

RESULTATER FRA KJERNEBORING, VURDERING AV BERGFORHOLD, BERGUTTAK OG BERGSIKRING

OSC-20-H003-G-RA-00004

B27



1107304 OCEAN SPACE CENTRE

Prosjekt	Ocean Space Centre
Kontrakt	K201
Byggherre	Statsbygg
Utgiver	Multiconsult
Utskriftsdato	10.12.2021
Sist endret	09.11.2020
Henvendelser kan rettes til	Statsbygg Postboks 232 Sentrum, 0103 Oslo Telefon: 22 95 40 00 Epost: postmottak@statsbygg.no Internett: http://www.statsbygg.no

RAPPORT

Ocean Space Centre - H003 - Grunn og Betong

OPPDRAGSGIVER

Statsbygg

EMNE: RESULTATER FRA KJERNEBORING, VURDERING
AV BERGFORHOLD, BERGUTTAK OG BERGSIKRING

DATO / REVISJON: 9. november 2020 / 00

DOKUMENTKODE: 10216159-RIGberg-RAP-001



Multiconsult

Denne rapporten er utarbeidet av Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Hvis kunden i samsvar med oppdragsavtalen gir tredjepart tilgang til rapporten, har ikke tredjepart andre eller større rettigheter enn det han kan utlede fra kunden. Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.

RAPPORT

OPPDRAG	Ocean Space Centre - H003 - Grunn og Betong	DOKUMENTKODE	10216159-RIGberg-RAP-001
EMNE	Resultater fra kjerneboring, vurdering av bergforhold, berguttak og bergsikring	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAGSGIVER	Statsbygg	OPPDRAGSLEDER	Svein Nielsen
KONTAKTPERSON	Kjersti Skjelle Paulsen	UTARBEIDET AV	Audun Andersen
KOORDINATER	SONE: UTM32 ØST: 571530 NORD: 7033400	ANSVARLIG ENHET	Multiconsult Norge AS
GNR./BNR./SNR.	57 / 295 / 0 / Trondheim		

SAMMENDRAG

					
00	09.11.2020		Audun Andersen	Ine Gressetvold	Andreas Berger/ Håvard Narjord
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

Det er utført kjerneboringer, samt logging av borhull med akustisk og optisk televiwer langs en del av planlagt byggegrøp på Tyholt i Trondheim. Undersøkelsene har redusert usikkerheten knyttet til bergforhold, bergsikringsbehov og begrensninger knyttet til uttak av berg.

Kjerneboring gir fysiske borkjerner av berg, og disse er logget og vurdert av ingeniørgeolog. Det er tatt ut til sammen ca. 90 m kjerneprøve av berg, fordelt på fem borhull. Borhullslogging med televiwer gir informasjon om oppsprekingsgrad og orientering av sprekker, samt fotologg av borhullene. Boringene har redusert usikkerheten knyttet til bergforholdene i området.

Bergarten registrer i de utborede kjernene består i hovedsak av en tydelig foliert, sterkt til meget sterk grønnstein. Basert på oppsprekingsfaktoren (RQD) og på antall sprekkesett som er observert å forekomme samtidig, vurderes bergforholdene som egnet for etablering av byggegrøp.

Som følge av registrert sprekkeorientering, kombinert med til dels glatte sprekker, må det forventes større behov for bergsikring med hensyn på plane utglidninger og kileutglidninger i byggegrøpas vestre og søndre vegg enn i de øvrige veggene. Disse veggene ligger henholdsvis parallelt parkeringsplassen på nedsiden av Tyholtårnet og parallelt Otto Nielsen veg. Her forventes i større grad enn øvrige deler av byggegrøpa, behov for systematisk forbolting, og at forboltene må forankres i betongdrager parallelt skjæringstopp. I tillegg må det forventes behov for både tettere bolting og lengere bolter her. Det kan også bli behov for reduserte salvehøyder og lengder, slik at bergveggene kan sikres før eventuelle utglidninger inntreffer.

Det er så langt ikke avdekket forhold som gir grunn til å anta at bergforholdene totalt sett er mer krevende enn det som tidligere er lagt til grunn, men det er sannsynliggjort at sikringsbehovet i byggegrøpas vestre og søndre bergvegg blir større enn i de øvrige veggene. Videre, basert på tilgjengelige data, kan estimatet for nødvendig dybde for forankring mot oppdrift reduseres i forhold til tidligere estimat.

Anvendbarheten av steinmaterialet som skal tas ut kan ikke fastslås uten videre undersøkelser i form av analyser og testing av mekaniske egenskaper. Erfaringsmessig er grønnstein en bergart som kan være egnet i vegbygging, og som er godt egnet som fyllmasse. Det vurderes som sannsynlig at grønnsteinen som er påvist gjennom kjerneboringen i området er egnet som tilslagsmateriale i betong. Dette må imidlertid bekreftes gjennom analyser og testing. Grønnskifer knuses erfaringsmessig lett ned. Dersom deler av bergmassen består av dette vil andelen av steinmaterialet som kan benyttes i vegbygging reduseres. Det er derfor positivt at kjerneboringen viser grønnstein, og ikke grønnskifer

Boringene er kun utført langs en liten del av prosjektert byggegrøp, og avstanden mellom borhullene er stor. Boringene gir derfor kun en indikasjon på hvilke bergforhold som kan forventes. Det kan ikke utelukkes at det finnes strukturer med betydning for stabilitet, skjæringsutforming, og anvendbarhet av steinmaterialet, som ikke kan identifiseres i de fem borhullene.

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Innledning	6
1.1	Berggrunn	6
1.2	Kjerneboring	7
1.2.1	Logging av kjerner	8
1.3	Borhullslogging med televiewer	8
2	Forbehold	9
3	Resultat	9
3.1	Bergart	9
3.2	Oppsprekking	10
3.2.1	RQD - Oppsprekkingsfaktor	10
3.2.2	Sprekkesett og orientering	11
3.2.3	Sprekkeegenskaper	11
3.2.4	Svakhetssoner	12
3.2.5	Sulfider	12
4	Vurderinger	12
4.1	Generelt	12
4.2	Berguttak og bergsikring	13
4.2.1	Sprengning	13
4.2.2	Wiresaging	13
4.2.3	Utforming av bergskjæringer, berguttak og bergsikring før berguttak	13
4.2.4	Stabilitetssikring av berg i byggegrøp	15
4.3	Forankring mot oppdrift	15
4.4	Anvendbarhet av steinmaterialet	15
4.4.1	Vegbygging og fyllinger	15
4.4.2	Tilslag i betong	15
5	Resultater fra logging av kjerner	16
6	Oppsummering	21
7	Referanser	21

Vedlegg

1. Rapport fra kjerneboring, Geo Drilling AS: Rapport P-190520, Tyholt 2020 – Rapport fra kjerneboring
2. Rapport fra borhullslogging med televiewer, Ruden AS: ATV and OTV well logging Tyholttårnet Trondheim_Ruden Geo Services_2020_10_30

1 Innledning

For å redusere usikkerhet knyttet bergforhold i planlagt byggegrop i berg på Tyholt er det utført kjerneboring. Det er tatt ut til sammen ca. 90 m kjerneprøve av berg, og borhullene er senere logget ved bruk av akustisk og optisk televierer.

Formålet med kjerneboringen var å:

- Skaffe informasjon om bergartstype og egenskaper
- Skaffe informasjon om grad av oppsprekking, samt sprekkenes orientering og egenskaper
- Øke sannsynligheten for at eventuelle svakhetssoner identifiseres
- Gi bedre grunnlag for å vurdere nødvendig omfang av bergsikring og forankringslengder for oppdriftsforankring
- Skaffe grunnlag for vurdering av geometrisk utforming av bergskjæringsvegger

Kjerneboringen ble utført av Geo Drilling AS, i perioden fra 11.9. til 23.9.2020. Logging med televierer ble utført av Ruden Geo Services AS, den 21.10.2020.

Rapport fra kjerneboring og fra televierer-undersøkelser er lagt ved dette notatet.

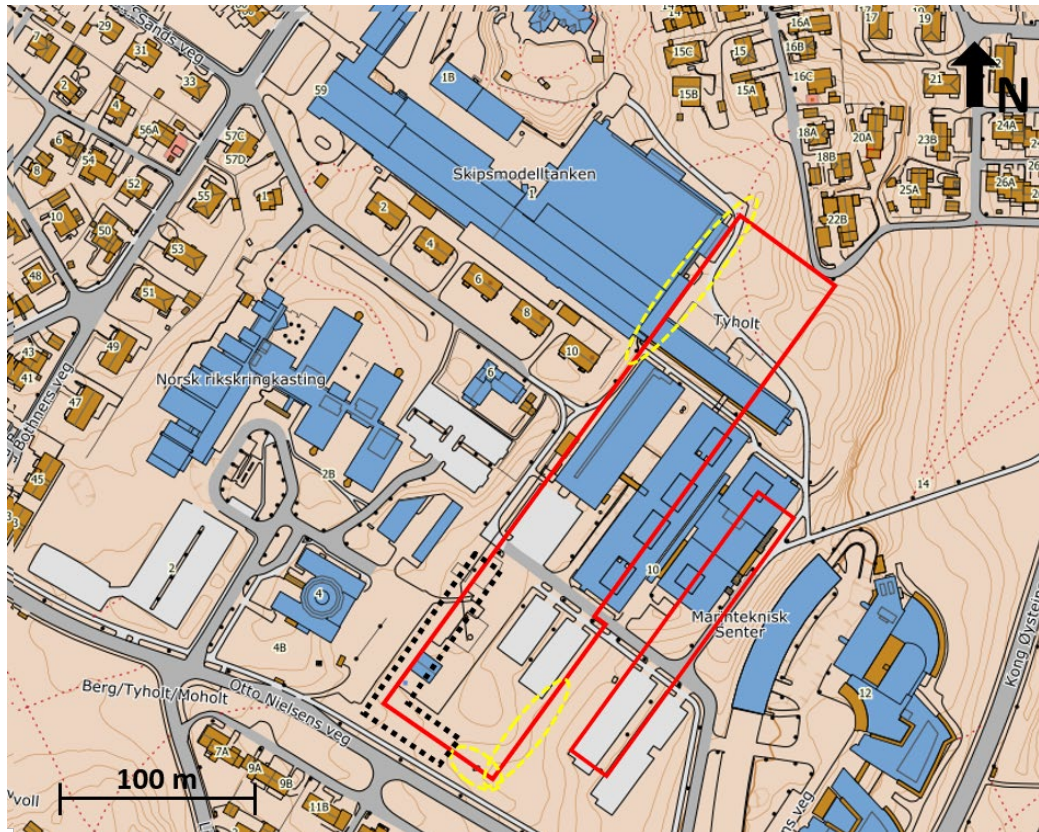
Planlagt byggegrop har orientering sørvest-nordøst, som vist i Figur 1. For enkelthetskyld er veggene i den planlagte byggegropa i dette notatet omtalt som nord-, sør-, øst, og vestvegg. Vestveggen grenser mot Tyholttårnet, mens sørveggen grenser mot Otto Nielsens veg.

1.1 Berggrunn

Ifølge geologisk kart fra NGU, se Figur 1, består berggrunnen i området av: «Grønnstein (metabasalt) og grønskifer uddifferensiert. Hovedsakelig deformert putelava med enkelte lag av sur lava, kiselstein, tuffitt, gjennomsett av diabasganger, særlig i den vestre delen».

Grønnstein og grønskifer er bergarter som erfaringsmessig kan være forvitret nær overflaten. I tillegg kan den, også der berget er friskt, være noe mekanisk svak og lett knuses ned. Hyppig oppsprekking kan forekomme. Eventuelle lag av tuffitt må ventes å være svakere enn berget ellers, og kan derfor danne glideplan.

Bergartene observert i de utborede kjerneprøvene avviker noe fra NGUs berggrunnskart. Dette er nærmere omtalt i kapittel 3.1



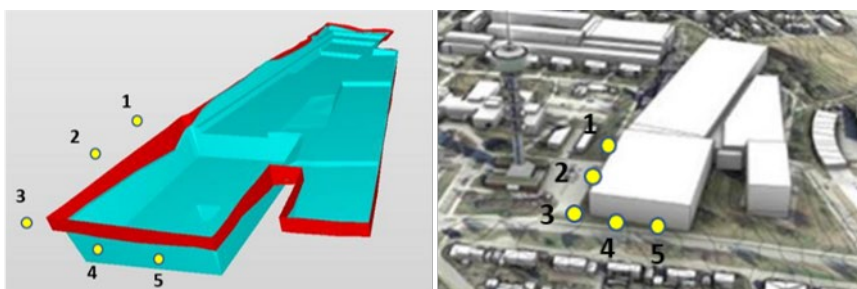
Figur 1. Ifølge berggrunnskart fra www.ngu.no er bergarten i område grønnstein og grønnskifer. Røde polygon angir omtrentlig omtrentlig omriss av byggegrøper. Stiplet sort linje angir området hvor det er utført kjerneboringer, mens gule ellipser angir områder som også var inkludert i Multiconsults opprinnelige anbefaling for kjerneboringer.

