

NGU Rapport 92.144

Helikoptermålinger over  
kartblad 1823 III, Snåsa

*Norges geologiske undersøkelse  
Biblioteket*

Rapport nr. 92.144		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Helikoptermålinger over kartblad 1823 III, Snåsa				
Forfatter: Stig Rønning		Oppdragsgiver: NGU v/Nord-Trøndelagprogrammet		
Fylke: Nord-Trøndelag		Kommune: Snåsa		
Kartbladnavn (M=1:250.000) Grong		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1823 III Snåsa		
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 13	Pris: kr 150,-	
		Kartbilag: 6		
Feltarbeid utført: Sept.-okt. -90	Rapportdato: 13.03.92	Prosjektnr.: 61.2509.35	Ansvarlig: <i>Stig Rønning</i>	
<p>Sammendrag:</p> <p>Helikoptermålinger med full utstyrspakke (magnetisk, radiometrisk, VLF og elektromagnetisk) er utført over nordvestlige del av kartblad 1823 III Snåsa. Målingene var et ledd i kartleggingen av ressurspotensialet rundt Møre-Trøndelag forkastningssone.</p> <p>Totalt er det målt 910 profilkm med profilavstand 200, hvilket utgjør ca. 180 kvadratkilometer. Flyhøyde var som vanlig 60 m. Vedlagt rapporten foreligger nedfotograferte fargekart av magnetisk totalfelt, VLF, EM Resistivitet (4551 Hz Coaxial) og total gamma-stråling. Kart i målestokk 1:50 000 og 1:20 000 kan bestilles fra NGU.</p>				
<p><i>Norges geologiske undersøkelse</i> Biblioteket</p>				
Emneord:	Magnetometri			
Geofysikk	Radiometri			
	Elektromagnetisk måling		Fagrapport	

**INNHOLDSFORTEGNELSE**

1. Innledning :	side 4
2. Undersøkellesbetingelser :	side 4
3. Utførelse :	side 5
4. Resultat :	side 6
5. Referanser :	side 7

Tekstbilag :	1. Målemetoder og instrumenter
	2. Bearbeidelse av data

Kartbilag :	Kart 0: Oversikt over måleområde
	Kart 1: Flylinjer
	Kart 2: Magnetisk totalfelt
	Kart 3: Resistivitet, 4551 Hz Coaxial
	Kart 4: VLF
	Kart 5: radiometri, totalstråling

## 1. INNLEDNING

I perioden september - oktober 1990 utførte NGU helikoptermålinger over kartbladene Andorsjøen, Overhalla, Snåsa og Snåsavatnet (M 1:50 000). Disse kartbladene er tidligere dekket med flymålinger av NGU (magnetiske og elektromagnetiske målinger). Helikoptermålingene, som var et ledd i kartleggingen av ressurspotensialet rundt Møre-Trøndelag forkastningssone, omfatter magnetiske, elektromagnetiske, VLF og radiometriske målinger.

Over kartblad Snåsa ble det foretatt målinger over den nordligste delen av kartbladet (se kart 1). Måleområdets utstrekning er 180 kvadratkilometer.

For første gang ble det benyttet GPS satellittnavigasjon ved slike målinger i Norge.

## 2. UNDERSØKELSESBETINGELSER

For å oppnå vellykkede resultater ved helikoptermålinger er det en rekke betingelser som må oppfylles. Under målingene må man ta hensyn til en rekke forhold som innvirker på måleresultat. Ved dårlige forhold er det nødvendig å kansellere flygning i vente på bedre forhold.

Været har stor innvirkning på måleresultatet. Regn og vind kan føre til høyt støynivå og skaper vanskelige forhold for navigasjonen. Under målingene over kartblad Snåsa var værforholdene svært varierende i og med at målingene skjedde forholdsvis sent på høsten. Dette medfører at måledata inneholder en del støy på enkelte flyturer. Dette gjelder spesielt EM måledata.

Siden det ble benyttet GPS satellittnavigasjon ble det fløyet kun i perioder med god satellittdækning. I tidsrommet dette oppdraget ble utført var det ikke dekning 24 timer i døgnet. Dette medførte at det var en kort periode på dagtid hvor man ikke kunne fly.

Terrenget har også en viss innvirkning på resultatet. I områder med store høydevariasjoner er det vanskelig å holde eksakt målehøyde og hastighet. Terrenget i måleområdet over kartblad Snåsa kan ikke betegnes som spesielt vanskelig for helikoptermålinger.

For de magnetiske målingene vil tidsrelaterte variasjoner ha stor innvirkning. Det benyttes et stasjonsmagnetometer for å registrere disse variasjonene slik at man kan foreta en korrigerende prosessering av de magnetiske data. I visse perioder kan det oppstå store variasjoner over kort tid i det magnetiske feltet (magnetisk storm). Under slike forhold må målingene kanselleres. De magnetiske forholdene under målingene over kartblad Snåsa må betraktes som gode.

