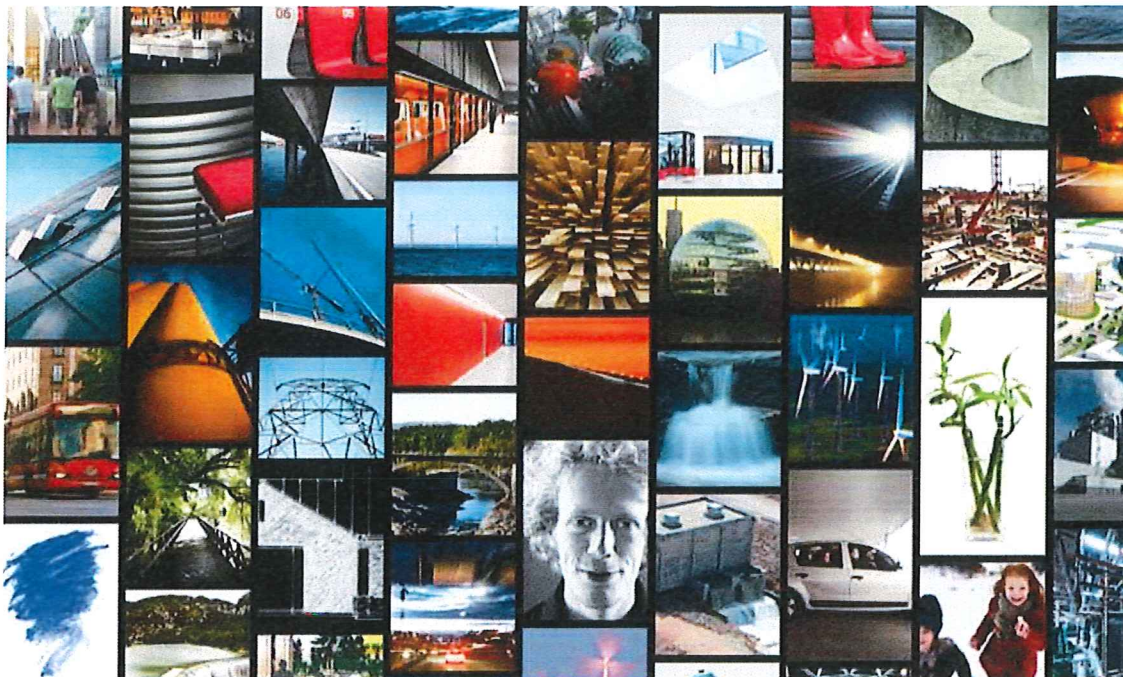


RAPPORT

Geologisk vurdering tunnel Røvtnet-Hjertvatnet



Tiltakshaver: Ballangen Energi

Prosjekt: Tunnel Røvatnet-Hjertevatnet

Prosjektnummer: 26556001

Dokumentnummer: 26556001-G01

Rev.: 00

Sammendrag:

Ballangen energi planlegger utbygging av ny vanntunnel mellom Røvatnet og Hjertvatnet i Ballangen Kommune. Dette medfører en overføringstunnel mellom fra Røvatnet til Hjertvatnet. To alternative traséer fra inntak ved Røvatnet og til kraftstasjon ved Hjertvatnet har blitt vurdert med hensyn på geologi.

Trasévalg

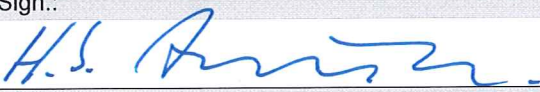
Alternativ 1: Trasé i alternativ 1 forventes ut fra undersøkelsen i sin helhet å ligge i en gneis med hovedsakelig moderat oppsprekking (bergklasse A/B noe C), og enkelte soner med dårlig fjell (bergklasse D-E). Tunnelen drives med spiss vinkel til foliasjonen og regionale strukturer, noe som generelt kan medføre blokkfall. Tunnelen forventes likevel å kunne sikres med moderate mengder bolter og fjellband. I påhuggsområdet ved Røvatnet er det funnet fast fjell med liten oppsprekking.

Alternativ 2: Feltkartlegging har avdekket kalkspatmarmor med grotteåpninger synlige i terrenget over deler av Traséen. Tunnelen vil drives gjennom denne bergarten, som i dagen opptre som svært dårlig, i anslagsvis 50-100 m. Store deler av tunnelen drives også gjennom en glimmerskifer som generelt er mer oppsprukket enn gneisen. Tunnelen vil også drives med spiss vinkel til registrerte sprekkese, samtidig forventes det kryssing av flere skyveplan som kan medføre behov for mer omfattende sikring enn alternativ 1.

Sweco anbefaler at alternativ 1 velges. Med hensyn på drivemetode er det naturlig å anta at konvensjonell boring og sprengning er mest hensiktsmessig for en relativt kort tunnel i harde bergarter. Dersom driving med TBM er gjennomførbart økonomisk, er dette et mulig alternativ som gjennomføringsmetode.

RAPPORTSTATUS:

- ☒ Endelig
☐ Oversendelse for kommentar
☐ Utkast/internt

Utarbeidet av:	Sign.:
Martin Dyhrberg Pettersen	
Kontrollert av:	Sign.:
Harald Sverre Arntsen	
Oppdragsleder:	Oppdragsansvarlig:
Martin Dyhrberg Pettersen	Harald Sverre Arntsen

Revisjonshistorikk:

Rev.	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet av	Kontrollert av

Sammendrag:

Ballangen energi planlegger utbygging av ny vanntunnel mellom Røvatnet og Hjertvatnet i Ballangen Kommune. Dette medfører en overføringstunnel mellom fra Røvatnet til Hjertvatnet. To alternative traséer fra inntak ved Røvatnet og til kraftstasjon ved Hjertvatnet har blitt vurdert med hensyn på geologi.

Trasévalg

Alternativ 1: Trasé i alternativ 1 forventes ut fra undersøkelsen i sin helhet å ligge i en gneis med hovedsakelig moderat oppsprekking (bergklasse A/B noe C), og enkelte soner med dårlig fjell (bergklasse D-E). Tunnelen drives med spiss vinkel til foliasjonen og regionale strukturer, noe som generelt kan medføre blokkfall. Tunnelen forventes likevel å kunne sikres med moderate mengder bolter og fjellband. I påhuggsområdet ved Røvatnet er det funnet fast fjell med liten oppsprekking.

Alternativ 2: Feltkartlegging har avdekket kalkspatmarmor med grotteåpninger synlige i terrenget over deler av Traséen. Tunnelen vil drives gjennom denne bergarten, som i dagen opptrer som svært dårlig, i anslagsvis 50-100 m. Store deler av tunnelen drives også gjennom en glimmerskifer som generelt er mer oppsprukket enn gneisen. Tunnelen vil også drives med spiss vinkel til registrerte sprekkesett, samtidig forventes det kryssing av flere skyveplan som kan medføre behov for mer omfattende sikring enn alternativ 1.

Sweco anbefaler at alternativ 1 velges. Med hensyn på drivemetode er det naturlig å anta at konvensjonell boring og sprengning er mest hensiktsmessig for en relativt kort tunnel i harde bergarter. Dersom driving med TBM er gjennomførbart økonomisk, er dette et mulig alternativ som gjennomføringsmetode.

RAPPORTSTATUS:

- ☒ Endelig
☐ Oversendelse for kommentar
☐ Utkast/internt

Utarbeidet av:	Sign.:
Martin Dyhrberg Pettersen	
Kontrollert av:	Sign.:
Harald Sverre Arntsen	
Oppdragsleder:	Oppdragsansvarlig:
Martin Dyhrberg Pettersen	Harald Sverre Arntsen

Revisjonshistorikk:

Rev.	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet av	Kontrollert av

Innholdsfortegnelse

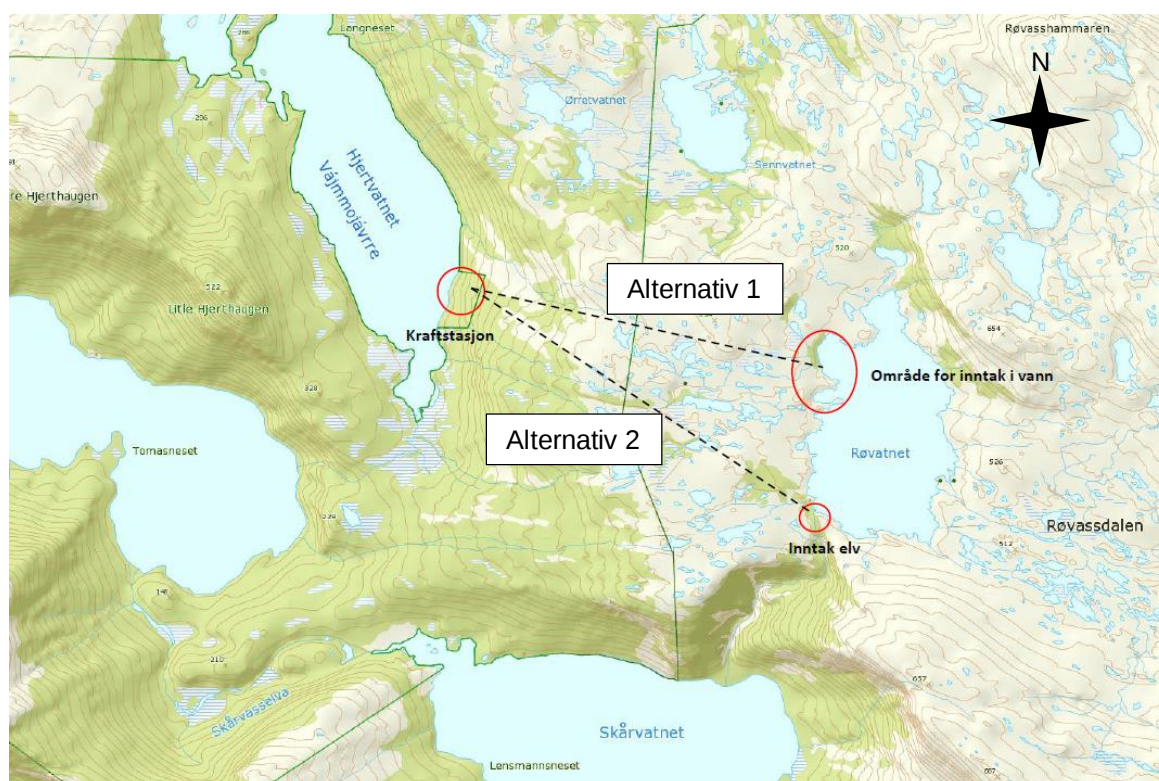
1	Innledning	4
1.1	Bakgrunn	4
1.2	Grunnlagsmateriale	4
1.3	Utførte undersøkelser	5
1.4	Prosjekteringsforutsetninger	6
1.4.1	Pålitelighetsklasse	6
1.4.2	TEK 10, Konstruksjonssikkerhet	6
1.4.3	SAK 10, oppdeling i tiltaksklasser	6
1.4.4	Prosjekterings- og utførelseskontroll	6
1.4.5	Geoteknisk kategori	7
2	Grunnforhold	7
2.1	Topografi	7
2.2	Kvartærgeologi	7
2.3	Berggrunnsgeologi	8
2.3.1	Regionalgeologi	8
2.3.2	Bergarter og bergartsgrenser	9
2.3.3	Oppsprekking	11
2.3.4	Svakhetssoner	12
3	Ingeniørgeologiske vurderinger	13
3.1	Bergmassekvalitet	13
3.2	Tunnelgeometri og stabilitet	13
3.3	Forventet sikringsbehov	14
3.4	Borbarhet og sprengbarhet	15
3.5	Hydrogeologi og miljøhensyn	16
3.6	Vurdering av drivemetode	16
3.7	Deponier og riggområder	17
3.8	Krav til rystelser i forbindelse med sprengning	18
3.9	Skred	18
4	Konklusjon/Anbefaling	19
5	Videre undersøkelser	19
6	Referanser	19
7	Vedlegg	19

