

Oppdragsgiver:
NORSK HYDRO A/S

NGU Rapport nr. 1374 og 1375

Magnetiske og elektromagnetiske
målinger fra helikopter over

FLESBERG

Flesberg kommune, Buskerud fylke - Oppdrag nr. 1374

og deler av

VESTFOLD FYLKE - Oppdrag nr. 1375

11. - 31. august 1975

Ansvarlig leder: Henrik Håbrekke geofysiker
Operatør : Oddvar Blokkum tekniker

Norges geologiske undersøkelse
Geofysisk avdeling
Postboks 3006
7001 TRONDHEIM
Tlf.: (075) 15860

<u>INNHold:</u>	<u>Side:</u>
INNLEDNING	3
UNDERSØKELSESBETINGELSER	3
MÅLEMETODER, INSTRUMENTER	4
UTFØRELSE	5
BEARBEIDELSE	6
RESULTATER	7

Bilag:

1374-01,02	: Magnetiske kotekart	m/ flylinjer
1374-03,04	: Elektromagnetiske kotekart, reellkomponent	"
1374-05,06	: Elektromagnetiske kotekart, imaginærkomp.	"
1374-07,08	: Elektromagnetiske tolkningskart	
1375-00	: Oversiktskart	
1375-01,02,03	: Magnetiske kotekart	"
1375-04	: Elektromagnetisk kotekart, reellkomponent	"
1375-05,06	: Elektromagnetiske kotekart, imaginærkomp.	"
1375-07	: Elektromagnetisk tolkningskart	

INNLEDNING

NGU, Geofysisk avdeling fikk i 1975 i oppdrag for Norsk Hydro A/S å utføre geofysiske målinger fra helikopter over to områder: Flesberg i Flesberg kommune, Buskerud fylke og over noen mindre områder i Vestfold fylke. Av praktiske grunner har disse to områdene fått egne oppdragsnummer, 1374 for Flesberg og 1375 for områdene i Vestfold. Flesbergområdet omfatter totalt ca. 200 km^2 , og områdene i Vestfold ca. 25 km^2 . Alle områdene er tidligere dekket med aeromagnetiske målinger utført av NGU.

UNDERSØKELSESBETINGELSER

For at geofysiske målinger fra helikopter skal gi vellykkede resultater, må værforholdene i måleområdet være rimelig gode. I sterk vind, regn eller tåke kan slike målinger ikke utføres. Dette gjelder særlig i områder med tøff topografi. Sterk sidevind vil f.eks. bevirke at målesonden svinger ukontrollert, og dette fører ofte til høyt støynivå i mottakeren. Støynivået øker også i regnvær, og i tillegg vil da sikten avta slik at den nødvendige lave målehøyde ikke kan oppnås. Ved målingene over Flesberg og i Vestfold var værforholdene brukbare, og bare et par dager gikk tapt på grunn av vind og regn. De topografiske forhold i deler av måleområdene var imidlertid svært vanskelige og forbød flyging så nær bakken som ønskelig.

Under måling søker en å holde helikopterets hastighet på ca. 80 - 100 km/t og flyhøyden på ca. 170 fot over bakken. Dersom navigatøren skal kunne dirigere piloten inn på riktig profilkurs ved denne hastighet og høyde, må kartgrunnlaget være av god kvalitet. Det bør også være et rimelig antall referansepunkter på bakken (elver, vann, veier, bebyggelse etc.). Ved disse oppdrag ble fotomosaikk i målestokk 1:17 000, ortofotokart i målestokk 1:10 000 benyttet, og begge var av god kvalitet. Bortsett fra enkelte områder med få referansepunkter på bakken gikk navigeringen greit, og en oppnådde den ønskede dekning av områdene.

Når en utfører magnetiske målinger fra fly og helikopter, fra skip eller på bakken, må en gardere seg mot at de variasjonene en måler i det jordmagnetiske feltet er tidsavhengige. Dette oppnås ved å plassere et stasjonært magnetometer i eller ved målefeltet som registrerer slike tidsavhengige variasjoner. På dager med høy magnetisk aktivitet må målingene avbrytes. Vi hadde ingen slike avbrudd på grunn av daglige variasjoner i det jordmagnetiske feltet.

I nærheten av elektriske høyspenningslinjer forstyrres de elektromagnetiske målingene i høy grad, og de forstyrrede områder strekker seg ofte 100 - 200 meter til begge sider av linjetracéen. Andre elektromagnetiske støykilder vil også forstyrre e.m. målingene.

MÅLEMETODER, INSTRUMENTER

Ved målingene for Norsk Hydro A/S ble to geofysiske parametre målt og registrert; det jordmagnetiske totalfeltet og variasjoner i den elektriske ledningsevnen i bakken under målesonden. Magnetfeltet ble målt med et Sander protonmagnetometer av type NPM-4. Dette instrumentet består av et sensorelement som sammen med en forforsterker slepes i en sigar-lignende instrumentbeholder 65 fot under helikopteret. Selve magnetometeret med alle styreorganer er plassert i helikopteret. Protonmagnetometeret er et punktregistrerende instrument. Tiden mellom hvert målepunkt bør vanligvis være så kort som mulig, men hvis den minskes for mye, vil instrumentets målenøyaktighet reduseres. En benytter derfor vanligvis en repetisjonstid på 1 sek ved slike målinger. Ved en helikopterhastighet på 80 - 100 km/t vil dette svare til ett målepunkt ca. hver 25 - 30 m. Målesonden i "sigaren" slepes 65 fot under helikopteret, og en prøver å holde konstant flyhøyde ca. 170 fot.

"Sigaren" inneholder også den vesentlige del av de elektromagnetiske måleinstrumentene som er av type SANDER EM 3. Sender og mottakerspolene er plassert i ca. 7 meter innbyrdes avstand i hver sin ende av "sigaren". De er montert koaksialt, og systemet er ved sin spesielle konstruksjon

meget støysvakt. Dette fører til at dybderekkevidden er relativt stor, oppgitt fra Sander Geophysics Ltd. til ca. 100 m under bakken i gunstigste tilfelle. Senderfrekvensen er 1000 Hz, og systemet måler og registrerer både reell- og imaginærkomponenten av signalet fra ledere under "sigaren". "Anomalisignaler" måles i milliontedeler (ppm) av det signal som senderen normalt induserer i målespolen. Støygrensen for målesystemet oppgis å være 1 ppm. Disse tallene refererer selvsagt til de ideelle tilfeller med de gunstigste topografiske - og værforhold.

Registreringen av de magnetiske - og elektromagnetiske data ble gjort i helikopteret på en sekskanals oscillografskriver av type Century 444. To kanaler ble benyttet til magnetisk - og to til elektromagnetisk registrering. Den femte kanalen ble benyttet til registrering av data fra en radar høyde-måler av type Bonzer TR70. Denne måler helikopterts høyde over bakken med ± 10 fots nøyaktighet. Den sjette kanalen benyttes til å registrere fiducialmerker fra et Sander CM12 kamera. Dette fotograferer bakken under helikopteret hvert annet sekund, og filmen merkes etter samme kode som den en benytter på registreringspapiret. For å lette plottingen av de registrerte anomalier merker navigatøren i helikopteret lett kjennbare punkter langs profilene av på fotomosaikken. Samtidig blir også slike punkter registrert på opptaksrullen.

For å varsle og registrere daglige variasjoner i det jordmagnetiske feltet ble en magnetisk bakkestasjon satt opp ved basen på Lampeland mens målingene pågikk. Denne stasjonen bestod av et protonmagnetometer av type Varian M50 og en Rustrak skriver.

UTFØRELSE

Måleområdets størrelse, flyretning og profilavstand ble valgt i samråd med Norsk Hydro's geolog Vrålstad. Flesbergområdet ble fløyet i øst/vest retning, mens områdene i Vestfold ble fløyet i forskjellige retninger. Profilavstanden ble bestemt til 150 m i Flesbergområdet og 200 - 400 m i de andre områdene. Det ble i alt fløyet 1210 km profil i Flesbergområdet og 160 km i Vestfoldområdene.

Målingene ble utført i tidsrommet 11. - 31. august 1975, og som base ble benyttet et jorde ved Lampeland for målingene i Flesbergområdet og Torp flyplass for målingene i Vestfold.

Helikopteret som ble benyttet var av type Lama SA 315 og hadde turbin-drift. Det ble leiet fra A/S Helilift, Hamar, og fra dette firmaet deltok Helge Siljberg som flyger og Finn Hegle og Brian Croston som mekanikere. Fra NGU deltok geofysiker Henrik Håbrekke og tekniker Oddvar Blokkum.

Etter hver flytur ble de viktigste elektromagnetiske anomalier plottet på fotomosaikk i samarbeid med Norsk Hydro's geologer for umiddelbar sjekking.