### 3. UTFØRELSE

Måleinstrumentene ble montert i et helikopter av typen Aerospatiale Ecureuil SA 350b1 fra helikopterteneste A/S i Kinsarvik for dette oppdraget. Instrumentene og datasystemet er plassert inne i helikopteret ved siden av operatør. Målesondene henger under helikopteret i kabler, unntatt krystallet for de radiometriske målingene som er plassert i en ramme som er festet til helikopteret.

Totalt ble det målt 910 profilm med en profilavstand på 200 meter. Flyhøyden var 60 meter, mens flyretningen var øst-vest over hele måleområdet. Tekniske data for de ulike metodene fremgår av tabell 1.

Det ble benyttet GPS satellitnavigasjon kombinert med visuell navigasjon. Som kartgrunnlag for den visuelle navigasjonen ble kart i 1:50 000 serien oppfotografert til 1:20 000 og deretter påtegnet profilene. Navigatøren avmerker referansepunkt på kartene under målingene slik at den visuelle navigasjonen kan benyttes under prosesseringen i de tilfellene GPS satellitnavigasjonen ikke er god nok.

Målingene over kartblad Snåsa ble utført i to perioder. Målingene høsten 1990 måtte avbrytes grunnet problem med EM utstyret. Deler av kartbladet som gjenstod ble målt sommeren 1991 (juni). Dette medførte nivåforskjeller i måledata som ble korrigert under prosesseringen.

Som base for oppdraget ble Namsos flyplass benyttet (høsten 1990). Base for målingene sommeren 1991 var Snåsa.

Fra NGU deltok:                      Overingeniør John O Mogaard  
   Avdelingsingeniør Stig Rønning (høsten 1990)  
   Ingeniør Oddvar Blokkum (juni 1991)

Fra Helikopterteneste A/S:        Pilot Leif Huus

METODE	SAMPLINGSFREKV.	TELLETID	SENDERSTASJON
Magnetisk	0.2 Hz	*	*
VLF	0.2 Hz	*	NAA og GBR
EM	0.1 Hz	*	*
Radiometri	*	1 sek.	*

Tabell 1

Metoder, samplingsfrekvens, telletid og senderstasjoner ved målinger over kartblad Snåsa.

#### 4. RESULTATER

Resultatene for målingene over kartblad Snåsa er fremstilt som kart i målestokken 1:50 000 og 1:20 000. VLF-data langs enkelte profiler er utelatt på grunn av manglende senderdekning.

Kart presentert i denne rapporten er :

- Kart 0 Oversikt måleområde
- Kart 1 Flylinjer
- Kart 2 Magnetisk totalfelt
- Kart 3 Resistivitet, 4551 Hz Coaxial
- Kart 4 VLF
- Kart 5 Radiometri, totalstråling

Kart som er prosessert og som kan bestilles fra NGU :

92.144-01	Flylinjer.	1:50 000
92.144-02	Magnetisk totalfelt, farver	1:50 000
92.144-03	Magnetisk relieffkart	1:50 000
92.144-04	Magnetisk vertikal gradient	1:50 000
92.144-05A	EM profiler, 4 frekvenser	1:20 000
92.144-05B	EM profiler, 4 frekvenser	1:20 000
92.144-06	Resistivitet, 4551 Hz Coaxial	1:50 000
92.144-07	VLF, summert line og ortho kanal	1:50 000
92.144-08	Radiometri, totalstråling	1:50 000
92.144-09	Radiometri, uran	1:50 000
92.144-10	Radiometri, thorium	1:50 000
92.144-11	Radiometri, kalium	1:50 000

## 5. 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.

Swain,CJ 1976: A Fortran IV program for interpolating irregularly spaced data using the difference between equations for minimum curvature.Computers and Geosciences 1,231-240.

## 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. Radimetrisk Målinger
4. VLF målinger ( Very Low Frequency )

### **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.

For å registrere daglige og tidsavhengige variasjoner i det jordmagnetiske feltet benyttes et basemagnetometer med både analog og digital registrering. Basemagnetometeret består av et protonmagnetometer av typen Scintrex MP-3 som tilkobles en skriver (type TOA EPR121A). Data lagres i magnetometerets minne for senere å bli overført for lagring på PD.

