1 - Akseptert, Catrine Hatlenes (13-March-2025)

FELLESPROSJEKTET ARNA – STANGHELLE, FORBEREDENDE ARBEIDER

E1 Fagrapport ingeniørgeologi anleggstunneler og sjakter

06C	Konkurransegrunnlag	10.03.2025	SKAN	KAKD	OTH
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av

Tittel: **E1 Fagrapport ingeniørgeologi anleggstunneler og sjakter**	Ant. sider **296**	Fritekst 1d Fritekst 2d Fritekst 3d
	Produsent	COWI
	Prod. dok. nr.	
	Erstatning for	
	Erstattet av	
Prosjekt: Fellesprosjektet Arna – Stanghelle, forberedende arbeider **Parsell: 01**	Dokument nr. **FAS-01-A-00056**	Rev. **06C**
BANE NOR Statens vegvesen	Dokument nr.	Rev.

INNHOLD

1 SAMMENDRAG 6

2 INNLEDNING 8

2.1 HENSIKT MED RAPPORTEN 8
2.2 GEOTEKNISK KATEGORI OG PROSJEKTERINGSFORUTSETNINGER 8

FAKTADEL 13

3 BESKRIVELSE AV TILTAKENE 14

3.1 FOSSNESET OG GAMLE FOSSEN 14
3.1.1 Riggområde og påhugg 16
3.2 LANGHELLENESET 20
3.2.1 Riggområde og påhugg 24
3.3 ROMSLO OG NAUSTVIKA 26
3.3.1 Riggområde og påhugg 29
3.4 TUNNELTVERRSNITT 31
3.5 FUNKSJONSKRAV OG LEVETID 33
3.6 BERGSJAKTER 33

4 GRUNNLAG OG UTFØRTE GRUNNUNDERSØKELSER 35

4.1 GEOLOGISK KARTLEGGING 36
4.1.1 Fossneset og Gamle Fossen 36
4.1.1.1 Dykkerundersøkelser Fossneset 38
4.1.2 Langhelleneset 38
4.1.3 Romslo og Naustvika 41
4.2 GRUNNBORINGER 44
4.3 GEOFYSISKE UNDERSØKELSER 46
4.3.1 Fossneset og Gamle Fossen 46
4.3.2 Langhelleneset 46
4.3.3 Romslo og Naustvika 47
4.3.3.1 Romslo 47
4.3.3.2 Naustvika 48
4.4 KJERNEBORING OG BERGKONTROLLBORING NAUSTVIKA 49
4.4.1 Kjerneboring KBH01 51
4.4.2 Kjerneboring KBH02 52
4.4.3 Kjerneboring KBH03 52
4.4.4 Bergkontrollboring 8 53
4.4.5 Bergkontrollboring 9 53
4.4.6 Oppsummering kjernelogging 53
4.5 ROV 54
4.5.1 Gamle Fossen 55
4.5.2 Langhelleneset 58
4.5.3 Naustvika 60
4.6 BERGMEKANISK TESTING 63
4.6.1 Generelt 66
4.6.2 Bergarter og mekaniske egenskaper, Fossmark og Gamle Fossen 67
4.6.3 Langhelleneset 68
4.6.4 Romslo 69
4.6.5 Borbarhet for bergartene ved sjakter i forbindelse med sjaktboring 69
4.7 MILJØGEOLOGISKE OG GEOKJEMISKE UNDERSØKELSER 71
4.7.1 Syredannende berg 71
4.7.1.1 Fossneset og Gamle Fossen 71
4.7.1.2 Langhelleneset 71
4.7.1.3 Romslo 71
4.7.2 Asbestholdig berg 71
4.7.3 Jordprøver 71
4.7.4 Tungmetaller 71

5 GRUNNFORHOLD OG NATUR 72

5.1 FOSSNESET OG GAMLE FOSSEN 72
5.1.1 Topografi og løsmasser 72
5.1.2 Eksisterende tunneler 74
5.1.2.1 Store Fossmark jernbanetunnel 74
5.1.2.2 Fossmark krafttunnel 76
5.1.3 Hydrologi og brønndata 79
5.1.4 Naturmangfold 81
5.1.5 Radon 83
5.1.6 Bergarter 83
5.1.7 Strukturgeologiske forhold 84
5.1.7.1 Oppsprekking og foliasjon i området 84
5.1.7.2 Riggområde og bergsjakt Gamle Fossen 85
5.1.7.3 Oppsprekking ved brufundamenter Fossneset 86
5.1.7.4 Oppsprekking ved sjaktområdet 89
5.1.7.5 Svelleleire 90
5.1.8 Bergspenninger 90
5.2 LANGHELLENESET 91
5.2.1 Topografi og løsmasser 91
5.2.2 Eksisterende tunneler 93
5.2.3 Hydrologi og brønndata 95
5.2.4 Naturmangfold 97
5.2.5 Radon 98
5.2.6 Bergarter 99
5.2.7 Strukturgeologiske forhold 101
5.2.7.1 Oppsprekking og foliasjon i området 101
5.2.7.2 Rigg og påhuggsområde Langhelleneset 101
5.2.7.3 Oppsprekking ved sjaktområdet 102
5.2.7.4 Svelleleire 102
5.2.8 Bergspenninger 103
5.3 ROMSLO OG NAUSTVIKA 104
5.3.1 Topografi og løsmasser 104
5.3.2 Eksisterende tunneler 104
5.3.3 Hydrologi og brønndata 106
5.3.4 Naturmangfold 107
5.3.5 Radon 109
5.3.6 Bergarter 110
5.3.7 Strukturgeologiske forhold 111
5.3.7.1 Oppsprekking og foliasjon 111
5.3.7.2 Rigg og påhuggsområde Romslo 112
5.3.7.3 Oppsprekking ved sjaktområdet 113
5.3.7.4 Svelleleire 113
5.3.8 Bergspenninger 113

6 OMGIVELSER 114

6.1 FOSSNESET OG GAMLE FOSSEN 114
6.2 LANGHELLENESET 114
6.3 ROMSLO 116

TOLKNINGSDEL 118

7 INGENIØRGEOLOGISKE VURDERINGER 119

7.1 GENERELLE TOLKNINGER 119
7.1.1 Tolkning av svakhetssoner 119
7.1.2 Usikkerheter knyttet til geofysiske resultater og tolkninger 119
7.1.3 Prognose for bergsikring 119
7.1.4 Forutsetninger for innlekkasjekrav og injeksjon 124
7.1.5 Anvendelse av tunnelstein 125
7.1.6 Etablering av bergsjakter 126
7.1.7 Store bergrom 127
7.2 FOSSNESET OG GAMLE FOSSEN 127
7.2.1 Ingeniørgeologisk beskrivelse av tunneltraseene 127
7.2.2 Resultater og tolkning av geofysiske undersøkelser 128

7.2.3 Overdekning og bergspenninger ... 129
7.2.4 Riggområde og påhugg ... 130
7.2.5 Tilkomstveg fra Fossneset ... 132
7.2.5.1 Bergskjæring ved rundkjøring ... 132
7.2.5.2 Brufundamenter ... 134
7.2.5.3 Sikring av overliggende terreng ... 139
7.2.6 Kartlagte Q-verdier ... 140
7.2.7 Estimerte bergmasseklasser ... 144
7.2.8 Hydrogeologisk tolkning og innlekkasje ... 144
7.2.9 Injeksjon ... 146
7.2.10 Skred ... 148
7.2.10.1 Vurdering av sikkerhetsklasse ... 148
7.2.10.2 Skredfarevurdering ... 148
7.2.10.3 Skredsikring ... 148
7.2.11 Borbarhet og sprengbarhet ... 149
7.2.12 Drivetekniske utfordringer ... 149
7.2.12.1 Etablering av riggområde Gamle Fossen ... 149
7.2.12.2 Kryssing av Store Fossmark jernbanetunnel ... 149
7.2.12.3 Tunnelkryss Gamle Fossen ... 153
7.2.12.4 Etablering av Bergsjakt fra dagen Gamle Fossen ... 154
7.3 LANGHELLENESET ... 157
7.3.1 Ingeniørgeologisk beskrivelse av tunneltraseene ... 157
7.3.2 Resultater og tolkning av geofysiske undersøkelser ... 159
7.3.3 Overdekning og bergspenninger ... 161
7.3.4 Riggområde og påhugg ... 161
7.3.4.1 Kinematisk analyse av bergskjæring ved riggområdet ... 161
7.3.4.2 Sikringsbehov og utforming av bergskjæring riggområde ... 163
7.3.4.3 Kinematisk analyse av bergskjæring langs lokalveg, Langhellevegen ... 165
7.3.4.4 Sikringsbehov og utforming av bergskjæring Langhellevegen ... 166
7.3.4.5 Påhuggsområder ... 167
7.3.5 Kartlagte Q-verdier ... 168
7.3.6 Estimerte bergmasseklasser ... 170
7.3.7 Hydrogeologisk tolkning og innlekkasje ... 171
7.3.8 Injeksjon ... 176
7.3.9 Skred ... 179
7.3.9.1 Vurdering av sikkerhetsklasse ... 179
7.3.9.2 Skredfarevurdering ... 179
7.3.9.3 Vurdering av skredsikring ... 179
7.3.10 Borbarhet og sprengbarhet ... 180
7.3.11 Drivetekniske utfordringer ... 180
7.3.11.1 Kryssing av Hananipa jernbanetunnel ... 180
7.3.11.2 Svelleleire ... 185
7.3.11.3 Tunnelkryss Langhelleneset ... 186
7.3.11.4 Etablering av bergsjakt ... 189
7.4 ROMSLO OG NAUSTVIKA ... 193
7.4.1 Ingeniørgeologisk beskrivelse av tunneltraseene ... 193
7.4.2 Resultater og tolkning av geofysiske undersøkelser ... 194
7.4.2.1 Tolkning av svakhetssoner fra geofysikk ... 196
7.4.3 Overdekning og bergspenninger ... 197
7.4.4 Riggområde og påhugg ... 197
7.4.5 Kartlagte Q-verdier ... 199
7.4.6 Estimerte bergmasseklasser ... 202
7.4.7 Hydrogeologisk tolkning og innlekkasje ... 202
7.4.8 Injeksjon ... 206
7.4.9 Skred ... 207
7.4.9.1 Vurdering av sikkerhetsklasse ... 207
7.4.9.2 Skredfarevurdering ... 208
7.4.9.3 Vurdering av skredsikring ... 208
7.4.10 Borbarhet og sprengbarhet ... 209
7.4.11 Drivetekniske utfordringer ... 209
7.4.11.1 Krysning under Romslovegen ... 209
7.4.11.2 Krysning under Romslo II ... 210
7.4.11.3 Tunnelkryss Romslo ... 212

7.4.11.4 Tipphall Naustvika 214
7.4.11.5 Etablering av bergsjakt 215

8 VIBRASJONER OG LUFTSTØT 218

8.1 BYGNINGSBESIKTIGELSE 218
8.2 TILTAK FOR Å REDUSERE VIBRASJONER 218
8.3 LUFTTRYKKSTØT 218

9 YTRE MILJØ OG SIKKERHET, HELSE OG ARBEIDSMILJØ 219

9.1 LUFTKVALITET I TUNNEL 219
9.2 STØV FRA KVARTSHOLDIGE BERGARTER 219
9.3 STØV FRA FIBERMINERALER 222
9.4 SPRENGNINGSARBEIDER NÆR EKSISTERENDE VEG, JERNBANE OG TREDJEPART 222
9.5 GJENSTÅENDE SPRENGSTOFF I EKSISTERENDE BERGSKJÆRING/VEG 223
9.6 ARBEIDSSIKRING OG RENSK 223
9.7 SPRENGNINGSARBEIDER NÆR SJØ 223
9.8 ARBEID I FORBINDELSE MED ETABLERING AV SJAKT OG TIPPING I SJAKT 223
9.9 UNDERVANNSSPRENGNING 224

10 OPPFØLGING I BYGGEFASE 225

10.1 DAGSONE 225
10.2 TUNNELER 225
10.3 AKTUELLE SUPPLERENDE UNDERSØKELSER I BYGGEFASEN 226
10.3.1 Sonderboring 226
10.3.2 Kjerneboring på stuff 226
10.3.3 Prøvetaking 226
10.3.4 Konvergensmålinger og lastceller 226
10.3.5 Bergspenningsmålinger 226
10.3.6 Seismikk på stuff 227

11 REFERANSELISTE 228

12 VEDLEGG 231

VEDLEGG 1 – Geologiske kartvedlegg
VEDLEGG 2 – Tverrprofiler
VEDLEGG 3 – Lengdeprofiler
VEDLEGG 4 – Injeksjonsskjermer
VEDLEGG 5 – Stabilitetsberegning bergskjæring – plan utglidning
VEDLEGG 6 – Tunneltverrsnitt

1 SAMMENDRAG

I forbindelse med utbygging av ny E16 og Vossebanen på strekningen mellom Arna i Bergen og Stanghelle i Vaksdal kommune skal det i forberedende entreprise E1 etableres anleggstunneler og bergsjakter for å ivareta drift av hovedtunneler og deponering av tunnelmasser. Det etableres anleggstunneler i tre områder. Fra NØ til SV: Fossmark og Gamle Fossen, Langhelleneset, samt Romslo og Naustvika. Tunneltverrsnittene er spesielt dimensjonerte til sine formål, og tunnelene vil ikke inngå i det offentlige vegnettet. Denne rapporten omhandler de ingeniørgeologiske aspektene av de valgte løsningene.

Ved Gamle Fossen sprenges et riggområde ut helt ned mot fjorden (kote 2) med en opptil 16,5 m høy skjæring tett inn mot eksisterende E16. Ved riggområdet skal tunnelmasser deponeres i sjøen gjennom en bergsjakt som etableres fra dagen i det utsprengte riggområdet. Adkomst til riggområde er via anleggsbru fra nordre side av neset. Ventilasjons- og transporttunnelen inn fra Gamle Fossen skal krysse under jernbanetunnelen Store Fossmark med en overdekning på omtrent 6 m. Dette stiller krav til forsiktig driving, ivaretakelse av omgivelsene og stedlig økning i sikringsomfang.

Ved Langhelleneset etableres riggområdet ved en eksisterende utvidelse fra E16 med en opptil 22 m høy skjæring. Skjæringen skal stedvis utvides og stedvis beholdes som den er. Det er observert glatte plan med orientering som heller ned mot riggområdet, som medfører at omfattende sikring av utvidet skjæring kan bli nødvendig. Inn fra riggområdet etableres adkomsttunnelen. På Langhelleneset skal det etableres en tipphall i fjell for å deponere masser gjennom en bergsjakt fra enden av tipphallen. Transporttunnelen krysser over jernbanetunnelen Hananipa med en overdekning på omtrent 7,5 m. Transporttunnelen har en spennvidde på 13,6 m. Øst for adkomsttunnelen drives ventilasjonstunnelen ut fra transporttunnelen og ut i dagen.

På Romslo ved kontrollstasjonen etableres riggområdet og adkomsttunnel drives sørover inn herfra. Transporttunnelen går fra hovedtunnelene sør for Romslo og nordøst ut til Naustvika. Ved Naustvika etableres en tipphall i fjell og en bergsjakt ut i fjorden. Delen av tipphallen som er ytterst mot terrenget vil få en bergoverdekning ned mot 5 m. Transporttunnelen krysser under jernbanetunnelen Romslo II med en overdekning på omtrent 9 m.

Etablering av de tre bergsjaktene er planlagt etablert med raise-boring (pilothull og opprømming). Det er kritisk at boravvik for både pilothull og opprømming holdes innenfor et akseptabelt nivå. Boring og opprømming må tilpasses stedlige geologiske forhold og strukturer. I forbindelse med dette er det blant annet benyttet undervannsdrone for å undersøke bergforholdene ved sjaktutløpene, som ligger omtrent ved kote -30.

Det er ca. 3690 m tunneler og bergrom, ikke medregnet sjakter, som skal drives i forbindelse med de forberedende arbeidene. Prognosene for bergmasseklasse i hvert område er som gitt i Tabell 1-1.

Tabell 1-1: Bergmasseklasse-fordeling i de tre områdene.

Tunnelområde	A [m]	B [m]	C [m]	D [m]	E1 [m]	E2 [m]	F [m]	Sum
Gamle Fossen	0 (0 %)	145 (20 %)	395 (53 %)	115 (15 %)	70 (10 %)	15 (2 %)	0 (0 %)	740 m (100 %)
Langhelleneset	15 (1 %)	170 (15 %)	390 (34,5 %)	340 (30,5 %)	160 (14 %)	45 (4 %)	5 (<1 %)	1125 (100 %)
Romslo og Naustvika	20 (1 %)	510 (28 %)	955 (52 %)	230 (13 %)	70 (4 %)	40 (2 %)	0 (0 %)	1825 (100 %)
Summert	35 (<1 %)	825 (22 %)	1740 (47 %)	685 (19 %)	300 (8 %)	100 (3 %)	5 (<1 %)	3690 (100 %)

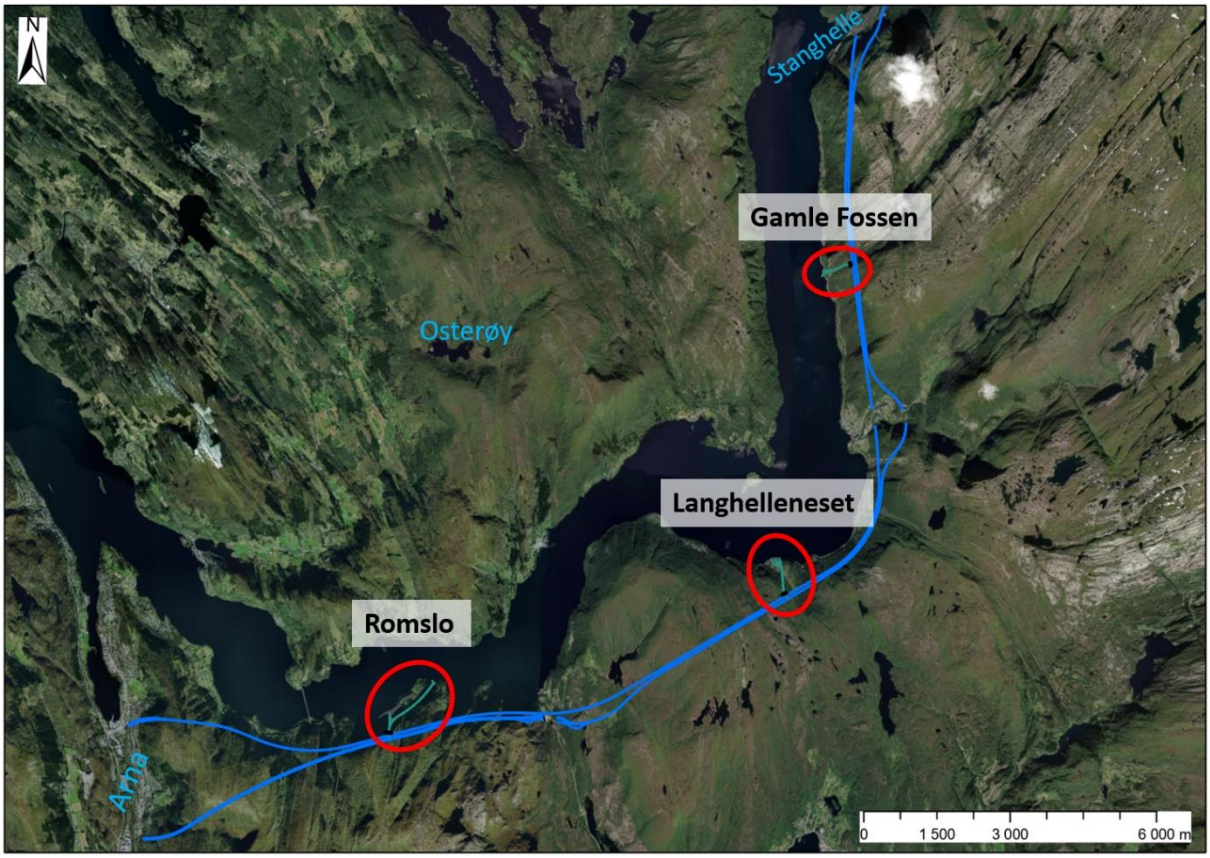
2 INNLEDNING

I Fellesprosjektet Arna - Stanghelle (FAS) skal Statens vegvesen og Bane NOR bygge ny vei og jernbane mellom Arna i Bergen og Stanghelle i Vaksdal kommune. Den statlige reguleringsplanen for FAS ble godkjent i april 2022. Ny jernbane og vei skal gå i tunnel med en kort dagsone på Vaksdal. Ny E16 har i tillegg en kort dagsone på Trengereid. Forberedende arbeider består av en rekke større og mindre enkeltstående entrepriser som skal gjennomføres før hovedprosjektet kan starte. Den totale anleggsperioden har en anslått varighet på ca. 10 år.

2.1 Hensikt med rapporten

Denne fagrapporten gjelder ingeniørgeologi for forberedende entreprise E1 for Fellesprosjektet Arna-Stanghelle (FAS), og omfatter anleggstunneler og sjakter ved områdene Fossmark og Gamle Fossen, Langhelleneset, samt Romslo og Naustvika. Et oversiktsbilde over gjeldende områder er gitt i Figur 2-1.

Hovedhensikten generelt er å gi entreprenøren grunnlag for egne tolkninger og vurderinger av grunnforholdenes betydning.



Figur 2-1: Oversiktsbilde over gjeldende områder som omhandles av denne rapporten.

2.2 Geoteknisk kategori og prosjekteringsforutsetninger

Geoteknisk kategori (GK) har betydning for utførelse under planlegging, bygging og drift av prosjektet. Geoteknisk kategori og kontrollnivå skal angis i henhold til Eurokode 7 (NS-EN 1997- 1:2004+A1:2013+NA:2016) (Standard Norge, 2020). Den er en funksjon av vanskelighetsgrad og pålitelighetsklasse, og er gitt av Tabell 2-1.

Tabell 2-1: Definisjon av geoteknisk kategori (Standard Norge, 2020).

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*

Geoteknisk kategori er styrende for kontrollregimet som benyttes ved prosjektering og utførelse.

Valg av pålitelighetsklasse kan gjøres ved å vurdere konsekvensene av brudd eller funksjonssvikt for anleggene, og kan klassifiseres som vist i Tabell 2-2, etter tabell B1 i Eurokode 0, Tillegg B (Standard Norge, 2008).

Tabell 2-2: Valg av pålitelighetsklasse (Standard Norge, 2008).

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.

Vanskelighetsgraden vurderes på grunnlag av grunnforhold og type prosjekt, og kan klassifiseres som følger (Norsk Bergmekanikkgruppe, 2011):

Tabell 2-3: Vurdering av vanskelighetsgrad (Norsk Bergmekanikkgruppe, 2011).

Vanskelighetsgrad	
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	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	Uoversiktlige eller vanskelige grunnforhold og et prosjekt som er påvirket av grunnforholdene. Grunnforholdene kan bare delvis fastsettes og undersøkelser under bygging kan være nødvendig.

På grunnlag av dette vurderes konstruksjonene som inngår i tiltaket som vist i Tabell 2-4. Som begrunnelse til konstruksjoner plassert i geoteknisk kategori 3 kan det nevnes:

- Bergskjæring ved Fossneset: Høy bergskjæring (26 m). GK 3 ihht. N200 (Statens Vegvesen, 2022).
- Bergskjæring kaiområde Gamle Fossen: Høy bergskjæring (16,5 m) etableres med liten plass, nær sjø og tett inntil eksisterende E16. GK3 ihht. N200 (Statens Vegvesen, 2022).
- Bergskjæring Langhelleneset: Høy skjæring opp mot 22 m, topp skjæring kommer nær eksisterende veg og det foreligger ugunstige sprekkeplan. GK3 ihht. N200 (Statens Vegvesen, 2022).
- Bergskjæring riggområde Romslo: Høy bergskjæring opp til 14 m. GK3 ihht. N200. (Statens Vegvesen, 2022).
- Påhuggsområder: Påhuggsområder er kritiske områder i tunnelene for stabilitet, der profil må bevares med lav overdekning, dårlig innspenning, og ofte svakere berg.
- Tipphall og sjakter: Tipphaller etableres ut mot bratte terrengsider med lav overdekning og sideoverdekning. Etablering av sjakter blir en kompleks anleggsteknisk og stabilitetsmessig operasjon.
- Utvidelse ved ventilasjonshaller: Stort spenn (20,6 m).
- Snuplasser i tunnel: Store bergrom åpnes
- Kryssing tett på eksisterende tunneler: Kritisk for ivaretagelse av funksjonene og stabilitet til de eksisterende tunnelene, krever tiltak.
- Store deler av tunnelene er i områder med stor overdekning hvor det ikke er gjort undersøkelser langs hele traseen. Bergforholdene kan derfor ikke dokumenteres i tilstrekkelig grad. Dermed plasseres også øvrige deler av tunnelene i geoteknisk kategori 3.

Tabell 2-4: Vurderinger av pålitelighetsklasse, vanskelighetsgrad og geoteknisk kategori for konstruksjonene som denne rapporten omhandler.

Konstruksjon	CC/RC	Vanskelighetsgrad	GK
Bergskjæring ved Fossneset	3	Høy	3
Bergskjæring kaiområde Gamle Fossen	3	Høy	3
Bergskjæring riggområde Langhelleneset	3	Høy	3
Bergskjæring riggområde Romslo	3	Høy	3
Alle påhuggsområder	3	Høy	3
Tipphall og sjakter	3	Høy	3
Utvidelse ved ventilasjonstunneler	3	Høy	3
Rundkjøringer/snuplasser/kryss i tunnel	3	Høy	3
Kryssing tett på eksisterende tunneler	3	Høy	3
Kryssing av tolkede svakhetssoner	3	Høy	3
Øvrige deler av tunnelene, grunnet at gode grunnforhold ikke kan dokumenteres i tilstrekkelig grad.	3	Middels	3
Landkar bru Fossneset	2	Middels	2
Brufundament med borede stålrørspeler Fossneset	3	Middels	3

Videre er sammenhengen mellom geoteknisk kategori, konsekvens- og pålitelighetsklasse, prosjekteringskontrollklasse og utførelseskontrollklasse vist i Tabell 2-5 (Standard Norge, 2008). Det er vurdert at ingen av de planlagte tiltakene skal i RC4. Tiltak i Tabell 2-4 som har CC/RC 3, er vurdert til PKK3 og UKK3. Tiltak som har CC/RC 2, er vurdert til PKK2 og UKK2.

Tabell 2-5: Sammenheng mellom geoteknisk kategori, konsekvensklasse, prosjekteringskontrollklasse og utførelseskontrollklasse i henhold til Eurokode 0 (Standard Norge, 2008).

Geoteknisk kategori	Konsekvens-klasse [CC]	Pålitelighets-klasse [RC]	Prosjekterings-kontrollklasse	Utførelses-kontrollklasse
1	CC1	RC1	PKK1	UKK1
2	CC2	RC2	PKK2	UKK2
3	CC3	RC3/RC4*	PKK3	UKK3

*Svært kompliserte tilfeller

Eurokode 7 anbefaler fire forskjellige prosjekteringsmetoder (Standard Norge, 2020):

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

For dette tunnelprosjektet vil det i hovedsak bli benyttet prosjektering ved konstruktive tiltak og observasjonsmetoden.

Prosjektering ved konstruktive tiltak gjennomføres ved at det benyttes erfaring og normal praksis for å oppnå tilfredsstillende stabilitet. Dette gjelder for eksempel bruk av Q-metoden for å bestemme permanent sikring.

Observasjonsmetoden går i prinsipp ut på at forutsetninger og utført prosjektering verifiseres ved målinger og iakttakelser under bygging (Norsk Bergmekanikkgruppe, 2011). For dette skal det utarbeides planer som inkluderer effektive mottiltak dersom foreskrevet akseptabel stabilitet ikke er tilfredsstilt under byggingen.

Tunnelene som denne rapporten omhandler prosjekteres etter følgende standarder:

- Eurokode 0 (Standard Norge, 2008)
- Eurokode 7 (Standard Norge, 2020).

Det påpekes at tunnelene ikke prosjekteres etter Statens Vegvesens N500, eller Bane NORs tekniske regelverk (TRV). Dette er ettersom anleggstunnelene er midlertidige, og ikke vil inngå i det offentlige vegnettet. Dette vil også påvirke utvidet kontroll.

Bergskjæringene prosjekteres etter følgende håndbøker:

- N200 (Statens Vegvesen, 2022), grunnet at de etableres ved veger i drift. Det påpekes at N200 har kommet i ny utgave siden rapporten ble levert til utvidet kontroll.
- N100 (Statens vegvesen, 2022c), for fastsettelse av veggeometri.
- Fravik fra håndbøkene er aktuelt for:
    - Bergskjæring langs Langhellevegen, med hensyn til krav gitt i N200 om grøfteutforming. Det vil også være fravik fra N100 angående veggeometri. Vaksdal kommune er fraviksmyndighet for kommunal veg, og behandler disse fravikene.

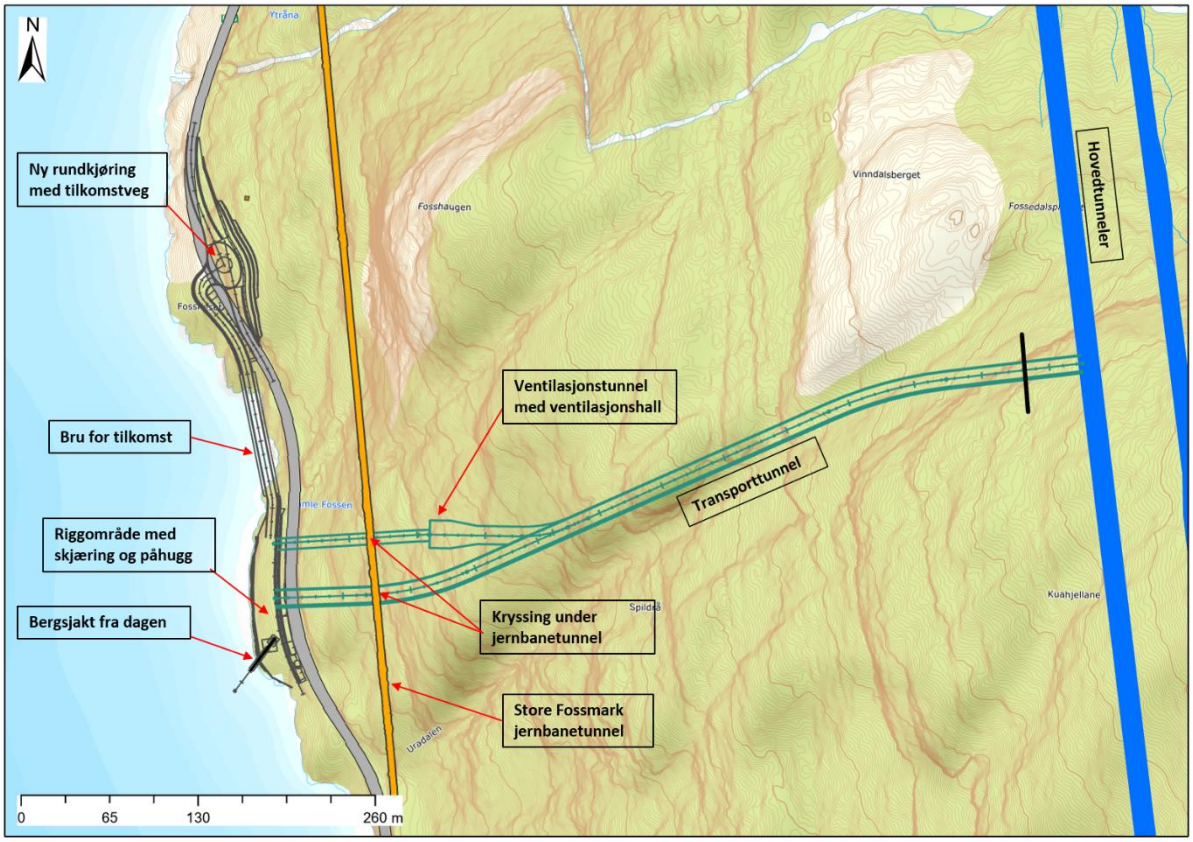
FAKTADEL

De etterfølgende kapitlene inneholder henvisninger til måleresultater og faktiske observasjoner, samt andre fagrapporter med relevante opplysninger.

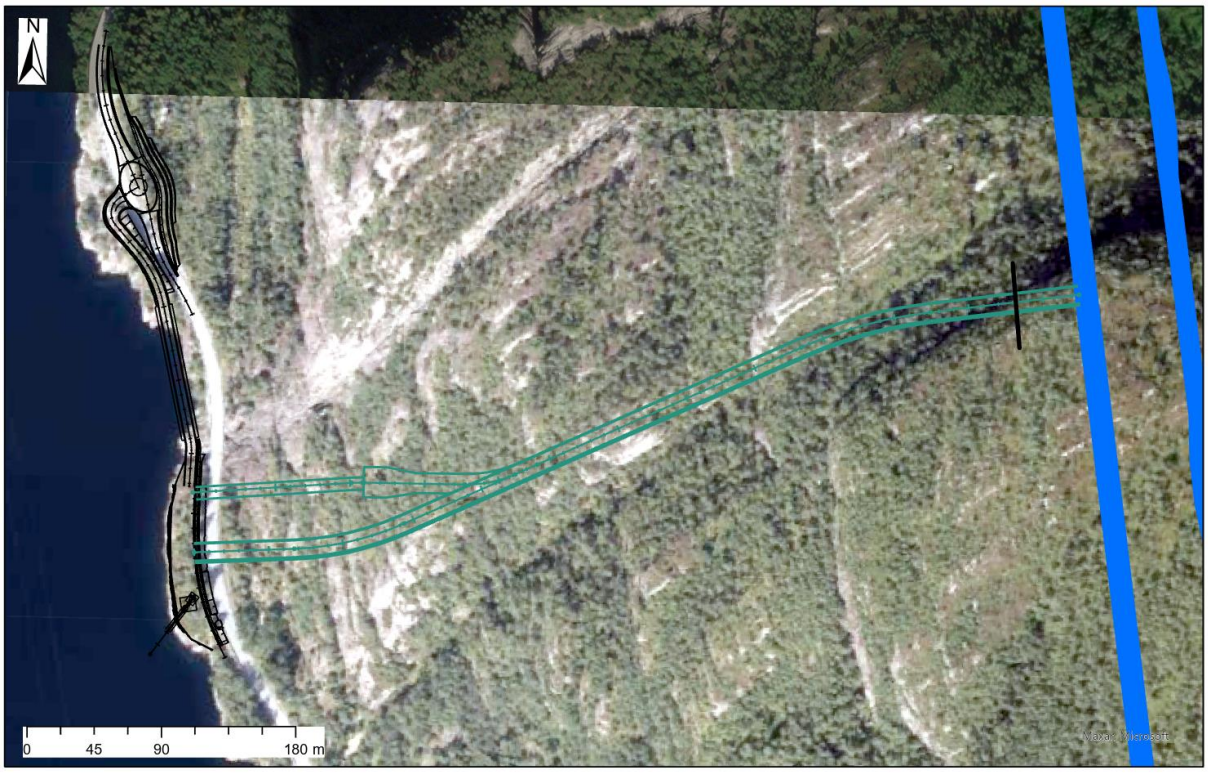
3 BESKRIVELSE AV TILTAKENE

3.1 Fossneset og Gamle Fossen

Ved Fossneset etableres en rundkjøring med utvidelse østover inn i terrenget ved eksisterende E16. Fra rundkjøringen legges en arm med tilkomstveg mot vest som svinger mot sør ute på Fossneset. Herfra går tilkomstvegen på bru over til neset ved Gamle Fossen. Ved Gamle Fossen etableres riggområde vest for eksisterende E16, ut mot fjorden. Både transporttunnel og ventilasjonstunnel skal drives herfra. Lenger øst inn i terrenget kobles ventilasjonstunnelen på transporttunnelen ved profilnummer omtrent 170. Deretter går tunnelsystemet i ett løp øst mot påkobling til hovedtunnelene, henholdsvis Vaksdalstunnelen og Berrfjelltunnelen. I forberedende entreprise drives ikke adkomsttunnelene helt inn til hovedtunnelene, grunnet ønske om å ha fleksibilitet i prosjektering i hovedentreprisen. Samlet lengde på tunnelsystemet som drives her i forberedende entreprise er omtrent 740 m. På riggområdet ved Gamle Fossen etableres en bergsjakt fra dagen. Figur 3-1, Figur 3-2 og Figur 3-3 gir en oversikt over tiltaket. Prinsippet for bergsjakt fra dagen i utsprengt riggområde er vist i Figur 3-4. Ventilasjonstunnelen og transporttunnelen krysser under Store Fossmark jernbanetunnel mot øst.



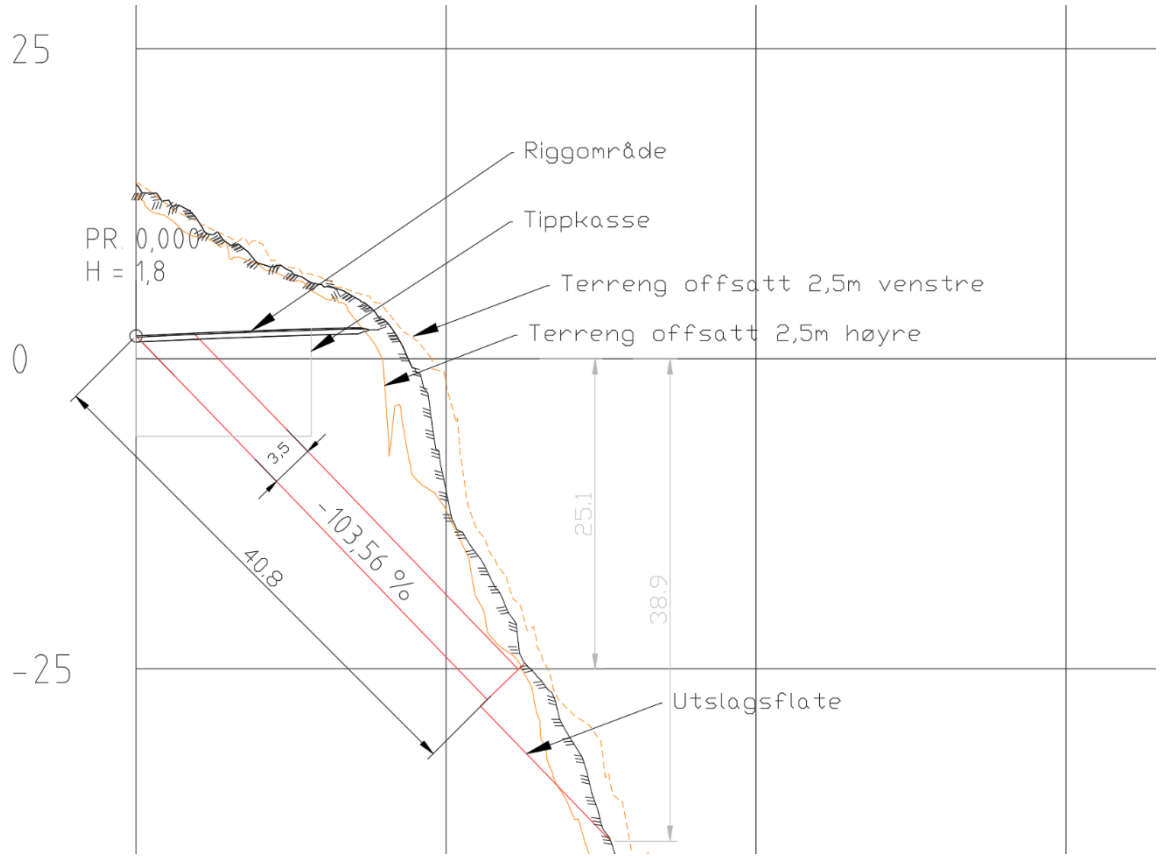
Figur 3-1: Oversikt over tiltaket ved Fossmark og Gamle Fossen. Svart linje viser omtrentlig avslutning på driving i forberedende entreprise.



Figur 3-2: Flyfoto Gamle Fossen, med tunneltrase.



Figur 3-3: Utklipp av løsningen ved Fossneset og Gamle Fossen. Utklippet er hentet fra prosjektets Novorender-modell, og er vist mot øst.



Figur 3-4: Bergsjakt ved Gamle Fossen. Røde linjer indikerer bergsjakt og utslagsflate. Lengdesnitt er tatt langs senterlinje av bergsjakt. Lengdemål er i meter.

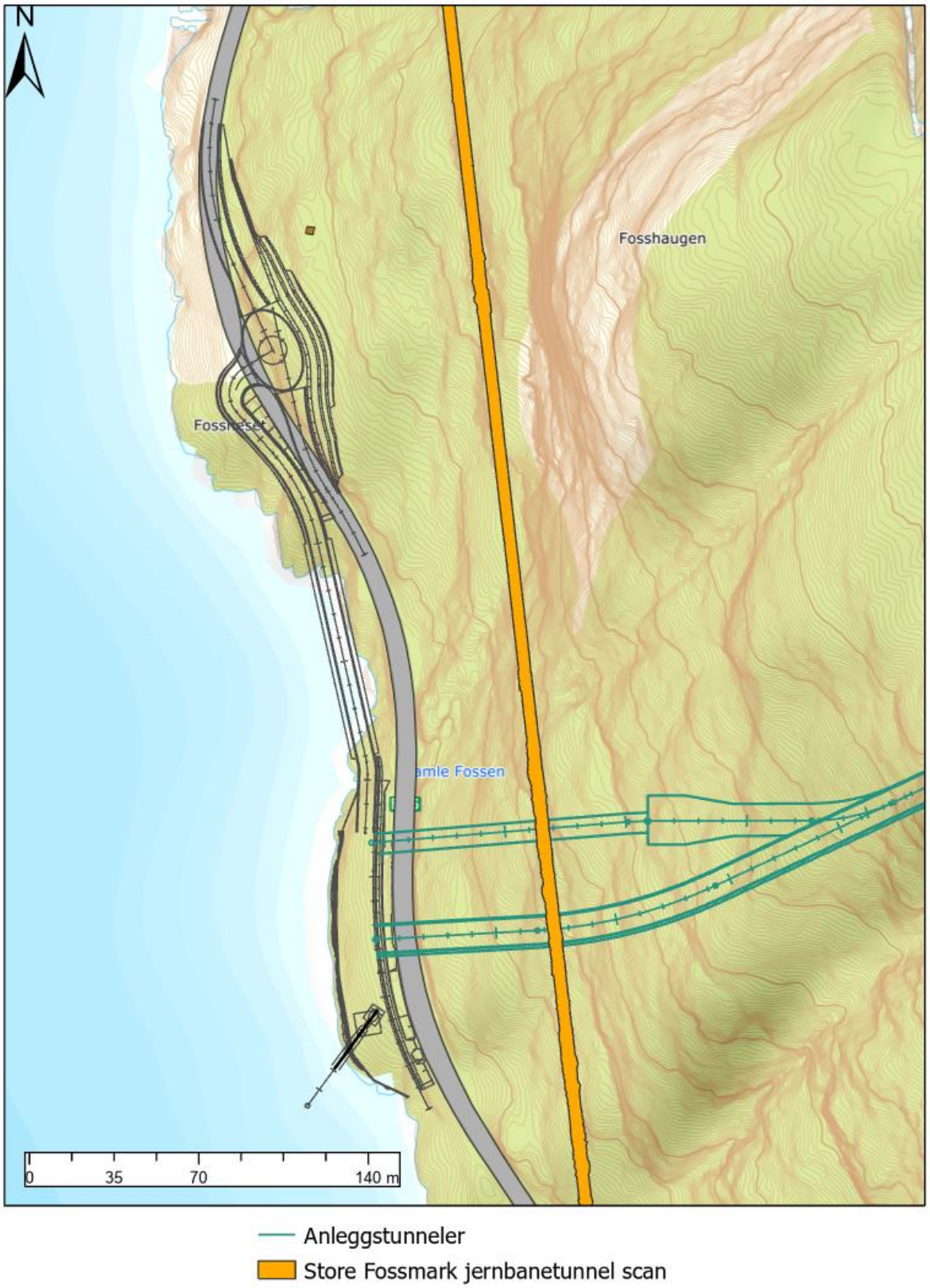
3.1.1 Riggområde og påhugg

På Fossneset etableres det en rundkjøring med tilkomstveg ut mot vest. Ved etablering av rundkjøringa ved eksisterende E16 vil det måtte sprenges inn i det bratte terrenget mot øst. Bergskjæringen her blir opp mot 26 m høy. Den etableres med to berghyller. Hyllene etableres omtrent hver 10. m opp fra skjæringsfot.

Tilkomstvegen svinger mot sør ned på neset vest for E16 og går så på bru over til riggområdet på Gamle Fossen. Brua er en midlertidig anleggsbru, som er planlagt fjernet etter anleggsfasen. Brua etableres med tre fundamenter: på berg i begge endene, og ett fundament på peler i midten av brua. Ned mot fjorden vil det også bli nødvendig å sprenge seg noe inn i terrenget. Figur 3-7 og Figur 3-8 viser utklipp av løsningen fra Novapoint. Det henvises til modell bru_FAS01-E1_midlertidig_bro_Fossneset og beregningsunderlag fra RIB for detaljer angående midlertidig anleggsbru.

Det skal etableres påhugg for transporttunnel og ventilasjonstunnel på riggområdet på Gamle Fossen, vest for E16, se Figur 3-5 og Figur 3-6. Skissert tippkasse og sjakt er vist i søndre del av riggområdet. Arealet sør for tippkasse vil kun være tilgjengelig for maskiner og utstyr som kan passere mellom bergskjæring og tippkasse etter etablering av tippkasse. For å etablere riggområdet skal neset ved vestsiden av E16 sprenges ned til kote omtrent 2. Horisontalavstand fra skjæringstopp til E16 blir ca. 4 m. Skjæringen får en høyde på opptil 16,5 m. Det forventes etablert berghylle ved en høyde omtrent 10 m over planum for nytt riggområde. Berghyllen etableres med

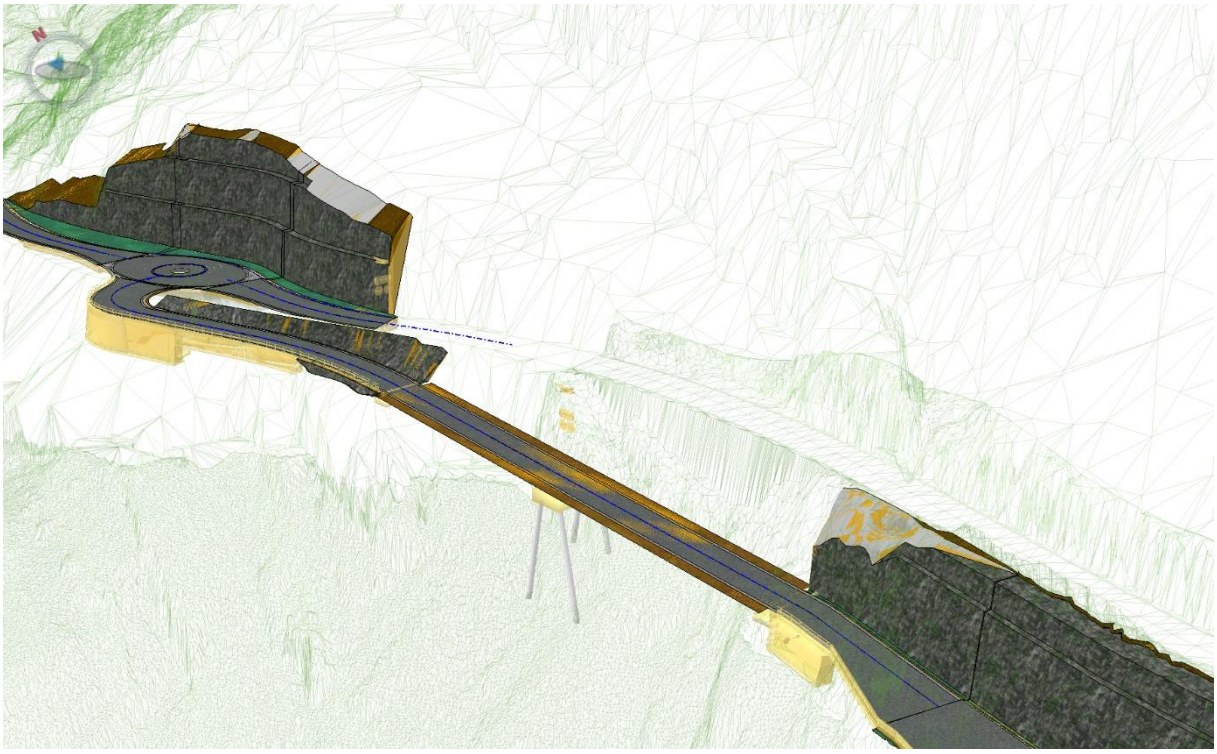
tilstrekkelig bredde for ansett og forbolter. For å maksimere riggareal og avstand til eksisterende E16 bør berghyllen etableres så smal som mulig.



Figur 3-5: Plankart som viser nytt riggområde ved Gamle Fossen og tilkomst fra Fossneset, med påhugg for ventilasjonstunnel og transporttunnel. Mot øst krysser disse tunnelene under Store Fossmark jernbanetunnel.



Figur 3-6: Utklipp fra Novapoint som viser oversikt over riggområdet på Gamle Fossen. Tippkasse og sjakt er vist i søndre del av riggområdet. Utklippet er vist mot nordøst. Det er ikke tenkt støpt portal ut fra skjæringen – utstikket er kun for å visualisere hvor tunnelene kommer i påhuggsskjæringa.



Figur 3-7: Illustrasjon fra Novapoint med løsning med rundkjøring og tilkomstveg med bru over til Gamle Fossen. Utklipp tatt mot NØ.



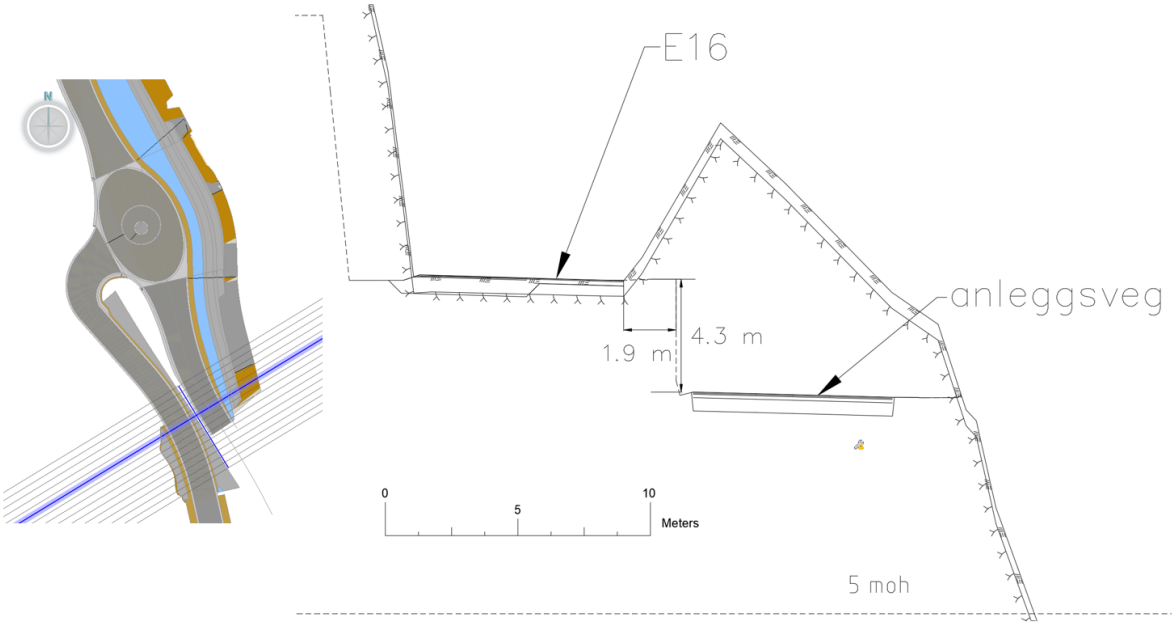
Figur 3-8: Utklipp fra Novapoint som viser plassering av brufundamenter, hvor de to i endene plasseres direkte på berg, og det i midten fundamenteres med fire peler til berg. Utklippet er tatt mot Ø.

Oppsummering av geometrier av skjæringen for riggområdet og skjæring øst for rundkjøring er gitt i Tabell 3-1.

Tabell 3-1: Geometri skjæring med påhuggsflater og skjæring øst for rundkjøring.

Skjæring	H maks [m]	Lengde [m]	Areal [m²]	Orientering
Skjæring ved påhuggsflater	16,5	125	2030	N170°
Skjæring ved rundkjøring	26	110	2550	N160°

Deler av bergskjæringen i bakkant av anleggsvegen til riggområdet vil stedvis ha begrenset avstand til eksisterende E16. Figur 3-9 viser et snitt der avstanden er kortest. Her vil det være viktig å få lagt skjæringen så steil som mulig slik at avstand til eksisterende E16 maksimeres. Figur 3-9 viser et snitt der avstanden er kortest. Målet vist er med utgangspunkt i en vertikal bergskjæringsvegg. Ved bergskjæring med 10:1 helning blir avstand til eksisterende E16 omtrent 1,7 m. Det vil bli behov for å etablere rekkverk, samt installere forbolter i overkant av denne delen av bergskjæringen. Det forventes også behov for forbolter på sjøsiden av anleggsvegen.



Figur 3-9:: Tverrprofil hvor anleggsveg er tettest inntil eksisterende E16 ved Fossneset.

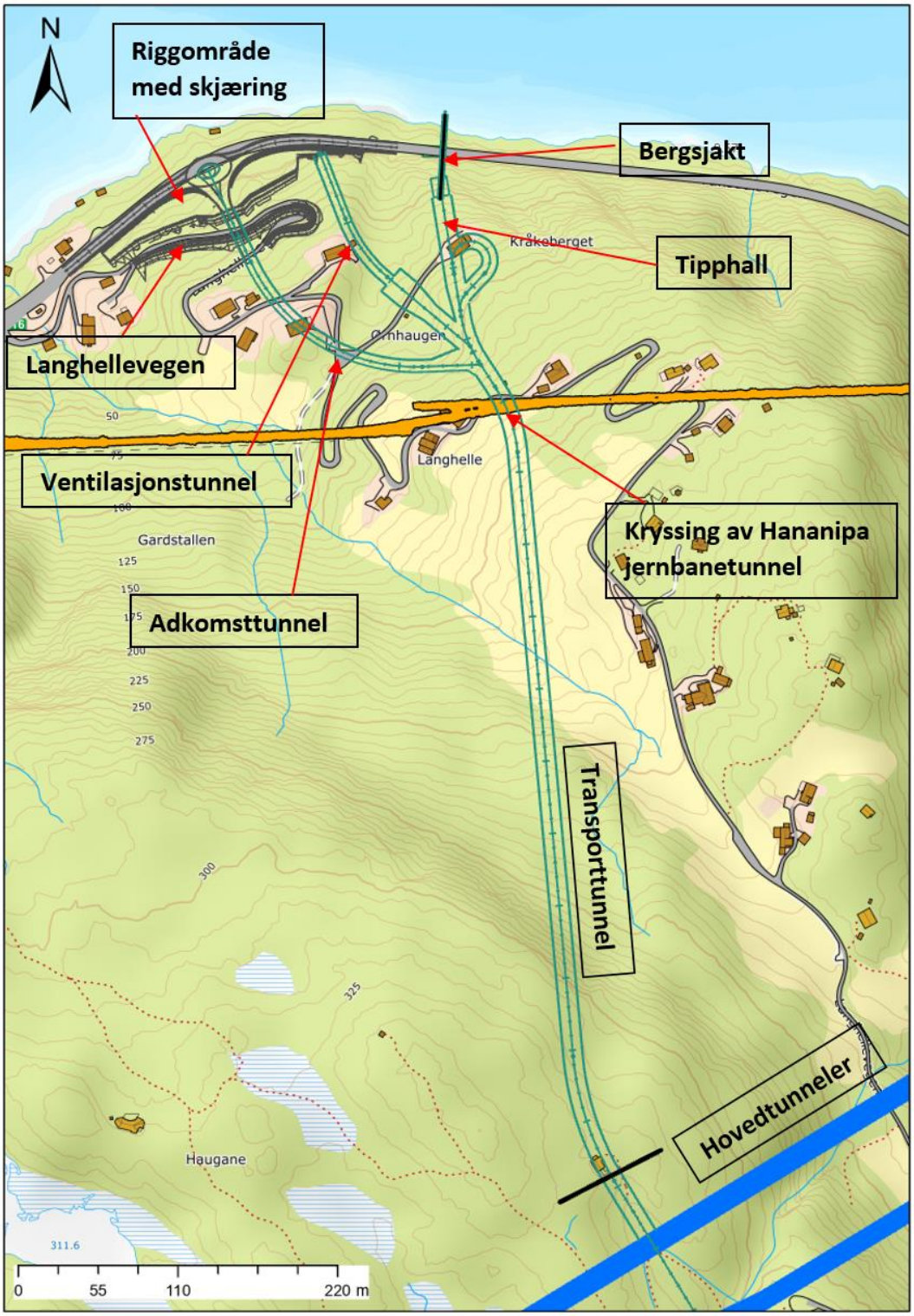
3.2 Langhelleneset

Ved Langhelleneset skal det etableres en transporttunnel som skal påkobles hovedløpene for henholdsvis kommende Arnatunnelen og Raudnipatunnelen med den hovedhensikt å deponere tunnelmasser og sørge for driftens gang.

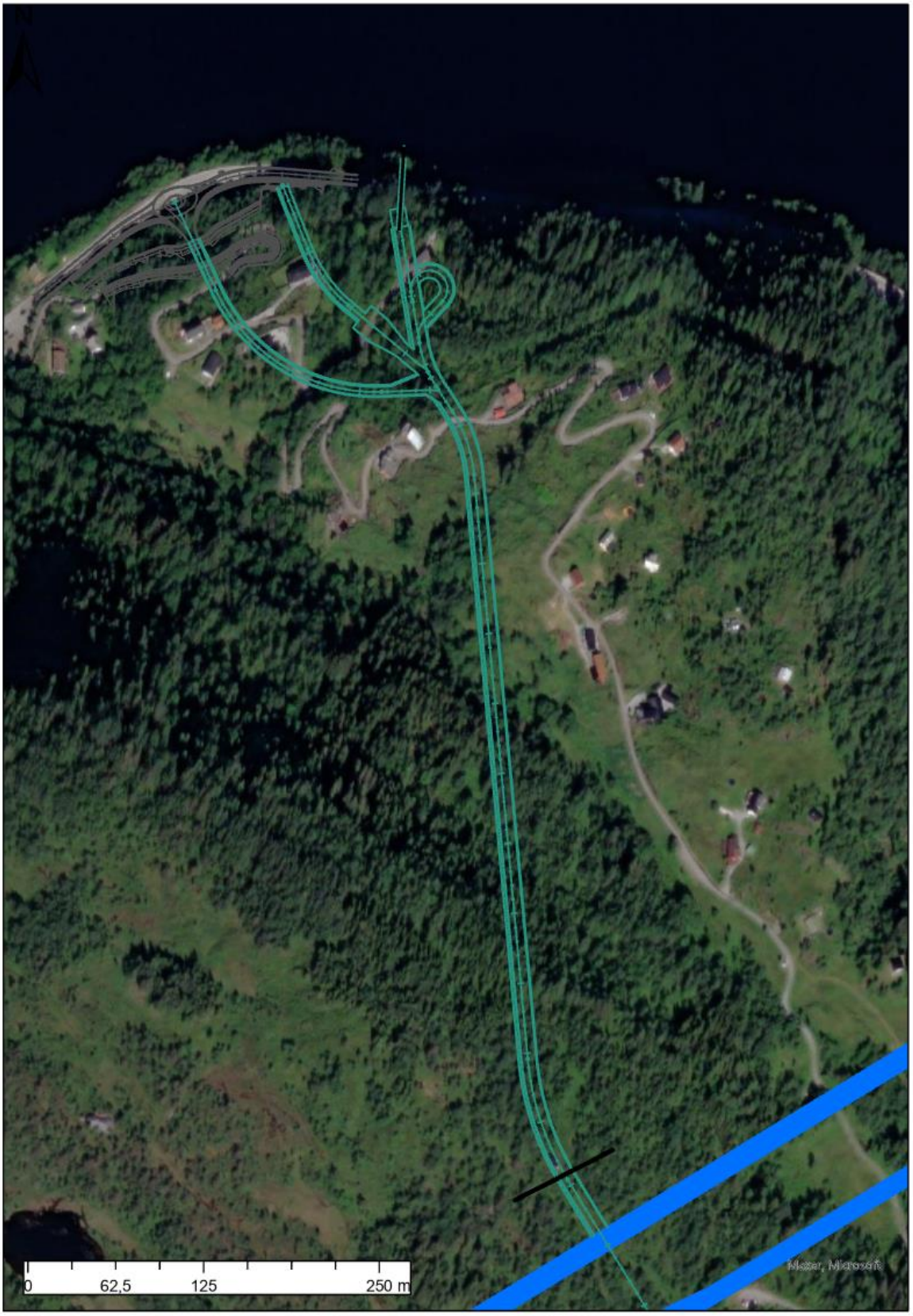
Tunnelsystemet blir bestående av en transporttunnel, adkomsttunnel inn fra eksisterende E16, en ventilasjonstunnel, og en tipphall med sjakt som går ut under sjøen ved kote ca. -30. I tillegg vil det drives ut et snuområde ved tipphallen. Transporttunnelen går mellom tipphallen og hovedtunnelene. Samlet lengde for tunnelsystemet som drives i forberedende entreprise E1 blir omtrent 1125 m. Riggområdet blir en utvidelse ved eksisterende E16, og vil innbefatte en høy bergskjæring, opp mot 20 m. Transporttunnelen vil krysse over jernbanetunnelen Hananipa.

Langhellevegen skal også utvides lengre inn i terrenget langs en strekning på omtrent 180 m grunnet at muren som underbygger vegen ut mot fjorden i dagens løsning er i dårlig tilstand. Tiltaket vil innbefatte utvidelse av eksisterende bergskjæring. Ny bergskjæring ved Langhellevegen blir opp mot 8,5 m høy.

Figur 3-10 og Figur 3-11 gir en oversikt over tiltaket. 3D illustrasjon er vist i Figur 3-12. Prinsippet for tipphall og bergsjakt er vist i Figur 3-13.



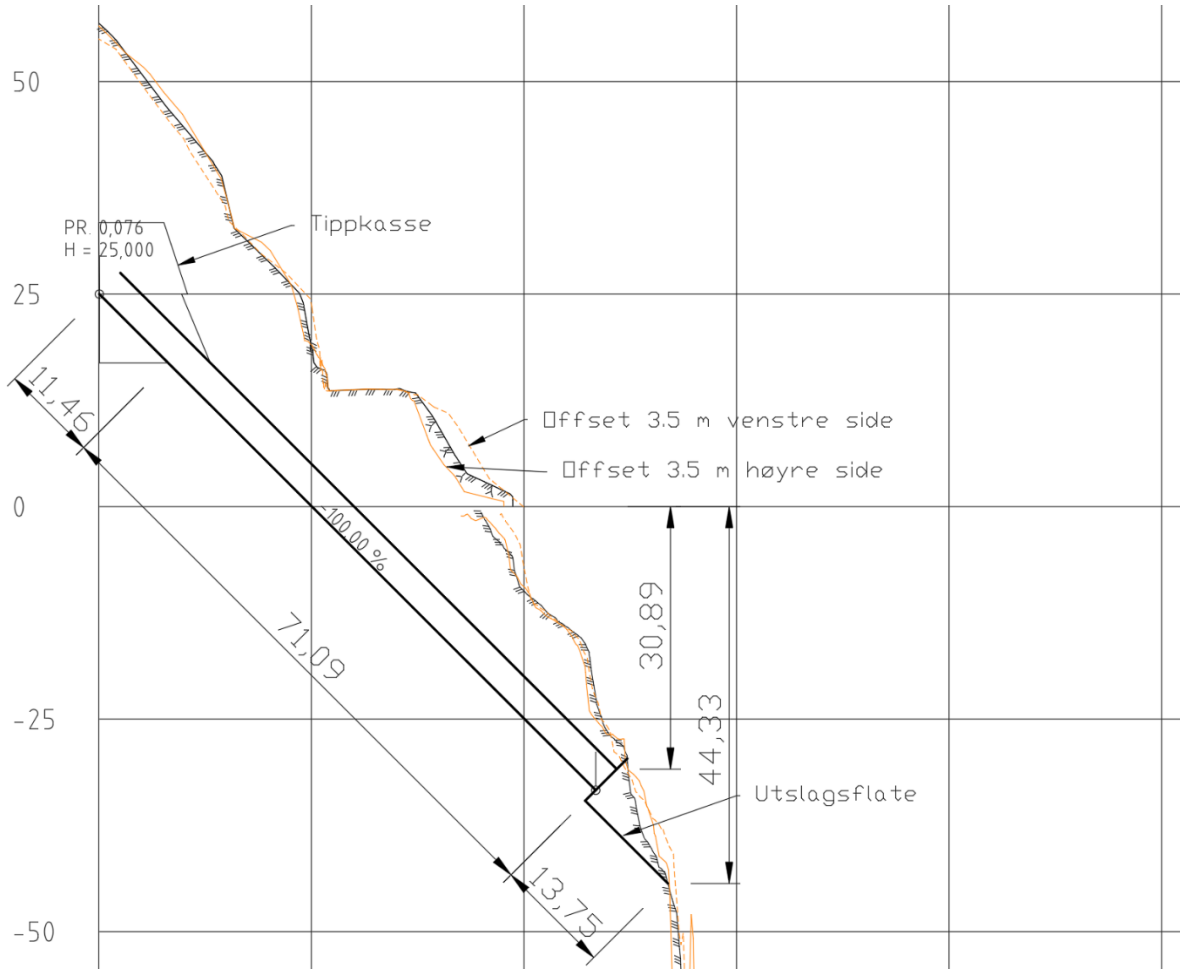
Figur 3-10: Oversikt over tiltaket ved Langhelleneset. Svart strek markerer avslutning på driving i forberedende entreprise. Oransje linje viser projeksjon av scan av Hananipa jernbanetunnel.



Figur 3-11: Flyfoto Langhelleneset, med tunneltrase.



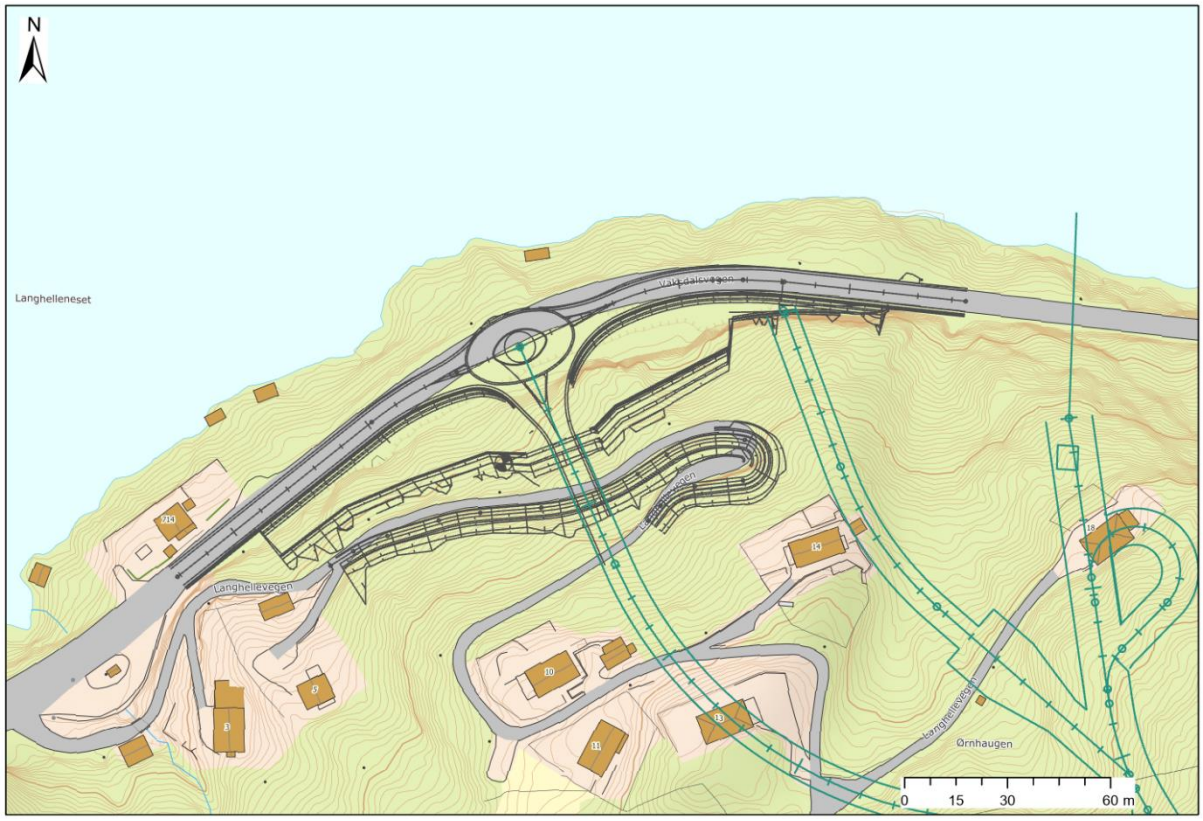
Figur 3-12: 3D-illustrasjon av topografien i prosjektområdet ved Langhelleneset. Hentet fra Novorender. Hovedtunneler skimtes i grønt. Hananipa jernbanetunnel vises i hvitt/lysere grå. Utklippet er vist mot sørøst.



Figur 3-13: Prinsipp tippkasse og bergsjakt ved Langhelleneset. Lengdesnitt tatt langs senter av bergsjakt. Lengdemål er i meter.

3.2.1 Riggområde og påhugg

Riggområdet ved Langhelleneset skal etableres som en ytterligere utvidelse av en eksisterende utvidelse ved E16 som er utsprengt som en høy bergskjæring. Denne bergskjæringen skal utvides sørover lenger inn i terrenget. Kommende skjæring får et areal på omtrent 2100 m², inkludert påhuggsflate, og en største høyde på om lag 20 m. I tillegg skal Langhellevegen i bakkant legges lenger inn i terrenget. Dette medfører stedlig utvidelse av skjæringene her. Basert på Quadri-modellen blir skjæringen opp mot 7 m i nedre nivå og opp mot 10 m i øvre nivå. Samlet areal av de to delene blir omtrent 850 m². Prosjektert riggområde er vist i Figur 3-14 og Figur 3-20. Som det vises, skal eksisterende skjæring beholdes i den østligste delen av riggområdet. Figur 3-16 viser et bilde av eksisterende skjæring. Tverrprofiler av skjæringen er vist i Vedlegg 2.



Figur 3-14: Kommende riggområde på Langhelleneset, samt utvidelse av Langhellevegen.



Figur 3-15: Utklipp fra Quadri-modell av riggområde ved Langhelleneset. Det vises hvor de to påhuggene kommer ved røde ellipser. Det vises også hvor eksisterende skjæring skal beholdes. Utklippet er vist mot SSØ.



Figur 3-16: Eksisterende skjæring ved Langhelleneset. Bildet er tatt mot øst.

Langhellevegen skal utvides lengre inn i terrenget grunnet at muren som underbygger vegen ut mot fjorden i dagens løsning er i dårlig tilstand. Dermed må det gjennomføres berguttak og etablering av bergskjæringer langs aktuell strekning. Orienteringen til denne skjæringen er for det meste lik som orienteringen som skjæringen ned til riggområdet, se Figur 3-15 og kapittel 7.3.4.

Maksimal høyde på bergskjæringen i nedre del av vegen, før hårnålssvingen, blir opp mot 7,5 m. Maksimal høyde på bergskjæringen rett vest for hårnålssvingen etter passering blir opp mot 8,5 m. Totalt skjæringsareal blir omtrent 850 m².

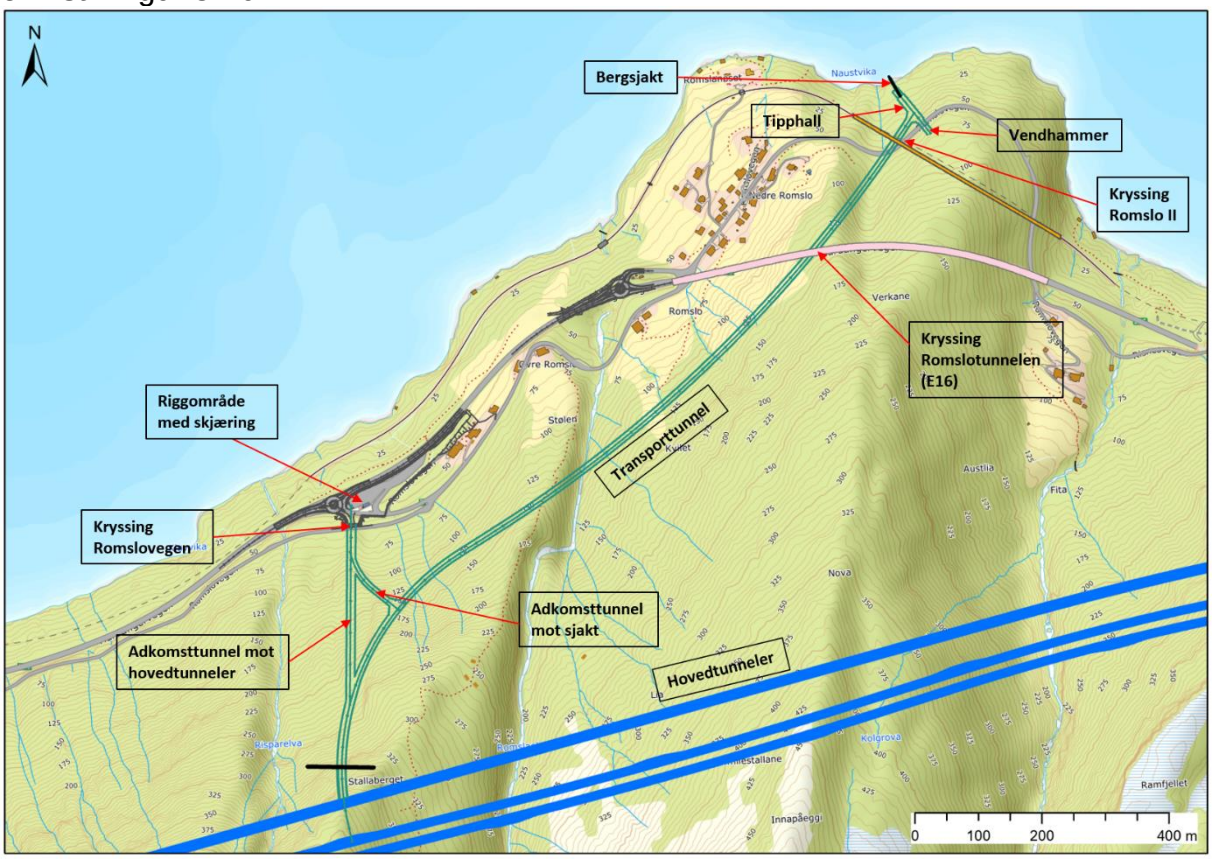
3.3 Romslo og Naustvika

Mellom Romslo og Naustvika skal det etableres en transporttunnel som påkobles hovedløpene til Arnatunnelen og Tunesfjelltunnelen, med den hovedhensikt å deponere tunnelmasser og sørge for driftens gang.

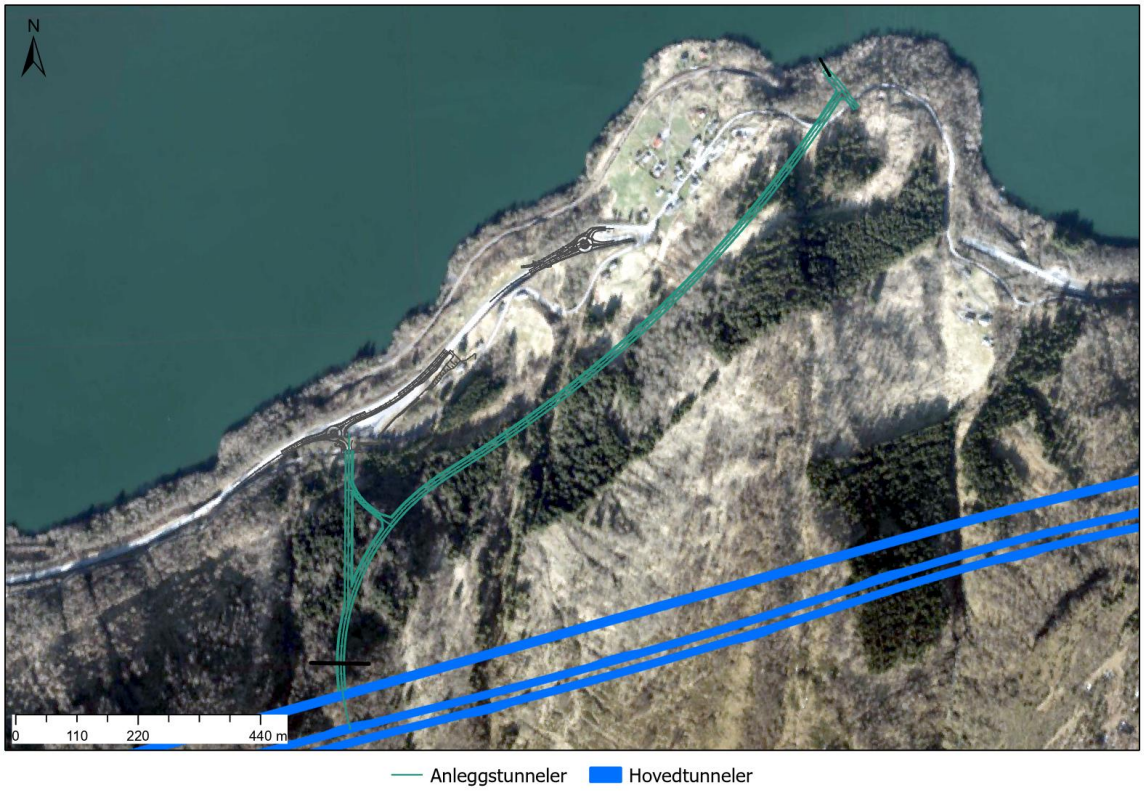
Tunnelsystemet blir bestående av en transporttunnel mellom Romslo og Naustvika, adkomst- og ventilasjonstunnel ved kontrollstasjonen på Romslo, samt tipphall, sjakt og vendehammer i Naustvika, se Figur 3-17 og Figur 3-18. Samlet lengde for tunnelsystemet som drives i forberedende entreprise blir omtrent 1830 m. Ut mot tipphallen vil transporttunnelen krysse under jernbanetunnelen Romslo II. Lengre SV vil transporttunnelen krysse under E16-tunnelen Romslotunnelen.

Området for dagens kontrollstasjon på Romslo vil bli riggområde under anleggsarbeidene, og inkluderer bergskjæringer. Kontrollstasjonen vil dermed rives. Adkomsttunnelen vil tidlig krysse under lokalvegen Romslovegen, med begrenset bergoverdekning.

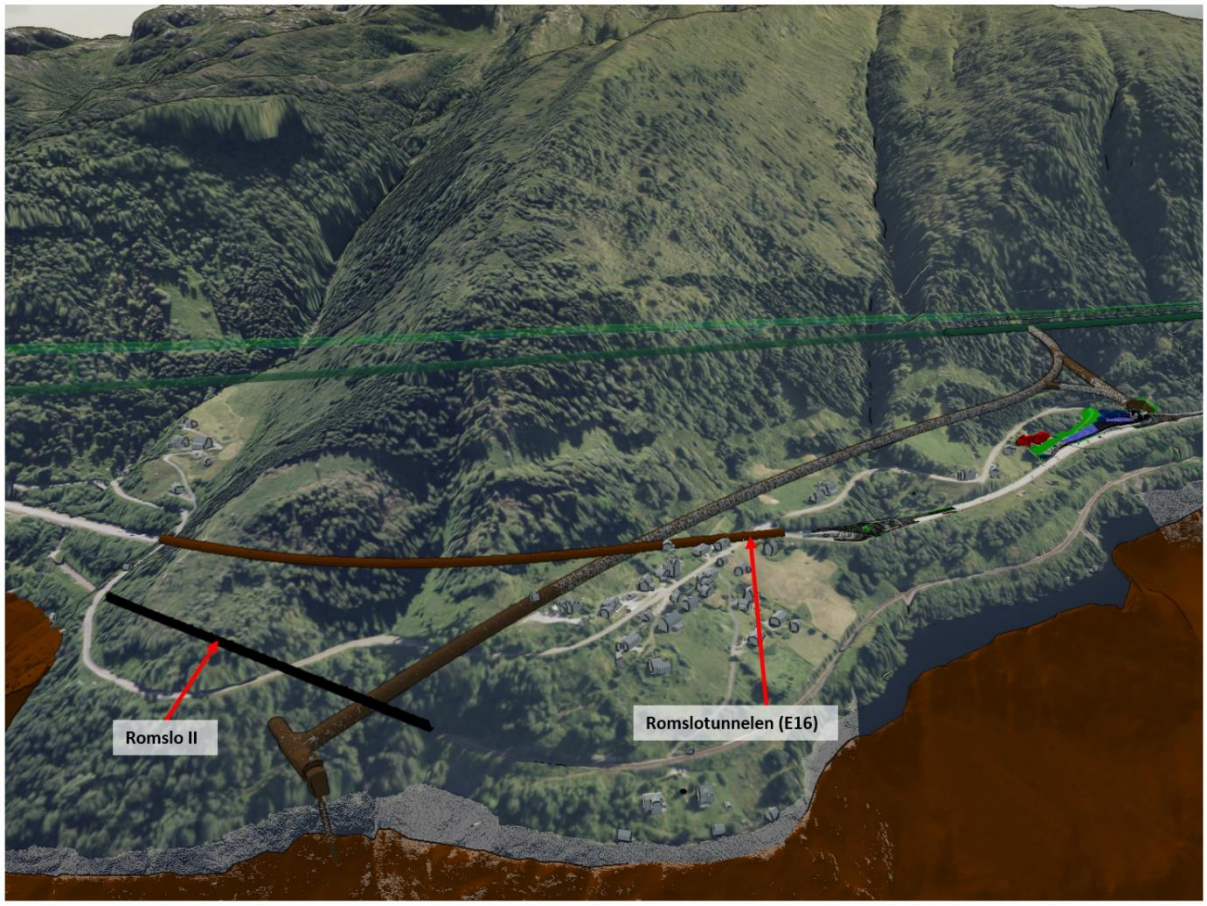
3D-illustrasjon av tiltakene er vist i Figur 3-19. Prinsippskisse for sjakt på Naustvika er vist i Figur 3-20.



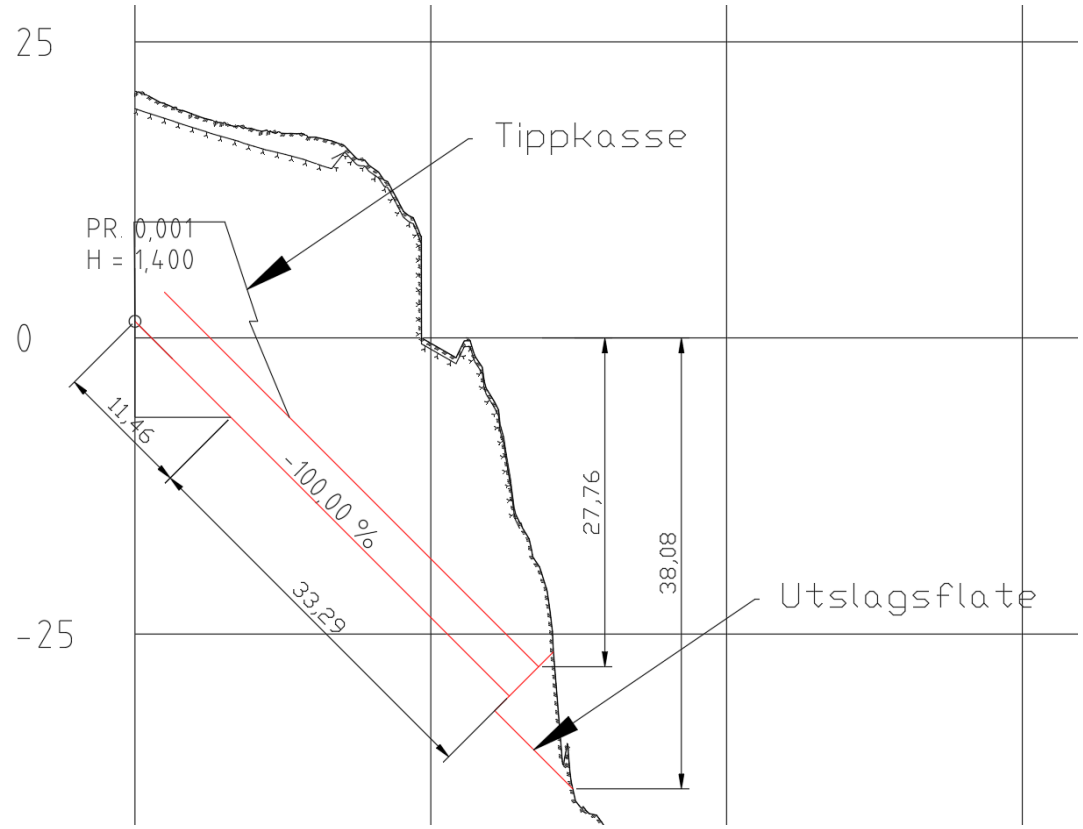
Figur 3-17: Oversikt over tiltaket ved Romslo og Naustvika. Svart linje viser omtrentlig avslutning på driving i forberedende entreprise.



Figur 3-18: Anleggstunnelene ved Romslo lagt over flyfoto.



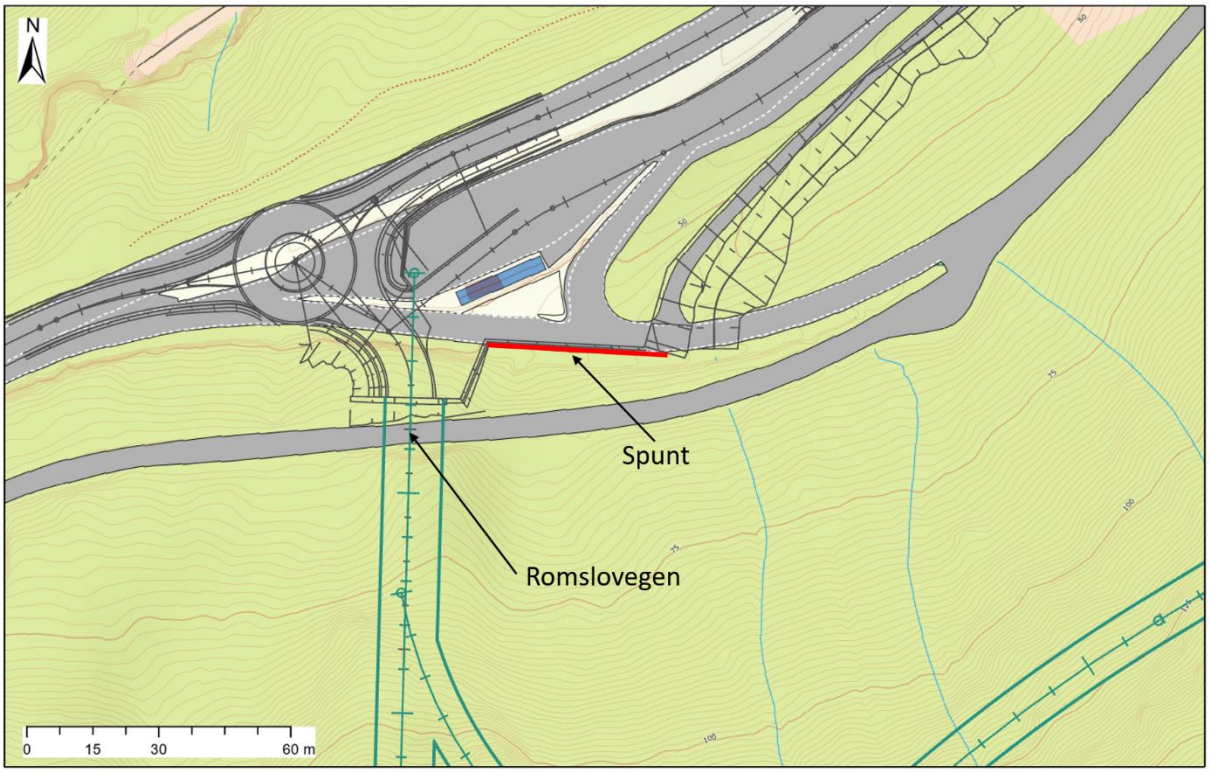
Figur 3-19: 3D-illustrasjon av topografien i prosjektområdet ved Romslo. Hentet fra Novorender. Hovedtunneler skimtes i grønt. Romslo II jernbanetunnel og Romslotunnelen (E16) er vist. Utklipp er vist mot sør.



Figur 3-20: Sjakt på Naustvika. Bergsjakt og utslagsflate vist i rødt. Lengdesnitt tatt langs senter av bergsjakt. Lengdemål er i meter.

3.3.1 Riggområde og påhugg

Tunnelpåhugget til adkomsttunnelen går inn i en bergrygg like sørvest for kontrollstasjonen på Romslo, og blir en del av et riggområde som blant annet vil omfatte området for dagens kontrollstasjon (Figur 3-21).



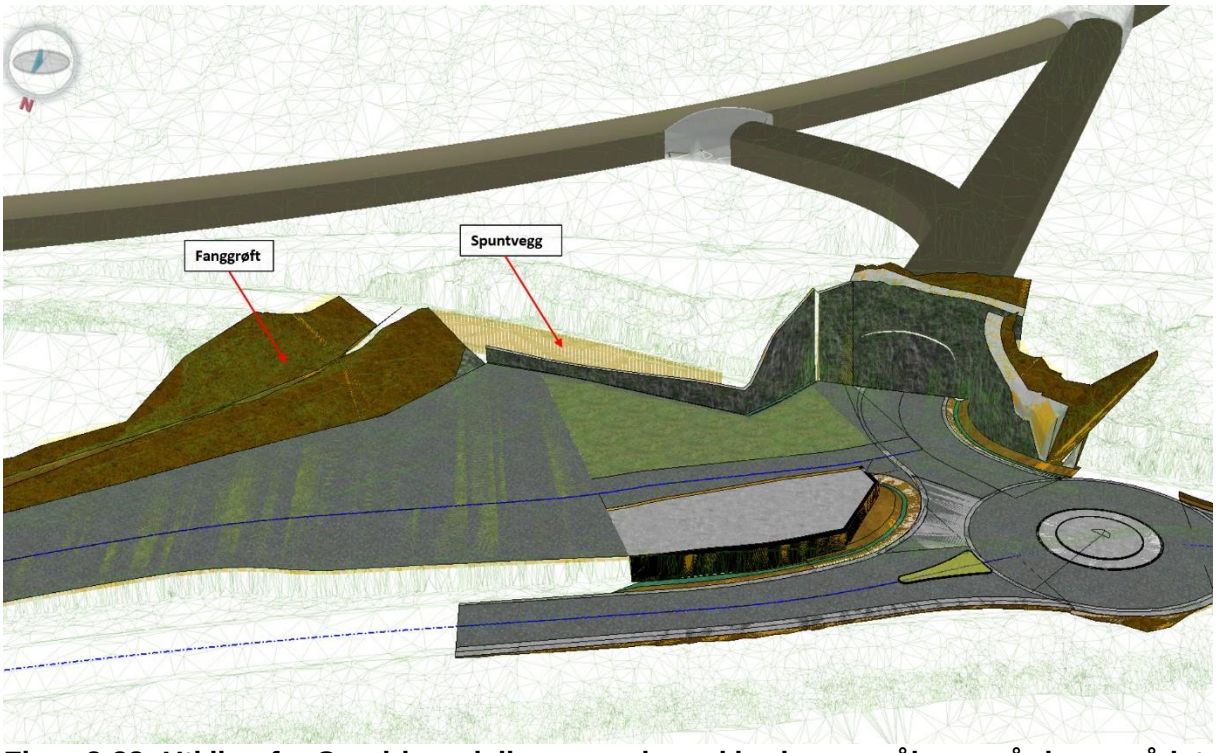
Figur 3-21: Riggområdet på Romslo. Omtrentlig plassering av spunt er vist i rødt, og Romslo kontrollstasjon er vist som bygget med blå farge. Anleggstunnelen vises i grønt, og kryssingen under Romslovegen er indikert.

Selve tunnelpåhugget er planlagt i en ca. 25 m lang skjæring (Figur 3-22) på omtrent 330 m² og vil bli en utvidelse av eksisterende skjæring langs avkjøringsrampen til kontrollstasjonen. Skjæringen blir på det høyeste ca. 14 m ved påhuggsområdet til adkomsttunnelen. Romslovegen skal krysses med lav overdekning de første meterne. Vest for skjæringen ved påhugget beholdes eksisterende skjæring ovenfor rundkjøringen. Geometrien til påhuggsflate og forskjæringene er beskrevet i Tabell 3-2.

Tabell 3-2: Geometri - forskjæringer og påhuggsflate.

Skjæring	H maks [m]	Lengde [m]	Areal [m²]	Orientering
Påhuggsflate	14	25	330	N090
Vestvendt forskjæring	13	15	130	N020
Østvendt forskjæring	12,5	25	150	N324 (kurvet)

Lengre øst for påhugget øker løsmassemektigheten og det vil bli behov for en fylling parallelt fanggrøften, Figur 3-22. For mer informasjon om dette henvises det til geoteknisk rapport FAS-01-V-00017 (COWI, 2024o).



Figur 3-22: Utklipp fra Quadri-modellen som viser skjæring og påhugg på riggområdet ved Romslo. Sett fra nordvest.

3.4 Tunneltverrsnitt

Tiltakene som denne rapporten omhandler, vil omfatte flere spesielt dimensjonerte tunneltverrsnitt. Dimensjoner på tverrsnitt er valgt i samarbeid med oppdragsgiver, og det er lagt vekt på:

- Plass til ventilasjon for hovedentreprise
- Plass til anleggsmaskiner
- Vurdering av behov for passering av to maskiner
- Kapasitet for tipping av sprengsteinsmasser i hovedentreprise

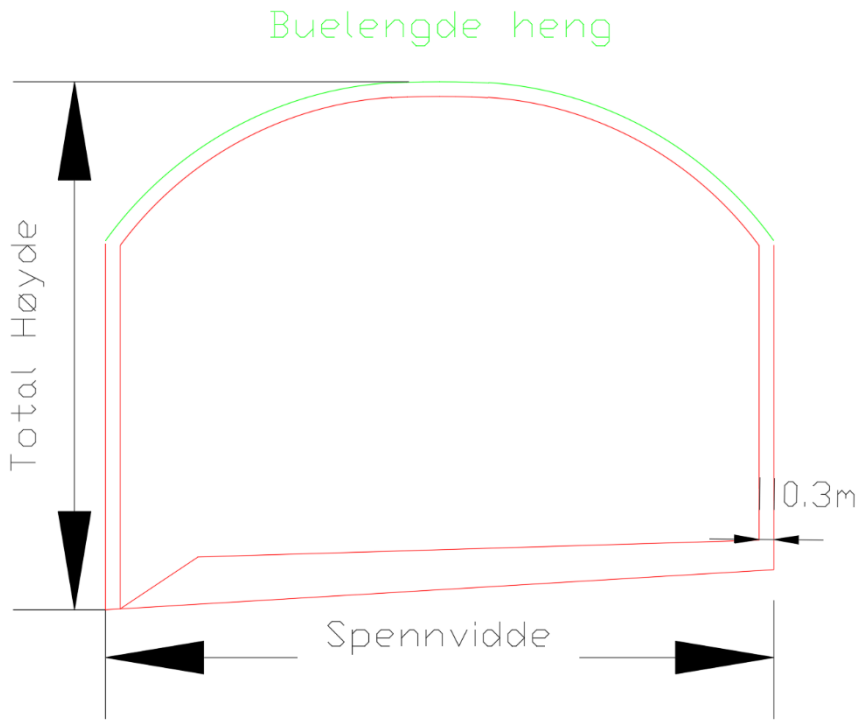
Utvalgte mål for ulike teoretiske sprengningsprofiler er gitt i Tabell 3-3. Konseptskisse for målene er vist i Figur 3-23. Det er lagt til 30 cm til bergsikring. Dette er inkludert i oppgitt spennvidde og total høyde. Det henvises til modell for visualisering av geometri for tunnelene, i tillegg til Vedlegg 6. Stedvis vil tverrsnittene måtte utvides for å gjøre plass til tyngre sikring med forbolter og sprøytebetongbuer. Veiledende utvidelse av profil er ytterligere 30 cm i bergmasseklasse E2, og 60 cm i bergmasseklasse F i henhold til V521 (Statens Vegvesen, 2023).

Sjaktene skal ha et endelig tverrsnitt med en diameter på 3,5 m. Geometrien for sjaktene fremgår av Figur 3-4, Figur 3-13 og Figur 3-20.

Tabell 3-3: Veiledende geometrier av tunneltverrsnittene (sprengningsprofiler). Arealer fremgår av Vedlegg 6.

Tunnel	Spennvidde [m]	Buelengde heng [m]	Totalhøyde [m]	Ca. lengde [m]

Gamle Fossen				
Transporttunnel mot hovedtunneler	13,6	15,6	10,4	380
Transporttunnel mot sjø	13,6	15,0	8,8	185
Ventilasjonstunnel smal del	8,6	10,9	8,6	105
Ventilasjonstunnelhall	20,6	22,8	10,5	25
Ventilasjonstunnel mot transporttunnel	13,6	15,6	9,6	45
Langhelleneset				
Transporttunnel mot hovedløp	13,6	15,6	10,7	598
Transporttunnel mot sjakt	13,6	15,6	9,3	89
Adkomsttunnel	8,6	10,9	8,6	217
Ventilasjonstunnel smal del	8,6	10,9	8,6	112
Ventilasjonstunnel bred del	20,6	22,8	10,5	37
Tipphall	13,6	15,0	13,4	14
Snuplass	10,6	12,6	8,1	57
Romslo og Naustvika				
Transporttunnel mot hovedløp	13,6	15,6	10,7	141
Transporttunnel mot sjakt	10,6	12,8	8,7	1265
Adkomsttunnel mot hovedløp	13,6	15,8	9,6	262
Adkomsttunnel mot sjakt	8,6	10,9	8,6	92
Vendehammer	10,6	12,6	8,1	25
Tipphall lav	13,6	16,0	9,6	32
Tipphall høy	13,6	15,0	14,2	18



Figur 3-23: Konseptskisse veiledende geometrier.

3.5 Funksjonskrav og levetid

Funksjonskrav for bergskjæringene reguleres av N200 (Statens Vegvesen, 2022). I forskrift om anlegg av offentlig veg står det at arealbruk og vegfunksjoner skal vurderes i et 20 års perspektiv etter vegåpning. Skjæringene etableres slik at rensk og annen sikring unngås de første 20 årene.

Anleggstunnelene er planlagt brukt i forbindelse med driving av relevante tunneler i Fellesprosjektet Arna – Stanghelle, og har derfor begrenset krav til levetid; ut anleggsperioden til hovedprosjektet. Hele prosjektet har en forventet anleggsperiode på 10 år.

Det er besluttet i samråd med FAS at alle sikringsbolter skal oppfylle krav til permanent sikring i henhold til R761 (Statens Vegvesen, 2018a), da det ikke kan utelukkes fremtidig bruk av anleggstunnelene, også etter anleggsstopp.

3.6 Bergsjakter

Det skal bores tre sjakter i berg (Gamle Fossen, Langhelleneset og Naustvika) med en diameter på 3,5 m. Sjaktene skal brukes til å tippe sprengsteinsmasser fra tunnelbygging ned i fjorden. Sjaktene kommer ut i fjorden ca. 30 m under havnivå, men dette varierer for de tre områdene.

Alle sjaktene skal ha tilnærmet samme fall, som er satt til minimum 45° basert på skalert forsøk med tipping av masser, mens fallretningen og lengden er noe forskjellig for de tre planlagte sjaktene, se Tabell 3-4.

Tabell 3-4: Retning og lengde på planlagte sjakter.

Sted	Gamle Fossen	Langhelleneset	Naustvika
Retning (fall/fallretning)	46°/N220°	45°/N001°	45°/N337°
Lengde	41 m	71 m	33 m

4 GRUNNLAG OG UTFØRTE GRUNNUNDERSØKELSER

Dette kapittelet oppsummerer utførte forundersøkelser og geologisk grunnlag benyttet for utarbeidelse av denne rapporten.

Rapporten bygger i hovedsak på følgende grunnlagsmateriale:

Som prosjekteringsgrunnlag er følgende benyttet:

- NS-EN 1990:2002 Eurokode (0) – Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner (Standard Norge, 2008)
- NS-EN 1997-1:2004 Eurokode 7 – Geoteknisk prosjektering (Standard Norge, 2020)
- Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering (Norsk Bergmekanikkgruppe, 2011)
- Håndbok N200 Vegbygging (Statens Vegvesen, 2022)

Undersøkelser utført før reguleringsplanfasen:

- Totalsonderinger og andre grunnboringer (Statens vegvesen Region vest, 2004) (Statens vegvesen Region vest, 2016) (Statens vegvesen Region vest, 2008)

Til reguleringsplanfasen er det utført følgende undersøkelser:

- Refraksjonsseismikk (GeoPhysix, 2017)
- Ingeniørgeologiske fagrapporter, inkludert mekaniske undersøkelser av bergarter (SWECO, 2022d) (SWECO, 2022e) (SWECO, 2022g) (SWECO, 2022c) (SWECO, 2022f) (SWECO, 2022b) (SWECO, 2022a)

Til konkurransegrunnlaget er det utført følgende undersøkelser:

- Totalsonderinger og andre grunnboringer (COWI, 2023i)
- Refraksjonsseismikk og georadar (COWI, 2024f)
- Filming med undervannsdrone (ROV) (ROV AS, 2023) (ROV AS, 2023)
- Kjerneboring og kjernelogging Naustvika (COWI, 2024q)
- Ingeniørgeologisk kartlegging
- Geokjemiske undersøkelser (COWI, 2024j)
- Miljøgeologiske undersøkelser og tiltaksplaner (COWI, 2024g) (COWI, 2024e) (COWI, 2024d) (COWI, 2023f)

Annet grunnlagsmateriale benyttet til utarbeidelse av rapporten:

- Befaringsnotat Fossmark kraftverk (SWECO, 2018)
- Håndbok N500 Vegtunneler (Statens Vegvesen, 2022b)
- Håndbok N-V521 geologi og bergsikring i tunnel (Statens Vegvesen, 2023)
- Bruk av Q-systemet (NGI, 2022)

Kartgrunnlag benyttet til utarbeidelse av rapporten:

- Berggrunnskart N50 og N250 fra NGU (NGU, 2023a)
- Løsmassekart N50 fra NGU (NGU, u.d.)
- NADAG (NGU, 2023d)
- GRANADA (NGU, 2023b)
- NVE-kart (NVE, 2023b) (NVE, 2023a)

4.1 Geologisk kartlegging

Det er tidligere utført geologisk kartlegging i deler av områdene rundt de planlagte anleggstunnelene i forprosjektet til Arna – Stanghelle (SWECO, 2022d). De tidligere planlagte traséene har i varierende grad blitt omlagt for anleggstunnelene på Romslo og Naustvika, på Langhelleneset og ved Gamle Fossen, som et resultat av nye løsninger med massedeponering gjennom bergsjakter. Mengden informasjon fra grunnlaget er ulik for hvert område. Det er for eksempel gjort mer detaljerte undersøkelser ved Langhelleneset enn ved Gamle Fossen og Fossmark (SWECO, 2022d).

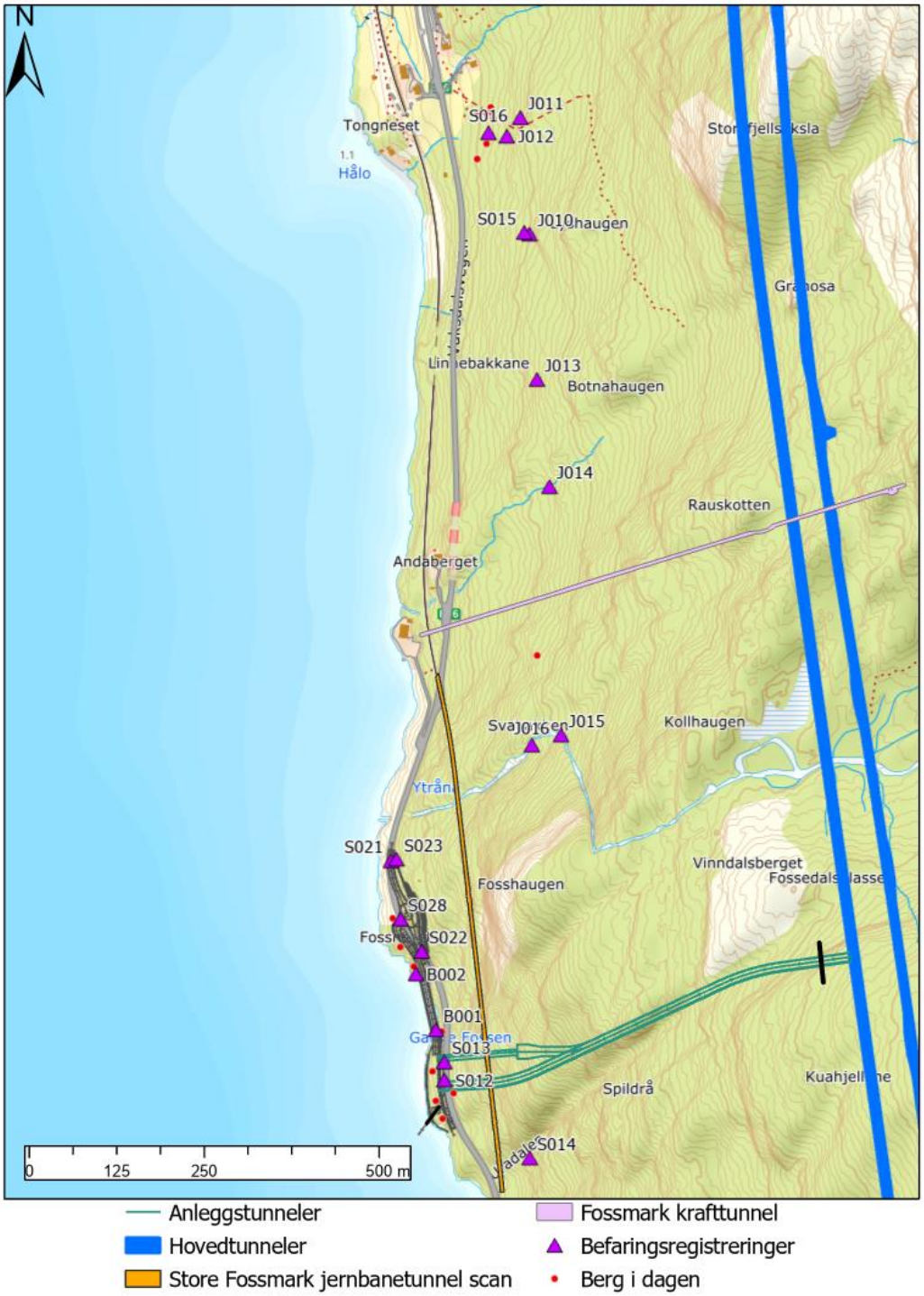
I løpet av prosjektperioden for utarbeidelse av denne rapporten er det blitt utført befaringer i prosjektområdet i februar, mars og juni. Den geologiske kartleggingen har innbefattet strukturgeologisk kartlegging med strøk- og fallmålinger, kartlegging av bergarter og bergartsgrenser, svakhetssoner og observasjoner av hydrogeologiske forhold, samt vurdering av bergmassekvalitet. Q-systemet (NGI, 2022) er brukt som bergmasseklassifikasjon.

4.1.1 Fossneset og Gamle Fossen

Området ved Fossneset og Gamle Fossen er tidligere kun observert fra sjø og veg grunnet vanskelig tilgjengelighet til området (SWECO, 2022d). Riggområdet ved Gamle Fossen er en steil vertikal bergskrent. Berget er for det meste eksponert, med stedvis tynt vegetasjonsdekke på flatere partier.

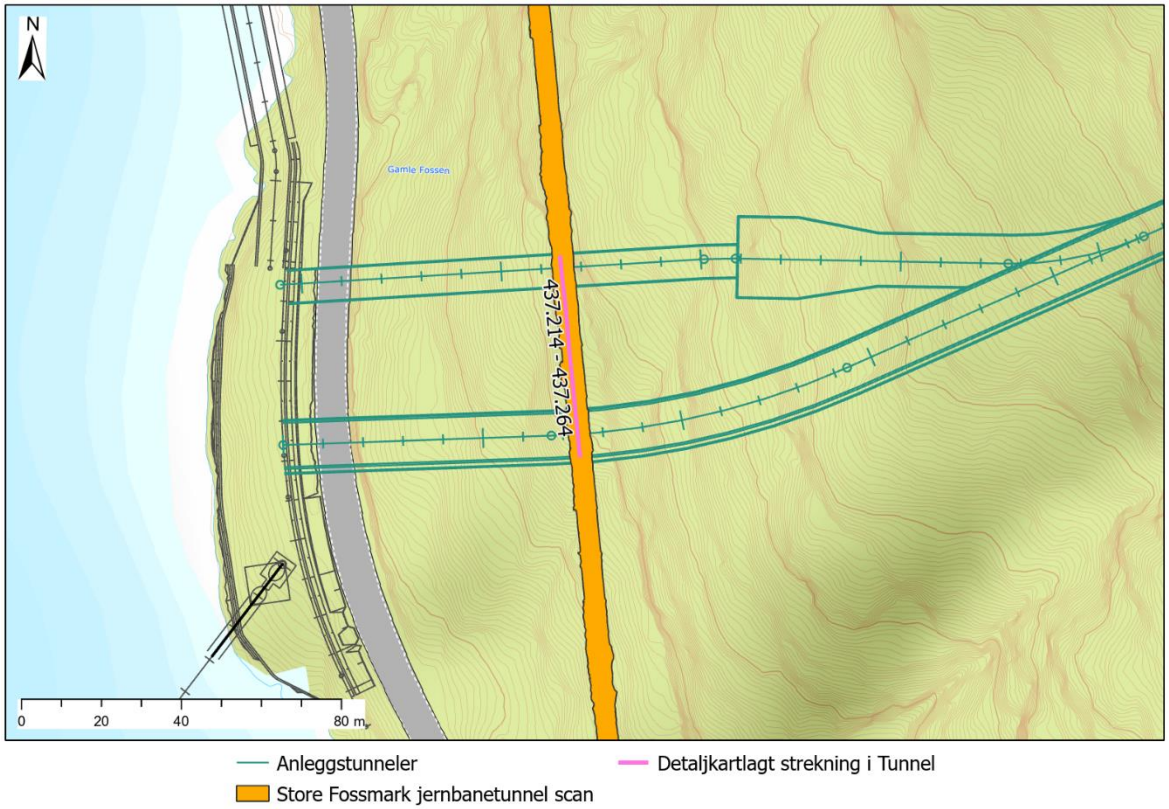
Fossmark krafttunnel er tidligere kartlagt i sin helhet hvor bergmassekvalitet, innlekkasje, oppsprekking, bergsikring, og stabilitet er vurdert (SWECO, 2018). Det ble videre utført en befaring i tunnelen 20.06.23, se kapittel 5.1.2.2.

Geologisk kartlegging i dagen til denne rapporten ble utført 1. – 3. mars. Figur 4-1 viser et utsnitt av hvor det er gjort befaringsregistreringer og kartlagt berg i dagen. COWI utførte også en kartlegging fra båt ved områdene rundt kommende brufundamenter ved Fossneset. Det ble gått i land ved det sørlige neset. Det nordlige neset var for bratt for landgang. Befaringen med båt ble utført 23. februar 2024.



Figur 4-1: Gjeldende trase. Område for befaringsregistreringer. Svart linje viser omtrentlig avslutning på driving i forberedende entreprise.

Det ble også utført nattbefaring i eksisterende Vossebanetunnel, Store Fossmark, 5. mars 2023. Store Fossmark jernbanetunnel er befart av COWI omtrent ved km. 437.214-437.264. Omtrentlig plassering av kartlagt strekning er vist i Figur 4-2.



Figur 4-2: Kartlagt strekning i Store Fossmark jernbanetunnel, øst for riggområdet på Gamle Fossen.

4.1.1.1 Dykkerundersøkelser Fossneset

Grunnforholdene i området rundt pelegruppe for ny bru har blitt inspisert av et dykkerteam. De beskriver bratt fjell ned til ca. 5,5 m dybde der fjellet flater noe ut og er slakt skrånende ned til ca. 10 m dybde, før det igjen stuper ned til ca. 14 m dybde. Det observeres også tilsynelatende ikke å være fare for ras ved boring i steinmasser i området for pelegruppe, rapport fra IMC Diving AS er vedlagt FAS-01-V-00038 (COWI, 2024i). Utklipp fra dykkerens rapport er vist under i Figur 4-3.

Utførelse/resultat:

For det meste skrånende fjell med enkelte fjellhyller.
Noe stein på fjell, later til å være opp mot 1 meter med steinmasser før man er nede på fjell enkelte områder. Vekslende størrelse på stein, fra håndstein til stein som må flyttes med maskinhjelp.
Later ikke til å være fare for ras ved boring i steinmasser i oppgitt område for søyler.
I området for søyler er det bratt fjell ned til ca 5.5 meter dybde, her flater det noe ut og er slakt skrånenende ned til 10 meter dybde før det igjen stuper bratt ned til ca 14 meter dybde.
Bart fjell ser ut til å stikke opp av steinmassene enkelte steder.

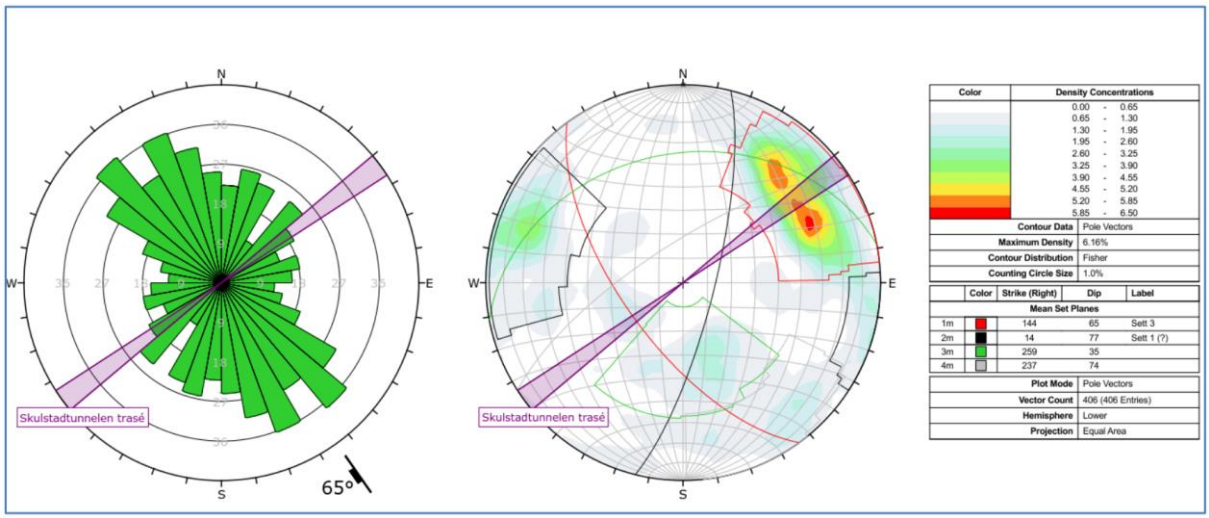
Figur 4-3: Beskrivelse av grunnforhold og topografi ved spiss av pelegruppe for ny bru mellom Fossneset og Gamle Fossen.

4.1.2 Langhelleneset

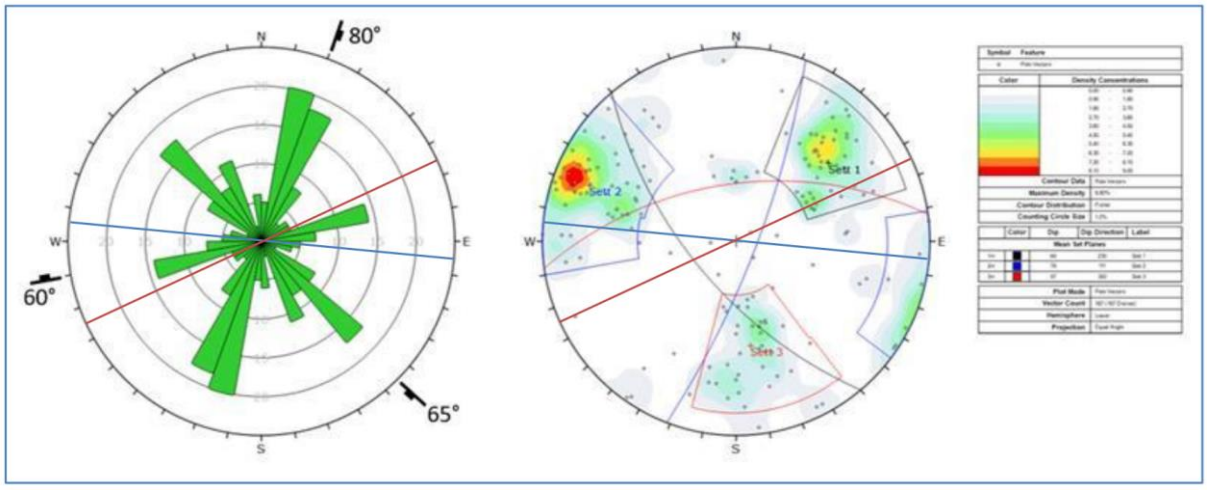
Ved Langhelleneset er det tidligere utført befaringer med strukturgeologisk kartlegging langs bergskjæring ved eksisterende E16, samt i eksisterende veg- og

banetunneler. Det er også kartlagt tolkede svakhetssoner og Q-verdier. Dette presenteres i tolkningsdelen. Ut mot fjorden er eksisterende skjæring ved eksisterende E16 opptil 19 m høy, og terrenget innover stiger med en terrenghelning på om lag 35°.

Figur 4-4 viser sprekkeregistreringer i eksisterende tunneler, og Figur 4-5 viser sprekkeregistreringer målt i skjæringen ved E16 i forbindelse med reguleringsplanarbeidet.



Figur 4-4: Sprekker målt langs eksisterende jernbane og i terrenget (SWECO, 2022d).

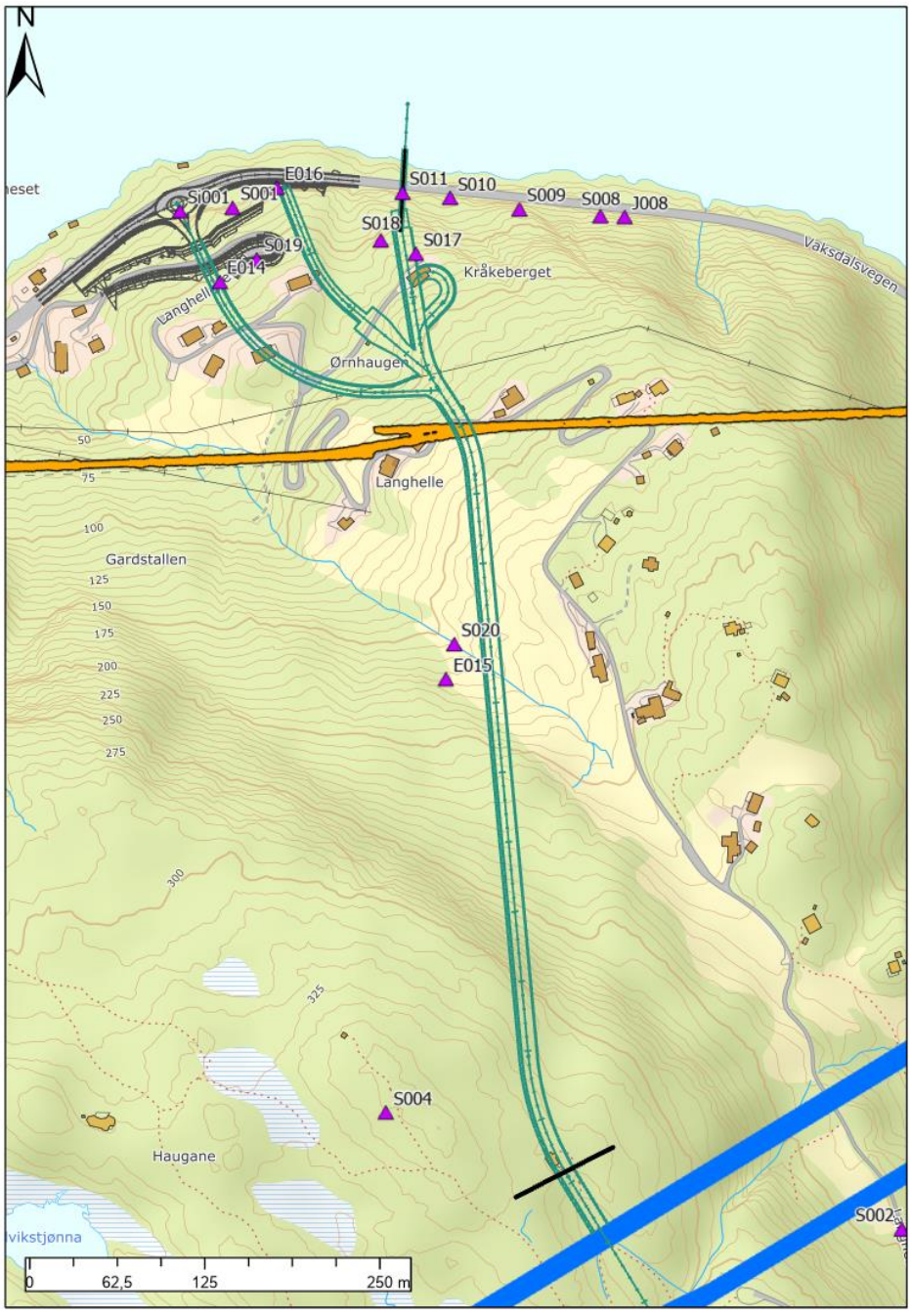


Figur 4-5: Sprekker målt i skjæring ved E16 (SWECO, 2022d).

Det er også utført skredfarekartlegging for området i forbindelse med reguleringsplanfasen. Det må tas høyde for at forsenkningen i terrenget øst for Langhellevegen 14 er slik at det er fare for å føre skred ned på vegen via denne (SWECO, 2022d).

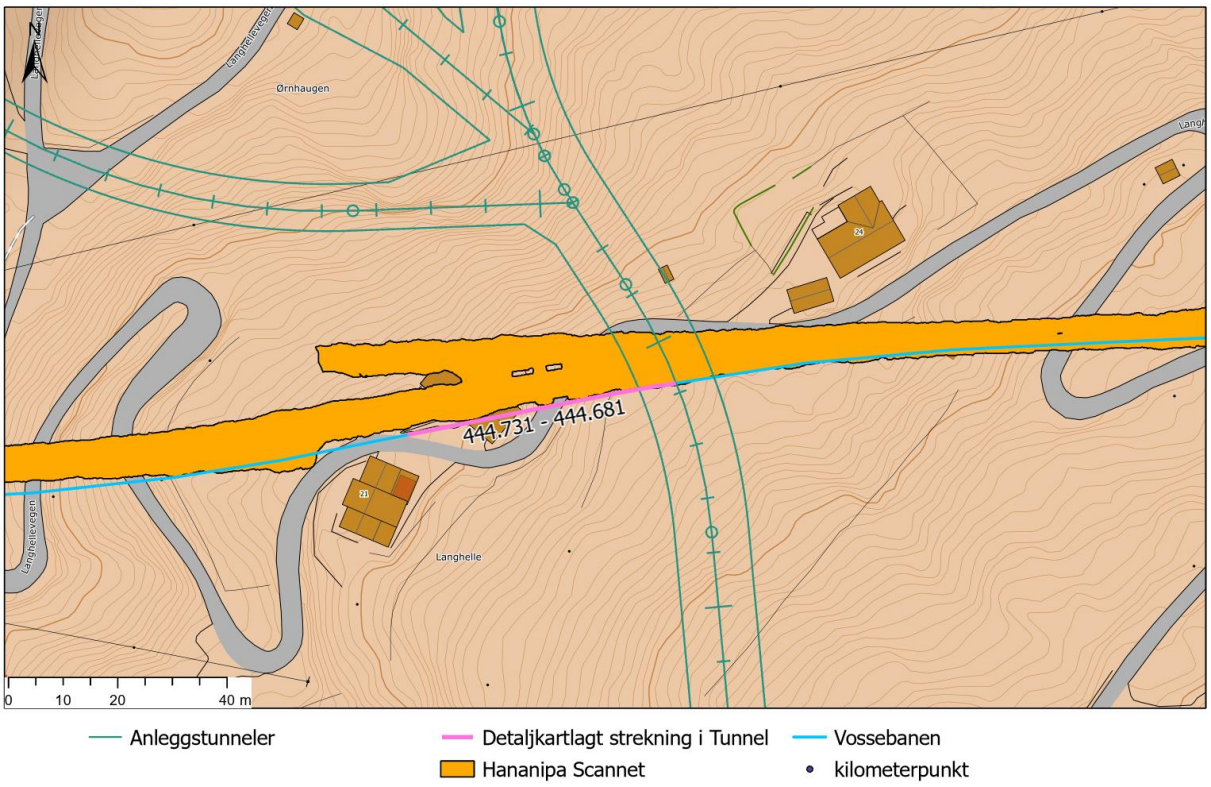
Geologisk kartlegging til denne rapporten ble utført 13. - 14. februar, 1. – 3. mars og 20. juni i 2023. Figur 4-6 viser et utsnitt av hvor det er gjort befaringsregistreringer og

kartlagt berg i dagen. Resultater fra kartleggingen av Langhelleneset gjennomgås i kapittel 5.2.



Figur 4-6: Gjeldende trase. Observasjoner og registreringer ved befaring til Langhelleneset. Oransje markerer eksisterende Hananipa jernbanetunnel. Svart strek markerer avslutning av driving forberedende arbeider.

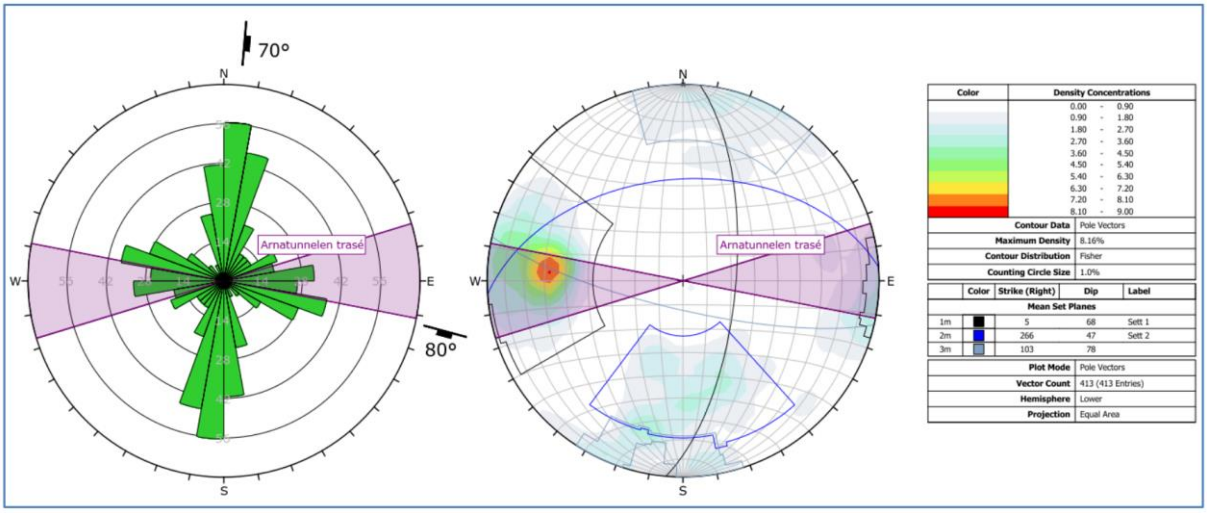
Det ble også utført nattbefaring i eksisterende Vossebanetunnel, Hananipa, 4. mars 2023. Strekningen som ble befart og detaljkartlagt var km. 444.681 – 444.731, se Figur 4-8. Resultater fra denne kartleggingen er presentert i kapittel 5.2.



Figur 4-7: Kartlagt strekning i Hananipa jernbanetunnel.

