

NGU Rapport 93.109

Helikopter VLF-EM kartlegging av
forkastninger og sprekkesoner på
kartblad Andorsjøen

Rapport nr. 93.109		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Helikopter VLF-EM kartlegging av forkastninger og sprekkesoner på kartblad Andorsjøen				
Forfatter: Jan Reidar Skilbrei		Oppdragsgiver: NGU		
Fylke: Nord-Trøndelag		Kommune: Grong og Snåsa		
Kartbladnavn (M=1:250.000) Grong		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1823 I		
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 14	Pris: N.kr. 75	
		Kartbilag: 3		
Feltarbeid utført:	Rapportdato: 16.12.93	Prosjektnr.: 61.1889.70	Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>	
<p>Sammendrag:</p> <p>NGU sine moderne helikoptermålinger inkluderer VLF-EM ("Very Low Frequency Electro-Magnetic") målinger. I tolkningsarbeid har flybårne VLF-målinger sjelden blitt brukt til annet enn leting etter sulfidforekomster. VLF-metoden er imidlertid egnet til kartlegging av ledende objekter med stor strøklengde. Metoden burde derfor være egnet til å kartlegge sprekkesoner når overdekket er tynt og berggrunnen har stor motstand.</p> <p>Rapporten demonstrerer at VLF-anomaliene i stor grad reflekterer forkastninger og sprekkesoner som er kartlagde av geologer innenfor grunnfjellet på kartblad Andorsjøen.</p> <p>Hovedkonklusjon er at helikopter VLF-målingene kartlegger forskjellige geologiske strukturer i forskjellige geologiske (og geomorfologiske) miljø, og at flybåren kartlegging av sprekkesoner og forkastningssoner er mulig med denne VLF-metoden. Det foreslås feltoppfølging av endel av VLF-anomaliene for å undersøke egenskaper til lederne.</p>				
Emneord:	Elektromagnetisk måling			
Geofysikk	VLF-måling			
Helikoptermåling			Fagrapport	

INNHOUDSLISTE

	Side
1	INNLEDNING 4
2	VLF-DATA 5
3	RESULTAT 6
4	DISKUSJON 7
5	KONKLUSJON 9
6	REFERANSER 10

FIGURER

- Figur 1. Geologisk oversiktskart fra måleområdet. Måleområdet er nordvestre halvdel av kartblad Andorsjøen.
- Figur 2. Nedfotografert fargekart av VLF-totalfeltet, sender GBR (England).
- Figur 3. Nedfotografert fargekart av VLF-totalfeltet, sender NAA (U.S.A.).
- Figur 4. Nedfotografert fargekart av VLF-totalfeltet, middelverdi av summert kanal for de to senderne. Tolkede VLF-ledere er vist som streker.

KARTBILAG

- 93.109-01 VLF-ledere tolket fra sender GBR (Rugby, England), samkopierte med topografi, M 1:50.000.
- 02 VLF-ledere tolket fra sender NAA (Maine, USA), samkopierte med topografi, M 1:50.000.
- 03 VLF-ledere tolket fra begge senderne samkopierte med kartlagde sprekker/forkastninger, M 1:50.000.

1 INNLEDNING

Helikopter VLF-EM systemet ved NGU blir fløyet sammen med radiometriske, magnetiske og elektromagnetiske (EM) systemer. Vanligvis blir flybårne magnetiske- og EM-måledata brukt som støtte under geologiske kartlegging, til malmløting og til modellering av "dyp geologi". VLF-EM data (heretter kalt VLF-data) har ikke blitt utnyttet i særlig grad, av forskjellige årsaker. Ofte har datakvalitet vært dårlig eller variabel, og ofte har relasjon mellom VLF-anomalier og geologi vært usikker p.g.a. strømledninger eller "støy" fra topografi.

Fordi primærkilden til VLF-metoden er radiosendere som er langt unna (ved dette måleoppdraget: Europa og U.S.A.), er sendersignalet en planpolarisert bølge. VLF-metoden er derfor egnet for deteksjon av lange geologiske objekter (stor strøklengde) med svak ledningsevne. Dette kan være vannfylte forkastninger, skjærsoner og sprekkesoner.

VLF feltene er retningsavhengige. Ledende objekter med strøket retta mot VLF-senderne blir energetisert sterkest. På Andorsjøen ble det målt VLF-data med to sendere med høy vinkel mellom retningene til senderne. Dette er derfor et relativt sjeldent tilfelle hvor datakvalitet er høy, og hvor det er god VLF-dekning med to ulike sendere.

Måleområdet er vist i Fig. 1, sammen med et geologisk oversiktskart.

2 VLF-DATA

Data og prosessering er beskrevet i NGU-rapport 91.153 (Rønning, 1991). Flylinjeavstand er gjennomsnittlig 200 meter, og gjennomsnittlig flyhøyde er 60 meter over bakken. Instrumentet, en to-kanals versjon av Totem 2A, måler totalfeltet med tre ortogonale spoler. Systemet måler samtidig signalet fra to sendere som opererer i området 15-25 kHz. Senderne som ble brukt var NAA (Maine i U.S.A., 24 kHz) og GBR (Rugby i England, 16 Khz).

