



Bergvesenet

Postboks 3021, 7002 Trondheim

Rapportarkivet

Bergvesenet rapport nr BV 418	Intern Journal nr	Internt arkiv nr	Rapport lokalisering Oslo	Gradering Fortrolig
Kommer fra ..arkiv Østlandske og USB	Ekstern rapport nr Aspro 1371	Oversendt fra	Fortrolig pga Utmål	Fortrolig fra dato:

Tittel

Fensfeltet: Kommentar til de utførte geofysiske arbeidene

Forfatter Ø.Logn	Dato 22.02 1983	Bedrift Prospektering A/S
---------------------	--------------------	------------------------------

Kommune Nome	Fylke Telemark	Bergdistrikt Østlandske	1: 50 000 kartblad 17134	1: 250 000 kartblad Skien
-----------------	-------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------

Fagområde Geofysikk	Dokument type Rapport	Forekomster Fensfeltet
Råstofftype Malm/metall	Emneord Nb	

Sammendrag

Grunnlag:

1. Eldre geofysikk 1950 - 1973. Flymag., flyradiometrisk, og gravimeter.
2. Nyere geofysikk. Etter 1979. Bakke-mag.
Tuftehavna-felt: Detalj-mag., resistivitet, gamma-måling.

På dette grunnlag er stillet opp følgende arbeidshypotese:

1. Fens-feltet har opprinnelig vært dekket av suprakrustale bergarter med vekslende jerninnhold, som idag danner smale magnetittførende soner langs bergartsstrøket.
2. Ved Fen-kompleksets posisjon har den magnetittførende bergart ligget i en større omfolding mot vest.
3. Ved opptrengningen av et Damtjernittisk/kimberlittisk magma er dette magnetiske mønster mere eller mindre ødelagt. Magnetisk kan vi dele feltet i tre:
 - a) En ytre sone, der det opprinnelige mønster har overlevet (fenittiseringssonen).
 - b) Et indre, sentralt område, der det opprinnelige mønster er fullstendig ødelagt, og er avløst av et nytt.
 - c) En mellomliggende overgangssone, der vi kan treffe på rester av det opprinnelige system inne i det nye system som har mere to- dimensjonale anomalier.

Dette magnetiske bilde fremgår av pl. 7.

Mer resymé, se rapporten

A/S Sydvaranger.

Prospekteringsavdeling.

Tlf: 538976 - 120518

INTERN RAPPORT.

Nordraaks vei 2.

1324

Lysaker, Norge.

DATO: 22.02.83

RAPPORT NR: 1371

KARTBLAD 1713 IV

Antall sider
— bilag 11

SAKSBEARBEIDER Ø. Logn, geofysiker

RAPPORT VEDRØRENDE:

FENS-FELTET.

KOMMENTAR TIL DE UTFØRTE GEOFYSISKE ARBEIDER.

FORDELING

OSLO:

PK

KIRKENES:

ANDRE:

Fenco

RESYMÉ:

Grunnlag :

1. Eldre geofysikk 1950-1973.
Flymag., flyradiometrisk, og gravimeter.
2. Nyere geofysikk. Etter 1979.
Bakke-mag.
Tuftehavna-felt: Detalj-mag., resistivitet,
gamma-måling.

På dette grunnlag er stillet opp følgende arbeids-
hypotese :

1. Fens-feltet har opprinnelig vært dekket av supra-
krustale bergarter med vekslende jerninnhold, som
idag danner smale magnetittførende soner langs
bergartsstrøket.
2. Ved Fen-kompleksets posisjon har den magnetittføren-
de bergart ligget i en større omfoldning mot vest.
3. Ved opptrengningen av et Damtjernittisk/kimberlit-
tisk magma er dette magnetiske mønster mere eller
mindre ødelagt. Magnetisk kan vi dele feltet i tre:
 - a) En ytre sone, der det opprinnelige mønster har
overlevet (fenittiseringssonen).
 - b) Et indre, sentralt område, der det opprinnelige
mønster er fullstendig ødelagt, og er avløst av
et nytt.
 - c) En mellomliggende overgangssone, der vi kan
treffe på rester av det opprinnelige system inne
i det nye system som har mere to-dimensjonale
anomalier.

Dette magnetiske bilde fremgår av pl. 7.

KOMMENTAR:

RESYMÉ forts.

Det detaljundersøkte og diamantborete Tuftehavna-felt ligger i overgangssonens ytre del. Som kjent er her påvist niob som synes å forekomme i tilknytning til radiometriske anomalier.

De radiometriske anomalier er omgitt av haloer; høye utbredte anomalier har store haloer, små anomalier har små haloer. Det synes som om en stor halo i dagen kan spores i det perifert beliggende 382 m lange borhull Th 1, i hvilket lave niobgehalter (0,2 % Nb_2O_5) er påvist over flere store mektigheter (15-20 m).

Hvis høyere niobgehalter skulle finnes sentralt i denne halo kan det være store tonnasjer tilstede (se pl. 10 og 11).

Resistivitetsmålinger har påvist svakt ledende soner som passerer i NV-SØ-lig og NNW-SSØ-lig retning. Retningen SØ peker mot Rullekoll-området der det er påvist:

1. Aero-radiometriske anomalier.
2. Svake niobgehalter i prøvestuffer.
3. Område med høy thorium-gehalt (fly-anomali).

Området skal være undersøkt radiometrisk på bakken for Miljøverdepartementets midler, og i 1950-60 årene ved A/S Norsk Bergverk. Det foreslås at det aktuelle område ved Rullekollen undersøkes på bakken ved en kombinasjon av magnetiske, radiometriske og resistivitetsmålinger.

Hele Fen-komplekset med omgivelser burde utvilsomt vært dekket ved magnetiske og radiometriske helikoptermålinger. De siste kan skille mellom stråling fra uran, thorium og kalium.

INNHold:

	Side
1. Innledning	1
2. Foreliggende geofysisk materiale	2
3. Geofysiske parametre	4
3.1 Tettheter	4
3.2 Magnetisk susceptibilitet	5
3.3 Elektrisk ledningsevne	5
3.4 Radioaktiv stråling	6
4. Kommentarer	6
4.1 Flymagnetisk kart pl. 5	6
4.2 Gravimetrisk kart pl. 6	6
4.3 Magnetisk "bakkekart" pl. 7	9
4.4 Tuftehavna, magnetisk kart pl. 8	11
4.5 Tuftehavna, resistivitetskart pl. 9	11
4.6 Gammastrålingskart pl. 10	12
4.7 Borprofilet TH1, pl. 11	13
5. Konklusjon og sammendrag	14

11 plansjer i bilag.

F E N S - F E L T E T

KOMMENTAR TIL DE UTFØRTE GEOFYSISKE ARBEIDER.

1. INNLEDNING.

Geolog I. Hultin har anmodet meg om å gå gjennom de arbeider som er utført i Fens-feltet på det geofysiske område, og gi en kommentar, eventuelt stille forslag om videre geofysiske arbeider i feltet.

Jeg forutsetter at det i første hånd er niob man leter etter, i annen hånd apatitt og sjeldne jordarter.

Som kjent er deler av feltet thorium/uran-førende, og høy gammastråling er påvist bl.a. ved målinger fra fly, utført i 60-årene av NGU.

Jeg vil i det følgende bygge på et utsagn av den amerikanske geofysiker Milton B. Dobrin i hans lærebok : Geophysical Prospecting, side 374 :

"Among the substances which might be detected by their association with uranium are the minerals of such elements as zirconium, yttrium, beryllium, columbium (also called niobium), tantalum, and the "rare earth" metals. These minerals are mostly complex oxides containing varying amounts of uranium and thorium and are widely disseminated throughtout granites, pegmatites, and contact metamorphic deposits, as are uranium and thorium minerals. Like uranium, which until the Second World War was valued primarily as the source for radium, these metals have only recently assumed major importance. Columbium is sought for its strength at the exceedingly high temperatures reached in rocket and jet engines; zirconium, beryllium, and some of the rare earths for their neutron-absorption qualities in atomic piles, etc. While zircon and beryl have been found in sufficiently concentrated quantities that their supply is not a problem at the present time, minerals of the other elements are somewhat more elusive. However, columbium ore deposits have been found in Ontario after radioactivity effects were noted from the uranium with which the columbium was associated. Other deposits may be found in the same way. Some of the rare earths, as well as several other rare elements, are themselves radioactive; all are commonly found in pegmatites, contact metamorphic rocks, etc., but their concentration and amount of radiation are very small. Thus the contribution of their activity is vastly overshadowed by that of the uranium, thorium, and potassium found in similar rocks. It is therefore not likely that they will ever be detected by virtue of their own radioactivity".

Jeg forutsetter derfor at de niobførende mineraler er nær knyttet til thorium/uran-førende mineraler også i Fens-feltet, og bør kunne påvises via disse mineralers gammastråling. Geolog Kristen Mørk har i BVLI's Tekniske Rapport nr. 45 gjort oppmerksom på at det kan være en forbindelse niob/thorium i Fens-feltet, sitat fra rapportene side 81 :

"Karbonat-bergartene er karakterisert ved at de er anriket på endel spesielle elementer som niob, sjeldne jordartselementer, yttrium og thorium.

