



Bergvesenet

Postboks 3021, N-7441 Trondheim

Rapportarkivet

Bergvesenet rapport nr	Intern Journal nr	Internt arkiv nr	Rapport lokalisering	Gradering
6212				
Konnaner fra arkiv	Ekstern rapport nr	Oversendt fra	Fortrolig pga	Fortrolig fra dato:
Grong Gruber AS	NGU 1132			

Titel

Logging av geo-parametre i borhull. Måling av SP, Eh og pH i og omkring Joma-forekomsten. Røyrvik, Nord-Trøndelag 26. august - 3. september 1970, 20. - 28. juli 1971.

Forfatter

B. Bølviken
Ø. Logn

Dato År

1971

Bedrift (oppdragsgiver og/eller oppdragstaker)

NGU

Kommune	Fylke	Bergdistrikt	1: 50 000 kartblad	1: 250 000 kartblad
Røyrvik	Nord-Trøndelag		19241	Grong

Fagområde

Geofysikk
Geokjemi

Dokument type

Forekomster (forekomst, gruvefelt, undersøkelsesfelt)

Joma

Råstoffgruppe

Malm/metall

Råstofftype

Sammenheng, innholdsfortegnelse eller innholdsbeskrivelse

Oppdragsgiver:
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

NGU Rapport nr. 1132

Logging av geo-parametre i borhull.

Måling av SP, Eh og pH i og omkring

Joma-forekomsten.

Røyrvik, Nord-Trøndelag

26. august - 3. september 1970

20. - 28. juli 1971

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

Oppdragsgiver:

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

NGU Rapport nr. 1132

Logging av geo-parametre i borhull.
Måling av SP, Eh og pH i og omkring
Joma-forekomsten.
Røyrvik, Nord-Trøndelag

26. august - 3. september 1970

20. - 28. juli 1971

Utført ved: B. Bølviken, geokjemiker
Ø. Logn, lic. techn., geofysiker

Norges geologiske undersøkelse
Postboks 3006,
7001 Trondheim
Telf. (075)20166

INNHold

1. BAKGRUNN	5
2. MÅLINGER UTFØRT 1970	6
2.1 Fremgangsmåte	6
2.2 Resultater	7
2.2.1 SP i diamantborhull	7
2.2.2 Eh og pH av vannprøver tatt opp med vannhenter og målt straks etter opptak	9
2.2.3 Eh og pH av de samme vannprøver målt i laboratoriet ca. 1 mnd. etter opptak	10
2.2.4 Elektrisk ledningsevne av de samme vannprøver	12
2.2.5 Analyser av de samme vannprøver	13
2.2.6 Temperatur i diamant-borhull	13
3. IN SITU MÅLINGER UTFØRT 1971	14
3.1 Utvikling av instrument	14
3.2 Utførelse av målinger i diamantborhull	16
3.3 Resultater	16
4. KONKLUSJONER	17
5. VIDERE UNDERSØKELSER	18

BILAG

1. Instrument for in situ measurements of pH, Eh and self potentials in diamond drill-holes. Foredrag presentert på Fourth International Geochemical Exploration Symposium 1972. Blir trykt i IMM Bulletin 1972.
2. Langtidsprogram (LTP) stilet til Berg teknisk komité, NTNf.

Kartskisser:

Selvpotensialer:

- | | |
|--|------------------------|
| 1132 - 01: Kartskisse over Joma-forekomsten. | Profil 1 og 2 innlagt. |
| 1132 - 02: SP-anomalier omkring forekomsten. | Profil 1. |
| 1132 - 03: SP-anomalier omkring forekomsten. | Profil 2. |

Vannprøver tatt opp med vannhenter og målt straks etter opptak:

- | | |
|--|-----------|
| 1132 - 04: Eh-variasjoner omkring forekomsten. | Profil 2. |
| 1132 - 05: pH-variasjoner omkring forekomsten. | Profil 2. |

De samme vannprøver målt i laboratoriet ca. 1 mnd. etter opptak:

- | | |
|---|-----------|
| 1132 - 06: Eh-variasjoner omkring forekomsten. | Profil 2. |
| 1132 - 07: pH-variasjoner omkring forekomsten. | Profil 2. |
| 1132 - 08: pH-middelverdier i vann fra borhull. | Profil 2. |

Elektrisk ledningsevne av de samme vannprøver:

- | | |
|---|-----------|
| 1132 - 09: Ledningsevnevariasjoner omkring forekomsten. | Profil 2. |
| 1132 - 10: Isotermier omkring forekomsten. | Profil 2. |

Tegninger i NGU's arkiv:

- | | |
|---|-----------|
| 1. 1132 - 11: pH i vann fra borhull. Feltnmåling. | Profil 1. |
| 2. 1132 - 12: pH i vann fra borhull. Lab. måling. | Profil 1. |
| 3. 1132 - 13: pH middelverdier i vann fra borhull i profil 1. | |
| 4. 1132 - 14: Elektrisk ledningsevne i vann fra borhull i profil 1. | |
| 5. 1132 - 15: Residuale selvpotensialer. | Profil 2. |
| 6. 1132 - 16: Temperaturmålinger i borhull. | Profil 1. |

1. BAKGRUNN

De to siste år har NGU på initiativ av undertegnede ytet en begrenset innsats på feltet "Logging av geo-parametre i naturlig vann". De hittil fremkomne resultater meddeles i denne rapport. Et forskningsprogram for å bringe undersøkelsene videre legges frem.

Vi skal kort resymere bakgrunnen for at disse undersøkelser har kommet i stand:

- 1) For undersøkelser i Grongprosjektets regi ble selvpotensialmålinger funnet å være en passende og i økonomisk henseende gunstig metode for oppfølging av: a) kismineraliserte soner; b) fremkomne aero-indikasjoner.
- 2) Denne metode baserer seg vesentlig på praktisk erfaring.
- 3) Metoden er utførlig behandlet av Sato og Mooney i "Geophysics" (1960). De har stillet opp en teori som forutsetter at selvpotensialene omkring elektrisk ledende mineraliseringer skyldes forskjeller i redox potensialer i øvre del av lithosfæren.
- 4) Teorien forklarer imidlertid bare omtrent 1/2-parten av de maksimale potensialer som erfaringsmessig er påvist over kisforekomster og grafittholdige skifre.
- 5) I Grongfeltet bød Joma-forekomsten seg frem som et utmerket objekt for undersøkelse av selvpotensialenes fordeling i og omkring forekomsten: a) godt undersøkt ved diamantboringer og b) lite angrepet ved gruvedrift.
- 6) Man så en mulighet for at NGU kanskje kunne yte et bidrag til å bringe den ufullstendige selvpotensialteori et skritt videre.
- 7) Herved gi målinger av de naturlige forekommende potensialer en bedre status som malmletingsmetode.

2. MÅLINGER UTFØRT 1970

2.1 Fremgangsmåte.

Med dette utgangspunkt ble følgende begrensede program gjennomført høsten 1970 (8 arbeidsdager v/Bølviken, Logn):

- 1) SP-målinger i 12 diamantborhull gjennom malmen.
- 2) Eh-, pH-målinger av 150 vannprøver hentet opp fra forskjellige dyp i borhullene v.h.a. NGU's nylig konstruerte vannprøvehenter.
- 3) Målinger av elektrisk ledningsevne av de samme 150 vannprøver.
- 4) Temperaturmålinger i de samme borhull.

Måletekniske data:

SP: NGU potensiometer og upolariserbare elektroder av type Cu/CuSO₄.

Måletetthet i borhull: 2,5 - 10 m.

En elektrode i borhull og én fast ved borhullspåhugg.

Prøvetaking av borhullsvann: NGU vannhenter. Prøvenes størrelse ca. 1/2 L. Prøvetetthet i borhull: 15 - 30 m. 30 m intervaller i de dypere borhull.

Eh: I felt: Metrohm Batterie pH-meter med Pt/kalomel elektrode.
I lab.: Beckmann pH-meter med Pt-kalomel elektrode.

pH: I felt: Metrohm Batterie pH-meter med glass/kalomel elektrode.
I lab.: Beckmann pH-meter med glass/kalomel elektrode.

Elektrisk ledningsevne av borhullsvann: Radiometer ledningsevnemåler.

Vannanalyser: Atomabsorpsjon ved direkte opptak av vannprøver uten prekonsentrasjon.

Temperatur: Vekselstrømmålebro med termistor som sonde. Måletetthet: borhull 5 - 10 m. Reporduserbarhet av målingene 0,1°.

2.2 Resultater.

På nåværende tidspunkt skal vi ikke forsøke å gi mer inngående tydninger av de oppnådde måleresultater. Resultatene er dog såvidt interessante at vi synes det kan være nødvendig med visse beskrivende kommentarer til de enkelte skisser som finnes vedlagt i bilag.

Først behandles selvpotensialmålingene, idet disse representerer en etablert metode uten problemer av måleteknisk karakter. Som det fremgår av plansje 1 er de undersøkte borhull stort sett fordelt langs to profiler som danner karakteristiske snitt gjennom forekomsten. Vertikalsnittene i alle vedlagte plansjer representerer projeksjoner av borhullene med resultater i to plan, anvist på kartskisse pl. 01.

2.2.1 SP i diamantborhull.

Kartskisse pl. 01 viser foruten de loggete borhull:

- 1) Joma-forekomstens utgående (tyngre raster).
- 2) Arealmessig utstrekning av brytbar malmektighet påvist ved diamantboringer (lettere raster).
- 3) Fordeling av selvpotensialer målt på jordoverflaten over og omkring forekomsten. Et negativt sentrum er påvist i nærheten av malmens utgående, og et tilsvarende positivt sentrum er påvist over de dypere liggende partier av forekomsten. Forøvrig henvises til NGU Rapport 905 - obj. 34, der SP over Joma-forekomsten er beskrevet.

Av kartskissen fremgår de målte borhulls påhugg, avvik og malmskjæringer.

Profil 1. Resultatene av SP-målingene i de tre borhull (117, 119, 12 S) i profil 1 er fremstilt ved isokurver i plansje 02. Ekvidistansen mellom isokurvene er valgt i geometrisk progresjon -50, -100, -200, -400 mV osv. Som null-nivå er valgt potensialet i et nøytralt punkt på overflaten i god avstand fra forekomsten.

Følgende trekk synes karakteristiske:

- 1) Inne i forekomsten er potensialet lavt (-400 til -800 mV) der malmen er kompakt.
- 2) Isokurven for -400 mV synes å følge malmens heng og ligg ganske nøyaktig.
- 3) Over forekomsten er påvist to soner med negative potensialer. Maksimale negative potensialer er a) For øvre sone 100 til 200 mV, b) for nedre sone over 400 mV (i borhull 12 S). Ved korrelasjon med borkjernerapporter finner man at SP-anomaliene korresponderer med svakt magnetkis - svovelkisførende soner.

Profil 2. Resultatene av målingene i de 7 borhull i profil 2 er vist i pl. 03. Potensialene er fremstilt ved isolinjer med samme ekvidistanse og samme nullpotensial som i profil 1. Profil 2 viser samme typiske trekk som profil 1: a) Lavt potensial inne i malmkroppen, b) isokurven -400 mV følger malmgrensene og c) sonevis opptredende negative potensialer finnes i partier beliggende noe over forekomsten. De sistnevnte korresponderer med kisimpregnerte soner i grønnsteinsformasjonen. Profil 2 strekker seg utover de dypere liggende utkilinger av forekomsten (til venstre på plansjen) og herved kommer det frem tre karakteristiske trekk som ikke kan observeres i pl. 02 (profil 1):

- 1) I område over forekomstens dypere partier er påvist et positivt anomali-område med maksimale potensialer i intervallet 100 - 200 mV, delt i to av det drag med negative potensialer som er nevnt ovenfor.
- 2) Inne i de smale utkilinger mot dypet av forekomsten er potensialet høyere enn potensialet inne i den brytbare del av forekomsten. Maksimale negative potensialer inne i malmen er 200 - 400 mV.

2.2.2 Eh og pH i vannprøver tatt opp med vannhenter og målt straks etter opptak.

Reproduserbarheten ved Eh-målingene var dårlig. Dette skyldes sannsynligvis for lav konsentrasjon av egnete redox-par (f. eks. $\text{Fe}^{+++}/\text{Fe}^{++}$) i vannet. Videre må man regne med at den kjemiske sammensetning av en vannprøve tatt på store dyp vil forandres på vei opp til overflaten, og ved senere henstand. Bl. a. vil man på jordoverflaten få fri tilgang på oksygen, og dermed økende Eh-verdier. Dette fører også til høyere $\text{Fe}^{+++}/\text{Fe}^{++}$ -forhold og muligheter for utfelling av 3-verdig jern. Dette vil gi en pH-senking i prøven, men denne vil antagelig i noen grad motvirkes ved avgivelse av CO_2 . Det er således overveiende sannsynlig at systematiske feil er tilstede i måleresultatene både for Eh og pH i de opptatte prøver. Resultatene gis derfor med reservasjon. Vi anser dem likevel å være av noen verdi, da de danner visse mønster rundt forekomsten.