VLF-(totalfelt-)anomaliene har sitt maksimum over nær vertikalstående platelignende ledere som er omgitt av bergarter med høy motstand. VLF-signalet kan bare penetrere de grunnere lag av undergrunnen. Penetrasjonen er 100-200 meter når grunnen har høy motstand, og noen titalls meter ved moderat ledningsevne (Hayles og Sinha, 1986). Fordi VLF-primærfeltet er en planpolarisert bølge med relativt høy frekvens, så vil metoden egne seg til også å detektere lange, men svakt ledende strukturelle elementer slik som forkastninger og skjærsoner som inneholder vann/leire. Kraftige anomalier vil ofte forekomme over lange ledende geologiske strukturer, og elektrisk godt ledende soner (f. eks. sulfid-/grafitt- mineraliseringer).

Tolkningene er gjort ved å "trace" toppene av anomaliene på kart i målestokk 1:50 000. Dette er gjort to ganger, en tolkning for hver sender. Så er tolkningene sammenlignet med topografi, og kvartærgeologiske kart og berggrunnskart.

3 RESULTAT

Fargekart av VLF-totalfeltet, sender GBR i England, er vist i figur 2. Tilsvarende fargekart for sender NAA i U.S.A., er vist i figur 3. Figur 4 viser summert totalfelt for de to senderne samkopiert med tolkede VLF-ledere. Vi ser av figurene at lange, kontinuerlige ledere er kartlagde. Tolkningene er basert på disse kartene i målestokk 1:50 000. Kartbilagene presenterer tolkninger av VLF-ledere (oppå et topografisk underlag), for senderne GBR og NAA. Kartbilag 3 er en samkopiering av tolkede VLF-ledere og kartlagde forkastninger, sprekker og skyvedekkegrenser. Geologien er reproduisert fra en upublisert sammenstilling av M. Heim.

De målte VLF-lederne viser en tydelig nordøstlig-sørvestlig trend på figur 2, og en tydelig nordvestlig-sørøstlig trend på figur 3. Dette er p.g.a. at ledende strukturer med disse to strøkretningene vil ha den beste koblinga med VLF-primærfeltene fra de to radiosenderne. Figur 2 og figur 3 utfyller derfor hverandre. Hvert av kartene favoriserer sprekker/forkastninger med tilnærmet ortogonale strøkretninger. Figurene illustrerer at det er nødvendig å ha minst to VLF-sendere (med høy vinkel mellom retningene til senderne) for å kartlegge de fleste VLF-ledere i et område.

Innenfor de kaledonske metasedimentene og metavulkanittene nord for Sanddøladalen (se figur 1) sammenfaller VLF-anomaliene i liten grad med kartlagte sprekker eller forkastninger. Dette kan bety at det er kontrastene i ledningsevne innenfor den kaledonske "lagpakken" er mindre, slik at vannfylte sprekkesoner ikke vises på kartene.

I det sørvestlige hjørnet av kartbladet er det kraftige VLF-anomalier. Disse anomaliene ligger innenfor de kaledonske metasedimentene og metavulkanittene i Snåsasynformen (Roberts, 1967, 1987). Det er også mange kraftige EM-anomalier ved lavere frekvenser i dette området (Rønning, 1991). Anomaliene reflekterer derfor sannsynligvis grafittrike skifre.

Fra kartbilag 3 ser vi at mange av VLF-anomaliene sammenfaller med kartlagte sprekkesoner og forkastninger. Denne korrelasjonen ser imidlertid ut til å gjelde bare sør for Sanddøladalen.

4 DISKUSJON

Det er flere gode VLF-ledere med stor strøklengde som ikke sammenfaller med kjente sprekker/forkastninger. Dette gjelder spesielt over de prekambriske bergartene. Det er sannsynlig at det er flere sprekkesoner innenfor området enn de som kartlagt. Det er også sprekkesoner innenfor grunnfjellet med gunstig strøkretning i forhold til profilretning (øst-vest) og retning til en av senderne, som ikke gir VLF-anomalier. Dette bør følges opp i felt for å finne ut av årsaksforhold.

Under tolkningene ble VLF-ledere lagt langsmed toppene på VLF-totalfeltanomalie. Dette vil vanligvis indikere toppen av VLF-lederen (gjelder steiltstående ledere). Større sprekkesoner ses på kart som topografiske lineament. Sammenlikning mellom tolkningene og topografiske kart (se kartbilagene 1 og 2) viser at total feil i lokalisering av tolkede VLF-ledere er opptil 3 mm på kart i målestokk 1:50 000. Denne feilen er beregnet før samkopiering og inkluderer eventuelle posisjoningsfeil som stammer fra navigasjon eller prosessering og kartframstilling av helikopterdata.

Figur 4 inneholder mer informasjon enn hver av figurene 2 og 3, men er vanskeligere å tolke. Dette fordi endel av anomalie har "grodd sammen" under griddingen av data etter summering. Det bør derfor alltid produseres kart fra separate kanaler (sendere) som vedlegges helikopterrapportene.

Det er beregnet hvor stor andel av VLF-lederne som tilsynelatende indikerer kartlagte sprekker og forkastninger fra VLF-anomalikartet. Beregningen er gjort ved å telle opp antall VLF-ledere fra kartbilagene 01 og 02 som sammenfaller med kartlagte forkastninger, og så dividere med totalt antall VLF-ledere. For sender GBR er andelen 52% og for NAA er den 48%. Dette må betraktes som høye andeler fordi målingene er retningsavhengige (for hver sender), og fordi det sannsynligvis er flere sprekkesoner i området enn de som er kartlagt. Noen av VLF-anomalie kan også skyldes ledende bergarter og overdekke. Opptellingen ble derfor bare gjort innenfor grunnfjellsområdet, siden det er mange forskjellige kilder til anomalier innenfor de kaledonske bergartene (se under).

