

NGU Rapport 95.125

TFEM-målinger, Tunnsjøflyin, Namsskogan
Nord-Trøndelag

Rapport nr.: 95.125		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: TFEM-målinger, Tunnsjøflyin, Namsskogan, Nord-Trøndelag				
Forfatter: Harald Elvebakk og Einar Dalsegg		Oppdragsgiver: NGU/Nord-Trøndelag Fylkeskommune		
Fylke: Nord-Trøndelag		Kommune: Namsskogan		
Kartblad (M=1:250.000) Grong		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1824 II Skorovatn		
Forekomstens navn og koordinater: Tunnsjøflyin 4075 71745		Sidetall: 32	Pris: 75	
Feltarbeid utført: 26.06.95 - 3.07.95		Rapportdato: 24.11.95	Prosjektnr.: 67.2509.47	Ansvarlig: <i>Jan S. Riecken</i>
Sammendrag:				
<p>Det er gjort TFEM-målinger (Tids- og Frekvensdomenet ElektroMagnetiske målinger) i et 2 km² stort område ved Tunnsjøflyin. Hensikten var å undersøke utbredelsen av en tidligere kjent sulfidmineralisering og om målingene kunne gi indikasjon på om det fantes noen større massiv sulfidmalm i tilknytning til den tidligere kjente sonen mot dypet eller i strøkretning.</p> <p>TFEM-målingene, som kan detektere ledere på flere hundre meters dyp, indikerte en ledende struktur fra vannkanten og opp på fjellet i en lengde på 1,5 km. 25 Hz-målingene i frekvensdomenet ga meget sterke anomalier på flere profiler med et tolket dyp på 50 - 125 m. Tidsdomenemålingene ga ikke anomalier av samme styrke. Anomaliårsaken er derfor noe usikker bortsett fra at det helt tydelig er en sterk strømkonsentrasjon som gir anomali i frekvensdomenet. Resultatene kan tyde på en lang, tynn og smal leder med lite areal men med god ledningsevne. Lederen er ikke avgrenset mot sørvest. Det bør gjøres tilleggsmålinger før eventuell boring settes i gang.</p>				
Emneord:		Elektromagnetisk måling		
Geofysikk				
Sulfid		Fagrapport		

	Side
INNHOOLD	
1 INNLEDNING.....	4
2 MÅLEMETODE OG UTFØRELSE.....	5
3 RESULTATER OG TOLKNING.....	6
3.1 Resultater, tidsdomenet, primærfelt og 25 Hz frekvensdomenet	6
3.2 Tidskonstanter	10
4 DISKUSJON	12
5 KONKLUSJON.....	13
6 REFERANSER	14

TABELLER

Tabell 1: Gradering av TFEM-anomalier	6
Tabell 2: Indikerte ledere i tidsdomenet, Tunnsjøflyin	7
Tabell 3: Indikerte ledere ved primærfeltmålinger, Tunnsjøflyin	8
Tabell 4: Indikerte ledere ved 25 Hz frekvensdomenet, Tunnsjøflyin.....	8
Tabell 5: Beregnede tidskonstanter for horisontalfeltanomalier, Tunnsjøflyin	11
Tabell 6: Indikerte ledere ved TFEM-målinger, Tunnsjøflyin.....	13

TEKSTBILAG

Tekstbilag 1: TFEM, metode- og instrumentbeskrivelse

DATABILAG

Figur 1a - 9a, Profilplott av vertikal- og horisontalkanaler i tidsdomenet

Figur 1b - 9b, Profilplott av normalisert primærfelt og 25 Hz frekvensdomenet

Figur 10 - 12, Transient decay-kurver for indikerte ledere i tidsdomenet

KARTBILAG

95.125-01 Oversiktskart

-02 Tolkningskart tidsdomenet

-03 Tolkningskart primærfelt og 25 Hz frekvensdomenet

1 INNLEDNING

Som en del av Grongprosjektet har NGU gjort bakkegeofysikk (dypgeofysikk) ved Tunnsjøflyin i Namsskogan kommune i Nord-Trøndelag. Målemetoden har vært TFEM (Time and Frequency domain Electro Magnetic) med konduktiv energisering. Måleområdet lå ved vestenden av Tunnsjøflyin og strakk seg fra strandkanten og 1.5 km sørvestover opp på fjellet på nordvestsiden av Skorovassklumpen. Måleområdet er tegnet inn på oversiktskart, kartbilag -01. En tidligere kjent mineralisering ligger innenfor måleområdet. Området nærmest vannet er tidligere undersøkt geofysisk med EM (Sakshaug 1943) og SP og magnetiske målinger (Logn 1969). EM-målingene indikerte en meget god leder. Deler av denne er nå neddemt. SP målingene ga ca -300 mV over utgående. Det er også utført geokjemisk prøvetaking (Logn 1969). Nye helikoptermålinger (Rønning 1995) indikerte en leder fra vannkanten og nesten 1 km sørvestover. Anomalien avtok i styrke, men indikasjonen gikk vesentlig lenger sørvestover enn det tidligere undersøkte området. SP målingene indikerte også at mineraliseringen fortsatte ut av det tidligere undersøkte området. På bakgrunn av dette og geokjemiske indikasjoner ville en gjøre TFEM-målinger for å se hvordan sonen utviklet seg sørvestover, og om dype ledere kunne indikeres i tilknytning til den kjente sonen.

Målingene ble utført i tiden 26.06.95 - 3.07.95 av Harald Elvebakk og Morten Staw som var feltmedarbeider. Området var bratt og ulendt, og mye snø lå fremdeles oppe i fjellsida. Målingene, som foregikk i regn og tildels sludd, ble utført uten problemer.

2 MÅLEMETODE OG UTFØRELSE

Ved undersøkelsen ble NGU's egenproduserte TFEM-utrustning benyttet. TFEM-målinger gjøres både i tids- og frekvensdomenet. En metode- og instrumentbeskrivelse er vedlagt i tekstbilag 1.

TFEM-målingene ble utført med konduktiv energisering (enkel jordet kabel). Pga. dårlige jordingsforhold oppe på fjellet ble strømstyrken bare 0.6 A i kabelen. Måleområdets totale lengde var 1.5 km. De fleste profiler var 1.2 - 1.4 km lange og målepunktavstand var 50 m. Profilavstand var 200 m. Pga. tildels meget bratt og ulendt terreng kan det være unøyaktigheter i stikningsnettet. Kartgrunnlaget (1:50000) var heller ikke det beste for stikking. Profil 1000N oppe på fjellet ble ikke stukket. Det ble i alt målt 9 profiler. Profil 2500N er det nordligste nærmest vannet, mens profil 1000N er oppe på fjellet. Profiler og kabelutlegg er tegnet inn på kartbilag -02 og -03.

Målingene gikk stort sett greit uten store problemer. På et par profiler fikk en feil data på kanal 4 - 7, både vertikal og horisontal. Feilen oppsto særlig i forbindelse med anomali, men har ikke forringet målingenes verdi.

3 RESULTATER OG TOLKNING

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

3.1 Resultater tidsdomenet, primærfelt og 25 Hz frekvensdomenet

Figur 1a - 9a viser plott av vertikal- og horisontalfeltkanalene i tidsdomenet. Kanalene er splittet opp og data er multiplisert med bestemte faktorer (angitt på figur) for å få alle kanalene opp på samme nivå da målesignalet er mye svakere på de sene kanalene enn de tidlige. Figur 1b - 9b viser plott av normalisert primærfelt og 25 Hz i frekvensdomenet. For primærfeltmålingene er vertikalkomponenten, V_0 -norm, og totalfeltet, H_{tot} -norm, beregnet og plottet. For 25 Hz-målingene er normalisert reell- og imaginærkomponent beregnet og plottet.

Pga. stor målepunktavstand på 50 m kan stedsangivelsen (x-koordinat) av grunne ledere være noe usikker. Horisontal- og vertikalfeltanomalien gir ofte 25 m forskjell i x-koordinat. I slike tilfeller er anomalien angitt midt mellom horisontal- og vertikalanomalien hvilket også er det mest korrekte.

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 (μ).

Tabell 2. Indikerte ledere i tidsdomenet, Tunnsjøflyin

Profil	Koordinat	Signal H2 [μ V/A]	Kanaler	Anomali- styrke	Lednings- evne	Dyp
2500N	875Ø	14,5	1 - 4	Meget svak	Dårlig	0 - 25 m
2500N	787Ø	6,3	1 - 7	Meget svak	Meget god	0 - 25 m
2400N	787Ø	24,5	1 - 7	Svak	Meget god	0 - 25 m
2200N	825Ø	21,0	1 - 7	Svak	Meget god	50 - 75 m
2000N	800Ø	9,5	1 - 4(7)	Meget svak	God	>50 m
2000N	725Ø	4,8	1 - 4	Meget svak	God	25 m
1800N	725Ø	10,0	1 - 5	Svak	God	50 - 75 m
1600N	737Ø	10,3	1 - 4(5)	Svak	God ?	25 m
1400N	737Ø	3,4	1 - 4	Meget svak	Dårlig	25 - 50 m
1200N	712Ø	2,9	1 - 4 ?	Meget svak	Dårlig	50 m ?

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 jordingselektrodene. 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 3 og 4 viser er samlet oversikt over ledere indikert ved primærfeltnålingene og ved 25 Hz frekvensdomenet. Tabellen viser koordinat, prosentvis svekning i forhold til det teoretiske primærfeltet, anomalistyrke og dyp.

Tabell 3. Indikerte ledere ved primærfeltmålinger, Tunnsjøflyin

Profil	Koordinat	% svekning	Gradering	Dyp
2500N	875Ø	19,3	Meget Svak	0 - 25 m
2500N	775Ø	48,1	Meget svak	0 - 25 m
2400N	787Ø	68,6	Svak	0 - 25 m
2200N	825Ø	51,6	Svak	25 - 50 m
2000N	725Ø	55,4	Svak	0 - 25 m
1800N	700Ø	94,0	Svak	50 m
1600N	725Ø	62,8	Svak	0 - 25 m
1400N	725Ø	43,5	Meget svak	75 m
1200N	725Ø	65,3	Svak	75 - 100 m
1000N	675Ø	77,6	Svak	75 m

Tabell 4. Indikerte ledere ved 25 Hz frekvensdomenet, Tunnsjøflyin

Profil	Koordinat	% svekning	Gradering	Dyp
2500N	825Ø	46,3	Sterk	0 - 25 m
2400N	900Ø ?	72,6 ?	Meget sterk ?	50 m ?
2200N	837Ø	95,5	Meget sterk	50 m
2000N	800Ø ?	>32	Sterk ?	50 m ?
1800N	775Ø	53,3	Meget sterk	125 m
1600N	750Ø	41,7	Sterk	50 m
1400N	750Ø	17,9	Svak	75 - 100 m
1200N	725Ø ?	-	svak	Grunn ?
1000N	700Ø	48,7	Sterk	75 m

I det følgende vil indikerte ledere på de målte profilene fra strandkanten ved Tunnsjøflyin og opp på fjellet bli kommentert. Det er laget to indikasjonkart. Kartbilag -02 viser indikerte ledere i tidsdomenet, mens kartbilag -03 viser anomalier i frekvensdomenet, 25 Hz og primærfelt.

På profil 2500N nærmest vannet, figur 1a, indikeres to ledere i tidsdomenet. Lederen ved 787,5Ø har meget god ledningsevne da den indikeres tydelig på alle kanaler. Den andre lederen ved 875Ø har dårlig ledningsevne da anomalien dør fort ut. Begge lederne har meget svak anomalistyrke. En kombinasjon av meget god ledningsevne og svak anomalistyrke kan skyldes en dominans av konduktive strømmer som igjen kan skyldes dårlig EM-kobling eller

lavt σ -produkt hvor t (tykkelse) er liten. Primærfeltmålingene indikerer begge lederne, mens 25 Hz-målingene indikerer bare den beste ved 825Ø som er noe lenger mot øst enn i tidsdomenet. Dette kan tyde på en bedre ledningsevne et stykke inne på lederen. De gamle EM-målingene (Sakshaug 1943) indikerte også en grunn god leder i dette området.

På profil 2400N, figur 2a, indikeres den samme lederen ved 787,5Ø. Indikasjonen er meget tydelig på de fem første kanalene (særlig V-felt), men kan også observeres på kanal 6 og 7. De fire siste H-kanalene samt kanal V7 falt ut fra koordinat 900Ø, og en mangler data på disse kanalene fra 900Ø - 1400Ø. Primærfeltet gir en meget tydelig anomali ved 787,5Ø, figur 2b. Re-komponenten ved 25 Hz kan indikere en leder ved 900Ø. Denne er imidlertid usikker pga. tidligere omtalte instrumentfeil. Målingene på 25 Hz-kanalene og de sene vertikale tidskanalene foretas med samme spole. Siden kanal V7 har åpenbare feil, kan også Re og Im ved 25 Hz være feil og gi et tydelig lavere nivå fra og med 950Ø. Dette nivåfallet kan gi en falsk anomali ved 900Ø.

