

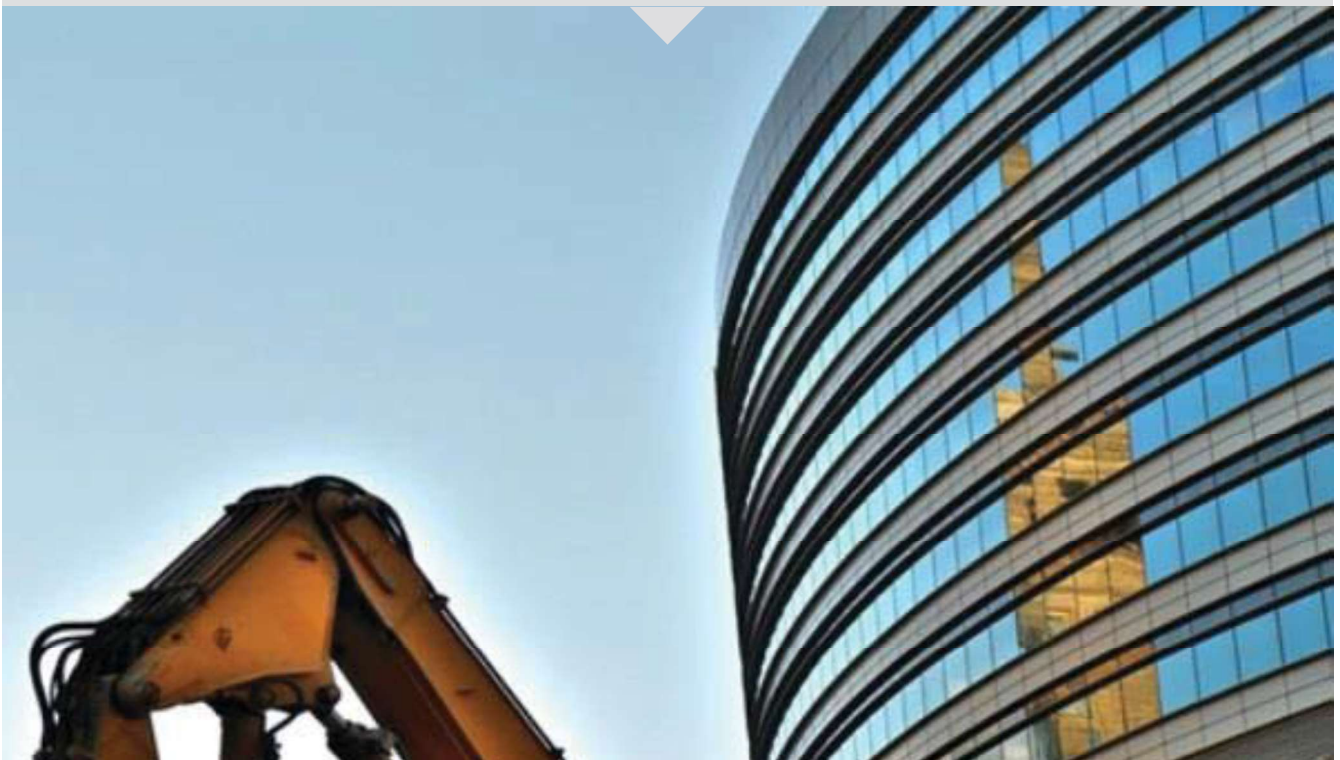
Statens Vegvesen Region Vest

NO-78-GEO

Entreprise E13

Ingeniørgeologisk rapport for sidetunnel Arsvågen

Konkurransesgrunnlag



Oppdragsnr.: 5144240 Dokumentnr.: NO-78-GEO Versjon: 00A
2016-07-01

Oppdragsgiver: Statens Vegvesen Region Vest
Oppdragsgivers kontaktperson: Tor Geir Espedal
Rådgiver: Norconsult AS, Vestfjordgaten 4, NO-1338 Sandvika
Oppdragsleder: Bjørn A. Kleppesø
Fagansvarlig: Anders Kr. Vik
Andre nøkkelpersoner: Erik Martinelli, Øyvind Dammyr, Tor Øyvind Farsund, Lars Været

00A	2016-07-01	Konkurransesgrunnlag	ErMar	OyDam	BjKle
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Sammendrag

Denne rapporten er utarbeidet for konkurransegrunnlag og presenterer ingeniørgeologiske forhold langs tunneltraseen på entreprise E13, sidetunnel Arsvågen.

Sidetunnelen er en del av prosjektet E39 Rogfast og er en ca. 2000 m lang toløpstunnel som går fra Arsvågen og inn mot den prosjekterte hovedtunnelen. Sidetunnelen vil benyttes som tværrslag i anleggsfasen, og som rømnings- og ventilasjonstunnel etter ferdigstilling av hovedtunnelen. Sidetunnelen drives med to parallelle løp med sprengningsprofil på ca. 76 m² og 49 m².

Berggrunnen i området består av Ryfylkeskifer og autoktone, prekambriske grunnfjellsbergarter. Førstnevnte bergart vil påtreffes i tunnelnivå fra påhugget og et kort stykke innover i tunnelen, mens den resterende delen av tunnelen vil bli drevet gjennom de prekambriske grunnfjellsbergartene.

Det er utført refraksjonsseismiske undersøkelser og kjerneboring langs utvalgte deler av traseen. For vurdering av berggrunnen er det i tillegg foretatt studier av kart, flyfoto og foreliggende grunnlagsmateriale, samt tidligere utførte grunnundersøkelser og feltkartlegging.

Sikringsomfanget tilpasses bergkvaliteten lokalt, slik at tilfredsstillende stabilitet oppnås. Stabilitetssikringen vil hovedsakelig bestå av bergbolter og fiberarmert sprøytebetong. I forbindelse med svakhetssoner vil tyngre sikring være nødvendig.

Krav til innlekkasje i tunnelen er satt med hensyn til tunneldriving og permanent driftssituasjon. Innlekkasjekrav for tunnelen er satt til 20 l/min/100 m for hele tunnelen, tilsvarende dimensjonerende kapasitet for vannhåndtering. Kravet er satt under gitte forutsetninger knyttet til privat vannforsyning, herunder kartlegging/dokumentasjon før anleggsstart, og eventuell beredskap under anleggsperioden for husstander med drikkevannsforsyning uten tilknytning til kommunalt nett.

Innhold

1	Innledning	6
1.1	Generell beskrivelse	6
1.2	Tunneltversnitt	7
1.3	Grunnlagsmateriale	7
1.4	Geoteknisk kategori ok kontrollklasse	8
2	Utførte grunnundersøkelser (faktadel)	10
2.1	Feltkartlegging	10
2.2	Refraksjonsseismiske undersøkelser	10
2.3	Kjerneboring	11
3	Grunnforhold (faktadel)	12
3.1	Topografi og løsmasser	12
3.2	Berggrunn	13
3.3	Bergmassens oppsprekking	13
3.4	Bergmassens svakhetssoner	15
3.5	Hydrogeologi	16
3.6	Bergspenninger	16
3.7	Erfaringer fra nærliggende anlegg	16
4	Ingeniørgeologiske vurderinger (tolkningsdel)	17
4.1	Geologiske forhold	17
4.1.1	Forskjæring og påhugg	17
4.1.2	Svakhetssoner	17
4.1.3	Bergspenninger	19
4.2	Bergmassekvalitet	19
4.3	Driveforhold	19
4.4	Stabilitetssikring	20
4.4.1	Sikringsmengde i de ulike bergklassene	20
4.4.2	Sikringsmetoder	21
4.5	Aktuelle tiltak i byggefasen	21
4.5.1	Noen aktuelle tiltak under driving av tunnelen	21
4.6	Anbefalte undersøkelser i byggefasen	22
4.6.1	Sonderboring	22

4.6.2	Kjerneboring på stuff	22
4.6.3	Seismikk på stuff	23
4.6.4	Prøvetaking	23
4.6.5	Konvergensmålinger og lastceller	23
4.6.6	Ingeniørgeologisk kompetanse	23
5	Hydrogeologiske vurderinger (tolkningsdel)	24
5.1	Vurdering av konsekvenser ved grunnvannssenkning	24
5.2	Vurdering av sårbarhet	24
5.2.1	Ytre miljø	24
5.2.2	Utsatte grunnvannsressurser	25
5.2.3	Setningsproblematikk	25
5.3	Innlekkasje og krav til begrensning av innlekkasje med tanke på sårbarhet for ytre miljø	25
5.3.1	Krav til begrensning av innlekkasje i tunnelen	25
6	Vedlegg	27
6.1	Vedlegg 1	27
6.2	Vedlegg 2	27
6.3	Vedlegg 3	27
6.4	Vedlegg 4	27
6.5	Vedlegg 5	27

