprise 01 (E01) innebærer utretting av omtrent 1,7 km av eksisterende veglinje samt ny bru nord for Kløfta. E01 inkluderer også etablering av anleggsvei til påhuggene samt interrimbru over Trangdalselva til påhugg nord. E02 inkluderer tunnelen og 1,4km veg i dagen på sørsiden av tunnelen. E03 inkluderer ny bru for E45 over Trandalseva nord for tunnelen.



Figur 1: Oversiktskart over E02 delen av E45 Kløfta.

1.2 Rapportens innhold/Inndeling

Denne rapporten inneholder den geologiske informasjonen som trengs for konkurransegrunnlaget for E45 Kløfta Enterprise 02. Dette inkluderer informasjon til både 4,2 km tunnel og 3 bergskjæringer på sørsiden av tunnelen med total lengde på 850m.

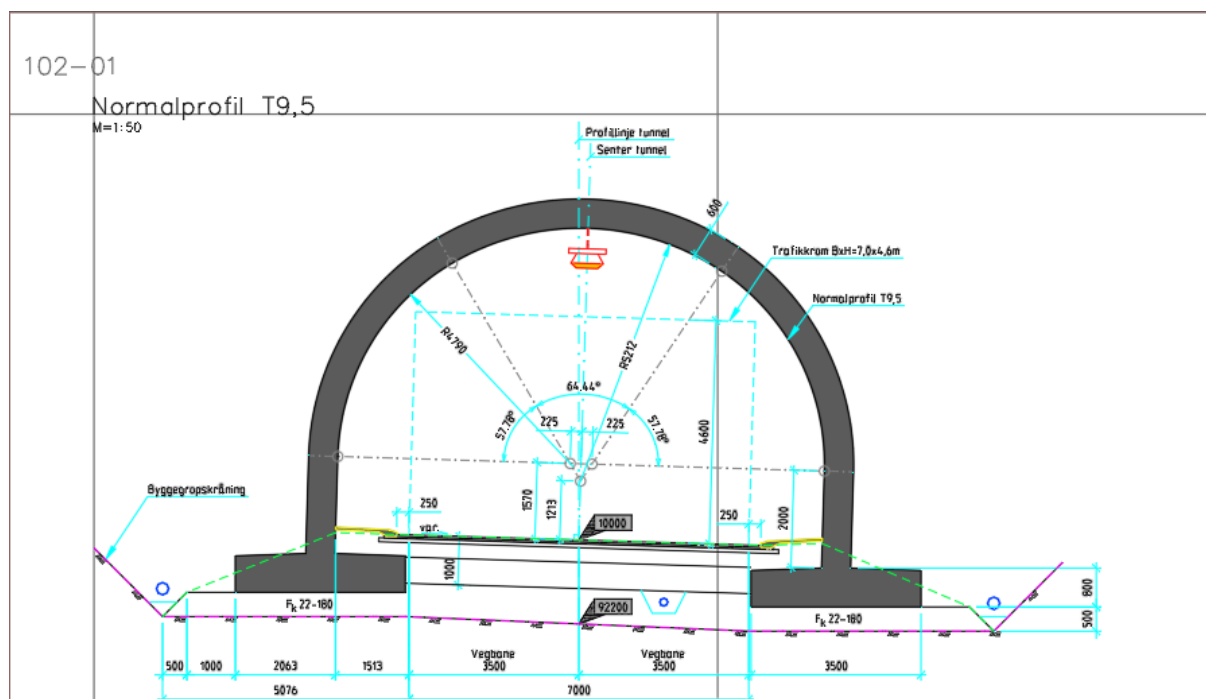
Rapporten er bygget på krav og anbefalinger listet i N200 og N500 [1] [2]. Rapporten er utarbeidet iht. følgende håndbøker og standarder:

- N200 Vegbygging [1]
- N500 Vegtunneler 2024 [2]
- V225 Bergskjæringer [3]
- V521 Geologi og bergsikring i tunnel [4]
- R761 Prosesskode [5]
- Eurokode 0 [6]
- Eurokode 7 [7]
- NS 8141 [8]

1.3 Linjeføring, tunnelklasse og -tverrsnitt

Forventet ÅDT på 1006 (2050), med en andel lange kjøretøy på 37%. Dette gir grunnlag for tunnelklasse B.

Tunnelen er planlagt for tunnelklasse B med T9,5 profil. Tunnelen vil starte ved inngangen til Kløfta i nord og følge Kløfta på østre side. Tunnelen er lagt til for å holde avstand til vurderte svakere soner. Linjeføringen medfører for lav svingradius i begge påhuggene som igjen medfører siktutvidelse ved begge påhugg. Ved påhugg nord, profil 5680, skal profilet økes til T12,5 til profil 5955. Ved påhugg sør, profil 9884, skal profilet utvides til T12,5 frem til profil 9655.

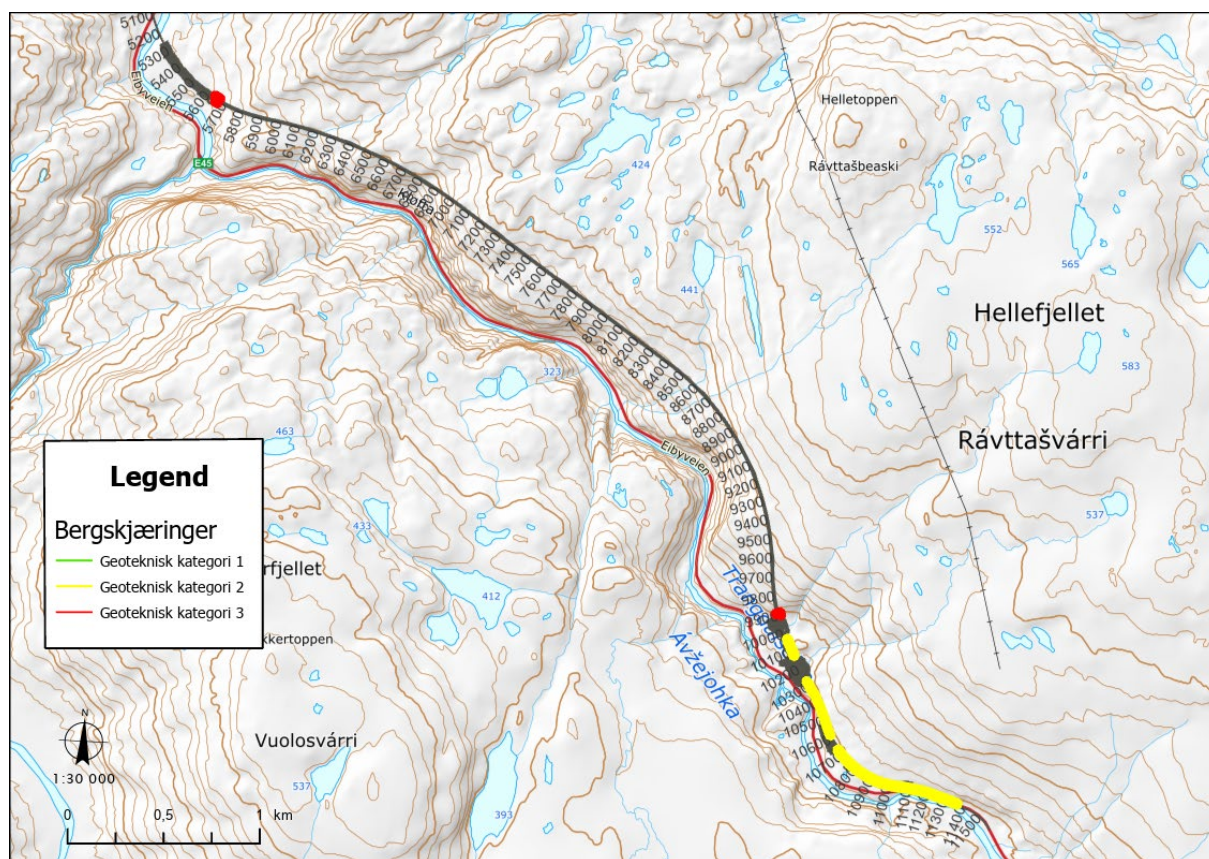


Figur 2: Tverrprofil av tunnel ved T9,5.

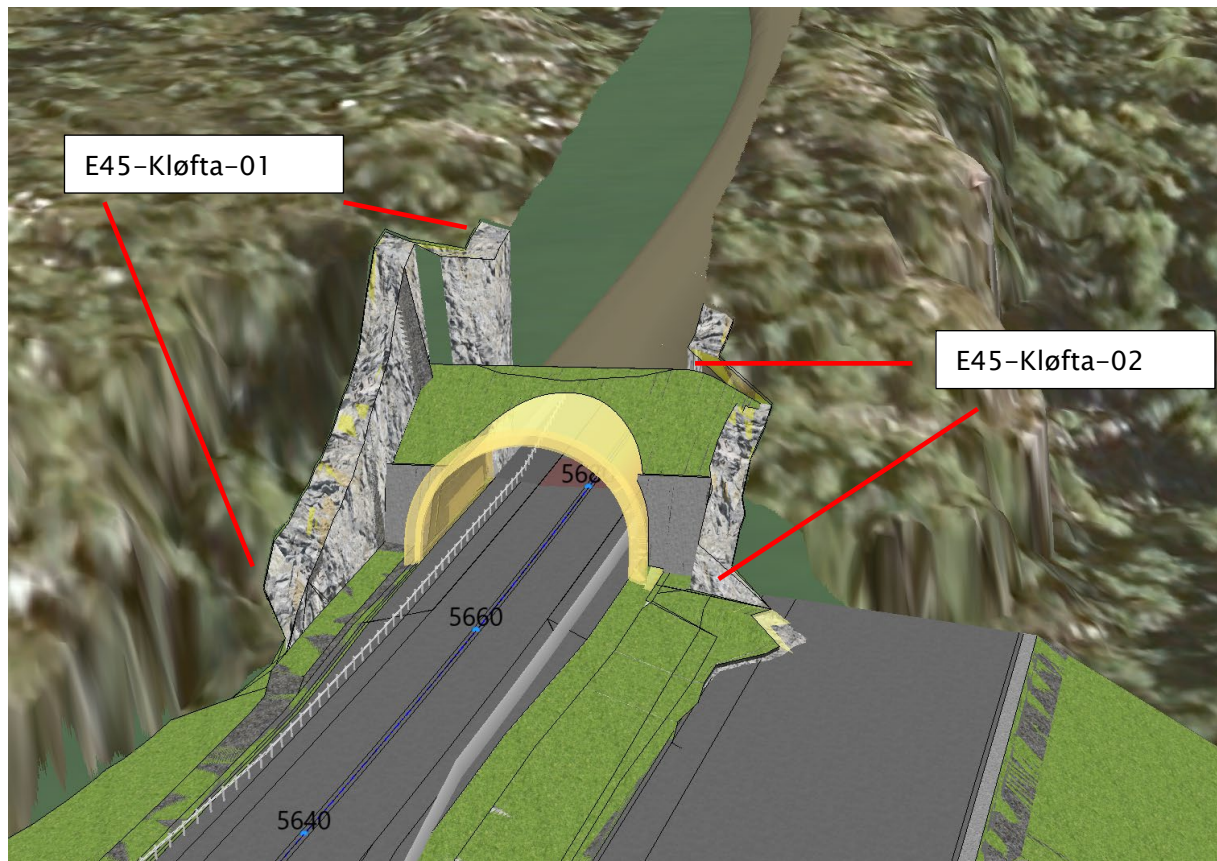
Tabell 1: Oversikt over planlagte bergskjæringer – bergpartier.

Berg-skjærings-id	Profil fra-til	Lengde m	Skjærings høyde (m)		Areal m ²	Merknader
			Maks	Middel		
E45-Kløfta-01	5660-5680	20	16	8	160	Forskjæring venstre side påhugg nord
E45-Kløfta-02	5670-5680	10	10	4	40	Forskjæring høyre side påhugg nord. Vil ikke være

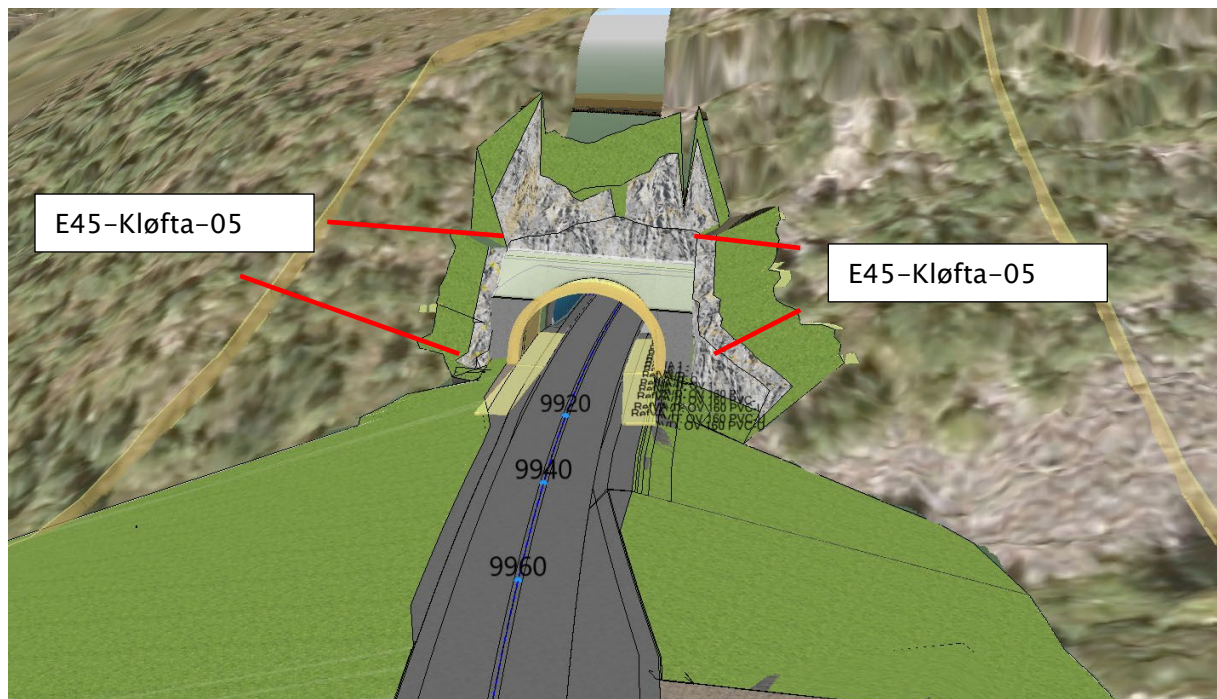
						synlig etter tunnelen er åpnet.
E45– Kløfta-03	9880– 9920	40	12	8	320	Forskjæring venstre side påhugg sør
E45– Kløfta-04	9880– 9900	20	11	5		Forskjæring høyre side påhugg sør
E45– Kløfta-05	10020– 10130	110	7	4	440	
E45– Kløfta-06	10280– 10580	300	9	6	1800	
E45– Kløfta-07	10680– 11120	440	6	4	1760	



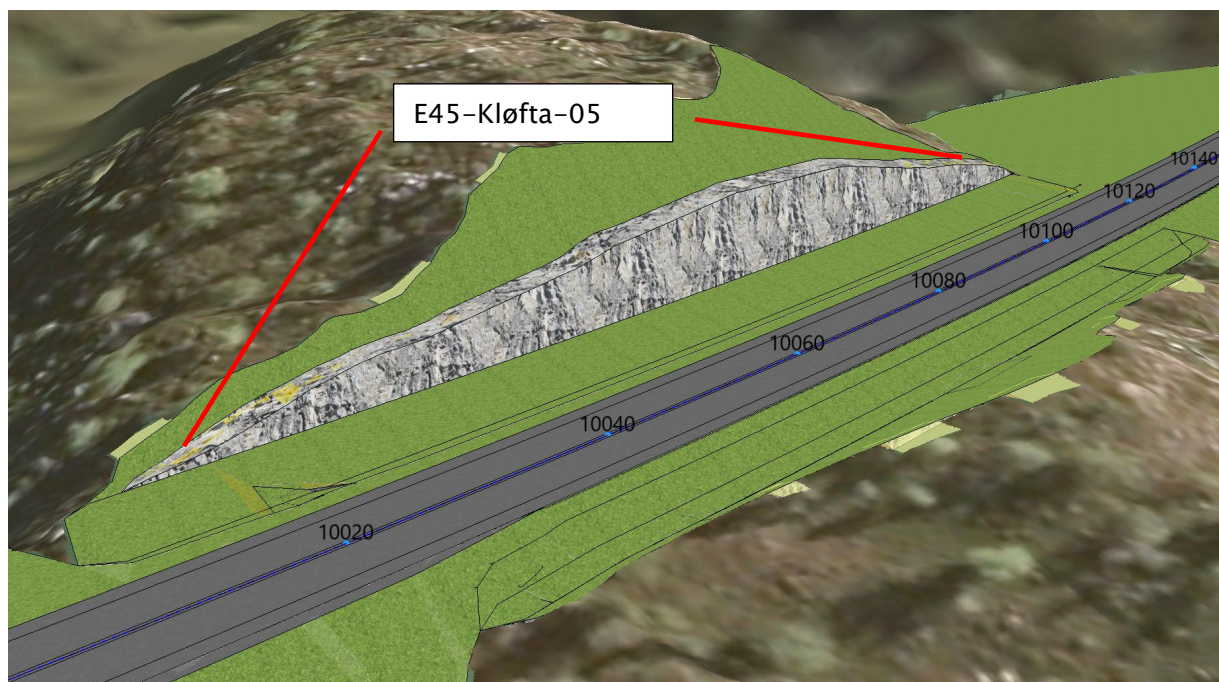
Figur 3: Oversiktskart over alle bergskjæringene. Alle bergskjæringer i geoteknisk kategori 3 er over 10m.



Figur 4: Illustrasjon over forskjæringene ved påhugg nord. Illustrasjonen ser mot SV.