Det er også gjort et forsøk på å beregne hvor stor andel av de kartlagte sprekkesonene og forkastningene som er indikert, eller om en vil, kartlagt med VLF-metoden. For å være kartlagt må det være VLF-anomalier langsmed minst 1/3 av sprekkesonen. Med indikert eller kartlagt menes at mulig sprekke/forkastning ville, eller burde, ha blitt tolket fra VLF-kartet. Ved å bruke originalen til figur 4 (kart i original målestokk 1:50 000) ble det estimert at 47% av sprekkesonene og forkastningene er kartlagt med VLF-metoden innenfor grunnfjellet.

I Sanddøladalen er det et kraftig topografisk relieff, og mange VLF-anomalier. De fleste

anomaliene er tilsynelatende assosiert med områder med mange sprekker/forkastninger, heller enn en spesiell sprekkesone. Dette "ødelegger" statistikken. Ved å utelate Sanddøladalen fra beregningen ble 67% av de kartlagte strukturene innenfor grunnfjellet "oppdaget" med VLF-metoden. Dette kan betraktes som sannsynligheten for å oppdage en (kartlagt) sprekkesone med VLF-metoden. Dette er en meget høy sannsynlighet, spesielt fordi endel av de kartlagte sprekkesonene sannsynligvis ikke inneholder mye vann eller ledende mineraler. Det demonstrerer at VLF-anomaliene i stor grad reflekterer sprekkesonene og forkastningene innenfor grunnfjellsområdet på kartbladet. Beregningen viste også at VLF-metoden kartlegger forskjellige geologiske strukturer i forskjellige geologiske (og geomorfologiske) miljø (se også under).

I noen områder kan VLF-anomalier delvis være et resultat av topografi. Dette er f. eks. dokumentert fra VLF-anomalikart fra kartblad Snåsavatnet. Under tolkningsarbeidet ble alle sprekker og forkastninger inpsisert på topografisk kart, og VLF-anomaliene ble lagt oppå topografisk kart. De fleste større sprekker/forkastninger kan ses som topografiske lineament uten betydelig topografisk relieff. Det er også mye topografisk relieff (og mange myrer) som er uten VLF-signatur. Og det er flere steder hvor VLF-anomalier og sprekkesoner sammenfaller hvor terrenget er flatt. Det kan derfor konkluderes med at VLF-anomalikartet meget godt indikerer sprekker og forkastninger der hvor bergartene har lav ledningsevne (prekambrisk grunnfjell) og hvor overdekket er tynt.

Det anbefales feltoppfølging av en del av anomaliene med bakkegeofysikk for å verifisere noen av VLF-lederne, og for å undersøke ledningsevnen til lederne. Dette kan gi informasjon om hvorfor noen sprekkesoner gir opphav til VLF-anomalier ved helikoptermålinger, mens andre ikke gjør det. Det bør også undersøkes hvorfor VLF-anomaliene endrer karakter eller forsvinner langs en og samme sprekkesone uten at strøkretning endres, eller at topografisk relieff eller berggrunnen (sideberget) endrer karakter. Noen sprekkesoner og forkastninger er åpenbart "ikke VLF-ledere". Dette vil sannsynligvis ha sammenheng med vann/leire innholdet. Det kan imidlertid være grunn til å tro at disse er av mindre geologisk betydning. Noen typer deformasjonsbergarter i forkastningssonen vil være "tette", f. eks. kataklasitter, dersom det ikke er breksjer eller sleppemateriale i sonen. Et videre arbeid kan ha stor betydning for forståelsen av hvilke forkastninger, knusnings-/sprekkesoner som kan gi gode vannuttak.

5 KONKLUSJON

VLF anomalikartet reflekterer sprekkesoner og forkastninger meget godt innenfor grunnfjellet på kartblad Andorsjøen. Beregnet sannsynlighet for å "oppdage" (kartlegge/tolke) en forkastning eller sprekkesone innenfor grunnfjellet med VLF-metoden er 67%. Dette betyr at flybåren kartlegging av sprekkesoner og forkastningssoner er mulig med VLF-metoden, når bergartene ellers har lav elektrisk ledningsevne. Det anbefales feltoppfølging av endel av de indikerte lederne.

6 REFERANSER

- Hayles, J.G. og Sinha, A.K., 1986: A portable local loop transmitter for geological fracture mapping: *Geophysical Prospecting*, v. 34, p. 873-896.
- Heim, M., 1990: Berggrunnsgeologiske undersøkelser, Sibirien, Grong, Nord-Trøndelag. *NGU Rapport nr. 90.222*.
- Oftedahl, C., 1956, Om Grongkulminasjonen og Grongfeltets skyvedekker. *Norges geologiske undersøkelse, Skrifter, Nr. 195, 57-64*.
- Roberts, D., 1967: Geological investigations in the Snåsa-Lurudal area, Nord-Trøndelag. *Norges geologiske undersøkelse, Bulletin 247, 18-38*.
- Roberts, D. 1987: GRONG, berggrunnsgeologisk kart 1823 4 - 1:50000, foreløpig utgave. *Norges geologiske undersøkelse*.
- Roberts, D., og Reinsbakken, A., 1991: Foreløpig berggrunnskart Grong, M 1:250.000. *Norges geologiske undersøkelse*.
- Rønning, S. 1991: Helikoptermålinger over kartblad Andorsjøen, 1823 I. *NGU Rapport 91.153*.