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



## 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. Sender og mottaker-spolene med tilhørende elektronikk er plassert i hver sin ende av målesonden som slepes 30 meter under helikopteret. De fire frekvensene som benyttes i NGU's målesystem er :

Koaksial spole 1 : 923 Hz

Koaksial spole 2 : 4551 Hz

Koplanar spole 1 : 4287 Hz

Koplanar spole 2 : 32165 Hz

Primærfeltet fra senderspolene induserer strømmer i eventuelle elektrisk ledere i bakken. De induserte strømmene setter opp et sekundærfelt som registreres av mottakerspolene i målesonden. Systemet registrerer en reell og en imaginær komponent for hver frekvens. Reell-komponenten er i fase med primærfeltet, mens imaginærkomponenten er 90 grader faseforskyvet i forhold til primærfeltet. Respons ( anomalier ) fra elektrisk ledende materialer i bakken kan dermed registreres på to kanaler for hver frekvens. 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 hundre ohm-meter. Informasjonsinnholdet økes ved at man benytter flere sender - mottaker spolekonfigurasjoner. I tillegg registreres respons fra kraftlinjer. Disse vil påvirke spesielt de lave frekvensene slik at måledata over kraftlinjer ofte må fjernes.

EMEX-2 systemet måler kontinuerlig, mens det digitale systemet kan samle 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 avhengig av målebetingelsene.

## 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 signalkilde. 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 (line) eller vinkelrett på (ortho) 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.

#### **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
2. Krystalldetektor ( NaI ), type DET 1024
3. Detektor styreenhet, type GR 900

Detektoren er sammensatt av 4 NaI ( natriumjodid ) krystaller med totalt volum 1024 kubikktommer ( 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 termostatstyrt 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. Disse representerer stråling for henholdsvis Kalium-40, Uran-238 og Thorium-232. Totalstrålingen mellom 0.2 Mev og 3 Mev blir også registrert.

Måletiden for de radometriske målingene kan varieres mellom 0.1 - 9.9 sekunder. Vanligvis benyttes måletid på hvert 1-2 sekund. Mellom hvert målepunkt akkumuleres tellingene og under prosesseringen ved NGU blir måledata normalisert til tellinger pr. sekund (counts/sec).

#### **5. Satelittnavigasjon, radarhøydemåler, dataloggersystem og diverse tilleggsutstyr.**

Ved geofysiske helikoptermålinger er man avhengig av et navigasjonssystem for å kunne stedfeste data. Vanligvis benyttes elektronisk navigasjon kombinert med visuell navigasjon. Ved GPS ( Global Positioning System ) satelittnavigasjon monteres en antenne på helikopteret og via en GPS mottaker kan posisjonen beregnes. Dette skjer i sanntid slik at piloten kan holde nøyaktig kurs under målingene.

Høyden på helikopteret registreres hele tiden ved hjelp av en radarhøydemåler av typen 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.

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 - alfanumerisk, 32 kanals analog skriver

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, fastpunkter og navigasjonsdata.

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.

### BEARBEIDELSE AV DATA

Alle 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 5800 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 1985).

