

Rapport nr. 86.094

Kartlegging av løsmasseavsetninger
ved hjelp av geofysikk.
Sammenligning av forskjellige
elektriske- og elektromagnetiske
metoder for profilering og
dybdesondering.



Norges geologiske undersøkelse

Leiv Eirikssons vei 39, Postboks 3006, 7001 Trondheim - Tlf. (07) 92 16 11
Oslokontor, Drammensveien 230, Oslo 2 - Tlf. (02) 50 25 00

Rapport nr. 86.094	ISSN 0800-3416	Åpen/Forf. til xxxxxx	
Tittel: Kartlegging av løsmasseavsetninger ved hjelp av geofysikk. Sammenligning av forskjellige elektriske- og elektromagnetiske metoder for profilering og dybdesondering			
Forfatter: Jan Steinar Rønning Jan Fredrik Tønnesen		Oppdragsgiver: NGU	
Fylke: Nord-Trøndelag		Kommune: Steinkjer	
Kartbladnavn (M. 1:250 000) Trondheim		Kartbladnr. og -navn (M. 1:50 000) 1722 IV Stiklestad	
Forekomstens navn og koordinater: Henning 6286 70946		Sidetall: 36	Pris: kr. 110,-
		Kartbilag: 5	
Feltarbeid utført: 1984-1985	Rapportdato: 09.10.1986	Prosjektnr.: 2186.00	Prosjektleder: Jan S. Rønning
Sammendrag: <p>Rapporten meddeler resultater fra et prosjekt der nye og i Norge lite brukte teknikker for kartlegging av løsmasseavsetninger ble utprøvd. Det ble lagt hovedvekt på elektriske- og elektromagnetiske motstandsmålinger ved profilering og dybdesondering, men metoder som induert polarisasjon (IP) og selvpotensial (SP) ble også prøvd. I testområdet, Henning i Steinkjer kommune, har løsmassekartlegging påvist flere typer avsetninger og tidligere refraksjonsseismiske målinger viser tildels store løsmassemektheter.</p> <p>Utprøvingen har vist at profilering med Geonics EM31 er en hurtig og effektiv metode til å kartlegge laterale variasjoner i løsmassenes elektriske motstand. Metoden kan også under gunstige forhold bestemme mektigheten av et øvre lag. For mer detaljert studie av motstandsforholdene mot dypet er profilering med halv Schlumberger-konfigurasjon godt egnet. Av de utprøvd dybdesonderingsteknikker fremstår VES med Schlumberger-konfigurasjon som den mest anvendelige.</p>			
Emneord	Elektrisk måling	Fagrapport	
Geofysikk	Elektromagnetisk måling		
Bakkemåling	Løsmasse		

INNHOOLD

	Side
1. INNLEDNING	5
2. KONKLUSJONER	6
3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE	6
3.1. Generelt	6
3.2. Profilering	8
3.3. Dybdesondering	11
4. RESULTATER OG KOMMENTARER	13
4.1. Profilering	13
4.2. Dybdesondering	19
5. OPPSUMMERING OG DISKUSJON	22
5.1. Profilering	22
5.2. Dybdesondering	26
6. REFERANSER	30

TEKSTBILAG

- Bilag 1: Sammenligning av BGS og Schlumberger VES
 2: Sammenligning av Schlumberger og halv Schlumberger-
 konfigurasjon
 3: Sammenligning av IP og RP (Schlumberger) dybdesondering

KARTBILAG

- 86.094-01 Oversiktskart
 -02 Benyttede elektrodekonfigurasjoner

- 86.094-03 RP, VLF-R og APEX. Profil 2
- 04 RP, IP, SP, EM-31, VLF-R og APEX. Profil 3
- 05 RP. Sonderings/profileringskurve. Profil 3

1. INNLEDNING

Geofysisk kartlegging av løsmasseavsetninger har ved NGU tradisjonelt vært nær ensbetydende med refraksjonsseismikk. Det har vært gjort enkelte spredte forsøk på å kartlegge løsmassenes elektriske egenskaper, men denne siden av geofysikken har ikke blitt maksimalt utnyttet. For å øke NGUs kompetanse på dette felt, ble det i 1984 startet et prosjekt hvor nye og hittil lite brukte teknikker ble utprøvd. Hensikten var å finne frem til de metoder/teknikker som gav mest informasjon i forhold til kostnad ved utførelsen.

Primært ble det lagt vekt på å prøve utstyr som NGU allerede disponerte, men det ble også leid inn utstyr og kompetanse. Testområde, Henning i Steinkjer kommune, Nord-Trøndelag, ble valgt ut i samråd med kvartærgeologer (forskerne Harald Sveian og Helge Hugdahl). Kvartærgeologisk kartlegging har her påvist forskjellige typer avsetninger (Sveian 1986), og refraksjonsseismiske målinger har påvist tildels meget store løsmassemektheter (Tønnesen 1984 og 1985).

I denne rapporten blir de enkelte metodene for profilering og dybdesondering sammenlignet. Tolkning av måledata blir bare presentert i den grad sammenligning av metodene krever det. En fullstendig geologisk tolkning vil foreligge i en senere rapport. Resultater fra utprøving av et instrument for bestemmelse av løsmassenes resistivitet (Geonics EM-31) er presentert i tidligere rapport (Rønning & Tønnesen 1985). Forsøk med georadar i testområdet ble vurdert, men droppet på grunn av jevnt over lav elektrisk motstand i avsetningene.

2. KONKLUSJONER

Sammenligning av forskjellige teknikker for profilering har vist at Geonics EM-31 er en hurtig og effektiv metode til å kartlegge laterale dagnære endringer i elektrisk motstand. Metoden kan under gunstige forhold gi informasjon om mektighet av et øvre lag. For mer detaljert studie av motstandsforholdene mot dypet er RP-profilering med halv Schlumbergerkonfigurasjon godt egnet. Metoder som IP, SP, VLF-R og APEX-DDEM har vist seg lite anvendelig for løsmassekartlegging.

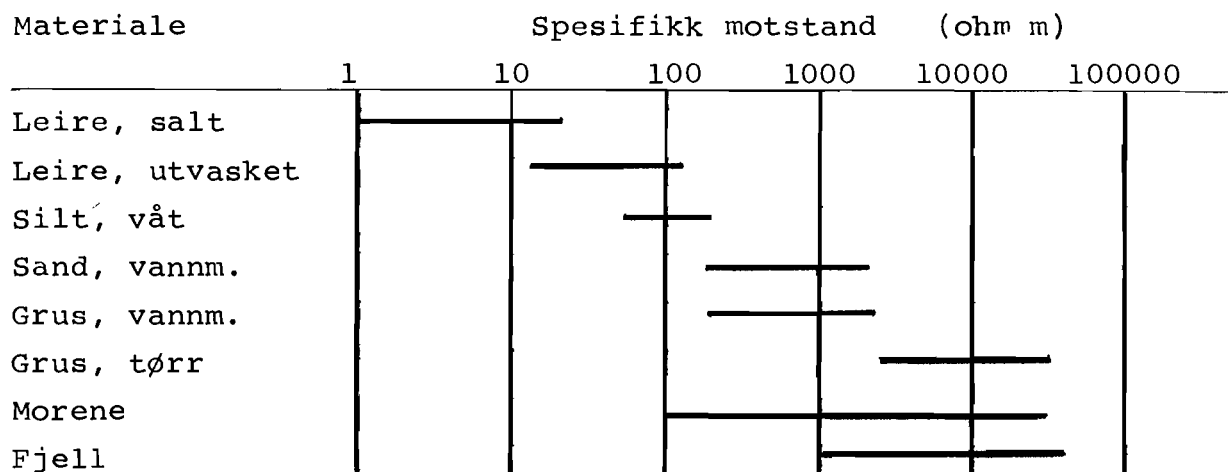
Av de utprøvde dybdesonderingsteknikker fremstår vertikale elektriske sonderinger med Schlumbergerkonfigurasjonen og refraksjonsseismikk som en god kombinasjon som utfyller hverandre. Begge metodene må betraktes som ressurskrevende. Vertikale elektriske sonderinger med BGS-kabel har vist tildels store feil og metoden må karakteriseres som upålitelig. RP-dybdesondering med halv Schlumberger er relativt rask, men mulighetene for kvantitativ tolkning er begrenset. IP-dybdesondering har ikke gitt informasjon ut over det RP gir, og målingene har delvis vært beheftet med støy. Til tross for store løsmassemektheter har Syscal EM ikke gitt pålitelig informasjon, og metoden synes lite aktuell for løsmassekartlegging.

3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

3.1. Generelt

Ved undersøkelsene på Henning ble forskjellige elektriske- og elektromagnetiske metoder prøvd både til profilering og til dybdesondering. En la hovedvekt på metoder som kartlegger elektrisk ledningsevne (elektrisk- og elektromagnetisk motstands-

måling), men metoder som IP (indusert polarisasjon) og SP (selv potensial) ble også forsøkt. Tabell 1 gir en oversikt over forskjellige geologiske materialers spesifikke motstand. IP og SP ble forsøkt for å se om disse metodene kunne gi tilleggsinformasjon. Det er rapportert at innblanding av leirmineraler i grovere materiale kan gi IP-effekt (se f.eks. Bodmer et. al 1968). SP kan gi anomalier i overgangen mellom materialer med forskjellig porøsitet (Lile 1983). De anvendte metodene er beskrevet i litteraturen, og i det følgende blir bare spesielle forhold som angår undersøkelsene på Henning beskrevet.



Tabell 1: Spesifikk motstand i noen geologiske materialer (Berger 1983).

3.2. Profilering

Ved profileringene ble det gjort forsøk med elektrisk motstandsmåling (RP, resistivity potential), induert polarisasjon (IP), selv potensial (SP) og elektromagnetiske motstandsmålinger som slingram og VLF-R (very low frequency resistivity).

3.2.1. Elektriske metoder

Ved RP-målingene ble det arbeidet med konfigurasjonene Wenner, pol/dipol og halv Schlumberger (se tegning 86.094-02). Strøm sendes i bakken ved hjelp av to strømelektroder A og B, og elektrisk potensialforskjell måles mellom potensialelektrode M og N. Ut fra målt potensialdifferens, målt strømstyrke og en geometrisk faktor bestemt av elektrodeplassingene kan undergrunnens elektriske motstand (ρ) beregnes. Ved homogene og isotrope forhold blir denne størrelsen lik materialets spesifikke motstand. I de aller fleste tilfeller har ikke undergrunnen homogene ledningsevneforhold, og den målte størrelsen blir en tilsynelatende motstand (ρ_a , apparent). Målingene ble hovedsakelig utført med ABEMs SAS 300 TERRAMETER. Instrumentets funksjonsmetode er beskrevet i brukermanual (ABEM 1980).

Ved kombinerte IP-RP-målinger ble NGUs selvbygde utrustning IP2 benyttet. Strøm ble sendt som firkantpulser med alternerende polaritet hvor både strøm- og dødtid var ca. 2 sekund. RP ble målt ved slutten av hver strømpuls, mens IP ble målt som summen av potensialene 0,21 og 1,8 sekund etter strømbrytning. Tilsynelatende motstand ble beregnet som tidligere beskrevet. IP-effekt ble beregnet som målt IP-signal i prosent av RP. Ved IP-RP-målingene ble konfigurasjonene pol/dipol og halv Schlumberger benyttet. Som strømelektroder ble det brukt jernspett, mens potensialene ble målt mellom upolariserbare Cu/CuSO₄-elektroder.

Konfigurasjonen halv Schlumberger slik den her ble brukt kan trenge en nærmere forklaring. Som det fremgår av tegning 86.094-02 benyttes en strømelektrode og to potensialelektroder i måleområdet, mens den andre strømelektroden er plassert i "uendelig". Ved å holde potensialelektrodeavstanden (a) konstant og flytte strømelektroden stegvis utover oppnås en dybdesondering. Ved å flytte hele utlegget og gjenta denne prosedyren får en kombinerte profilerings- og dybdesonderingsmålinger. De data som fremkommer kan da fremstilles som profilkurver for de forskjellige konfigurasjoner, sonderings-profilerings-kurver eller som pseudoseksjoner. Ved å flytte den ene strømelektroden stegvis utover på begge sider av potensialelektroden kan en fullstendig Schlumbergerdybdesondering og en gradient transformasjon beregnes (Karous & Pernu 1985).

SP-målinger ble utført delvis ved bruk av "terrameteret" og delvis ved NGUs selvbygde CSP1. Felles for disse målingene var at de ble utført som gradientmålinger med bruk av upolariserbare Cu/CuSO₄-elektroder.

3.2.2. Elektromagnetiske metoder

APEX DDEM (double dipol electromagnetic) er en liten slingramutrustning hvor sender og mottager er bygd sammen i en enhet. Instrumentet er spesiallaget for å kartlegge utgående av elektrisk ledende- og magnetiske malmkropper, men kan også benyttes til å kartlegge overdekkets ledningsevne (resistivitet). Tekniske spesifikasjoner, måleprinsipp og tolkningsmuligheter er beskrevet i brukermanual (APEX Parametrics). Instrumentet måler kontinuerlig, og viser i-fase og ut-av-fase komponent i p.p.m av primærfeltet. Dybderekkevidden er oppgitt til maksimum 22 meter, men i praksis har det vist seg at denne er langt mindre. Senderfrekvensen er 8 kHz, og instrumentets totale lengde er ca. 1,3 meter.

Slingramutrustningen Geonics EM-31 er spesialbygd for lateral kartlegging av løsmasseavsetninger, og instrumentet viser kontinuerlig en tilsynelatende ledningsevne i mS/m (mmho/m). Undergrunnens tilsynelatende motstand (ρ_a) uttrykt i ohmm kan beregnes ved å invertere denne størrelsen. Instrumentet ble leid inn for utprøving høsten 1985 og resultatene foreligger i egen rapport (Rønning & Tønnesen 1985). En utførlig beskrivelse av instrumentet og tolkningsprosedyrer er gitt i brukermanual (Geonics 1978). Dybderekkevidden for dette instrumentet er oppgitt til 6 meter, og med dette menes at en kan detektere laterale variasjoner i ledningsevnen på 6 meters dyp. Fiksert senderfrekvens (9.8 kHz) og spoleavstand (3.66 meter) gjør at mulighetene for dybdesonderinger er begrensede. Det kan imidlertid utføres geometriske dybdesonderinger enten ved å variere målehøyden over bakken, eller ved å måle tilsynelatende ledningsevne med stående og liggende sender/mottager-spoler (Geonics 1978).

Ved VLF-R målingene ble Geonics EM 16-R benyttet (Geonics 1972). Dette instrumentet benytter fjerntliggende militære radiostasjoner som energikilde hvor frekvensen ligger i området 15 til 30 kHz. Ved VLF-R måles potensialgradienten i bakken i retning mot senderen, og det horisontale magnetfeltet vinkelrett denne. Ved målingene beregnes tilsynelatende motstand ρ_a direkte i ohmm, og instrumentet viser i tillegg en størrelse ϕ som uttrykker faseforskjellen i grader mellom det elektriske og magnetiske feltet. Ved homogene forhold blir fasevinkelen lik 45° . Avvik fra dette indikerer lagdeling og hvis ϕ er mindre enn 45° er motstanden i lag 1 mindre enn i lag 2. ϕ større enn 45° indikerer det motsatte. En mer kvantitativ tolkning av tolagstilfelle er referert i brukermanual (Geonics 1972).

