

33 A4/A3
fm 7913

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

Geofysiska byrån

Projekt: Alunskiffer

Rune Johansson

Olle Olsson

GEOFYSIKRAPPORT 7913

Datum 1979-09-10

ID-nr.:

GEOFYSISKA METODER FÖR KARTERING AV ALUNSKIFFER

Arkivexemplar
Utlånas ej

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

Geofysiska byrån

Projekt: Alunskiffer

Rune Johansson

Olle Olsson

GEOFYSIKRAPPORT 7913

Datum 1979-09-10

ID-nr.:

GEOFYSISKA METODER FÖR KARTERING AV ALUNSKIFFER I FJÄLLRANDEN

SAMMANFATTNING

De geofysiska metoder som kan komma till användning vid kartering av alunskiffer har värderats i förhållande till varandra. Kartering av alunskiffer bör inledas med en flygmätning där slingram, strålnings- och magnetfältsmätning ingår. Det är väsentligt att göra resistivitetsbestämningar av de bergarter som finns inom undersökningsområdet. Markmätningar erfordras för att erhålla mer detaljerad information. Vid markmätningen används framför allt slingram och elektrisk sondering.

INNEHALLSFÖRTECKNING

	sid.
1 SAMMANFATTNING	4
2 INLEDNING	4
3 ALUNSKIFFERS FYSISKA EGENSKAPER	4
4 GEOFYSISKA FLYGMÄTNINGAR	5
4.1 Flygmagnet	5
4.2 Radiometriska mätningar	5
4.3 Rama	6
4.4 Flygslingram	8
4.5 Diskussion	9
5 GEOFYSISKA MARKMÄTNINGAR	9
5.1 Elektrisk sondering	10
5.2 Slingram	11
5.3 VLF	13
5.4 Diskussion	13
6 UPPLÄGGNING AV GEOFYSISKA ARBETEN VID KARTERING AV ALUNSKIFFER	15
7 REFERENSER	17

BILAGOR

BILAGOR

- Bil. 1 Geografiskt läge Hackåsområdet
- " 2 Strålningskarta Hackås
- " 3 VLF tolkningskarta Hackås
- " 4 Typkurvor för flygslingram
- " 5 Flygslingram Hackås
- " 6a-b Sonderingsprofiler
- " 7a-c Typkurvor för markslingram
- " 8 Slingsramprofiler
- " 9a-b VLF-profiler
- " 10 Geologisk karta Hackås
- " 11 Kostnader för olika geofysiska metoder

1 SAMMANFATTNING

De geofysiska metoder som kan komma till användning vid kartering av alunskiffer har värderats i förhållande till varandra. Kartering av alunskiffer bör inledas med en flygmätning där slingram, strålnings- och magnetfältsmätning ingår. Det är väsentligt att göra resistivitetsbestämningar av de bergarter som finns inom undersökningsområdet. Markmätningar erfordras för att erhålla mer detaljerad information. Vid markmätningen används framför allt slingram och elektrisk sondering.

2 INLEDNING

Denna rapport avser att ge en översikt och beskrivning av de olika geofysiska metoder som kan komma till användning vid kartering av alunskiffer. Metoderna behandlas översiktligt och exempel ges på deras användning och den information om alunskiffers förekomst de kan ge. I bilaga 10 visas den preliminära geologiska karta över Hackås som fanns tillgänglig våren 1979 för jämförelse med flygmätningarna. Avslutningsvis ges en rekommendation för hur den geofysiska delen av prospekterings- och karteringsarbetet bör läggas upp.

3 ALUNSKIFFERS FYSISKA EGENSKAPER*

Alunskiffern är en lerskiffer rik på bl a järnsulfider. De svenska alunskifferna är svarta, bituminösa och innehåller ställvis relativt höga halter av kolväten (kerogen) och uranföreningar.

Alunskiffers mest särskiljande egenskap är dess goda ledningsförmåga. Dess resistivitet varierar mellan 5-50 Ω m (skifferar i Jämtlands län). IP-effekten är också hög och på borrhärlor har uppmätts IP-värden i intervallet 15-30 %. De flesta andra fjällbergarterna som kalksten, kvartsit, sandsten m fl har oftast avsevärt högre resistiviteter och låga IP-värden. Kalksten t ex har resistiviteter i intervallet 2 000 - 15 000 Ω m och IP-värden mindre än 2 %.

* De värden som redovisas i detta avsnitt baseras på mätningar utförda på alunskifferprover från Jämtlands län. Alunskiffer på andra ställen kan ha andra egenskaper.

Genom alunskifferns relativt höga innehåll av uran avger den γ -strålning som kan detekteras med scintillometer.

Densiteten hos alunskiffern är ungefär $2\,500\text{ kg/m}^3$ vilket är något lägre än hos kalkstenen, ungefär $2\,750\text{ kg/m}^3$.

Fjällbergarterna är oftast helt omagnetiska varför mätningar av magnetfältet ej ger någon information om dessa bergarters struktur.

4 GEOFYSISKA FLYGMÄTNINGAR

I det följande diskuteras några geofysiska flygmätningametoder och vad de kan ge i samband med kartering av alunskiffer. Som exempel har valts ett område kring Hackås, kartbladen 18 E 5-6 g-h, där mätningar har gjorts med alla diskuterade metoder. Vidare diskuteras också de flygmätningar som gjorts över Tåsjöområdet (Gee, 1972).

4.1 Flygmagnet

Då de sedimentära fjällbergarterna inom de undersökta områdena är omagnetiska ger flygmagneten ingen information om fjällbergarternas struktur. De magnetiska anomalier som finns inom områden täckta av fjällbergarter orsakas normalt av magnetiska bergarter som finns i det underliggande urberget. Tolkning av sådana anomalier gör det möjligt att beräkna djupet till urberget.

4.2 Radiometriska mätningar

Då alunskiffern ställvis innehåller höga halter uran borde ytligt liggande alunskiffer kunna ge upphov till kraftig gammastrålning. Gammastrålningen dämpas dock mycket kraftigt även av mycket tunna lager (mindre än 1 meter) övertäckning, speciellt om den har hög vattenhalt.

I området kring Hackås förekommer områden med förhöjd gammastrålning (se bilaga 2) vilket tyder på ytligt liggande alunskiffer. Inom detta område förekommer hög gammastrålning väsentligen i samband med åkermark eller brant topografi. Detta beror sannolikt på att dämpningen av strålningen är liten inom dessa områden eller att åkerjorden innehåller alunskiffer.

I Tåsjöområdet förekommer strålningsanomalier väsentligen endast i anslutning till den norra änden av Tåsjön. Alunskiffer finns enligt den geologiska kartan även i andra delar av det mätta området, vilket ej framträder på strålningskartan.

Sammanfattningsvis kan konstateras att den uranrika alunskiffern ger upphov till kraftiga strålningsanomalier i de områden där övertäckningen är i det närmaste obefintlig eller där övertäckningen i sig innehåller höga halter alunskiffer. Inom vissa områden kan en förskjutning noteras av strålningsanomalierna i förhållande till det karterade utgåendet av alunskiffern. Detta torde bero på att den alunskifferhaltiga övertäckningen förflyttats i samband med nedisningen.

4.3 Flyg-VLF (RAMA)

Vid VLF-mätning mäter man fältstyrkan från avlägsna militära radiosändare. SGU har för flygmätning utvecklat ett eget system som kallas RAMA. Med detta system mäts det magnetiska fältets tre komponenter, där X-komponenten är den horisontella komponenten längs flygriktningen, Y-komponenten den horisontella komponenten vinkelrätt mot flygriktningen och Z-komponenten den vertikala komponenten.

Det elektromagnetiska fältet från en VLF-sändare har väsentligen en magnetisk vektor som är horisontell och vinkelrät mot riktningen till sändaren och en elektrisk vektor som är i det närmaste vertikal. Berggrundens egenskaper påverkar utbredningen hos den elektromagnetiska vågen och ger upphov till anomalier som ger information om berggrundens struktur.

Nedan diskuteras endast inverkan av inhomogeniteter i berggrunden på det magnetiska fältet eftersom det endast är detta som mäts i den förefintliga utrustningen. Anomalierna hos det magnetiska fältet beror i huvudsak på induktion i en bergart som är en bättre ledare än omgivningen. Från anomalins utseende kan man göra vissa uppskattningar av en ledande bergarts läge, stupning och ledningsförmåga. Magnetfältet ger inte upphov till någon induktion i geologiska strukturer med en strykning vinkelrät mot riktningen till sändaren, denna riktning kallas ofta döda vinkeln. Det är ofta svårt att skilja tunna flackt stupande ledare från en bergartskontakt med i det närmaste vertikal stupning. Det magnetiska VLF-fältet ger i allmänhet ingen information om djupet till en god ledare, som har stor utsträckning och är överlagrad av en resistiv bergart.

I områden med den struktur som finns i fjällranden med ett lager välledande alunskiffer delvis överlagrat av resistiva bergarter (kalksten) fås inte någon information från RAMA-mätningen som skiljer ut alunskifferområden överlagrade med kalksten från de som inte är det. Däremot ger RAMA-mätningen klara indikationer i gränsen mellan områden där urberget täcks av alunskiffer och där det inte gör det, dvs en klar markering av fjällranden erhålles. Markanta veck och överskjutningar av alunskiffern inom området täckt med fjällbergarter kan också identifieras.

I bilaga 3 visas en klassificering av de VLF-anomalier som förekommer i området kring Hackås. Anomalierna har klassificerats efter den relativa ledningsförmåga de anomaliersakande bergarterna har. Den klassificering som gjorts är kvalitativ och baseras på fasläget hos Z-komponenten. Det rasterade området markerar den del av urberget, som från RAMA-resultaten tolkas som täckt av alunskiffer. En del andra områden täckta med välledande lager framträder också, men detta torde vara bottensediment (leror) i sjöarna.

4.4 Flygslingram

De flygslingrammätningar som omnämnes i det följande har utförts av Boliden Metall AB, och ställts till SGU:s förfogande för denna metodstudie (Hackåsområdet). Den använda utrustningen har kopplade spolar med dipolaxlarna i flygriktningen.

Den använda konfigurationen ger upphov till positiva reella och imaginära anomalier vid passage över skivformiga goda ledare och då flygplanet befinner sig över områden med välledande berggrund eller övertäckning. I bilaga 4 visas hur den förväntade anomalin varierar om det antas att alunskiffern är täckt av kalksten med varierande tjocklek. I diagrammet visas kurvor för olika resistivitet hos alunskiffern och för de två skilda spolavstånd som använts vid mätningarna (12 meter i Tåsjöområdet och 14,3 meter i Hackåsområdet). Om man har den enkla modell som förutsatts i bilaga 4 och resistiviteten hos alunskiffern är känd kan således en uppskattning göras av djupet till skiffern.

Resistiviteten hos alunskiffern i Tåsjöområdet är ca $10 \Omega\text{m}$, vilket betyder att de områden där slingramanomalien (reella komponenten) är större än 500 ppm är djupet till alunskiffern mindre än ca 27 meter. Dessa områden finns markerade på den av Gee, 1972, publicerade slingramkartan.

I Hackåsområdet är resistiviteten hos alunskiffern något högre, ca $25 \Omega\text{m}$. Detta betyder att slingramanomalier större än 500 ppm indikerar att djupet till alunskiffern är mindre än 30 meter och anomalier större än 1 000 ppm att djupet är mindre än nio meter. Dessa anomalier finns markerade i bilaga 5.

Förutsättningen för ovan förda resonemang är att alunskifferns tjocklek är större än skindjupet för det elektromagnetiska fältet. Skindjupet vid den använda frekvensen, 3,6 kHz, är 26 meter respektive 42 meter vid resistiviteter på $10 \Omega\text{m}$ respektive $25 \Omega\text{m}$. Om skifferlagret är tunnare än skindjupet så blir slingramanomalin mindre än vad som framgår av diagrammet i bilaga 4.

Sammanfattningsvis kan vi konstatera att flygslingramen ger klara indikationer då den välledande alunskiffern ligger relativt ytligt, men att mätningen ej direkt kan användas för att kartera utgåendet. För att kunna tolka resultaten från mätningen fordras att man har god kännedom om de inom området förekommande bergarternas resistivitet.