Vannprøvene er tatt opp fra alle 12 borhull, men her skal bare presenteres resultatene fra profil 2, som er noenlunde representative for begge profiler. Resultatene fra profil 1 er fremstilt på tilsvarende måte og finnes i NGU's arkiv (tegning 1132 - 11, 1132 - 12).

Eh-variasjoner omkring forekomsten. Resultatene i profil 2 er vist i plansje 04. De viktigste trekk som går frem av plansjen, gis i følgende oppstilling:

- 1) Eh varierer mellom 375 og 625 mV.
- 2) Borhullet ved utgående viser høyest Eh.
- 3) Markerte maksima synes å foreligge ved forekomstens mektigste parti, over som under malmen. Maksimal-verdi er 575 mV.
- 4) Et minimum er påvist mellom sentret for maksimal Eh og utgående. Minimumsverdi er 375 mV.
- 5) Over de dype partier av forekomsten (til venstre på pl. 04) er Eh-variasjonene små (375 - 450 mV).
- 6) Et diffust minimum er tilstede i området over forekomstens utkilinger mot dypet.

pH-variasjoner omkring malmforekomsten. Resultatene av pH-målingene i profil 2 er vist i plansje 05. Karakteristiske trekk ved resultatene kan summeres som følger:

- 1) pH varierer i profilet mellom 6,5 og 7,6.
- 2) Laveste pH er påvist i borhullet nær utgåendet. Dette må skyldes oksydasjon av sulfidene i de grunneste partier av forekomsten.
- 3) Fra utgåendet øker pH mot et maksimum på 7,6 over forekomsten.
- 4) I to borhull (11 M og 49) er påvist lokale minima ($\text{pH} = 7,1$), der de kismineraliserte soner som opptrer over forekomsten, viser økte selvpotensialer.
- 5) pH viser større variasjon fra borhull til borhull enn langs de enkelte borhull. Dette er årsaken til det karakteristiske bilde med nær vertikale isolinjer.
- 6) Bortsett fra området omkring forekomstens utgående er miljøet basisk. Dette er i overensstemmelse med grønnsteinsformasjonens geokjemi. Det er kjent at den er meget karbonatholdig.

2.2.3 Eh og pH av de samme vannprøver målt i laboratoriet ca. 1 mnd. etter opptak.

Fornyede Eh og pH-målinger ble utført i de samme vannprøver ca. 1 mnd. etter opptaket. Prøvene var i mellomtiden oppbevart på plastflasker. Resultatene for lab. målingene er gitt på plansje 06 og 07. Fremstillingsmåten er den samme som på plansje 04 og 05.

Eh-variasjoner omkring forekomsten. (Plansje 06). Det er tydelig at prøvene har endret kjemisk karakter ved å stå. I grove trekk viser bildet av Eh-variasjonene vist i pl. 06 likhetspunkter med Eh-bildet i pl. 04:

- 1) Borhullet ved utgående viser høyest Eh.
- 2) Maksima opptrer ved forekomstens største mektighet.
- 3) Et minimum er påvist mellom maksimumssentret og forekomstens utgående.

Visse forskjeller trer klart frem ved sammenligning av pl. 06 og pl. 04:

- 1) Eh varierer mellom 475 og 560 mV. Differensen 85 mV er ca. 1/3-part av tilsvarende differens i pl. 04.
- 2) De Eh-maksima som opptrer ved malmens mektigste parti i pl. 04 er mer utvisket på pl. 06.
- 3) Det svake, diffuse minimum i området over forekomstens utkilinger på dypet synes å komme tydeligere frem i pl. 06, enn i pl. 04.

Generelt kan man si at pl. 06 gir et utvisket og avbleket bilde av pl. 04.

pH-variasjoner omkring forekomsten. (Plansje 07). Det fremgår også av pH-bildet at prøvene har endret kjemisk karakter ved å stå. Følgende endringer har inntrådt (se plansje 05):

- 1) Alle prøver er blitt mer basiske.
- 2) Laveste pH 7,3 er som tidligere påvist i borhullet i nærheten av utgåendet.
- 3) Høyeste pH er 8,2. Den opptrer over malmen ca. 100 m fra dens utgående.
- 4) Høy pH (8,1) opptrer i hengen over forekomstens nedre parti.
- 5) Et minimum på 7,6 opptrer over nevnte maksimum i partiet med kisimpregnasjonene som har gitt sterkere negative selvpotensialer.
- 6) Isolinjene forløper nær parallelt med forekomsten, og antyder en viss korrelasjon med denne. Dette bilde er i motsetning til det bilde som er fremstilt i pl. 05. Motsetningen må bero på at de kjemiske prosesser som har foregått i prøvene ikke er ensartet for alle prøver. Denne forskjell i forandringene ser ut til å ha forbindelse med kismineraliseringene.

Resultater fra pH-målinger gjort straks etter opptak og 1 mnd. senere er sammenstilt på plansje 08. Det fremgår av sammenstillingen:

- 1) Borhullsvannet er surest ved utgående og mest basisk nær forekomstens sentrale parti.
- 2) Det er tiltagende basisk borhullsvann i forekomstens utvikling mot dypet.

2.2.4 Elektrisk ledningsevne av de samme vannprøver, målt a) straks etter opptak og b) ca. 1 mnd. senere.

Resultatene av måling av vannprøvenes elektriske ledningsevne er fremstilt i pl. 09. Aritmetisk middel for den elektriske ledningsevne er beregnet for all 150 prøver med følgende resultat:

- 1) Feltnmåling foretatt straks etter opptak: 200 mikro-mho/cm.
- 2) Lab. måling foretatt ca. 1 mnd. etter opptak: 270 mikro-mho/cm.

Gjennomsnittlig har således prøvene ca. 15 % bedre elektrisk ledningsevne etter å ha stått i ca. 1 mnd.

Som det fremgår av pl. 09 faller det naturlig å dele profilet i tre deler:

- 1) Høyre side, som omfatter borhull 116 og øvre del av borhull 5 N, der ledningsevnen i vannet er under middelveiden.
- 2) Midtre parti, som omfatter borhullene 4 M, 11 M og nedre del av 5 N, der ledningsevnen er over middelveiden.
- 3) Venstre side, som omfatter borhullene 10 M, 49 og 3 V, der ledningsevnen er under middelveiden.

Innenfor hvert av de tre intervaller er beregnet middelveiden for de aktuelle prøver:

- 1) Område nær forekomstens utgående (høyre side)
 - a) Feltnmåling straks etter opptak: 168 mikro-mho/cm.
 - b) Lab. måling 1 mnd. etter opptak: 198 mikro-mho/cm.

- 2) Område omkring forekomstens mektigste parti (midtre del):
 - a) Feltnåling straks etter opptak: 245 mikro-mho/cm.
 - b) Lab. måling 1 mnd. etter opptak: 288 mikro-mho/cm.
- 3) Område med utkilinger av forekomsten (venstre side):
 - a) Feltnåling straks etter opptak: 167 mikro-mho/cm.
 - b) Lab. måling 1 mnd. etter opptak: 187 mikro-mho/cm.

Borhullsvannet omkring forekomstens mektige sentrale parti har således gjennomsnittlig ca. 50 % bedre elektrisk ledningsevne enn borhullsvannet på begge sider. Partiet omkring utgåendet fremhever seg ikke ved høy ledningsevne i borhullsvann. Tvert imot er middelverdien i dette område nær den samme som middelverdien for vann fra borhullene 10 M, 49 og 3 V, der ledningsevnen som følge av små kismektigheter burde være først og fremst preget av grunnsteinsformasjonens mineralinnhold.

2.2.5 Analyse av de samme vannprøver.

Samtlige vannprøver ble analysert ved atomabsorpsjon på Cu, Zn, Mn og Fe etter ca. 1 mnd. henstand. Resultatene er anført på pl. 09. Som det fremgår, forekommer Cu i alle prøver i konsentrasjoner under 0,1 ppm, Zn i konsentrasjoner under 0,05 ppm, Mn i konsentrasjoner under 0,1 ppm og Fe i konsentrasjoner under 2 ppm. I borhull 116 ved forekomstens utgående fantes et brunt slam som bunnfelles på plastflaskene. Prøver av bunnfallet viste konsentrasjoner på 0,31 % Zn og 50 % Fe i middel.

2.2.6 Temperatur i diamantborhull.

Resultatene av temperaturmålingene i borhullene er vist i pl. 10. Det er tegnet isotermer med $1/2^{\circ}\text{C}$ intervaller. Temperaturvariasjonene omkring malmen er såvidt beskjedne at de neppe har betydning for sammenlignbarheten av de utførte målinger av vannprøvenes Eh og pH. Enkelte trekk ved temperaturbildet er interessante og kan gi visse holdepunkter for å bedømme temperaturmåling i jordskorpen som fremtidig malmletingsmetode:

- 1) Den gjennomsnittlige vertikale temperaturgradient over forekomstens utkilinger på dypet er ca. $2,0^{\circ}\text{C}$ pr. 100 m.
- 2) Den gjennomsnittlige vertikale temperaturgradient over forekomstens sentrale parti med betydelige mektigheter er ca. $1,85^{\circ}\text{C}$ pr. 100 m.
- 3) I 125 m dyp er temperaturen over forekomstens utkilinger ca. $5\frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$.
- 4) Over forekomstens sentrale parti er derimot temperaturen i ~~150~~¹²⁵ m dyp ca. 6°C , d.v.s. en temperaturstigning relativt til overflaten på ca. $3/4^{\circ}$. Dette skyldes at malmen har høyere varmeledningsevne enn omgivende grønnsteinsformasjon.

3. IN SITU MÅLINGER UTFØRT 1971.

3.1 Utvikling av instrumentet.

Eh- pH-målingene viste, som det har fremgått av det foregående, at tross svakhetene ved å hente opp prøvene, eksisterte der i borhullsvannet:

- 1) Forskjeller i Eh og pH fra borhull til borhull, og 2) Eh og pH variasjoner, som syntes knyttet til malmens posisjon i borhullene.

De orienterende målinger førte til at man undersøkte muligheten for å måle borhullsvannets Eh og pH in situ.

Det synes som om ingen tidligere har forsøkt å utføre slike Eh- pH-målinger i diamantborhull. Intet instrument finnes på markedet til dette bruk. Det burde være relativt enkelt å fremstille en kombinert sonde for in situ målinger av borhullsvannets Eh og pH, og samtidig benytte referanseelektroden til å måle foreliggende selvpotensialer i borhullet.

I samarbeide med geofysiker A. Breen og avd. ing. O. Uddu ble det våren 1971 utviklet en prototyp på et instrument. Instrumentet er beskrevet i "Instrument for in situ measurements of Eh, pH and selfpotentials in diamond drill-holes", se bilag 1.

Her nevnes bare:

- 1) Måleutstyret består av en nedsenkbar sonde som er forbundet med en kabel opp til måleinstrumenter (millivoltmeter) på bakken. I sonden er innebygget en glass-elektrode, en platina-elektrode, en Cu/CuSO_4 referanse-elektrode, og en liten forsterker i glass-elektrodekretsen.
Mulige trykk differenser utlignes ved hjelp av silikonolje og en gummimembran.
- 2) Etter at sonden er senket ned i borrhullet, kan følgende parametre registreres:
 - Eh - ved å måle spenningsforskjellen mellom Pt-elektroden og referanse-elektroden.
 - pH - ved å måle spenningsforskjellen mellom glass-elektroden og referanse-elektroden.
 - SP - ved å måle spenningsforskjellen mellom referanse-elektroden og en tilsvarende referanse-elektrode på bakken.
- 3) Kalibrering av utstyret gjøres ved å fylle elektrodehuset med puffer, forsegle dette (med tape), senke det ned i borrhullet og måle de aktuelle spenninger etter at temperaturlikevekt er innstilt. Kalibreringer skjer derved under nøyaktig samme forhold som målingene.

3.2 Utførelse av målinger i diamantborhull.

Sommeren 1971 ble prototypen prøvet i 4 av de borhull som ble undersøkt forrige høst, samt i ett supplerende hull. Programmet ble gjennomført i løpet av 9 arbeidsdager v/Bølviken, Logn og en student.

Måletekniske data.

Instrument:

SP: Metrohm Batterie pH-meter

Eh: Metrohm Batterie pH-meter

pH: Mikroamperemeter bygget ved NGU spesielt for formålet.