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Sweco Norge AS er engasjert av Ballangen Energi AS for geologisk vurdering av trasé for vannkrafttunnel mellom Røvatnet og Hjertvatnet i Ballangen Kommune.

Det skal vurderes to alternative traséer for vanntunnel fra inntak ved Røvatnet og til kraftstasjon ved Hjertvatnet, se Figur 1. Begge alternativ medfører inntakskum/kanal ved Røvatnet.



Figur 1. Kartskisse som viser de to alternativene for vannvei.

1.2 Grunnlagsmateriale

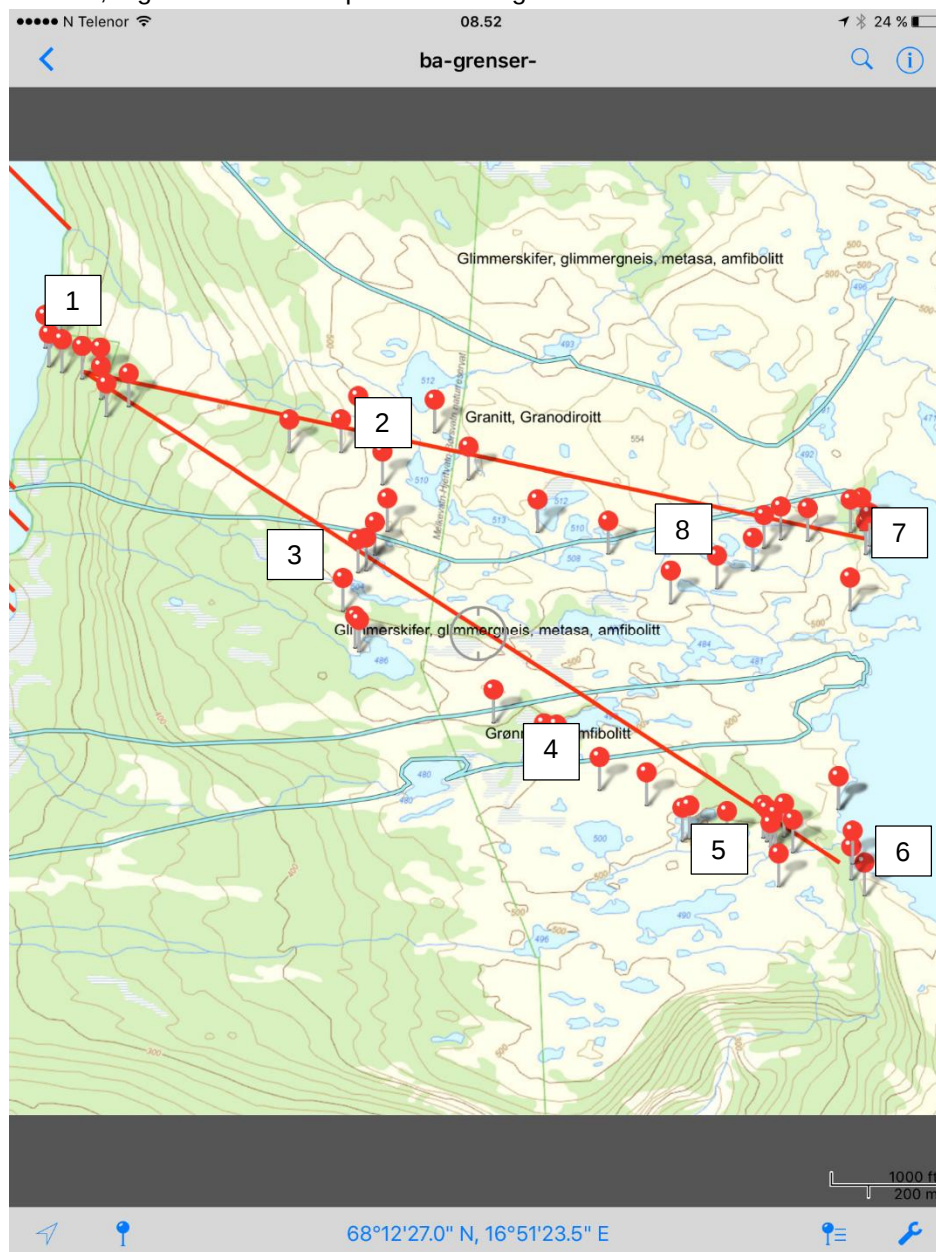
Den geologiske vurderingen er utført på følgende grunnlag.

- Topografisk studie på 3D-modell ved www.norgei3d.no.
- Studier av flyfoto fra www.norgeibilder.no
- Berggrunnskart N250 og løsmassekart NGU fra www.NGU.no.
- Feltkartlegging

Det er per nå dårlig kartdekning i området, med nøyaktighet +/- 20 meter i vertikalplanet.

1.3 Utførte undersøkelser

Det ble onsdag 19.10.2016 utført geologisk feltkartlegging av Martin Dyhrberg Pettersen og Harald Sverre Arntsen fra Sweco. Utført kartlegging omfatter vurdering av løsmassedekke, bergarter, oppsprekking i bergmassen, svakhetssoner, påhugssområder, og vannforhold. I Figur 1 vises oversiktskart av undersøkt område, Figur 2 viser GPS spor fra befaringen.



Figur 2. Kart fra befaring, påtegnet områdenummerering.

1.4 Prosjekteringsforutsetninger

1.4.1 Pålitelighetsklasse

Den aktuelle konstruksjon skal i henhold til Eurocode 0, tabell NA.A1(901) plasseres i pålitelighetsklasse (CC/RC). Grunn og fundamenteringsforhold er oversiktlige og det skal bygges tunnel med lite tverrsnitt. Vi vurderer derfor at dette er et prosjekt i CC/RC 2

1.4.2 TEK 10, Konstruksjonssikkerhet

I henhold til TEK 10 § 10.1 vil forskriftens minstekrav til personlig og materiell sikkerhet være oppfylt dersom det benyttes metoder og utførelse etter Norsk Standard.

TEK 10 § 10.2 angir at:

Grunnleggende krav til byggverkets mekaniske motstandsevne og stabilitet, herunder grunnforhold og sikringstiltak under utførelse og i endelig tilstand, kan oppfylles ved prosjektering av konstruksjoner etter Norsk Standard NS-EN 1990 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner og underliggende standarder i serien NS-EN 1991 til NS-EN 1999, med tilhørende nasjonale tillegg.

Veiledningen til TEK 10 angir videre at:

Forskriftens krav er oppfylt dersom det benyttes metoder og utførelse etter Norsk Standard. Korrekt bruk av prosjekteringsstandardene gir samlet det nivået som tilsvarende sikkerhetsnivået som er akseptert av myndighetene.

Da det legges til grunn en prosjektering basert på Eurokodene (NS-EN), og Statens Vegvesen Håndbok N500 som angitt i punkt 2.1 vil TEK 10 § 10 være ivarettatt.

1.4.3 SAK 10, oppdeling i tiltaksklasser

Veiledning til byggesak 10 § 9-4 angir at:

Bestemmelsen deler inn de tre tiltaksklassene etter kompleksitet, vanskelighetsgrad og mulige konsekvenser mangler og feil kan få for helse, miljø og sikkerhet. Bestemmelsen angir nærmere hvilke vurderinger som medfører plasseringen.

Ihht til tabell 2 i veiledningen anbefales prosjektet plassert i tiltaksklasse 2/3. Oppdelingen er direkte tilknyttet valg av CC/RC klasse angitt i tabell NA.A1 (901), for geoteknikk.

Tabell 1. Tiltaksklasser.

Tabell 2. Kriterier for tiltaksklasseplassering for prosjektering

FAGOMRÅDE	TILTAKSKLASSE		
	1	2	3
Geoteknikk	• Småhus inntil 3 etasjer. • Andre byggverk inntil 2 etasjer med oversiktlige og enkle grunnforhold • Fundamentering for anlegg og konstruksjoner som iht. NS-EN 1990 + NA plasseres i pålitelighetsklasse 1	• Fundamentering av byggverk med 3-5 etasjer. • Fundamentering på tomt med vanskelige grunnforhold. Metode for fastleggelse av grunnforhold er godt utviklet. • Fundamentering for anlegg og konstruksjoner som iht. NS-EN 1990 + NA plasseres i pålitelighetsklasse 2.	• Byggverk med flere enn 5 etasjer • Fundamentering på tomt med vanskelige grunnforhold. • Metode for fastleggelse av grunnforhold er lite utviklet. • Fundamentering for anlegg og konstruksjoner som iht. NS-EN 1990 + NA plasseres i pålitelighetsklasse 3 og 4.

