NGU Rapport 99.023

Geofysiske målinger fra helikopter ved
Lalm, Oppland 1998, teknisk rapport.

NGU
Norges geologiske undersøkelse
Geological Survey of Norway

Postboks 3006 - Lade
7002 TRONDHEIM
Tlf. 73 90 40 11
Telefaks 73 92 16 20

RAPPORT

Rapport nr.: 99.023	ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen

Tittel:
Geofysiske målinger fra helikopter ved Lalm, Oppland, 1998, teknisk rapport.

Forfatter:
John O. Mogaard

Oppdragsgiver:
NGU, AS Granit

Fylke:
Oppland

Kommune:
Vågå

Kartblad (M=1:250.000)
Lillehammer

Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)
1718 IV Otta

Forekomstens navn og koordinater:

Sidetall: 10 Pris: 120
Kartbilag: 4

Feltarbeid utført:	Rapportdato:	Prosjektnr.:	Ansvarlig:
01.07.1998	24.03.1999	2806.00	Jan S. Rønning

Sammendrag:

NGU utførte helikoptermålinger i 1998 over et område ved Lalm, Oppland fylke. Oppdragsgivere var NGU og AS Granit. Målingene inngår som en del av et prosjekt hvor hovedmålet var å kartlegge utbredelse, mektighet og struktuell opptreden av kleberstein med tanke på videre drift.

Det ble målt totalt ca. 190 profilkilometer med profilavstand 100 meter. I tillegg ble ca. halve området (fra vest) målt med 50 meters profilavstand. Flyhøyden var nominelt 60 meter, og det ble foretatt magnetiske og elektromagnetiske (VLF) målinger. Måledata er prosessert og det er laget fargekart i målestokk 1: 10 000. Nedfotograferte versjoner av disse kartene samt en oversikt over måleområdet i målestokk 1: 20 000 er vedlagt rapporten.

Emneord: Geofysikk	Helikoptermålinger	Magnometri
Fagrapport	VLF-målinger	Kleberstein

INNHOLD **side**

1 INNLEDNING 4
2 UNDERSØKELSESBETINGELSER 4
3 MÅLEMETODER OG UTFØRELSE 5
3.1 Oppdragets spesifikasjoner og måleforhold 5
3.2 Magnetiske målinger 5
3.3 VLF elektromagnetiske målinger 6
3.4 Navigasjons- og dataloggersystem 6
4 PROSESSERING 8
5 PRODUKT 8
6 REFERANSER 9

FIGURER :

Fig. 1	Oversikt måleområde	M 1: 20 000
Fig. 2	Magnetisk totalfelt	M 1: 20 000
Fig. 3	Beregnet magnetisk vertikal gradient	M 1: 20 000
Fig. 4	VLF-EM totalfelt (line)	M 1: 20 000
Fig. 5	VLF-EM totalfelt (orthogonal)	M 1: 20 000

1 INNLEDNING

Norges geologiske undersøkelse (NGU) utførte 1 juli 1998 geofysiske helikoptermålinger nær Lalm, over kartblad 1718 IV, Oppland. Målingene inngår som en del av et prosjekt hvor hovedmålet var å kartlegge utbredelse, mektighet og struktuell opptreden av klebersteinforekomster i området Åsåren - Nyseter - Fredheim - Bårstad. Dette området regnes som delprosjekt 1 av hovedprosjektet "Kleberstein i Nord-Gudbrandsdalen". Det er utført magnetiske og elektromagnetiske (VLF) målinger. Måleområdet fremgår av fig. 1. Det er tilsammen målt ca. 190 profilkilometer i området.

Denne rapporten beskriver innsamling, prosessering og presentasjon av data. Tolkning av de geofysiske data blir inkludert i NGUs bergrunnskart over området.

2 UNDERSØKELSESBETINGELSER

For å oppnå vellykkede resultater ved helikoptermålinger er det en rekke betingelser som må oppfylles. Under målingene må det tas hensyn til flere forhold som innvirker på datakvaliteten og kan forringe denne i en slik grad at flygning må avbrytes eller utsettes.

Værforholdene har stor innvirkning på resultatet av geofysisk kartlegging fra helikopter. Regn og sterk vind fører til økt støynivå og reduserer kvaliteten på innsamlede data. I tordenvær og ved snø-skurer må målingene avbrytes på grunn av sikkerheten og faren for å ødelegge utstyr.

For de magnetiske målingene vil tidsrelaterte variasjoner i det naturlige magnetfeltets styrke ha stor innvirkning på datakvaliteten. Det benyttes derfor et stasjonsmagnetometer på bakken for å registrere disse tidsvariasjonene slik at det kan foretas en korrigering under prosesseringen av de magnetiske data. I visse perioder kan det oppstå store variasjoner over kort tid i det naturlige magnetiske feltet (magnetisk storm). Under slike forhold må målingene avbrytes.

Terrenget har også en viss innvirkning på datakvaliteten. I områder med store høydevariasjoner er det vanskelig å holde eksakt flyhøyde og hastighet på helikopteret. Dette fører til varierende flyhøyde avhengig om en stiger opp en skråning eller om en slipper seg utfor. Økt flyhøyde vil redusere utslagene ved alle geofysiske måledata. Normal akseptabel variasjon i flyhøyden er ±20 % av nominell flyhøyde (60 meter). Sikkerhetshensyn kommer i første rekke slik at spesifikasjonene for flyhøyde og hastighet vil overskrides når terrenget er for kupert.