3.3. Dybdesondering

Ved utprøving av forskjellige dybdesonderingsmetoder ble det lagt hovedvekt på å sammenligne forskjellige teknikker for vertikale elektriske sonderinger (VES). Tradisjonelle Schlumberger-sonderinger ble sammenlignet med "offset Wenner" målt med BGS-kabel (Barker 1981) på i alt 12 punkter med varierende geologi. Det ble også foretatt en sammenligning av Schlumberger og halv Schlumberger (se forrige avsnitt). For å studere IP-effekt på løsmasser nærmere, ble det også foretatt tre IP-sonderinger med Schlumbergerkonfigurasjon. I tillegg til dette ble det på utvalgte punkter gjort forsøk med en elektromagnetisk dybdesonderingsteknikk (Syscal EM) ved innleie av kompetanse og utstyr fra NTH/SINTEF.

3.3.1. Elektriske metoder

Schlumberger VES er tradisjonelt den mest benyttede dybdesonderingsteknikk, og er beskrevet i en rekke bøker og publikasjoner (se f.eks. Pedersen 1978, Kofoed 1979, Berger 1983). En prinsippskisse av elektrodekonfigurasjonen er vist i tegning 86.094-02. Ved å flytte strømelektrode A og B stegvis utover oppnås stadig dypere strøminntrengning, og den beregnede tilsynelatende motstand vil i økende grad være påvirket av resistiviteten i dypereliggende lag. Etter hvert som avstanden AB øker reduseres potensialdifferensen mellom M og N, og signal/støyforholdet avtar. Dette problemet løses ved å øke avstanden mellom potensialelektrode (MN), men en innfører da en liten feil kalt "Wenner effekten" som er avhengig av elektrodegeometri og geologiske forhold. Det kan relativt lett korrigeres for denne effekt ved bruk av en publisert korreksjonskurve (Mundry, E. 1980). Laterale inhomogeniteter ved potensialelektrode kan avdekkes ved å la kurvesegmentene for hver av MN-verdiene få

overlapp på minst to punkter. Denne effekten korrigeres ved å heve eller senke hvert segment med en konstant verdi i et dobbellogaritmisk plott av a som funksjon av $AB/2$.

Ved BGS-kabel (Barker Ground Soundings) benyttes 5 elektroder for hver a -verdi. Ut fra målt resistivitet for to ordinære Wenner-utlegg kan en "offset" Wenner resistivitet beregnes, og ut fra denne beregnes ρ_a . Med denne prosedyren reduseres effekten laterale inhomogeniteter har på sonderingskurven. Andre fordeler med kabelsystemet er at det er mindre ressurskrevende, og det benyttes et relativt lite antall elektroder. Ved å måle resistiviteten for tre andre konfigurasjoner kan ρ_a for mellomliggende punkter og ρ_a for to punkter ut over høyeste målte ρ_a -verdi beregnes (Barker 1981). I tillegg kan systemet gi kvantitative størrelser for observasjonsfeil (E_{Obs}) og feil som skyldes laterale resistivitetsvariasjoner (E_{Off} og E_{lat}). Ved undersøkelser på Henning ble det benyttet en BGS-kabel bygd ved NGU. Ved målingene høsten 1984 ble det påvist tildels store feil ved dette kabelsystemet, og høsten 1985 ble denne kabelen sammenlignet med en kommersielt tilgjengelig kabel lånt inn fra NTH. Beregning av tilsynelatende motstand, observasjonsfeil og lateral feil ble utført med et program på HP-41CV (Rønning 1986).

For å vurdere muligheten til å benytte data fra halv Schlumberger-konfigurasjon til kvantitativ tolkning ble disse målingene sammenlignet med ordinær Schlumbergersondering.

3.3.2. Elektromagnetisk metode

En kort metodebeskrivelse og resultater fra elektromagnetiske dybdesonderinger (Syscal EM) foreligger i egen rapport (Elvebakk 1986).

4. RESULTATER OG KOMMENTARER

I det følgende blir resultater fra det geofysiske metodestudiet på Henning presentert og kommentert. Å referere alle data vil føre alt for langt, og det er derfor foretatt et utvalg av de mest interessante profilerings- og sonderingsdata.

4.1. Profilering

Profil 1 (se tegning 86.094-01) ble valgt ut for å kartlegge overgang fra morene til marint materiale (Sveian 1986). Langs profilet ble det målt RP med konfigurasjonene pol/dipol og halv Schlumberger, VLF-R og APEX-DDEM. RP-målingene viste nær konstant resistivitet i området 130-200 ohmm dagnært langs profilet. Sonderingsdata viser også relativt konstante resistiviteter i løsmassene mot dypet. Noen klar overgang til marine motstandsforhold kan ikke påvises, og ut fra målt resistivitet antas det å være morenemateriale langs hele profilet. På grunn av de relativt konstante motstandsforhold egner profilet seg lite for metodestudium, og måledata blir derfor ikke presentert.

Profil 2 (tegnning 86.094-01) starter i en grusavsetning, og ender opp ifølge kartlegging i marint materiale (leire og silt, Sveian 1986). Data fra RP-, VLF-R og APEX-målinger langs profilet er vist i tegning 86.094-03.

RP-målingene (Wenner $a=12,5$ m og pol/dipol $a=12,5$ m) viser klare og tilnærmet like anomalier på grusavsetningen. Relativt lav tilsynelatende motstand (ca. 400 ohmm) kan enten skyldes beskjednen mektighet eller mye finstoff. Dette kan avklares ved bruk av vertikale elektriske sonderinger. Wenner-målingene viser et uregelmessig forløp, noe som kan ha sammenheng med passering av laterale inhomogeniteter ved veg. Ifølge målingene

kiler grusavsetningen ut ved ca. koordinat 175. Syd for dette ligger resistiviteten i overkant av 100 ohmm, og dette kan synes noe høyt til å være leire/silt.

VLF-R-målingene langs profil 2 er ikke i samsvar med RP-målingene. Kurven for tilsynelatende motstand viser tilnærmet et forløp som RP-målingene, men tallverdiene er klart lavere, og kurven er mer uregelmessig. Fasevinkelen viser uregelmessigheter ved passering av veg ved koordinat 75. Størrelsen på denne er klart mindre enn 45° og ifølge brukermanual er da resistiviteten av det første laget lavere enn resistiviteten i lag nr. 2. Denne tolkningen er i overensstemmelse med at VLF-R ser løsmassene som en pakke, og at grusavsetningen bidrar i svært liten grad til den tilsynelatende motstand. Det kan derfor virke som om metoden har en for stor dybderekkevidde til effektivt å kunne kartlegge motstandsvariasjoner i løsmassene.

APEX-målingene i hoftehøyde langs profil 2 gir ikke markerte anomalier. En svak stigning i avlesningene mot stigende koordinat er i overensstemmelse med lavere resistivitet. I-fase-målingene (INØ) i markhøyde viser flere lokale anomalier som kan tilskrives i tur krysning av veg, krysning av vannrør (grunneier, personlig meddelelse) og krysning av avlingsveg. En generell stigning i måleverdiene mot lavere koordinat kunne tilskrives drift i instrumentet.

Profil 3 starter inne på samme grusavsetningen som profil 2, passerer et gjenfylt massetak og ender i marint materiale (leire/silt, Sveian 1986). Resultatene fra RP-, IP-, SP-, VLF-R, EM-31- og APEX-målinger er vist i tegning 86.094-04.

RP-målingene (pol/dipol $a=5$ m og $a=12,5$ m) og EM-31-målingene viser klare anomalier på grusavsetningen mellom koordinatene 75 og ca. 225. Nivåforskjeller mellom disse metodene kan tilskrives forskjellig dybderekkevidde, forskjellige fuktforhold under

måling og/eller systematiske forskjeller (Rønning & Tønnesen 1985). RP (pol/dipol $a=5$ m) gir klare anomalier på det gjenfylte massetaket mellom koordinatene 25 og 75. Detaljer vedrørende RP-målingene blir kommentert senere.

Måledata langs profil 3 avdekker relativt store motstandskontraster mellom grusavsetningen og det underliggende materiale. For to-lags-tilfelle med motstandskontrast større eller lik 10 og hvor en kjenner motstanden i lag nr. 2 kan tykkelsen av lag 1 lett beregnes ut fra EM-31-data (Geonics 1978, fig. 8). Tabell 2 viser resultatene av en slik beregning. Her er motstanden til lag nr. 2 satt lik 150 ohmm. Beregningene er utført for motstandskontrast på 10 og uendelig. Ut fra de elektriske målingene synes kontrasten å ligge mellom disse verdiene, og en sannsynlig tykkelse lik middelveiden av de to beregningene presenteres. Tolkningene forutsetter homogene motstandsforhold innenfor de to lagene. Noen fasit for denne tolkningen har en i skrivende stund ikke, men resultatene er i overensstemmelse med tolkning av VES ved koordinat 75.

Koord.	ROa (ohmm)	t11 (m)	t12 (m)	t13 (m)
100	535	>9	6.0	> <u>8</u>
-	550	>9	6.5	> <u>8</u>
125	550	>9	6.5	> <u>8</u>
-	500	8.0	5.5	6.8
150	440	6.5	4.7	5.6
-	375	4.0	3.8	3.9
175	370	3.8	3.7	3.7
-	280	3.0	2.5	2.8
200	230	1.8	1.7	1.8
-	180	0.8	0.7	0.8
225	150	0	0	0

Tabell 2: Beregnet tykkelse (t) av lag 1 ved profil 3.

t11 beregnet med motstandskontrast lik 10

t12 " " " lik uendelig

t13 er aritmetisk middel av t11 og t12.

VLF-R-målingene langs profilet viser en svak tendens til samme forløp som de elektriske- og EM-31-målingene, men anomalien er ikke klar nok til å kartlegge utbredelsen av grusforekomsten. Kurven for tilsynelatende motstand viser tildels kraftige forstyrrelser, spesielt i starten og ved koordinat 225. Den første skyldes trolig en for sterk respons på materialet i det gjenfylte massetaket (bl.a. bilvrak), men lokale kraftlinjer kan også være utslagsgivende. Forstyrrelsen ved koordinat 225 faller sammen med en kraftlinje. Også ved dette profilet er den målte fasevinkelen mindre enn 45° (ikke presentert), noe som indikerer at VLF-R-målingene ser løsmassene som ett lag og hvor fjell utgjør lag nr. 2.

APEX-målinger i hoftehøyde langs profil 3 gir ikke klare tolkbare anomalier. Et generelt høyere nivå både for i fase- og ut-av-fase komponent mot slutten av profilet er i samsvar med lavere

resistivitet her. I starten av profilet er det anomalier som kan tilskrives materialet i massetaket både for målingene i hoftehøyde og i markhøyde. I fase komponenten for målingene i markhøyde viser også ved dette profilet høyere verdier i den mest resistive del av profilet. I likhet med profil 2 ble det påvist drift i instrumentet som i det minste delvis forklarer dette forløpet. Lokale anomalier ved koordinat 250 faller sammen med tilsvarende anomalier ved motstandsmålingene, mens i-fase-anomali ved koordinat 225 er sammenfallende med VLF-R forstyrrelse. Det faktum at denne anomalien påvises bare i markhøyde kan ha sammenheng med at årsaken til forstyrrelsen ligger i bakken (vannrør?). Generelt kan en si at målinger med APEX-DDEM ikke har bidratt positivt til kartleggingen av løsmassene ved noen av de profilene instrumentet ble prøvd.

IP-målinger med pol/dipol-konfigurasjon ($a=12.5$ m) langs profil 3 gir ikke opplysninger som rent umiddelbart gir informasjon om de geologiske forhold. Anomali ved starten av profilet kan skyldes materialet i det gjenfylte massetaket. Noen tilfredsstillende forklaring til anomalier mellom koordinatene 200 og 275 kan ikke gis, men en vil bemerke at også motstandsmålingene har uregelmessigheter i dette området.

SP-målingene viser et lavnivå over grusforekomsten, og en markert stigning ved overgangen mellom grusavsetningen og det marine materialet (koordinat 225). Dette indikerer at SP kan benyttes til å fastlegge omrisset av grusforekomster. Profilet viser i tillegg uregelmessigheter over massetaket (koordinat 25 til 75).

Kombinert sonderings-profileringskurver ut fra halv Schlumberger-målinger ($a=5$ og 12.5 m) langs profil 3 er vist i tegning 86.094-05. Hvert kurvesegment representerer en potensialelektrodeplassing. Tilsynelatende motstand er plottet ved strøm-elektroden. Av praktiske årsaker utgjør 1 cm innenfor et segment 25 m, mens avstanden mellom segmentene er satt lik 10 m pr. cm.

Første punkt på hver av kurvene representerer pol/dipol-verdien, og en linje gjennom alle første punktene blir således identisk med pol/dipol-kurve presentert i tegning 86.094-04. På grunn av måten sonderings-profilerings-kurvene er plottet på, blir pol/dipol kurven noe lateralt forskjøvet ifølge vanlige plotterutiner (Lile & Kaspersen 1979). I det følgende blir det gitt en kvalitativ tolkning av sonderings-profileringsdata langs profil 3.

I starten av profilet ($a=5$ m) ligger motstanden dagnært i området 400-500 ohmm, noe som antyder relativt grovt materiale. Ved koordinat -50 faller kurven meget rask ned mot 160 ohmm, noe som indikerer tynt lag med grovt materiale over morene. Ved de påfølgende punktene indikeres at mektigheten av det grove materialet er betydelig større. I området -20 til 80 er kurvene forstyrret av det gjenfylte massetaket, og sikre tolkninger kan ikke gis. Det synes imidlertid klart at massetaket starter ved koordinat 10 og strekker seg mot koordinat 80. I området 80 til 200 indikeres et to-lags-tilfeller hvor lag nr. 1 har den høyeste resistivitet. Topplaget har en motstand i størrelsesorden 2000-3000 ohmm, noe som antyder godt sortert sand og grus. Mektigheten av dette laget synes å være størst i området 100 til 150. Fra ca. koordinat 150 til ca. koordinat 200 avtar mektigheten av sand/gruslaget gradvis. Noen sikker grense for avslutningen kan ikke angis, til det er den benyttede konfigurasjon for grov.

Sonderings-profilerings-kurvene for $a=12.5$ m gir anomalier på massetaket og på den uberørte sand-grusavsetningen. Forstyrrelser over massetaket gjør det vanskelig å tolke detaljer. I området 75 til ca. 200 indikeres en trelagsdeling hvor en sannsynlig lagfølge er sand/grus over morene med fast fjell som det tredje lag. På grunn av at konfigurasjonen er så grov, kan en si lite om sand/grusavsetningens mektighet. Uregelmessigheter på de tre siste kurvene skyldes trolig en lokal inhomogenitet ved ca. koordinat 250.

Av øvrige resultater kan det nevnes at IP (og RP) ble målt med halv Schlumbergerkonfigurasjon bl.a. langs profil 4. IP-verdiene for pol/dipol $a=12.5$ gav jevnt over verdier rundt 1%, men med enkelte usystematiske sprang opp mot 2 og 3%. For de øvrige konfigurasjonene (halv Schlumberger med $n=2$ til 8, se tegning 86.094-02) gav målingene hurtig skiftende verdier som åpenbart var feil. Årsaken til dette er ikke klarlagt.