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

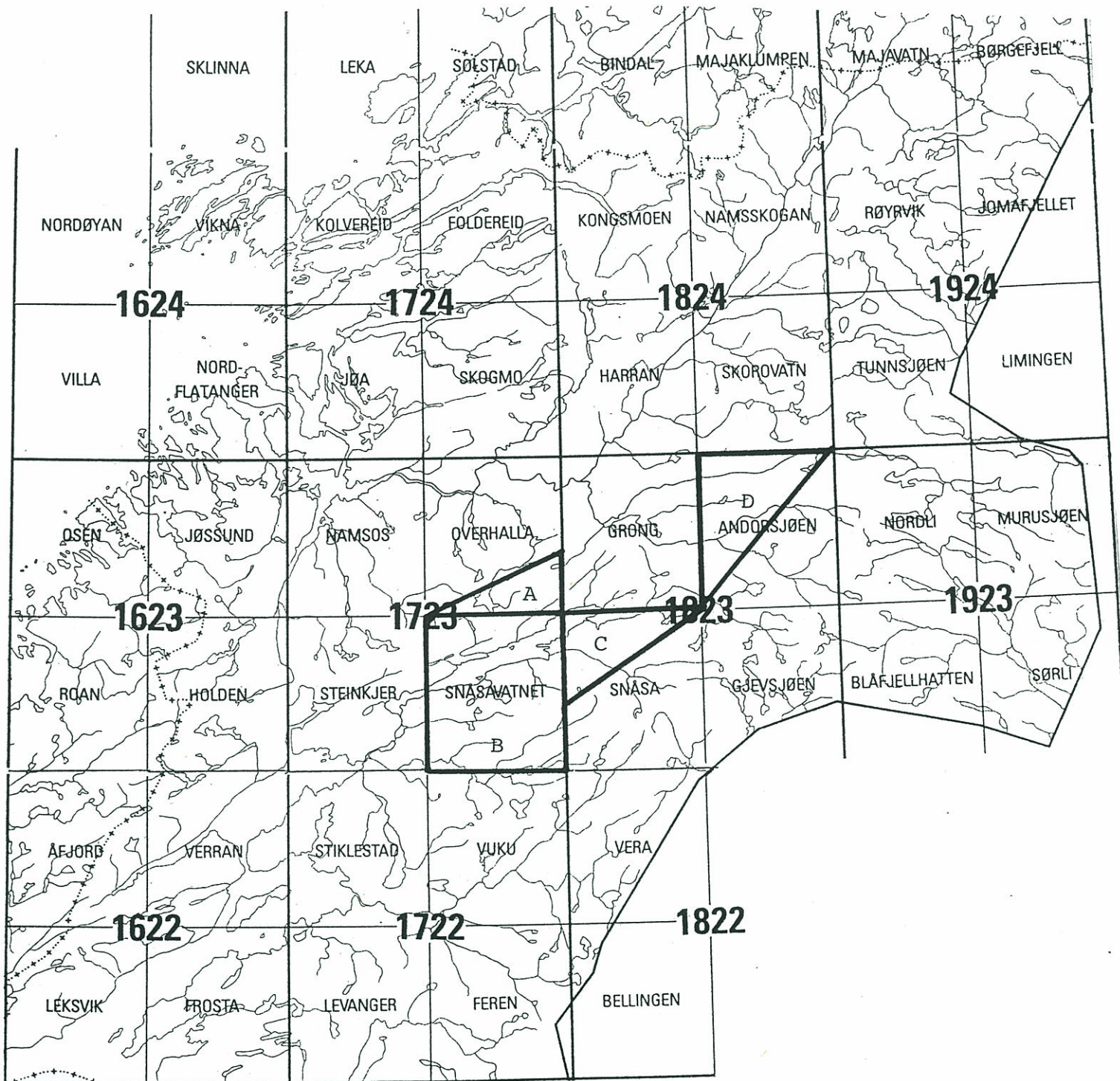
Magnetiske data blir lett filtrert for å fjerne spikes uten at informasjon av betydning går tapt. Deretter korrigerer man de målte data for tidsavhengige variasjoner i det jordmagnetiske feltet. Dette gjøres ved å korrelere de registrerte basemagnetometer-data med de data man måler i helikopteret. Som 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 anomalier skyldes geologiske forhold, og ikke de tidsavhengige variasjonene. Ved produksjon av magnetiske kotekart blir 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. Data kan også fremstilles med en relieffvirkning for å fremheve anomalimønsteret ( Kihle 1985 ).

De elektromagnetiske data prosesseres 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 langbølget drift som skyldes termiske effekter i måleutstyr 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 basert på reell og imaginær data for en frekvens. Resultatet presenteres ved et kotekart som viser tilsynelatende resistivitet for hele området. Vanligvis

benyttes koaksial 2 frekvensen ( 4551 Hz ) til dette formålet. Som ved de magnetiske målingene blir EM-resistivitetskart produsert med Akima-Spline gridrutine.