Både tids- og frekvensdomenemålingene indikerer en leder ved 825Ø på profil 2200N, se figur 3a og 3b. Anomalien er meget svak på de tre siste kanalene, men lederen vurderes til å ha meget god ledningsevne. Dette bekreftes av 25 Hz-målingene som gir en meget sterk anomali ved 837,5Ø. Dypet er tolket til ca 50 m. Også primærfeltet gir meget tydelig anomali. Den meget sterke 25 Hz-anomalien stemmer dårlig med resultatet på de sene tidskanalene. Vanligvis gir sterk 25 Hz-anomali også sterk anomali på de sene tidskanalene. En årsak til kun sterk 25 Hz-anomali kan være en dominans av konduktive strømmer og dårlig EM-kobling, dvs. at lederen er tynn og smal (lite areal) men har god ledningsevne.

På profil 2000N, figur 4a, indikeres to ledere. Den vestligste anomalien ved 725Ø dør fort ut, mens en bedre leder ved 800N indikeres trolig på alle kanaler. Usikkerheten skyldes feilmålinger i 850Ø og 900Ø og at en mangler data i disse punktene på de fire siste kanalene. Primærfeltet, figur 4b, indikerer en leder ved 725Ø, mens 25 Hz-målingene trolig indikerer lederen ved 800Ø.

Tidsdomenemålingene gir en svak anomali med dårlig/god? ledningsevne på profil 1800N ved 725Ø, se figur 5a. Fra kanal 5 er anomalien meget svak. Dypet kan tolkes til ca 50 m. 25 Hz-målingene gir derimot en meget sterk anomali ved 775 Ø med tolket dyp 100 - 125 m. Primærfeltmålingene gir en svak anomali ved 700Ø med tolket dyp 50 m, se figur 5b. En kan her tenke seg at primærfeltet indikerer øvre kant av lederen mens 25 Hz-målingene indikerer en dypere del av lederen med mye bedre ledningsevne. Dersom det er samme sonen som indikeres er fallet sørøstover. Igjen ser en at 25 Hz frekvensdomenet gir en meget kraftig anomali, mens de sene tidskanaler nesten ikke gir tolkbar anomali. Årsaken kan være en lang, tynn og smal leder som samler konduktive strømmer.

På profil 1600N, figur 6a og 6b, ser en samme tendens som på profil 1800N. Tidsdomenet gir svak anomali på de fire første kanalene, men er så godt som borte på de tre siste. Primærfeltet gir en svak men meget tydelig, grunn (0 - 25 m) anomali ved 725Ø, mens 25 Hz målingene gir en sterk anomali ved 775Ø med tolket dyp 50 m. Dette kan indikere et fall mot sørøst.

Tidsdomenekanalene på profil 1400N og 1200N, figur 7a og 8a, gir nesten ikke anomali. En meget svak anomali indikerer en dårlig leder ved hhv. 737,5Ø og 712,5Ø. Primærfeltet, figur 7b og 8b, gir en svak men tydelig anomali ved 725Ø på begge profiler. Tolket dyp er ca 75 m. 25 Hz-målingene gir en svak anomali på profil 1400N ved 750Ø med tolket dyp 75 - 100 m, mens anomalien er noe usikker på profil 1200N.

Det siste profilet som ble målt var profil 1000N oppe på fjellet. Det ble målt bare over selve sonen og figur 9a viser resultatet i tidsdomenet. En meget dårlig leder kan muligens indikeres på kanal V1. Ellers er det vanskelig å tolke noe ut av tidsdomenekanalene. Frekvensdomenemålingene gir derimot en meget tydelig anomali. Primærfeltet gir en svak men meget tydelig anomali ved 675Ø, se figur 9b. Dypet er tolket til 75 m. 25 Hz-målingene gir en sterk anomali ved 700Ø. Tolket dyp er 50 - 75 m. Igjen ser en at frekvensdomenet gir tydelig anomali, mens tidsdomenet ikke gjør det.

Indikasjonskartet for tidsdomenet, kartbilag -02, viser at det trolig er flere oppdelte ledere. På profil 2000N og 2200N indikeres en leder 50 - 75 m øst for sonen som fortsetter opp på fjellet. Sammenhengen til lederne på profil 2400N og 2500N er noe usikker. Frekvensdomenet, kartbilag -03, viser noenlunde samme resultat. En merker seg forøvrig at 25 Hz-målingene indikerer lederen noe lenger øst enn primærfeltanomalien. Dette kan tyde på bedre ledningsevne et stykke inn på lederen.

3.2 Tidskonstanter

For å få en bedre vurdering av kvaliteten til en leder kan en studere decay-kurven og tidskonstanten, se metodebeskrivelse tekstbilag 1. Figur 10, 11 og 12 viser decay-kurvene for ledere observert i tidsdomenet. Målesignal (μV) av horisontalfeltanomalien er plottet mot måletidspunkt (ms). Måletidspunktet er det tidspunkt etter strømbrydd 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 flattere 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, horisontalfelt, Tunnsjøflyin

Profil	Koordinat	T1	T2	T3	T4	T5	T6
2500N	787,5Ø	0.11	0.32	1.47	1.63	2.93	4.61
2500N	875Ø	0.08	0.24	0.58	0.48	-	-
2400N	800Ø	0.10	0.17	0.32	0.63	1.52	2.65
2200N	825Ø	0.08	0.18	0.38	0.46	1.18	3.04
2000N	725Ø	0.06	0.19	0.31	-	-	-
2000N	800Ø	-0.63	0.14	0.41	-	-	-
1800N	725Ø	0.06	0.15	0.42	0.53	(1.4)	(30?)
1600N	737,5Ø	0.09	0.16	0.69	0.35	-	-
1400N	737,5Ø	0.10	0.13	1.09	-	-	-
1200N	712,5Ø	0.06	0.41	0.24	-	-	-

Figur 10 viser at lederen på profil 2200N har god ledningsevne. Decay-kurven er utholdende og tidskonstanten mellom kanal 6 og 7, T6, er beregnet til 3.04 (ms). Kurven ligger lavt, særlig på de sene tidspunkt, noe som avspeiler liten signalstyrke. På figur 11 gir lederen på profil 2500N en tidskonstant på 4.61 (ms) hvilket ligger i området for massiv kis. På profil 2400N er ledningsevnen tydelig svekket med en tidskonstant på 2.65 (ms). De øvrige indikerte lederne har bratte decay-kurver og små tidskonstanter. På profil 1800N, figur 12, kan en beregne en tidskonstant på T6 = ca 30 (ms). Denne er imidlertid svært usikker pga. den meget svake responsen på de sene kanalene.

4 DISKUSJON

Meget gode ledere kan av måletekniske årsaker oversees i tidsdomenet ved måling med NGU's TFEM-instrument. Det er ikke mulig å si om det er dette som skjer på flere profiler ved Tunnsjøflyin hvor tidsdomenemålingene gir svake eller ingen anomalier mens frekvensdomenemålingene på 25 Hz gir sterke anomalier. Dersom en tenker seg at de induktive strømmene hovedsakelig er opphav til anomalier i tidsdomenet, og de konduktive til anomalier i frekvensdomenet, kan forskjellen på tids- og frekvensdomenemålingene forklares ut fra lederens geometri og EM-koblingen mellom primærfelt og leder. Tidsdomenet (tidlige kanaler) og 25 Hz indikerer stedvis et fall mot sørøst. Dette burde være ideell kobling for induksjon med anlagte kabel. Når så dette gir liten respons i tidsdomenet kan det tyde på en lang, tynn og smal leder med lite areal men med god ledningsevne.

De sterke anomaliene ved 25 Hz i frekvensdomenet kan tyde på samling av konduktive strømmer i en god leder. Primærfeltmålingene (V0-norm) gir meget tydelige, men ikke spesielt sterke anomalier. Den dårlige responsen i tidsdomenet kan også tyde på lite σ -produkt. Når så 25 Hz målingene tyder på god ledningsevne (σ) kan det igjen bety en leder med liten tykkelse og at mineraliseringen av den grunn er uinteressant.

Tolkningen av måleresultatene er noe usikker pga. store forskjeller mellom sene tidskanaler og 25 Hz frekvensdomenet. En har ikke erfaring fra slike resultater tidligere. Med de erfaringer og den kompetanse en har kan en imidlertid vanskelig tenke seg at noen massiv malm av betydelig størrelse kan oversees i tidsdomenet, og tidsdomenemålingene tyder ikke på noen slik malm. Det er imidlertid også helt klart at 25 Hz-målingene indikerer en forholdsvis dyp (75 - 125 m) strømkonsentrasjon uten at en med sikkerhet kan si hva denne skyldes. Som nevnt foran kan forklaringen på manglende tidsdomeneanomali være dårlig EM-kobling og lite σ -produkt mens anomalien i frekvensdomenet skyldes konduktive strømmer.

5 KONKLUSJON

Elektromagnetiske målinger i tids- og frekvensdomenet, TFEM, i vestenden av Tunnsjøflyin har indikert en leder (e) fra strandkanten og opp på fjellet i en lengde på 1,5 km. Tabell 6 gir en samlet oversikt over indikerte ledere. De eksakte koordinater og dyp for hver leder leses best fra tabell 2, 3 eller 4. Tidsdomenemålingene ga meget svake anomalier i de sørvestligste deler av måleområdet. Den tidligere kjente sonen nærmest vannet ble indikert som en meget god leder. Frekvensdomenemålingene, primærfelt og 25 Hz, indikerte lederen helt opp på fjellet til siste profil. 25 Hz- anomalien på siste profil var sterk, og en har ikke avslutningen på denne.

Tabell 6. Indikerte ledere ved TFEM-målinger, Tunnsjøflyin

Profil	Koordinat	Primærfelt	Tidsdomenet	25 Hz	Lednings- evne	Dyp
2500N	875Ø	Meget svak	Meget svak	-	dårlig	0 - 25 m
2500N	775Ø-825Ø	Meget svak	Meget svak	Sterk	Meget god	0 - 25 m
2400N	787Ø	Svak	Svak	?	Meget god	0 - 25 m
2200N	825Ø-837Ø	Svak	Svak	Meget sterk	Meget god	25 - 75 m
2000N	800Ø	-	Meget svak	-	God ?	>50 m
2000N	725Ø-800Ø	Svak	Meget svak	Sterk ?	God	25 - 50 m
1800N	700Ø-775Ø	Svak(sterk)	Svak	Meget sterk	God	50 - 125 m
1600N	725Ø-750Ø	Svak	Svak	Sterk ?	God ?	25 50 m
1400N	725Ø-750Ø	Meget svak	Meget svak	Svak	Dårlig	25 - 50 m
1200N	712Ø-725Ø	Svak	Meget svak	Svak	Dårlig	75 - 100 m
1000N	675Ø-700Ø	Svak	-	Sterk	-	50 -75 m

Mineraliseringen ser i utgangspunktet ut til å være uinteressant for videre undersøkelser dersom en legger forannevnte tolkning til grunn. Mineraliseringen er trolig en lang, tynn og smal leder med god ledningsevne. Et moment som kan tale for videre oppfølging er den noe usikre tolkningen. Her kan nye målinger med annet måleopplegg enten bekrefte tolkningen eller gi nye opplysninger om lederen. Dette vil også være av stor interesse rent metodisk. Et annet moment er at lederen ikke er avgrenset mot sørvest og hvordan den utvikler seg i den retningen. En kan her tenke seg et kabelutlegg på noenlunde samme sted men med jording lenger mot sørvest helt ned på andre siden av fjellet, f.eks ved Åttattjørna. Dette vil også gi bedre jordingsforhold med dertil sterkere primærfelt og bedre måleforhold. Eventuelle nye målinger må sees i sammenheng med geologiske og geokjemiske data fra området.