1.4.4 Prosjekterings- og utførelseskontroll

NS-EN 1990:2002+NA:2008 gir videre føringer for krav til omfang av prosjekteringskontroll og utførelseskontroll avhengig av pålitelighetsklasse. Dette innebærer i henhold til tabell NA.A1 (902) og NA.A1

(903) at det for prosjekteringskontroll og utførelseskontroll av geotekniske arbeider kan forutsettes kontrollklasse N (Normal).

For prosjektering gjelder dermed at det utføres *grunnleggende kontroll* ("egenkontroll") og i tillegg *kollegakontroll*.

For utførelse gjelder at det skal utføres *basis kontroll* og i tillegg *intern systematisk kontroll*.

1.4.5 Geoteknisk kategori

Tabell 2. Geoteknisk kategori/konsekvens-/pålitelighetsklasse

Geoteknisk kategori	Konsekvens-/pålitelighetsklasse	Konsekvens-klasse	Beskrivelse
Geoteknisk kategori 1	←CC1/RC1 ☐	CC1	Liten konsekvens i form av tap av menneskeliv, og små eller utvesentlige økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser
Geoteknisk kategori 2	←CC2/RC2 ☒	CC2	Middels stor konsekvens i form av tap av menneskeliv, betydelige økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser
Geoteknisk kategori 3	←CC3/RC3 ev RC4 ☐	CC3	Stor konsekvens i form av tap av menneskeliv eller svært store økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser
Kommentarer til valg av geoteknisk kategori/konsekvensklasse/pålitelighetsklasse			
Grunnforholdene i området er oversiktlige og middels kompliserte og vurderes til geoteknisk kategori 2. Tunnel alternativ 1 tilsier geoteknisk kategori 2. Tunnel alternativ 2 har mer kompliserte grunnforhold enn alternativ 1. For denne planfasen anbefales CC/RC 2 og geoteknisk kategori 2, men det bør vurderes om det skal plasseres i CC/RC 3 og geoteknisk kategori 3 i detaljprosjekteringen dersom dette alternativet velges.			

2 Grunnforhold

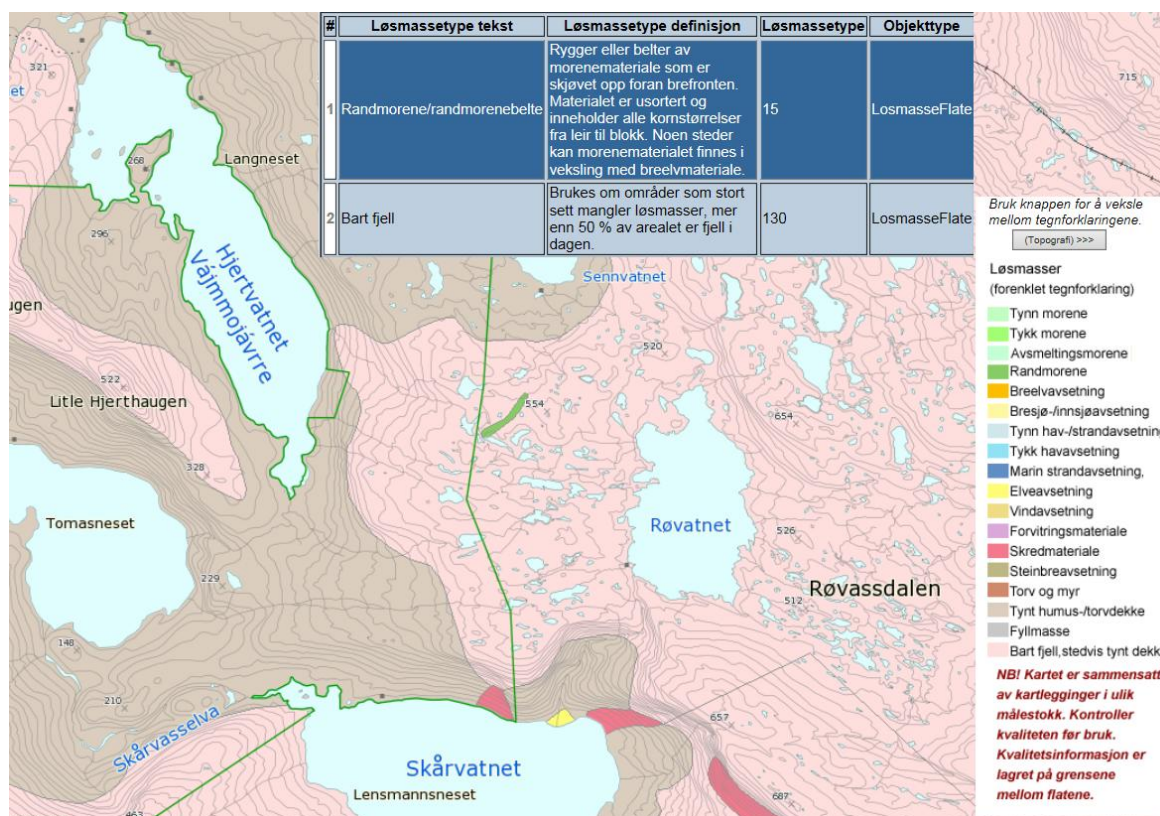
2.1 Topografi

Hjertvatnet ligger i Ballangen kommune ca 13 km sør for sentrum av tettstedet Ballangen og ca 40 km sør for Narvik. Hjertvatnet er ca 3.5 km langt og strekker seg med strøk nord-sør på ca kote 255.

Fra sørøstlig bredde av vannet stiger terrenget bratt i ca 1 km østover opp mot et platå på ca kote 500. Platået fortsetter inn mot Røvatnet som ligger ca 2.5 km øst for Hjertvatnet på ca kote 471. Platået er kupert og kjennetegnet av øst-vestgående rygger fra Røvatnet og i retning mot Hjertvatnet.

2.2 Kvartærgeologi

Fra NGU's løsmassekart vist i Figur 3 det mest bart fjell og enkelte morenerygger på platået fra Røvatnet og vestover, samt et tynt lag av humusdekke i terrenget ned mot Hjertvatnet. Dette stemmer bra med observasjoner gjort på befaring. Bart fjell opptrer hyppig på hele platået, mens det i den bratte delen av terrenget ned mot Hjertvatnet opptrer som blotninger i naturlige skjæringer. I dalsøkk og forsenkninger er det en del løsmasser.



Figur 3. Løsmassekart fra NGU, inkl. tegnforklaring.

I påhuggsområdet ved Hjertvatnet er terrenget stort sett grodd til med tynt vegetasjonsdekke. Langs strandlinjen er det sand i strandsonen, og bunnmorene med blokker lengre opp. I strandlinjen nedenfor påhuggsområdet går bredden ut i en odde, se bilde 1 og 2 i vedlegg 1.

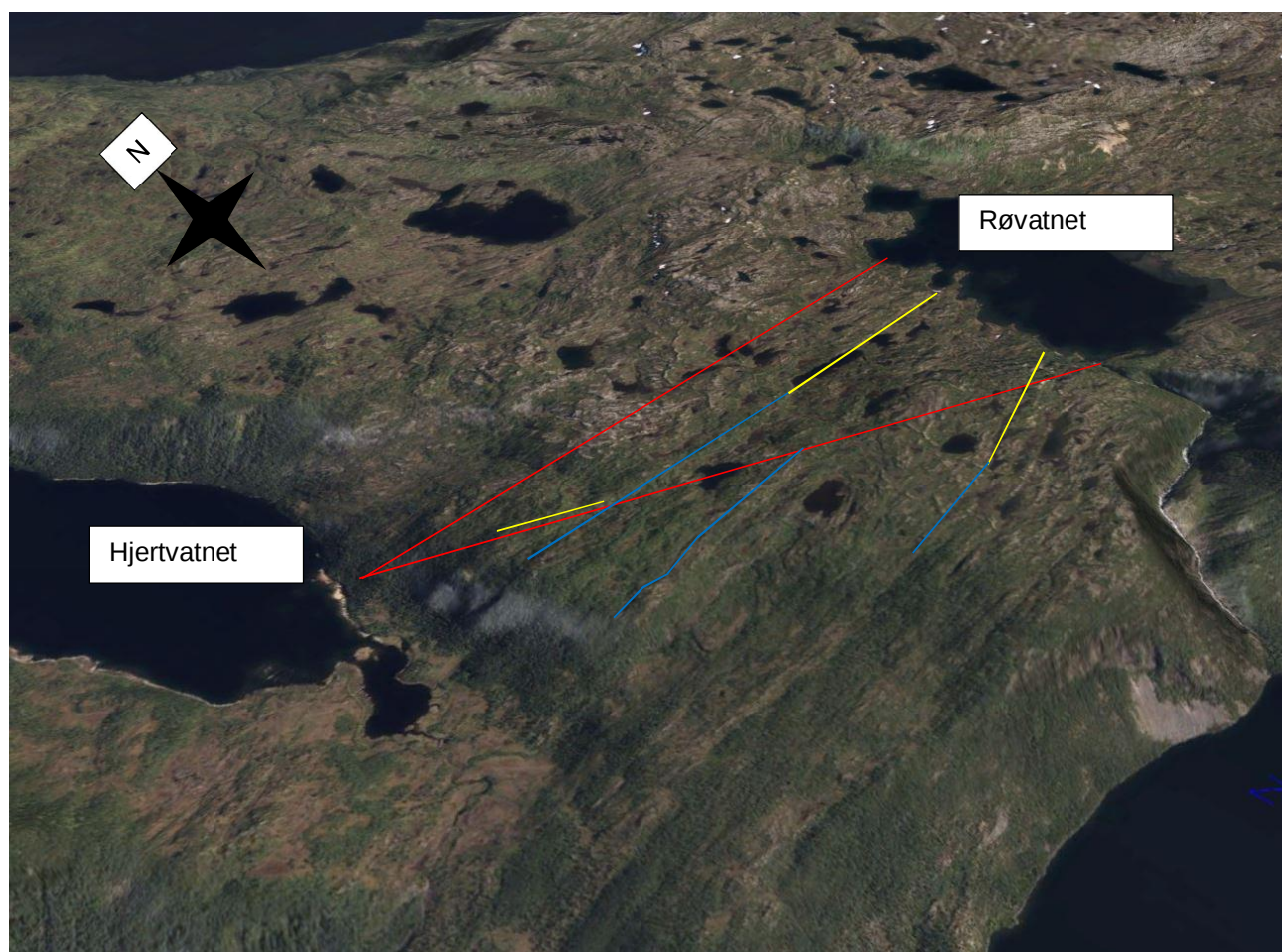
Ved påhugg Røvatnet er det i strandlinjen stort sett blokkete forvitningsmateriale, og fast fjell på odder, se bilde 13. Enkelte steder ses innslag av finere sandig materiale der hvor strandlinjen buker inn. Tykkelsen på løsmassene under vann er vanskelig å anslå.