1.2 Kjerneboring

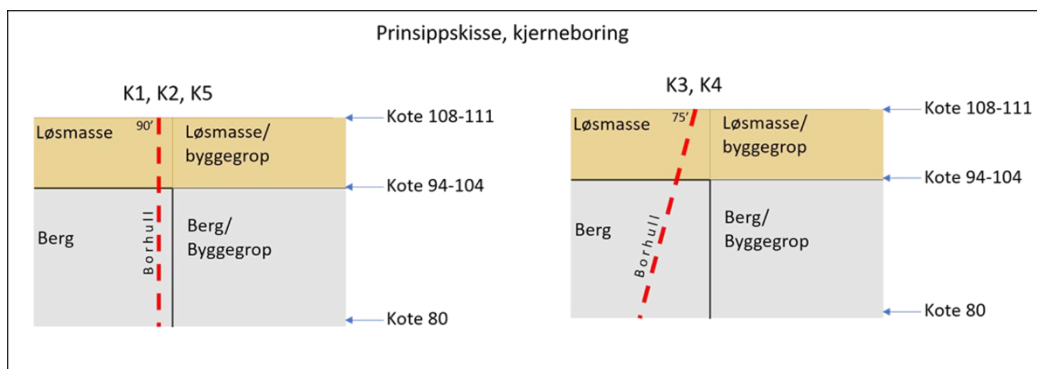
Det er boret i alt 5 hull, K1, K2, K3, K4 og K5. Hullene er plassert langs sørsiden og langs sørligste deler av vestsiden av prosjertert byggegrøp. Omtrentlig plassering er vist i Figur 2. Hull K1, K2 og K5 er vertikale, mens K3 og K4 ble bestilt med stikning 75 grader ut fra byggegrøpa, som illustrert i Figur 3.

Hullene er boret til omtrent nivå for planum av prosjertert byggegrøp. Terreng høyde i området er omkring 110 moh., og løsmassetykkelsen i borpunktene varierer fra ca. 8 til ca. 15 m. Boret lengde i berg varierer fra ca. 16 til ca. 28 m.

De utborede kjernene er ikke orienterte. Dette innebærer at det kun er sprekkens fallvinkel i forhold til kjernen som kan fastslås ved logging av utborede kjerner, mens fallretningen er ukjent.



Figur 2. Omtrentlig plassering av kjerneborhullene.



Figur 3. Bestilt orientering på kjerneborhullene.



Figur 4. Under boring av K1.

1.2.1 Logging av kjerner

Geolog har utført enkel logging av kjernene. Loggingen har omfattet vurdering av bergartstype, oppsprekking, bergartsstyrke og sulfidinnhold.

1.3 Borhullslogging med televiewer

Rapport med resultater fra televiewer-undersøkelsene ble mottatt den 30.10.2020.

Resultatene fra logging med televiewer ga informasjon om oppsprekingsgrad og orientering på sprekker, samt fotologg av borhullene.



Figur 5. Pågående logging med televiewer i K2.

2 Forbehold

Boringene er kun utført langs en liten del av prosjektert byggegrop, og avstanden mellom borhullene er stor. Boringene gir derfor kun en indikasjon på hvilke bergforhold som kan forventes. Det kan ikke utelukkes at det finnes strukturer med betydning for stabilitet, skjæringsutforming, og anvendbarhet av steinmaterialet, som ikke kan identifiseres i de fem borhullene.

3 Resultat

Se kapittel 5 for foto av kjernene, sammenstilt med RQD og sprekkeantall per meter fra både kjernelogging og televiewertolkning.

3.1 Bergart

Bergart er i hovedsak en tydelig foliert grønnstein (metabasalt), og vurderes, basert på enkle tester med hammer, å være sterk til meget sterk. Tabell 1 beskriver metoden som er benyttet for vurdering av styrke.

Generelt bruser grønnsteinen svakt ved tilsetting av saltsyre, noe som indikerer et visst kalkinnhold. Alle deler av kjernene har enkelte lyser partier. Det er disse som bruser tydeligst. Der kjernene generelt er lysere er det likevel ikke hyppigere/kraftigere brusing.

Overgangen mellom en tydelig foliert grønnstein og en grønnskifer er vanskelig å fastslå. Grønnsteinen som er observert i borhullene vurderes ikke som skifrig, men den tydelige foliasjonen indikerer at grønnskifer kan forekomme ved andre deler av den planlagte byggegropa.

I borhull K4 og K5 forekommer også en kvartsrik bergart, trolig kvartskeratofyr eller felsitt. Denne opptrer som lag på inntil 2 m mektighet mot bunnen av disse hullene. Bergarten er meget sterk, men mer sprø enn grønnstein.

Tabell 1. Enkel feltestimering av trykkfasthet (Nilsen and Palmstrøm, 2000)

Term	Feltbestemmelse	Ca. σ_3 (MPa)
Ekstremt svak bergart	Kan lage fordypning med tommelnegl	0,25-1
Meget svak bergart	Smuldrer ved kontant slag med spiss ende av geologihammer. Kan «skrelles» med lommekniv.	1,5
Svak bergart	Kan, med vansker, «skrelles» med lommekniv. Grunn fordypning ved kontant slag med spiss ende av geologihammer.	5-25
Middels sterk bergart	Kan ikke skrapes eller «skrelles» med lommekniv. Et håndstykke sprekker etter ett kontant slag med geologihammer.	25-50
Sterk bergart	Det kreves mer enn ett slag med geologihammer for at et håndstykke skal sprekke.	50-100
Meget sterk bergart	Det kreves mange slag med geologihammer for at et håndstykke skal sprekke.	100-250
Ekstremt sterk bergart	Det lar seg kun gjøre å få løs fliser ved bruk av geologihammer	>250

3.2 Oppsprekking

3.2.1 RQD - Oppsprekkingsfaktor

Oppsprekkingsfaktor er klassifisert etter RQD (Rock Quality Designation). RQD er et enkelt klassifiseringssystem for bergmasser basert på kjerneprøver, og er definert som følger [1]:

«Summen av lengdene av alle kjernebiter med lengde over 10 cm i prosent av hele kjernelengden. Ved utregning av RQD skal bare naturlige sprekker tas med.»

RQD oppgis i prosent, og inndelingen er som beskrevet i Tabell 2.

Tabell 2. Tabellen viser hvordan RQD-verdier karakteriseres med beskrivende tekst.

RQD (oppsprekkingsfaktor)	
0-25 %	Svært dårlig
25-50 %	Dårlig
51-75 %	Middels
75-90 %	God
90-100 %	Utmerket

Logging av de utborede kjernene viser en lite til moderat oppsprukket bergart. Den klassifiserer i hovedsak som god til utmerket (RQD 75-90), med unntak av enkelte soner, som havner i kategorien middels til dårlig (RQD 25-50). Logging av kjerneborhullene med televiwer indikerer en lite oppsprukket bergart, og alle deler av kjernene klassifiserer som utmerket (RQD 80-100).

Avviket i oppsprekking mellom manuell logging av utborede kjerner og televiwer-logging av borhull var forventet. Årsaken er at den største andelen av oppsprekkingen opptrer langs foliasjonen, og at det var uklart i hvor stor grad dette var naturlig oppsprekking, eller om det skyldtes håndtering av kjernene.

Videre kan tette sprekker og sprekker med liten vinkel i forhold til borhullene være vanskelige å identifisere ved bruk av televiwer. Det antas derfor at faktisk grad av oppsprekking er lavere enn det som observeres ved logging av borkjerner, men noe høyere enn det televiwer-loggingen indikerer.

Der televiever rapporterer om svakhetssoner uten at det kan observeres i kjerner, eller omvendt, er det kjernene som vektlegges

3.2.2 Sprekkesett og orientering

Det er observert inntil 3 ulike sprekkeretninger på én kjernebit (lengde 1 m), men i hovedsak er det liten variasjon i sprekkorienteringen.

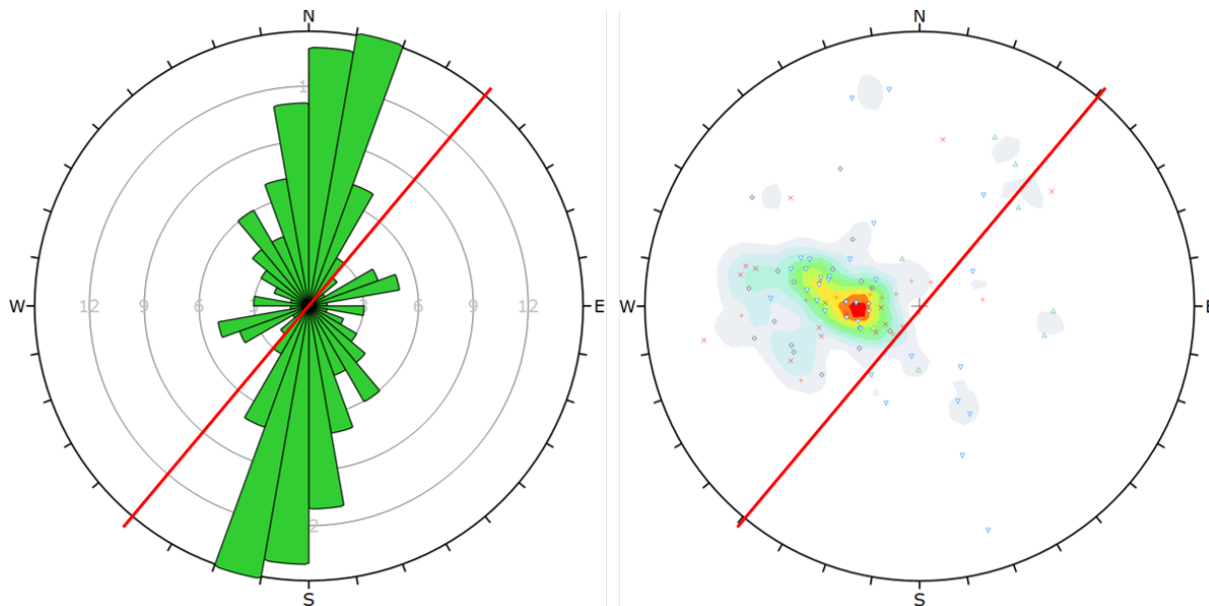
Fordi variasjonen i sprekkretning og fall er liten, og fordi orienteringen på bergartens foliasjon varierer, blir identifisering av ulike sprekkesett usikker. Sprekkene har i overveiende grad fall mot øst og sørøst og fallvinkel på 30-60°, som vist i Figur 6. Unntak finnes, og enkeltsprekker har fallvinkel på inntil ca. 80°.

Tabell 3 presenterer en mulig gruppering av sprekkene tolket fra televiever i ulike sett.

Tabell 3. Gruppering av sprekker i sett. Fallvinkler og retninger utgjør et gjennomsnitt av orienteringen til grupperte sprekker. Foliasjonen er eneste struktur som opptrer i samtlige borhull.

Struktur	Fallvinkel	Fallretning	# sprekker	Opptreden
Foliasjon	30°	095°	41	K1,K2,K3,K4,K5
Sprekkesett 1	60°	100°	10	K1,K2,K4,K5
Sprekkesett 2	60°	220°	5	K2,K3,K5
Sprekkesett 3	35°	340°	4	K1,K2,K4,K5
Sprekkesett 4	84°	170°	5	K2,K5

I K1 og K2 er det flere soner med tettere oppsprekking, mens det i K5 generelt er høyere forekomst av sprekker enn i de øvrige hullene. I K3 og K4 er det generelt lite sprekker.



Figur 6. Rosediagram (venstre) og polplott (høyre) for sprekker registrert ved logging med televiever. Rød linje indikerer omtrentlig orientering av byggegrop. Rosediagram: Grønn skravur viser registrerte sprekkplanorientering i forhold til nord. Polplott: Hver prikk representerer en sprekk, jo nærmere prikken er sentrum av figuren, dess slakere er fallet. Fargesjatteringene viser hvor det er tettest med sprekker.

3.2.3 Sprekkeegenskaper

Sprekkeflatene varierer fra glatte og plane til ru og irregulære. Flertallet av sprekkene har belegg av mineralet kloritt eller annet mineral med lignende egenskaper, som gjør at sprekkene blir svært glatte.

Den største andelen av oppsprekningen opptrer langs foliasjonen. Ved logging av utborede kjerner er det uklart i hvor stor grad dette er naturlig oppsprekking, eller om det skyldes håndtering av kjernene. Resultatene fra televiwer-undersøkelsene indikerer at graden av oppsprekking er mindre enn det kjernene viser.

3.2.4 Svakhetssoner

I utborede kjerner er det observert svakhetssoner i hull K1, K2 og K5. Disse ser ut til å være assosiert med sprekker med steilere fall enn foliasjonen. Det forekommer noe leire i disse sonene. Med unntak av en sone i K2, sammenfaller dette med svakhetssoner tolket fra televiwer. Der televiwer rapporterer om svakhetssoner uten at det kan observeres i kjerner, eller omvendt, er det kjernene som vektlegges. Se Tabell 4.

I borhull K5, på dybde ca. 17-17,5 m måtte det under kjerneboringen støpes ut og bores på nytt. Dette indikerer en svakhetsone, og ved 17 m er det observert leire og til dels knust berg.

Tabell 4. Svakhetssoner tolket fra televiwer sammenstilt med svakhetssoner observert i utborede kjerner. Orienteringen er basert på data fra televiwer. Orientering merket * vurderes å følge bergartens foliasjon.

Borhull	Dybde (m)		Orientering på sone (fall/fallretning)
	Televiwer	Kjerne	
K1	22,5	22-24	65/110
	26	26	35/120*
K2	24	-	67/100
	-	26-28	-
	29	30	67/100
K3	-	-	-
K4	-	-	-
K5	16-18	16-18	40/105*

3.2.5 Sulfider

Det er kun observert spredte og små forekomster av sulfid, trolig pyritt, men finfordelte sulfider kan være vanskelige å identifisere visuelt.