4.2. Dybdesondering

Schlumberger VES er sammenlignet med "Barker Ground Soundings" ved i alt 12 punkter (se tegning 86.094-01). De geologiske forholdene har variert fra grovt sett tolagstilfelle med morene over fjell, via sand/grus over morene og fjell, til mer komplisert lagfølge (morene-leire-morene-fjell). Jevnt over har Schlumbergersonderingene gitt pålitelige data med sonderingskurver som lett lar seg tolke ved kurvetilpasning. BGS-målingene har i 4 tilfeller fulgt Schlumbergerkurvene relativt bra. I 4 tilfeller er det påvist mindre avvik, og da spesielt på de beregnede verdiene. Dette gir seg til kjenne ved at et beregnet punkt ofte kommer over kurven mellom to målte punkter mens neste kommer under den samme kurven. I de 4 siste tilfellene er det påvist store avvik mellom Schlumberger og BGS-kurvene, og feilene kan tilskrives BGS-målingene. Den samme BGS-kabelen ble benyttet ved grunnvannsundersøkelser for Sunndalsøra høsten 1984 (Rønning 1985), og en fikk tilsvarende erfaringer her. Ved flere av de 46 sonderingene som her ble utført, hadde en mindre avvik, og ved enkelte sonderinger var feilene så store at deler av sonderingen ikke kunne tolkes.

For å prøve å klarlegge hva som var årsak til feilene med NGUs BGS-kabel ble denne høsten 1985 sammenlignet med en kommersielt

tilgjengelig BGS-kabel lånt ved NTH. På dette tidspunkt hadde en på NGU avskrevet BGS-systemet, og istedet bygd et kabelsystem for strømelektrodene ved Schlumbergersondering. Disse tre kablene for VES ble prøvd på to forskjellige punkter, og målingene ble utført med ABEM SAS 300 terrameter med og uten strømforsterker (SAS 2000 BOOSTER, ABEM 1980). Resultatene fra disse undersøkelserne er presentert i bilag 1.

Sonderingene ved P5-125 uten Booster (Bilag 1 side 1) viser stort avvik ved starten av sonderingskurven mellom BGS- og Schlumbergermålingene. Årsaken til dette ligger i at Schlumberger ble målt høsten 1984 under "normale" fuktforhold, mens BGS-målingene høsten 1985 ble utført i en perioden med ekstremt mye regn. Dette har tydeligvis redusert motstanden i de øverste metrene til ca. halvparten. For AB/2 større enn 20 meter følger BGS-NTH med unntak av de to siste beregnede verdiene Schlumbergerkurven relativt bra, mens BGS-NGU synes å være feil. Denne effekten forsterkes ved bruk av strømforsterker (Bilag 1 side 1), og det fremgår også at BGS-NTH har fått uregelmessigheter. Det må her bemerkes at denne Schlumbergerkurven ikke er målt med strømforsterker.

Sonderingene ved P6-750 uten strømforsterker (Bilag 1 side 2) viser godt samsvar mellom alle tre kabelsystemene opp til AB/2 lik ca. 50 meter. Her forlater BGS-NTH de to andre, og er åpenbart feil. På samme måte som ved P5-125 forsterkes feilen ved bruk av strømforsterker. Ifølge beregningsdata er det en betydelig offsetfeil for $a=64$ m ($AB/2=98$ m), og laterale inhomogeniteter i undergrunnens resistivitet kan være årsak til avviket. Dette burde imidlertid også gitt visse uregelmessigheter på kurvene fra de to andre kabelsystemene. Det antydes derfor at feilen ligger i selve kabelsystemet. I overgangen mellom kablene og en venderboks benyttes en kontakt hvor avstanden mellom pinene er meget liten. Erfaring har vist at det er vanskelig å holde denne tørr, og en kan lett få overledning her. Ved

beregning av tilsynelatende motstand benyttes flere størrelser som hver for seg er forbundet med en viss usikkerhet. Ved addisjon/subtraksjon kan feilene lett forsterkes, og en kan få store feil. Det faktum at en i områder hvor geologien ut fra andre målinger er stabil, har fått negative verdier på enkelte Wenner-resistiviteter bygger opp under dette.

I bilag 2 er tilsynelatende motstand fra halv Schlumberger plottet sammen med tilsvarende data fra Schlumberger som funksjon av $AB/2$. Ved alle de fire tilfellene som her er presentert kommer responsen fra et lag tidligere (ved lavere $AB/2$ -verdi) for halv Schlumberger enn for Schlumberger. Under forutsetning av horisontal lagdeling burde disse to kurvene ifølge superposisjonsprinsippet være like (Karous & Pernu 1985), og en har da kunnet benytte tolkningsprogram for Schlumberger til kvantitativ tolkning av halv Schlumbergerdata. Resultatene presentert i bilag 2 viser imidlertid at dette ikke er mulig. Årsaken til avviket mellom de to nevnte konfigurasjonene ligger trolig i at fjernelektroden ved halv Schlumberger er plassert for nær potensialelektroden, dette til tross for at avstanden BN (se tegning 86.094-02) var større enn 700 meter.

I bilag 3 er tolkninger av IP- og RP-dybdesondering ved koordinat P3-300 vist. IP-sonderingen viser en trelagsdeling med en polariserbarhet på ca. 1,3% i første lag, 0,15% i lag nr. 2 og ca. 2,5% i lag nr. 3. RP-sonderingen viser tilsvarende lagdeling hvor spesifikk motstand i de tre lagene er henholdsvis 440, 140 og 4500 ohmm. I begge tilfeller tolkes de to første lagene som løsmasser, mens lag nr. 3 representerer fast fjell. To andre IP-sonderinger har vist tilsvarende forløp, men med et langt høyere støynivå. I disse tilfellene har IP ikke gitt informasjon ut over det RP gir. I tilfeller hvor det er tvil om et høymotstandslag ved RP-sondering representerer fastfjell eller ikke, kan IP muligens gi en avklaring.

Resultater fra elektromagnetiske dybdesonderinger (Syscal EM) foreligger i egen rapport (Elvebakk 1986).

5. OPPSUMMERING OG DISKUSJON

Som en oppsummering er de forskjellige profileringsteknikker sammenlignet i tabell 3, mens dybdesonderingsteknikkene er sammenlignet i tabell 4. Her gis også et anslag av ressursbehov (henholdsvis timeverk pr. km og timeverk for sondering ned til ca. 100 meter).

5.1. Profilering

RP-profilering med Wenner- og pol/dipol-konfigurasjon gir god lateral oppløsning, og en fordel med disse teknikkene er at elektrodegeometrien lett kan endres og tilpasses de lokale forhold. Ut fra enkle profileringer er det umulig å avgjøre om variasjoner i tilsynelatende motstand skyldes endringer lateralt eller i mektighet av enkelte lag. Den vertikale oppløsning er således begrenset. Dette kan kompenseres ved å profilere med forskjellige elektrodeavstander, eller en kan foreta vertikale elektriske sonderinger. Ved Wenner flyttes alle 4 elektrodene mens pol/dipol har en fast elektrode, og dette forklarer forskjellen i ressursbehovet. Motstandsmåling med halv Schlumberger-konfigurasjon hvor n varierer (se tegning 86.094-02) gir god lateral oppløsning og i tillegg verdifull informasjon om motstandsforholdene mot dypet. Metoden har vist uregelmessig forløp ved passering av gjenfylt massetak, men samtidig gitt informasjon som reduserer mulighetene for feiltolkning. Denne måleteknikken må betraktes som meget ressurskrevende, men samtidig gis det mye

informasjon. Mulighetene for kvantitativ tolkning er begrensede. Felles for RP-målinger er at de vanligvis ikke påvirkes av tekniske anlegg over bakken.

IP-profileringer har ikke gitt verdifull informasjon verken lateralt eller mot dypet. Dette betyr ikke at metodens anvendbarhet på løsmasser kan avskrives, da tidligere undersøkelser har vist at IP kan påvise innblanding av leirmineraler i grovere materiale (Bodmer et. al 1968). Målinger med halv Schlumberger-konfigurasjon gav hurtig vekslende og åpenbart feilverdier. Ved mye støy på IP-målinger er det lett å skylde på telluriske strømmer, men i dette tilfellet var reproduserbarheten i målingene meget bra, og en må søke andre feilkilder. Om feilene skyldes induksjon i kabelutleggene er uklart.

SP har gitt anomalier som faller sammen med overgang fra sand og grus til morene, altså i overgangen fra et porøst materiale til et mindre porøst materiale. Målemetoden kan i seg selv ikke si noe om materialtyper, og informasjonsverdien er liten. Da hjelper det lite at metoden er rask, og at den vanligvis ikke påvirkes av tekniske anlegg.

APEX-DDEM er en meget rask metode, men har ikke gitt verdifull informasjon ved utprøvingen. Ved målingene er det påvist drift som gjør at en ikke kan stole på det som blir målt, og i tillegg påvirkes instrumentet kraftig av tekniske anlegg. Metoden synes derfor lite egnet for kartlegging av forskjellige løsmasseavsetninger.

Metode	Horisontal oppløsning	Vertikal oppløsning	Forstyrrelse tekn. anlegg	Stasjons- intervall (m)	Ressursbehov (timeverk/km)
RP Wenner	+	-	+	12.5	6
RP pol/dipol	+	-	+	12.5	5
RP, halv Schlumberger	+	+	+	25	15-20 1)
IP pol/dipol	-	-	+	25	9
IP, halv Schlumberger	-	-	?	25	30 2)
SP	-	-	+?	12.5	2
APEX-DDEM	-	-	-	12.5	1
VLf-R	-	-	-	12.5	4
EM-31	+	(+)	+ -	12.5	1
Seismikk	+	+	+ -	10	20 3)

Tabell 3: Sammenligning av forskjellige profileringsmetoder.

- 1) Avhengig av antall målte verdier
- 2) RP måles samtidig
- 3) Avhenger av dybdeforhold

VLF-R-målinger gav ikke signifikante anomalier på en grusavsetning slik RP- og EM-31-målingene gjorde. Dette skyldes trolig et samspill mellom metodens dybderekkevidde og de geologiske forhold. Skinndypet for VLF ligger i størrelsesorden 60 meter for de rådende geologiske forhold, gruslagets mektighet synes å være ca. 8 meter, og løsmassenes totale mektighet er ca. 40 meter (Tønnesen 1985). Ut fra de oppnådde resultater synes også VLF-R lite aktuell til kartlegging av horisontale utkilende avsetninger.

Resultater av utprøvingen av EM-31 var så positive at instrumentet ble anbefalt kjøpt inn av NGU (Rønning & Tønnesen 1985). I tillegg til god lateral oppløsning kan en ved tolagstilfeller og store motstandskontraster få et begrep om mektighet av det øverste laget. Sammenlignet med andre aktuelle profileringssteknikker er EM-31 klart den raskeste. Instrumentet påvirkes ikke av kraftlinjer, men gir anomalier på vannrør, gjerder o.l. Mulighetene til dybdesonderinger er begrensede da både spoleavstand og senderfrekvens er fiksert. En kan imidlertid foreta geometriske dybdesonderinger ved enten å måle i forskjellig høyde over bakken eller ved å måle med vertikale og horisontale spoler.

Selv om refraksjonsseismikk ikke inngår som en del av utprøvningsprosjektet på Henning er likevel metoden tatt med for sammenligningens skyld. Metoden gir god horisontal og vertikal oppløsning, men generelt kan en si at detaljrikdommen er mindre enn ved sammenlignbare RP-målinger. Elektriske kraftlinjer forstyrrer vanligvis ikke målingene, men derimot kan akustiske forstyrrelser være et problem (tungtransport, steinknuser o.l.). Ressursbehovet må karakteriseres som høyt.

5.2. Dybdesondering

I tabell 4 er forskjellige dybdesonderingsteknikker sammenlignet. RP Schlumberger har i alle tilfeller som her rapporteres gitt pålitelige og tolkbare resultater. Ved RP Barker er det ofte påvist feil, spesielt ved beregnede verdier, og metodens pålitelighet er sterkt redusert. I prinsippet gir Barker VES mer informasjon om laterale variasjoner og eventuelle observasjonsfeil, men dette hjelper lite når en ikke kan stole på disse data.

Ved NGU finnes tolkningsprogram for Schlumberger VES, men ikke for Barker VES som er en Wenner-konfigurasjon. Wennerdata kan lett transformeres til Schlumberger (Mundry 1980), men dette gir en del merarbeid. Tolkning av VES er imidlertid ikke entydig, og dette har sammenheng med flere forhold (Pedersen 1978). Tilgjengelige tolkningsprogram forutsetter horisontal lagdeling, og homogen og isotrop motstand innenfor hvert lag. Selv om disse forutsetninger er oppfylt, vil ekvivalens- og suppresjonsprinsippet ikke gi entydige tolkninger. Videre vil hurtige vekslinger i motstandsforholdene som ikke lar seg detektere ved målinger på bakken, gi opphav til feiltolkninger spesielt i dybdeangivelsene.

RP-sonderinger forstyrres vanligvis ikke av tekniske anlegg over bakken. Størrelsen på utleggene (lengden) kan imidlertid være et problem. Som det fremgår av tabell 3 er Schlumberger mer ressurskrevende enn Barker. Tabellen gir imidlertid et uheldig bilde av ressursforbruket. Data som her er presentert gjelder utlegg som tilsvarer $AB/2$ lik 300 meter. Ved Barker VES er de to siste verdiene beregnet og erfaringen har vist at en ikke kan stole på disse. I praksis tilsvarer derfor dette utlegget $AB/2$ lik 150 meter. Ressursforbruket ved Schlumberger gjelder målinger uten kabelsystem for strømlektroder. Dette kabelsystemet kan redusere tidsforbruket noe, men de største fordelene ligger i kvaliteten av data. Med kabel blir avstanden ut til de enkelte strømlektroder eksakt bestemt, mens en tidligere ofte benyttet

seg av skritting for avstander ut over 30 meter til hver side. Kabelen gir mulighet til overlapp på flere punkter ved skifte av potensialelektrodeavstand, og laterale variasjoner i motstandsforholdene kan lettere avdekkes. I tillegg til dette kommer at med bruk av kabel kan sonderinger utføres av en mann, men to mann vil være det ideelle.

Ved den prosedyre som ble benyttet ved RP halv Schlumberger på Henning kan hvert målepunkt betraktes som en vertikal sondering. Ressursbehovet er klart mindre, og størrelsen på utlegget er også mindre enn ved Schlumberger. Mulighetene for kvantitative tolkninger er imidlertid begrenset da tolkningsprogram for Schlumbergerkonfigurasjon ikke kan benyttes (jfr. diskusjon avsnitt 4.2).

IP-sonderinger med Schlumbergerkonfigurasjon har delvis gitt mye støy, og metoden har ikke gitt informasjon ut over det RP-sonderinger har gitt. Også ved IP kan flere modeller tilpasses måledata ved kurvetilpasning, og tolkningen er ikke entydig. Ved IP er signalene som måles ca. 1% av RP-signalene, og en kan ikke se bort fra induksjonsstrømmer i kabelutlegg som en feilkilde. Størrelsen på utleggene er det samme som ved RP-sondering, men ressursbehovet er noe større på grunn av at IP-målinger kommer i tillegg til RP-måling.

Elektromagnetiske dybdesonderinger (Syscal EM) har ikke gitt pålitelig informasjon om løsmassens type og mektighet (Elvebakk 1986). Målingene indikerer at en ikke har høye nok frekvenser til å detektere motstandsvariasjoner i løsmassene, og metoden synes ikke å være egnet for løsmassekartlegging.

Seismikk gir vanligvis pålitelige data. Tolkningen kan imidlertid være usikker, noe som har sammenheng med skjulte sjikt, blindsoner og for stor geofonavstand (Hillestad 1970). Forhold som virker forstyrrende på seismiske målinger er nevnt tidligere.