Ved VLF-målingene kan det oppstå problemer ved at sendere faller ut. En må da velge en ny sender, og siden det er et begrenset antall sendere tilgjengelig (6 -7 stk.), behøver den nye ikke

nødvendigvis være i en gunstig retning. Dette gir en dårligere datakvalitet, men siden VLF er en sekundær målemetode, avbrytes vanligvis ikke målingene.

3 MÅLEMETODER OG UTFØRELSE.

Ved målingene ved Lalm ble det benyttet en redusert utstyrspakke (magnetometri og VLF). Instrumentene og datasystemet er plassert inne i helikopterkabinen. Målesondene henger under helikopteret. Den magnetiske sensoren i en 15 meter lang kabel og VLF-sonden i en 10 meter lang kabel.

3.1 Oppdragets spesifikasjoner og måleforhold.

Måleområdet har en utstrekning på totalt ca. 13 km^2 og omfatter deler av kartblad 1718 IV Otta (se fig.1). Totalt ble det fløyet 190 km i retning 0/180 grader. Hele området ble først målt med en linjeavstand av 100 meter. Deretter ble ca. halve området (fra vest) dekket med 50 meters linjeavstand. Den nominelle flyhøyden var 60 meter. Måleinstrumentene ble montert i et helikopter av typen Aerospatiale Ecureuil SA 350 B1. Flyhastighet var ca. 100 km/t (ca. 30 m/s).
Målingene ble utført 1. juli 1998 og besto av en måletur.

Værforholdene under målingene ved Lalm var varierende. Det gikk noen regnbyger i området.

Fra NGU deltok:	Overing. John O. Mogaard
	Overing. Janusz Koziel
Fra Helitrans AS deltok:	Pilot Bjørn Nilsen

3.2 Magnetiske målinger

Det magnetiske totalfeltet ble målt med et Scintrex MEP 410 cesium magnetometer. Den magnetiske sonden hang 15 m under helikopteret (45 meter over bakken). Magnetometeret har meget høy følsomhet (0.01 nT) og det ble avlest 5 ganger pr. sekund (målepunktavstand ca. 6 meter).

Daglige variasjoner i magnetfeltet ble registrert med et typen Scintrex MP-3 protonmagnetometer. Dette var plassert på Lade i Trondheim (NGU's kontorer). Basestasjonen registrerte magnetfeltet

digitalt hvert fjerde sekund, og måleverdiene ble skrevet ut på termisk skriver (TOA EPR 121A) for hurtig kvalitetskontroll. Fly- og basemagnetometer ble synkronisert før flygning for å sikre korrekt fjerning av tidsavhengige magnetfeltsvariasjoner fra de magnetiske profildata.
De magnetiske forholdene (tidsrelaterte variasjoner) under målingene kan betegnes som gode.

3.3 VLF elektromagnetiske målinger

VLF-målinger ble utført med et målesystem av typen TOTEM-2A levert av Herz Industries, Canada. Som energikilde benyttes militære VLF (very low frequency) radiosendere i Europa og USA. Disse opererer i frekvensområdet 15-30 kHz. For å oppnå god kobling med eventuelle ledere i bakken i alle retninger, bør retningen til en av senderne være i flyretningen (line), mens den andre bør være vinkelrett på flyretningen (ortho). Disse to datasettene fremhever elektrisk ledende strukturer med hovedkomponent henholdsvis langs og tvers av profilretningen.

Sonden i målesystemet som inneholder tre ortogonale spoler, slepes 10 m under helikopteret (50 meter over bakken). VLF-målingene er følsomme for forstyrrelser fra kraftlinjer og radiosendere. Dersom målebetingelsene er gode, vil VLF-målingene kunne gi respons fra objekter med svak elektrisk ledningsevne. Dybderekkevidden ved VLF målinger er 1-200 m, og dette skyldes høy utgangseffekt og stor avstand til senderne. Dagnære strukturer vil selvsagt dominere og dypere ledende soner kan bli skjermet. Både for line og ortho kanalene måles to parametre (totalfelt og vertikal kvadratur), men i praksis er det bare totalfeltet som benyttes ved kartfremstillingen.

For måling av totalfeltet i en bestemt retning (line eller ortho), registreres feltstyrken fra den spole som peker i denne retningen. For de to andre spolene registreres styrken av feltkomponentene som er i fase med førstnevnte spole. Bidragene fra de tre spolene vektorsummeres. Totalfeltet måles som endringen (i %) av størrelsen på vektoren i forhold til feltstyrken over et anomalifritt område.

Under målingene ved Lalm ble GBR (Rugby, England, 16.0 kHz) benyttet som linje kanal, og NAA (Cutler, Maine, USA 24.0 kHz) som orthogonal kanal. Det ble fortatt 5 registreringer pr. sekund (målepunktavstand ca. 6 meter). Senderne var stabile under måling, men utslagene må betegnes som svake, hvilket indikerer svakt ledende strukturer.

3.4 Navigasjons- og dataloggersystem

Navigasjon
Navigasjonssystemet består av en Trimble SVeeSix 6-kanals GPS-mottaker samt en Seatex DFM-200 RDS-referansemottaker koblet til en bærbar PD. Signalene fra GPS-mottakeren blir korrigert i sann tid ved bruk av korreksjonssignal lagt ut i RDS-format på NRKs P2-sendinger. DGPS-data

(differensiell GPS) beregnes v.h.a. programvare levert av Seatex og data overføres til navigasjonskonsoll og datalogger for henholdsvis navigasjon og posisjonering av måledata.

Navigasjonskonsollet er av typen PNAV 2001 (Picodas Group Inc, Canada). Her programmeres profillinjene, og disse vises på en skjerm foran piloten. Helikopterets posisjon i forhold til den predefinerte målelinjen kan avleses og på denne måten kan piloten lettere følge målelinjen.

