



E6 Kvithammar – Åsen

Detaljregulering Stjørdal kommune

*Forbordsfjelltunnelen
Ingeniørgeologisk rapport til reguleringsplan*


Rapport nr.

R1-GEOL-02


Dato

25.08.2020



 Sustainable engineering and design		Side 2 av 2
Rapport nr. R1-GEOL-02	E6 Kvithammar – Åsen. Detaljregulering Stjørdal kommune	
	Forbordsfjelltunnelen. Ingeniørgeologisk rapport til reguleringsplan.	

Revisjonshistorikk

 Sustainable engineering and design					
Rev.	Dato	Beskrivelse	Sign.	Kont.	Godkj.
00	25.08.2020	Detaljregulering	nojaco	nobent	nobent




Geoteknisk kategori/konsekvens-/pålitelighetsklasse

Geoteknisk kategori	Konsekvens- /pålitelighetsklasse	Konsekvens- klasse	Beskrivelse
Geoteknisk kategori 1	← CC1/RC1 <input type="checkbox"/>	CC1	Liten konsekvens i form av tap av menneskeliv, og små eller utvesentlige økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser
Geoteknisk kategori 2	← CC2/RC2 <input type="checkbox"/>	CC2	Middels stor konsekvens i form av tap av menneskeliv, betydelige økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser
Geoteknisk kategori 3	← CC3/RC3 ev RC4 <input checked="" type="checkbox"/>	CC3	Stor konsekvens i form av tap av menneskeliv eller svært store økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser

Kategori/konsekvensklasse er fastsatt av			
	Enhet/navn	Signatur	Dato
Geoteknisk Prosjekterende	Sweco Norge AS v/Kine W. Jacobsen	 <small>Digitally signed by Kine Wenberg Jacobsen DN: cn=Kine Wenberg Jacobsen, c=NO, o=Sweco Norge AS, email=kine.jacobsen@sweco.no Date: 2020.06.04 11:36:03 +02'00'</small>	8.6.2020
Oppdragsgiver	Nye Veier AS v/ Kari Charlotte Sellgren		08.06.2020

Kommentarer til valg av geoteknisk kategori/konsekvensklasse/pålitelighetsklasse	
<p>Prosjektet E6 Kvithamar – Åsen omfatter totalt 4 tunneler, hvorav 2 i Stjørdal kommune: Forbordsfjelltunnelen og Høghåmmårtunnelen. Begge tunneler skal bygges under jomfruelig terreng mellom Kvithamar og Vuddudalen. Denne vurderingen omhandler Forbordsfjelltunnelen med påhugg sør på Holan og påhugg nord i Langsteindalen. Tunnelen er om lag 6050 meter lang og drives med to parallelle løp med tunnelprofil T10,5.</p> <p>Geoteknisk kategori styres av vanskelighetsgrad og pålitelighetsklasse. De mest kompliserte områdene ved driving av Forbordsfjelltunnelen antas å påtreffes i forbindelse med kryssing av større svakhetssoner. Dette gjelder kryssing av skyvesone mellom fyllitt og grønnstein, driving under Seterkleiva og kryssing av svakhetssoner med vannproblematikk. For disse områdene er det vurdert middels vanskelighetsgrad og pålitelighetsklasse CC/RC3. Dette gir geoteknisk kategori 3. Håndbok N500 stiller dessuten krav til at påhuggsområder skal ligge i CC/RC3. For øvrig tunnelstrekning viser grunnundersøkelser og kartlegging i felt at det kan forventes bergmassekvalitet og forhold som kan håndteres ved hjelp av konvensjonelle metoder. Vanskelighetsgrad vurderes til middels og pålitelighetsklasse CC/RC 2, noe som gir geoteknisk kategori 2.</p> <p>For CC/RC 3 stiller PKK3 krav til egenkontroll, intern systematisk kontroll og utvidet kontroll.</p>	

Prosjekteringskontroll

Kontroll	Enhet/Navn	Signatur	Dato
Egenkontroll	Kine W. Jacobsen/ Martin Flåten	 <small>Digitally signed by Kine Wenberg Jacobsen DN: cn=Kine Wenberg Jacobsen, c=NO, o=Sweco Norge AS, email=kine.jacobsen@sweco.no Date: 2020.06.04 11:36:35 +02'00'</small>	8.6.2020
Intern systematisk kontroll	Bent Aagaard	 <small>Digitally signed by Bent Aagaard SN: C=NO CN=Bent Aagaard O=Sweco Norge AS E=bent.aagaard@sweco.no Date: 2020.06.04 11:21:58 +02'00'</small>	8.6.2020
Utvidet kontroll	Norconsult v/ Marianne Kanestrøm Rødseth		3.6.2020
Godkjent			

Krav til prosjekteringskontroll

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

Forbordsfjelltunnelen

Ingeniørgeologisk rapport til reguleringsplan



Kunde: DR.ING AAS-JAKOBSEN Trondheim AS
Prosjekt: E6 Kvithammar - Åsen Samhandlingsfase
Prosjektnummer: 10212645
Dokumentnummer: R1-GEOL-02 Rev.: 00

Sammendrag:

Nye Veier skal bygge ut E6 på strekningen fra Kvithammar i Stjørdal kommune til Åsen i Levanger kommune. Vegen skal bygges som firefelts motorveg med fartsgrense 110 km/t. Prosjektet omfatter 2 tunneler i Stjørdal kommune: Forbordsfjelltunnelen og Høghåmmårtunnelen. Denne rapporten omhandler Forbordsfjelltunnelen med påhugg sør på Holan og påhugg nord i Langsteindalen. ÅDT i 2045 er beregnet til 13.500, noe som medfører tunnelklasse E og profil T10,5. Tunnellengde blir 6064 m for sørgående løp, 6044 for nordgående.

Tunnelen skal bygges under jomfruelig terreng mellom Kvithammar og Langsteindalen. Tunnelen skal i hovedsak drives gjennom fyllitt i sør og grønnstein i nord. Et anslag på fordeling i bergmasseklasser gir ca. 80 % av tunnelen i bergmasseklasse A til D (sikringsklasse I til III). De mest kritiske områdene ved driving av tunnelen antas å være kryssing av skyvesone/bergartsgrense mellom fyllitt og grønnstein, driving under Seterkleiva (ca. 850 m lang strekning) med potensielt flere sammenfallende svakhetssoner samt kryssing av svakhetssoner med mulig tilknytning til fjellvann og/ eller elver (vannproblematikk). Stabilitetssikring vil omfatte bolter, fiberarmert sprøytebetong og armerte sprøytebetongbuer. Beregnet sikringsomfang omfatter blant annet 4,96 bolt og 3,14 m³ sprøytebetong pr. løpemeter tunnel. Med de innlekkasjekravene som er satt, forventes lite behov for gjentatt injeksjon fra samme stuff. Det må påregnes at forinjeksjon må utføres i begge tunnellopene. Totalt er det estimert behov for 1390 m sonderboring og 21 skjermer med forinjeksjon pr. tunnellop.

Det forventes ikke vesentlige stabilitetsproblemer som følge av høye bergspenninger.

Rapporteringsstatus:

- Endelig
 Oversendelse for kommentar
 Utkast

Utarbeidet av: Kine Wenberg Jacobsen, Martin Flåten, Sylvi Gaut	Sign.:
Kontrollert av: Bent Aagaard	Sign.:
Prosjektleder: Kine W. Jacobsen	Prosjekteier: Torbjørn Yri

Revisjonshistorikk:

Rev.	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet av	Kontrollert av
00	25.08.2020	Detaljregulering	nojaco/nomfla	nobent

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	6
1.1	Bakgrunn	6
1.2	Linjeføring og tunnelverrsnitt	6
1.3	Geoteknisk kategori	7
1.4	Styrende dokumenter	9
1.5	Kartgrunnlag og terrengmodell	10
2	Faktadel	11
2.1	Topografi	11
2.2	Ingeniørgeologisk kartlegging	12
2.3	Grunnundersøkelser	13
2.3.1	Grunnboringer	13
2.3.2	Kjerneboringer	14
2.4	Analyser	16
2.4.1	Mekaniske egenskaper	17
2.4.2	Svellepotensiale	18
2.4.3	Egnethet til vegformål	18
2.4.4	Syredannende bergarter	19
2.4.5	Vannkjemiske analyser	20
2.5	Kvartærgeologisk beskrivelse	21
2.6	Bergartsbeskrivelse	22
2.7	Bergmassebeskrivelse	23
2.7.1	Oppsprekking	23
2.7.2	Lineamenter	23
2.7.3	Bergmassens konduktivitet og karst	25
2.8	Omgivelser	26
2.8.1	Bebyggelse	26
2.8.2	Brønner, oppkommer, tjern og myrer	27
2.8.3	Ytre miljø	29
2.9	Naturfare	30
2.9.1	Påhugg sør, Holan	30
2.9.2	Påhugg nord, Langsteindalen	31
3	Tolkningsdel, ingeniørgeologiske vurderinger	32
3.1	Stabilitet	32
3.1.1	Bergartsgrenser	32
3.1.2	Svakhetssoner	32

3.1.3	Sikringsbehov tunnel.....	33
3.1.4	Bergspenninger	35
3.1.5	Påhugg og forskjæringer	35
3.2	Hydrogeologiske forhold	40
3.2.1	Sårbare områder	40
3.2.2	Influensområde.....	41
3.2.3	Innlekkasjekrav.....	42
3.2.4	Innlekkasje av vann under driving.....	46
3.2.5	Vann- og frostsikring	47
3.3	Borbarhet og sprengbarhet	48
3.4	Anvendelse av steinmateriale	48
3.4.1	Forsterkningslag til veg	48
3.4.2	Bærelag til veg	49
3.4.3	Delmaterialer til asfalt.....	49
3.4.4	Grusdekker.....	49
3.5	Syredannende bergarter	49
3.6	Vibrasjoner og støt	50
3.7	Naturfarevurderinger	51
3.8	Usikkerheter	53
3.9	Videre arbeider.....	53
4	Referanser	55

Vedlegg

1. Bilder
2. Ingeniørgeologiske tegninger, plan og lengdeprofil
3. Kvartærgeologisk kart
4. Berggrunnskart
5. Sprekkerose/stereoplott
6. Aktsomhetskart skred
7. Beregnet grenseverdi for rystelser iht. NS8141
8. Notater kjerneboringer
9. Rapporter SINTEF
10. Rapporter NTNU
11. Rapporter Veidekke
12. Rapport ALS
13. Notat N0-GEOL-12 Syredannende bergarter
14. Analyseresultat, testing av bergartsprøve NGU
15. Tverrprofiler forskjæring
16. Rapporter Eurofins

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Nye Veier planlegger ny E6 fra Kvithammar til Åsen i Stjørdal og Levanger kommune. Vegen planlegges som firefelts motorveg med fartsgrense 110 km/t på hele strekningen, og vil redusere reisetiden mellom Åsen og Stjørdal med 9 minutter.

Eksisterende E6 mellom Stjørdal og Åsen er en tofelts veg med fartsgrense 70 km/t på store deler av strekningen. Forbi Skatval er det mange kryss og avkjørsler, mens på strekningen fra Skatval til Åsen er det lite bebyggelse langs E6. Her går imidlertid vegen i sidebratt terreng parallelt med jernbanen, en strekning som er svært sårbar ved hendelser. I nord går eksisterende E6 gjennom Åsen sentrum.

Strekningen er ulykkesutsatt med en ulykkesfrekvens som er dobbelt så høy som tilsvarende veger. ÅDT på dagens veg er ca. 12.000 på strekningen Kvithammar – Skatval, mens det på strekningen Skatval – Åsen er en ÅDT på ca. 8.800. Gjennom Åsen sentrum er ÅDT på ca. 8.400. Tungtrafikkandelen er ca. 16 %. (Trafikktallene er 2019-tall fra NVDB).

Planforslaget går ut på å bygge firefelts veg på strekningen. Total lengde på ny E6 er 19,8 km, hvorav 9,3 km ligger i Stjørdal kommune. Det skal bygges to tunneler i Stjørdal kommune, Forbordsfjelltunnelen (6080 m) og Høghåmmårtunnelen (1360 m). Kommunegrensa mellom Stjørdal og Levanger går midt i Høghåmmårtunnelen. På strekningen mellom Kvithammar og Holan bygges det ny bru over Vollselva og Nordlandsbanen, Vollselvbrua. Kvithammarkrysset vil bygges om med større rundkjøringer og nye nordvendte ramper. Det etableres ingen andre kryss på strekningen i Stjørdal kommune. I Langsteindalen vil Langsteinvegen gå under E6 i en ny undergang.

Som en konsekvens av planforslaget vil dagens E6 bli nedklassifisert til fylkesveg. Vegen vil kobles til eksisterende vegnett i Kvithammarkrysset.

Denne rapporten omhandler Forbordsfjelltunnelen med påhugg sør på Holan og påhugg nord i Langsteindalen.

I detaljprosjekteringen vil omfang og løsninger bli detaljert videre basert på videre undersøkelser, mer detaljerte beregninger og vurderinger. Det kan derfor bli mindre endringer i viste løsninger fra reguleringsplan til byggeplan.

1.2 Linjeføring og tunnelverrsnitt

Tunnelen planlegges for en ÅDT i 2045 på 13.500 [33] og fartsgrense 110 km/t, noe som gjør at tunnelen vil ligge i tunnelklasse E. Dimensjoneringsklasse er H3, og medfører tunnelprofil T10,5 og to parallelle løp. De to tunneløpene vil følge hverandre tilnærmet parallelt med en minste avstand på 10 meter mellom sprengningsprofilene. Avstanden tilsvarer krav til minste avstand i håndbok N500, og det er vurdert at dette er tilstrekkelig med tanke på påvirkning fra sprengning og for utførelse av stabilitetssikring.

De to tunneløpene har egen senterlinje med profilering. Nordgående løp er veglinje 10100 og sørgående løp er veglinje 10200. Nordgående løp (linje 10100) blir brukt som referanselinje ved angivelse av profilnummer i rapporten dersom ikke annet er spesifisert.

Påhugg sør på Holan skal etableres med skrå påhuggsflate. Påhugg for nordgående løp planlegges ved profil 1542 (10100), og sørgående løp ved profil 1538 (10200). Påhugg nord for

begge løp planlegges ved profil 7586 (10100). Dette gir en tunnallengde på 6064 meter for sørgående løp og 6044 for nordgående.

Håndbok N500 [5] stiller krav til at havarinisjer etableres for hver 500 m i hvert løp. Start av første nisje knyttet til inngående trafikk skal være maksimalt 250 m fra tunnelmunning. Tekniske rom etableres i forbindelse med havarinisjer, tverrstillt på tunneløpet i høyre vegg sett med kjøreretningen. Rommene etableres med profil T8,5 og får en lengde på ca. 30 meter fra vegskulder. I nordgående løp vil det bli 4 tekniske rom, i sørgående løp blir det 1 stk. Gangbare tverrforbindelser etableres for hver 250 m i henhold til krav om nødutganger i N500.

Tverrforbindelser i forbindelse med tekniske rom vil bli sprengt med profil T8,5. Det planlegges med at halvparten av tverrforbindelsene sprenges med profil tilnærmet som T8,5, den andre halvparten med T5,5. Dette av anleggstekniske hensyn. Prosjektet har foreløpig ikke avgjort om det også skal etableres kjørbare tverrforbindelser for nødetaer. En slik avklaring vil komme i byggeplanfasen.

For detaljer rundt tunnelens geometri henvises til fagrapport tunnel for prosjektet [17]. Her sammenfattes krav til utforming og utrustning av tunneler samt overordnet beskrivelse av tekniske løsninger.

Tunnelen inkludert bergsikring skal dimensjoneres for en brukstid på 100 år i henhold til N500 [5].

I forbindelse med krav til slokkevann til tunnelene er det utredet ulike alternativer for vannforsyning som kan forsyne både Forbordsfjelltunnelen og Høghåmmårtunnelen. Ett av alternativene er et magasin på ca. 1.520 m³ som sprenges ut omtrent midt i Forbordsfjelltunnelen. Drens- og innlekkasjevann fra nordre halvdel av tunnelen vil føres til dette magasinet. Dimensjoner på dette bergrommet er per i dag ikke avklart, men det vil som utgangspunkt sprenges som en hall med tverrsnitt ca. 100 m² og lengdeakse normalt på tunneløpet. Såle vil ligge i størrelsesorden 5-10 meter lavere enn nivå for sprengt såle i tunnelen, på samme måte som en pumpesump i en undersjøisk tunnel. Det skal også etableres et felles sedimenteringsbasseng for begge tunneler lokalisert i søndre del av Forbordsfjelltunnelen, i første havarinisje etter innkjøring i nordgående løp. Endelig løsning og dimensjoner er per i dag ikke avklart. For detaljer knyttet til forutsetninger henvises til fagrapport VA på prosjektet [20].

1.3 Geoteknisk kategori

Tunnelen skal klassifiseres i geoteknisk kategori ut fra kompleksitet og risiko, og for vegprosjekter bestemmes dette i henhold til Eurokode 7 [2]. 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.

Geoteknisk kategori er en funksjon av vanskelighetsgrad og pålitelighetsklasse og er gitt av tabell 1:

Tabell 1 Definisjon av geoteknisk kategori [3].

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 ligger til grunn for valg av pålitelighetsklasse og avhenger av grunnforholdenes kompleksitet og type prosjekt, og klassifiseres som angitt i tabell 2.

Tabell 2 Klassifisering av vanskelighetsgrad [3].

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 til denne, se figur 1 nedenfor.

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

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

Figur 1 Valg av pålitelighetsklasse. Skjermdump av tabell NA.A1 i nasjonalt tillegg til NS-EN 1990 [13].

De mest kompliserte og kritiske områdene ved driving av Forbordsfjelltunnelen antas å være:

- Kryssing av skyvesone/bergartsgrense mellom fyllitt og grønnstein ved profil ca. 2600-2700.
- Driving under Seterkleiva, ca. profil 3200 - 4050, med potensielt flere sammenfallende svakhetssoner.
- Kryssing av svakhetssoner med mulig tilknytning til fjellvann og/eller elver (vannproblematikk), se tabell i kapittel 2.8.2 (og 3.2.3).

For disse områdene vurderes middels vanskelighetsgrad og pålitelighetsklasse CC/RC3. Dette gir geoteknisk kategori 3. Håndbok N500 stiller dessuten krav til at påhuggsområder skal ligge i CC/RC3. For øvrig tunnelstrekning viser grunnundersøkelser og kartlegging i felt at det kan forventes bergmassekvalitet og forhold som kan håndteres ved hjelp av konvensjonelle metoder. Vanskelighetsgrad vurderes til middels og pålitelighetsklasse CC/RC 2, noe som gir geoteknisk kategori 2.

Avhengig av pålitelighetsklasse CC/RC stilles krav til prosjekteringskontrollklasse med tilhørende krav til kontrollform slik det fremgår av tabell 3 nedenfor. For CC/RC 3 stiller PKK3 krav til egenkontroll, intern systematisk kontroll og utvidet kontroll.

Tabell 3 Valg av prosjekteringskontrollklasse og krav til kontrollform ved prosjektering, tabell NA-A (902) i NS-EN 1990 [13].

Valg av prosjekteringskontrollklasse		Krav til kontrollform		
Pålitelighetsklasse	Minste prosjekteringskontrollklasse	Egenkontroll	Intern systematisk kontroll	Utvidet kontroll
CC/RC1	PKK1	Kreves	Kreves ikke	Kreves ikke
CC/RC2	PKK2	Kreves	Kreves	Kreves
CC/RC3	PKK3	Kreves	Kreves	Kreves
CC/RC4	Skal spesifiseres	Kreves	Kreves	Kreves

Eurokode 7 anbefaler fire forskjellige prosjekteringsmetoder [2]:

- Geoteknisk prosjektering ved beregning
- Prosjektering ved konstruktive tiltak
- Prøvebelastning og modellprøving
- Observasjonsmetoden

For tunneler på prosjektet E6 KÅ benyttes prosjektering ved beregning, prosjektering ved konstruktive tiltak og observasjonsmetoden. Erfaring, normal praksis og etablerte klassifiseringssystem benyttes for å oppnå tilfredsstillende stabilitet.

