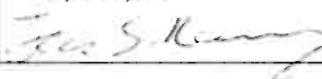


NGU Rapport nr. 89.143

Geofysiske målinger fra
helikopter over deler av
kartblad Siebe,
Finnmark fylke 1989

Rapport nr. 89.143		ISSN 0800-3416		Åpent/ Fortrolig til febr. 1997	
Tittel: Geofysiske målinger fra helikopter over deler av kartblad Siebe, Finnmark fylke 1989.					
Forfatter: H. Håbrekke, J.O. Mogaard og S. Rønning			Oppdragsgiver: Bidjovagge Gruber A/S		
Fylke: Finnmark			Kommune: Kautokeino		
Kartbladnavn (M. 1:250 000) Nordreisa			Kartbladnr. og -navn (M. 1:50 000) 1832 I Siebe		
Forekomstens navn og koordinater:			Sidetall: 25		Pris:
			Kartbilag: 27		
Feltarbeid utført: September 1989		Rapportdato: 05.03.1990		Prosjektnr.: 32.2538.00	Seksjonssjef: 
Sammendrag: Rapporten inneholder resultater fra geofysiske målinger fra helikopter over deler av kartblad Siebe, Finnmark fylke. Oppdraget ble utført for A/S Bidjovagge Gruber og det ble fløyet 2017 profil-kilometer. Flyhøyde og profilavstand var henholdsvis 60 m og 50/100 meter. Datainnsamlingen foregikk i september 1989 og data ble prosessert i NGUs dataanlegg. Resultatene er presentert som profil- og kotekart tegnet ut på Calcomp fargeplotter. Målestokkene er 1:25 000 og 1:10 000.					
Emneord		Magnetometri		VLF-måling	
Geofysikk		Radiometri			
Helikoptermåling		Elektromagnetisk måling		Fagrapport	

INNHALDSFORTEGNELSE

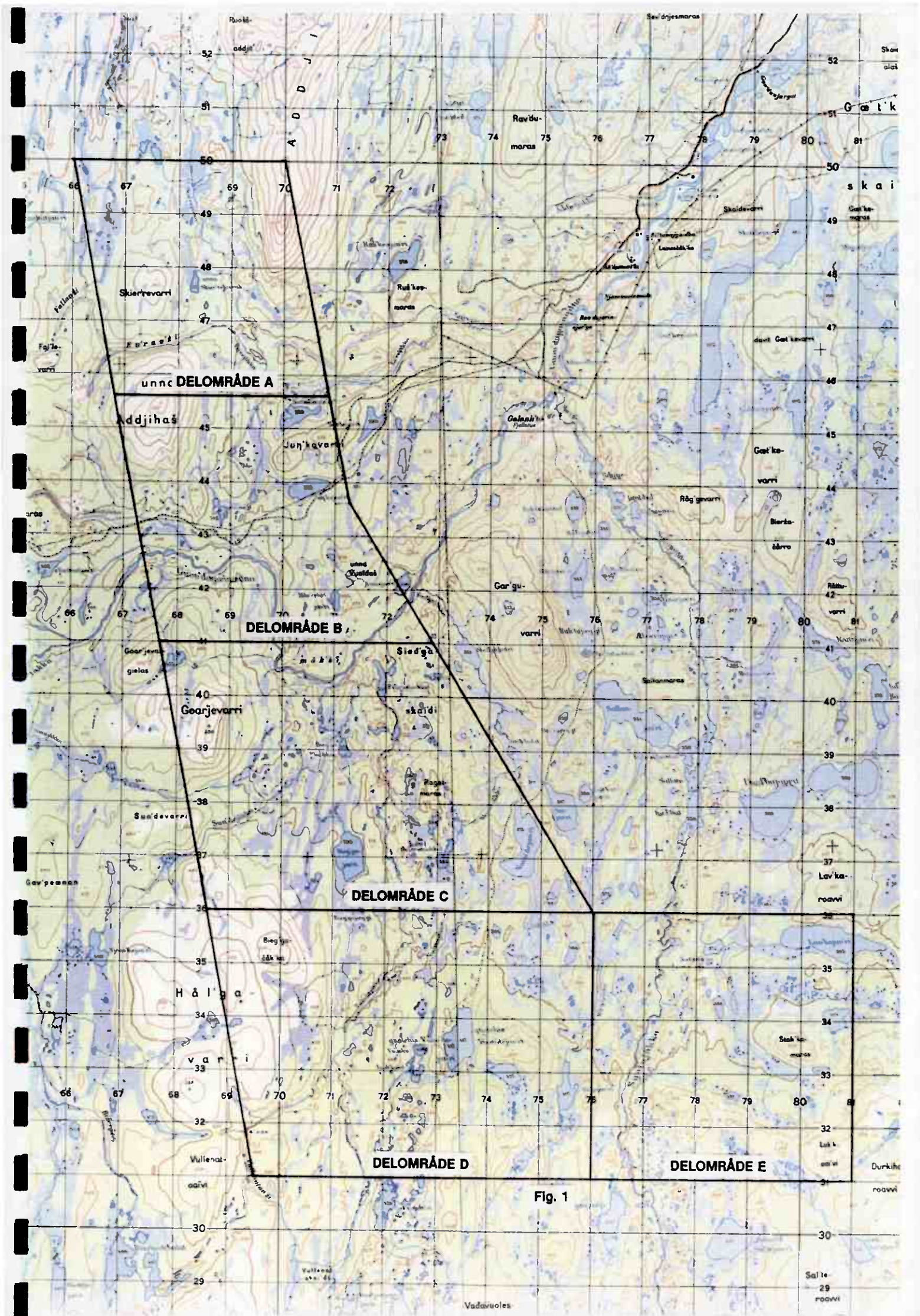
INNLEDNING	1
UNDERSØKELSESBETINGELSER	2
MÅLEMETODER OG INSTRUMENTER	3
1. MAGNETISKE MÅLINGER	3
2. ELEKTROMAGNETISKE MÅLINGER	3
3. VLF-ELEKTROMAGNETISKE MÅLINGER	4
4. RADIOMETRISKE MÅLINGER	5
5. RADARHØYDEMÅLER, ELEKTRONISK NAVIGASJON, DATALOGGER- SYSTEM OG DIVERSE TILLEGGSUTSTYR	5
UTFØRELSE	7
BEARBEIDELSE AV DATA	8
RESULTATER	10
REFERANSER	12