4.5 Diskussion

Av den ovan förda diskussionen om de olika flygmättningsmetoderna framgår att de olika metoderna ger olika typer av information och att de i vissa fall kompletterar varandra. Mest fördelaktigt är att vid en flygning mäta så många metoder som möjligt samtidigt.

Skall man välja en av de ovan behandlade metoderna är flygslingramen den som ger mest information om alunskifferna och som torde vara det bästa hjälpmedlet för en kartering av dessa. För att så effektivt som möjligt kunna använda de data som erhållits vid flygslingrammätningar erfordras en god kännedom om bergarternas resistivitet. Denna kännedom kan erhållas genom resistivitetmätningar av stuffer och borrhärdor samt genom vissa markmätningar, t ex markslingram och elektrisk sondering.

Det finns även andra elektromagnetiska flygmättningsmetoder som har en potential att ge information jämförbar med flygslingramen. De metoder som är aktuella är de som ger mätresultat som kan omräknas till skenbar resistivitet, bland dessa kan nämnas E-fälts VLF och INPUT.

5 GEOFYSISKA MARKMÄTNINGAR

Vid geofysiska markmätningar kan i princip samma metoder användas som vid flygmätningar. Därutöver tillkommer de elektriska metoder som bara kan tillämpas från marken. Mätningarna kan ha två syften, antingen att bestämma skiffers utgående (geofysisk kartering) eller att bestämma djupet till skiffern då den överlagras

av andra bergarter (geofysisk sondering).

De metoder för geofysisk kartering som närmare behandlas i denna rapport är slingram (SR) och VLF. Båda dessa metoder kan även användas för sondering, men den vanligaste metoden är elektrisk sondering.

Magnetiska markmätningar är p g a bergarternas fysiska egenskaper inte tillämpbara i detta sammanhang och behandlas fortsättningsvis inte.

Radiometriska mätningar (scintillometer) är närmast att betrakta som ett hjälpmedel för geologer vid karteringsarbetet varför inte heller dessa behandlas i denna rapport.

I kapitel 5.4 diskuteras en del geofysiska metoder som inte testats i någon högre utsträckning men som ändå bedömts vara intressanta.

5.1 Elektrisk sondering

Elektrisk sondering kan utföras med valfri elektrodkonfiguration men vanligen används Schlumberger. Om sonderingen görs längs profiler med relativt korta avstånd mellan sonderingspunkterna är halv-Schlumbergerkonfiguration att föredra av praktiska/ekonomiska skäl (kräver t ex en man mindre för fältarbetet).

I Myrviken-området, Jämtland har tämligen omfattande sonderingsarbeten gjorts med Schlumbergerkonfiguration. Arbetet finns avrapporterat i geofysikrapport 7907 "Myrviken - elektrisk sondering". Som uppföljning mättes två profiler med halv-Schlumbergerkonfiguration. Längs dessa profiler utfördes dessutom slingrammätningar. Resultatet visas i bilaga 6. Sonderingskurvorna har tolkats med ett iterativt dataprogram vid avdelningen för markgeofysik i Luleå.

Problemen med sonderingarna är dels att teorin för tolkningen förutsätter planparallella skikt, dels att skiktens resistivitet och mäktighet är beroende av varandra vid tolkningen. Detta innebär att för en bra tolkning av mäktigheten krävs kännedom om resistiviteten och vice versa.

För att om möjligt bestämma resistiviteten hos kalkstenen i Myrviken-området gjordes sonderingar över befintliga borrhål vilket gav mycket varierande resultat (2 000 - 15 000 Ωm). Vid tolkningen användes ett vägt medelvärde (5 000 Ωm).

Vid kraftiga veckbildningar erhålls ofta svårtolkade resultat vid sonderingen. Ett exempel är vid borrhål Myrviken 79003 där djupet till skiffern är 37 meter. Vid detta borrhål erhålls en svårtolkad sonderingskurva som indikerar ett djup på 15-20 meter. Vid veckbildningar tenderar sonderingen att ge närmaste avståndet mellan sonderingspunkten och skiffern i stället för det lodräta avståndet. Den aktuella sonderingsprofilen finns redovisad i bilaga 6 a.

Två andra borrhål som borrats efter det att sonderingarna utförts visar avvikelser mindre än fem meter vid djup 60 respektive 70 meter vilket får anses mycket tillfredsställande.

Sammanfattningsvis kan konstateras att resultaten av sonderingarna är bra i områden där de geologiska förhållandena närmar sig planskiktsfallet men att betydande avvikelser kan erhållas i anslutning till veckbildningar som i bilaga 6. Enbart elektrisk sondering räcker ofta inte för att ge en fullgod bild av undersökningsområdet.

5.2 Slingram

Vid undersökningar av alunskiffer kan slingrammätningar användas både för att kartera utgåendet och för att göra djupbestämningar. Kurvorna i bilaga 7 visar den förväntade responsen från en berggrund bestående av ett lågresistivt lager (alunskiffer) överlagrat

av ett högresistivt (kalksten). Om resistivitetera i undersökningsområdet är kända och slingramens ramavstånd och frekvens finns således möjlighet att bestämma djupet till skiffern längs en slingramprofil.

I praktiken uppstår emellertid ett flertal svårigheter när det gäller att göra kvantitativa djupbestämningar. Dels krävs en god kännedom om de aktuella bergarternas resistivitet, dels att bergartsgränserna är planparallella i en omgivning till slingramen och dels att slingramen är korrekt nollställd och kalibrerad. Dessutom påverkar övertäckningen mätningen på ett svårkontrollerat sätt. En kvalitativ bestämning av djupet kan dock göras om slingramens frekvens och ramavstånd valts på rätt sätt.

Däremot kan kontakterna fastställas mycket bra, speciellt när de är brantstående. Mycket flacka kontakter kan vara svåra att fastställa med någon större noggrannhet. Det är t ex omöjligt att avgöra om skiffern går i dagen eller om den överlagras av en meter kalksten. Vad beträffar djupbestämningar får man oftast nöja sig med en kvalitativ uppskattning av djupet, en information som är nog så värdefull.

För att slingrammätningen ska bli så värdefull som möjligt bör ramavstånd och frekvens väljas för varje undersökningsområde utifrån de geologiska förhållandena. För att kunna göra detta måste man känna till resistiviteten hos de i området förekommande bergarterna. I bilaga 7 visas typkurvor för de förväntade resultaten för olika ramavstånd och djup till alunskiffern. Det framgår av typkurvorna för de aktuella resistivitetera att i detta fall är det 60 meters ramavstånd som ger den största känsligheten för variationer i djup. För att få fram resistiviteten hos bergarterna bör resistivitetsmätningar göras på stuffer och borrhärnor, dessutom bör några elektriska sonderingar göras i samma syfte, det är också nödvändigt att göra testmätningar med slingram. Bilaga 8 visar två profiler (Myrviken) som mätts med 20, 40 och 60 meters ramavstånd (18 kHz). Av dessa profiler framgår att 60 meters ramavstånd är lämpligast. Skillnaden i respons mellan de båda profilerna (se 60 m-mätningen) återspeglar skillnaden i resistivitet hos alunskiffern.

5.3 VLF

VLF är, i likhet med slingram, en elektromagnetisk metod och kan användas för att erhålla samma typ av information. Det finns exempelvis typkurvor som visar responsen från en horisontellt skiktad berggrund vilka kan användas för djupbestämningar.

Problemen är desamma som vid slingrammätningar och vad beträffar djupbestämningar är det svårare att göra en kvalitativ uppskattning. Bergartskontakter kan lokaliseras med ungefär samma begränsningar som vid slingrammätningar dvs ju brantare kontakt desto säkrare resultat.

Bilaga 9 visar två profiler från en testmätning som gjorts i Myrviken för att utröna möjligheten att använda VLF vid undersökningar av alunskiffer. Profil 1 är mätt över en tämligen brant kontakt och profil 5 över en betydligt flackare. På båda profilerna erhålls en klar markering av kontakten mellan alunskiffer och kalksten vid mätning av E-fältet. H-fältsmätningen är dock ofta svårare att tolka och flacka kontakter kan vara svåra att lokalisera.

VLF E-fältsmätning ger information som är jämförbar med slingrammätning men mätningen tar längre tid. E-fältsmätning kan dock användas för kartering av bergarter med högre resistivitet. H-fältsmätning är en snabb och billig metod men ger inte fullgod information om berggrunden i detta sammanhang.

5.4 Diskussion

Av de metoder som testats i Myrviken-området är det slingrammätning och elektrisk sondering som visat sig mest användbara. Metoderna kompletterar varandra genom att slingramen lämpar sig bäst för att kartera skiffrens utgående medan sondering kan användas för att bestämma djupet till skiffern där den överlagras av kalksten.

En undersökning bör därför inledas med slingrammätningar. Dessa bör ge en tämligen bra bild av skiffrens utgående samt en kvalitativ uppfattning av kalkstensens mäktighet där skiffren ej går i dagen. Mätningarna görs i form av profiler där avståndet mellan dessa bestäms av hur detaljerad information som önskas. Lämpligt punktavstånd är 20 meter. När mätningen utvärderats följs den upp med elektrisk sondering. Där SR-mätningen visar att kalkstensens mäktighet är någorlunda konstant räcker det med enstaka sonderingspunkter varvid Schlumberger-konfigurationen bör användas.

I område där skiffren ligger ytligt samt stora variationer i djup kan misstänkas (som i exemplet som visas i bilaga 6) bör sonderingen i stället göras i profiler varvid halv-Schlumberger-konfigurationen används.

Genom detta undersökningsförfarande utnyttjas fördelarna med varje metod och den relativt dyra sonderingen kan begränsas och koncentreras till områden där den verkligen behövs. Det finns ingen anledning att anta att inte samma metodik är lämplig även i andra områden där undersökningar av alunskiffer kan bli aktuella. Exempelvis har SR-mätningar och i någon mån elektrisk sondering använts i Tåsjöområdet med tillfredsställande resultat. Det finns andra metoder som är användbara för kartering av alunskifferar men som endast testats i begränsad omfattning eller inte alls.

Elektrisk kartering med t ex Wenner-konfiguration har inte använts inom detta område. Metoden är användbar för en resistivitetsskartering av berggrunden, således även för kartering av alunskiffer. Den erhållna informationen är något mindre än med slingram och resultaten kan i vissa fall vara svårare att tolka. Mätningen är ungefär dubbelt så dyr som slingrammätning.

IP-mätningar kan utföras samtidigt som en elektrisk kartering och kan ge möjlighet att skilja välledande övertäckning från alunskiffer. Vid IP-sonderingar framträder alunskiffren tydligt genom

de höga IP-värdena. Det uppstår ofta problem att erhålla noggranna mätvärden på grund av för låga signalnivåer, en kraftigare strömvändare skulle behövas än den som nu finns tillgänglig. I allmänhet ger dock IP-sonderingen redundant information då tillräcklig information för tolkning erhålls från den elektriska sonderingen.

Elektromagnetisk sondering är den metod som teoretiskt skulle ge den noggrannaste informationen om djupet till alunskiffern. Med denna metod undviks de ekvivalensproblem som finns vid elektrisk sondering och djupet till en god ledare (alunskiffer) är den parameter som blir mest exakt bestämd. Ett par EM-sonderingar har utförts inom Myrvikenområdet och erfarenheterna från dessa är att mätningen är mycket känslig för störningar av olika slag vilket gett upphov till mätresultat som är omöjliga att tolka. Felkällorna är framför allt av två slag, dels kulturella störningar i form av ledningar, stängsel m m, dels bristande planparallellitet mellan de olika bergartsgränserna. Planparallella lager är en förutsättning för den använda tolkningsmetoden.

6 UPPLÄGGNING AV GEOFYSISKA ARBETEN VID KARTERING AV ALUNSKIFFER

Som en sammanfattning av den ovan förda diskussionen ges i det följande ett förslag hur de geofysiska undersökningarna bör läggas upp. Detta förslag görs under förutsättning att inga mätningar tidigare gjorts i det aktuella området. Valet av metoden bygger på att det finns en lågresistiv bergart (alunskiffer) och att övriga bergarter har hög resistivitet och att dessa bergarter ligger lagrade i någorlunda horisontella lager.

