

NGU Rapport 96.003

Geofysiske målinger Malså gruve, Verdal, Nord-  
Trøndelag

Rapport nr.: 96.003		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Geofysiske målinger Malså gruve, Verdal, Nord-Trøndelag				
Forfatter: Harald Elvebakk og Einar Dalsegg		Oppdragsgiver: NGU v\Nord-Trøndelagsprogrammet		
Fylke: Nord-Trøndelag		Kommune: Verdal		
Kartblad (M=1:250.000) Trondheim		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1722 I Vuku		
Forekomstens navn og koordinater: Malså gruve 33W 3564 70896		Sidetall: 52	Pris: kr. 133.-	
Feltarbeid utført: 15.06-22.06. og 23.10-25.10 1995		Rapportdato: 15.02.1996	Prosjektnr.: 67.2509.33	Ansvarlig: <i>Jan S. Kvernøy</i>
Sammendrag: <p>Det er gjort TFEM bakkemålinger og CP, PP og ledningsevne målinger i borhull ved Malså gruver i Verdal. Hensikten med TFEM-målingene var å undersøke om dype ledere kunne indikeres i tilknytning til dagnære kjente mineraliseringer. Tidligere utførte CP-målinger kunne tyde på en bedre leder mot dypet.</p> <p>TFEM-målingene indikerte to hovedledere som ga meget sterke anomalier langs hele måleområdet. Den ene hadde tilknytning til en kjent grunn sone med flere skjerp. Den andre lederen ble indikert på ca 75 m dyp noe lenger øst, og kunne tyde på en bedre leder i dypet.</p> <p>Oppfølgende boringer påtraff ikke massiv malm, men flere mineraliserte nivåer ble påtruffet. Påfølgende borhullsmålinger viste flere soner med god ledningsevne. CP-målingene viste de kjente mineraliserte sonenes beliggenhet i borhullene. Den dypeste av lederne har trolig ikke utgående. PP-målingene viste at borhullene trolig er satt på noe for langt vest for å treffe de best ledende partier av den dype lederen. Etter som målingene ble utført i et begrenset område ved Malså gruver kjenner en ikke lederens forløp og kvalitet mot nord og sør.</p>				
Emneord: Geofysikk		Elektromagnetisk måling		
Elektrisk måling		Sulfid		
				Fagrapport

## INNHOOLD

1. INNLEDNING .....	5
2. MÅLEMETODE OG UTFØRELSE .....	6
2.1 TFEM-målinger.....	6
2.2 CP-målinger .....	6
2.3 Ledningsevne-målinger .....	7
2.4 PP-målinger.....	7
3. RESULTATER OG TOLKNING .....	8
3.1 TFEM-målinger.....	8
3.1.1 Resultater tidsdomenet, primærfelt og 25Hz frekvensdomenet .....	9
3.1.2 Beregning av tidskonstant.....	14
3.1.3 Diskusjon .....	16
3.2 CP-målinger .....	17
3.3 Ledningsevne-målinger .....	18
3.4 PP-målinger.....	19
4. KONKLUSJON .....	20
5. REFERANSER.....	19

## TABELLER

Tabell 1: Gradering av TFEM-anomalier .....	8
Tabell 2: Indikerte ledere i tidsdomenet, Malså .....	10
Tabell 3: Indikerte ledere ved primærfeltmålinger, Malså .....	11
Tabell 4: Indikerte ledere ved 25 Hz frekvensdomenet, Malså.....	11
Tabell 5: Beregnede tidskonstanter, horisontalfeltet, Malså.....	15

## TEKSTBILAG

Tekstbilag 1: TFEM, metode- og instrumentbeskrivelse

Tekstbilag 2: CP, metodebeskrivelse

## DATABILAG

- Databilag 1: Figur 1a - 12a. TFEM, profilplott av vertikal- og horisontalkanaler i tidsdomenet  
Figur1b - 12b. TFEM, profilplott av normalisert primærfelt og 25 Hz frekvensdomenet  
Figur 13 - 18. TFEM, transient decay-kurver for indikerte ledere  
Figur 19. Verikalsnitt av profil 900N og 600N med geofysiske indikasjoner fra bakke- og borhullsmålinger.

Databilag 2: Figur 20. CP, borhull 2 og 3 med  $C_1$  i Archbolds gruve  
Figur 21. CP, borhull 2 og 3 med  $C_1$  på 66 m dyp i borhull 3  
Figur 22. CP, borhull 2 og 3 med  $C_1$  i skjerp ved 965N -1125Ø

Databilag 3: Figur 23. Tilsynelatende motstand borhull 2.  
Figur 24. Tilsynelatende motstand borhull 3.

Databilag 4: Figur 25. PP borhull 2.  
Figur 26. PP borhull 3.

#### KARTBILAG

96.003-01 Oversiktskart  
-02 TFEM tolkningskart tidsdomenet  
-03 TFEM primærfelt og 25 Hz

## 1. INNLEDNING

I forbindelse med prosjektet oppfølgende malmundersøkelser i Nord-Trøndelag, utførte NGU i 1994 CP- og magnetiske målinger ved Malså gruve (Dalsegg og Lauritsen 1995). Målingene konkluderte med at det i Crowes gruve ikke er gjenstående malm av betydning. I Archbolds gruve derimot indikerte målingene at mineraliseringen i gruva måtte stå i nær forbindelse med en større mineralisering på dypet.

På bakgrunn av dette ble undersøkelsene videreført i 1995 med TFEM-målinger, som er den metoden som er best egnet for påvisning av ledere på stort dyp. Målingene påviste en dypanomali øst for de tidligere kjente mineraliseringene og det ble boret to diamantborhull. Boringene påviste mineraliseringer i det forventede dyp, men mindre mektigheter enn det en hadde forventet ut fra styrken på anomaliene. Det ble derfor utført CP-, PP-, og ledningsevne-målinger i borhullene for å se om en ved hjelp av disse tilleggsmålingene kunne forklare TFEM-anomaliene.

For å få en bedre forståelse av strukturgeologien i området ble det også foretatt geologiske undersøkelser i området (Rui 1995). Det er også gjort helikoptermålinger i området (Skilbrei 1994).

Malså gruve ligger like øst for Malsåa i et mineralisert grønnstensdrag som strekker seg fra Helgådal i sør til Ogdal i nord (Wolf 1979). Gruvens beliggenhet og undersøkelsesområde framgår av kartbilag -01.

De geofysiske målingene ble utført av Harald Elvebakk og Einar Dalsegg i periodene 15.06-22.06 og 23.10-15.10 1995.

## **2. MÅLEMETODE OG UTFØRELSE**

### **2.1 TFEM-målinger**

Ved undersøkelsen ble NGUs egenproduserte TFEM-utrustning benyttet. TFEM-målinger gjøres både i tids- og frekvensdomenet. En metode- og instrumentbeskrivelse av TFEM er vist i tekstbilag 1.

TFEM-målingene ble utført med konduktiv energisering (enkel jordet kabel). Jordingene ble meget gode med en strømstyrke på 1,5 A. Måleområdets lengde var 800 m med det nordligste profilet ca 300 m nordøst for Archbolds gruve og det sørligste ved Sagvollseter. Profilavstand var 100 m med 50 m i de sentrale deler av området. Profillengden var 700 m med mellomprofilene noe kortere, og målepunktavstand var 25 m. Profiler og kabelutlegg er tegnet inn på tolkningskart, kartbilag -02 og -03.

Målingene ble utført uten store problemer. På ett profil var imidlertid data beheftet med kraftig støy (feilmålinger?). Det var spesielt de tidlige tidskanalene 1 - 3, både V og H, som var påvirket. Primærfelt- og 25 Hz-målingene i frekvensdomenet var ikke påvirket. Feilen har ikke påvirket verdien av målingene eller gjort tolkningen av data mer usikker.

### **2.2 CP-målinger**

En generell beskrivelse av CP-metoden er vedlagt (tekstbilag 2). Fjernelektroden  $C_2$  ble etablert i myr ca. 1,5 km sørvest for gruva. Dette er samme plassering som ved målingene i 1994. Borhullene ble målt med tre nærelektroder ( $C_1$ ), disse var:

- Archbolds gruve, 1070N - 995Ø (se kartbilag -02)
- Borhull 3/66m, 585N - 1100Ø
- Skjerp, 965N - 1125Ø

Målingene foregikk på tradisjonell måte ved at en potensialelektrode ble senket ned i borhullet, og potensialet ble målt mot potensialet på bakken. Målepunktavstanden varierte fra 2,5 til 5 meter avhengig av potensialgradienten. Med  $C_1$  i Archbolds gruve ble potensialet i borhullene knyttet til dagmålingene fra 1994.

Målingene ble utført med NGUs egenproduserte utstyr. Strømstyrken var ved samtlige måleanlegg 1 A.

### 2.3 Ledningsevne-målinger

Ved å måle ledningsevnen langs et borhull vil en kartlegge alle ledende sonene i borhullet, i tillegg til motstanden i den omliggende bergarten. Det ble benyttet pol-pol elektrodekonfigurasjon med  $a = 2,5$  meter og en flyttavstand på 2 meter. Fjernstrømelektroden  $C_2$  var den samme som ved CP-målingene, mens fjernpotensialelektroden  $P_2$  ble plassert ca. 200 meter fra borhullene. Målingene ble utført med ABEMs Terrameter SAS 300A.

### 2.4 PP-målinger

Ved metoden som kalles provosert potensial (PP), plasseres to strømelektroder  $C_1$  og  $C_2$  godt utenfor der en forventer at den mineraliseringen en skal forsøke å påvise ligger. Elektrodene plasseres slik at en setter opp et tilnærmet homogent felt med feltstyrken langs mineraliseringens fall. I forhold til strømelektroden vil det da «provoseres» poler med motsatt fortegn langs mineraliseringens kanter. Dette kan utnyttes til å finne hvilken pol som ligger nærmest et borhull som passerer gjennom eller like utenfor en mineralisering. På den måten kan en angi hvordan borhullet ligger i forhold til mineraliseringens midtpunkt og sidekanter. En kan også i noen grad angi avstanden til kanten, men det blir som regel nokså usikkert. Den største usikkerheten ved metoden er faren for at det påsatte felt forstyrres av andre ledere i området.

Ved disse målingene ble den positive elektroden plassert 400-500 meter øst for borhullene, mens den negative elektroden ble plassert 300-400 meter vest for borhullene.

Det er utført lite av denne type målinger ved NGU, og erfaringsgrunnlaget er derfor noe tynt. En fant det likevel nyttig å forsøke om denne metoden kunne gi tilleggsinformasjon i området.

Målingene ble utført med samme instrumentering som for CP-målingene, og strømstyrken var 0,8 A.

### 3. RESULTATER OG TOLKNING

#### 3.1 TFEM-målinger

I det følgende blir resultater fra målingene i tidsdomenet, frekvensdomenet 25 Hz og primærfeltkanalene kommentert. Kvalitetsvurdering av TFEM-anomalier er kort beskrevet i metodebeskrivelsen i tekstbilag 1. Ut fra erfaring fra målinger over kjente forekomster er graderingene i tabell 1 benyttet til å angi styrken på TFEM-anomalier. I tidsdomenet er signalstyrken på kanal H2 benyttet, mens den prosentvise svekningen av det normaliserte vertikalfeltet er benyttet til å angi styrken av 25 Hz- og primærfeltmålingene. Av de tre prinsipielt forskjellige målingene er primærfeltkanalene mest følsom, mens 25 Hz er minst følsom og gir anomalier på soner med relativt god ledningsevne. Dybderekkevidden er best for sene tidskanaler og 25 Hz frekvensdomenet.

**Tabell 1. Gradering av TFEM-anomalier**

Primærfelt	Tidsdomenet	25 Hz	Gradering
> 200 %	> 50 $\mu\text{V/A}$	> 50 %	Meget sterk
100 - 200 %	25 - 50 $\mu\text{V/A}$	30 - 50 %	Sterk
50 - 100 %	10 - 25 $\mu\text{V/A}$	10 - 30 %	Svak
< 50 %	< 10 $\mu\text{V/A}$	< 10 %	Meget svak

I tidsdomenet kan en i tillegg til anomalistyrken også vurdere ledningsevnen til lederen for å få et begrep om lederens kvalitet. Ledningsevnen kan vurderes ut fra hvor mange kanaler anomalien observeres på.

Meget god ledningsevne: Anomali på kanal 1 - 7  
God ledningsevne: Anomali på kanal 1 - 5  
Dårlig ledningsevne: Anomali på kanal 1 - 3  
Meget dårlig ledningsevne: Anomali på kanal 1



### 3.1.1 Resultater tidsdomenet, primærfelt og 25Hz frekvensdomenet

TFEM-målingene ved Malså gruver ga meget sterke anomalier. Noe av årsaken kan være plasseringen av den nordligste strømelektroden som etter hvert viste seg å være i nærheten av utgående til en av de indikerte lederne. Strømmen fikk dermed lett adgang til mineraliseringen. Dette kan medføre et noe dårligere grunnlag for kvalitetsvurdering av indikerte ledere da selv tynne soner, bånd og impregnasjoner kan gi sterke anomalier.

Geologien i området viser en lagpakke av klorittskifer, kloritt-kvarts, mellom en undre og øvre grønnstein (Rui 95). En rekke skjerp finnes langs denne klorittskiferen. De geofysiske anomaliene er også knyttet til denne malmsonens bergart. Malmen i de tidligere gruvene ser ut til å være knyttet til tverrfoldinger av de mineraliserte nivåene som har et fall på 20 - 30° mot sørøst.

Figur 1a - 12a viser plott av vertikal- og horisontalkanalene i tidsdomenet. Multipliseringsfaktoren for de fire første kanalene er halvert i forhold til standardverdiene pga. de sterke målesignalene. I tillegg er skalaen på y-aksen utvidet til 75  $\mu\text{V}$  mellom hver delstrek (vanligvis 50  $\mu\text{V}$ ). Figur 1b - 12b viser plott av normalisert primærfelt og 25 Hz i frekvensdomenet. For primærfeltet er normalisert vertikalkomponent, V0-norm, og totalfeltet, Htot-norm, beregnet og plottet. For 25 Hz-målingene er normalisert Re- og Im-komponent beregnet og plottet.

Tabell 2 viser en oversikt over alle indikerte ledere i tidsdomenet. Oversikten viser stedsangivelse, anomalistyrke, ledningsevne og dybdeangivelse. For tidsdomenemålingene angis ledningsevnen kvalitativt ut fra hvor mange kanaler anomalien observeres på. Indikasjon på de sene kanalene betyr at responsen fra lederen kommer sent. Dette betyr at lederen kan ha god ledningsevne. Responsen fra lederen er avhengig av frekvensen, induktansen, ledningsevnen og EM-koblingen mellom primærfelt og leder. En leder med stort areal som står vinkelrett på primærfeltet vil gi best EM-kobling. Induktansen er igjen avhengig av lederens form, størrelse (areal), ledningsevne samt magnetiseringsevne ( $\mu$ ).

Det er imidlertid ikke bare strømmene som induseres direkte i lederen som gir respons. Induserte strømmer i bakken under kabelen vil diffundere ut og ned i bakken og samles i eventuelle ledere. I tillegg har en de konduktive strømmene fra jordingselektroden. Pga. faseforskyvning vil også disse påvirke sekundærfeltet i den tid strømmen er avslått. Ved å måle i frekvensdomenet kan en med konduktiv energisering også detektere ledere der EM-koblingen er dårlig og hvor de konduktive strømmene er dominerende.

**Tabell 2. Indikerte ledere i tidsdomenet, Malså**

Profil	Koordinat	Signal H2 [ $\mu\text{V}/\text{A}$ ]	Kanaler	Anomali- styrke	Lednings- evne	Dyp
1400N	1000Ø	152,2	1 - 7	meget sterk	meget god	25 m
1400N	1212,5Ø	46,5	1 - 6	sterk	god	25 m
1300N	1025Ø	116,6	1 - 7	meget sterk	meget god	50 m
1300N	1212,5Ø	17,4	1 - 5(7)	svak	god	0 - 25 m
1200N	1025Ø	140,1	1 - 5	meget sterk	god	0 - 12,5 m
1200N	1087,5Ø	85,8	1 - 7	meget sterk	meget god	50 m
1200N	1200Ø	4,5	1 - 5	meget svak	god	0 - 25 m
1100N	1000Ø	281,3	1 - 6	meget sterk	god	0 - 12,5 m
1100N	1075Ø	285,3	1 - 7	meget sterk	meget god	0 - 25 m
1100N	1200Ø	-	5 - 7	svak	meget god ?	50 - 75 m
1100N	1275Ø	45,6	1 - 7	sterk	meget god	0 - 12,5 m
1000N	1025Ø	16,5	1 - ?	svak	?	0 - 12,5 m
1000N	1100Ø	109,1	1 - 7	meget sterk	meget god	0 - 12,5 m
1000N	1150Ø	-	5 - 7	-	meget god	50 m
1000N	1262,5Ø	10,5	1 - 7	svak	meget god	0 - 12,5 m
950N	1050Ø	13,7	1 - ?	svak	?	0 - 25 m
950N	1125Ø	56,0	1 - ?	meget sterk	?	25 m
950N	1150Ø	47,6	2 - 7	sterk	meget god	50 - 62,5 m
900N	1100Ø	45,9	1 - ?	sterk	?	37,5 - 50 m
900N	1150Ø	45,9	2 - 7	sterk	meget god	37,5 - 50 m
850N	1075Ø	46,8	1 - ?	sterk	?	25 - 37,5 m
850N	1100Ø	56,6	1 - 7	meget sterk	meget god	62,5 - 75 m
800N	1075Ø	76,7	1 - 7	meget sterk	meget god	25 m
750N	1037,5Ø	82,6	1 - ?	meget sterk	?	0 - 12,5
750N	1075Ø	75,1	1 - 7	meget sterk	meget god	50 m
700N	937,5Ø	18,5	1 - 5	svak	god	12,5 - 25 m
700N	1037,5Ø	49,1	1 - ?	sterk	?	25 m
700N	1075Ø	-	5 - 7	sterk?	meget god	50 - 75 m
600N	1025Ø	49,2	1 - 7	sterk	meget god	0 - 12,5 m
600N	1087,5Ø	-	5 - 7	sterk?	meget god	62,5 - 75 m

Tabell 3 og 4 viser en samlet oversikt over ledere indikert ved primærfelt- og 25 Hz-målingene i frekvensdomenet.

**Tabell 3. Indikerte ledere ved primærfeltmålinger, Malså**

Profil	Koordinat	% svekning	Styrke	Dyp
1400N	1000Ø	195	sterk	25 m
1400N	1187,5Ø	55	svak	0 - 12,5 m
1300N	1025Ø	193	sterk	50 m
1300N	1200Ø	-	kun H-anoma.	grunn
1200N	1000Ø	85	svak	25 - 37,5 m
1200N	1062,5Ø	40	meget svak	25 m
1100N	1012,5Ø	58	svak	0 - 12,5 m
1100N	1062,5Ø	38	meget svak	0 - 12,5 m
1100N	1262,5Ø	23	meget svak	0 - 12,5 m
1000N	1037,5Ø	43	meget svak	0 - 12,5 m
1000N	1112,5Ø	57	svak	37,5 m
1000N	1262,5Ø	37	meget svak	0 - 12,5 m
950N	1050Ø	94	svak	25 m
950N	1125Ø	121	sterk	25 m
950N	1262,5Ø	16	meget svak	0 - 12,5 m
900N	1062,5Ø	63	svak	0 - 12,5 m
900N	1125Ø	37	meget svak	25 m
850N	1075Ø	189	sterk	25 m
850N	1275Ø	15	meget svak	25 m
800N	700Ø	36	meget svak	25 m
800N	1062,5Ø	251	meget sterk	37,5 m
750N	1037,5Ø	174	sterk	0 - 12,5 m
750N	1087,5Ø	102	sterk	0 - 12,5 m
700N	1012,5Ø	91	svak	0 - 12,5 m
700N	1087,5Ø	21	meget svak	0 - 12,5 m
700N	1137,5Ø	50	svak	0 - 12,5 m
600N	1012,5Ø	58	svak	0 - 12,5 m
600N	1125Ø	46	meget svak	25 - 37,5 m

**Tabell 4. Indikerte ledere ved 25 Hz frekvensdomenet, Malså**

Profil	Koordinat	% svekning	Styrke	Dyp
1400N	1000Ø	33	sterk	25 m
1300N	1025Ø	26	sterk	25 m
1200N	1087,5Ø	27	sterk	25 - 50 m

1100N	1087,5Ø	11	svak	12,5 - 25 m
1100N	1212,5Ø	38	sterk	75 m
1000N	1150Ø	69	meget sterk	50 - 75 m
950N	1162,5Ø	95	meget sterk	75 m
900N	1162,5Ø	87	meget sterk	62,5 - 75 m
850N	1100Ø	43	sterk	25 m
850N	1150Ø?	70	meget sterk	100m
800N	1062,5Ø	42	sterk	0 - 25 m
800N	1150Ø?	65	meget sterk	100 - 125 m
750N	1075Ø	60	meget sterk	25 m
750N	1125Ø?	75	meget sterk	125 m
700N	1062,5Ø	64	meget sterk	25 - 50 m
700N	1100Ø?	70	meget sterk	75 - 100 m
600N	1087,5Ø	90	meget sterk	62,5 m

Tabellene og figurene sier det meste om de indikerte lederne, men i det følgende vil de mest interessante anomaliene bli kommentert og forklart. Kartbilag -02 viser indikerte ledere i tidsdomenet, mens kartbilag -03 viser anomalier i frekvensdomenet, 25 Hz og primærfelt.

På det nordligste profilet, profil 1400N, indikeres en leder ved 1000Ø som gir en meget sterk tidsdomeneanomali. Dypet er ca 25 m og ledningsevnen karakteriseres som meget god da lederen indikeres på alle kanaler. Anomalien er imidlertid tydelig dårligere på de to siste kanalene, se figur 1a. Både primærfelt og 25 Hz-målingene indikerer lederen med en sterk anomali på samme dyp, se figur 1b. En annen leder indikeres ved 1200Ø. På figur 1a kan en av vertikalfeltkurvene tydelig se hvordan anomalien flytter seg østover med økende dyp fra kanal 1 - 5. På kanal 1 indikeres lederen (bratteste del av kurven) ved 1187,5Ø på 12,5 m dyp, mens på kanal 5 er indikasjonen ved 1212,5Ø og dypet er 37,5 m. Dersom det er samme lederen som indikeres, viser dette en økende ledningsevne mot dypet og et fall mot sørøst på ca 45°. Lederen indikeres ikke av 25 Hz-målingene noe som kan bety at ledningsevnen ikke er spesielt god. I tillegg til disse to lederne viser horisontalfeltet en dypanomali ved 725Ø. Lederen indikeres best på kanal 7, men kan observeres svakt på kanal 5 og 6. Dette er noe merkelig og vanskelig å forklare. Sterk anomali på de sene kanalene betyr vanligvis meget god ledningsevne, men med et dyp på bare 100 m burde lederen også blitt indikert på de tidlige kanalene.

Resultatene på profil 1300N, figur 2a, gir et noe endret anomalibilde. Den meget gode lederen indikeres ved 1025Ø med et tolket dyp på 25 - 37,5 m på kanal 1 i tidsdomenet. På kanal 4 og 5 indikeres lederen ved 1050Ø - 1062,5Ø med et tolket dyp på 50 - 62,5 m. Spørsmålet er om det er samme lederen, eller om det er to ledere på forskjellig dyp som

indikeres. Anomalien er meget sterk og observeres på alle kanaler hvilket tyder på meget god ledningsevne. Anomalien er imidlertid svak på kanal 6 og 7. Ved primærfeltmålingene, figur 2b, indikerer H<sub>tot</sub>-norm to ledere, mens V<sub>0</sub>-norm indikerer en leder. 25 Hz-målingene indikerer en leder ved 1025Ø. Ellers indikeres en god leder med en svak tidsdomeneanomali ved 1212,5Ø.

På profil 1200N, figur 3a, ser det ut som om det med sikkerhet er to ledere som indikeres. Allerede på kanal H1 ser en tydelig to ledere hvor lederen ved 1025Ø på ca 25 m dyp er dominerende, mens den andre ved 1075Ø på 50 m dyp vises som en skulder på kurven. Anomalien ved 1075Ø tar mer og mer over, og på kanal 5 indikeres bare den østligste lederen. Dette tyder på at den østligste lederen har best ledningsevne. Primærfeltet indikerer også to ledere, mens 25 Hz-målingene indikerer bare den dypeste ved 1087,5Ø, se figur 3b.

De samme lederne indikeres også på profil 1100N. I tillegg indikeres en noe dypere leder ved 1200Ø, se figur 4a. 25 Hz-målingene indikerer også samme lederen ved 1212,5Ø med et tolket dyp på 50 - 75 m. En grunn leder med god ledningsevne indikeres dessuten ved 1275Ø. Lengst vest på profilet stiger horisontalfeltet merkbart vestover. Dette kan tolkes som en dypanomali. De sene vertikalkanalene er påvirket av en uforklarlig kabeleffekt nær kabelen (0 - 200 m) slik at det kan være vanskelig å se vertikalanomalier i dette området. Den sterke anomalien ved basis (1000Ø) er trolig knyttet til mineraliseringen i Archbolds gruve. CP-målinger (Dalsegg 94) viste denne mineraliseringen som en separat leder uten forbindelse nordover eller sørover.

På profil 1000N, figur 5a, indikeres de samme hovedlederne. En svak anomali ved 1012Ø representerer trolig mineraliseringen i Crows gruve. CP-målingene viste også denne som en dårlig leder med liten utstrekning. Det er noe usikkert om den dypeste lederen (1200Ø) på profil 1100N er sammenhengende til profil 1000N. På profil 1000N indikeres en grunn leder ved 1100Ø og en leder med tolket dyp 50 m ved 1150Ø i tidsdomenet. 25 Hz-målingene indikerer bare den dypeste lederen ved 1150Ø. Det kan i et tilfelle som dette være vanskelig å skille de enkelte ledere, men det er helt på det rene at en har flere ledere (mineraliseringer) som opptrer på forskjellig dyp.

Når det gjelder tidsdomenemålingene videre sørover viser resultatene to ledere som følger de geologiske strukturene (malmsonens bergarter). Den grunne lederen ved ca 1000Ø (Crows gruve) ser ut til å stoppe ved profil 950N, ved Sagbekken. 25 Hz-målingene ser ut til å indikere den østligste og dypeste av de to lederne.

På profil 900N, figur 7a, indikerer kanal 1 en leder ved 1100Ø med et tolket dyp på ca 50 m. På de sene kanalene indikeres lederen ved 1137,5Ø på noenlunde samme dyp. 25 Hz-målingene indikerer en leder ved 1150 - 1162,5Ø på ca 75 m dyp. Dette må være en underliggende sone. Primærfeltet indikerer trolig utgående ved 1062,5Ø. Også på dette profi-

let stiger horisontalfeltet mot vest. På kanal 6 og 7 når det også en topp som kan indikere en dypleder ved 600Ø. De øvrige kanaler stiger frem til vestligste punkt 550Ø. Det er vanskelig å se noe på vertikalfeltet, og ingenting observeres på 25 Hz-målingene.

Tidsdomenemålingene viser noenlunde samme resultat på profil 850N - profil 600N. Kanal 1 - 2 indikerer en leder 25 - 50 m lenger vest i forhold til indikasjonen på de sene kanalene. Dypet er størst på den østligste, se tabell 2. 25 Hz-målingene kan også tolkes til å indikere to ledere da en grunn anomali ser ut til å overlagre en noe dypere. Dette vises tydelig på profil 800N, se figur 9b. Et bratt fall på kurven indikerer en grunn leder ved 1062,5Ø, mens det slake fallet øst for den grunne lederen indikerer en dyp leder ved 1150Ø. Ved å anta et kurveforløp under den grunne anomalien kan en anslå dypet til 100 - 125 m. En tilsvarende tolkning kan gjøres på profil 850N, 750N og 700N.

På profil 600N indikerer tidsdomenemålingene tydelig to ledere, se figur 12a. Kanal 1 indikerer en grunn (0 - 25 m) leder ved 1025Ø. Fra kanal 5 kommer en dypere leder inn, og kanal 6 og 7 indikerer bare den dype lederen ved 1087,5Ø. Dypet er tolket til 50 - 75 m. Lederen antas å ha meget god ledningsevne da den indikeres meget tydelig også på siste kanal. 25 Hz-målingene gir en anomali nesten identisk med kanal V7, se figur 12b. Primærfeltet indikerer en grunn (0 - 25 m) leder ved 1012,5Ø tilsvarende kanal 1 i tidsdomenet.

Profil 600N var det siste profilet som ble målt mot sør. De indikerte lederne ser imidlertid ut til å fortsette sørover. Hovedhensikten med målingene var å se om dype ledere kunne indikeres i nærområdet til gruva da CP-målinger kunne tyde på det. Det ble derfor ikke gjort noe forsøk på å kartlegge ledernes totale utbredelse i strøkretningen, hverken nordover eller sørover.

### 3.1.2 Beregning av tidskonstant

For å få en bedre vurdering av kvaliteten til en leder kan en studere decay-kurven og tidskonstanten, se metodebeskrivelse tekstbilag 1. Figur 13 - 18 viser «decay»-kurvene for ledere observert i tidsdomenet. Målesignal ( $\mu\text{V}$ ) av horisontalfeltanomalien er plottet mot måletidspunkt (ms). Måletidspunktet er det tidspunkt etter strømbrudd hvor de forskjellige kanalene måles. Et sterkt fall på en slik kurve viser at anomalien dør fort ut hvilket betyr dårlig ledningsevne. Når kurven har tilnærmet lineært fall, skyldes anomalien strømmer som hovedsakelig går i lederen, og er lite påvirket av strømmer i de omliggende bergarter. Jo flatere kurven er i den lineære delen, jo større er tidskonstanten og jo bedre er ledningsevnen. Tabell 5 viser en oversikt over beregnede tidskonstanter.

Tidskonstanten beregnes etter formelen:

$$T_n = (t_{n+1} - t_n) / \ln(H_n / H_{n+1})$$

$t_n$  er måletidspunkt for kanal n og  $H_n$  er målesignal for kanal n.

**Tabell 5. Beregnede tidskonstanter, horisontalfeltet, Malså**

Profil	Koordinat	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1400N	1000Ø	0,13	0,22	0,58	0,51	0,98	2,61
1400N	1212,5Ø	1,33	0,33	0,29	0,67	0,57	-
1300N	1025Ø	0,13	0,22	0,64	0,52	0,94	2,28
1300N	1062,5Ø	-	-	-	0,51	0,80	1,70
1300N	1212,5Ø	0,13	0,36	0,46	0,51	0,78	3,77
1200N	1025Ø	0,13	0,18	0,50	0,42	-	-
1200N	1087,5Ø	0,35	0,28	0,73	0,45	1,05	1,59
1200N	1200Ø	0,10	0,63	0,76	0,77	-	-
1100N	1000Ø	0,10	0,22	0,60	0,56	0,65	-
1100N	1075Ø	0,13	0,19	0,52	0,53	1,00	-
1100N	1200Ø	-	-	-	-	1,20	2,81
1100N	1275Ø	0,12	0,25	0,55	0,49	1,20	3,52
1000N	1025Ø	0,06	-	-	-	-	-
1000N	1100Ø	0,09	0,17	0,59	0,63	1,18	2,32
1000N	1150Ø	-	-	-	-	1,22	2,29
1000N	1262,5Ø	0,14	0,28	0,82	0,64	1,43	3,97
950N	1050Ø	0,08	-	-	-	-	-
950N	1150Ø	0,12	0,23	0,94	0,85	1,26	2,33
900N	1137,5Ø	0,11	0,25	0,91	0,83	1,28	2,60
850N	1075Ø	0,10	-	-	-	-	-
850N	1100Ø	0,15	0,25	0,86	0,78	1,26	2,24
750N	1037,5Ø	0,07	-	-	-	-	-
750N	1075Ø	-	0,23	0,68	0,66	1,39	2,35
700N	1037,5Ø	0,08	0,25	0,74	0,80	1,40	2,36
700N	1075Ø	-	-	-	-	1,52	2,57
600N	1025Ø	0,16	0,23	0,73	0,72	1,23	2,32
600N	1087,5Ø	-	-	-	-	1,96	2,55

Ingen av «decay»-kurvene viser helt lineært fall på de seneste tidspunkt. Flere av kurvene er imidlertid nesten identiske og parallelle, hvilket betyr ledere med noenlunde lik ledningsevne. Parallelle kurver på forskjellige nivåer betyr ledere med lik tidskonstant (ledningsevne), men med forskjellig anomalistyrke. Anomalistyrken er i tillegg til ledningsevnen også avhengig av lederens geometri (lengde, tykkelse, bredde), EM-kobling og jordingselektrodenes plassering. En leder som gir tilnærmet lineært fall på «decay»-kurven fra kanal 5 - 7 er lederen ved 1087,5Ø på profil 600N.

Tabell 5 viser en oversikt over beregnede tidskonstanter for indikerte ledere ved Malså gruver. Størst tidskonstant gir en leder på profil 1000N ved 1262,5Ø med  $T_6=3,97$  ms, og på profil 1300N ved 1212,5Ø med  $T_6=3,77$ ms. Tidskonstanter i denne størrelsesorden kan tyde på massiv kis. Begge de indikerte lederne er grunne, og anomalistyrken er svak med meget svake signaler på de to siste kanalene noe som kan gi usikre tidskonstanter. Det kan også være ledere med god ledningsevne hvor EM-koblingen mellom primærfelt og leder er dårlig, dvs. en tynn, smal leder med lite areal. Utenom disse to lederne ligger de beregnede tidskonstanter i området 2,2 - 2,6 ms for  $T_6$ . Dette gjelder både for den grunne og den noe dypere lederen som er fulgt i måleområdet. Tidskonstanter i denne størrelsesorden tyder ikke på spesielt god ledningsevne. Erfaringer en har hittil med slike beregninger tyder på at en må ha tidskonstanter større enn 3,5 - 4 ms for å kunne si at anomaliene kan skyldes massiv kis.

