

GEOLOGI FOR SAMFUNNET

GEOLOGY FOR SOCIETY



RAPPORT

Rapport nr.: 2014.020		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Geofysisk logging og geologisk kjernelogging, Diamantborehull KH1, Bjarkøy, Troms				
Forfatter: Harald Elvebakk, Ola Fredin, Giulio Viola & Einar Dalsegg		Oppdragsgiver: NGU - Statens vegvesen		
Fylke: Troms		Kommune: Harstad		
Kartblad (M=1:250.000) Narvik		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1332 IV Harstad		
Forekomstens navn og koordinater: Bjarkøya 33 V 562567 7653362		Sidetall: 26	Pris: kr 100	
Feltarbeid utført: September 2013 Januar 2014		Rapportdato: 7.4.2014	Prosjektnr.: 329500	Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>
Sammendrag:				
<p>NGU har utført geofysisk logging i borehull KH1 på Bjarkøy i forbindelse med planlagt undersjøisk tunnel til øya. Måling av resistivitet og seismisk P-bølgehastighet indikerer for det meste massivt, stabilt fjell. Stedvis i borehullet er det indikert soner med moderat lav resistivitet som faller sammen med lav seismisk hastighet og sprekkesoner observert på kjerner. Det er lite som tyder på dypforvitring i dette hullet. Meget svake IP-anomalier kan indikere leire, men dette er høyst usikkert.</p> <p>Logging av kjerner i borehull KH1 og KH2 har ikke påvist leire av betydning. Dypforvitring er ikke påvist i borehullene, verken grunt eller i dypere deler av hullene. Dypforvitring er påvist i overflaten i nærheten av planlagt tunnelpåhugg og går generelt bare til noen få meters dyp også andre steder langs tunneltraseen og ikke ned til tunnelnivå. Produsert leire ved dypforvitring vil derfor ikke være noe problem i dypet. En forkastningssone i KH2 ved ca 32 m dyp viser kraftig oppsprekning grunnet bevegelser i forkastningen. Andre lignende lokale sprekkesoner må sannsynligvis forventes langs den planlagte tunneltraseen.</p> <p>Fravær av leiromvandling og moderate resistivitetsverdier i knusningssoner er i samsvar med foreslått tolkingsmodell for sprekkesoner (Rønning et al. 2013).</p>				
Emneord: Geofysikk		Borehullslogging		Lydhastighet
Elektrisk måling		Naturlig radioaktivitet		Temperaturmåling
Strukturgeologi		Kjernelogging		Fagrapport

INNHold

1.	INNLEDNING	5
1.1	Målemetoder og utførelse	6
1.2	Målte parametre	6
2.	RESULTATER GEOFYSISK LOGGING	8
2.1	Temperatur, elektrisk ledningsevne i vann, naturlig gamma, resistivitet, Indusert polarisasjon og seismisk hastighet.	8
2.2	Borehullsavvik	15
3.	RESULTATER GEOLOGISK KJERNELOGGING	16
4.	KONKLUSJON	17
5.	REFERANSER	17
6.	APPENDIX: CORE ANALYSIS	18
6.1	Summary	18
6.2	Key samples	19

FIGURER

Figur 1.1.	Borelokalitet for KH1	5
Figur 2.1.	Kart som viser resistivitetsprofil 1 og 2, Bh1-Bh6 og nytt borehull KH1	8
Figur 2.2.	KH1. Temperatur, ledningsevne i vann, total naturlig gamma, resistivitet, tilsynelatende porøsitet, IP og P-bølgehastighet.	10
Figur 2.3.	KH1 kjernebilder med sprekkesoner (rød) som er indikert på geofysiske logger... ..	11
Figur 2.4.	2D resistivitet Profil 1 og resistivitet i borehull (SN). Stipling angir ca planlagt tunneltrase.	12
Figur 2.5.	2D resistivitet Profil 1 og resistivitet i borehull (LN). Stipling angir ca planlagt tunneltrase.	13
Figur 2.6.	2D resistivitet Profil 1 og seismisk P-bølgehastighet i borehull. Stipling angir ca planlagt tunneltrase	14
Figur 2.7.	Borehullsforløp i KH1. Vertikalprojeksjon med øst- og nord-komponent (venstre), og borehullsretning (høyre)	15

Figure 6.1. Microphotograph of the granite, with quartz, plagioclase, KFS, biotite, amphibole, garnet, chlorite and epidote. No indication of deformation.	19
Figure 6.2. Incipient chloritisation of biotite.....	20
Figure 6.3. Small epidotes and greenish chlorite indicate incipient retrogression of the biotite.	20
Figure 6.4. Incipient cataclasis. Note the fragmentation of the host feldspar, the abundant chlorite and the fines forming the brownish ground mass of the ultracataclastic parts of the rock.....	21
Figure 6.5. More evolved cataclastic texture, with mechanical comminution of feldspar. Note the significant amount of chlorite distributed predominantly along fractures and clast-clast interfaces. Post-cataclasis calcite veinlets dissect the rock.	22
Figure 6.6. Localised domain of ultracataclasite, a texturally very mature brittle fault rock. Only a few large clasts remain, while most of the rock in the domain is a fine-grained matrix resulting from extreme mechanical grinding.	22
Figure 6.7. Calcite fills thin veinlets and discrete, localised dilated volumes of the rock.	23
Figure 6.8. Chlorite and epidote are abundant. They probably formed during the early stages of brittle deformation and are themselves locally affected by comminution in the parts of the samples more affected by cataclastic deformation, with ultracataclastic to gouge textures developing in place.....	23

TABELLER

Tabell 1. Målte parametre, loggehastighet og samplingstetthet.....	6
Tabell 2. Soner med moderat lav resistivitet og P-bølgehastighet samt forhøyet IP.....	9
Tabell 3. Soner i borehull KH1 som viser oppsprekking.....	9

1. INNLEDNING

Statens vegvesen planlegger å bygge undersjøisk tunnel fra Grytøya til Bjarkøya nord for Harstad. I den forbindelse har NGU utført geofysisk logging i et 80 m dypt kjerneborehull, KH1. NGU har tidligere gjort 2D resistivitetmålinger på bakken og logget 6 borehull langs tunneltraseen på Bjarkøya (Dalsegg & Elvebakk 2011). Som en videreføring av disse undersøkelsene ble det i mai/juni 2013 boret to kjerneborehull nær planlagt påhugg på Bjarkøya. KH1 var 80 m loddhull, mens KH2 var 200 m og nesten horisontalt. Hensikten med hullene var å kartlegge fjellkvalitet spesielt med hensyn på dypforvitring. På grunn av meget sterk oppknust fjell i KH2 ble dette hullet ikke logget da det var stor fare for fastsetting og tap av loggeutstyr.

NGU har også gjort inspeksjon av kjerner i begge borehull for å undersøke om påviste sprekkesoner kunne være forårsaket av dypforvitring. En var også interessert i om leirmineraler kunne påvises. En komplett geologisk logging av kjernene er fortatt av Edvard Iversen fra Vegdirektoratet (Statens vegvesen 2013).

De geofysiske målingene ble utført 10.09.2013 av Harald Elvebakk. Kjernelogging ble gjort av Ola Fredin og Einar Dalsegg 16.-17. januar 2014. Figur 1.1 viser borelokaliteten KH1.



Figur 1.1. Borelokalitet for KH1.

1.1 Målemetoder og utførelse

For ikke å blande sammen kjerneborehullene med de tidligere borete brønner har kjerneborehullene fått betegnelsen KH1 og KH2. Borehullsdiameter var 56 mm med kjerner på 46 mm. 2D målingene og logging i Bh 5 viste en tydelig nedgang i resistivitet og seismisk hastighet som kunne tolkes som dypforvitring (Dalsegg & Elvebakk 2011). Det ble derfor anbefalt å bore et kjerneborehull i nærheten av Bh 5. Bh 5 var ikke kjerneborehull. KH1 ble boret ca 60 m vest for Bh 6 og utenfor det interessante området sett fra et geofysisk ståsted.

Tabell 1 viser alle parametere som ble logget i KH1. Tabellen viser også loggehastighet og samplingstetthet for de ulike sondene. Alle logger, bortsett fra borehullsforløp, er presentert i samme plott (figur 2.2).