Øvrig måleutstyr:

NGU kabelsnelle med 400 m lang uskjermet, gummi-isolert 4 leder, som vanligvis benyttes til E. M. målinger i borhull.

Kabelen har vanntett sondetilkobling konstruert ved NGU. Den er vanntett ved alle aktuelle trykk.

Måletetthet:

0,5 - 10 m avhengig av gradienten i borhullene.

3.3 Resultater.

Forsøksmålingene var stort sett vellykkede og de viktigste resultater er:

- 1) For Eh ble reproduserbare resultater oppnådd bare i ett borhull (nr. 117). Eh varierte i dette hull mellom 0 og 560 mV. I alle andre hull var målingene ikke reproduserbare. Sannsynligvis har dette sammenheng med at vannet i borhull 117 har lavere pH (6 - 7) og dermed høyere jernkonsentrasjon enn de andre borhull. Tilstrekkelig $\text{Fe}^{+++}/\text{Fe}^{++}$ - innhold ansees nødvendig for at Pt-elektroden skal kunne bytte ut elektroner med løsningen.

- 2) pH ble målt ned til 350 m (ca. 35 atm. trykk) uten at glass-elektroden ble ødelagt.
- 3) pH i vannet i de målte borhull varierte mellom 6,0 og 9,5 avhengig av dypet, sidebergart og mineraliseringsgrad. Temperaturen i grunnvannet var under målingene 0 - 5,5°C lavere enn lufttemperaturen. Etter at sonden var senket ned i borhullet var det nødvendig å la den kjøle ned til grunnvannets temperatur. Det tok 5 - 10 minutter før temperaturlikevekt med grunnvannet var oppnådd. Når denne temperatur var nådd, kunne stabile pH-målinger gjøres fortløpende ved senkning eller heving av sonden i borhullet. Reproduserbarheten av pH-målingene antas å ligge innenfor 0,1 pH-enhet.
- 4) pH systemet lot seg kalibrere mot kjente puffere nedsenket i borhullet sammen med sonden. Avlesningene under kalibreringen var stabile, og kalibreringskurven rettlinjert.
- 5) Måleresultatene fra borhull 117 synes å indikere at det er en sammenheng mellom Eh, pH og SP.

4. KONKLUSJONER

- 1) Som antatt forandres vannprøvenes kjemiske sammensetning ved opptak og lagring. pH og Eh-målingene bør derfor ubetinget gjøres in situ.
- 2) In situ målingene viser at pH kan variere opptil en enhet innen korte vertikale avstander (1 - 2 m). pH-gradienter av denne størrelsesorden vil neppe kunne la seg registrere ved opphenting av rimelige antall vannprøver.
- 3) In situ målinger er enklere og mer pålitelige enn målinger i opphentedede vannprøver og faller derfor billigere.

5. VIDERE UNDERSØKELSER.

Presentasjon av de hittil oppnådde resultater på "Fourth International Geochemical Exploration Symposium" i London 17. - 20. april 1972 (se bilag 1) viste at det var relativt stor interesse for undersøkelsene også internasjonalt. Vi fikk oppfordringer til å oppta samarbeide med professor G. J. S. Govett, University of New Brunswick. Professor Govett arbeider med de samme problemer og forsøker å angripe dem ved modell-forsøk. Likeledes er organisasjoner og institusjoner i Australia, Canada og Finland interessert i eventuelt kjøp av instrumentet. Vi anser in situ målinger av SP, Eh og pH for å være av såvidt stor verdi at arbeidet bør kunne fortsette. I første rekke må instrumentet forbedres ved å:

- 1) Bytte ut Cu/CuSO_4 -elektroden med en Ag/AgCl-elektrode.
- 2) Aktivere Pt-elektroden, eventuelt forsøke oksygen-elektrode eller tilsats av mediator.
- 3) Forenkle kalibreringsmetodikken.
- 4) Montere batteriene så de er lettere å skifte.

Ytterligere forbedringer av instrumentet bør også overveies:

- 1) Forsøk med ledningsevнемåling.
- 2) Forsøk med måling av enkeltioner med ioneselektive elektroder.

Et forbedret instrument bør eventuelt utprøves:

- 1) I diamantborhull gjennom forskjellige malmforekomster.
- 2) I diamantborhull gjennom mørke grafittholdige skifre, helst uten malmforekomster eller kismineraliseringer.
- 3) I diamantborhull i områder uten malmforekomster og uten grafittholdige skifre.
- 4) I innsjøer og fjorder med brakkvann (i miljøvernøyemed).

Det er vanskelig innenfor NGU's ordinære budsjett å få plass til såpass omfattende undersøkelser. Vi anbefaler derfor at det søkes om forskningsmidler. Sammenfattede opplysninger om NTNf-program for videre undersøkelser er utarbeidet og finnes vedlagt rapporten, se bilag 2.

Trondheim, 27. juni 1972

Bjørn Bølviken
Bjørn Bølviken

Ørnulf Løgn
Ørnulf Løgn

Instrument for in situ measurements of Eh, pH and self
potentials in diamond drill holes.

By

B. Bølviken, Ø. Logn, A. Breen and O. Uddu

Geological Survey of Norway
Trondheim, Norway.

Manuscript for paper given at the Fourth International Geochemical
Exploration Symposium, London 17 - 20 April 1972.

Abstract.

The instrument described comprises a glass electrode, a platinum electrode and a reference electrode mounted in a perspex support, all held in a 35 mm brass tube which contains an amplifier for the glass electrode circuit. External pressure acting upon the electrodes is compensated by an internal silicon oil phase separated from the exterior by a rubber membrane. Eh and pH are read on volt-meters connected to the electrodes by a cable. If an additional reference electrode is placed in the soil at the surface, the natural self potential (SP) in the drill hole can be measured. For calibration the electrode housing is filled with standard buffer solution before being lowered into the drill hole.

The instrument has been tested in drill holes through a pyrite orebody. pH was successfully measured to a depth of 350 m, pH readings varying from 6.0 to 9.5. Eh measurements were troublesome, probably due to a lack of suitable redox pairs in the water; values ranged from 0 to +560 mV.

The SP clearly indicated the presence of both massive and disseminated ore types. There appears to be some relationship between Eh, pH and SP.

The type of data which the instrument can provide may contribute to a better understanding of chemical processes in ground-water.

Introduction.

Redoxpotentials (Eh) and acidity (pH) are two parameters fundamental to descriptions of natural chemical systems (see for example Garrels & Christ 1965). These parameters are of particular interest in ore prospecting. Sato (1960) has discussed the geochemical environment of oxidizing sulphide bodies in terms of Eh and pH, and Hansuld (1966) showed how the knowledge of Eh and pH can be utilized in geochemical exploration. Habashi (1966) suggested that the oxidation of sulphide ores is an electrochemical process, represented by an anodic and a catodic reaction. One related aspect of this problem is the presence of natural self potentials (SP) around orebodies. The existence of self potentials has been known for more than a century (Fox 1830), but their origin is not completely understood. A major contribution to the theory of self potentials is that of Sato and Mooney (1960), who explained them as being due for the most part to electrochemical processes caused by Eh differences in the upper part of the lithosphere. An orebody could be considered as a dipole electrode in an electrolyte, the composition of which varies between the poles. As the theory is incomplete, however, more information about natural Eh and pH values is required. Measurements of Eh, pH and SP in ground-waters around ore deposits should, therefore, be of interest both to geochemists and to geophysicists. Such measurements should, preferably, be taken in situ, since any water sample collected at such a depth that the temperature and partial pressure of O_2 and CO_2 are not the same as on the earth's surface, is likely to change in composition during its transportation to the surface. A procedure for measuring Eh and pH which involves bringing the sample to the instrument would therefore introduce a serious error. At any economic orebody a considerable number of drill-holes usually exists, and these provide an excellent opportunity for in situ measurements of Eh and pH in ground-water.

The technique for measuring SP in drill holes is well established. The usual procedure is to lower an unpolarizable electrode into the hole and measure its voltage difference to a stationary reference electrode placed in the surface soil near the hole. The unpolarizable electrodes used for this purpose in Norway are $Cu/CuSO_4$ electrodes (Cu wire immersed in a saturated solution of $CuSO_4$ separated from the exterior by a semi-permeable, wooden plug).

Example of measurements of Eh and pH taken in a similar manner to those of SP in drill holes are not known.

In situ Eh measurements by use of platinum electrodes in drill-holes should not, however, create any additional or greater problems than those involved in other Eh measurements in natural waters, although, as was pointed out by Sillén (1965), these problems may sometimes be quite serious. In particular, in neutral and high pH waters with a low content of suitable redox pairs the electrode reactions could be slow and erratic.

In situ pH measurements with a glass electrode at high pressures have been reported (Allegeier et al. 1941, Distèche 1959, Le Peintre 1960, Manheim 1961), oceanographic research having featured strongly (Ben Yaako and Kaplan 1968, Culberson 1968, Distèche 1965, Park 1966). In principle analogous measurements in diamond drill-holes should be fairly simple, the main practical difficulties being (1) the construction of an instrument of sufficiently small dimensions to allow its passage into the drill-hole; (2) overcoming the high capacity in the glass electrode circuit because of the great distance between the electrode and the volt-meter; and (3) elimination of the risk of breaking the glass electrode because of the high water pressure in the hole.

Difficulties (1) and (2) can be tackled by mounting a small transistorized amplifier in the probe, and (3) by use of silicon oil and rubber membranes to compensate for the pressure. A prototype instrument developed at the Geological Survey of Norway is described here, together with some representative examples of results obtained during the testing of the instrument in a mining area. All definitions are taken from standard textbooks: For Eh and pH, see Krauskopf (1967), pp. 32 - 35 and 237 - 255, and for SP see Parasnis (1967), pp. 64 - 67.

Description of the instrument.

Basically the instrument is constructed as shown in Figs. 1, 2, 3 and 4.

Three electrodes, a glass electrode, a platinum electrode and a reference electrode, are mounted in a perspex support - any small-dimension commercial glass electrode is suitable. The authors have used a Radiometer G 200 B, the upper insulated part of the electrode having been cut off. The platinum electrode consists of a rectangular piece of platinum sheet, moulded into the perspex, giving a 5 mm by 5 mm exposed area. The reference electrode of the prototype consists of a saturated solution of CuSO_4 , which is placed in a cylindrical hole in the perspex support. A 2 mm thick copper wire is immersed in the CuSO_4 solution, and the lower end is tapped with a screw cap in which a small cotton wool plug acts as a diaphragm. The upper part of the glass and reference electrode chambers has an open passage to a radial hole through the support. A piece of rubber tube is fitted into a groove around the support at this point to cover the radial hole. The hole and the passage to the upper part of the electrode chamber are filled with silicon oil (type M. S 200 Fluid I CTS), which forms a non-conducting phase separated from the water phase within the electrodes by a silicon rubber piston. Any external pressure acting upon the glass electrode is, therefore, completely compensated.

The electrodes are connected by a cable to volt-meters at the surface. The potentials of the glass electrode are amplified by a small amplifier (Analog Devices Model 141) which, together with four 9 V batteries, is placed above the perspex support in the brass tube that holds it. All connections are made waterproof with epoxy glue or O-ring couplings.

The following parameters can be recorded:

- Eh - by measuring the voltage difference between the reference electrode and the Pt/electrode;
- pH - by measuring the amplified voltage difference between the reference electrode and the glass electrode; and
- SP - by measuring the voltage difference between the reference electrode and a similar stationary electrode.

Calibration.

For calibration of the electrode system the lower part of the electrode housing is filled with standard buffer solution and sealed with a plastic tape, which acts as a membrane to compensate the pressure. The instrument is then lowered into the drill-hole, and the calibration is made under the same conditions as the bore-hole logging. (Calibration should be made in the drill-hole after the logging to avoid any erratic results due to contamination of the hole from the buffer). When the instrument was tested the Eh standard used was the Zo-Bell solution (Zo-Bell 1946), pH measurements were standardized against pH 4 and 9, and the buffer were made of commercial buffer tablets after National Bureau of Standards formulae. Temperatures of drill-hole-water were measured with thermistors and the pH and buffers was corrected for temperature.

Preliminary results.

The prototype instrument has been tested in drill-holes at Joma, a copper- and zinc-bearing massive pyrite deposit in Nord-Trøndelag, Norway. The country rocks of the Joma deposit are green-stones with 5 - 10 % carbonate content (carbonate content in the ore approx. 2.5 %). The mine is at present under development. The holes in which measurements were made were drilled at least 5 years ago, and were last logged one year before the present Eh and pH measurements were taken. Water levels were 5 - 10 m below the surface. The holes were 100 - 350 m deep, and all but one intersected the ore horizon, which varies in thickness from 2 to 35 m.

