

NGU Rapport 2012.027

Geofysiske målinger i forbindelse med
undersjøisk tunnel til Bjarkøy, Troms

Rapport nr.: 2012.027		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Geofysiske målinger i forbindelse med undersjøisk tunnel til Bjarkøy, Troms			
Forfatter: Einar Dalsegg og Harald Elvebakk		Oppdragsgiver: Statens vegvesen	
Fylke: Troms		Kommune: Bjarkøy	
Kartblad (M=1:250.000) Narvik		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1332 IV Harstad	
Forekomstens navn og koordinater: Bjarkøya 33 V 562750 7653200		Sidetall: 40 Kartbilag: 2	Pris: 145,-
Feltarbeid utført: September 2011 Desember 2011	Rapportdato: 26.03.2012	Prosjektnr.: 329500	Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>
Sammendrag:			
<p>Statens vegvesen planlegger å bygge undersjøisk tunnel fra Grytøya til Bjarkøya nord for Harstad. I den forbindelse har NGU utført 2D resistivetsmålinger langs to profiler, og logget 6 borehull på Bjarkøya. Hensikten med undersøkelsen var å kartlegge mulige svakhetssoner og eventuelt forvitret fjell som kan skape problemer under tunneldrivingen.</p> <p>Målingene viste flere svakhetssoner og forvitret fjell langs deler av tunneltraseen. Det er god korrelasjon mellom 2D resistivitet på bakken og logging av resistivitet i borehull. Det er en tendens til lavere resistivitet og seismisk hastighet mot dypet der tunnelen vil komme. Slik NGU ser det er det ingen kritiske soner. Det er indikert flere soner med lav resistivitet målt på bakken og tilsvarende lav resistivitet målt i borehull. Det er påvist forvitret fjell i dagen, og dersom denne sonen går ned mot tunnelnivå kan sonen være kritisk. Televieropptakene i Bh 5 er gode, men det er vanskelig å si om en ser dypforvitring. NGU foreslår her å sette på et diamantborehull gjennom sonen for se om kjerner fra sonen kan forklare den noe lave resistiviteten og om det er knyttet problemer ved tunneldriving til denne. En foreslår også et diamantborehull ved strandsonen, Bh 1, der det også var noe lav resistivitet i borehullet. Det bør også bores ved tunnelpåhugget på Bjarkøya.</p> <p>Bh 5 er mest oppsprukket og det er god korrelasjon mellom sprekkefrekvens og lav resistivitet. Det er også korrelasjonen i Bh 6. I de andre hullene er det dårlig korrelasjon. De er forholdsvis lite oppsprukket og de sprekkeene en ser er tynne og gjerne fylt med karbonat eller kvarts. En observerer også områder i borehullene med forholdsvis lav resistivitet men liten eller ingen oppsprekking. Dette kan være en indikasjon på forvitret fjell.</p>			
Emneord: Geofysikk	Elektrisk måling	2D resistivitet	
Borehullslogging	Televier		
		Fagrapport	

INNHold

1. INNLEDNING	5
2. RESISTIVITETMÅLINGER.....	5
2.1 Målemetode og utførelse	5
2.2 Datainnsamling.....	6
2.3 Strømstyrke og datakvalitet.....	6
2.4 Inversjon.....	6
2.5 Måleresultater	7
3. BOREHULLSLOGGING	13
Figur 4 viser oversiktsbilde med plassering av resistivitetsprofil og borehull.....	13
3.1 Målemetoder og utførelse.....	14
3.2 Målte parametre.....	14
3.3 Resultater borehullslogging.....	16
3.4 Strømningsmåling.....	32
3.5 Borehullsavvik.....	34
4. DISKUSJON.....	36
5. KONKLUSJONER	37
6. REFERANSER	38

FIGURER

Figur 1. Profil 1. Invertert resistivitet med påviste svakhetssoner.....	10
Figur 2. Profil 2. Invertert resistivitet med påviste svakhetssoner.....	11
Figur 3. Oversiktskart profiler med påviste svakhetssoner og indikasjoner på forvitret fjell..	12
Figur 4. Lokalisering av resistivitetsprofil og borehull.....	13
Figur 5. Bh 1, temperatur, ledningsevne i vann, total gammastråling, resistivitet, tilsynelatende porøsitet og seismisk hastighet.	19
Figur 6. Bh 2, temperatur, ledningsevne i vann, total gammastråling, resistivitet, tilsynelatende porøsitet, seismisk hastighet og sprekkefrekvens.	20
Figur 7. Bh 2, Sprekkestereogram og rosedigram for indikerte sprekker og rosedigram med fallretning for foliasjon.....	21
Figur 8. Bh 3, temperatur, ledningsevne i vann, total gammastråling, resistivitet, tilsynelatende porøsitet og seismisk hastighet.	22
Figur 9. Bh 3, Sprekkestereogram og rosedigram for indikerte sprekker.	23
Figur 10. Bh 4, temperatur, ledningsevne i vann, total gammastråling, resistivitet, tilsynelatende Porøsitet, seismisk hastighet og sprekkefrekvens.	24
Figur 11. Bh 4, Sprekkestereogram og rosedigram for indikerte sprekker og rosedigram med fallretning for foliasjon.....	25
Figur 12. Bh 5, temperatur, ledningsevne i vann, total gammastråling, resistivitet, tilsynelatende porøsitet, seismisk hastighet og sprekkefrekvens.	26
Figur 13. Bh 5, Sprekkestereogram og rosedigram for indikerte sprekker og rosedigram med fallretning for foliasjon.....	27

Figur 14. Bh 6, temperatur, ledningsevne i vann, total gammastråling, resistivitet, tilsynelatende porøsitet, seismisk hastighet og sprekkefrekvens.	29
Figur 15. Bh 6, Sprekkestereogram og rosedigram for indikerte sprekker og rosedigram med fallretning for foliasjon.....	29
Figur 16. 2D resistivitet Profil 1 og resistivitet i borehull.	30
Figur 17. 2D resistivitet Profil 1 og seismisk P-bølgehastighet i borehull.	31
Figur 18. Netto strømming i Bh 2, 4, 5 og 6.	33
Figur 19. Borehullsavvik i Bh 1, 2 og 3. Vertikalprojeksjon (v) og horisontalprojeksjon (h). 34	
Figur 20. Borehullsavvik i Bh 3, 4 og 5. Vertikalprojeksjon (v) og horisontalprojeksjon (h). 35	

TABELLER

Tabell 1. Klassifisering av soner.	8
Tabell 2. Karakterisering av soner..	9
Tabell 3. Målte parametre, loggehastighet og samplingstetthet.....	15
Tabell 4. Beregnet foliasjon i Bh 2, 4, 5 og 6.....	19

TEKSTBILAG

For tekstbilag for metoden(e) som er anvendt, vennligst gå til våre nettsider [www.ngu.no/geofysiske metoder](http://www.ngu.no/geofysiske_metoder)

DATABILAG

Databilag 1: Innmålte profiler 2D resistivitet og koordinater for borehull.

KARTBILAG

Kartbilag -01: Oversiktskart over undersøkt område 1 : 50 000.

1. INNLEDNING

Statens vegvesen planlegger å bygge undersjøisk tunnel fra Grytøya til Bjarkøya nord for Harstad. I den forbindelse har NGU utført 2D resistivitetsmålinger langs to profiler, og logget 6 borehull på Bjarkøya. Hensikten med undersøkelsen var å kartlegge mulige svakhetssoner og eventuelt forvitret fjell som kan skape problemer under tunneldrivingen.

Innenfor prosjektet "Miljø- og Samfunnstjenlige tunneler", som ble gjennomført i perioden 2001 til 2003, ble metoden 2D resistivitet introdusert som en interessant teknikk ved forundersøkelser for tunneller (Rønning, 2003). På grunnlag av målinger ved Lunnertunnelen, ble det foreslått en modell for karakterisering av svakhetssoner i fjell (Rønning m.fl. 2003). Under de rådende geologiske forhold, Oslofeltets intrusiver og sedimenter (Syenitt og sandstein) indikerte resistivitetsverdier høyere enn ca 3000 Ωm stabilt godt drivbart fjell; soner med resistivitet i området 3000 til 1000 Ωm store vannlekkasjer, mens i soner hvor resistiviteten var lavere enn 500 ohm var det mindre vann, men fjellet var ustabil. I ettertid har NGU utført modellberegninger som viser at resistivitetsmetoden har muligheter for geometrisk karakterisering av svakhetssoner (Reiser et al. 2009 og Rønning et al. 2009). Disse modelleringene viser at metoden kan angi sonenes utstrekning mot dypet, sonenes bredde dagnært og i tillegg kan metoden indikere sonenes fall. Ut fra dette har en konkludert med at resistivitetsmetoden har et potensial for å lokalisere svakhetssoner i fjell og i tillegg foreta geometrisk og mineralogisk karakterisering av svakhetssoner. Det finnes også svakheter med denne metoden. Lav resistivitet i ikke oppsprukket bergart gir lavere kontrast og tykt overdekke av godt ledende masser (leire) hindrer strømmen i å nå ned i fjellet. Begge disse effektene reduserer mulighetene for kartlegging av svakhetssoner. I tillegg har modellering vist at det kan oppstå kunstige effekter ved inversjonen av måledata.

Bruk av resistivitet for karakterisering av svakhetssoner i fjell er fremdeles på utviklingsstadiet, og resultatene fra disse målingene må ses i lys av dette. Geometrisk karakterisering av svakhetssonene synes grei, men det er uklart om tolkningsmodell for vann og stabilitet fra Lunnertunnelen kan anvendes. Dette må derfor studeres ved en fremtidig tunnelbygging.

Det undersøkte området og de målte profiler er vist på oversiktskart i kartbilag -01 og figur 3.

Resistivitetsmålingene ble utført fra 18.-20.09.2011 av Einar Dalsegg (NGU), mens borehullsmålingene ble utført fra 30.11-3.12.2011 av Harald Elvebakk med god assistanse av Steinar Rask fra Vegkontoret i Harstad.

Det er også utført refraksjonsseismikk i det samme området (GeoPhysix AS 2011).

2. RESISTIVITETMÅLINGER

2.1 Målemetode og utførelse

Ved denne undersøkelsen ble det foretatt måling av **2D resistivitet og induert polarisasjon (IP)**. 2D resistivitet er en elektrisk målemetode som angir den elektriske motstanden i fjellet.

IP måles samtidig med resistivitetsmålingene og fører til noe utvidet måletid. Dette er av mindre betydning i forhold til viktigheten av også å måle IP. Ved å kombinere de to metodene kan risiko for feiltolkninger reduseres. I det følgende blir metoden og utførelse kort beskrevet.

En mer utførlig beskrivelse av metoden finnes på <http://www.ngu.no/no/hm/Norges-geologi/Geofysikk/Bakkegeofysikk/Elektriske-metoder/>.

2.2 Datainnsamling

Måledata ble innsamlet med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høgskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993). Systemet består av en relèboks (Electrode Selector ES10-64C) og to eller fire multi-elektrode kabler. Måleprosessen styres av et ABEM Terrameter SAS 4000 (ABEM 1999). Ved denne undersøkelsen ble det benyttet fire kabler med 5 meters elektrodeavstand og Gradient elektrodekonfigurasjon. Dybderekkevidden er ca 60 meter. Oppløsningen, og dermed nøyaktigheten, er størst i den øvre halvdel av pseudoseksjonen. Hele systemet kan flyttes langs profilet slik at utstrekningen av et profil er ubegrenset.

Strøm ble sendt i pulser på 1 sekund og alternerende polaritet. Dette gir en målesyklus på 3.8 sekund. Målingen av resistivitet (enhet ohmm eller Ωm) startet 0.3 sekund etter at strømmen ble slått på og måletiden var 0.5 sekund. Indusert polarisasjon ble målt som en integrering av signalet fra 10 ms etter strømbrudd i et tidsvindu på 100 ms. Integrert IP-signal over tid med enhet mVs, normaliseres mot resistivitetssignalet (mV) og får enheten ms.

Profilenes beliggenhet er innmålt med GPS (databilag 1).

2.3 Strømstyrke og datakvalitet

Strømstyrken for mesteparten av målingene lå i områdene 50 til 200 mA. Datakvaliteten var meget god, og kun et fåtall måledata måtte fjernes før inversjon.

2.4 Inversjon.

Ved alle resistivitetsmålinger måles en tilsynelatende resistivitet. Denne representerer et veid middel av alle resistiviteter som er innenfor målingens influensvolum. For å finne den spesifikke resistivitet i ulike deler av undergrunnen må data inverteres. Dette utføres ved at bakken deles opp i blokker som tilordnes en bestemt resistivitetsverdi. Denne blir så justert i flere trinn (iterasjoner) inntil responsen fra den teoretiske modellen blir mest mulig lik de målte data.

Resistivitetsmålingene ble invertert ved bruk av dataprogrammet RES2DINV (Loke 2010). Det ble gjort forsøk med forskjellige inversjonsmetoder (Least Square og Robust) og det ble eksperimentert med forskjellige inversjonsparametre, dempningsfaktorer og forskjellige filtre. Dette ga ikke noen endringer i hovedtrekkene i de inverterte profilene, men mindre avvik i detaljer.

2.5 Måleresultater

Måleresultatene er presentert i figurene 1, 2 og 3. Resistivetsmålingene er fremstilt i figurer med et fargeflott som gjenspeiler resistiviteten (det inverse av elektrisk ledningsevne i berggrunnen), hvor det er tatt hensyn til topografi. Fargeskalaen går fra lav resistivitet gitt i blått og grønt (1-500 Ωm) til høy resistivitet gitt i rødt (>6.000 Ωm). Rødt indikerer generelt godt fjell, mens blått/gult indikerer dårligere fjell.

I et forsøk på å gjøre tolkningen mer anvendelig har vi kommet opp med en klassifisering hvor det er tatt hensyn til sonens dybde, bredde og resistivetsverdi. Klassene går fra 0 til 4, hvor 0 tilsvarer godt fjell, og 4 antyder antatt problematisk fjell (se tabell 1). Om en sones dybde angis med klasse 4 betyr det at sonen antas å gå ned til tunnelnivå. Øket sonebredde antas å gi større problemer, og lav resistivetsverdi kan indikere leire på sprekkenes og derved ustabile forhold (Rønning et al., 2009). En samlet oversikt over alle påviste soner er vist i tabell 2. Her angis koordinater langs resistivetsprofilene, UTM-koordinater og sonenummer. I tillegg angis tolket fall og om det kan være sulfider eller andre mineraler som kan forklare lave resistivetsverdier.

Tabell 1. Klassifisering av soner. Sonene er indikert ved hjelp av 2D resistivitet og er klassifisert i klasse 0-4 ut i fra dybde (A), bredde (B) og resistivitet (C) på sonen.

A - Dybde på sone	B - Bredde på sone	C - Resistivitet på sone	Klasse
		> 2000 Ωm	0
0-20 m	0-10 m	2000-1000 Ωm	1
20-40 m	10-20 m	1000-500 Ωm	2
40-60 m	20-40 m	500-200 Ωm	3
> 60 m	> 40 m	< 200 Ωm	4

Tabell 2. Karakterisering av soner. Sonene er indikert ved hjelp av 2D resistivitet og er klassifisert i klasse 0-4 ut fra dybde (A), bredde (B) og resistivitet (C) på sonen.

