

Rapport 87.023

Forsøksmålinger med NGUs TFEM-
instrument over
Sølvbergsonen på Mofjellet,
Rana, Nordland



Norges geologiske undersøkelse

Leiv Eirikssons vei 39, Postboks 3006, 7001 Trondheim - Tlf. (07) 92 16 11
Oslokontor, Drammensveien 230, Oslo 2 - Tlf. (02) 50 25 00

Rapport nr. 87.023	ISSN 0800-3416	Åpen/Pottrolig til XXXXXXXX	
Tittel: Forsøksmålinger med NGUs TFEM-instrument over Sølvbergsonen på Mofjellet			
Forfatter: Jan Steinar Rønning		Oppdragsgiver: NGU - Prospektering A/S	
Fylke: Nordland		Kommune: Rana	
Kartbladnavn (M. 1:250 000) Mo i Rana		Kartbladnr. og -navn (M. 1:50 000) 1927 I Mo i Rana 2027 IV Storforshei	
Forekomstens navn og koordinater: Mofjell vest 4650 73530		Sidetail: 47	Pris: kr. 90,-
Kartbilag: 1			
Feltarbeid utført: 20.-25.08.86	Rapportdato: 16.03.1987	Prosjektnr.: 1921.00.32	Prosjektleder: Jan S. Rønning
Sammendrag: <p>I forbindelse med utprøvingen av NGUs TFEM-instrument er det utført forsøksmålinger på Mofjellet. Hensikten med målingene var primært å sammenligne resultatene oppnådd med dette instrumentet med resultatene fra NGUs turammålinger i feltet. Derneft var det av interesse å studere Sølvbergsonens forløp mot vest.</p> <p>Målingene viser at energiseringsmetoden har avgjørende betydning for resultatet av målingene. Med samme energisering som ved turammålingene indikeres de samme lederne, og en får i tillegg detaljinformasjon som letter tolkningsarbeidet. Målinger i frekvensdomenet ved 25 Hz har gitt spesielt viktige detaljer. Målingene avgrenser Sølvbergsonen mot vest, men nordlige og sørlige begrensning kan ikke fastlegges lengst vest i feltet.</p>			
Emneord	Elektromagnetisk måling		
Geofysikk	Malmforekomst		
Bakkemåling	Fagrapport		

INNHold

	Side
1. INNLEDNING	4
2. KONKLUSJONER	4
3. MÅLEMETODE OG UTFØRELSE	5
4. RESULTATER OG DISKUSJON	6
4.1. Profil 46200 induktivt	7
4.2. Profil 45400 induktivt	9
4.3. Profil 44600 induktivt	10
4.4. Profil 44600 konduktivt	12
4.5. Profil 44200 og 44000 konduktivt	15
5. REFERANSER	18

TEKSTBILAG

Bilag 1: Kort instrumentbeskrivelse m/3 figurer

FIGURER

Figur 1- 4: V0 og H0, V1-V7, H1-H7, Re og Im 25 Hz, Profil 46200 Induktivt
Figur 5- 8: ----"----, --"--, --"--, ----"-----, profil 45400 ----"----
Figur 9-12: ----"----, --"--, --"--, ----"-----, Profil 44600 ----"----
Figur 13-16: ----"----, --"--, --"--, ----"-----, Profil 44600 Konduktivt
Figur 17-20: ----"----, --"--, --"--, ----"-----, Profil 44200 ----"----
Figur 21-24: ----"----, --"--, --"--, ----"-----, Profil 44000 ----"----

KARTBILAG

87.023-01: TFEM-målinger, Oversiktskart

1. INNLEDNING

I forbindelse med utprøvingen av NGUs nye TFEM-utrustning ble det gjort forsøksmålinger over Sølvbergsonen på Mofjellet, Rana kommune i Nordland. NGU har i perioden 1982 til 1986 utført tradisjonelle turammålinger i feltet (Dalsegg 1982, 1983, 1984 og 1985).

Hensikten med TFEM-målingene var primært å sammenligne dette instrumentet med NGUs Turamutrustning for å se om den nye teknologien kunne gi noe mere informasjon. På Mofjellet er det påvist flere ledende strukturer, og sammenfallende anomalier fra disse kombinert med økende dyp gjorde etter hvert vanskelig å tolke den vestlige avgrensningen av Sølvbergsonen ved turammålinger. En spesiell problemstilling ved TFEM-målingene ble derfor å se om de forskjellige kanalene kunne gi en klarere avgrensning av Sølvbergsonen mot vest. Målingene ble utført i samarbeid med Harald Elvebakk (NTH/SINTEF), og han var ansvarlig for CSAMT-målinger (SYSCAL EM) som ble utført i samme periode (Elvebakk 1986).

2. KONKLUSJONER

Målingene med NGUs nye TFEM-utrustning på Mofjellet har fremfor alt gitt verdifulle erfaringer når det gjelder måleopplegg. Dette gjelder spesielt valg av energiseringsteknikk, men også hvordan målingene bør utføres i forhold til kabelutlegg.

Målinger med induktiv energisering har ikke gitt anomalier på Sølvbergsonen ved kanalene i tidsdomenet. Målinger i frekvensdomenet ved 25 Hz har imidlertid vist kantstrømmer som viser at Sølvbergsonen er en nær horisontalliggende plate. Dette er en viktig informasjon da turammålinger med konduktiv energisering gir anomalier som uten tilleggsinformasjon ville blitt tolket som to ledere.

Målinger med induktiv energisering har gitt anomalier på de samme lederne som turammålingene indikerer. TFEM-målingene har gitt flere detaljer som gjør tolkningene sikrere og som gjør en i stand til å studere de relative ledningsevneforhold. Målingene i frekvensdomenet gir i tillegg indikasjoner som kan tolkes å være forårsaket av igjenstående malm i gruva.

Nærmere studie av Sølvbergsonens forløp mot vest indikerer at denne avsluttes ved eller like øst for profil 44200, noe som bekreftes av boringer. I likhet med turammålingene kan en ikke i feltets vestlige del fastlegge Sølvbergsonens nordlige og sørlige avgrensning med TFEM-målingene. Til dette er ledergeometrien i feltet for komplisert.

3. MÅLEMETODE OG UTFØRELSE

NGUs TFEM-instrument er utførlig beskrevet i en forskningsrapport (Qian 1986). En kortfattet beskrivelse er gitt i bilag 1.

Ved målingene på Mofjellet ble det benyttet to kabelsløyfer (Loop 1 og 2) og et induktivt utlegg som energisering. Tegning 87.023-01 (fra Dalsegg 1984) viser størrelse og beliggenhet for de forskjellige utleggene. Det induktive utlegget har den østlige jordingen direkte i Sølvbergsonen 250 meter nede i DBH 8503, mens den andre elektroden var etablert i bekk ved Åga ca. 6 km lengre vest.

Profilene 46200 og 45400 ble målt med induktiv energisering (Loop 1) (se tegning 87.023-01). Profil 44600 ble målt med både induktiv og induktiv energisering (Loop 2) mens profilene 44200 og 44000 bare ble målt med induktivt utlegg. I tillegg til disse målingene var det planlagt målinger med induktiv energisering med "fri" jording på bakken. På grunn av mye kabelfeil og at en

valgte å studere avslutningen av Sølvbergsonen mot vest ble det ikke tid til å utføre slike målinger.

Kabelarbeidet ble hovedsakelig utført av ansatte i Prospektering A/S, mens målingene ble utført av Harald Elvebakk fra NTH/SINTEF og Jan S. Rønning fra NGU. Data ble samlet i perioden 2. til 25. august 1986. Effektiviteten ble sterkt redusert på grunn av kabelbrudd, store avstander med mye gåing, instrumentproblemer og at det måtte utføres turam borhullsmålinger i samme periode. Under normale forhold ble det målt ca. 12 stasjoner pr. time.

4. RESULTATER OG DISKUSJON

Måledata presenteres som profilkurver i figurene 1 til 24. For hvert profil presenteres 4 figurer som konsekvent utgjør V0 og H0, V1-V7, H1-H7 og Realdel og Imaginærdel for målingene i frekvensdomenet. V0 er normalisert mot beregnet teoretisk felt fra kabelutlegg og slik at første punkt er satt lik 1. H0 presenteres ukorrigert i uV. De transiente kanalene er multiplisert med bestemte faktorer (angitt i figurene) og presentert samlet med samme oppløsning langs Y-aksen. Realdel og Imaginærdel for målinger i frekvensdomenet er beregnet ut fra kanalene V8 og V9, og normalisert mot beregnet teoretisk felt fra de aktuelle kabelutlegg.

Som en generell kommentar kan en si at de fleste anomalier kommer frem som forårsaket av samlestrømmer uansett om energiseringen er konduktiv eller induktiv. I følge tradisjonen er dette ikke uvanlig så lenge horisontale ledere som det her er snakk om ligger dypt i forhold til avstand fra kabelutlegg (Singsaas 1987).

4.1. Profil 46200 induktivt

Profil 46200 er målt med induktiv energisering (Loop 1). Normalisert vertikalfelt V0 (se figur 1) viser en stegvis svekning av feltet fra koordinat 24100 og nordover. Det indikeres her tre ledere, den første lokalisert ved koordinat 24250, den andre ved 24700 og den siste ved ca. koordinat 25075. Disse tilsvarer henholdsvis sone 3 og 4, Sølvbergsonen og Breifonnsønen (se tegning 87.023-01). Dypet til sone 3 synes å være ca. 100 m, mens dypet til Sølvbergsonen er noe vanskelig å tolke på grunn av påvirkning fra andre ledere. Breifonnsønen ligger åpenbart dagnært. I tillegg til de tre nevnte lederne indikeres en grunn ubetydelig leder ved ca. koordinat 24750. Denne kommer ikke frem på turammålingene noe som trolig har sammenheng med et bredere frekvensspekter på kanal V0 ved TFEM-målingene.

Plott av primært horisontalfelt H0 (figur 1) er dominert av høye verdier nært kabelen, med en gradvis svekning mot nord. Årsaken til dette forløpet ligger i en kombinasjon av topografisk effekt og geometrisk svekning av primærfeltet. Det er mulig å korrigere for den topografiske effekten, men dette forutsetter eksakt kjennskap til kabelutleggets og målestasjonenes høyde. I likhet med kanal V0 indikeres en grunn ubetydelig leder ved koordinat 24750.

Vertikale transiente kanaler V1 til V7 er vist i figur 2. Bortsett fra en mulig grunn leder nært kabelen (ca. koordinat 23950?) viser kanal V1 ingen anomali. Kanalene V2 til V7 viser anomalier i området 24000 til 24300, og det synes klart at det her er et samspill mellom flere ledere noe som gjør anomaliforløpet uregelmessig. En kan øyne en strømkonsentrasjon ved koordinat 24250 (kanal V3 og delvis V4), og dette tilsvarer sone 3 (se tegning 87.023-01). Tolkning av dyp synes her vanskelig. Ved de senere kanalene (spesielt V5) trekkes anomalien mot sør, og det er klart at sone 4 får mere innflytelse på anomalibildet. Dypet til strømkonsentrasjonen kan her tolkes til ca. 125 m. Det mest interes-

sante med disse målingene var å studere om Sølvbergsonen kunne påvises med induktiv energisering. Noen klar anomali kan en ikke si sonen har gitt, men kanalene V4, V5 og V6 indikerer en svekning i feltet i det aktuelle området (ca. koordinat 24750). Til tross for horisontaltliggende plate og induktiv energisering kan ikke platens kanter leses ut fra denne anomalien. Dybdetolkning er også usikker. Breifonnsjonen gir ingen klare anomalier på de vertikale transientkanalene.

Horisontale transiente kanaler H1 til H7 er vist i figur 3. H1 og delvis H2 gir anomalier nært kabelen som svekkes mot nord. Dette tolkes som en anomali som skyldes relativt god ledningsevne i forvitret dagnær berggrunn. Svekingen skyldes en gradvis svekning i primærfeltet. Kanalene H3 til H6 viser anomalier i området 24000 til 24300. Som tidligere drøftet skyldes disse et samspill mellom sonene 3 og 4. I det aktuelle området for Sølvbergsonen viser kanalene H3, H4 og H5 kunstig høyt felt, og det synes klart at en her har en leder på dypet. Kanal H7 er beheftet med støy, men en kan likevel antyde ledere ved koordinatene 24950 og 25100 hvorav den siste tilsvarer Breifonnsjonen.

Reellkomponenten ved målingene i frekvensdomenet (25 Hz) er dominert av en markert bunn mellom koordinatene 24500 og 24900 (figur 4). Dette tolkes som å være forårsaket av kantstrømmer (tur-returstrømmer) i den nær horisontalt liggende Sølvbergsonen. Kantene lokaliseres til ca. koordinatene 24550 og 24875, noe som er i bra samsvar med turammålingene (se tegning 87.023-01) og diamantboringene. Nordlige kant ligger klart grunnere enn sydlige, men et eksakt dyp kan ikke angis på grunn av at anomaliene fra de to strømkonsentrasjonene overlapper hverandre. Grovt kan en anslå dypet til sydlige kant og nordlige kant til henholdsvis større enn 200 og 100 meter. Realdelen gir ingen klar anomali på ledersystemet 3/4, noe som trolig skyldes relativt dårlig ledningsevne. Imaginærkomponenten langs profilet viser anomalier på tre soner hvorav de to første kan tilskrives ledersystemet 3/4 (koord. 24250) og Sølvbergsonen (koord. 24700).

Den tredje anomalien lokaliseres til ca. koordinat 25000, og kan være forårsaket av en påvist leder øst for profil 46200 (se tegning 87.023-01).

4.2. Profil 45400 induktivt

Profil 45400 er målt med samme induktive energisering som profil 46200 (Loop 1, se tegning 87.023-01). Uregelmessigheter på V0 (se figur 5) ved koordinat 23900 skyldes trolig nordre del av kabelsløyfen, men kan også være forårsaket av en grunn leder (jfr. turammålingene). Som for profil 46200 indikeres leder-systemet 3/4 med en anomali ved ca. koordinat 24200, men anomalien her er svakere. Noen klar anomali på Sølvbergsonen kan ikke påvises, derimot kommer Breifonnsønnen klart frem med en grunn anomali ved ca. koordinat 24975.

Primært horisontalfelt H0 (figur 5) er plottet med motsatt fortegn sammenlignet med profil 46200. Kurveforløpet er styrt av de samme effekter som for profil 46200 og det kan ikke leses ut noen anomalier på lederne.

Vertikale transiente kanaler V1 til V7 er vist i figur 6. Profilet er målt over den nordlige del av kabelutlegget og alle kanalene viser negative anomalier i forbindelse med dette. Profilene domineres for øvrig av en markert anomali ved ca. koordinat 24100. Sammenlignet med kanal V0 er dette forskjøvet ca. 100 m mot sør. Årsaken til dette er noe uklar. I motsetning til profil 46200 kan det ikke påvises anomalier over Sølvbergsonen.

I likhet med kanalene V1 til V7 gir også de tre tidligste horisontale transiente kanalene negative anomalier over nordre del av kabelutlegget (figur 7). Kanal H1 og muligens H2 gir anomalier som kan tilskrives relativt god ledningsevne i forvitret dagnært fjell. Kanalene 3, 4, 5 og delvis 6 gir klare anomalier sentrert

rundt koordinat 24100. Disse bekrefter lokaliseringen fra vertikalkanalene. De øvrige lederne påvist ved turammålinger (Sølvberg og Breifonn) gir ikke anomalier på de horisontale transiente kanalene.

Realdelen av målingene i frekvensdomenet (figur 8) viser nær det samme anomaliforløpet som ved profil 46200. En bunn i kurveforløpet mellom koordinatene 24500 og 24850 tolkes å være forårsaket av kantstrømmer i Sølvbergsonen. Denne anomalien er ikke så utpreget her som på profil 46200. Eksakt lokalisering av kantene og tolkning av dyp er vanskelig på grunn av uregelmessig kurveforløp og innbyrdes påvirkning av anomaliene. Uregelmessighetene i starten av profilet har klart sammenheng med ledersystemet 3/4, men en klar tolkning av dette er umulig å gi. En svekning av reellkomponenten mot slutten av profilet skyldes trolig Breifonnsonen. Imaginærkomponenten synes å gi tre anomalier på samlestrømmer ved ca. koordinatene 24250, 24700 og 25000, og disse tolkes til å være forårsaket av ledersystemet 3/4, Sølvbergsonen og Breifonnsonen.

4.3. Profil 44600 induktivt

Profil 44600 er målt både med induktiv energisering (Loop 2) og konduktiv energisering med jording direkte i Sølvbergsonen 250 meter nede i BH 8503. Målinger med Loop 1 gav ikke klare anomalier på Sølvbergsonen, og for å undersøke om kabelsløyfens beliggenhet kunne ha avgjørende betydning på resultatet av målingene ble "Loop 2" flyttet nærmere sonen.

Kanalene V0 og H0 (figur 9) er begge dominert av effekter fra kabelutlegget, og viser ingen klare anomalier på ledende soner. Kanal V0 er normalisert som vanlig mot teoretisk felt i de enkelte punktene. En slik normalisering vil nært kabelen være meget følsom på avstandsfeil, og det er mulig at en mer eksakt

innmåling av målestasjoner og kabelsløyfe kunne gitt bedre resultat. Kurveforløpet for kanal H0 synes som tidligere diskutert å være styrt av topografiske og geometriske effekter. Et sprang i V0 fra koordinat 24650 til koordinat 24700 skyldes en feil i stikningsnett.

I likhet med målinger over kabelsløyfen på profil 45400 gav også kanalen V1 til V7 på profil 44600 negative anomalier i det nordlige del av "Loop 2" ble passert. Ved presentasjonen av disse data (figur 10) er denne effekten tatt bort (punkt 24350 er sløyfet). På kanal V1 og V2 kan det synes som om punkt 24300 også er påvirket av kabelutlegget. Hva denne effekten skyldes er noe uklart. På det tidspunkt disse kanalene måles er den primære strømmen brutt, og en ser bort fra effekter fra denne. Det kan imidlertid tenkes at sekundære strømmer i bakken induserer tertiære strømmer i kabelutlegget. På Mofjellet med ledende strukturer relativt grunt i bakken vil slike strømmer være utholdende og derved registreres på alle kanalene.

Kanalene V1 og V2 antyder en strømkonsentrasjon ved ca. koordinat 24450, men på grunn av forstyrrelsene på disse kanalene er lokaliseringen usikker. Kanalen V3, V4, V5 og delvis V6 gir klare anomalier ved koordinat 24350. Dypet kan tolkes til ca. 150 meter og dette er i samsvar med funn av grafitt i BH 8601 ved tilsvarende dyp. Heller ikke disse målingene gir anomalier på Sølvbergsonen, dette til tross for flytting av kabelsløyfe. Det indikeres en grunn leder ved koordinat 24000, men eksakt lokalisering av denne er usikker på grunn av kabelsløyfens beliggenhet. Breifonnsonen gir meget svake indikasjoner ved koordinat 24975. Kanal V7 er generelt beheftet med støy, og spesielt over kabelutlegg.

Horisontale transientkanaler (figur 11) gav også forstyrrelser over kabelutlegget, og disse er tatt bort. H1 og H2 gir anomalier som kan tilskrives ledende overdekke (forvitret fjell). De øvrige kanalene gir klare anomalier på en relativt dyp leder

sentrert om koordinat 24350 som for vertikalkanalene. Grunne ledere ved starten av profilet gir negative horisontalanomalier, noe som skyldes at energiseringen er styrt av motsatt rettet primærstrøm i kabelsløyfens sydlige del. Denne anomalien er noe forskjøvet i forhold til indikasjonene på vertikale transientkanaler, og årsaken til dette er ikke kjent. Det gis ikke klare indikasjoner på Sølvbergsonen og heller ikke på Breifonnsonen.