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

Tabell 1. 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-bølge	4 m/min	1 cm
Naturlig gammastråling	5 m/min	1 cm
Borehullsavvik	1 m/min	1 cm
IP, induert polarisasjon	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/>

1.2 Målte parametre

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

Naturlig gammastråling viser endringer i geologien og er forskjellig for ulike bergarter. Endringer skyldes oftest varierende innhold av kalium (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 korrigert for vannets ledningsevne i borehullet, borehullsdiameter 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 ble verdien $a=1.928$ benyttet, noe som stemmer bra 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).

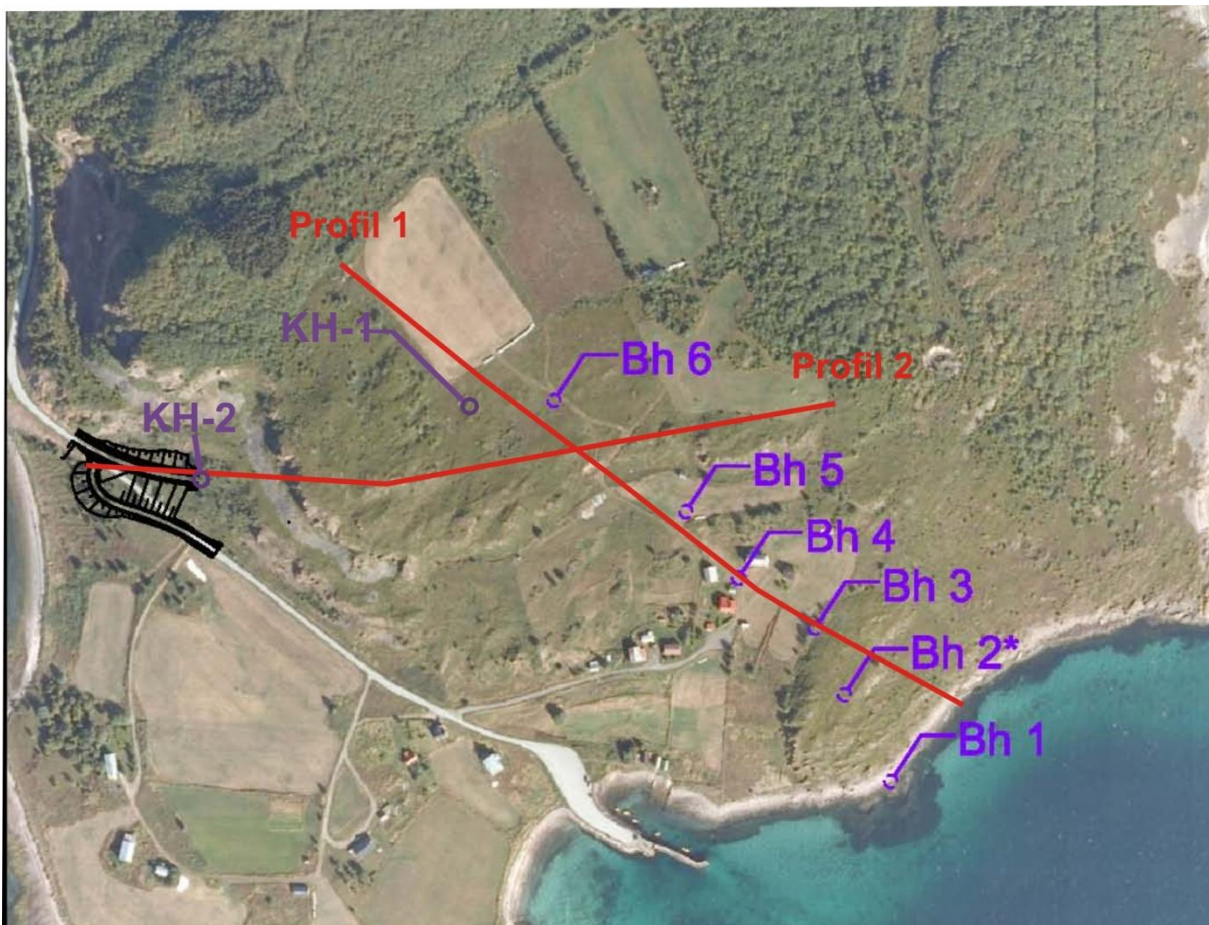
Lydhastigheten beregnes ved å måle gangtiden til P-bølgen. Sonden har tre mottakere med 20 cm avstand. Det blir gjort en måling for hver cm. Prosessering er gjort med programvaren WellCad fra det nederlandske firmaet Advanced Logic Technology (ALT 2006). En nedgang i lydhastighet kan bety oppsprukket/forvitret fjell.

Indusert Polarisasjon, IP. IP måles ved at strømpulser sendes ned i undergrunnen. Strømmen slås på og av, og i av-tiden måles en spenning (decay-kurve) som er avhengig av mengden ledende mineraler. Forholdet mellom målt IP-spenning (målt i av-tiden) og spenning i strømtiden er et mål for IP-effekten (%). Metoden er spesielt egnet for å detektere elektronisk ledende mineraler som ligger spredt i bergarten (impregnasjonsmalmer). Høy IP og lav resistivitet tyder på ledende mineraler, men en kan også ha forhøyet IP uten lav resistivitet. I visse tilfeller kan også leirmineraler (leiromvandling) gi svak IP-effekt.

2. RESULTATER GEOFYSISK LOGGING

2.1 Temperatur, elektrisk ledningsevne i vann, naturlig gamma, resistivitet, Indusert polarisasjon og seismisk hastighet.

Figur 2.1 viser kart over området på Bjarkøy hvor tunnelen er planlagt på landsiden. På kartet er det tegnet inn de målte 2D profiler og alle borehull som er logget. Kjerneborehull KH2 er boret med fall 10° langs tunneltracé .



Figur 2.1. Kart som viser resistivetsprofil 1 og 2, Bh1-Bh6 og nytt borehull KH1.

Figur 2.2 viser alle logger som ble gjort i KH1. Bergarten er hovedsakelig granittisk gneis stedvis skifrig, men tynne ganger av amfibolitt kan opptre.

Temperaturen er lav, ca 4.2 – 4.3 °C, i hele hullet bortsett fra dagnært som skyldes soloppvarming i sommerhalvåret. Fra ca 70 m øker temperaturen merkbart grunnet den generelle termiske gradient som øker mot dypet. Det er ikke påvist anomalier i temperaturloggen som kan indikere innstrømning av vann i borehullet.

Elektrisk ledningsevne i vann viser små endringer som kan skyldes vannførende sprekker. Generelt er ledningsevnet noe høyere enn normalt, spesielt over 45 m dyp.

Naturlig total gammastråling er rimelig konstant langs hele hullet, 160 – 170 cps. Stedvis har en verdier opp mot 500 cps. Dette så en også i hullene som ble logget i 2011, da med betydelige høyere verdier. NGU har undersøkt borkaks fra en slik sone, men har ikke funnet noen forklaring på de høye verdiene. En nedgang i strålingene ved ca 66 m dyp skyldes en tynn sone med amfibolitt.

Resistivitet og P-bølge hastighet er de to parametere som best beskriver fjellets kvalitet (oppsprekingsgrad). Resistiviteten i KH1 er generelt høy, 5000 – 7000 ohmm, men det er observert soner ned mot 1700 ohm. P-bølge hastigheten ligger ca 5000 m/s. Her er det også soner med lavere hastighet. En oversikt over soner med noe lavere resistivitet og hastighet er vist i tabell 2. I denne tabellen er også IP-verdiene tatt med. I noen soner faller svak IP sammen med lav resistivitet og lav P-bølge hastighet. Som nevnt foran kan leire gi svake IP-anomalier, men det er høyst usikkert om det er det som skjer her.

Tabell 2. Soner med moderat resistivitet og P-bølge hastighet samt forhøyet IP.