### 3.1.3 Diskusjon

På grunnlag av resultatet fra TFEM-målingene ble det boret to diamantborhull på den dypeste anomalien. Hullenes plassering var på profil 900N, 1150Ø (Bh 2) og profil 600N, 1100Ø (Bh 3). Det ble ikke påtruffet massiv kis av betydning. Flere mektige soner med impregnasjon, bånd og slirer av sulfidmineraler ble påtruffet på ulike dyp ned til ca 75 m. Påfølgende ledningsevнемålinger i borhullene viste 2 - 3 soner med god ledningsevne på dyp som stemmer bra med TFEM-anomaliene. Spørsmålet er om mineraliseringen er rik nok til å forklare de sterke TFEM-anomaliene. Som nevnt innledningsvis viste det seg at den nordligste strømelektroden var plassert i nærheten av den grunne gode lederen som trolig fortsetter nordover fra profil 1400N. Kabelen vest for måleområdet og lederen, som er fulgt i hele måleområdet, utgjør nærmest en strømsløyfe, og det er klart at det vil gå mye strøm i lederen selv om ledningsevnen ikke er den aller beste. På bakgrunn av dette kan nok anomaliene forklares. Samtidig viste tidskonstantene at ledningsevnen ikke er spesielt god hvilket stemmer bra med resultatet fra diamantboringene. CP-målingene, se kap. 3.2, viser også at ledningsevnen ikke er spesielt god.

De sterke 25 Hz anomaliene i frekvensdomenet skyldes nok i hovedsak konduktive strømmer fra jordingselektroden. Med jording i, eller like i nærheten av, en mineralisert sone vil selv en



så lav frekvens som 25 Hz gi sterke anomalier, og det kan være vanskelig å bedømme kvaliteten til lederen. En ser imidlertid at 25 Hz-målingene indikerer den dypeste av lederne hvilket betyr at denne har best ledningsevne. Mesteparten av de konduktive strømmene vil gå der ledningsevnen er best, men 25 Hz-målingene tyder også på at en har ganske bra EM-kobling mellom primærfelt og leder da en på alle profiler får tydelig Im-anomali. Im-anomalier skyldes induserte strømmer (kantstrømmer). Im-anomaliene er imidlertid mye svakere enn Re-anomaliene. En ser ikke anomali fra nedre (østre) kant for en eventuell plateleder. Dette kan bety at det mineraliserte nivået strekker seg langt østover.

Det ble også reist spørsmål om det kunne være boret utenfor kanten av en bedre leder enn den som ble påtruffet. I utgangspunktet ble borhullene siktet mot strømkonsentrasjonen (anomaliangivelsen) hvor ledningsevnen var antatt å være best. Bh 2 ble boret på profil 900N ved koordinat 1150Ø med 85<sup>0</sup> fall mot vest. Tidsdomeneanomalien er ved 1137,5Ø mens 25 Hz-anomalien er ved 1162,5Ø både på profil 950N og 900N. Det er altså en liten mulighet for at ledningsevnen kan være noe bedre øst for 1150Ø hvis en ser på 25 Hz-anomalien. På profil 600N (egentlig 585N) ble Bh 3 boret på koordinat 1100Ø med et fall på 75<sup>0</sup> mot vest. Anomalien er ved 1075 og 1087,5Ø hvilket skulle passe bra. Forøvrig vises til kap. 3.4 hvor PP-målinger tar opp denne problemstillingen. Figur 19 viser vertikalsnitt ved profil 900N og 600N hvor geofysiske indikasjoner fra bakke- og borhullsmålinger er plottet inn. Forbindelsen mellom ledende soner i borhull og utgående ( Archbold og «skjerp» ) er fastslått ved CP-målinger, se kap. 3.2. Den dypeste lederen er ikke registrert med utgående i vest, og en kan heller ikke si noe om hvordan lederne utvikler seg østover.

I tillegg til de to hovedlederne indikeres også en leder ved koordinat 1200Ø på de nordligste profilene. På profil 1100N indikeres denne ved 1200Ø med et tolket dyp på 50 - 75 m. 25 Hz målingene gir en sterk anomali ved 1212,5Ø med tolket dyp 75 m. På profil 1000N indikeres en tilsvarende leder ved 1150Ø som fortsetter hele måleområdet sørover. Det er mulig at denne lederen har forbindelse med lederen på profil 1100N som fortsetter ut av måleområdet nordøstover.

### **3.2 CP-målinger**

Målingene i borhull 2 og 3 med jording i Archbolds gruve (figur 20) viser at malmsonens nivå sannsynligvis er påtruffet på 50 meter i borhull 2 og på 35 meter i borhull 3. Målingene i 1994 viste at potensialet i jordingspunktet lå på 540 mV, noe som tilsier et potensialfall på ca. 200 mV til borhull 2 og ca. 320 mV til borhull 3. Dette forholdsvis store potensialfallet langs mineraliseringen indikerer at det godt ledende partiet av mineraliseringen ikke har utstrekning til borhullene. For begge borhull er det først ved 80 meter en har potensialfall av betydning. Dette indikerer at det i hele området fra Archbolds nivå og ned til ca. 80 meters dyp må være mer eller mindre sammenhengende mineralisering.

Anomaliårsaken til dypanomalien fra TFEM-målingene antas å være den nedre delen av det mineraliserte området i borhullene. For å få informasjon om sammenhengen av denne mineraliseringen mellom borhull 2 og 3, ble det utført CP-målinger i borhullene med jording på 66m dyp i borhull 3 (figur 21). Målingene viser at dette nivået ligger på ca. 75 meter i borhull 2, og at det er stort potensialfall mellom borhullene. Dette indikerer at det er lite sammenheng i mineraliseringen mellom borhullene (dypanomali TFEM). Den brede toppen av potensialkurven i borhull 2 viser at strømmen fordeler seg i et område fra 65 til 80 meter. Dette stemmer godt med ledningsevne-målingene (figur 23) som indikerer en tilsynelatende motstand fra 10 til 4 ohmm i dette området.

Øst for gruva indikerte TFEM-målingene en grunn og meget sterk anomali som gikk gjennom hele måleområdet. Strukturmessig ligger denne sonen over gruvas nivå og det ble utført CP-målinger for å se hvor sonen er truffet i borhullene. Jordingselektroden ble plassert i skjerp like nord for bekk ved 965N-1125Ø. Målingene er presentert i figur 22 og viser at i borhull 2 er sonen påtruffet på 12.5 meter. Sonen er tydeligvis smal og et potensialfall på ca. 1000 mV fra skjerp til borhullet indikerer at sonens kompakte del ikke har utstrekning til borhullet. I borhull 3 viser målingene en svak topp ved 30 meter, og potensialet er ca. 325 mV lavere enn for borhull 2. Det svake toppunktet representerer nok sonens mineraliserte nivå, men det store potensialfallet fra skjerp til borhullet indikerer at den kompakte delen av mineraliseringen er lite utholdende mot sør.

CP-målingene har vist de mineraliserte nivåenes beliggenhet i borhullene. I tillegg har de gitt informasjon om utstrekningen av den kompakte delen av mineraliseringene.

### **3.3 Ledningsevne-målinger**

Ledningsevne-målingene i borhull 2 og 3 er vist i figurene 23 og 24. I borhull 2 indikeres en sone på 15 meter som tilsvarer den østligste grunne TFEM-anomalien. I borhull 3 kommer ikke dette nivået fram som en egen sone, men ser ut til henge sammen med Archbold gruvas nivå. Den tilsynelatende motstanden varierer fra 100 til 20 ohmm, noe som indikerer middels god ledningsevne. Det mineraliserte nivået til Archbolds gruve kommer fram som en sone fra 46 til 56 meter i borhull 2, og fra 28 til 34 meter i borhull 3. Den tilsynelatende motstanden er på 2 til 3 ohmm i borhull 2, noe som indikerer en forholdsvis god leder. I borhull 3 er motstanden noe større (15 til 20 ohmm). Det underste nivået (dypanomali TFEM) kommer fram som en forholdsvis bred sone fra 62 til 74 meter i borhull 2 og fra 52 til 82 meter i borhull 3. Den tilsynelatende motstanden i dette området varierer fra 2 til 100 ohmm, noe som indikerer stor variasjon i sulfidinnholdet

I tillegg til disse sonene er det en sone på henholdsvis 142 og 134 meter i borhullene 2 og 3. Denne sonen har vesentlig dårligere ledningsevne enn de overliggende nivåene. Motstanden i den omliggende bergarten ser ut til å ligge på ca. 2000 ohmm.

### 3.4 PP-målinger

Målingene av provosert potensial (PP) er vist i henholdsvis figur 25 og 26 for borhullene 2 og 3, og både potensialet og gradienten langs borhullene er presentert.

I borhull 2 viser potensialet en svak positiv topp ved 75 meter. Ved samme dyp viser det provoserte potensialet først en positiv og så en negativ gradientøkning. Selv om anomaliene er svake indikerer de at det er provosert en positiv pol i denne mineraliseringen. Ut fra tradisjonell tolkning av disse målingene skal dette tilsi at strømkonsentrasjonen, og dermed hovedtyngden av sonen, ligger øst for borhullet. Avstanden er mere usikker å tolke, men er trolig i størrelsesorden 15 til 20 meter. Dette er samme sonen som er anomaliårsaken til den dype TFEM-anomalien, og på bakgrunn av PP-målingene ser det ut til at borhullet er satt på noe for langt vest.

Det er også en liten anomali ved 35 meter. Tolkningen her blir at også hovedtyngden av denne mineraliseringen ligger øst for borhullet. Denne sonen som kommer klart fram på ledningsevne målingene ser ut fra CP-målingene ut til å ligge mellom nivået til Archbolds gruve og den grunne sonen øst for gruva.

Målingene i borhull 3 gir omtrent det samme anomalibildet som for borhull 2. Hovedtyngden av den dype TFEM-anomalien indikeres også her til å ligge øst for borhullet. Avstanden ser ut til å være noe større og er trolig i størrelsesorden 20 til 30 meter. I tillegg kommer det fram en anomali fra 120 til 130 meter med motsatt polaritet i forhold til den forannevnte anomalien. Dette indikerer at hovedtyngden av anomaliårsaken til denne sonen ligger vest for borhullet. Ledningsevne målingene viser en svak anomali fra 132 til 136 meter (figur 24). Dette representerer trolig samme sonen og avstanden ser ut til å være i størrelsesorden 15 til 25 meter.

Selv om tolkningen av avstanden ved disse målingene er usikre, indikerer PP-målingene at borhullene er satt på noe for langt vest for å treffe de best ledende partiene av sonen som har gitt den dype TFEM-anomalien. Styrken på anomaliene ved PP-målingene gir ikke grunn til å tro at anomaliårsaken representerer kompaktmalm av betydning. Eventuell videre boring mot øst må derfor vurderes ut fra analysene fra boringene når de foreligger.

#### 4. KONKLUSJON

Elektromagnetiske målinger i tids- og frekvensdomenet, TFEM, ved gamle Malså gruver har gitt tildels meget sterke anomalier langs hele måleområdet. Den kvalitative tolkningen av tidsdomeneanomaliene indikerer flere meget gode ledere på ulike dyp med den dypeste på ca 75 m. Beregning av tidskonstanter for de samme lederne viser imidlertid at ledningsevnen ikke er spesielt god, og at anomaliene neppe skyldes massiv kis av betydelig størrelse. Oppfølgende diamantboringer på den dype anomalien påtraff ikke massiv malm, men flere godt ledende partier med impregnasjon, bånd og slirer av sulfidmineraler. Mineraliseringen opptrer som lagpakker på flere meters tykkelse, og det er tydelig at de samler mye strøm fra jordingspunktene.

Forklaringen på anomaliene finnes i borhullene selv om mineraliseringen var dårligere enn forventet på bakgrunn av de meget sterke anomaliene. De indikerte lederne går ut av måleområdet både i nord og sør, slik at en ikke vet hvordan lederne utvikler seg i disse retningene. En vet heller ikke hvordan lederne utvikler seg østover, og i vest observeres en meget usikker dypanomali. Noen av disse usikkerhetene kunne blitt besvart ved å utvide måleområdet i alle retninger med kabelen lenger vest og lengre profiler. TFEM-målingene har vist en meget interessant egenskap ved at det går an å skille ledere på ulike dyp og med forskjellig ledningsevne.

CP-målingene har vist de mineraliserte nivåenes beliggenhet i borhullene. I tillegg har de gitt informasjon om utstrekningen av de godt ledende partiene av mineraliseringene.

Selv om tolkningen av avstanden ved PP-målingene er usikre, indikerer de at borhullene er satt på noe for langt vest for å treffe de best ledende partiene av sonen som har gitt den dype TFEM-anomalien. Styrken på anomaliene ved PP-målingene gir ikke grunn til å tro at anomaliårsaken representerer kompaktmalm av betydning. Eventuell videre boring mot øst må derfor vurderes ut fra analysene fra boringene når de foreligger.

## 5. REFERANSER

Dalsegg, E og Lauritsen, T. 1995: CP- og magnetiske målinger ved Malså og Åkervollen gruver, Verdal, Nord-Trøndelag. *NGU Rapport 95.003*.

Eidsvig, P.D. og Kihle, O. 1978: New Method of Interpretation for Charged Potential Measurements. Extract of a paper presented at the 11th meeting of the Nordic Association of Applied Geophysics in Oulu, Finland, January 11-13, 1978.

Rui, I. 1995: Åkervollen og Malså kisfelter i Verdal - relasjoner til strukturer. *Aspro rapport 2326*.

Skilbrei, J.R. 1994: Helikoptermålinger i Vuku-området, Steinkjer og Verdal kommuner, Nord-Trøndelag. *NGU Rapport 93.104*.

Wolff, F. Chr. 1979: Beskrivelse til de berggrunnsgeologiske kart Trondheim og Østersund 1:250000. *Norges geol. unders. 353, 1-76*.

## TFEM, METODE OG INSTRUMENTBESKRIVELSE

### 1 Metodebeskrivelse

TFEM, (Time and Frequency Electro Magnetic) er en elektromagnetisk metode hvor målingene foregår både i tidsdomenet og i frekvensdomenet. Med NGUs egenproduserte TFEM-utrustning blir strømpulser sendt ut i en kabelsløyfe eller jordet kabel som legges langs strøket i måleområdet. Magnetfeltet fra kabelen, primærfeltet, vil indukere sekundære strømmen i eventuelle ledere. Induserte returstrømmer under kabelen vil også diffundere ut og ned og samles i ledere som er tilstede. Ved jordet kabelutlegg vil i tillegg også konduktive strømmen samles i de samme lederne. Strømmen som sendes ut i kabelen slås av og på hvert 10. ms vekselvis med motsatt fortegn. Målinger blir gjort langs profiler ut fra kabelen, og i tidsdomenet måles sekundærfeltet fra strømmene i ledere direkte. I frekvensdomenet må måledata normaliseres mot det teoretiske primærfeltet fra kabelutlegget. Sekundærfeltet er satt opp både av de direkte induserte strømmene i en leder, og av de induserte returstrømmer under kabelen som diffunderer ned og samles i ledere. I tidsdomenet trenger måledata ingen normalisering da målingene blir foretatt i tidskanaler (tidsvindu) i den tiden strømmen er slått av og det ikke er noe primærfelt tilstede. Det induserte sekundærfeltet er faseforskjøvet i tid etter primærfeltet, og induksjon oppstår når primærfeltet slås av og på eller skifter retning. Konduktive strømmen vil være faseforskjøvet langt borte fra senderen. Derfor vil feltet fra disse også kunne måles i tidsdomenet og forsterke det målte sekundærfeltet. I løpet av 10 ms måles 7 vertikale og 7 horisontale kanaler ved forskjellig (økende) tidspunkt etter at strømmen er slått av (tidsdomenemålinger). I tillegg måles vertikal- og horisontal-komponent av primærfeltet, kanal 0, som måles like før strømmen blir null. I frekvensdomenet måles vertikalkomponenten av totalfeltet ved 25 Hz som er grunnfrekvensen av strømpulsene som sendes ut. Både reell- og imaginærkomponent måles.

De tidlige kanalene i tidsdomenet indikerer grunne ledere både med god og dårlig ledningsevne, mens de sene kanalene overser grunne dårlige ledere og indikerer gode ledere på dyp ned til 400 - 500 m. På denne måten kan en vurdere kvaliteten til en leder. Med kvalitet menes her elektrisk ledningsevne. Det er flere faktorer å ta hensyn til når en skal vurdere kvaliteten til en leder. En faktor er selve anomalistyrken (styrken på målesignalet) på de forskjellige kanaler. Dette er en konkret verdi som kan leses direkte av måledata (H-kanalene) og en kan sette grenser for å gradere anomalien styrke. Lederens ledningsevne er avgjørende for styrken på anomalien, men kvaliteten på ledere må også vurderes ut fra hvor fort anomalien dør ut som funksjon av tid. Til dette kan en beregne en tidskonstant som er en indikasjon på hvor god ledningsevnen er. En anomali som dør raskt ut vil ha en liten tidskonstant, mens en anomali som er sterk på de sene kanaler har stor tidskonstant. Tidskonstanten beregnes ut fra en kurve der en plotter målesignalet (H-kanaler,

logaritmisk skala) som funksjon av tid etter strømbrydd (lineær skala), og beregnes der denne kurven er lineær (konstant vinkelkoeffisient). Jo flatere kurven er i den lineære delen jo større er tidskonstanten og jo bedre er ledningsevnen.

En tredje faktor som påvirker anomalistyrken er lederens form og størrelse samt beliggenhet i forhold til kabelutlegg. Lederens lengde, bredde og fall vil ha betydning for den elektromagnetiske koblingen og dermed for styrken på de induserte strømmene. Det er vanskelig å tallfeste betydningen av disse faktorene slik at her må en gjøre en vurdering i hvert enkelt tilfelle ut fra det erfaringsmaterialet en har tilgjengelig.

I frekvensdomenet vil primærfeltmålingene (kanal 0) særlig indikere grunne dårlige ledere godt, men dype ledere vil også indikeres, spesielt ved konduktiv energisering. Målinger på 25 Hz, som er en meget lav frekvens, vil være godt egnet til å indikere dype gode ledere dersom måleforholdene er gode. Ledere med dårlig ledningsevne vil ikke indikeres.

Anomalier fra TFEM-målinger har en form lik anomalier fra tradisjonelle Turam-målinger og tolkningen skjer etter samme manuelle metoder. Ved TFEM-målinger i tidsdomenet måles i tillegg også retningen på magnetfeltet. Dette kan ha betydning for bestemmelse av kantstrømmer. Øvre og nedre kant i en plateleder har strømmer med motsatt retning og dermed motsatt retning på sekundærfeltet.

## 2 Instrumentbeskrivelse

NGU's TFEM (Time and Frequency domain Electro Magnetic) er et instrument utviklet ved NGU i perioden 1982-1985. Senderdelen består av en generator (1,5-2 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. Mottakersystemet består av 4 spoler, selve mottakeren (mikroprosessorstyrt) og en batterikasse.

Prosessoren i mottakeren kan utføre følgende funksjoner:

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

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

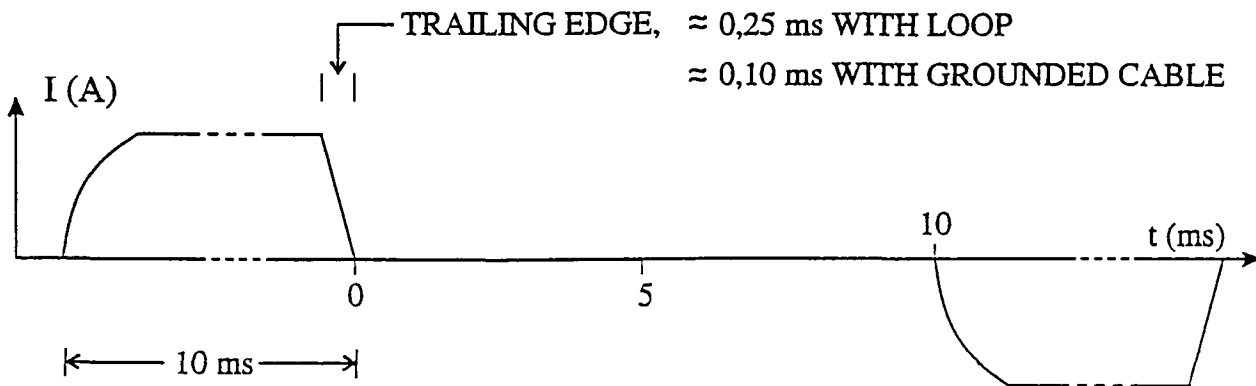
Instrumentet måler 8 vertikale og 8 horisontale kanaler (medregnet kanal 0) i tidsdomenet. Svært gode ledere kan bli oversett ved transientmålinger, og for å gardere seg mot dette måles 2 vertikalkanaler ved 25 Hz i frekvensdomenet. Figur B1 viser strømforløpet ut fra sender og hvordan de 16 tidskanalene måles i forhold til strømpulsene. For å tilfredsstillere 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 målespolen går data via prosessoren til midlertidig lagring i RAM. Under måling utføres kontinuerlig 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 boblelageret. Etter endt måledag overføres data fra boble via mikroprosessoren til PC. Her kan en liste ut måleverdiene og en kan få profilplott av de forskjellige kanaler. For hver målestasjon blir følgende data lagret i bobleminnet:

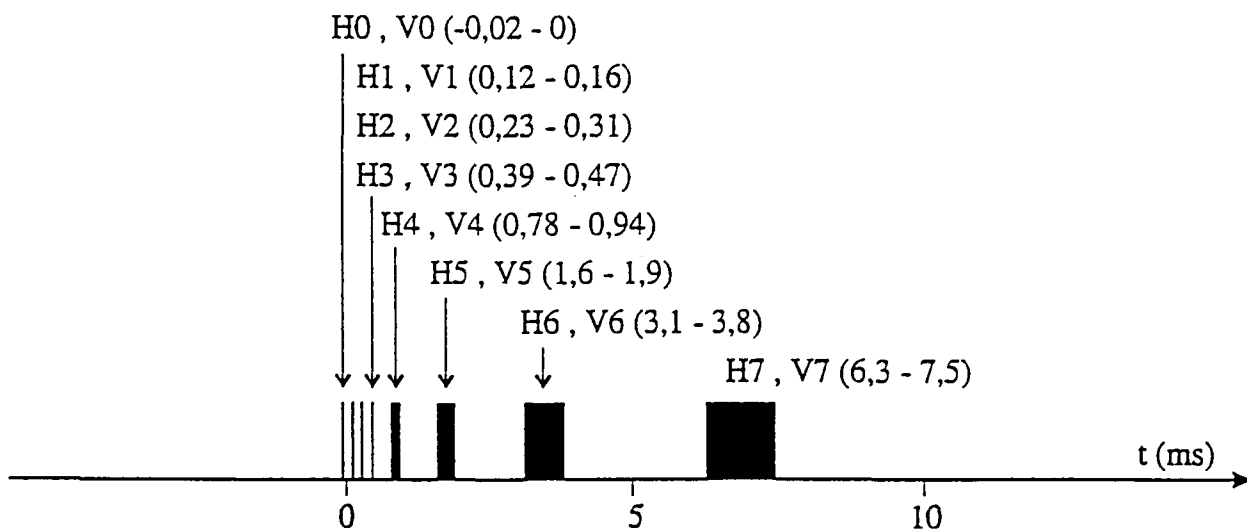
- middelvei i 18 kanaler
- usikkerhet i 18 kanaler
- forsterkningskode i 18 kanaler
- antall målesykluser
- informasjon om "overflows"
- tid (måned, dato, time, minutt, sekund)
- koordinater (X,Y)
- senderparametre (strømstyrke, sløyfestørrelse m.m)



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

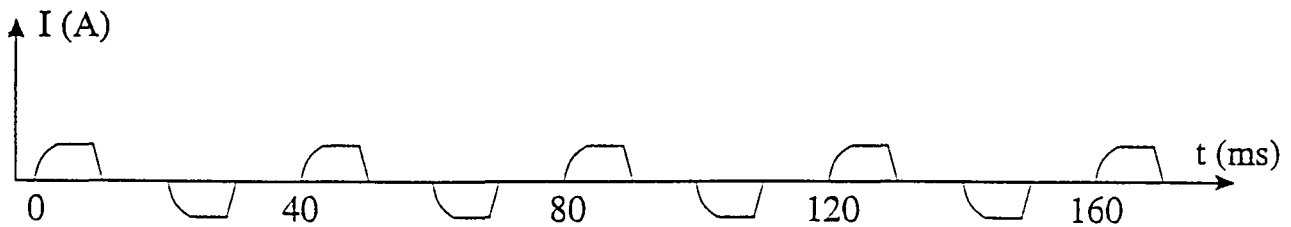


MEASURING TIME (TIME DOMAIN)

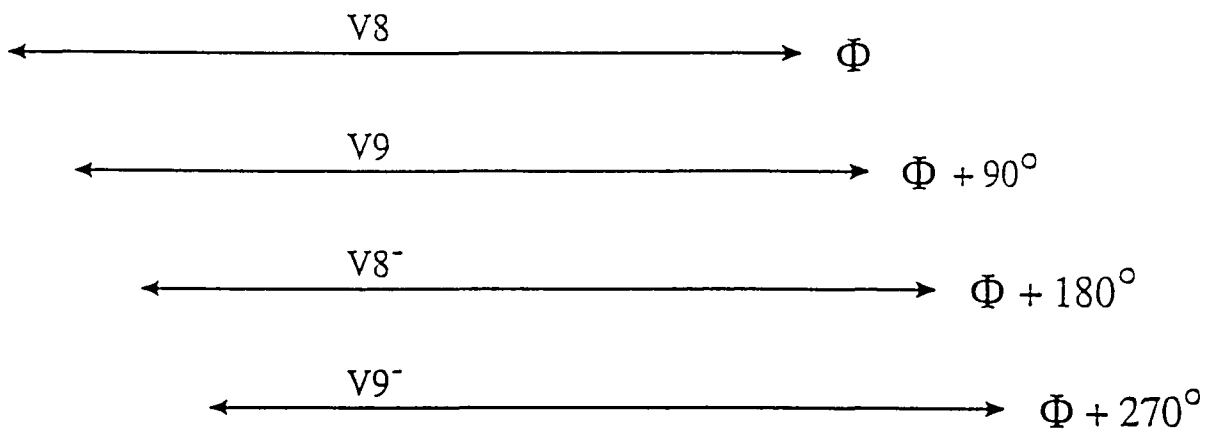


Figur B1. Strømforløp og måletidspunkt for tidsdomenekanalene

### CURRENT TIME,



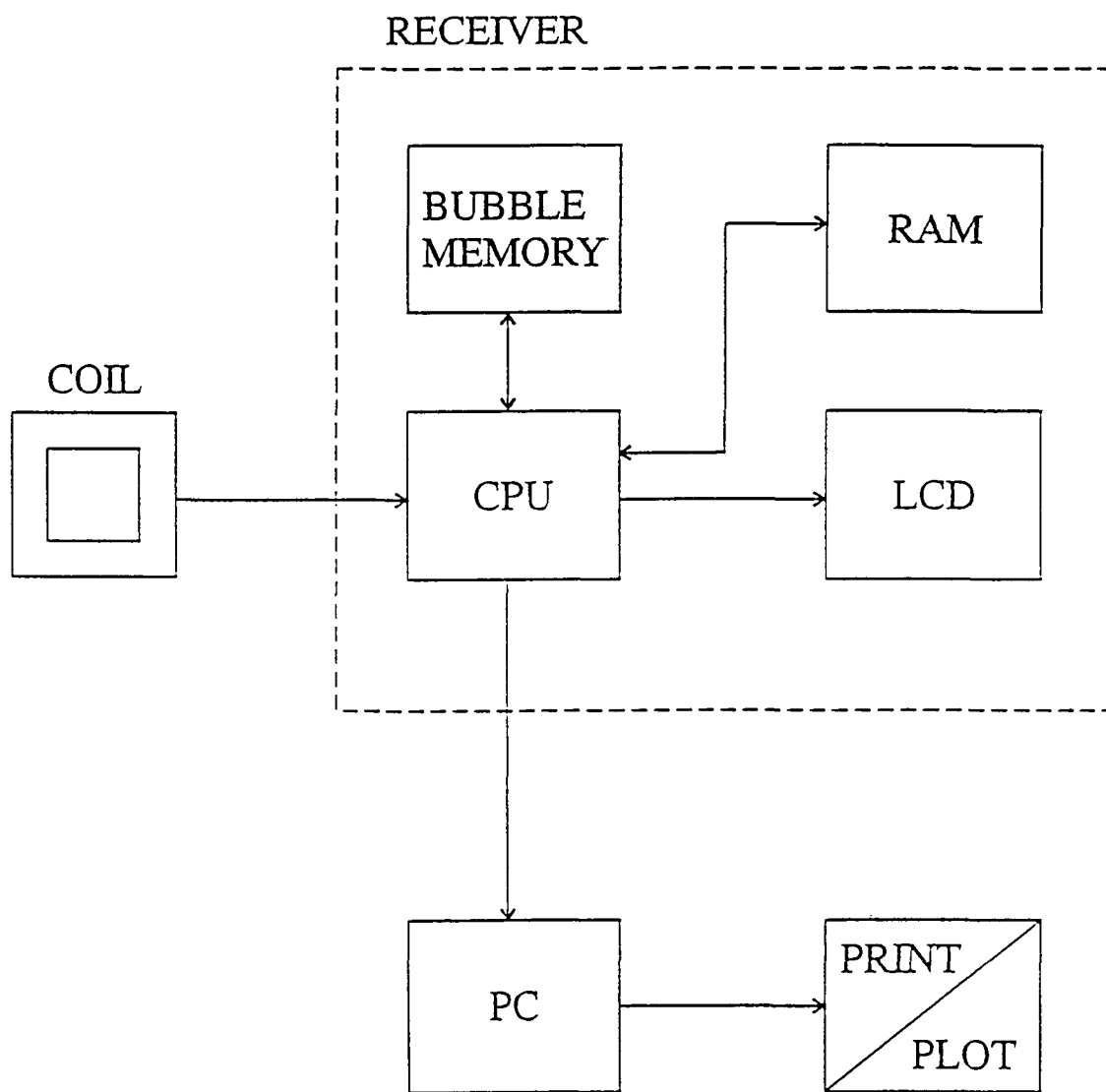
### MEASURING TIME (FREQUENCY DOMAIN)



$$V8 = V8 - V8^- \quad (\approx \text{IN PHASE})$$

$$V9 = V9 - V9^- \quad (\approx \text{OUT OF PHASE})$$

Figur B2. Strømførløp og måletidspunkt for frekvensdomenekanalene



Figur B3. Flytskjema for måleprosessen ved TFEM-målinger

### CP - METODEBESKRIVELSE

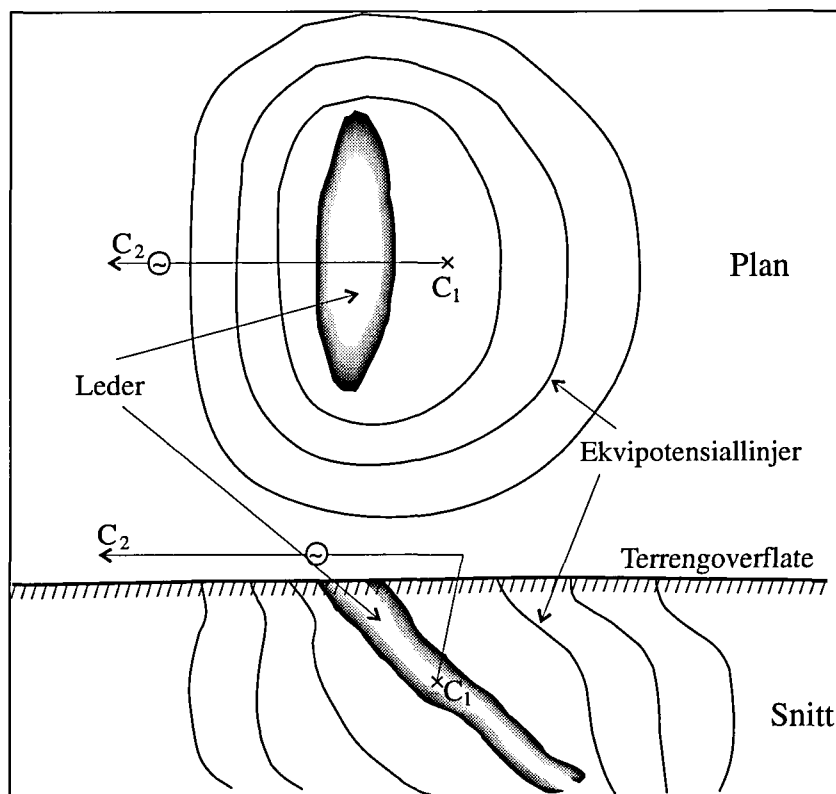


Fig. 1: Potensialbildet rundt en jordingselektrode i en leder.

CP ('Charged Potential', 'mise-à-la-masse', oppladet potensial) er en elektrisk målemetode oppfunnet av Conrad Schlumberger rundt 1920. En strømelektrode kobles direkte til en godt elektrisk ledende sone (som regel en malm) på overflaten eller i borhull. Den andre strømelektroden plasseres langt bort fra måleområdet. Ved å måle potensialet på overflaten eller i borhull oppnås et potensialbilde rundt lederen og dermed en indikasjon på hvordan den ledende sonen opptrer i undergrunnen. Utbredelse

og orientering av den ledende sonen kan kartlegges. I gunstige tilfeller kan det også gis et grovt overslag på størrelsen av den ledende sonen. Metoden forutsetter stor kontrast i ledningsevne mellom ledende sone og området rundt sonen. Eksempel på potensialbilde rundt en leder er vist i figur 1.