Frekvensdomenetmålingene (25 Hz) med induktiv energisering langs profil 44600 (figur 12) er forstyrret av en rekke forhold som gjør det umulig å trekke ut informasjon. Ved kryssing av kabelutlegget oppstår problemer ved normaliseringen, og dette gir spesielt uheldige effekter på Reellkomponenten. Av denne grunn er punkt 24350 sløffet, men det synes klart at nabopunktene også er påvirket, sannsynligvis på grunn av avstandsfeil. Sprang i verdiene fra koordinat 24650 til 24700 skyldes før omtalte uregelmessighet i stikningsnettet. Det er mulig å korrigere for dette, men det forutsetter ny eksakt innmåling av målepunktene. Uregelmessighet ved koordinat 24850 skyldes trolig en feil avlesning. Denne gjør seg også utslag i imaginærkomponenten, som heller ikke gir interessante anomalier.

4.4. Profil 44600 konduktivt

Målinger langs profil 44600 med konduktiv energisering viser et langt bedre resultat enn med induktiv energisering. Kanal V0 (figur 13) indikerer klart fire ledere, og dette er de samme som er kommet frem ved NGUs turammålinger. Første anomali kommer på grunn leder ved koordinat 23975. Bortsett fra et støypunkt som skyldes kabelsløyfen som ligger på bakken (men som ikke brukes) gir leder nummer to en klar uforstyrret anomali. Dypet til denne lederen kan tolkes til ca. 125 meter. Strømkonsentrasjon nummer tre (koordinat 24600) faller sammen med Sølvbergsonen. Denne anomalien er noe uregelmessig, bl.a. på grunn av feil i stiknings-

nett ved koordinat 24700. Breifonnsønen gir den fjerde anomalien ved koordinat 24975, og denne påvirker anomalien fra Sølvbergsonen. Av denne grunn er det vanskelig å tolke eksakt dyp, men dette synes å ligge i størrelsesorden 250 m, noe som stemmer bra med resultatene fra diamantboringene. Breifonnsønen synes å ligge grunt.

Primært horisontalfelt (figur 13) er plottet med feil fortegn, og må derfor sees opp ned. I likhet med kanal V0 indikeres 4 ledere, men kurven er ikke så lett å tolke. I likhet med tidligere diskusjoner av H0 påvirkes også denne av topografiske og geometriske effekter, og disse overlager anomaliene fra lederne. Kurven er for øvrig påvirket av strømførende kabel (koordinat 23900) og ikke benyttet kabel (koordinat 24350).

Vertikale transiente kanaler (V1-V7) er vist i figur 14. De aller tidligste kanalene V1 og V2 gir ikke vesentlig informasjon. I likhet med kanal V0, men i motsetning til målingene med induktiv energisering viser de øvrige kanalene anomalier på 4 ledende soner. Første anomali indikerer en grunn leder nært inntil kabelen. De øvrige anomalilene kommer ved ca. koordinatene 24200, 24600 og i underkant av 25000 og tilsvarer henholdsvis ledersystem 3/4, Sølvbergsonen og Breifonnsønen. Tolkning av dyp til disse lederne blir som for kanal V0. En viktig detalj på disse transiente kanalene er at de enkelte anomaliene har varierende opptreden på de forskjellige kanalene. Dette gir mer informasjon og gjør tolkningen lettere. Kanalene V3 og V4 domineres av anomalier fra Sølvbergsonen, mens de senere kanalene gir sterkere anomali på ledersystemet 3/4. Ut fra dette kan en slutte at ledningsevnen i ledersystemet 3/4 er bedre, noe som er i samsvar at det i borhull 8601 er funnet grafitt i det aktuelle dyp. Denne separasjonen av anomalier gjør det også lettere å tolke lokalisering og dyp, da anomaliene ikke forstyrres i den grad av nabo-anomalier.

Horisontale transiente kanaler H1 til H7 (figur 15) gir tilsvarende informasjon som kanalene V1 til V7. De samme 4 anomaliene påvises, og samspillet mellom Sølvbergsonen og sone 3/4 er analogt ved at Sølvbergsonen indikeres klarest på kanalene H2, H3 og H4 mens sone 3/4 dominerer de senere kanalene. De to andre lederne (ved kabelutlegget og Breifonnsonen) kommer også klart frem.

Ved induktiv energisering ga ledersystemet 3/4 anomali ved koordinat 24300, mens de konduktive målingene indikerer en leder ca. 150 meter lengre mot sør. Årsaken til dette kan skyldes flere forhold.

- Påviste anomalier ved de to energiseringsmetodene kan skyldes forskjellige ledere (jfr. sone 3 og sone 4, tegning 87.023-01).
- Anomaliene fra sonene 3 og 4 overlapper hverandre og gjør det vanskelig å tolke dyp og posisjon.
- Forskjellig plassering av kabelutlegg kan gi forskjellig lokalisering av en og samme leder.

Målingene i frekvensdomenet ved 25 Hz (figur 16) viser et uvanlig forløp som er vanskelig å tolke. Reellkomponenten starter på ca. 75% av normalfeltet, og dette kan skyldes indikert leder under kabelutlegget (se tegning 87.023-01). Kurven stiger mot koordinat 24200 for deretter å falle relativt konstant til koordinat 24650. Dette kan indikere en leder, men kan også være forårsaket av en generell relativt høy ledningsevne i berggrunnen. Det faktum at imaginærdelen også faller relativt konstant er i samsvar med det siste. Dette betyr at målingene ved 25 Hz ikke gir anomali verken på ledersystemet 3/4 eller Sølvbergsonen. Fra koordinat 24700 stiger reellkomponenten mens fallet i imaginærkomponenten øker, og dette indikerer at en meget god leder ligger i forlengelsen av profilet. Ved ca. koordinat 25350 krysser profilet en kraftlinje, men det anses som lite sannsynlig at denne er årsak til anomalien. Anomalien kan imidlertid være forårsaket av igjenstående malm i gruva, og dette resultatet er i så fall en god demonstrasjon på hvordan målingene i frekvensdomenet kan utfylle tidsdomenet-målingene.

Sammenlignet med de induktive målingene langs profil 44600 har de konduktive målingene gitt et klart bedre resultat, og dette understreker betydningen av å velge riktig energiseringsutlegg. Konduktive TFEM-målinger har påvist de samme lederne som turammålingene indikerte. Et viktig spørsmål for NGU har vært om TFEM-målingene kunne gi noe mer informasjon enn de tradisjonelle turammålingene. I denne sammenheng var det av interesse å studere om den nye teknologien kunne gi et klarere bilde av Sølvbergsonens nordlige og sørlige begrensnig. Målingene har ikke kunnet avklare dette, men en har fått verdifulle detaljinformasjoner, og renere anomalier på forskjellige kanaler har gitt sikrere tolkninger.

4.5. Profil 44200 og 44000 konduktivt

På det tidspunkt disse undersøkelsene ble gjort var det en del uklarheter angående Sølvbergsonens avslutning mot vest. For å studere dette nærmere ble profilene 44200 og 44000 målt og resultatene fra profil 44600 tilsa at dette måtte gjøres med konduktiv energisering. På grunn av tidspress ble bare deler av 44200 målt.

Primært vertikalfelt V0 på profil 44200 er vist i figur 17. Profilet er noe for kort, men feltsvekningen over Sølvbergsonen er klart lavere her sammenlignet med profil 44600. Dette indikerer at mineraliseringen er klart svekket, eventuelt helt borte, noe som er i samsvar med boringer langs profilet. Kanal V0 viser en klar anomali på Breifonnsønen og dypet til denne har her øket til ca. 100 meter. Også primært horisontalfelt H0 viser klart lavere verdier over Sølvbergsonen.

Vertikale transiente kanaler (figur 18) gir ingen klare anomalier over Sølvbergsonen, og bekrefter derved resultatet fra kanalene V0 og H0. Breifonnsønen indikeres svakt på kanalene V4 til V7.

Kanalene H4 til H7 (figur 19) viser horisontalfeltanomalier ved starten av profilet, men disse skyldes trolig ledersystemet 3/4. Det indikeres ingen klare anomalier over Sølvsbergsonen, og heller ikke over Breifonnsonen. Dette profilet viser et klart høyere støynivå, noe som trolig har sammenheng med nærliggende kraftlinje.

Frekvensdomene-målingene (figur 20) viser det samme forløpet som ved profil 44600 og det vises til tidligere diskusjon.

Kanal V0 profil 44000 (figur 21) viser kun en klar anomali, og denne ligger ved koordinat 24250. Denne representerer forlengelsen av ledersystemet 3/4, og dypet kan her tolkes til ca. 250-300 meter. Usikkerheten skyldes at lederen ligger for nært kabelen, og at det ut fra turammålingene finnes en leder rett under kabelutlegget. Ikke benyttet kabel ved koordinat 24400 gir en liten forstyrrelse. Av grunner diskutert tidligere gir ikke kanal H0 interessant informasjon.

Kanalene V1 til V7 langs profil 44000 (figur 22) indikerer en grunn leder nært kabelen (kanal V3 og V4) og en dypere leder ved ca. koordinat 24250 (kanal V7). Sistnevnte indikasjon kommer noe lengre mot sør på kanal V6, men dette kan skyldes et samspill med den grunnere lederen. Det indikeres ingen anomali i forlengelsen av Sølvsbergsonen. Uvanlige effekter mot slutten av profilet kan ha sammenheng med nærliggende kraftlinje.

Som det fremgår av figur 23 er kanalene H1 til H7 langs profil 44000 beheftet med en del støy. Det indikeres anomalier i profilets første halvdel, men ikke i forlengelsen av Sølvsbergsonen.

Målingene i frekvensdomenet (figur 24) viser samme forløp som ved profil 44600 og det vises til diskusjoner under dette profilet.

Målinger med konduktiv energisering langs profilene 44200 og 44000 har ikke vist anomalier som kan være forårsaket av Sølvs-

bergsonen. Profil 44600 gav klare anomalier, og det synes klart at Sølvbergsonen avsluttes ved eller like øst for profil 44200.

Trondheim, 16. mars 1987
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
Geofysisk avdeling

Jan S. Rønning
Jan Steinar Rønning
forsker

5. REFERANSER

- Dalsegg 1982: Turammålinger Kjempehaia-Reinfjell, Rana, Nordland.
NGU rapport 1927, 18 s, 3 kart (upubl.).
- Dalsegg 1983: Turammålinger Mofjellet-Kjempehaia, Rana, Nordland.
NGU rapport 2098, 17 s, 4 kart (upubl.).
- Dalsegg 1984: Turammålinger i Mofjellet, Mo i Rana, Nordland.
NGU rapport 84.168, 21 s, 7 kart (upubl.).
- Dalsegg 1986: Turammålinger Mofjell vest /Sølvberg, Mo i Rana,
Nordland. NGU rapport 86.178, 12 s, 4 kart (upubl.).
- Elvebakk & Lile 1986: Elektromagnetiske dybdesonderinger SYSCAL-
EM, Sølvbergsonen, Mofjellet. Rapport 86.M.06, Inst. for
Petroleumsteknologi og Anvendt Geofysikk, NTH (upubl.).
- Logn 1986: CP-målinger med jording i borhull 8503 og 8601
(upubl.).
- Qian 1986: NGU TFEM-85. A Time- and Frequency-domain Electro-
magnetic System. Project Research Report. NGU rapport
86.164 (upubl.).
- Singsaas 1987: Personlig meddelelse fra Per Singsaas. Pensjonert
geofysiker ved NGU.

KORT INSTRUMENTBESKRIVELSE NGU TFEM

NGUs TFEM (Time and Frequency domain ElectroMagnetic) er et nytt instrument utviklet ved NGU i perioden 1982-1985. Senderdelen består av en generator (2 kW), en strømforsyning som konverterer AC til DC og selve senderen som er mikroprosessorstyrt. I tillegg til dette kommer kabelutlegg som kan variere i form og størrelse. Mottagersystemet består av 4 spoler, selve mottageren (mikroprosessorstyrt) og en batterikasse.

Prosessoren i mottageren kan utføre følgende funksjoner:

- stiller inn forsterkning i forhold til signalnivå
- kontrollerer og viser målingene
- utfører statistiske beregninger under måling
- utfører instruksjoner gitt av operatøren
- behandler "overflows"
- lagrer data i bobleminne
- overfører data til mikromaskin

Koblingen mellom sender og mottager er etablert ved hjelp av høyfrekvente oscillatorer koblet opp mot tellere både i sender og mottager. Ved å nullstille tellerne ved målingenes start (synkronisering) vet mottageren til enhver tid hvordan strømforløpet er, og kan styre måleprosessen ut fra dette.

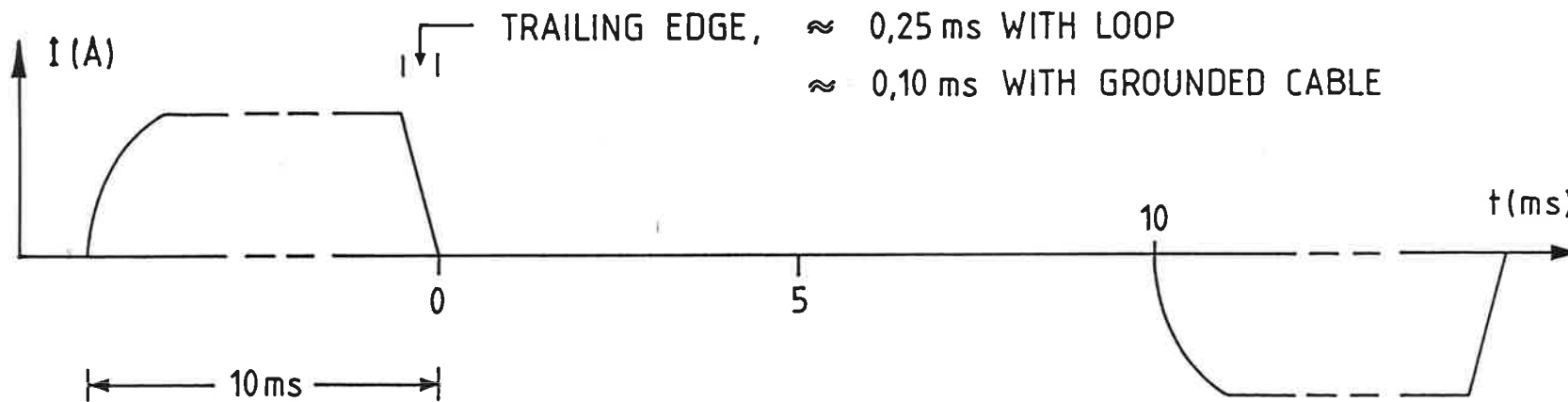
Instrumentet måler 8 vertikale og 8 horisontale kanaler i tidsdomenet. Svært gode ledere kan bli oversett ved transientmålinger, og for å gardere seg mot dette måles to vertikalfeltkanaler ved 25 Hz i frekvensdomenet. Figur B1 viser strømforløpet ut fra sender og hvordan de 16 tidsdomenekanalene måles i forhold til strømpulsene. For å tilfredsstille krav til følsomhet og frekvensrespons måles de fire første kanalene i tidsdomenet i en spole og de fire siste i en annen spole. Dette gjelder både horisontal- og vertikalkomponenten, derfor 4 målespoler. Figur B2 viser hvordan de to frekvensdomenekanalene måles i forhold til strømforløpet. Periodetiden for den utsendte

strømmen er 40 ms, noe som tilsvarer en frekvens på 25 Hz. V8 måles tilnærmet i fase med primærfeltet og V9 tilnærmet ut av fase.

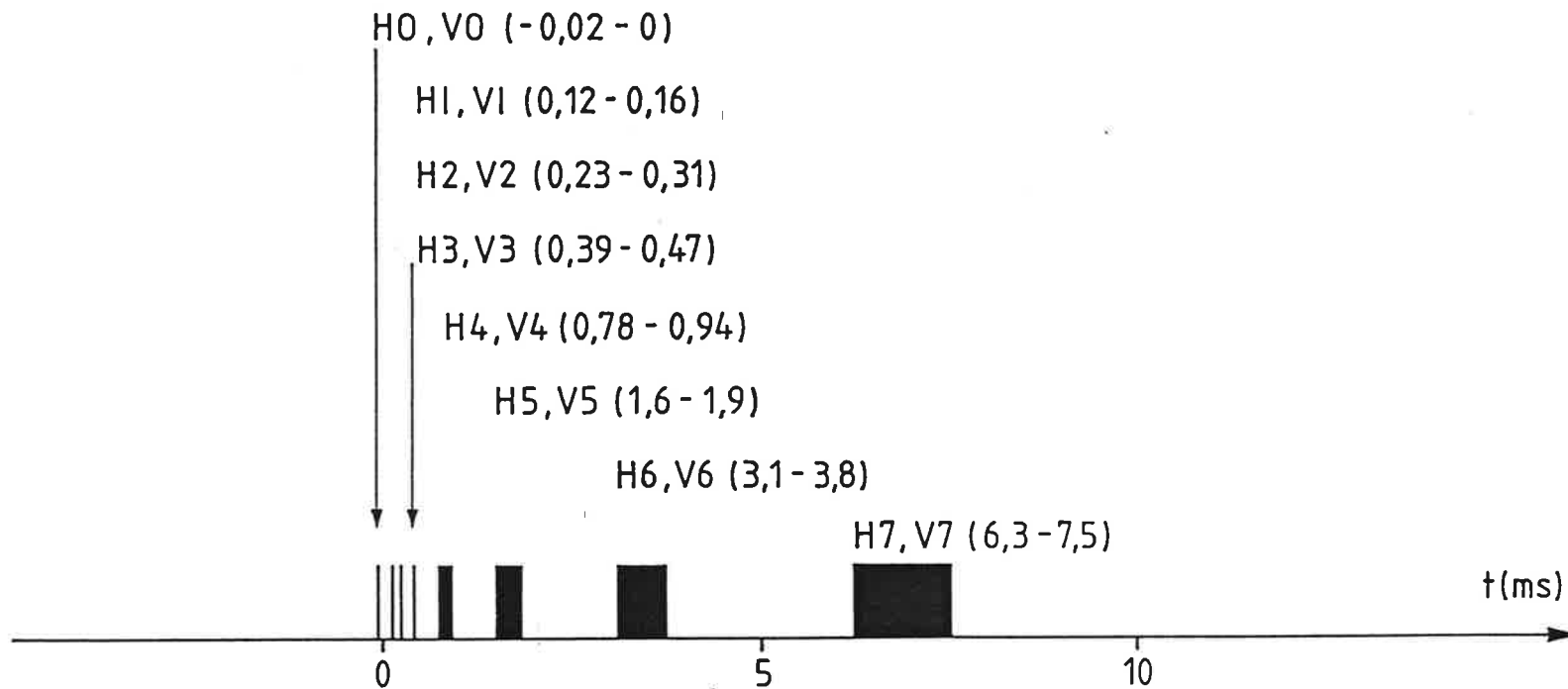
Figur B3 viser datastrømmen fra målespoler frem til presentasjon av data. Hele måleprosessen og all dataoverføring styres av den sentrale prosessoren. Fra målespolene går data via prosessoren til midlertidig lagring i RAM. Under måling utføres kontinuerlige statistiske beregninger, og data overvåkes slik at perioder med mye støy kan vrakes. Antall måleserier kan bestemmes ved å stille krav til standardavvik i de enkelte kanaler, eller ved å sette et øvre tak for antall måleserier. Etter avsluttet måleserie kan beregnede data for alle kanaler listes ut på display for sjekk. Er data OK legges de inn på boblelagret. Etter endt måledag overføres data fra boble via mikroprosessoren til HP85 mikromaskin. Her kan en liste ut måleverdiene og en kan få profilplott av to og to kanaler. Etter endt oppdrag kan data overføres til NGUs hovedanlegg HP3000 for senere prosessering og endelig uttegning. For hver målestasjon blir følgende data lagret i bobleminnet:

- middelvei i 18 kanaler
- usikkerhet i 18 kanaler
- forsterkningskode i 18 kanaler
- antall målesykluser
- informasjon om "overflows"
- tid (måned, dato, time, minutt, sekund)
- koordinator (X,Y)
- senderparametre (strømstyrke, sløyfestørrelse m.m.)