INNLEDNING

Høsten 1989 fikk geofysisk avdeling ved NGU i oppdrag fra Norsulfid A/S / Bidjovagge Gruber A/S å utføre geofysiske målinger fra helikopter over et 100 kvadratkilometer stort område syd for Kautokeino i Finnmark fylke.

Området er tidligere dekket med flymålinger (magnetiske og elektromagnetiske målinger-1959) og helikoptermålinger (Sander EM, magnetometri,VLF og radiometri-1985). I 1989 ble det benyttet et nytt 4 frekvens EM-utstyr, VLF, magnetometer samt radiometrisk utstyr.

Profilavstanden ble bestemt til 50 m-og 100 m. Det ble benyttet elektronisk navigasjon for å oppnå ønsket nøyaktighet og områdedekning. Figur 1 viser oppdelingen av måleområdet i 5 delområder.



UNDERSØKELSESBETINGELSER

Terrengforholdene rundt Kautokeino er ideelle for geofysiske målinger fra helikopter. Topografien innenfor måleområdet kan i verste fall betegnes som småkupert. Det vil derfor være mulig for en trenet pilot å holde tilnærmet eksakt målehøyde, dvs 60 meter for helikopteret. I flatt terreng vil man få ubetydelige variasjoner i helikopterets hastighet og stigevinkel. I kupert og vanskelig terreng vil dette være en støykilde som forringer målingene.

Elektronisk navigasjon favoriseres også i flatt terreng idet man unngår skyggevirkninger fra høyder og annet som hindrer fri sikt mellom utplasserte transpondere og helikopteret. For å kunne fly 50 meters profilavstand er bruk av elektronisk navigasjon nødvendig. I tillegg til elektronisk navigasjon ble kart i målestokk 1:10000 benyttet under flyvningene. Navigatoren merket av kjente referansepunkt (vei, elv, vann, myr etc.) på kartet langs forhåndspåtegnede profil. Samtidig registreres disse punktene i dataloggeren slik at dette blir en ekstra sikkerhet i tilfelle det elektroniske navigasjonssystemet skulle falle bort.

Værforholdene har stor innvirkning på resultatet av helikoptermålingene. Regn og vind kan føre til høyt støynivå og skaper vanskelige forhold for navigasjon. Under målingene syd for Kautokeino var værforholdene gode slik at data som ble samlet inn var av god kvalitet. Forøvrig mangler VLF data i en liten del av området fordi signalet fra VLF senderen forsvant under en av flyvningene.

Området består av vann, våtmark, morener og grus. Bare få steder finner en utgående fjell. Radiometrisk stråling skjermes effektivt av vann, våtmark og tett overdekke og en kan derfor ikke forvente stråling av betydning i området. Dette bekreftes også av tidligere utførte målinger.

MÅLEMETODER OG INSTRUMENTER

Ved NGU's kombinerte geofysiske målinger fra helikopter utføres fire måletyper samtidig :

1. Måling av det jordmagnetiske totalfeltet
2. Elektromagnetiske målinger (4 frekvenser)
3. Radiometriske målinger
4. VLF målinger (Very Low Frequency)

(Se også appendix 1)

1. Magnetiske målinger.

Det jordmagnetiske totalfeltet måles med et cesium magnetometer av type Scintrex MEP 410. Sonden for magnetometeret henger 15 meter under helikopteret i en kabel som er surret felles med kablene for VLF og EM instrumentene.

Cesiummagnetometeret har en meget høy følsomhet (0.005 nT), og målefrekvensen er også høyere enn for et protonmagnetometer.

Instrumentet kan foreta inntil 10 målinger pr sekund. Vanligvis benyttes to målinger i sekundet. Dette sammen med målehøyden på ca. 45 meter og helikopterets hastighet på ca. 30 meter/sekund bevirker at anomaliårsaker med 30 - 40 meters avstand fra hverandre kan skilles i bakkenivå.

2. Elektromagnetiske målinger.

NGU's elektromagnetiske målesystem for helikoptermålinger består av et fire frekvens sender - mottaker system av type EMEX - 2 , levert av Aerodat Ltd i Canada. Systemet består videre av en 7 meter lang slepesonde med to koaksiale og to koplanare spolekonfigurasjoner. Sender og mottakerspolene med tilhørende elektronikk er plassert i hver sin ende av målesonden som slepes 30 meter under helikopteret.

Primærfeltet fra senderspolene induserer strømmer i eventuelle elektrisk ledere i bakken. De induserte strømmene setter opp et sekundærfelt som registreres av mottakerspolene i målesonden. Respons (anomalier) fra elektrisk ledende materialer i bakken kan dermed registreres. Systemet kan registrere sekundærfelt som er under 1 ppm (1 milliontedel) av primærfeltet.