Potensialbildet viser godt strøk- og fallretning på leder. Lederen faller bort fra den siden der potensiellinjene står tette. En leder som ligger i nærheten av den lederen det er jordet i, vil gi seg til kjenne som forstyrrelser i potensialbildet. På denne måten kan eventuelle andre ukjente ledende soner påvises.

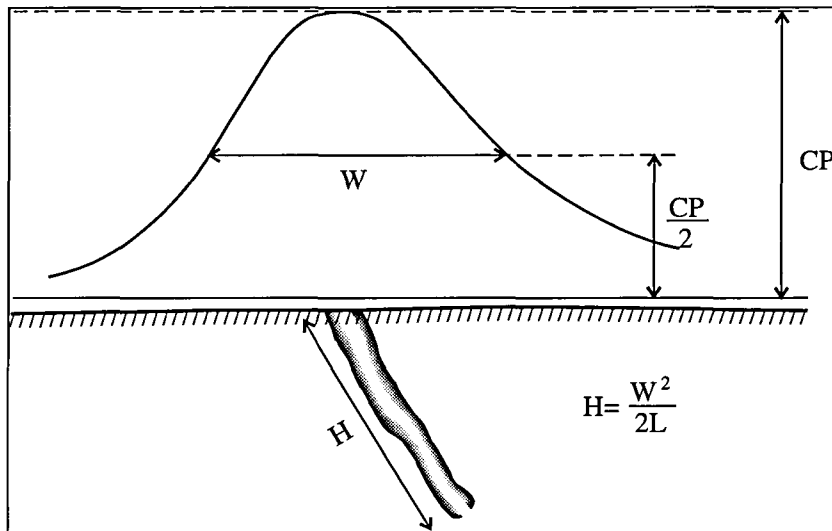


Fig. 2: Beregning av størrelsen på en leder ut fra halvverdbredde.

størrelse lik halve oppladningspotensialet. Hvis malmen er bred, må malmbredden trekkes fra den målte halvverdbredden. Høyden på malmen kan da regnes ut som;

$$H = \frac{W^2}{2L},$$

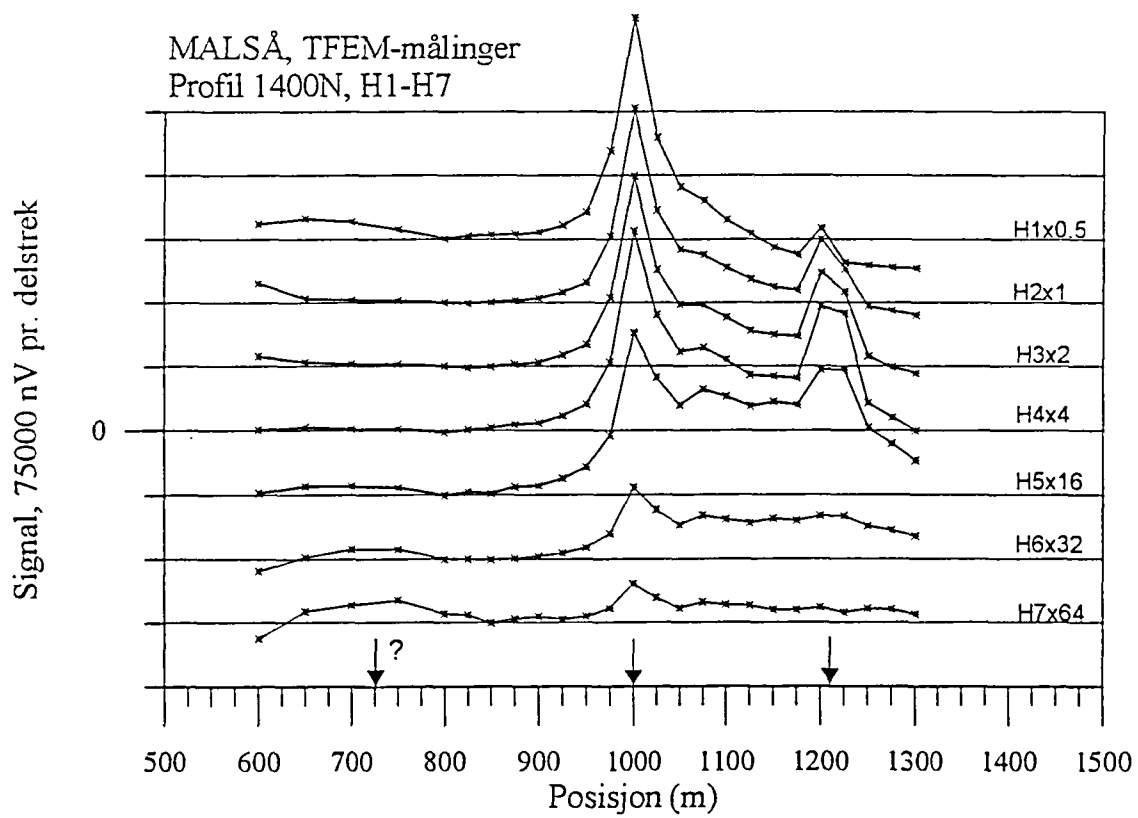
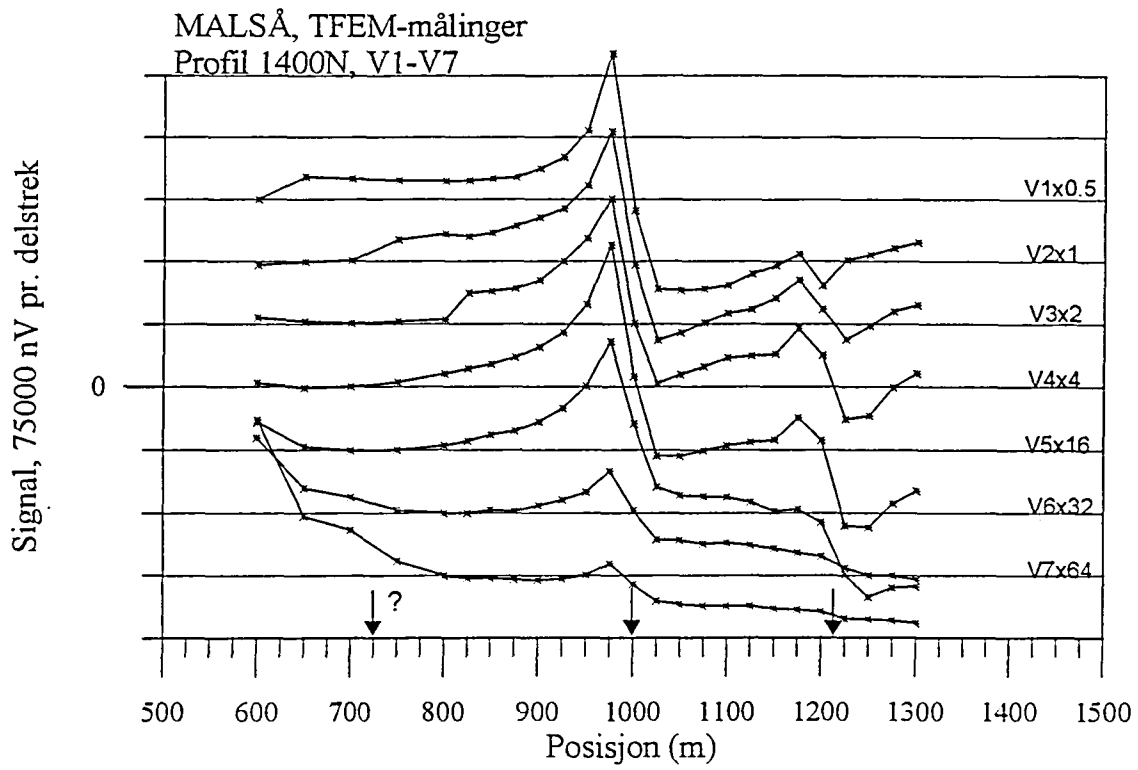
der lengden (L) av malmen kan anslås ut fra potensialbildet. Denne formelen kan benyttes til å finne størrelsen på steiltstående (45-90°) plateformete ledere. Det forutsettes at ingen ledere opptrer nær lederen det er jordet i, slik at denne eventuelt kan påvirke potensialbildet. Dersom en kjenner ledningsevnen til omkringliggende bergart, kan også størrelsen på steiltstående plater beregnes ut fra oppladningspotensialet og strømtettheten rundt lederen (Eidsvig og Kihle 1978).

Dersom lederen er flattliggende, kan arealet tolkes direkte fra potensialbildet på bakken. Metoden kan ikke si noe om ledende soners mektighet.

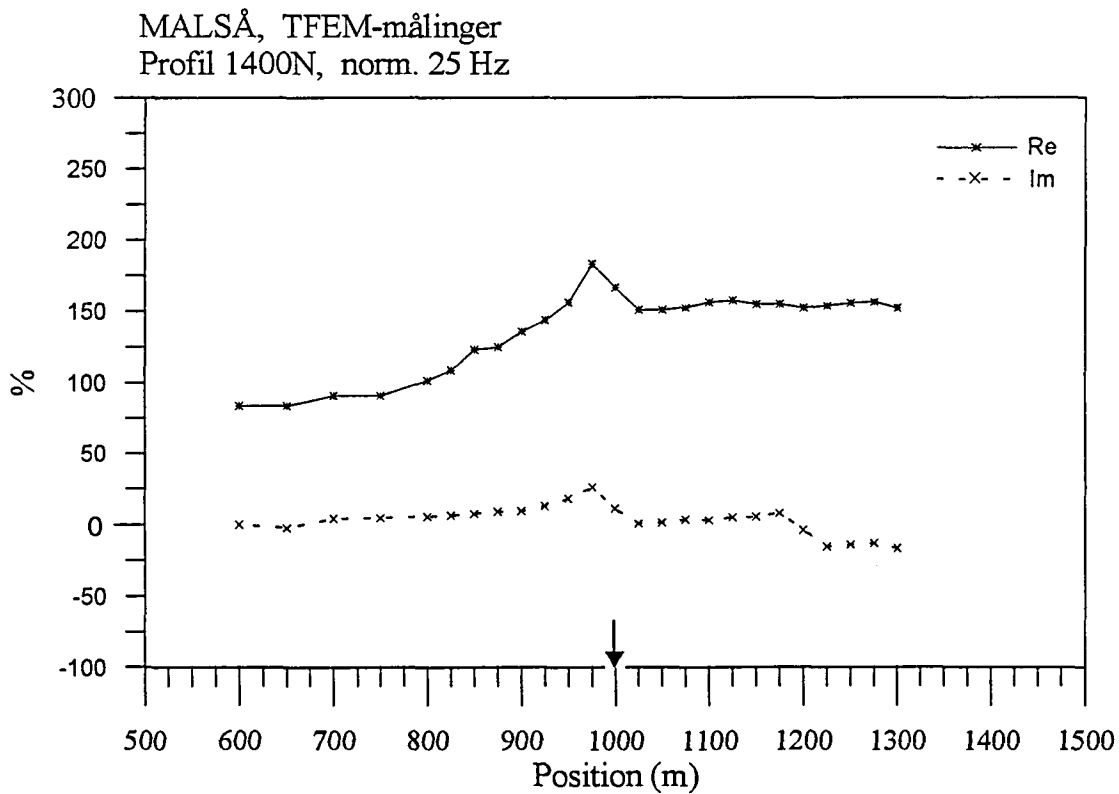
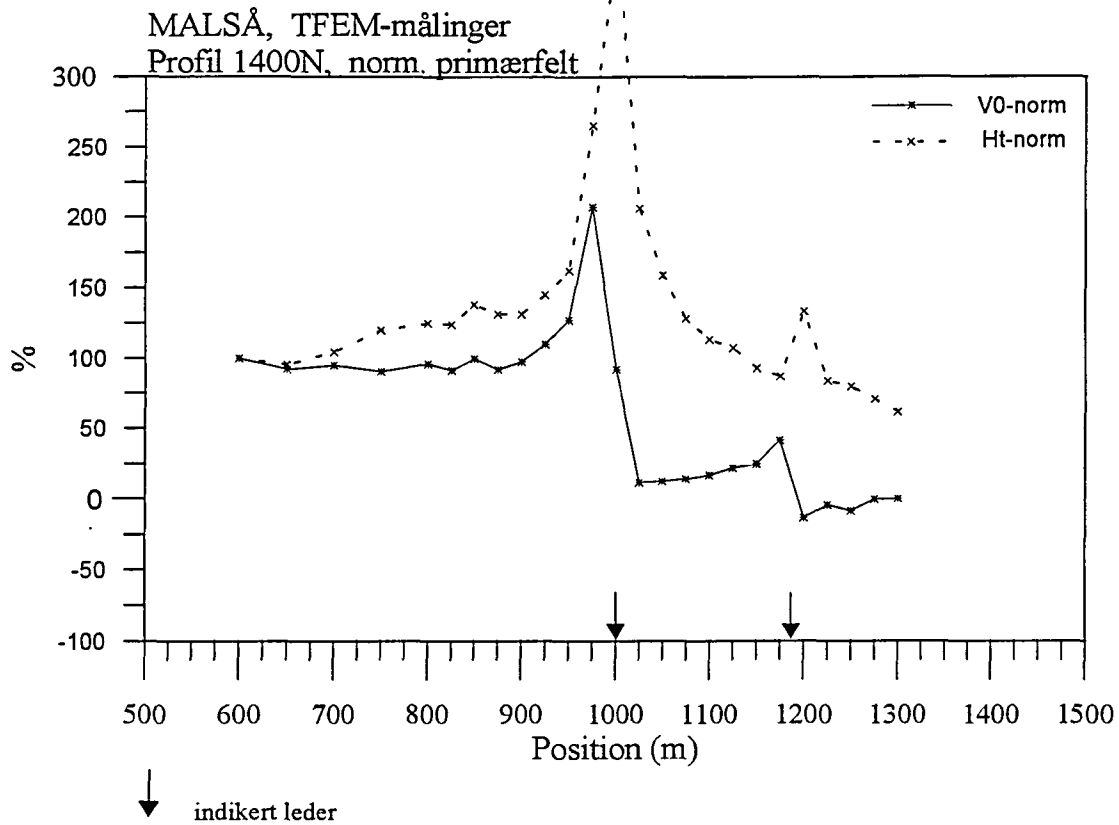
Potensialet på leder målt i forhold til uendelig (oppladningspotensialet) kan benyttes til et grovt overslag for lederens størrelse. Figur 2 viser dette for en plateformet leder. Her er vist potensialkurven for et profil som krysser lederen. Halvverdbredden (W i figuren) måles som avstanden mellom de to punkter på potensialkurven der potensialet har en

## DATABILAG

- Databilag 1: Figur 1a - 12a. TFEM, profilplott av vertikal- og horisontalkanaler i tidsdomenet  
Figur 1b - 12b. TFEM, profilplott av normalisert primærfelt og 25 Hz frekvensdomenet  
Figur 13 - 18. TFEM, transient decay-kurver for indikerte ledere  
Figur 19. Verikalsnitt av profil 900N og 600N med geofysiske indikasjoner fra bakke- og borhullsmålinger.
- Databilag 2: Figur 20. CP, borhull 2 og 3 med  $C_1$  i Archbolds gruve  
Figur 21. CP, borhull 2 og 3 med  $C_1$  på 66 m dyp i borhull 3  
Figur 22. CP, borhull 2 og 3 med  $C_1$  i skjerp ved 965N -1125Ø
- Databilag 3: Figur 23. Tilsynelatende motstand borhull 2.  
Figur 24. Tilsynelatende motstand borhull 3.
- Databilag 4: Figur 25. PP borhull 2.  
Figur 26. PP borhull 3.

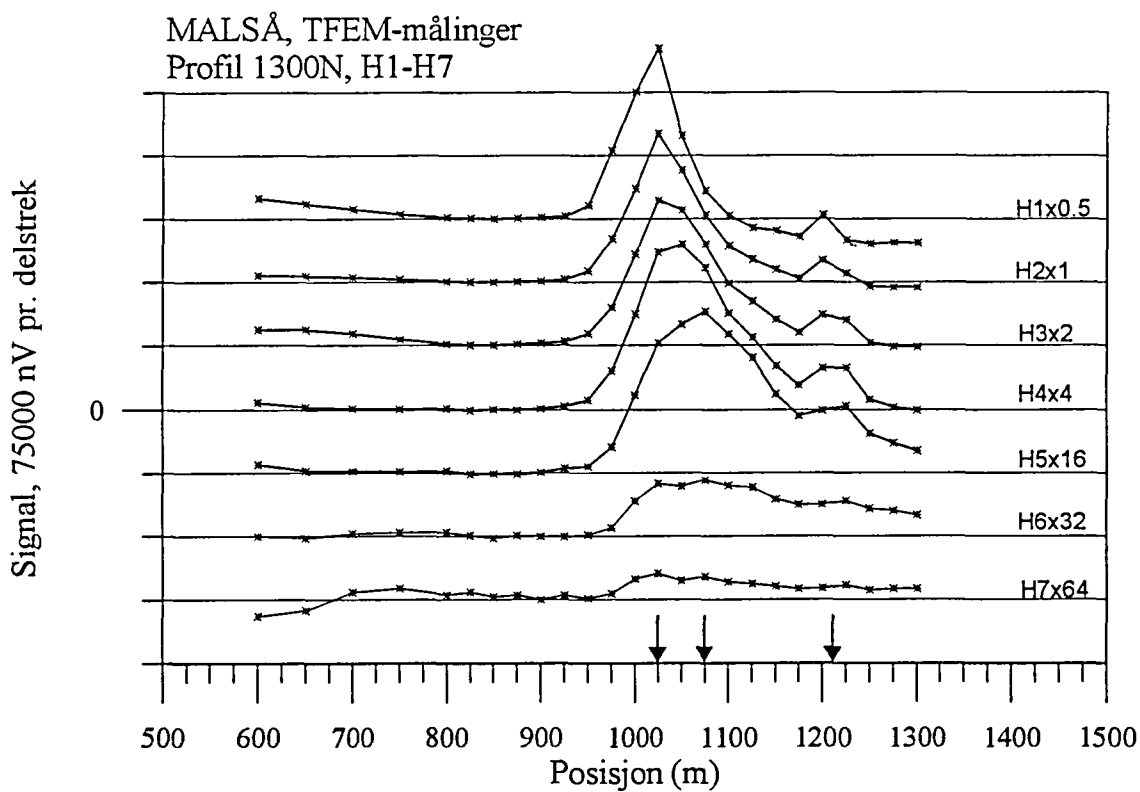
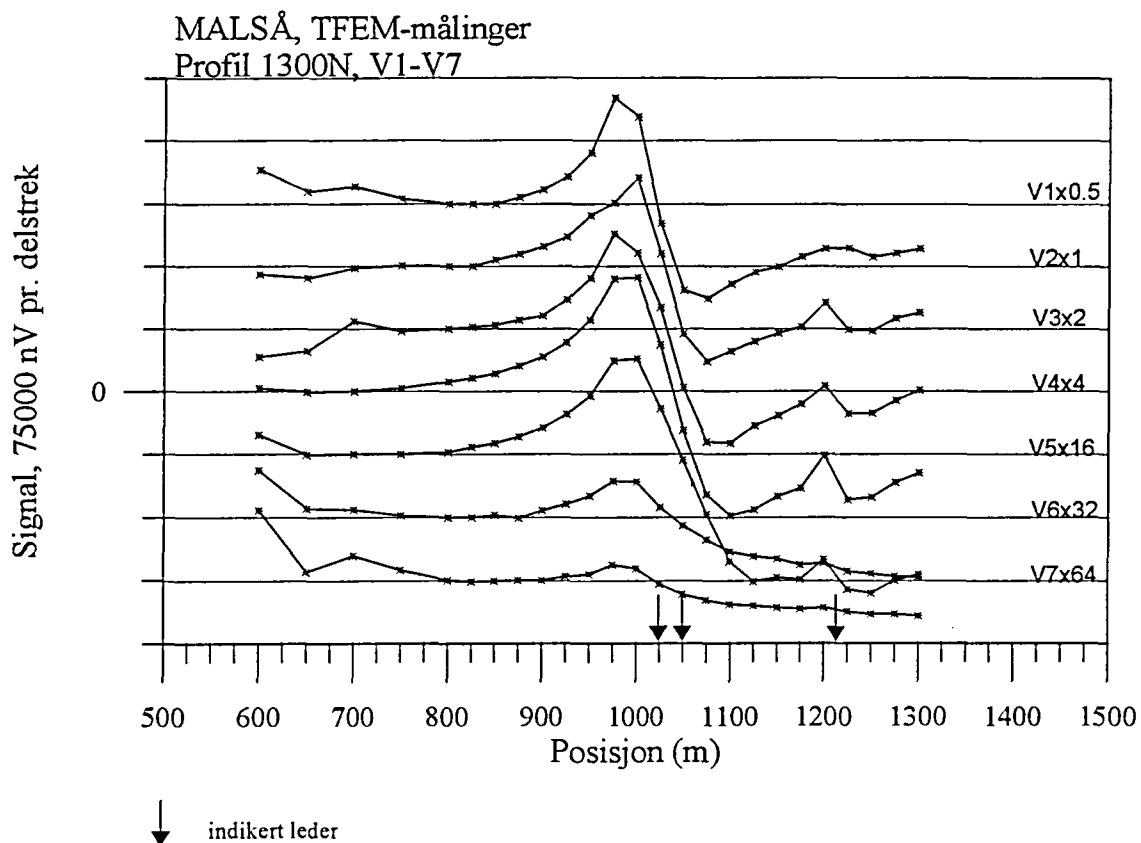


Figur 1a. Vertikal og horisontalkanaler profil 1400N

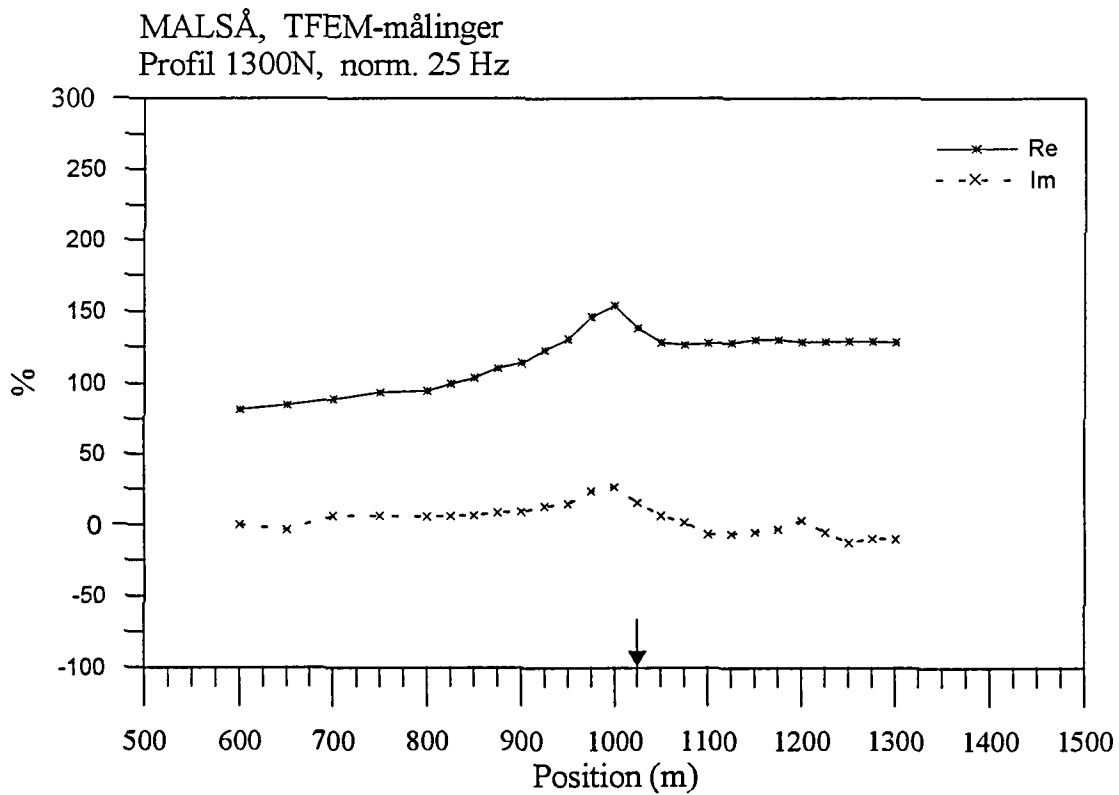
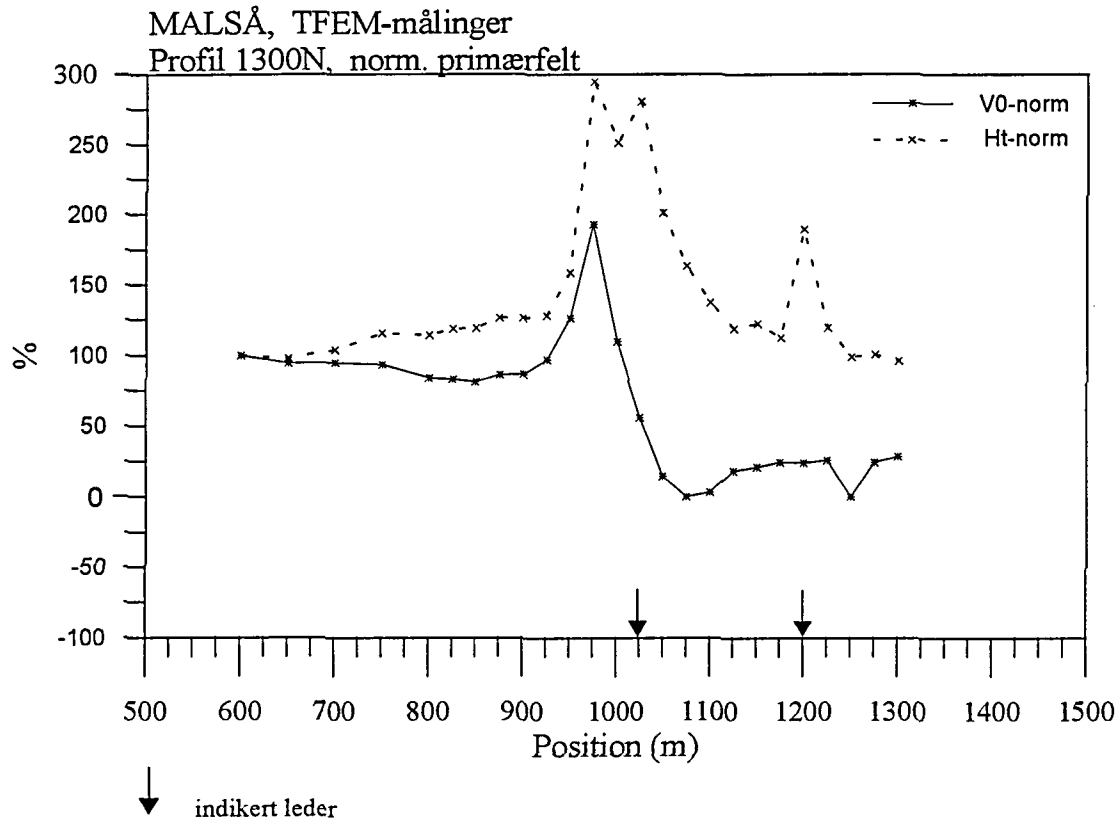


Figur 1b. Normalisert primærfelt og 25 Hz, profil 1400N

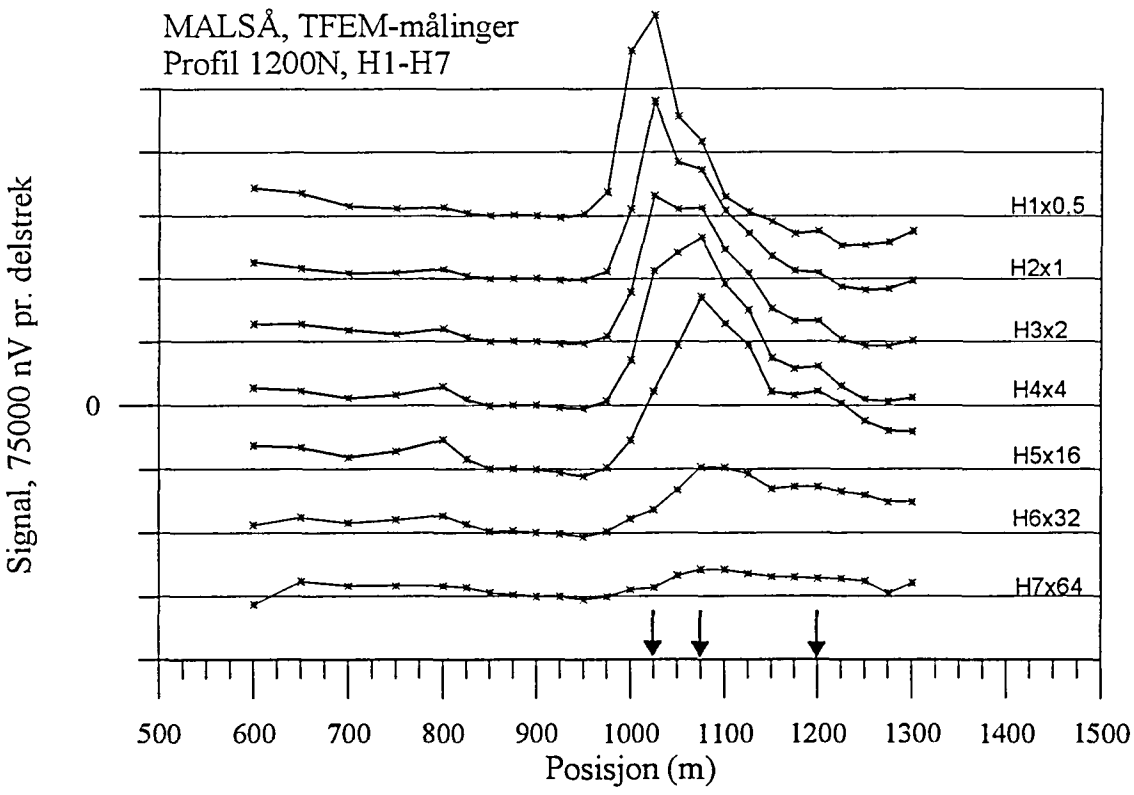
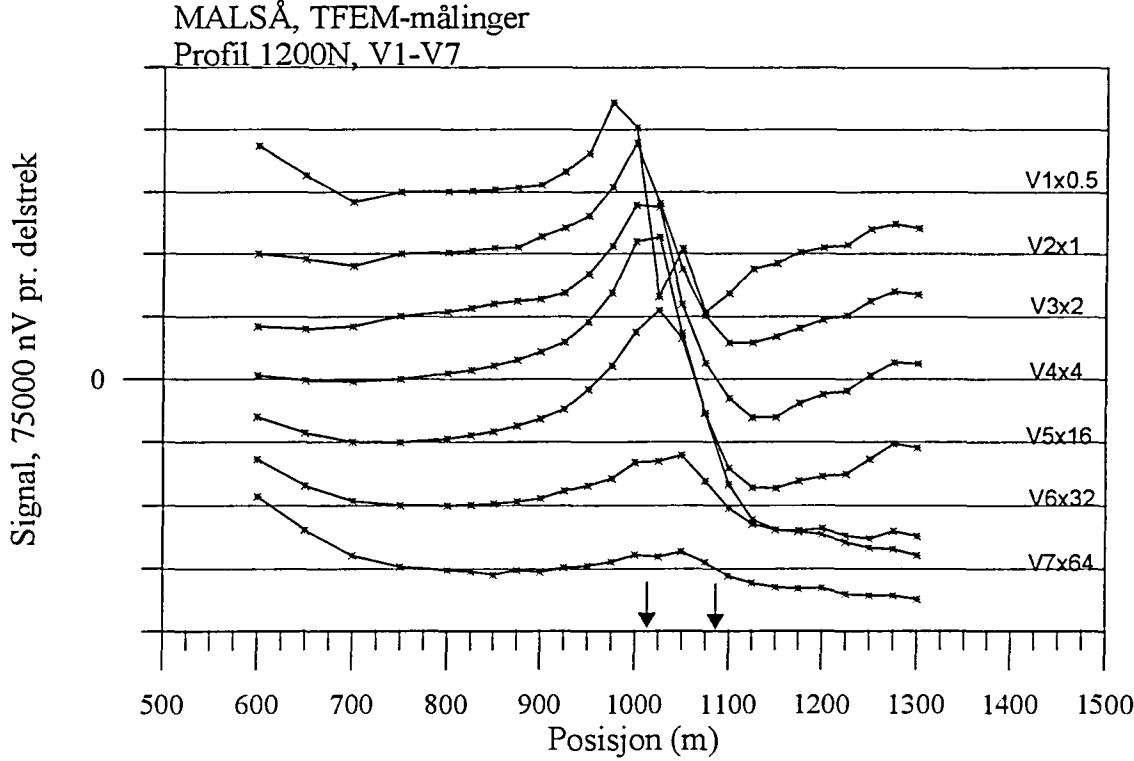