Koordinater langs profilet (m)	Sone	Koordinat Øst WGS-84 UTM sone 33	Koordinat Nord WGS-84 UTM sone 33	Fallretning	A Dybde	B Bredde	C Resistivitet	Kommentar
P1-160	1	562589	7653387	Mot sørøst	4	1	1	
P1-270	2	562673	7653317	Mot nordvest	4	1	1	
P1-475	3	562833	7653195	Steil mot nordvest	4	1	1	
P2-130	1	562410	7653322	Steil mot øst	4	1	2	
P2-145	2	562424	7653321	Steil mot øst	2	1	2	
P2-470	3	562742	7653356	Mot øst	4	2	3	Sonen gir IP-anomali

Profil 1. Som figur 3 viser følger profilet stort sett den planlagte tunelltraseen fra koordinat 200 og ned til sjøen. Den generelle resistiviteten langs profilet (figur 1) ser ut til å ligge fra 6000-10000 Ωm , noe som indikerer kompakt og lite oppsprukket fjell. Det er langs profilet indikasjoner på tre svakhetssoner. Resistiviteten for alle sonene er moderat og i følge vår tolkningsmodell tilsier dette oppsprukket fjell uten leire på sprekkene. Fallet på sone 1 er mot sørøst, mens sone 2 og 3 ser ut til å ha fall mot NV. Det er målt for få profiler til at retningen på sonene kan bestemmes ut fra resistivitetsmålingene, men ut fra beliggenheten vil alle tre ha betydning for tunneldrivingen.

I tillegg til sonene er det påvist lav resistivitet i den øverste delen av profilet fra koordinat 190 til 470. Dette skyldes trolig forvitret fjell, noe som bekreftes av at det er blottet forvitret fjell ved koordinat 270. Dypet på dette forvitrede partiet er varierende langs profilet, men er på det meste ca 20 meter. Det er også muligheter for at dypet ved koordinat 370 kan være betydelig større. Som figuren viser er det her et lavresistivetsområde som går helt ned til ca 60 meter. På dette dypet er oppløsningen dårlig, slik at angivelsen av dyptgående her blir meget usikkert. Selv om dybdeangivelsen her er usikker kan dette indikere forvitret fjell ned til tunnelnivå.

Profil 2. Det er langs dette profilet også påvist tre svakhetssoner. Sone 1 og 3 er mest markert, mens sone 2 ser ut til å være betydelig mindre. Sone 1 er indikert å ha tilnærmet steilt fall mot øst. Resistiviteten er moderat, noe som tilsier oppsprukket fjell uten leire på sprekkene. Sonen vil krysse tunneltrasèen like etter tunnelpåhugget i vest. Sone 3 er indikert å falle mot øst og vekk fra den planlagte tunneltrasèen. Resistiviteten på sonen er betydelig lavere enn for de andre sonene i området, noe som ut fra vår tolkningsmodell skulle tilsi i tillegg til oppsprekking også leire på sprekkene. Som tidligere nevnt ble det også målt IP samtidig med resistiviteten. Som eneste sone indikerte denne sonen forhøyet IP, noe som indikerer at den lave resistiviteten her kan skyldes sulfider og ikke leire på sprekkene. En ser her betydningen av å måle IP sammen med resistiviteten.

Det er også her indikasjoner på forvitret fjell. I vest ved tunnelpåhugget er resistiviteten lav fram til ca koordinat 105, og dette skyldes trolig sterkt oppsprukket eller forvitret fjell. Videre er det et forholdsvis grunt område fra koordinat 320 til 410 hvor resistiviteten er lav. Dette faller sammen med den nordvestlige delen av det lavresistivetsområdet som ble påvist på profil 1. I dette området er den forvitrede delen indikert til å ikke være dyp nok til at den vil skape problemer ved tunneldrivingen. Ved koordinat 380 derimot er det på dypet indikasjoner på lav resistivitet. Dette området faller sammen med forlengelsen mot dypet for sonene 1 og 2 på profil 1. Begge profilene har da her indikert sterkt oppsprukket fjell som vil ligge i tunnelnivå.

De påviste svakhetssoner og områder med forvitret/oppsprukket fjell er vist på figur 3.

Bjarkøy

Profil 1

Resistivitet

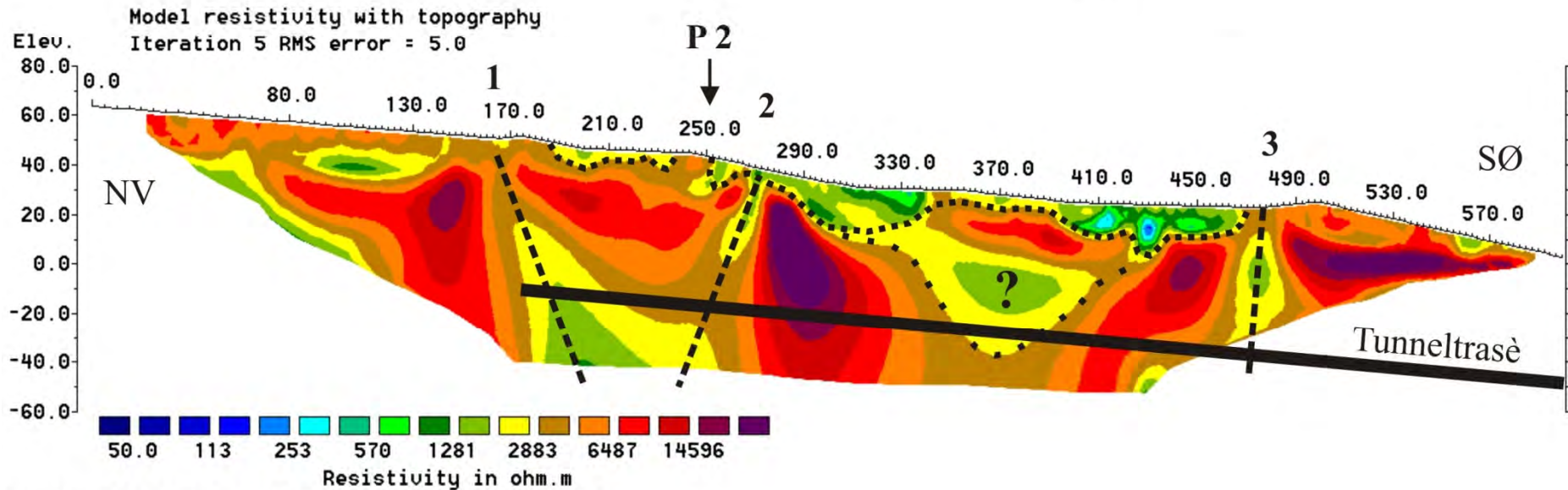
Gradient, el.avst. 5 m.

V/H-filter 1

----- Tolket svakhetszone

..... Grense forvitring

..... Grense forvitring (usikker)



Horizontal scale is 4.95 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.00
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 600.0 m.

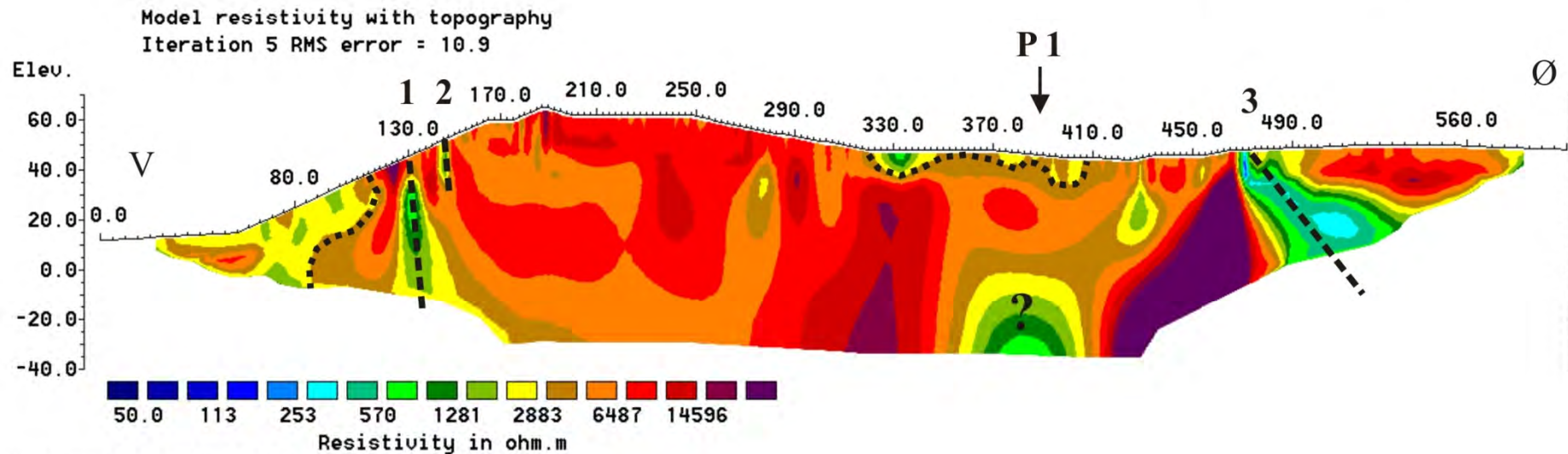
Figur 1. Profil 1. Invertert resistivitet med tolkede svakhetszoner.

Bjarkøy

Profil 2

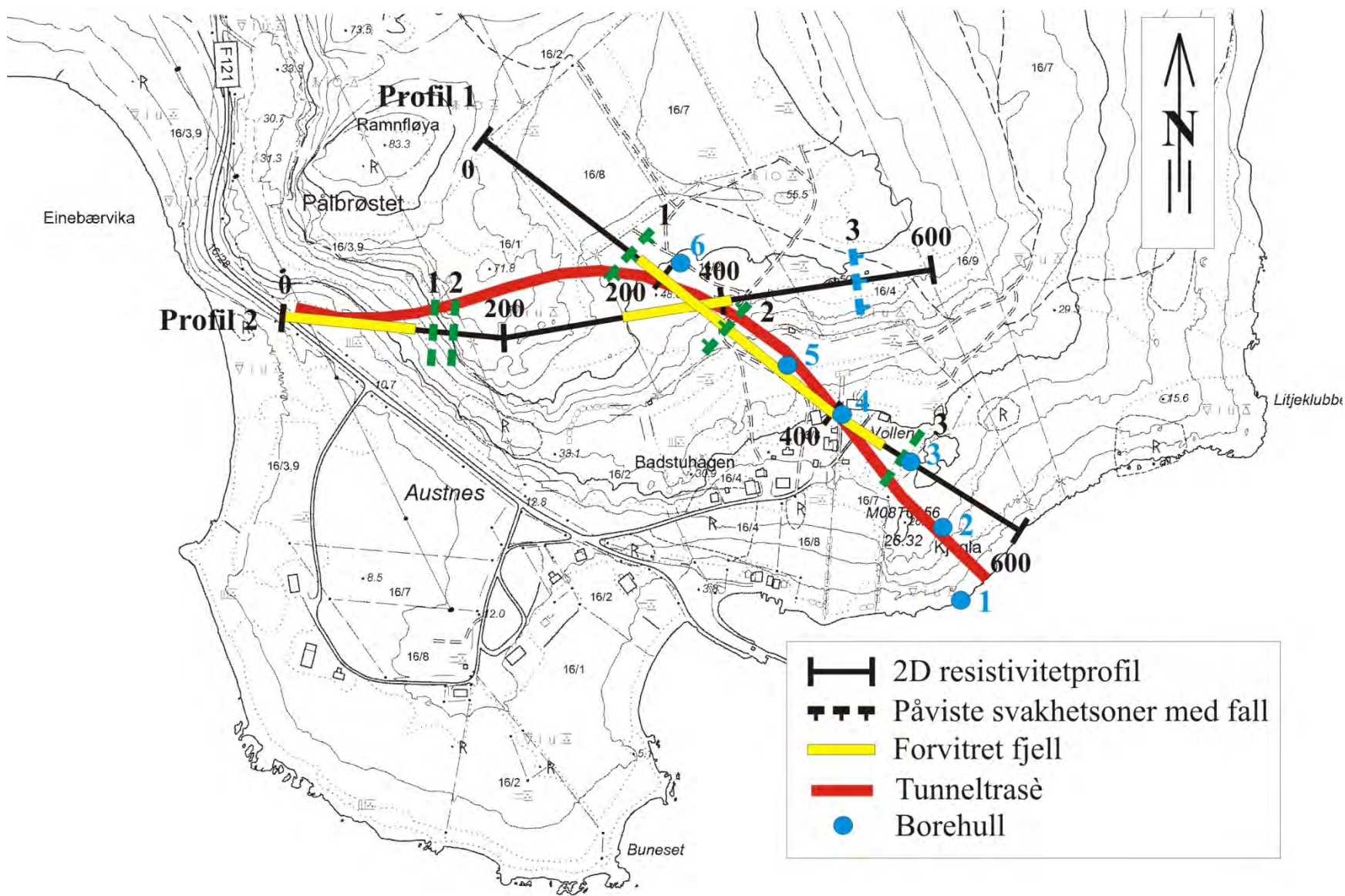
Resistivitet
Gradient, el.avst. 5 m.
V/H-filter 1

----- Tolket svakhetszone
..... Grense forvitring



Horizontal scale is 5.01 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.00
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 600.0 m.

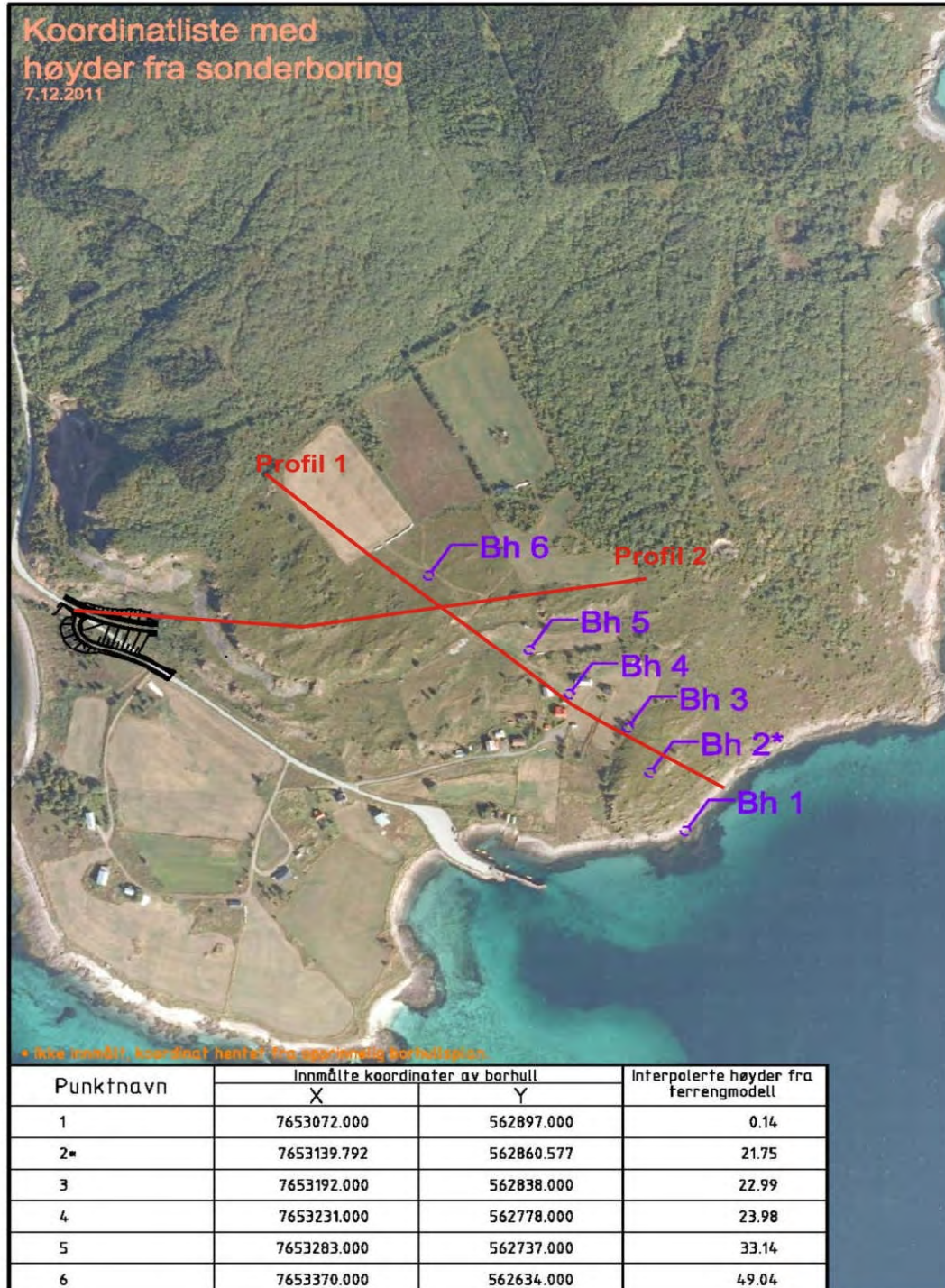
Figur 2. Profil 2. Invertert resistivitet med tolkede svakhetssoner.