4.1.3 Romslo og Naustvika

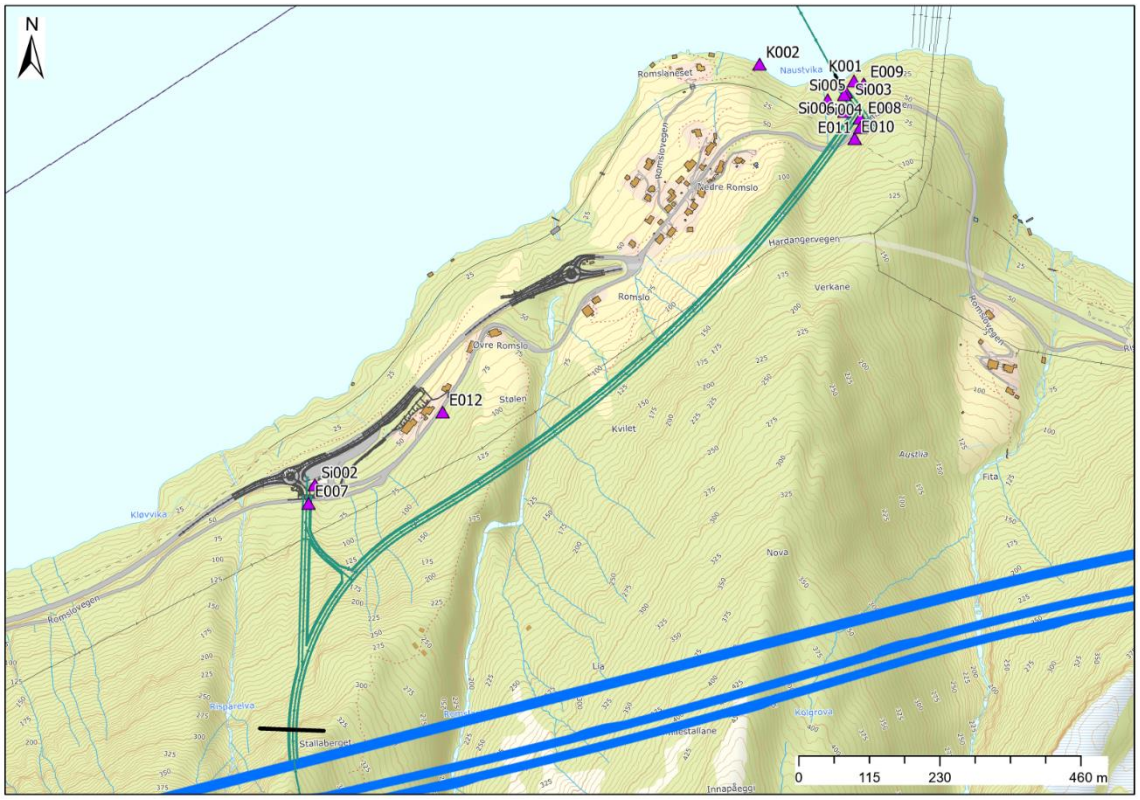
Ved området for tidligere planlagt anleggstunnel ved Romslo er det utført regionalgeologisk kartlegging, registreringer av berg i dagen og skredfarekartlegging (SWECO, 2022d). Det er tolket svakhetssoner og kartlagt bergmassekvalitet. Disse vurderingene er inkludert i kapittel 7.4.
Figur 4-8 viser registrerte sprekker langs eksisterende jernbane og i terreng (SWECO, 2022d).



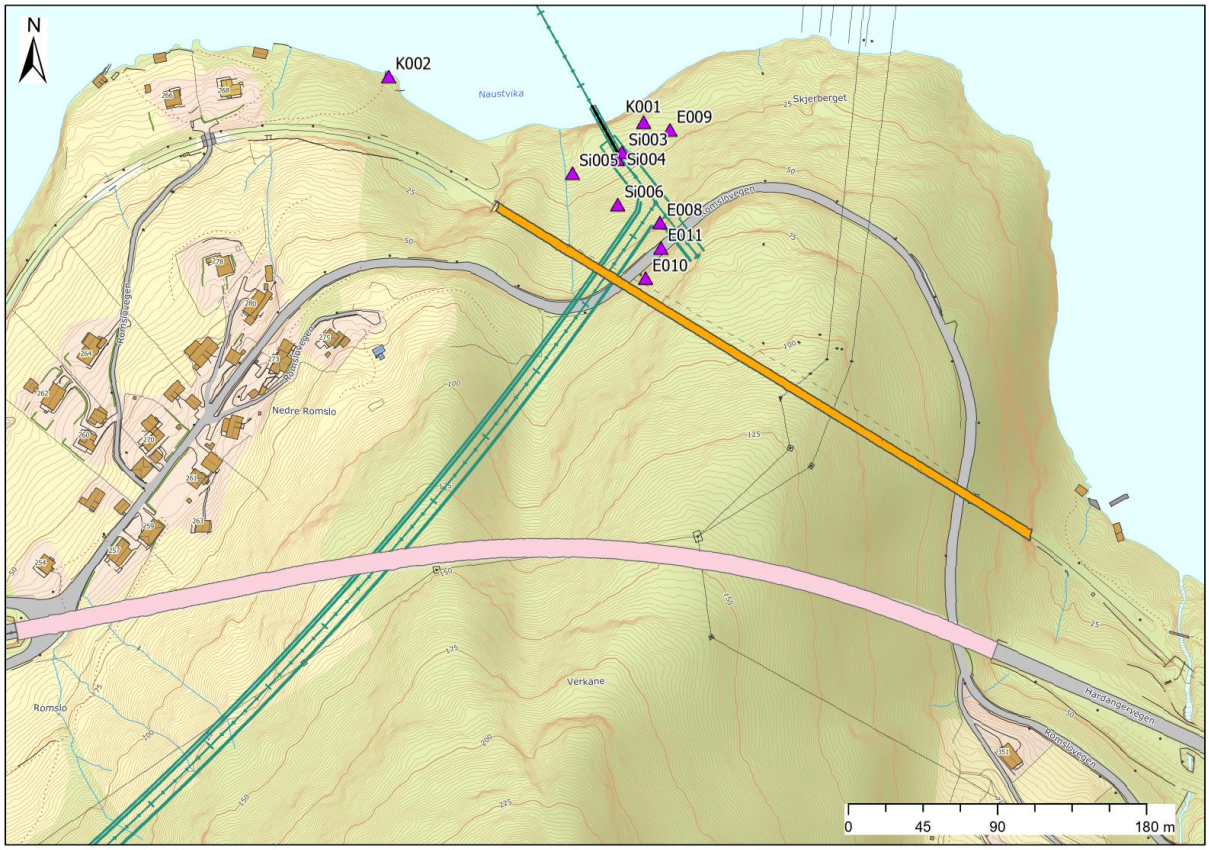
Figur 4-8: Sprekkeregistreringer langs eksisterende jernbane og i terrenget over Arna- og Tunesfjelltunnelen ved påkoblingsområdet for anleggstunnelen (SWECO, 2022d).

Ved Naustvika vil planlagt ny trasé for anleggstunnel krysse eksisterende banetunnel, Romslo II. Denne er tidligere befart av SWECO (SWECO, 2022g). Her ble det funnet lite-moderat oppsprukket bergmasse med 3 sprekkesett. Sprekkeflater er beskrevet som ru til bølgete og uten sprekkefyll. Registrerte bergarter er gneis og granittisk gneis, og tunnelen er tilnærmet usikret (SWECO, 2022g).

Geologisk kartlegging til denne rapporten ble utført 1.–3. mars 2023. Figur 4-9 viser et utsnitt av hvor det er gjort befaringsregistreringer og kartlagt berg i dagen ved Romslo og Naustvika. Figur 4-10 viser et utklipp nærmere Naustvika.

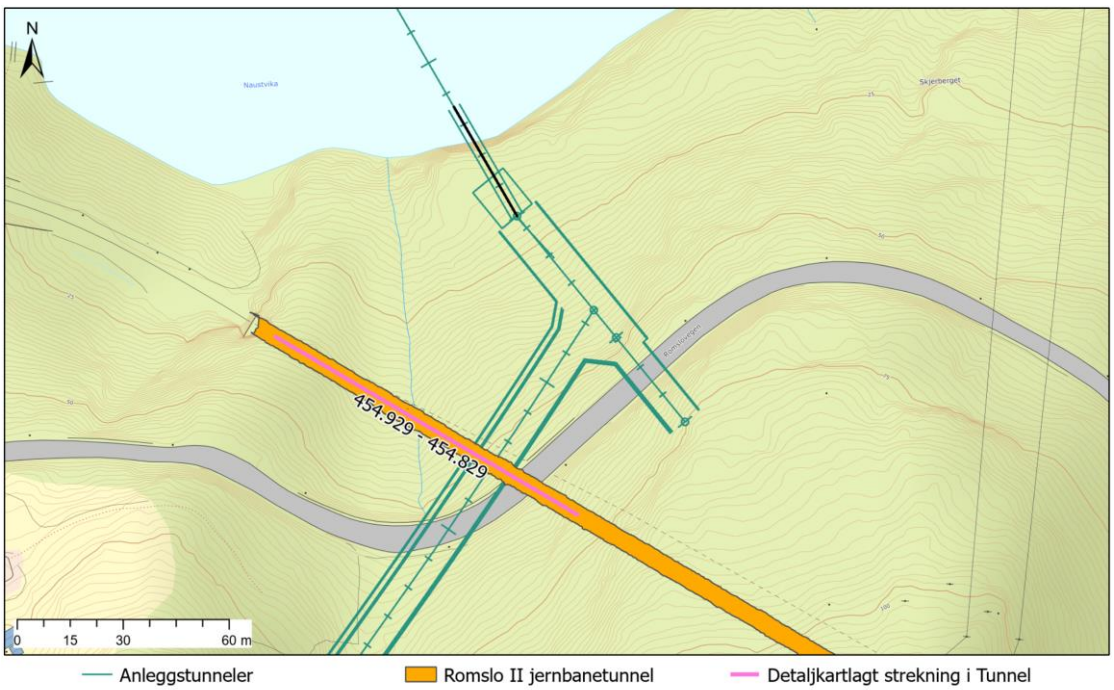


Figur 4-9: Gjeldende trase. Observasjoner og registreringer ved befaring til Romslo og Naustvika. Svart linje viser omtrentlig avslutning på driving i forberedende entreprise.



Figur 4-10: Mer detaljert bilde ut mot Naustvika. Rosa linje viser eksisterende E16 tunnel Romslotunnelen. Oransje linje viser eksisterende jernbanetunnel Romslo II.

Det ble også utført nattbefaring i eksisterende Vossebanetunnel, Romslo II, 12. mars 2023. Strekningen som ble befart og detaljkartlagt var km. 454.829–454.929, se Figur 4-11. Dette er nærmere omtalt i kapittel 5.3.

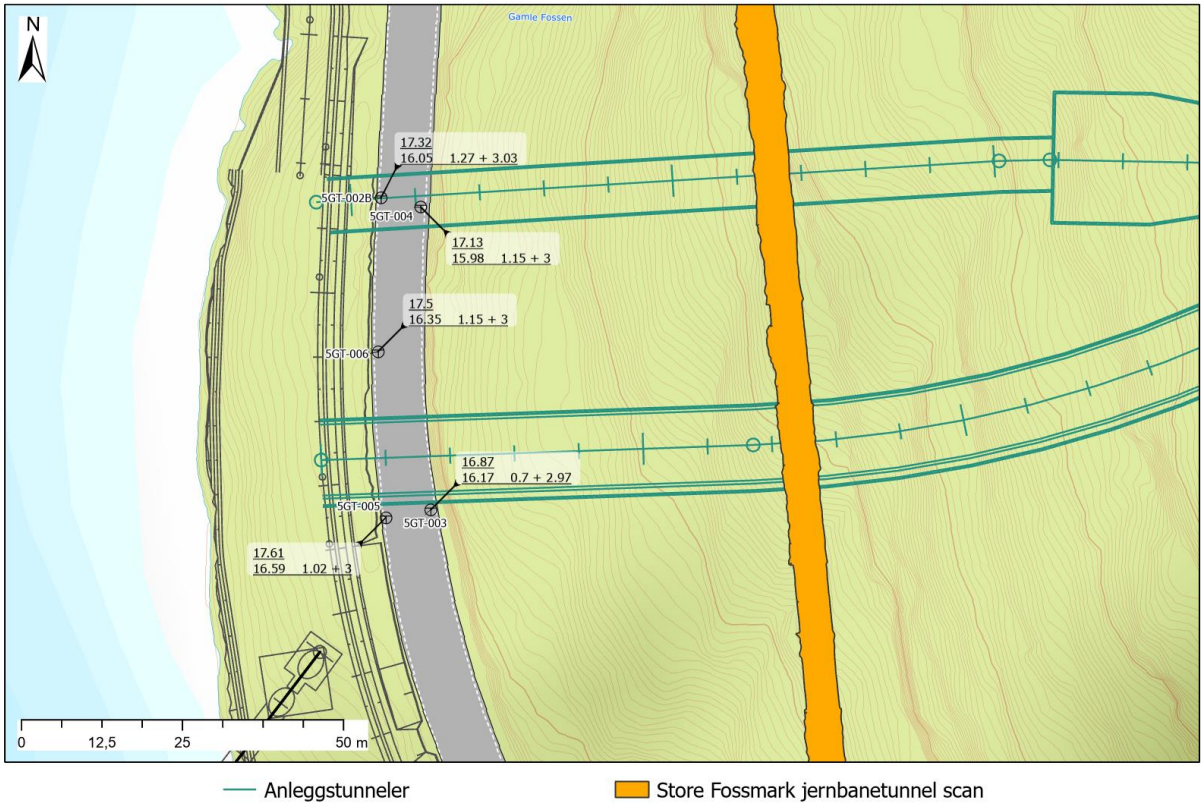


Figur 4-11: Kartlagt strekning i Romslo II jernbanetunnel.

4.2 Grunnboringer

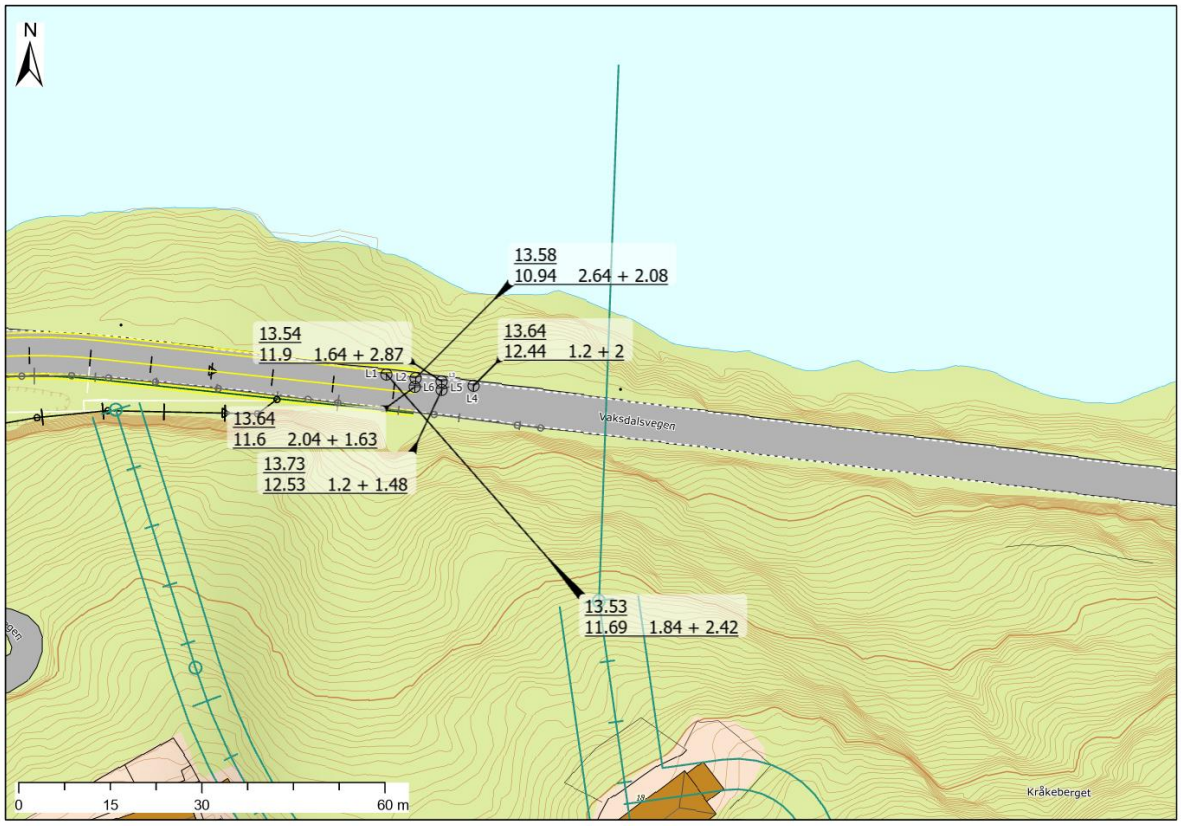
Det er tidligere utført grunnboringer ved tunnelpåhugget ved Romslo (Statens vegvesen Region vest, 2004) (Statens vegvesen Region vest, 2016) (COWI, 2023i) og nær krysningspunktene hvor sjakter går under E16 ved Langhelleneset (Statens vegvesen Region vest, 2008). Det er også utført grunnboringer ved E16 ved Gamle Fossen over kommende transporttunnel og ventilasjonstunnel (COWI, 2023i). Grunnboringer er også vist i Vedlegg 1 (Geologisk kartvedlegg).

Relevante totalsonderinger over transporttunnel og ventilasjonstunnel ved E16 ved Gamle Fossen indikerer en løsmassedybde på 0,7 – 1,27 m. Se Figur 4-12.



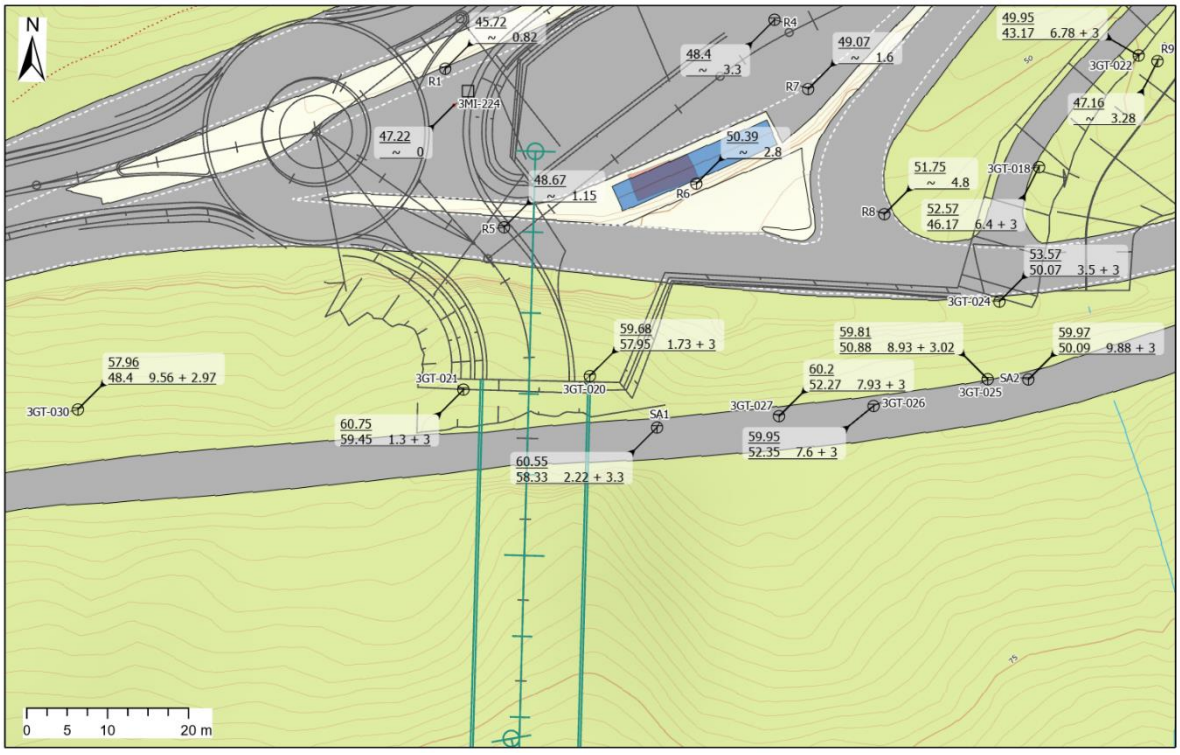
Figur 4-12: Relevante totalsonderinger ved Gamle Fossen.

Relevante totalsonderinger vest for sjaktløpet ved E16 på Langhelleneset indikerer en løsmassedybde på 1,2 – 2,64 m. Se Figur 4-13.



Figur 4-13: Relevante totalsonderinger ved sjakt Langhelleneset.

Relevante totalsonderinger ved påhuggsområdet for adkomsttunnelen på Romslo indikerer en løsmassedybde på 1,2 – 2,22 m (de tre totalsonderingene nærmest påhuggsflate). Se Figur 4-14. For flere grunnboringer på Romslo vises det til FAS-01-V-00003 E1 Geoteknisk Datarapport (COWI, 2023i).



Figur 4-14: Totalsonderinger ved påhuggsområdet til adkomsttunnelen på Romslo.

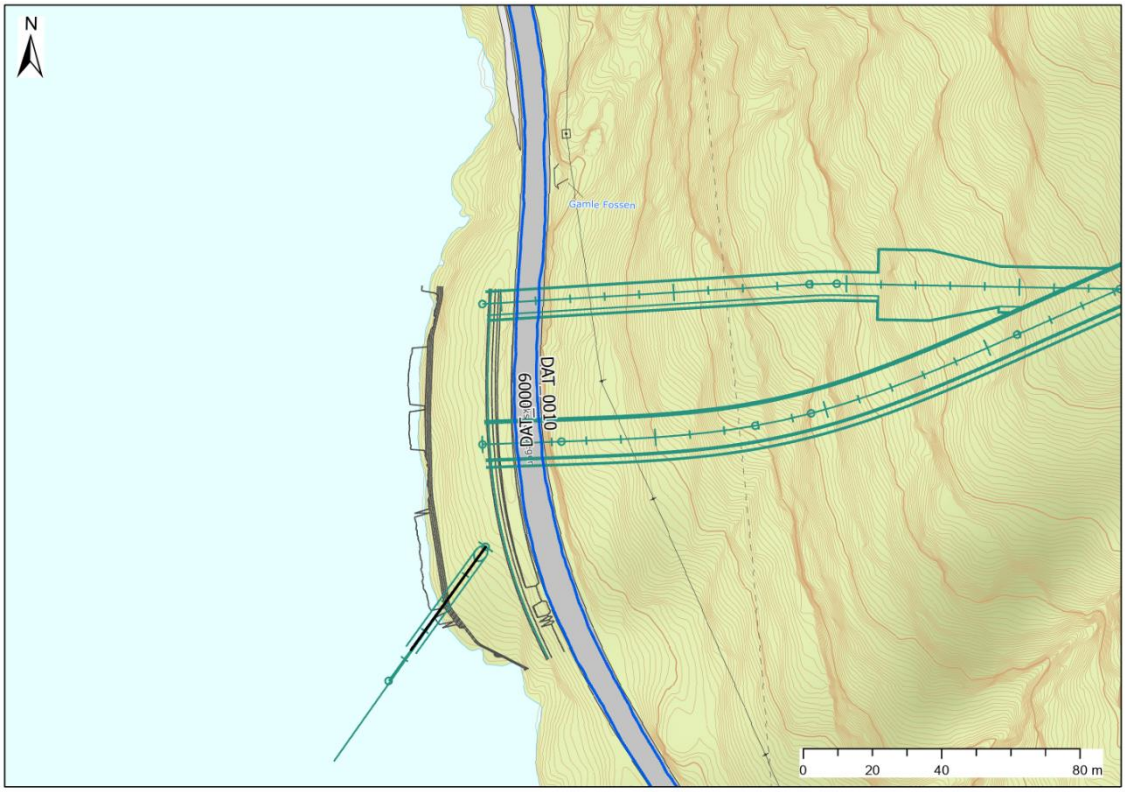
4.3 Geofysiske undersøkelser

I forbindelse med tidligere planfaser er det utført og rapportert geofysiske undersøkelser og resultater, se rapport fra GeoPhysix som omhandler flere områder (GeoPhysix, 2017), samt rapport fra Geomap som omhandler påhugget ved Tunesfjelltunnelen i Trengereid (Geomap, 2018).

I forbindelse med utarbeiding av denne rapporten er det utført supplerende geofysiske undersøkelser ved Fossneset og Gamle Fosse, Langhelleneset og Romslo og Naustvika. Det er også utført undersøkelser i to eksisterende jernbanetunneler, Romslo II og Store Fossmark. De geofysiske metodene som er benyttet er refraksjonsseismikk og georadar. Refraksjonsseismikk kan både kartlegge dybde til fjell og tykkelse på lag i grunnen, i tillegg til at det gir en indikasjon på bergmassekvalitet og kan indikere mulige svakhetssoner. Georadar er en rask metode for å kartlegge dybde til fjell. Erfaring tilsier at metoden er beheftet med usikkerhet og bør kombineres med grunnboringer. Se også kapittel 7.1.2 for beskrivelse av usikkerheter i geofysisk tolkning. Hovedformålet med de utførte undersøkelsene var å skaffe til veie informasjon om dybde til berg.

4.3.1 Fossneset og Gamle Fossen

For refraksjonsseismikk ved Fossmark (nord for tiltaket) vises det til FAS-01-V-00015 (COWI, 2024f). Det er kjørt to profiler med georadar langs eksisterende E16 ved Gamle Fossen. Plassering vises Figur 4-15.

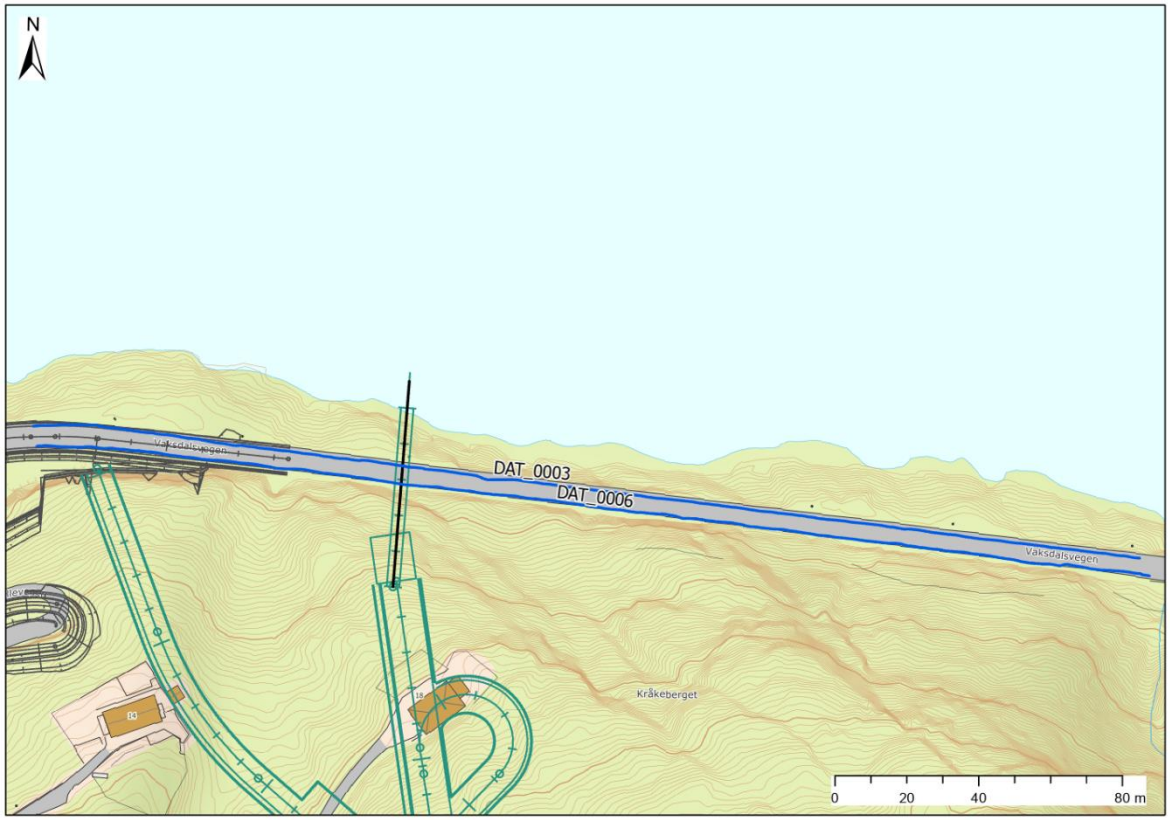


Figur 4-15: Plassering av utførte georadarprofiler ved Gamle Fossen, vist i blått.

4.3.2 Langhelleneset

På Langhelleneset er det ikke utført refraksjonsseismikk grunnet svært bratt terreng.

Det er kjørt 2 linjer georadarmålinger langs eksisterende E16 for å skaffe til veie informasjon om overdekning til bergsjakt. Figur 4-16 viser plassering av disse.



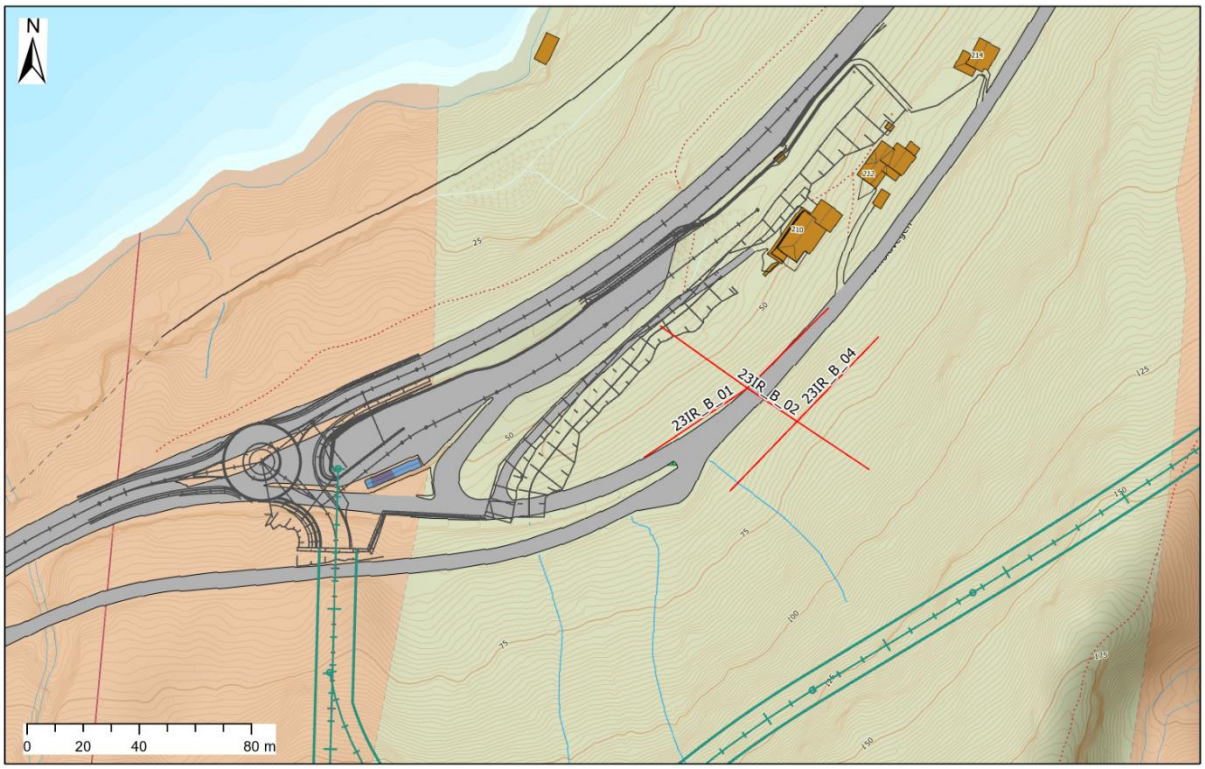
Figur 4-16: Plassering av utførte georadarlinjer på Langhelleneset, vist i blått.

4.3.3 Romslo og Naustvika

For anleggstunnelene ved Romslo og Naustvika er det utført geofysiske undersøkelser i to områder. Det gjelder området hvor tipphall plasseres samt påhuggsområdet ved Romslo.

4.3.3.1 Romslo

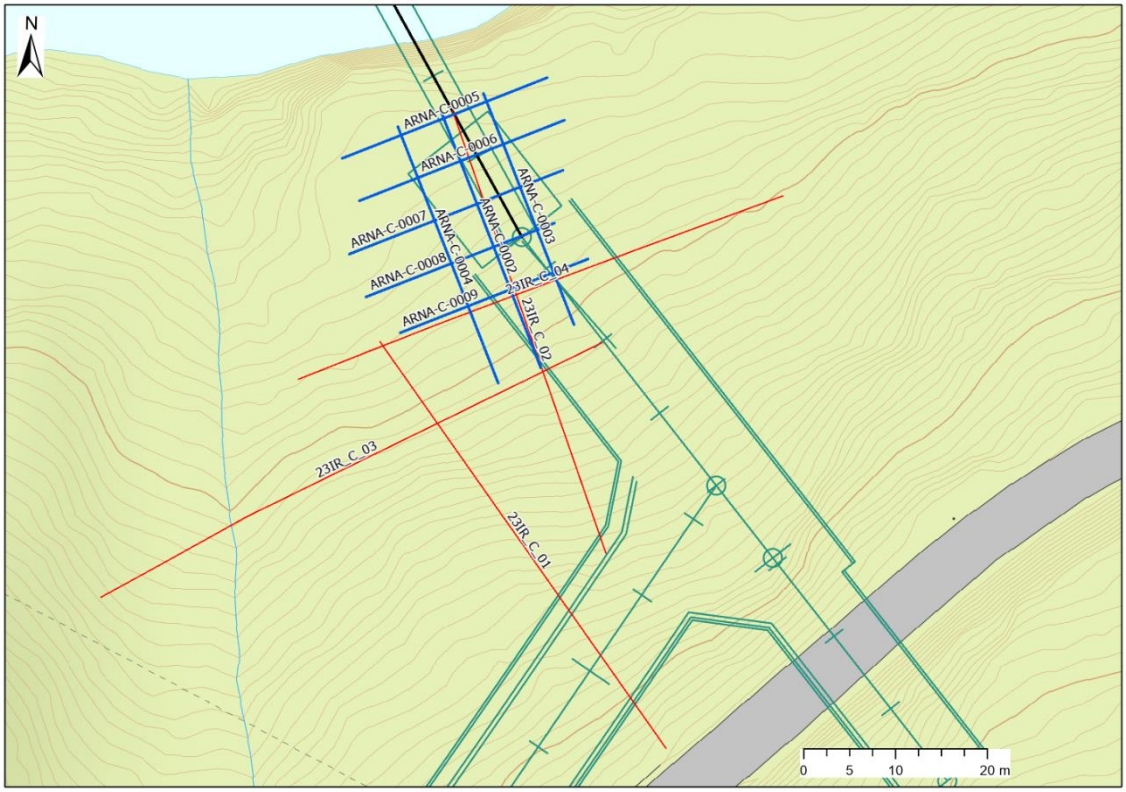
I området Romslo er det utført tre refraksjonsseismiske linjer for å undersøke dybden til fast fjell, som vist i Figur 4-17. Navn på refraksjonsseismiske linjer fremgår av figuren.



Figur 4-17: Refraksjonsseismiske linjer (rød) i Romslo-området. Romslo kontrollstasjon er vist med blå farge i kartet.

4.3.3.2 Naustvika

I området Naustvika er det utført fire refraksjonsseismiske linjer og åtte georadarlinjer (Figur 4-18). Navn på refraksjonsseismiske linjer fremgår av figuren.



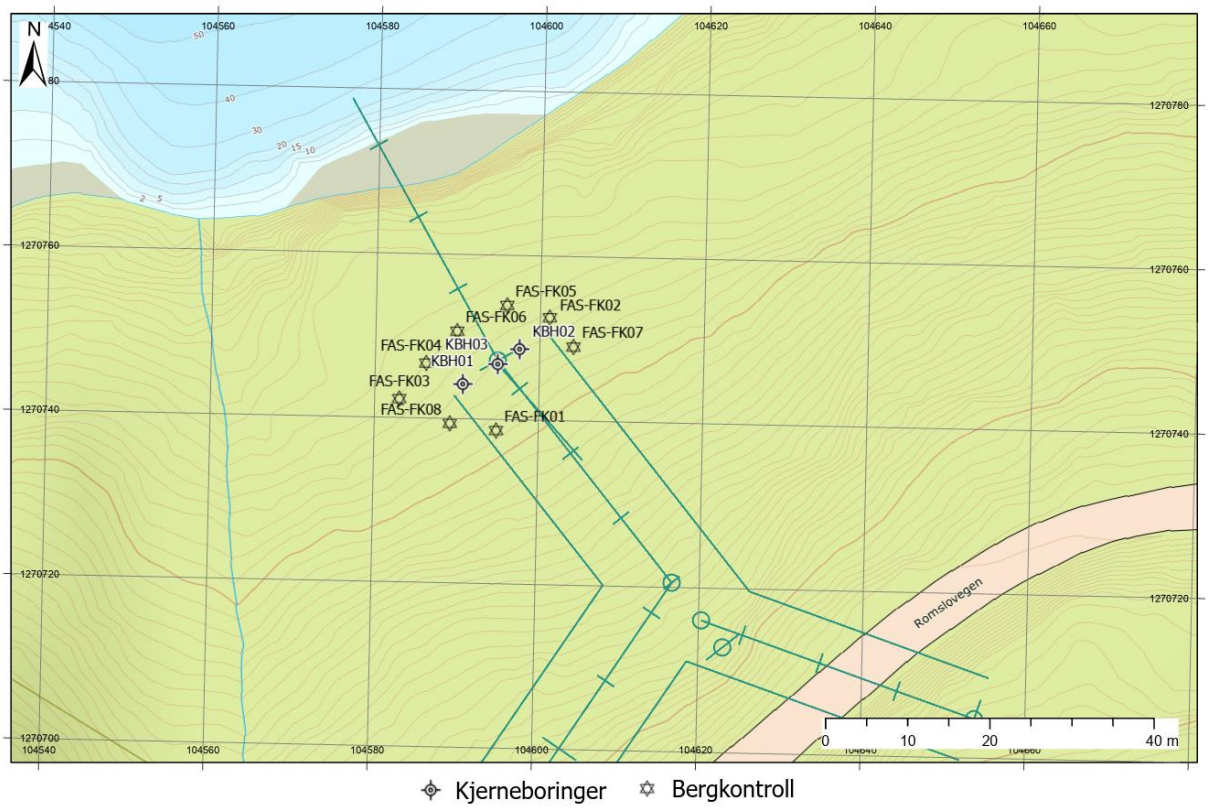
Figur 4-18: Refraksjonsseismiske linjer (rød) og georadarlinjer (blå) i Naustvika-området. Sjaktområdet vises i grønt. Svart linje ut i fjorden indikerer retning på bergsjakt.

4.4 Kjerneboring og bergkontrollboring Naustvika

Det ble bestilt kjerneboringer og bergkontrollboringer i Nautvika, over planlagt tipphall, på grunn av lav bergoverdekning kombinert med stor usikkerhet i de geofysiske undersøkelsene som ble utført i området.

Det er utført tre kjerneboringer og ni bergkontrollboringer. Det er utført kjernelogging av de tre kjerneborehullene, samt to av de korte kjernene fra bergkontrollboring 8 og 9.

Resultater fra logging av kjerner er detaljert presentert i FAS-01-00104 E1 Datarapport kjernelogging Naustvika (COWI, 2024q). For flere bilder og digitale logger henvises det til denne. Lokasjon av kjerneboringene og bergkontrollboringene er vist i Figur 4-19. En kort oppsummering av resultatene gis i det følgende.



Figur 4-19: Lokasjon av kjerneboringer og bergkontrollboringer. NB: Orientering på vendehammer er fra utgått løsning.

Tabell 4-1: Foreløpig oversikt over kjerneboringer og bergkontrollboringer Naustvika.

BorhullsID	Type	Dybde til berg	Total lengde	Azimuth	Dip (vinkel fra horisontal)
FAS-FK01	Bergkontrollboring	1,1	4,4		90
FAS-FK02	Bergkontrollboring	0,05	3,25		90
FAS-FK03	Bergkontrollboring	1,25	4,4		90
FAS-FK04	Bergkontrollboring	1,1	4,15		90
FAS-FK05	Bergkontrollboring	0,65	4,15		90
FAS-FK06	Bergkontrollboring	1,15	4,25		90
FAS-FK07	Bergkontrollboring	1,25	4,95		90
FAS-FK08	Bergkontrollboring	0,9	5,15		90
FAS-FK09	Bergkontrollboring	0,85	4,05		90
FAS-KB01	Kjerneboring	1,15	20,5		90
FAS-KB02	Kjerneboring	1,05	20,35		90
FAS-KB03	Kjerneboring	1,14	26,95	137	52

Vanntapsmålinger er blitt utført i KB01 og KB02, resultater er vist i Tabell 4-2. Resultatene viser lav til svært lav konduktivitet og det var kun de øverste meterne som hadde vanntap. Overtrykket var 2 bar, for å minimere risiko for jekking. Lugeon-verdiene er beregnet basert på en antakelse om lineær økning med økende overtrykk.

Det gjøres oppmerksom på at angitte Q'-verdier i tabeller i de etterfølgende kapitlene er beregnet med J_n- og J_a- parameterene gitt for de minst gunstige sprekkene innenfor intervallene (5 m- intervaller).

Tabell 4-2: Oversikt over vanntapsmålinger og tilhørende Lugeon-verdier for kjerneboringene.

Borhull	Start	Stopp	Vanntap måling1	Vanntap måling2	Vanntap måling3	Lugeon-verdi
	[m]	[m]	[L/min]	[L/min]	[L/min]	
FAS-KB01	2	7	3,5	3,9	3,5	3,6
FAS-KB01	7	12	0,0	0,0		0,0
FAS-KB01	12	17	0,0	0,0		0,0
FAS-KB01	14	19	0,0	0,0		0,0
FAS-KB02	2	7	2,3	2,3		2,3
FAS-KB02	7	12	0,0	0,0		0,0
FAS-KB02	12	17	0,0	0,0		0,0
FAS-KB02	14	19	0,0	0,0		0,0

4.4.1 Kjerneboring KBH01

KBH01 er boret tilnærmet vertikalt. Topp berg ble registrert 1,15 m under terreng – ved kote ca. 19.400. Berget fra KBH01 består av en homogen amfibolgneis med mindre innslag av granittisk gneis, i tillegg til en tolket pegmatittgang. Bergartskvaliteten er gjennomgående god (Q'>10) basert på tolkning av kjernene. Registrerte Q'-verdier og parametere er gitt i Tabell 4-3. Eksempel på kjerner med representativ bergkvalitet sees i Figur 4-20.

Tabell 4-3: Estimerte sprekkeparametere og utregnet Q'-verdi i 5-meters intervaller.

Fra	Til	RQD	J_n	J_r	J_a	Q'	Kjernetap
1,15	6,15	100	3	1	2	16,6	Ingen
6,15	11,15	99	2	1,5	1	74,2	Ingen
11,15	16,15	100	3	1	2	16,7	Ingen
16,15	20,35	100	1	3	1	300	Ingen



Figur 4-20: Bilde av deler av kjerneboring KBH01.

4.4.2 Kjerneboring KBH02

KBH02 er boret tilnærmet vertikalt. Topp berg ble registrert 1,05 m under terreng – ved kote ca. 19.830. Berget fra KBH02 består av en homogen amfibolgneis med lite petrografisk variasjon. Bergartskvaliteten er gjennomgående god (Q'>10) basert på tolkning av kjernene. Registrerte Q'-verdier og parametere er gitt i Tabell 4-4. Eksempel på kjerner med representativ bergkvalitet sees i Figur 4-21.

Tabell 4-4: Estimerte sprekkeparametre og utregnet Q'-verdi i 5-meters intervaller.

Fra	Til	RQD	J_n	J_r	J_a	Q'	Kjernetap
1,05	6,05	100	2	1,5	2	37,5	Ingen
6,05	11,05	99	2	3	2	74,2	Ingen
11,05	16,05	100	1	3	2	150	Ingen
16,05	20,50	100	3	1,5	2	25	Ingen



Figur 4-21: Bilde av deler av kjerneboring KBH02.

4.4.3 Kjerneboring KBH03

KBH03 er boret med en inklinasjon på 52° med retning N137. Topp berg ble registrert 1,14 m under terreng – ved kote ca. 19.720. Berget fra KBH02 består av en homogen amfibolgneis med innslag av rød alkalifeltspat, samt en kvartssone ved ca. m 2,25-2,86. Bergartskvaliteten er gjennomgående god (Q'>10) basert på tolkning av kjernene. Registrerte Q'-verdier og parametere er gitt i Tabell 4-5. Eksempel på kjerner med representativ bergkvalitet sees i Figur 4-21. Kjernen var noe mer oppsprukket i starten enn de to andre kjernene.

Tabell 4-5: Estimerte sprekkeparametre og utregnet Q'-verdi i 5-meters intervaller.

Fra	Til	RQD	J_n	J_r	J_a	Q'	Kjernetap
1,45	6,45	97	6	1,5	2	12,1	Ingen
6,45	11,45	100	3	1,5	2	25	Ingen
11,45	16,45	100	3	1,5	1	50	Ingen
16,45	21,45	100	2	2	2	50	Ingen
21,45	26,95	95	6	1,5	2	11,7	Ingen



Figur 4-22: Bilde av deler av kjerneboring KBH03.

4.4.4 Bergkontrollboring 8

Ved bergkontrollboring 8 er det registrert berg etter 0,9 m. Det er boret 4,25 m i berg. Hullet er boret vertikalt. Bergkote er indikert ved 20.600. Bergarten er tolket som amfibolgneis. Bergmassekvaliteten er god. Registrerte Q'verdier og parametere er gitt i Tabell 4-6.

Tabell 4-6: Typiske sprekkeparametre og utregnet Q'-verdi.

Fra	Til	RQD	J_n	Typisk J	Typisk J	Q'	Kjernetap
0,90	5,15	99	3	1	3	11	Ingen

4.4.5 Bergkontrollboring 9

Ved bergkontrollboring 9 er det registrert berg etter 0,85 m. Det er boret 3,2 m i berg. Hullet er boret vertikalt. Bergkote er indikert ved 22.033. Bergarten er tolket som amfibolgneis. Bergmassekvaliteten er god. Registrerte Q'verdier og parametere er gitt i Tabell 4-7.

Tabell 4-7: Typiske sprekkeparametre og utregnet Q'-verdi

Fra	Til	RQD	J_n	J_r	J_a	Q'	Kjernetap
0,85	4,05	97	1	3	1	291	Ingen

4.4.6 Oppsummering kjernelogging

COWI har gjennomført kjernelogging for to vertikale kjerneborehull (KBH01 og KBH02) og ett kjerneborehull boret 52° fra horisontalen (KBH03), samt to bergkontrollboringer (8 og 9). Total boret lengde er 77 m. Total boret lengde i berg er 71,6 m. Topp berg er registrert i gjennomsnitt 1,11 m under terreng for kjerneboringene, med godt samsvar mellom dem.

KBH03 har større oppsprekkingsgrad nær overflaten enn KBH01 og KBH02. Litologisk viser KBH02 svært lite variasjon, mens det er noe større variasjon i KBH01 og KBH03. KBH03 indikerer to kortere knuste soner, hvorav den ene sonen består av svært svakt berg som enkelt kunne splittes med håndmakt.

Grunnet lite oppsprekking er RQD gjennom kjernene 100 eller opp mot 100, med unntak av de korte oppknuste sonene i KBH03.

Angående sprekkekarakteristikk er det i hovedsak registrert J_r mellom 1,5-3. Sprekkene er generelt ru. J_a er for det meste registrert mellom 1-2. Eventuelt sprekkefyll er tynt og består av korn i sand -eller siltfraksjonen. Unntaksvis er det observert to sprekker i kjernen fra bergkontrollboring 8 som har sprekkefyll i silt-leirfraksjonen. Det er ikke registrert sprekker som indikeres å ha stort vannførende potensiale.

Variasjonen i Q'-verdiene er oppsummert i Tabell 4-8.
Tabell 4-8: Variasjon i Q'-verdier fra loggede borkjerner.

Kjerne	KBH01	KBH02	KBH03	Bktr 8	Bktr 9
Q'-verdi	16,6-300	25-150	11,7-50	24,7	291

Grunnet den endimensjonale informasjonen en får fra borekjerner kan det argumenteres for at det stedvis foreligger kunstig høye Q'-verdier. Det er eksempelvis svært sjeldent at det kartlegges Q-verdier over 50 når det foretas en fullskala kartlegging etter en utsprengt salve.

Angående litologien i hovedbergarten varierer feltspatkornene i gneisen i farge og omfang. Det er overveiende mest lys/blank feltspat. Det er kun én sone med så fremtredende rød feltspat at bergarten ble klassifisert som granittisk gneis. For det meste er feltspaten strukturert i smale lag som følger foliasjonen. Stedvis er det større ansamlinger av feltspatkornene. Noen steder danner de øyne.

COWI anser innhentet informasjon som tilstrekkelig for tiltaket. Dette begrunnes med at det er nærhet mellom borehullene, at det er ulik helning på ett av borehullene, og at det er samsvar mellom de tre kjerneboringene samt bergkontrollboringene ved å indikere overveiende god bergmassekvalitet med homogent berg som er lite oppsprukket.

4.5 ROV

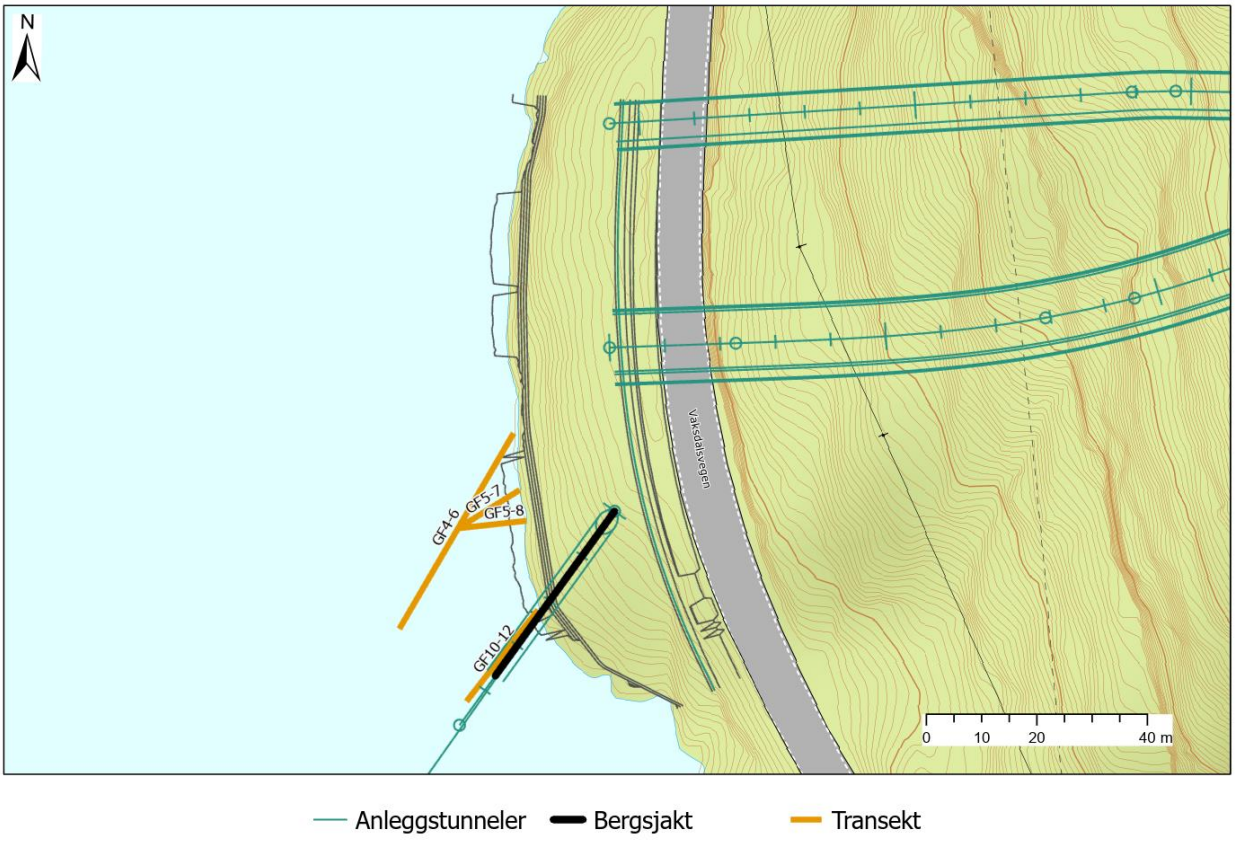
For å danne et bilde av bergets beskaffenhet ved mulige sjaktutløp under havnivå, ble undervannsdrone (ROV) benyttet. Det ble filmet transekter – undersøkelser langs en linje – ved 3 lokaliteter; Gamle Fossen og Langhelleneset, 14.–15. februar 2023 (ROV AS, 2023), og Naustvika 9. mars 2023 (ROV AS, 2023).

Undersøkelsene ble gjort før endelige sjaktutløp var bestemt og gir derfor kun en grov oversikt over bergforholdene i området. Hovedfokus var å avdekke løse blokker/masser over mulige sjaktutløp, og avdekke overheng, sprekker og svakhetssoner. Tekniske begrensninger i posisjonering av ROV-en langs vertikal bergvegg medførte unøyaktighet i posisjon. Dette gjenspeiles i sporloggen fra undersøkelsene (ROV AS, 2023). Begrenset bildekvalitet skyldes at oppløsningen på vidvinkelkameraet var lav. Men det ble vurdert at dette kameraet ga vesentlig bedre oversikt enn HD-kameraet.

4.5.1 Gamle Fossen

Det ble filmet transekter fra ca. kote -50 og opp til land, se oversiktskart i Figur 4-23. Det ble ikke funnet noen tydelige svakhetssoner eller overheng i området ved valgt sjaktutløp (transekt GF10–GF12). Over vannflaten er berget preget av å være glatt og breskurt. Basert på observasjoner underveis i ROV-undersøkelsene gjaldt dette tilsynelatende også under vann.

Hovedsakelig fremstod berget massivt, men enkelte steder var det mer oppsprukket. Ett markert sprekkesett, med fall omtrent 45° mot S–SV, var gjentagende i hele skråningen. Sprekkene har lang utholdenhet og sprekkeavstanden i området for planlagt sjaktutløp anslås å variere fra noen dm opptil rundt 1 m. Figur 4-26 til Figur 4-27 viser hvordan berget ser ut ved omtrentlig planlagt sjaktutløp. Oppsprekkingen langs ovennevnte sprekkesett sees tydelig i bildene.



Figur 4-23. Oversikt over undersøkte punkter (GF1–GF12) og transekter i gult ved Gamle Fossen. Sjaktutstrekning er vist i svart.

Langs transekt GF10–GF12 ble det ikke observert løse masser. Det ble observert en del rasmateriale, evt. dumpet stein fra tidligere veg/bane-prosjekt, men disse massene ligger i deler av skråningen nord for GF10–GF12.



Figur 4-24. Gamle Fossen. Skjermutklipp fra video på kote -35.8 i området ved planlagt sjaktutløp.



Figur 4-25. Gamle Fossen. Skjermutklipp fra video på kote -31.2 i området ved planlagt sjaktutløp.



Figur 4-26. Gamle Fossen. Skjermutklipp fra video på kote -29.7 i området ved planlagt sjaktutløp.

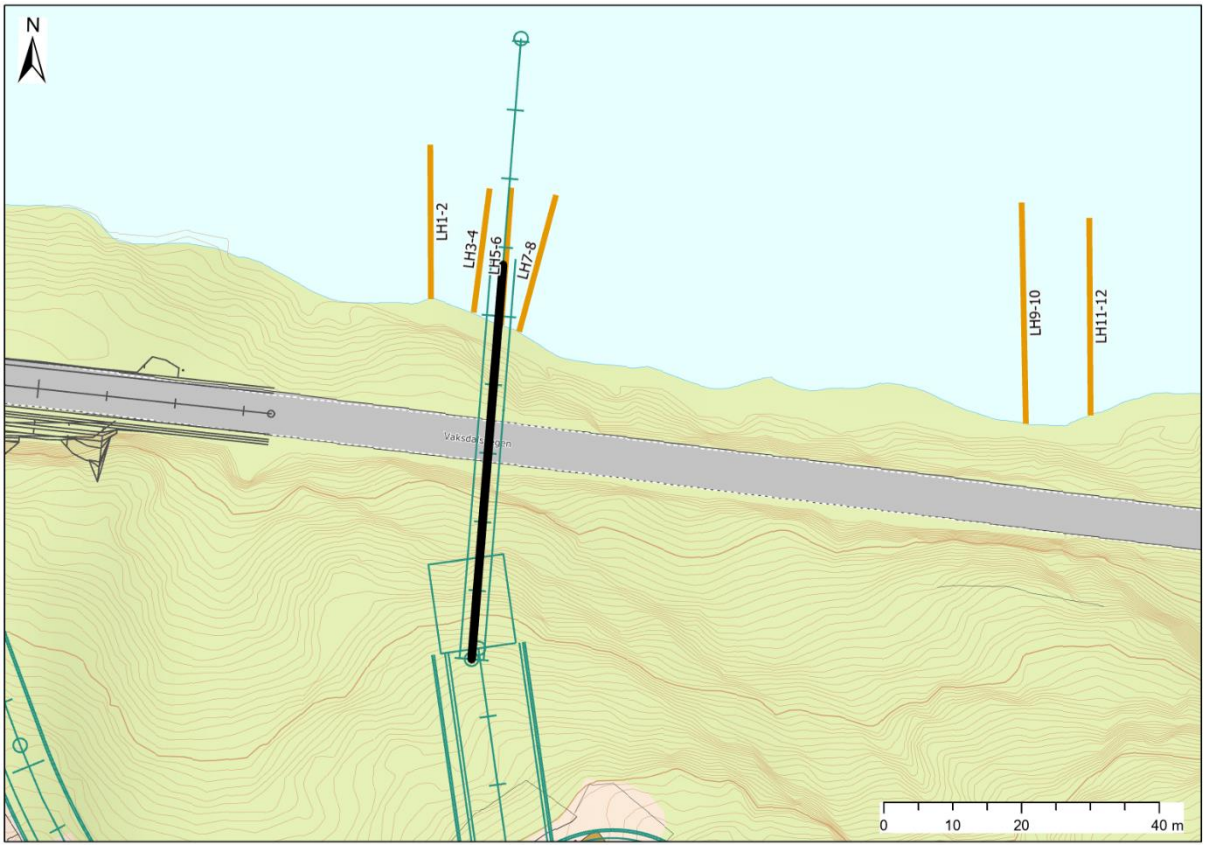


Figur 4-27. Gamle Fossen. Skjermutklipp fra video på kote -27.5 i området ved planlagt sjaktutløp.

4.5.2 Langhelleneset

Det ble filmet transekter fra ca. kote -60 og opp til land, se oversiktskart i Figur 4-28. Berget fremstod mer vekslende enn på Gamle Fossen, mellom massivt, breskurt berg og oppsprukket. Det ble ikke observert noen markante svakhetssoner eller slepper med utgående i skråningen, eller overheng ved valgt sjaktutløp.

Det ble observert ett markert sprekkesett med ca. 45° fall mot SV. Sprekkene har lang utholdenhet og sprekkeavstanden anslås å variere fra noen cm opptil rundt 1 m i området for sjaktutløp. Figur 4-29 til Figur 4-31 viser hvordan berget ser ut ved omtrentlig planlagt sjaktutløp.



Figur 4-28. Transekter undersøkt med ROV ved Langhelleneset. Valgt sjakttrase vises i svart.

Grunnet svært bratt helning var det generelt lite løse masser i skråningen, men enkelte mindre blokker og sand ble observert på noen av hyllene. Noe løsmasser ble observert i de øverste meterne under vannoverflaten, men det er uvisst om dette er dumpede masser fra tidligere veg/bane-utbygging, eller om det stammer fra skredaktivitet.

Generelt var skråningen svært bratt ned til omtrent kote -40 til -45, med enkelte overhengende hyller/utstikkende nabber. Videre nedover stupte skråningen svært bratt og overhengende mot dypet.



Figur 4-29. Langhelleneset. Skjermutklipp fra video på kote -34.5 i området ved planlagt sjaktutløp.



Figur 4-30. Langhelleneset. Skjermutklipp fra video på kote -31.5 i området ved planlagt sjaktutløp.



Figur 4-31. Langhelleneset. Skjermutklipp fra video på kote -29.4 i område ved planlagt sjaktutløp.

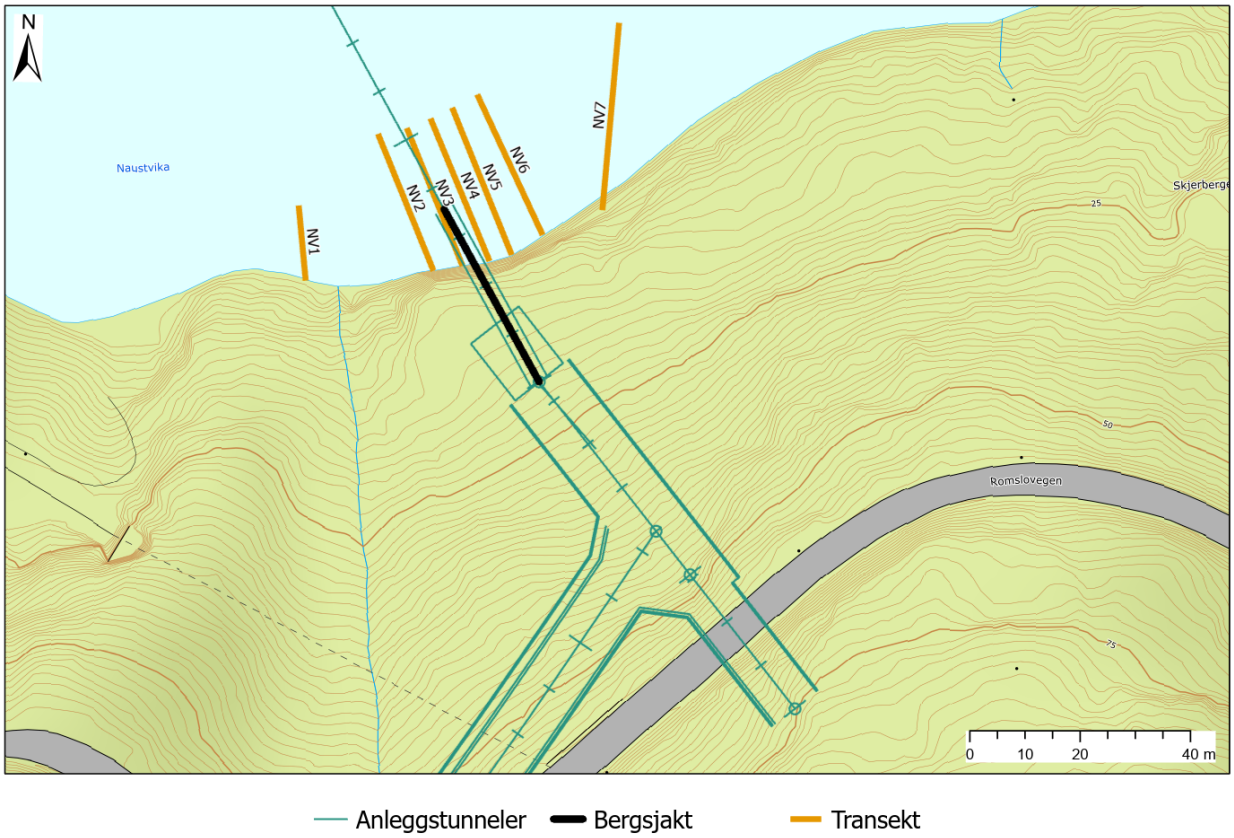
4.5.3 Naustvika

Det ble filmet transekter fra kote -50 og opp til land, i tillegg til en systematisk filming på tvers av hele området mellom transekt NV1 og NV7, se oversiktskart i Figur 4-32.

Det ble ikke observert noen betydelige slepper med utgående i skråningen, eller større svakhetssoner, ved kote -35 i området mellom transekt NV2 og NV6. Ved transekt NV1 og NV7 er berget mer oppsprukket og enkelte åpne, vertikale sprekker ble observert.

Fra vannoverflaten og ned til mellom kote -30 og -50 er skråningen generelt svært bratt og tilnærmet vertikal enkelte steder. Her ble noen mindre utstikkende nabber og hyller observert. Videre nedover i dypet blir skråningen slakere og det ligger sand og blokker på bunn.

Det ble hovedsakelig observert 3 sprekkesett. Ett med ca. 20–30° fall mot sørøst, ett med ca. 50° fall mot øst, og ett nært vertikalt med fall mot vest. Sprekkene har lang utholdenhet og sprekkeavstanden anslås å variere fra noen cm opptil rundt 1 m i området for sjaktutløp. Figur 4-33 til Figur 4-35 viser hvordan berget ser ut ved omtrentlig planlagt sjaktutløp langs transekt NV3.



Figur 4-32. Transekter undersøkt med ROV i Naustvika. Sjaktutstrekning vist i svart.



Figur 4-33. Naustvika. Skjermutklipp fra video på kote -33.3 i område ved planlagt sjaktutløp.



Figur 4-34. Naustvika. Skjermutklipp fra video på kote -31.7 i område ved planlagt sjaktutløp.



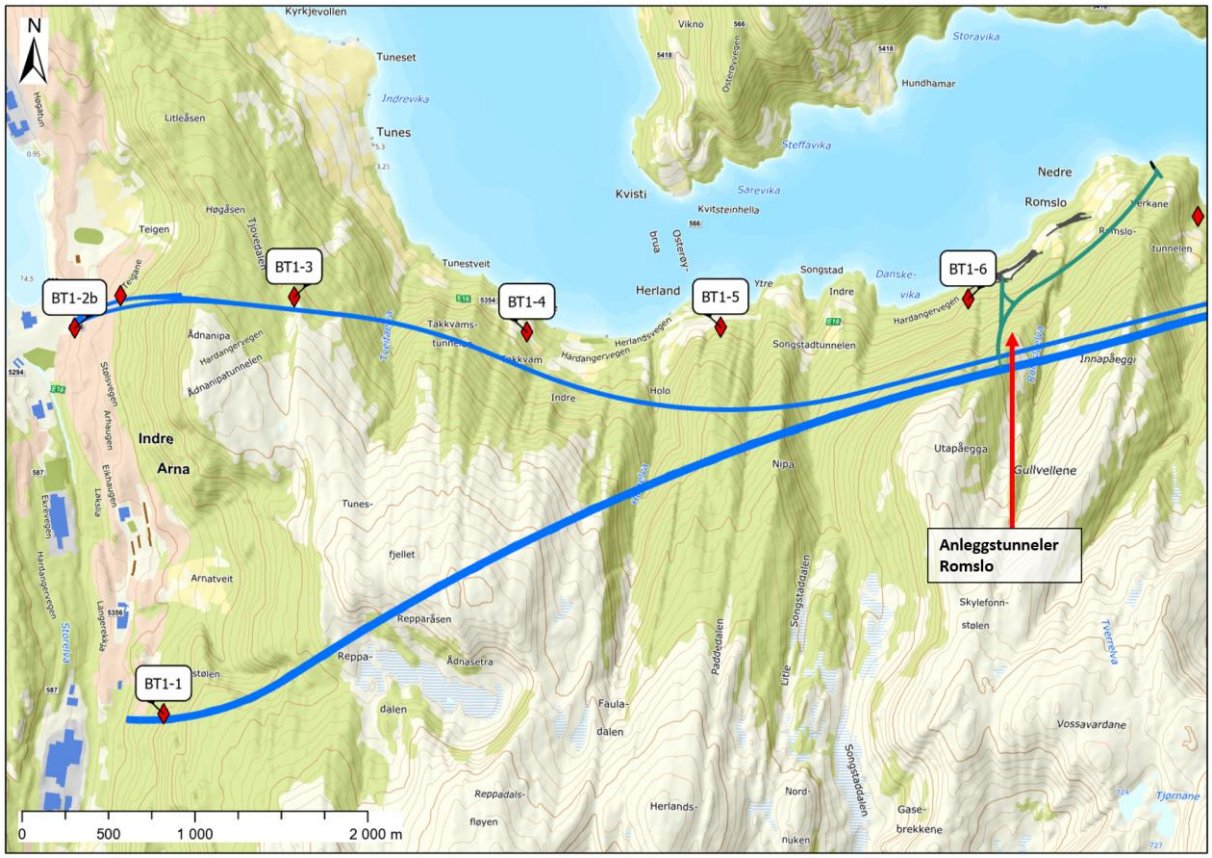
Figur 4-35. Naustvika. Skjermutklipp fra video på kote -29.4 i område ved planlagt sjaktutløp.

4.6 Bergmekanisk testing

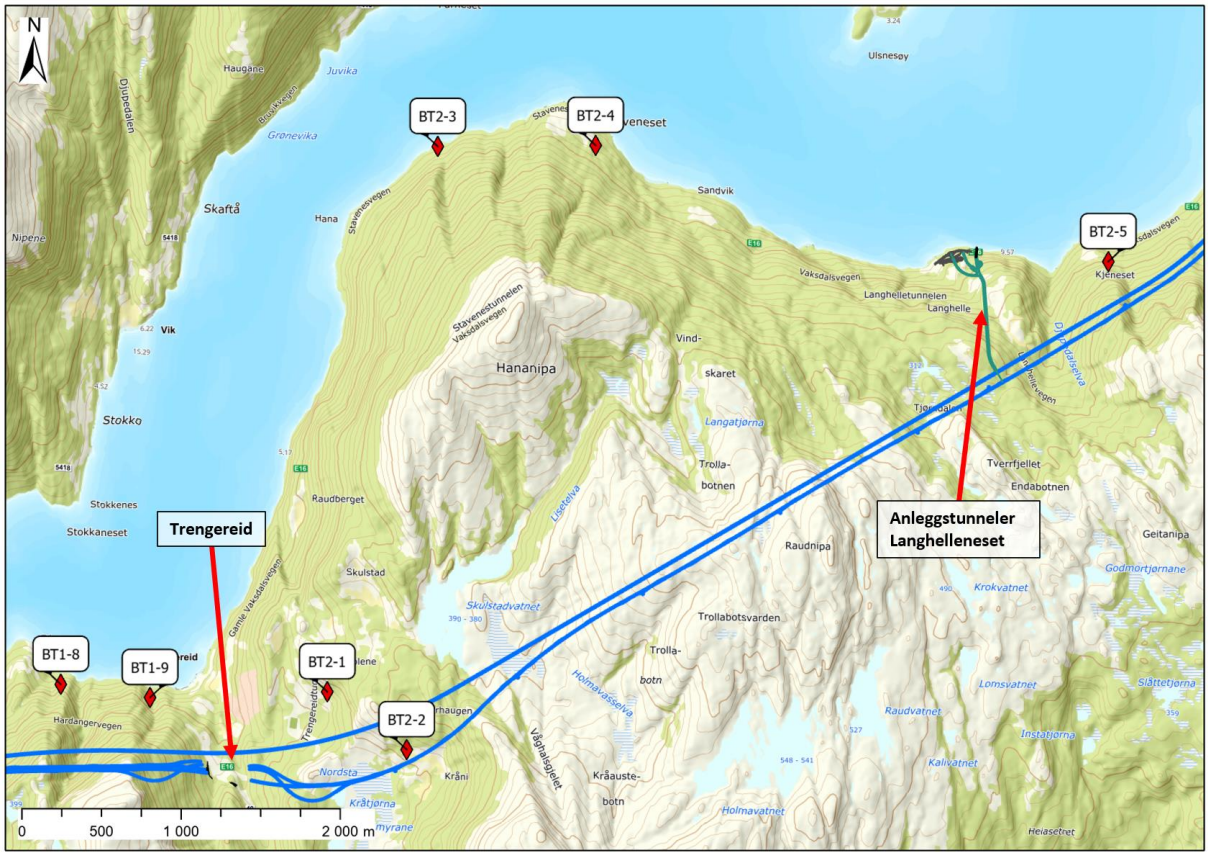
Det er utført laboratorietester for å undersøke borbarhetsegenskaper og egnethet for bruk til vegformål ifm. reguleringsplan. Det er tatt ut prøver fra utsprengte skjæringer og tunneler. SINTEF har utført følgende analyser på 20 prøver:

- Sprøhet (S20) og flisighet (f) inklusive bestemmelse av densitet (ρ)
- Sievers' J-verdi (SJ)
- Slitasjeverdi for hardmetall (AV)
- XRD analyse
- Visuell bergartsbestemmelse

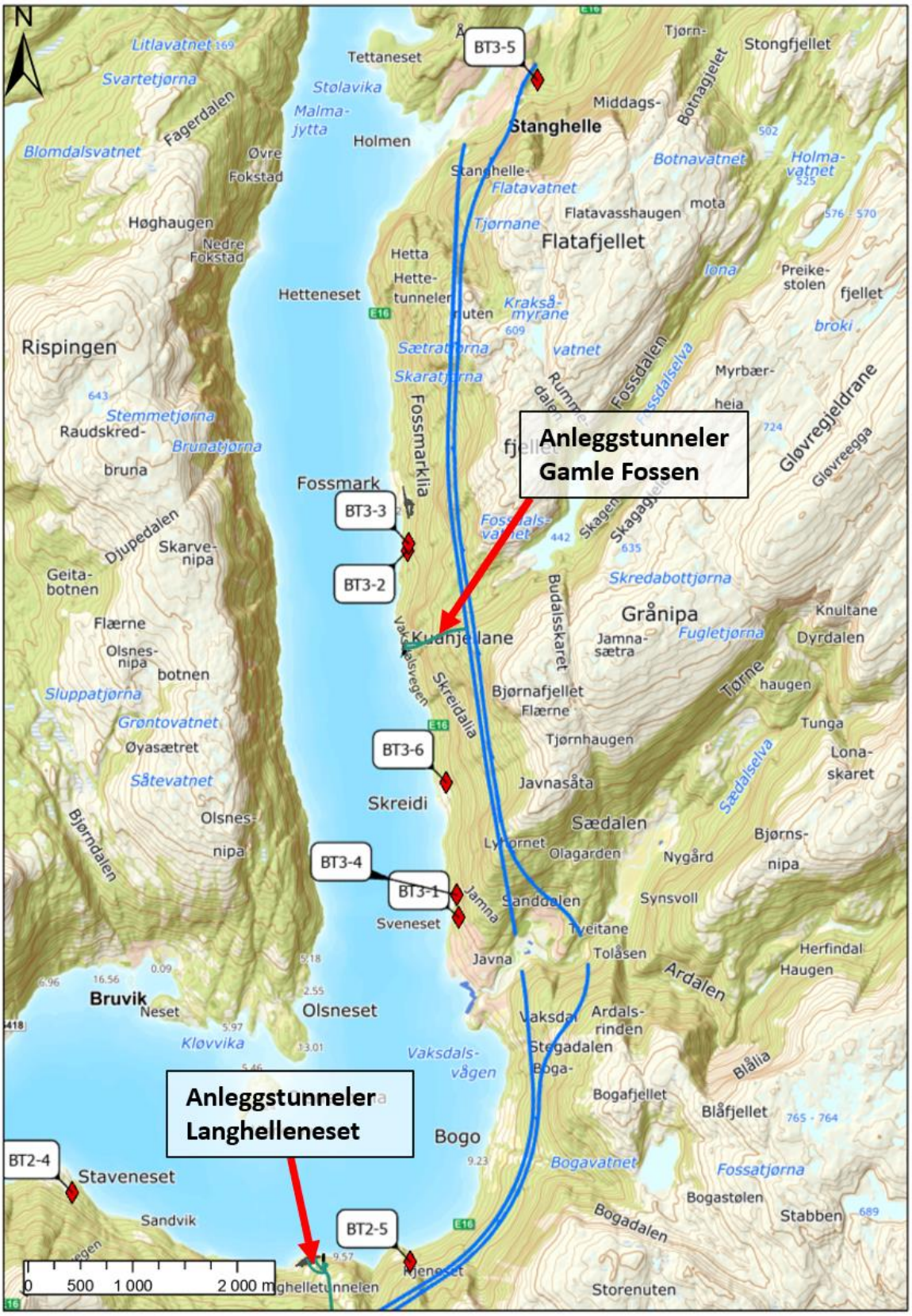
Statens vegvesen har utført prøving etter LA-metoden og Micro-Deval metoden på 18 prøver. Rapporten med prøveresultatene ligger som vedlegg i geologiske rapporter for hovedtunnelene for reguleringsplan, se bl.a. (SWECO, 2022e). Særlige relevante prøver i forbindelse med anleggstunnelene presenteres i etterfølgende underkapitler. Omtrentlig lokasjon av prøvene tatt i forbindelse med reguleringsplanfasen er gitt i Figur 4-36, Figur 4-37 og Figur 4-38.



Figur 4-36: Lokasjon av bergartsprøver tatt i forbindelse med reguleringsplanfasen, fra Arna til Romslo.



Figur 4-37: Lokasjon av bergartsprøver tatt i forbindelse med reguleringsplanfasen, fra Romslo til Langhelle.



Figur 4-38: Lokasjon av bergartsprøver tatt i forbindelse med reguleringsplanfasen, fra Langhelle til Stanghelle.

4.6.1 Generelt

Generelt er det utført lite bergmekaniske tester av bergmassen i umiddelbar nærhet til traseene for anleggstunnelene. Det er dermed presentert resultater fra de mest relevante testene i forbindelse med reguleringsplanarbeidet. Det er varierende avstand fra disse prøvelokalitetene til de prosjekterte tunneltraseene. Det knyttes dermed usikkerhet til deres representativitet for bergmassen som tas ut for de ulike traseene.

En prøves Los Angeles-verdi er dens prosentvise gjennomgang av materiale på 1,6 mm-sikten etter avsluttet tromling (tørr). En lav verdi indikerer et sterkt materiale (SINTEF, 2019).

En prøves Micro-Deval-koeffisient er dens prosentvise gjennomgang av materiale mindre enn 1,6 mm etter tromling (våt). En lav verdi indikerer et slitesterkt materiale (SINTEF, 2019).

Flisighetsindeks: Prøvingen består av to sikteoperasjoner, først på kvadratsikt (di/Di) deretter på stavsikt (Di/2). Flisighetsindeksen beregnes som total masse som passerer stavsiktet, uttrykt i prosent av prøvens totale masse (SINTEF, 2019).

I henhold til N200 skal steinmaterialer til forsterkningslag og bærelag oppfylle krav som gitt i Tabell 4-9 og Tabell 4-10.

Tabell 4-9: Krav til mekaniske egenskaper for produsert eller resirkulert materiale til bruk i forsterkningslag (Statens Vegvesen, 2022).

Egenskap	Trafikkgruppe					
	A	B	C	D	E	F
Los Angeles-verdi, LA	≤ 40	≤ 35				
micro-Deval-koeffisient, M_{DE}	≤ 25	≤ 20				

Tabell 4-10: Materialkrav og kontrollomfang for bærelag av knust grus (GK), knust berg (Fk) og knust betong (Gjb) ferdig utlagt på veg (Statens Vegvesen, 2022).

Parameter	Krav	Kontrollomfang, én prøve per påbegynt [m³]		Andel avvikende prøver	Maks. avvik
		Gk og Fk [m³]	Gjb [m³]		
Los Angeles-verdi a	≤ 35	5000	1500	1 av 5	+ 2
Micro-Deval-koeffisient a	≤ 15	5000	1500	1 av 5	+ 1
Flisighetsindeks	≤ 25	5000	1500	1 av 5	+ 2
Humusinnhold for Gk [%] b	≤ 1	5000		1 av 5	+ 0,2
Masseprosent av knuste korn c	≥ 50	2500		1 av 5	- 4
Masseprosent av fullstendig rundete korn c	≤ 30	2500		1 av 5	+ 2

a For veger i trafikkgruppe A, gang- og/eller sykkelveger og parkeringsplasser er kravet Los Angeles-verdi ≤ 40 og micro-Deval-koeffisient ≤ 20. Det aksepteres verdier fra materialprodusent for disse to egenskapene.

b Kravet til kontroll av humus gjelder ikke for Fk siden det antas at humus i svært liten grad er til stede i materialet.

c For knust berg (Fk) og knust gjenbruksbetong (Gjb) kan kravet ansees oppfylt uten ytterligere dokumentasjon.

4.6.2 Bergarter og mekaniske egenskaper, Fossmark og Gamle Fossen

Tunnelsystemet går ifølge NGUs berggrunnskart og tolket geologisk modell (FAS-01-A-00080 (COWI, 2024n)) i granittisk gneis og monzogranittisk til granodiorittisk berg. I reguleringsplanfasen var det fire bergartsprøver som ble klassifisert som gneis etter en visuell vurdering så vel som XRD-resultater fra SINTEF, og ble tatt fra samme bergartsenheter som de i Fossmark og Gamle Fossen (NGU, 2023a) (SWECO, 2022b). Det er videre utført mekaniske tester av disse hos SVV laboratoriet i Bergen. Resultater fra de mekaniske testene er gitt i Tabell 4-11 (SWECO, 2022b).

Tabell 4-11: Mekaniske egenskaper til relevante bergartsprøver ved Fossmark og Gamle Fossen (SWECO, 2022b).

Prøve	Lokalitet	Bergart (NGU kart)	Bergart (SINTEF)	Los Angeles	Micro-Deval	Flisighet
BT3-2	Lille Fossmark II	Monzogranittisk til granodiorittisk Gneis	Gneis	25	8	1,41
BT3-3	Lille Fossmark II	Monzogranittisk til granodiorittisk Gneis	Gneis	30	8	1,40
BT3-5	Stanghelle skole	Monzogranittisk til granodiorittisk Gneis	Gneis	20	5	1,39
BT3-6	Vegskjæring Skreidi	Monzogranittisk til granodiorittisk Gneis	Gneis	32	15	1,39

4.6.3 Langhelleneset

Nordlig del av tunnelsystemet går ifølge NGUs berggrunnskart (NGU, 2023a) samt geologisk 3D modell i bergarten amfibolitt. I reguleringsplanfasen (SWECO, 2022c) var det tre bergartsprøver som ble klassifisert som amfibolitt etter en visuell vurdering så vel som XRD-resultater fra SINTEF (SWECO, 2022c) (SWECO, 2022e). Av disse prøvene er det BT2-5 som ligger i samme området som anleggstunnelene ved Langhelleneset, ved Kjenestunnelen omtrent 500 m øst for tiltaket. Det er videre utført mekaniske tester av disse hos SVV laboratoriet i Bergen. Resultater fra mekaniske tester fra disse prøvene er gitt i Tabell 4-12.

Tabell 4-12: Mekaniske egenskaper fra bergarter klassifisert som amfibolitt av SINTEF (SWECO, 2022c) (SWECO, 2022e).

Prøve	Lokalitet	Bergart (NGU kart)	Bergart (SINTEF)	Los Angeles	Micro-Deval	Flisighet
BT2-5	Kjenestunnelen	Anortositt	Amfibolitt	10	6	1,32
BT1-3	Arnanipa tunnel	Gabbro	Amfibolitt	19	8	1,41
BT1-4	Takvam busstopp	Gneis	Amfibolitt	30	13	1,41

Det er ikke tatt prøver av glimmerskifer ved Langhelleneset. Det er derimot tatt bergartsprøver fra glimmerskifer lengre vest (SWECO, 2022c), som også er kartlagt til å være en del av Hardangerfjorddekket (NGU, 2023a), men disse er ikke analysert grunnet forventet høyt innhold av glimmer. Glimmerskifer er erfaringsmessig ikke egnet til vegoppbyggingsformål.

4.6.4 Romslo

Tunnelsystemet går ifølge NGUs berggrunnskart (NGU, 2023a) og tolket geologisk 3D modell (FAS-01-A-00080 (COWI, 2024n)) i amfibolitt og gneis-amfibolgneis. For mekaniske egenskaper av bergartsprøver klassifisert som amfibolitt, se Tabell 4-13. Her er BT1-4 nærmeste prøve, omtrent 2500 m vest for tiltaket.

Av gneiser testet i reguleringsplanarbeidet er prøve BT1-6 og BT1-7 i samme område som tunnelsystemet. BT1-6 ligger omtrent på grensen mellom amfibolitt og amfibolgneis ved adkomsttunnelen. BT1-7 ligger ifølge NGUs berggrunnskart i granittisk gneis like øst for østlig del av tunnelsystemet. Resultater fra bergmekanisk test er vist i Tabell 4-13.

Tabell 4-13: Resultater fra bergmekaniske tester av relevante bergartsprøver (SWECO, 2022e).

Prøve	Lokalitet	Bergart (NGU kart)	Bergart (SINTEF)	Los Angeles	Micro-Deval	Flisighet
BT1-6	Sognstadtunnelen	Gneis	Glimmerrik gneis	31	22	1,46
BT1-7	Romslo	Granittisk gneis	Gneis	27	9	1,34

4.6.5 Borbarhet for bergartene ved sjakter i forbindelse med sjaktboring

Bergartene ved de tre bergsjaktene er henholdsvis granittisk gneis, amfibolitt og amfibolittgneis. Bergmekaniske parametere til aktuelle bergarter ved de tre bergsjaktene er hentet fra Bruland (Bruland, 1998) og (Høien, Nilsen, & Olsson, 2019), og er gitt i Tabell 4-14, Tabell 4-15 og Tabell 4-16. Oppgitte intervaller for DRI, BWI og CLI inkluderer ikke de 25 % høyeste og laveste målingene.

Bergmekaniske resultater fra prøvetaking i reguleringsplanfasen er gitt i Tabell 4-17 (SWECO, 2022e). Det er presentert resultater fra bergprøver som av SINTEF ble klassifisert som gneis og amfibolitt. Bergartsprøvene er ikke tatt ut i umiddelbar nærhet til bergsjaktene. Det gjøres oppmerksom på at det kan være lokale variasjoner i bergmekaniske parametere.

Tabell 4-14: Bergmekaniske parametere fra litteraturen for bergarten ved sjakt ved Gamle Fossen.

Sted	Gamle Fossen
Bergart	Granittisk gneis
UCS (Høien, Nilsen, & Olsson, 2019)	85-150
DRI (Bruland, 1998)	44-61
BWI (Bruland, 1998)	30-42
CLI (Bruland, 1998)	6-10

Tabell 4-15: Bergmekaniske parametere fra litteraturen for bergarten ved sjakt ved Langhelleneset.

Sted	Langhelleneset
Bergart	Amfibolitt
UCS [MPa] (Høien, Nilsen, & Olsson, 2019)	70-140
DRI (Bruland, 1998)	31-50
BWI (Bruland, 1998)	25-45
CLI (Bruland, 1998)	13-23

Tabell 4-16: Bergmekaniske parametere fra litteraturen for bergarten ved sjakt ved Naustvika.

Sted	Naustvika
Bergart	Amfibolgneis
UCS [MPa] (Høien, Nilsen, & Olsson, 2019)	70-160
DRI (Bruland, 1998)	36-51
BWI (Bruland, 1998)	33-49
CLI (Bruland, 1998)	9-16

Tabell 4-17: DRI og BWI for bergartsprøver klassifisert som gneis eller amfibolitt tatt i forbindelse med reguleringsplanarbeidet (SWECO, 2022e).

Prøvenr. (SWECO, 2022e)	**Bergart**	**DRI**	**BWI**
BT1-5	Gneis	55	25
BT1-7	Gneis	42	37
BT1-8	Gneis	46	35
BT1-9	Gneis	60	12
BT2-1	Gneis	48	36
BT2-2	Gneis	59	19
BT2-3	Gneis	52	22
BT2-4	Gneis	56	21
BT3-1	Gneis	44	38
BT3-2	Gneis	44	34
BT3-3	Gneis	51	33
BT3-4	Gneis	58	23
BT3-5	Gneis	53	29
BT3-6	Gneis	70	19
BT1-3	Amfibolitt	55	24
BT1-4	Amfibolitt	53	14
BT2-5	Amfibolitt	30	40
Gjennomsnittsverdi gneis		53 (Middels)	27 (Lav)
Gjennomsnittsverdi amfibolitt		46 (Middels)	26 (Lav)

4.7 Miljøgeologiske og geokjemiske undersøkelser

Rapportene som danner grunnlaget for dette kapittelet er:

- Fagrapport Geokjemisk undersøkelse FAS-01-A-00105 (COWI, 2024j)
- E1 Miljøgeologisk datarapport, Fossmark FAS-01-Q-00043 (COWI, 2023f),
- E1 Miljøgeologisk datarapport, Romslo FAS-01-Q-00027 (COWI, 2024e) og
- E1 Tiltaksplan krystallinske mineraler med fiberstruktur FAS-01-Q-00061 (COWI, 2024m).

Det vises til disse for detaljerte beskrivelser. For SHA-plan, se FAS-01-Q-00053 (COWI, 2024h).

4.7.1 Syredannende berg

Utførte undersøkelser, resultater og anbefalinger i forbindelse med syredannende berg kan finnes i FAS-01-A-00105 Fagrapport geokjemiske undersøkelser (COWI, 2024j). Rapporten redegjør for vurderingene, og hvilke veiledere som er brukt for å gjøre vurderingene.

4.7.1.1 Fossneset og Gamle Fossen

Det var ikke mistanke om eller identifisert noe syredannende berg og derfor ble berget heller ikke prøvetatt.

4.7.1.2 Langhelleneset

Prøvetatt berg klassifiseres som ikke syredannende.

4.7.1.3 Romslo

Det er ikke påvist syredannende berg ved Romslo.

4.7.2 Asbestholdig berg

Utførte undersøkelser, resultater og anbefalinger i forbindelse med asbestholdig berg kan finnes i FAS-01-Q-00061 E1 Tiltaksplan krystallinske mineraler med fiberstruktur (COWI, 2024m).

4.7.3 Jordprøver

For informasjon om jordprøver vises det til miljøgeologisk datarapport og tiltaksplan Romslo, og Fossmark (COWI, 2024e) (COWI, 2023f). For informasjon om jordprøver vises det til miljøgeologisk datarapport og tiltaksplan Romslo, og Fossmark henholdsvis (COWI, 2024e) og (COWI, 2023f).

4.7.4 Tungmetaller

Det ble påvist krom i tiltaksklasse 2 og 3 samt nikkel i tiltaksklasse 2 i berggrunnsprøver ved Langhelleneset (Geokjemisk undersøkelse). Resultatene gir grunnlag for å konkludere med at berggrunnen i dette området har naturlig forhøyede konsentrasjoner av disse metallene. Dette omtales i FAS-01-A-00105 Geokjemiske undersøkelser (COWI, 2024j).

5 GRUNNFORHOLD OG NATUR

Generelt for beskrivelse av løsmassene i de tre områdene er NGUs løsmassekart, samt observasjoner gjort på befaring benyttet (NGU, u.d.). Det kan forekomme unøyaktigheter i løsmassekartene, både når det gjelder grenser mellom løsmassetyper og løsmassebeskrivelse. Dette vil som regel heller ikke alltid kunne bestemmes eksakt i felt. Det er ofte diffuse og gradvise overganger mellom løsmassetypene.

Generelt for beskrivelse av berggrunnsgeologien i de tre områdene er NGUs berggrunnskart, samt observasjoner gjort på befaring benyttet (NGU, 2023a). Det kan forekomme unøyaktigheter i de geologiske kartene, både når det gjelder bergartsgrenser og bergartsbeskrivelse. Dette vil som regel heller ikke alltid kunne bestemmes eksakt i felt. Det er ofte diffuse og gradvise overganger mellom bergartsformasjonene. Det er særlig knyttet usikkerhet til bergartenes og svakhetssonenes forløp mot dypet. Tolkningen av disse kan sees i FAS-01-A-00080 E1 Notat geologisk modell (COWI, 2024n), men avvik i plassering av bergartsgrenser og svakhetssoners forløp må påregnes. Mektigheten til svakhetssonene og deres påvirkning på bergmassen mot dypet som kommende tunneler skal gå i, er generelt noe som er beheftet med usikkerhet.

5.1 Fossneset og Gamle Fossen

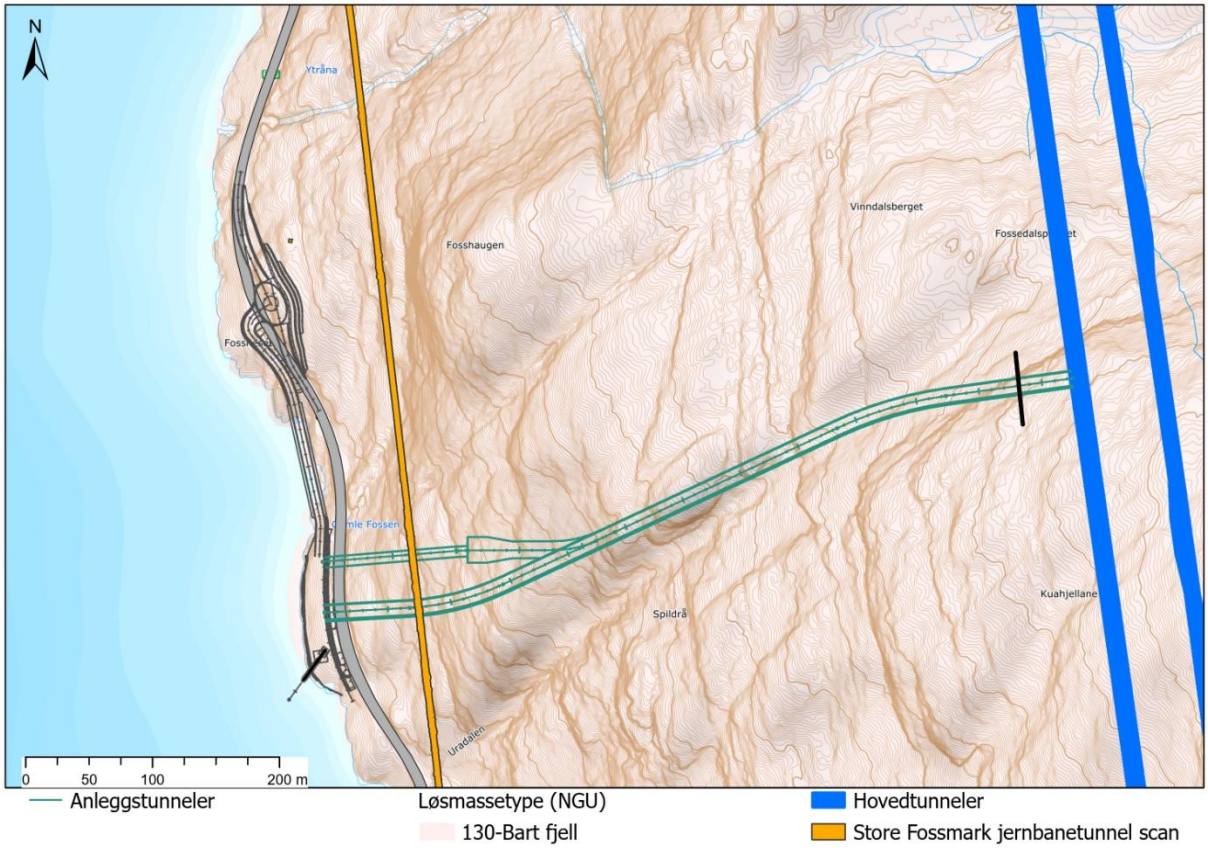
5.1.1 Topografi og løsmasser

Området ved påhugget ved Gamle Fossen ligger i en steil til vertikal skrent av isskurt berg. Berget stuper rett i sjøen og det er antagelig brådypt ved punktet. Eksisterende E16 krysser over skrenten i tosidig skjæring med laveste punkt på om lag kote +17. Eksisterende jernbane går i tunnel om lag 80 m inn fra sjøkanten. Ut fra banedata ligger skinnene ved krysningspunktet på kote +16,3 (SWECO, 2022d). Ved påhuggsområdet på Gamle Fossen stiger terrenget med omtrent 45° fra fjorden og 150 m østover. Det er flere mer eller mindre markerte dalsøkk i nordlig retning fra riggområdet. De mest markerte stryker NØ-SV. Fossneset ligger 100-150 m nord for kommende riggområde ved Gamle Fossen. Topografien ved Fossneset er tilsvarende, med en bratt skrent som stiger opp mot eksisterende E16 som også her ligger i en tosidig bergskjæring. Dronebilde av kommende riggområde er vist i Figur 5-1.



Figur 5-1: Dronebilde, tatt mot NØ.

Området ved anleggstunnelene består i hovedsak av bart berg eller tynt vegetasjonsdekke på stedlige flater. Figur 5-2 viser et oversiktskart over løsmassene i området rundt anleggstunnelene.



Figur 5-2: Løsmasser ved anleggstunnelene ved Fossmark og Gamle Fossen. Svart linje viser omtrentlig avslutning på driving i forberedende entreprise.

5.1.2 Eksisterende tunneler

I områdene ved Fossneset og Gamle Fossen er det to eksisterende tunneler som er relevant for dette prosjektet: Store Fossmark og Fossmark krafttunnel. Begge tunnelene er befart av COWI.

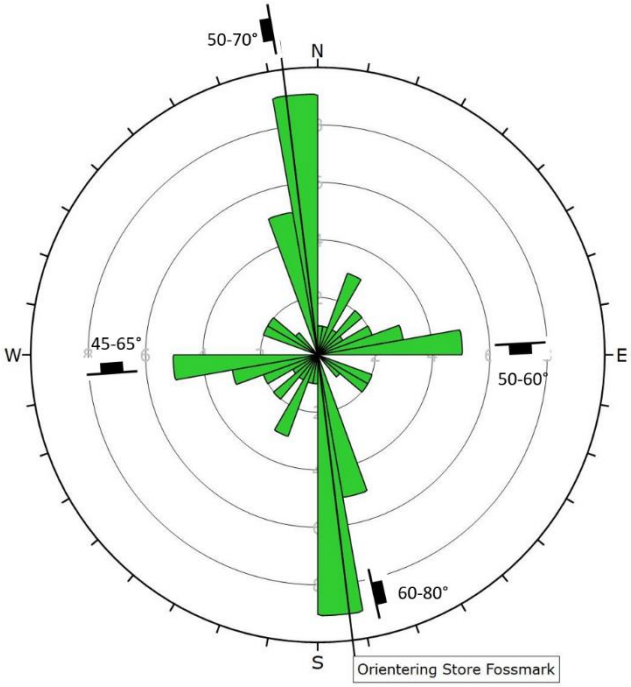
5.1.2.1 Store Fossmark jernbanetunnel

Omtrentlig plassering av kartlagt strekning er omtalt i kapittel 4.1.1. Det er observert to murte hvelv, omtrent ved km. 437.244-437.247 og ved km. 437-256-437.259. Profiler for kryssing av henholdsvis transporttunnel og ventilasjonstunnel er henholdsvis 69-77 og 62-69. Bergoverdekning mellom tunnelene blir omtrent 6 m.

Bergarten langs den befarte strekningen er granittisk gneis. Berget er hovedsakelig massivt. Det er registrert oppsprekking langs følgende 4 sprekkeretninger; subvertikalt parallelt tunnelaksen, subvertikalt normalt på tunnelaksen, i retning NNV med fall omtrent 50° og i retning SSØ med fall omtrent 50°. Berget er mer oppsprukket inn mot de murte hvelvene. I vederlag mellom km. 437.259 og 437.269 ble det observert en langsgående sleppe med oppknust berg, se Figur 5-3. Sprekkerose fra utførte strukturmålinger er gitt i Figur 5-4.



Figur 5-3: Sleppe med oppknust berg. Bilde fra COWIs befaring i Store Fossmark.



Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	10 planes per arc
Planes Plotted	38
Minimum Angle To Plot	0.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°

Figur 5-4: Sprekkerose fra registrerte strukturmålinger i Store Fossmark jernbanetunnel.

Det er registrert drypp på hele strekningen. Mellom km. 234 og 264 er det installert PE-matter i tre områder. Det er installert fire sikringsbolter på strekningen, og markert for ytterligere fem stk. bolter som ikke er satt.

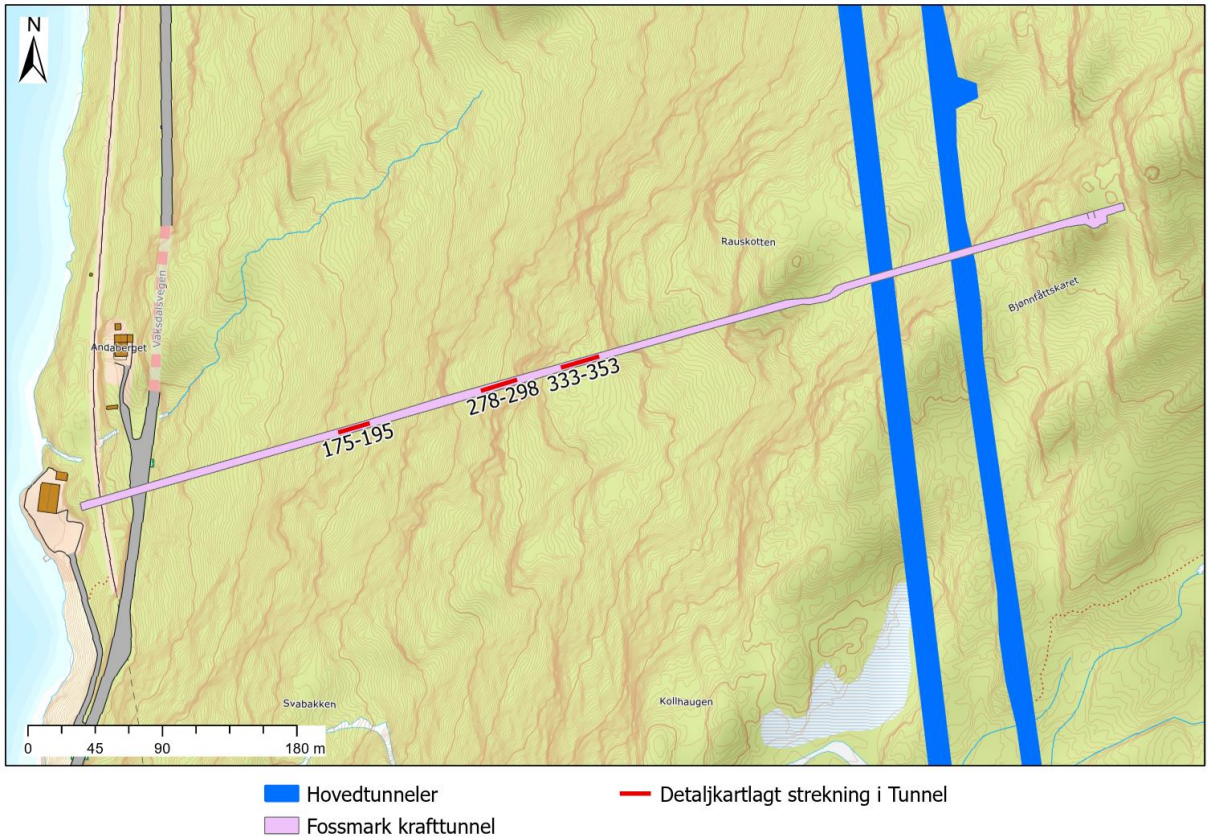
Fra reguleringsplanarbeidet er det funnet at Store Fossmark jernbanetunnel er ca. 40 % utstøpt, se Figur 5-5 (SWECO, 2022b). Tunnelen fremstår med noe fukt og få punkter med drypp fra små lekkasjer. Det er observert sporadiske PE-matter i tunnelen (SWECO, 2022b).



Figur 5-5: Eksempel på murt hvelv i Store Fossmark. Det ble observert både mur- og betongutsøpninger i tunnelen. Bilde fra COWIs befaring i Store Fossmark jernbanetunnel.

5.1.2.2 Fossmark krafttunnel

Fossmark krafttunnel er på det nærmeste omtrent 600 m unna ventilasjonstunnelen på Gamle Fossen. Fossmark krafttunnel ble befart 20. juni 2023 med formål om å kartlegge vann- og bergforhold. Tunnelen ble befart fra vest mot øst. Strekningene som ble befart var profil 175-195, 278-298 og 333-353. Omtrentlige lokasjoner er vist i Figur 5-6.



Figur 5-6: Kartlagte strekninger i Fossmark krafttunnel.

Det var oppholdsvær og det hadde vært en periode med lite nedbør. Det var tydelig drypp i tunnelen, særlig i området ved vestlig ende. Inntrykket er at det ble mindre drypp lenger inn i tunnelen, men det var stadig fuktig og vått. Tunneleier, som var med på befaringen, kunne opplyse om at det under mer regntunge perioder gjerne ville renne en elv med betydelig mengder vann ned langs nordsiden av tunnelen. Det ble opplyst om at vannhåndteringssystemet, vist på Figur 5-7, da måtte ta unna store mengder.

Det ble videre observert jevn forekomst av utstøpninger og montert PE-skum i tunnelen. Bergmassekvaliteten ble observert som varierende. Inn mot utstøpninger ble det stedvis observert sterk oppsprekking, se Figur 5-8. En kartlegging av hele tunnelen med inntegnet vannsikring er gitt i befaringsnotat - ingeniørgeologisk inspeksjon av Fossmark krafttunnel, i forbindelse med reguleringsplanarbeidet (SWECO, 2018).



Figur 5-7: Vannhåndtering for drenering gjennom kum vist ved siden av rørgate. Bilde fra COWIs befaring i Fossmark krafttunnel.



Figur 5-8: Oppsprukket berg inn mot utstøpning. Bilde fra COWIs befaring i Fossmark krafttunnel.

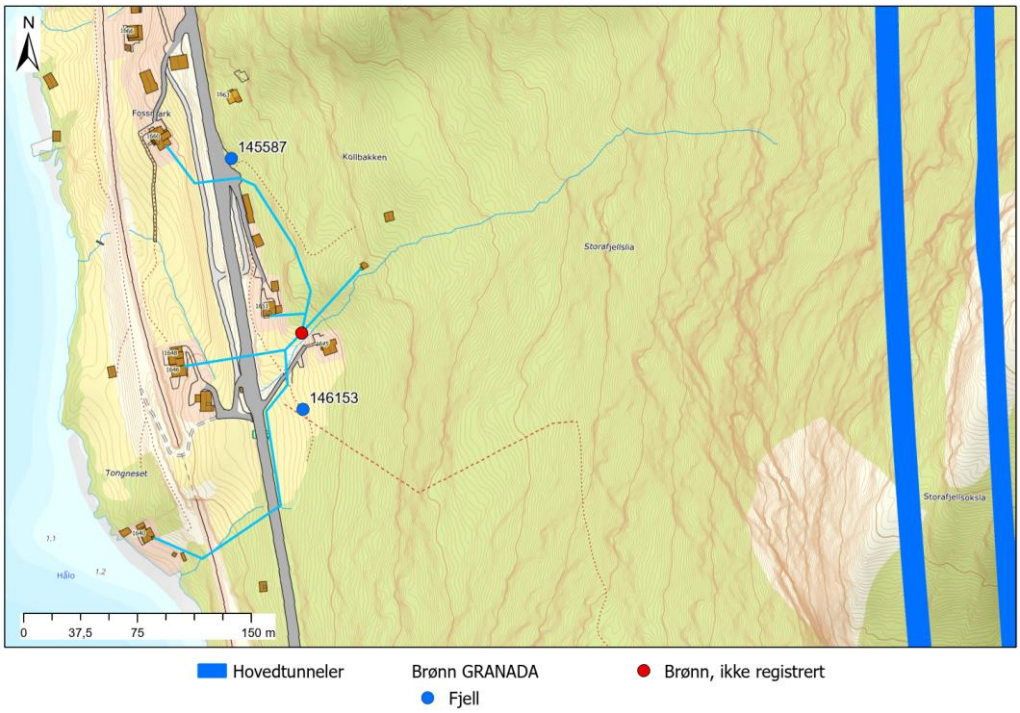
5.1.3 Hydrologi og brønndata

I området finnes det flere vannløp og en oppdemmet innsjø; Gamleelva, Ytråna og Fossdalsvatnet. Ingen av disse er markert som viktig natur ifølge økologisk grunnkart (Artsdatabanken, 2023).

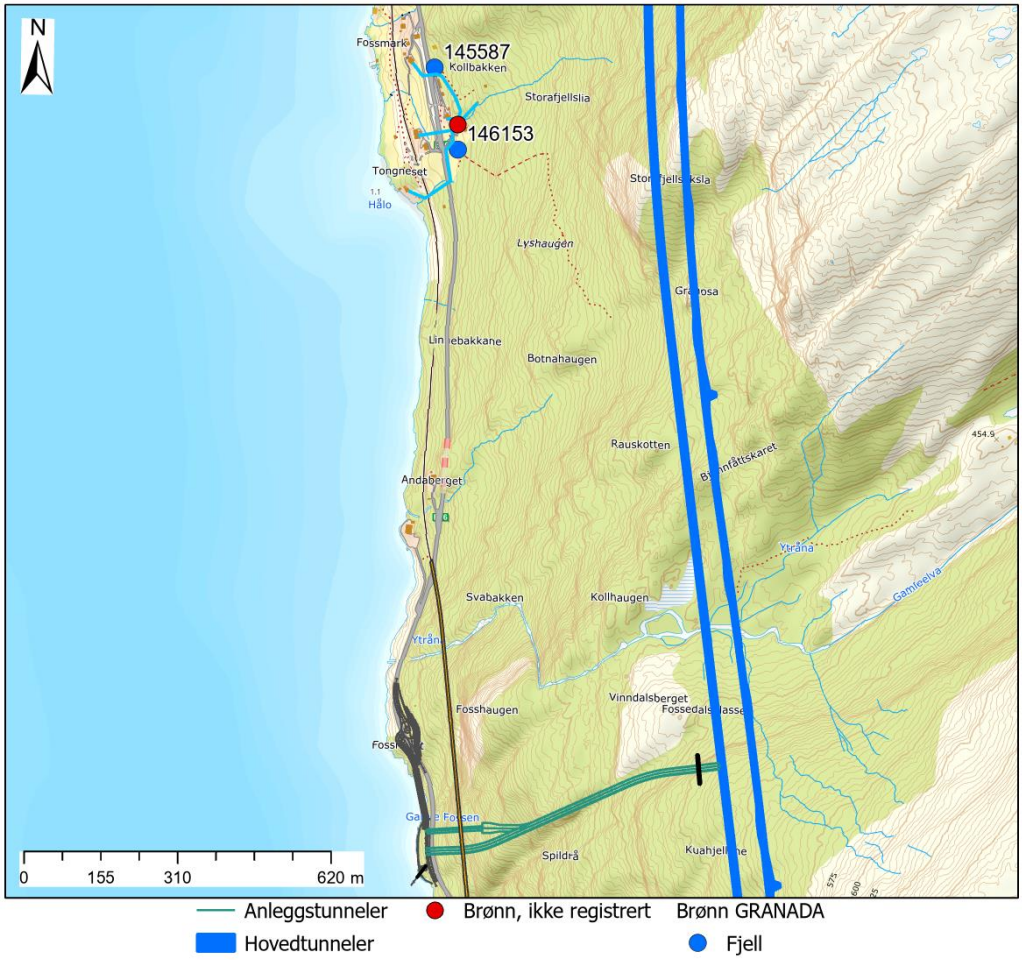
Det er ikke registrert grunnvannsbrønner i nærheten av Gamle Fossen eller Fossneset (NGU, 2023b). Informasjon om grunnvannsbrønner på Fossmark kan være relevant i forbindelse med hydrogeologi og injeksjon på Gamle Fossen.
Det er registrert to grunnvannsbrønner i GRANADA ved Fossmark (NGU, 2023b). Dette er brønn 145587 og 146153. Ved borhull 146153 er det registrert vannstand ved stor vannførende sleppe på 36 m dybde. Det er registrert høy vannføring. Den store vannførende sleppen på 36-39 m fra overflaten gjorde at det ikke var mulig å bore videre. Lokasjon av de omtalte brønnene er vist i Figur 5-9.

Det er én annen brønn lokalisert ved Fossmark (den er ikke registrert i GRANADA), som forsyner 6 husstander med vann. Ved dette borhullet er det registrert vannstand på ca. kote 32. Se FAS-01-A-00081 - Oversikt og risikovurdering av private brønner

og VA-anlegg (COWI, 2024b) for videre informasjon om private brønner. Lokasjon av de omtalte brønnene er vist i Figur 5-9. Figur 5-10 viser lokasjon av brønnene sett fra hovedtunnelene og anleggstunnelene ved Gamle Fossen. Avstand til anleggstunnelene er omtrent 1300 m.



Figur 5-9: Lokasjon av brønner ved Fossmark.

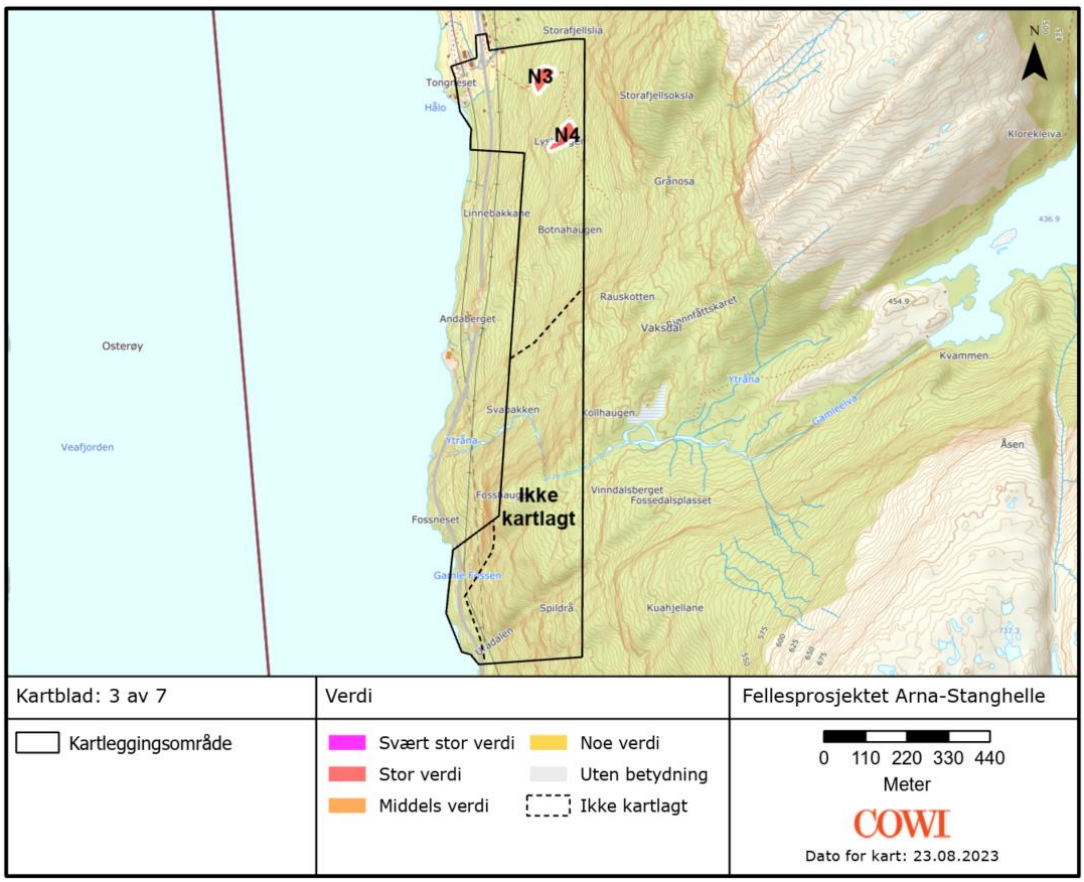


Figur 5-10: Lokasjon av brønnene ved Fossmark i forhold til anleggstunnelene ved Gamle Fossen.

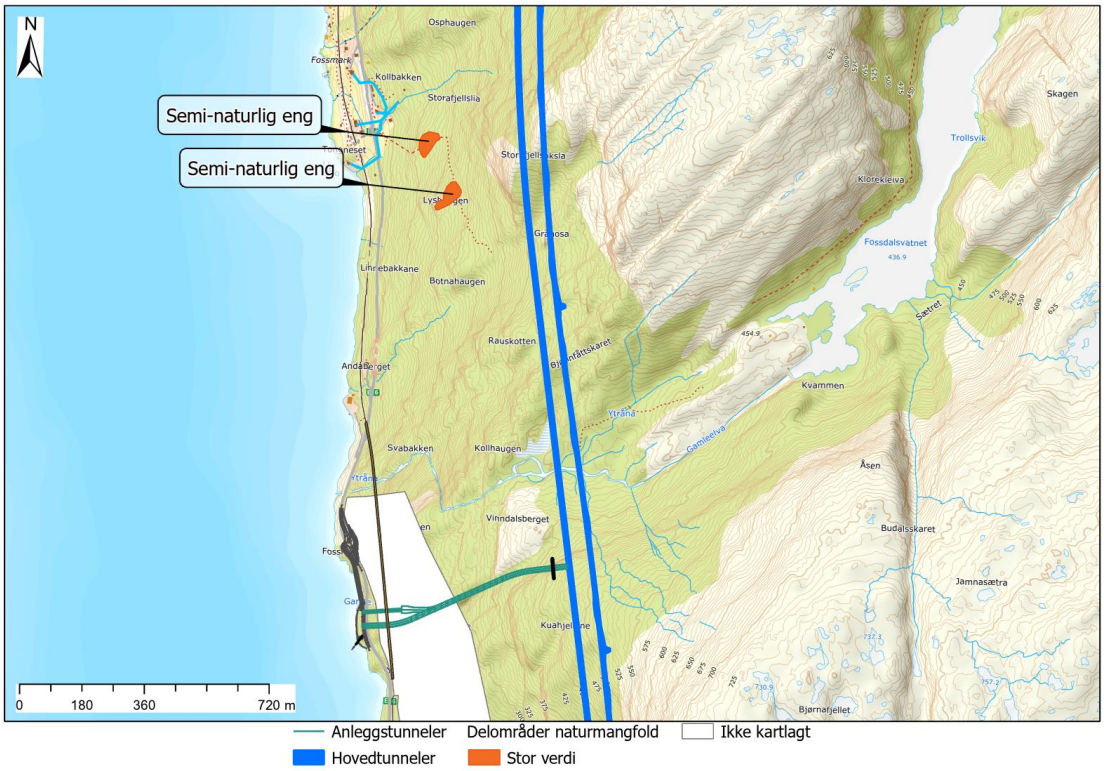
For hydrogeologiske observasjoner i eksisterende tunneler vises det til kapittel 5.1.2.

5.1.4 Naturmangfold

Naturmangfold i området ovenfor Fossneset og Gamle Fossen er ikke kartlagt på grunn av utilgjengelig og bratt terreng. Det er registrert to områder med stor naturverdi lengre nord. Figur 5-11 viser lokasjon av områdene. For mer detaljerte beskrivelser henvises det til FAS-01-A-00068 Fagrapport naturmangfold, supplerende kartlegging (COWI, 2023u). Figur 5-12 viser kartlagte naturtyper og kommende tiltak.



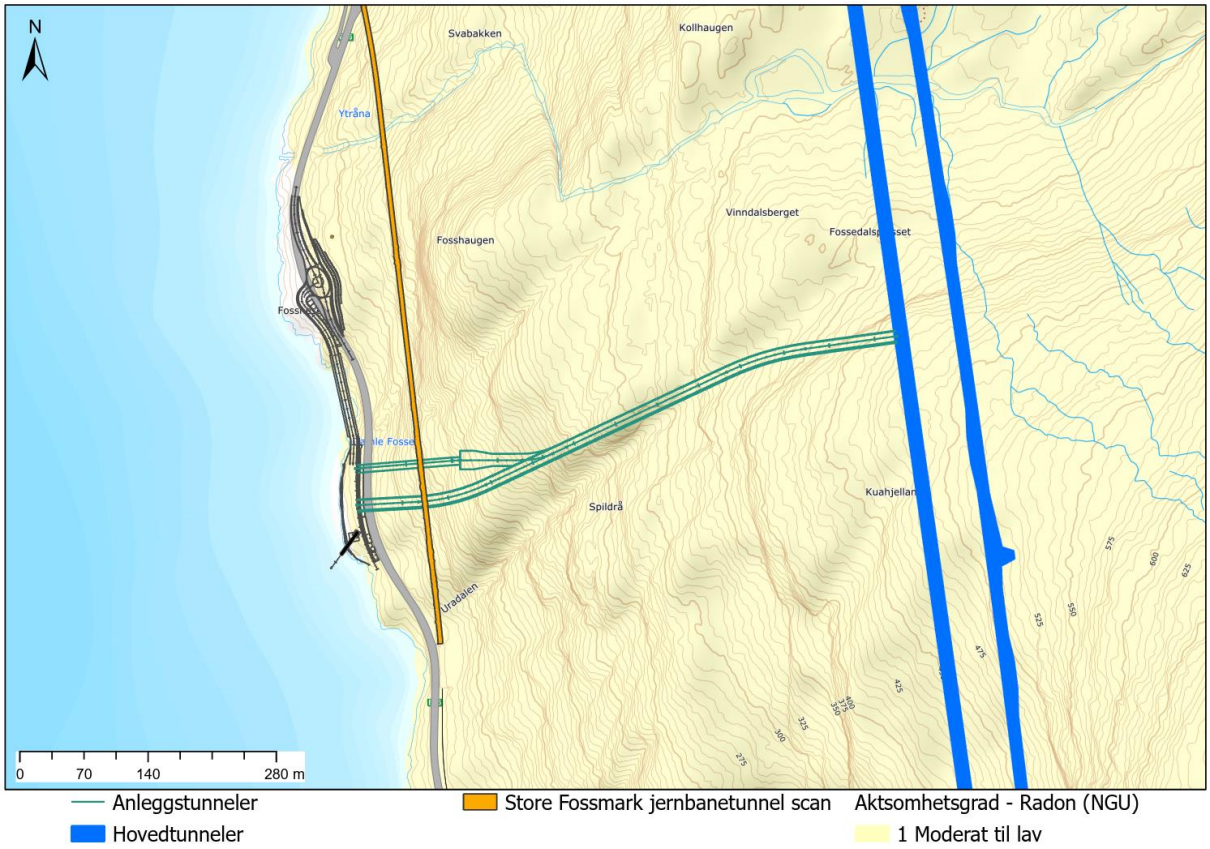
Figur 5-11: Viktige naturtyper ved Fossmark og Gamle Fossen. Hentet fra (COWI, 2023u).



Figur 5-12: Kartlagte naturtyper og kommende tiltak.

5.1.5 Radon

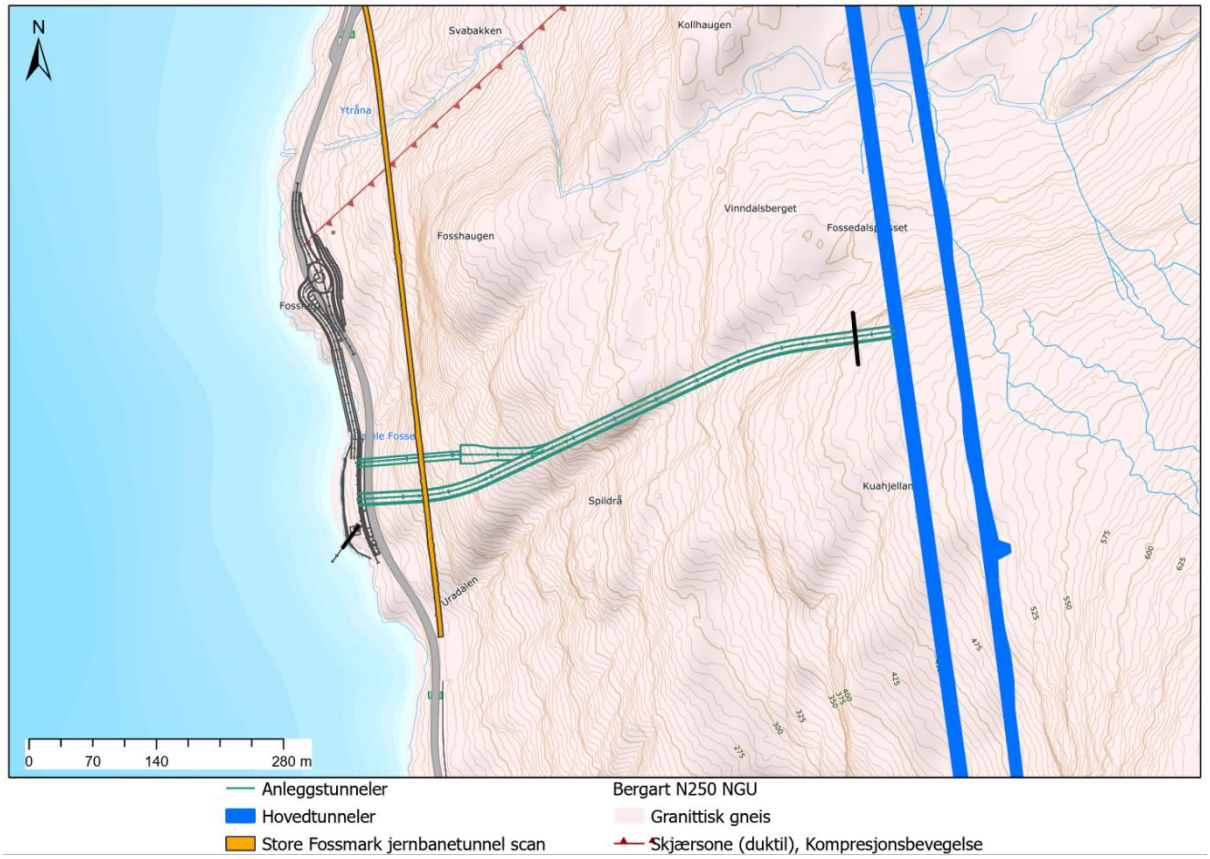
Ved Fossneset og Gamle Fossen er det registrert moderat til lav aktsomhetsgrad for Radon, se Figur 5-13 (NGU, 2024).



Figur 5-13: Aktsomhetskart for radon ved Fossneset og Gamle Fossen (NGU, 2024).

5.1.6 Bergarter

Berggrunnen ved Fossneset og Gamle Fossen består av tilnærmet stedegent grunnfjell (fjellet som først ble dannet i området, ikke tilflyttet) av granittisk gneis og monzogranittisk til granodiorittisk gneis. Den granittiske gneisen stammer fra Paleoproterozoikum- Statherium (1800-1600 Ma), og den monzogranittiske til granodiorittiske gneisen stammer fra Mesoproterozoikum (1600-1000 Ma) (NGU, 2023a). Bergartene beskrives som fin- til middelskornet, grå, stedvis båndet, stedvis kvartsrik gneis og kvartsitt, gjennomsatt av granittiske ganger og stedvis granitt omdannet til øyegneis. Berggrunnen i området er vist i Figur 5-14.

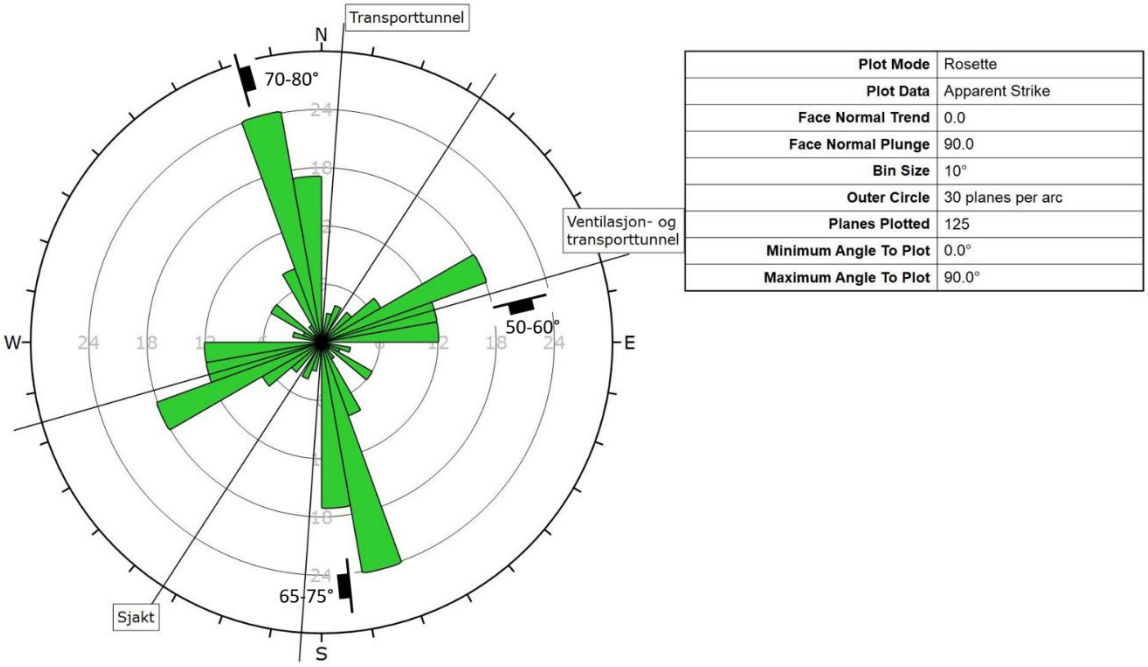


Figur 5-14: Berggrunnsgeologi Fossneset og Gamle Fossen. Svart linje viser omtrentlig avslutning på driving i forberedende entreprise.

5.1.7 Strukturgeologiske forhold

5.1.7.1 Oppsprekking og foliasjon i området

Lineamenter er vurdert på bakgrunn av skyggerelieff-kart. Registrert oppsprekking har i hovedsak strøk NNV-SSØ og NØ-SV. Det indikeres stor variasjon i fallet til sprekkesettet NØ-SV. Sprekkesettet NNV-SSØ varierer også i fall, men er generelt steilere. Sprekkesettene er generelt gjennomsettende og har stedvis stor utstrekning, over 10 m. Det er også registrert sub-horisontale sprekker med varierende orientering. Sprekkeavstand synes å variere mellom 20-60 cm. Ved det breskurte berget ved brufundamentene synes sprekkeavstanden større, i hovedsak 60-200 cm. Det er mulig at effekten av breskuringa bidrar til å skjule mindre fremtredende sprekker, og at sprekkeavstanden i realiteten kan være noe mindre. Foliasjonsretningen varierer langs strekningen, men synes å stryke NØ-SV. Foliasjonen ved Gamle Fossen riggområde har fall/fallretning omtrent 70/255. Figur 5-15 viser sprekkeregistreringene tatt fra Store Fossmark banetunnel og lokaliteter i dagen langs tunneltraseen. Det er i hovedsak kartlagt tre sprekkeretninger i dagen, mens det er kartlagt fire sprekkeretninger i Store Fossmark jernbanetunnel.