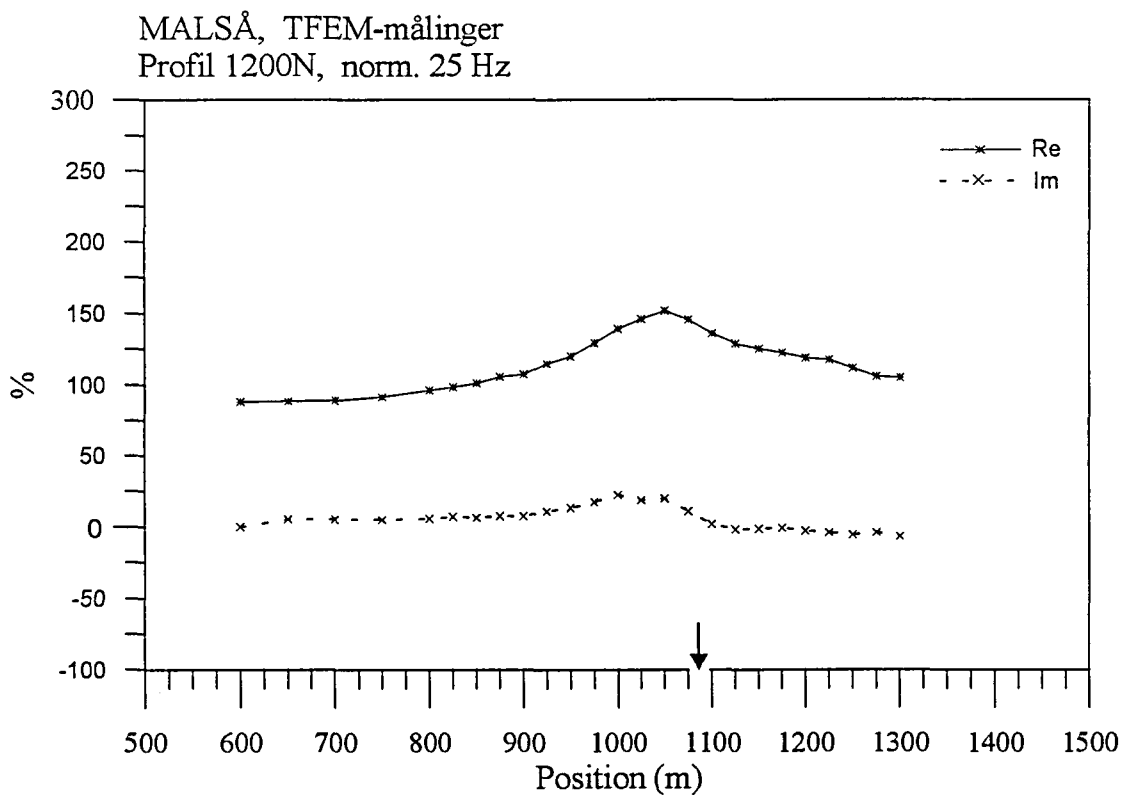
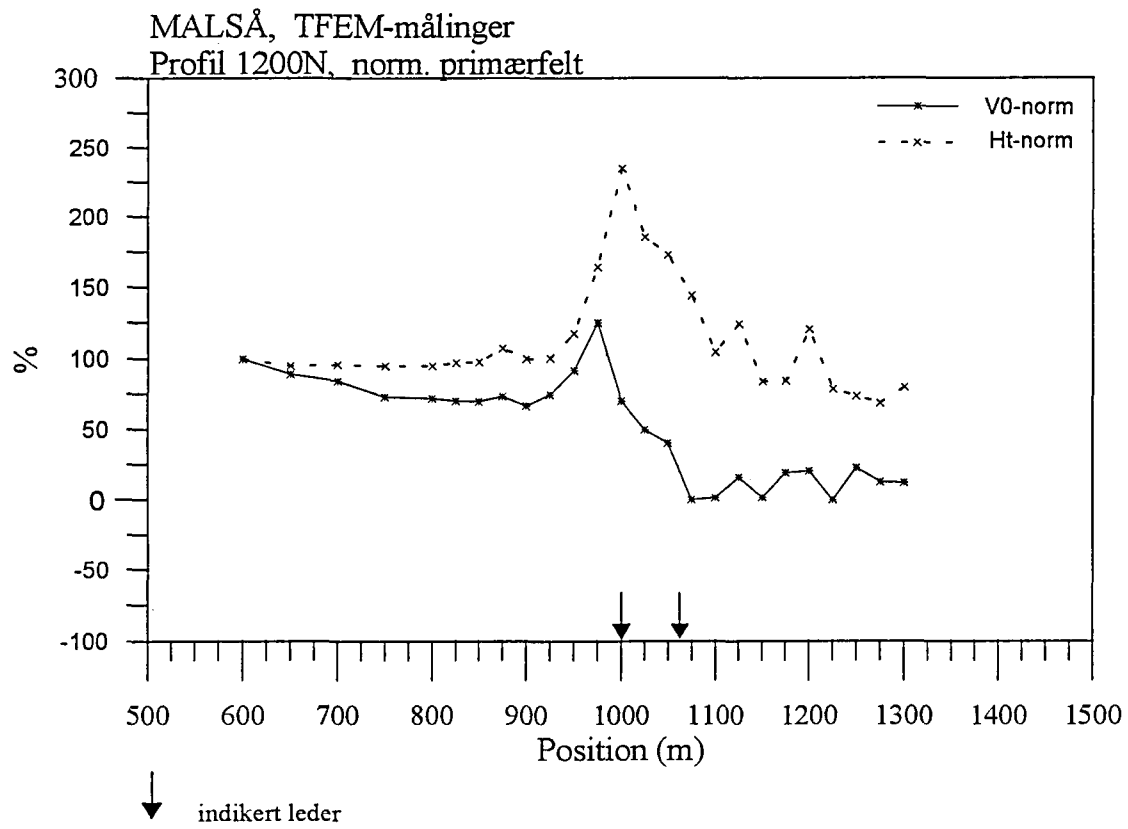
Figur 2a. Vertikal og horisontalkanaler profil 1300N



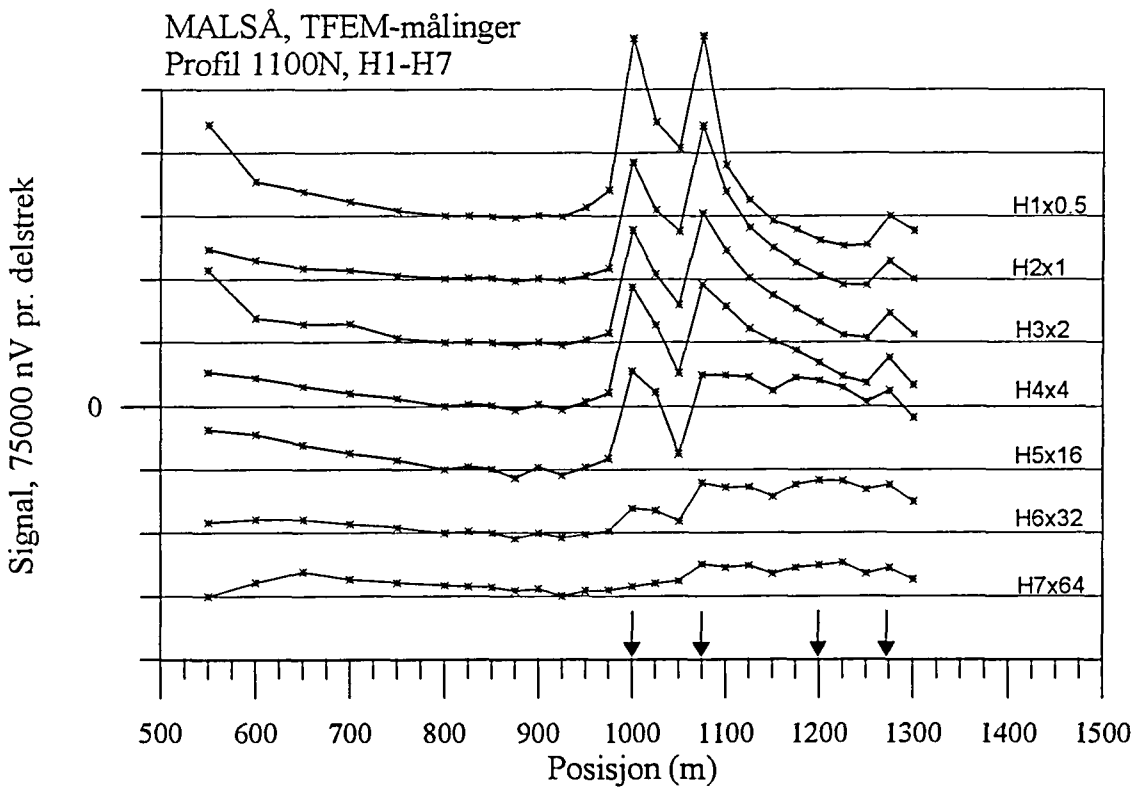
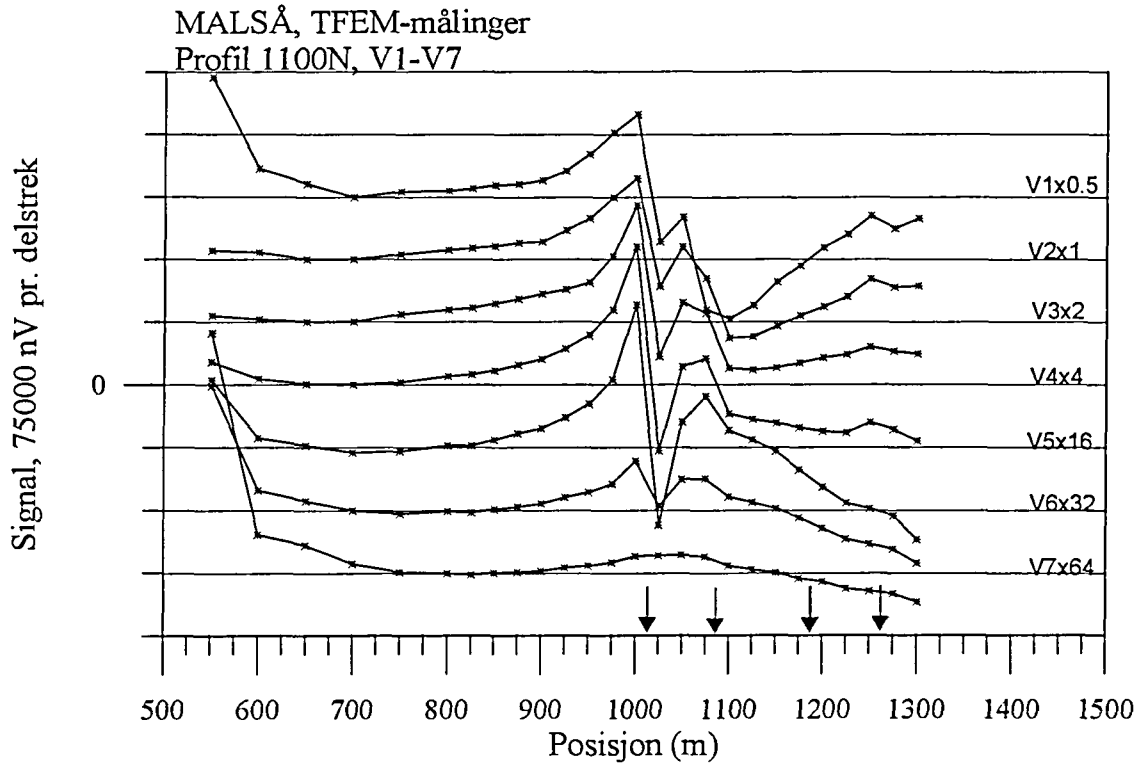
Figur 2b. Normalisert primærfelt og 25 Hz, profil 1300N



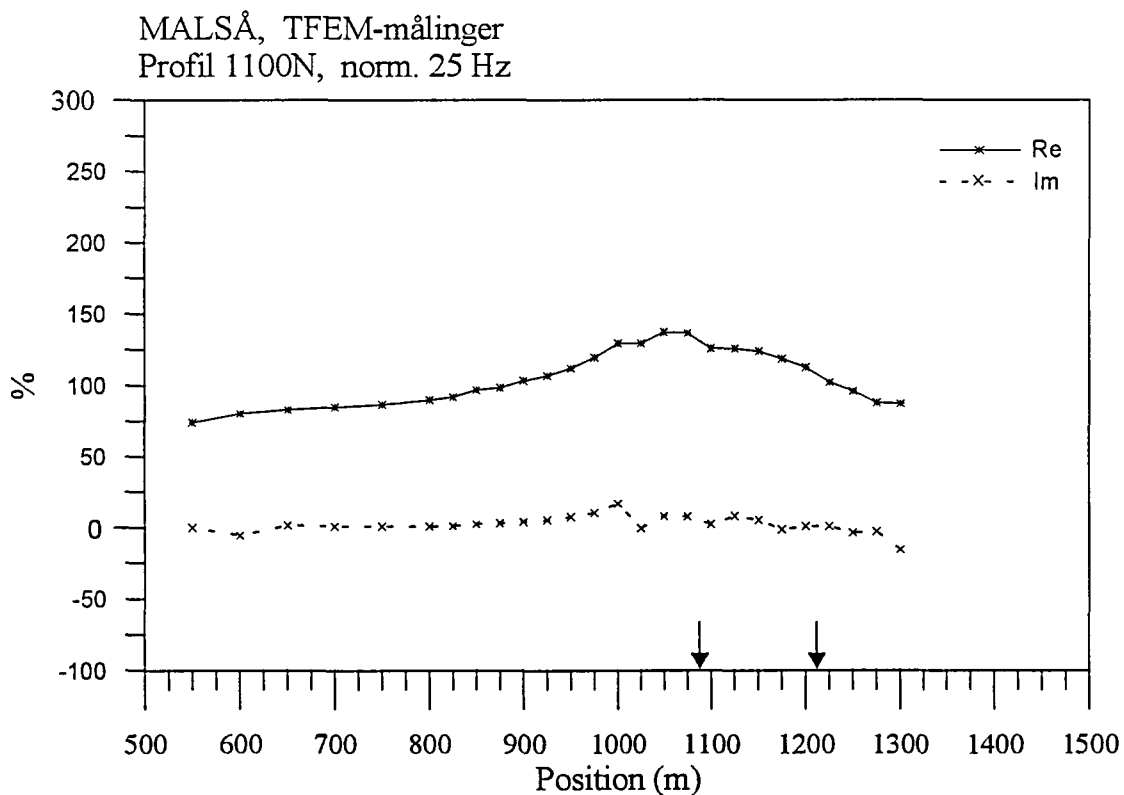
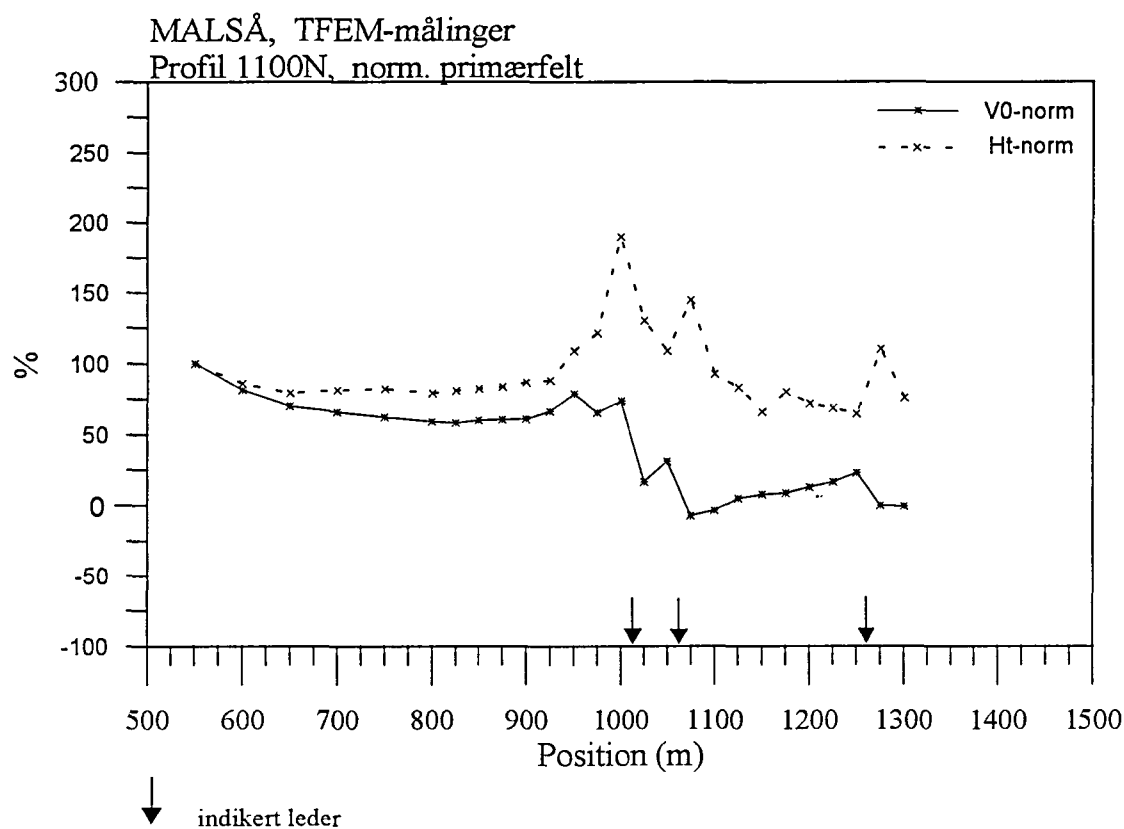
Figur 3a. Vertikal og horisontalkanaler profil 1200N



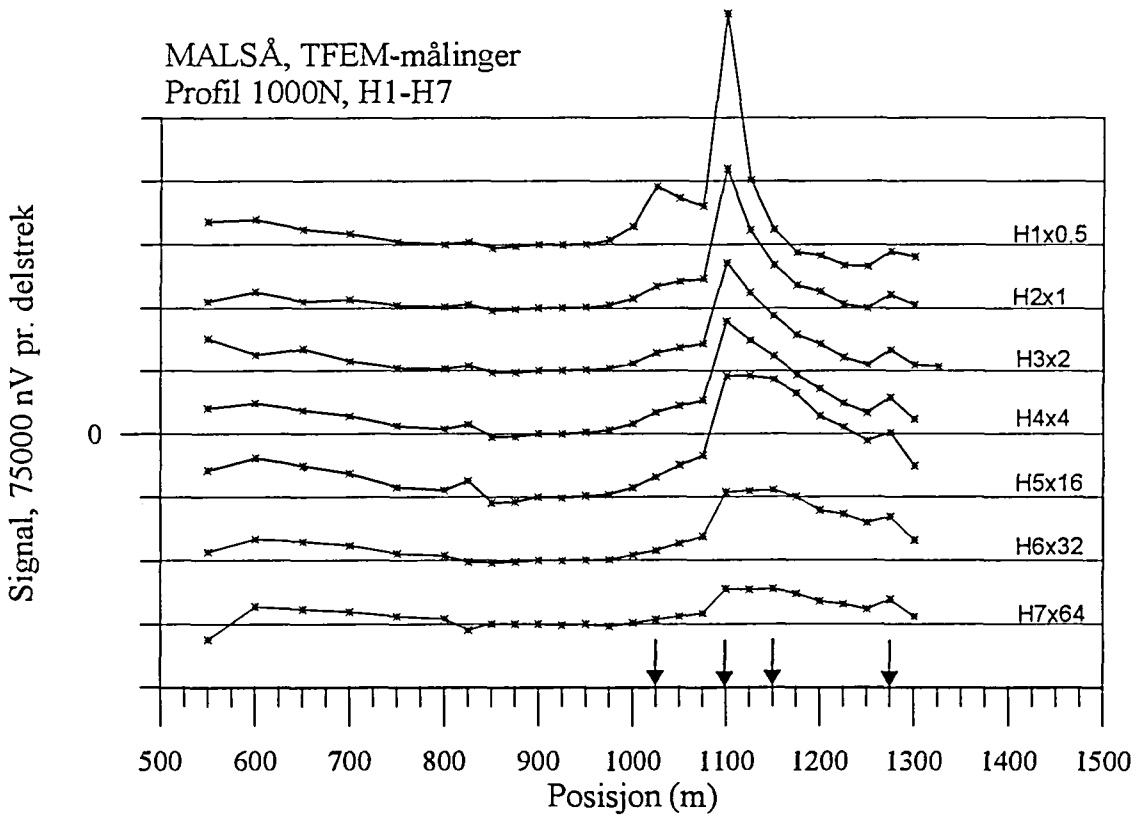
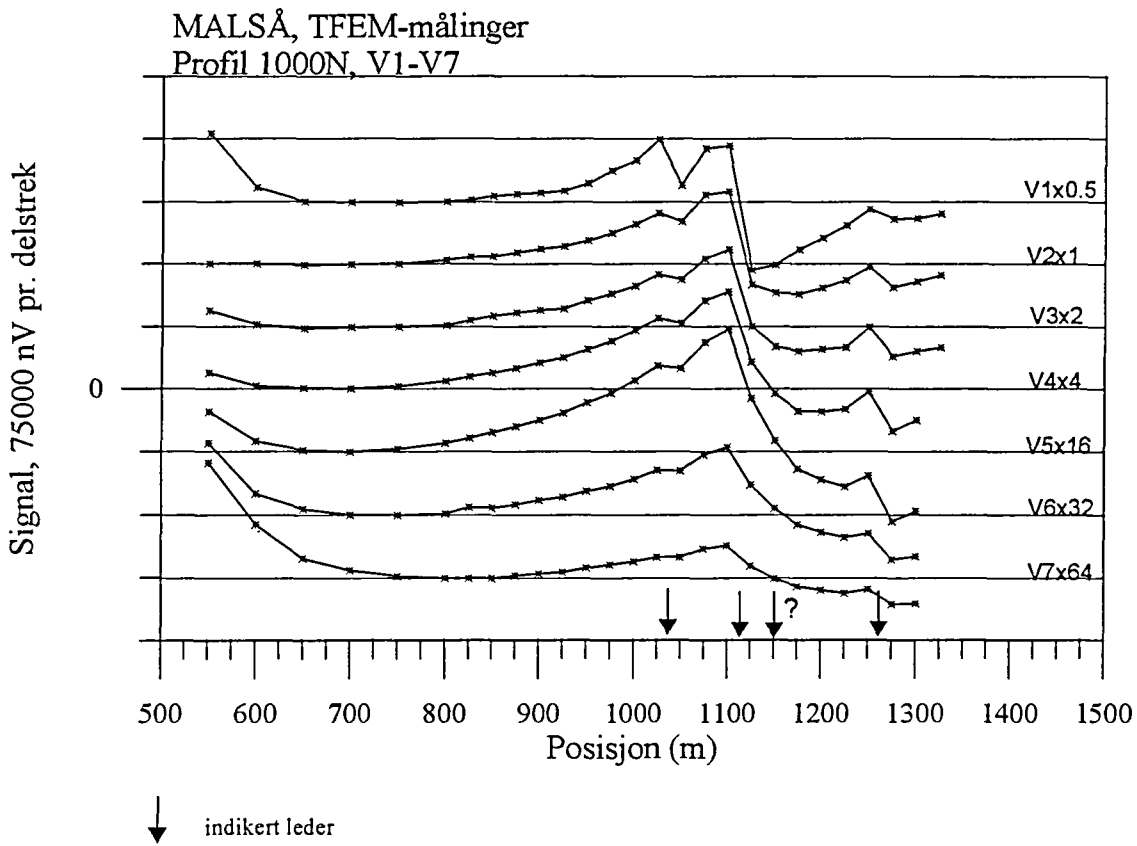
Figur 3b. Normalisert primærfelt og 25 Hz, profil 1200N



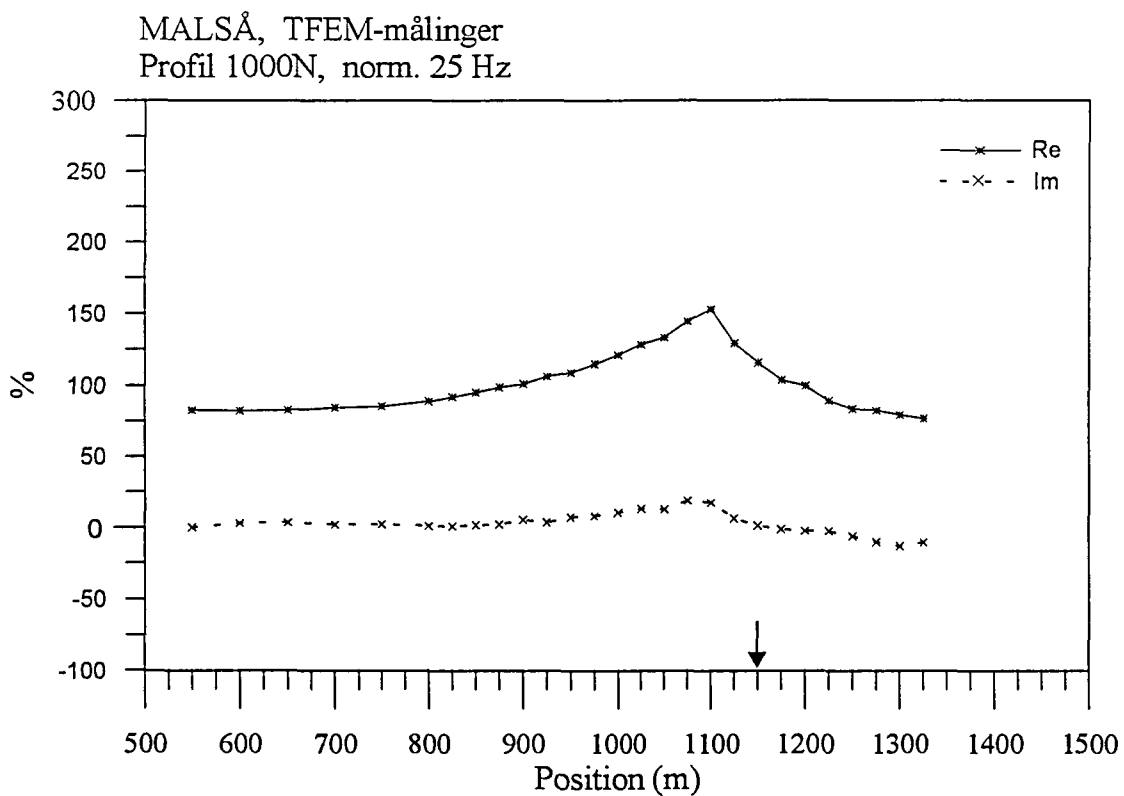
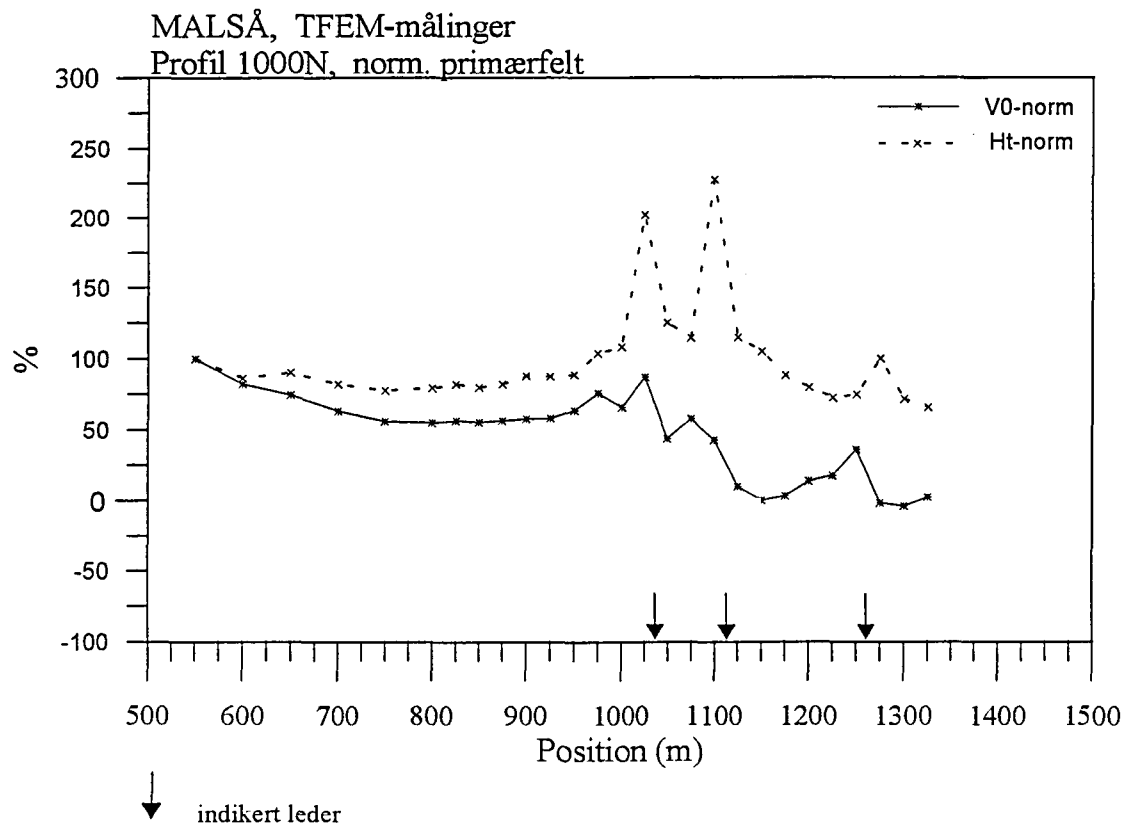
Figur 4a. Vertikal og horisontalkanaler profil 1100N