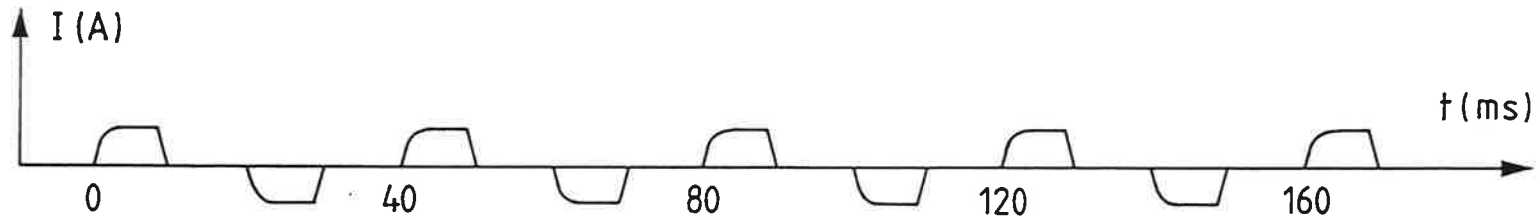
CURRENT TIME, $T = 40 \text{ ms}$ ($f = 25 \text{ Hz}$)



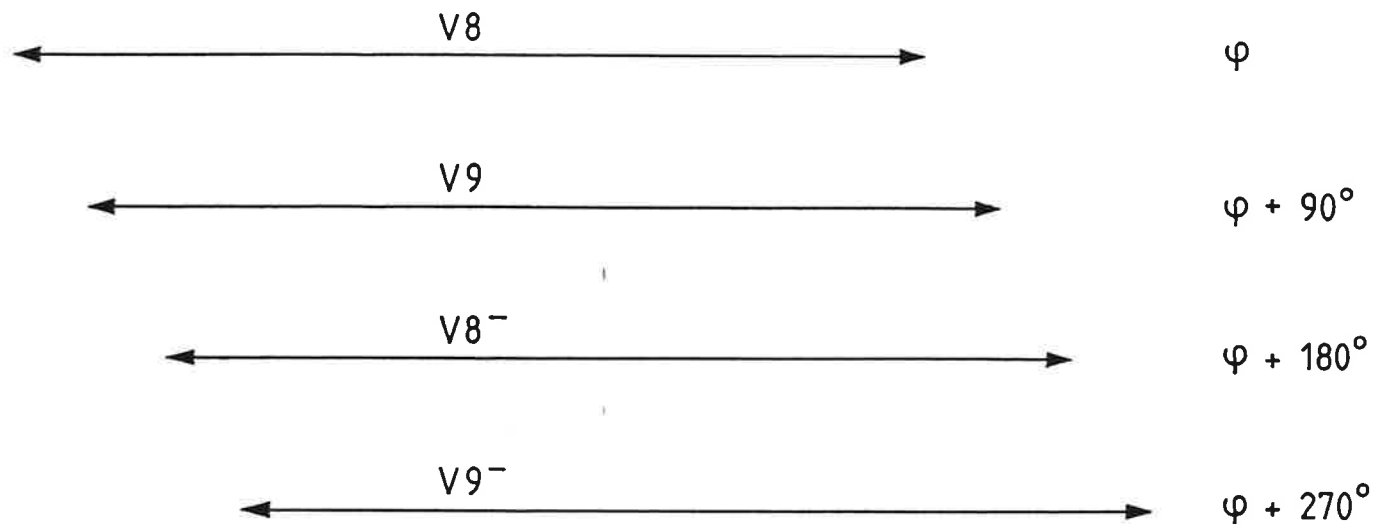
MEASURING TIME (TIME DOMAIN)



CURRENT TIME

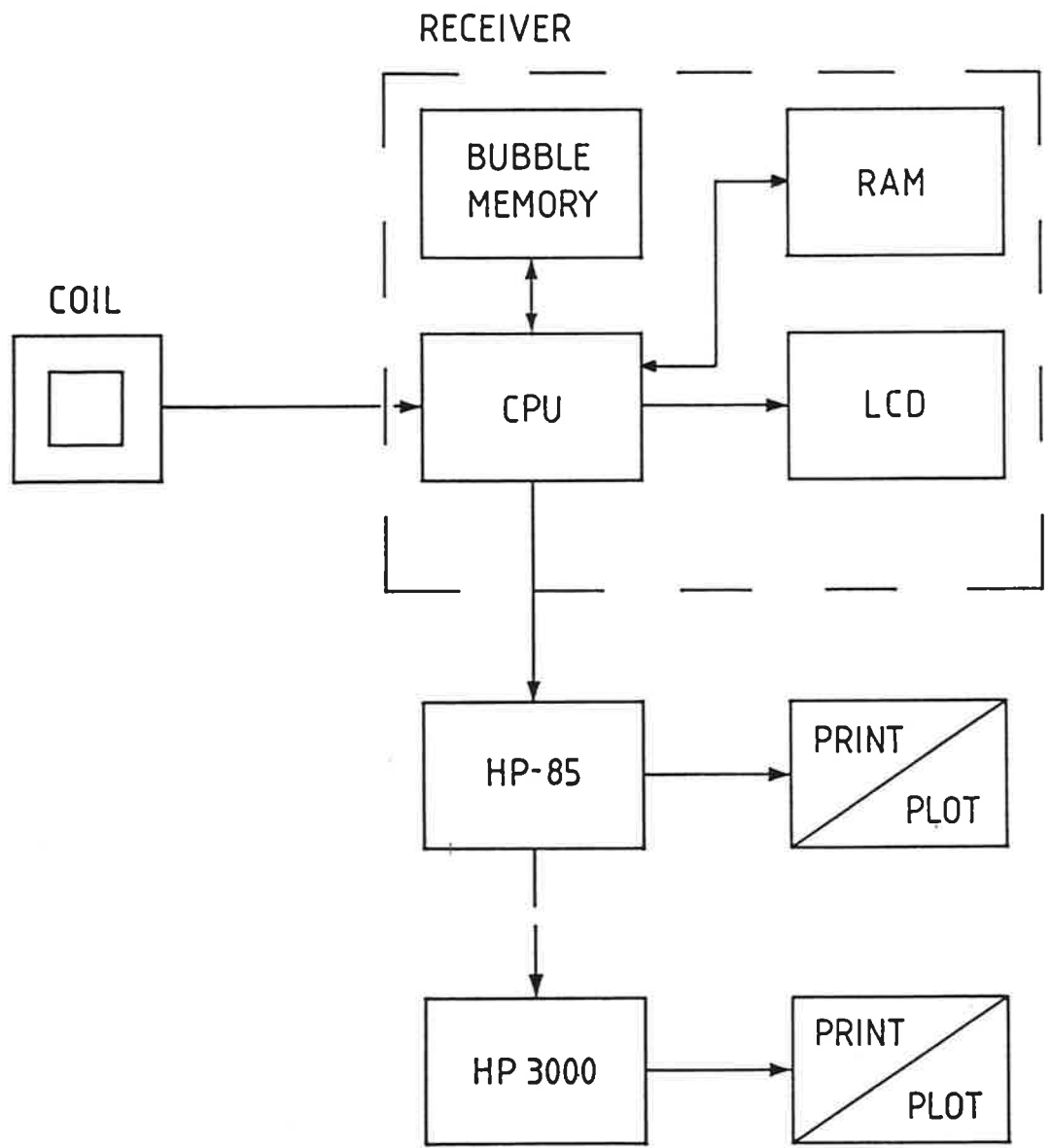


MEASURING TIME (FREQUENCY DOMAIN)



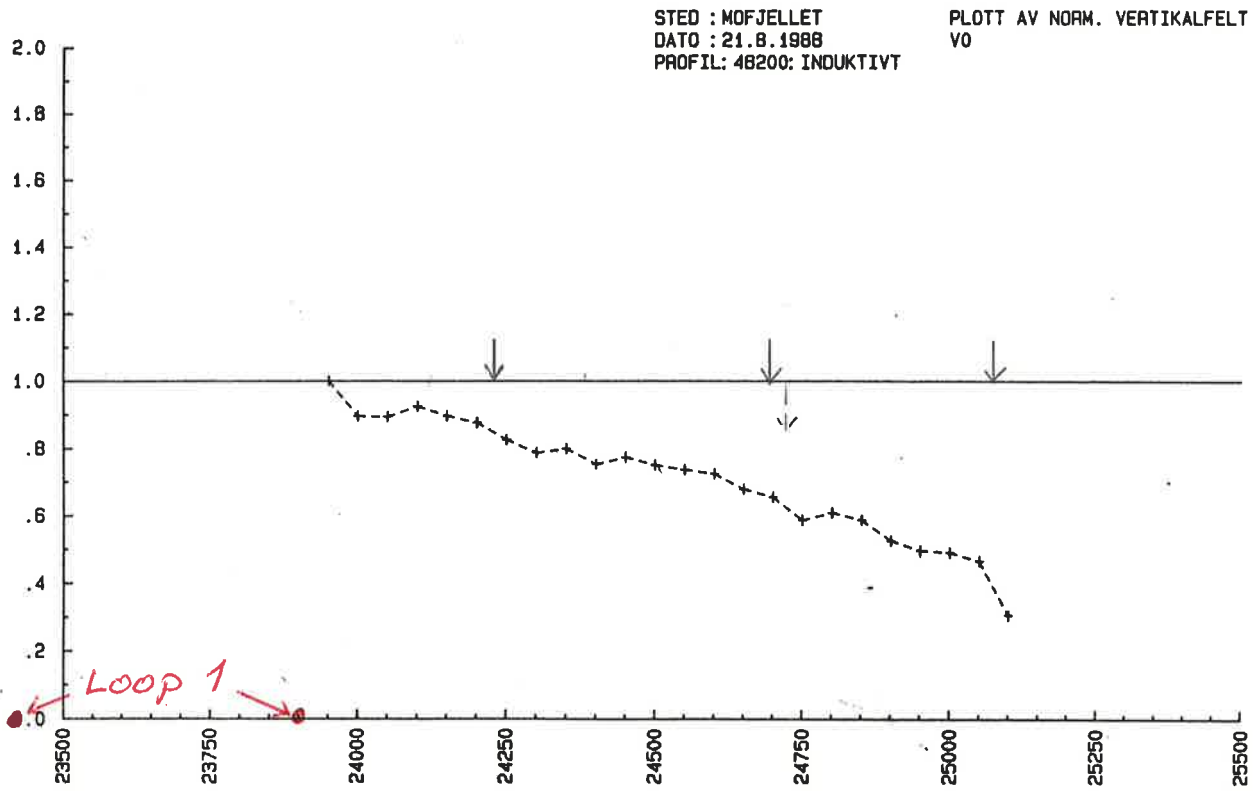
$$V_8 = V_8 - V_8^- \quad (\approx \text{IN PHASE})$$

$$V_9 = V_9 - V_9^- \quad (\approx \text{OUT OF PHASE})$$

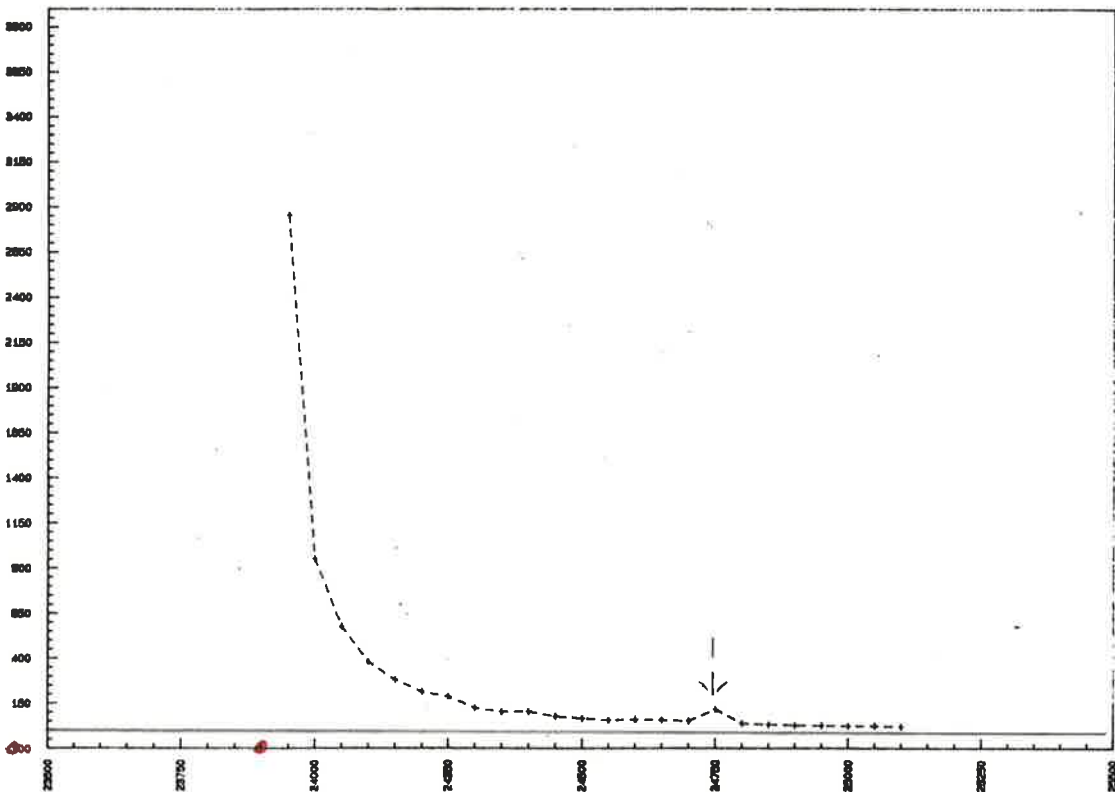


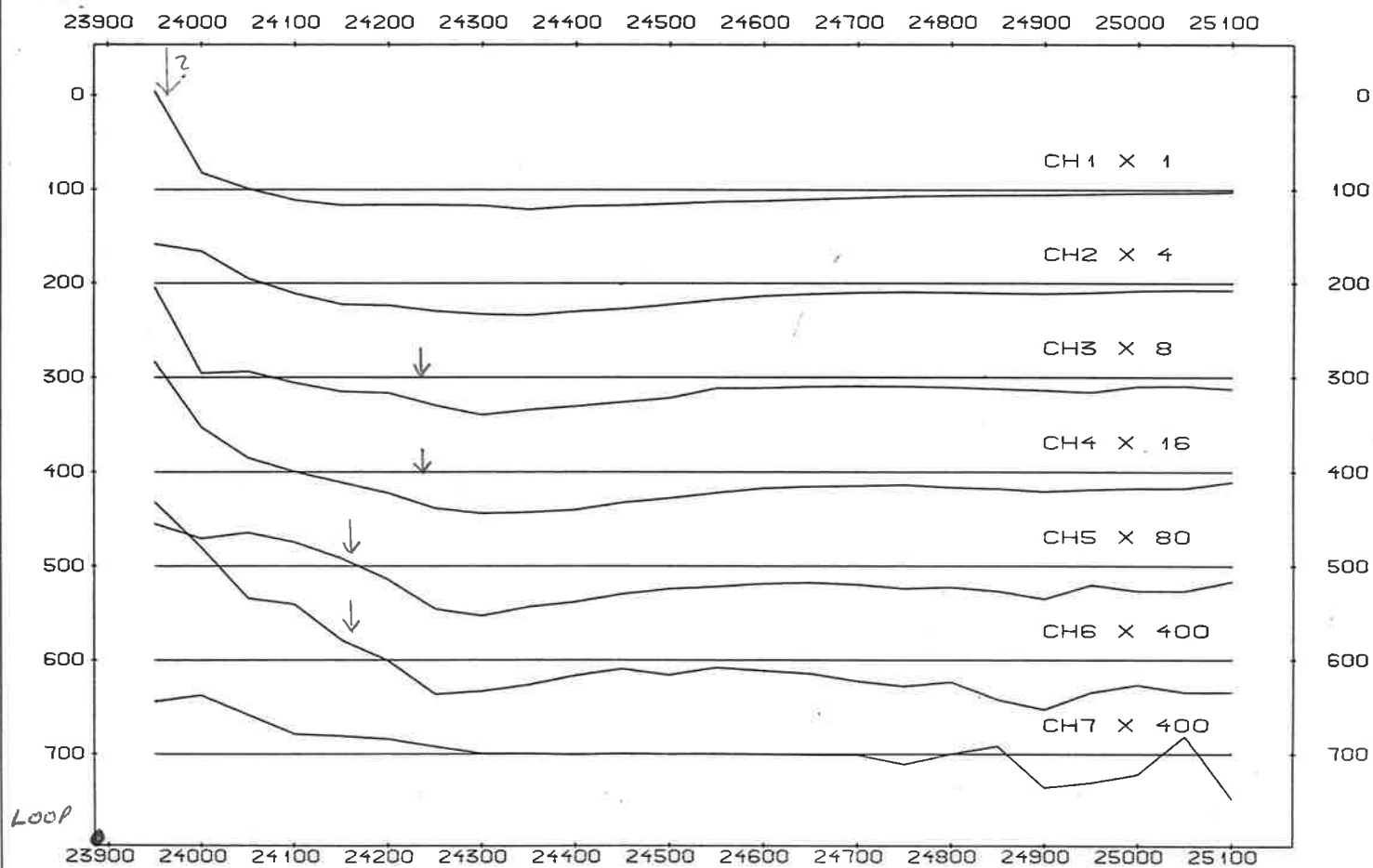
DATA FLOW, SIMPLIFIED BLOCK DIAGRAM

Figur 1



MOFJELLET: DATO 21.6.1986: PROFIL 46200: H0: INDUKTIVT.