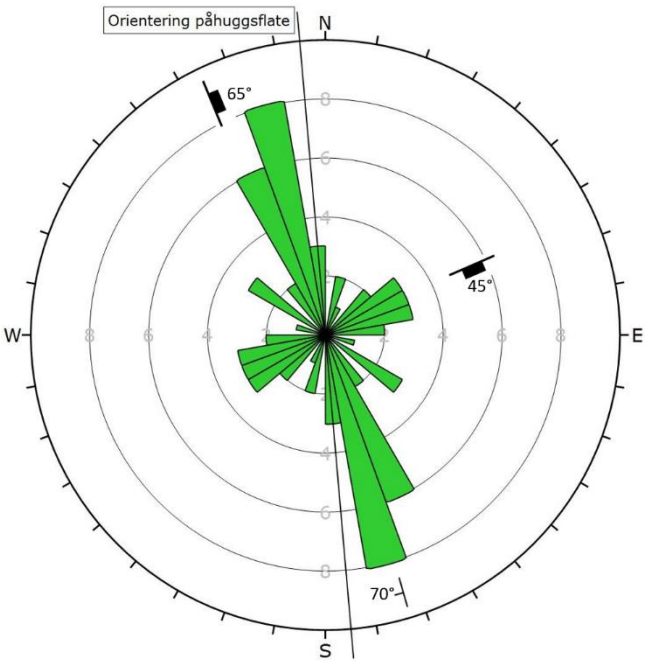
Figur 5-15: Sprekkeregistreringer i dagen langs tunneltraseen, og registreringer fra Store Fossmark. Gjennomsnittlig orientering på tunneler og sjakt er vist.

5.1.7.2 Riggområde og bergsjakt Gamle Fossen

Befaringsregistreringene S012 og S013 er særlig relevante i forbindelse med etablering av riggområdet og bergsjakten på Gamle Fossen. Sprekkerose for registreringene er vist i Figur 5-16. S1 følger foliasjonen. Sprekkene i S2 er stedvis åpne og gjennomsettende. Rett ovenfor riggområdet ved eksisterende E16 går det en tosidig bergskjæring. Den østre bergskjæringen er steil og har en maks høyde på ca. 13 m over vegen. Skjæringen står uten bergsikring, men det er stedvis tegn på mindre lokale utglidninger. Registrerte grunnboringer i vegen indikerer en dybde på 0,7-1,3 m ned til fast fjell. Det er observert enkelte oppsprukne soner med typisk sprekkeåpning på 0,5-2,5 mm og noen med 2,5-10 mm åpning. Typiske blokkstørrelse er 200-600 mm. Sprekkesettene registrert i overforliggende bergskjæring er gitt i Tabell 5-1.

Tabell 5-1: Orientering av sprekkesett ved påhugg Gamle Fossen, basert på befaringslokalitet S012 og S013.

	Fall	Fallretning
S1	70	255
S2	45	159
S3	65	50



Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	10 planes per arc
Planes Plotted	39
Minimum Angle To Plot	0.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°

Figur 5-16: Sprekkerose med sprekkeregistringer fra ovenforliggende bergskjæring (S12 og S13).

5.1.7.3 Oppsprekking ved brufundamenter Fossneset

Ved Fossneset i området for brufundamenter ble det observert 2-3 sprekkesett. Det ble generelt observert noen åpne og svært gjennomsettende sprekker. De gjennomsettende sprekkene har relativt stor sprekkeavstand, fra 1-2 m. Sprekkene er i hovedsak registrert som ru, og plan til bølgete, sett i stor skala. Figur 5-17 og Figur 5-18 viser bilder av bergmassen ved henholdsvis søndre og nordre fundamentområde.



Figur 5-17: Bergmasse ved søndre fundamentområde.

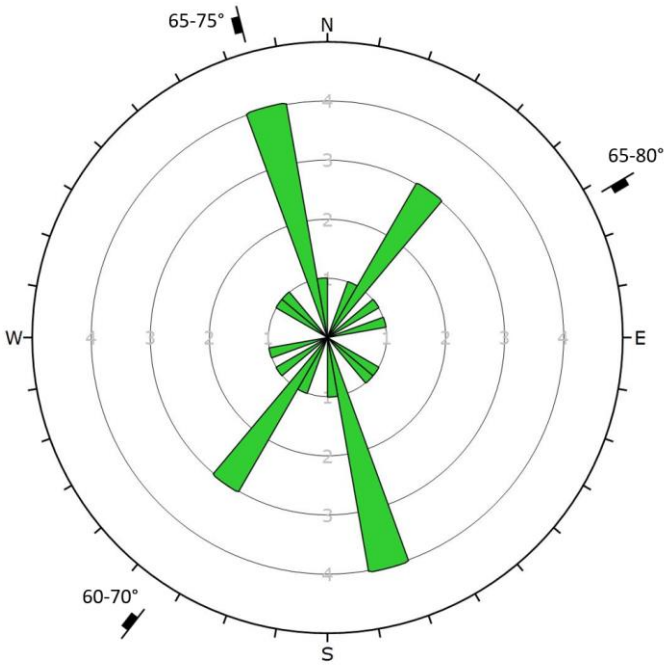


Figur 5-18: Bergmasse ved nordre fundamentområde.

Oppsummering av strukturer ved sørlig fundament er gitt i Tabell 5-2 og Figur 5-19, basert på befaringslokalitet B001. Det er ikke gjort mange sprekkemålinger på sett S3 grunnet utilgjengelig terreng, men det ble observert at dette gikk igjen i stor skala.

Tabell 5-2: Gjennomsnittlig orientering av sprekkesett fra befaringslokalitet B001 ved sørlig brufundament.

	Fall	Fallretning
S1	66	301
S2	72	256
S3	76	148



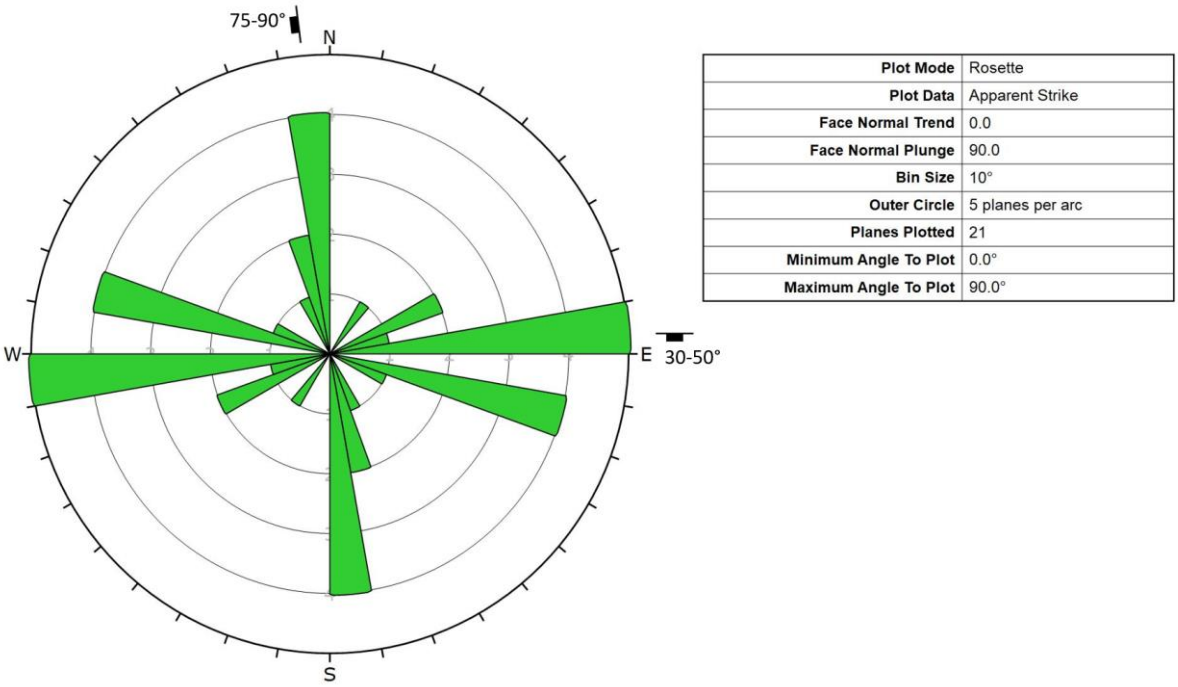
Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	5 planes per arc
Planes Plotted	13
Minimum Angle To Plot	0.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°

Figur 5-19: Sprekkerose med registreringer fra befaringslokalitet B001.

Oppsummering av strukturer ved nordlig fundament er gitt i Tabell 5-3 og Figur 5-20, basert på befaringslokalitetene B002 og S022.

Tabell 5-3: Gjennomsnittlig orientering av sprekkesett fra befaringslokalitet B002 og S022 ved nordlig brufundament.

	Fall	Fallretning
S1	81	258
S2	40	180



Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	5 planes per arc
Planes Plotted	21
Minimum Angle To Plot	0.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°

Figur 5-20: Sprekkerose med registreringer fra befaringslokalitet B002 og S022.

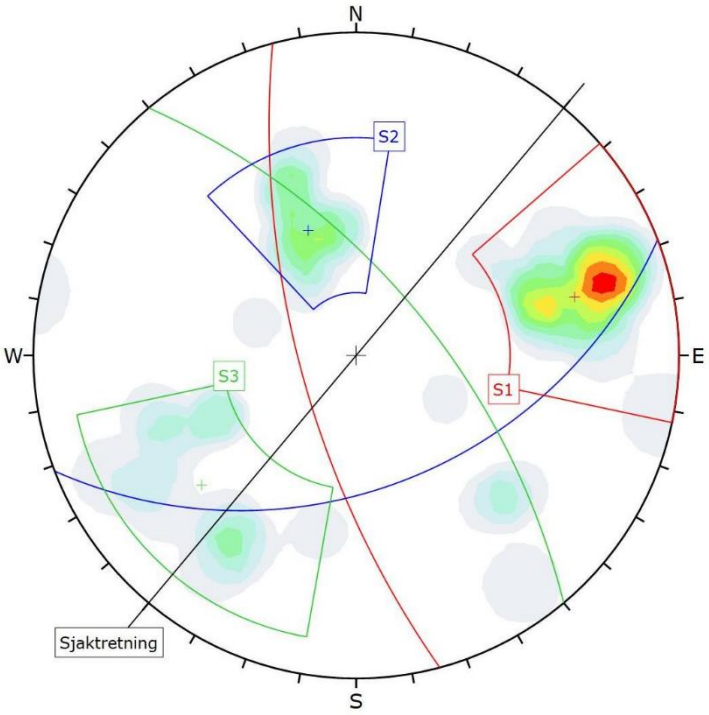
5.1.7.4 Oppsprekking ved sjaktområdet

Tabell 5-4 viser sprekkesett registrert i bergskjæringen som ligger over sjaktområdet (befaringslokalitet S012 og S013):

Tabell 5-4: Sprekkeorienteringer ved sjaktområdet på Gamle Fossen.

	Fall	Fallretning
S1	70	255
S2	45	159
S3	64	50

Figur 5-21 viser polplott med sprekkesett for sprekkeregistreringer i sjaktområdet, med innlagt trase for sjakten.



Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.30
	1.30 - 2.60
	2.60 - 3.90
	3.90 - 5.20
	5.20 - 6.50
	6.50 - 7.80
	7.80 - 9.10
	9.10 - 10.40
	10.40 - 11.70
	11.70 - 13.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	12.21%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		70	255	S1
2m		45	159	S2
3m		64	50	S3

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	39 (39 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Figur 5-21: Polplott med sprekkeregistringer fra ovenforliggende bergskjæring (S12 og S13).

5.1.7.5 Svelleleire

Det er ikke tatt prøver av svelleleire i det aktuelle området. Det er observert tynt leirfyll i sprekker i Fossmark krafttunnel, særlig i N-S gående sprekker. Det antas at andeler av leiren kan ha svellende egenskaper.

5.1.8 Bergspenninger

Det er i forbindelse med tidligere undersøkelser utført bergspenningsmålinger i Fossmark krafttunnel (Basnet & Panthi, 2017). Det er utført en måling ved hjelp av 3D-overboring (3D OC), og en måling ved hydraulisk splitting (HS). Resultatene er vist i Tabell 5-5. Spenningsverdiene er middelverdier og retningen er angitt i stup og stupretning (Trend/Plunge). Overdekningen på testlokasjonen var omtrent 235 m.

Tabell 5-5: Resultater fra spenningsmålinger i Fossmark krafttunnel (Basnet & Panthi, 2017).

	σ_1 [MPa]	Retning	σ_2 [MPa]	Retning	σ_3 [MPa]	Retning
3D OC	7,1	350/35	5,5	198/52	0,6	089/13
HS					2,7	

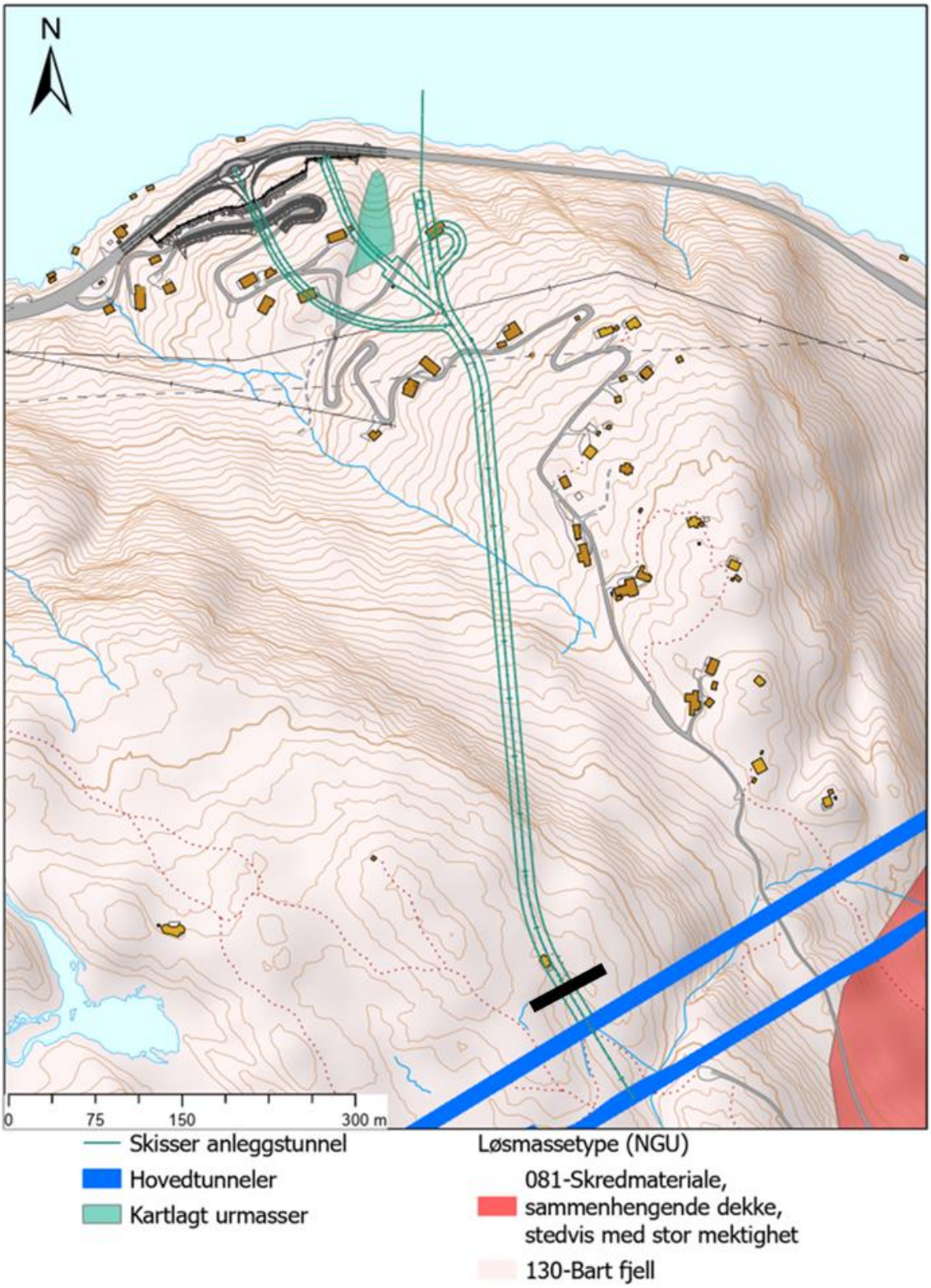
5.2 Langhelleneset

5.2.1 Topografi og løsmasser

Riggområdet ved Langhelleneset etableres som en utvidelse av eksisterende skjæring, som har en høyde opptil 19 m. Ny skjæring blir opp mot 22 m høy. Påhugg for adkomsttunnelen vil gå inn omtrent midt i denne utvidelsen. Riggområdet er i et område der berget stiger steilt opp fra sjøen til eksisterende E16. I bakkant av denne stiger terrenget opp sørover med en stigning på om lag 35°. Mellom tipphall og ventilasjonstunnel går det et mindre søkk i terrenget. Det går også et større, vannførende søkk i terrenget orientert NV-SØ som krysser transporttunnelen omtrent midt i traseen, se Figur 5-22.

Området ved Langhelleneset består i hovedsak av bart berg eller svært tynt løsmassedekke med vegetasjon (NGU, u.d.). Kartet er beheftet med usikkerhet, og lokale variasjoner kan forekomme.

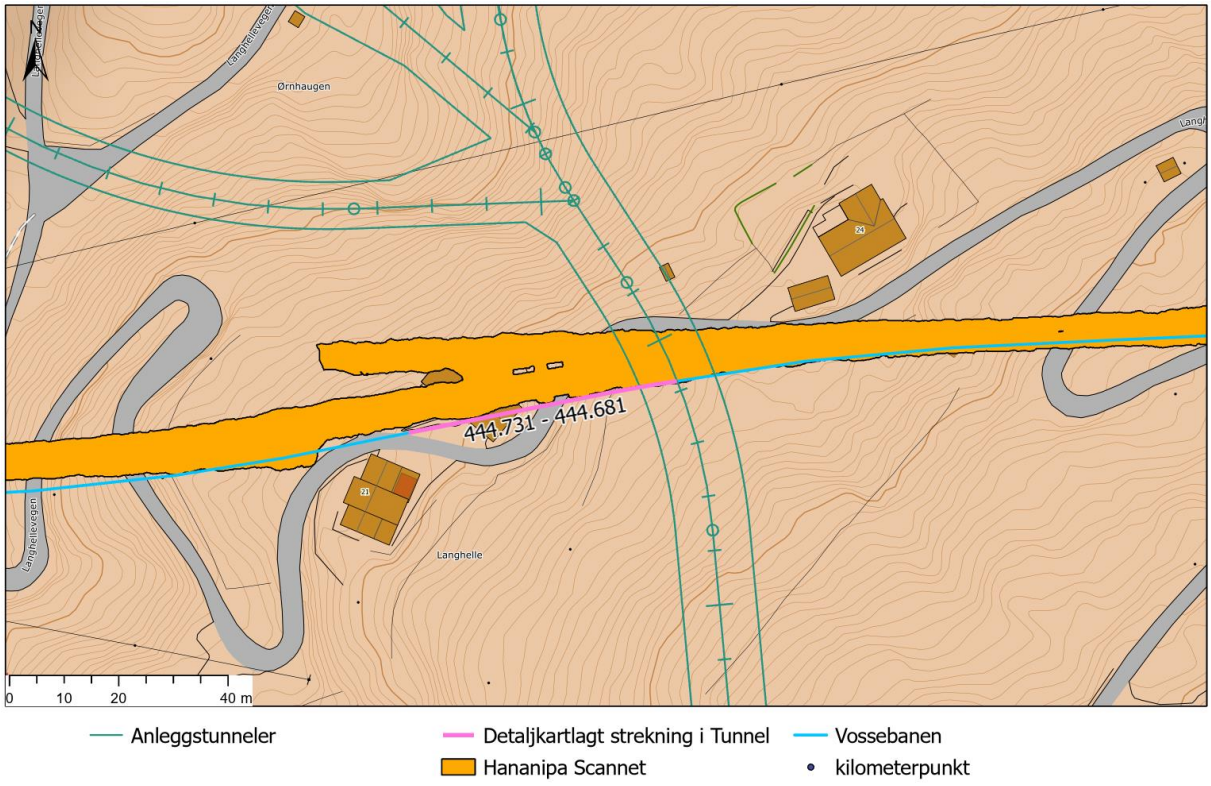
Under befaring er det observert noe ur i området ned mot E16 i terrengsøkket vest for tipphallen. Det er også stedvis fyllinger eller mur under lokalveg oppover Langhelleneset. Oversikt over løsmassene i området er gitt i Figur 5-22.



Figur 5-22: Løsmasser ved Langhelleneset (NGU, u.d.). Svart linje viser omtrentlig avslutning på driving i forberedende entreprise.

5.2.2 Eksisterende tunneler

Ved Langhelleneset er det eksisterende tunneler. En av dem er jernbanetunnelen Hananipa. Transporttunnelen vil krysse omtrent 7,5 m over jernbanetunnelen. Jernbanetunnelen er befart av SWECO i forbindelse med reguleringsarbeidet, se kapittel 4.1.2. COWI har befart tunnelen fra km. 444.681– 444.731. Figur 5-23 viser omtrentlig plassering av kartlagt strekning.



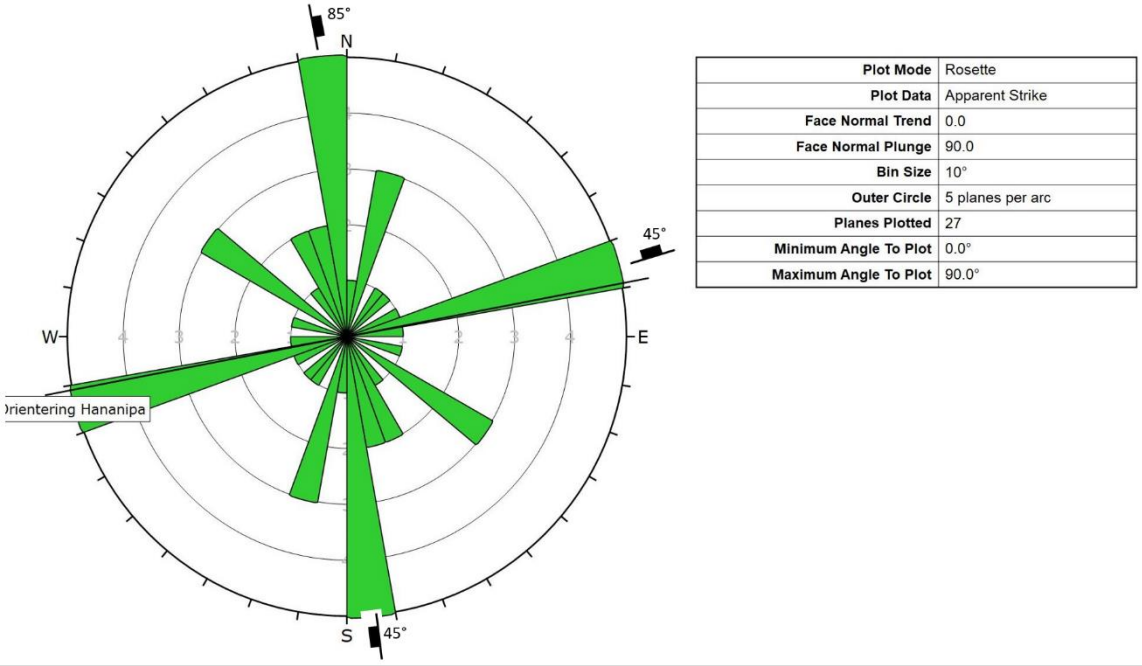
Figur 5-23: Kartlagt strekning i Hananipa jernbanetunnel.

Fra km. omtrent 444.681 og vestover utvides tunnelen med en avstikker ut fra hovedløpet, og spennet på tunnelrommet blir opp til 14,5 m. Her er bergmassen understøttet av to murte konstruksjoner med lengde på omtrent 4 m, omtrent ved km. 444.696-444.700 og km. 444.702-444.706, se Figur 5-24.



Figur 5-24: Befaring av Hananipa. Murte konstruksjoner støtter opp bergmassen ved utvidelse fra hovedløpet. Bildet er tatt mot V. Foto: COWI.

Bergmassen er kartlagt til å bestå av granatholdig amfibolitt. Bergmassen inn mot de murte konstruksjonene var noe tettere oppsprukket enn det som øvrig var observert. Det er hovedsakelig observert 3 sprekkesett. Sprekkerose fra registreringer i Hananipa er vist i Figur 5-25. Det var stedvis kileutglidning i vederlagene.



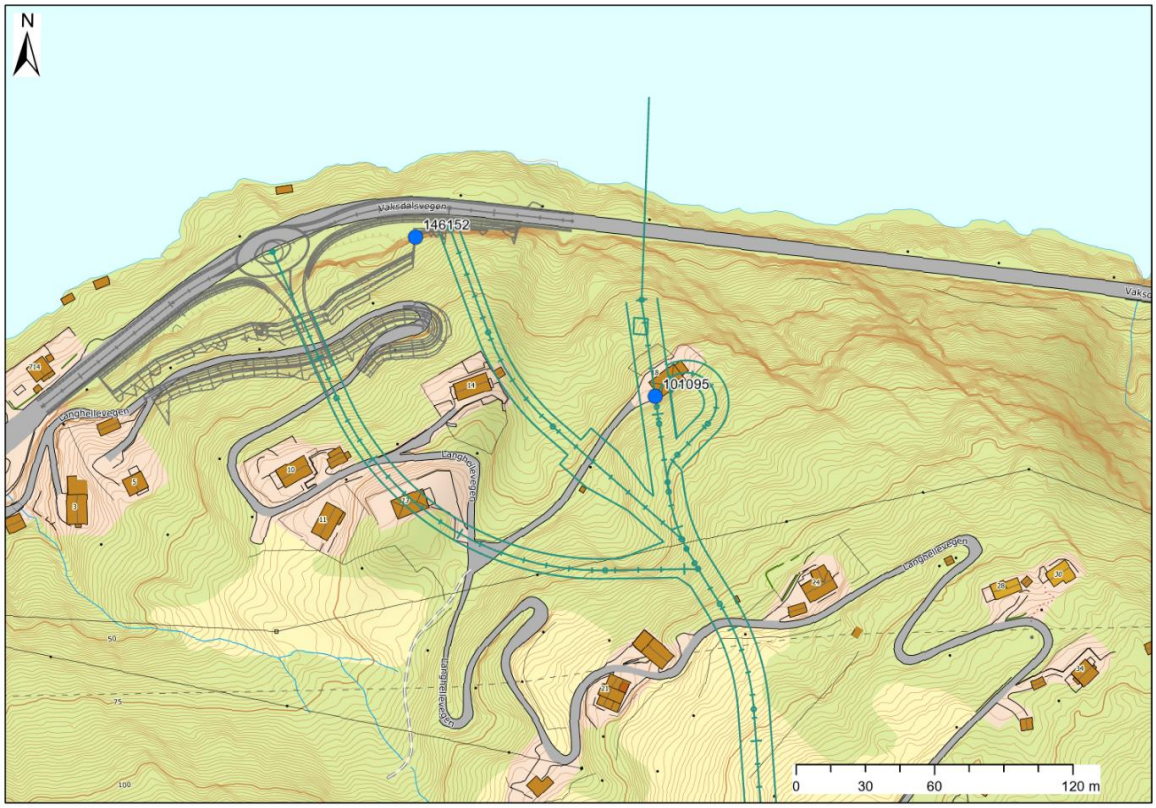
Figur 5-25: Sprekkerose fra strukturmålinger i Hananipa.

På strekningen kartlagt av COWI er det observert drypp enkelte steder, men det er generelt observert lite vann. Under reguleringsplanarbeidet ble det funnet at det i Hananipatunnelen er påført sprøytebetong i 3800 m av tunnelens lengde på 6096 m, med hovedvekt i det sentrale området som utgjøres av glimmerskifer (SWECO, 2022f). Mesteparten av tunnelen er uten vannsikring. I en annen eksisterende tunnel, Langhelletunnelen, vest for tiltaksområdet, er det observert vannsikring i om lag 17% av tunnelens lengde (SWECO, 2022f).

5.2.3 Hydrologi og brønndata

Omtrent 300 m vest for sørlig del av transporttunnelen ligger Sandvikstjønna, omtrent på kote 310, se Figur 5-29. Høydeforskjellen til øvre del av transporttunnelen er omtrent 240 m. Dette vannet og området rundt er ikke vurdert som viktig natur ifølge økologisk grunnkart (Artsdatabanken, 2023). Omkring dette vannet er det flere mindre myrer, som i hovedsak ligger i Tjørndalen. Myrene er heller ikke registrert som viktig natur (Artsdatabanken, 2023).

Ved Langhelleneset er det registrert to fjellbrønner i GRANADA, brønnr. 101095 og 146152. Figur 5-26 viser plassering av disse. For brønnr. 101095 er hulldiameter 140 mm, brønnen er boret 105 m ned med en helning fra vertikalen på 15° (COWI, 2024b). Helningsretningen er ca. N105 (ØSØ). Det er registrert en vannføring på 30 l/time. Ved trykktest er vanninnslag registrert ved omtrent 78 m langs borehullet, tilsvarende omtrent 75 m ned. Brønnen er lokalisert midt i trase i transporttunnelen vest for snuplassen. Overdekning på stedet er omtrent 48 m. Denne brønnen vil komme i konflikt med tunneldrivingen, og vil gå tapt.
Brønnr. 146152 er boret nylig i forbindelse med å undersøke potensiale for drivevannsforsyning. Borhullet er boret i retning N135 med et fall på 45 grader. De første 29 m av borhullet ble det registrert lite vannføring. Etter dette ble det registrert en høy vannføring på 2400 l/min. Begge borehullene indikerer vanninnslag ved omtrent kote 0-3.



Figur 5-26: Grunnvannsbrønner ved Langhelleneset (NGU, 2023b), vist i blått.

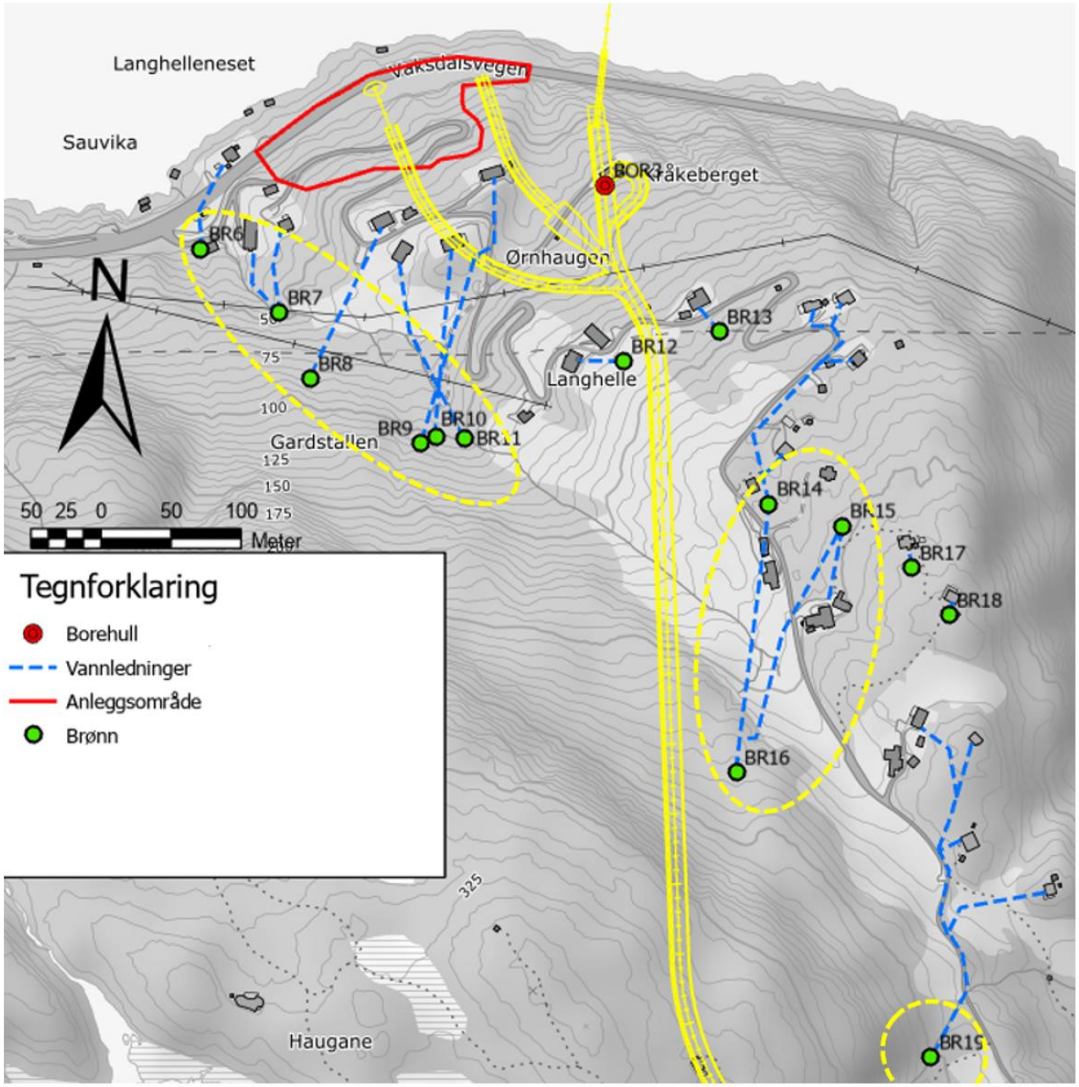
Under befaringer utført av COWI i august 2023 ble det også avdekket overvannsbrønner som ikke er registrert i GRANADA (COWI, 2024b). Det ble avdekket i hovedsak to typer brønner; en type brønn som er formet som en demning i bekkeløp, og en annen type brønn som er sprengt ned i berg uten å være tilknyttet en bekk. Figur 5-27 viser bilder av de typiske brønnene, tatt under befaringen (COWI, 2024b). Alle overflatenære brønner antas å være matet av overflatevann og

nedbørspåvirket, men det er usikkerheter knyttet til en av brønnene, som muligens har noe tilførsel av vann fra grunnvann.



Figur 5-27: Viser type brønn som er lokalisert på Langhelleneset. I bilde A er brønnen sprengt ned i berg i en bekk, ca. 1,4 m dyp. Brønnen i bilde B er sprengt ned i berg, og er ikke tilknyttet vannløp. Den har overbygg og er ca. 1 m dyp. Foto: COWI. Hentet fra FAS-01-A-00081 Oversikt og risikovurdering av private brønner og VA-anlegg (COWI, 2024b).

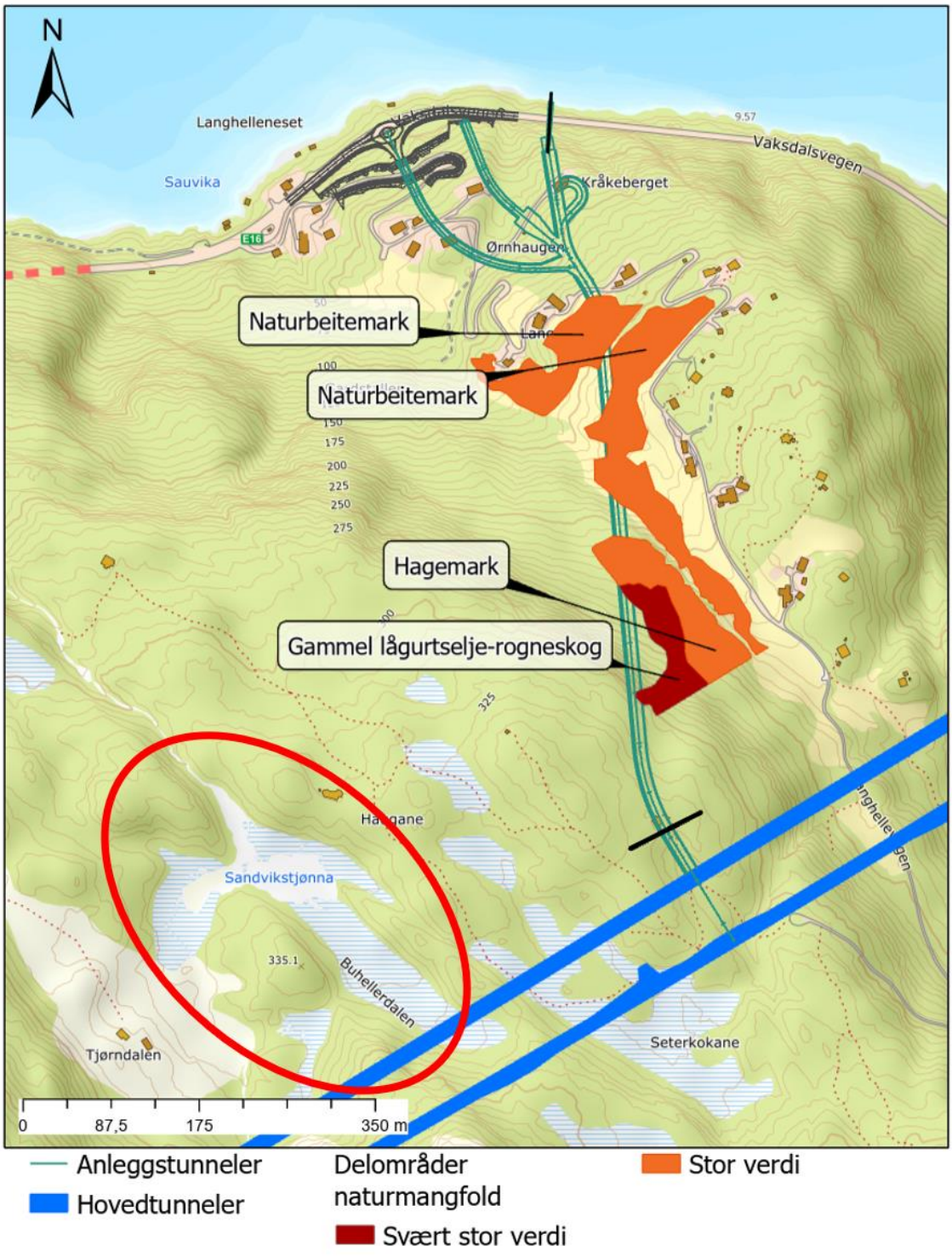
Plassering av brønnene er vist i Figur 5-28. For mer informasjon om brønnene vises det til FAS-01-A-00081 Oversikt og risikovurdering av private brønner og VA-anlegg (COWI, 2024b).



Figur 5-28: Utsnitt viser plassering av brønner og borehull. Alle brønner er overflatenære brønner, mens borehull er markert med rødt. Brønner markert med stiplet gul, er brønner som er lokalisert i/ får vann fra eksisterende bekkeløp, mens resterende brønner ligger i terreng uten tilknytning til bekk. Hentet fra FAS-01-A-00081 Oversikt og risikovurdering av private brønner og VA-anlegg (COWI, 2024b)**.**

5.2.4 Naturmangfold

COWI har kartlagt området ved Langhelleneset med hensyn til naturmangfold. Det er registrert tre områder med stor naturverdi, og ett område med svært stor verdi. Det er to naturbeitemarker med stor verdi, én hagemark med stor verdi, og én gammel lågurtselje-rogneskog med svært stor verdi. Det er ikke tidligere registrert natur med store verdier i forbindelse med Sandvikstjønna eller myrområdene i nærheten (Artsdatabanken, 2023). Figur 5-29 viser lokasjon av områdene. For mer detaljerte beskrivelser henvises det til FAS-01-A-00068 Fagrapport naturmangfold, supplerende kartlegging (COWI, 2023u). Delområde N8 består av gammel lågurt-seljeskog. Det nærliggende vannet, Sandvikstjønna, er markert med rød ellipse på Figur 5-29.

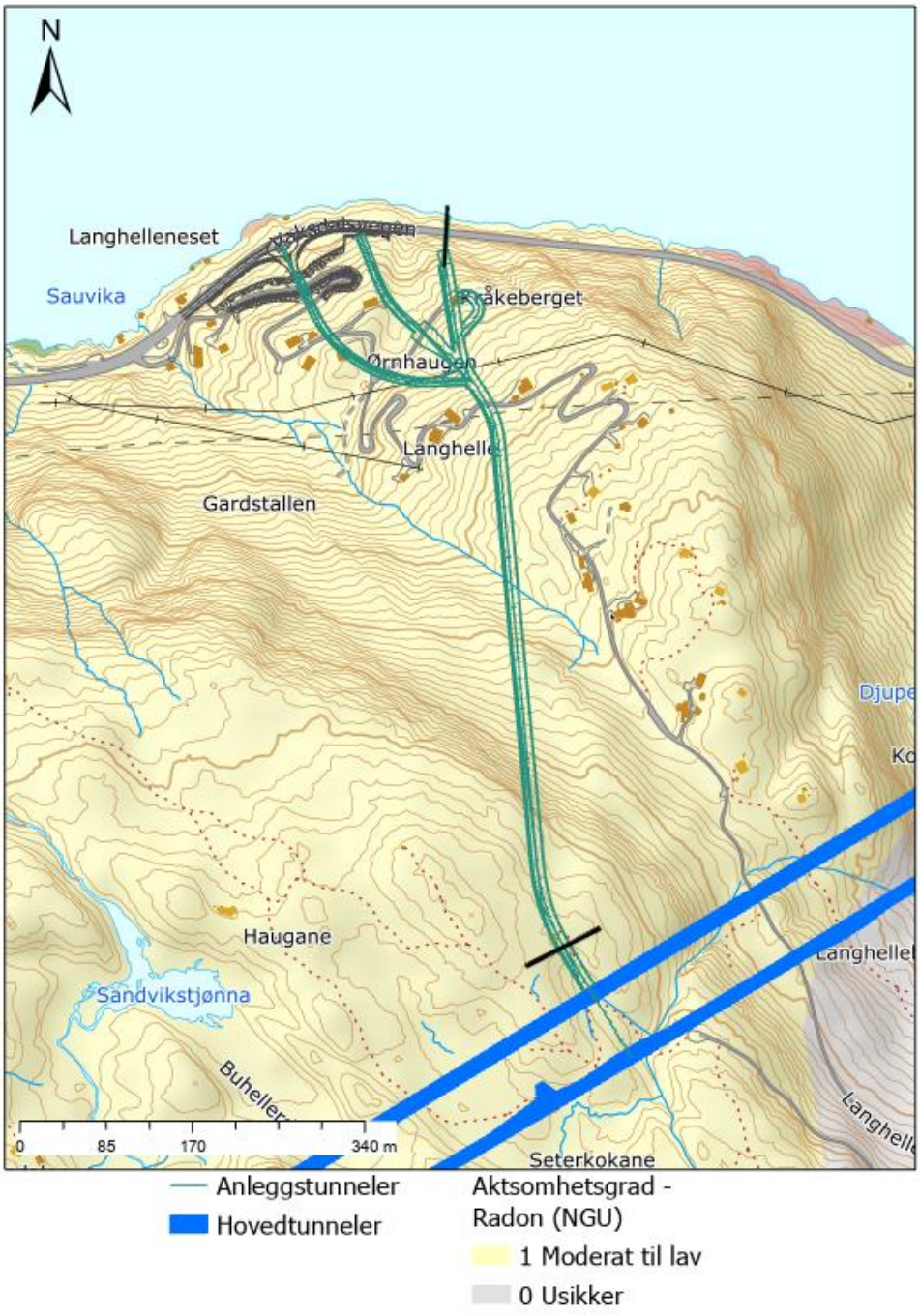


Figur 5-29: Viktige naturtyper ved Langhelleneset. Delområder for naturmangfold er hentet fra Fagrapport naturmangfold, supplerende kartlegging (COWI, 2023u). Område med Sandvikstjønna er markert med rød ellipse.

For hydrologiske og hydrogeologiske observasjoner i eksisterende tunneler vises det til kapittel 5.2.2.

5.2.5 Radon

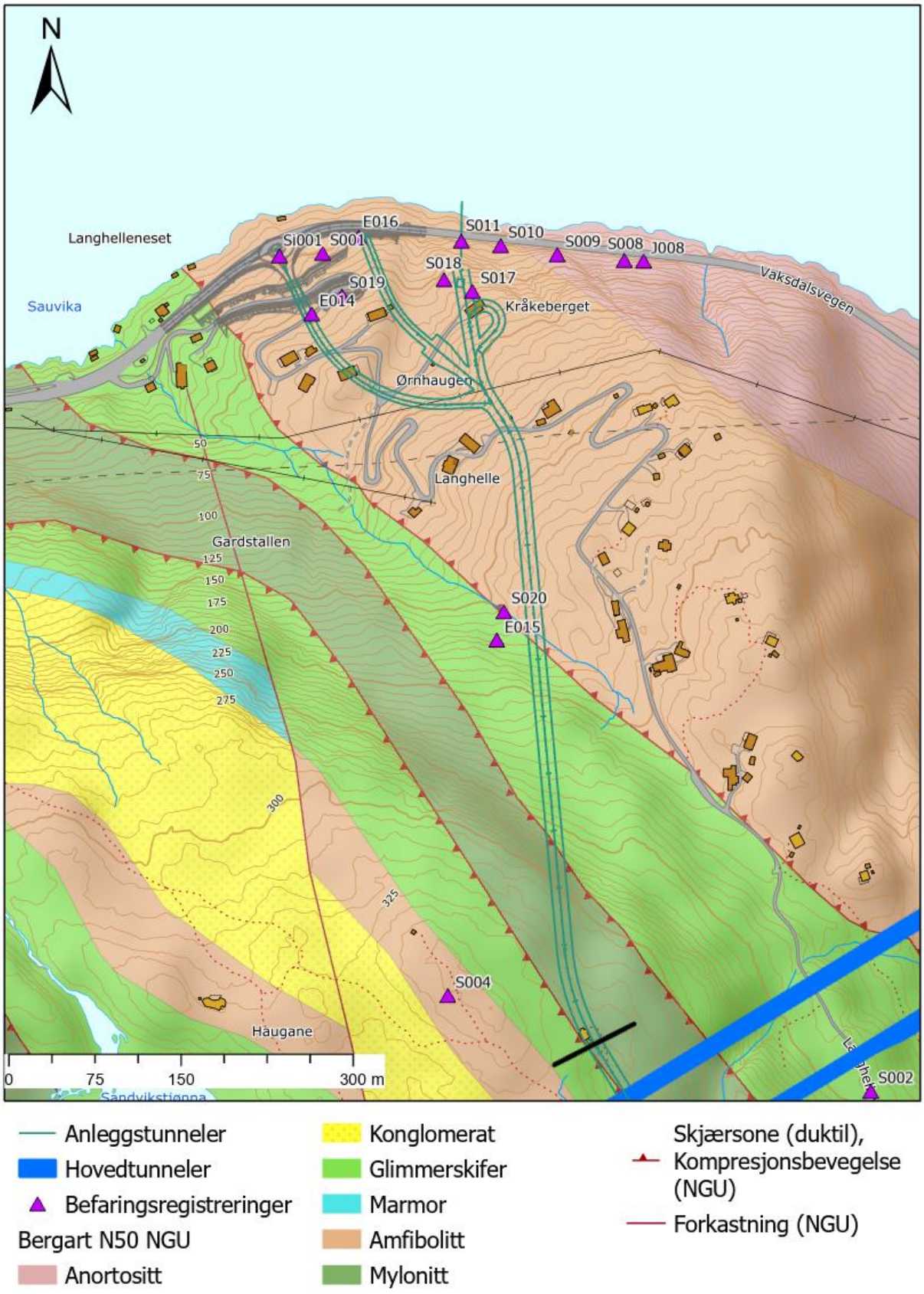
Ifølge NGUs aktsomhetskart for radon (NGU, 2024) er det moderat-lav aksomhetsgrad for Radon ved Langhelleneset, se Figur 5-30.



Figur 5-30: Aktsomhetskart for radon ved Langhelleneset (NGU, 2024).

5.2.6 Bergarter

Berggrunnen ved Langhelleneset består i hovedsak av vekslinger av amfibolitt, glimmerskifer, mylonitt og gneiser fra Hardangerfjorddekket. Disse ligger i forholdsvis smale soner orientert NV-SØ. Det er også forekomster av konglomerat, anortositt og marmor i området (NGU, 2023a). Glimmerskiferen beskrives videre som stedvis kalkspatholdig, klorittrik, sandig eller granatholdig. Amfibolitten beskrives som stedvis granatholdig, middelskorna med spor etter (palimpsest) subofittisk tekstur (NGU, 2023a). Berggrunnen i området er vist i Figur 5-31.

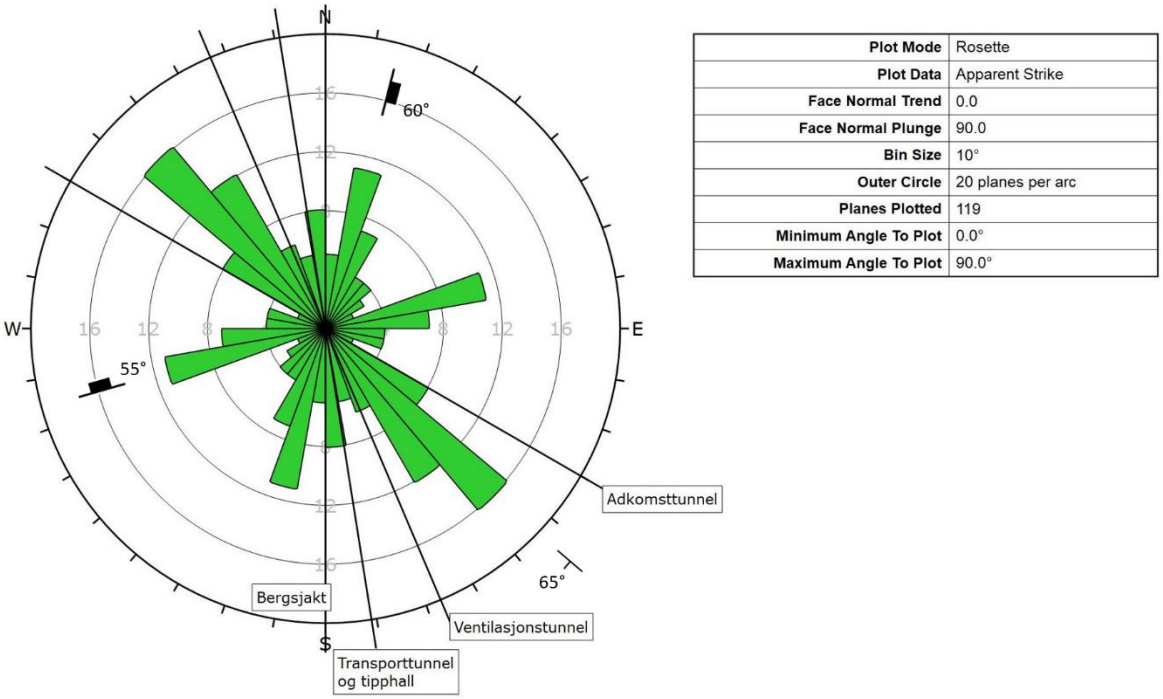


Figur 5-31: Berggrunnskart langhelleneset (NGU, 2023a). Svart strek markerer avslutning av driving for forberedende arbeider.

5.2.7 Strukturgeologiske forhold

5.2.7.1 Oppsprekking og foliasjon i området

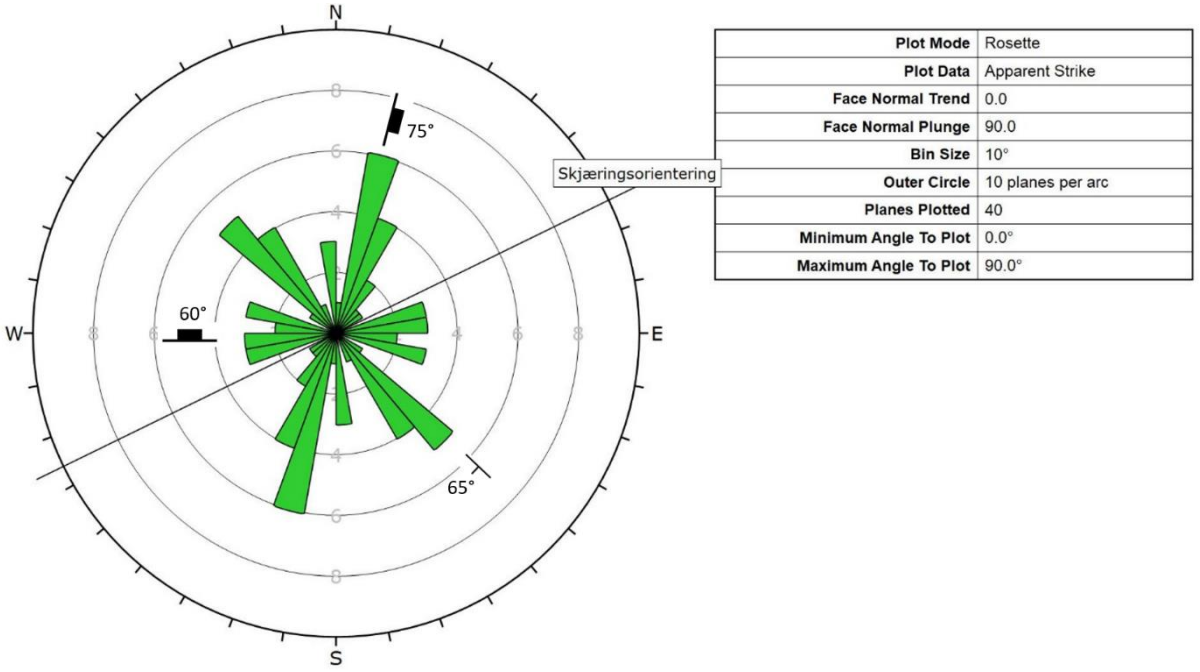
Strukturene ved Langhelleneset domineres av NV-SØ gående sprekker. Andre gjentakende strukturer stryker ØNØ-VSV og NNØ-SSV. Berggrunnens foliasjon er observert til å gå igjen over et stort område, orientert NV-SØ med fall mot SV på 50-70°. Sprekkerose fra registreringer ved Langhelleneset er vist i Figur 5-32. Sprekkeavstand er funnet til å variere fra 20 cm opp til 1 m. Registreringene stemmer generelt godt overens med det som er kartlagt i reguleringsplanfasen, se kapittel 4.1.2.



Figur 5-32: Sprekkerose fra registreringer i dagsonen ved Langhelleneset i tillegg til registreringer i eksisterende Hananipa banetunnel.

5.2.7.2 Rigg og påhuggsområde Langhelleneset

Skjæringen ved riggområdet er kartlagt ved befaringslokalitet S001. Sprekkerosen fra sprekkemålingene her er vist i Figur 5-33. Det legges til grunn en hovedorientering på skjæringen på N064.



Figur 5-33: Sprekkerose fra befaringslokalitet S001.

5.2.7.3 Oppsprekking ved sjaktområdet

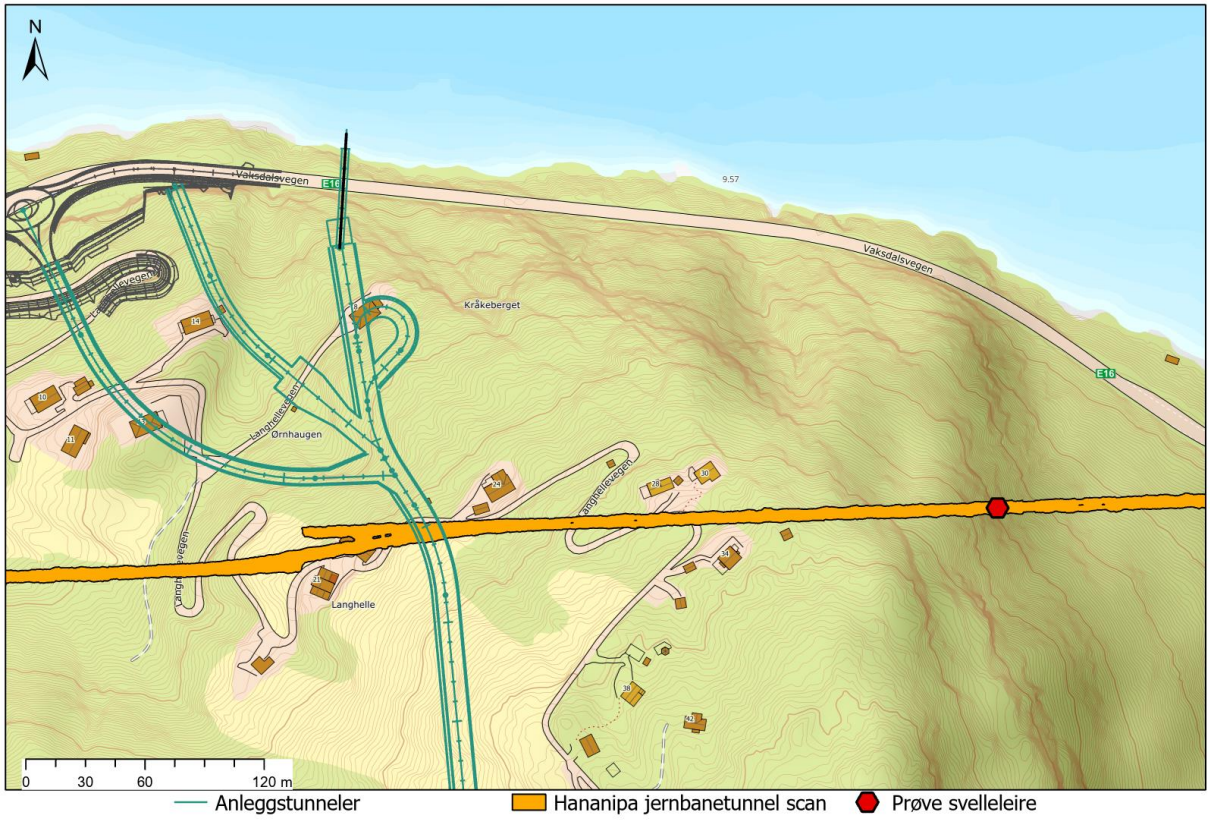
Tabell 5-6 viser sprekkesett registrert i befaringspunkter som ligger ved sjaktområdet (befaringslokalitet S001, Si004, S011, S010 og S009).

Tabell 5-6: Orientering til sprekkesett ved sjaktområdet Langhelleneset.

	Fall	Fallretning	Type
S1	66°	231°	Foliasjon
S2	72°	108°	Sprekk
S3	59°	357°	Sprekk

5.2.7.4 Svelleleire

Det er tatt en svelleprøve fra Hananipatunnelen km. 444,380. Dette er omtrent 330 m øst for kryssingen av prosjektert ny transporttunnel. Omtrentlig lokasjon er vist i Figur 5-34 Ifølge NGUs berggrunnskart er bergarten ved denne lokasjonen anortositt (NGU, 2023a). Denne prøven viste en fri svelling på 209% (meget høy) og et svelletrykk på 0,87 MPa (meget høyt) (SWECO, 2022c). Se også kapittel 7.3.11.2.



Figur 5-34: Lokasjon av svelleleireprøve tatt i Hananipa jernbanetunnel.

5.2.8 Bergspenninger

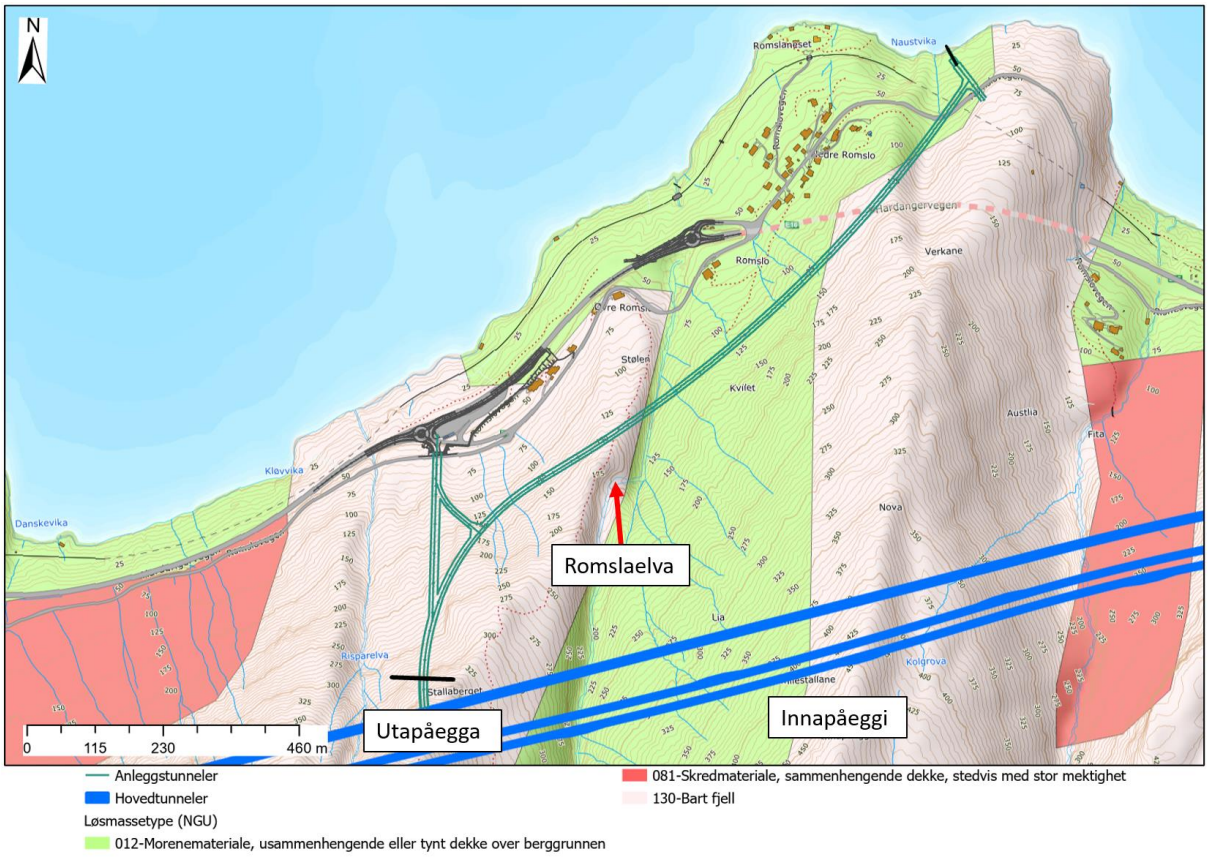
Det er ikke kjente eksisterende målinger eller utført bergspenningsmålinger i forbindelse med utarbeidelse av denne rapporten.

5.3 Romslo og Naustvika

5.3.1 Topografi og løsmasser

Terrenget ved Romslo og Naustvika stiger forholdsvis bratt opp fra sjøen. Tunneltraseen krysser to markerte fjellrygger med omtrentlig orientering NNØ. Den vestlige ryggen, Utapåegga, er todelt av elva Risparelva. Den østlige ryggen, Innapåeggi, splittes ut mot Naustvika helt øst ved tunneltraseen. Begge ryggene leder opp til Vossavardane (omtrent 790 moh). Romslaelva renner i søkket mellom Utapåegga og Innapåeggi, og krysser omtrent midt i tunneltraseen, se Figur 5-35. Snitt fra sjøen viser at terrenget stiger med omtrent 30° opp mot Utapåegga.

Løsmassekartet for Romslo og Naustvika viser i hovedsak bart berg og tynt morenemateriale (NGU, u.d.). Det er under befaring observert en del urmasser i terrengsøkket ytterst på Naustvika rett vest for tipphall. Figur 5-35 viser en oversikt over løsmassene i området.



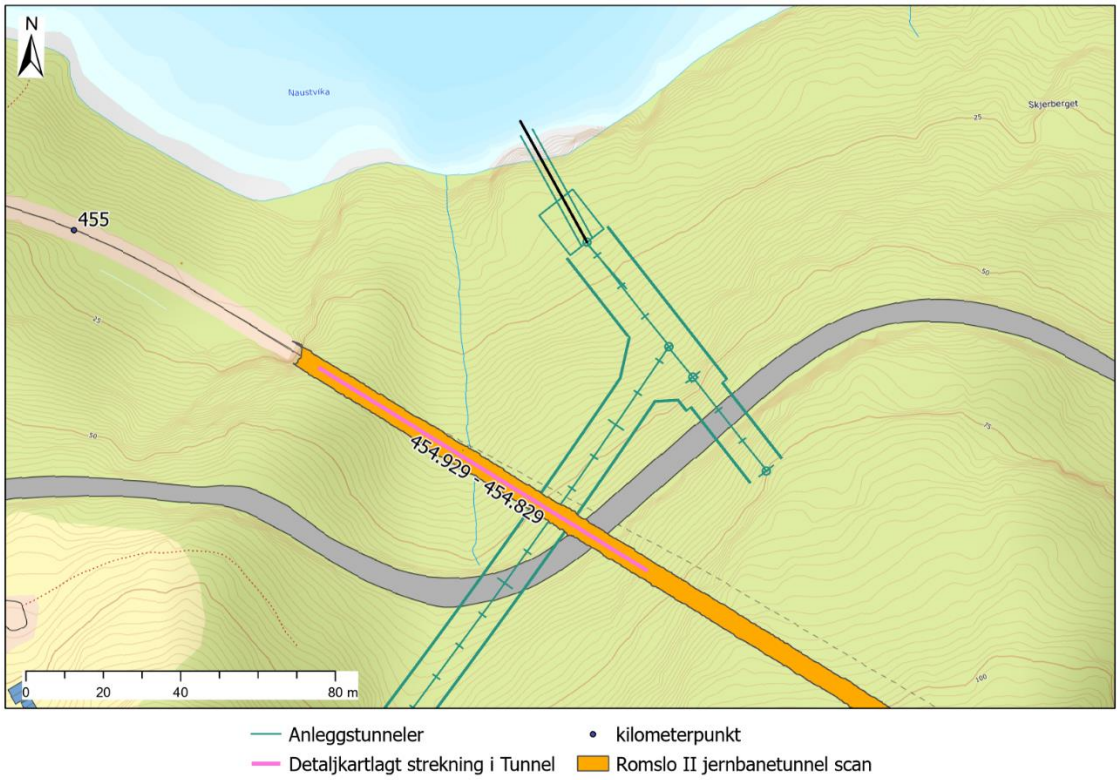
Figur 5-35: Oversikt over løsmassedekket ved Romslo og Naustvika (NGU, u.d.). Det presiseres at løsmassekartet fra NGU er beheftet med usikkerhet. Svart linje viser omtrentlig avslutning på driving i forberedende entreprise.

5.3.2 Eksisterende tunneler

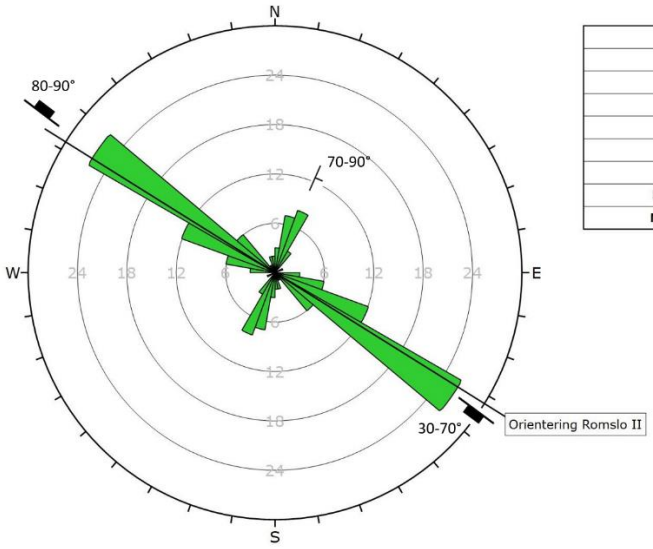
Banetunnelen Romslo II krysser over den planlagte anleggstunnelen, med en overdekning mellom heng i anleggstunnelen og sålen i Romslo II på rundt 9 m. Tunnelen ble befart av COWI mellom km. 454.829–454.929. Figur 5-36 viser omtrentlig plassering av kartlagt strekning. Denne er tilnærmet usikret, og

bergmassen er lite til moderat oppsprukket langs tre sprekkesett. Det ble kun observert få bolter i tunnelen. Sprekkerose fra kartleggingen er vist i Figur 5-37. Det er ikke observert sprekkefyll. Det var enkelte drypp i tunnelen, men den fremstod tørr. Det snødde på befaringsdagen.

Romslotunnelen langs eksisterende E16 er sikret mot vanninntrengning på 206 m av lengden på 605 m. Dette gir en andel av tunnelen som har vannsikring på 34%. Denne krysser omtrent 28 m over transporttunnelen.



Figur 5-36: Kartlagt strekning i Romslo II jernbanetunnel.



Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	30 planes per arc
Planes Plotted	81
Minimum Angle To Plot	0.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°

Figur 5-37: Sprekkerose fra kartlegging i Romslo II jernbanetunnel.

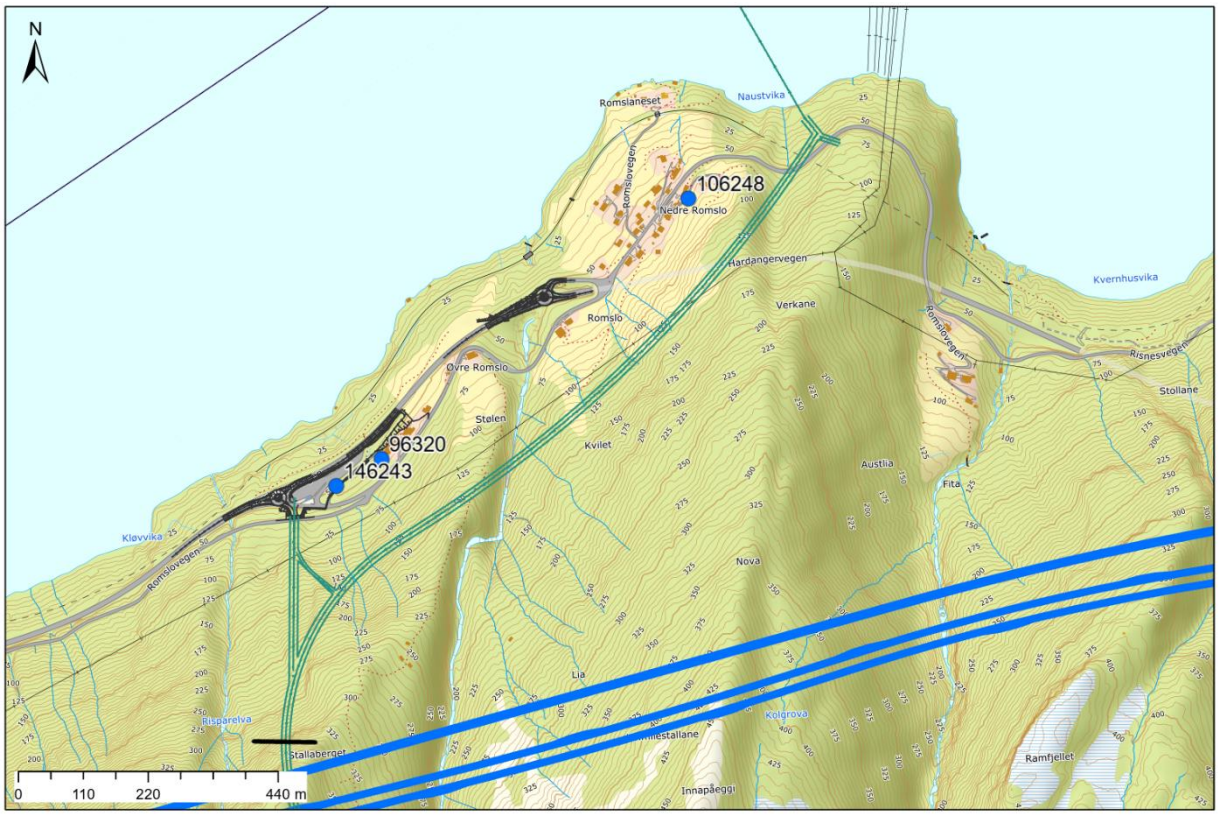
5.3.3 Hydrologi og brønndata

Ved tiltaksområdet renner Romslaelva og Risparelva, se Figur 5-35. Ellers er det ingen større vannforekomster i området.

Ved Romslo og Naustvika er det registrert fjellbrønner som vist i Tabell 5-7. Plassering av disse er vist i Figur 5-38 (COWI, 2024b).

Tabell 5-7: Overordnet informasjon om fjellbrønner på Romslo (NGU, 2023b). Retning er oppgitt i grader, og helning er grader fra horisontalen.

Brønn nr.	Retning/helning	Dybde [m]	Vannføring [l/t]	Kommentar
106248	N072/70	130	300	Vanninnslag i hovedsak etter 53 m
96320	N108/65	90	240	Vanninnslag i hovedsak etter 33 m
146243	N150/60	120	720	Vanninnslag etter 7 m



Figur 5-38: Grunnvannsbrønner vist med blå prikk ved Romslo og Naustvika (NGU, 2023b).

Brønn 146243 ble nylig drevet i forbindelse med undersøkelse av potensiale for drivevann.

Under befaringer utført av COWI i august 2023 ble det også avdekket overvannsbrønner som ikke er registrert i GRANADA (COWI, 2024b). Det ble

registrert fem overflatenære brønner. Disse er enten tilknyttet elver, og etablert som demning eller steinsatt i bekkeløp, eller etablert i løsmasser i nærheten av bekkeløp eller som bergbrønn uten bekketilknytning. Alle overflatenære brønner antas å være matet av overflatevann og ikke grunnvann. Plassering av brønner og borehull er vist i Figur 5-39.

Se FAS-01-A-00081 (COWI, 2024b) for videre informasjon.



Figur 5-39: Utsnitt fra Romslo viser omtrentlig plassering av grunnvannsborehull, markert med rødt, og overflatenære brønner, markert med grønn. Kartutsnitt hentet fra Novorender, og sør er opp i bildet. Figur hentet fra FAS-01-A-00081 (COWI, 2024b).

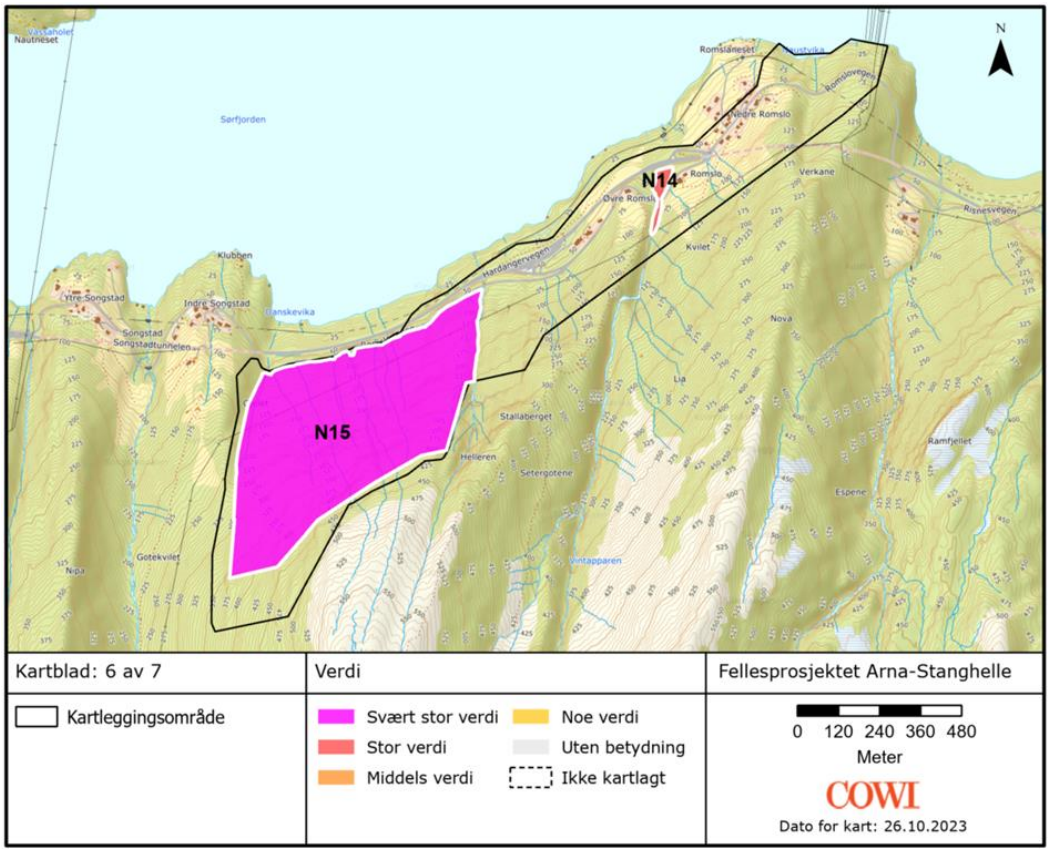
For hydrogeologiske observasjoner i eksisterende tunneler vises det til kapittel 5.3.2.

5.3.4 Naturmangfold

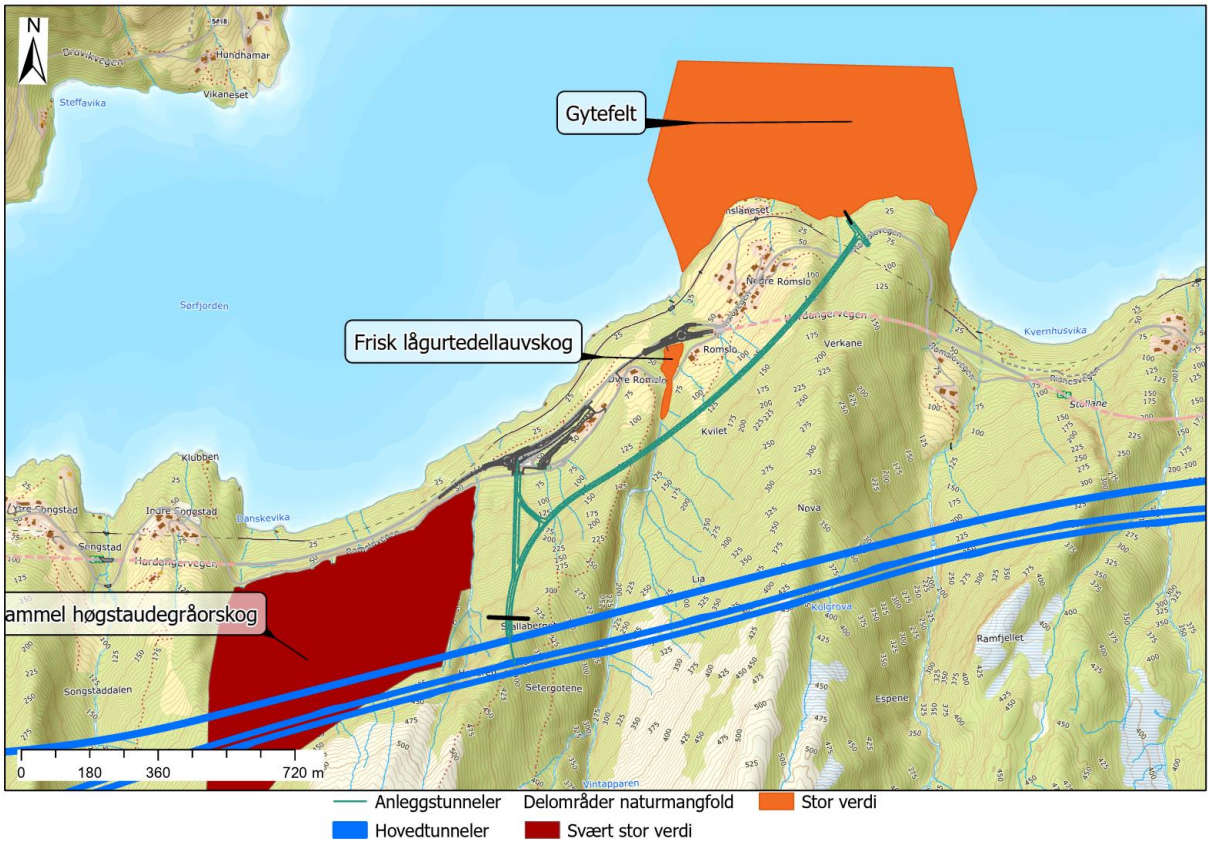
Det finnes Gråor-heggeskog i et område vest for Risparelva. Lokaliteten er ifølge "Økologisk grunnkart" registrert under naturtyper i DN Håndbok 13, og er vurdert til å ha viktig verdi (Artsdatabanken, 2023). Gråor-heggeskogen ligger over ytterkanten av den vestligste delen av anleggstunnelen. Skogen har flere små raviner. Gråor-heggeskogen ligger oppå et tykt dekke av løsmasser. Vest for den planlagte anleggstunnelen er det registrert naturtyper som bekkekløft og bergvegg. Disse er registrert under naturtyper i DN Håndbok 13. Ved supplerende naturtypekartlegging i 2023 ble det kartlagt gammel høgstaudegråorskog med svært stor verdi i området vest for Risparelva. Området er tidligere registrert som gråor-heggeskog med B-verdi (Artsdatabanken, 2023). Det ble også kartlagt frisk Lågurtedellauvskog med stor verdi langs nedre deler av Romslaelva. For nærmere beskrivelse av kartlegging utført av COWI henvises det til nedenstående kapittel og FAS-01-A-00068 Fagrapport naturmangfold, supplerende kartlegging (COWI, 2023u).

COWI har kartlagt området ved Romslo med hensyn til naturmangfold. Det er registrert ett område med stor naturverdi, og ett område med svært stor verdi. Figur 5-40 viser lokasjon av områdene. For mer detaljerte beskrivelser henvises det til FAS-01-A-00068 Fagrapport naturmangfold, supplerende kartlegging (COWI, 2023u). Delområde N15 består av gammel høgstaudegråorskog. Delområde N14

består av frisk lågurtedellavskog. Figur 5-41 viser kartlagte naturtyper og kommende tiltak ved Romslo.



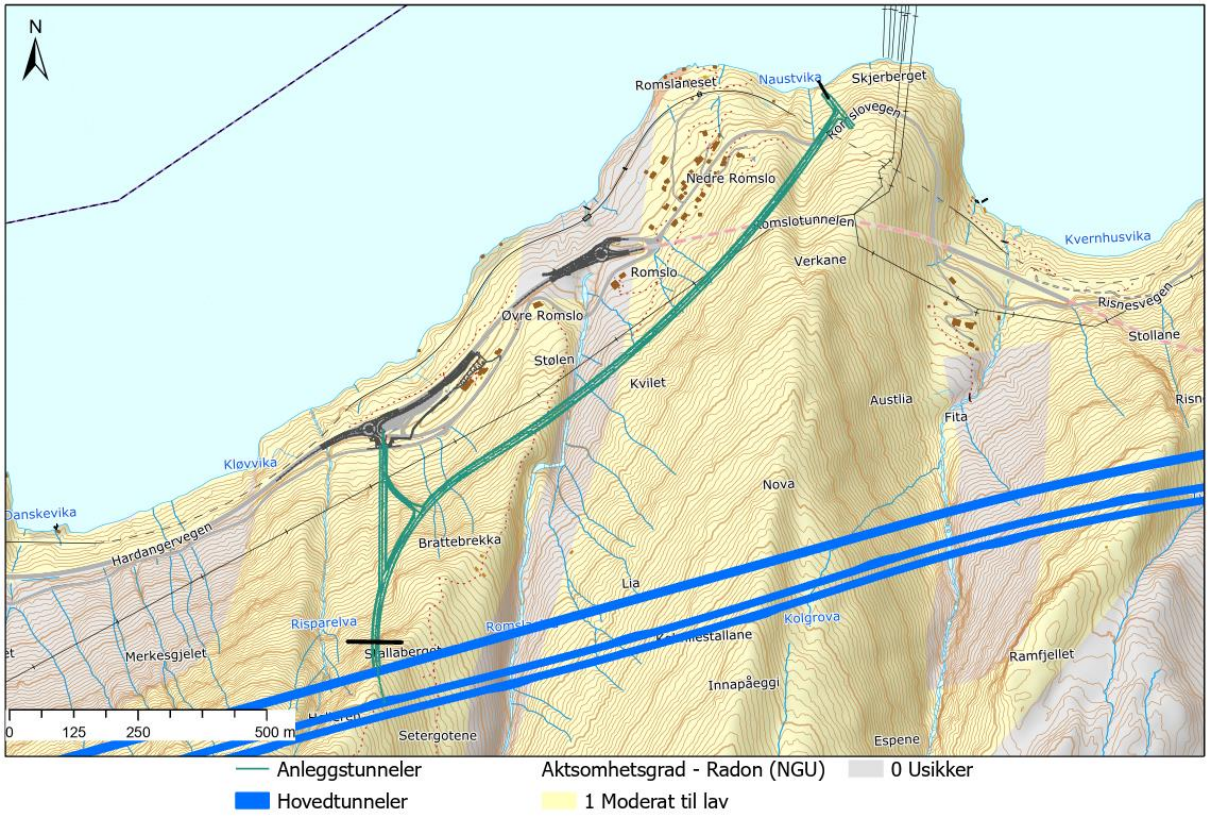
Figur 5-40: Viktige naturtyper ved Romslo. Hentet fra (COWI, 2023u).



Figur 5-41: Kartlagte naturtyper og kommende tiltak ved Romslo.

5.3.5 Radon

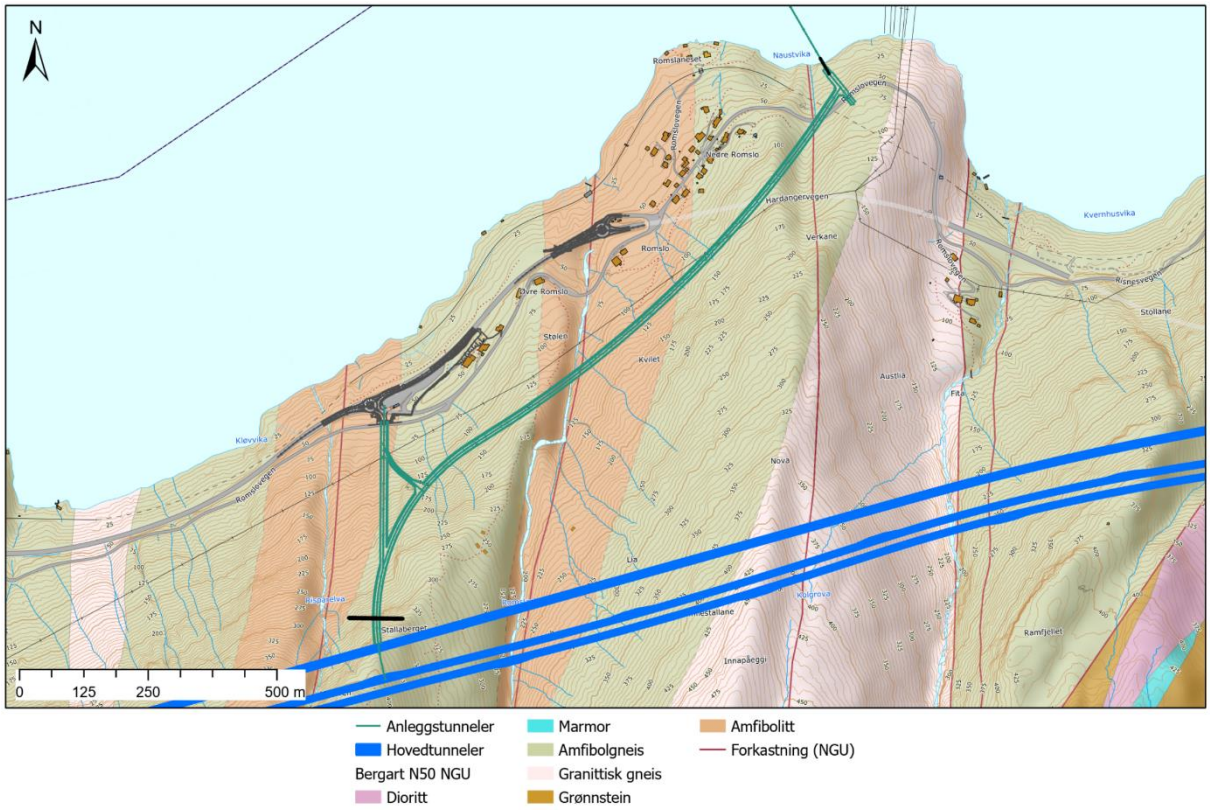
Ifølge NGUs aktsomhetskart for radon (NGU, 2024) er det moderat-lav, eller usikker aktsomhetsgrad for Radon ved Romslo, se Figur 5-42.



Figur 5-42: Aktsomhetskart for radon ved Romslo (NGU, 2024).

5.3.6 Bergarter

Berggrunnen ved anleggstunnelene ved Romslo og Naustvika består av vekslinger av gneis-amfibolgneis og amfibolitt fra Lindåsdekket. Lindåsdekket er omdannet grunnfjell fra Prekambrium, som inngår i Bergensbuene (NGU, 2023a). Gneis-amfibolgneisen beskrives videre som mest grønn biotitt-kloritt-epidot amfiolgneis med rød feltspat, kvartsdiorittisk til amfibolittisk, noen steder granittisk til monzogranittisk-syenittisk gneis, trolig omdannet charnockitt. Berggrunnen i området er vist i Figur 5-43.

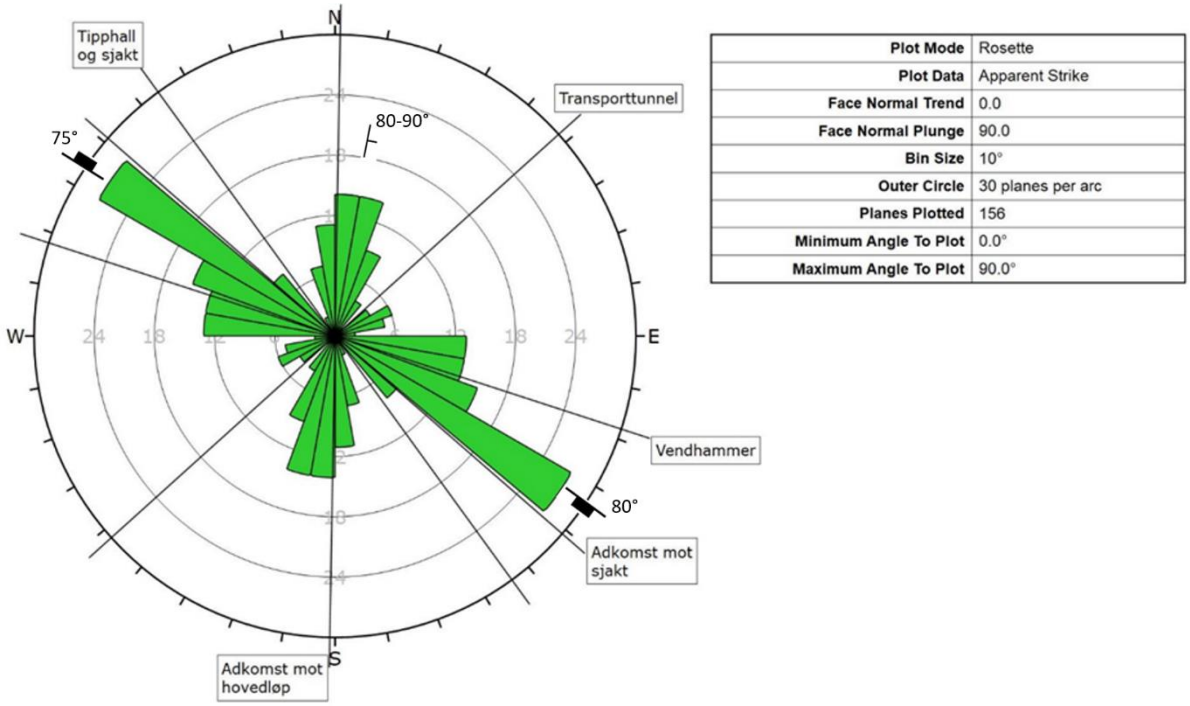


Figur 5-43: Berggrunnsgeologien ved Romslo/Naustvika. Svart linje viser omtrentlig avslutning på driving i forberedende entreprise.

5.3.7 Strukturgeologiske forhold

5.3.7.1 Oppsprekking og foliasjon

Registrert oppsprekking i området har i hovedsak utstrekning NNØ-SSV og NV-SØ. Sprekkesettet NNØ-SSV faller steilt mot øst, og sammenfaller med foliasjonen i området. Registreringene som stryker NV-SØ faller også relativt steilt, med retning mot både Ø og V. Det er også registrert sub-horisontale sprekker med varierende orientering. Sammenslått sprekkerose fra lokalitetene i dagen langs traseen til prosjektert anleggstunnel og Romslo II er vist i Figur 5-44.



Figur 5-44: Sprekkerose fra eksisterende Romslo II banetunnel og registreringer i dagen langs trase for anleggstunnel. Omtrentlig orientering til tunneler og sjakter er vist.

5.3.7.2 Rigg og påhuggsområde Romslo

Det er befart to eksisterende vegskjæringer over påhugget for adkomsttunnelen, langs Romslovegen (befaringslokalitet E007) og ved kontrollstasjonen (befaringslokalitet Si002), se Figur 5-45. Det ble registrert tre sprekkesett i området, se Tabell 5-8.

Tabell 5-8: Sprekkesett registrert ved riggområdet på Romslo.

	Fall	Fallretning
S1	81	183
S2	88	080
S3	52	355



Figur 5-45: Eksisterende skjæring ved planlagt riggområde. Her er det ikke observert sikring og løsmassedekket er tynt. Bildet er tatt mot sørøst.

5.3.7.3 Oppsprekking ved sjaktområdet

De tre sprekkesettene som er observert ved sjaktområdet i Naustvika er gitt i Tabell 5-9.

Tabell 5-9: Gjennomsnittlig orientering av sprekkesett registrert ved Naustvika.

	Fall	Fallretning	Type
S1	88°	203°	Sprekk
S2	79°	098°	Foliasjon
S3	35°	223°	Sprekk

5.3.7.4 Svelleleire

Det er i forbindelse med reguleringsplanarbeidet tatt en svelleprøve fra banetunnelen Songstadtunnel I, Pr. 456.186. Dette er omtrent 250 m unna trase for prosjektert anleggstunnel. Prøven viste en fri svelling på 101% (middels) og et svelletrykk på 0,04 MPa (lav) (SWECO, 2022e).

5.3.8 Bergspenninger

Det er ikke utført bergspenningsmålinger i området ved Romslo og Naustvika i forbindelse med utarbeidelse av denne rapporten.

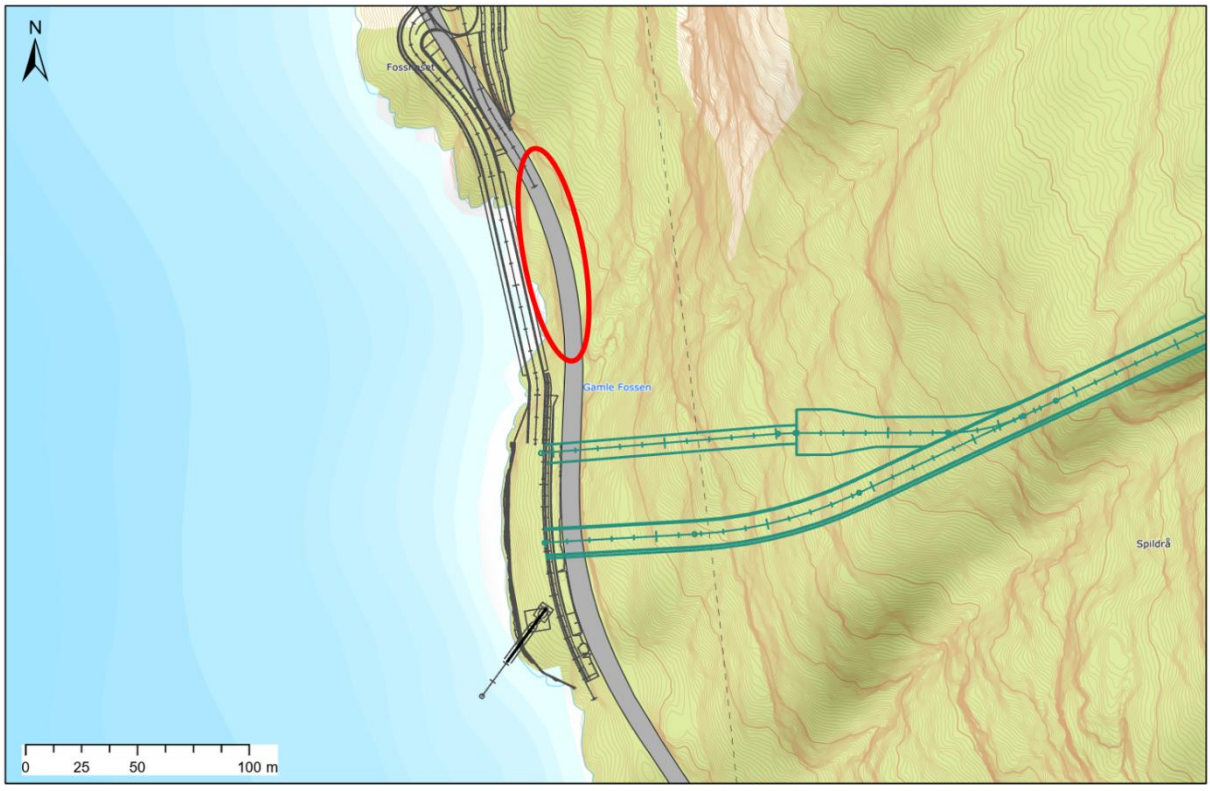
6 OMGIVELSER

I dette kapittelet gis en kort oppsummering av noen viktige omgivelser i nærheten av tiltakene som beskrevet i denne rapporten. Disse omgivelsene må tas hensyn til under anleggsarbeidet. COWI har utarbeidet en egen ytre miljø-plan for forberedende arbeider veg og tunnel, se FAS-01-Q-00005 (COWI, 2024w) Det må bemerkes at omgivelseselementene nevnt i kommende underkapitler ikke er uttømmende.

Brønner og naturmangfold er omtalt i kapittel 5.

6.1 Fossneset og Gamle Fossen

Fossneset og riggområdet ved Gamle Fossen ligger ikke i nærheten av noen bygninger, men det skal utføres sprengningsarbeid svært tett inn mot eksisterende E16. I området er stedvis E16 underbygd av mur, vist med rød ellipse i Figur 6-1. Dette må hensyntas under sprengningsarbeidet.



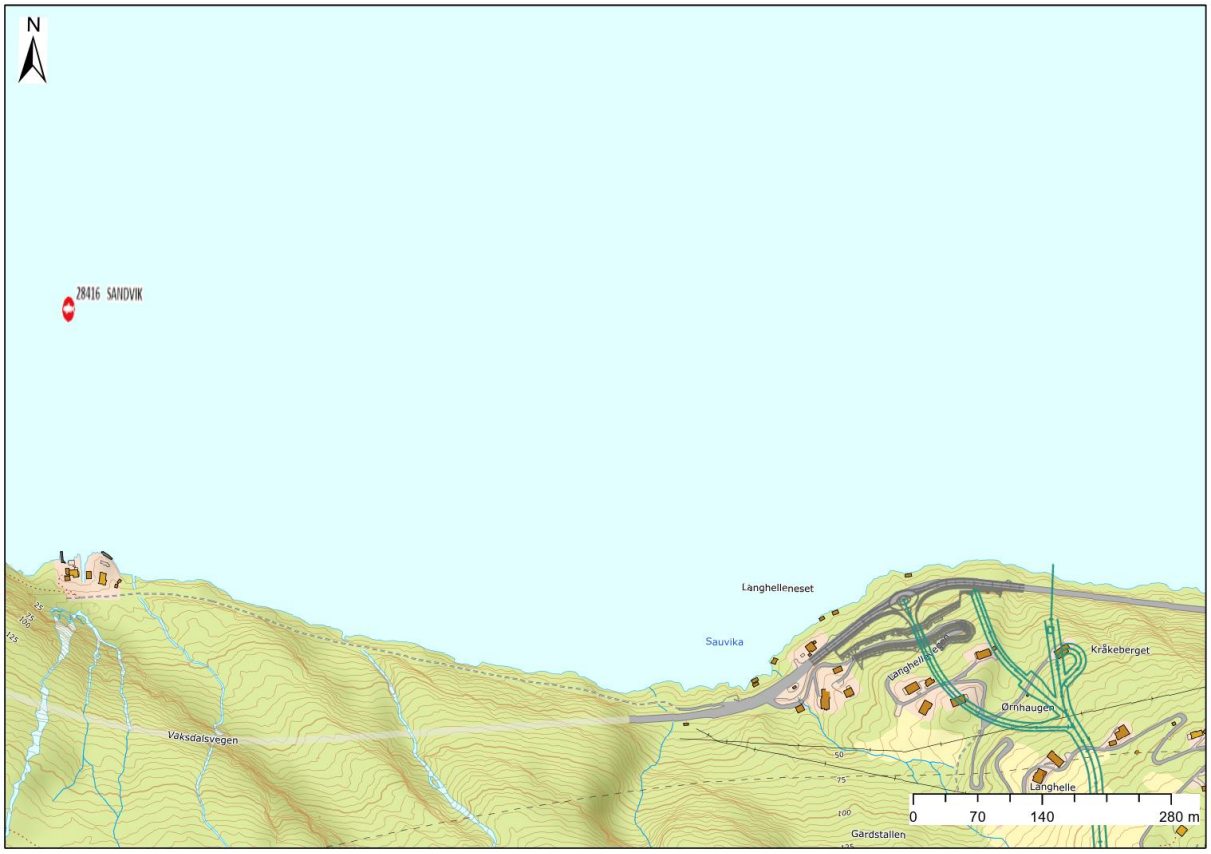
Figur 6-1: Riggområdet ved Gamle Fossen tett inntil eksisterende E16, som stedvis er underbygget med mur ut mot fjorden.

Deler av Sørfjorden nord for Vaksdal, som går vest for kommende anleggstunneler, inngår som en nasjonal laksefjord. Dette bør hensyntas ved deponering av masser i fjorden. Det henvises til (COWI, 2024w). Det er ifølge miljøstatus kart ingen verneområder i fjorden i nærheten av anleggstunnelene (Miljødirektoratet, 2024).

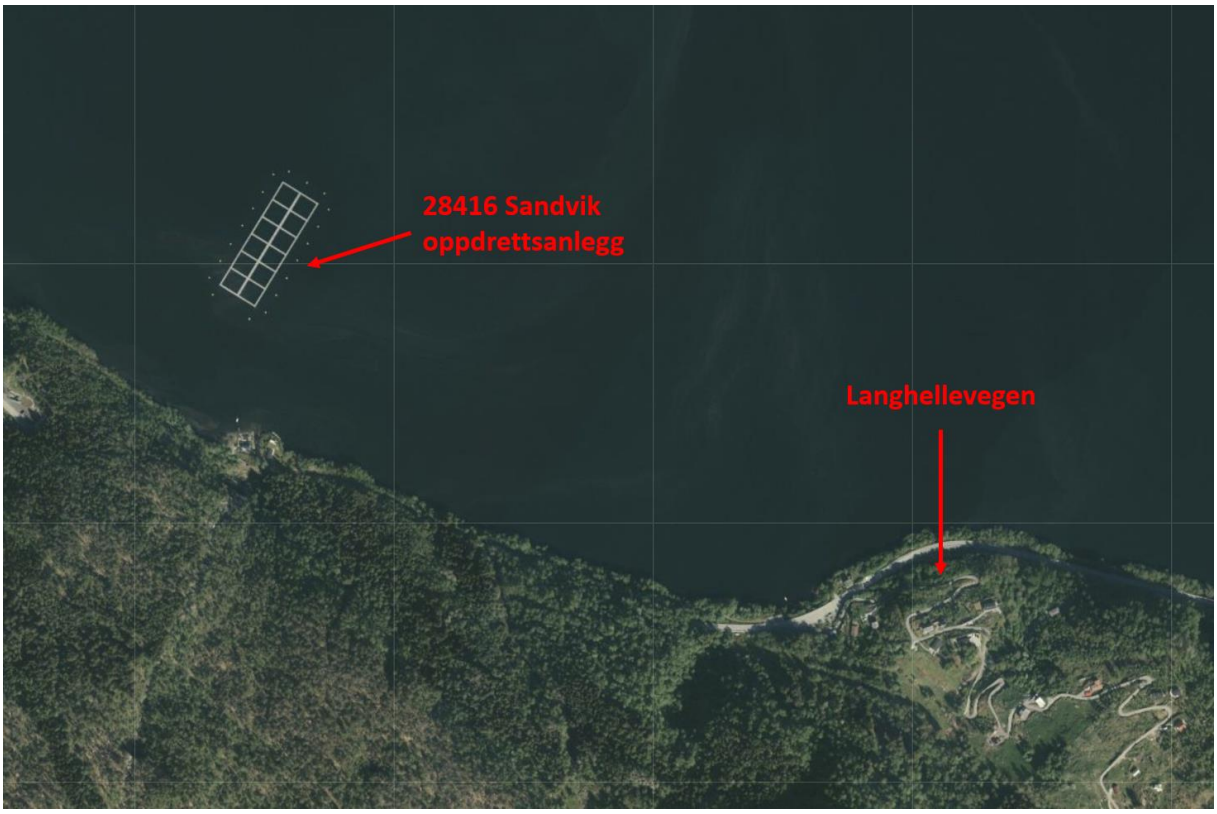
6.2 Langhelleneset

Riggområdet og nordlige deler av anleggstunnelene på Langhelleneset ligger i nærhet til boligbygninger. Blant disse er det noen SEFRAK-bygg, det henvises til FAS-01-A-00057 vurdering av grenseverdi for vibrasjoner (COWI, 2024a). Omtrent 950 m NV for riggområdet ligger oppdrettsanlegget Sandvik tilhørende Lerøy ifølge

miljøstatus kart (Miljødirektoratet, 2024). Lokasjon er markert med rødt fiskesymbol på Figur 6-2. Relativ størrelse på anlegget er indikert i Figur 6-3. Dette må hensyntas ved deponering av masser i fjorden. Det er ifølge miljøstatus kart ingen verneområder i fjorden i nærheten av anleggstunnelene.



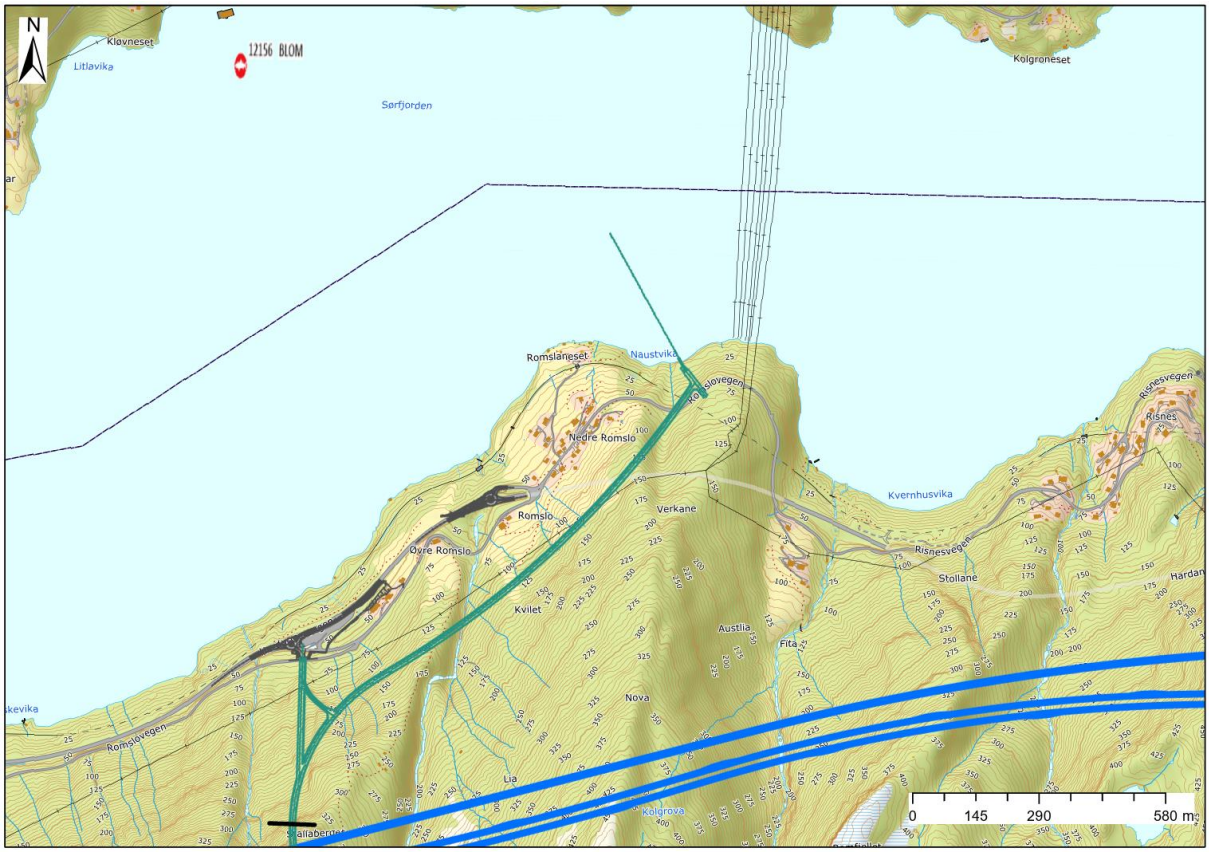
Figur 6-2: Lokasjon av fiskeoppdrettsanlegget Sandvik i forhold til riggområdet på Langhelleneset.



Figur 6-3: Relativ størrelse på oppdrettsanlegget NV for Langhelleneset. Utklipp hentet fra Norge-i-bilder (Norge-i-bilder, 2024). Nord er opp i figuren.

6.3 Romslo

Riggområdet på Romslo, samt utstrekning av anleggstunnelene, går i områder med bebyggelse. Blant disse er det SEFRAK-bygninger og enkeltminner, se FAS-01-A-00057 Vurdering av grenseverdi for vibrasjon for vibrasjoner (COWI, 2024a). Ut mot Osterøy ligger også fiskeoppdrettsanlegget Blom, tilhørende Sjøtroll Havbruk, ifølge miljøstatus kart (Miljødirektoratet, 2024). Dette anlegget ligger omtrent 1300 m nord for riggområdet på Romslo, og er markert med rødt symbol på Figur 6-4. Anlegget er omtrent like stort som det vist i Figur 6-3. Det er ifølge miljøstatus kart ingen verneområder i fjorden i nærheten av anleggstunnelene.



Figur 6-4: Lokasjon av fiskeoppdrettsanlegget Blom i forhold til tiltakene på Romslo.

TOLKNINGSDEL

De etterfølgende kapitlene inneholder tolkninger av utførte undersøkelser og antatte forhold langs og i nærheten til anleggstunnelene knyttet opp til driving, bergsikring, stabilitet, injeksjon og bergmassens egnethet til gjenbruksformål.

Det forutsettes at entreprenøren gjør egne tolkninger og vurderinger ut fra rapportens innhold, og basert på egne erfaringer.

7 INGENIØRGEOLOGISKE VURDERINGER

7.1 Generelle tolkninger

7.1.1 Tolkning av svakhetssoner

Svakhetssoner er tolket ut fra observasjoner under befaring og fremtredende lineamenter fra skyggerelief etablert fra høydedata (Kartverket, 2023). Svakhetssonene som krysser med tunneltraseene, er tolket som små og middels store svakhetssoner. Geometrien til disse er tolket fra observasjoner fra befaring som foliasjon i bergmassen samt tilgjengelig strukturgeologiske data fra NGU (NGU, 2023a). Små svakhetssoner er tolket til å ha en mektighet på < 5 m, og middels svakhetssoner er tolket til å ha en mektighet på 5-10 m.

Det presiseres at det knyttes stor usikkerhet til bergartenes og tolkede svakhetssoners forløp mot dypet, samt antall svakhetssoner som faktisk påtreffes. Tolkningen av disse kan sees i FAS-01-A-00080 E1 Notat geologisk modell (COWI, 2024n), men avvik i plassering av bergartsgrenser og svakhetssoners forløp må påregnes. Mektigheten til svakhetssonene og deres påvirkning på bergmassen mot dypet som kommende tunneler skal gå i, er generelt noe som er beheftet med usikkerhet.

7.1.2 Usikkerheter knyttet til geofysiske resultater og tolkninger

Georadar har usikkerhet tilknyttet posisjonsdata, grunnet topografi og vegetasjon. Det er også usikkerhet forbundet med beregning av radarbølgehastighet, og tolkning av laggrenser ved bratte lag i grunnen.

I de tilfeller hvor usikkerheten i tolkningene har resultert i store avvik i linjekrysninger og umuliggjort triangulering av flater, er enkeltpunkter fjernet rundt krysningspunktet. Her er de lavest liggende punktene bevart.

På grunn av store topografivariasjoner og 3D-effekter (offset fra målt topp berg grunnet måling i bratt terreng) er det også knyttet usikkerhet til de refraksjonsseismiske undersøkelsene. For å minimere usikkerhetene er tolkningene kontrollert ved linjekrysninger.

For flere detaljer, se geofysisk tolkningsrapport (COWI, 2024f).

7.1.3 Prognose for bergsikring

Anleggstunnelene skal ikke inngå i det offentlige vegnettet. Det er derfor valgt å dimensjonere sikringen basert på Q- systemet, noe som medfører en reduksjon i sikringsomfang sammenlignet med N500 (Statens Vegvesen, 2022b).

Angitt permanent bergsikring i tunnel i Tabell 7-3, Tabell 7-4, Tabell 7-5, Tabell 7-6 og Tabell 7-7 er basert på sikringsdiagram for Q-systemet (NGI, 2022) hvor ESR (Excavation Support Ratio) for hovedandeler av tunnelene er satt til 1,3. Unntak fra dette gjelder påhuggsområder, kryssing av eksisterende tunneler og i tunnelkryss. Her er ESR satt til 1,0. Grensen for når ESR=1,0 settes i utgangspunktet som vist i listen under. Grensene kan justeres i samråd med byggherre etter stedlige forhold og erfaringer opparbeidet under driving.

- Fra tunnelpåhugg og inntil overdekning er større enn 1 tunneldiameter

- 1 tunneldiameter i horisontalavstand fra kryssing under eksisterende jernbanetunnel
- 5 meter fra interne tunnelkryss med bredeste spenn opp til 21 m.
    - Ved bredere spenn dimensjoneres sikring spesielt, med bakgrunn i Q-systemet.

For veggsikring er vegghøyde brukt istedenfor spennvidde for å dimensjonere bergsikring med Q-systemet.

Forbolter i tunnel regnes ikke som en del av permanent sikring og inngår ikke i sikringstabellene. Det forventes reduksjon av salvelengde og forbolting/spiling i klasse E2 og F. Kortere salvelengder og forbolting vil også bli aktuelt i E1 for eksempel ved kryssing av eksisterende jernbanetunneler eller veger.

Tabell 7-1 angir veiledende boltelengder. Det påpekes at det i kryssområder med store spenn kan bli behov for enda lengre bolter. Det må regnes med behov for forbolter fra sikringsklasse E og dårligere, samt ved påhuggsområder. Boltelengder ved pilarer og hjørner må tilpasses i hvert enkelt tilfelle. Det legges til at sikringstabellene ikke er ment for komplekse tunnelkryss eller tunnelkryss hvor bredeste spenn overstiger 21 m. I disse tilfeller fastsettes sikring spesielt av byggherre i samråd med entreprenør, på bakgrunn av Q-systemet.

For sikringsbolter i tunnel benyttes kombinasjonsbolter Ø20 mm ved boltelengder opp til og med 4 m. Ved boltelengder på 5 m eller lengere benyttes kombinasjonsbolter Ø25 mm. Forbolter som benyttes i tunnel er som regel gyste Ø32 mm kamstålbolter.

Tabell 7-1: Veiledende boltelengder, basert på Håndbok om bergbolting (NFF, 2020). I forbindelse med påhugg/kryssområder er det tatt høyde for behov for lengre bolter.

Tunnelspenn	Boltelengde heng [m]	Boltelengde vederlag og vegg [m]
Opptil 9 m (ESR =1,3)	3	2,4
Opptil 9 m (ESR=1)	4 - 5	2,4 - 3
Opptil 14 m (ESR=1,3)	4	3
Opptil 14 m (ESR=1)	4 - 5	3 - 4
Opptil 21 m (ESR=1)	5 - 6	4 - 5

Energiabsorbsjonsklasser for fibertilsetning til sprøytebetong for de ulike tunnelspenn og bergmasseklasser er gitt i Tabell 7-2.

Tabell 7-2: Anvisning for hvilken energiabsorbsjonsklasse som skal benyttes for sprøytebetong i tunnel.

Tunnelspenn	Bergmasseklasse	Energiabsorbsjonsklasse
Opptil 9 m	A-E2	E700
	F	E1000
Opptil 21 m	A-E1	E700
	E2-F	E1000

For tunnelspenn opptil 14 m kan sprøytebetong i klasse C avsluttes ned til 2 m over kjørebane i for de aktuelle sikringstabellene. Dette er presisert med * under aktuelle tabeller. Avslutning av sprøytebetong i vegg fra bergmasseklasse D og dårligere vurderes ut fra stedlige forhold.

Foruten endringer beskrevet i dette kapittelet samt endringer i sikringsomfang gjelder de sikringsforutsetninger og utførelser som de beskrevet i N500 (Statens Vegvesen, 2022b) og V521 (Statens Vegvesen, 2023).

Selv om anleggsperioden har en forventet varighet på omkring 10 år anbefales det at sikringsbolter varmforsinkes og pulverlakkeres slik at de er godkjent som permanent sikring i henhold til R761 (Statens Vegvesen, 2018a). Bakgrunnen for dette er at hovedløp enda ikke er ferdig prosjektert og at fremtidig bruk av anleggstunnelene ikke kan utelukkes helt per nå.

Av praktiske årsaker er det angitt lik sprøytebetongtykkelse i heng og vegg der hvor det sprøytes i hele profilet. I henhold til Q-systemet (NGI, 2022) kan sprøytebetongtykkelsene i vegg reduseres noe. Sprøytebetongtykkelse i vegg kan reduseres etter avtale med byggherre.

I deler av tunnelsystemene hvor det ikke skal henge ventiliasjonsduk under driving av hovedtunnelen, kan ingeniørgeolog vurdere om sprøyting i heng i bergmasseklasse A er nødvendig.

Tabell 7-3: Permanent sikring for ulike bergmasseklasser, spenn opp til 9 m og vegghøyde opp til 6 m. (ESR =1,3).

Bergmasseklasse		Q-verdi	Bolter		Sprøytebetong		Tung bergsikring
			Heng	Vegg	Heng	Vegg	
A	Svært god	> 40	spredt	spredt	60 mm	-	
B	God	40 – 10	c/c 2,5 m	spredt	60 mm	-	
C	Middels	10 – 4	c/c 2,2 m	c/c 2,2 m	60 mm	-	
D	Dårlig	4 - 1	c/c 1,75 m	c/c 2,0 m	80 mm	80 mm	
E1	Svært dårlig	1 - 0,3	c/c 1,5 m	c/c 1,5 m	100 mm	100 mm	
E2	Svært dårlig	0,3 - 0,1	c/c 1,3-1,5 m	c/c 1,3-1,5 m	140 mm	140 mm	Armerte sprøytebetongbuer. Buedimensjon E30/6 ø20 mm, c/c buer 3 – 4 m, ev gitterbuer. Buene boltes systematisk, c/c bolt 1,5 m, boltelengde 3 – 4 m Sålestøp vurderes
F	Det henvises til Tabell 7-4, klasse F, da det anbefales ESR=1 når Q≤0,1 i henhold til Bruk av Q-systemet (NGI, 2022).						
G	Eksepsjonelt dårlig	< 0,01	Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt.				

Tabell 7-4: Permanent sikring for ulike bergmasseklasser, for portaler, kryssing av eksisterende tunneler og tunnelkryss ved spenn opp til 9 m og vegghøyde opp til 6 m. (ESR =1,0).

Bergmasseklasse		Q-verdi	Bolter		Sprøytebetong		Tung bergsikring
			Heng	Vegg	Heng	Vegg	
A	Svært god	> 40	spredt	spredt	60 mm	-	
B	God	40 – 10	c/c 2,5 m	spredt	60 mm	-	
C	Middels	10 – 4	c/c 2,2 m	c/c 2,2 m	60 mm	-*	
D	Dårlig	4 - 1	c/c 1,75 m	c/c 2,0 m	90 mm	90 mm	
E1	Svært dårlig	1 - 0,3	c/c 1,5 m	c/c 1,5 m	120 mm	120 mm	
E2	Svært dårlig	0,3 - 0,1	c/c 1,3-1,5 m	c/c 1,3-1,5 m	140 mm	140 mm	Armerte sprøytebetongbuer. Buedimensjon E30/6 ø20 mm, c/c buer 3 – 4 m, ev gitterbuer. Buene boltes systematisk, c/c bolt 1,5 m, boltelengde 3 – 4 m Sålestøp vurderes
F	Ekstremt dårlig	0,1 – 0,01	c/c 1,0-1,5 m	c/c 1,0-1,5 m	240 mm	240 mm	Armerte sprøytebetongbuer. Buedimensjon D60/6+2, ø20 mm, c/c buer 2 – 3 m, ev gitterbuer. Buene boltes systematisk, c/c 1,0 m, boltelengde 3 – 6 m Sålestøp vurderes
G	Eksepsjonelt dårlig	< 0,01	Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt.				

**Sprøytebetong vurderes påført ned til 2 m over kjørebane i klasse C i tunnelkryss.*

Tabell 7-5: Permanent sikring for ulike bergmasseklasser, spenn opp til 14 m og vegghøyde opp til 11 m. (ESR =1,3).

Bergmasseklasse		Q-verdi	Bolter		Sprøytebetong		Tung bergsikring
			Heng	Vegg	Heng	Vegg	
A	Svært god	> 40	spredt	spredt	60 mm	-	
B	God	40 – 10	c/c 2,5 m	spredt	60 mm	-	
C	Middels	10 – 4	c/c 2,2 m	c/c 2,2 m	60 mm	60 mm*	
D	Dårlig	4 - 1	c/c 1,75 m	c/c 2,0 m	100 mm	100 mm	
E1	Svært dårlig	1 - 0,3	c/c 1,5 m	c/c 1,5 m	130 mm	130 mm	
E2	Svært dårlig	0,3 - 0,1	c/c 1,3-1,5 m	c/c 1,3-1,5 m	160 mm	160 mm	Armerte sprøytebetongbuer. Buedimensjon E30/6 ø20 mm, c/c buer 3 – 4 m, ev gitterbuer. Buene boltes systematisk, c/c bolt 1,5 m, boltelengde 3 – 4 m Sålestøp vurderes
F	Det henvises til Tabell 7-6, klasse F, da det anbefales ESR=1 når Q≤0,1 i henhold til Bruk av Q-systemet (NGI, 2022).						
G	Eksepsjonelt dårlig	< 0,01	Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt.				

**Sprøytebetong påføres ned til 2 m over kjørebanen*

Tabell 7-6: Permanent sikring for ulike bergmasseklasser, for portaler, kryssing av eksisterende tunneler og tunnelkryss ved spenn opp til 14 m og vegghøyde opp til 11 m. (ESR =1,0).

Bergmasseklasse		Q-verdi	Bolter		Sprøytebetong		Tung bergsikring
			Heng	Vegg	Heng	Vegg	
A	Svært god	> 40	spredt	spredt	60 mm	-	
B	God	40 – 10	c/c 2,5 m	spredt	60 mm	60 mm*	
C	Middels	10 – 4	c/c 2,2 m	c/c 2,2 m	70 mm	70 mm*	
D	Dårlig	4 - 1	c/c 1,75 m	c/c 2,0 m	110 mm	110 mm	
E1	Svært dårlig	1 - 0,3	c/c 1,3-1,5 m	c/c 1,3-1,5 m	140 mm	140 mm	Armerte sprøytebetongbuer. Buedimensjon E30/6 ø20 mm, c/c buer 3-4 m, ev. gitterbuer. Buene boltes systematisk, c/c bolt 1,5 m, boltelengde 3–4 m Sålestøp vurderes
E2	Svært dårlig	0,3 - 0,1	c/c 1,3-1,5 m	c/c 1,3-1,5 m	180 mm	180 mm	Armerte sprøytebetongbuer. Buedimensjon D60/6+2, ø20 mm, c/c buer 3-4 m, ev gitterbuer. Buene boltes systematisk, c/c 1,5 m, boltelengde 3–6 m Sålestøp vurderes
F	Ekstremt dårlig	0,1 – 0,01	c/c 1,0-1,5 m	c/c 1,0-1,5 m	250 mm	250 mm	Armerte sprøytebetongbuer. Buedimensjon D60/6+4, ø20 mm, c/c buer 2-3 m, ev gitterbuer. Buene boltes systematisk, c/c 1,0 m, boltelengde 3–6 m Sålestøp må vurderes
G	Eksepsjonelt dårlig	< 0,01	Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt.				

**Sprøytebetong påføres ned til 2 m over kjørebanen*

Tabell 7-7: Permanent sikring for ulike bergmasseklasser, spenn 21 m og vegghøyde 6 m. (ESR =1,0).

Bergmasseklasse		Q-verdi	Bolter		Sprøytebetong		Tung bergsikring
			Heng	Vegg	Heng	Vegg	
A	Svært god	> 40	spredt	spredt	60 mm	-	
B	God	40 – 10	c/c 2,5 m	spredt	60 mm	60 mm	
C	Middels	10 – 4	c/c 2,2 m	c/c 2,2 m	80 mm	8060 mm	
D	Dårlig	4 - 1	c/c 1,75 m	c/c 2,0 m	120 mm	120 mm	
E1	Svært dårlig	1 - 0,3	c/c 1,3-1,5 m	c/c 1,3-1,5 m	150 mm	150 mm	Armerte sprøytebetongbuer. Buedimensjon E30/6 ø20 mm, c/c buer 3-4 m, ev. gitterbuer. Buene boltes systematisk, c/c bolt = 1,5 m, boltelengde 3–4 m Sålestøp vurderes
E2	Svært dårlig	0,3 - 0,1	c/c 1,3-1,5 m	c/c 1,3-1,5 m	220 mm	220 mm	Armerte sprøytebetongbuer. Buedimensjon D60/6+2, ø20 mm, c/c buer 3-4 m, ev gitterbuer. Buene boltes systematisk, c/c 1,5 m, boltelengde 3–6 m Sålestøp vurderes
F	Ekstremt dårlig	0,1 – 0,01	c/c 1,0-1,5 m	c/c 1,0-1,5 m	250 mm	250 mm	Armerte sprøytebetongbuer. Buedimensjon D60/6+5, ø20 mm, c/c buer 2-3 m, ev gitterbuer. Buene boltes systematisk, c/c 1,0 m, boltelengde 3–6 m Sålestøp må vurderes
G	Eksepsjonelt dårlig	< 0,01	Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt.				

7.1.4 Forutsetninger for innlekkasjekrav og injeksjon

Fastsettelsen av innlekkasjekrav er gjort ut fra vurdering av flere forskjellige parametere. Parameterne er ikke rangert etter relevans, men inngår samlet i vurderingen av innlekkasjekravene for hver av de tre anleggstunnelene. Parameterne som har inngått i fastsettelsen av innlekkasjekravene er:

- Geologi
- Nedbørsfelt
- Infiltrasjon
- Naturtyper
- Brønner
- Setningsømfintlige masser

Vurderinger for injeksjon er basert på utførte undersøkelser, observasjoner og erfaring, det er forventet behov for injeksjon i alle anleggstunnelene. Det er knyttet stor usikkerhet til det faktiske injeksjonsomfanget.

For alle tre områder anbefales det generelt systematisk sonderboring med innlekkasjemålinger. Byggherre kan, i samråd med entreprenør, vurdere behovet for sonderboring, med unntak av områder med lite overdekning, sårbar natur ift. grunnvannsnivå, samt ved kryssing av svakhetssoner, der opprettholdes anbefalingen om systematisk sonderboring.

Hvis det er tunnelløp i nærhet til hverandre må dette tas i betraktning for å overholde overordnet injeksjonskrav. Hvis det er flere tunnelløp innenfor en radius på 50 m fra stuff og området for kontrollhullene, må innlekkasjekravene deles på antall tunnelløp innenfor dette området. Dette på bakgrunn av at innlekkasjekrav settes for intervaller på 100 m.

Det forventes injeksjon i områdene der tunnelløpene krysser svakhetssoner, grunnet høyere vannføring i deler av bergmassen som er mer oppsprukket og ved kryssing av bergartsgrenser. Grad av permeabilitet vil variere med geologiske forhold, især med sprekkefyll og bergartstype.
Det er gjort et estimat for forventet mengde injeksjon, basert på en innledende injeksjonsprosedyre og prinsippskisse. Disse må forventes tilpasset stedlige forhold underveis. Det er antatt følgende for injeksjon:

- Lengde på skjermhull: 27 m.
- Drivelengde mellom skjermer omtrent 20 m.
- 4 kontrollhull for transport- og adkomsttunneler.
- 8 kontrollhull for ventilasjonshaller.
- 24-33 hull i skjerm for adkomsttunneler, 33-43 for transporttunneler og 50 for ventilasjonshaller.

7.1.5 Anvendelse av tunnelstein

Steinmassene er i hovedsak planlagt til deponering i sjø, samt oppfylling av Trengereiddalen. På Trengereid er det også mulig å benytte tunnelmasser som omfyllingsmasser for rør i forbindelse med omlegging av bekker. Omfyllingsmasser av tunnelstein bør være knust/sortert.