A/S Norsk Bergverk, som drev gruvedrift på niob i de såkalte Søve gruvene, foretok i 1950- og 60-årene radiometriske målinger over hele feltet. Det ble oppnådd spesielt høye aktiviteter i de østlige og sydøstlige deler av feltet, hvor berggrunnen domineres av hematitt-rike calsit-bergarter (såkalt rødberg). Mineralogiske undersøkelser viste at thorium er assosiert med mineralet monazit, som synes å være anriket i rødberg. Gjennomsnittlig ThO_2 -innhold i denne bergartstypen er beregnet til ca. 0,1 %. Spesielle hematittrike ganger (som ble drevet som jernmalm i tidligere tider) ble funnet å holde i gjennomsnitt 0,23 % ThO_2 .

Det er dessuten registrert at det niob-bærende mineral koppit - som vesentlig forekommer i calsit-bergarten søvit - inneholder ca. 2 % ThO_2 . Det er derfor indikasjoner på at de karbonatrike bergartstypene i Fens-feltet er anomale med hensyn på thorium".

Som man forstår behøver ikke alle radiometriske anomalier i Fens-feltet være nær knyttet til eventuelle niob-konsentrasjoner.

Man må videre være oppmerksom på at gammastråling blir stoppet av 0,25-0,50 m overdekke. Radiometriske målinger vil derfor bare være brukbare ved små løsdækker.

I deler av Fens-feltet er det betydelig større overdekker; det kan refereres til mine egne geo-elektriske undersøkelser fra 1954 i Tufte-feltet, der det ble påvist godt ledende leirdekker av mæktighet opp til 15-20 m.

Man føler allikevel at en eventuell forbindelse mellom niob og thorium/uran kan gi en brukbar arbeidshypotese; et inntrykk som man i det følgende vil søke å underbygge nærmere.

2. FORELIGGENDE GEOFYSISK MATERIALE.

Det foreliggende materiale kan deles i to grupper :

1. Undersøkelser gjort for mere enn 10 år siden :

- a) Bakkemagnetiske målinger (V-intensitet) utført først i 1950-årene.
- b) Fly-målinger utført i 1960-årene (Magnetisk totalintensitet, E.m.-målinger, radiometriske målinger).
- c) Gravimetriske målinger utført omkring 1970.

Kartet over de bakkemagnetiske målinger fra 1950-årene (1 a) vil ikke bli kommentert her. Man har senere laget et bedre magnetisk kart (pl. 7).

Resultatene fra flymålingene over Fens-feltet sees i liten målestokk i

- 1) Pl. 1 : Magnetisk totalfelt (NGU)
- 2) Pl. 2 : E.m. reellkomponent (NGU)
- 3) Pl. 3 : Radiometrisk anomali (NGU)

Pl. 4 viser H. Ramberg's residual gravimeter-anomalikart.

Man føler umiddelbart et behov for å forstørre disse kart til en målestokk der de foreliggende data kan sammenliknes med den geologiske oppfatning av Fens-feltet (pl. 5 og 6).

Det første som ble gjort var derfor å blåse opp kartene fra 1:50 000 til 1:5 000, som var den målestokk de geologiske og topografiske data forelå i (pl. 5 og pl. 6).

Det øvrige foreliggende geofysiske materiale omfatter undersøkelser som er gjort under "prosjektet" de siste 3 år :

2. Undersøkelser i 1980-årene :

- a) Bakkemagnetiske kart i målestokk 1:5 000 (pl. 7).
- b) Bakkemagnetiske detaljkart over Tuftehavna-feltet i målestokk 1:1 000, pl. 8 (M 1:2 000). Detaljfeltets posisjon fremgår av pl. 7.
- c) VLF-resistivitets kart over Tuftehavna-feltet (pl. 9).
- d) Gammaintensitetskart over samme Tuftehavna-felt (pl. 10).

Samtlige målinger på bakken er utført ved geofysiker C.W. Carstens. Resultatene er, i den grad det var ansett nødvendig, av undertegnede overført til kartene i 1:5 000.

Dessuten har jeg gjennomgått følgende geologiske og geofysiske beskrivelser vedrørende Fens-feltet :

- A) E. Sæther : The Alkaline Rock Province of the Fen Area in Southern Norway. 1957.
- B) John O. Landreth : Minerals Evaluation of the Fen Complex. 1979.
- C) Ivar B. Ramberg : Gravity Studies of the Fen Complex. 1972.
- D) Viggo H. Wiik : A Geological Survey of the Vipeto-Rullekall Sub-Area. 1982.

- E) C.W. Carstens : Results from magnetic investigations of the Fen Area in 1980.
- F) C.W. Carstens : The Fen Project. A geophysical Survey of the Tufte Area. 1982.

I tillegg har jeg benyttet to geologiske kart :

- 1) Kartblad Skien : Målestokk 1:250 000. Ved J.A. Dons og K. Jorde.
- 2) Kartblad Nordagutu : Målestokk 1: 50 000. Sammenstilt av S. Dalgren 1977-78.

Dessuten en retegnet utgave av E. Sæther's kart i målestokk 1:5 000.

3. GEOFYSISKE PARAMETRE.

3.1. Tettheter.

Ramberg gir følgende tabell som viser de forskjellige bergarters tettheter :

Rock name	Mo.of samples	Mean density	Density range
Damtjernite	6	3.08	3.05-3.09
Damtjernite breccia	10	2.94	2.78-3.12
Vibetoite	10	3.11	2.92-3.26
Melteigite	6	3.13	3.02-3.18
Ijolite	4	2.92	2.80-2.99
Urtite	1	2.64	-
Hollaite, Kåsenite and other mixed rock types	7	2.88	2.83-2.96
Søvite	14	2.80	2.73-2.90
Rauhaugite	10	2.91	2.81-2.99
Rødberg	11	2.95	2.86-3.06
Tinguaite	5	2.78	2.76-2.84
Fenite	8	2.71	2.68-2.77
Gneiss complex	30	2.67	2.60-2.87

Damtjernitt- Vipetoitt og Melteigitt er de tyngste bergarter, alle gjennomsnittlig over 3 gr/cm^3 i tetthet. Urtitt og fenitt er de letteste, h,h,v. 2.64 og 2.71 gr/cm^3 . Damtjernitten er den bergart som er mest i slekt med kimberlitt, en bergart som finnes i tilsvarende vulkanrør andre steder i verden (Sæther, Ramberg).

Følgende tabell fra Ramberg viser at Damtjernitt dekker bare ca. 6,5 % av det totale areal av Fen-komplekset i dagen (Sather's kart).

Tabell 2. Areal distribution of the main rock types in the Fen Complex.

<u>Rock name</u>	<u>km²</u>	<u>% of total area</u>
Damtjernite)		
Damtjernite breccia)	0,26	6,50
Vibetoite	0,03	0,75
Melteigite)		
Ijolite)	0,33	8,25
Urtite)		
Hollaite, Kasenite and other mixed rock types	0,85	21,25
Søvite	0,76	19,00)
Rauhaugite	1,09	27,25) 63 %
Rødberg	0,68	17,00)
	4,00	100,00

3.2. Magnetisk susceptibilitet.

Det finnes ikke oppstillinger over bergartenes susceptibilitet. Man har dog målt susceptibilitet av de borkjerner som er boret i 80-årene.

Man kan få et røft inntrykk av bergartenes magnetiske egenskaper ved å sammenlikne det magnetiske bakkekart (pl. 7) med det geologiske kart, begge i målestokk 1:5 000.

Sammenlikningen gir følgende resultat :

1. Rauhaugitt, type 2, synes å være den bergart som fører det jevneste magnetittinnhold.
2. Som en ^{god} nummer to kommer rødberget.
3. Søvitt og komplekset Søvitt/Rauhaugitt 1 synes mere ukjent magnetisk.
4. Damtjernitt synes relativt svakt magnetisk, men det finnes lite data, og det er vanskelig å være sikker.
5. Melteigitt synes også ujevnt magnetisk. Likedan Vipetoitt.
6. Fenitt er vesentlig magnetisert langs smale bånd.

3.3. Elektrisk ledningsevne.

Det er ikke gjort målinger av elektrisk ledningsevne på borkjerner eller prøvestuffer. Slike målinger har sikkert ingen hensikt. Alle bergarter i feltet må man forutsette er nærmest uledende i tørr tilstand.

Man kjenner til at deler av Tufteområdet er dekket av marin leire av ledningsevne ca. 100 ohm.m.

Elektriske målinger i malmletingsøyemed vil bare kunne nyttes for kartlegging av sprekkesoner, utgående under tynt overdekke.

3.4. Radioaktiv stråling.

Det er ikke klarlagt i hvilken grad gammastrålingen skyldes thorium eller uran. Målinger som Dick Thorkildsen og Sverre Svinndal gjorde i slutten av 70-årene, viste at i et område ved Rullekollen forelå det sterk thoriumstråling (1900 ppm Th), se pl. 5, 52.100 Y - 141.350 X.

4. KOMMENTARER.

Fly-magnetisk kart og gravimetrisk kart, forstørret opp og tegnet på økonomisk kart, grunnlag i målestokk 1:5 000, er vist i pl. 5 og pl. 6. Som det fremgår er det en viss likhet mellom de to kart. Det skal forøvrig minnes om at det foreligger en viss usikkerhet med hensyn på ekvilinjenes eksakte beliggenhet (stor forstørrelse, sml. pl. 1-4 med pl. 5 og 6).