Undersökningen bör inledas med en flygmätning där flygstråken läggs vinkelrätt mot den kända geologiska strykningen. Mätningen bör göras med en punkttäthet av minst 200x40 meter och en flyghöjd av 30 meter. Mest fördelaktigt är att vid flygningen mäta så många metoder samtidigt som är praktiskt möjligt. De tre väsentligaste metoderna i detta sammanhang är slingram, gammastrålning och magnetfältsmätning. Om det av något skäl endast är

möjligt att flyga en metod bör flygslingramen väljas. Det bör påpekas att slingramen endast kan användas för kartläggning av bergarter med resistiviter lägre än ca 300 Ω m. Det finns också andra elektromagnetiska flygmetoder som ger information jämförbar med slingramen men som prövats mycket lite i Sverige.

När resultaten från flygmätningarna föreligger måste de fysikaliska parametrarna hos bergarterna fastställas för att kunna göra en riktig tolkning. Det är viktigast att bestämma alunskiffers resistivitet. Med utgångspunkt från flygkartorna är det möjligt att välja ut områden som lämpar sig för provtagning och testmätning. Bestämning av resistiviteter bör ske genom mätning på stuffer och elektrisk sondering.

Inför markmätningarna bör ytterligare bestämmingar göras av bergarternas resistivitet genom mätning på stuffer, elektrisk sondering och testmätning med slingram. Dessa mätningar syftar till att kunna välja rätt ramavstånd och frekvens för de kommande slingrammätningarna. De egentliga markundersökningarna inleds med slingrammätningar för att kartera skiffers utgående och de områden där den överlagras av tunna lager av resistiva bergarter t ex kalksten. I dessa fall kan man få en kvalitativ bestämning av djupet till skiffern. Mätningarna görs i form av profiler där avståndet mellan dessa bestäms av hur detaljerad information som önskas.

Slingrammätningen bör sedan följas upp med elektriska sonderingar för att man skall kunna göra en kvantitativ bestämning av djupet till skiffern. Detta bör göras dels som enstaka sonderingspunkter med Schlumberger-konfiguration, dels som profiler med halv-Schlumbergerkonfiguration. I vissa fall kan det vara lämpligt att komplettera med mätningar med någon av de andra metoderna som nämnts tidigare.

I bilaga 11 ges en sammanställning av de relativa kostnaderna för de olika metoder som kan komma till användning.

7 REFERENSER

Gee, D.G., 1972: The Regional Geological Context of the Tåsjö Uranium Project, Caledonian Front, Central Sweden. - SGU C 671, 36 pp.



ALUNSKIFFER , Bil 1
GEOGRAFISKT LÄGE
HACKÅSOMRÅDET
skala 1:50 000

Storsjön
290,5-293,3

Näckten

Hackås

VK

VK

83
85+40

81

80

79

78

77

76

75

74

73

72

71

70

69

68

67

66

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

323,8

333,0

333,0

333,0

333,0

333,0

333,0

333,0

333,0

333,0

333,0

333,0

333,0

333,0

333,0

333,0

333,0

333,0


333,0

Strandstuguholmen

ALUNSKIFFER
STRÅLNINGSKARTA
HACKÅS

Skala 1:50 000

LEGEND

 Områden med
förhöjd gamma-
strålning



Rune Johansson
Olle Olsson

Sveriges Geologiska Undersökning
Geofysiska byrån, sektionen
för markgeofysik

Upprättat Sept 1979
Ark. beteckn.
Reg. nr.
FM Rapportnr. 7913
Bilaga 2



ALUNSKIFFER

TOLKNINGSKARTA





VLF (RAMA)

Skala 1:50 000

LEGEND

-  Områden där alunskiffer överlagrar urberget enligt RAMA tolkning
-  Områden där välledande sjösediment överlagrar urberget

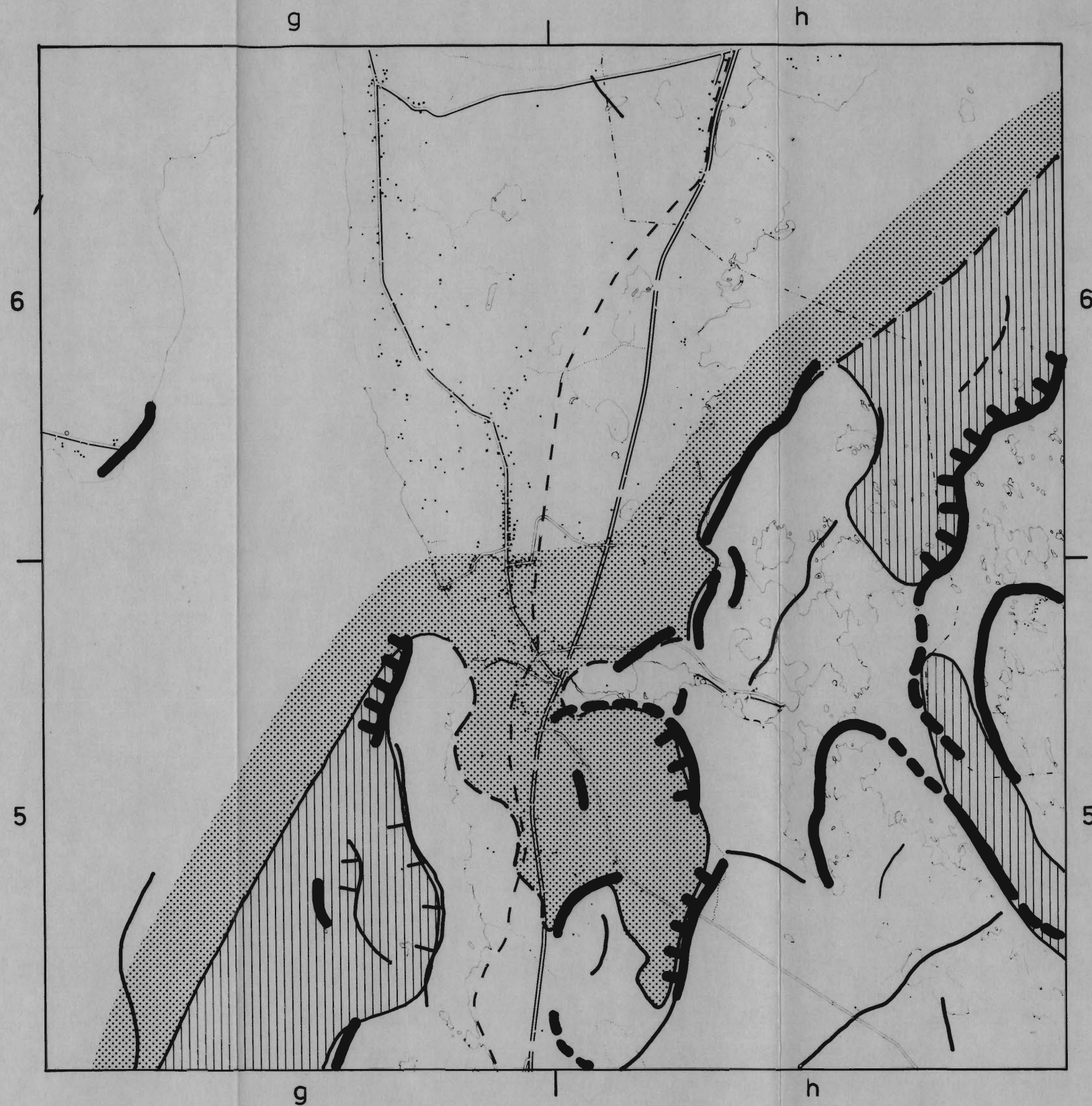
RAMA anomalier orsakade av ledare där ledningsförmågan är

-  "mycket god"
-  "god"
-  "måttlig"
-  indikerar flackstupning

Rune Johansson
Olle Olsson

Sveriges Geologiska Undersökning
Geofysiska byrån, sektionen
för markgeofysik

Upprättat Sept 1979
Ark. beteckn.
Reg. nr.
FM Rapportnr. 7913
Bilaga 3



ALUNSKIFFER

TYPKURVOR

FLYGSLINGRAM

REELL KOMPONENT

TECKENFÖRKLARING

Konfig: Koplanar
Dipolaxlarna
i flygriktningen

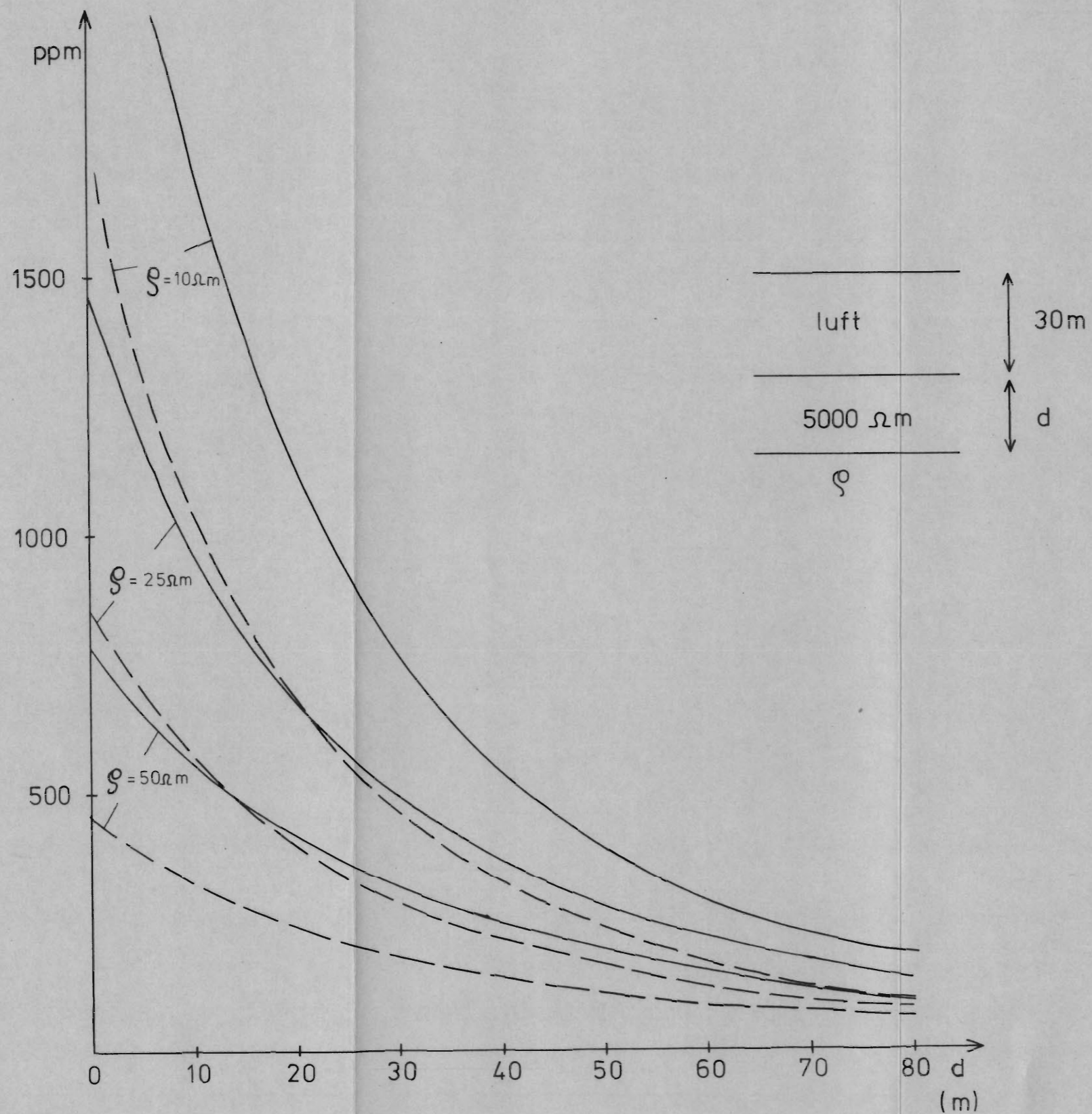
Flyghöjd: 30 m

Frekvens: 3 600 Hz

Ramavstånd:

----- 12 m

————— 14,3 m



Rune Johansson
Olle Olsson

Sveriges Geologiska Undersökning
Geofysiska byrån, sektionen
för markgeofysik

Upprättat Sept 1979
Ark. beteckn.
Reg. nr.
FM Rapportnr. 7913
Bilaga 4


ALUNSKIFFER


FLYGSLINGRAM

HACKÅS

Skala 1:50 000

LEGEND

 > 1000 ppm

 > 500 ppm

Reell komponent

Frekvens: 3 600 Hz

Ramavstånd: 14,3m

Konfig: Koplanar,
Dipolaxlarna
i flygriktningen.