Basert på prøveresultatene presentert i kapittel 4.6 kan en se at alle prøvene indikerer masser som tilfredsstiller kravene i N200 for bruk i forsterkningslag. Resultatene indikerer også at de fleste prøvene indikerer masser som tilfredsstiller kravene for bruk som bærelag. Unntaket er prøve BT1-6 ved Sognstadtunnelen, med en M_{DE} verdi på 22 som overskrider kravet på ≤ 15. Dette betyr at mye av steinmassene fra tunneldrivingen kan være godt egnet til flere ulike bruksformål.

Mulige bruksområder for tunnelsteinen er dermed til bruk i veg- og grøftefyllinger, til bruk i anleggsveger, samt for å planere ut kommende riggområder. Nevnte potensielle anvendelsesområder er ikke uttømmende. Det presiseres at resultatene gitt i kapittel 4.6 ikke nødvendigvis representerer egenskapene til bergmassene på stedet. Det anbefales at det gjøres supplerende bergmekaniske tester på stedlige masser for å vurdere deres egnethet til formål som bestemmes av FAS og entreprenør. Dersom noe av steinmaterialet er tenkt brukt i vegkropper som vil inngå i det offentlige vegnettet bør testing av materialet utføres i henhold til kontrollomfang fastsatt i håndbok N200.

Eventuelt asbestholdig berg ved Langhelleneset må håndteres særskilt og i henhold til egen tiltaksplan, se kapittel 4.7.2.

7.1.6 Etablering av bergsjakter

For utførelsen av bergsjaktene generelt er i hovedsak følgende rekkefølge tenkt:

- Etablere mottaksflate for pilothull for montering av rømmekrone på ca. 25-30 m vanndybde
- Bore pilot fra tipphall til mottaksflate
- Montere rømmekrone og opprømming fra mottaksflate til berghall

For disse arbeidene er det gitt følgende geologiske informasjon for sprekkesettene samt parametere for bergarten som kan brukes for vurdering av utstyr, boring, prising og lignende:

- Fall og fallretning av sprekkesett (kapittel 5)
- Generell sprekkeavstand (kun ved Langhelleneset og Naustvika)
- Plassering av utført ROV transekter ved planlagt utgang for sjakt (kapittel 4.5)
- Bergartenes enaksielle styrke (UCS)
- Drill Rate Index (DRI), Bit Wear Index (BWI) og Cutter Life Index (CLI) (kapittel 4.6)

Det skal sprenges ut mottaksflater under vann som skal være 90° i forhold til pilothullet, eller orientert tilstrekkelig slik at opprømming er mulig innenfor avviksgrensen på ± 1 %. Dette gjelder for alle tre sjaktene. Flaten skal være tilstrekkelig stor for at rømmekronen skal kunne monteres. Mottaksflaten skal være minimum 5 x 5 m ved Gamle Fossen, og minimum 7 x 7 m ved Langhelleneset og Naustvika, ettersom nøyaktigheten på utgangen av pilothullet i mottaksflaten skal være innenfor ± 1 %. Etablering av mottaksflate kan eksempelvis utføres med håndholdt boring av dykkerlag, eller boring fra flåte. Ladning tilpasses. Entreprenøren skal oppnå en jevnhet på bergoverflaten for mottaksflaten som er anpasset til valgt rømmekrone, konturkrav må tilpasses krav fra operatør for raiseboring. Under boring av pilothullet kan MWD-parametere innsamles for geologisk oppfølging, samt videoinspeksjon av pilothullet etter ferdig boring. Det anbefales avviksmålinger under boring. Konturen på skjæringene for mottaksflaten skal utføres som kontursprengning, og det skal vurderes behov for sømboring, presplitt og lignende. Etter at berg er fjernet skal løst berg renskes og blokker sikres med bergbolter slik at det er sikkert for dykkere å befinne seg i området. ROV kan benyttes for oppfølging av rensk og boltesikring med ingeniørgeolog. Byggherre og entreprenør må samarbeide for å legge til rette for tett ingeniørgeologisk oppfølging under utførelse. Boltene kan endeforankres og ettergyses med vannfast mørtel. Bolter som kan komme i konflikt med sjakttrase anbefales å være glassfiberbolter. Risikoen for tetting av sjakter minimeres ved at største diameter på tippstein begrenses.

Ved boring av pilothullene er retning på eksisterende sprekkesett/foliasjon av interesse ettersom borkronen vil kunne trekke seg fra planlagt retning til å følge fallet på sprekkene/foliasjon, spesielt dersom vinkelen mellom dem er liten. Fall og fallretning på sprekkesett og foliasjon i forhold til planlagt sjakt er beskrevet for hvert område.

7.1.7 Store bergrom

Anleggstunnelene krysser hverandre, og har områder med nærføring med hverandre. Her vil det dermed åpnes flere store bergrom nært hverandre og det vil være store spenn. Når bergrommene åpnes må det påsees at bergstabber og pilarer ivaretas på en skånsom måte, samt at det oppnås god buevirkning i profilene.

Dette medfører at forsiktig driving, nøyaktig boring og et godt sprengningsresultat blir desto viktigere. Det er viktig å vurdere behov for ytterligere sikring og lengre bolter under driving. Det kan være behov for korte eller korte og delte salver i disse områdene, samt eventuelt sømboring.

Byggherren bestemmer endelig permanent sikring.

7.2 Fossneset og Gamle Fossen

7.2.1 Ingeniørgeologisk beskrivelse av tunneltraseene

Oversikt over tunneltraseene vises i Figur 7-1. Forkastninger og svakhetssoner er hentet fra NGUs berggrunnskart, grunnlag fra reguleringsplan (SWECO, 2022c), samt egne tolkninger basert på en kombinasjon av befaringsregistreringer og skyggerelieff-analyse. De fleste større strukturene i området har orientering NØ-SV, mens mindre strukturer stryker NNV-SSØ eller N-S.

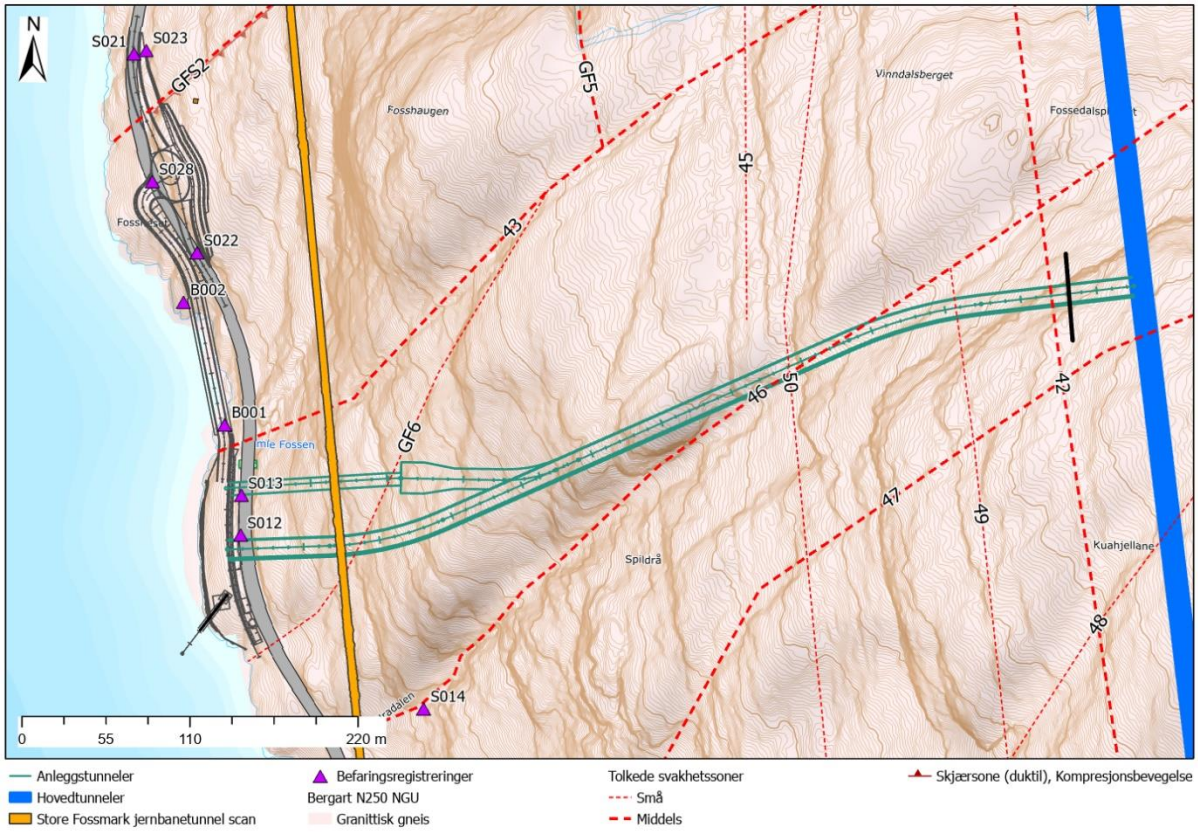
Transporttunnelen krysser sone GF6 ved vestlig del. Videre østover krysser tunnelen sone 45, 50 og 42. Ventilasjonstunnelen krysser også sone GF6 før påkobling til transporttunnelen. Begge tunnelene går i sin helhet i monzogranittisk til granodiorittisk gneis. Både transporttunnelen og ventilasjonstunnelen vil krysse under eksisterende banetunnel, Store Fossmark, se kapittel 7.2.12.1.

Informasjon om de aktuelle tolkede svakhetssonene er gitt i Tabell 7-8. Lengdeprofil av traseene er gitt i Vedlegg 3.

Tabell 7-8: Oppsummering av tolkede svakhetssoner i nærhet til tunneltraseene, se også geologisk modell (COWI, 2024n).

Sone-ID	Bredde (m)	Fallretning	Fall
40	<5	245	85
GF2	<5	250	85
GF3	<5	250	85
GF7	<5	250	89
GFS2	5-10	145	60
43	5-10	155	60
GF6	<5	280	80
45	<5	270	85
50	<5	90	70

Ventilasjonstunnel og transporttunnel ved Gamle Fossen vil krysse under eksisterende jernbanetunnel Store Fossmark. Ventilasjonstunnelen krysser ved profil omtrent 65-75, og transporttunnelen krysser ved profil omtrent 70-80. Minste overdekning ved begge kryssinger blir omtrent 6 m. Supplerende sikring og forsiktig driving må påregnes. Dette er omtalt nærmere i kapittel 7.2.12.1.



Figur 7-1: Berggrunn, tolkede svakhetssoner og tunneltraseer ved Fossmark og Gamle Fossen. Svart strek markerer avslutning på forberedende entreprise.

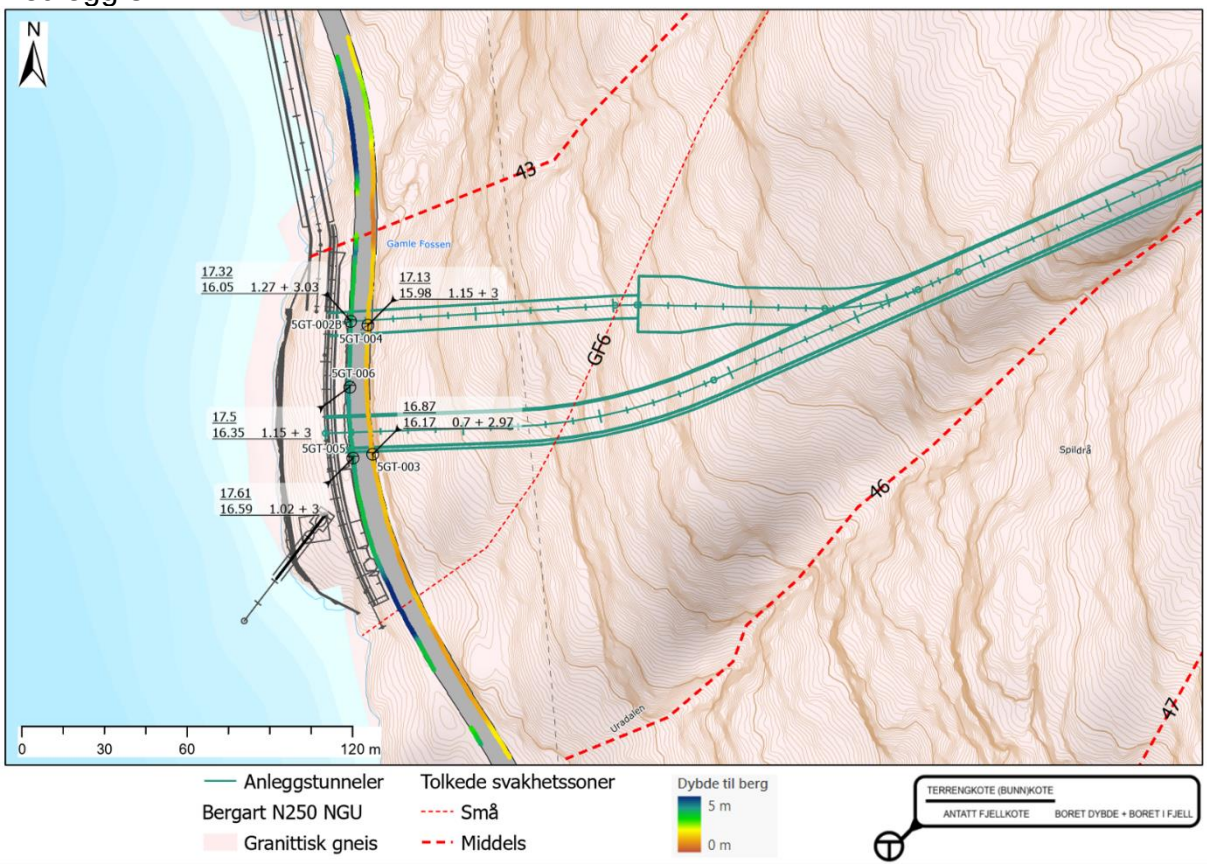
7.2.2 Resultater og tolkning av geofysiske undersøkelser

For seismiske profiler ved Fossmark, nord for tiltaket, se geofysisk tolkningsrapport (COWI, 2024f).

Transporttunnelen og ventilasjonstunnelen krysser under E16 ved Gamle Fossen. Det er kjørt to linjer med georadar i krysningsområdet på E16. For hver linje ble berggrunnsdybden opprinnelig tolket til henholdsvis 3 til 6,3 m (vestlig vegbane) og 0,5 til 2,5 m (østlig vegbane) under terreng.

Da nye borehullsdata ble mottatt, ble dette estimatet revurdert og en annen reflektor ble identifisert som toppen av berggrunnen, se Figur 7-2. Imidlertid kan dypere strukturer tolket som sprekker eller knuste soner sees på de første 30 m og mellom 190 og 230 m av georadarprofilen. Informasjonen gitt av geotekniske borehull for 5 forskjellige steder langs de to GPR-undersøkelseslinjene indikerer grunnere berggrunn, fra 1,02 m til 1,27 m (COWI, 2024f). Overdekning for tunnelene er angitt i

kapittel 7.2.3 med minste bergoverdekning. Lengdeprofiler for tunnelene kan sees i Vedlegg 3.



Figur 7-2: Data fra geotekniske boringer over E16 ved Gamle Fossen, samt dybde til berg ved georadarlinjene.

7.2.3 Overdekning og bergspenninger

Områder med lav bergoverdekning er angitt i Tabell 7-9.

Tabell 7-9: Områder med lav bergoverdekning for anleggstunnelene ved Gamle Fossen. Omtrentlig overdekning er gitt.

Påhugg ventilasjonstunnel	Påhugg transporttunnel	Kryssing under E16 transport- og ventilasjonstunnel	Kryssing av Store Fossmark, transport- og ventilasjonstunnel
10 m	7 m	6 m	6 m

Alle påhuggsområder oppfyller tommelfingerregelen om å ha overdekning minimum lik halvparten av tunnelens spennvidde. Ved kryssing under E16 vil det være over et kort strekke være lavere overdekning til transporttunnelen enn halve spennvidden.

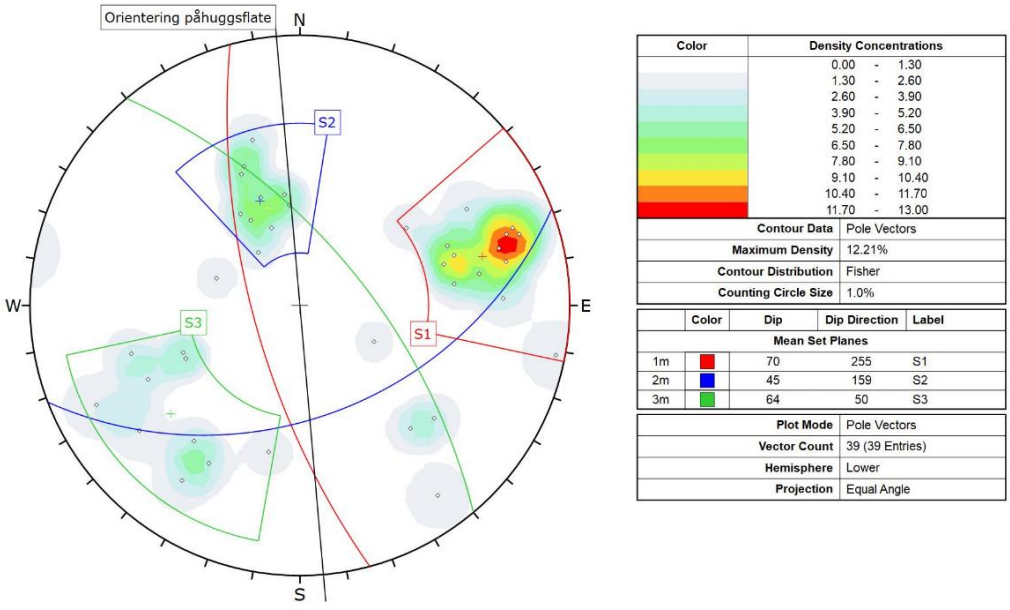
Tidligere tolkning fra hydraulisk splitting ved prøvefylling av Fossmark krafttunnel indikerer åpning av N-S orienterte sprekker ved vanntrykk på ca. 3 MPa (SWECO, 2022b) (Basnet & Panthi, 2017). Det er også utført en hydraulisk spenningsmåling i borhull, gjengitt i (Hanssen, 1997). Her ble det indikert et gjenåpningstrykk på 2,7 MPa på de N-S gående sprekkene. Dette kan benyttes som en tilnærming til minste hovedspenning i området, som vil være i V-Ø retning. Generelt ble det observert og erfart overraskende lav normalspenning på N-S strukturene under driving av Fossmark krafttunnel (Statens vegvesen, 2003). Dette sammenfaller med de mest tydelige lineamentene/svakhetssonene.

En kan lese av at største hovedspenning blir orientert tilnærmet vinkelrett på transporttunnelen (N350°), mens minste hovedspenning blir orientert parallelt med transporttunnelen (N089), se Tabell 5-5. Hvis disse spenningsforholdene finnes igjen i påhuggsområdet vil det være gunstig for innspenningen, særlig i områdene med lav overdekning.

Ved påkoblingen til hovedtunnelene er overdekningen omtrent 400 m. Spenningsproblemer kan forekomme dersom den største tangentialspenningen ($3\sigma_1 - \sigma_3$) blir høy i forhold til bergmassens intakte trykkfasthet (NGI, 2022). Det påregnes ikke å støte på spesielle deformasjonsproblemer som resultat av dette, da bergmassen består av en granittisk gneis med intakt trykkfasthet i størrelsesområde 150 MPa.

7.2.4 Riggområde og påhugg

Rett ovenfor riggområdet ved eksisterende E16 går det en tosidig bergskjæring. Polplott fra sprekkeregistreringer i skjæringen er vist i Figur 7-3. Sprekkesettene indikerer at det vil kunne oppstå glideflater i utsprengt skjæring, både plan utglidning og kileutglidning. Blokkutfall er mulig med en kombinasjon av S1 og S3 med S2 som baseplan. Berget stuper videre ned i vannet, men i hovedsak med likt eller slakere fall enn sprekkesett S1 (70°). Det kan likevel ikke utelukkes at utglidning ut i fjorden er mulig.



Figur 7-3: Polplott med sprekkeregistringer fra ovenforliggende bergskjæring (S12 og S13).

Det indikeres muligheter for både plan utglidning, kileutglidning og blokkutveltning. Sprekkesett S1 er baseplan. Oppsummering av kinematisk analyse er vist i Tabell 7-10.

Tabell 7-10: Fremtredende løsnemekanismer fra kinematisk analyse ved befaringslokalitet S012 og S013. Det indikeres grad av fremtreden.

Side	Plan utglidning	Kileutglidning	Utveltning	Blokkutveltning
Påhuggsflate (175°)	Sterkt S1	Sterkt S1 og S2	Middels S3	Middels S2 og S3 + S1

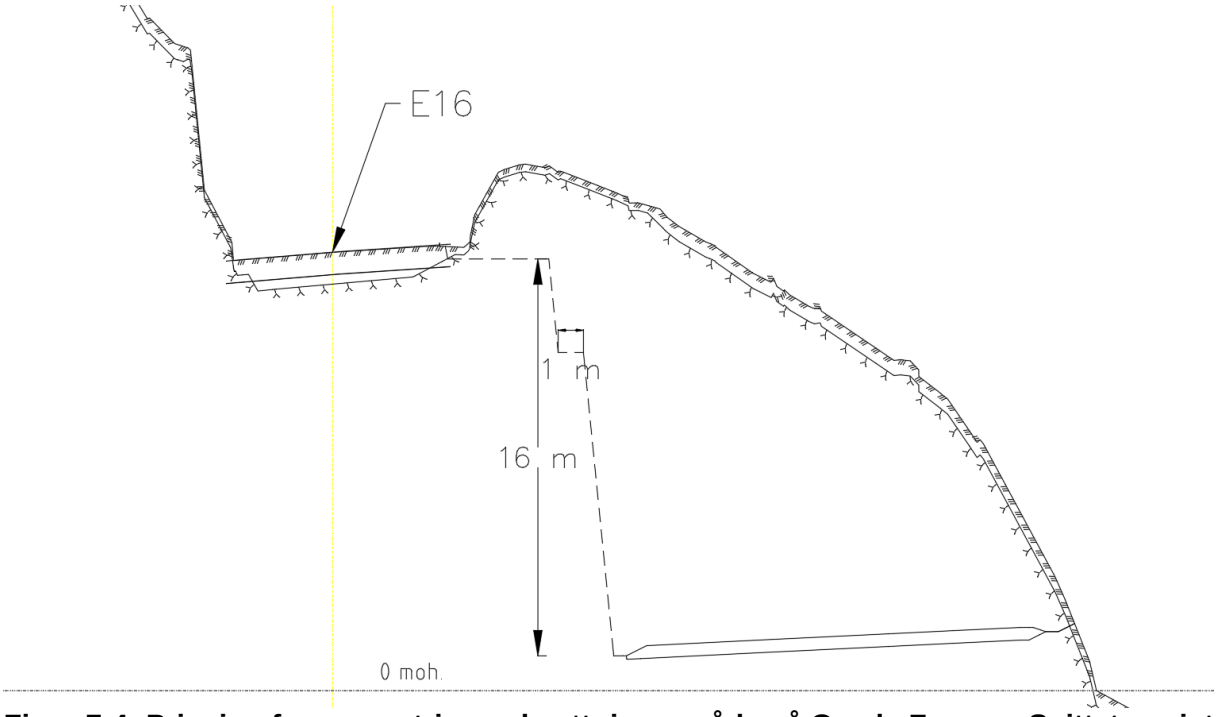
Blank celle = løsnemekanisme indikeres ikke
Lite = lite fremtredende; 1-15.0 % av målte sprekker kan gi løsnemekanisme
Middels = middels fremtredende; 15.1-40.0 % av målte sprekker kan gi løsnemekanisme
Sterkt = Sterkt fremtredende; 40.1-100 % av målte sprekker kan gi løsnemekanisme

Før videre sprenging skal det installeres forbolter for å beholde konturen i skjæringen. Det skal videre installeres forbolter langs hele vannkanten for å hindre utglidning ut i fjorden. Det tas utgangspunkt i at det benyttes 6 m lange forbolter med c/c 1 m, dette må endelig fastsettes under utførelse av byggherre.

Det anbefales å ta ut forskjæringen med helning 10:1 og at det utføres sømboring langs deler av forskjæringen. Søm anbefales for å bevare bergmassen bakenfor skjæringen i størst mulig grad.

Det installeres forbolter før sprengning for å beholde konturen. De subvertikale forboltene som går inn i tunneltverrsnittet til transporttunnelen og ventilasjonstunnelen kan være av glassfiber (GFRP). GFRP-boltene gyses da på lik linje som de vanlige stålboltene. Alternativt kan boltelengder av kamstålbolter tilpasses slik at de ikke går inn i kommende tunnelprofil. Endelig sikring fastsettes av byggherre. Skjæringen renskes minimum 2 m over skjæringstopp.

Skjæringen anbefales tatt ut i flere paller. Hyllebredde bør være så smal som mulig, men må gi tilstrekkelig plass til ansett og bortårn, samtidig som arealbruk begrenses inn mot eksisterende E16. Uttaksmetode må tilpasses entreprenørens plan for uttak av riggområdet. Horisontal konturboring inn mot sålen til riggområdet kan være aktuelt. Det er anslått behov for horisontal konturboring 6 m inn fra sjøen, men endelig dybde på eventuell konturboring må bestemmes under utførelse. Dette kan være med til å få en jevnere såle og bevare berget som står igjen i større grad. Prinsipp for utforming er vist i Figur 7-4. Skjæringen renskes og sikres suksessivt med bolter og ev. sprøytebetong. Sikringstiltak anvises på stedet av byggherrens geolog.



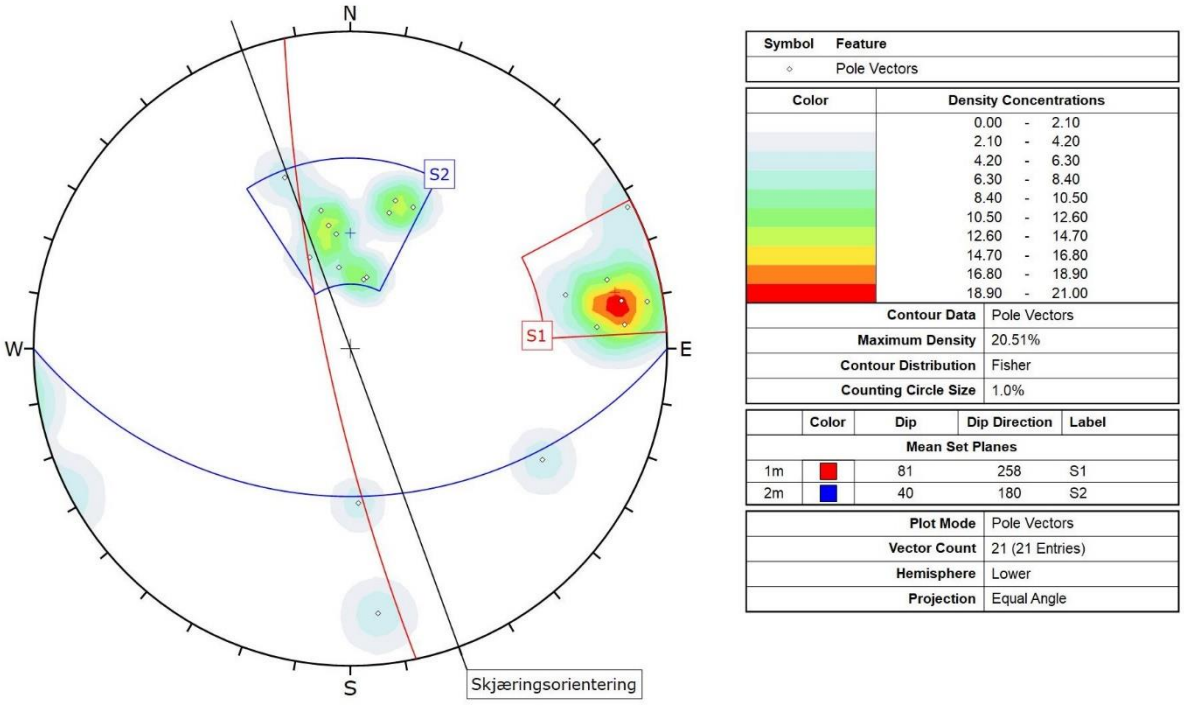
Figur 7-4: Prinsipp for geometrier ved nytt riggområde på Gamle Fossen. Snittet er vist mot sør.

Tyngre sikring må påregnes for påhuggsområdene. Typisk sikring for påhuggsflatene er en til to raster med forbolter. Forboltene kan festes sammen med bergbånd som henges opp av vanlige bolter, og forboltene sprøytes inn. Bruk av sprøytebetongbuer i påhuggsområdet kan bli nødvendig. Redusert salvelengde og bruk av forbolter påregnes. Endelig sikringsopplegg for påhuggsflate og påhuggsområdet tilpasses geologiske forhold og bestemmes av byggherren på stedet.

7.2.5 Tilkomstveg fra Fossneset

7.2.5.1 Bergskjæring ved rundkjøring

I forbindelse med tilkomstveg til riggområdet på Gamle Fossen etableres en rundkjøring. Dette medfører et større berguttak mot øst ved Fossneset. Det er utført en kinematisk analyse av kommende bergskjæring basert på registreringer fra befaringslokalitet B002 og S022 (se Figur 7-13). Det er lagt til grunn en gjennomsnittlig orientering på bergskjæringen på N160°. Stereoplott med skjæringsorientering er vist i Figur 7-5. Oppsummering av den kinematiske analysen er gitt i Tabell 7-11. På samme vis som for skjæringen ved Gamle Fossen er både plan utglidning og kileutglidning sterkt fremtredende, hvor sprekkesett S1, som faller ut mot vegbanen, er sentralt.



Figur 7-5: Stereoplott med registreringer fra lokalitet B002 og S022 med skjæringsorientering.

Tabell 7-11: Fremtredende løsnemekanismer fra kinematisk analyse ved befaringslokalitet S022 og B002. Det indikeres grad av fremtreden.

Side	Plan utglidning	Kileutglidning	Utveltning	Blokkutveltning
Orientering N160°	Sterkt S1	Sterkt S1 og S2		
Blank celle = løsnemekanisme indikeres ikke Lite = lite fremtredende; 1-15.0 % av målte sprekker kan gi løsnemekanisme Middels = middels fremtredende; 15.1-40.0 % av målte sprekker kan gi løsnemekanisme Sterkt = Sterkt fremtredende; 40.1-100 % av målte sprekker kan gi løsnemekanisme				

Ved befaringslokalitetene er det også observert stedvis stor sprekkeavstand og åpne sprekker, se Figur 7-6. Med stor sprekkeavstand og fremtredende mekanismer er det en risiko for utglidning av store blokker eller kiler. Det anbefales dermed at det forboltes i hver pall før berguttak. Størrelse på berguttak må tilpasses. Boltemønster og bolteavstand for forbolter og sikringsbolter fastsettes av byggherre etter stedlige forhold. Det kan bli nødvendig med bergsikring med høy lastbærende kapasitet for å sikre potensielt store blokker eller kiler. Dersom det er mulig kan deler av skjæringen med fordel legges langs sprekkesett S1. Berguttak må gjøres tilstrekkelig skånsomt til at eksisterende E16 bevarer sin funksjon. Det forventes forbolting både på oversiden av anleggsvegen mot E6 og på sjøsiden av anleggsvegen for å sikre mot blokkutfall og bakbrytning.



Figur 7-6: Bilde fra befaringslokalitet S022 som indikerer stor sprekkeavstand og åpne sprekker. Bildet er tatt mot SØ.

7.2.5.2 Brufundamenter

Bru for tilkomst fundamenteres på berg i begge landkar. Bilde av bergmassen ved henholdsvis nordlig og sørlig fundamentområde er gitt i Figur 7-7 og Figur 7-8.



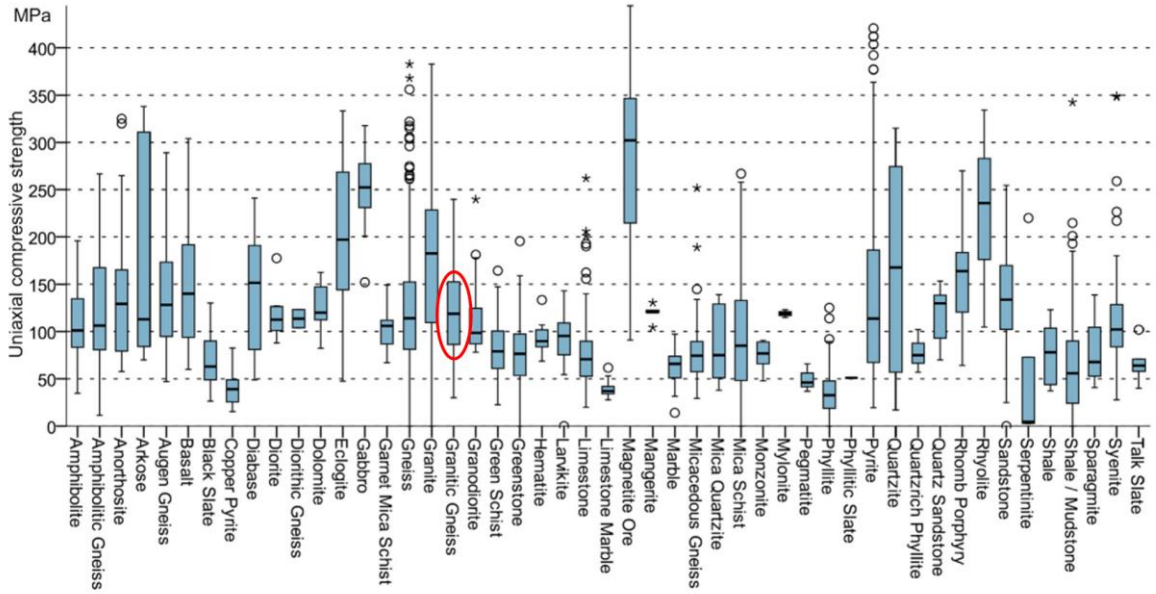
Figur 7-7: Bergmassen i nordlig ende av bru. Massiv, breskurt granittisk gneis. I hovedsak to sprekkesett indikeres. Bildet er tatt mot NNØ.



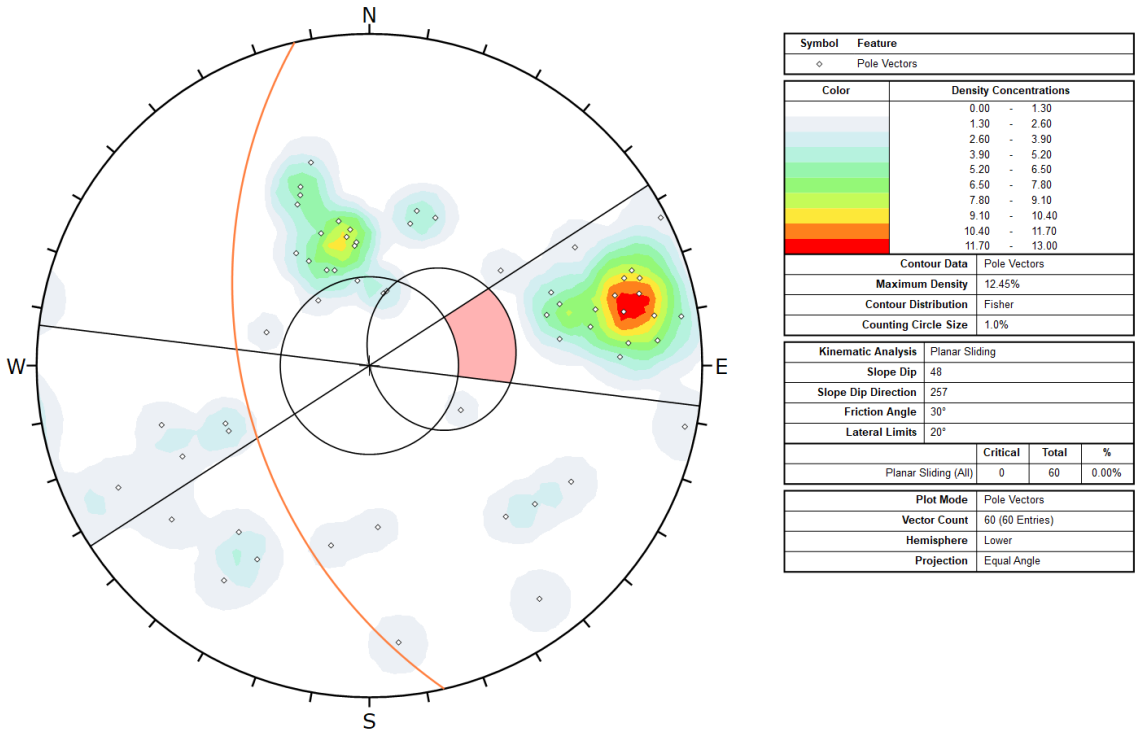
Figur 7-8: Bergmassen i sørlig ende av bru. Bildet er tatt mot Ø. Løsmasser og blokker på neset (markert med rød ellipse) antas å komme fra tidligere dumping av sprengsteinsmasser.

Beregningen for bæreevne er utført i RSData fra RockScience med Hoek-Brown bruddkriterie (Hoek, Carranza-Torres, & Corkum, 2002). Hoek-Brown bruddkriterium har begrensninger mtp. sprekkeavstand, slik at det er viktig med oppfølging under utførelse.

Den enaksielle trykkfastheten til den granittiske gneisen i området anslås til 115 MPa basert på Figur 7-9. Det anslås en GSI på 65. Sprengningsforstyrrelsesfaktor D settes til 0,3 basert på at det antas at fundamentene sprenges ut nokså forsiktig. M_i er satt til 26. Dette gir en karakteristisk bæreevne på 37 MPa i henhold til Hoek-Browns bruddkriterie for oppsprukket bergmasse. Det er vanlig praksis at tillatt (dimensjonerende) bæreevne for fundamentering på berg ikke overstiger 10 MPa (Norsk Bergmekanikkgruppe, 2011). Tillatt bæreevne settes dermed til 10 MPa. Dette er langt over forventet grunntrykk fra kommende bru.



Figur 7-9: Typisk enaksiell trykkstyrke til norske bergarter. Granittisk gneis markert med rød ellipse. Hentet fra (Høien, Nilsen, & Olsson, 2019).

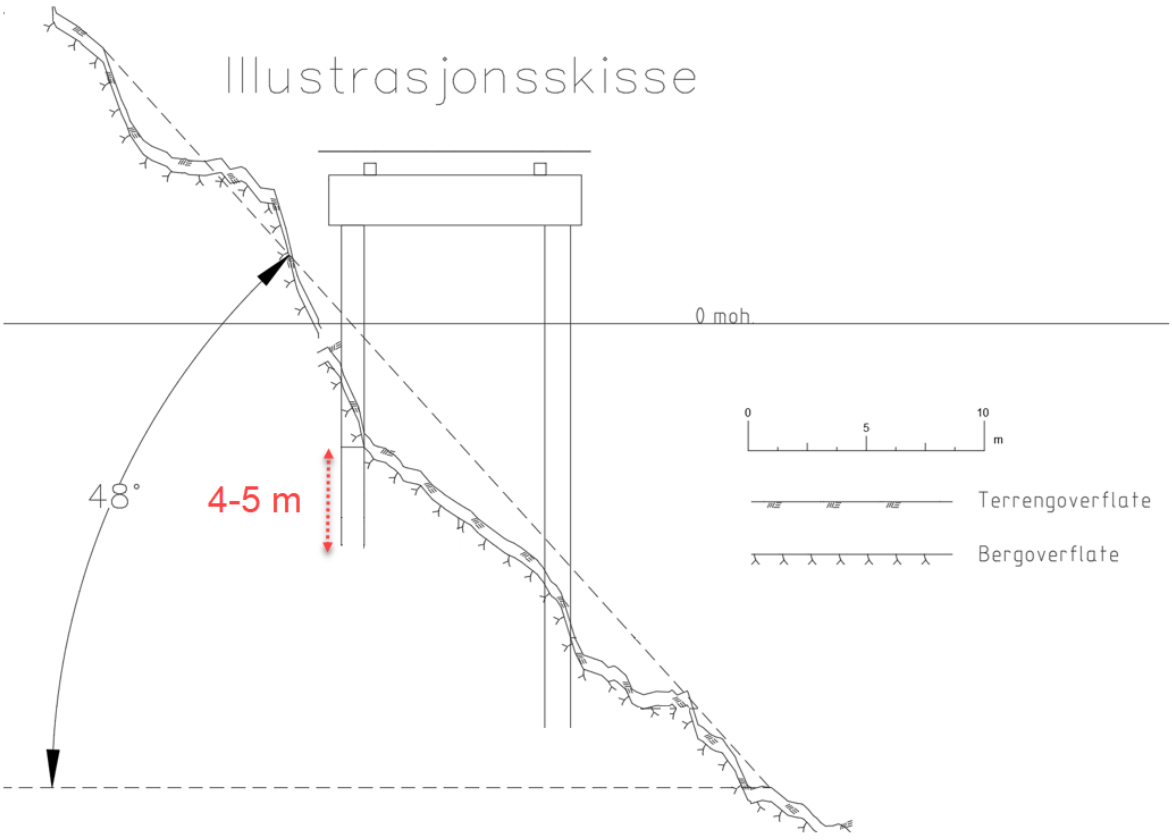


Figur 7-10: Kinematisk analyse fra DIPS for bergside ved midtre brufundament. Det er tatt utgangspunkt i en skråningshelning på 48°. Dette er data både fra B001, B002, S012, S013 og S022.

Det ene kartlagte sprekkesettet i bergmassen stryker i samme retning som fjorden og berggrunnen der stålrørspelene skal bores inn. Det vurderes likevel som lite sannsynlig med utglidning i bergmassen langs dette sprekkesettet, da dette er kartlagt til å falle betydelig steilere enn bergsiden der stålrørspelene bores inn.

Totalstabiliteten i bergskråningen vurderes ivaretatt, se Figur 7-10, men lokalt kan det være områder med brattere helning hvor det kan være aktuelt med både plan utglidning og kileutglidning. Når endelig plassering av stålrørspelene er kjent, må lokalstabiliteten sikres. Det kan være behov for bergsikring i form av bolter og forbolter i forbindelse med innboring av stålrørspelene i den bratte bergskråningen. Det kan være behov for pigging, sprengning eller andre tiltak for å forbedre ansettpunktet, slik at pelene kan bores inn i berget.

R762 gir krav til minimum innboringslengde av stålrør på 2,0 m i godt berg i fullt tverrsnitt (Statens vegvesen, 2018b). Peleveiledningen legger til at ytterligere innboring kan være aktuelt ved steile bergoverflater (Norsk Geoteknisk Forening, 2019). Bergoverflaten ved stålrørspelene faller med omtrent 45-50°, og det knyttes noe usikkerhet til den lokale bergmassekvaliteten her da den ligger under sjøen. Veiledende innboringslengde anbefales dermed 5 m i fullt tverrsnitt i godt berg. Det anbefales at bergmassekvaliteten overvåkes under innboring, slik at tilpasninger kan gjøres. Figur 7-11 gir en illustrasjon av pelefundamenteringen med angitt innboringslengde. Det påpekes at det under utførelse må vurderes at bergdekningen sideveis ikke blir for liten på grunn av lokale variasjoner i bergflaten.



Figur 7-11: Illustrasjonsskisse modifisert fra tverrsnitt fra Novapointmodellen. Snittet vises mot sør.

Pelenes tverrsnittskapasitet prosjekteres og kontrolleres av konstruksjon i detalj når brumodell er fastsatt.

For begge landkarene er det registrert sprekkesett som kan gi plan utglidning og kileutglidning. I forbindelse med etableringen av landkarene ved Fossneset forventes det behov for bergsikring i form av forbolter og kombinasjonsbolter. Berget skal inspiseres av ingeniørgeolog når berget er avdekket og etter uttak av berg. Bergsikringen anbefales anvist av byggherres ingeniørgeolog under utførelse.

Glidning av såle på berg kontrolleres av RIB. For friksjonskoeffisient for glidning på berg legges $\mu \leq 1{,}0$ til grunn, da det planlegges støp direkte på utsprengt byggegrop.

7.2.5.3 Sikring av overliggende terreng

I overkant, like sør for sørlig brufundament, er det observert en potensiell løs kile definert av to sprekkeplan, hvor det ene har en sprekkeåpning rundt 20 cm, se Figur 7-12. Det forventes at berget må sprenges lenger inn mot eksisterende E16 for å legge brua og tilkomstvegen. Det forventes å sprenge seg inn til en horisontalavstand på 3,5-4 m fra eksisterende E16, slik at sideterreng i praksis blir en forlengelse av skjæringen ved riggområdet omtalt i kapittel 7.2.4. Det forventes dermed at nedre del av kilen vil sprenges bort.

Det anbefales at kilen sikres med selvborende stag med høy lastbærende kapasitet før sprengningsarbeidet i området settes i gang. Boltene må være tilstrekkelig lange til å kunne forankres 1,5 m i godt berg bak potensielt glideplan. Det er ulendt terreng og krevende tilkomst, slik at utstyr for boring og installering av stag må være egnet til å håndtere dette.

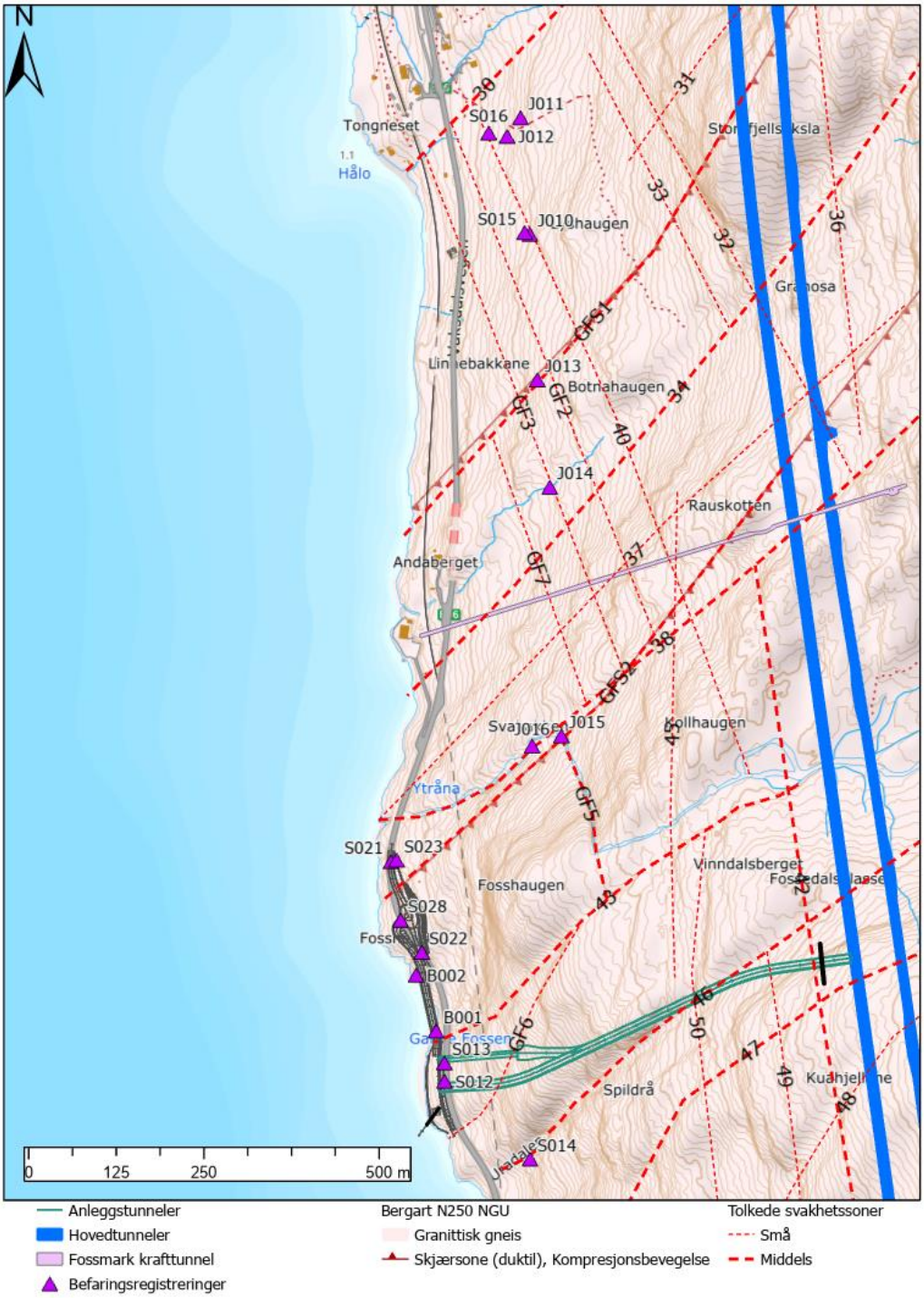
Øvrig flate av utsprengt terreng må sikres etter stedlige forhold. Byggherre bestemmer endelig sikring.



Figur 7-12: Potensielt løs kile i overkant av søndre brufundament. Bildet er tatt mot NØ.

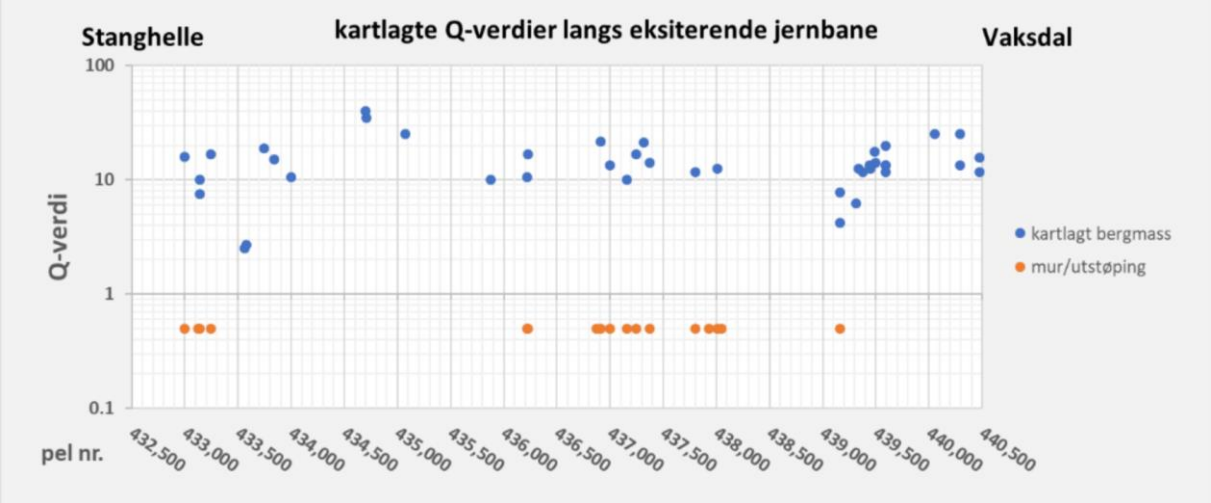
7.2.6 Kartlagte Q-verdier

Ved Fossneset Gamle Fossen er bergmassekvaliteten kartlagt langs bergskjæringer, eksisterende jernbanetunneler fra Stanghelle til Vaksdal, i Fossmark krafttunnel og i bergblotninger over planlagte anleggstunneler. Figur 7-13 gir en oversikt over befaringsregisteringer utført av COWI i denne fasen.



Figur 7-13: Oversiktskart som viser befaringsregisteringer i dagen og området for detaljkartlegging i eksisterende tunneler. Svart linje viser avslutning av driving i forberedende entreprise.

Figur 7-14 viser kartlagte Q-verdier langs eksisterende jernbanetrasé mellom Stanghelle og Vaksdal, hvor Q-verdien i områder med observert mur/utstøping er satt til 0,5. Utenom utstøpte områder ligger kartlagte Q-verdier mellom ca. 10 og 25 på denne strekningen.



Figur 7-14: Kartlagt bergmassekvalitet langs eksisterende jernbanetrasé fra Stanghelle til Vaksdal (SWECO, 2022b).

Området hvor transporttunnelen krysser under eksisterende jernbanetunnel (Store Fossmark), mellom km. 437.214 og 437.264 er bergmassen kartlagt i 5 m intervaller. Tabell 7-12 gir en oversikt over kartlagte Q-verdier. Mellom km. 437.244-437.247 og 437.256-437.259 er berget fullstendig tildekt av murte sikrings-konstruksjoner. Det antas her at bergmassekvaliteten og den tilhørende Q-verdien er dårlig (D-E) i murte eller utstøpte områder.

Tabell 7-12: Kartlagte Q-verdier i Store Fossmark km. 437.214 - 437.264.

Km.	214-219	219-224	224-229	229-234	234-239	239-244	244-247	249-254	254-256	256-259	259-264
Q	3,4	4,1	4,2	3,8	4,7	3,1	-	2,5	3,8	-	3,8
RQD	55	65	50	60	75	50	-	40	60	-	60
J_n	12	12	9	12	12	12	-	12	12	-	12
J_r	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	-	1,5	1,5	-	1,5
J_a	2	2	2	2	2	2	-	2	2	-	2
J_w	1	1	1	1	1	1	-	1	1	-	1
SRF	1	1	1	1	1	1	-	1	1	-	1

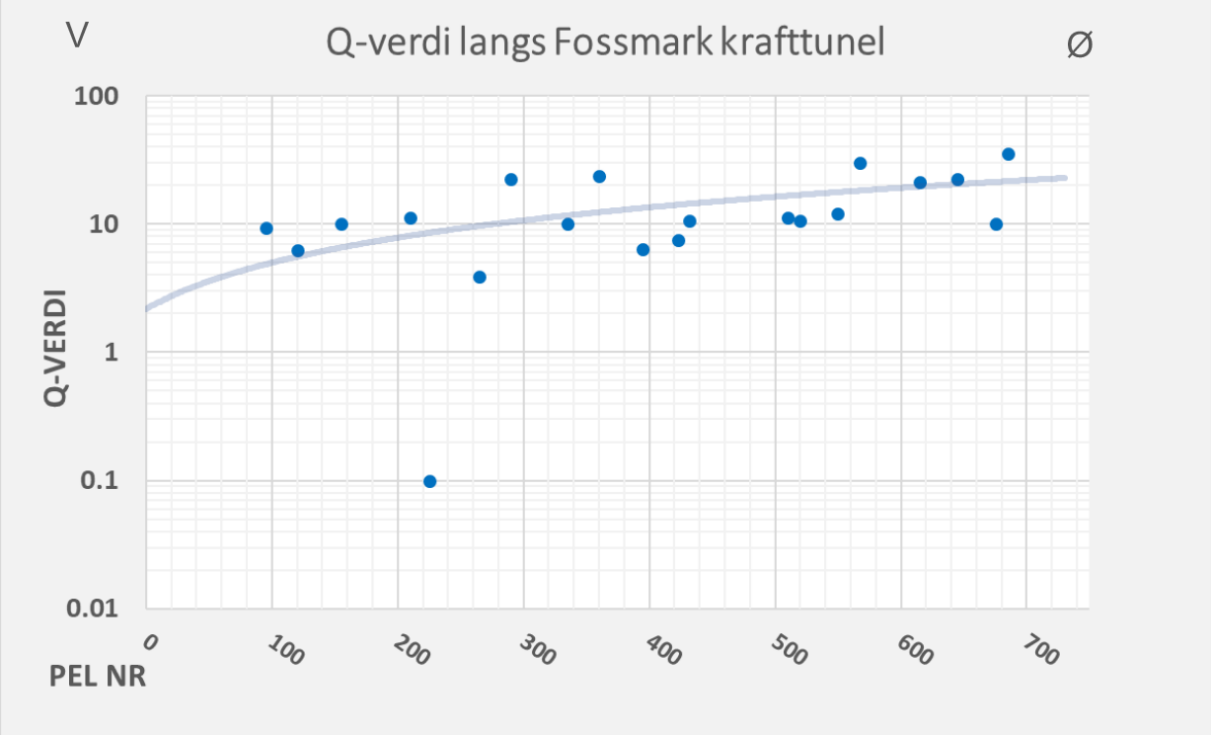
Bergmassekvaliteten er videre vurdert ut fra kartlagte blotninger i dagen over planlagte anleggstunneler, se Figur 7-13 for oversikt over befaringslokaliteter og Tabell 7-13 for oversikt over kartlagte Q'-verdier. Q'-verdiene er en normalisert Q-verdier med parameterne SRF og J_w satt til 1. Disse settes til 1 med bakgrunn i usikkerhet til parameterne når man kartlegger i dagen.

Tabell 7-13: Kartlagte Q'-verdier i dagen nær planlagte anleggstunneler ved Fossneset og Gamle Fossen.

Lokalitet	S016	J013	J014	S013	S014	B001	B002	S022
Q'	15,8	15,8	10,6	13,8	6,9	15,8	22,5	20,6
RQD	90-100	90-100	75-90	75-90	50-75	90-100	90-100	75-90
J_n	9	9	9	9	9	9	6	6
J_r	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5	1,5	1,5
J_a	1	1	1-2	1	1	1	1	1

I eksisterende tunnel er ikke utstøpte partier eller partier sikret med sprøytebetong kartlagt. Det er anslått at dette utgjør ca. 15% av tunnelens lengde (SWECO, 2022a). Mellom pel. Nr. 200 og 300 er det kartlagt varierende Q-verdier, i hovedsak fra ca. 4 til 15.

Bergmassekvaliteten for Fossmark krafttunnel er varierende. Det er beskrevet flere slepper og svakhetssoner som krysser tunnelen, hovedsakelig med orientering NØ-SV og N-S. I svakhetssonene er bergmasseklassen vurdert fra dårlig til svært dårlig (D-E). Tunnelen har flere utstøpte partier som antas å representere dårlig bergkvalitet. Figur 7-15 viser kartlagte Q-verdier i forbindelse med reguleringsplanarbeidet. Utstøpte partier og partier sikret med sprøytebetong er ikke kartlagt. Det er anslått at dette utgjør ca. 15 % av tunnelens lengde (SWECO, 2022a).



Figur 7-15: Kartlagt bergmassekvalitet i Fossmark krafttunnel fra vest mot øst (SWECO, 2022a). Linjen viser trend for Q-verdi som funksjon av pelnummer.

7.2.7 Estimerte bergmasseklasser

Basert på utførte undersøkelser anslås samlet fordelt Q-verdi langs traseen for tunnelsystemet som vist i Tabell 7-14. Estimerte bergmasseklasser er basert på kartlagt bergmasse, kryssing av tolkede svakhetssoner, påhuggsområder og kryssing av eksisterende tunneler med lav overdekning, samt tunnelkryss med store spenn. Endelig fastsettelse av bergmasseklasse må gjøres under driving. Samlet lengde for tunnelsystemet er omtrent 740 m. Servicehaller og de siste 50 m av transporttunnel før påkobling til hovedløp er ikke inkludert.

Tabell 7-14: Antatt fordeling av bergmassekvalitet langs traseen for anleggstunneler ved Fossmark og Gamle Fossen. Lengde i hver bergmasseklasse er rundet av til nærmeste 5 m.

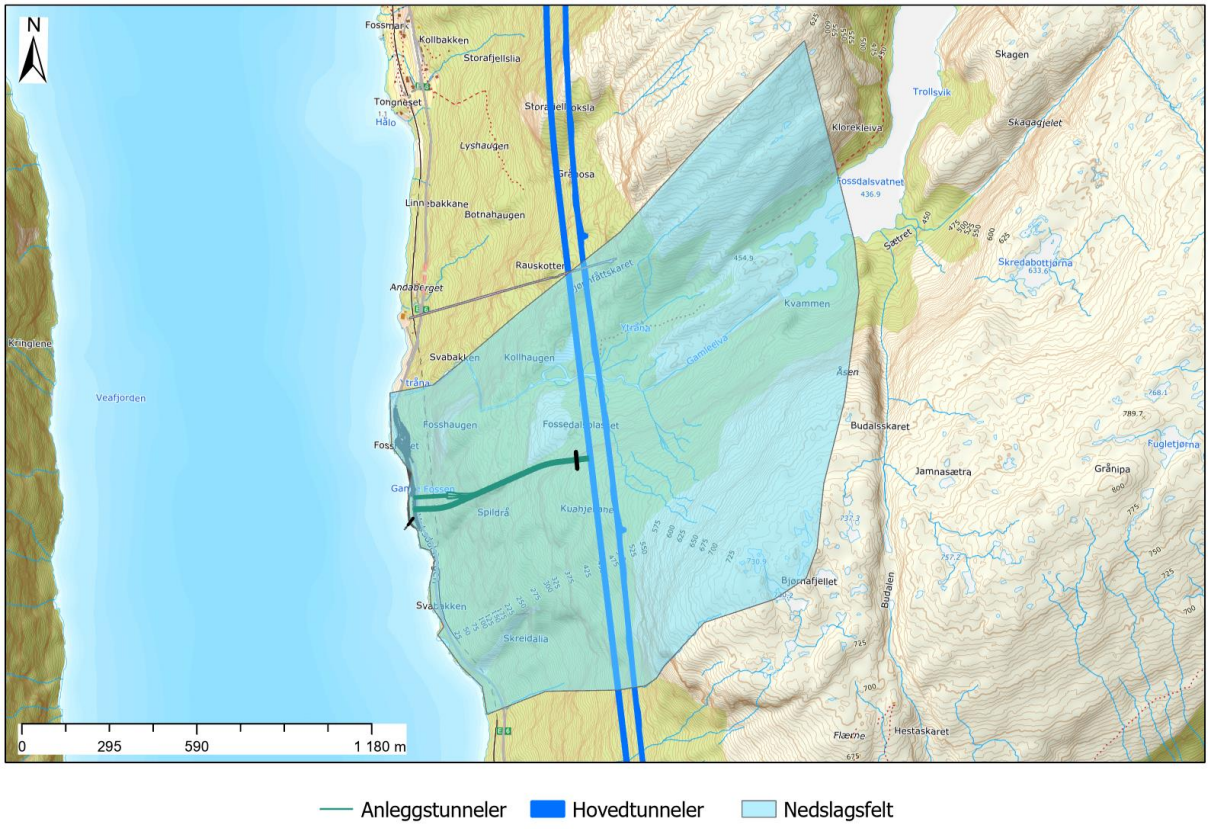
A	B	C	D	E I	E II	F	SUM
Q>40	Q 10-40	Q 4-10	Q 1-4	Q 0.3-1	Q 0.1-0.3	Q 0.01-0.1	
0 m	145 m	395 m	115 m	70 m	15 m	0 m	740 m
0 %	20 %	53 %	15 %	10 %	2 %	0 %	100 %

7.2.8 Hydrogeologisk tolkning og innlekkasje

Det finnes hovedsakelig bart fjell til svært liten løsmassemektighet i området. Det er observert mindre områder med løsmassemektighet på opptil 5 m ned mot fjordkanten. Disse løsmassene vurderes å ikke være setningsømfintlige, se geoteknisk rapport FAS-01-V-00021 (COWI, 2024t).

Innlekkasjekravet for hovedtunnelene ved Gamle Fossen er av Sweco satt til 25 l/min/100m (SWECO, 2022b).

For å sammenligne innlekkasjekrav for anleggstunnelene ved Gamle Fossen med en teoretisk grunnvannsdannelse, er det vurdert hvor mye grunnvann det dannes i nedbørsfeltet hvor tunnelen skal drives. Dette er for å kunne bedre vurdere påvirkningen som en gitt innlekkasje har på området. Nedbørsfeltet er vurdert til å være ca. 2,1 km² stort (Figur 7-16), med en gjennomsnittlig avrenning estimert av NVE til 2945 mm/år. Avrenningen er korrigert for høyde og evapotranspirasjon. Antar man at 5 % av denne avrenningen blir til grunnvann i fjellet, gir det en total grunnvannsdannelse på $3*10^5$ m^3/år. Dersom anleggstunnelene drenerer samme mengde som hovedtunnelene med 25 l/min/100m tunnel, tilsvarer dette 51 % av den årlige grunnvannsdannelsen i området. Hvis det regnes med en innlekkasje på 40 l/min/100m tunnel tilsvarer denne mengden 81 % av den årlige grunnvannsdannelsen i området. Medregnes hovedtunnelenes innlekkasje på 25 l/min/100m tunnel i dette, vil det fjernes henholdsvis 94% av grunnvannsdannelsen ved 25 l/min/100m tunnel for anleggstunnelen, og 124% av grunnvannsdannelsen ved 40 l/min/100m tunnel for anleggstunnelen.



Figur 7-16: Estimert nedbørsfelt for anleggstunnelen ved Gamle Fossen. Området er estimert ut fra hvor grunnvann som kan ende i tunnelen dannes.

Fossdalsvatnet forventes ikke å bli påvirket av innlekkasje i anleggstunnelene. Nedbørsfeltet til anleggstunnelene er vurdert til kun å være en liten del av det totale nedbørsfeltet til Fossdalsvatnet, noe som begrenser hvor mye vann som fjernes fra Fossdalsvatnet og dets innløp til kraftverket på Fossmark.

Det anbefales et innlekkasjekrav på maksimalt 35 l/min/100m tunnel**.**

Det anbefalte innlekkasjekrav kommer, sammen med hovedtunnelen, til å overstige 100% av den estimert grunnvannsdannelse i nedbørsfeltet. Dette kan tillates fordi området vurderes å være robust på grunn av høy avrenning, høy bergoverdekning og generelt steilt fjell i området. I tillegg er det ikke kartlagt grunnvannspåvirket natur. De fire forhold er med til å redusere risikoen med å potensielt fjerne mer grunnvann enn det dannes i nedbørsfeltet.

Erfaring fra andre tunnelprosjekter i Norge (figur 4.3 i Publikasjon nr. 103 fra Statens vegvesen) (Vegdirektoratet, 2003) viser at en innlekkasje på 35 l/min/100 m i tidligere prosjekter har gitt en poretrykksreduksjon i fjell rett over tunnelen på 7-19 m, med en typisk poretrykksreduksjon på 11 m. Grunnet stor bergoverdekning over tunnelen vil dette minske denne reduksjonen betydelig. Dette skyldes fjellets lave ledningsevne, som vil dempe poretrykkreduksjonen i fjell i takt med at tykkelsen på fjellet økes. Det vil over tid stadig oppstå en ny og lavere grunnvannsstand i området.

For bergmassen er det observert gjennomgående sprekker i Fossmark krafttunnel, med stedvis åpne sprekker. Det ble også registrert en stor vannførende sleppe i et

borehull på Fossmark, kapittel 5.1.4. Variasjon i nedbørsmengder gjør at det kan forventes stort potensiale for innlekkasje i området, selv om det ikke i nevneverdig grad ble observert på befaringsdagen. Basert på observasjoner og erfaringsdeling fra befaringen, se kapittel 5.1.2.2, kan det forventes høy hydraulisk konduktivitet og potensiale for innlekkasje i bergmassen ved Fossmark krafttunnel. Dette gjelder spesielt i tilknytning til slepper og svakhetssoner. Dette kan dermed også vise seg gjeldende ved Gamle Fossen.

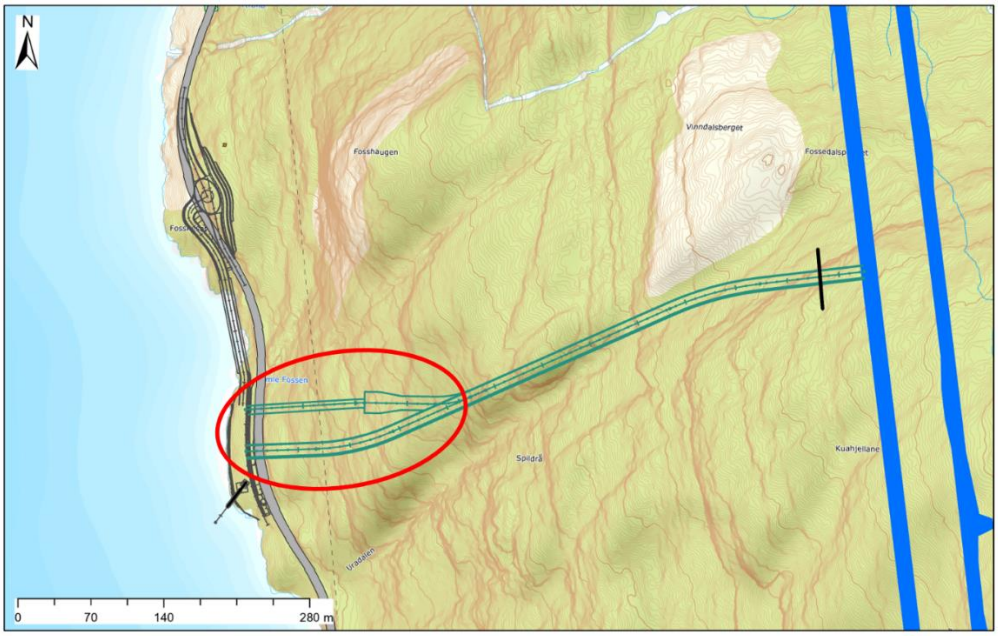
Det kan antas at de lavest beliggende delene av tunnelstrekningene ut mot fjorden ligger over grunnvannsnivå. I dette tilfellet kan byggherre i samråd med entreprenør, vurdere behovet for injeksjon og sonderboring. Dette må bekreftes i drivefasen.

7.2.9 Injeksjon

Basert på utførte undersøkelser, observasjoner og vurderinger antas det at det er behov for injeksjon for anleggstunnelene på Gamle Fossen. Påfølgende omfang av injeksjon er det knyttet stor usikkerhet til.

Det anbefales at det utføres systematisk sonderboring for anleggstunnelene på Gamle Fossen. Det utføres behovsprøvd injeksjon basert på målt innlekkasje under driving. Det er opplyst om, og observert, stort potensiale for innlekkasje i krafttunnelen og i eksisterende jernbanetunnel i området under nedbørsperioder, se kapittel 5.1.2.

Hvis det er tunnelløp i nærhet til hverandre må dette tas i betraktning for å overholde overordnet injeksjonskrav. Hvis det er flere tunnelløp innenfor en radius på 50 m fra stuff og området for kontrollhullene, må innlekkasjekrav deles på antall tunnelløp innenfor dette området. Veiledning for aktuelt område er gitt i Figur 7-17.
Ellers forventes det injeksjon i områdene der tunnelløpene for ventilasjon- og transporttunnel krysser svakhetssoner, grunnet høyere vannføring i deler av bergmassen som er mer oppsprukket. Det forventes risiko for hydraulisk jekking av eksisterende sprekker, særlig sprekkene i N-S retning. Basert på en hydraulisk trykktest fra Fossmark krafttunnel ble det målt et sprekke-gjenåpningstrykk på 2,7 MPa (Hanssen, 1997).



Figur 7-17: Områder med flere tunnelløp i nærhet til hverandre, hvor innlekkasjekrav må fordeles.

Ved påhuggsområdet til ventilasjon og transporttunnelen er det relativt lav bergoverdekning, og eksisterende E16 går over traseene. Her må det utvises aktsomhet med tanke på injeksjonsmasser ut i dagen, dersom det finnes behov for injeksjon under driving.

Det er ikke forventet at injeksjonen vil påvirke brønner nevnt i kapittel 5.1.4.

Det er gjort et estimat for forventet mengde injeksjon, basert på en innledende injeksjonsprosedyre og prinsippskisse. Disse må forventes tilpasset stedlige forhold underveis. Det er antatt følgende for injeksjonen:

- Lengde på skjerm: 27 m
- Drivelengde mellom skjermer omtrent 20 m
- 4 kontrollhull for transporttunnel og ventilasjonstunnel, 8 kontrollhull for ventilasjonshallen
- 24 hull i skjerm for ventilasjonstunnelen, 43 for transporttunnel og 50 for ventilasjonshallen.

Det antas at 50 % av den totale tunnellengden injiseres, dette inkluderer ventilasjonshallen.

Se Vedlegg 4 for nærmere beskrivelse av injeksjon ved Gamle Fossen. Ved eventuell injeksjon i nærhet til Store Fossmark jernbanetunnel, må injeksjonsskjerm tilpasses, slik at injeksjonshull ikke kommer i konflikt med eksisterende tunnel. Injeksjonsprosedyren må tilpasses slik at risiko for utgang i eksisterende jernbanetunnel minimeres. I tillegg anbefales det inspeksjon for å sjekke at det ikke er utgang av injeksjonsmasser i tunnelen, se kapittel 7.2.12.1.

7.2.10 Skred

Det henvises generelt til FAS-01-A-00084 E1 Fagrapport berg- og skredsikring for skredvurderinger (COWI, 2025). Etterfølgende underkapitler gjengir informasjon fra fagrapport skred.

7.2.10.1 Vurdering av sikkerhetsklasse

Krav til sikkerhet mot skred for rigg- og påhuggsområder ved Gamle Fossen satt til sikkerhetsklasse S2 iht. Byggteknisk forskrift med grunnlag i at riggområdet vil ha permanent personopphold (TEK17§7-3).

Permanent krav til sikkerhet mot skred for rigg- og påhuggsområdet ved Gamle Fossen etter ferdigstilt ny veg og jernbane Arna – Stanghelle er satt til sikkerhetsklasse S1 iht. Byggteknisk forskrift med grunnlag i at riggområdet kan benyttes for tiltak uten permanent personopphold (TEK17§7-3).

Gjeldende krav til sikkerhet mot skred ved Fossneset og Gamle Fossen er definert i Tabell 7-15. For utfyllende informasjon, se FAS-01-A-00084 E1 Fagrapport berg- og skredsikring for skredvurderinger (COWI, 2025).

Tabell 7-15: Definerte krav til sikkerhet mot skred ved Gamle Fossen og Fossneset.

	Sikkerhet mot skred			
			Permanent	
	Arbeidssikring/Anleggsfase		Ferdigstilt ny veg og jernbane Arna - Stanghelle	
Lokalitet:	Krav:	**Definisjon:**	Krav:	**Definisjon:**
Gamle Fossen - E16 - Veg - Krav TEK17	<1/100	Største nominelle årlige sannsynlighet		
Gamle Fossen - E16 - Veg - Krav N200	<1/300	Samlet skredsannsynlighet per km per år	<1/50	Samlet skredsannsynlighet per km per år
Gamle Fossen - Riggområde og påhuggsområde	<1/1000	Største nominelle årlige sannsynlighet	<1/100	Største nominelle årlige sannsynlighet

7.2.10.2 Skredfarevurdering

COWI konkluderer med at kartleggingsområdet ved Gamle Fossen har potensiale for utløp av steinsprang og steinskred, men ikke fjellskred.

COWI konkluderer med at kartleggingsområde ved Gamle Fossen har teoretisk potensiale for utløp av snøskred og sørpeskred med største årlige sannsynlighet lavere enn definert i kartleggingsområdets krav til sikkerhet.

COWI konkluderer med at kartleggingsområdet ved Gamle Fossen har potensiale for utløp av flomskred, men ikke jordskred.

COWI konkluderer med at kartleggingsområde ved Gamle Fossen ikke har potensiale for isnedfall.

For utfyllende informasjon, se FAS-01-A-00084 E1 Fagrapport berg- og skredsikring for skredvurderinger (COWI, 2025).

7.2.10.3 Skredsikring

Det er definert behov for berg- og skredsikring mot skred fra naturlig sideterreng ved rigg- og påhuggsområdet med tilhørende tilkomstvei ved Gamle Fossen. Det henvises til fagrapport for berg og skredsikring for ytterligere detaljer om de forskjellige tiltakene (COWI, 2025).

7.2.11 Borbarhet og sprengbarhet

Boravvik kan forekomme da bergarten det skal drives i er granittisk gneis. De gjennomsettende sprekkesettene som er observert kan også resultere i boreavvik. I denne bergarten er det som regel lagvis ansamling av mineraler med ulik styrke. Granittisk gneis vil trolig også gi middels til stor borslitasje. For bergmekaniske parametere av bergarten fra utførte tester og fra litteraturen, se kapittel 4.6. Granittisk gneis har erfaringsmessig middels-god sprengbarhet (SPR 0,42-0,45) (Zare, 2007).

Erfaringsmessig, så vel som observert på befaring, er det relativt stor variasjon i bergmassen i området. Dette vil påvirke både borbarhet og sprengbarhet. Generelle verdier for borbarhet i granittisk gneis er gitt i kapittel 4.6.5.

I områder hvor det er viktig med nøyaktig boring eller der det avdekkes boreavvik, kan avviksmåling av borehull være aktuelt, dette gjelder både i dagen og i tunnel.

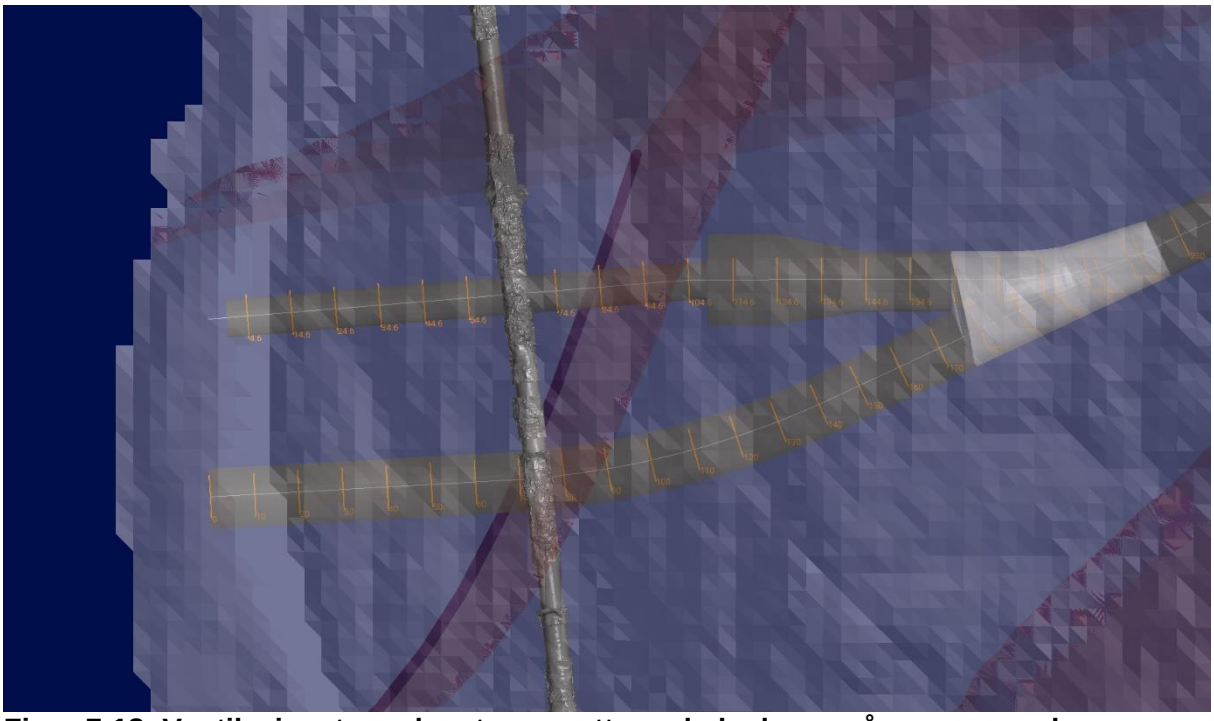
7.2.12 Drivetekniske utfordringer

7.2.12.1 Etablering av riggområde Gamle Fossen

Det anbefales tett ingeniørgeologisk oppfølging av uttaket av riggområde for Gamle Fossen. Som nevnt i kapittel 7.2.4 er det aktuelt både med forbolting langs vannkanten og horisontal konturboring er også foreslått som mulig tiltak. Det anbefales å vurdere borehullslogging for å ha kontroll på boreavvik under utførelse.

7.2.12.2 Kryssing av Store Fossmark jernbanetunnel

Transporttunnelen og ventilasjonstunnelen inn fra Gamle Fossen er planlagt å krysse under og tilnærmet vinkelrett på Store Fossmark jernbanetunnel, se Figur 7-18. Transporttunnelen krysser ved omtrent km. 437.257 og ventilasjonstunnelen ved omtrent km. 437.217.



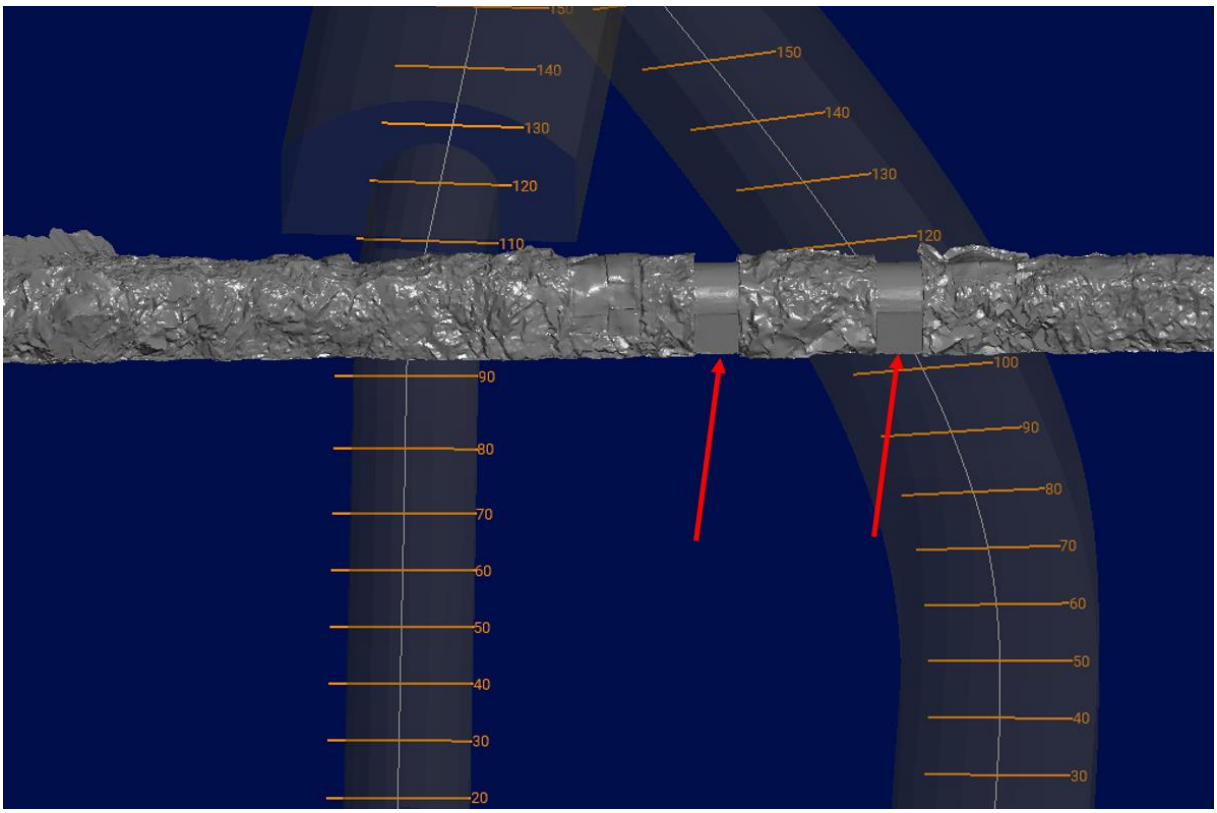
Figur 7-18: Ventilasjonstunnel og transporttunnel planlegges å passere under eksisterende jernbanetunnel ved henholdsvis km 437.217 og km 437.257. Eksisterende jernbanetunnel er den scannede, grå tunnelen. Nederst i figuren (lengst sør) er transporttunnelen, og øverst i figuren er ventilasjonstunnelen, som etter hvert utvides til en bredere ventilasjonshall etter kryssing av jernbanetunnelen. De røde sonene er tolkede svakhetssoner, basert på lineamenter og kartlegging i dagen. 50 m av eksisterende jernbanetunnelen er kartlagt av COWI. Utklipp fra geologisk modell, sett ovenfra. Nord er opp på figuren.

Det er utført georadarmålinger i jernbanetunnelen for å skaffe til veie plassering av topp berg. Legges denne til grunn fås en minste overdekning fra topp heng i transporttunnelen opp til topp berg i banetunnelen på omtrent 6 m.

To strekninger av jernbanetunnelen er dekket med en betongstøp/mur, se Figur 7-19, som vises som de slette strekningene av scannet jernbane over transporttunnelen, Figur 7-20.



Figur 7-19: Betongutstøping i jernbanetunnel med stein i enden.



Figur 7-20: Anvisning av utstøpte partier i Store Fossmark jernbanetunnel i nærheten av kryssing med kommende tunneler.

Det er i geologisk rapport til reguleringsplan (SWECO, 2022b) antatt at bergmassen bak utstøpingene er av dårlig kvalitet med Q-verdi lik 0,5, se Figur 7-14. En antakelse basert på dette kan være at det er en svakhetssone som er dekket av utstøpingen.

Jernbanetunnelen er befart langs en strekning av 50 m. Utført kartlegging av bergmassen av COWI i eksisterende tunnel viser følgende i de andre områdene for krysning:

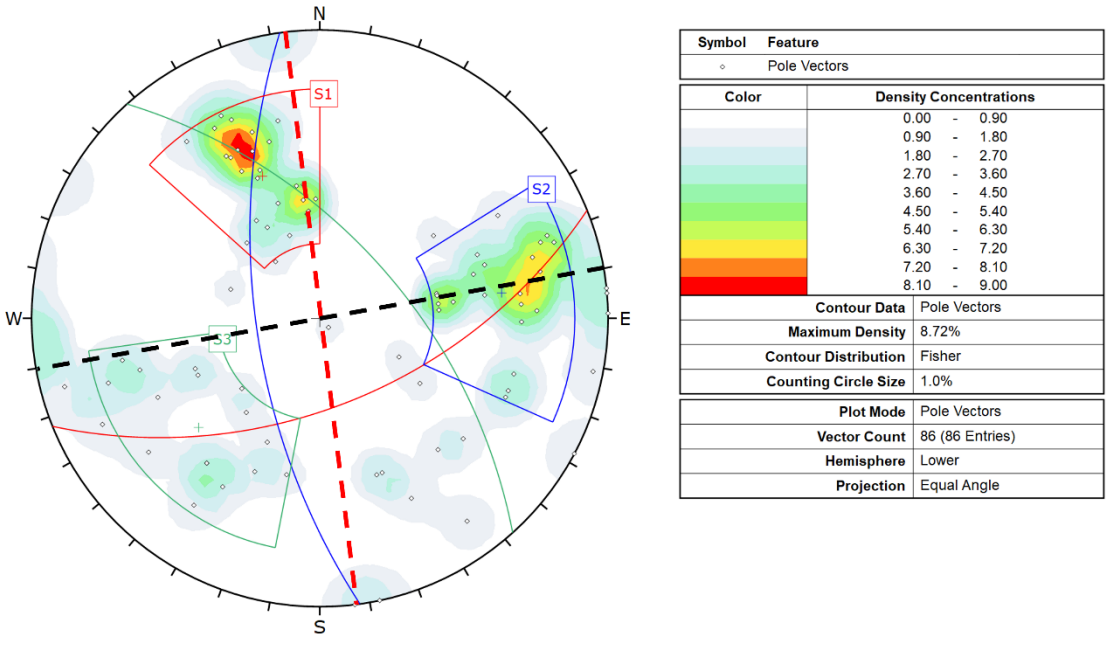
- Ventilasjonstunnel: Q = 3,4 (bergmassekvalitet D)
- Transporttunnel: Q = 3,8/0,5 (bergmassekvalitet D/E1)

Denne kartleggingen er utført med SRF=1. I henhold til dagens standard ville det i henhold til Q-systemet og BaneNORs Teknisk Regelverk gitt en bergsikring omtrent som vist i Tabell 7-16.

Tabell 7-16: Bergsikring i henhold til dagens standard, Q-systemet.

Q	Bolting c/c [m]	SFR [cm]
1-4	2,1	6
0,4-1	1,5	10

Det ble ikke registrert noen sprøytebetong langs den øvrige strekningen. Det er noen utstøpte partier. Her antas det lav Q-verdi.
Målte sprekkesett vises i Figur 7-21, sammen med retningen på jernbanetunnelen, transporttunnelen og ventilasjonstunnelen.



Figur 7-21: Polplott for registrerte sprekkesett i nærheten av Gamle Fossen. Rød stiplet linje er retningen på eksisterende jernbanetunnel, og svart stiplet linje er retning på planlagt transporttunnel og ventilasjonstunnel.

Det anbefales at det sonderbores i planlagte tunneltraséer under jernbanetunnelen fra transporttunnelen og ventilasjonstunnelen for å kontrollere bergmassens kvalitet. Omfang og detaljer kan bestemmes av byggherre i samråd med entreprenør under utførelse.

Ved uttak av de nye tunnelene vil det være en fordel å bruke forbolter langs tunnelen som skjærer nesten vinkelrett sprekkene og låser eventuelle blokker. Forboltene må forankres for å oppnå best mulig effekt. Det antas at det vil bli en statisk og dynamisk belastning fra passerende togsett i den nærliggende jernbanetunnelen. Dermed brukes det noe mer bergsikring i hengen og veggene enn hva Q-metoden og Teknisk regelverk anbefaler. Nærliggende tunnel kan også bidra til å avspenne bergmassen i området, slik at den naturlige buevirkningen kan bli dårligere. Det anbefales å gå ned en-to bergmasseklasser (C til E1, etc.), noe som øker mengden bergsikring. Dette med grunnlag i at det bør settes en SRF på 2,5-5 i området for tunnelkryssing ved driving av nye tunneler da overdekning opp til topp berg i banetunnelen (6 m) er lavere enn tunnelspennet (8,6 og 13,6 m) (NGI, 2022). Kryssingen for transporttunnelen er ved profilnummer omtrent 69-77. Kryssing for ventilasjonstunnelen er ved profilnummer omtrent 62-69. I tillegg til dette bør minimum følgende tiltak gjøres ved passeringene for å drive tunnel sikkert under den eksisterende jernbanetunnelen:

- I god tid før oppstart av forberedende arbeider for FAS bør eksisterende jernbanetunnel renskes manuelt med spett i konturen minimum 50 m ut fra hver passering. Deretter skal det gjennomføres en ingeniørgeologisk vurdering av stabiliteten og der det blir behov suppleres med ytterligere bergsikring, sprøytebetong eller nett. Dette håndteres av FAS under utførelsen.

- Tunneldriving under eksisterende jernbanetunnel bør gjøres med forbolter og korte salver, i tillegg til bergsikring etter Q-systemet. Den supplerende bergsikringen anbefales å starte minst én tunneldiameter før kryssingene og avslutte minst én tunneldiameter etter kryssingene. Endeling omfang og start av ytterligere bergsikring må vurderes under driving av byggherre.

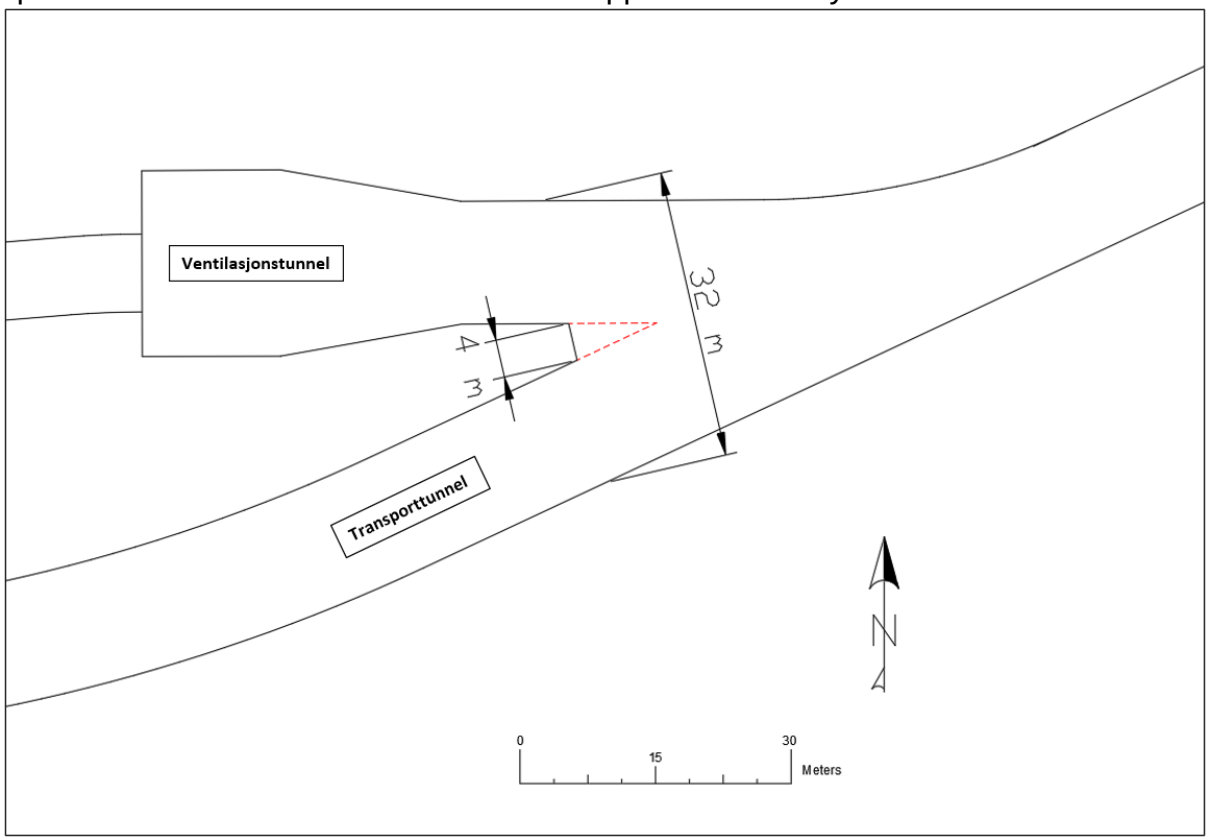
- Det må tas hensyn til behov for sprengning på hvite tider og inspeksjon av eksisterende tunnel under driving nær eksisterende jernbanetunnel. Hvite tider vil si tider når det ikke går tog gjennom tunnelen. Dette må være et samarbeid mellom byggherre og entreprenør.

Det henvises til rapport for togfremføringssikkerhet fra reguleringsplan (Rambøll/Sweco, 2020). Det henvises også til FAS-01-A-00136 E1 Notat angående kryssing av eksisterende jernbanetunneler (COWI, 2024x), FAS-01-Q-00069 E1 Risikovurderingsrapport togfremføringssikkerhet i anleggsperioden (COWI, 2024y) og tilhørende farelogg FAS-01-Q-00070 (COWI, 2024z).

7.2.12.3 Tunnelkryss Gamle Fossen

Ved tunnelkrysset mellom transporttunnel og ventilasjonstunnel vil det på et kort strekke måtte etableres bergrom med stor spennvidde. Det tas utgangspunkt i at bergstabben mellom løpene etableres med en bredde på 4 m, men endelig bredde på bergstabbe må tilpasses bergkvaliteten. Det forventes spennvidde opp mot 32 m på det bredeste, se Figur 7-22. Bergmassekvaliteten i kryssområdet forventes i utgangspunktet middels til god (C-B).

Det vil være viktig å ivareta bergstabben mellom løpene. Sømboring inntil bergstabben samt oppdelte salver er aktuelle tiltak. I bergrommet med stort spenn må det tilstrebes å oppnå en god bueform i hengen for optimal lastbærende virkning. Det anbefales en pilhøyde (høyde på buelengde i heng) i profilet på omkring 1/5 av spennvidden. Tverrsnittet kan dermed bli opp mot 12 m høyt.



Figur 7-22: Utvalgte mål, tunnelkryss Gamle Fossen.

Boltelengder må tilpasses dimensjonene på bergrommet. Boltelengder på opp mot 8 m bør vurderes i heng og ut mot vederlag i de bredeste partiene. Generelt utregnes Q-verdi i tunnel med parameter J_n = 3x J_n for tunnelkryss, i henhold til anbefalinger fra Q-systemet (NGI, 2022). Dette øker sannsynligheten for at kartlagt Q-verdi havner i samsvar med sikringsklasse E1-E2, som medfører behov for sprøytebetongbuer i henhold til sikringstabeller i 7.1.3. COWI anbefaler at behovet for tung bergsikring ved kryssområdene uansett vurderes spesifikt i byggefasen av byggherre i samråd med entreprenør.

7.2.12.4 Etablering av Bergsjakt fra dagen Gamle Fossen

Sjakt for tipping av masser er planlagt etablert i riggområdet ved Gamle Fossen som er omtalt i kapittel 7.2.4. Figur 7-23 viser utklipp fra Novapoint av plassering av bergsjakt fra riggområdet.

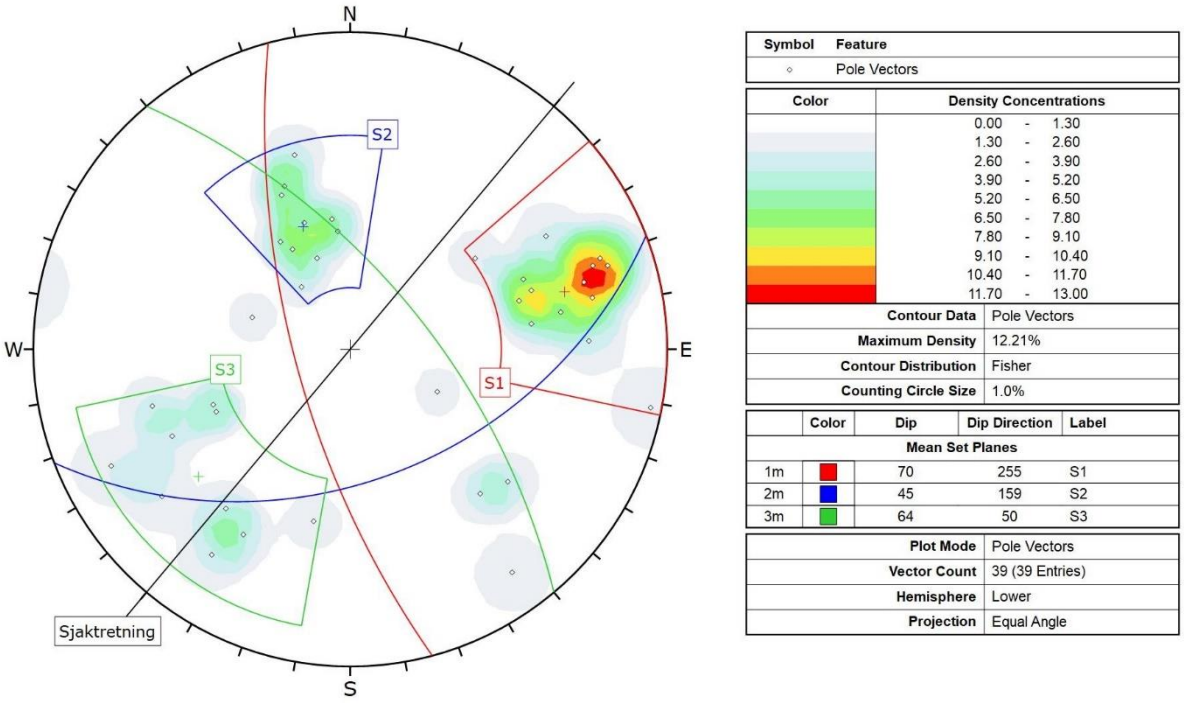


Figur 7-23: Utklipp fra Novapoint som viser plassering av sjakt ved Gamle Fossen i riggområdet. Tippkasse skimtes med lysegrå ramme. Utklipp ses mot nordøst. Det støpes ikke tunnelportaler ut fra skjæringen. Dette er kun ment for illustrasjon.

Sjakten skal drives med raise-boring, hvor det først bores en pilot fra dagen til en etablert mottaksflate under vann. Sjakten blir så opprømmet til fullt profil. Valgt helning på sjakt på 45° er basert på forsøk utført ved Universitetet i Dundee og praktiske forsøk i liten skala utført av byggherre (Statens Vegvesen / Bane NOR, 2022). Plassering av sjakt er valgt med bakgrunn i bl.a. steil helning på berget under vann ved og under planlagt sjaktmunning.

Bergarten er granittisk gneis. Beskrivelse av bergforholdene på land er beskrevet nærmere i kapittel 5.1. Foliasjonene følger S1 fra befaringslokalitet S012 og S013 (Figur 7-24). Det er utført befaring med undervannsdrone (ROV) langs bergskråningen i sjaktområdet, se 4.5.1. Det ble ikke funnet noen tydelige svakhetssoner eller slepper med utgående i skråningen. S2 er observert under vann. Videomateriale kan fås ved forespørsel.

Ved boring av pilothullet må en være oppmerksom på at borkrona kan dreie seg mot vest pga. orientering på foliasjonen. Vinkelen mellom sjakt og foliasjonen er ca. 55°, og det kan forventes at borkrona vil trekke normalt på foliasjonen. Dette må tas inn i vurderingen når utstyr velges. Vinkelen mellom sjakten og S2 og S3 er henholdsvis ca. 30° og 100°. Det er generelt registrert relativt stor sprekkeavstand ut mot fjorden på 60 cm – 2 m.



Figur 7-24: Sprekkesett og registreringer fra befaringslokalitet S012 og S013. Sjaktretning ligger inne som trendlinje, og indikerer retningen på sjakten.

7.3 Langhelleneset

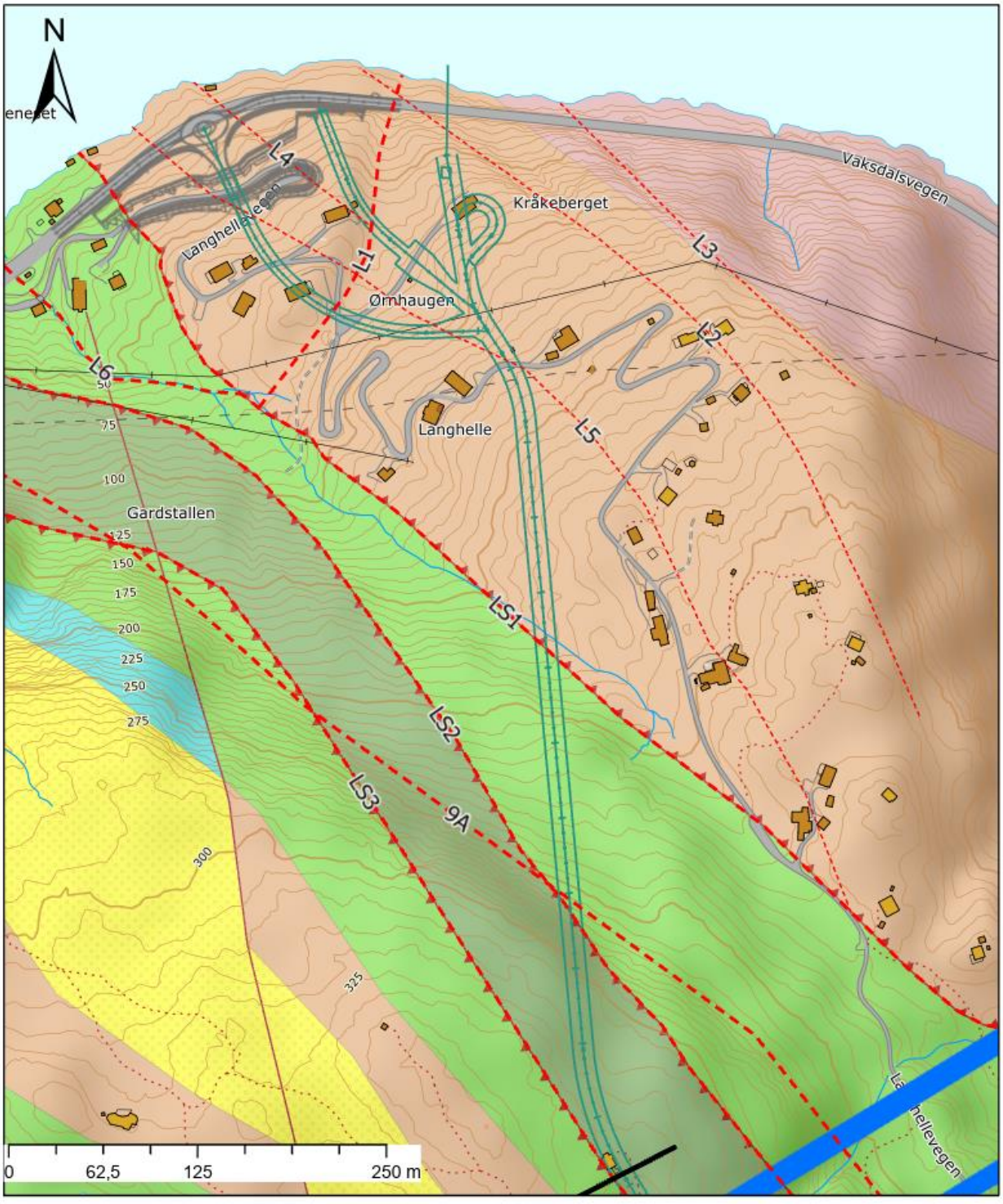
7.3.1 Ingeniørgeologisk beskrivelse av tunneltraseene

Forkastninger og svakhetssoner ved traseene er hentet fra NGUs berggrunnskart (NGU, 2023a), grunnlag fra reguleringsplan (SWECO, 2022c), samt egne tolkninger basert på en kombinasjon av befaringsregistreringer og skyggerelieff-analyse. De fleste store lineamentene i området går parallelt foliasjonen i NV-SØ retning, se Figur 7-25. I tillegg er det tolket og observert en svakhetssone som følger terrengsøkket rett vest for plassering av tipphall.

Transporttunnelen blir omtrent 680 m lang og vil krysse tre tolkede svakhetssoner. Dette er sone L5 (30°) og 9A (35°), i tillegg til skyvedekke-grense LS1 (40°), som utgjør grensen mellom amfibolitt i øst og glimmerskifer i vest, se Figur 5-31. Etter kryssingen av LS1 går transporttunnelen i glimmerskifer inn til påkobling til hovedløpene. Lengdeprofil av traseen for transporttunnelen er vist i Vedlegg 3. Oversiktsfigur over området med geologisk informasjon er vist i Figur 7-25.

Adkomsttunnelen ut til E16 er omtrent 220 m lang og vil også krysse tolket svakhetssone L1 og over et strekke på omtrent 80 m tangere sone L5. Adkomsttunnelen går i sin helhet i amfibolitt.

Ventilasjonstunnelen blir omtrent 160 m lang og vil krysse den tolkede svakhetssonen L1 med en vinkel på omtrent 45°. Ventilasjonstunnelen går i sin helhet i amfibolitt.



Anleggstunneler
Hovedtunneler
Tolkede svakhetssoner
Små
Middels

Bergart N50 NGU
Anortositt
Konglomerat
Glimmerskifer
Marmor

Amfibolitt
Mylonitt
Skjærsone (duktil), Kompresjonsbevegelse (NGU)
Forkastning (NGU)

Figur 7-25: Oversiktskart over Langhelleneset med tunneltraseer og geologisk informasjon. Berggrunnskart fra NGU (NGU, 2023a).

Selv om svakhetssone LS2 og LS3 tilsynelatende krysser og tangerer traseen for sørlig del av transporttunnelen, antas det at de ikke vil støtes på under driving fordi sonene er tolket til å falle mot sørvest. Det er knyttet usikkerhet rundt mektighet og orientering til sonene, så det kan heller ikke utelukkes helt at de ikke vil påtreffes. Fall og fallretning på sonene er tolket basert på foliasjonen i bergmassen. Se også geologisk 3D-modell.

Grunnleggende informasjon om de aktuelle tolkede svakhetssonene er gitt i Tabell 7-17.

Tabell 7-17: Tolket bredde og orientering til de kryssende svakhetssonene, i tillegg til LS2 og LS3.

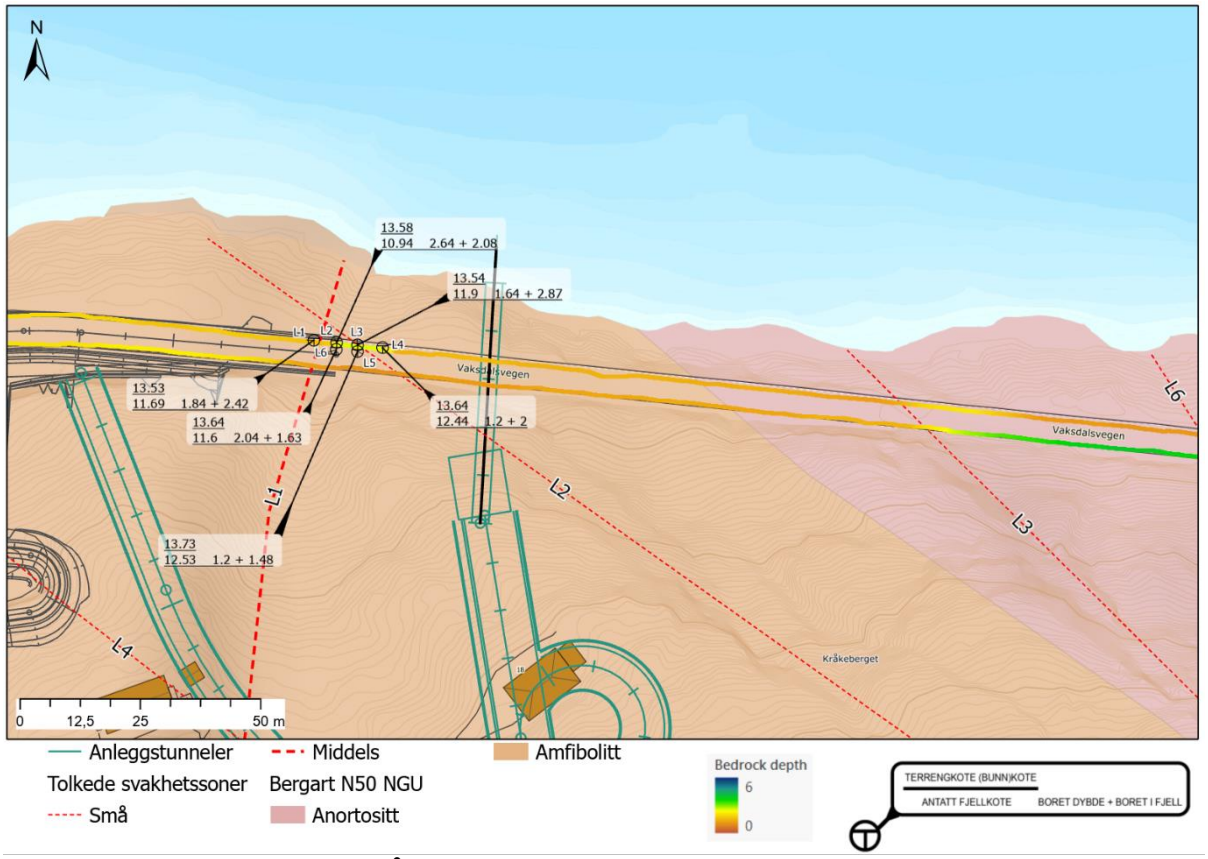
Navn	Bredde (m)	Fallretning	Fall
L5	<5	230	60
9A	<5	220	84
LS1	5-10	230	55
L1	<5	275	89
LS2	5-10	250	60
LS3	5-10	240	70

Transporttunnelen ved Langhelleneset vil krysse eksisterende banetunnel Hananipa ved profil omtrent 145-160. Her blir minste overdekning omtrent 7,5 m. Supplerende sikringstiltak og forsiktig driving må påregnes. Dette omtales nærmere i kapittel 7.3.11.1.

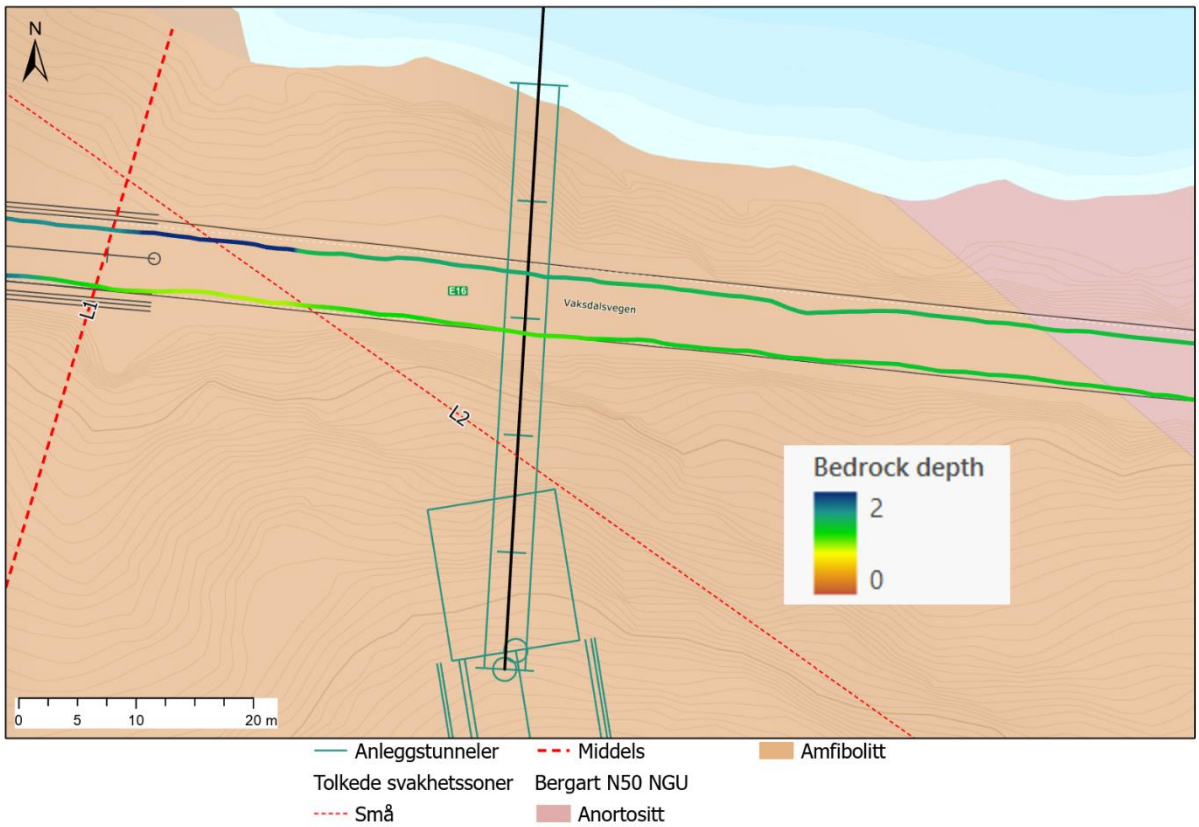
7.3.2 Resultater og tolkning av geofysiske undersøkelser

Det er ikke tolket svakhetssoner basert på geofysikk ved Langhelleneset, da det her kun er utført undersøkelser med georadar. Resultater fra de geofysiske undersøkelsene er presentert i større detalj i Geofysisk tolkningsrapport (COWI, 2024f).

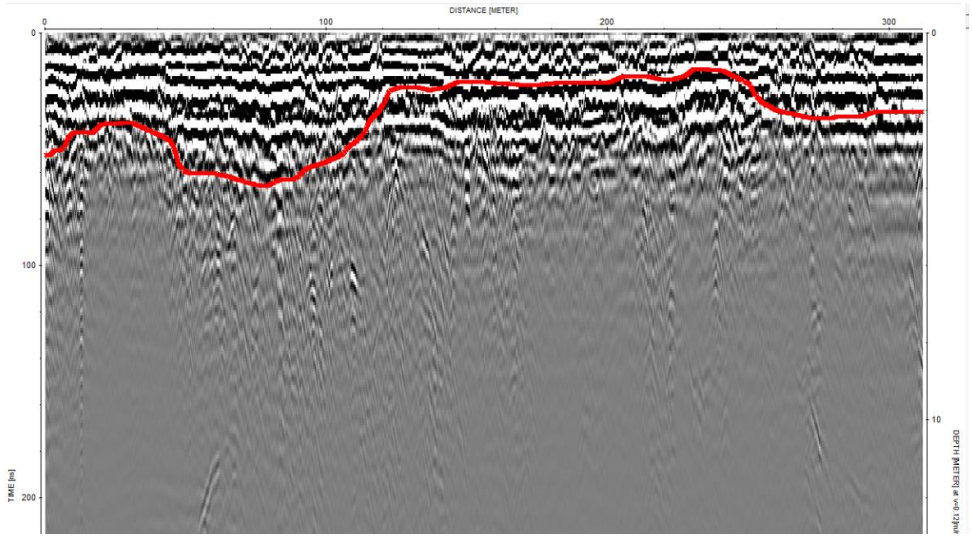
Ved Langhelleneset er dybden til berggrunnen beregnet ved å bruke to parallelle georadarlinjer på 100MHz og seks totalsonderinger, se Figur 7-26. Over 300 m av veien er dekket av georadarmålingene, og den totale dybden til berggrunnen varierer fra 0,9 til 3,9 m, se Figur 7-26. Informasjonen fra totalsonderingene varierer i dybden fra 1,2 til 2,6 m. Spesielt over de første 70 m av lengden fra vest til øst varierer dybden til berggrunnen mellom 1,8 og 2 m, og for de følgende 130 m forblir dybden konstant på 1,2 m. Den østlige delen av strekket blir gradvis dypere og når nærmere 3,9 m. Georadarprofilet angir den sørlige undersøkelseslinjen orientert fra øst til vest. Antennen som var i bruk tillot penetrering opp til ca. 10 m, men de ga ikke en betydelig reflektor dypere enn 3,9 m (COWI, 2024f). Tolket dybde til berg direkte over sjakten er 1,2 m for sørlig del av vegen og 1,5 m for nordlig del av vegen, se Figur 7-27. For usikkerheter knyttet til resultatene, se kapittel 7.1.2.



Figur 7-26: Georadarlinjer på Langhelleneset samt seks borhull.



Figur 7-27: Tolket dybde til berg over sjakt. Svart linje indikerer utstrekningen til sjakten.



Figur 7-28: Profil av georadarlinjen lengst sør utført ved Langhelleneset. Orientering av profilet er fra øst til vest.

7.3.3 Overdekning og bergspenninger

Overdekningen generelt stiger raskt sørover inn mot påkoblingsområdet til hovedtunnelene. Her er overdekningen omtrent 235 m. Overdekningen vil tilsvare en gravitativt indusert vertikalspenning på om lag 6,5 MPa og gravitativt indusert horisontalspenning på 1,6 MPa (ved bruk av en tverrkontraksjonskoeffisient på 0,2). Horisontalspenningen vil variere i størrelse avhengig av retning grunnet andre effekter som topografi, stratigrafi og grad av innspenning i berget. Det forventes ikke stabilitetsutfordringer med høye bergspenninger grunnet bergoverdekningen.

Ved nordlig ende av tipphall og påhugg for adkomsttunnelen og ventilasjonstunnelen vil det være noe begrenset overdekning. Ventilasjonstunnelen vil også få begrenset sideoverdekning i nordlig ende, se tegning V211. Tabell 7-18 gir en oversikt over områder med mindre bergoverdekning. Dette kan gi stedvis dårlig innspenning, som kan medføre behov for ekstra sikringstiltak for å etablere buevirkning og bevare profilet. Det vises også til lengde- og tverrprofiler, Vedlegg 2 og 3.

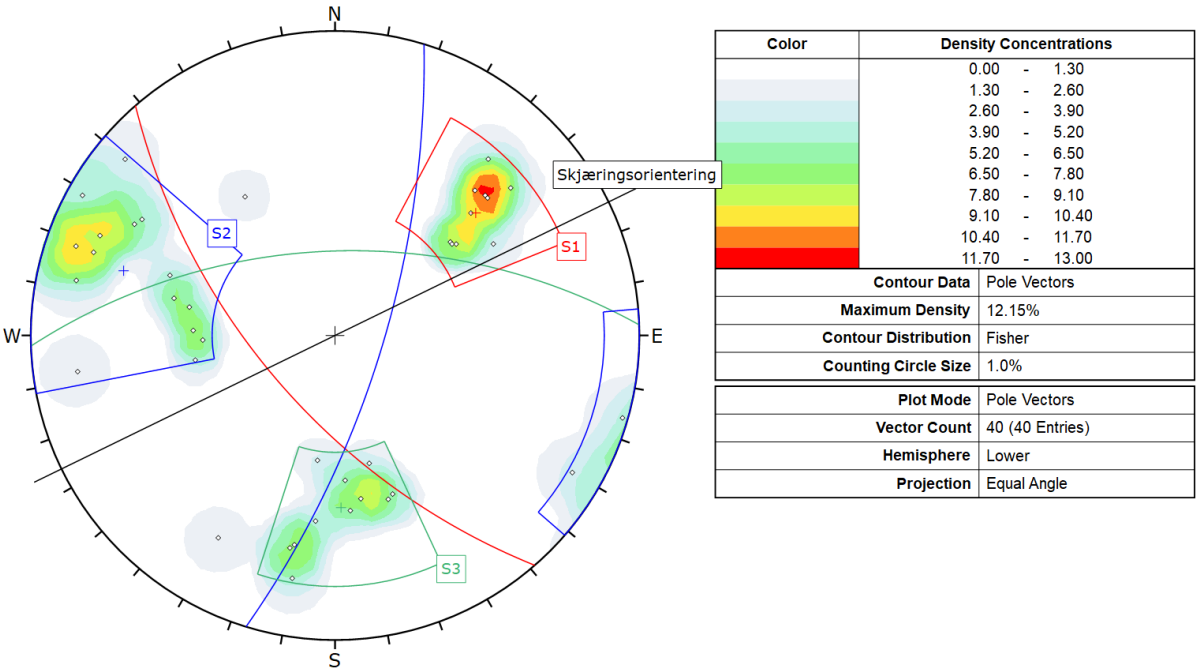
Tabell 7-18: Omtrentlig bergoverdekning for områder med lav bergoverdekning.

Påhugg adkomsttunnel	Påhugg ventilasjonstunnel	Nordlig ende tipphall	Tippkasse	Overdekning ved kryssing Hananipa	Sjakt under Langhellevegen
7,5 m	6 m	11 m	6 m	7,5 m	8 m

7.3.4 Riggområde og påhugg

7.3.4.1 Kinematisk analyse av bergskjæring ved riggområdet

I forbindelse med stabilitetsvurdering av bergskjæringen ved riggområdet er det utført en kinematisk analyse basert på befaringslokalitet S001. Stereoplott for befaringslokalitet S001 med innlagte sprekkesett og skjæringsorientering er vist i Figur 7-29. Det legges til grunn en hovedorientering på skjæringen på N064.



Figur 7-29: Stereoplott fra S001 med innlagte sprekkesett og hoved-skjæringsorientering. Skjæringsorientering er lagt til som trendlinje.

Den kinematiske analysen indikerer at plan utglidning er mulig langs sprekkesett S3. Kileutglidning er mulig som en kombinasjon av både S1 og S3, samt S2 og S3. Analysen indikerer at utveltning er lite sannsynlig. Blokkutfall er mulig med en kombinasjon av sprekkesett S1 og S2 med S3 som baseplan. Tabell 7-19 gir en oppsummering av den kinematiske analysen.

Tabell 7-19: Fremtredende løsnemekanismer fra kinematisk analyse ved befaringslokalitet S001. Det indikeres grad av fremtreden og hvilke sprekkesett det gjelder.

Side	Plan utglidning	Kileutglidning	Utveltning	Blokkutveltning
Bergskjæring riggområde Langhelleneset	Middels S3	Sterkt S1 og S3 S2 og S3	Lite Tilfeldig	Sterkt S1 og S2, S3

Blank celle = løsnemekanisme indikeres ikke
Lite = lite fremtredende; 1-15.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme
Middels = middels fremtredende; 15.1-40.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme
Sterkt = Sterkt fremtredende; 40.1-100 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme
S = sprekkesett (for blokkutveltning oppgis baseplan-sprekkesett + to sprekkesett som skjærer hverandre)

Selv om det kun indikeres middels fremtreden av plan utglidning langs S3 er det på befaring observert svakhetsplan med lik orientering som skjæringen og med helning på om lag 55° som inngår i sprekkesett S3. Grunnet Langhellevegen i bakkant av skjæringen er det ikke plass til å etablere skjæringen langs dette svakhetsplanet. Sikring av skjæringen i overkant av dette svakhetsplanet kan dermed medføre omfattende sikringstiltak, avhengig av stedlige forhold og orientering på planet. Bilder av svakhetsplan i eksisterende skjæring er vist i Figur 7-30.



Figur 7-30: Planene som inngår i sprekkesett S3. Skjæringen følger stedvis langs dette sprekkesettet. Nederst: Foto er tatt mot øst.

7.3.4.2 Sikringsbehov og utforming av bergskjæring riggområde

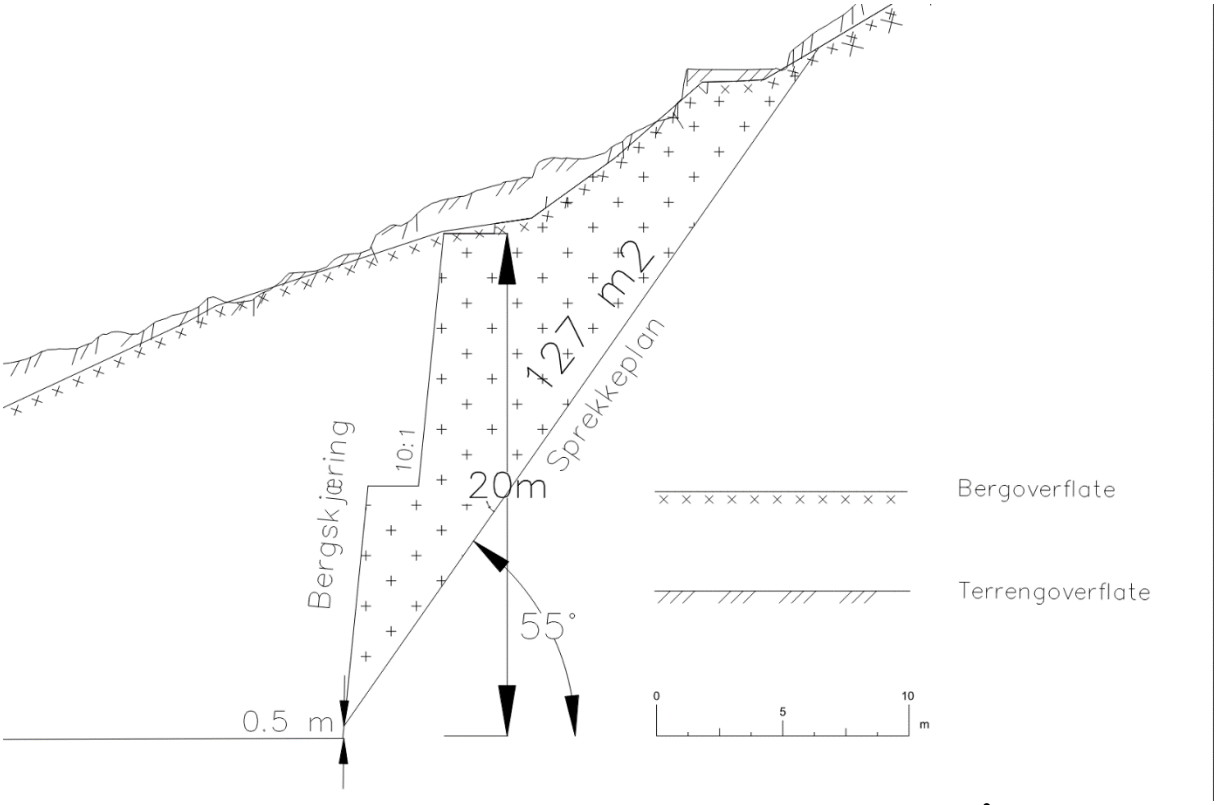
Eksisterende skjæring er i hovedsak sikret med spredt bolting, med stedvis tettere bolting. Skjæringen følger stedvis sprekkeplan som inngår i S3 med orientering omkring 55/340. Gjenstående berg over dette planet er sikret med tettere bolting, som vises i Figur 7-30.

Grunnet skjæringshøyden, stedvis stor blokkstørrelse og mulighet for utglidning langs svakhetsplan S3 anbefales systematisk forbolting av bergskjæringen. Det skal

forboltes i begge paller. Det anbefales at forboltene pulverlakkeres og varmforsinkes slik at de kan inngå i den permanente sikringen. I tillegg anbefales sømboring i sammenheng med forboltingen. Videre anbefales det at berguttaket skjer i små intervaller, slik at en ikke eksponerer for mye løst berg samtidig. Det er viktig at det ikke sprenges fri større flater enn at det er mulig å sikre ustabile partier fortløpende. Boltelengder og boltemønster for både forbolter og sikringsbolter må tilpasses stedlige bergforhold og sprekkegeometri.

I bergskjæringen går tre tolkede svakhetssoner basert på lineamenter (se Figur 7-25). Svakhetssonene er ikke observert i eksisterende skjæring, men kan komme til uttrykk lengre inn i berget. I disse områdene må det påregnes at steinsprangnett og sprøytebetong kan bli nødvendig. Endelig sikring i skjæringen fastsettes av byggherre under utførelse.

Stabilitetsberegning med partialfaktormetoden i henhold til Eurokode 7 av et tenkt worst-case scenario (utglidning av 127 m²/m blokk) viser at den høyeste delen av bergskjæringen kan måtte sikres med en samlet boltekapasitet på 3200 kN pr m skjæring for å oppfylle at stabiliserende krefter er større enn drivende krefter, se Figur 7-31 og Vedlegg 5. Ved denne beregningen er det lagt til grunn en friksjonsvinkel på 28°. Denne vil i realiteten avhenge av stedlige geologiske forhold, især sprekkegeometri og sprekkefyll- eller belegg. Øvrige parametere er gitt i Vedlegg 5. Det er også forutsatt at boltene fungerer på strekk. Stedlige forhold må undersøkes av ingeniørgeolog i byggefasen når berget er avdekket.



Figur 7-31: Tenkt worst-case scenario av totalstabilitet med gjennomgående sprekkeplan med fall 55°.