Figur 3. Oversiktskart profiler med tolkede svakhetssoner og indikasjoner på forvitret fjell.

3. BOREHULLSLOGGING

Figur 4 viser oversiktsbilde med plassering av resistivitetsprofil og borehull.



Figur 4. Lokalisering av resistivitetsprofil og borehull.

3.1 Målemetoder og utførelse

Det ble logget 6 borehull med dyp fra 65 – 75 m. Bh 3, 4, 5 og 6 var boret vertikalt, mens 1 og 2 hadde et fall på 70°. Diameteren var 11.7 cm i alle hull.

Alle 6 hull er logget med resistivitet, seismisk P-bølgehastighet, naturlig total gammastråling, temperatur og ledningsevne i vann og vertikal strømning. Det er beregnet en tilsynelatende porøsitet ved hjelp av Archie's lov der grunnlaget er målt resistivitet i borehullet. Dette er ikke en eksakt porøsitet da denne loven er utledet for sedimentære sandsteiner. Bh 2, 5 og 6 er logget med optisk televiwer, mens Bh 4 og 3 er logget med akustisk televiwer da det var for dårlig sikt i disse to hullene. I Bh1 var det også dårlig sikt og det ble logget ca 30 m. Tekniske problemer gjorde at en ikke fikk logget med akustisk televiwer i dette hullet.

Alle logger, bortsett fra strømning, er presentert sammen for hvert borehull. Sprekkefrekvenshistogram er presentert sammen med loggene. Her kan en også se fallretning og fallvinkel for hver enkelt sprekk. Videre er det laget sprekestereogram og rosedigram over alle indikerte sprekker. Egne rosedigram er laget for foliasjon der det er mulig å beregne den (bare der det er målt med optisk televiwer).

Det er benyttet loggeutstyr produsert av Robertson Geologging ltd. (<http://www.geologging.com>).

Tabell 3 viser målte parametre, loggehastighet og samplingstetthet for de ulike sondene.

Tabell 3. Målte parametre, loggehastighet og samplingstetthet.

Målt parameter	Loggehastighet	Samplingstetthet
Temperatur	3 m/min	1 cm
Ledningsevne i vann	3 m/min	1 cm
Resistivitet i fjell, porøsitet	5 m/min	1 cm
Lydhastighet, P- og S-bølge	4 m/min	20 cm
Naturlig gammastråling	5 m/min	1 cm
Borehullsavvik (med televiwer)	1 m/min	1 m
Optisk televiwer	1 m/min	1 mm
Akustisk televiwer	2-3 m/min	1 mm
Strømningsmåling	5 m/min	1 cm

Metodebeskrivelser for de ulike målesondene ligger på NGU's hjemmesider på følgende link:

<http://www.ngu.no/no/hm/Norges-geologi/Geofysikk/Borehullsgeofysikk/>

3.2 Målte parametre

Rapporten presenterer sammenstilte data som kurveplott for de målte parametre, temperatur, vannets ledningsevne, naturlig gammastråling, resistivitet i fjell, tilsynelatende porøsitet og lydhastighet. Endringer i temperatur og ledningsevne kan indikere sprekker med vanninnstrømning.

Naturlig gammastråling viser endringer i geologien og er forskjellig for ulike bergarter. Endringer skyldes oftest varierende innhold av kalifeltspat (K^{40}), men innhold av uran og thorium vil også påvirke strålingen. Det er total gammastråling som måles og enheten cps er i API-standard, og data kan sammenlignes med andre data målt med samme standard.

Resistiviteten måles med to forskjellige konfigurasjoner, SN (Short Normal) og LN (Long Normal). SN måler resistiviteten i borehullsveggenes umiddelbare nærhet, mens LN beregner resistiviteten noen desimeter ut fra borehullet. Resistivitetsdata er korrigeret for vannets ledningsevne i borehullet, borehulldiameter og sondens størrelse (diameter) (Thunhead & Olsson 2004). Ledningsevnen i porevannet vil påvirke resistiviteten, spesielt ved høye verdier som i sjøvann. Lav resistivitet kan bety oppsprukket fjell (økt porøsitet og vanninnhold). Leire og ledende mineraler gir også lav resistivitet. Av måletekniske årsaker får en ikke korrekte måleverdier før sonden er 10 m under vannspeilet. Vaieren på vinsjen brukes som returstrømelektrode, og de nederste 10 m er isolert med plasthylse.

Den beregnede porøsiteten er ikke en eksakt størrelse. Det er en tilsynelatende porøsitet beregnet med en modifisert versjon av Archie's lov ut fra målt fjellresistivitet og ledningsevne i porevannet (Archie 1942). Tilsynelatende porøsitet Φ kan finnes ut fra følgende sammenheng:

$$\sigma = a \cdot \sigma_w \cdot \Phi^m + \sigma_s$$

σ = bergartens ledningsevne

σ_w = ledningsevne i porevannet

σ_s = ledningsevne på mineralenes overflate

Faktorene a og m (kornform, sementeringsfaktor) er avhengig av bergartstype og bestemmes ved laboratoriemålinger. Ved beregningen av porøsiteten brukes $a=1.928$ etter Thunehed og Olsson som fant dette for krystalline bergarter (Thunehed & Olsson 2004). Verdien på m er satt lik 2.0 (personlig meddelelse Hans Thunehed). σ_s er satt lik 10^{-5} og er i krystallin berggrunn så godt som neglisjerbar.

Archie's lov er egentlig tilpasset homogene sedimentære bergarter (sandstein) men ved å tilpasse (måle) faktorene kan en tilsynelatende porøsitet også beregnes for andre bergarter. En stor feilkilde ved denne tilpassningen vil være tilstedeværelsen av elektronisk ledende mineraler (grafitt, sulfider, oksider, leire).

Lydhastigheten beregnes både for P-bølger og S-bølger. Det er gjort full "wave form" prosessering med programvaren WellCad fra ALT (Advanced Logic Tecnology 2006). En nedgang i lydhastighet kan bety oppsprukket/forvitret fjell.

Strømningsmåling er gjort for å kartlegge vertikal strømming i borehullet. En kan også se hvor en eventuell vannstrøm kommer inn, eller strømmer ut av hullet.

Optisk televiewer filmer innvendig borehullsvegg kontinuerlig nedover med en pixelstørrelse på 1 x 1 mm. Fra opptaket kan en digitalisere sprekker og geologiske strukturer. Data presenteres som sprekkestereogram, frekvenshistogram og rosedigram.

3.3 Resultater borehullslogging

Bh 1

Bh 1 er boret helt ned ved sjøen, se figur 5. Hullet ble overflødd ved høyvann (og bølger ved sterk vind) slik at loggingen måtte foregå ved fjære sjø. Hullet var boret med 70 ° fall mot vest og dypet var ca 65m. Temperaturen er noenlunde konstant. Ledningsevnen i vannet er noe høy (ca 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ned til 30 m. Dette kan skyldes innblanding av sjøvann. Det er imidlertid ikke rent sjøvann da dette har en ledningsevne på ca 25000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Under 30 m er ledningsevnen 400 – 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ som er ferskvann. Det ser ikke ut som om hullet har sprekker hvor sjøvann kan komme inn. Gammastrålingen er lav og normal for granitten i området. Resistiviteten er forholdsvis lav i hele hullet, 2000 – 3000 ohmm. Under 56 m er den ca 1500 ohmm. Dette kan indikere forvitret fjell. Seismisk P-bølgehastighet er på 4100 – 4200 m/s som også er noe lavere enn en kan forvente i frisk granitt (Elvebakk 2011).

Bh 2

Bh 2 er boret med 70 ° fall mot nordøst og dyp 75 m, se figur 6. Her er det også målt med optisk televiewer. Temperaturen øker jevnt nedover (normal temperaturøkning). Ledningsevnen i vannet er lav men øker to steder, ved ca 35 m og 53 m. En endring i ledningsevnen kan indikere sprekker med vanninnstrømning. Gammastrålingen er konstant og normal i hele hullet. Resistiviteten er veldig høy ned til ca 30 m. Deretter avtar den gradvis og er ca 3000 ohmm i bunnen av hullet. Ingen spesielle svakhetssoner indikeres. P-bølgehastigheten er noe høyere enn i Bh 1, 4500 – 5000 m/s. Mellom 43 og 55 m dyp indikeres flere soner med lavere hastighet, 3200 -3500 m/s. Disse samsvarer med en nedgang i resistiviteten. Lav resistivitet og lav P-bølgehastighet kan også indikere forvitret fjell. P-bølgelaggen har større oppløsning enn resistivitet og enkeltsprekker indikeres tydeligere. Det er tydelig nedgang i hastigheten fra ca 65 m til ca 4000 m/s i bunnen av hullet. Det er beregnet høy sprekkefrekvens mellom 20 og 35 m. Her er det veldig høy resistivitet og høy P-bølgehastighet. Det ser ikke ut som om disse sprekkeene på virker disse to parametrene. En ser også av den optiske loggen at det er tynne sprekker, gjerne sekundærsprekker med karbonat eller kvarts. Stereogrammet, figur 7, viser gjennomsnittlig strøk og fallvinkel til definerte sprekkegrupper (fargede sirkler). Foliasjonen er beregnet og strøk og fall er angitt under rosediagrammet. Rød pil angir fallretning (N124 27).

Bh 3

Bh 3 er boret loddrett til ca 70 m dyp, se figur 8. Hullet var forurenset av olje (trolig fra boringen). Dette medførte null sikt i hullet og akustisk televiewer ble derfor benyttet. Temperaturloggen viser normalt forløp med økende temperatur mot dypet. Ledningsevnen i vann er lav, men øker tydelig ved ca 40 m dyp. Dette ser ut til å falle sammen med en sone med lav resistivitet (3000 ohmm) og lav P-bølgehastighet (3400 m/s). Resistiviteten varierer ellers lite og ligger på ca 4000 ohmm men noe avtagende mot dypet (3000 ohmm). P-bølgehastigheten mellom 4000 og 5000 m/s og det er trolig enkeltsprekker som forårsaker variasjonene. Ved 65 – 66 m dyp observeres meget sterk gammastråling, opptil 12000 cps (counts per second). Dette er svært høyt og det høyeste NGU noen gang har målt i borehull. Det er vanskelig å si hva dette skyldes annet enn det mest trolig er et uranholdig mineral, som for øvrig ikke er uvanlig i granitter. Det er tatt kaksprøver for hver 3. meter og en håper at analyser og skanning av disse kan gi svar. Dette har ingen betydning for fjellets stabilitet. Observerte sprekker, se frekvenshistogrammet, ser ikke ut til å påvirke resistivitet og P-bølgehastighet. Stereogrammet viser gjennomsnittlig strøk og fallvinkel til definerte sprekkegrupper (fargede sirkler), se figur 9. Det er ikke beregnet foliasjon i dette hullet da en ikke ser foliasjon på det akustiske bilde.

Bh 4

Bh 4 er loddrett og boret til ca 75 m, se figur 10. Det er ingen unormale hendelser på temperatur- og ledningsevneloggen. Det er flere soner med høy gammastråling mellom 8 og 17.5 m. Resistiviteten ligger på 4000 - 5000 ohmm ned til ca 40 m dyp. Mellom 40 og 60 m dyp er den 3000 – 4000 ohmm for så å avta til 2000 ohm i bunnen av hullet. P-bølgehastigheten viser en lavhastighetssone ved 11-12 m dyp, 3300 – 4000 m/s. For øvrig ligger den på 4500 -5000 m/s, som er normalt for en ikke oppsprukket granitt (Elvebakk 2011). Fra ca 60 m dyp går den gradvis ned og er ca 3500 m/s i bunnen av hullet. Dette samsvarer med nedgang i resistivitet på samme sted. Det er påvist liten eller ingen oppsprekking med akustisk televiwer i dette området. Hullet er generelt lite oppsprukket. Lav resistivitet og seismisk hastighet kan være en indikasjon på forvitring. Stereogrammet, figur 11, viser gjennomsnittlig strøk og fallvinkel til definerte sprekkegrupper (fargede sirkler). Beregnet foliasjonsretning/fall er N102 31. Det ble målt optisk televiwer i øvre del av hullet. Sprekkeanalyse er gjort på grunnlag av akustisk televiwer.

Bh 5

Bh 5 er boret loddrett til ca 75 m dyp, se figur 12. Det er ingen unormale hendelser på temperatur- og ledningsevneloggen. Det er også her flere soner med høy gammastråling mellom 8 og 17.5 m. Resistiviteten er høy, 5000 -7000 ohm ned til 30-35 m. Herfra går den gradvis nedover og indikerer et minimum på 2000 ohmm mellom 58 og 60 m dyp. Deretter øker den litt mot bunnen av hullet, 3000 ohmm. P-bølgehastigheten viser samme tendens. Fra 37.5 m går P-bølgehastigheten tydelig ned, fra ca 4500 m/s til 3500 – 4000 m/s. Enkeltsprekker gir hastigheter ned mot 3000 m/s. Optisk televiwer viser at dette hullet er mye oppsprukket. Som i de øvrige hull er det tynne sprekker, mange fylt med karbonat eller kvarts. Mellom 5 og 20 m dyp er det god korrelasjon mellom sprekkefrekvens og P-bølgehastighet. Også under 40 m er det mye oppsprekking, men det er usikkert om det er oppsprekkingen som gir nedgang i resistivitet og P-bølgehastighet. Dette kan være en indikasjon på forvitret fjell. Tilsvarende nedgang i andre hull synes ikke å ha en slik sammenheng. Til høyre på frekvensplottet er det beregnet RQD basert på sprekkefrekvensen med verdier på 70 – 75. Stereogrammet, figur 13, viser gjennomsnittlig strøk og fallvinkel til definerte sprekkegrupper (fargede sirkler). Foliasjonens retning og fall er beregnet til N105 42.

Bh 6

Bh 6 er boret loddrett til ca 75 m dyp, se figur 14, et er ingen unormale hendelser på temperatur- og ledningsevneloggen. Gammaloggen viser flere soner med forhøyet stråling, opp mot 500 cps. Årsaken må være den samme som omtalt tidligere. Resistiviteten er generelt høy i hele hullet, 4000 – 7000 ohm. Områdene med lavest resistivitet har god korrelasjon med høy sprekkefrekvens. Også P-bølgehastigheten korrelerer godt med sprekkefrekvensen. Det er flere enkeltsoner med hastighet ned mot 3500 m/s. Det ser også ut som om P-bølgehastigheten generelt er noe lavere under 50 m dyp. For øvrig varierer P-bølgehastigheten ganske mye i hele hullet. Oppsprekkingen er en årsak, men når en ser på det optiske opptaket ser en at granitten ikke er massiv hele veien. Den er grovkornig, noe rufsete og en god del ganger (mafiske ?). Dette gjelder for øvrig alle hull. Stereogrammet, figur 15, viser gjennomsnittlig strøk og fallvinkel til definerte sprekkegrupper (fargede sirkler). Foliasjonens retning og fall er beregnet til N107 38.