4.1. Fly-magnetisk kart pl. 5.

Grunnlag : Fly-målinger langs linjer i innbyrdes avstand fra ca. 200 m (Rullekoll-området) til 1,2 km i nord (stiplede linjer på pl. 5). Kartet har et maksimum beliggende i området ved Fen skole (M, pl. 5); det er noe uttrukket mot øst og mot syd-vest. Området med høyest intensitet synes å ligge i et overdekket område der bergarten sannsynligvis er Rauhaugitt, type 2. Relativt høy intensitet er det også over områder som antas å bestå av Rødberg. På kartskissen er angitt med skraffur områder der det er observert magnetitt/hematitt i dagen. Disse områder ligger alle på nordre flanke av det magnetiske maksimum.

4.2. Gravimetrisk kart pl. 6.

Det vises til Ramberg's kommentar :

"The gravity models are only intended at pointing out certain simple model types that are also reasonable from a geological point of view. No efforts have been made to obtain a perfect fit between calculated and observed anomaly since this in itself is no guarantee for the reliability of the result; Innumerable hypothetical density combinations exist that would easily fit the observations. However, some conclusions can tentatively be drawn from the models :

1. The Fen complex extends downwards for at least 15 km and possibly more. The deep origin is also supported by the occurrence of lherzolite inclusions in the damtjernite. These nodules probably crystallized at or near the base of the continual crust (Griffin, 1972), which is close to 33-34 km below the Fen region (Sellevoll and Warrick, 1981; Ramberg and Smithson, 1971).
 2. The complex probably widens somewhat towards depth, or alternatively some mass concentrations (explosion centers) occur along the pipelike central intrusion, or a combination of these two models might exist.
 3. The average density of the Fen surface rocks (2,90) is much less than that for the whole pipe ($\sim 3,10$ or more), which means that the rock distribution known from the surface is not at all representative of the composition of the major part of the pipe. Damtjernite (and/or vibetite) is the most likely rock to occur below the lighter carbonatites etc. It has about the right density and it is common in small intrusions spread over a wide area around Fen. Damtjernite is also petrographically and structurally related to kimberlitic rocks (Sæther, 1957; Harris and Middlemost, 1970; Griffin, 1972) which constitute the dominant rock type in many pipelike intrusions in cratonic areas throughout the world.
 4. The carbonatites and carbonate-silicate mixed rocks probably do not extend more than one kilometer, and perhaps less than 0,5 km below the present erosional level.
- Another point of interest is the asymmetry between the gravity peak and the geometric center of the complex. This irregularity is attributed to the density difference between the søvite (2,80) which is mainly concentrated in the western part, and the rauhaugite and rødberg (2,91 and 2,95 respectively) in the eastern part of the complex (Fig. 2). It is also possible that the depth to the denser rocks ($\sim 3,10$) is less in the eastern part below the rauhaugite and rødberg, which in many places carry more or less carbonatized inclusions of damtjernite rocks".

- søm jeg stort sett er enig i. I det forstørrede kart pl. 6 ligger maksimal-anomalien i området Tufte - Borgen - Langkås. Det er et overdekket innmarksområde. Rauhaugitt, type 2, er antatt å befinne seg under. Sannsynlig posisjon for maksimum er anvist med

en stor G på pl. 6. Som det fremgår ligger G ca. 200 m vest for det magnetiske maksimum M. Avstanden mellom dem er ikke større enn sannsynlig usikkerhet i bestemmelsen av de to maksima. Det kan ikke utelukkes at anomaliene har samme kilde, altså en felles tung og magnetisk masse.

Muligheten for at de magnetiske bergarter ligger på siden av Ramberg's Damtjernitt/kimberlitt-rør er dog også tilstede.

Det skal gjøres oppmerksom på at tyngdeanomalien i det sentrale, maksimale område er relativt dårlig fastlagt. Det fremgår av pl. 6, der de enkelte målepunkter er anvist med + - tegn, at i realiteten er feltet bestemt ved 6-7 verdier beliggende i 400-700 m innbyrdes avstand. For en god bestemmelse av øvre begrensning av det antatte rør med tung masse, burde det vært målt adskillig tettere i området omkring den maksimale verdi.

Ramberg har forutsatt at det tunge sylindriske rør strekker seg nedover fra ca. 400 m dyp, mens det over "røret" ligger lettere karbonatbergarter. En nøyaktigere bestemmelse av gravitasjonsfeltet omkring maksimalverdien må antas å kunne fastlegge "toppen" av røret bedre.

Selvom det gravimetriske felt er tilnærmet sirkulært, så foreligger det dog vesentlige avvik fra sirkelformen. Det er tidligere påpekt en viss likhet med det fly-magnetiske felt. I pl. 6 er det søkt skilt ut fire områder som er gravimetrisk anomale :

- 1) Område A₁ i sydvest, beliggende i Melteigitt, i ca. 1,8 km avstand fra sentret G.
- 2) Område A₂ i nordvest, beliggende i Søvitt/Rauhaugitt av type 1, i ca. 1,2 km avstand fra sentret.
- 3) Område A₃ i sydøst, beliggende sannsynligvis i Damtjernitt, i ca. 0,5 km avstand fra sentret.
- 4) Område A₄ i sydøst, beliggende i ytterkant av Fens-feltet, i ca. 1,3 km avstand fra sentret.

For nærmere bestemmelse av disse anomalienes beliggenhet trenges det målinger med tettere punktavstand.

Følgende interessante data er innlagt på begge kart, pl. 5 og pl. 6 :

- 1) Radiometriske anomalier i Tuftehavna-feltet, målt 1982 (etter Carstens). Fiolett farve.
- 2) Jernmalmskjerp.

- 3) Niob-gehalter i prøvestuffer (etter V. Wiik). Stjerner. Fiolette.
- 4) Radiometriske fly-anomalier (2 kurver, fiolette).
- 5) REE-gehalter i prøvestuffer (etter V. Wiik). Svarte sirkler.
- 6) En høy thorium-gehalt ved Rullekollen (etter D. Thorkildsen og S. Svinndal). Fiolett.

4.3. Magnetisk "bakkekart" pl. 7.

I kartet pl. 7 er det etter min mening to populasjoner til stede :

- 1) En en-dimensjonal magnetisk anomalitipe, anvist ved "prikker" (orange) langs smale magnetiske rygger, ofte fulgt av smale negative anomalier, anvist med "L" (for lavt felt) og blå farge. De negative anomalier finnes særlig i nordvest.
- 2) En to-dimensjonal magnetisk anomalitipe, karakterisert ved sirkel - eller ellipseliknende ekvilinje, overlagret et relativt høyt bakgrunnsnivå. På pl. 7 er ekvilinje 50.500 gamma farget orange.

Som man ser fremkommer det derved et stort tilnærmet sirkulært område omkring det fly-magnetometriske senfrum M. Best pasning mellom pl. 5 og pl. 7 kan oppnås om man forskyver det fly-magnetiske kart 200-300 m mot nordvest.

Utenom det sentrale område finnes det flere mindre anomalier som åpenbart tilhører type 2).

Jeg vil tillate meg å stille opp følgende hypotese som forklaring på denne dualisme i det magnetiske felt :

- 1) De en-dimensjonale magnetiske anomalier (type 1) forekommer overveiende i en ytre sone som ligger i 0,8-2 km avstand fra det gravimetriske sentrum G. De finnes fortrinnsvis i fenittiserte bergarter.

Disse magnetiske anomalier foreslås oppfattet som tilhørende pre-kambrium, der de opprinnelig har dannet smale soner med høyere jerninnhold i den suprakrustale gneisformasjon, som ifølge kartleggingen kommer fra øst (se geologisk kart Nordagutu), og som bøyer om mot syd ved Fensfeltet. De smale magnetittførende horisonter - som f.eks. kan representere sedimentære nivåer eller eventuelt smale lavabenker - har mere eller mindre overlevet den omvandling av bergarten som har skjedd i de ytre deler av Fensfeltet.

- 10 -
- 2) I en mellomsone beliggende fra 500-600 m til maksimum 2 km's avstand fra gravimetersentret G har det skjedd en delvis omsmelting, med omfordeling av jernet i de opprinnelige smale prekambriske magnetittsoner, sannsynligvis ved en tilførsel av ekstra jern og annet kjemisk materiale. Enkelte steder er den opprinnelige en-dimensjonale struktur bevart, andre steder er den ødelagt.
 - 3) I det sentrale område omkring gravimetersentret G, der det hypotetiske Damtjernitt/Kimberlitt-rør bør befinne seg, kanskje i relativt lite dyp, er all opprinnelig prekambrisk magnetisk struktur fordrevet, og der finnes omtrent bare anomalier av den to-dimensjonale type, på et magnetisk "gulv" som ligger 500-600 gamma over det naturlige null-nivå. I dette sentrale område, som har en diameter på 800-1000 m, har det skjedd en fullstendig omvandling og omsmelting av de opprinnelige bergarter.

Det fremgår av pl. 7 at diamantboringsfeltet Tuftehavna ligger i det ytre område av "mellomsonen".

Den sterke radiometriske fly-anomali (kurve. pl. 7) kan befinne seg i det samme grenselandet mellom "mellomsone" og "ytre" sone.

De niob-førende prøvestuffer, rapportert av V. Wiik, ligger i ytre sone, men allikevel ganske nær "mellomsonen", d.v.s. i omtrent samme posisjon til gravimetersentret som Tuftehavna feltet, der det er boret og påvist begrensede mengder niob.

Om det kan dreie seg om en metasomatisk - eller en kontakt - metamorf omvandling omkring en eruptiv kjerne, behøver man vel ikke ta stilling til. Kanskje foreligger det en kombinasjon av begge omvandlingstyper.