1 Innledning

1.1 Generell beskrivelse

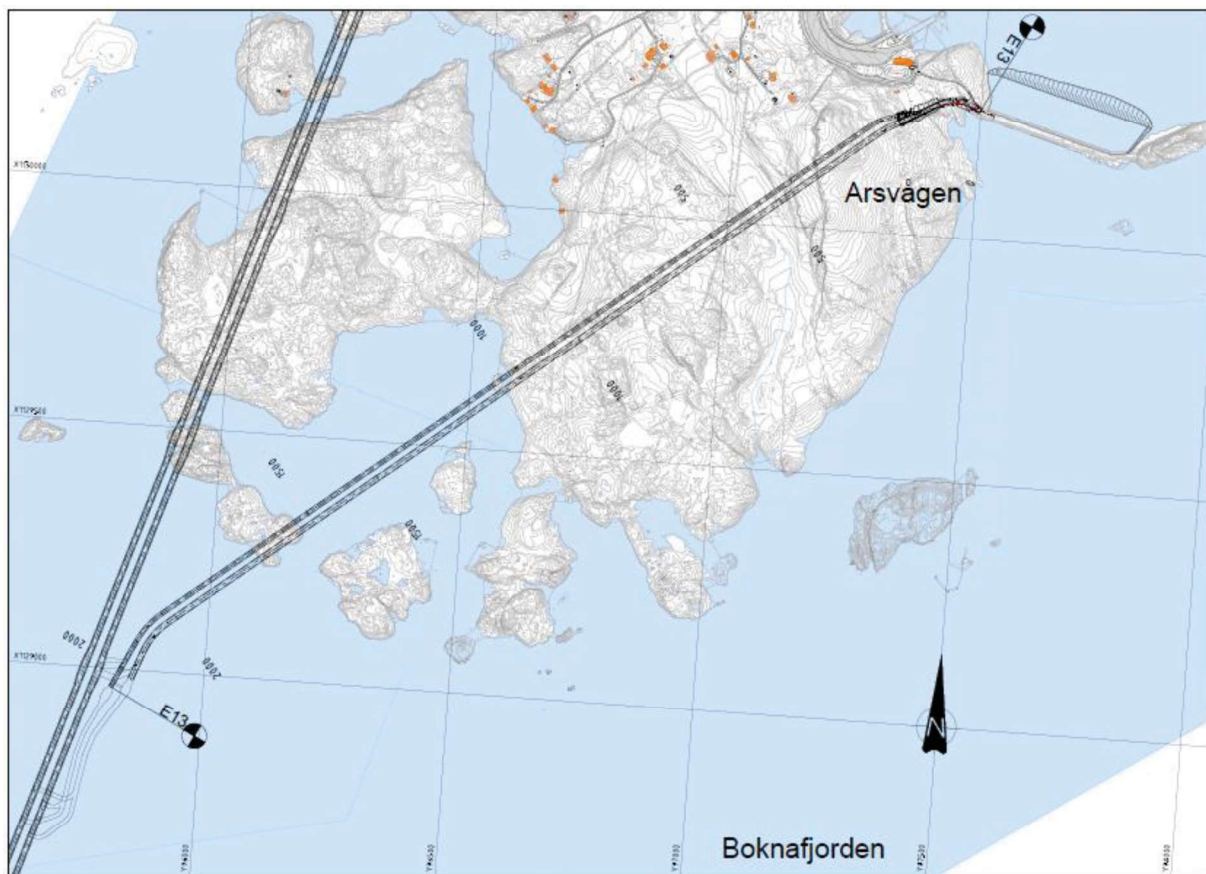
Sidetunnelen fra Arsvågen er en del av prosjektet E39 Rogfast, som vil etablere fergefri forbindelse mellom kommunene Randaberg, Kvitsøy og Bokn.

Tunnelen skal i anleggsfasen benyttes som tverrslag for driving av hovedtunnelen mellom Bokn og Kvitsøy (entreprise E04). I driftsfasen vil tunnelen fungere som rømnings- og ventilasjonstunnel.

Tunnelen drives med to løp, i det videre kalt 34000 og 34100, med lengder på henholdsvis ca. 1940 m og ca. 1980 m.

Figur 1 viser et oversiktskart over strekningen.

Dette dokumentet med vedlegg utgjør den ingeniørgeologiske rapporten for konkurransegrunnlaget til entreprise E13. Rapporten er delt inn i en faktadel, hvor informasjon fra eksisterende grunnlagsmateriale og resultater fra utførte undersøkelser er sammenstilt, og en tolkningsdel.



Figur 1 Oversiktskart over entreprise E13 (utsnitt fra tegning 13-A01-001)

Rapporten må leses sammen med følgende ingeniørgeologiske tegninger, som det er henvist til i teksten er rekke steder:

- 13-V01-750 Ingeniørgeologisk plan og profil (Vedlegg 1)
- 13-V01-751 Detaljer påhuggsområde, plan og profil (Vedlegg 1)
- 13-V01-752 Detaljer påhuggsområde, snitt (Vedlegg 1)
- 13-V34-201 Prinsipp for sonderboring og injeksjon, løp 34000 (Vedlegg 2)
- 13-V34-205 Prinsipp for sonderboring og injeksjon, løp 34100 (Vedlegg 2)
- 13-V10-251 Prinsipp for sikring med kamstålarmerte sprøytebetongbuer (Vedlegg 3)
- 13-V10-261 Prinsipp for sikring med gitterarmerte sprøytebetongbuer (Vedlegg 3)

1.2 Tunnelversnitt

Løp 34000 drives med teoretisk sprengningsprofil på ca. 76 m². Løp 34100 drives med teoretisk sprengningsprofil på ca. 49 m². Det vises til F-tegninger for detaljer.

1.3 Grunnlagsmateriale

Grunnlagsmateriale som er gjennomgått og benyttet i ingeniørgeologisk prosjektering på byggeplanstadiet er gitt i referanselisten og referert til i rapportteksten med tilhørende nummer i firkantparentes.

Utførte grunnundersøkelser er beskrevet i kapittel 2.

Følgende grunnlagsmateriale er benyttet:

Geologiske rapporter og notater:

- [1] Sintef, versjon 2012-09-14 og versjon 2015-02-02: Geologisk rapport for E39 Rogfast, vedlegg til temarapport tunnel
- [2] NGU, oktober 2014: NGU Report 2014.054, Geological investigation for the ROGFAST project in the area between Kvitsøy and Bokn
- [3] NGU, 2006-11-15: NGU Rapport 2006.076, Geological and geophysical investigations for the ROGFAST project

Rapporter fra grunnundersøkelser:

- [4] Geomap, 2007-01-12: E39 Rogfast, Vegtunnel mellom Tungenes på Randaberg og Arsvågen på Bokn, Akustisk profilering, refraksjonsseismikk
- [5] Geomap, 2014-07-09: E39 Rogfast, Refraksjonsseismiska grunnundersökningar
- [6] Rambøll, 2015-11-13: E39 Rogfast, Refraksjonsseismiske undersøkelser på land og i sjø (samt supplerende profiler i 6.4)
- [7] SVV, 2013: Logging, vanntapsmålinger osv. fra kjerneborhullet fra 2013 (se 6.5)
- [8] SVV, 2016: Logging, vanntapsmålinger osv. fra kjerneborhullet fra 2016 (se 6.5)

Diverse kart:

- [9] Berggrunnskart, løsmassekart og brønndatabase (GRANADA) fra NGUs nettsider

Annet grunnlagsmateriale:

- [10] NBG, november 2011: Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering
- [10b] NS-EN1990:2002+NA:2008 Eurokode - Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner
- [11] Karlsrud K., Erikstad L. & Snilsberg P. 2003. Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø. Miljø og samfunnstjenlige tunneler, Vegdirektoratet. Publikasjon nr 103

Rapporter fra nærliggende anlegg:

- [12] SVV, 2009-01-07: Geologisk rapport T-Forbindelsen, Nr. 2003057307-036

1.4 Geoteknisk kategori og kontrollklasse

Geoteknisk kategori settes i henhold til Eurokode 7. Geoteknisk kategori kan fremkomme som en funksjon av prosjektets pålitelighetsklasse (Consequence class/Reliability class) og vanskelighetsgrad, se Tabell 1.

Tabell 1 Definisjon av geoteknisk kategori

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

**Vurderes særskilt (gjelder hovedsakelig atomreaktorer og lagre for radioaktivt avfall)*

Valg av pålitelighetsklasse er gjort ved å vurdere konsekvensene av brudd eller funksjonssvikt for anlegget, og kan klassifiseres som følger («NS-EN 1990:2002+NA:2008 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner, Tillegg B»):

- CC/RC 1: Liten konsekvens i form av tap av menneskeliv og små eller uvesentlige økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser.
- CC/RC 2: Middels stor konsekvens i form av tap av menneskeliv, betydelige økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser.
- CC/RC 3: Stor konsekvens i form av tap av menneskeliv, eller svært store økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser.