Flyghöjd: 30 m

Linjeavst 152,4m

Mätningarna utförda
av Boliden Metall AB

Rune Johansson

Olle Olsson

Sveriges Geologiska Undersökning

Geofysiska byrån, sektionen
för markgeofysik

Upprättat Sept 1979

Ark. beteckn.

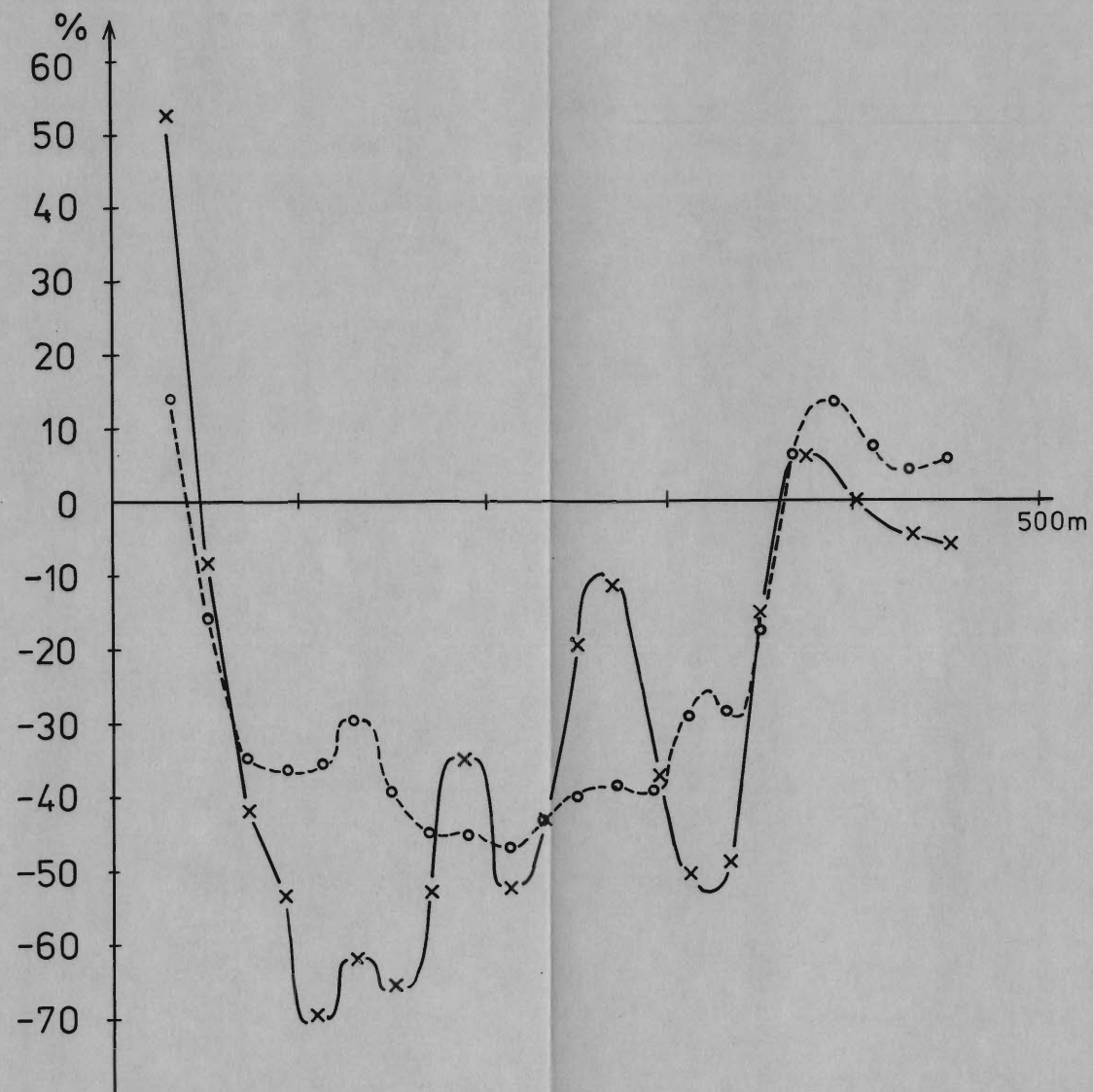
Reg. nr.

FM Rapportnr. 7913

Bilaga 5



ALUNSKIFFER
SONDERINGSPROFILER



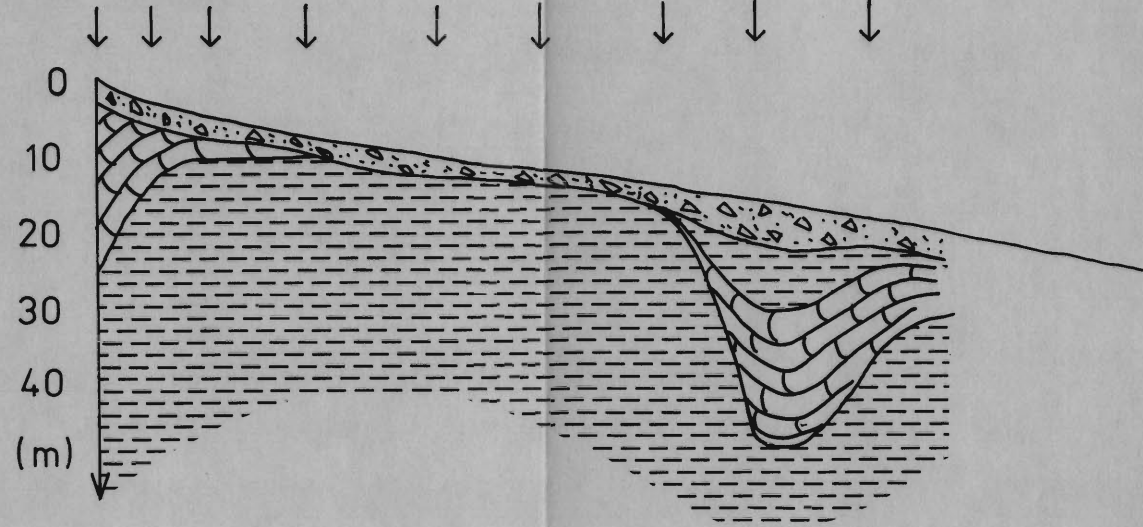
SLINGRAM

18 kHz / 60m

—x—x— Re

- -o- - Im

(Bh 79003)



SONDERINGSPROFIL NR 1

Halv-schlumberger

↓ Sonderingspunkt

▒ Övertäckning

▒ Kalksten

▒ Alunskiffer

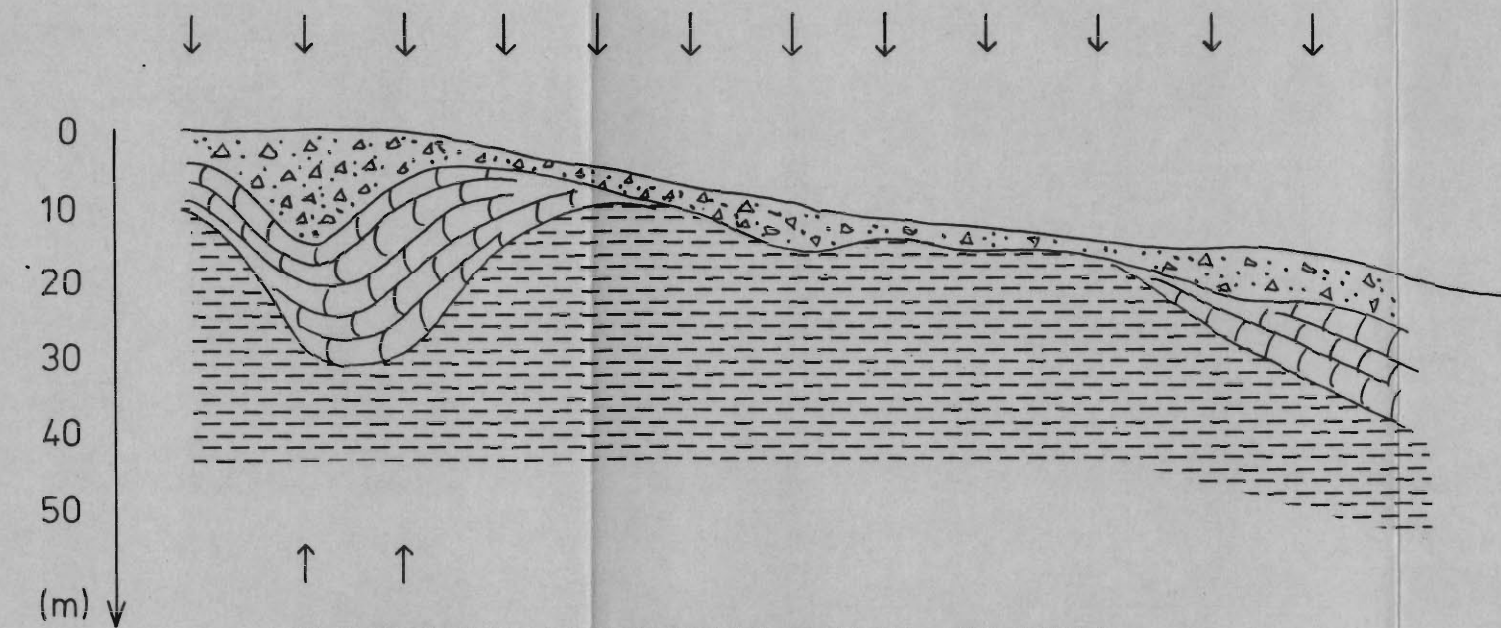
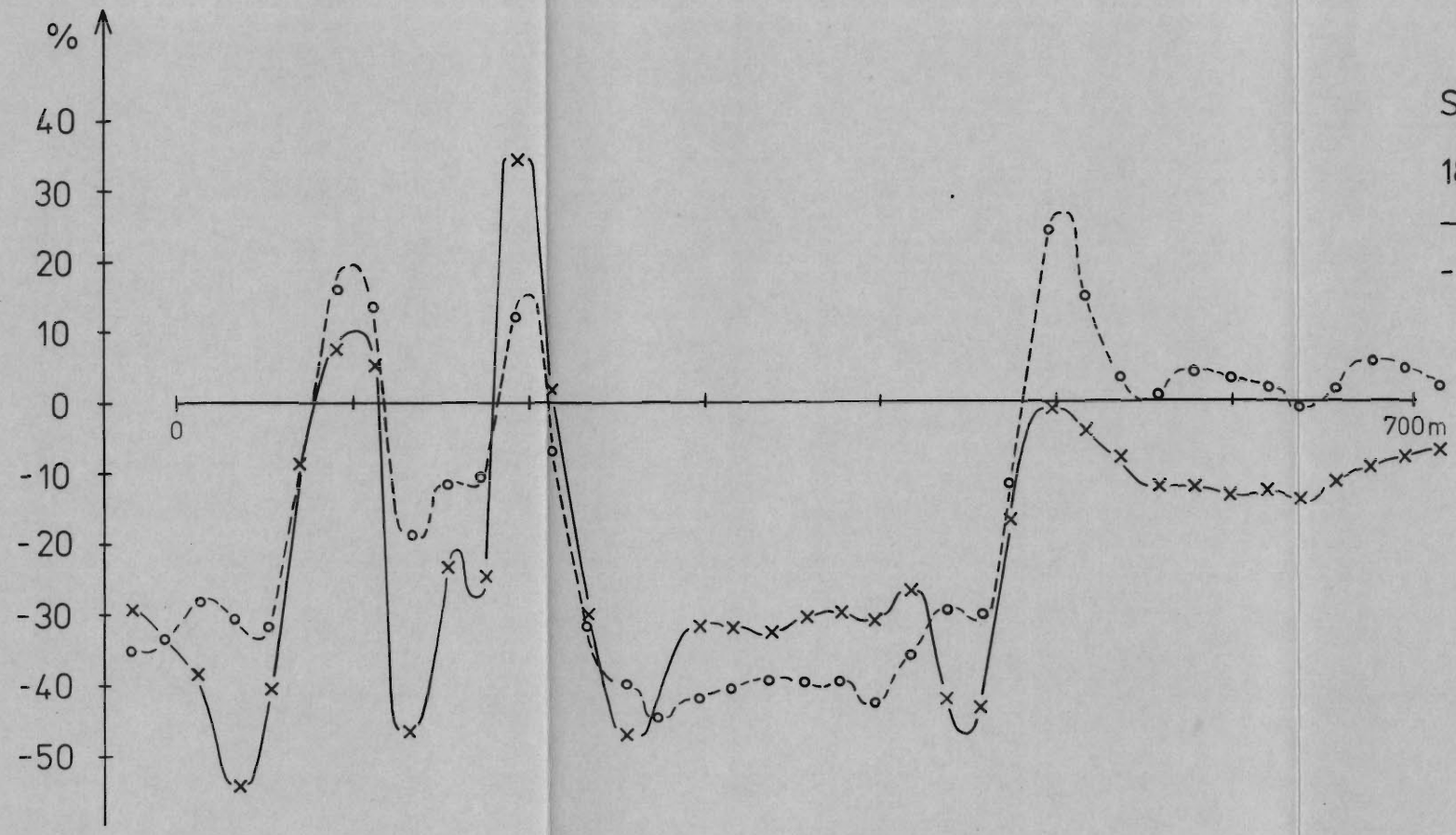
↑
FÖRMODLIGEN MISSVISANDE
RESULTAT I DENNA PUNKT