I tillegg blir RDS-data logget på en bærbar PD på basen under målingen. Dersom korreksjonsdata faller ut (pga. dårlig dekning av P2-signaler) foretas navigeringen etter ordinære (rå) GPS data. I ettertid foretar korreksjoner til DGPS (post-prosessering) slik at lokaliseringen av målepunktene får DGPS standard, dvs. nøyaktighet bedre enn 10 meter. Visuell navigasjon benyttes som sikkerhet, og her benytter navigatøren fargekart i målestokk 1: 20 000. Under målingene ved Lalm var det god dekning med referansedata slik at ingen post-prosessering var nødvendig.

Radar høydemåler

Høyden på helikopteret registreres kontinuerlig ved hjelp av en radar høydemåler 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 er 5%.

Dataloggersystem

Alle data samles med et DAS-8 dataloggersystem levert av RMS Instruments Ltd, Canada. Opptak av data ble foretatt både digitalt og analogt (termisk skriver, RMS-GR33). Digitale data blir seinere overført til PD for prosessering og kartframstilling.

Utskrift av data til skriver muliggjør kvalitetskontroll av innsamlede data under måling. På skriveren registreres data fra VLF (4 signalkanaler) og magnetometer (magnetisk totalfelt). I tillegg skrives radarhøyde, klokke, fastpunkter og navigasjonsdata.

4 PROSESSERING

Alle geofysiske data ble prosessert på en PD, med GEOSOFT Montaje programvare skrevet for Windows/NT (Geosoft 1998). Fargekart er plottet på en HP755CM ink jet fargeplotter. De framstilte kart er prosessert med minimal filtrering for å beholde informasjonsnivået i data.
På grunn av terrengeffekter (varierende flyhøyde) ble datasettene først behandlet med en rutine for medianfiltrering (utviklet ved NGU av E. Mauring, 1999). Dette for å fjerne såkalt "fiskebensmønster" i konturene mellom profilene. Filtrering av grid ble utført kun for å glatte kanter på konturene (kosmetikk). Ved griddingen ble det benyttet en rutine som bygger på prinsippet Akima spline-interpolasjon (Akima 1970), og hvor cellestørrelsen var 20 m for magnetiske data og 25 m for VLF-data.

Magnetisk totalfelt: Magnetiske profildata ble filtrert for å fjerne spikes (støy på enkeltpunkter) uten at informasjon av betydning går tapt. Deretter ble data korrigert for tidsavhengige variasjoner i det jordmagnetiske feltet (data fra stasjonsmagnetometeret). Griddede data ble glattet med et 3 x 3 punkts Hanning-filter (Sheriff 1984) før konturering og kartfremstilling.

Magnetisk vertikal gradient: Griddet for magnetisk vertikal gradient er framstilt fra det Hanning-filtrerte magnetiske totalfelt-griddet ved bruk av et førstegrads vertikalderivativ filter. Dette griddet ble igjen glattet med et 3 x 3 punkts Hanning-filter før konturering og kartframstilling.

VLF: Komponentene fra line- og ortho-kanalene ble støyfiltrert og glattet med et 7-punkts Hanning-filter. Data ble deretter griddet, konturert og kartfremstilt.

5 PRODUKT

Følgende kart er fremstilt i målestokk 1: 10 000 og kan bestilles fra NGU:

99.023-01	Magnetisk totalfelt
99.023-02	Beregnet magnetisk vertikal gradient
99.023-03	VLF-EM, LINE
99.023-04	VLF-EM, ORTHO

I rapporten presenteres de samme kartene nedfotografert til målestokk 1:20 000.

6 REFERANSER.

Akima, H. 1970: A new method of interpolation and smooth curve fittings based on local procedures. Journ. of Ass. for Computing Machinery 17, 589 - 602.

Geosoft 1996: OASIS montaj Version 4.0 User Guide, Geosoft Inc., Toronto Canada.

Sheriff, R.E.: Encyclopedic dictionary of exploration geophysics. Society of Exploration Geophysics, ISBN 0-931830-31-602.