2.3 Berggrunnsgeologi

2.3.1 Regionalgeologi

Berggrunnen i området består av skyvedekker som ble skjøvet inn fra nordvest under den kaledonske fjellkjededannelsen. I planområdet er bergarter fra Narvik dekkekompleks (1) som i dette området generelt faller mot nord-nordøst.

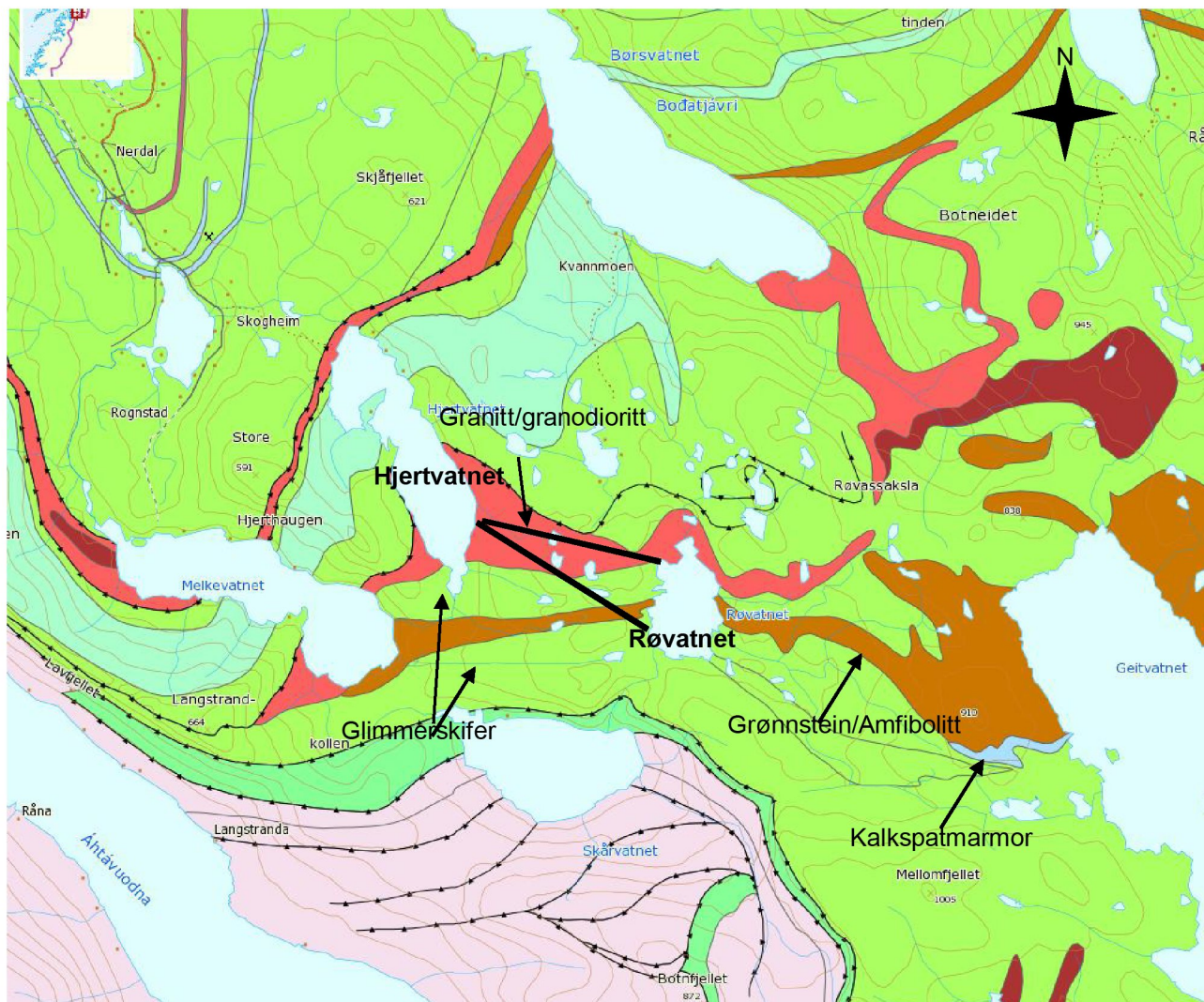
Figur 4 viser et utklipp fra ortofoto modell med oversikt over området med traséalternativer påtegnet. Av topografien framkommer tydelig øst-vest strøket til lagdelingen i dekkekomplekset.



Figur 4. Oversikt av området fra Norgei3D. Påtegnet alternativer traséer (rødt). Synlige forsengkninger undersøkt ved befarings (gult), markerte forsengkninger etter kartstudie (blått) (www.norgei3d.no, 14.12.2016)

2.3.2 Bergarter og bergartsgrenser

Figur 5 viser utklipp av NGU's bergrunnskart over området. Tegning G01, G02, G03 er viser bergrunnskart, og lengdeprofiler for tunnelalternativene, og er inntatt i vedlegg 2,3 og 4.



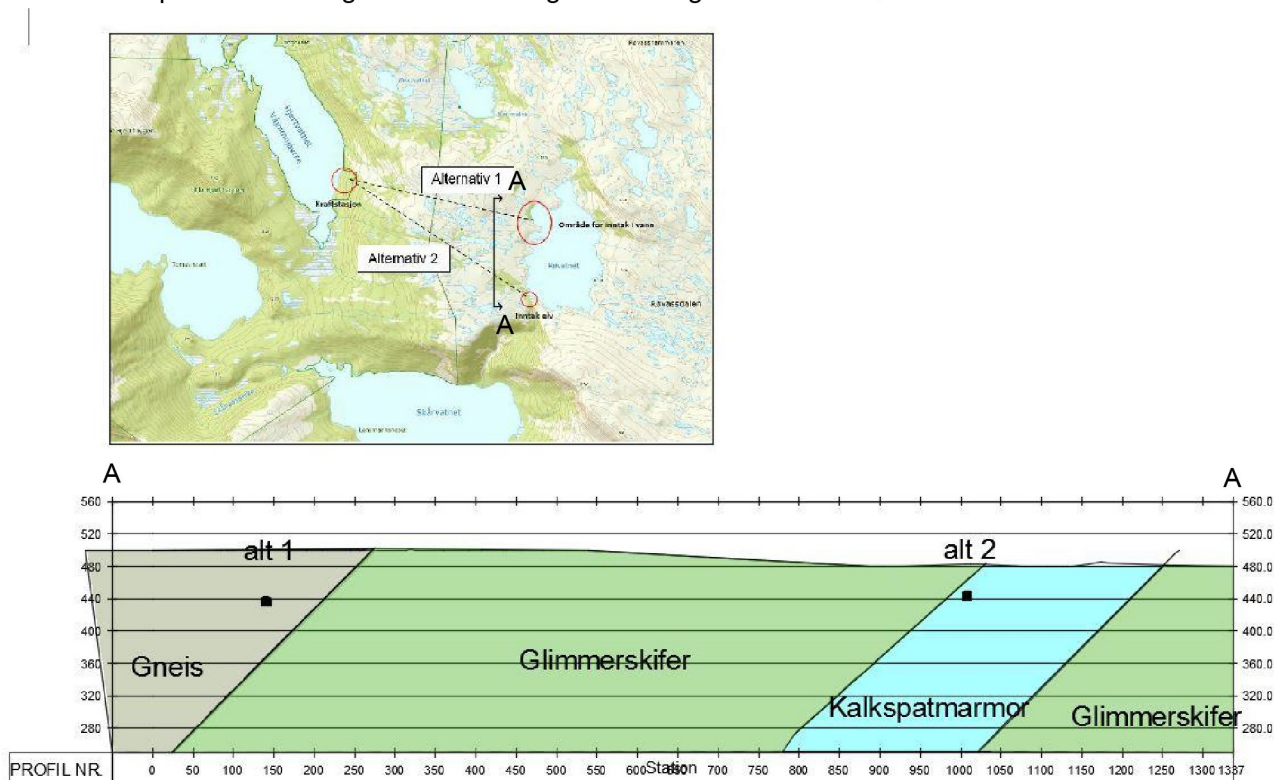
Figur 5. Utklipp fra NGU's bergrunnskart (1)

Fra NGU's bergrunnskart finnes det i området; granitt/granodioritt(rødt), glimmergneis /glimmerskifer (grønt), grønnstein/amfibolitt(brunt). Nord for prosjektert område er det også påtegnet områder med kalkglimmerskifer(turkis).

I feltkartleggingen er det funnet en del avvik fra NGU-kartet i Figur 5. Jfr tegning G01 registreres fire bergarter langs de to alternative traséene under feltkartleggingen 19.oktober, se også figur 6. Bergartene er listet opp under og ligger lagvis med ca 40-50 graders fall mot nord.

- Gneis. Metamorf bergart med innhold av kvarts, glimmer og feltspat med tydelig. Finnes i nordligste del av området, se også bilde 3. Stedvis opptrer den som båndgneis.
- Glimmerskifer, finnes sør for gneisen. Metamorf bergart med mye glimmer, og skiffrighet langs foliasjonen. Bergartsgrensen mellom gneis og glimmerskifer er ikke tydelig men opptrer som en gradvis overgang. Bergarten fremstår noen steder mer som gneis men er generelt mer glimmer-rik og skifrig, se bilde 4.

