

NGU Rapport nr. 91.139

Utprøving av VLF-instrument
ABEM WADI

Rapport nr. 91.139		ISSN 0800-3416		Åpen/Pattolig tilk	
Tittel: Utprøving av VLF-instrument ABEM WADI					
Forfatter: Jan Steinar Rønning			Oppdragsgiver: NGU		
Fylke:			Kommune:		
Kartbladnavn (M. 1:250 000)			Kartbladnr. og -navn (M. 1:50 000)		
Forekomstens navn og koordinater:			Sidetall: 34		Pris: kr. 55,-
			Kartbilag:		
Feltarbeid utført: april 1988		Rapportdato: 15.04.1991		Prosjektnr.: 63.2462.00	
				Seksjonssjef: <i>Jan S. Rønning</i>	
Sammendrag: <p>Som et ledd i NGUs vurdering av aktuelle geofysiske målemetoder for kartlegging av vannførende sprekkesoner i fjell, er ABEMs VLF-instrument WADI testet. Dette instrumentet registrerer og lagrer data digitalt. Det kan utføres filtrering og automatisk tolkning av fall og dyp ned til strømkonsentrasjon i bakken. En overordnet målsetting var å vurdere om instrumentet kunne bidra til økt effektivisering ved datainnsamlingen ved NGU.</p> <p>Uttestingen viser at instrumentet er meget effektivt ved innsamling og presentasjon av data. Ved kartlegging av svake anomalier over sprekkesoner har filtreringsrutinene gitt tvilsomme resultater. Automatisk tolkning av en soners fall og dyp ned til strømkonsentrasjon må brukes med fornuft.</p>					
Emneord		Grunnvann			
Geofysikk		Sprekkesone			
Elektromagnetisk måling				Fagrapport	

INNHOOLD

	Side
1. INNLEDNING	5
2. METODE- OG INSTRUMENTBESKRIVELSE	5
3. UTFØRELSE	7
4. RESULTATER FRA MÅLINGER I FELT	7
4.1. Bymarka, profil 1050	8
4.2. Vihals, profil 1	9
4.3. Lesund, profil 2	10
4.4. Dromnes, profil 7	11
4.5. Dromnes, profil 8	12
4.6. Testprofil fra ABEM	13
5. VURDERING AV INSTRUMENTET	13
5.1. Valg av sendere	13
5.2. Presentasjon av data	14
5.3. Automatiske tolkninger	15
5.4. Produksjonshastighet	16
6. KONKLUSJON	16
7. REFERANSER	17

TEKSTBILAG

ABEM WADI, Instrumentbeskrivelse

DATABILAG

Figur 1: WADI, FRe og FIm, profil 1050 Bymarka

- " 2: WADI, Re og Im, profil 1050 Bymarka
- " 3: NGU-VLF, Slingram og EM31, profil 1050 Bymarka

- " 4: WADI, FRe og FIm, profil 1 Vihals
- " 5: WADI, Re og Im, profil 1 Vihals
- " 6: NGU-VLF, ledningsevne og seismisk tolkning, profil 1 Vihals

- " 7: WADI, FRe og FIm, profil 2 Lesund
- " 8: WADI, Re og Im, profil 2 Lesund
- " 9: NGU-VLF, ledningsevne og seismisk tolkning, profil 2 Lesund

- " 10: WADI, FRe og FIm, profil 7 Dromnes
- " 11: WADI, Re og Im, profil 7 Dromnes
- " 12: NGU-VLF, ledningsevne og slingram, profil 7 Dromnes

- " 13: WADI, FRe og FIm, profil 8 Dromnes
- " 14: WADI, Re og Im, profil 8 Dromnes
- " 15: NGU-VLF, ledningsevne, slingram og seismisk tolkning, profil 8 Dromnes

- " 16: Testprofil fra ABEM
- " 17: Pseudoseksjon av testprofil fra ABEM

1. INNLEDNING

Ved NGU benyttes VLF-målinger i mineralleting, grunnvannsleting i fjell og ved strukturgeologiske studier. En har for det meste benyttet selvbygde mottagere som etter en modernisering på midten av 1980-årene fungerer meget bra. I 1987 kom en ny og moderne VLF-mottager med innebygde tolkningsmuligheter på markedet, ABEM WADI. Denne ble kjøpt inn av noen brønnborere i Norge, og NGU fikk låne et eksemplar fra Brødrene Myre A/S for utprøving. Spørsmål en ønsket å få svar på var:

- hvor raskt er det å benytte instrumentet?
- hvor mange senderstasjoner er tilgjengelige?
- hvordan er datakvaliteten fra instrumentet sammenlignet med data fra tradisjonell VLF?
- hvor god er de innebygde tolkningsmulighetene?

En overordnet målsetting var å se om instrumentet kunne bidra til økt effektivisering ved datainnsamlingen/tolkningen på NGU.

Under uttestingen ble det foretatt målinger i Bymarka, Trondheim kommune (sulfidmineralisering i Tømmerdalen UTM 5646 70342) og på en rekke lokaliteter i Aure kommune hvor NGU har testet flere metoder for kartlegging av vannførende sprekkesoner i fjell. I denne rapporten blir bare resultatene fra de mest interessante profilene beskrevet, og i den grad det er nødvendig blir data fra andre metoder presentert. Lokalisering av profilene i Aure fremgår av rapport til kommunen (Rønning 1989).

2. METODE- OG INSTRUMENTBESKRIVELSE

VLF-metoden og instrumentet er kortfattet beskrevet i vedlagte brosjyre fra ABEM. Tradisjonelt måles VLF som helning av totalt magnetfelt (dipvinkelmålinger eller realdel) og forholdet mellom aksene i polarisasjonsellipsen (imaginærdel). Med dipvinkelmål-

inger kan en lokalisere ledende soner, mens imaginærdelen gir informasjon om faseforskyvningen mellom primær- og sekundærfeltet og derved ledningsevnekontrasten.

ABEM WADI er et fullautomatisert instrument hvor en mikroprosessor styrer datainnsamling, lagring og prosessering. Instrumentet måler magnetfelt og faseforskjell i en vertikal og en horisontal spole, og disse data benyttes ved beregning av reell- og imaginærkomponent (Re og Im). Spolenes inklinasjon kontrolleres av et inklinometer som gjør det umulig å måle dersom spolene ikke er i nær korrekt posisjon (vertikalt og horisontalt). Mindre avvik korrigeres ved prosesseringen.

For å lette tolkningen av måledata, er det lagt inn i prosesseringen filtreringsrutiner som konverterer VLF-data til analog fordeling av strømtetthet i bakken (Karous & Hjelt 1983). På den filtrerte versjon av realdelen (FRe) vil elektrisk ledende strukturer fremstå som toppler i en kurve som automatisk kan plottes på skjerm under måling. Dette gjør det lett å lokalisere strukturer samtidig som en måler. Ved å beregne strømtetthet i forskjellige dyp, kan en pseudoseksjon over strømfordelingen i bakken konstrueres (Lanne 1989). Denne benyttes ved automatisk tolkning av fall og dyp til topp av ledende struktur. Ved utprøvingen var det interessant å teste disse funksjonene.

I markedsføringen fremholdes at instrumentet arbeider på et kontinuerlig frekvensspekter fra 15 kHz til 30 kHz, med sprang på 100 Hz. Aktuelle senderstasjoner kan søkes automatisk ved systematisk å måle feltstyrke langs profilretningen. Stasjonene kan også stilles inn manuelt, og posisjon i forhold til profilretning (strøkretning) kan kontrolleres.

3. UTFØRELSE

Ved målingene ved ABEM WADI ble senderstasjon delvis valgt automatisk og delvis på grunnlag av hva som var benyttet ved tidligere VLF-målinger. Målepunktavstand var konsekvent 5 meter.

Målingene med WADI sammenlignes med tidligere utførte VLF-målinger med NGUs instrument. Her må det bemerkes at WADI angir dipvinkel (realdel) i % mens NGUs instrument angir dipvinkel i °.

I noen sammenhenger benyttes data fra slingrammålinger. I dette tilfellet ble SGABs instrument som arbeider på 18 kHz benyttet. Spoleavstand var 40 meter, mens målepunktavstand var 10 meter.

Ved alle målinger over sprekkesoner i fjell blir WADI-data sammenlignet med elektriske ledningsevne-målinger. Disse ble utført med gradient elektrodekonfigurasjon hvor strømelektrodene var plassert 100 til 150 meter på hver side av den antatte sonens beliggenhet. Her ble NGUs egenproduserte utstyr IP4 benyttet (Brandhaug & Dals-egg 1990). Målepunktavstand var enten 5 eller 10 meter.

Ved tre profiler blir VLF-data sammenlignet med refraksjonsseismiske målinger. Her ble ABEM TRIO 12-kanalers analog seismograf benyttet. Geofonavstand varierte noe, men oversteg ikke 10 meter.

I ett tilfelle benyttes ledningsevnedata målt med Geonics EM31.

4. RESULTATER FRA MÅLINGER I FELT

I det følgende blir resultatene fra målingene med ABEM WADI i felt presentert og kommentert. Målingene presenteres som "skjerm-dump" av realdel filtrert (ingen kode), imaginærdel filtrert (FI_m), realdel (Re, dipvinkel) og imaginærdel (Im). Siden denne presenta-

sjonen gir svært liten oppløsning, er de samme data også presentert som plottinger styrt av instrumentet. Profildata kan også overføres til PC for plotting v.h.a. kommersielle plottprogram, men dette ble ikke gjort under uttestingen.

4.1. Bymarka, profil 1050

WADI data fra profil 1050 i Bymarka er plottet i figur 1 og 2. Skjermdump av data er felt inn. VLF målt med NGUs mottager, høyfrekvens slingram og målinger med EM31 er vist i figur 3. Senderstasjon for VLF-målingene var i begge tilfellene den franske FOU.

VLF-Re målt med NGUs mottager viser her en meget glatt kurve med en klar anomali ved koordinat 925. Kurveformen indikerer et slakt fall mot stigende koordinat, noe som bekreftes ved andre målinger. En glatt imaginær kurve indikerer moderat ledningsevne.

Skjermdump av data fra WADI (figur 1) viser kurver med svært liten oppløsning. Realdel og filtrert realdel viser en klar anomali, men posisjonen i profilet er noe vanskelig å bedømme da plottet ikke viser akser. Posisjonering av "cursor" ved koordinat 914 viser imidlertid at filtrert realdel har en topp mellom koordinatene 900 og 925.

Detaljert plott av WADIs realdel viser klarere anomaliens posisjon (ca. koordinat 920), men også en del uregelmessigheter som synes å være støy på kurven. Ved filtreringen kommer disse uregelmessighetene frem som toppe som kan forveksles med anomalier. Om disse er reelle er noe uklart, men slingrammålingene indikerer en ledende sone ved koordinat 875 i tillegg til selve hovedanomalien ved koordinat 925. Ledningsevne målt med EM-31 viser anomalier både ved koordinat 925 og 875.

Tolkningen av hovedsonens fall (figur 1a) er sammenfallende med det en kjenner fra tidligere undersøkelser. Ved en så klar indika-

sjon på strømforløpet i dypet som her, kan også dyp til toppen av sonen tolkes til ca. 25 meter ifølge leverandøren (ABEM 1987). Dette må åpenbart være feil siden EM31 som har en penetrasjon på ca. 6 meter gir en så detaljert anomali over sonen (figur 4c). Uoverensstemmelsen kan skyldes at anomalien er sammensatt av effekten fra flere tynne soner.

4.2. Vihals, profil 1

WADI-data fra profil 1 ved Vihals er vist i figurene 4 og 5. NGU VLF, ledningsevne og tolket refraksjonsseismikk er vist i figur 6. Ved VLF-målingene med NGUs instrument ble stasjonen NAA benyttet. Ved søkingen med WADI viste det seg at stasjonen GBR var sterkest i profilretningen og denne ble derfor valgt, selv om den ligger i ugunstig retning. Målepunktavstand var hovedsakelig 5 meter ved all VLF og resistivitetsmålinger. Ved refraksjonsseismikken var geofonavstanden 7,5 meter.

NGUs VLF-målinger (figur 6) viser en meget klar anomali ved ca. koordinat 120. Imaginærdelen følger realdelen, noe som indikerer "dårlig" ledningsevne. VLF anomalien bekreftes av ledningsevne-målingene som indikerer en ca. 45 meter bred sone mellom koordinatene 90 og 135. Refraksjonsseismikken viser en lav-hastighets-sone mellom koordinatene 100 og 140, noe som bekrefter tilstedeværelse av en knusningssone. Det er boret en brønn mot sonen (Sand 1988), men brønnen var tørr trolig på grunn av tettende leirmineraler.

Målingene med WADI viser ingen tolkbare anomalier. Realdel og filtrert realdel viser hurtig oscillerende kurver, men variasjonene synes å være støy. Årsaken til dette ligger trolig i valg av feil stasjon. Selv om GBR gav sterkest felt i profilretningen, vet en at denne ligger i ugunstig retning i forhold til knusningssonens strøk. Dessverre var det ikke tid til å måle på nytt med

den samme stasjonen som ble benyttet ved NGU-målingene (NAA). Dette tilfellet viser at en må være forsiktig med å stole på den automatiske utvelgelsen av senderstasjoner.

Tolkning av fall ved koordinat 63 gir et diffust bilde (figur 4a), mens tolkningen på toppen ved koordinatene 175 og 200 indikerer et klart fall uten at en her med sikkerhet kan si at det her finnes noen sprekkesone.

4.3. Lesund, profil 2

WADI-data fra profil 2 Lesund er vist i figurene 7 og 8. NGU VLF, ledningsevne og tolket refraksjonsseismikk er vist i figur 9. Ved WADI-målingene ble den britiske stasjonen GBR benyttet, mens en ved NGU-målingene benyttet GYD. Begge disse ligger i gunstig retning i forhold til sprekkesonens strøk. Målepunktavstand var ved alle metoder 5 meter.

VLF-målinger med NGUs instrument viser en svak, men klar anomali ved koordinat 75 og noen uregelmessigheter ved koordinatene 50 og 125 uten at en kan si at dette representerer anomalier. Ledningsevne-målingene viser en meget klar anomali mellom koordinatene 70 og 90, og to svakere anomalier ved koordinatene 50 og 125. Den mest markerte av disse bekreftes av lavhastighetssone mellom koordinatene 75 og 85. Det er åpenbart at en her har en sprekkesone, og boringer mot denne bekrefter tolkningen (Sand 1988). Dessverre var sonen tett av leirmineraler og gav derfor ikke vann.

Resultatene fra WADI-målingene domineres av en kraftlinje ved ca. koordinat 200. Ellers indikerer realdel og filtrert realdel en klar anomali ved koordinat 75, og svakere utslag som kan tolkes som anomalier ved ca. koordinatene 40, 90, 110 og 130. Sammenholdt med ledningsevne-målingene kan det se ut som om utslagene ved 40 og 130 kan være reelle, noe som også kan være i overensstem-

instrumentets skjerm, kan denne anomalien knapt erkjennes. I dette tilfellet står en i fare for å overse en relativt klar anomali dersom en ikke benytter plott med tilstrekkelig oppløsning.

Tolkning av fall og dyp (figur 10a) synes her umulig. Derimot indikerer et relativt klart fall ved koordinat 215, selv om en her må stille spørsmål om det virkelig er en anomali.

4.5. Dromnes, profil 8

WADI-data fra profil 8 ved Dromnes er vist i figurene 13 og 14. NGU VLF, ledningsevne, slingram og seismisk tolkning er vist i figur 15. Her ble samme VLF-stasjon (JXZ) benyttet ved de to målingene.

NGUs VLF viser en klar anomali ved koordinat 140 og en mer tvil- som anomali ved koordinat 205. Disse faller delvis sammen med toppen i ledningsevne ved koordinatene 135 og 190 og anomalier på slingram imaginær ved koordinatene 130 og 200. På seismikken kan en klar svakhetssone identifiseres mellom koordinatene 120 og 140. Også mellom 200 og 210 fremstår en lavhastighetssone, men denne er noe mer usikker på grunn av støy i data.

Ved WADI-målingenes realdel kommer også anomalien ved koordinat 140 frem, muligens noe forskjøvet. Det fremstår imidlertid langt klarere anomalier ved koordinatene 230 og 265 uten at noen av de øvrige metodene gir klare anomalier her. Profilet preges ellers av hurtige oscillasjoner som ikke kan tilskrives noen markerte sprekkesoner. På den filtrerte realdelen drukner anomalien ved koordinat 140 i mønsteret av lokale topper.

Falltolkning på anomalien ved 140 gir ikke noe klart bilde (figur 13a). Derimot indikeres et klart fall ved koordinat 235 uten at de andre metodene som er benyttet gir noen markert anomali her.

4.6. Testprofil fra ABEM

Et testprofil, som brukere kan benytte når de skal gjøre seg kjent med instrumentet, er lagt inn i minnet. Skjermdump av disse data unntatt "ikke filtrert imaginærdel" er vist i figur 16. Dette er meget rene og fine data som må betraktes som et skoleeksempel. Tolkning av fall gir her et entydig resultat (figur 16b) som i følge leverandør er i samsvar med geologien. En vant tolker kan imidlertid se dette fallet direkte på den ikke filtrerte realdelen.

Den analoge strømtetthet i forskjellig dyp er beregnet ved hjelp av filtreringsprogrammet og en pseudoseksjon av realdelen er vist i figur 20. Her fremstår sonenes beliggenhet og fall meget klart. Det fremkommer imidlertid ikke informasjon ut over det som kan tolkes direkte på realdelen, og dette noe tidkrevende arbeidet kan synes unødvendig.

5. VURDERING AV INSTRUMENTET

5.1. Valg av sendere

Som det fremgår av vedlagte brosjyre fra ABEM, finnes en lang rekke VLF-stasjoner verden rundt. På NGUS VLF-mottagere (selvbygde og Geonics EM 16) er bare 6 stasjoner tilgjengelig. I situasjoner hvor en ikke kan finne en aktiv sender i gunstig retning i forhold til strøkretningen, har en ofte ønsket flere stasjoner å velge mellom. Det ble derfor undersøkt, både i Trondheim og i Aure, om noen av de øvrige stasjonene kunne være aktuelle.

Ved å gå gjennom frekvensspekteret fra 15 kHz til 30 kHz i forskjellige retninger kom det opp en lang rekke frekvenser med høy signalstyrke. Mange av disse kunne ikke identifiseres som fjernt-

liggende anvendbare VLF-stasjoner og leverandører anbefaler ikke å benytte disse da de kan representere nærliggende støykilder. I praksis ble en sittende igjen med de samme kjente senderne som er tilgjengelig på NGUs mottagere (FOU, GBR, JXZ, GBZ og NAA), og i Midt-Norge har en i alle fall ikke større valgfrihet. Dersom en skal operere over hele jorda, er det klart at instrumentet har store fordeler ved at en kan ta inn de senderne som er mest aktuelle på ethvert sted.

Den automatiske utvelgelsen av senderstasjon har i ett tilfelle valgt en stasjon som ligger i ugunstig retning i forhold til sprekkesonens strøk (Vihals). Dette resulterte i at en anomali som var meget klar på målingene med NGUs instrument og som er verifisert ved ledningsevne målinger og refraksjonsseismikk, ikke kunne identifiseres på WADI-data. Dette viser at den automatiske utvelgelsen må etterprøves, slik at en finner en stasjon som ligger gunstig plassert selv om denne kan gi svakere primærfelt i den aktuelle profilretningen.