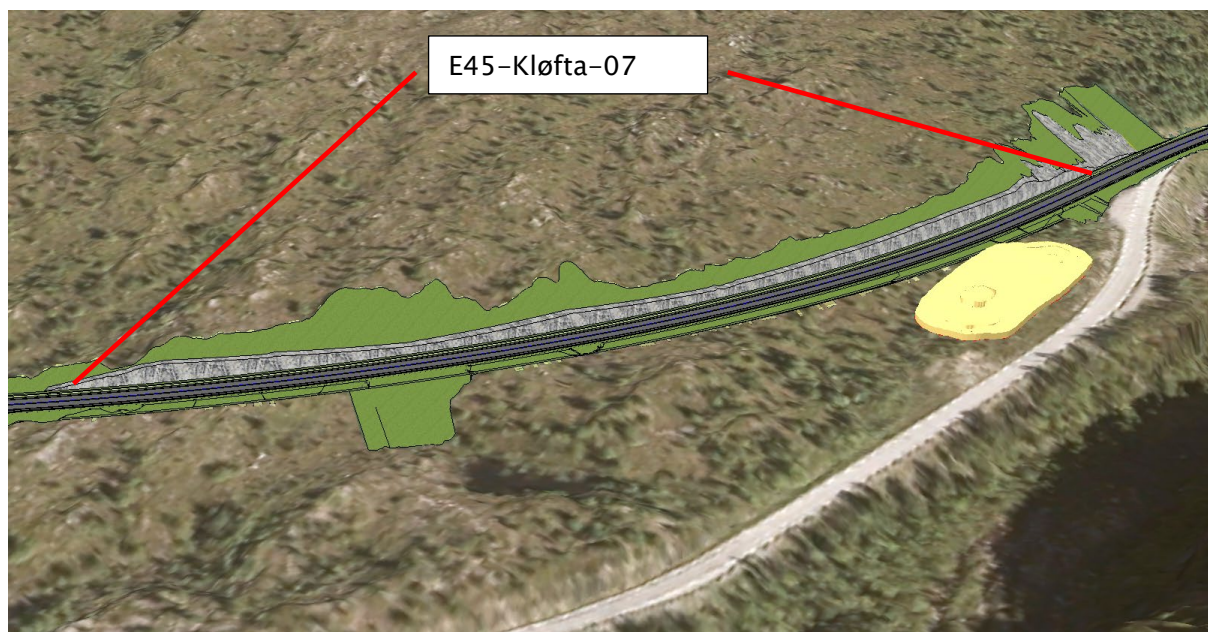
Figur 5: Illustrasjon over forskjæringene E45-Kløfta-03 og 04. Illustrasjonen ser mot nord



Figur 6: Illustrasjoner over bergskjæring E45-05.



Figur 7: Illustrasjon over bergskjæring E45-Kløfta-06.



Figur 8: Illustrasjon over bergskjæring E45-Kløfta-07.

Beskrivelse av de ulike bergskjærings-lokalitetene er gitt i Tabell 1 og Tabell 2.

1.4 Konsekvensklasse/pålitelighetsklasse og krav til kontroll

Vegtunnelprosjekter plasseres normalt i konsekvensklasse 3 og pålitelighetsklasse 3 per N500 [2]. E45 Kløfta er vurdert å være et oversiktlig tunnelprosjekt uten spesielle risikomomenter som forbindes med RC4.

Konsekvens-klasse(CC)	Pålitelighets-klasse(RC)	Prosjekteringskontroll-klasse(PKK)	Utførelseskontroll-klasse(UKK)
CC3	RC4	PKK4	UKK4
CC3	RC4	PKK3	UKK4
CC3	RC3	PKK3	UKK3
CC3	RC3	PKK2	UKK3
CC3	RC2	PKK2	UKK2

Figur 9: Sammenhenger mellom konsekvens-, pålitelighet- og kontrollklasse for bergskjæringer. Hentet fra N500 [2].

Tabell 2: Oversikt over geoteknisk kategori for de ulike bergskjæringene.

Berg-skjærings-id	Profil fra-til	Høyde(m) maks/gj.	Kommentar	PKK/ UKK
E45–Kløfta-01	5660–5680	16/8	Forskjæring venstre side. Høy bergskjæring over 10m.	3
E45–Kløfta-02	5670–5680	10/4	Forskjæring høyre side. Høy bergskjæring over 10m.	3
E45–Kløfta-03	9880–9920	12/8	Forskjæring venstre side. Høy bergskjæring over 10m.	3
E45–Kløfta-04	9880–9900	11/5	Forskjæring høyre side. Høy bergskjæring over 10m.	3
E45–Kløfta-05	10020–10130	7/4	Middels høy bergskjæring uten spesielle hensyn	2
E45–Kløfta-06	10280–10580	9/6	Middels høy bergskjæring uten spesielle hensyn	2
x	10615–10650	3/2	Lav bergskjæring uten spesielle hensyn	1
E45–Kløfta-07	10680–11120	6/4	Middels høy bergskjæring uten spesielle hensyn	2

1.5 Bakgrunnsmateriale, inkludert rapporter fra tidligere undersøkelser

I forbindelse med skredhendelser er det gjennomført feltbefaring og utarbeidet ulike skredfaglige rapporter. Rapportene omhandler skredfaglige tiltak i Kløfta.

I tidlig planfase ble ulike tunneltraséalternativer for E45 Kløfta vurdert, den gang rv. 93 Kløfta [9]. Rapporten omfattet tre tunnelalternativer: to på vestsiden av Eibyelva og ett på østsiden, som tilsvarer den endelige traseen. Det ble ikke gjennomført feltkartlegging i forbindelse med trasévurderingene. Alle alternativene ville kreve en ny bru over Eibyelva. For traseene på vestsiden av elva ville det nordre påhugget ligge under en stor fjellside, som måtte renskes og arbeidssikres med fanggjerd. Alternativet på østsiden av elva og det korte tunnelalternativet på vestsiden ble anbefalt videreført til neste planfase.

I forbindelse med reguleringsplanen, som ble vedtatt i 2018, ble det utarbeidet en geologisk rapport [3]. Som en del av arbeidet ble det gjennomført feltkartlegging, og tunneltraseen ble fastsatt til alternativet på østsiden av Eibyelva. Rapporten vurderer bergmassen som generelt god, og 85 % av tunnelen forventes å ligge i middels til god bergklasse. Med unntak av 15 svakhetssoner og mulig forekomst av høye anisotrope bergspenninger vurderes tunnelen ikke å medføre særskilte ingeniørgeologiske utfordringer. Geologisk rapport til

reguleringsplan ble utarbeidet på bakgrunn av gjeldende regler og krav i 2018. Det betyr at det er flere krav og undersøkelser det stilles krav til i 2026 som det ikke gjorde i 2018.

2 Grunnforhold – Utførte undersøkelser

Tabell 3: Undersøkellesmetoder som er benyttet.

Metode/formål	Dybde til fast fjell	Bergmasse-kvalitet	Grunnvanns-forhold	Miljø
Gjennomgang av grunnlagsmateriale	X	X	X	X
Ingeniørgeologisk feltkartlegging	X	X		X
Befaring av tilstøtende bergskjæringer		X		
Sonder- / fjellkontrollboringer	X			
Laboratorieanalyser bære- eller forsterkningslag : Los Angeles-verdi (LA) og Micro Deval-verdi (MD)		X		
Grunnstoffidentifisering: XRF				X

2.1 Tidligere undersøkelser

For prosjektet er det gjennomført ingeniørgeologiske undersøkelser i reguleringsplanfasen [10]. Rapporten beskrev geologien i området som jevnt over god, med 85% av bergmassen klassifisert i sikringsklasse A/B og C. Til sammen regnes det med å treffe på 15 svakhetssoner. Rapporten beskrev tunnelen som utsatt for anisotrope spenninger. Det ble vurdert som sannsynlig med innlekkasjeproblemer for de første 100m fra påhugg og rundt vannførende svakhetssoner.

Det er gjennomført ingeniørgeologisk kartlegging og rapportering for entreprise 01 [11]. Denne entreprisen består av etablering av flere bergskjæringer, men er lagt i andre bergarter og annet terreng og vurderes dermed ikke som relevant.

2.2 Undersøkelser ifm. denne rapporten

2.2.1 Lineament – og strukturanalyse (Svakhetssoner)

I ArcGIS er det gjennomført manuell lineament- og strukturanalyse. Analysen er gjennomført på en digital terrengmodell (DTM).

2.2.2 Feltarbeid og geologisk kartlegging

I byggeplanfase er det gjennomført ingeniørgeologisk kartlegging. Kartleggingen ble gjennomført av ingeniørgeolog Håkon Jensen Vikeså og Tore Thomassen fra 25.–28. august 2025.

Til registrering av felldata ble Fieldmaps applikasjonen til ArcGIS brukt til å registrere bilder, bergobservasjoner og sprekkemålinger. Til registrering av majoriteten av sprekkemålingene ble applikasjonen Clino på mobiltelfon benyttet.

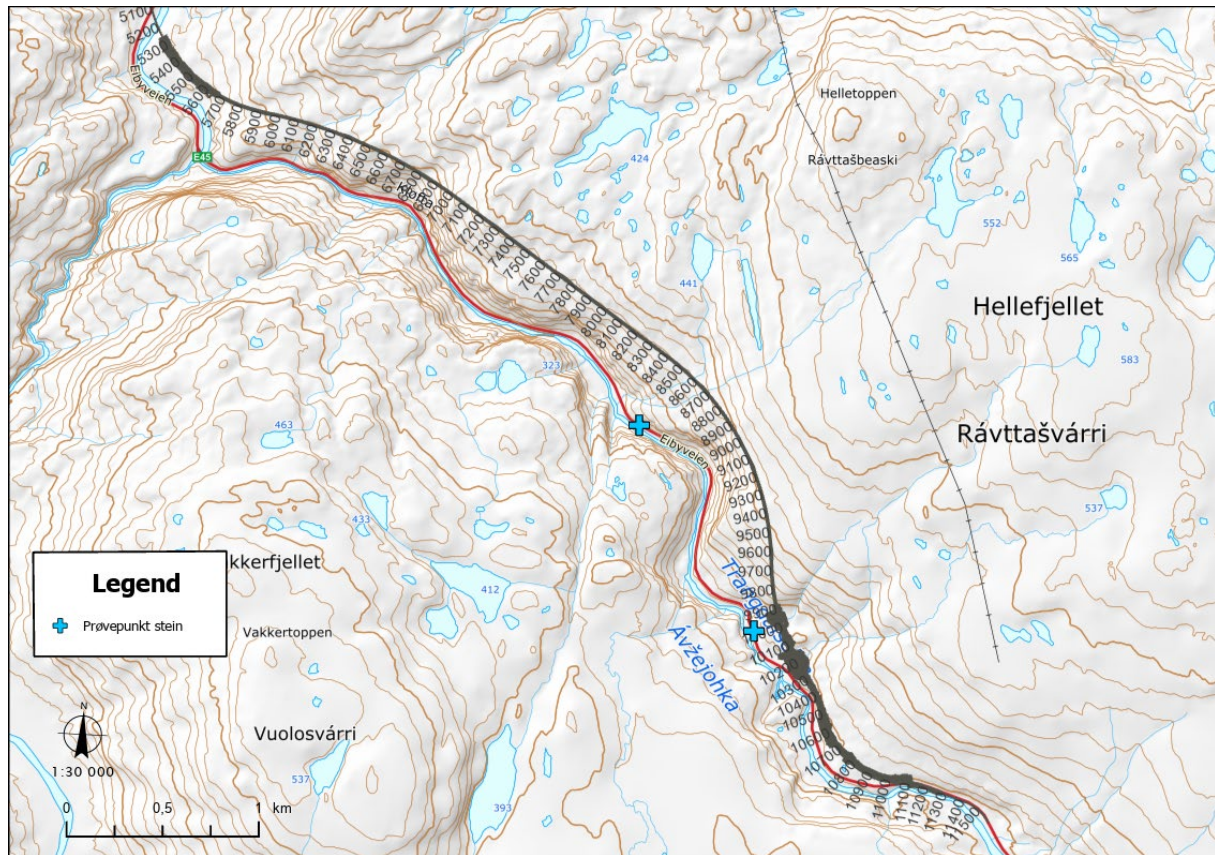
2.2.3 Boring

For å undersøke dybde til berg er det gjennomført totalsonderinger. Resultater fra utførte boringer er beskrevet i geotekniske rapporter [12] [13] [14]. Resultatene er også vist i vedlegg 02–15.

2.3 Bergartsanalyser

I forbindelse med feltkartlegging ble det samlet inn bergartsprøver til analyser. Prøvene ble samlet inn ved to lokasjoner langs eksisterende veg. Det ble samlet inn omtrent 30kg stein ved begge lokasjonene. Størrelsen på en prøve bør være 60kg. Det ble dermed besluttet å blande prøvene fra de to lokasjonene til en komplett prøve av praktiske årsaker. Denne ene prøven er vurdert til å være representativ for hele E02. Lokasjonene for hvor prøvene er hentet ut kan ses i Figur 9.

Det gjennomføres Los Angeles (LA), micro-Deval (mD), slamanalyse og XRF. Testene ble gjennomført av Statens vegvesen sitt laboratorium i Nordkjosbotn.



Figur 9: Oversiktskart over lokasjonene bergprøvene ble tatt på.

3 GRUNNFORHOLD – Generelt

3.1 Topografi og områdebeskrivelse, inkl- bebyggelse og infrastruktur

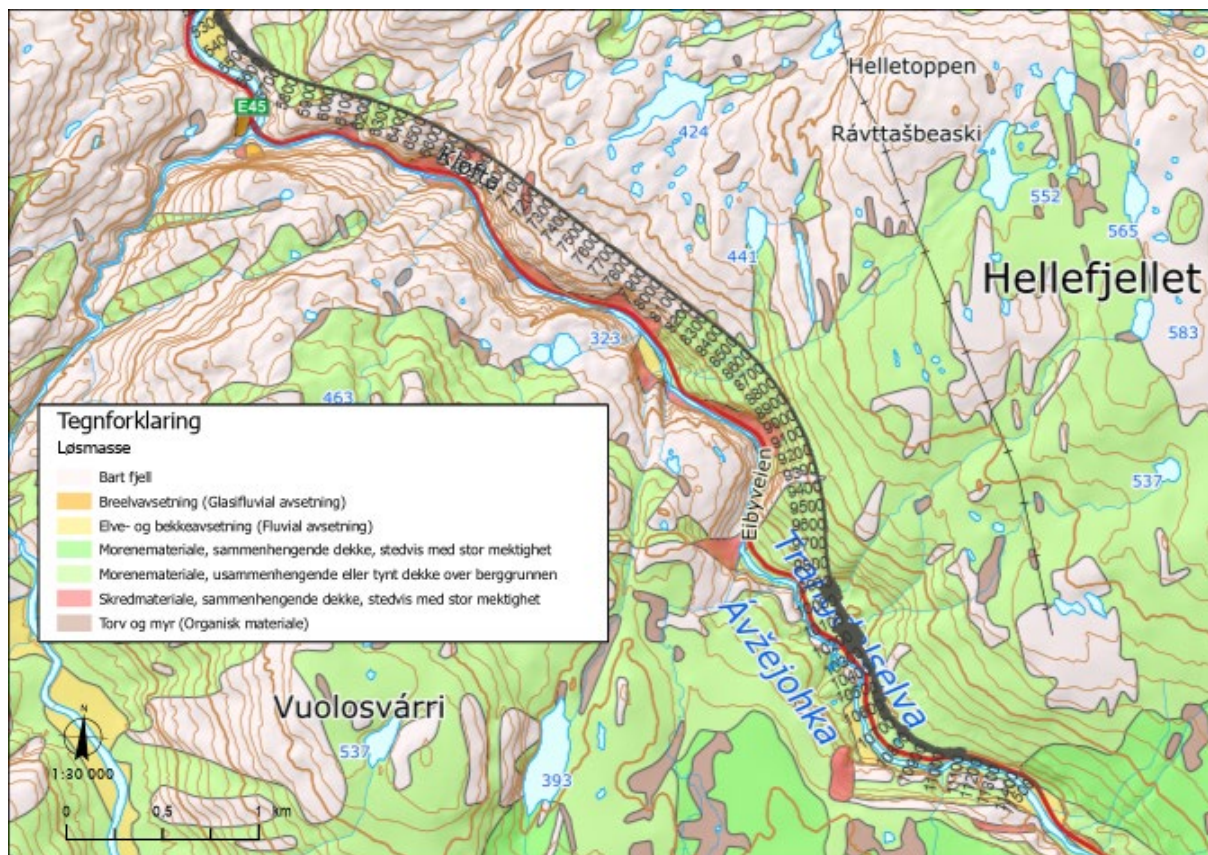
Prosjektområdet ligger mellom 100 og 300 m.o.h. Marin grense i området er 85 m.o.h. Kløfta er den dominerende formasjonen i prosjektområdet, en 3–400 m dyp elvecanyon. Sidene på Kløfta er bratte og utsatt for skred. På øst og vestsiden av Kløfta ligger henholdsvis Hellefjellet (omtrent 600 m.o.h) og Vakkerfjellet (omtrent 560 m.o.h.). Tunnelen går parallelt med Kløfta.

Sør og nord for prosjektområdet ligger Trangdalsvatnet og Eiby dalen.

Gjennom Kløfta går dagens E45 som er hovedfartsåren fra Alta til Finnmarksvidda og videre sør til Finland. Det er ingen bebyggelse i prosjektområdet. Prosjektet går gjennom to reinbeitedistrikter. Skillet mellom de to ulike reindistriktene går ved Trangdalselva.

3.2 Løsmasser – kvartærgeologi, overdekning

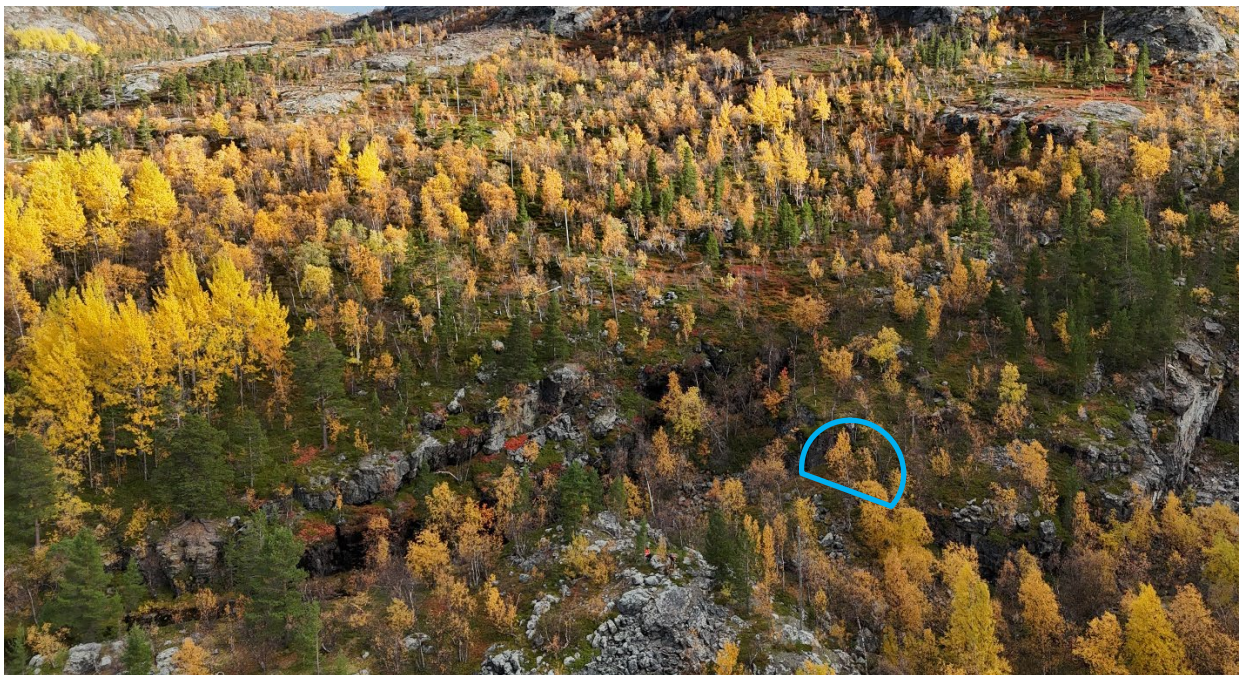
Løsmassene i prosjektområdet er hovedsakelig morene, men med noe innslag av fluviale og glasifluviale avsetninger ved elvekryssingen som er vist i Figur 10 [15]. Kornfraksjonene i morenen varierer, og det er registrert blokker større en 1 m³. og det er registrert blokker større en 1 m³.



