



Bergvesenet

Postboks 3021, N-7441 Trondheim

Rapportarkivet

Bergvesenet rapport nr 7224	Intern Journal nr	Internt arkiv nr	Rapport lokalisering	Gradering
Kommer fra ..arkiv	Ekstern rapport nr	Oversendt fra NGU/Stavanger Staal A/S	Fortrolig pga	Fortrolig fra dato:
Tittel Om Magnetotelluriske målinger og resultater fra testmålinger i Sulitjelma				
Forfatter Carstens Carl- Wilhelm		Dato Ar 1978	Bedrift (Oppdragsgiver og/eller oppdragstaker) Elkem -Spigerverket A/S	
Kommune Fauske	Fylke Nordland	Bergdistrikt	1: 50 000 kartblad 21292	1: 250 000 kartblad Bødø
Fagområde Geofysikk	Dokument type		Forekomster (forekomst, gruvefelt, undersøkelsesfelt) Sulitjelmafeltet Mons Petter Charlotta	
Råstoffgruppe Malm/metall	Råstofftype Cu			

Sammen­drag, innholds­forteg­neise eller innholds­beskrivelse

Går gjennom bakgrunnsteorien for magnetotelluriske metoder (MT). Sammenlignet med andre EM-metoder, er spesielt dybderekkevidden større.

Måleopplegget for testmålinger i Sulitjelma beskrives. Det var områdene NØ for Mons Petter og Charlotta som det ble fokusert på.

Metoden synes å åpne for nye perspektiver og relativt billig geofysisk dypmalmleting (>700 meter). Så fremt ikke grunne og skjermende ledere finnes, kan en ha grunnlag for å påvise omtrentlige grenser av malmhorisonter helt ned til ca. 1 000 meter.

En ser muligheter med metoden også på ikke-ledende mineralske råstoffer.

Mattelt feb. 1979

OM MAGNETOTELLURISKE MÅLINGER OG RESULTATER FRA TESTMÅLINGER I SULITJELMA

CARL-WILHELM CARSTENS, ELKEM-SPIGERVERKET A/S

Sammendrag

Med denne metode registreres variasjoner i naturlige jordstrømmer og dets assosierende magnetfelt. Disse makroskopiske strømmer er induisert av pulserende elektromagnetiske bølger som stammer fra tordenvar forskjellige steder på kloden.

Metoden er mest kjent i USSR hvor den systematisk er blitt anvendt til gass og oljeprospektering for kartlegging av bergarts grenser og strukturer.

Sammenlignet med elektriske og andre elektromagnetiske metoder er spesielt dybderekkevidden større.

I Sulitjelma hvor metoden ble testet noen uker høsten 1978, har den åpnet nye perspektiver for billig geofysisk dypmalmletting. Ca. 3 m. meklige kishorisonter kan følges ned til dyp på minst 1 000 m. under forutsetning av at grunnere malmhorisonter ikke skygger.

Opplosningsevnen er god, og selv ned mot 1 000m. dyp har man indikasjoner på at malmgrenser kan fastsettes. Metoden gir ikke tydelige anomalier på svake impregnasjoner.

Testmålingene har ført til at man kjenner omtrentlig malmareal for fortsettelsen av en av malmforekomstene mot dypet.

Innledning

Kobbermalmene i Sulitjelma opptrer som tynne uregelmessige plater i ulike forekomster knyttet til forskjellige stratigrafiske nivå i kambrosiluriske metavulkanitter.

Grubedriften er idag spredd på 5 ulike forekomster og ca. 70% av malmreservene finnes på store dyp hvor grubedriften er kostbar på grunn av ras, gråbergtilblanding og lang transport. I løpet av de neste få år ville den mest økonomiske malm være utdrevet, og det var av stor betydning å finne gode malmer så fort som mulig. Det har vært vanskelig å finne konvensjonelle geofysiske metoder til påvisning av malmer 300-1000 m. under dagen.

På denne bakgrunn ble den magnetotelluriske metode testet en ukes tid i Sulitjelma av Oulo universitetet i Finland. Resultatene av deres målinger var så lovende at bedriften kort tid etter anskaffet egen apparatur for å fortsette målingene.

Magnetotellurisk metodikk er mindre kjent i vestlige land, mens den i spesielt USSR systematisk har blitt anvendt til olje og gass-leting. I Norge har geofysiker H.P. Moxnes NGU, tidligere anvendt metoden for å finne dypet ned til mantelen i Trøndelagsområdet. Hans apparatur registrerte på meget lave frekvenser, og den var ikke egnet til malmprospektering. Foruten Outokompo i Finland er Sulitjelma det første bergverk i Skandinavia som prøver metoden på malmleting.

Bakgrunnteori

Ved magnetotelluriske målinger registreres såkalte naturlige jordstrømmer og dets assosierte magnetfelt. Disse registreres samtidig og i perpendikulære retninger. Strømfeltet er direkte avhengig av motstanden i geologisk materiale, og magnetfeltet er et resultantfelt sammensatt av kildens primær og jordstrømmenes sekundær felter.

Jordstrømmene blir indusert av pulserende elektromagnetiske felter som skyldes tordenvar spesielt knyttet til tropiske områder. Jordstrømmenes mest aktive periode er i sommerhalvåret på ettermiddagen. Kilden selv og derfor også jordstrømmene består av et vidt frekvensspektrum.

Dybderækkevidden er avhengig av hvilke frekvenser man benytter, elektrisk motstand på materialet man vil trenge gjennom og ledningsevnekontrasten til eventuelt malm og overliggende formasjoner. Som andre elektromagnetiske metoder følger dybderækkevidden av formelen for det såkalte skindyp.

$$D \text{ (km)} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{10^9 \rho_a}{F}}$$

ρ_a = elektrisk motstand i formasjoner over lederen (Ωm)

F = frekvens (Hz)

Fra en strømkilde i undergrunnen vil strømmen avta eksponentielt, og man regner at 2/3 av strømmene fra en anomaliårsak finnes innenfor skindypet.

Elektrisk motstand i undergrunnen er avhengig av frekvens, strøm og magnetfelter etter følgende formel:

$$\rho_a = \frac{1}{5F} \left(\frac{E}{H} \right)^2$$

ρ_a = motstanden (Ωm)

F = frekvens (Hz)

E = elektrisk spenning (MV/km)

H = magnetfelt (mY)

Virkemåten for magnetotellurisk apparatur er stort sett ens. Strøm og magnetfeltene registreres på flere frekvenser. Magnetfeltene induserer spenning i svært følsomme magnetspoler, mens strømfeltene enkelt blir målt ved stålelektroder. Feltene blir forsterket og passerer gjennom flere filtre der ønskede frekvenser siles ut. Deretter sammenlignes strømspenningene og spenningen fra magnetspolen og en intern computer regner ut forholdet mellom ovennevnte spenninger. Motstanden som er avhengig av dette forholdstall kan derved finnes.