Foliasjon

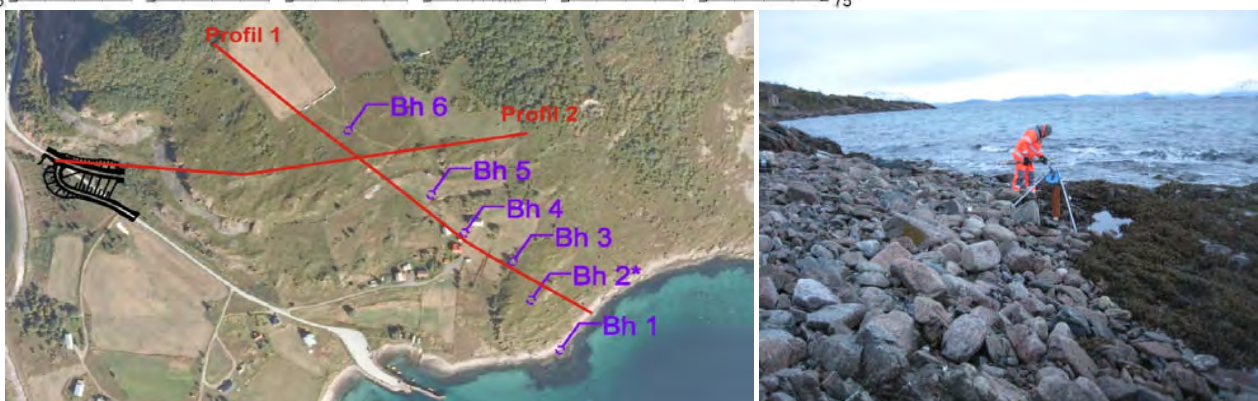
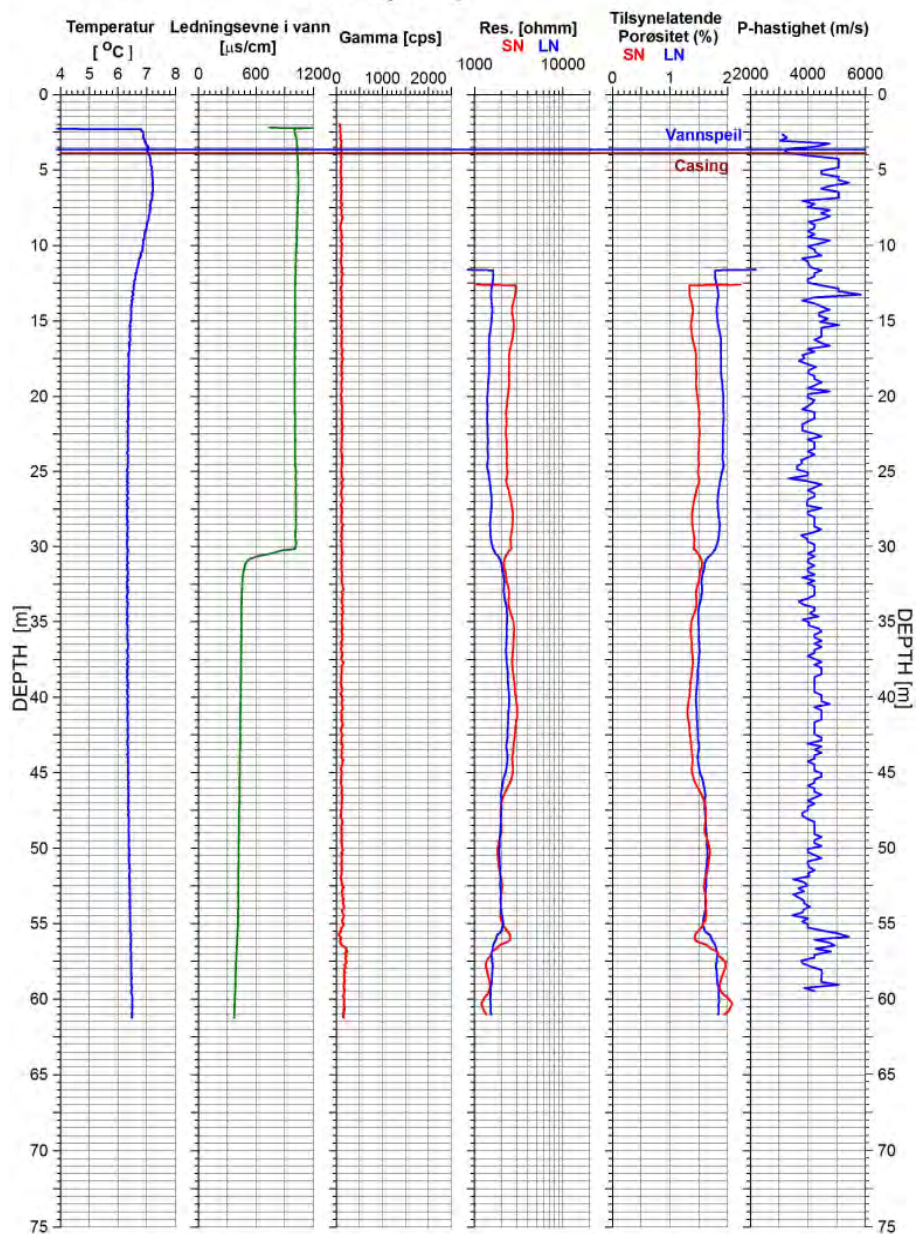
Tabell 4 viser målt foliasjon fra optisk televiwer i Bh 2, 4, 5 og 6. Selv om granitten er grovkornet og massiv ser en stedvis tydelig foliasjon. Fallretningen er mot ØSØ, noe mer mot sør i Bh 2.

Tabell 4. Beregnet gjennomsnittlig foliasjon i Bh 2, 4, 5 og 6

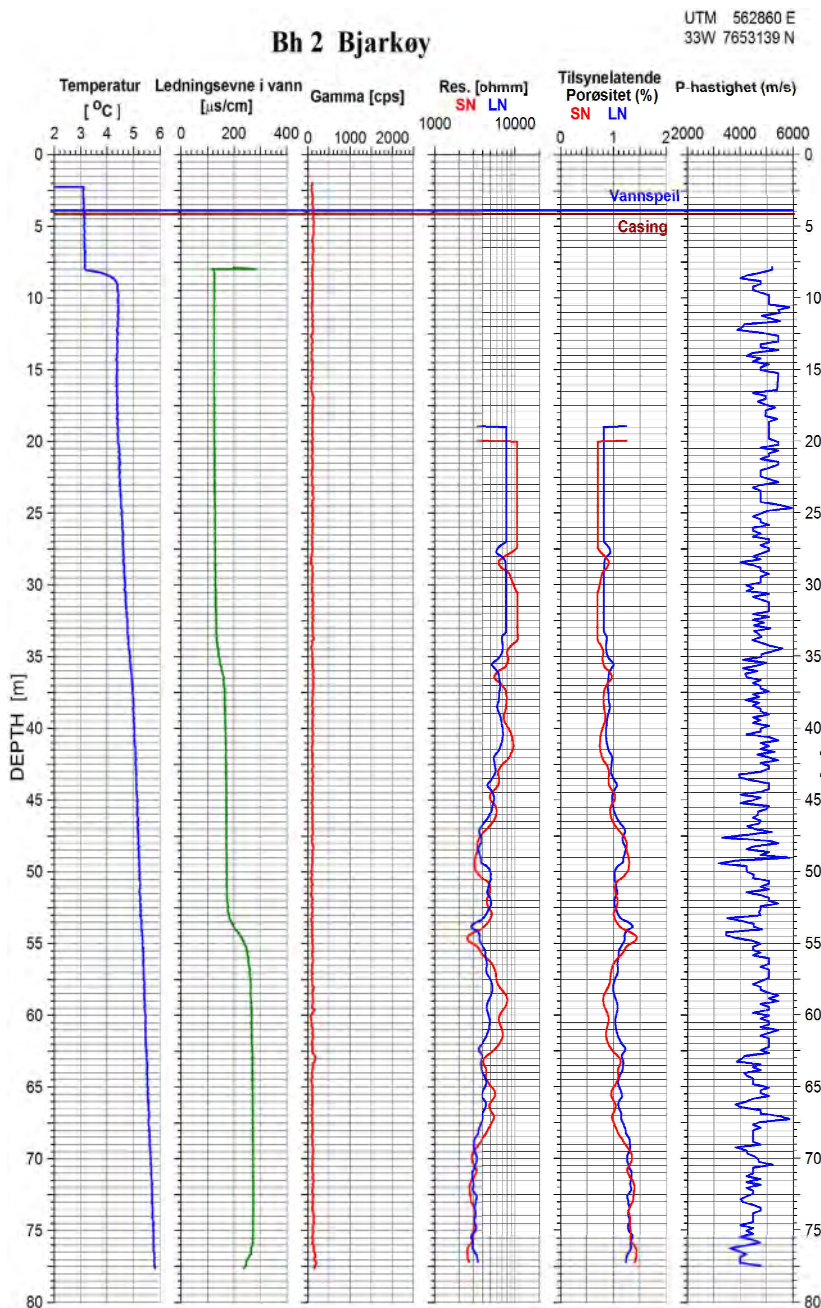
Borehull	Strøkretning	Fallretning	Fallvinkel
Bh 2	N034	N124	27
Bh 4	N012	N102	31
Bh 5	N015	N105	42
Bh6	N017	N107	38

Bh 1 Bjarkøy

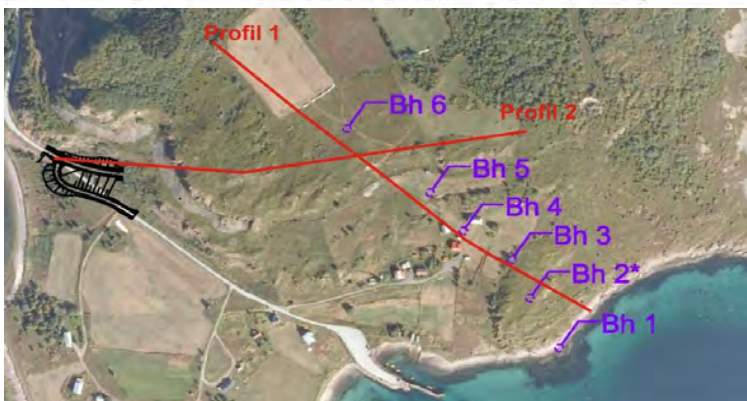
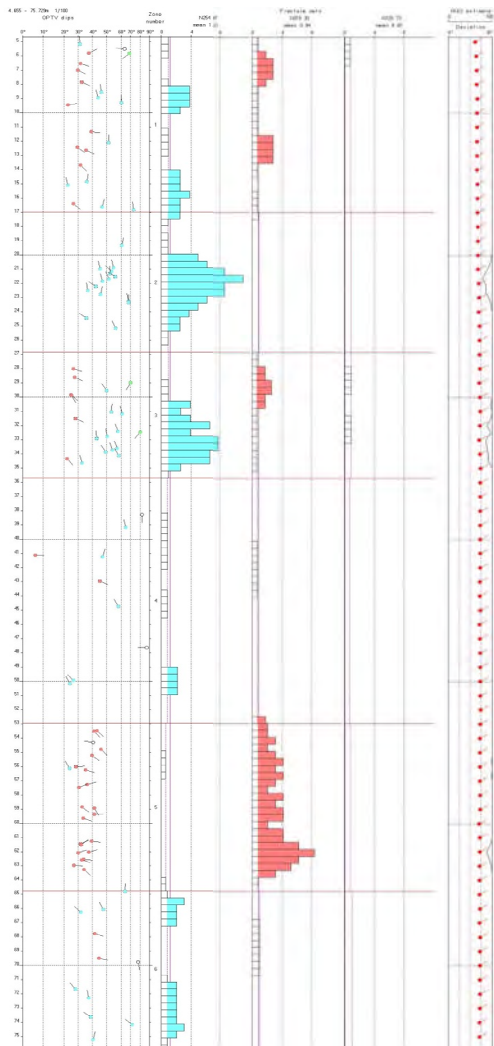
UTM 562897 E
33W 7653072 N



Figur 5. Bh 1, temperatur, ledningsevne i vann, total gammastråling, resistivitet, tilsynelatende porøsitet og seismisk hastighet.



Sprekkfrekvens optisk televiewer



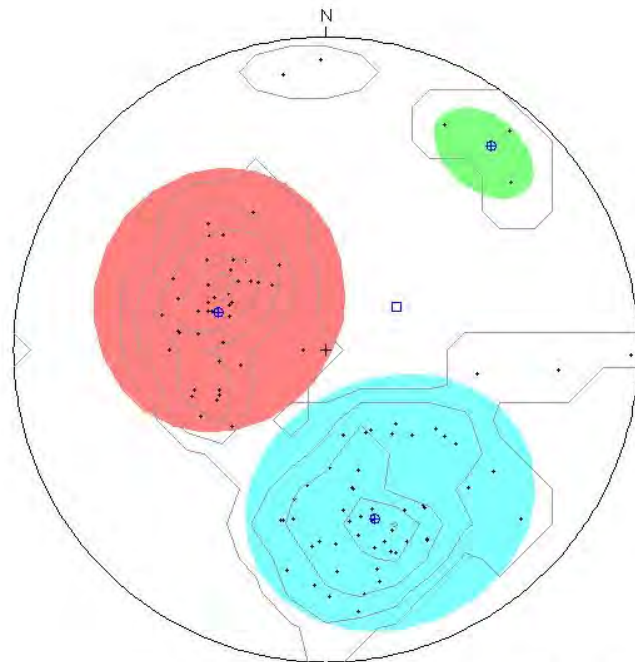
Figur 6. Bh 2, temperatur, ledningsevne i vann, total gammastråling, resistivitet, tilsynelatende porøsitet, seismisk hastighet og sprekkfrekvens.