Some results of, and comments on, these preliminary measurements are given here, and a more complete account of the results will be presented later.

1.

Reproducible Eh results were obtained in only one drill-hole (no. 117), Eh values between 0 and 560 mV being recorded (see Fig. 5). Otherwise, Eh measurements were erratic.

2.

pH was measured down to 350 m (pressure approx. 35 atm.) without damage to the glass electrode.

3.

pH of the water in the drill-holes tested varied between 6.0 and 9.5, depending on depth, country rock and degree of mineralization. Examples of results are given from a hole near the outcrop of the ore (no. 117, Fig. 5) and from a hole intersecting the central part of the ore (no. 10M, Fig. 6).

Ground-water temperatures in the holes varied between 3.5°C at a depth of 15 m and 10°C at a depth of 350 m. The average air temperature during the measurements was about 9°C .

After the probe had been lowered into the hole, a waiting time of 5 - 10 min. was allowed to elapse to enable the probe to cool to the temperature of the ground-water. From then on the readings were very stable, and could be taken as rapidly as the hoisting permitted. Reproducibility appeared to be within 0.1 pH unit.

4.

Calibration of the pH system caused no major problems. The readings were stable and the calibration curves are rectilinear.

5.

SP readings taken down the holes clearly indicate the presence of both the compact and the disseminated types of pyritic ore (Figs. 5 and 6).

6.

The results from hole no. 117 (Fig. 5) seem to indicate some correlation between Eh, pH and SP.

Concluding remarks.

The difficulty experienced in measuring Eh can be explained by reference to comments on Eh measurements in natural water by Sillén (1965).

Because of the high carbonate content of the bedrock in the Joma area, the

pH is probably too high to allow a sufficiently high concentration of a suitable redox pair, for example $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$, in the water. Estimation of the redox potentials by measurements of the O_2 content of the water, as proposed by Sillén, would perhaps be a better alternative. O_2 measurements in drill-hole-waters could probably be taken use of an oxygen electrode. It is of interest to note that the only drill-hole in which the Eh measurements were successful (no. 117, Fig. 5) has the lowest pH of all the drill-holes tested: this indicates that measurements of Eh in drill-holes by use of a platinum electrode would probably be generally more reliable in mining districts with a more acid ground-water than that of the Joma area.

The advantage of measuring pH in situ as opposed to water sampling is illustrated by the observed pH variation down the drill-holes. In water samples brought to the instrument such local variations as those seen in Figs. 5 and 6 would hardly be detected.

The local variation in the SP values shows that when pH and Eh are being measured in situ, the reference electrode should be located near the other electrodes. Measuring systems with any great distance between the reference electrode and the glass/platinum electrode (Manheim 1961) involve the risk of SP variations being interpreted as changes in pH and Eh.

One reason why the in situ pH readings in drill-holes are so stable is probably that the rocks surrounding the drill-hole constitute a perfect shield against foreign fields acting upon the electrical circuit of the glass electrode. This assumption is partly based on the fact that it was very difficult to obtain reproducible pH results with the instrument under laboratory conditions. Consequently the instrument itself should be improved by replacing the Cu/CuSO_4 reference electrode by a Ag/AgCl electrode which is stable to circa 0.01 pH unit and has also been investigated in detail (Ives and Janz 1961, Ben-Yaakov and Kaplan 1968). With this improvement fairly accurate routine pH values in drill-hole-waters should be obtained. Future use of the instrument may therefore provide data which could contribute to a better understanding of the chemical processes that take place in ground-water, in particular, the electrochemical processes that occur in the vicinity of ore deposits.

References.

- Allegeier, R. J., Hafford, B. C. and Juday, C. Oxidation - reduction potentials and pH of lake waters and of lake sediments. Trans. Wisconsin Acad. Science, Arts and Letters, 33, 1941, 115 - 133.
- Ben Yaako, S. and Kaplan, I. R. A versatile probe for in situ oceanographic measurements. J. ocean. Tec., 3, 1968, 25 - 29.
- Ben Yaako, S. and Kaplan, I. R. pH-temperature profiles in ocean and lakes using an in situ probe. Limn. Ocean 13, 1968, 688 - 693.
- Ben Yaako, S. and Kaplan, I. R. High pressure pH sensor for oceanographic applications. Rev. Sci. Instr. 39, 1968, 1133 - 1138.
- Culberson, C. and Pytkowicz, R. M. Effect of pressure on carbonic acid, boric acid and pH in seawater. Limn. Ocean. 13, 1968, 403 - 417.
- Disteche, A. Effect of pressure on pH and dissociation constants from measurements with buffered and unbuffered glass electrode cells. J. Elchem. Soc. 112, 1965, 350.
- Disteche, A. pH measurements with glass electrode withstanding 1500kg/cm² hydrostatic pressure. Rev. Sci. Instr., 30, 1959, 474 - 478.
- Fox, R. W. On the electromagnetic properties of metalliferous veins in the mines of Cornwall: Phil. Trans., part 2, 1830, 399.
- Garrels, R. M. and Christ, C. L. Solution, Minerals, and Equilibria. (New York: Harper & Row, Publishers, Incorporated, 1965).
- Habashi, F. Mechanism of oxidation of sulfide ores in nature. Econ. Geol. 61, 1966, 587 - 591.
- Hansuld, J. A. Eh and pH in geochemical exploration. Can. Min. Met. 59, 1966, 315 - 322.
- Ives, D. J. G. and Janz, D. J. G. (Eds). Reference Electrode. (New York: Academic Press inc., 1961).
- Krauskopf, K. B. Introduction to geochemistry. (New York: Mc Graw-Hill, 1967), 721p.
- Le Peintre, M. M. Mesure du pH sous pression et a temperature élevée. Bull. Soc. Franc. Electr., 8, 1960, 582 - 591.
- Manheim, F. In situ measurements of pH and Eh in natural waters and sediments. Stockholm Contributions in Geology, 8, 1961, 27 - 36.

- Parasnis, D. S. Principles of applied geophysics. (London: Methuen & Co., 1967), 176p.
- Park, K. Deep sea pH. Science 154, 1966, 1540 - 1542.
- Sato, M. Oxidation of sulfide ore bodies - I. Geochemical environments in terms of Eh and pH. Econ. Geol., 55, 1960, 928 - 961.
- Sato, M. Oxidation of sulfide ore bodies, II. Oxidation mechanisms of sulfide minerals at 25°C. Econ. Geol., 55, 1960, 1202 - 1231.
- Sato, M. and Mooney, H. M. The electrochemical mechanism of sulfide self-potentials. Geophysics, 25, 1960, 226 - 249.
- Sillén, L. G. Oxidation state of the earth's ocean and atmosphere. Arkiv för Kemi 24, 1965, 432 - 456.
- Zo-Bell, C. E. Studies on redox potentials of marine sediments. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 30, 1946, 477 - 513.