For påhuggene til tunnelene i skjæringen er det aktuelt å benytte vertikale forbolter av glassfiber i bergskjæringen, som etter hvert kan sprenges bort når tunneldriving settes i gang og påhugget er tilstrekkelig sikret. Alternativt kan boltelengder av kamstålbolter tilpasses slik at de ikke går inn i kommende tunnelprofil

Det anbefales etablering av pall omtrent 10 m over skjæringsfot. Grunnet plassmangel og nærhet til Langhellevegen i bakkant er det aktuelt at pallen etableres omtrent 2 m bred eller smalere, slik at det er tilstrekkelig med plass til blant annet ansett og bortårn. Endelig høyde på pallen må bestemmes når berget er avdekket, og tilpasses ved områdene for tunnelpåhugg.

Grunnet mulighet for stor blokkstørrelse må det påregnes at bergsikring med høy lastkapasitet kan bli nødvendig, så vel som bolter og forbolter.

7.3.4.3 Kinematisk analyse av bergskjæring langs lokalveg, Langhellevegen

Orienteringen til skjæringen ved Langhellevegen er for det meste lik som orienteringen som skjæringen ned til riggområdet, og bergmassen her vil dermed ha indikasjon på tilsvarende løsnemekanismer som omtalt kapittel 7.3.4.1. Unntaket er ved hårnålsvingen der skjæringen i varierende grad vil vende mot vest, se Figur 7-32.



Figur 7-32: Vestvendt del av bergskjæring i hårnålsvingen. Nord er opp i utklippet.

For denne orienteringen av skjæringen er det utført en kinematisk analyse basert på befaringslokalitet S001, se Figur 4-6 og Figur 7-29. Det indikeres sterk fremtreden av kileutglidning som en kombinasjon av sprekkesett S1 og S3 samt S1 og S2. Det indikeres sterk fremtreden av utveltning. Den kinematiske analysen indikerer ikke plan utglidning eller blokkutveltning. Tabell 7-20 viser en oppsummering av de kinematiske analysene.

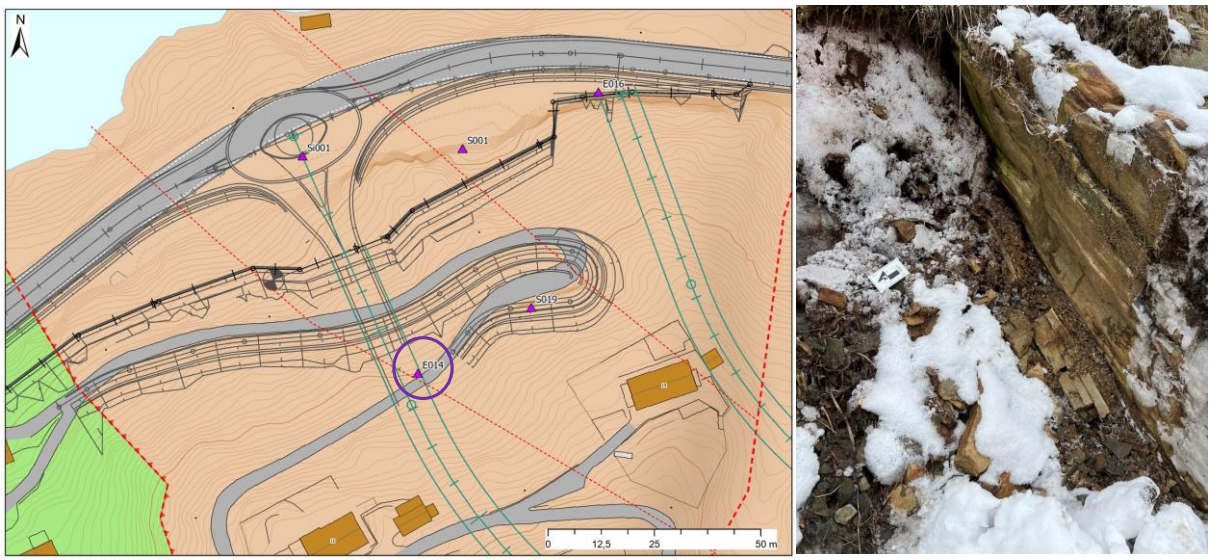
Tabell 7-20: Fremtredende løsnemekanismer fra kinematisk analyse ved vestvendt del av skjæring ved Langhellevegen basert på befaringslokalitet S001. Det indikeres grad av fremtreden og hvilke sprekkesett det gjelder.

Side	Plan utglidning	Kileutglidning	Utveltning	Blokkutveltning
Bergskjæring Langhellevegen		Sterkt S1 og S3 S1 og S2	Sterkt S2	

Blank celle = løsnemekanisme indikeres ikke
Lite = lite fremtredende; 1-15.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme
Middels = middels fremtredende; 15.1-40.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme
Sterkt = Sterkt fremtredende; 40.1-100 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme
S = sprekkesett (for blokkutveltning oppgis baseplan-sprekkesett + to sprekkesett som skjærer hverandre)

7.3.4.4 Sikringsbehov og utforming av bergskjæring Langhellevegen

For å sikre bergskjæringen ved Langhellevegen anbefales systematisk forbolting grunnet indikasjon på utglidning og bratt terreng i overkant. Det anbefales montering av steinsprangnett i hele skjæringen grunnet plassmangel for tilstrekkelig dimensjonert grøft. To lineamenter krysser skjæringen. Det er observert oppknust og forvitret berg ved befaringslokalitet E014, noe vest for øvre nivå av vegen, se Figur 7-33. Endelig sikringsomfang, boltelengder og boltemønster tilpasses stedlige forhold og fastsettes av byggherre.



Figur 7-33: Oppknust berg ved befaringslokalitet E14, markert med lilla sirkel. Foto fra COWI vist til høyre.

Arbeidet med omleggingen av Langhellevegen må gjøres på en måte som ivaretar tilkomsten til bebyggelse som ligger ovenfor. Det påregnes at det avtales flere og faste åpningstider av veien for beboere i løpet av en dag, samt at vei må kunne åpnes på kort tid dersom det blir behov for utrykning fra nødetater til bebyggelse over.

På grunn av lokalisering av Langhellevegen, med nærhet til og bratt sideterreng mot E16, anbefales det at all sprengning foretas på en slik måte at man ikke risikerer at store mengder stein havner i veibanen. Dette vil si at det vil bli korte lengder og lave paller som tas ut av gangen. Den nyetablerte skjæringen må sikres fortløpende etter

hvert som nye deler tas ut. Det anbefales at den øvre del av veien tas ut før den nedre del for å hindre at man svekker stabiliteten til eksisterende vei under anleggsperioden.

7.3.4.5 Påhuggsområder

Påhuggsområdet for adkomsttunnelen ligger ved en utvidelse ved eksisterende E16, omtalt i kapittel 7.3.1. Påhugg for adkomsttunnelen blir etablert omtrent midt i denne skjæringen, se Figur 3-15.

Påhuggsområdet for ventilasjonstunnelen går lengre øst i området, se Figur 3-15. Her er det planlagt at eksisterende bergskjæring i størst mulig grad skal beholdes. Ventilasjonstunnelen drives innenfra og ut, men gjennomslagsområdet sikres utenfra på lik linje som et påhugg. Bergskjæringen omtrent der påhugg for ventilasjonstunnelen skal etableres er vist i Figur 7-34.



Figur 7-34: Antatt påhuggsområde for ventilasjonstunnelen. Her går foliasjonen med kvartsårer 52/220. De gjennomgående sprekkene på tvers av foliasjonen går 60/108. Det ugunstige sprekkesett S3 (se kap 7.3.1) som går 50/345 kommer frem i skjæringen lengre vest (mot høyre sett inn mot skjæringen). Bildet er tatt mot sør.

Tyngre sikring må påregnes for begge påhuggsområdene. Typisk sikring for påhuggsflatene er en til to raster med forbolter. Forboltene kan festes sammen med bergbånd som henges opp av vanlige bolter, og forboltene sprøytes inn. Bruk av sprøytebetongbuer i påhuggsområdet kan bli nødvendig. Redusert salvelengde og bruk av forbolter påregnes. Endelig sikringsopplegg bestemmes av byggherren på stedet.

7.3.5 Kartlagte Q-verdier

I forbindelse med reguleringsplanarbeidet er det ved eksisterende tunnel Hananipa tidligere registrert Q-verdier mellom 15 og 2,8, tilsvarende godt til dårlig berg (bergmasseklasse B-D).
Tabell 7-21 viser bergmasseregistreringer fra reguleringsplan i vegskjæringen ved eksisterende E16 (SWECO, 2022d).

Tabell 7-21: Registrering av bergmassekvalitet ved vegskjæringen på Langhelleneset. Langhelleneset 1 er den vestlige delen av skjæringen, mens Langhelleneset 2 er fra den østlige delen (SWECO, 2022d).

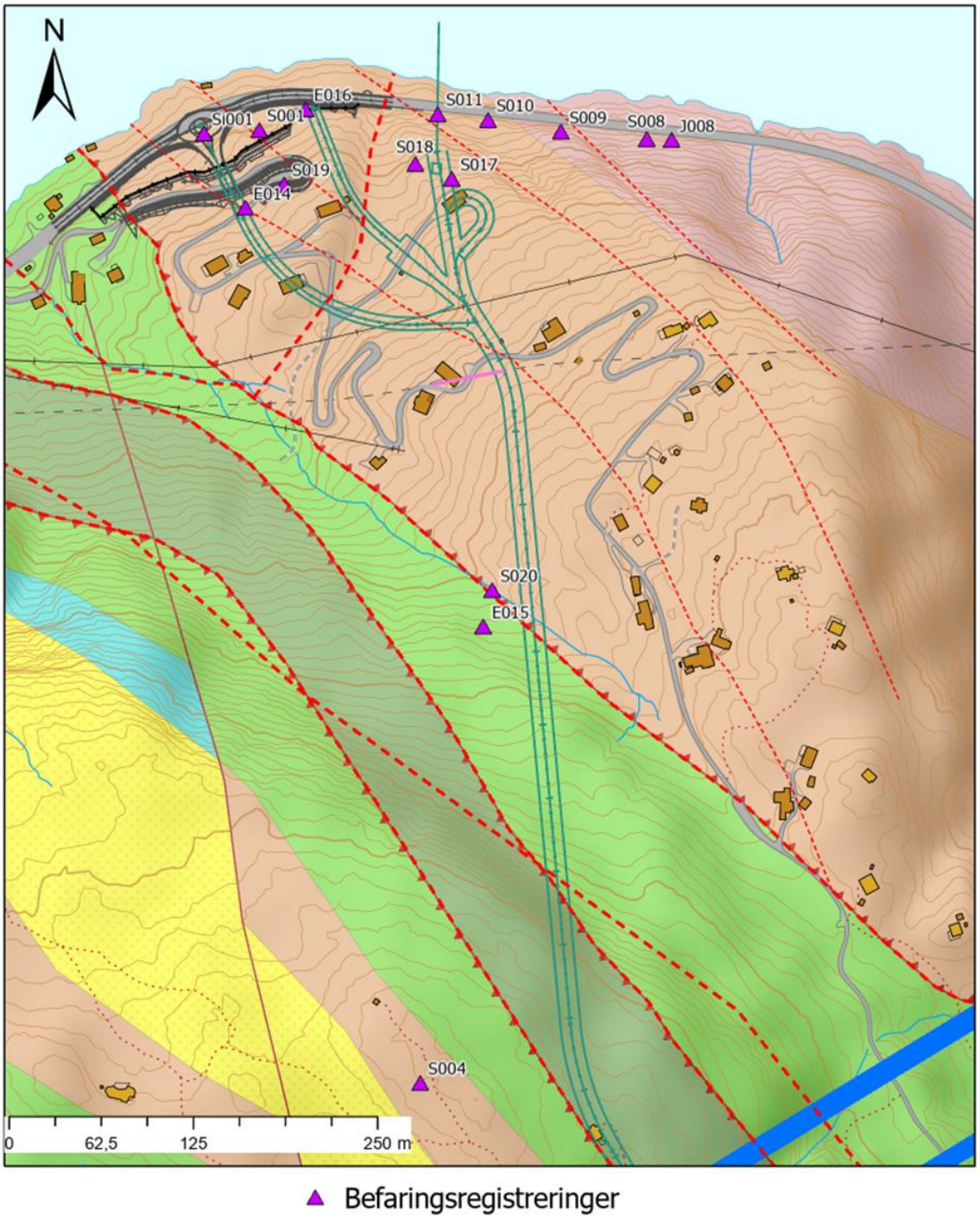
Lokalitet	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q-verdi
Langhelleneset 1	40-60	12-15	1,5-1	0,75-1	1	2,5	1-4
Langhelleneset 1	60-80	9-12	1,5-1	0,75-1	1	2,5	2-7,1
Langhelleneset 2	30-50	12-15	1,5-1	0,75-1	1	2,5	0,8-3,3
Langhelleneset 2	60-80	9-12	1,5-1	0,75-1	1	2,5	2-7,1

For COWI sine befaringsregistreringer viser Tabell 7-22 registrerte Q'-verdier registrert i bergblotninger ved tunneltraseen. Q'-verdien er en normalisert Q-verdi med parameterne SRF og J_w satt til 1. Disse settes til 1 med bakgrunn i usikkerhet til parameterne når man kartlegger i dagen. Lokasjonene er vist i Figur 7-35. Merk at ved noen av befaringsregistreringene er det ikke anslått Q-verdier.

Tabell 7-22: Q-verdier registrert i befarte bergblotninger ved tunneltraseen.

Lokalitet	S001	S011	S017	E015	S009*	E014*	S010*	J008*
Q'	9,4	13,8	20	6,7	1,0	0,6	1,0	0,9
RQD	75-90	75-90	90-100	40-60	20-40	20-40	20-40	15-35
J_n	12-15	9	6-9	9	15	12-15	12-15	12-15
J_r	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1	1	1
J_a	1	1	1	1-2	2	4	2-4	2-4

*svakhetssone/knusningssone

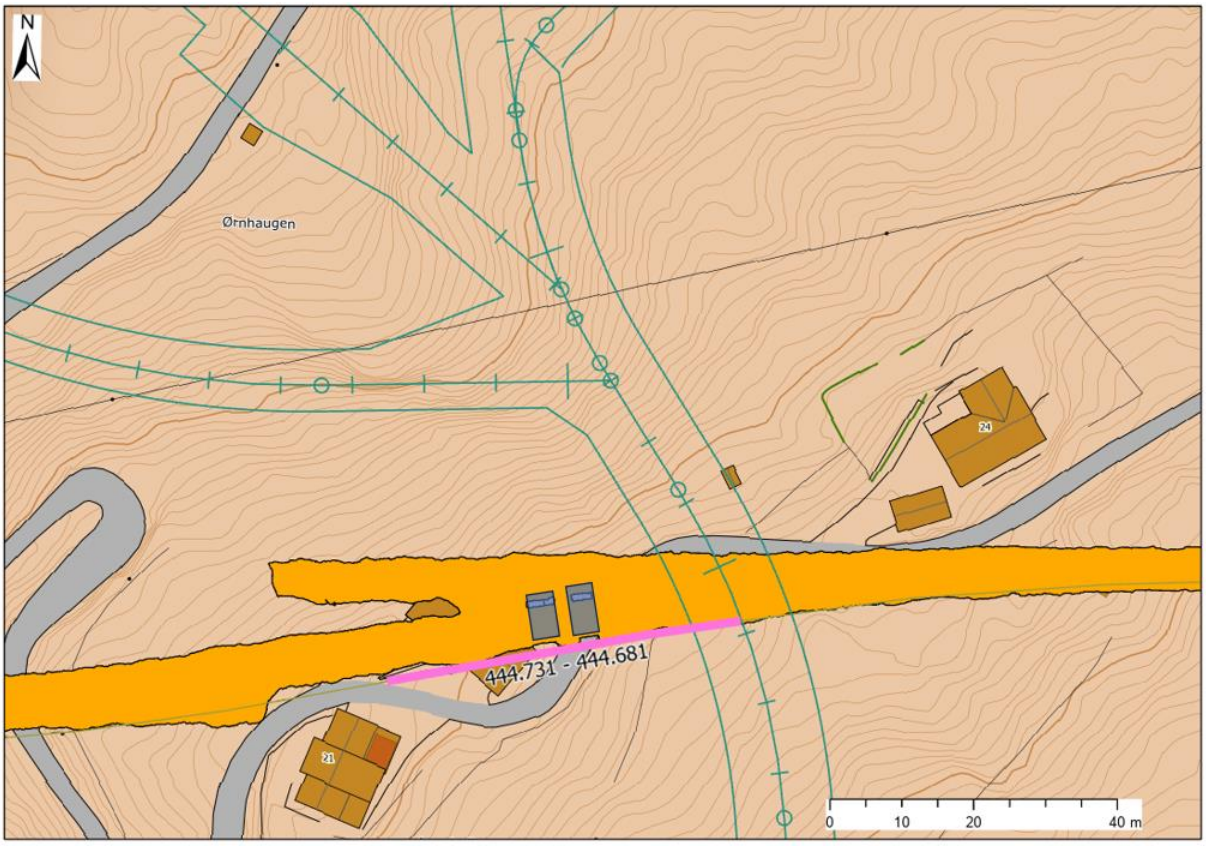


Figur 7-35: Oversikt over befaringsregistreringer. Det er ikke anslått Q-verdi ved alle befaringsregistreringene.

Tabell 7-23 viser kartlagte Q-verdier i eksisterende jernbanetunnel Hananipa. Kilometreringen gjelder fra km. 444.681 til km. 444.731. Ved profil ca 444.696-444.700 og 444.702-444.706 er berget tildekt i den ene bergsiden av murte sikringskonstruksjoner. Bergmassen her ble ikke observert som en svakhetssone, men syntes å ha noe tettere oppsprekking. Figur 7-36 viser en oversikt over kartlagt strekning.

Tabell 7-23: Kartlagte Q-verdier i eksisterende banetunnel Hananipa.

Km.	681-686	686-691	691-695	699-701	706-711	711-716	716-721	721-726	726-731
Q	6,3	6,3	5	6,3	5,4	6,7	7,1	10	10
RQD	75	75	60	75	65	80	85	80	80
J_n	9	9	9	9	9	9	9	6	6
J_r	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
J_a	2	2	2	2	2	2	2	2	2
J_w	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1	1	1	1	1	1



Figur 7-36: Detaljkartlagt strekning av Hananipatunnelen, markert med rosa linje. Økende kilometrering er mot vest. Scan av Hananipa er vist i oransje. De murte konstruksjonene er vist som blå rektangler.

7.3.6 Estimerte bergmasseklasser

Nødvendig mengde bergsikring vil avhenge av tunnelgeometri, bergmassekvalitet og Q-verdier. Estimerte bergmasseklasser er basert på kartlagt bergmasse, kryssing av tolkede svakhetssoner, påhuggsområder og kryssing av eksisterende tunneler med lav overdekning, samt tunnelkryss med store spenn. Endelig fastsettelse av

bergmasseklasse må gjøres under driving. Anslåtte Q-verdier for tunneltraseen er vist i Tabell 7-24. Samlet lengde for tunnelsystemet er omtrent 1125 m. Servicehaller og de siste 50 m av transporttunnelen inn til hovedtunnelene inngår ikke i forberedende arbeider og er ikke inkludert.

Tabell 7-24: Antatt fordeling av bergmassekvalitet langs traseen for anleggstunnel Langhelleneset. Lengde i hver bergmasseklasse er rundet av til nærmeste 5 m.

A	B	C	D	E I	E II	F	SUM
Q>40	Q 10-40	Q 4-10	Q 1-4	Q 0.3-1	Q 0.1-0.3	Q 0.01-0.1	
15 m	170 m	390 m	340 m	160 m	45 m	5 m	1125 m
1,3 %	15 %	34,5 %	30,5 %	14,2 %	4 %	<1 %	100 %

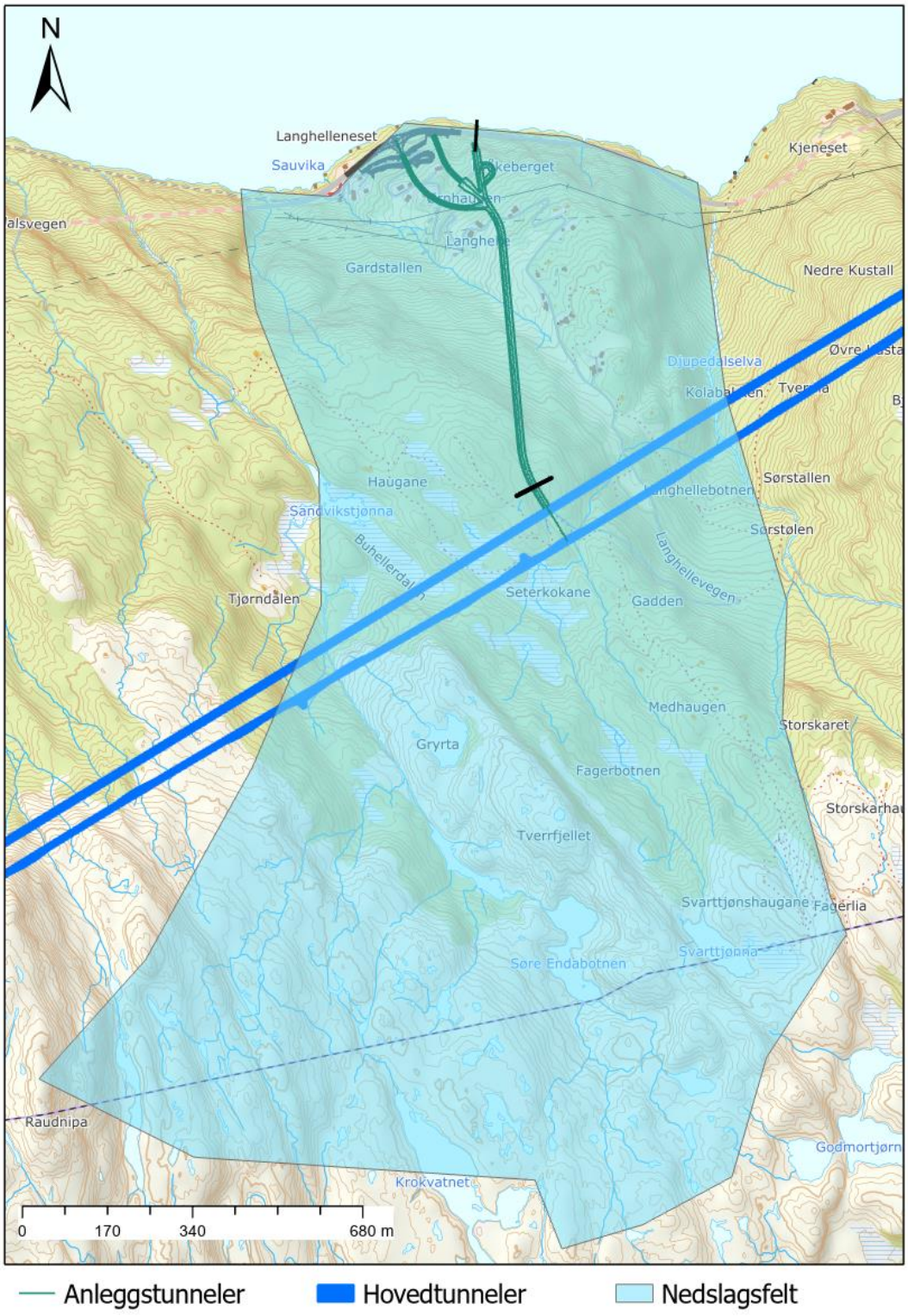
7.3.7 Hydrogeologisk tolkning og innlekkasje

Ved Langhelleneset vurderes det at influenssonen fra anleggstunnelene vil være opp til 200 m fra tunneltraseene. Da svakhetssoner kan forventes å ha større hydraulisk ledningsevne vurderes det at influensområdet kan være opptil 400 m fra tunneltraseene i forbindelse med svakhetssoner. Påvirkning ut over denne avstand vurderes til å være ubetydelig til ikke målbar.

Ved Langhelleneset finnes det opptil 5 m løsmasser ned mot fjorden. Disse løsmassene er svært faste og vurderes til å ikke være setningsømfintlige, se geoteknisk rapport FAS-01-V-00004 (COWI, 2024s). Det er i tillegg observert mye fjell i dagen flere steder omkring husene. Det er ingen større kanalisert drenering som kommer ned ved påhuggene på Langhelleneset.

For å kunne sammenligne innlekkasjekrav for anleggstunnelene ved Langhelleneset med en teoretisk grunnvannsdannelse, er det estimert hvor mye grunnvann det dannes i det nedbørsfeltet hvor tunnelen skal drives. Dette er for å kunne bedre vurdere påvirkningen som en gitt innlekkasje har på området. Nedbørsfeltet er vurdert til å være ca. 2,4 km² stort (Figur 7-41). Den gjennomsnittlige avrenningen for området er av NVE estimert til 3234 mm/år. Avrenningen er korrigert for høyde og evapotranspirasjon. Antar man at 5% av denne avrenningen blir til grunnvann i fjellet, blir det en total grunnvannsdannelse på $3,8*10^5$ m^3/år.
Hvis anleggstunnelen lekker samme mengde som hovedtunnelene med 25 l/min/100m tunnel, tilsvarer denne mengden 39% av den årlige grunnvannsdannelsen i området rundt. Hvis det regnes med en innlekkasje på 40 l/min/100 m tunnel tilsvarer denne mengden 62% av den årlige grunnvannsdannelsen i området. Medregnes hovedtunnelenes innlekkasje på 25 l/min/100m tunnel i dette, vil det fjernes henholdsvis 77% av grunnvannsdannelsen

ved 25 l/min/100 m tunnel for anleggstunnelen, og 100% av grunnvannsdannelsen ved 40 l/min/100m tunnel for anleggstunnelen.



Figur 7-37: Estimert nedbørsfelt for anleggstunnelen ved Langhelleneset. Området er estimert ut fra hvor grunnvann som kan ende i tunnelen dannes.

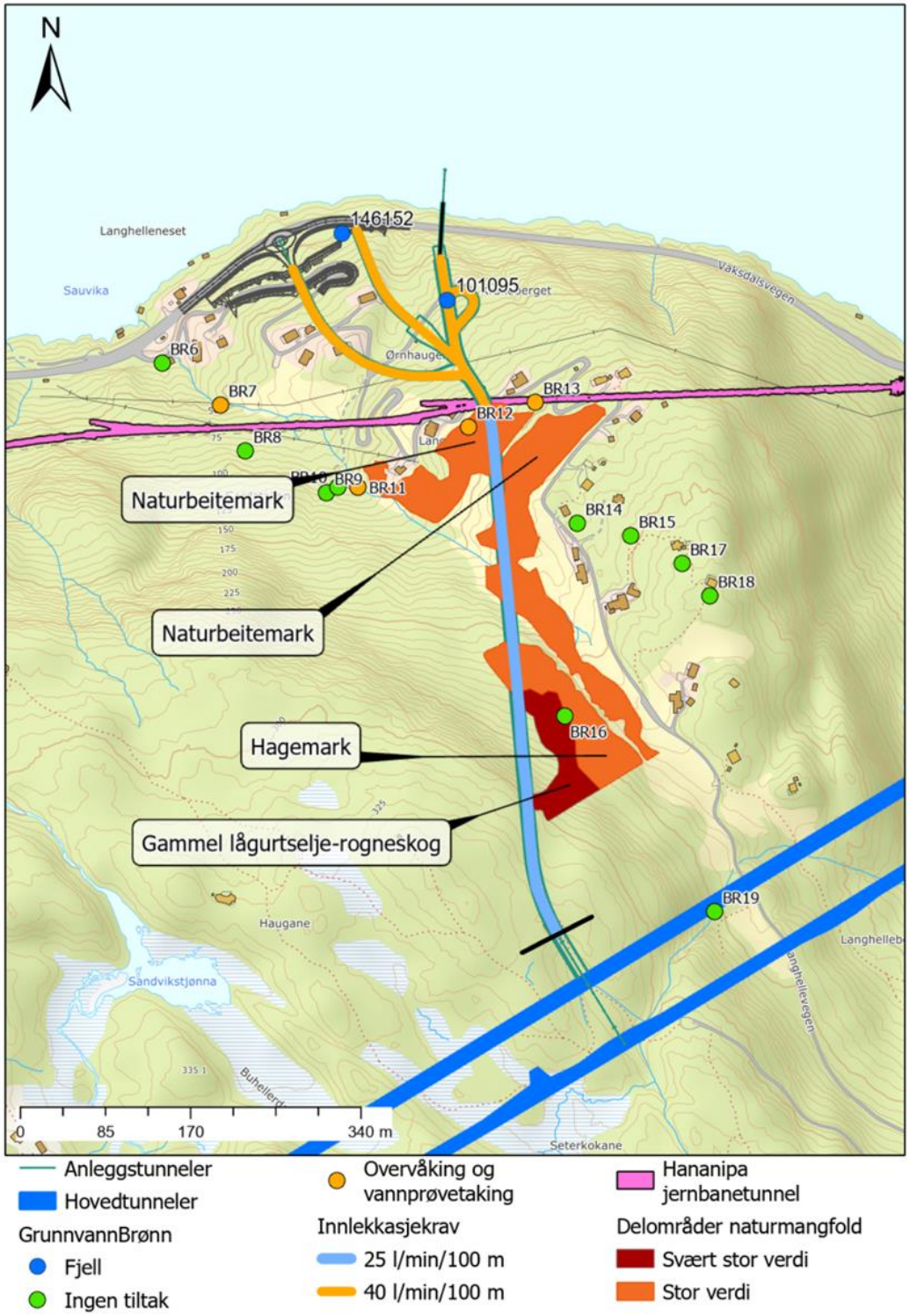
Flere tunnelløp ved Langhelleneset betyr at påvirkningen vil kunne bli større rett over og mellom tunnelene. Det er også avdekket flere drikkevannsbrønner i området enn hva som er kjent fra Granada. Flere av disse brønnene er sprengte. En høyere innlekkasje i den sørligste delen av tunnelen, vil kunne påvirke eller tørrlegge de sprengte brønnene. Derfor vil det ved en relativt lavere innlekkasje muligens kunne bevares et antall av disse. Ses det på Sandvikstjønna og de omkringliggende myrer, vurderes det at de kun delvis deler område med anleggstunnelene. En høy innlekkasje vil i samspill med hovedtunnelene potensielt kunne påvirke området med tjern og myr, samt supplerende kartlagte viktige naturtyper, se kapittel 5.2.4. Herunder er det lågurtselje-rogneskog som er kildevannspåvirket, nedenfor Sandvikstjønna og rett over tunnelen. Denne natur vurderes til å få tilført vann fra en kilde. Det vurderes at det er høy sannsynlighet for at denne kilden kan være forbundet med Sandvikstjønna og de omkringliggende myrer gjennom grunnvannet. Med en relativt høy innlekkasje, vil det være høy risiko for at vannet forsvinner fra dette området rett over tunnelen. Dette tas med i vurderingen selv om disse tjernene og myrene ikke er vurdert som viktig natur (Artsdatabanken, 2023). I tillegg ligger lågurtselje-rogneskogen i et område som har mange svakhetssoner som går langs med og som krysser de kommende anleggstunnelene. Disse svakhetssonene kan øke utbredelsen av grunnvannssenkningen langs tunnelen. Derfor kan en relativt lavere innlekkasje anbefales i denne del for å begrense avsenkningen av grunnvannet så risikoen for skade på lågurtselje-rogenskogen holdes på et akseptabelt nivå. Med avstanden på 300 m fra den nordligste del av tunnelen til natur med svært stor verdi, kan det anbefales at det i den nordligste del av tunnelen har en større innlekkasje enn den del som er tettere på hovedtunnelene.

Derfor anbefales et samlet innlekkasjekrav for transporttunnelen nærmest hoved-tunnelen på 25 l/min/100m tunnel, og et samlet innlekkasjekrav for de nordlige anleggstunnelene på 40 l/min/100m tunnel, se Figur 7-38.

Dersom det utføres ytterligere undersøkelser som fastsetter grunnvannsstanden på den ytterste del av tunnelen (området hvor det nå er fastsatt 40 l/min/100m) til å være ved eller under tunnelnivå, kan byggherrens hydrogeologer revurdere innlekkasjekravet med mulighet for å øke dette. Byggherre kan, i samråd med entreprenør, også vurdere behovet for sonderboring i de områder hvor tunnelen ligger over grunnvannsstanden, med unntak av områder hvor det kan påtreffes serpentinitt. Hananipatunnelen er beskrevet til å være tørr. Det er usikkert om Hananipatunnelen har drenert området og dermed allerede senket grunnvannet eller om Hananipa er etablert over grunnvannsnivå. Denne senkningen bør være en del av et revurdert innlekkasjekrav etter fastsettelse av grunnvannsstanden. Dog kan tunnelen være tørr grunnet manglende eller tilstoppede vannførende soner. De to grunnvannsbrønnene i nordre område ut mot fjorden, se kapittel 5.2.3, indikerer at vanninnslag kom under kommende anleggstunneler. Det er usikkert for hvor stort område informasjon fra disse brønnene er representative.

Diver er allerede installert i BR16 (Figur 7-38) og overvåkningen startet 14.03.2024, mer informasjon kan sees i (COWI, 2024k). Dette vil kunne hjelpe med vurdering av tetthetskrav underveis i tunneldrivingen, i forbindelse med grunnvannsnivå i nærhet til Gammel-lågurtselje-rognskogen.

Tidligere prosjekter viser at det kan antas at poretrykksreduksjonen avtar lineært med avstanden til tunnelene med en reduksjon på 2 m pr. 100 m (Vegdirektoratet, 2003). Det typiske fallet i vannstanden rett over tunnelen er 5-15 m, med en typisk poretrykksreduksjon på 8 m og 4 m i en avstand på 200 m fra tunnelen.
Med det fastsatte innlekkasjekravet på 40 l/min/100 m for den nordligste delen av anleggstunnelene vil dette bety en avsenkning på ca. 12 m rett over tunnelene. Tatt i betraktning at tunnelene drives inn under/rett ved siden av Gammel lågurtselje-rogneskogen, vurderes det at ville vært negativt for denne skogen med en ytterligere avsenkning av grunnvannet som følge av høyere innlekkasje i den nordligste delen av anleggstunnelene. Derfor vurderes det at en ytterligere økning i innlekkasjekravet vil øke risikoen for å skade skogen uakseptabelt.



Figur 7-38. Anleggstunnelene ved Langhelleneset med innlekkasjekrav inntegnet langs tunneltraseen. Grønne punkter indikerer overflatebrønner kartlagt av COWI. Gule punkter indikerer overflatebrønner kartlagt av COWI som vurderes å måtte overvåkes og prøvetas i forbindelse med anleggsarbeidet (COWI, 2024b).

Vannføringen på 30 l/time i brønnnummer 101095 i GRANADA, se kapittel 5.2.3, indikerer relativt lav hydraulisk konduktivitet i berget lokalt i dette området. Brønnnummer 146152 hadde lav vannføring de første 29 m av borhullet. Etter 29 m langs borhullet var det en vannføring på 2400 l/time. Dette tilsvarer omtrent kote -7. Dette indikerer høy hydraulisk konduktivitet i bergmassen på dette nivået. Det ble

registrert en sprekkesone ved 52,5-53,5 m langs borhullet. Forskjellen i vannføring i de to borhullene indikerer varierende hydraulisk konduktivitet i bergmassen. Det forventes høyere hydraulisk konduktivitet i forbindelse med slepper og svakhetssoner.

7.3.8 Injeksjon

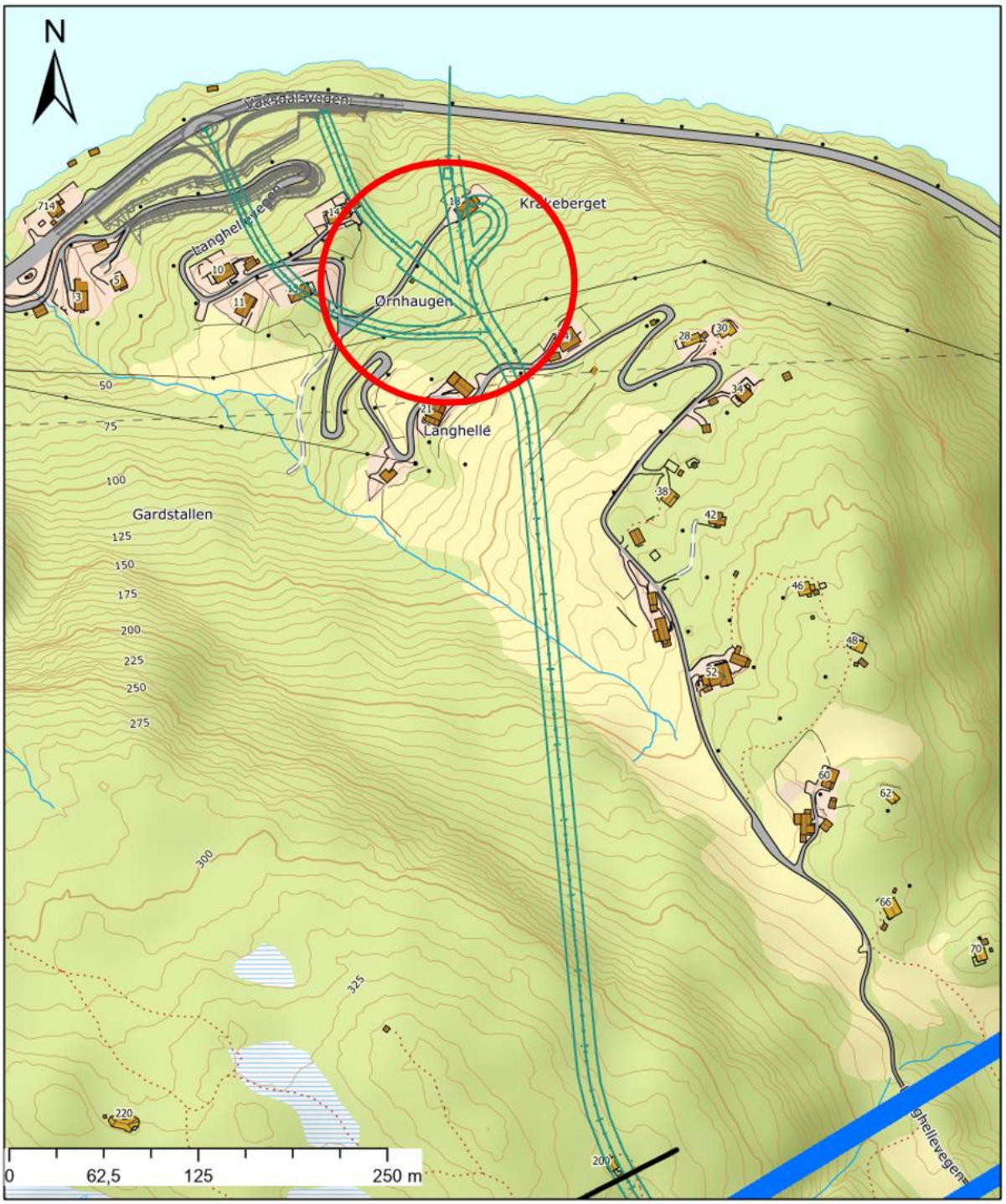
Generelle forutsetninger for injeksjon finnes i kapittel 7.1.4.

Det forventes at ca. 50% av området nord for Hananipa må injiseres for å overholde innlekkasjekravet. Traseene her har også nærhet til boliger. Boligene er antatt fundamentert på fjell basert på NGUs løsmassekart (NGU, u.d.).

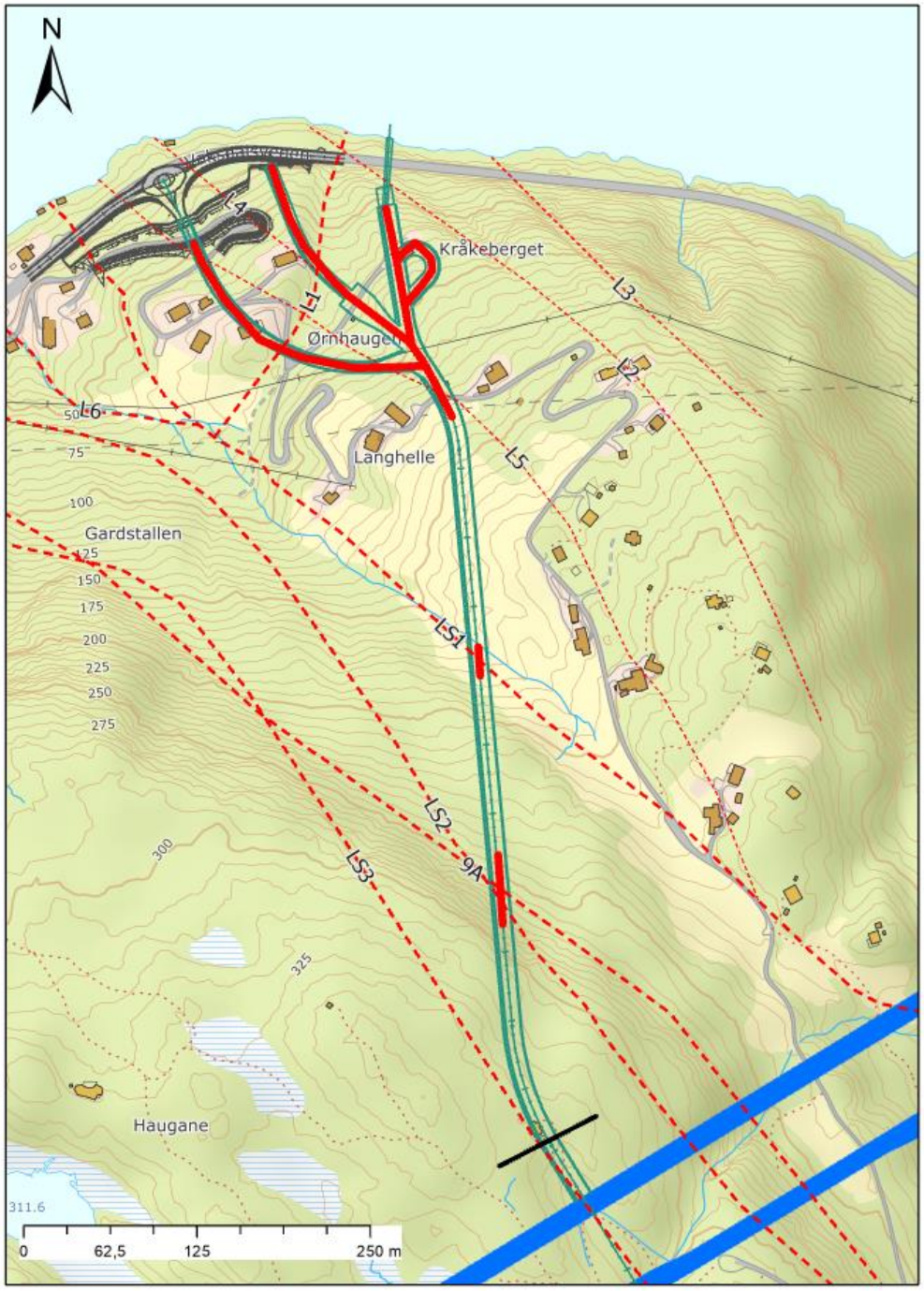
I Figur 7-39 vises område hvor det er flere tunnelløp i nærhet til hverandre.

Det er foreslått etablering av grunnvannsbrønn for å overvåke grunnvannsstanden i nordre del av tunnelsystemet på Langhelleneset. Hvis det under driving skulle vise seg at tunnelene ligger over grunnvannsstanden, kan Byggherres hydrogeolog revurdere innlekkasjekravet. En økning i innlekkasjekravet forventes å redusere injeksjonsomfanget.

Figur 7-40 viser en oversikt over hvor det er forventet injeksjon.



Figur 7-39: Områder med flere tunnelløp i nærhet til hverandre, hvor innlekkasjekrav må fordeles.



Figur 7-40: Områder det antas å være nødvendig med injeksjon er markert med tykk linje. I det nordre området markert med tykk linje forventes det at ca. 50% må injiseres. Servicehaller og de siste 50 m av transporttunnel inn mot hovedløpene inngår ikke i forberedende arbeider. Injeksjonen vil være behovsprøvd og dette er kun en skisse, det er mulig at det blir injeksjon andre steder, hvis innlekkasjemålinger tilsier at det er behov for det.

I nordre del av Langhelleneset er det relativt lav bergoverdekning og bebyggelse over tunneltrasé, se lengdeprofil i Vedlegg 3. Her må det utvises aktsomhet med tanke på injeksjonsmasser ut i dagen.

Det er forventet at brønn 101095 vil gå tapt som resultat av tunneldrivingen. Injeksjonen kan også påvirke overvannsbrønnene kartlagt av COWI, se kapittel 5.2.3 og (COWI, 2024b).

Det antas at 30% av den totale tunnellengden injiseres, dette inkluderer snuområdet og ventilasjonshallen.

Se Vedlegg 4 for nærmere beskrivelse av injeksjon ved Langhelleneset. Ved eventuell injeksjon i nærheten av Hananipa jernbanetunnel må injeksjonsskjerm tilpasses, slik at injeksjonshull ikke kommer i konflikt med eksisterende tunnel. Injeksjonstrykk og injeksjonsprosedyre må tilpasses slik at risiko for utgang i eksisterende jernbanetunnel minimeres. I tillegg anbefales det inspeksjon for å sjekke at det ikke er utgang av injeksjonsmasser i tunnelen, se kapittel 7.3.11.1.

7.3.9 Skred

Det henvises generelt til FAS-01-A-00084 E1 Fagrapport berg- og skredsikring for skredvurderinger (COWI, 2025). Etterfølgende underkapitler gjengir informasjon fra fagrapport skred.

7.3.9.1 Vurdering av sikkerhetsklasse

Krav til sikkerhet mot skred for rigg- og påhuggsområdet ved Langhelleneset er satt til sikkerhetsklasse S2 iht. Byggteknisk forskrift (TEK17§7-3) med grunnlag i at riggområdet vil ha permanent personopphold.

Permanent krav til sikkerhet mot skred for rigg- og påhuggsområdet ved Langhelleneset etter ferdigstilt ny E16 og jernbane Arna – Stanghelle er satt til sikkerhetsklasse S1 iht. Byggteknisk forskrift med grunnlag i at riggområdet kan benyttes for tiltak uten permanent personopphold (TEK17§7-3).

Gjeldende krav til sikkerhet mot skred ved Langhelleneset er definert i Tabell 7-25. For utfyllende informasjon, se FAS-01-A-00084 E1 Fagrapport berg- og skredsikring for skredvurderinger (COWI, 2025).

Tabell 7-25: Definerte krav til sikkerhet mot skred ved Langhelleneset.

Sikkerhet mot skred				
			Permanent	
	Arbeidssikring/Anleggsfase		Ferdigstilt ny veg og jernbane Arna - Stanghelle	
Lokalitet:	Krav:	**Definisjon:**	Krav:	**Definisjon:**
Langhelleneset - E16 - Veg - Krav TEK17	<1/100	Største nominelle årlige sannsynlighet		
Langhelleneset - E16 - Veg - Krav N200	<1/300	Samlet skredsannsynlighet per km per år	<1/50	Samlet skredsannsynlighet per km per år
Langhelleneset - Langhellevegen - Veg - Krav TEK17	<1/100	Største nominelle årlige sannsynlighet		
Langhelleneset - Langhellevegen - Veg - Krav N200	<1/20	Samlet skredsannsynlighet per km per år	<1/20	Samlet skredsannsynlighet per km per år
Langhelleneset - Riggområde og påhuggsområde	<1/1000	Største nominelle årlige sannsynlighet	<1/100	Største nominelle årlige sannsynlighet

7.3.9.2 Skredfarevurdering

COWI konkluderer med at kartleggingsområdet ved Langhelleneset har potensiale for utløp av steinsprang og jordskred. COWI konkluderer med at kartleggingsområdet ved Langhelleneset ikke har potensiale for snøskred, sørpeskred, flomskred eller isnedfall. For utfyllende informasjon, se FAS-01-A-00084 E1 Fagrapport berg- og skredsikring for skredvurderinger (COWI, 2025).

7.3.9.3 Vurdering av skredsikring

Det er definert behov for berg- og skredsikring mot skred fra naturlig sideterreng ved Langhelleneset. Det henvises til fagrapport for berg og skredsikring for ytterligere detaljer om de forskjellige tiltakene (COWI, 2025).

7.3.10 Borbarhet og sprengbarhet

Det kan oppstå boravvik ved driving av sørlig del av transporttunnel, som er tolket til å gå i glimmerskifer. Glimmerskifer er en foliert bergart, og foliasjonen kan bidra til å avbøye borstangen parallelt med eller vinkelrett på foliasjonen, avhengig av vinkel mellom foliasjon og boreretning. Generelt kan også borstangen avbøyes etter sprekkeorienteringer. Figur 7-41 viser et eksempel der borpipa til venstre i bildet har blitt dreid parallelt mot foliasjonen. Bildet er tatt fra eksisterende skjæring ved riggområde Langhelleneset. Under utførelse bør det vurderes behov for avviksmålinger av borehull, spesielt hvis det er behov for nøyaktig boring.

Glimmerskifer har erfaringsmessig dårlig sprengbarhet (SPR 0,6-0,7) (Zare, 2007). Resten av anleggstunnelene er tolket til å drives i amfibolitt. Amfibolitt har erfaringsmessig middels-god sprengbarhet (SPR 0,40-0,47) (Zare, 2007). Det kan forventes større borslitasje i amfibolitten, se kapittel 4.6.5. Erfaringsmessig, så vel som observert på befaring, er det relativt stor variasjon i bergmassen i området. Dette vil påvirke både borbarhet og sprengbarhet.



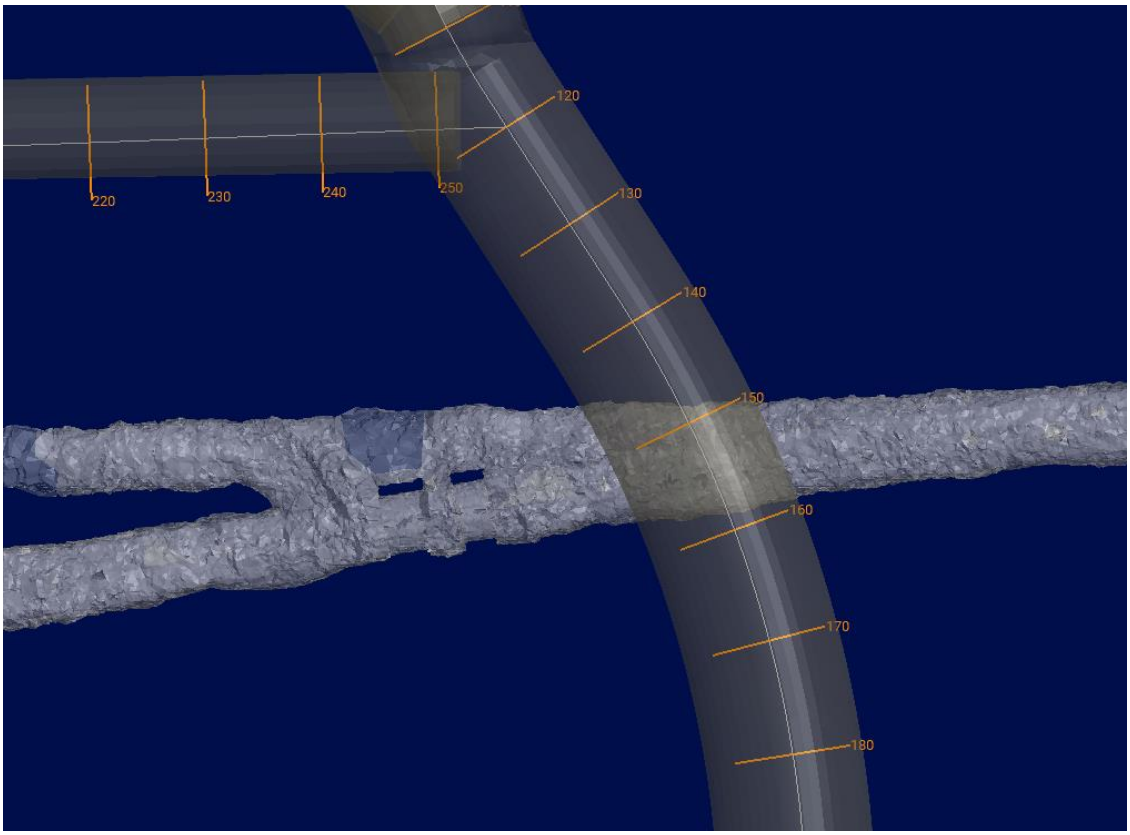
Figur 7-41: Bilde av borpipe til venstre som i noen grad har blitt dreid parallelt med foliasjonen. Skala er indikert av feltbok.

7.3.11 Drivetekniske utfordringer

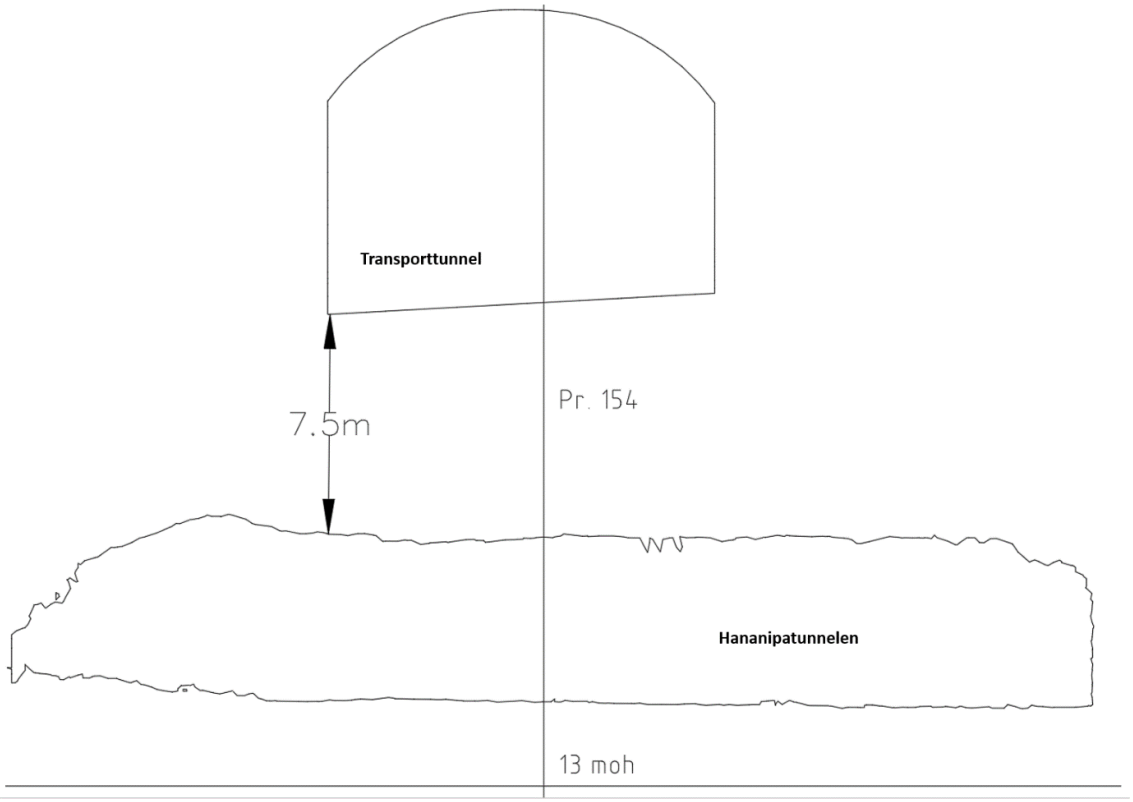
7.3.11.1 Kryssing av Hananipa jernbanetunnel

Planlagt transporttunnel vil krysse over eksisterende jernbanetunnel, Hananipa. Senter av kryssing er omtrent ved Km. omtrent 444.681 i Hananipatunnelen.

Kryssing langs transporttunnelen er ved profil omtrent 145-160, se Figur 7-42. Med scan av Hananipatunnelen lagt til grunn blir minste overdekning for tunnelkryssingen omtrent 7,5 m, se Figur 7-43.



Figur 7-42: Utklipp fra 3D-modell (COWI, 2024n). Transporttunnel krysser over Hananipa ved profil omtrent 145-160. Nord er opp i figuren.



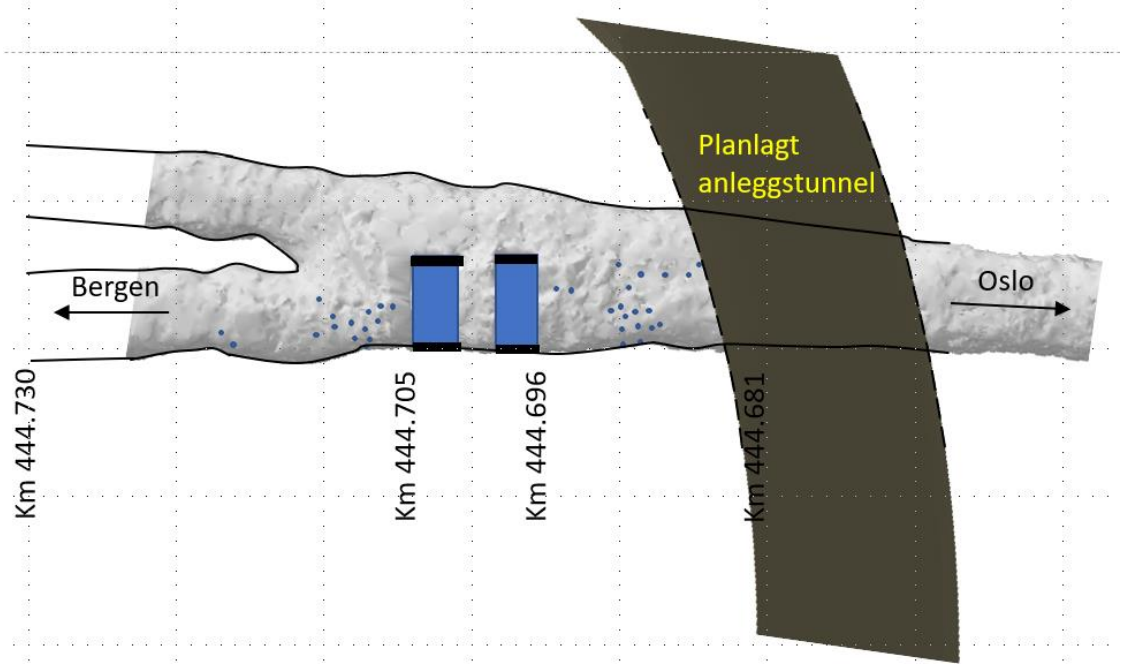
Figur 7-43: Kryssing over Hananipa, profil 154 langs transporttunnelen.

Tidligere har det inntruffet minst to mindre ras i Hananipa. De registrerte er vist i Tabell 7-26 (NVE, 2023b). Hendelsene ligger ikke i krysningsområdet, men indikerer at mindre ras kan forekomme ved sprengning og rystelser.

Tabell 7-26: Registrerte skredhendelser i Hananipa (NVE, 2023b).

Dato	km	Rasstørrelse	Konsekvens
20.11.1998	448,6	0,5-5 m^3	Nedrasing av stein. Varslet av visitør. Skader på kabel/ledninger. Steinblokk fra tunnelvegg som raset ned.
15.06.2004	449,6	0,5-5 m^3	Nedfall av stein fra tunneltak. Varslet av visitør, ingen skade.

En strekning på 50 m av Hananipatunnelen er kartlagt med registrert Q-verdi, se kapittel 7.3.4. Strekningen som er kartlagt, strekker seg fra senter av kryssingen og 50 m mot vest. På denne strekningen utvides banetunnelen fra ett løp til to løp, se Figur 7-44. Det som ikke er hovedtunnelen er et gammelt tunnelløp som fører ut i dagen. Ved COWIs befaring ble det blant annet registrert eksisterende bergsikring som i hovedsak er bolter, men det er også registrert to sikringsbuer der hvor tverrsnittet er ca. 11-12 m bredt bestående av blokker/betong, se Figur 7-44. Det antas at disse buene er satt for å støtte opp bergmassen i utvidelsesområdet.



Figur 7-44: Planskisse over observert bergsikring langs inspisert strekning. Blå prikker indikerer bergbolter og de blå feltene er buer bestående av blokker/skiferstein og betong.



Figur 7-45: Buer sett mot vest. I hengen vises boltene som er markert på ovenstående figur.

Som vist tidligere er kartlagt bergmasse i Hananipa ved krysningsområdet tilsatt en Q-verdi på 10 (med SRF og J_w=1): tilsvarende middels til godt berg. I henhold til Q-systemet ville dette gitt en bergsikring tilsvarende 5-6 cm fiberarmert sprøytebetong og systematisk bolting c/c 2,3 m. Det er ikke registrert sprøytebetong på befart strekning i Hananipa, men det er stedvis tett bolting. Ettersom bergoverdekningen stedvis er lavere enn spennvidden på tunnelen bør SRF økes til 5, slik at Q-verdien blir redusert til 2.

Minimum fire tiltak bør gjøres ved krysningen for å drive tunnel sikkert og skånsomt over eksisterende jernbanetunnel:

- I god tid før oppstart av forberedende arbeider for FAS skal eksisterende jernbanetunnel renskes i konturen med manuell spettrensk minimum 50 m ut til hver side av passering. Deretter skal det gjennomføres en ingeniørgeologisk vurdering av stabiliteten og der det blir behov, skal det suppleres med bergbolter, sprøytebetong eller nett. Langs strekningen hvor tunnelene krysser hverandre skal det boltes i heng fra eksisterende jernbanetunnel opp mot kommende transporttunnel for å forsterke mellomliggende bergmasse. Forberedende rensk og supplerende sikring fra eksisterende jernbanetunnel håndteres av byggherre.

- Til tross for at bergmassen er av middels-god kvalitet settes det strengere krav til rystelser enn hva bergmassen i seg selv krever. Rystelseskravene er basert på de murte sikringsbuene som er plassert i eksiterende jernbanetunnel, se Figur 7-46.

- Kravet til rystelser ved sprengning settes til 30 mm/s for de murte sikringsbuene. Kravet til rystelser ved sprengning settes til 50 mm/s for bergrommet. Kravene baseres på NS 8141-1:2022 (Standard Norge, 2022). Se også notat FAS-01-A-00057 Vurdering av grenseverdi for vibrasjoner (COWI, 2024a). Grenseverdien gjelder for toppverdien av uveid svingehastighet og for alle tre retninger.

- Tunneldriving over eksisterende jernbanetunnel må tilpasses slik at rystelseskrav overholdes. Endeling omfang og start av ytterligere bergsikring må vurderes under driving av byggherre.

- Det må tas hensyn til behov for sprengning på hvite tider og inspeksjon av eksisterende tunnel under driving nær eksisterende jernbanetunnel. Hvite tider vil si tider når det ikke går tog gjennom tunnelen. Dette må være et samarbeid mellom FAS og entreprenør.

Det henvises til rapport for togfremføringssikkerhet fra reguleringsplan (Rambøll/Sweco, 2020). Det henvises også til FAS-01-A-00136 E1 Notat angående kryssing av eksisterende jernbanetunneler (COWI, 2024x), FAS-01-Q-00069 E1 Risikovurderingsrapport togfremføringssikkerhet i anleggsperioden (COWI, 2024y) og tilhørende farelogg FAS-01-Q-00070 (COWI, 2024z).



Figur 7-46: Venstre: buene er frittstående i den ene enden. Høyre: buene hviler mot bergmassen.

Det forventes lite omfang av injeksjon ved krysning av Hananipa, da Hananipa under befaring ble observert som tørr. Eventuell injeksjon i såle og nedre del av transporttunnelen må påses å ikke ha utgang i Hananipa. Det anbefales bruk av styrt herding ved kryssing i nærheten av jernbanetunnelen. Geometri på eventuelle injeksjonsskjermer i nærheten av kryssing med Hananipa må tilpasses under driving. Byggherre fastsetter endelig tilpasning av injeksjonsskjerm.

Det kan også bli aktuelt med konvergensmålinger i forbindelse med kryssing av Hananipa. For konvergensmålinger er det generelt ønskelig å ha data fra målepunkter i både heng, vederlag og vegger.

7.3.11.2 Svelleleire

Svelleleire er leire som får en vesentlig volumutvidelse i kontakt med vann. Det er registrert svelleleire med høyt svellepotensiale 330 m vekk fra planlagt tunnel, se kapittel 5.2.7.4. Det vurderes som sannsynlig at det påtreffes svelleleire under driving av tunnelene på Langhelleneset, prøven ble tatt ut i anortositten.

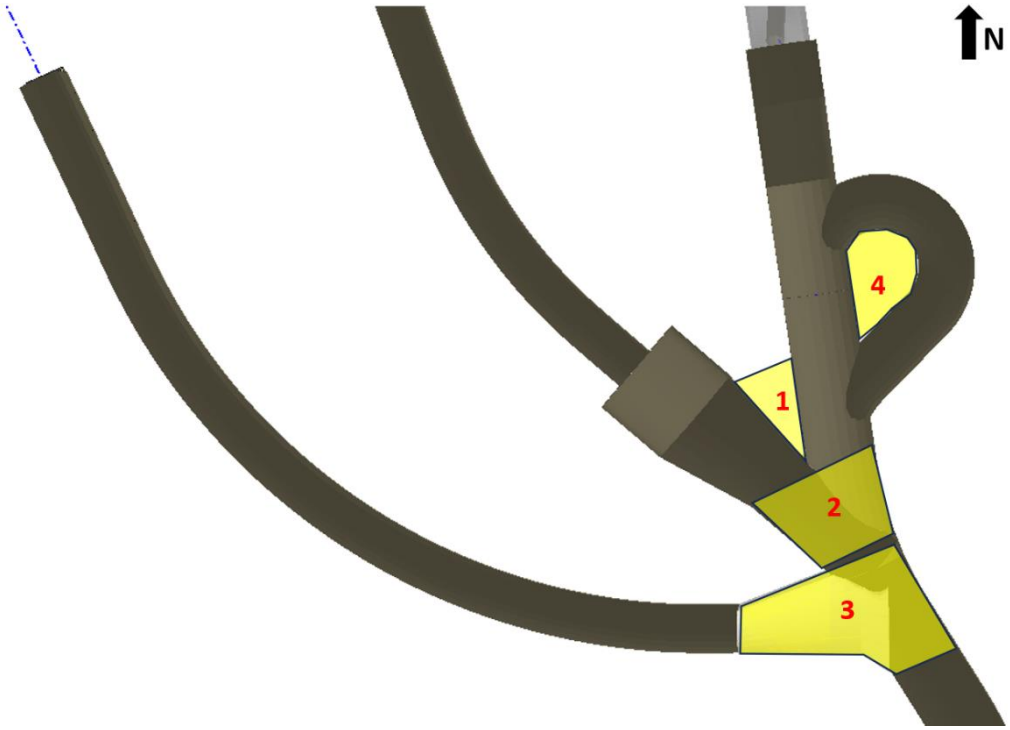
Svelleleire kan skape utfordringer ved at den utvider seg i kontakt med vann og dermed skaper et svelletrykk. Dette kan igjen føre til at installert sikring får skader eller brudd som igjen kan føre til utrasing, og i usikret bergmasse vil trykket kunne føre til nedfall av blokker eller bergmasse. Ved større mektigheter av svelleleire i kombinasjon med oppknust berg, kan svelletrykket også føre til utgraving av det oppknuste berget.

Det er lagt opp til prøvetaking av leirholdige soner, for testing av svelleegenskaper, se kapittel 10.3.

7.3.11.3 Tunnelkryss Langhelleneset

Valgt løsning for anleggstunneler ved Langhelleneset vil stedvis få kompleks geometri med flere tunnelkryss i relativ nærhet til hverandre. Store bergrom vil åpnes. Det vil være viktig å ivareta mellomstående bergstabber ved forsiktig driving og sprengning, samt å oppnå buevirkning i tunnelprofilene. I forbindelse med kryssene vil det bli svært viktig med ingeniørgeologisk kompetanse og oppfølging under utførelse.

Områdene for tunnelkryss krysser ingen tolkede svakhetssoner. Basert på observasjoner i nærliggende Hananipatunnelen, samt registreringer i dagen, forventes bergmassekvaliteten middels (Q=4-10, ikke medregnet J_n x 3 for tunnelkryss). Overdekning i området vil være omtrent 50-60 m. Det er ikke utført spenningsmålinger, men overdekning av denne størrelsen vil generelt være gunstig for innspenningen i berget. Figur 7-47 viser en oversikt over områder som omtales i det følgende.



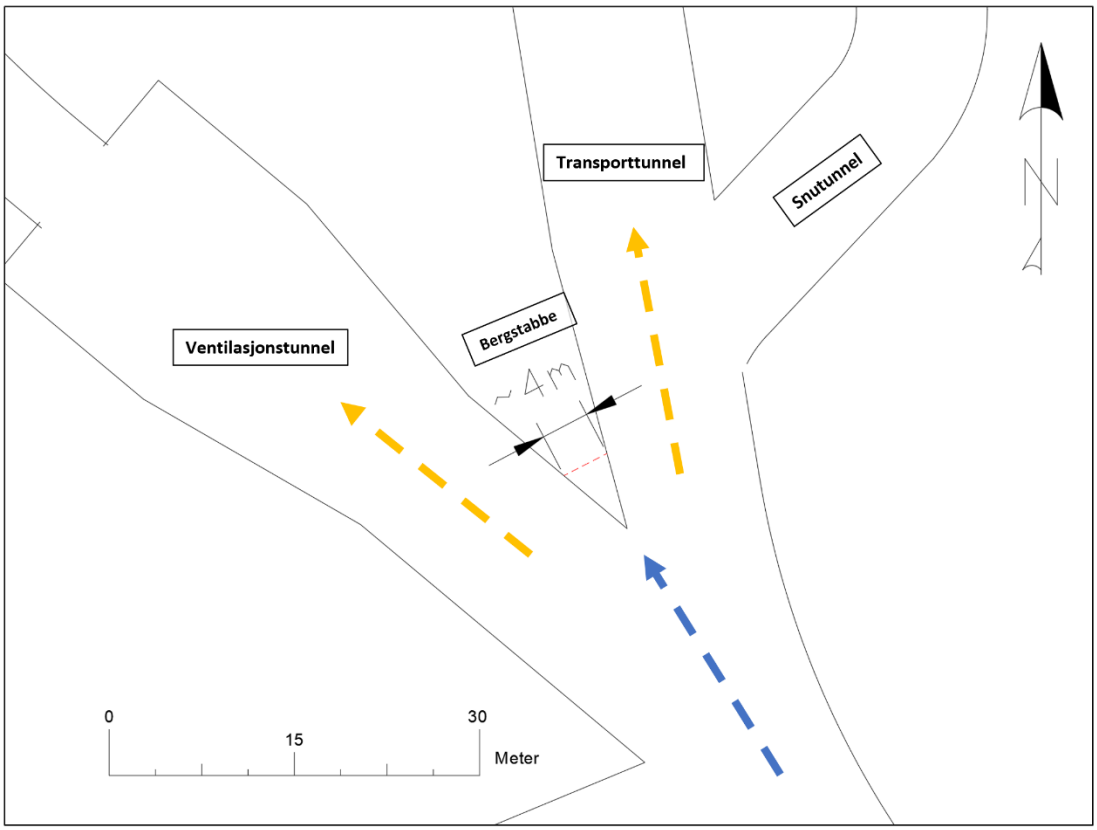
Figur 7-47: Områder som omtales ved tunnelkryss på Langhelleneset. Figuren er ment som en illustrasjon.

1. Bergstabbe mellom transporttunnel og ventilasjonstunnel. Denne bergstabben vil i praksis ikke utformes med så spiss vinkel som vises i modell, men avrundes mer og forskyves noe lengre mot nord. Denne bergstabben må ivaretas, da den vil bli et viktig lastbærende element for tunnelsystemet. Bergoverdekning over denne pillaren blir omtrent 45-50 m. Bergstabben må sikres. Det må påregnes forsiktig driving og sprengning for både transporttunnel og ventilasjonstunnel i nærheten av denne bergstabben, etter at utvidelsen er splittet opp i to tunnelløp. Ved overgangen fra ett samlet profil (se pkt. 2) til to tunnelløp kan det være aktuelt å strosse ut delene av tunnelprofilene som har nærhet til bergstabben. Dersom det gjøres kjent med

at denne bergstabben er av dårlig bergmassekvalitet kan det bli nødvendig med tung bergsikring i profilet, se pkt 2. Endelig sikring tilpasses geologiske forhold, og fastsettes av byggherre.

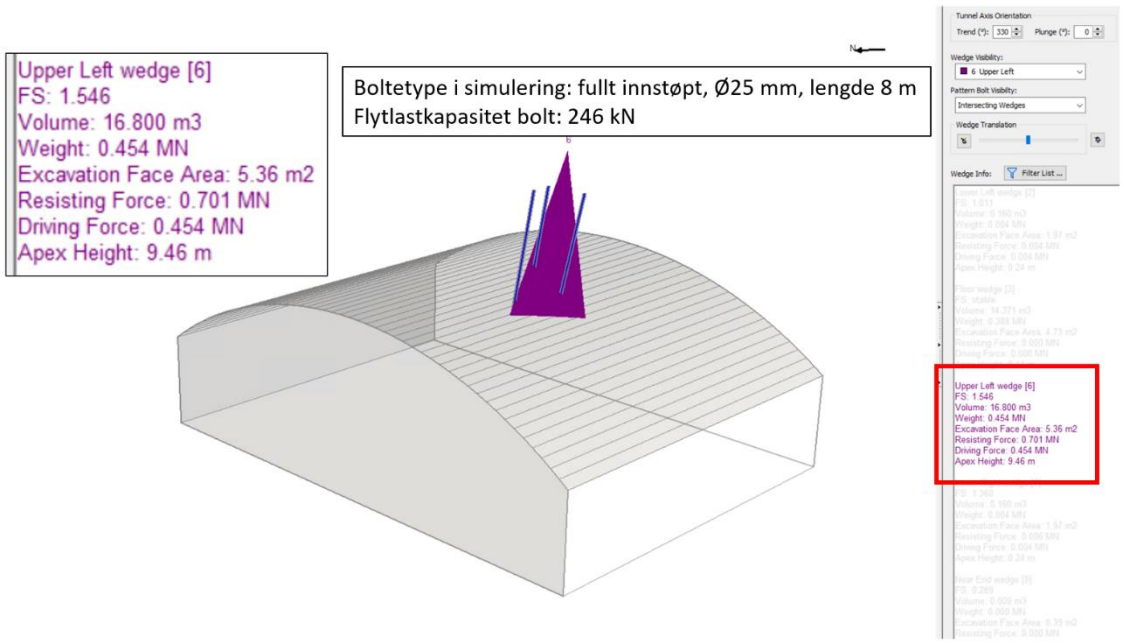
2. Utvidet bergrom i kryss mellom transporttunnel og ventilasjonstunnel. Minste bergoverdekning her er omtrent 50 m. Det tas utgangspunkt i at utvidelsen drives som ett jevnt profil (se blå linje i Figur 7-48), og her kan spennet på bergrommet bli opp mot omtrent 30 m bredt. Her blir det viktig å etterstrebe en god bueform i heng. Det er viktig for å skape en naturlig lastbærende virkning i bergmassen, samt for å tilrettelegge for eventuell senere installasjon av sprøytebetongbuer. For å oppnå dette vil høyden på tverrsnittet i utvidelsen øke opp mot 12 m.

   Det tas utgangspunkt i at profilet kan splittes opp til to løp når bergstabben mellom løpene er minimum 4 m bred, men nødvendig bredde tilpasses bergmassekvalitet og stedlige forhold under driving. Prinsipp er vist i Figur 7-48. Dersom det i anleggsperioden finnes dårlig bergmassekvalitet i kryssområdet kan det bli nødvendig med tung bergsikring. Det anbefales deformasjonsovervåking med konvergensmålere i dette kryssområdet. Da kan supplerende lastbærende sikring installeres dersom det blir nødvendig. Grunnet det store spennet bør det vurderes boltelengder på 8 m i hengen, i henhold til anbefaling om boltelenger fra NFF håndbok om bergbolting (NFF, 2020).



Figur 7-48: Prinsipp for driving av tunnelkryss ved Langhelleneset. Blå pil illustrerer driveretning med samlet profil, og gule piler illustrerer driveretninger ved oppdeling til to tunnelløp.

Det anses som mest sannsynlig at bergmassen i området utgjøres av hardt, blokkig berg. Foliasjonen i området er kartlagt til å gå tilnærmet parallelt tunnelutvidelsen, se Figur 5-32. Det er utført en forenklet analyse i UnWedge (Rocscience, u.d.) i forbindelse med undersøkelse av kiledannelser i hengen. Det er tatt inn et tunneltverrsnitt med spenn på 30 m, som tilsvarer den bredeste delen av tunnelkryss mellom transporttunnelen og ventilasjonstunnelen sett mot retning N330, som illustrert i Figur 7-48. Sprekkemålinger som er hentet inn er de som er presentert i kapittel 5.2.7.1 og Figur 5-32. Sprekkeutholdenhet er begrenset til 10 m for hver sprekk, noe som anses som konservativt. Egentlig sprekkeutholdenhet er vanskelig å estimere og vites ikke for hver registrering. Det er utført en simulasjon for å finne kombinasjonen av de tre sprekkene som gir den mest kritiske situasjonen. Resulterende mest kritiske kile trenger et støttetrykk på 0,086 MPa for å stabiliseres. I følge UnWedge trengs da eksempelvis en lokal c/c for bolter på 1,3 for Ø25-bolter med en flytlastkapasitet på 246 kN. Eventuelt kan en øke til bergsikring med høyere lastkapasitet. Da kan man kunne redusere c/c. Simuleringen fra UnWedge er illustrert i Figur 7-49. Dette er ikke ment som en fastsatt sikringsmetodikk for kryssområdet, men illustrerer hva som kan bli nødvendig hvis kiler avdekkes. Endelig sikring tilpasses stedlige forhold og fastsettes av byggherre.



Figur 7-49: Illustrasjon av sikringstiltak og resultater fra en forenklet analyse i UnWedge (Rocscience, u.d.).

3. Utvidelse av profilet for adkomsttunnel før driving av transporttunnel. Minste bergoverdekning her blir omtrent 65 m. Største spenn for utvidelsen før driving av transporttunnel blir omtrent 18-20 m bredt, sett mot V. Dersom det i anleggsperioden gjøres kjent med at det er dårlig bergmassekvalitet i kryssområdet kan det bli nødvendig med tung bergsikring. Endelig sikring tilpasses geologiske forhold, og fastsettes av byggherre. Det anbefales deformasjonsovervåkning med konvergensmålere i dette kryssområdet. Da

kan supplerende lastbærende sikring installeres dersom en ser at det blir nødvendig. Grunnet det store spennet i kryssområdet bør det vurderes boltelengder på 6 m i heng.

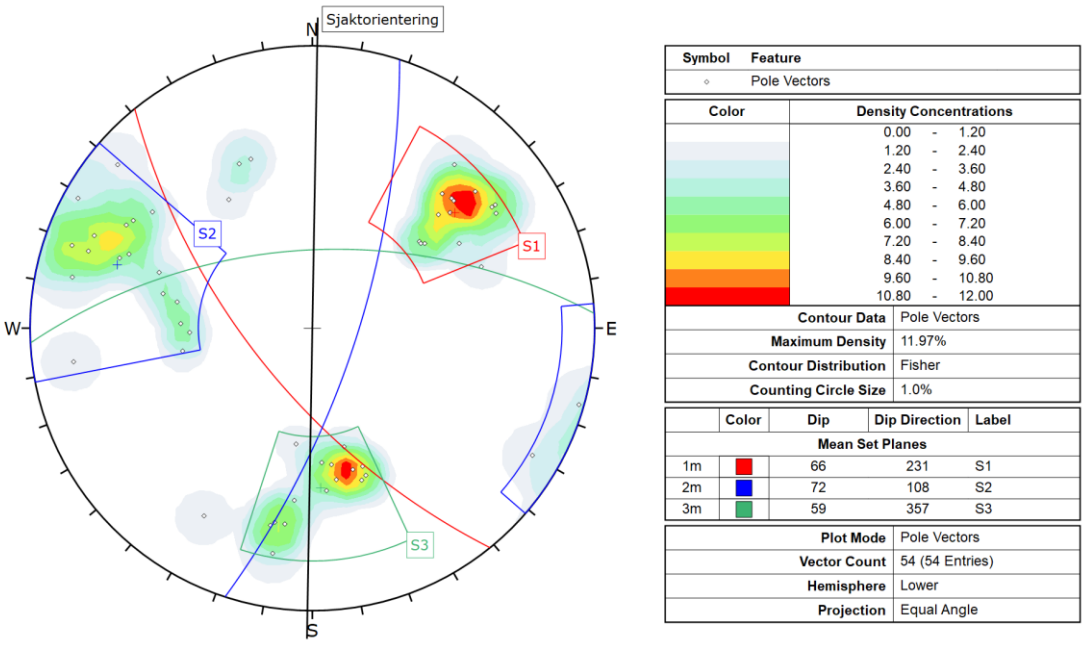
4. Pilar mellom transporttunnel og snutunnel. Minste bergoverdekning i dette området blir omtrent 45 m. Pilaren er usymmetrisk, men har en tilnærmet diameter på 15 m. Dette vil erfaringsmessig være tilstrekkelig for lastbæring rundt snutunnelen. Dersom det i anleggsperioden finnes dårlig bergmassekvalitet i pilaren eller i ytterkanter av kryssområder mellom transporttunnel og snutunnel kan det bli nødvendig med tung bergsikring.

Generelt utregnes Q-verdi i tunnel med parameter J_n = 3x J_n for tunnelkryss, i henhold til anbefalinger fra Q-systemet (NGI, 2022). Dette øker sannsynligheten for at kartlagt Q-verdi havner i samsvar med sikringsklasse E1-E2, som medfører behov for sprøytebetongbuer i henhold til sikringstabeller i 7.1.3. COWI anbefaler at behovet for tung bergsikring ved kryssområdene vurderes spesifikt i byggefasen av byggherre i samråd med entreprenør. Sikring anbefales dimensjonert på bakgrunn av Q-systemet.

7.3.11.4 Etablering av bergsjakt

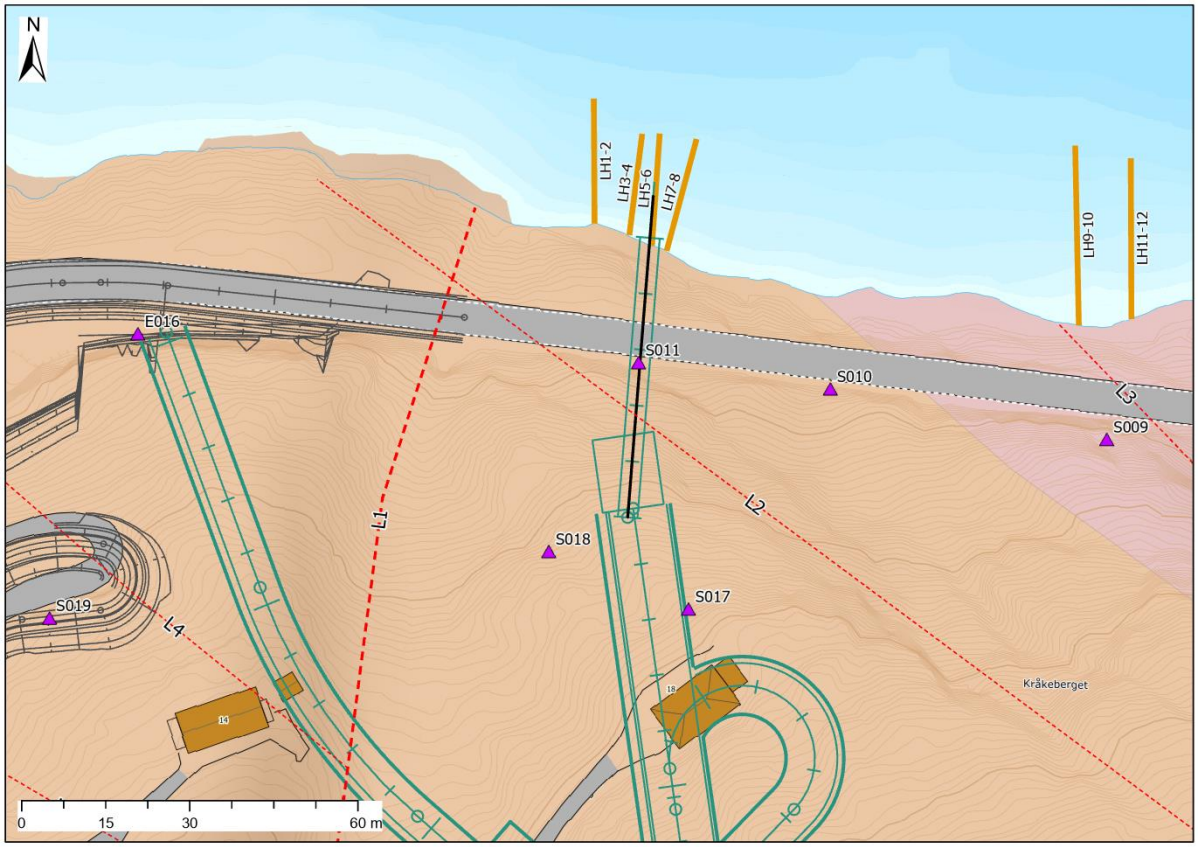
Ute på Langhellenset skal det etableres en sjakt i berg for deponering av tunnelmasser. Sjakten skal falle 45° i retning omtrent rett mot nord, og komme ut under sjøen ved kote omtrent -30, se Figur 3-13. Ved tipphallen ut mot sjakten må berget rundt tippkassen sikres tilstrekkelig mot brudd eller utgliding. Sjakten .

Ved boring av pilothullet er retning på eksisterende sprekkesett/foliasjon av stor interesse ettersom borstangen vil kunne trekke seg fra planlagt retning til å følge fallet på sprekkene/foliasjon, spesielt dersom vinkelen mellom dem er liten. Fall og fallretning på sprekkesett og foliasjon i forhold til planlagt sjakt er vist i Figur 7-50.



Figur 7-50: Registrerte sprekkeorienteringer ved sjaktområdet Langhelleneset. Plottet består av registreringer fra lokalitet S001, Si004, S011, S010 og S009. Sjaktens orientering ligger inne som en trendlinje.

Sjaktboringen vil mest sannsynlig krysse den tolkede svakhetssone L2 (se Figur 7-51), som følger foliasjonen, dvs. ca. 66°/231° (fall/fallretning). Sonen er observert i bergskjæringen langs E16, med en tykkelse på ca. 1 m. Det er registrert bom lyd ved hammerslag. Bilde av dette partiet er vist i Figur 7-52. Det er i tillegg observert en nesten vertikal tykkere svakhetssone i skjæringen, som er tegnet som en tykkere stiplet rød linje i Figur 7-51. Videre er det utført ROV transekter (linjer) langs bergskråningen under vann, se Figur 7-51. Disse viser ikke på noen større svakhetssoner. For mer informasjon, se kapittel 4.5.2. Generelt er det viktig at påhuggsflate for opprømming og eventuelle løse blokker i overkant av sjaktløpet sikres.



Figur 7-51: Figur av sjaktretning, vises i svart. ROV-transekter i oransje. Befaringslokaliteter vises som lilla trekanter. Tolkede svakhetssoner er gitt som rødstiplete linjer.



Figur 7-52: Bilde fra befaringslokalitet S011 viser en sone med mer oppsprukket berg.

Retningen på boringen ved Langhelleneset vil bli ca. vinkelrett på et sprekkesett S3, se Figur 7-50, og følger dette med en spiss vinkel med omtrent 7°. Det vil være en risiko at borstangen følger sprekkesettet som faller ca. 60° mot nord, mens boringen er planlagt til å falle ca. 45° mot nord. Det er meget viktig at man ikke får noen styring fra sprekkene/foliasjonen, ettersom man da vil komme ut med en meget stor feil i startpunktet for raise-boringen i bergskråningen under vann. Dette må tas inn i vurderingen når utstyr velges, så vel som under boreutførelsen.

Generelt er det kartlagt en avstand mellom sprekkene på 200-600 mm.

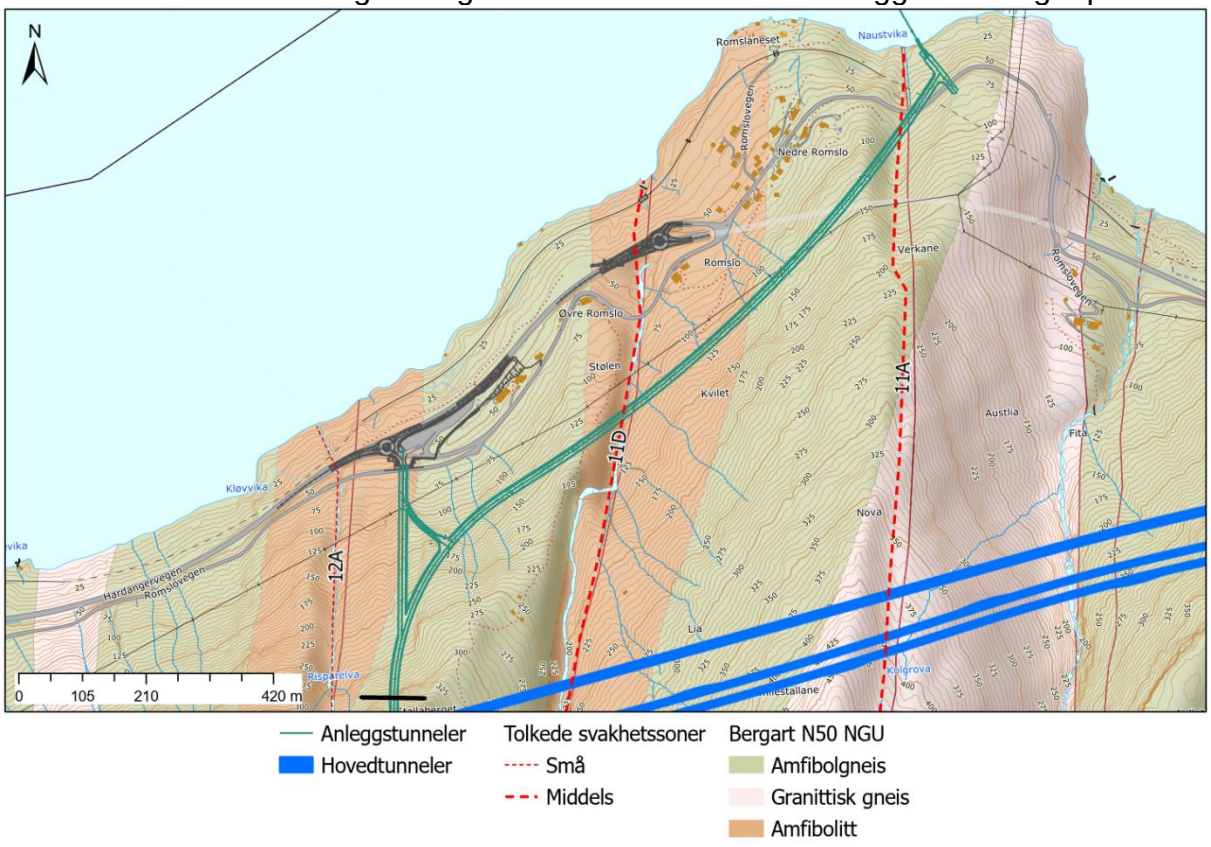
7.4 Romslo og Naustvika

7.4.1 Ingeniørgeologisk beskrivelse av tunneltraseene

Transporttunnelen ut mot sjakt vil krysse under jernbanetunnelen Romslo II med omtrent 9 m overdekning fra heng i anleggstunnelen til sålen i Romslo II. Se nærmere beskrivelse i kapittel 7.4.11.2.

Transporttunnel ut mot sjakt vil også krysse under eksisterende Romslotunnelen, E16. Kotehøyde for heng i transporttunnelen etter prosjektert løsning ligger på omtrent 19. Vegbane ved vestre og østre innløp til Romslotunnelen er målt i Høydedata til å ligge på henholdsvis kote 48 og 43 (Kartverket, 2023). Basert på dette forventes en minste overdekning på omkring 28 m. Det forventes følgelig ikke stabilitetsproblemer basert på overdekningen. Det kan måtte benyttes korte salver for å imøtekomme rystelseskrav for Romslotunnelen.

Anleggstunnelene vil drives gjennom en veksling av to ulike bergarter; amfibolgneis og amfibolitt, se Figur 7-53 (NGU, 2023a). Påhuggsområdet til adkomsttunnelen og midtre deler av transporttunnelen går gjennom amfibolitt. Resterende deler av adkomst- og transporttunnelene går gjennom amfibolgneis. Totalt vil det drives omtrent 1500 m i amfibolgneis og 525 m i amfibolitt. Se Vedlegg 3 for lengdeprofiler.



Figur 7-53: Oversiktskart med bergarter og tolkede svakhetssoner langs tunneltraseen ved Romslo og Naustvika. Svart strek markerer avslutning på driving i forberedende entreprise.

Forkastningene i området stryker N-S og følger foliasjonen på berggrunnen i området. Følgelig antas det at sonene har tilnærmet vertikalt fall. Det er tolket tre steile svakhetssoner i området til anleggstunnelene, se Figur 7-53. To av sonene, 11A og 11D, krysser tunneltraseen med omtrent 40° vinkel sett i plan. 11A krysser i

området mellom profilnr. 1380 og 1420, og 11D mellom 735 og 765 langs transporttunnelen. En tredje sone, 12A, passerer like vest for tunneltraseen, men plassering av denne er usikker. To elveløp, Romslaelva og Risparelva, følger henholdsvis sone 12A og 11D.

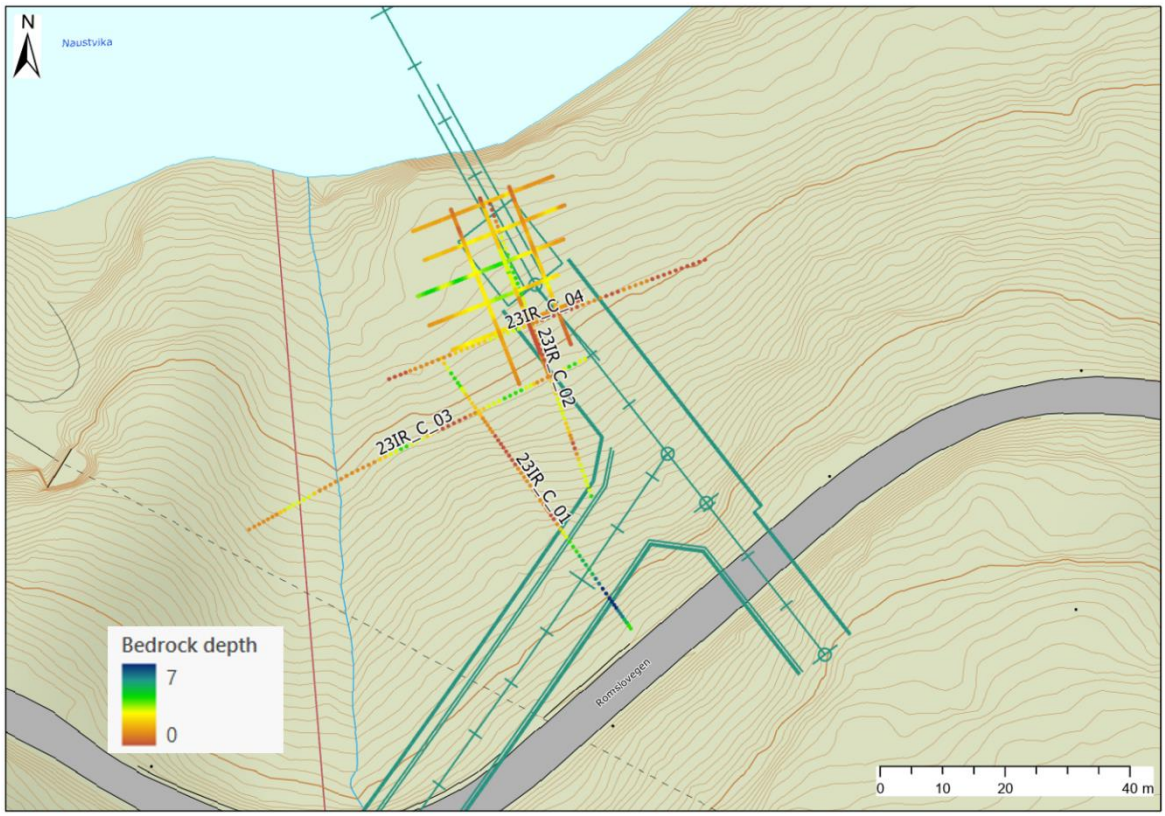
Tabell 7-27: Oppsummering av tolkede svakhetssoner langs anleggstunnelen mellom Romslo og Naustvika.

Sone-ID	Bredde (m)	Fallretning	Fall
11A	5–10	90	89
11D	5–10	100	88
12A	<5	270	88

I Naustvika vil det etableres en tipphall og tilhørende sjakt for deponering av masser i fjorden. Her er bergoverdekningen lav. Se nærmere beskrivelse i kapittel 7.4.11.3.

7.4.2 Resultater og tolkning av geofysiske undersøkelser

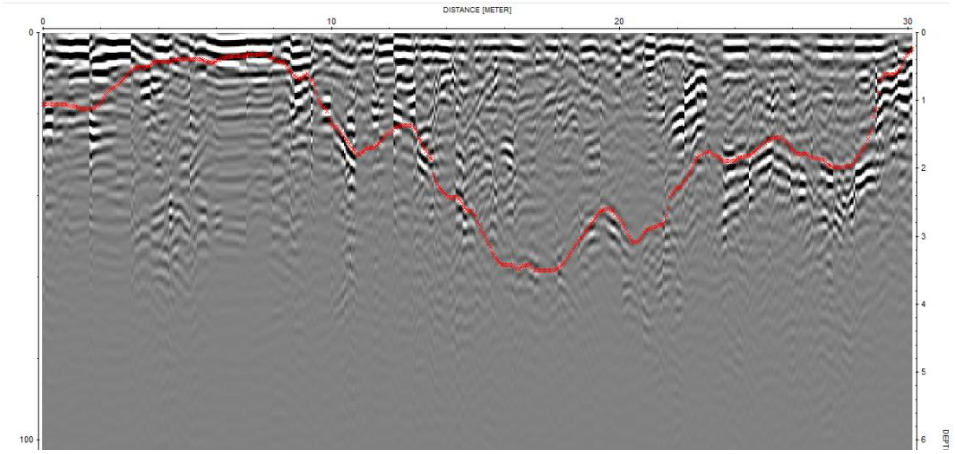
Dybde til berg i området er tolket til mellom 0-7 m under terreng med relativt store lokale variasjoner, se Figur 7-54. For ytterligere detaljer, se vedlegg 1.2 til geofysisk undersøkelsesrapport (COWI, 2024f).



Figur 7-54: Resultater fra geofysiske undersøkelser i området for tipphall, Naustvika. Stiplete linjer angir refraksjonsseismikk og heltrukne linjer angir georadar.

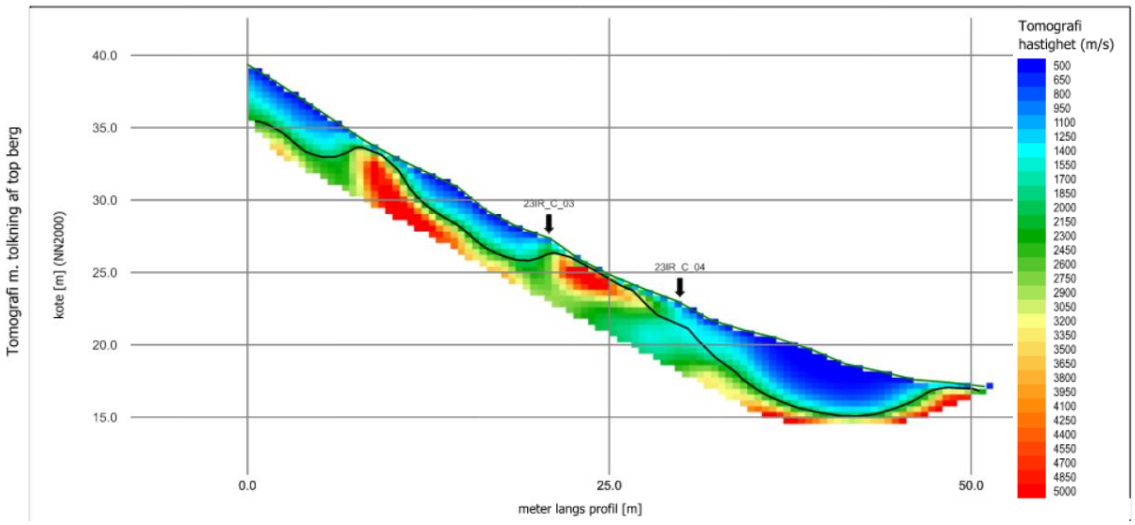
De steder hvor en georadarlinje ligger parallelt med en refraksjonsseismisk linje er tolkningen sammenstilt og justert. Georadarprofilet markert med rød i Figur 4-18 og Figur 7-54 ligger parallelt med en seismisk linje. Her er de opprinnelige tolkningene justert både på seismikken og georadaren, avhengig av hvilken som er mest

troverdig. På georadarprofilet er tolkningen rykket opp ved stasjonering 0-10 m, da seismikken understøtter denne tolkningen. I georadarprofilet ses en tydelig reflektor samme sted ved ca. 2,5 m under terreng som kan indikere en sprekkesone. De geofysiske undersøkelsene i Naustvika er ikke korrelert mot grunnboringer, da det på daværende tidspunkt ikke var utført noen grunnboringer i Naustvika.

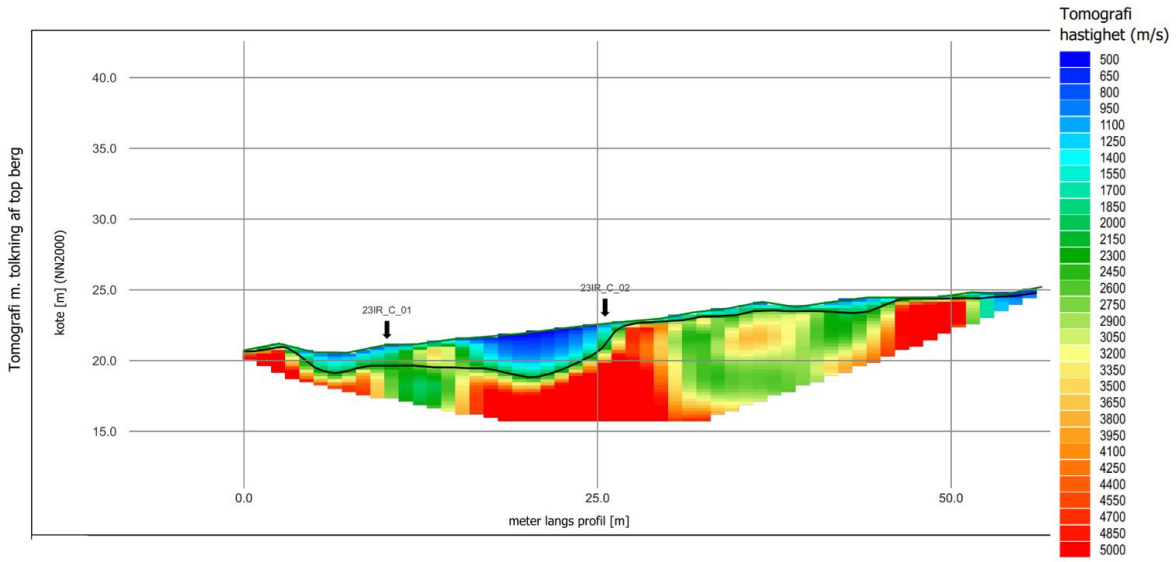


Figur 7-55: Profil for den midterste georadarlinjen i Naustvika, orientert syd til nord. Rød markerer tolket dybde til berg.

På den refraksjonsseismiske linjen 23IR_C_02 (Figur 7-56) er tolkning rykket opp ved stasjonering 27-31 m, basert på georadardata. Kryssende profil lengst nord, 23IR_C_04 er vist i Figur 7-57.



Figur 7-56: Tomografisk inversjon av profil 23IR_C_02 (COWI, 2024f). Sort linje indikerer tolket dybde til berg.



Figur 7-57: Refraksjonsseismisk profil 23IR_C_04 (COWI, 2024f). Sort linje indikerer tolket dybde til berg.

For flere seismiske profiler, se geofysisk tolkningsrapport (COWI, 2024f).

GPS-dekningen i området var meget begrenset og posisjoneringen av GPR målingene er meget usikker (størrelsesorden 1 m). Det er en medvirkende årsak til tydelige uoverensstemmelser mellom tolkningene i krysningene mellom linjer.

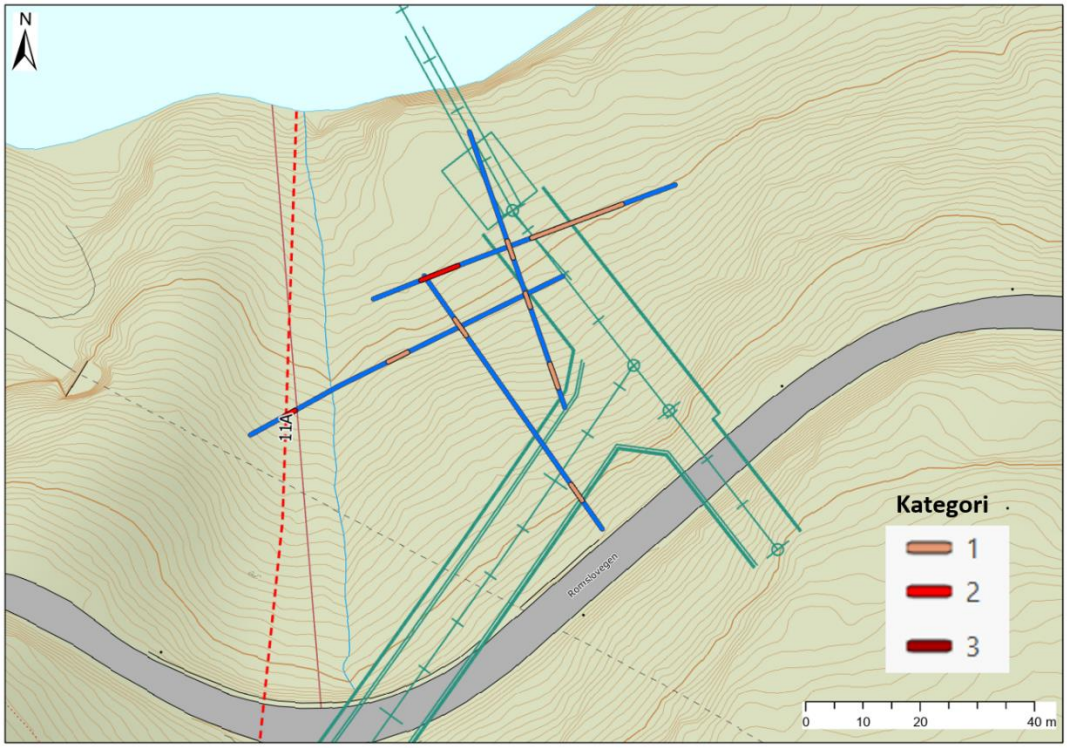
I den endelige digitale leveransen er uoverensstemmelser mellom kryssende linjer løst ved å slette de høyestliggende tolkningene for å muliggjøre triangulering av topp av berg.

7.4.2.1 Tolkning av svakhetssoner fra geofysikk

Tolkning av svakhetssoner er basert på refraksjonsseismisk tomografi og markert på oversiktskart, se Figur 7-58. Svakhetssonene i Naustvika er kartlagt med en seismisk hastighet på 2500-3000 m/s. For ytterligere detaljer se vedlegg 1.2 i rapport fra geofysiske undersøkelser (COWI, 2024f).

En av svakhetssonene tolket fra seismikken korrelerer med en svakhetssone tolket fra lineamentkartleggingen, men det knyttes usikkerhet til tolkningene, grunnet manglende lagbasert tolkning og urmasser med store blokker i undersøkelsesområdet.

Svakhetssoner er inndelt i tre kategorier etter hvor stor sikkerhet tolkning av sonen har. Kategori 1 er lav sikkerhet, kategori 2 er middels sikkerhet og kategori 3 er høy sikkerhet. Disse kategoriene er satt basert på om svakhetssonen ses på en eller flere metoder (tomografi eller lineamenter) og hvor tydelig de ses. Det er kun brukt kategori 1 og 2 for de tolkede svakhetssonene.



Figur 7-58: Tolkede svakhetssoner fra geofysiske undersøkelser i området for tipphall i Naustvika.

7.4.3 Overdekning og bergspenninger

Stedvis ved tiltaket på Romslo og Naustvika vil det være begrenset bergoverdekning. Tabell 7-28 gir en oversikt over områder med lav bergoverdekning. Dette kan gi stedvis dårlig innspenning, som kan medføre behov for ekstra sikringstiltak for å etablere buevirkning og bevare profilet. Det vises også til lengde- og tverrprofiler, Vedlegg 2 og 3.

Tabell 7-28: Omtrentlig bergoverdekning for områder med lav bergoverdekning.

Påhugg adkomsttunnel	Bergoverdekning over Romslovegen	Nordlig ende tipphall	Tippkasse	Bergoverdekning ved kryssing Romslo II
5 m	5,5 m	5 m	6 m	9 m

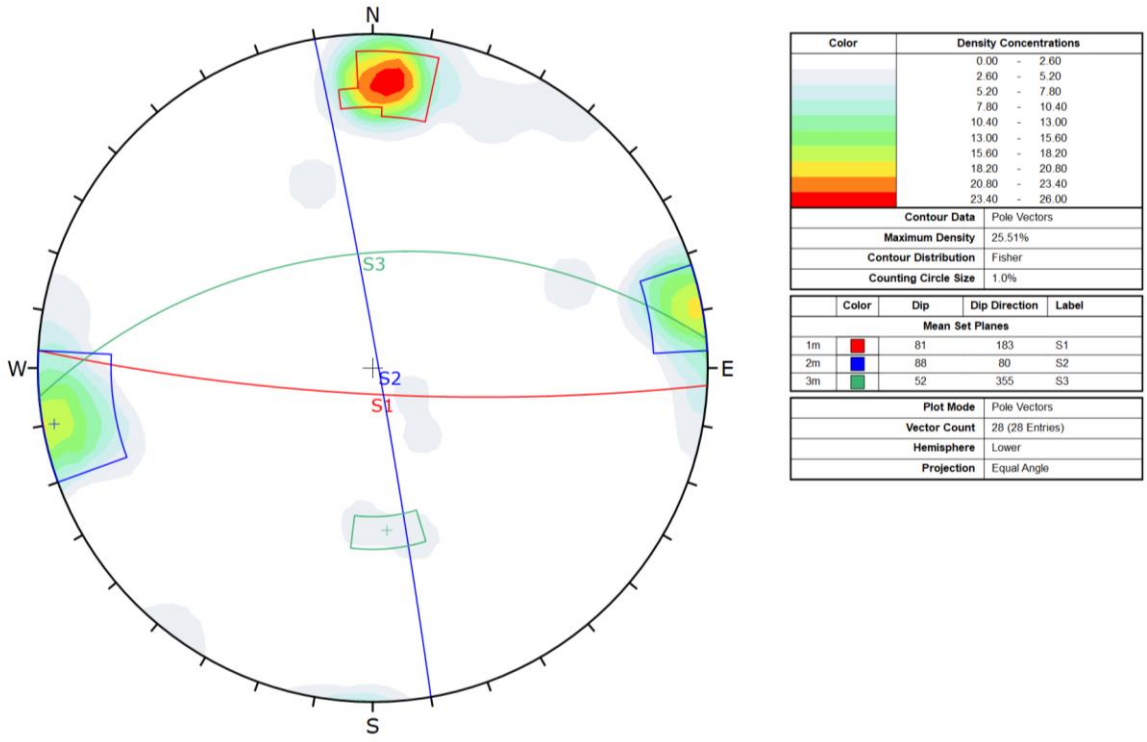
Overdekning og bergspenning varierer med topografien langs transporttunnelen, og øker inn mot påhuggsområdet. Ved påkoblingsområdet til hovedtunnelene blir bergoverdekningen omtrent 300-350 m. Det antas generelt gunstige spenningsforhold.

7.4.4 Riggområde og påhugg

Påhugg for adkomsttunnelen vil få svært begrenset bergoverdekning med omtrent 5 m. De første meterne med tunneldriving vil det bli veldig viktig med bergsikring som sørger for ivaretakelse av profilet, og det anbefales sonderboring for å bekrefte bergoverdekning. Tyngre sikring må påregnes for påhuggsområdet. Typisk sikring for påhuggsflatene er en til to raster med forbolter. Forboltene festes sammen med bergbånd som henges opp av vanlige bolter, og forboltene sprøytes inn. Bruk av

sprøytebetongbuer i påhuggsområdet må forventes. Redusert salvelengde og bruk av forbolter påregnes. Endelig sikringsopplegg bestemmes av byggherren på stedet.

For stabilitetsvurdering av bergskjæringen ved riggområdet er det utført kinematiske analyser. Figur 7-59 viser konturplott med inntegnede sprekkesett for registreringer ved påhuggsområdet.



Figur 7-59: Konturplott av sprekkemålinger innhentet ved riggområdet på Romslo.

Kinematisk analyse av skjæringsveggene ved påhuggsområdet, se Tabell 7-29, indikerer at kileutglidning er sterkt fremtredende mellom sprekkesett S2 og S3. S3 er et relativt lite fremtredende sprekkesett i skjæringen, noe som også indikeres ved at plan utglidning langs S3 er lite fremtredende. Det samme gjelder blokkutveltning, hvor S3 er nødvendig for å tillate utglidning av blokkene. S3 er, grunnet utgående i skjæringen, likevel et kritisk sprekkesett og vil dersom det avdekkes i større omfang i skjæringen trolig medføre betydelig økt sikringsbehov.

Tabell 7-29: Fremtredende løsnemekanismer fra kinematisk analyse av befaringslokalitet E007 og E012. Det indikeres grad av fremtreden.

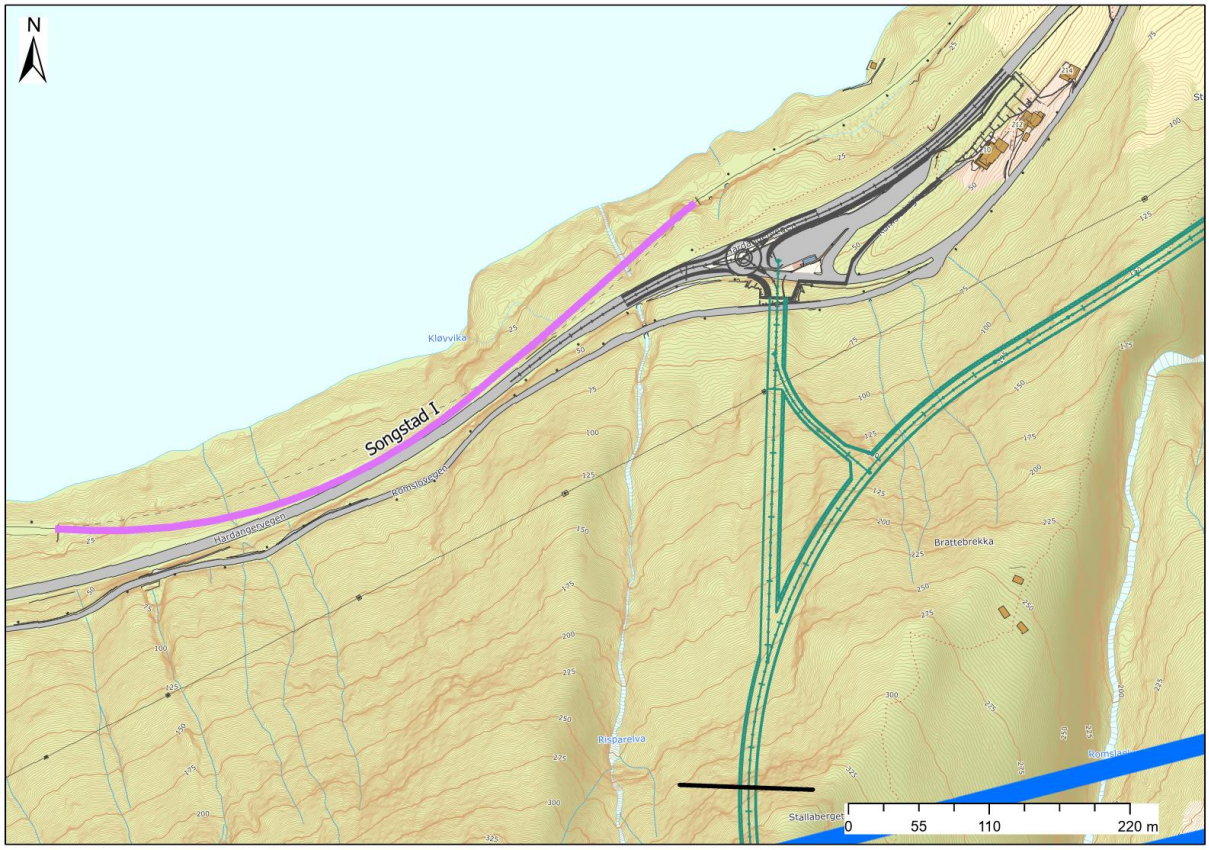
Side	Plan utglidning	Kileutglidning	Utveltning	Blokkutveltning
Påhuggsflate riggområde (vendt 001°)	Lite S3	Sterkt S2 og S3	Middels S1	Middels S3 + S1 og S2
Vestvendt forskjæring (292°)		Sterkt S2 og S3	Middels S2	Lite Tilfeldige sprekker
Østvendt forskjæring (omtrent 046°)	Lite S2	Sterkt S2 og S3	Middels S2	Middels S2 + S1 og S2

Blank celle = løsnemekanisme indikeres ikke
Lite = lite fremtredende; 1-15.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme
Middels = middels fremtredende; 15.1-40.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme
Sterkt = Sterkt fremtredende; 40.1-100 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme
S = sprekkesett (for blokkutveltning oppgis baseplan-sprekkesett + to sprekkesett som skjærer hverandre)

Grunnet skjæringshøyden og mulighet for utglidning langs svakhetsplan S3 for påhuggsskjæringen anbefales systematisk forbolting av skjæringen. Det anbefales at forboltene pulverlakkeres og varmforsinkes slik at de kan inngå i den permanente sikringen. I tillegg anbefales sømboring i sammenheng med forboltingen. I tunneltraseen er det aktuelt å forbolte med glassfiberbolter, som etter hvert kan sprenges bort når tunneldriving settes i gang og påhugget er tilstrekkelig sikret. Alternativt kan boltelengder av stålbolter tilpasses slik at de ikke går inn i kommende tunnelprofil. Videre anbefales det at berguttaket skjer i små intervaller, slik at en ikke eksponerer for mye løst berg samtidig. Det er viktig at det ikke sprenges fri større flater enn at det er mulig å sikre ustabile partier fortløpende, og størrelse på berguttakene bør vurderes i samråd med ansvarlig ingeniørgeolog. Det eksponerte berget må sikres fortløpende. Boltelengden og boltemønster for både forbolter og sikringsbolter må tilpasses stedlige bergforhold og sprekkegeometri. Ved mer småfallent berg må det påregnes at steinsprangnett og sprøytebetong kan bli nødvendig.

7.4.5 Kartlagte Q-verdier

I forbindelse med reguleringsplanarbeidet er eksisterende jernbanetunnel Songstad I befart. Lokasjon og utstrekning av tunnelen i forhold til kommende anleggstunneler er vist i Figur 7-60. Registrerte Q-verdier langs Songstad I er mellom 5-2,7, tilsvarende middels til dårlig berg (bergmasseklasse C-D). Det er videre kartlagt vannsikring i 63% av tunnelens lengde (SWECO, 2022e).

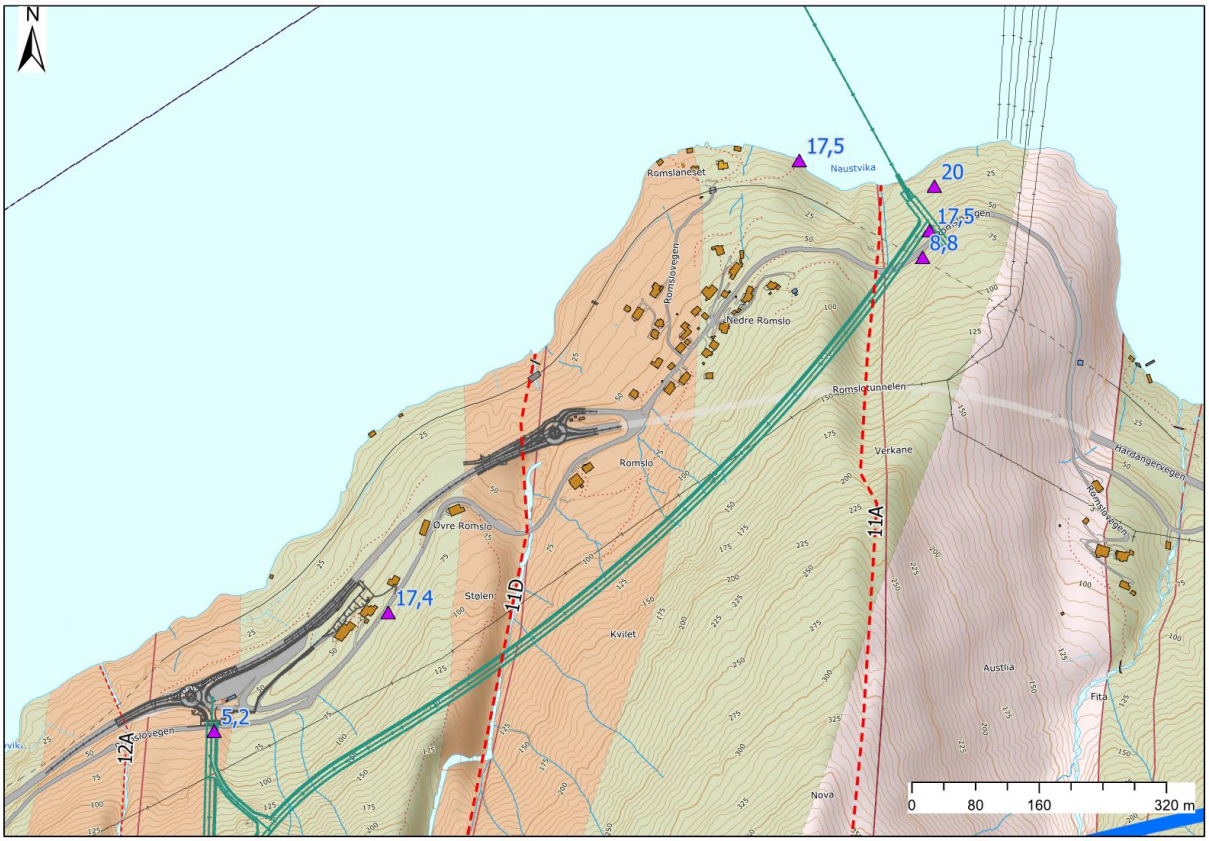


Figur 7-60: Lokasjon av jernbanetunnel Songstad I, vist med rosa linje.

Tabell 7-30 viser registrerte Q'-verdier registrert i bergblotninger ved tunneltraseen. Figur 7-61 viser lokasjonen til registreringene.

Tabell 7-30: Q'-verdier registrert i befarte bergblotninger ved tunneltraseen.

Lokalitet	K002	E009	E008	E010	E012	E007
Q'	17,5	20	17,5	8,8	10,4	5,2
RQD	75-90	90-100	75-90	75-90	50-75	50-75
J_n	6-9	6-9	6-9	6-9	9	9
J_r	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
J_a	1	1	1	2	1	1



Figur 7-61: Befaringsregistreringer på Romslo med registrert Q'-verdi.

Tabell 7-31 og

Tabell 7-32 viser kartlagte Q-verdier i eksisterende jernbanetunnel Romslo II. Kilometreringen gjelder fra km. 454.829 til km. 454.929.

Tabell 7-31: Kartlagte Q-verdier i Romslo II km. 454.829 - 454.879.

Km.	829-834	834-839	839-844	844-849	849-854	854-859	859-864	864-869	869-874	874-879
Q	25	8,8	17,5	2,9	2,1	10	5,8	6,3	8,3	12,5
RQD	75	70	70	70	50	60	70	75	50	75
J_n	9	6	6	9	9	9	9	9	9	9
J_r	3	1,5	3	3	1,5	3	1,5	1,5	3	3
J_a	1	2	2	8	4	2	2	2	2	2
J_w	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabell 7-32: Kartlagte Q-verdier i Romslo II km. 454.879 - 454.929.

Km.	879-884	884-889	889-894	894-899	899-904	904-909	909-914	914-919	919-924	924-929
Q	2,2	12,5	2,9	3,1	2,7	0,7	2,5	1,9	7,5	7,0
RQD	65	75	70	75	65	40	75	75	75	70
J_n	9	9	9	9	9	9	9	6	6	6
J_r	3	3	1,5	1,5	3	1,5	1,5	1,5	3	3
J_a	2	2	4	4	8	2	2	4	2	2
J_w	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SRF	2,5	1	1	1	1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

7.4.6 Estimerte bergmasseklasser

Nødvendig mengde bergsikring vil avhenge av bergmassekvalitet og Q-verdier. Estimerte bergmasseklasser er basert på kartlagt bergmasse, kryssing av tolkede svakhetssoner, påhuggsområder og kryssing av eksisterende tunneler med lav overdekning, samt tunnelkryss med store spenn. Endelig fastsettelse av bergmasseklasse må gjøres under driving. Basert på utførte undersøkelser anslås samlet fordelt Q-verdi langs traseen for tunnelsystemet som vist i Tabell 7-33. Samlet lengde for tunnelsystemet er omtrent 1825 m.

Tabell 7-33: Antatt fordeling av bergmassekvalitet langs traseen for anleggstunnel Romslo.

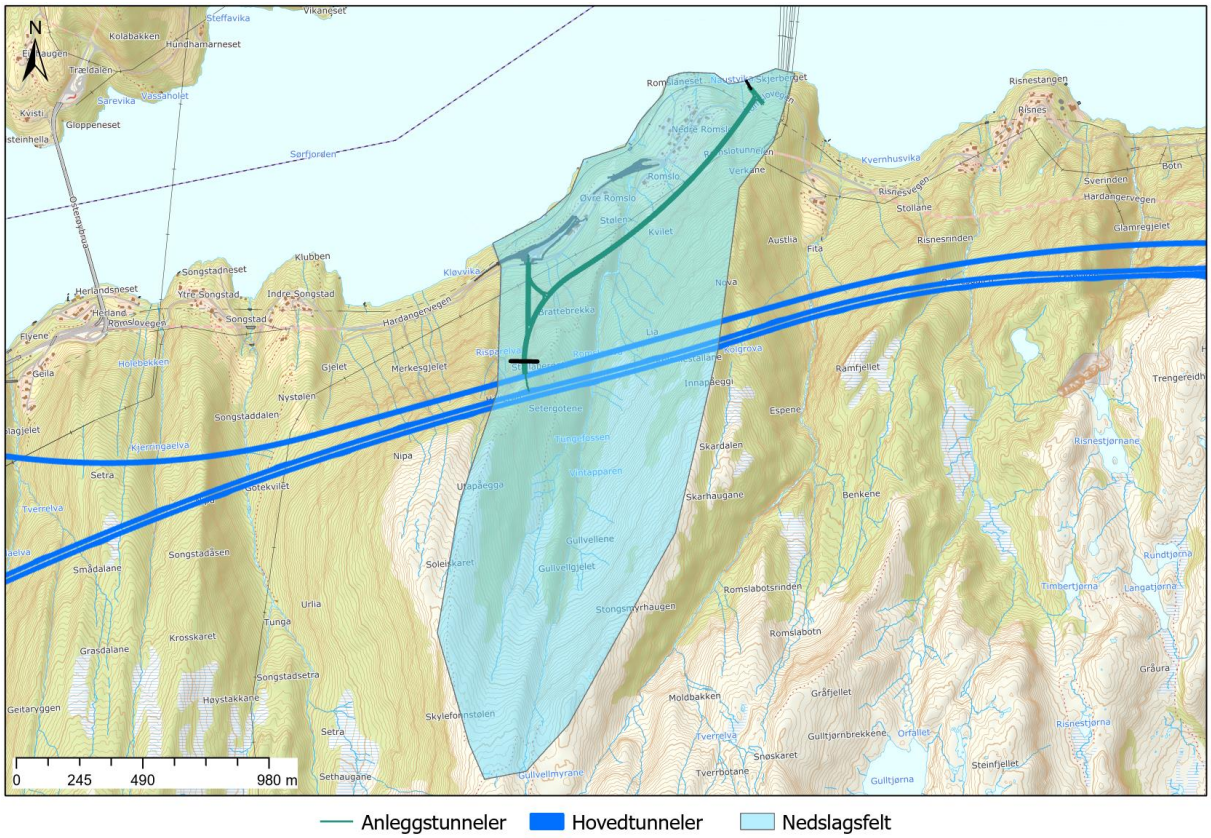
A	B	C	D	E I	E II	F	Sum
Q>40	Q 10-40	Q 4-10	Q 1-4	Q 0.3-1	Q 0.1-0.3	Q 0.01-0.1	
20 m	510 m	955 m	230 m	70 m	40 m	0 m	1825 m
1 %	28 %	52 %	13 %	4 %	2 %	0 %	100 %

7.4.7 Hydrogeologisk tolkning og innlekkasje

Over tunneltraseene finnes det større områder med løsmasser bestående av sand og silt. Løsmassene er vurdert til å ikke være setningsømfintlige, se geoteknisk rapport FAS-01-V-00017 (COWI, 2024o).