BEARBEIDELSE

Bearbeidelse av resultatene begynner med plotting av riktige profilkurser på fotomosaikken. Gjennomsnittlig blir ett plottepunkt benyttet pr. kilometer profil fløyen. Mellom plottepunktene har en antatt at helikopteret har holdt konstant hastighet og kurs. Overføring av de registrerte magnetiske data til de ferdig plottede profiler blir så utført etter at registreringspapirets målestokk er justert til samme verdi som fotomosaikkens målestokk. Iso-linjer eller koter er deretter trukket gjennom punkter med lik magnetisk feltstyrke. Det er benyttet 100 gammas avstand mellom kotene.

De registrerte elektromagnetiske data blir justert ved hjelp av radarhøyde-målerens utskrift til en referansehøyde for helikopteret lik 170 fot. Dette blir gjort for å minske variasjoner i anomaliampplitudene på grunn av varierende høyde mellom helikopteret og bakken. Forut for dette er eventuell støy fra kraftlinjer og andre støykilder eliminert når dette er mulig. Deretter er de elektromagnetiske måledata overført til grunnlagskartene og kotert på samme måte som magnetiske data.

Vanligvis angis elektromagnetiske anomalier som negative anomalier på

grunn av at primærfeltet som måles av mottakerspol svekkes når ledere opptrer under målesonden.

RESULTATER

Resultatene fra målingene over Flesbergområdet og over områdene i Vestfold er fremstilt i følgende kartverk:

Oppdrag 1374, Flesberg. Målestokk 1:17 000

2	Magnetisk totalfelt kotekart	m/ flylinjer	Pl. 1374-01, 02
2	Elektromagnetisk " reellkomponent	"	Pl. 1374-03, 04
2	" " imaginærkomp.	"	Pl. 1374-05, 06
2	" tolkningskart		Pl. 1374-07, 08

Oppdrag 1375, Vestfold. Målestokk 1:10 000

3	Magnetisk totalfelt kotekart	m/ flylinjer	Pl. 1375-01, 02, 03
1	Elektromagnetisk " reellkomponent	"	Pl. 1375-04
2	" " imaginærkomp.	"	Pl. 1375-05, 06
1	" tolkningskart		Pl. 1375-07

Ved tolkning av elektromagnetiske anomalier bør en være klar over at e.m. helikoptermålinger må betraktes som regionale målinger og at den primære oppgave ved slike målinger må være å lokalisere objekter som har elektrisk ledningsevne som skiller seg ut fra det omkringliggende medium. En kan i tillegg også kartlegge utbredelsen av disse ledere i to dimensjoner.

Ved å benytte både reell- og imaginærkomponentkartene kan en utføre en generell tolkning av de fremkomne anomalier. En må da forutsette at de ledere som opptrer i feltet kan betraktes som tynne vertikale plater, halvplan, med stor utstrekning til sidene og mot dypet (større enn 200 - 300 m lengde og over 100 m dybde). En kan da ved å sammenligne reell- og imaginærkomponentene danne seg et begrep om ledningsevnen. Fordi lederens tykkelse t og den elektriske ledningsevne σ vanskelig lar seg skille matematisk, opererer en med produktet ($\sigma \times t$) som mål for ledningsevnen.

Tolkningskartene som følger denne rapporten er basert på responskurver utarbeidet av Sander Geophysics Ltd. Bestemmelsen av de enkelte anomaliers ($\sigma \times t$)produkt er basert på de ovennevnte forutsetninger om geometrien og dessuten at lederen og de omkringliggende bergarter har samme magnetiske egenskaper. Tallene som er påført tolkningskartene representerer da ($\sigma \times t$)produktet og skulle være til hjelp ved prioritering av anomaliene. Anomalier med høye ($\sigma \times t$)verdier vil normalt være de viktigste ved en slik tolkning.

Det opptrer mange enkeltanomalier og anomalisoner på det sydligste av kartene fra Flesberg. Særlig gjelder det den sydvestlige delen av området der en finner høye ($\sigma \times t$)verdier på omkring 100. Anomaliens størrelse eller amplitude er imidlertid svært beskjedne, og dette gjelder hele feltet bortsett fra profilene over Grøslilgrube og en merkelig sterk anomali nær Lampeland sentrum. Denne kan skyldes en kommersiell støykilde på bakken, men bør sjekkes nærmere. Ellers finner en ikke anomalier som ligner Grøslilmalmens i størrelse eller form.

På grunn av de lave anomaliampplitudene en målte i feltet ble måleinstrumentenes følsomhet økt til det ytterste og flyhøyden "presset" så lavt som mulig. (Målesonden gikk av den grunn i bakken ved en anledning, og målingene måtte avbrytes i ca. 1 uke til ny sonde var skaffet og justert.)

Vi har valgt å tegne opp alle anomalier som ble målt, sjøl om mange er så små at de ligger på støygrensen. De minste og mest usikre er bare stiplet inn på kartene.

Konklusjonen en kan trekke fra e.m.målingene over Flesberg blir da at den nordligste halvparten av området inneholder få og små anomalier med lave ($\sigma \times t$)verdier. Ingen anomalier er av samme størrelse og kvalitet som de en måler over Grøslilmalmen.

På den sydligste halvpart av feltet finner en mange små og usikre enkeltanomalier og soner. I sydvest har anomaliene høye ($\sigma \times t$)verdier og bør sjekkes mer inngående på bakken.

EM-målingene over de 8 små områdene i Vestfold ga få og svært små anomalier. Over områdene 2, 7 og 8 ble ingen e.m.anomalier regist-

rert, og av de andre områdene var det bare over Kodal en målte anomalier med reell- og imaginærkomponenter som kunne benyttes til å beregne $(\sigma \times t)$. $(\sigma \times t)$ verdien for Kodal synes også mye lavere enn for Grøslø, noe som skulle indikere at ledningsevnen i Kodalmalmen er langt dårligere enn i Grøslimalmen. At anomaliamplitudene over Kodal er så lave, kan skyldes de topografiske forhold der som forårsaker større avstand mellom malm og målesonde enn hva tilfellet er i Grøslø.

Magnetiske anomalier blir også ofte registrert av den elektromagnetiske måleapparatene. Disse anomaliene gir positive reellkomponenter, og i enkelte tilfelle moderate negative imaginærkomponentverdier. Tolkning av ledningsevnen for slike anomalier etter den vanlige omtalte metoden er umulig fordi de magnetiske egenskaper er forskjellige hos anomaliobjektene og de omkringliggende bergarter.