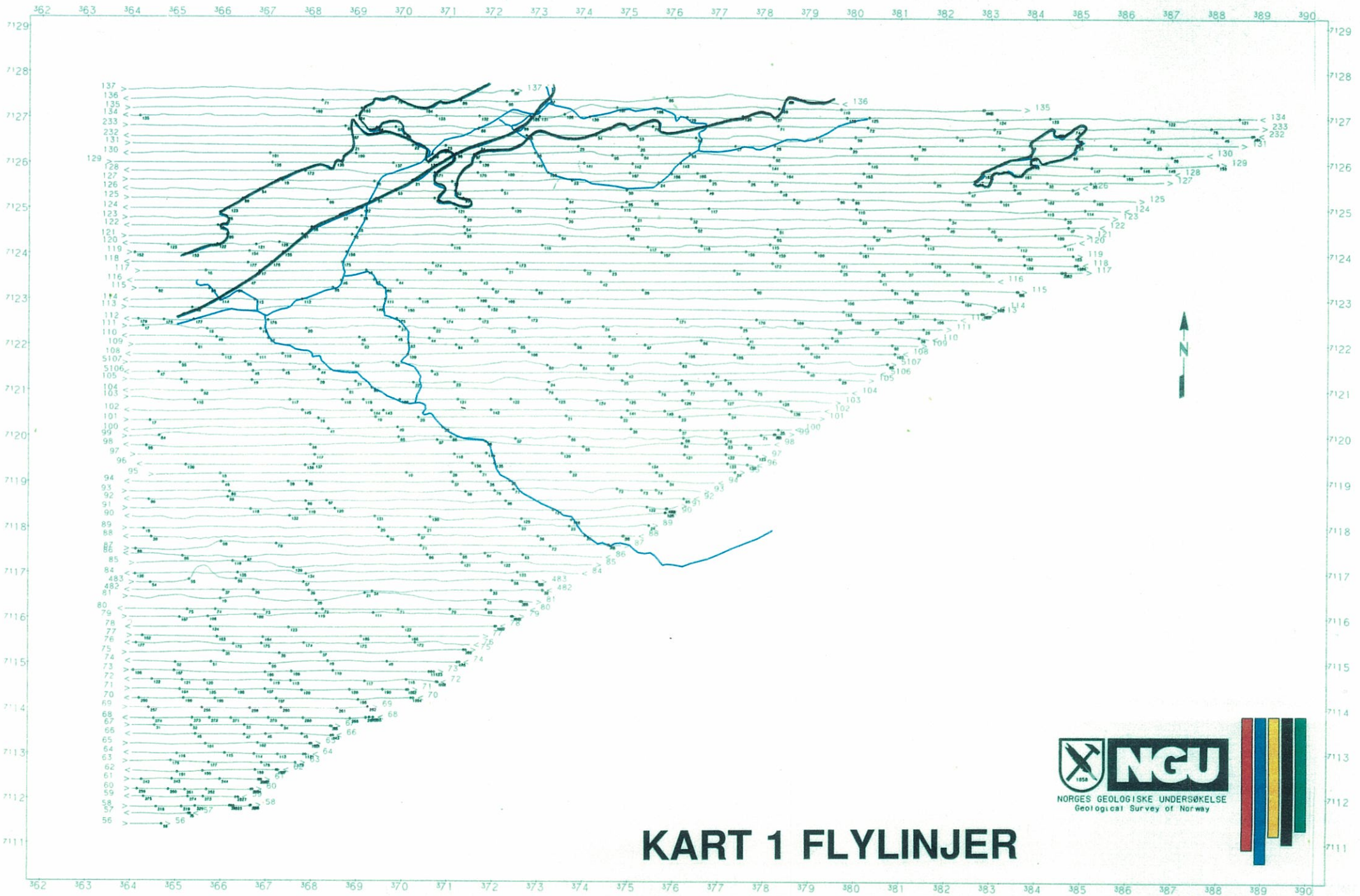
VLF data blir som de magnetiske og EM data støyfiltrert og deretter nivåjustert. Som følge av at profilene ikke flys i samme retning oppstår en reversering av fortegnene på måledata. Dette justeres for under prosesseringen slik at alle profiler er normalisert til samme flyretning. Totalkomponentene fra line og ortho kanalene blir så prosessert hver for seg med gridderutinen som bygger