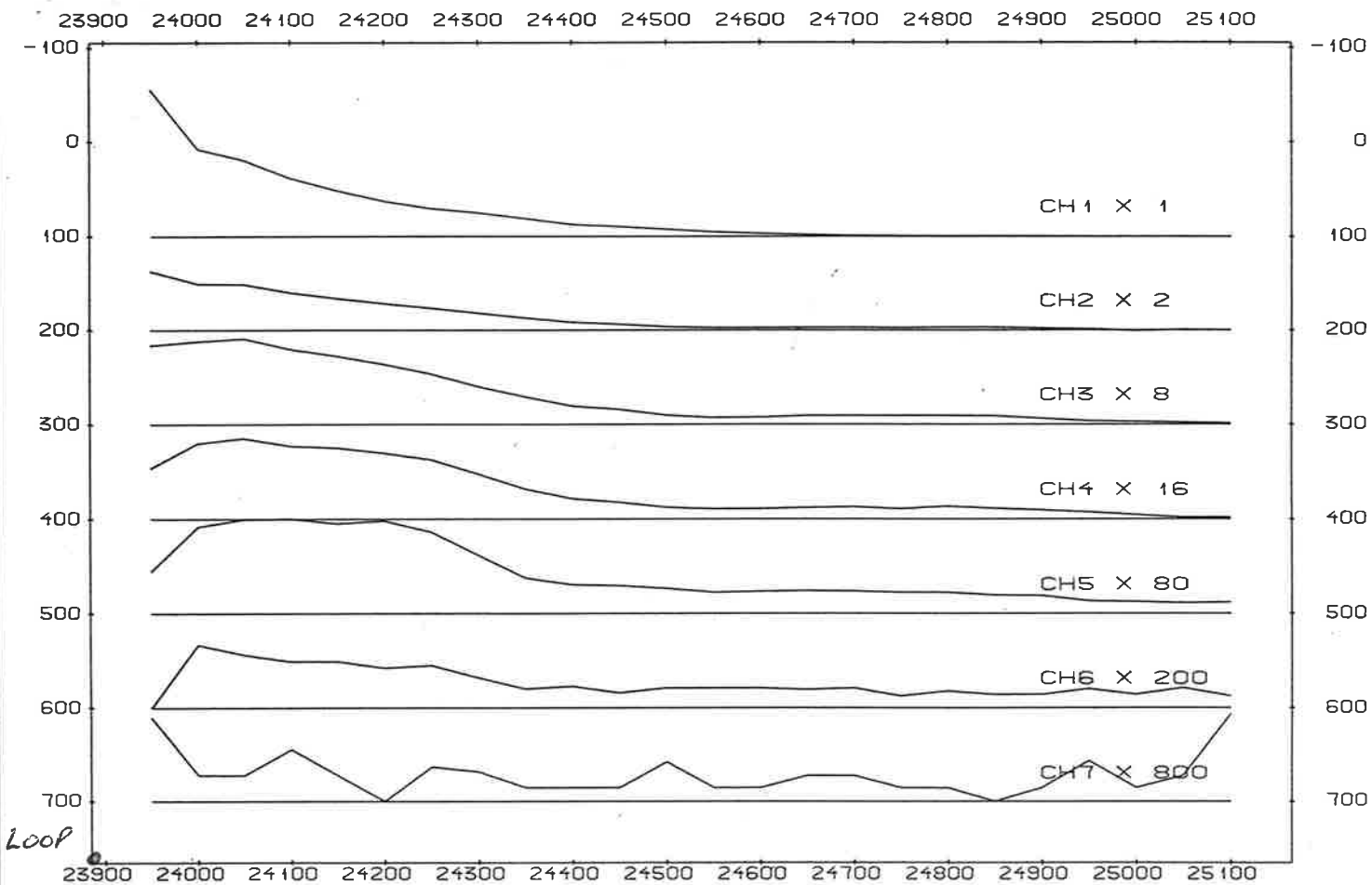




TEM-VERT: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 300.00 UV
 SKJÆRINGSPUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER .00 UV

NGU-ASPRO TEM-VERTIKAL PROFIL 46200, INDUKTIVT. MOFJELLET RANA, NORDLAND	MÅLESTOKK	OBS. JSR	AUG 1986
		TEGN.	NOV 1986
		TRAC.	
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR.	
		1927 I	

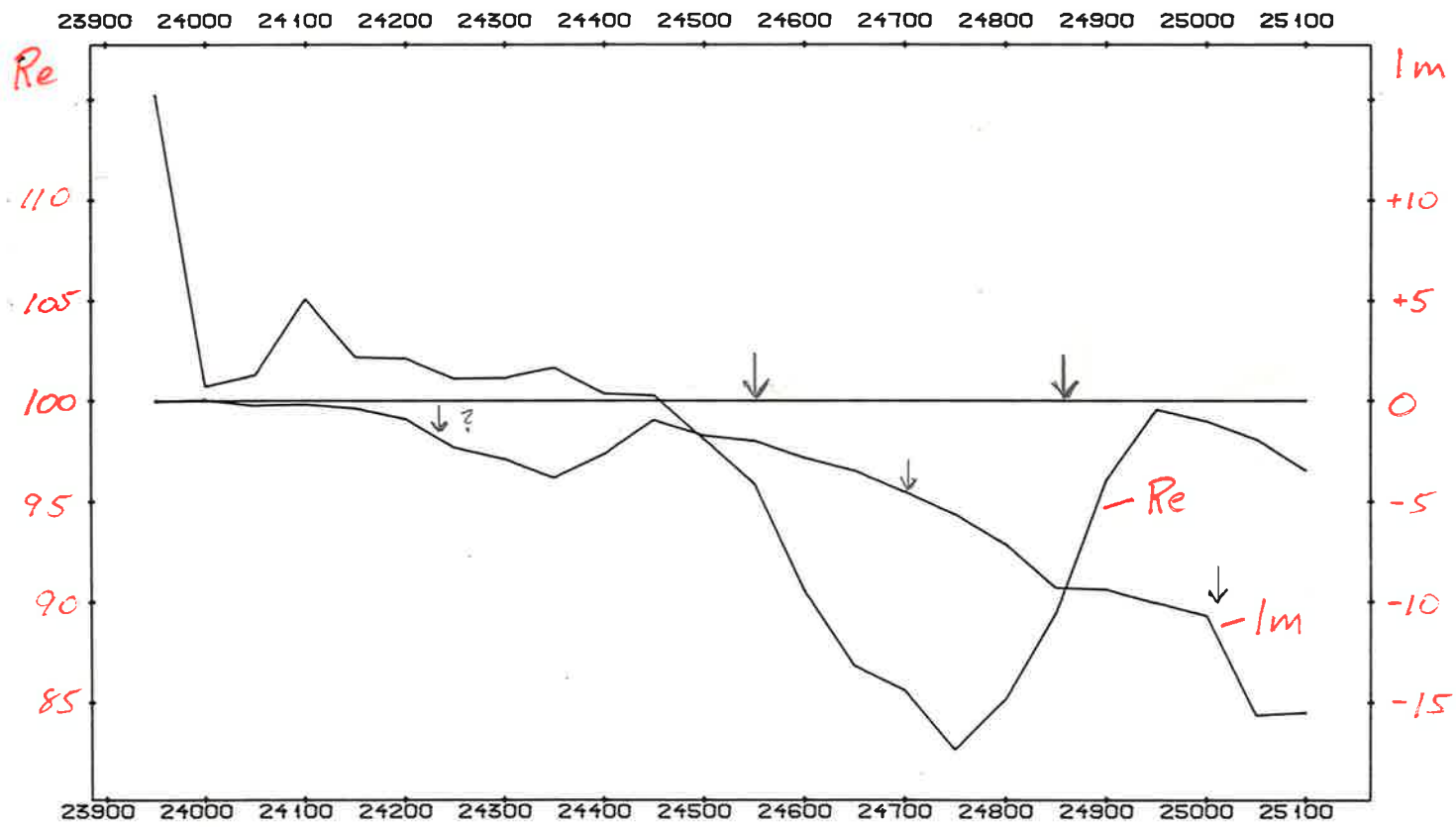
Figur 2



TEM-HOR.: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 300.00 UV
 SKJÆRINGS-PUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER .00 UV

NGU-ASPRO TEM-HORISONTAL, PROFIL 46200, INDUKTIVT, MOFJELLET RANA, NORDLAND	HÅLESTOKK	OBS. JSR	AUG 1986
	MOFJELLET	TEGN.	NOV 1986
		TRAC.	
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR. 1927 I	

Figur 3



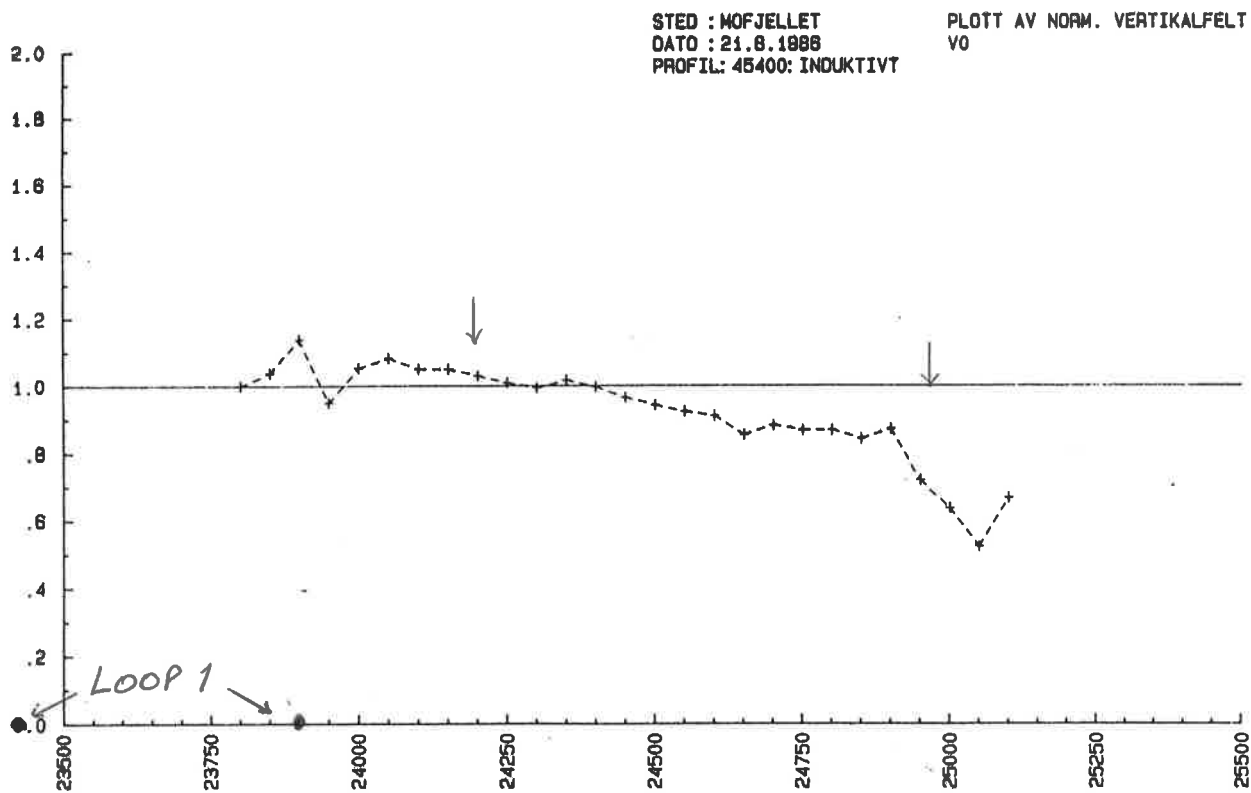
Re 25 Hz: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 2.50 :
 SKJÆRINGSPUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER 100.00 :

Im 25 Hz: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 2.50 :
 SKJÆRINGSPUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER .00 :

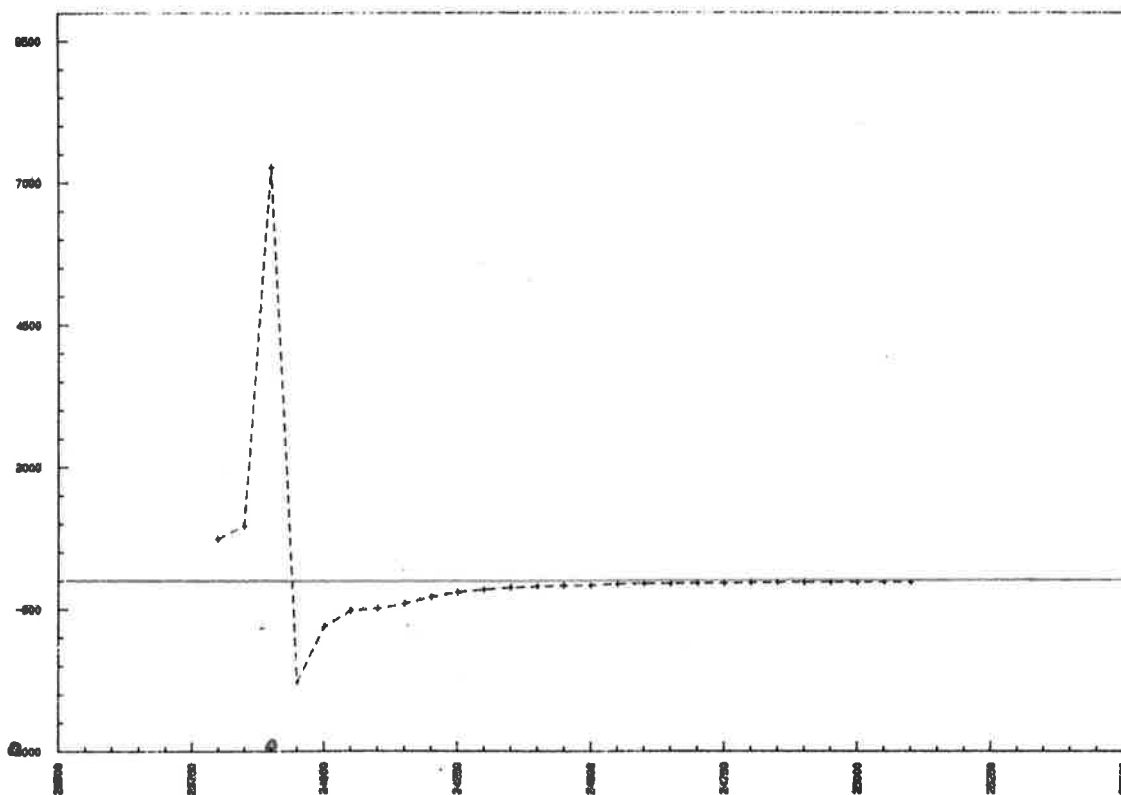
NGU - ASPRO FDEM 25 Hz, PROFIL 46200, INDUKTIVT MOFJELLET RANA, NORDLAND	MÅLESTOKK	OBS. JBR	AUG. -88
		TEGN.	FEB 1987
		TRAC.	
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR. 1927 I	

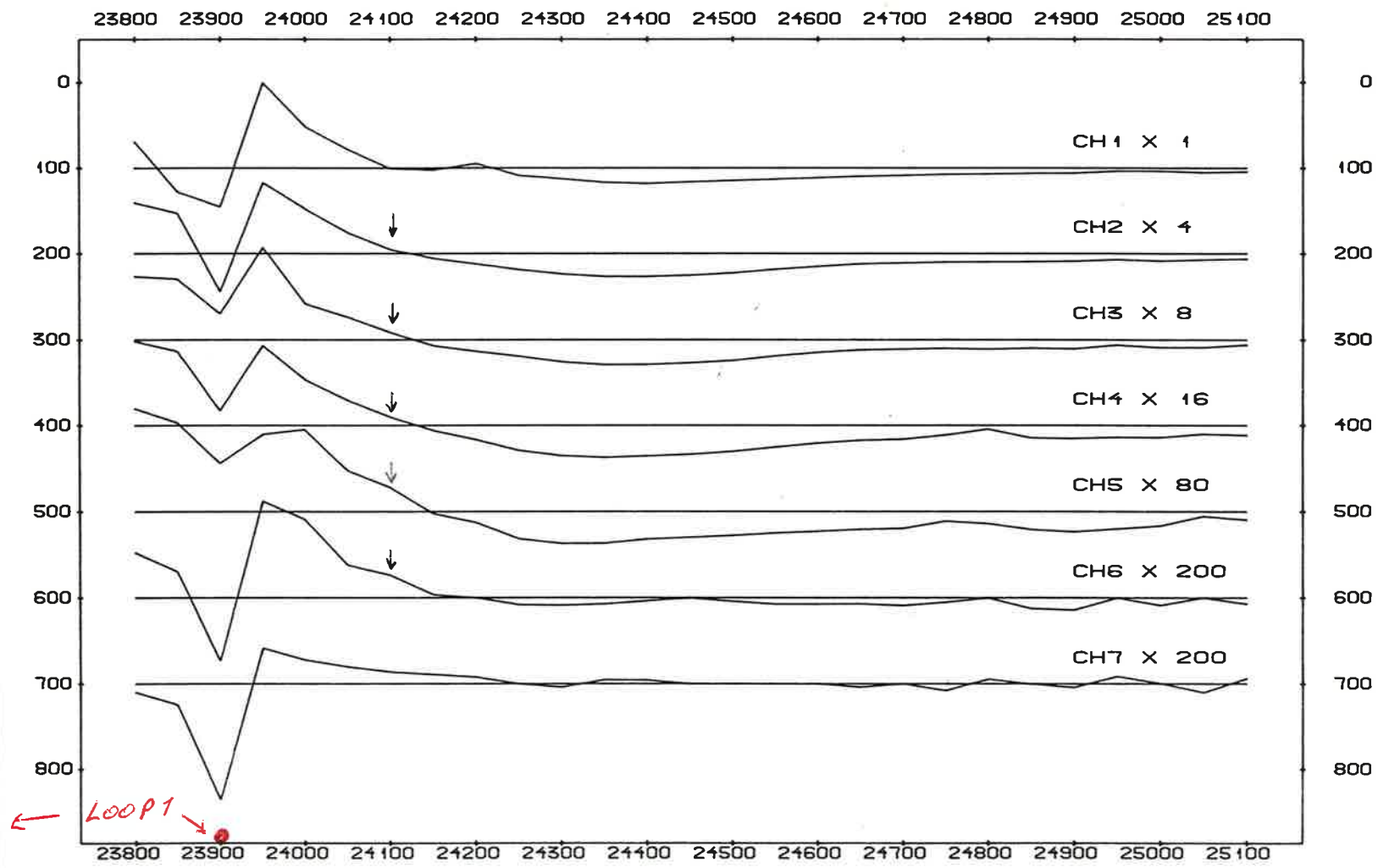
Figur 4

Figur 5



MOFJELLET: DATO 21.8.1986: PROFIL 45400: HO: INDUKTIVT.