Tolkninger

Allerede i felten kan man ofte finne ledere og deres omtrentlige dyp ved å plote observasjonene i et nomogram (se fig 1).

RESISTIVITY CURVES

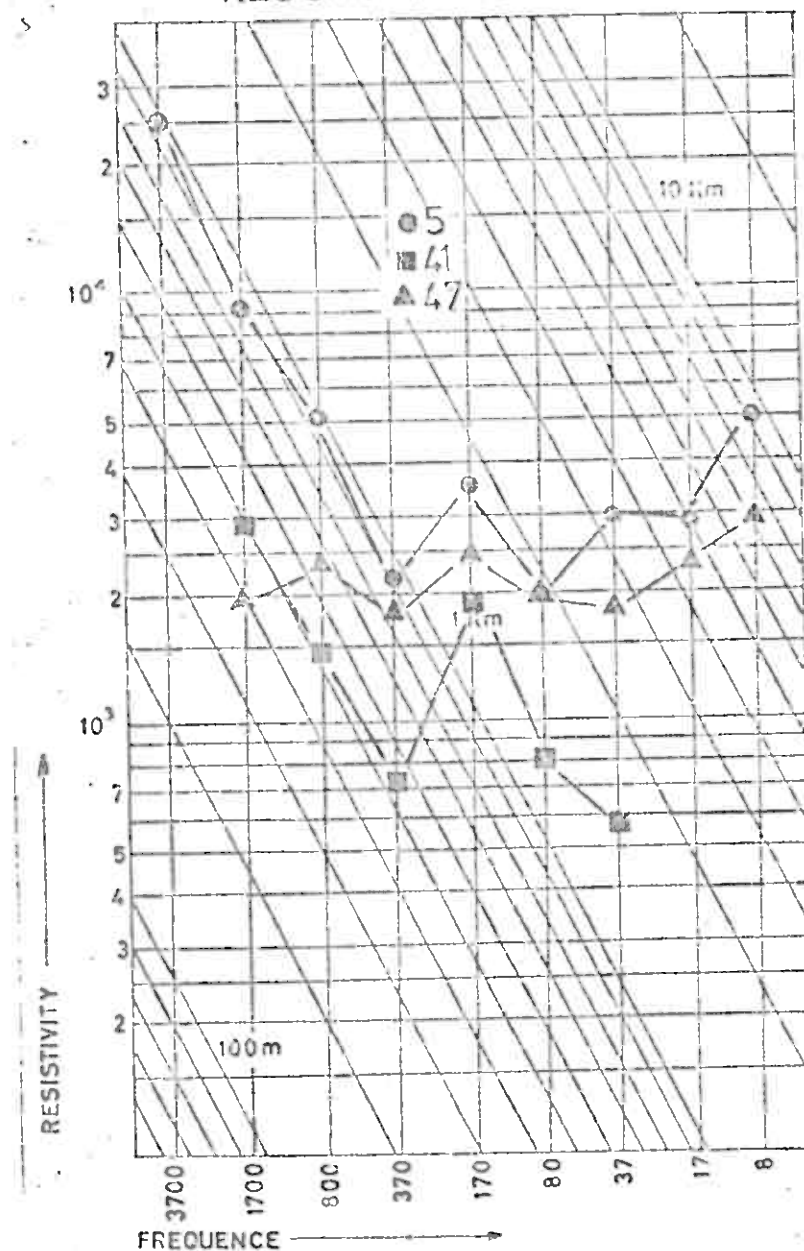


Fig.1

Når man har en leder vil motstandsverdien minke med synkende frekvenser langs såkalte dybdelinjer. Punkter på dybdelinjene er proporsjonale med skindypet ved bestemte motstand/frekvenskombinasjoner.

Motstandskurvene i nomogrammet er reelle feltkurver fra målingene i Sulitjelma. Kurve 41 og 5 indikerer ledere på henholdsvis ca. 500 m. og 950 m., mens kurve 47 ikke indikerer klar leder på noe nivå.

For beregning av lederens tilsynelatende motstand, og for bergartstrukturfolkning er det nødvendig å benytte flerskiktsmodeller. Dette kan gjøres ved å sammenligne målte kurver med teoretiske mønsterkurver. Hurtigst gjøres dette på datamaskin hvor en kan benytte interaktive optimaliseringsprogrammer. Med dette menes at operatoren må prøve forskjellige parametre på maskinen og eventuelt forandre på disse til datamaskinen kommer frem til en motstandskurve som ligner den man har målt. Maskinen kan også optimalisere noen av parametrene.

Sammenligning med noen andre metoder

Svakheten ved metoden ligger i selve energiseringskildene. Det sier seg selv at lokale lordenver vil være et problem. Hvis elektriske høyspentkabler eller elektriske diamantbormaskiner er innenfor rekkevidde av ca. 250m vil det umuliggjøre målingene. AM sendere virker også forstyrrende. Vind kan være et problem da selv små bevegelser av kabelutlegg og magnet-spoler skaper sjenerende støy.

Selv om svake signaler og støy vanligvis er et problem, har metoden fordeler sammenlignet med andre metoder:

Sammenlignet med andre elektromagnetiske metoder har den magnetotelluriske metode større dybderekkevidde og større evne til å se gjennom noe ledende skikt fordi man opererer med lavere frekvenser. Da man dessuten opererer med ulike frekvenser kan man få indikasjoner på vertikale bergarts enheter og deres strukturer. Forutsetningen er da at tykkelse ledningsevneproduktet i enhetene har visse kontraster.

For dypsonderinger er metoden best egnet i områder hvor overdekket har størst mulig motstand. I slike områder kan det derimot være vanskelig å benytte vanlige elektriske motstandsmålinger. Sammenlignet med den siste type målinger er den laterale oppløsningsevne bedre, da man ved vanlige motstandsmålinger er avhengig av ekspanderende elektrodesystemer.

I relasjon til landrefleksjonseismikk er kostnadsfaktoren ved magnetotelluriske måling ca. 1/10 del. Ved refleksjonseismikk for leting etter f.eks. tynne malmhorisonter hvor små akustiske impedanskontraster kan forventes, har anomalier lett for å drukne i overflatestøy. Den refleksjonseismiske metode har mindre lateral oppløsningsevne p.g.a. problemer med siderefleksjoner.

Sulitjelma's instrument og måletekniske erfaringer

Sulitjelma Gruber's apparat er av fransk opprinnelse og det kostet 150 000 kroner. Dette er lite når man tenker på at denne kroneverdi tilsvarer boreutgifter for ca. 500 m.