på minimum curvature interpolasjon (Swain 1976). De to filene med griddede data summeres og resultatet presenteres som farge kotekart.

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 registreringer med høy energi også vil gi utslag hos elementer med lavere energi.



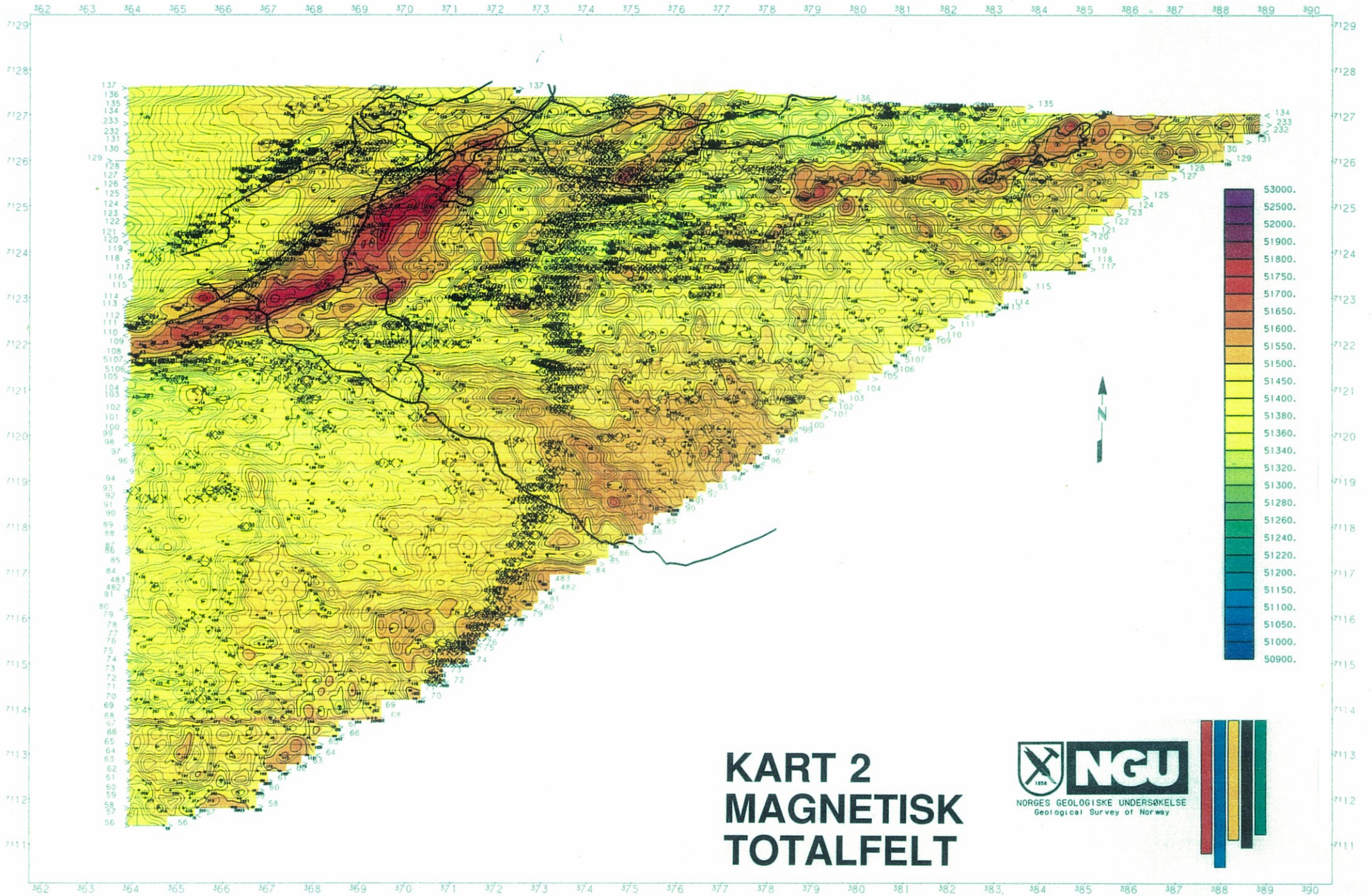
**Kart 0: Oversikt over måleområde.  
 Helikoptermålinger Nord-Trøndelag  
 Sept./okt.-90. (og juni-91)**