4 Vurderinger

4.1 Generelt

Kjerneboringer og logging av borhull med televiwer har redusert usikkerheten knyttet til grunnforholdene i planlagt byggegrop.

Berget synes å være moderat til lite oppsprukket, og antallet sprekkesett som opptrer regelmessig er begrenset. I flere partier av borhullene og kjernene observeres kun ett sprekkesett i tillegg til tilfeldig forekommende sprekker.

Dominerende sprekkeretning følger foliasjonen. Denne varierer en del, men er i overveiende grad orientert med liten vinkel i forhold til lengdeaksen på planlagt byggegrop, og faller normalt mellom ca. 30 og 50 grader mot øst og sørøst. I tillegg er det registrert sprekkesett med samme retning, men med steilere fall (50-80°) mot øst og sørøst.

Begge disse sprekkesystemene er ugunstige med tanke på stabilitet av byggegropas vestside, og til dels også byggegropas sørside.

I tillegg til registrerte sprekkesett finnes enkeltsprekker som kan medføre lokale utglidninger.

I borhull K5 er graden av oppsprekking høyere enn i de øvrige hullene. Dette kan være tilfeldig, men kan også indikere at bergkvaliteten langs deler av byggegropa er lavere enn det resultatene fra de øvrige borhullene indikerer.

4.2 Berguttak og bergsikring

Basert på resultater fra kjerneboring, samt foto tatt i byggegrop i 1979 (vist i Figur 7) under bygging av eksisterende bølgebasseng, må det forventes større utfordringer knyttet til utglidninger langs byggegropas vestre bergvegg, og i noen grad også søndre bergvegg. Slike utfordringer kan forekomme også langs de øvrige bergveggene, men dette forventes i langt mindre grad.

4.2.1 Sprengning

Uttak av berg vil i hovedsak gjøres ved sprengning.

Boravvik øker med økt borlengde. På grunn av dette bør det ingen steder sprenges med pallhøyde større enn 10 m. Tydelig foliasjon, slik som observert i de utborede kjernene, øker sannsynligheten for boravvik, og ytterligere begrensninger på pallhøyde kan bli aktuelt

Særskilte krav til bevaring av kontur, bakbryting, vibrasjoner, etc. vil settes basert på detaljprosjektering og erfaringer og observasjoner underveis i byggefase. Blant tiltakene som vil være aktuelle er små salver, fortløpende tilpasning av sprengningsopplegg, sømboring, etc.

Dersom det skal oppnås jevn kontur må det påregnes utstrakt bruk av kontursprengning.

4.2.2 Wiresaging

Der nærhet til eksisterende konstruksjoner eller andre hensyn gjør at bevaring av kontur er absolutt nødvendig, bakbryting ikke kan aksepteres, vibrasjoner må holdes svært lave, etc., kan wiresaging være aktuelt alternativ til sprengning. Det er per nå ikke klart om, og eventuelt langs hvilke deler av byggegropa, slike hensyn blir nødvendig.

Ved wiresaging gjelder de samme betraktningene som for sprengning når det gjelder risiko for utglidninger og bevaring av kontur.

4.2.3 Utforming av bergskjæringer, berguttak og bergsikring før berguttak

Der ikke observasjoner på stedet eller erfaringer underveis tilsier annet, anbefales bergskjæringene utformet med vertikale vegger. Se Figur 8.

Vestveggen i den planlagte byggegropa går parallelt parkeringsplassen på nedsiden av Tyholtårnet, mens sørveggen er parallell Otto Niensens veg (se Figur 1).

I vestveggen kan det på grunn av stor sannsynlighet for plane utglidninger bli behov for å begrense pallhøyde til 5 m i enkelte partier. Dette må tilpasses fortløpende, og beslutning med tanke på dette tas på bakgrunn av ingeniørgeologiske vurderinger og erfaringer underveis i byggefase.

For å unngå plane utglidninger forventes behov for systematisk forbolting langs store deler av byggegropas vestvegg. Langs skjæringstopp er det her sannsynlig at forboltene må forankres i en betongdrager. Forbolter og betongdrager må installeres før sprengning. Bildet til høyre i Figur 7 viser plan utglidning. Denne kunne trolig vært unngått ved installering av forbolter forankret i

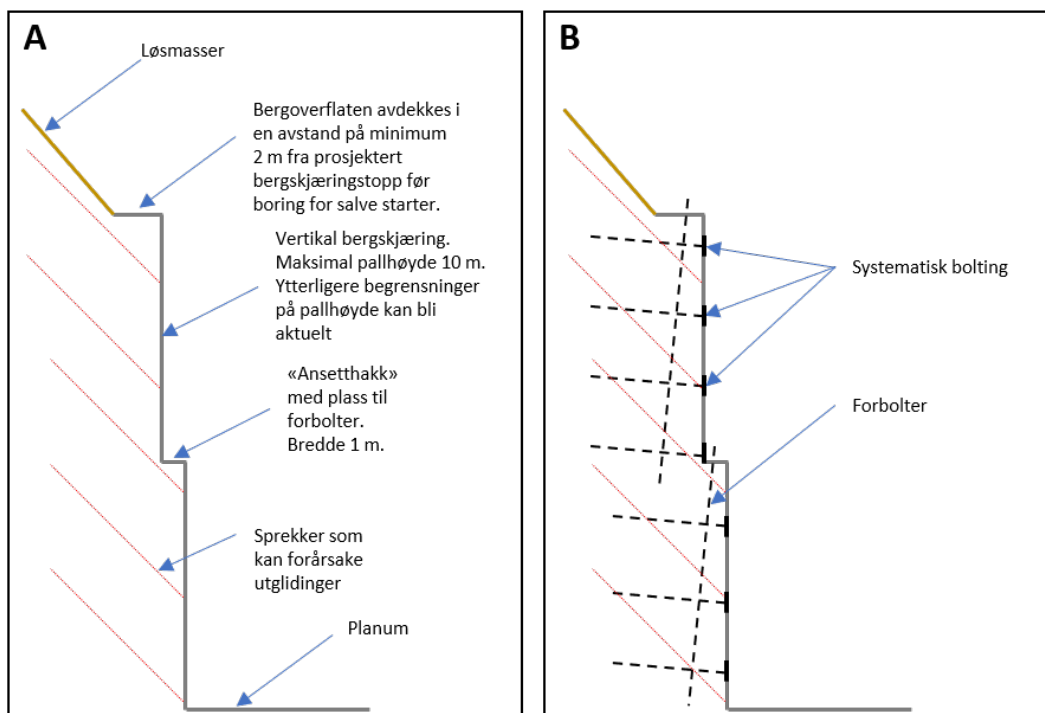
betongdrager før sprengning, i kombinasjon med redusert pallhøyde og fortløpende systematisk bolting.

Lokalt forventes behov for noe forbolting også langs øvrige bergvegger.



Figur 7. Bilder fra bygging av bølgebasseng, datert 1979. Legg merke til tydelig utglidning langs glatt sprekk med fall på 50-60 grader mot øst i bildet til høyre. Sprekken ligner på sprekker med klorittbelegg, observert i utborede kjerner. Bildet til venstre viser berg som tilsynelatende står stabilt uten bergsikring.

I overgangen mellom to paller, der det uansett blir et ansetthakk, må det settes av tilstrekkelig plass til at forbolter kan monteres omtrent 0,5 m innenfor prosjektert kontur, som illustrert i Figur 8 B. I praksis innebærer det at det må settes av ca. 1,0 m ved hver pall.



Figur 8. A: Prinsippskisse for utforming og boltesikring av bergskjæring. Der forbolter ikke er nødvendig kan ansetthakket lages så smalt som praktisk mulig (ca. 0,7 m). B: Forbolter plasseres i utgangspunktet ca. 0,5 m innenfor kontur, med fall omkring 80 grader inn i bergveggen. NB! Løsmasseskjæringen i figuren har ikke riktig vinkel. Bolting utføres så snart en pall er sprengt ut, og før sprengning av pallen nedenfor. Figuren viser ikke sprøytebetong eller nett, men dette vil også bli nødvendig i store deler av byggegropa.

4.2.4 Stabilitetssikring av berg i byggegrop

Som følge av registrert sprekkeorientering, kombinert med til dels glatte sprekker, må det forventes betydelig større behov for bergsikring med hensyn på plane utglidninger i byggegropas vestre og søndre vegg enn i de øvrige veggene, og med hensyn på kileutglidninger i vestre vegg. Enkle kinematiske analyser ved bruk av programvaren Dips fra Rocscience underbygger dette. Se også Figur 7 for foto som viser eksempler på bergforhold under byggingen av eksisterende bølgebasseng.

I tillegg til bolting av vegger forventes det i disse veggene behov for systematisk forbolting, og at forboltene må forankres i betongdrager parallelt skjæringstopp. Det kan også bli behov for reduserte salvehøyder og lengder, slik at bergveggene kan sikres før eventuelle utglidninger kan forekomme.

Det understrekes imidlertid at plane utglidninger, kileutglidninger og utvelting kan forekomme i alle byggegropas vegger, både som følge av registrerte sprekkesett og av tilfeldige sprekker.

Svakhetssoner må vurderes spesielt underveis i etableringen av byggegrop. I flere av disse er det observert noe leire, som kan medføre økt sannsynlighet for utglidninger i skjæringsvegg.

4.3 Forankring mot oppdrift

Basert på kjerneboringen vurderes bergmassen å være lite oppsprukket, og i hovedsak sterk til meget sterk. Bergmassen vurderes godt egnet til forankring mot oppdrift.

Basert på tilgjengelige data kan forankringslengder reduseres i forhold til tidligere estimat.

4.4 Anvendbarhet av steinmaterialet

Det er ikke gjort tester med tanke på anvendbarhet av steinmaterialet.

4.4.1 Vegbygging og fyllinger

Bergarten påtruffet under kjerneboringen er i all hovedsak grønnstein. Erfaringsmessig er grønnstein en bergart som kan benyttes i vegbygging. Trafikkmengde er et viktig kriterium, da det kravene til steinmaterialets mekaniske egenskaper øker med økt trafikkmengde. For å bekrefte egnethet må det utføres testing av mekaniske egenskaper. Dette krever større prøvemengder enn det som er tatt ut gjennom kjerneboringen.

Som fyllmasse vurderes bergarten å være godt egnet.

Grønnskifer knuses erfaringsmessig lett ned. Dersom deler av bergmassen består av dette vil andelen av steinmaterialet som kan benyttes i vegbygging reduseres. Det er derfor positivt at kjerneboringen viser grønnstein, og ikke grønnskifer.

4.4.2 Tilslag i betong

Det er observert noe sulfider i bergarten, trolig pyritt (svovelkis). Sulfider er en gruppe svovelholdige mineraler, og mengden svovel som kan aksepteres før steinmaterialet blir uegnet som tilslag i betong avhenger av type sulfid. Ved forekomst av magnetkis reduseres toleransen betydelig.

I grønnstein i trondheimsregionen forekommer normalt ikke sulfider i slike mengder og varianter at dette representerer noe problem i forbindelse med tilslag. Det er heller ikke observert sulfidmengder av betydning i de utborede kjernene.

Sulfidtyper må bekreftes og svovelinnhold bestemmes ved våtkjemisk analyse.










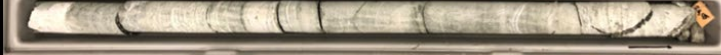







Det er observert en del kloritt langs foliasjon og sprekker. Et for høyt klorittinnhold vil påvirke egenskapene som tilslagsmateriale i betong i negativ retning.

I sum vurderes det sannsynlig at grønnsteinen i området kan benyttes som tilslag i betong. Dette må imidlertid bekreftes gjennom analyser og testing.

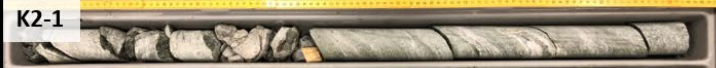
















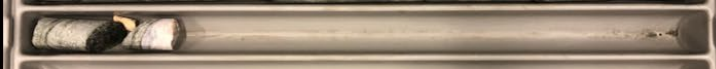


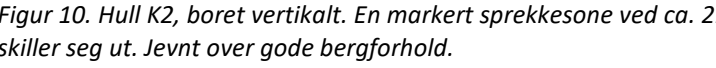
5 Resultater fra logging av kjerner

Foto av utborede kjerner er sammenstilt med resultater fra logging og fra tolkning med televiwer. Dybdeangivelse er rundet av til nærmeste meter og basert på de utborede kjernene. Merk at televiwertolkningen i partier kan være noen cm forskjøvet i forhold dette.

Det angis antall sprekker og RQD (se Tabell 2 for inndeling), både fra logging og fra televiwertolkning. Ved bestemmelse av antallet sprekker fra loggingen er det ikke forsøkt å trekke fra sprekker som kan være sekundære (altså de som stammer fra håndteringen av kjernene). Unntaket er endene på hvert av kjernestykkene, kjernene er delt opp i 1 m lange biter for å få plass i kjernebatter, der er det gjort en vurdering av om disse følger naturlige sprekker eller ikke.