Metode	Pålitelighet	Entydig tolkning	Forstyrrelser tekn. anlegg	Størrelse på utlegg	Ressursbehov (timeverk) 1)
RP. Schlumberger	+	-	+	-	4
RP, Barker	-	-	+	-	1.5
RP, halv Schlumberger	+	-	+	+	0.5
IP, Schlumberger	-	-	?	-	5 2)
Syscal EM	-	-	-	+	3 3)
Seismikk	+	-	+ -	-	6

Tabell 4: Sammenligning av forskjellige dybdesonderingsmetoder.

1) Gjelder sondering ned til 100 m

2) Gir både IP- og RP-sondering

3) Målt 3 Roa-verdier for 12 frekvenser

Ressursbehovet for en sondering ned til 100 meter er noe større enn ved RP-Schlumberger, men til gjengjeld er usikkerheten i dybdeangivelsene langt mindre.

Som tidligere nevnt vil en fullstendig tolkning av data fra Henning bli fremlagt i en egen rapport. En foreløpig tolkning av data har vist at metodene RP med Schlumbergerkonfigurasjon og refraksjonsseismikk utfyller hverandre på en utmerket måte. RP-sonderinger har påvist et lag av leire under morenemateriale noe som seismikk ikke kan detektere (skjult sjikt). Dette har i ett tilfelle redusert dypet til fjell fra ca. 130 meter til ca. 100 meter (Tønnesen 1985). Under dette leirlaget har en måttet legge et nytt morenelag for at tolkningen av elektriske sonderinger skal være i samsvar med den forbedrede seismikktolkningen. Om denne modellen er riktig gjenstår å se, men det synes klart at en samtolkning av VES og seismikk øker detaljinformasjonen og sikkerheten i tolkningene.

Trondheim, 9. oktober 1986
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
Geofysisk avdeling


Jan Steinar Rønning
forsker

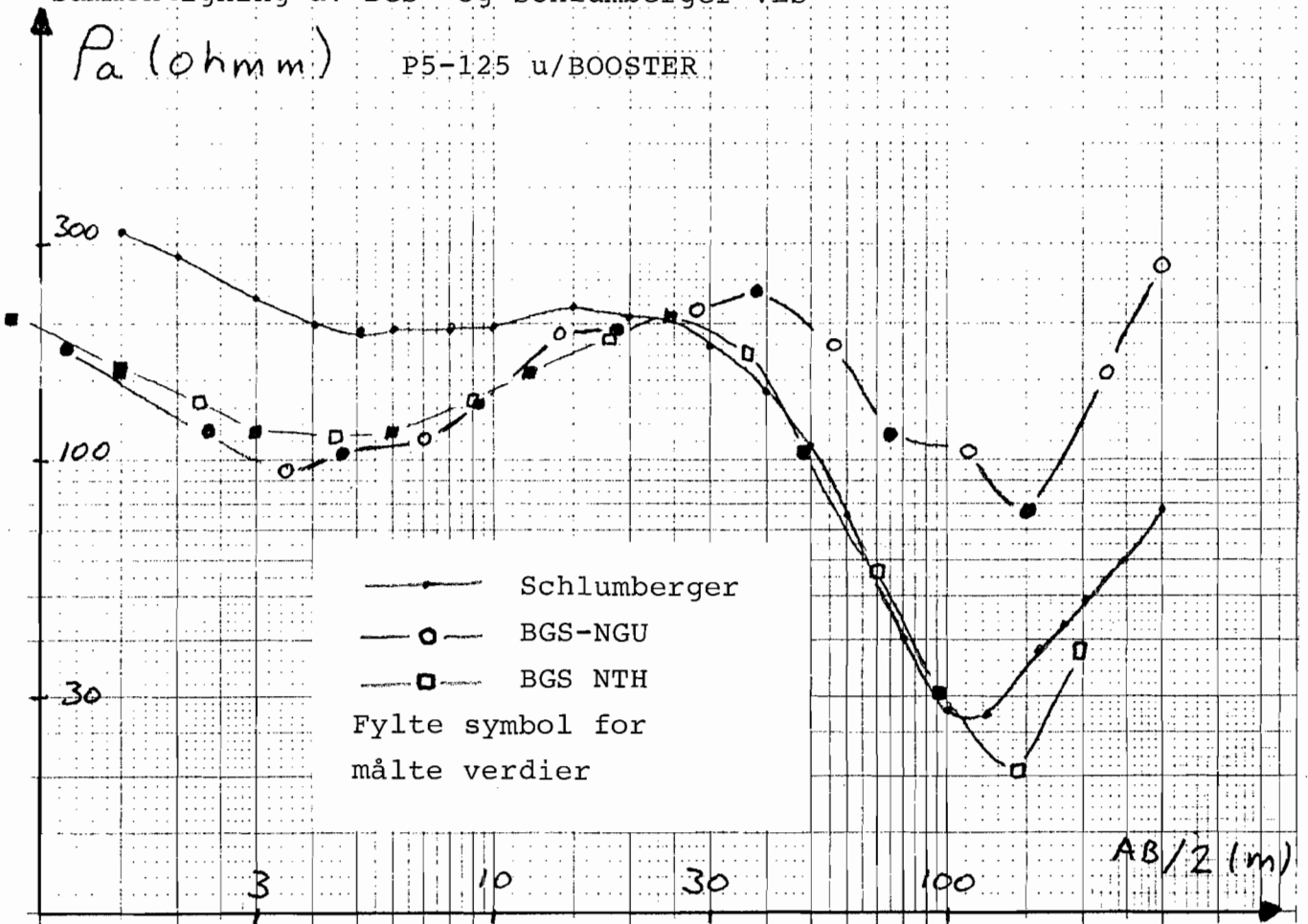

Jan Fredrik Tønnesen
forsker

6. REFERANSER

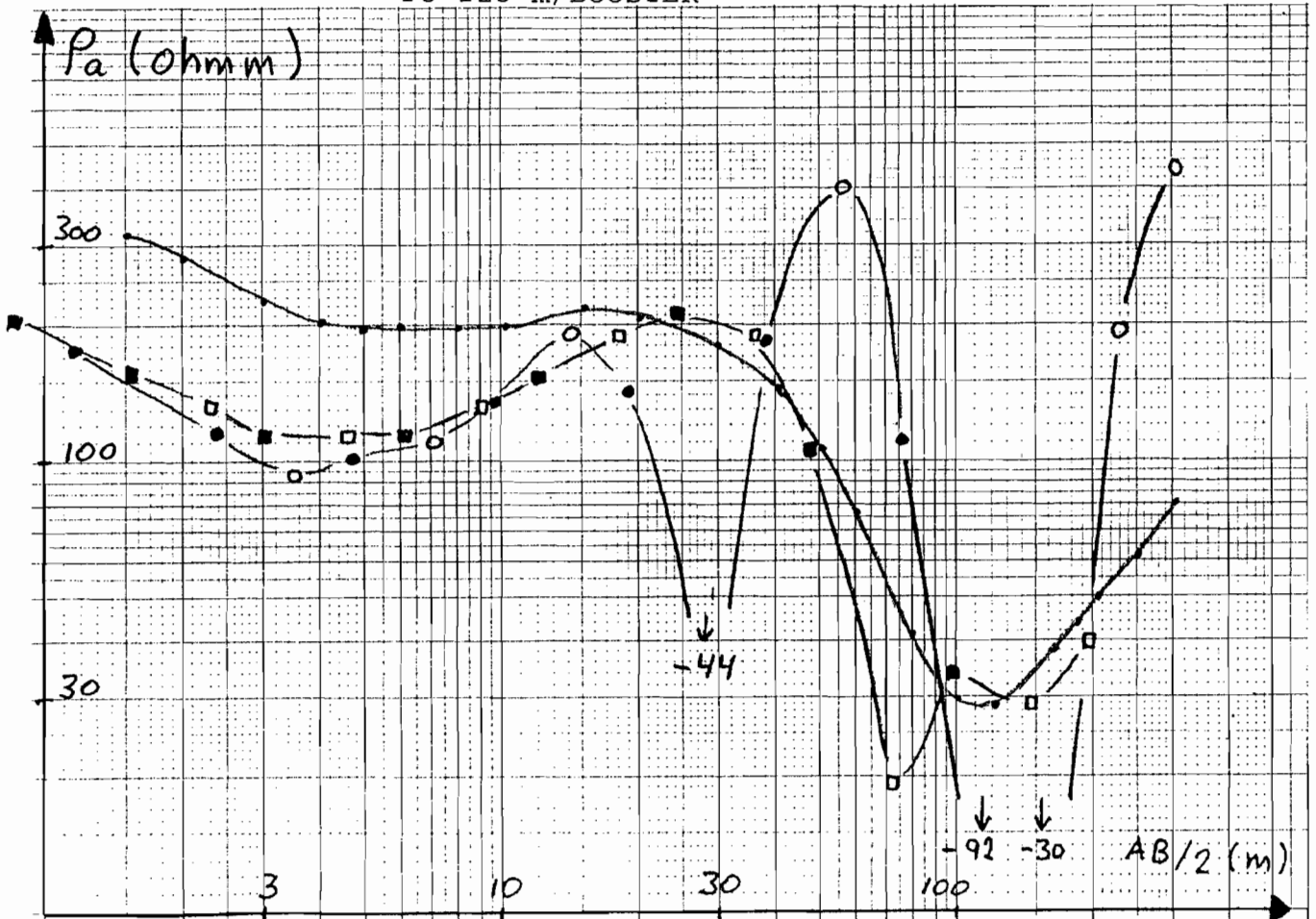
- ABEM 1980: ABEM TERRAMETER SAS SYSTEM. Atlas Copco, Bromma, Sweden.
- APEX Parametrics: Apex Double-Dipole EM Survey Unit. Operating Instructions Manual. APEX Parametrics, Ontario, Canada.
- Barker 1980: The Offset System of Electrical Resistivity sounding and its Use with a Multicore Cable. Geophysical Prospecting 29.1 (p. 128-143).
- Berger 1983: Geofysiske metoder anvendt i ingeniørgeologiske undersøkelser. Dr.ing. avhandling, NTH.
- Bodmer et. al 1968: On Induced Electrical Polarization and Ground Water. Geophysics vol. 33.5 (p. 805-821).
- Elvebakk 1986: Elektromagnetisk dybdesondering, EM SYSCAL. Henning, Nord-Trøndelag, UiT-NTH. Rapport nr. 86.M.04.
- Geonics 1972: EM 16R. Direct Reading Ground Resistivity Meter. Geonics Limited, Ontario, Canada.
- Geonics 1978: EM-31. Operating manual. Geonics Limited, Ontario, Canada.
- Hillestad 1970: Seismikk. Kompendium i Anvendt Geofysikk, NTH.
- Karous & Pernu 1985: Combined Sounding-Profiling Resistivity Measurements with the Three-Electrode Arrays. Geophysical Prospecting 33.3 (p. 447-459).
- Kofoed 1979: Geosounding Principles, 1. Resistivity Sounding Measurements. Elsevier, Amsterdam.
- Lile 1983: Elektriske metoder. Samling av materiale fra forelesninger i Innføring i anvendt geofysikk ved NTH.
- Lile & Kaspersen 1979: Elektriske metoder. Kompendium i Anvendt geofysikk, NTH.
- Mundry 1980: The effect of a finite distance between potential electrodes on Schlumberger resistivity measurements - A simple correction graph. Geophysics vol. 45.12 (p. 1872-1875).
- Pedersen 1978: Vertikal elektrisk sondering (VES). Schlumbergers metode anvendt på norske grunnforhold. Hovedoppgave ved UiO.

- Rønning 1985: Vertikale elektriske sonderinger og SP-målinger på SJØLANDØRA, Sunndal, Møre og Romsdal. NGU rapport 85.012.
- Rønning 1986: Program for beregning av BGS-data på HP-41CV. NGU rapport 86.090.
- Rønning & Tønnesen 1985: Kartlegging av løsmasser ved hjelp av geofysikk. Utprøving av EM-31. NGU rapport 85.199.
- Sveian 1985: HENNING CUV 139140-20. Kvartærgeologisk kart. Norges geologiske undersøkelse.
- Tønnesen 1984: Seismiske målinger på land innenfor kartbladene STIKLESTAD og STEINKJER i 1982. NGU rapport 84.130.
- Tønnesen 1985: Seismiske målinger og elektriske sonderinger innenfor kartbladene 1722 IV Stiklestad og 1723 III Steinkjer i 1983. NGU rapport 85.198.

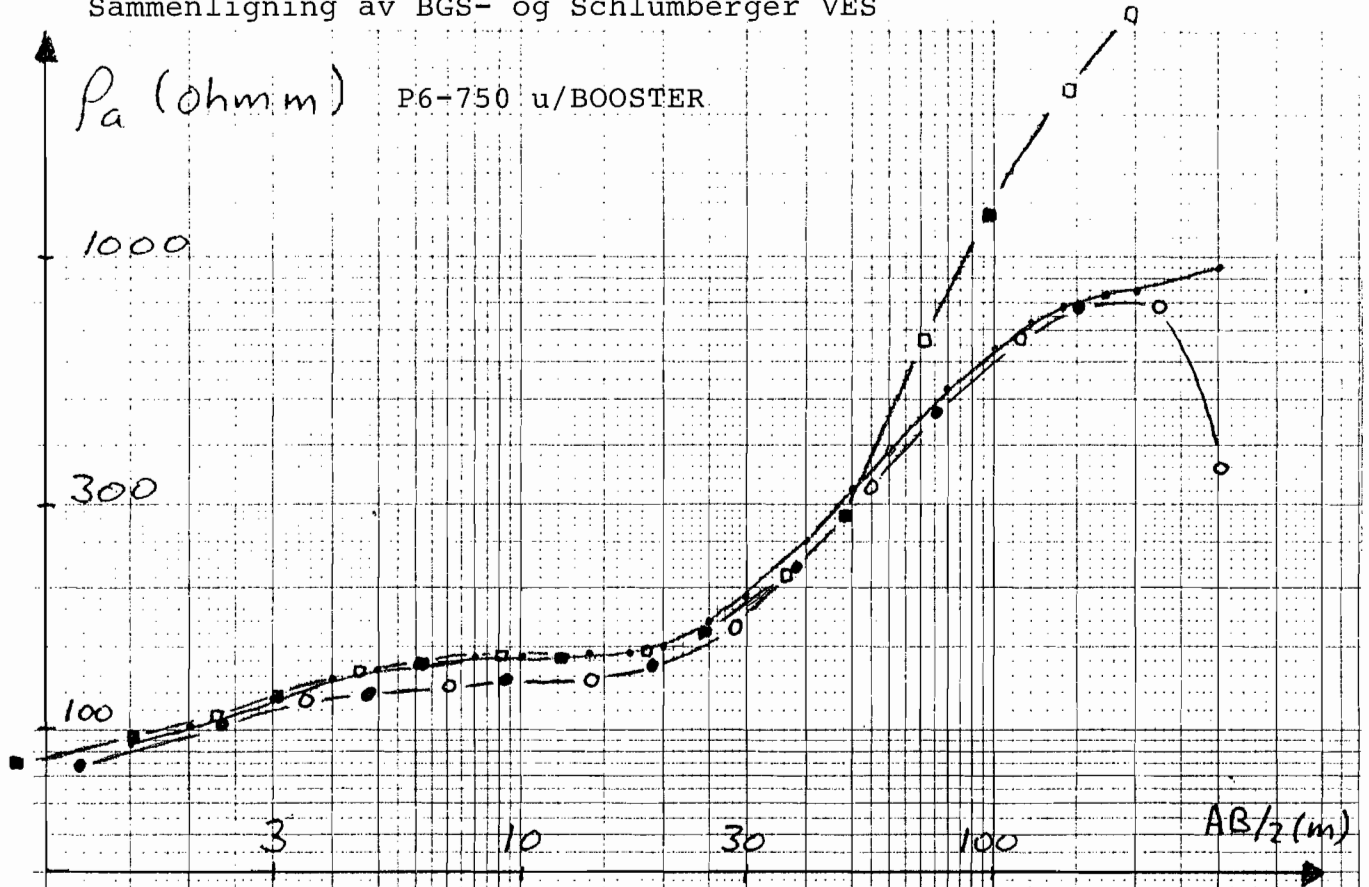
Sammenligning av BGS- og Schlumberger VES