- A: NGU Rapport 92.146**
- B: NGU Rapport 92.145**
- C: NGU Rapport 92.144**
- D: NGU Rapport 91.153**



# KART 1 FLYLINJER

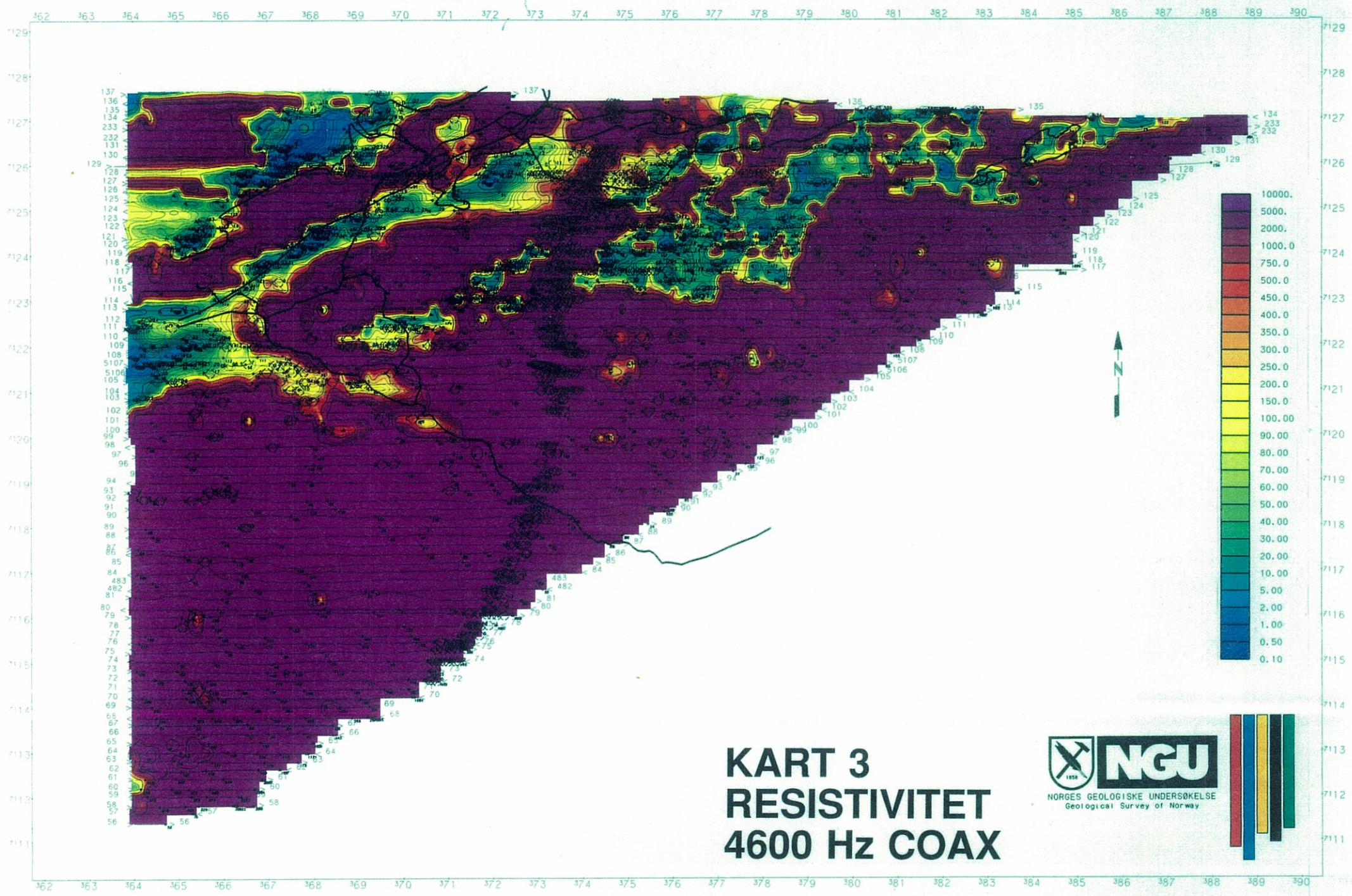




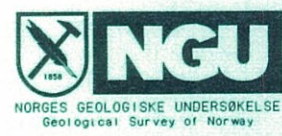