Ved sammenlikning av det magnetiske kart pl. 7 med det gravimetriske pl. 6 finner man at de tre foran nevnte positive anomalier A_1 , A_2 og A_3 (masseoverskudd) ligger i nærheten av grenseområdet mellom ytre sone og mellomsonen.

Mellomsonens ytre "grenseland" syntes således interessant på flere måter.

Vi legger dessuten merke til at :

- 1) Mellomsonens overgang mot ytre sone faller mellom gravimeterkartets isolinjer 5-7 milligal.

- 2) Indre magnetiske sone ligger stort sett innenfor 7-10 milligal. avhengig av hvor i feltet man er.

Mellomsonen synes tykkest i sydvest og i vest.

Kanskje betyr dette at det hypotetiske vulkanrør har mindre "satelitter" på vestsiden ?

4.4. Tuftehavna, magnetisk kart pl. 8.

Det magnetiske bilde i det detaljmålte område (1982) ved Tuftehavna (posisjon, se pl. 7), er vist i pl. 8. Det magnetiske kart stemmer også i detalj godt med den arbeidshypotese som er skissert i foregående avsnitt :

- 1) De fleste magnetiske soner (anvist med H-H, pl. 8) er av den en-dimensjonale type; de representerer åpenbart smale magnetittsoner som løper gjennomsnittlig i nord til nord-nordvestlig retning; i vest gjennom hele det målte område, i øst inntil en SØ-NW-gående linje, anvist med betegnelsen MD. Ved MD opptrer det forstyrrelser med tilsynelatende brudd i, og med avvikende retninger for de magnetiske soner.
- 2) Et mindre antall magnetiske anomalier av den to-dimensjonale type finnes i feltet; den mest fremtredende ligger omtrent midt på kartet (koordinater Y: 50.800, X: 141.630).

4.5. Tuftehavna, resistivitets-kart pl. 9.

Resistivitets-målingene var et forsøk; derfor er ikke pl. 9 fullstendig. De retninger som er fremkommet, er av denne grunn trukket som rette linjer. Det er ikke sikkert bildet ville vært så enkelt for mere detaljerte målinger.

De radiometriske gamma-anomalier på pl. 10 er tegnet over på resistivitets-kartet.

Kartet viser i hovedsak følgende :

- 1) I områdets vestre del finnes et større felt med særdeles lave motstander; tilsynelatende motstand er i sentrale deler nede i 50 ohm.m. Som anført foran i denne rapport er det ved tidligere undersøkelser i 1950-årene påvist at marin leire har motstander omkring 90-100 ohm.m.

Det er derfor overveiende sannsynlig at dette lav-ohm-område er dekket av godt ledende marin leire, kanskje av betydelig tykkelse.

Vest for det lav-ohmige område ligger et høy-ohmmråde (H-H, grønn farge), som løper i samme retning som de magnetiske anomalier, NNW.

Det er innenfor dette høy-ohmmråde det er boret på små niob-mineraliseringer, knyttet til lamprofyr.

Det ligger imidlertid ytterligere én interessant informasjon i resistivitets-kartet, et trekk som det ikke er så lett å få øye på. Hvis man følger ekvi-linjenes form mot høy-ohmsonen, innser man at de på tre steder bryter inn i denne høyderyggen^{eg} med en tilnærmet retning SØ-NW. Trekker man en linje i denne retning (se pl. 9), vil den stort sett passere over minima-resistiviteter. Det som synes virkelig interessant, er at denne lav-ohmsone faller nær sammen med den magnetiske forstyrrelses-sone MD som ble innlagt på helt andre kriterier på det magnetiske kart pl. 8.

Resistivitets-kartet viser at det finnes to retninger som muligens kan være av betydning for en prospektering :

- 1) SØ -NW. 4 bedre ledende soner passerer i denne retning.
- 2) SØ-NW. 2 bedre ledende og én dårlig ledende sone ligger i denne retning, som er omtrent parallell med de magnetiske soner H-H på pl. 8.

4.6. Gammastrålingskartet pl. 10.

Det radiometriske kart er i Carstens rapport bare kotert ned til 80 c/s. Legger man på koter også for 60 c/s og 40 c/s, kommer det frem ytterligere interessante trekk :

Alle gamma-anomalier har en halo rundt seg; de høye og utbredte anomalier har stor halo, tilnærmet sirkelformet med diameter 180-200 m, de mindre anomalier i diamantboringsfeltet i vest har tilsvarende mindre haloer av diameter 20-50 m, og kanskje opp mot 100 m i én retning. De små haloer er mere elliptiske enn de store.

I alt er det antydnet 7 haloer på pl. 10, 2 store og 5 små.

For å lette oversikten er det foretatt en mindre utjevning av 40 c/s-ekvilinjene som på pl. 10 anviser ytre-grensen for gamma-haloene (fargelagt mørk fiolett).

På kartet er dessuten innlagt de elektrisk ledende soner fra pl. 9.

Midtpunktet i hver halo er anvist med C_1 , C_2 o.s.v. Det sees at midtpunktet ikke alltid faller sammen med høyeste gammastråling. Det ligger som regel ikke langt fra maksimum.

Sentrum C_2 i den store halo midt på kartet kan antyde at de tre områder innenfor haloen med maksimal gammastråling tilhører en og samme konsentrasjon; en tydning som kan synes spekulativ, men som passer godt med borresultater i borthull TH 1, nærmere omtalt i neste avsnitt.

De ledende soner har ikke spesielt god ledningsevne. De kan representere sprekker, kontakter, ganger etc. beliggende i berggrunnen under relativt tynt overdekke; de kan bestå av lett eroderbart materiale, der vann med løsninger kan samle seg og øke ledningsevnen.

Det synes sannsynlig at noen av disse foran nevnte faktorer kan være med å styre en niob-thorium-mineralisering.

Av kartet pl. 10 fremgår tre retninger som kan ha betydning for :

- 1) Å finne frem til niob-thorium-konsentrasjoner.
- 2) Radiometer-anomaliens form.

De tre retninger er (pl. 10) :

- 1) SSØ-NW. "Magnetisk" og "elektrisk" retning.
- 2) SØ -NW. "Elektrisk" retning.
- 3) SSV-NNØ. Denne retning er ikke geofysisk fundert, men synes åpenbart viktig (fremgår av pl. 10).

Retningene mot NW og mot SØ, samt mot SSØ synes å anvisa mulige prospekteringsretninger for oppsøking av ukjente mineraliseringer av niob og thorium. Mot øst er man avstengt når det gjelder radiometriske gammastrålemålinger, p.g.a. godt elektrisk ledende, muligens tykt overdekke.

4.7. Borprofilen TH 1 - pl. 11.

Vi skal se nærmere på haloen omkring sentret C_2 , omtrent midt på pl. 11. Denne halo befinner seg forholdsvis nær (ca. 30 m) borthull TH 1 (se pl. 10), som er påsatt med 45° helning mot øst.

Spørsmålet er om man i borthullet, som er 386 m langt, har merket noe til haloen.

På pl. 11 er følgende geofysiske data projisert inn i borprofilen på overflaten :

- 1) Haloens bredde representert ved 40 c/s-ekvilinjen.
- 2) Posisjon av høyeste gammaverdi (MAX).
- 3) Sone med øket ledningsevne CZ.

- 4) Haloens sentrale midtpunkt C_2 , samt
- 5) posisjonen av 60, 80 og 100 c/s-verdiene.

Den radioaktive gammastråling er målt på borkjernene fra TH 1. Resultatet er tegnet opp som kurve langs borkhullet. Det går selvfølgelig ikke an å sammenlikne målinger gjort på borkjerne direkte, med målinger gjort på overflaten i hoftehøyde, men man kan i hvertfall trekke følgende konklusjon :

Over en lengde av ca. 130 m (fra 100 m til 230 m) er det observert øket gammastråling fra borkjernene. I tillegg finnes det også et mindre område med stråling, fra 35-70 m i borkhullet (pl. 11).

Trekker man rette linjer mellom 40 c/s-verdiene på overflaten og grenseverdiene for øket stråling i borkhullet, fremkommer en sektor som vist i pl. 11. Bildet kan suppleres ved å trekke parallelle linjer gjennom 60, 80 og 100 c/s-verdiene på overflaten, slik det er vist i pl. 11. Snittet vil i så fall representere et skrått plan gjennom toppverdien for ^(se pl. 11) gammastrålingen, og anviser eventuelle profiler og dyp, aktuelle for boringer.

Borkjernene er analysert m.h.p. niob. Gehalter over betydelige lengder har gitt fra 0,20 til 0,27 % Nb_2O_5 i gjennomsnitt. Det går frem at det er en viss sammenheng mellom niobinnhold og gammastråling.

Det skal til slutt minnes på at det i tillegg finnes to mindre gammastrålingssentra innenfor haloen. For å forenkle figuren er disse to sekundære sentra ikke inntegnet på pl. 11.

Det skal gjøres oppmerksom på at det finnes et krysningspunkt mellom to elektrisk ledende soner innenfor haloen i ca. 50 m avstand fra haloens sentrum C_2 (pl. 11).

131
Kan mineraliseringene være knyttet til en krysningsregel for to gangsystemer ?

5. KONKLUSJON OG SAMMENDRAG.

Hva angår Fens-feltets fysiske oppbygning er det, ved de geofysiske undersøkelserne som er gjort, fremkommet en rekke interessante resultater som inspirerer til videre oppfølging :

- 1) Gravimetrisk er det påvist eksistensen av en tung sylinderaktig masse sentralt beliggende i Fen-komplekset. Denne sylinder er sannsynligvis av ultrabasisk sammensetning, det er foreslått Damtjernitt/Kimberlitt-type.