KARTBLAD ANDORSJØEN

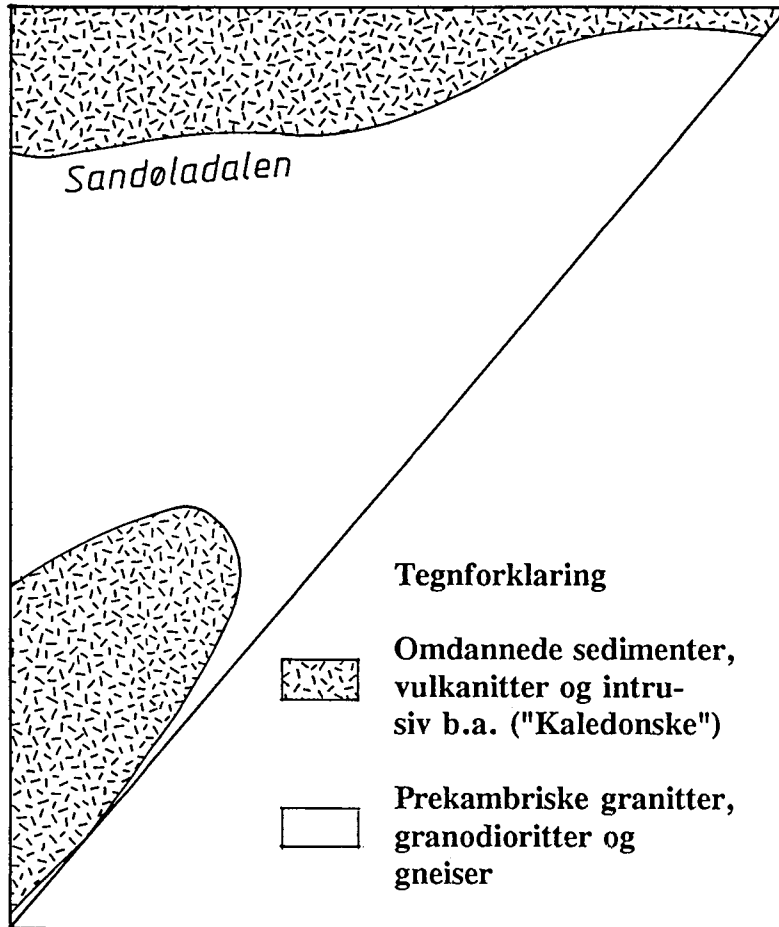


Fig. 1

Fig. 2