# KART 2 MAGNETISK TOTALFELT

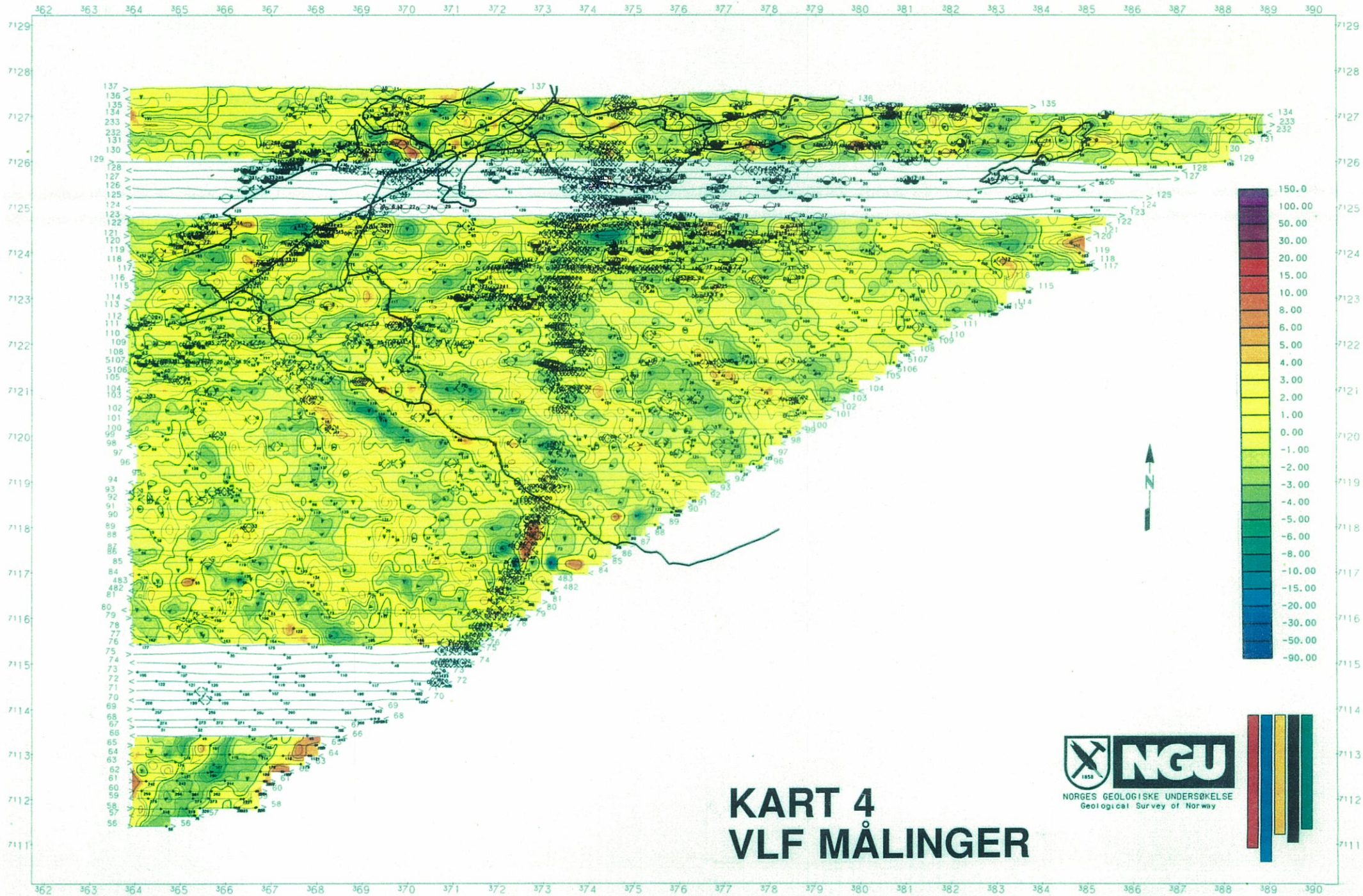




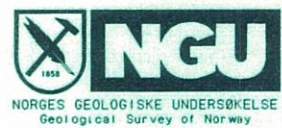


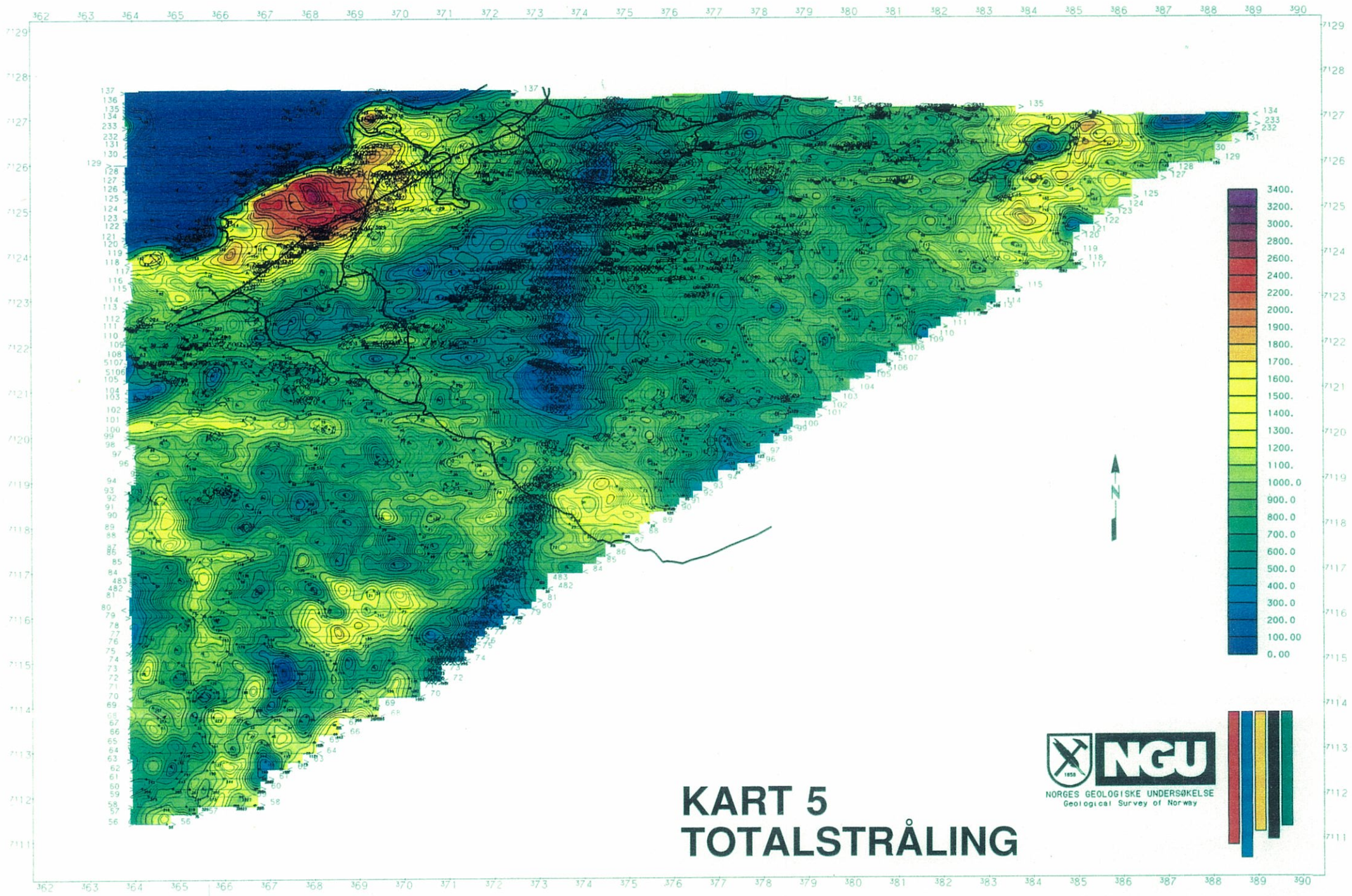
# KART 3 RESISTIVITET 4600 Hz COAX





# KART 4 VLF MÅLINGER





# KART 5 TOTALSTRÅLING