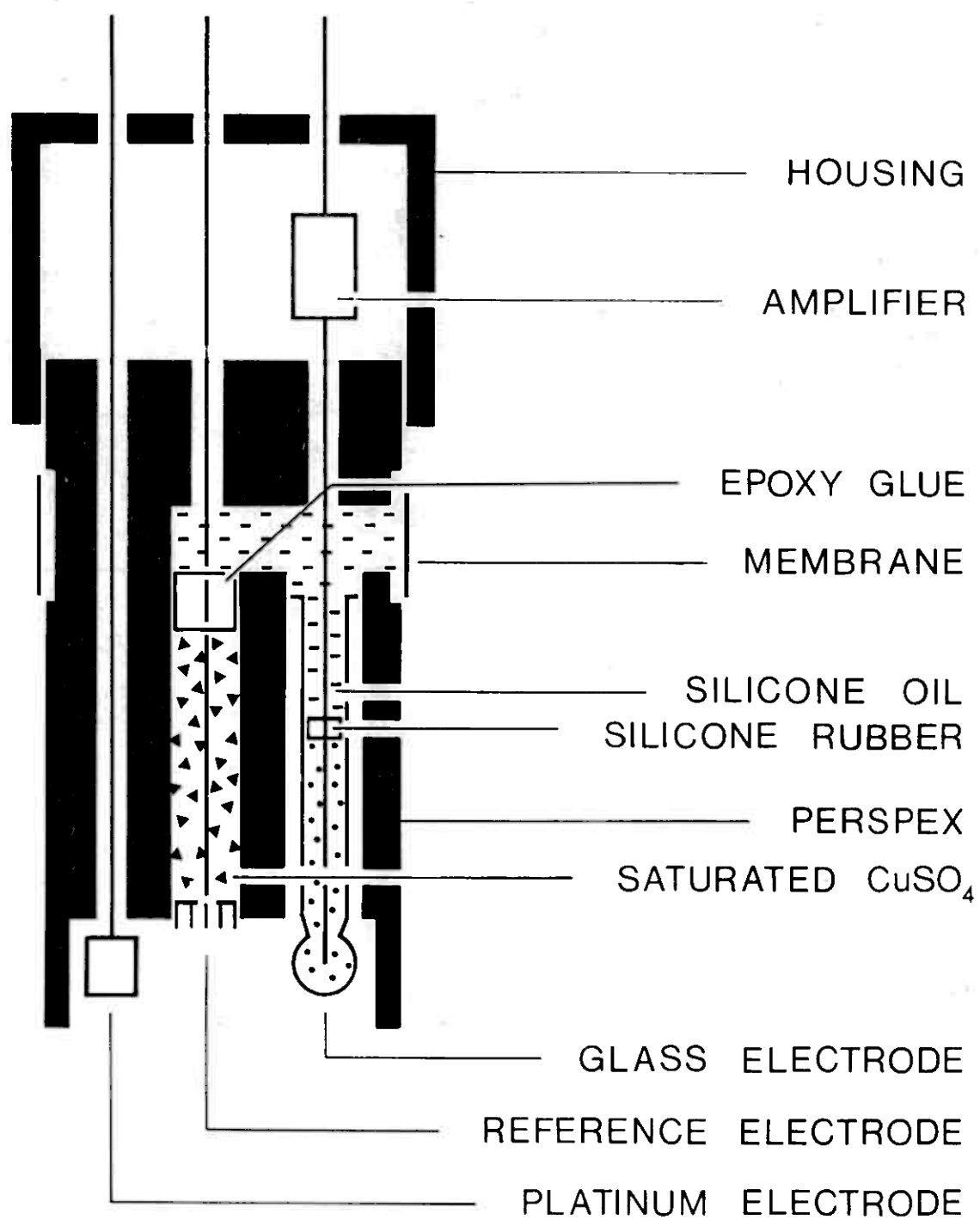


FIG.1

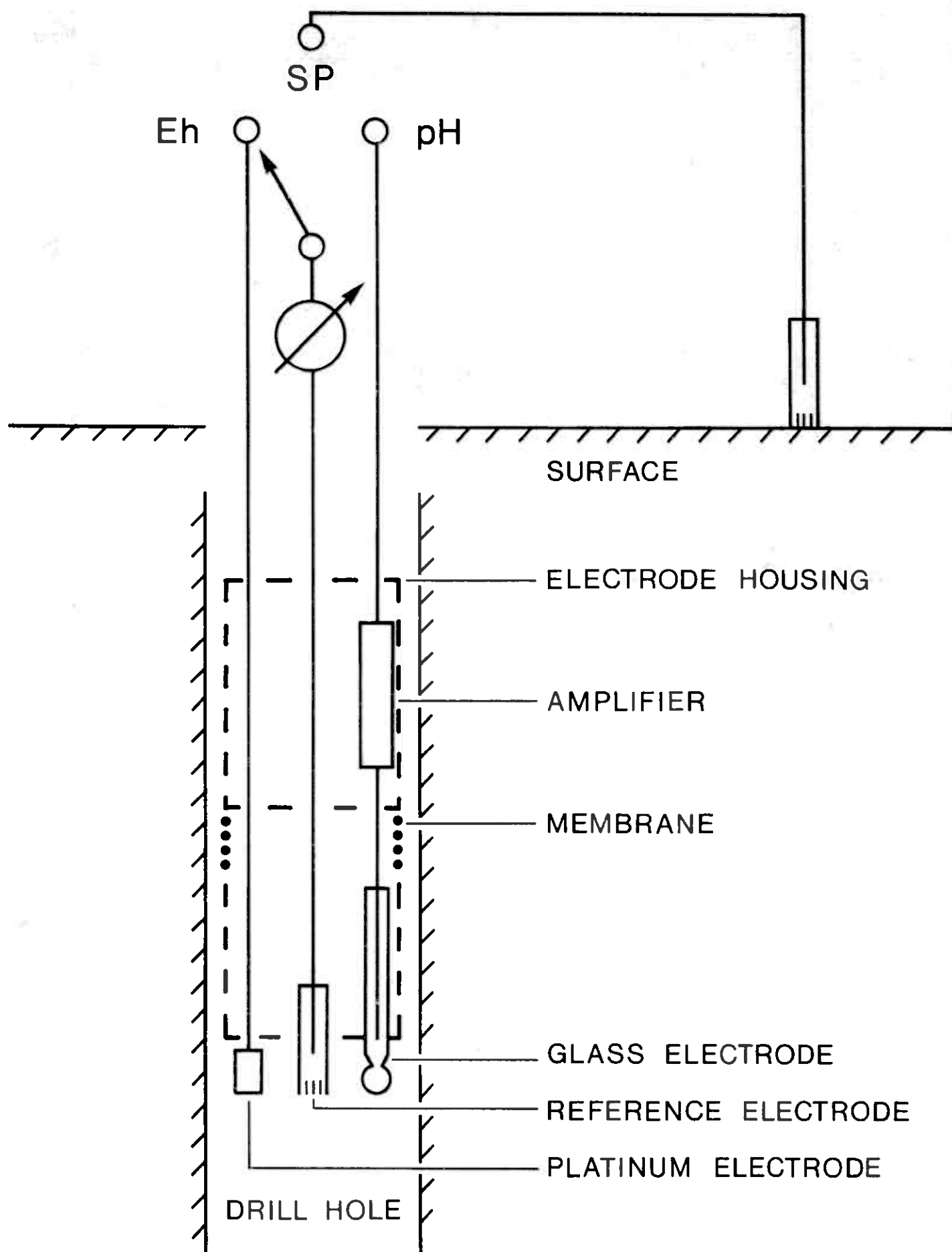
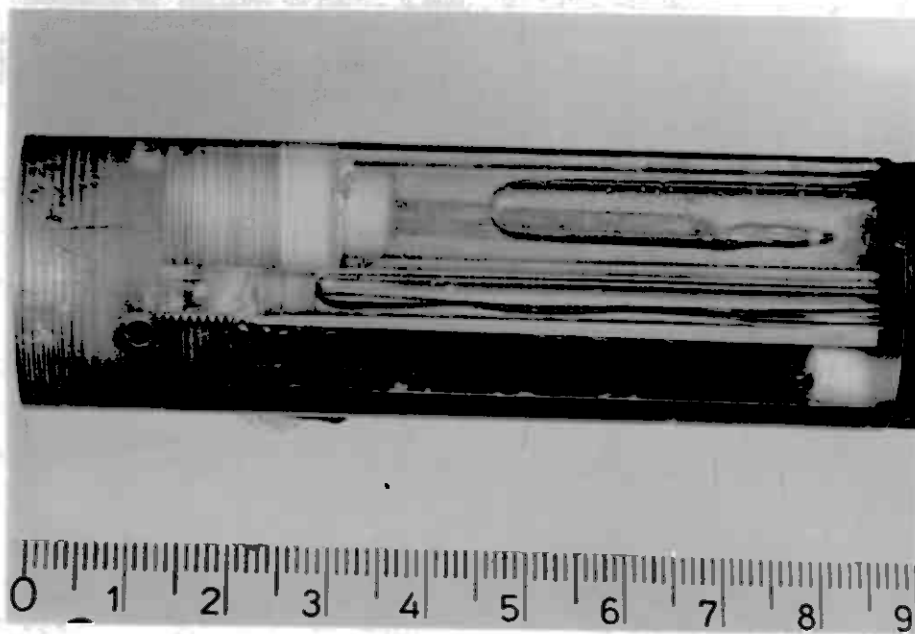


Fig.2

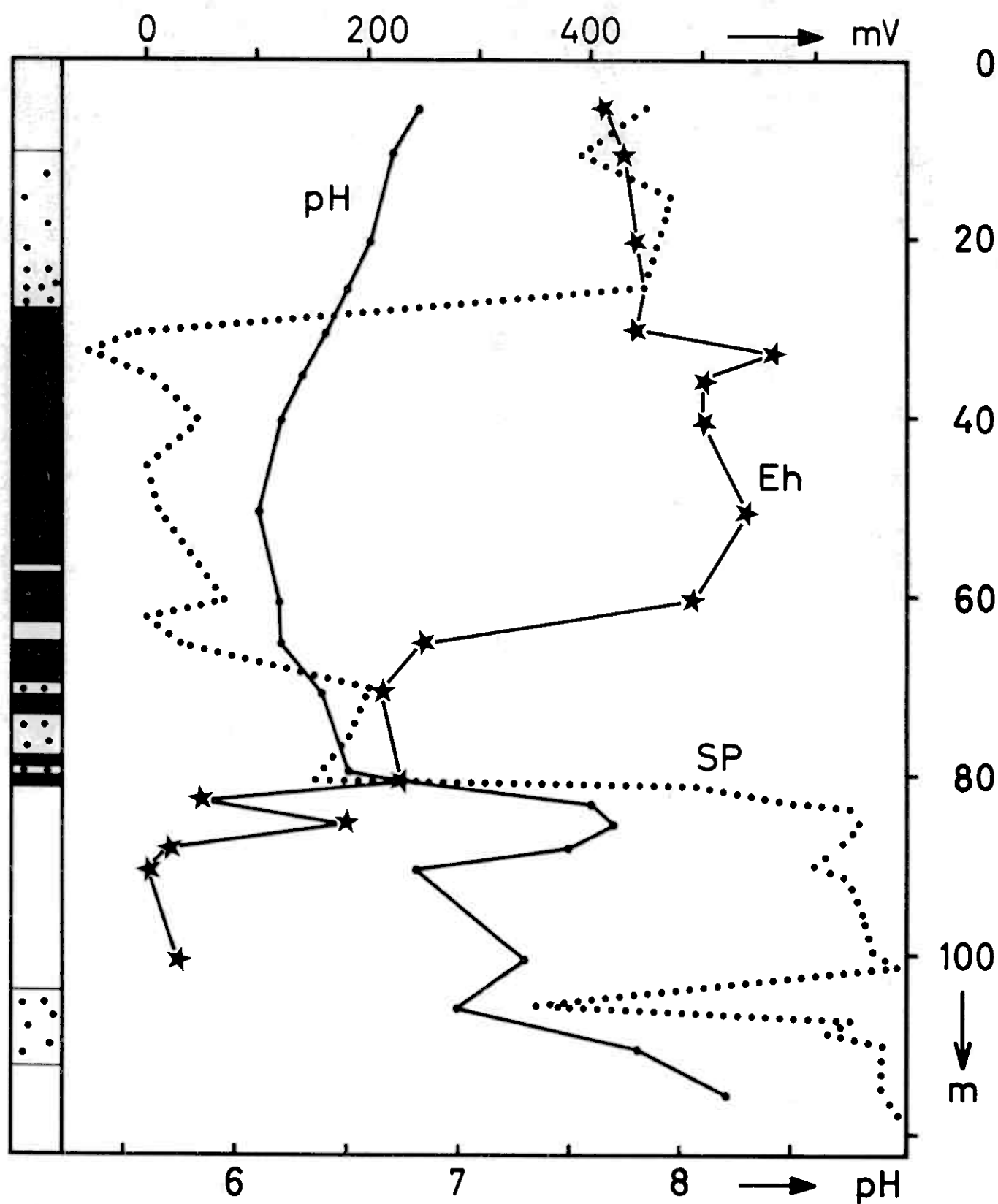


Figur 3.



Figur 4.

DRILL HOLE 117, JOMA, NORWAY



MASSIVE PYRITE WITH Cu AND Zn
 SULFIDE IMPREGNATION GREENSTONE

FIG. 5

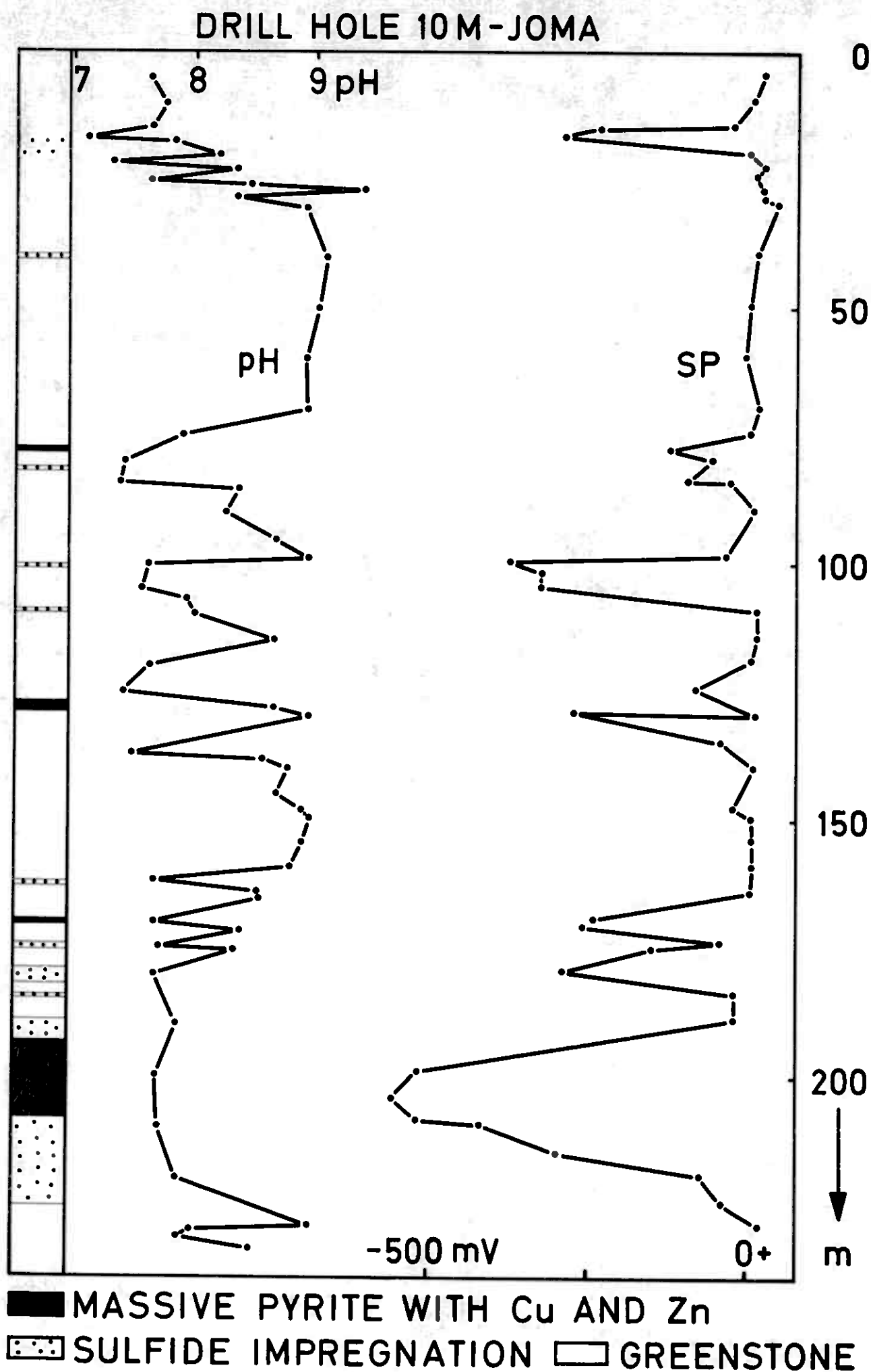


Fig. 6

LTP - Fase 3
SAMMENFATTENDE OPPLYSNINGER OM PROGRAM

PROGRAMTITTEL Logging av geo-parametre i vann.

MÅLSETNINGER (hva søkes oppnådd, forslag til videreføring av forskningsresultatene).

- 1) Fortsette den påbegynte utvikling og utprøving av instrument for in-situ-måling av selvpotensialer (SP), redox potensialer (Eh) og surhetsgrad (pH).
- 2) Fortsette kartleggingen av SP, Eh, pH i naturlig vann, påbegynt av NGU.
- 3) Tolking og utnyttelse av tidligere oppnådde og nye måleresultater.
- 4) Videreutvikling av instrumenttyper.

PROGRAMBESKRIVELSE (de viktigste problemstillinger og arbeidsoppgaver programmets gjennomførbarhet, berørte organisasjoner, organisasjonsform).