- Amfibolitt. Det ble kun registrert i én blotning ved område 4 jfr Figur 2. Inneholder amfibol-mineraler i tillegg til feltspat og noe kvarts.
- Kalkspatmarmor/kalkskifer. Metamorf kalkbergart, med tydelig foliasjon, heretter referert til som kalkspatmarmor. Kalkspatmarmor grenser til glimmerskifer ved lokasjon 5 jfr Figur 2. I dagen opptrer den som et belte med ca 50-100 meters bredde. Grensen mellom glimmerskifer og kalken er tydelig på blotninger der bergmassen opptrer som helt forvitret og nesten på grensen til sand. Mer massiv kalkspatmarmor observeres i sørligste delen av beltet. Grotteåpninger i kalkspatmarmoren er godt synlige i dagen, se bilde 11 og 12. Dette kan indikere at det finnes karstforekomster i området, se også avsnitt 3.5. Kalkinnhold i bergarten ble påvist med saltsyre på bergartsprøver. Mulig kalkspatmarmor er også observert lengre nord langs bredden til Røvatnet.

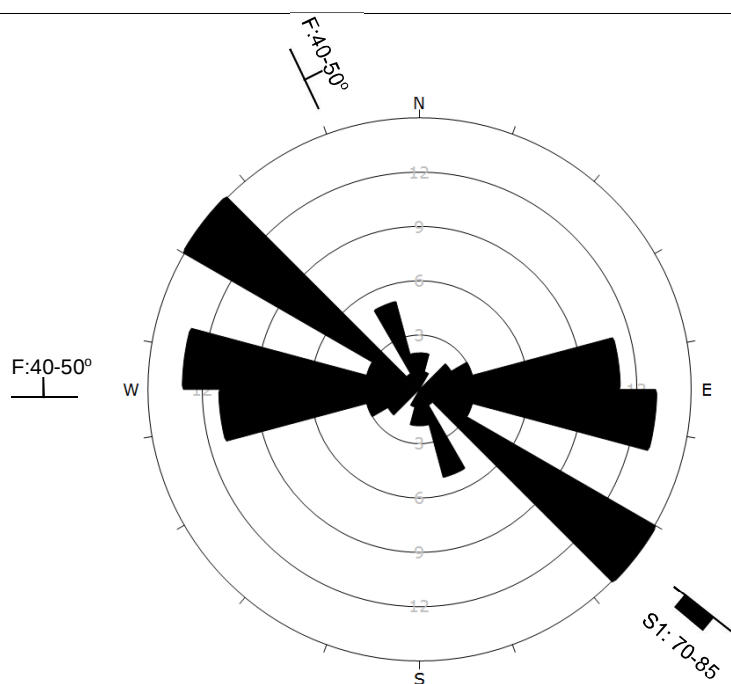


Figur 6. Tverrprofil på tvers av traséene, og antatt fall på bergartslagene. Påtegnet tunnelverrsnitt er ikke i skala.

2.3.3 Oppsprekking

Bergmassen domineres av oppsprekking langs foliasjonen med fall mot på ca 40-50° mot nord markert med F1 på tegning G01. Bergmassen er i stedvis foldet, se bilde 7. For en del blotninger like ovenfor Hjertvatnet registreres foliasjonssprekker med fall mot øst, som skyldes lokal folding.

Det andre gjennomsettende sprekesettet har steilt fall mot sørvest og er markert som S1 på tegning G01, og i sprekkerose. Figur 7 viser den sammenstilling av registrert oppsprekkingen for hele området i en sprekkerose.



Figur 7. Sprekkerose som viser de registrerte sprekkeplan for hele det kartlagte området. Forklaring til sprekkerose er inntatt i vedlegg 5.

Foliasjonssprekkene er generelt ru og bølgete. I gneisen har sprekkene avstand på mellom 0.3- og 1 m. I skiferen har foliasjonssprekkene for det meste avstand på 10-20 cm. Det er ikke registrert sprekketryll. I gneisen og i glimmerskiferen observeres det enkelte steder tynne soner med bredde ca 0.5-1 m med tett oppsprukket fjell og sandig fyllmateriale, se eksempel i bilde 8.

I amfibolittblotningen observeres ingen tydelig forskjell i oppsprekking fra resten av området. I kalkspatmarmoren er bergmassen i stor grad helt forvitret, mens foliasjonen faller likt med de andre bergartene i området.

2.3.4 Svakhetssoner

Med svakhetssoner menes soner i bergmassen som er svakere og tettere oppsprukket enn bergmassen rundt. Sonene observeres som kløfter eller depresjoner i det topografiske bildet. Der en tunnel krysser en svakhetszone medfører det som regel økt sikringsomfang og behov for tung sikring(2). Med tung sikring menes sikring med bolter og sprøytebetongbuer, evt full utstøpning av tunnelprofil.

I Figur 4 og tegning G01 er de mest framtrødende lineamenter i terrenget, samt forsenkninger undersøkt på feltbefaringen påtegnet, se også bilde 5 og 6. Generelt observeres også flere skar med ens strøk gjennom hele området, men er mest framtrødende i området med glimmerskifer og Kalkspatmarmor. Strøket på sonene sammenfaller med strøk til F1 og S1 jfr avsnitt 2.3.3.

3 Ingeniørgeologiske vurderinger

3.1 Bergmassekvalitet

På bakgrunn av Q-systemet(2) er fordeling av bergmassekvalitet i bergartene som det antas å drive gjennom vurdert, jfr tegning G01 og lengdeprofiler i G02 og G03. Vurderingen er oppsummert i tabell 3.

Bergmassekvalitet til svakhetssonene i tunnelnivå er usikker siden oppsprekningen kan være vesentlig endret fra registreringene i dagen. Bergmassekvaliteten i evt påtrufne svakhetssoner i tunnelnivå må vurderes av ingeniørgeolog under drivingen.

Tabell 3. Antatt fordeling av bergklasser iht (2). Tabellen er basert på de registreringer som er gjort i blotninger sammen med en helhetsvurdering ut fra befaringen.

Gneis									Tunnelmeter							
Prosentvis fordeling	RQD	j _n	j _r	j _a	j _w	SRF	Q	Klasse	Alt1	Alt 2	Beskrivelse					
65	70	6		3	1	0,7	1	24,5 B, noe A	1495	650	For det meste massivt og lite oppsprukket					
20	30	9		3	1	0,7	1	7 C	460	200	En del oppsprekking langs foliasjon, lavere RQD					
10	20	9		3	1	0,7	1	4,7 D	230	100	Tett oppsprukket berg, noen partier					
5	5	12		3	3	0,7	1	0,3 E	115	50	Svært oppsprukket langs foliasjon, sandig fyllmateriale og mulig leir.					
Glimmerskifer									Tunnelmeter							
Prosentvis fordeling	RQD	j _n	j _r	j _a	j _w	SRF	Q	Klasse	Alt1	Alt 2	Beskrivelse					
40	70	6		3	1	0,7	1	24,5 B/A	0	660	For det meste massivt og lite oppsprukket					
40	30	9		3	1	0,7	1	7 C	0	660	Nokså oppsprukket langs foliasjon ofte avstand<10 cm, lavere RQD					
15	20	9		3	1	0,7	1	4,7 D	0	247,5	Tett oppsprukket langs foliasjon, folding, og mye forvitret berg,					
10	5	12		3	3	0,7	1	0,3 E	0	165	Svært oppsprukket langs foliasjon, sandig fyllmateriale og mulig leir.					
Kalkspatmarmor. Mulighet for karst gjelder alle bergklassene. Må sonderbores gjennom kalk.																
Prosentvis fordeling	RQD	j _n	j _r	j _a	j _w	SRF	Q	Klasse	Alt1	Alt 2	Beskrivelse					
10	70	6		3	1	0,7	2,5	9,8 B/A	0	5	Observerert massiv Kalkstein.					
35	30	9		3	1	0,7	2,5	2,8 C	0	17,5	Nokså oppsprukket langs foliasjon for en del avstand<10 cm. lavere RQD					
5	20	9		3	1	0,7	2,5	1,9 D	0	2,5	Tett oppsprukket langs foliasjon, folding, og mye forvitret berg,					
50	1	12		3	3	0,7	1	0,1 E	0	25	Framstår som løsmasse. Spenningsavlastet, karst					
SUM									2300 2782,5							

Jfr. tabell 3, fordeling av bergklasser. Felkartleggingen viser at best bergmassekvalitet forventes der tunnel drives i gneis. Alternativ 1 forventes i sin helhet å drives i gneis. Største problemområder forventes der det drives i kalkspatmarmor i anslagsvis 50-100 m lengde. Kalkspatmarmoren er også den mest usikre mhp opptrøden i tunnelnivå. I glimmerskiferen forventes bergmassen å variere mellom bergklasse A/B og C, i tillegg til en noe økt hyppighet av de dårligere bergklassene i forhold til områder med mer massive gneis.

Generelt forventes for begge alternativ en del svake soner.

3.2 Tunnelgeometri og stabilitet

Tunnelen er tenkt drevet fra påhugg ved Hjertvatnet og på stigning mot inntaket i Røvatnet. Driveretningen vil være tilnærmet normalt på fjellsiden, og det oppnås raskt god overdekning. Maksimal overdekning er ca 160 m, som tilsier at det ikke forventes bergspenninger som følge av gravitasjonen. Regionale horisontale spenninger kan forekomme, men fjellmassen er imidlertid gjennomskåret av enkelte markerte sprekkesoner og skyveplan som kan virke spenningsavlastende. Det er ikke forventet stabilitetsproblemer som følge av bergspenninger, men hvis det samtidig er opptrøden av høye tektoniske spenninger, kan det gi en anisotrop spenningssituasjon i bergmassen. Det kan derfor ikke utelukkes at både sprakefjell og spenningsavlastet bergmasse kan opptrø.

Opp mot utslag i Røvatnet vil det for siste del av tunnelen bli gradvis dårligere overdekning. Dette gjelder begge alternativene. Ved å legge tunnelen med bratt stigning ut mot påhugget, anslagsvis 45 grader de siste ca 10 m, oppnås tilstrekkelig overdekning helt ut. I tilfelle bruk av TBM må det siste partiet drives med konvensjonell boring og sprengning.

Med hensyn på vannoverføringskapasiteten vil det være tilstrekkelig med rør med diameter ca 1 m. Ved konvensjonell drift antas minste tunneltverrsnitt på ca 18 m². Det finnes utstyr for å drive mindre tverrsnitt, men det blir et kostnadsspørsmål hva som lønner seg. Ved fullprofilboret tunnel finnes det utstyr for diameter på eksempelvis 2-2,5 m.