Figur 4b. Normalisert primærfelt og 25 Hz, profil 1100N

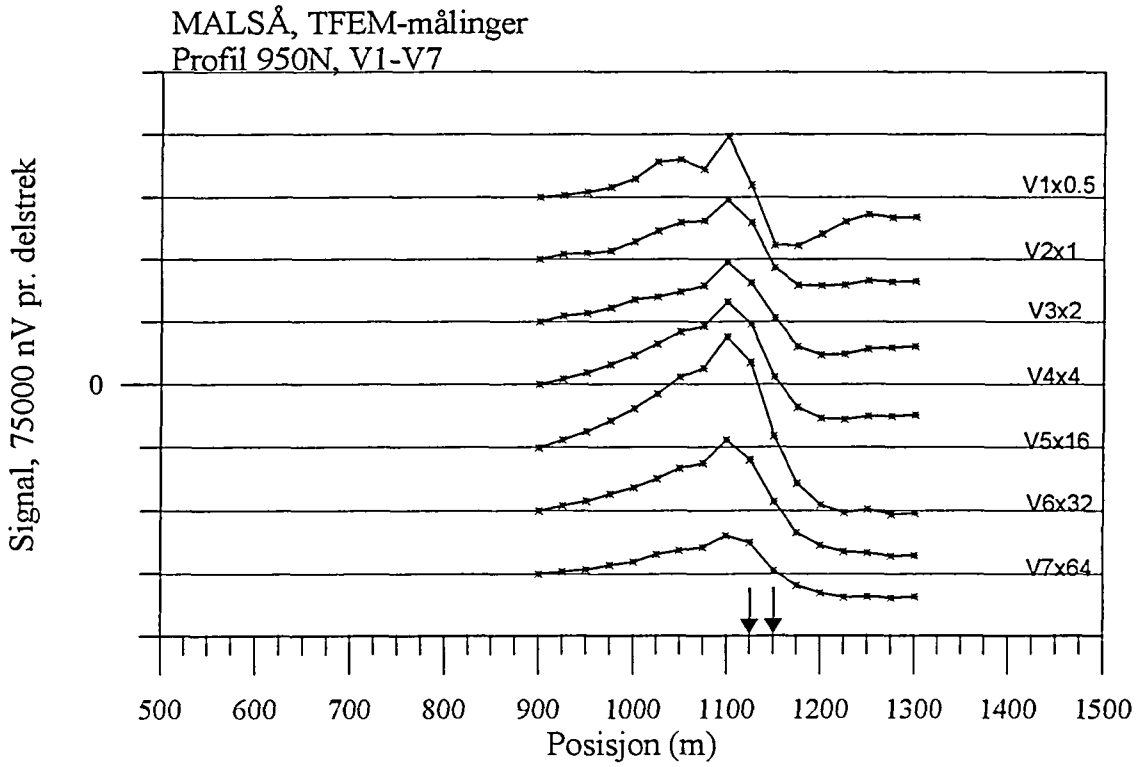


Figur 5a. Vertikal og horisontalkanaler profil 1000N

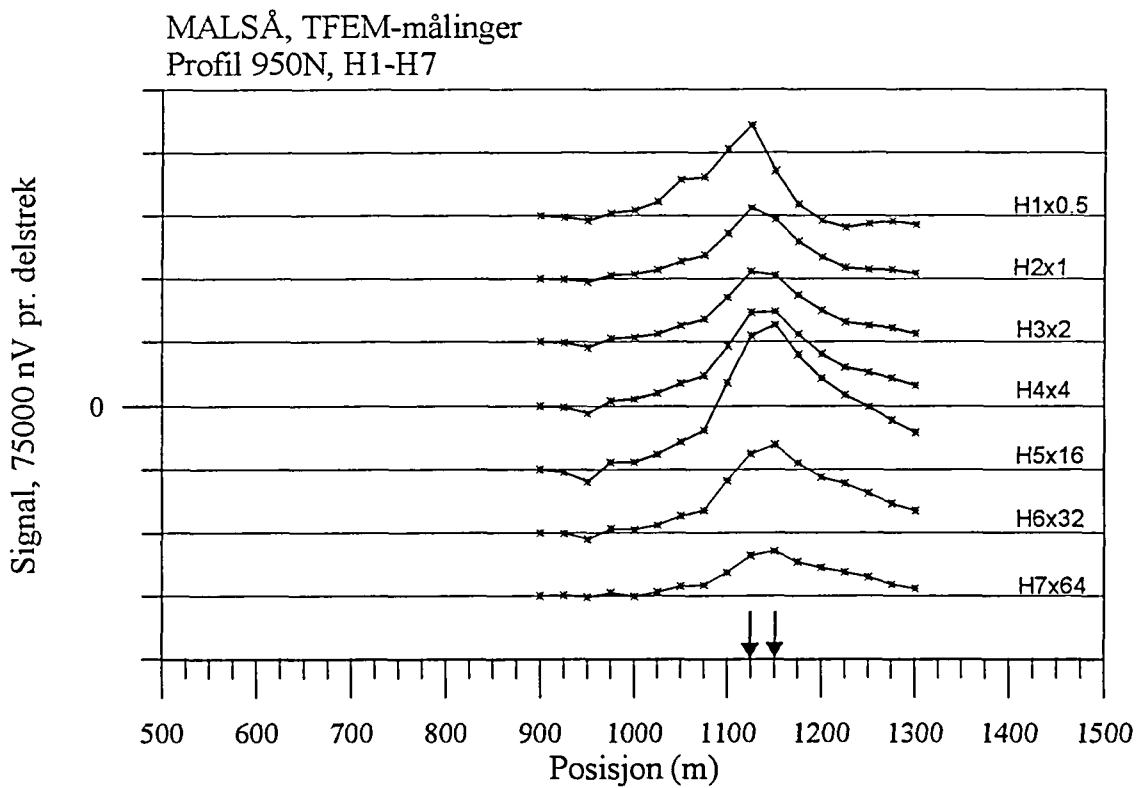


Figur 5b. Normalisert primærfelt og 25 Hz, profil 1000N

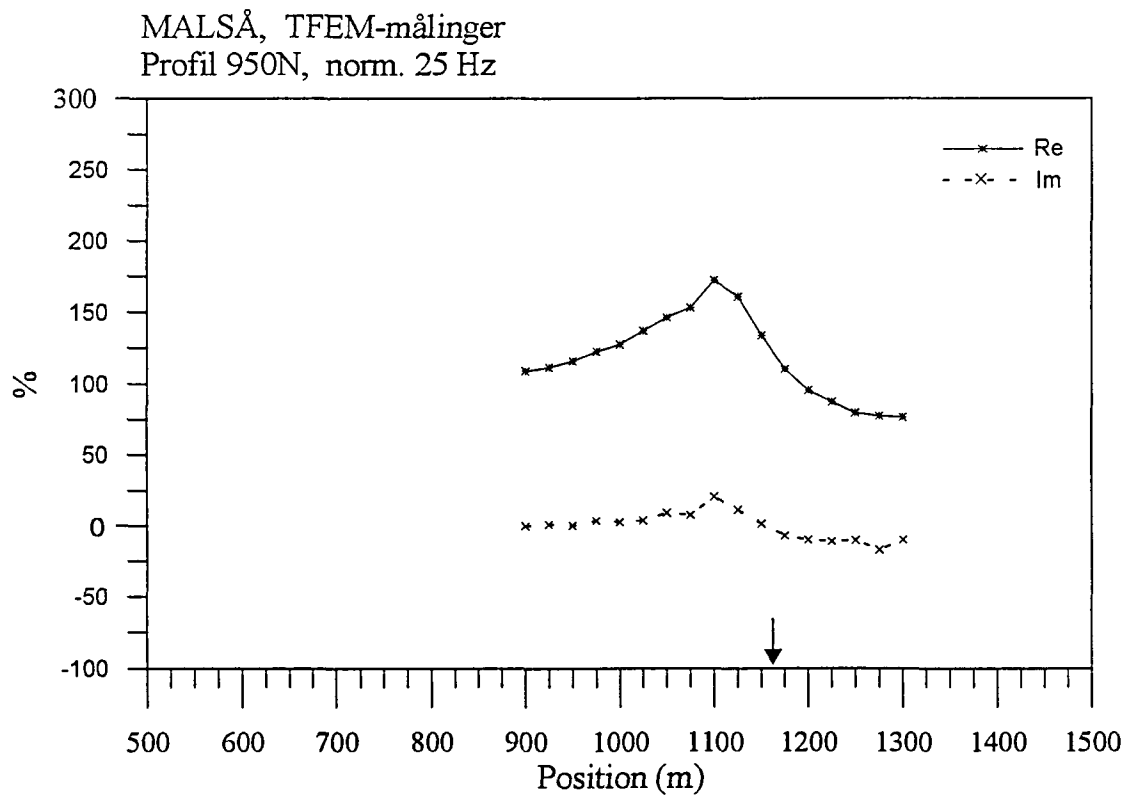
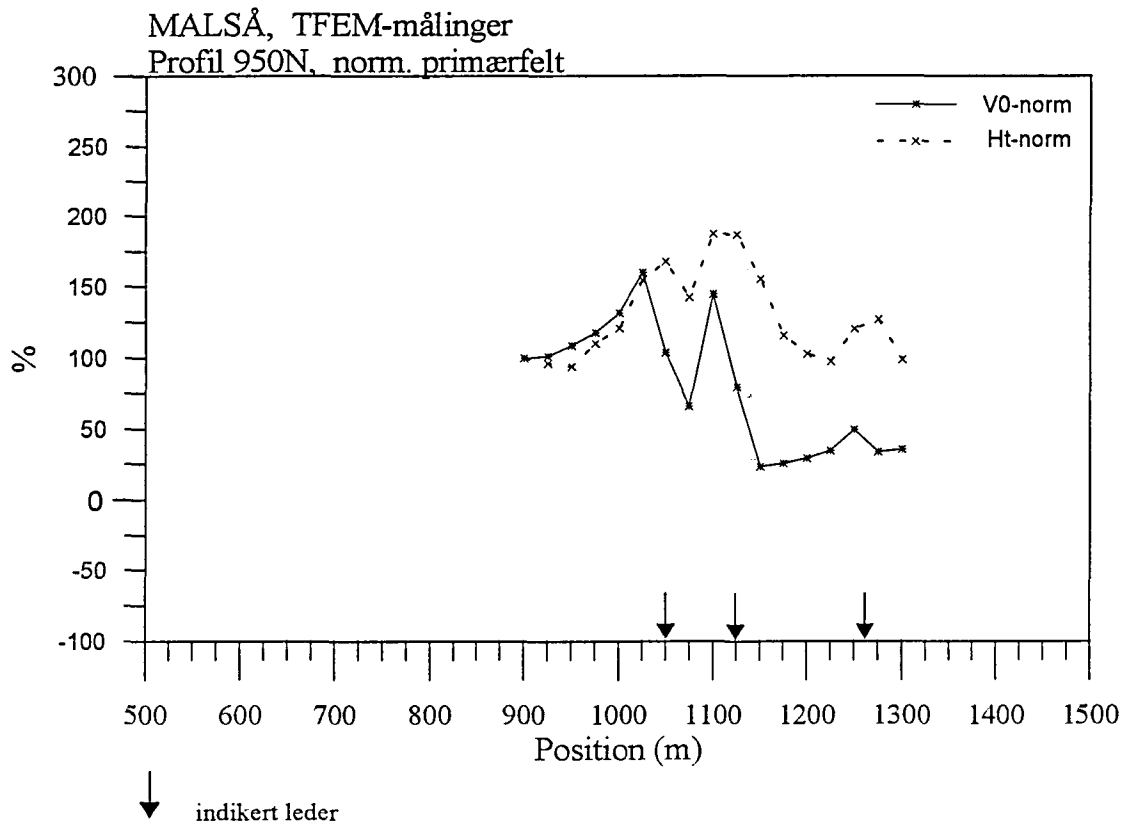




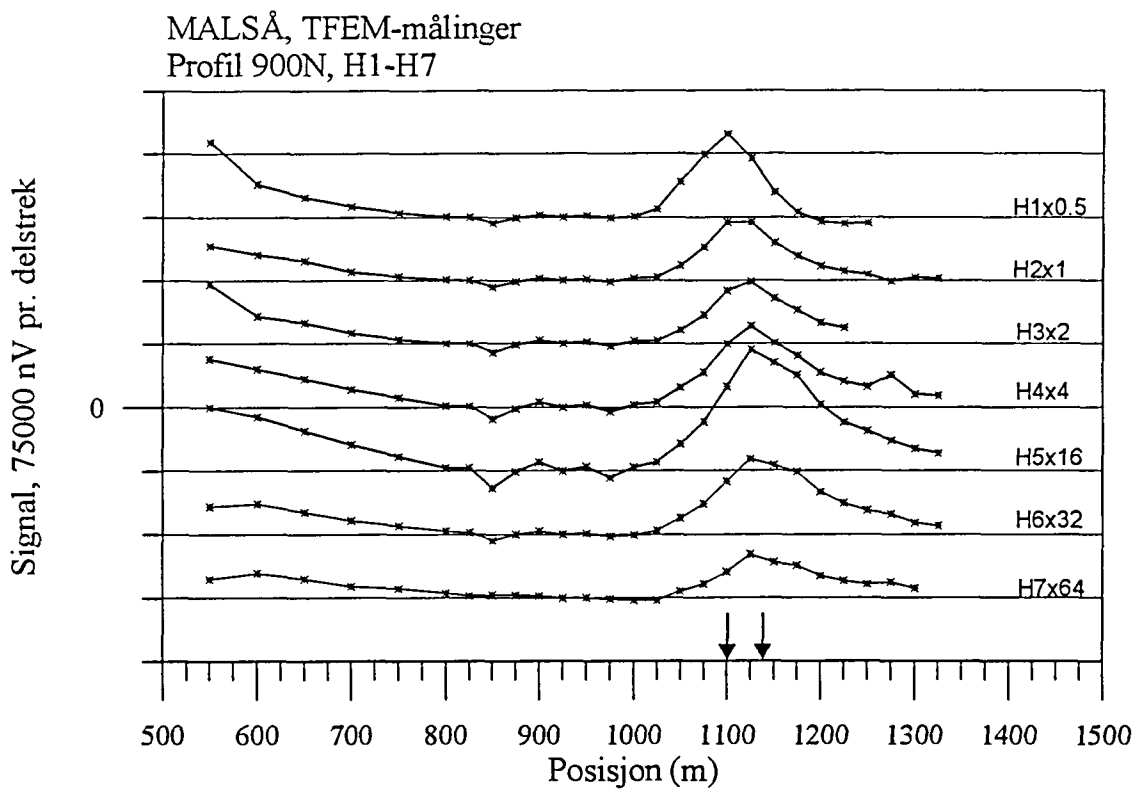
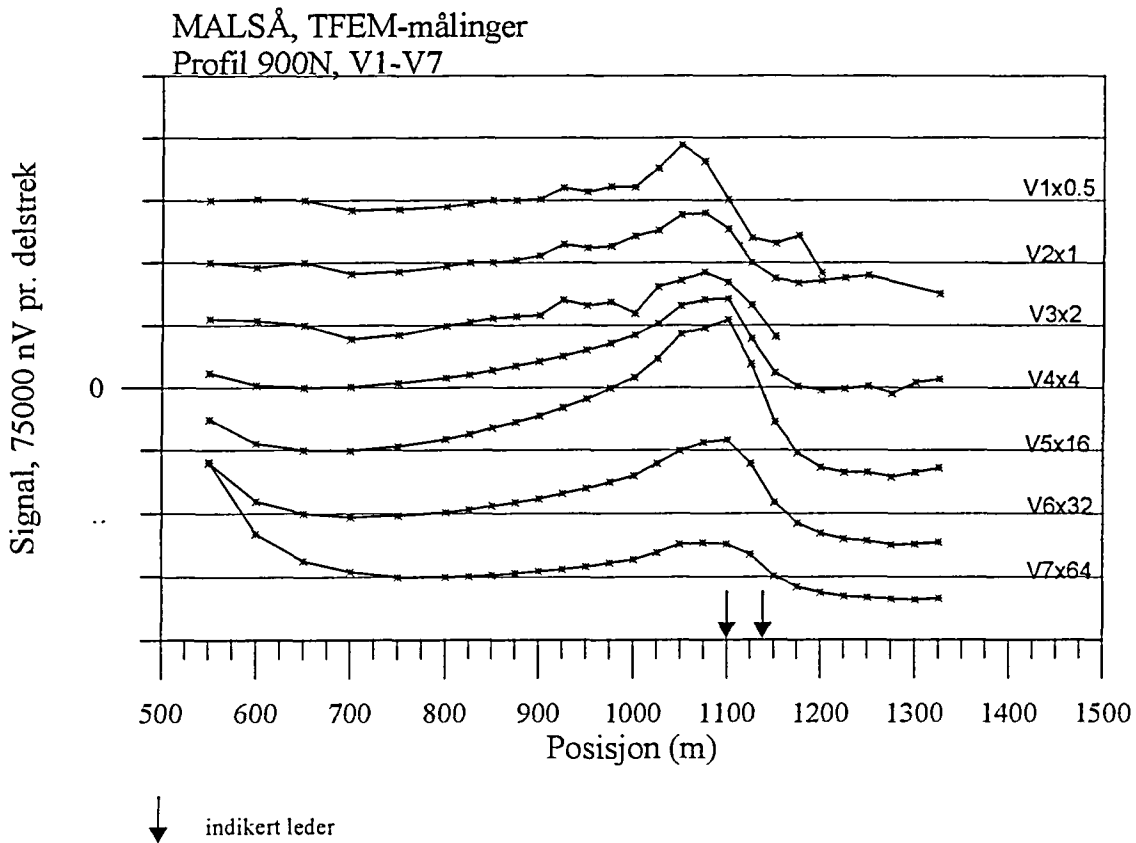
↓ indikert leder



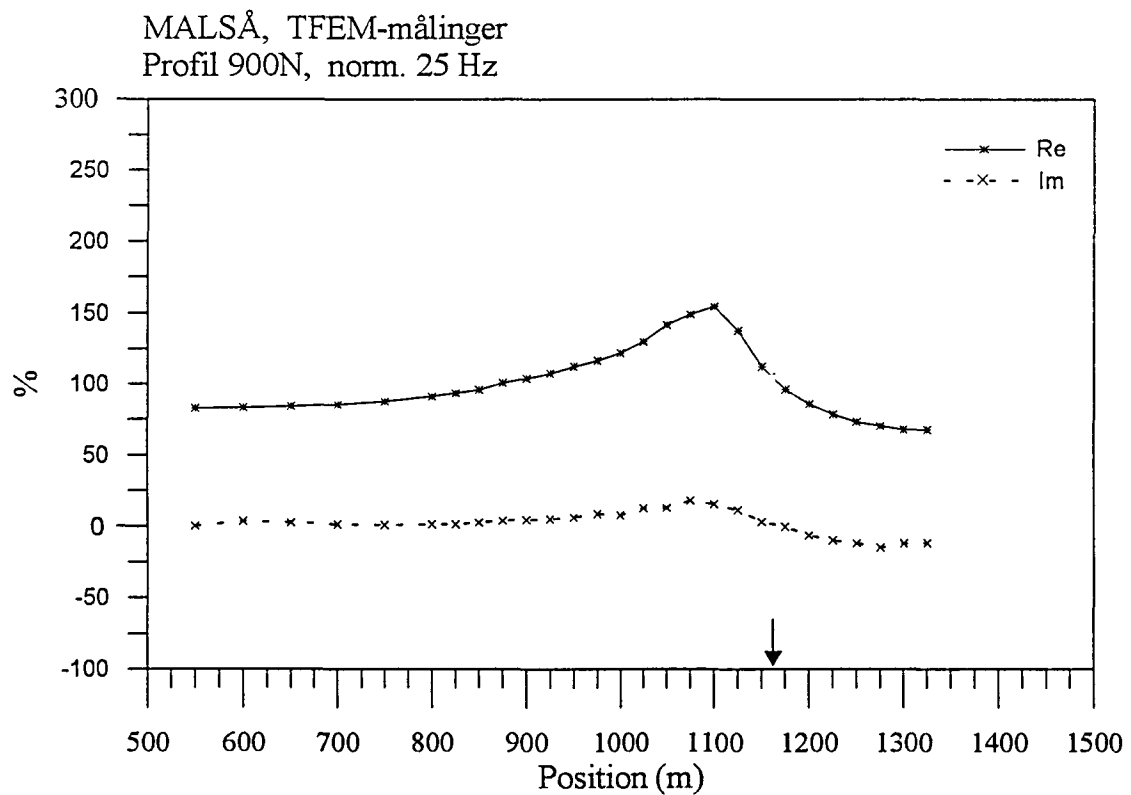
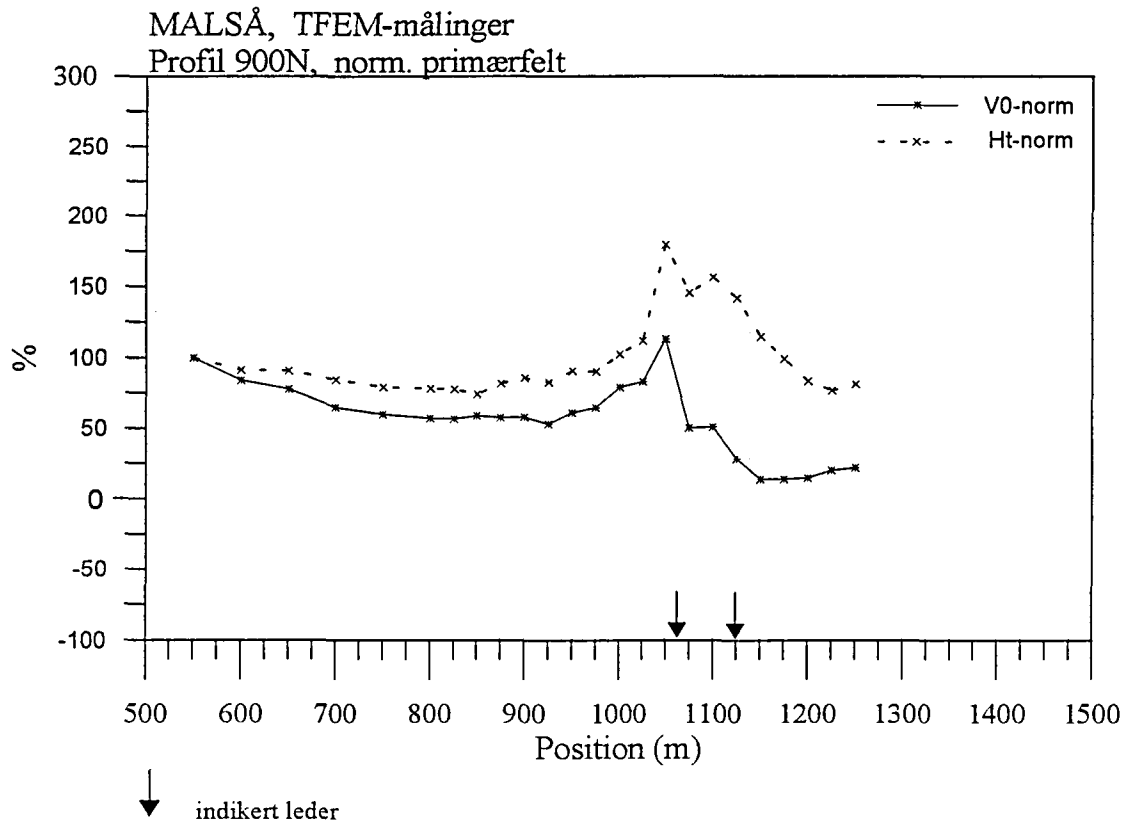
Figur 6a. Vertikal og horisontalkanaler profil 950N



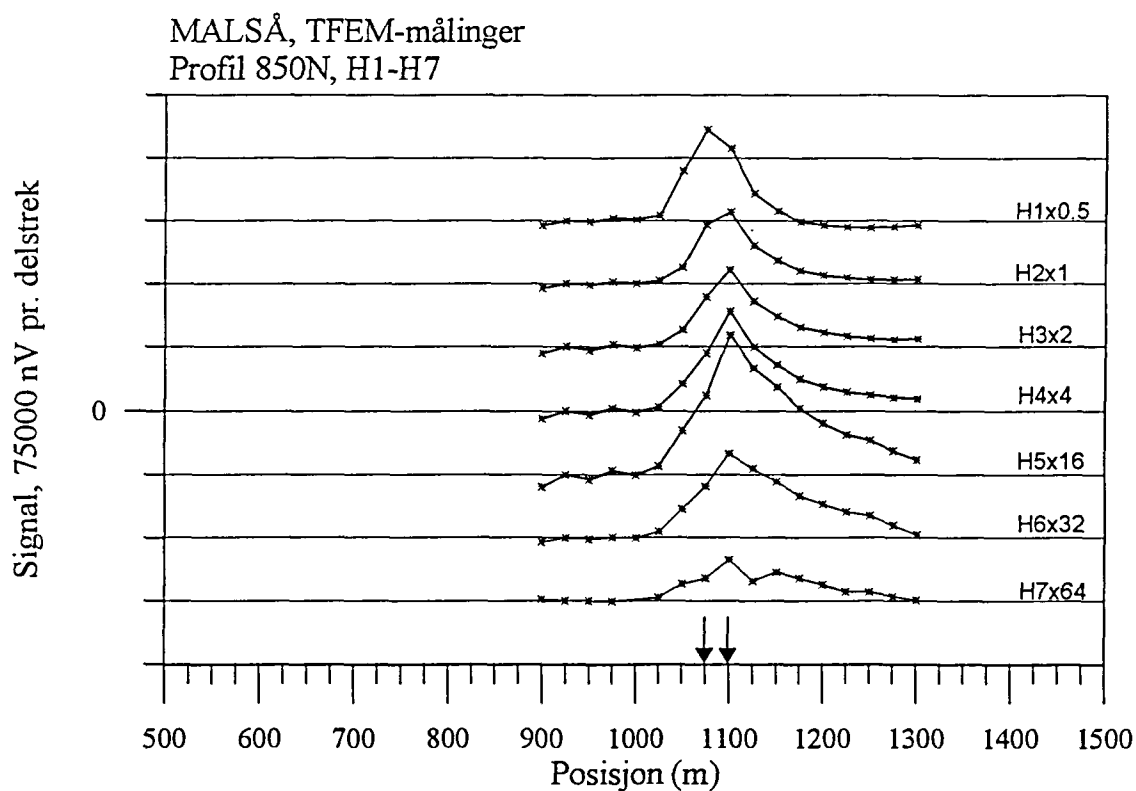
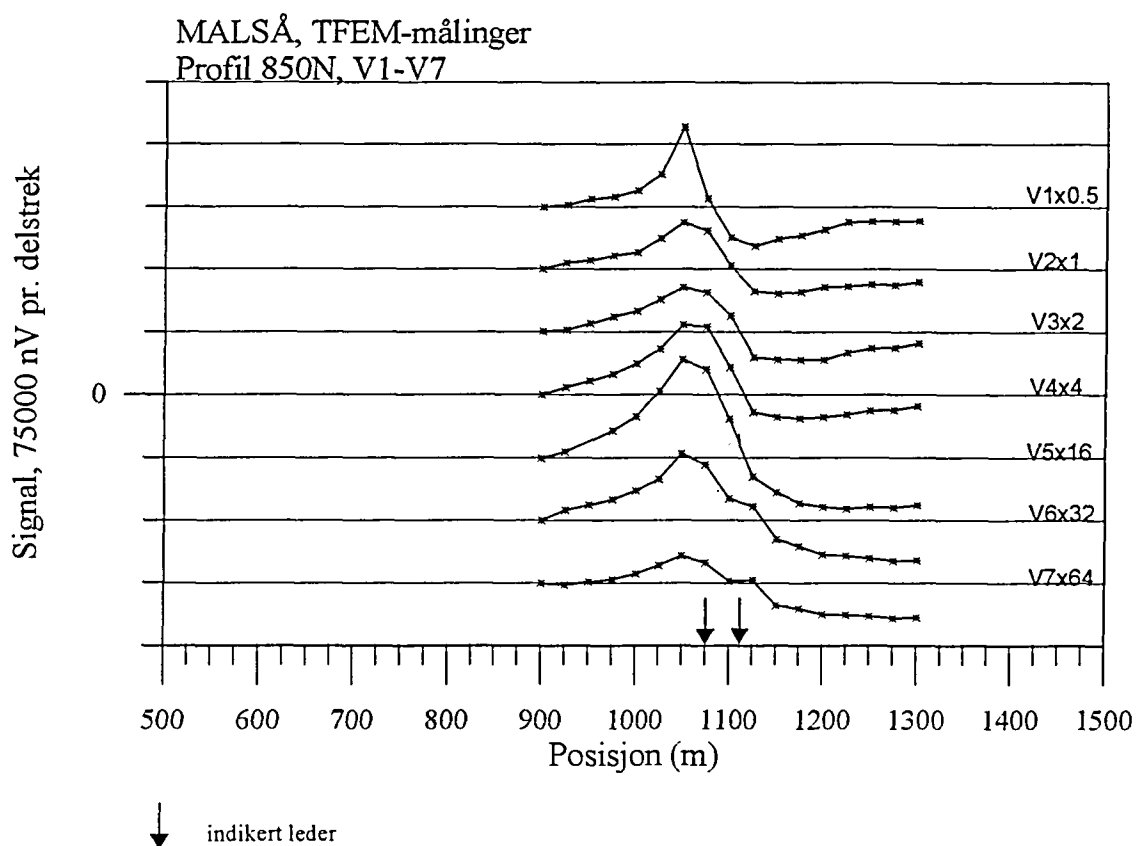
Figur 6b. Normalisert primærfelt og 25 Hz, profil 950N



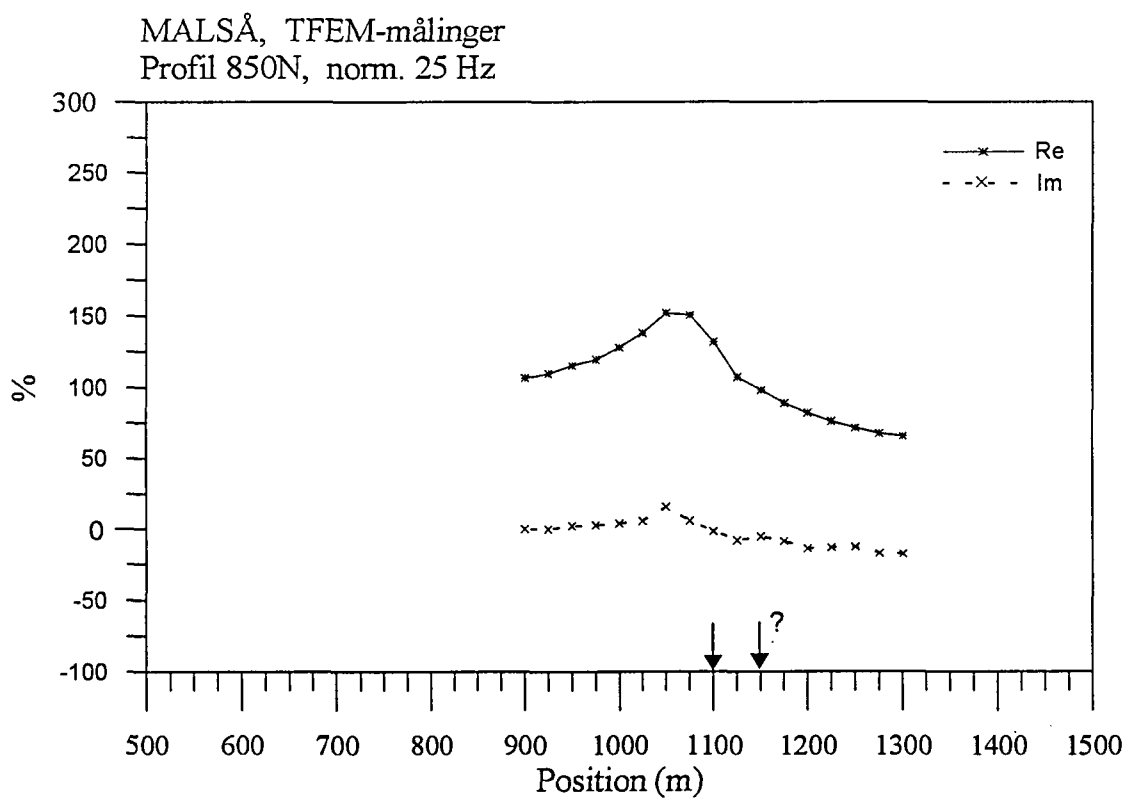
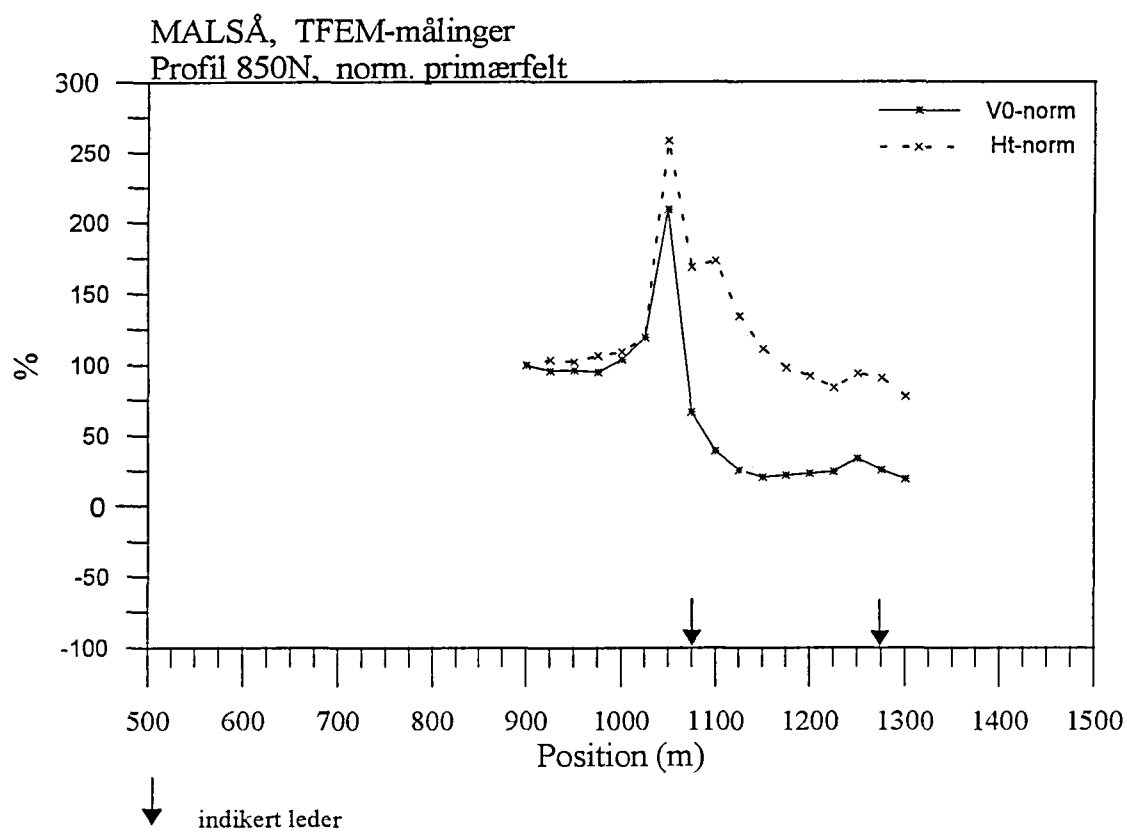
Figur 7a. Vertikal og horisontalkanaler profil 900N



Figur 7b. Normalisert primærfelt og 25 Hz, profil 900N

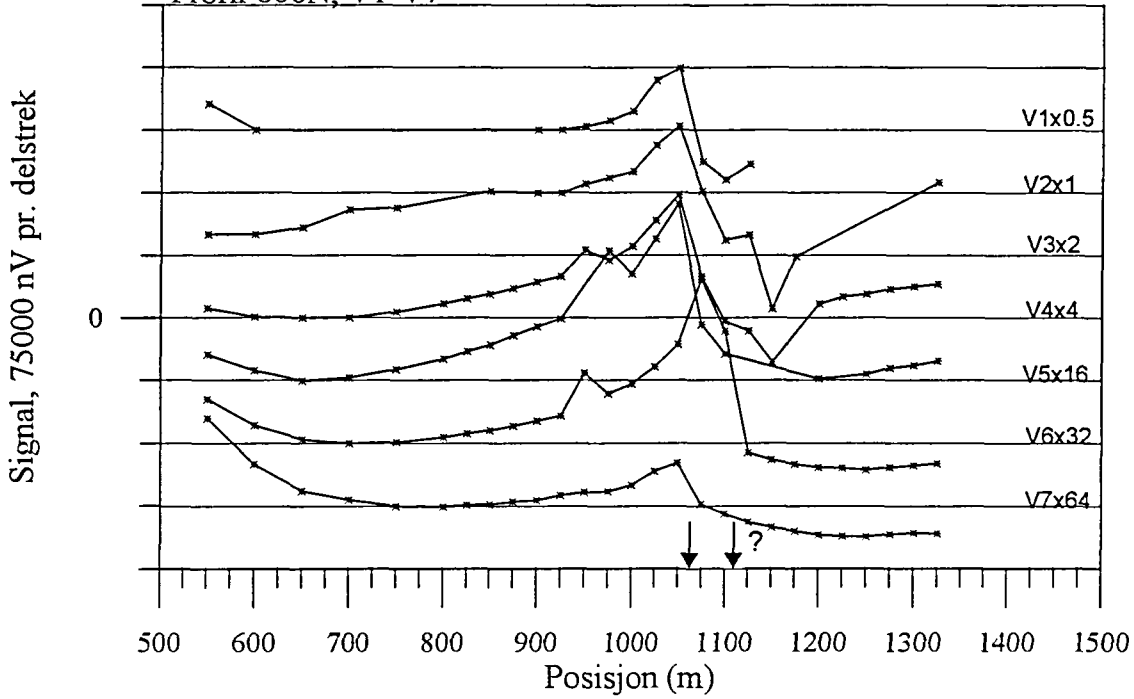


Figur 8a. Vertikal og horisontalkanaler profil 850N



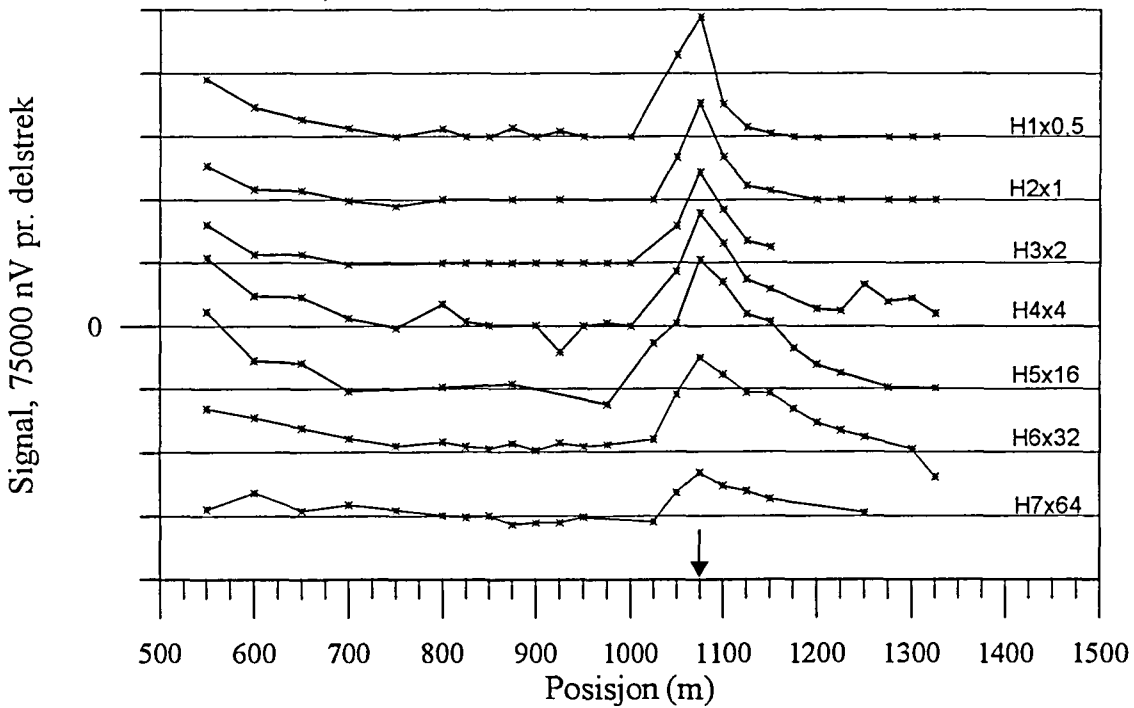
Figur 8b. Normalisert primærfelt og 25 Hz, profil 850N