1.4 Styrende dokumenter

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

- Eurokode 0: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 [1].
- Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering – Del 1 Allmenne regler NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2016 [2].
- Veileder til bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering [3].
- Statens vegvesen Håndbok N200 Vegbygging, 2018 [4].
- Statens vegvesen Håndbok N500 Vegtunneler, 2016 [5].
- Statens vegvesen Håndbok V520 Tunnelveiledning, 2016 [6].
- Statens vegvesen Håndbok R760 Styring av vegprosjekter, 2019 [7].
- Statens vegvesen Håndbok R761 Prosesskode 1, 2018 [8].
- NS 8141:2001 Vibrasjoner og støt. Måling av svingehastighet og beregning av veiledende grenseverdier for å unngå skade på byggverk [9].

- 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 [10].

1.5 Kartgrunnlag og terrengmodell

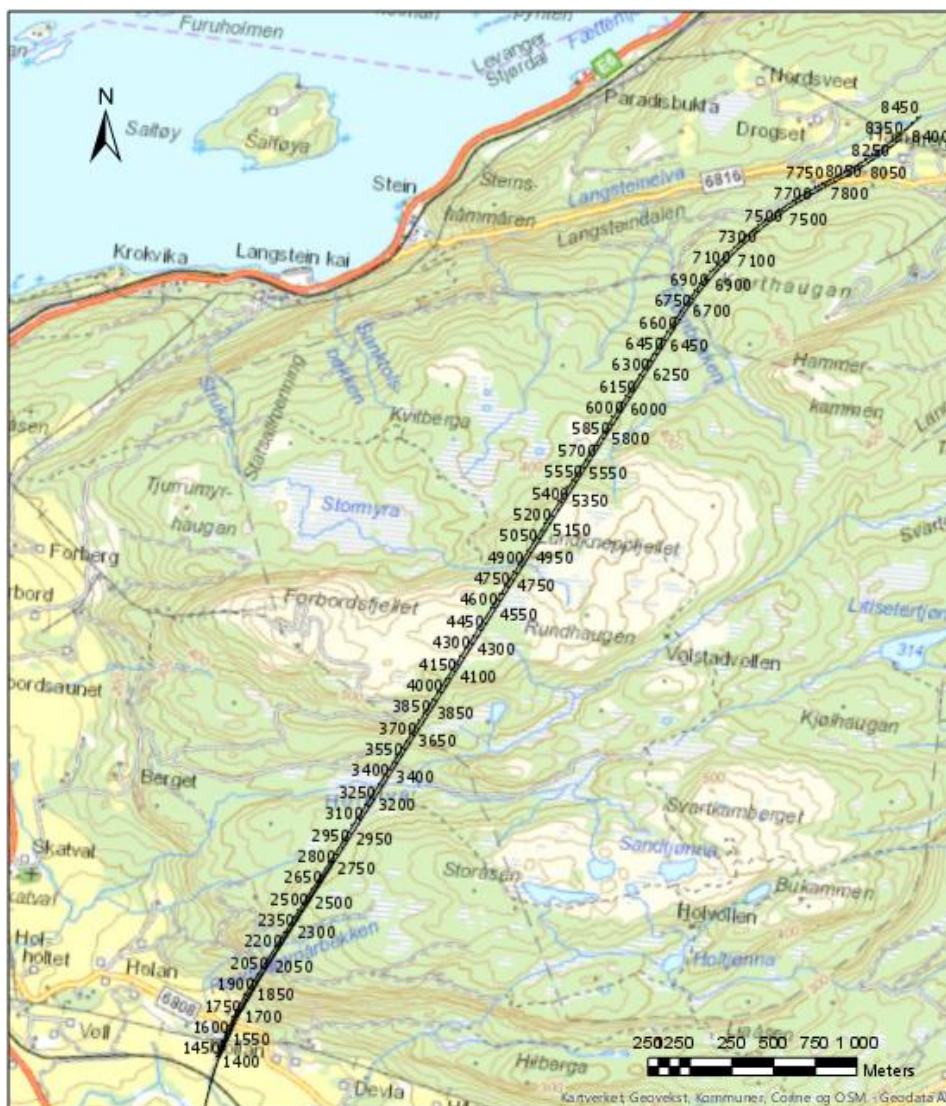
Følgende grunnlagsmateriale er benyttet til forberedelse av feltarbeid og utforming av ingeniørgeologisk rapport:

- Berggrunnskart fra NGU, 1:50 000 [34].
- Kvartærgeologisk kart med marin grense fra NGU, 1:250 000 [15].
- Grus- og pukkdatabasen fra NGU [14].
- Grunnvannsdatabase GRANADA fra NGU [35].
- Miljøstatus fra Miljødirektoratet [38]
- Vannmiljø fra Miljødirektoratet [12].
- Skredhendelser og aktsomhetskart fra NVE [36] .
- Helningskart fra NGI [37]
- Nettbasert kartverktøy: «Norgebilder», «Norgei3D» og «Norgeskart».
- Gjeldende vegmodell i prosjektets Quadrimodell. Quadrimodellen omfatter bergmodell av 4.12.2019 fra NGI og terrengmodell av 4.10.2019.
- Terrengmodellen for prosjektet er basert på en kombinasjon av eksisterende flyskanning, ny fly- og bilskanning og ekkolodding utført og sammenstilt av Terratec. Terrengmodellen har nøyaktighet på 10 cm i områder der det er utført ny skanning, mens i områder kun med eksisterende flyskanning er det avvik på inntil 1 m. Forenklet terrengmodell benyttet til utarbeidelse av tegninger.
- Til grunn for bergmodellen ligger utført AEM-skanning, informasjon om bergoverflaten fra utførte grunnundersøkelser samt observasjoner av bergblotninger i dagen. I modellen er det dessuten lagt inn forutsetning om at terreng med helning > 45 grader og mer enn 3 meters utbredelse defineres som bart berg for å fange opp bergskreanter. Bergmodellen forbedres ved hjelp av maskinlæring, noe som gjør at den forbedres etter hvert som supplerende informasjon legges inn. For kritiske områder har Sweco supplert bergmodellen med resultater fra refraksjonsseismikk (Åsen).

2 Faktadel

2.1 Topografi

Forbordsfjelltunnelen skal drives gjennom Forbordsfjellet. Tunneltraseen går fra Holan i sør til Langsteindalen i nord med lengdeakse i retning NØ-SV (figur 2).

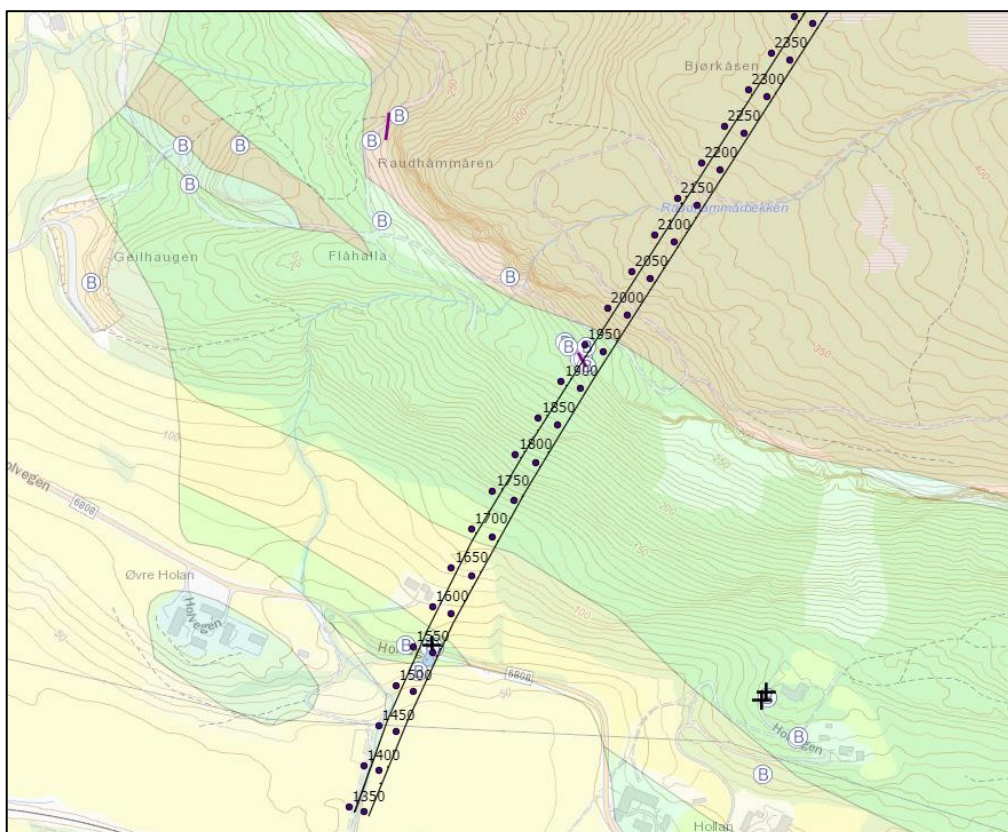


Figur 2 Oversiktskart med traseen til Forbordsfjelltunnelen.

Fra påhugg ved Holan i sør består terrenget over tunnelen av dyrket mark i om lag 170 meter. Helningen på terrenget over søndre påhugg er ca. 15°. Videre mot nordøst stiger terrenget opp en vegetert skråning/fjellskrent med gjennomsnittshelning ca. 35-40°. Omtrent 450 meter inn i tunnelen er overdekningen ca. 250 m. Gjennom Forbordsfjellet varierer overdekningen mellom ca. 250-450 meter. Terrenget består av bart berg, skogsområder og noen myrområder. Fra ca. profil 5500 avtar overdekningen jevnt mot påhugget i Langsteindalen. De siste 200 m før påhugget i Langsteindalen har terrenget over traseen en helning på ca. 10°. Terrenget er hovedsakelig vegetert og dekket av et tynt løsmassedecke i påhuggsområdet i Langsteindalen.

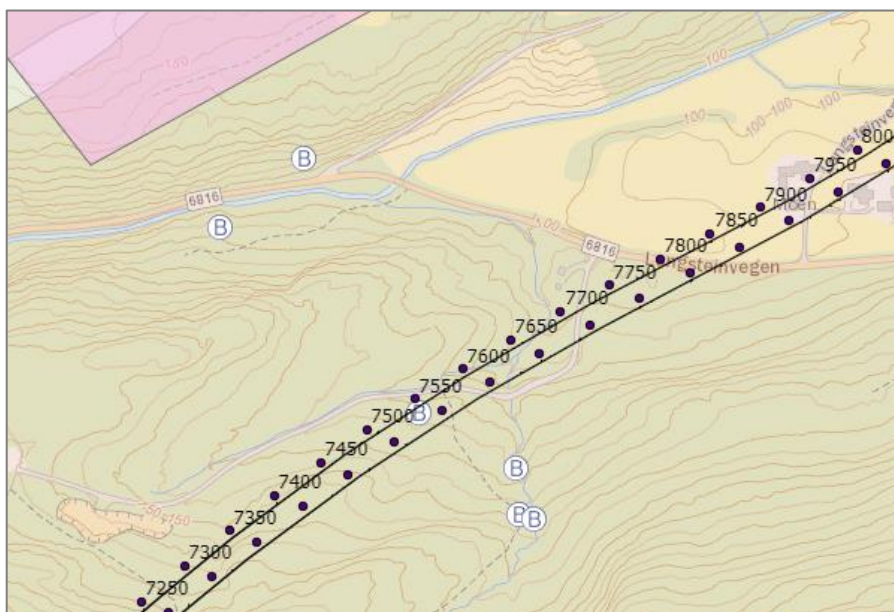
2.2 Ingeniørgeologisk kartlegging

Kartlegging i felt er i hovedsak utført i påhuggsområdene samt sporadisk i terrenget over tunneltraseen. I området for påhugg sør ved Holan er det bergblotning i vegskjæringen inntil Holvegen (Fv. 6808), men det er ellers få blotninger akkurat ved påhugget. Ca. 300 m øst for påhugget er det flere bergblotninger mellom kote 70 og 110. Det er utført kartlegging i fjellsiden fra påhugg sør ved Holan og opp til ca. kote 300, hovedsakelig langs traktorvegen, se utklipp fra gis-kart som viser kartlagte blotninger på figur 3.



Figur 3 Kartlagte bergblotninger ved påhugg sør, Holan, og oppe i fjellsiden til ca. kote 300. Påhugg planlagt ved profil 1538 (sørgående løp) og profil 1542 (nordgående løp).

I område for påhugg nord i Langsteindalen er det gjort kartlegging av blotninger i terrenget. Bart berg er synlig i bergskrefter og i forbindelse med mindre bekkeløp er berget synlig under vannoverflaten, figur 4.



Figur 4 Kartlagte bergblotninger ved påhugg nord, Langsteindalen. Påhugg planlagt ved profil 7586.

Ingeniørgeologisk kartlegging er utført av ingeniørgeologene Bent Aagaard (BAA), Martin Flåten (MF), Anders Bergum (AB) og Kine Wenberg Jacobsen (KWJ) samt hydrogeolog Sylvi Gaut (SG). Kartleggingen er gjennomført i forbindelse med befaringer i prosjektområdet i løpet av samhandlingsfasen på prosjektet:

- 24.5.2019 Felles befaring ingeniørgeologi og hydrogeologi. Påhuggsområde ved Holan, Langsteindalen og Åsen. (BAA, MF, SG).
- 27.5.2019 Befaring i forbindelse med oppfølging av kjerneboring Langsteindalen (BAA).
- 17.6.2019 Befaring ved Seterkleiva for planlegging av kjerneboring (BAA, MF, KWJ).
- 18.9.2019 Langsteindalen, kartlegging av skredfare for reguleringsplan Langsteindalen og ingeniørgeologisk kartlegging av eksisterende vegskjæringer (MF, KWJ).
- 9.10.2019 Langsteindalen, ingeniørgeologisk kartlegging av eksisterende vegskjæringer (MF, KWJ).
- 4.11.2019 Befaring av påhugg sør ved Holan og fjellsiden ved Raudhåmmåren til ca. kote 300 (MF, AB).

Observasjoner i felt omfatter bergartsfordeling, oppsprekking av bergmassen, svakhetssoner, hydrogeologiske forhold, spenningsforhold, påhuggsmuligheter, skredfare og behov for supplerende grunnundersøkelser. Det er benyttet drone på enkelte lokaliteter. Et utvalg bilder er samlet i vedlegg 1.

2.3 Grunnundersøkelser

2.3.1 Grunnboringer

I reguleringsplanfasen er det utført grunnboringer (totalsonderinger og dreietrykksonderinger) i området for påhugg sør ved Holan, se figur 5. Det er utført grunnboringer også i Langsteindalen, men ved påhugg nord er det ikke boret. Bakgrunnen for dette er observasjoner av begrenset løsmasseoverdekning ved ingeniørgeologisk kartlegging, slik at boringer er vurdert som lite aktuelt her.

Grunnboringer fra tidligere faser av prosjektet er tatt med i grunnlaget for bergmodellen for prosjektet. Dette er boringer utført av henholdsvis Rambøll, Statens vegvesen og BaneNor (NSB Bane ingeniørtjenester). Sistnevnte for vurdering av tunnel for Nordlandsbanen gjennom Forbordsfjellet.

Det vises til fagrapport geoteknikk for detaljert oversikt med resultater, R1-GEOT-R09 Geoteknisk fagrapport Stjørdal [18]

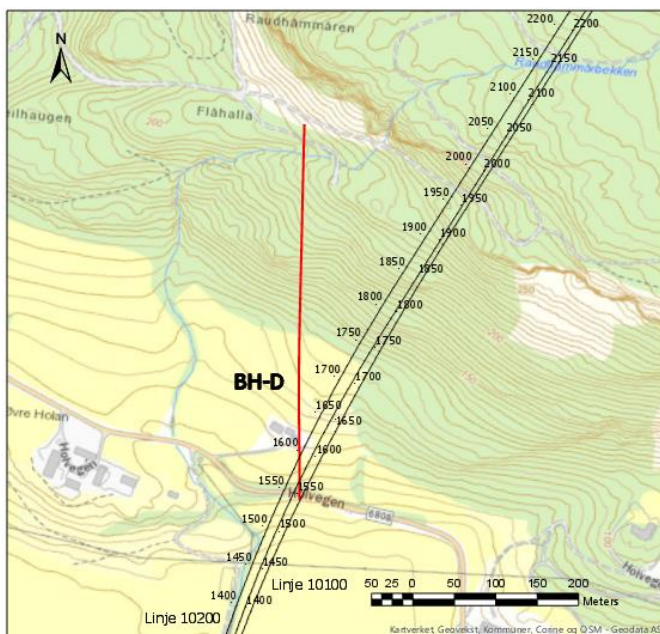


Figur 5 Oversikt over utførte grunnboringer i påhuggsområdet ved Holan (utklipp fra Quadrimodell 16.04.2020).

2.3.2 Kjerneboringer

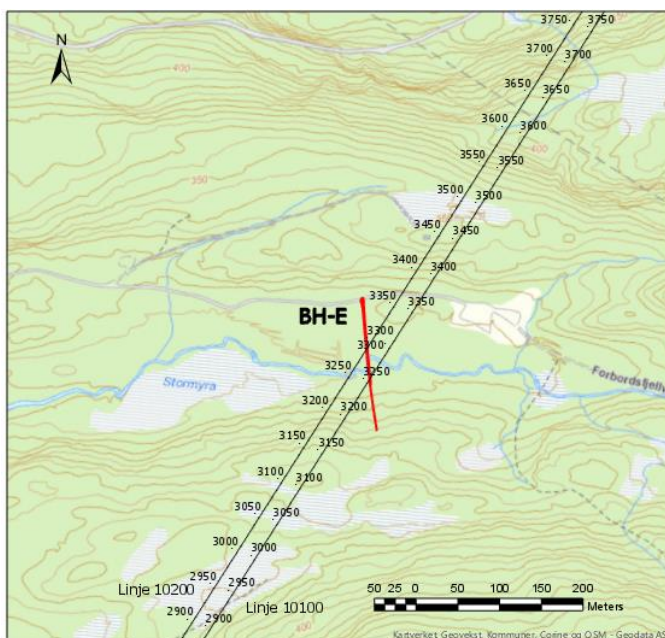
Det er utført 2 stk kjerneboringer langs traseen til Forbordsfjelltunnelen:

- Borehull BH-D ble boret fra påhuggsområdet på Holan i april 2019, og ble utført i regi av Nye Veier. Borehullet er horisontalt med 452,15 m lengde og orientering 355° fra nord (vedlegg 8, figur 6). Hullet er boret mellom ca. kote 60 (start) og 55 (slutt). Tunnelen vil i påhugget få vegbane på kote 44, tunnelheng på kote 51.



Figur 6 Kjerneborhull BH-D boret fra påhuggsområdet på Holan.

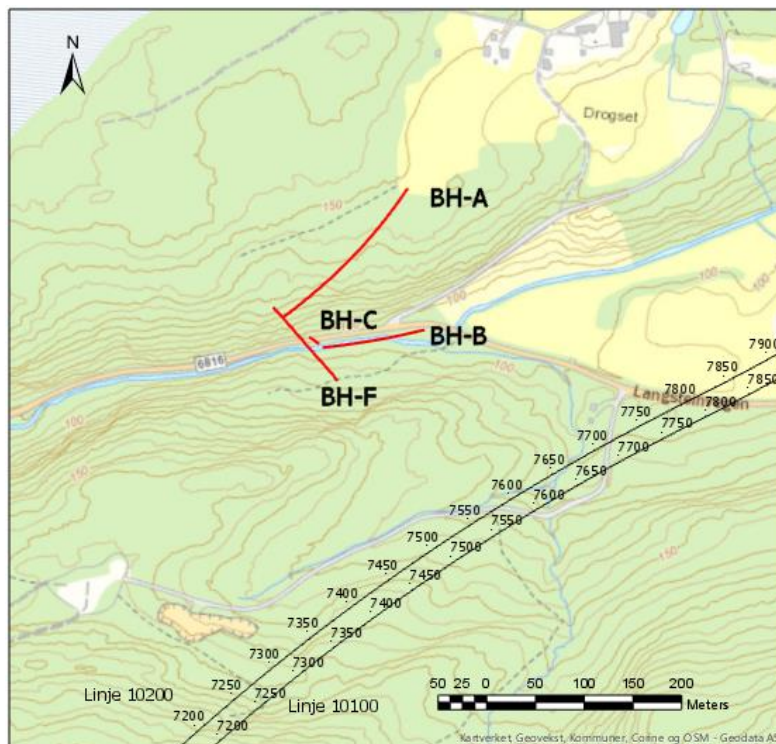
- Borehull BH-E ble boret fra Seterkleiva (ca. profil 3350) i august 2019. Borehullet er boret med orientering 170° fra nord, 60° fall fra horisontalen og lengde 359,4 m (vedlegg 8, figur 7). Hullet ble avsluttet ved ca. profil 3200 på høyde 60 meter under nivå for planlagt tunnel.