Apparatet veier ca. 37 kg. og det innbefatter 2 magnetspoler, selve måleinstrumentet, elektroder, kabler og et 12V. batteri. Det kan registrere på 9 frekvenser fra 8-3700 Hz.

Som operatør må innrømmes at svake signaler og støy ofte er et irriterende problem spesielt på de høyeste og laveste frekvenser. Det kreves noe trening for å sjekke nødvendige kohærens mellom strøm og magnetiske signaler under målingene.

Tiden for måling på en stasjon i en retning og med 9 frekvenser varierer mellom 25 og 40 min., alt avhengig av signalforholdene. 5

Ideelt sett burde strømfeltene måles både på langs og tvers av stroket for å fremskaffe anisotropikoeffisienter, da denne parameter kan være følsom for svake mineraliseringer. I Sulitjelma fikk man gode resultater fra målingene langs stroket, mens resultatene på tvers var mye forstyrret.

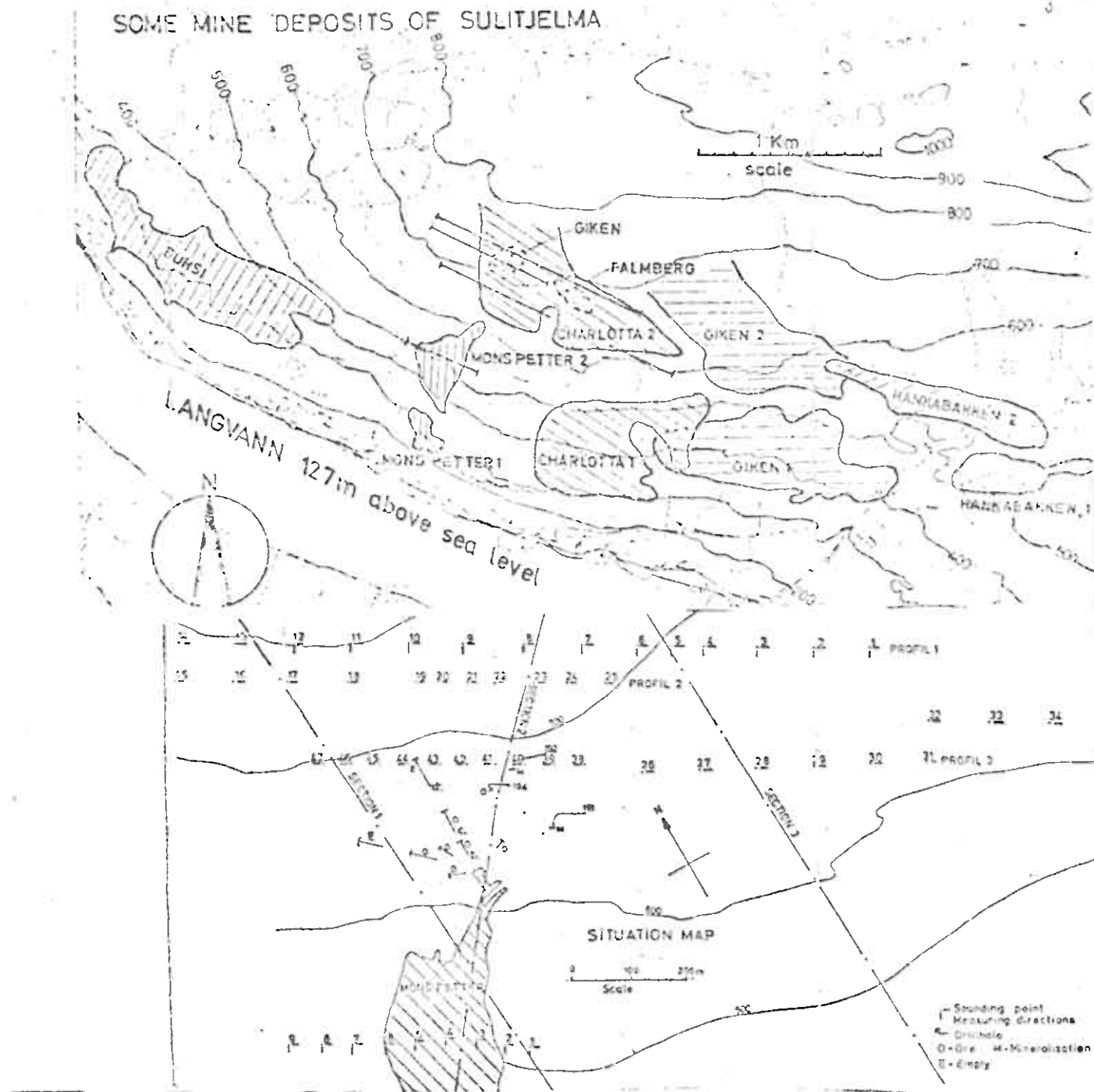


Fig. 2-3

Måleopplegg i Sulitjelma

Som det fremgår av Fig. 2-3 ble de fleste målinger foretatt i et område nordøst for Mons Petter grube hvor måleprofilene krysser Charlotta forekomst 700-1000 m under dagen. Målepunktavstanden varierer fra 50-100 m, og de lengste profilene er 1,5 km. lang.

Forut for målingene var borhull 191 og 192 påbegynt for i håp om å finne en fortsettelse av Mons Petter langs den nordøstlige malmakse. Resultatet var marginale skjæringer. Borhullene 194 og de fleste borhull fra et hengstverrslag i gruben traff imidlertid god malm, og disse er delvis planlagt som et resultat av målingene.

Måleresultater

Bergartene over malmhorisontene, gneis, skifer og amfibolitt har fra målingene en omtrentlig motstand på henholdsvis 7000, 2000 og 3000 Ω m. Disse er som isolatorer å betrakte sammenlignet med malmhorisontene som har beregnet motstand varierende fra 3-7 Ω m. Malmens motstand er et resultat av flerlagsmodell-tolking hvor ledernes tykkelse for enkelhets skyld er låst fast til 3 m.