Fordelene med et multifrekvens system er at man under gode målebetingelser oppnår respons fra geologiske objekter med resistivitet varierende fra noen tidels ohm-meter til flere tusen ohm-meter. Tolkningen av måledata lettes også ved at man benytter flere sender - mottaker spolekonfigurasjoner (se appendix 1).

De fire frekvensene som benyttes i NGU's målesystem er :

Koaksial spole 1 : 923 Hz

Koaksial spole 2 : 4557 Hz

Koplanar spole 1 : 4287 Hz

Koplanar spole 2 : 34165 Hz

Systemet registrerer en reell og en imaginær komponent for hver frekvens. Reellkomponenten er i fase med primærfeltet, mens imaginærkomponenten er 90 grader faseforskyvet i forhold til primærfeltet. I tillegg registreres respons fra kraftlinjer.

Kraftlinjer vil påvirke spesielt de lave frekvensene slik at måledata nær kraftlinjer ofte må fjernes.

EMEX-2 systemet måler kontinuerlig, mens det digitale systemet samler data 10 ganger i sekundet. På denne måten øker oppløsningen og "spikes" fra elektriske feil eller utladninger i atmosfæren kan fjernes fra måledata. Dybderekkevidden for systemet er ca. 100 meter under bakkenivå når målebetingelsene er gode.

3. VLF - elektromagnetiske målinger.

Ved VLF - målinger fra helikopter benyttes måleinstrumenter av type TOTEM 2A levert av Herz Industries, Kanada. VLF målingene bruker primærfeltet fra militære radiosendere i Europa og USA som signalkilder. Senderne opererer i frekvensområdet 15 - 25 kHz.

TOTEM 2A systemet består av en målesonde med tre ortogonale målespoler og tilhørende elektronikk. Sonden slepes ca. 10 meter under helikopteret. Målesignalene sendes via en kabel til et konsol i helikopteret der de omformes og behandles. Systemet måler samtidig signaler fra to sendere som velges før målingene startes. For å oppnå god kobling med eventuelle elektriske ledere i området som skal undersøkes bør sendere med geografisk beliggenhet mest mulig i eller perpendikulært på flyretningen velges. Dette kan ofte by på store problemer, særlig når man opererer i Nord-Norge.

VLF målingene er som EM målingene følsomme for forstyrrelser fra kraftlinjer og radiosendere. Dersom målebetingelsene er gode vil VLF målingene kunne gi respons fra objekter med svak elektrisk ledningsevne, og vil derfor utfylle målinger med lavfrekvente EM instrumenter. Dybderekkevidden er ofte bedre ved VLF målinger enn for EM målinger når overdekket har høy resistivitet. Dette skyldes høy utgangseffekt og stor avstand til senderne (se appendix 1).

4. Radiometriske Målinger.

Til måling av gammastråling fra bakken benyttes et spektrometersystem levert av Geometrics, USA.

Utstyrspakken består av :

1. Multikanal gammaspektrometer, type GR 800 B
2. Krystalldetektor (NaI), type DET 1024
3. Detektor styreenhet, type GR 900

Krystalldetektoren består av 4 NaI (natriumjodid) krystaller med totalt volum 1024 kubikk-tommer (16.8 l). Detektoren plasseres på en plattform som festes på undersiden av helikopteret, slik at målekrystallene har uhindret sikt ned mot bakken. Krystalldetektoren blir varmestabilisert ved hjelp av et termostattyrt varmeelement.

Spektrometeret er en pulshøydeanalysator som analyserer måledata etter energi og sorterer data i 256 kanaler. Hver kanal har en energibredde på 0.012 Mev i gamma energispekteret. "Vinduer" i spekteret som består av flere kanaler samler bidrag fra Kalium-40, Bismuth-214 og Thallium-208. Totalstrålingen mellom 0.2 Mev og 6 Mev blir også registrert. Bismuth-214 og Thallium-208 er isotoper i Uran og Thorium kjedene som avgir gammastråling.

Målefrekvensen for de radiometriske målingene kan varieres mellom 0.1 - 9.9 sekunder. Vanligvis benyttes en måletid på 1-2 sekund. Mellom hvert målepunkt akkumuleres tellingene og under prosesseringen ved NGU blir måledata normalisert til 1 måling pr. sekund (1 count/sec). Se appendix 1.

5. Radarhøydemåler, elektronisk navigasjon, dataloggersystem og diverse tilleggsutstyr.

I tillegg til geofysiske parametre blir helikopterets høyde over bakken målt med en radarhøydemåler av type King KRA-10A. Høyden blir vist på et instrument foran piloten samt registrert både på en skriver og i den digitale dataloggeren. Målenøyaktigheten for radarhøydemåleren er 2 meter i den aktuelle målehøyden.

Den elektroniske navigeringen ble utført ved hjelp av et Motorola miniranger system innleid fra Kanada. Under målingene syd for Kautokeino var en navigasjonskonsulent fra Aerodat, Kanada tilstede. Systemet benytter transpondere som plasseres på forhåndsvalgte punkter i nærheten av måleområdet. En sender-mottaker som er montert i helikopteret kommuniserer med de utplasserte

transponderne og avstanden mellom helikopter og transpondere beregnes flere ganger i sekundet. Et styreinstrument er plassert foran piloten slik at korrekt kurs kan holdes hele tiden.

Måleområdet syd for Kautokeino er flatt og en oppnådde nesten 100 % dekning med det elektroniske navigasjonssystemet. Nøyaktigheten i posisjonering av målepunktene langs profilene er derfor meget god (+/- 10-meter).