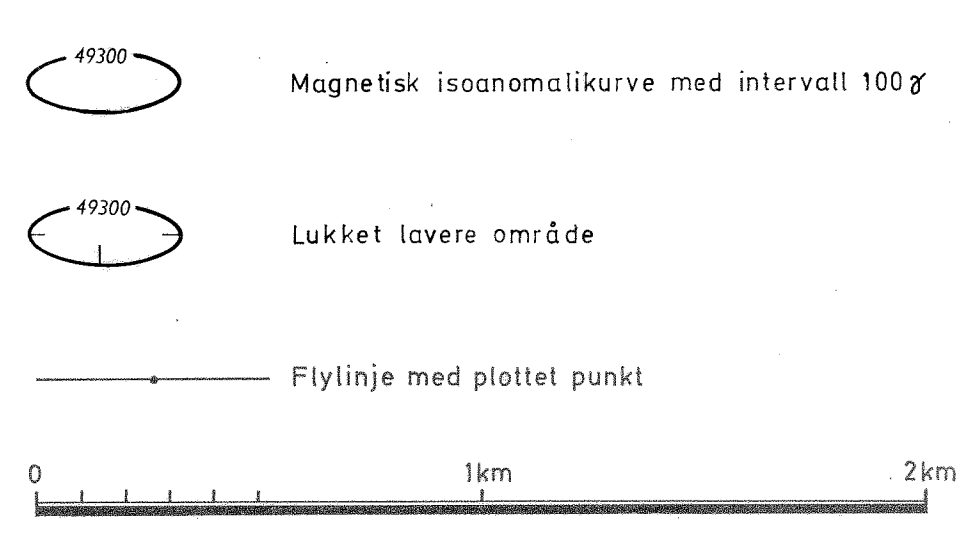
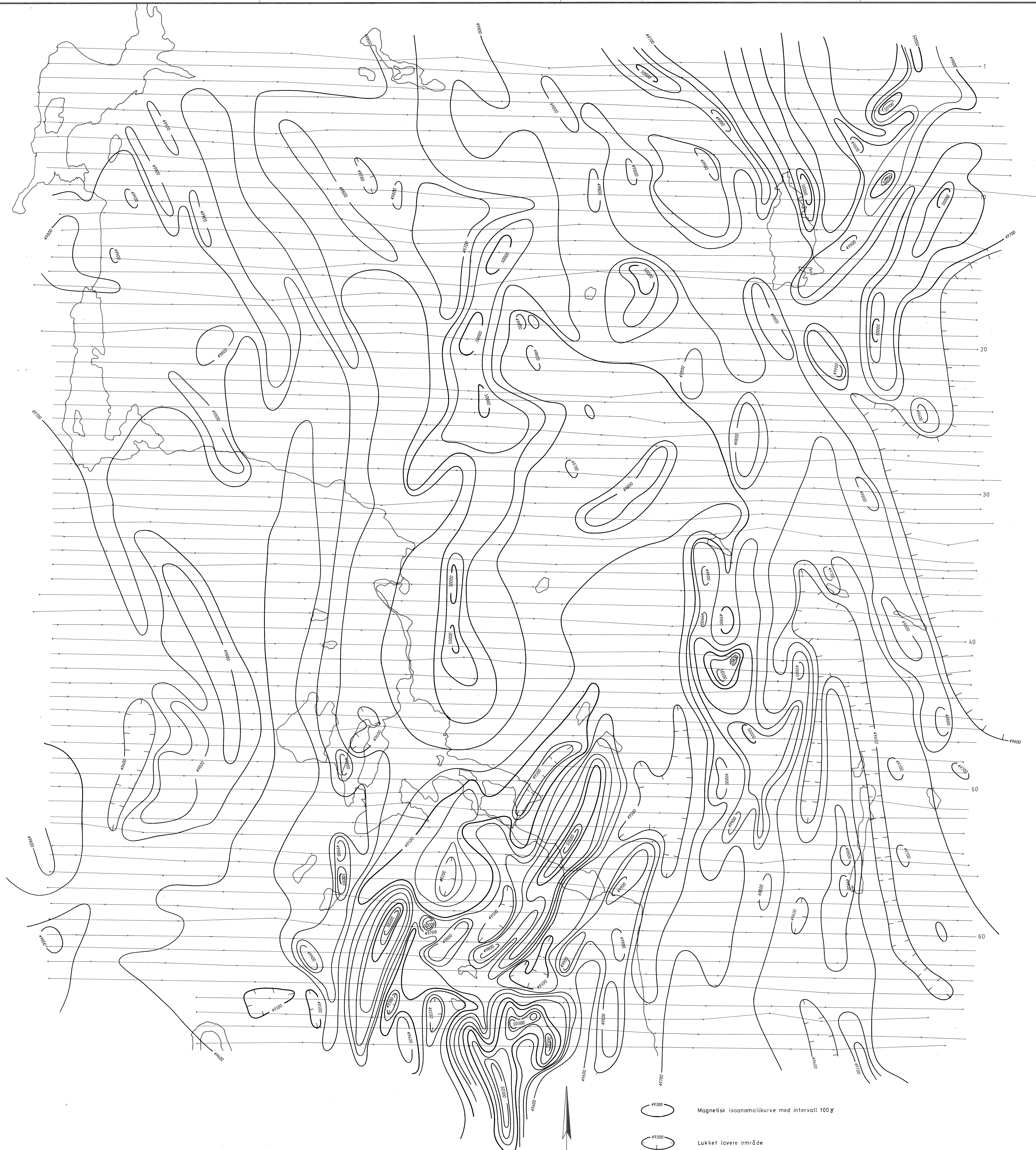
En bør ved tolkning av de elektromagnetiske anomalier også huske at Sander's og de fleste andre helikoptersystemer favoriserer vertikaltstående ledere fordi sender- og mottakerspolene har en vertikal og koaksial geometri. Tynne horisontaltliggende ledere vil derfor være dårlige mål for slike systemer.

De magnetiske kartene viser det magnetiske totalfeltet over området. Det er som før nevnt benyttet 100 gammas koteavstand ved opptegning, og for å lette identifiseringen av kotene, er en del tallverdier påført kartet. Magnetiske målinger fra fly gir ofte bedre oversikt over geologiske formasjoner og grenser enn magnetiske målinger fra helikopter, der målesonden er svært nær bakken. Helikoptermålinger gir imidlertid en langt bedre diskriminering av de enkelte små grunne anomaliårsaker, og dette fører igjen til større detaljrikdom ved kartfremstilling.

Trondheim 14. november 1975.

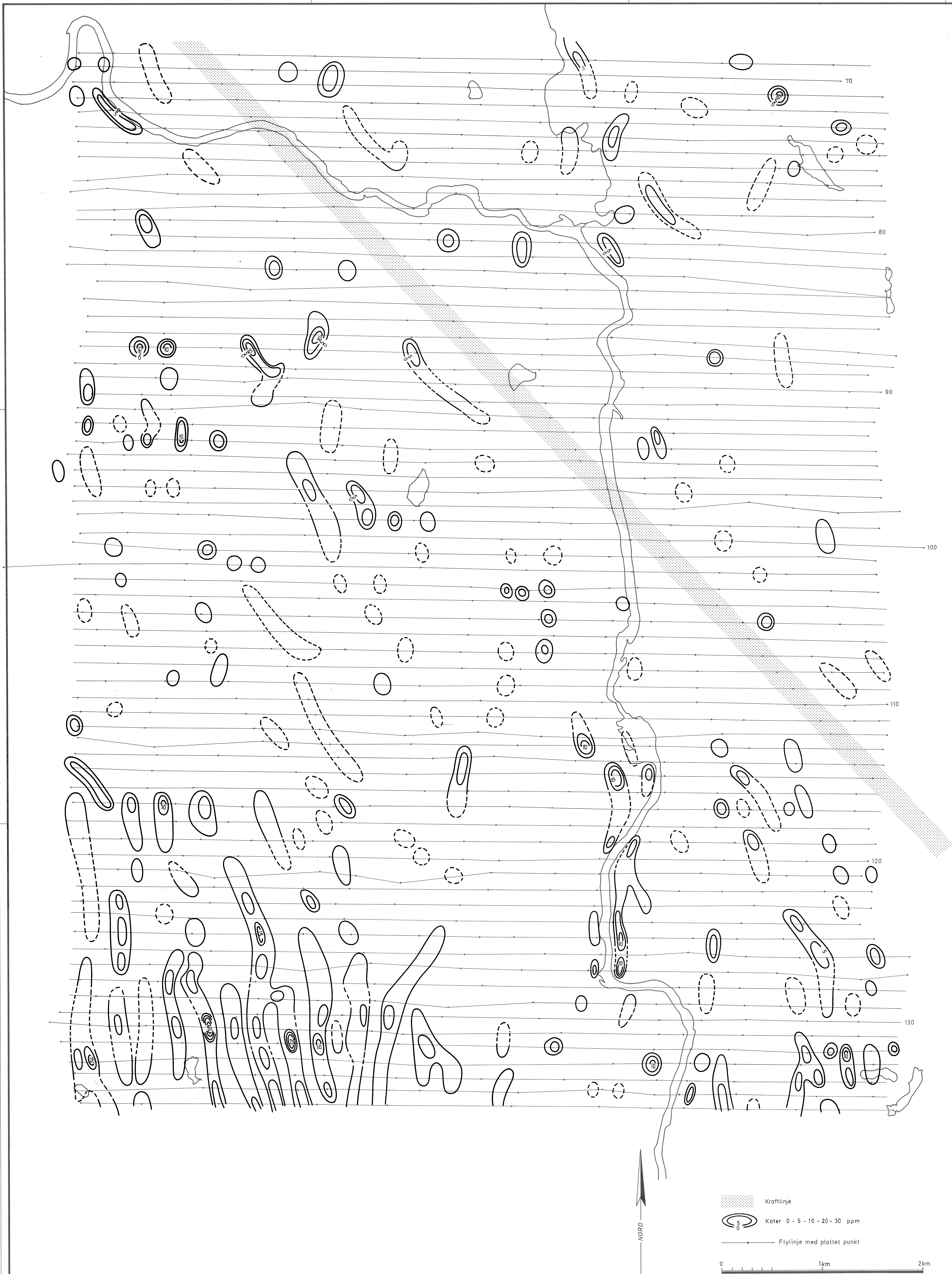
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
Geofysisk avdeling


Henrik Håbrekke
geofysiker



NORSK HYDRO HELIKOPTERMÅLINGER 1975 MAGNETISK TOTALFELT FLESBERG, FLESBERG, BUSKERUD	MÅLESTOKK	MÅLT H.H.	Aug/Sep. 75
	1:17 000	TEGN H.H.	Okt. 75
		TRAC H.S.	Nov. 75
		KFR H.H.	Nov. 75
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 1374-01	KARTBLAD (AMS) 1714 IV	

Basert på ukontrollert fotomosaikk



Kraftlinje
Koter 0 - 5 - 10 - 20 - 30 ppm
Flylinje med plottet punkt

0 1km 2km

Basert på ukontrollert fotomosaikk

NORSK HYDRO HELIKOPTERMÅLINGER 1975 IMAGINÆR-KOMPONENT FLESBERG, FLESBERG, BUSKERUD	MÅLESTOKK			MÅLT H.H.	Aug/Sep. 75
	1:17 000			TEGN H.H.	Okt. 75
				TRAC H.S.	Nov. 75
				KFR H.H.	Nov. 75
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM		TEGNING NR. 1374-06		KARTBLAD (AMS) 1714 IV	