Logging av Eh og pH i diamantborhull har ikke tidligere vært utført, før NGU i 1971 utviklet en prototyp på et instrument for in situ-målinger av SP, Eh og pH i 46 mm diamantborhull. Prototypen vakte en viss interesse på det "Fourth International Geochemical Exploration Symposium" i London i april 1972. Instrumentet er prøvet i borhull gjennom Joma kisforekomst. Prøvene var relativt vellykket, men det ble klart at flere forbedringer av instrumentet skulle være ønskelig, bl.a.:

- 1) Ag/AgCl/HCl referanse-elektrode bør brukes i stedet for Cu/CuSO₄.
- 2) Pt-elektroden må aktiveres, eventuelt bør anvendelse av mediator eller oxygenelektrode forsøkes.
- 3) Kalibreringsprosedyren bør gjøres enklere og mer pålitelig.
- 4) Batteriene må monteres så de lettere er tilgjengelige.

Etter utviklingen av en ny prototyp må den utprøves:

- 1) I diamantborhull gjennom forskjellige malmforekomster.
- 2) I diamantborhull i bakgrunnsområder uten malmforekomster.
- 3) I innsjøer eller fjorder med brakkvann eller forurensninger.

Tolkning av fremkomne resultater vil kunne bidra til:

- 1) Bedre forståelse av selvpotensialenes årsak.
- 2) Bedre kjennskap til kjemiske prosesser i grunnvann, spesielt elektro-kjemiske prosesser rundt elektrisk ledende mineraliseringer.
- 3) Bedre kunnskap om naturlige og unaturlige kjemiske miljøer i innsjøer og fjorder.

Videreutvikling av instrumentet innbefatter:

- 1) Måling av andre parametre enn SP, Eh og pH, f. eks. ved anvendelse av ioneselektive elektroder og ledningsevneelektroder.
- 2) Fremstilling av instrumenttyper egnet for markedsføring.

	Før	1971	1972	1973	1974	1975	Etter 1975	Sum
Forskerår		-	-	1	1	1		
Totale kostnader	7	15	5	80	80	80	?	267
Herav:								
NTNF og BrFF-midler				70	70	70		210
Industrimidler								
Andre midler (NGU)	7	15	5	10	10	10		57

LTP - Fase 3
SAMMENFATTENDE OPPLYSNINGER OM PROGRAM

PROGRAMBESKRIVELSE (de viktigste problemstillinger og arbeids-
Forts. oppgaver, programmets gjennomførbarhet,
berørte organisasjoner, organisasjonsform).

Programmet tenkes gjennomført ved:

- 1) Utførende: Stipendiat (kjemiker, fysiker senere kanskje geolog eller bergingeniør) som samarbeider med personale ved NGU (verksted, felt) og NTH (lab.).
- 2) Ansvarshavende: Geokjemiker og geofysiker ved NGU.
- 3) Styringsgruppe (overvåking): Adm.dir. ved NGU og professorer ved NTH i elektro-kjemi, fysikalsk kjemi, malmgeologi og teknisk fysikk.

HOVEDPLAN FOR FREMTIDEN:

Prosjekttittel	1972	1973	1974	1975	Fremtid
1. Fortsatt utvikling av prototyp		40			
2. Utprøving av prototyp i felt		40	40		
3. Tolking av resultater			40		
4. Modellforsøk				40	
5. Videre-utvikling og komersiell utnyttelse				40	

KOSTNAD/NYTTEVURDERING (antatt virkning - teknologisk, økonomisk, sosial, økologisk, andre. Sannsynligheten for å få de forventede resultatene. Resultater av lønnsomhetsberegninger).

- 1) Det kan tenkes at bedre forståelse av SP-anomalier sammen med kjennskap til fordeling av Eh, pH og ioner med stor bevegelighet (foruten H_3O^+ og OH^- , f. eks. K^+ , Li^+ , Na^+ , Cl^- og SO_4^{--}) vil kunne føre til nye metoder for prospektering såvel mot dypet som regionalt. Programmet innebærer derfor muligheter for påvisning av nye malmforekomster.
- 2) Måleresultater fra borhull i kisforekomster kan få betydning for prospektering ved åpning av ny gruve, f. eks. ved vurdering av mulige korrosjonsproblemer eller ved vurdering av avgangens lagringsmåte.
- 3) In situ-målinger av pH, Eh og andre parametre i fjorder og innsjøer kan ha betydning i forbindelse med miljøvern og forurensingsproblematikk.

Resultatene hittil synes lovende og er oppnådd ved beskjeden økonomisk innsats. Dette kan tyde på at det er en viss mulighet for med tiden å oppnå resultater av praktisk betydning for norsk gruvedrift.

Trondheim, 15. juni 1972

B. Bølviken

Ø. Logn

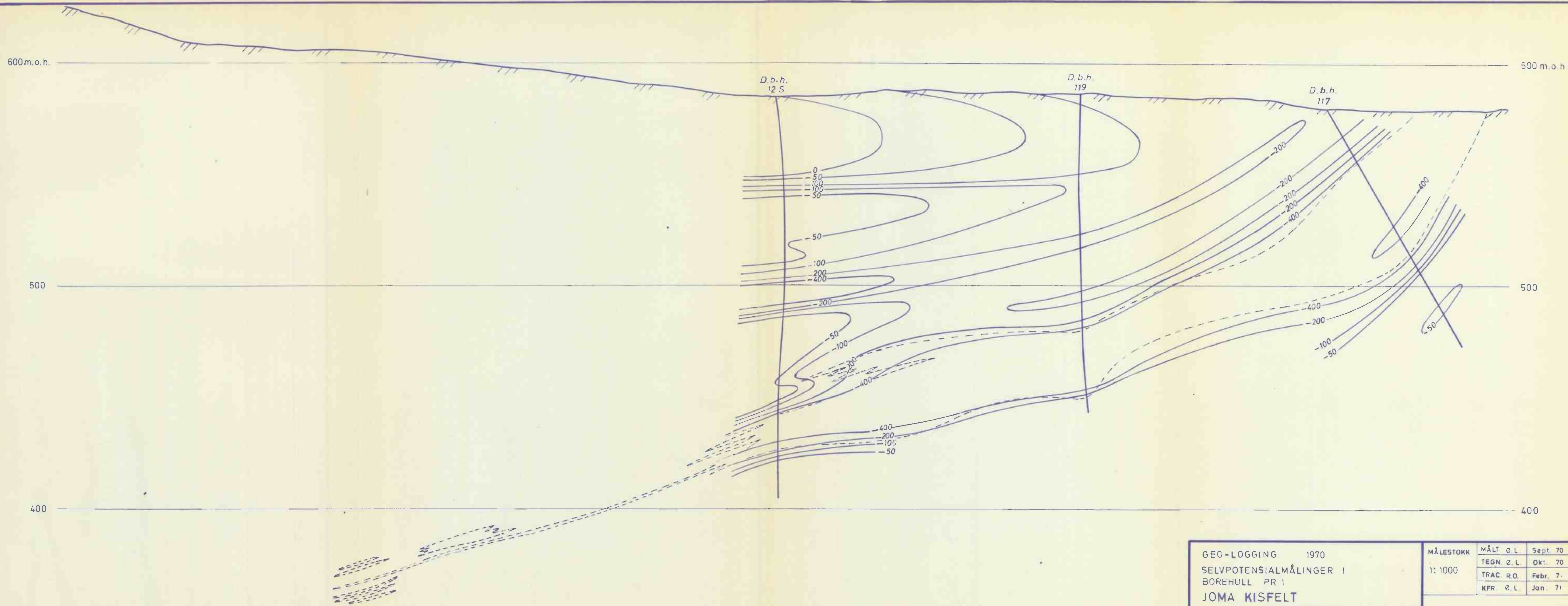
PRIORITERING (begrunnelse for og angivelse av prioritet innenfor den angitte ramme).