Figur 7 Kjerneborhull BH-E boret fra Seterkleiva (ca. profil 3350) til 60 m under nivå planlagt tunnel.

Før det ble besluttet å etablere veglinja med to tunneler mellom Holan og Vuddudalen og dagsone i Langsteindalen var det aktuelt med én lang tunnel som krysset dalen i området ved Drogset. For å få informasjon om svakhetssonen man forventet langs Langsteindalen, ble det boret totalt 4 kjerneborehull, borehull BH-A, BH-B, BH-C og BH-F (figur 8). De tre første ble utført i regi av Nye

Veier i mars og april 2019. BH-F ble boret i juli 2019. Avstand fra borestedene til Forbordsfjelltunnelen er i størrelsesorden 300-500 meter, slik at informasjon fra hullene likevel vurderes som relevante som kilde til informasjon om bergart og bergmassekvalitet for Forbordsfjelltunnelen.

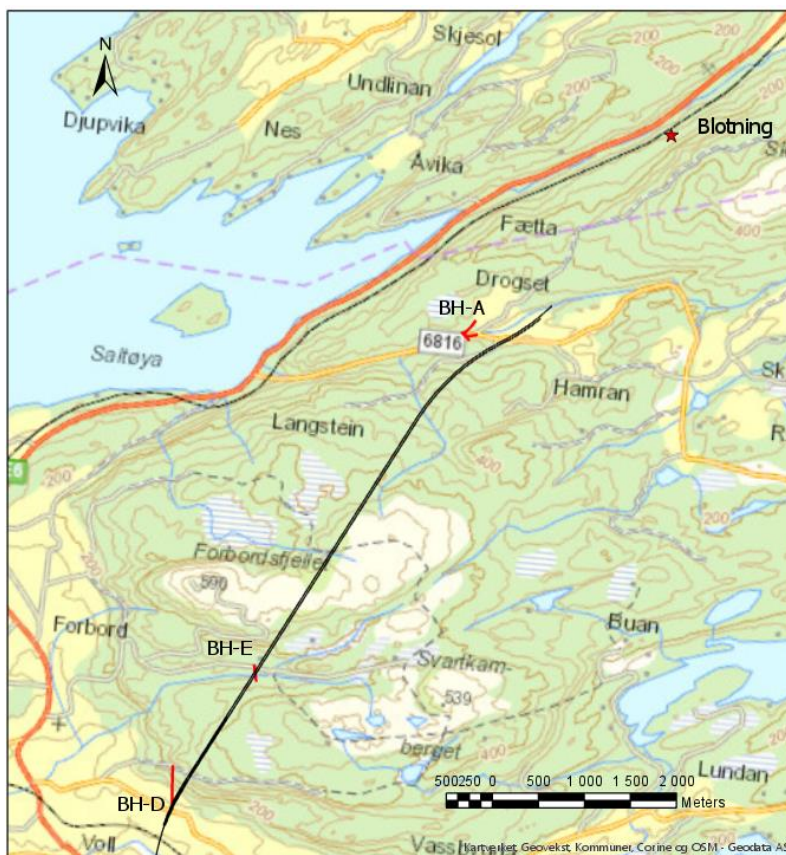


Figur 8 Utførte kjerneborehull BH-A, BH-B, BH-C og BH-F i Langsteindalen. Navn på hull vist ved start borhull

All kjernelegging er utført av ingeniørgeologer fra Sweco, og sammenstilt på notatform. Samtlige notater er samlet i vedlegg 8.

2.4 Analyser

Prøver fra kjerneborhull BH-D og BH-E er tatt fra bergmassen langs trasé for Forbordsfjelltunnelen. Prøver fra kjerneborhull BH-A er tatt langs tidligere trasé for tunnelen, som krysset under Langsteindalen, noe øst for endelig veglinje. Resultatene fra BH-A vurderes likevel som relevante da tunnelen ligger i samme bergart, og i samme område. Prøver fra blotning med konglomerat i Vuddudalen er tatt i nordre ende av den planlagte Høghåmmårtunnelen, (ikke relevant for Forbordsfjelltunnelen). Oversikt over prøvelokaliteter er gitt av figur 9.



Figur 9 Oversikt over prøvelokaliteter.

2.4.1 Mekaniske egenskaper

Det er utført analyser av mekaniske egenskaper for 5 prøver hos SINTEF. Analysene omfatter blant annet borsynkindeks (DRI), borslitasjeindeks (BWI) og enaksiell trykkfasthet (UCS).

Analysene og alle testverdier er presentert i detalj i prøvingsrapportene fra SINTEF (vedlegg 9). En kort sammenfatning av noen av de viktigste resultatene fremgår av tabell 4 under.

Tabell 4 Sammenstilling av et utvalg resultater fra analyser av mekaniske egenskaper.

	BH-D Holan 327-330 m Fyllitt	BH-E Seterkleiva 337-341 m Grønnstein	BH-E Seterkleiva 357,5-359,4 m Fyllitt	BH-A Langsteindalen 237-240 m Grønnstein	Blotning Vuddudalen Konglomerat
Borsynkindeks (DRI)	63 Høy	51 Middels	68 Høy	55 Middels	54 Middels
Borslitasjeindeks (BWI)	14 Meget lav	14 Meget lav	14 Meget lav	13 Meget lav	19 Meget lav
Enaksiell trykkfasthet (σ_c) [MPa]	56,5 Høy	135,1 Meget høy	- -	91,2 Høy	81,1 Høy
Densitet	2,77	2,95	2,79	2,96	2,82

I tillegg foreligger resultater fra en prøve av grønnstein fra Hammerkammen, omtalt i fagrapport ingeniørgeologi for Nordlandsbanen, dobbeltsporet Stjørdal – Åsen [11] se tabell 5.

Tabell 5 Resultat fra analyse bergmekaniske egenskaper for grønnstein fra Forsvarets lageranlegg ved Hammerkammen [11].

	Hammerkammen Fjellanlegg Grønnstein
Borsynkindeks (DRI)	60 Høy
Borslitasjeindeks (BWI)	18 Meget lav
Enaksiell trykkfasthet (σ_c) [MPa]	60 Høy
Densitet	2,89

2.4.2 Svellepotensiale

Det er gjort analyser (hos SINTEF) for å angi svelleegenskaper for 4 prøver med sleppmateriale fra sprekke- eller svakhetssoner. Det er utført separering av materiale < 20 m og påfølgende testing av fri svelling og svelletrykk ved konstant volum. Prøvene er tatt utelukkende fra kjerneborehull langs strekningen for Forbordsfjelltunnelen, henholdsvis borehull BH-D (Holan) og BH-E (Seterkleiva). Resultater i tabell 6 (vedlegg 9).

Tabell 6 Resultater fra svelletrykksanalysene av sleppmateriale.

	BH-D Holan 210-215 m	BH-D Holan 370-370,5	BH-E Seterkleiva 313,4 m
Fri svelling [%]	159 Høy	114 Middels	145 Høy
Svelletrykk [MPa]	0,24 Middels	0,17 Middels	0,18 Middels

2.4.3 Egnethet til vegformål

Det er utført tester for vurdering av steinmaterialets egnethet til vegformål. Levert steinmateriale er knust ned til riktig fraksjon i laboratoriet og testet for motstand mot slitasje (Micro Deval-koeffisient) og motstand mot knusing (Los Angeles-verdien). Resultater fremgår av tabell 7. Laboratoriearbeidene er utført delvis av NTNU og Veidekke Industri i løpet av andre halvår 2019.

I grus- og pukkdatabasen til NGU ligger det resultater fra testing av en bergartsprøve fra Hamran i Langsteindalen, litt nordøst for påhugget, se vedlegg 14. Prøven er analysert i 2007/2008 og bergarten er klassifisert som en grønnstein (vedlegg 14).

Tabell 7 Resultater fra testing av steinmaterialets egnethet til vegformål.

	BH-D ¹⁾ 86-99 m Fyllitt	BH-D ¹⁾ 351-363 m Fyllitt	BH-E ²⁾ Grønnstein	BH-A ¹⁾ 244-251,5 Grønnstein	Blotning ³⁾ Hamran Grønnstein	Blotning ²⁾ Vuddudalen Konglomerat
Los Angeles-verdi	16,6	17	16	11,4	12	15
Micro Deval-koeffisient	40	48	21	12	7	20

¹⁾ Analyser utført ved NTNU ²⁾ Analyser utført av Veidekke Industri. ³⁾ Analyser utført av NGU

2.4.4 Syredannende bergarter

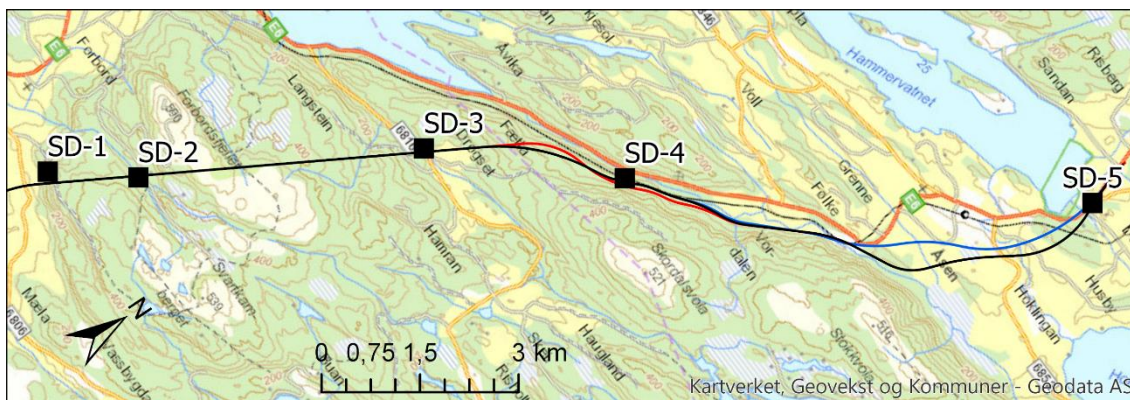
Det er utført analyse av 5 bergartsprøver for vurdering av syredannende potensiale, hvorav 2 prøver på strekningen for Forbordsfjelltunnelen og 2 for Høghåmmårtunnelen. Analysene er utført av ALS Norge. For detaljerte resultater og beregninger henvises til Sweco notat N0-GEOL-12, Vedlegg 13.

Prøvene som er analysert er tatt ut fra kjerneborehull og fra blotninger i dagen. En oversikt over prøvene fremgår av tabell 8, og lokalisering av sted for prøvetaking er vist i figur 10.

Tabell 8 Oversikt over analyserte prøver.

Prøve	Lokalitet	Bergart
SD-1	BH-D, Holan, 327-330 m	Fyllitt
SD-2	BH-E, Seterkleiva, 289-296 m	Grønnstein
SD-3	BH-A, Seterkleiva, 237-240 m	Grønnstein
SD-4	Vuddudalen, blotning	Konglomerat
SD-5	Åsen nord, eks. skjæring	Metasandstein

Prøvene SD-1 og SD-2 er lokalisert på strekningen for Forbordsfjelltunnelen og SD-3 er lokalisert på strekningen for Høghåmmårtunnelen (SD-4 er lokalisert nord for Høghåmmårtunnelen).



Figur 10 Plassering av prøvelokalitetene.

2.4.5 Vannkjemiske analyser

Det er i henhold til databasen Vannmiljø, utført to målinger av vannkemi i Langsteinelva. Målingene ble utført i 1986 og 1993 [12]. Parameterne som er målt er ledningsevne, pH, termotolerante koliforme bakterier, totalnitrogen og totalfosfor. Resultatene er vist i tabell 9.

Tabell 9 Resultater fra vannprøver tatt i Langsteinelva i 1986 og 1993. Tabellen presenterer gjennomsnittsverdier. Det ble i 1986 utført tre målinger, mens det i 1993 ble utført to målinger. Data er hentet fra databasen Vannmiljø hos Miljødirektoratet [12].

Parameter	Enhet	1986	1993
pH		7,4	7,6
Ledningsevne	mS/m	8,0	87,5
Termotolerante koliforme bakterier	antall/100 ml	170	125
Totalnitrogen	µg/l N	576,7	340,0
Totalfosfor	µg/l P	17,7	11,0

Det er tatt vannprøve av vannet som renner ut av kjerneboringshull BH-D ved påhugg sør på Holan. Hullet er tilnærmet horisontalt og har lengde 452 m. Vannprøven ble tatt 5. juni 2019. Analyseresultatene er presentert i tabell 10, mens original analyserapport fra Eurofins fremgår av vedlegg 16.

Tabell 10 Analyseresultater fra vannprøven tatt fra kjerneboringshull BH-D ved påhugg sør, Holan.

Parameter	Resultat	Enhet
Syrenøytraliserende kapasitet (ANC)	4500	µekv/l
Kalium (K)	2,0	mg/l
Natrium (Na)	93	mg/l
pH målt ved 23 +/- 2°C	8,7	
Konduktivitet ved 25°C (målt ved 23 +/- 2°C)	50,8	mS/m

Parameter	Resultat	Enhet
Turbiditet	0,37	FNU
Fargetall	<2	mg Pt/l
Fluorid (F)	0,56	mg/l
Klorid (Cl)	14	mg/l
Sulfat (SO ₄)	33,5	mg/l
Nitrat (NO ₃ -N)	16	µg/l
Arsen (As)	2,7	µg/l
Bly (Pb)	0,019	µg/l
Kadmium (Cd)	< 0,0040	µg/l
Aluminium (Al)	34	µg/l
Hardhet	4,2	°dH
Jern (Fe)	24	µg/l
Mangan (Mn)	14	µg/l
Kalsium (Ca)	20	mg/l
Magnesium (Mg)	6,3	mg/l

2.5 Kvartærgeologisk beskrivelse

Aktuelle visninger fra kvartærgeologisk kart fra NGU er sammenstilt i vedlegg 3.

Ved påhugg sør på Holan viser kart fra NGU at det er sammenhengende hav- og fjordavsetninger, blant annet med skredmasser fra kvikkleireskred. Nord for Holvegen skal løsmassene ha mindre mektighet. Et borepunkt ca. 60 m sør for forskjæringen viser 25 m løsmassemektighet, og det er påvist kvikkleire. Det er bart berg i en bergskjæring inntil Holvegen og på jordet rett nedenfor vegen, ellers ingen blotninger i selve påhuggsområdet. Grunnboringer viser at mektigheten av løsmasser sør for Holvegen er mellom 1 til 3 m, i selve påhuggsområdet er det i størrelsesorden 1 til 2 m til berg. Massene er fast lagret leire. På jordene nord for Holvegen viser boringene mellom 5 og 9 meter til berg over tunneltraseen. Også her er det leire, men med mindre fasthet enn ved påhugget, og i overgangen mot bergoverflaten er det vannmettet silt.

Terrenget stiger på opp mot en fjellskrent i Hollberga, mellom ca. kote 200-300. Nedenfor skrenten er det angitt på kartet fra NGU at det er tynt eller usammenhengende dekke av forvitningsmateriale. Basert på observasjoner fra befaring i felt kan det også være noe skredmateriale.

Marin grense ligger på ca. kote 175. Det vil si at det ikke er marine avsetninger i terrenget over tunneltraseen mellom ca. profil 1850 og 7200. I terrenget over tunneltraseen består løsmassene hovedsakelig av morene med varierende tykkelse. I områder med tykt dekke (> 0,5 m) er det gjerne myrområder.

Over den nordligste delen av tunneltraseen (nord for Holelva) er det lite løsmasser, bart fjell og humus eller tynt torvdekke rett på berg.

Ved påhugg nord, Langsteindalen, er det ifølge kvartærgeologisk kart fra NGU tynt eller usammenhengende dekke av morene. Tykkelsen er normalt < 0,5 m men kan lokalt være mer. Det er også mindre områder med humusdekke/tynt torvdekke over berggrunnen. Dette stemmer godt med observasjoner i terrenget i forbindelse med ingeniørgeologisk kartlegging av påhuggsområdet. I dalbunnen på Langsteindalen er det ifølge kartene hav- og fjordavsetninger. I tillegg er det masser fra kvikkleireskred. Grunnundersøkelser bekrefter dette. Mektighet varierer fra 3-9 meter nær Langsteinvegen, økende mot nord til over 20 meter ved Hammermoen. Boring ca. 40-50 m nord for forskjæring i øst viser kvikkleire i 2-7 m dybde.

For detaljer vedrørende løsmasseforholdene i prosjektområdet henvises til fagrapport geoteknikk, R1-GEOT-09 [18].

2.6 Bergartsbeskrivelse

Bergartene i prosjektområdet er omdannede (metamorfe) bergarter overskjøvet under den Kaledonske fjellkjedefoldingen. Bergartene er en del av Undre Hovingruppe i Størendekket som består av omdannede sedimentære og vulkanske bergarter med antatt alder fra Ordovicium til tidlig Silur.

Forbordsfjelltunnelen skal drives gjennom to hovedbergarter; fyllitt i sør og grønnstein i nord. Borehull BH-D er boret fra Holvegen og tilnærmet parallelt med tunnelen i 450 meters lengde, og ligger i sin helhet i fyllitt. Overgangen mellom fyllitten og grønnsteinen antyder en skyvesone med antatt fall 10-30° mot nordøst, i området mellom Holan og Seterkleiva. I forbindelse med denne overgangen er det stedvis lag av kalkstein med varierende mektighet. I borehull BH-E ved Seterkleiva er mektigheten på kalksteinslaget ca. 4 m i overgangen mellom fyllitt og grønnstein. De nederste 1,5 m i borehullet var fyllitt. Kjernelogg i vedlegg 8. I dagen er kalkstein observert om lag 500 m vest for traseen i form av en bergskrent med høyde ca. 10 m. Det er ikke observert kalkstein i overgangen mellom fyllitt og grønnstein i området over traseen, men grønnsteinen er tilsynelatende kalkholdig (bruser med HCl).

Stedvis i grønnsteinen er det lag og linser av metadioritt og keratofyr/keratofyragglomerat. I kjernene fra borehull BH-E ved Seterkleiva er det i tillegg kartlagt partier med kvartsitt og tektonisk breksje. Områder angitt som grønnstein på ingeniørgeologisk kart (vedlegg 2) innbefatter også lag og linser av metadioritt, keratofyr, kvartsitt og tektonisk breksje.

Fyllitten har en utpreget foliasjon med fall ca. 30° mot nordøst (langs tunnelens lengdeakse). Fra berggrunnskartet til NGU er bergarten ved Holan angitt som fyllitt eller leirskifer med tynne lag av metasandstein (gråvakke). I påhuggsområdet er det angitt et bånd med metasandstein og leirskifer eller fyllitt i veksling. Metasandsteinen/leirskiferen er observert i bergskjæringer ved Holan. Denne er observert som foldet og skifrig med vekslende avsetningslag (figur 11).



Figur 11 Metasandstein/leirskifer ved Holan viser vekslende avsetningslag.

Det er registrert mindre karstyttringer/anastomose i kalksteinen øst for traseen (informasjon fra geolog Terje Solbakken ved NTNU), men dette er ikke observert over traseen eller i borehull BH-E.