Zone 0, 4.655 - 75.719m
 Deviation 21.2 N58.6
 Mean dip format: strike and dip
 dip data sets
 OPTV dips

	mean dip	n	f
N254 47	N254 47	49	1.21
N019 30	N019 30	41	(0.84)
N129 73	N129 73	3	(0.07)

intersections

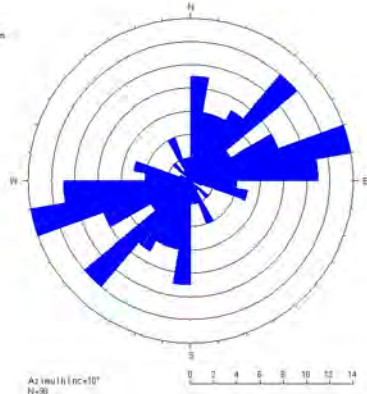
	N254 47	N019 30	N129 73	
N254 47	X	19 N055	36 N296	
N019 30	19 N055	X	27 N138	
N129 73	36 N296	27 N138	X	



equal-area lower-hemisphere 0-90
 contour-levels 1,3,6,10,15,
 □ well axis
 ⊕ mean dip

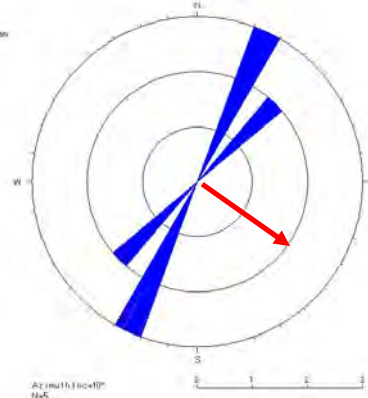
Sprekker

4 655 - 75 719m
 Strike-direction fracture rose diagram



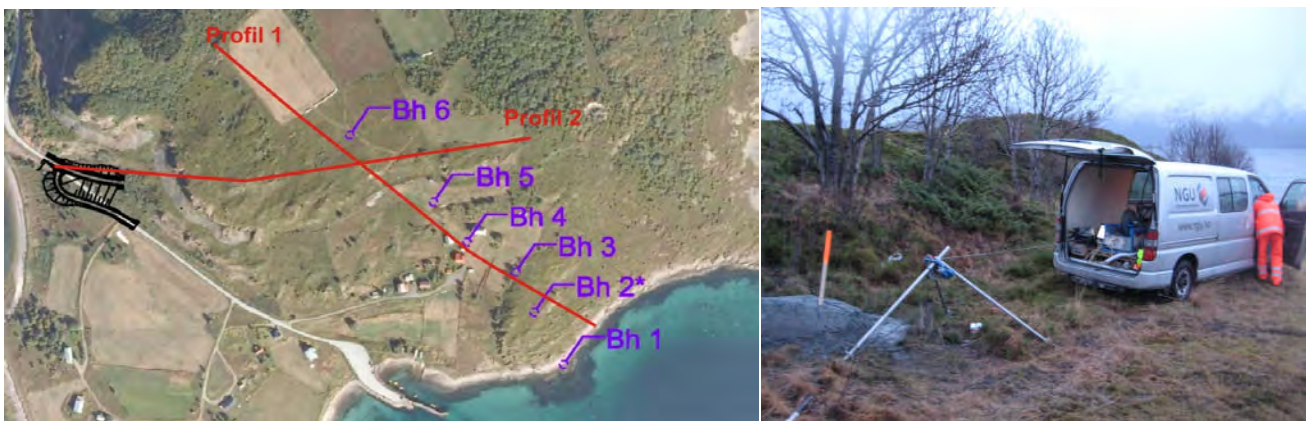
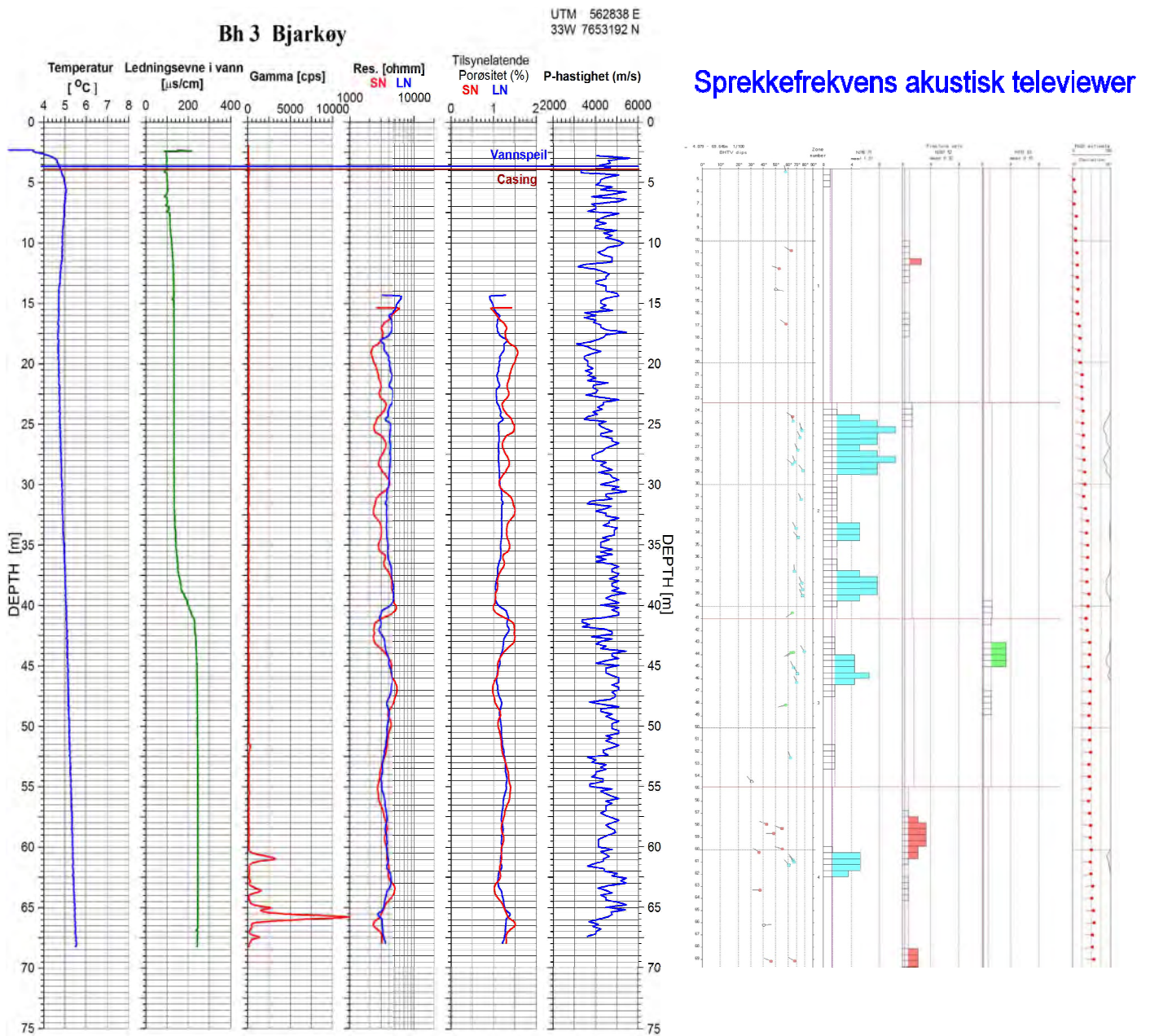
Foliasjon

Bh2
 12 115 - 63 53m
 Strike-direction fracture rose diagram



Foliasjon: N124 fall 27°
 Fall i pilens retning

Figur 7. Bh 2, Sprekkestereogram og rosediagram for indikerte sprekker og rosediagram med fallretning for foliasjon.



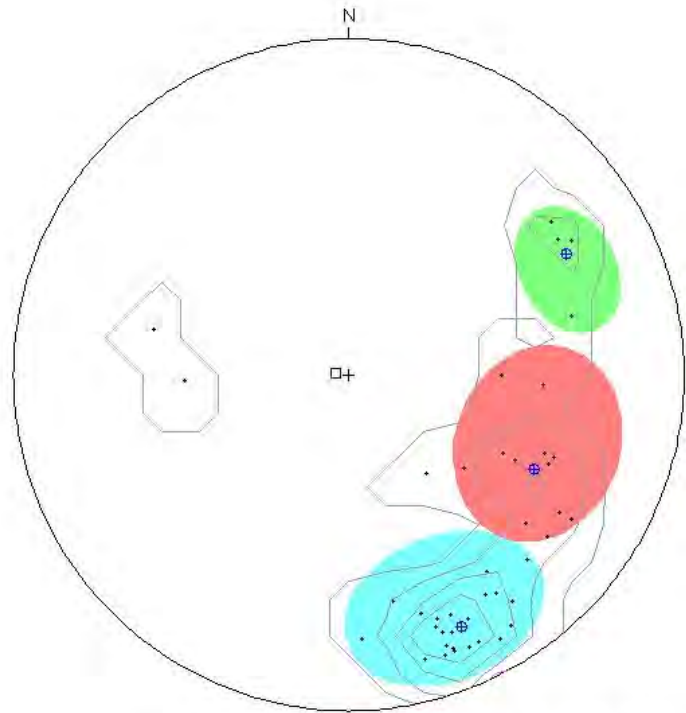
Figur 8. Bh 3, temperatur, ledningsevne i vann, total gammastråling, resistivitet, tilsynelatende porøsitet, seismisk hastighet og sprekkfrekvens.

Zone 0, 4.079 - 69.646m
 Deviation 3.3 N277.4
 Mean dip format: strike and dip
 dip data sets
 BHTV dips

	mean dip	n	f
N246 71	N246 71	24	(1.21)
N207 52	N207 52	12	(0.32)
N151 63	N151 63	4	(0.15)

intersections

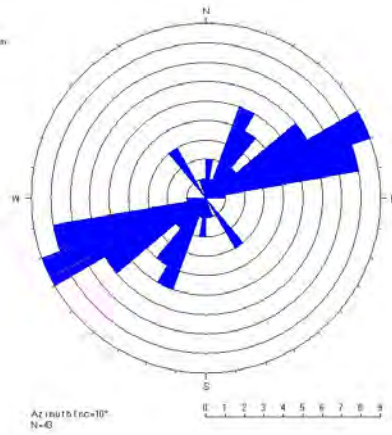
	N246 71	N207 52	N151 63
N246 71	X	48 N269	57 N278
N207 52	48 N269	X	52 N291
N151 63	57 N278	52 N291	X



equal-area lower-hemisphere 0-90
 contour-levels 1,3,6,10.
 □ well axis
 ⊕ mean dip

Sprekker

4.079 - 69.646m
 Strike-direction, fracture rose diagram

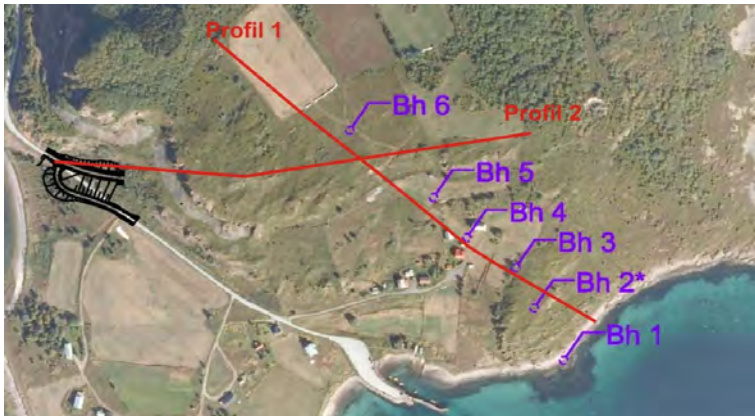
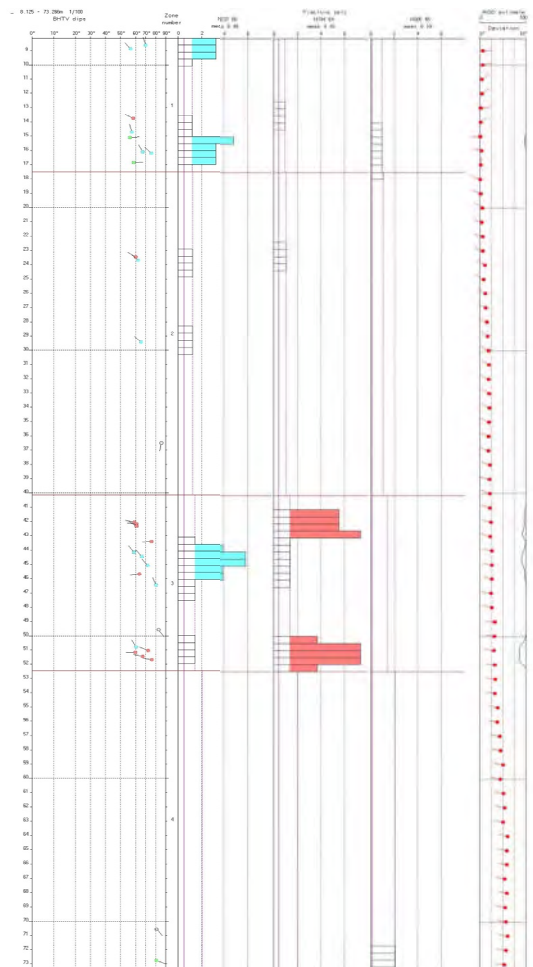
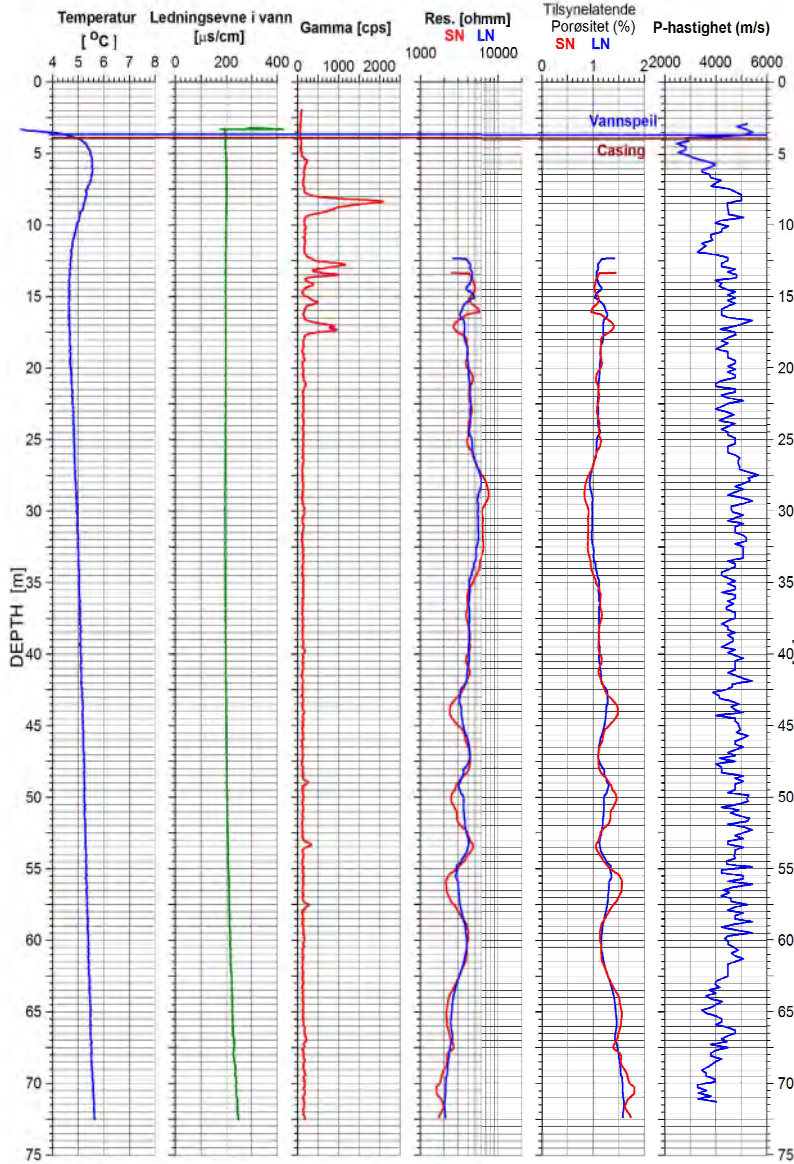


Figur 9. Bh 3, Sprekkestereogram og rosedigram for indikerte sprekker.

Bh 4 Bjarkøy

UTM 562778 E
33W 7653231 N

Sprekkefrekvens akustisk televiever



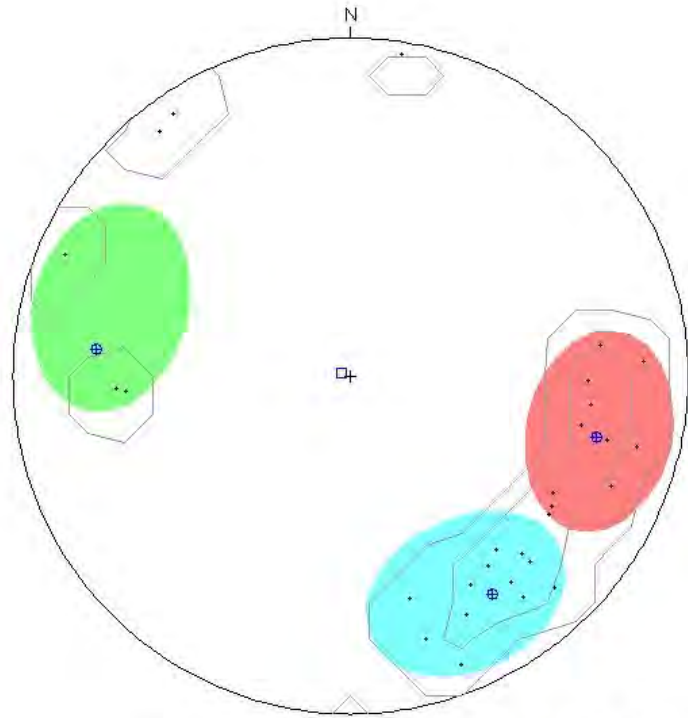
Figur 10. Bh 4, temperatur, ledningsevne i vann, total gammastråling, resistivitet, tilsynelatende Porøsitet, seismisk hastighet og sprekkfrekvens.