Innlekkasjekravet for hovedtunnelene ved Romslo er av Sweco satt til å være 40 l/min/100m (SWECO, 2022e).

For å kunne sammenligne innlekkasjekrav for anleggstunnelene ved Romslo med en teoretisk grunnvannsdannelse, er det estimert hvor mye grunnvann det dannes i det teoretiske nedbørsfeltet hvor tunnelen skal drives. Dette er for å kunne bedre vurderer påvirkningen som en gitt innlekkasje har på området. Nedbørsfeltet er vurdert til å være ca. 1,9 km², se Figur 7-62. Den gjennomsnittlige avrenningen for dette nedbørsfelt er av NVE estimert til 4494 mm/år, korrigert for høyde og evapotranspirasjon. Antar man at 5% av denne avrenningen blir til grunnvann i fjellet, gir det til en total grunnvannsdannelse på $4{,}32*10^5$ m^3/år. Hvis anleggstunnelen fjerner samme mengde som hovedtunnelene, med 40 l/min/100m tunnel, tilsvarer denne mengden 83% av den årlige totale grunnvannsdannelsen i området. Hvis det regnes med en innlekkasje på 25 l/min/100m tunnel tilsvarer denne mengden 52% av den årlige grunnvannsdannelsen i området. Medregnes hovedtunnelenes innlekkasje på 40 l/min/100m tunnel i dette, vil det fjernes henholdsvis 101% av grunnvannsdannelsen ved 25 l/min/100m tunnel for anleggstunnelene, og 132% av grunnvannsdannelsen ved 40 l/min/100m tunnel for anleggstunnelene.



Figur 7-62 Estimert nedbørsfelt for anleggstunnelen ved Romslo. Området er estimert ut fra hvor grunnvann som kan ende i tunnelen dannes.

Sammen med ovenstående vannbalanse skal natur, brønner og setningsfølsomhet inkluderes i vurderingen. Ved Romslo er det et viktig naturområde med Gråor-Heggeskog, nær området hvor transporttunnelen kobles til hovedtunnelene. Naturtypen er kildevannspåvirket. Hovedtunnelene ligger under den øvre kanten av

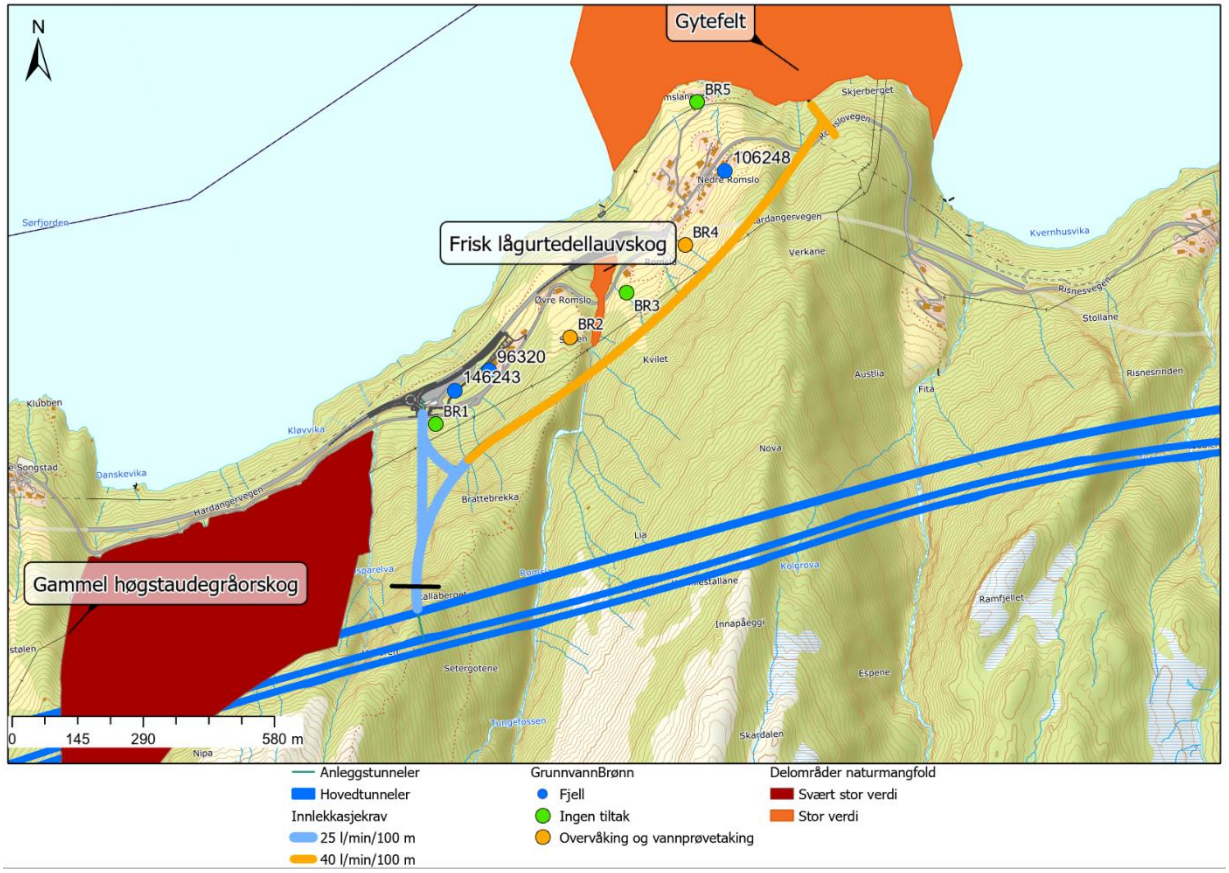
Gråor-heggeskogen og tar derfor en del av vannet fra skogens nedbørsfelt. Avrenningen i dette området er relativt høy, men hovedtunnelene tar likevel store deler av grunnvannsdannelsen. Denne naturtypen er ømfintlig for grunnvannssenking, og er av svært høy verdi. For å begrense den supplerende påvirkningen på Gråor-heggeskogen anbefales en innlekkasje for anleggstunnelene på 25 l/min/100m ved vestre del, se Figur 7-63. Den gamle høgstaudegråorskog med svært stor verdi i området vest for Risparelva kan også være noe sensitiv for drenering, da det er frisk til fuktig mark.

Erfaring fra andre tunnelprosjekter i Norge (figur 4.3 i Publikasjon nr. 103 fra Statens vegvesen) (Vegdirektoratet, 2003), viser at det ved en innlekkasje på 25 l/min/100m blir en poretrykksreduksjon i fjell rett over tunnelen på 5-15 m, med en typisk poretrykksreduksjon på 8 m. Stor bergoverdekning over tunnelene vil minske reduksjonen som kan observeres i toppen av fjellet betydelig. Dette skjer på grunn av fjellets lave hydrauliske ledningsevne, som vil dempe poretrykkreduksjonen i fjell i takt med at bergoverdekningen økes. Det vil derfor over tid oppstå en ny og lavere grunnvannsstand i området som en ny normaltilstand.
Tidligere prosjekter viser at det kan antas at poretrykksreduksjonen avtar lineært med avstanden til tunnelen med en reduksjon på 2 m pr. 100 m (Vegdirektoratet, 2003). Det typiske fall i vannstand rett over tunnelen ved 25 l/min/100m er ca. 8 m og ved 40 l/min/100m ca. 12 m. Dette gir en typisk poretrykksreduksjon på henholdsvis 4 og 8 m i en avstand på 200 m av tunnelen (avstanden fra tunnel til Gråor-heggeskog). I tillegg kommer fremtidige eventuelle lagerhaller i berg som etableres mot heggeskogen vil også kunne trekke vann fra heggeskogen og derved også flytte senkningen lengere inn i området med Gråor-heggeskog. Derfor vurderes det at den samlede risikoen for å skade Gråor-heggeskogen blir uakseptabel ved en høyere tillatt innlekkasje.

Delen av anleggstunnelene som ligger lengre mot nord, mot tipphallen ved Naustvika, er i et område uten registrert viktig natur, men med bygninger og drikkevannsbrønner. Anleggstunnelene her er også lengre fra hovedtunnelene og har derfor et større nedbørsfelt som utelukkende vil bli påvirket av anleggstunnelene (og ikke hovedtunnelene). Derfor er det vurdert at dette området kan tåle en større innlekkasje. Det anbefales derfor en innlekkasje på 40 l/min/100m i dette området, se Figur 7-63.

Erfaring fra andre tunnelprosjekter i Norge (figur 4.3 i Publikasjon nr. 103 fra Statens vegvesen) (Vegdirektoratet, 2003), viser at det ved en innlekkasje på 40 l/min/100m blir en poretrykksreduksjon i fjell rett over tunnelen på 8-22 m, med en typisk poretrykksreduksjon på 12 m. Det er vurdert at den ytterligere risiko for tap av brønner kan aksepteres med en innlekkasje på 40 l/min/100m fremfor 30 l/min/100m. Den nærmeste brønnen i Nedre Romslo er ca. 100m fra tunnelen. Brønnen befinner seg i kote ca. 70 m og er 130 m dyp. Det er ikke målt vannstand i brønnen, men det er over 30 m ned til vann (dette forventes å være når brønnen er i drift). Tidligere prosjekter viser at det kan antas at poretrykksreduksjonen avtar lineært med avstanden til tunnelen med en reduksjon på 2 m pr. 100 m (Vegdirektoratet, 2003). Det typiske fallet i poretrykk rett over tunnelen ved 30 l/min/100m er ca. 9 m og ved 40 l/min/100m er ca. 12 m. Dette gir en typisk poretrykksreduksjon på henholdsvis 7 og 10 m i en avstand på 100 m fra tunnelen. Ser man på den nedre ‘grense’ for observerte poretrykksreduksjon i tidligere prosjekter (publikasjon 103 fra Statens

Vegvesen), vil det i verste tilfelle kunne komme en poretrykksreduksjon på opptil 20 m i en avstand på 100 m fra tunnelen. Derfor vil brønnen antakelig kunne bli bevart, men med en sannsynlighet for at den går tapt.
Bergoverdekningen over tunnelen vil minske den reduksjonen som kan observeres i toppen av fjellet. Dette skjer på grunn av fjellets lave hydrauliske ledningsevne, som vil dempe poretrykkreduksjonen i fjell i takt med at bergoverdekningen økes. Dette skal ses i forhold til de overflatebrønnene som er i området. Disse brønnene forventes å kunne bevares, men overvåkes.
I området vil det over tid oppstå en ny normaltilstand og lavere grunnvannsstand i området.



Figur 7-63. Anleggstunnelen ved Romslo og Naustvika med innlekkasjekrav inntegnet langs tunneltraseen. Merk at naturområder som er kartlagt til «Middels verdi» eller lavere er filtrert bort for å fjerne støy fra figuren.

Den totale innlekkasjen for alle tunnelene ved Romslo overstiger samlet den beregnede grunnvannsdannelse i området. Dette vurderes dog til ikke å være kritisk, da den totale avrenning er svært høy og at grunnvannsdannelsen til fjell på 5% av avrenningen, anses å være konservativt. I publikasjon 103 fra Statens vegvesen (Vegdirektoratet, 2003) er det antatt at all avrenning vil kunne være til rådighet. Denne overskridelsen vurderes til ikke å være et problem for området, da det ikke er grunnvannsfølsom natur som forventes påvirket innenfor det estimert nedbørsfelt. I tillegg ligger nedbørsfeltet til anleggstunnelene utenfor nedbørsfeltet til Gråor-heggeskogen, som dermed får en begrenset påvirkning, dog er det vurdert at det vil komme en grunnvannssenkning fra tunnelen inn i dette området.

Vannføringen i borhullene på Romslo gitt i Tabell 5-7 indikerer relativt lav hydraulisk konduktivitet i bergmassen. Dette er i samsvar med lave vanntapsmålinger og

Lugeon-verdier i forbindelse med kjerneboringene utført på Naustvika, se kapittel 4.4. Det forventes høy hydraulisk konduktivitet i bergmassen ved kryssing av svakhetssoner. Grad av innlekkasje i Romslo II er trolig væravhengig.

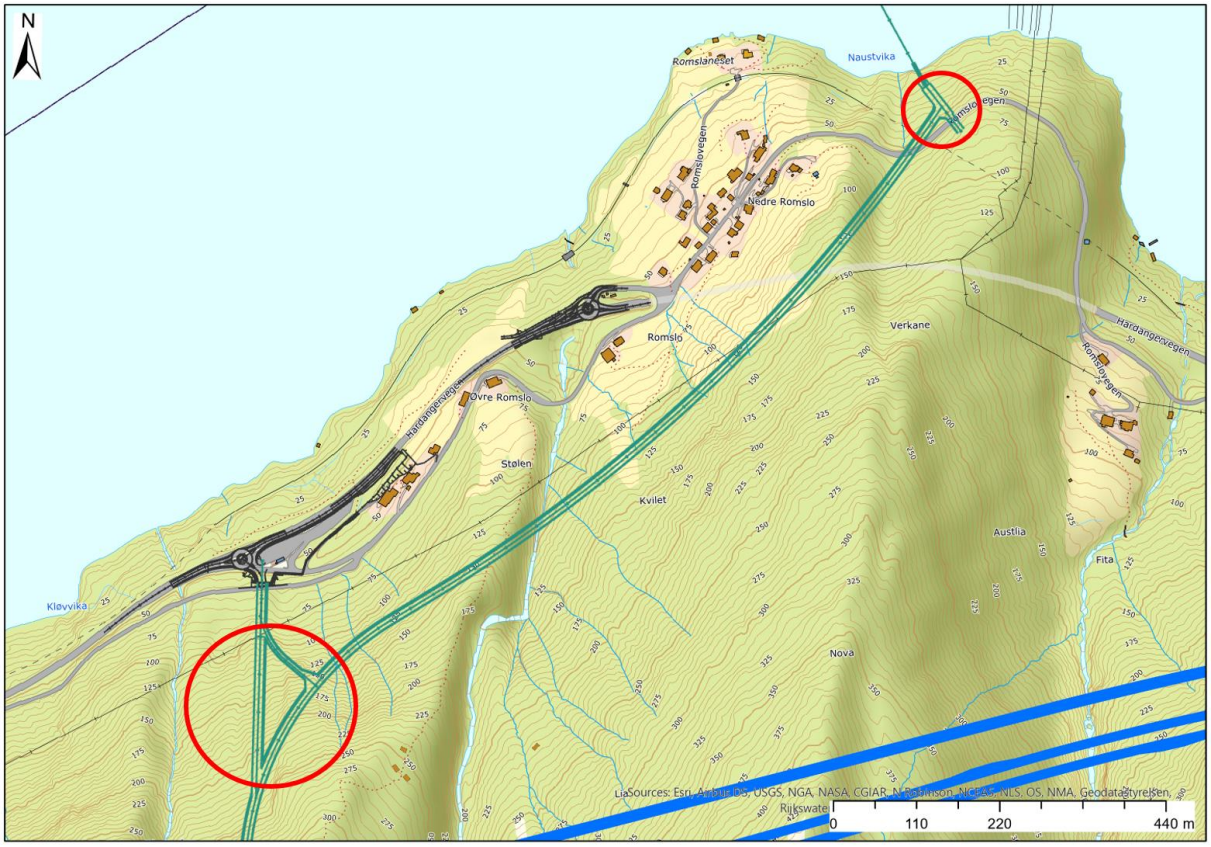
Det kan antas at de lavest beliggende delene av tunnelstrekningene ut mot fjorden ligger over grunnvannsnivå. I dette tilfellet kan en vurdere behovet for injeksjon og sonderboring. Dette må bekreftes i drivefasen.

7.4.8 Injeksjon

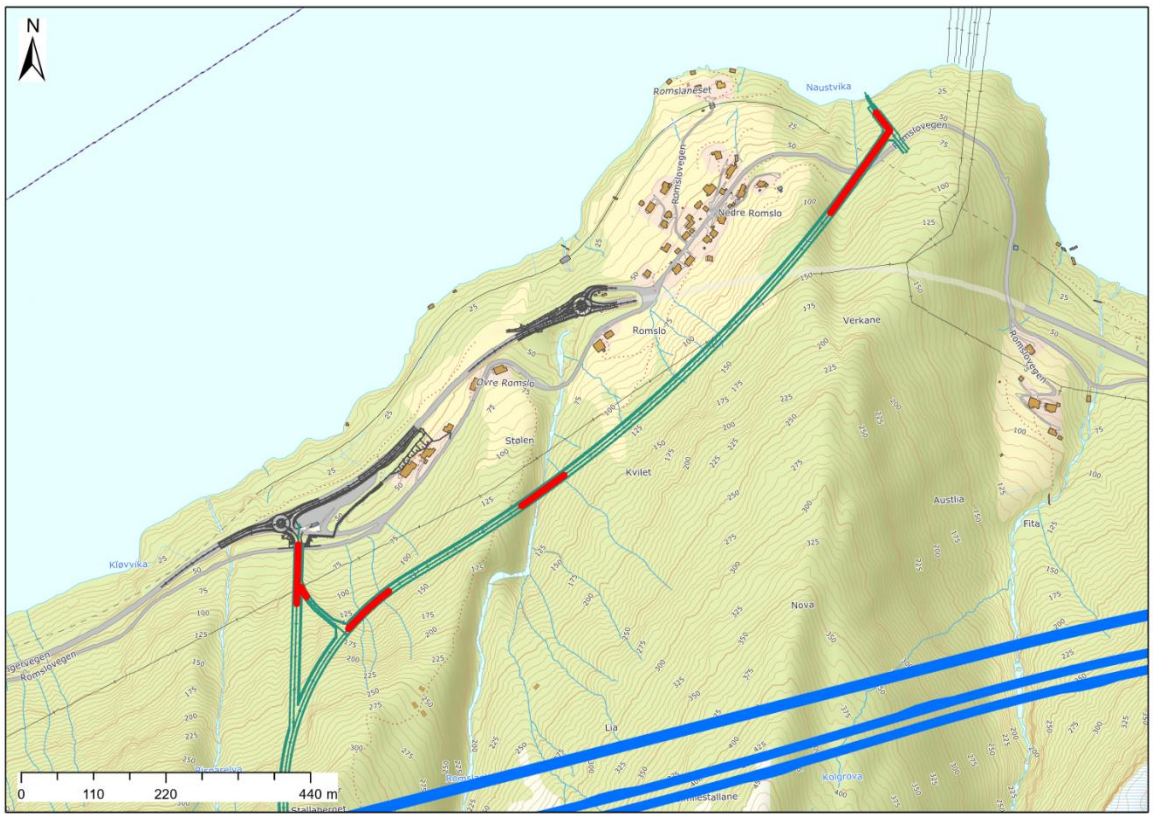
Generelle forutsetninger for injeksjon finnes i kapittel 7.1.4.

Hvis en finner behov for injeksjon i området med tipphall kan det være aktuelt med injeksjon med lavere trykk og lavere viskositet på injeksjonsmateriale, eventuelt harpiks. I områder med lav overdekning og/eller i nærhet til bebyggelse bør det utvises aktsomhet ved eventuell injeksjon, for å unngå utgang av injeksjonsmasser i dagen.

Områder hvor det er flere tunnelløp i nærhet til hverandre er vist i Figur 7-64. Ellers forventes det injeksjonsbehov i områdene der det renner bekker og elver, grunnet større potensial for infiltrasjon i sprekker i bergmassen. Figur 7-65 viser en oversikt over hvor det er forventet injeksjon.



Figur 7-64: Områder med flere tunnelløp i nærhet til hverandre, hvor innlekkasjekrav må fordeles.



Figur 7-65: Områder det antas å være behov for injeksjon er markert med tykk linje. Injeksjonen vil være behovsprøvd og dette er kun en skisse, det er mulig at det blir injeksjon andre steder, hvis innlekkasjemålinger tilsier at det er behov for det.

Mot Naustvika er det relativt lav bergoverdekning over tunneltrasé, her må det utvises aktsomhet med tanke på injeksjonsmasser ut i dagen.

Injeksjonen ventes å kunne påvirke borehull nytta som drikkevannskilde nevnt i kapittel 5.3.4.

Se vedlegg 4 for nærmere beskrivelse av injeksjon ved Romslo. Det antas at 17% av den totale tunnellengden injiseres, dette inkluderer tipphall og vendehammer.

Ved eventuell injeksjon i nærheten av Romslo II jernbanetunnel og Romslotunnelen må injeksjonsskjerm tilpasses, slik at injeksjonshull ikke kommer i konflikt med eksisterende tunnel. Injeksjonsprosedyren må tilpasses slik at risiko for utgang i eksisterende jernbanetunnel minimeres. I tillegg anbefales det inspeksjon for å sjekke at det ikke er utgang av injeksjonsmasser i tunnelen.

7.4.9 Skred

Det henvises generelt til FAS-01-A-00084 E1 Fagrapport berg- og skredsikring for skredvurderinger (COWI, 2025). Etterfølgende underkapitler gjengir informasjon fra Fagrapport berg- og skredsikring.

7.4.9.1 Vurdering av sikkerhetsklasse

Krav til sikkerhet mot skred for rigg- og påhuggsområdet ved Romslo er satt til sikkerhetsklasse S2 iht. Byggteknisk forskrift med grunnlag i at riggområdet vil ha permanent personopphold (TEK17§7-3).

Permanent krav til sikkerhet mot skred for rigg- og påhuggsområdet ved Romslo etter ferdigstilt ny E16 og jernbane Arna – Stanghelle er satt til sikkerhetsklasse S1 iht. Byggteknisk forskrift med grunnlag i at riggområdet kan benyttes for tiltak uten permanent personopphold (TEK17§7-3).

Krav til sikkerhet mot skred for deler av Romslovegen som inngår i kartleggingsområdet er satt til S1 for arbeidssikring iht. Byggteknisk forskrift (TEK17§7-3).

Krav til sikkerhet mot skred for deler av eksisterende E16 ved Romslo som inngår i kartleggingsområdet er satt til S1 for arbeidssikring iht. Byggteknisk forskrift med grunnlag i at vegtrase benyttes til tiltak uten permanent personopphold (TEK17§7-3).

Definerte krav til sikkerhet mot skred ved Romslo er vist i

Tabell 7-34. For utfyllende informasjon, se FAS-01-A-00084 E1 Fagrapport berg- og skredsikring for skredvurderinger (COWI, 2025).

Tabell 7-34: Definerte krav til sikkerhet mot skred ved Romslo.

Sikkerhet mot skred				
	Arbeidssikring/Anleggsfase		Permanent Ferdigstilt ny veg og jernbane Arna - Stanghelle	
Lokalitet:	Krav:	Definisjon:	Krav:	Definisjon:
Romslo - E16 - Veg - Krav TEK17	<1/100	Største nominelle årlige sannsynlighet	<1/50	Samlet skredsannsynlighet per år
Romslo - E16 - Veg - Krav N200	<1/300	Samlet skredsannsynlighet per år	<1/50	Samlet skredsannsynlighet per år
Romslo - Riggområde og påhuggsområde	<1/1000	Største nominelle årlige sannsynlighet	<1/100	Største nominelle årlige sannsynlighet
Romslo - Romslovegen - Veg Krav TEK17	<1/100	Største nominelle årlige sannsynlighet		
Romslo - Romslovegen - Veg Krav N200	<1/20	Samlet skredsannsynlighet per år	<1/20	Samlet skredsannsynlighet per år

7.4.9.2 Skredfarevurdering

COWI konkluderer med at kartleggingsområdet ved Romslo har potensiale for steinsprang, men ikke steinskred eller fjellskred.

COWI konkluderer med at kartleggingsområdet ved Romslo ikke har potensiale for snøskred, men potensiale for sørpeskred. Største nominelle årlige sannsynlighet for at utløp av sørpeskred når innenfor kartleggingsområdet vurderes også å være mellom < 1/1000 til >1/5000 og kartleggingsområdet tilfredsstiller derfor definert krav til sikkerhet mot skred i denne kategorien.

COWI konkluderer med at kartleggingsområdet ved Romslo har potensiale for jord- og flomskred.

COWI konkluderer med at kartleggingsområdet ved Romslo ikke har potensiale for isnedfall.

For utfyllende informasjon, se FAS-01-A-00084 E1 Fagrapport berg- og skredsikring for skredvurderinger (COWI, 2025).

7.4.9.3 Vurdering av skredsikring

Det er definert behov for berg- og skredsikring mot skred fra naturlig sideterreng ved rigg- og påhuggsområdet ved Romslo. Det henvises til fagrapport for berg og skredsikring for ytterligere detaljer om de forskjellige tiltakene (COWI, 2025).

7.4.10 Borbarhet og sprengbarhet

Anleggstunnelene ved Romslo er stedvis tolket til å gå i bergarten amfibolgneis (NGU, 2023a) (COWI, 2024n). Amfibolgneis er som regel foliert i varierende grad, og det er lagvis ansamling av mineraler med forskjellig styrke. Det kan stedvis forventes at borstangen avbøyes parallelt med eller vinkelrett på foliasjonen eller svake bergartslag, avhengig av vinkel mellom foliasjon/lag og boreretning. For bergmekaniske parametere av utførte tester og fra litteraturen, se kapittel 4.6. Borstangen kan også avbøyes med orientering til oppsprekkingen i bergmassen.

Amfibolgneis har erfaringsmessig middels sprengbarhet (SPR 0,40-0,54) (Zare, 2007). Øvrige deler av anleggstunnelene er tolket til å gå i amfibolitt. Amfibolitt har erfaringsmessig middels-god sprengbarhet (SPR 0,40-0,47) (Zare, 2007). Begge bergarter gir relativt høy borslitasje, se kapittel 4.6.5.

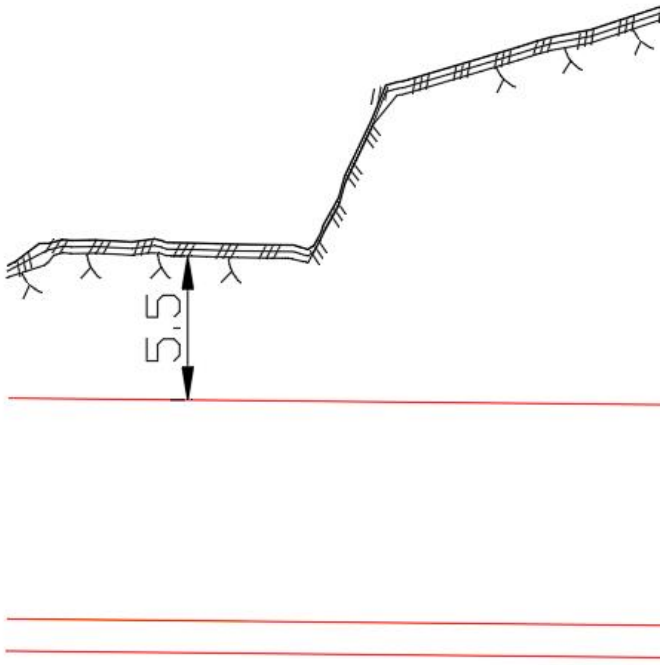
Erfaringsmessig, så vel som observert på befaring, er det relativt stor variasjon i bergmassen i området. Dette vil påvirke både borbarhet og sprengbarhet.

I områder hvor det er viktig med nøyaktig boring eller der det avdekkes boreavvik, kan avviksmåling av borehull være aktuelt, det gjøres spesielt oppmerksom på områdene hvor tunnelen skal drives under eksisterende jernbanetunnel.

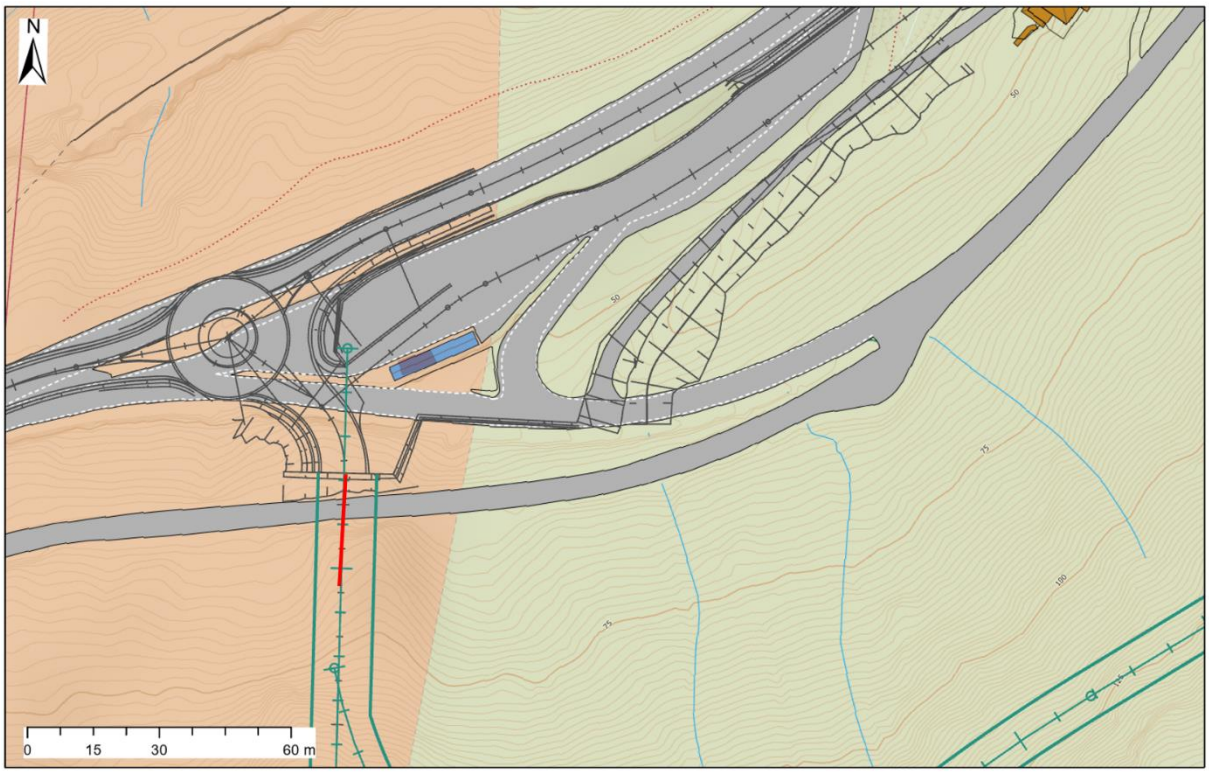
7.4.11 Drivetekniske utfordringer

7.4.11.1 Krysning under Romslovegen

Adkomsttunnelen krysser under Romslovegen ved riggområdet med lav bergoverdekning, ned mot ca. 5 m med en estimert løsmassetykkelse på ca. 0,5 m, se Figur 7-66. Snittet er tatt med utgangspunkt i senterlinjen til tunnelen. Figur 7-67 viser omtrentlig hvor snittet er tatt fra med rød strek. Eksakt løsmassetykkelse skal undersøkes med boringer fra vegen over krysningspunktet for å minimere usikkerhet i overdekning. Ved driving under Romslovegen må bergsikring tilpasses stedlige forhold. Dersom det finnes dårlig bergmassekvalitet i området anbefales det å installere buer på stuff da overdekningen er lav og SRF settes til 5 i henhold til Q-systemet (NGI, 2022). Det vurderes som sannsynlig at en må benytte korte salvelengder under Romslovegen, både for å begrense rystelser og ikke avdekke for mye berg samtidig i området med lav bergoverdekning.



Figur 7-66: Utklipp fra lengdeprofil av påhugg ved riggområdet. Øverste røde linje viser heng i adkomsttunnel. Overdekning angis opp til tolket bergoverflate under Romslovegen. Profilet ses mot øst.

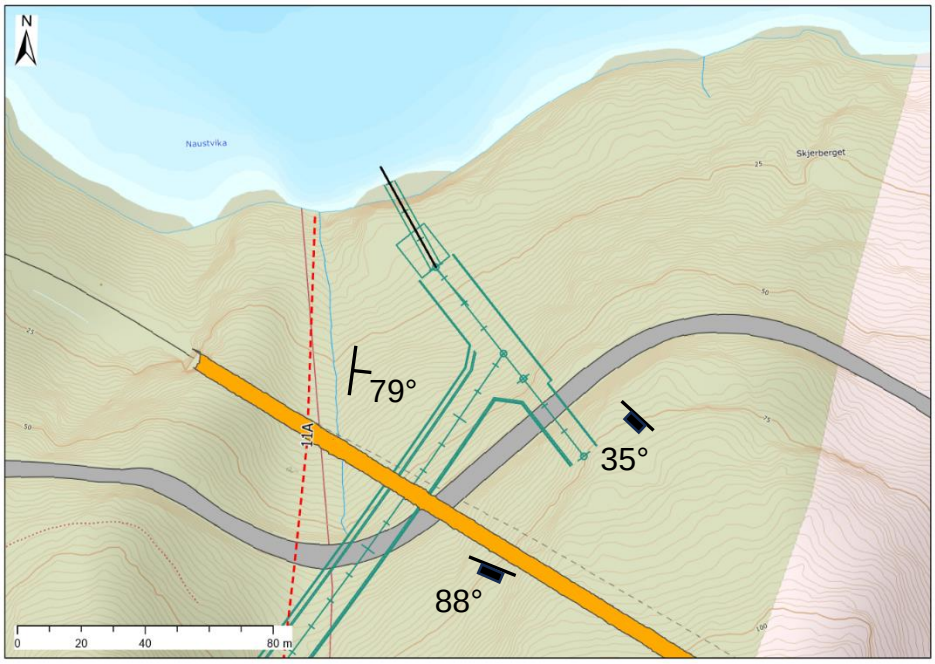


Figur 7-67: Rød strek viser snitt for profilet i ovenstående figur.

7.4.11.2 Krysning under Romslo II

Planlagt anleggstunnel vil passere under eksisterende jernbanetunnel med en avstand mellom ny heng og eksisterende bergtopp under jernbanesåle, målt inn med

georadar, på ca. 9 m. Georadarmålingene ble korrelert mot prøvegravinger, og er tilstrekkelig nøyaktig til formålet. Se Figur 7-68 for krysningsområdet. Eksisterende jernbanetunnel passerer under Romslovegen med en bergoverdekning på ca. 30 m.



Figur 7-68: Anleggstunnelen (grønn) er planlagt å passere under eksisterende jernbanetunnel (oransje).

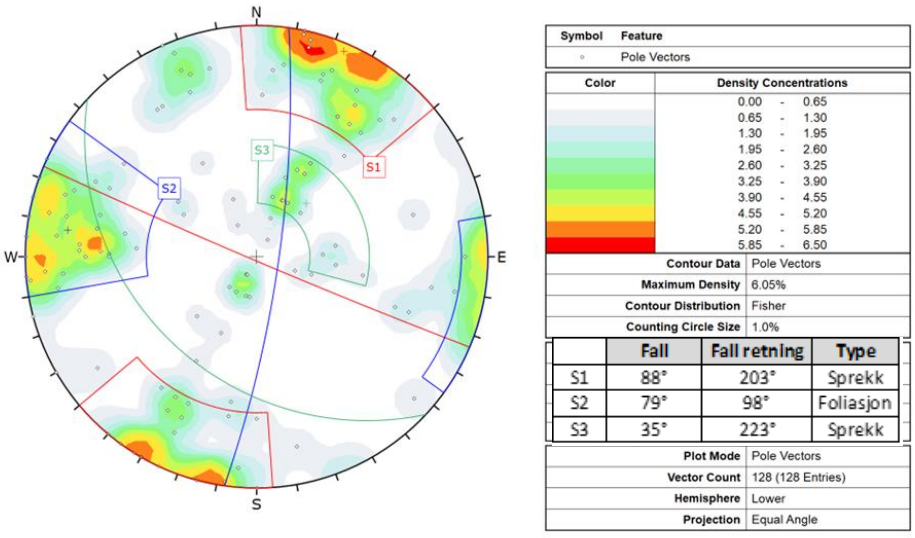
Utført kartlegging ved lokasjon E008 og E010 gir en beregnet Q verdi rundt 12-15 (bergmasseklasse B). I henhold til Q-systemet og dagens standard ville det gitt en bergsikring tilsvarende 5-6 cm med fiberarmert sprøytebetong og systematisk bergbolting med c/c = 2,3 m for den eksisterende jernbanetunnelen. Jernbanetunnelen er befart langs en strekning på 50 m. Det ble ikke registrert noen sprøytebetong langs denne strekningen, og i tillegg var det kun én bergbolt. Disse observasjonene indikerer at det tidligere ble vurdert til å være god innspenning, men behov for å øke sikringsomfanget må likevel vurderes nærmere i forbindelse med forberedende arbeider.

Det er registrert ett nært vertikalt sprekkesett og ett som faller ca. 35° mot sørvest, og begge følger omtrent parallelt eksisterende jernbanetunnel, se Figur 7-68 og Figur 7-69. Ved uttak av ny tunnel vil det være en fordel å bruke forbolter langs tunnelen som skjærer nær vinkelrett på sprekkene og låser disse. Forboltene må forankres for å oppnå best mulig effekt. Som permanentsikring bør det brukes noe mer bergsikring i hengen enn hva som Q-metoden og Teknisk regelverk anbefaler, ettersom det vil bli en statisk og dynamisk belastning fra togsett i jernbanetunnelen. Det anbefales å gå opp to bergmasseklasser (B til D, etc.), noe som øker mengden bergsikring. I tillegg til dette bør minimum følgende tiltak gjøres ved passeringene for å drive tunnel sikkert under den eksisterende jernbanetunnelen:

- I god tid før oppstart av forberedende arbeider for FAS bør eksisterende jernbanetunnel renskes i konturen med manuell spettrensk minimum 50 m ut fra hver passering. Deretter skal det gjennomføres en ingeniørgeologisk vurdering av stabiliteten og der det blir behov suppleres med bergbolter. Det bør også vurderes om det vil være behov for å henge opp nett i hengen. Sprøytebetong kan også vurderes. Dette håndteres av byggherre.

- Ettersom eksisterende tunnel ser ut til å være av god kvalitet og har lite bergforsterkning settes kravet til rystelser ved sprengning til 50 mm/s basert på NS 8141-1:2022, tabell 7. Ett parti i tunnelen er kartlagt med lav Q-verdi og der er rystelseskravet satt til 30 mm/s, se vibrasjonsnotat (COWI, 2024a). Grenseverdien gjelder for toppverdien av uveid svingehastighet og for alle tre retninger.
- Tunneldriving under eksisterende jernbanetunnel bør gjøres med forbolter og korte salver, sammen med bergsikringen beskrevet oven. Den supplerende bergsikringen skal starte senest én tunneldiameter før kryssingen og én tunneldiameter etter kryssingene, dvs. totalt ca. 40 m. Korte salver må tilpasses rystelsesmålinger. Endeling omfang og start av ytterligere bergsikring må vurderes under driving av byggherre.
- Det må tas hensyn til behov for sprengning på hvite tider og inspeksjon av eksisterende tunnel under driving nær eksisterende jernbanetunnel. Dette må være et samarbeid mellom byggherre og entreprenør.

Det henvises til rapport for togfremføringssikkerhet fra reguleringsplan (Rambøll/Sweco, 2020). Det henvises også til FAS-01-A-00136 E1 Notat angående kryssing av eksisterende jernbanetunneler (COWI, 2024x), FAS-01-Q-00069 E1 Risikovurderingsrapport togfremføringssikkerhet i anleggsperioden (COWI, 2024y) og tilhørende farelogg FAS-01-Q-00070 (COWI, 2024z).



Figur 7-69: Polplott for registrerte sprekkesett og foliasjon ved Romslo.

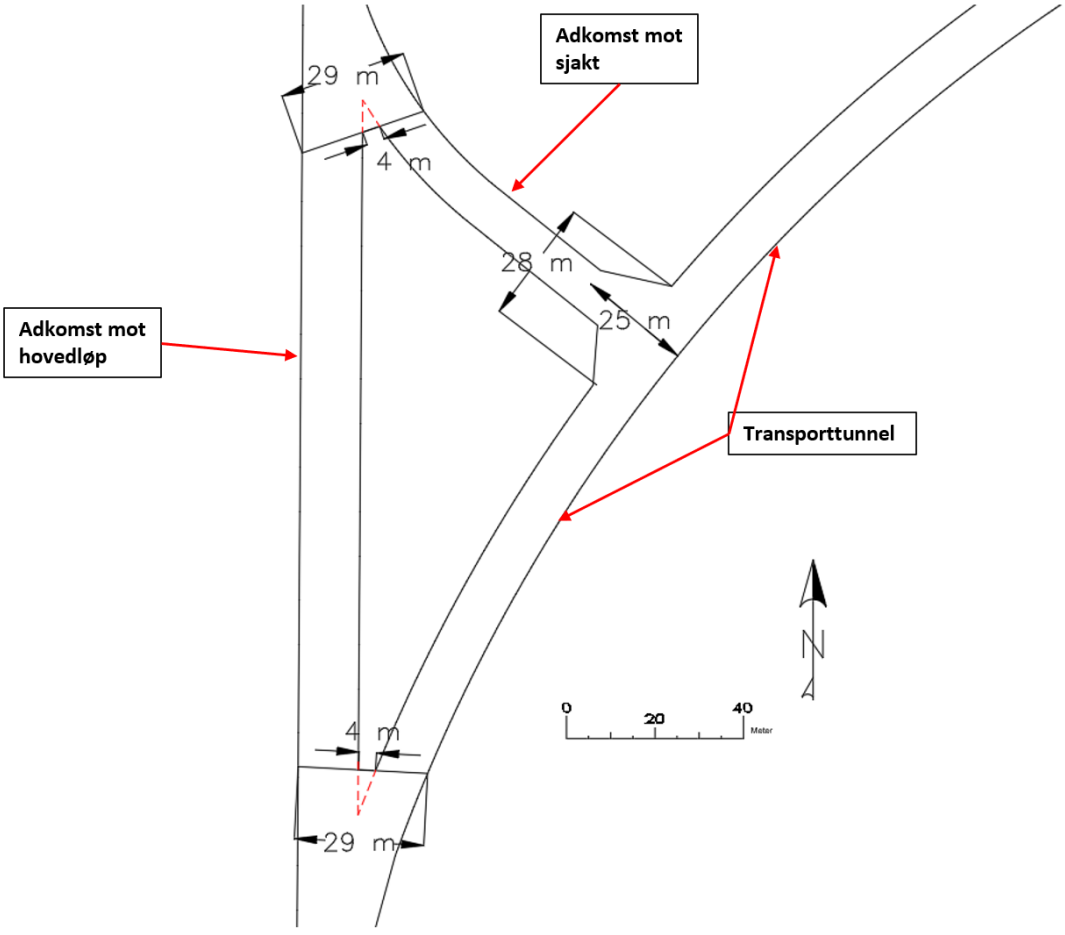
7.4.11.3 Tunnelkryss Romslo

I forbindelse med anleggstunnelene på Romslo vil det stedvis etableres store bergrom ved tunnelkryss. Det tas utgangspunkt i at bergstabben mellom tunnelløpene til adkomst sjakt mot adkomst hovedløp, og adkomst hovedløp mot transporttunnel, etableres med en bredde på 4 m. Endelig bredde på bergstabbe må tilpasses bergkvaliteten.

I krysset mellom adkomsttunnel mot sjakt og adkomsttunnel mot hovedløp blir minste bergoverdekning omtrent 25 m. I krysset mellom adkomsttunnel mot sjakt og transporttunnel blir minste bergoverdekning omtrent 120 m. I krysset mellom adkomsttunnel mot hovedløp og transporttunnel blir minste bergoverdekning omtrent 140 m.

Det forventes spennvidde opp mot 29 m på det bredeste, se Figur 7-70. Bergmassekvaliteten i kryssområdet forventes middels til god (C-B).

Det vil være viktig å ivareta bergstabbene mellom løpene. Sømboring inntil bergstabbene samt oppdelte salver er aktuelle tiltak. I bergrommene med store spenn må det tilstrebes å oppnå en god bueform i hengen for optimal lastbærende virkning. Det anbefales en pilhøyde (høyde på buen i heng) i profilet på omkring 1/5 av spennvidden.

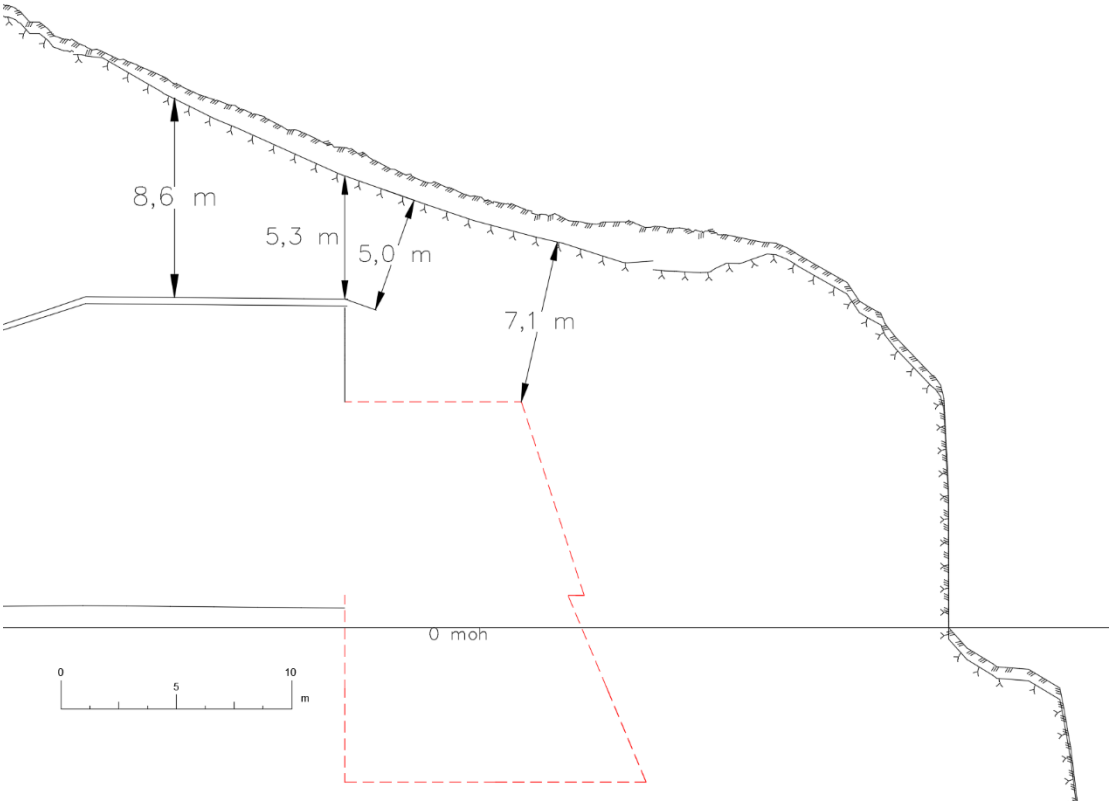


Figur 7-70: Utvalgte mål, tunnelkryss Romslo.

Boltelengder må tilpasses dimensjonene på bergrommet. Boltelengder på opp mot 8 m bør vurderes i heng og ut mot vederlag i de bredeste partiene. Generelt utregnes Q-verdi i tunnel med parameter J_n = 3 x J_n for tunnelkryss, i henhold til anbefalinger fra Q-systemet (NGI, 2022). Dette øker sannsynligheten for at kartlagt Q-verdi på stuff havner i samsvar med sikringsklasse E1-E2, som medfører behov for sprøytebetongbuer i henhold til sikringstabeller i kapittel 7.1.3. COWI anbefaler at behovet for tung bergsikring ved kryssområdene uansett vurderes spesifikt i byggefasen av byggherre i samråd med entreprenør.

7.4.11.4 Tipphall Naustvika

Tipphallen i Naustvika vil på en kort strekning, ved nordlig ende mot sjakten, få begrenset bergoverdekning. Bergoverdekningen er raskt stigende mot sør. Figur 7-71 viser utvalgte mål i lengdeprofilet av tipphallen med tippkasse (rød-stiplet linje). På figuren er hengen flyttet 0,3 m oppover for å ta høyde for eventuell tung bergsikring. Bergoverflaten her er basert på grunnboringene utført i Naustvika som presentert i kapittel 4.4. Måler man korteste avstand fra toppen av teoretisk sprengningsprofil i heng tipphall opp til bergoverflate, blir teoretisk bergoverdekning 5,0 m. Merk at bergoverdekningen blir redusert hvis profilet må utvides for installasjon av tyngre bergsikring. Tippkassen for sjakten får større bergoverdekning iht. kjerneboringer og tolket bergoverflate.

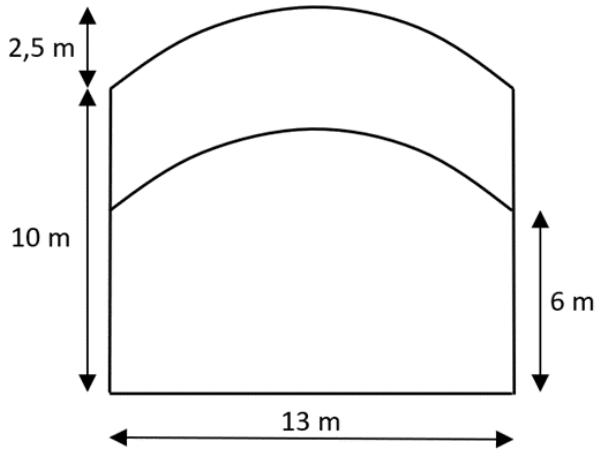


Figur 7-71: Utklipp av lengdesnitt fra tipphall i Naustvika. Rød-stiplet linje viser tippkasse. Snittet viser en minste bergoverdekning på 5,0 m, med bergoverflate basert på kjerneboringer som presentert i kapittel 4.4. Bergsjakt er ikke inkludert i figuren.

Utførte grunnboringer på Naustvika kunne bekrefte en minste vertikal bergoverdekning på 5,3 m. Det ble indikert en bergmasse av veldig god kvalitet basert på undersøkelse av kjernene, se kapittel 4.4. Disse resultatene var betydelig mer gunstig enn resultatene indikert fra de tidligere utførte geofysiske undersøkelsene (COWI, 2024f). Til sammenligning ble det kartlagt noe lavere Q-verdier i Romslo II og ved blotninger langs Romslovegen, se kapittel 7.4.5. Det anbefales at SRF økes til 5 når overdekningen blir lavere enn spennvidden, i henhold til Q-systemet (NGI, 2022). Basert på dette kan det forventes en Q-verdi på omkring 1-10 i tipphallen, men dette kan variere. Aktuell sikringstabell gitt i kapittel 7.1.3 følges for å fastsette endelig bergsikring.

Sålen i tunnelen er ved tippkanten planlagt til å være på kote +1,4, og hengen vil da være på kote +14,2. Etter terskelen ved tippkanten hvor lastebiler/dumpere skal

stoppe for å tippe i sjakten, minsker høyden i tunneltverrsnittet fra 12,5 til 8,5 m, se Figur 7-72. Tverrsnittsarealet minskes da fra ca. 145 m^2 til ca. 95 m^2 (uten nedre delen av sjakten). For å oppnå best mulig berghylle ned til tippkassen anbefales det sømboring kombinert med forbolter før utsprengning her.



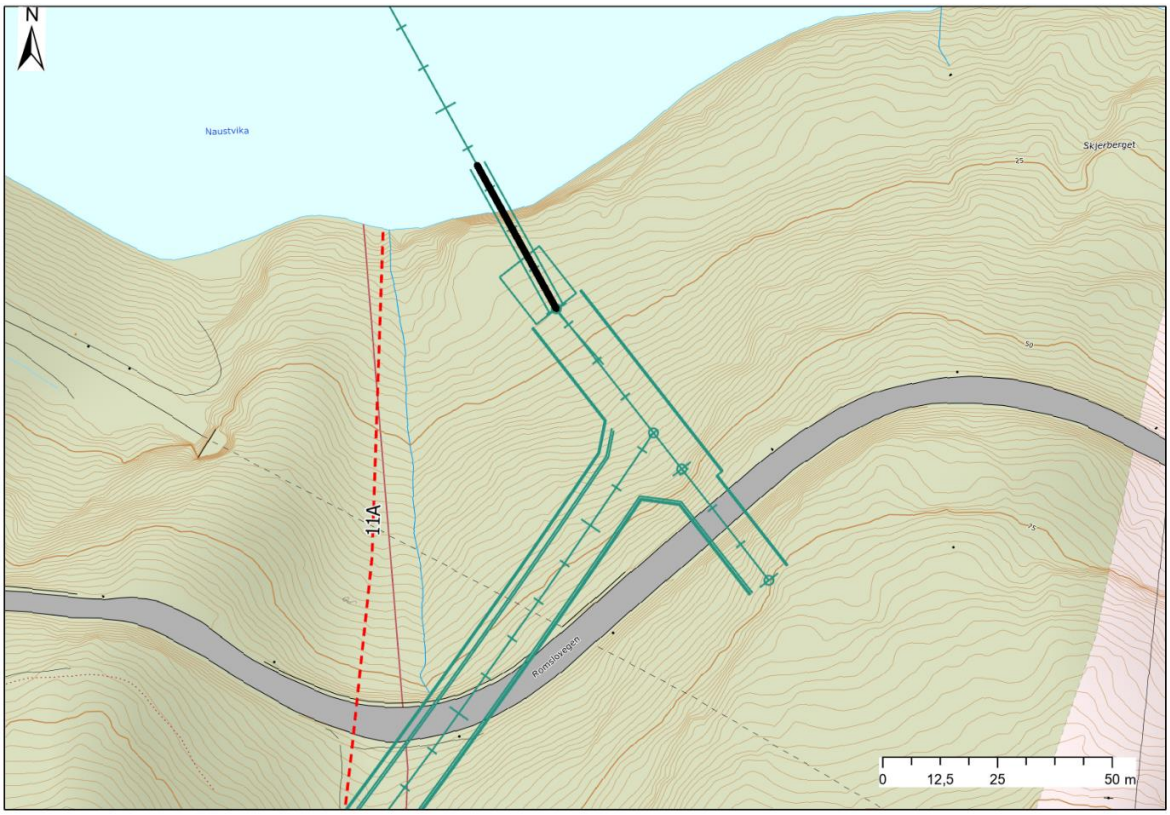
Figur 7-72: Tverrsnitt av normalprofil i overgangen ved tippkant.

Grunnet lav overdekning ved nordlig ende av tipphallen kan det bli aktuelt med deformasjonsmålinger. Metode og omfang fastsettes av byggherre i samråd med entreprenør.

Når det gjenstår 8-10 m av tipphallen anbefales det at bergoverdekningen verifiseres ved hjelp av sonderboring for å kontrollere bergoverdekningen. De siste 10 m inn mot enden av tipphallen kan det også bli aktuelt med korte salver grunnet den begrensede bergoverdekningen.

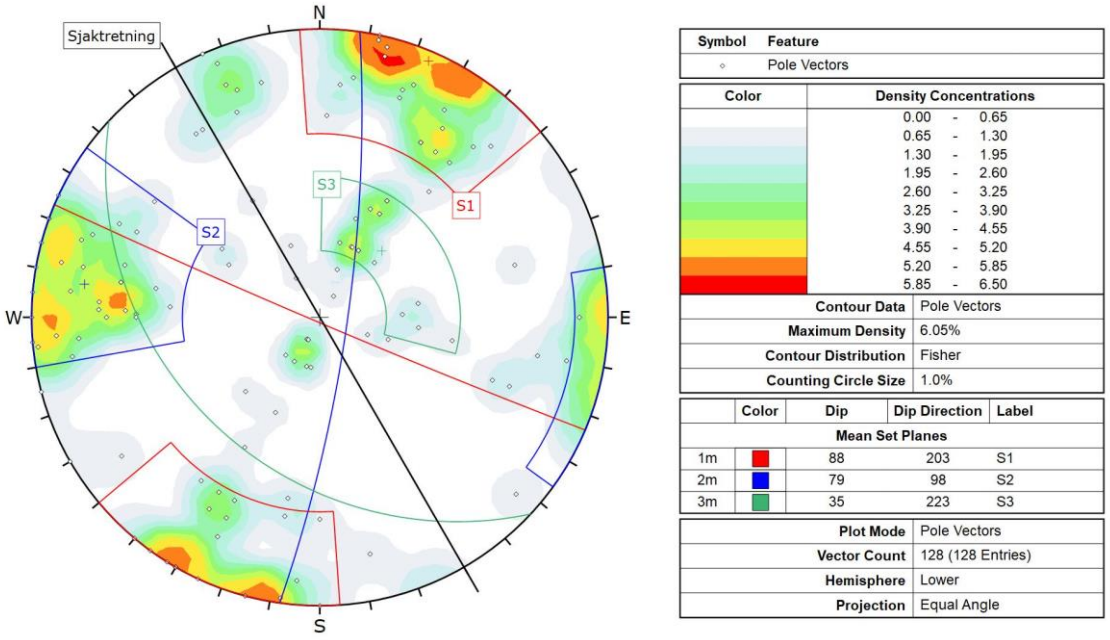
7.4.11.5 Etablering av bergsjakt

Planlagt sjakt ved Naustvika vil gå skrått mot NNV, se Figur 7-73.



Figur 7-73: Sjaktområdet ved Naustvika. Svart linje indikerer utstrekning av bergsjakten.

Sjakten skal falle 45° i retning omtrent 330°, og komme ut under sjøen ved kote omtrent -28, se Figur 3-20. Ved tipphallen ut mot sjakten må berget rundt tippkassen sikres tilstrekkelig mot brudd eller utgliding som kan medføre ulykker med tipptruck. Sjakten skal drives med raise-boring (pilotboring og opprømming).
Ved boring av pilothullet er retning på eksisterende sprekkesett/foliasjon av stor interesse ettersom borstangen vil kunne trekke seg fra planlagt retning til å følge fallet på sprekkene/foliasjon, spesielt dersom vinkelen mellom dem er liten. Fall og fallretning på sprekkesett og foliasjon i forhold til planlagt sjakt er vist i Figur 7-74. Orienteringer av sprekkesettene er gitt i 5.3.7.3. Ute i fjorden kunne det ikke avdekkes svakhetssoner fra ROV-undersøkelsene, se kapittel 4.5.3. Det kan likevel ikke utelukkes at tolket svakhetssone 11A kan komme til å påvirke bergmassekvaliteten lokalt langs sjaktforløpet.



Figur 7-74: Polplott fra registreringer ved Naustvika, vist med sjaktorientering. Sjaktretningen er lagt inn som en trendlinje.

Retningen på sjaktboringen vil bli mellom sprekkesett S2, S3 og S1 (foliasjonen). Kartlagt retning på sprekkesettene og foliasjonen viser at boreretningen vil avvike fra sprekkesettene med omtrent 25-30°.

Ved kjerneboringen, se kapittel 4.4, ble det registrert små boravvik i retning NNV for KBH01 (20 cm) og KBH02 (5 cm).

Videre er det utført ROV-transekter ved aktuelt utløpsområde for sjakten, se kapittel 4.5.3. Generelt er det kartlagt en avstand mellom sprekkene på 200-600 mm.

8 VIBRASJONER OG LUFTSTØT

Det vil være restriksjoner på deler av sprengningsarbeidene som følger av vibrasjonsgrenser for eksisterende tunneler, bygg og andre konstruksjoner. I denne forbindelsen er det utarbeidet eget notat – FAS-01-A-00057 Vurdering av grenseverdi for vibrasjoner (COWI, 2024a). Se dette notatet for vibrasjonsgrenseverdier på aktuelle utsatte objekter.

8.1 Bygningsbesiktigelse

Det må utføres bygningsbesiktigelse etter NS8141-4 (Standard Norge, 2021). Dette er byggherre (FAS) sitt ansvar. Resultater fra denne besiktigelsen kan medføre endringer i rystelseskrav.

8.2 Tiltak for å redusere vibrasjoner

I forbindelse med kryssinger over og under eksisterende tunneler, nærføring til hus, murer og lignende er det forventet at det under uttak av bergskjæringer eller driving av tunneler og bergrom må gjøres tiltak.
Aktuelle tiltak kan blant annet være:

- i dagen: forsiktig sprenging i form av etthullstenning, redusert salvestørrelse, redusert pallhøyde, elektroniske tennere, patronert sprengstoff og sømboring. Et annet tiltak for å redusere rystelser kan være bruk av pyroteknisk/ikke-detonerende sprengstoff som for eksempel Royex eller Nonex.
- i tunnel: bruk av elektroniske tennere, redusert salvelengde og oppdelte salver. I tillegg kan det vurderes bruk at patronert sprengstoff/rørladning, vaiersaging og mekanisk bryting av berg ved kryssing av eksisterende tunneler. Et annet tiltak for å redusere rystelser kan være bruk av pyroteknisk/ikke-detonerende sprengstoff som for eksempel Royex eller Nonex.

8.3 Lufttrykkstøt

Det er ikke registrert noen byggverk som er nærmere enn 20 m fra tunnelmunningene. Grenseverdi for refleksjonstrykk fra sprengning mot fasade settes til p_0 = 500 Pa målt på veggen på nabobygg. Det anbefales å dekke tunnelmunningen for å hindre sprut og skadelige lufttrykkstøt.

9 YTRE MILJØ OG SIKKERHET, HELSE OG ARBEIDSMILJØ

Det er i forbindelse med konkurransegrunnlaget utarbeidet en egen SHA-plan med risikovurderinger (COWI, 2024h) for entreprise E1. Etterfølgende underkapitler er ikke uttømmende og det henvises til prosjektets SHA-plan for ytterligere detaljer.

9.1 Luftkvalitet i tunnel

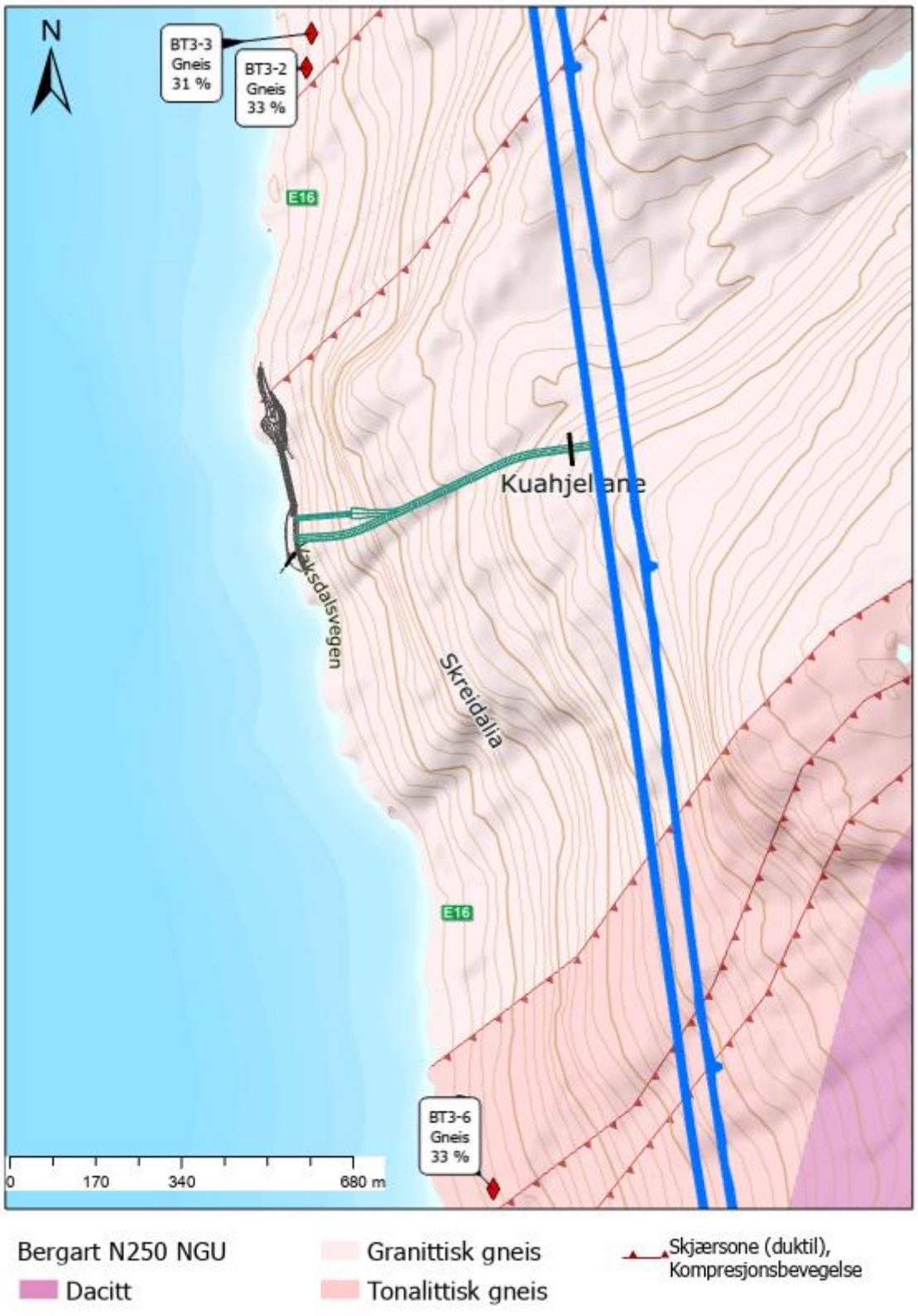
Det er svært viktig at det ventileres tilstrekkelig før arbeid gjenopptas etter sprengning. Det er viktig med støvdemping også i form av eksempelvis vanning og med etablert ventilasjon. I områder hvor det er risiko for radon, er det viktig med målinger og ventilasjon.

9.2 Støv fra kvartsholdige bergarter

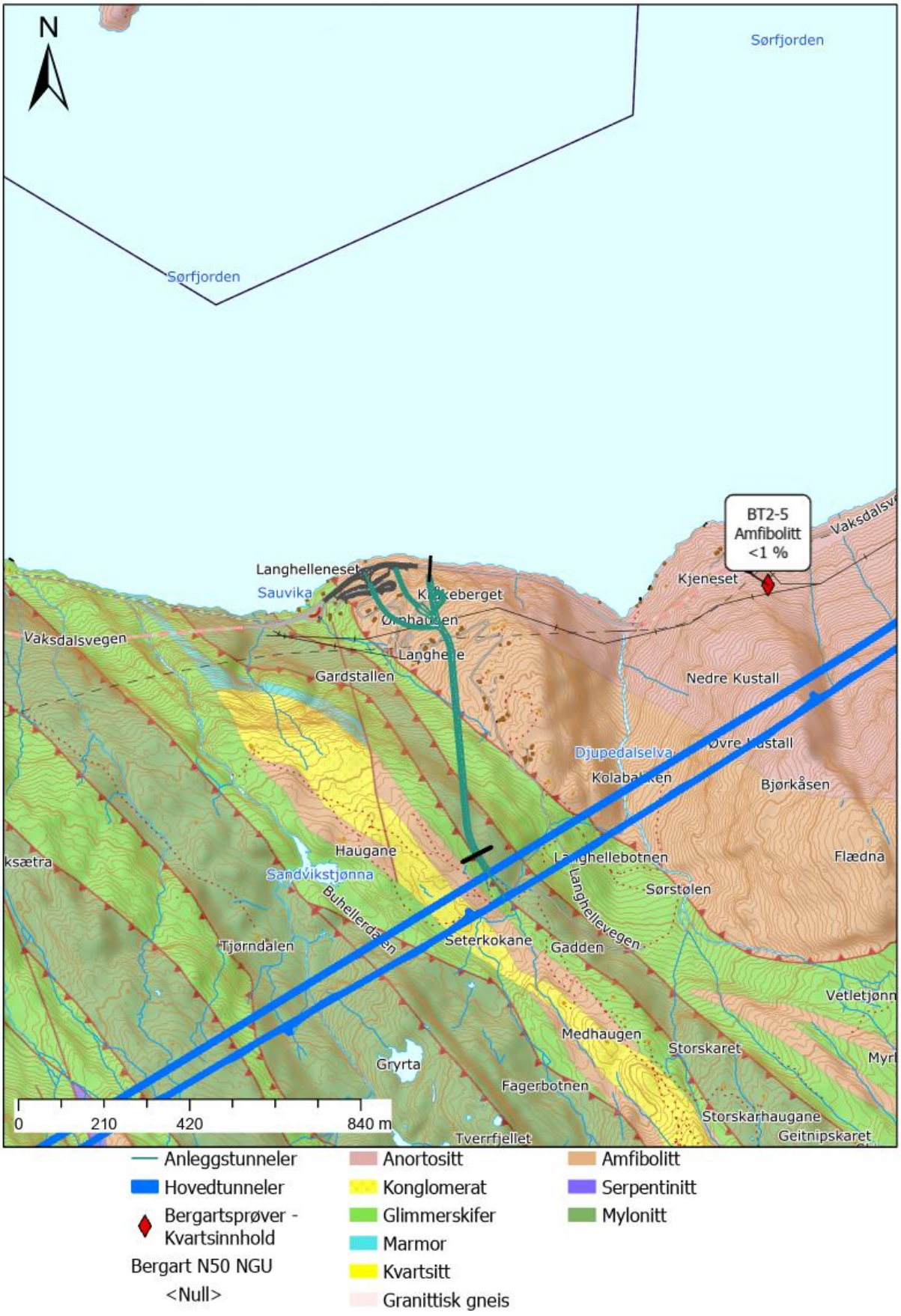
Ved boring i, sprengning og håndtering av bergarter med α-kvarts (særlig i kvartsitt) skal grenseverdi for eksponering av kvartsstøv ikke overskrides.

Det kan påtreffes kvartsitt, særlig ved grunnfjellet i området ved Fossmark og Gamle Fossen (NGU, 2023a). Det forventes også å påtreffe berg flere steder hvor kvarts utgjør ett av hovedmineralene. Kvartsinnholdet til 20 bergartsprøver tatt i forbindelse med reguleringsplanen kan sees i vedlegget «Laboratorieanalyser» i for eksempel geologisk rapport Arnatunnelen (SWECO, 2022e). Prøver tatt i relativ nærhet til anleggstunnelene er vist i Figur 9-1, Figur 9-2 og Figur 9-3.

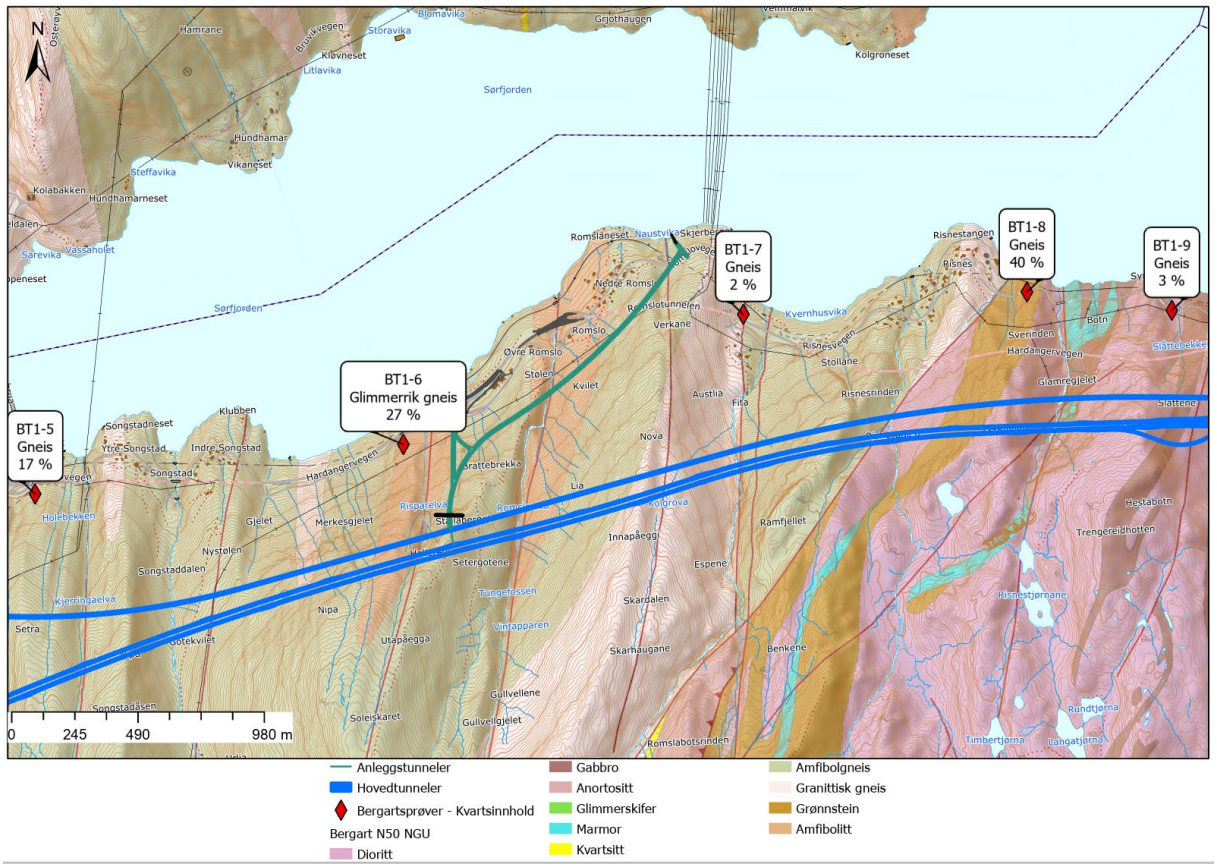
For tiltak mot støveksponering, henvises det til SHA-plan med risikovurderinger (COWI, 2024h).



Figur 9-1: Bergartsprøver tatt i forbindelse med reguleringsplan i nærhet til anleggstunnelene på Gamle Fossen. Kvartsinnhold er angitt i %.



Figur 9-2: Bergartsprøver tatt i forbindelse med reguleringsplan i nærhet til anleggstunnelene på Langhelleneset. Kvartsinnhold er angitt i %.



Figur 9-3: Bergartsprøver tatt i forbindelse med reguleringsplan i nærhet til anleggstunnelene på Romslo. Kvartsinnhold er angitt i %.

9.3 Støv fra fibermineraler

Under driving kan det påtreffes krystallinske silikatmineraler med fiberstruktur. Herunder inngår blant annet asbest, som her defineres som fiberpartikler med lengde >5 µm, diameter <3 µm og med lengde/diameterforhold >3:1. Noen fibermineraler har også asbestiforme egenskaper. Ved mistanke om fibermineraler, må disse snarest prøvetas og sendes til analyse. Fibermineraler kan forårsake flere alvorlige sykdommer. Lungekreft, lungehinnekreft (mesoteliom) og asbestose er sykdommer som er forbundet med asbest. Risikoen for helseskade oppstår først når løse fibermineraler opptrer i form av støv som kan pustes inn. Utførte undersøkelser, resultater og anbefalinger finnes i rapport FAS-01-Q-00061 Tiltaksplan krystallinske mineraler med fiberstruktur (COWI, 2024m).

Det er mange aktuelle tiltak mot eksponering av støv fra fibermineraler, det henvises til SHA-plan med risikovurderinger (COWI, 2024h).

9.4 Sprengningsarbeider nær eksisterende veg, jernbane og tredjepart

Deler av sprengningsarbeidet skal pågå i nærføring til eksisterende veg, infrastruktur og bygninger. Sprengningsopplegget må tilpasses trafikkavviklingen. Sikkerheten til beboere, konstruksjoner og bygninger skal ivaretas. Det forutsettes at nødvendig sikring og rensk utføres før og under sprengningsarbeidet, slik at sikkerheten ivaretas

for arbeidere og trafikanter. Det må påregnes forsiktig sprengning på riggområdene for å ivareta eksisterende veg og infrastruktur. Byggherre må i samråd med entreprenør sørge for å ivareta omgivelser og tredjepart.

9.5 Gjenstående sprengstoff i eksisterende bergskjæring/veg

Det er en sannsynlighet for gjenstående sprengstoff i eksisterende bergskjæringer. I områdene hvor det er risiko for dette anbefales søk etter gjenstående sprengstoff før bergarbeidene starter, for eksempel ved bruk av sprengstoffhunder. Videre kan også udetonert sprengstoff bli liggende i nye områder dersom hele eller deler av salven ikke detonerer.

Det er også funnet militært utstyr, i nærliggende områder (Trengereid). Entreprenør må etablere en rutine for dette.

9.6 Arbeidssikring og rensk

Rensk er en risikofylt operasjon, hvor utførende personell må ha nødvendig erfaring og opplæring.

Rensk utgjør både en del av arbeidssikringen og permanent sikring. Godt utført rensk er en viktig del av den permanente sikringen og kan bidra til å redusere sikringsomfang og behov for vedlikehold.

9.7 Sprengningsarbeider nær sjø

I forbindelse med etablering av riggområde på Gamle Fossen, skal det sprenges ut i nærhet til sjø, her vil det være risiko for fall og maskinvelt ut mot sjøen, i tillegg til at sikkerhet på sjøen må ivaretas under sprengning.

9.8 Arbeid i forbindelse med etablering av sjakt og tipping i sjakt

Det foreligger risiko ved etablering av bergsjakt samtidig som det drives tunnel i nærheten. Det må være klare grensesnitt med hensyn til arbeid i tunnel og arbeid med sjakt. Ved etablering av sjakt kan man komme i den sitasjonen at man har samtidig arbeid i flere nivåer. Entreprenør må ha prosedyrer og klare retningslinjer for dette.

Rutiner må etableres for montasjearbeid av krone under vann. Det er i FAS-01-Q-00053 SHA-risikovurdering E1 for forberedende arbeider (COWI, 2024h) anbefalt at det gjennomføres tørrtest på land for montering av krone. Det er i risikovurderingen også anbefalt å bruke ROV for kontroll av borehull og eventuelle løse blokker. Stabiliseringstiltak utføres etter anvisning fra byggherre.

I overkant av tippkassene skal det etableres en tippstokk som hindrer rygging i tippkasse. Det er foreslått en egen sone med opphold forbudt ved tipphall nært sjakt (COWI, 2024h). Det må etableres tydelige rutiner for trafikkavvikling i forbindelse med tipping i sjakt.

Sprengsteinsmasser fra tunnel inneholder plastrester. Det er identifisert risiko for spredning av plast ved deponering av sprengsteinsmasser på land eller i sjø. Risiko og tiltak gjennomgås i FAS-01-Q-00005 (COWI, 2024w).

9.9 Undervannssprengning

I forbindelse med etablering av mottaksflate for sjaktboringene vil det måtte utføres undervannssprenging og dykkerarbeid. Dette arbeidet ansees som risikofylt, og det er viktig med en erfaren entreprenør, hvor sikkerheten til alle involverte og tredjepart ivaretas. Hvis entreprenør bruker lekter, må det utvises stor forsiktighet.

For vurderinger av miljøpåvirkning og avbøtende tiltak ved boring og sprengning under vann henvises det til FAS-01-A-00064 Vurdering av miljøpåverknad ved boring og sprenging under vatn (COWI, 2024v). Det gis der veiledning for hvilke tidsrom det kan sprenges på, grenseverdier for støy, tiltak som skal gjennomføres.

Det henvises også til FAS-01-Q-00053 SHA-risikovurdering E1 for forberedende arbeider (COWI, 2024h).

10 OPPFØLGING I BYGGEFASE

Det gjøres oppmerksom på at det er krav om utførelseskontrollklasse 3 for dagsone (bergskjæringer) og tunnelene, dette er omtalt i kapittel 2.2.

10.1 Dagsone

Anleggets dagsoner må følges opp av en ingeniørgeolog som vurderer endelig utforming av bergskjæringene, samt behov for permanente sikringstiltak. Ingeniørgeolog skal også anvise stabiliserende tiltak, som forbolting og sikring bak/over berguttak, under driving. Det er byggherre som stiller med ingeniørgeolog.

På Langhelle og på Gamle Fossen vil det kunne være aktuelt med tyngre sikring i form av stag i dagsone, ansvarlig ingeniørgeolog bør ha erfaring med dette. Det er vanskelig å fastsette den optimale plassering av påhuggene uten at løsmassene er avdekket. Det anbefales å legge opp til tett dialog mellom ingeniørgeologene, entreprenør og byggherre når endelig påhuggsflate skal bestemmes.

Det skal utarbeides en sluttrapport for den utførte sikringen og de geologiske forholdene i henhold til gjeldende krav i Statens vegvesens håndbøker. Denne rapporten skal også inneholde informasjon om fremtidig vedlikehold. Det er også krav til utvidet kontroll av gjennomførte tiltak.

For midlertidig bru på Fossneset, gjøres det oppmerksom på at ved fundamentering på berg, skal berget vurderes av ingeniørgeolog, både før og etter ved sprengning eller pigging i henhold til N400 (Statens vegvesen, 2024).

Det henvises til FAS-01-V-00038 Geoteknisk fagrapport for konkurransegrunnlag Fossneset og Gamle Fossen (COWI, 2024i), for oppfølgingspunkter på murer i forbindelse med utførelse av arbeider på Fossneset og Gamle Fossen.

10.2 Tunneler

Prosjektet må ha tilstrekkelig bemanning med den nødvendige ingeniørgeologiske kompetanse ut fra forventede geologiske utfordringer. Det er byggherre som stiller med ingeniørgeologer. Grunnet prosjektets størrelse er det sannsynlig at det kreves flere ingeniørgeologer med ansvar for forskjellige områder. Det forutsettes at entreprenøren også har personell med høy ingeniørgeologisk kompetanse.

Det må også ansettes kontrollingeniører med ingeniørgeologisk kompetanse. Hver salve skal kartlegges før påføring av sprøytebetong, og permanentsikring skal fastsettes. Det påpekes at alle salver skal dokumenteres via fotografering i stuff, vegger, vederlag og heng før sprøytebetong påføres. Rensk og arbeidssikring utføres etter hver salve.

I byggefase vil det være oppfølging, målinger og kontroll av eksisterende forhold i tunnelen, fastsettelse av permanentsikring, oppfølging av utført bergsikring og registrering av innlekkasje i sonderhull. Vurdering av behov for supplerende undersøkelser, i samarbeid med byggherre. Oppfølging på grenseverdier for rystelser er relevant for alle tre områdene.

Det er viktig å utarbeide (og oppdatere) prognoser for videre inndrift.
Det skal utføres kontroll og rapportering av injeksjonsarbeidene i henhold til NS-EN 12715 (Standard Norge, 2000). Det anbefales at det utarbeides en ingeniørgeologisk sluttrapport, som oppfyller krav 7.10-1 i N500 (Statens Vegvesen, 2022b).

10.3 Aktuelle supplerende undersøkelser i byggefasen

Det forventes at entreprenøren stiller med borerigger som kan levere MWD-data kontinuerlig, og at byggherren benytter et tolkningsprogram for MWD-data. Dermed kan man nyttiggjøre MWD-dataene fortløpende under driving. Ellers er følgende andre supplerende undersøkelser aktuelle:

10.3.1 Sonderboring

Det anbefales systematisk sonderboring for å redusere sannsynligheten for å få større vannmengder inn på stuff. Sonderboringen brukes for å skaffe informasjon om vannforhold foran stuff. Sonderboringene vil være en del av den løpende vurderingen for injeksjon. I tillegg kan sonderboringene gi informasjon om bergmassekvalitet foran stuff, denne kan benyttes til løpende vurderinger i forbindelse med driving og sikring, spesielt ved kryssing av eksisterende jernbane, eksisterende veg og andre kritiske områder.

Det kan bli aktuelt å sonderbore for å undersøke bergoverdekning i forbindelse med etablering av tipphall på Langhelleneset. Sonderboring kan her også bidra til tidligere identifikasjon av serpentinitt.

10.3.2 Kjerneboring på stuff

Det kan være aktuelt å utføre supplerende kjerneboring på stuff i forbindelse med kritiske områder som tunnelkryss, kryssing av eksisterende tunneler og kryssing av svakhetssoner.

10.3.3 Prøvetaking

Det kan være aktuelt med prøvetaking av materiale fra svakhetssoner, partier med omvandlede bergarter eller leirslepper, for å teste svellepotensiale og svelletrykk. Resultater fra disse analysene vil brukes til vurdering av permanent sikring av tunnelene.

Hvis det påtreffes asbestholdig berg, er det aktuelt med uttak av prøver for analyse med XRD eller mikroskop.

10.3.4 Konvergensmålinger og lastceller

Det kan være aktuelt med konvergensmålinger og lastceller i områder med lav bergoverdekning, eller i krysningsområder. Hvis det avdekkes andre områder med spesielt krevende svakhetssoner, partier med svelleleire eller lav innspenning, kan dette være aktuelt tiltak der også.

10.3.5 Bergspenningsmålinger

Bergspenningsmålinger kan være aktuelt ved rundkjøringen på Langhelleneset og ved driving av ventilasjonshall, hvis det under driving avdekkes bergspenningsproblemer.

10.3.6 Seismikk på stuff

Det er ikke avdekket forhold hvor seismikk på stuff skulle være nødvendig, men det kan være aktuelt hvis det på et senere tidspunkt viser seg å være nødvendig. Seismikk på stuff er et supplement til enten sonderboring eller kjerneboring.

11 REFERANSELISTE

Artsdatabanken. (2023). *Økologisk grunnkart*. Hentet Juni 26, 2023 fra https://okologiskegrunnkart.artsdatabanken.no/?favorites=false

Basnet, C. B., & Panthi, K. K. (2017). Analysis of unlined pressure shafts and tunnels of selected Norwegian hydropower projects. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 10*, 486-512.

Bruland, A. (1998). *Hard Rock Tunnel Boring vol. 10. Statistics of Drillability Test Results.*

COWI. (2023f). *FAS-01-Q-00043 Miljøgeologisk datarapport og tiltaksplan, Fossmark.*

COWI. (2023i). *FAS-01-V-00003 Geoteknisk datarapport.*

COWI. (2023u). *FAS-01-A-00068 Fagrapport naturmangfold, supplerende kartlegging.*

COWI. (2024a). *FAS-01-A-00057 - Vurdering av grenseverdier for vibrasjoner.*

COWI. (2024b). *FAS-01-A-00081 - Oversikt og risikovurdering av private brønner og VA-anlegg.*

COWI. (2024d). *FAS-01-Q-00029. Miljøgeologisk datarapport og tiltaksplan, Trengereid.*

COWI. (2024e). *FAS-01-Q-00027 Miljøgeologisk datarapport og tiltaksplan, Romslo.*

COWI. (2024f). *FAS-01-V-00015 Geofysisk tolkningsrapport.*

COWI. (2024g). *FAS-01-Q-00044 Miljøgeologisk datarapport og tiltaksplan, Rødberg.*

COWI. (2024h). *FAS-01-Q-00053 SHA Risikovurdering E1.*

COWI. (2024i). *FAS-01-V-00038 E1 Geoteknisk fagrapport for utarbeidelse av konkurransegrunnlag – Gamle Fossen og Fossneset.*

COWI. (2024j). *FAS-01-A-00105 Fagrapport geokjemisk undersøkelse.*

COWI. (2024k). *FAS-01-A-00137 Forundersøkelse av brønner, statusnotat 1.*

COWI. (2024m). *FAS-01-Q-00061 E1 Tiltaksplan krystallinske mineraler med fiberstruktur.*

COWI. (2024n). *FAS-01-A-00080 E1 Notat geologisk modell.*

COWI. (2024o). *FAS-01-V-00017 E1 Geoteknisk rapport for utarbeidelse av konkurransegrunnlag – Spunt og oppstøttingstiltak, riggareal Romslo.*

COWI. (2024q). *FAS-01-A-00104 E1 Datarapport kjernelogging Naustvika.*

COWI. (2024s). *FAS-01-V-00004 E1 Geoteknisk rapport for utarbeidelse av konkurransegrunnlag – Langhelleneset.*

COWI. (2024t). *FAS-01-V-00021 E1 Geoteknisk rapport for utarbeidelse av konkurransegrunnlag - Gamle Fossen .*

COWI. (2024v). *FAS-01-A-00064 Vurdering av miljøpåverknad ved boring og sprenging under vatn.*

COWI. (2024w). *FAS-01-Q-00005 Ytre Miljøplan Forberedende arbeider veg og tunnel.*

COWI. (2024x). *FAS-01-A-00136 E1 Notat angående kryssing av eksisterende jernbanetunneler.*

COWI. (2024y). *FAS-01-Q-00069 E1 Risikovurderingsrapport togfremføringssikkerhet i anleggsperioden.*

COWI. (2024z). *FAS-01-Q-00070 E1 Farelogg.*

COWI. (2025). *FAS-01-A-00084 E1 Fagrapport Berg- og skredsikring.*

Geomap. (2018). *Trengereid - BT1 påhugg - Refraksjonsseismiske grunnundersøkelser.*

GeoPhysix. (2017). *Ny E16 og jernbane Arna-Stanghelle - Refraksjonsseismiske undersøkelser. Prosjekt nr. 17321.*

Hanssen, T. H. (1997). *Investigations of some rock stress measuring techniques and the stress field in Norway.*

Hoek, E., Carranza-Torres, C., & Corkum, B. (2002). *Hoek-Brown failure criterion 2002 edition.*

Høien, A. H., Nilsen, B., & Olsson, R. (2019). Main aspects of deformation and rock support in Norwegian tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology 86*, 262-278.

Kartverket. (2023, Mars). *Høydedata*. Hentet fra https://hoydedata.no/LaserInnsyn2/

Kartverket. (2023). *Høydedata*. Hentet fra https://hoydedata.no/LaserInnsyn2/

Kommunal-_og_distriktsdepartementet. (2017, 07 01). *TEK17§7-3*. Hentet 04 18, 2023 fra Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift): https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840#KAPITTEL_7

Miljødirektoratet. (2024). *;iljøstatus kart*. Hentet fra https://miljoatlas.miljodirektoratet.no/KlientFull.htm

NFF. (2020). *Bergbolting - Håndbok nr. 11.*

NGI. (2022). *Bruk av Q-systemet Bergmasseklassifisering og bergforsterkning.*

NGU. (2023a). *Berggrunnskart. Tilgjengelig: "geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/" [Internett].*

NGU. (2023b, Mai 26). *G R A N A D A - Nasjonal grunnvannsdatabase*. Hentet Mai 26, 2023 fra https://geo.ngu.no/kart/granada_mobil/

NGU. (2023d). *NADAG - Nasjonal database for grunnundersøkelser*. Hentet fra https://geo.ngu.no/kart/nadag_mobil/

NGU. (2024). *Radon aksomhetskart*. Hentet fra https://geo.ngu.no/kart/radon_mobil/

NGU. (u.d.). *Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase*. Hentet fra http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/

Norge-i-bilder. (2024). *Norge-i-bilder*. Hentet fra https://norgeibilder.no/

Norsk Bergmekanikkgruppe. (2011). *Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering.*

Norsk Geoteknisk Forening. (2019). *Peleveiledningen 2019.*

NVE. (2023a). *Aktsomhetskart for steinsprang*. Hentet Juni 22, 2023 fra https://temakart.nve.no/tema/steinsprangaktsomhet

NVE. (2023b). *Skredregistrering*. Hentet Juni 22, 2023 fra https://www.skredregistrering.no/#Forsiden

Rambøll/Sweco. (2020). *UAS-03-Q-00019 Risikovurdering av togfremføringssikkerhet i anleggsperioden.*

Rocscience. (u.d.). *UnWedge - Underground Wedge Stability Analysis*. Hentet fra https://www.rocscience.com/software/unwedge

ROV AS. (2023). *Prosjektrapport videoundersøkelse, geologi. Arna-Stanghelle. Lokalitet: Gamle Fossen & Langhelleneset.*

ROV AS. (2023). *Prosjektrapport videoundersøkelse, geologi. Arna-Stanghelle. Lokalitet: Naustvika.*

SINTEF. (2019). *Forundersøkelser og bruk av kortreist stein - En geologisk veileder.*

Standard Norge. (2000). *NS-EN 12715:2000 Utførelse av spesielle geotekniske arbeider - Injeksjon.*

Standard Norge. (2008). *NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 - Eurokode 0 - Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.*

Standard Norge. (2020). *NS-EN 1997-1:2004+A1+NA Eurokode 7 - Geoteknisk prosjektering - Del 1: Almenne regler.*

Standard Norge. (2021). *Vibrasjoner og støt — Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk — Del 4: Retningslinjer for besiktigelse av byggverk og eiendom før bygge- eller anleggsstart.*

Standard Norge. (2022). *NS 8141-1:2022 - Vibrasjoner og støt - Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk - Del 1: Virkning av vibrasjoner og lufttrykkstøt på byggverk, inkludert tunneler og bergrom.* Standard Online AS.

Statens Vegvesen / Bane NOR. (2022). *FAS-00-A-00100 Praktisk modelltest (M 1:30) av sjaktløysing for sjødeponi.*

Statens vegvesen. (2003). *Riktig omfang av undersøkelser for berganlegg.*

Statens Vegvesen. (2018a). *Prosesskode 1 - R761.*

Statens vegvesen. (2018b). *Prosesskode 2 - Standard beskrivelser for bruer og kaier.*

Statens Vegvesen. (2022). *Håndbok N200 Vegbygging.* Vegdirektoratet.

Statens Vegvesen. (2022b). *N500 Vegtunneler.*

Statens vegvesen. (2022c). *N100 Veg- og gateutforming.*

Statens Vegvesen. (2023). *N-V521 Geologi og bergsikring i tunnel.*

Statens vegvesen. (2024). *N400 Bruprosjektering.*

Statens vegvesen Region vest. (2004). *E16 Bergen-Trengereid Kontorplass Romslo - 030368-03.*

Statens vegvesen Region vest. (2008). *Geoteknikk 30054-470 Tørrmur Langhelle E16, Hp:11, 4150 hs - 2008158128-2.*

Statens vegvesen Region vest. (2016). *Geoteknikk E16 Stanghelle - Arna Kontrollboringer EV 16 hp 11, meter 88, Vaksdal kommune - 30192-GEOT-1.*

SWECO. (2018). *Befaringsnotat Foreløpig Ingeniørgeologisk inspeksjon av Fossmark krafttunnel.*

SWECO. (2022a). *0203787-R05-A02 Arna – Stanghelle - Ny E16 og Vossebane Geologisk rapport for reguleringsplan Berrfjelltunnelen, Vegtunnel Helle – Vaksdal.*

SWECO. (2022b). *K5 - Arna - Stanghelle Ny E16 og Vossebane Geologisk rapport for reguleringsplan Vaksdalstunnelen (Bane).*

SWECO. (2022c). *K5 - Arna-Stanghelle - Ny E16 og Vossebane - Geologisk rapport for reguleringsplan - Skulstadtunnelen – banetunnel Vaksdal-Trengereid 10203787-001-R06-A02.*

SWECO. (2022d). *K5 - Arna-Stanghelle - Ny E16 og Vossebane. Geologisk rapport for reguleringsplan. Anleggstverrslag. 10203787-R10-A02.*

SWECO. (2022e). *K5 – Arna-Stanghelle – Ny E16 og Vossebane. Geologisk rapport for reguleringsplan. Arnatunnelen (bane) 10203787-R01-A02.*

SWECO. (2022f). *K5 – Arna-Stanghelle – Ny E16 og Vossebane. Geologisk rapport for reguleringsplan. Raudnipatunnelen – vegtunnel Trengereid-Vaksdal 10203787-R04-A02.*

SWECO. (2022g). *K5 – Arna-Stanghelle – Ny E16 og Vossebane. Geologisk rapport for reguleringsplan. Tunesfjelltunnelen – vegtunnel Trengereid – Arna. 10203787-R03-A02.*

Vegdirektoratet. (2003). *Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø.*

Zare, S. (2007). *Drill and blast tunnelling - Blast design.* NTNU.

12 VEDLEGG

For vedlegg som innebærer tunnelprofiler opplyses det om at det er teoretisk sprengningsprofil som er presentert. I disse profilene er det ikke inkludert ytterligere utvidelse for eventuell tung bergsikring.

VEDLEGG 1 – Geologiske kartvedlegg
VEDLEGG 2 – Tverrprofiler
VEDLEGG 3 – Lengdeprofiler
VEDLEGG 4 – Injeksjonsskjermer
VEDLEGG 5 – Stabilitetsberegning bergskjæring – plan utglidning
VEDLEGG 6 – Tunneltverrsnitt

- Ytterste profillinje svarer til teoretisk sprengningsprofil
- Lengdemål er angitt i meter

STATENS VEGVESEN OG BANE NOR

VEDLEGG 1

GEOLOGISKE KARTVEDLEGG

TIL FAS-01-A-00056 E1 FAGRAPPORT INGENIØRGEOLOGI
ANLEGGSTUNNELER OG SJAKTER

ADRESSE COWI A/S
Karvesvingen 2
0579 Oslo
Norge

WWW cowi.com

INNHOLD

Geologiske kart for:

Fossneset og Gamle Fossen:

V006	Transport- og ventilasjonstunnel Gamle Fossen 0-250
V007	Transporttunnel Gamle Fossen 250-500
V008	Transporttunnel Gamle Fossen 500-650

Langhelle:

V010	Adkomst-, ventilasjons- og transporttunnel (0-100) inkl. snuplass og tipphall
V011	Transporttunnel 100-400
V012	Transporttunnel 400-650
V013	Transporttunnel 650-800

Romslo og Naustvika:

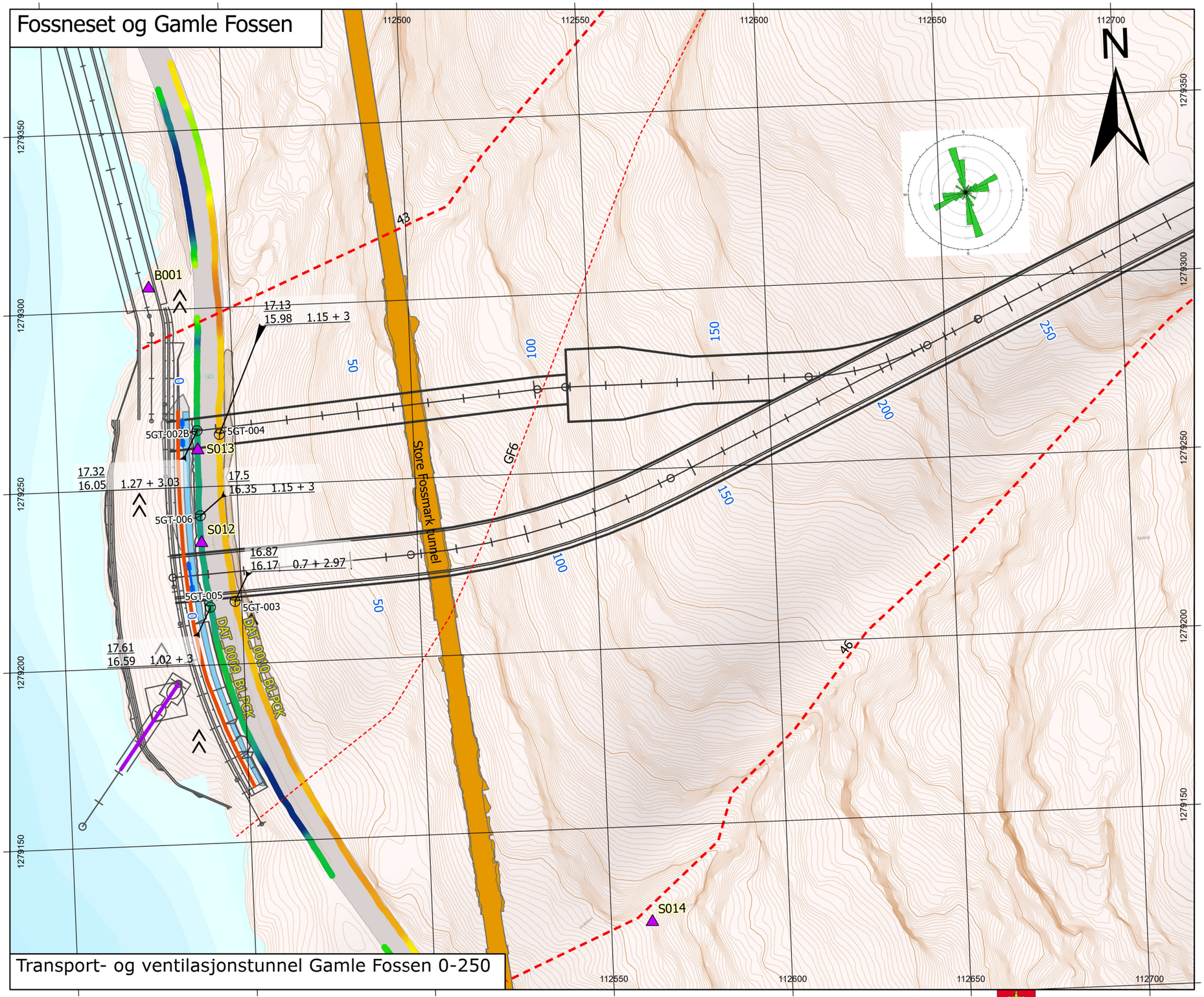
V020	Transporttunnel (0-300), adkomst- og ventilasjonstunnel (250-300) Romslo
V021	Adkomst- og ventilasjonstunnel mot sjakt Romslo. Transporttunnel 300-500
V022	Transporttunnel 500-800
V023	Transporttunnel 800-1100
V024	Transporttunnel 1100-1400
V025-V027	Transporttunnel 1400-1500. Vendhammer, tipphall og sjakt Naustvika

OPPDRAGSNR. A244927

DOKUMENTNR.

VERSJON	UTGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET	KONTROLLERT	GODKJENT
06C	10.03.2025	Vedlegg til ingeniørgeologisk fagrapport	BETR	SKAN	OTH

Fossneset og Gamle Fossen



Tegnforklaring

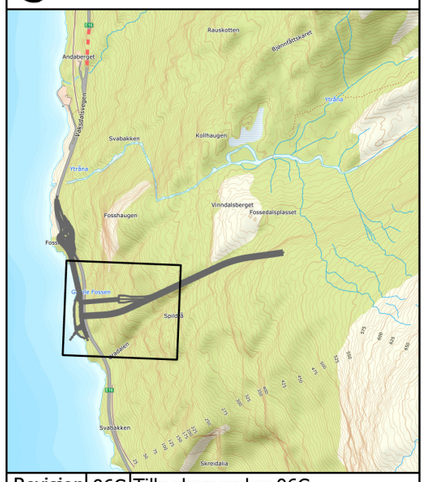
- 750 Profilnummer Fossneset/Gamle Fossen
- Bergsjakt
- Befaringslokaliteter
- Geoteknisk kategori 3
- Påhugg
- Små lineamenter (< 5 m)
- Middels lineamenter (5-10 m)
- Skjæring Gamle Fossen
- Store Fossmark tunnel
- Berg i dagen punkt
- Berg i dagen område
- Granittisk gneis

Dybde til fjell [m]

- 5 m (mørk blå: > 5 m)
- 0 m

Totalsondering

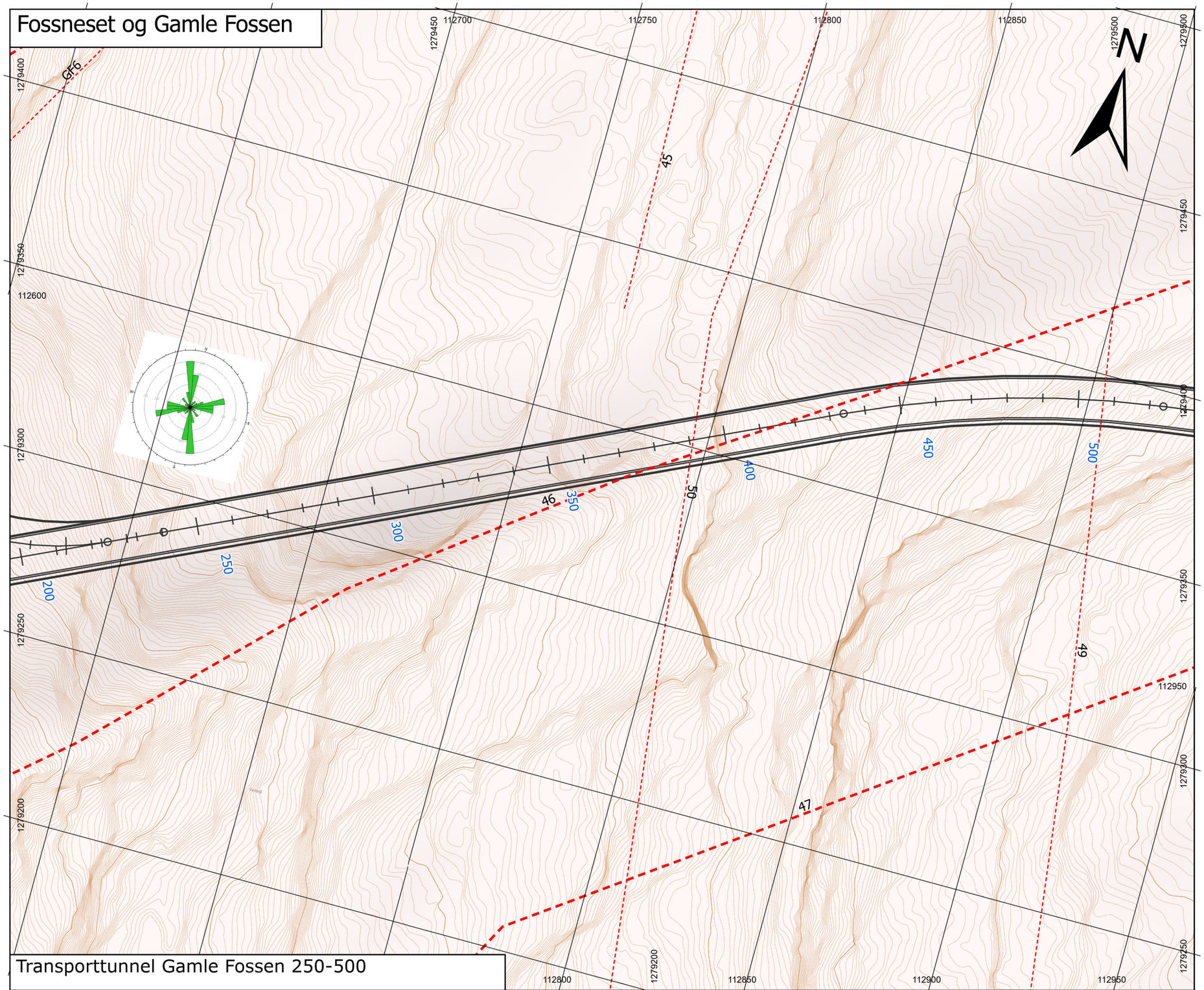
TERRENGKOTE (BUNN)KOTE
ANTATT FJELLKOTE | BORET DYBDE + BORET I FJELL



Revisjon	06C	Tilbudsgrunnlag 06C
Prosjektnavn		Fellesprosjektet Arna-Stanghelle - forberedende arbeider (R1)
Kunde		Statens vegvesen
Tegn.nr		V006
Prosjekt nr.		
Konsulentarkiv		A244927
Tegningsdato		10.03.2025
Utarbeidet av		BETR
Sidemannskontroll		SKAN
Godkjent av		OTH
Datakilde		Kartverket, COWI
Koordinatsystem		ETRS 1989 NTM sone 5
Høydesystem		NN2000 (Ekvidistanse 1 m)
Skala		1:1000 (A3)

BANE NOR
Statens vegvesen
COWI

Fossneset og Gamle Fossen



Transporttunnel Gamle Fossen 250-500

0 20 40 80 120 160 200 Meter

Tegnforklaring

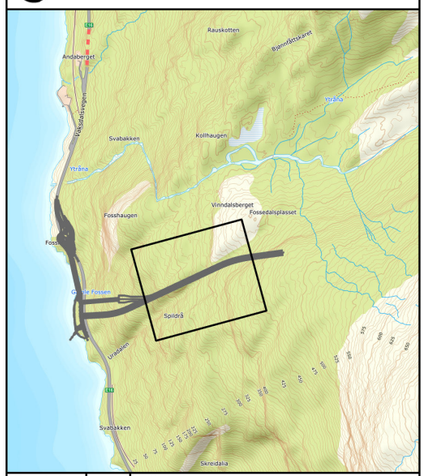
750 Profilnummer Fossneset/Gamle Fossen

Små lineamenter (< 5 m)

Middels lineamenter (5-10 m)

Granittisk gneis

TERRENGKOTE (BUNN)KOTE
ANTATT FJELLKOTE | BORET DYBDE + BORET I FJELL



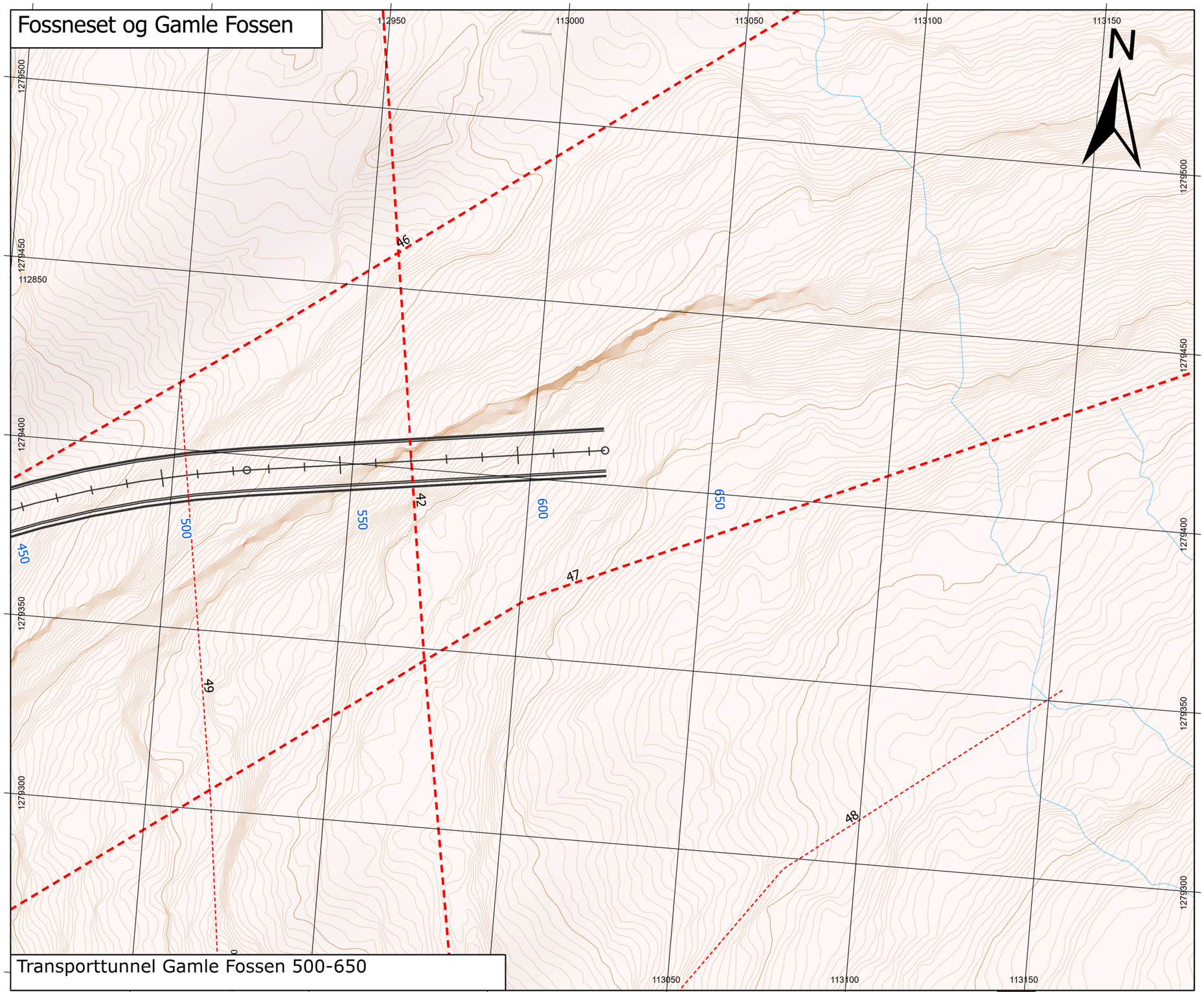
Revisjon	06C	Tilbudsgrunnlag 06C
Prosjektnavn		Fellesprosjektet Arna-Stanghelle - forberedende arbeider (R1)
Kunde		Statens vegvesen
Tegn.nr		V007
Prosjekt nr.		
Konsulentarkiv		A244927
Tegningsdato		10.03.2025
Utarbeidet av		BETR
Sidemannskontroll		SKAN
Godkjent av		OTH
Datakilde		Kartverket, COWI
Koordinatsystem		ETRS 1989 NTM sone 5
Høydesystem		NN2000 (Ekvidistanse 1 m)
Skala		1:1000 (A3)

BANE NOR

Statens vegvesen

COWI

Fossneset og Gamle Fossen



Tegnforklaring

750 Profilnummer Fossneset/Gamle Fossen

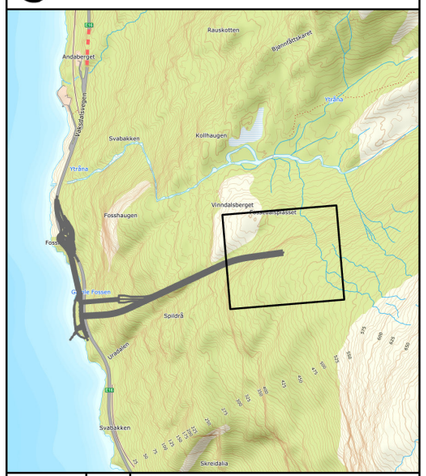
Små lineamenter (< 5 m)

Middels lineamenter (5-10 m)

Granittisk gneis

TERRENGKOTE (BUNN)KOTE

ANTATT FJELLKOTE | BORET DYBDE + BORET I FJELL



Transporttunnel Gamle Fossen 500-650

0 20 40 80 120 160 200 Meter

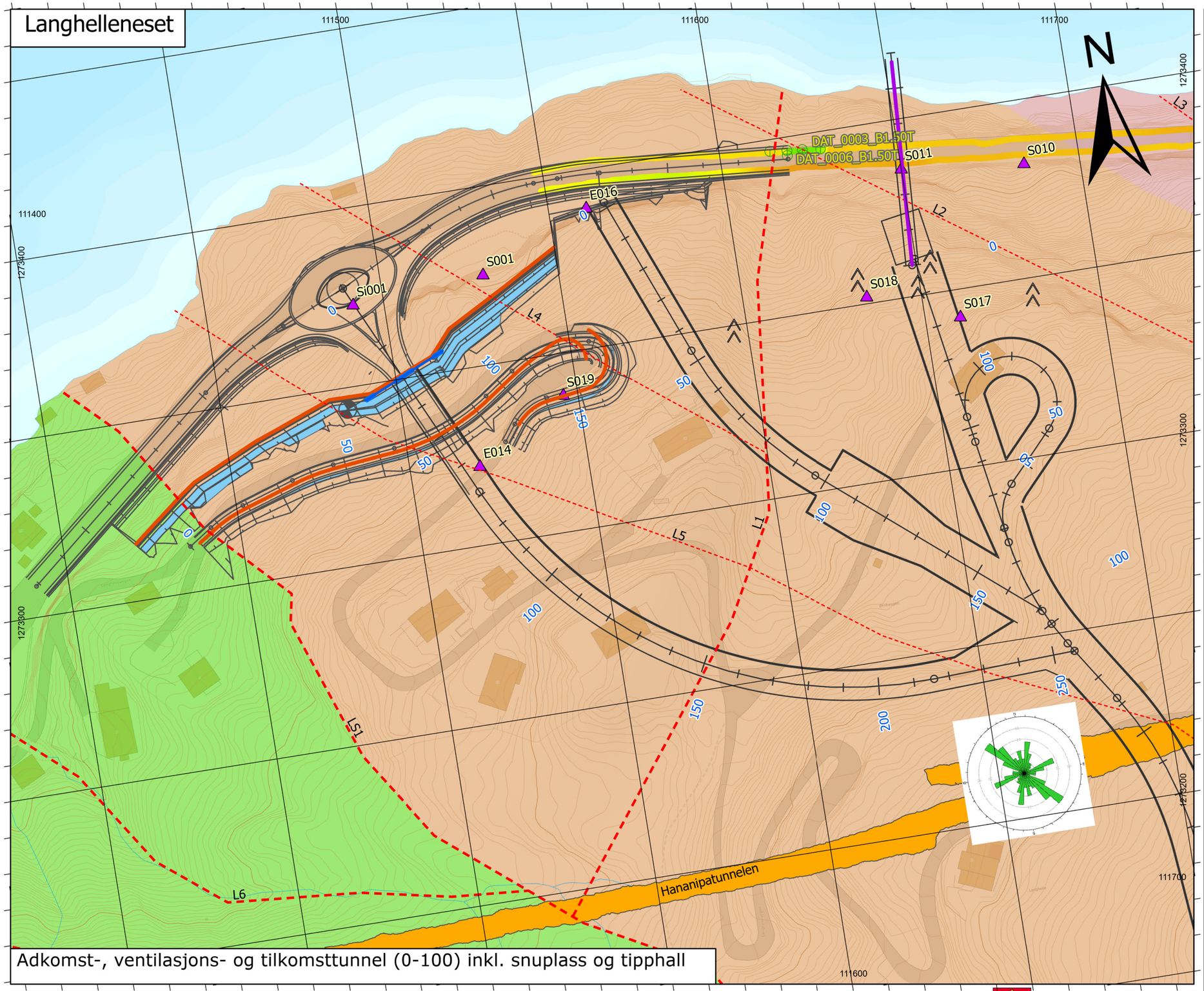
BANE NOR

Statens vegvesen

COWI

Revisjon	06C	Tilbudsgrunnlag 06C
Prosjektnavn		Fellesprosjektet Arna-Stanghelle - forberedende arbeider (R1)
Kunde		Statens vegvesen
Tegn.nr		V008
Prosjekt nr.		
Konsulentarkiv		A244927
Tegningsdato		10.03.2025
Utarbeidet av		BETR
Sidemannskontroll		SKAN
Godkjent av		OTH
Datakilde		Kartverket, COWI
Koordinatsystem		ETRS 1989 NTM sone 5
Høydesystem		NN2000 (Ekvidistanse 1 m)
Skala		1:1000 (A3)

Langhelleneset



Adkomst-, ventilasjons- og tilkomsttunnel (0-100) inkl. snuplass og tipphall

0 20 40 80 120 160 200 Meter

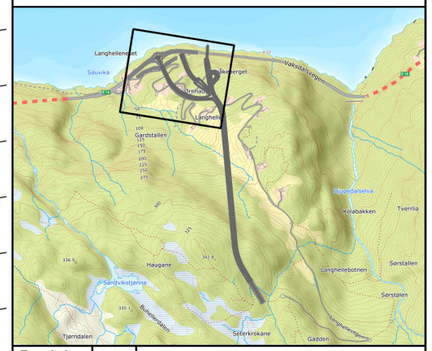
Tegnforklaring

- 750 Profilnummer Langhelleneset
- Små svakhetssoner (< 5 m)
- Middels svakhetssoner (5-10 m)
- Geoteknisk kategori 3
- Påhugg
- Befaringslokaliteter
- Berg i dagen punkt
- Anortositt
- Glimmerskifer
- Amfibolitt
- Mylonitt
- Hananipatunnelen
- Bergsjakt

Dybde til fjell [m]

- 5 m (mørk blå > 5 m)
- 0 m

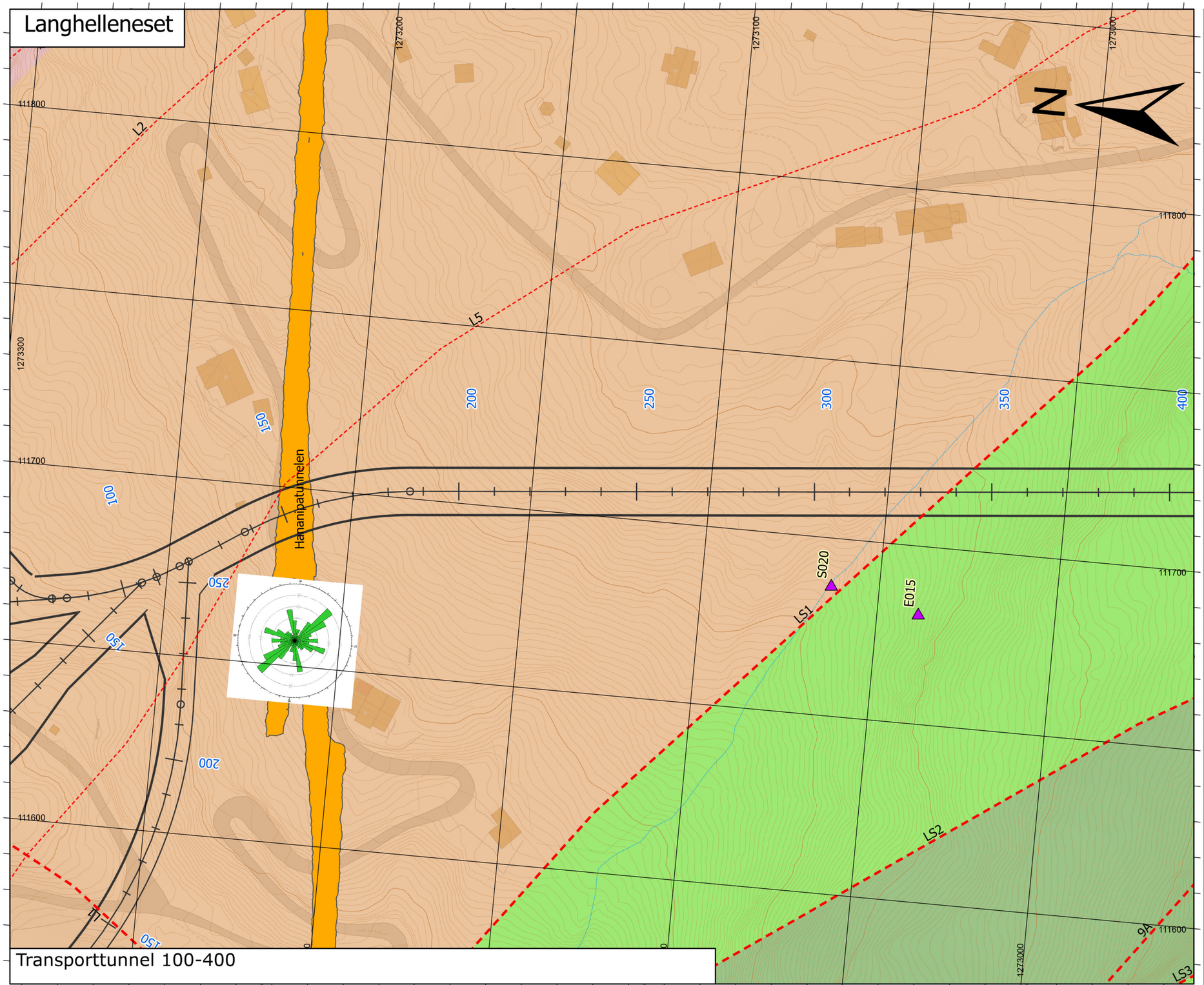
Totalsondering



Revisjon	06C	Tilbudsgrunnlag 06C
Prosjektnavn		Fellesprosjektet Arna-Stanghelle - forberedende arbeider (R1)
Kunde		Statens vegvesen
Tegn.nr		V010
Prosjekt nr.		
Konsulentarkiv		A244927
Tegningsdato		10.03.2025
Utarbeidet av		BETR
Sidemannskontroll		SKAN
Godkjent av		OTH
Datakilde		Kartverket, COWI
Koordinatsystem		ETRS 1989 NTM sone 5
Høydesystem		NN2000 (Ekvidistanse 1 m)
Skala		1:1000 (A3)

BANE NOR Statens vegvesen COWI

Langhelleneset

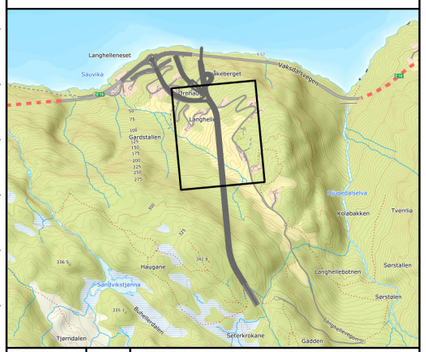


Transporttunnel 100-400

0 20 40 80 120 160 200 Meter

Tegnforklaring

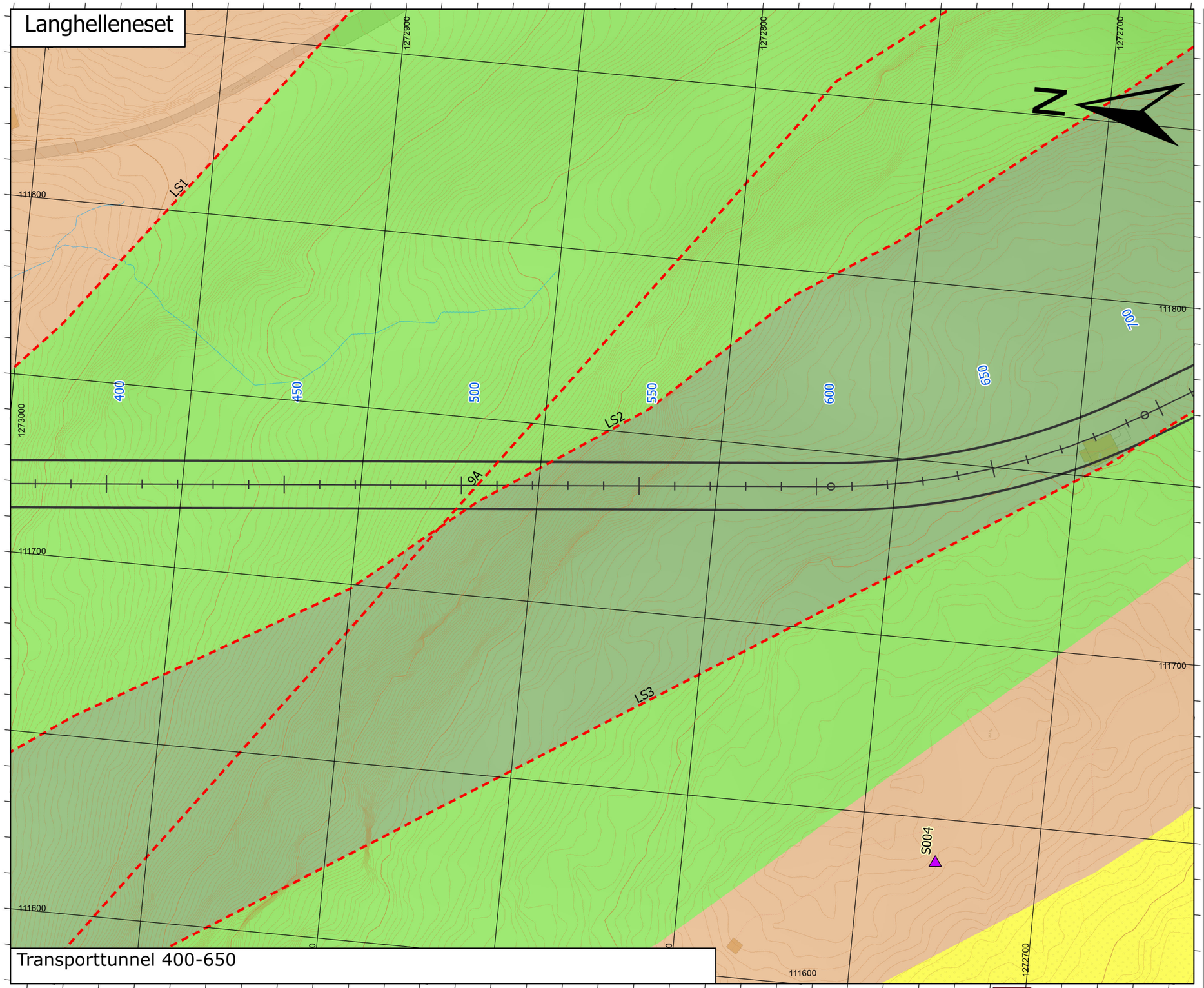
- 750 Profilnummer Langhelleneset
- Små svakhetssoner (< 5 m)
- Middels svakhetssoner (5-10 m)
- Befaringslokaliteter
- Anortositt
- Glimmerskifer
- Amfibolitt
- Mylonitt
- Hananipatunnelen



Revisjon	06C Tilbudsgrunnlag 06C
Prosjektnavn	Fellesprosjektet Arna-Stanghelle - forberedende arbeider (R1)
Kunde	Statens vegvesen
Tegn.nr	V011
Prosjekt nr.	
Konsulentarkiv	A244927
Tegningsdato	10.03.2025
Utarbeidet av	BETR
Sidemannskontroll	SKAN
Godkjent av	OTH
Datakilde	Kartverket, COWI
Koordinatsystem	ETRS 1989 NTM sone 5
Høydesystem	NN2000 (Ekvidistanse 1 m)
Skala	1:1000 (A3)

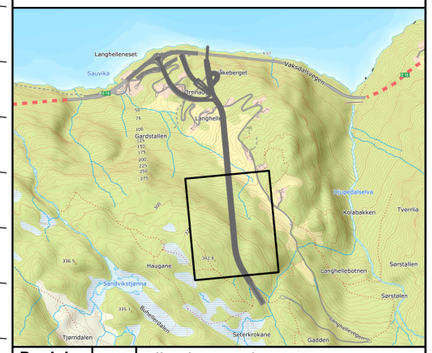
BANE NOR Statens vegvesen COWI

Langhelleneset



Tegnforklaring

- 750 Profilnummer Langhelleneset
- Små svakhetssoner (< 5 m)
- Middels svakhetssoner (5-10 m)
- Befaringslokaliteter
- Konglomerat
- Glimmerskifer
- Amfibolitt
- Mylonitt