Figur 10: Løsmassekart over prosjektet. Kartet er hentet fra NGU [15].

3.2.1 Páhugg nord

Ved påhugg nord der det registret generelt tynt morenedekke med spredte blotninger av berg, som vist på Figur 11. Under skrentene i området er det registret skredblokker som har falt fra naturlige bergskrenter. Over påhugget er det registrert spredte blotninger av berg. Mellom blotningene er det registrert morenemateriale og flere mindre blokker.



Figur 11: Oversiktsbildet som viser løsmassene rundt påhugg nord med inntegnet omtrentlig påhuggsflate merket i blått.

3.2.2 Påhugg Sør

Påhugg sør er lokalisert i overkant av et blokkhav av skredrester. Blokkene varierer i størrelse og er opp mot en meter i diameter. I overkant av påhugget er det registrert blotninger under et tynt dekke med humus som går over i et mer myrlendt område i terrengfordypninger.

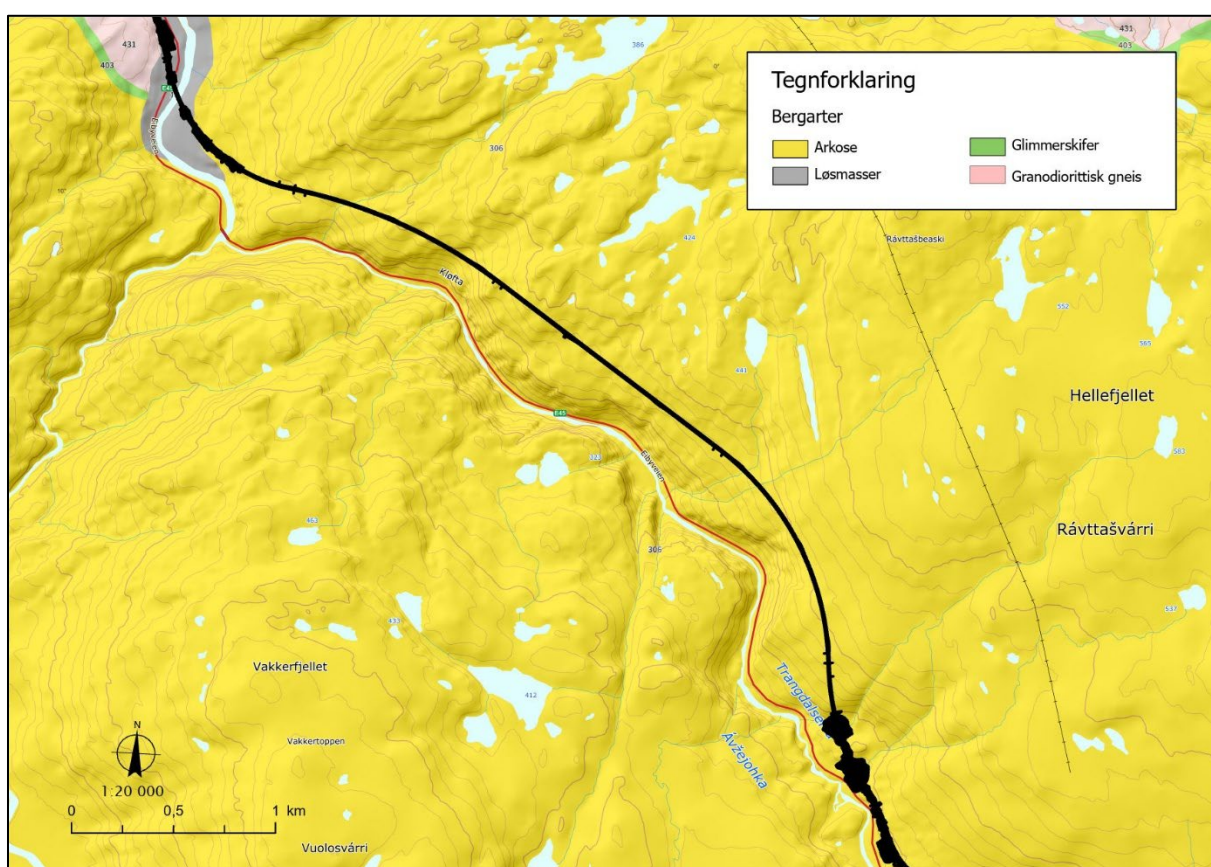


Figur 12: Oversiktsbildet over løsmassene ved påhugg sør. Omtrentlig påhuggsflate er merket med blått.

3.2.3 Tunnelen ellers

Langs tunneltraséen er det generelt tynt løsmassedekke og mye berg i dagen. Løsmassene som er registrert, er tynt morenedekke med innslag av små myrområder i fordypninger i terrenget. Ned mot Kløfta er det registrert større vifter med skredmateriale.

3.3 Berggrunnsgeologi



Figur 13: Geologisk kart over prosjektområdet med inntegnet tunneltrase. Kartet er hentet fra NGU [16].

3.3.1 Bergarten generelt

Hele E02 er lokalisert i en bergart, metaarkose tilhørende den kaledonske enheten Kalakdekkekomplekset [16]. Kalakdekkekomplekset tilhører øvre allocton og dekker det meste av kyst og fjordstrøk i vest- og midtre deler av Finnmark. Metaarkose er en metamorf

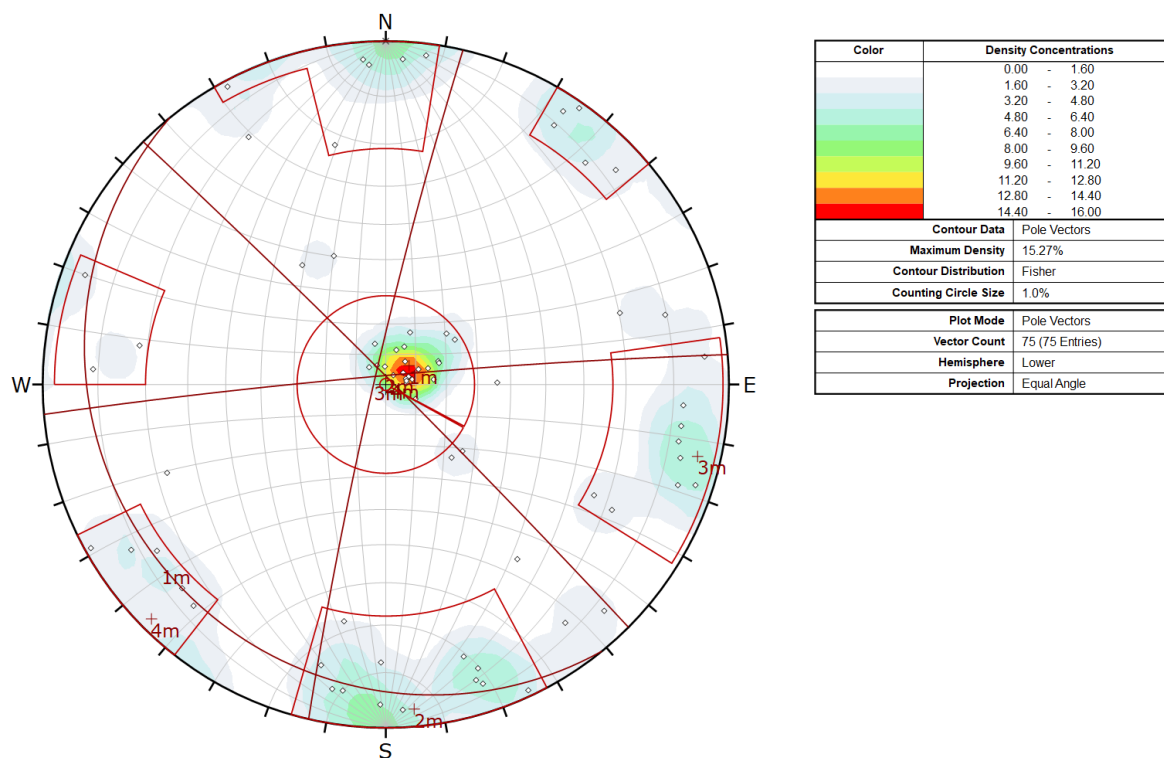
sandstein som hovedsakelig består av mineralet feltspat. Grunnet at feltspat er det dominerende mineralet, kan arkose ofte være en relativt stiv og hard bergart.

3.3.2 Generelt om sprekkesystemer og lineamenter

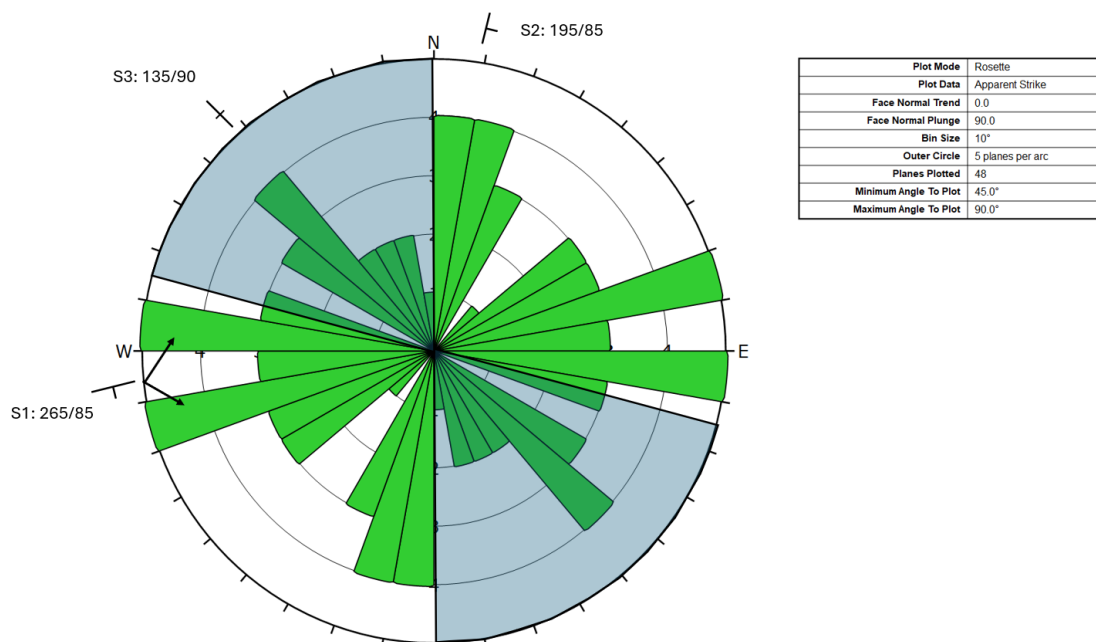
For registrering av sprekkesystemet er høyrehåndsregelen benyttet. Målingene er gjennomført ved å registrere sprekker på blotninger ved tunneltraséen og registreringer langs dagens veg i Kløfta. Registrerte sprekker er vist i stereonett i Figur 14 og sprekkerose med inntegnet tunnel i Figur 15. Bilder av påhugg nord og sør er vist i henholdsvis Figur 16 og Figur 17.

I prosjektområdet er det registrert 4 ulike sprekkesett. Alle sprekkesettene er registrert gjennom hele området og det er svært liten variasjon i strøk/fall for sprekkesettene gjennom hele prosjektområdet.

- Det første er foliasjonen definert som **F**. Foliasjonen har strøk/fall 140/10. Dette er den tektoniske lagdelingen som er gjenkjennbar gjennom hele prosjektområdet. Strøket til sprekkesett varier, men fallet har liten variasjon. Sprekkeavstanden varier fra 0,01m til 0,5m. Sprekkeplanet har ruhet plan ru flate gjennom hele prosjektområdet. Sprekkesettet har stor utstrekning og kan følges mellom 0,5 og 50m.
- Det andre sprekkesystemet er foldeakseplanet, F_{ap} til **F**, kjent som **S1**. Sprekkesettet har strøk/fall 265/85 og en sprekketetthet på 0,5–5m. Variasjonen på strøket er ± 15 grader. Planet har ruhet plan ru og har stor utstrekning. Lineament kan observeres i felt og på kart til å ha utstrekning på over 100m.
- Det tredje sprekkesystemet er **S2**. Sprekkesettet har strøk/fall 195/85 og en sprekketetthet på 0,5–5m. Planet har ruhet plan ru og har stor utstrekning, opptil 50m.
- Det fjerde sprekkesystemet er **S3**. Sprekkesettet har strøk/fall 135/90 og en sprekketetthet på 0,5–5m. Planet har ruhet plan ru og har stor utstrekning, opptil 50m.



Figur 14: Stereonett over registrerte målinger for Kløftatunnelen med inntegnet sprekkesett.



Figur 15: Roseplott over kartlagte sprekkesett i Kløfta. Nedre grense for sprekker som er tatt med er 45° slik at foliasjonen ikke vises på plottet. Dette er gjort siden inkludering av foliasjonen gjøre tolkningen av sprekkerosen mer utydelig.



Figur 16: Bergvegg ved påhugg nord. Bildet til venstre er tatt mot nord. Bildet til høyre er tatt mot sørøst



Figur 17: Bergvegg ved påhugg sør. Begge bildene er tatt mot NV.

3.3.3 Bergartskjemien generelt

Til bestemmelse av bergartskjemien er det gjennomført XRF-analyse av bergarten. Resultatene av utvalgte grunnstoffer er fremstilt i Tabell 4.

Tabell 4: Andel av utvalgte grunnstoffer i ppm. - betyr <LOD> (limit of detection).

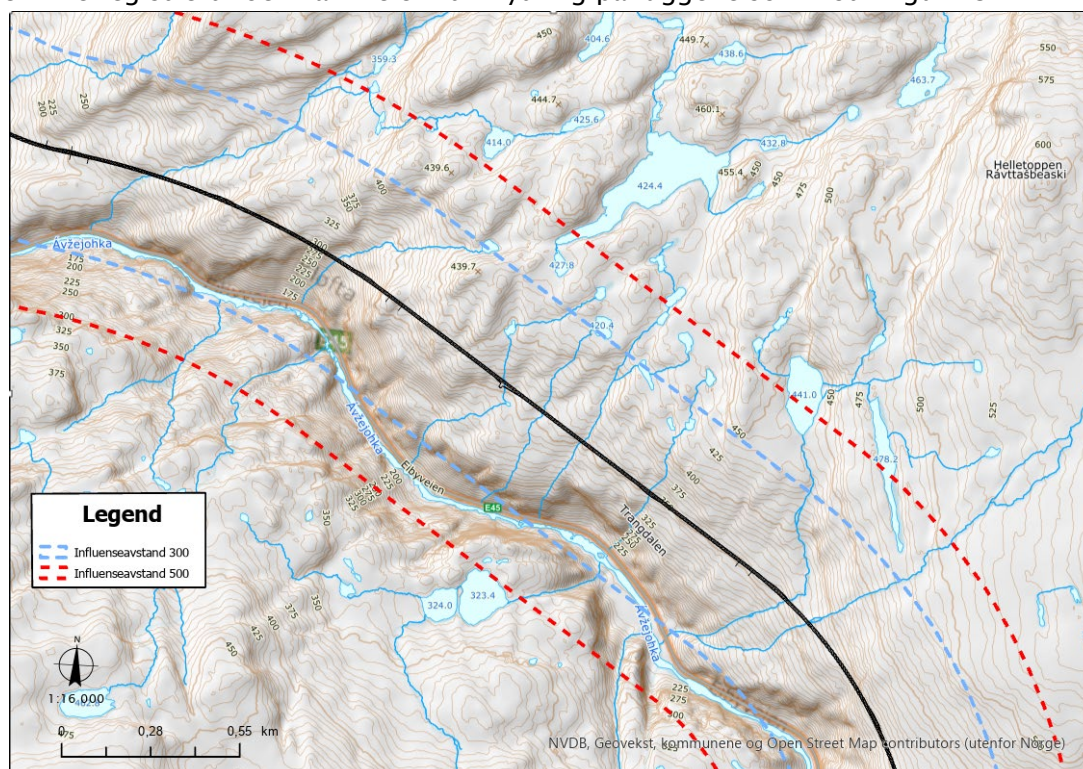
S	Fe	Ca	Si	Mg	Al	Pd	Pb	Cr	Co	Ni	Th	U
–	17863	7933	262969	3848	29744	–	13	43	–	–	6	–

3.4 Vannforhold – hydrologi/hydrogeologi

Det er ikke registrert noen større vann eller vannveier liggende direkte ovenfor tunnelen. Nord og øst for tunnelen er det flere større og mindre vann. Vannene er innenfor en avstand på mellom 150 og 500m fra tunnelen. Flere av vannene og vannveiene ligger i forbindelse med NØ–SV strukturer i bergmassen. Det er registrert noen mindre bekker som renner fra disse vannene ned mot Eibyelva.

Trangdalselva renner videre ut i Eibyelva som igjen renner ut i Altaelva. Begge er viktige elver for blant annet laks.

Det er ikke registrert noen vannveier i tilknytning påhuggene som vist i Figur 23.



Figur 18: Kart om viser vann og vannveier i tilknytning tunnelen samt influensavstand på 300 og 500 meter.