2.7 Bergmassebeskrivelse

2.7.1 Oppsprekking

Oppsprekkingen i området for Forbordsfjelltunnelen følger i hovedsak 3-4 sprekkesett samt sporadiske sprekker (sprekkerose og stereoplott i vedlegg 5).

Hovedsprekkesettene for Forbordsfjelltunnelen:

1. N60-70°V/30°NØ (foliasjon)

Oppsprekking langs foliasjonen til fyllitten og er ikke et definert sprekkesett i grønnsteinen. Sprekkeavstand registrert i bergblotninger er stedvis liten, ca. 0,05-0,1 m. Sprekkeplan er typisk glatte og plan/bølget.

2. N30-50°Ø/60°NV-60°SØ

Relativt steilt sprekkesett med varierende fall. Mest utpreget i grønnsteinen. Typisk sprekkavstand 0,3-2 m. Observerte sprekkplan er i hovedsak irregulære og bølget. Sprekkeflater har en ru karakter, stedvis med noe overflateforvitring.

3. N0-20°V/80°NØ-60°SV

Mest utpreget i fyllitten. Varierende sprekkavstand, typisk 0,5-1 m.

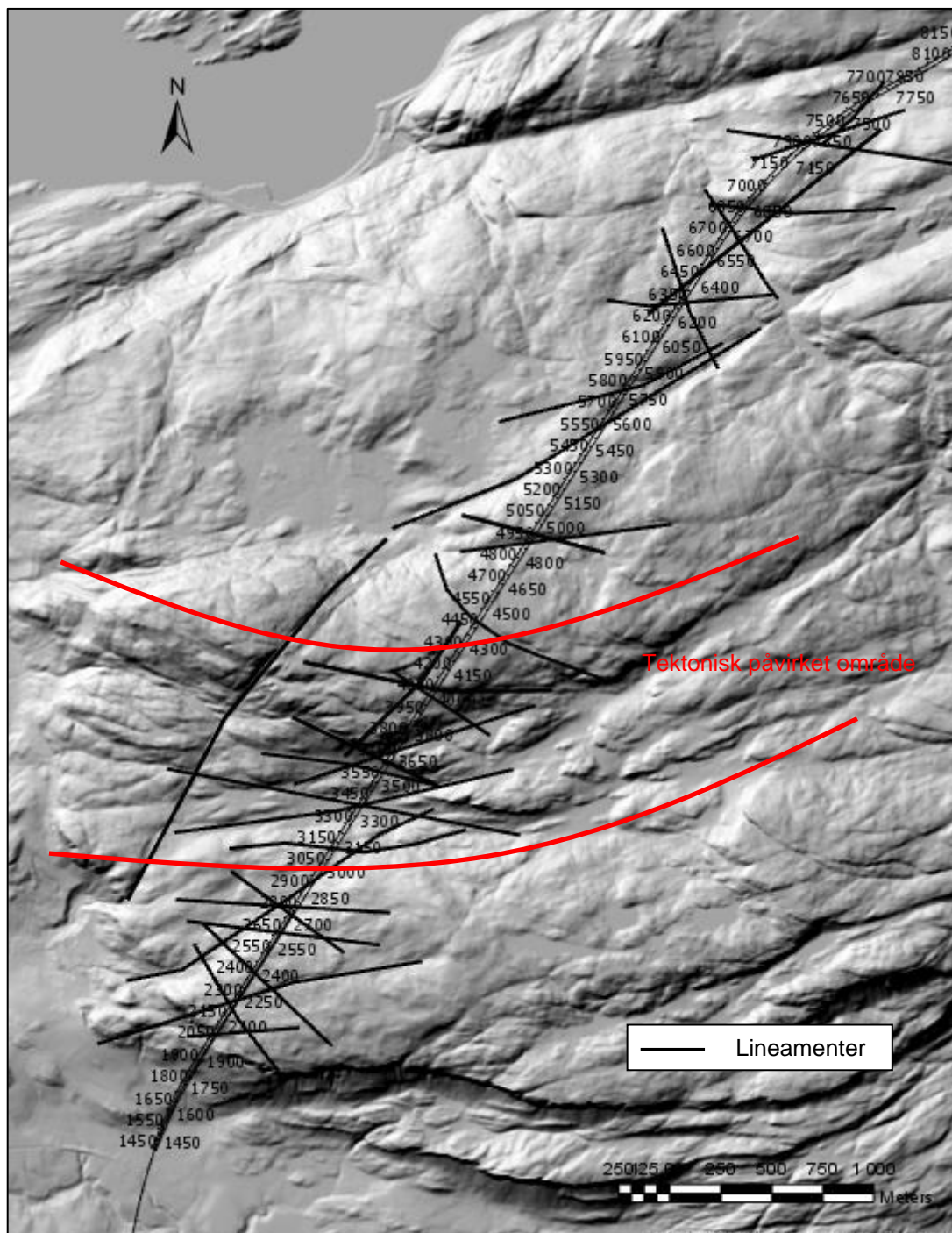
4. N50-70°Ø/60-80°NV

Typisk sprekkavstand 0,5-1 m. I hovedsak irregulære og bølgede sprekkplan med ru overflate.

2.7.2 Lineamenter

Det er identifisert 33 lineamenter med nærhet til traseen og med en størrelse som tilsier at det vil kunne påvirke bergmassekvaliteten i tunnelen dersom de representerer svakhetssoner.

Lineamenter er søkk og depresjoner i terrenget med en gitt utstrekning. Identifisering av lineamenter er utført ved hjelp av topografiske kart og fjellskyggekart (figur 12). Lineamentene er nummerert og angitt med tolket fall i ingeniørgeologisk kart (vedlegg 2).



Figur 12 Lineamenter i området for Forbordsfjelltunnelen.

Området ved Seterkleiva (ca. profil 3000-4300) er mer tektonisk påvirket enn øvrige områder langs traseen. Flere av de mest fremtredende lineamentene er registrert i dette området (figur 12). Lineamentenes orientering varierer, men de fleste krysser tunneltraseen relativt vinkelrett, noe som

er gunstig i forhold til en eventuell svakhetssones utbredelse i tunnelen. Ytterligere informasjon om lineamentene og tolkning av svakhetssoner er gitt ikap. 3.1.2.

2.7.3 Bergmassens konduktivitet og karst

Bergmassens konduktivitet

Vanntapsmålinger (vanninnpressingsforsøk) er utført i kjerneborhullene. Beregning av Lugeon-verdi er gjort ved å måle vanntap per meter borehull. Generelt er vanntapsmålingene utført i seksjoner på 6-7 m. 1 Lugeon tilsvarer en permeabilitet i området 10^{-7} m/s. Borehullene BH-D (Holan) og BH-E (Seterkleiva) er boret i tunneltraseen, men også BH-A (Langstein) kan anses som representativ for nordre del av Forbordsfjelltunnelen.

Borehull BH-D (Holan) er boret i fyllitt. Det er ikke utført vanntapsmålinger, men kun målt vanninntrengning ved start av hvert arbeidsskift. Tallverdiene er angitt i boreloggen fra utførende entreprenør. Dette ga økende innlekkasje fra 2 til 12 l/min etter hvert som hullet ble lengre (GEOL-10, vedlegg 8). Det var en økning i utlekkasjen på 3 l/min fra 410-440 m. Hullet er tilnærmet horisontalt og har lengde 452 m. Målt utlekkasje fra hullet ved startpunktet er målt med bøtte til ca. 12 l/min (2,65 l/min/100m) ved ferdigboret hull.

Borehull BH-E er boret fra Seterkleiva ved Forbordsfjellvegen. Borehullet er hovedsakelig boret i grønnstein med innslag av kalsitt. Hullet er ca. 360 m langt. Fra ca. 343-357 m er det en kalkrik overgangssone der bergarten går fra grønnstein til fyllitt. Vanntapsmålinger er utført fra 200-360 m. Målingene ga Lugeon-verdier mellom 2,9 og 5,3 L i grønnsteinen, mens verdiene sank fra 2,8-1,8 L gjennom den kalkholdige overgangssonen og over til fyllitt (GEOL-13, vedlegg 8). BH-E er boret i et område med flere kryssende lineamenter som antas å utgjøre svakhetssoner.

Borhull BH-A er boret i grønnstein på nordsiden av Langsteindalen, vest for Forbordsfjelltunnelen. Boringen kan likevel anses som representativ for grønnsteinen i den nordlige delen av tunnelen. Kjernene viser lav til moderat oppsprekingsgrad og svakhetssonene består av oppsprukne partier på typisk 0,5-2 m tykkelse (GEOL-07, vedlegg 8). Vanntapsmålingene i hullet er utført over 7 m lange seksjoner. Lugeon-verdiene varierer fra $L = 0$ til $L = 3,14$, men generelt ligger verdiene mellom $L = 0$ og $L = 0,7$. Intervallet fra 199-248 m fremstår som mest permeabelt. Her måles også de høyeste Lugeon-verdiene, og alle er > 1 . Partiet 217-230 sammenfaller delvis med spesielt lav Q-verdi.

Innlekkasjene og Lugeon-verdiene angitt i boreloggene fra utførende entreprenør, er benyttet for å beregne absolutt permeabilitet og hydraulisk konduktivitet (Kapittel 3.2.3).

Kalk og karstdannelse

Kalkstein er påvist ved Holan i overgangen mellom grønnstein og fyllitt som har utgående på kote ca. 270 i fjellskråningen nord for påhugget på Holan. Forekomsten (Holan kalksteinsbrudd) er avmerket i industrimineraldatabasen (www.ngu.no). Bruddet har en mektighet på ca. 25 m. Kalksteinen er mørk grå og nokså uren. Forekomsten blir betegnet som utdrevet, selv om det står igjen kalkstein på begge sider.

I det samme laget og i samme høyde som bruddet, er det funnet små karstyttringer noen hundre meter øst for tunnellinja. Kjernene fra borhull BH-E (boret fra Seterkleiva) viser tynne kalklag i grønnsteinen. Kalkinnholdet varierer stort sett fra 0-5 %. I bunn av borehull BH-E ble det påvist en overgangssone på ca. 15 m med mer kalkholdig grønnstein og fyllitt. Sonen var ikke karstifisert og hadde en lavere Lugeon-verdi enn overliggende grønnstein.

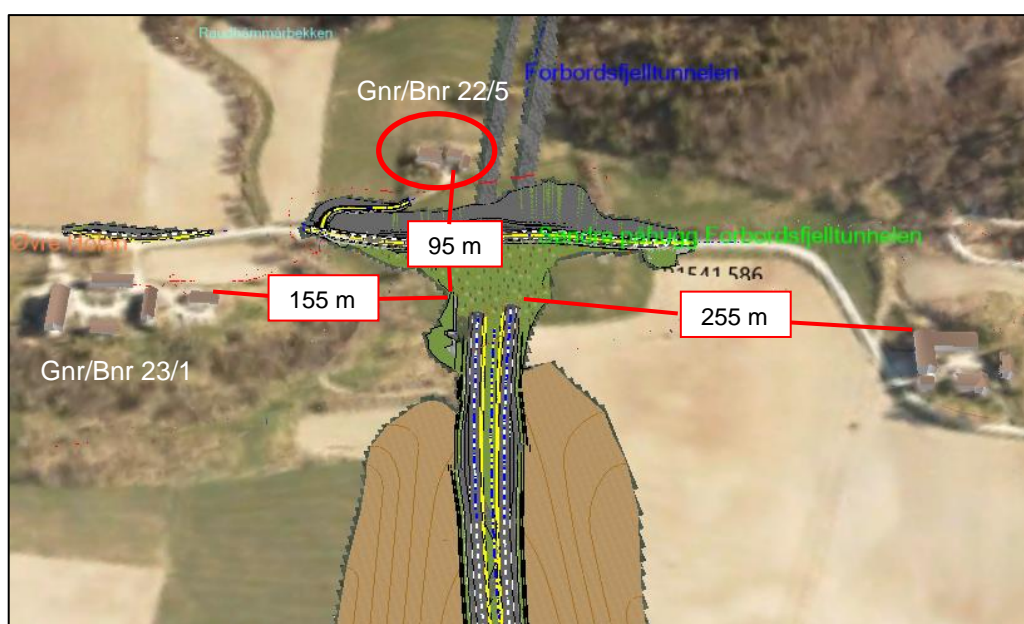
I det horisontale hullet ved påhugget, borhull BH-D, ble det ikke funnet kalkhorisonter (tykkelse > 1 m), selv om den finkornete fyllitten har tynne kalkslirer (1-10 mm) langs hele borhullet. Utbredelse av kalksteinen under grønnsteinen er ukjent, men en større utbredelse kan ikke utelukkes.

Borkjernene fra det to ovennevnte hullene gir ikke grunnlag for å anta at det er karst i tunnelnivå. Geologer ved NGU (Agnes Raaness) og NTNU (Terje Solbakk) har også uttrykt at det er små sjanser for karst i tunnelen.

2.8 Omgivelser

2.8.1 Bebyggelse

Nærmeste bebyggelse til forskjæring på Holan er en driftsbygning tilknyttet Øvre Holan, Gnr/Bnr 23/1. Avstand til forskjæring er ca. 150 meter. Eiendommen med adresse Holvegen 161, Gnr/Bnr 22/5, er den boligen som ligger nærmest selve tunnelen, med avstand ca. 40 m. Avstand til forskjæringen er ca. 95 meter. På figur 13 nedenfor er avstandene angitt.

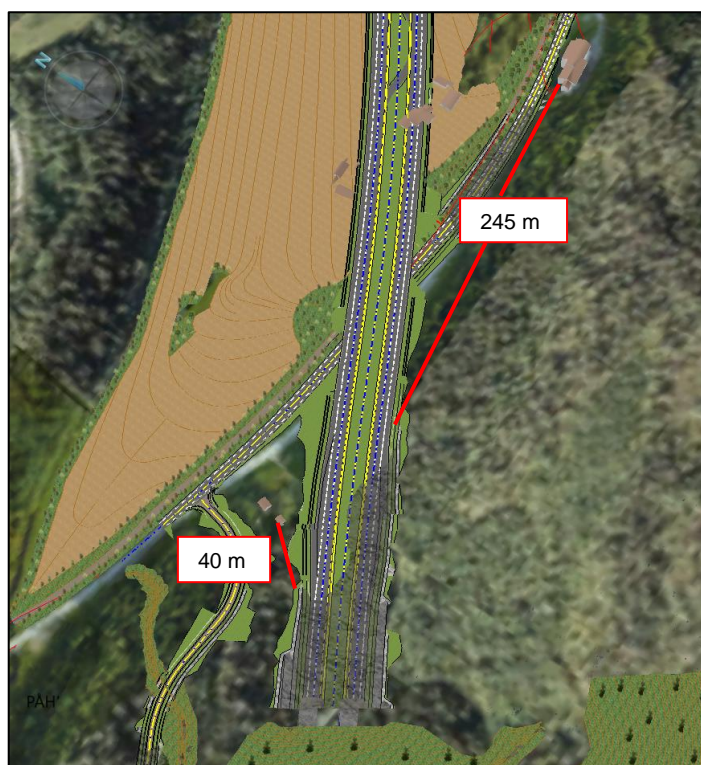


Figur 13 Påhugg sør, Forbordsfjelltunnelen. Avstander fra forskjæring til nærmeste bebyggelse. Boligen med Gnr/Bnr 22/5 (Holvegen 161) angitt med rød sirkel ligger i kort avstand (< 50 m) fra tunneltraseen. Skjermdump fra Quadrimodell 16.4.2020.

Tunnelen ligger under jomfruelig terreng, det er ingen bebyggelse i terrenget over traseen. Ved Hammerkammen, rett øst for tunneltraseen ved ca. profil 6800, ligger det lagerbygg tilknyttet Forsvarets lageranlegg i fjell. Korteste horisontal avstand i fra tunneltrasé til bygningene er ca. 650 m. Sweco er ikke kjent med andre anlegg i berg i nærheten av planlagt tunnel.

I Langsteindalen er de fleste bygningene i nærheten av påhugg nord, Forbordsfjelltunnelen, innløst av Nye Veier og skal rives. Unntaket er Langsteinvegen 270, Gnr/Bnr 2/6 og 3/2, en enkel koielignende bygning som Sweco er opplyst om at kun benyttes sporadisk. Det er foreløpig ikke avklart om denne eiendommen skal innløses av prosjektet. Også samfunnshuset med adresse Langsteinvegen 308, Gnr/Bnr 4/2, vil bli stående. figur 14 nedenfor viser korteste avstand til disse

bygningene. Kortest er avstanden til Langsteinvegen 270 som ligger ca. 40 meter fra forskjæringen. Minste avstand til samfunnshuset er 245 meter.



Figur 14 Påhugg nord, Forbordsfjelltunnelen. Avstander fra forskjæring til bebyggelse som ikke er innløst og skal rives. Skjermdump fra Quadrimodell 16.4.2020.

2.8.2 Brønner, oppkommer, tjern og myrer

Det er bare registrert én brønn i GRANADA (den nasjonale grunnvannsdatabase) [35] som ligger i nærheten av vegtraseen og tunnelen gjennom Forbordsfjellet. Energibrønnen ligger på gården Øvre Holan (ID 94577), vest for påhugget ved Holan. Den er 210 m dyp og er antatt å gå ned til ca. kote -135. Det er angitt at brønnen har vanninnslag på 50-500 l/time, nøyaktig kapasitet er ikke angitt. Dyp til fjell i borepunktet er 4,5 m. Sweco er opplyst at eiendommen med Gnr/BNr 22/5 som ligger rett nord for søndre påhugg har vannforsyning fra et oppkomme like nordvest for bygningene.

Det er ikke observert noen oppkommer i terrenget over tunneltraseen, men det er en del bekker som iht. topografisk kart dukker opp i terrenget uten at det er en klar kilde i form av et vann eller et myrområde. En del av disse kan ha sitt utspring i et oppkomme eller kildehorisont, muligens kombinert med små våtmarksområder/myrer som ikke er tegnet inn på topografisk kart.

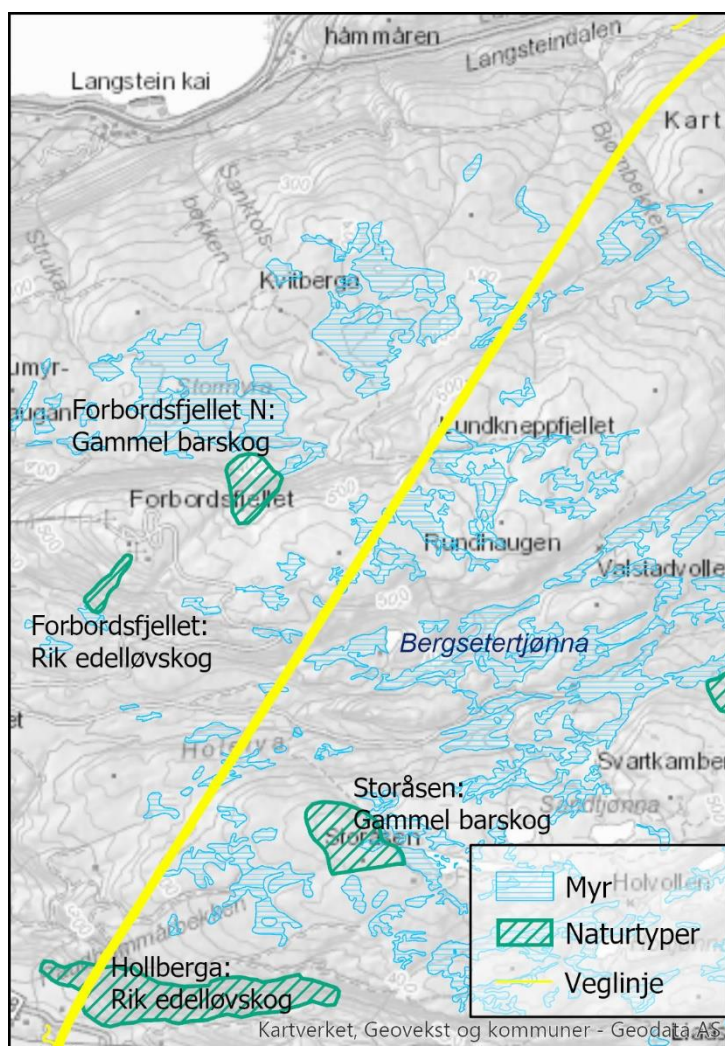
Tunneltraseen ligger ikke i nærheten av noen vernede vassdrag. De største elvene i området er Holelva (profil ca. 3250) og Langsteinelva (profil 8450). Sistnevnte krysser ny E6 i dagsonen i Langsteindalen. I tillegg til de to elvene krysser tunneltraseen under flere større og mindre bekker som gjerne følger forsenkninger i terrenget. Disse er listet i tabell 11.