Dyp (m)	Resistivitet (ohmm)	P-bølge hastighet (m/s)	IP (%)
22 - 23	3850 - 4050	4350 - 4700	1.2
30.5 - 32	2770 - 4000	3600 - 4000	1.2 – 1.6
45 - 49	5000 - 6000	5000	1.5
50.5 - 51	4500	4000	1.2
65 – 66.2	1650 - 4000	5000	1.1

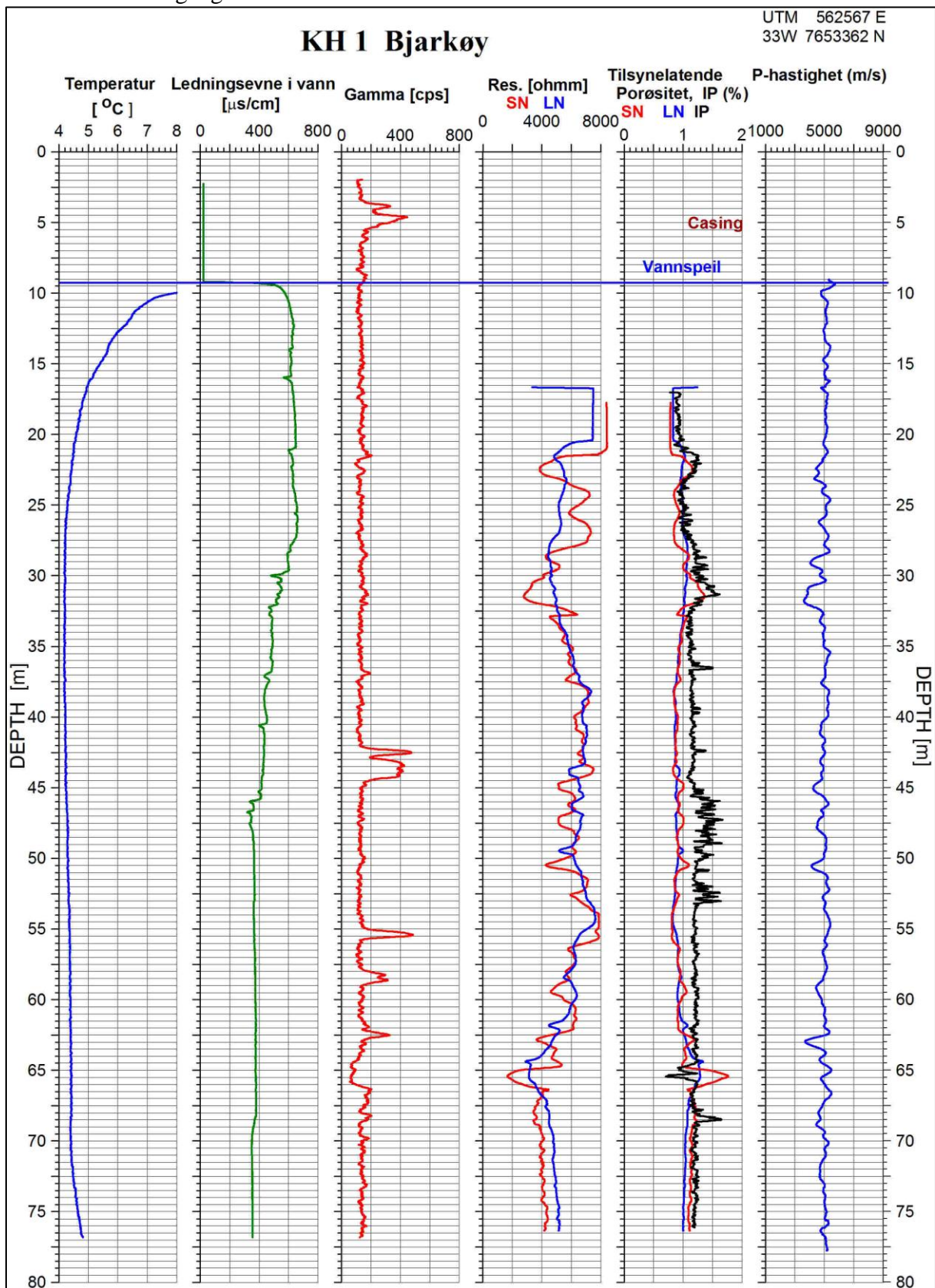
En vurdering av kjerner innenfor disse sonene er vist i tabell 3. Figur 2.3 viser bilder av kjerner fra sonene i tabell 3 (Statens Vegvesen 2013).

Tabell 3. Soner i borehull KH1 som viser oppsprekking.

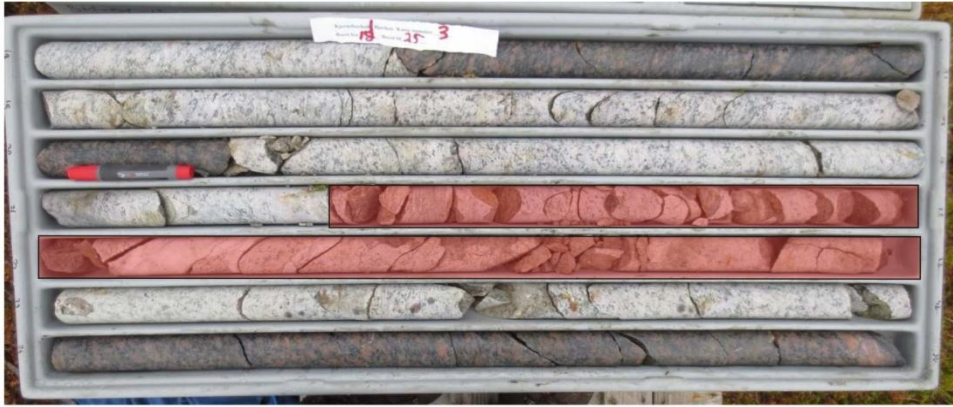
Dyp (m)	Oppsprekking vurdert fra kjernebilder
20.3 – 23	Moderat oppsprukket bergart
30.4 – 31.8	Tett oppsprukket bergart, forhøyet IP kan indikere leire
50.5 - 51	Moderat/tett oppsprukket bergart
62 – 63.5	Moderat oppsprukket bergart
64.5 - 67	Moderat oppsprukket bergart

Figur 2.4 og 2.5 viser 2D resistivitetsprofil 1 (fra Dalsegg & Elvebakk 2013) hvor alle borehull er tegnet inn med resistivitetslogg, hhv. SN og LN. KH1 står ca 30 m sørvest for profil 1. Resultatene fra 2D profilet viser tydelig høy resistivitet ved KH1, mens det i borehullet er flere soner med noe lavere resistivitet. Borehullsmålingene har mye større oppløsning enn 2D og lokale variasjoner i oppsprekkingen trenger ikke vises på 2D målingene. Den generelle resistiviteten i borehullet er imidlertid høy.

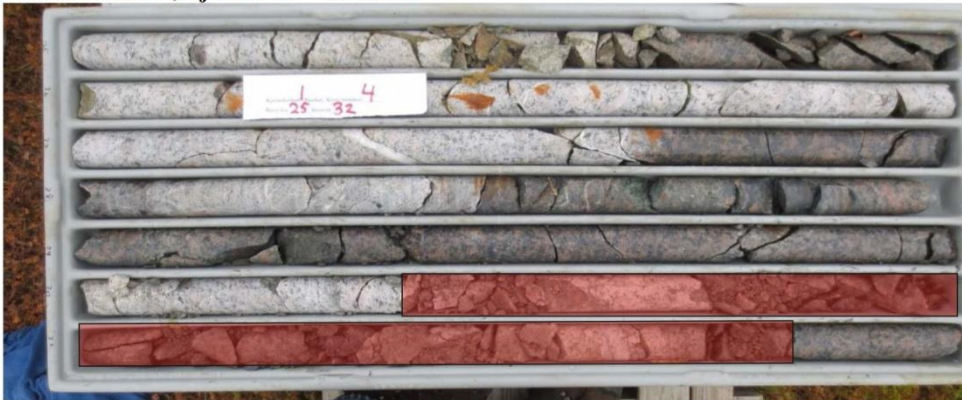
Figur 2.6 viser 2D resistivitetsprofil 1 med loggene for seismisk P-bølge hastighet tegnet inn. Det er generelt liten variasjon i hastigheten, men det er indikert lavhastighetssoner som faller sammen med nedgang i resistiviteten.



Figur 2.2. KH1. Temperatur, ledningsevne i vann, total naturlig gamma, resistivitet, tilsynelatende porøsitet, IP og P-bølge hastighet.