K1		Dybde		Kjerne logging		Televiwer	
		Fra	Til	RQD	# Spr	RQD	# Spr
K1-1		16	17	40	11	100	0
		17	18	100	4	100	0
		18	19	80	4	100	0
		19	20	100	4	100	0
		20	21	100	5	100	0
K1-2		21	22	70	5	90	3
		22	23	26	>10	95	5
		23	24	37	>15	90	3
		24	25	63	7	90	2
		25	26	66	5	95	2
K1-3		26	27	72	7	95	3
		27	28	77	4	100	1
		28	29	100	3	100	0
		29	30	80	6	100	2
		30	31	95	3	100	0
K1-4		31	32	85	4	100	0
		32	33	100	5	100	0
















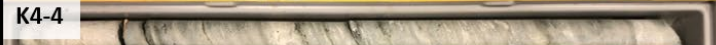
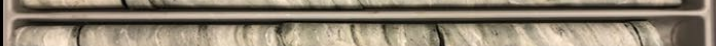



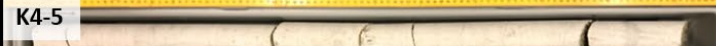
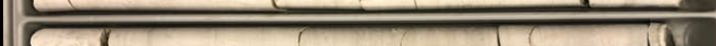


Figur 9. Hull K1, boret vertikalt. Knusningssoner fra 22-24 m og ved 26 m skiller seg ut. Jevnt over gode bergforhold.

K2		Dybde		Kjerne logging		Televiwer	
				RQD	# Spr	RQD	# Spr
K2-1		10	11	56	>10	100	0
		11	12	100	4	100	0
		12	13	70	10	100	0
		13	14	85	5	100	0
		14	15	95	3	100	0
K2-2		15	16	100	3	100	0
		16	17	95	4	100	1
		17	18	95	3	100	0
		18	19	100	2	100	0
		19	20	90	2	100	0
K2-3		20	21	100	3	100	0
		21	22	65	8	90	2
		22	23	79	5	100	1
		23	24	95	6	95	1
		24	25	100	7	99	3
K2-4		25	26	75	8	95	3
		26	27	47	>10	100	0
		27	28	55	>10	100	0
		28	29	95	2	100	1
		29	30	66	6	95	3
K2-5		30	31	55	0	100	1
		31	32	100	0	100	0
		32	32	50	0	100	0





















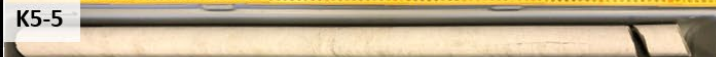


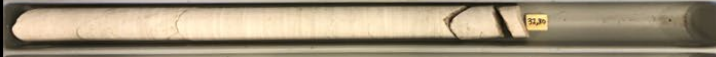
Figur 10. Hull K2, boret vertikalt. En markert sprekkeseone ved ca. 21 m og en knusningsone fra 26,5-27,5 m skiller seg ut. Jevnt over gode bergforhold.

K3	Dybde		Kjerne logging		Televiuer	
			RQD	# Spr	RQD	# Spr
K3-1	8	9	68	7	100	0
	9	10	100	4	100	0
	10	11	93	5	100	0
	11	12	90	3	100	0
	12	13	90	3	100	0
K3-2	13	14	100	5	100	0
	14	15	84	4	100	0
	15	16	90	4	100	0
	16	17	93	5	100	0
	17	18	83	4	100	0
K3-3	18	19	100	2	100	0
	19	20	100	2	100	0
	20	21	92	5	100	0
	21	22	100	4	100	0
	22	23	87	7	95	1
K3-4	23	24	72	8	100	0
	24	25	75	3	95	1
	25	26	80	6	100	0
	26	27	80	6	100	0
	27	28	90	4	100	0
K3-5	28	29	75	7	90	4
	29	30	70	8	99	1
	30	31	100	2	99	1
	31	32	90	4	100	0
	32	33	88	5	100	0
K3-6	33	34	85	4	100	0
	34	35	75	5	100	0
	35	36	100	3	100	0

Figur 11. Hull K3, boret 65 ° mot vest. Jevnt over gode til utmerkede bergforhold.

K4		Dybde		Kjernelogging		Televiwer	
				RQD	# Spr	RQD	# Spr
K4-1		9	10	90	6	99	1
		10	11	82	5	100	0
		11	12	92	3	100	0
		12	13	88	3	100	0
		13	14	96	4	100	0
K4-2		14	15	100	3	100	0
		15	16	95	4	100	0
		16	17	93	2	100	0
		17	18	98	2	100	0
		18	19	100	4	100	0
K4-3		19	20	90	3	100	0
		20	21	92	4	95	0
		21	22	100	2	100	1
		22	23	100	3	100	0
		23	24	98	7	100	0
K4-4		24	25	95	3	100	0
		25	26	95	4	99	1
		26	27	100	2	100	0
		27	28	100	3	98	1
		28	29	80	7	98	3
K4-5		29	30	85	5	99	2
		30	31	90	6	90	1
		31	32	85	6	95	3
		32	33	75	9	100	2

Figur 12. Hull K4, boret 75° mot sør. Jevnt over utmerkede bergforhold.

K5		Dybde		Kjerne logging		Televierer	
				RQD	# Spr	RQD	# Spr
K5-1		9	10	68	8	100	0
		10	11	35	8	95	0
		11	12	85	5	95	1
		12	13	77	5	98	1
		13	14	50	4	98	2
K5-2		14	15	100	3	99	1
		15	16	76	8	90	2
		16	17	55	11	95	3
		17	18	40	10	80	5
		18	19	71	5	100	2
K5-3		19	20	79	7	98	1
		20	21	90	8	98	1
		21	22	90	5	98	1
		22	23	95	2	95	0
		23	24	80	5	90	2
K5-4		24	25	80	4	95	1
		25	26	67	6	90	3
		26	27	70	6	98	2
		27	28	95	4	100	2
		28	29	65	7	98	0
K5-5		29	30	92	1	99	1
		30	31	88	3	98	1
		31	32	71	7	98	2
		32	32	85	3	90	0

Figur 13. Hull K5, boret vertikalt. Svakere berg fra 15-18 m, og et parti med kjernetap fra 17-17,5 m skiller seg ut. Ellers jevnt over gode bergforhold, men mer oppsprekking enn i de andre kjerneborhullene.

6 Oppsummering

Boringene har redusert usikkerheten knyttet til bergforholdene i området.

Basert på oppsprekkingsfaktoren (RQD) og antall sprekkesett som er observert å forekomme samtidig, vurderes bergforholdene som egnet for etablering av byggeprop.

Som følge av glatte sprekker med fall inn mot byggepropa, må det forventes større behov for bergsikring med hensyn på plane utglidninger og kileutglidninger i byggepropas vestre vegg, og til dels også søndre vegg, enn i de øvrige veggene. Her forventes i større grad enn øvrige deler av byggepropa, behov for systematisk forbolting, og at forboltene må forankres i betongdrager parallelt skjæringstopp. I tillegg må det forventes behov for både tettere bolting og lengere bolter her. Det kan også bli behov for reduserte salvehøyder og lengder, slik at bergveggene kan sikres før eventuelle utglidninger inntreffer.

Steiltstående svakhetssoner kan medføre utfordringer og behov for tyngre sikring. Svakhetssoner må vurderes spesielt underveis i etableringen av byggeprop. I flere av disse er det observert noe leire, som kan medføre økt sannsynlighet for utglidninger i skjæringsvegg.

Det er ikke avdekket geologiske strukturer som gir føringer for skjæringshelning, og bergskjæringene anbefales etablert med vertikale vegger.

Det er så langt ikke avdekket forhold som gir grunn til å anta at bergforholdene totalt sett er mer krevende enn det som tidligere er lagt til grunn, men det er sannsynliggjort at sikringsbehovet i byggepropas vestre bergvegg blir større enn i de øvrige veggene. Videre, basert på tilgjengelige data, kan estimatet for nødvendig dybde for forankring mot oppdrift reduseres i forhold til tidligere estimat.

Erfaringsmessig er grønnstein en bergart som kan benyttes i vegbygging. For å bekrefte egnethet må det utføres testing av mekaniske egenskaper. Dette krever større prøvemengder enn det som er tatt ut gjennom kjerneboringen. Som fyllmasse vurderes bergarten å være godt egnet.

Videre vurderes det sannsynlig at grønnsteinen i området kan benyttes som tilslag i betong. Dette må imidlertid bekrefte gjennom analyser og testing, blant annet med tanke på sulfidinnhold.

7 Referanser

[1] NGI, «Håndbok- Bruk av Q-systemet. Bergmasseklassifisering og bergforsterkning,» NGI, 2015.

Report

Well logging of OTV and ATV with the aim to map the presence, direction and aperture of fractures at Tyholttårnet, Trondheim.

Multiconsult



To: Audun Andersen – Multiconsult Trondheim
Project: Well logging – Tryholttårnet, Trondheim
Date: 30 October 2020
Subject: Results from well logging of wells K1, K2, K3, K4 and K5
Written by: Emil Gulbransen
Approved by: Manon van Goethem
Firm: Ruden AS

RUDEN AS – Mariusbakken 1D, 1628 Engelsviken, NORWAY

Org.nr. 996031705
Tel: +47 69364141
Web: www.rudenas.com
Email: mail@rudenas.com

Title:

Well logging of OTV and ATV with the aim to map the presence, direction and aperture of fractures at Tyholttårnet, Trondheim

Authors and email:

Emil Gulbransen (emil@rudenas.com)

Contractor/Organization:

Multiconsult

Contact person(s) and email:

Manon van Goethem (manon@rudenas.com)

Project Manager and coordinator:

Manon van Goethem

Page number: 27

Attachments: Well Logs

Fieldwork execution date:

21 October 2020

Final report date:

29 October 2020

Survey category:

Well Logging

Person(s) responsible:

Emil Gulbransen
Manon van Goethem

Approved by:

Manon van Goethem

Table of content

Table of content	3
Executive Summary	4
1. Introduction	4
2. Location	5
3. Geophysical Logging methods	6
3.1 Logging Equipment	6
3.2 Geophysical Tools	6
4. Data acquisition	8
5. Borehole Logging Constraints	9
6. Data processing	9
7. Results	10
7.1 Borehole K1	10
7.2 Borehole K2	11
7.3 Borehole K3	12
7.4 Borehole K4	13
7.5 Borehole K5	14
8. Interpretation and discussion	15
8.1 Borehole K1	16
8.2 Borehole K2	17
8.3 Borehole K3	18
8.4 Borehole K4	19
8.5 Borehole K5	20
9. Conclusion	21
Appendix 1. Geophysical Logs	22
Appendix 2. Fracture data	22

Executive Summary

Well logging was completed in 5 boreholes located at Tyholttårnet, Trondheim. The casing of the boreholes had a diameter of 76 mm, but the actual boreholes had a diameter of less than 75 mm. This is below what the logging tools are designed for (ATV and OTV), but fractures could still easily be seen and interpreted on the well logs. All the boreholes (apart from K5 and a shallow fracture in K4) has fractures starting from ~20 m and deeper. K5 is the exception where you have fractures scattered throughout the borehole. K3 has the least amounts of interpreted fractures, while K4 has fractures with relatively small apertures throughout.

1. Introduction

At the request of Audun Andersen from Multiconsult well logging was carried out in the following boreholes: K1, K2, K3, K4 and K5 located by Tyholttårnet, Trondheim. The work was carried out by Ruden Geo Services on 21 October 2020.

The following logs were run:

Borehole	Logs	From (m)	To (m)
K1	OTV, ATV	32.4	13.5
K2	OTV, ATV	32.2	8.3
K3	OTV, ATV	35.5	7.0
K4	OTV, ATV	32.7	7.5
K5	OTV, ATV	31.6	7.5

TABLE 1. LIST OF THE BOREHOLES, TOOLS USED AND LENGTH MEASURED.

2. Location

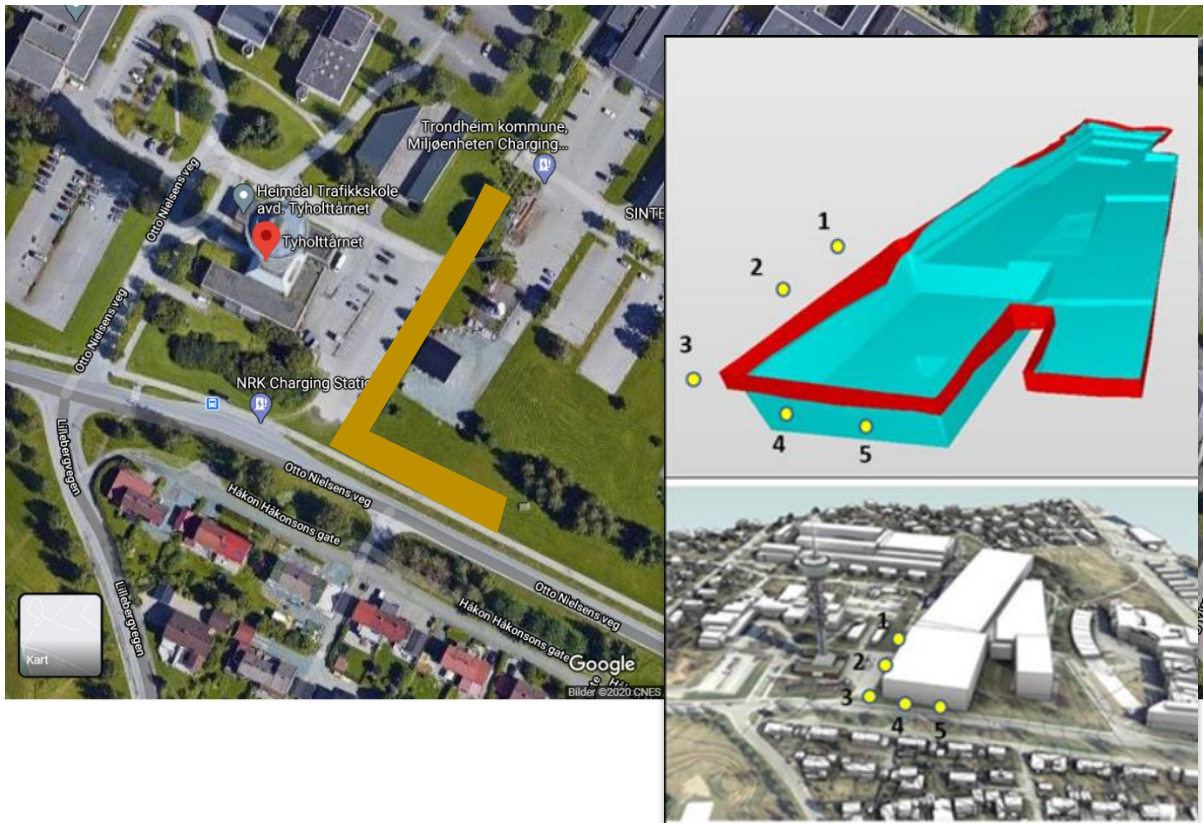


FIGURE 1. LOCATION OF FIELD STUDY AREA. TAKEN FROM GOOGLE MAPS. THE BOREHOLES ARE LOCATED IN THE AREA MARKED IN YELLOW. THE INSET IMAGE SHOWS THE INFORMATION RECEIVED FROM THE CLIENT OF THE LOCATIONS OF THE BOREHOLES.