De utførte målinger er imidlertid for ufullstendige i det sentrale maksimumsområde til å fastlegge dypet til sylinderens øvre begrensning med noen sikkerhet. Kanskje supplerende gravimetermålinger i dette område kan resultere i mindre dyp enn de (mindre enn 400 m) som Ramberg har antydnet.

2) Magnetisk er feltet delt i to typer :

- a) En-dimensjonal type, i smale soner, som fortrinnsvis forekommer i Fens-feltets ytre deler (fenittiserte deler).
- b) To-dimensjonal type, sirkulære eller elliptiske anomalier i feltets sentrale del.

I en mellomzone finnes begge typer.

Det foreslås følgende hypotese :

- a) Den en-dimensjonale type representerer prekambriske jernholdige utfellinger i en suprakrustal bergartsserie.
- b) Ved magmaets fremtrenting i eo-kambrium er det en-dimensjonale mønster ødelagt under metasomatose og/eller kontakt metamorfose, og det har skjedd en omfordeling og tilførsel av jern. Resultatet er blitt det to-dimensjonale mønster som sees i sentrale deler av feltet.
- c) I mellomliggende sone med delvis omvandling finnes begge typer ved siden av hverandre.

Det detaljundersøkte og oppborete Tuftehavna-felt ligger i overgangssonen.

Det magnetiske detaljkart over Tuftehavna støtter ovennevnte hypotese.

Ved VLF-resistivitetsmålinger er det fremkommet et system av svakt ledende soner som kan representere lettere eroderbare soner under overdekningen, som f.eks. slepper, forkastninger, ganger (dykes, sills etc. :

- 1) Et SØ-NW-gående system.
- 2) Et SSØ-NNW-gående, parallelt med de magnetiske drag.

Innenfor Tufte-feltet er de ledende soner skjematisk fremstillet som rette linjer.

De SØ-NW-gående soner er inntegnet på det magnetiske kart pl. 7. Man kan se to muligheter :

- 1) De ledende soner fortsetter mere eller mindre rettlinjet gjennom hele Fens-komplekset.
- 2) De ledende soner er deler av et system som ligger mere eller mindre konsentrisk omkring det sentrale Damtjernitt/Kimberlitt-rør.

Da magnetiske målinger mangler SØ for Tuftehavna er det vanskelig å finne avgjørende argumenter i spørsmålet her. NW for Tuftehavna-feltet kan dog det magnetiske bilde tyde på at de elektriske soner må bøye mot nord (se pl. 7).

Betrakter man Tuftehavna-feltet i sammenheng med Fens-feltet forøvrig, synes følgende muligheter tilstede (pl. 7) :

- 1) De radiometriske anomalier er på en eller annen måte knyttet til NW-SØ-gående ledende soner (markert på pl. 7).
- 2) I sydøstlig retning peker de ledende soner (piler, pl. 7) mot :
 - a) Radiometrisk fly-anomali (fiolett kurve).
 - b) Område hvor det er påvist høy thorium-gehalt.
 - c) Område der det er påvist niob-gehalter i prøvestuffer, på opptil 0,55 % Nb_2O_5 (stjerner, fiolett-farget, pl. 7).

Alle positive data synes å sentrere mot området omkring Rullekollen. Området bør undersøkes grundig ved de tre anviste geofysiske metoder.

Ny geologisk kartskisse foreligger over det aktuelle område, utarbeidet av V. Wiik.

En gravimetrisk detaljundersøkelse i dette området der det finnes blotninger av Damtjernitt og andre tunge bergarter ville være viktig.

En detaljert gravimetrisk undersøkelse av det sentrale område ved Tufte - Borgen - Langås burde være av største interesse for å få bestemt minste dyp til den underliggende sylinder med tung masse, ikke minst fordi det er påvist Damtjernitt mellom Borgen og Tufte (i dagen).

De radiometriske anomalier i Tuftehavna-feltet synes å være av to typer:

- 1) Små spredte anomalier fordelt langs en retning SSV-NNØ, knyttet til lamprofyr, med små haloer, og med små påviste tonnasjeer.
- 2) Større, sterkere anomalier med forholdsvis store haloer av opptil ca. 200 m diameter. Det er 2 store haloer innen Tuftehavna-feltet.

Det antas at man har spor av den ene store halo i borthull TH 1, hvor der dessuten er flere mektige niob-konsentrasjoner på opptil 0,27 % Nb_2O_5 i gjennomsnitt.

Spørsmålet er om det under haloens sentrum C_2 i dagen kan finnes høyere niob-gehalter over betydelige mektigheter. I så fall kan det dreie seg om store tonnasje.

Innenfor denne halo finnes det i dagen et krysningspunkt for ledende soner, tilhørende de to systemer $SSO-NW$ og $SO-NW$.

Bør man lete etter krysningspunkter for ledende systemer ?

I alle tilfeller viser detaljundersøkelsene i Tuftehavna at det er viktig å kombinere tre typer geofysiske målinger :

- 1) Magnetiske.
- 2) Resistivitet.
- 3) Gammastråling.

I tillegg bør overdekkets tykkelse vurderes. Der tykkelsen er for stor kan man sløye radiometermåling.

En magnetisk og radiometrisk helikopterundersøkelse ville hjelpe til å løse en del av problemene i Fen-komplekset. En helikoptermåling burde dog ha et videre perspektiv, som kort kan sammenfattes i følgende spørsmål :

Finnes det flere karbonatitter innenfor det aktuelle geologiske område ?

Karbonatitter er vel ikke alltid så lette å finne.

Sees helikoptermålinger på denne bakgrunn, faller det relativt enkelt å argumentere for å utføre slike målinger.

Spørsmålet vil bli behandlet i en kommende rapport.

Stabekk, 24.02.1983.

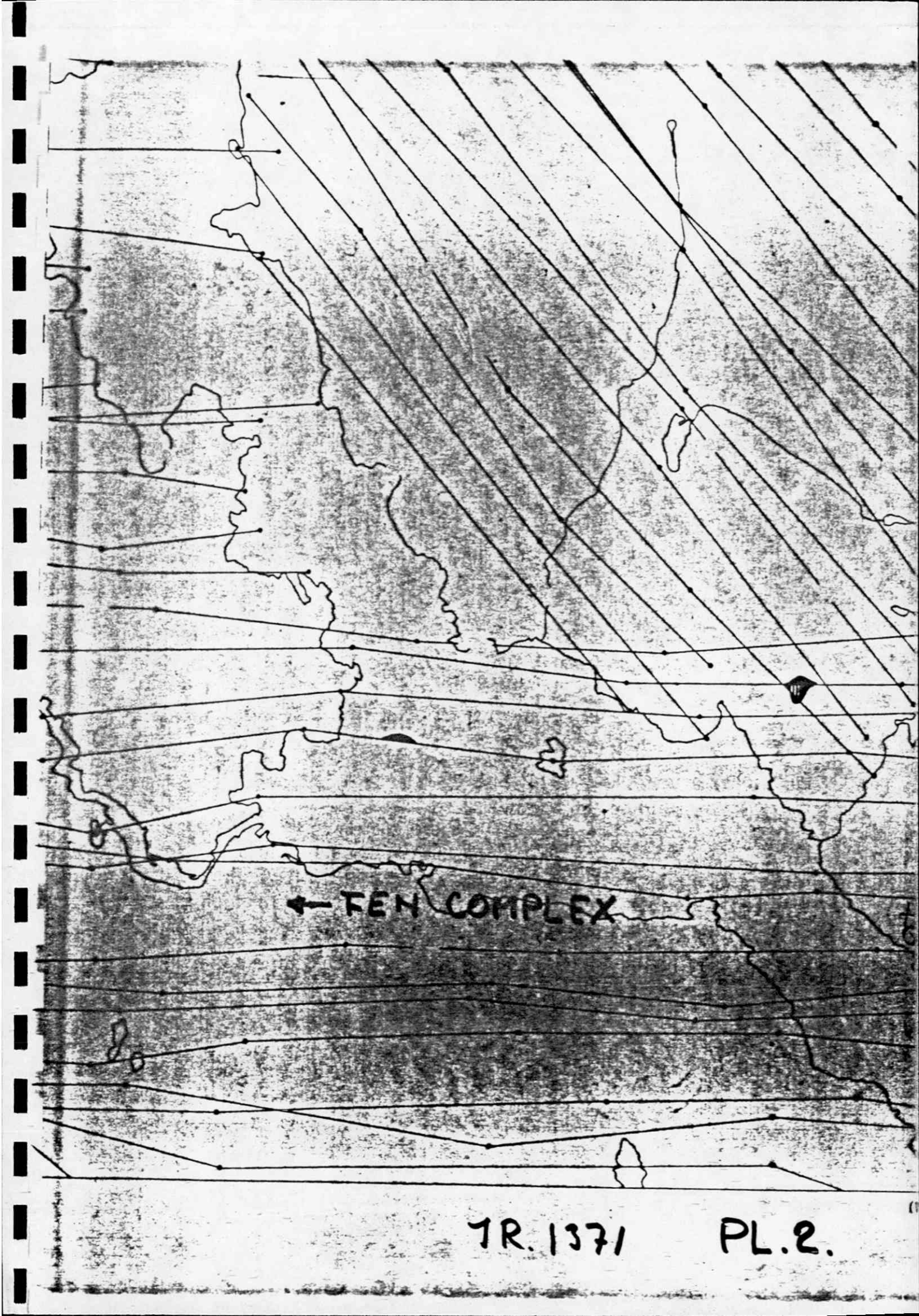
Ørnulf Logn
Ørnulf Logn



Figure 5. Aeromagnetic Map of the Fen Area, Norway
(NGU April 1968)