Dataloggersystemet som benyttes består av en utstyrspakke levert av RMS Instruments, Kanada. Denne pakken inneholder følgende :

1. DAS 8 - dataloggersystem
2. TCR 12 - datakassett recorder
3. GR 33 - 32 kanals analog skriver, alfanumerisk

På skriveren registreres :

EM : 8 signalkanaler og 1 kraftlinjeindikator

VLF : 4 signalkanaler

Magnetometer : Magnetisk totalfelt med varierende følsomhet

Spektrometer : Totalstråling og uran kanalen

I tillegg kommer radarhøyden, klokke, fiducialpunkter og elektronisk navigasjon.

DAS 8 dataloggeren er kjernen i systemet som formidler data både til skriver og datarecorder (TCR 12). Systemet er meget fleksibelt og kan konfigureres til å samle og behandle data fra flere instrument samtidig. Formattede data blir lagt ut på en datakassett via TCR 12 enheten. Datakassetten har en lagringskapasitet på 12 Mbyte og dekker vanligvis lagringsbehovet for en flytur. Data fra kassetten blir ved prosessering lest inn i NGU's dataanlegg via TCR 12 enheten.

For å registrere daglige og tidsavhengige variasjoner i det jordmagnetiske feltet benyttes et basemagnetometer med både analog og digital registrering. Basemagnetometeret består av :

1. Protonmagnetometer av type Scintrex MP-3.
2. Skriver av type TOA EPR-121A.
3. PC av type Toshiba T3100e.

Basemagnetometeret plasseres i eller nær området som skal undersøkes. Data som registreres av basemagnetometeret brukes under prosesseringen av måledata for å korrigere for tidsavhengige variasjoner i magnetfeltet.

UTFØRELSE

Flyretning, profilavstand og kartmålestokk ble bestemt i samråd med geolog J. Heim fra Norsulfid A/S og geofysiker A. Hattula fra Outokumpu mining. Området ble delt i fem delområder med ulik flyretning og profilavstand.

Totalt ble det målt 2017 km ved oppdraget syd for Kautokeino. Profilavstanden var 50 og 100 meter, mens flyhøyden var 60 meter. I det sydøstlige delområdet ble flyretningen bestemt til nord - syd. I de andre delområdene var flyretningen øst - vest.

Målingene ble utført i tidsrommet 18.09.89 til 27.09.89. Som base for oppdraget ble forsvarets helikopterbase i Kautokeino benyttet. Basemagnetometeret ble montert i Kautokeino.

Som kartgrunnlag for navigasjon ble kart i 1:50 000 serien oppfotografert til 1:10 000 og deretter påtegnet profillinjer.

Det ble benyttet et helikopter av typen Aerospatiale Ecureuil SA 350BI fra Helikopterteneste A/S i Kinsarvik, til dette oppdraget.

Værforholdene var gode under målingene og måledata er av god kvalitet. VLF signalene ble borte under en flytur, og det mangler derfor VLF data fra denne turen.

Fra NGU deltok :

Overingeniør : John O. Mogaard

Avd.ingeniør : Stig Rønning

Ingeniør : Oddvar Bløkkum

Fra Aerodat, Kanada :

Geofysiker : David Wright

Fra Helikopterteneste A/S :

Pilot : Leif Huus

Mekaniker : Conny Olsson

BEARBEIDELSE AV DATA

Alle målte geofysiske data blir prosessert i NGU's dataanlegg. En datamaskin av type Microvax II benyttes til dette formålet. Alle profilkurvekart og kotekart med eller uten farger plottes ut på en Calcomp 58000 elektrostatisk fargeplotter. Relieffkartene blir produsert på en Applicon ink-jet fargeplotter. All programvare som benyttes ved prosesseringen er levert av Aerodat, Kanada. Grafisk programvare som benyttes kommer dels fra samme firma, og dels av egen produksjon (O. Kihle).

Bearbeiding av måledata starter med de elektroniske navigasjonsdata som danner grunnlaget for en nøyaktig gjenskapning av profilnettet. Alle målepunktene blir gitt x-y koordinater, slik at data kan plottes ut i form av kurver og kart etter bearbeiding i datamaskinen.

Magnetiske data blir lett filtrert for å fjerne "spikes" uten at informasjon av betydning går tapt. Deretter korrigerer man de målte data for tidsavhengige variasjoner i det jordmagnetiske feltet. Dette gjøres ved å korrelere de registrerte basemagnetometer data med de data man måler i helikopteret. Som referanse bruker man tid ved denne korreleringen. Under denne prosessen blir alle målepunktene normalisert mot en basisverdi som måles av basemagnetometeret. Denne prosessen sikrer at målte helikopter anomalier skyldes geologiske forhold, og ikke de tidsavhengige variasjonene. Ved produksjon av magnetiske kotekart ble data prosessert med en gridrutine som bygger på prinsippet Akima-Spline interpolasjon (Akima 1970). Farger som er distribuert etter konturintervallene legges på kartet for å øke den visuelle virkningen.

De elektromagnetiske data er prosessert med en rutine for støyfiltrering og lavpassfiltrering. Dette utføres for å fjerne mikrofoniske effekter fra kabel og målesonde, "spikes" og påvirkning fra kraftlinjer etc. Etter filtrering blir data nivåjustert slik at eventuell langbolget drift som skyldes termiske effekter blir fjernet. For å kontrollere nullnivå blir målesonden løftet til ca. 500 meter over bakken flere ganger i løpet av en flytur. Ferdige prosesserte EM-data blir plottet ut som profilkurvekart. I tillegg gjøres et anomaliutplukk langs profilene. For disse anomaliene beregnes tilsynelatende elektrisk ledningsevne ut fra en vertikal tynnplatemodell med uendelig utstrekning til sidene og mot dypet.