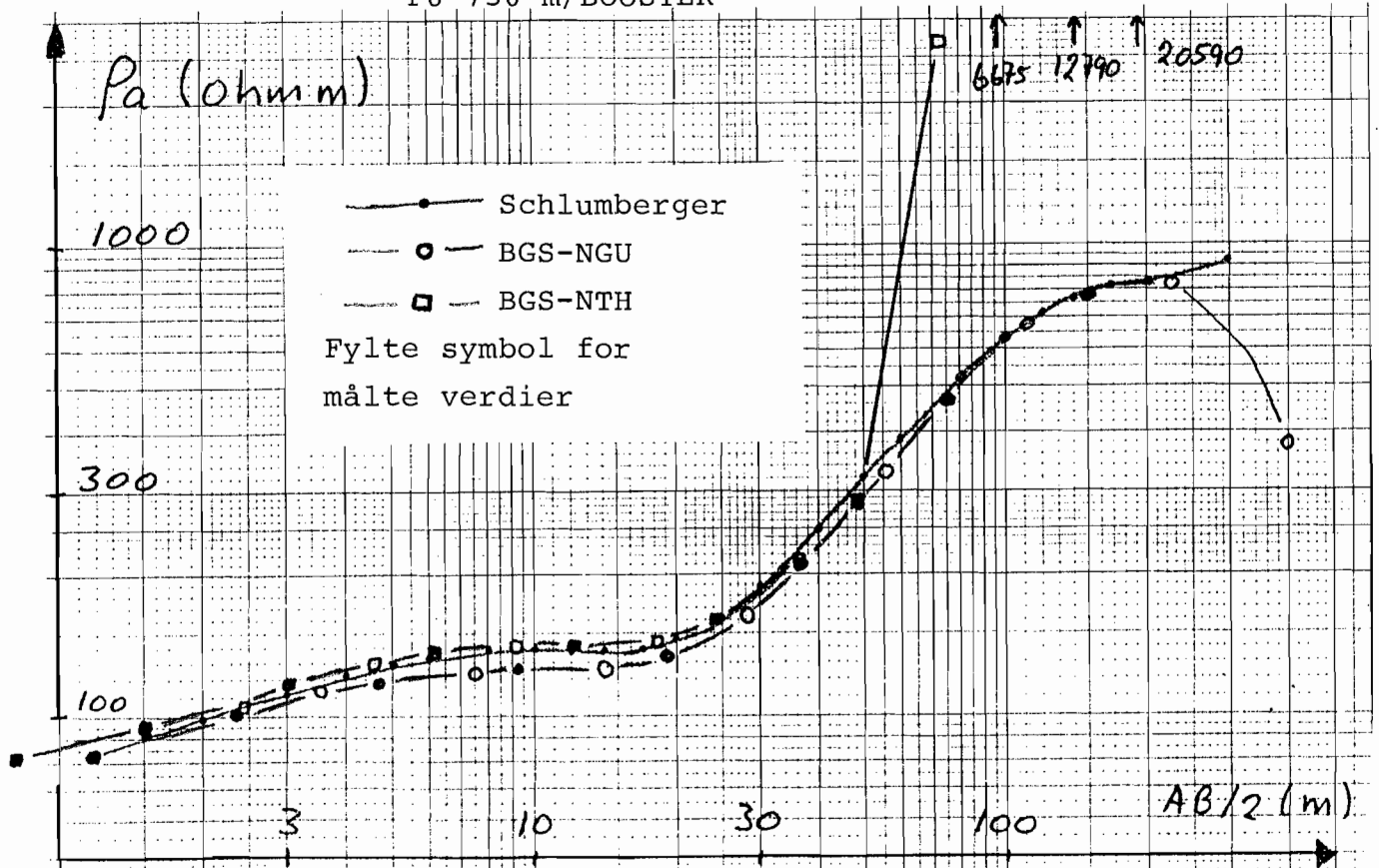
P5-125 m/BOOSTER



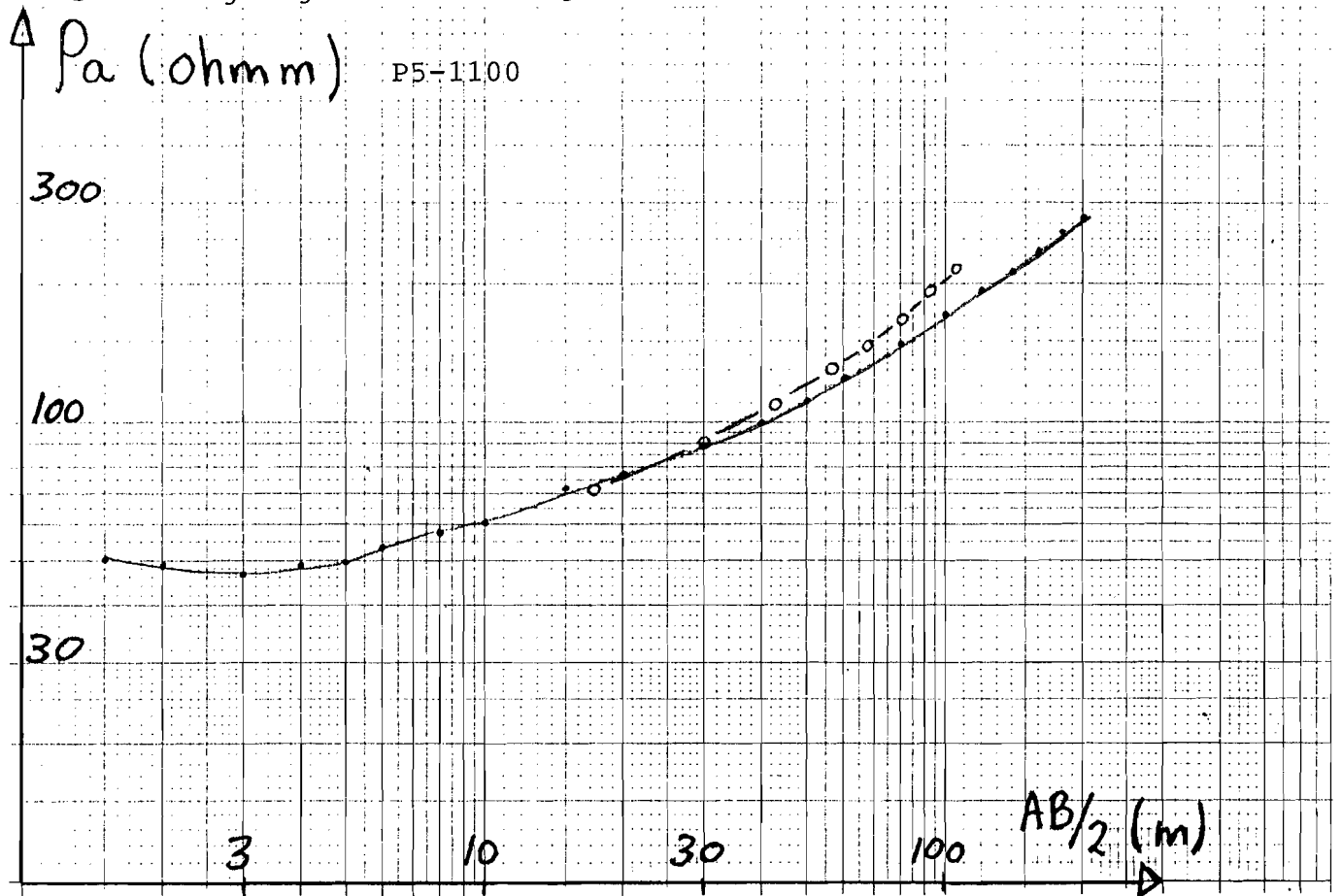
Sammenligning av BGS- og Schlumberger VES



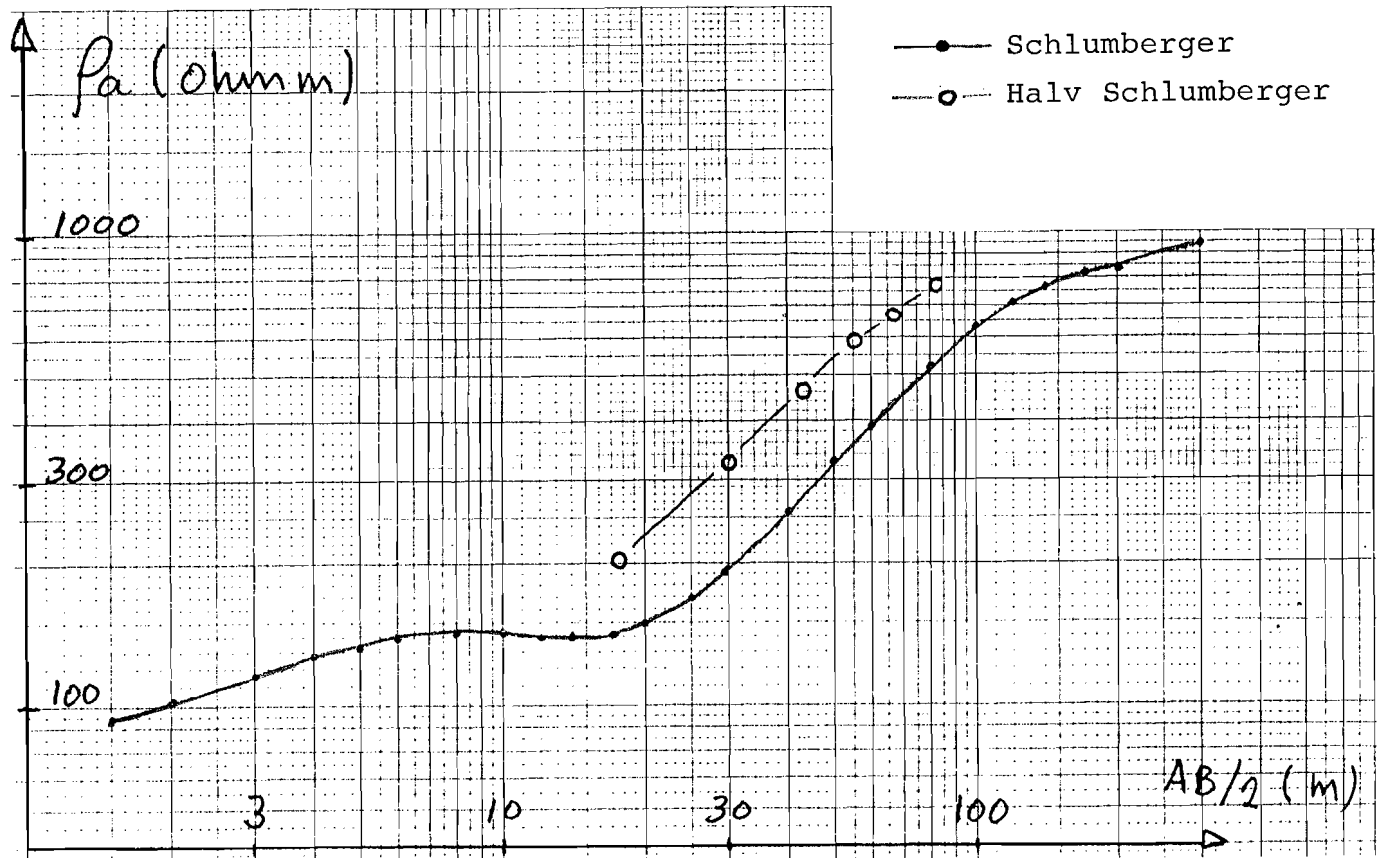
P6-750 m/BOOSTER



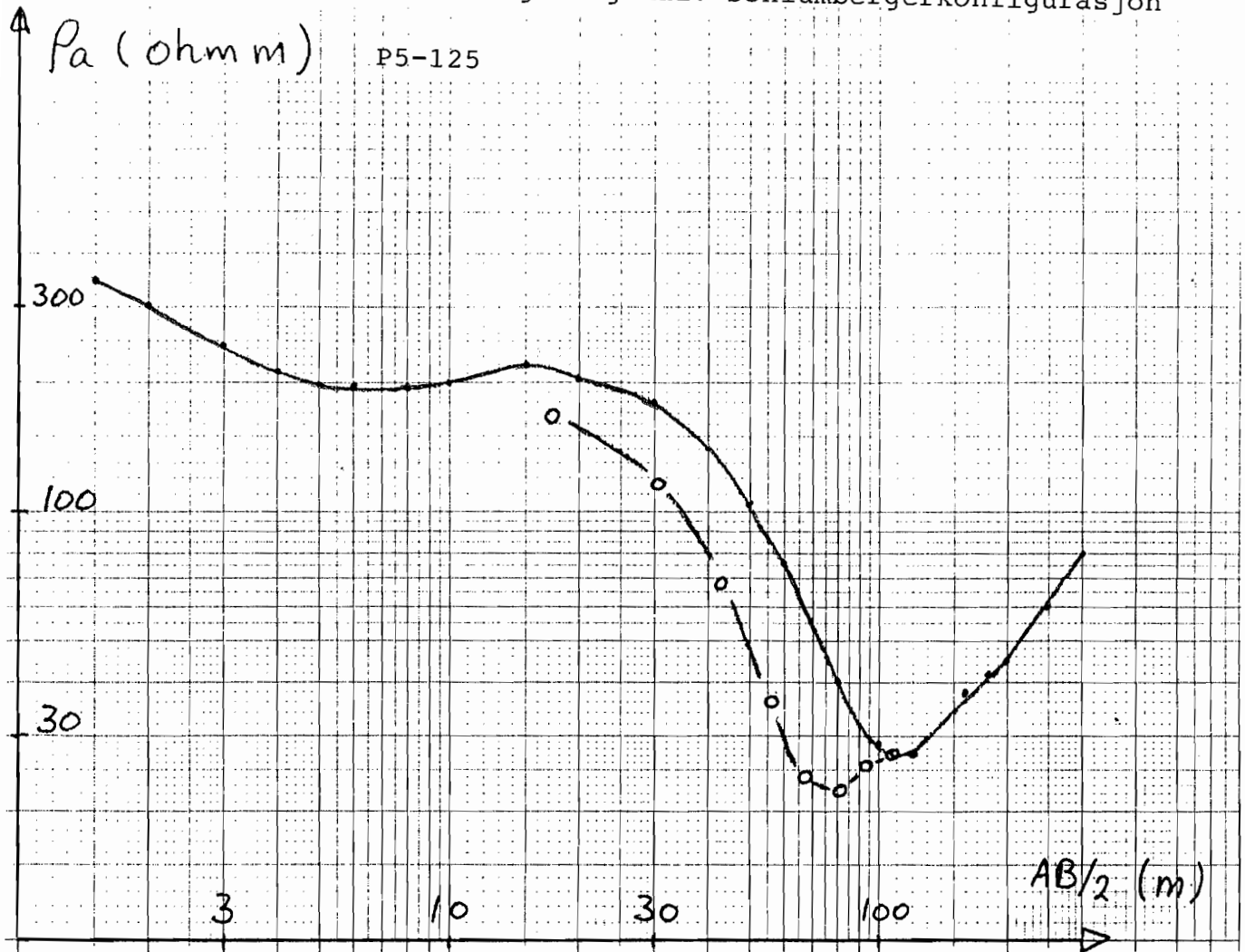
Sammenligning av Schlumberger og halv Schlumbergerkonfigurasjon