3. Geophysical Logging methods

A fully digital logging system, manufactured by GeoVista, with a 1500m capacity motorised winch mounted in a large van was used.

All logging data was recorded digitally for reprocessing and archiving purposes.

All logs were mainly measured from the bottom of the borehole upward, due to the small diameter of the boreholes and the weight of the sondes.

The optical imager survey was carried out first to avoid the disturbance of the fluid by the geophysical logs which may affect water clarity.

3.1 Logging Equipment

Logging equipment used is from ALT. This includes:

- Logger box from ALT (for ATV and OTV)
- Winch (1500m)
- Winch panel
- Logging tools:
 - Optical Televiwer (OTV)
 - Acoustic Televiwer (ATV)

Logger: The logger box is connected to a laptop by USB and communicates with the winch and the logging tools installed.

Software: WellCad is used for processing, plotting and interpretation of the data.

3.2 Geophysical Tools

Acoustic Televiwer – ATV - (Amplitude and Travel Time)

Typical applications:

- Identification of faults, fractures, bedding, veins and lithology changes
- Definition of strike/dip of bedding and fractures

Principle of measurement:

This tool scans the borehole wall in 360 degrees and records the acoustic reflection of the resulting signal in terms of amplitude and transit time (the travel time from the tool to the borehole wall). This technique requires a fluid filled borehole with a minimum of suspended solids, polymers or muds within the fluid column. This means it is not possible to get results in the part of the hole that is not filled with water.

This sensitive technique responds to small diameter changes, rugosity and the acoustic nature of the borehole wall. It is primarily used for detecting fractures and other discontinuities. The resultant images are orientated (to magnetic North) 0° through 90°, 180° and 270° back to 0°.

The logging tool is centralised during data acquisition by two sets of bow springs. The bow springs are adjusted to a variety of borehole diameters prior to acquisition. The image is viewed on the way down the borehole to allow fine tuning of the acquisition parameters. The settings are then adjusted, and the image recorded on the way up the borehole which ensures a constant line speed during acquisition. Images and associated data are viewed in real time during the data acquisition.

The orientation system employs a flux gate magnetometer and therefore the recorded data within approximately one metre of magnetic steel casing is un-orientated. This is corrected manually during the post-processing stage.

Interpretation:

The image produced from the acoustic imager represents the image of the borehole wall. From this image it is possible to interpret structural and bedding features and to get the corresponding strike/dip information. In an image darker colours (up to black) represent features with a large diameter, as fractures and borehole breakouts.

Dipping beds appear on the image as sine-wave patterns, because of the flat image of the round-shaped borehole. The amplitude of the sine-wave indicates dip angle, and the valley of the sine-wave indicated downdip direction.

Optical Televiewer - OTV

Typical applications:

- Detailed and oriented structural information
- Fracture detection and evaluation
- Determination of bedding dip
- Lithology characterisation

Principle of measurement:

A precision-machined prism and CCD camera assembly permits a high definition video image of the borehole wall to be captured in a variety of horizontal and vertical resolutions. The resulting image is digitised in the sonde for transmission to the surface acquisition system.

The image is then orientated to Magnetic North and displayed as an unwrapped image log. This enables a detailed structural interpretation to be made if required.

For the best results, the optical imager should be run above the water level or in clean, clear fluid. The logging tool is centralised during data acquisition by two sets of bow

springs. The bow springs are adjusted to a variety of borehole diameters prior to acquisition. The image is recorded on the way down the borehole to limit disturbance to the clarity of the water in the borehole by the logging tool.

Images and associated data are viewed in real time during the data acquisition.

The orientation system employs a flux gate magnetometer and therefore the recorded data within approximately one metre of magnetic steel casing is un-orientated. This is corrected manually during the post-processing stage.

Interpretation:

The image of the borehole wall is presented in an unwrapped form with a horizontal scale marked 0° - North, through 90° - East, 180° - South, 270° - West, back to North. Using the borehole diameter, tilt and azimuth, along with the geometric parameters of the sinusoids, the true azimuth and dip of the discontinuities are calculated and presented as a “tadpole” plot (True Dip °). Additionally, rose diagrams, stereo nets, frequency histograms and contour plots of the discontinuities can be produced.

4. Data acquisition

The ATV was run at a speed of 1.1 meter per minute. The OTV tool was run at a speed of 1.4 – 1.7 meters per minute. There was not any major difference between measured depth and true vertical depth, as the boreholes were rather shallow.

Logging sequence Tyholtårnet, Trondheim					
	K1	K2	K3	K4	K5
ATV	21.10.2020	21.10.2020	21.10.2020	21.10.2020	21.10.2020
OTV	21.10.2020	21.10.2020	21.10.2020	21.10.2020	21.10.2020

TABLE 2: DATES FOR DATA ACQUISITION

5. Borehole Logging Constraints

Vehicle access restrictions

All boreholes were accessible by vehicle. The vehicle had to be driven on grass in order to get the correct angle of the inclined boreholes (K3 and K4).

Tool access restrictions

None

Borehole conditions / risk to equipment

The boreholes were reported to have a diameter of 76mm. Both the ATV and OTV tool have a minimum design functionality of 75mm. The boreholes were shallower than 76mm below the casing. This means that the holes for this project were at the border of what the tool can handle in terms of size and data acquisition. Potential risk of smaller diameter boreholes is that the tool could get stuck, especially if the borehole is inclined. Extra care was taken to prevent this.

Lack of fluid filled column / cloudy fluid

The OTV tool was run first to get a first impression of the borehole and detect a possible water level. All the five boreholes were naturally filled with water. By our request, Audun Andersen in Multiconsult had provided us with a trailer with a water-tank in case the boreholes were not naturally filled. Since this was the case, the water-trailer was not used.

6. Data processing

All logging data was recorded digitally for reprocessing and archiving purposes. The plotting and processing of all the acquired data was performed in WellCAD (ALT™ software). Some of the logs are sliced at the top at intervals where data are not valid, e.g. data inside the casing. The image data is referenced to Magnetic North.

7. Results

7.1 Borehole K1

Measured depth (m)	32.4
True vertical depth (m)	32.4
Horizontal deviation (m)	0.41
Fractures and weakness zones	Borehole K1 (appendix. 1) has a fractured zone at around 22.5m. In addition, there is a significant fracture zone at 26m. These are shown in Fig. 3. There are several other smaller fractures throughout the borehole.

TABLE 3: WELL INFORMATION OF K1.

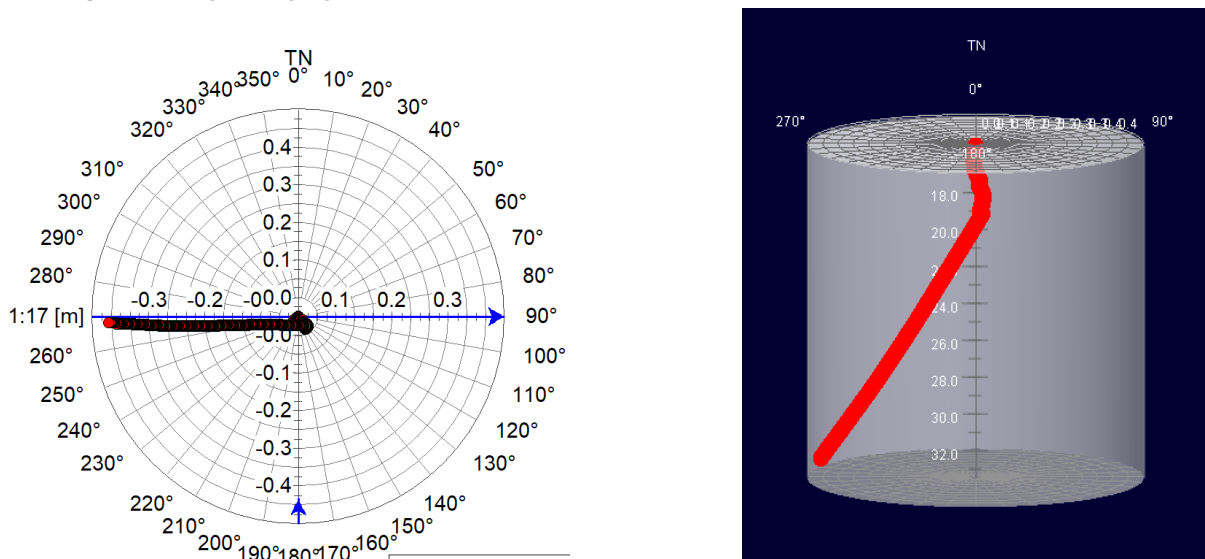


FIGURE 2. DEVIATION (LEFT) AND TRAJECTORY (RIGHT) OF K1.

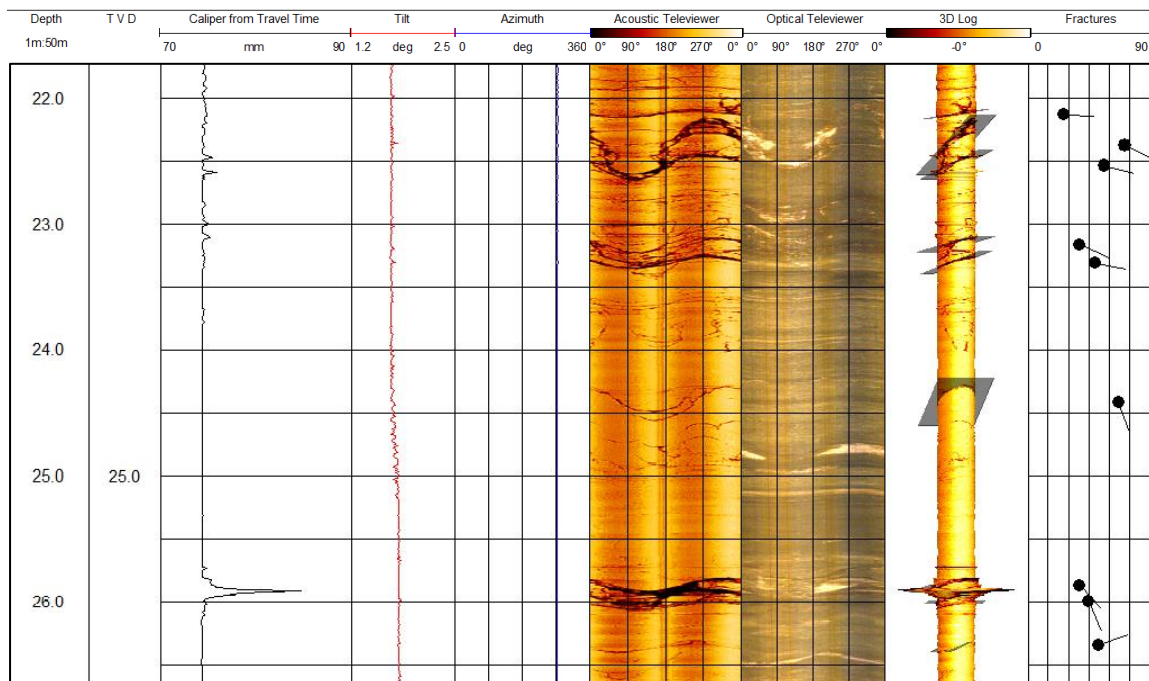


FIGURE 3. ZOOM-IN ON FRACTURE ZONE IN K1, BETWEEN 22M AND 26.5M.

7.2 Borehole K2

Measured depth (m)	32.2
True vertical depth (m)	32.2
Horizontal deviation (m)	0.79
Fractures and weakness zones	Borehole K2 (appendix. 1) has fractured zones at around 24m and a second one at 29m. In addition, there are some fractures from 21.5-22m depth (Fig. 5).

TABLE 4. WELL INFORMATION OF K2.