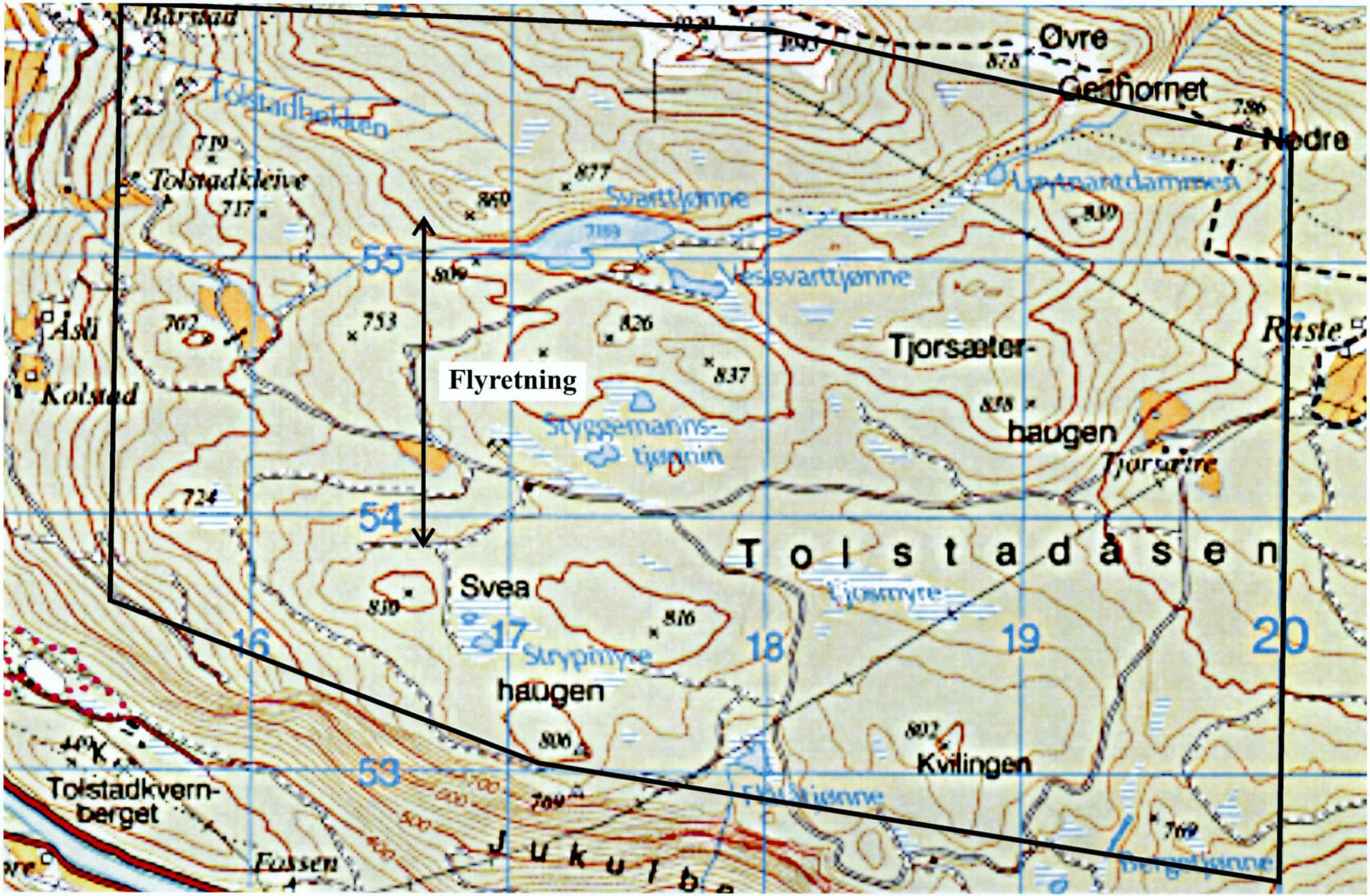
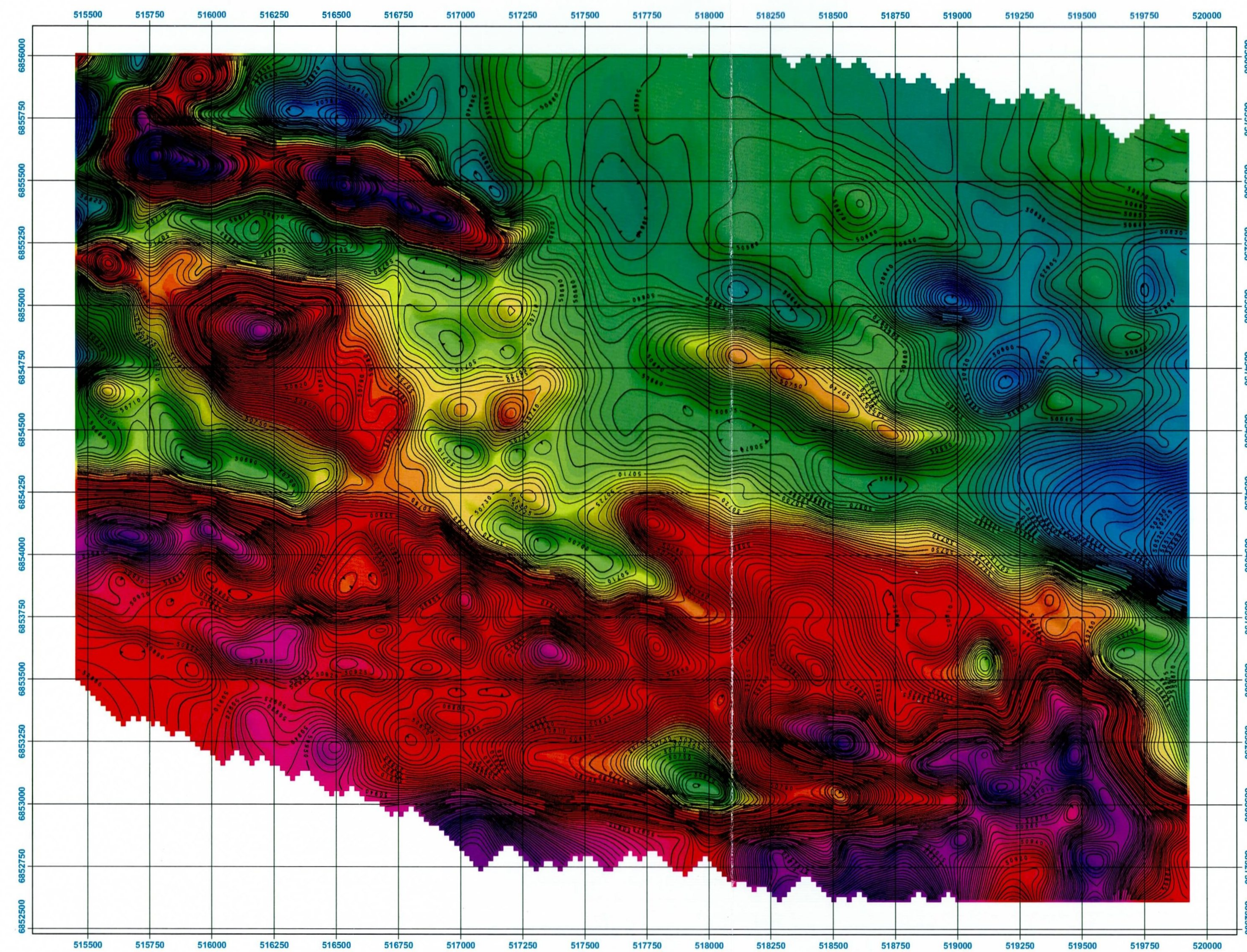