Rune Johansson
Olle Olsson

Sveriges Geologiska Undersökning
Geofysiska byrån, sektionen
för markgeofysik

Upprättat Sept 1979
Ark. beteckn.
Reg. nr.
FM Rapportnr. 7913
Bilaga 6a

ALUNSKIFFER
SONDERINGSPROFILER



SONDERINGSPROFIL NR 2
↓ Sonderingspunkt

Övertäckning
 Kalksten
 Alunskiffer

SONDERINGSRESULTATET I DESSA PUNKTER
KAN ORSAKAS AV EN SKIFFERHORIZONT
I KALKSTENEN VILKET STÄMMER BÄTTRE
MED SR - MÄTNINGEN

Rune Johansson
Olle Olsson

Sveriges Geologiska Undersökning
Geofysiska byrån, sektionen
för markgeofysik

Upprättat Sept 1979
Ark.beteckn.
Reg.nr.
FM Rapportnr. 7913
Bilaga 6b

ALUNSKIFFER

TYPKURVOR

MARKSLINGRAM

TECKENFÖRKLARING

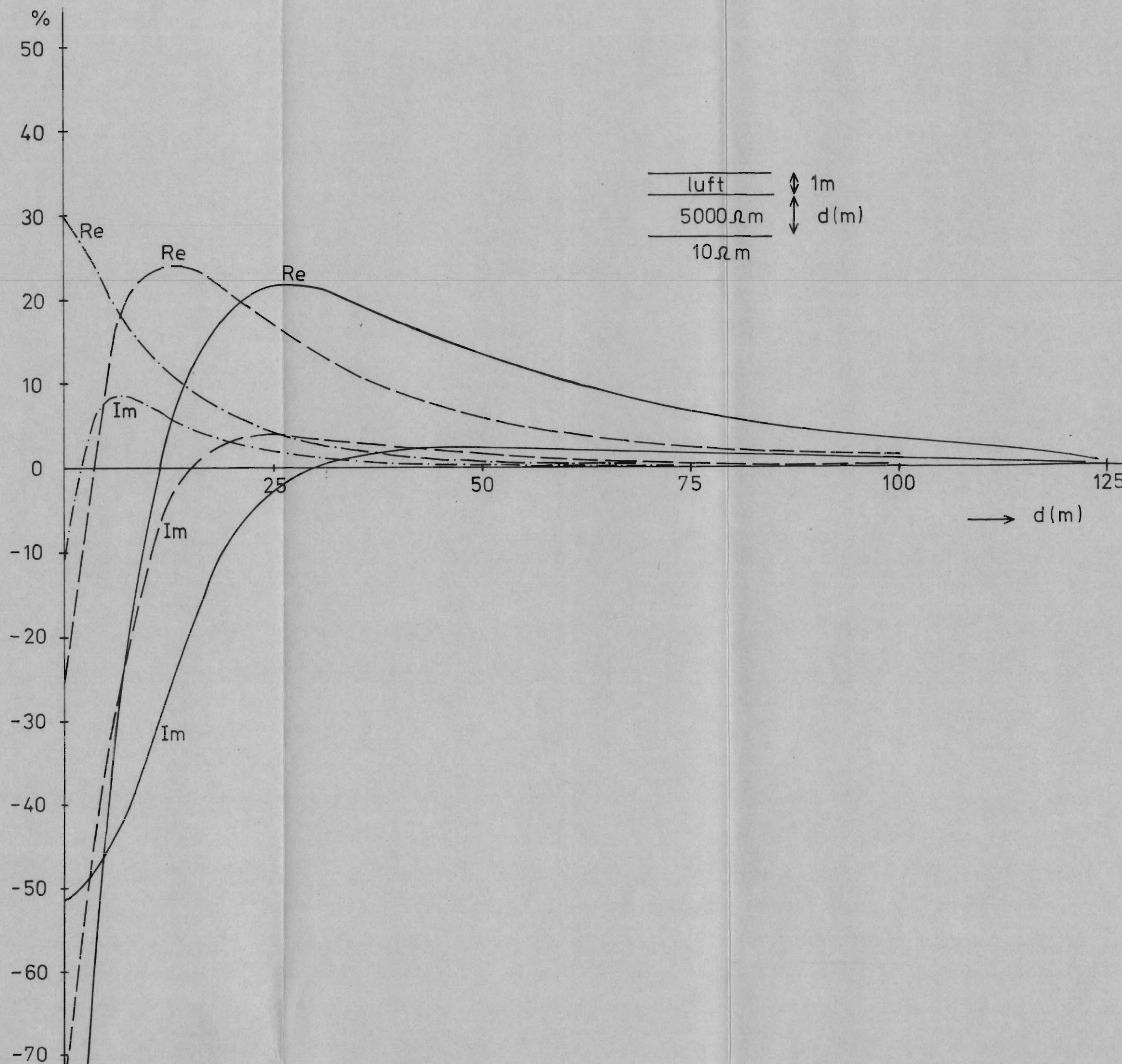
Ramavstånd:

----- 20 m

----- 40 m

----- 60 m

Frekvens 18 000 Hz



Rune Johansson
Olle Olsson

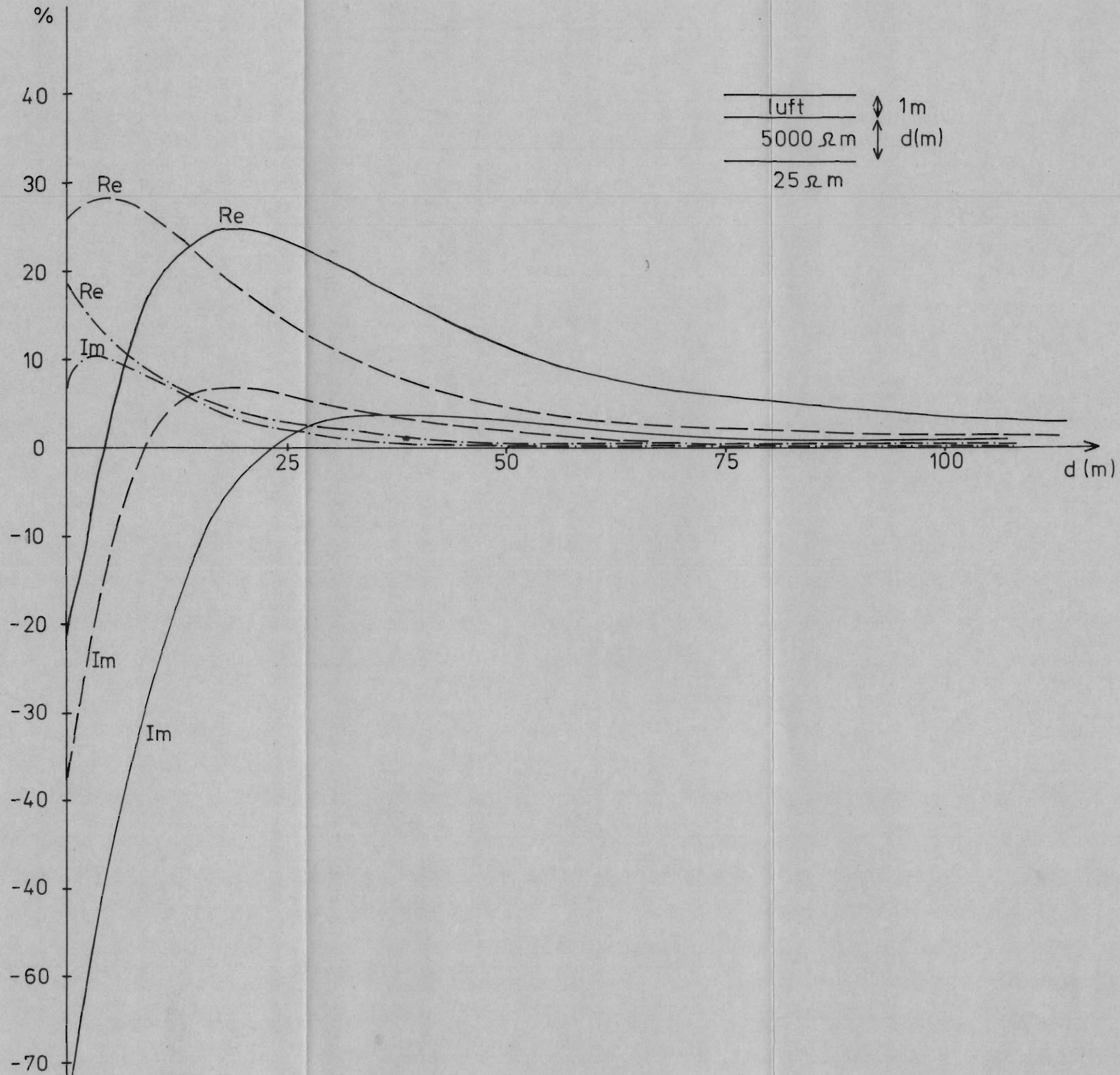
Sveriges Geologiska Undersökning
Geofysiska byrån, sektionen
för markgeofysik

Upprättat Sept 1979
Ark. beteckn.
Reg. nr.
FM Rapportnr. 7913
Bilaga 7a

ALUNSKIFFER

TYPKURVOR

MARKSLINGRAM



TECKENFÖRKLARING

Ramavstånd:

----- 20 m

----- 40 m

----- 60 m

Frekvens 18 000 Hz

Rune Johansson

Olle Olsson

Sveriges Geologiska Undersökning

Geofysiska byrån, sektionen

för markgeofysik

Upprättat Sept 1979

Ark. beteckn.

Reg. nr.