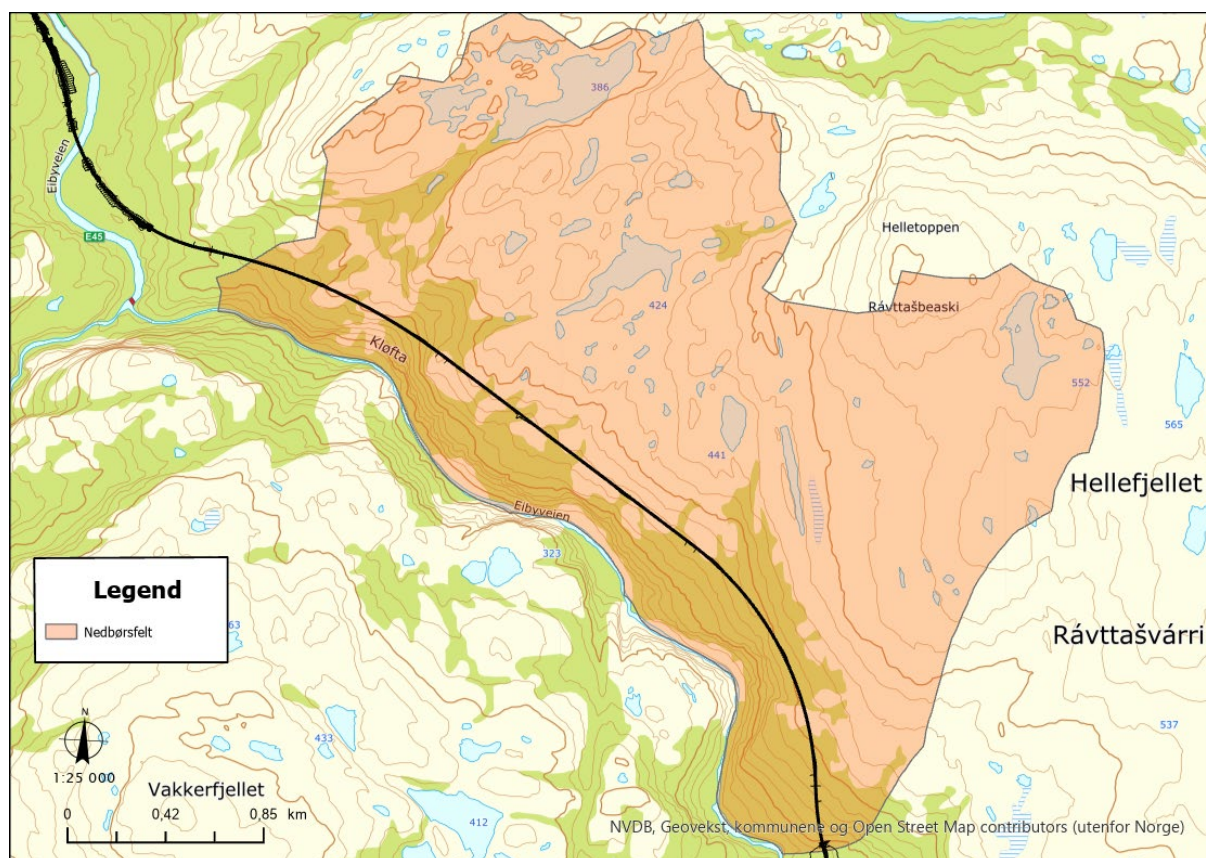
Prosjektområdet utgjør en mindre del av et større nedbørsfelt som danner Eibyvelva. Totalt er størrelsen til nedbørsfeltet over tunnelen omtrent 6,7 km² [17] og er vist i Tabell 5 og Figur 19.

For beregning av vannbalansen benyttes parametere hentet fra NEVINA [17].

Tabell 5: Nedbørsfelt parametere for prosjektområdet. Alle verdiene er hentet fra NEVINA [17].

Parameter	Verdi
Areal nedbørsfelt	6,7 km ²
Årlig middellavrenning (Q _N)	18,1 l/s/km ²
Årlig middellavrenning	572 mm/år
Årstemperatur	-2,6 °C

Figur 19: Oversikt over nedbørsfeltet i tilknytning tunnelen.



3.5 Nærliggende tunneler og bergrom

Det er ikke registrert noen tunneler eller bergrom i nærheten av prosjektet.

3.6 Naturfarer

Søndre påhugg ligger innenfor aktsomhetsområdet for skred. Det er dermed utarbeidet en egen rapport for naturfare i prosjektet, B12016–NATU–01 [18].

«Basert på kartgrunnlag, befaring og skredsimulering, vurderes det at snøskred ikke berører prosjektert veg eller områder for tekniske bygg og parkeringsplass. Det er ingen registrerte hendelser eller spor etter sørpeskred. Simulering av teoretisk sørpeskredutløp viser at skredmasser håndteres av stor magasinkapasitet bak vegfylling, i tillegg til prosjektert drenering. Dette gir samlet skredfare for tekniske bygg og parkeringsplass mindre enn 1/100 og samlet skredfare for vegtrasé mindre enn 1/50.» (B12016–NATU–01 [18])

Naturfarer vil dermed ikke bli vurdert videre i denne rapporten.

3.7 Naturressurser, inkl. Geologisk arv

Prosjektet krysser en grus forekomst litt nord for nordre påhugg. Forekomsten er av liten betydning og er ikke i drift [19].

Det er ikke registrert noen lokasjoner med geologisk arv innenfor prosjektområdet [20].

4 INGENIØRGEOLOGISKE VURDERINGER – TOLKNINGSDEL

4.1 Utforming av anlegget

Basert på stabilitetsanalysen beskrevet i kap. 4.7 ble det foreslått å redusere helningen på bergskjæringen til 4:1 for å etablere skjæringsflaten på en slakere vinkel for å redusere potensialet for plan- og kileutglidning. På et tverrfaglig grunnlag ble det bestemt å ikke tilegne det ekstra arealet dette vil kreve. Bergskjæringen vil dermed ha noe større behov for rensk og sikring.

Bergskjæringene i prosjektet er planlagt med en grøftebredde på 8m for bergskjæring Kløfta_05. Grøften er utvidet grunnet krav til sikt. Resterende grøftebredder på bergskjæring Kløfta_06 og Kløfta_07 er 5m.

For å oppfylle kravene til sikt inne i tunnelen er tverrsnittet utvidet til T12,5 ved begge påhuggene.

4.2 Løsmasser og bergoverdekning

4.2.1 Påhugg og tunnel

Ved nordre påhugg er det registrert berg i dagen ved planlagt påhugg. Vegen inn mot påhugget er planlagt å gå parallelt med bergskrent på venstre side sett inn i tunnelen. Avstanden her vil være omtrent 12m til kjørebanelinjen. Selve påhugget er direkte på berg og her forventes det små eller ingen løsmasser. Over starten av tunnelen er det registrert flere bergblotninger, men stedvis også løsmasser på opptil 1m tykkelse. 50m inn i tunnelen er denne overdekningen 21m fra heng. Lengdeprofil av påhugg nord kan sees i vedlegg 21.

Søndre påhugg er planlagt i en bratt fjellside. Her stiger terrenget med en helning på omtrent 30°. Ved påhugget er det registrert en stor ur, med en antatt tykkelse på omtrent 2 meter ved påhugget, men det er ikke utført ytterlige undersøkelser for å bestemme løsmassetykkelsen. Det er dermed noe usikkerhet rundt nøyaktig løsmassetykkelse. Etter påhugget stiger terrenget raskt. 30m inn i tunnel er overdekningen 27m fra kjørebanelinjen fra heng. Lengdeprofil av påhugg sør kan sees i vedlegg 26.

4.2.2 Bergskjæringer sør for tunnelen

Sør for søndre påhugg er den registrerte mektigheten til morenen variabel. Dette gjelder spesielt mellom bergskjæringene. Stedvis er det registrert løsmassemektighet på 27 meter ved boring. Løsmassetykkelsen over bergskjæringene er vurdert ut fra berg i dagen og grunnboringer og kan ses i Tabell 6.

Tabell 6: Oversikt over forventet løsmassetykkelse for hver bergskjæring.

Bergskjærings-id	Profil fra-til	Løsmassetykkelse [m]	Merknader
E45-Kløfta-01	5 412 – 5 480	<0,5	
E45-Kløfta-02	5 636 – 5 680	0,5–1	
E45-Kløfta-03	10 032 – 10 119	0,5–2	Påhugget er lokalisert i en ur
E45-Kløfta-04	10 275 – 11 088	0,5–2	Påhugget er lokalisert i en ur
E45-Kløfta-05	10 020– 10 130	0,5–2	
E45-Kløfta-06	10 280– 10 580	0,5–2	Synlig berg over deler av bergskjæringen
E45-Kløfta-07	10 680– 11 120	0,5–4	Gjennomført flere borer her

4.3 Utforming av anlegget og bergspenninger

For begge påhuggene, men spesielt nordre påhugg, vil mangel på overdekning i starten av tunnelen kunne gi dårlig innspenning av berget og dermed gi økt fare for nedfall.

Maksimal overdekning for tunnelen er 200m. Dette danner normalt sett ikke nok spenning til å være et problem. Tunnelen er derimot lokalisert i nærheten av Kløfta. Ved store topografiske forskjeller kan det forekomme topografisk induuerte spenninger. Det vurderes derimot at der tunnelen er plassert med stor nok avstand til Kløfta, at det trolig ikke blir stor anisotropi i spenningene.

Tunnelen krysser flere potensielle svakhetssoner. Slike soner overfører spenninger dårligere enn massivt berg. Det kan dermed oppstå en spenningskonsentrasjon inn mot disse sonene. Metaarkosen er vurdert til å være en kompetent bergart, det vil derfor sannsynligvis ikke oppstå store nok spenninger som medfører brudd, selv inn mot spenningsavlastende soner. Bergslag vil sannsynligvis ikke være et problem i tunnelen.

4.4 Oppsprekking og svakhetssoner

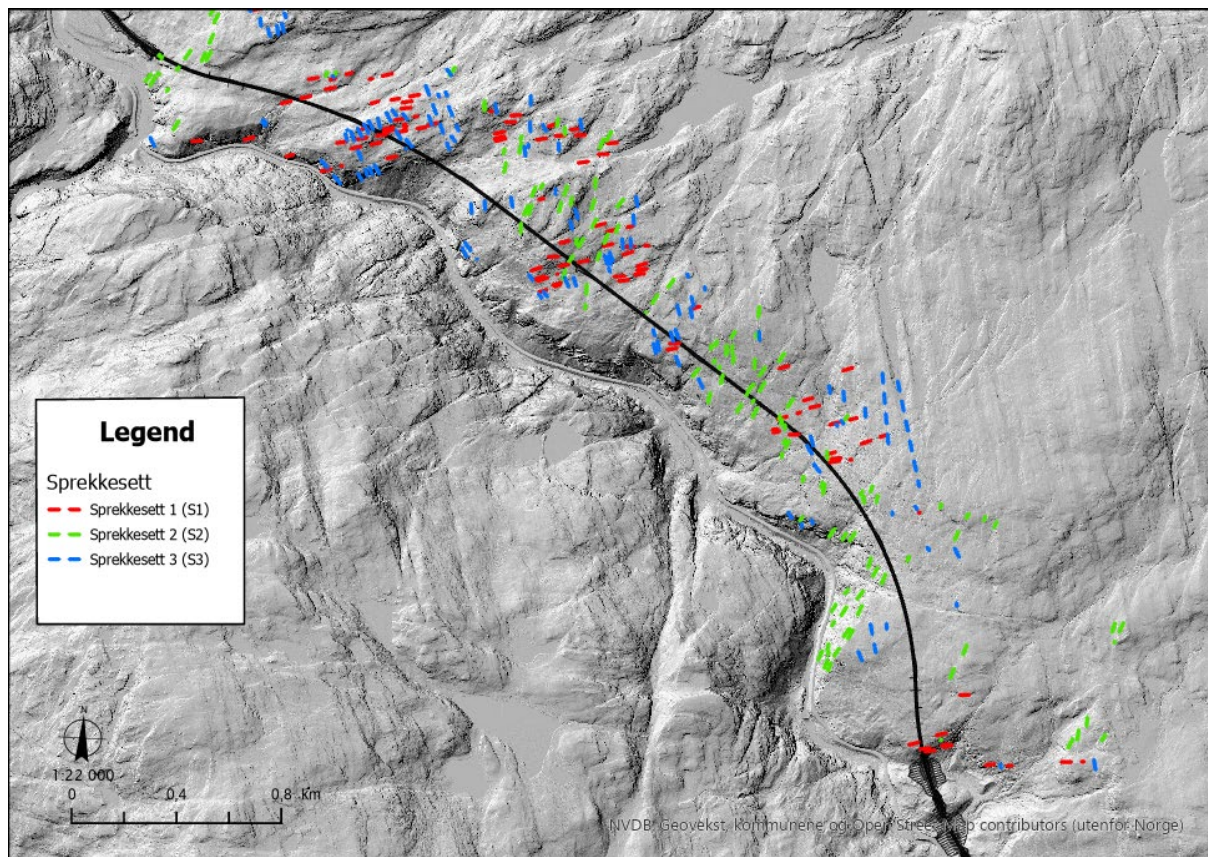
4.4.1 Oppsprekking

Som vist i Figur 15 ligger tunnelen relativt gunstig i forhold til registrerte sprekker. Det er kun S3 som ligger helt parallelt med tunnelen, mens i søndre del av tunnelen vil S2 ligge subparallelt med tunnelen.

Erfaringer fra andre tunneler med flattliggende foliasjon tilsier at den flattliggende foliasjonen fører til blokkdannelse i heng og vederlag. Denne blokkdannelsen kan føre til utfall av blokker og tap av kontur. For E69 Skarvbergtunnelen var dette et stort problem [21]. Sprekkavstanden ved E69 Skarvbergtunnelen var imidlertid betydelig lavere enn i Kløfta, men ulempen med flatt liggende foliasjon vil fortsatt være der.

Grunnet steilheten til S1, S2 og S3, vil potensielle kiler dannet mellom disse sprekesettene være store. Dette kan øke stabiliteten til tunnelen da kilene kan bli større enn tunnelrommet. Det er derimot sammenhengen mellom de steile sprekke S1, S2 og S3 som kan føre til større partier av foliasjonen blir sprekkeløst og kan føre til nedfall.

Som vist i Figur 20 kan alle sprekke observeres gjennom hele tunnelen. Dette er også observert i felt. Fra geologisk rapport til reguleringsplan er det noe variasjon i registrerte sprekker for nordre og søndre del av tunnelen. Dette er ikke registrert i felt i forbindelse med geologisk kartlegging til konkurransegrunnlag.



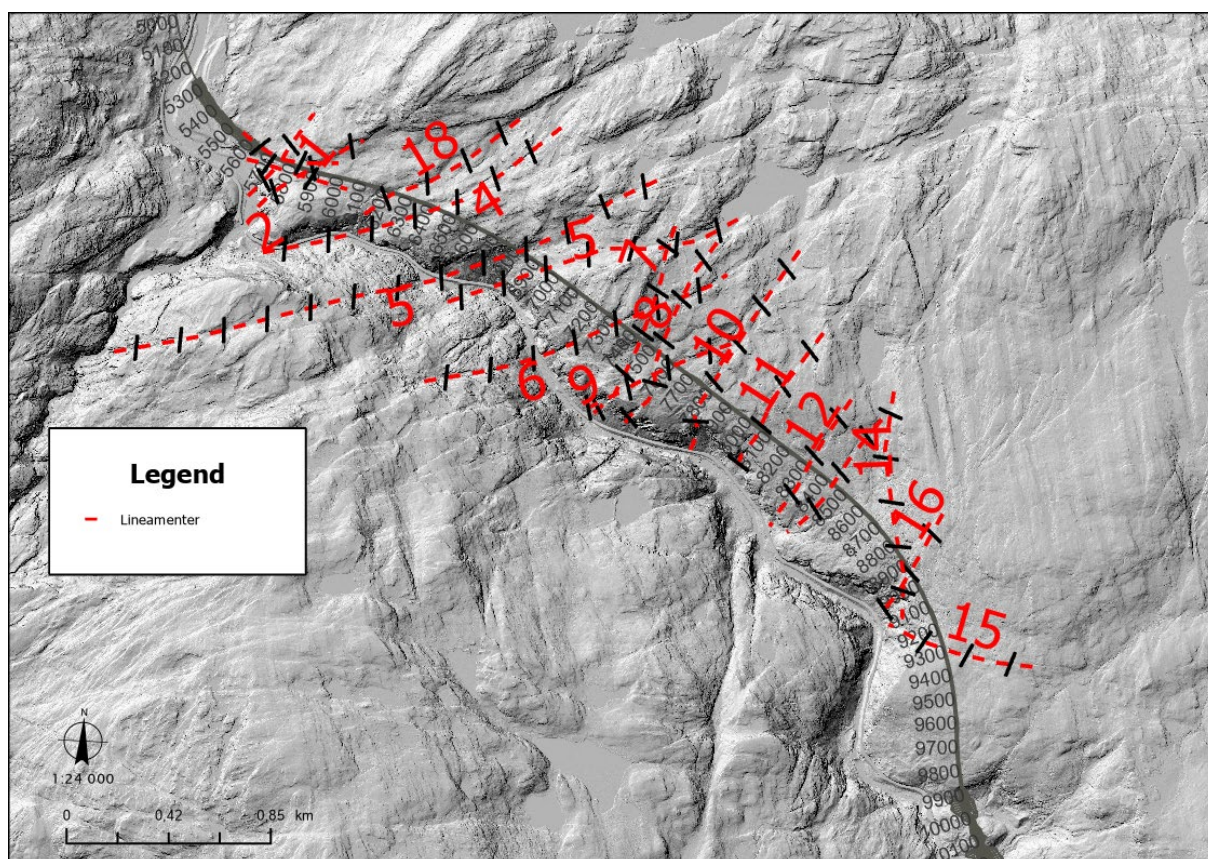
Figur 20: Kart som viser registrerte lineamenter på ulike deler av tunnelen. Grunnet at foliasjonen er sub-horizontal vil den være vanskelig å skille fra de andre sprekkesettene ved kartanalyse. Det er dermed valgt å ikke inkludere dem i kartlegging. Foliasjonen vil påvirke antall registrerte sprekker i andre retninger men er vurdert til å være realtvis likegyldig mellom de ulike sprekksettene.

4.4.2 Svakhetssoner

Fra lineamentsanalyser er det registrert 18 lineamenter som potensielt kan treffes på tunnelnivå. Kart over tolkede lineamenter kan ses i Figur 21. Sonene kan sees i ytterlige detalj i **vedlegg 02 til 15 og vedlegg 21 til**

Lineamentene som er registrert har generelt en gunstig orientering i forhold til tunnelen. Det er kun et fåtall av sonene som vil følge tunnelen over en lengre strekning.

Som vist i Tabell 7 er det flere sonene som er vurdert som mulig vannførende. Denne vurderingen gjøres på bakgrunn av tolket orientering og avstand i forhold til vann og vannveier samt sonens karater og overdekning.



Figur 21: Kart over tolkede lineamenter som sannsynlig krysser tunnelen. For mer detaljert oversikt over svakhetssonene henvises det til vedlegg 02 til 20.

Tabell 7: Oversikt over vurderte svakhetssoner. Nummering er valgt for å samsvare med geologisk rapport til reguleringsplan.