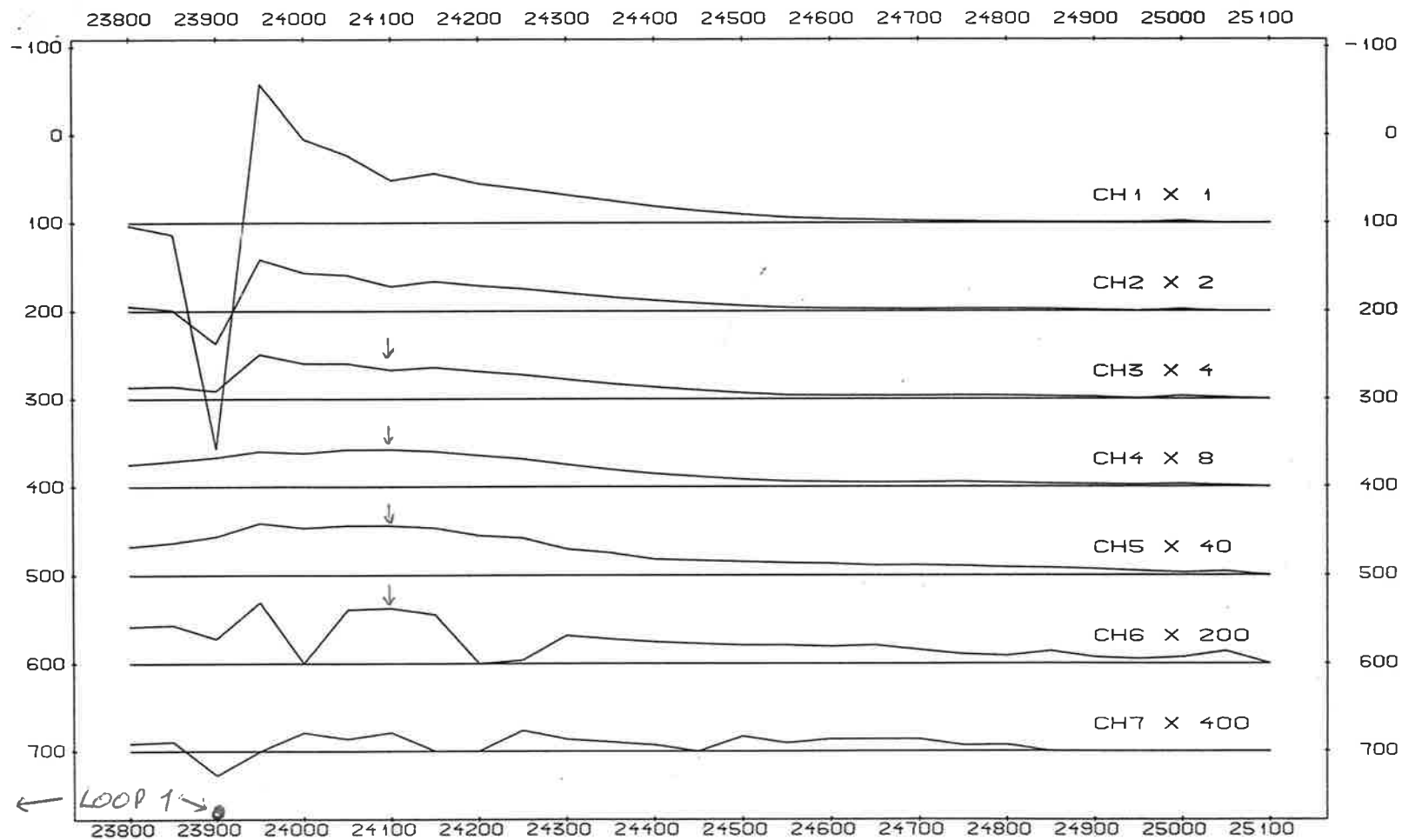




TEM-VERT: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 300.00 uV
 SKJÆRINGSPOINTET MED MÅLELINJEN TILSVARER .00 uV

NGU-ASPRO TEM-VERTIKAL, PROFIL 15400, INDUKTIVT. MOFJELLET RANA, NORLAND	MÅLESTOKK 	OBS. JSR	AUG 1986
		TEGN.	JAN 1987
		TRAC.	
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 	KARTBLAD NR. 1927 I	

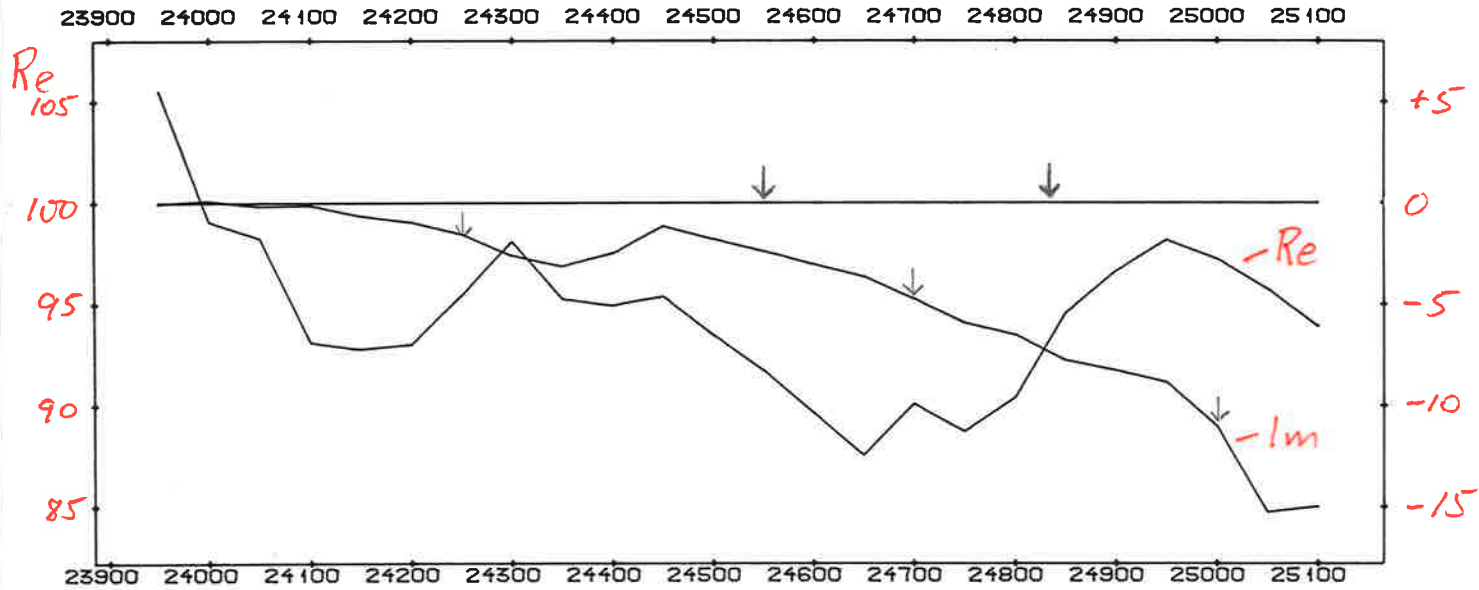
Figur 6



TEM-HOR.: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 300.00 UV
 SKJÆRINGSPUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER .00 UV

NGU-ASPRO TEM-HORISONTAL, PROFIL 45400, INDUKTIVT. MOFJELLET RANA, NORDLAND	MÅLESTOKK 	OBS. JSR	AUG 1986
		TEGN.	NOV 1986
		TRAC.	
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 1927 I	KARTBLAD NR. 1927 I	

Figur 7



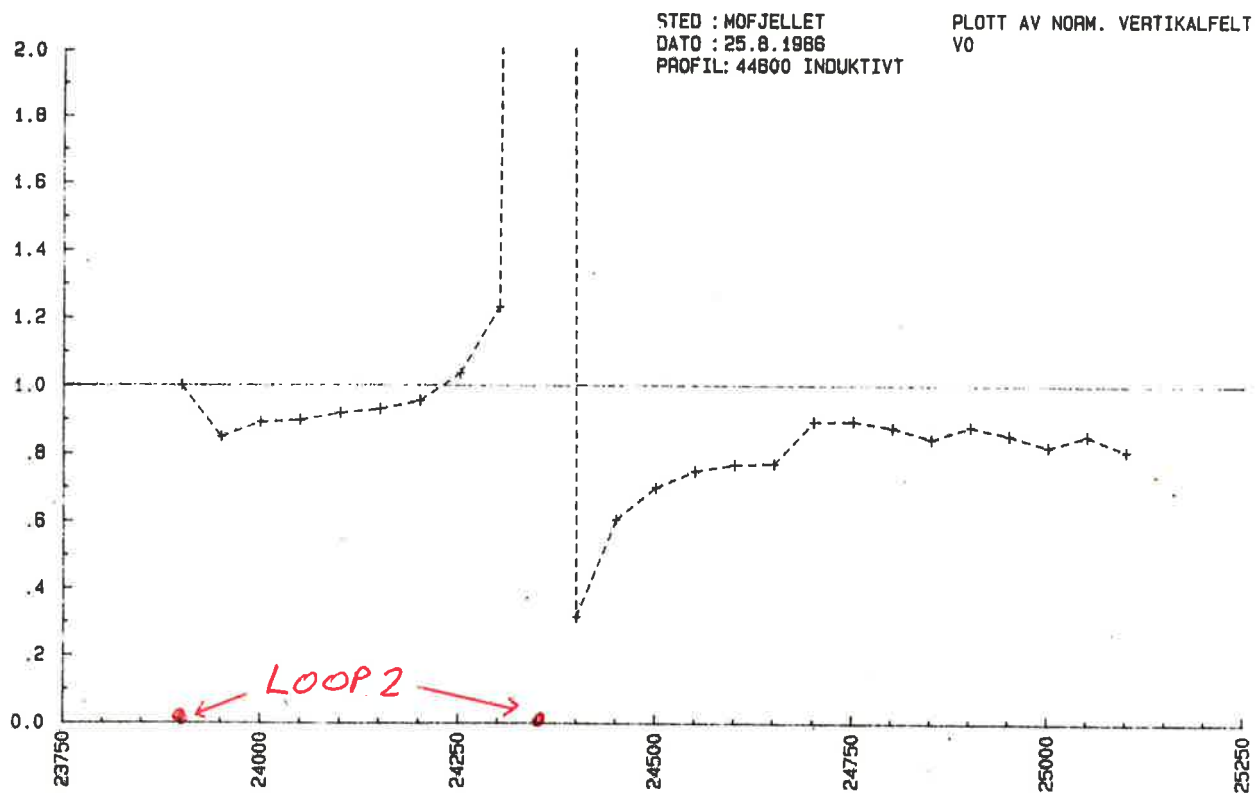
Re 25 Hz: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 2.50 :
 SKJÆRINGSPUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER 100.00 :

Im 25 Hz: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 2.50 :
 SKJÆRINGSPUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER .00 :

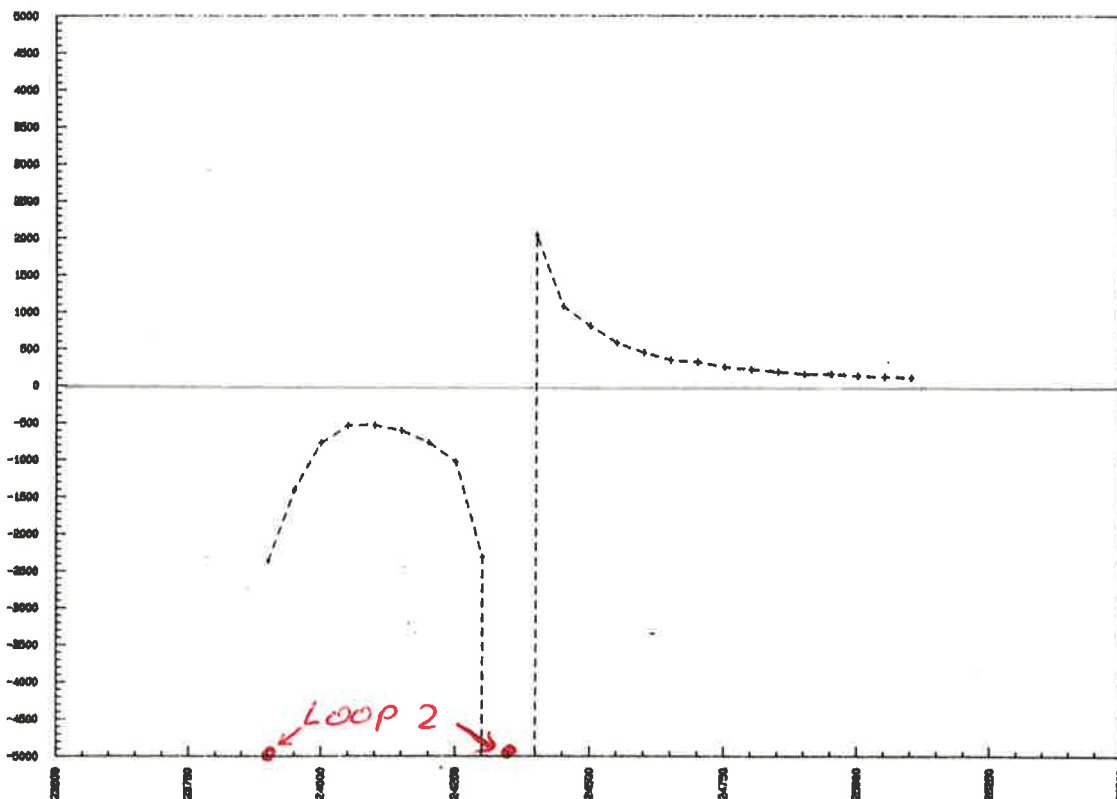
NGU - ASPRO FDEM 25 Hz, PROFIL 45400, INDUKTIVT MOFJELLET RANA, NORDLAND	HÅLESTOKK	OBS. JBR	AUG.-86
		TEGN.	FEB 1987
		TRAC.	
	KFR.		
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTEBLAD NR. 1927 I	

Figur 8

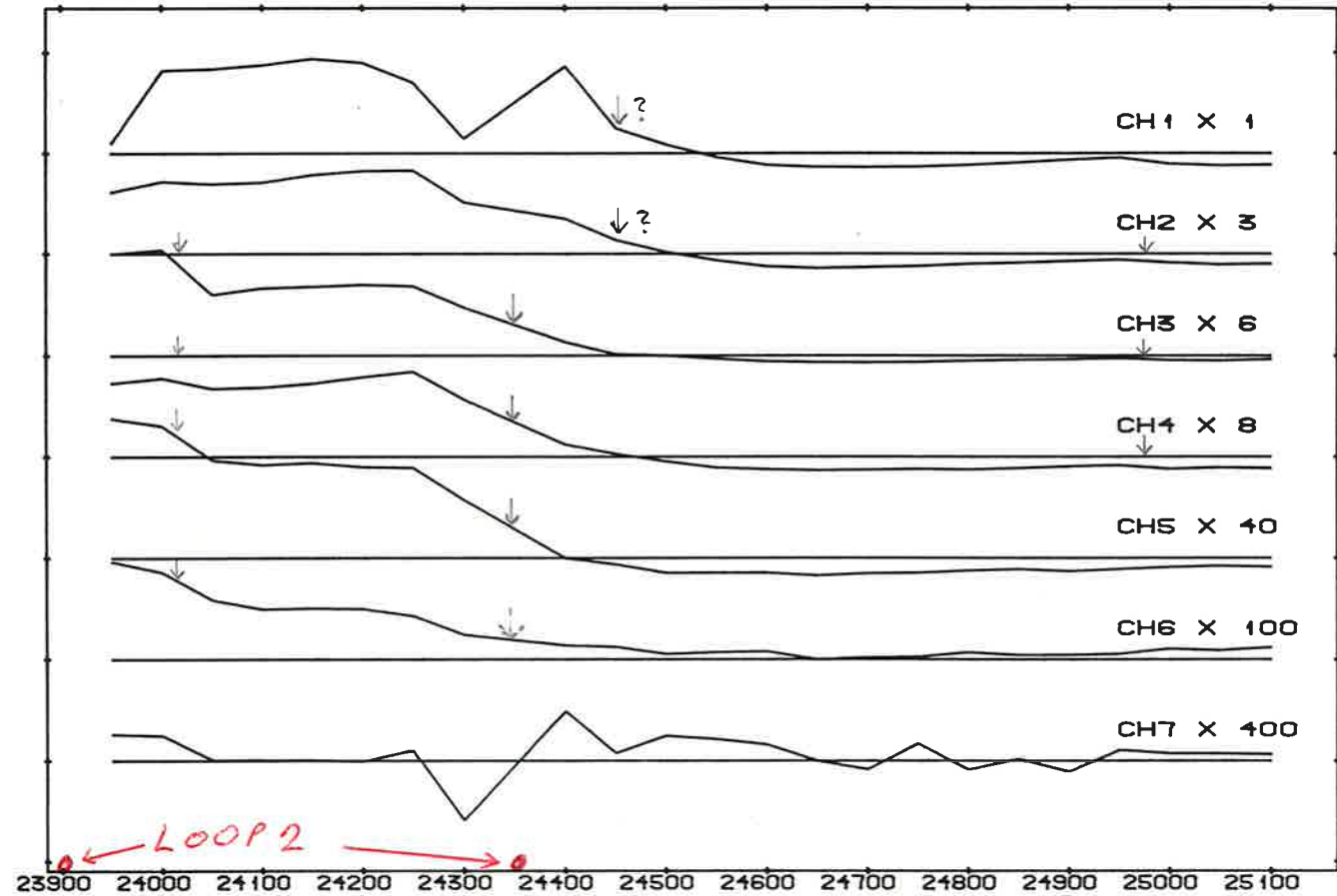
Figur 9



MOFJELLET: DATO 25.8.1986: PROFIL 44600: HO: INDUKTIVT.