Zone 0, 8.125 - 73.266m
 Deviation 2.5 N287.4
 Mean dip format: strike and dip
 dip data sets
 BHTV dips

	mean dip	n	f
N237 66	N237 66	12	<0.49
N194 64	N194 64	11	<0.43
N006 65	N006 65	3	<0.10

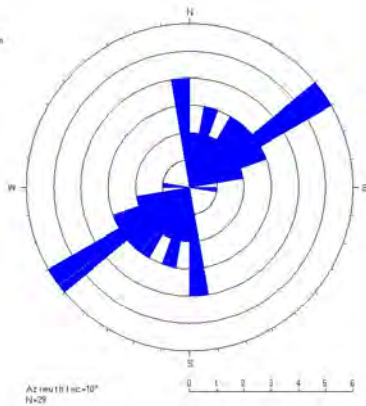
intersections

	N237 66	N194 64	N006 65
N237 66	X	63 N299	43 N032
N194 64	63 N299	X	8 N010
N006 65	43 N032	8 N010	X



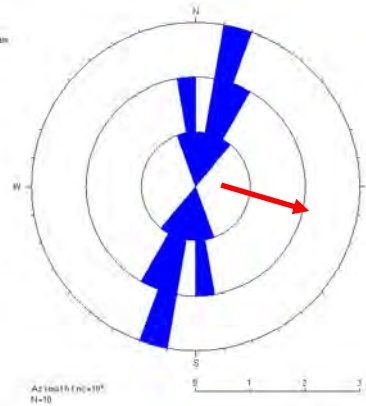
Sprekker

8 125 - 73 266m
 Strike-direction, fracture rose diagram



Foliasjon

7 35 - 4 18m
 Strike-direction, fracture rose diagram

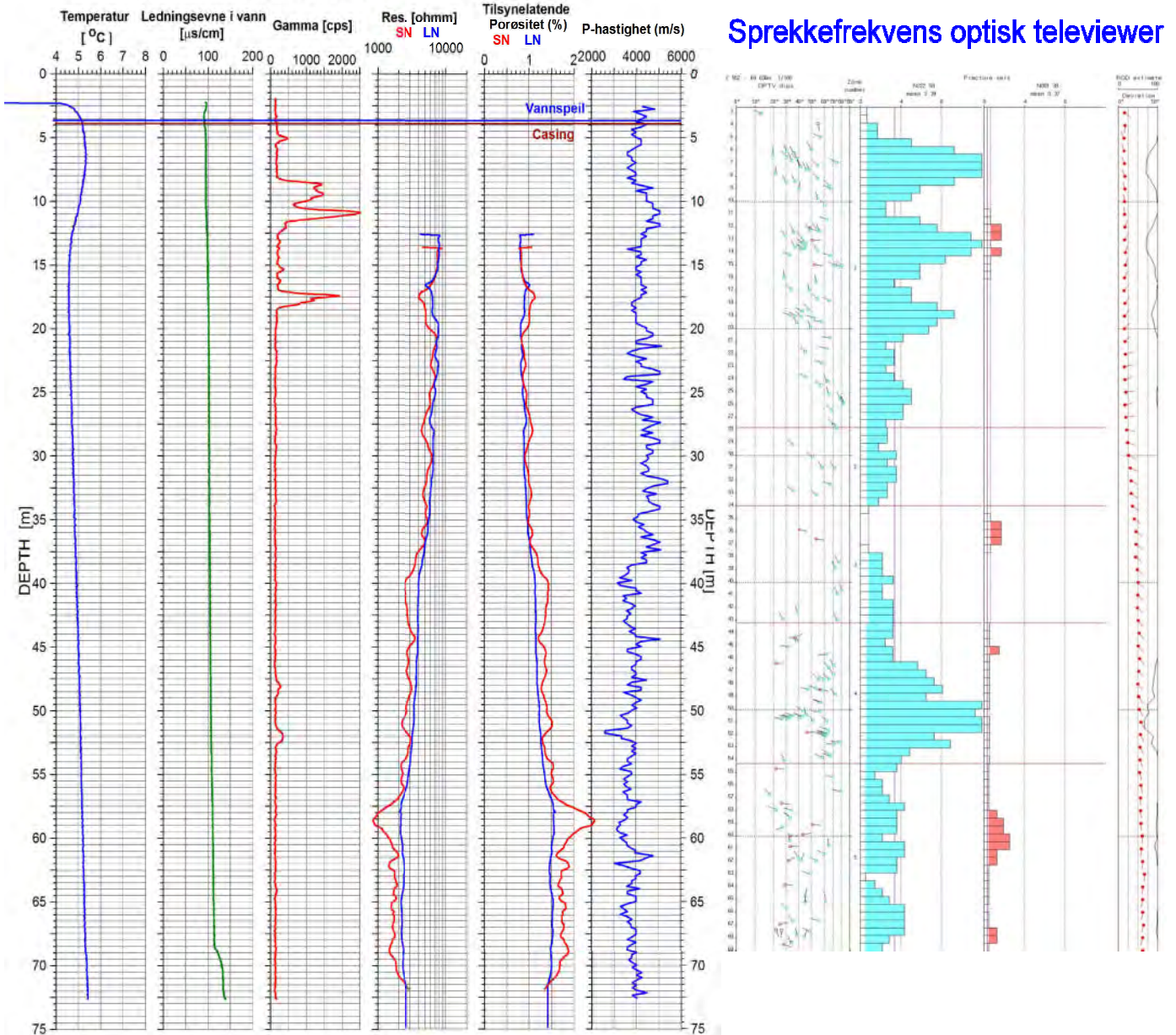


Foliasjon: N102 fall 31°
 Fall i pilens retning

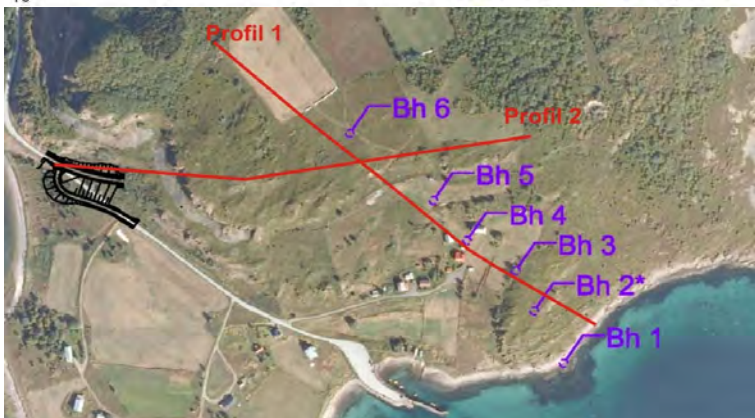
Figur 11. Bh 4, Sprekkestereogram og rosedigram for indikerte sprekker og rosedigram med fallretning for foliasjon.

Bh 5 Bjarkøy

UTM 624304 E
32V 6699542 N



Sprekkefrekvens optisk televiewer



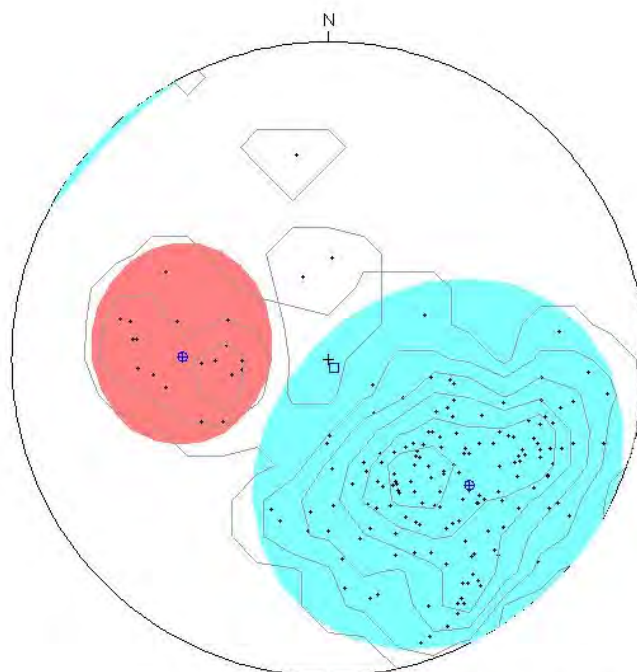
Figur 12. Bh 5, temperatur, ledningsevne i vann, total gammastråling, resistivitet, tilsynelatende porøsitet, seismisk hastighet og sprekkfrekvens.

Zone 0, 2.552 - 69.036m
 Deviation 2.7 N150.2
 Mean dip format: strike and dip
 dip data sets
 OPTV dips

	mean dip	n	f
N222 50	N222 50	151	3.39
N001 38	N001 38	19	(0.37)

intersections

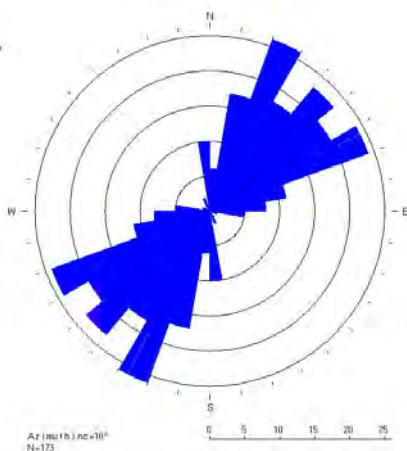
	N222 50	N001 38
N222 50	X	18 N026
N001 38	18 N026	X



equal-area lower-hemisphere 0-90
 contour-levels 1,3,6,10,15,21.
 □ well axis
 ⊕ mean dip

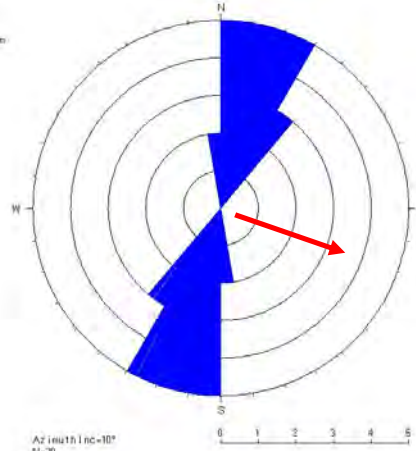
Sprekker

2.552 - 69.036m
 Strike-direction, fracture rose diagram



Foliasjon

Bh5
 S.032 - 64.510m
 Strike-direction, fracture rose diagram

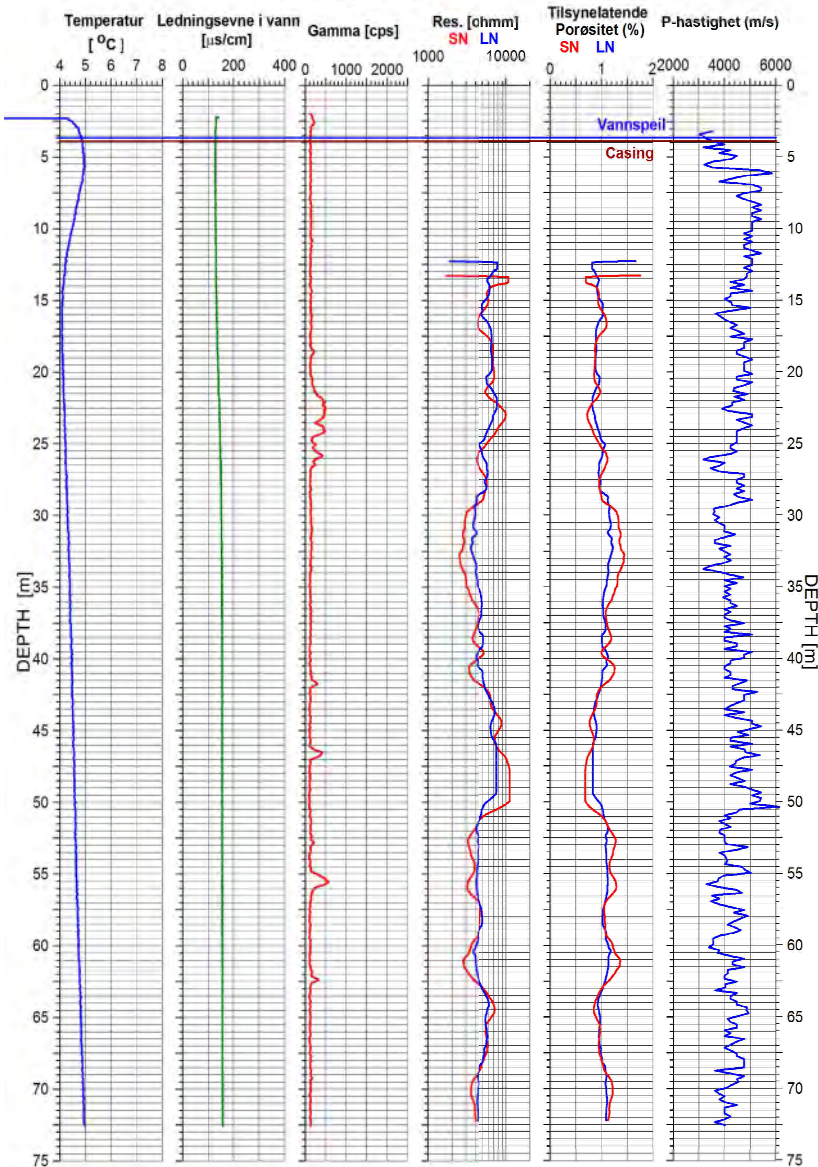


Foliasjon: N105 fall 42°
 Fall i pilens retning.

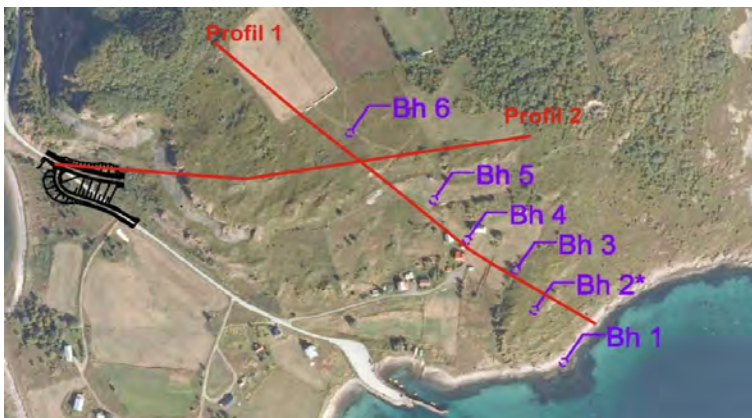
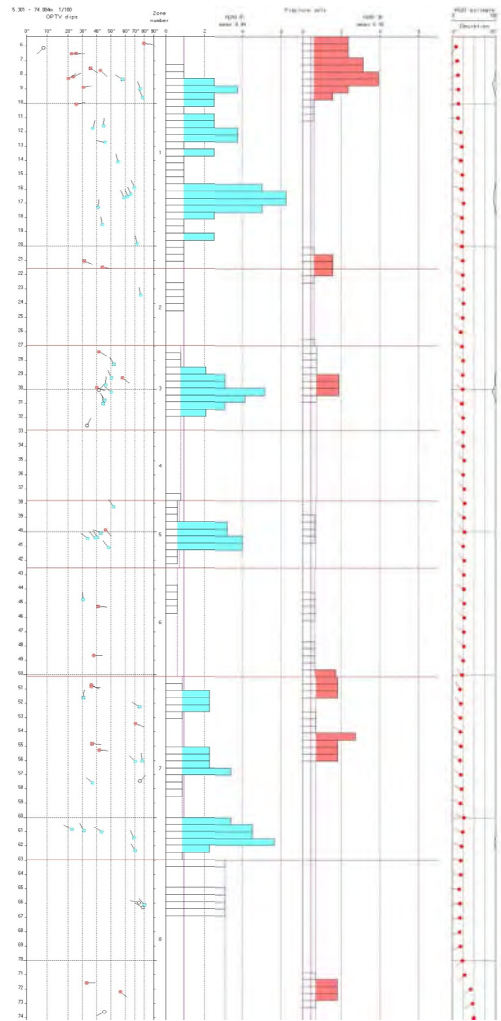
Figur 13. Bh 5, Sprekkestereogram og rosedigram for indikerte sprekker og rosedigram med fallretning for foliasjon.