Linea- ment	Mektighet [m]	Tolket strøk [°]	Tolket fall [°]	Krysser tunnel med vinkel [°]	Profil fra	Profil til	Bredde [m]	Mulig vann- førende	Kommentar
17	6	240	85	10	5725	5945			
1	10	105	85	75	5755	5770	15		
2	5	215	85	45	5970	6005	35	Ja	
3	26	240			5780	5910	130		Sonen krysser ikke tunnelen, men går nærmere enn 20m fra tunnelen i

									en lengde på 130m.
18	20	240	85	40	6250	6290	40	Ja	
4	12	250	85	40	6450	6485	35	Ja	
5	200	250	85	50	6820	7030	210	Ja	
6	14	250	85	55	7310	7325	15	Ja	
7	10	200	85	80	7480	7490	10	Ja	
8	8	200	85	75	7560	7570	10	Ja	
9	8	250	85	60	7610	7630	20		
10	12	210	85	85	7810	7825	15	Ja	
11	8	210	85	80	8060	8070	10	Ja	
12	10	210	85	85	8310	8320	10	Ja	
13	10	210	85	85	8450	8465			
14	50	170	85	25	8790	8960			
15	30	290	90	60	9220	9250			
16	12	210	85	60	8950	8970			

Sone 17

Sonen krysser tunnelen mellom profil 5805 og 5880. Tolket strøk/fall er 210/85 og krysser tunnelen med en vinkel på 60 grader i horisontalplanet. Tolket tykkelse er vurdert til 6m og sonene er tolket til ikke å være vannførende. Overdekning der sonen krysser tunnelen er ca. 30m slik at innspenningen i sonen er dårlig. Sonen vil også følge tunnelen over en lengre avstand, ved nordre påhugg, både før og etter sleve kryssingen og vil være med å påvirke spenningssituasjonen for tunnelen. Sonen er registrert ved kartanalyse, og bergmassekvaliteten i sonen er vurdert til å være middels til dårlig.

Sone 1

Sonen krysser tunnelen mellom profil 5755 og 5770. Tolket strøk/fall er 105/85 og krysser tunnelen med en vinkel på 75 grader i horisontalplanet. Tolket tykkelse er vurdert til 10m og sonene er tolket til ikke å være vannførende. Overdekning der sonen krysser tunnelen er ca. 20m. Sonen er registrert ved kartanalyse, og bergmassekvaliteten i sonen er vurdert til å være dårlig.

Sone 2

Sonen krysser tunnelen mellom profil 5970 og 6005. Tolket strøk/fall er 215/85 og krysser tunnelen med en vinkel på 45 grader i horisontalplanet. Tolket tykkelse er vurdert til 5m og følger F_{ap} strukturene. Sonen er tolket til å kunne være vannførende. Overdekning der sonen krysser tunnelen er ca. 60m. Sonen er registrert ved kartanalyse, og bergmassekvaliteten i sonen er vurdert til å være dårlig.

Sone 3

Sonen er registrert ved nordre påhugg. Sonen er vurdert til å ha strøk 240 grader og ha vertikalt fall. Sonen krysser ikke tunnelen, men er orientert slik at den kan være innenfor influensavstanden til tunnelen. Plasseringen til sonen vil medføre spesielt dårlig innspenning

av berget i påhugget og kan medføre utfall av blokker. Sonen er vurdert til å være opp mot 26 meter bred.

Sone 18

Sonen krysser tunnelen mellom profil 6250 og 6290. Tolket strøk/fall er 240/85. Sonen følger F_{ap} strukturene og krysser tunnelen med en vinkel på 40 grader i horisontalplanet. Sonen er tolket til å være en del av en større forkastningssone. Selve sonen er vurdert til å ha en tykkelse på 20m. Overdekningen der sonen krysser tunnelen er ca. 80m.

Sone 4

Sonen krysser tunnelen mellom profil 6450 og 6485. Tolket strøk/fall er 250/85. Sonen følger F_{ap} strukturene og krysser tunnelen med en vinkel på 40 grader i horisontalplanet. Tolket tykkelse er vurdert til 12m og sonen er tolket til å kunne være vannførende. Overdekning der sonen krysser tunnelen er ca. 100m. Sonen er registrert ved kartanalyse, og bergmassekvaliteten i sonen er vurdert til å være dårlig.

Sone 5

Sonen krysser tunnelen mellom profil 6820 og 7030. Tolket strøk/fall er 200/85. Sonen følger F_{ap} strukturene og krysser tunnelen med en vinkel på 50 grader i horisontalplanet. Sonen er tolket til å være en del av en større forkastningssone. Den totale tykkelsen på sonen er vurdert til å være 200m tykk. Innad i disse sonene vil bergmassekvaliteten variere, og det er sannsynlig at sonen er vannførende. Bergmassekvaliteten i sonen er vurdert til å være middels til dårlig og stedvis svært dårlig. Overdekningen der sonen krysser tunnelen er ca. 100–120m.

Sone 6

Sonen krysser tunnelen mellom profil 7310 og 7325. Tolket strøk/fall er 250/85 og følger F_{ap} strukturene og krysser tunnelen med en vinkel på 55 grader i horisontalplanet. Tolket tykkelse er vurdert til 14m og sonen er tolket til å være vannførende. Overdekningen der sonen krysser tunnelen er ca. 170m. Sonen er registrert ved kartanalyse, og bergmassekvaliteten i sonen er vurdert til å være dårlig.

Sone 7

Sonen krysser tunnelen mellom profil 7480 og 7490. Tolket strøk/fall er 200/85 og sonen krysser tunnelen med en vinkel på 80 grader i horisontalplanet. Tolket tykkelse er vurdert til 10m og sonen er tolket til å ikke være vannførende. Overdekning der sonen krysser tunnelen er ca. 150m. Sonen er registrert ved kartanalyse, og bergmassekvaliteten i sonen er vurdert til å være dårlig.

Sone 8

Sonen krysser tunnelen mellom profil 7560 og 7570. Tolket strøk/fall er 200/85 og sonen krysser tunnelen med en vinkel på 75 grader i horisontalplanet. Tolket tykkelse er vurdert til 8m og sonen er tolket til å ikke være vannførende. Overdekningen der sonen krysser

tunnelen er ca. 140m. Sonen er registrert ved kartanalyse, og bergmassekvaliteten i sonen er vurdert til å være dårlig.

Sone 9

Sonen krysser tunnelen mellom profil 7610 og 7630. Tolket strøk/fall er 250/85 og sonen følger F_{ap} strukturene og krysser tunnelen med en vinkel på 60 grader i horisontalplanet. Tolket tykkelse er vurdert til 8m og sonen er tolket til å ikke være vannførende. Overdekningen der sonen krysser tunnelen er ca. 140m. Sonen er registrert ved kartanalyse, og bergmassekvaliteten i sonen er vurdert til å være dårlig.

Sone 10

Sonen krysser tunnelen mellom profil 7810 og 7825. Tolket strøk/fall er 210/85 og sonen krysser tunnelen med en vinkel på 85 grader i horisontalplanet. Tolket tykkelse er vurdert til 12m og sonen er tolket til å være vannførende. Overdekningen der sonen krysser tunnelen er ca. 130m. Sonen er registrert ved kartanalyse, og bergmassekvaliteten i sonen er vurdert til å være dårlig.

Sone 11

Sonen krysser tunnelen mellom profil 8060 og 8070. Tolket strøk/fall er 210/85 og sonen krysser tunnelen med en vinkel på 80 i horisontalplanet. Tolket tykkelse er vurdert til 8m og sonen er tolket til å være vannførende. Overdekningen der sonen krysser tunnelen er ca. 110m. Sonen er registrert ved kartanalyse, og bergmassekvaliteten i sonen er vurdert til å være dårlig.

Sone 12

Sonen krysser tunnelen mellom profil 8310 og 8320. Tolket strøk/fall er 210/85 og sonen krysser tunnelen med en vinkel på 85 grader i horisontalplanet. Tolket tykkelse er vurdert til 10m og sonen er tolket til ikke å være vannførende. Overdekningen der sonen krysser tunnelen er ca. 110m. Sonen er registrert ved kartanalyse, og bergmassekvaliteten i sonen er vurdert til å være dårlig.

Sone 13

Sonen krysser tunnelen mellom profil 8450 og 8465. Tolket strøk/fall er 210/85 og sonen krysser tunnelen med en vinkel på 85 grader i horisontalplanet. Tolket tykkelse er vurdert til 10m og sonen er tolket til ikke å være vannførende. Overdekningen der sonen krysser tunnelen er ca. 110m. Sonen er registrert ved kartanalyse, og bergmassekvaliteten i sonen er vurdert til å være dårlig.

Sone 14

Sonen krysser tunnelen mellom profil 8790 og 8960. Tolket strøk/fall er 170/85 og sonen krysser tunnelen med en vinkel på 25 grader i horisontalplanet. Tolket tykkelse er vurdert til 50m og sonen er tolket til å være vannførende. Overdekningen der sonen krysser tunnelen er ca. 110m. Sonen er registrert ved kartanalyse, og bergmassekvaliteten i sonen er vurdert til å være middels til dårlig.

Sone 15

Sonen krysser tunnelen mellom profil 9220 og 9250. Tolket strøk/fall er 290/85 og sonen krysser tunnelen med en vinkel på 60 grader i horisontalplanet. Tolket tykkelse er vurdert til 30m og sonen er tolket til ikke å være vannførende. Overdekningen der sonen krysser tunnelen er ca. 120m. Sonen er registrert ved kartanalyse, og bergmassekvaliteten i sonen er vurdert til å være dårlig.

Sone 16

Sonen krysser tunnelen mellom profil 8950 og 8970. Tolket strøk/fall er 210/85 og sonen krysser tunnelen med en vinkel på 60 grader i horisontalplanet. Tolket tykkelse er vurdert til 12m og sonen er tolket til ikke å være vannførende. Overdekningen der sonen krysser tunnelen er ca. 120m. Sonen er registrert ved kartanalyse, og bergmassekvaliteten i sonen er vurdert til å være dårlig.

4.4.3 Sprekkefyll

Hovedmineralet i arkose er feltspat. Basert på forholdet mellom kalsium (Ca) og kalium (K) og forholdet mellom kalsium og aluminium i XRF analysen tolkes det som at alkalifeltspat er det dominerende mineralet i bergarten. Alkalifeltspat er et mer stabilt mineral enn plagioklasene og er mindre sannsynlig å danne svelleleire [22]. I tillegg er det registrert lite forvitring generelt på bergarten. Åpne sprekker vil også føre til utvasking av sprekkfyll. Sprekkefyll er mer sannsynlig å opptre i knusningssoner, men det forventes lite problemer med svelleleire for Kløftatunnelen.

4.5 Forskjæringer og påhugg

Tabell 8: Oversikt over forskjæringer til tunnelen ved prosjektet. Side av vegen er tatt ut fra stigende profilnummer.

Berg- skjærings- id	Profil fra-til	Lengde m	Skjærings høyde (m)		Areal m ²	Merknader
			Maks	Middel		
E45- Kløfta-01	5660- 5680	20	16	8	160	Forskjæring venstre side påhugg nord
E45- Kløfta-02	5670- 5680	10	10	4	40	Forskjæring høyre side påhugg nord. Vill ikke være synlig etter tunnelen er åpnet.
E45- Kløfta-03	9880- 9920	40	12	8	320	Forskjæring venstre side påhugg sør
E45- Kløfta-04	9880- 9900	20	11	5		Forskjæring høyre side påhugg sør

4.5.1 Påhugg nord, pel 5680

Påhugget i nord har forskjæring på begge sider av vegen, som vist i Tabell 8. Ved nordre påhugg er terrenget en rygg inn mot påhugget, mens en naturlig bergskrent følger vegen på venstre side inn mot påhugget. Fra påhugget og videre stiger terrenget raskt. Påhugget er vurdert til å ha generelt god bergmassekvalitet. Påhugget ligger på et utstikkende bergparti lokalisert mellom to vurderte svakhetssoner.

4.5.2 Påhugg sør, pel 9884

Ved søndre påhugg er det kupert inn mot påhugget. Terrenget faller generelt mot SV, mot Trangdalenelva. Påhugget i sør er lokalisert i en ur. Nøyaktig lømassetykkelse her er ikke kjent men den er vurdert til ikke å være større en 2m. Det er viktig at løsmassene blir rensket slik at resulterende skråningsutslag er vurdert stabil. Løsmasser skal renskes minst 2m bak skjæringstopp.

Fra påhugget og videre stiger terrenget raskt med en gjennomsnittlig helning på 30°, men med noen brattere skrenter.

4.6 Beskrivelser langs tunneltraseen

4.6.1 Delstrekninger

Påhugg Nord, profil 5680–6060

Påhugg nord og innover i 80 meter vurderes som en krevende strekning. Dette skyldes en kombinasjon av lav overdekning og både kryssende og nærliggende svakhetssoner. Bergmassekvaliteten og geometrien til disse sonene er uvisse.

Selve påhugget er lokalisert mellom 2 tolkede langsgående svakhetssoner, svakhetszone 3 og 17. I tillegg til de langsgående sonene forventes 2 kryssende soner, svakhetszone 1 og 2. Oversikt over forventet krysning er vist i Tabell 7 og vedlegg 02 til 20. Det er ikke forventet at svakhetszone 3 skal krysse tunnelen, men den vil gå langs tunnelen over et lenger stykke og kunne redusere spenningene rundt tunnelen. Svakhetszone 17 er forventet å krysse tunnelen opp mot 400m. Sonen er forventet å ha noe høyere oppsprekking enn omkringliggende berg, men ikke å ha spesielt lav bergmassekvalitet. Kombinasjonen av den økte oppsprekkingen og lave spenninger, både som følge av lav overdekning, men også svakhetszone 3, vil kunne medføre krevende driveforhold og kreve tung sikring. Det er forventet at bergmassekvaliteten vil gradvis bedres desto lenger inn i tunnelen det drives.

Påhugg Sør, profil 9884–9850

Tunnelen innover fra påhugg sør vurderes som mindre komplisert enn påhugg nord. Terrenget stiger raskt og det forventes generelt god bergmassekvalitet. Likevel vil den lave overdekningen de første meterne gi lavere spenninger som øker sikringsbehovet. I tillegg et

det observert det vertikale gjennomsettende sprekkesettet, S1, som vil kunne føre til sprekkavløste blokker og potensial for innlekkasje av vann.

Strekning profil 6820–7040

Strekningen sammenfaller med svakhetssone 5 som er en større regional forkastningssone. Det er forventet lavere bergmassekvalitet i denne sonen.

Strekning profil 8780–9260

Strekningen sammenfaller med flere møtende svakhetssoner. Det er forventet lavere bergmassekvalitet både på grunn av de møtende sonene, men også siden tunnelen er lokalisert nærmere Kløfta.

4.7 Stabilitet bergskjæring

Til sammen skal det etableres til sammen 7 bergskjæringar hvor 4 av de er forskjæringar i forbindelse med tunnelen. Sprekkene er registrert i felt og vist i Figur 14, de vil bli brukt til vurdering av stabilitet.

Til vurdering av potensialet for utglidning i de ulike skjæringene er det gjennomført en geometrisk analyse i Dips. Til analysen er strøket til hver enkelt skjæring funnet. Som standard er det benyttet 10:1 fall som utgjør et fall på 84°.

Til friksjonsvinkel er det benyttet 30° [23]. Dette er vurdert som en representativ friksjonsvinkel for tørr arkose. Det vurderes at for foliasjonen vil denne friksjonsvinkelen være noe lavere, grunnet økt andel av glimmer lags foliasjonsplanet. Men grunnet at foliasjonen gjennom hele prosjektområdet er sub-horisontalt overskrider den ikke friksjonsvinkelen ved noen av analysene. Det er dermed vurdert å brukes den generelle friksjonsvinkelen for alle analysene.

Strøket til bergskjæring E45–Kløfta–07 varierer med 40° fra starten til slutten av bergskjæringen. Det er dermed valgt å gjøre vurdering av både starten og slutten av bergskjæringen.

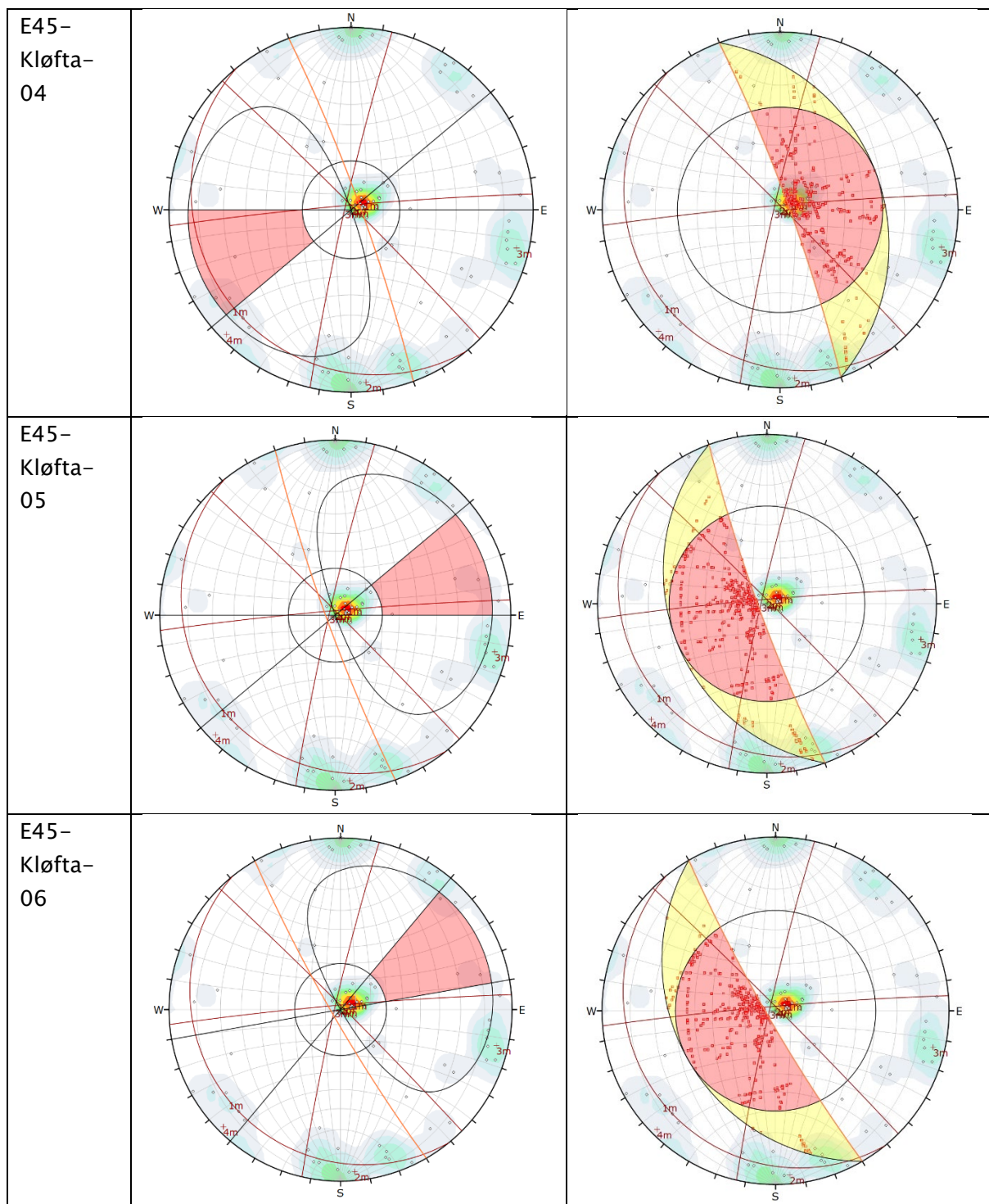
Tabell 9: Input parametre i Dips for geometrisk analyse.