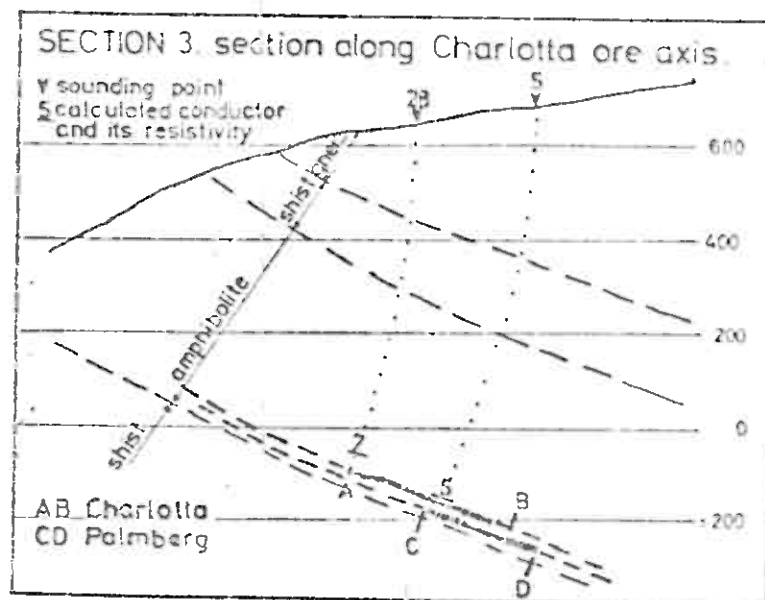


Fig. 4A

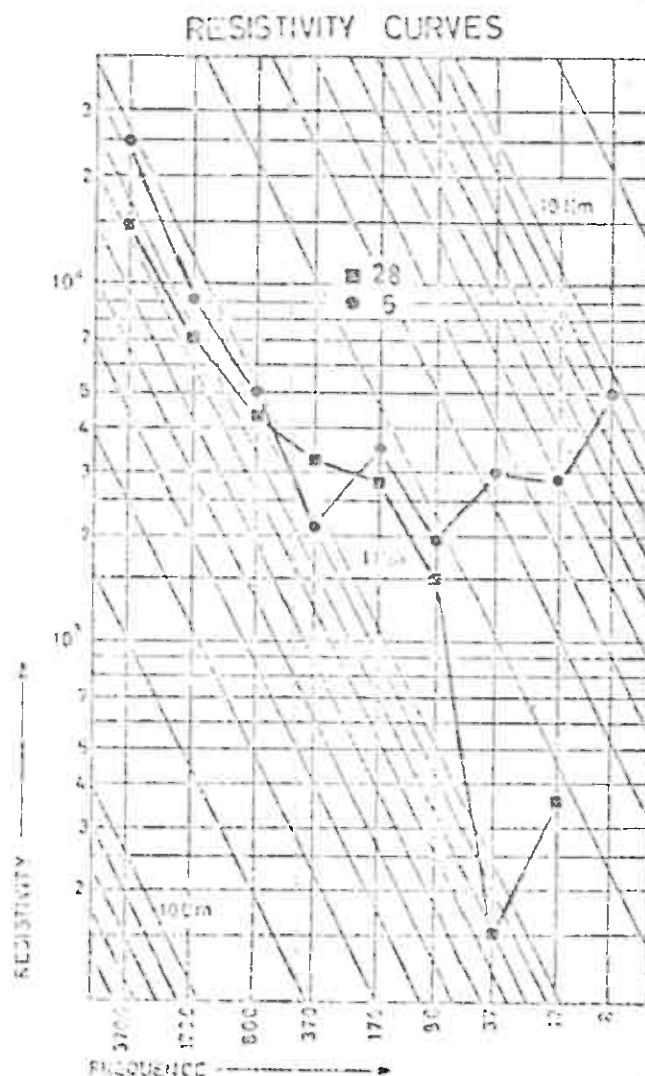


Fig. 4B

Seksjon 3 (se fig. 4 A) går omtrent langs Charlotta malmakse som danner ca. 20g med forekomstens fallretning. Malmen er stort sett massiv og har følgende gjennomsnittsdata. Mektighet 2,9m, 2,6 % Cu og 13 % S. Palmberg impregnasjonsmalm som ligger under har et beskjedent malmareal. Anomalioverensstemmelsen med Charlotta er meget god, noe som også frengår tydelig av rådataene representert ved motstandskurvene. (se fig 4 B).