MALSÅ, TFEM-målinger  
Profil 800N, V1-V7

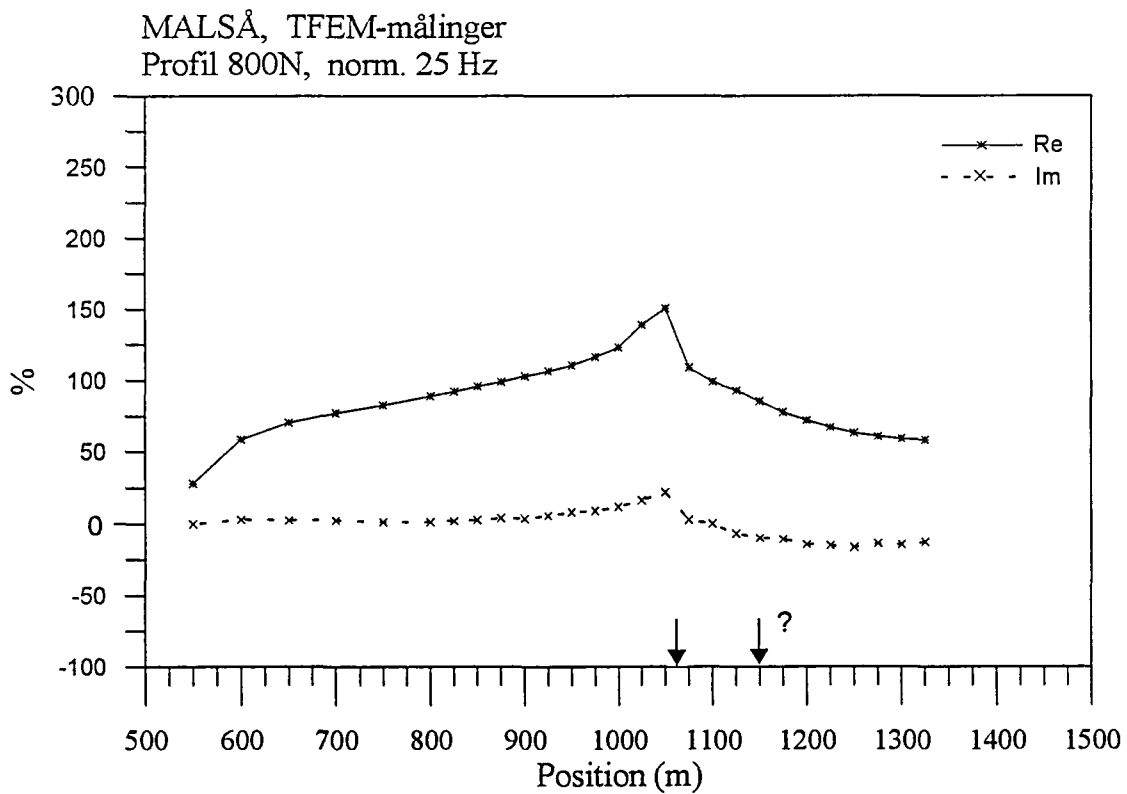
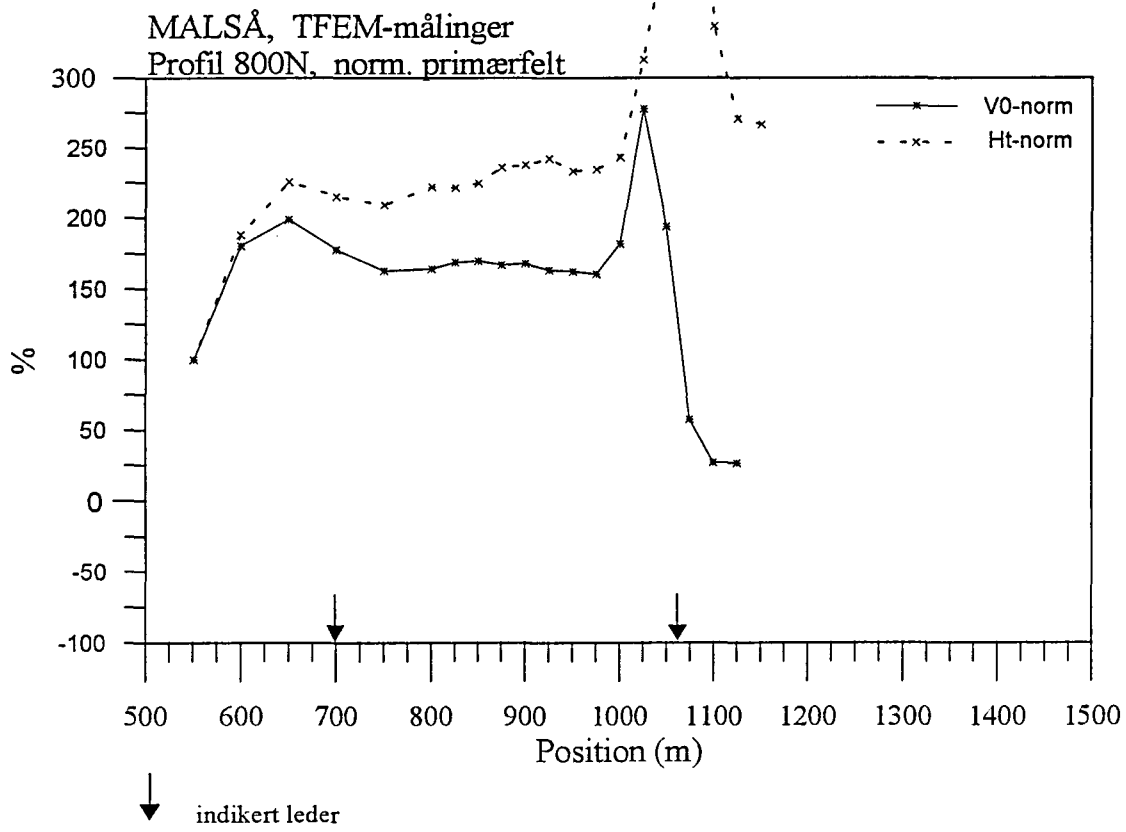


↓ indikert leder

MALSÅ, TFEM-målinger  
Profil 800N, H1-H7

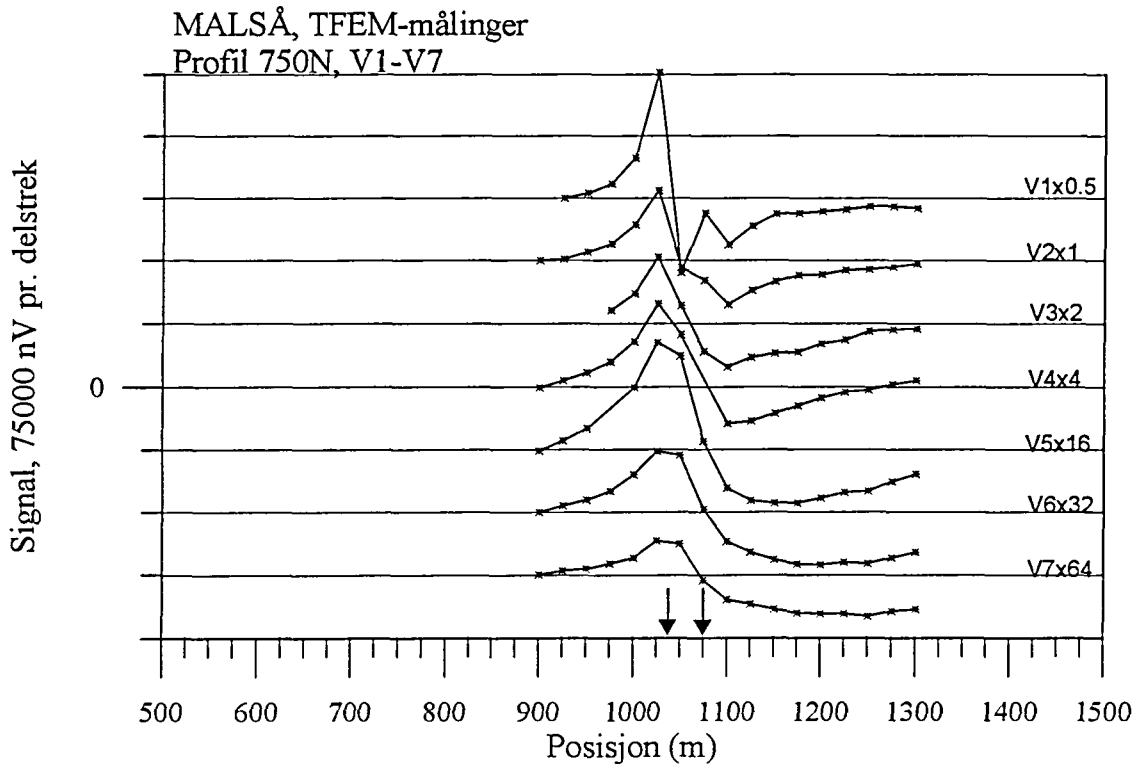


Figur 9a. Vertikal og horisontalkanaler profil 800N

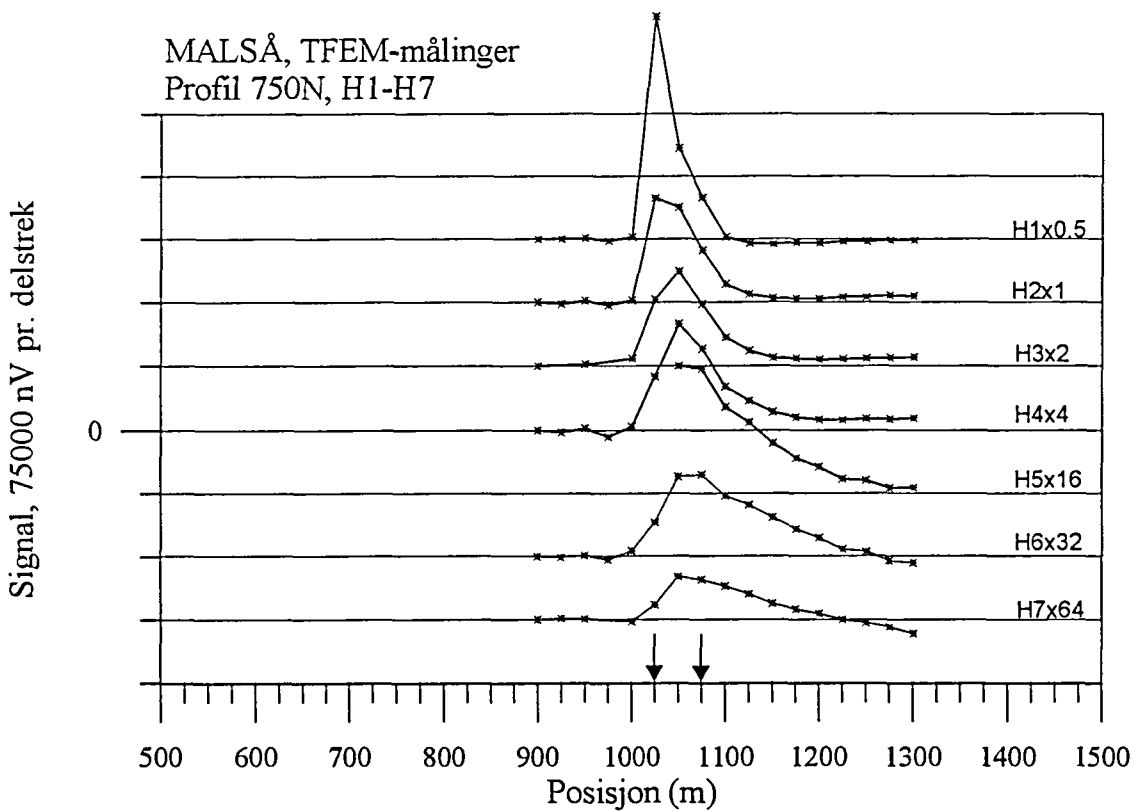


Figur 9b. Normalisert primærfelt og 25 Hz, profil 800N

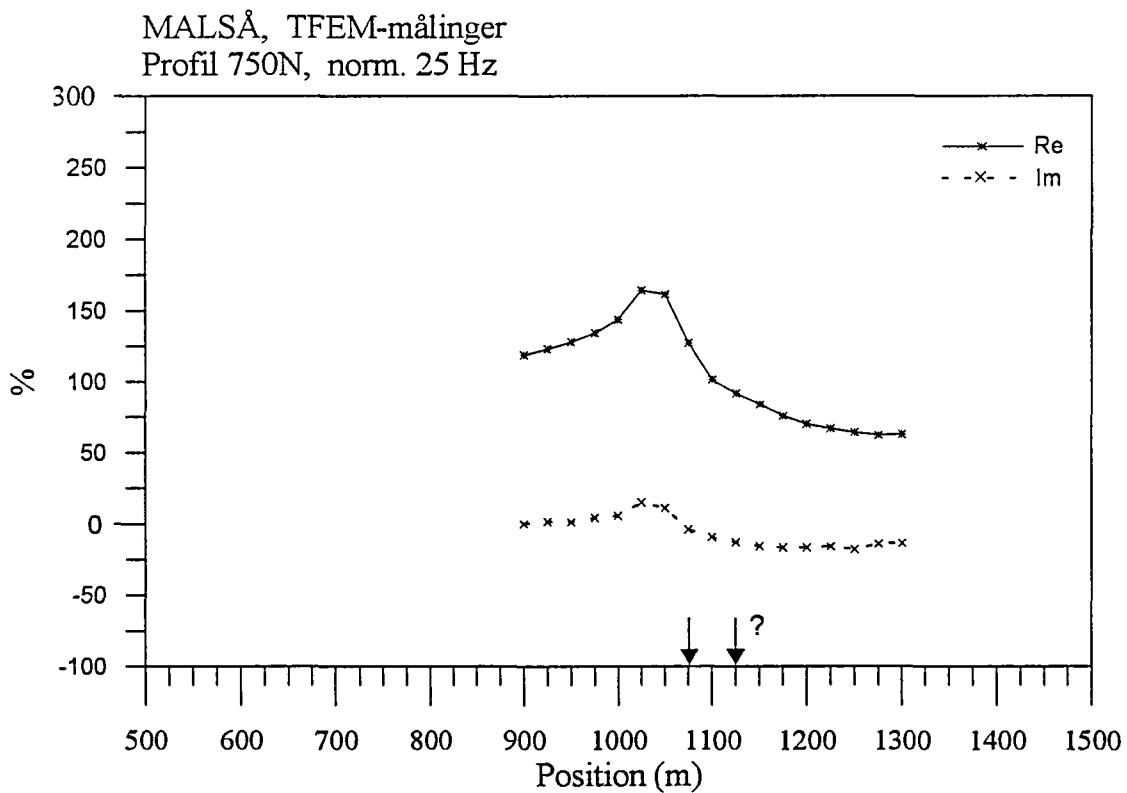
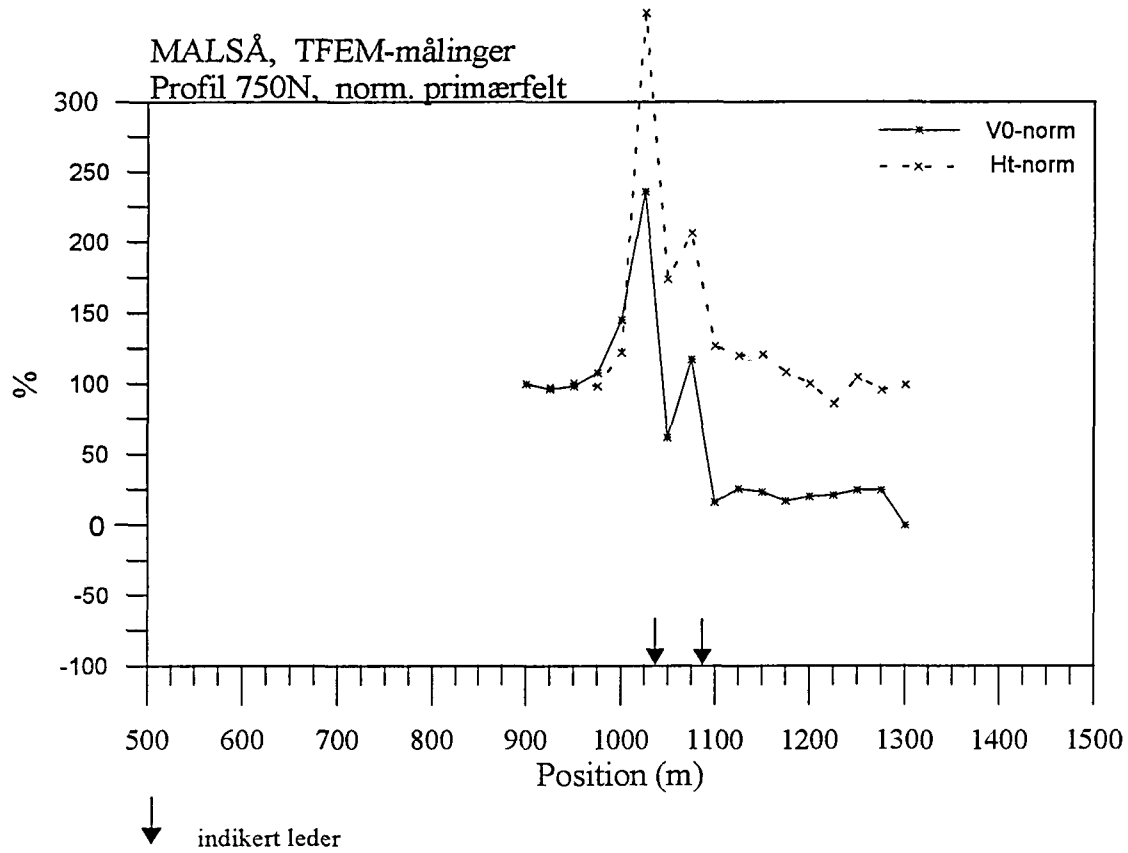




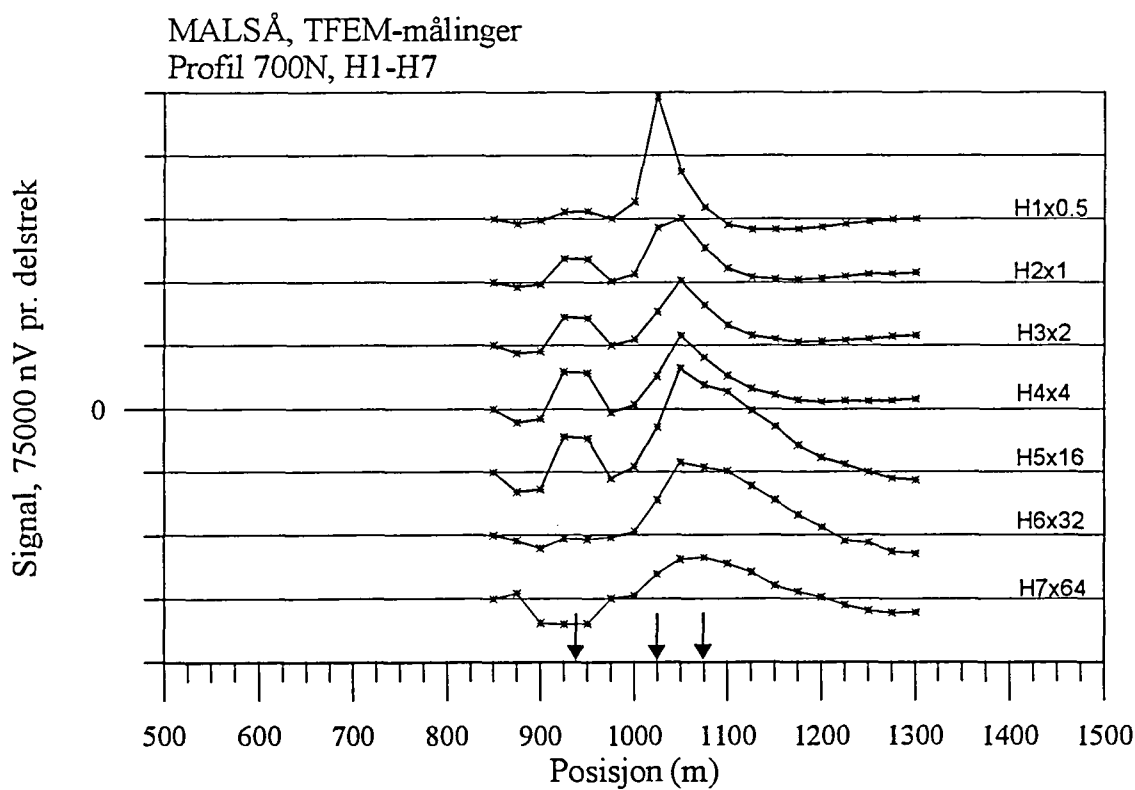
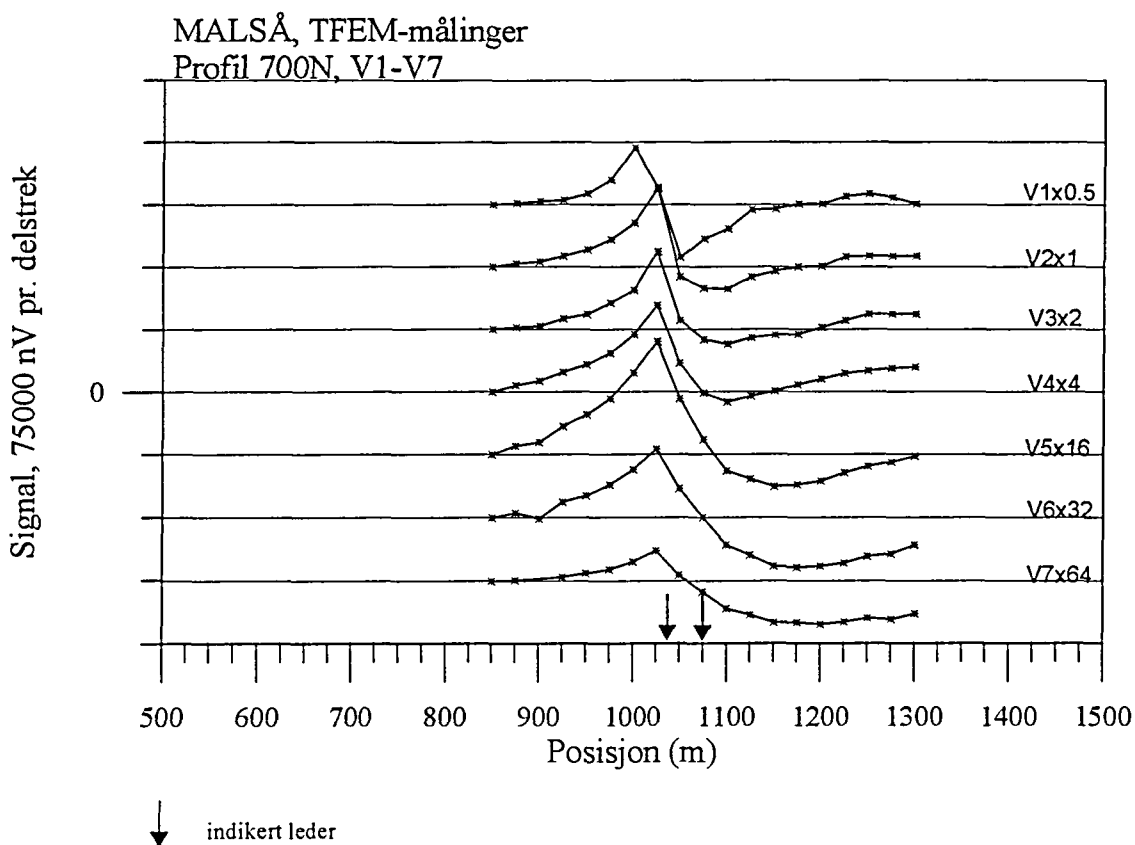
↓ indikert leder



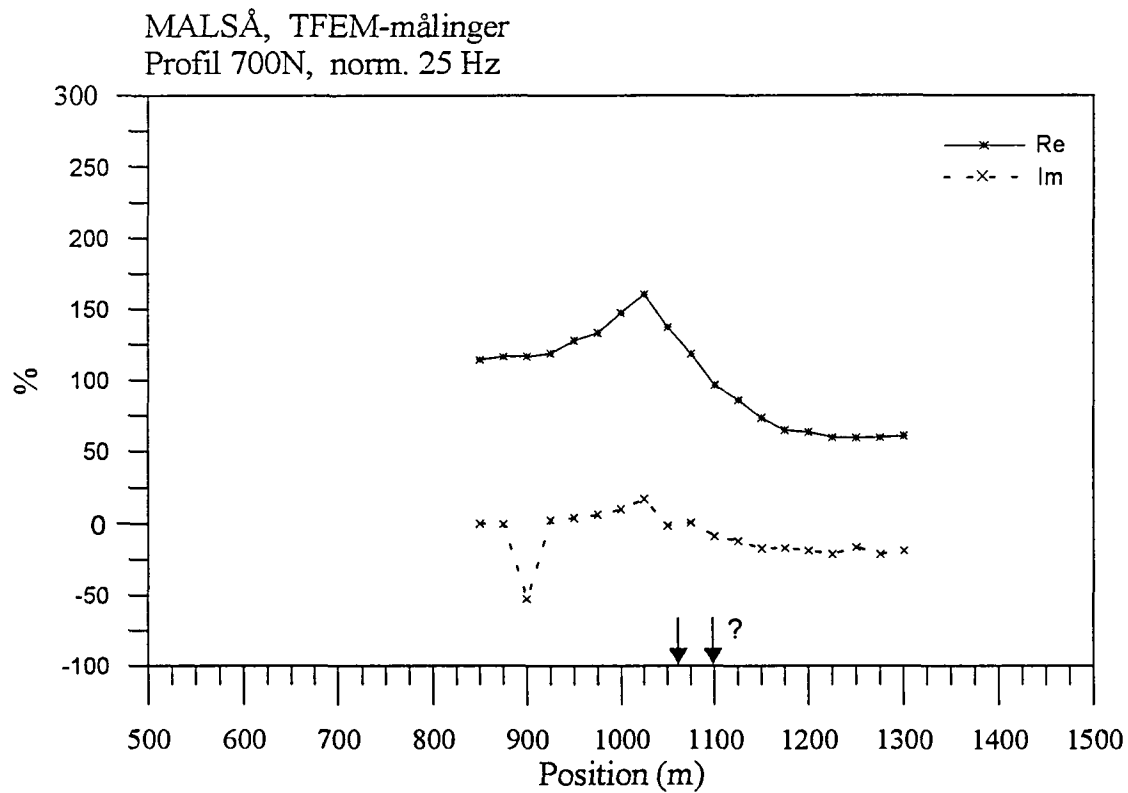
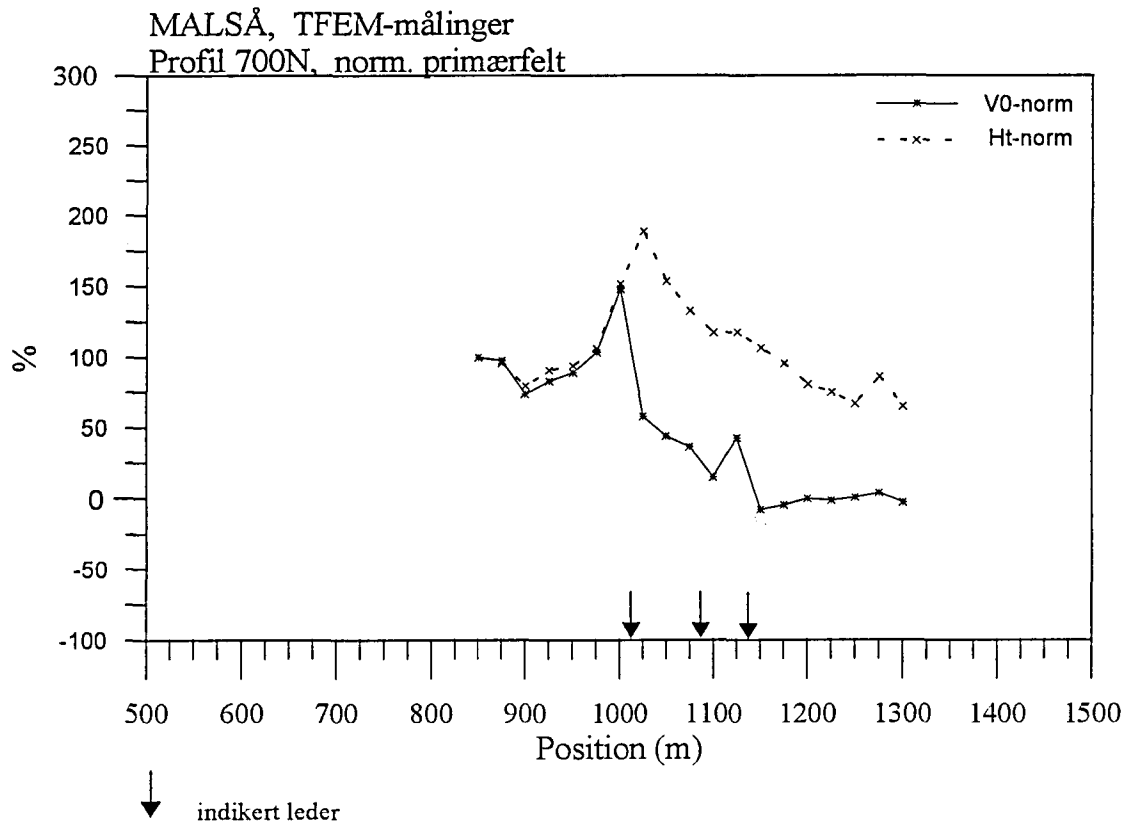
Figur 10a. Vertikal og horisontalkanaler profil 750N



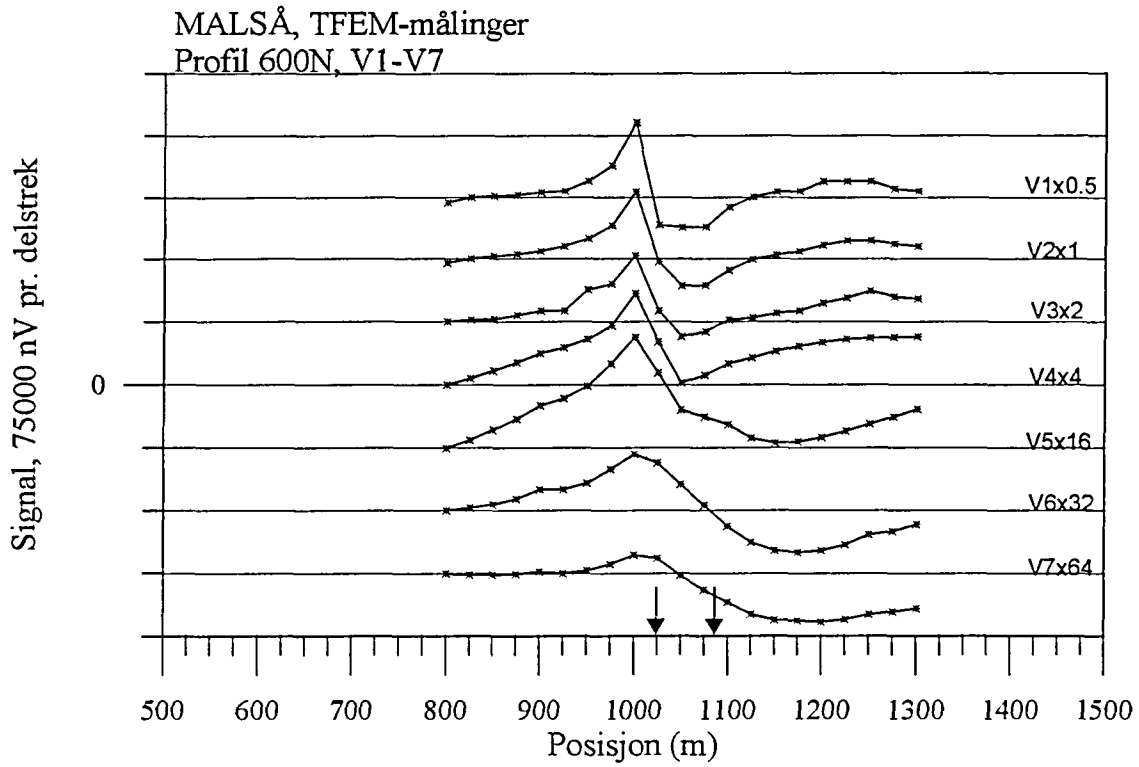
Figur 10b. Normalisert primærfelt og 25 Hz, profil 750N