5.2. Presentasjon av data

Den automatiske plottingen av målte eller prosesserte data på instrumentets skjerm, har meget dårlig oppløsning og koordinater mangler. Dette er et problem av mindre betydning siden koordinater kan avleses ved å flytte "cursor" og aktuelle dataverdier blir vist på skjermen (se f.eks. figur 1a). Dersom en ønsker det kan også data plottes med bedre oppløsning.

Et annet problem, som er av langt større betydning, er at filtreringen av realdelen har vist seg å kamuflere klare anomalier (Dromnes, profil 7 og profil 8). Denne effekten må også ses i sammenheng med at WADI har gitt langt flere avvik i kurveform som er av samme størrelse som de "verifiserte" anomalier. Noen av disse indikeres svakt ved andre målemetoder (NGU VLF og ledningsevne), men noen fremstår bare på WADI-data.

melse med berggrunnstopografien (figur 9c). Utslagene ved koordinatene 90 og 110 er imidlertid høyst tvilsomme, og en kan ikke se bort fra at målingen/prosesseringen konstruerer anomalier som dessverre er av samme størrelse som de reelle anomaliene.

Tolkning av fall gir her et entydig bilde (figur 7a), men resultatet er ikke i samsvar med de observasjoner en kunne gjøre under boring og senere borhullslogging.

4.4. Dromnes, profil 7

WADI-data fra profil 7 Dromnes er vist i figurene 10 og 11. NGU VLF, ledningsevne og slingram er vist i figur 12. Ved WADI-målingene ble den franske stasjonen FOU benyttet, mens en ved målingene med NGUs instrument benyttet JXZ. Begge disse stasjonene ligger noe ugunstig plassert i forhold til sprekesonenes strøkretning, men feltet fra de to har nær samme retning.

VLF-målingene med NGUs instrument viser et uvanlig forløp. For det første er data påvirket av en kraftlinje ved koordinat 0. Realdelen viser en langbølget anomali mellom koordinatene 120 og 210. Over dette ligger lagret mindre avvik ved koordinatene 100, 130, 165 og 205. Ledningsevne-målingene viser en nær sammenhengende anomali mellom koordinatene 100 og 210, og i tillegg starten på en anomali ved koordinat 50. Slingrammålingenes realdel gir liten informasjon, og er i sterk grad påvirket av topografi. Imaginærdelen indikerer imidlertid ledende soner ved koordinat 50 (tvilsom), mellom koordinatene 100 og 170 og ved koordinat 195. Sammen indikerer disse målingene relativt klart mer eller mindre sammenhengende oppsprekning mellom koordinatene 100 og 210.

Realdelen av WADI-målingene viser en kurveform som er svært lik tilsvarende kurve målt med NGU-instrumentet. Den langbølgede anomalien kommer klart frem mellom koordinatene 100 og 175, men avviker noe i detalj. Når disse data filtreres og presenteres på

Det finnes ikke grunnlag for å avgjøre om sistnevnte anomalier er "falske" eller om WADI er mer følsomt for mindre strømkonsentrasjoner i bakken. I leting etter massive sulfider vil dette ikke være noe problem da anomaliene blir langt sterkere. Ved sprekkesonekartlegging og kartlegging av impregnasjonsmalmer hvor anomaliene kan være meget svake, må en være klar over dette problemet og ikke filtrerte real- og imaginærdel bør plottes og studeres.

5.3. Automatiske tolkninger

Automatisk tolkning av fall har i ett tilfelle gitt sammenfallende resultater med hva en vet om geologien fra tidligere undersøkelser (Bymarka, profil 1050). Over alle sprekkesoner i fjell har anomaliene ved WADI-målingene vært for svake til å gi pålitelige falltolkninger. I noen tilfeller har en fått relativt klar tolkning av fall uten at en med sikkerhet kan si at det foreligger noen sprekkesone. Dette viser at en spesielt ved sprekkesonekartlegging hvor anomaliene kan være meget svake, må være forsiktig med å stole på den automatiske falltolkningen. I det tilfellet falltolkningen fungerte var det enkelt å tolke fallet ut fra realkurven.

Automatisk tolkning av dyp ned til ledende sone har i de fleste tilfeller ikke fungert på grunn av for svake anomalier. I det ene tilfellet hvor anomalien var klar nok til å gi entydig falltolkning (Bymarka), ble dybdeangivelser åpenbart feil. Tidligere erfaringer (Müller & Eriksson 1982 og egne) har vist at kvalitative dybdetolkninger kan være vanskelige selv i tilfeller med sterke anomalier. Dette viser at en ikke kan stole for mye på den automatiske tolkningen av dyp ned til ledende sone.

5.4. Produksjonshastighet

Ved uttestingen av ABEM WADI ble det kun foretatt måling av korte enkeltprofil og et sikkert anslag av målte profilkm pr. dag er vanskelig. Det er imidlertid klart at instrumentets store styrke er nettopp produksjonshastigheten. Sammenligning av forbrukt tid på måling av enkeltprofiler viser at WADI-målingene kan gjøres på ca. halvparten av tiden det tar ved bruk av tradisjonelle VLF-instrumenter. I tillegg til innspart tid i felt kommer en betydelig effektiviseringsgevinst i uttegningen av profiler siden data er lagret digitalt.

6. KONKLUSJON

Sammenlignet med tradisjonelle VLF-mottagere er ABEM WADI et meget effektivt instrument. Produksjonshastighet i felt er betydelig større og i tillegg kommer innspart tid ved plotting av data. Selv om instrumentet kan velge senderstasjoner i et kontinuerlig spektrum fra 15 til 30 kHz, har det imidlertid vist seg at en i praksis ikke har tilgang på flere stasjoner enn hva NGUs tradisjonelle mottagere har innebygd. Den automatiske presentasjonen på instrumentets skjerm har dårlig oppløsning. Ved den enkle uttestingen som her er foretatt, har det vist seg nødvendig å studere ikke filtrerte data for å kunne klart identifisere anomalier fra sprekkesoner som er verifisert ved andre målemetoder.

Den automatiske tolkningen av fall og dyp ned til ledende struktur har delvis gitt meget tvilsomme data, og disse funksjonene må brukes med fornuft.

Trondheim, 15. april 1991

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

Geofysisk avdeling


Jan Steinar Rønning

Forsker

7. REFERANSER

- ABEM 1987: ABEM WADI VLF instrument. Simple state-of-the-art water and mineral prospecting instrument. ABEM Printed Matter No. 90 282.
- Lanne, E. 1989: VLF-Pseudosections in the Conductivity Mapping. Abstract Ge exploration 26, p. 47.
- Karous, M. & Hjelt, S.E. 1983: Linear Filtering of VLF Dip-Angle Measurements. Geophysical Prospecting vol. 31, no. 5.
- Müllern, C.-F. & Eriksson, L. 1982: Möjligheter till analys av VLF-anomalier vid prospektering efter grunnvatten i berg. STU-rapport 80-4151.
- Rønning, J.S. 1989: Geofysiske målinger over mulige vannførende sprekkesoner i Aure kommune. NGU Rapport 89.082.
- Sand, K. 1988: Grunnvann i fjell. Gjennomføring av boringer i prioriterte områder i Aure kommune. NGU Rapport 88.218.

ABEM WADI

Simple, state-of-the-art water prospecting instrument

Atlas Copco



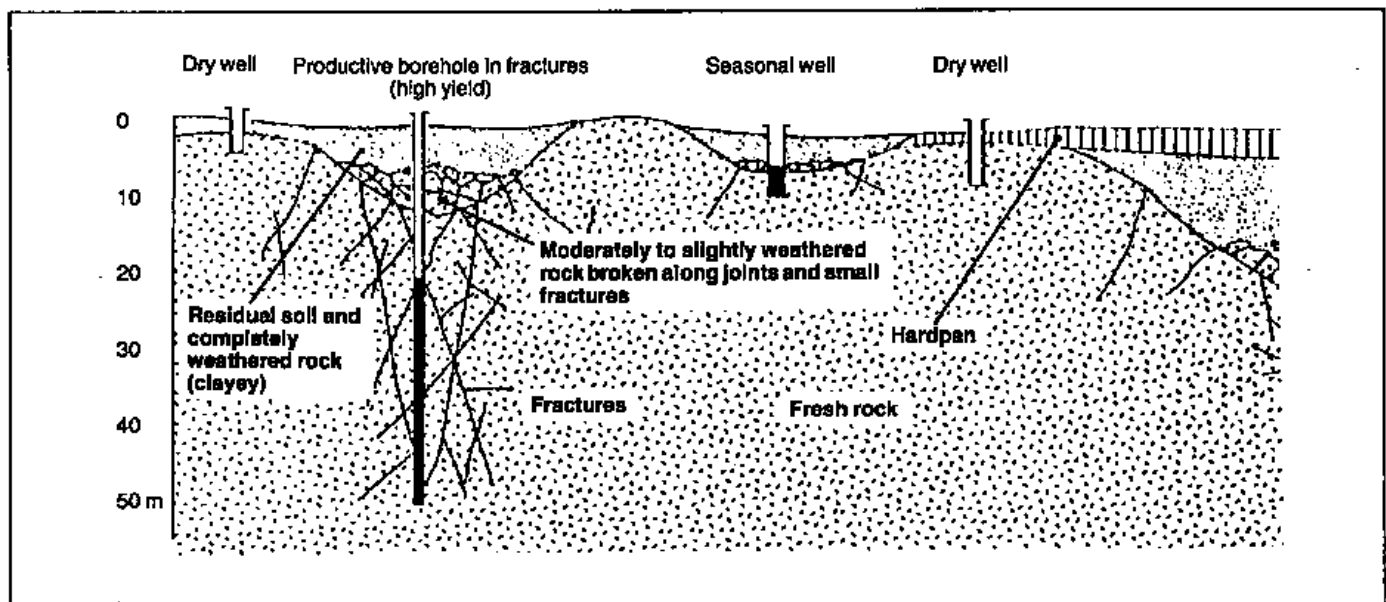
HOW THE WADI FINDS WATER

Good drinking water can be obtained from hard rock. But drilling without previous site investigation seldom yields water in useful quantities. Effective water development programs must include carefully conducted geological and geophysical investigations. The WADI finds structures where useful quantities of underground water may be trapped in rock fractures and cavities, thus enabling drillers to select the most promising sites for their wells.

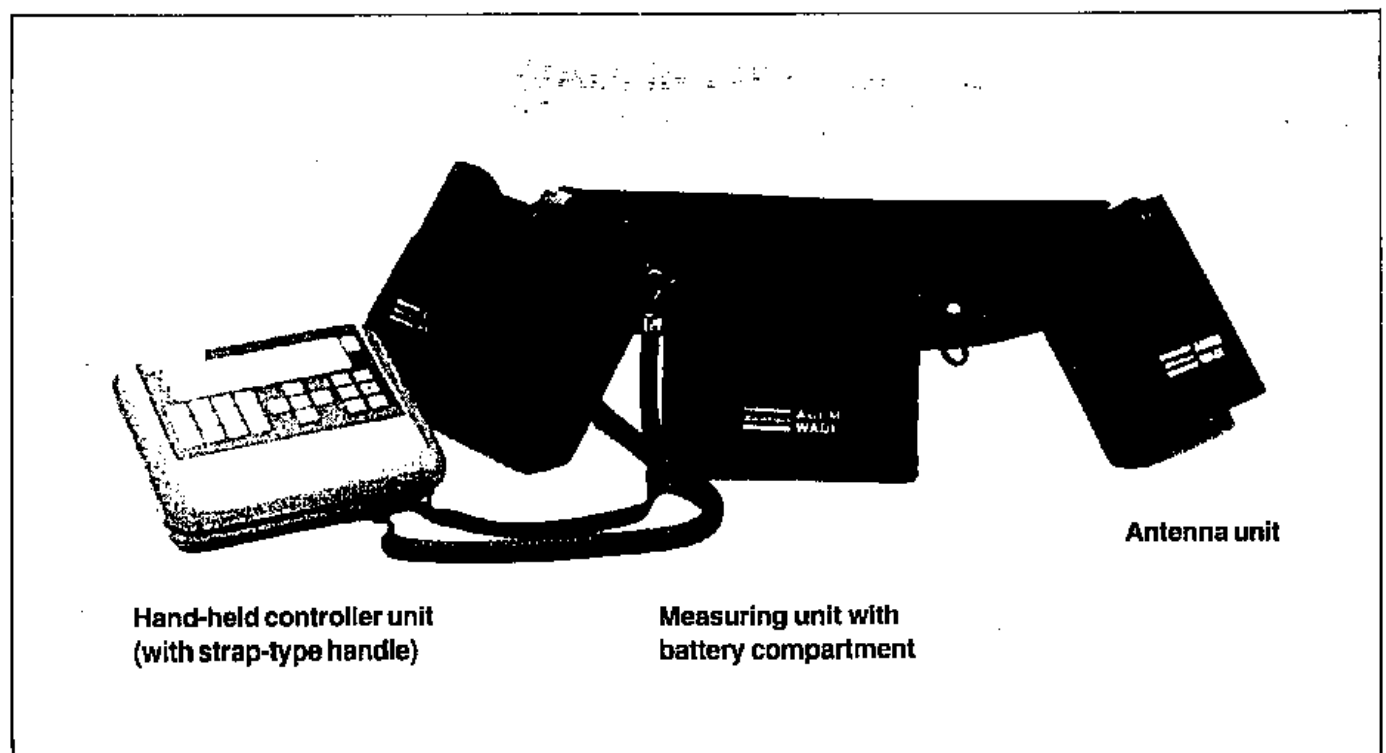
The WADI combines state-of-the-art geophysics with forked-stick simplicity. But unlike the divining rod, the

WADI's results are convincingly consistent. And unlike most geophysical instruments, the WADI presents your answer on site without requiring complicated interpretation.

However, the WADI simply finds physical structures. It cannot guarantee that they contain water (such structure might comprise an orebody for example). Nonetheless, the VLF principle on which the WADI is based has an excellent track record when it comes to finding useful quantities of water in hard rock.



The WADI finds structures where water may be trapped.



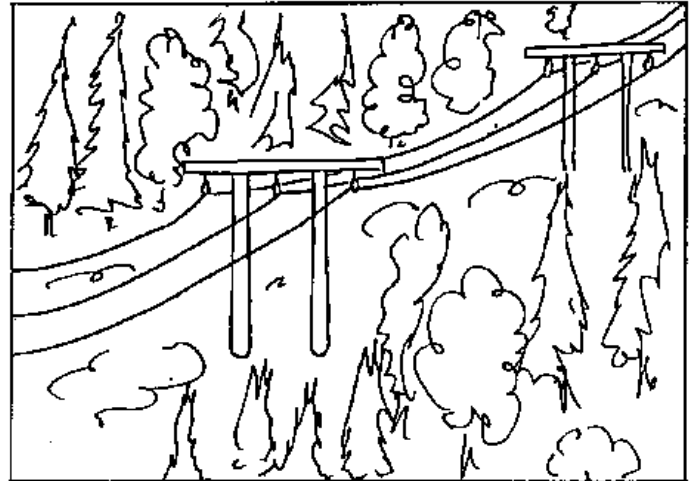
FINDS PIPES, CABLES AND OREBODIES

Blessing or nuisance?

Since the WADI reacts to the high electrical conductivity of fracture zones in the rock, it also reacts to other types of high-conductivity anomalies such as electrical cables (underground or overhead), buried metallic pipes and certain types of orebodies.

Because of the many buried man-made objects, surveys conducted in urban areas are seldom successful. However, the WADI can be used (under favourable conditions) to locate hard-to-find pipes and cables.

The WADI is based on the well-known, time-tested VLF mineral prospecting method. It can be re-programmed to display the familiar in-phase and out-of-phase magnetic field tilt angle components used by most geophysicists for interpretation.



Where to be careful using WADI

There are certain areas where the WADI cannot be expected to work well:

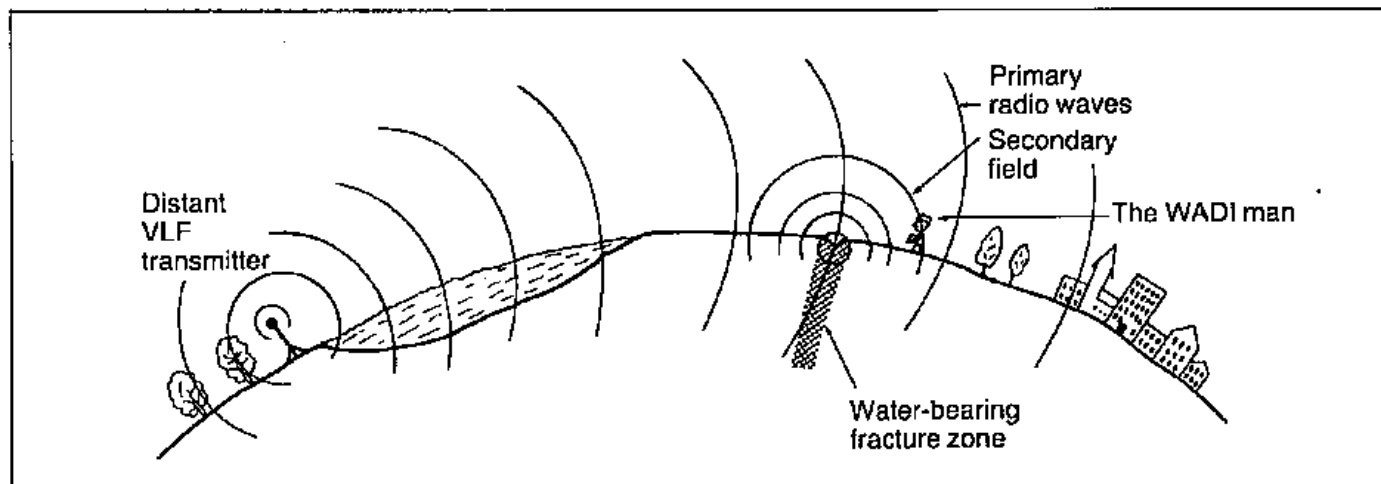
In areas having horizontal layers of soil and rocks and very few fracture systems (often encountered in young sedimentary rock). Here, water can be expected to form aquifers at a certain depth, and since you are interested primarily in determining the depth to the water and the thickness of the water-bearing layer, you should use the ABEM Terrameter SAS 300.

If the topsoil is electrically conductive, it will be difficult to obtain information from structures in the rock below. Such areas are moist (sometimes even saline) or covered by clays and salt planes. Here too, the ABEM Terrameter SAS 300 is preferable.

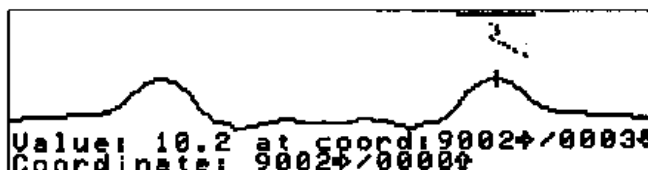


The Terrameter SAS 300 B System

THE VLF PRINCIPLE



The WADI utilizes the magnetic components of the electromagnetic field generated by already-existing radio transmitters in the VLF (Very Low Frequency) band. These transmitters are used for long-distance communication (see map), and they operate at 10-30 kHz. Conductive structures on the surface or underground, even when covered with thick overburden, affect locally the direction and strength of the field generated by the transmitted radio signal. The WADI measures the radio signal distortion and presents the result directly on a display screen.