☐

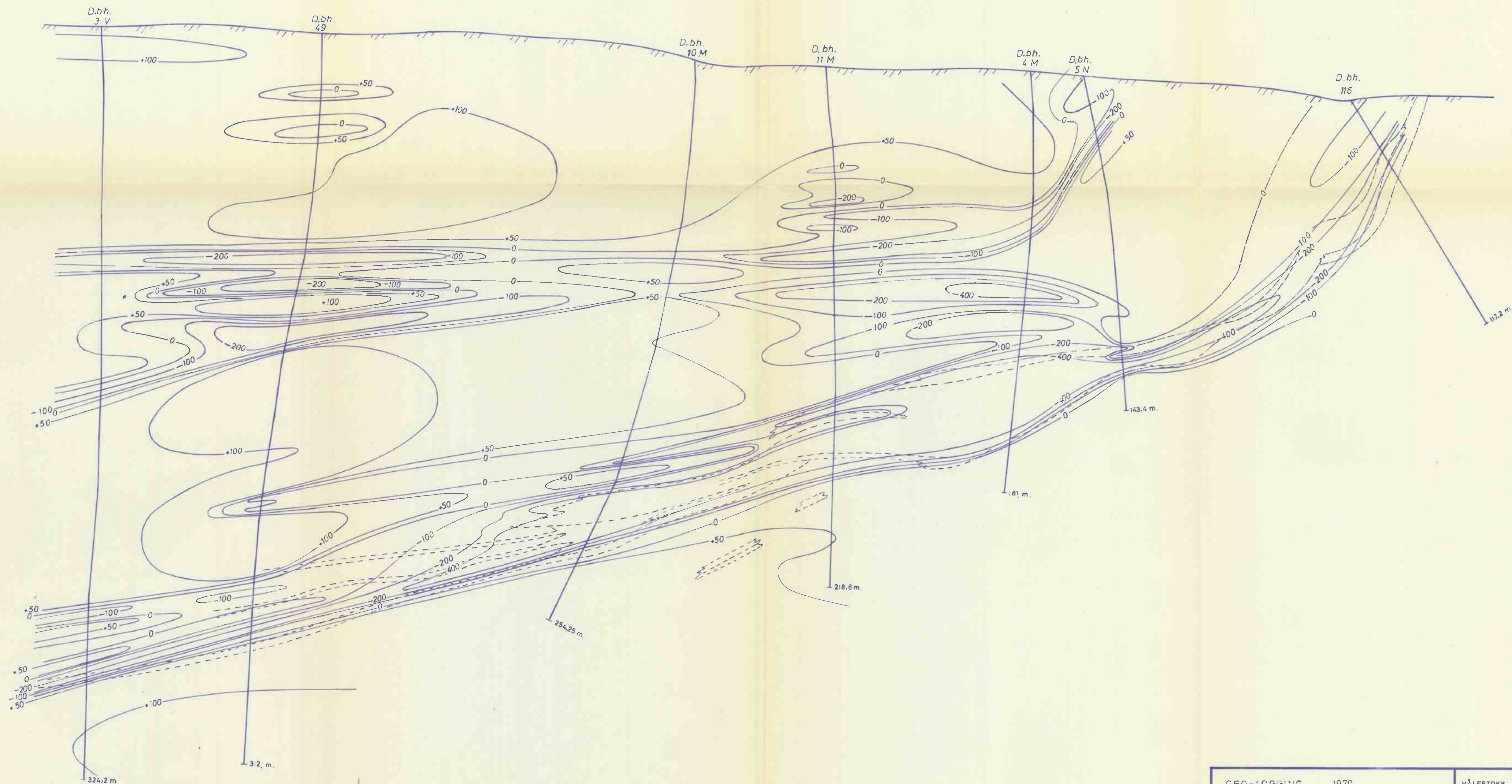
Innen lav ramme

☐

Innen høy ramme



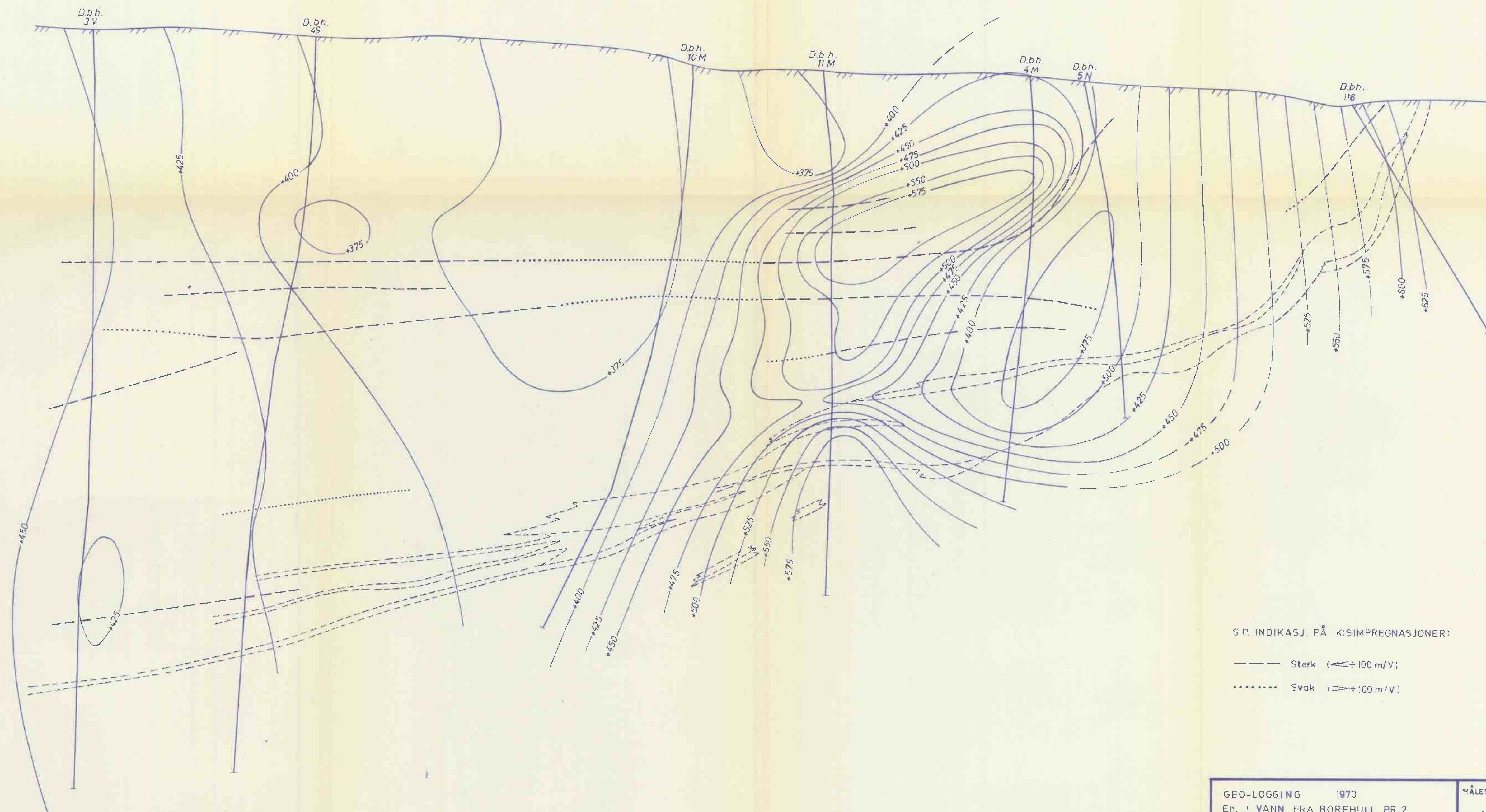
GEO-LOGGING 1970 SELVPOTENSIALMÅLINGER I BOREHULL PR 1 JOMA KISFELT	MÅLT Ø.L.	Sept. 70
	TEGN. Ø.L.	Okt. 70
	TRAC. Ø.L.	Febr. 71
	KFR. Ø.L.	Jan. 71
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 1132-02	KARTBLAD (AMS) 1924 I C



GEO-LOGGING 1970
 SELVPOTENSIALMÅLINGER I
 BOREHULL PR. 2
 JOMA KISFELT

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK 1: 1000	MÅLT Ø.L.	Sept. 70
	TEGN. Ø.L.	Febr. 71
	TRAC. R.O.	Febr. 71
	KFR. Ø.L.	Febr. 71
TEGNING NR. 1132-03	KARTBLAD (AMS) 1924 I	



S.P. INDIKASJ. PÅ KISIMPREGNASJONER:

— Sterk ($\leq 100 \text{ m/V}$)

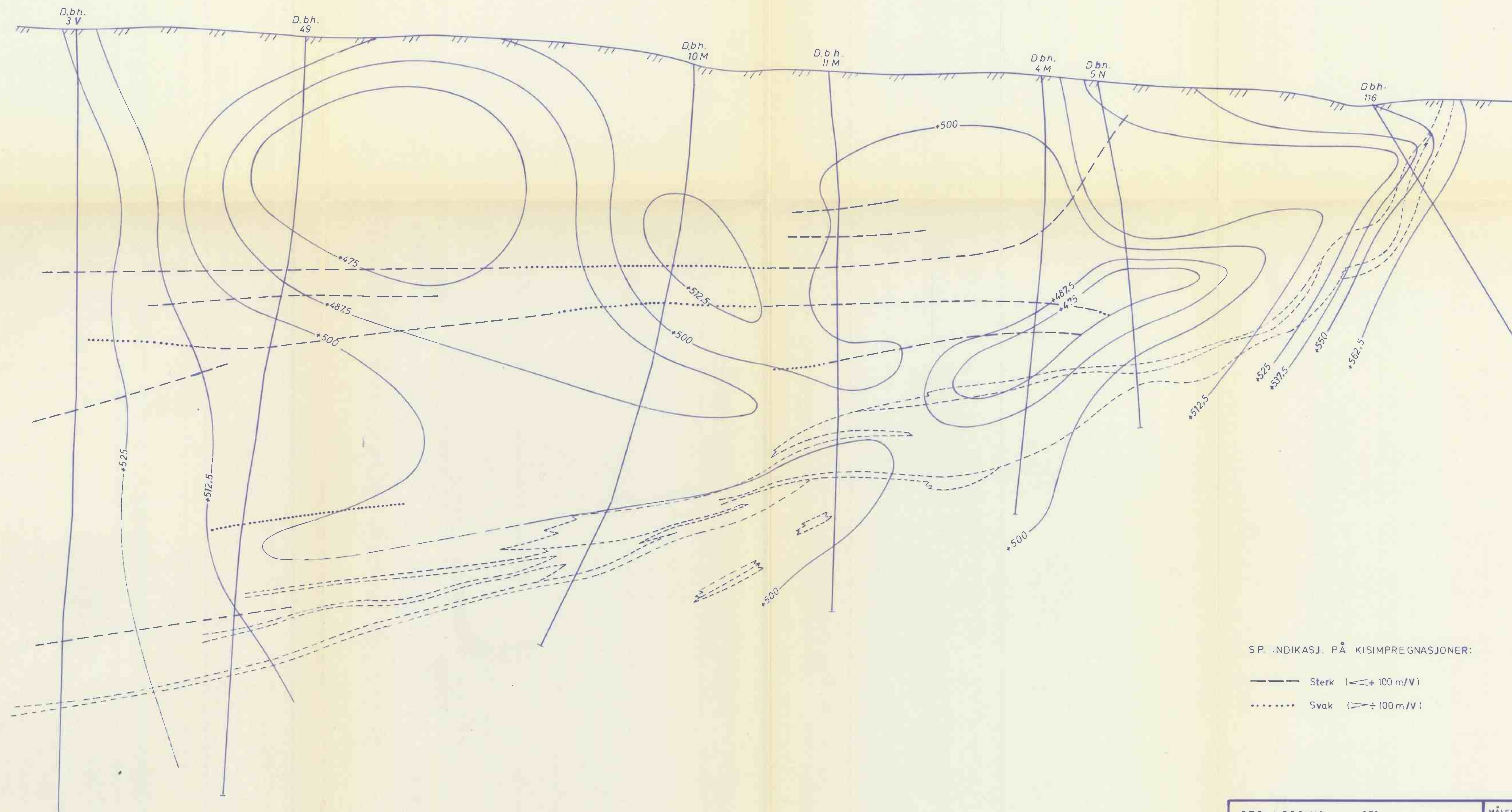
..... Svak ($\geq 100 \text{ m/V}$)

GEO-LOGGING 1970
 Eh. I VANN FRA BOREHULL PR.2
 FELTMÅLING STRAKS ETTER OPPTAK
 JOMA KISFELT

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK	MÅLT B.B.	Sept	70
1:1000	TEGN. Ø.L.	Mars	71
	TPAC R.O.	Mars	71
	KFR. BB/ØL	Mars	71

TEGNING NR. 1132-04
 KARTBLAD (AMS) 1924 I C

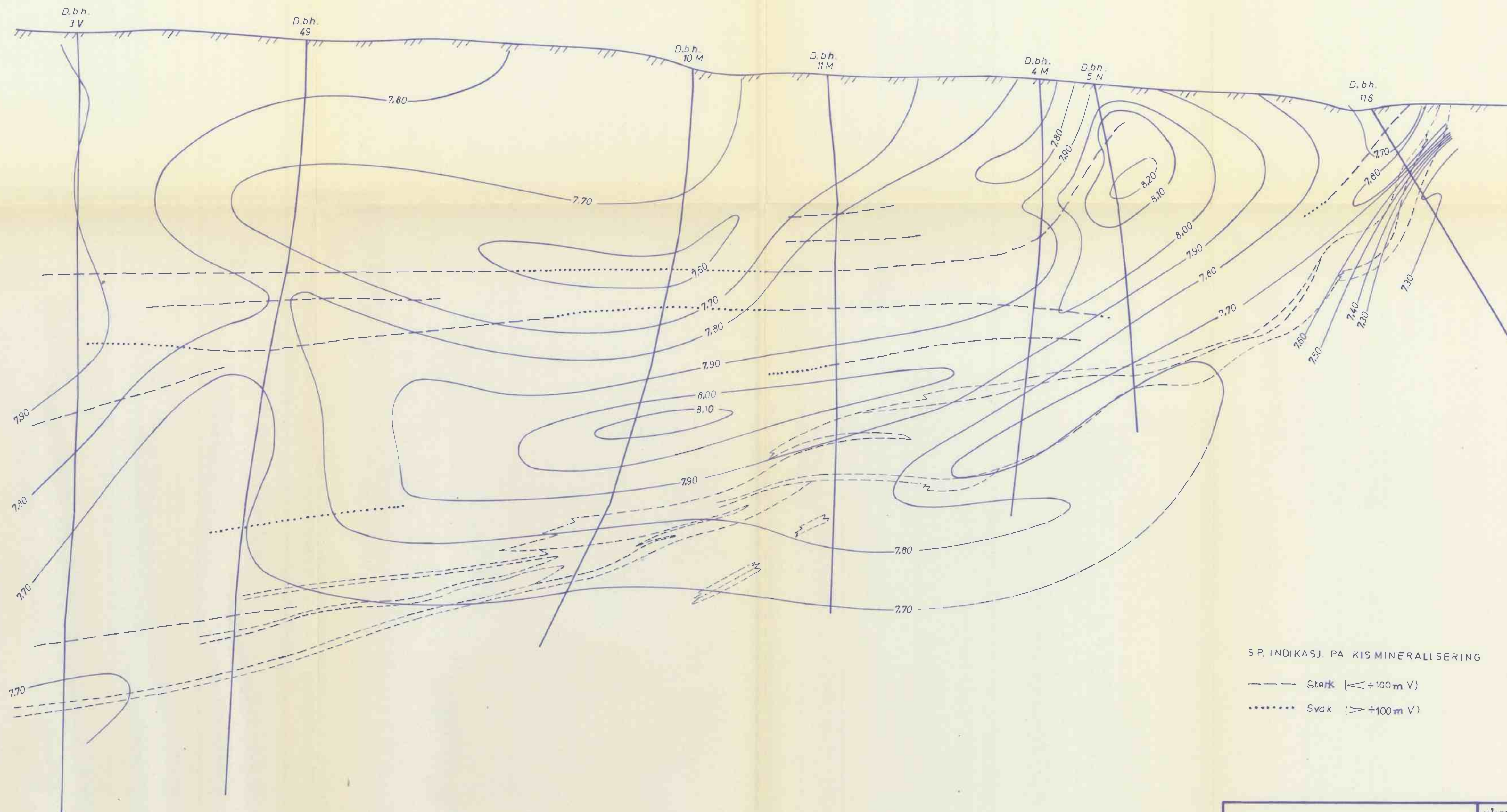


GEO-LOGGING 1970
 EH 1 VANN FRA BOREHULL PR. 2.
 LAB.MÅLING 1MND. ETTER OPPTAK
 JOMA KISFELT

MÅLESTOKK	MÅLT A.T.S.	Febr 71
TEGN. Ø.L.	Mars 71	
TRAC. R.O.	Mars 71	
KFR. BB/Ø.L.	Mars 71	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

TEGNING NR.	KARTBLAD (AMS)
1132-06	1924 I C



SP. INDIKASJ. PA KIS MINERALISERING

— — — Sterk (< +100 m V)