6 REFERANSER

Logn, Ø. 1969: Grønndalsfossen kisforekomst. Geofysisk-geokjemisk rekognosering og prøvetaking, Namsskogan, Nord-Trøndelag. *NGU Rapport nr. 905*

Rønning, S. 1995: Helikoptermålinger over Grongfeltet Nord-Trøndelag 1993 og 1994. *NGU Rapport nr. 95.057*

Sakshaug, G.F. 1943: Elektromagnetisk undersøkelse, Hausviken og Grønndalsfossen ved Tunnsjøen i Røyrvik, Nord-Trøndelag. *GM Rapport nr. 38.*

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 indusere sekundære strømmer 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 strømmer 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 lederen direkte. I frekvensdomenet må måldata 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 lederen. I tidsdomenet trenger måldata 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 strømmer vil være noe 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 horisontalkomponent 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 måldata (H-kanalene) og en kan sette grenser for å gradere anomaliens styrke. Lederens ledningsevne er avgjørende for styrken på anomalien, men kvaliteten på lederen 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 strømbrudd (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 strømfor- syning 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 instruksjer gitt av operatøren
- behandler "overflows"
- lagrer data i bobleminne
- overfører data til PC

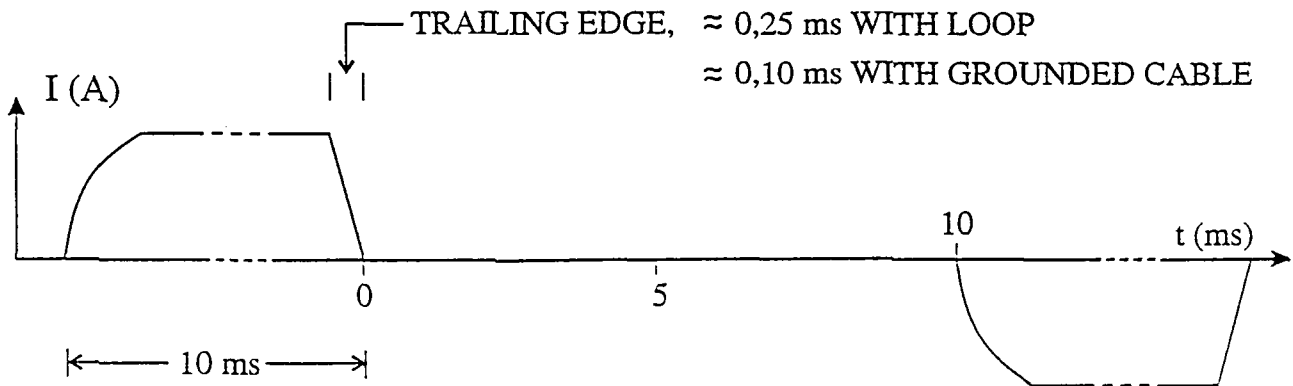
Koblingen mellom sender og mottaker er etablert ved hjelp av høyfrekvente oscillatorer koblet opp mot tellere både i sender og mottaker. Ved å nullstille tellerne ved målingenes start (synkronisering), vet mottakeren til enhver tid hvordan strømforløpet er, og kan styre måleprosessen ut fra dette.

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 tidskanlaene måles i forhold til strømpulsene. For å tilfredsstille krav til følsomhet og frekvensrespons måles de fire første kanalene i tidsdomenet i en spole og de fire siste i en annen spole. Dette gjelder både horisontal- og vertikalkomponenten, derfor 4 målespoler. Figur B2 viser hvordan de to frekvensdomenekanalene måles i forhold til strømforløpet. Periodetiden for den utsendte strømmen er 40 ms, noe som tilsvarer en frekvens på 25 Hz. V8 måles tilnærmet i fase med primærfeltet og V9 tilnærmet ut av fase.

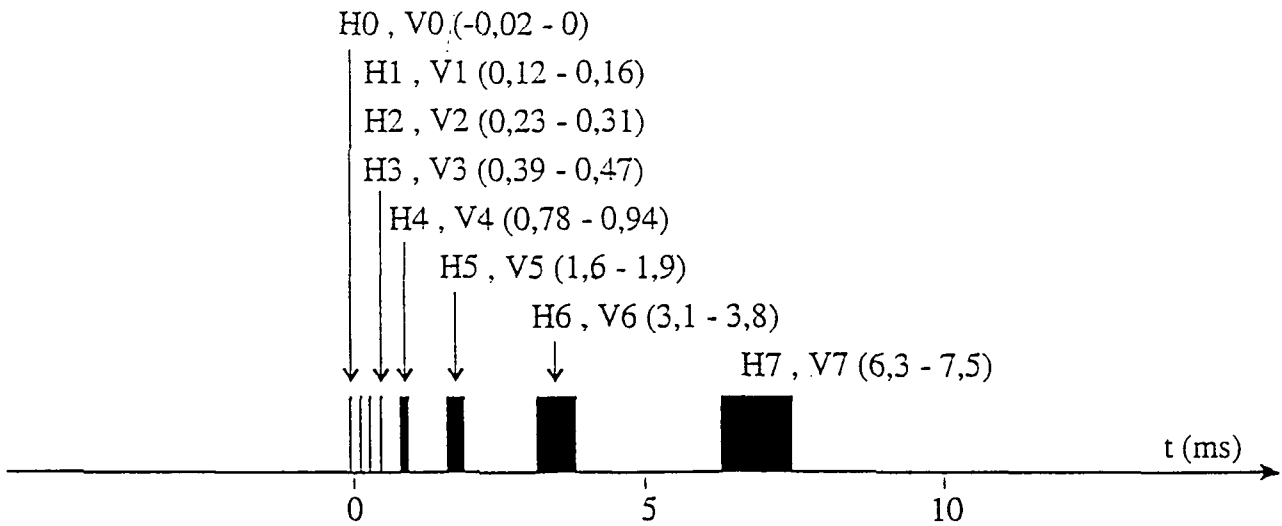
Figur B3 viser datastrømmen fra målespoler frem til presentasjon av data. Hele måleprosessen og all dataoverføring styres av den sentrale prosessoren. Fra målespolen går data via prosessoren til midlertidig lagring i RAM. Under måling utføres kontinuerlig statistiske beregninger, og data overvåkes slik 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, $T = 40 \text{ ms}$ ($f = 25 \text{ Hz}$)

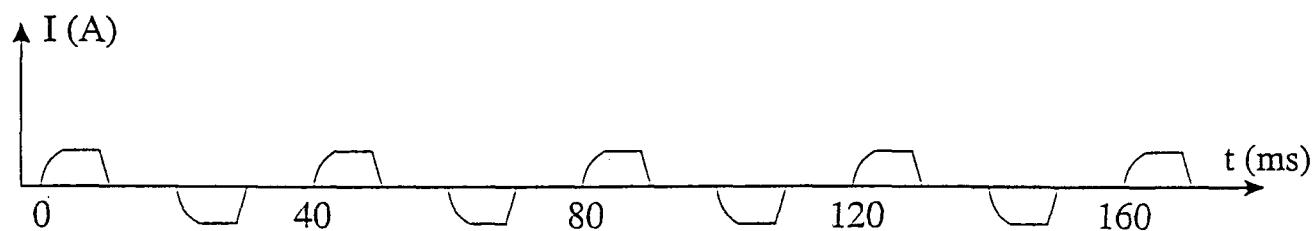


MEASURING TIME (TIME DOMAIN)

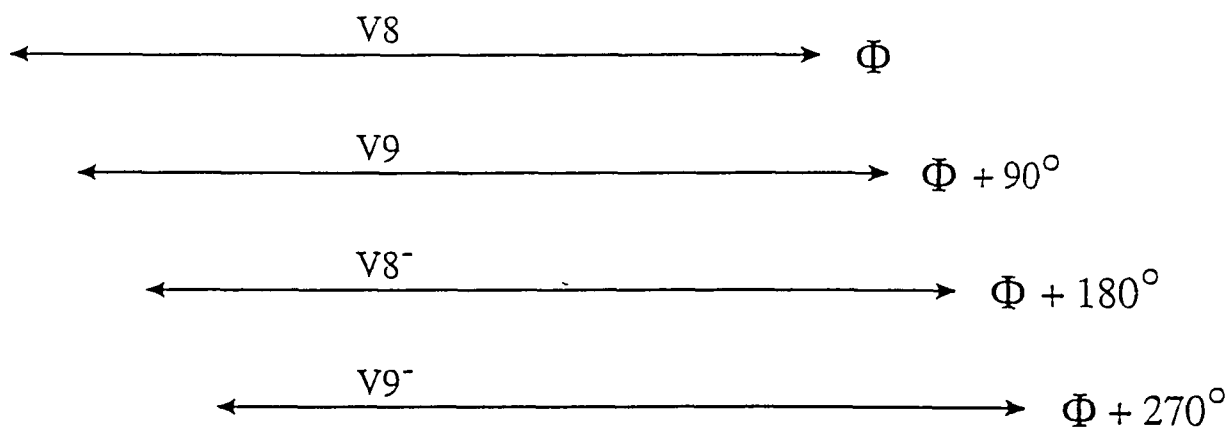


Figur B1. Strømførløp og måletidspunkt for tidsdomenekanalene

CURRENT TIME



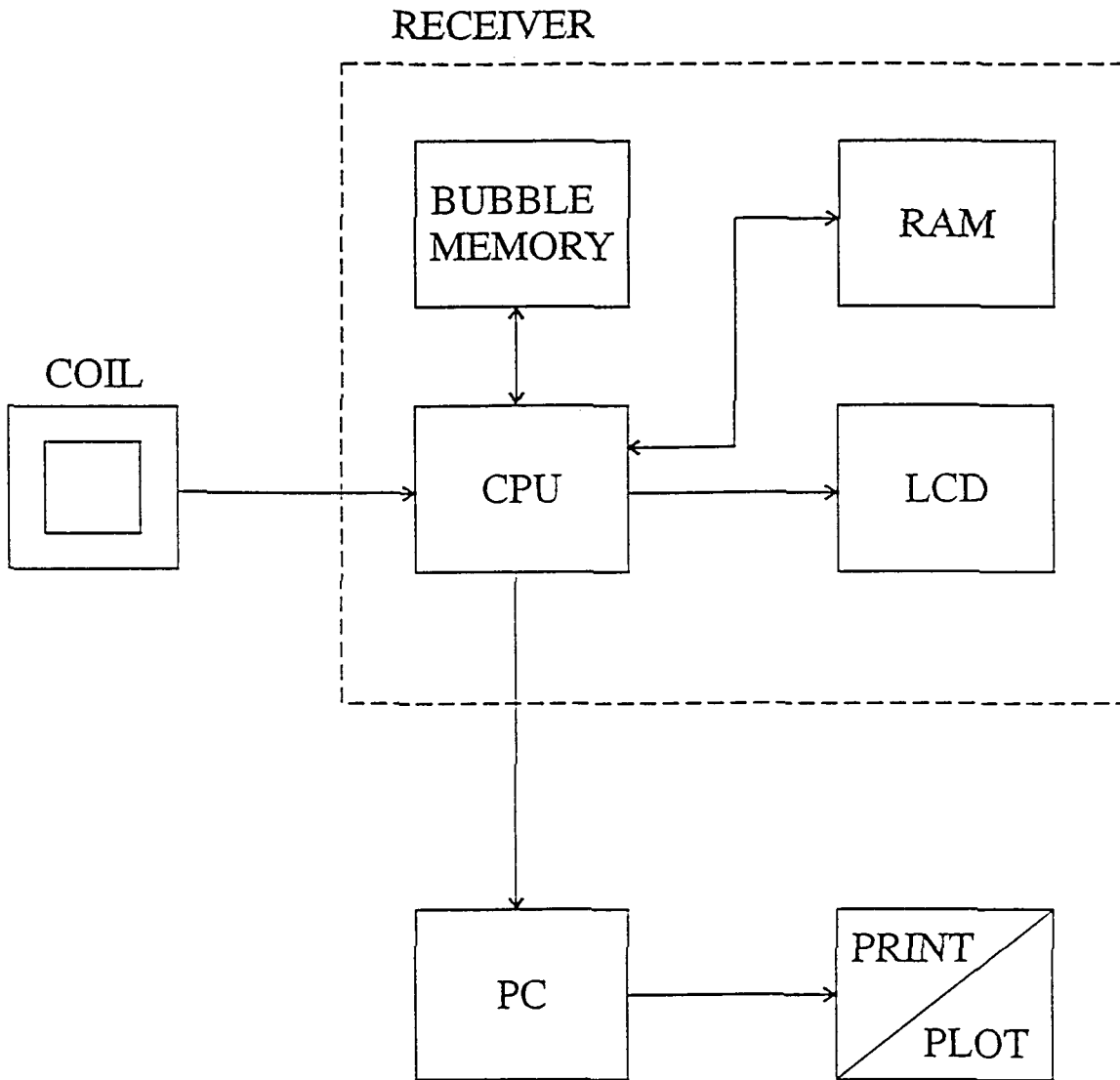
MEASURING TIME (FREQUENCY DOMAIN)