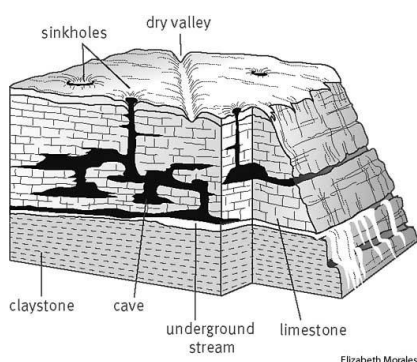
I nedre del av tunnelen vil vannet føres i rør. Øvre del av tunnelen vil være uforet trykktunnel. Normalt drives rørtunnelen med liten stigning for å oppnå mest mulig overdekning ved tetteproppa.

Plassering av betongpropp må velges med hensyn til at vanntrykket inne i sjakten og trykktunnelen ikke skal føre til deformasjon av utenforliggende bergmasser. En slik deformasjon av bergmassen kan gi lekkasje. Minste hovedspenning i bergmassen må da være større enn vanntrykket på ethvert sted langs tunnelen for å unngå deformasjon og hydraulisk splitting. Bergteknisk må betongproppen plasseres slik at kriteriet for å unngå hydraulisk splitting oppfylles.

Plassering av betongpropp anslås i tidlig prosjekteringsfase på grunnlag av beregningsmetoder som baserer seg på prinsipp for likevektsbetrakninger. Foreløpig vurderes at betongproppen legges ca 10 m høyere enn HRV i Hjertvatnet, dvs ca kote 264. Vannstanden i Røvatnet er på ca kote 471, dvs et trykk på 207 m. Minste fjelloverdekning over proppen må overslagsmessig være ca 110 m, noe som tilsvarer at proppa legges ca 400 m inn fra påhugget ved Hjertvatnet.

I forbindelse med drivingen utføres bergspenningsmålinger for sikker bestemmelse av minste hovedspenning. Endelig plassering av betongproppen må vurderes på stedet av ingeniørgeolog.

For alternativ 1 forventes hele tunnelen å ligge i en forholdsvis bergmasse og det forventes ikke spesielle problemer med stabilitet eller lekkasje. Alternativ 2 vil i tillegg til gneisen også gå gjennom en mer skifrig glimmerskifer og amfibolitt, og øvre del av tunnelen går gjennom kalkspatmarmor. Mhp på kartlagte karstgrotter må det forventes mulig utlekkasje her, og lekkasjetetting, evt trykkforing for partier i kalkspatmarmoren må forventes. Figur 8 viser eksempel på en typisk karstforekomst.



Figur 8. Eksempel på typisk karstforekomst (6)

3.3 Forventet sikringsbehov

Sikring av tunnelen vil i utgangspunktet omfatte bruk av rensk, sikringsbolter og fiberarmert sprøytebetong.

Alternativ 1, konvensjonell sprengning.

Sprøytebetongen skal i hovedsak benyttes i områder med spesielt dårlig berg, for eksempel svakhetssoner. I svakhetssoner kan det i tillegg bli nødvendig med bruk av systematisk bolting og sprøytebetongbuer. Det kan stedvis bli aktuelt med forbolting, eksempelvis ved etablering av påhugg og driving gjennom svakhetssoner. Tunnellaksen er orientert slik at foliasjonssprekker vil krysse tunnelen med relativt liten vinkel. Dette er

generelt ugunstig og derfor kan man nok forvente noe blokknedfall. Påtreffes større soner med svakt fjell kan det være aktuelt med tung sikring.

Det er ikke forventet behov for omfattende injeksjon. Det må imidlertid forberedes og etableres beredskap for injeksjon dersom det skulle bli behov for dette på anlegget. Det er ikke forventet behov for tung sikring med full utstøpning.

Alternativ 2, konvensjonell sprengning

Alternativ 2 krysser gjennom alle kartlagte bergarter. I kalkspatmarmoren forventes det utfordringer med stabilitet og vann spesielt i grensen med glimmerskiferen, Traséen er lengre enn alternativ 1 og tunnelen krysser flere forsenkninger og skar med spiss vinkel se Figur 4. I tillegg drives tunnelen med spiss vinkel på sprekkese 1, noe som er ugunstig for stabiliteten. Tunnelen forventes å krysse flere skyveplan som krever økt behov for stabilitetssikring.

I rørtunnelen vil det bli aktuelt med noe mer omfattende sikring for å sikre mot evt nedfall på røret. Det forventes et behov på ca 2,5 bolter pr løpemeter tunnel i gneisen, noe mer glimmerskiferen og kalkspatmarmoren, og ved kryssing av svakhetssoner. Dersom hengen sprøytes i hele rørtunnelens lengde, anslås et forbruk på ca 0,5 m³/lm fiberarmert sprøytebetong.

Oppgitte sikringsmengder i Tabell 3 er kun å anse som et anslag basert på observasjoner/opplysninger på nåværende tidspunkt, og vil følgelig kunne avvike fra faktisk sikringsbehov.

Det anbefales at permanentsikring anvises av ingeniørgeolog.

Tabell 3. Anslag sikringsmengde

	Alt 1	Alt 2
Ca tunnallengde (m)	2300	2800
Bolter (stk)	6000	8000
Sprøytebetong (m ³)	1000	1400

Alternativ 1 og 2, TBM.

Ved fullprofilboring antas tilnærmet ingen sikring der tunnelen går gjennom god bergart. Ved svakhetssoner kan det bli en del sikring. For alternativ 2 antas fjellet så dårlig i karstområdene og bergartsgrensene, at vi ikke anbefaler bruk TBM her. Dersom alternativ 2 likevel utføres med TBM må det forventes nokså omfattende sikring i disse områdene, og man bør undersøke alternativet så nøye at risikoen reduseres.

Ved påhuggsområdene vil det også bli en del sikring der det uansett må utføres boring og sprengning.

3.4 Borbarhet og sprengbarhet

Egenskapene med hensyn til boring og sprengning varierer sterkt fra bergart til bergart, og de kan også variere betydelig innenfor en og samme bergartstype.

Borslitasjen vil i stor grad være avhengig av petrografiske og mineralogiske forhold som mineralsammensetning, kornform og kornbinding. I praksis er det vanligvis innholdet av kvarts som er avgjørende for borslitasjen. Sprø bergarter med liten hardhet gir vanligvis god borbarhet. Gneis har lav-middels borbarhet, og glimmerskifer noe bedre. Kalkholdige bergarter har typisk lav hardhet og derfor god borbarhet (3).

Når det gjelder sprengning, er det erfaringsmessig slik at grovkornede og homogene bergarter som granitter har god sprengbarhet, mens metamorfe bergarter med skifrig struktur og høyt glimmerinnhold har dårlig sprengbarhet. «God sprengbarhet» indikerer at det oppnås ønsket fragmentering med lavt sprengstoff-

forbruk og dermed lave kostnader pr. utsprengt volum. Gneis og glimmerskifer har erfaringsmessig hhv middels og dårlig sprengbarhet, sistnevnte grunnet større grad av oppsprekking langs foliasjonsplan og høyere innhold av glimmer og lavere trykkstyrke

Sprengbarhet til kalkspatmarmoren er det vanskelig å si noe om før man vet hvordan denne opptrer i tunnelnivå. Massiv kalkspatmarmor kan ha god sprengbarhet da den har relativt liten motstand mot fragmentering.

Laboratorietesting er nødvendig for å kunne fastsette parameterne borslitasjeindeks (BWI), borsynkindeks (DRI) og sprengbarhetsindeks (SPR), og slik testing er ikke utført i dette prosjektet. Samtidig er boring og sprengning avhengig av flere ikke-geologiske forhold, som eksempelvis borutstyr, sprengstoff etc.

For boring med TBM har også sprekkorientering betydning for framdrift, dette avhenger følgelig av hvilken trasé som til sist velges. Boring på langs av mineralene gir dårlig borsynk.

Det bør utføres testing av bergartens borbarehet dersom man velger å drive tunnelen med fullprofilboring, da stor del av drivekostnader er slitasje og erstatning av boredeler.

3.5 Hydrogeologi og miljøhensyn

I terrenget over planlagt tunnel finner vi stort sett fjell i dagen i kombinasjon med tynt løsmassedekke. Det vurderes at terrenget over tunnelen ikke er spesielt sårbart for en evt grunnvannssenkning.

Begge alternative traséer krysser flere vann og bekker under terrenget, se eksempelvis Figur 1. Dersom det under driving påtreffes stor innlekkasje til tunnelen kan man i verste fall risikere å tørrelegge noen av vannene hvis det ikke gjøres tiltak under drivingen. Dette gjelder spesielt i områder hvor tunnelen har liten overdekning. Eksempelvis er det lav overdekning der tunnelen i trasé alternativ 2 går i kalkspatmarmoren.

Det anbefales at det utføres sårbarhetsanalyse av terrenget over for å kunne bestemme riktig krav til innlekkasje. Ved moderate eller strenge krav til innlekkasje bør det være injeksjonsberedskap i tilfelle det påtreffes store vanninnlekkasjer. Tunnelene krysser et naturvernområde.

3.6 Vurdering av drivemetode

Boring og sprengning:

Fordeler

- Forutsigbart, og fleksibelt under driving.
- Mange mulige entreprenører og god erfaring

Ulemper

- Relativt stort tverrsnitt.
- Nisjer
- Sprengstoffavfall må ivaretas.

Fullprofilboring

Fordeler

- Mindre, sirkulært tverrsnitt.
- Mindre deponeringsmasser, større finstoffinnhold.
- Færre nisjer

Ulemper

- Vanligvis dyrere etablering enn for konvensjonell sprengning, dermed høyere meterkostnad for korte tunneler (<7 km).
- Få entreprenører med erfaring
- Spesialutstyr/kompetanse
- Lite fleksibelt og høy risiko, kan medføre store kostnader dersom maskinen setter seg fast.

Siden tunnelen er så kort vil kostnad for etablering av fullprofilmaskin, samt dersom det forekommer stillstand utgjøre stor kostnad sammenlignet med konvensjonell drift. Dersom det økonomisk lar seg gjøre å drive tunnelen med en liten TBM, vil dette være et fullgodt alternativ sammenlignet med driving konvensjonelt. Det vil da være viktig å håndtere så mye av risikoen som mulig ved kontrahering.