NORD

Kraftlinje
Koter 0 - 5 - 10 - 20 ppm
Flylinje med plottet punkt

0 1km 2km

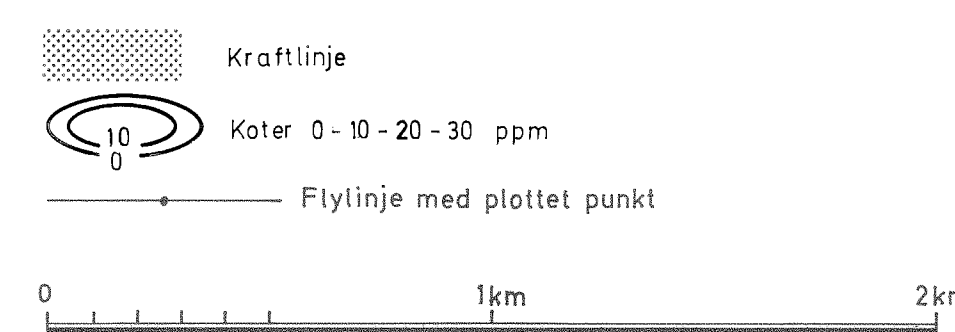
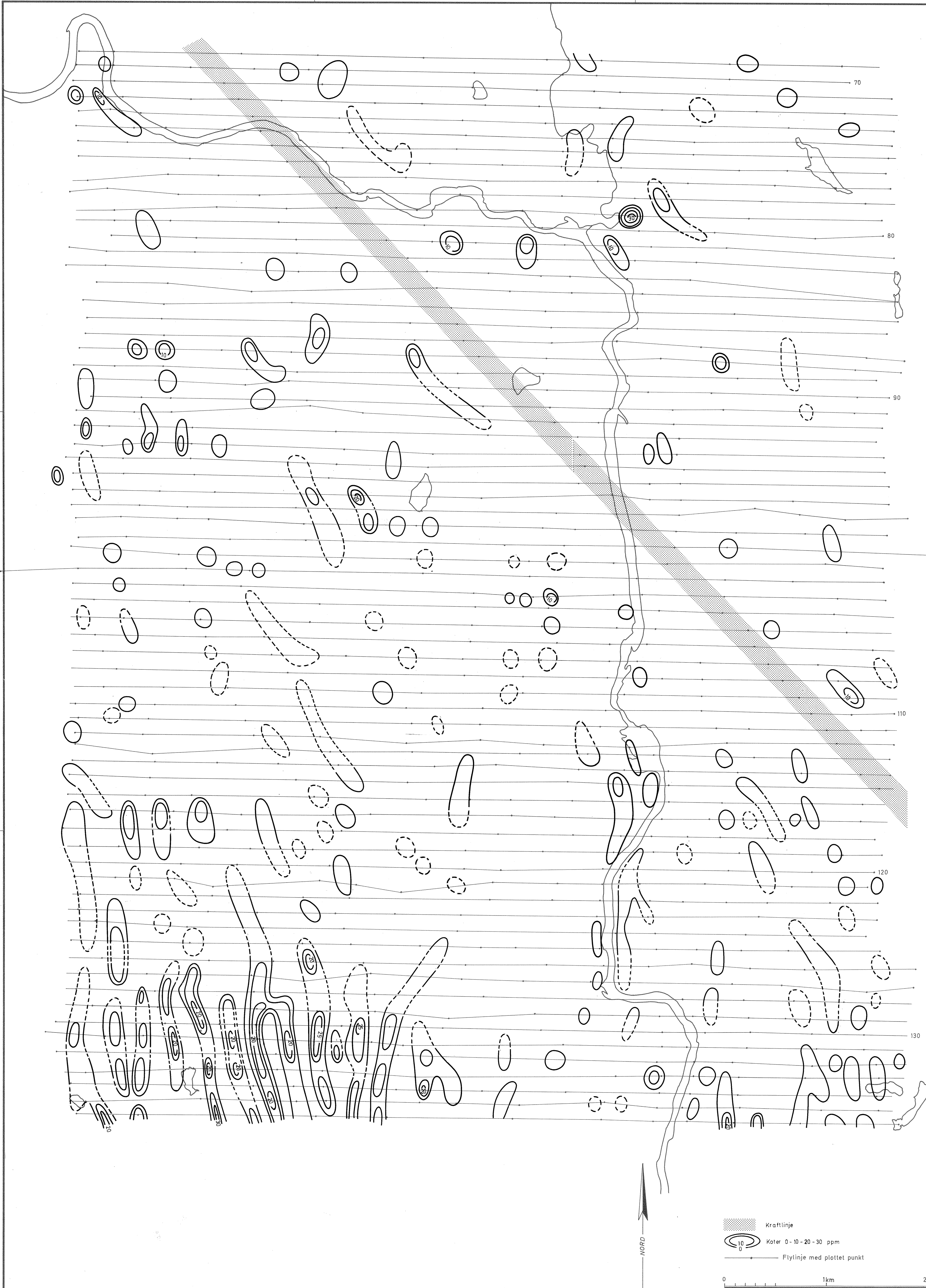
Basert på ukontrollert fotomosaikk

NORSK HYDRO
HELIKOPTERMÅLINGER 1975
IMAGINER-KOMPONENT
FLESBERG, FLESBERG, BUSKERUD

MÅLESTOKK	MÅLT	H.H.	Aug/Sep. 75
1:17000	TEGN	H.H.	Okt. 75
	TRAC	H.S.	Nov. 75
	KFR	H.H.	Nov. 75

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

TEGNING NR.	KARTEBLAD (AMS)
1374-05	1714 IV



NORSK HYDRO HELIKOPTERMÅLINGER 1975 REELL-KOMPONENT FLESBERG, FLESBERG, BUSKERUD	MÅLESTOKK		MÅLT H.H.	Aug/Sep. 75
	1:17 000	TEGN H.H.	Okt.	75
		TRAC H.S.	Nov.	75
		KFR H.H.	Nov.	75
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD (AMS)		
	1374 - 04	1714 IV		

Basert på ukontrollert fotomosaikk



NORD

Kraftlinje
Koter 0-10-20-30
Flylinje med plottet punkt

0 1km 2km

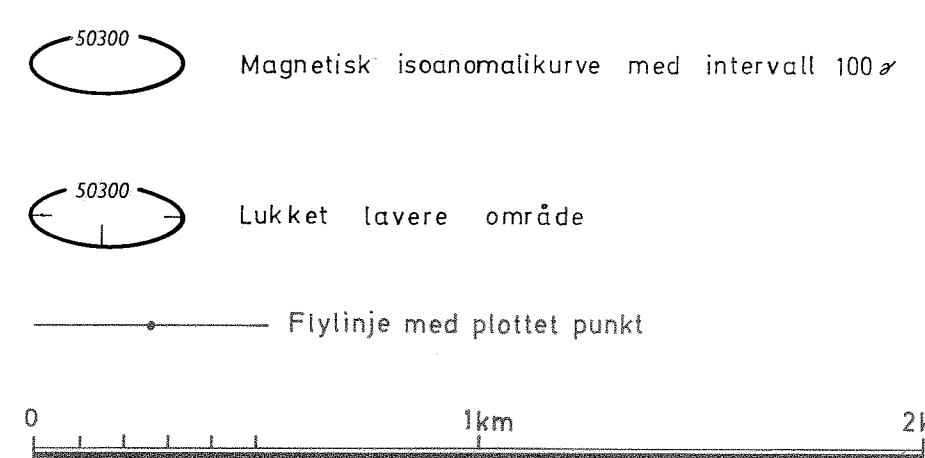
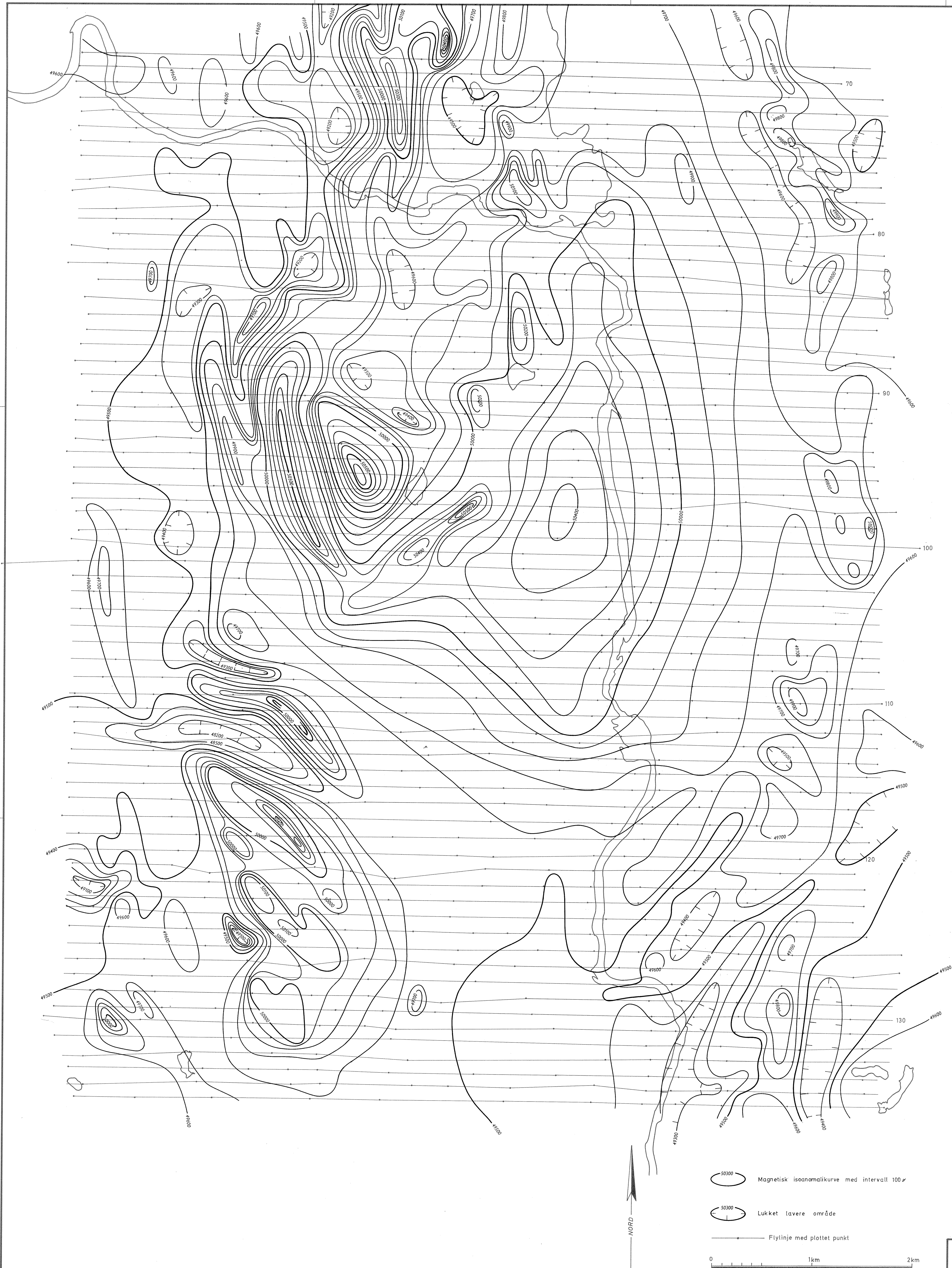
Basert på ukontrollert fotomosaikk