Transporttunnel 400-650

0 20 40 80 120 160 200 Meter

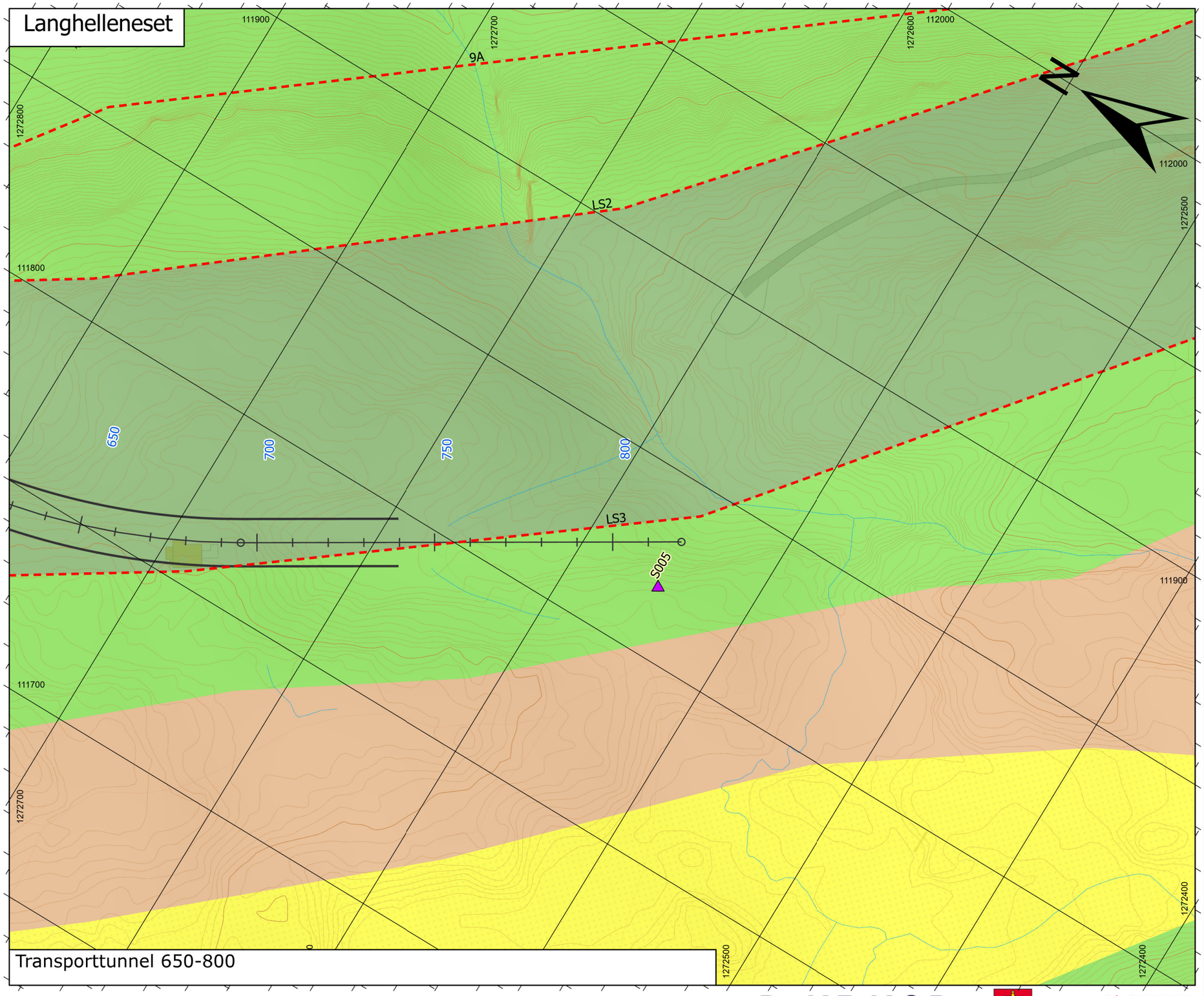
Revisjon	06C Tilbudsgrunnlag 06C
Prosjektnavn	Fellesprosjektet Arna-Stanghelle - forberedende arbeider (R1)
Kunde	Statens vegvesen
Tegn.nr	V012
Prosjekt nr.	
Konsulentarkiv	A244927
Tegningsdato	10.03.2025
Utarbeidet av	BETR
Sidemannskontroll	SKAN
Godkjent av	OTH
Datakilde	Kartverket, COWI
Koordinatsystem	ETRS 1989 NTM sone 5
Høydesystem	NN2000 (Ekvidistanse 1 m)
Skala	1:1000 (A3)

BANE NOR

Statens vegvesen

COWI

Langhelleneset

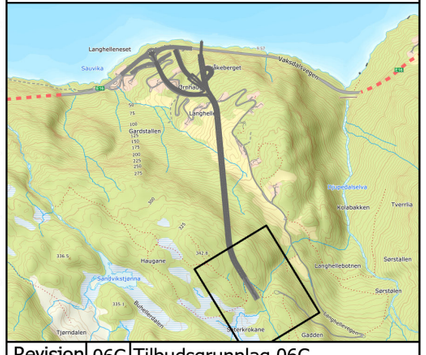


Transporttunnel 650-800

0 20 40 80 120 160 200 Meter

Tegnforklaring

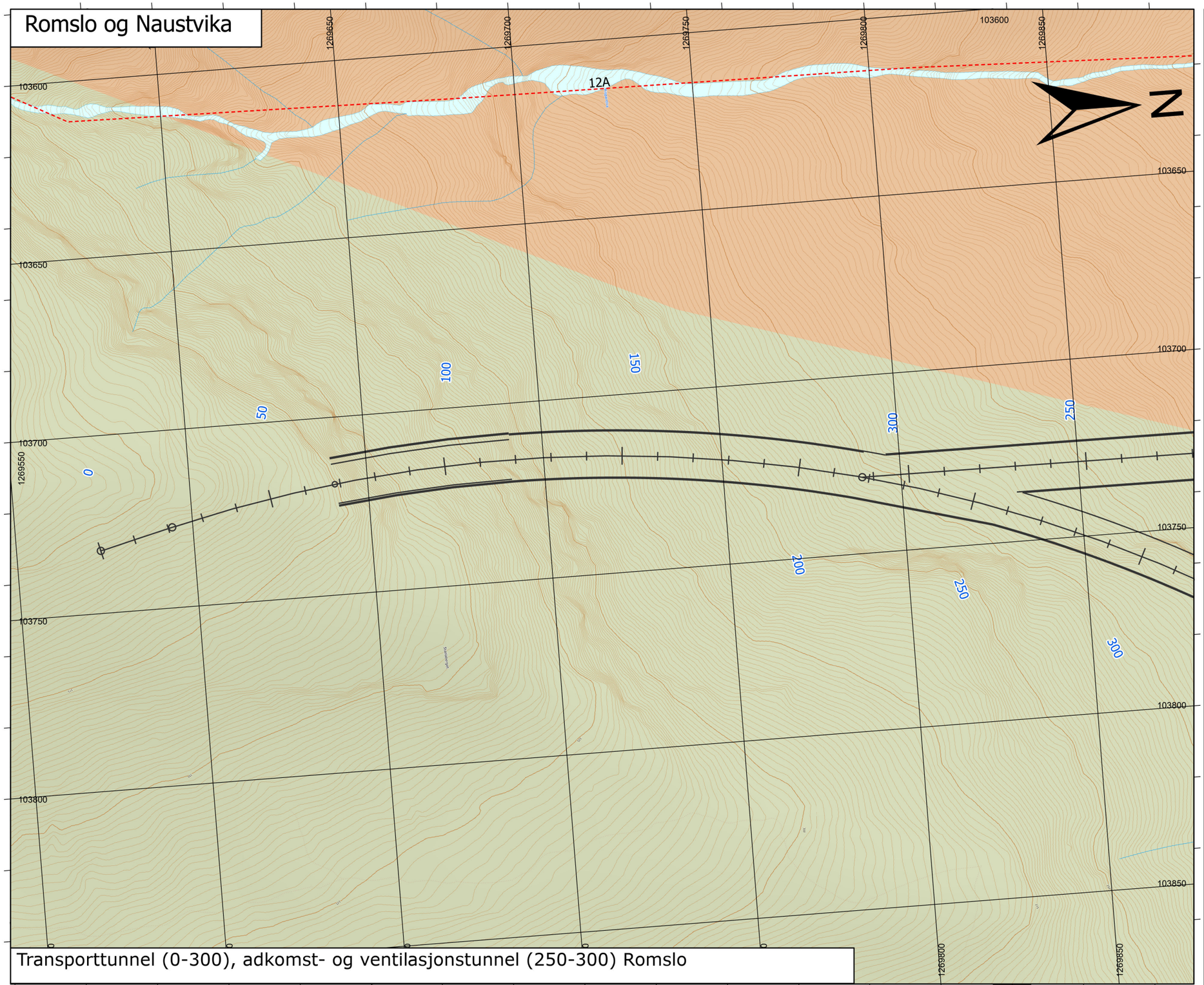
- 750 Profilnummer Langhelleneset
- Middels svakhetssoner (5-10 m)
- Befaringslokaliteter
- Konglomerat
- Glimmerskifer
- Amfibolitt
- Mylonitt



Revisjon	06C	Tilbudsgrunnlag 06C
Prosjektnavn		Fellesprosjektet Arna-Stanghelle - forberedende arbeider (R1)
Kunde		Statens vegvesen
Tegn.nr		V013
Prosjekt nr.		
Konsulentarkiv		A244927
Tegningsdato		10.03.2025
Utarbeidet av		BETR
Sidemannskontroll		SKAN
Godkjent av		OTH
Datakilde		Kartverket, COWI
Koordinatsystem		ETRS 1989 NTM sone 5
Høydesystem		NN2000 (Ekvidistanse 1 m)
Skala		1:1000 (A3)

BANE NOR Statens vegvesen COWI

Romslo og Naustvika



Transporttunnel (0-300), adkomst- og ventilasjonstunnel (250-300) Romslo

0 20 40 80 120 160 200 Meter

Tegnforklaring

750 Profilnummer Romslo og Naustvika

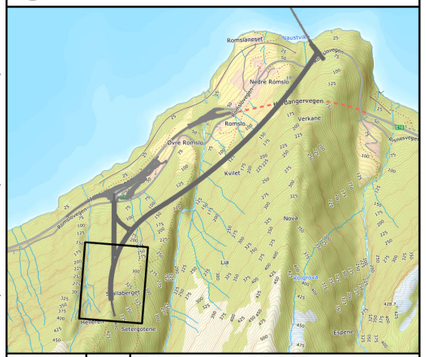
Små svakhetssoner (< 5 m)

Hornblendegneis

Amfibolitt

TERRENGKOTE (BUNN)KOTE

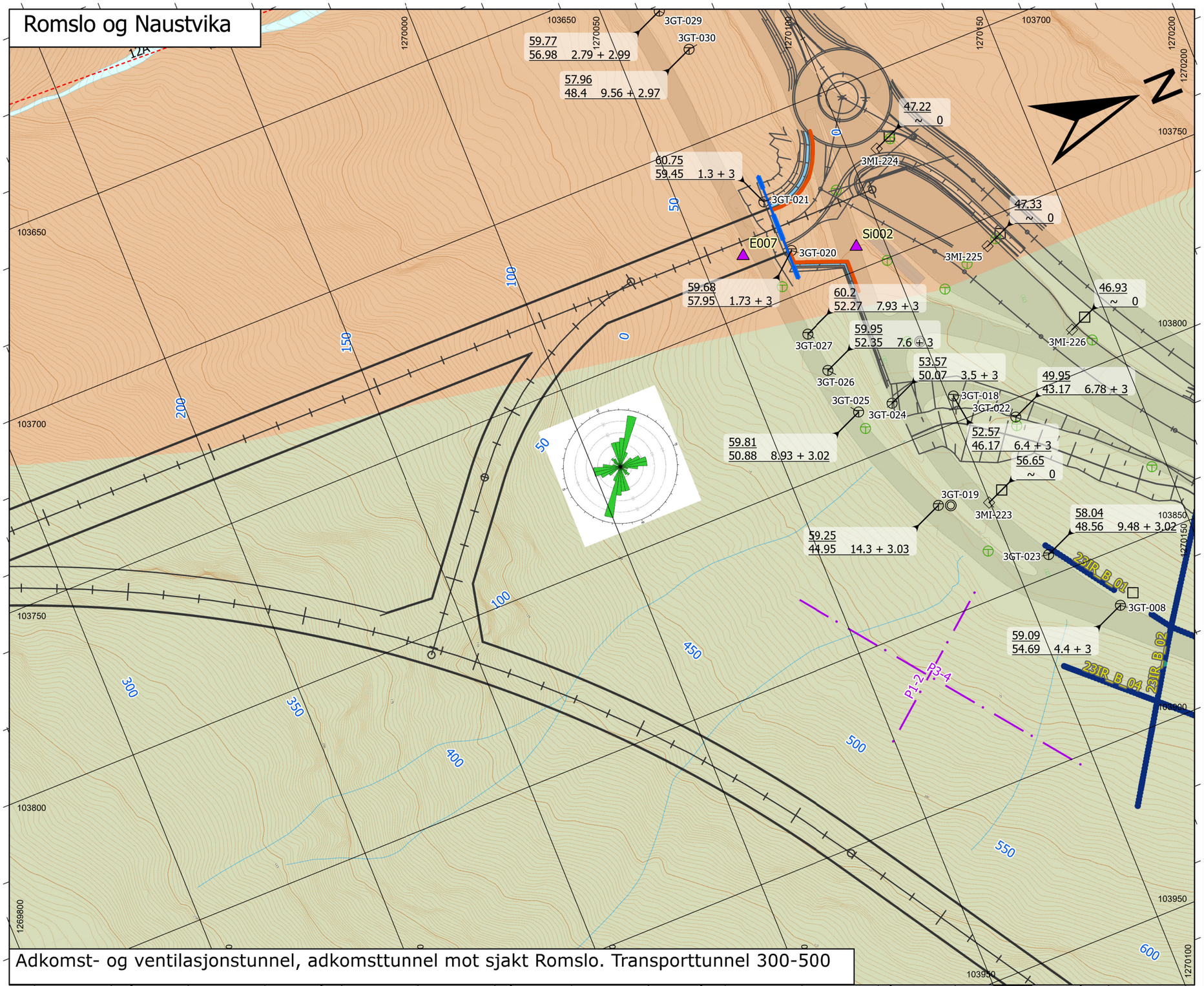
ANTATT FJELLKOTE BORET DYBDE + BORET I FJELL



Revisjon	06C Tilbudsgrunnlag 06C
Prosjektnavn	Fellesprosjektet Arna-Stanghelle - forberedende arbeider (R1)
Kunde	Statens vegvesen
Tegn.nr	V020
Prosjekt nr.	
Konsulentarkiv	A244927
Tegningsdato	10.03.2025
Utarbeidet av	BETR
Sidemannskontroll	SKAN
Godkjent av	OTH
Datakilde	Kartverket, COWI
Koordinatsystem	ETRS 1989 NTM sone 5
Høydesystem	NN2000 (Ekvidistanse 1 m)
Skala	1:1000 (A3)

BANE NOR Statens vegvesen COWI

Romslo og Naustvika



Adkomst- og ventilasjonstunnel, adkomsttunnel mot sjakt Romslo. Transporttunnel 300-500

0 20 40 80 120 160 200 Meter

Tegnforklaring

- 750 Profilnummer Romslo og Naustvika
- Små svakhetssoner (< 5 m)
- Påhugg
- Geoteknisk kategori 3
- Befaringslokaliteter
- Skjæring Romslo
- Hornblendegneis
- Amfibolitt

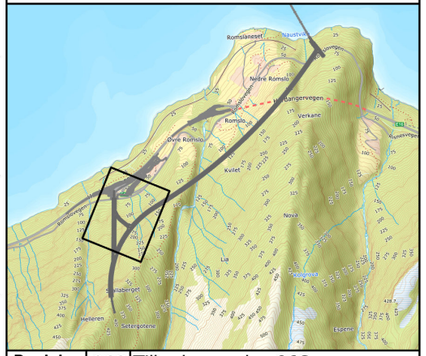
- Totalsondering
- Prøvegrop
- Ikke angitt
- Prøveserie

Dybde til fjell [m]

5 m (mørk blå > 5 m)

0 m

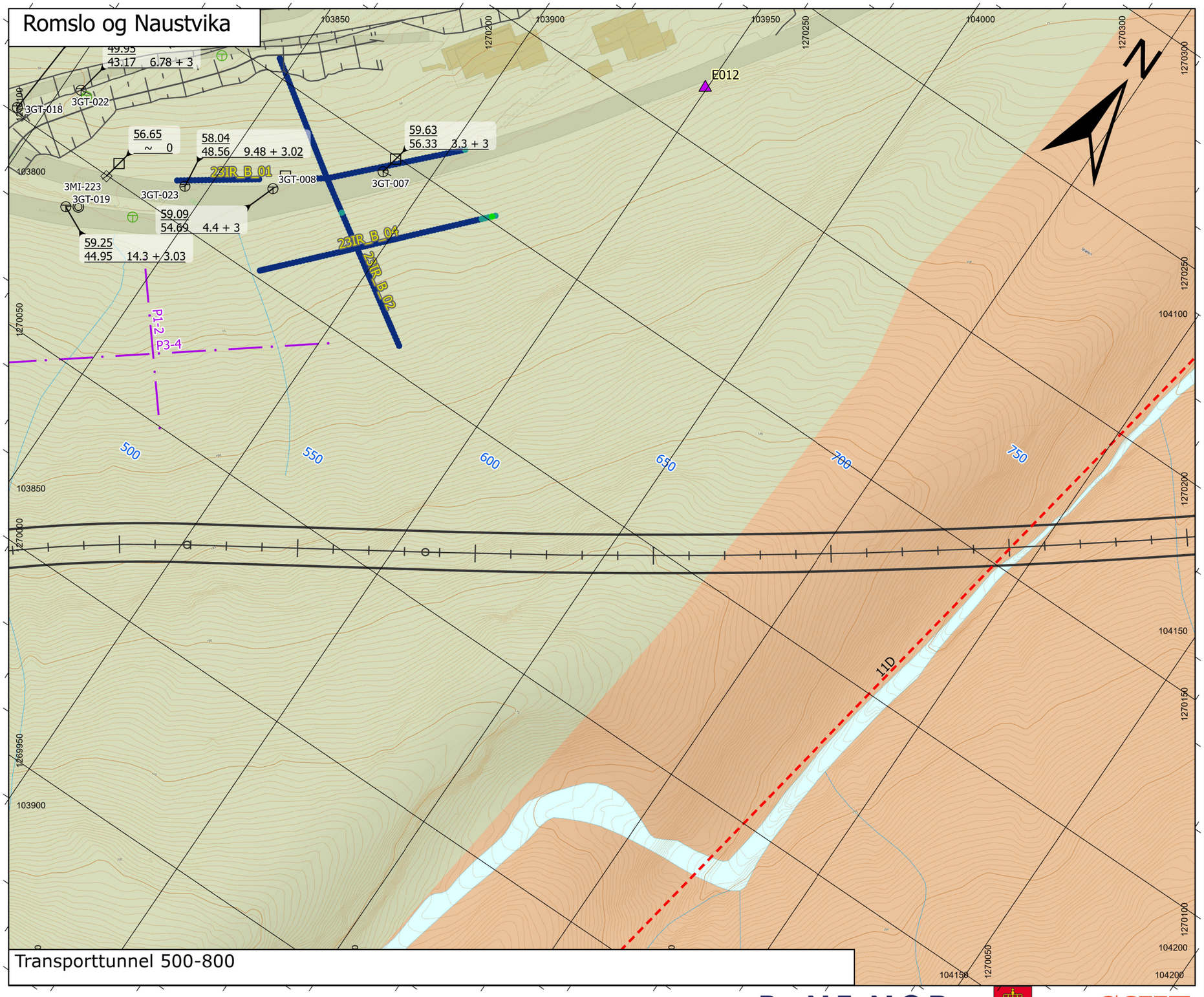
TERRENGKOTE (BUNN)KOTE
ANTATT FJELLKOTE | BORET DYBDE + BORET I FJELL



Revisjon	06C Tilbudsgrunnlag 06C
Prosjektnavn	Fellesprosjektet Arna-Stanghelle - forberedende arbeider (R1)
Kunde	Statens vegvesen
Tegn.nr	V021
Prosjekt nr.	
Konsulentarkiv	A244927
Tegningsdato	10.03.2025
Utarbeidet av	BETR
Sidemannskontroll	SKAN
Godkjent av	OTH
Datakilde	Kartverket, COWI
Koordinatsystem	ETRS 1989 NTM sone 5
Høydesystem	NN2000 (Ekvidistanse 1 m)
Skala	1:1000 (A3)

BANE NOR
Statens vegvesen
COWI

Romslo og Naustvika



Transporttunnel 500-800

0 20 40 80 120 160 200 Meter

Tegnforklaring

- 750 Profilnummer Romslo og Naustvika
- Middels svakhetssoner (5-10 m)
- Befaringslokaliteter
- Hornblendegneis
- Amfibolitt

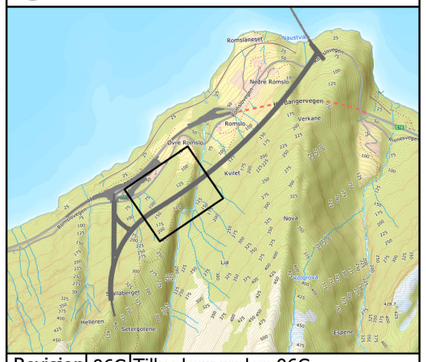
- Totalsondering
- Prøvegrop
- Ikke angitt
- Prøveserie

Dybde til fjell [m]

5 m (mørk blå > 5 m)

0 m

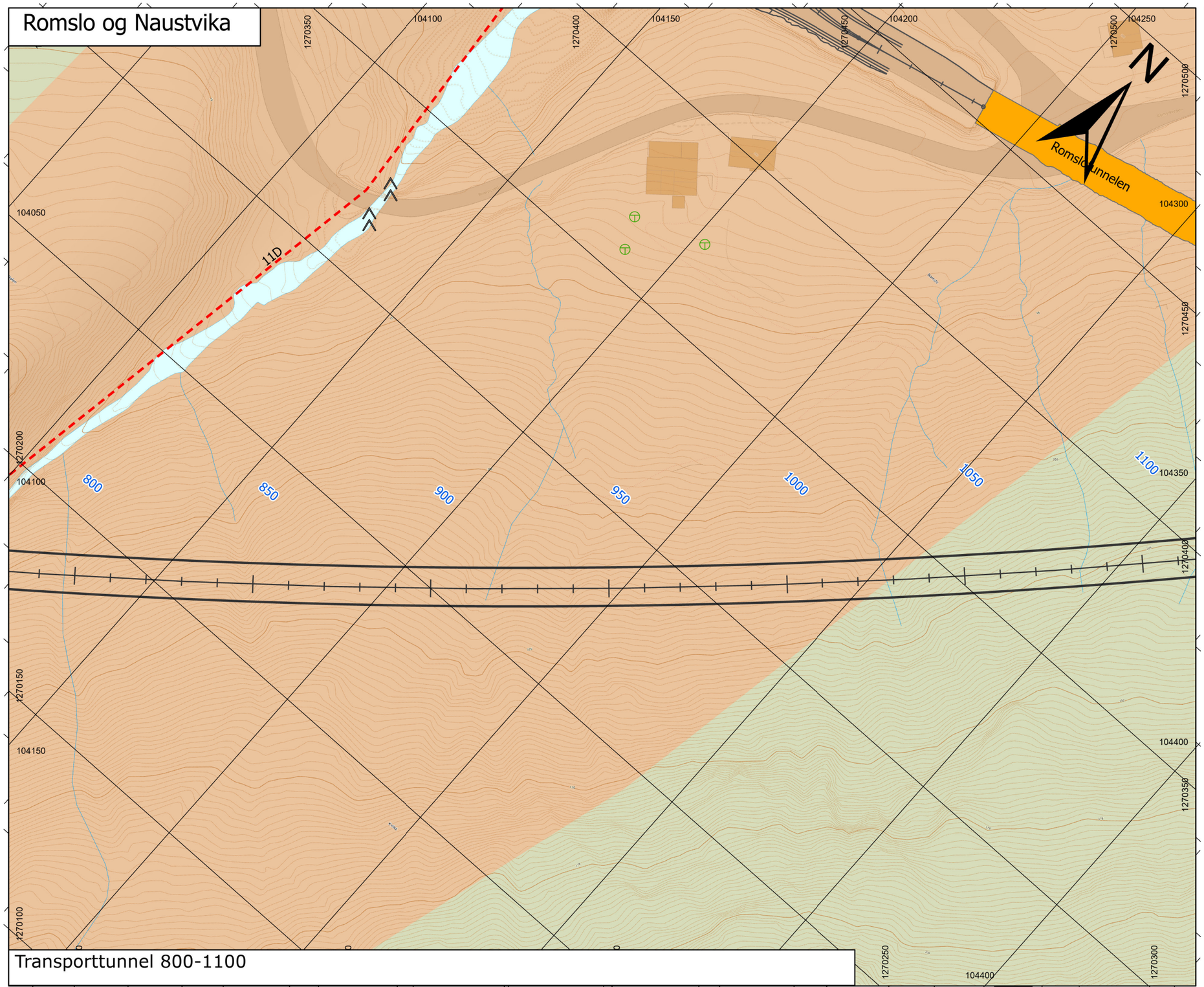
TERRENGKOTE (BUNN)KOTE
ANTATT FJELLKOTE BORET DYBDE + BORET I FJELL



Revisjon	06C	Tilbudsgrunnlag 06C
Prosjektnavn		Fellesprosjektet Arna-Stanghelle - forberedende arbeider (R1)
Kunde		Statens vegvesen
Tegn.nr		V022
Prosjekt nr.		
Konsulentarkiv		A244927
Tegningsdato		10.03.2025
Utarbeidet av		BETR
Sidemannskontroll		SKAN
Godkjent av		OTH
Datakilde		Kartverket, COWI
Koordinatsystem		ETRS 1989 NTM sone 5
Høydesystem		NN2000 (Ekvidistanse 1 m)
Skala		1:1000 (A3)

BANE NOR
Statens vegvesen
COWI

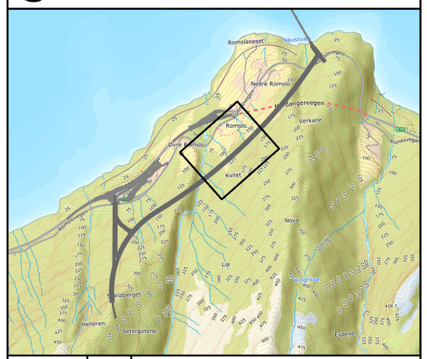
Romslo og Naustvika



Tegnforklaring

- 750 Profilnummer Romslo og Naustvika
- Middels svakhetssoner (5-10 m)
- Romslotunnelen
- Berg i dagen punkt
- Hornblendegneis
- Amfibolitt

TERRENGKOTE (BUNN)KOTE
ANTATT FJELLKOTE — BORET DYBDE + BORET I FJELL



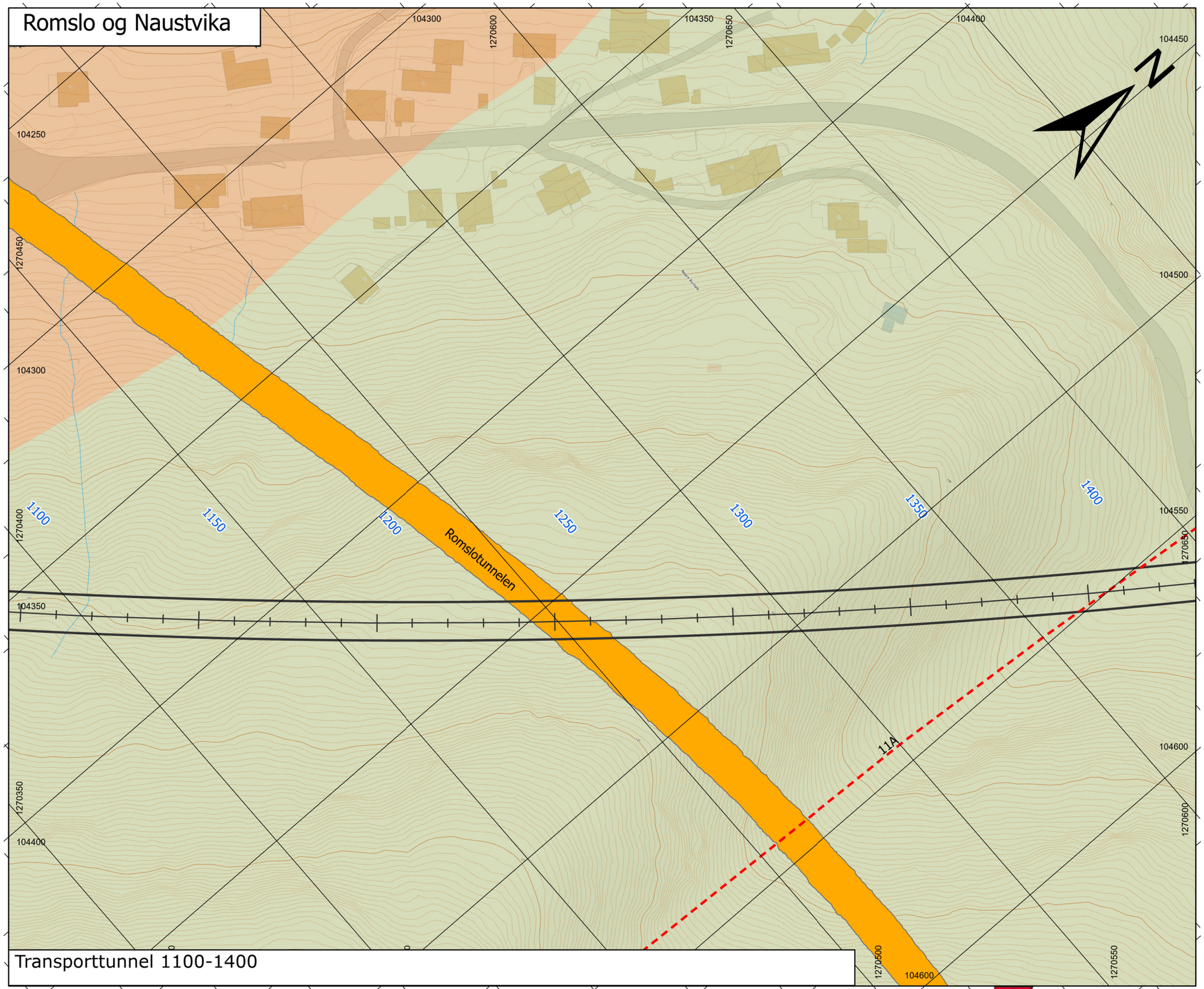
Revisjon	06C	Tilbudsgrunnlag 06C
Prosjektnavn		Fellesprosjektet Arna-Stanghelle - forberedende arbeider (R1)
Kunde		Statens vegvesen
Tegn.nr		V023
Prosjekt nr.		
Konsulentarkiv		A244927
Tegningsdato		10.03.2025
Utarbeidet av		BETR
Sidemannskontroll		SKAN
Godkjent av		OTH
Datakilde		Kartverket, COWI
Koordinatsystem		ETRS 1989 NTM sone 5
Høydesystem		NN2000 (Ekvidistanse 1 m)
Skala		1:1000 (A3)

Transporttunnel 800-1100

0 20 40 80 120 160 200 Meter

BANE NOR
Statens vegvesen
COWI

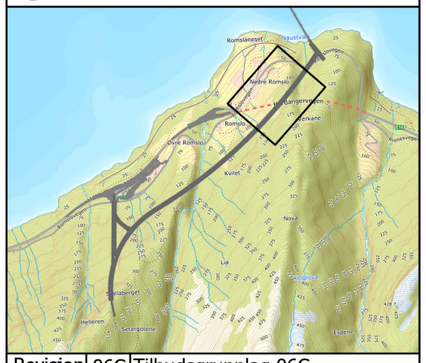
Romslo og Naustvika



Tegnforklaring

- 750 Profilnummer Romslo og Naustvika
- Middels svakhetssoner (5-10 m)
- Romslotunnelen
- Hornblendegneis
- Amfibolitt

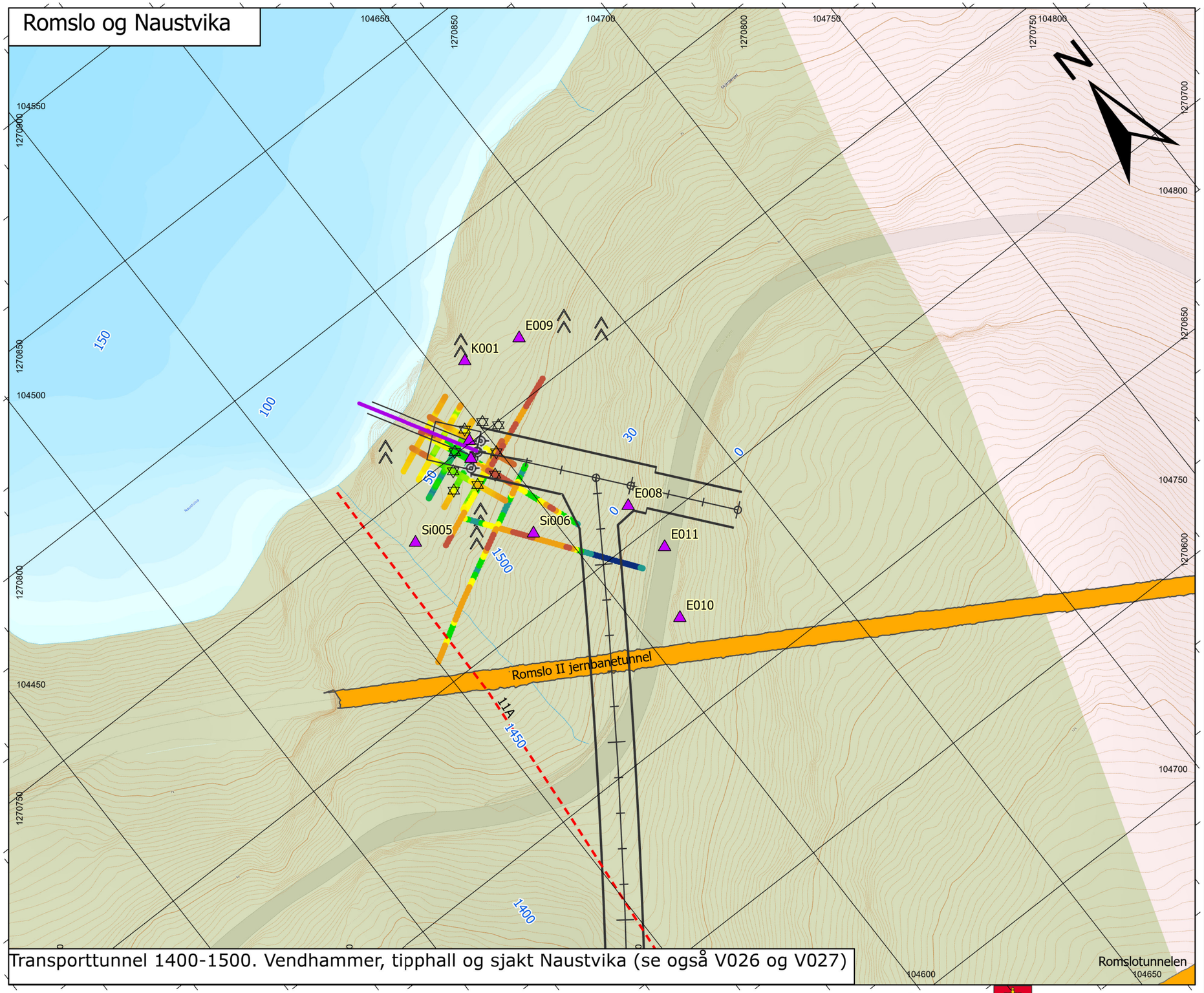
TERRENGKOTE (BUNN)KOTE
ANTATT FJELLKOTE
BORET DYBDE + BORET I FJELL



Revisjon	06C	Tilbudsgrunnlag 06C
Prosjektnavn		Fellesprosjektet Arna-Stanghelle - forberedende arbeider (R1)
Kunde		Statens vegvesen
Tegn.nr		V024
Prosjekt nr.		
Konsulentarkiv		A244927
Tegningsdato		10.03.2025
Utarbeidet av		BETR
Sidemannskontroll		SKAN
Godkjent av		OTH
Datakilde		Kartverket, COWI
Koordinatsystem		ETRS 1989 NTM sone 5
Høydesystem		NN2000 (Ekvidistanse 1 m)
Skala		1:1000 (A3)

BANE NOR
Statens vegvesen
COWI

Romslo og Naustvika



Transporttunnel 1400-1500. Vendhammer, tipphall og sjakt Naustvika (se også V026 og V027)

0 20 40 80 120 160 200 Meter

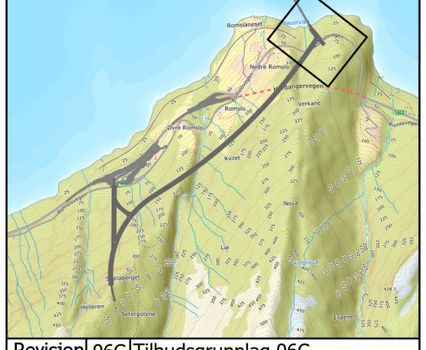
Tegnforklaring

- 750 Profilnummer Romslo og Naustvika
- Middels svakhetssoner (5-10 m)
- Befaringslokaliteter
- Bergsjakt
- Romslo II jernbanetunnel
- Berg i dagen punkt
- Hornblendegneis
- Granittisk gneis

Fjellkontrollboring
Kjerneboringer
Ikke angitt

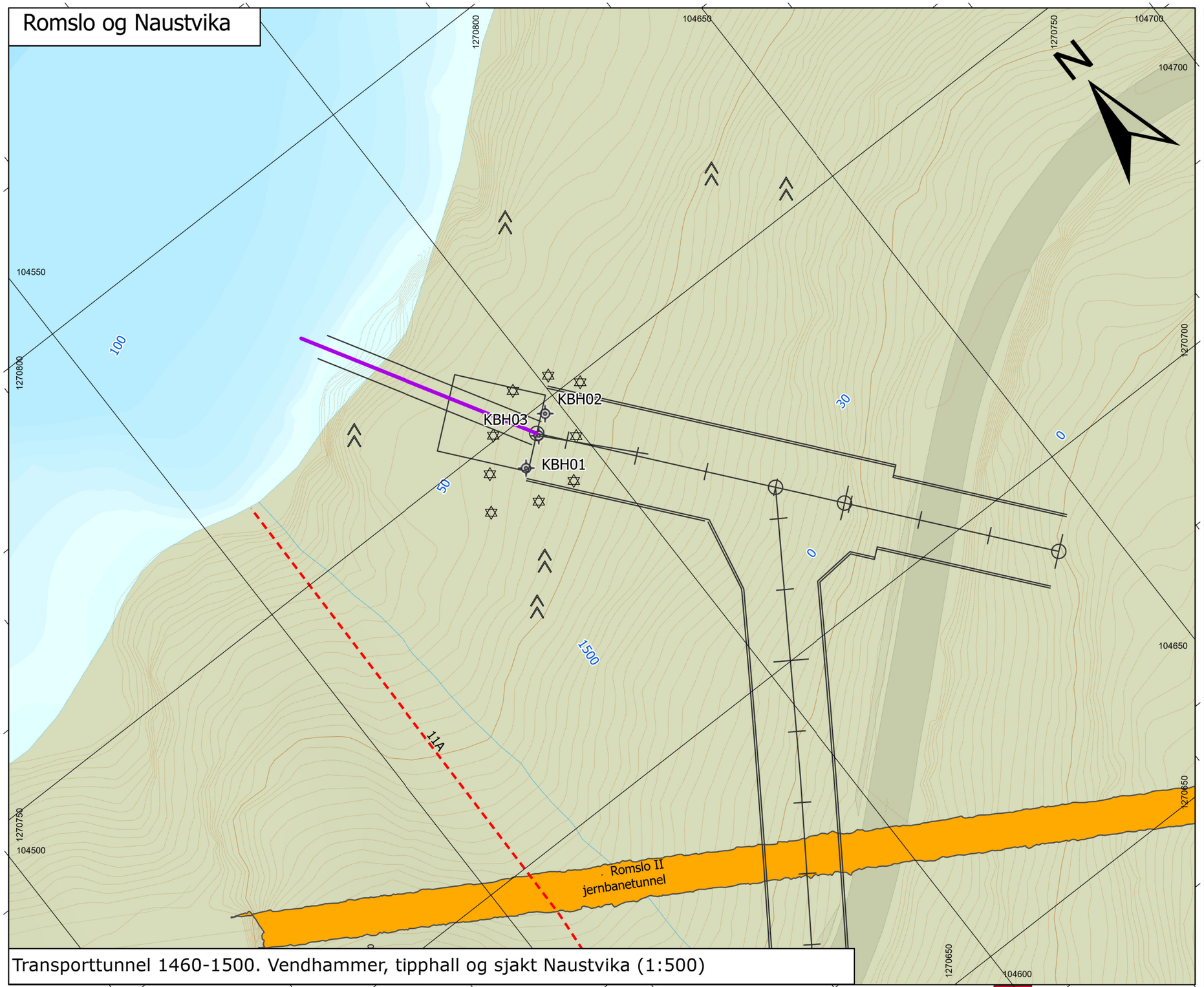
Dybde til fjell [m]
5 m (mørk blå > 5 m)
0 m

TERRENGKOTE (BUNN)KOTE
ANTATT FJELLKOTE
BORET DYBDE + BORET I FJELL



Revisjon	06C Tilbudsgrunnlag 06C
Prosjektnavn	Fellesprosjektet Arna-Stanghelle - forberedende arbeider (R1)
Kunde	Statens vegvesen
Tegn.nr	V025
Prosjekt nr.	
Konsulentarkiv	A244927
Tegningsdato	10.03.2025
Utarbeidet av	BETR
Sidemannskontroll	SKAN
Godkjent av	OTH
Datakilde	Kartverket, COWI
Koordinatsystem	ETRS 1989 NTM sone 5
Høydesystem	NN2000 (Ekvidistanse 1 m)
Skala	1:1000 (A3)

BANE NOR
Statens vegvesen
COWI

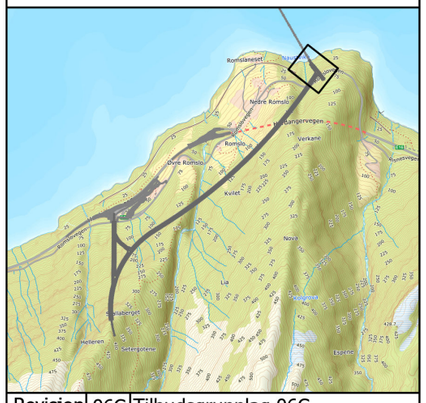


Transporttunnel 1460-1500. Vendhammer, tipphall og sjakt Naustvika (1:500)

0 10 20 40 60 80 100 Meter

Tegnforklaring

- Hornblendegneis
- Middels svakhetssoner (5-10 m)
- Berg i dagen punkt
- Romslo II jernbanetunnel
- Bergsjakt
- 750 Profilnummer Romslo og Naustvika
- Fjellkontrollboring
- Kjerneboring



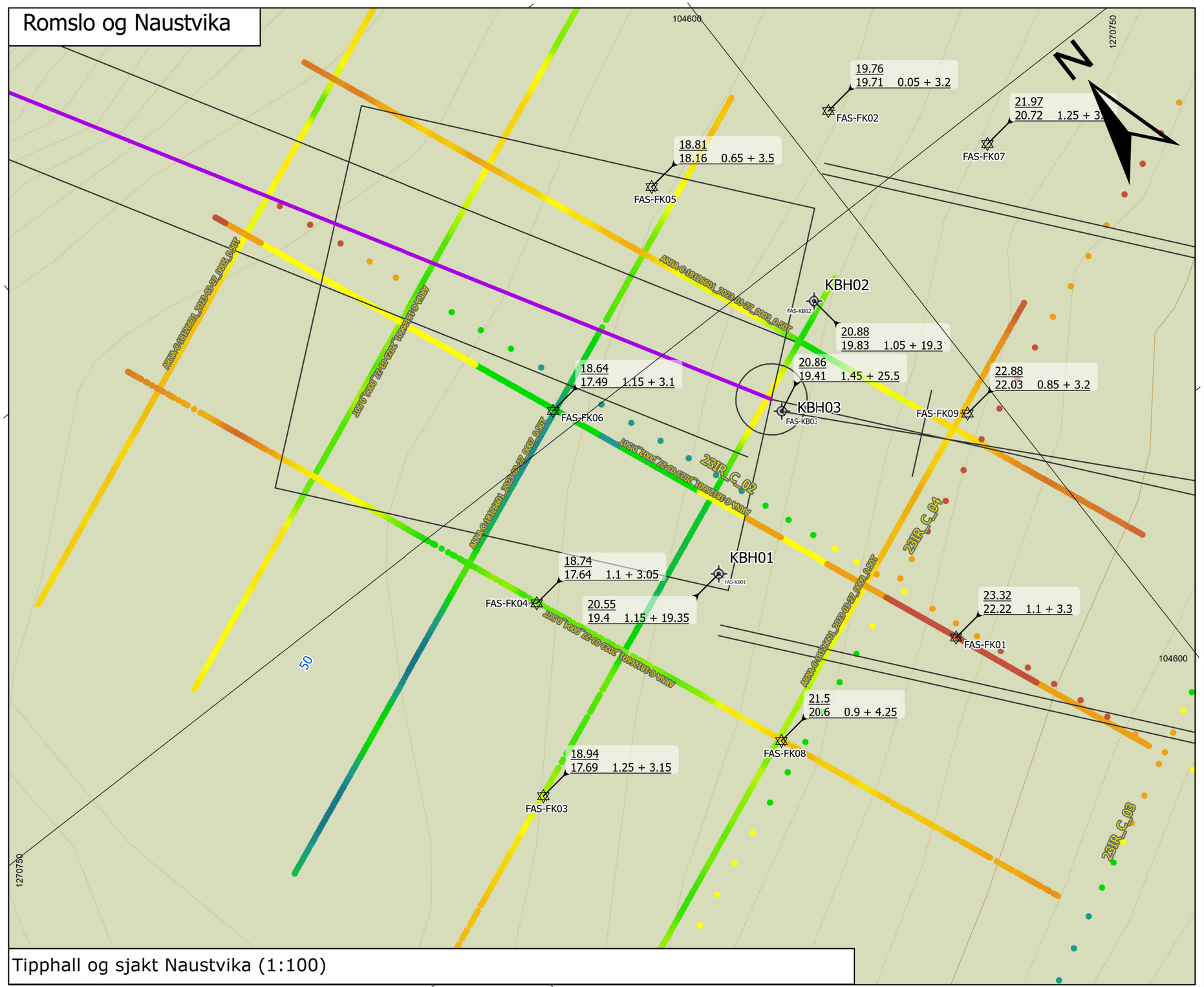
Revisjon	06C	Tilbudsgrunnlag 06C
Prosjektnavn		Fellesprosjektet Arna-Stanghelle - forberedende arbeider (R1)
Kunde		Statens vegvesen
Tegn.nr		V026
Prosjekt nr.		
Konsulentarkiv		A244927
Tegningsdato		10.03.2025
Utarbeidet av		BETR
Sidemannskontroll		SKAN
Godkjent av		OTH
Datakilde		Kartverket, COWI
Koordinatsystem		ETRS 1989 NTM sone 5
Høydesystem		NN2000 (Ekvidistanse 1 m)
Skala		1:500 (A3)

BANE NOR

Statens vegvesen

COWI

Romslo og Naustvika



Tipphall og sjakt Naustvika (1:100)

0 1,75 3,5 7 10,5 14 17,5 Meter

Tegnforklaring

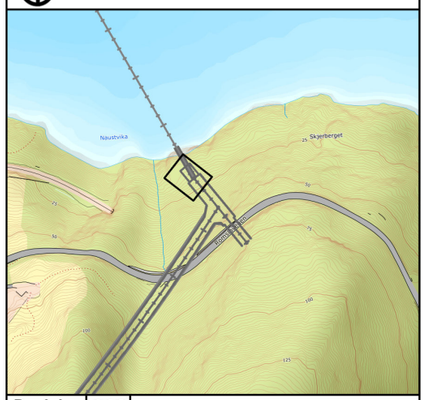
- Hornblendegneis
- Dybde til fjell [m]
  - 5 m (mørk blå > 5 m)
  - 0 m
- Bergsjakt

Geofysiske "prikker" er georadar med samme fargeskala som annen geofysikk

750 Profilnummer Romslo og Naustvika

- Fjellkontrollboring
- Totalsondering
- Prøvegrop
- Prøveserie
- Kjerneboring

TERRENGKOTE (BUNN)KOTE
ANTATT FJELLKOTE | BORET DYBDE + BORET I FJELL



Revisjon	06C	Tilbudsgrunnlag 06C
Prosjektnavn		Fellesprosjektet Arna-Stanghelle - forberedende arbeider (R1)
Kunde		Statens vegvesen
Tegn.nr		V027
Prosjekt nr.		
Konsulentarkiv		A244927
Tegningsdato		10.03.2025
Utarbeidet av		BETR
Sidemannskontroll		SKAN
Godkjent av		OTH
Datakilde		Kartverket, COWI
Koordinatsystem		ETRS 1989 NTM sone 5
Høydesystem		NN2000 (Ekvidistanse 1 m)
Skala		1:100 (A3)

BANE NOR Statens vegvesen COWI

STATENS VEGVESEN OG BANE NOR

VEDLEGG 2

TVERRSNITT FOSSNESET/ GAMLE FOSSEN, LANGHELLENESET OG ROMSLO/NAUSTVIKA

TIL FAS-01-A-00056 E1 FAGRAPPORT INGENIØRGEOLOGI
ANLEGGSTUNNELER OG SJAKTER

ADRESSE COWI A/S
Karvesvingen 2
0579 Oslo
Norge

WWW cowi.com

INNHOLD

V296	Oversikt over tverrsnitt Fossneset og Gamle Fossen
V201	Påhugg transporttunnel
V202	Påhugg ventilasjonstunnel
V203	Transporttunnel - kryssing under jernbanetunnel
V204	Ventilasjonstunnel - kryssing under jernbanetunnel
V205	Skjæring ved rundkjøring Fossneset
V208	Skjæring riggområde Gamle Fossen
V209	Skjæring riggområde Gamle Fossen
V297	Oversikt over tverrsnitt Langhelleneset
V210	Påhugg adkomsttunnel
V211-V213	Påhugg ventilasjonstunnel
V214	Sjakt
V215	Rundkjøring
V216	Transporttunnel - kryssing over jernbanetunnel
V217	Adkomsttunnel - kryssing under omlagt veg
V218	Skjæring påhuggsvegg og skjæring ved omlagt veg
V298	Oversikt over tverrsnitt Romslo og Naustvika
V220	Påhugg ventilasjonstunnel
V221-V223	Tipphall
V224	Transporttunnel - kryssing under jernbanetunnel

MERKNAD: Profilene som viser tunneltverrsnitt vises mot økende profilnummer.

OPPDRAGSNR.	DOKUMENTNR.
A244972	

VERSJON	UTGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET	KONTROLLERT	GODKJENT
06C	10.03.2025	Vedlegg til ingeniørgeologisk fagrapport	BETR	SKAN	OTH

Fossneset og Gamle Fossen

N

205

V209

V208

V202

V201

V204

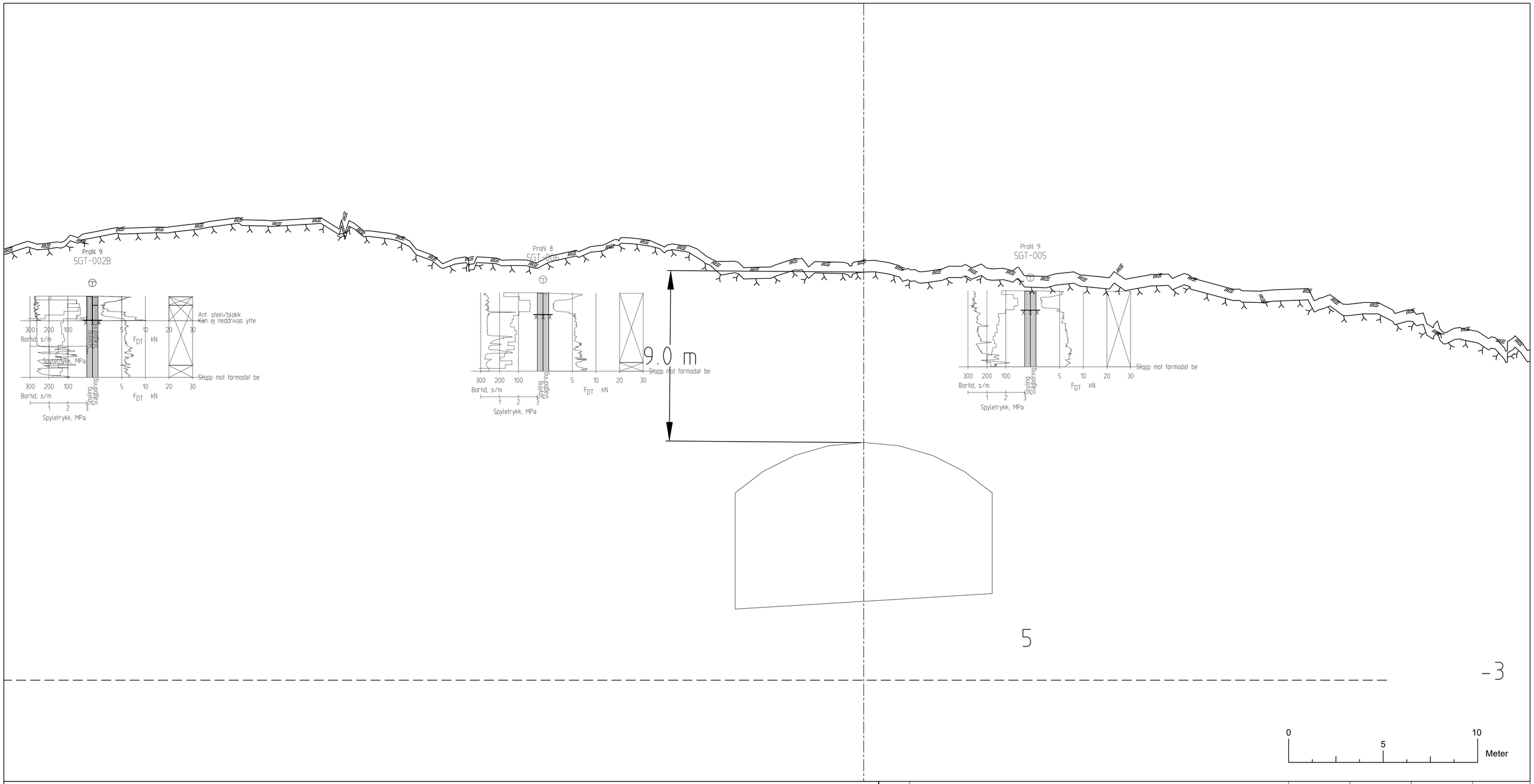
V203

0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600

Tverrsnittplasseringer		
Revisjon	06C	Tilbudsgrunnlag 06C
Prosjektnavn	Fellesprosjektet Arna-Stanghelle - forberedende arbeider (R1)	
Kunde	Statens vegvesen	
Tegn.nr	V296	
Prosjekt nr.		
Konsulentarkiv	A244927	
Tegningsdato	10.03.2025	
Utarbeidet av	BETR	
Sidemannskontroll	SKAN	
Godkjent av	OTH	
Datakilde	Kartverket, COWI	
Koordinatsystem	ETRS 1989 NTM sone 5	
Høydesystem	NN2000	
Skala	1:1000 (A1)	

Skjæring Gamle Fossen
Tverrsnittplasseringer (med tegningsnummer)

0 62,5 125 250 375 500 Meter



TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre
- Tunnel-/portalprofiler
- Totalsondering

06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av

F01 Tverrsnitt
Gamle Fossen

Profilnummer 5
Påhugg transporttunnel

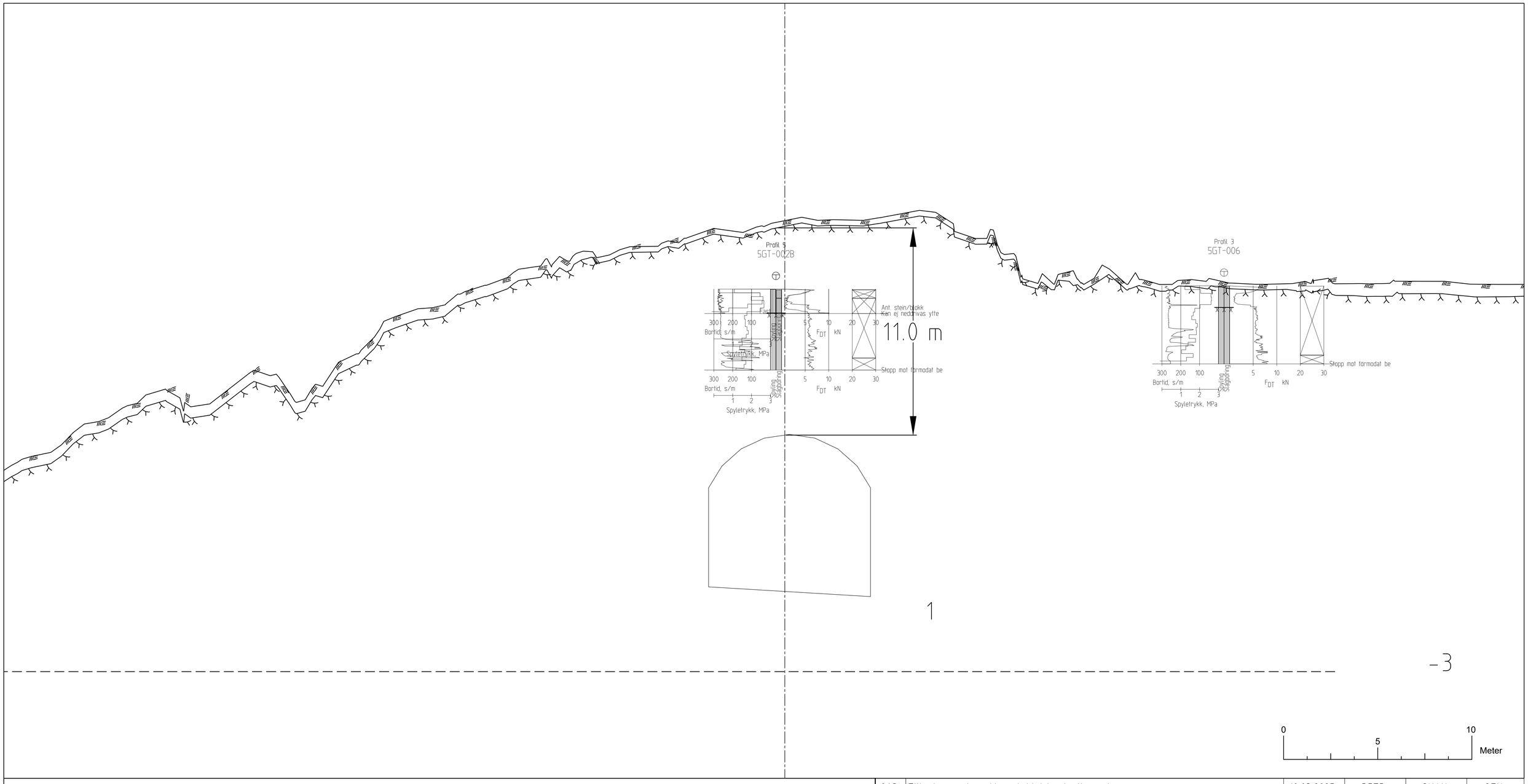
Målestokk 1:100 (A1)	Fritekst 1	
	Fritekst 2	
	Fritekst 3	
Produsent	COWI	
Prod.tegn.nr.		
Erstatning for		
Erstattet av		

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V201 — Rev.: 06C

BANE NOR — Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:



TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre
- Tunnel-/portalprofiler
- Totalsondering

06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av

F01 Tverrsnitt
Gamle Fossen

Profilnummer 1
Påhugg ventilasjonstunnel

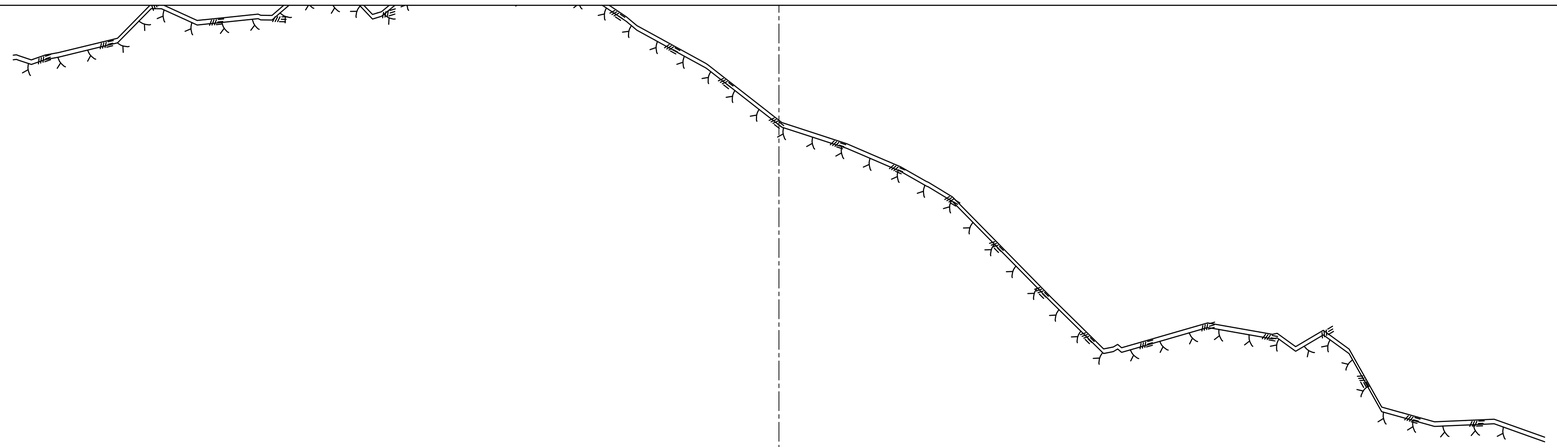
Målestokk 1:100 (A1)	Fritekst 1	
	Fritekst 2	
	Fritekst 3	
Produsent	COWI	
Prod.tegn.nr.		
Erstatning for		
Erstattet av		

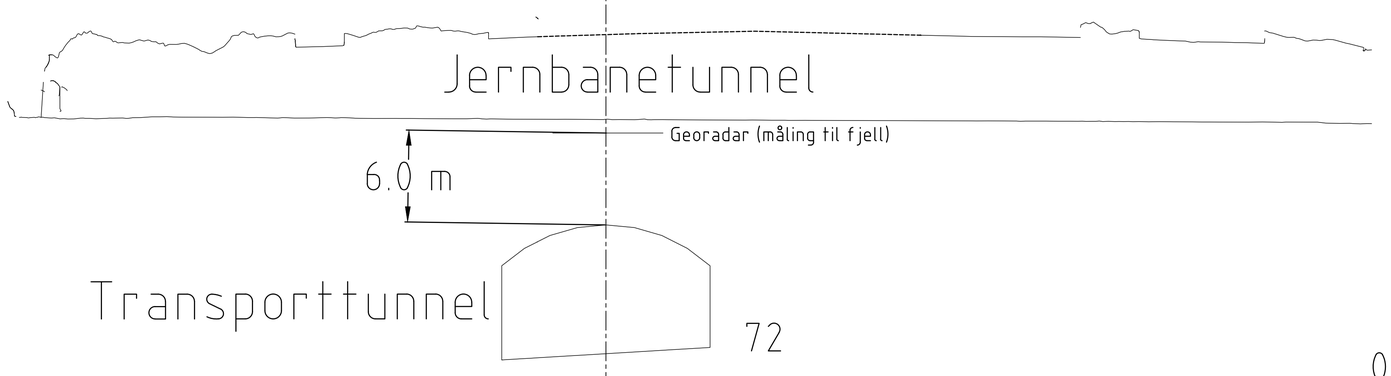
FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V202 — Rev.: 06C

BANE NOR — Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:





TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre
- Manuell tolkning av heng i jernbanetunnel

Tunnel-/portalprofiler

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 Tverrsnitt
Gamle Fossen

Profilnummer 72
Transporttunnel - kryssing under jernbanetunnel

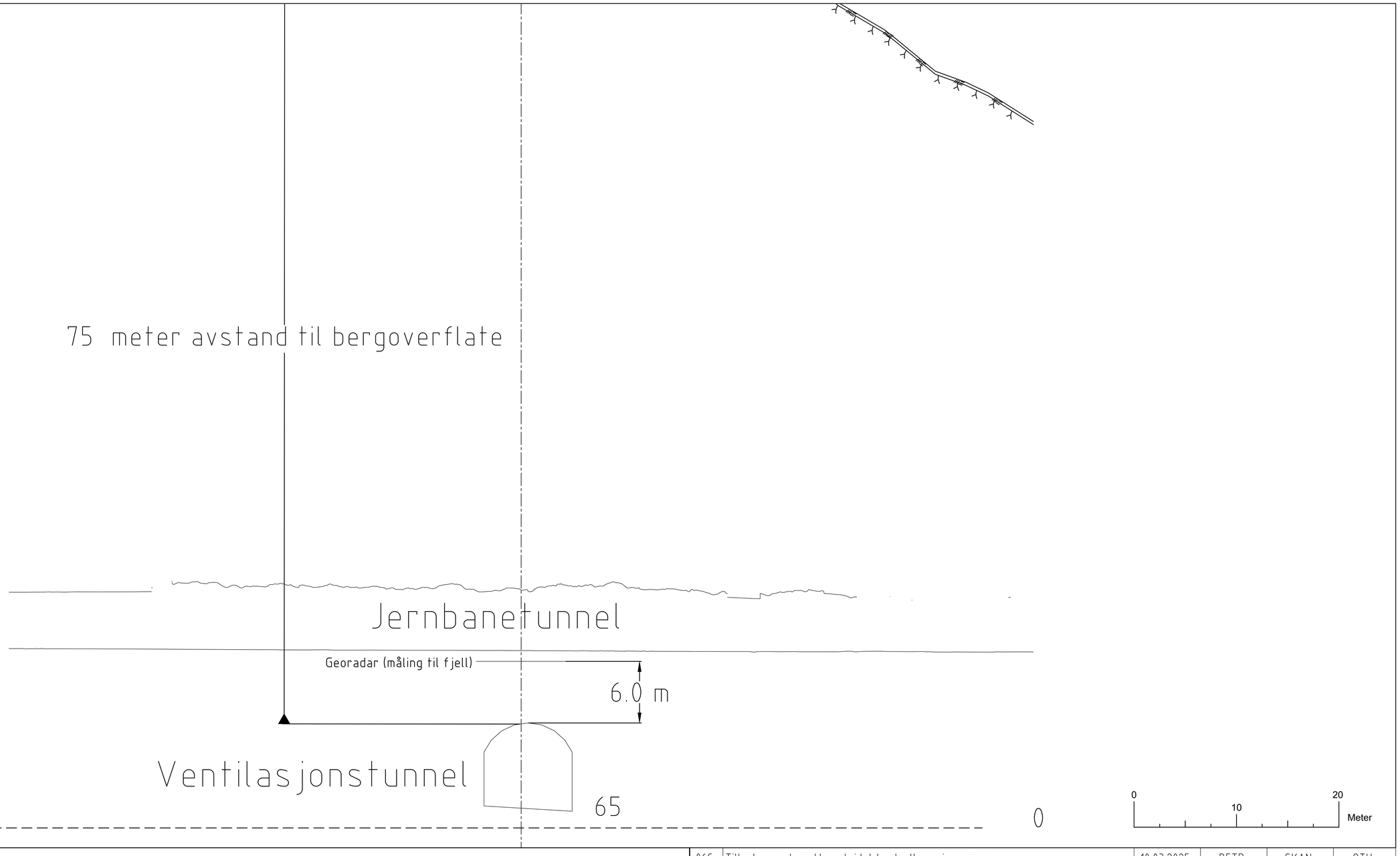
Målestokk	1:200 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V203 — Rev.: 06C

BANE NOR — Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:



TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre

Tunnel-/portalprofiler

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 Tverrsnitt
Gamle Fossen

Profilnummer 65
Ventilasjonstunnel - kryssing under jernbanetunnel

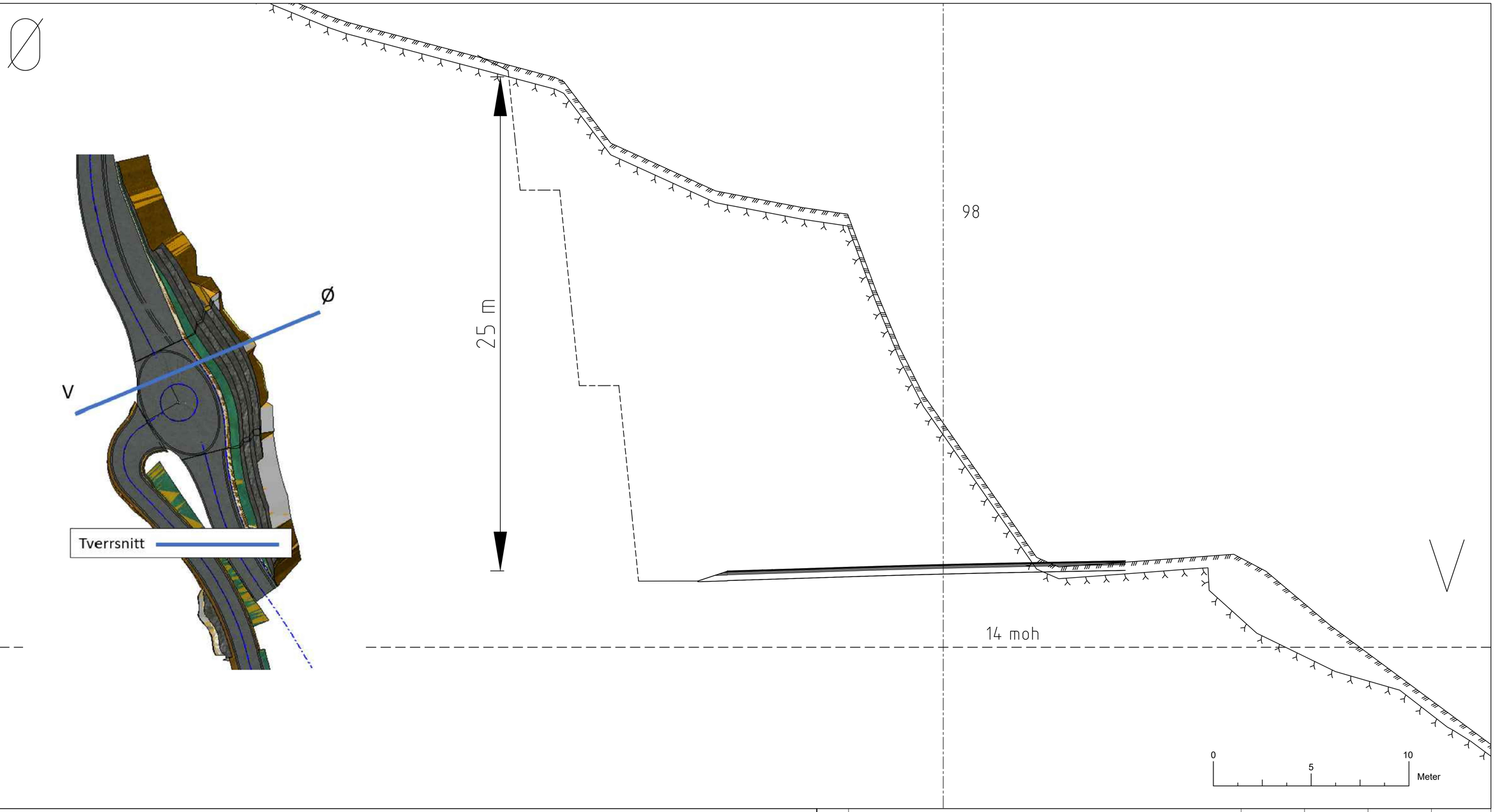
Målestokk	1:200 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V204 — Rev.: 06C

BANE NOR — Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:



TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre
- Tunnel-/portalprofiler

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 Tverrsnitt
Gamle Fossen/ Fossneset

Profilnummer 98
Bergskjæring ved Rundkjøring Fossneset

Målestokk	1:100 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

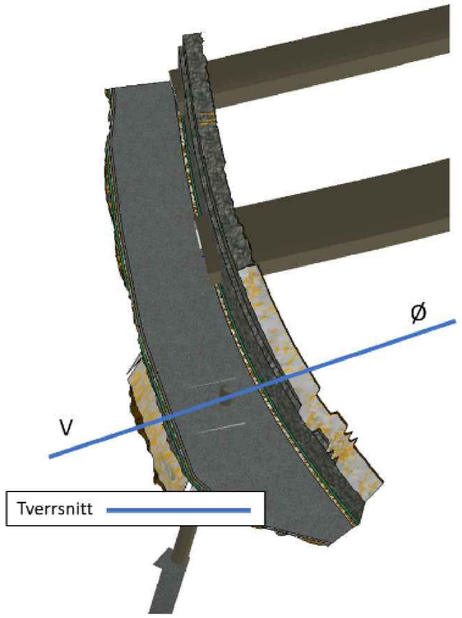
Prosjektets Tegningsnummer: V205 — Rev.: 06C

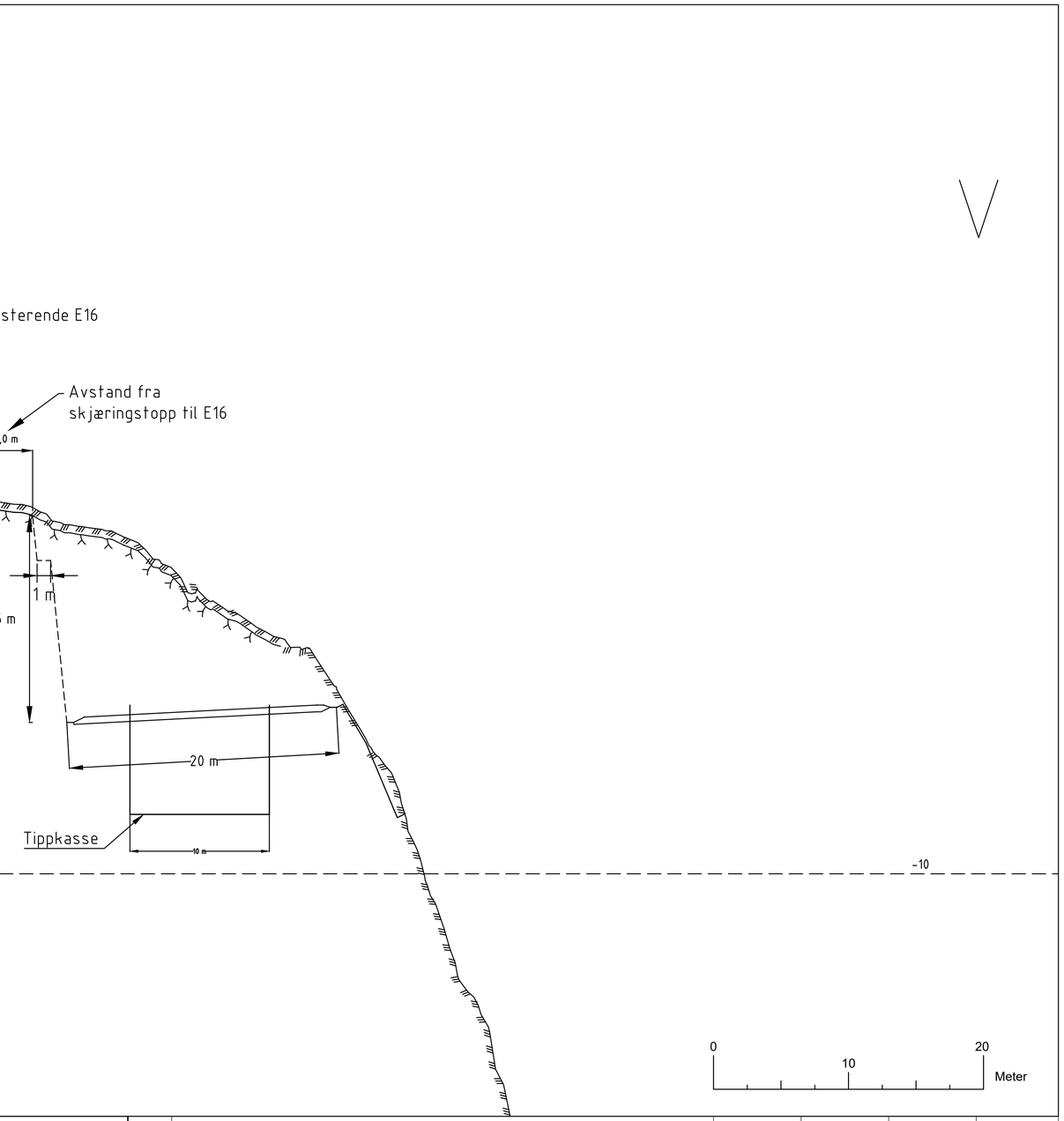
BANE NOR — Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:

Ø

V





V

TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre

Tunnel-/portalprofiler

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

E01 Tverrsnitt
Gamle Fossen

Skjæring riggområde

Målestokk	1:200 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

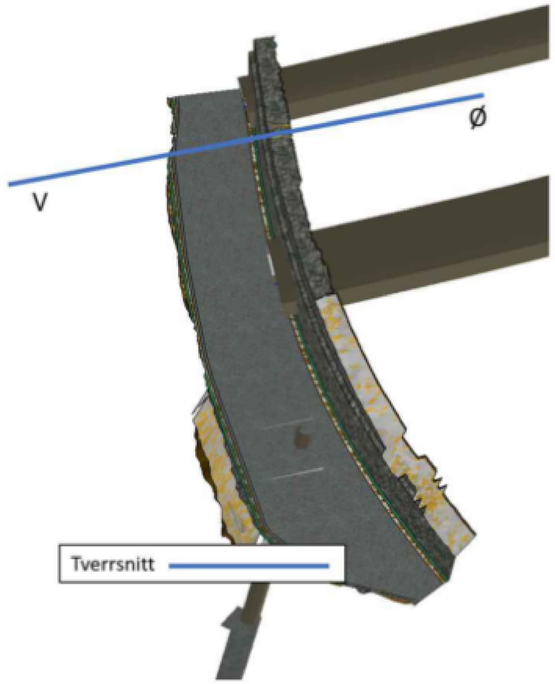
Prosjektets Tegningsnummer: V208 — Rev.: 06C

BANE NOR

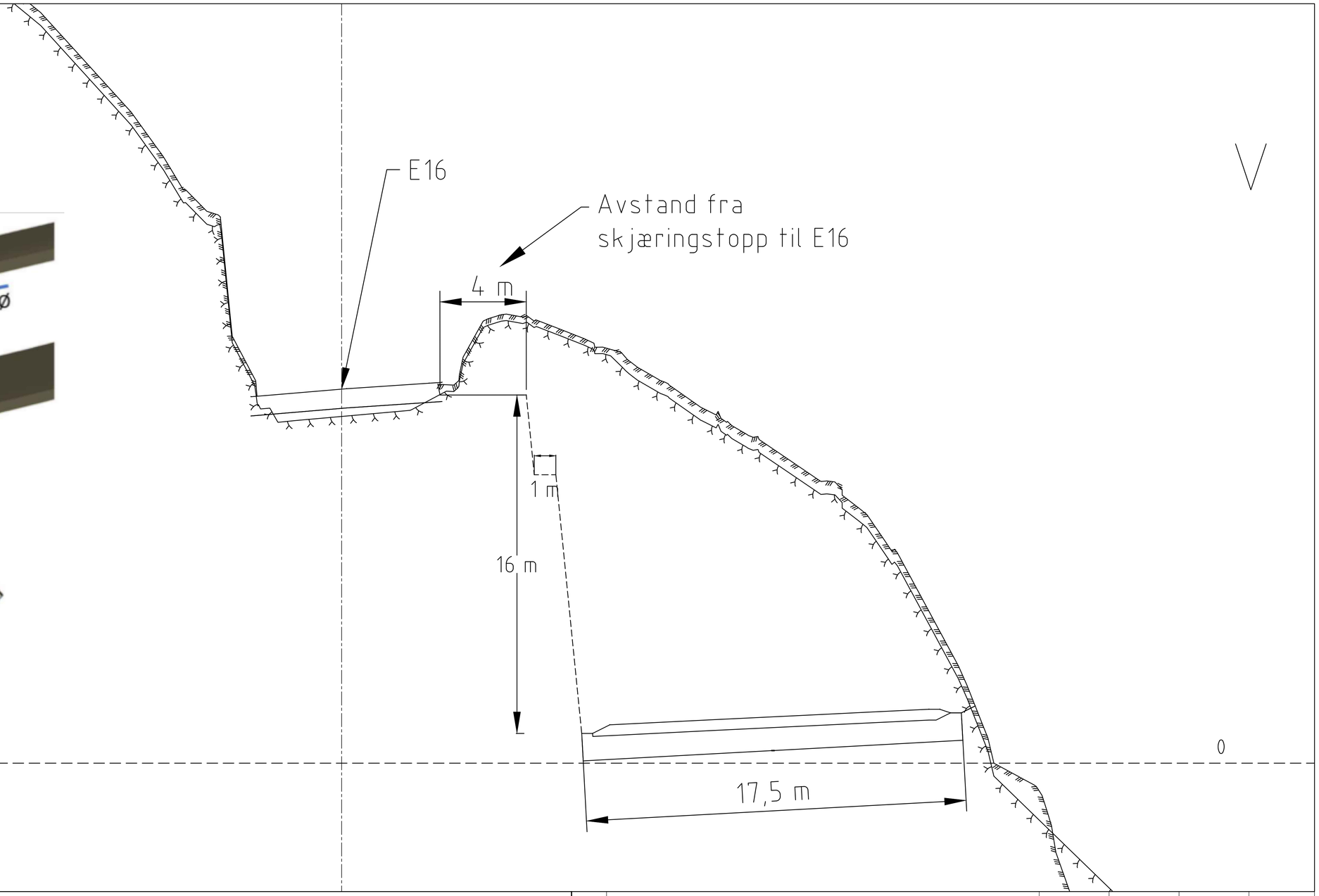
Statens vegvesen

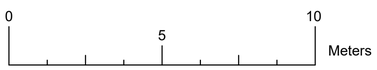
BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:

Ø



V





TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre
- Tunnel-/portalprofiler

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

E01 Tverrsnitt
Gamle Fossen

Skjæring riggområde

Målestokk	1:100 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

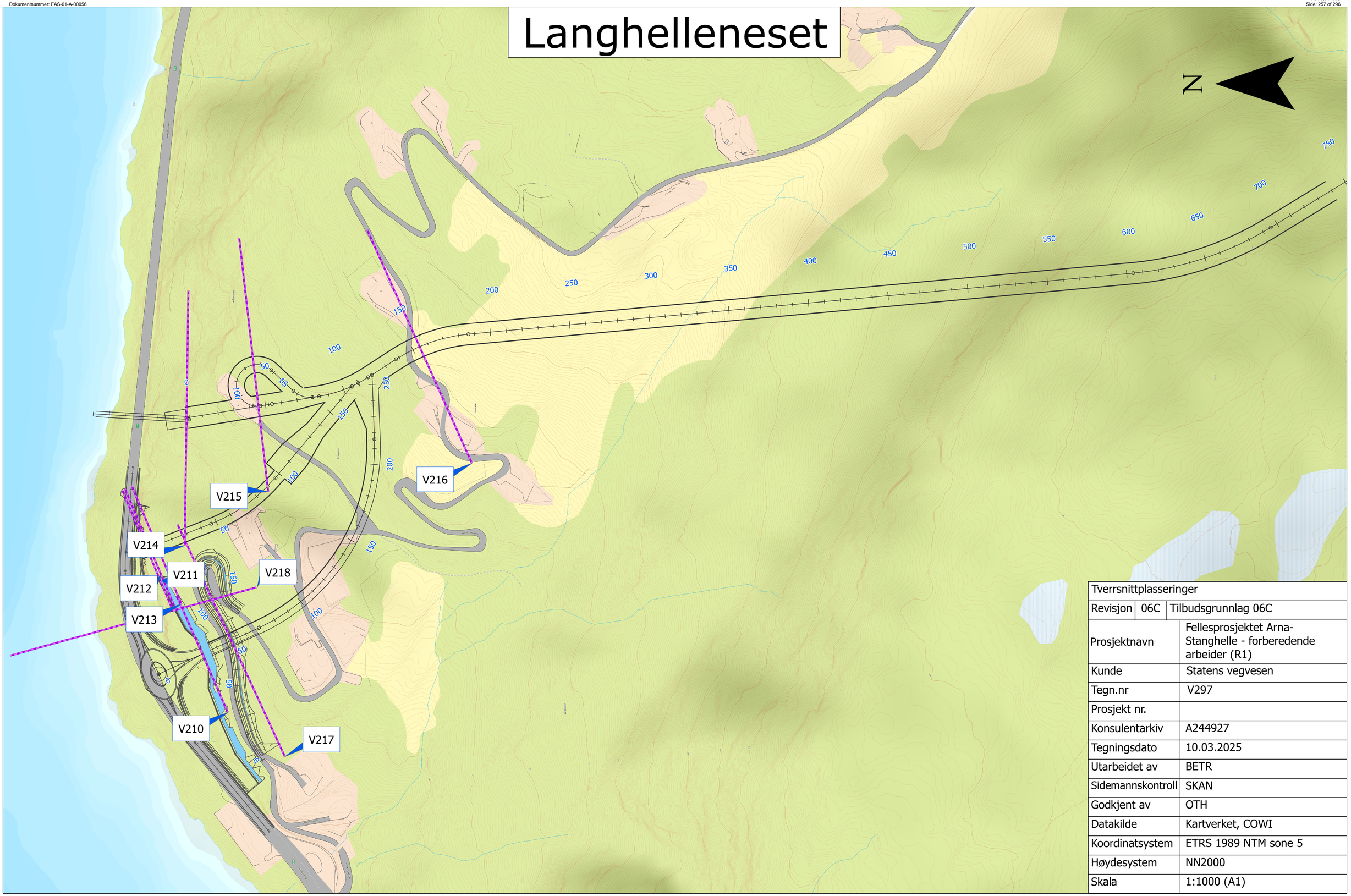
Prosjektets Tegningsnummer: V209 — Rev.: 06C

BANE NOR

Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:

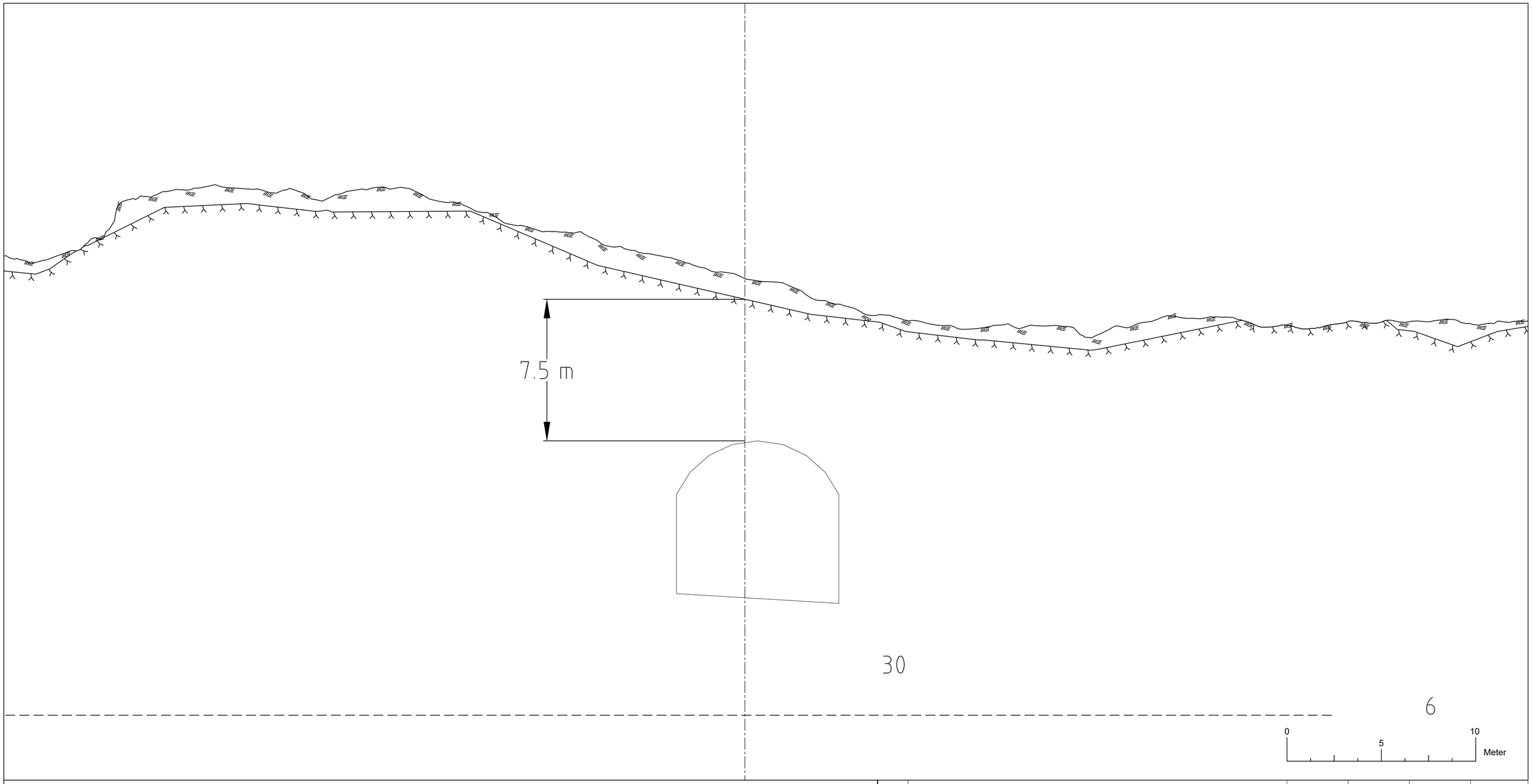
Langhelleneset



Tverrsnittplasseringer		
Revisjon	06C	Tilbudsgrunnlag 06C
Prosjektnavn		Fellesprosjektet Arna-Stanghelle - forberedende arbeider (R1)
Kunde		Statens vegvesen
Tegn.nr		V297
Prosjekt nr.		
Konsulentarkiv		A244927
Tegningsdato		10.03.2025
Utarbeidet av		BETR
Sidemannskontroll		SKAN
Godkjent av		OTH
Datakilde		Kartverket, COWI
Koordinatsystem		ETRS 1989 NTM sone 5
Høydesystem		NN2000
Skala		1:1000 (A1)

Skjæringer Langhelleneset
Tverrsnittplasseringer (med tegningsnummer)

0 62,5 125 250 375 500 Meter



TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre
- Tunnel-/portalprofiler

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 Tverrsnitt
Langhelleneset

Profilnummer 30
Påhugg adkomsttunnel

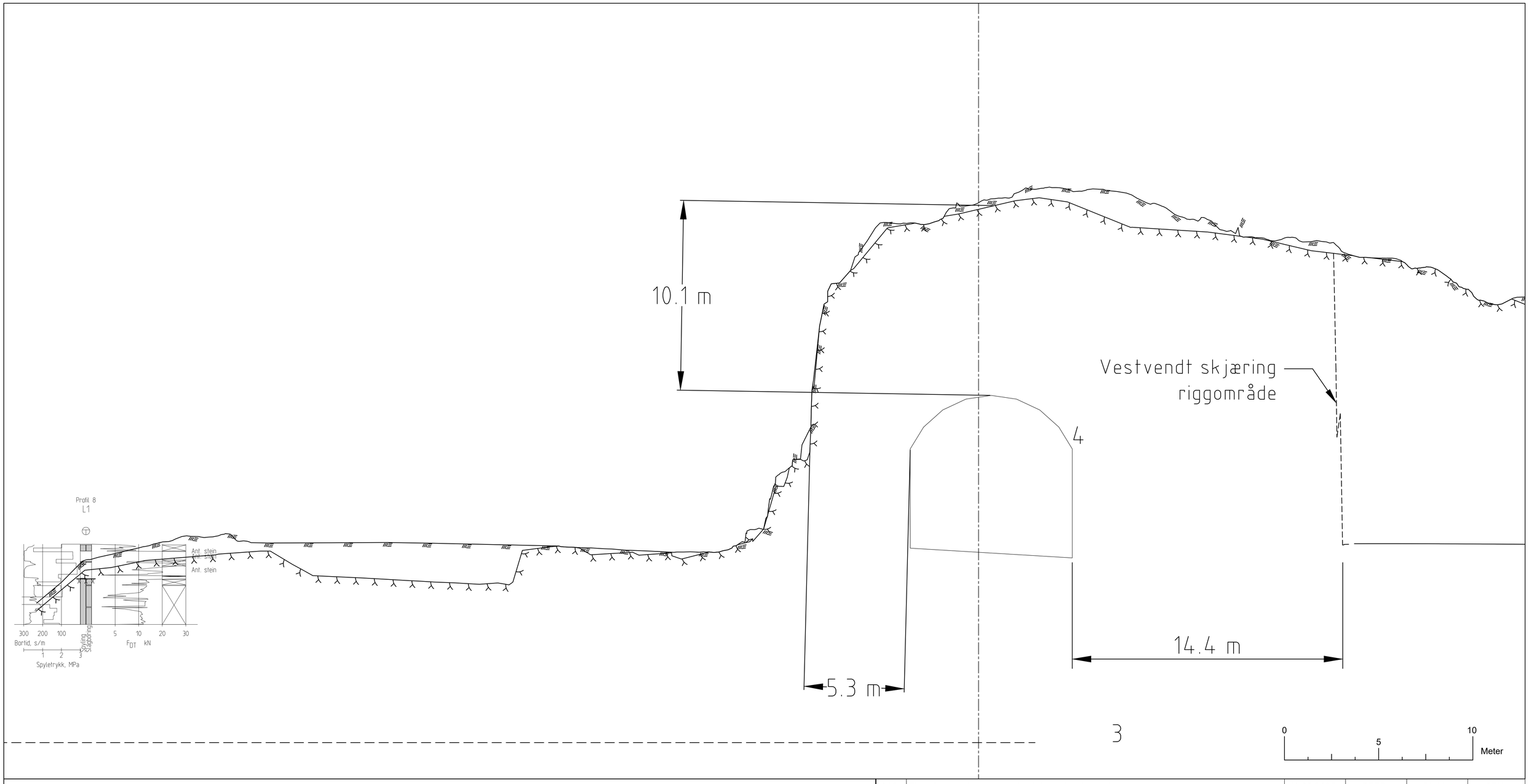
Målestokk	1:100 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V210 — Rev.: 06C

BANE NOR — Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:



TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre

Tunnel-/portalprofiler

Totalsondering

06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av

F01 Tverrsnitt
Langhelleneset

Profilnummer 4
Påhugg ventilasjonstunnel

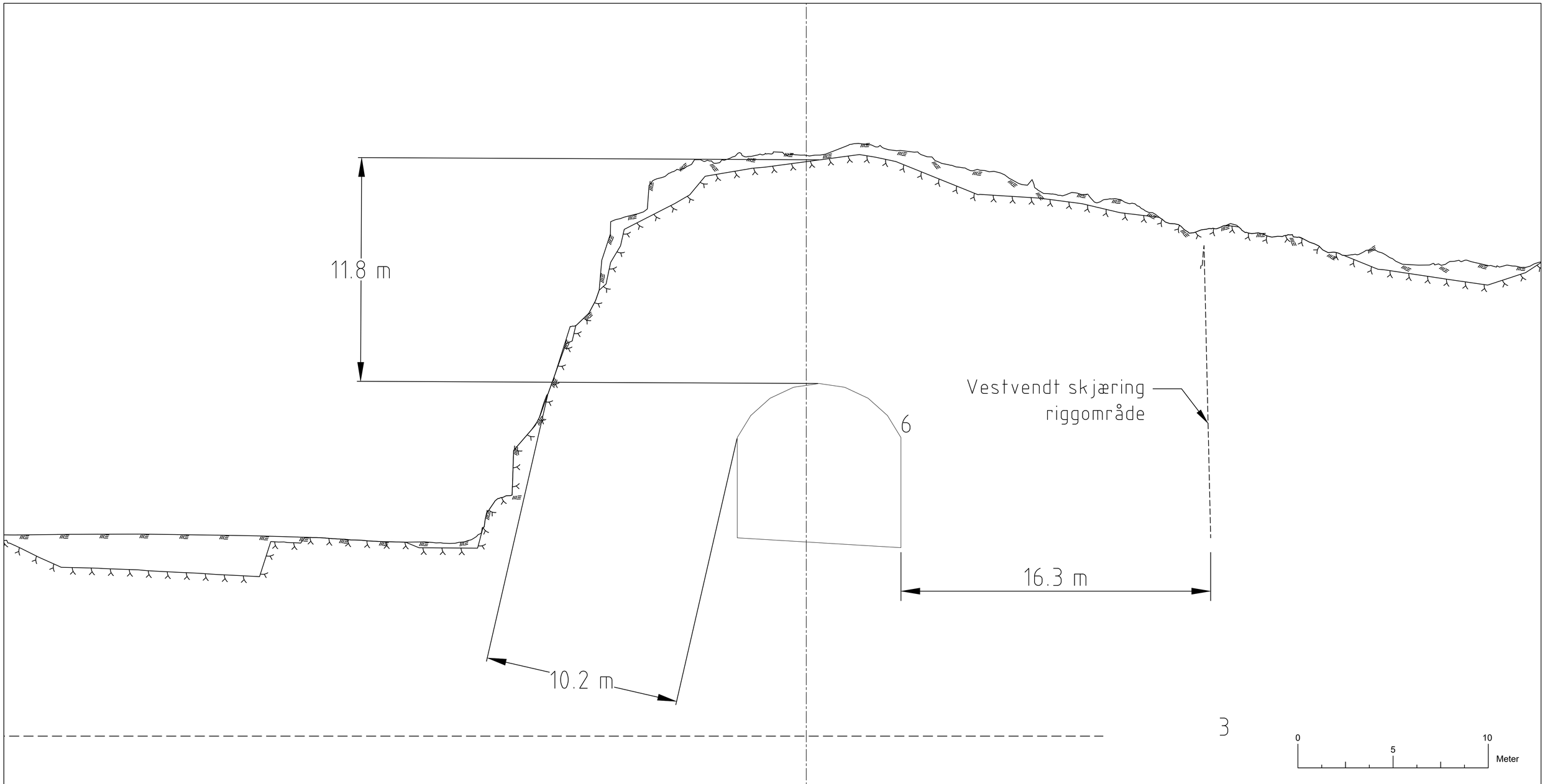
Målestokk 1:100 (A1)	Fritekst 1	
	Fritekst 2	
	Fritekst 3	
Produsent	COWI	
Prod.tegn.nr.		
Erstatning for		
Erstattet av		

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V211 — Rev.: 06C

BANE NOR — Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:



TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre
- Tunnel-/portalprofiler

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 Tverrsnitt
Langhelleneset

Profilnummer 6
Påhugg ventilasjonstunnel

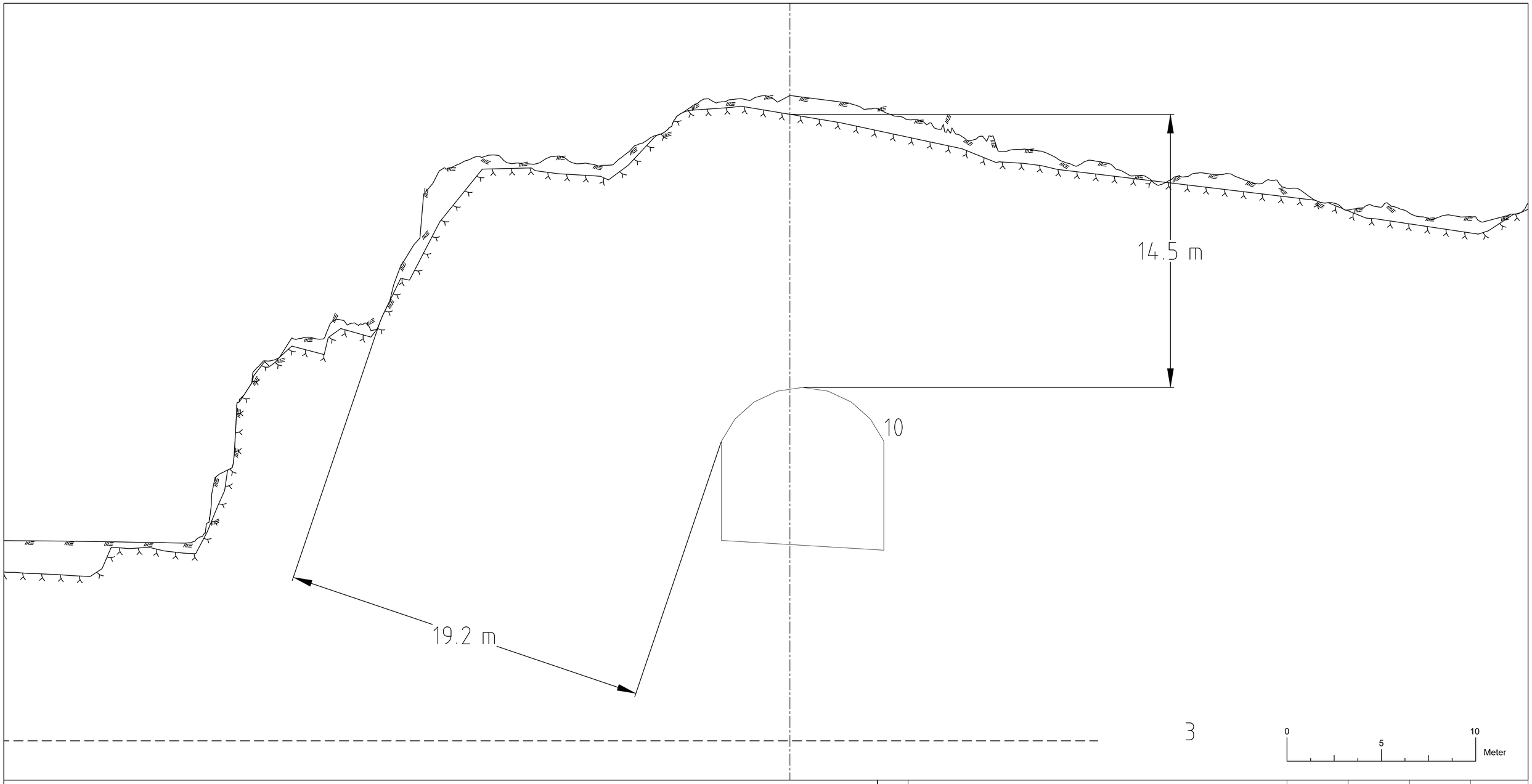
Målestokk 1:100 (A1)	Fritekst 1	
	Fritekst 2	
	Fritekst 3	
Produsent	COWI	
Prod.tegn.nr.		
Erstatning for		
Erstattet av		

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V212 — Rev.: 06C

BANE NOR — Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:



TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre

Tunnel-/portalprofiler

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 Tverrsnitt
Langhelleneset

Profilnummer 10
Påhugg ventilasjonstunnel

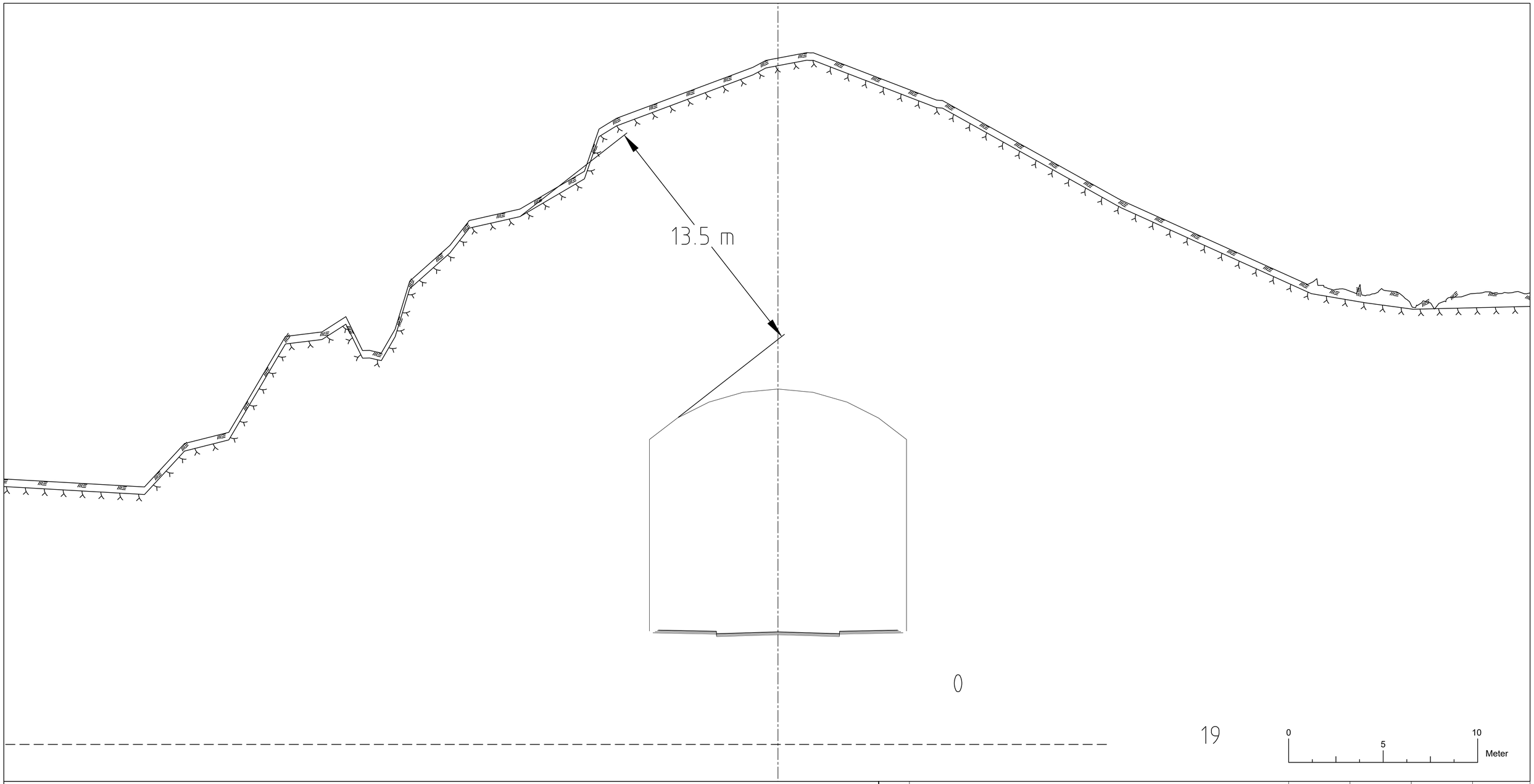
Målestokk	1:100 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V213 — Rev.: 06C

BANE NOR — Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:



TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre
- Tunnel-/portalprofiler

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 Tverrsnitt
Langhelleneset

Pofilnummer 0
Sjakt

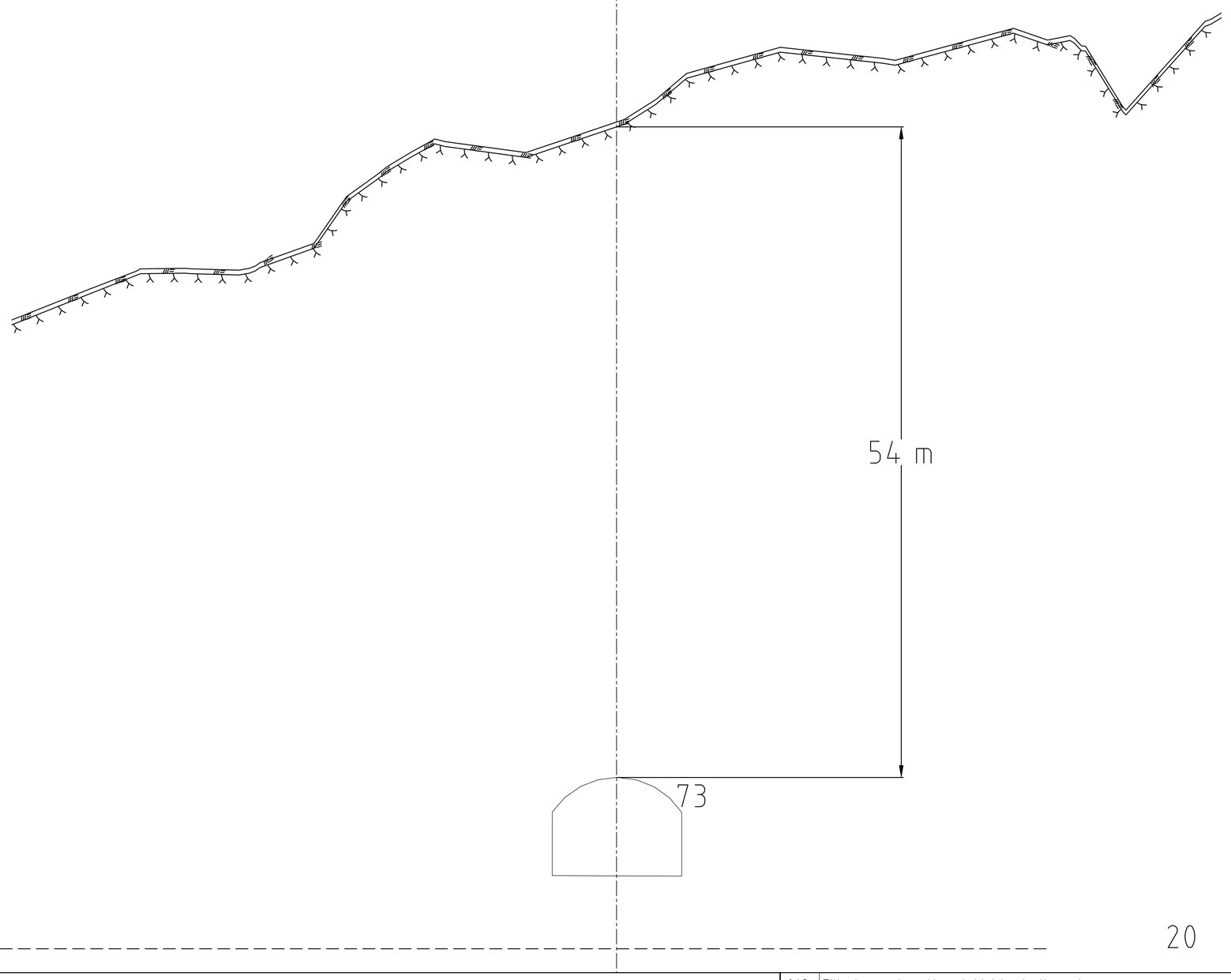
Målestokk	1:200 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V214 — Rev.: 06C

BANE NOR — Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:



TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre
- Tunnel-/portalprofiler

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 Tverrsnitt
Langhelleneset

Profilnummer 73
Rundkjøring

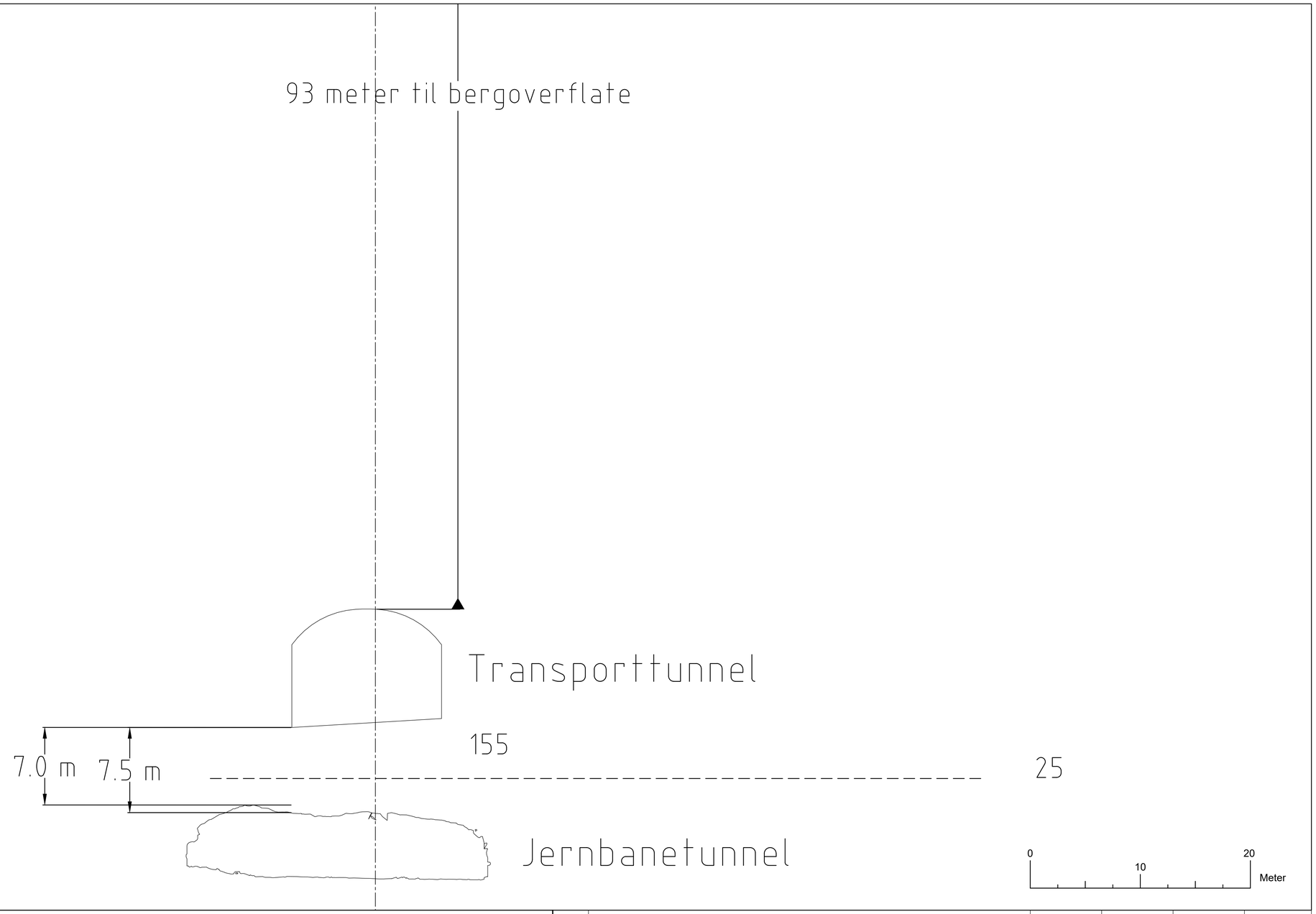
Målestokk	1:200 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V215 — Rev.: 06C

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:

BANE NOR
Statens vegvesen



TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre

Tunnel-/portalprofiler

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 Tverrsnitt
Langhelleneset

Profilnummer 155
Transporttunnel - kryssing over jernbanetunnel

Målestokk	1:200 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

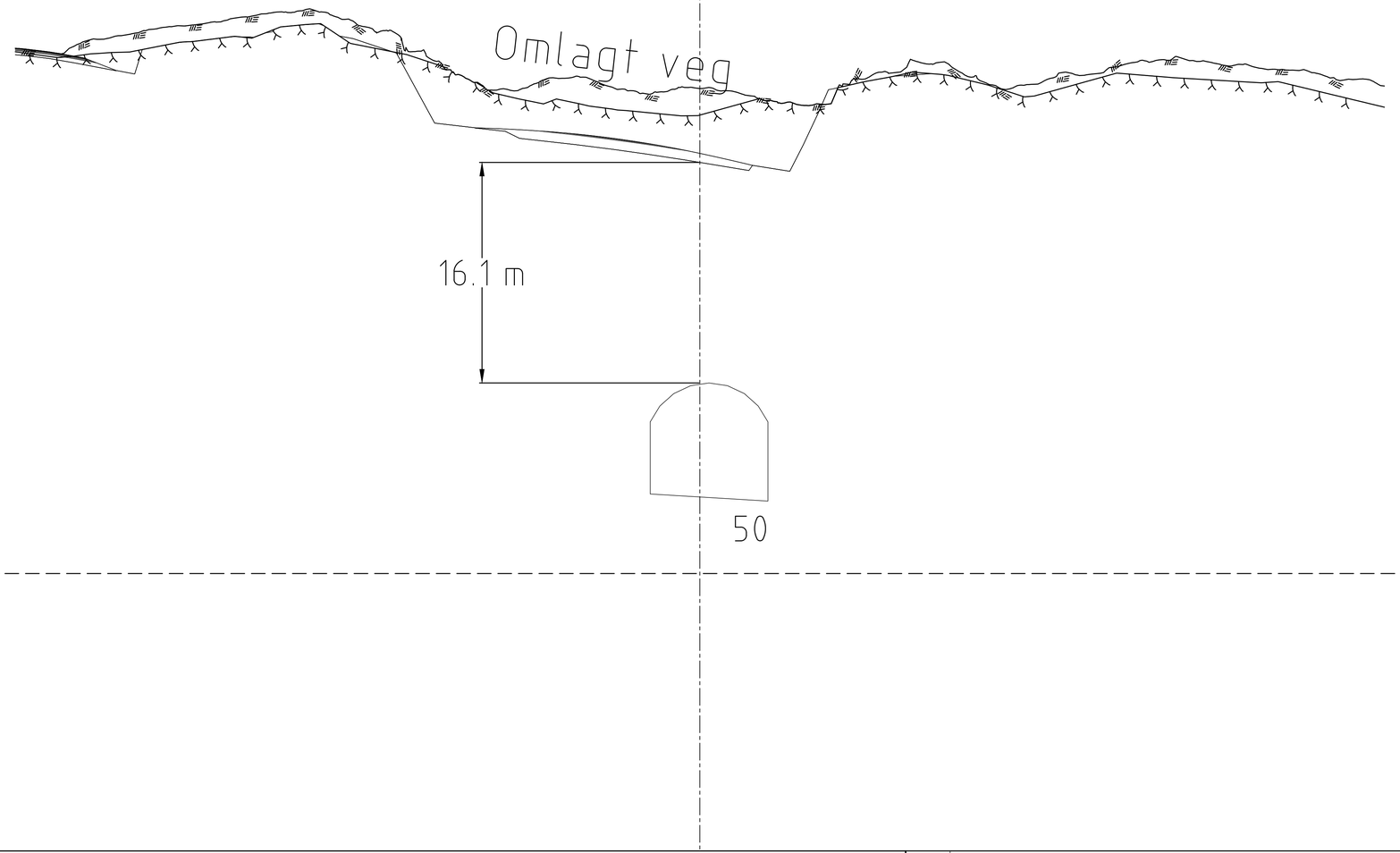
FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V216 — Rev.: 06C

BANE NOR

Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:



TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre
- Tunnel-/portalprofiler

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 Tverrsnitt
Langhelleneset

Profilnummer 50
Adkomsttunnel - kryssing under omlagt veg

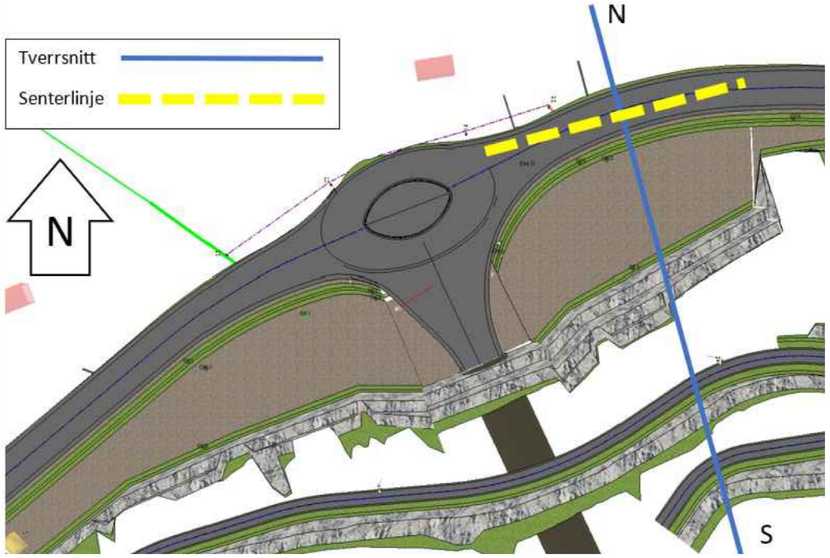
Målestokk	1:200 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V217 — Rev.: 06C

BANE NOR — Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:



TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre
- Tunnel-/portalprofiler

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 Tverrsnitt
Langhelleneset

Skjæring påhuggsvegg og skæring ved omlagt veg

Målestokk	1:200 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V218

Rev.: 06C

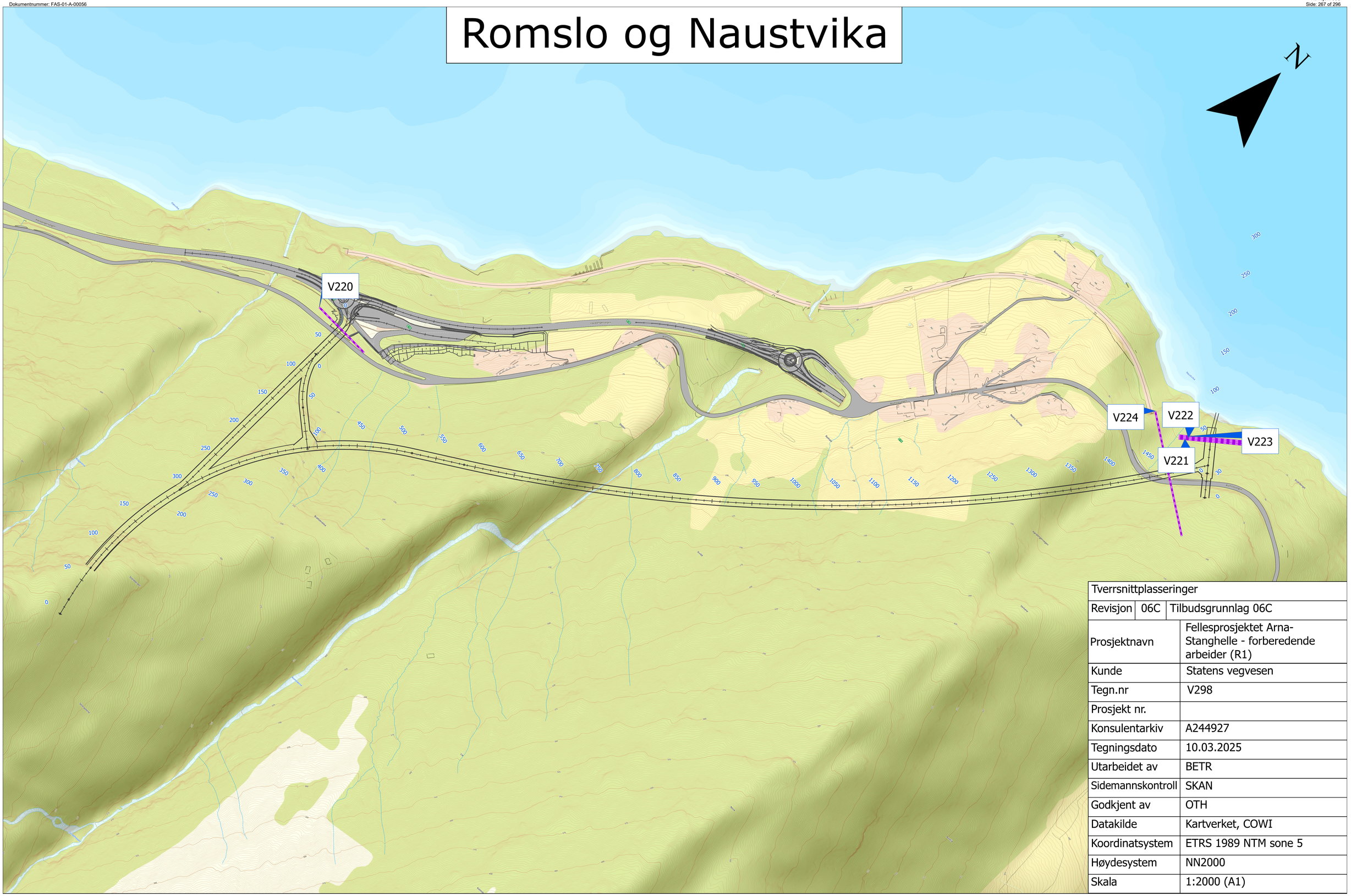
BANE NOR

Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer:

Rev.:

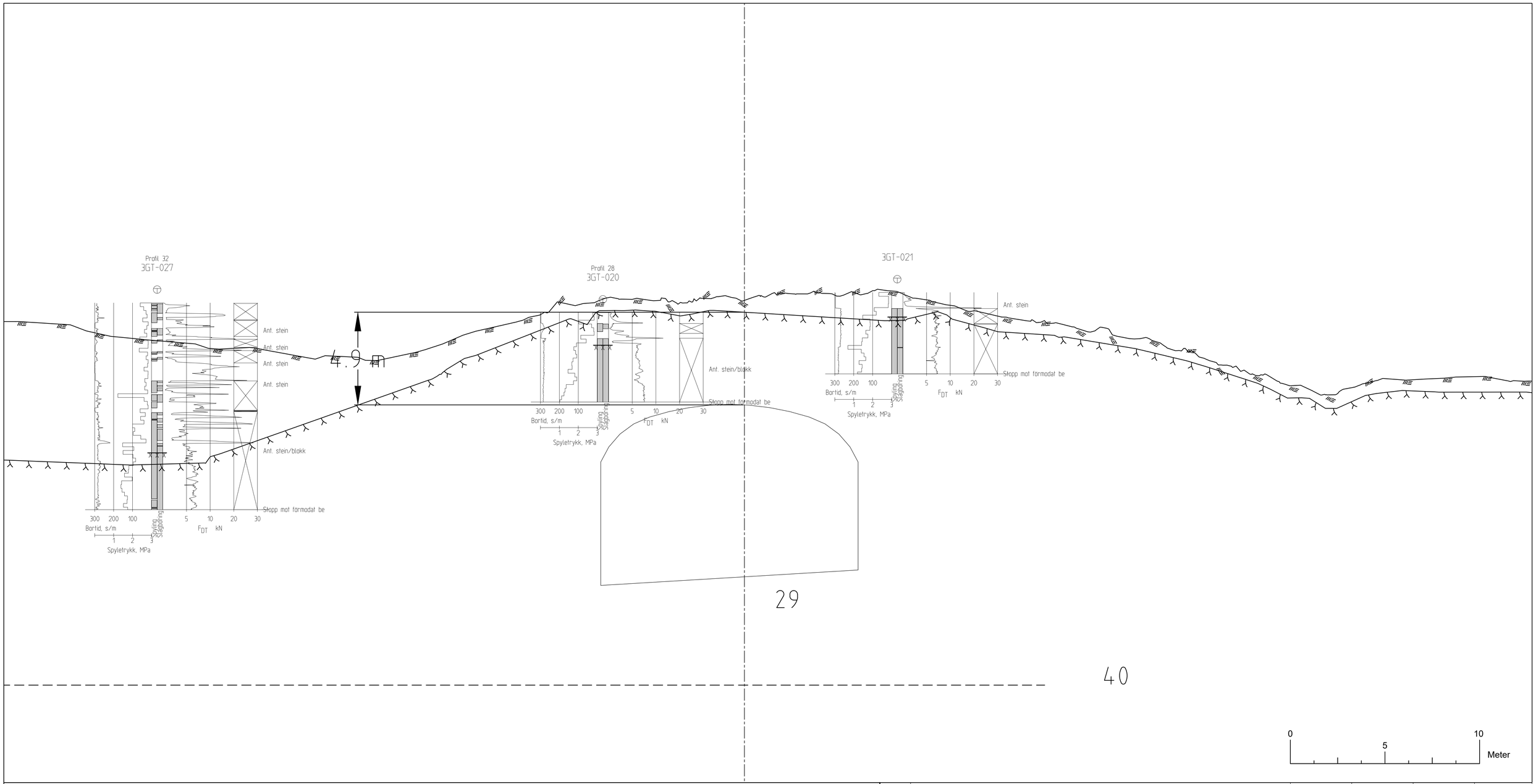
Romslo og Naustvika



Tverrsnittplasseringer		
Revisjon	06C	Tilbudsgrunnlag 06C
Prosjektnavn		Fellesprosjektet Arna-Stanghelle - forberedende arbeider (R1)
Kunde		Statens vegvesen
Tegn.nr		V298
Prosjekt nr.		
Konsulentarkiv		A244927
Tegningsdato		10.03.2025
Utarbeidet av		BETR
Sidemannskontroll		SKAN
Godkjent av		OTH
Datakilde		Kartverket, COWI
Koordinatsystem		ETRS 1989 NTM sone 5
Høydesystem		NN2000
Skala		1:2000 (A1)

Skjæring Romslo
Tverrsnittplasseringer (med tegningsnummer)

0 125 250 500 750 1 000 Meter



TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre
- Tunnel-/portalprofiler
- Totalsondering