3.7 Deponier og riggområder

Det er planlagt å deponere masser i Hjertvatnet. Skissen i Figur 9 viser to aktuelle deponiområder.



Figur 9. Oversiktskart med alternative deponi.

Et eventuelt deponi i Hjertvatnet legges enten på dypt område like utenfor påhuggsområdet, eller på grunt område på sørpissen av vatnet. Deponi i dype områder vil ikke påvirke kapasiteten på magasinet. Deponeres det på grunt område i vannet vil magasinet miste litt kapasitet, derimot er dette så lite at det ikke vil ha praktisk betydning.

Behov for geotekniske grunnundersøkelser for deponiene må avklares etter at plassering er bestemt. Dersom det deponeres i vann må det tas vare på eventuelle miljøskadelige avfall, som f.eks. ledninger fra

tennere o.l. på forsvarlig måte. Det mest vanlige er å etablere et lenseystem utenfor tippen for å samle opp avfall. Tillatelse i forbindelse med deponering må utarbeides.

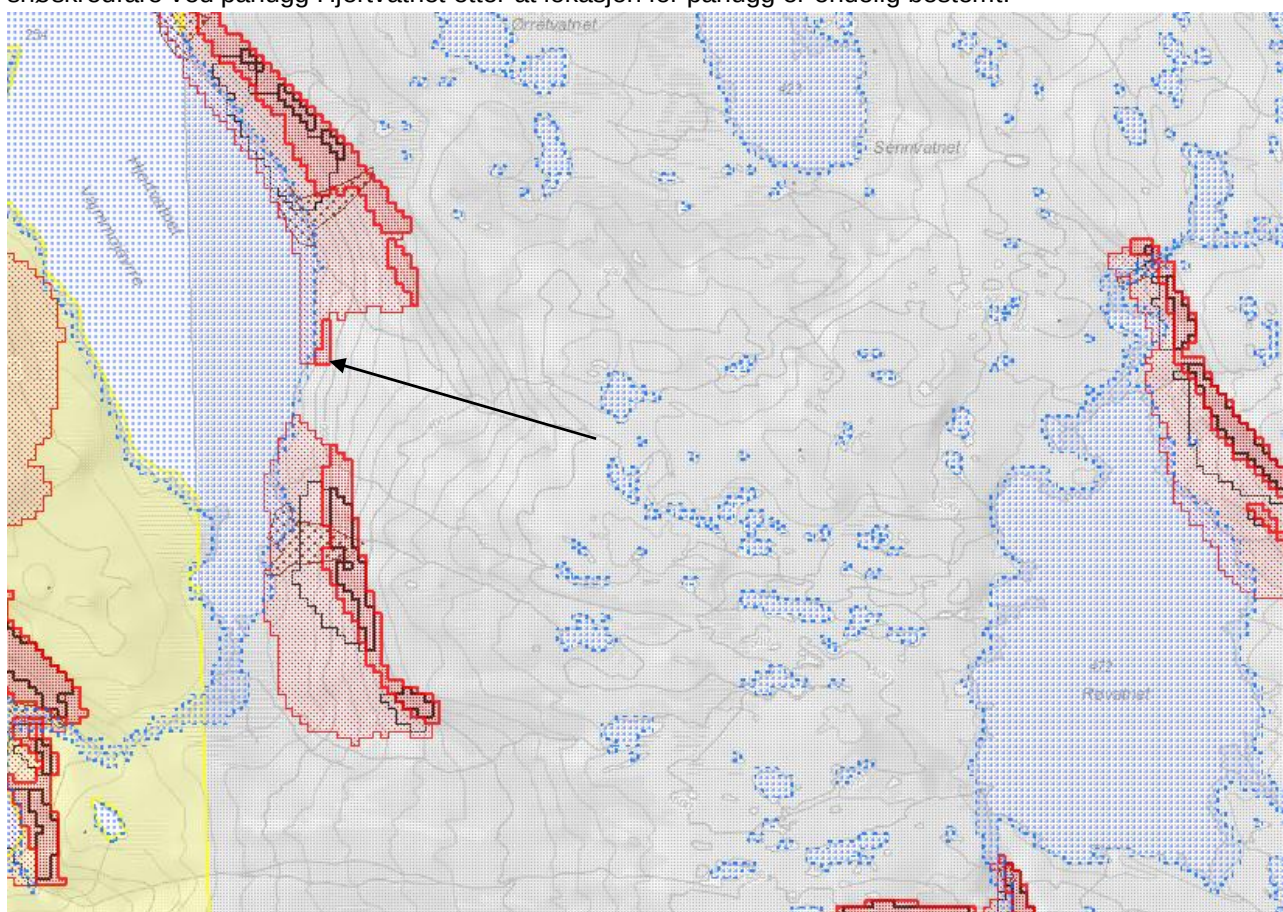
Riggområde planlegges til påhuggsområdet ved Hjertvatnet. Det skal anlegges adkomstveg opp til nordspissen av Hjertvatn, deretter fløtes utstyr til området ved Hjertvatnet. Alternativt fraktes utstyre over isen om vinteren.

3.8 Krav til rystelser i forbindelse med sprengning

Det ligger ei hytte i nærheten av påhuggsområdet ved Hjertvatnet eid av Ballangen Energi. Dersom hytta skal bevares bør det gjøres inspeksjon før og etter sprengning for å avdekke eventuelle skade som kan ha oppstått som følge av arbeidene. Rystelseskrav skal fastsettes etter NS8401 gjeldende versjon.

3.9 Skred

Terrenget ved påhuggsområder Røvatnet er slakt og det forventes ikke skredfare i forbindelse med påhuggene. Figur 10 viser utklipp fra NVE aktsomhetskart, og viser at påhuggsområde ved Hjertvatnet omfattes som aktsomhetsområde for snøskred. Det anbefales derfor at det utføres en spesifikk vurdering av snøskredfare ved påhugg Hjertvatnet etter at lokasjon for påhugg er endelig bestemt.



Figur 10. NVE's aktsomhetskart, aktsomhetsområde for snøskred markert med rødt (7), og ca lokasjon påhugg markert med pil.

4 Konklusjon/Anbefaling

Med hensyn på geologiske forhold anbefales alternativ 1. Det er en kortere tunnel og den går gjennom bedre bergarter enn alternativ 2. Alternativ 2 medfører også stor usikkerhet vedrørende driving og videre drift av tunnelen igjennom kalkspatmarmoren med mulig karstforekomst.

For alternativ 1 vil både konvensjonell sprengning, og fullprofilboring være gjennomførbart med hensyn på geologiske forhold. For alternativ 2 anbefaler vi ikke bruk av fullprofilboring, på grunn av dårligere og mer usikre fjellforhold.

Normalt vil konvensjonell drift med boring og sprengning være mest gunstig med hensyn til økonomi, fleksibilitet og framdrift for så vidt korte tunneler. Det er imidlertid markedsituasjonen som bestemmer prisene, slik at også TBM kan være aktuelt.

For TBM vil det bli mindre og renere deponeringsmasser enn ved sprengning.

5 Videre undersøkelser

For neste fase anbefales følgende undersøkelser for å minimere usikkerhet og risiko.

- Kartlegge påhuggsområdene mer detaljert.
- Seismiske undersøkelser av påhuggsområdene og karstområdene.
- Steinprøver til lab-analyse for å vurdere borbarehet, sprengbarhet.

6 Referanser

- 1 NGU's Berggrunnskart. www.ngu.no.
- 2 Praktisk bruk av Q-metoden. (Hentet fra: http://www.rockmass.no/filer/NGI_Bruk_Q.pdf 13.01.2016).
- 3 Neby, Arild. Kristiansen Jan, Haukenes, Ivar og Bruland, Amund. «Leksjon 3 – Bergmekanikk» <http://www.vegvesen.no/attachment/219544/binary/420829> 14.12.2016.
- 4 NS-EN 1990-1:2002 + NA:2008 (Eurokode 0)
- 5 NS-EN 1997-1:2004 + NA:2008 (Eurokode 7)
- 6 Online: (<https://prezi.com/8mf34njw7g/karst-topography/>, 21.12.2016).
- 7 NVE aktsomhetskart for skredfare. (online: <http://gis3.nve.no/link/?link=aktsomhet&layer=5&field=KOMMNAVN&value=Narvik&buffer=10000>, 21.12.2016)

7 Vedlegg

- 1 Bilder 1-13
- 2 Tegning G01
- 3 Tegning G02
- 4 Tegning G03
- 5 Forklaring sprekkroser

VEDLEGG 1 BILDER



Bilde 1. Oversiktsbilde påhugg Hjertvatnet. Tatt mot øst sett in mot område 1 i figur 2, påhuggsområde markert med rødt.



Bildet 2. Bildet tatt mot nordvest ved foten av Hjertvatnet mot påhuggsområdet.

pm03n 2008-05-16



Bilde 3. Viser blotning med gneis ved foten av Hjertvatnet. Område 1.



Bilde 4. Viser blotning av glimmerskifer oppsprukket sone, tatt ca ved lokasjon 3 jfr Figur 2.



Bilde 5. Markert forsenkning i terreng med strøk ca parallelt med traséen i alternativ 2. Tatt mot øst mellom område 2 og 3 jfr figur 2.



Bilde 6. Markert nordvest-sørøst forsenkning i terreng langs alternativ 2. Tatt mot øst mellom område 2 og 3 jfr figur 2.

pm03n 2008-05-16



Bilde 7. Bildet er tatt mot nordøst, ved lokasjon 2. Nokså massiv gneis med foldestrukturer.



Bilde 8. Viser en ca 1m brei sone med tett oppsprukket fjell langs foliasjonen. Bildet er tatt mot nordvest like øst for lokasjon 2.

pm03n 2008-05-16



Bilde 9. Viser foldning i gneisen lang alternativ 2 ved område 8, Røvatnet i bakgrunnen.



Bilde 10. Bildet tatt mot vest i område 5 og viser kalkspatmarmoren i dagen. Øverst til høyre viser skraping i fjellet med hammer.

pm03n 2008-05-16



Bilde 11. tatt mot øst ved Område 5, Røvatnet i bakgrunnen. Viser kalkgrotte med utgang i dagen, se også tegning G01.