When the surveyor passes over a conductive structure, the WADI displays a peak on a normally straight line. By pressing a key, the WADI will indicate the depth to the conductive zone and its dip.

Some VLF Transmitters VLF Stations that can be used with the WADI include:

	Frequency (kHz)	Power (kW)		Frequency (kHz)	Power (kW)
Bordeaux, France (FUO)	15.1	500	Annapolis, USA (NSS)	21.4	400
Rugby, Great Britain (GBR)	16.0	750	Northwest Cape, Australia (NWC)	22.3	1000
Hegeland, Norway (JXZ)	16.4	350	Laulualei, Hawaii, USA (NPM)	23.4	600
Gorki, USSR (ROR)	17.0	315	Buenos Aires, Argentina (LPZ)	23.6	
Moscow, USSR (UMS)	17.1	1000	Cutler, Maine, USA (NAA)	24.0	1000
Yosamai, Japan (NDT)	17.4	50	Seattle, Washington, USA (NLK)	24.8	125
Oxford, Great Britain (GBZ)	19.6		Aguada, Puerto Rico (NAU)	28.5	100



The WADI tunes in automatically on the most suitable transmitter located roughly perpendicular to your survey line. You will see the frequency on the display. If a weaker, local transmitter (not listed above) is in

operation, the WADI tunes in on it since it is more suitable. It's also possible to set the WADI to a specific frequency from the keyboard.

PLAN AHEAD

Before switching on your WADI, take a few moments to plan your survey. How to run the survey lines is your most important decision. If terrain features such as valleys, hillocks, creeks etc. tend to run in a given direction, you should try to run your profiles perpendicular to this direction. If the terrain is sloping, it's often better to move up

and down the slope rather than to traverse it. If you're in a flat area without any prominent features, it is advisable to run two sets of profiles, (north-south and east-west for example). If you are looking for water, select low-lying areas rather than plateaus.



SURVEYING IS A CINCH

Assume that you're standing at the beginning of your first profile. Face the direction in which you intend to walk and switch on your WADI. After a brief pause, the following will appear on the display:

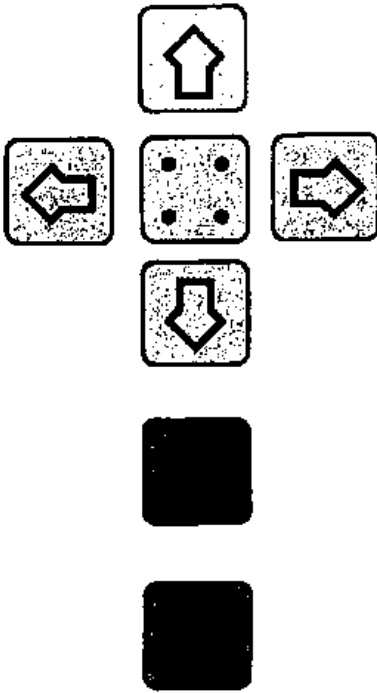
```
*** ABEM WADI VLF System ***
```



Press the STATIONS key. Set the frequency to 00.0 kHz and press the STATIONS key again. The WADI will scan the VLF band and lock onto the most powerful transmitter presently on the air which is located roughly at right angles to your profile. It's frequency appears on the display:

```
Present VLF-freq: 15.0 kHz
```

cont'd



Use the keyboard to set profile direction, distance between profiles and the between-stations interval (numbers of metres, feet, steps or the like that you will walk between readings). A between-station interval of 5 m is often suitable.

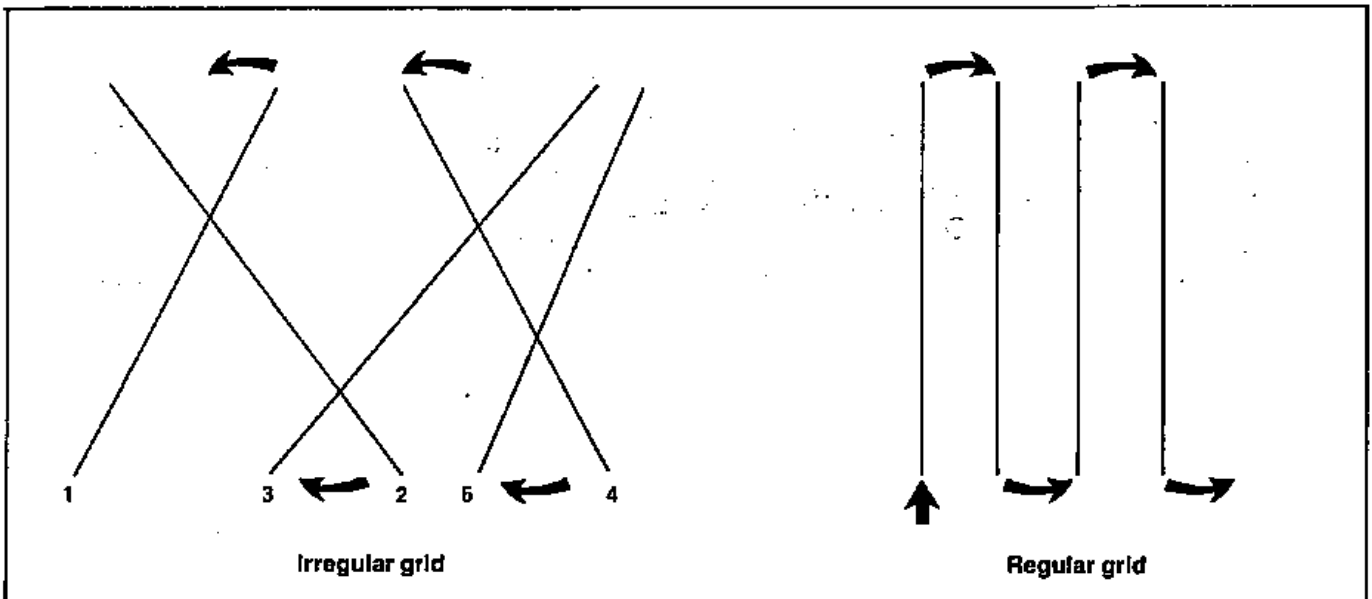
Press the MEASURE key to get your WADI in "ready" mode. Press MEASURE once more and hold WADI steady when measuring. Walk to next station and repeat. At each station, the WADI calculates the result and presents it on the display. The stations should be spaced at regular intervals.

A conductor in the bedrock appears as a peak (anomaly) on the normally flat curve. When you notice a rise in the curve, you can go back and flag the station where the maximum occurred. Then continue the survey until readings return to normal again. When the complete anomaly is shown on the display, move the cursor to the peak value and press the INTERPRET key to get an indication of the dip and depth of your structure.



Normally, more than one profile will be needed to indicate whether or not the structure is a good drilling target. Run additional parallel profiles to see whether the zone is wide enough to provide a good yield.

Depending on the terrain, profiles can be run in irregular or regular patterns. When you run non-parallel profiles, it's advisable to retune the WADI for each new profile.



Calculation of current density:

$$I(0) = K (-0.102 H_3 + 0.059 H_2 - 0.561 H_1 + 0.561 H_1 - 0.059 H_2 + 0.102 H_3)$$

K depends on the between-station interval.

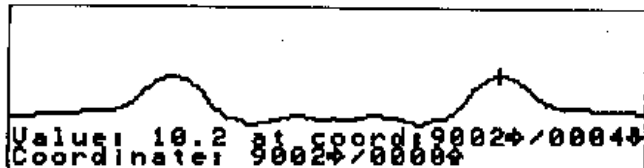
H_n is n stations behind (-) or in front of (+) the station in question (0). Note that the values for already-measured stations will change until three more stations have been measured. This filter formula was published in "Geophysical Prospecting", 1983 (M. Karous and S.E. Hjelt).

OUTPUT, PRINT-OUT AND COMMUNICATION

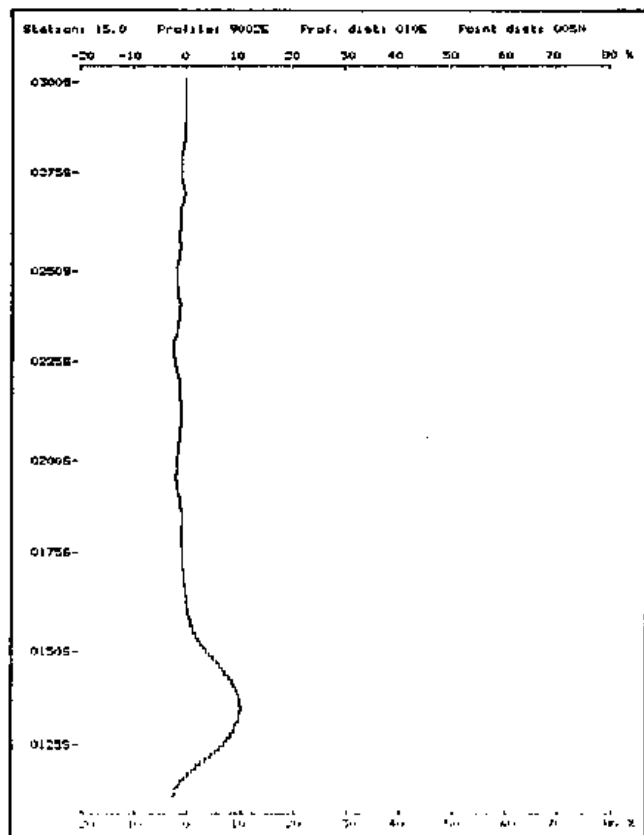
There are three output options. The screen content or the entire curve can be sent to a dot matrix printer and the data can be sent to a computer.



PRINT F0 – Prints out the screen content



PRINT F1 – Prints out the full curve



SEND DATA F2 – Sends data to a computer

90024	02768,-00.7	02518,-01.6	02268,-02.6
03008, 00.0	02758,-00.7	02508,-01.6	02258, 01.9
02998, 00.0	02748,-00.6	02498,-01.6	
02988, 00.0	02738,-00.5	02488,-01.6	
02978, 00.0	02728,-00.4	02478,-01.6	
02968, 00.0	02718,-00.3	02468,-01.6	
02958, 00.0	02708,-00.2	02458,-01.5	
02948, 00.0	02698,-00.4	02448,-01.4	
02938, 00.0	02688,-00.5	02438,-01.4	
02928, 00.0	02678,-00.7	02428,-01.2	
02918, 00.0	02668,-00.9	02418,-01.0	
02908, 00.0	02658,-00.9	02408,-01.1	
02898, 00.0	02648,-00.9	02398,-01.1	
02888,-00.1	02638,-01.0	02388,-01.2	
02878,-00.1	02628,-01.0	02378,-01.3	
02868,-00.1	02618,-01.0	02368,-01.4	
02858,-00.2	02608,-01.1	02358, 01.5	
02848,-00.3	02598,-01.1	02348,-01.7	
02838,-00.4	02588,-01.1	02338, 01.8	
02828,-00.5	02578,-01.0	02328,-00.0	
02818,-00.7	02568,-00.9	02318, 02.1	
02808,-00.7	02558,-01.1	02308,-02.2	
02798,-00.7	02548,-01.2	02298,-02.2	
02788,-00.7	02538,-01.3	02288,-02.2	
02778,-00.7	02528,-01.4	02278, 02.1	

Technical specification

Primary field	Magnetic components of the EM field emanating from an already-existing VLF transmitter
Measured parameters	Vertical and horizontal in-phase and out-of-phase components
Displayed parameter	Vertical in-phase field expressed as percentage of the horizontal field and recalculated as "current density". Alternatively, any of the 4 measured parameters can be displayed.
Station selection	Automatic (scans and tunes onto the most suitable station) or manual (station frequency entered from keyboard).
Frequency range	15-30 kHz in steps of 100 Hz.
Display	Easy-to-read LCD, 150 x 40 mm.
Languages	English/Spanish. English/French. English/German. English/Swedish. (More versions available soon).
Help key	Pressing this key together with any other key provides context-sensitive help.
Diagnostics	Four-option service menu: - Inclinator calibration. - Change of language. - Memory test. - Internal voltages check.
Inclinometer range	-10° to +10°.
Inclinometer precision	0.2%
Maximum sensitivity	Better than 100 nanoamp/m.
Minimum sensitivity	500 milliamp/m.
Transmitter range	The WADI can normally be used at distances ranging from 75-100 km to about 10 000 km from a powerful transmitter.
Memory capacity	Data from about 6000 measuring stations
Data output	Via serial RS232C interface to standard dot matrix printer (PRINT F0 OR PRINT F1) or modem (SEND DATA).
Power	9 V from 6 standard D-cells, or (optionally) rechargeable cells.
Battery life	Approximately 2 weeks of field work.
Ambient temperature range	-20°C - +50°C. (Built-in heater warms display).
Net weight	Hand-held controller unit 1.6 kg Entire system 6 kg
Shipping weight	10 kg

Items to be ordered

Item	Description	Order Code	Qty	Item	Description	Order Code	Qty
1	WADI basic system	9133 0018 05	1		Optional accessories		
	Controller unit						
	Interconnect cable		2.1		Rechargeable batteries	9139 0400 23	6
	Antenna unit		2.2		Battery charger 220 V	9133 0018 45	1
	Measuring/battery unit		2.3		WADI-to-printer cable	9136 0001 58	1
	Carrying belt		2.4		Dot-matrix printer 80 c	9139 9100 04	1
	Six 1.5 V batteries						
	Two instruction manuals						

Remember to specify your WADI's language when placing an order.

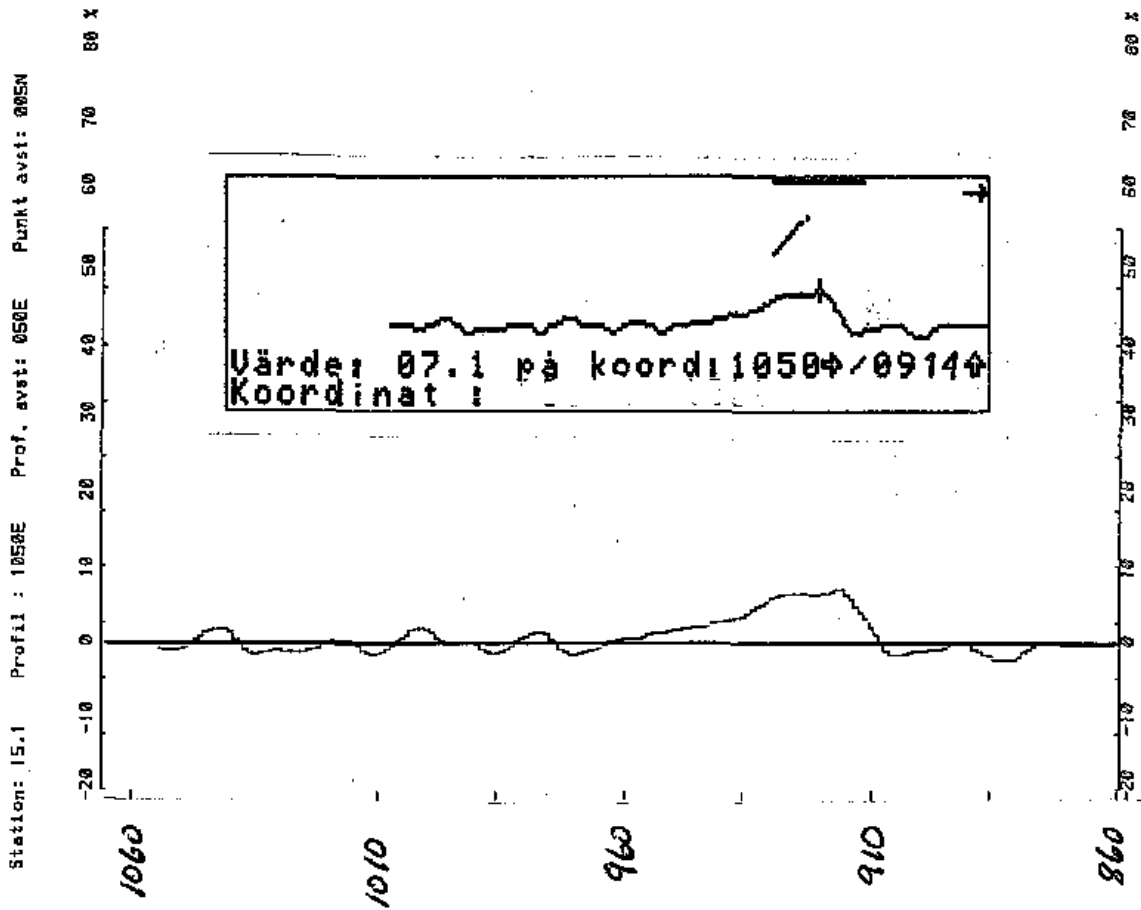
WADI is a registered trade mark of Atlas Copco ABEM

ABEM products undergo continuous development. Write or call today for the latest technical information and prices.