Ut fra disse beregningene lages et symbolkart som kombineres med et resistivitetskart. Resistivitetskartet fremstilles ved hjelp av ledningsevnekalkulasjoner. Resultatet presenteres ved et kotekart som viser tilsynelatende resistivitet for hele området. Vanligvis benyttes koaksial 2 frekvensen (4551 Hz) til dette formålet. For dette prosjektet er både koaksial 1 (923 Hz) og koaksial 2 (4551 Hz) kartfremstilt for sammenligning. En har også prøvefremstilt resistivitetsbergningene for begge frekvensene i et kart, med 923 Hz som farger og 4551 Hz som koter. Som ved de magnetiske målingene blir EM data prosessert med Akima-Spline gridrutine.

VLF data ble som de magnetiske og EM data støyfiltrert og deretter nivåjustert. På grunn usikre sendermønstre mangler VLF data for en del av området. Som følge av at profilene ikke flys i samme retning oppstår en reversering av fortegnene på måledata. Dette er det justert for under prosesseringen slik at alle profiler er normalisert til samme flyretning.

De radiometriske data er prosessert med en programpakke som opprinnelig er utviklet av instrumentprodusenten Geometrics. Data korrigeres først for deadtime (forsinkelse i A/D omformerne i spektrometeret) og normalisert til cps (counts per second). Deretter blir bakgrunnsverdiene for de forskjellige kanalene trukket fra. Bakgrunnsstråling skyldes først og fremst kosmisk stråling og stråling fra instrumenter og materialer i helikopteret.

Bakgrunnsverdiene finner man ved å foreta målinger over vann slik at man er sikker på at ingen stråling fra bakken registreres.

Deretter blir alle data normalisert til en høyde av 250 fot ved å bruke data fra radarhøydemåleren. Til slutt korrigeres data for "Compton scatter" effekt. "Compton scatter" betyr at gammastråler taper energi på veien gjennom luften og i målekristallet. Disse strålene blir da registrert som stråling med lavere energi. For dette oppdraget er de radiometriske data presentert i et farge kontekst som viser totalstrålingen i måleområdet.

RESULTATER

Resultatene for målingene syd for Kautokeino 1989 er fremstilt som kart i målestokkene 1:10 000 og 1:25 000. Området er delt i 5 delområder med benevnning fra A til E (delområde A lengst mot nord).

EM profilkurvekart er plottet ut i målestokk 1:10 000 med to frekvenser pr kart. Frekvensene som er plottet sammen er 923 HZ koaksial og 34 165 HZ koplanar samt 4551 Hz koaksial og 4287 Hz koplanar.

NGU har bestilt ny digitaliseringsenhet for Mikrovax-maskinen. Utstyret er ennå ikke levert og finjustering av magnetiske data er derfor utført hos Aerodat, Kanada for delområde A (1:10 000). De øvrige delområdene vil bli finjustert senere, og nye magnetiske kart (1:10 000) vil bli ettersendt.

Alle digitale data fra målingene oppbevares hos NGU og kan fåes ved henvendelse ved eventuell senere tolkning. Kartene som er presentert i denne rapporten er som følger :

89.143	-01 Oversiktskart med flylinjer	1: 25 000
	-02 Magnetisk konturfargekart, totalfelt	1: 25 000
	-03 Resistivitetskart farger 4551 Hz koaksial	1: 25 000
	-04 Resistivitetskart farger 923 Hz koaksial	1: 25 000
	-05 Resistivitetskart farger 923 og 4551 Hz koaksial	1: 25 000
	-06 Radiometri totalstråling kotekart farger	1: 25 000
	-07 VLF totalfelt farger	1: 25 000

Vedlagt i egen rull:

89.143	-08 A,B,C,D og E, Magnetisk konturkart	1: 10 000
	-09 A,B,C,D og E, EM profilkurvekart 923 HZ koaksial og 34165 Hz koplanar	1: 10 000
	-10 A,B,C,D og E, EM profilkurvekart 4551 Hz koaksial og 4287 Hz koplanar	1: 10 000
	-11 A,B,C,D og E, Resistivitetskart farger 4551 Hz koaksial	1: 10 000

I tillegg er det vedlagt EM og magnetiske profilkurvekart over to testområder (1:50 000).

Geofysisk/geologisk tolkning av området er tidligere utført av Skilbrei - Mogaard (1986), Holst (1986) og Olesen - Solli (1985). Tolkningene er basert på data fra fly og helikoptermålinger som NGU tidligere har utført over området. Professor A. Bjørlykke, UIO og forsker O. Olesen,

NGU vil samarbeide om videre geofysisk-geologisk tolkning av nye og tidligere helikoptermålinger. Resultatet fra dette arbeidet kan ventes i 1990-91.

REFERANSER

- Akima, H. 1970 : A new method of interpolation and smooth curve fittings based on local procedures. Jour. of Ass. for computing Machinery 17, 589-602.
- Holst, B. 1986 : Kombinert tolkning av geofysikk og geologi på kartblad 1832 I Siebe i Kautokeino området, Finnmark.
- Olesen, O. og Solli, A 1985 : Geophysical and geological interpretation of regional structures within the Precambrian Kautokeino Greenstone belt, Finnmark, North Norway. NGU bullentin 403, 115-125.
- Skilbrei, J.R. og Mogaard, J.O. 1986 : Geofysiske målinger fra helikopter over kartbladene Kautokeino, Lappoloubbal, Siebe og Agiet, Finnmark fylke. NGU rapport nr. 86.054.