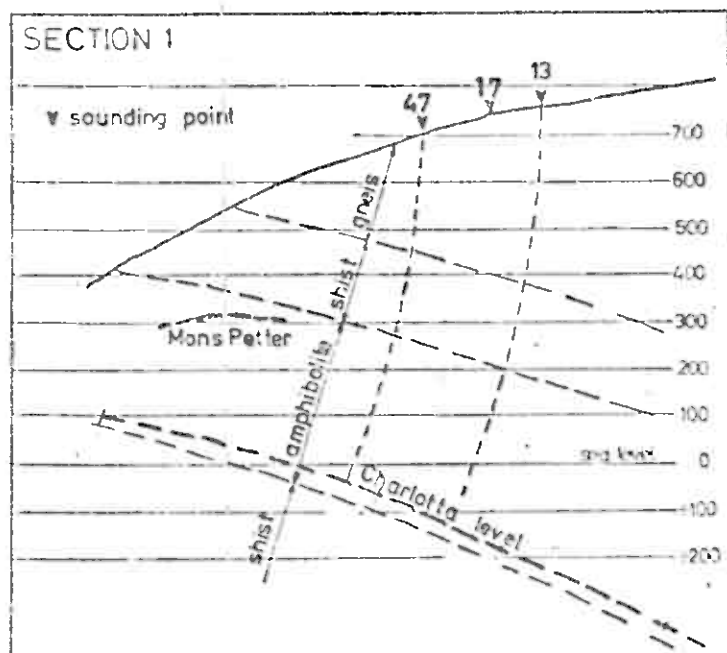


Fig. 5A

RESISTIVITY CURVES

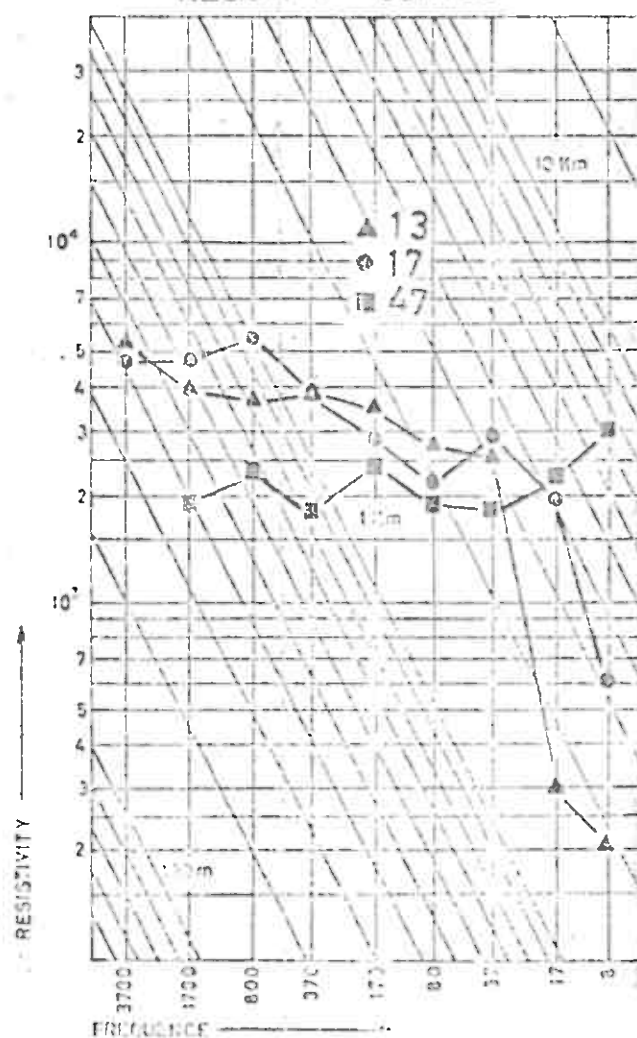


Fig. 5B

Seksjon 1, fig 5A, viser et snitt av sonen parallellt med malmaksen og bare ca. 200 m til side for økonomisk malmgrense. Fra 2 feltorter vet man at sonen representerer vekslning mellom noen desimeter tykke kompakte kisstriper og svak impregnasjon. Den svake mineraliseringen har ikke frembrakt klare anomalier. Dette sees også av motstandskurvene som her ikke følger nomogrammetts dybdelinjer (se fig. 5B).

Et snitt vertikalt på formasjonene gjennom profil 1, fig 6, viser for andre anomalier bra samsvar med Charlotta malmhorisont, men spesielt mot øst er anomaliene forstyrret og skjermet av en betydelig grunnere sone som kan være Brunhammarsonen. Utgående på nevnte sone er bare svakt mineralisert. Siste års boring for å sjekke om sonen kan være oppkonsentrert på dypet måtte avbrytes grunnet tidlig fjellvinter.