TR. 1371

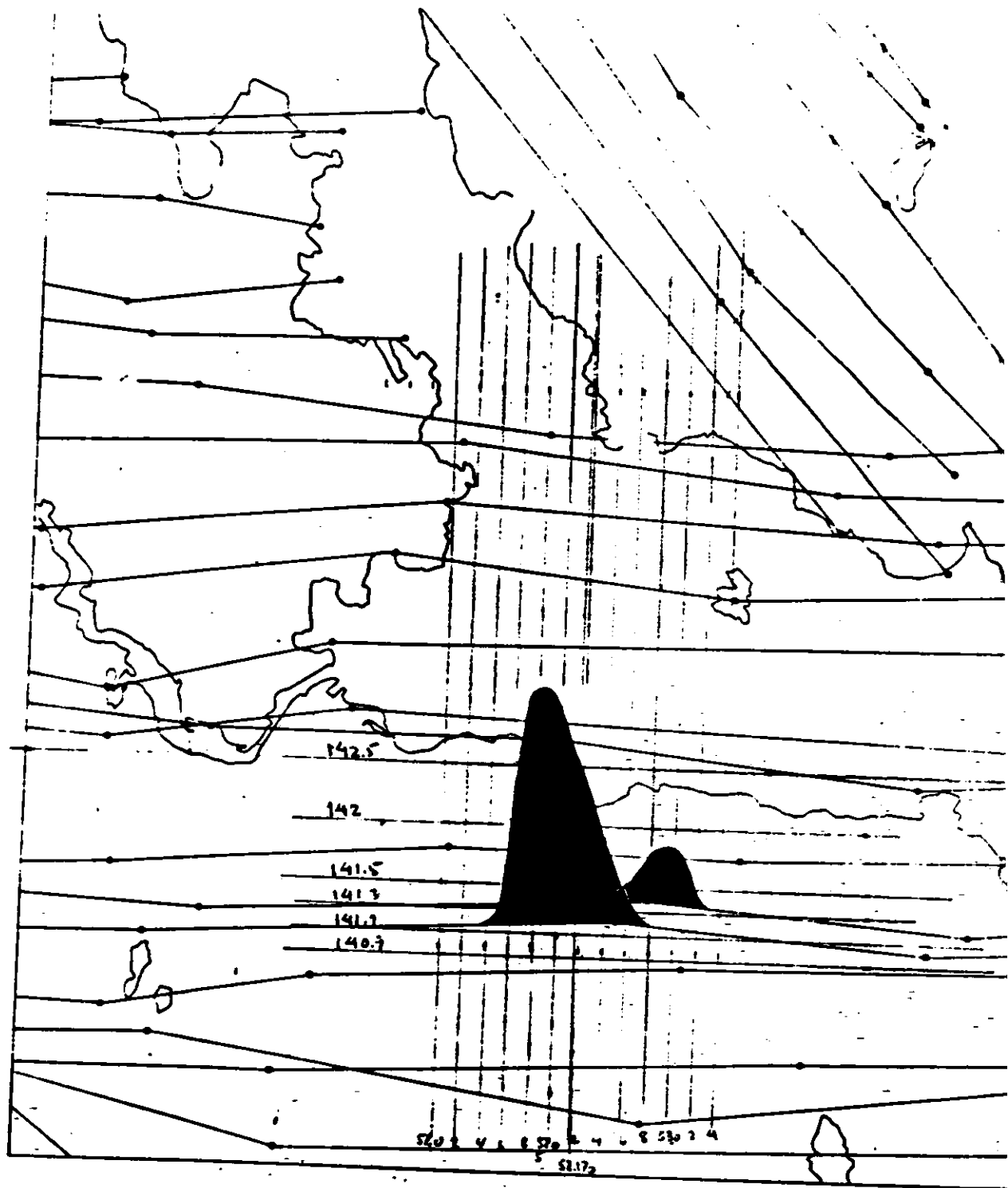
PL 1



← TEN COMPLEX

TR. 1371

PL. 2.



Kartet er utarbeidet av Geofysisk avdeling ved NGU og viser anomalier fremkommet ved en radiometrisk måling foretatt fra fly i 1962.

Flygingen er utført etter kart i målestokk 1:50000 og flylinjene er senere fastlagt ved hjelp av 36 mm film av bakken. Bildene er tatt under målingen med tidsintervall på 2 sekunder.

Flyhøyden er forsøkt holdt mellom 100 og 150 meter over bakken. den utstrekning terrengforhold og flyets yteevne har tillatt dette.

All topografi er basert på Norges geografiske oppmålings kart, serie M 71. Bare de viktigste elver og vann samt kystkontur er tatt med.

PL.3

IR.1371

[Handwritten signature]

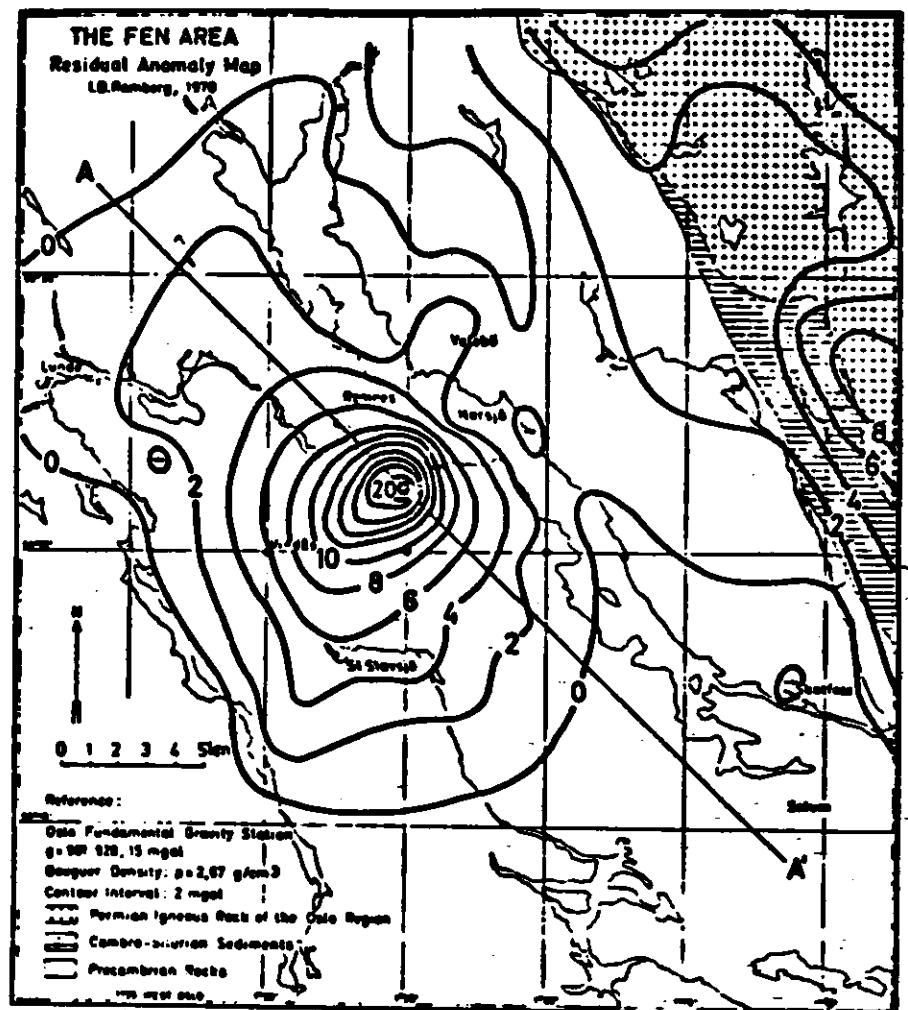


Figure 4. Residual Anomaly Map of the Fen Area and Surroundings (Ramberg, 1973)

J.R. 1371

PL. 4.