Tunnelen vil bli benyttet som anleggstunnel for adkomst og uttransport av masser i anleggsperioden. I driftsperioden vil sidetunnelen fungere som rømningsvei og ventilasjonstunnel, og ferdsel av personell forventes å være begrenset. Uforutsette vanninnbrudd vil kunne få store konsekvenser. Basert på en samlet vurdering er prosjektets pålitelighetsklasse vurdert å være middels, tilsvarende CC/RC 2.

Prosjektets vanskelighetsgrad vurderes på grunnlag av grunnforhold og type prosjekt, og klassifiseres i henhold til «Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering» [10] som følger:

- Lav vanskelighetsgrad: Oversiktige 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 vanskelighetsgrad: Noe uoversiktlige eller vanskelige grunnforhold og et prosjekt som er påvirket av grunnforholdene. Grunnforholdene kan fastlegges med rimelig grad av nøyaktighet. Tilfredsstillende erfaringer fra tilsvarende grunnforhold og konstruksjoner kan dokumenteres.

Høy vanskelighetsgrad: Uoversiktlige eller vanskelige grunnforhold og et prosjekt som er påvirket av grunnforholdene. Grunnforholdene kan bare delvis fastlegges og undersøkelser under bygging kan være nødvendig.

Omtrent halvparten av tunnelen vil være undersjøisk, hvilket begrenser mulighetene for å kartlegge de geologiske forholdene direkte. Forholdene vurderes derfor å være forholdsvis uoversiktlige, og resultatene fra utførte grunnundersøkelser og terrengformasjoner tyder på at det stedvis vil kunne påtreffes vanskelige grunnforhold. Prosjektets vanskelighetsgrad vurderes derfor å være høy.

Basert på en samlet vurdering av pålitelighetsklasse og vanskelighetsgrad, plasseres sidetunnelen fra Arsvågen i geoteknisk kategori 3. CC/RC3 tilsvarer kontrollklasse U (utvidet). I henhold til Eurokode 0 [10b] stilles det dermed krav om utvidet kontroll av både prosjektering og utførelse.

2 Utførte grunnundersøkelser (faktadel)

2.1 Feltkartlegging

Det er utført geologisk feltkartlegging på Bokn i flere omganger.

NGU utførte geologisk feltkartlegging på Bokn i 2006 som et ledd i utarbeidelsen av geologisk modell for prosjektområdet. Resultatene er oppsummert i rapporten «NGU Rapport 2006.076, Geological and geophysical investigations for the ROGFAST project» [3].

SINTEF har utført geologisk feltkartlegging på Bokn i to omganger, i 2011 og 2014. Resultatene er oppsummert i rapporten «Geologisk rapport for E39 Rogfast» av 2012-09-14 [1]. Områdene som er mest relevante for sidetunnelen fra Arsvågen ble kartlagt i 2011, ettersom hovedtunnelens trasé på dette tidspunktet var planlagt med påhugg like vest for fergekaia på Arsvågen. I den senere revisjonen av rapporten, datert 2015-02-02 er ikke dette området beskrevet i like stor detalj, ettersom hovedtunnelen på dette tidspunktet hadde blitt flyttet lenger mot vest. I området rundt sidetunnelens påhugg ble det registrert mest fyllitt, men også granittisk og diorittisk gneis. Observerte Q-verdier varierte mellom 1 og 10.

Norconsult har i 2016 befart området ved parkeringsplassen. Formålet med befaringen var å observere generelle påhuggsforhold for tverrslagstunnelen. Det ble således ikke lagt vekt på registrering av bergartstyper, sprekkeorienteringer og geologiske strukturer over traseen.

Statens vegvesen (SVV) ved Ragnhild Øvrevik Slobodinski har utført ingeniørgeologisk feltkartlegging over tunneltraseen på land sommeren 2016.

2.2 Refraksjonsseismiske undersøkelser

Det er utført refraksjonsseismiske undersøkelser på land og i sjø på Bokn i flere omganger.

Geomap har utført refraksjonsseismikk på land og i sjø over hovedtunnelens daværende trasé i 2006, da hovedtunnelen var planlagt med påhugg like vest for Arsvågen fergekai, og i 2014 etter at traseen hadde blitt flyttet vestover. Disse profilene ligger et stykke fra sidetunnelen og er dermed ikke omtalt nærmere her. For detaljer vises det til rapportene «E39 Rogfast, Vegtunnel mellom Tungenes på Randaberg og Arsvågen på Bokn» av 2007-01-12 [4] og «E39 Rogfast, Refraksjonsseismiske grunnundersøkingar» av 2014-07-09 [5].

Rambøll Danmark har utført refraksjonsseismikk på land og i sjø over sidetunnelen i 2015 og 2016. Profilenes plassering i forhold til sidetunnelen er vist på tegning 13-V01-750 Ingeniørgeologisk plan og profil. De viktigste dataene og resultatene fra profilene er oppsummert i Tabell 2. Det vises for øvrig til Rambølls rapport «E39 Rogfast, Refraksjonsseismiske undersøkelser på land og i sjø» av 2015-11-13 [6] og detaljtegninger av profilene i Vedlegg 4.

Tabell 2 Nøkkeldata for relevante refraksjonsseismiske profiler utført av Rambøll Danmark

Profil nr.	Lengde (m)	Start lavhastighets- sone* (mlp**)	Slutt lavhastighets- sone* (mlp**)	Minste løsmasse- mektighet (m)	Største løsmasse- mektighet (m)
P09-03/15	292	172	238	0	6
P12-01/15	340	-	-	0	0
P12-02/15	347	-	-	0	5
P12-03/15	111	85	110	0	3
P12-04/15	113	-	-	1	5

* med lavhastighetssone menes seksjoner med registrerte hastigheter < 4000 m/s (se Tabell 3)

** meter langs profilet

2.3 Kjerneboring

Det er boret to kjerneborhull på Bokn. Hovedresultatene fra kjerneboringen er gjengitt i det følgende, mens detaljer (bilder, diverse målinger, osv.) følger i Vedlegg 5. Hullenes plassering i forhold til sidetunnelen er vist på tegning 13-V01-750 Ingeniørgeologisk plan og profil.

Ett hull ble boret høsten 2013 over hovedtunnelens daværende trasé. Hullet er ca. 750 m langt med helning på ca. 30°, har startpunkt på Avløbet og er boret i retning tilnærmet mot SV fra utgangspunktet. Hullet ligger SØ for sidetunnelen, og følger sidetunnelen tilnærmet parallelt i en avstand på mellom ca. 300 og 400 m.

I all hovedsak gikk hullet gjennom forskjellige typer gneiser, for det meste av granittisk sammensetning. NGU har logget borkjernen og beskrevet de påtrufne bergartene i detalj. Logging av borkjernene med registrering av sprekker og beregning av Q-verdier er utført høsten 2013 av Lene Eldevik og Ragnhild Øvrevik Slobodinski fra SVV og foreligger for hele lengden. Kjerneboringen og bildene viser enkelte mindre partier med noe mer oppsprekking, men i all hovedsak er det berg med høye RQD-verdier og lite naturlig oppsprekking. 95,5 % av kjerneboringen er angitt å ha Q-verdi over 10. Bergmasse klassifisert med $Q < 10$ utgjør 4,5 % av kjerneboringen. Det er utført vanntapsmålinger mellom 100 og 750 m dyp. Fra 100 til 260 m dyp ble det registrert verdier mellom 0 og 2,2 Lugeon (L), med unntak av en sone mellom 225 og 240 m hvor ble det registrert veldig høye lekkasjer og det ikke ble oppnådd 10 bar trykk. Fra 260 m og videre ble det målt moderate lekkasjer med Lugeonverdier mellom 0 og 2,1 L, med unntak av ett parti ved 515 m dyp med store lekkasjer hvor det ikke ble oppnådd trykk.

Ett hull ble boret sommeren 2016 over sidetunnelens trasé fra den går under sjøen og videre mot sørvest. Hullet er ca. 274 m langt med helning på ca. 18,4°.

Hullet går i sin helhet gjennom granittisk gneis. Logging av borkjernene med registrering av sprekker og beregning av Q-verdier er utført sommeren 2016 av Ragnhild Øvrevik Slobodinski fra SVV og foreligger for hele lengden. Kjerneboringen og bildene viser noen partier med noe mer oppsprekking, men for det meste er det godt berg med middels til høye RQD-verdier. 71,5 % av kjerneboringen er angitt å ha Q-verdi over 10. Bergmasse klassifisert med $Q < 10$ utgjør 28,5 % av kjerneboringen. Det er utført vanntapsmålinger mellom 146 og 750 m 276. Det ble ikke registrert lekkasjer i hullet.

3 Grunnforhold (faktadel)

3.1 Topografi og løsmasser

Oppdatere overdekningstall etter at vi har generert ordentlig bergmodell. Det er for det meste fjell i dagen så tallene vi har nå skal stemme ganske godt.