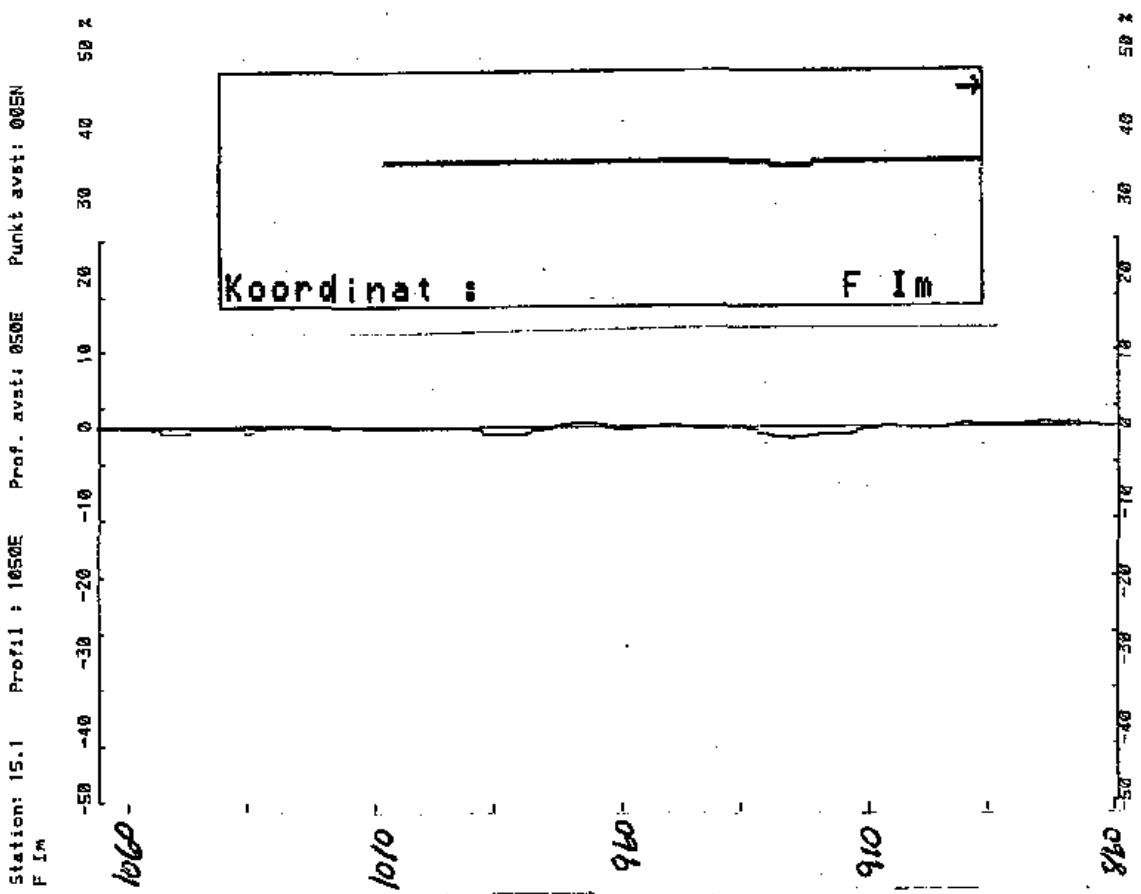
Your distributor

Postal address	Street address	Telephone	Cable	Telex
Box 20086	Hämingatan 27	08-764 60 60	Atlascopcoabem	13079
S-151 20 Bromma	Sundbyberg	Fax	Stockholm	ABEM
Sweden	Sweden	08-28 11 09		

A

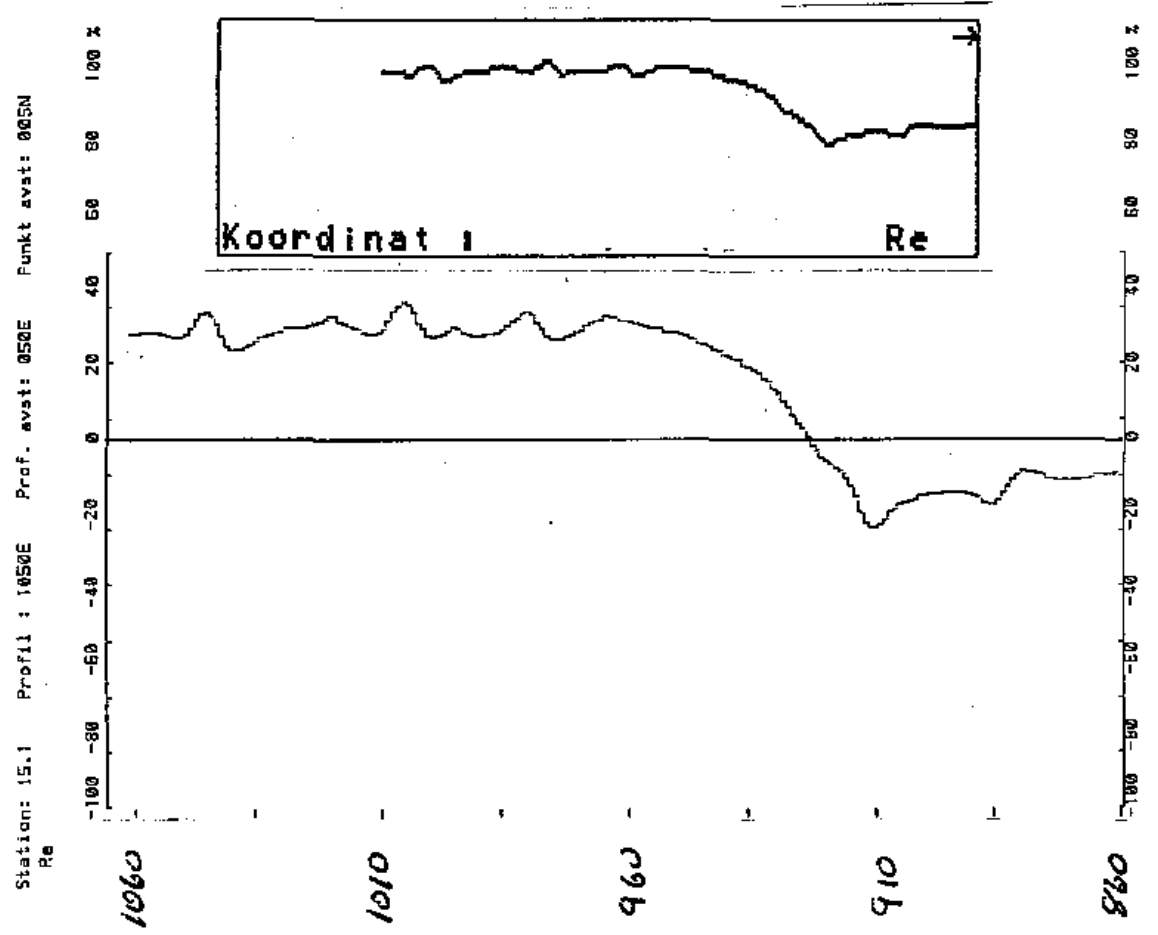


B

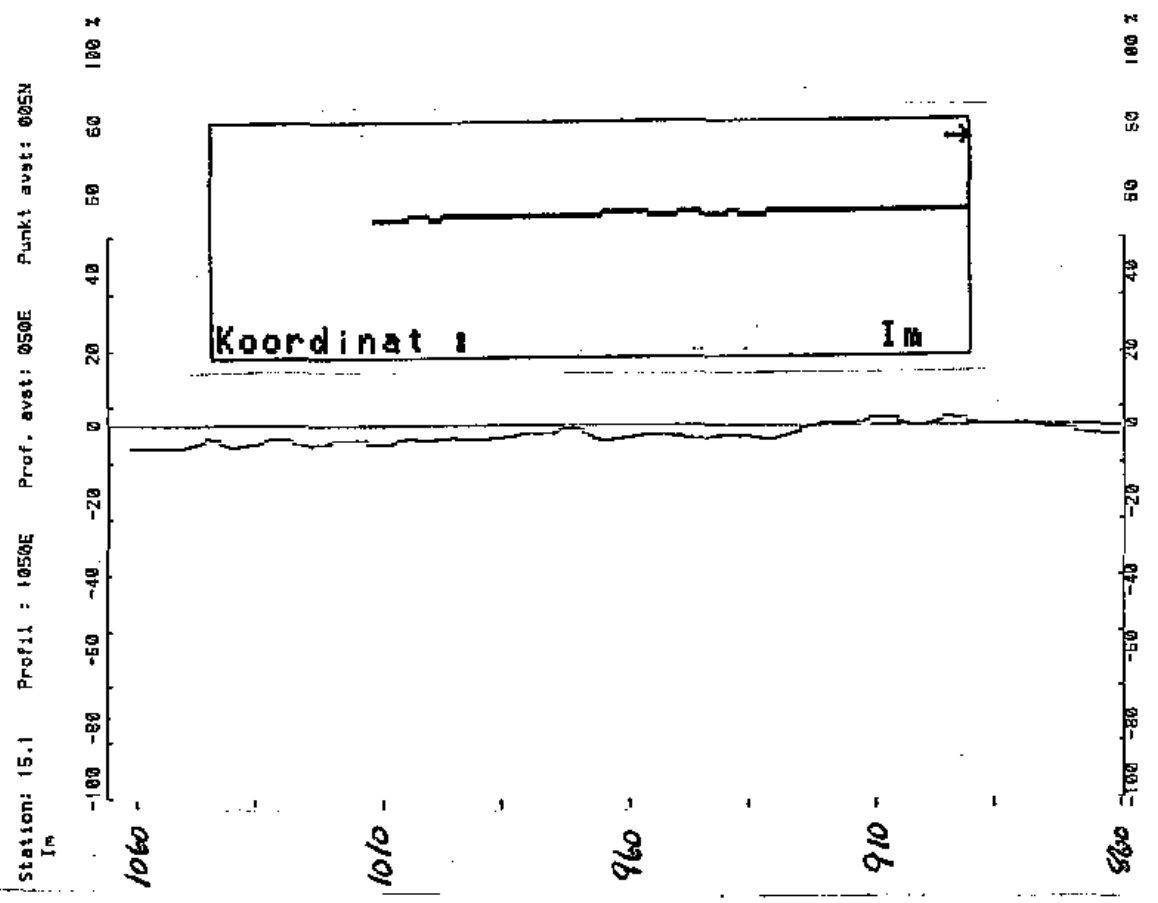


Figur 1: WADI, FRe og FIm, profil 1050 Bymarka

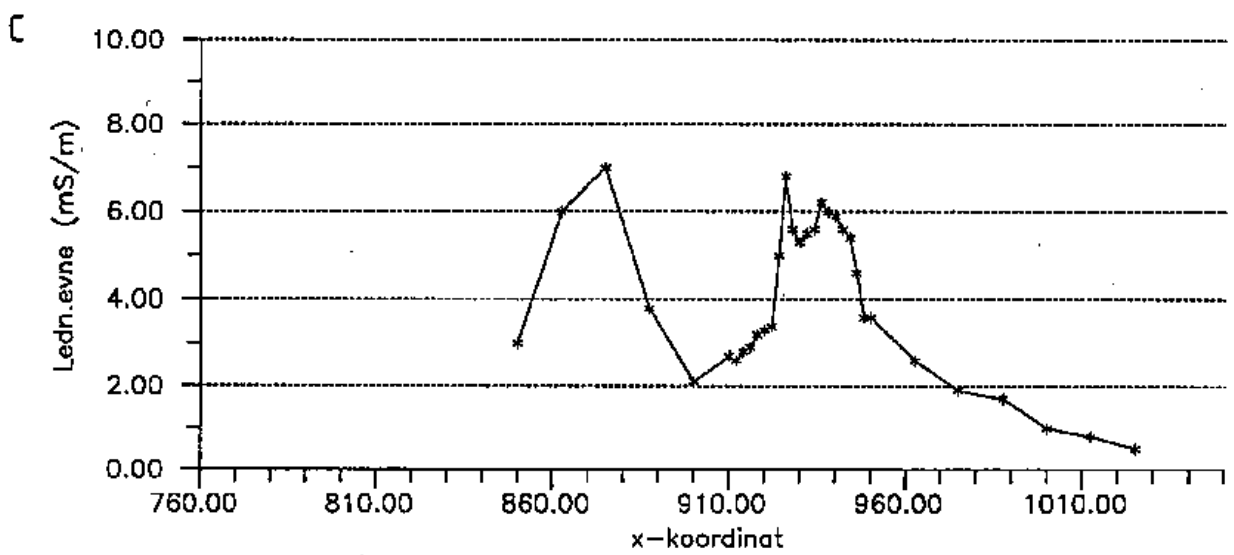
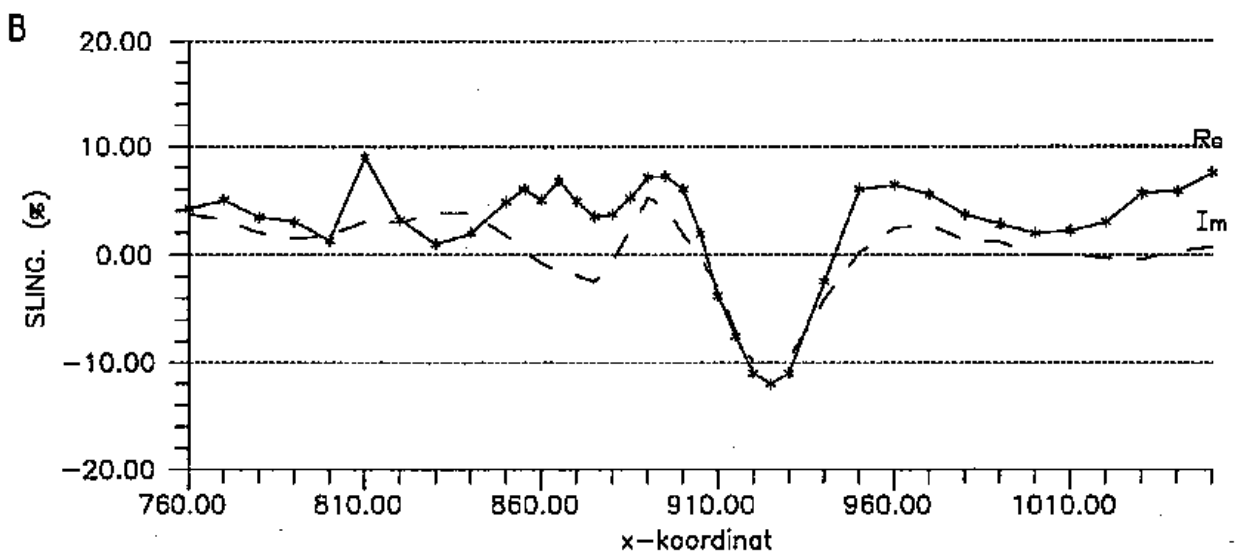
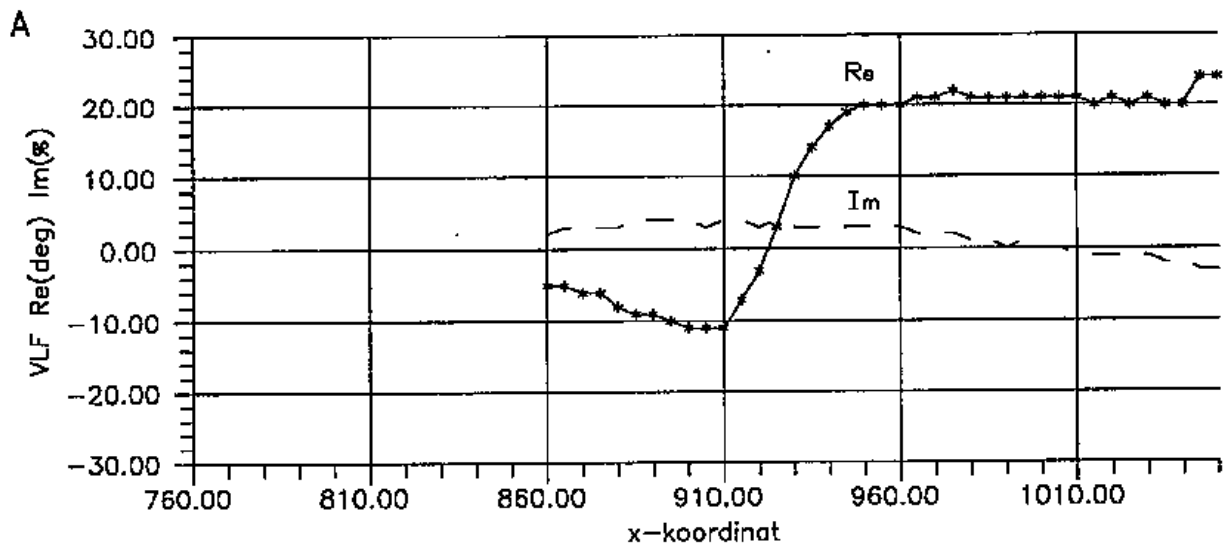
A