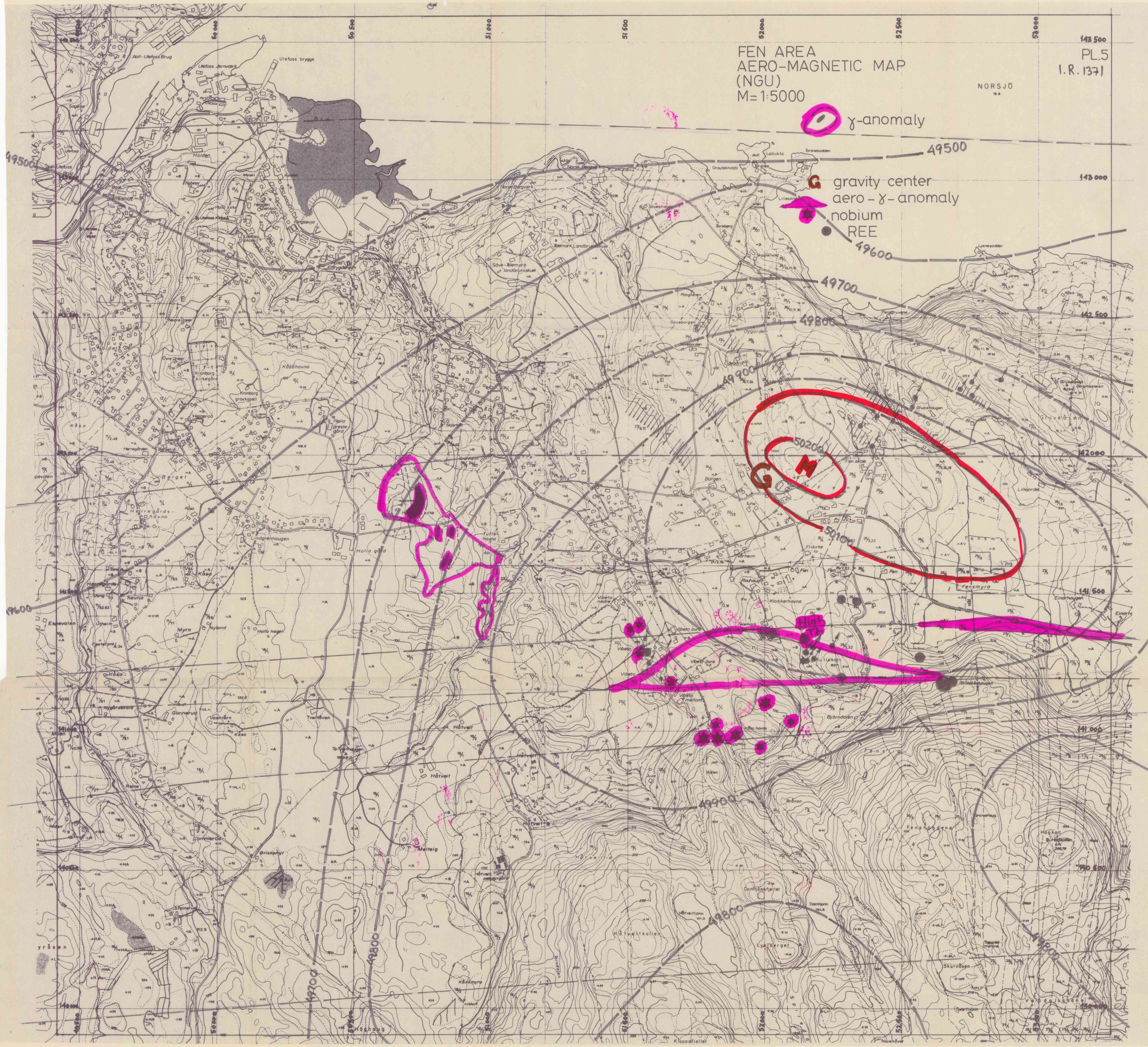
FEN AREA
AERO-MAGNETIC MAP
(NGU)
M=1:5000

PL.5
I.R. 1371

NORSJØ

 γ -anomaly

 gravity center
 aero - γ -anomaly
 nobium
 REE



FEN AREA
BOUGUER ANOMALY MAP
(AFTER RAMBERG)

M=1:5000
10/2-83 O.L.

NORSJØ

143 500

PL.6.

I.R. 137)