Tabell 11 Oversikt over bekker og elver som krysser tunneltraseen gjennom Forbordsfjellet. Angitt profilnummer gjelder der bekk/elv krysser over tunneltraseen i terrenget.

Bekk/elv	Profil	Beskrivelse
Raudhåmmårbekken	2150	Bekken følger en forsenkning i terrenget
Bekk	2650	Kommer fra Bjørkåsmyra. Følger en forsenkning i terrenget.
Holelva	3250	Stor elv. Følger forsenkninger i terrenget som krysser tunnelen i samme område.
Bekkesig	3600	Følger et lineament med retning NØ-SV. Lineamentet treffer Bergsetertjønnna
Bekkesig	3700	
Bekk	3950	Følger et lineament med retning NNV-SSØ. Lineamentet treffer Bergsetertjønnna.
Bekk	4850	Bekken kommer fra et myrområde med et lite tjern og følger et lineament nesten Ø-V mot Stormyra vest for tunneltraseen. Herfra fortsetter bekken som elva Struka og renner ut ved Langstein kai.
Bekk	6250	Ser ut til å starte her. Har muligens sitt utspring i myrområdet på østsiden av tunneltraseen. To forsenkninger krysser i samme område.
Bjørnebekken	6700	Følger et lineament med retning NNV-SSØ.
Bekk	7600	Ved påhugget i langsteindalen. Markert bekkekryss.

Det er myrområder flere steder over og til side for tunneltraseen (figur 15). To områder er markert nord for Forbordsfjellet, og to er markert sørøst for Forbordsfjellet og Lundkneppfjellet (miljøstatus.no). Tunneltraseen ligger mellom disse fire myrområdene med tilhørende vassdrag. Stort sett har områdene mer enn 300 m avstand horisontalt fra tunneltraseen. Det er ikke utført kartlegging av naturtyper knyttet til myr i dette området. Berggrunnen i området består av grønnstein som kan gi potensiale for rikere områder med vegetasjon, slik som den viktige naturtypen rikmyr i høyereliggende strøk. I tillegg til disse myrområdene ligger tunnelen under Bjørkåsmyra (ved profil 2500) og flere andre små og store myrer. Vegetasjon er ytterligere beskrevet i fagrapport ytre miljø [21].

Bergsetertjønnna øst for tunneltraseen, er en del av våtmarksområdene beskrevet over. Tjernet ligger øst for profil 3850. Korteste horisontale avstand fra tjernet til tunnelen i luftlinje, er ca. 280 m.



Figur 15 Kart som viser myrområder og naturtyper over og til siden for tunneltraseen gjennom Forbordsfjellet. Data hentet fra miljøstatus.no [38].

2.8.3 Ytre miljø

Det henvises til fagrapport for ytre miljø for detaljer knyttet til ytre miljø [21]. Nedenfor følger en sammenstilling av de viktigste forholdene.

Landbruksareal

Forbordsfjelltunnelen vil kun berøre landbruksareal ved selve påhugget i sør. Over tunnelen er det skogsareal.

Naturmangfold

Det er registrert flere naturtyper med ulik nærhet til planlagt tunnel (figur 15):

- Ved påhugget i sør, Hollberga, ca. profil 1700-1900. Rik edelløvskog med verdi A. Verdiene i naturtypen knyttes til den kalkrike berggrunnen..
- Storåsen, yttergrense ca. 520 m  st for profil 3000. Gammel barskog med C-verdi. Verdiene i naturtypen knyttes til gammel skog.

- Forbordsfjellet, ca. 840 m nordvest for profil 3600. Rik edelløvsskog, med B-verdi. Verdiene i naturtypen knyttes til den kalkrike berggrunnen.
- Forbordsfjellet nord, ca. 500 m nordvest for profil 4400. Gammel barskog, med C-verdi. Verdiene i naturtypen knyttes til gammel skog.

Det er myrområder flere steder langs planlagt tunneltrasé. Det er potensiale for rikmyr og andre naturtyper knyttet til myr.

Kulturminner

Det er registrert flere kulturminner i området basert på miljøstatus.no [38]. I forhold til Forbordsfjell-tunnelen er de mest sentrale funnene to gravfelt ved Øvre Holan. I tillegg er det ved Hollan Østre gjort øksefunn på to steder i åkeren.

Ved Raudhåmmåren er det registrert et løsfunn av celt i jern.

2.9 Naturfare

2.9.1 Påhugg sør, Holan

Ifølge aktsomhetskart fra NGU [36] er det angitt løснеområder for steinsprang i de brattere skrentene i fjellsiden opp mot Raudhåmmåren og Bjørkåsen, over ca. kote 120. Helningen på terrenget er ca. 35-40°. Utløpsområdet strekker seg ned til Holvegen, og påhuggsområdet ligger omtrent i ytre avgrensing av dette.

Tilsvarende er det på aktsomhetskart angitt utløsningsområder for snøskred i fjellsiden nord for påhugget. Utløpsområdet strekker seg lenger sørover enn for steinsprang, slik at hele påhuggsområdet og vegen sør til ca. profil 1400 havner innenfor dette.

Aktsomhetsområde for flom- og sørpeskred følger ned fra Bjørkåsen langs Raudhåmmårbekken (litt vest for påhugg/forskjæring) samt langs et løp som synes å avgreine seg fra en bukt i samme bekk ved kote ca. 330 til 360. Sistnevnte gir et forløp/aktsomhetsområde som følger mer direkte ned terrenget, ikke langs forsenkning eller bekkeløp.

Aktsomhetskart for de ulike skredtypene er sammenstilt i vedlegg 6.

I skreddatabasen til NVE (skrednett.no) er det 2 registrerte skred på Holvegen innenfor en avstand på ca. 250 m fra påhugget, se figur 16 (eller vedlegg 6). Det er lite informasjon om disse skredene i databasen, annet enn at det er løsmasseskred med volum < 100 m³. Terrenget på oversiden av vegen ved den vestligste registreringen er slakt (ca. 15°). Ved den østligste registreringen er det en skjæring i løsmasse på oversiden av Holvegen.



Figur 16: Utsnitt fra skreddatabasen til NVE, skrednett.no. Det er 2 registrerte løsmasseskred ved påhuggsområde sør, Holan.

2.9.2 Påhugg nord, Langsteindalen

De siste 200 m før påhugget i Langsteindalen har terrenget over traseen en helning på ca. 10°. Terrenget er hovedsakelig tett vegetert med mye stor granskog og bakken er dekket av et tynt løsmassedekke.

Aktsomhetskart fra NGU angir ingen utløsningsområder for steinsprang eller for flom- og sørpeskred i påhuggsområdet.

To utløpsområder for snøskred er angitt der terrenget er brattere, mellom kote 170 til 220 sørøst for påhuggsområdet. Helningen på terrenget er her inntil 45 grader, men hovedsakelig mellom 20 til 35 grader. Avstand fra vegen til utløsningsområdet er ca. 200 m. Utløpsområdet strekker seg forbi påhugget og videre nordover, og krysser vegtraseen mellom profil 7550 til 7900.

Det er ingen registrerte skredhendelser i nærheten av påhuggsområdet i Langsteindalen.

3 Tolkningsdel, ingeniørgeologiske vurderinger

3.1 Stabilitet

3.1.1 Bergartsgrenser

Berggrunnskart fra NGU angir metasandstein og leirskifer eller fyllitt i veksling i sørlig del av tunneltraseen. BH-D krysser dette partiet og bergarten er kartlagt som leirskifer/fyllitt. Med bakgrunn i dette er det tolket at det ikke vil opptre klare bergartsskiller i dette området slik som plankartet kan indikere. Bergartene fyllitt, leirskifer og metasandstein vil trolig forekomme i veksling med fyllitt/leirskifer som dominerende bergart. Dette fremkommer også av bergartsbeskrivelsene i kartet fra NGU.

Bergartsgrensen mellom fyllitt og grønnstein er kartlagt av Sweco i området over tunneltraseen (se vedlegg 2). Den kartlagte grensen ligger om lag 40 meter sør for grensen i plankartet til NGU. I lengdesnittet i vedlegg 2 er bergartsgrensen tolket mot dypet basert på kartlagt grense i dagen med tilhørende strøk/fall målinger. Dette er sammenholdt med kartlagt bergartsgrense i bunn av BH-E. Disse registreringene indikerer at grensen har en slakere fallvinkel mot dypet. Dette underbygger tolkningen om at området strukturgeologisk er en del av en synklinal.

Partier med metadoritt i plankartet er tolket som synklinaler mot dypet basert på den strukturgeologiske forståelsen av området. Dette støttes også delvis av kartlagt bergart i BH-E. Det presiseres at dette er en forenklet tolkning og at det etter all sannsynlighet vil forekomme metadoritt i veksling med grønnstein også i tunnelnivå selv om dette ikke fremkommer av lengdesnittet.

3.1.2 Svakhetssoner

Lineamenter som tolkes å representere svakhetssoner som kan påvirke bergmassekvaliteten i tunnelnivå er beskrevet i tabell 12. Fallretning mot dypet er tolket basert på hvordan utgående krummer i hellende terreng, strukturgeologiske tolkninger i berggrunnskart 1622-2 Frosta [31] og stedvis fra strøk/fall målinger på sprekkeseett.

Mektighet på svakhetssoner er i hovedsak tolket basert på hvor fremtredende lineamentene er i terrenget.

Tabell 12 Kartlagte lineamenter over Forbordsfjelltunnelen.

Nummer	Antatt fall [°]	Antatt mektighet [m]	Krysser tunnel ved ca. profilnummer	Kommentar
1	10-30	20	2650	Skyvesone/bergartsgrense
2	75	5	2080	
3	45	5	2450	
4	75	5	2330	Raudhåmmårbekken
5	45	5	2660	
6	70	5	2720	
7	90	5	2670	Bekkeløp
8	70	5	2870	
9	45	10	3500	
10	80	5	3010	
11	80	30	3270	Holelva

Nummer	Antatt fall [°]	Antatt mektighet [m]	Krysser tunnel ved ca. profilnummer	Kommentar
12	70	25	3460	
13	70	15	-	
14	80	10	3570	
15	80	10	3620	
16	70	15	3840	
17	90	5	3950	Bekkeløp
18	85	5	4030	
19	80	5	-	
20	80	5	4460	Bekkeløp
21	90	5	4850	Bekkeløp
22	80	5	4970	
23	60	20	5050	Bekkeløp
24	70	10	5560	
25	70	5	6130	
26	80	5	6210	
27	70	5	-	Bekkeløp
28	70	5	6600	Bjørnbekken
29	80	5	6650	
30	70	5	6730	
31	70	5	7210	
32	80	5	7240	
33	80	5	7560	

3.1.3 Sikringsbehov tunnel

Bergmassekvaliteten er klassifisert etter Q systemet og det er gjort et grovt anslag på forventet fordeling av bergmasseklasser langs tunneltraseen. Til grunn for anslaget er kartlagte blotninger i dagen, logger fra kjerneborehull og tolket fall og mektighet på antatte svakhetssoner.

Bergmasseklassene korresponderer med sikringsklasser beskrevet i håndbok N500 [5]. Antatt fordeling av bergmassekvalitet er gitt av lengdeprofil i vedlegg 2. Denne er oppsummert i tabell 13.

Tabell 13: Grovt anslag på forventet fordeling av bergmasse- og sikringsklasser i Forbordsfjelltunnelen.

Bergmasseklasse	Q-verdi	Betegnelse	Sikringsklasse	Andel av tunnelen [%]
A/B	10-100	Veldig god/god	I	24
C	4-10	Middels	II	33
D	1-4	Dårlig	III	26
E	0,1-1	Veldig dårlig	IV	15
F	0,01-0,1	Ekstremt dårlig	V	2
G	<0,1	Eksepsjonelt dårlig	VI	0

For beregning av sikringsmengder er tabell 6.1 fra håndbok N500 lagt til grunn [5]. Denne er gjengitt i tabell 14.

Tabell 14 Tabell 6.1 fra håndbok N500. Sammenheng mellom bergmasseklasser og sikringsklasser.

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

Stabilitetssikringen baserer seg på bolter, fiberarmert sprøytebetong og armerte sprøytebetongbuer. For Q-verdier over 0,2 benyttes en kombinasjon av bolter og fiberarmert sprøytebetong. Boltemønster og sprøytebetongtykkelse varierer med sikringsklassene. Sprøytebetong skal i henhold til N500 påføres ned til minimum kjørebanelivå. I sikringsklasse I kan behovet for systematisk bruk av sprøytebetong vurderes.

Boltelengder for en tunnel med tverrsnitt T10,5 bør være minimum 4 meter fra vederlag til vederlag og 3 m i vegger. I forbindelse med breddeutvidelser og nisjer vil det være aktuelt med inntil 6 meter lange bolter fra vederlag til vederlag. Lengre bolter enn anbefalt i Q-diagrammet må vurderes ved lokal og ugunstig sprekkegeometri eller ugunstig spenningsanisotropi i tunnelen.

Ved kryssing av svakhetssoner må det påregnes at det kan bli behov for forbolting, injeksjon, reduserte salvelengder og sikring med sprøytebetongbuer. Hvis det påtreffes større leirsoner under driving bør det utføres laboratorietester for å undersøke leirens egenskaper som svelletrykk o.l. Armert sålestøp og gitterbuer kan være aktuelt i forbindelse med kryssing av svært krevende svakhetssoner. Reduserte salvelengder skal ifølge N500 benyttes senest fra og med sikringsklasse IV (Q<1).

Estimerte sikringsmengder er oppsummert i tabell 15 (gjelder samlet for begge tunnellop). Tverrforbindelser er medregnet. Breddeutvidelser for nisjer, tekniske rom og forskjæringer er ikke med i mengdeanslaget.

Tabell 15 Estimerte sikringsmengder for Forbordsfjelltunnelen (gjelder samlet for begge tunnellop).

Sikringsmiddel	Anslått mengde	Pr. løpemeter tunnel
Bolter [stk]	60 000	4,96
Sprøytebetong E700 og E1000 [m ³]	38 000	3,14
Armerte sprøytebetongbuer [stk]	300	0,025
Forbolter [stk]	3 800	0,31

Forbolter, eller spiling, under tunneldriften benyttes for å sikre spesielt hengstabiliteten under driving. Boltene inngår ikke som en del av permanent sikringen. Mengder er imidlertid inkludert i prognosen. Det er forutsatt bruk av forbolter i sikringsklasse V og VI i kombinasjon med armerte sprøytebetongbuer installert på stoff. I sikringsklasse V er antall forbolter beregnet med c/c 0,25 m, salvelengde 2,5 m og forbolting i 50 % av profilet. Det er i tillegg antatt at 75 % av sprøytebetongbuene installeres på stoff og at det benyttes forbolter i forbindelse med 75 % av sprøytebetongbuene som installeres på stoff.

3.1.4 Bergspenninger

Det er ikke observert bergspenningsytringer i bergskjæringer eller dalsider ved ingeniørgeologisk kartlegging i prosjektområdet, og det er ikke kjent fra anlegg i området at høye bergspenninger har vært en utfordring. Tunnelen vil få bergoverdekning på opp mot 500 meter, og for store deler av tunnelen vil overdekning være mellom 200 og 400 meter. En bergoverdekning over 400 m kan være tilstrekkelig til at man i stivere bergarter kan oppleve spenningsytringer («bom»). For grønnsteinen kan dette være aktuelt, mens for fylltitten vurderes det som lite sannsynlig. For tunneler som drives langs en dalside kan man erfare høye bergspenninger med sprak og bergslag, også med overdekning mindre enn det Forbordsfjelltunnelen får. Tunnelen skal imidlertid drives tvers gjennom et bergmassiv, slik at denne problemstillingen er lite aktuell.

Det forventes ikke vesentlige stabilitetsproblemer som følge av høye bergspenninger.

I påhuggsområdene, der bergoverdekningen er begrenset, må det forventes redusert innspenning av bergmassen.

3.1.5 Påhugg og forskjæringer

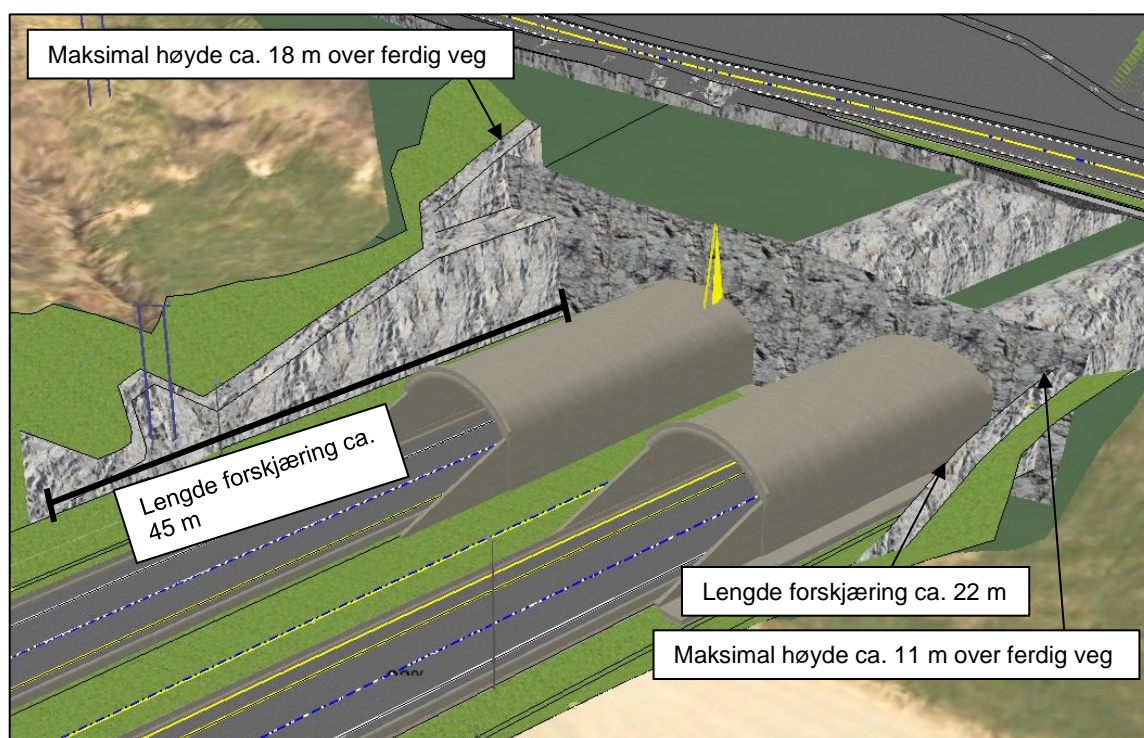
Generelt er påhugg prosjektert der det oppnås ca. 7 m bergoverdekning, men det tillates lavere overdekning enn 7 m lokalt i profilet. Forskjæringer er prosjektert med helning 10:1 i henhold til håndbok N200 [4]. Boret lengde bør ikke overstige 10-12 m. Generelt etableres forskjæringer med høyde over 10 m med 5 m bred hylle og pallhøyder på inntil 10 m. Der forskjæringen tilbakefylles vurderes det om geometri med hylle kommer til utførelse.

Bergoverflaten bør renskes for løsmasser til minimum 2 m utenfor prosjektert skjæringstopp for bergskjæringene. Løsmasser utenfor skjæringstopp skal utformes med stabil skråningshelning eller sikres slik at erosjon og utglidning hindres [4].