Fig. 1 Måleområdet, utsnitt av kartblad 1718 IV Otta



GEODETISK DATUM: WGS84
KONFORM SYLINDERPROJEKSJON
Tall i BLÅTT for UTM-koordinater, sone 32

Geologi for samfunnet siden 1858

MAGNETISK TOTALFELT

Intensitet av magnetisk totalfelt er i nanoTesla.

Konturer gitt i følgende intervall:

5nT
25nT
50nT
100nT

Farger - distribuert etter fargeskala.

Data er korrigert for daglige variasjoner og nivåjustert etter en metode kjent som "micro-levelling".

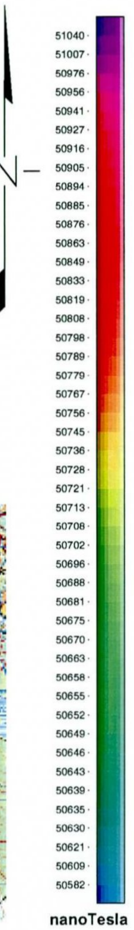
Et høyfølsomhets cesiummagnetometer er brukt og gjennomsnittelig flyhøyde for sensoren er 45 meter.

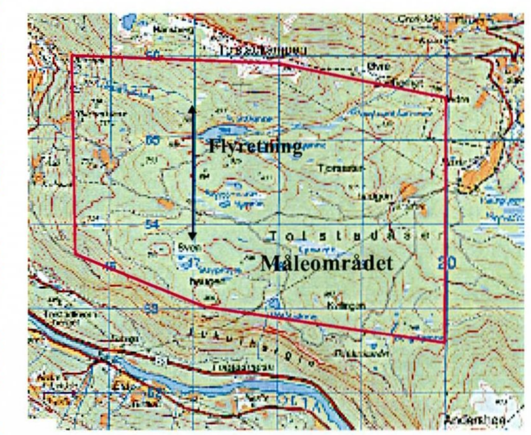
NAVIGASJON

Området er målt ved hjelp av GPS satelitt-navigasjon. Navigasjons-data er i ettertid prosessert med korreksjoner hentet fra en referansestasjon for å lage DGPS data til rekonstruksjon av flylinjer.

Middels terreng-klarering i området er 60 meter.