NORSK HYDRO
HELIKOPTERMÅLINGER 1975
REELL - KOMPONENT
FLESBERG, FLESBERG, BUSKERUD

MÅLESTOKK	MÅLT	H.H.	Aug/Sep. 75
1:17 000	TEGN	H.H.	Okt. 75
	TRAC	H.S.	Nov. 75
	KFR	H.H.	Nov. 75

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

TEGNING NR.	KARTBLAD (AMS)
1374-03	1714 IV



Basert på ukontrollert fotomosaikk

NORSK HYDRO HELIKOPTERMÅLINGER 1975 MAGNETISK TOTALFELT FLESBERG, FLESBERG, BUSKERUD	MÅLESTOKK 1:17000	MÅLT H.H.	Aug/Sep. 75
		TEGN H.H.	Økt. 75
		TRAC H.S.	Nov. 75
		KFR H.H.	Nov. 75
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 1374-02	KARTBLAD (AMS) 1714 IV	



Kraftlinje

(5) Ledingsevne σ -t

DL Dårlig ledningsevne $(\sigma-t) < 2$

SL Svak $2 < (\sigma-t) < 10$

GL God $10 < (\sigma-t) < 50$

ML Meget god $(\sigma-t) > 50$

Flylinje med plottet punkt

0 1km 2km

Basert på ukontrollert fotomosaikk

NORSK HYDRO
HELIKOPTERMÅLINGER 1975
TOLKNINGSKART
FLESBERG, FLESBERG, BUSKERUD

MÅLESTOKK	MÅLT	H.H.	Aug/Sep. 75
1:17 000	TEGN	H.H.	Okt. 75
	TRAC	H.S.	Nov. 75
	KFR	H.H.	Nov. 75

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

TEGNING NR.	KARTBLAD (AMS)
1374-07	1714 IV



NORSK HYDRO A/S
 HELIKOPTERMÅLINGER 1975
 OVERSIKTSKART FOR
 MÅLEOMRÅDER I VESTFOLD
 VESTFOLD

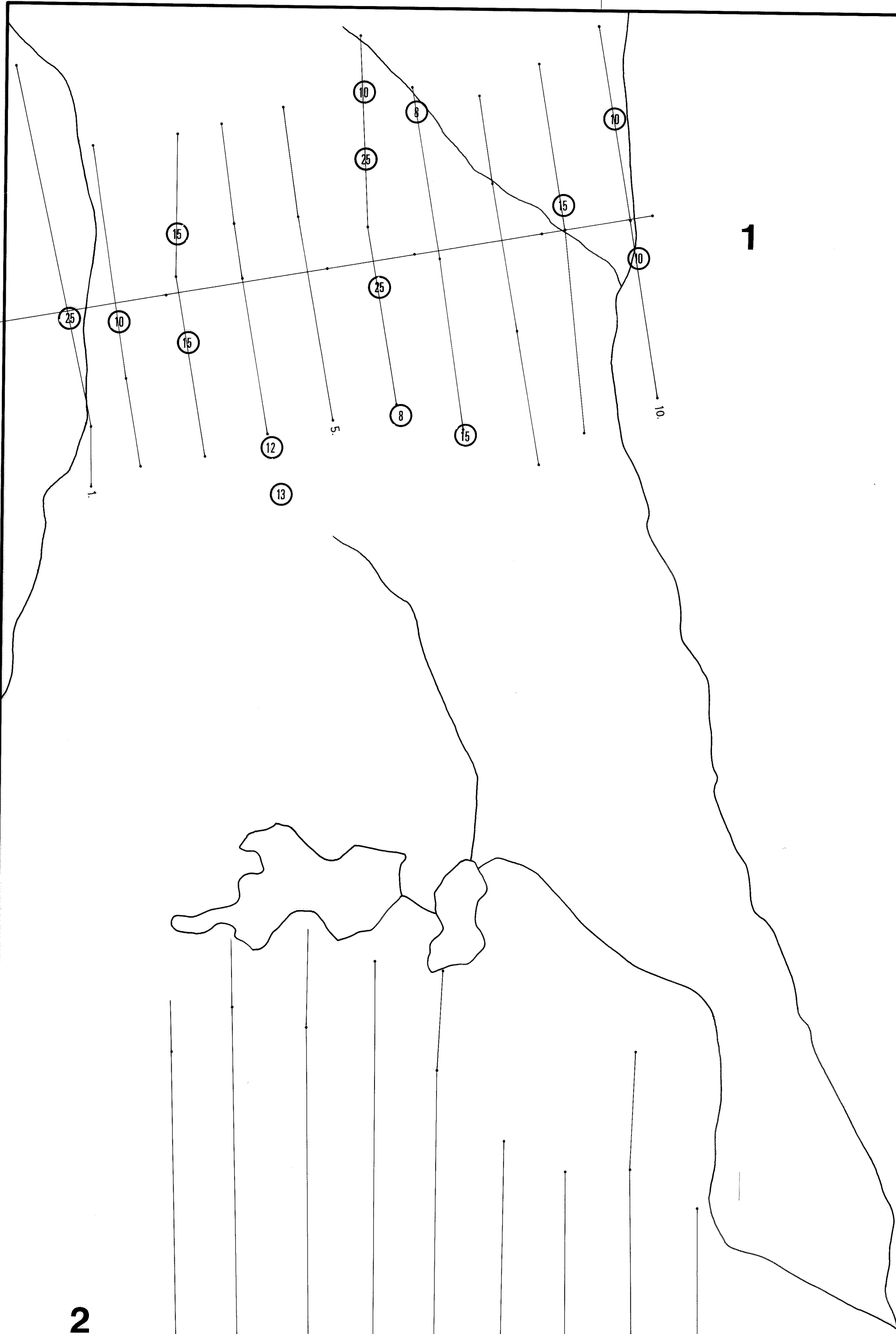
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK
 1:50000