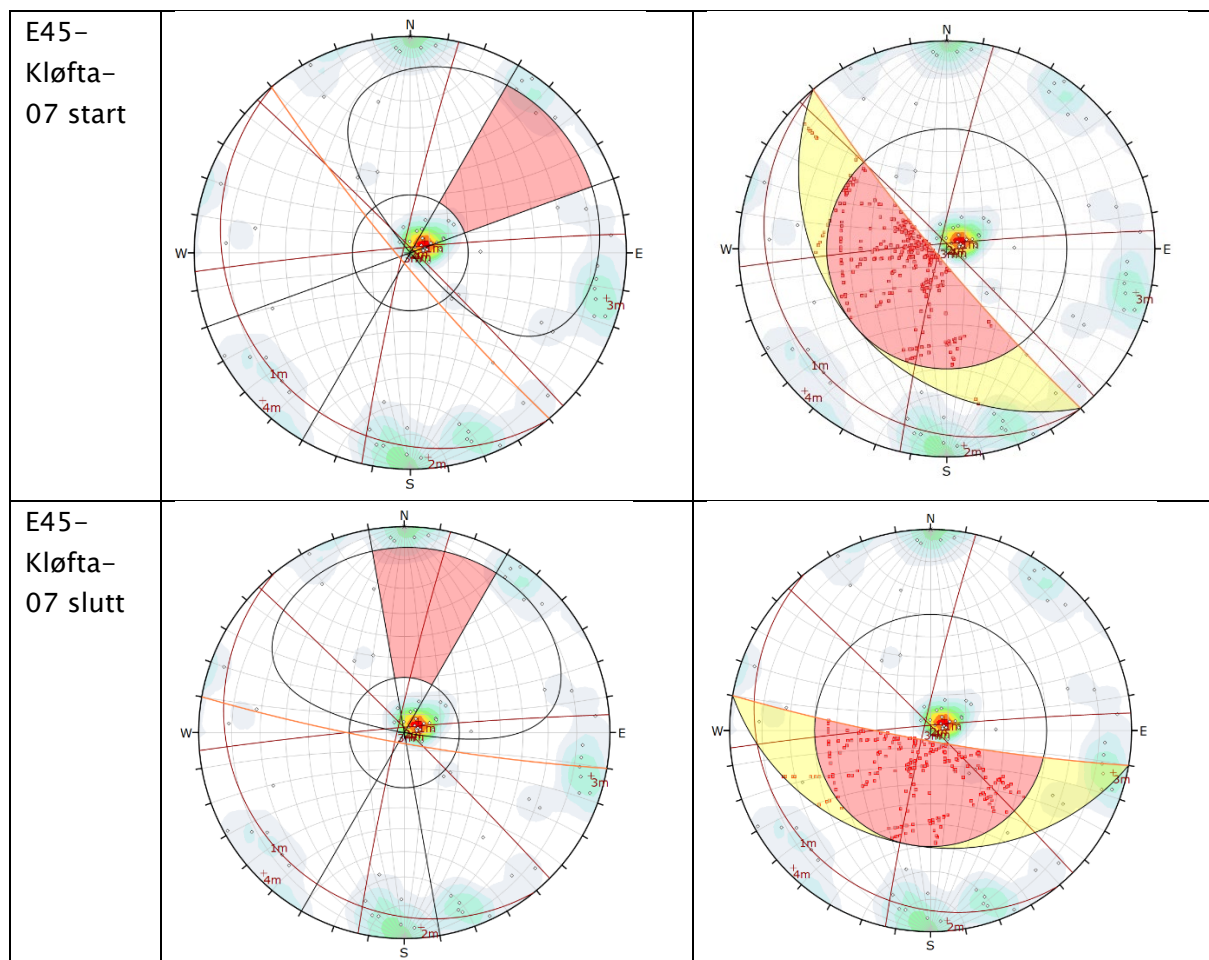
Bergskjæring	Strøk (°)	Fall (°)	Friskjsonvinkel (°)
E45–Kløfta–01	115	84	30
E45–Kløfta–02	310	84	30
E45–Kløfta–03	160	84	30
E45–Kløfta–04	340	84	30
E45–Kløfta–05	160	84	30
E45–Kløfta–06	150	84	30
E45–Kløfta–07 start	100	84	30

E45-Kløfta -07 slutt	140	84	30
----------------------	-----	----	----

Tabell 10: Geometrisk analyse av registrerte sprekker og dens potensial for utfall fra skjæring. Analysen er gjennomført ved å ta inn strøket, friksjonsvinkel og planlagt helning på bergskjæringene 10:1.

Berg-skjæring	Plan utglidning	Kile utglidning
E45-Kløfta-01		
E45-Kløfta-02		
E45-Kløfta-03		





Basert på analysen gjort i Tabell 1 er den generelle faren for plan utglidning liten. For bergskjæringene er stabiliteten avhengig av fallet til sprekkeseett S1 og S3. Fallet er registrert til å være mer enn 85° . Dette er gunstig for stabiliteten da plan utglidning ikke vil være geometrisk mulig.

Det er fare for kileutglidning i alle bergskjæringer, men spesielt bergskjæring E45–Kløfta–02, –03, –05, –06 og –07. Alle sprekkeseettene utenom foliasjonen er aktuelle til å danne kiler.

Tabell 11: Oversikt over hvilke stabilitetsutfordringer som er relevant i hver bergskjæring og eventuelt hvilke sprekkeseett som er relevante. Sannsynligheten er vurdert fra sannsynlig, mulig, til lite sannsynlig.

Bergskjæring	Plan utglidning		Kile utglidning	
	Sannsynlighet	Sprekkeseett	Sannsynlighet	Sprekkeseett
E45–Kløfta–01	Mulig	S1, S3	Mulig	S1 og S2 og S3
E45–Kløfta–02	Lite sannsynlig		Sannsynlig	S1 og S2 og S3
E45–Kløfta–03	Mulig	S2, S3	Sannsynlig	S1 og S2 og S3
E45–Kløfta–04	Lite sannsynlig		Mulig	S1 og S2
E45–Kløfta–05	Mulig	S2, S3	Sannsynlig	S1 og S2 og S3
E45–Kløfta–06	Mulig	S3	Sannsynlig	S1 og S2 og S3

E45–Kløfta–07 start	Mulig	S3	Sannsynlig	S1 og S2
E45–Kløfta –07 slutt	Mulig	S1, S3	Sannsynlig	S1 og S2, S2 og S3

Dette er generelle analyser. Tilfeldige sprekker eller avvik innad i sprekkesettene vil alltid være til stede og kan øke faren for plan- og kileutglidning. Dermed skal alltid en geolog vurdere endelig sikring på bergskjæringene.

4.8 Bergmassekvalitet

For beregning av bergmassekvalitet er det benyttet Q-systemet. Q-systemet er bygget opp av 6 ulike bergmasseparametere som sammensatt gir en kvalitetsvurdering for bergmassen. Q-verdien for bergmassen brukes videre til å vurdere bergsikring under driving av bergrom. Selv om systemet er utviklet for bruk i bergrom kan bergmassekvalitet også vurderes ved å undersøke berg i dagen [24].

Q-systemet er bygget opp som vist under. Ved registrering i dagen registreres kun Q_{basis} som utgjør de fire første verdiene, RQD, Jn, Jr og Ja.

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

Hvor

RQD – rock quality designation

Jn – antall sprekkesett

Jr – sprekkeflatens ruhet

Ja – sprekkefyll

Jw – bergmassens vanngjennomstrømning

SRF – spenningsforholdets påvirkning på bergmassen

Bergsikring for en vegtunnel skal følge bergsikringsklassene beskrevet i N500 [2]. Disse klassene er basert på sikringsanbefalingene gitt av Q-systemet, men er standardisert for vegtunneler.

Gjennom geologiske forundersøkelser er det registrert bergmassekvalitet. Tabell 11 viser registrert bergmassekvalitet. Det er ikke gjennomført geofysiske undersøkelser eller kjerneboring for å gi et bedre inntrykk av bergmassekvaliteten i dypet.

Tabell 12: Fordeling av Q-verdi og %-vis fordeling langs tunnelen.

Profil fra	Profil til	Lengde	Merknad	A/B [m]	C [m]	D [m]	E1 [m]	E2 [m]	F [m]	G [m]
5 680	5 700	20	Påhugg nord				10	10		
5 700	6 010	310			31	133	109	31	6	
6 010	6 800	790		158	316	237	40	32	8	
6 800	7 050	250				38	100	88	18	8
7 050	7 480	430		194	151	86				
7 480	7 660	180		18	54	63	36	9		
7 660	8 740	1 080		540	378	130	32			
8 740	9 000	260		26	78	91	52	13		
9 000	9 860	860		387	258	172	26	17		
9 860	9 880	20	Påhugg sør			5	10	5		
Sum [m]		4200		1323	1266	954	414	204	32	8
Prosentvis inndeling				31%	30%	23%	10%	5%	1%	0%

Det er ikke registrert noen sprekkfyll i sprekkene i bergmassen. Dette betyr ikke nødvendigvis at det ikke er sprekkfyll på tunnelnivå da sprekkfyll ofte er vasket bort slik at det ikke kan registreres i dagen. Svelleleire kan være resultat av forvitring av plagioklas som metaarkosen i prosjektet hovedsakelig består av. På prosjektet er det derimot registrert lite eller ingen forvitring av bergarten. Det vurderes dermed at risikoen for svelleleire er liten.

Dette kan endre seg i svakhetssoner. Her er berget mer oppknust som gir bedre tilgang til både vann og oksygen som gir økt forvitring av bergmassen. Det vil dermed være økt sannsynlighet for sprekkfyll i form av svelleleire i slike soner.

4.9 Sikringsarbeider, sikringsmetoder/omfang

Bergsikringsklasser er definert i N500 [2].

Etter erfaring fra E69 Skarvberg tunnelen kan flattliggende foliasjon medføre utfall og kollaps av kontur. For å opprettholde kontur kan montering av forbolter/spiling hjelpe. Det anbefales dermed å øke mengde forbolter i kontrakten uavhengig av sikringsklasse.

Som beskrevet i 3.3.2 og 4.4 er sprekkeutholdenheten stor som kan føre til stor kiledannelse. Dette sammen med den flattliggende foliasjonen anbefales det dermed å bolte systemestisk med lengre kombinasjonsbolter enn vanlig.

4.9.1 Anbefalt sikring tunnel

Tabell 13: Anslag av mengde bergsikring gitt fordeling av bergmassekvalitet [2]. * Sikringsklasse VI skal per N500 dimensjoneres spesielt [2]. For beregning av mengder er det dermed brukt en mulig løsning.

Sikringsklasse	Sikringsmengde	Sikring pr. løpe- meter	Antatt fordeling på tunnelnivå		Total sikrings- mengde
			%	Lengde	
I	Spredt bolting	2,9 stk.	31 %	1323	3835
	Fiberarmert sprøytebetong B35 E700, 80mm (ned til kjørebanelnivå)	2,6 m ³			3439
II	Systematisk bolting c/c 2m	4,5 stk.	30 %	1266	5695
	Fiberarmert sprøytebetong B35 E700, 80mm (ned til kjørebanelnivå)	2,6 m ³			3290
III	Systematisk bolting c/c 1,75m	6,6 stk.	23 %	954	6299
	Fiberarmert sprøytebetong B35 E1000, 150mm eller mer (ned til såle)	3,2 m ³			3054
IVa	Systematisk bolting c/c 1,5m	9,4 stk.	10 %	414	3893
	Fiberarmert sprøytebetong B35 E1000, 150mm eller mer (ned til såle)	4,8 m ³			1988
	Forbolter, ø25-32mm, c/c 0,3m	16,8 stk.			6959
IVb	Systematisk bolting c/c 1,5m	9,4 stk.	5 %	204	1920
	Fiberarmert sprøytebetong B35 E1000, 150mm eller mer (ned til såle)	4,8 m ³			981
	Forbolter, ø25-32mm, c/c 0,3m	16,8 stk.			3432
	Armerte sprøytebetongbuer c/c 3,0m	0,33 stk.			67

V	Systematisk bolting c/c 1,0–1,5m	14,1 stk.	1 %	32	446
	Fiberarmert sprøytebetong B35 E1000, 150mm eller med (ned til såle)	6,4 m ³			202
	Forbolter (arbeidssikring) ø25–32mm, antatt c/c 0,3m	16,8 stk.			531
	Armerte sprøytebetongbuer c/c 2,0m	0,5 stk.			16
	Armert sålestøp	7,2 m ³			228
VI*	Systematisk bolting c/c 1,0m	14,1 stk.	0,2 %	8	106
	Fiberarmert sprøytebetong B35 E1000, 250mm eller med (ned til såle)	9,6 m ³			72
	Forbolter (arbeidssikring) ø25–32mm, antatt c/c 0,3m	16,8 stk.			126
	Armerte sprøytebetongbuer c/c 1,0m	1 stk.			8
	Armert sålestøp	7,2 m ³			54

4.9.2 Sikring bergskjæring inkludert tunnelpåhugg

Tabell 14: Oppsummering over anslått behov for bergsikring i bergskjæringene inkludert forskjæringene til tunnelen.

Prosess	Beskrivelse	Enhet	Mengde
23.11	Spylereusk	m ²	2576
23.12	Maskinreusk	time	154
23.13	Spettreusk	time	0
23.2	Bolter og stag		360
23.223	Sikringsbolter, kombinasjonsbolter, lengde 3m, Ø 20mm	stk	150

23.224	Sikringsbolter, kombinasjonsbolter, lengde 4m, Ø 20mm		150
23.225	Sikringsbolter, kombinasjonsbolter, lengde 5m, Ø 20mm		70
	Kombinasjonsbolter, L3-5 m Ø20mm	stk	368
23.244	Forbolter, lengde 6,00-8,00 m, diameter 32 mm	stk	40
23.25	Selvborende stag	m	0
23.31	Bånd	m	150
23.32	Nett (stein-/isnett)	m ²	184
23.33	Festebolter, L0,8-1,5m Ø20mm	stk	111
23.42	Sprøytebetong B35 M45 med tilsetning av fiber	m ³	5

4.9.3 Sikring av løsmasser over bergskjæring

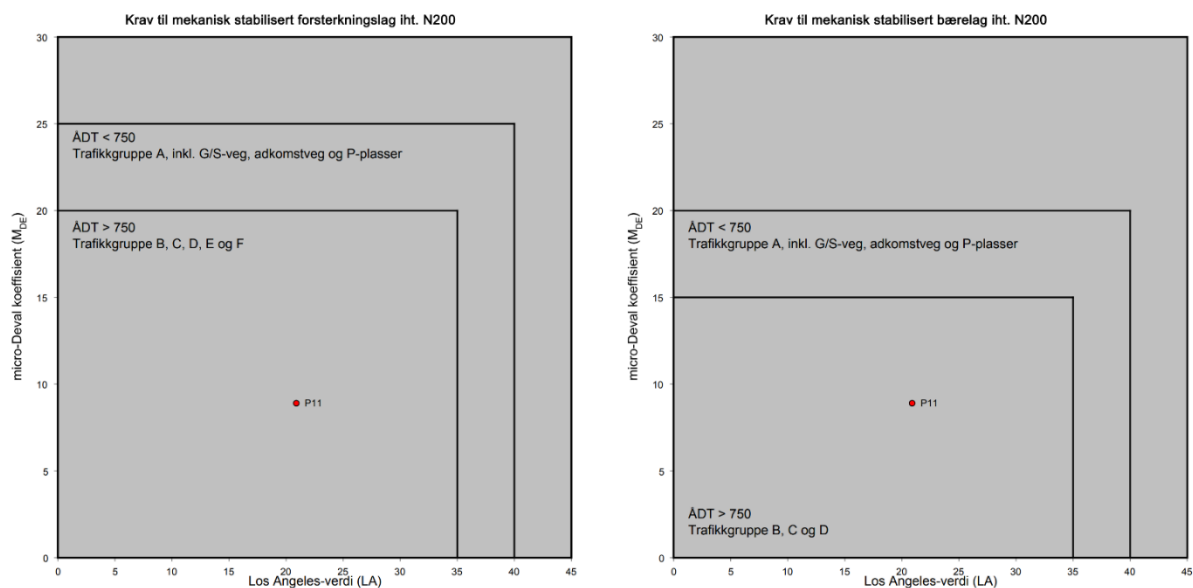
All løsmasse skal fjernes minst 2m bak skjæringstopp og slik at massene er lagret stabilt. Større blokker som kan utgjøre en fare for vegen eller anlegges skal fjernes. Dette gjelder spesielt ved søndre påhugg som er lokalisert i et blokkhav.

4.10 Steinkvalitet

4.10.1 Mekaniske egenskaper

Ut fra testene av LA og mD møter bergarten kravene til bruk som bærelag iht. N200 [1].

Figur 22: LA og mD verdiene er godt innenfor verdien som må til for å brukes som både forsterknings og bærelag.



Bergarten gjennom hele tunnelen er vurdert som såpass lik at den ene prøven var representativ for hele tunnel lengden og bergskjæringene. Basert på resultatene også viste

en svært god bergart ble det vurdert til ikke å gjennomføre flere tester av de mekaniske egenskapene til berget.

4.10.2 Bergartskjemi

Til vurdering av syredannende berg, benyttes forholdet mellom syredannende potensial (AP) og nøytraliserende potensial (NP), AP–NP forholdet [25]. AP beregnes på andel svovel (S) i bergarten. NP beregnes på andel uorganisk karbon (TIC) i bergarten. TIC kan estimeres ved å bruke andel kalsium(C) i bergarten, som er hovedandelen av TIC, gjennom CaCO_3 forbindelser [25]. Basert på verdier presentert i Tabell 4 er ikke svovelinnholdet målbart og AP–NP forholdet vil skue stort i favør NP. Bergarten vurderes som ikke syredannende.