Terrenget over delen av tunneltraseen som går under land er småkupert, og består hovedsakelig av utmark med noen mindre områder med dyrket mark.

Aktuelt område for påhugg for sidetunnelen ligger ved en parkeringsplass ca. 150 m sør for Arsvågen fergekai. Terrenget ved planlagt påhugg ligger på kote ca. 15, og stiger forholdsvis bratt i bakkant av påhugget opp til ca. 40 moh. ved tunnelprofil ca. 410 i løp 34000 og 240 i løp 34100. På denne strekningen er det hovedsakelig berg i dagen over tunnelen.

Videre faller terrenget bratt ned mot en ca. 150 m bred forsenkning, hvor terrenget på det laveste ligger på ca. kote 15. Ifølge NGUs løsmassekart [9] er det i dette området registrert tynne hav-, fjord- og strandavsetninger som et usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen, med hyppige bergblotninger. Løsmassemektheten er angitt som normalt mindre enn 0,5 m, men kan stedvis være noe større. Det er skutt to refraksjonsseismiske profiler i forsenkningen (profiler P12-03/15 og P12-04/15, se delkapittel 2.2). Resultatene fra disse indikerer stort sett liten løsmassemekthet, med største registrerte mektighet på ca. 4 m. Laveste overdekning til terrengnivå under forsenkningen er ca. 23,6 m ved ca. profil 500 i løp 34000.

Etter forsenkningen stiger terrenget forholdsvis jevnt opp til ca. kote 20, for deretter å falle ned mot strandkanten. På denne strekningen er det berg i dagen og tynne løsmasser av samme type som nevnt i forrige avsnitt, og overdekningen til terreng er minst 30 m. Tunnelen går under sjøen ved ca. profil 1 170 i løp 34000 og 1 000 i løp 34100, med overdekning til terreng på ca. 60 m for begge løpene.

Videre og fram til tunnelen krysser under Stongholmen, ved ca. profil 1 700 i løp 34000 og 1 530 i løp 34100, er sjøbunnen forholdsvis flat og ligger for det meste mellom kote -2 og -10. Det er skutt ett refraksjonsseismisk profil parallelt med- og i kort avstand fra tunnelen på strekningen mellom Hedleholmen og Stongholmen (profil P12-02/15, se delkapittel 2.2). Det ble stort sett registrert minimalt med løsmasser over sjøbunnen langs profilet, med unntak av en lite markert forsenkning hvor løsmassemektheten på det meste er oppe i ca. 6 m. Overdekningen på denne strekningen øker fra ca. 60 m der tunnelene går under sjøen til ca. 100-110 m under Stongholmen.

Fra Stongholmen og fram til entrepriseslutt faller sjøbunnen jevnt med omtrent samme vinkel som tunnelen. Refraksjonsseismiske profiler skutt i nærheten til tunnelen i dette området viser stort sett minimalt med løsmasser på sjøbunnen, men stedvis forekommer det løsmassemektheter på opp til ca. 10 m. Overdekningen opp til sjøbunnen på den siste undersjøiske strekningen, fra Stongholmen til entrepriseslutt, er på det minste ca. 60 m.

For detaljer vises det til tegning 13-V01-750 Ingeniørgeologisk plan og profil, som viser terrengnivå og bergoverflate interpolert fra utførte grunnundersøkelser og kartlegging i felt over tunnelen. For påhuggsområdet vises tilsvarende i større detalj på tegninger 13-V01-751 og 13-V01-752.

3.2 Berggrunn

Ifølge NGUs tolkning av strukturgeologien i prosjektområdet [1], består berggrunnen i prosjektområdet av to hovedbergarter, Ryfylkeskifer og autoktone, prekambriske grunnfjellsbergarter. Førstnevnte bergart vil påtreffes i tunnelnivå fra påhugget og et kort stykke innover i tunnelen, mens den resterende delen av tunnelen vil bli drevet gjennom de prekambriske grunnfjellsbergartene.

Ryfylkeskiferen består av kambrosiluriske bergarter omdannet under den kaledonske fjellkjedefoldingen til fyllitt, glimmerskifer og kvartsglimmer. Bergarten beskrives av NGU [9] som fyllitt og glimmerskifer med kvartslinser eller benker av kvartsitt, stedvis granatførende.

Grunnfjellsbergartene beskrives av NGU [9] som diorittisk til granittisk gneis, stedvis migmatittisk, foliert, middels- til finkornet, og kvartsdioritt, tonalitt eller trondhemitt, diorittisk, middelskornet, stedvis forgneiset. I NGUs kjernelogging av kjerneborhullet fra 2013 [7] er det beskrevet at grunnfjellsbergartene stedvis inneholder linser med kvarts, amfibol, aplitt, og gabbro. I kjerneloggen av kjerneborhullet boret i 2016 [8] beskrives bergarten stort sett som en mørk granittisk gneis, med innslag av grove feltspatkorn, serpentin, amfibol, pyritt, kvarts, kalkspat, biotitt og granat.

Bergartsgrensen mellom Ryfylkeskiferen og grunnfjellsbergartene følger et løsmassefylt søkk i terrenget, og kan dermed ikke observeres i felt over tunneltraseen. Bergartsgrensens eksakte plassering og orientering er derfor ikke kjent.

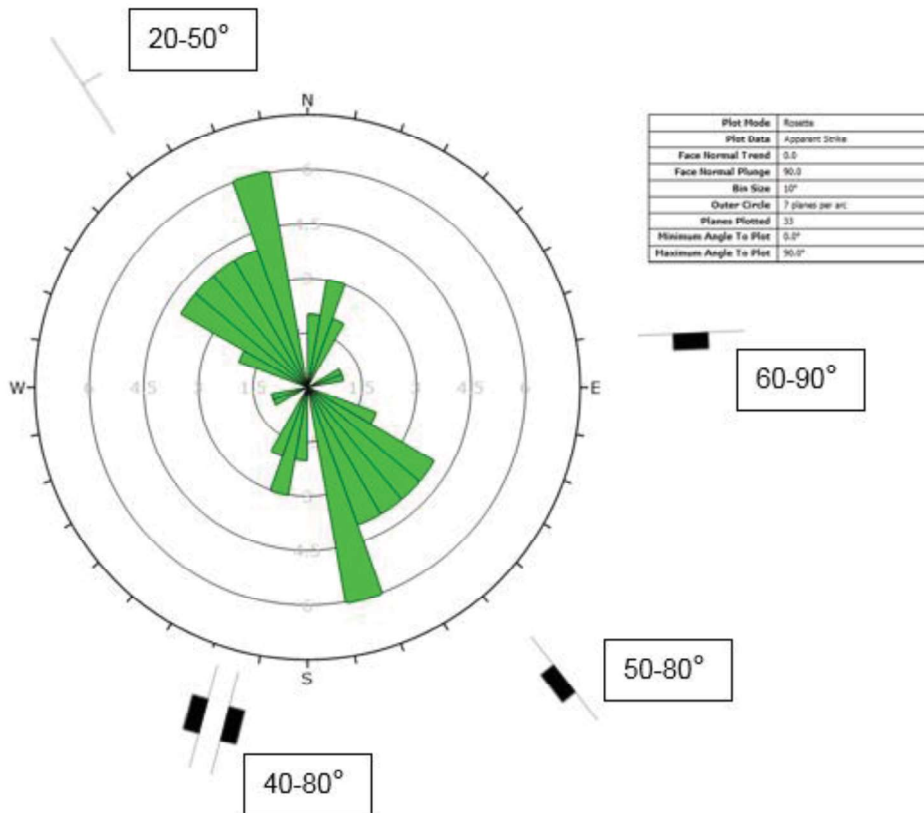
3.3 Bergmassens oppsprekking

Figur 2 og Figur 3 viser sprekkeroser for sprekkemålinger utført i henholdsvis Ryfylkeskifer og grunnfjellsbergarter. Målingene ble utført av Ragnhild Øvrevik Slobodinski sommeren 2016. I sprekkerosene angir symbolet med tynn strek i fallretningen orientering av foliasjon/skifrihet, mens symbolet med tykk strek i fallretningen angir orientering av sprekkesett.

I Ryfylkeskiferen er det registrert følgende sprekkesett:

- Oppsprekking langs skifriheten med strøk NV-SØ til NNV-SSØ og fall på 20-50° mot øst. Sprekkeavstanden varierer typisk mellom 5 cm og 0,5 m. Dette sprekkesettet er klart dominerende i Ryfylkeskiferen.
- Sprekkesett med strøk NV-SØ til NNV-SSØ og fall på 50-80° mot vest. Sprekkeavstanden varierer typisk mellom 0,3 m og 3 m.
- Sprekkesett med strøk NNØ-SSV og fall på 40-80° i begge retninger. Sprekkeavstanden varierer typisk mellom 0,5 m og 5 m, men stedvis er det registrert tettere oppsprekking med sprekkeavstand ned til 5 cm.
- Sprekkesett med strøk ØNØ-VSV og fall 60-90° mot sør. Sprekkeavstanden varierer typisk mellom 0,5 og 2 m. Dette sprekkesettet er av forholdsvis sporadisk karakter og er kun målt ved et par lokaliteter.