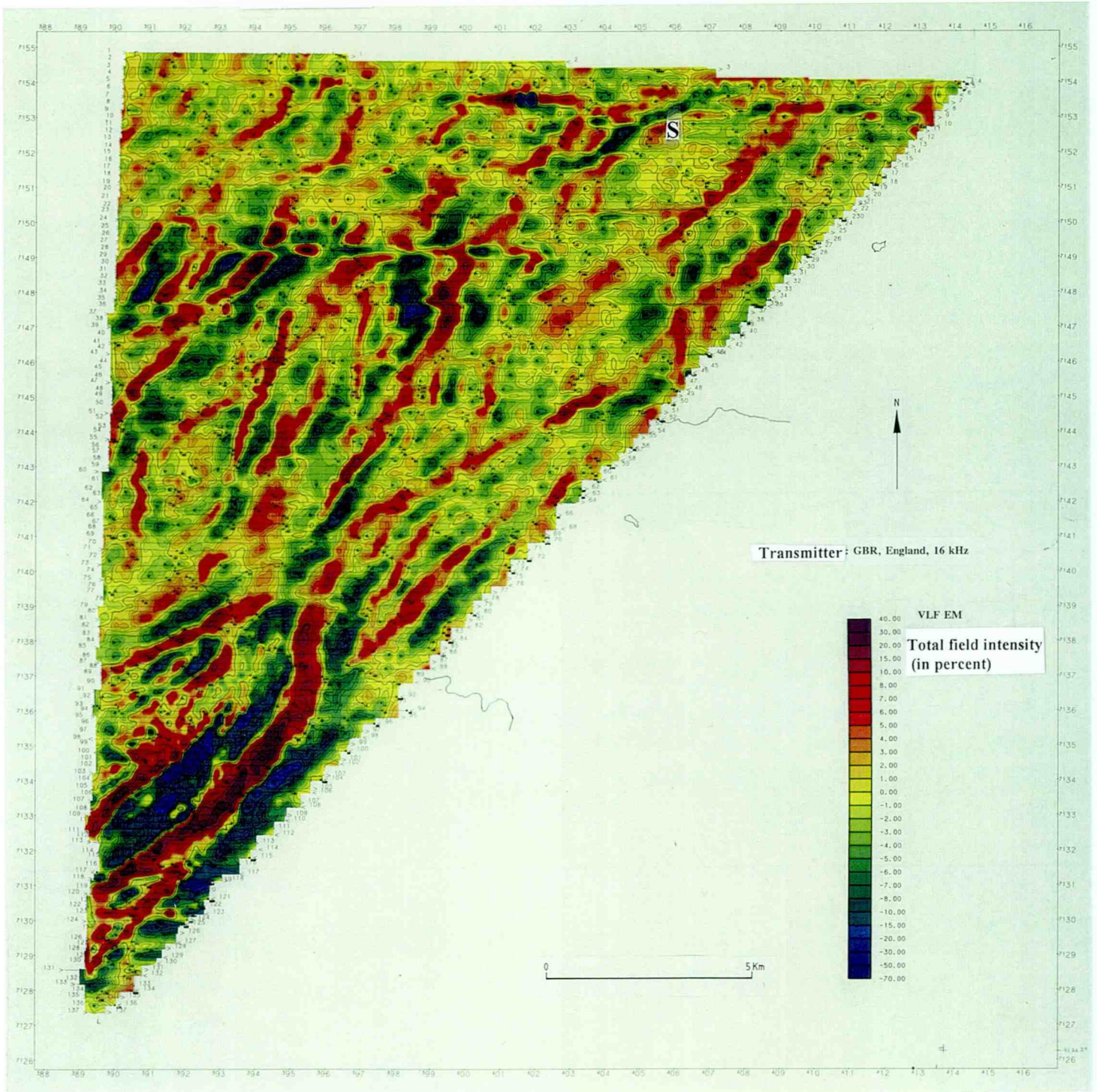


Fig. 3

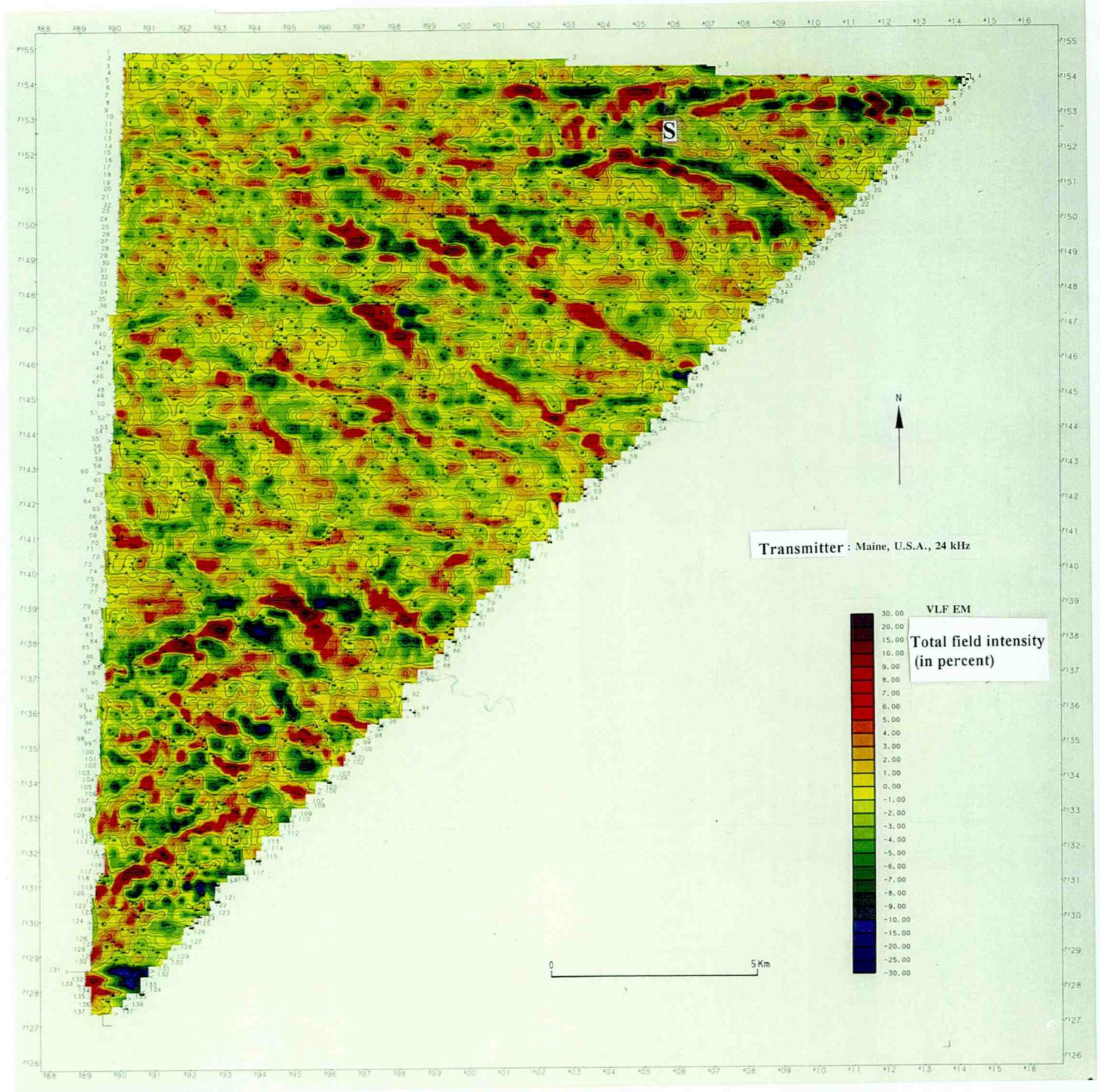