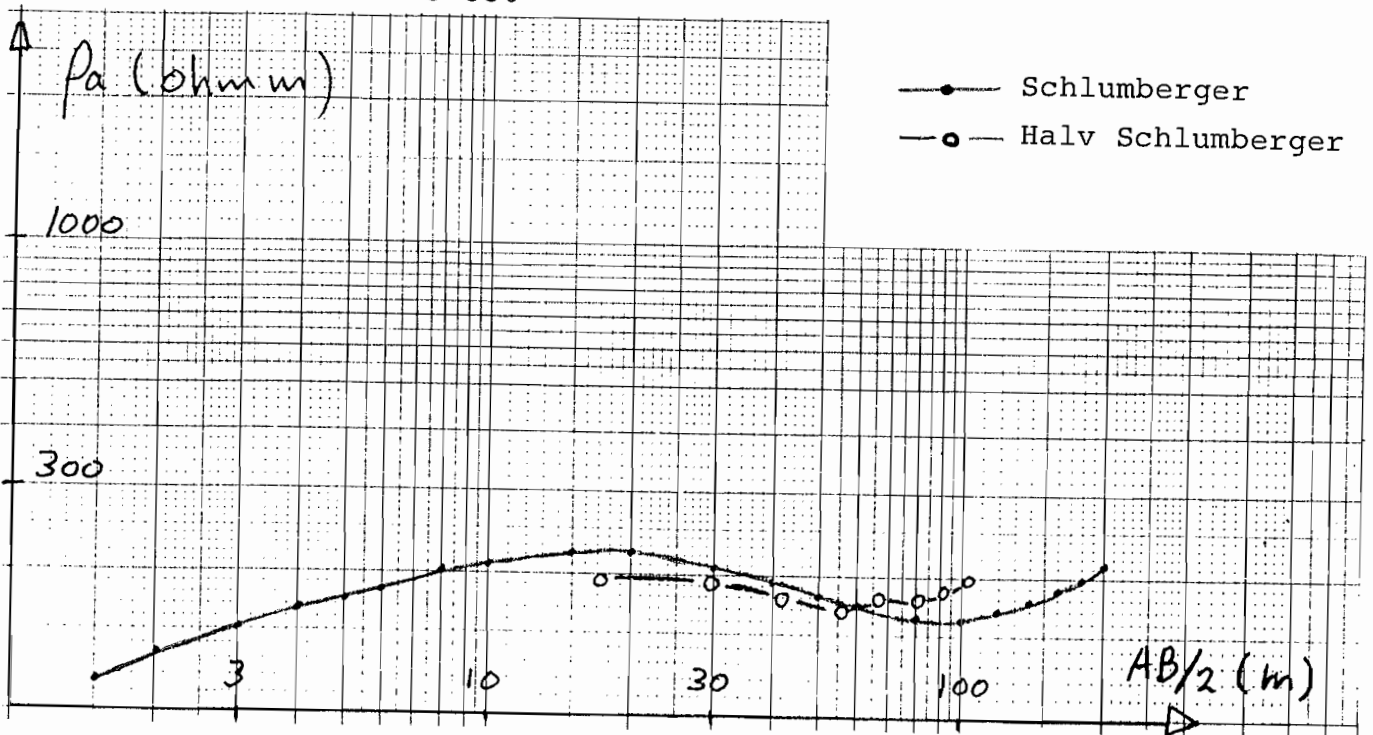
P6-750

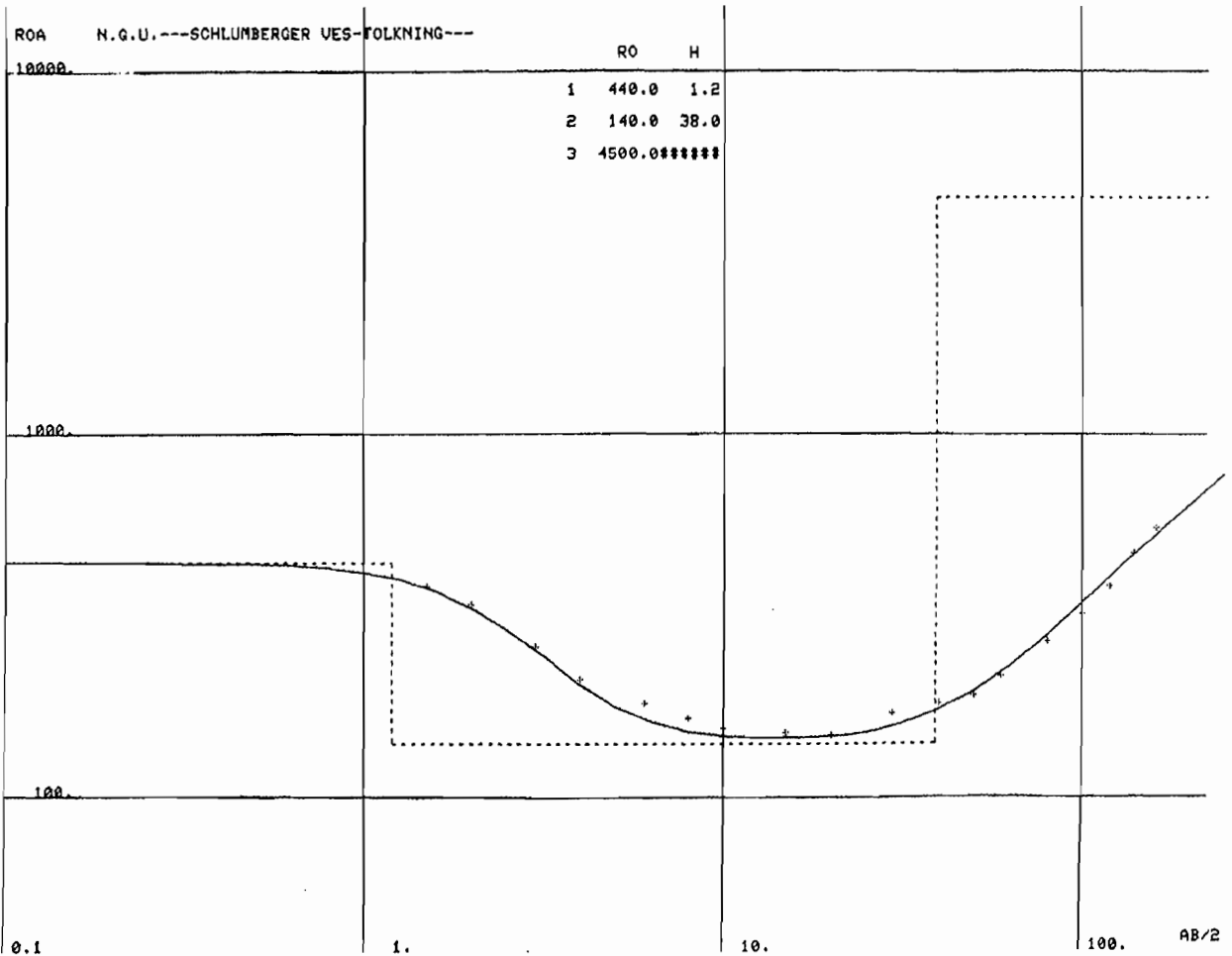
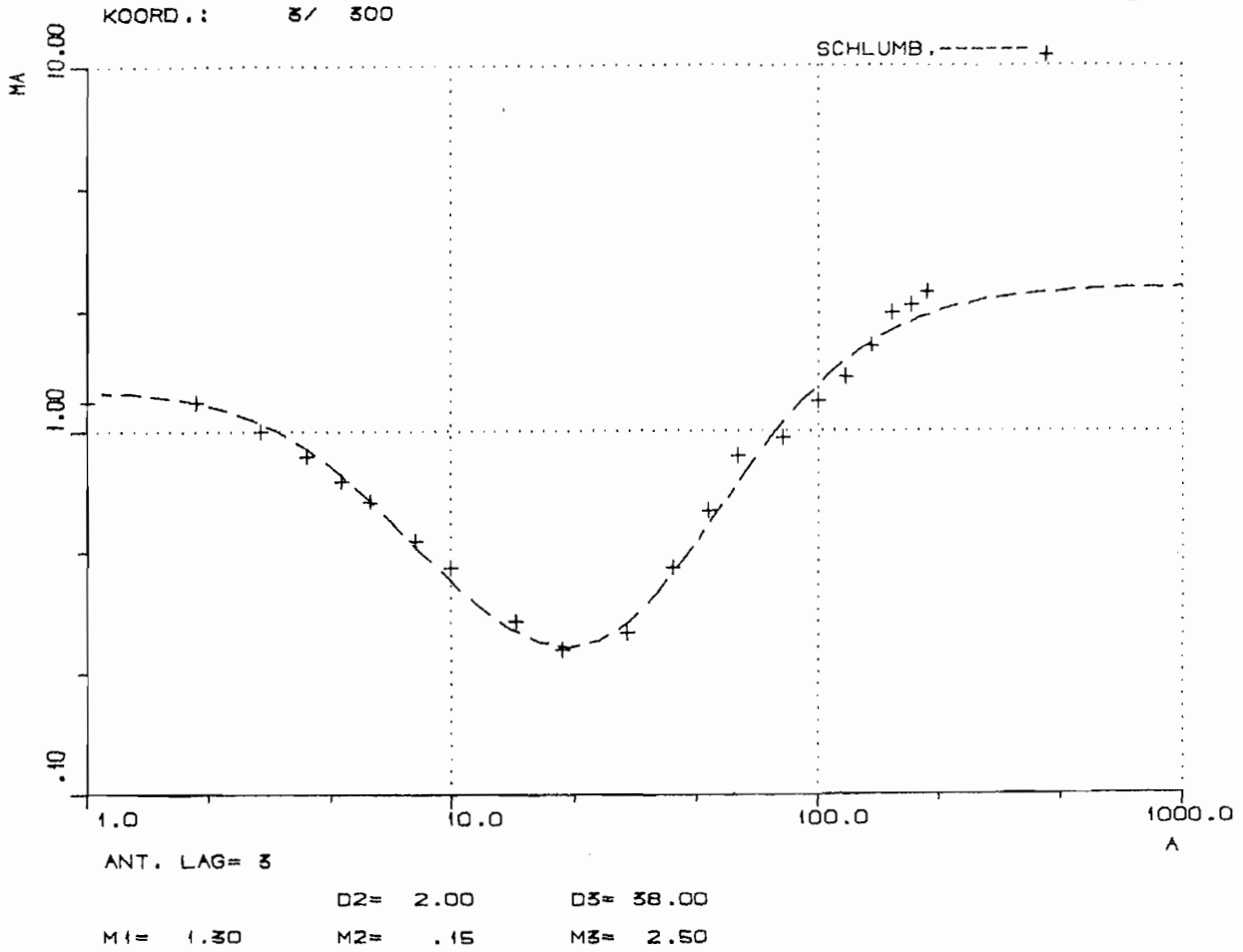


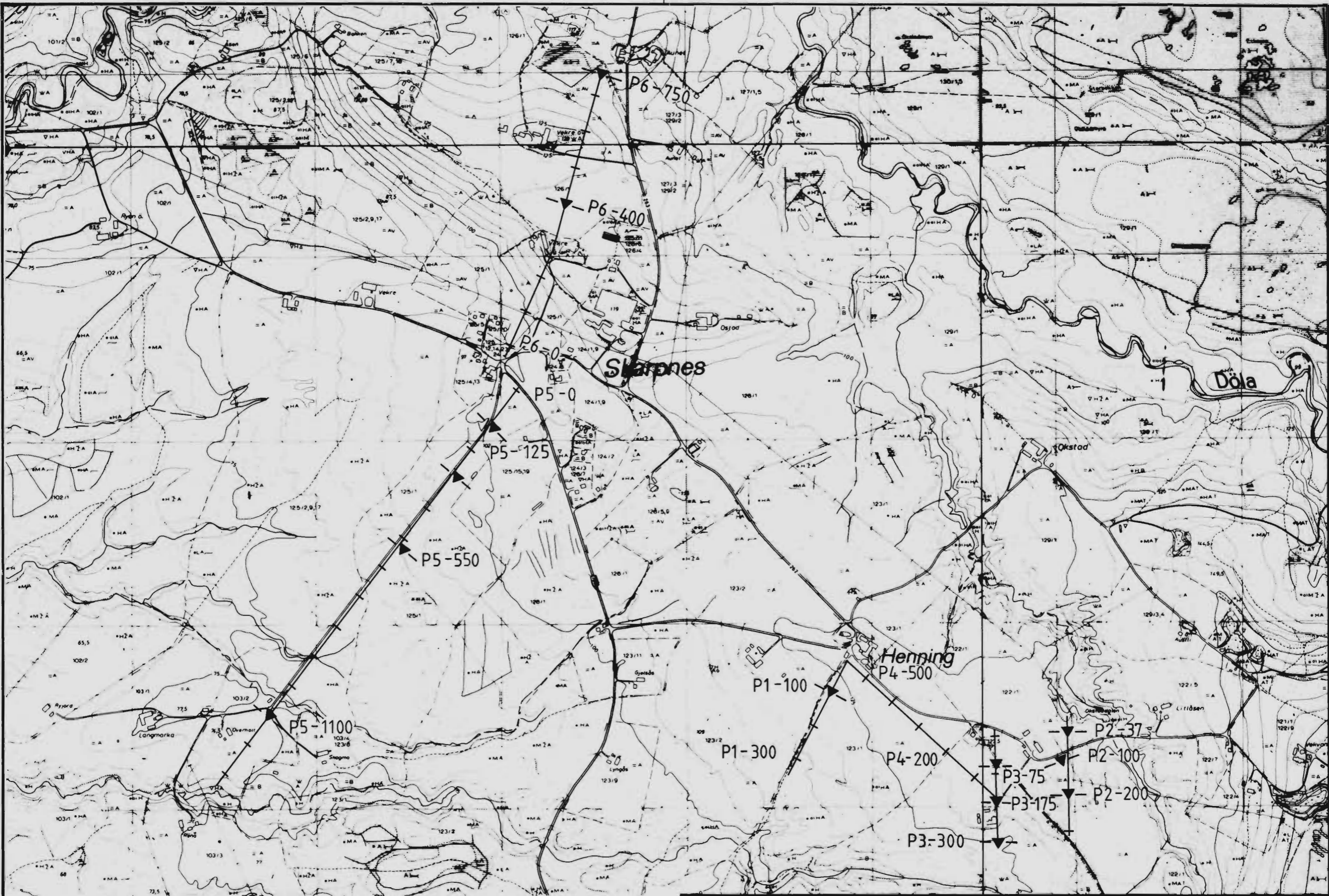
Sammenligning av Schlumberger og halv Schlumbergerkonfigurasjon



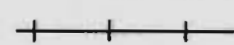
P5-550







TEGNFORKLARING :



MÅLT PROFIL



VES m/ ORIENTERING

P5 - 550

PROFIL OG KOORDINAT

N



NGU
 OVERSIKTSKART
 HENNING
 STEINKJER, NORD-TRØNDELAG

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

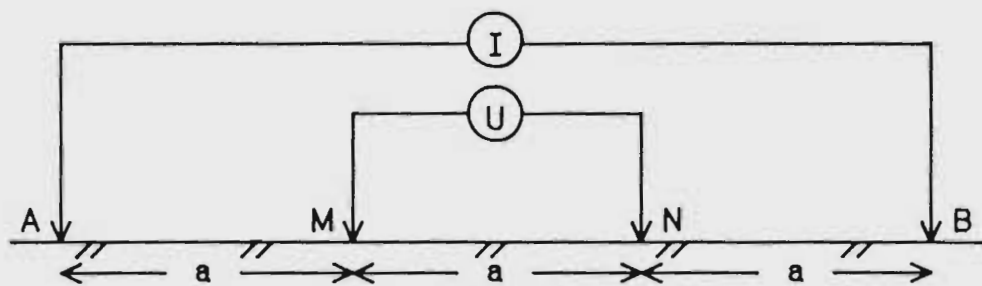
MÅLESTOKK
 1:10 000

MÅLT JSR/JFT	OKT. - 84
TEGN JSR	OKT - 86
TRAC	OKT. - 86
KFR.	