GENERELLE BETRAKTNINGER VED TOLKNING AV DATA FRA HELIKOPTERMÅLINGER

Elektromagnetiske målinger

4-frekvens systemet fra Aerodat benytter to forskjellige sender-/mottaker antennegeometrier. Den tradisjonelle vertikale, ko-aksiale konfigurasjonen benyttes med to moderat atskilte frekvenser (900 Hz og 4200 Hz) mens de to horisontale, ko-planare spolesettene opererer med høyt atskilte frekvenser (4600 Hz og 34000 Hz).

Elektromagnetisk respons som måles med helikopter-målesystemer er en funksjon av lederens "elektriske" egenskaper og geometri. De "elektriske" egenskapene hos en leder bestemmes hovedsakelig av elektrisk ledningsevne, magnetisk susceptibilitet, størrelse og geometri.

Elektriske betraktninger

For en gitt leder/ledende sone er størrelsen av den målte ledningsevnen (konduktansen) nært sammenhengende med den målte fasevinkelen mellom utsendt og mottatt signal. En liten fasevinkel indikerer en relativt høy ledningsevne mens det motsatte er tilfelle når faseforskjellen er stor. En liten faseendring resulterer i et høyt forhold mellom de målte "I fase" (Re) og "Ut av fase" (Im) komponentene, mens det motsatte er tilfelle når forholdet er lavt.

Forholdet mellom Re - og Im -komponentene fra et helikopter EM-måleinstrument er vist for en ikke-magnetisk, vertikal halvplan-modell i fig. 1. Andre fysiske modeller vil vise den samme trend, men har forskjellige kvantitative forhold.

Fasediagrammet (fig. 2) er konstruert ut fra målinger med et koaksialt målespolesett og amplitudene er målt i ppm (parts per million) av primærfeltet (senderfeltet), målt over lederen. Ved prosessering av måledata benyttes datamaskin og programvare til å plukke ut ledende soner og enkeltledere og til beregning av tilsynelatende ledningsevne. Beregningen av ledningsevnen blir riktig bare når modellen er tilnærmet lik den virkelige geologiske situasjonen. Den aktuelle geologiske kilden kan ha begrenset lengde, ha upassende dipvinkel, være sterkt magnetisk samt ha ledningsevne og tykkelse som varierer med dyp eller med strøkretning. Nærliggende enheter kan også sammen med overdekket ha innvirket på den responsen vi måler. Generelt bør ledningsevneestimeringen bare betraktes som relativ og ikke som en absolutt guide for anomaliens egenskaper.

Ledningsevnen (mhos) er motsvarende til elektrisk motstand (ohms) og i tilfeller med tynne, platelignende anomaliårsaker er den tilsynelatende ledningsevnen tilnærmet lik produktet av elektrisk ledningsevne og lederens tykkelse.

I de fleste tilfeller vil overdekket ha en tilsynelatende ledningsevne mindre enn 2 mhos. Marine leirer kan imidlertid ha en ledningsevne mellom 2 og 4 mhos. Elektrolyttiske ledere i sprekksoner og forkastninger har også ledningsevne som kan plasseres i det lavt-ledende sjiktet.

Større ledningsevne, høyere enn for eks. 4 mhos, indikerer at en signifikant del av den elektriske ledningsevnen er elektronisk heller enn elektrolyttisk av natur. Materialer som har elektronisk ledningsevne er begrenset til enkelte metalliske sulfider og til grafitt. Gode ledere, 10 mhos eller bedre er generelt begrenset til sulfid- eller grafittførende bergarter.

Sulfidmineraler, med noen unntak, er gode ledere. Sulfidene kan imidlertid opptre som impregnasjonsmalmer uten elektrisk ledningsevne i bergarten. I slike tilfeller kan den lave tilsynelatende

ledningsevnen bety at en undervurderer lederens geologiske kvaliteter. I forbindelse med gullprospektering er ledningsevne målinger av liten direkte nytte. Skjønt gull er en ypperlig elektrisk leder så venter en ikke at gull finnes i så store mengder at en vil få en målbar anomali, men mindre mengder sulfider kan gi en nyttig indirekte påvisning.

Konklusjon: Den beregnede ledningsevnen av en leder kan gi en relativt positiv identifikasjon av betydningsfull sulfid- eller grafittmineralisering. Moderate/lave ledningsevneanomalier utelukker ikke muligheten av god økonomisk interessant mineralisering.

Geometriske betraktninger

Geometriske betraktninger av en geologisk leder kan ofte best gjøres ut fra den målte profilkurven. Forandringen i kurveforløpet er primært bestemt av den induktive koblingen mellom sender-spole, lederen og mottakerspole.

I tilfellet med en tynn, steil, platelignende leder vil ko-aksiale målesystemer gi et nesten symmetrisk kurveforløp over lederen. De ko-planare systemene vil ha 0-kobling og gi minimum utslag over lederen, flankert av positive sideutslag. Ettersom dipvinkelen blir mindre vil anomalien fra ko-aksialspolene forandres lite mens de ko-planare spolene vil vise en økning i sideutslaget på bunnsiden i forhold til toppsiden (fig. 1).

Med økende tykkelse vil de induserte strømmene på tvers av lederen bli større og 0-kobling mellom målespolene og lederen umuliggjøres. Som et resultat av dette vil den negative responsen i ko-planar spolene over lederen minke med økende tykkelse av lederen og til slutt, når en har å gjøre med et horisontalt lag eller "half-space", vil den negative responsen forsvinne helt.