Endelig beskrivelse og omfang av sikring må vurderes underveis i anleggsperioden av ingeniørgeolog etter kartlegging av faktiske geologiske forhold. Det forventes at permanentsikring av forskjæringene vil omfatte rensk, sikringsbolter og sprøytebetong eller steinsprangnett. Behov for isnett må vurderes underveis i anleggsperioden. For å bevare prosjektert skjæringskontur så godt som mulig samt hindre eventuelt større utglidninger kan vertikale forbolter benyttes. Det påregnes også at forbolter benyttes ved etablering av selve tunnelpåhugget. Mengde forbolter knyttet til etablering av påhugg er inkludert i tabell 15.

Påhugg sør, Holan

For påhugget ved Holan etableres et skrått påhugg med tosidig forskjæring (figur 17). Av hensyn til skred/fare for nedfall på veg fra forskjæring eller sideterreng vurderes det som tilstrekkelig med 7 m lengde portal, målt i senterlinje på topp (se kapittel 3.7 om naturfarevurderinger). På bakgrunn av et ønske fra prosjektet om god landskapstilpasning for dette påhugget, er det valgt å gå videre med en prosjektert løsning der lange betongportaler tilbakefyller slik at store deler av skjæringene blir tildekket (figur 18) i permanent situasjon.



Figur 17 Forskjæringer ved påhugg sør, Holan (utklipp fra Quadrimodell 16.04.2020).



Figur 18 Forskjæringer ved påhugg sør, Holan, etter tilbakefylling (utklipp fra Quadrimodell 16.04.2020).

På venstre side (sett med stigende profilnummer) blir forskjæringen ca. 45 m lang med maksimal høyde på ca. 18 m over ferdig veg. De første 15 meterne fra påhugget etableres med hylle da høyden på skjæringen overstiger 10 m. På høyre side er forskjæringen ca. 22 m lang og har maksimal høyde ca. 11 m over ferdig veg.

Totalsonderinger i påhuggsområdet viser løsmassedybder på 1-2 m. Løsmassemektigheten er trolig noe større i sørlig del av forskjæringene.

Forskjæringen etableres i fyllitt med dominerende oppsprekking langs foliasjon. Foliasjonen har fallretning mot nordøst (omtrent parallelt traseen) og fall på ca. 30° og det er stedvis tett oppsprekking langs dette planet. I påhuggsflaten er orienteringen gunstig med tanke på stabilitet. Det er i tillegg registrert sprekkeplan med fall 10-40° mot nordvest som kan gi plane utglidninger i forskjæringen på høyre side. Basert på kartlagt oppsprekking vil plane utglidninger trolig være den mest dominerende bruddmekanismen, mens sporadiske sprekker også kan gi kileutglidninger eller utvelting (toppling).

I driftsfasen vil store deler av forskjæringene være tilbakefylt. Stabilitetssikring av forskjæringen vil derfor i hovedsak dimensjoneres for arbeidssikring i anleggsperioden.

Totalt areal av forskjæringer og påhuggsflate er ca. 1150 m². For beregning av sikringsmengder antas 1 bolt / 15 m³ bergskjæring i gjennomsnitt. Det antas videre at det benyttes sprøytebetong E1000 på 50 % av arealet med tykkelse 10 cm. Grovt estimat av sikringsmengdene er oppsummert i tabell 16.

Tabell 16 Estimerte sikringsmengder forskjæring og påhuggsflate påhugg sør, Holan.

Sikringsmiddel	Anslått mengde
Sikringsbolter [stk]	100
Vertikale forbolter [stk]	60
Sprøytebetong E700 [m ³]	70

Påhugg nord, Langsteindalen

Påhugg nord i Langsteindalen etableres vinkelrett på traseens lengdeakse med korte portaler uten tilbakefylling (figur 19).

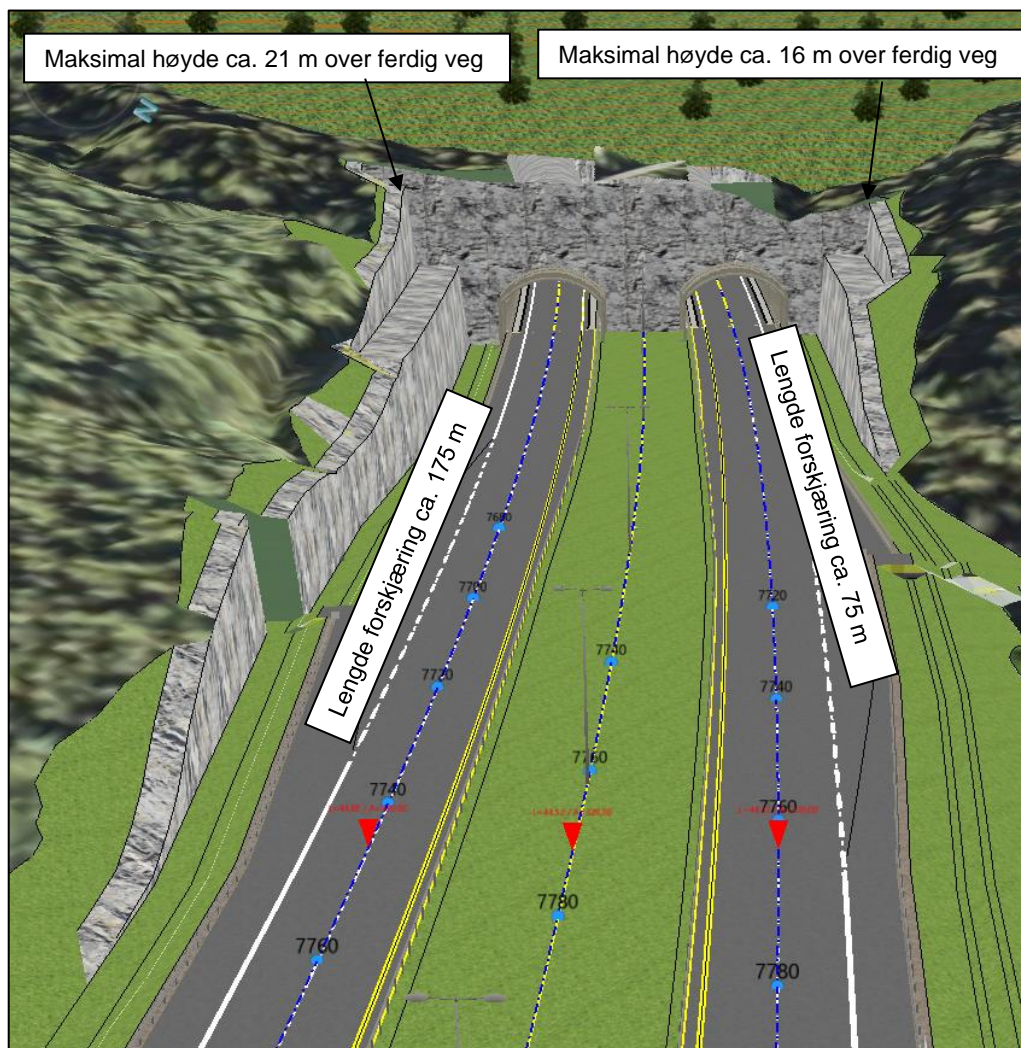
På venstre side blir forskjæringen ca. 175 m lang med maksimal høyde på ca. 21 m over ferdig veg. De første ca. 45 meterne fra påhugget etableres med hylle da høyden på skjæringen overstiger 10 m. På høyre side er forskjæringen ca. 45 m lang og har maksimal høyde ca. 16 m over ferdig veg. De første ca. 30 meterne fra påhugget etableres med hylle da høyden på skjæringen overstiger 10 m.

Det er ikke utført totalsonderinger for å bestemme løsmassemekktigheten i påhuggsområdet, men det er registrert flere bergblotninger i området hvor påhugget er plassert (vedlegg 2). For plassering av prosjektert påhuggsflate er det lagt til grunn inntil 2 m med løsmasse.

Forskjæringen etableres i grønnstein. Det mest dominerende sprekkesettet har strøkretning relativt parallelt traseen og varierende fall fra 60° mot nordvest til 60° mot sørøst. Dette sprekkesettet kan gi plane utglidninger og utvelting (toppling) i forskjæringene på begge sider. Sammen med øvrige sprekkesett kan også kileutglidninger forekomme.

Totalt areal av forskjæring og påhuggsflate er ca. 2900 m². Siden bergskjæringene ikke tilbakefylles må stabilitetssikringen dimensjoneres for permanent situasjon. Ifølge håndbok N200 skal bergskjæring etableres slik at det ikke er fare for nedfall av stein og is på veg. Bergskjæring skal etableres slik at man unngår rensk og annen sikring de første 20 årene.

For beregning av sikringsmengder antas 1 bolt / 15 m³ bergskjæring i gjennomsnitt.



Figur 19: Forskjæringer og påhuggsflate for påhugg nord, Langsteindalen (utklipp fra Quadrimodell 16.04.2020).

Det er en bekk i terrenget som krysser påhuggsflaten på høyre side (sett mot påhugget) og en bekk som krysser forskjæringen på venstre side (sett mot påhugget) ved ca. profil 7615 (linje 10100). Det vil trolig være behov for isnett i disse områdene og behov for isnisjer må vurderes.

Generelt kompetent bergmasse i området samt god plass utenfor skjæringskant gjør at det trolig er mindre behov for forbolter for etablering av forskjæring og påhuggsflate enn for påhugg sør. Grovt estimat av sikringsmengdene er oppsummert i tabell 17.

Tabell 17 Estimerte sikringsmengder forskjæring og påhuggsflate påhugg nord, Langsteindalen.

Sikringsmiddel	Anslått mengde
Sikringsbolter [stk]	200
Vertikale forbolter [stk]	30
Steinsprangnett [m ³]	200
Isnett [m ³]	1000
Sprøytebetong E1000 [m ³]	30

3.2 Hydrogeologiske forhold

3.2.1 Sårbare områder

Konsekvenser av innlekkasje som er av mest betydning for et tunnelanlegg med tanke på det ytre miljøet er [39]:

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

Med sårbare områder menes områder som kan bli negativt påvirket dersom grunnvannsnivået senkes som følge av for store innlekkasjer til tunnelen. Ved påhugg sør, er det noe landbruksareal samt et gårdsbruk og en bolig som ligger med kort avstand til tunneltraseen (Holvegen 161). Det er i området påvist inntil 9 m løsmasser med leire og vannmettet silt over berg.

Langs resterende del av Forbordsfjelltunnelen er det hverken bebyggelse eller landbruksareal langs tunneltraseen, kun skogsterreng. Løsmassene er klassifisert som morene der tykkelsen generelt er > 0,5 m frem til ca. profil 3500 og mellom profil 4400 og 4750. Ved kartstudie er det identifisert åtte store og små bekker og to elver over planlagt tunneltrasé.

Vurderinger knyttet til ytre miljø konkluderer med at potensielt sårbare områder er:

- Ved påhugget på Holan – Rik edelløvsskog – profil 1700-1900. Siden dette er en naturtype som er betinget av rik berggrunn og mindre av grunnvannsnivå, vurderes det at naturtypen vil bli lite påvirket ved eventuell endring av grunnvannsnivået. Det er mulig det blir lokalt tørrere partier, men det vil fortsatt være mye av de samme artene.
- Storåsen – Gammel barskog – yttergrense ca. 520 m øst for profil 3000. Siden naturtypen knyttes til gammel skog, vil endret grunnvannstand ha liten påvirkning på lokaliteten. Vekstforhold kan endres noe, men minimalt.
- Forbordsfjellet – Rik edellausskog – Ca. 840 m NV for profil 3600. Naturtypen er betinget av rik berggrunn og mindre av grunnvann. Det vurderes derfor at naturtypen vil bli lite

påvirket ved eventuell endring av grunnvannsnivå. Det er mulig det blir lokalt tørrere partier, men det vil fortsatt være mye av de samme artene.

- Forbordsfjellet N – Gammel barskog. Siden naturtypen knyttes til gammel skog, vil endret grunnvannstand ha liten påvirkning på lokaliteten. Vekstforhold kan endres noe, men minimalt.
- Potensielle rikmyrer, og andre naturtyper knyttet til myr, over Forbordsfjellet. Myr er en naturtype hvor artssammensetningen endres ved endret vanninnhold. Endring av grunnvannstand/tilsig kan medføre uttørring eller drenering av myra. Rikmyrer har gjerne et stort artsmangfold, med sjeldne arter, som kan forsvinne om myra dreneres.
- Bergsetertjønnna

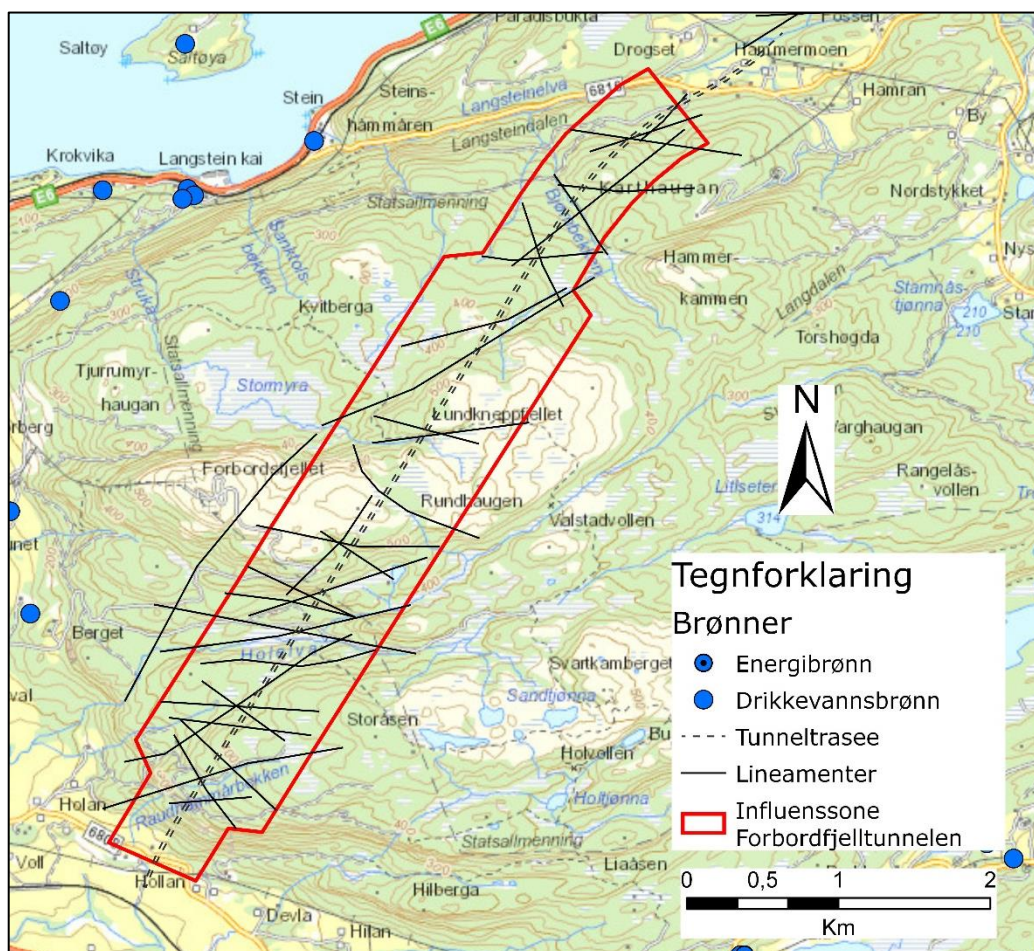
Konsekvensene av en grunnvannssenking kan være setnings-skader på bebyggelsen ved påhugg sør og periodevis uttørring av myrområder og drenering av bekker ut fra Bergsetertjønnna slik at vannivået senkes. Behov for poretrykksmåliger ved påhugg sør må vurderes før, under og etter driving. Det anbefales å foreta logging av vannstanden i Bergsetertjønnna. Dette kan enkelt utføres ved å etablere automatisk logger i tjernet. Dersom det påvises rikmyr, vil det kunne være behov for overvåking av grunnvannstanden også for disse.

3.2.2 Influensområde

Influensområde, definert langs tunnelen med avstand ut fra tunnelen, er avhengig av topografi, type løsmasser og permeabilitet i berggrunn og sprekkesoner og den mengde vann som tillates å dreneres inn i tunnelen (innlekkasje). I henhold til NFF håndbok nr. 6 vil en innlekkasje i tunnelen lik 20 l/min/100 meter ha et potensielt influensområde på 250-500 m. Erfaringer fra studier av grunnvannssenking knyttet til tunneldrift i Norge viser at det sjelden observeres endringer i grunnvannsnivå i avstander mer enn 200-300 m fra tunnelanlegg [39].

For tunnelen gjennom Forbordsfjellet er det på bakgrunn av topografi, valgt å sette influenssonen til 500 m til hver side for tunnelen for de delene av tunnelen der bergoverdekningen er større enn 250 m, dvs. der terrenget er høyere enn ca. kote 300 (profil 2010-6125). Dette utgjør ca. 80 % av strekningen. For resterende del av tunnelen er influenssonen satt til 300 m (figur 20).

Innlekkasjekravene må forholde seg til dette. Etter at innlekkasjekravene er satt, må det kontrolleres at influensområdet er vurdert fornuftig.



Figur 20 Influensområde for Forbordsfjell tunnelen. Influensområdet er satt til 300 m der overdekningen er < 250 m og 500 m der overdekningen er > 250 m.

3.2.3 Innlekkasjekrav

Fyllitt er en skifrig/lagdelt bergart med liten styrke. Permeabiliteten er generelt liten. Grønnstein er en stivere bergart der sprekker kan være lekkasjeførende. Eventuelle lekkasjer forventes derfor å være knyttet til sprekker og sprekkesystemer i bergmassen. Permeabiliteten til sprekke vil videre være avhengig av utholdenhet, eventuelt sprekkefylling og størrelse [23].

NGU gjennomførte i 2009 et prosjekt der de utarbeidet kumulative frekvensfordelinger over vanngiverevnen for de ulike hovedbergartene i Norge basert på N250 berggrunnskart [27]. Forbordsfjell tunnelen går gjennom hovedbergartene "leirskifer, sandsten, kalkstein (HB8)" og "grønnstein, amfibolitt (HB55)", der HB8 representerer fyllitten. En oppdatert statistisk vurdering av vanngiverevnen til brønner boret i disse hovedbergartene i Trøndelag, viser at gjennomsnittskapasiteten (50 % percentilen) for brønner i HB8 er ca. 200 l/time, mens for HB55 gir brønnene i gjennomsnitt ca. 300 l/time. Kapasitetsmessig er ca. 10 % av brønnene som bores i begge bergartene, tørre, mens 20 % gir mer vann enn 1000 l/time.

Vannmengden målt i kjerneborehull BH-D ved påhugg sør, Holan, er på ca. 12 l/min over 452 m. Dette tilsier at bergarten langs borehullet er relativt tett. Sammenliknet med en 100 m lang brønn

tilsvarer kapasiteten 159 l/time. Hvilket er litt lavere enn gjennomsnittet for en borebrønn i samme bergart.

Basert på vannmengdene målt i BH-D er Janbu/Tokheims formel for innlekkasje [40] benyttet for å beregne bergartens absolute permeabilitet (K) og hydraulisk konduktivitet (k).

Janbu/Tokheims formel: $K = (Q \cdot \mu_w \cdot G) / (2\pi L p)$

μ_w = vannets viskositet (Pa s)

Q = innlekkasje (m³/s)

$G = \ln(2D-r)(L+2r)/r(L+2(D-r))$

D = avstand til ekvipotensial (m)

r = tunnelradius (m)

L = tunnellengde (m)

p = vanntrykk (Pa)

k = (K*g/v)

g = tyngdens akselerasjon 9,81 (m/s²)

v = vannets kinematiske viskositet ved 10°C er 1,3E-06 (m²/s)

Beregnete verdier er vist i tabell 18. Hydraulisk konduktivitet for hele borehullet, fra 0-452 m, er beregnet til 3,47E-09 m/s med en antatt bergoverdekning på 150 m i snitt. Resultatene viser at permeabiliteten varierer langs borehullet, hvilket er naturlig da innlekkasjen av vann er avhengig av åpne sprekker.