B

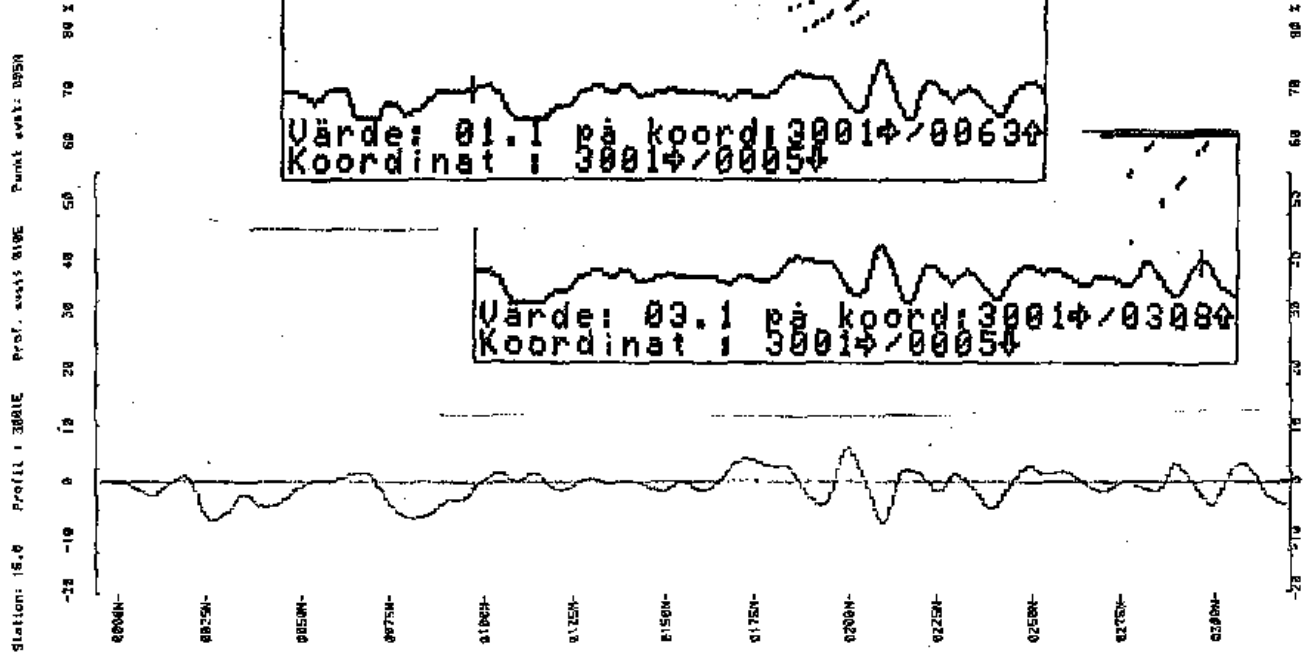


Figur 2: WADI, Re og Im, profil 1050 Bymarka

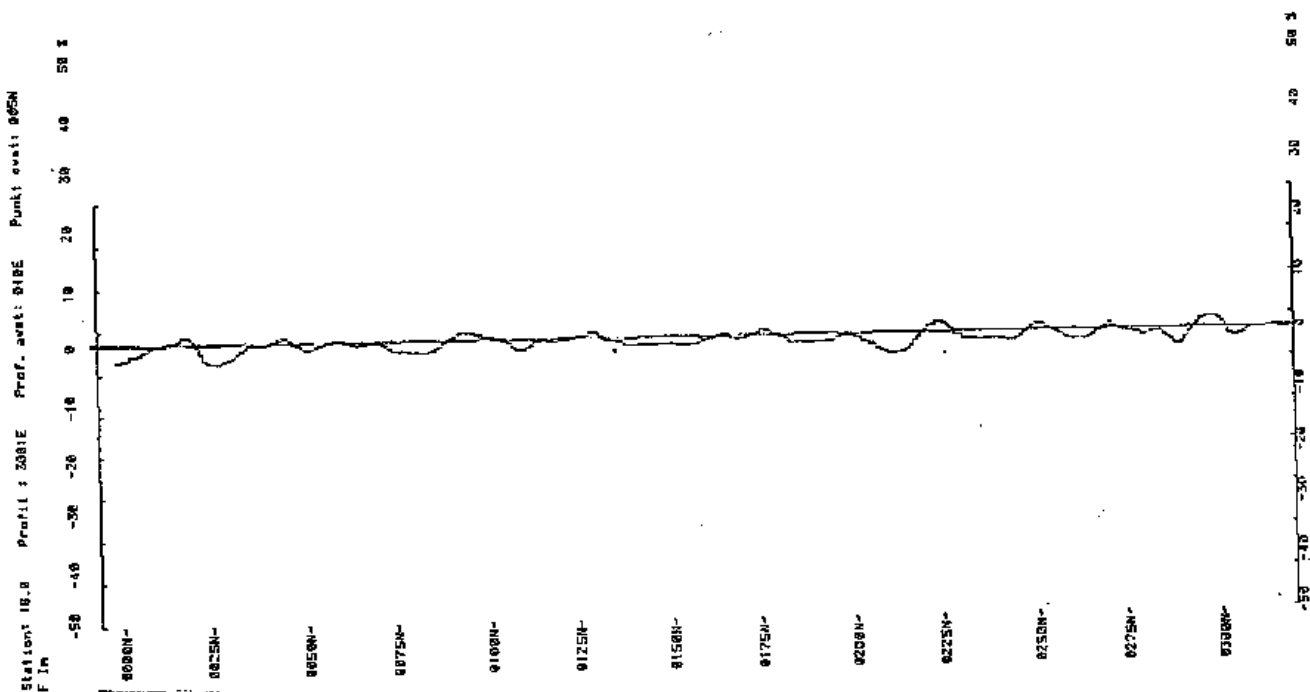


Figur 3: NGU-VLF, Slingram og EM31, profil 1050 Bymarka

A

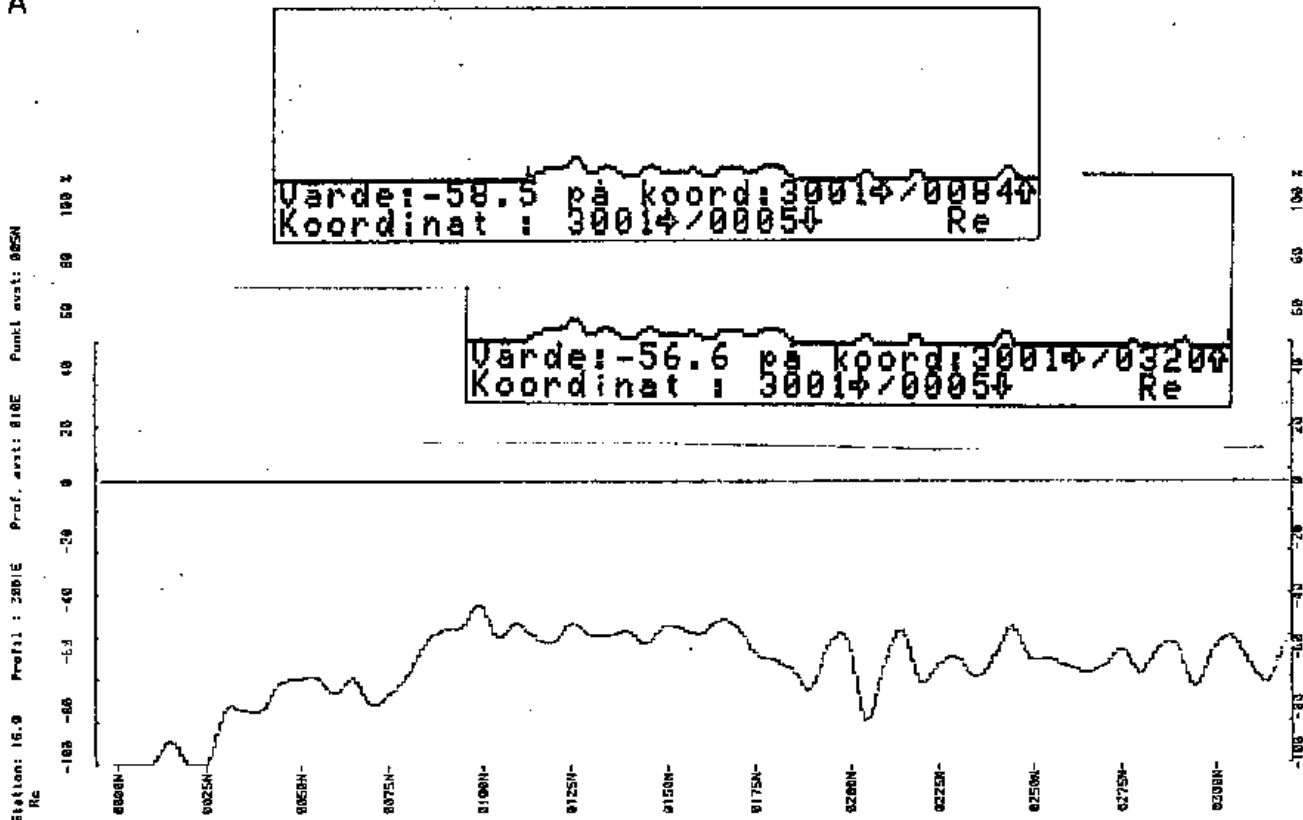


B

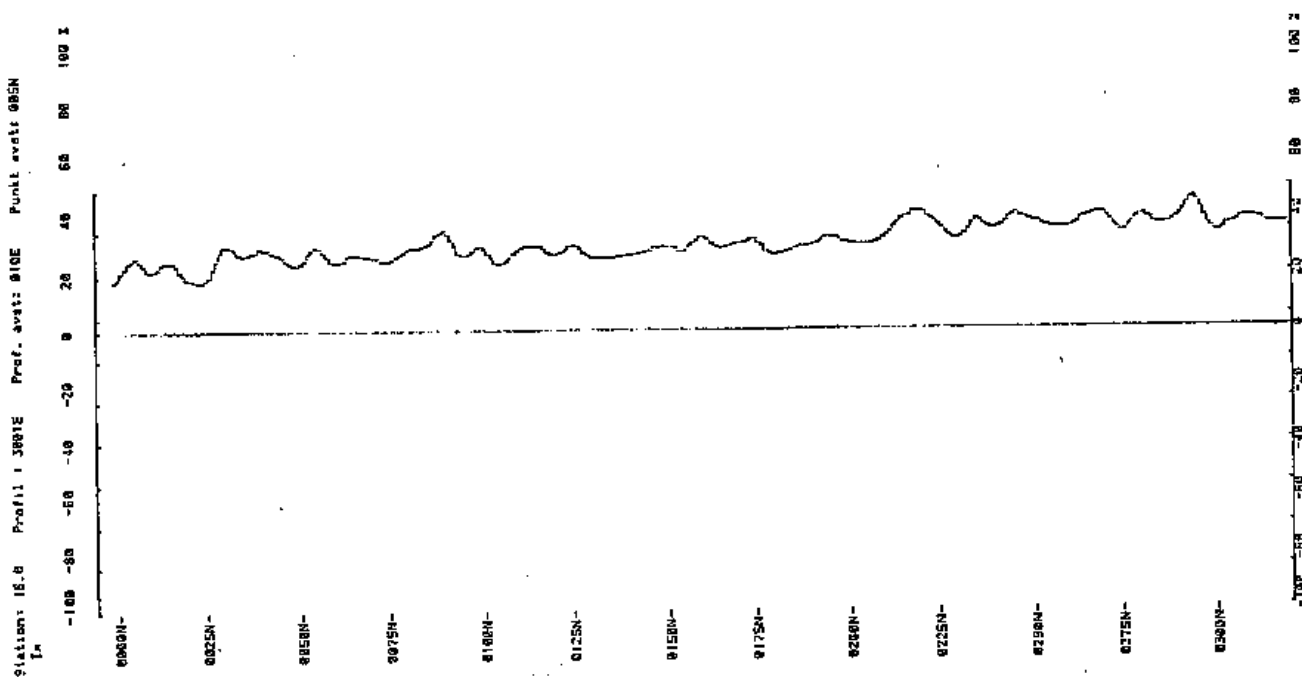


Figur 4: WADI, FRe og FIm, profil 1 Vihals

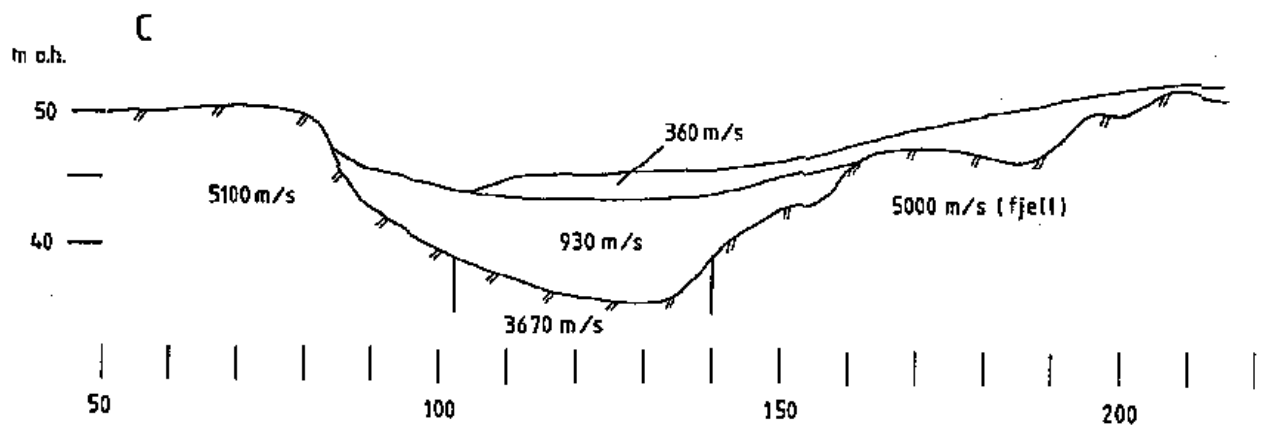
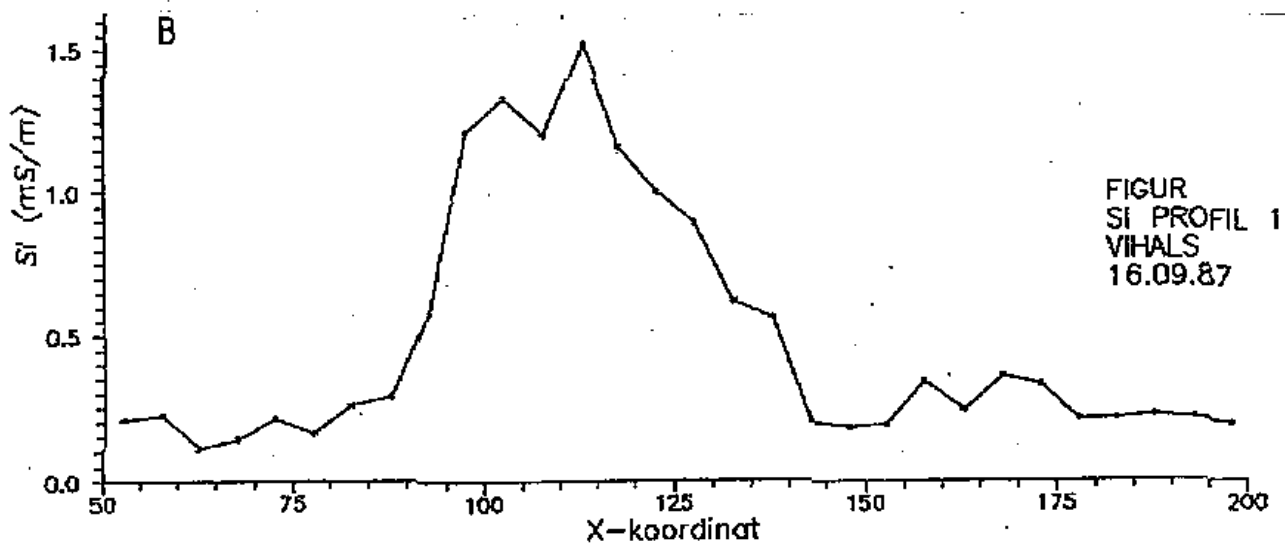
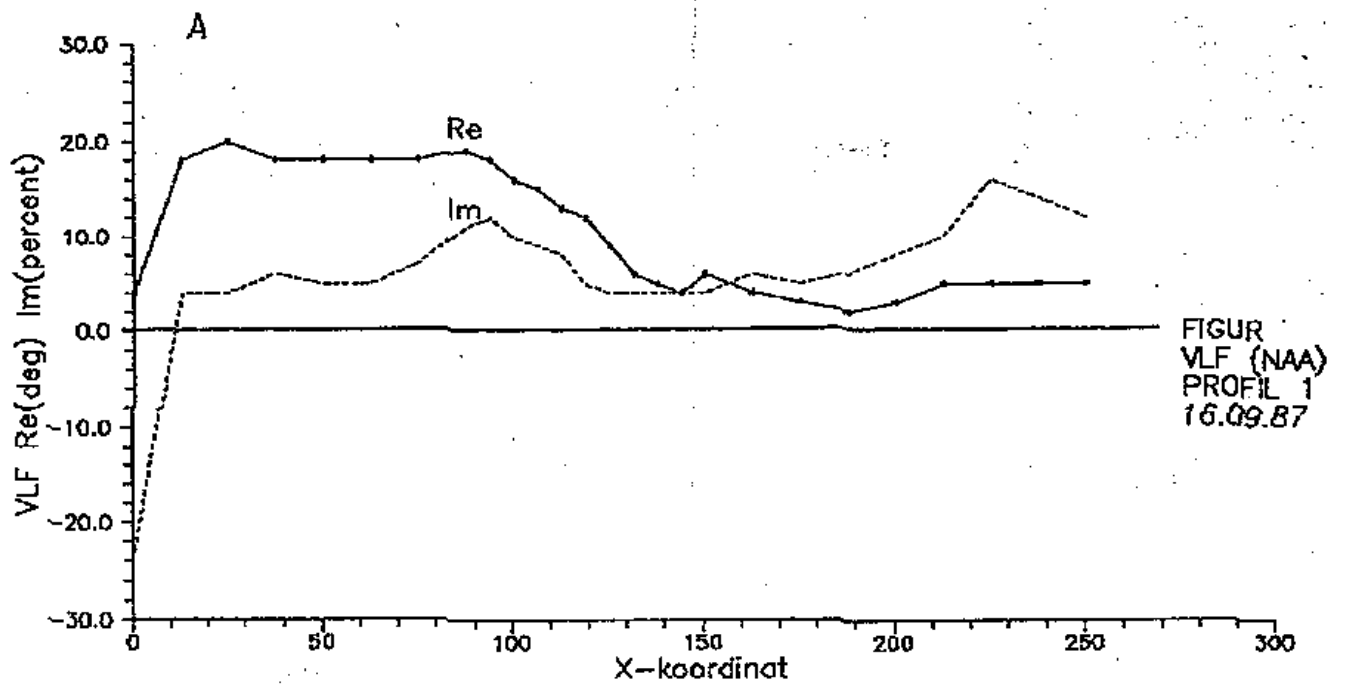
A