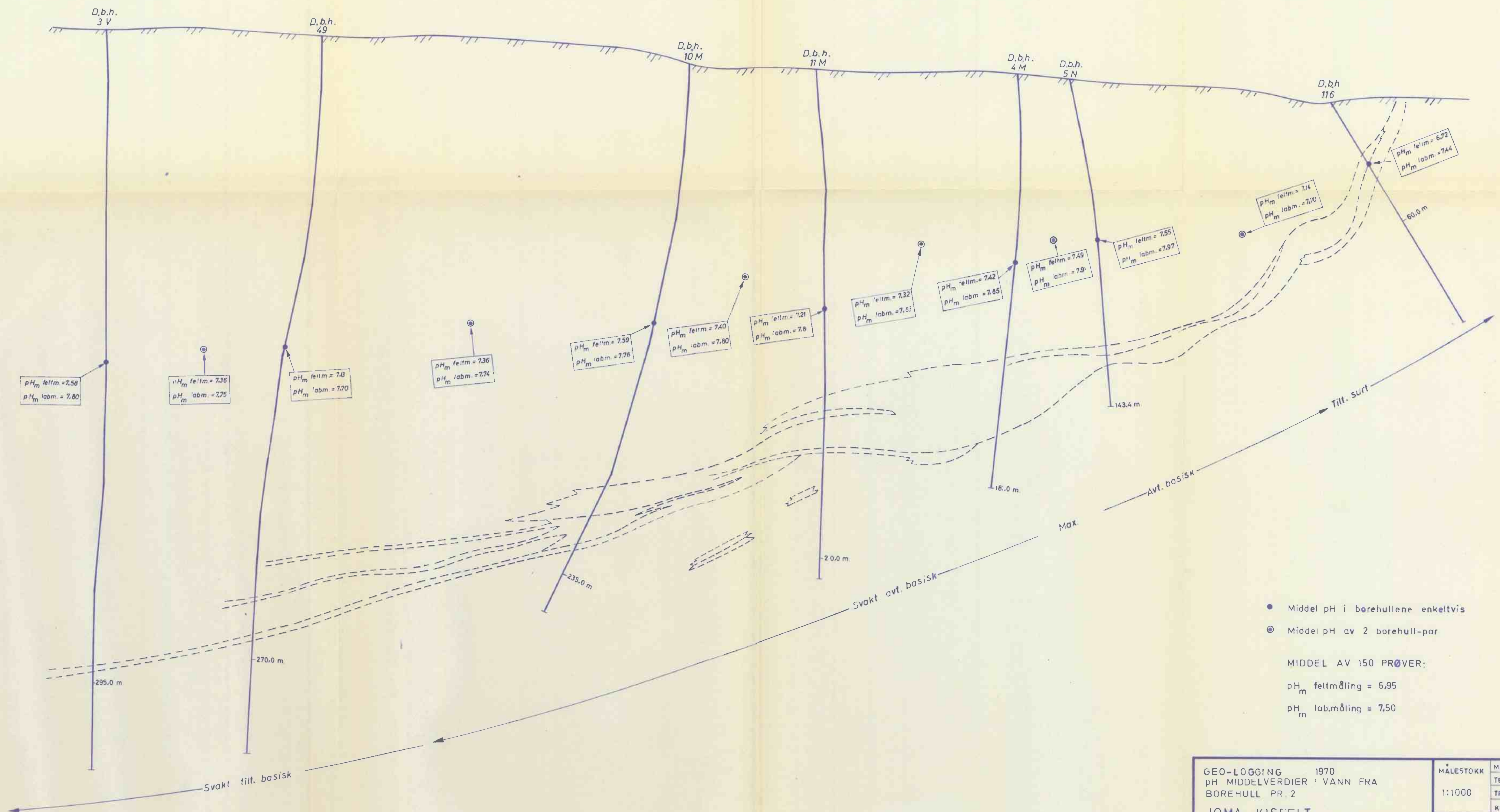
..... Svak (> +100 m V)

GEO-LOGGING 1970
 PH I VANN FRA BOREHULL PR.2
 LAB. MÅLINGER 1 MND ETTER OPPTAK
 JOMA KISFELT

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK	MÅLT T.S.		
	TEGN. Ø.L.	FEBR.	71
	TRAC. R.O.	FEBR.	71
	KFR. BB/Ø.L.	MARS	71

TEGNING NR	KARTBLAD (AMS)
1132-07	1924 I C



- Middel pH i borehullene enkeltvis
- ⊙ Middel pH av 2 borehull-par

MIDDEL AV 150 PRØVER:

pH_m feltmåling = 6,95

pH_m lab.måling = 7,50

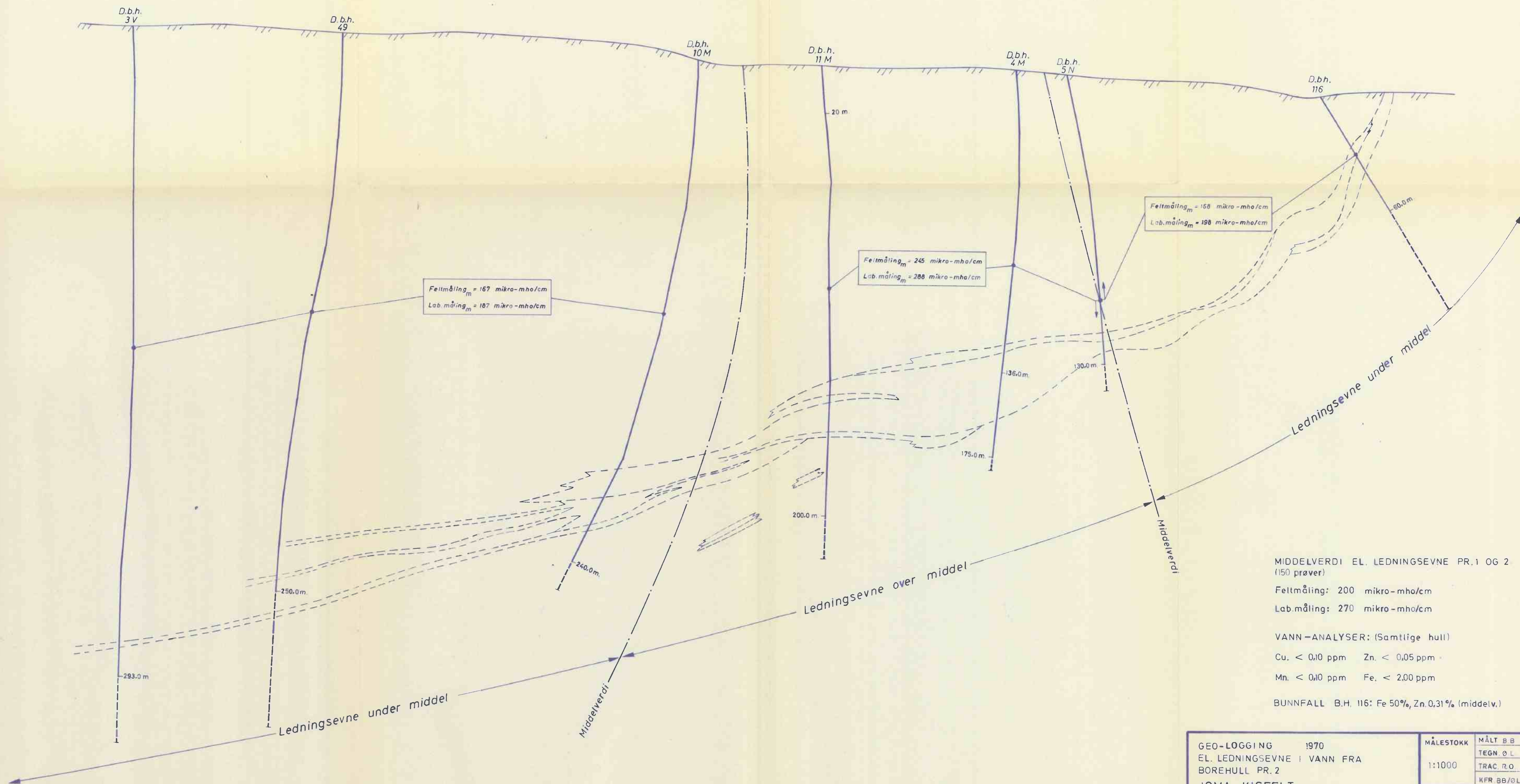
GEO-LOGGING 1970
pH MIDDELVERDIER I VANN FRA
BOREHULL PR. 2

JOMA KISFELT

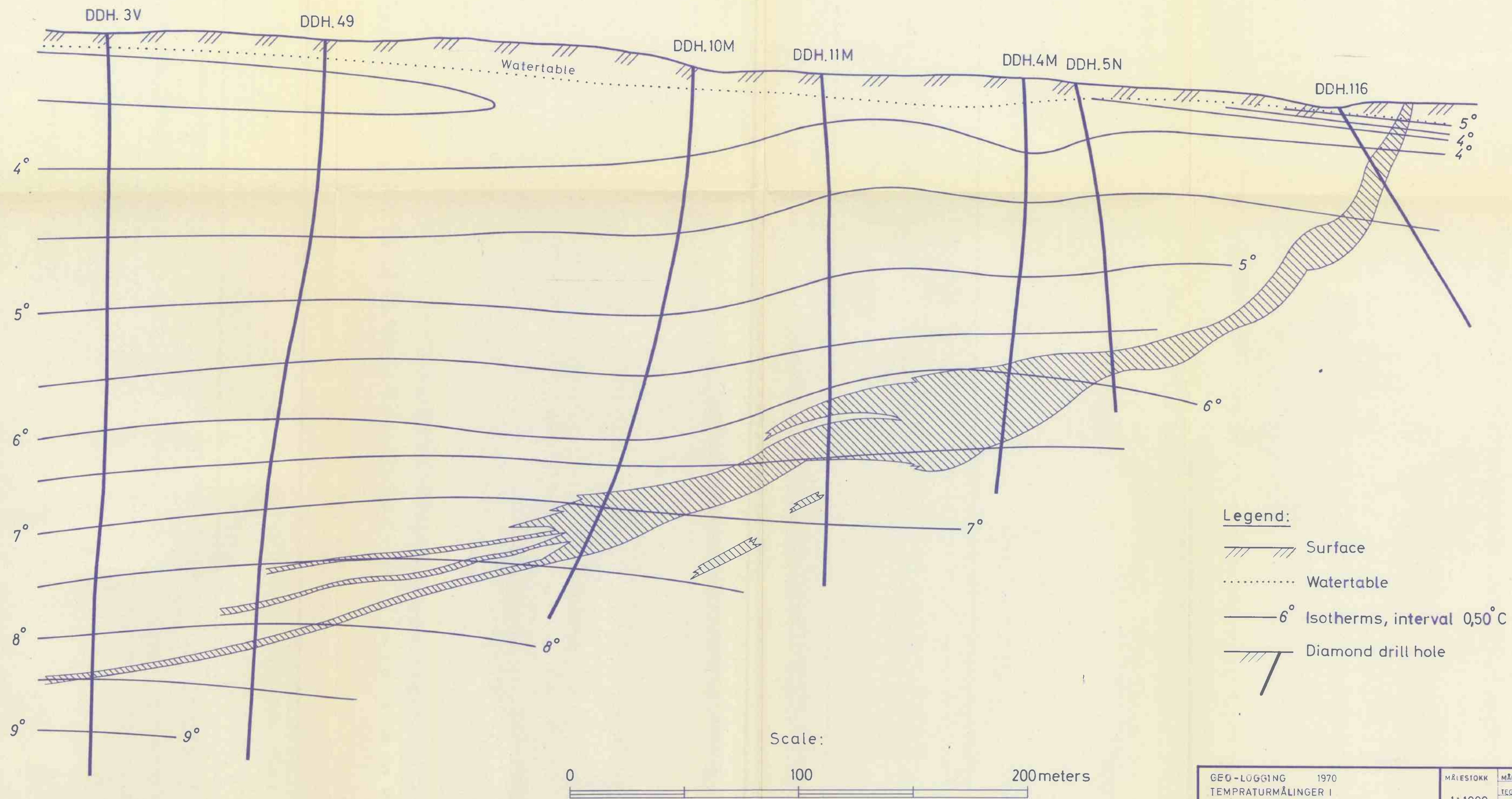
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

MÅLESTOKK	MÅLT B.B.	Sept. 70
TEGN. Ø L	Okt. 70	
TRAC. R Ø	Mars 71	
KFR. B.B./Ø L	Mars 71	

TEGNING NR.	KARTBLAD (AMS)
1132-08	1924 I C



GEO-LOGGING 1970 EL. LEDNINGSEVNE I VANN FRA BOREHULL PR.2 JOMA KISFELT	MÅLESTOKK	MÅLT B.B.	Sept 70
	1:1000	TEGN. Ø L	FEBR 71
		TRAC. R.O.	FEBR 71
		KFR BB/Ø L	MARS 71
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 1132-09	KARTBLAD (AMS) 1924 I C	



GEO-LOGGING 1970 TEMPRATURMÅLINGER I BORHULL PR.2 JOMA KISFELT	MÅLESTOKK	MÅLT ØL	SEPT. 1970
	1:1000	TEGN. ØL	OCT. 1970
		TRAC. JH	JUNI 1972
		KFR ØL	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 1132-10	KARTBLAD NR. 1924 IC	