MÅLT H.H.	Aug./Sept. 75
TEGN. H.H.	Okt. 75
TRAC. J.B.	Nov. 75
KFR. H.H.	Nov. 75

TEGNING NR.
 1375 - 00

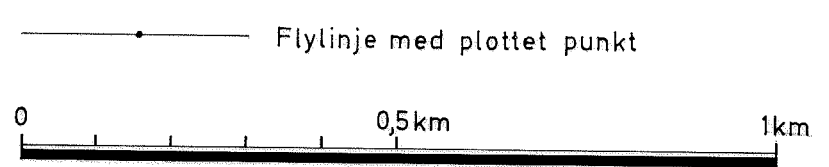
KARTBLAD (AMS)
 1712 II, 1813 III



1

2

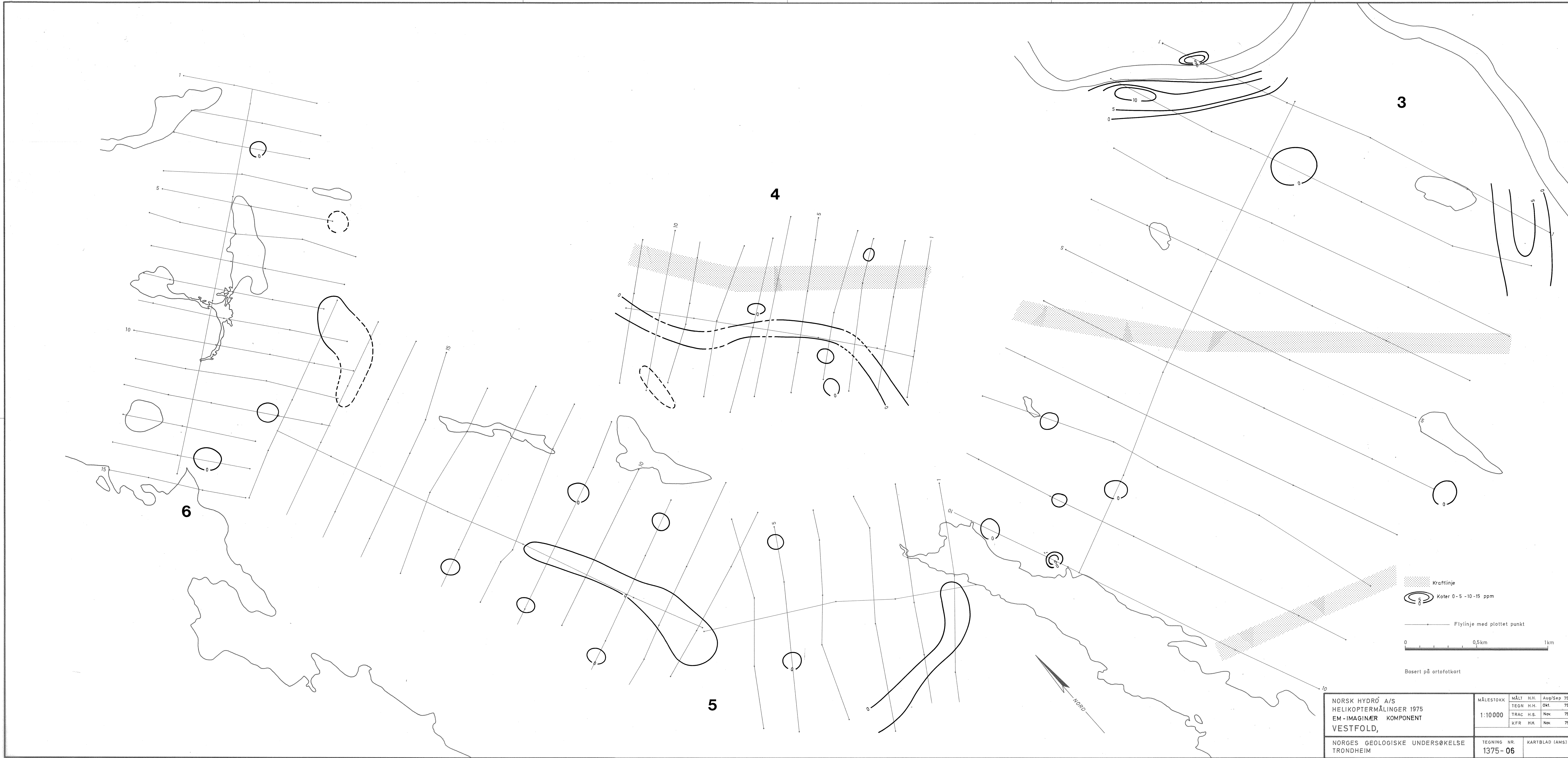
NORD

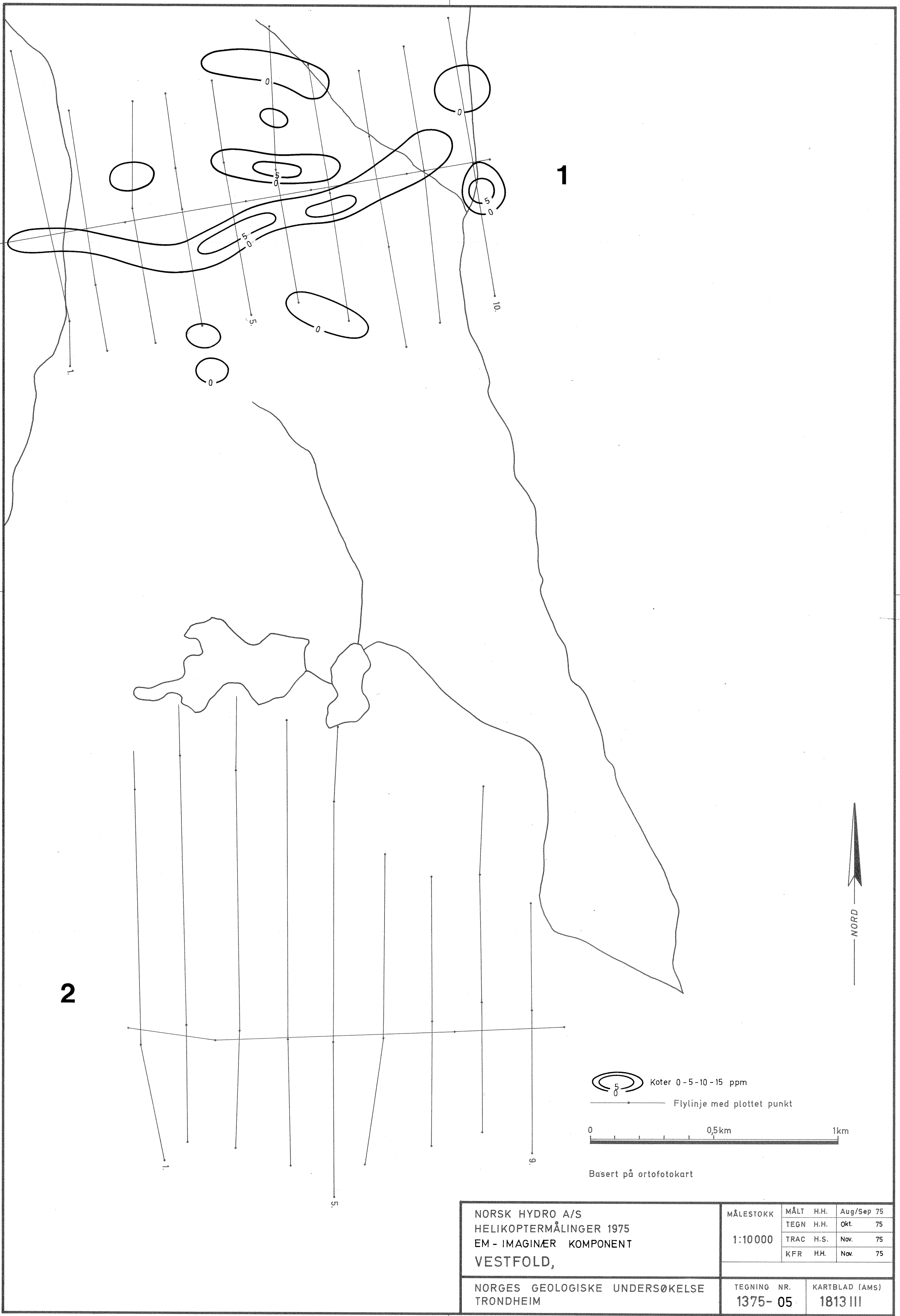


Basert på ortofotokart

- 51 Ledningsevne $\sigma \cdot t$
- DL Dårlig ledningsevne ($\sigma \cdot t$) < 2
- SL Svak ———— $2 < (\sigma \cdot t) < 10$
- GL God ———— $10 < (\sigma \cdot t) < 50$
- ML Meget god ———— $(\sigma \cdot t) > 50$

NORSK HYDRO A/S HELIKOPTERMÅLINGER 1975 ELEKTROMAGNETISK TOLKNINGSKART VESTFOLD,	MÅLESTOKK 1:10 000	MÅLT	H.H.	Aug/Sep 75
		TEGN	H.H.	Okt. 75
		TRAC	H.S.	Nov. 75
		KFR	H.H.	Nov. 75
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 1375- 07	KARTBLAD (AMS) 1813 III		