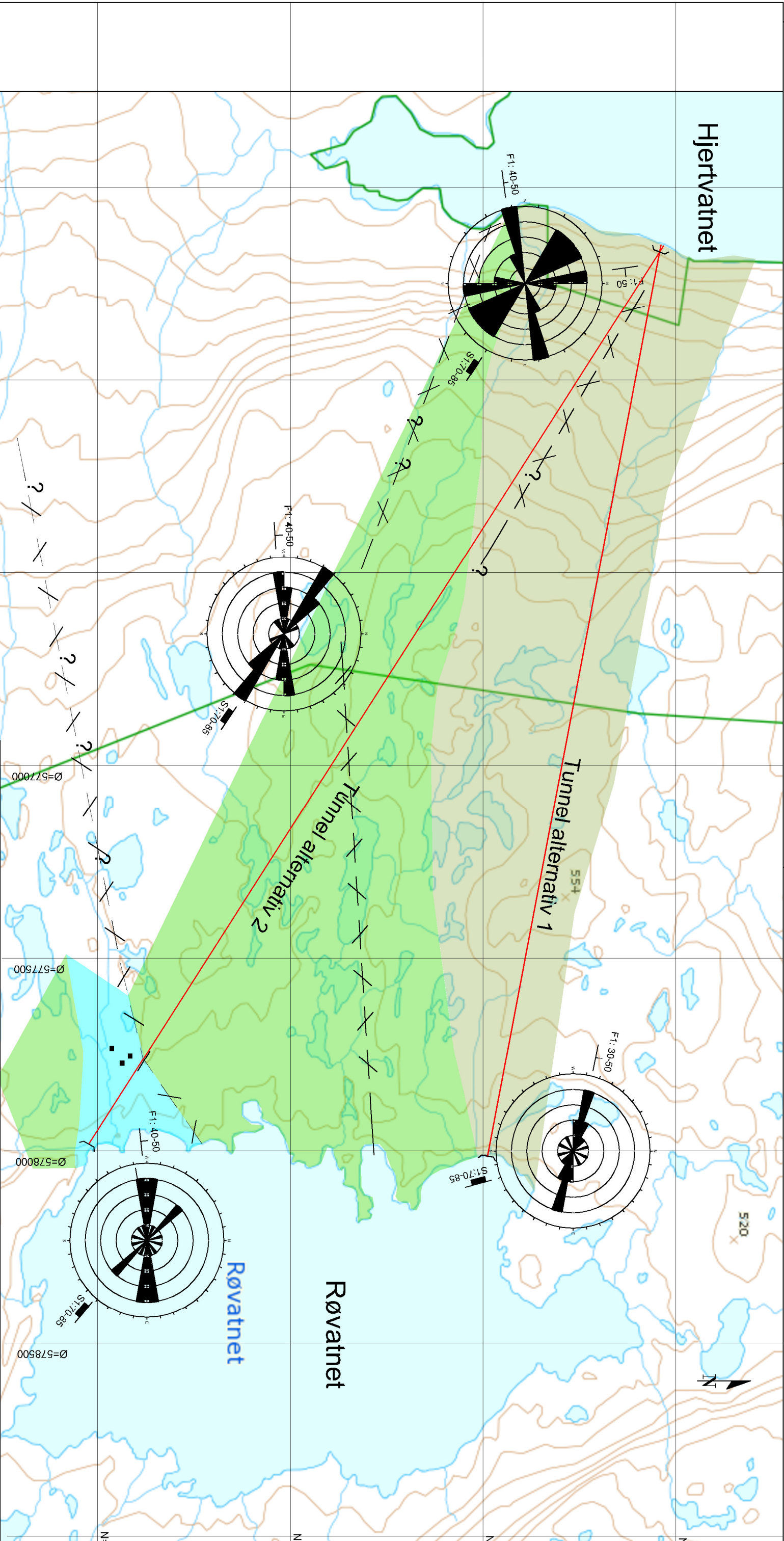
Bilde 12. Tatt mot øst ved Område 5, Røvatnet i bakgrunnen. Viser kalkgrotte med utgang i dagen, se også tegning G01.



Bilde 13. Tatt mot sør i område 6, og viser skissert påhuggsområde for alternativ 2.

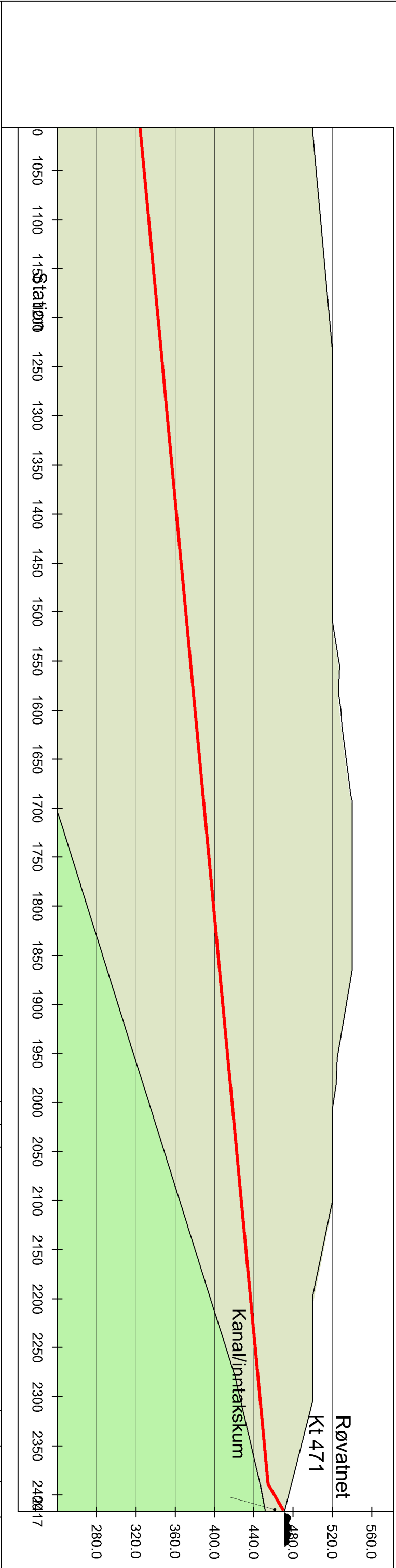
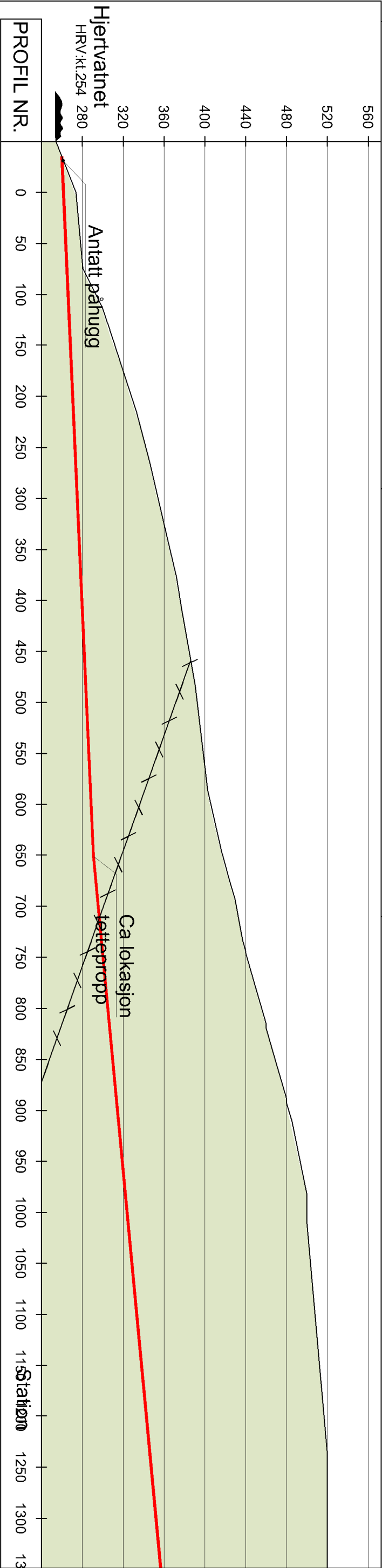


Bilde 14. Tatt mot nord langs vestlig bredde ved Røavatnet mellom område 6 og 7, og påhuggsområde for alternativ 1.



- Tegnforklaring**
- Gneis
 - Glimmerskifer/ glimmerkgneis
 - Kalkskifer/kalkspatmarmor
 - Mulig svakhetssone
 - Grotteåpning i dagen

Status	Rev.	Ending	Utført	Kont.	Ansv.	Dato
Ballangen Energi AS						
Vanntunnel Rørvatnet-Hjertvatnet			normarp	noham	noham	09.12.2016
Vanntunnel Rørvatnet-Hjertvatnet			Målestokk	1:10000	UTM33 NM1954	A3
Geologisk kart			Oppdragsleder	Martin Dyrhøberg Pettersen		
			Oppdragsnr.	26556001		



Gneis

Glimmerskifer/glimmerkgneis

Kalkstein

Mulig svakhetssone

Grotteåpning i dagen

Merknader

Inntak og påhugg er ikke nøyaktig påtegnet. Dette detaljeres i detaljprosjekteringer.

Status

Rev.

Ballangen Energi AS

Vanntunnel Rørvatnet-Hjertvatnet

Geologisk kart

Alternativ 1

Lengdeprofil

SWECO Norge AS

FORREDELSEN 11, 1327 LVSAKER

TEL: 67 12 60 00 FAX: 67 12 56 40

Disiplin:

G

Løpernummer:

02

Status

Rev.

X

00

Utført

Kont.

Ansv.

Dato

normanp noham

noham

02.02.2017

Målestokk

1:4000

UTM33 NN1954

A3

Oppdragsleder

Martin Dyrhøberg Pettersen

Oppdragsnr.

26556001

p:1281126556001: ballangen energi as overringsstunnel røvatn-hjertvatn geologiske vurderinger: ballangen energi as 09 tegnet 02 arbeidsmodell 26556001 geologi plan og profil .m: feature sprog .dwg

Prosjektansvar: E. februar 2017 10:45:16