Bh 6 Bjarkøy

UTM 562634 E
33W 7653370 N



Sprekkefrekvens optisk televiewer



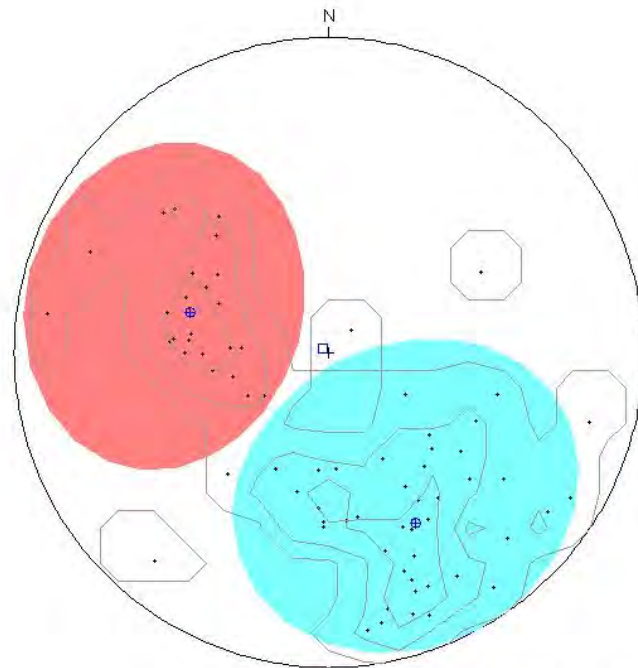
Figur 14. Bh 6, temperatur, ledningsevne i vann, total gammastråling, resistivitet, tilsynelatende porøsitet, seismisk hastighet og sprekkfrekvens.

Zone 0, 5.301 - 74.084m
 Deviation 2.0 N296.2
 Mean dip format: strike and dip
 dip data sets
 OPTV dips

	mean dip	n	f
N243 51	N243 51	41	0.99
N016 38	N016 38	24	(0.43)

intersections

	N243 51	N016 38
N243 51	X	21 N045
N016 38	21 N045	X



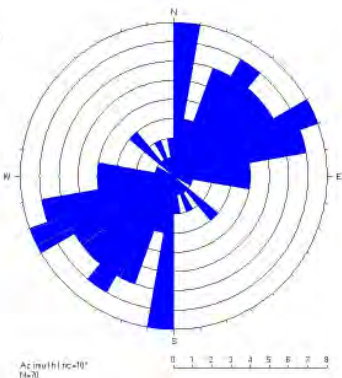
equal-area lower-hemisphere 0-90
 contour-levels 1,3,6.

□ well axis
 ⊕ mean dip

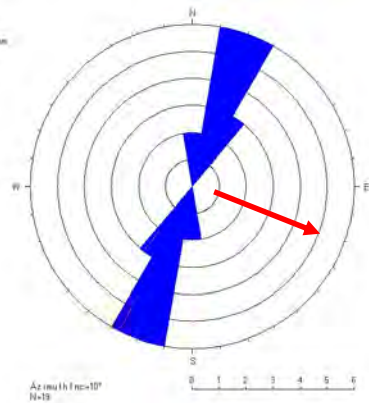
Sprekker

Foliasjon

5.301 - 74.084m
 Strike-direction, fracture rose diagram



7.046 - 72.000m
 Strike-direction, fracture rose diagram



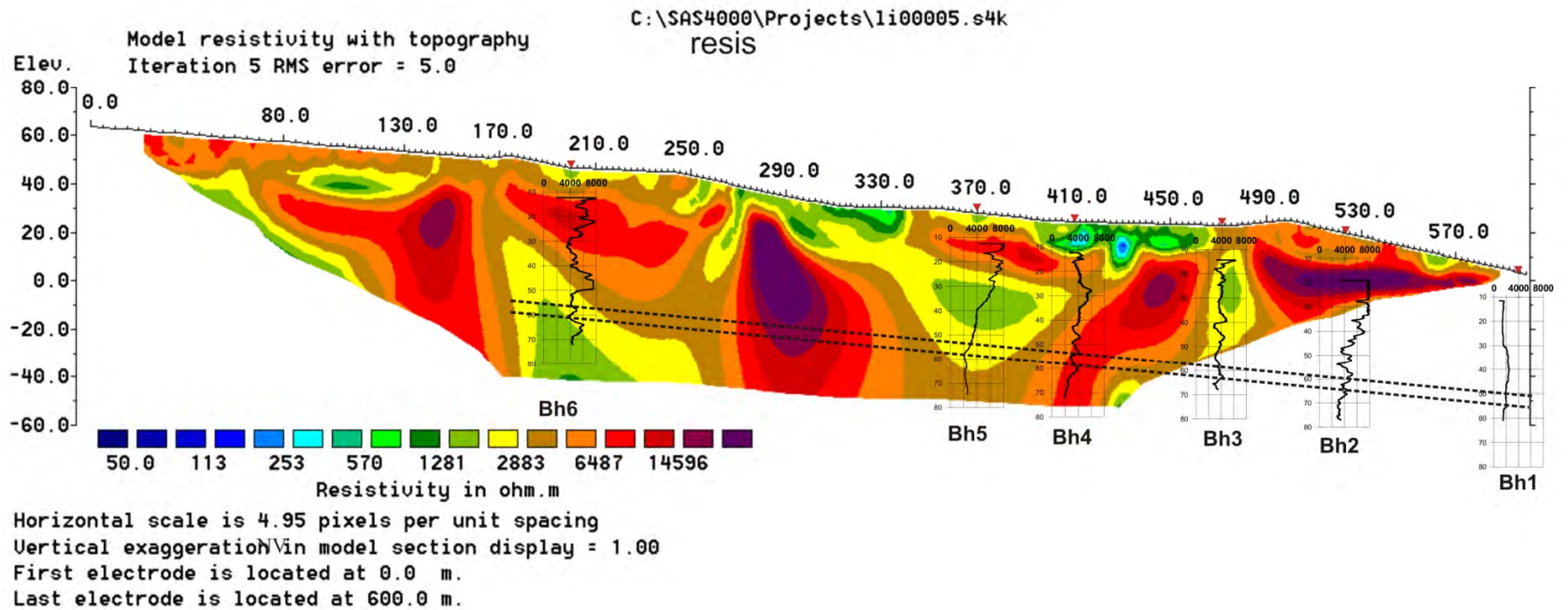
Foliasjon: N107 fall 38°
 Fall i pilens retning

Figur 15. Bh 6, Sprekkestereogram og rosedigram for indikerte sprekker og rosedigram med fallretning for foliasjon.

Bjarkøy

Profil 1

Resistivitet
Gradient, el.avst. 5 m.
V/H-filter 1



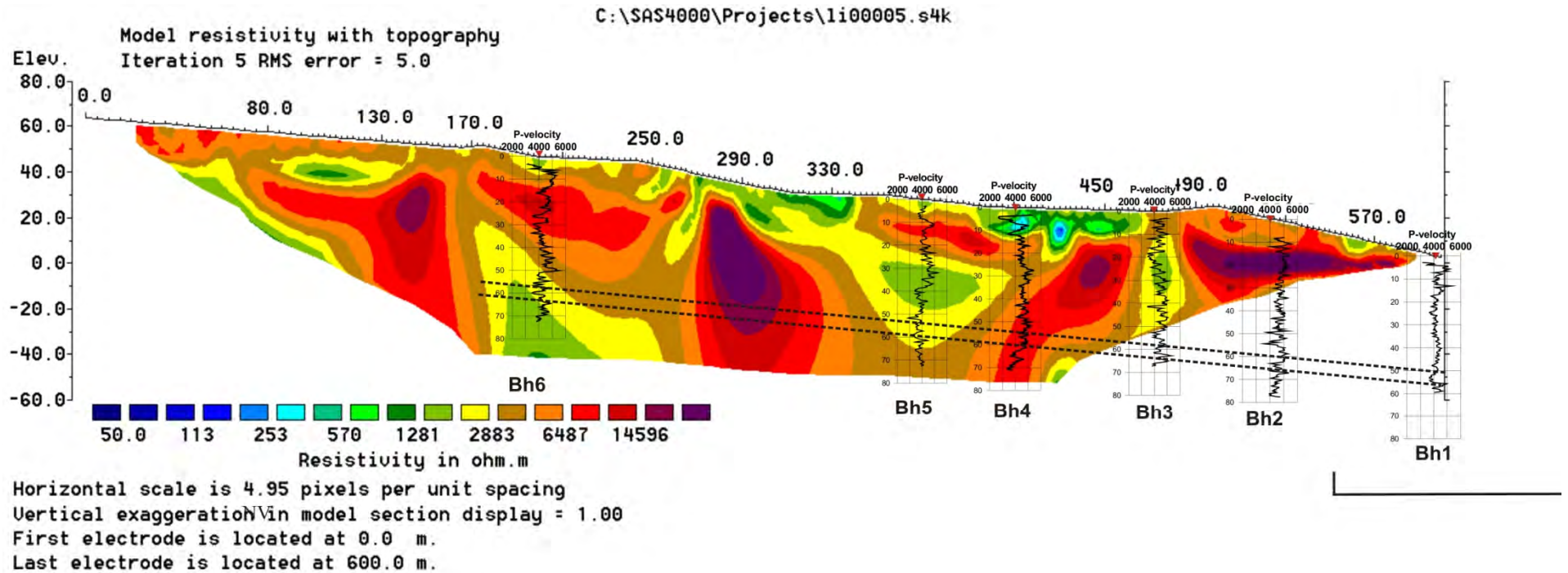
Figur 16. 2D resistivitet Profil 1 og resistivitet i borehull. Stipling angir ca planlagt tunneltrase.

Bjarkøy

Profil 1

Resistivitet
Gradient, el.avst. 5 m.
V/H-filter 1

2Dres - P-bølge hastighet i borehull

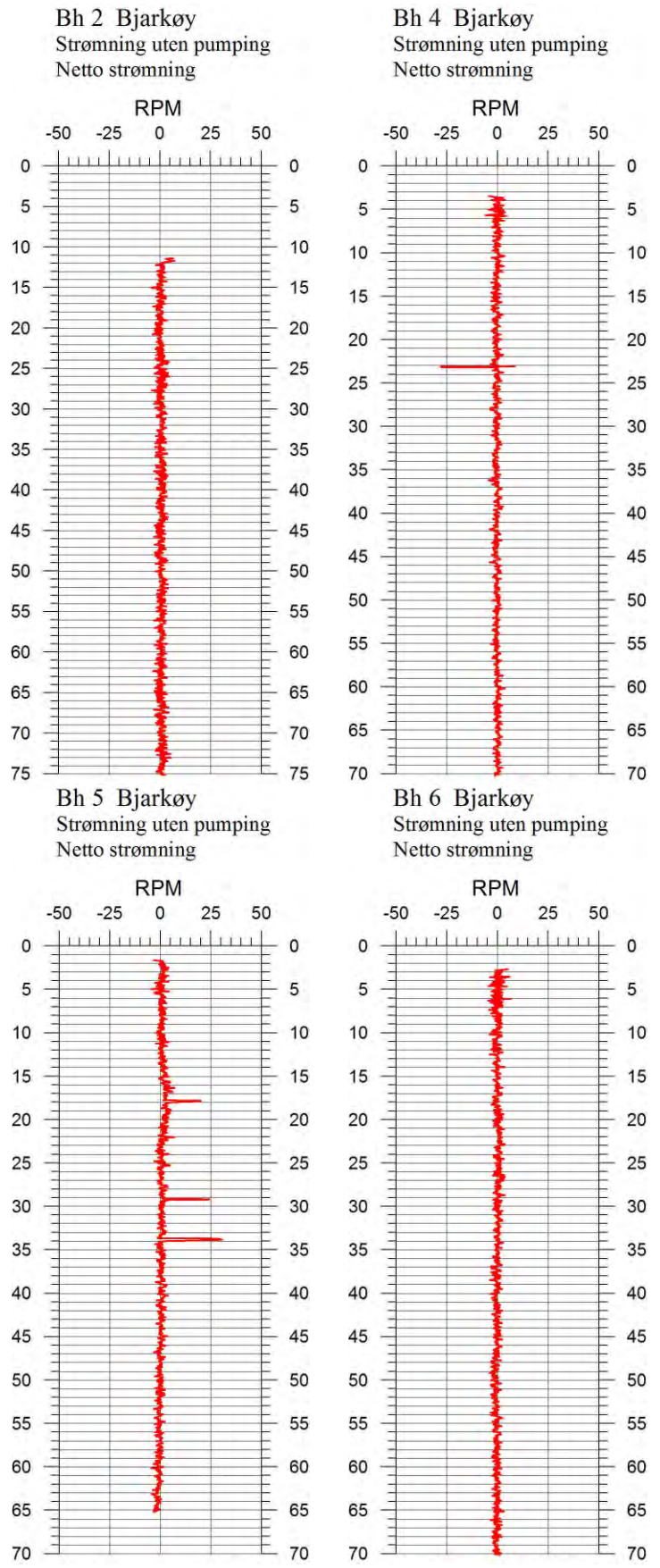


Figur 17. 2D resistivitet Profil 1 og seismisk P-bølge hastighet i borehull. Stipling angir ca planlagt tunneltrase.

3.4 Strømningsmåling.

Strømningsmåling utføres med en propell som kan kjøres opp og ned i borehullet med konstant hastighet. Turtallet måles, og avvik fra hastighetens turtall kan skyldes vertikal strømning i hullet. Ved å beregne et netto turtall fra måling opp og ned i hullet kan en beregne om en har strømning opp eller ned. En kan også grovt beregne strømningsvolumet pr. time. En kan også se hvor i hullet en eventuell vannstrøm kommer inn. Et netto turtall på null betyr ingen strømning i hullet.