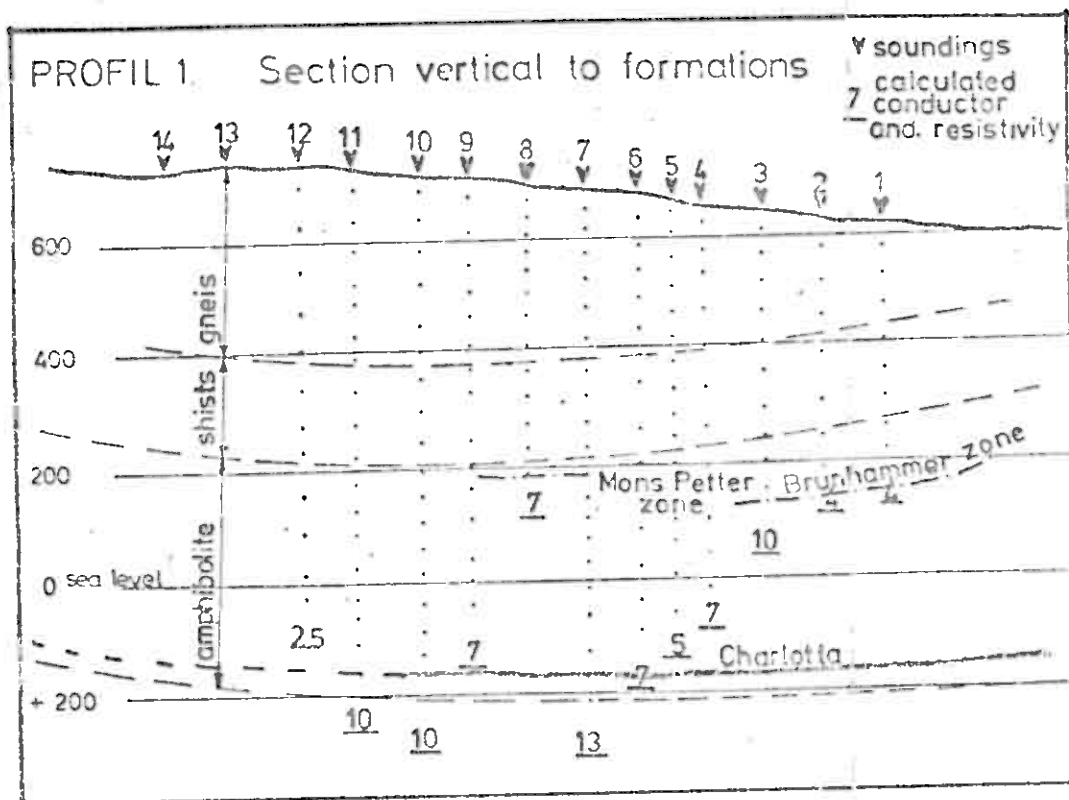


Fig. 6

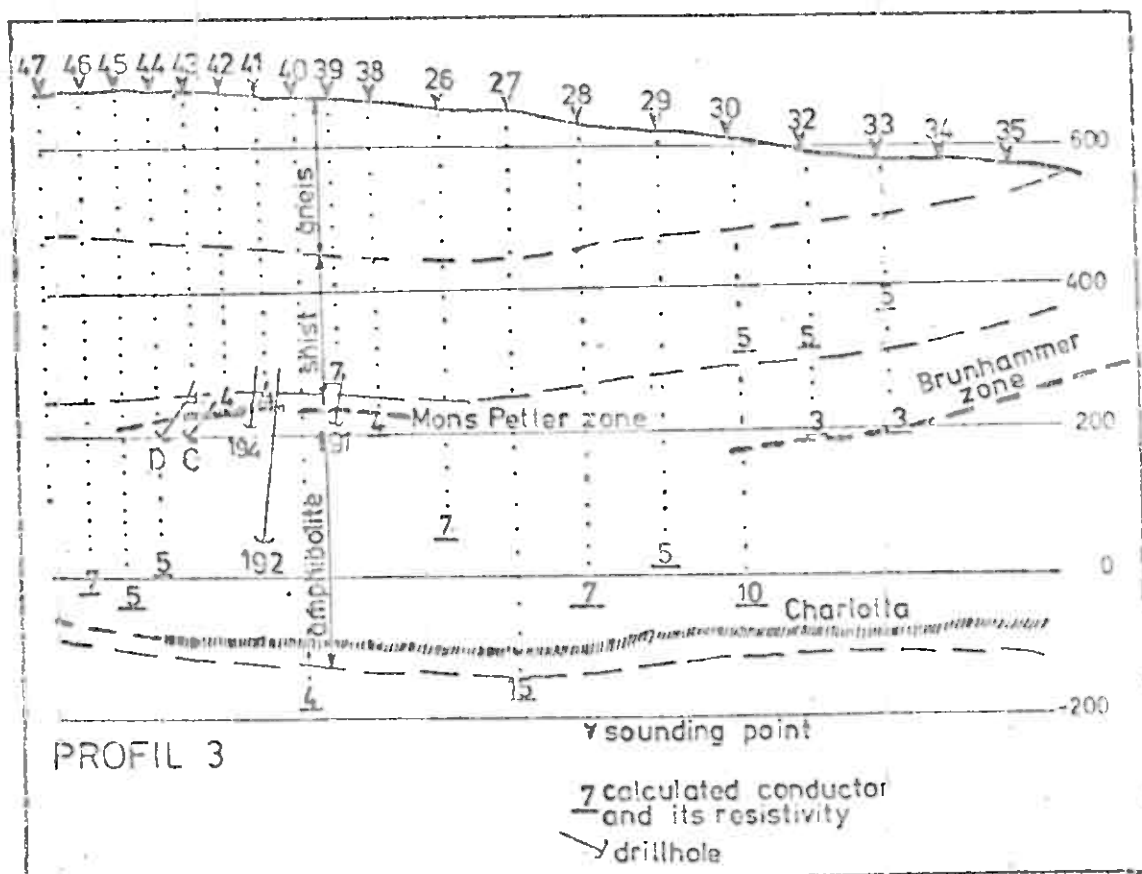


Fig. 7

Snittet gjennom profil 3 (fig. 7) 150 m lenger mot sydvest viser at Charlottasonen her delvis skjermes av potensiell Brunhammarsone og Mons Petter malmhorisont.

Å finne en fortsettelse av Mons Petter malmhorisont var et av hovedmålene ved siste års prospektering. Dårlege borchull og drifter fra tidligere år indikerte en grense mot nordøst.

Før de gode måleresultater drøftes, skal for fullstendighetens skyld testresultatene fra målingene over Mons Pettergruben sees på.

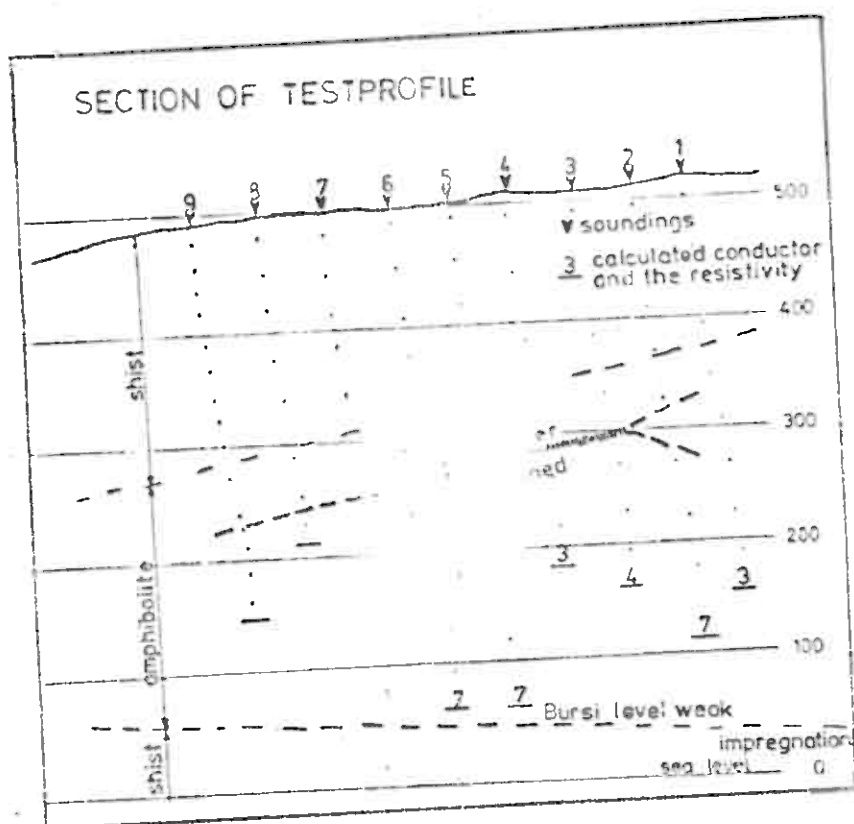


Fig. 8

Resultatene fra testprofilet over gruben viser dårlig overensstemmelse mellom nivå for gruben og anomaliene. Resultatene stammer fra målingene langs profilet da resultatene fra målingene langs aksene var mest forstyrret. Det står igjen omlag 30 % malm i gruben slik at det fremdeles er rimelig å betrakte gruben som en god leder. Dypet ned til forekomsten fra målestasjonene er ca. 250 m. En årsak til det dårlige måleresultat kan være høyopentledninger og en trafostasjon som går omtrent langs måleprofilet. Man vet at kraftledninger og elektriske doamantbormaskiner forstyrrer måling på alle frekvenser hvis disse er innenfor rekkevidde av ca. 250 m.

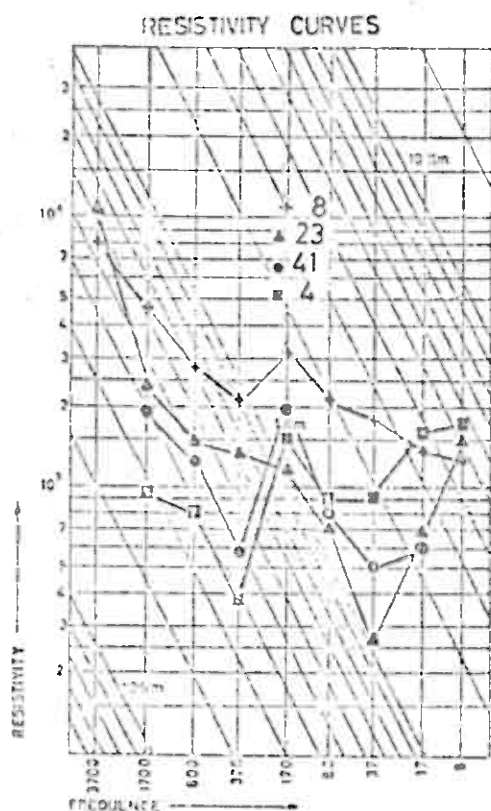


Fig. 9A

SECTION 2, along Mons Petter ore-axis.