Et horisontalt, ledende lag (f.eks. overdekket) vil gi en respons i de ko-aksiale og ko-planare spolene som er en funksjon av høyde. Profilkurveforløpet vil bli det samme i begge spolekonfigurasjonene med et amplitudeforhold ko-planar/ko-aksial på ca. 4:1.

For en kuleformet anomaliårsak vil det samme forholdet bli opp til 8:1.

Oppsummering

En vertikal, platelignende anomaliårsak vil gi en negativ anomali i det ko-planare målesystemet sammenfallende med en positiv topp i det ko-aksiale. Den relative styrken av den negative anomalien har et motsatt forhold til tykkelsen av lederen, dvs. en kraftig negativ respons fra en relativt tynn leder. Dipvinkelen til en slik leder kan en finne fra forholdet mellom de positive sideutslagene (side-lobes). Massive ledere som har "kulefasong" vil gi en enkel anomalikurve både fra de ko-aksiale og ko-planare spole-systemene med et forhold i styrke mellom ko-planar/ko-aksial respons opp mot 8.

Overdekkeanomaler lager ofte brede og vanskelig definerbare anomaliprofiler. I de fleste tilfeller vil respons fra både ko-planare og ko-aksiale spoler være identiske med et relativ amplitudeforhold lik 4.

I enkelte tilfeller, dersom sidekantene av en overdekkesone har en skarp avgrensning, og med brukbar tykkelse, så vil en kunne se en sidekanteffekt i de ko-aksiale kanalene.

Magnetiske målinger

Totalfeltkartene viser normalt konturer av det totale magnetiske feltet uten korreksjoner for regionale variasjoner. Hvorvidt en EM-anomali med en magnetisk korrelasjon skyldes en sulfidmineralisering eller har andre årsaker avhenger av mineraliseringstypen. En tilsynelatende sammenheng mellom en EM-anomali og en magnetisk anomali kan skyldes en leder som også er magnetisk eller en leder som ligger tett inntil magnetiske materialer. Størstedelen av ledere som er magnetiske er sulfider som inneholder pyrrhotitt eller/og magnetitt. Elektrisk ledende og magnetiske kilder som ofte sammenfaller er grafitt og magnetitt. Det er ofte meget vanskelig å sjeldne mellom disse tilfellene. Dersom lederen også er magnetisk vil en få en EM-anomali som i kurveforløp ligner den magnetiske kurven. Avhengig av den magnetiske permeabiliteten av lederen vil amplituden av Reellkomponentene svekkes. Dersom en også har svak ledningsevne kan Reellkomponentene til og med skifte fortegn.

VLF-elektromagnetiske målinger

Very Low Frequency - målingene benytter utstråling fra kraftige militære radiosendere som sendersignal. Magnetfeltet som er assosiert med transmisjonene er elliptisk polarisert i nærheten av elektriske ledere. NGUS målesystem (Herz Totem 2-A) benytter 3 målespoler i x,y,z konfigurasjon for å måle totalfeltet og den vertikale Imaginær (Im) komponenten av den polariserte ellipse.

Den relativt høye frekvensen (15-25) kHz gir høye responsfaktorer for legemer med lav ledningsevne. Relativt dårlig ledende sulfidmineraliseringer kan derfor gi brukbare VLF-signaler. Av samme grunn vil dårlige ledere som skjærsoner, brekksjesoner, smale forkastninger og omvandlingssoner normalt gi VLF-anomalier. Metoden er derfor viktig og effektiv i forbindelse med geologisk kartlegging.

En ulempe med metoden er stor følsomhet ovenfor ledende overdekker, og dybderekkevidden avtar kraftig under slike forhold.

Totalfeltresponsen indikerer eksistens og posisjon av en ledningsevneanomali. Responsen vil bli størst over lederen uten noen spesiell filtrering og den øvre kant av lederen blir sterkt favorisert sjøl med relativt lav dipvinkel.

Den vertikale IM-komponenten vil være av "cross-over" type over tynne, vertikale ledere med "cross-over" punkt assosiert med toppen av lederen.

Responsen er av "cross-over" type fordi en måler vertikalkomponenten av feltet heller enn totalfeltets Im-komponent. Responsekurven har primært geometriske årsaker mens ledningsevnen og avstand mellom max. og min. på hver side av "cross-over" skyldes dyp til anomaliårsak. For en gitt geometri vil derfor denne avstanden kunne angi dypet.

Amplituden av Im-responsen er i motsetning til kurveformen en funksjon av ledningsevnen og dypet samt ledningsevnen i overdekket og i sidebergartene. Ettersom primærfeltet gjennomtrenger et ledende overdekke ned til lederen blir det attenuert og negativt fasevridt. Sekundærfeltet som produseres av dette forvrengte feltet i lederen har i tillegg en fasevridning. Denne vridningen er positiv og større for dårlige ledere. Sekundærfeltet blir så attenuert og negativt fasevridt under returen til overflaten. Nettoeffekten av disse tre prosessene bestemmer fasen av sekundærfeltet som treffer mottakerspolene.

Derfor vil en relativt dårlig leder i resistive omgivelser gi en positiv fasevridning. En relativt god leder i ledende medium vil gi en negativ fasevridning. En kombinasjon er kanskje tilfelle når netto fasevridning er 0. Responsen er da Reell (Re) og har ingen Im-komponent.

En netto positiv fasevridning kombinert med geometrisk "cross-over" vil gi positiv Im respons på "ankomstsiden" av anomalien og negativ på "avgangssiden". En netto negativ fasevridning produserer motsatt effekt. En fortegnreversering oppnås når orienteringen av instrumentene forandres 180° . Ved digital dataprosessering blir alle data derfor normalisert til samme flyretning.