Generelt for Ryfylkeskifer er sprekkeflatene ru eller ujevne og bølgete ($J_r = 3$) og relativt uomvandlede, med bare overflateoksidasjon/overflateforvitring ($J_a = 1$).

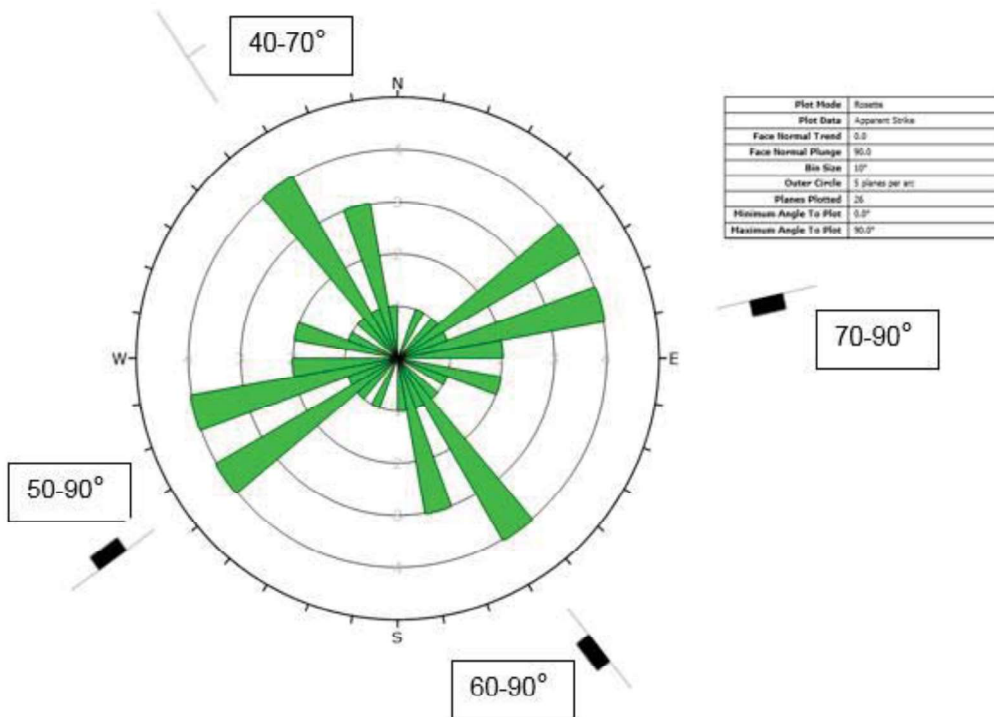


Figur 2 Sprekkerose for tunnelstrekning i Ryfylkeskifer

I grunnfjellsbergartene er det registrert følgende sprekkeseett:

- Sprekkeseett med strøk NV-SØ og fall på 40-70° mot NØ. Dette sprekkeseettet følger foliasjonen i bergmassen. Foliasjonen er velutviklet noen steder, mens andre steder fremstår bergmassen som massiv og uten noen utpreget foliasjonsretning. Sprekkeavstanden i dette sprekkeseettet viser således stor variasjon, fra 2-10 cm til 4 m, med typiske avstander mellom 0,1 og 2 m.
- Sprekkeseett med strøk ØNØ-VSV og fall på 70-90° mot sør (ved noen få lokaliteter er det registrert slakere fall, 30-50°). Sprekkeavstanden varierer typisk mellom 0,3 m og 4 m.
- Sprekkeseett med strøk NØ-SV til ØNØ-VSV og fall på 50-90° mot nord. Sprekkeavstanden varierer typisk mellom 0,5 m til 4 m.
- Sprekkeseett med strøk NV-SØ til NNV-SSØ og fall på 60-90° mot vest. Sprekkeavstanden varierer typisk mellom 0,3 og 2 m.
- Stedvis er det registrert overflateparallel oppsprekking

Generelt for grunnfjellsbergartene er sprekkeflatene ru eller ujevne og plane ($J_r = 1,5$). Sprekkene som ble kartlagt i felt på land har i hovedsak uomvandlede sprekkeflater, med bare overflateoksidasjon og/eller overflateforvitring ($J_a = 1$). I kjernehuslet som ble boret over tunneltraseen i 2016 er det imidlertid observert en del sprekkeflater med utfelling av kalkspat ($J_a = 2$).



Figur 3 Sprekkerose for tunnelstrekning i grunnfjellsbergarter

I tillegg til de ovennevnte sprekkeseftene forekommer det mer sporadiske sprekker og villsprekker med tilsynelatende tilfeldig orientering i begge bergartene.

Sprekkerosene viser godt samsvar med tidligere registreringer som er gjort i området.

3.4 Bergmassens svakhetssoner

Svakhetssoner er tolket ved hjelp av flyfoto, kart, resultater fra grunnundersøkelser og feltkartlegging.

Det er identifisert 14 svakhetssoner som antas å ville krysse sidetunnelen.

Svakhetssonene og vurderinger av sonenes innvirkning på sidetunnelen er nærmere beskrevet i kapittel 4, rapportens tolkningsdel. Antatt beliggenhet og orientering av antatte svakhetssoner er vist på ingeniørgeologisk plan og profil i Vedlegg 1 (tegning 13-V01-750).

På grunn av løsmasser, utfyllinger og lignende, er det ofte ikke tydelige trekk i topografien som kan angi svakhetssoner på land. For delen av tunnelen som går under sjø er svakhetssoner tolket ut ifra resultatene fra kjerneboringer og refraksjonsseismikk. Det kan ikke utelukkes at tunnelen vil kunne påtreffe partier med redusert bergmassekvalitet i tillegg til sonene som er listet opp i.

3.5 Hydrogeologi

Fyllittiske bergarter har generelt lav vanngiverevne, og de fleste erfaringer tilsier at det er lite problemer med innlekkasje utenom svakhetssoner. Dette gjelder også øvrige bergarter på strekningen, selv om noe høyere vanngiverevne kan forventes i disse.

Løsmassene over tunnelen klassifiseres av NGU som masser uten- eller med begrenset grunnvannspotensial. Eventuell eksisterende utnyttelse av grunnvann i området forventes derfor i form av borebrønner i berg. I NGUs grunnvannsdatabase Granada [9] er det imidlertid ikke registrert brønner i området, og det foreligger ingen målinger av grunnvannstand. Informasjon fra Bokn kommune tyder imidlertid på at private borebrønner/kilder forekommer i området.

Kartunderlag og flyfoto viser to sørgående bekker, samt et myrområde på Arneset. Myrområdet kan være et uttrykk for grunnvannstand i området, men er trolig betydelig nedbørsbetingset. Det er ingen registrerte åpne vannspeil som kan anses å være uttrykk for grunnvannstand i området.

3.6 Bergspenninger

Det er ikke utført bergspenningsmålinger i forbindelse med prosjekteringen av sidetunnelen fra Arsvågen. Bergspenningsmålinger utført tidligere i regionen har gitt varierende resultater.

Målinger utført i regionen rundt Stavanger har ofte vist at det forekommer til dels høye horisontalspenninger. Største hovedspenningsretning i området varierer i orientering mellom N-S og Ø-V.

Pöyry utførte bergspenningsmålinger i et kjerneborhull på Krågøy i 2011 [1] for å undersøke bergspenningsforholdene ved det planlagte kryssområdet ved Kvitsøy. Pöyry opplevde store problemer med å få gode og et tilfredsstillende antall målinger, og resultatene er derfor beheftet med en forholdsvis stor usikkerhet (oppgitt av Pöyry til ± 3 MPa). Det ble gjort målinger på 75 og 198 m dybde i hullet. Ved 75 m ble σ_1 målt til 2,9 MPa (subvertikalt, orientert N77°Ø), σ_2 ble målt til 1,6 MPa (N184°Ø), og σ_3 ble målt til -0,7 MPa (N301°Ø). Ved 198 m ble σ_1 målt til 12,1 MPa (subvertikalt, orientert N74°Ø), σ_2 ble målt til 11,1 MPa (N73°Ø), og σ_3 ble målt til 4,3 MPa (N164°Ø).

Det ble ikke rapportert om bergspenningsproblemer under bygging av gassrørtunnelene [12].

Det planlegges å utføre bergspenningsmålinger i kjerneborhull på Kvitsøy i løpet av sommeren/høsten 2016. Resultatene fra disse målingene foreligger ikke ved ferdigstillelsesdatoen for versjon 00A av denne rapporten.