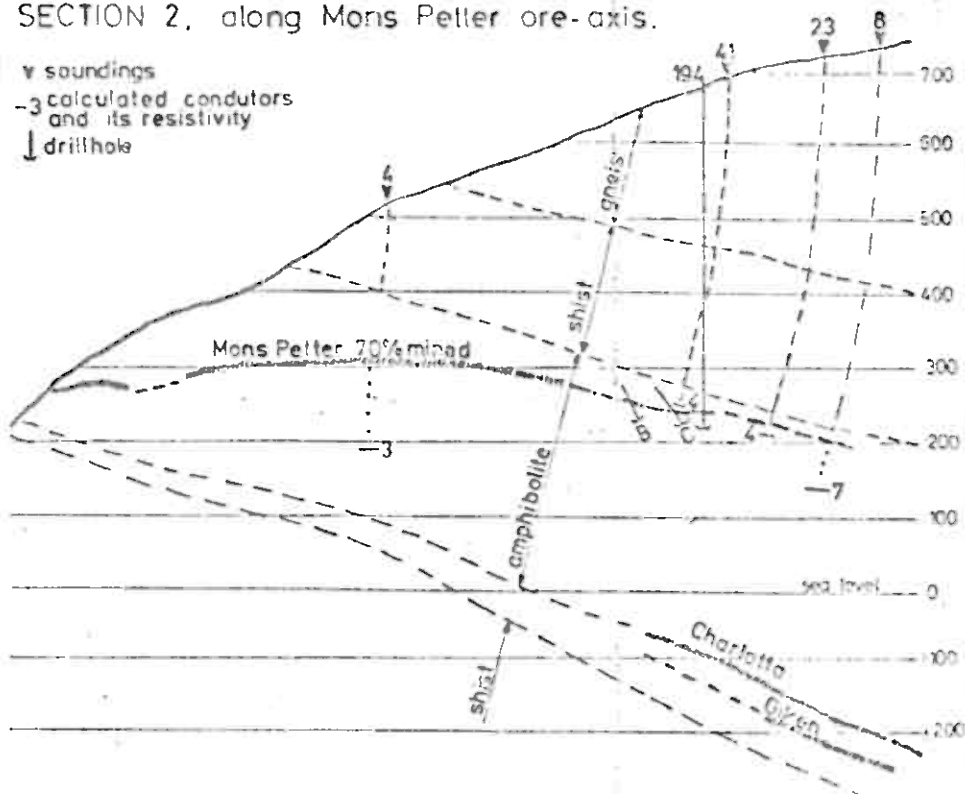


Fig. 9B

Fig. 9B viser et vertikalsnitt av Mons Petter langs dens nordøstlige akse. Motstandskurvene og flerskiktsmodelltolkningene viser at horisonten fortsetter mot nordøst. I deler av profilet er dette senere verifisert ved boring, og hullene 194 og B og C fra et hengstverrslag viser alle mektige og gode malmkvaliteter. Resultatene utdypes ved å se på måleresultatene i de enkelte måleprofiler (se fig. 10-11-12).

Resultatene i profil 3 kontrolleres ved en del borresultater. Se fig. 10A.

Borhull 194 og 192 viser marginal kobber mineralisering men svovelkisrike soner. Borhull 194 og hull c viser som tidligere nevnt god malm, mens hull 0 er tørt, og indikerer en grense. Det er ganske imponerende at denne grense også fremkommer fra de geofysiske resultater. Av rådataene representert ved motstandskurvene (fig. 10 b) ser en at en utenfor økonomisk malm får klart dypere anomalier på grunn av Charlottas innvirkning.

Resultatene fra profil 2, 150 m lenger mot nordøst viser at mineralisert horisont fortsetter (se fig. 11).

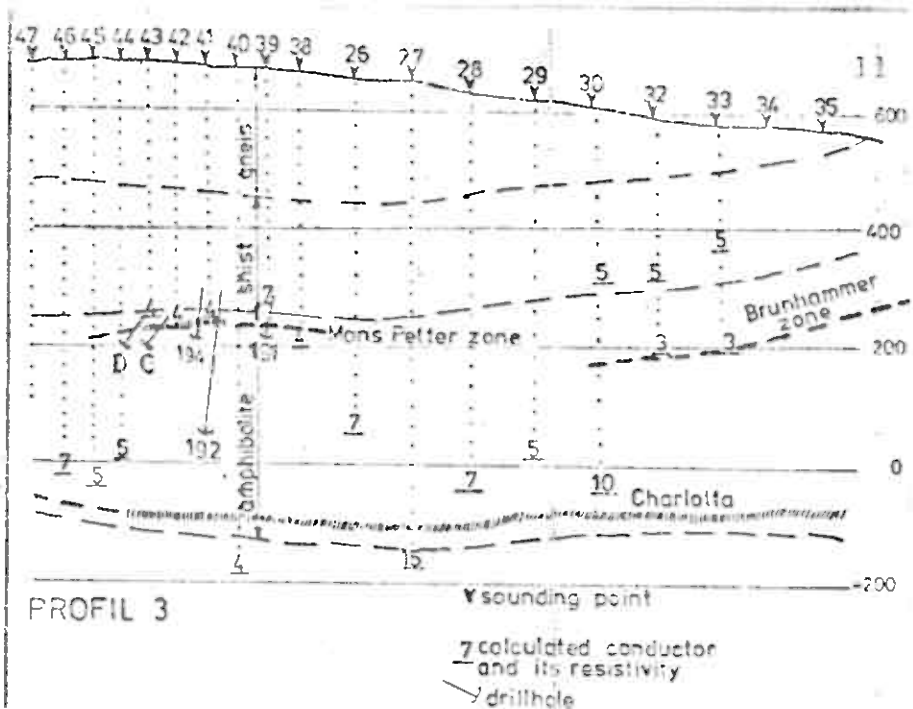
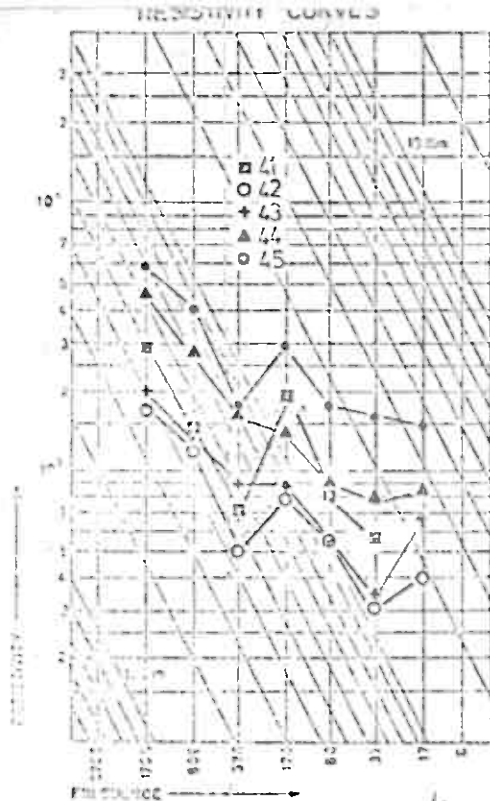
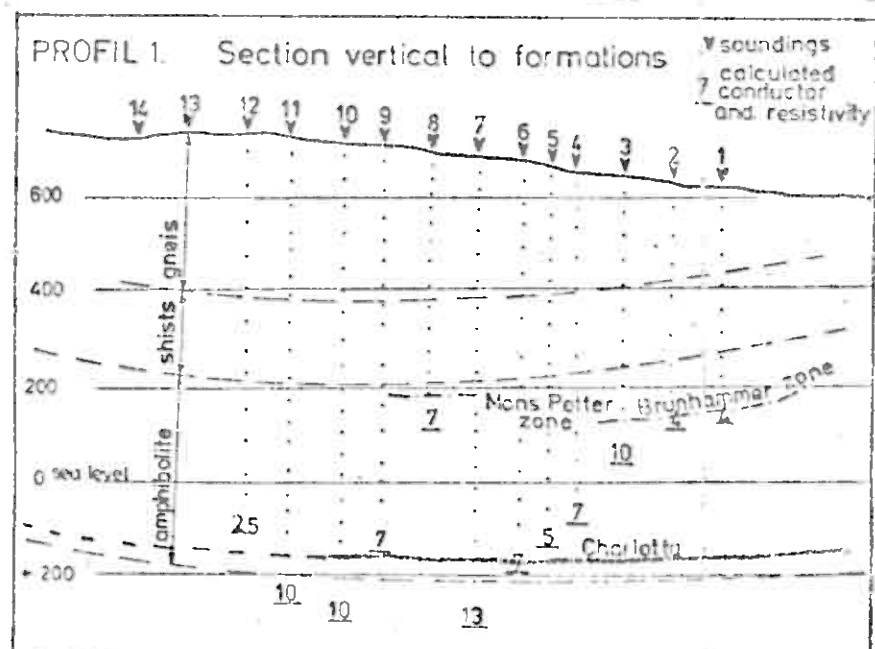
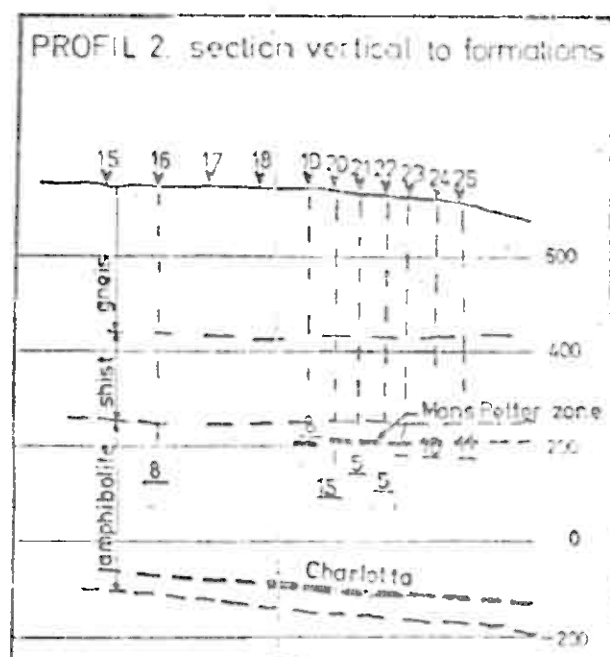