Tabell 18 Beregnede verdier for permeabilitet og hydraulisk konduktivitet basert på innlekkasje av vann i kjerneborehull BH-D ved påhugg sør, Holan. Borehullet ligger i sin helhet i fyllitt.

Strekning fra dagen (m)	Lengde (m)	Beregnet fjelloverdekning (m)	Vannmengde (l/min)	Beregnet absolutt permeabilitet (m ²)	Beregnet hydraulisk konduktivitet (m/s)
53-119	66	25	3	3,79E-15	2,86E-08
119-167	48	15	5	1,39E-14	1,05E-07
167-278	111	130	1	1,54E-16	1,16E-09
410-440	30	150	3	1,25E-15	9,45E-09
0-452	452	150	12	4,60E-16	3,47E-09

Tabell 19 Beregnede verdier for hydraulisk konduktivitet (k) basert på typiske Lugeon-verdier målt i kjerneborehullene BH-A (Langsteindalen) og BH-E (Seterkleiva). 1 Lugeon tilsvarer en permeabilitet i området 10^{-7} m/s.

Borehull	Lugeon-verdi per m	Kommentar	Beregnet k (m/s)
BH-A (Nord for Langsteindalen)	0,25	Typiske Lugeon-verdier for BH-A.	2,50E-08
	0,57		5,70E-08
	0,7		7,00E-08
	1,4		1,14E-07
BH-E (Seterkleiva)	1,8	Måling i fyllitt.	1,80E-07
	3,8	Generelt høye Lugeon-verdier i BH-E. Typisk fra 3,5-4,5 L	3,80E-07
	4,5		4,50E-07
	5,1		5,10E-07

Beregnete verdier for hydraulisk konduktivitet (k) fra vanntapsmålingene i borehullene BH-A og BH-E (tabell 19) gir generelt høyere permeabilitet enn det som er beregnet for borehull D (tabell 18). Sistnevnte kjerneborehull er boret i fyllitt, mens BH-A og BH-E går henholdsvis helt og hovedsakelig gjennom oppsprukket grønnstein. Basert på måleresultatene forventes det at man vil treffe på mer vann i grønnsteinen enn i fyllitten, selv der man påtreffer sprekker. Borehullsloggene og vanntapsmålingene indikerer også at innlekkasjen vil være størst i områder med lav Q-verdi og høy oppsprekking.

Det er ikke påvist store karststrukturer i dagen ved Forbordsfjellet. Det er derfor sannsynlig at man heller ikke påtreffer dette i dypet. Det ble påvist en overgangssone på ca. 15 m med mer kalkholdig grønnstein og kalkholdig fyllitt (vertikal mektighet ca. 14 m) i bunn av borehull BH-E. Sonen var ikke karstifisert og hadde en lavere Lugeon-verdi enn overliggende grønnstein.

Beregnete verdier for hydraulisk konduktivitet (k) er benyttet for å beregne innlekkasje i tunnelen over en strekning på 100 m [39]. Beregningene er vist i tabell 20. Det er valgt å benytte høyeste verdi og snitt for hele borehull BH-D og en høy verdi fra borehull BH-E, se tabell 18. Basert på resultatene antas en k-verdi i størrelsesorden $1,05E-07$ m/s å være representativ for både fyllitten og grønnsteinen. Den høye verdien fra BH-E er valgt for å vise potensielt vanninnslag i et område der man forventer stor vanninntrengning under driving.

Innlekkasjen er både avhengig av k (m/s) og antatt vannspeil (m) over tunnelen. Da grunnvannstand over tunnelen er ukjent, er denne antatt å tilsvare overdekningen over tunnelen. Ut fra resultatene antas det at innlekkasjen vil øke med økende fjelloverdekning. I tillegg øker innlekkasjen mye når den hydrauliske konduktiviteten øker.

Tabell 20 Beregnet innstrømning (Q) i tunnelen per 100 m basert på hydraulisk konduktivitet (k) beregnet i tabell 18 og tabell 19. Tunnelradius er satt = 5,5 m ut fra tunnelprofil T10,5. Beregningene fra BH-D er representative for de første ca. 1000 m av tunnelen, der denne går gjennom fyllitt.

	Fra borehull BH-D		Fra borehull BH-E k=4,50E-07 m/s
	k= 1,05E-07 m/s	k= 3,47E-09 m/s	
Vannsøyle over tunnelen (m)	Q = l/min/100 m	Q = l/min/100 m	Q = l/min/100 m
50	70	2,3	300
150	150	4,9	640
250	220	7,3	950
300	250	8,4	1100

Svakhetssonene som vurderes å ha størst potensiale for innlekkasje er de som krysser i området rundt Seterkleiva (profil 3300) og den markerte sonen som krysser ca. ved profil 5550. Strukturgeologisk analyse viser at en strekning på ca. 1300 m fra ca. profil 3000-4300 vil gjennomskjæres av flere sprekkesoner/svakhetssoner og det antas at det spesielt er denne strekningen av tunnelen som vil gi innlekkasje. Holelva fra Grønnyra og Bergsetertjønna ligger innenfor antatt influenssone. Stormyra nord for toppen av Forbordsfjellet antas å ligge utenfor influensområdet. Eventuelle rikmyrer innenfor influenssonen vil være sårbare for grunnvannssenkning. Tilstedeværelse av rikmyrer må avklares og eventuelle innlekkasjekrav justeres om nødvendig. På strekningen fra Lundkneppfjellet til påhugg i nord er det lite sårbart terreng. Bjørnbekken vest for Hammerkammen krysser tunnelen ved profil ca. 6700. Her er overdekningen ca. 100 m.

Det er ingen brønner som blir påvirket av tunnelen. Nærmeste brønn er en energibrønn ved Øvre Holan, rett vest for påhugg sør. Brønnen skal ifølge GRANADA ligge på gårdstunet.

Innlekkasjekrav for Forbordsfjelltunnelen er angitt i tabell 21. Innlekkasjekravet gjelder per meter tunnel samlet for begge tunneler og tverrtunneler. Det forventes at innlekkasjen vil komme fra et stort område siden overdekningen er stor (> 250 m). Den store overdekningen gir også større vannmengde inn i tunnelen enn om overdekningen hadde vært mindre. Kravet er satt ut fra lite sårbart miljø kombinert med en bred influenssone rundt tunneløpene. En bred influenssone innebærer at lekkasjevannet hentes fra et stort bergmassevolum. Dermed blir uttaket av vann mindre for hvert enkelt område. Selv om det er noen sårbare områder over tunnelen, kan dermed en relativt høy innlekkasje til tunnelen aksepteres.

Tabell 21 Innlekkasjekrav for Forbordsfjelltunnelen. Innlekkasjen gjelder per 100 meter tunnel samlet for begge tunneløp og tverrtunneler.

Strekning	Innlekkasjekrav (l/min per 100 m)	Kommentar
Påhugg profil 1541 til profil 1620	10	Bolig Holvegen 161 Gnr/Bnr 22/5
Profil 1620 til profil 3200	35	Ingen bygg, lite sårbart terreng
Profil 3200 til profil 4050	30	Område med forventet åpne sprekker og mulig forbindelse til elv og tjern. Stort vannmagasin innenfor 500 m fra tunnelene. Lokal innlekkasje: <15 l/min
Profil 4050 til profil 7170	35	Ingen bygg, lite sårbart terreng. Lokal innlekkasje: <15 l/min
Profil 7170-7250	30	Bekker over tunnelen. Lokal innlekkasje: <15 l/min
Profil 7250-7750	30	Ingen bygg, lite sårbart terreng.

3.2.4 Innlekkasje av vann under driving

Tunneldrivingen kan påvirke grunnvannstanden i grunnen over tunnelen. Avhengig av type grunn, sårbare fauna, brønner og nærliggende bygg, er det fastsatt innlekkasjekrav for å redusere sannsynligheten for endringer som vil kunne føre til skade. Kravet er definert som maksimal tillatt innlekkasje per 100 m av tunnelen, samlet for begge løp. I tillegg er det satt krav til maksimal innlekkasje i enkeltpunkter; lokal innlekkasje skal være mindre enn 15 l/min.

Bergoverdekningen for store deler av Forbordsfjelltunnelen er mellom 250 og 400 m. Det er dermed et betydelig bergvolum som kan gi mating av vann inn mot tunnelene der sprekke er vannførende. Stor overdekning kan gi stort sprekkevanntrykk i tunnelnivå. Det antas at eventuell innlekkasje ikke vil avta særlig i trykk og kapasitet over tid. Kravene til maksimale innlekkasje betyr at innlekkasjen strupes ved behov med utførelse av forinjeksjon. Ved at innlekkasjekravet for en strekning blir overholdt, vil lekkasjevannet komme fra store områder, og effekten for hvert enkelt delområde på overflaten blir dermed redusert.

Ut fra antatt innlekkasje i de forskjellige bergartene og i partier med større oppsprekking, er behovet for sonderboring og forinjeksjon vurdert. Kriterier for når forinjeksjon skal utføres, vil bli utført i neste planfase. Sonderboring gjøres for å sjekke innlekkasjen, mens forinjeksjon er antatt bare for deler av strekningene med sonderboring.

Sonderboring utføres med to hull på ca. 24 m og utføres hovedsakelig i den tunnelen som ligger fremst. Forinjeksjon har til hensikt å redusere innlekkasjen til akseptable nivåer. Med de innlekkasjekravene som er satt, forventes lite behov for gjentatt injeksjon fra samme stuff. Det må påregnes at forinjeksjon må utføres i begge tunneløpene.

De utførte vanninnpressingsforsøkene i borhull BH-A og BH-B viser at det er potensiale for relativt store innlekkasjer dersom det ikke utføres forinjeksjon, se tabell 20.

I starten av tunnelen er det bebyggelse like over traseen (sørgående løp) som er fundamentert på løsmasse (Gnr/Bnr 22/5). Det må utføres sonderboringer for å kontrollere innlekkasjen til tunnelen, men det er ikke forventet behov for forinjeksjon.

For strekningen fra profil 1620 og frem til kryssing av bergartsgrense/skyvesone omkring profil 2500, forventes liten innlekkasje og det er ikke sårbart terreng. Sonderboring bør gjøres inn mot dette partiet for å kunne avdekke dårlig berg slik at tiltak for stabil og trygg tunneldrift (spiling, korte salver etc.) kan besluttes. Det kan være behov for noe forinjeksjon.

I partiet under Seterkleiva, mellom profil 3200 og 4050, forventes en del lekkasjer og det er antatt et behov for en del forinjeksjon. Det er et tjern over tunnelen ved profil 3850. Tunnelene krysser under Holelva ved Seterkleiva i et område med flere kryssende svakhetssoner som antas å være vannførende. Utover dette er det flere store og små myrområder med og uten bekker, både rett over og til siden for tunnelen.

Videre fra profil 4000 går tunnelen under lite sårbart terreng med stor bergoverdekning. Ved Bjørnbekken vest for Hammerkammen, omkring profil 6700 forventes det noe behov for forinjeksjon.

Tabell 22 Forventet omfang av sonderboring og forinjeksjon i Forbordsfjelltunnelen.

Strekning (veglinje 10100)	Sonderboring ¹	Forinjeksjon ² , pr løp
Påhugg profil 1541 til profil 1620	80 m	Ikke forventet
Profil 2500 til profil 2770	270 m	2 skjermer
Profil 3200 til profil 4050	720 m	12 skjermer
Profil 5030 til profil 5150	120 m	Ikke forventet
Profil 6650 til profil 6770	120 m	7 skjermer
Profil 7170 til profil 7250	80 m	Ikke forventet
Totalt	1390 m	21 skjermer

1 2 hull på 24 m, 9 m overlapp.

2 Enkel skjerm: 16 + 4 hull, lengde 24 m, 9 m overlapp. Sementforbruk per hull: 500 kg.

Det er antatt et forbruk på ca. 10 tonn sement per injeksjonsomgang. Med totalt 42 skjermer gir det et forbruk på 420 tonn. Prognosen er usikker både med hensyn til antall injeksjonsomganger og forbruk per runde.

3.2.5 Vann- og frostsikring

Vann- og frostsikring av tunnelen skal utføres med veggelementer kombinert med hvelv av sprøytebetong i heng. Veggelementene har tykkelse 12 cm og skal utføres med lavkarbonbetong. I frostsone isoleres elementene med ekstrudert polystyren (XPS) på bakside. Utenfor frostsone benyttes kun membran bak elementene. Det skal også benyttes lavkarbon sprøytebetong. I frostsone sprøytes betongen på matter av PE-skum, og utenfor frostsone sprøytes betongen på membran. PE-skum, membran, festedetaljer etc. utføres iht. krav i N500 [5] og R761 [8]. For ytterligere detaljer henvises til fagrapport tunnel for prosjektet [17].

3.3 Borbarhet og sprengbarhet

Bergmassens bore- og sprengbarhet kan variere fra bergart til bergart, men også innenfor samme bergartstype. Geologiske forhold som påvirker sprengbarheten er blant annet strekkstyrke, anisotropiforhold og oppsprekingsgrad. Fyllitt er anisotrop, og erfaringsmessig en svak bergart med høyt finstoff- og glimmerinnhold. Grønnsteinen er mer homogen og ofte med bedre styrkeegenskaper. Utførte prøver viser imidlertid at det er stor variasjon i de mekaniske egenskapene også innenfor denne bergarten.

I anisotrope bergarter som fyllitt vil bergmassen ha ulike materialtekniske egenskaper i ulike retninger, noe som kan virke negativt på bergartens sprengbarhet. Dette vil være avhengig av skifrihetens orientering i forhold til tunneltraseen. Forbordsfjelltunnelen skal drives på tvers av skifriheten. Sprengbarheten er generelt best ved driving på tvers av den og dårligst ved driving langs den.

I bergmasse med høy oppsprekking eller dårlig stabilitet kan det inntreffe bore- og ladevansker, og spesielt under forhold med mye leire og vann. Dette kan være aktuelt i forbindelse med driving gjennom svakhetssoner i tunnelen.

Analyser utført av SINTEF (vedlegg 9) viser at fyllitten fra borehull BH-D på Holan har en enaksial trykkfasthet på 56,5 MPa. Dette klassifiseres som *høy*. Dette er en gjennomsnittsverdi beregnet ut fra 5 målinger med resultat som varierte mellom 46,1 og 70,5 MPa.

Prøver av grønnsteinen viser trykkfasthet på 91 og 135 MPa, *høy* til *meget høy*.

Borslitasjeindeks (BWI) er en indeks som beskriver forventet borslitasje, og benyttes til å estimere levetid for blant annet borkroner. Borslitasjeindeksen til fyllitten klassifiseres som *meget lav med verdi på 14*. For grønnstein er målt verdi 13 til 18 og klassifiseres som *meget lav*.

Borsynkindeksen (DRI) beregnes ut fra bergartens sprøhetstall (S_{20}) og Sievers' J-verdi (SJ) og beskriver forventet borsynk. DRI kan beskrives som bergartens sprøhetstall korrigert for overflatehardhet. Resultater for borsynkindeks for fyllitten er 63 og klassifiseres som *høy*. For grønnsteinen er borsynkindeks 51 til 68 og klassifiseres som *middels* til *høy*.

Resultat fra prøve i borehull BH-D vurderes som representativ for fyllitten i søndre del av tunnelen, fra påhugg sør til bergartsgrense antatt ved ca. profil 2650. Prøver fra borehull BH-E er representativ for grønnsteinen videre nordover. Det forventes innslag av metadioritt, breksje og kvartsitt i denne grønnsteinen. Det er ikke utført testing i laboratorium av disse bergartene.

3.4 Anvendelse av steinmateriale

3.4.1 Forsterkningslag til veg

Krav til mekaniske egenskaper for steinmateriale som skal benyttes i forsterkningslag fremgår av tabell 631.1 i håndbok N200 [4].

Utførte analyser omfatter fastsettelse av Los Angeles-verdi og Micro Deval-koeffisient. For disse parameterne oppfyller følgende prøver kravene til forsterkningslag i trafikkgruppe F:

- grønnstein i BH-A nord i Langsteindalen, LA = 11,4, MD = 12
- grønnstein fra blotning ved Hamran i Langsteindalen, LA = 12, MD = 7
- konglomerat fra blotning i Vuddudalen, LA = 15, MD = 20.

3.4.2 Bærelag til veg

Krav til mekaniske egenskaper for steinmateriale som skal benyttes i bærelag til veg fremgår av kapittel 64 i håndbok N200.

For parameterne LA-verdi og MD-koeffisient oppfyller følgende prøver kravene til bærelag i trafikkgruppe F:

- grønnstein i BH-A nord i Langsteindalen, LA = 11,4, MD = 12
- grønnstein fra blotning ved Hamran i Langsteindalen, LA = 12, MD = 7.

I tillegg stilles krav til steinmaterialets flisighetsindeks, humusinnhold, masseprosent av knuste og fullstendig rundete korn, korngradering, maksimal kornstørrelse og maksimum finstoffinnhold.

3.4.3 Delmaterialer til asfalt

Krav til mekaniske egenskaper for steinmateriale som skal benyttes som delmaterialer til asfalt fremgår av kapittel 65 i håndbok N200.

For parameterne LA-verdi og MD-koeffisient oppfyller følgende prøver kravene for delmaterialer til asfalt i trafikkgruppe F:

- grønnstein i BH-A nord i Langsteindalen, LA = 11,4, MD = 12
- grønnstein fra blotning ved Hamran i Langsteindalen, LA = 12, MD = 7.

I tillegg stilles krav til steinmaterialets flisighetsindeks, mølleverdi, knusningsgrad og humusinnhold.

3.4.4 Grusdekker

Krav til mekaniske egenskaper for steinmateriale som skal benyttes i grusdekker fremgår av kapittel 66 i håndbok N200.

For parameterne LA-verdi og MD-koeffisient oppfyller følgende prøver kravene til grusdekker i trafikkgruppe F:

- grønnstein i BH-A nord i Langsteindalen, LA = 11,4, MD = 12
- grønnstein fra blotning ved Hamran i Langsteindalen, LA = 12, MD = 7.

I tillegg stilles krav til steinmaterialets flisighetsindeks, masseprosent av knuste korn og fullstendig rundete korn samt humusinnhold.

3.5 Syredannende bergarter

Vurderinger er gjort i henhold til veileder M-310 Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter [28]. Metoden baserer seg på en beregning av forholdet mellom nøytraliserende potensiale (NP) og syredannende potensiale (AP). Dette forholdet avgjør om bergarten er syredannende eller ikke syredannende, se tabell 23. Dette beregnes ut ifra konsentrasjonene av TIC (totalt uorganisk karbon) og S (svovel).

Tabell 23 Vurdering av syredanningspotensiale iht. M-310.

NP:AP > 3:1	3:1 > NP:AP > 1:1	NP:AP < 1:1
Ikke syredannende	Usikker	Syredannende

Beregninger av NP:AP-forholdet basert på analyseresultatene er vist i tabell 24. NP:AP-forholdet er større enn 3:1 for alle prøvene. Det vil si at materialet for samtlige 5 prøver karakteriseres som «ikke syredannende».

Tabell 24 Beregning av NP/AP-forholdet.

Beregning	SD-1	SD-2	SD-3	SD-4	SD-5
Nøytraliserende potensiale (NP)	87,497	102,496	39,498	128,328	91,663
Syredannende potensiale (AP)	12,281	16,188	7,406	0,281	0,547
NP/AP	7,124	6,332	5,333	456,278	167,612

I henhold til RIFs veileder for *Bygging på alunskifer og andre svarte og grå leirskifre* [29] er det en nedre grense for mg/kg svovel. Dersom bergarten inneholder mindre enn 10 000 mg/kg svovel vil det ikke kunne utvikles «et akselerert forvitringstilstand med lav pH». Alle prøvene har svovelkonsentrasjoner under dette. Det er ved kjernelogging registrert kalkinnhold i både fylltitten og grunnsteinen som vil være syrenøytraliserende.