23900 24000 24100 24200 24300 24400 24500 24600 24700 24800 24900 25000 25100

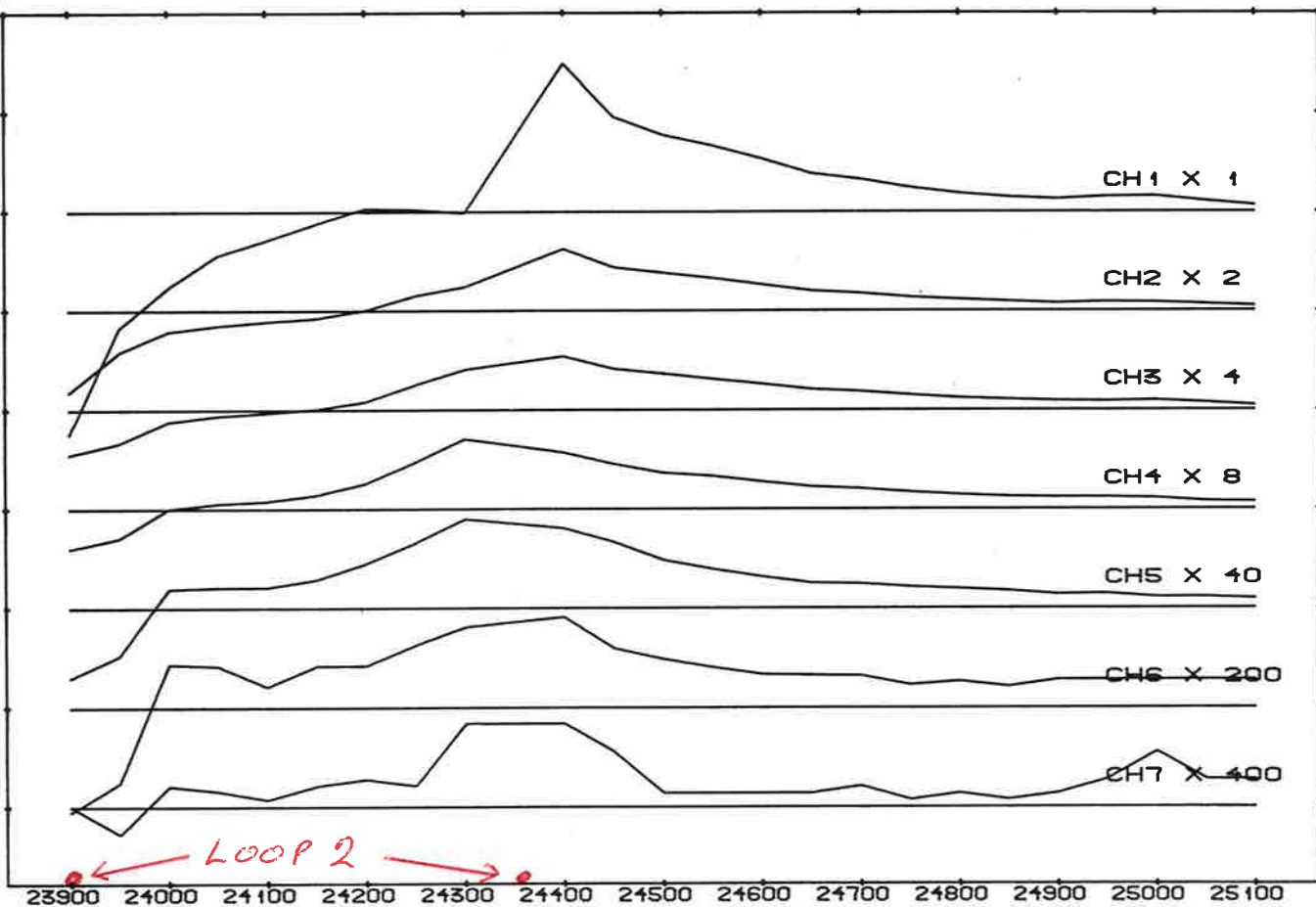


TEM-VERT: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 300.00 μ V
 SKJÆRINGSPOINTET MED MÅLELINJEN TILSVARER .00 μ V

NGU-ASPRO TEM-VERTIKAL, PROFIL 11600, IND. MOFJELLET RANA, NORDLAND	MÅLESTOKK 1:5000	OBS. JÆR TESN. TRAC. IGFR.	AUG 1988 OCT 1988
	NORGES GEOLOGISKE TRONDHEIM	TEKNIS NR.	KARTBLAD NR. 1927 I

Figur 10

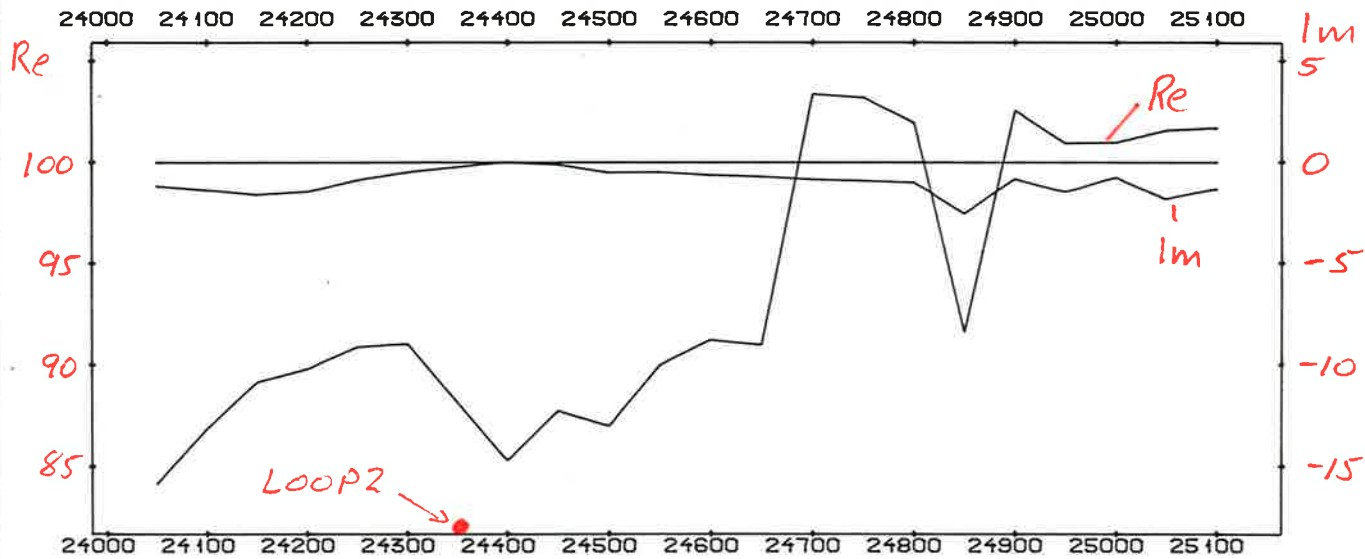
23900 24000 24100 24200 24300 24400 24500 24600 24700 24800 24900 25000 25100



TEM-HOR.: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 300.00 uV
 SKJÆRINGSPUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER .00 uV

NGU-ASPRO TEM-HORIZONTAL, PROFIL 11600, IND. MOFJELLET RANA, NORDLAND	HÅLESTOKK	OBS. JER	AUG 1988
		TEKN.	OCT 1988
		TRAC.	
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR. 1927 I	

Figur 11



Re 25 Hz: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 2.50 :
 SKJÆRINGSPUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER 100.00 :

Im 25 Hz: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 2.50 :
 SKJÆRINGSPUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER .00 :

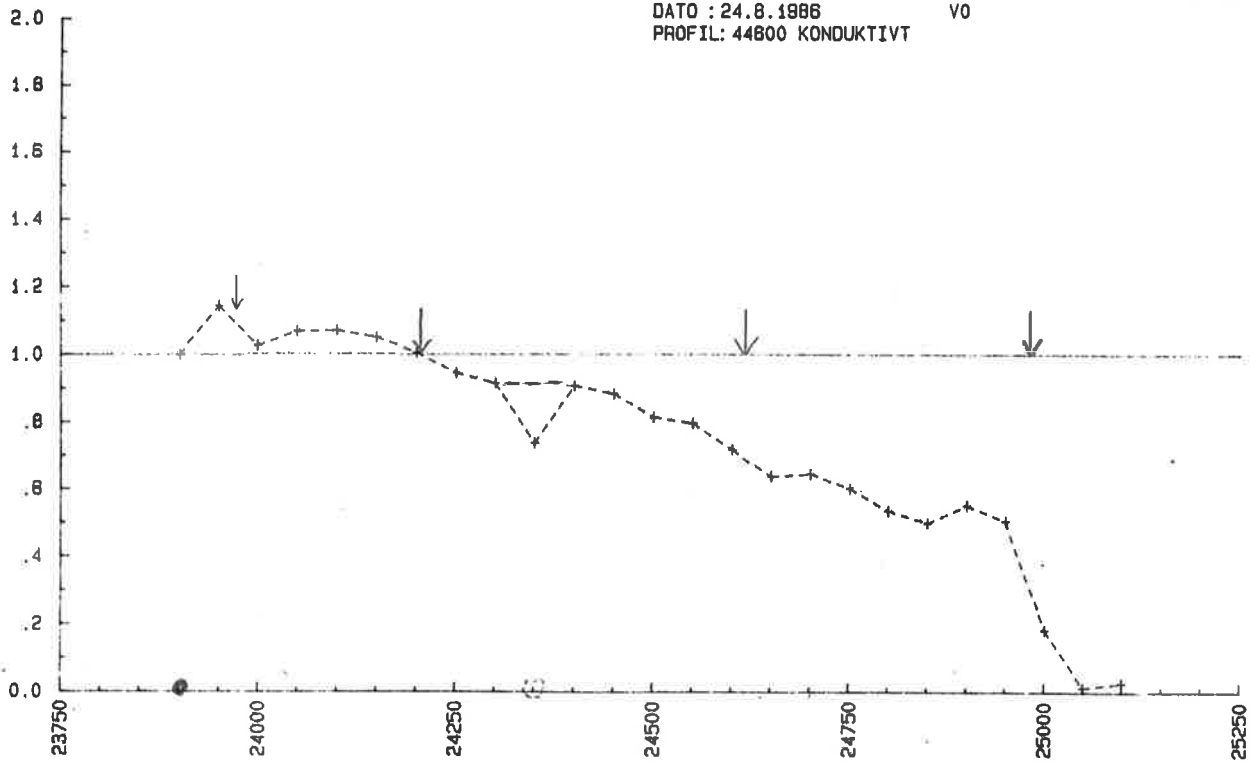
NGU - ASPRO FDEM 25 Hz, PROFIL44600, INDUKTIVT MOFJELLET RANA, NORDLAND	MÅLESTOKK	DBS. JSR	AUG.-88
		TEGN.	FEB 1987
		TRAC.	
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR. 1927 I	

Figur 12

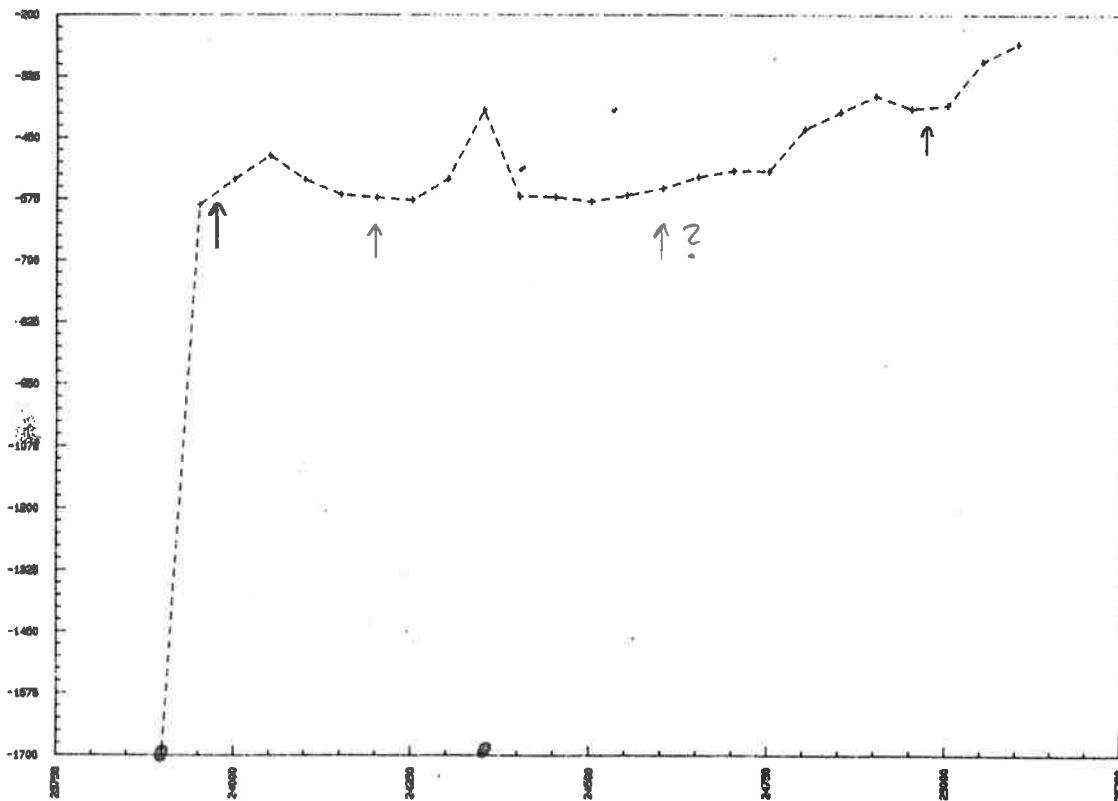
Figur 13

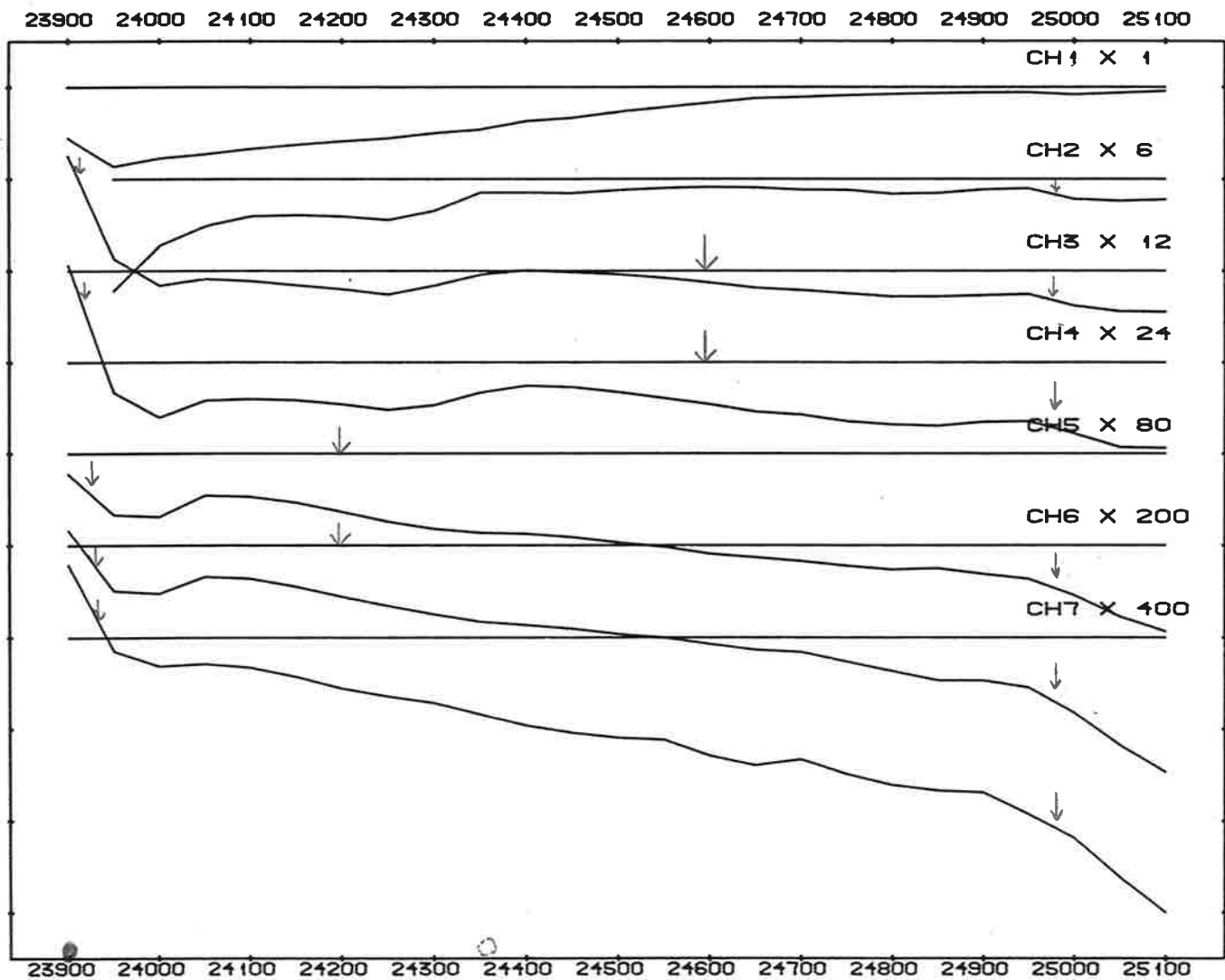
STED : MOFJELLET
 DATO : 24.8.1986
 PROFIL: 44800 KONDUKTIVT

PLOTT AV NORM. VERTIKALFELT
 V0



MOFJELLET: DATO 24.8.1986: PROFIL 44600 KONDUKTIVT: H0.

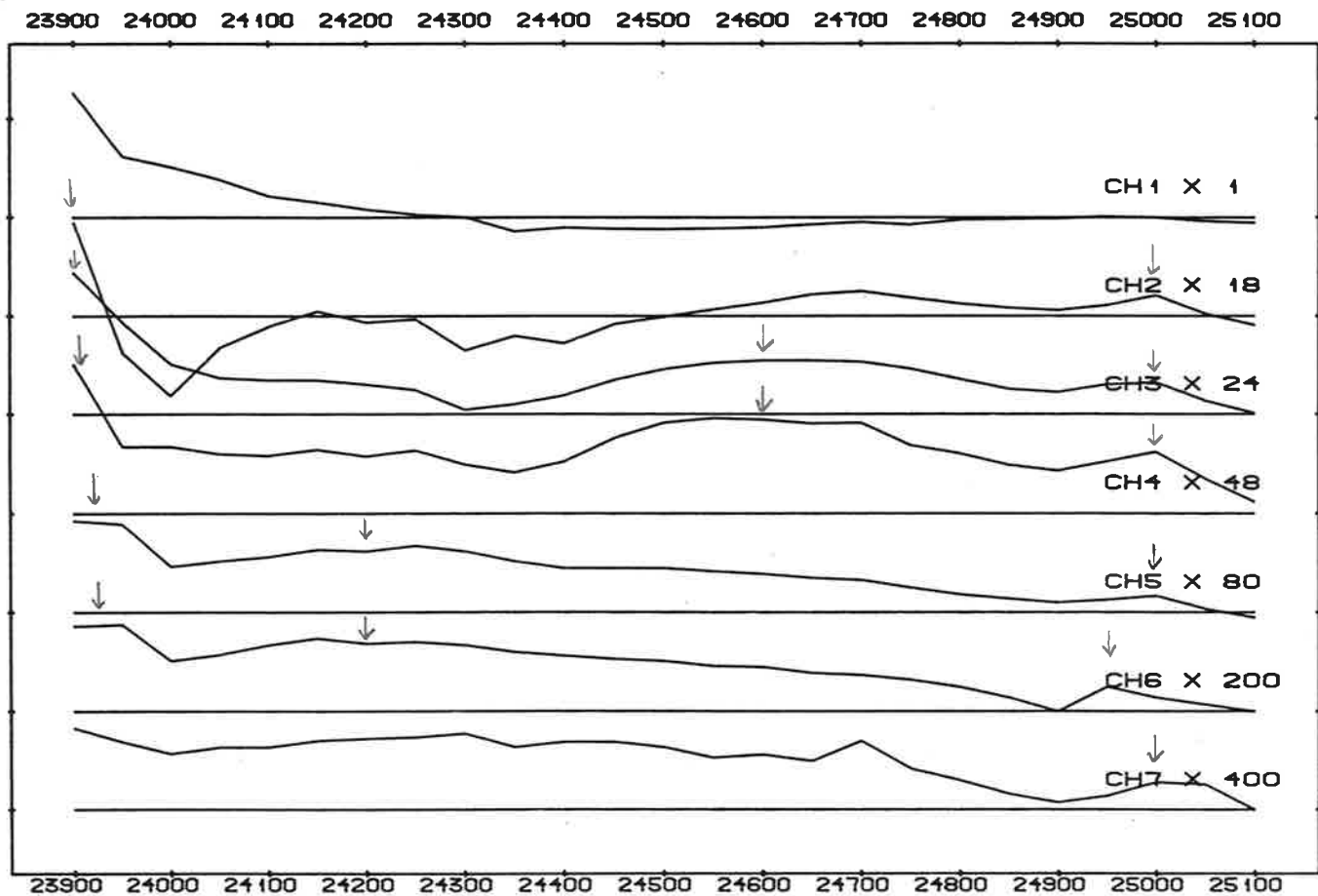




TEM-VERT: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 300.00 uV
 SKJÆRINGSPUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER .00 uV

NGU-ASPRO TEM-VERTIKAL, PROFIL 11600, KOND. MOFJELLET RANA, NORDLAND	MÅLESTOKK	OBS. JER	AUG 1927
		TEKN.	OCT 1927
		TRAC.	
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTEBLAD NR. 1927 I	