3.7 Erfaringer fra nærliggende anlegg

Så vidt vites finnes det ingen tunneler eller fjellanlegg i umiddelbar nærhet til den planlagte sidetunnelen fra Arsvågen. Nærmeste tunnel er Håklepptunnelen, en ca. 600 m lang tunnel lang E39 på Austre Bokn som ble åpnet i 1992. Tunnelen ligger i sin helhet i Ryfylkeskiferen. Materiale fra prosjektering og driving av denne tunnelen er ikke lykkes fremskaffet.

Det er drevet en rekke tunneler og bergrom i regionen, hvorav flere undersjøiske. Alle disse ligger minst 15 km fra sidetunnelen. Erfaringer fra disse er ikke beskrevet i nærmere detalj i denne rapporten.

4 Ingeniørgeologiske vurderinger (tolkningsdel)

4.1 Geologiske forhold

4.1.1 Forskjæring og påhugg

Tegningene i Vedlegg 1 (samt relevante C- og F-tegninger) viser påhuggsområdet med forskjæring. Påhugget er plassert ved en parkeringsplass ca. 150 m sør for Arsvågen fergekai

Forskjæringen drives fram til påhugget, hvor terrenget ligger på ca. kote 15. Maksimal høyde av bergskjæringene vil være i underkant av 15 m. Bergoverdekningen ved påhugget er antatt å være ca. 5 m. Eksakt påhuggsplassering vil måtte bestemmes etter avdekking og utsprenning av forskjæring, og tilpasses de stedlige forholdene.

Sikring av skjæringsveggene forutsettes utført med forbolter, bolter og sprøytebetong, eventuelt supplert med bånd og nett ved behov. Påhugget sikres med forbolter montert tilnærmet parallelt med tunnelaksen. Forboltene forankres med fjellbånd. Terrenget stiger forholdsvis bratt i bakkant av påhugget, og tunnelen vil dermed relativt raskt få tilfredsstillende overdekning over begge løp.

4.1.2 Svakhetssoner

Svakhetssoner er tolket ved hjelp av flyfoto, topografiske kart, resultater fra refraksjonsseismikk og kjerneboringer, og resultater fra feltkartlegging i området.

Antatt beliggenhet og orientering av antatte svakhetssoner er vist på ingeniørgeologisk plan og profiltegning i Vedlegg 1. Svakhetssoner tolket med grunnlag i refraksjonsseismikk er tolket for hastigheter under 4000 m/s. Strekninger med hastigheter i området 4000-4500 m/s er generelt tolket som soner med økt oppsprekking i bergmassen, men betegnes ikke som svakhetssoner. Sonenes beskaffenhet er estimert ut ifra seismisk hastighet som vist i Tabell 3. Det vil være stor usikkerhet knyttet til en slik estimering av beskaffenhet basert på seismisk hastighet alene.

Tabell 3 Antatt beskaffenhet av svakhetssoner basert på seismisk hastighet

Seismisk hastighet	Sonens beskaffenhet
4000-4500 m/s	Oppsprukket berg/sprekkesone
3500-4000 m/s	Svakhetsone, tett oppsprekking
3000-3500 m/s	Knusingssone
< 3000 m/s	Leirholdig knusingssone/leirsoner

Det er identifisert 14 svakhetssoner som antas å kunne krysse sidetunnelen. Opplysninger og om antatte svakhetssoner langs sidetunnelen fra Arsvågen er oppsummert i Tabell 4.

Tabell 4 Beskrivelse av antatte svakhetssoner langs sidetunnelen fra Arsvågen

Sone nr.	Antatt profil nr. i tunnelnivå (løp 34100)	Antatt retning i forhold til tunnelakse [°]	Antatt sonebredde [m]	Antatt bergoverdekning (løp 34100) [m]	Seismisk hastighet [m/s]	Plassering langs kjerne hull 2016 [m fra-til]	Antatt bergmasseklasse
1	75	75	< 5 m	10-15	-	-	D
2	220	60	10-15 m	45	-	-	D-E
3	350	90	10-15 m	20	2800-3500	-	E-F
4	420	90	5-10 m	35	3000-4000	-	D-E/F
5	570	80	< 5 m	55	-	-	D-E
6	660	90	< 5 m	60	-	-	D
7	715	90	5-10 m	65	-	-	D-E
8	780	70	< 5 m	65	-	-	D
9	875	90	< 5 m	70	-	-	D
10	990	90	ca. 5 m	70	-	90-94	D
11	1015	90	5-10 m	70	-	113-120	D
12	1470	90	< 5 m	85	> 4000	-	D
13	1610	40	ca. 5 m	115	> 4000	-	D
14	2020	35	10-30 m	60	3400-4000	-	D-E/F

På land er de antatte svakhetssonene (soner 1 til 9) hovedsakelig basert på flyfotostudie og tolkninger av utførte refraksjonsseismiske undersøkelser. Plassering av antatte svakhetssoner under sjø (soner 10 til 14) er basert på tolkninger av utførte refraksjonsseismiske undersøkelser og kjerneboringer. Sonenes retning er tolket med grunnlag i de ulike seismiske profiler og kjerne hull, samt terrengformasjoner. De fleste soner antas å stryke omtrent N-S til VNV-ØSØ. Sonenes fall framkommer ikke fra de seismiske undersøkelsene eller kjernene og er således ikke kjent. Sonene er derfor markert med spørsmålstegn på ingeniørgeologisk profil.

Soner 1, 5, 6, 8 og 9 samsvarer med mindre søkk i terrenget. Det antas at disse søkkene utgjør utgående i dagen av mindre soner med oppsprukket bergmasse og/eller smale slepper som også vil påtreffes i tunnelnivå.

Soner 2, 3, 5 og 7 er noe mer markerte i terrenget, og det antas derfor at disse sonene er bredere og/eller av dårligere beskaffenhet enn de ovennevnte. Sone 2 er tolket langs en opptil 10 m høy bergvegg som stryker omtrent N-S. Soner 3 og 4 er tolket som beliggende i et forholdsvis bredt søkk i terrenget, hvor det også er registrert seismiske lavhastighetssoner. Det forventes generelt at hele strekningen mellom svakhetszone 2 og svakhetszone 4 vil ha middels til dårlig bergmassekvalitet, med de mest krevende forholdene ved kjernen til de inntegnede svakhetssonene. Bergartsgrensen mellom Ryfylkeskifer og grunnfjellsbergartene går også i dette området.

Soner 10 til 13 er inntegnet basert hovedsakelig på kjerneloggene fra kjerne hullene boret i 2013 (soner 12 og 13) og 2016 (soner 10 og 11). I kjerneloggene framstår disse sonene som mindre partier med forholdsvis tett oppsprekking og noe belegg på sprekkeflatene.

Sone 14 er tolket ut ifra resultater fra utførte refraksjonsseismiske undersøkelser. Sonen antas å ha utgående på sjøbunnen omtrent rett over entrepriselutt for løp 34100. Hvorvidt denne sonen vil påtreffes i tunnel, og eventuelt om den kun vil påtreffes i løp 34100 eller i begge og lengden på svakhetssonen i tunnelnivå, vil derfor være avhengig av sonens fall mot dypet.

Det bør forventes behov for tyngre sikring og injeksjon, samt muligens reduserte salver ved passering av noen av disse svakhetssonene. Spesielt området mellom soner 2 og 4, sone 7 og sone 14 forventes å kunne gi krevende forhold. Det forventes at kamstålarmerte sprøytebetongbuer vil være tilstrekkelige som permanentsikring i de fleste tilfeller, men det kan ikke utelukkes behov for tyngre sikring som eksempelvis gitterbuer og eventuelt full utstøpning.

4.1.3 Bergspenninger

Ved påhugget og ved passering av svakhetssoner vil bergmassen kunne være spenningsavlastet, noe som kan medføre økt sikringsbehov. Ellers forventes generelt gunstige spenningsforhold.

4.2 Bergmassekvalitet

Basert på informasjon og tolkninger beskrevet i tidligere kapitler er det gjort et estimat av fordelingen av bergmasseklasser langs sidetunnelen, se Tabell 5. Sammenhengen mellom bergmasseklasser og sikringsklasser er nærmere beskrevet i delkapittel 4.4.1.

Tabell 5 Estimert fordeling av bergmasseklasser langs tunneltraseen

Bergmasseklasse	Q-verdi	Andel av tunnel
A/B	10 - 100	33 %
C	4 - 10	45 %
D	1 - 4	15 %
E	0,1 - 1	5 %
F	0,01 - 0,1	2 %
G	< 0,01	0 %
Sum		100 %

4.3 Driveforhold

Det er ikke registrert forhold som indikerer spesielle forhold i forbindelse med borbarhet og sprengbarhet.

Det må påregnes bruk av reduserte salvelengder og/eller delte salver ved sprengning i særlig dårlig berg og partier med liten overdekning. Antatte krevende partier/soner er beskrevet i delkapittel 4.1.2. I forbindelse med svakhetssoner kan det også være bore- og ladevansker. Det antas at det i de første salvene inn fra påhugget benyttes reduserte salvelengder og/eller delte salver.