TEGNING NR.
 86.094-01

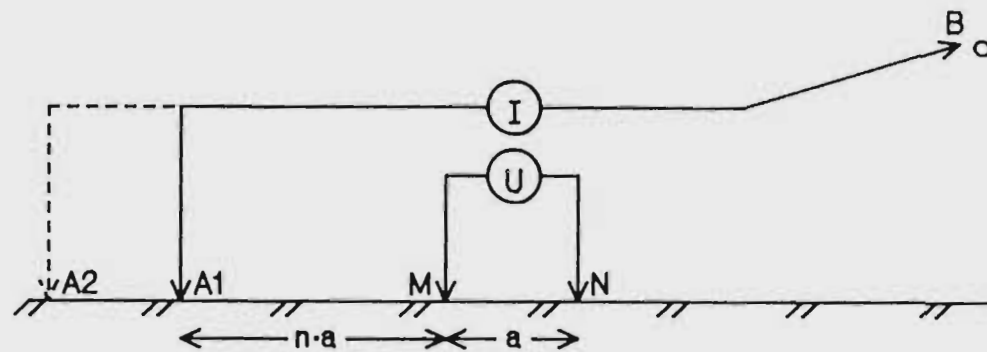
KARTBLAD NR.
 1722 IV

WENNER



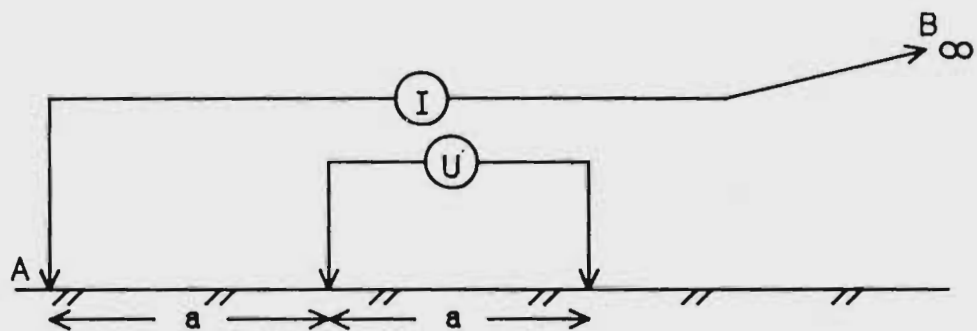
$$\rho_a = 2\pi a U/I$$

HALV SCHLUMBERGER



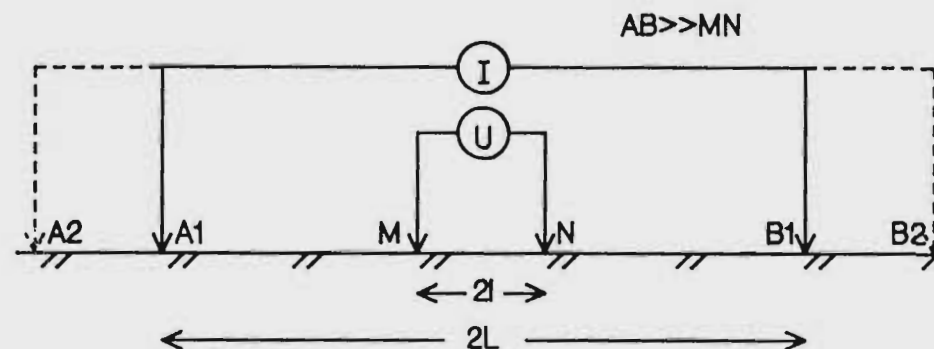
$$\rho_a = 2\pi a \cdot n \cdot (n+1) \cdot U/I$$

POL/DIPOL



$$\rho_a = 4\pi a U/I$$

SCHLUMBERGER



$$\rho_a = \pi \frac{L^2 - l^2}{2l} \cdot \frac{U}{I}$$

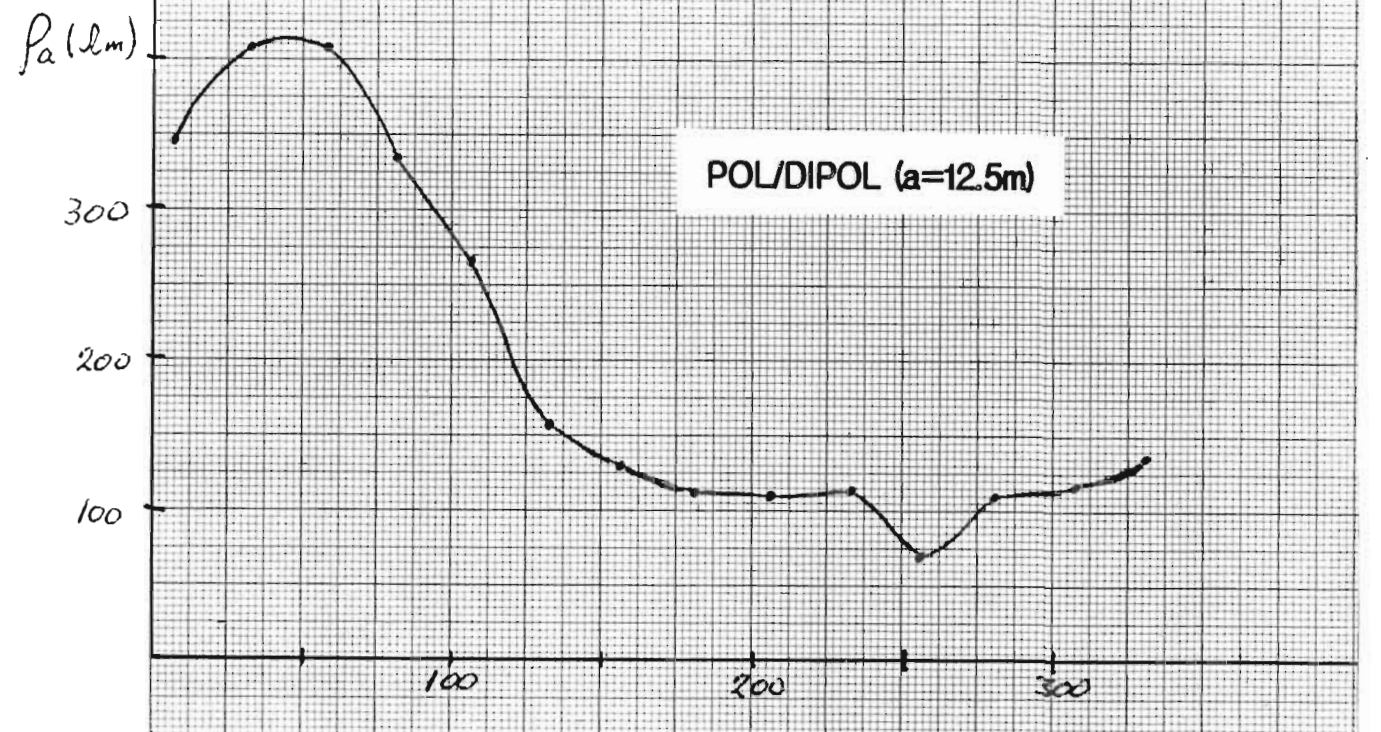
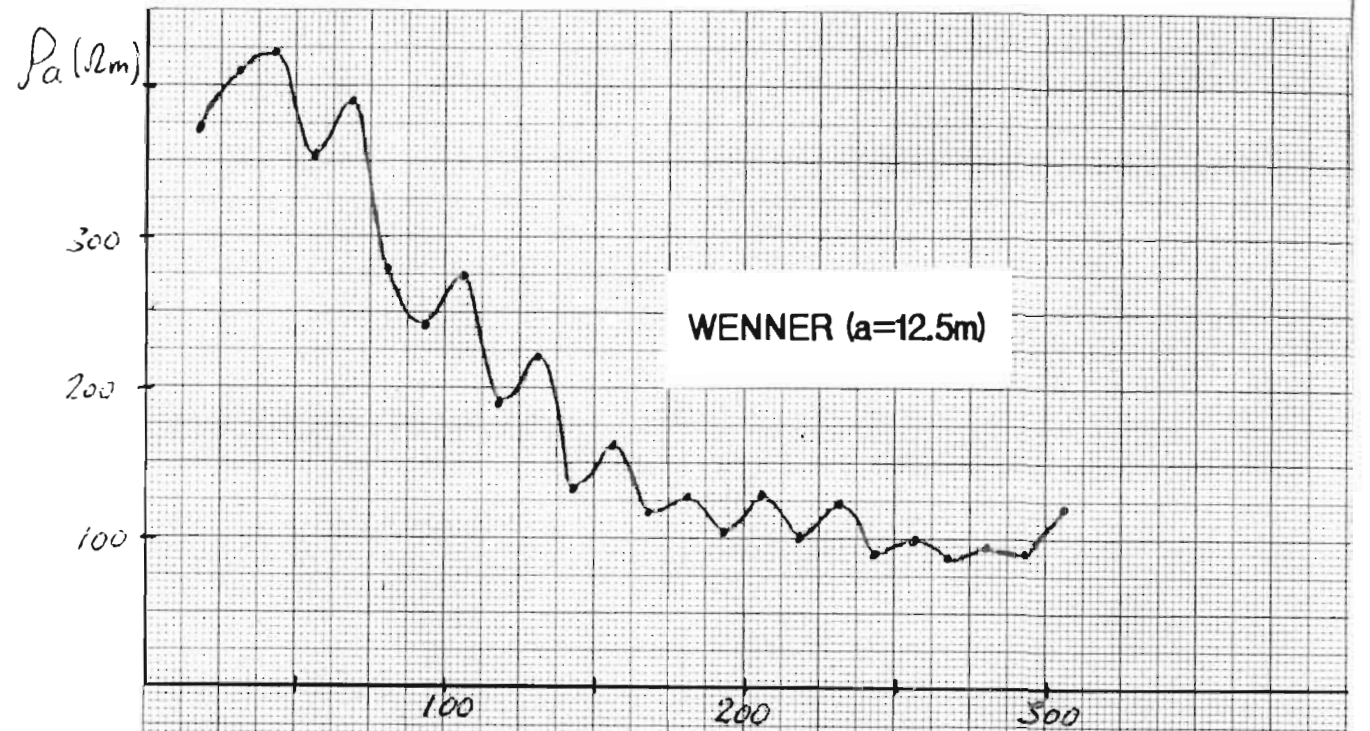
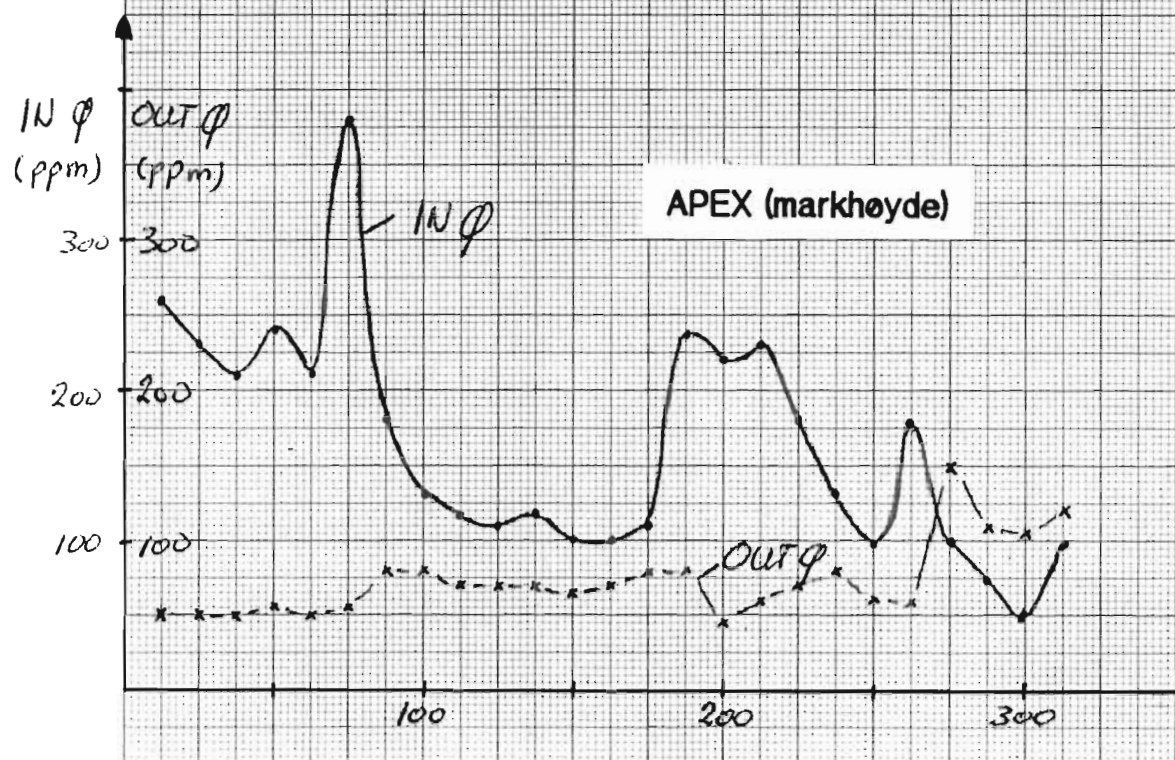
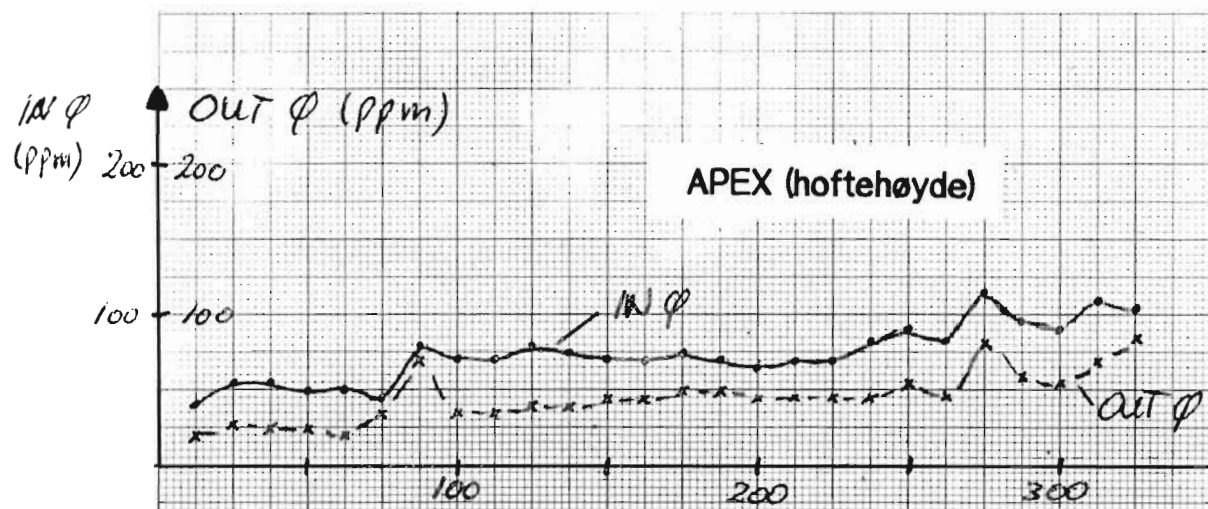
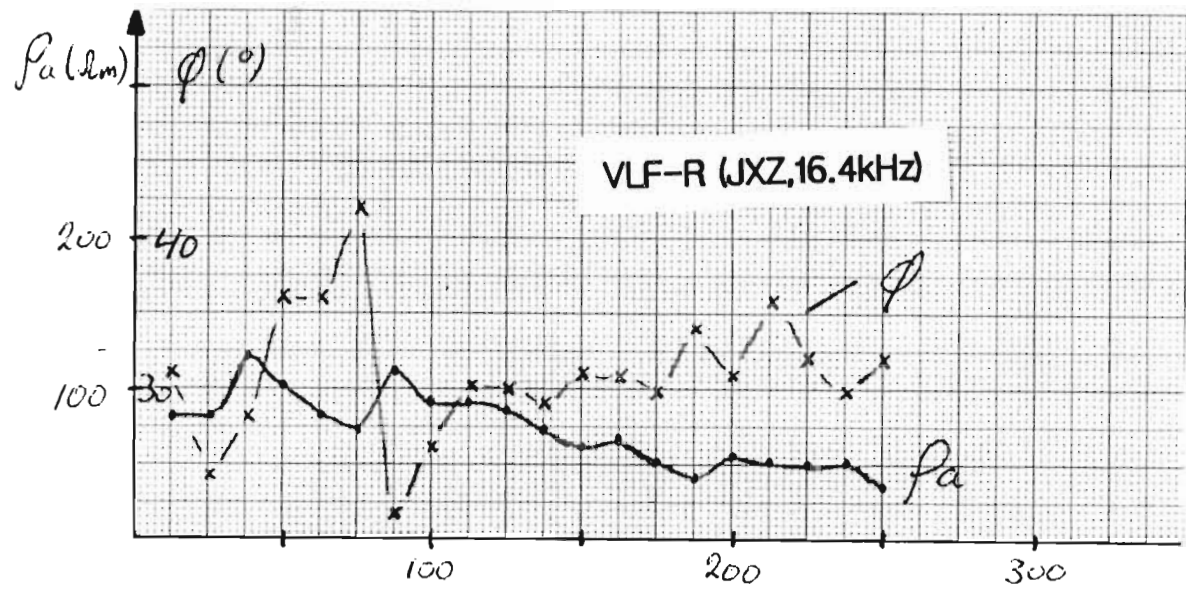
TEGNFORKLARING :