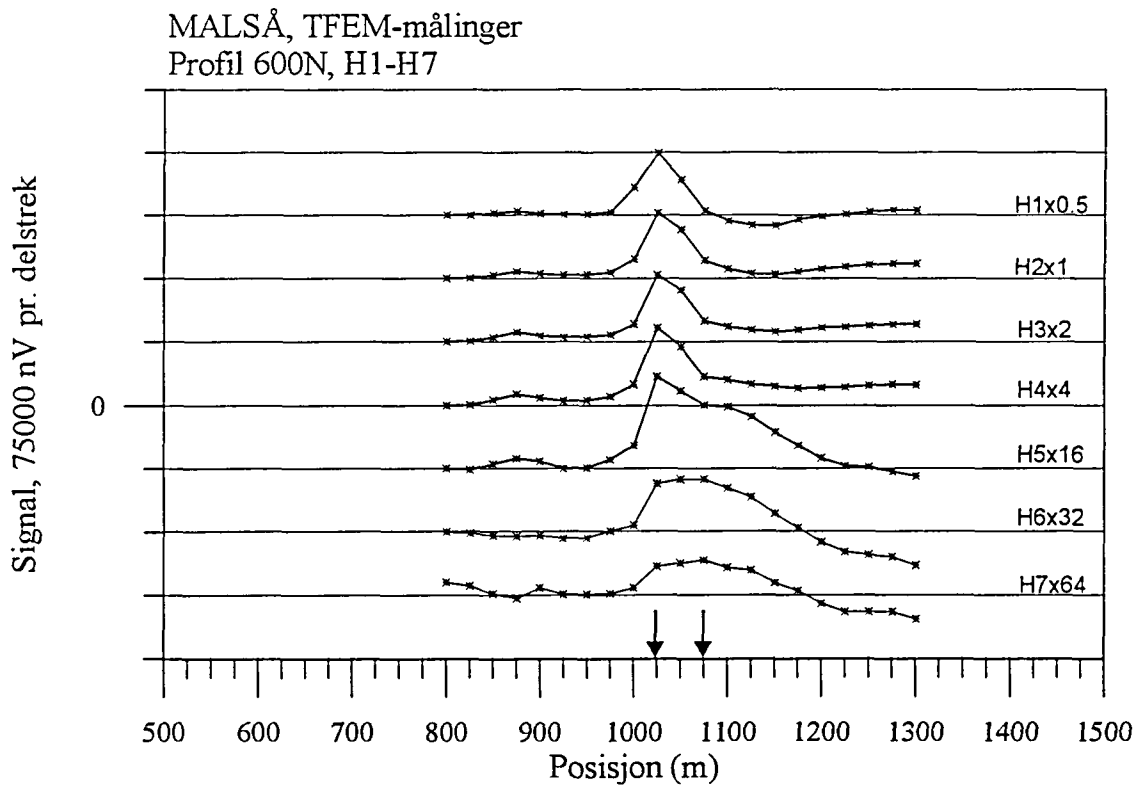
Figur 11a. Vertikal og horisontalkanaler profil 700N



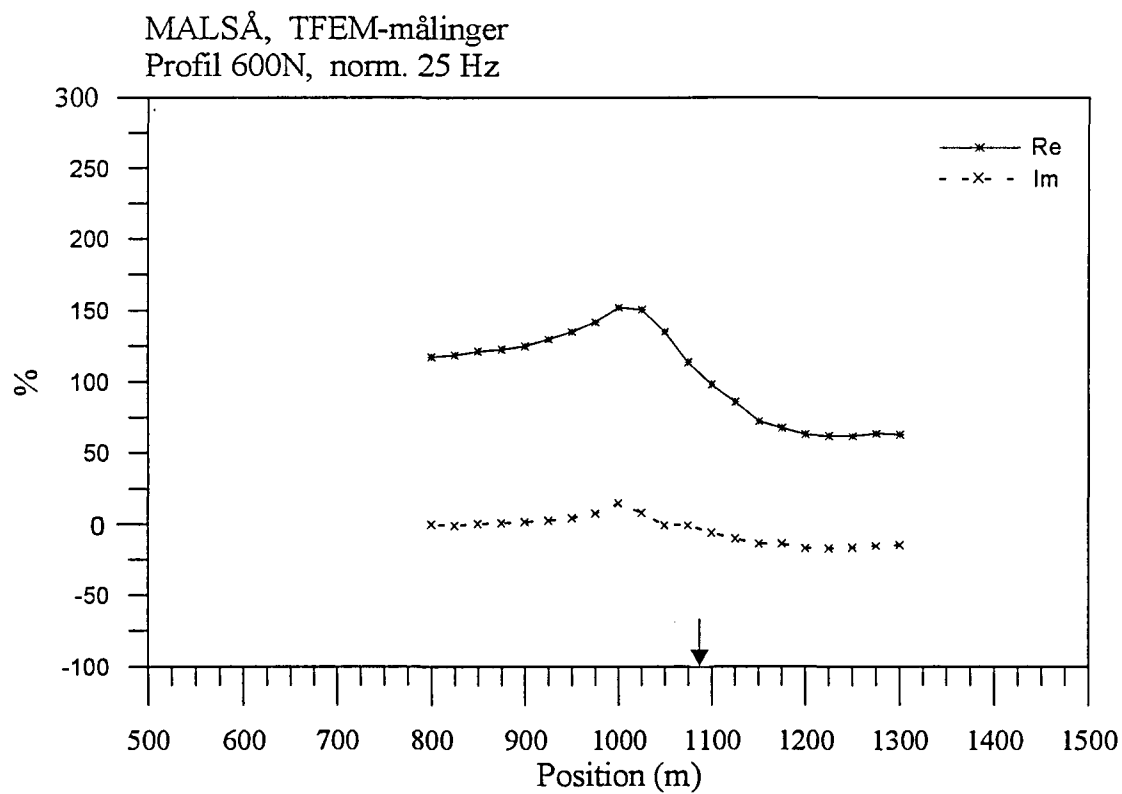
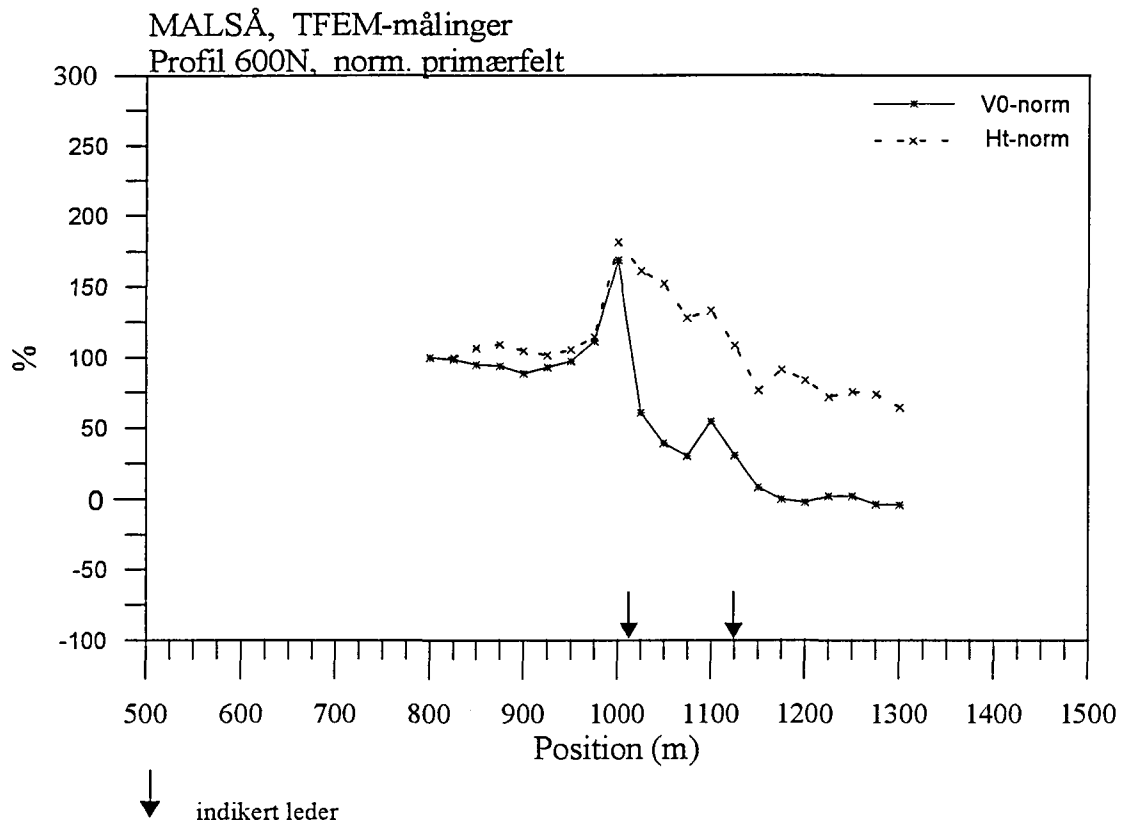
Figur 11b. Normalisert primærfelt og 25 Hz, profil 700N



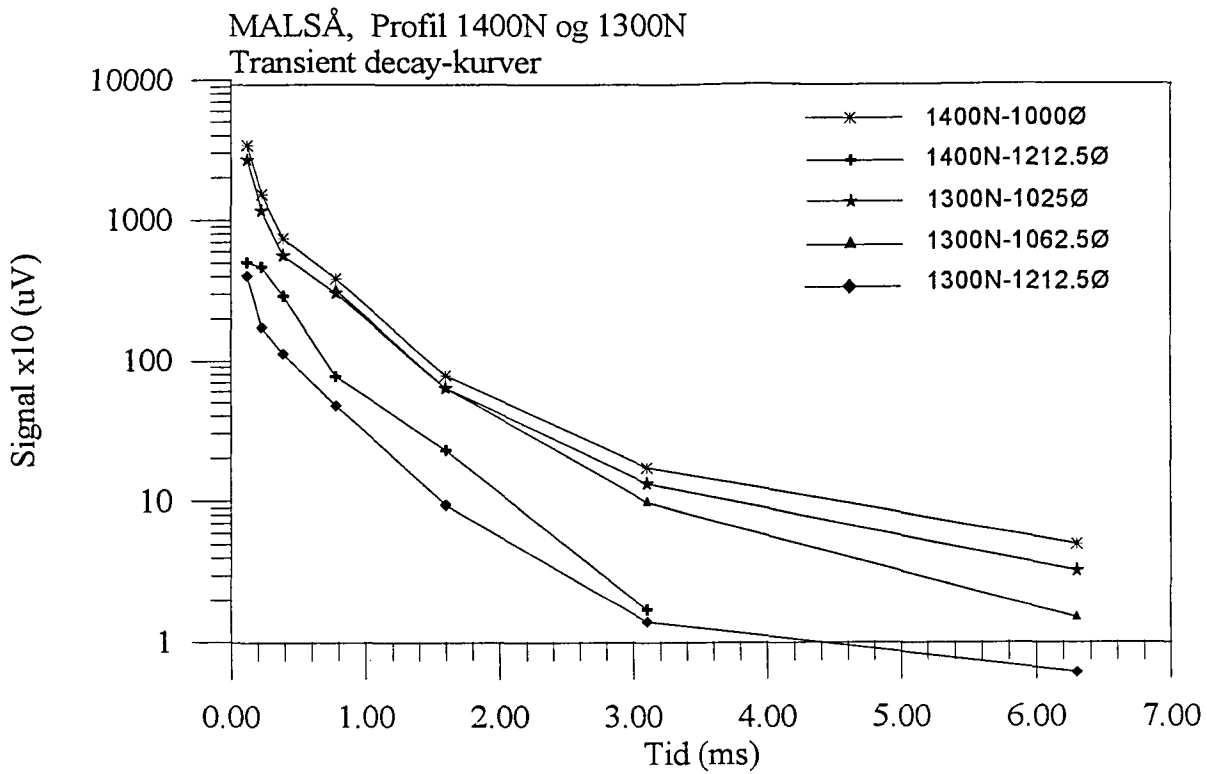
↓ indikert leder



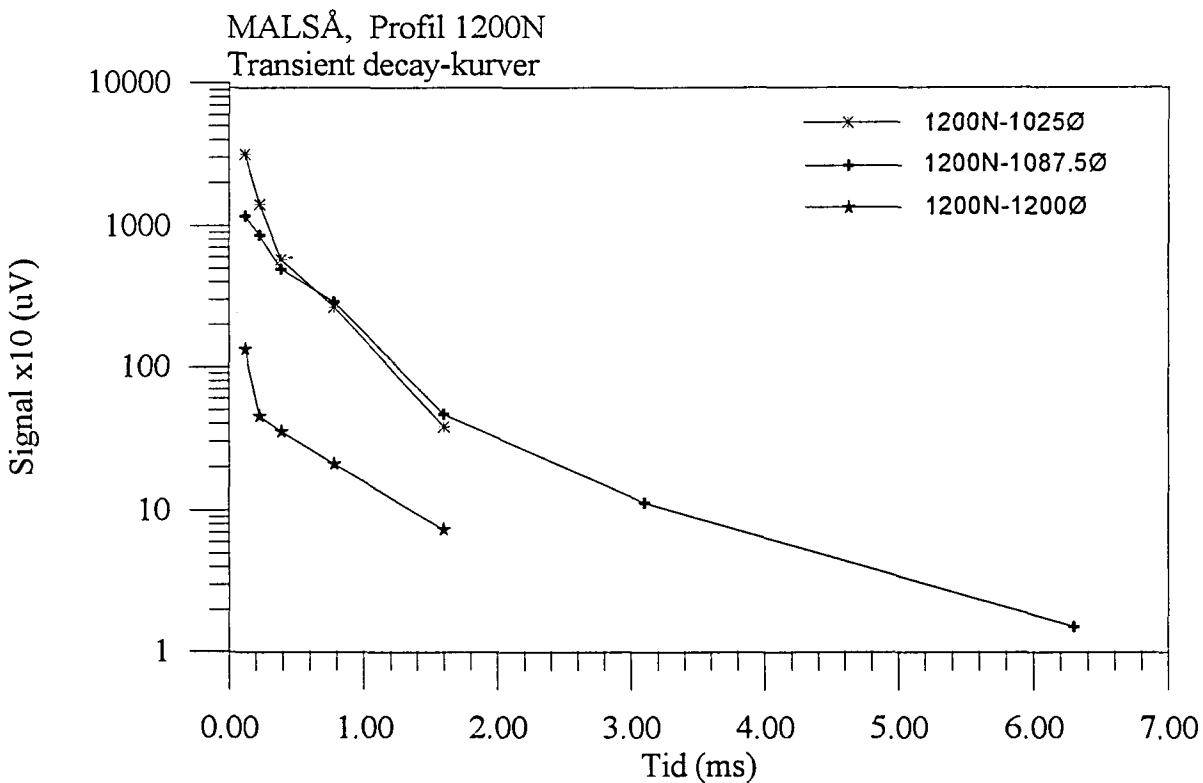
Figur 12a. Vertikal og horisontalkanaler profil 600N



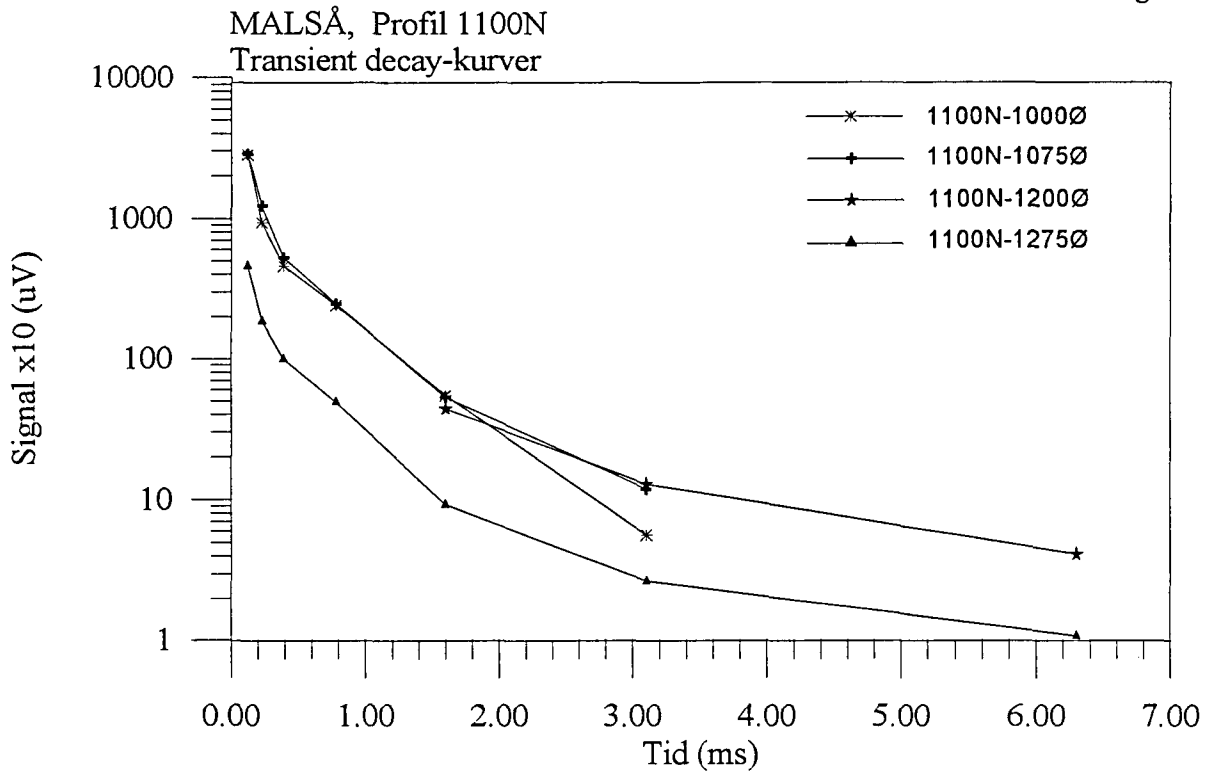
Figur 12b. Normalisert primærfelt og 25 Hz, profil 600N



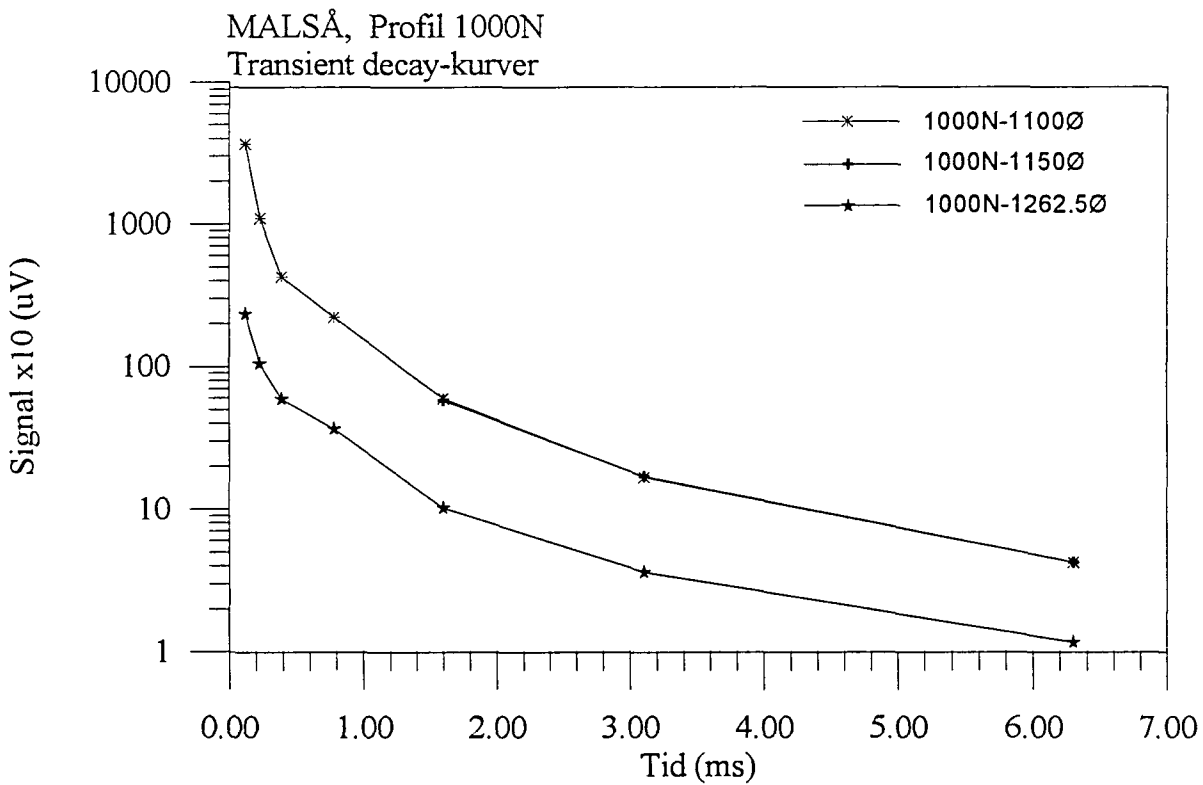
Figur 13. Transient decay-kurver for H1- H7 for leder på profil 1300N og 1400N.



Figur 14. Transient decay-kurver for H1- H7 for ledere på profil 1200N.

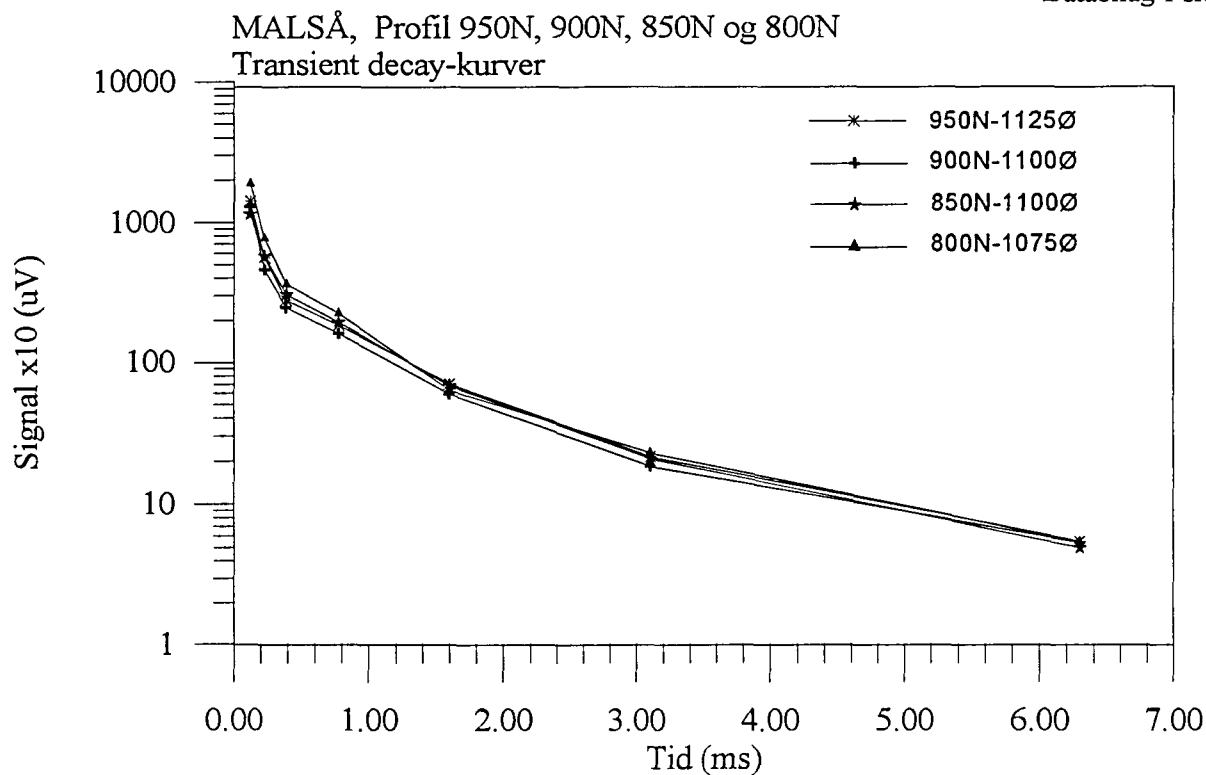


Figur 15. Transient decay-kurver for H1- H7 for ledere på profil 1100N.

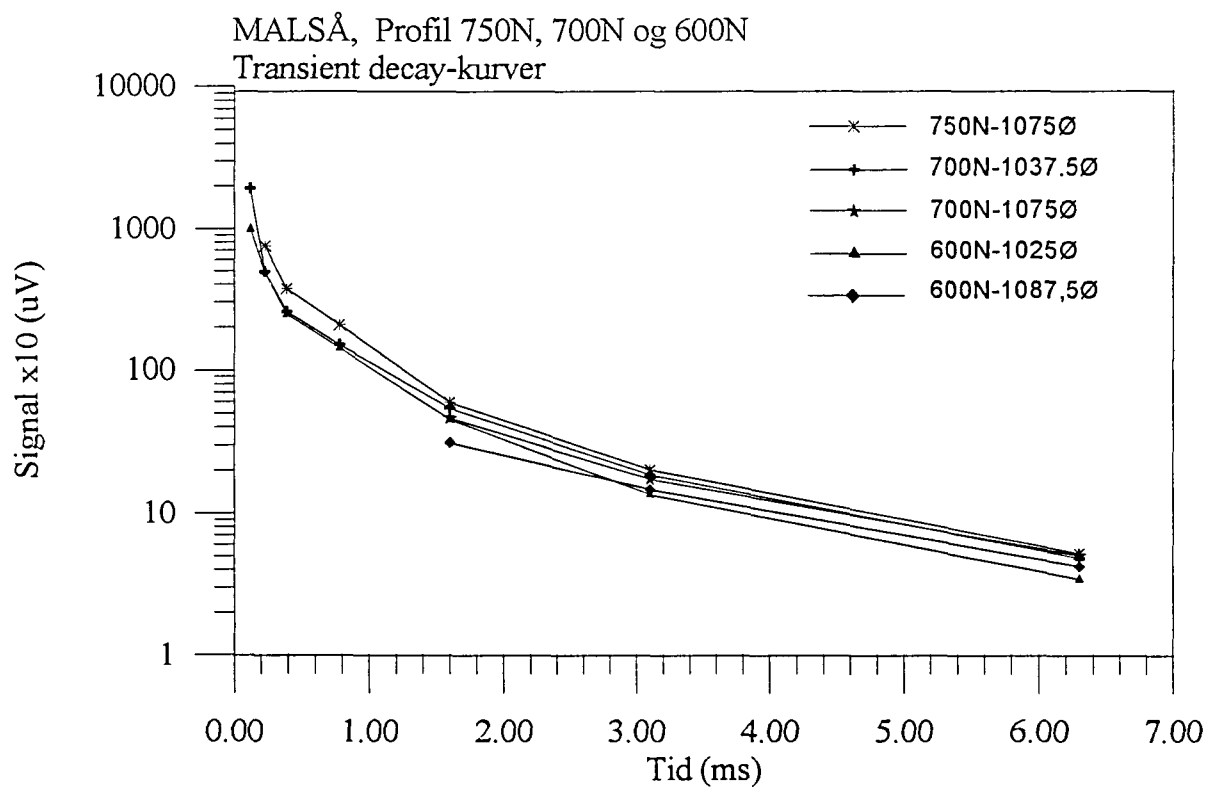


Figur 16. Transient decay-kurver for H1- H7 for ledere på profil 1000N.



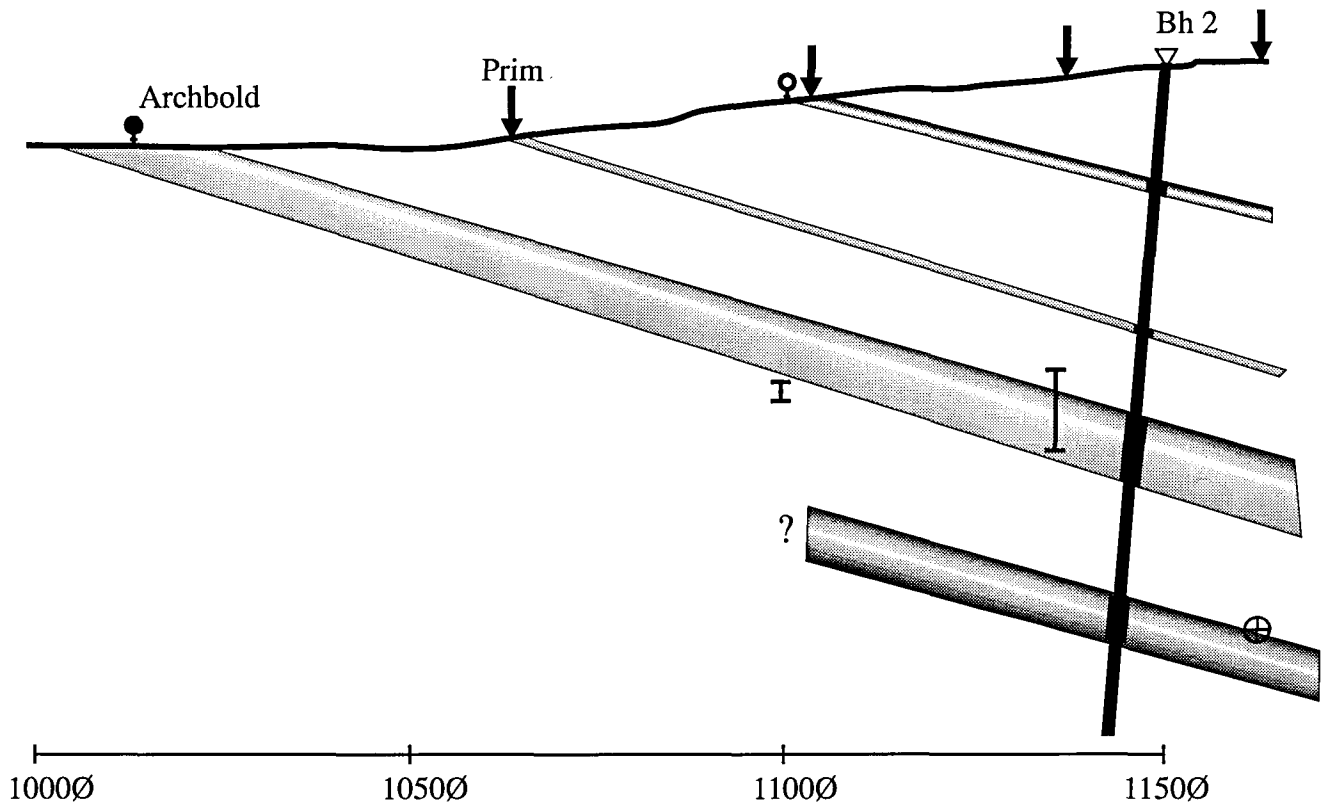


Figur 17. Transient decay-kurver for H1- H7 for ledere på profil 950N, 900N, 850N og 800N.

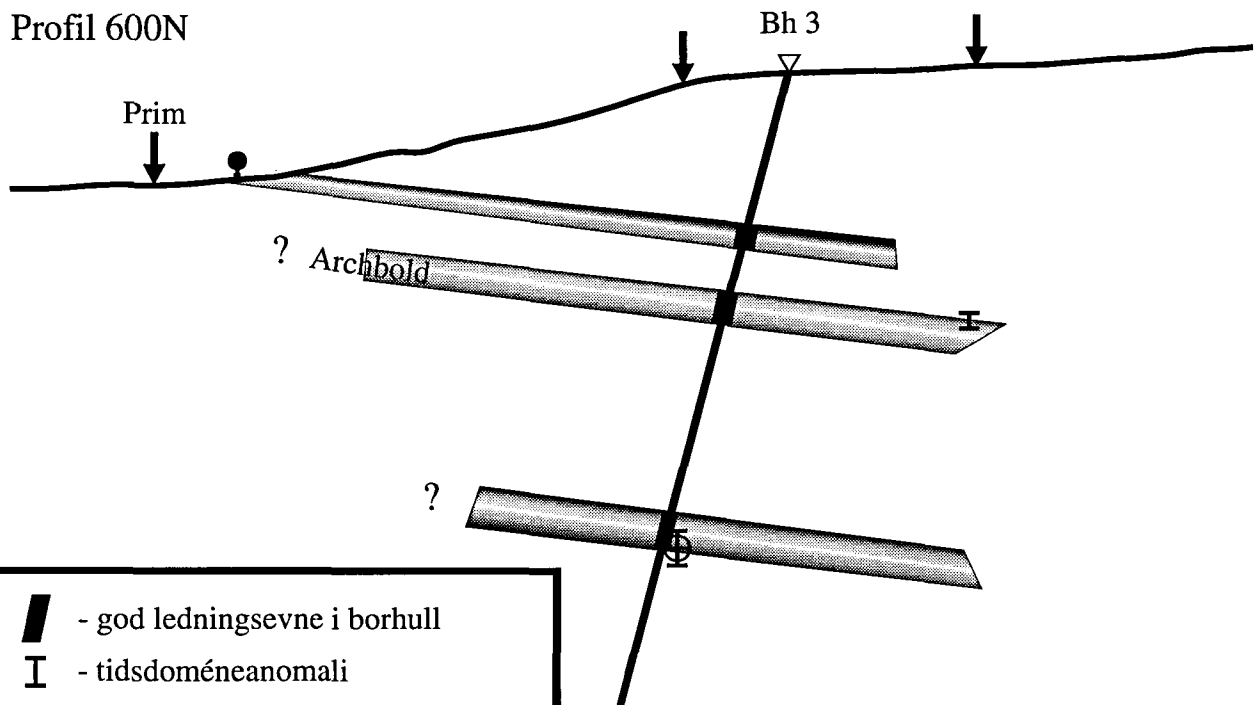


Figur 18. Transient decay-kurver for H1- H7 for leder på profil 750N, 700N og 600N.