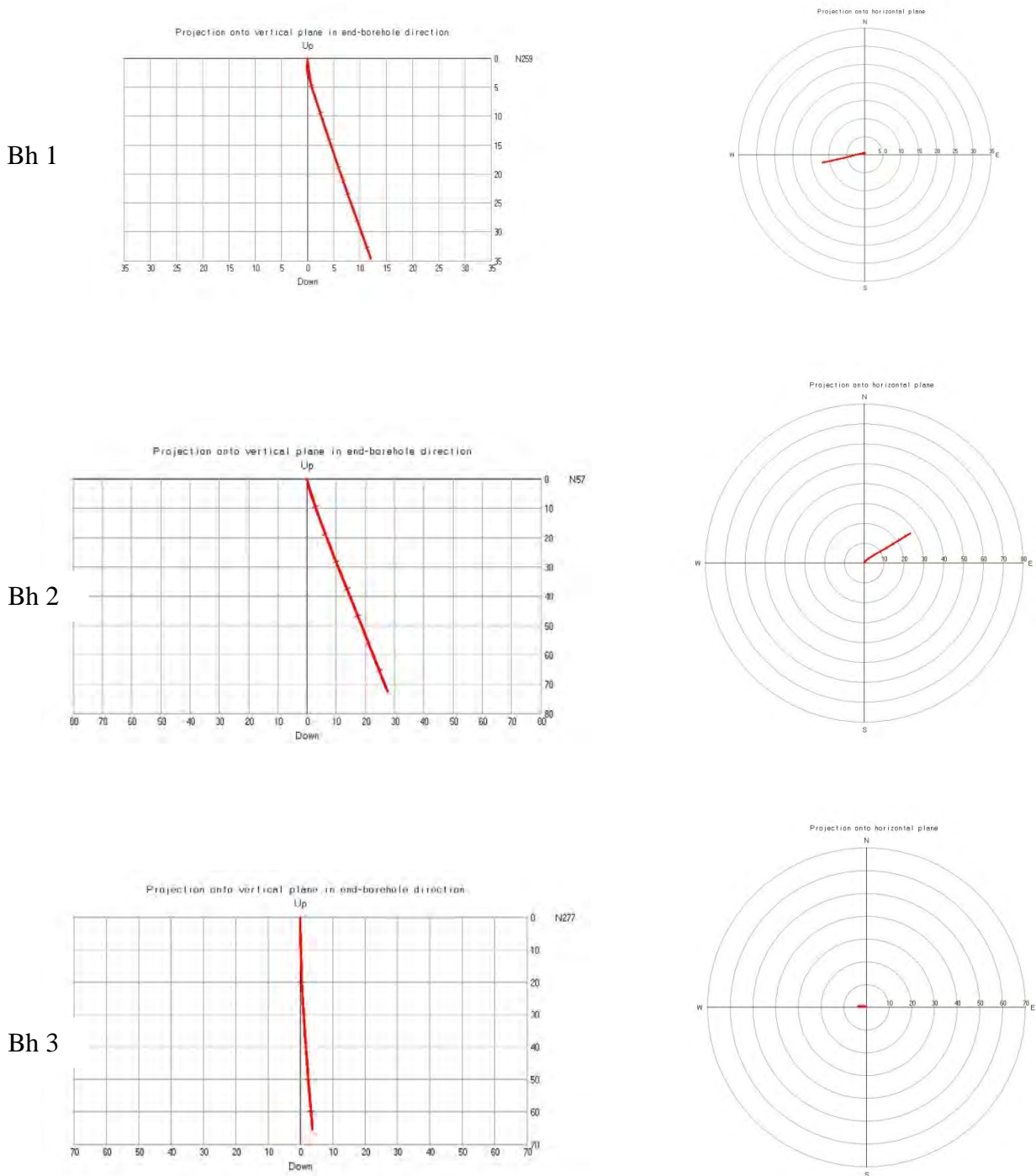
Strømningsmåling ble utført i Bh 2, 4, 5 og 6. Resultatet er vist i figur 18 og viser at netto turtall i alle hull er tilnærmet null, dvs. det er ingen naturlig strømning i hullene. Utslagene på loggene i Bh 4 og 5 antas å skyldes støy, mest sannsynlig partikler i vannet som treffer den meget følsomme propellen.



Figur 18. Netto strømning i Bh 2, 4, 5 og 6.

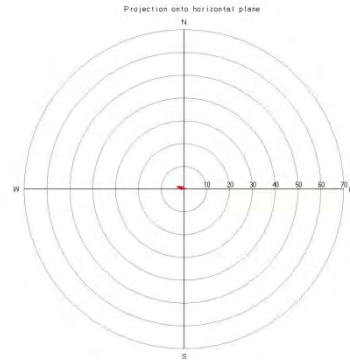
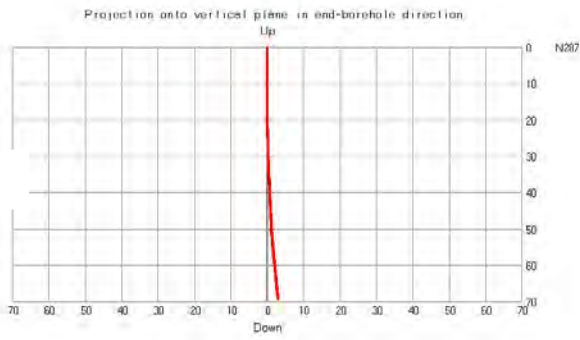
3.5 Borehullsavvik

Borehullsavviket måles som en integrert del av optisk/akustisk televierer. Figur 19 og 20 viser vertikalprojeksjon og horisontalprojeksjon av alle borehullene. Avviket fra planlagt hullbane er liten i alle hull. For loddhullene er det snakk om 2 – 3 m i bunnen av hullet.

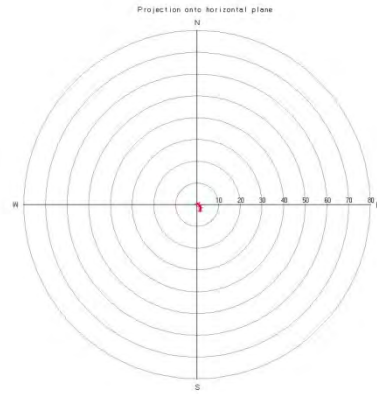
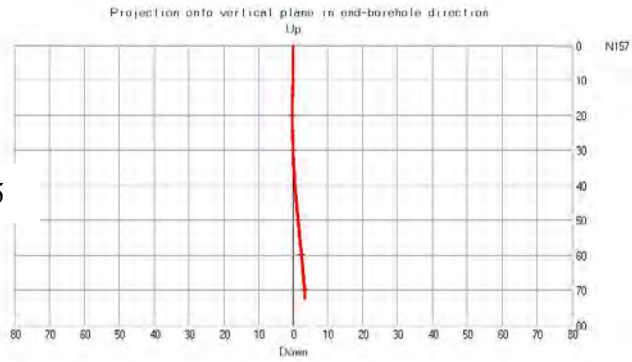


Figur 19. Borehullsavvik i Bh 1, 2 og 3. Vertikalprojeksjon (venstre) og horisontalprojeksjon (høyre).

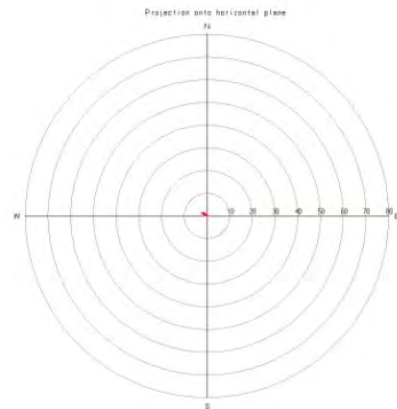
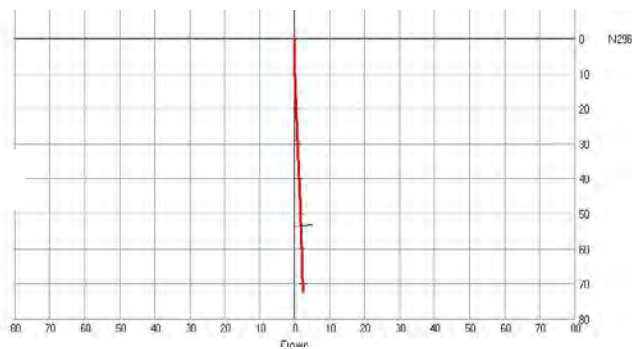
Bh 4



Bh 5



Bh 6



Figur 20. Borehullsavvik i Bh 3, 4 og 5. Vertikalprosjeksjon (venstre) og horisontalprosjeksjon (høyre).

4. DISKUSJON

2D resistivitetsmålinger hadde indikert flere svakhetssoner langs profil 1. Boringer ble gjort i disse svakhetssonene i den hensikt å få mer opplysninger om fjellet i disse sonene. Det var også interessant å se hvordan 2D resistivitetsmålinger på bakken samsvarer med målinger i borehull. Spesielt interessant var å undersøke den lave resistiviteten ved koordinat 370 på 30 – 60 m dyp (spørsmålsteget på P1).

På figur 16 er resistivitetsloggene fra alle borehull plottet i riktig målestokk på 2D resistivetsprofil 1. Det er generelt god korrelasjon mellom bakkemålingene og borehullsmålingene. I Bh 6 er det høy resistivitet øverst med noe avtagende mot bunnen. 2D målingene viser noe lavere verdier enn i borehullet. I Bh5 (boret i spørsmålsteget) er det høy resistivitet øverst med en tydelig nedgang fra ca 30 m. Dette stemmer meget bra med bakkemålingene som også viser verdier ned mot 2000 ohmm. I Bh 4 er det dårlig korrelasjon. Borehullsmålingene viser avtagende resistivitet mot dypet, mens 2D målingene viser høy resistivitet. For 2D vil usikkerheten i målingene øke mot flankene på profilet og mot dypet da det vil bli mindre målepunkter her. Bh 3 er boret i en indikert svakhetszone og borehullsmålingene viser forholdsvis lave verdier hele veien, 3000 – 4000 ohmm. Bh 2 viser meget høy resistivitet i øvre del, det samme gjør 2D målingene. Borehullsmålingene viser synkende resistivitet mot bunnen av hullet – 2D har ikke dekning her. I Bh 1 er resistiviteten forholdsvis lav i hele hullet, mens 2D ikke dekker denne delen.

Inntegnet ca tunneltrase viser at tunnelen vil gå gjennom de nivåer som viser lavest resistivitet på ca 50 m dyp.

Figur 17 viser seismisk P-bølgehastighet i borehull plottet sammen med 2D resistivitet på profil 1. Sammenhengen mellom resistivitet og seismisk hastighet er beskrevet foran for hvert borehull, men på samme måte som for resistiviteten vil tunnelen gå gjennom områder med noe lav hastighet. Det må imidlertid understrekes at ingen kritiske lavhastighetssoner er påvist.

Denne undersøkelsen har vist at fjellet langs tunneltraseen på Bjarkøy kan ha lavere resistivitet og seismisk hastighet uten at optisk/seismisk televiwer påviser forhøyet sprekkefrekvens. Dette kan være en indikasjon på at overflateforvitringen kan fortsette ned mot tunnelnivå flere steder. NGU anser dette som så urovekkende at det anbefales kjerneboring. Aktuelle steder for boring er ved Bh 5 og i strandsonen, Bh 1.

5. KONKLUSJONER

Statens vegvesen planlegger å bygge undersjøisk tunnel fra Grytøya til Bjarkøya nord for Harstad. I den forbindelse har NGU utført 2D resistivitetmålinger langs to profiler, og logget 6 borehull på Bjarkøya. Hensikten med undersøkelsen var å kartlegge mulige svakhetssoner og eventuelt forvitret fjell som kan skape problemer under tunneldrivingen.

Målingene viste flere svakhetssoner og forvitret fjell langs deler av tunneltraseen. Det er god korrelasjon mellom 2D resistivitet på bakken og logging av resistivitet i borehull. Det er en tendens til lavere resistivitet og seismisk hastighet mot dypet der tunnelen vil komme. Slik NGU ser det er det ingen kritiske soner. Det er indikert flere soner med lav resistivitet målt på bakken og tilsvarende lav resistivitet målt i borehull. Det er påvist forvitret fjell i dagen, og dersom denne sonen går ned mot tunnelnivå kan sonen være kritisk. Televideoopptakene i Bh 5 er gode, men det er vanskelig å si om en ser dypforvitring. NGU foreslår her å sette på et diamantborehull gjennom sonen for se om kjerner fra sonen kan forklare den noe lave resistiviteten og om det er knyttet problemer ved tunneldriving til denne. En foreslår også et diamantborehull ved strandsonen, Bh 1, der det også var noe lav resistivitet i borehullet. Det bør også bores ved tunnelpåhugget på Bjarkøya.

Bh 5 er mest oppsprukket og det er god korrelasjon mellom sprekkefrekvens og lav resistivitet. Det er også korrelasjonen i Bh 6. I de andre hullene er det dårlig korrelasjon. De er forholdsvis lite oppsprukket og de sprekkeene en ser er tynne og gjerne fylt med karbonat eller kvarts. En observerer også områder i borehullene med forholdsvis lav resistivitet men liten eller ingen oppsprekking. Dette kan være en indikasjon på forvitret fjell.

6. REFERANSER

ABEM 1999: ABEM Terrameter SAS 4000/SAS 1000. Instruction Manual. ABEM Printed Matter 93101. ABEM, Sverige.

Advanced Logic Technology, 2006: WellCAD, FWS processing, version 4.1.

Archie, G.E., 1942: The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Petroleum Technology*, 5, 1422 – 1430.

Dahlin, T. 1993: On the Automation of 2D Resistivity Surveying for Engineering and Environmental Applications. Dr. Thesis, Department of Engineering Geology, Lund Institute of Technology, Lund University. ISBN 91-628-1032-4.

Elvebakk, H. 2011: Sammenstilling av resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gammastråling i norske bergarter. *NGU rapport 2011.042*.

Loke, M.H. 2010: RES2INV ver. 3.59.70. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual. www.geoelectrical.com

Reiser, F., Dalsegg, E., Dahlin, T., Ganerød, G. & Rønning, J.S. 2009, "Resistivity Modelling of Fracture Zones and Horizontal Layers in Bedrock". NGU Report 2009.070, pp. 1-120, 2009 <http://www.ngu.no/no/hm/Publikasjoner/Rapporter/2009/>

Rønning, J.S. 2003: Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Sluttrapport delprosjekt A, Forundersøkelser. Statens vegvesen, Publikasjon nr. 102.

Rønning, J.S., Dalsegg, E., Elvebakk, H. & Storrø, G. 2003: Characterization of fracture zones in bedrock using 2D resistivity. 9th EEGS European Meeting, Prague, August 31 – September 4 2003. Extended Abstract: Proceedings P005.

Rønning, J.S., Dalsegg, E., Elvebakk, H., Ganerød, G.V. & Heincke, B.H. 2009: Characterization of fracture zones in bedrock using 2D resistivity. Proceedings from 5th Seminar on Strait Crossings, Trondheim, June 21 – 24 2009, p. 439 - 444 (SINTEF/NTNU)

Thunhead, H. & Olsson, O. 2004: Borehole corrections for a thick resistivity probe. *JEEG*, December 2004, Volume 9, Issue 4, pp. 217.

Paulsen, S. 2011: Bjarkøyforbindelsen, Fv867/Fv124. Refraksjonsseismikk på land. GeoPhysics Rapport 11131.

Innmålte profiler (WGS-84, Sone 33 V)

UTM-øst	UTM-nord		
562464	7653482	Profil 1	0
562543	7653425		100
562620	7653363		200
562696	7653298		300
562776	7653240		400
562853	7653180		500
562938	7653137		600
562290	7653322	Profil 2	0
562384	7653325		100
562473	7653318		200
562571	7653332		300
562669	7653345		400
562767	7653360		500
562865	7653375		600

Innmålte koordinater for borehull (WGS-84, Sone 33V)

Punktnavn	Innmålte koordinater av borhull		Interpolerte høyder fra terrengmodell
	X	Y	
1	7653072.000	562897.000	0.14
2*	7653139.792	562860.577	21.75
3	7653192.000	562838.000	22.99
4	7653231.000	562778.000	23.98
5	7653283.000	562737.000	33.14
6	7653370.000	562634.000	49.04



Undersøkt område

STATENS VEGVESEN, REGION NORD - NGU OVERSIKTSKART BJARKØYA HARSTAD, TROMS	MÅLESTOKK	MÅLT ED-HE	Sept. 2011
	1 : 50 000	TEGN E.D.	Mars 2012
		TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBILAG NR 2012.027-01	KARTBLAD NR 1332 IV/1333 III	