2

1

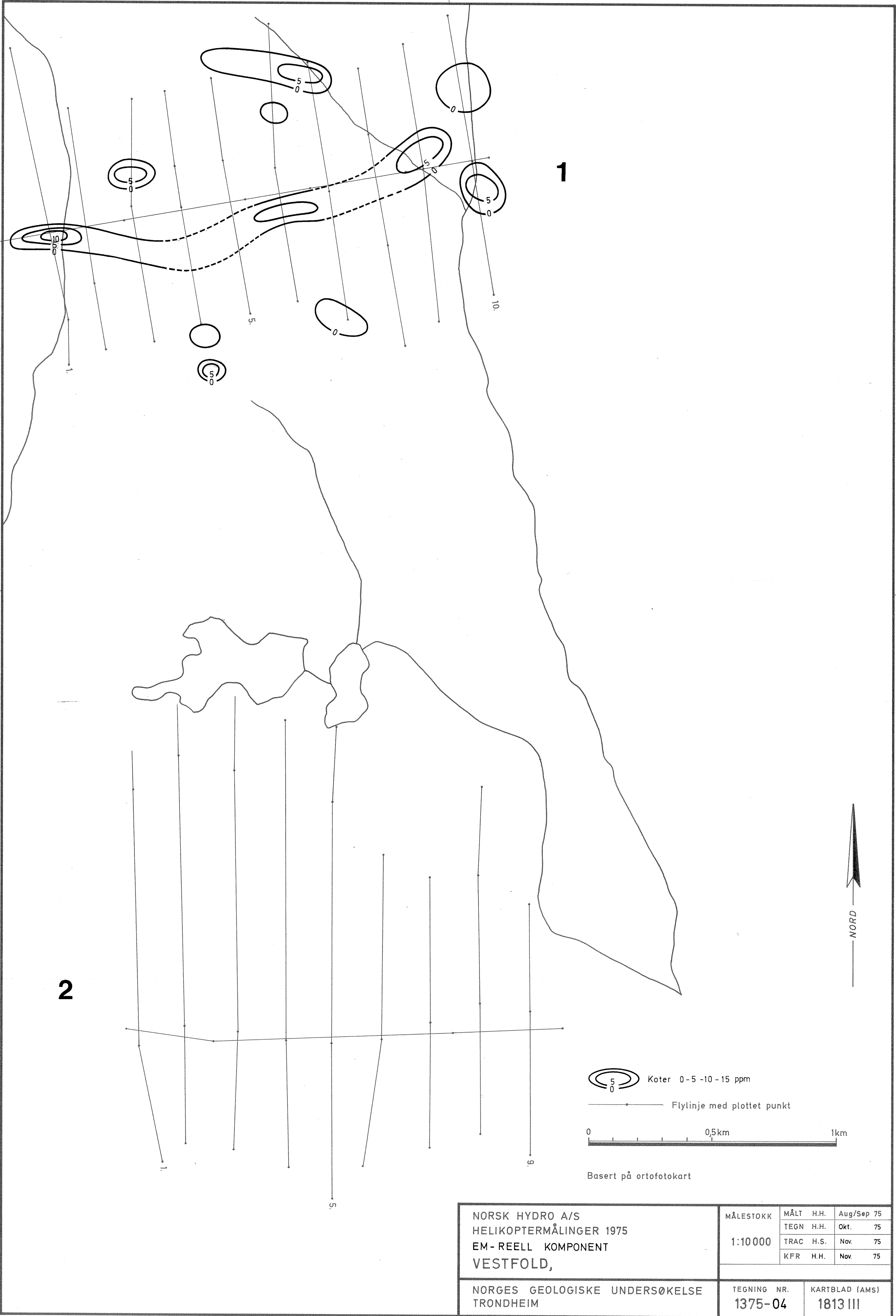
Koter 0-5-10-15 ppm
Flylinje med plottet punkt