Forholdet mellom jern (Fe) og svovel(S) sier noe om mengden tungmetaller som er bundet i andre silikat- og ikke sulfidforbindelser. Slike tungmetaller er mindre utsatt for oksidasjon [25]. Fordi det ikke er registrert målbare verdier av svovel, vurderes tungmetaller til å ikke å være bundet opp i sulfid forbindelser. Tungmetallene som finnes i bergarten, vil dermed være mer tungtoppløselig.

Som vist i Tabell 4 er det registrert en betydelig andel aluminium (Al). Aluminium oppløst i vann er giftig for fisk og kan føre til fiskedød. Aluminium forurensing i vann forekommer hovedsakelig fra sulfidbergarter og er forbundet med lav pH. Som diskutert over er svovelinnholdet i bergarten svært lavt og vurdert til å ikke være syredannende. Aluminiumsforurensing er vurdert til å ikke være et problem.

4.10.3 Borbarhet og sprengbarhet

Det er ikke utført tester på bergarten for å definere borbarheten og sprengbarheten for bergarten. Bergarten består hovedsakelig av plagioklas, med noe innhold av biotitt og kvarts. Plagioklas et hardt mineral. Basert på prøver tatt av arkoser har den generelt middels til lav borsynk, og middels til høy borslitasje [26].

Sprengbarheten til en bergart avhenger av lydastigheten og anisotropien til bergarten. Høy lydastighet og lite anisotropi gir dermed god sprengbarhet. Bergarten lokalisert i prosjektområdet er massiv, men med noe foliasjon og dermed anisotropi. Sprengbarheten vurderes som middels.

4.11 Uttaksmetode

For tunnelen er boring og sprenging den anbefalte metoden.

Til etablering av bergskjæringene anbefales slettsprenging for alle bergflater bortsett fra flaten til tunnelpåhugget. Grunnet den horisontale lagdelingen er slettsprengingen den anbefalte drivemetoden [3].

5 Vann og hydrogeologiske vurderinger – Tolkning

5.1 Overflatevann

5.1.1 Nedbørsfelt

I en studie av Holsfjorden i Hole og Lier kommune, har det blitt anslått at en innlekkasje på 10 % av middelavrenningen gir liten eller ingen påvirkning av grunnvannsstanden [27].

Denne grensen er benyttet til å beregne tillatt innlekkasje for hele nedbørsfeltet og nedbørsfeltet innenfor en 300m grense. Resultatene er vist i Tabell 14.

Tabell 15: Oversikt over beregnet lekkasje gitt 10% av avrenning. *Usikkerheten i avrenningen er 19,5% [17]. **Hele tunnelen er ikke dekket av det nedbørsfeltet beskrevet i Figur 23. Kun profil 6140 til 9884 vil mate tunnelen.

Navn på elv	Areal [km ²]	Middel avrenning* [mm/år]	Avrenning, [l/min]	Akseptert lekkasje 10% innlekkasje [l/min]	10 % innlekkasje per 100 m** [l/min/100 m]
Nedbørsfelt	6,7	575	7 276	727	19,4
Nedbørsfelt som er innenfor 300m av tunnel	2,1	575	2 280	228	6,1

At kun et nedbørsfelt på 300m rundt tunnelen forer grunnvannet rundt tunnelen, vurderes som lite realistisk. Ved å se på vannvegene over tunnelen er det tydelig at nedbørsfeltet er større enn det. Dermed vurderes innlekkasjekravet vist i Tabell 14 på 6,1 l/min/100m til å ta utgangspunkt i et altfor lite nedbørsfelt og dermed ikke være representativt for grunnvannsdannelsen rundt tunnelen. Det vurderes dermed at 10% av totalt nedbørsfelt er mer riktig begrensning for å unngå større grunnvannssenkning og vil bli brukt videre.

5.2 Vann i berggrunnen generelt (permeabilitet og teoretisk innlekkasje)

Vannene lokalisert nordøst for tunnelen er matet av et lite nedbørsfelt og i et noe nedbørsfattig område. Hadde derimot bergmassen vært svært permeabel og vannførende er det mindre sannsynlig at det hadde etablert seg vann nord–øst for tunnelen. Dette er forsterket ved at både vannene og bekkene ligger i forbindelse med nord–øst sør–vest strukturene. Disse strukturene er tolket til å være tilnærmet vertikale og ha stor utstrekning. Hadde disse strukturene vært svært vannførende er det mulig vannene hadde blitt drenert ut i Eibyelva.

5.2.1 Grunnvannsforhold og vannbalanse

Tunneltraséen ligger i et område med generelt tynt morenedekke og mye berg i dagen. Dette begrenser muligheten for store grunnvannsmagasiner i løsmassene. Det er registrert enkelte små myrområder og vannforekomster over og øst for tunnelen, men disse ligger hovedsakelig 150–500 meter fra traseen.

Nedbørfeltet over tunnelen er relativt lite, omtrent 6,7 km², og området ligger i et nedbørsfattig klima på Finnmarksvidda. Dette innebærer begrenset naturlig grunnvannsdannelse sammenlignet med mange andre tunnelprosjekter.

Bergarten langs hele traseen er metaarkose. Denne bergarten vurderes som relativt stiv og kompetent, men ikke like oppsprukket og vannførende som eksempelvis kvartsitt. Det pekes på at eventuell forvitring og sprekkefyll sannsynligvis reduserer permeabiliteten i bergmassen. Dette tilsier at grunnvannsstrømningen hovedsakelig vil være konsentrert til oppsprukne soner og svakhetssoner, mens den intakte bergmassen har liten vanngjennomgang.

5.2.2 Hydrogeologisk usikkerhet

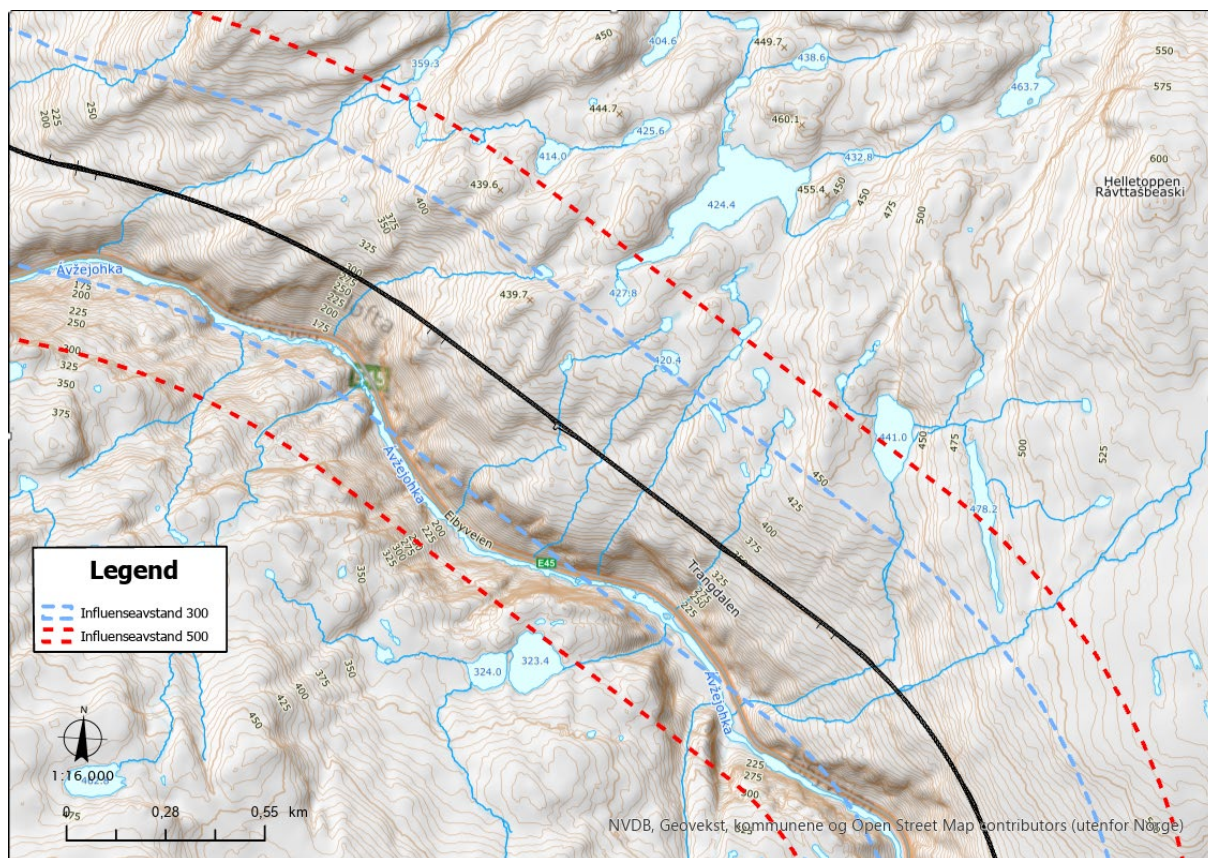
Det er ikke utført testbrønner, pumpeforsøk eller hydrauliske tester i området. Vurderingene bygger derfor i stor grad på:

- Geologisk kartlegging,
- Lineamentanalyse,
- Topografi,
- Observasjoner av vannforekomster,
- Erfaringstall fra tilsvarende prosjekter.
- Nedbøranalyse

Den største usikkerheten er knyttet til:

- Om alle tolkede svakhetssoner faktisk eksisterer på tunnelnivå
- Sonenes eksakte geometri
- Sonenes vannføringsevne
- Andel av vann i nedbørsfelt som når tunnelen

5.3 Sårbarhetsanalyse



Figur 23: Oversikt over influensavstand fra 300 og 500 meter fra tunnelen med inntegnet vann og vannveier.

5.3.1 Influensområde, naturmiljø, grunnvannssenkning, ev. setningsfare

Statens vegvesens publikasjon nr. 103 beskriver at man generelt ikke forventer grunnvannssenkninger lengre enn 300 m fra tunnelanlegget, og at grunnvannssenkningen vil begrenses til mellom 0–5 m dersom lekkasjen er under 10 L/min/100 m [28].

Løsmassedekke over tunnelen er generelt tynt. Enkelte steder er det lokalisert små myrområdet. Grunnvannsspeilet er vurdert til ikke å ligge opp under disse myrområdene. Dermed vil ikke en senkning av grunnvannsnivået påvirke disse myrområdene.

Prosjektområdet ligger derimot i et område med lite nedbør. Dermed vil selv en liten økning i utlekkasje, fra for eksempel en ny tunnel, kunne senke grunnvannstanden.

Senkning av grunnvannstanden kan i tillegg til setninger også redusere vannstanden og vannføringer i bekker og vann. Det er imidlertid få vann som er innenfor en 2–300 meter avstand fra tunnelen. Fra andre tunneler er det ikke registrert grunnvannssenkning utenfor denne radiusen [28].

5.3.2 Risiko for innlekkasje til tunnel

Det er identifisert 17 mulige svakhetssoner langs traseen, hvorav omtrent 10 vurderes som mulige vannførende soner. Disse representerer den viktigste hydrogeologiske usikkerheten for prosjektet.

Særlig følgende områder vurderes som viktige:

- Sone 2, 3, 5, 4, 5, 6, 10 og 11 er vurdert å kunne føre vann.
- Sone 5 representerer en stor regional forkastningssone med opptil 200 m bredde og antatt forhøyet vanngjennomgang.

Flere av sonene ligger under betydelig overdekning (100–170 m), noe som kan gi økte vanntrykk dersom vannførende sprekker treffes under driving.

Det forventes ikke store vanninnbrudd eller ekstreme lekkasjer, men lokale lekkasjepunkter og økt vanninnstrømning ved kryssing av svakhetssoner må regnes med.

5.3.3 Påvirkning på omgivelsene

Risikoen for betydelig grunnvannssenking vurderes som liten. Flere forhold støtter denne vurderingen:

- Det finnes få innsjøer og bekker innen 200–300 m fra tunnelen.
- Aksept for 10% innlekkasje gir rett under 20 l/min/100m som vist i Tabell 14
- Løsmassedekket er generelt tynt, slik at store grunnvannsmagasiner ikke er etablert.
- Det finnes ingen bebyggelse eller setningsømfintlige konstruksjoner langs traseen.
- Området består hovedsakelig av fjellterreng hvor vegetasjonen i stor grad er avhengig av nedbør og overflatevann fremfor høyt grunnvannsnivå.

Det vises til erfaringer som tilsier at påvirkning fra tunneldrenering normalt begrenses til innenfor omtrent 300 m fra tunnelen dersom lekkasjene holdes på et kontrollert nivå [28].

Den største miljømessige hydrogeologiske risikoen vurderes derfor å være eventuell reduksjon i vannføring til mindre bekker eller lokale våtmarksområder nær tunnelen dersom lekkasjene blir større enn forutsatt. Risikoen anses likevel som begrenset.

5.4 Tetthetskrav, sonderboring og forinjeksjon.

5.4.1 Tetthetskrav og injeksjonsstrategi

Basert på analyse av nedbør, grunnvannsstanden og sårbarheten anbefales 20 l/min/100m som tetthetskrav gjennom hele anlegget. Ved å akseptere 10% av avrenning som innlekkasje, som vist i Tabell 14, vurderes dette tetthetskravet å gi akseptabel risiko. Selv

om vurdering om at 100% av avrenningen i nedbørsfeltet når tunnelen er noe overdreven, vurderes også naturen innenfor en sone på 300m til å tåle en større avrenning enn 10%.

For å begrense både innlekkasje og omgivelsespåvirkning settes innlekkasjekravet til 20 l/min per 100 m tunnel gjennom hele anlegget. For å oppnå dette anbefales:

- Systematisk sonderboring etter N500 gjennom hele tunnelen
- MWD-registrering på alle sonder- og salveboringer
- Økt sonderboringsomfang inn mot tolkede svakhetssoner
- Forinjeksjon ved påvisning av vannførende soner.

De anslås at rundt 390 m totalt med svakhetssoner kan være vannførende. Med injeksjonsstrekninger før og etter disse sonene kan om lag 690 m av tunnelen bli gjenstand for injeksjon.

Hydrogeologisk fremstår Kløftatunnelen som et prosjekt med lav til moderat risiko. Bergmassen forventes generelt å ha begrenset vanngjennomgang, og det er få sårbare objekter som kan påvirkes av grunnvannssenkning. De viktigste hydrogeologiske utfordringene er knyttet til enkelte vannførende svakhetssoner, spesielt den regionale forkastningssonen rundt profil 6820–7030. Med tetthetskrav på 20 l/min/100 m, systematisk sonderboring og målrettet forinjeksjon vurderes både innlekkasje og påvirkning på ytre miljø som håndterbar. Prosjektet krever likevel tett hydrogeologisk oppfølging under drivingen fordi usikkerheten i de tolkede svakhetssonene er betydelig.

5.4.2 Sonderboring

Alle boringer skal gjennomføres med measure while drilling (MWD) iht. N500 [2]. MWD skal kalibreres til bergarten i Kløfta snarest mulig ved oppstart.

Sonderboring skal gjennomføres etter krav listet i N500 [2]. Det er satt innlekkasjekrav gjennom hele tunnelen. I henhold til N500 skal det gjennomføres sonderboring så lenge det er satt innlekkasjekrav. Sonderboring skal gjennomføres med minimum 2 hull.

Møtes uventet dårlig bergforhold eller vann, skal omfanget av sonderboring økes. Inn mot tolkede svakhetssoner skal antall hull økes. Grunnet stor overdekning og usikkerhet til plassering av svakhetssoner på tunnelnivå skal antall hull til sonderboring øke minst 50 meter før forventet kryssing av gitte svakhetssoner. Dette inkluderer svakhetszone 4–15. For sone 1–3 starter sonderboring minst 25m før forventet kryssing av sone.

Frekvensen av sonderboring skal i tillegg økes ved lav bergoverdekning. Ved nordre påhugg gjelder dette mellom profil 5680 til 5740. Ved søndre påhugg gjelder dette fra profil 9860 til profil 9880.

5.4.3 Injeksjonsmengder

Forutsetninger for injeksjon:

Omtrent 10 svakhetssoner vurderes så kunne være vannførende. Disse sonene krysser tunnelen over ca. 390 m samlet lengde. Når det legges til injeksjonsstrekning 15 m før og etter hver sone, anslås et totalt injeksjonsomfang på ca. 690 m tunnel. Tetthetskravet er satt til 20 l/min/100 m tunnel.

5.4.3.1 Erfaringsbasert estimat

For norske vegtunneler i moderat oppsprukket grunnfjell ligger forbruket ofte i området:

50–150 kg sement pr. løpemeter tunnel ved begrenset injeksjon

150–400 kg/m i markerte vannførende svakhetssoner

400–1000 kg/m i større forkastningssoner

For Kløfta vurderes forholdene til å ligge i nedre til midtre del av dette intervallet fordi:

- Bergarten er generelt god (metaarkose).
- De fleste sonene er relativt smale.
- Det er ikke indikasjoner på store vannmagasiner eller kraftig grunnvannspåvirkning.
- Sone 5 (profil ca. 6820–7030) er derimot en regional forkastningssone med betydelig usikkerhet og sannsynlig høyere forbruk.

Grovt estimat

Scenario	Gj.sn. injeksjonsforbruk	Totalt sementforbruk
Lavt	100 kg/m	ca. 70 tonn
Forventet	200 kg/m	ca. 140 tonn
Høyt	350 kg/m	ca. 240 tonn

Det estimeres 150–250 tonn injeksjonssement totalt, med en forventningsverdi rundt 140–180 tonn.