Fig. 11



Av fig. 12, profilet ca. 75 m lenger mot nordøst, ser en derimot at horisonten bare er indikert fra 1 målestasjon (se fig. 12).

Der er verdt å merke seg at stasjonsavstanden i profilet er 100 m mot tidligere stort sett 50 m. Denne ene anomali sett i relasjon til anomalier i foregående profiler synes imidlertid å indikere en grense for Mons Petter horisont mot nordøst.

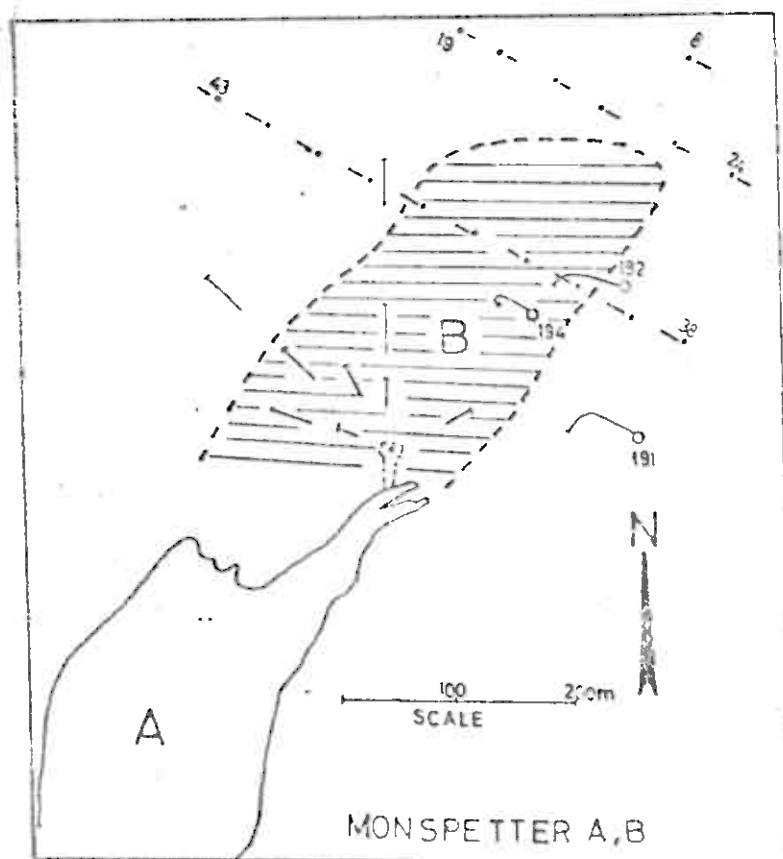


Fig. 13

På grunnlag av boring og måleresultatene er et omriss av ny Mons Petter malm trukket opp, se fig. 13. Arealet antas å representere ca. 1,7 mill. tonn god malm.

Konklusjon - perspektiver

Målingenes omfang er i minste laget for at sikre konklusjoner kan trekkes. For Sulitjelmas vedkommende synes imidlertid metoden å åpne nye perspektiver for relativt billig geofysisk dypmalmleting. Så fremt ikke grunne og skjermende ledere finnes, har man grunnlag for å si at malmhorisonter og deres omtrentlige grenser kan geofysisk indikeres ned til ca. 1000 m under dagen.

Norge er et land hvor store områder er lite undersøkt med hensyn til mineralske ressurser. Da disse områder forventes å være lite forstyrret av kraftledninger, A.M.-sendere og ledende overdekke, burde også den magnetotelluriske metode kunne anvendes for leting etter ikke ledende mineralske råstoffer.