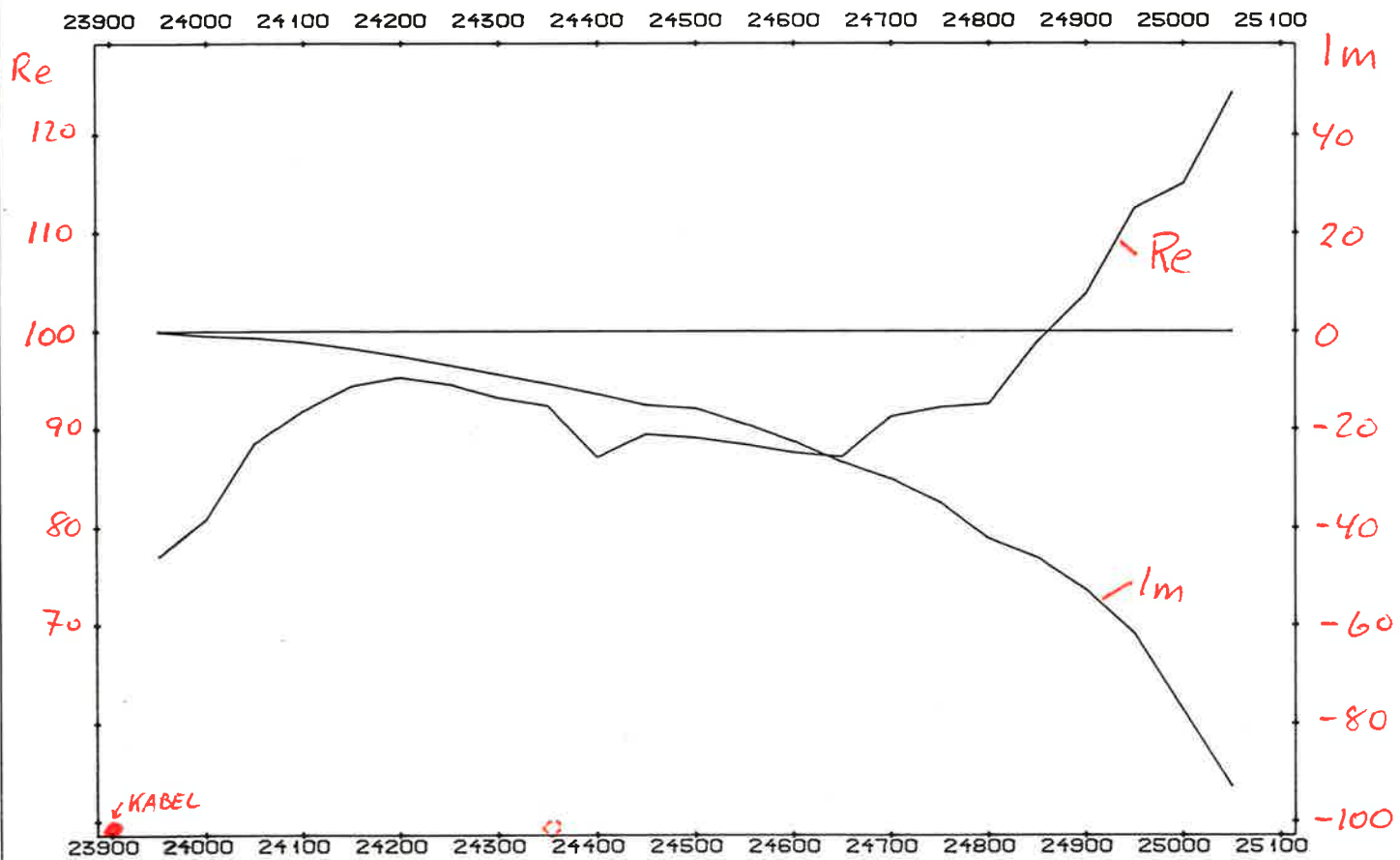
Figur 14



TEM-HOR.: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 300.00 uV
 SKJÆRINGSPUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER .00 uV

NSU-ASPRO TEM-HORISONTAL, PROFIL 11600, KOND. MOFJELLET RANA, NORDLAND	MÅLESTOKK	DES. JØR	APR 1927
	1:2000	TEGN.	OCT 1926
		TRAC.	
	KPR.		
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR. 1927 I	

Figur 15



Re 25 Hz: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 5.00 :
 SKJÆRINGS-PUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER 100.00 :

Im 25 Hz: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 10.00 :
 SKJÆRINGS-PUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER .00 :

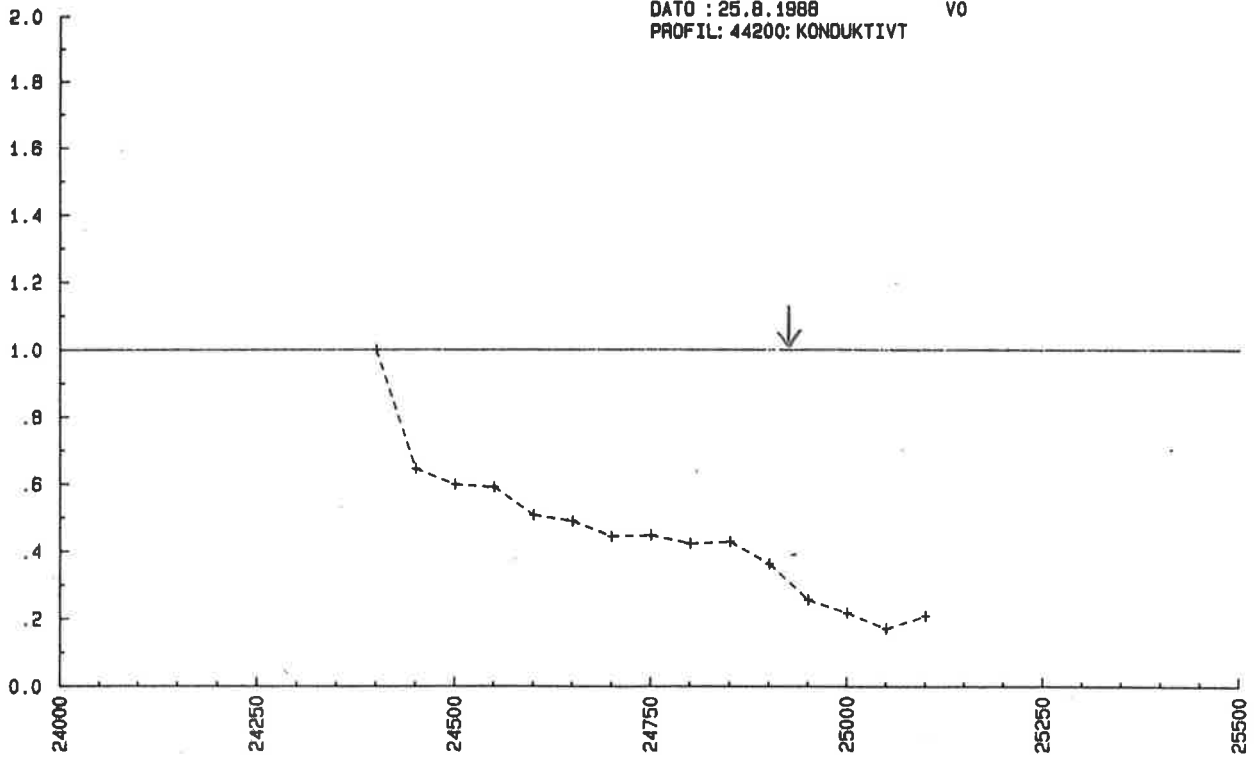
NGU - ASPRO FDEM 25 Hz, PROFIL 11600, KONDUKTIVT MOFJELLET RANA, NORDLAND	MÅLESTOKK	OBS. JBR. AL.
	1:1000	TEGN. FEB 1927
	TRAC.	
	KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR. 1927 I

Figur 16

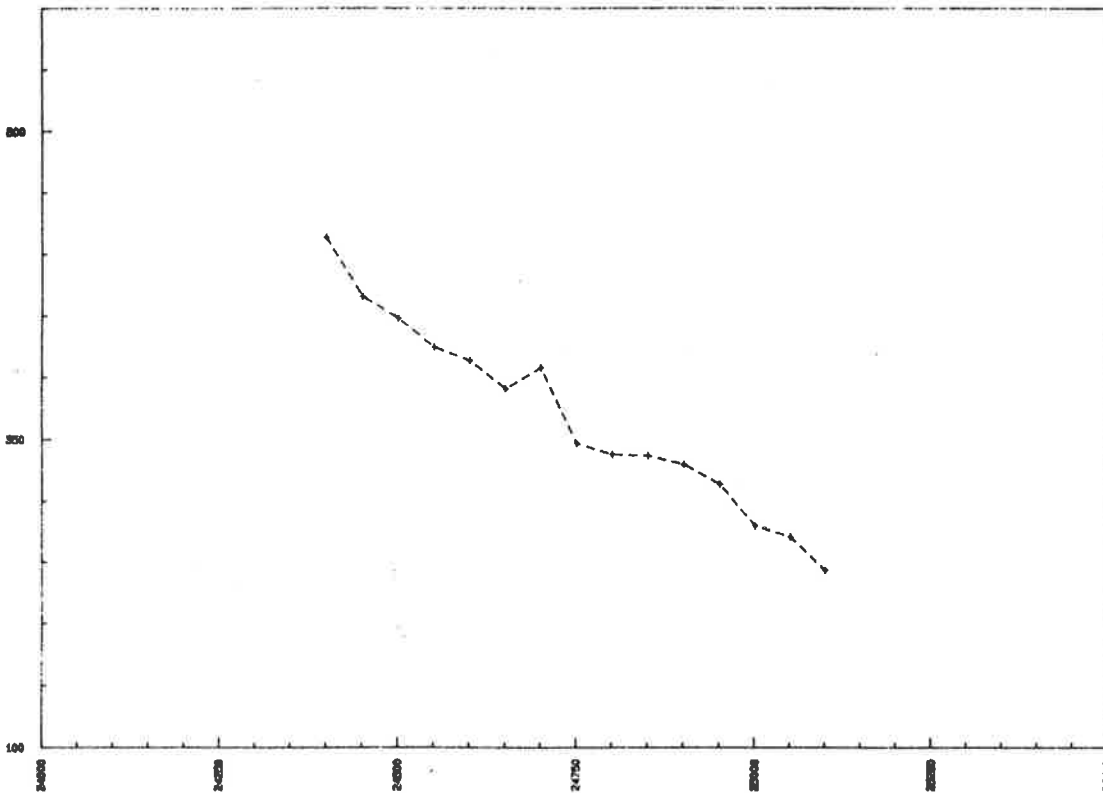
Figur 17

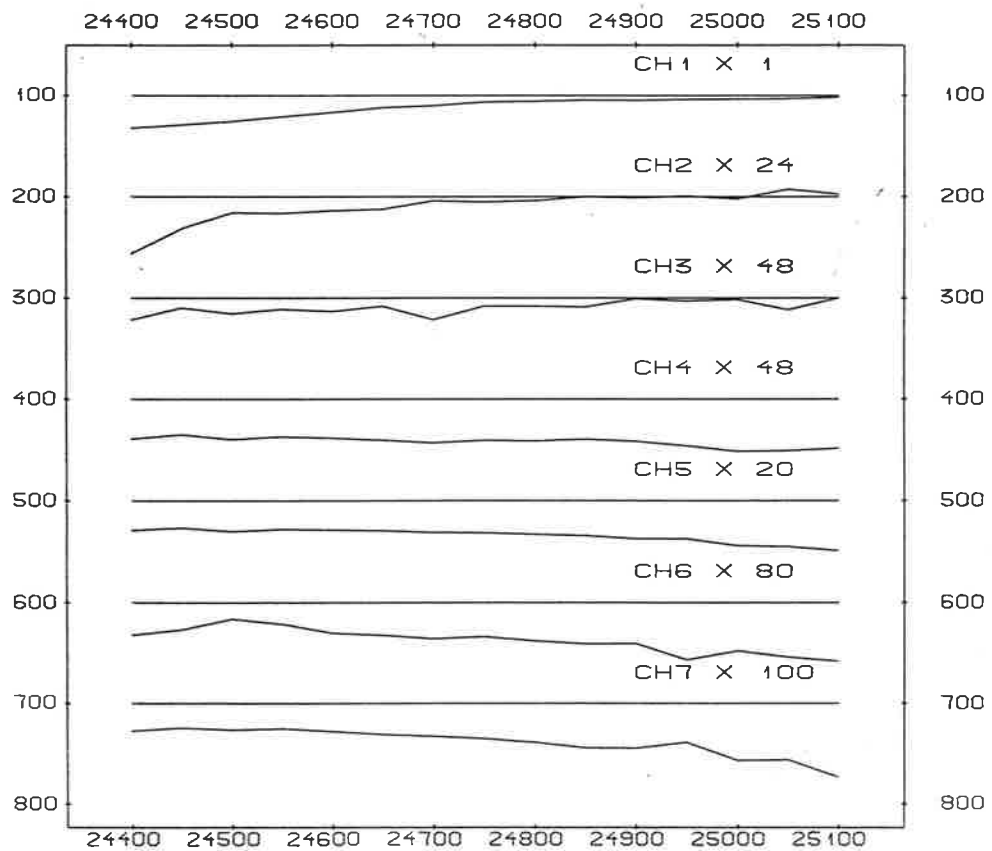
STED : MOFJELLET
DATO : 25.8.1988
PROFIL: 44200: KONDUKTIVT

PLOTT AV NORM. VERTIKALFELT
V0



MOFJELLET: DATO 25.8.1986: PROFIL 44200: H0: KONDUKTIVT.

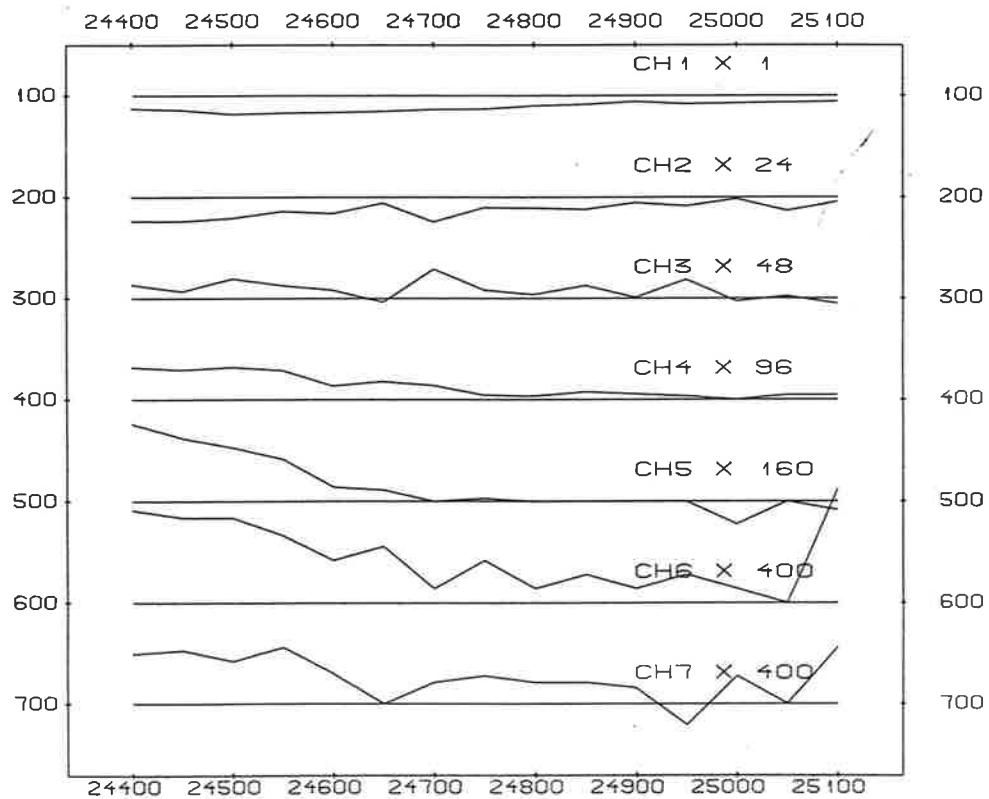





TEM-VERT: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 300.00 UV
 SKJÆRINGSPUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER .00 UV

NGU-ASPRO TEM-VERTIKAL, PROFIL 44200, KONDUKTIVT. MOFJELLET RANA, NORDLAND	MÅLESTOKK	OBS. JSR	AUG 1986
		TEGN.	NOV 1986
		TRAC.	
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR.	1927 I

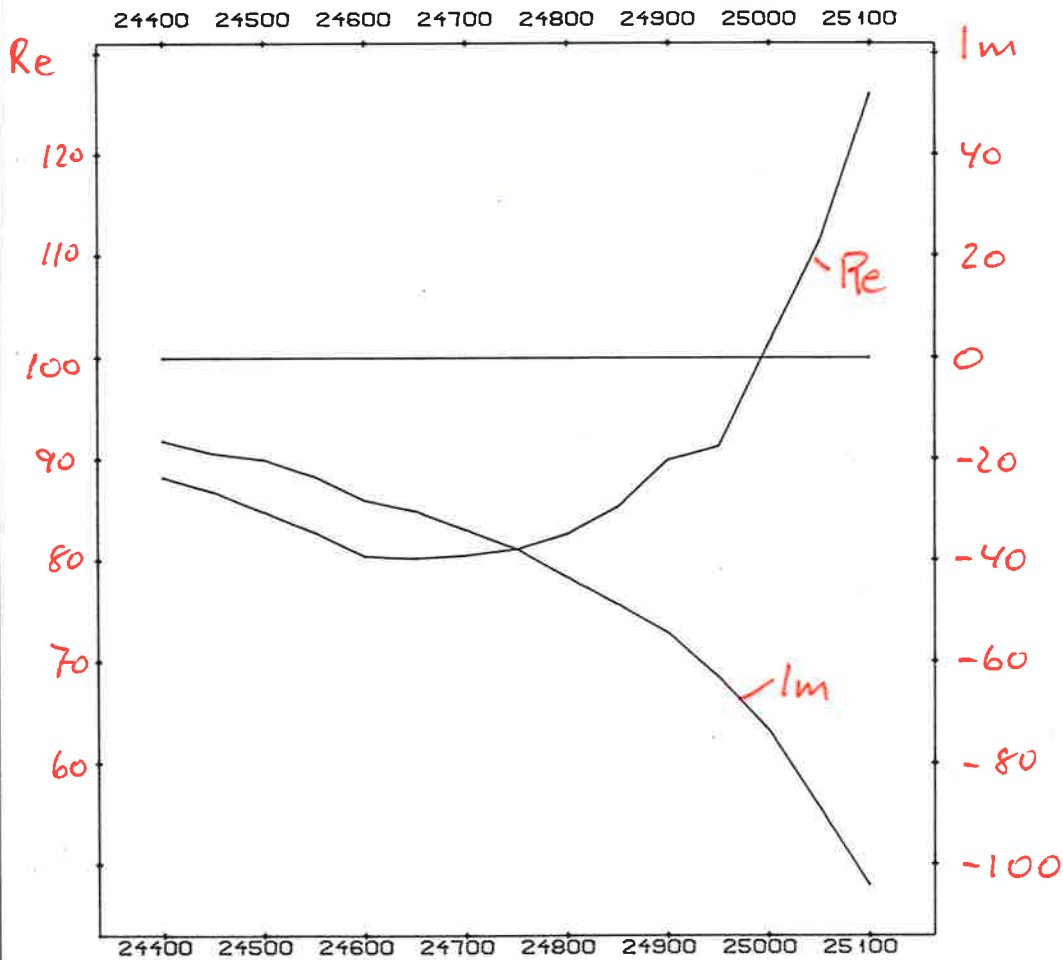
Figur 18



TEM-HOR.: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 300.00 UV
 SKJÆRINGSPUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER .00 UV