Fordeling på soner

Område	Lengde	Anslag sement
Sone 2–4	ca. 100 m	15–30 tonn
Sone 5 (hovedforkastning)	ca. 240 m	60–120 tonn
Sone 6–16	ca. 350 m	50–100 tonn

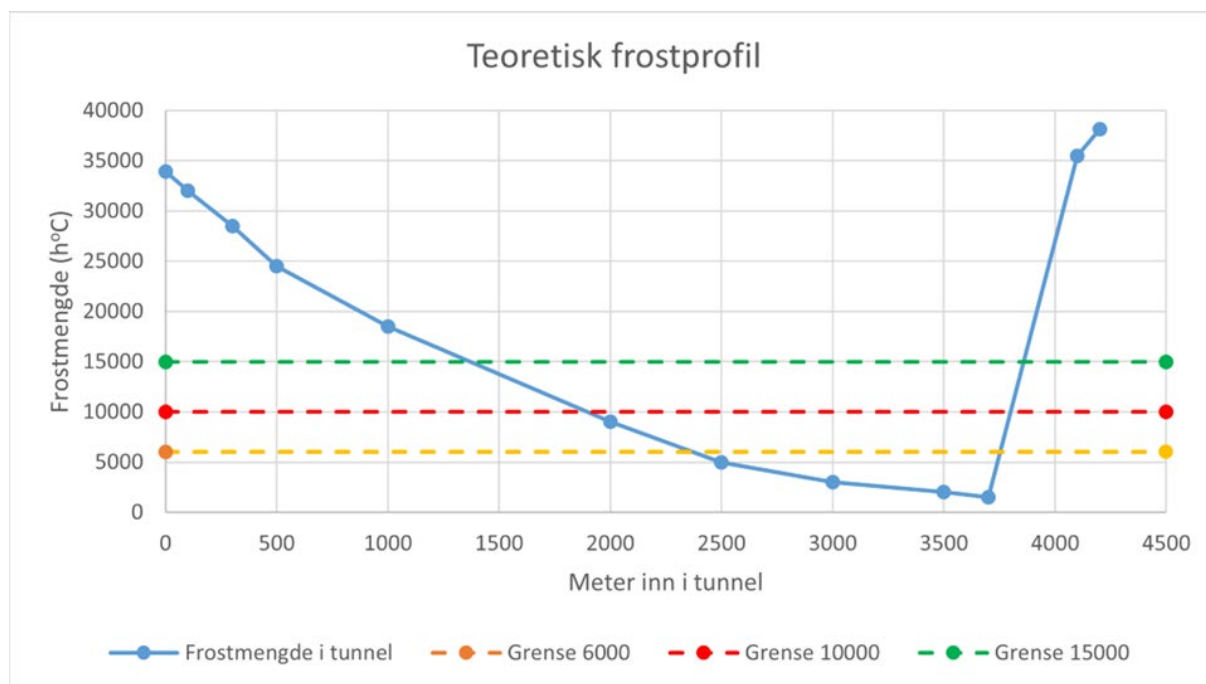
Dette gir totalt omtrent 125–250 tonn, hvor sone 5 sannsynligvis vil stå for nær halvparten av forbruket.

Vurderingen er derfor at et konkurransegrunnlag bør dimensjoneres for omtrent 200 tonn injeksjonssement, med mulighet for betydelig variasjon dersom sone 5 viser seg å være mer vannførende enn antatt.

5.5 Vann- og frostsikring

Frostsikringen skal, per N500, dimensjoneres på F10 [2]. F10 beskriver frostmengden som overskrides en gang per tiende år. F10 er ved søndre påhugg 38 127 h°C [29] og en årlig middeltemperatur på $-1,5^{\circ}\text{C}$. Ved nordre påhugg er frostmengden 33955 h°C. Per 8.4.2–4 i N500 skal frostsikring med PE-skum ha en minimums tykkelse på 90mm ved begge påhugg [2].

Normalt holder berg inne i en tunnel mellom $1-7^{\circ}\text{C}$ [30]. Tunnelen har stigning på omtrent 4% gjennom hele tunnelen. Denne stigningen sammen med den store temperaturgradienten vil føre til en termisk vind som drives av «pipeeffekten». Dermed kan det forekomme frost langt inn i tunnelen.



Figur 24: Graf som viser teoretisk frostprofil fra nord mot sør. Grafen er hentet fra Rapport vegteknologi, Statens vegvesen [31].

Tabell 16: Fordeling av mengde frostsikring.

Frostmengde, F_{10T} (h °C)	PE-skum (mm) minimums tykkelse	Fordeling (%)	Antall meter (m)
< 8000	–	36	1500
8000–10000	45	7	300
10000–15000	50	14	600
15000–20000	60	14	600
20000–25000	70	10	400
25000–30000	80	10	400
> 30000	90	10	400

6 Geologiske og hydrogeologiske modeller

6.1 Fagmodeller i 3D

Det er laget to ulike fagmodeller for prosjektet. Den første er grunnforholdmodell som er laget i prosjekteringsprogramvaren Quadri. I denne modellen lages bergflate modellen. Bergflaten danner bergningsgrunnlaget i prosjektet og dermed høyde på bergskjæringer og massebalansen. Modellen er basert på totalsonderinger og observasjoner av berg i dagen.

Den andre modellen som lages er en geologisk modell. Ihht. N500 skal det lages en geologisk fagmodell i 3D for alle tunnelprosjekter. Den geologiske modellen er laget i programvaren Leapfrog Works. I Leapfrog er grunnlagsdata satt sammen med feltdata og borer for å gjøre en tolkning av berggrunnen. I modellen er løsmassetykkelsen i påhugget, og svakhetssoner sin geometri modellert. Fagmodellen er anvendt for å modellere svakhetssonene og hvilket profilnr. sonene vil krysse tunnelen ved.

6.1.1 Usikkerhet i geologiske modeller

Usikkerheten i modellen varierer stort. Svakhetssoner strøk og fall er tolket ut fra lineament analyse og tolket korrespondanse med sprekkesett. Disse vil dermed inneha stor usikkerhet. På det meste er det opp mot 170 m overdekning mellom registrert lineament og tunnelen. Her vil kun noen få graders forskjell i fall endre krysningspunktet flere titalls meter. Dermed burde alle geologiske modeller anvendes med usikkerhet.

For å visualisere usikkerheten er det valgt å tilegne sonene en egenskap som beskriver usikkerheten til hver sone. Usikkerheten er definert ved liten, middels eller stor usikkerhet. Usikkerhets egenskap som tilegnes inneholder både svakhetssonens geometri (tykkelse, strøk/fall og dermed kryssning ved profil) og om sonen er til stede på tunnelnivå.

Tabell 17: Intervallene som definerer avviket fra liten til middels og stor usikkerhet sammenlignet med forventet kryssing i Tabell 7.

Kategori	Avvik fra vurdert kryssing av tunnelen ihht. Tabell 7 [m]
Liten	$\pm < 10$
Middels	$\pm 10 - 50$
Stor	$\pm > 50$

Tabell 18: Tabellen beskriver usikkerheten tilegnet hver enkelt svakhetssone. Usikkerheten representerer sonens geometri, da strøk/fall og tykkelse, og om den er til stede på tunnelnivå. Usikkerhetene er delt i tre ulike kategorier: liten, middels og stor som er definert i Tabell 16.

Lineament	Usikkerhet	Overdekning [m]	Kommentar
1	Middels	20	Lite tydelig lineament
2	Liten	60	
3	Liten		
18	Middels	80	
4	Middels	100	Stor overdekning
5	Stor	100	Stor overdekning, usikker tykkelse på sonen
6	Middels	170	Stor overdekning, men kan følges tydelig i terrenget
7	Stor	150	Stor overdekning og lite definert lineament
8	Stor	140	Stor overdekning og lite definert lineament
9	Stor	140	Stor overdekning og lite definert lineament
10	Middels	130	Tydelig definert lineament
11	Middels	110	Tydelig definert lineament
12	Stor	110	Stor overdekning og lite definert lineament
13	Stor	110	Stor overdekning og lite definert lineament
14	Stor	110	Stor usikkerhet knyttet til sonens tykkelse
15	Liten	120	Tydelig definert lineament
16	Stor	120	Stor overdekning og lite definert lineament
17	Middels	30	Liten overdekning, men grunnet sonen følger tunnelen over et lengre intervall vil små endringer i tykkelse og strøk/fall føre til store endringer i påvirkning på tunnelen.

7 ANBEFALINGER OG KRAV

I dette kapittelet oppsummeres anbefalinger og krav til oppfølging i byggefasen.

7.1 Grunnforhold. Vibrasjoner ihht NS8141

Som krav til bygningsbesiktigelse følges grenser for avstand til tunnelen gitt i Norsk standard NS 8141, som gir en besiktigelse område med avstand 50–100 m fra tunnel [8].

Det er ikke registrert bygningen innenfor 100 meter fra planlagt tunneltrase. Det er derimot en strømmast lokalisert ved nordre påhugg.

7.2 Krav til overvåking av spesielle forhold

Det anbefales å ta jevnlige prøver av svellepotensialet til sprekkefyll i tunnelen. Dette gjelder spesielt i svakhetssonene. Svelleleirer som smekktitt er et forvittringsprodukt av plagioklas, som er hovedmineralet i arkosen man finner langs hele tunneltraseen.

7.3 Sprengsteinsmasser (brukbarhet, deponering og syredanning)

De geologiske forholdene ved prosjektet medfører ingen spesielle krav til håndtering av sprengsteinsmassene.

7.4 Bemanning og geologisk kompetanse i byggefasen

Ingeniørgeologisk kartlegging bør utføres i henhold til håndbok N500 og V521. I praksis skal hver salve kartlegges før eventuell påføring av sprøytebetong. Personell som utfører geologisk kartlegging bør ha bergteknisk/ingeniørgeologisk kompetanse, herunder:

- erfaring med kartlegging etter Q-metoden
- erfaring med å beslutte omfang og metoder for permanentsikring av tunneler
- erfaring med injeksjonsarbeider
- kjennskap til innholdet i denne rapporten
- kjennskap til de utførte grunnundersøkelsene
- kjennskap til risiko- og sårbarhetsanalysen (ROS) for prosjektet
- kjennskap til innholdet i håndbok N500 og V521

En kan se for seg at kartleggingen utføres av et team bestående av kontrollingeniører og/eller yngre ingeniørgeologer i samarbeid med erfaren ingeniørgeolog som har det overordnede ansvaret.

Følgende bør inngå i dokumenteringen av de geologiske forholdene:

1. Tegning eller skissering av geologiske forhold og geologiske data under driving av tunnel.
2. Innlegging av geologiske data i programvarer som Bever mapping eller tilsvarende, med sammenstilling og kontroll mot utført sikring.
3. Fotografering av hver salve (bør gjøres etter vask og før betongsprøyting).
4. Prøvetaking og videre analyser i laboratorium av leirmaterialer fra knusningssoner.
5. Utføre deformasjonsmålinger i større svakhetssoner, spesielt ved påvisning av svelleleire.

8 SIKKERHET HELSE ARBEIDSMILJØ (SHA)–FORHOLD

Fra et SHA-perspektiv (Sikkerhet, Helse og Arbeidsmiljø) framstår prosjektet som et relativt oversiktlig tunnelprosjekt, men med enkelte geologiske forhold som krever særskilt oppfølging i byggefasen.

8.1 Sikkerhetsforhold

Lav overdekning ved påhuggene

Den største sikkerhetsutfordringen er knyttet til nordre påhugg og deler av søndre påhugg. Lav overdekning gir dårlig innspenning av bergmassen og økt risiko for blokkutfall og nedfall under driving. Nordre påhugg vurderes som den mest krevende delen av tunnelen fordi flere svakhetssoner ligger nær, eller krysser tunnelen samtidig som overdekningen er liten.

Svakhetssoner

Det er identifisert 17 potensielle svakhetssoner langs tunneltraséen. Flere av disse er vurdert å ha dårlig bergmassekvalitet, og enkelte kan være vannførende. Dette innebærer risiko for:

- ustabile forhold i stuff
- økt behov for arbeidssikring
- fare for steinnedfall
- krevende injeksjons- og sikringsarbeider

Sone 5 og sonene rundt profil 8780–9260 vurderes som de mest kritiske under drivingen.

Bergskjæringer

Flere av bergskjæringene er over 10 meter høye og ligger i kontrollklasse 3. Det er identifisert mulighet for både planutglidning og kileutglidning, særlig i skjæringene ved påhuggene og de lengre skjæringene sør for tunnelen. Dette medfører behov for grundig geologisk oppfølging, rensk og sikring under anleggsarbeidet.

Vanninntrengning

Flere svakhetssoner er tolket som potensielt vannførende. Store vanninnbrudd vurderes ikke som sannsynlig, men lokal vanninnlekkasje kan påvirke stabilitet, arbeidsmiljø og framdrift dersom injeksjon og sonderboring ikke gjennomføres systematisk.

8.2 Helseforhold

Kvartsstøv

Metaarkosen inneholder kvarts, og boring, sprengning og knusing vil generere støv. Eksponering for respirabelt kvartsstøv er en kjent arbeidsmiljørisiko ved tunneldriving og må håndteres med ventilasjon, støvreduserende tiltak og personlig verneutstyr. Rapporten omtaler kvartsstøv som et SHA-relevant tema.

Radon

Det er ikke registrert forhøyede uranverdier i bergarten, og analysene viser lave nivåer av radioaktive grunnstoffer. Risikoen for radon vurderes derfor som begrenset, men normal tunnelovervåking bør gjennomføres.

Asbest og svelleleire

Rapporten gir ingen indikasjoner på asbestførende bergarter. Risikoen for asbest vurderes derfor som lav. Det anbefales imidlertid prøvetaking dersom det påtreffes leirfyllinger i svakhetssoner, ettersom forvitring av feltspat kan danne svelleleirer som kan påvirke stabilitet og drift.

8.3 Arbeidsmiljøforhold

Sikringsarbeider

Omtrent 16 % av tunnelen forventes å kreve tung sikring (klasse IV–VI), inkludert:

- tett systematisk bolting
- sprøytebetong
- forbolting
- armerte sprøytebetongbuer enkelte steder

Dette innebærer omfattende arbeid nær stuff og økt eksponering for risiko ved sikringsoperasjoner.

Geologisk oppfølging

Det anbefales kontinuerlig ingeniørgeologisk kartlegging av hver salve, dokumentasjon av svakhetssoner og løpende vurdering av sikringsbehov. Dette er et viktig SHA-tiltak fordi usikkerheten i de geologiske modellene er betydelig for flere av de tolkede sonene.

Arbeid i ur og blokkhav

Ved søndre påhugg er det registrert store blokker og urmateriale. Dette gir risiko ved både masseuttak, graving og etablering av skjæringer, og krever særskilt søkelys på rensk og stabilisering før ordinære arbeider starter.

Samlet SHA-vurdering

Prosjektet vurderes å ha moderat til høy SHA-risiko i anleggsfasen, hovedsakelig knyttet til tunneldriving gjennom svakhetssoner, lav overdekning ved påhuggene, fare for blokkutfall og omfattende sikringsarbeider. Risikoen for store vanninnbrudd, bergslag, asbest og miljøskadelig bergkjemi vurderes som lav. Med systematisk geologisk oppfølging, tett sikringsregime, sonderboring og injeksjon etter N500 vurderes risikoen som håndterbar og innenfor det som er normalt for et norsk tunnelprosjekt i konsekvensklasse 3.

9 Referanser

- [1] Statens vegvesen, «N200 Vegbygging,» 2024.
- [2] Statens vegvesen, «N500 Vegtunneler,» 2024.
- [3] Statens vegvesen, « N-V225 Bergskjæringer,» 2025.
- [4] Statens vegvesen, «N-V521 Geologi og bergsikring i tunnel,» 2023.
- [5] Statens vegvesen, «Håndbok R761 Prosesskode 1,» 2025.
- [6] Norsk standard, «NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurokode 0: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner,» 2016.
- [7] Norsk standard, ««NS-EN 1997-2:2007+NA:2008. Eurokode 7. Geoteknisk prosjektering. Del 2. Regler basert på grunnundersøkelser og laboratorieprøver. Med rettelsesblad AC:2010,,» 2008.
- [8] Norsk standard, ««NS8141-3:2014 «Vibrasjoner og støt. Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk. Del 3: Virkning av vibrasjoner fra sprengning på utløsning av skred i kvikkleire og andre sprøbruddmaterialer,» 2025.
- [9] Statens vegvesen, «Rv. 93 Vurdering av gjennomførbarhet av tunnelalternativer,» 2014.
- [10] Statens vegvesen , «Rv. 93 Kløftatunnelen. Ingeiørgeologisk rapport til reguleringsplan,» 2018.
- [11] Statens vegvesen, «B12016-GEOL-01 E45 Kløfta E01 Bergskjæringer og naturfarer. Geologisk rapport for konkurransegrunnlag,» 2025.
- [12] Statens vegvesen, «B12016-GEOT-01 E45 Kløfta Reguleringsplanundersøkelser,» 2022.
- [13] Statens vegvesen, «B12016-GEOT-02 E45 Kløfta, kontrakt E01 Forberedende arbeid Datarapport som vedlegg til konkurransegrunnlaget,» 2025.
- [14] Statens vegvesen, «B12016-GEOT-03 E45 Kløfta, kontrakt E01 Forberedende arbeid, Vurderingsrapport,» 2025.
- [15] Norges geologisk undersøkelse, «Løsmassekart,» 2026. [Internett]. Available: https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/. [Funnet 30 4 2026].

- [16] Norges geologiske undersøkelse, «Berggrunnskart,» 2026. [Internett]. Available: https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/.
- [17] NVE, «NEVINA,» 2026.
- [18] Statens vegvesen, «E45 Kløfta E02 Naturfarefaglig rapport til konkurransegrunnlag».
- [19] Norges geologiske undersøkelse , «Grus og pukk database,» 2025.
- [20] Norges geologisk undersøkelse , Geologisk arv, 2026.
- [21] Statens vegvesen , «E69 Skarvberg tunnelen. Ingeniørgeologisk sluttrapport.,» 2022.
- [22] B. Brattli, «Ingeniørgeologi Løsmasser, Pensumhefte,» NTNU, Trondheim, 2018.
- [23] N. Barton og V. Choubey, «The shear strength of rock joints in theory and practice,» 1977.
- [24] Norges geotekniske institutt, «Bruk av Q-systemet,» NGI, Oslo, 2025.
- [25] NGI, « Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter, Veileder for Miljødirektoratet,» 2015.
- [26] A. Bruland, «Hard rock tunnel boring. Vol. 9 of 10. Drillability. Catalog of drillability Indices,» NTNU, 1998.
- [27] L. E. Kveldsvik, T. H. Høeg og L. E. Vikan, «9 Planning of a 25 km long water supply tunnel in an environmentally sensitive area,» 2001. [Internett]. Available: <https://nff.no/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/Publication-12.pdf>.
- [28] K. Karlsrud, L. Erikstad og P. Snilsberg, «Publikasjon nr. 103 Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø,» Statens vegvesen, Oslo, 2003.
- [29] Statens vegvesen , «F100 frostmengder 1991–2020,» [Internett]. Available: <https://kart.vegvesen.no/portal/apps/webappviewer/index.html?id=99d497b7a0c543859a260e24ca50b5c8>. [Funnet 01 Oktober 2025].
- [30] Vegteknisk avdeling, «Intern rapport nr. 2301 Frostmengder i vegtunneler,» 2002.
- [31] Statens vegvesen, Vegteknologi, «Vegteknologi, E45 Kløfta, E2 – Tunnel – profil 5300–11580. Dimensjonering av vegoverbygning. Konkurransegrunnlag byggeplan,» Statens vegvesen, 2026.
- [32] Norsk Klimaservicesenter, «Se klima – Observasjoner og værstatistikk,» [Internett]. Available: <https://seklima.met.no/>.