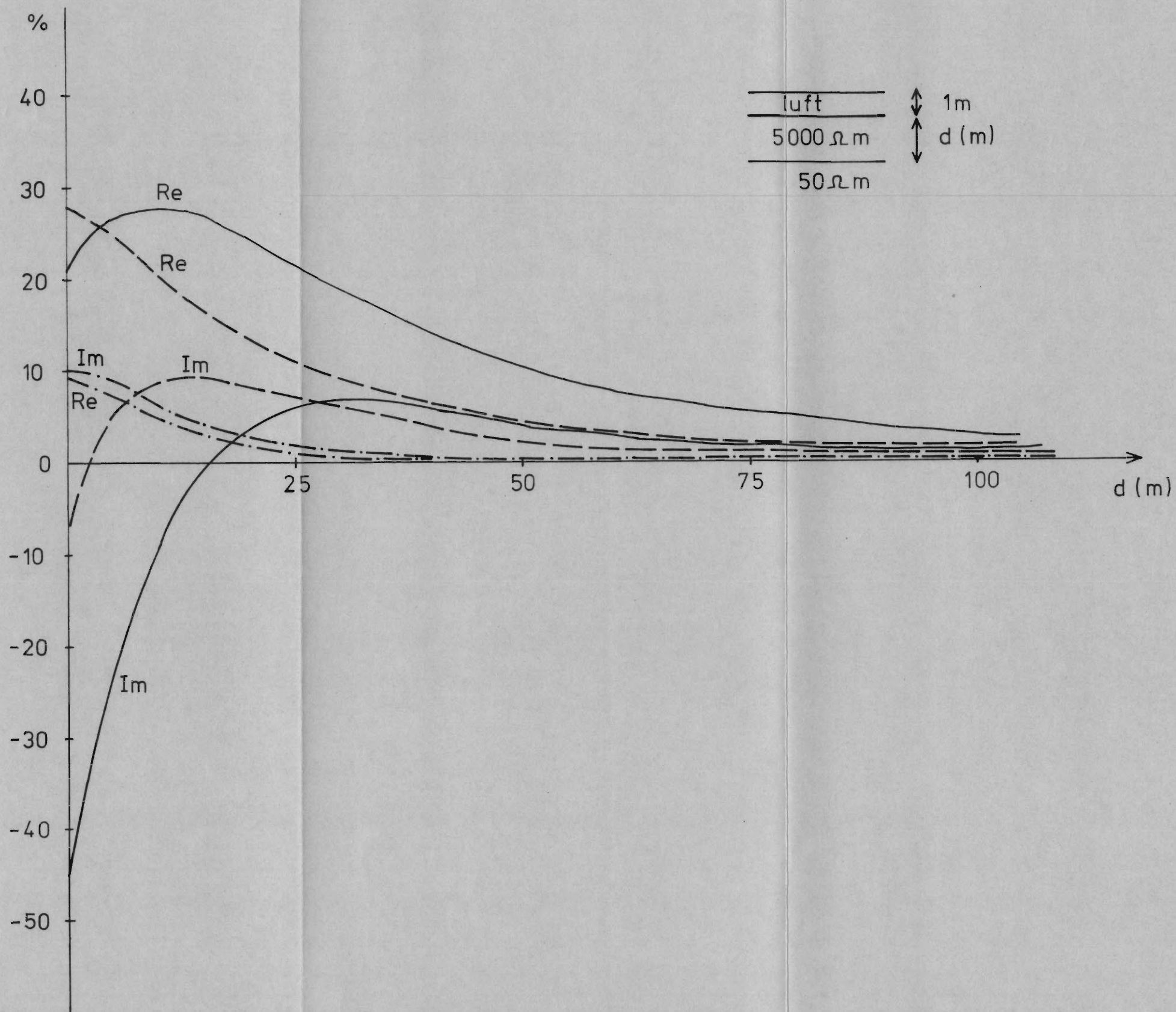
FM Rapportnr. 7913

Bilaga 7b

ALUNSKIFFER

TYPKURVOR

MARKSLINGRAM



luft	↕ 1m
5000 Ω m	↕ d (m)
50 Ω m	

TECKENFÖRKLARING

Ramavstånd:

--- 20 m

- - - 40 m

— 60 m

Frekvens 18 000 Hz

Rune Johansson

Olle Olsson

Sveriges Geologiska Undersökning

Geofysiska byrån, sektionen

för markgeofysik

Upprättat Sept 1979

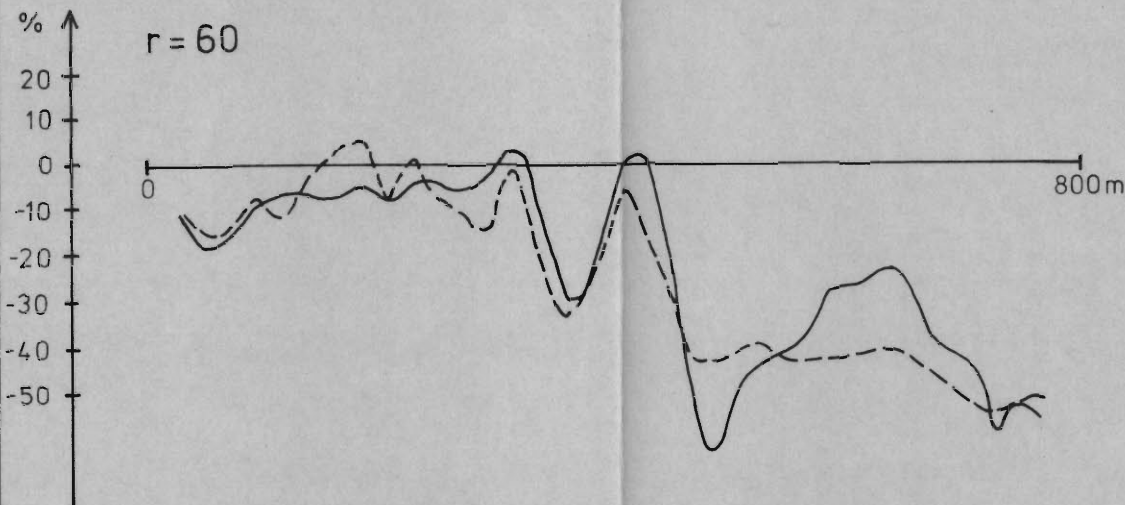
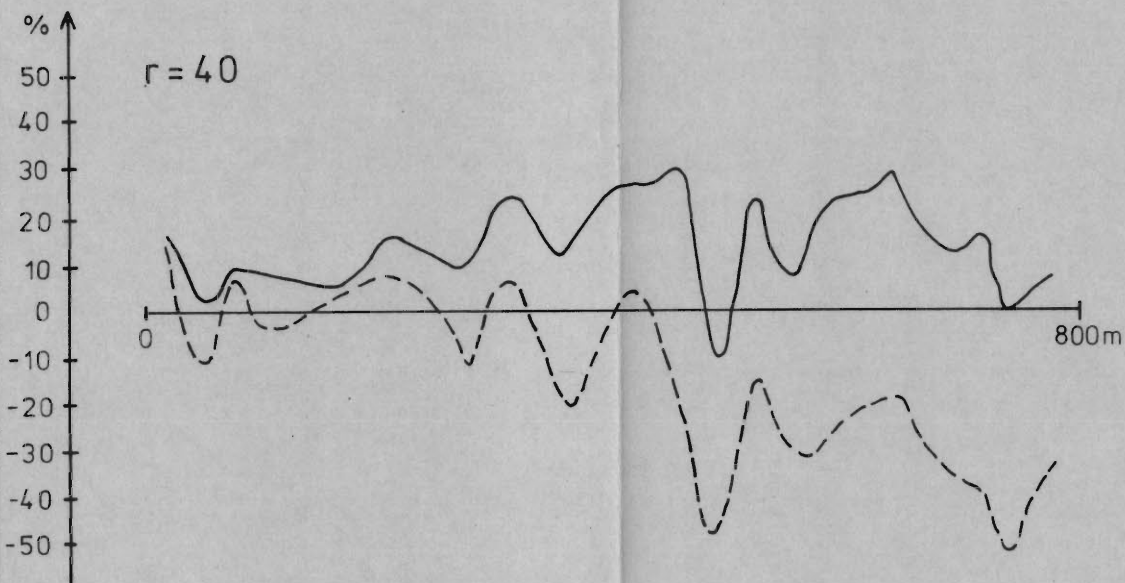
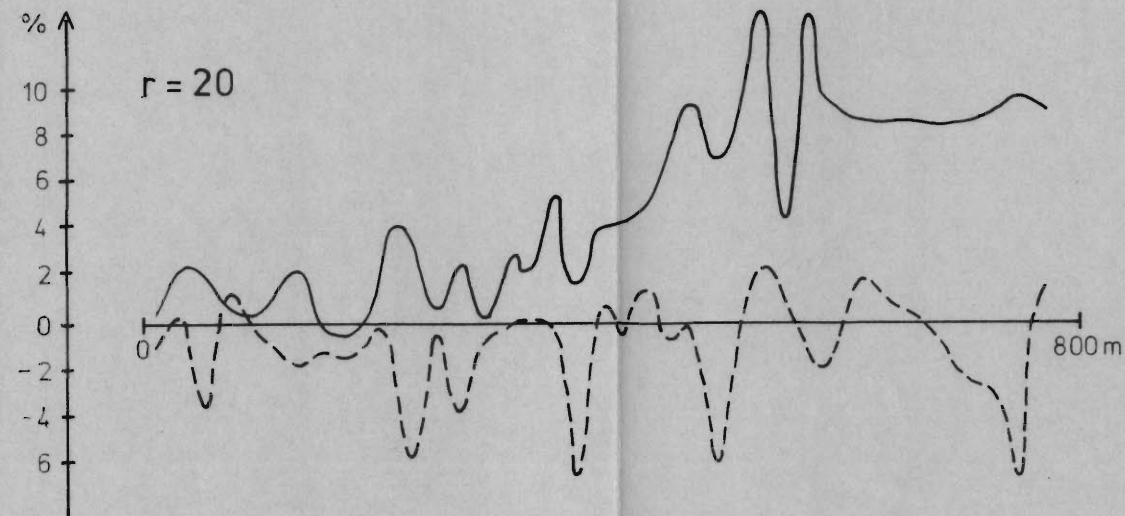
Ark. beteckn.

Reg. nr.

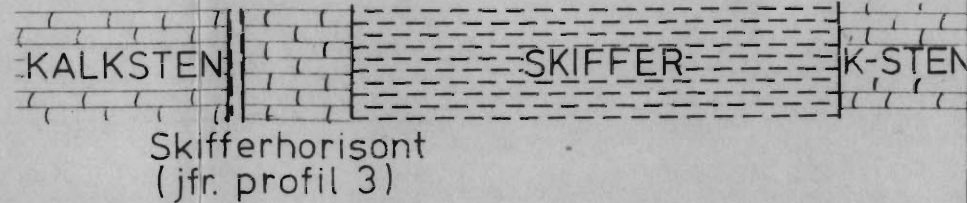
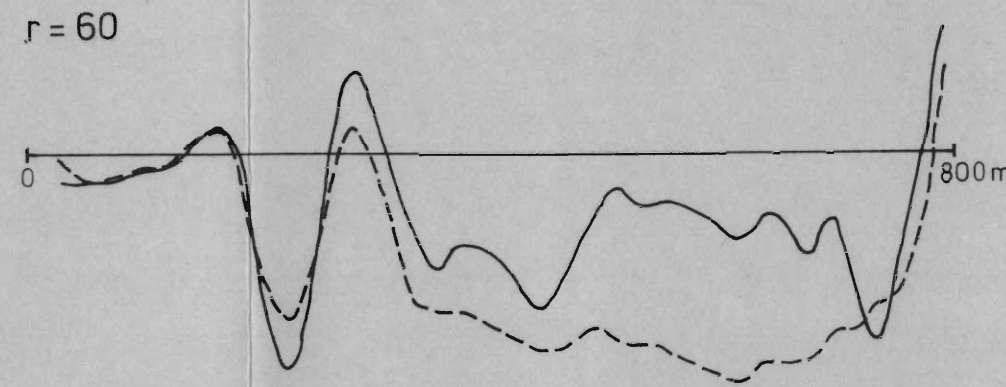
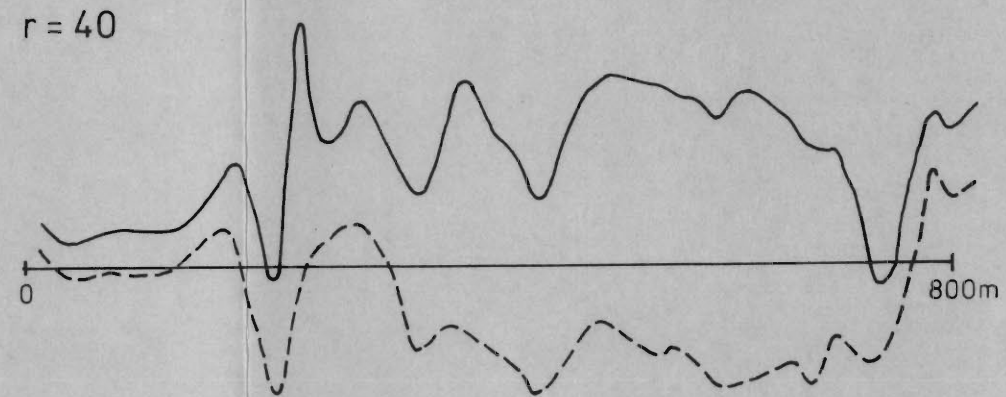
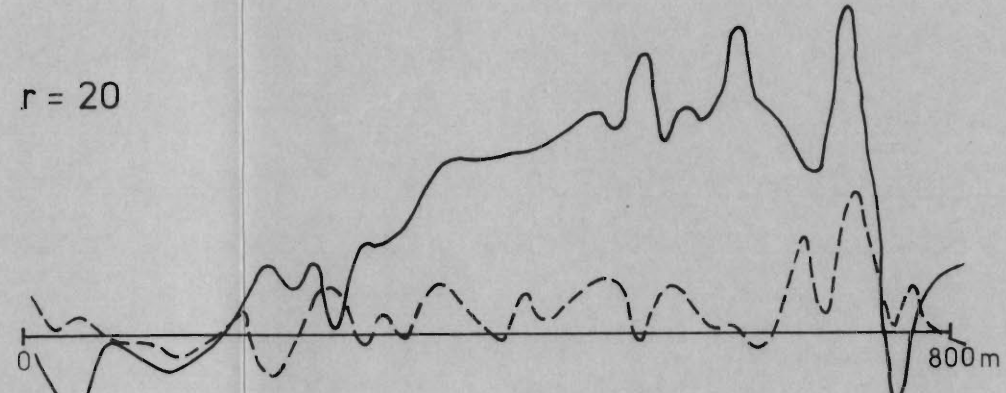
FM Rapportnr. 7913