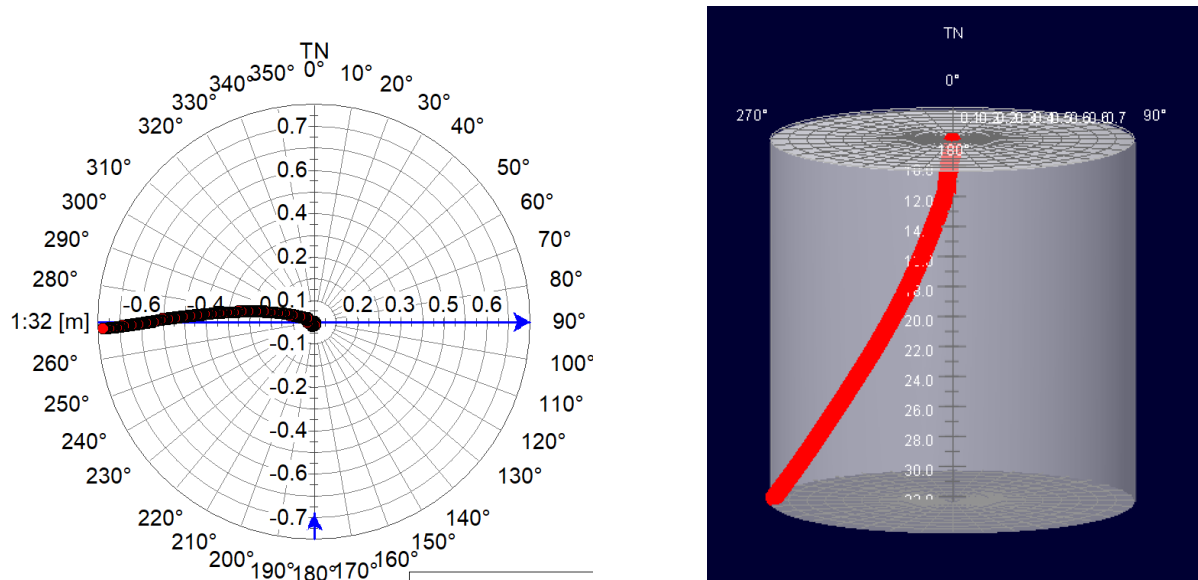


FIGURE 4. DEVIATION (LEFT) AND TRAJECTORY (RIGHT) OF K2.

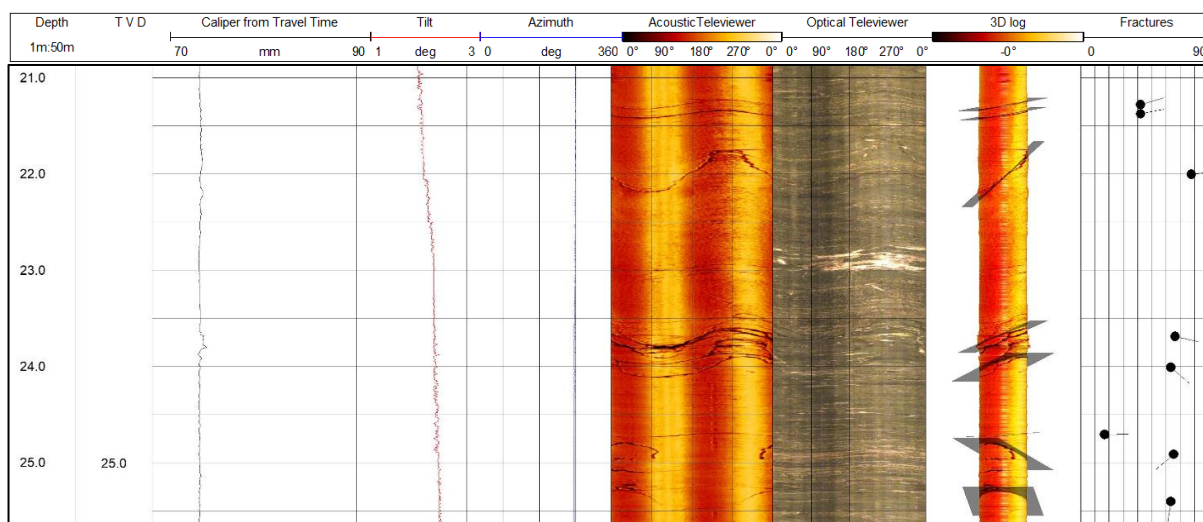


FIGURE 5. FRACTURE ZONE IN K2 BETWEEN 21M AND 25M.

7.3 Borehole K3

Measured depth (m)	35.5
True vertical depth (m)	33.0
Horizontal deviation (m)	9.55
Fractures and weakness zones	Borehole K3 (appendix. 1) has 8 fractures interpreted. The shallowest fracture is interpreted at 22.5m depth (see figure 7).

TABLE 5. WELL INFORMATION OF K3.

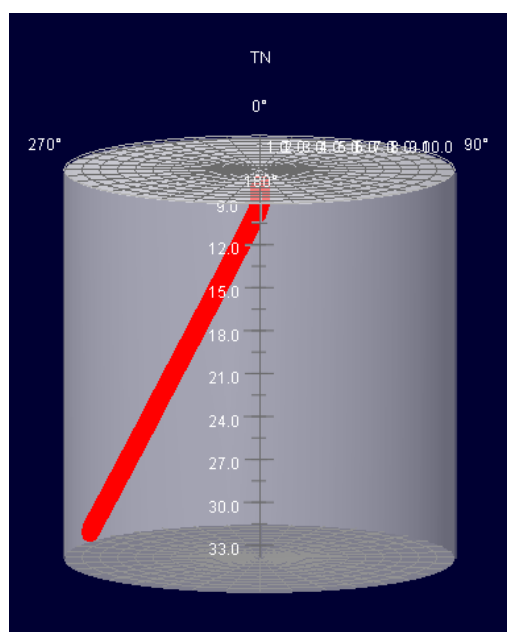
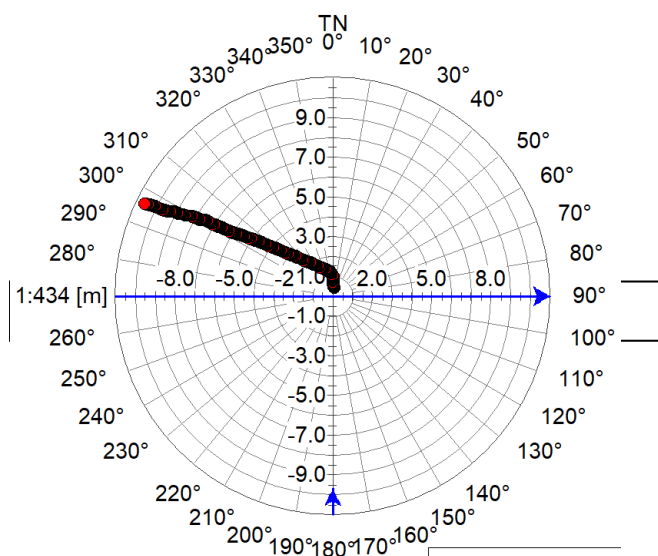


FIGURE 6. DEVIATION (LEFT) AND TRAJECTORY (RIGHT) OF K3.

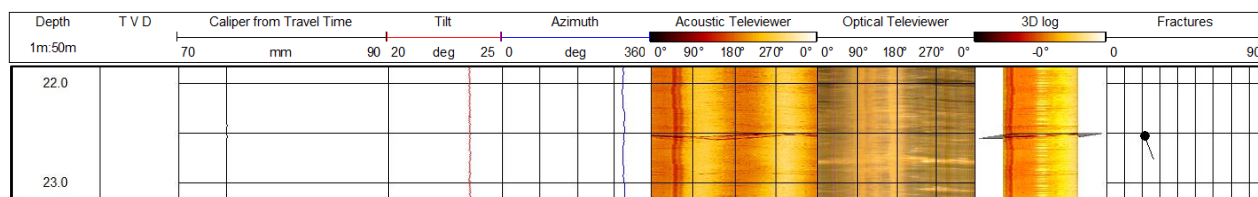


FIGURE 7. CLOSED FRACTURE AT 22.5M DEPTH IN K3.

7.4 Borehole K4

Measured depth (m)	32.7
True vertical depth (m)	31.5
Horizontal deviation (m)	2.95
Fractures and weakness zones	Borehole K4 (appendix. 1) has one fracture interpreted just below the bottom of the casing. In addition, there is a zone with fractures towards the bottom of the borehole Between 31m and 32m (Fig. 9).

TABLE 6. WELL INFORMATION OF K4.

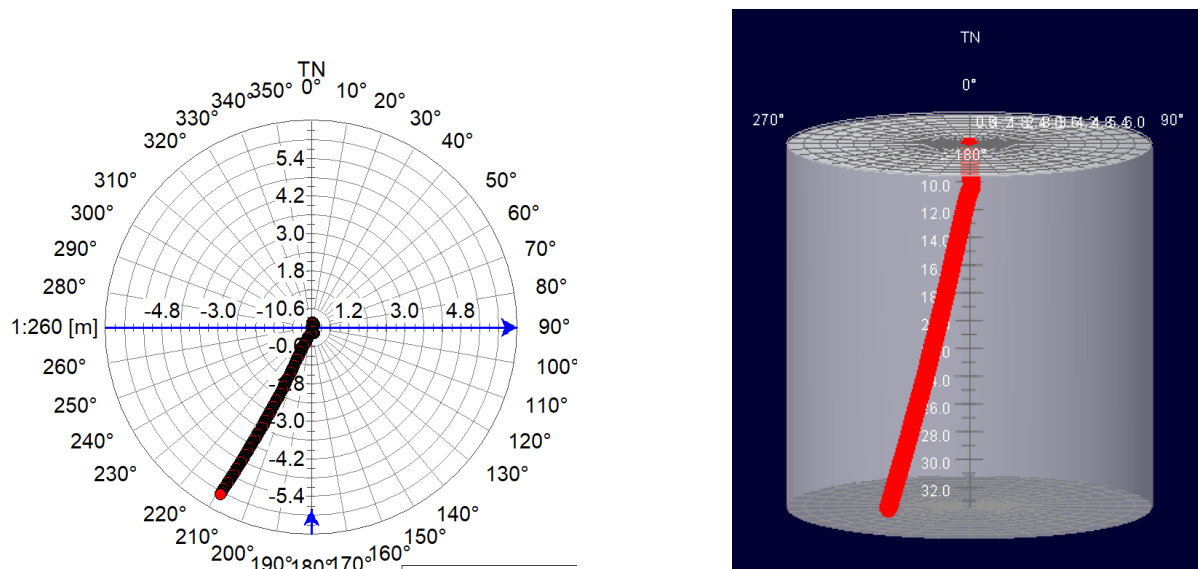


FIGURE 8. DEVIATION (LEFT) AND TRAJECTORY (RIGHT) OF K4.

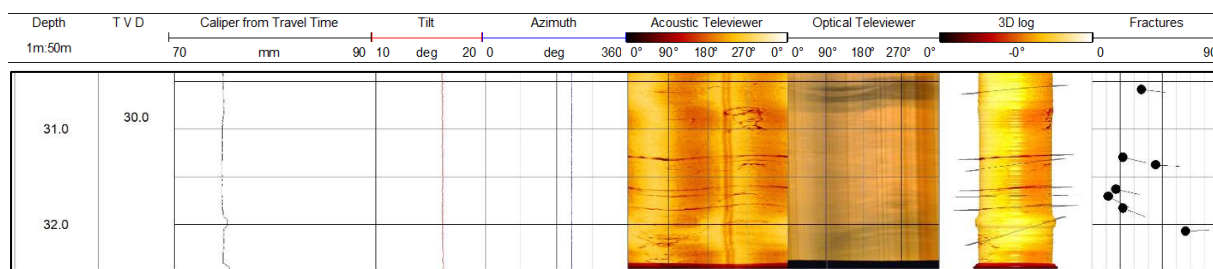


FIGURE 9. INTERPRETED FRACTURES AT THE BOTTOM OF WELL K4.

7.5 Borehole K5

Measured depth (m)	31.6
True vertical depth (m)	31.6
Horizontal deviation (m)	0.87
Fractures and weakness zones	Borehole K5 (appendix. 1) has several fractures interpreted throughout the borehole. The most significant fracture zone is between 16m-18m. (Fig. 11).

TABLE 7. WELL INFORMATION OF K5.

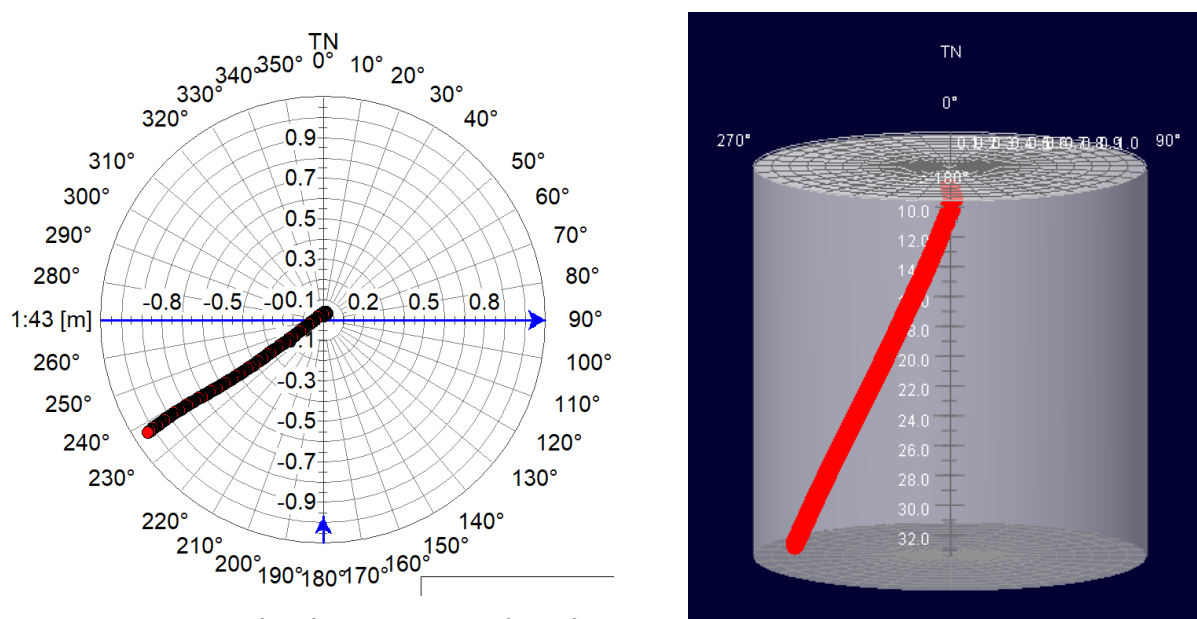


FIGURE 10. DEVIATION (LEFT) AND TRAJECTORY (RIGHT) OF K5.