N

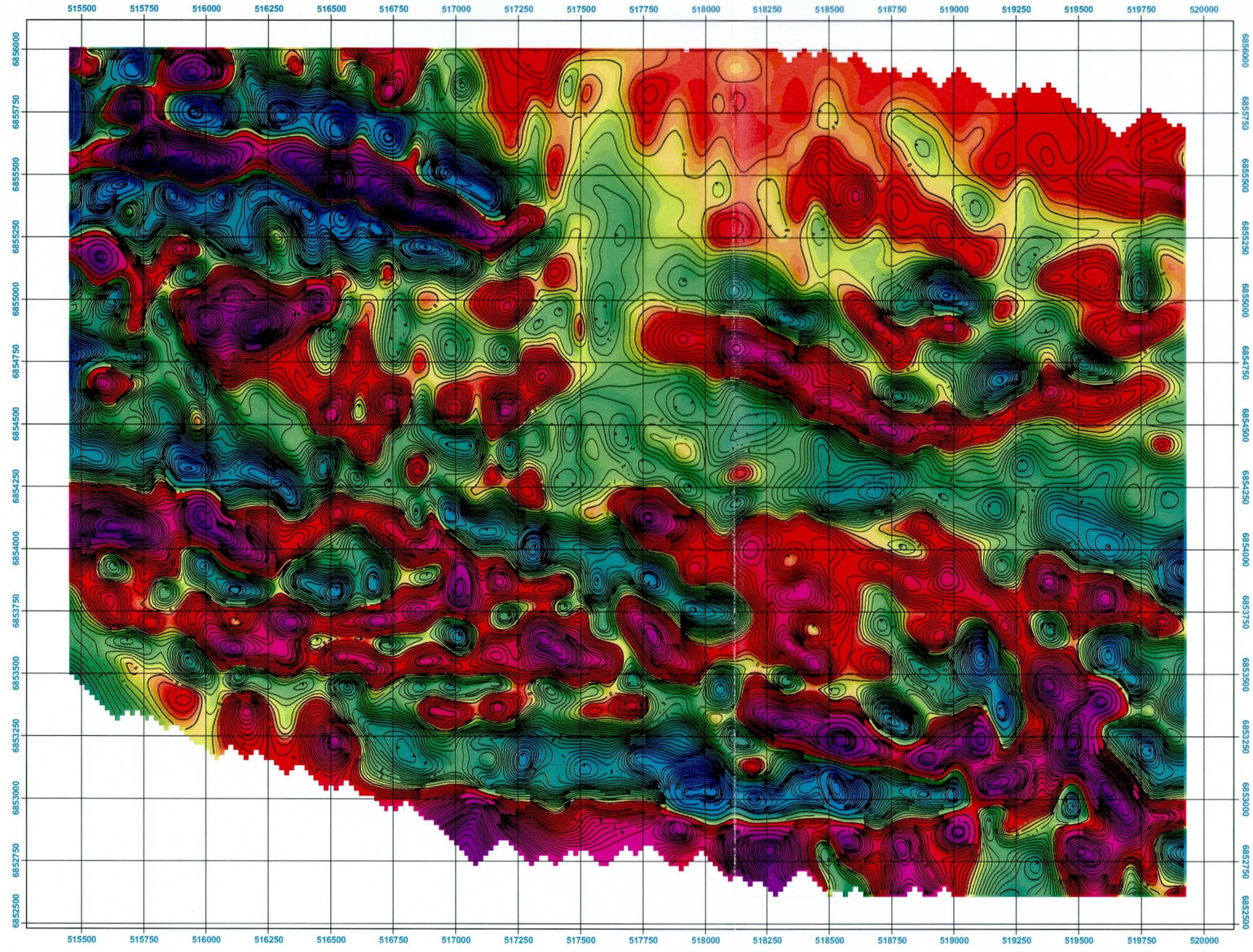




Utsnitt av kartblad 1718 IV OTTA

Fig. 2 Magnetisk totalfelt

NGU - AS GRANIT		
MAGNETISK TOTALFELT *Basert på helikoptermålinger utført i 1998* *LALM* *OPPLAND*		
Tegn: Mogaard,J. O	Dato: JUL 1998	Obs: JOM/JK
Målestokk 1:10000 200 0 200 400 600 (meter)		Kartblad (1:50 000): 1718 IV Otta
NGU	NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE Leiv Eirikssons vei 39 N-7040 TRONDHEIM Tel 73 90 40 11, Fax 73 92 16 20 http://www.ngu.no	TEGNING NR: 99.023-01



GEODETISK DATUM: WGS84
KONFORM SYLINDERPROJEKSJON
Tall i BLÅTT for UTM-koordinater, sone 32

Fig. 3 Beregnet vertikal gradient

NGU

Geologi for samfunnet siden 1858

BEREGNET VERTIKAL GRADIENT

Vertikal magnetisk gradient (i Nanotesla pr. meter).
Kalkulert fra det magnetiske totalfeltet.
Konturer gitt i følgende intervall:

0.01nT/m
0.05nT/m
0.1nT/m
0.5nT/m

Farger - distribuert etter fargeskala.

Et høyfelsomhets cesiummagnetometer er brukt og gjennomsnittelig flyhøyde for sensoren er 45 meter.

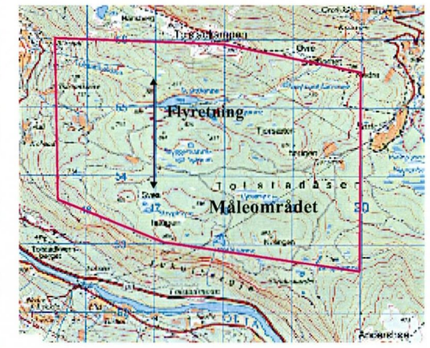
NAVIGASJON

Området er målt ved hjelp av GPS satellitt-navigasjon. Navigasjons-data er i ettertid prosessert med korreksjoner hentet fra en referansestasjon for å lage DGPS data til rekonstruksjon av flylinjer.

Middels terreng-klarering i området er 60 meter.

1.94
1.40
1.07
0.87
0.72
0.61
0.51
0.44
0.38
0.33
0.28
0.24
0.21
0.17
0.14
0.12
0.09
0.08
0.06
0.05
0.03
0.01
-0.01
-0.03
-0.05
-0.08
-0.10
-0.12
-0.15
-0.17
-0.20
-0.22
-0.25
-0.28
-0.31
-0.34
-0.38
-0.43
-0.48
-0.53
-0.60
-0.68
-0.77
-0.89
-1.08
-1.41