Bilaga 7c

SLINGRAM PROFIL 3



SLINGRAM PROFIL 4



ALUNSKIFFER

SLINGRAM PROFILER

TECKENFÖRKLARING

- Reell
- - - - - Imaginär
- r = Ramavstånd

Frekvens: 18 000 Hz

Rune Johansson
Olle Olsson

Sveriges Geologiska Undersökning
Geofysiska byrån, sektionen
för markgeofysik

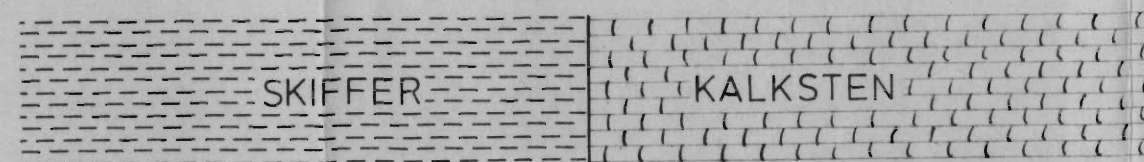
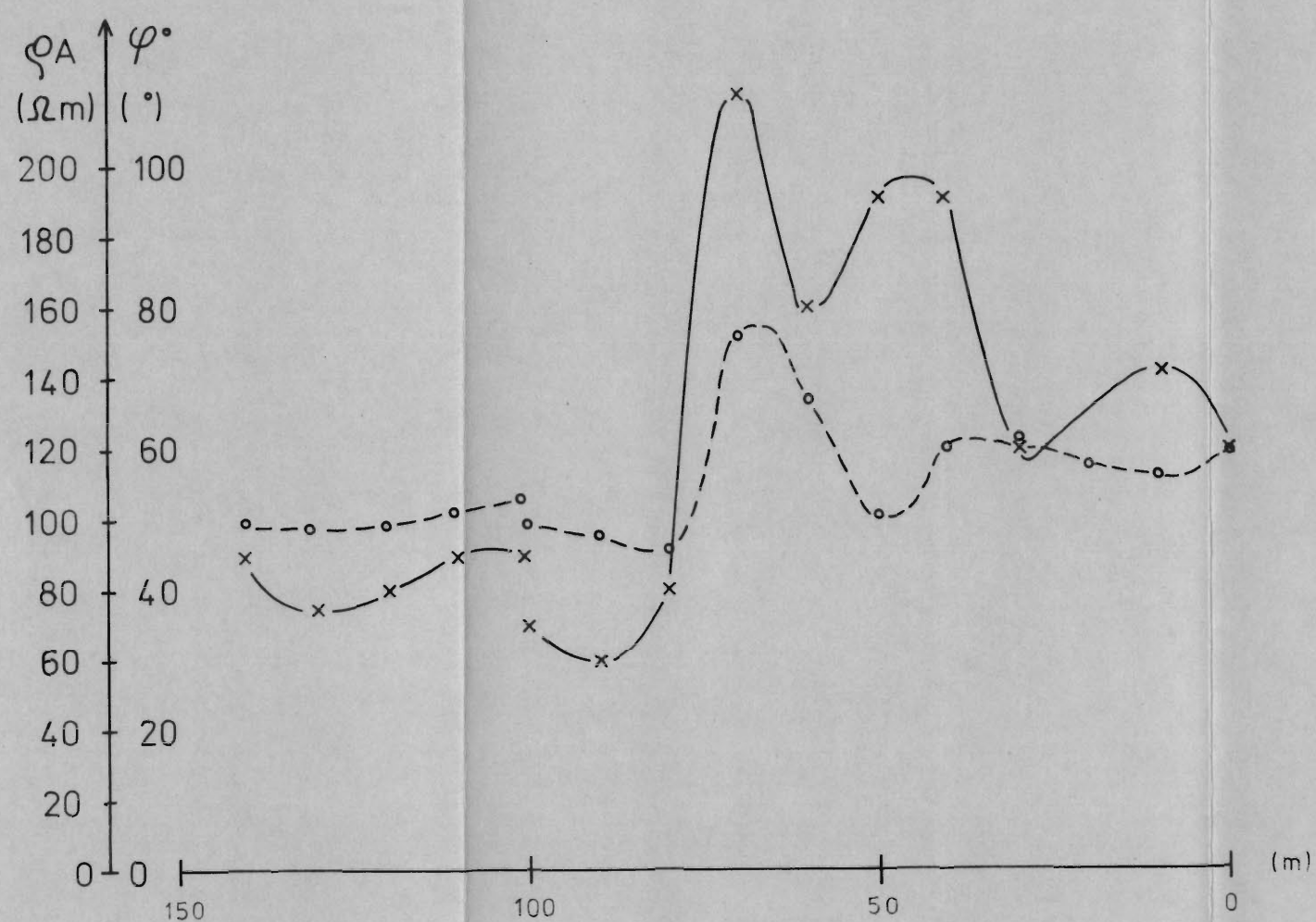
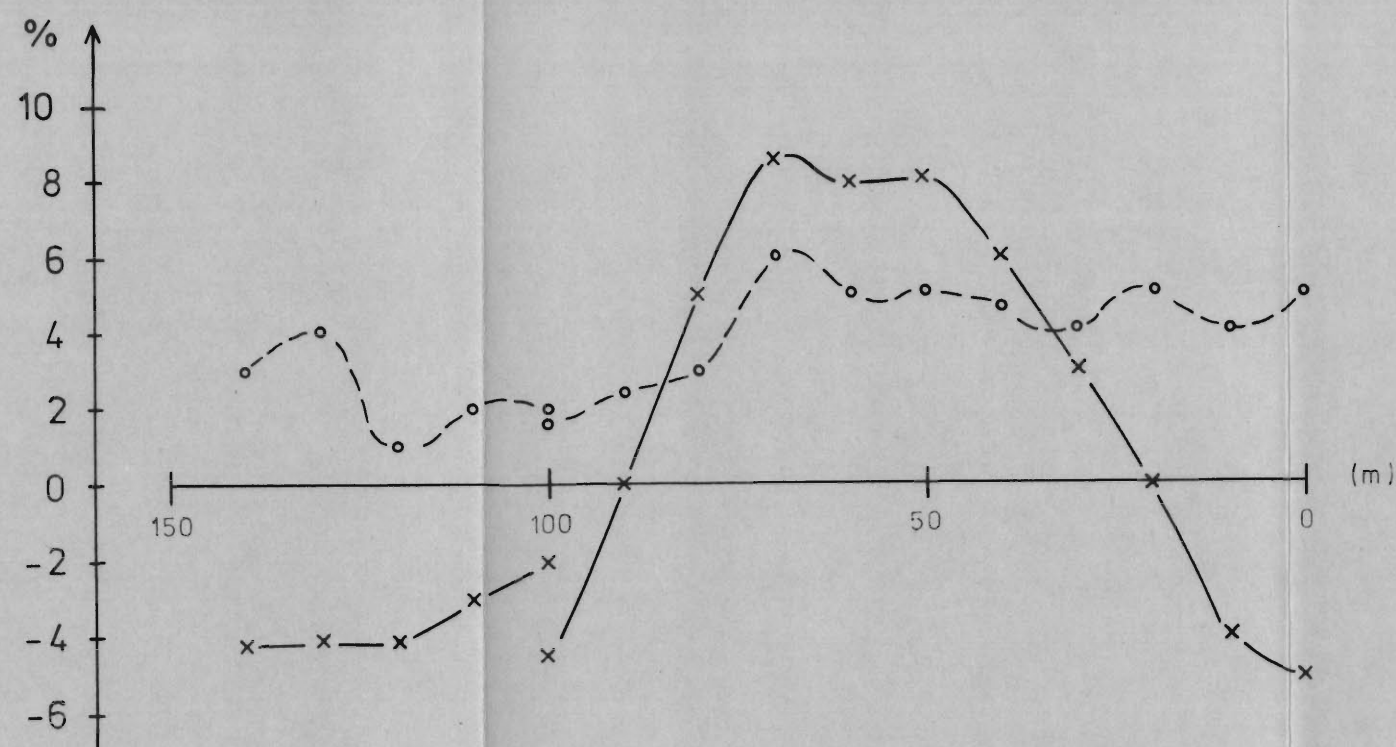
Upprättat Sept 1979
Ark. beteckn.
Reg. nr.
FM Rapportnr. 7913
Bilaga 8