Bh 1: Kasse 3; kjerner 17 – 25 meter



Bh 1: Kasse 4; kjerner 25 – 32 meter

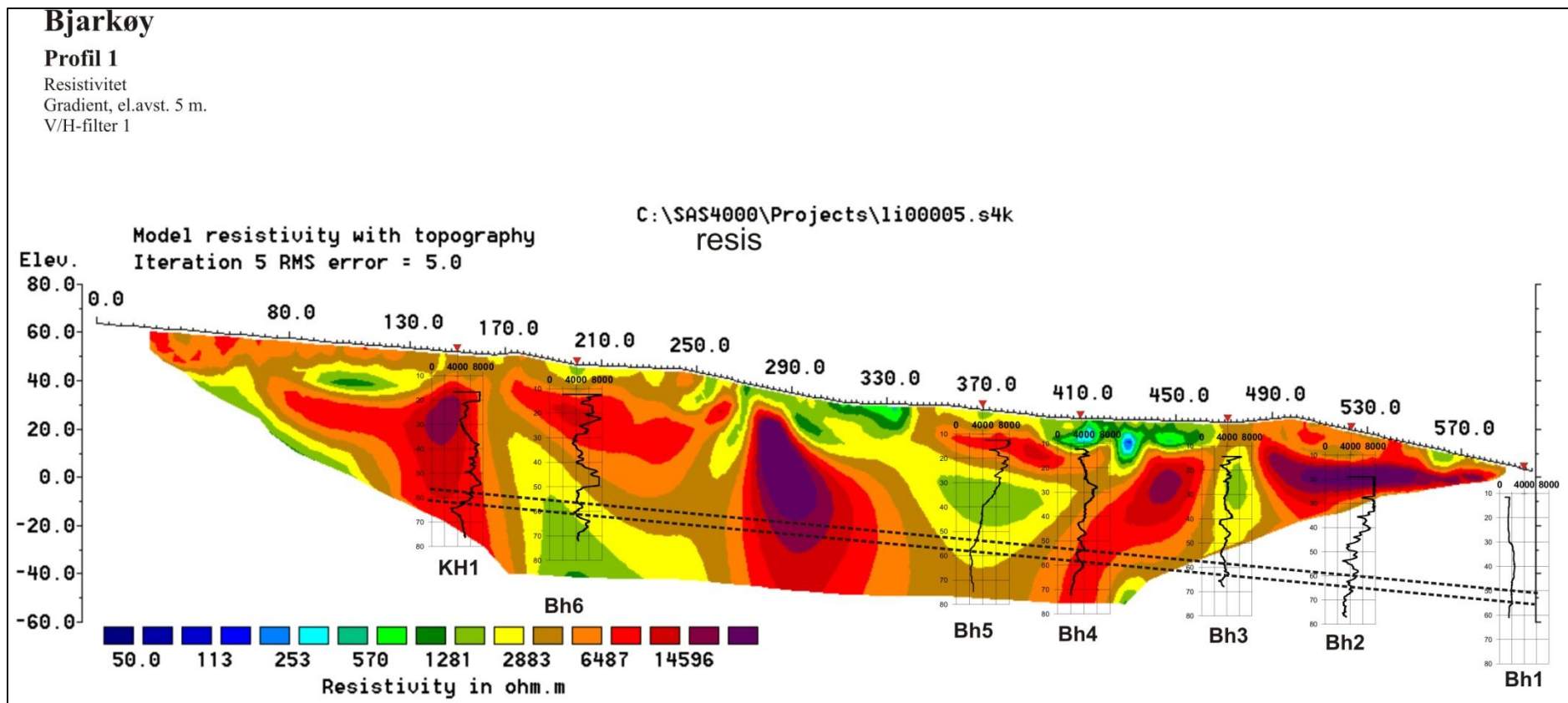


Bh 1: Kasse 7; kjerner 46 – 53 meter

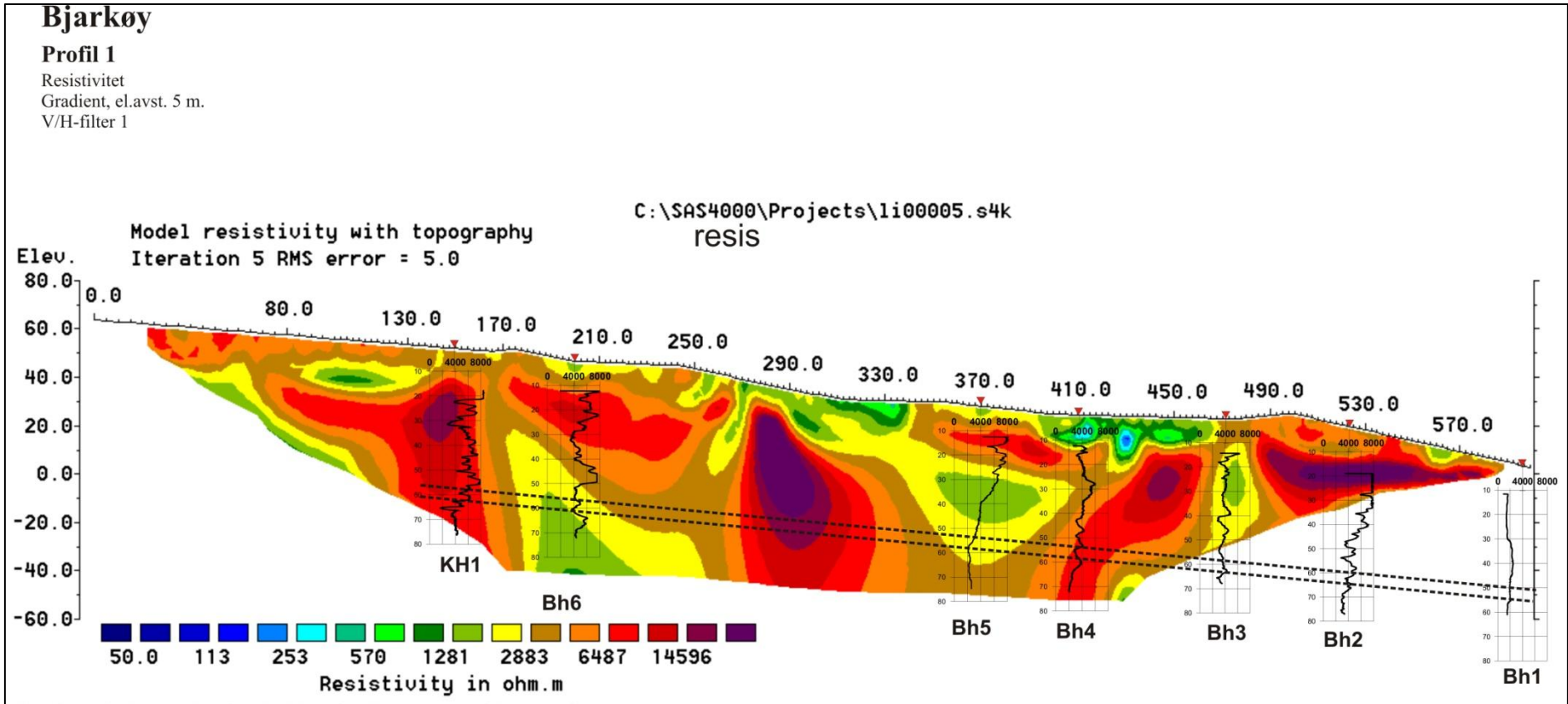


Bh 1: Kasse 9; kjerner 60 – 67 meter

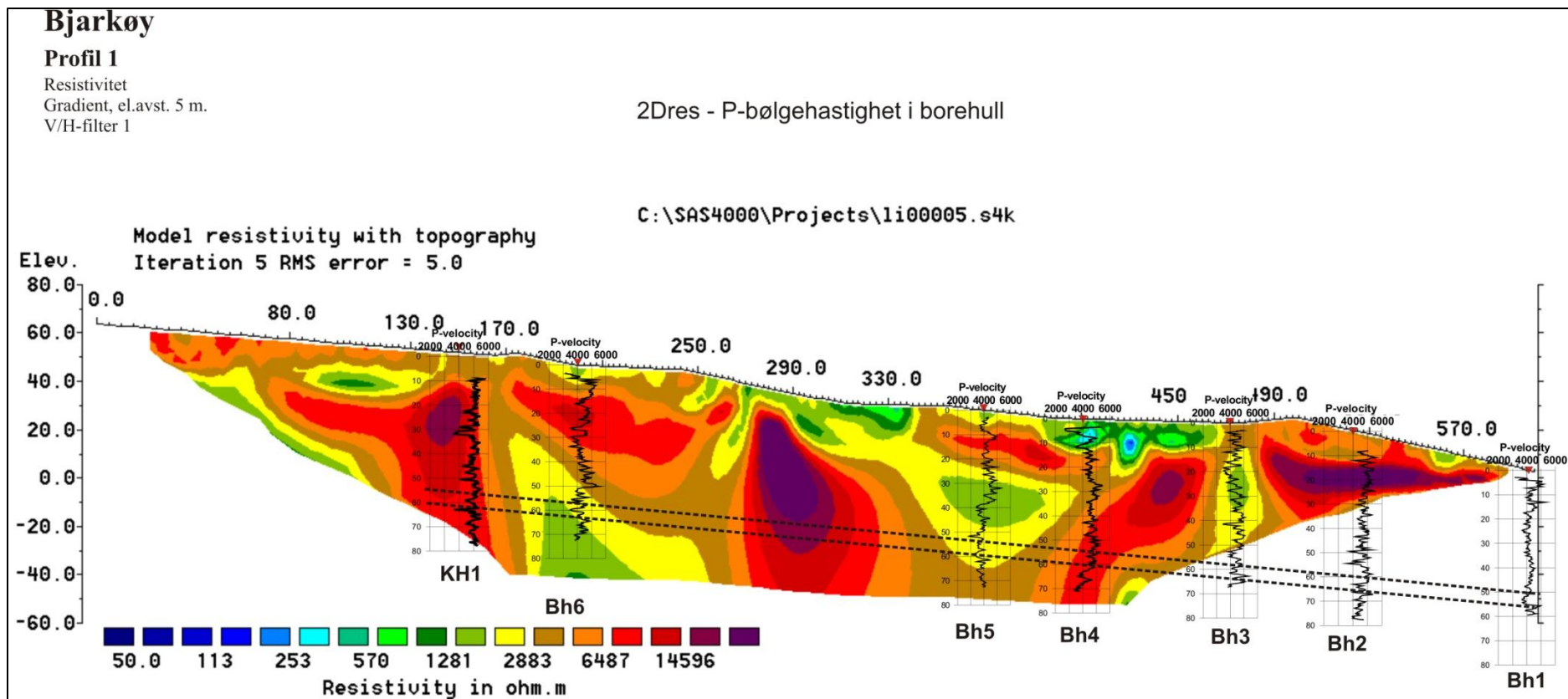
Figur 2.3. KH1 kjernebilder med sprekkesoner (rød) som er indikert på geofysiske logger.



Figur 2.4. 2D resistivitet Profil log resistivitet i borehull (SN). Stipling angir ca planlagt tunneltrase.



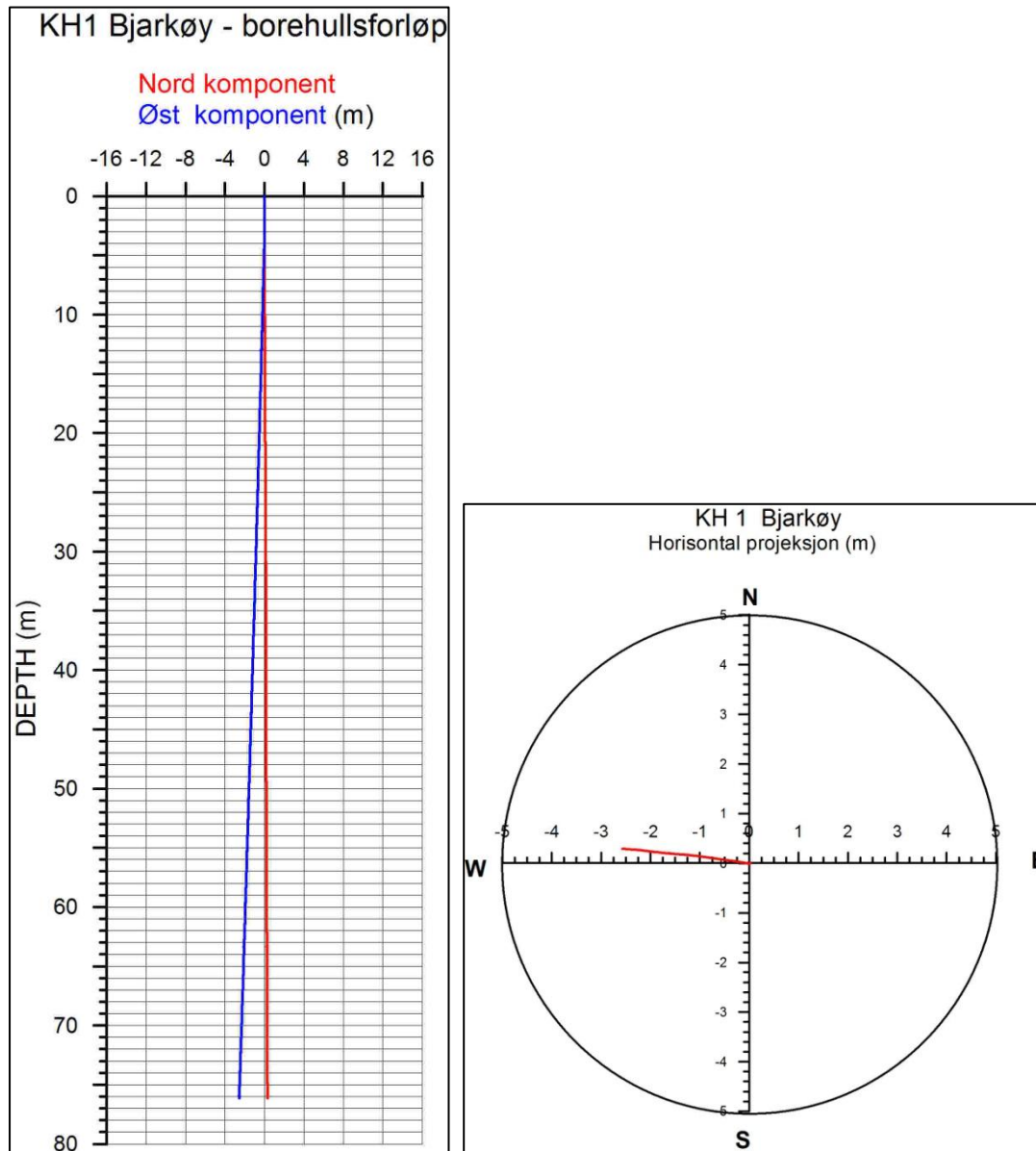
Figur 2.5. 2D resistivitet Profil log resistivitet i borehull (LN). Stipling angir ca planlagt tunneltrase.



Figur 2.6. 2D resistivitet Profil 1 og seismisk P-bølge hastighet i borehull. Stipling angir ca planlagt tunneltrase

2.2 Borehullsavvik

Figur 8 viser borehullsforløp i KH1. Avviket er lite, 2.7 m horisontalavvik i bunnen av hullet. Retningen er nesten rett vest, N276.



Figur 2.7. Borehullsforløp i KH1. Vertikalprojeksjon med øst- og nord-komponent (venstre), og borehullsretning (høyre).

3. RESULTATER GEOLOGISK KJERNELOGGING

I januar 2014 inspiserte NGU (Ola Fredin og Einar Dalsegg) kjernene fra boringene på Bjarkøy (KH1 og KH2) spesielt med henblikk på dypforvitring og leiromvandling. Det ble tatt ut noe prøvemateriale for senere analyser. En kortfattet oppsummering følger.

To borekjerner fra tunnelprosjektet til Bjarkøy (KH1, KH2) er grundig undersøkt med tanke på hvor det kan finnes svakhetssoner. Karakteristiske deler av borekjernen ble prøvetatt og innholdet av leirmineraler ble analysert. En rask undersøkelse viste at det er et lavt innhold av leirmineraler som egner seg for karakterisering ved hjelp av XRD (røntgendiffraksjon). Derfor ble det laget tynnslip av to representative prøver (BJARK-04, KH1 and BJARK-05, KH2) for detaljert petrografisk analyse.