NGU-ASPRO TEM-HORISONTAL, PROFIL 44200, KONDUKTIVT. MOFJELLET RANA, NORDLAND	MÅLESTOKK	OBS. JSR	AUG 1986
		TEGN.	NOV 1986
		TRAC.	
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR.	
		1927 I	

Figur 19



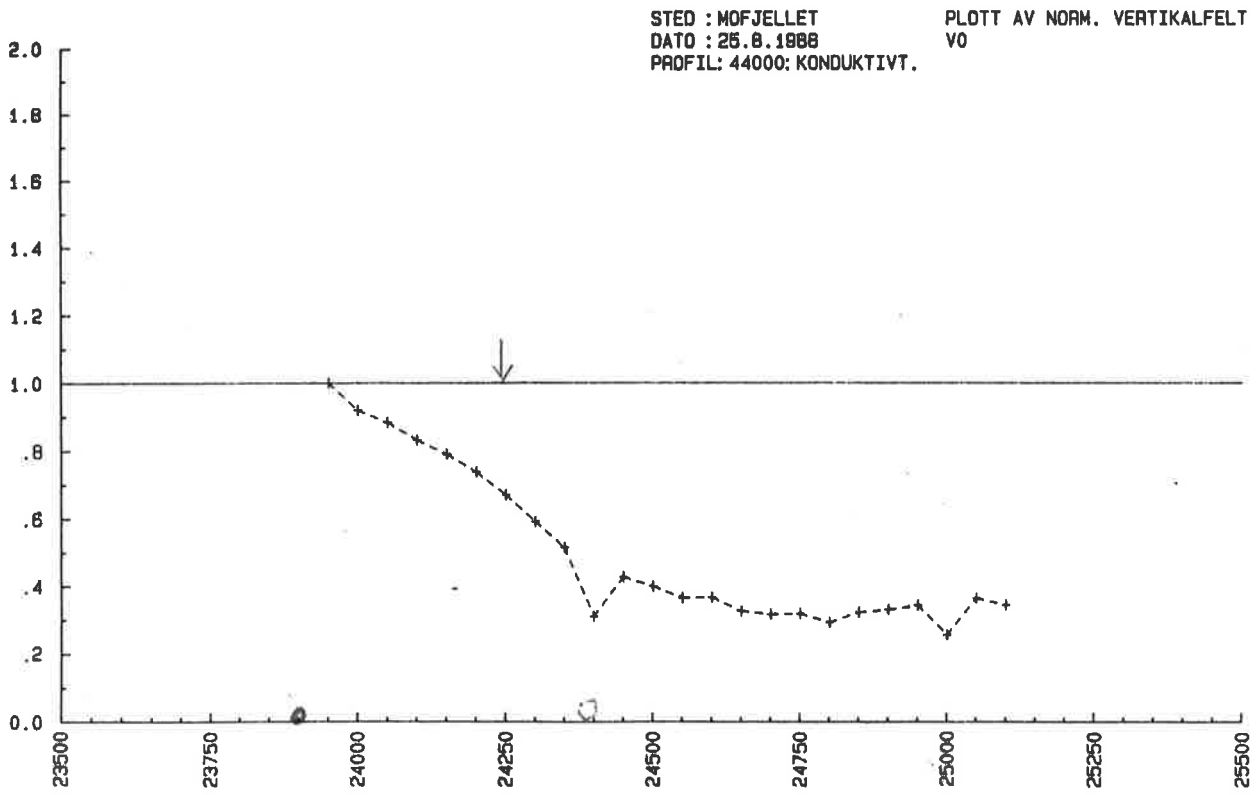
Re 25 Hz: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 5.00 :
SKJÆRINGSPOINTET MED MÅLELINJEN TILSVARER 100.00 :

Im 25 Hz: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 10.00 :
SKJÆRINGSPOINTET MED MÅLELINJEN TILSVARER .00 :

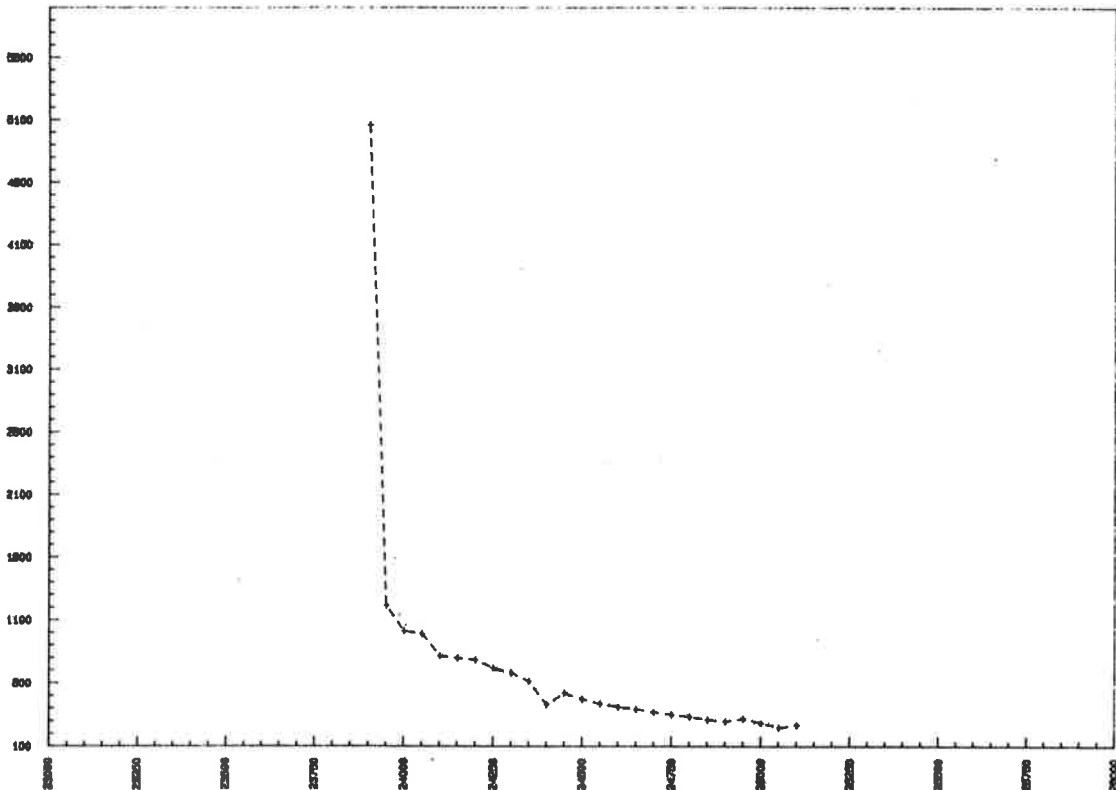
NGU - ASPRO FDEM 25 Hz, PROFIL 44200, KONDUKTIVT MOFJELLET RANA, NORDLAND	MÅLESTOKK 	OBS. JSR	AUG.-99
		TEGN.	FEB 1997
		TRAC.	
	KFR.		
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR. 1927 I	

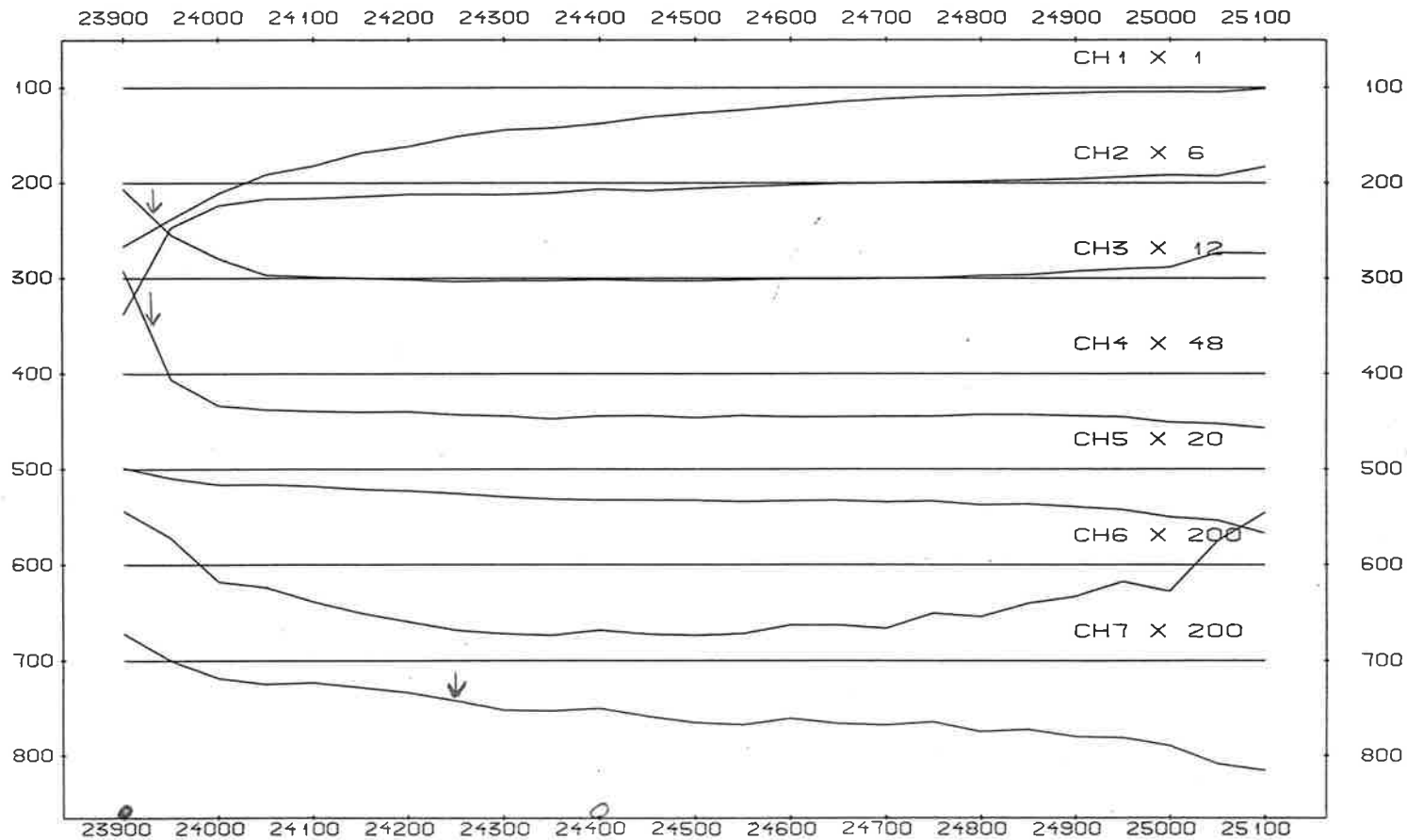
Figur 20

Figur 21



MOFJELLET: DATO 25.8.1986: PROFIL 44000: H0: KONDUKTIVT.

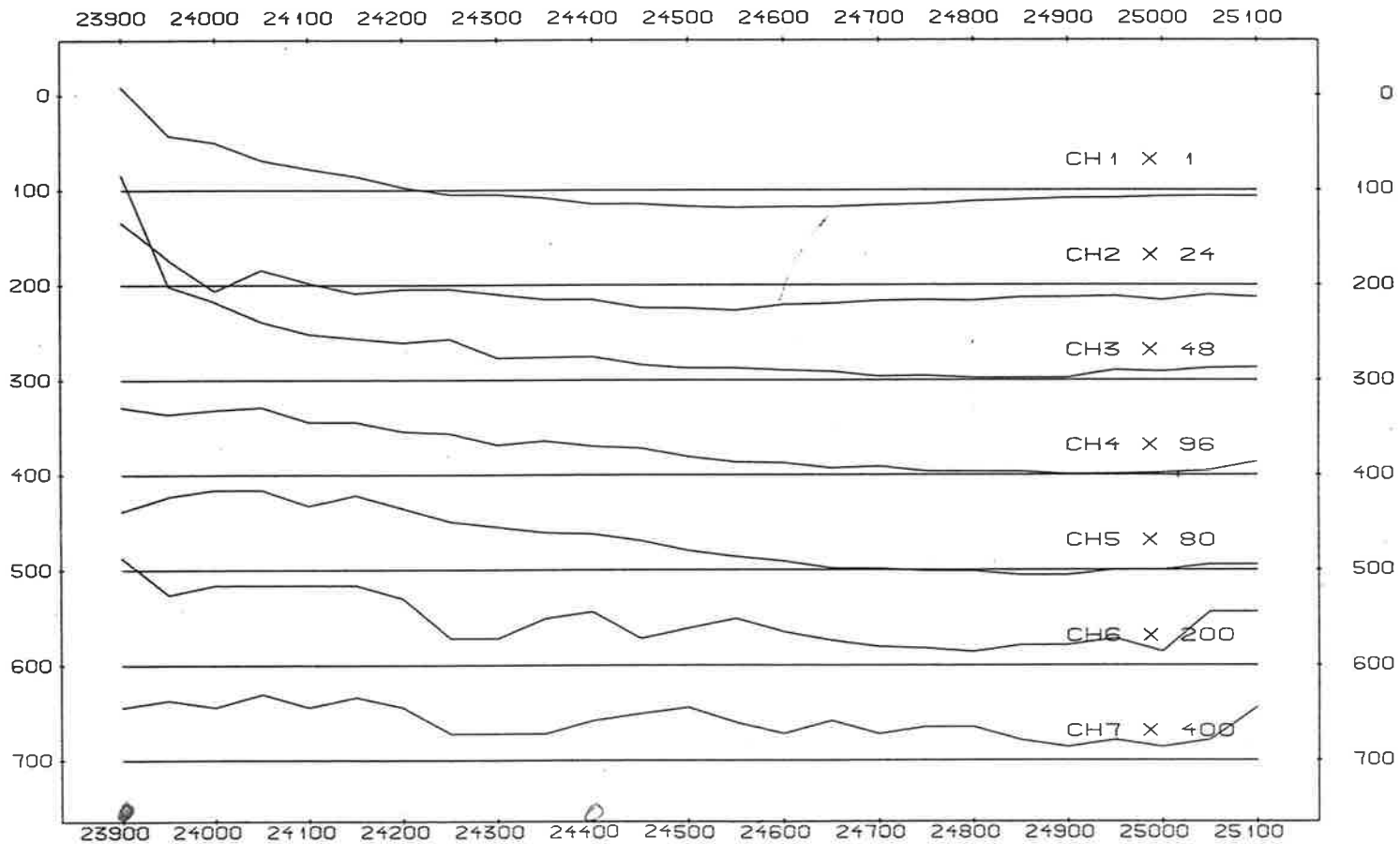




TEM-VERT: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 300.00 UV
 SKJÆRINGSPUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER .00 UV

NGU-ASPRO TEM-VERTIKAL, PROFIL 44000, KONDUKTIVT. MOFJELLET RANA, NORDLAND	HÅLESTOKK	OBS. JSR	AUG 1986
	←	TEGN.	NOV 1986
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TRAC.		
	KFR.		
TEGNING NR.	KARTBLAD NR.		
	1927 I		

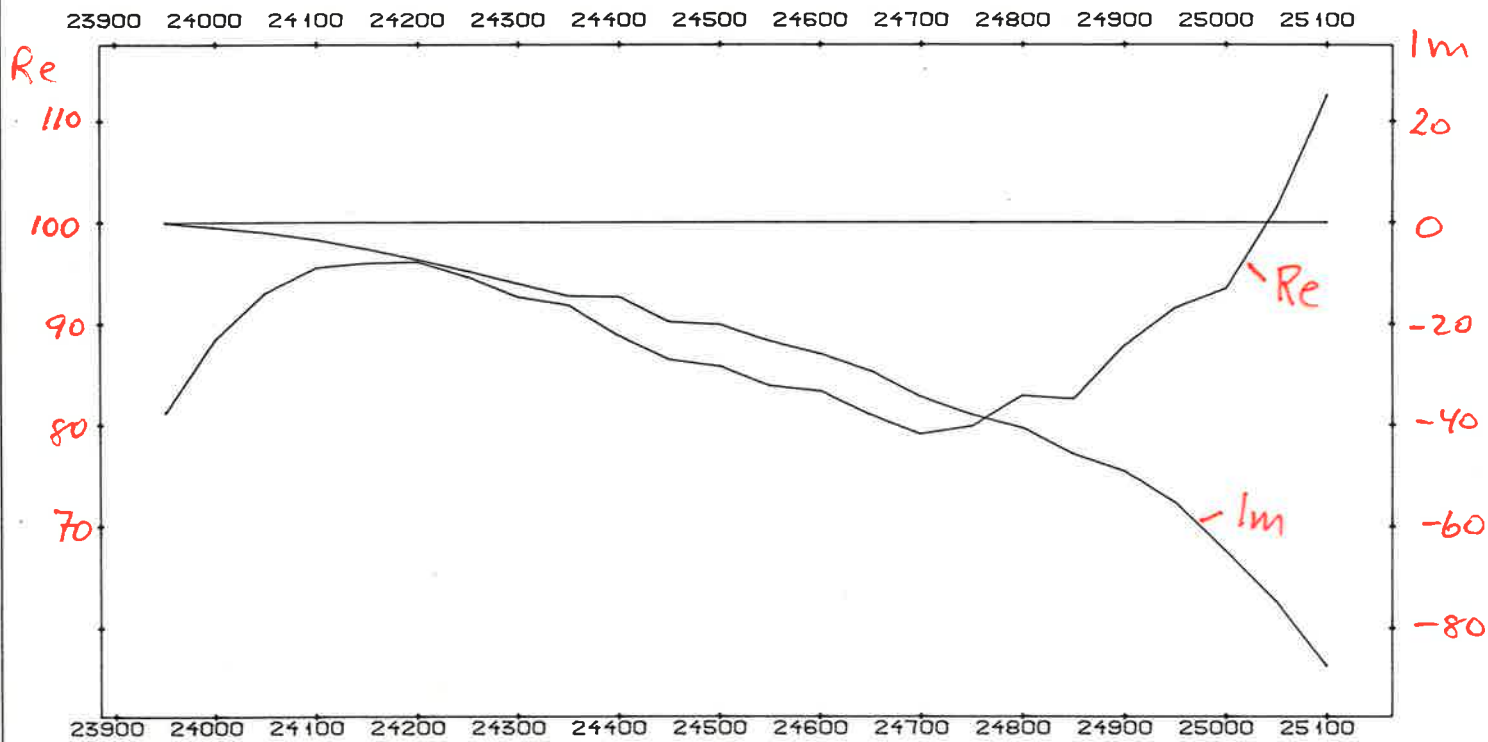
Figur 22



TEM-HOR.: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 300.00 ΩV
 SKJÆRINGSPUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER .00 ΩV

NGU-ASPRO TEM-HORISONTAL, PROFIL 44000, KONDUKTIVT. MOFJELLET RANA, NORDLAND	MÅLESTOKK 	OBS. JSR	AUG 1986
		TEGN.	NOV 1986
		TRAC.	
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR. 1927 I	

Figur 23



Re 25 Hz: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 5.00 :
 SKJÆRINGSPUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER 100.00 :

Im 25 Hz: 1 CM PÅ KURVEN TILSVARER 10.00 :
 SKJÆRINGSPUNKTET MED MÅLELINJEN TILSVARER .00 :

NGU - ASPRO
 FDEM 25 Hz, PROFIL 14000, KONDUKTIVT
 MOFJELLET
 RANA, NORDLAND

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK

OBS.	JSR	AUG.-86
TEGN.		FEB 1987
TRAC.		
KFR.		

TEGNING NR.

KARTBLAD NR.

1927 I