ALUNSKIFFER

VLF - PROFIL 1

JXZ

Skala 1:1000



Profilen pararell-
förskjuten vid 100m

Rune Johansson
Olle Olsson

Sveriges Geologiska Undersökning
Geofysiska byrån, sektionen
för markgeofysik

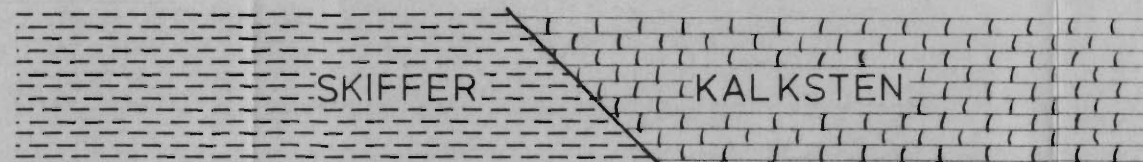
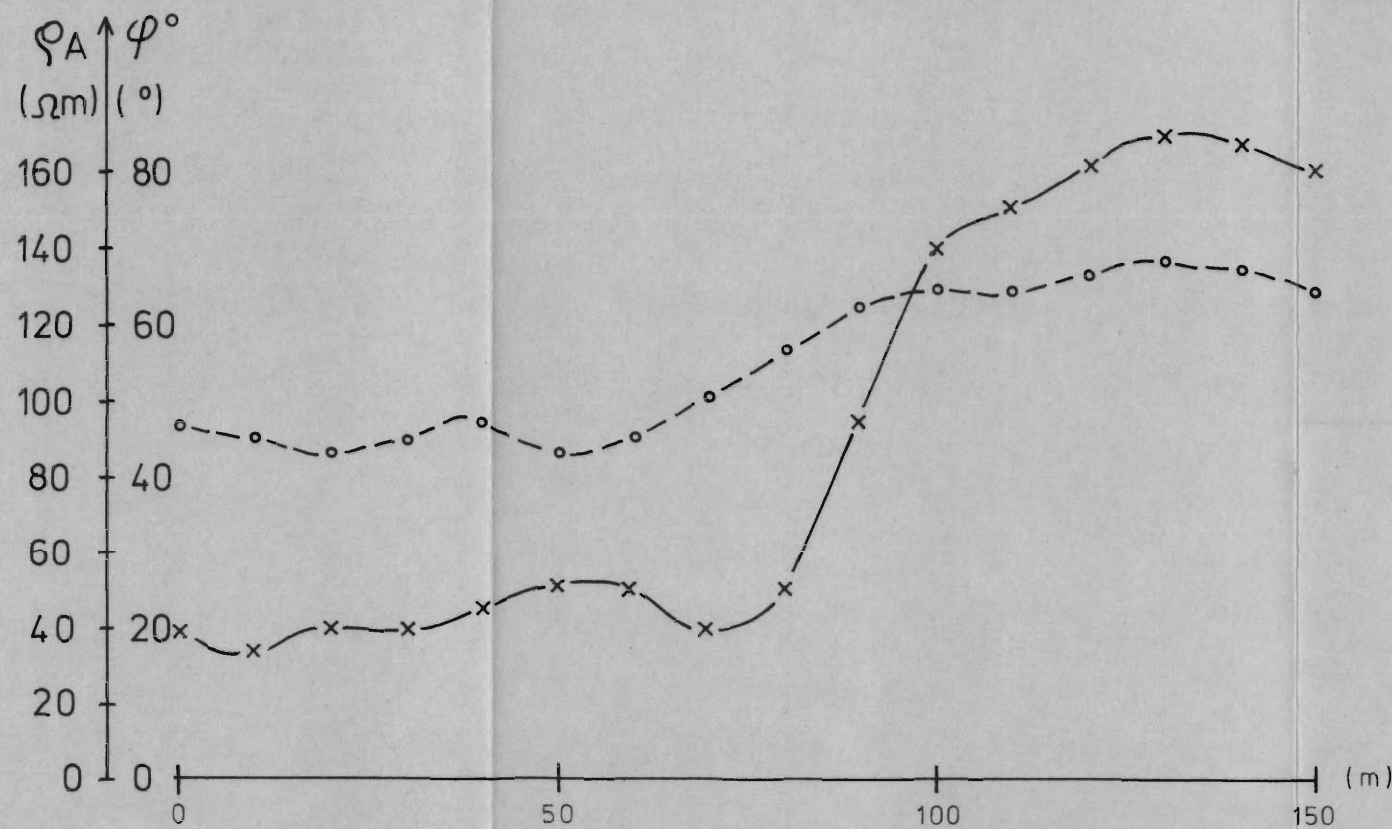
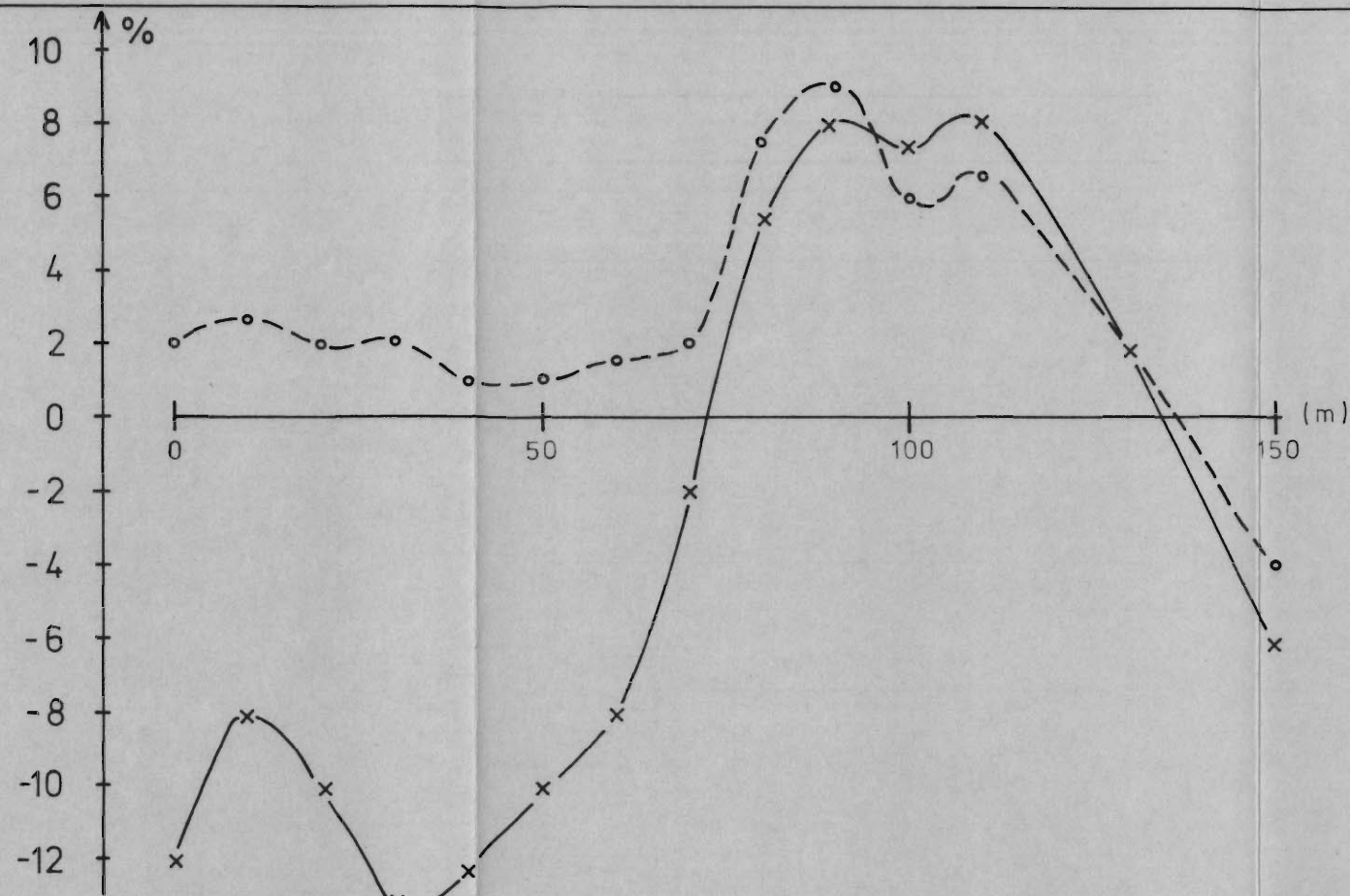
Upprättat Sept 1979
Ark.beteckn.
Reg.nr.
FM Rapportnr. 7913
Bilaga 9a

ALUNSKIFFER

VLF - PROFIL 5

JXZ

Skala 1:1000



Rune Johansson
Olle Olsson

Sveriges Geologiska Undersökning
Geofysiska byrån, sektionen
för markgeofysik

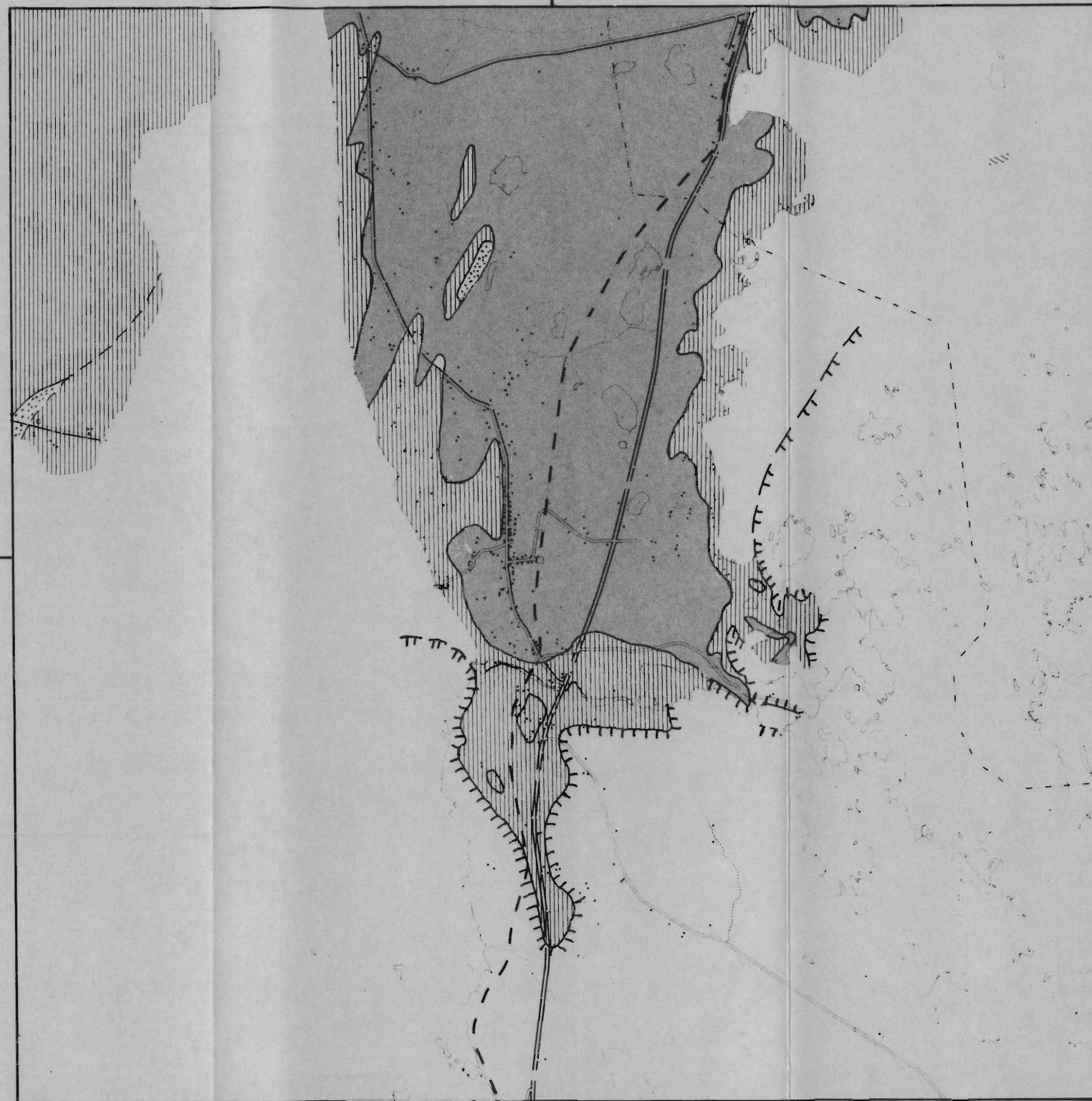
Upprättat Sept 1979
Ark. beteckn.
Reg. nr.
FM Rapportnr. 7913
Bilaga 9b

ALUNSKIFFER
GEOLOGISK KARTA
HACKÅS

Skala 1:50 000

LEGEND

-  Kalksten
-  Alunskiffer
-  Kvartsit
-  Gräns mot urberget



Rune Johansson
Olle Olsson

Sveriges Geologiska Undersökning
Geofysiska byrån, sektionen
för markgeofysik

Upprättat Sept 1979
Ark.beteckn.
Reg.nr.
FM Rapportnr. 7913
Bilaga 10

KOSTNADER FÖR OLIKA GEOFYSISKA METODER

Markmätningar

Nedan ges en kostnadsjämförelse mellan de olika metoderna. Det är kostnaden per kilometer som angivits under de förutsättningar som anges nedan, i vissa fall anges kostnaden per punkt. Kostnadsangivelsen inkluderar ej stakning, resor och uppstartningskostnader. Vissa metoder kan mätas samtidigt vilket reducerar kostnaden per metod.

Metod	Relativ kostnad/km
Elektrisk kartering inkl IP 20 meters punktavstånd	
Wennerkonfig	1,3
Schlumbergerkonfig	1
Slingram 20 meters punktavstånd	0,45
VLF 20 meters punktavstånd, 2 stationer	
H-fält	0,25
H- och E-fält	0,8
Magnet (proton-) 20 meters punktavstånd	0,2
	Relativ kostnad/punkt
Elektrisk sondering inkl IP	
Schlumbergerkonfig max utlägg 1 000 meter	0,5
Halv-Schlumbergerkonfig max utlägg 100 meter punktavstånd 50 meter	0,15
Elektromagnetisk sondering	0,4