Prøve BJARK-04 (BH-1, ca 6,8 meters dyp) viser ingen tegn på dypvitring til tross for at prøven ble tatt på et grunt nivå. Det er få, lokale tegn til sprø deformasjon (oppsprekking osv). Årsaken til denne hendelsen kan være tensjon (strekking) i forbindelse med heving av berggrunnen, eller at sprekke oppstod ved endring av spenningsforhold under den siste avsmeltingen av innlandsisen.

Prøve BJARK-05 (KH-2, ca 32,4 meters dyp) viser klare tegn på omfattende og gjennomgripende sprø deformasjon i form av en forkastningssone som skjærer borekjernen. Bergarten i forkastningssonen er en kataklasitt med teksturer som tyder på meget sterk mekanisk nedknusing av mineralene under bevegelse langs forkastningen. Sekundære sprekker og årer er fylt med kloritt og kalkspat.

Kortvarig feltarbeid i nærheten av tunnelpåhugget viste at berggrunnen på overflaten mange steder har vært utsatt for dypvitring (saproilitisering). Saproiliten kan beskrives som grusig med kun lavt innhold av leire og silt. I borekjerneloggen (Statens vegvesen 2013) er det også rapportert noen få meter med 'løsmasse' som kanskje er et resultat av overflatenær forvitring og saprolittisering.

Kort oppsummert er landskapet på Bjarkøy i noen grad preget av lokalt dypforvitret berggrunn (saproilit) som er begrenset til noen få meter under overflaten/dagen. På dypere nivå skjærer borehullene gjennom forkastningssoner med lokalt sterkt omvandlet mineralogi som medfører redusert styrke i berget. Dypforvitring (saproilitisering) kan ikke spores dypt ned i fjell, og leirmineraler dannet ved forvitring skulle ikke bli et problem på dypere nivå. Stedvis finnes det sprekkesoner der berget vil ha meget lav styrke og muligens høy permeabilitet. Disse sonene inneholder lite leire som kan gi opphav til problemer under driving.

4. KONKLUSJON

NGU har utført geofysisk logging i borehull KH1 på Bjarkøy i forbindelse med planlagt undersjøisk tunnel til øya. Måling av resistivitet og seismisk P-bølgehastighet indikerer for det meste massivt, stabilt fjell. Stedvis i borehullet er det indikert soner med moderat lav resistivitet som faller sammen med lav seismisk hastighet og sprekkesoner observert på kjerner. Det er lite som tyder på dypforvitring i dette hullet. Meget svake IP-anomalier kan indikere leire, men dette er høyst usikkert.

Logging av kjerner i borehull KH1 og KH2 har ikke påvist leire av betydning. Dypforvitring er ikke påvist i borehullene, verken grunt eller i dypere deler av hullene. Dypforvitring er påvist i overflaten i nærheten av planlagt tunnelpåhugg og går generelt bare til noen få meters dyp også andre steder langs tunneltraseen og ikke ned til tunnelnivå. Produisert leire ved dypforvitring vil derfor ikke være noe problem i dypet. En forkastningssone i KH2 ved ca 32 m dyp viser kraftig oppsprekning grunnet bevegelser i forkastningen. Andre lignende lokale sprekkesoner må forventes langs den planlagte tunneltraseen.

Fravær av leiromvandling og moderate resistivitetsverdier i knusningssoner er i samsvar med foreslått tolkingsmodell for sprekkesoner (Rønning et al. 2013).

5. REFERANSER

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.

Dalsegg, E. & Elvebakk, H. 2011: Geofysiske målinger i forbindelse med undersjøisk tunnel til Bjarkøy, Troms. *NGU Rapport 2012.027*.

Rønning, J.S., Ganerød, G.V., Dalsegg, E. & Reiser, F. 2013: Resistivity mapping as a tool for identification and characterization of weakness zones in bedrock - definition and testing of an interpretational model. *Bull. Eng. Geol. Environment*, DOI: 10.1007/s10064-013-0555-7.

Statens vegvesen, 2013: Kjerneboringer Bjarkøy 2013. *Rapport nr 2011035874-3*.

Thunehead, H. & Olsson, O. 2005: Borehole Corrections for a Thick Resistivity Probe. *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*, Vol. 9, Issue 4, pp. 217- 224.

6. APPENDIX: CORE ANALYSIS

6.1 Summary

We have visually inspected the two drill cores from the Bjarkøy tunnel project (KH1, KH2), and looked for apparent weakness zones. Diagnostic portions of the cores were sampled and analyzed for clay mineralogy. A rapid check for clay yielded minimal amounts of clay minerals suitable for XRD clay characterization. Instead we prepared thin sections of two representative samples (BJARK-04, KH1 and BJARK-05, KH2) for petrographic study.

The BJARK-04 sample (BH1, depth ~6.8 m) shows no signs of "deep weathering" in spite of it being a quite shallow sample, and few and localized signs of brittle deformation. One interpretation is that this zone is due to tensional release following exhumation of rock or melting of the last ice sheet leading to dilation fractures.

The BJARK-05 sample (KH2, depth ~32.4 m) shows extensive and pervasive signs of brittle faulting, which is expressed as a few meter wide fault zone intersecting the drill core at depth. The rock can be described as cataclastic with textures indicative of extreme mechanical grinding during fault movement. Secondary minerals such as chlorite and calcite fill fractures and veins.

A rapid field check of surface deposits close to projected tunnel entrance shows extensive outcrops of in-situ weathered bedrock (saprolite). The saprolite can be described as grussy with only minor amounts of clay and silt. The drill logs also reports a few meters of "soil", which possibly reflect superficial saprolitization.

In summary; the landscape of Bjarkøy is to some extent draped by in-situ weathered bedrock (saprolite) that only reaches to a few meters depth. At depth, the drill cores intersect fault zones that locally have strongly altered mineralogy and lead to decreased rock strength. Deep weathering (saprolitization) has not penetrated deep into the bedrock and clays produced from weathering should not be a significant problem at depth. Localized fracture zones are generally characterized by very low rock strengths and possibly high ground water transmissivity, but again, little clay that may cause construction problems.

6.2 Key samples

Sample BJARK-04:

Core BH1, depth ~6.8 m

Visually described as "fractured bedrock with Fe-Mn-coating"

Petrography of thin sections

Biotite-amphibole-garnet granite without significant evidence of localized brittle deformation. Biotite crystals are aligned to define a weak foliation, which locally generates a network of anastomosing planes, Figure 6.1.

There is pervasive evidence of incipient retrogression of biotite, Figure 6.2. Chloritisation and epidotisation are clearly visible in spatial association with biotite. The latter goes from fresh brown to greenish chloritised, Figure 6.3.

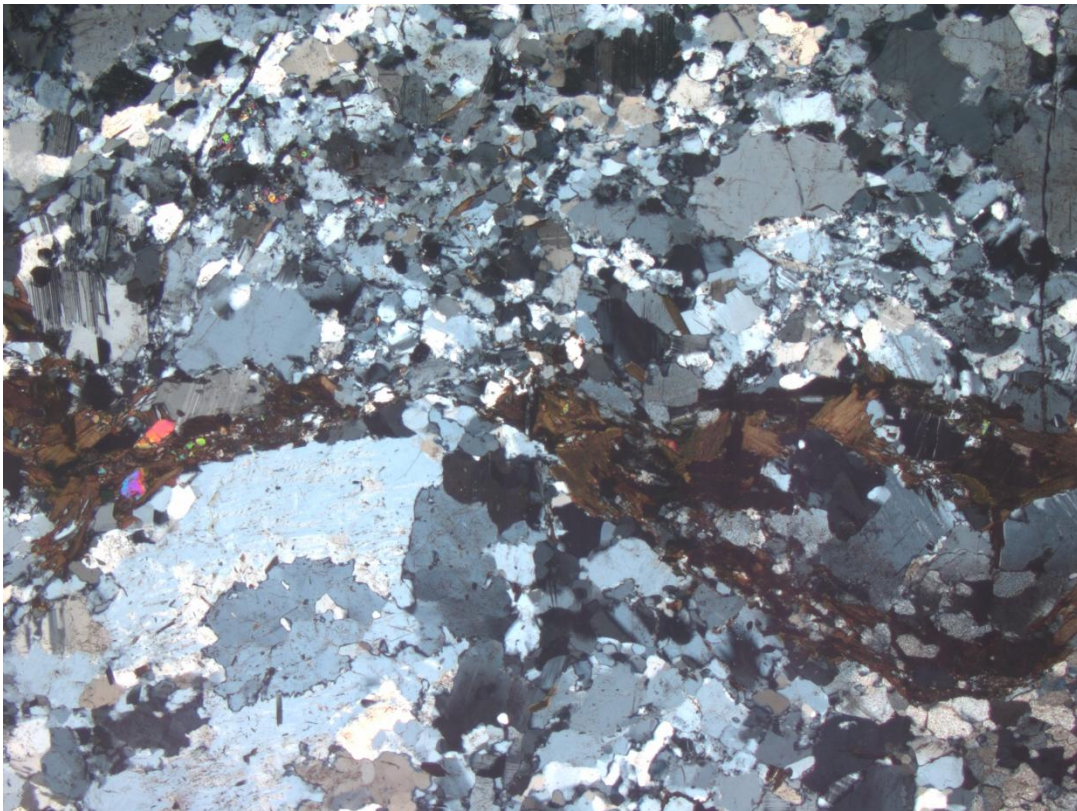


Figure 6.1. Microphotograph of the granite, with quartz, plagioclase, KFS, biotite, amphibole, garnet, chlorite and epidote. No indication of deformation.