nT/m



Utsnitt av kartblad 1718 IV OTTA

NGU - AS GRANIT

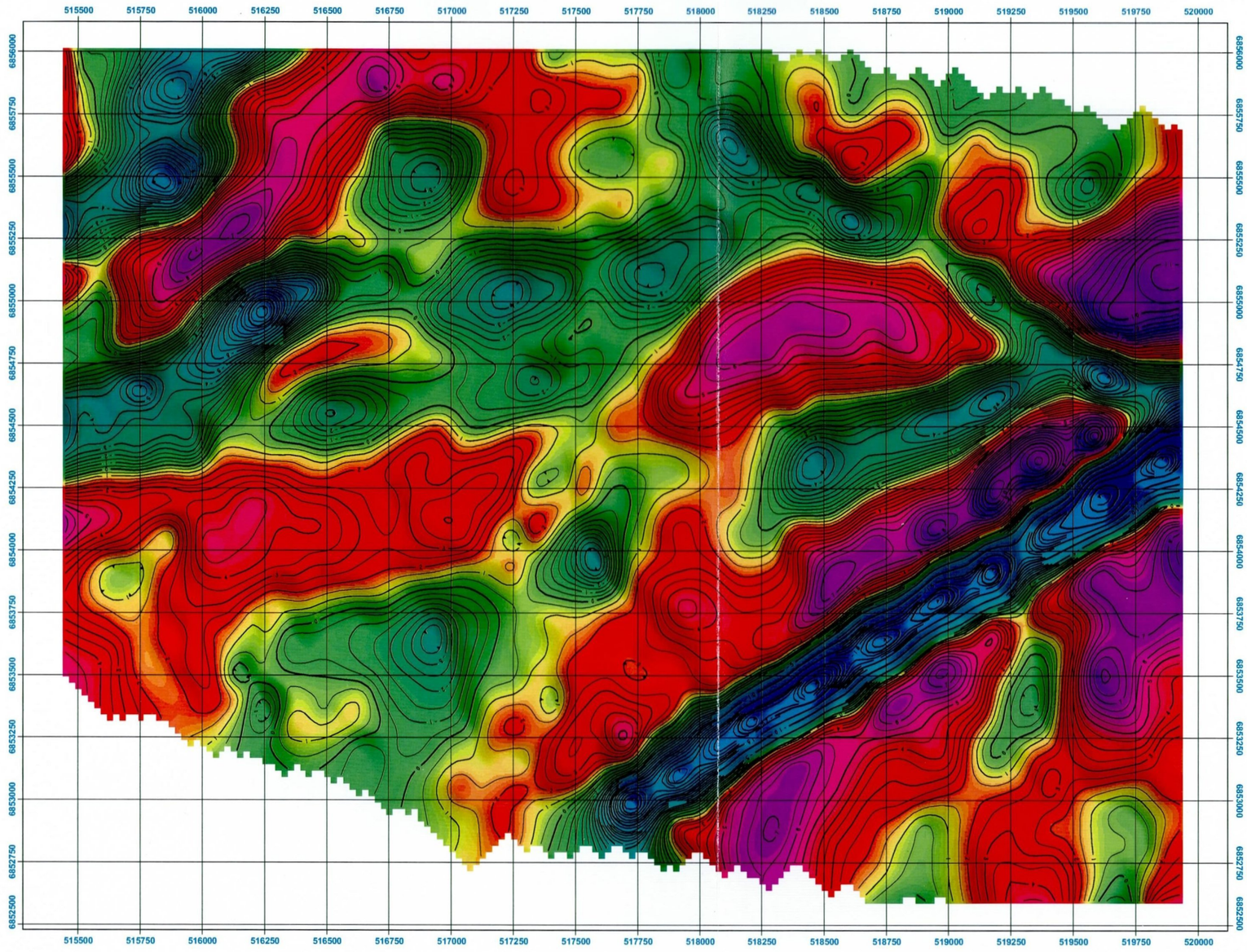
BEREGNET VERTIKAL GRADIENT
Basert på helikoptermålinger utført i 1998

LALM
OPPLAND

Tegn: Mogaard,J. O	Dato: JUL 1998	Obs: JOM/JK
Målestokk 1:10000 (200 0 200 400 600 (meter))		Kartblad (1:50 000): 1718 IV Otta

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
Leiv Eirikssons vei 39
N-7040 TRONDHEIM
Tel 73 90 40 11, Fax 73 92 16 20
http://www.ngu.no

TEGNING NR: 99.023-02



GEODETISK DATUM: WGS84
KONFORM SYLINDERPROJEKSJON
Tall i BLÅTT for UTM-koordinater, sone 32

Fig. 4 VLF-EM Totalfelt (Line)

NGU

Geologi for samfunnet siden 1858

VLF-EM (LINE)

VLF-EM totalfelt (Line). Intensitet i prosent.

Konturer gitt i følgende intervall:

0.5 %
1.0 %
5.0 %
10.0 %

Farger - distribuert etter fargeskala.

Data er nivåjustert etter en metode kjent som "decorrugation".

Stasjoner som er brukt:

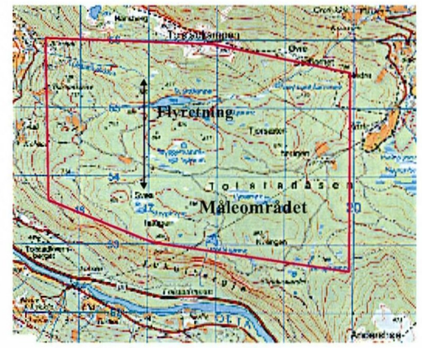
NAA	Cutler, Maine, USA	24.0 Khz
GBR	Rugby, England	16.0 Khz

Gjennomsnittelig flyhøyde for sensoren er 50 meter.

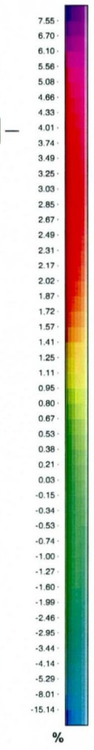
NAVIGASJON

Området er målt ved hjelp av GPS satellitt-navigasjon. Navigasjons-data er i ettertid prosessert med korreksjoner hentet fra en referansestasjon for å lage DGPS data til rekonstruksjon av flylinjer.

Middels terreng-klarering i området er 60 meter.