Tunnelen vil bli drevet med en gunstig retning (tilnærmet vinkelrett) i forhold til orienteringen av skifriheten/foliasjonen i Ryfylkeskiferen og grunnfjellsbergartene. Tunnelen vil derimot få liten vinkel til hovedsprekkesettene i grunnfjellsbergartene, som stryker NØ-SV til ØNØ-VSV. Sprekker med tilsvarende orientering er også stedvis registrert i Ryfylkeskiferen. Dette vil kunne føre til økt boreavvik ved boring av lange hull og økte vannlekkasjer dersom sprekken viser seg å være vannførende.

Både Ryfylkeskiferen og grunnfjellsbergartene inneholder linser og/eller benker med kvarts, noe som vil kunne medføre økt borslitasje.

I forbindelse med permeable svakhetssoner og/eller åpne sprekker vil det kunne oppstå store vanninnbrudd i tunnelen.

4.4 Stabilitetssikring

4.4.1 Sikringsmengde i de ulike bergklassene

Tabell 7.1 i Statens vegvesens Håndbok N500, som beskriver sammenhengen mellom bergmasseklasser og sikringsklasser, vil generelt benyttes som utgangspunkt for dimensjonering av permanent sikring. Antatt omfang og metoder for stabilitetssikring vil framkomme i detalj i teknisk beskrivelse. Tabell 7.1 er gjengitt her i Tabell 6. Sprøytebetongtykkelse er modifisert grunnet krav til bruk av stålfiberarmering, slik at minste tykkelse er 110 mm i saltvannssone.

Tabell 6 Sammenheng mellom bergmasseklasser (Q-systemet) og sikringsklasser for permanent sikring (gjengitt fra Håndbok N500, Tabell 7.1). Til tabellen hører også kommentarer som er listet opp under tabellen i Håndbok N500, kapittel 7.3.2.

Bergmasse-klasse	Bergforhold Q-verdi	Sikringsklasse Permanent sikring
A/B	Lite oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand > 1 m. Q = 10-100	Sikringsklasse I - Spredt bolting - Sprøytebetong B35 E700 tykkelse 110 mm, ned til 2 m over såle
C	Moderat oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand 0,3-1 m. Q = 4-10	Sikringsklasse II - Systematisk bolting (c/c 2m), endeforankrede, forspente, gyste - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 110 mm, sprøytes ned til såle
D	Tett oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand < 0,3 m. Q = 1-4	Sikringsklasse III - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 110 mm eller mer - Systematisk bolting (c/c 1,5 m) endeforankrede, endeforankrede som gyses i ettertid, eller gyste
E	Svært dårlig bergmasse. Q = 0,1-1	Sikringsklasse IV - Forbolting ved Q < 0,2, Ø25 mm, maks. c/c 300 mm - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm - Systematisk bolting, c/c 1,5 m, gyste - Armerte sprøytebetongbuer ved Q < 0,2, buedimensjon E30/6 Ø20 mm, c/c 2-3 m, buene boltes systematisk, c/c 1,5 m, lengde 3-4 m - Sålestøp vurderes
F	Ekstremt dårlig bergmasse. Q = 0,01-0,1	Sikringsklasse V - Forbolting, c/c 200-300 mm, Ø32 mm eller stag (selvborende)

		<ul style="list-style-type: none"> - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150-250 mm - Systematisk bolting, c/c 1,0-1,5 m, gyste - Armerte sprøytebetongbuer, buedimensjon D60/6+4, Ø20 mm, c/c 1,5-2 m, buene boltes systematisk, c/c 1m, lengde 3-6 m - Armert sålestøp, pillhøyde min. 10% av tunnelbredden
G	Eksepsjonelt dårlig bergmasse. Stort sett løsmasse. Q < 0,01	Sikringsklasse VI - Driving og sikring dimensjoneres spesielt

4.4.2 Sikringsmetoder

Stabilitetssikringen forventes hovedsakelig å bestå av bolter og fiberarmert sprøytebetong. Sikringen skal utføres systematisk og i hovedsak på stoff. Sikringsomfanget tilpasses bergkvaliteten lokalt, slik at tilfredsstillende stabilitet oppnås.

Ved kryssing av svakhetssoner vil det være nødvendig med tyngre sikring. Dimensjonering av sikring i svakhetssoner må vurderes i hvert tilfelle, og må ikke nødvendigvis følge Tabell 6 i detalj. Dette fordi det ikke alltid er hensiktsmessig å bestemme sikring kun ut fra bergklasse (Q-verdi). Orientering og kompleksitet av svakhetssoner vil blant annet være viktige parametere som innvirker på stabilitetsnivået.

Bolter til permanent sikring skal være gyste, varmforsinket og pulverlakkert med epoxy. Det skal benyttes stålfiber i sprøytebetongen. Det henvises for øvrig til den tekniske beskrivelsen.

4.5 Aktuelle tiltak i byggefasen

4.5.1 Noen aktuelle tiltak under driving av tunnelen

Tabell 7 beskriver noen aktuelle tiltak under driving av tunnelen som oppfølging, målinger og kontroll samt tiltak utover vanlig stabilitetssikring. I tabellen er det også beskrevet noen aktuelle tiltak under bruk av tunnelen utover observasjoner og vanlig vedlikehold.

Tabell 7 Generell klassifisering av stabilitetsforhold og aktuelle tiltak under bygging og under bruk av tunnelen

Type stabilitet		Tiltak		
Bergmasseklasse	Svakhets-soneklasse	Under driving ¹⁾		Under bruk
		Oppfølging/målinger/kontroll	Aktuelle tiltak under driving (utover vanlig stabilitetssikring ²⁾)	Aktuelle tiltak utover observasjoner/vanlig vedlikehold
A/B		- Ingeniørgeologisk kartlegging før tildekking med sprøytebetong.	- Sonderboring - Ev. forinjeksjon m/kontroll hull	
C		- Observasjon og kartlegging av bergforholdene etter hver salve før tildekking med	- Samme som over	- Ev. labtesting av leirmateriale

		sprøytebetong - Oppfølging av driving og av utførelse av sikringsarbeider - Registrering av lekkasjer i sonderhull		
D	I	- Samme som C	- Samme som over - Ev. labtesting av leirmateriale	- Samme som C
E	II – III	- Samme som C og D - Ev. deformasjons- og konvergensmålinger	- Samme som over - Utvidelse av tunneltverrsnitt - Ev. konvergensmålinger - Ev. sprøytebetong på stoffen - Ev. bruk av selvborende stag - Ev. reduserte og/eller delte salver	- Samme som C og D - Ev. konvergensmålinger
F	II - III	- Samme som C, D og E - Ev. måling av tøyning i sprøytebetongbuer - Poretrykksmålinger	- Samme som over - Ev. bruk av gitterbuer istedenfor sprøytebetongbuer - Ev. kjerneboring fra stoff	- Samme som C, D og E - Ev. måling av tøyning/deformasjoner i sprøytebetongbuer - Poretrykksmålinger
G	III - IV	- Samme som C, D, E og F - Registrering av bergartsegenskaper	- Samme som over - Ev. ekstra forsterkning med for eksempel utstøpning	- Samme som C, D, E og F - Supplerende labtester

¹⁾ For alle klassene gjelder utarbeidelse av prognose for den videre driften. Dette er særlig aktuelt i klassene D-G der prognoser for neste salver/neste 10-25 m tunnel bør utarbeides og kontinuerlig oppdateres.

²⁾ Dette er stabilitetssikring som er tilpasset de stedlige forholdene og er vist i Tabell 6

4.6 Anbefalte undersøkelser i byggefasen

4.6.1 Sonderboring

Det legges opp til systematisk sonderboring i hele tunnelens lengde. Det vises til tegning 13-V34-201 og 13-V34-205 for prinsipp for sonderboring og injeksjon i henholdsvis løp 34000 og 34100. Sonderboring vil benyttes for å skaffe opplysninger om bergmassekvalitet og vannforhold foran stoff, og vil således være en del av grunnlaget for beslutning vedrørende injeksjon og sikringsomfang.

4.6.2 Kjerneboring på stoff

Det vil kunne være aktuelt å kjernebore fra stoff eller sidenisjer gjennom svakhetssoner som antas å kunne gi spesielt krevende forhold med tanke på driving, stabilitet eller innlekkasjer. Behovet for eventuell kjerneboring fra stoff må vurderes fortløpende under driving basert på blant annet sonderboring, tolkning av MWD-logger og erfaringer fra bergmassen og svakhetssoner som tilegnes under tunneldrivingen.