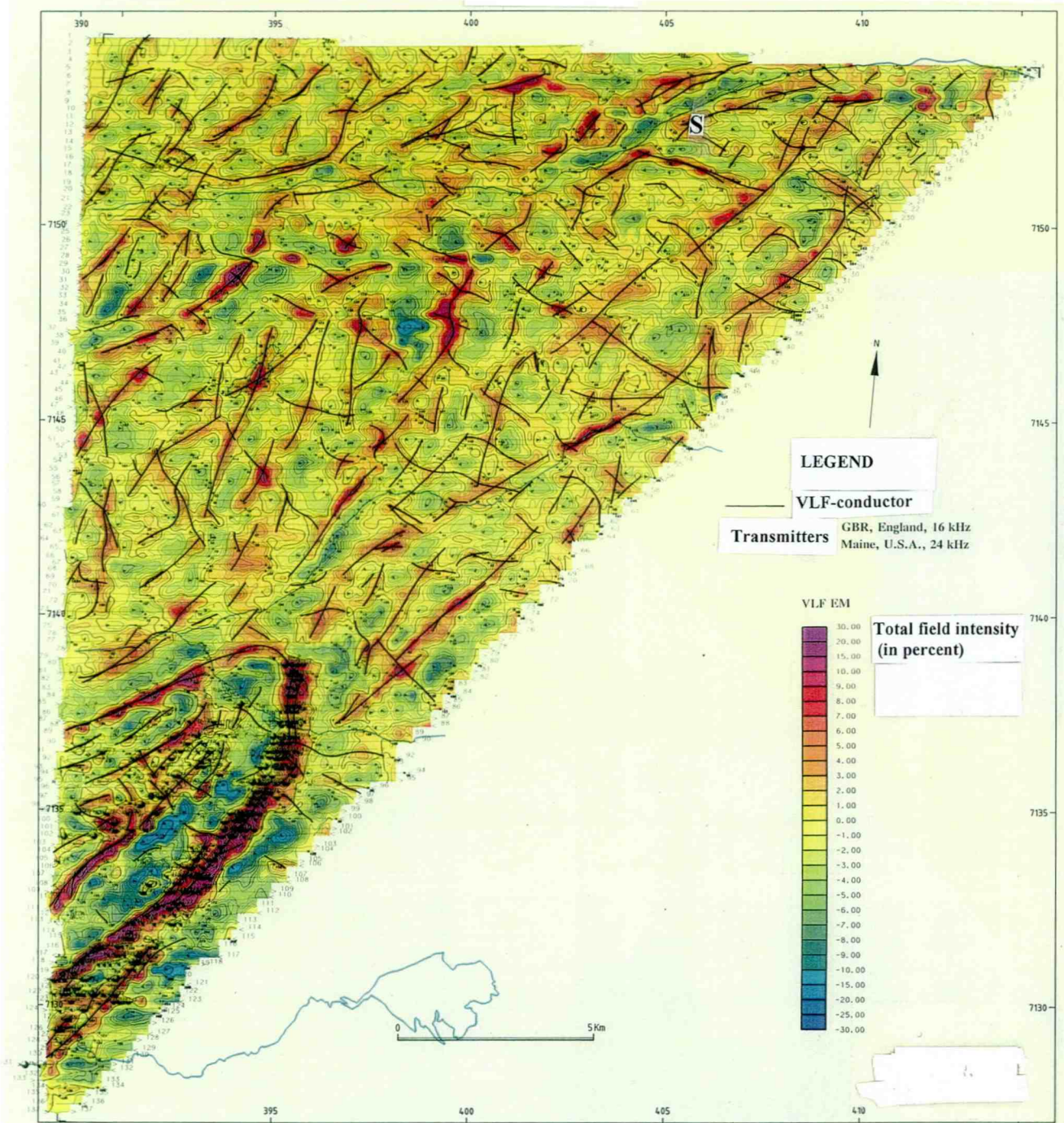
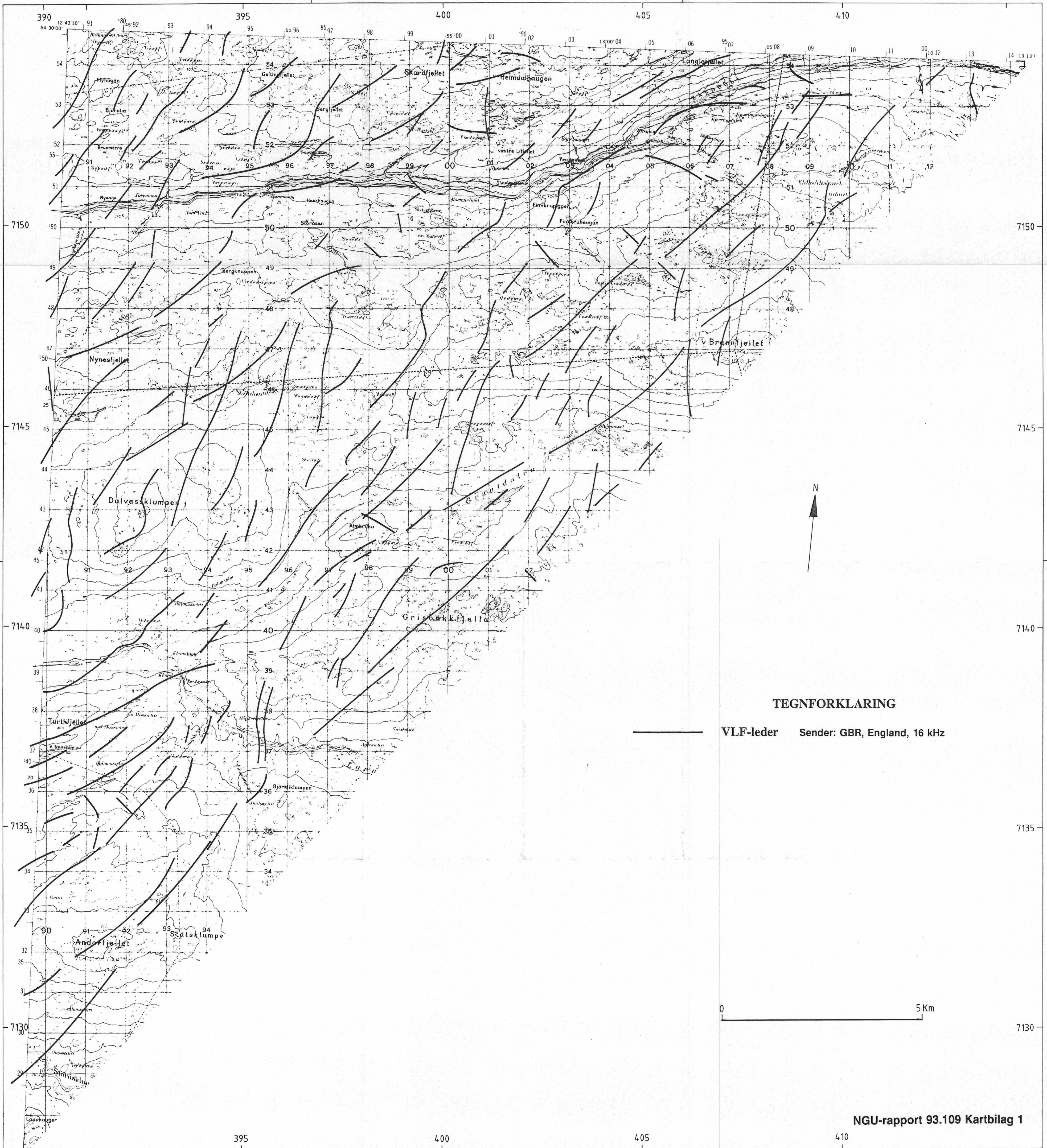