I veileder M-310 oppgis det at et uraninnhold på over 90 mg/kg kan gi stråling over 1 Bq/g (som er grensen for radioaktivt avfall). Uraninnholdet ligger godt under dette i alle prøvene.

3.6 Vibrasjoner og støt

I forbindelse med sprengningsarbeider vil det oppstå sprengningsinduserte vibrasjoner og støt som kan påvirke nærliggende byggverk og infrastruktur. Vibrasjoner og støt fra arbeidene skal ikke overskride grenseverdier bestemt av kravene i NS8141:2001 [9].

For store deler av tunneltraseen er det ingen nærliggende bebyggelse, unntaket er påhuggsområdene. Kravene vil dermed gjøre seg gjeldende ved påhugg sør ved Holan og påhugg nord i Langsteindalen.

Foreløpig beregnede grenseverdier for rystelser for bebyggelse nærmest tunnel og forskjæringer fremgår av tabell 25. Der fundamenteringsforholdene er ukjent er det beregnet grenseverdier både for fundamentering på berg og løsmasse for å illustrere hvordan denne parameteren påvirker verdien. Detaljer knyttet til valgte inputparametere og beregning av grenseverdier fremgår av vedlegg 7. Det er foreløpig ikke avklart om eiendommen Langsteinvegen 270 (Gnr/Bnr 2/6, 3/2) skal innløses av prosjektet, så det er uklart hvor styrende grenseverdien vil bli ved utførelse av sprengningsarbeidene.

Tabell 25 Foreløpig beregnede grenseverdier for rystelser fra sprengning i tunnel og forskjæring.

Lokasjon	Adresse og Gnr/Bnr	Antatte fundamenteringsforhold	Korteste avstand til tunnel/forskjæring	Foreløpig beregnet grenseverdi
Påhugg sør, Holan	Holvegen 161 22/5	Løsmasse	< 50 m (tunnel)	8,2 mm/s
			95 m (forskjæring)	7,3 mm/s

Lokasjon	Adresse og Gnr/Bnr	Antatte fundamenteringsforhold	Korteste avstand til tunnel/forskjæring	Foreløpig beregnet grenseverdi
Påhugg sør, Holan	Holvegen 142/144	Berg	150 m	40 mm/s
	23/1	Løsmasse		6,7 mm/s
Påhugg nord, Langsteindalen	Langsteinv. 270 2/6, 3/2	Løsmasse	35 m	5,4 mm/s
Påhugg nord, Langsteindalen	Langsteinv. 309 4/2	Berg	245 m	
		Løsmasse	245 m	8,0 mm/s

For påhugg ved Holan er det ca. 60 m avstand fra sprengningsarbeidene (forskjæring) til nærmeste registrering av kvikkleire (borepunkt N11064). Kvikkleiren ligger på et flatt område, og på nivå som er lavere enn underkant sprengning. Forholdene er slik at sannsynlighet vurderes som lav for at vibrasjoner kan utløse et kvikkleireskred.

I borepunkt N22138 ca. 40 meter fra nordre ende av forskjæring i Langsteindalen er det påvist kvikkleire ned til ca. 7 meters dybde. Området er flatt, så i utgangspunktet vurderes sannsynlighet å være lav for at vibrasjoner fra sprengning kan utløse et kvikkleireskred. Det forventes å bli behov for kalk-sement stabilisering av området med tanke på etablering av stor fylling og konstruksjoner i forbindelse med kryssing av fylkesvegen. Det er uklart om stabilisering vil være utført før arbeider med forskjæring og påhugg starter. Det må derfor vurderes behov for oppfølging av rystelser med montering av frekvensveide vibrasjonsmålere i løsmassen iht. krav i NS8141-3:2014 [10]. Grenseverdi for rystelser vil være $v_f = 45$ mm/s. Grenseverdien er toppverdien av frekvensveid svingehastighet v_f på leirmassene i den retningen som har størst verdi (vertikalt eller horisontalt).

For begge påhugg vil det være viktig å forhindre fremkast/sprut av sprengmasser til områder med kvikkleire. Det henvises til fagrapport geoteknikk for detaljer [18].

For endelig fastsettelse av grenseverdier for vibrasjoner og støt fra sprengningsarbeidene må det i forbindelse med neste planfase utføres befarings av aktuelle bygninger for avklaring av blant annet grunnforholdsfaktor, materialfaktor og fundamenteringsfaktor. NS8141 stiller krav til at det utføres bygningsbesiktigelse av bygninger som kan bli påvirket av grunnarbeidet. Besiktigelse anbefales utført i en avstand på 50 m for bygninger/konstruksjoner fundamentert på berg, og 100 m for bygninger/konstruksjoner fundamentert på løsmasser.

Det anbefales at det monteres rystelsesmålere på bygninger angitt i tabell 25 for å kunne måle og følge opp vibrasjonene kontinuerlig under anleggstiden. Måleren festes til fundamentet eller til bærende konstruksjoner nær fundamentet.

Tiltak for å redusere vibrasjoner kan være reduserte ladninger og salvestørrelser. Ved sprengning av forskjæring kan sprengning med alternativ kontur (tettere konturhullavstand eller sømboring) være aktuelle tiltak.

3.7 Naturfarevurderinger

Skredfarevurdering er gjennomført med utgangspunkt i sikkerhetskrav for skredsannsynlighet på veg i henhold til tabell 208.1 i håndbok N200 [4], se tabell 26. Tabellen angir tolererbar og akseptabel skredsannsynlighet for veg avhengig av dimensjonerende trafikkmengde.

Sannsynlighetsklasser er inndelt etter årlig nominell sannsynlighet for skred pr. enhetsstrekning. En enhetsstrekning er her definert som en veglengde på 1 km med start fra ytterkant av aktuell strekning. Der det er flere enkeltskredløp/skredpunkt på strekningen, summeres sannsynligheten for skred.

Tabell 26 Sikkerhetskrav for skredsannsynlighet på veg, iht. tabell 208. 1 i håndbok N200.

Dimensjonerende trafikkmengde	< 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

Beregnet ÅDT for 2025 er beregnet til 13.500 [33]. Krav til sikkerhetsnivå (restrisiko) er at sannsynlighet for skred skal være lavere enn tolererbar skredsannsynlighet og bør være lavere enn akseptabel skredsannsynlighet. For påhuggsområder tilknyttet Forbordsfjelltunnelen innebærer dette at samlet sannsynlighet for skred skal være lavere enn 1/100 (ett skred hvert hundrede år) og bør være lavere enn 1/1000 (ett skred hvert tusende år).

Nord for påhugg ved Holan, i terrenget opp mot Bjørkåsen, er det bratte bergskrenter mellom kote ca. 250 og 300. Berget er oppsprukket med stor sprekkeavstand, og det kan være helt eller delvis avløste blokker i bergmassen. Bergskrenten er ikke befart i detalj. Ifølge skredhistorikken er det ikke registrert steinsprang i området. Terrenget fra påhugg og nordover har begrenset helning (ca. 15°) over en strekning på ca. 200 meter. Holvegen ligger som en naturlig barriere mellom påhugget og terrenget nordover. Det er kjørt simulering i RocFall av kastebaner for steinsprang fra tre ulike løснеområder oppe i skrenten, og simuleringen viser at steinsprang ikke vil nå påhugg/forskjæring. Av 300 simulerte skred, var det kun ett som nådde Holvegen. De øvrige stanser på jordet på oversiden av vegen, i en avstand på minimum 80 meter fra påhugget. Simuleringen er utført med kubisk/rund blokkfasong, noe som vurderes som konservativt. Fasong på avløste blokker i skrenten forventes å være mer avlang/rektangulær. Basert på skredhistorikk, befaring i felt og utførte simuleringer vurderes sannsynlighet for steinsprang ved påhugg sør å være < 1/1000 per år.

Aktsomhetskart for jord- og flomskred dekker også hendelser der stein som løsner belaster gjennomfuktet morenemateriale som glir ut. Denne kombinasjonen er ikke utenkelig ovenfor Holan der det er bratte bergskrenter med løsmasser nedenfor. I denne lia vil også dagens skogsveger og eventuelt senere driftsveger ha effekt på hvor vann ledes og går ut i lia. Hvis masse kommer ned Raudhåmmårbekken, forventes disse å spre seg ut over jordene der massen stopper opp. Sannsynlighet for jordskred utløst av steinsprang ved påhugg sør vurderes å være 1/2000 per år.

I åpne områder med helning mellom 30 og 50 grader kan det gå snøskred også i lavereliggende områder i Trøndelag. Sør for Forbordsfjellet er det en del ur, finkornet i øvre deler, som kan betraktes som potensielle løснеområder for snøskred. Brattere bergskrenter forventes ikke å gi større snøskred fordi snøen ikke legger seg opp i større tykkelse før den raser ned. Skredutløp på aktsomhetskart for snøskred er kalibrert mot etablerte og kjente snøskredløp på Vestlandet med store høydeforskjeller. Det vurderes som ikke sannsynlig at snøskred skal passere Holvegen slik disse aktsomhetskartene angir.

I forbindelse med regn-på-snø-hendelser vil sørpe utgjøre en stor del av bidraget til flom. Myrene innpå Rådalsmyra har en del fall og kan utgjøre løснеområde for sørpeskred. Et sørpeskred som starter her, vil ta opp eventuell snø i skredbanen og antas å være omdannet til vann hvis det kommer ned til bebyggelsen. Dette vil være ivaretatt ved prosjektering av løsninger for håndtering av flom for Raudhåmmårbekken.

Det er ingen raviner eller skredrenner mot veganlegget som forventes å gi konsentrert transport av masser slik en ser i flomskred.

Samlet skredfare for steinsprang, jordskred og snøskred ved påhugg sør på Holan er vurdert til $< 1/1000 + 1/2000 + 1/6000$ per år, dvs. $1/600$ per år. Portalene vil håndtere den samlede skredfaren slik at denne reduseres til $< 1/1000$. Det vurderes at portaler for påhugg sør kan utføres med 7 m lengde fra påhuggsflaten, målt i senter heng. Prosjektet har valgt å gå videre med løsning med lang portal og tilbakefylling, se kapittel 3.1.5.

Langs tunneltraseen de siste 200 m fram mot påhugg nord har terrenget helning på ca. 10° . Terrenget er tett bevokst av både løvtrær og stor gran. Det er ikke observert potensielle løснеområder for steinsprang. Det er lite bart berg i området, også i terrenget der aktsomhetskart angir potensielle løśnieområder. Det er ingen registrerte skredhendelser i databasen til NVE. Basert på skredhistorikk og observasjoner i felt vurderes sannsynlighet for steinsprang ved påhugg nord å være $< 1/1000$.

Det er aktsomhetsområder for snøskred i området for påhugg nord i Langsteindalen. Teoretiske løśnieområder er skogbevokst og er i dagens situasjon ikke relevante løśnieområder for snøskred. Det vurderes som ikke sannsynlig med jordskred, flom- og sørpeskred ned mot påhugget.

Samlet skredsannsynlighet for påhugg nord blir $< 1/1000$. Det vurderes at portaler kan utføres med 7 m lengde fra påhuggsflaten, målt i senter heng.

3.8 Usikkerheter

Usikkerhetene på dette tidspunktet er i all hovedsak knyttet til vurderinger av bergmassekvalitet, omfang av innlekkasje til tunnelen og mengder knyttet til stabilitetssikring og injeksjon.

Bergmassekvaliteten er estimert på bakgrunn av erfaring fra tilsvarende bergarter, kartlegging i felt, logging av kjerneborhull og tolket fall og mektighet på antatte svakhetssoner. All den tid tunnelen skal drives inntil 500 m under dagens terreng, vil det være vanskelig å angi nøyaktig bergartstype og bergmassekvalitet i tunnelnivå. Sikringsmengdene er deretter beregnet ved å benytte Statens vegvesens krav til sikring i de forskjellige bergmasseklassene. Usikkerheten i mengder er hovedsakelig knyttet til en eventuell endring i omfang for det dårligste berget.

Det er større usikkerhet knyttet til omfang av forinjeksjon. Rapporten presenterer et grovt estimat på forventet omfang. Estimater er usikkert både når det gjelder antall injeksjonsomganger og forbruk av per runde.

3.9 Videre arbeider

Det vurderes som ikke nødvendig med ytterligere grunnboringer for avklaringer av påhuggsplasseringer i neste fase. Sannsynligvis vil det likevel bli utført noe boring ved påhugg sør, dette for å supplere med informasjon til de geotekniske vurderingene. Det er ikke vurdert som nødvendig å utføre flere undersøkelser der bergoverdekningen er stor.

I neste fase av prosjektet skal anslag for sikringsmengder oppdateres og detaljeres med breddeutvidelse for nisjer og tekniske rom.

Det må avklares om det må gjøres analyser for uraninnhold i bergmassen med tanke på bruk av sprengstein til andre formål enn vegbygging.

For endelig fastsettelse av grenseverdier for vibrasjoner og støt fra sprengningsarbeidene må det utføres befarings av aktuelle bygninger for avklaring av riktige inputparametere, jfr. kapittel 3.6. Bygningsbesiktigelse anbefales utført innenfor en avstand på 50 meter for bygninger fundamentert på berg, og innenfor en avstand på 100 meter for bygninger fundamentert på løsmasse. Besiktigelsen skal omfatte bygninger som forventes å kunne bli påvirket av arbeidene [9].

Det anbefales å foreta logging av vannstanden i Bergsetertjønna før, under og etter driving. Dersom det påvises rikmyr, vil det kunne være behov for overvåking av grunnvannstanden også for disse.

Det er i henhold til håndbok R760 byggherres ansvar å sørge for at prosjektet har tilstrekkelig bemanning, med nødvendig kompetanse ut fra forventede geologiske utfordringer. Ansvarlig ingeniørgeolog for prosjektet bør utnevnes før byggefasen. Denne ingeniørgeolog anbefales å inneha minimum 5 års relevant erfaring fra tunnelanlegg. Det anbefales at kompetansen bør omfatte erfaring med ingeniørgeologisk kartlegging etter Q-metoden, erfaring med relevante metoder for bergsikring i tunneler og forskjæringer, kunnskap om ingeniørgeologiske forundersøkelser og laboratorieanalyser av stein- og løsmasseprøver, god kjennskap til innhold i ingeniørgeologisk rapport, kunnskap om innhold i relevante styrende dokumenter, kjennskap til prosjektets ROS-analyse og erfaring med og kunnskap om injeksjon i tunnel.

Ansvarlig ingeniørgeolog skal ha overordnet faglig ansvar for permanent sikringen og sørge for:

- kvalitetssikringssystem for geologisk kartlegging, sikring og dokumentasjon
- kartlegging for å bestemme omfang og metode for permanent sikring
- registrering og dokumentasjon av geologi og utført sikring iht. gjeldende krav
- utarbeidelse av ingeniørgeologisk sluttrapport med angivelse av fremtidig inspeksjonsbehov (leveres innen 3 mnd etter overlevert prosjekt)
- rapportering og begrunnelse av eventuelle avvik i sikringsomfang og sikringsmetoder i forhold til det som var forutsatt i konkurransegrunnlaget.

I henhold til HB N500 [5] skal det utføres geologisk kartlegging før påføring av sprøytebetong i hele tunnelens lengde som grunnlag for bestemmelse og sendere dokumentasjon av geologi og utført sikring. Det innebærer at det i byggefasen skal avsettes tilstrekkelig tid til geologisk kartlegging. Kartleggingen skal utføres etter at salven er utlastet, og etter at det er utført forsvarlig driftsrensk. Der berget ikke blir innsprøytet/tildekket etter hver salve, kan kartleggingen omfatte flere salver. Geologisk kartlegging bør omfatte kartlegging av bergartsfordeling, bergmasekvalitet (Q-verdi), strukturer, sprekkeorientering og svakhetssoners orientering og karakteristikk. Spenningsforhold og vannlekkasjer skal også kartlegges.

4 Referanser

- [1] Eurokode 0: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016.
- [2] Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering – Del 1 Allmenne regler NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2016.
- [3] Veileder til bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering.
- [4] Statens vegvesen Håndbok N200 Vegbygging, 2018.
- [5] Statens vegvesen Håndbok N500 Vegtunneler, 2016.
- [6] Statens vegvesen Håndbok V520 Tunnelveiledning, 2016.
- [7] Statens vegvesen Håndbok R760 Styring av vegprosjekter.
- [8] Statens vegvesen Håndbok R761 Prosesskode 1, 2018.
- [9] NS 8141:2001 Vibrasjoner og støt. Måling av svingehastighet og beregning av veiledende grenseverdier for å unngå skade på byggverk.
- [10] 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.
- [11] Bergartsanalyse fra Hammerkammen: Jernbaneverket Utbygging. Nordlandsbanen. Dobbeltspor Stjørdal – Åsen. Tiltaksplan, fagrapport ingeniørgeologi. Dok.nr. PTF-00-A-00023. 19.8.2016.
- [12] Databasen Vannmiljø hos Miljødirektoratet (<https://vannmiljo.miljodirektoratet.no/>).
- [13] NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.
- [14] Grus og pukkdatabasen til NGU.
- [15] Kvartærgeologisk kart (løsmasser og marin grense), NGU.
- [16] Bergvesenet 1980, TB. Befaring Åsen kalkbrudd, Levanger. Rapport BV 93, 14.07.1980
- [17] E6 Kvithammar – Åsen. Reguleringsplan Stjørdal. Rapport R1-TUN-01 Fagrapport tunnel til reguleringsplan Stjørdal.
- [18] E6 Kvithammar – Åsen. Reguleringsplan Stjørdal. Rapport R1-GEOT-09 Geoteknisk fagrapport Stjørdal.
- [19] E6 Kvithammar – Åsen. Reguleringsplan Stjørdal. Rapport R1-GEOT-08 Tolking av geotekniske parametere.
- [20] E6 Kvithammar – Åsen. Reguleringsplan Stjørdal. Rapport R1-VA-01 Fagrapport til reguleringsplan Stjørdal.
- [21] E6 Kvithammar – Åsen. Reguleringsplan Stjørdal. Rapport R1-YM-03 Fagrapport ytre miljø.
- [22] Sweco notater GEOL-05, GEOL-07 til GEOL-10 og GEOL-13.
- [23] Nilsen, B. og Broch, E. (2009) *Ingeniørgeologi berg grunnkurskompendium*, Institutt for geologi og bergteknikk NTNU.

- [24] Statens vegvesen v/Teknologiavdelingen, *Publikasjon 104 – Berginjeksjon i praksis*, 2004.
- [25] NFF (2010), *Håndbok nr. 6 – Praktisk berginjeksjon for underjordsanlegg*.
- [26] NFF (2000), *Håndbok nr. 3 - Arbeidsmiljø under jord*, 2000.
- [27] Gundersen, P. og Beer, H. de (2009), *Statistikk vanngiverevne i forskjellige bergarter. ForForUT deloppgave 3. Statusrapport 2009. NGU rapport 2009.066*.
- [28] NGI, «M-310 Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter,» Veileder for miljødirektoratet. Dok. Nr. 20120842-01-R, 2015.
- [29] E. Endre, «Bygging på alunskifer og andre svarte og grå leirskifer,» Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF), 2019.
- [30] Kortreist Stein – SINTEF.
- [31] Frosta, berggrunnsgeologisk kart 1622-2, 1:50000. Roberts, D. 1985. Foreløpig utgave, NGU.
- [32] Aasly, Alnæs et. al. (2019) SINTEF Fag 62. forundersøkelser og bruk av kortreist stein. En geologisk veileder.
- [33] Trafikkberegninger, notat N0-TA-01.
- [34] Berggrunnskart 1:50 000, NGU.
- [35] Grunnvannsdatabasen GRANADA, NGU.
- [36] Skredhendelser og aktsomhetskart, NVE.
- [37] Helningskart, NGI.
- [38] Miljøstatus fra Miljødirektoratet.
- [39] Statens vegvesen v/Teknologiavdelingen (2003), *Publikasjon 103 – Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø*.
- [40] NFF (2002), *Håndbok nr. 1 – Berginjeksjon*.