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

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

Figur B2. Strømforløp og måletidspunkt for frekvensdomenekanalene



Figur B3. Flytskjema for måleprosessen ved TFEM-målinger

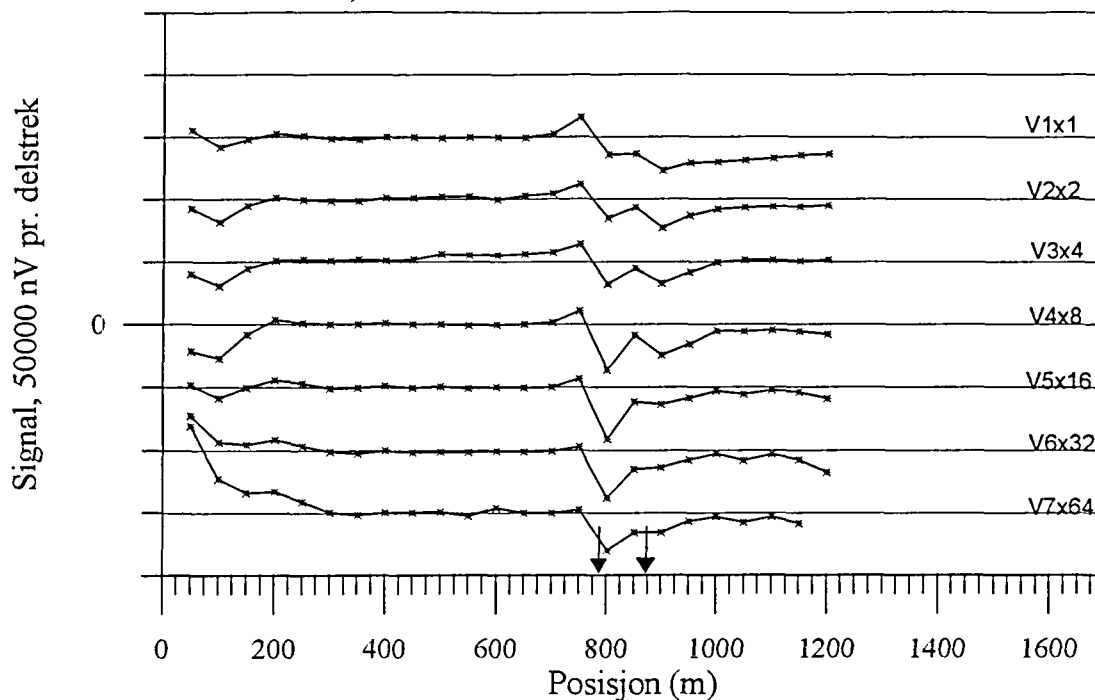
DATABLAG

Figur 1a - 9a, Profilplott av vertikal- og horisontalkanaler i tidsdomenet

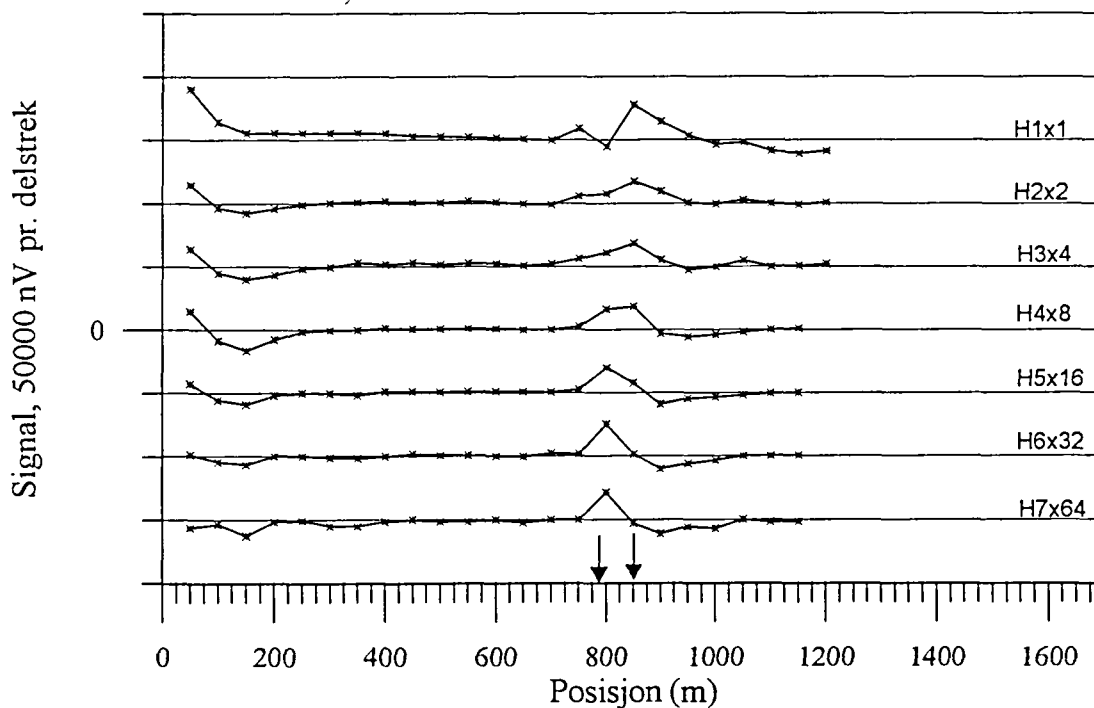
Figur 1b - 9b, Profilplott av normalisert primærfelt og 25 Hz frekvensdomenet

Figur 10 - 12, Transient decay-kurver for indikerte ledere i tidsdomenet

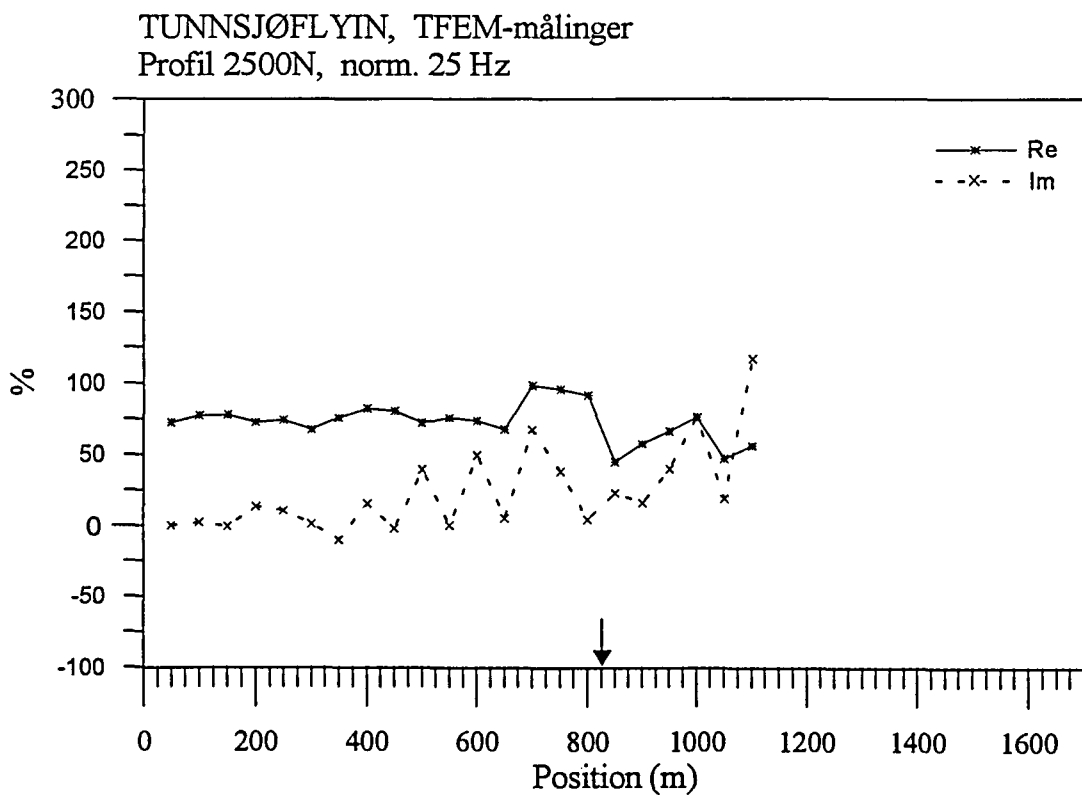
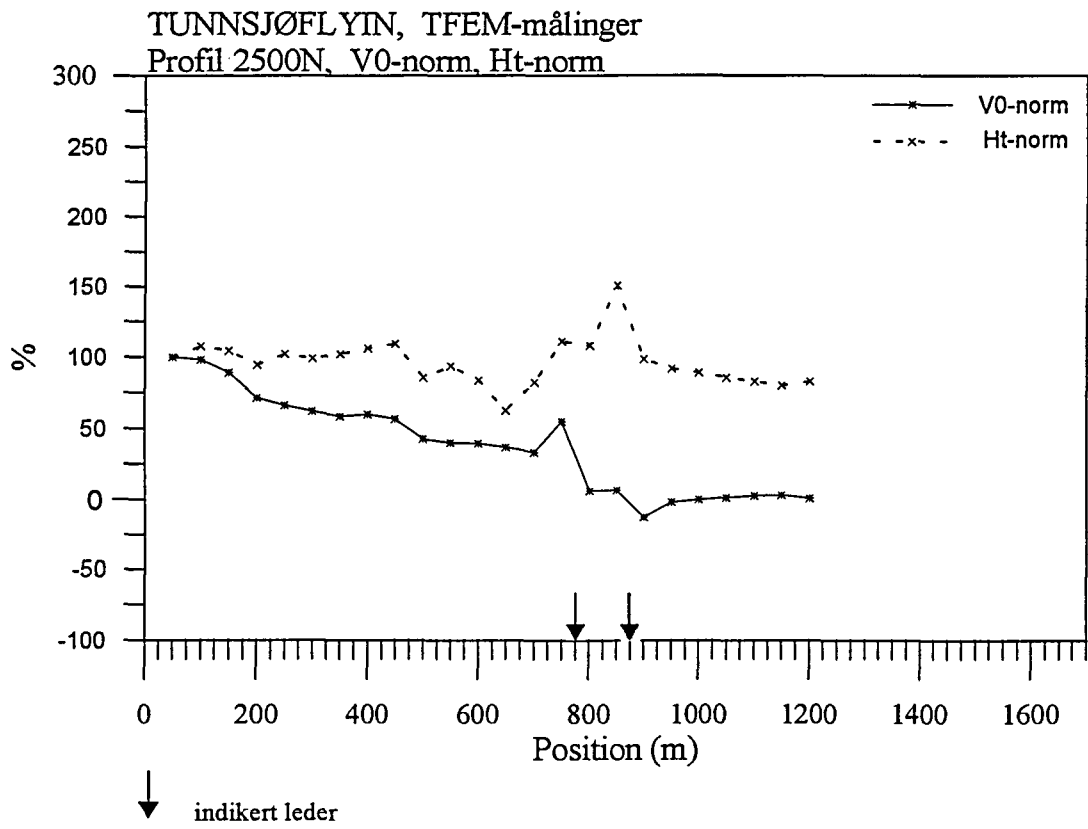
TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
Profil 2500N, V1-V7



TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
Profil 2500N, H1-H7

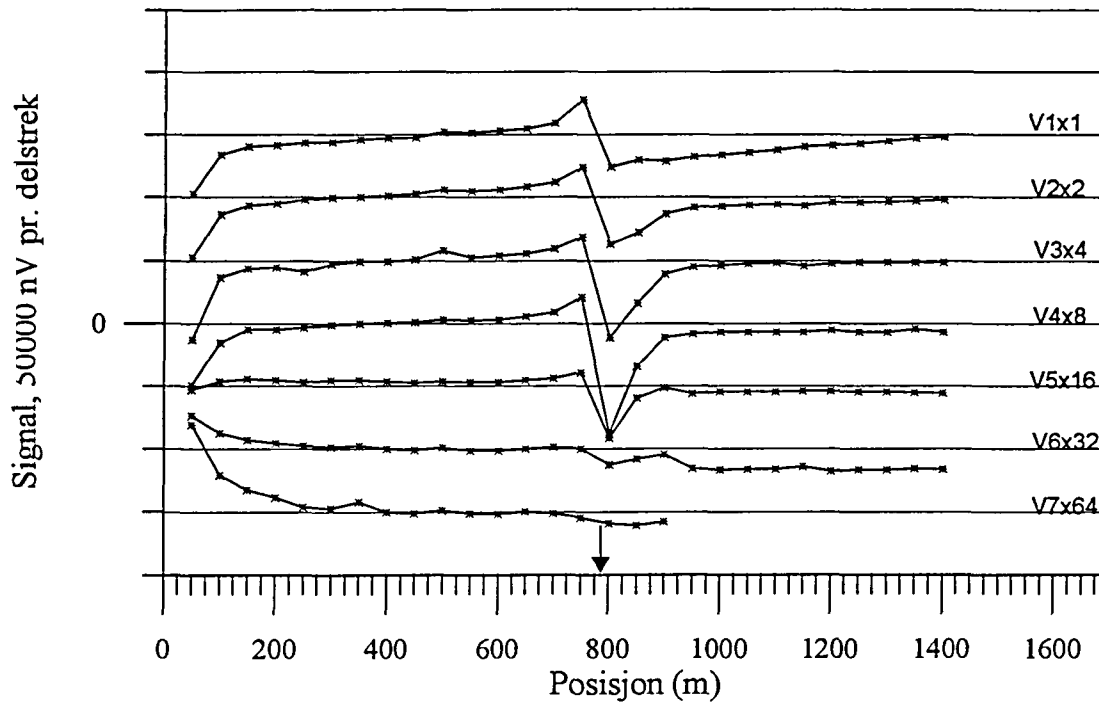


Figur 1a. Vertikal og horisontalkanaler profil 2500N



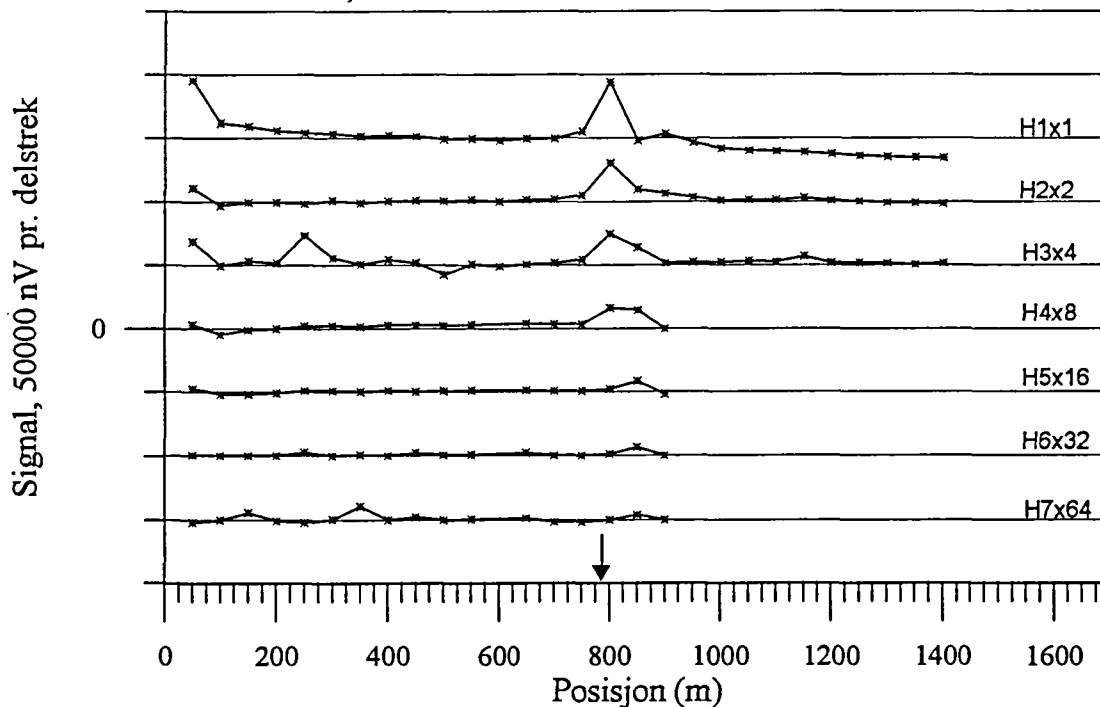
Figur 1b. Normalisert V0, Htot og 25 Hz, profil 2500N

TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
 Profil 2400N, V1-V7

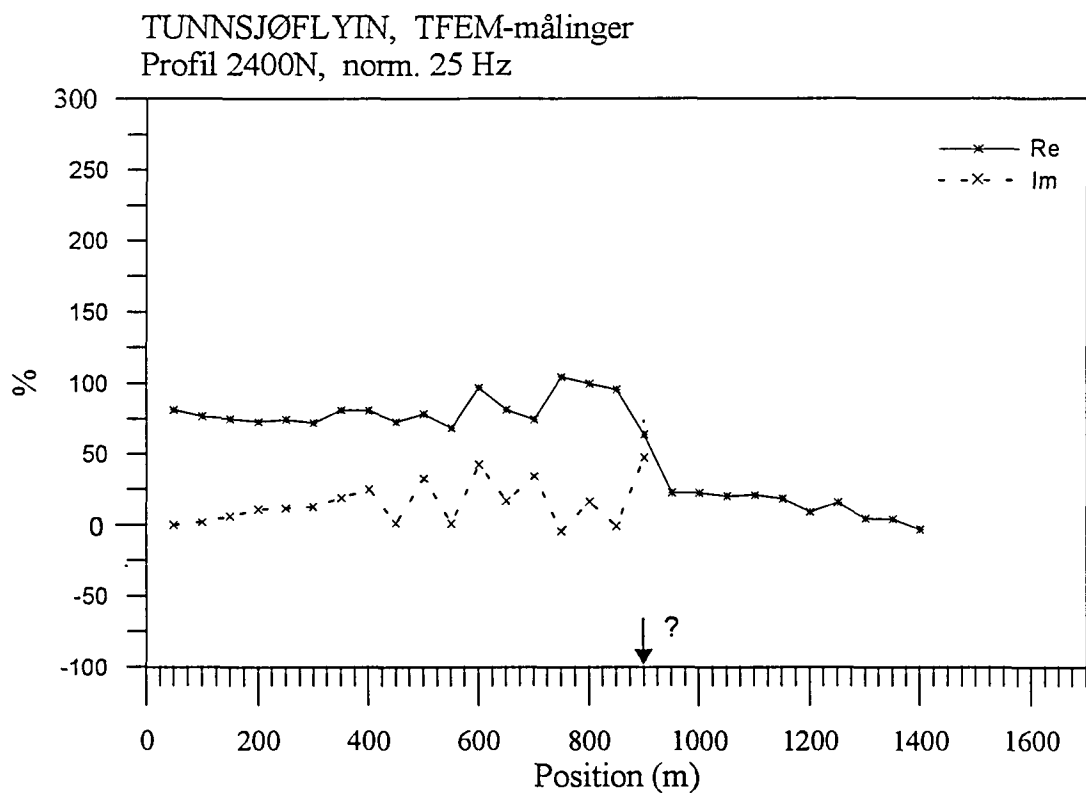
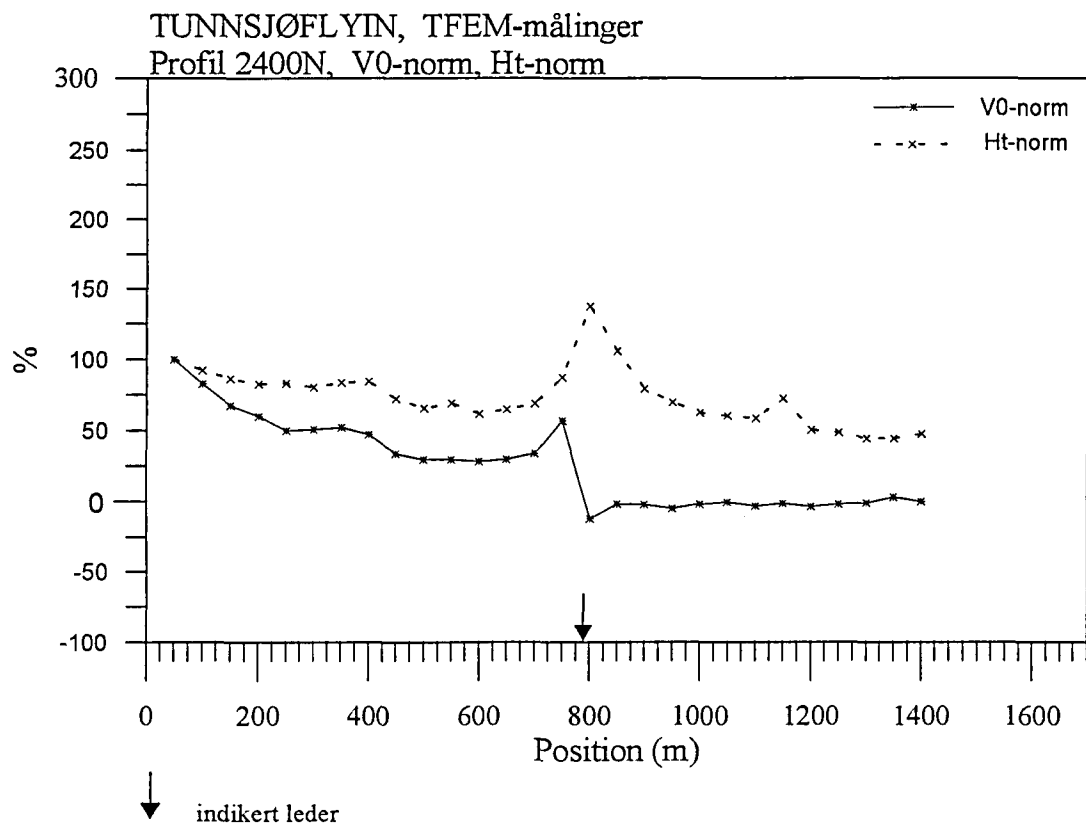


↓ indikert leder

TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
 Profil 2400N, H1-H7

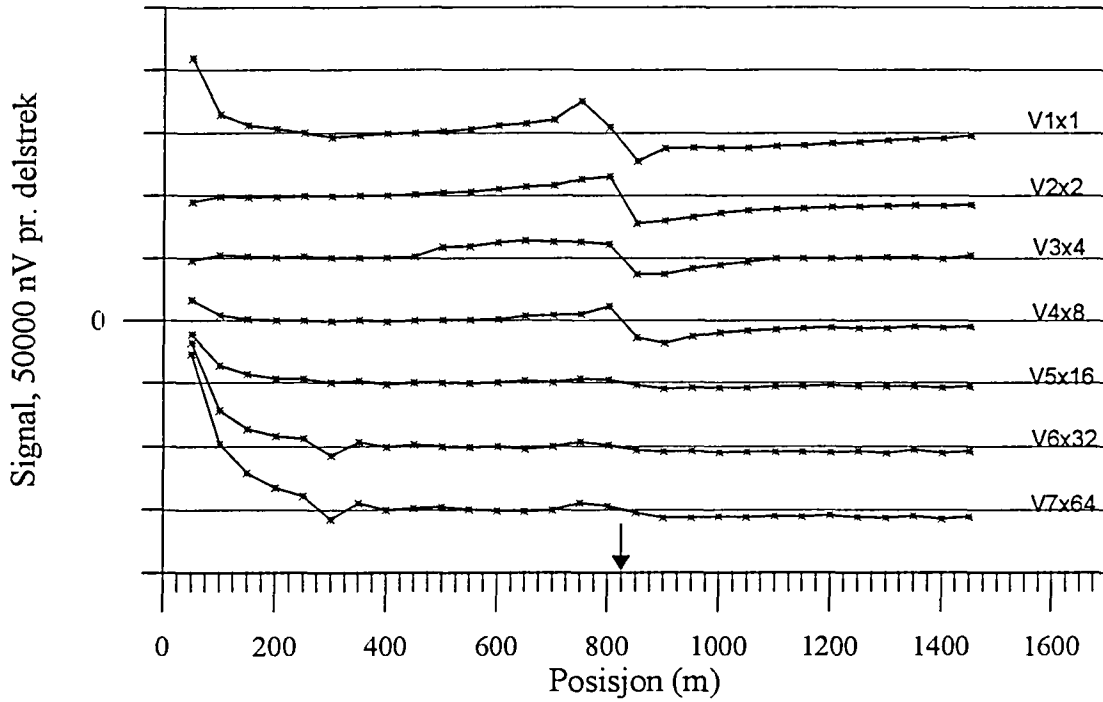


Figur 2a. Vertikal og horisontalkanaler profil 2400N



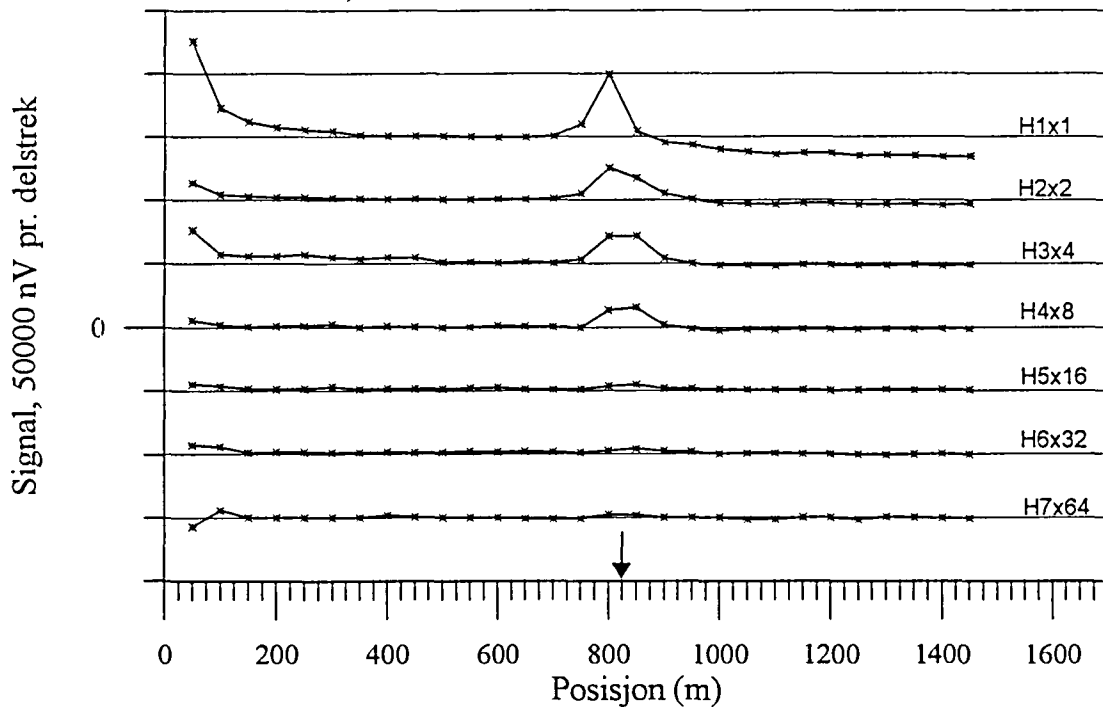
Figur 2b. Normalisert V0, Htot og 25 Hz, profil 2400N

TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
Profil 2200N, V1-V7

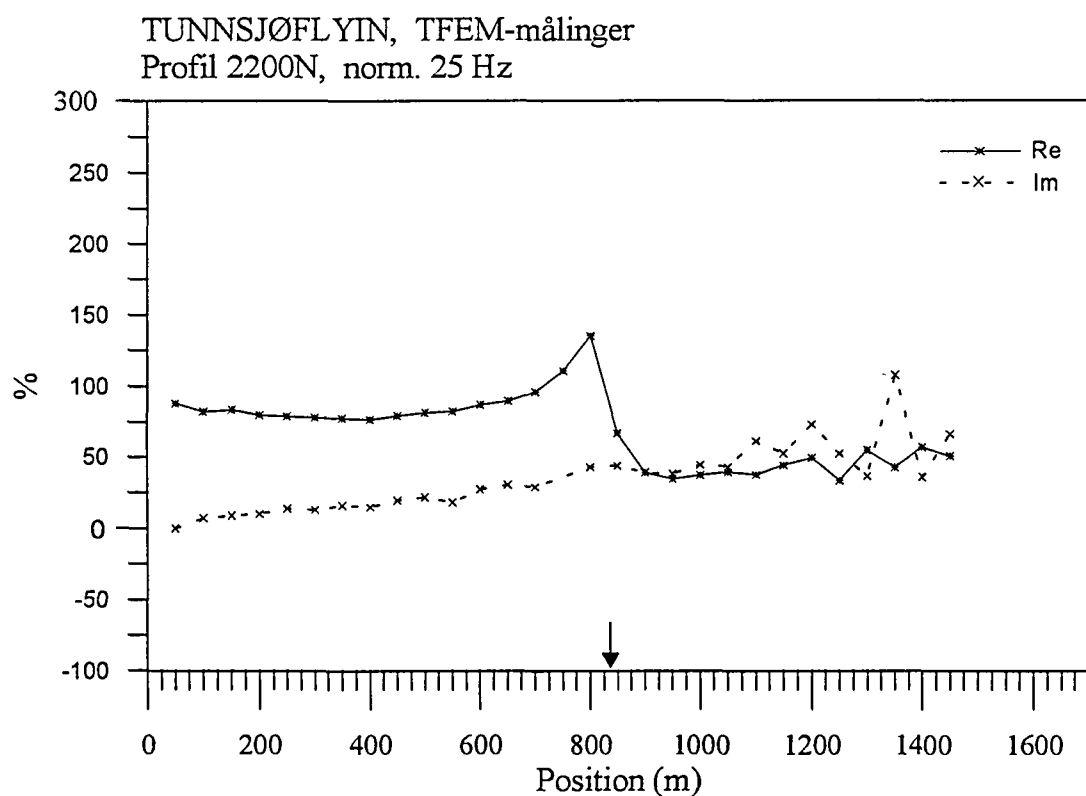
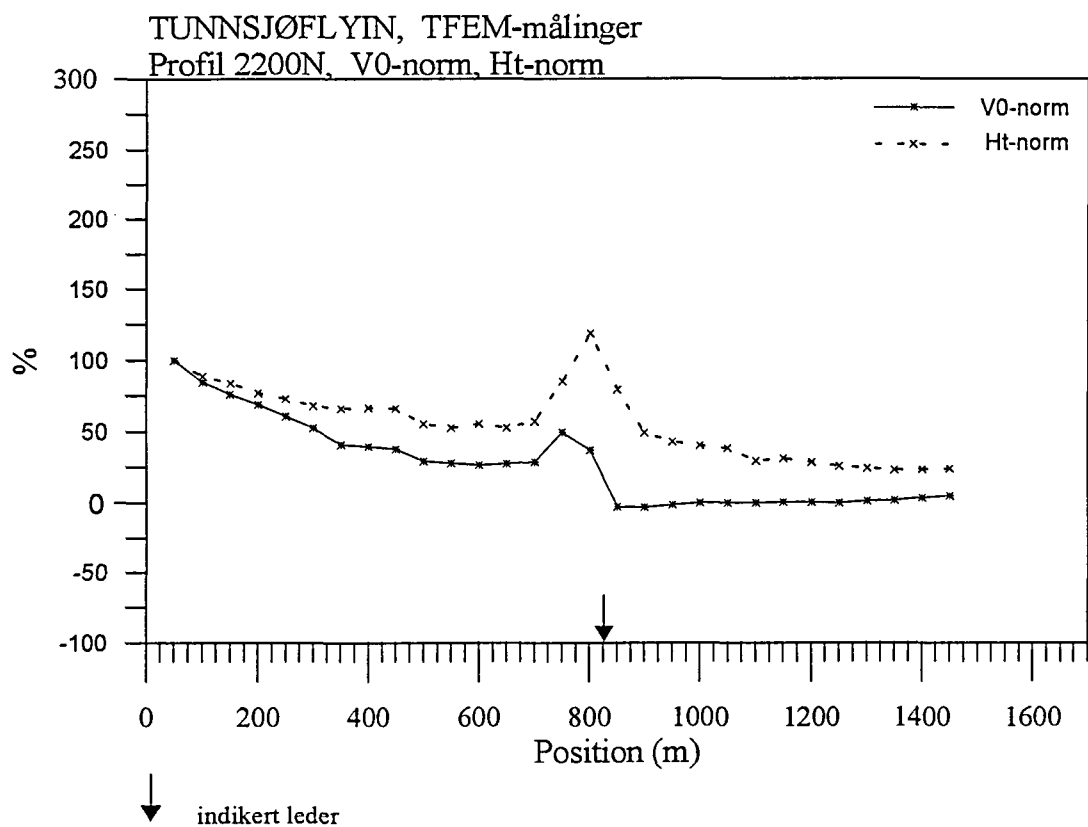


↓ indikert leder

TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
Profil 2200N, H1-H7

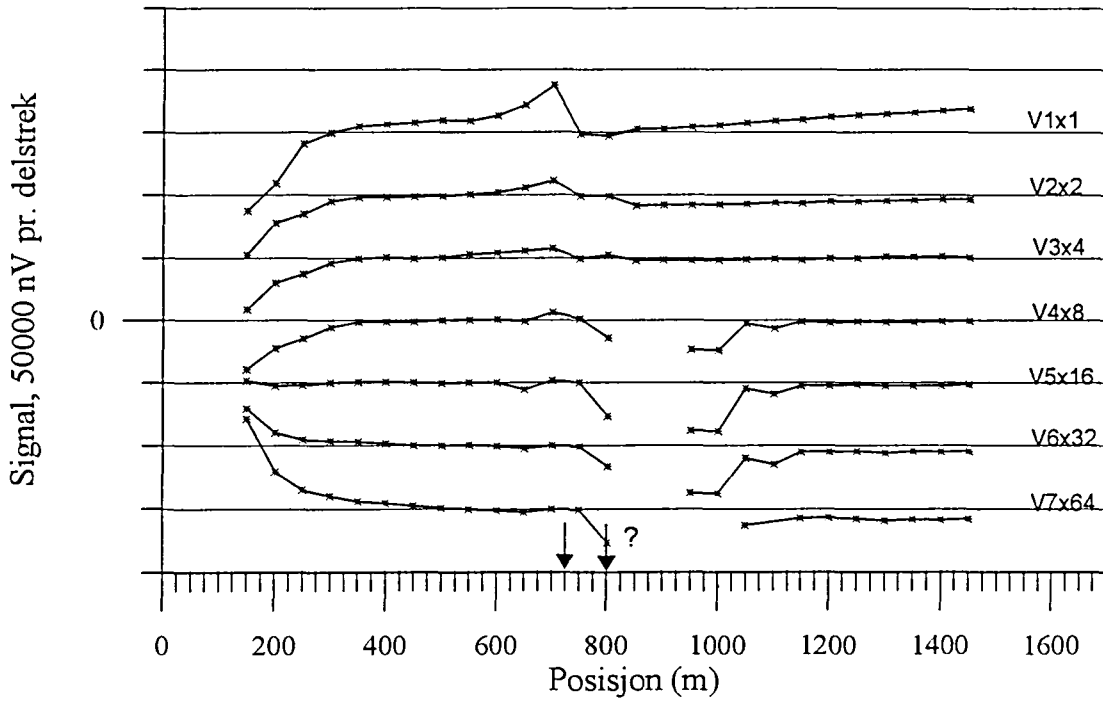


Figur 3a. Vertikal og horisontalkanaler profil 2200N



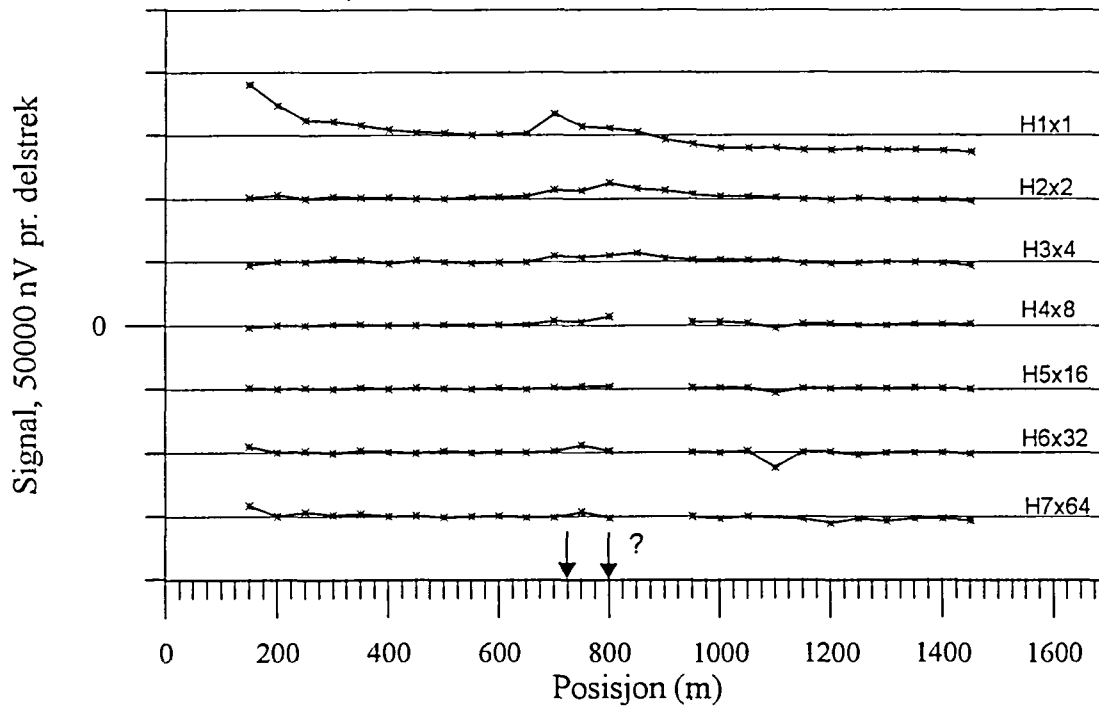
Figur 3b. Normalisert V0, Htot og 25 Hz, profil 2200N

TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
Profil 2000N, V1-V7

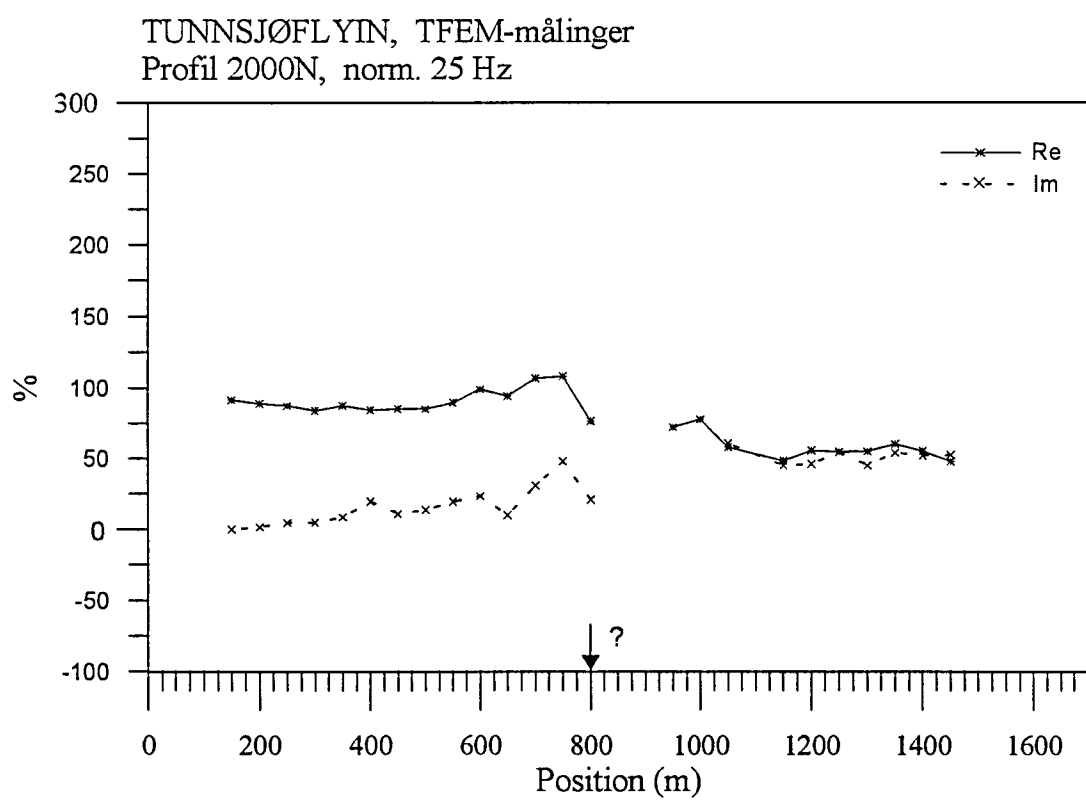
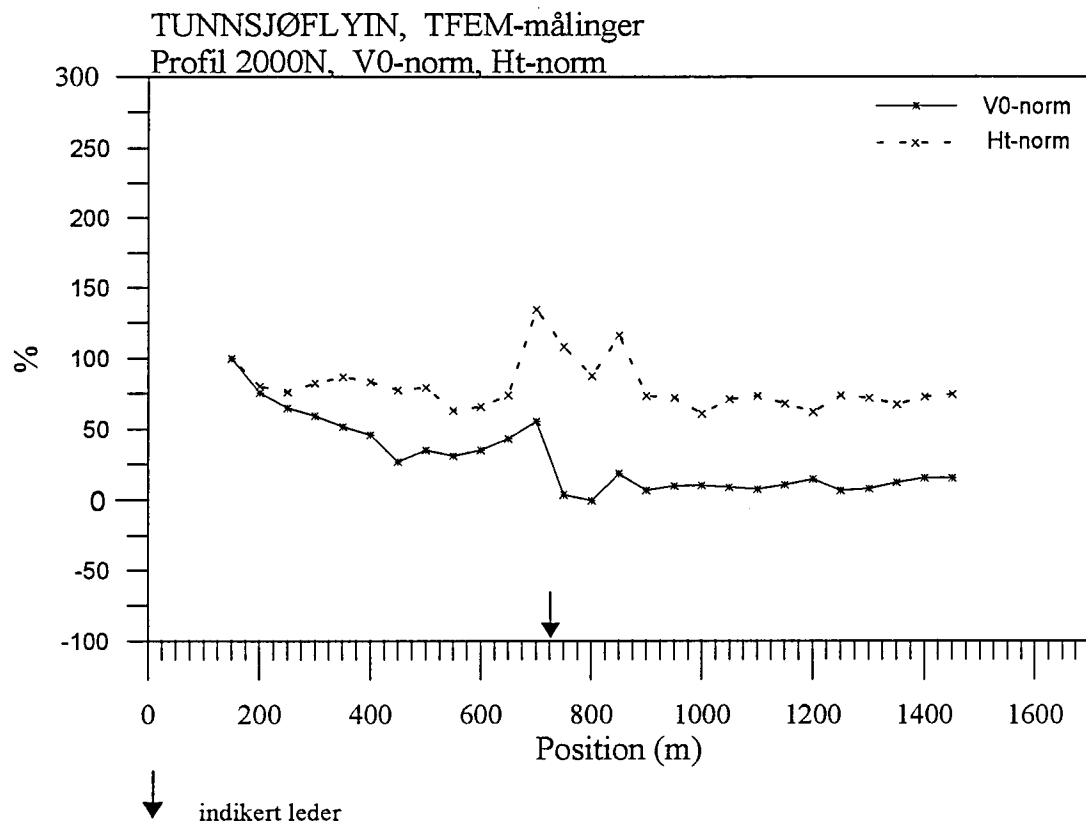


↓ indikert leder

TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
Profil 2000N, H1-H7

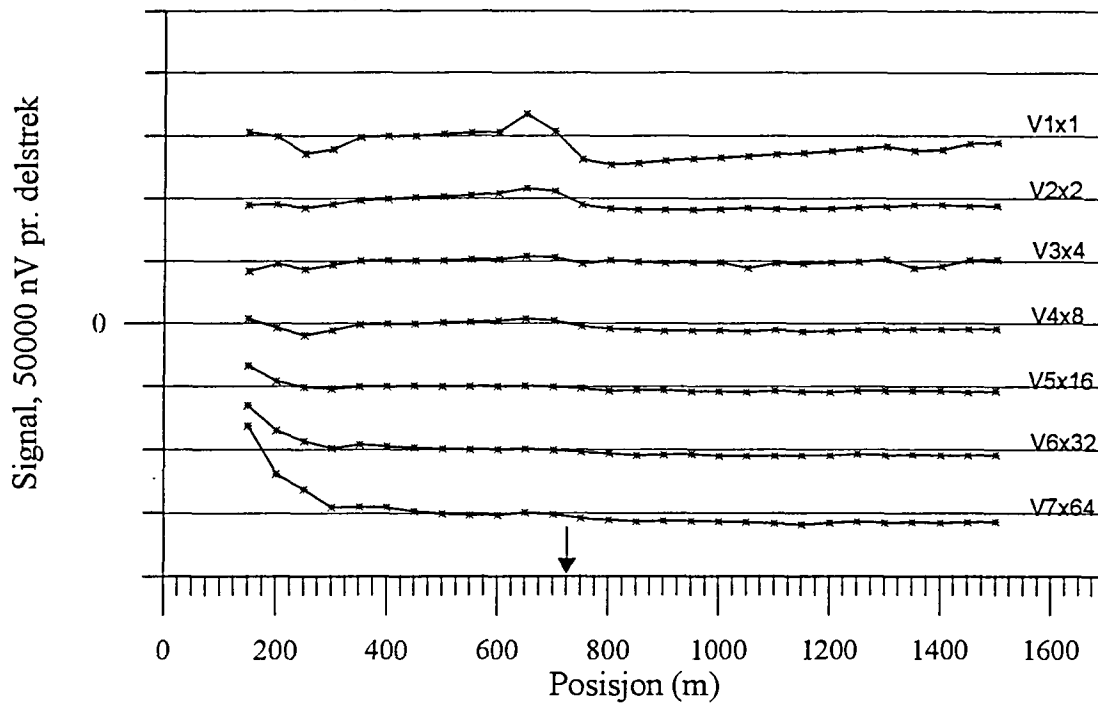


Figur 4a. Vertikal og horisontalkanaler profil 2000N



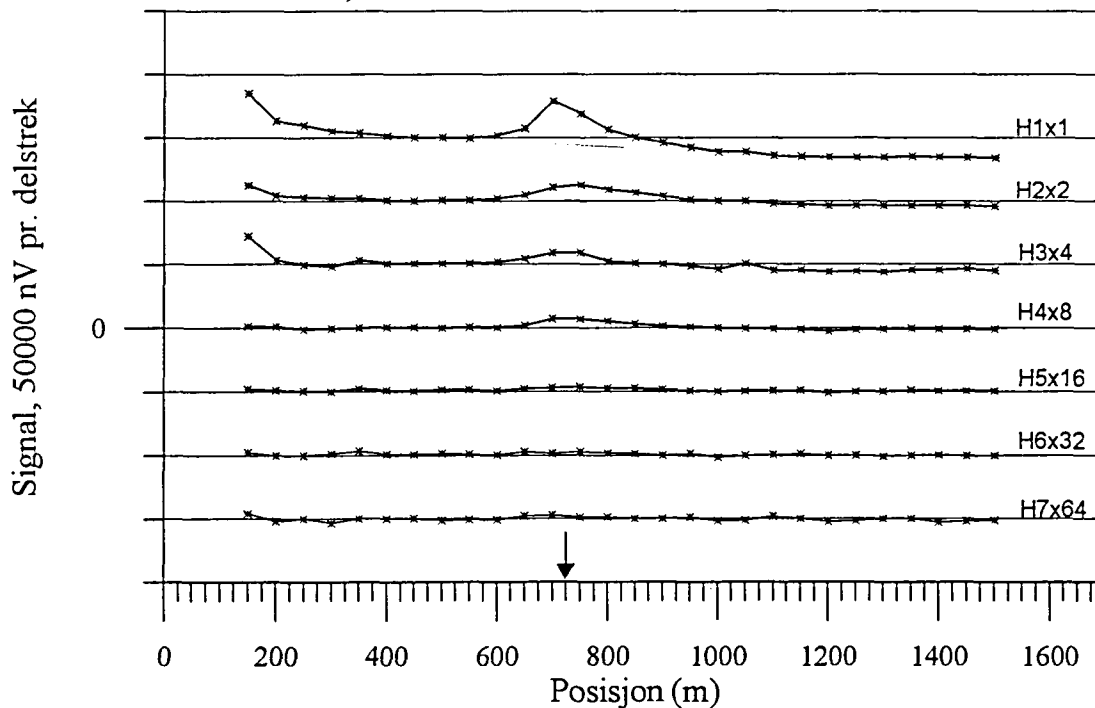
Figur 4b. Normalisert V0, Htot og 25 Hz, profil 2000N

TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
Profil 1800N, V1-V7

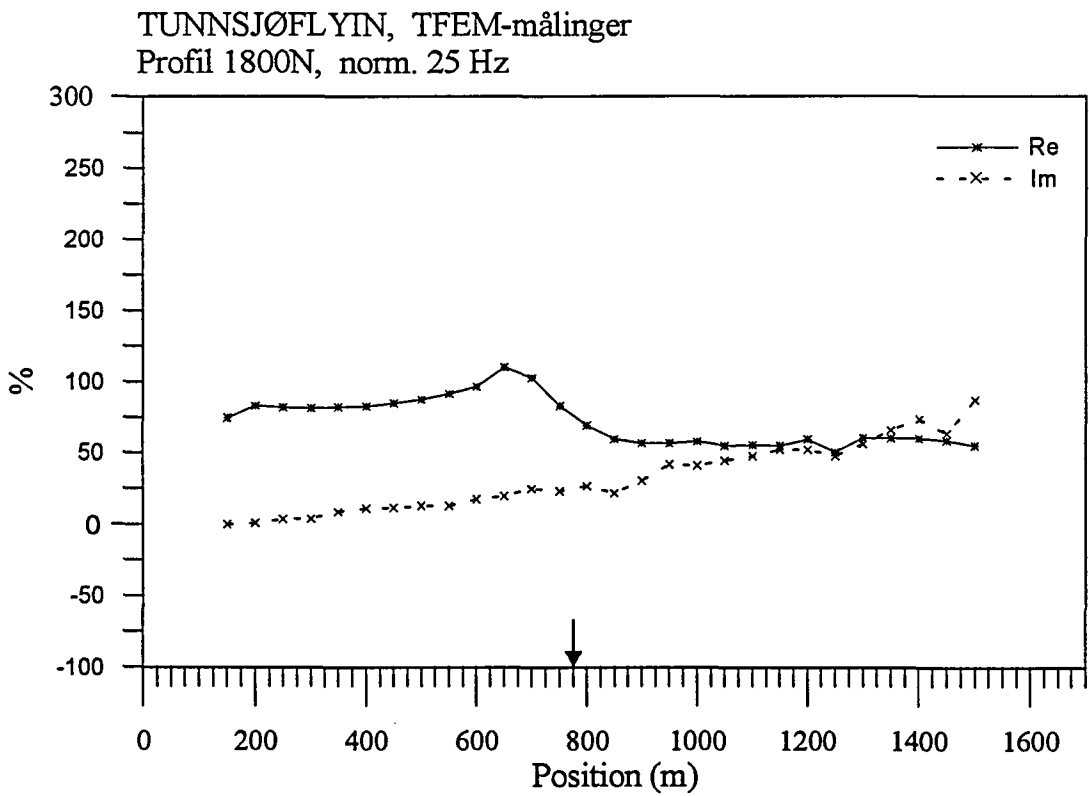
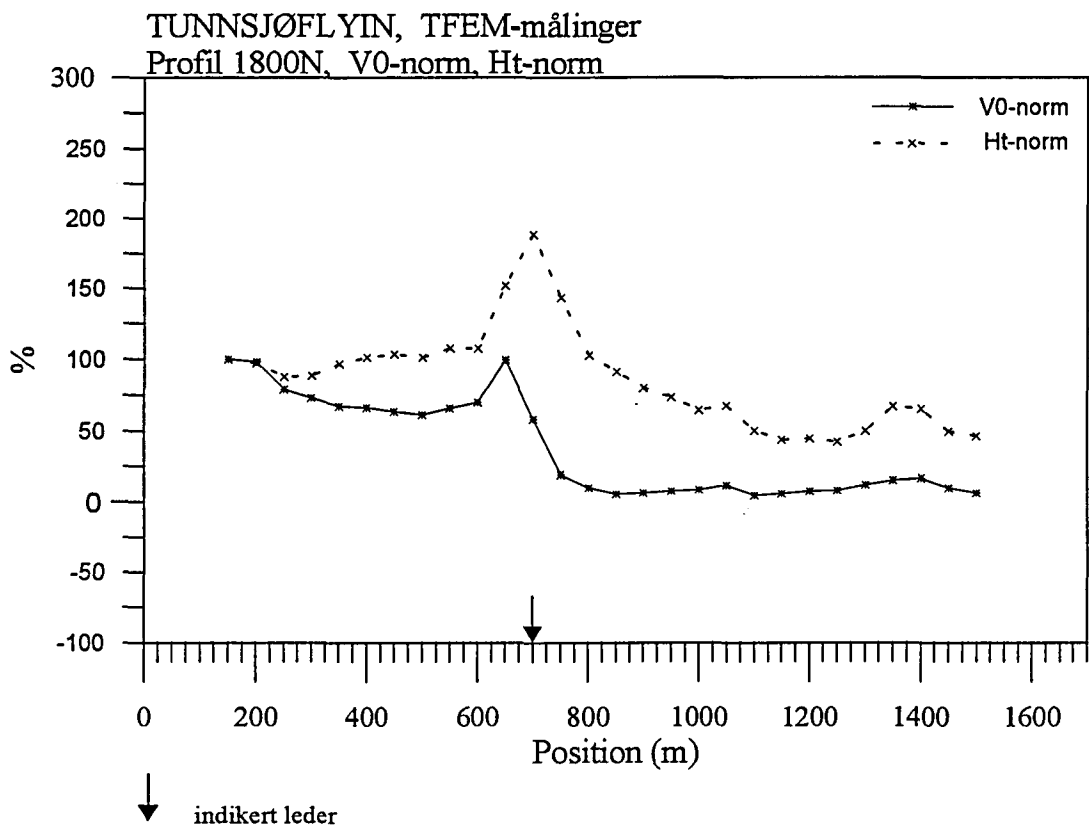