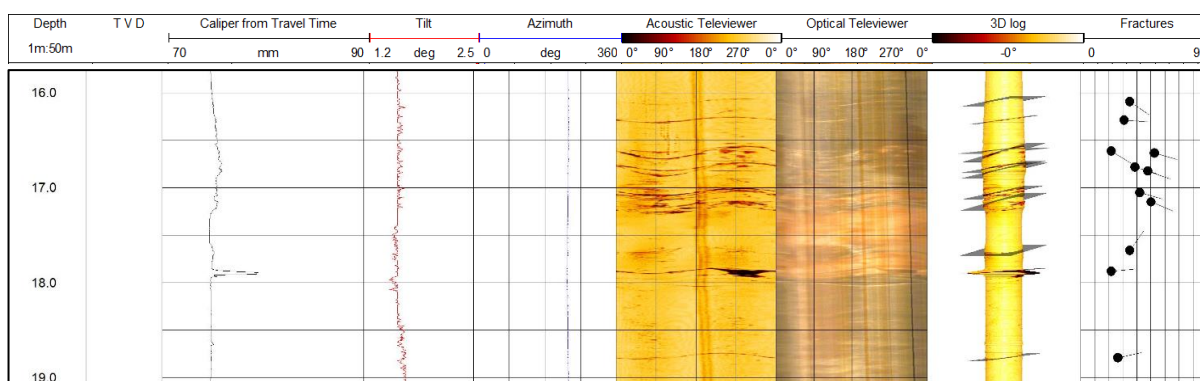


FIGURE 11. FRACTURED ZONE AT 17 M AND FRACTURE AT 18 M IN WELL K5.

8. Interpretation and discussion

The fractures are interpreted using the combination of the ATV, OTV and caliper logs. As in Fig. 3 as example fractures are recognized in those 3 logs. The caliper log gives a good indication of the aperture of the fractures.

The fracture interpretation is done in WellCad. The exact values are based on the interpretation of the extend of the fractures. The criteria used to interpret fractures was by looking at a combination of the caliper, ATV and OTV logs. For example when looking at Fig. 11 on the previous page, there is a clear cut correspondence with all three logs at the 18 m fracture. The caliper log is showing an increase in diameter, and the fracture is visible on both the ATV and OTV log.

Conversely, there are different features that may look like fractures, that show a contrast difference on the ATV log. This can for example be caused by geological bedding. In this case the OTV log will show a clear difference in geology (change in lithology, bedding or veins, which makes it possible to distinguish between the different features occurring in the borehole. Also, these features are most likely not reflected in the caliper log,

In the well logs (see appendix. 1) the caliper of the boreholes is calculated based on the travel time measured with the ATV sonde. This measures the diameter of the borehole and shows that the casing in all boreholes is 76 mm, while the drilled section below the casing is below 75 mm. The ATV and OTV sonde are designed down to a minimum of 75 mm. This did not affect the capability to detect and map the fractures in the boreholes.

8.1 Borehole K1

Table 8 contains the fracture parameters of the 21 interpreted fractures in K1. As mentioned in section 7.1 there is a fracture zone around 22m depth with several minor fractures with apertures varying between 8.94 – 31.23 mm. The relatively large fracture at 25.87 m has an aperture of 74.18 mm and is the largest fracture in any of the five boreholes.

TABLE 8. INTERPRETATED FRACTURES OF K1.

Depth	Azimuth	Dip	Aperture
m	deg	deg	mm
21.24	70.76	26.57	13.42
21.55	111.83	21.8	9.28
21.84	93.45	21.8	4.64
21.92	50.55	16.7	9.58
22.13	92.31	26.57	8.94
22.34	123.04	72.12	21.49
22.54	104.62	56.31	27.73
22.79	94.98	30.96	4.29
23.19	113.85	38.66	31.23
23.31	101.54	50.19	19.21
23.64	93.45	26.57	4.47
24.4	150.13	60.95	4.86
24.81	96.51	64.54	4.3
25.91	135.39	38.66	74.18
26.03	113.36	26.57	13.42
26.35	70.77	52.43	9.15
26.52	79.66	63.43	4.47
26.65	55.15	30.96	8.58
27.39	55.38	47.73	3.36
29.23	84.62	56.31	5.55
29.35	73.85	52.43	6.1

8.2 Borehole K2

Table 9 contains the fracture parameters of the 16 interpreted fractures in K2. The borehole has mainly two fracture zones; from 21 – 24 m depth with 5 fractures with aperture of 1.06 – 19.94 mm, and at 29m and contains 4 fractures with apertures ranging from 2.24 – 26.92 mm.

TABLE 9. INTERPRETATED FRACTURES OF K2.

Depth	Azimuth	Dip	Aperture
m	deg	deg	mm
16.63	82.72	30.96	4.29
21.28	73.85	41.99	3.72
21.38	78.46	41.99	7.43
22	81.54	77.74	1.06
23.69	103.08	66.5	19.94
24.01	130.77	63.43	6.71
24.71	88.85	16.7	9.58
24.91	229.79	65.56	2.07
25.4	188.43	63.43	2.24
25.79	62.81	16.7	9.58
25.93	84.26	30.96	12.86
28.29	59.74	21.8	4.64
28.96	100	67.38	26.92
29.36	92.31	38.66	15.62
29.59	103.08	63.43	2.24
30.6	67.69	54.46	5.81

8.3 Borehole K3

Table 10 contains the fracture parameters of the 8 interpreted fractures in K3. This is the borehole with the least interpreted fractures. The fractures are not in particular concentrated in one area. The fracture with the smallest aperture of 6.1 mm is located at 28.79 m depth, while the fracture with the biggest aperture of 18.57 mm is at 22.55 m depth.

TABLE 10. INTERPRETATED FRACTURES OF K3.

Depth	Azimuth	Dip	Aperture
m	deg	deg	mm
22.54	160	21.8	18.57
25.09	1.54	26.57	8.94
28.57	283.4	50.19	6.4
28.72	225.19	54.46	5.3
28.8	272.31	52.43	6.1
28.92	65.87	21.8	9.28
29.35	204.62	68.2	1.86
30.95	214.47	64.54	2.15

8.4 Borehole K4

Table 15 contains the fracture parameters of the 9 interpreted fractures in K4. The interpreted fractures in this borehole are all rather small in aperture with all of them under 10 mm. This is unlike the interpretation in any of the other boreholes. Most fractures are occurring towards the base of the borehole, between 28m and 32m depth.

TABLE 11. INTERPRETATED FRACTURES OF K4.

Depth	Azimuth	Dip	Aperture
m	deg	deg	mm
9.24	58.46	54.46	5.81
20.76	162.38	11.31	14.71
25.15	205.28	11.31	9.81
27.05	42.89	11.31	4.9
28.15	264.62	26.57	8.94
28.54	44.62	16.7	9.58
29	104.17	41.99	7.43
29.49	86.15	30.96	8.57
30.59	96.92	34.99	4.1
31.3	103.08	21.8	4.64
31.38	93.45	45	3.53
31.63	103.08	16.7	9.58
31.7	117.96	11.31	9.81
31.83	110.77	21.8	9.28
32.07	87.69	66.5	5.98

8.5 Borehole K5

Table 12 contains the fracture parameters of the 32 interpreted fractures in K5. K5 is the borehole with most fractures interpreted, which are spread throughout the borehole. Despite being the borehole with the most interpreted fractures, there are no relatively large fractures occurring in this borehole.

TABLE 12. INTERPRETATED FRACTURES OF K5.

Depth	Azimuth	Dip	Aperture
m	deg	deg	mm
10.79	19.91	41.99	14.87
11.74	326.15	30.96	12.86
13.04	151.66	38.66	7.81
13.25	172.31	77.74	3.19
14.42	9.19	21.8	9.28
15.07	87.69	38.66	3.9
15.25	113.85	47.73	10.09
16.09	124.09	34.99	8.19
16.29	93.83	30.96	17.15
16.61	121.02	21.8	9.28
16.63	106.15	52.43	12.19
16.78	106.15	38.66	7.81
16.82	108.77	47.73	6.73
17.05	106.15	41.99	11.15
17.15	112.31	50.19	9.6
17.66	35.23	34.99	12.29
17.88	84.62	21.8	4.64
18.79	76.92	26.57	8.94
20.22	93.85	41.99	11.15
20.87	81.19	30.96	12.86
22.76	338.46	41.99	22.3
22.87	237.45	26.57	8.94
24.33	344.62	59.53	2.54
24.54	343.08	81.63	0.73
24.54	108.77	38.66	7.81
25.42	162.38	77.99	2.08
25.52	69.23	26.57	8.94
25.95	93.85	57.99	5.3
27.26	93.45	26.57	8.94
29.52	98.46	45	3.53
29.91	335.38	47.73	3.36
30.79	102.64	41.99	7.43
30.87	210.77	50.19	3.2

9. Conclusion

Based on the interpreted fractures in the previous section (section 8), all the boreholes (apart from K5 and a shallow fracture in K4) has fractures starting from ~20 m and deeper. K5 is the exception where you have fractures scattered throughout the borehole. K3 has the least amounts of interpreted fractures, while K4 has fractures with relatively small apertures throughout. Borehole K1 has the largest fracture with an aperture of 74.18 mm.

Appendix 1. Geophysical Logs

(The well logs are also delivered to the client in JPEG format in separate files)

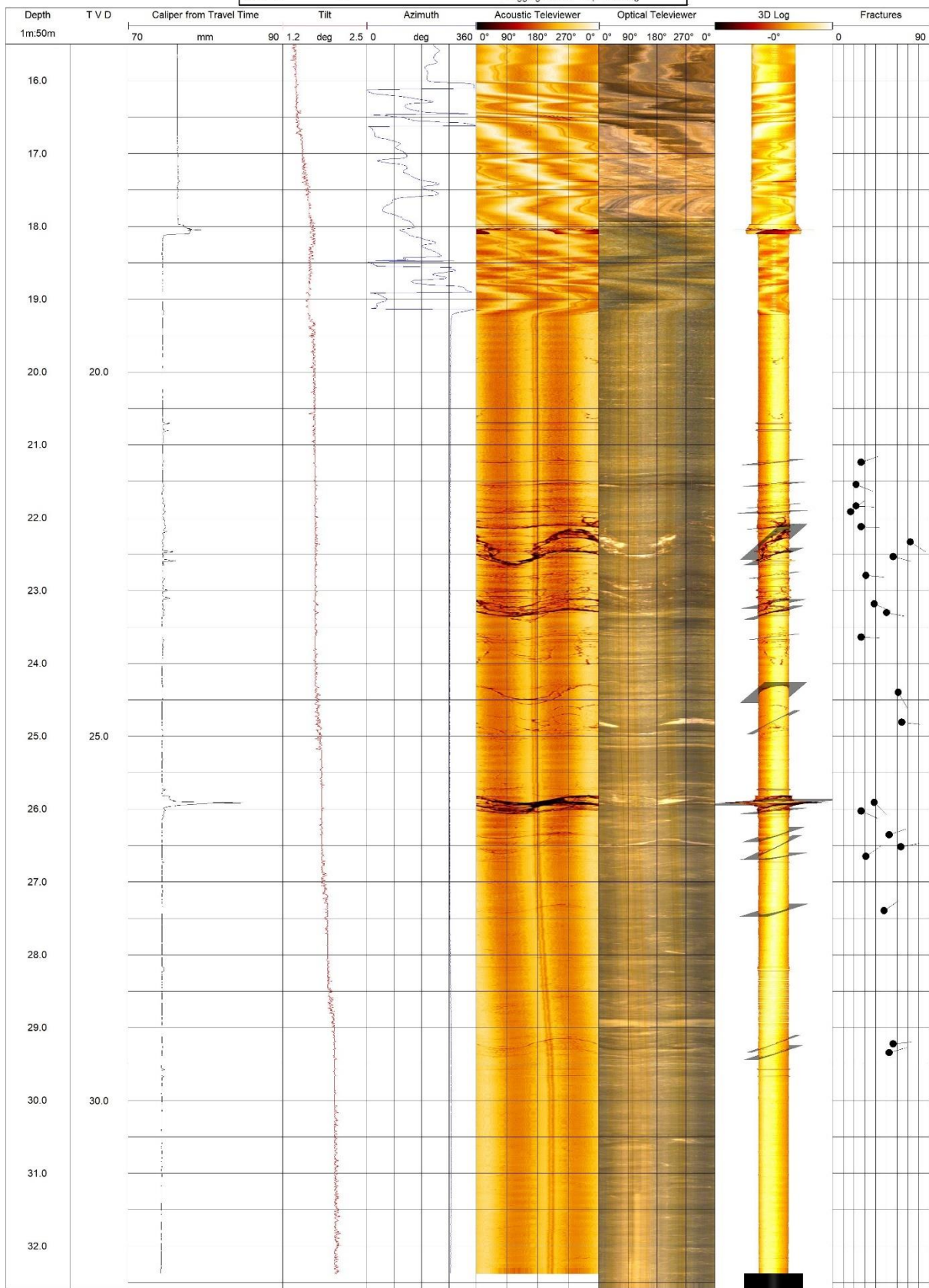
Appendix 2. Fracture data

(The fracture data has been delivered in a separate Excel file)