B

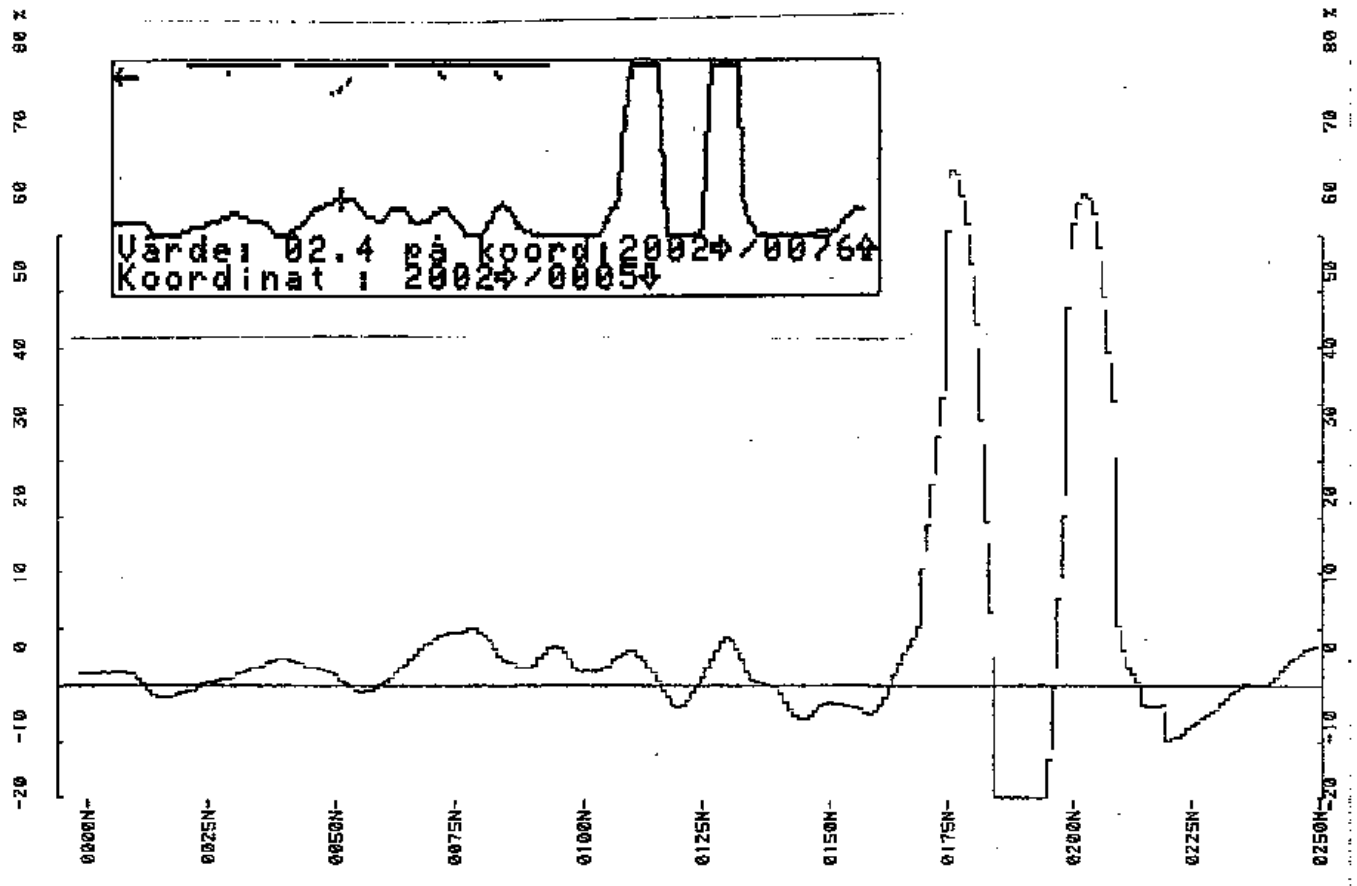


Figur 5: WADI, Re og Im, profil 1 Vihals

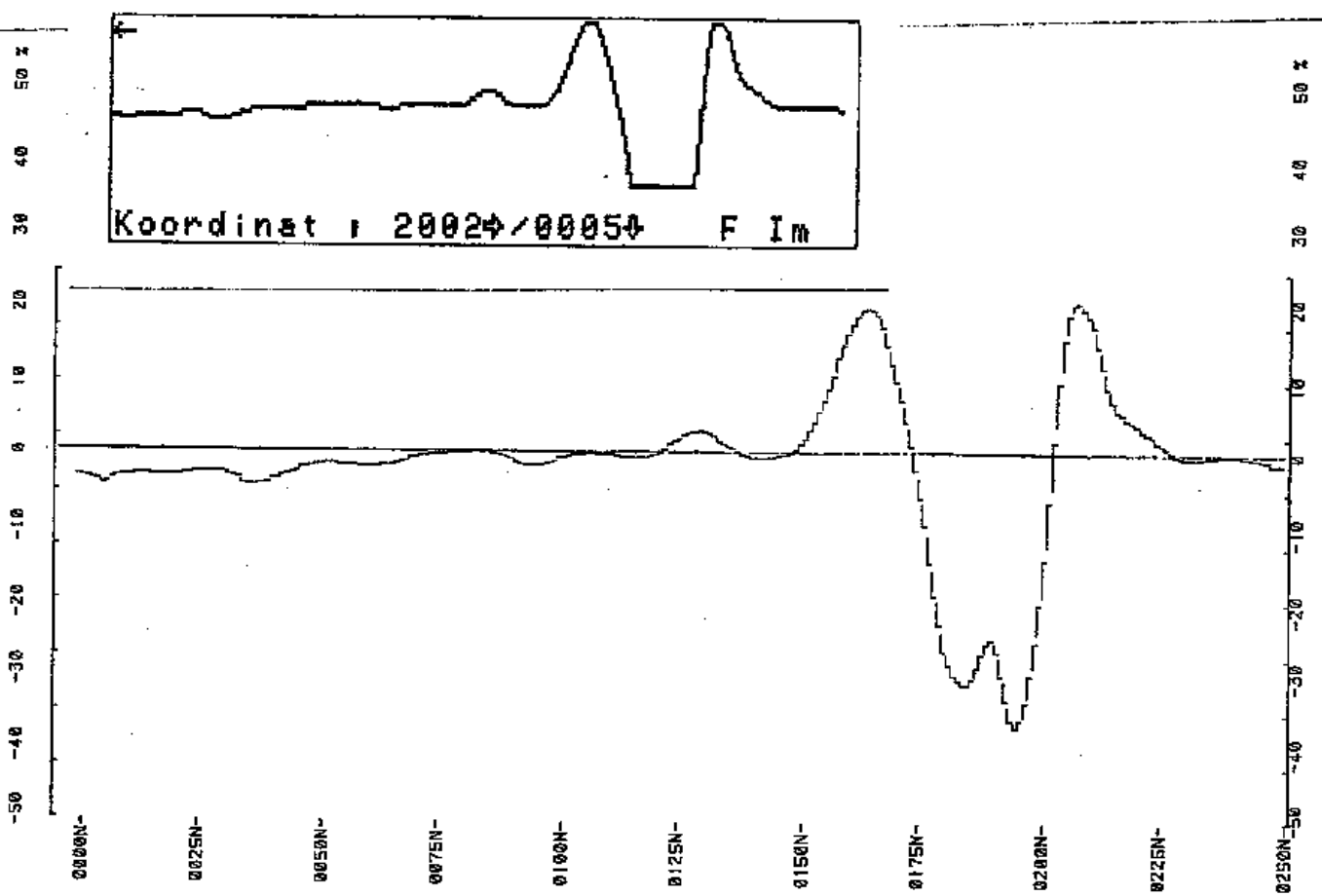


Figur 6: NGU-VLF, ledningsevne og seismisk tolkning, profil 1 vihals

Station: 15.0 Profil: 2002E Prof. avst: 010E Punkt avst: 005N **A**

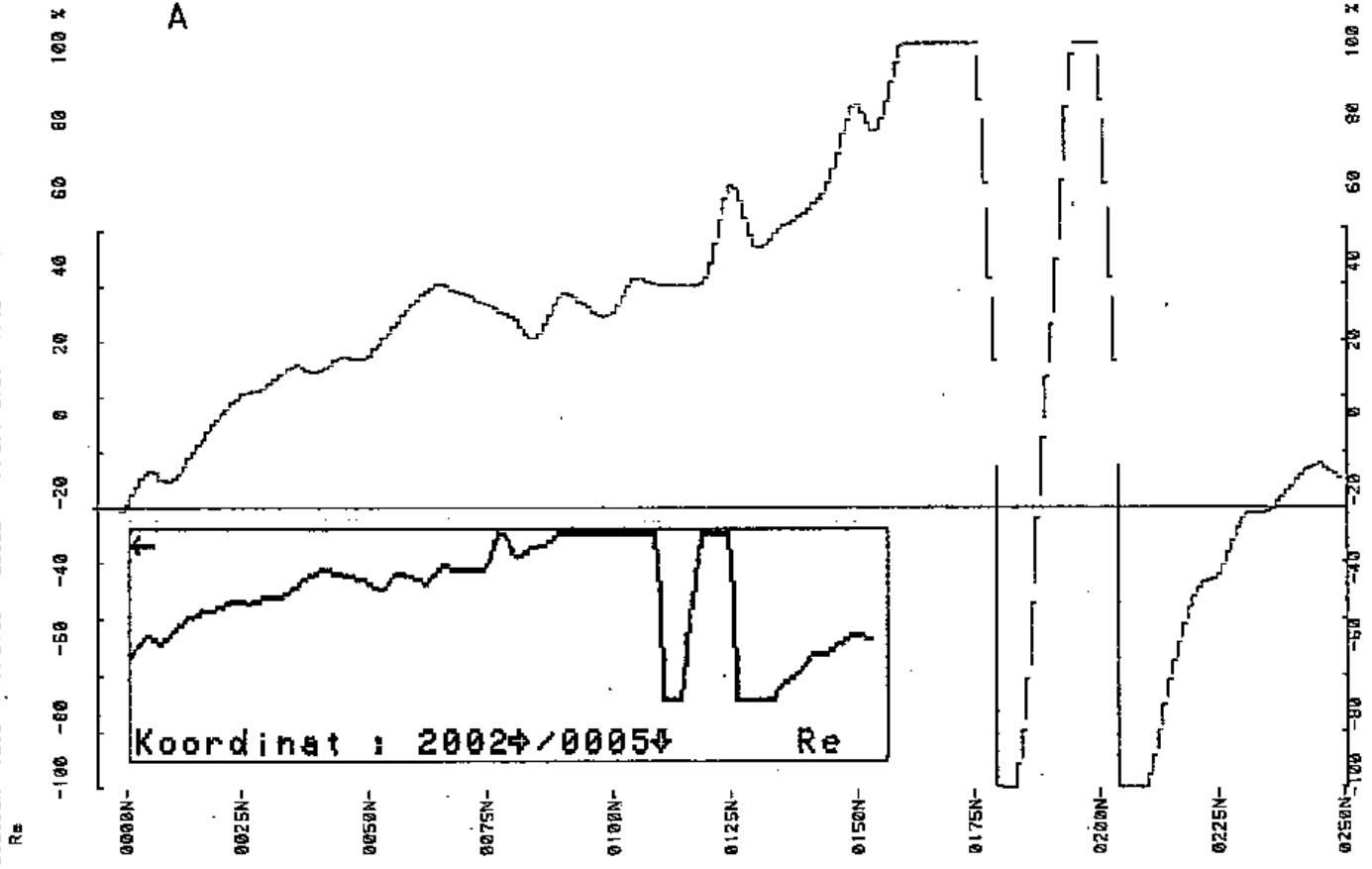


Station: 15.0 Profil: 2002E Prof. avst: 010E Punkt avst: 005N **B**
F Im

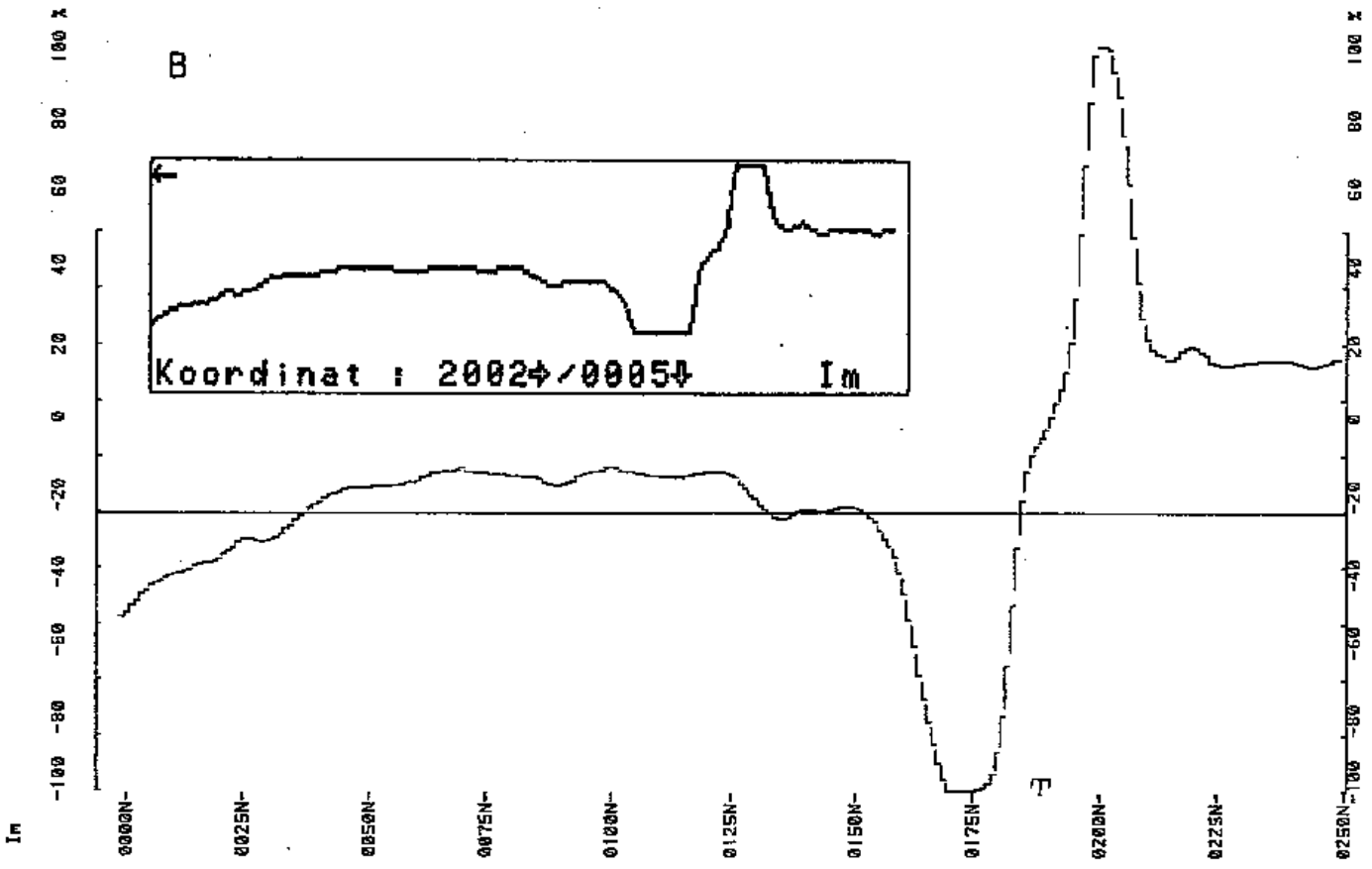


Figur 7: WADI, FRe og FIm, profil 2 Lesund

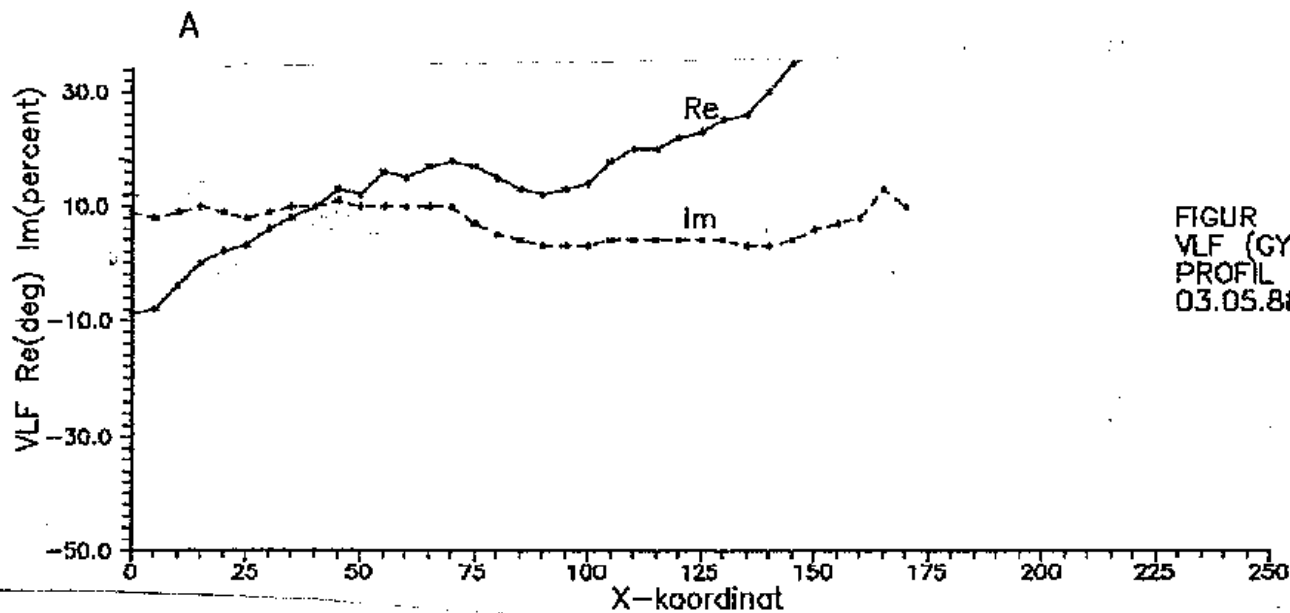
Station: 15.0 Profil: 2002E Prof. avst: 010E Punkt avst: 005N



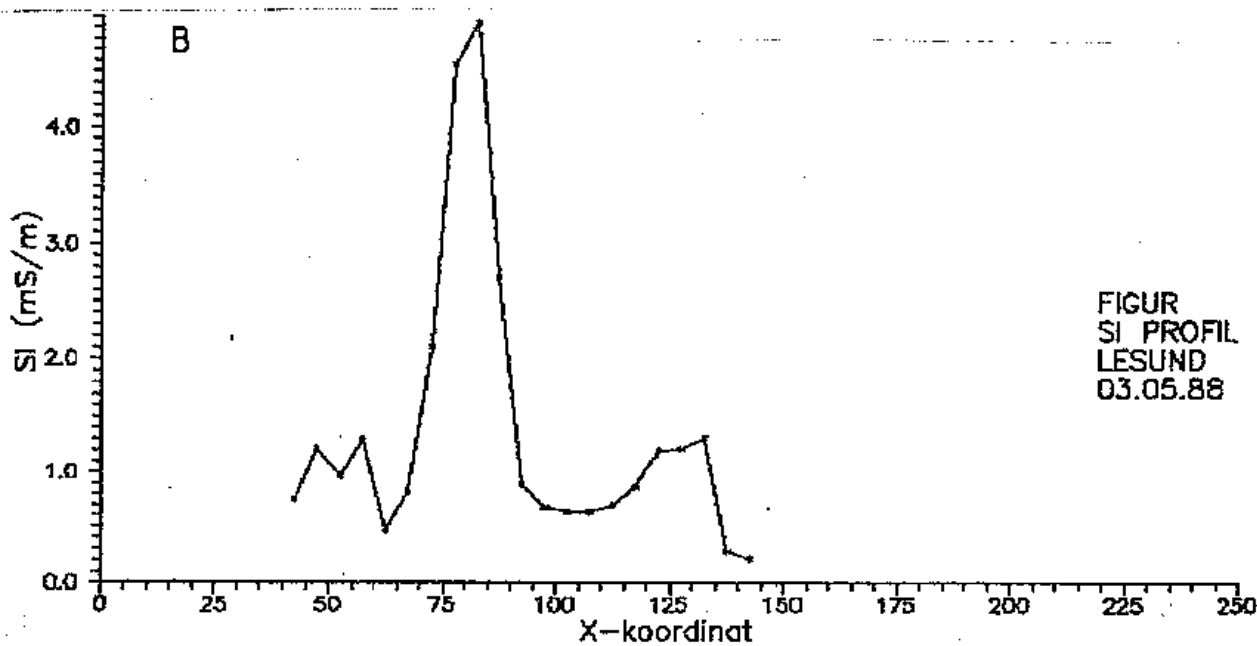
Station: 15.0 Profil: 2002E Prof. avst: 010E Punkt avst: 005N



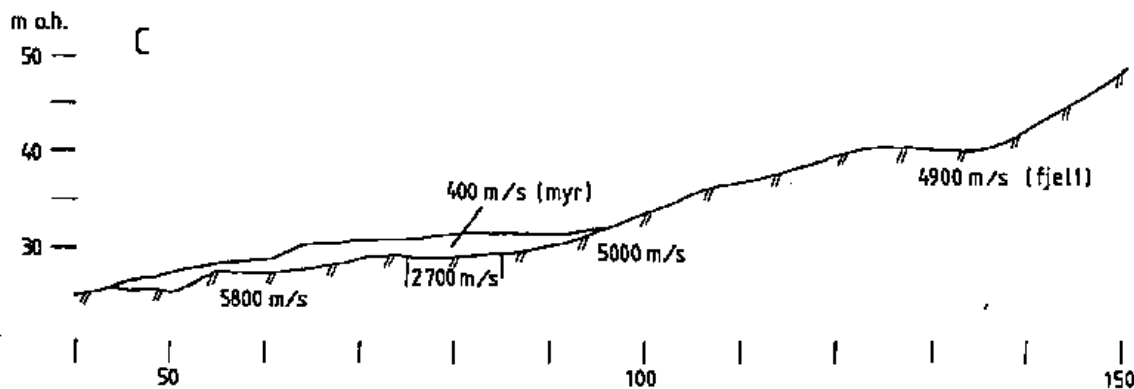
Figur 8: WADI, Re og Im, profil 2 Lesund