Radiometriske målinger

Gammaspektrometret som NGU benytter består av en natriumjodid (NAI) krystalldetektor og en elektronisk enhet som omformer de mottatte gammastrålene til elektroniske signaler, proporsjonale med intensitet og energi.

Kalium, uran og thorium er de vesentligste bidragsyttere til strålingen fra bakken under helikopteret. Ved å analysere energinivåene og forholdet mellom antall scintillasjoner i de tre kanalene (K, Ur, Th) kan en tolkning av målingene med henblikk på bergarter med variert innhold av disse elementene utføres. Tolkningen baseres på kjente egenskaper hos bergartene samt på empiriske observasjoner og korrelasjoner med kjent geologi.

Gammastrålingen reflekterer bare nær-overflate-egenskaper hos bergartene/overdekket. Ved tolkning bør en også huske at vann og våtmark effektivt skjermer all stråling fra underliggende bergarter. Anomalier fra overdekket kan være representative for underliggende bergarter, men kan også være transportert og ha opprinnelse i andre områder.

Radiometriske målinger er mest benyttet ved geologisk oversiktskartlegging, men en bør ikke overse mulighetene for direkte eller indirekte å finne interessante objekter ved bruk av måleresultatene. En kan f.eks. gjennom vanlig radiometrisk kartlegging finne anomalier som kan lede til funn av karbonater eller pegmatitter i

granittiske bergarter samt finne områder med høyt kaliuminnhold (Tiltvika, Hamarøy). Forhøyet strålingsnivå er også observert i forbindelse med porfyr-kobber og enkelte blymineraliseringer. Forholdet mellom måleverdiene for uran-, thorium- og kaliumstråling er viktig ved tolkning av anomale områder. Både ved prospektering etter kalirike bergarter, kobber, mangan, jern, sink og sjeldne mineraler og jordarter er forholdstallene mellom K^{40} , Bi^{214} og Pb^{210} til stor nytte.

Radongass, et av datterproduktene i uranserien, kan trenge gjennom sprekker og porøst materiale, produsere Bi^{214} og derved indikere anomalier av uran over større områder og tykke overdekker. Meteorologiske forhold er også viktige fordi radongassen kan blåse bort fra området over kilden og derved introdusere et usikkerhetsmoment ved tolkningen.

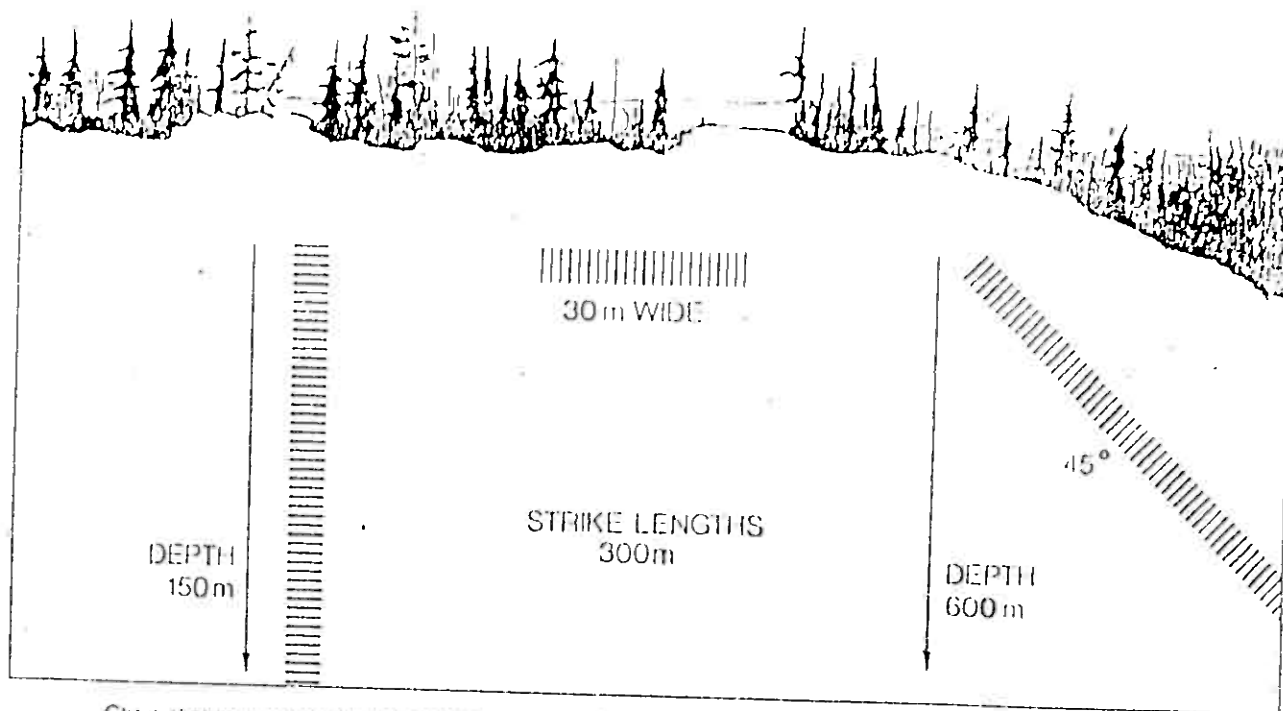


Chart of computer produced responses of coaxial and coplanar coil sets to 3 types of conductor geometries. Note the improved interpretation of conductor geometry possible when data is collected in both coplanar and coaxial modes.

Figure 2