Utsnitt av kartblad 1718 IV OTTA



NGU - AS GRANIT

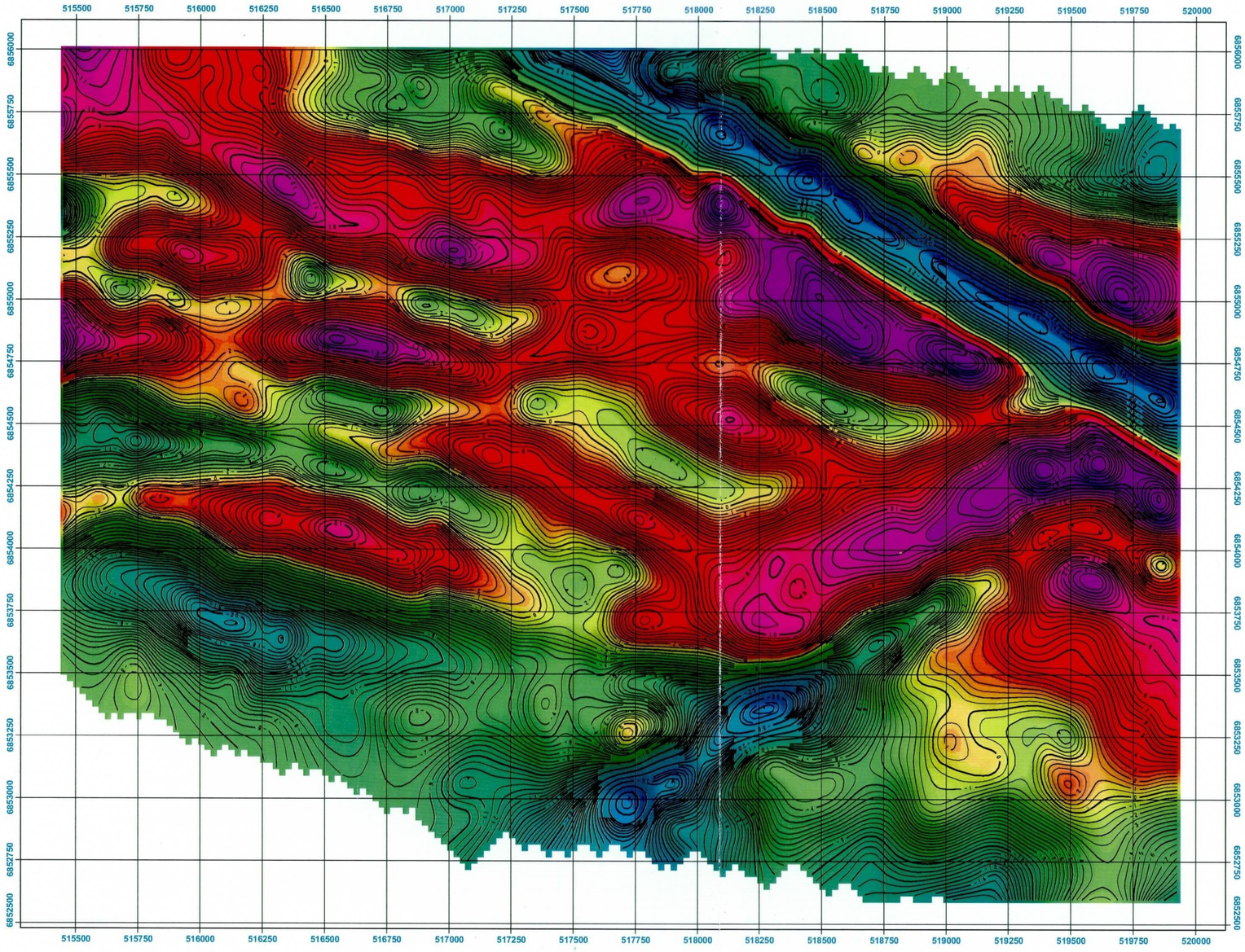
VLF-EM TOTALFELT (LINE)
Basert på helikoptermålinger utført i 1998

LALM
OPPLAND

Tegn: Mogaard,J. O	*Dato:* JUL 1998	*Obs:* JOM/JK
Målestokk 1:10000 200 0 200 400 600 (meter)		*Kartblad (1:50 000):* 1718 IV Otta

NGU
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
Leiv Eirikssons vei 39
N-7040 TRONDHEIM
Tel 73 90 40 11, Fax 73 92 16 20
http://www.ngu.no

TEGNING NR: 99.023-03



GEODETISK DATUM: WGS84
KONFORM SYLINDERPROJEKSJON
Tall i BLÅTT for UTM-koordinater, sone 32

Fig. 5 VLF-EM Totalfelt (Ortho)

NGU

Geologi for samfunnet siden 1858

VLF-EM (ORTHO)

VLF-EM totalfelt (Ortho). Intensitet i prosent.

Konturer gitt i følgende intervall:

8.5 %
9.0 %
9.5 %
10.0 %

Farger - distribuert etter fargeskala.

Data er nivåjustert etter en metode kjent som "decorrugation".

Stasjoner som er brukt:

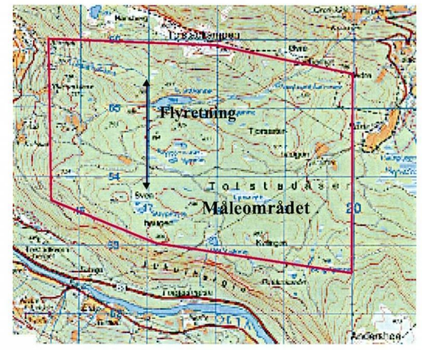
NAA	Cutler, Maine, USA	24.0 Khz
GBR	Rugby, England	16.0 Khz

Gjennomsnittelig flyhøyde for sensoren er 50 meter.

NAVIGASJON

Området er målt ved hjelp av GPS satellit-navigasjon. Navigasjons-data er i ettertid prosessert med korreksjoner hentet fra en referansestasjon for å lage DGPS data til rekonstruksjon av flylinjer.

Middels terreng-klarering i området er 60 meter.



Utsnitt av kartblad 1718 IV OTTA

NGU - AS GRANIT

VLF-EM TOTALFELT (ORTHO)
Basert på helikoptermålinger utført i 1998

LALM
OPPLAND

Tegn: Mogaard,J. O	*Dato:* JUL 1998	*Obs:* JOM/JK
Målestokk 1:10000 200 0 200 400 600 (meter)		*Kartblad (1:50 000):* 1718 IV Otta

NGU
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
Leiv Eirikssons vei 39
N-7040 TRONDHEIM
Tel 73 90 40 11, Fax 73 92 16 20
http://www.ngu.no

TEGNING NR: 99.023-04