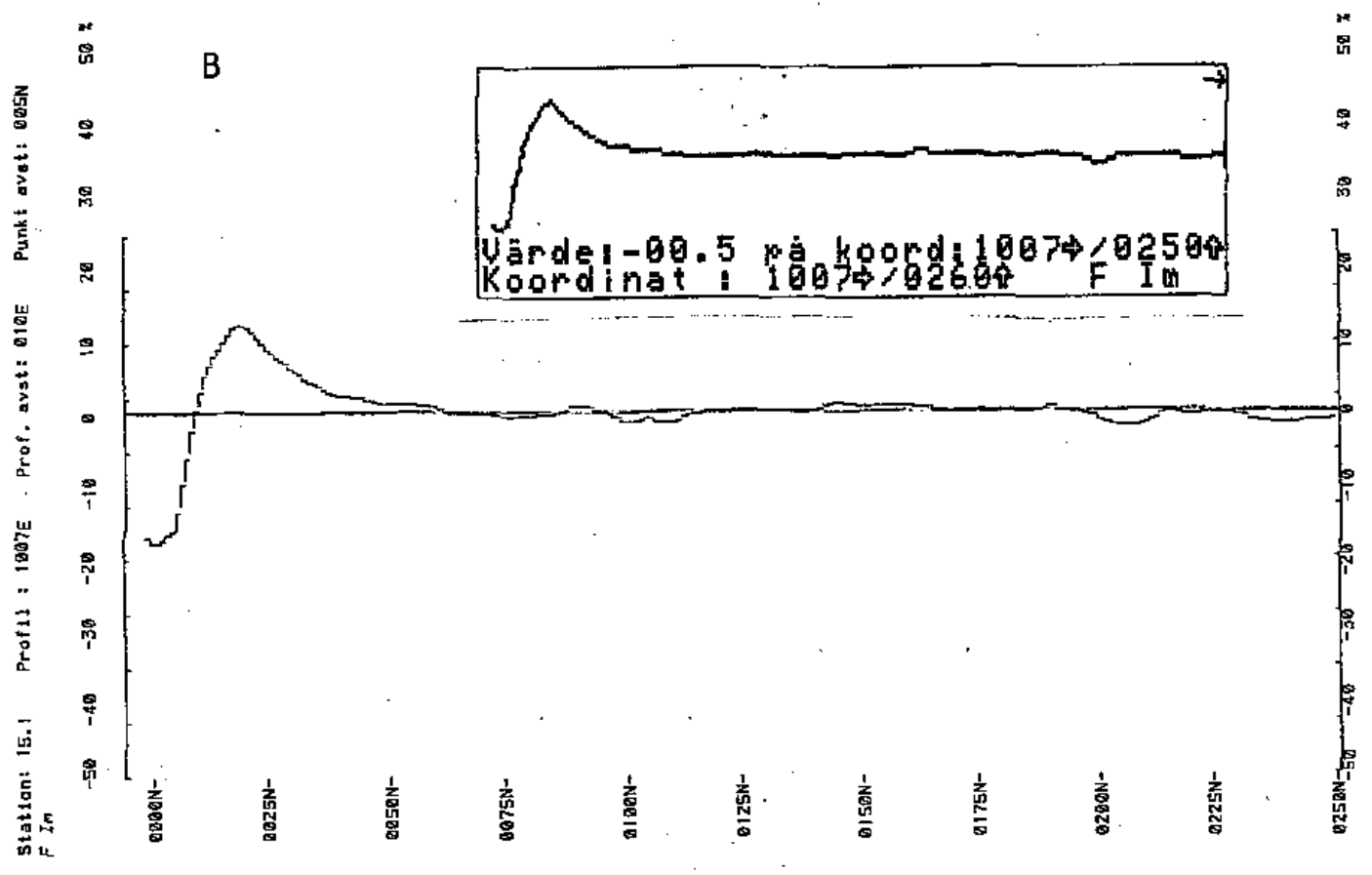
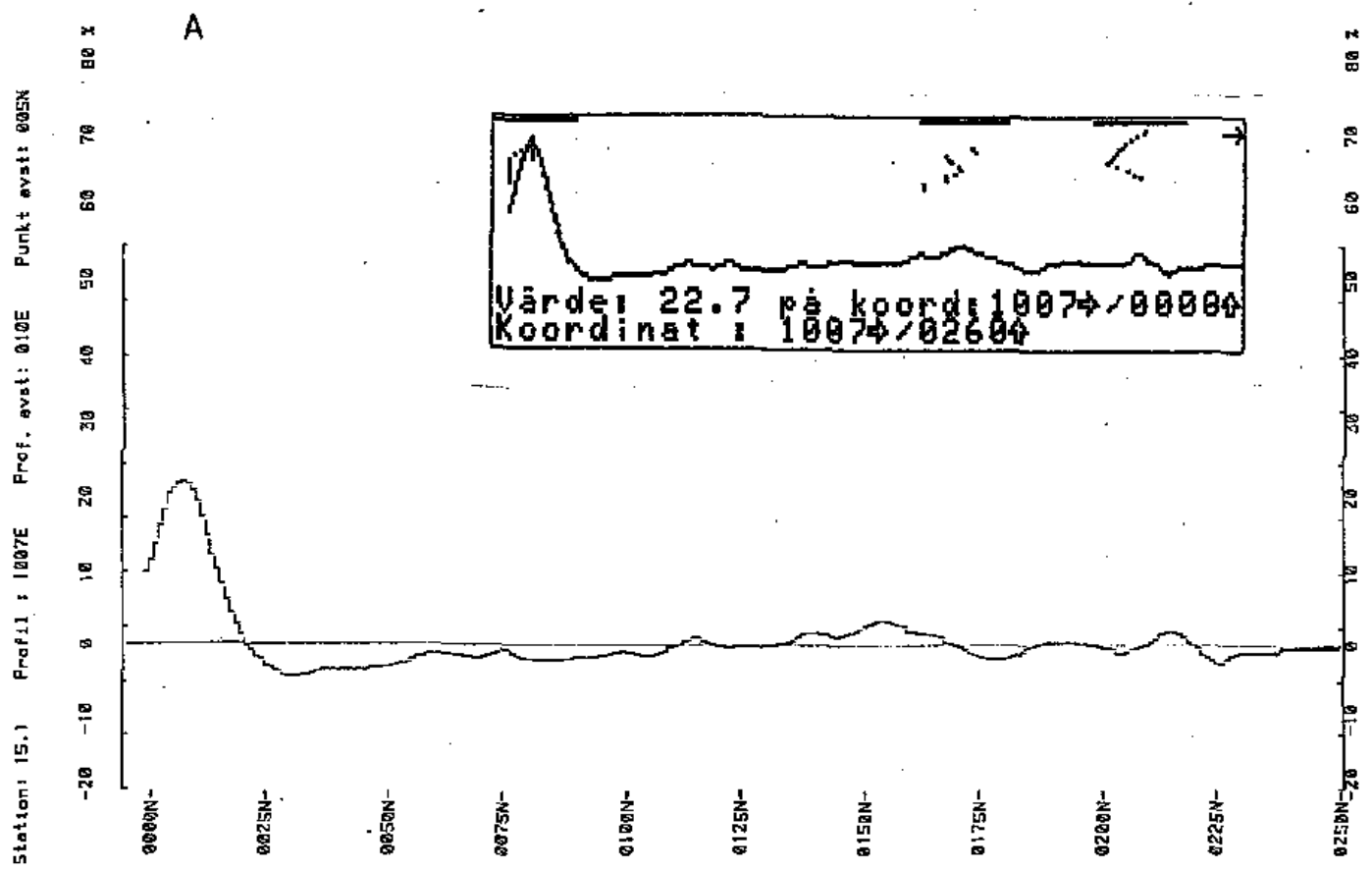
FIGUR
VLF (GYD)
PROFIL 2 LESUND
03.05.88



FIGUR
SI PROFIL 2
LESUND
03.05.88

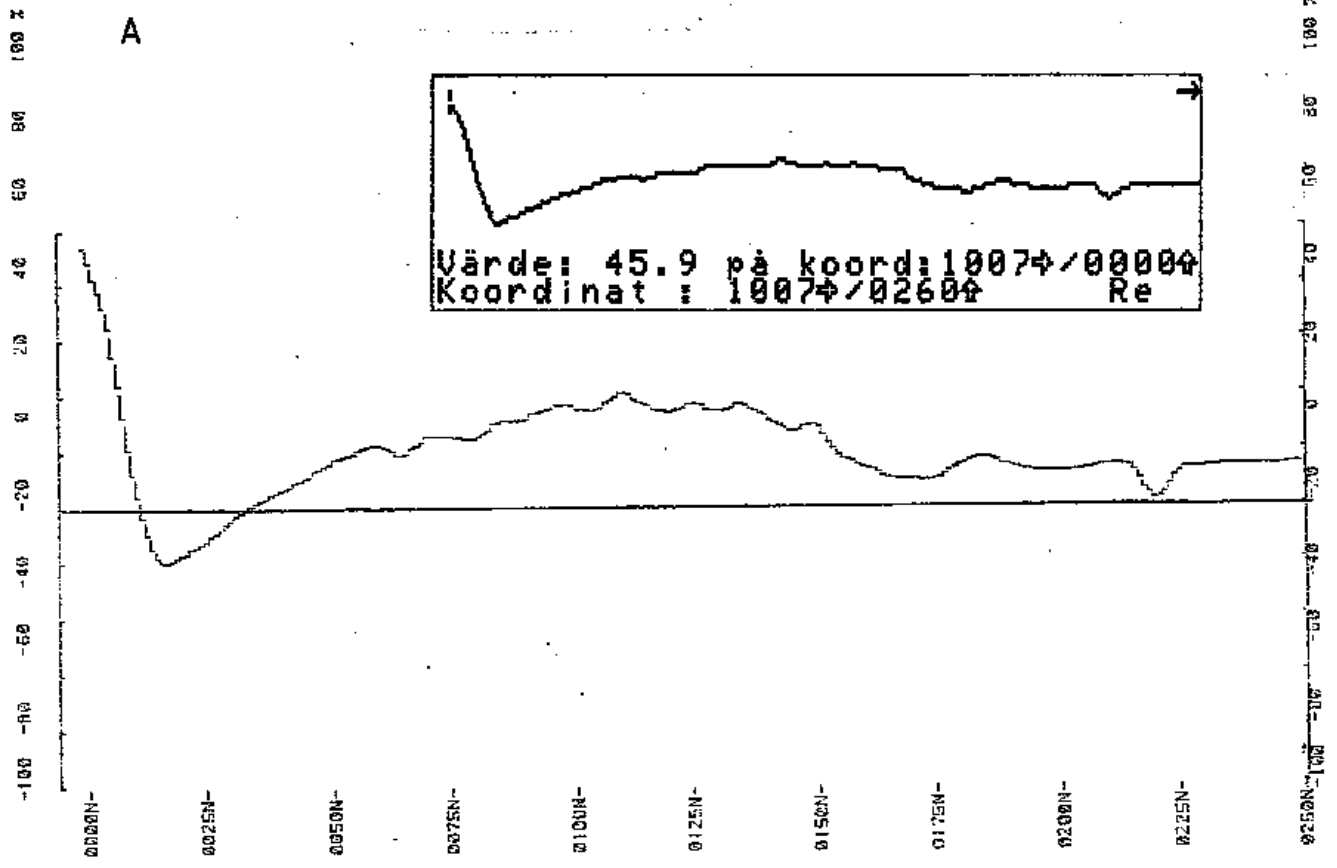


Figur 9: NGU-VLF, ledningsevne og seismisk tolkning, profil 2
Lesund

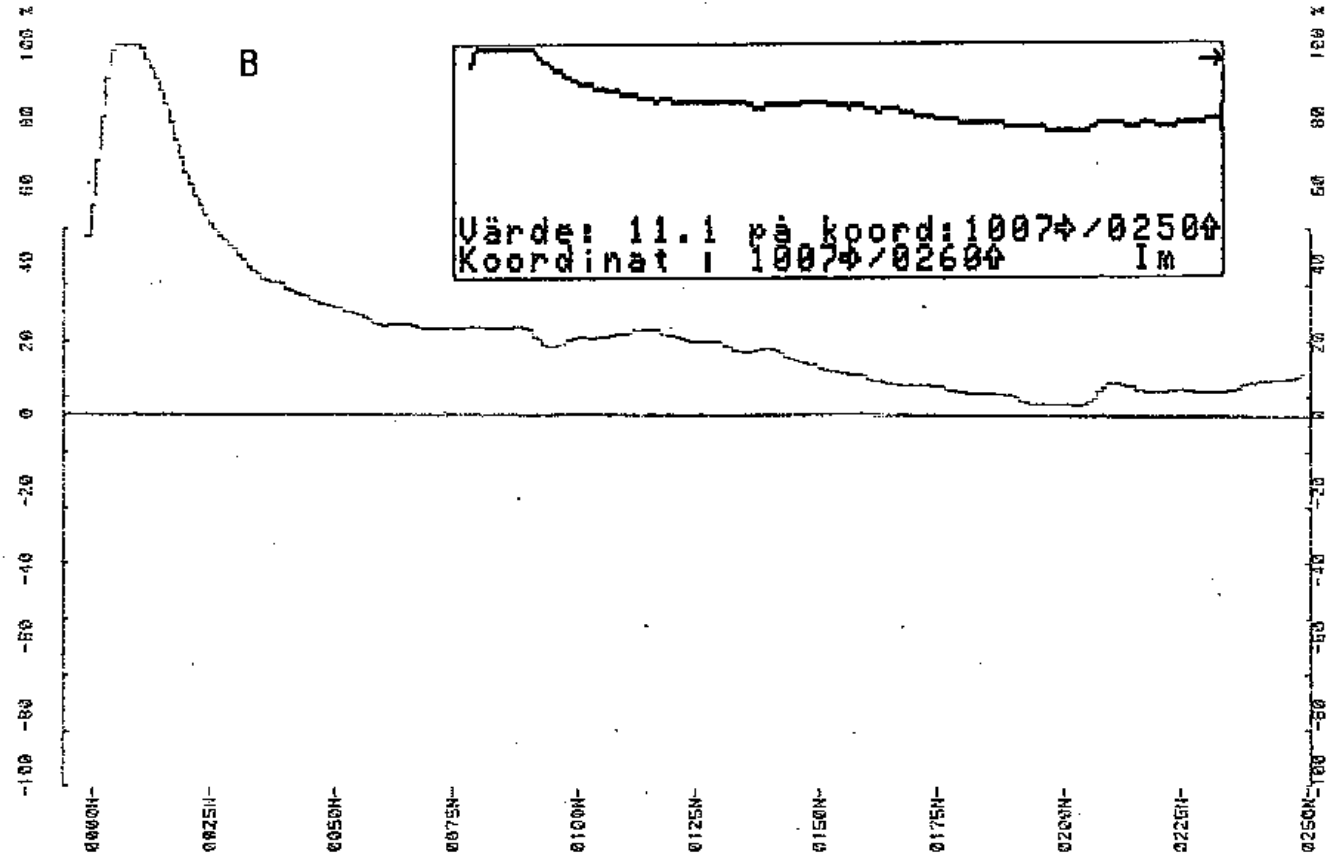


Figur 10: WADI, FRe og FIm, profil 7 Dromnes

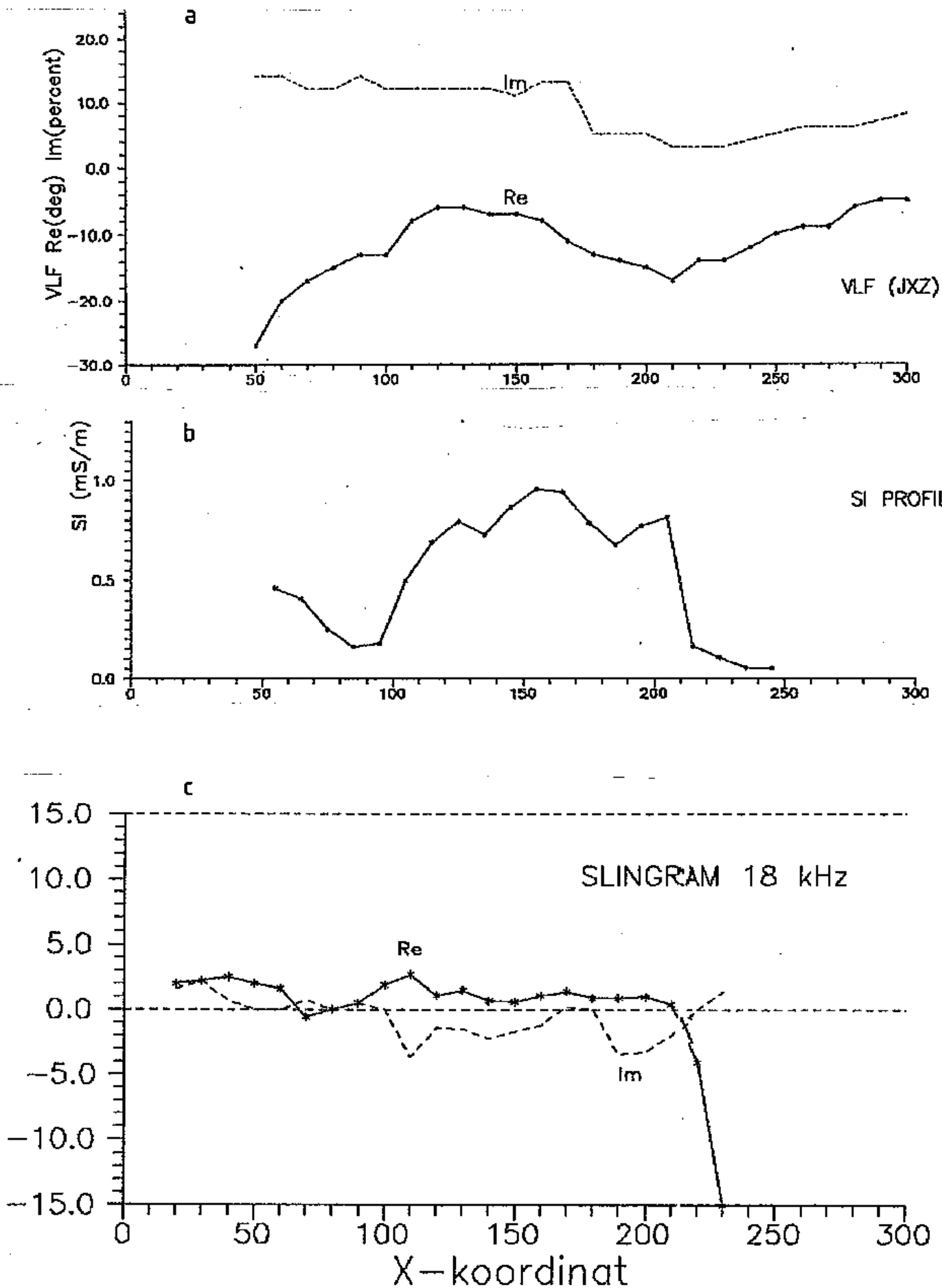
Station: 15.1 Profil: 1007E Prof. avst: 019E Punkt avst: 005N
 Re