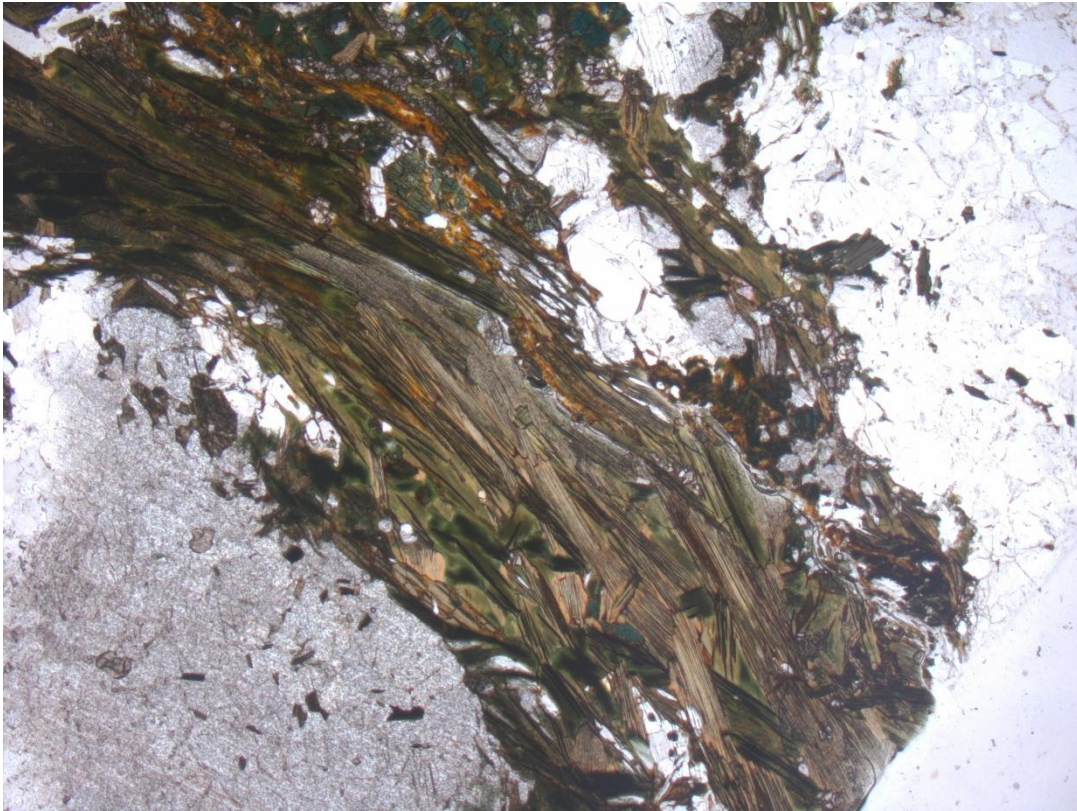


Figure 6.2. Incipient chloritisation of biotite.

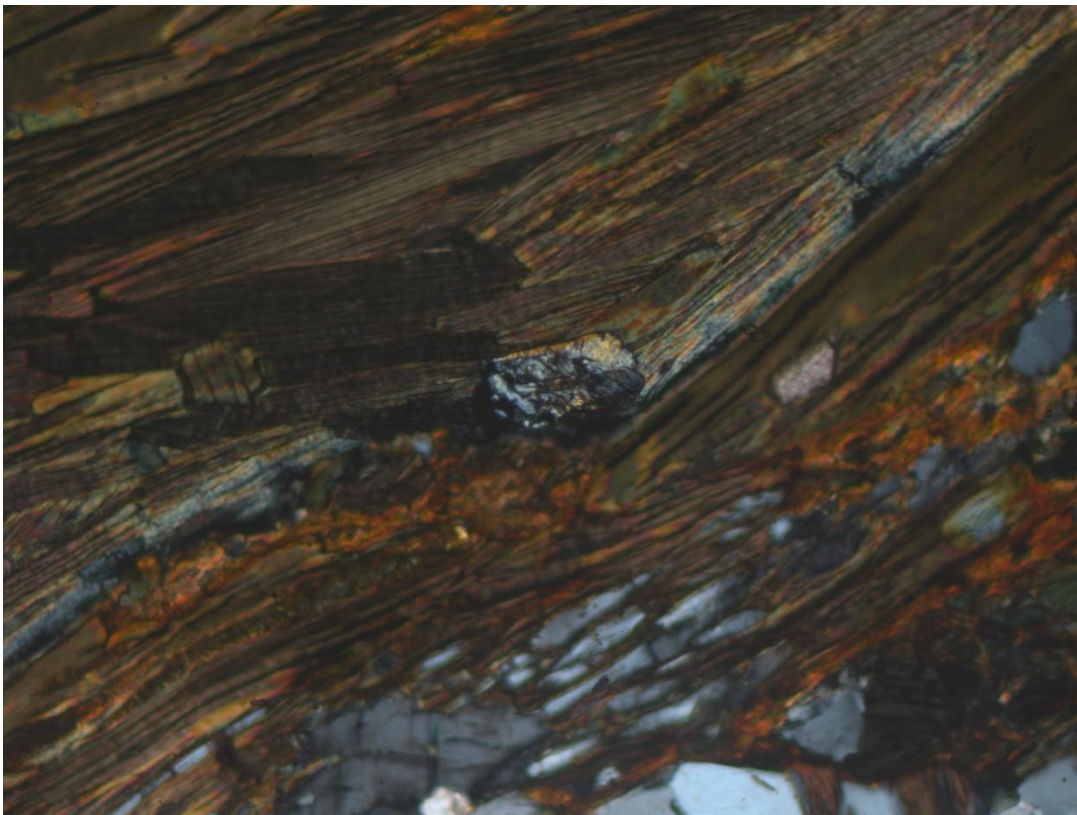


Figure 6.3. Small epidotes and greenish chlorite indicate incipient retrogression of the biotite.

Sample BJARK-05:

Core KH2, depth ~32.4 m

Visually described as "suspected brittle fault zone with strongly brecciated, cataclastic rock. Formation of secondary minerals such as chlorite".

Petrography of thin sections

Ultracataclastic rock, Figure 6.4, with typical textures indicative of mechanical comminution by grinding of the undeformed granitic protolith. Intense fracturing has led to the generation of angular and poorly sorted clasts of feldspar dispersed in a fine matrix formed predominantly by chlorite, epidote and fine clays, Figure 6.5 and 6.6. Calcite infills voids and late veinlets that cut through the cataclastic texture, Figure 6.7.

The last increments of cataclasis by rigid body-rotation and comminution seem to have locally reworked an already pervasively chloritised, Figure 6.8, and retrogressed protolith (a more advanced stage of what can be seen in sample BJARK-04). It seems plausible that the fault rock developed progressively during continuous deformation along an "exhuming path" en route to the surface. Localised evidence of brittle-ductile features overprinted by purely brittle deformation corroborate this interpretation.



Figure 6.4. Incipient cataclasis. Note the fragmentation of the host feldspar, the abundant chlorite and the fines forming the brownish ground mass of the ultracataclastic parts of the rock.