Profil 900N

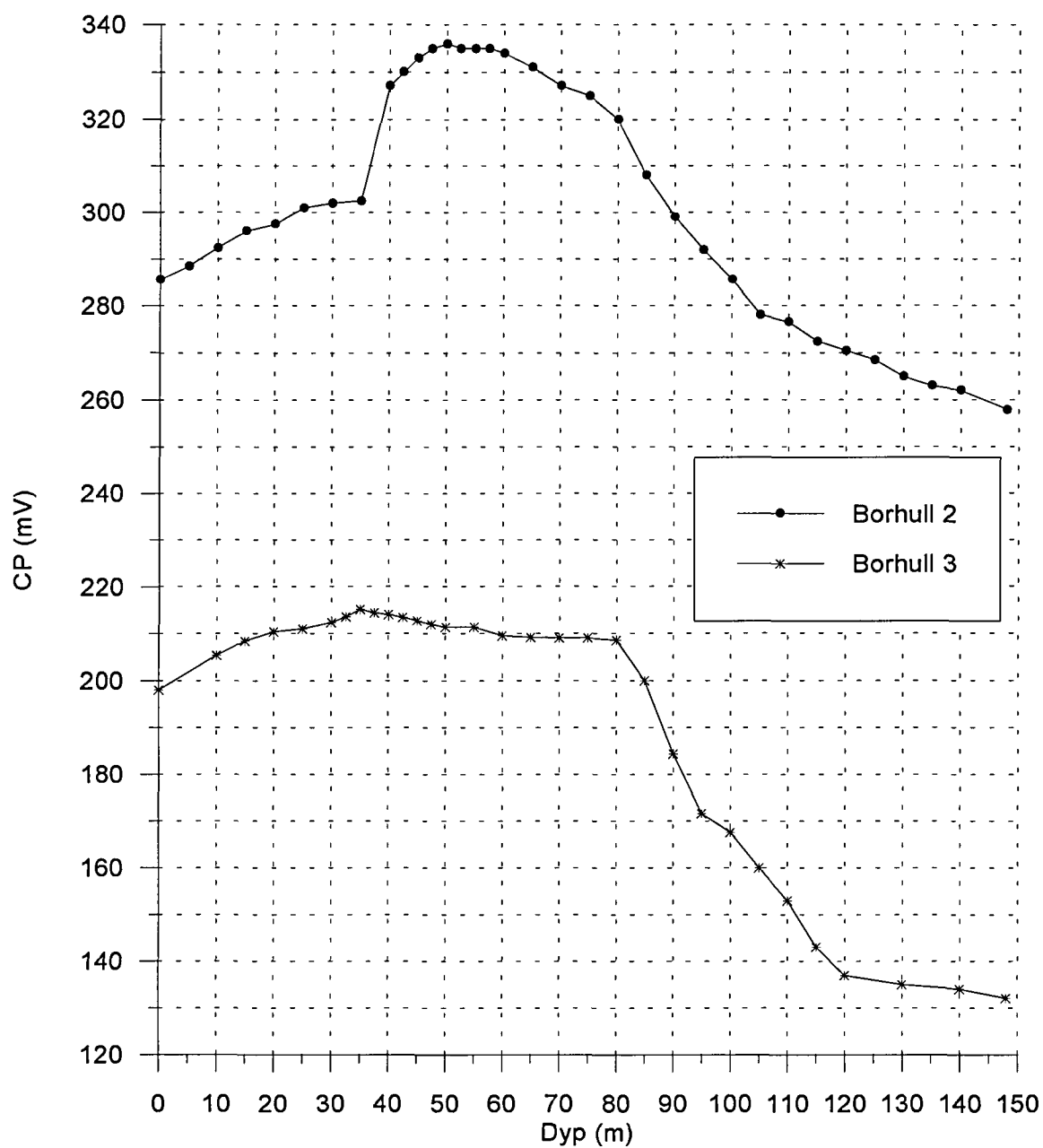


Profil 600N

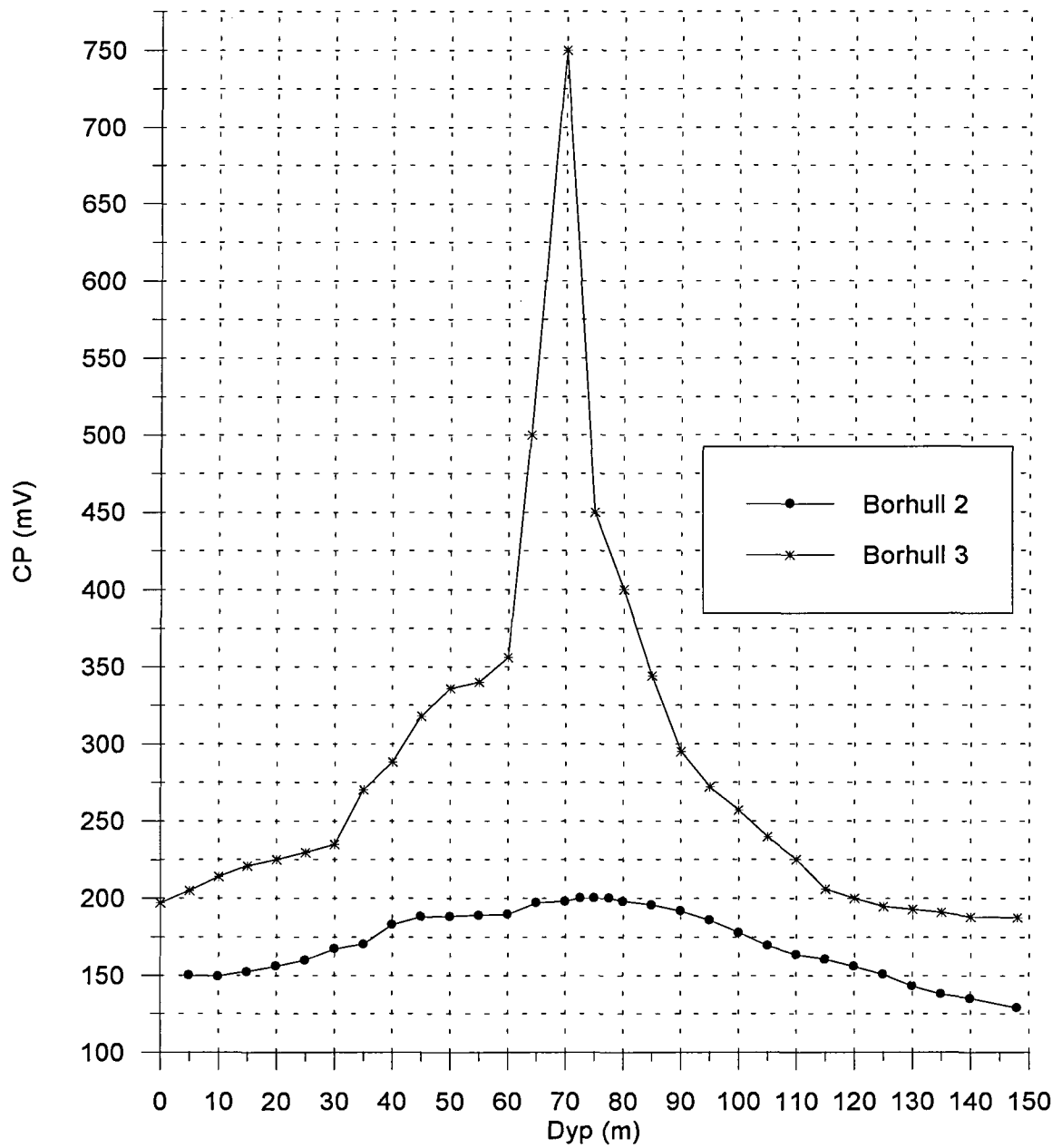


- |      |                                      |
|------|--------------------------------------|
|      | - god ledningsevne i borhull         |
|      | - tidsdoméanomaly                    |
|      | - frekvensdoméanomaly                |
|      | - skjerp                             |
|      | - geofysisk indikasjon på overflaten |
| Prim | - primærfeltanomaly                  |

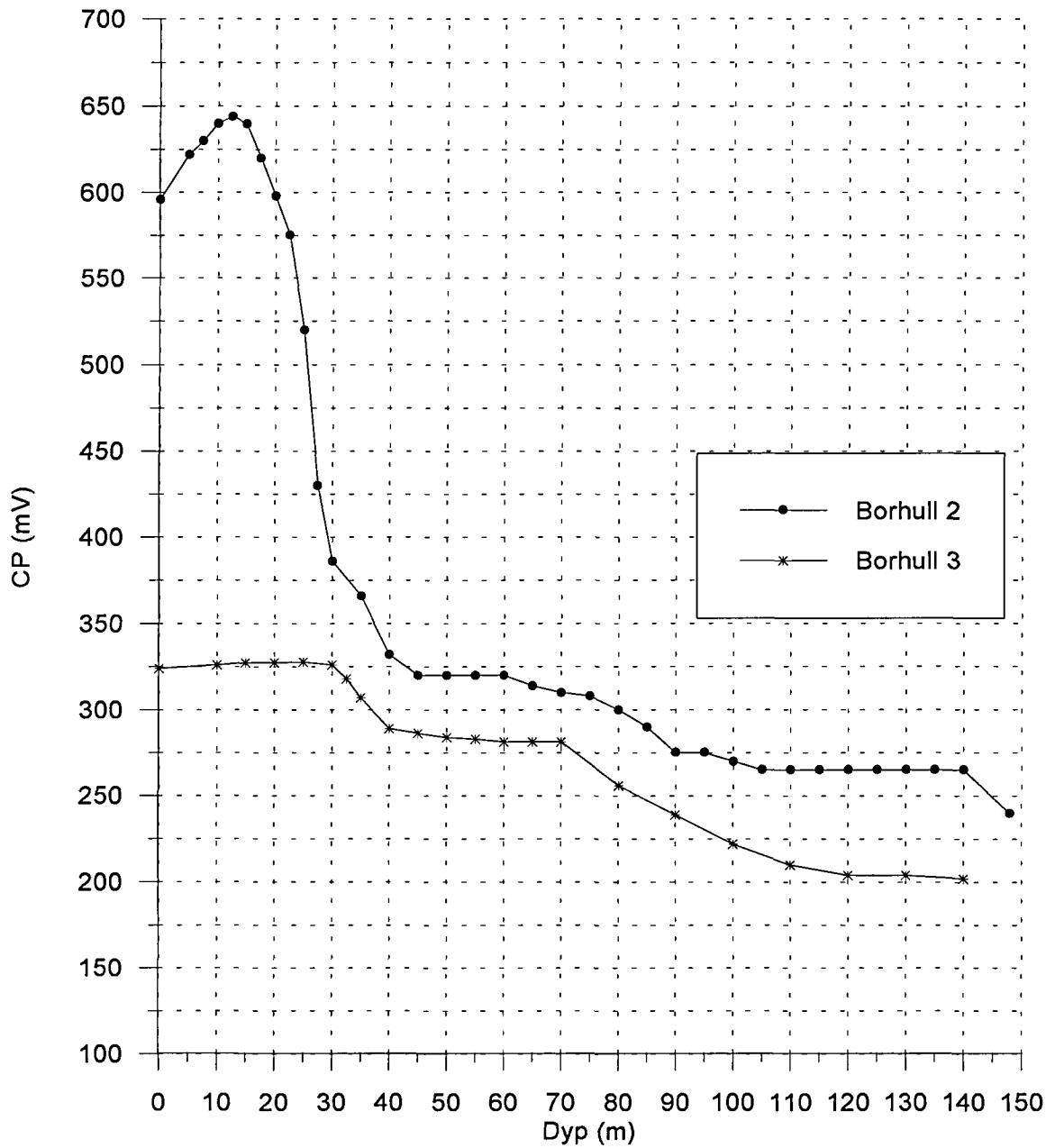
Figur 19: Vertikalsnitt av profil 900N og 600N med geofysiske indikasjoner fra bakke- og borhullsmålinger



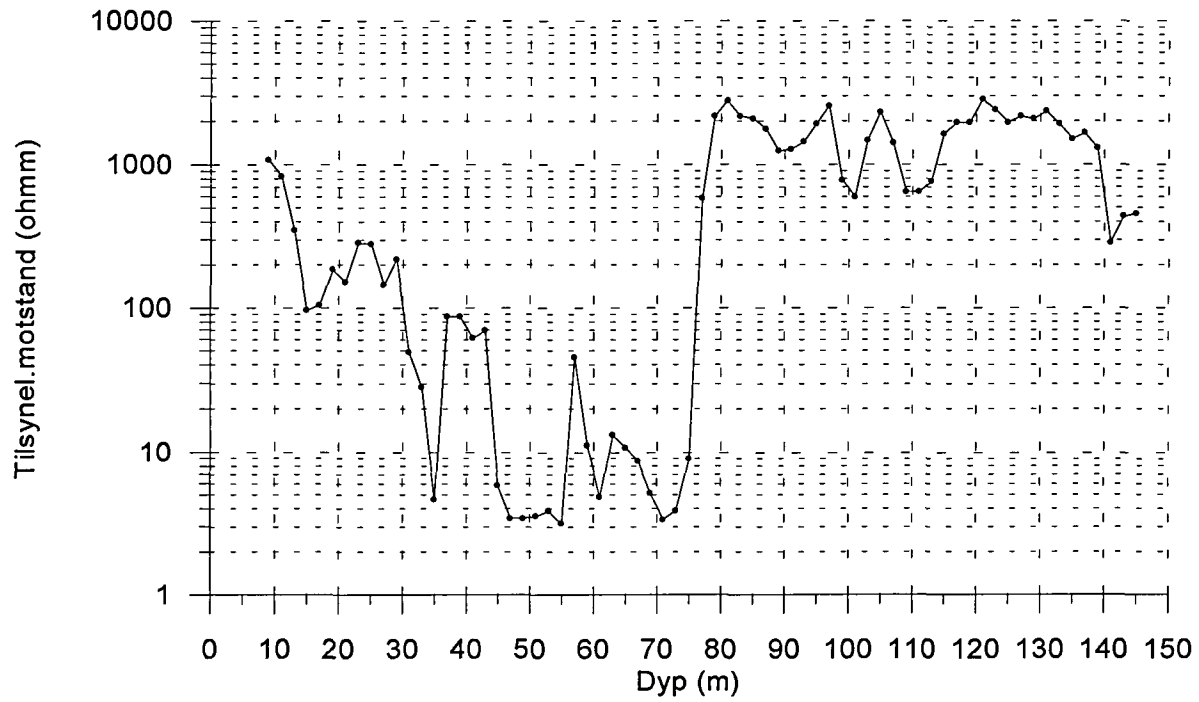
Figur 20. Cp, borhull 2 og 3 med C1 i Archbolds gruve



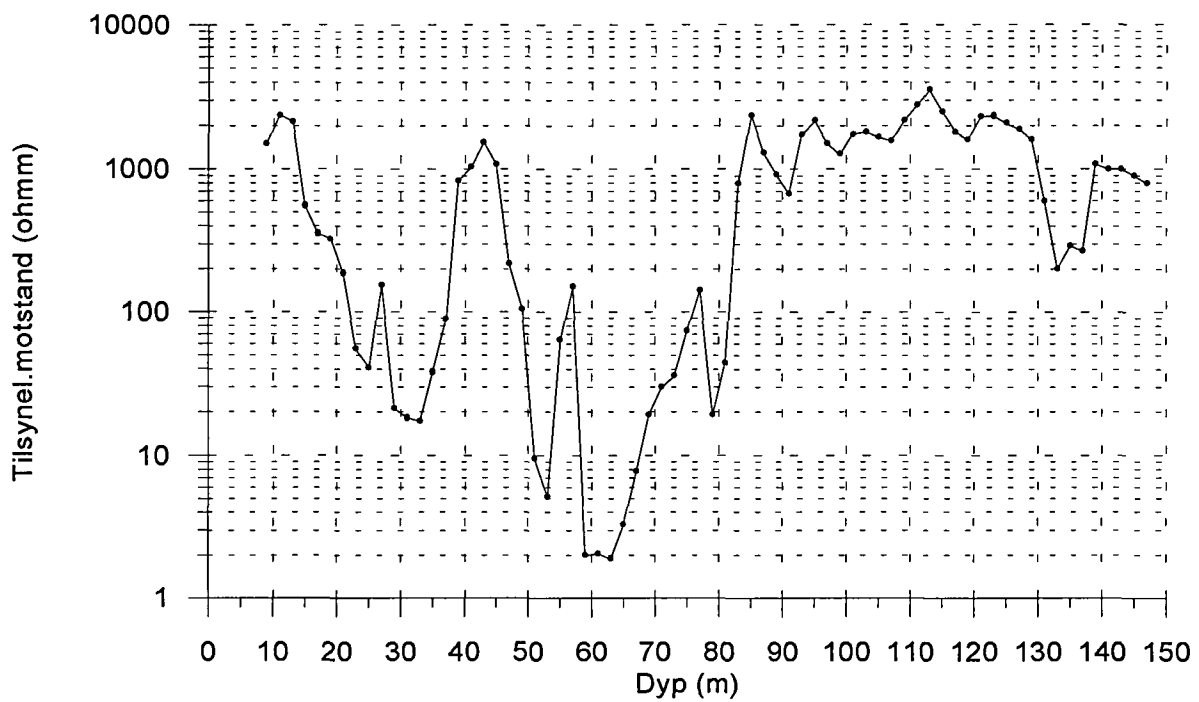
Figur 21. Cp, borhull 2 og 3 med C1 på 66m dyp i borhull 3.



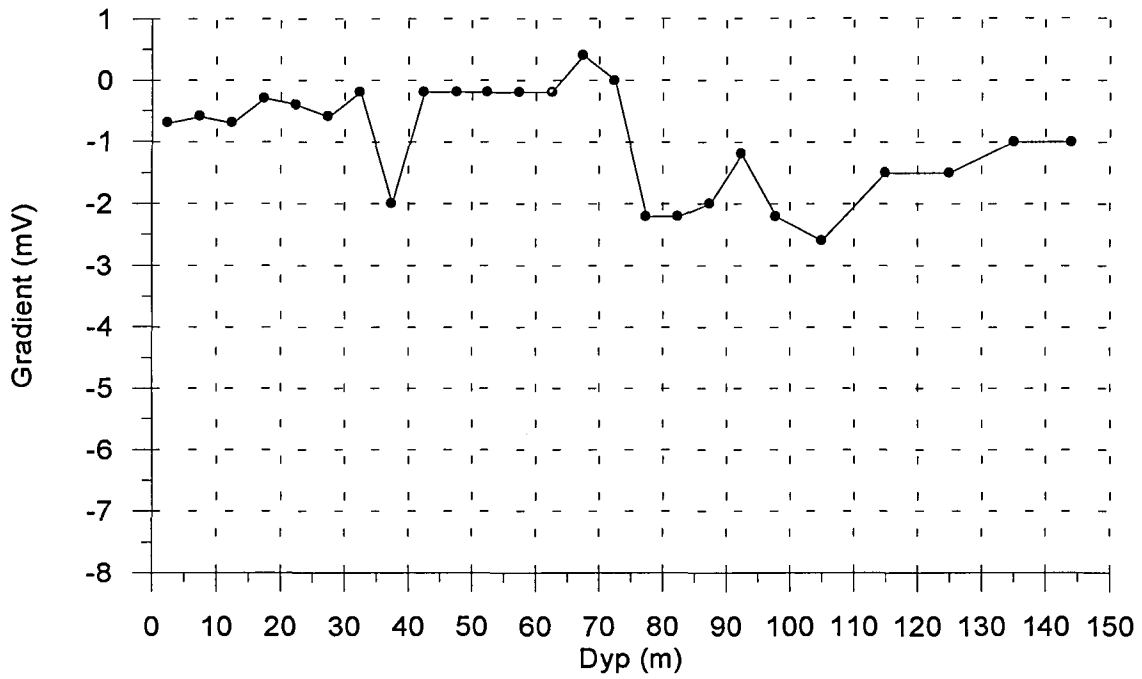
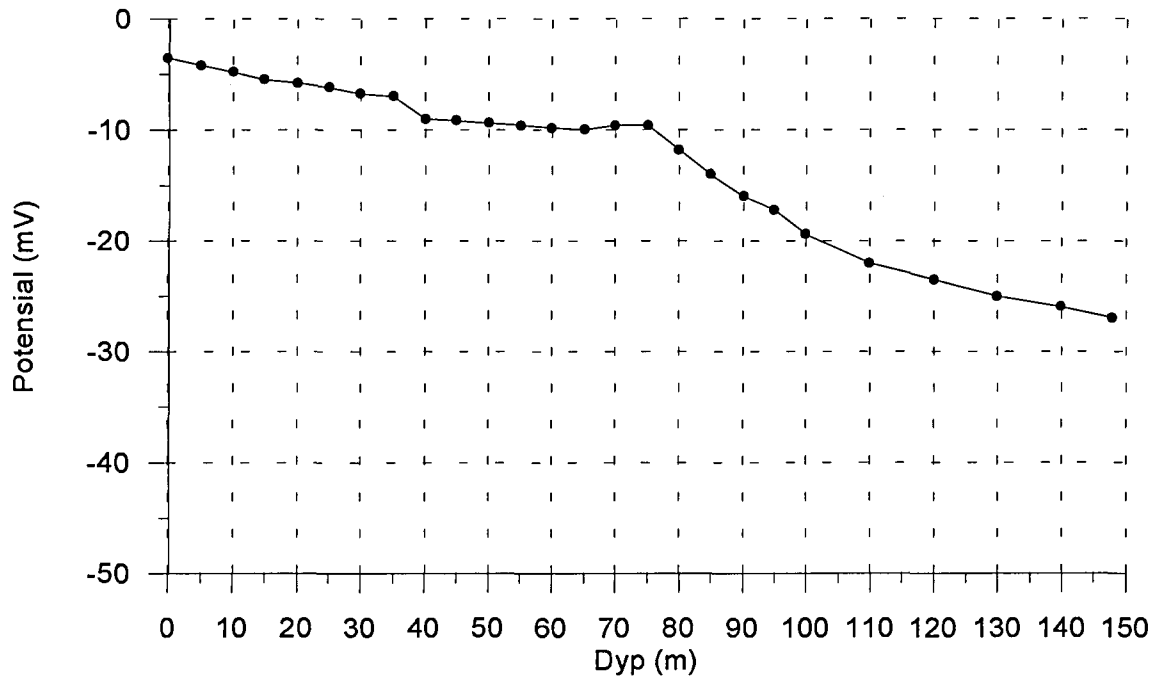
Figur 22. CP, borhull 2 og 3 med Cl i skjerp ved ca. 965N - 1125Ø.



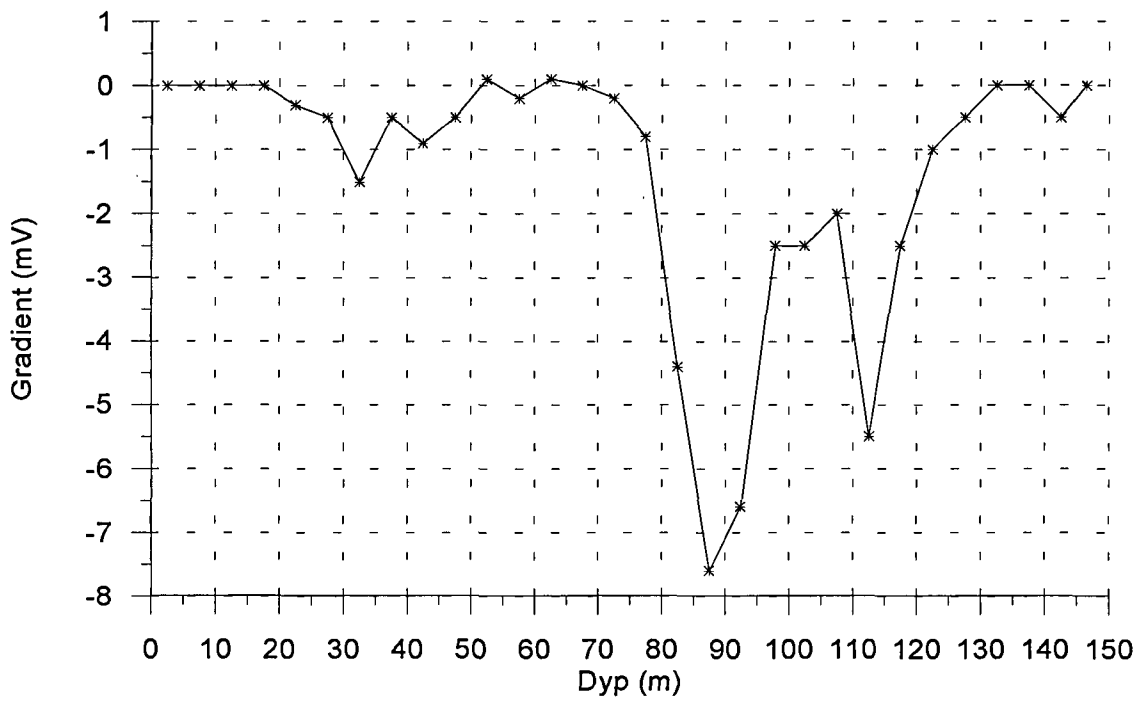
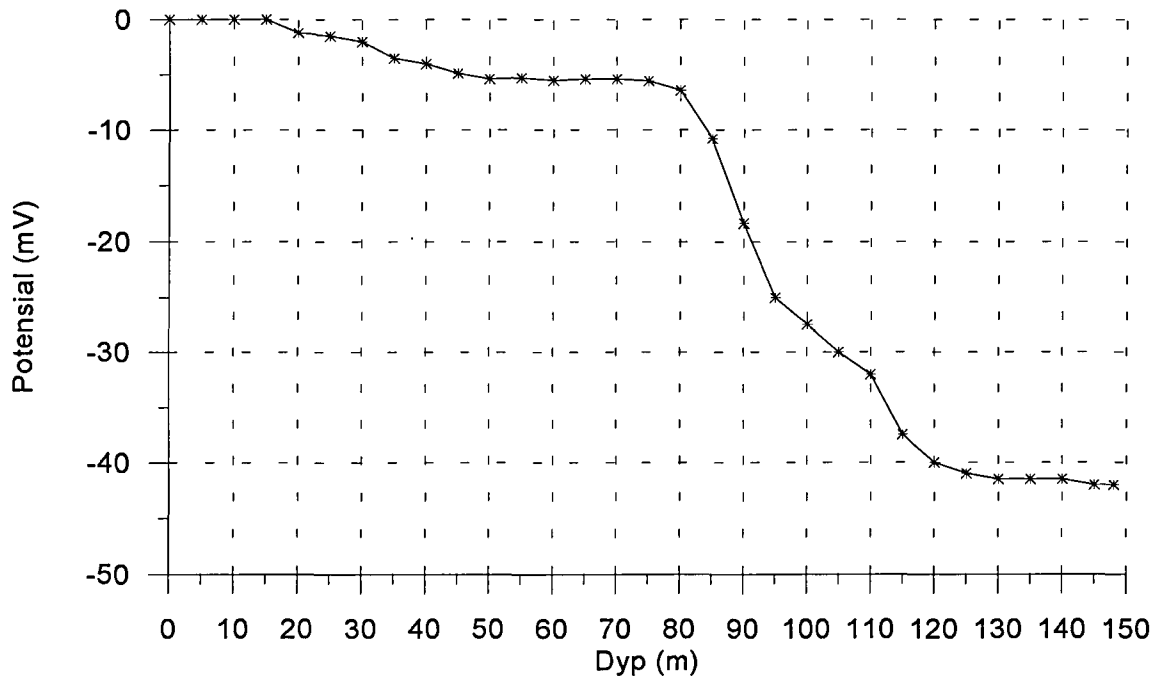
Figur 23. Tilsynelatende motstand, borhull 2



Figur 24. Tilsynelatende motstand, borhull 3

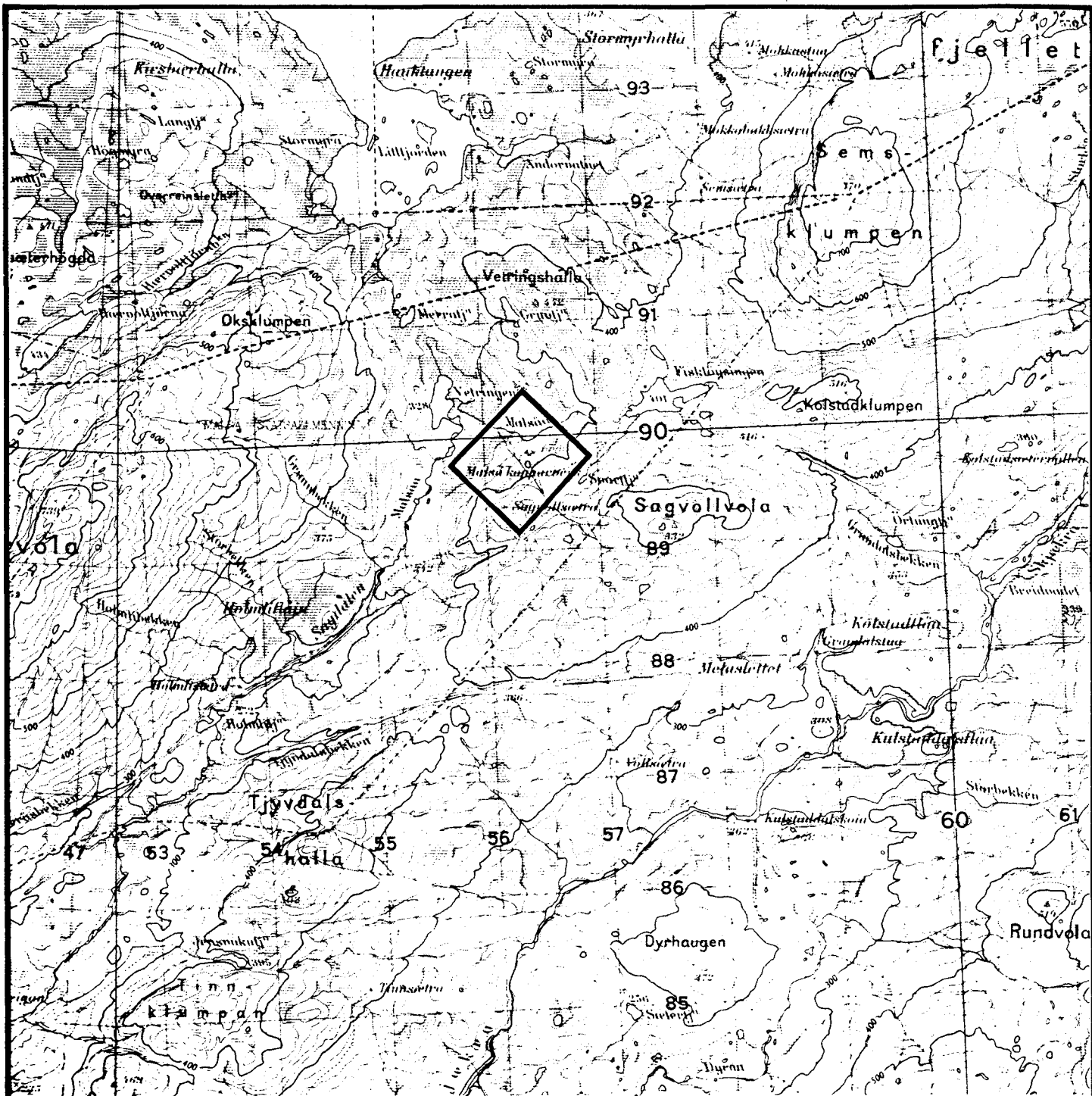


Figur 25. PP, borhull 2



Figur 26. PP, borhull 3





UNDERSØKT OMRÅDE

NGU V/NORD-TRØNDELAGSPROGRAMMET  
 OVERSIKTSKART  
 MALSÅ GRUVE  
 VERDAL, NORD-TRØNDELAG

MÅLESTOKK  
 1:50 000

MÅLT H.E.D.	JUNI - 95
TEGN E.D.	OKT. - 95
TRAC	
KFR.	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE  
 TRONDHEIM

TEGNING NR.  
 96.003-01

KARTBLAD NR.  
 1722 I





**TEGNFORKLARING**

- — — — — MEGET STERK TFEM-ANOMALI
- - - - - STERK " " " "
- - - - - SVAK " " " "
- ... MEGET SVAK " " " "
- — — — — MÅLTE PROFILER
- · — · — KABELANLEGG MED ELEKTRODE
- ⊙ BORHULL
- ♂ SKJERP/SYNK
- ▣ STOLL

NGU V/NORD-TRØNDELAGSPROGRAMMET TFEM-TOLKNINGSKART, TIDSDOMENET <b>MALSÅ</b> VERDAL, NORD-TRØNDELAG	MÅLESTOKK <b>1:2500</b>	MÅLT HE-ED JUNI 95 TEGN. E.D. NOV.-95
	NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR <b>96.003-02</b>