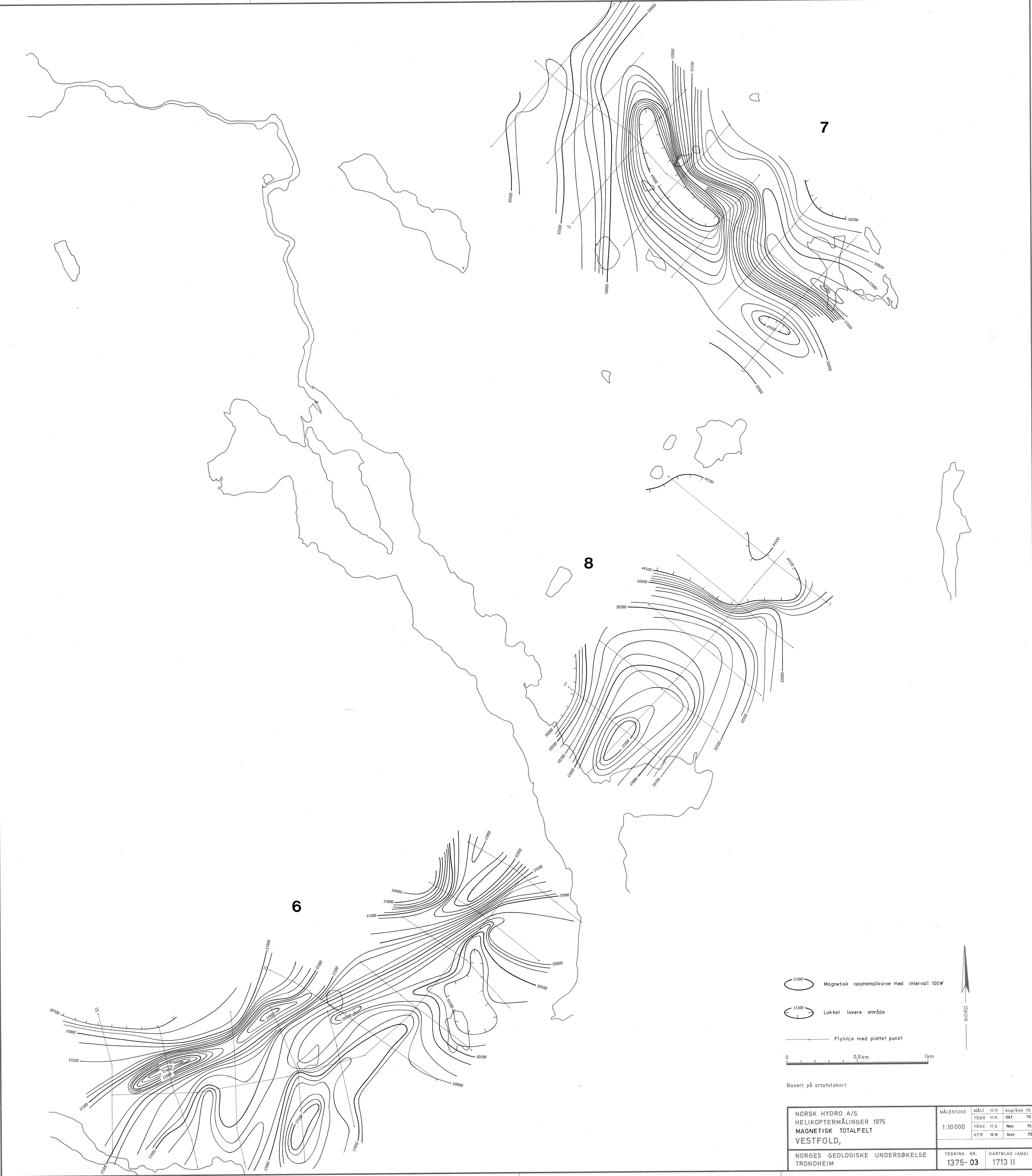
0 0,5km 1km

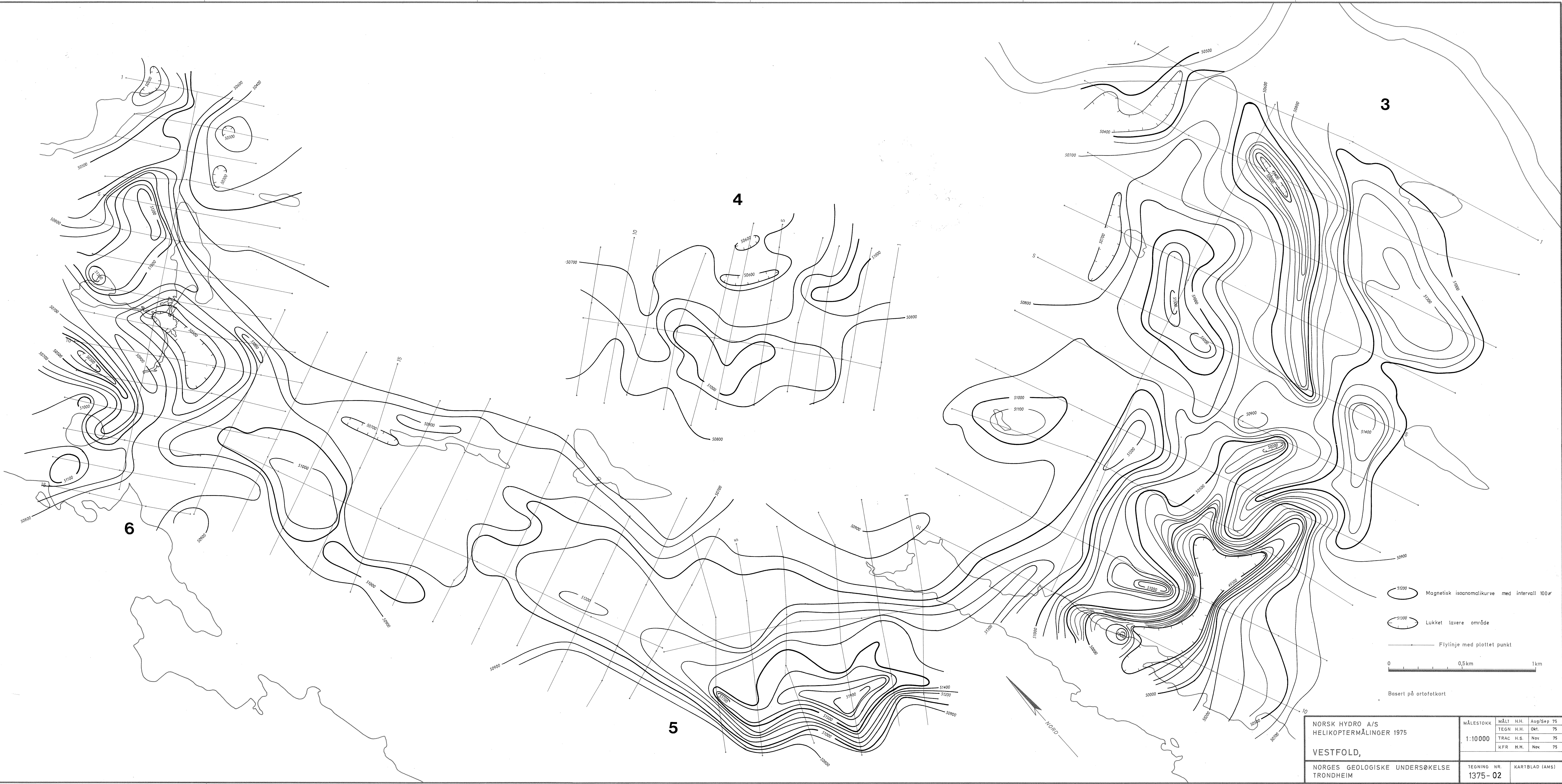
Basert på ortofotokart

NORD

NORSK HYDRO A/S HELIKOPTERMÅLINGER 1975 EM - IMAGINÆR KOMPONENT VESTFOLD,	MÅLESTOKK 1:10000	MÅLT	H.H.	Aug/Sep 75
		TEGN	H.H.	Okt. 75
		TRAC	H.S.	Nov. 75
		KFR	H.H.	Nov. 75
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 1375- 05	KARTBLAD (AMS) 1813 III		







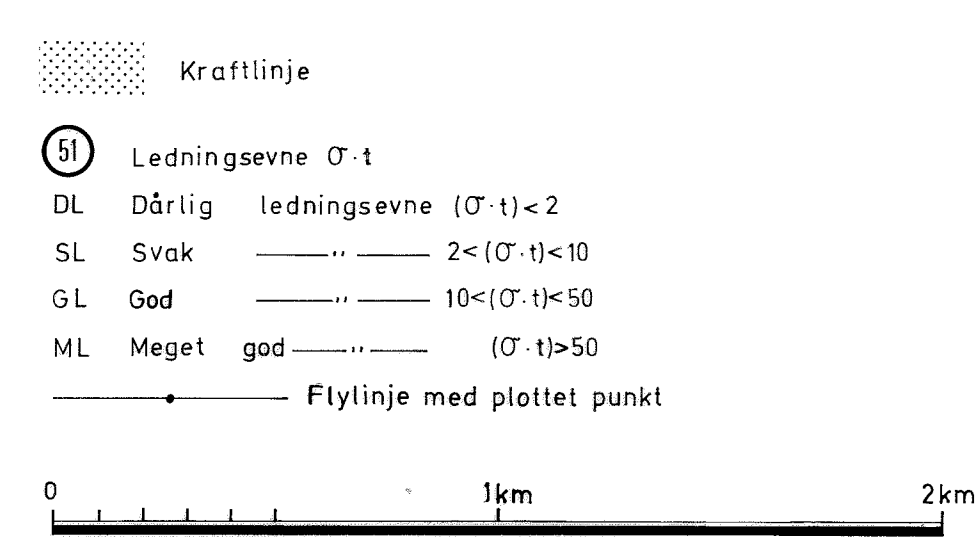
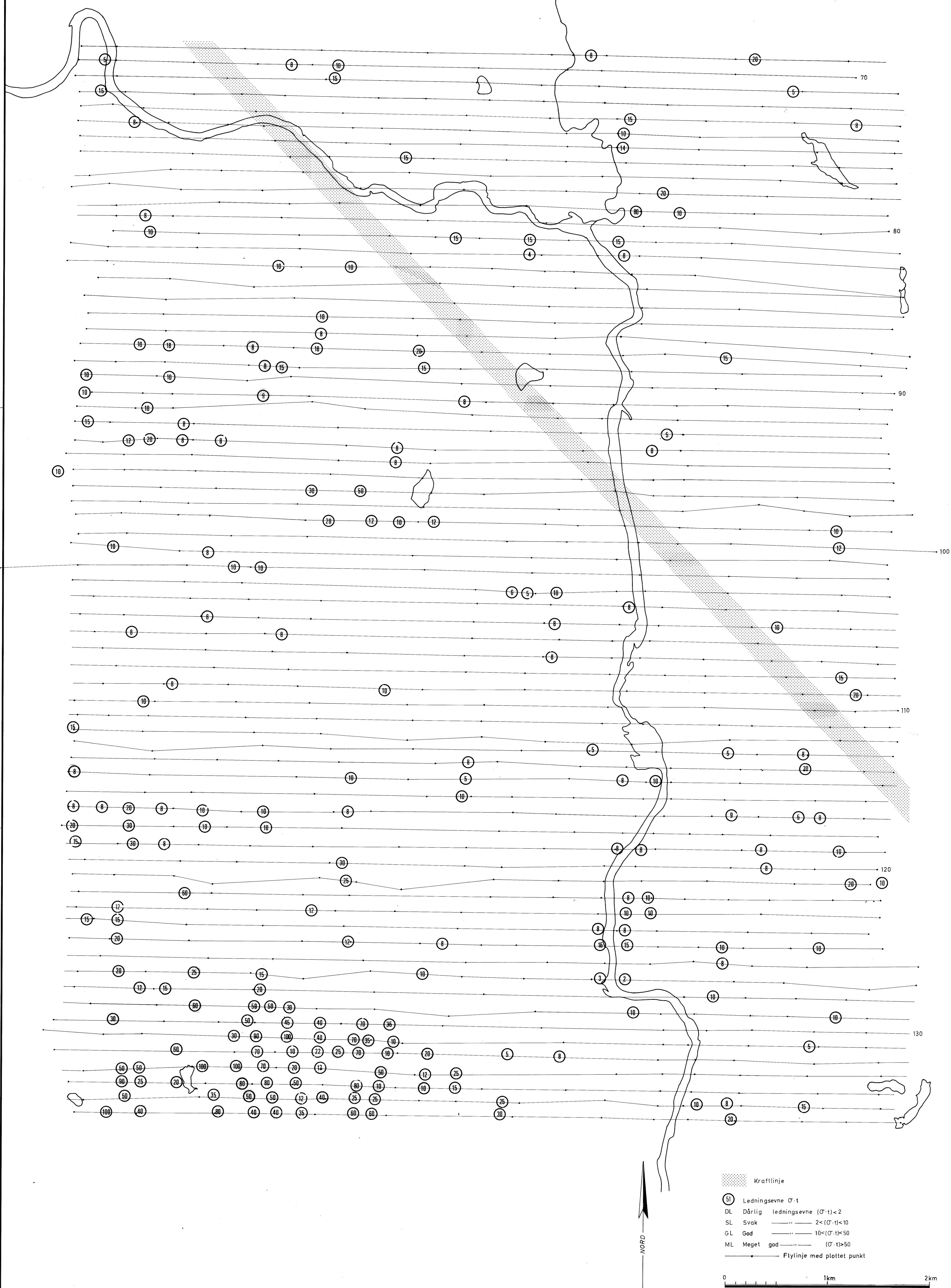
NORSK HYDRO A/S
HELIKOPTERMÅLINGER 1975

VESTFOLD,

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

MÅLESTOKK	MÅLT H.H.	Aug/Sep 75
1:10000	TEGN H.H.	Okt. 75
	TRAC H.S.	Nov. 75
	KFR H.H.	Nov. 75

TEGNING NR.	KARTBLAD (AMS)
1375-02	



NORSK HYDRO HELIKOPTERMÅLINGER 1975 TOLKNINGSKART FLESBERG, FLESBERG, BUSKERUD	MÅLESTOKK 1:17 000	MÅLT H.H. Aug/sep. 75
		TEGN H.H. Okt. 75
		TRAC H.S. Nov. 75
		KFR H.H. Nov. 75
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 1374-08	KARTBLAD (AMS) 1714 IV

Basert på ukontrollert fotomosaikk