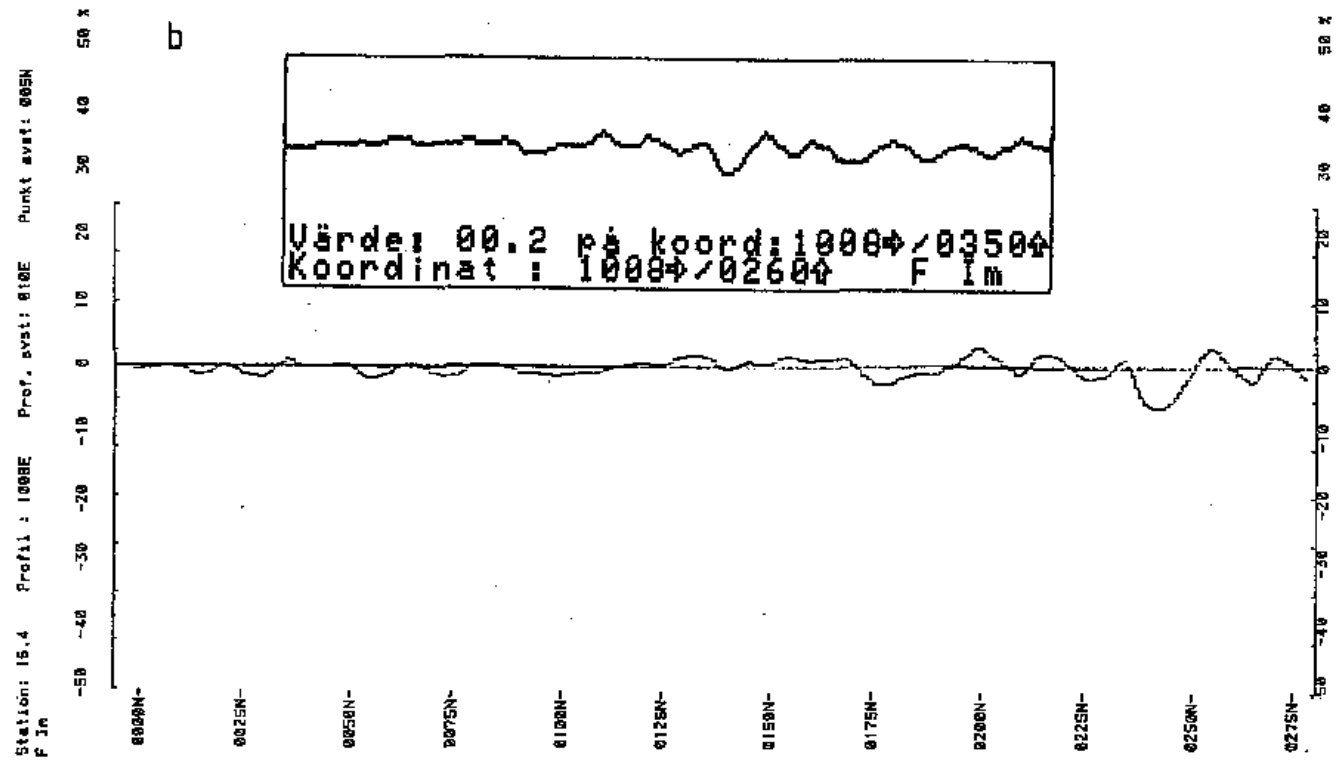
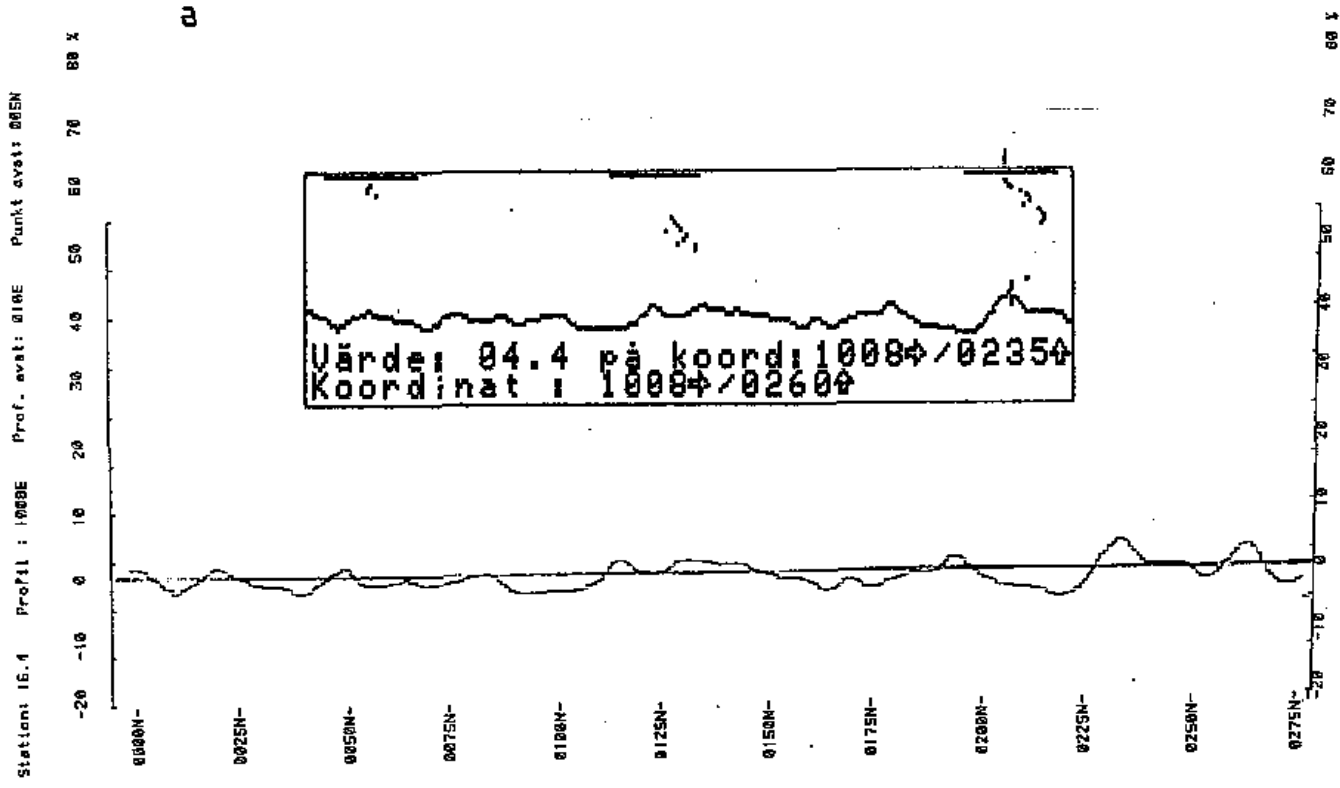
Station: 15.1 Profil: 1007E Prof. avst: 010E Punkt avst: 005N
 Im



Figur 11: WADI, Re og Im, profil 7 Dromnes

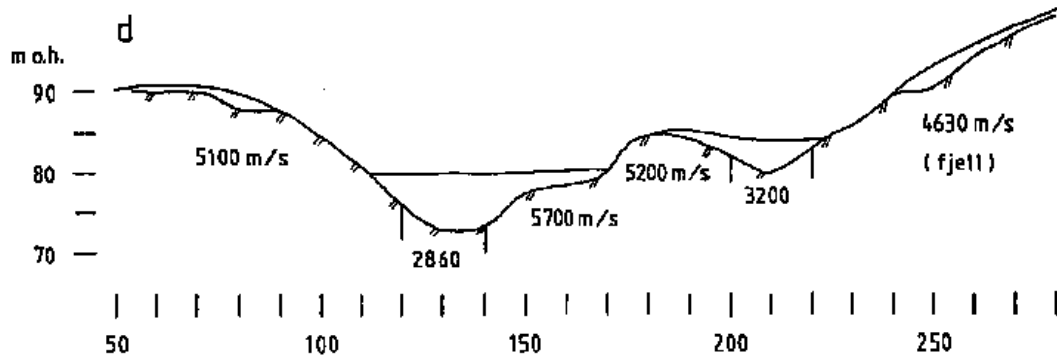
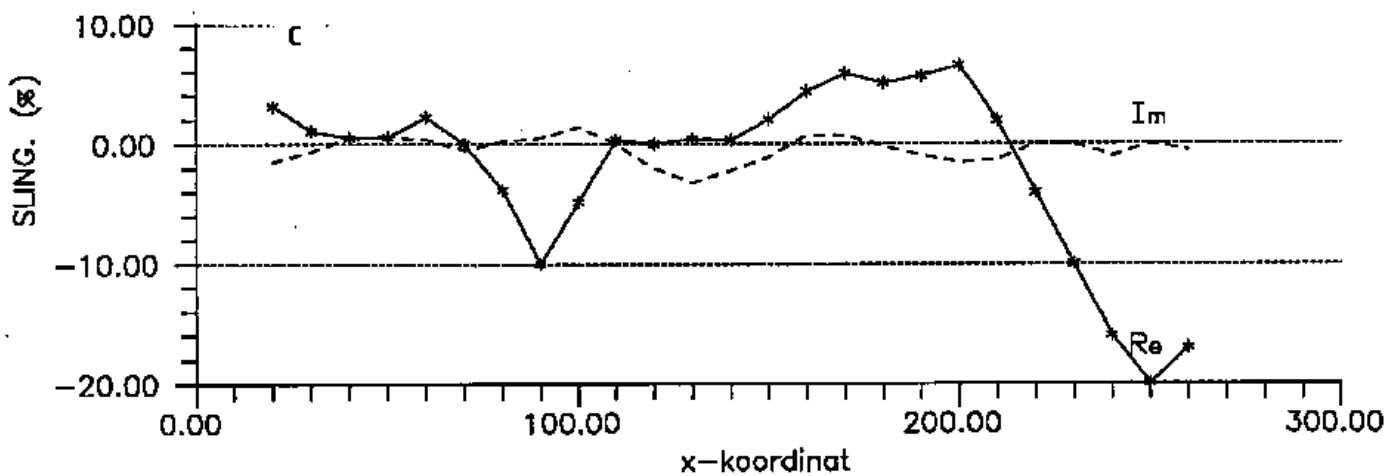
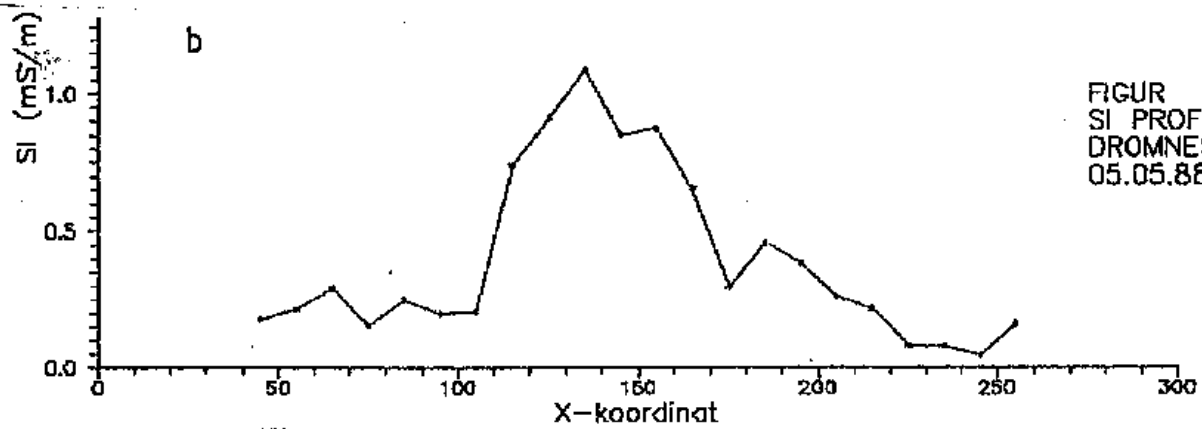
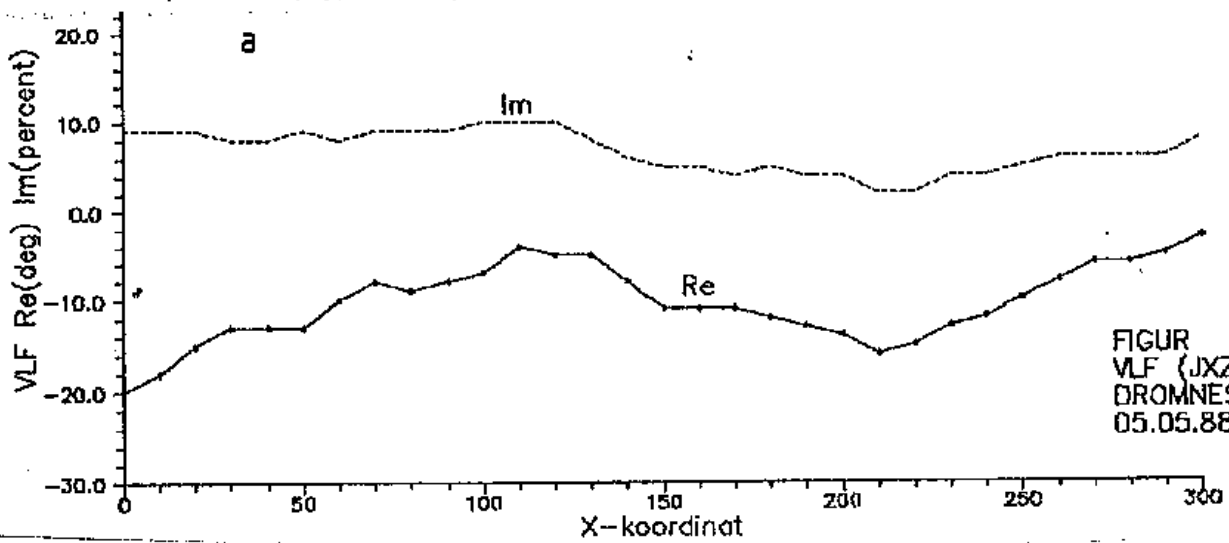


Figur 12: NGU-VLF, ledningsevne og slingram, profil 7 Dromnes



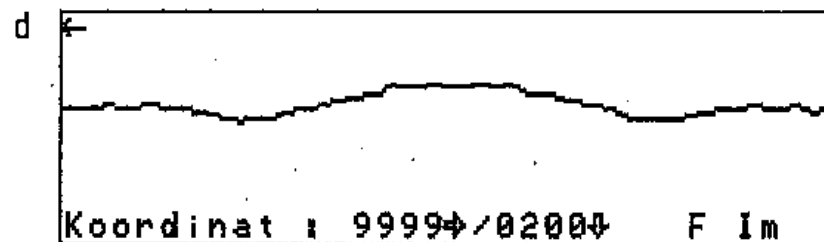
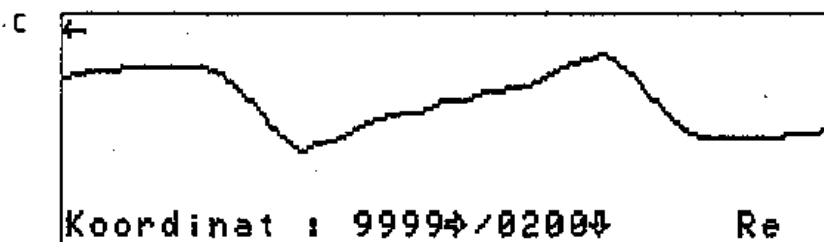
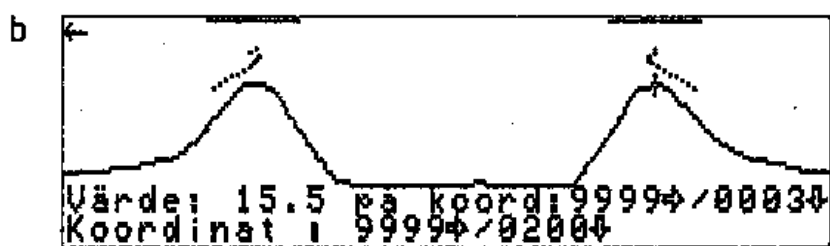
Figur 13: WADI, FRE og FIm, profil 8 Dromnes

Figur 14: WADI, Re og Im, profil 8 Dromnes

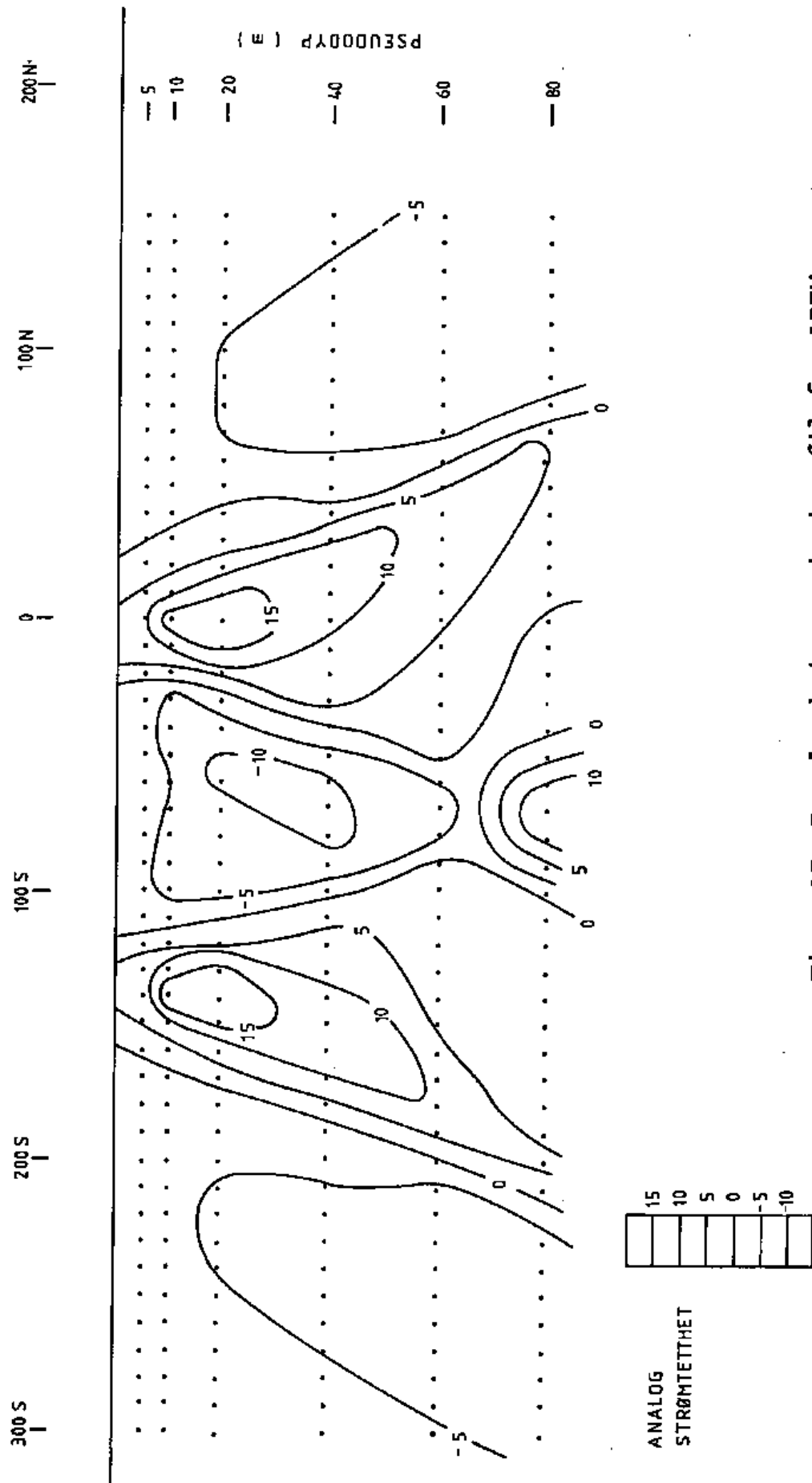


Figur 15: NGU-VLF, ledningsevne, slingram og seismisk tolkning, profil 8 Dromnes

*** ABEM WADI ULF System ***



Figur 16: Testprofil fra ABEM



Figur 17: Pseudoseksjon av testprofil fra ABEM