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 Tverrsnitt
Romslo

Profilnummer 29
Påhugg ventilasjonstunnel

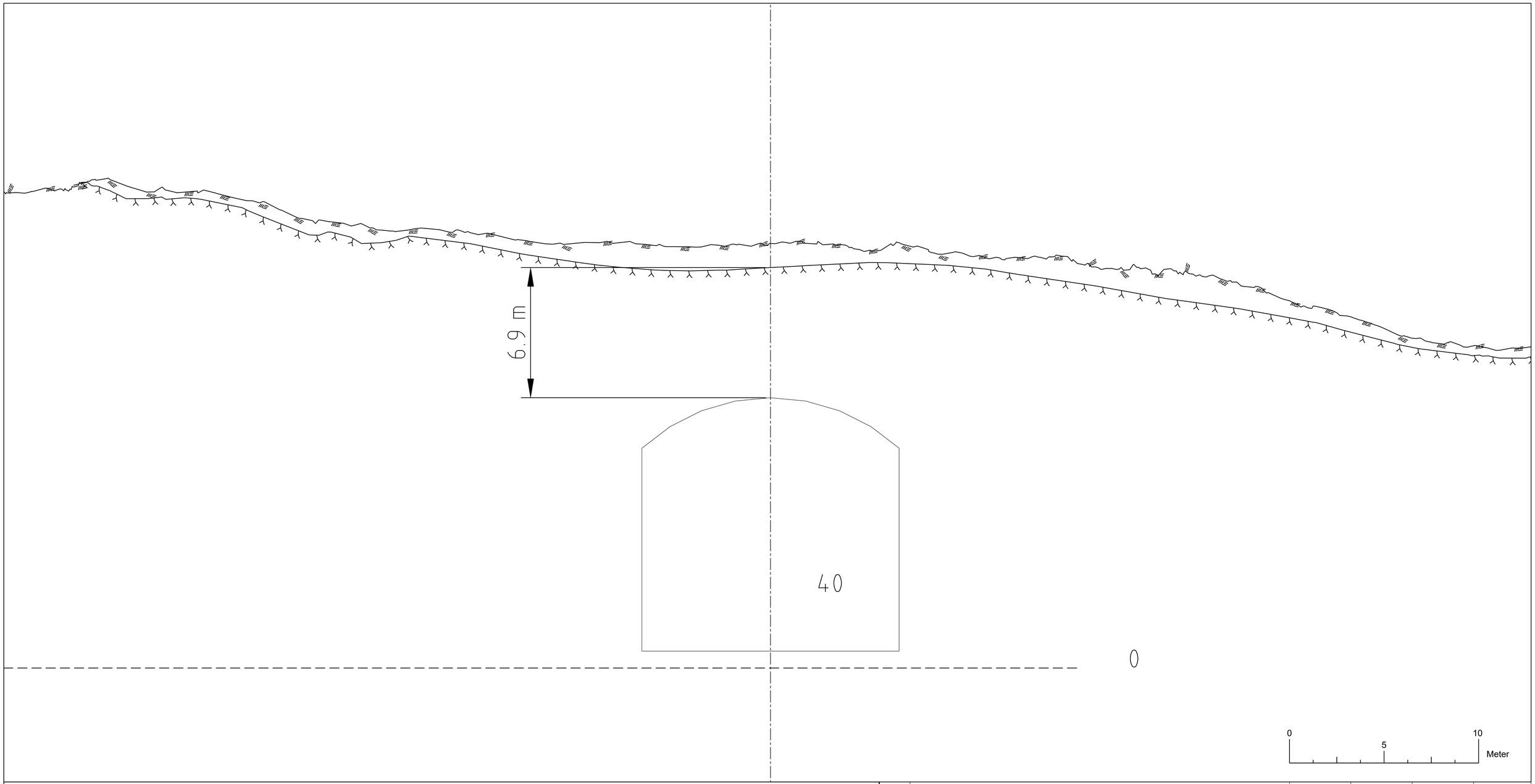
Målestokk	1:100 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V220 — Rev.: 06C

BANE NOR — Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:



TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre
- Tunnel-/portalprofiler

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 Tverrsnitt
Naustvika

Profilnummer 40
Tipphall

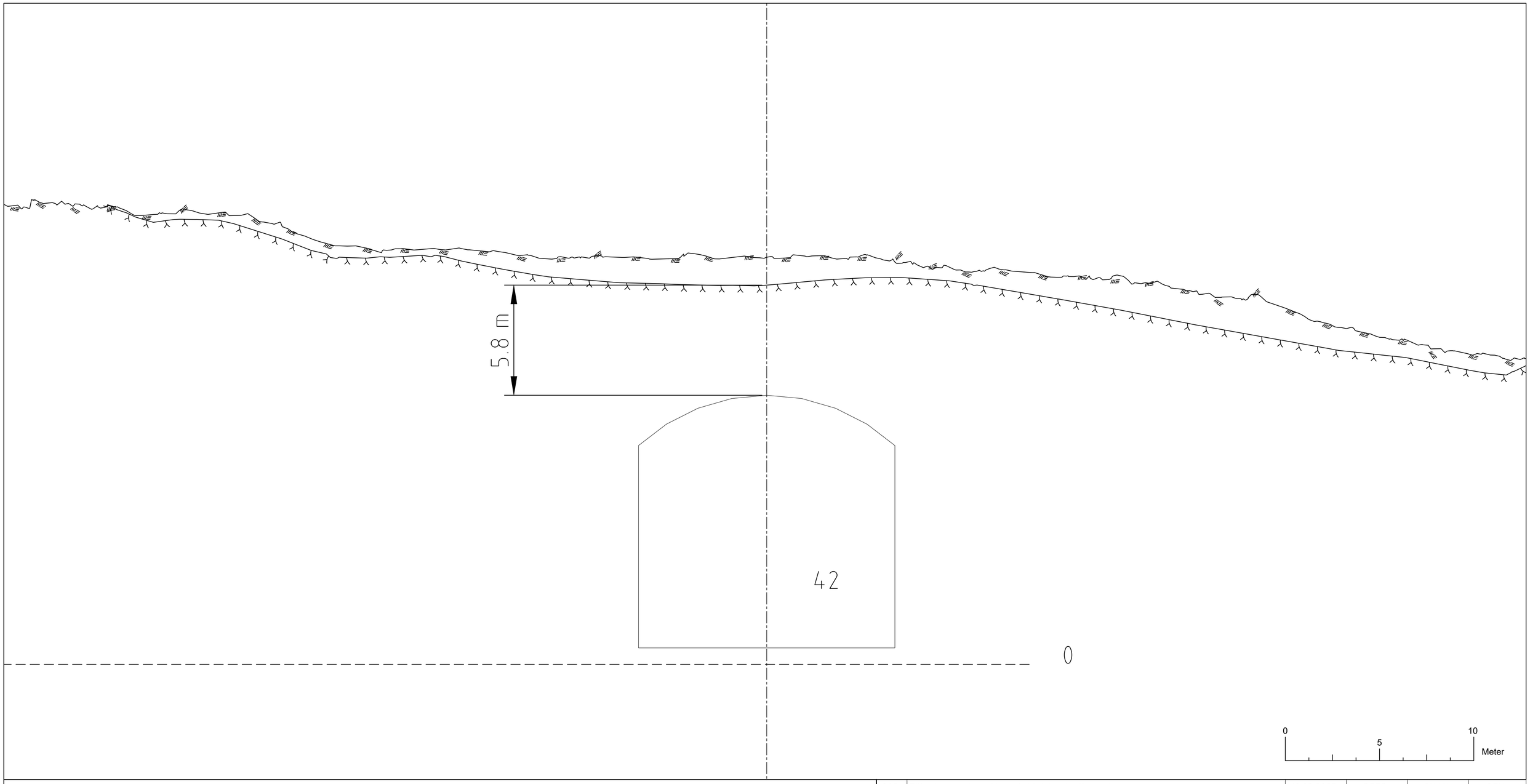
Målestokk	1:100 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V221 — Rev.: 06C

BANE NOR — Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:



TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre
- Tunnel-/portalprofiler

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 Tverrsnitt
Naustvika

Profilnummer 42
Tipphall

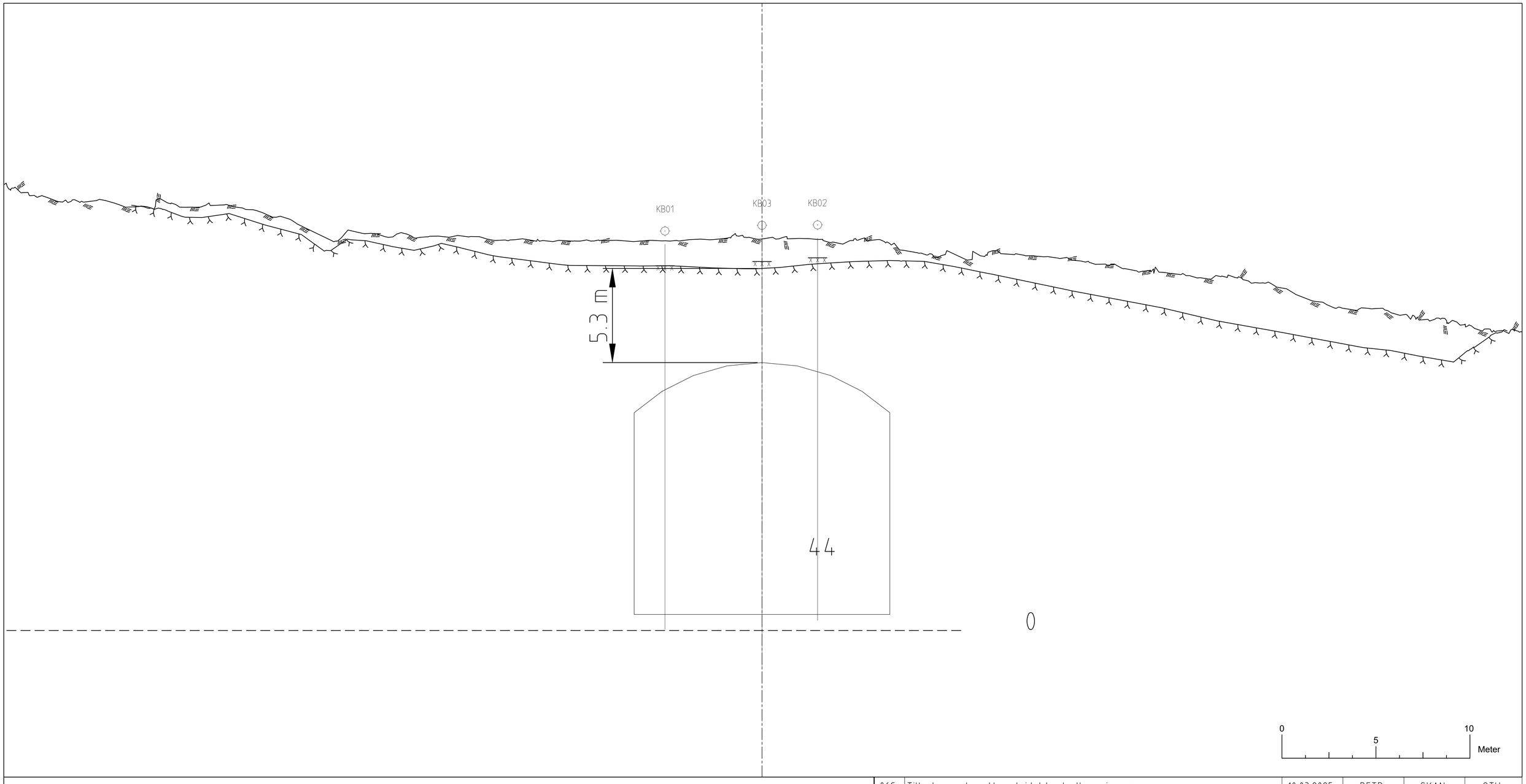
Målestokk	1:100 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V222 — Rev.: 06C

BANE NOR — Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:



TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre
- Tunnel-/portalprofiler
- Kjerneboringer
- Påvisning av berg

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 Tverrsnitt
Naustvika

Profilnummer 44
Tipphall

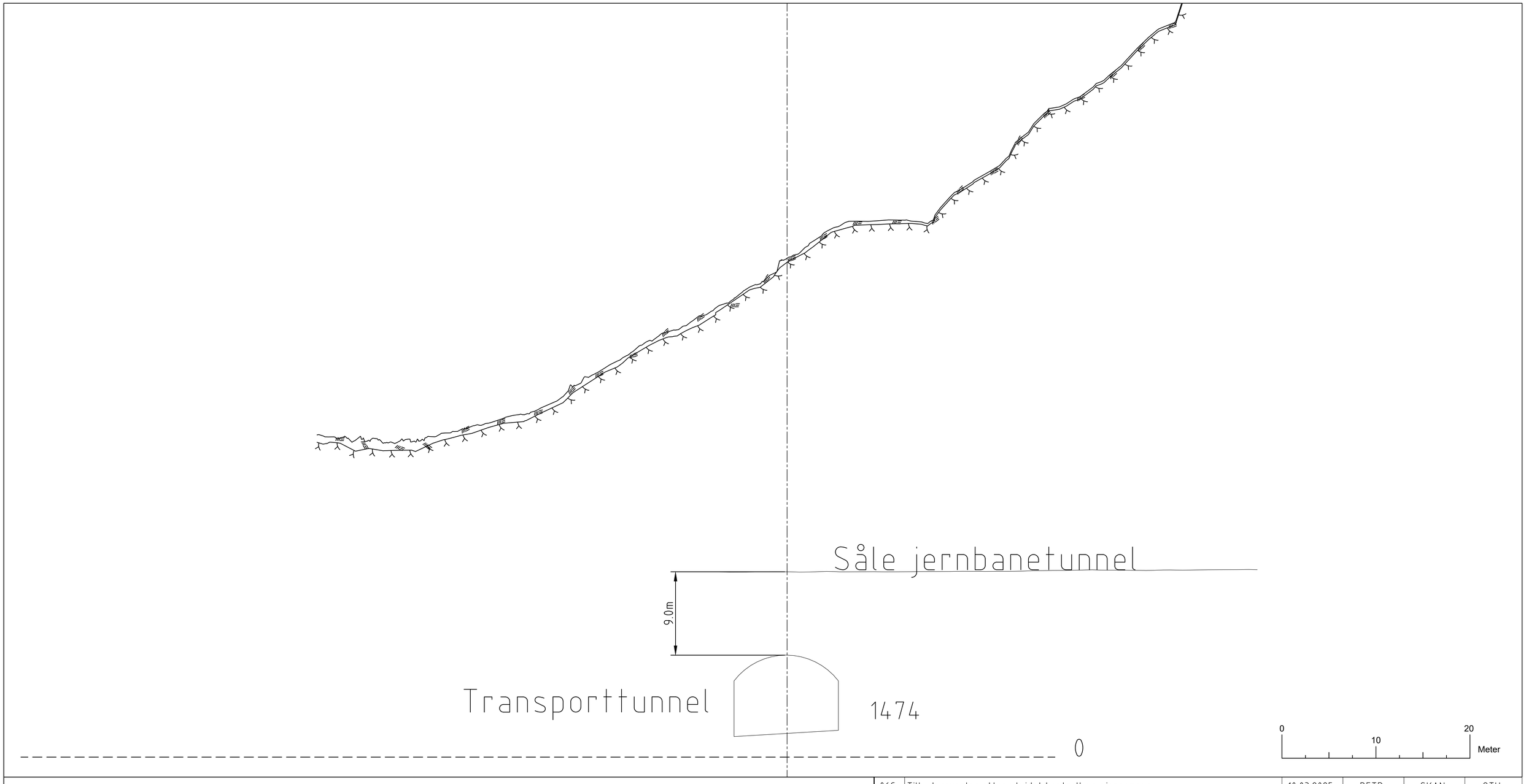
Målestokk	1:100 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V223 — Rev.: 06C

BANE NOR — Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:



TEGNFORKLARING

- Bergskjæring
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Senterlinje
- Vertikal høydereferanse, kotehøyde er indikert til høyre
- Tunnel-/portalprofiler

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 Tverrsnitt
Naustvika

Profilnummer 1474
Transporttunnel - kryssing under jernbanetunnel

Målestokk	1:200 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V224 — Rev.: 06C

BANE NOR — Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:

STATENS VEGVESEN OG BANE NOR

ADRESSE COWI A/S
Karvesvingen 2
0579 Oslo
Norge

WWW cowi.com

VEDLEGG 3

LENGDESNITT GAMLE FOSSEN, LANGHELLENESET OG ROMSLO/NAUSTVIKA

TIL FAS-01-A-00056 E1 FAGRAPPORT INGENIØRGEOLOGI ANLEGGSTUNNELER OG SJAKTER

INNHOLD

Lengdesnitt for:

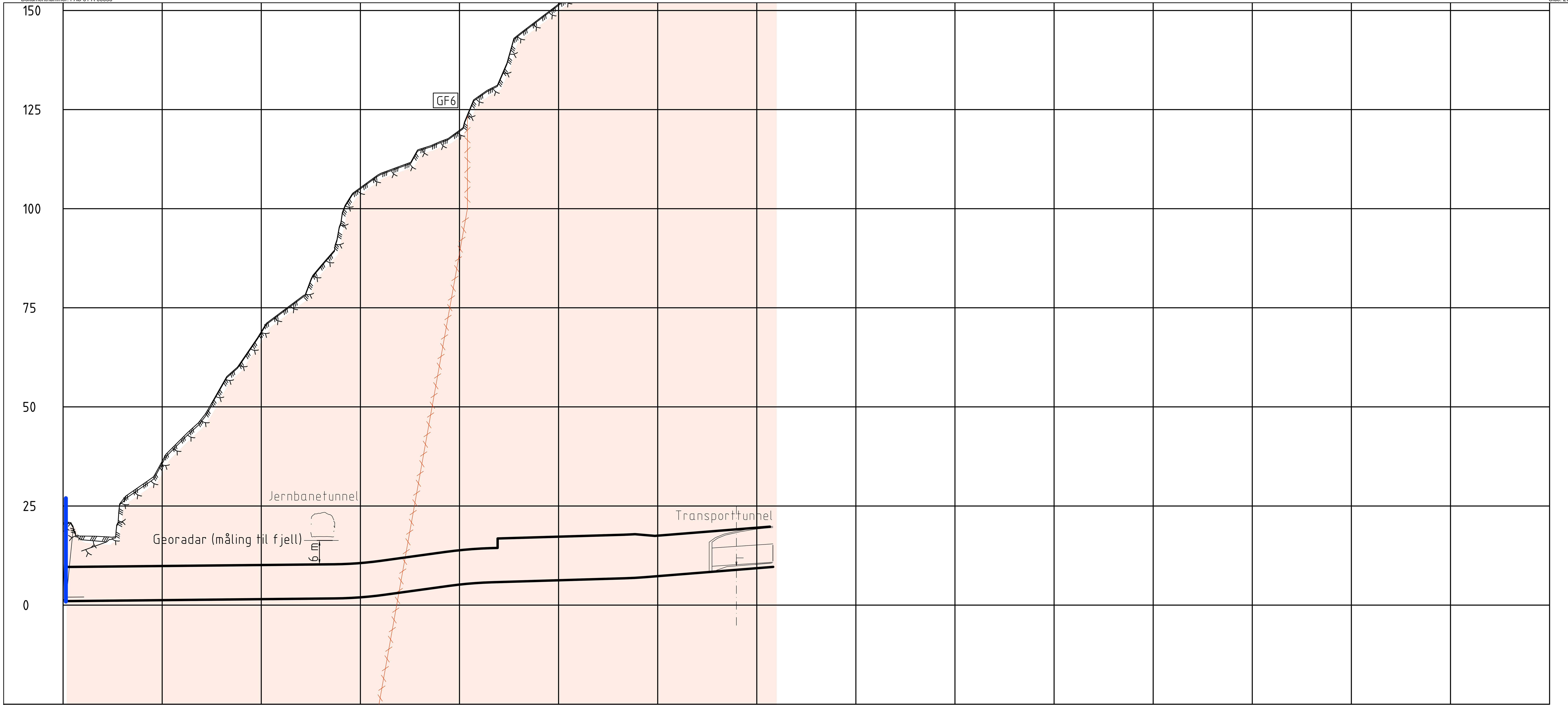
Gamle Fossen:
V110 F01 - Ventilasjonstunnel Gamle Fossen 0-180
V120 F01 - Transporttunnel Gamle Fossen 0-625

Langhelleneset:
V130 F01 - Adkomsttunnel Langhelleneset 0-260
V140 F01 - Ventilasjonstunnel Langhelleneset 0-170
V141 F01 - Snuplass tunnel Langhelleneset 0-115
V150 F01 - Transporttunnel Langhelleneset 0-750

Romslo og Naustvika:
V160 F01 - Adkomsttunnel- og ventilasjonstunnel Romslo 0-315
V170 F01 - Adkomst mot sjakt Romslo 0-125
V171 F01 - Vendhammer Naustvika 0-35
V172 F01 - Tipphall og sjakt Naustvika 0-80
V180 F01 - Transporttunnel Romslo/ Naustvika 0-750
V181 F01 - Transporttunnel Romslo/ Naustvika 750-1500
V182 F01 - Transporttunnel Romslo/ Naustvika 1000-1525

Merk: Alle lineamenter er tolket ut fra 3D-modell i Leapfrog. Dette forklarer buede og krumme lineamenter i lengdesnitt.

OPPDRAGSNR.	DOKUMENTNR.				
A244927					
VERSJON	UTGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET	KONTROLLERT	GODKJENT
06C	10.03.2025	Vedlegg til ingeniørgeologisk fagrapport	BETR	SKAN	OTH



PROFIL NR. 0 25 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 325 350 375

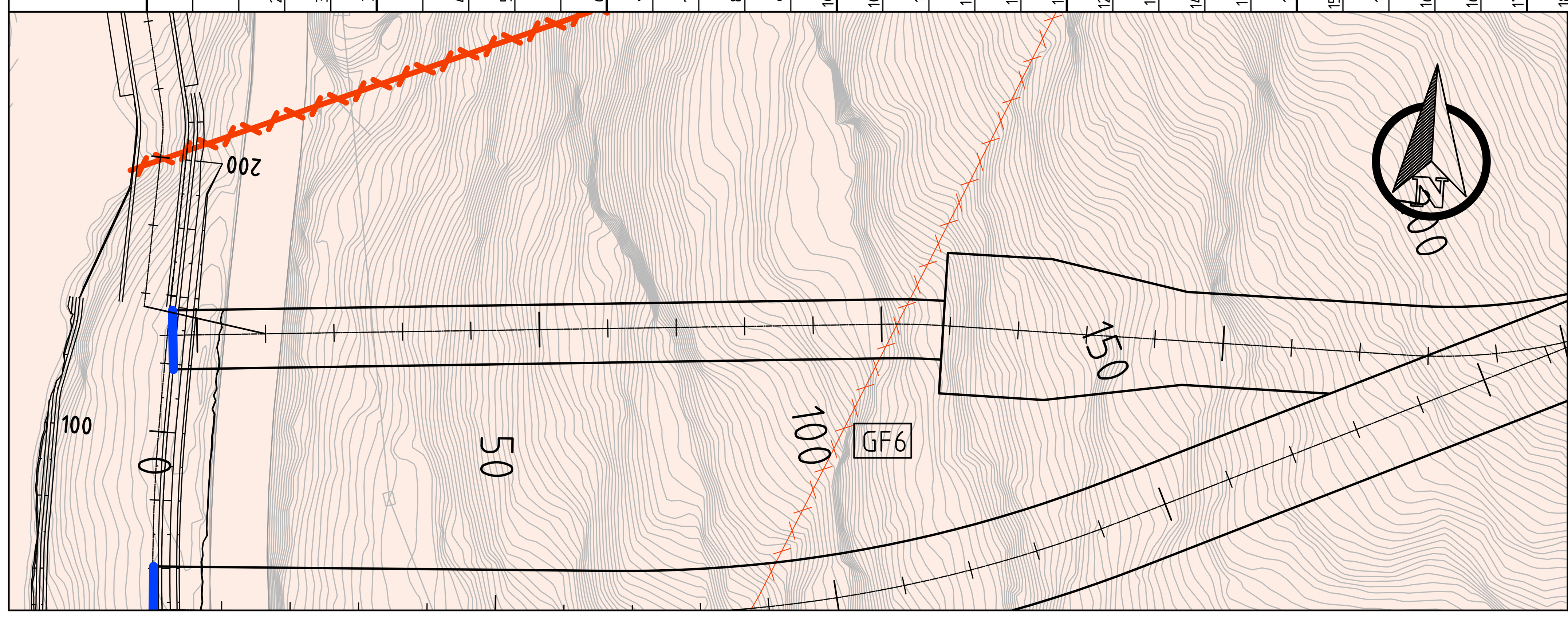
HOR.KURV. R=∞ R=100 R=∞

BREDDEUTV.

TVERRFALL
— H.kj.b.k.
--- V.kj.b.k.

PROFIL H.	2,00	2,04	2,09	2,14	2,19	2,24	2,29	2,34	2,39	2,44	2,49	2,54	2,59	2,64	2,70	2,96	3,46	4,15
TERRENG H.	20,71	17,41	17,27	26,49	30,40	36,30	42,11	47,08	55,39	61,50	68,99	73,88	77,62	85,56	96,28	105,30	108,83	110,71

PROFIL H.	4,83	5,52	6,18	6,61	6,81	6,96	7,11	7,26	7,41	7,56	7,71	7,91	8,30	8,70	9,11	9,51	9,91	10,31	10,64
TERRENG H.	115,02	116,87	119,78	128,46	132,16	143,99	147,81	151,61	155,42	161,31	165,79	169,39	173,25	180,00	185,72	189,99	192,16	195,62	194,87



Bergarter

Granittisk gneis

Små lineament (<5 m)

Middels lineament (5–10 m)

NNN Lineament ID

Terrengoverflate

Bergoverflate

Påhugg

Terreng- og bergoverflate fortsetter med tilsvarende stigning med økende profilnummer
Svakhetssoner i lengdesnitt er tolket i 3D-modell i Leapfrog,
forløp mot dypet innehar usikkerheter.
Plantegning til venstre er kun for orientering.
For geologisk plantegning i målestokk 1:1000: se geologisk kartvedlegg: V006

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn FAS	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 - Ventilasjonstunnel
Gamle Fossen

Lengdesnitt
Profilnummer 0-180

Målestokk	1:500 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

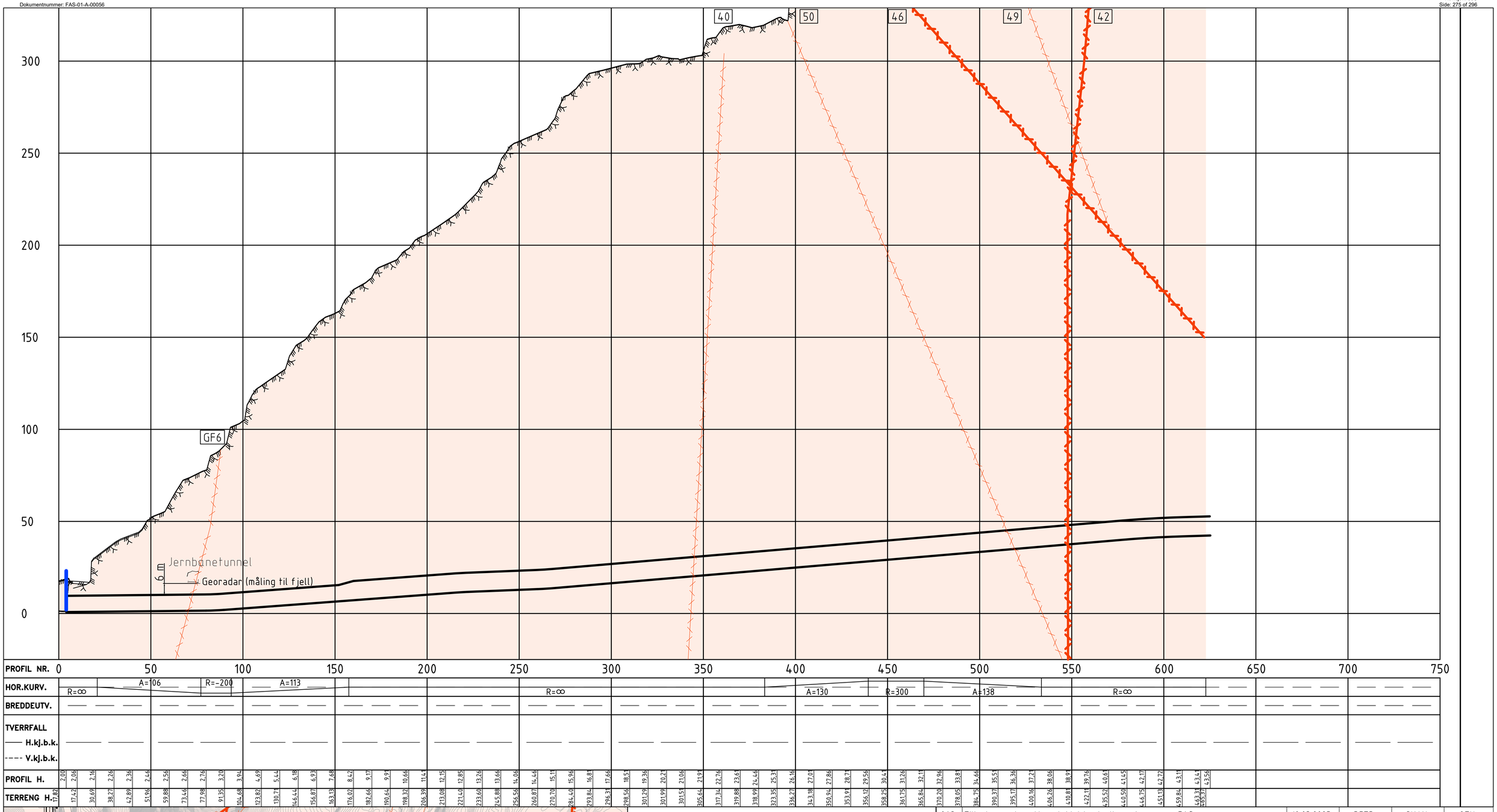
FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

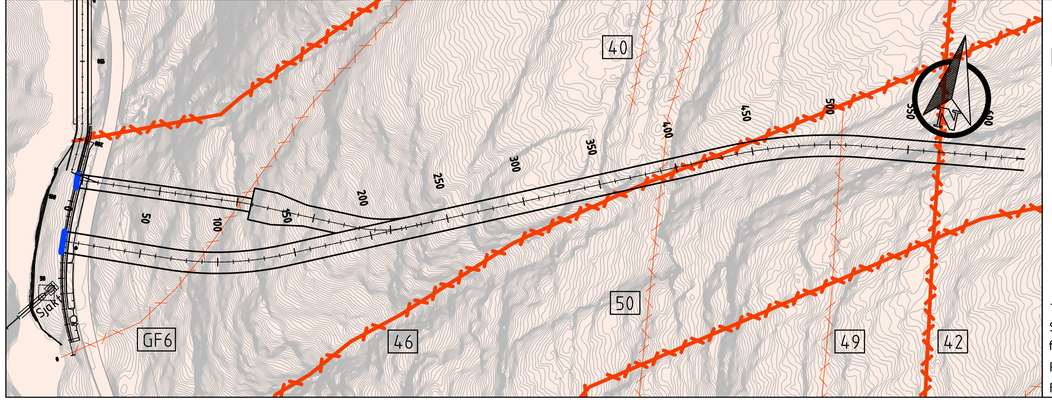
Prosjektets Tegningsnummer: V110 Rev.: 06C

BANE NOR Tegningsnummer: Rev.:

BANE NOR

Statens vegvesen





Bergarter

Granittisk gneis

Små lineament (<5 m)

Middels lineament (5–10 m)

NNN Lineament ID

Terrengoverflate

Bergoverflate

Påhugg

Terreng- og bergoverflate fortsetter med tilsvarende stigning med økende profilnummer
Svakhetssoner i lengdesnitt er tolket i 3D-modell i Leapfrog,
forløp mot dypet innehar usikkerheter.
Plantegning til venstre er kun for orientering.
For geologisk plantegning i målestokk 1:1000: se geologisk kartvedlegg: V006, V007, V008

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn FAS	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 - Transporttunnel
Gamle Fossen

Lengdesnitt
Profilnummer 0-625

Målestokk	1:1000 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

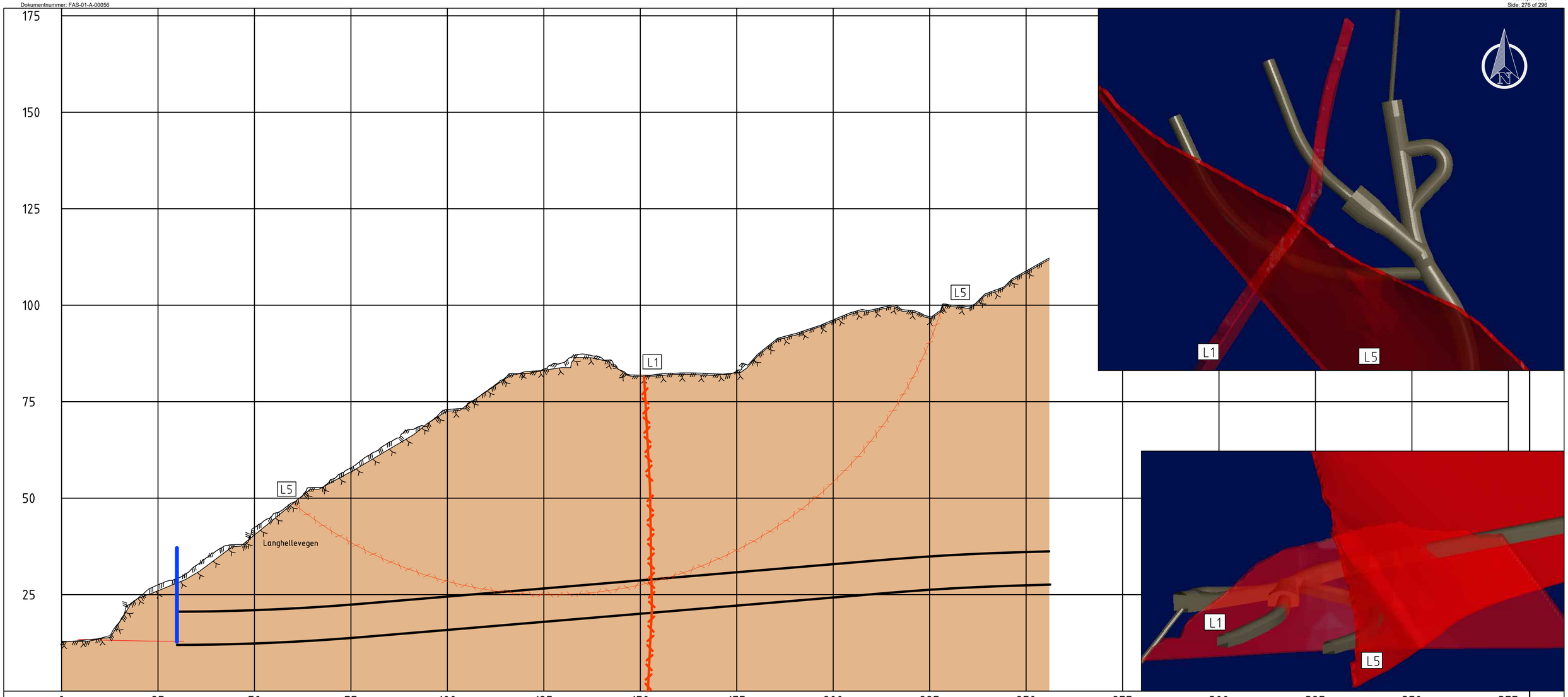
FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

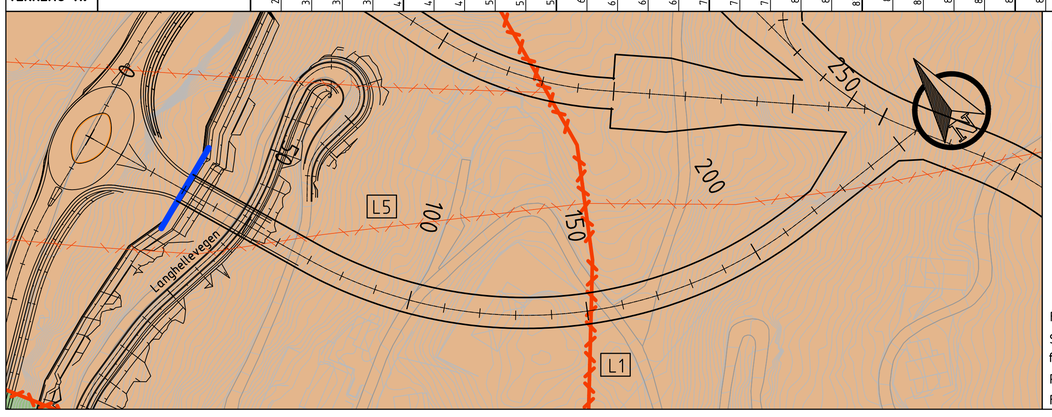
Prosjektets Tegningsnummer: V120 — Rev.: 06C

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:

BANE NOR

Statens vegvesen





Bergarter

Amfibolitt

Små lineament (<5 m)

Middels lineament (5–10 m)

NNN Lineament ID

Terrengoverflate

Bergoverflate

Påhugg

Figurer øverst til høyre er hentet fra 3D-modell i Leapfrog

Svakhetssoner i lengdesnitt er tolket i 3D-modell i Leapfrog, forløp mot dypet innehar usikkerheter.

Plantegning til venstre er kun for orientering.

For geologisk plantegning i målestokk 1:1000: se geologisk kartvedlegg: V010

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn FAS	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 - Adkomsttunnel
Langhelleneset
Merk: Buet lineament skyldes lengdesnitt i sving
Lengdesnitt
Profilnummer 0-260

Målestokk	1:500 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

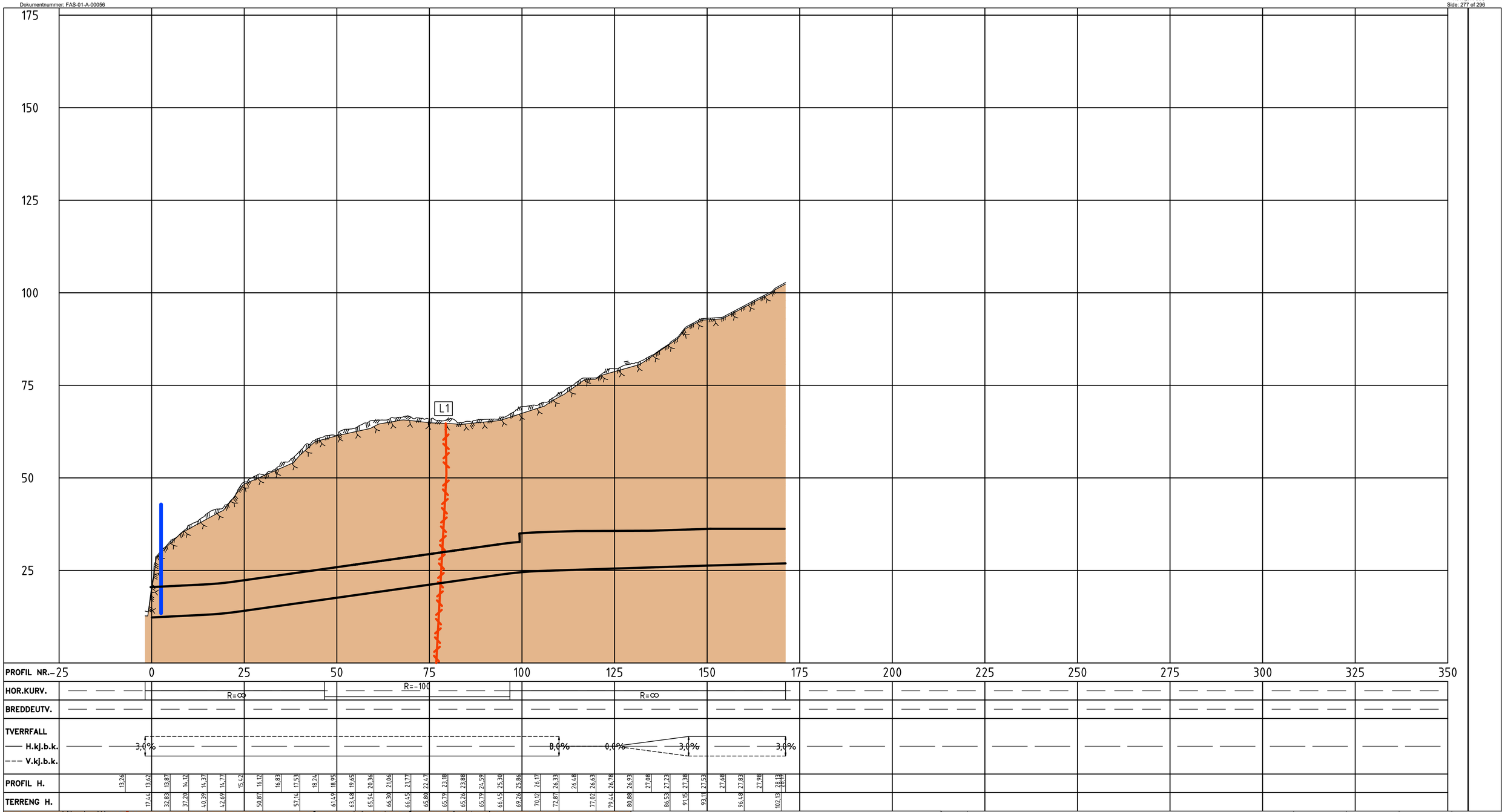
FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

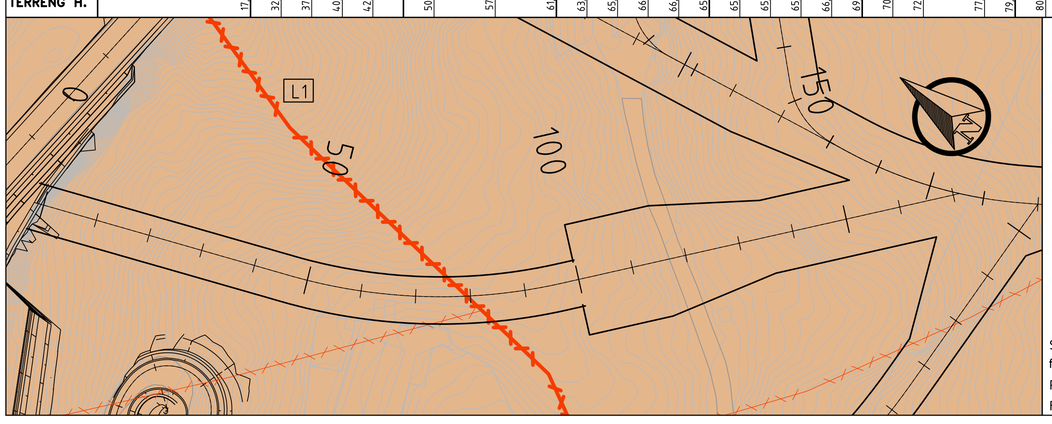
Prosjektets Tegningsnummer: V130 — Rev.: 06C

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:

BANE NOR

Statens vegvesen





Bergarter

Amfibolitt

Små lineament (<5 m)

Middels lineament (5–10 m)

NNN Lineament ID

Terrengoverflate

Bergoverflate

Påhugg

Svakhetssoner i lengdesnitt er tolket i 3D-modell i Leapfrog,
forløp mot dypet innehar usikkerheter.
Plantegning til venstre er kun for orientering.
For geologisk plantegning i målestokk 1:1000: se geologisk kartvedlegg: V010

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn FAS	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 - Ventilasjonstunnel
Langhelleneset

Lengdesnitt
Profilnummer 0-170

Målestokk	1:500 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

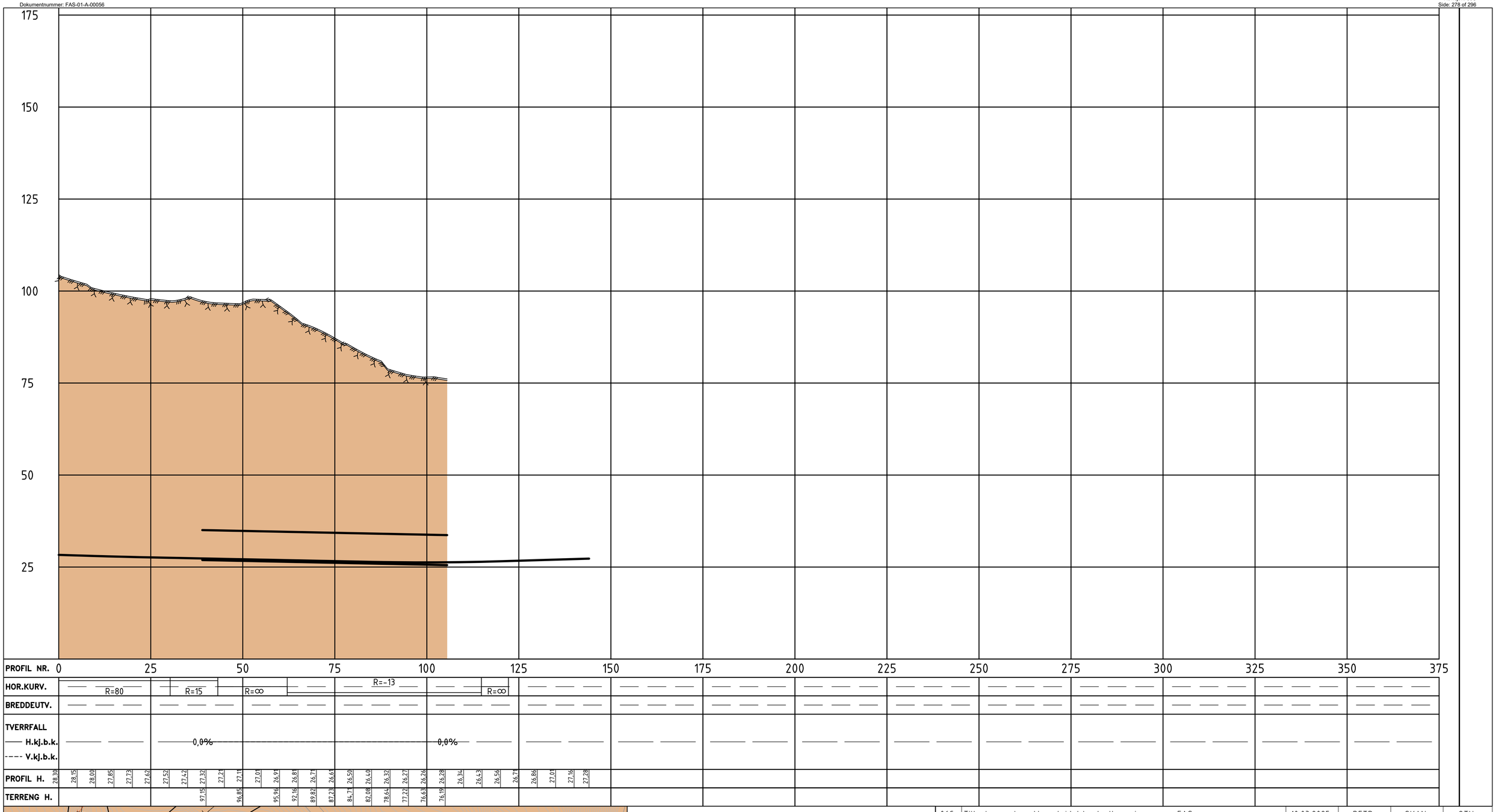
FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

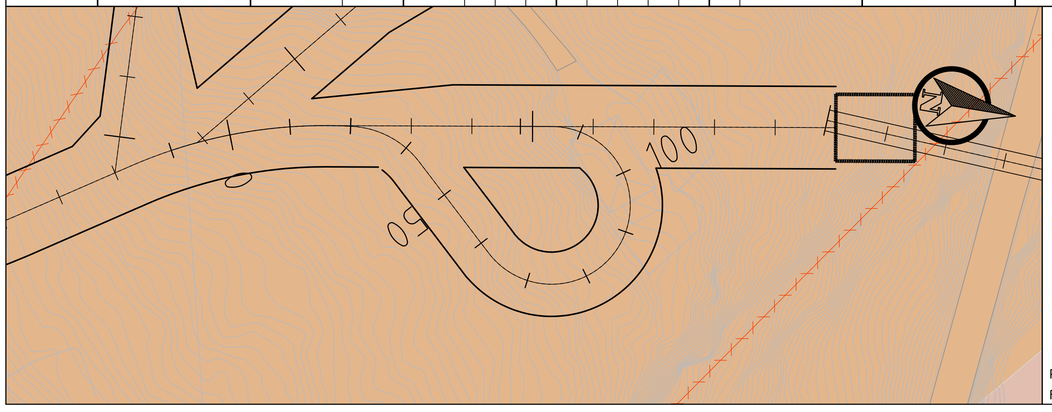
Prosjektets Tegningsnummer:	Rev.:
V140	06C

BANE NOR

Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer:	Rev.:





Bergarter

Små lineament (<5 m)

Amfibolitt

Terrengoverflate

Bergoverflate

Tippkasse

Plantegning til venstre er kun for orientering.
For geologisk plantegning i målestokk 1:1000: se geologisk kartvedlegg: V010

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn FAS	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 - Snuplass tunnel
Langhelleneset

Lengdesnitt
Profilnummer 0-115

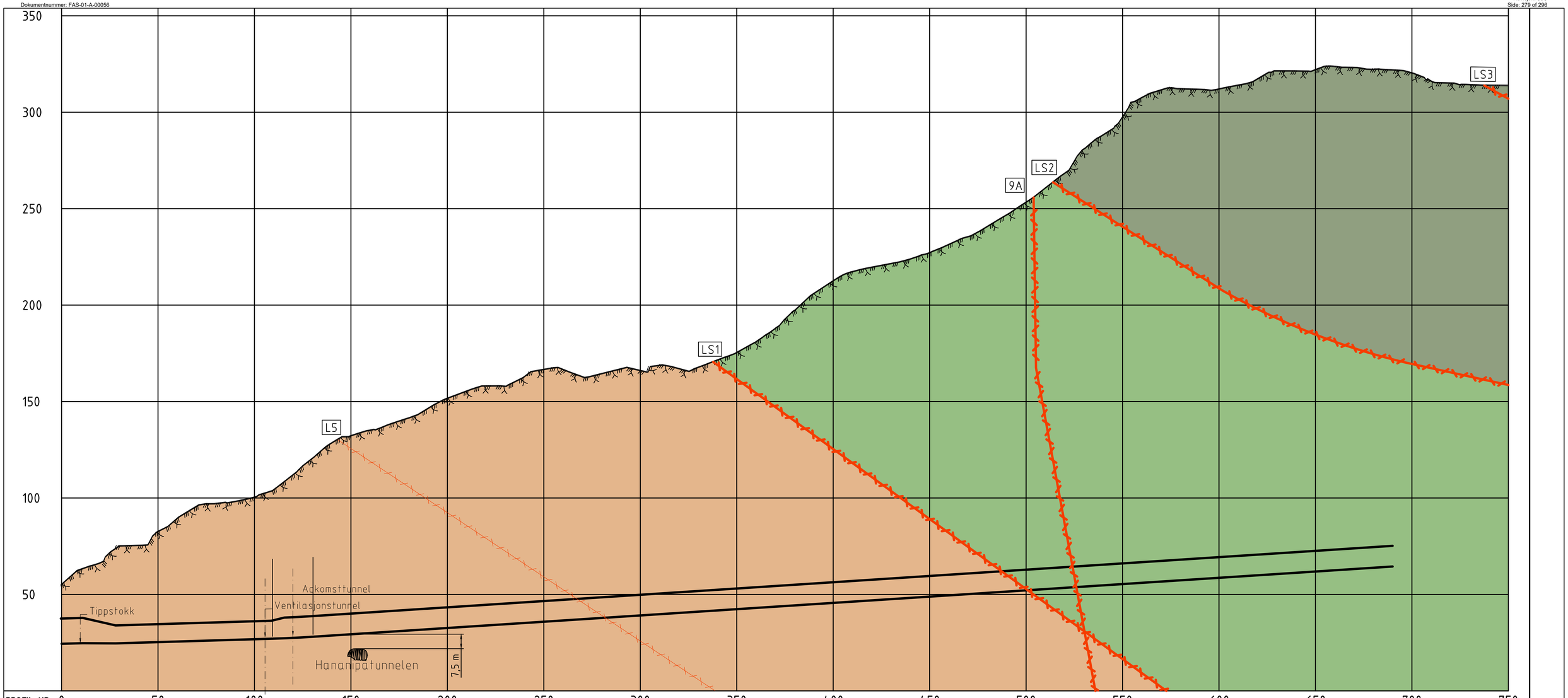
Målestokk	1:500 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

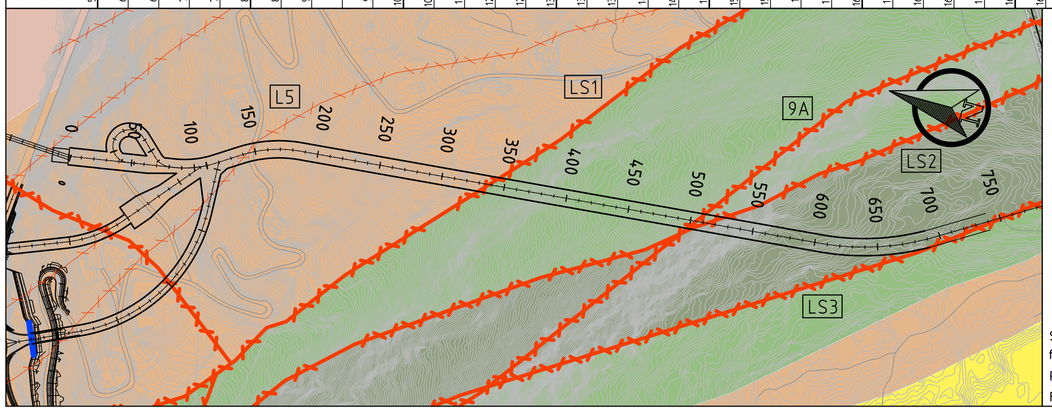
Prosjektets Tegningsnummer: V141 — Rev.: 06C

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:

BANE NOR
Statens vegvesen



PROFIL NR.	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
HOR.KURV.	R=∞		R=-80	R=∞	R=100				R=∞					R=-200		R=∞
BREDDEUTV.																
TVERRFALL H.kj.b.k.	3,0%															3,0%
TVERRFALL V.kj.b.k.																
PROFIL H.	25.00	25.30	25.68	25.99	26.20	26.50	26.80	27.10	27.40	27.70	28.00	28.30	28.69	29.26	29.91	30.56
	31.21	31.86	32.51	33.16	33.81	34.46	35.11	35.76	36.41	36.76	37.06	37.71	38.36	39.01	39.67	40.32
	40.97	41.62	42.27	42.92	43.57	44.22	44.87	45.52	46.17	46.82	47.47	48.12	48.77	49.42	50.07	50.73
	51.38	52.03	52.68	53.33	53.98	54.63	55.28	55.93	56.58	57.23	57.88	58.53	59.18	59.83	60.48	61.14
	61.79	62.44	63.09	63.74	64.39	65.04	65.69	66.34	66.99	67.64	68.02	68.33				
TERRENG H.	55.32	63.25	66.55	75.33	75.62	82.85	89.66	95.92	97.31	98.38	100.62	104.47	112.23	120.73	128.73	132.46
	135.36	138.40	141.70	146.66	151.88	155.63	158.28	158.11	163.18	166.84	166.81	163.05	164.66	167.18	166.28	168.96
	167.26	167.93	171.74	175.62	181.18	188.09	197.48	221.74	224.11	227.32	231.67	235.70	241.02	247.03	253.56	260.92
	268.56	281.18	288.50	297.79	307.81	311.77	312.35	312.04	312.27	314.24	317.51	321.65	321.59	322.26	323.93	323.40
	322.43	322.11	320.55	316.32	315.32	314.52										



Bergarter

- Anortositt
- Amfibolitt
- Glimmerskifer
- Mylonitt
- Konglomerat

- Små lineament (<5 m)
- Middels lineament (5–10 m)
- NNN Lineament ID
- Terrengoverflate
- Bergoverflate
- Påhugg

Svakhetssoner i lengdesnitt er tolket i 3D-modell i Leapfrog, forløp mot dypet innehar usikkerheter.
Plantegning til venstre er kun for orientering.
For geologisk plantegning i målestokk 1:1000: se geologisk kartvedlegg: V010–V013

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn FAS	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 - Transporttunnel
Langhelleneset

Lengdesnitt
Profilnummer 0-750

Målestokk	1:1000 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

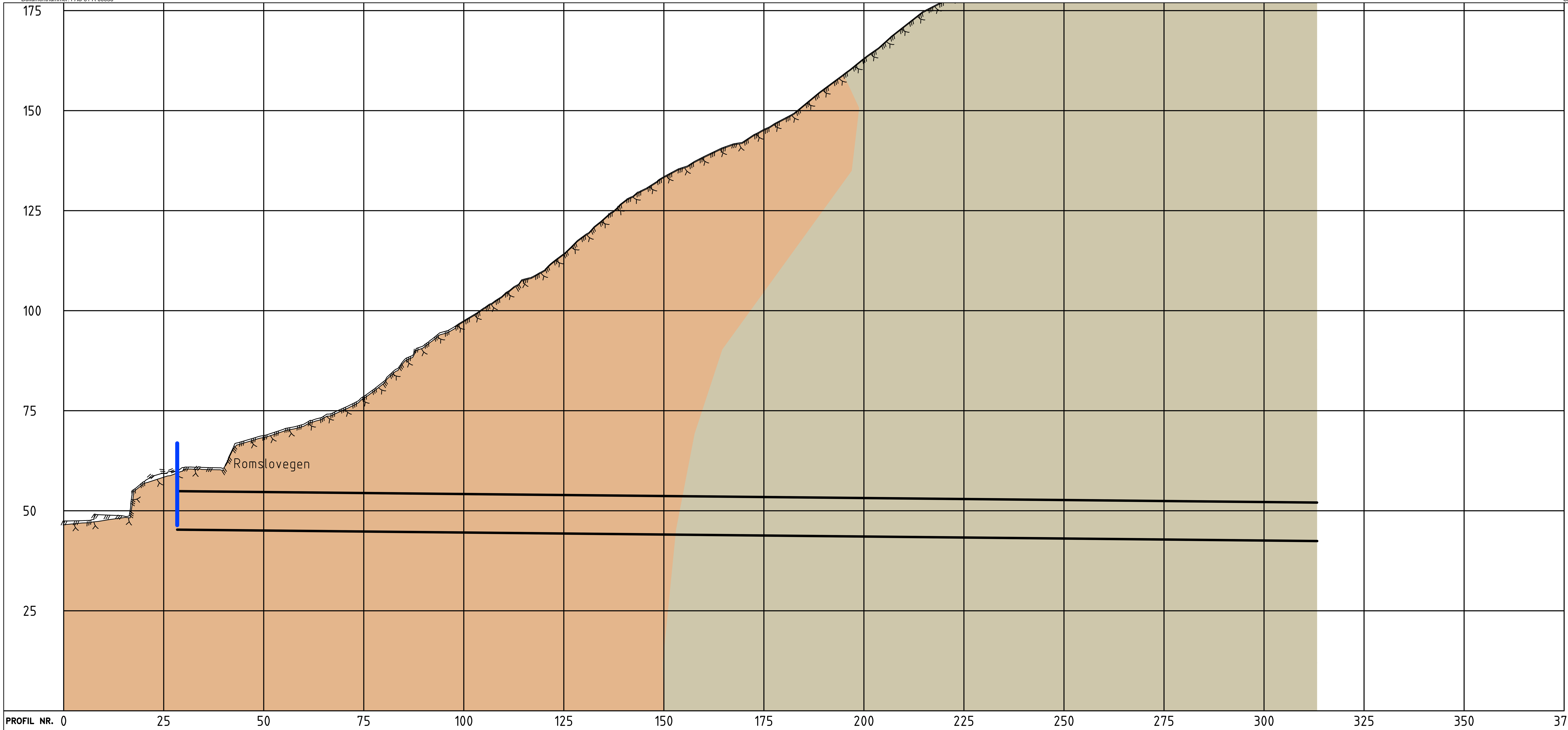
FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V150 — Rev.: 06C

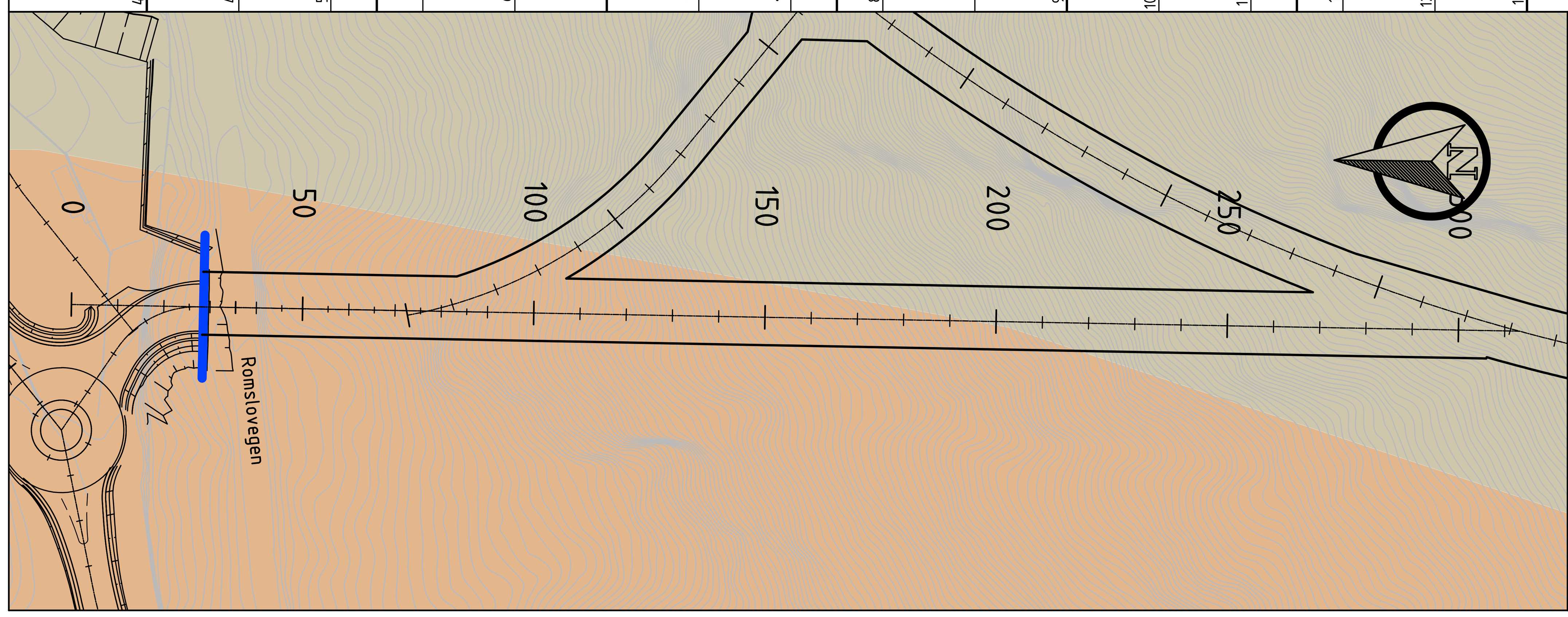
BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:

BANE NOR

Statens vegvesen



PROFIL NR.	0, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300, 325, 350, 375
HOR.KURV.	R=∞
BREDDEUTV.	
TVERRFALL —— H.kj.b.k. - - - - V.kj.b.k.	
PROFIL H.	46,52 46,50 46,40 46,30 46,20 46,10 46,00 45,90 45,80 45,70 45,60 45,50 45,40 45,30 45,20 45,10 45,00 44,90 44,80 44,70 44,60 44,50 44,40 44,30 44,20 44,10 44,00 43,90 43,80 43,70 43,60 43,50 43,40 43,30 43,20 43,10 43,05
TERRENG H.	47,44 48,96 57,24 60,81 60,67 68,81 71,64 75,70 82,32 91,33 97,49 104,02 110,04 118,71 127,28 133,51 138,51 142,33 147,99 155,42 163,07 171,05 177,45 185,06 192,85 199,47 206,22 211,99 214,56 217,81 223,42 226,86 224,48



Bergarter

Amfibolitt

Hornblendegneis

Terrengoverflate

Bergoverflate

Påhugg

Terreng- og bergoverflate fortsetter med tilsvarende stigning med økende profilnummer
Plantegning til venstre er kun for orientering.
For geologisk plantegning i målestokk 1:1000: se geologisk kartvedlegg: V020, V021

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn FAS	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 - Adkomst- og ventilasjonstunnel
Romslo

Lengdesnitt
Profilnummer 0-315

Målestokk	1:500 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

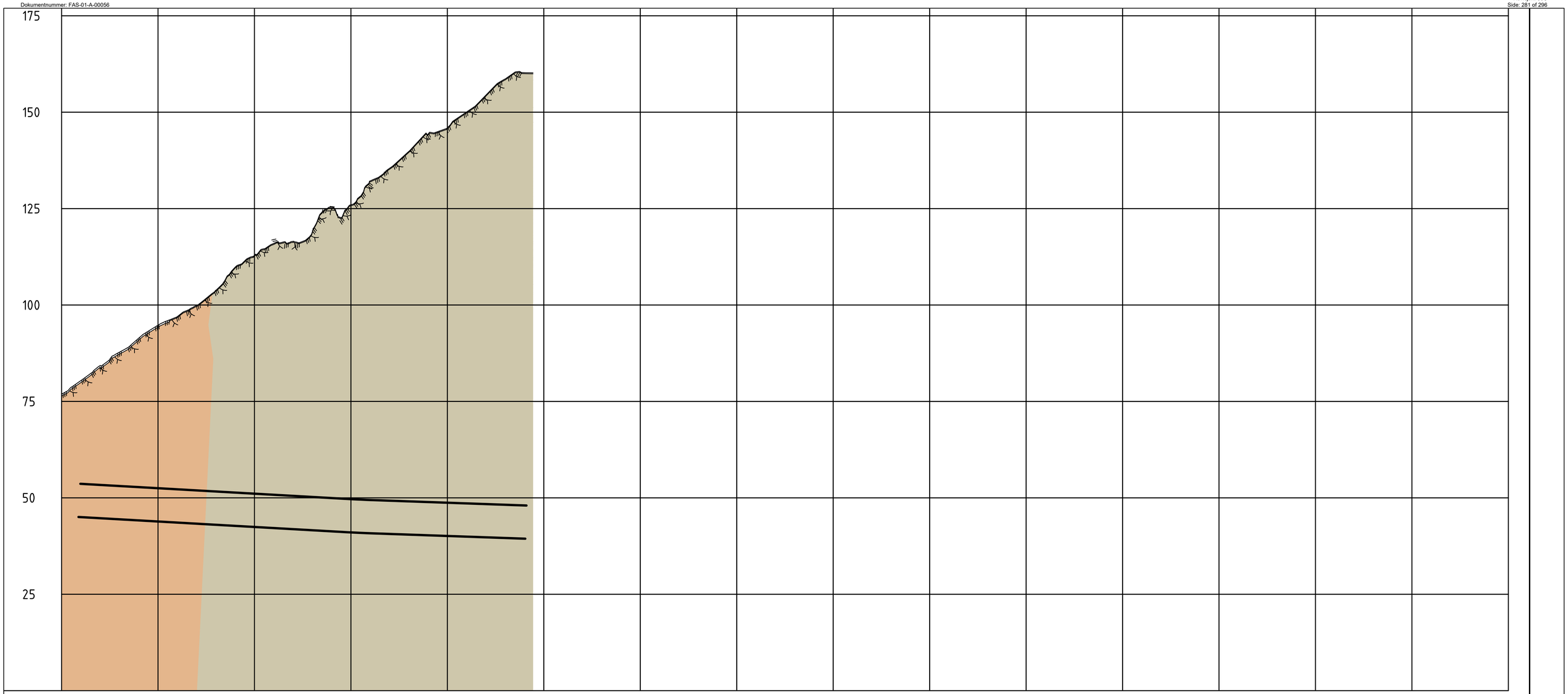
FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V160 — Rev.: 06C

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:

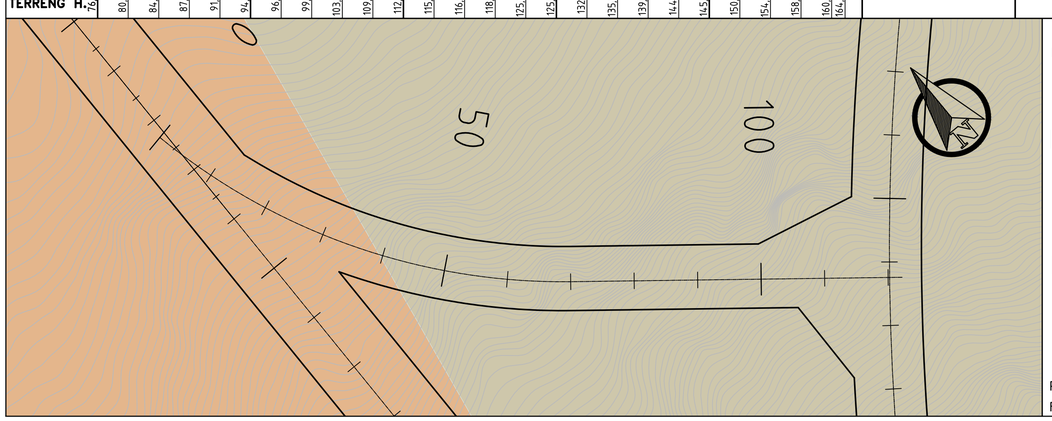
BANE NOR

Statens vegvesen



PROFIL NR.	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
HOR.KURV.				R=-100		R=∞										
BREDDEUTV.																
TVERRFALL H.kj.b.k.																
TVERRFALL V.kj.b.k.																
PROFIL H.	80,44	84,29	87,77	91,40	96,98	99,87	103,84	109,80	112,88	115,96	116,49	118,97	125,44	125,99	132,18	135,44
TERRENG H.	76,90	80,44	84,29	87,77	91,40	96,98	99,87	103,84	109,80	112,88	115,96	116,49	118,97	125,44	125,99	132,18

PROFIL H.	141,63	139,82	144,31	145,93	150,07	154,43	158,62	160,25	164,74
TERRENG H.	135,44	139,82	141,28	144,31	145,93	150,07	154,43	158,62	160,25



Bergarter

Amfibolitt

Hornblendegneis

Terrengoverflate

Bergoverflate

Plantegning til venstre er kun for orientering.
For geologisk plantegning i målestokk 1:1000: se geologisk kartvedlegg: V021

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn FAS	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 - Adkomst mot sjakt
Romslo

Lengdesnitt
Profilnummer 0-125

Målestokk	1:500 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

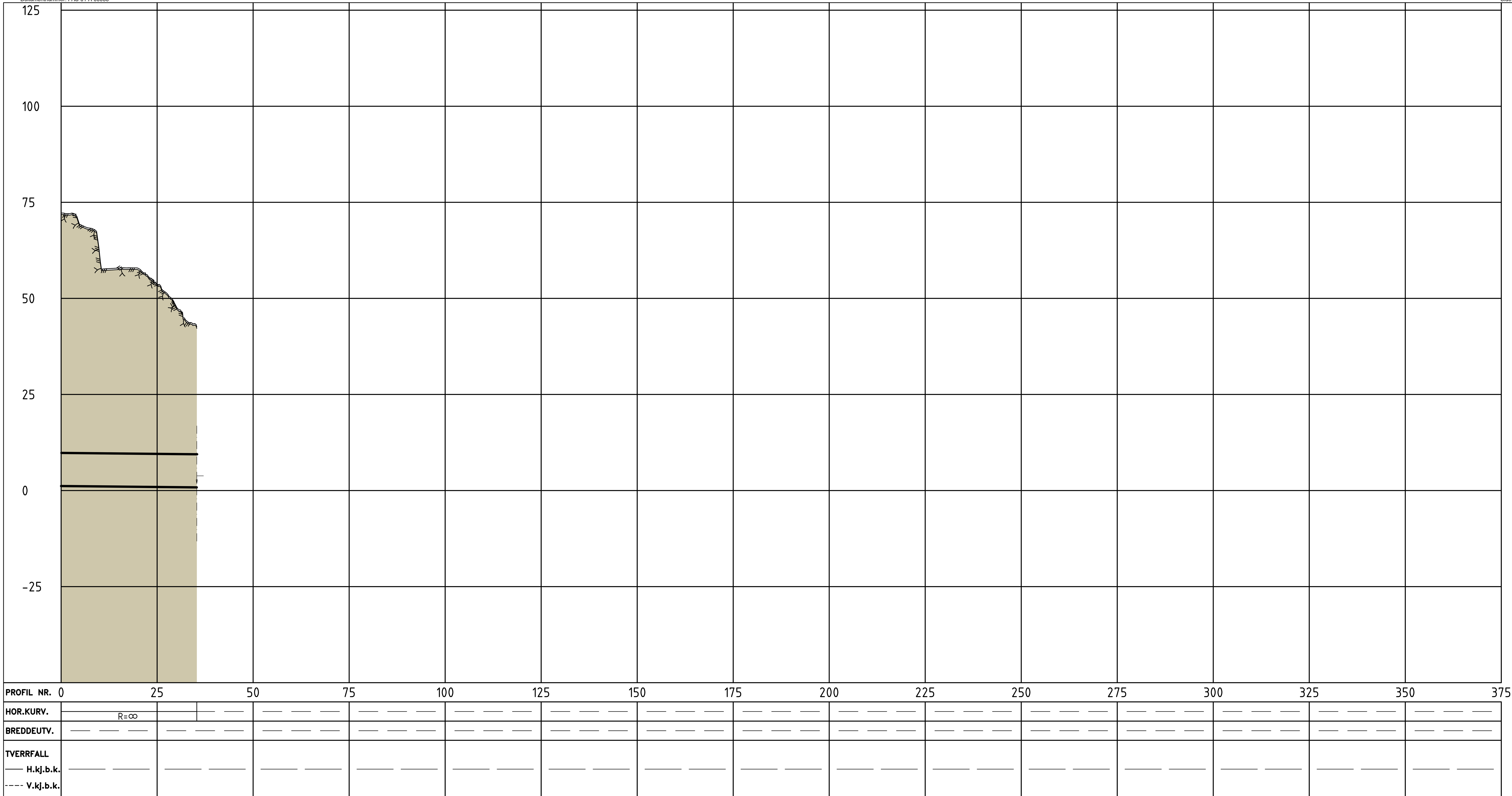
FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer:	Rev.:
V170	06C

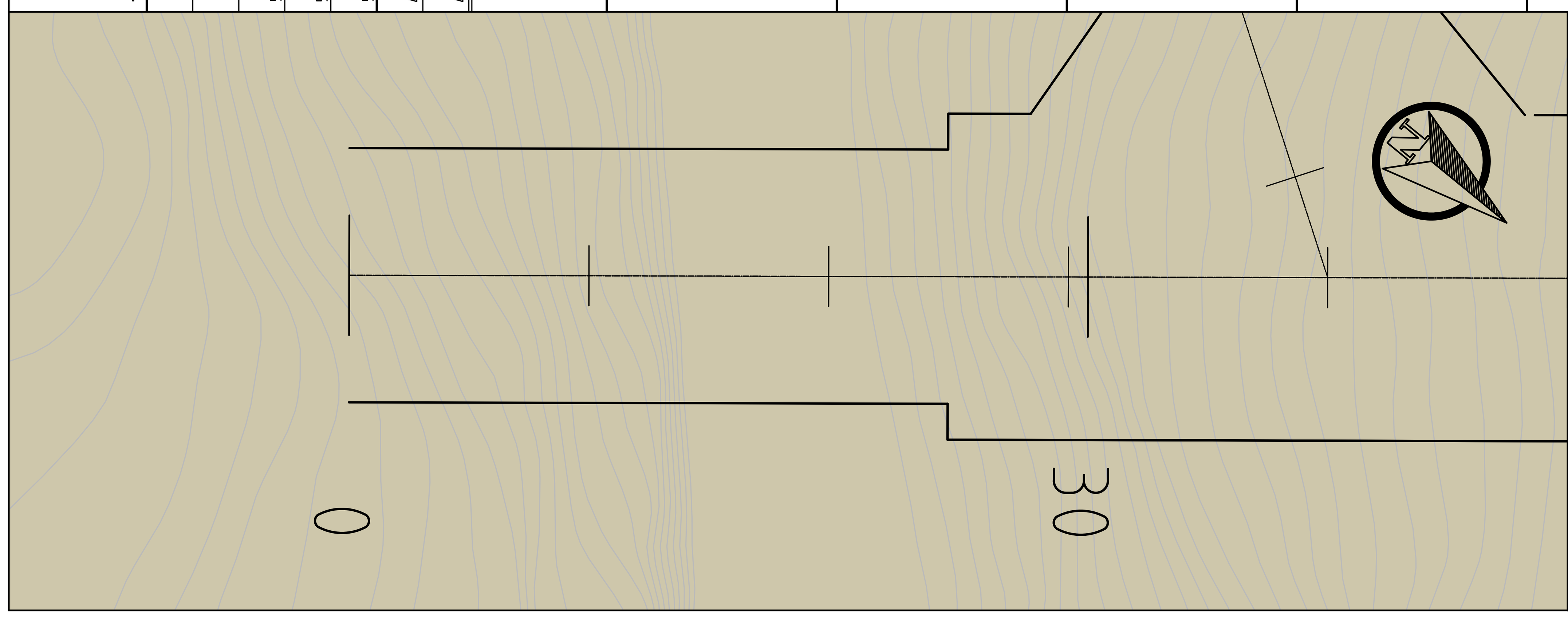
BANE NOR

Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer:	Rev.:



PROFIL H.	2,17	2,12	2,07	2,02	1,97	1,92	1,87	1,82
TERRENG H.	72,23	69,21	61,66	57,90	57,86	53,77	47,87	43,39



Bergarter

Terrengoverflate

Bergoverflate

Hornblendegneis

Plantegning til venstre er kun for orientering.
For geologisk plantegning i målestokk 1:1000: se geologisk kartvedlegg: V025

06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn FAS	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av

F01 - Vendhammer
Naustvika

Lengdesnitt
Profilnummer 0-35

Målestokk 1:500 (A1)	Fritekst 1 / Fritekst 2 / Fritekst 3
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

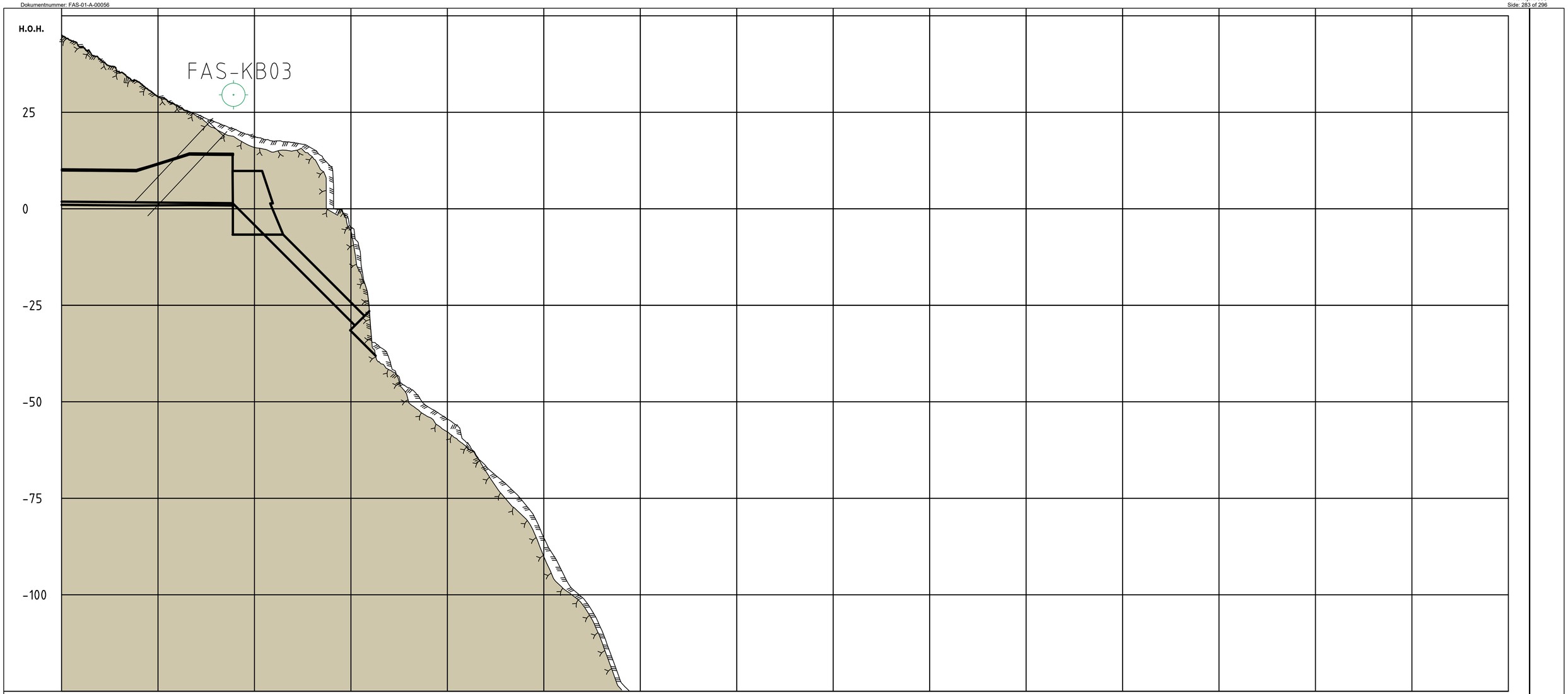
FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

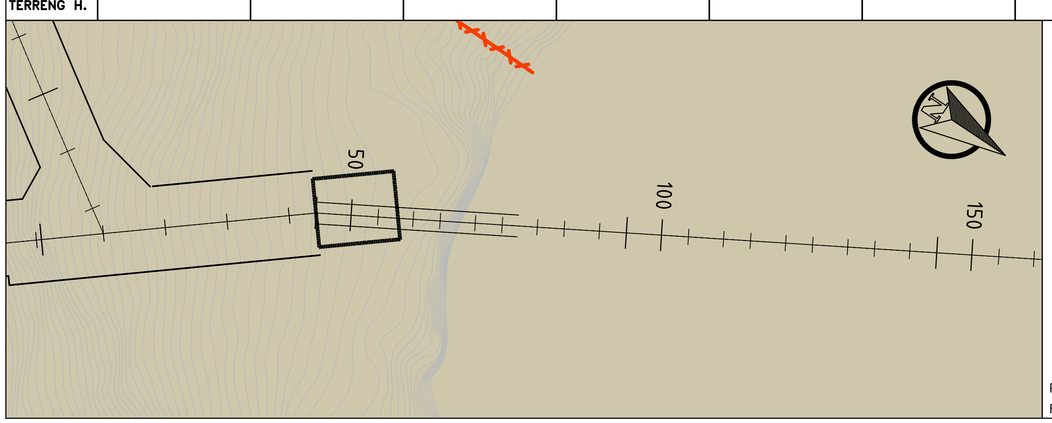
Prosjektets Tegningsnummer: V171 — Rev.: 06C

BANE NOR

Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: — Rev.:





Bergarter

Middels lineament (5–10 m)

Terrengoverflate

Bergoverflate

Hornblendegneis

Tippkasse

Kjerneboring

Plantegning til venstre er kun for orientering.
For geologisk plantegning i målestokk 1:1000: se geologisk kartvedlegg: V025

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn FAS	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 – Tipphall og sjakt
Naustvika

Lengdesnitt
Profilnummer 0-80 (profilnummer for tipphall)

Målestokk	1:500 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

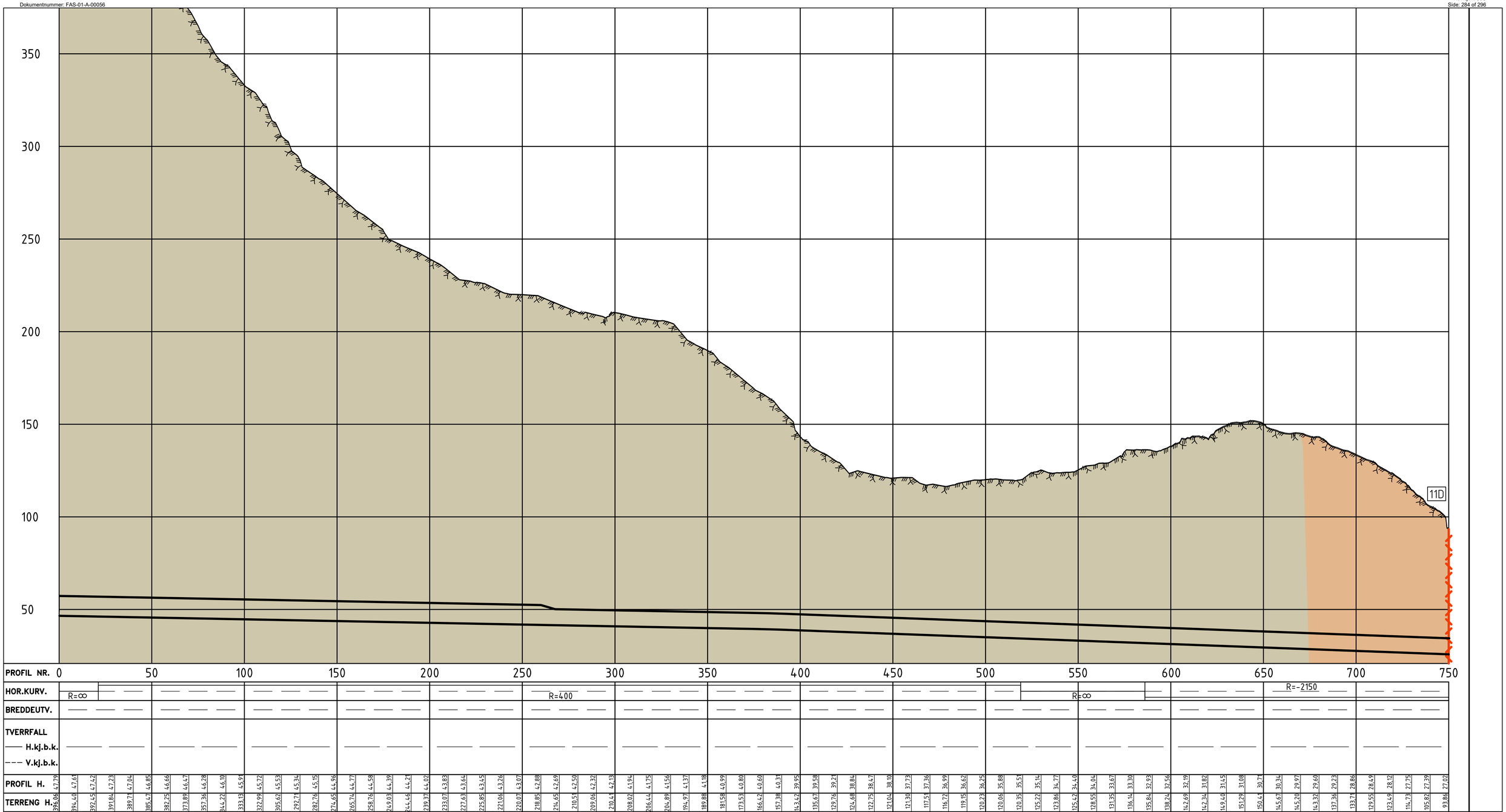
FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

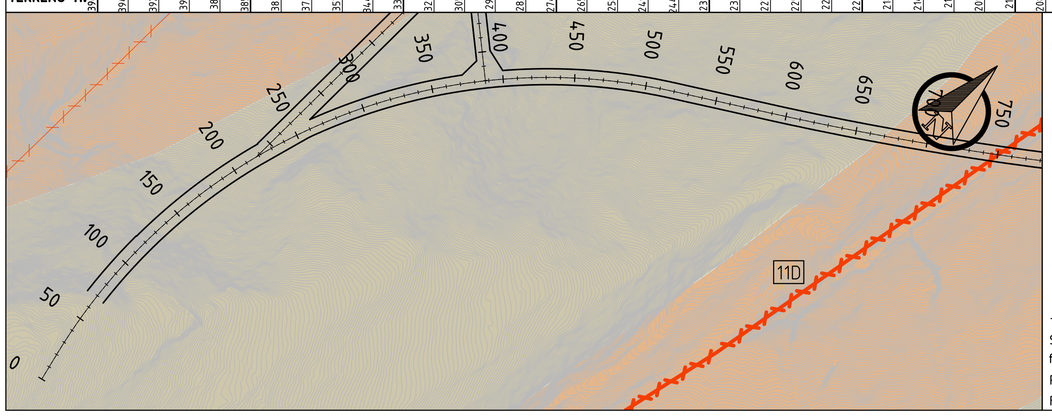
Prosjektets Tegningsnummer:	Rev.:
V172	06C

BANE NOR

Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer: | Rev.:





Bergarter

Middels lineament (5–10 m)

NNN Lineament ID

Amfibolitt

Terrengoverflate

Bergoverflate

Hornblendegneis

Terreng- og bergoverflate flater ut med avtagende profilnummer (ca. prof.nr. 0-70)
Svakhetssoner i lengdesnitt er tolket i 3D-modell i Leapfrog,
forløp mot dypet innehar usikkerheter.
Plantegning til venstre er kun for orientering.
For geologisk plantegning i målestokk 1:1000: se geologisk kartvedlegg: V020, V021, V022

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn FAS	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 - Transporttunnel
Romslo/ Naustvika

Lengdesnitt
Profilnummer 0-750

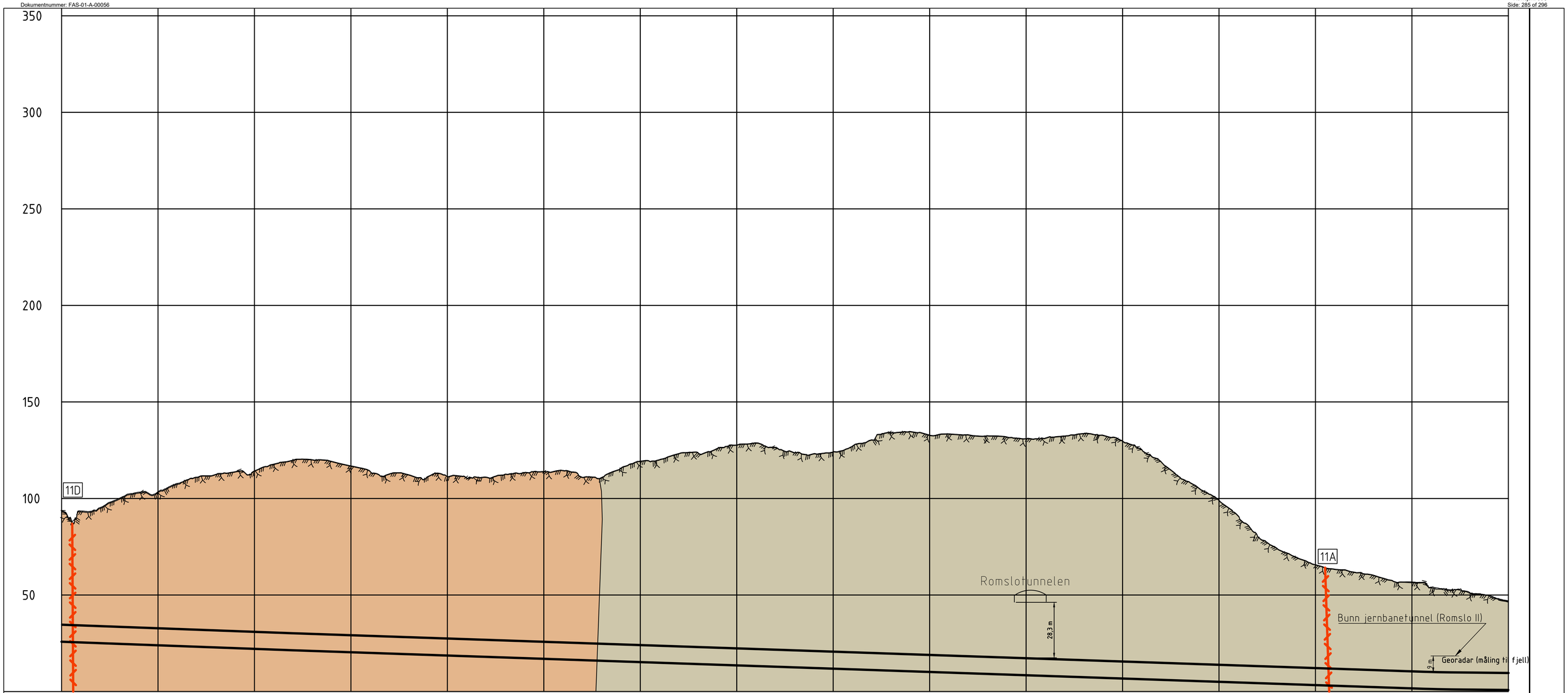
Målestokk	1:1000 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V180
Rev.: 06C

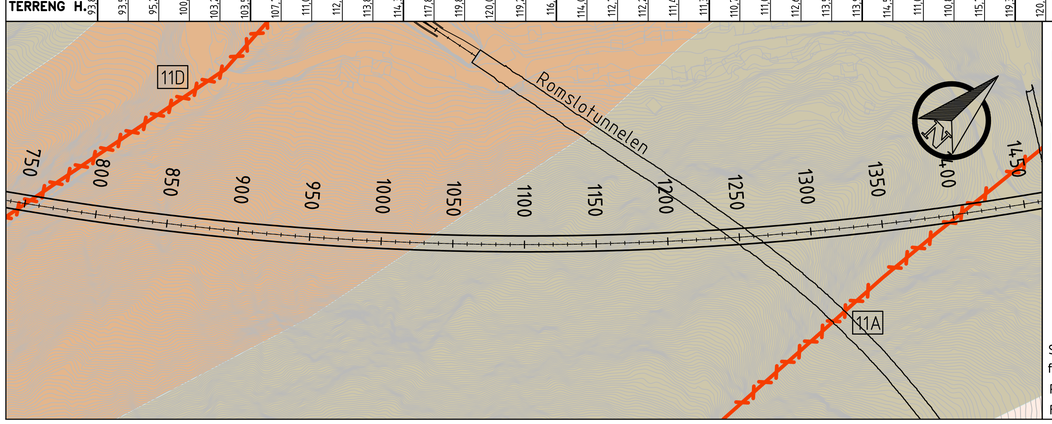
BANE NOR Tegningsnummer:
Rev.:

BANE NOR
Statens vegvesen



PROFIL NR.	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
HOR.KURV.								R=-2150								
BREDDEUTV.																
TVERRFALL																
—— H.kj.b.k.																
---- V.kj.b.k.																
PROFIL H.	27,02	26,65	26,28	25,91	25,54	25,17	24,80	24,43	24,06	23,69	23,32	22,95	22,59	22,28	21,96	21,64
TERRENG H.	93,86	93,53	95,28	100,11	103,22	103,52	107,77	111,05	112,51	113,89	114,30	117,82	119,80	120,09	119,25	116,91

PROFIL NR.	1450	1500
PROFIL H.	2,54	
TERRENG H.	46,81	



Bergarter

- Amfibolitt
- Hornblendegneis
- Middels lineament (5–10 m)
- NNN Lineament ID
- Terrengoverflate
- Bergoverflate

Svakhetssoner i lengdesnitt er tolket i 3D-modell i Leapfrog, forløp mot dypet innehar usikkerheter.
Plantegning til venstre er kun for orientering.
For geologisk plantegning i målestokk 1:1000: se geologisk kartvedlegg: V022-V025

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn FAS	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 - Transporttunnel
Romslo/ Naustvika

Lengdesnitt
Profilnummer 750-1500

Målestokk	1:1000 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

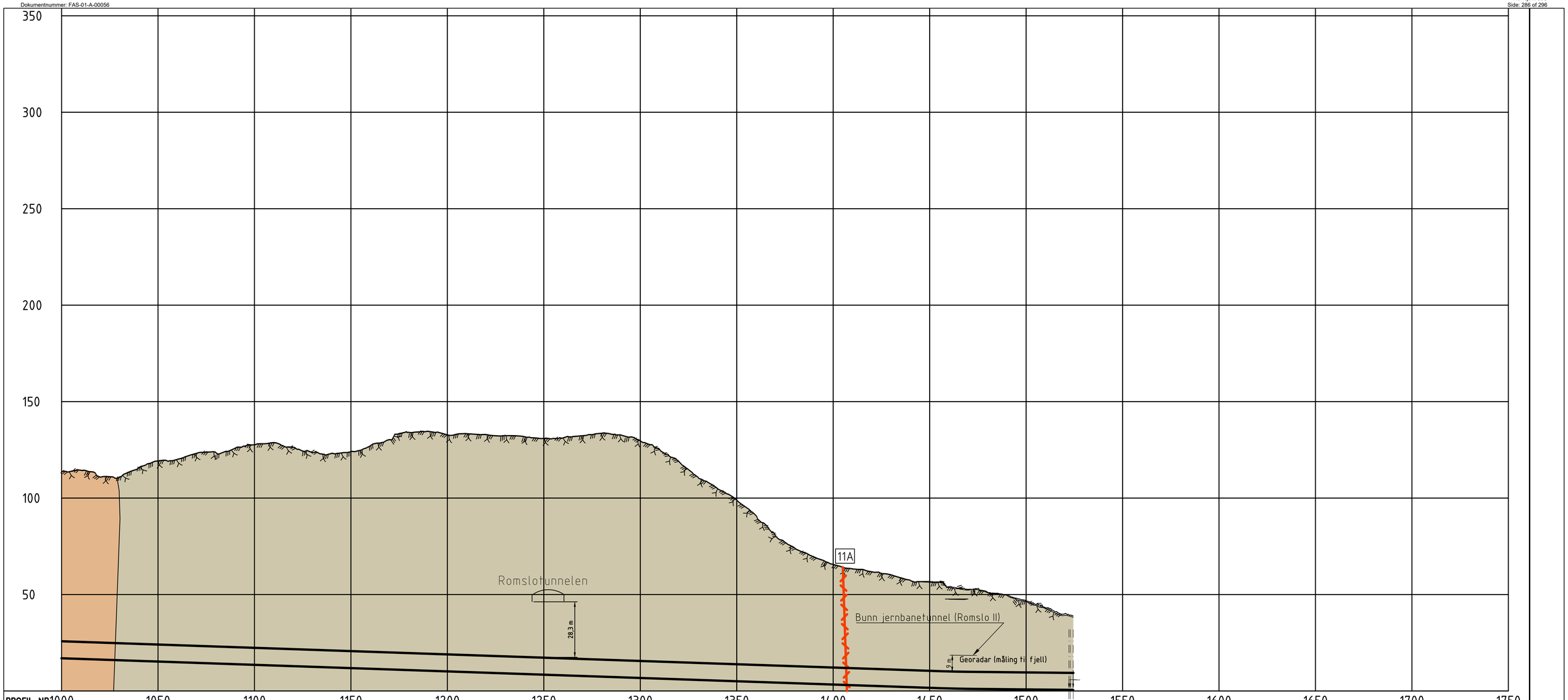
FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

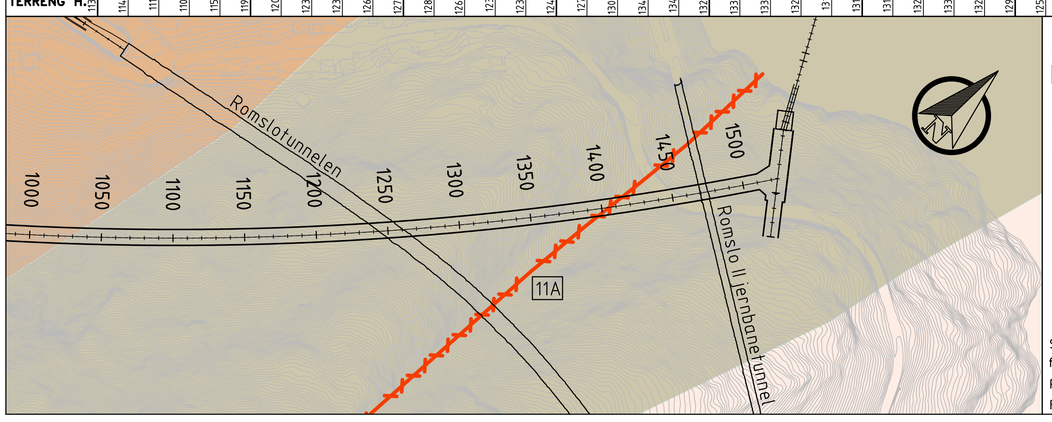
Prosjektets Tegningsnummer:	Rev.:
V181	06C

BANE NOR

Statens vegvesen

BANE NOR Tegningsnummer:	Rev.:





Bergarter

- Granittisk gneis
- Amfibolitt
- Hornblendegneis

Middels lineament (5–10 m)

NNN Lineament ID

Terrengoverflate

Bergoverflate

Svakhetssoner i lengdesnitt er tolket i 3D-modell i Leapfrog, forløp mot dypet innehar usikkerheter.

Plantegning til venstre er kun for orientering.

For geologisk plantegning i målestokk 1:1000: se geologisk kartvedlegg: V023, V024, V025

Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Tegnet av	Kontrollert av	Godkjent av
06C	Tilbudsgrunnlag etter utvidet kontroll og gjennomsyn FAS	10.03.2025	BETR	SKAN	OTH

F01 - Transporttunnel
Romslo/ Naustvika

Lengdesnitt
Profilnummer 1000-1525

Målestokk	1:1000 (A1)
Fritekst 1	
Fritekst 2	
Fritekst 3	
Produsent	COWI
Prod.tegn.nr.	
Erstatning for	
Erstattet av	

FELLESPROSJEKTET ARNA - STANGHELLE
FORBEREDENDE ARBEIDER

Prosjektets Tegningsnummer: V182

Rev.: 06C

BANE NOR Tegningsnummer:

Rev.:

BANE NOR

Statens vegvesen

STATENS VEGVESEN OG BANE NOR

VEDLEGG 4

INJEKSJONSSKJERMER

TIL FAS-01-A-00056 E1 INGENIØRGEOLOGISK FAGRAPPORT
ANLEGGSTUNNELER OG SJAKTER

ADRESSE COWI A/S
Karvesvingen 2
0579 Oslo
Norge

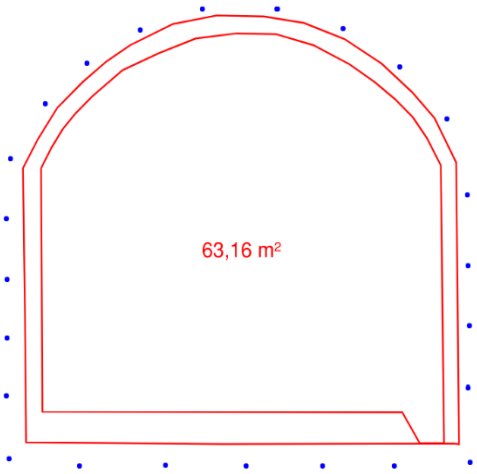
WWW cowi.com

OPPDRAGSNR.	DOKUMENTNR.
A244927	

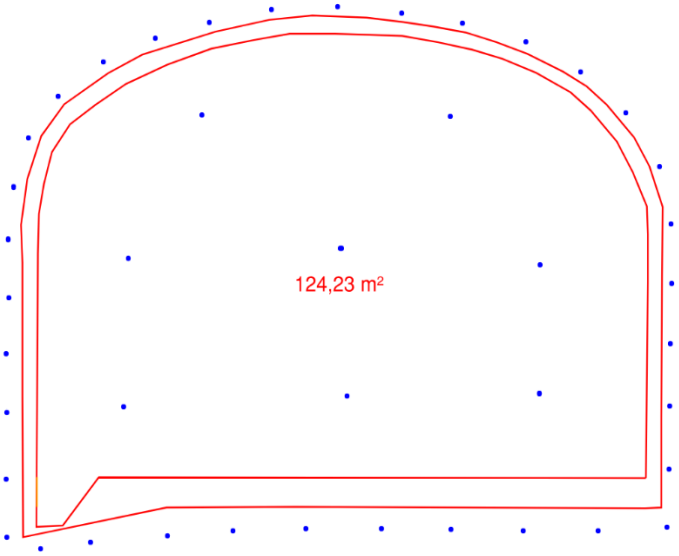
VERSJON	UTGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET	KONTROLLERT	GODKJENT
06C	10.03.2025	Vedlegg til fagrapport ingeniørgeologi	MGLG	SKAN	OTH

Aktuelle tunnelgeometrier Langhelleneset

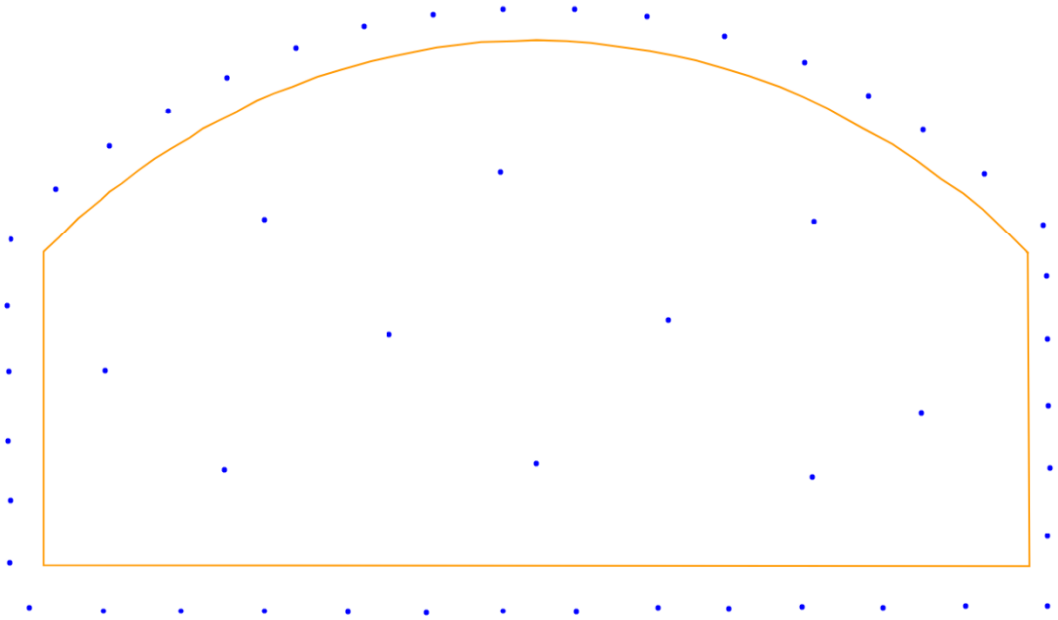
Adkomsttunnel Langhelleneset 24 hull



Transporttunnel mot hovedløp Langhelleneset



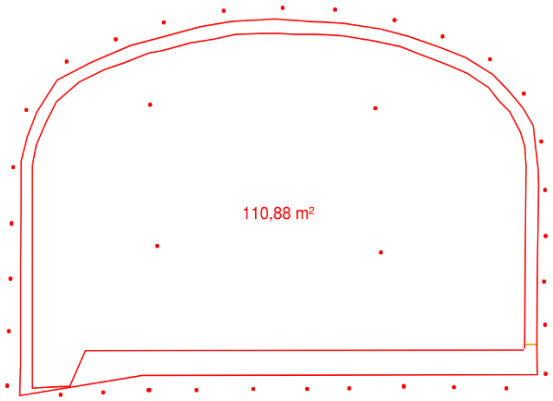
Ventilasjonshall Gamle Fossen og Langhelleneset 50 hull



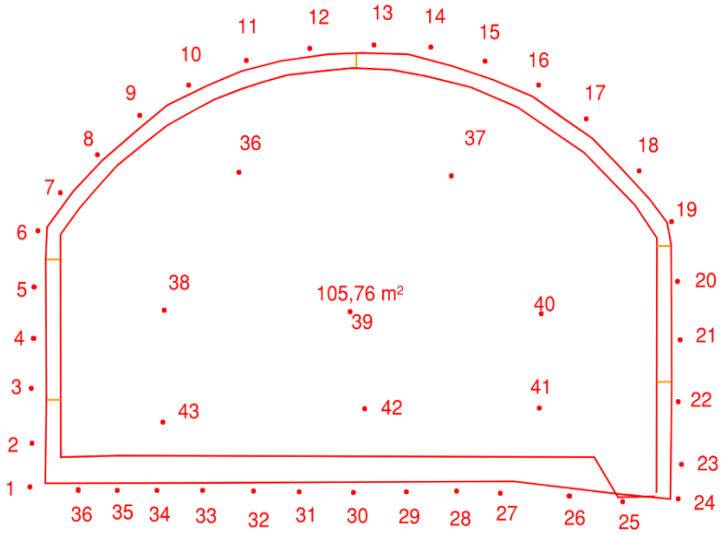
Skisse av mulig borplan. Endelig borplan for injeksjon bestemmes av byggherre og entreprenør basert på stedlige forhold.

Aktuelle tunnelgeometrier Romslo og Naustvika

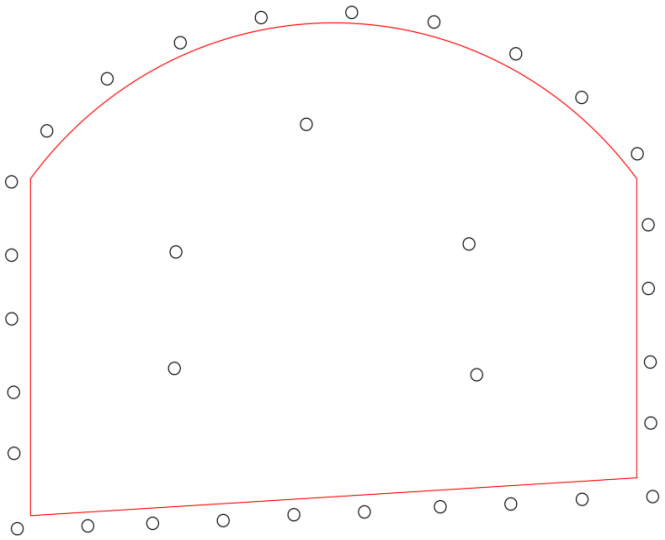
Adkomst Romslo 36 hull



Transporttunnel mot hovedløp Romslo

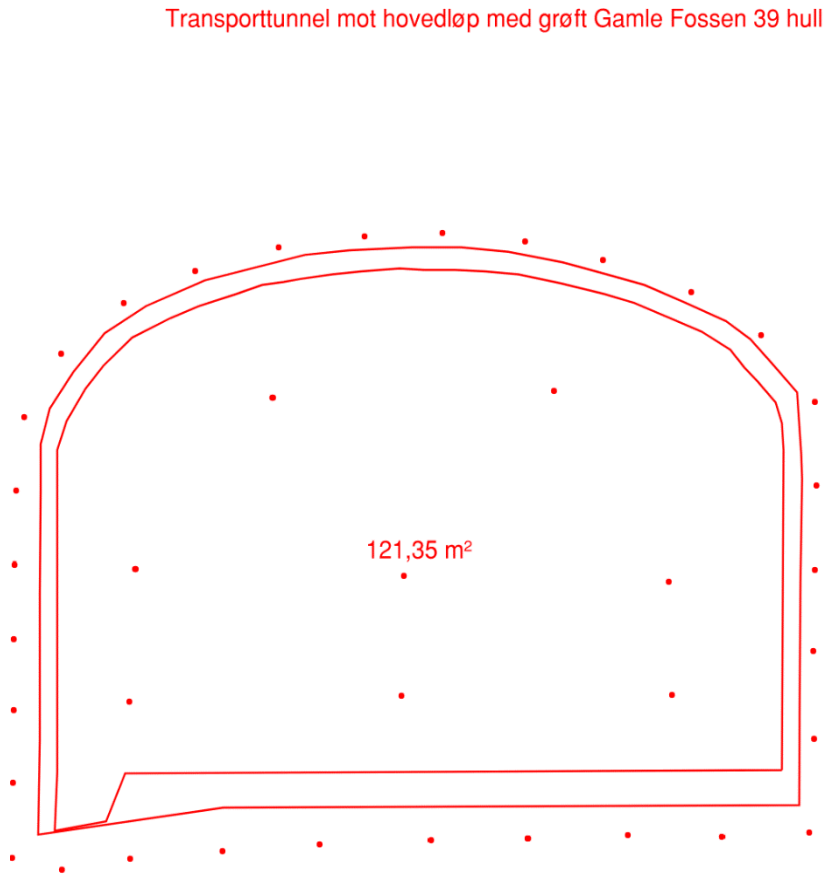


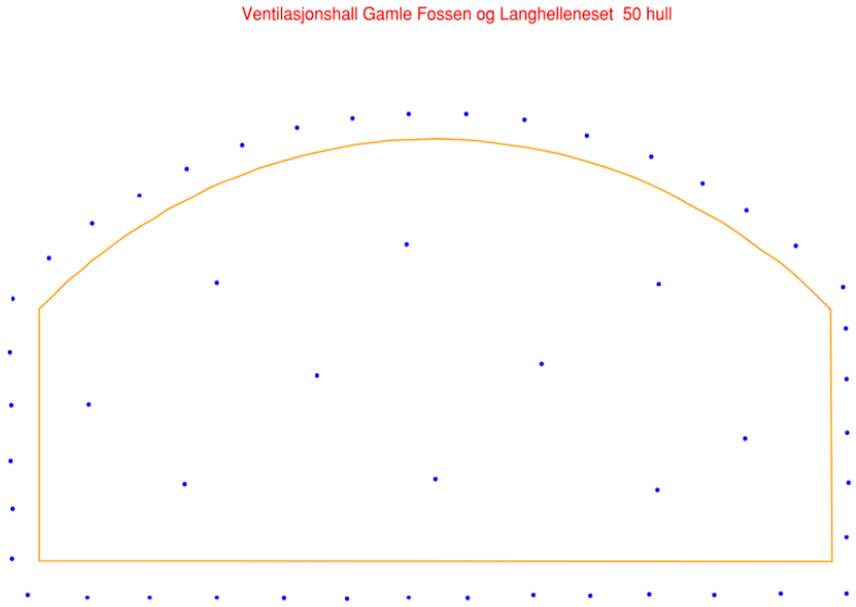
Transporttunnel mot sjakt
-33 hull.



Skisse av mulig borplan. Endelig borplan for injeksjon bestemmes av byggherre og entreprenør basert på stedlige forhold.

Aktuelle tunnelgeometrier Gamle Fossen





Skisse av mulig borplan. Endelig borplan for injeksjon bestemmes av byggherre og entreprenør basert på stedlige forhold.

STATENS VEGVESEN OG BANE NOR

ADRESSE COWI A/S
Karvesvingen 2
0579 Oslo
Norge

WWW cowi.com

VEDLEGG 5

STABILITETSBEREGNING PLAN UTGLIDNING LANGHELLENESET

TIL FAS-01-A-00056 FAGRAPPORT INGENIØRGEOLOGI
ANLEGGSTUNNELER OG SJAKTER

OPPDRAGSNR.	DOKUMENTNR.
A244927	

VERSJON	UTGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET	KONTROLLERT	GODKJENT
06C	10.03.2025	Vedlegg til ingeniørgeologisk fagrapport	MGLG	SKAN	OTH

Vedlegg 5 Stabilitetsberegning plan utglindning

			Enhet	Formel
Sprekkegeometri				
β	Sprekkeplanets fallvinkel	55	°	
Konstanter				
g	Tyngdeakselerasjon	9,81	m/s²	
Bergblokk				
	Bergets densitet(massetetthet)	2700	kg/m³	
V	Blokkvolum	127	m³	
ρ_b	Bergets tyngdetetthet	26,5	kN/m³	
G	Blokkens masse	3363,8	kN	$G=V\rho_b$
Sprekkefriksjon				
ϕ_k	Karakteristisk friksjonsvinkel i grader	28	°	
$\tan(\phi_k)$	Karakteristisk friksjonsvinkel	0,53		
γ_ϕ	Partialfaktor skjærfasthet	1,25		
Vanntrykk				
H	Høyde	22	m	
ρ_v	Tyngdetetthet vann	10	kN/m³	
γ_v	Partialfaktor tyngdetetthet vann	1		
U_d	Dimensjonerende vanntrykk	1477,1	kN	$U_d=H^2\rho_v\gamma_v/4\sin\beta$
Jordskjelv				
a_{gr}	akselerasjon	0,5	m/s²	
γ_I	Partialfaktor for seismisk akselerasjon	1,25		
Sf	Forsterkningsfaktor	1,0		
a_g	Dimensjonerende grunnakselerasjon	0,625	m/s²	$a_g=a_{gr}\gamma_I$
F_a	Dimensjonerende kraft i horisontalplanet	107,156	kN	$F_a=0,5*a_g/g*Sf*G$
Bolter				
	Står boltene på strekk?	ja		Ja/Nei
T_c	Karakteristisk boltekraft, strekk	3200	kN	
γ_s	Materialfaktor bolter	1,15		
T_d	Dimensjonerende boltekraft, strekk	2782,6	kN	$T_d=T_c/\gamma_s$
$T_{d,sk}$	Dimensjonerende boltekraft, skjær	0	kN	$T_{d,sk}=T_c/(2\gamma_s)$
α	Vinkelen mellom bolten (T) og sprekkeplanet (30°-50°)	41	°	
γ_G	Partialfaktor for gunstig permanent last	1		
	Boltekapasitet pr bolt, (strekk)	402	kN	Ø32mm, fullt instøpt
	Antall bolter	8	stk	$=T_c$/boltekapasitet pr bolt
Last fra konstruksjoner				
F_{ck}	Karakteristisk last	190	kN	
γ_f	Partialfaktor last	1,3		
F_{dk}	Dimensjonerende last	247	kN	$F_{dk}=F_{ck}\gamma_f$
Stabiliserende krefter				
G_n	Blokkens kraft i normalspenningsretningen	1929,4	kN	$G_n=G\cos\beta$
U_n	Vanntrykk dimensjonerende	1477,1	kN	$U_n=U_d$
F_n	Seismisk påvirkning på normalspenning	87,8	kN	$F_n=F_a\sin\beta$
T_n	Kraftbidrag til normalspenning fra sikringen	1825,6	kN	$T_n=T_d\gamma_G\sin\alpha$
F_{nk}	Last fra konstruksjoner i normalspenningsretningen	141,7	kN	$F_{sk}=F_{dk}\cos\beta$
$\tan(\phi_d)$	Dimensjonerende friksjonsvinkel	0,4		$\tan\phi_d=\tan\phi_k/\gamma_\phi$
T_s	Boltekraft langs bruddplan	2100,1	kN	$T_s=T_d\gamma_G\cos\alpha$
$T_{s,sk}$	Boltekraft langs bruddplan, skjær	0	kN	$T_{s,sk}=T_{d,sk}$
Drivende krefter				
G_s	Blokkens kraft i skjærplanet	2755,5	kN	$G_s=G\sin\beta$
F_s	Dimensjonerende seismisk kraft i skjærplanet	61,5	kN	$_{Fs}=F\cos\beta$
F_{sk}	Last fra konstruksjoner på skjærplanet	202,3	kN	$F_{sk}=F_{dk}\sin\beta$
Stabilitetskontroll				
	Stabiliserende krefter	3091,9	kN	$\sum R_d=(G_n-U_n-F_n+T_n+F_{nk})\tan\phi_d+T_s+T_{s,sk}$
	Drivende krefter	3019,3	kN	$\sum F_d=G_s+F_s+F_{sk}$

Er stabiliserende krefter større enn drivende krefter? TRUE

STATENS VEGVESEN OG BANE NOR

VEDLEGG 6

TUNNELTVERRSNITT

TIL FAS-01-A-00056 E1 FAGRAPPORT INGENIØRGEOLOGI
ANLEGGSTUNNELER OG SJAKTER

ADRESSE COWI A/S
Karvesvingen 2
0579 Oslo
Norge

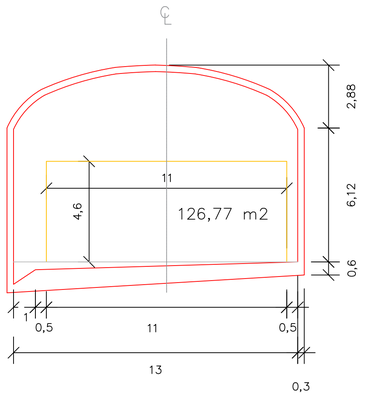
WWW cowi.com

OPPDRAGSNR.	DOKUMENTNR.
A244927	

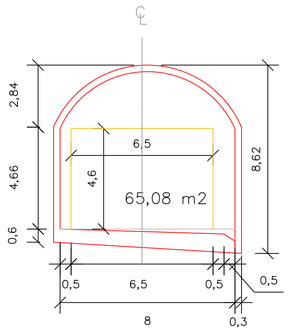
VERSJON	UTGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET	KONTROLLERT	GODKJENT
06C	10.03.2025	Vedlegg til ingeniørgeologisk fagrapport	MGLG	SKAN	OTH

Gamle Fossen

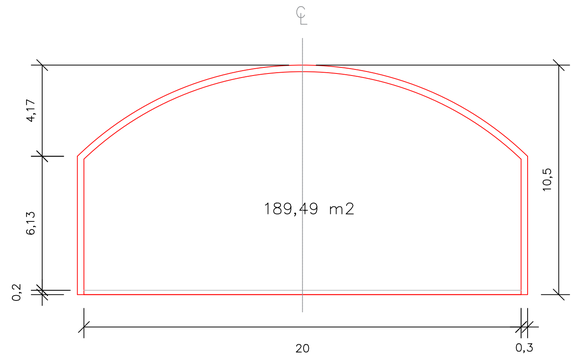
Transporttunnel mot hovedløp



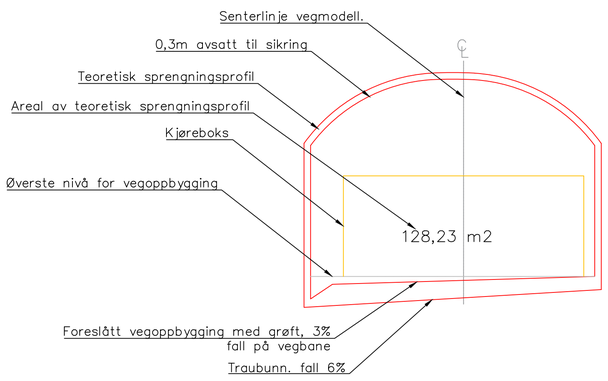
Ventilasjonstunnel



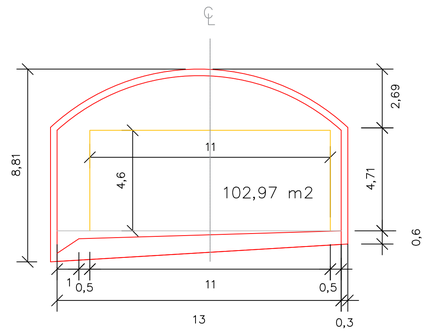
Ventilasjonshall



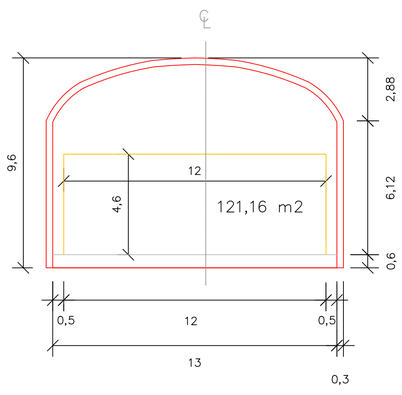
Tegnforklaring



Transporttunnel fra sjø

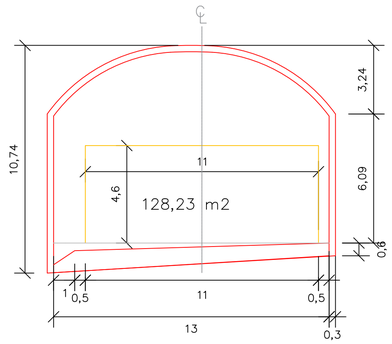


Ventilasjonstunnel mot tr. tunnel

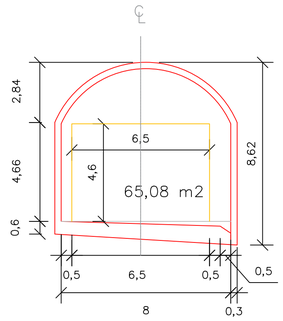


Langhelleneset

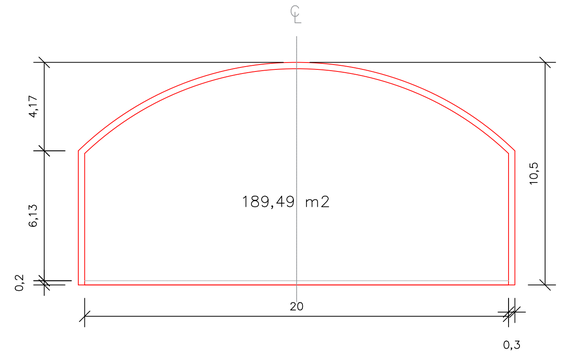
Transporttunnel mot hovedløp



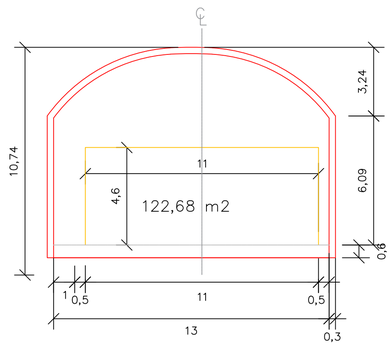
Ventilasjonstunnel mot påhugg



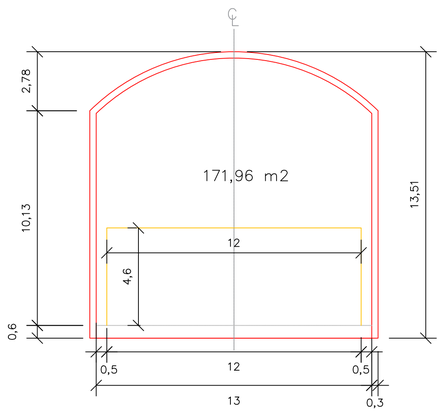
Ventilasjonshall



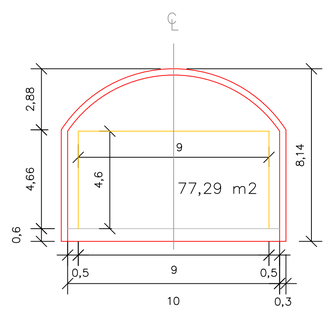
Ventilasjonstunnel mot transporttunnel



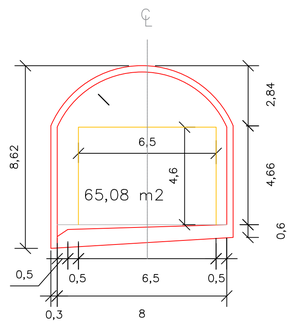
Tipphall



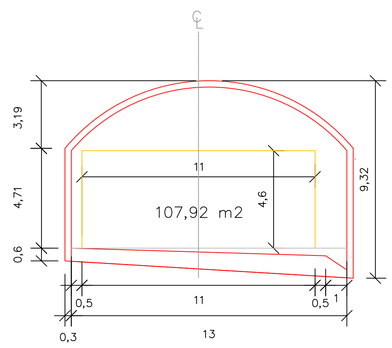
Snuplass



Adkomsttunnel

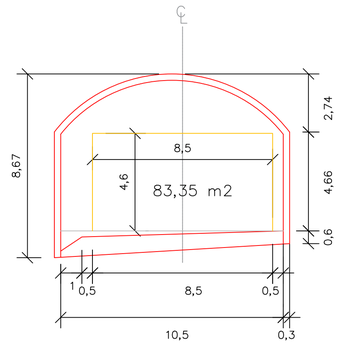


Transporttunnel mot sjakt

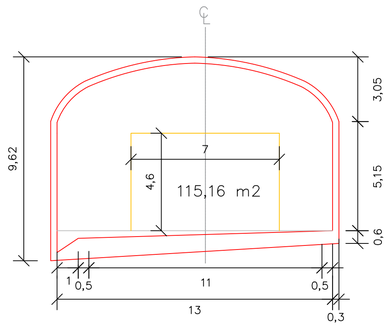


Romslo

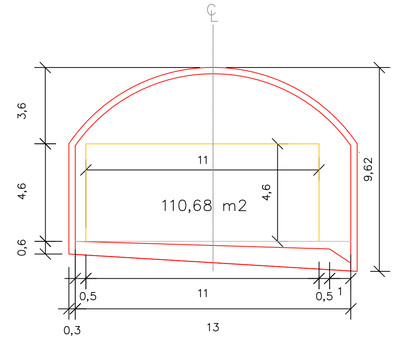
Transporttunnel mot sjakt



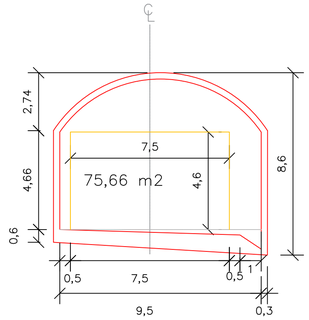
Adkomsttunnel mot hovedløp



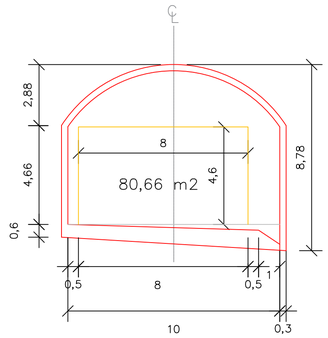
Tipphall med lavt tak



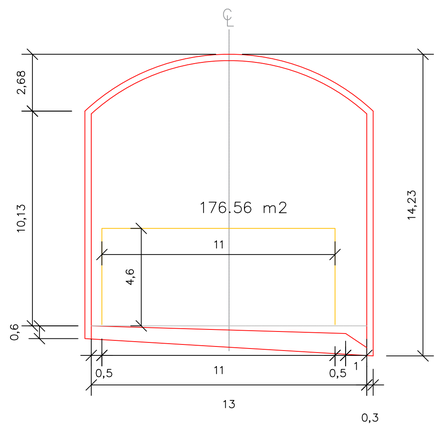
Adkomsttunnel mot sjakt



Vendehammer



Tipphall med høyt tak



Transporttunnel mot hovedløp