Ruden AS

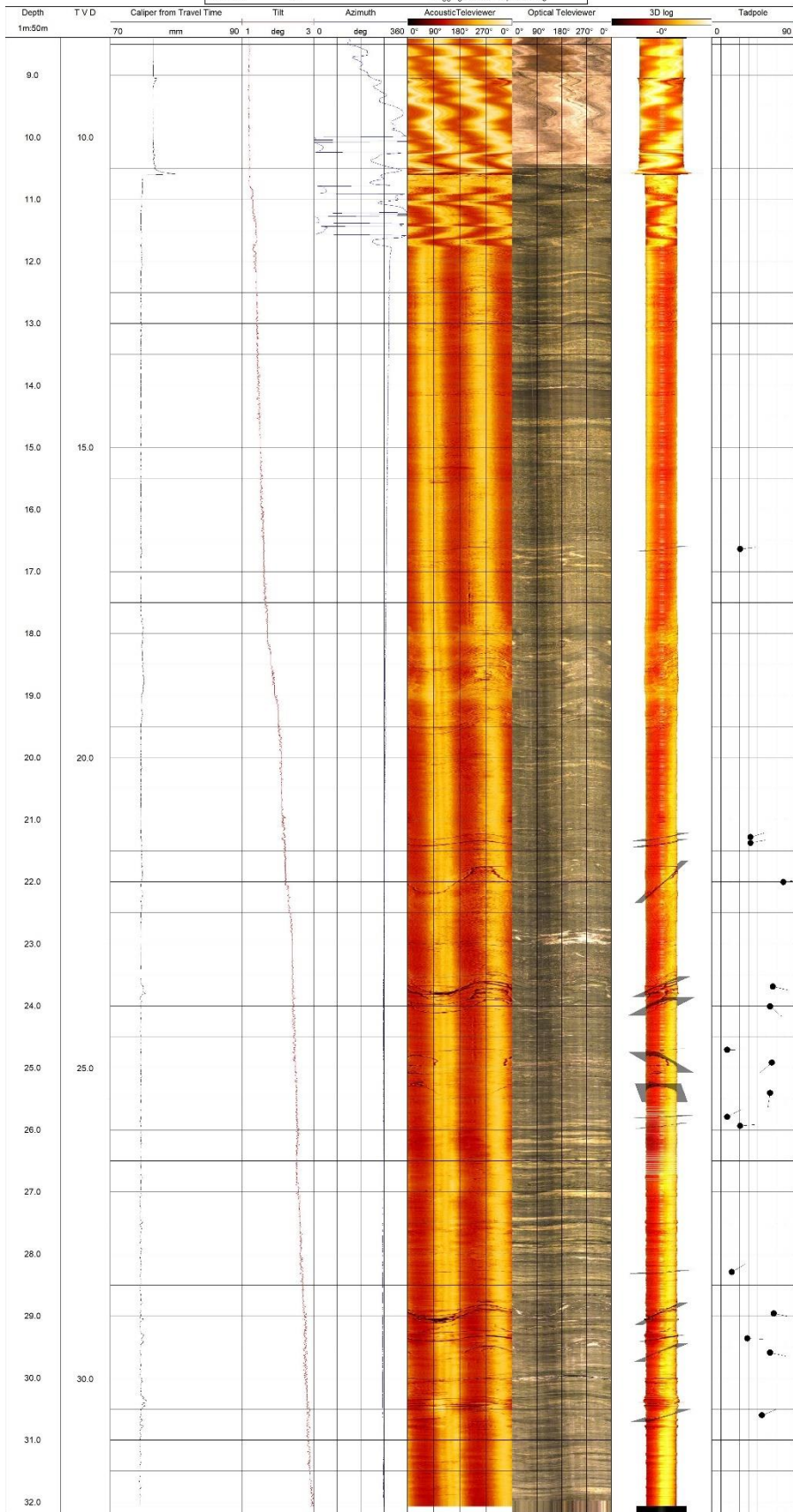
Figure: Geophysical composite log			
CLIENT:	MultiConsult	DATE:	26.10.2020
SITE:	Trondheim Tyholtårnet	PROJECT:	Well logging in Trondheim
WELL id:	K1	Logging Datum:	Top of casing





Ruden AS

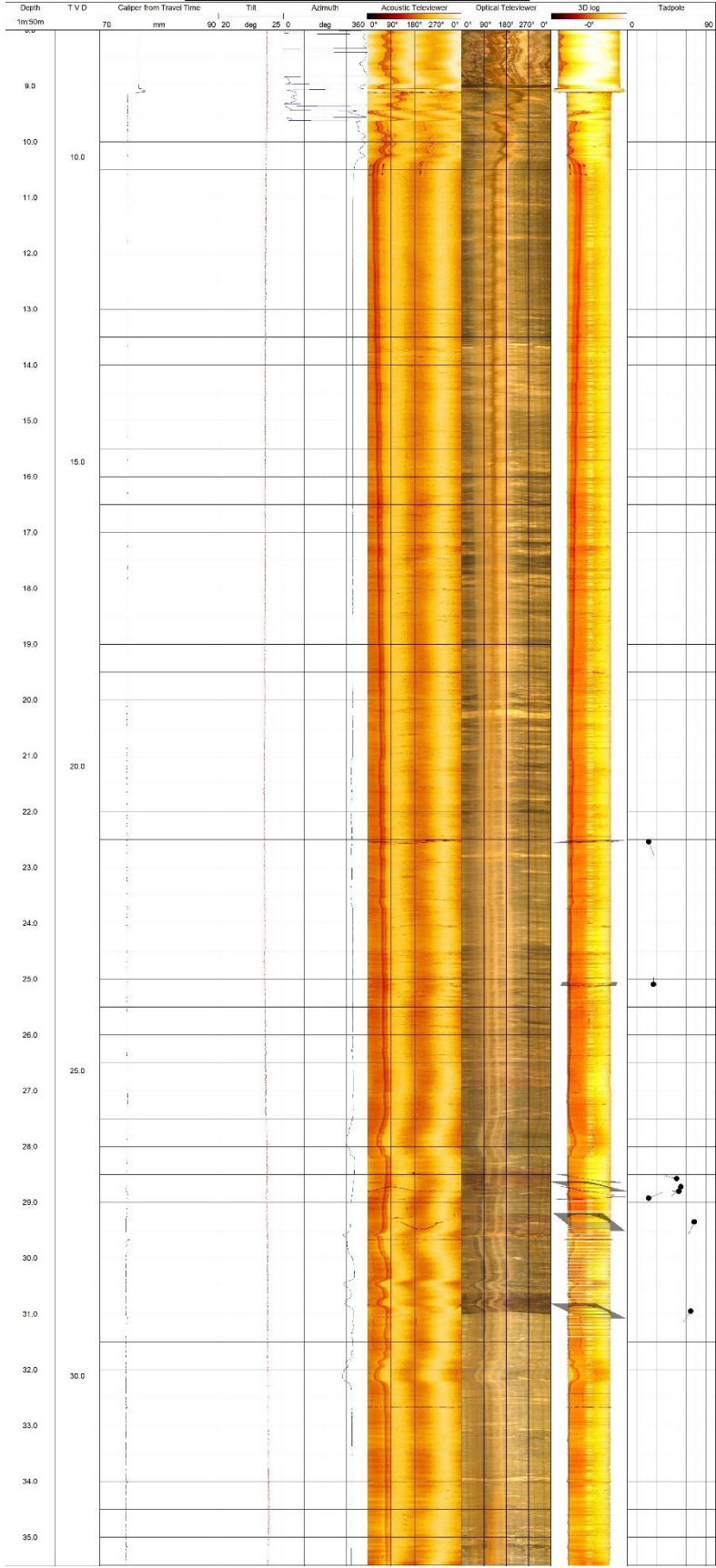
Figure: Geophysical composite log
CLIENT: MultiConsult DATE: 28.10.2020
SITE: Trondheim Tyholtårnet PROJECT: Well logging in Trondheim
WELL id: K2 Logging Datum: Top of casing



Ruden Geo Services



Figure: Geophysical composite log
CLIENT: MuruConsult DATE: 26.10.2020
SITE: Trondheim Tyløsttårnet PROJECT: Well logging in Trondheim
WELL ID: K3 Logging Datum: Top of casing

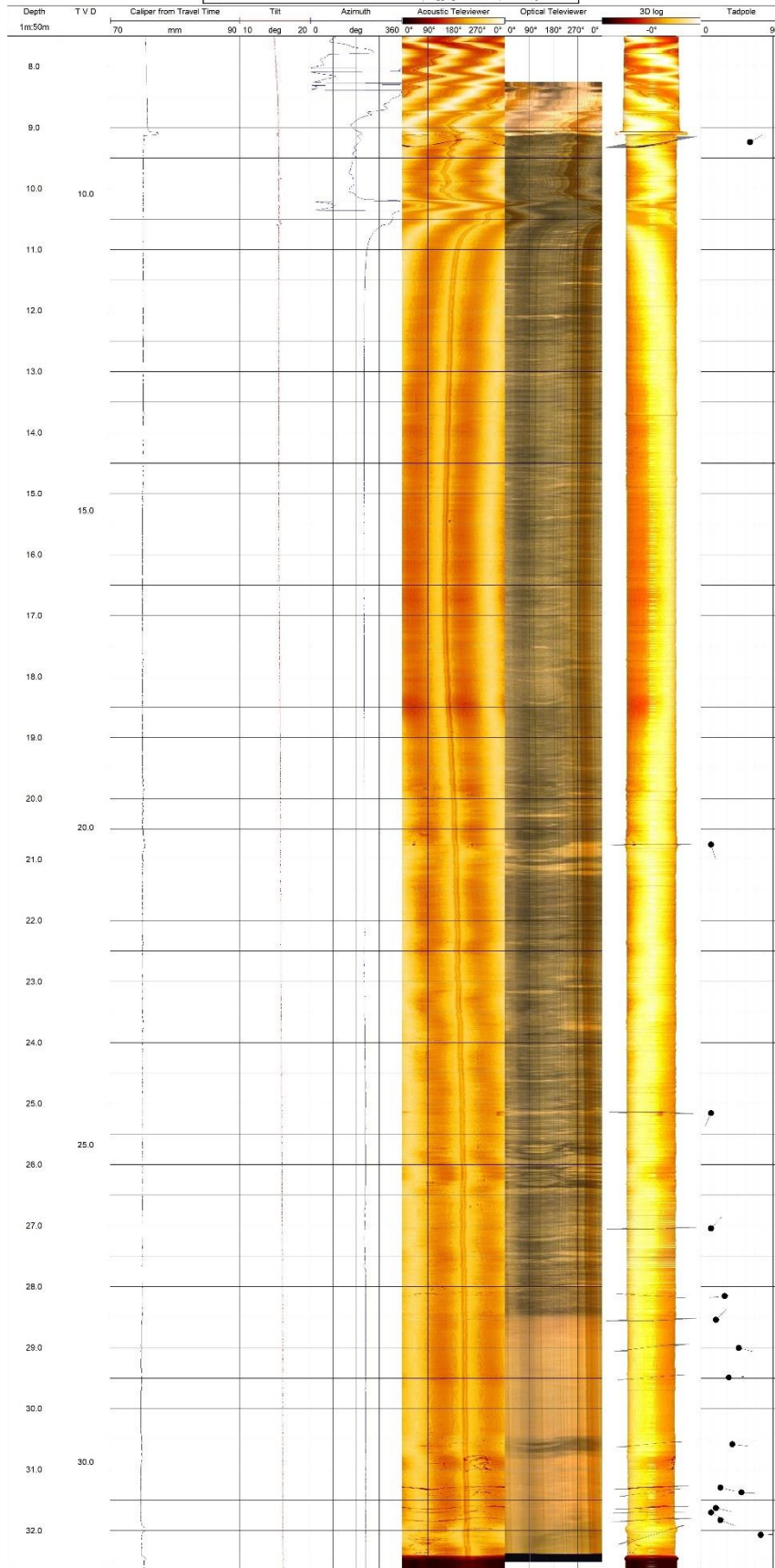




Ruden AS

Figure: Geophysical composite log

CLIENT:	MultiConsult	DATE:	26.10.2020
SITE:	Trondheim Tøyholtåmet	PROJECT:	Well logging in Trondheim
WELL ID:	K4	Logging Datum:	Top of casing





Ruden AS

Figure: Composite Geophysical log			
CLIENT:	Multiconault	DATE:	23.10.2020
SITE:	Tyholstårnet	PROJECT:	Trendheim
WELL ID:	K5	Logging Datum:	Top of casing