4.6.3 Seismikk på stuff

Det vil kunne være aktuelt å utføre seismiske undersøkelser fra stuff i forkant av antatte svakhetssoner. Selve undersøkelsene vil i så fall utføres av byggherren med eget utstyr og personell. Entreprenøren vil bistå byggherren med maskiner og forberedende arbeider (eksempelvis boring av hull i tunnelveggen for plassering av sprengladninger). Det vises til beskrivelsen for detaljerte beskrivelser av disse ytelsene.

4.6.4 Prøvetaking

Prøvetaking av materiale fra eventuelle leirslepper/svakhetssoner og partier med omvandlede bergarter tas for analyser av blant annet svellepotensiale og svelletrykk. Materialinnhold i leirslepper/svakhetssoner vil inngå i vurderingen av permanent sikring.

4.6.5 Konvergenzmålinger og lastceller

Ved eventuelle spesielt krevende svakhetssoner og i områder med lav innspenning vil det være aktuelt å utføre konvergenzmålinger og/eller installere lastceller i sprøytebetong- og gitterbuer.

4.6.6 Ingeniørgeologisk kompetanse

Byggherren vil ha mannskap med ingeniørgeologisk kompetanse for oppfølging av tunnelarbeider og bestemmelse av permanentsikring og injeksjonsprosedyre.

5 Hydrogeologiske vurderinger (tolkningsdel)

5.1 Vurdering av konsekvenser ved grunnvannssenking

I berggrunnen beveger grunnvann seg i åpne sprekker og kanaler i berget. Der tunneler kommer i kontakt med slike kan det oppstå problemer med innlekkasje av grunnvann til tunnelene.

I utgangspunktet er ofte lekkasjer i bergmassen knyttet til:

- Svakhetssoner som eksempelvis forkastningssoner, knusningssoner, dype forvitringssoner (ofte sammenfallende) og i oppsprukket sideberg ved svakhetssoner
- Større enkeltsprekker
- Gangbergarter

Naturtypers sårbarhet overfor grunnvannssenking er avgjørende for om en senkning av grunnvannsnivået over tunnelen vil være merkbar på ytre miljø over tunnelen. I de områdene hvor drifingen av tunnelen foregår under områder med bebyggelse kan setninger på bygg og infrastruktur generelt være et problem. Drenering til tunnel kan også påvirke overflatevann (tjern og bekker), samt grunnvannsressurser generelt. Erfaring fra tidligere tunnelprosjekter viser at grunnvannstand sjelden påvirkes i en avstand > 200-300 m fra tunell [11].

5.2 Vurdering av sårbarhet

5.2.1 Ytre miljø

For at grunnvannslekkasjer til tunnelen skal ha konsekvenser for ytre miljø må grunnvannssenkingen over tunnelen ligge i områder med sårbare naturtyper, våte naturområder (tjern, vassdrag, myr eller grunnvannsoppkom) og/eller truede dyrearter som kan påvirkes av en eventuell grunnvannssenking. Dette vil kunne merkes ved at det blir et tørrere naturmiljø der grunnvannstanden er nær overflaten dersom det ikke gjennomføres tiltak i forbindelse med tunnelbyggingen.

Det er ikke registrert viktige naturtyper i Naturbase som kan være sårbar for grunnvannssenking som følge av eventuell lekkasje til sidetunnelen. I følge NVE Atlas er det to N-S-gående elver/bekker sør for traseen; én med utløp til Munkhamn og én med utløp til Skjebavik, begge med deler av sine respektive nedbørsfelt innenfor mulig influenssone for grunnvannssenking. Elv/bekk med utløp til Munkhamn går gjennom et sammenhengende myrområde (ca. kote 10), men det foreligger ingen registrering i Naturbase av sårbare naturtyper eller vannkrevende arter innenfor dette området.

Store deler av nedbørsfeltene til bekkene ligger innenfor en avstand av 200 m fra tunnelen, og en eventuell senkning mot tunnelen vil kunne påvirke vannføringen i disse, samt at vannstand i øvre deler av myrområder vil kunne senkes, gitt at disse er et uttrykk for grunnvannsnivå i området. Det foreligger ingen kjente målinger av grunnvannstand.

Det er for øvrig ikke registrert andre sårbare naturtyper eller arter i Naturbase eller Artsdatabanken.

5.2.2 Utsatte grunnvannsressurser

Private brønner, både drikkevannsbrønner og energibrønner, nær tunneltraseen kan få redusert kapasitet og/eller endret vannkvalitet som følge av senket grunnvannsnivå. Injisering under tunneldriving kan tette og ødelegge brønner og installasjoner som ligger nær tunnelen.

Det er ikke registrert brønner innenfor antatt influensområde for grunnvannssenkning i NGUs brønndatabase [9]. Erfaring tilsier imidlertid at det kan være flere private brønner enn det som er registrert i databasen, både til vannforsyning og energiformål.

Det er ifølge Bokn kommune v/ K.A. Valentinsen (pers.med. 2016-06-30) ført kommunal vannledning frem til Arsvågen, og flertallet av husstandene i området er tilknyttet denne. Unntaket er gnr/bnr 16/2 som trolig har borehull for drikkevannsforsyning. Det kan heller ikke utelukkes at øvrige husstander har supplerende vannkilder ifm. dyrehold. Det anbefales på generelt grunnlag å kartlegge og dokumentere ev. brønner i området før tunneldrivingen starter.

5.2.3 Setningsproblematikk

En reduksjon i grunnvannsnivå i forhold til det vanlige variasjonsmønsteret kan gi setninger på bygninger, infrastruktur og kulturminner, dersom det er setningsutsatte masser i området.

Løsmassefordelingen i området er beskrevet i delkapittel 3.1. Ut fra kjennskap til løsmasstype og mektighet i området forventes ikke grunnvannsenkning å medføre vesentlig skade.

5.3 Innlekkasje og krav til begrensning av innlekkasje med tanke på sårbarhet for ytre miljø

Bergoverdekning over tunnelen, sammen med kryssende svakhetssoner, er viktige faktorer for innlekkasje. Ved stor overdekning er det vanligvis få åpne sprekker, samtidig vil stor overdekning tilsi høyt grunnvannstrykk. Erfaring tilsier at tunneler med stor overdekning har et stort grunnvannsreservoar og ofte større totale lekkasjer enn tunneler med liten overdekning.

Topografi og overdekning er beskrevet i delkapittel 3.1. Minste overdekning til terrengnivå er ca. 23,6 m under forsenkningen ved ca. profil 500 i løp 34000. Derfra øker overdekning med økende profilnummer og overdekning er ca. 60 m for begge løp der tunnel går under sjø ved ca. profil 1 170 i løp 34000 og 1 000 i løp 34100. Det er tolket å være 9 kryssende svakhetssoner for den delen av tunnelen som går under land (se Tabell 4), og det må påregnes lekkasje og senket grunnvannstand ifm. disse dersom tett tiltak ikke settes inn.

Under sjø øker vanntrykket med økende profilnummer (i tunnelens fallretning), noe som gir økt risiko for større vannmengder dersom en lekkasje skulle oppstå. I området under sjø er det imidlertid ikke vurdert krav til begrensning av innlekkasje da hensyn til ytre miljø, grunnvannsressurser eller setninger ikke er aktuelt her.

5.3.1 Krav til begrensning av innlekkasje i tunnelen

Krav til begrensning av innlekkasje i tunnelen er vurdert av hensyn til ytre miljø, grunnvannsressurser og fare for setninger på bygg og annen infrastruktur, for den delen av tunnelen som går under land.

Med bakgrunn i foreliggende informasjon vurderes det ikke å være behov for begrensning av innlekkasje ut fra hensynet til ytre miljø eller fare for setningsskader. Ut fra nevnte hensyn vil krav til begrensning av innlekkasje styres av dimensjonerende kapasitet for vannhåndtering i tunnelen.

Det må tas høyde for at private vannkilder, utover kommunal tilknytning, vil kunne påvirkes. Kravet settes derfor med følgende forutsetninger:

- Vannkilder utover kommunal tilknytning kartlegges og dokumenteres før anleggsstart, herunder bruk, forbruk, kapasitet og vannkvalitet. Dette for ryddighet i møte med ev. påstand om påvirkning og krav om erstatningsløsninger. Dette er også i tråd med anbefaling fra Bokn kommune.
- Det må sikres at alle husstander har tilstrekkelig drikkevannskapasitet, inkl. til husdyrhold, ved ev. bortfall av private vannkilder. Det forutsettes at kommunalt nett kan dekke dette for abonnenter som allerede er tilknyttet. Gnr/bnr 16/2 er eneste husstand uten kjent tilkobling til kommunalt nett. Tilkobling bør vurderes tilbudt før anleggsstart. I motsatt fall må beredskap for drikkevannsforsyning med tilstrekkelig kapasitet opprettes for anleggsperioden.
- Dersom det i videre arbeider fremkommer registreringer av viktige sårbare naturmiljø/arter må krav til begrensning av innlekkasje revurderes for strekningen under land.