A OG B : STROMELEKTRODER
M OG N : POTENSIALELEKTRODER

(I) : AMPEREMETER

(U) : VOLTMETER

NGU BENYTTETE ELEKTRODEKONFIGURASJONER HENNING STEINKJER, NORD-TRONDELAG	MÅLESTOKK	MÅLT	
		TEGN	-
		TRAC	
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 86.094-02	KARTBLAD NR. 1722 IV	



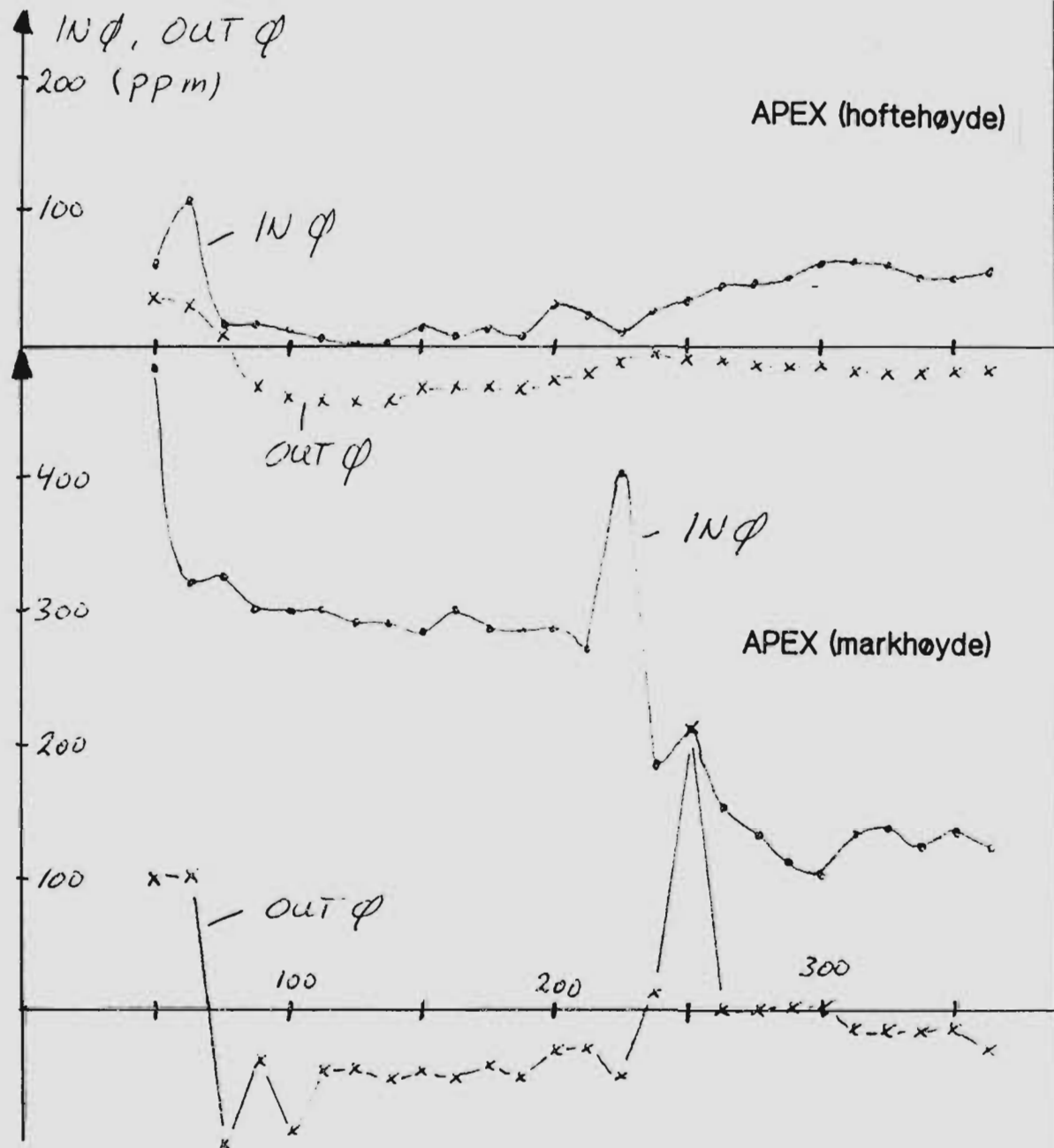
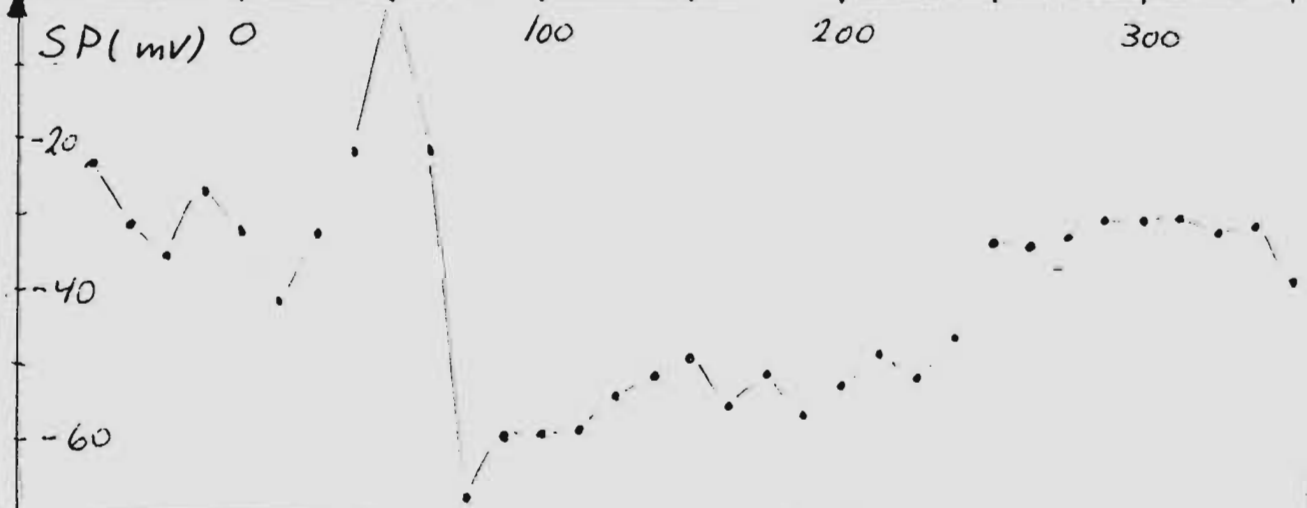
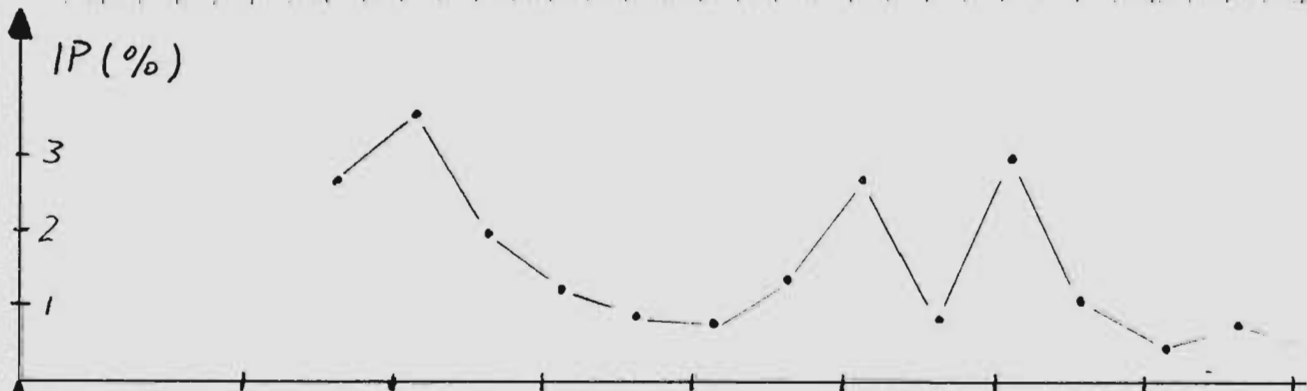
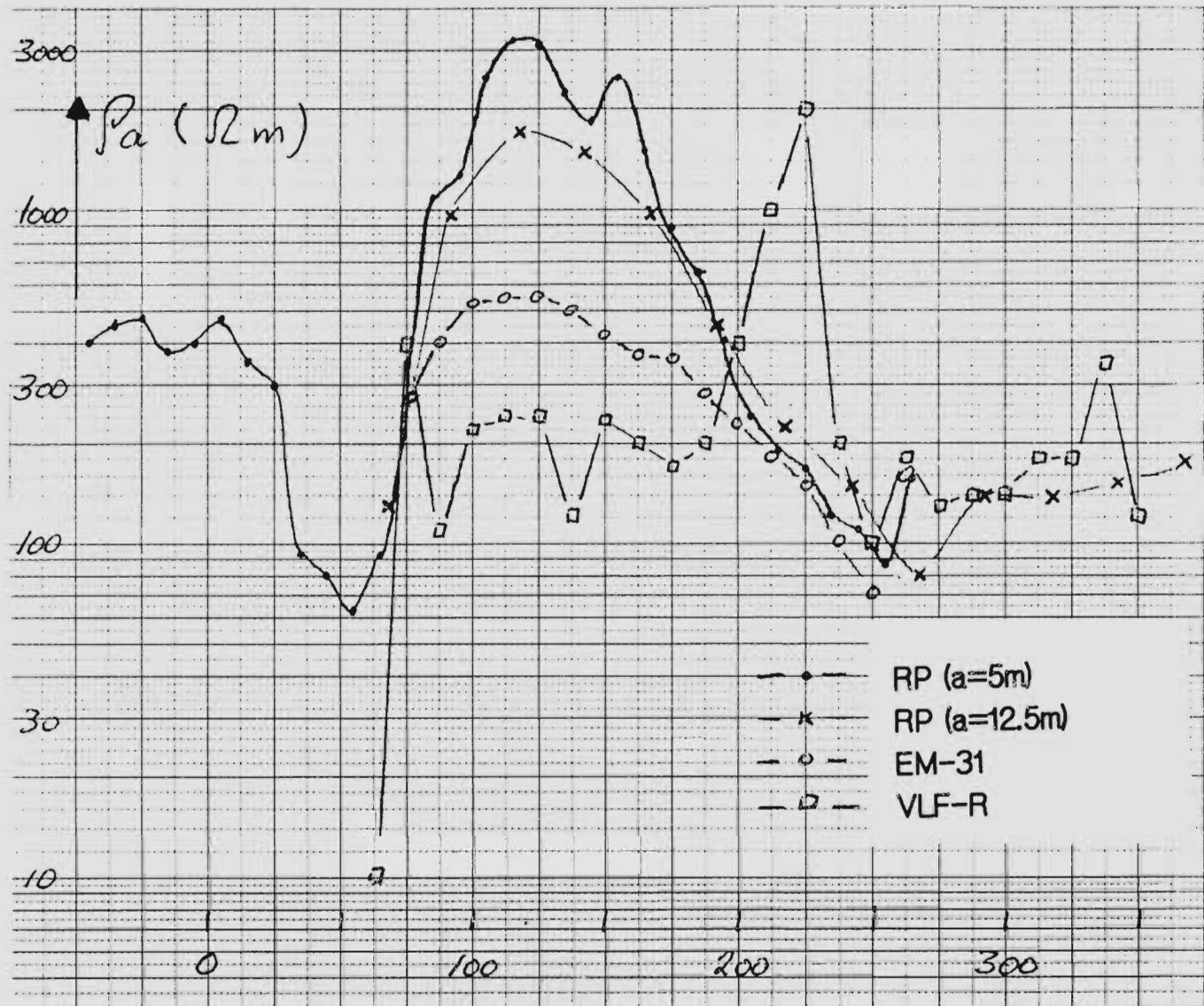
NGU
 RP, VLF-R OG APEX
 PROFIL 2, HENNING
 STEINKJER, NORD-TRØNDELAG

MÅLESTOKK	MALT JSR/JFT SEPT -84
	TEGN
1:2500	TRAC
	KFR.

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

TEGNING NR.
 86.094-03

KARTBLAD NR.
 1722 IV



NGU RP, IP, SP, EM-31, VLF-R OG APEX PROFIL 3, HENNING STEINKJER, NORD-TRØNDELAG	MÅLESTOKK 1:2500	MÅLT JSR TEGN TRAC KFR.	SEPT -84
	TEGNING NR. 86.094-04	KARTBLAD NR. 1722 IV	
	NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM		



NGU
 RP SONDERINGS/PROFILERINGSKURVE
 PROFIL 3, HENNING
 STEINKJER, NORD-TRONDELAGE

MÅLESTOKK 1:1000	MALT JSR	SEPT -84
	TEGN	
	TRAC	
	KFR.	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

TEGNING NR.
 86.094-05

KARTBLAD NR.
 1722 IV