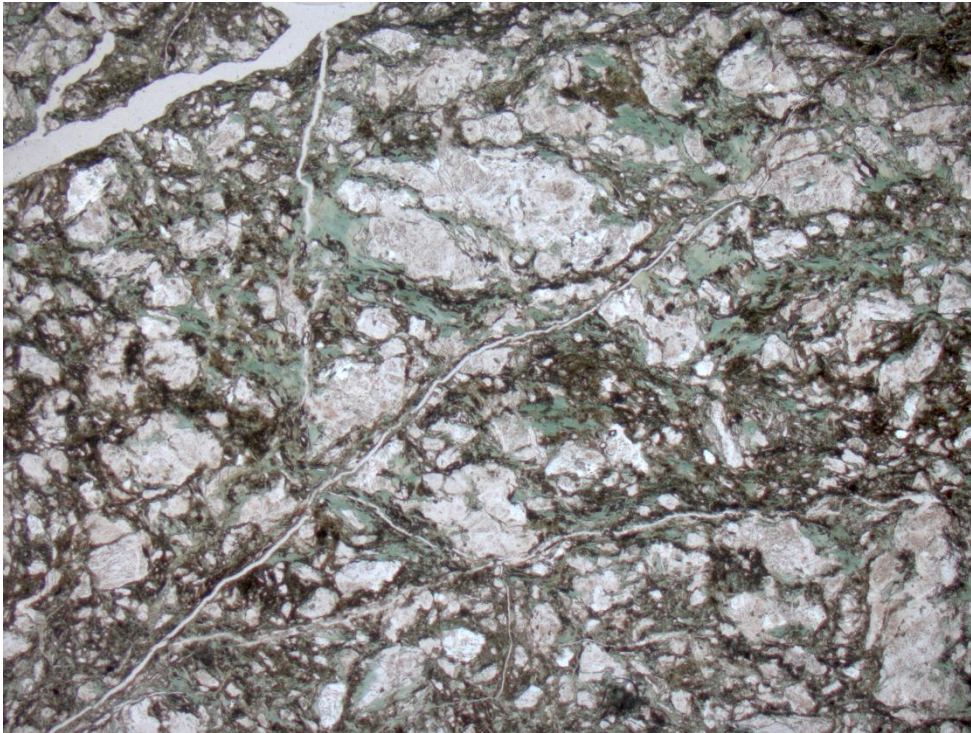


Figure 6.5. More evolved cataclastic texture, with mechanical comminution of feldspar. Note the significant amount of chlorite distributed predominantly along fractures and clast-clast interfaces. Post-cataclasis calcite veinlets dissect the rock.



Figure 6.6. Localised domain of ultracataclasite, a texturally very mature brittle fault rock. Only a few large clasts remain, while most of the rock in the domain is a fine-grained matrix resulting from extreme mechanical grinding.

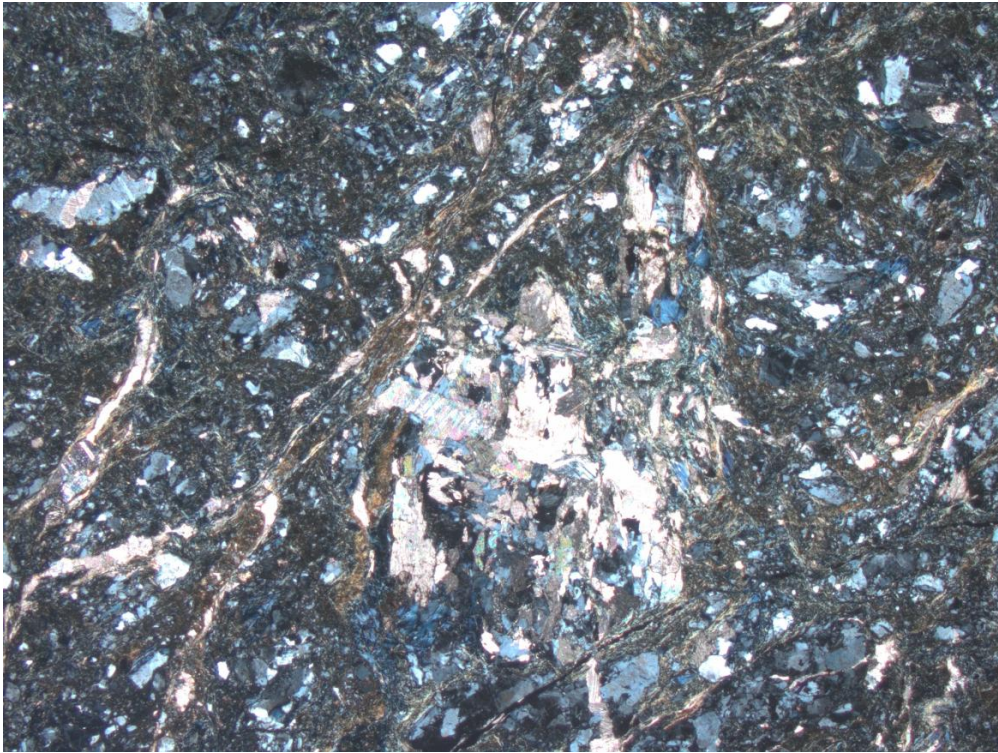


Figure 6.7. Calcite fills thin veinlets and discrete, localised dilated volumes of the rock.

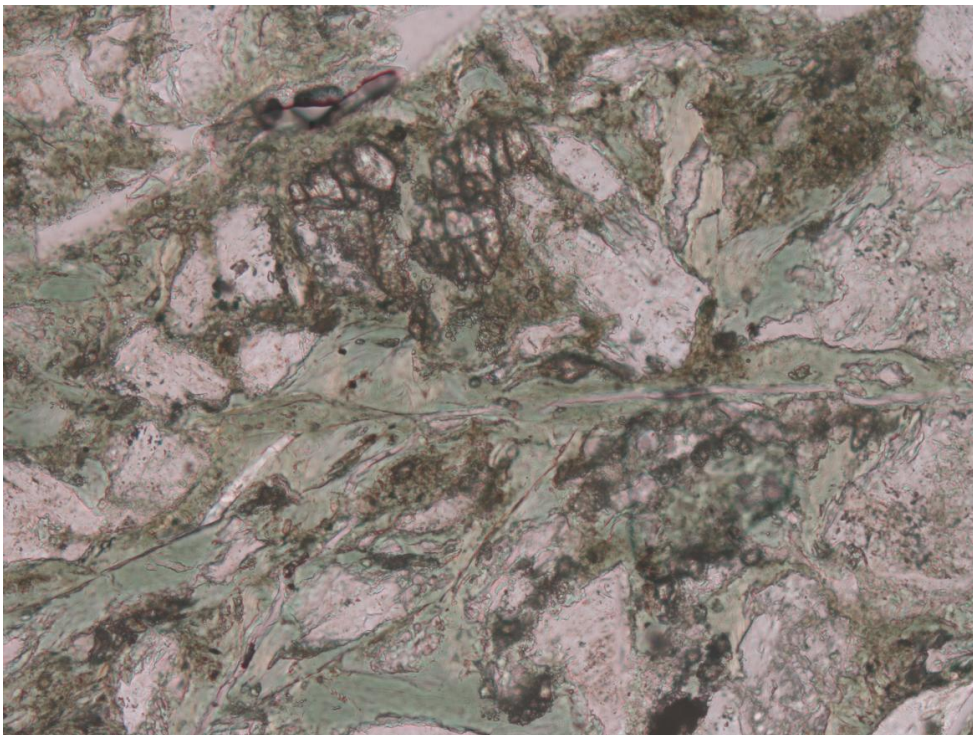


Figure 6.8. Chlorite and epidote are abundant. They probably formed during the early stages of brittle deformation and are themselves locally affected by comminution in the parts of the samples more affected by cataclastic deformation, with ultracataclastic to gouge textures developing in place.



Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39, 7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00
Telefax 73 92 16 20
E-post ngu@ngu.no
Nettside www.ngu.no

*Geological Survey of Norway
PO Box 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norway*

*Visitor address
Leiv Eirikssons vei 39, 7040 Trondheim*

*Tel (+ 47) 73 90 40 00
Fax (+ 47) 73 92 16 20
E-mail ngu@ngu.no
Web www.ngu.no/en-gb/*