- ★ Niobium
- REE
- ⊙ γ-radiation
- Aero-γ-anomaly

143 000

142 500

142 000

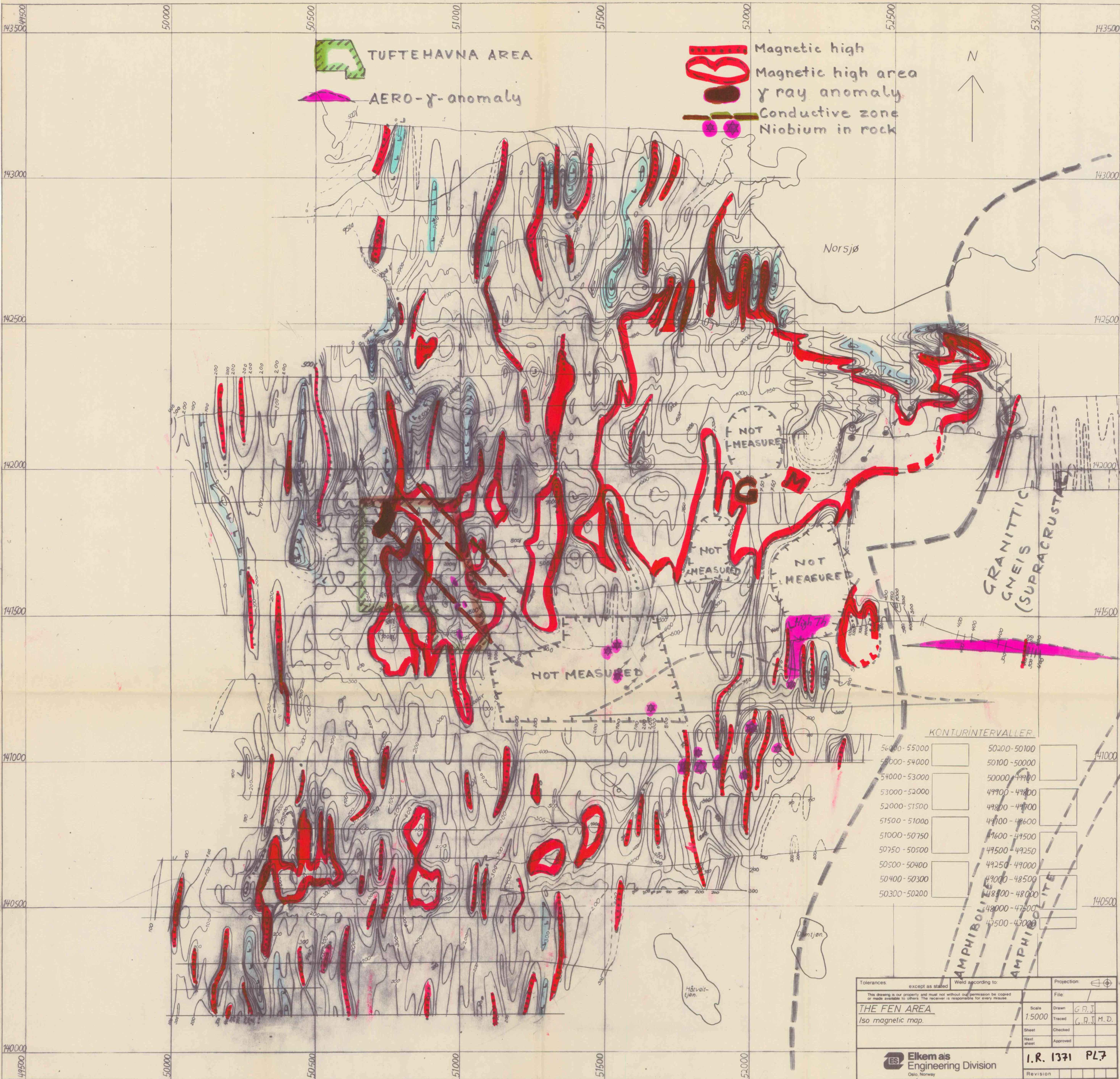
141 500

141 000

140 500

140 000

PL.7



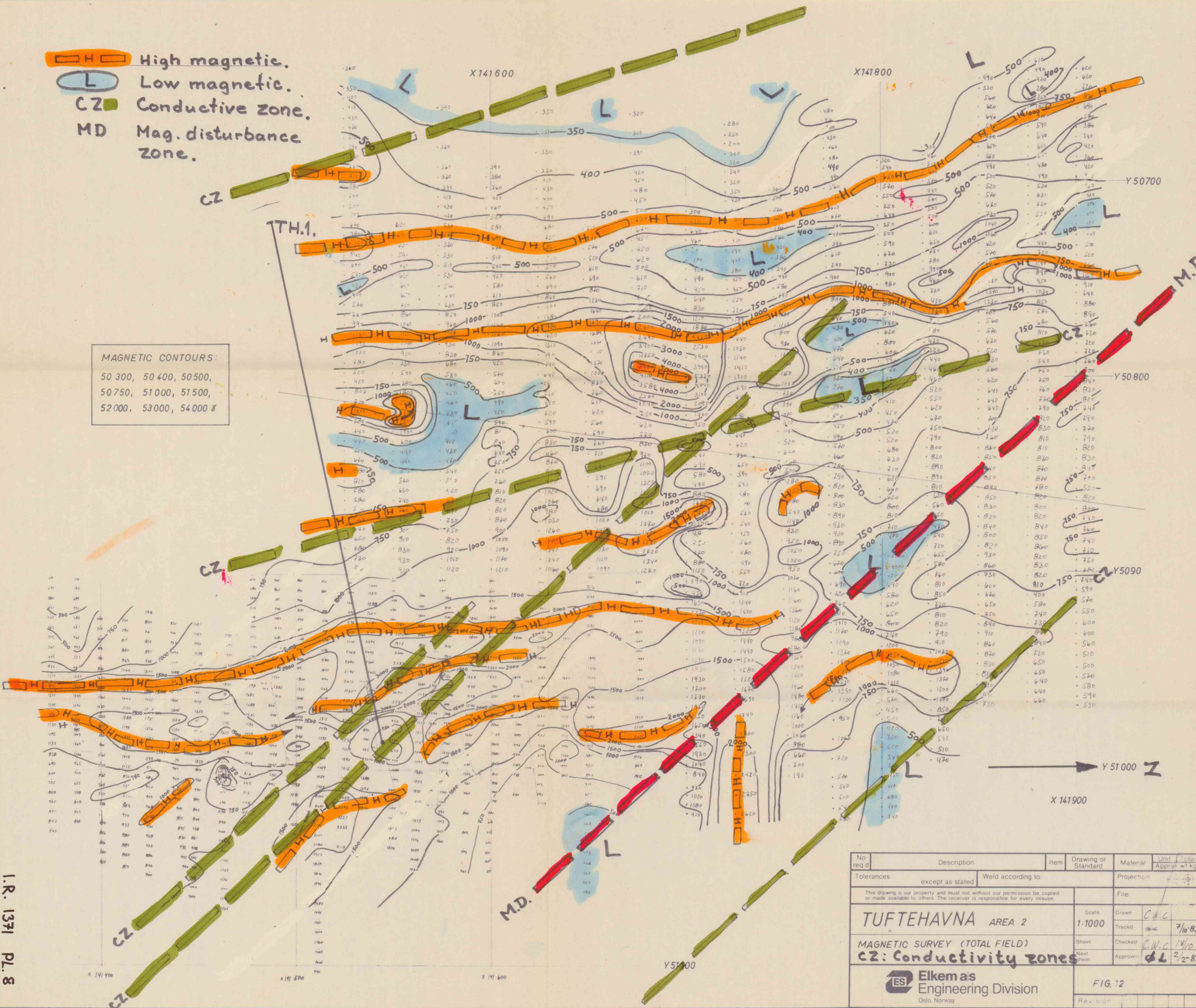
KONTURINTERVALLER

56000-55000	☐	50200-50100	☐
55000-54000	☐	50100-50000	☐
54000-53000	☐	50000-49900	☐
53000-52000	☐	49900-49800	☐
52000-51500	☐	49800-49700	☐
51500-51000	☐	49700-49600	☐
51000-50750	☐	49600-49500	☐
50750-50500	☐	49500-49250	☐
50500-50400	☐	49250-49000	☐
50400-50300	☐	49000-48500	☐
50300-50200	☐	48500-48000	☐
		48000-47500	☐
		47500-47000	☐

Tolerances except as stated		Weld according to:		Projection:	
This drawing is our property and must not without our permission be copied or made available to others. The receiver is responsible for every misuse.					
THE FEN AREA		Scale 1:5000		File: G.P.J.	
Iso magnetic map.		Sheet		Checked G.P.J. M.D.	
		Next sheet		Approved	
Elkem as Engineering Division Oslo, Norway				I.R. 1371 PL7	
Revision					

H High magnetic.
L Low magnetic.
CZ Conductive zone.
MD Mag. disturbance zone.

MAGNETIC CONTOURS:
 50 300, 50 400, 50 500,
 50 750, 51 000, 51 500,
 52 000, 53 000, 54 000 &

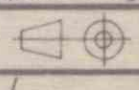


I.R. 1371 PL. 8

No req'd	Description	Item	Drawing or Standard	Material	Unit	Total
	Tolerances	except as stated	Weld according to:		Projection	
This drawing is our property and must not without our permission be copied or made available to others. The receiver is responsible for every misuse.				File		
TUFTEHAVNA AREA 2				Scale	Drawn	C.W.C.
MAGNETIC SURVEY (TOTAL FIELD)				1:1000	Traced	7/10-82
CZ: Conductivity zones				Sheet	Checked	C.W.C. 14/10
				Next sheet	Approved	6L 2/2-83
Elkem as Engineering Division Oslo, Norway				FIG. 12		
				Revision		



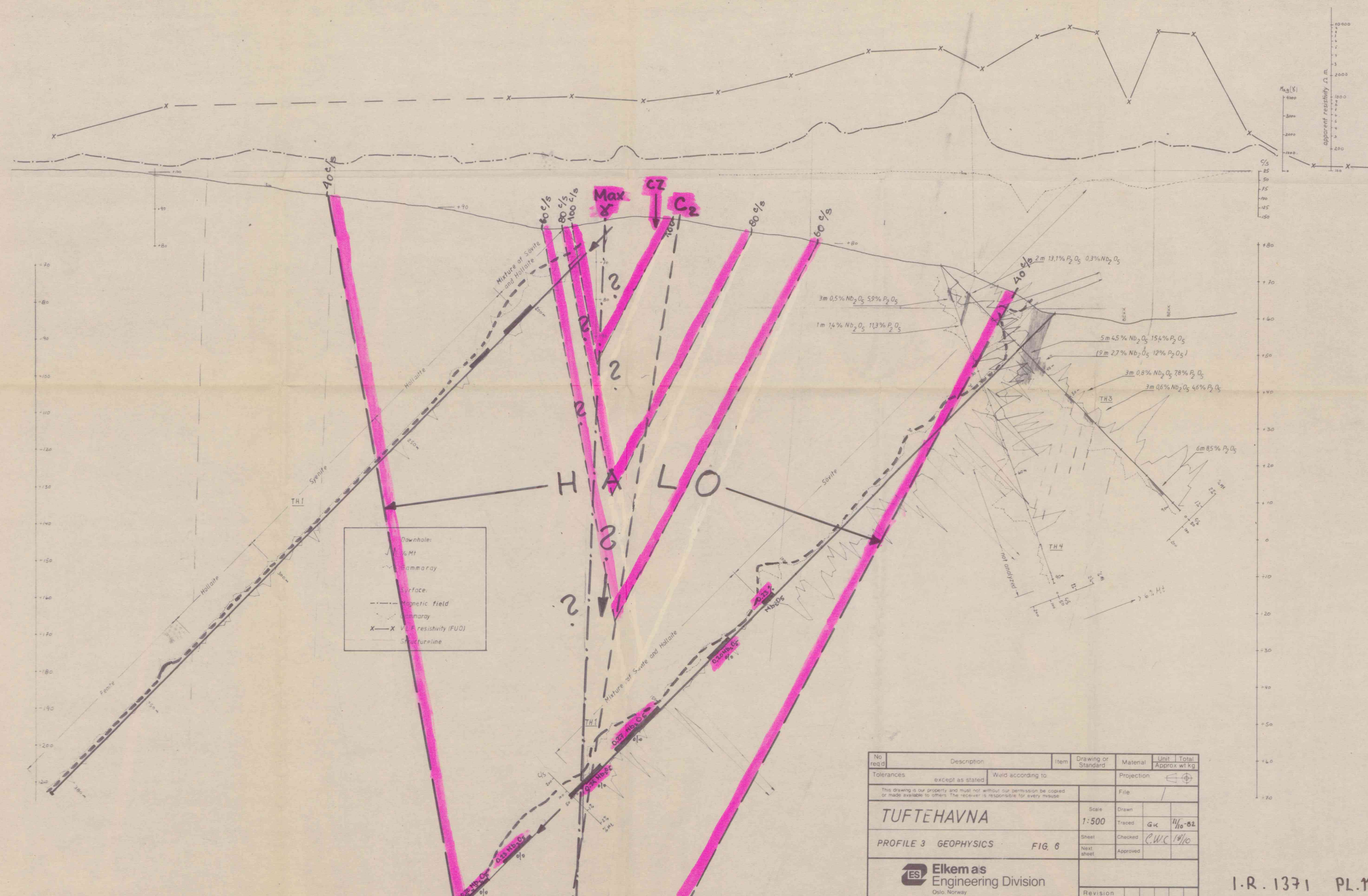
 Conductivity zone
 γ-ray anomaly. C.P.S.
 High resistivity

No req'd	Description	Item	Drawing or Standard	Material	Unit	Total
Tolerances: except as stated		Weld according to:		Projection: 		
This drawing is our property and must not without our permission be copied or made available to others. The receiver is responsible for every misuse.						
TUFTEHAVNA 1) VLF RESISTIVITY MAP Ω.m. 2) γ RADIATION MAP C/S.				Scale	Drawn	8/10-82
				Sheet	Checked	16/10
				Next sheet	Approved	2/12-83
 Elkem a/s Engineering Division Oslo, Norway				FIG. 3 PL. 9 Revision		

I.R. 1371 PL. 9



No req'd	Description	Item	Drawing or Standard	Material	Unit	Total Approx wt kg
Tolerances		except as stated		Projection		
This drawing is our property and must not without our permission be copied or made available to others. The receiver is responsible for every misuse.		Weld according to		File		
TUFTEHAVNA		Scale		Drawn		
RADIOACTIVITY SURVEY γ-RADIATION C.P.S.		1:1000		Traced	GK	7/10-82
CZ: Conductive zones		Sheet		Checked		
		Next sheet		Approved		
ES Elkem as Engineering Division Oslo, Norway		FIG. 13		Revision		



Downhole:
 ✓ %Mt
 ~~~~~ Gammaray  
 Surface:  
 - - - Magnetic field  
 ~~~~~ Gammaray  
 X - - - VLF resistivity (FUQ)
 - - - Structureline

| No. req'd | Description | Item | Drawing or Standard | Material | Unit | Total |
|---|-------------|----------------------|---------------------|-------------------|----------------|-------|
| | | | | | Approx. wt. kg | |
| Tolerances | | except as stated | | Weld according to | | |
| This drawing is our property and must not without our permission be copied or made available to others. The receiver is responsible for every misuse. | | | | Projection | | |
| TUFTEHAVNA | | Scale | | File | | |
| PROFILE 3 GEOPHYSICS | | 1:500 | | Drawn | | |
| FIG. 6 | | Sheet | | Traced | | |
| | | Next sheet | | Checked | | |
| | | | | Approved | | |
| ES Elkem as | | Engineering Division | | Revision | | |
| Oslo, Norway | | | | | | |