Fig. 4



ANDORSJØEN

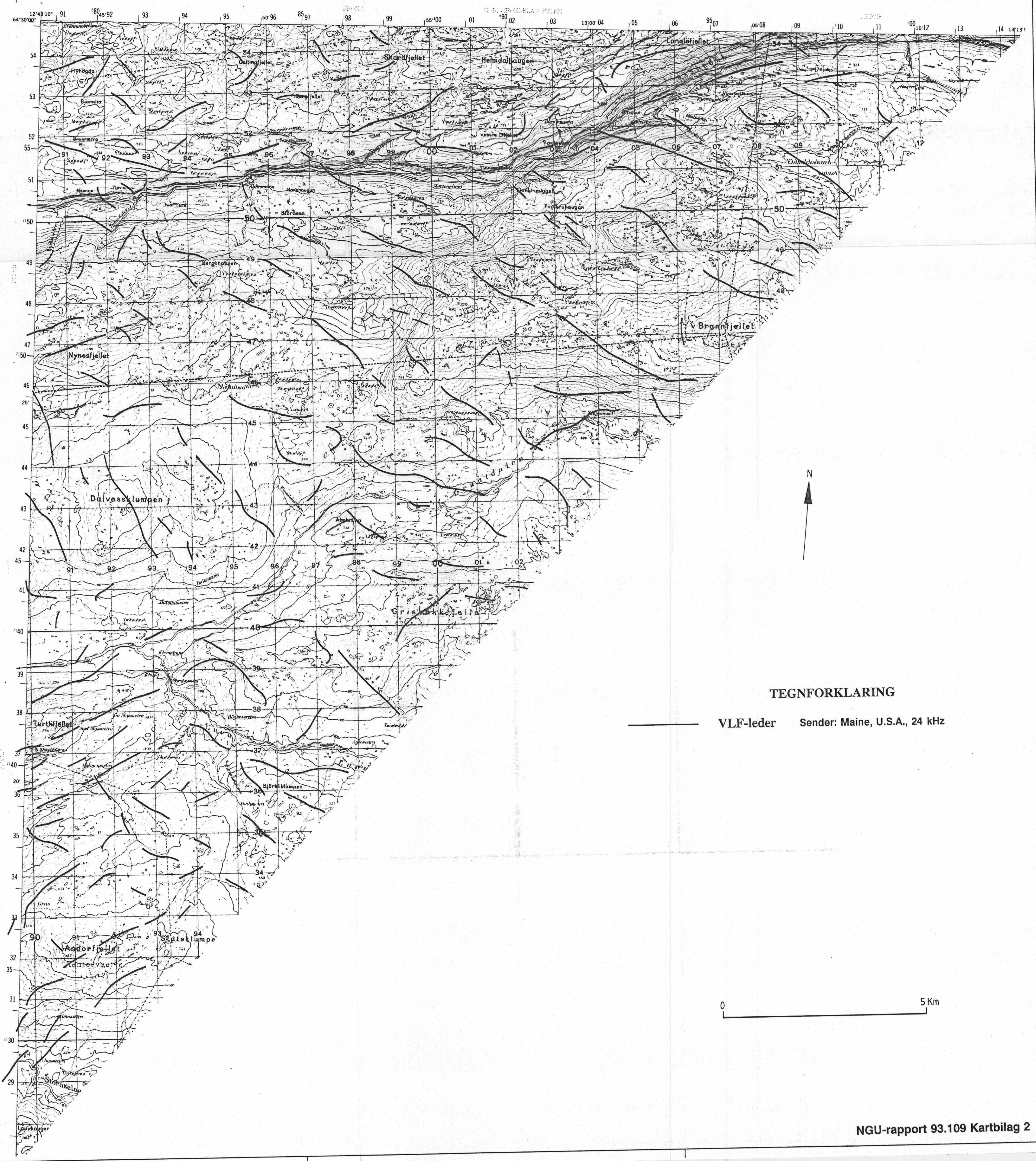


TEGNFORKLARING

— VLF-leader Sender: GBR, England, 16 kHz

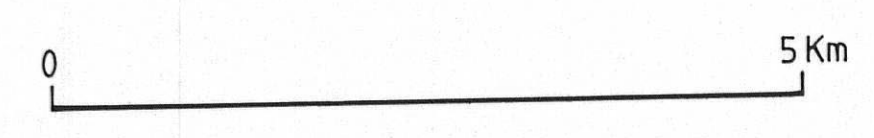
0 5 Km

ANDORSJØEN

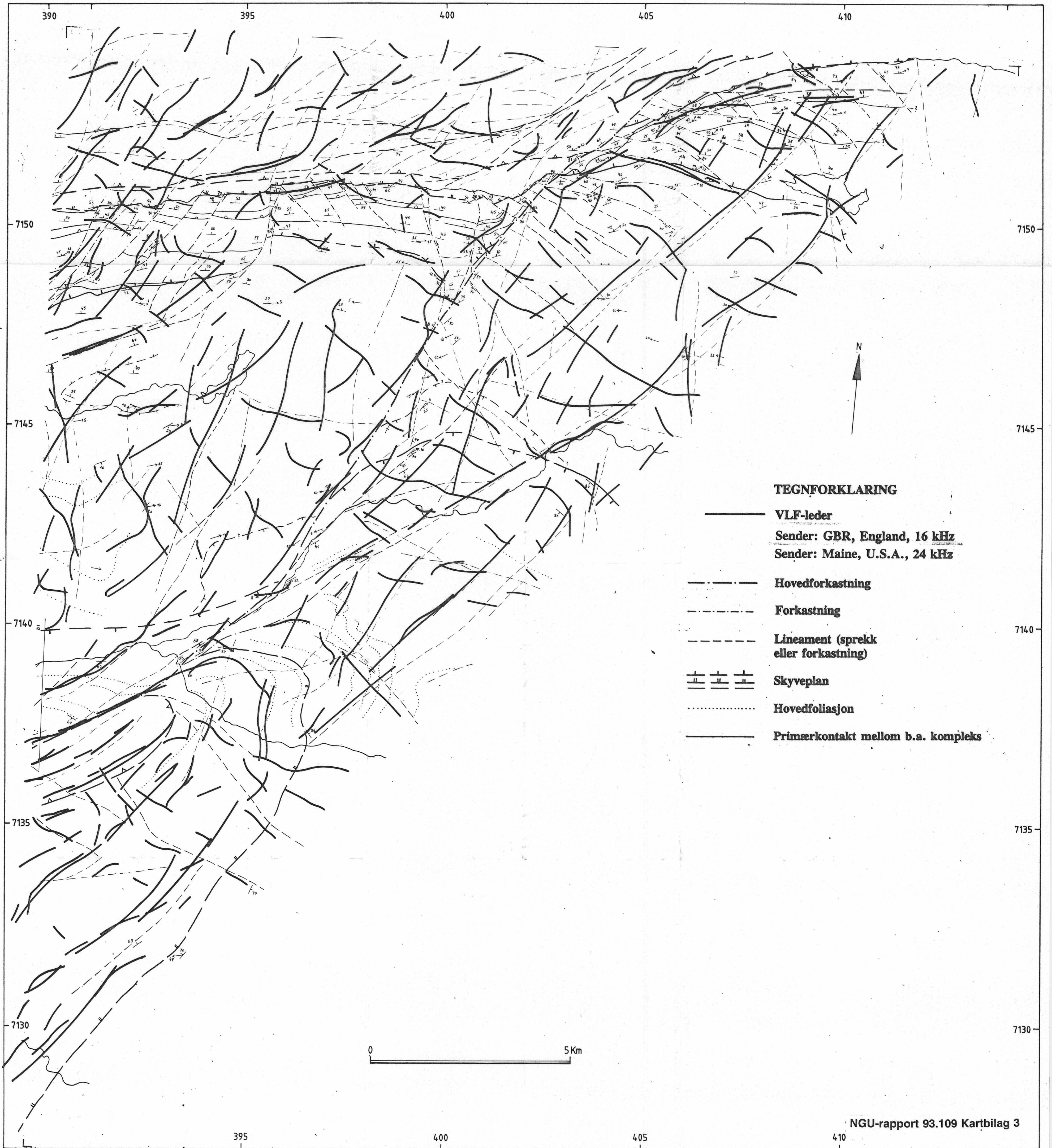


TEGNFORKLARING

— VLF-leder Sender: Maine, U.S.A., 24 kHz



ANDORSJØEN



TEGNFORKLARING

- VLF-leder
Sender: GBR, England, 16 kHz
Sender: Maine, U.S.A., 24 kHz
- - - Hovedforkastning
- - - Forkastning
- - - Lineament (sprekk eller forkastning)
- ≡≡≡ Skyveplan
- Hovedfoliasjon
- Primærkontakt mellom b.a. kompleks