↓ indikert leder

TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
Profil 1800N, H1-H7

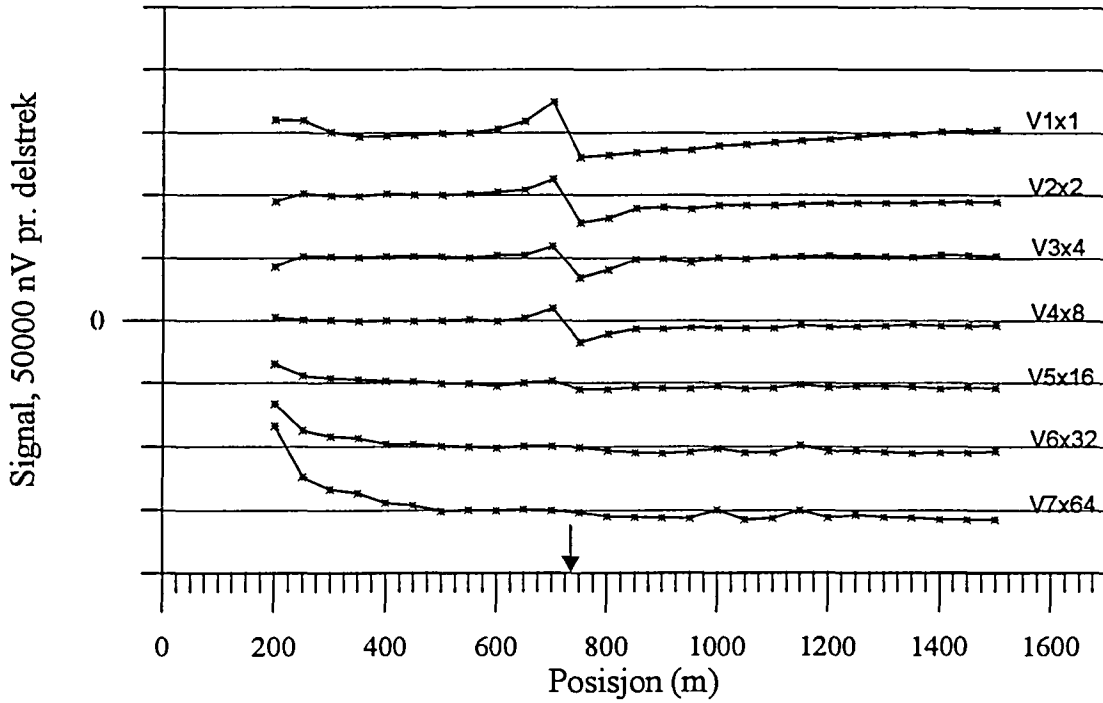


Figur 5a. Vertikal og horisontalkanaler profil 1800N



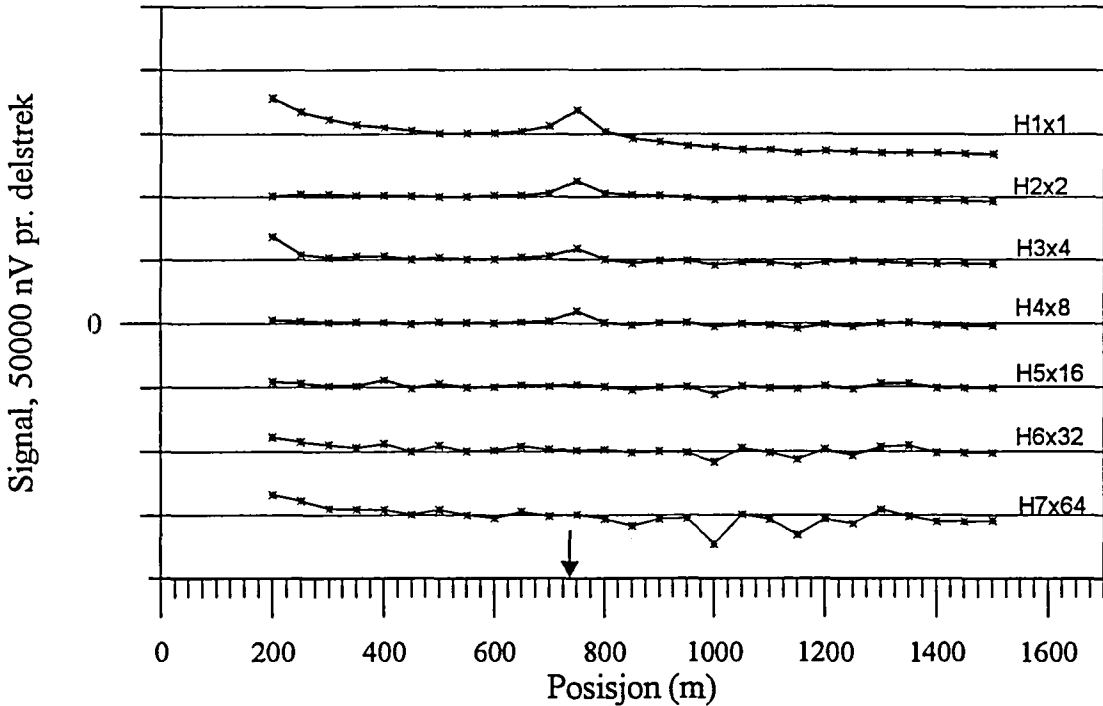
Figur 5b. Normalisert V0, Htot og 25 Hz, profil 1800N

TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
Profil 1600N, V1-V7



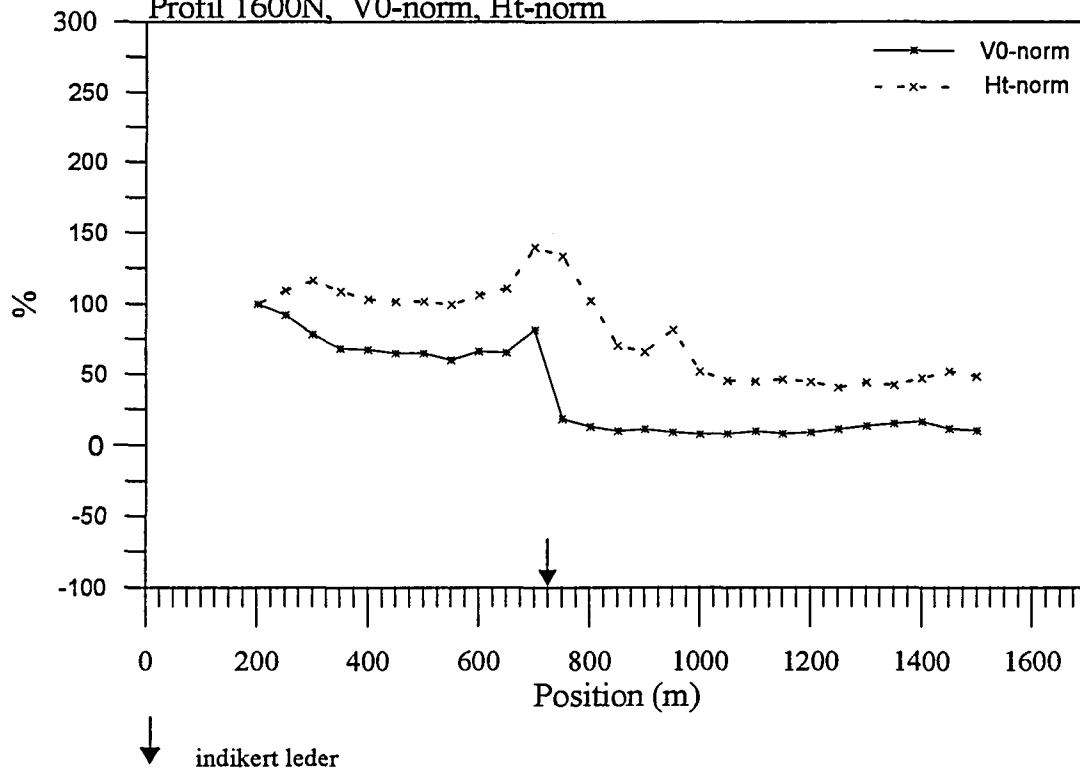
↓ indikert leder

TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
Profil 1600N, H1-H7

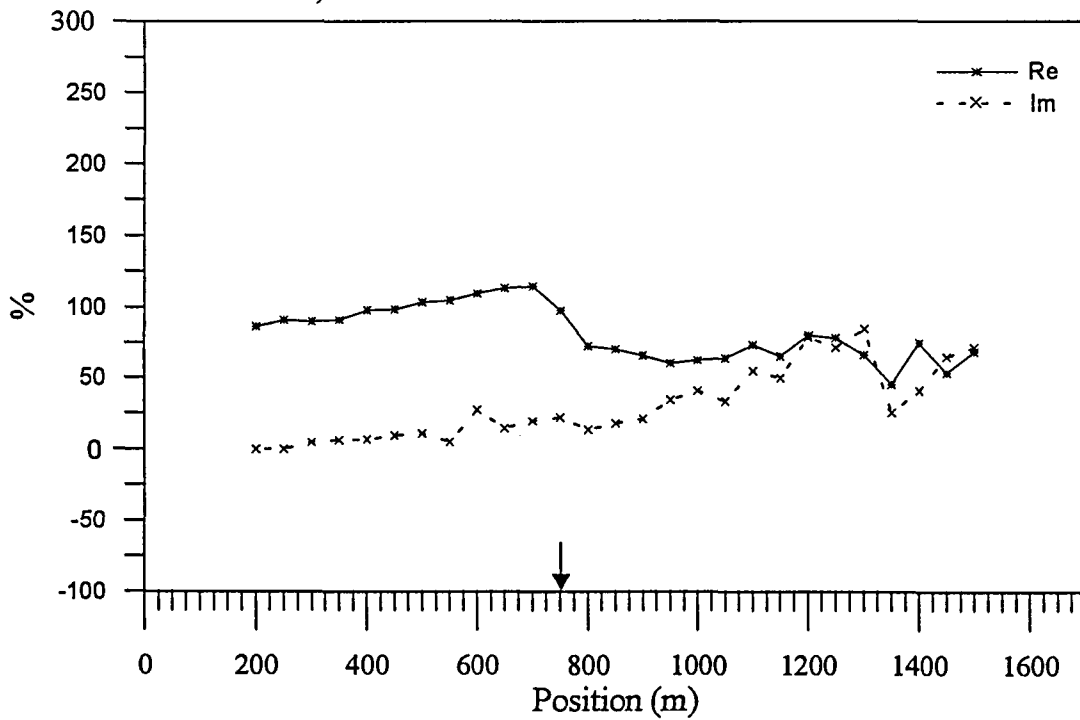


Figur 6a. Vertikal og horisontalkanaler profil 1600N

TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
 Profil 1600N, V0-norm, Ht-norm

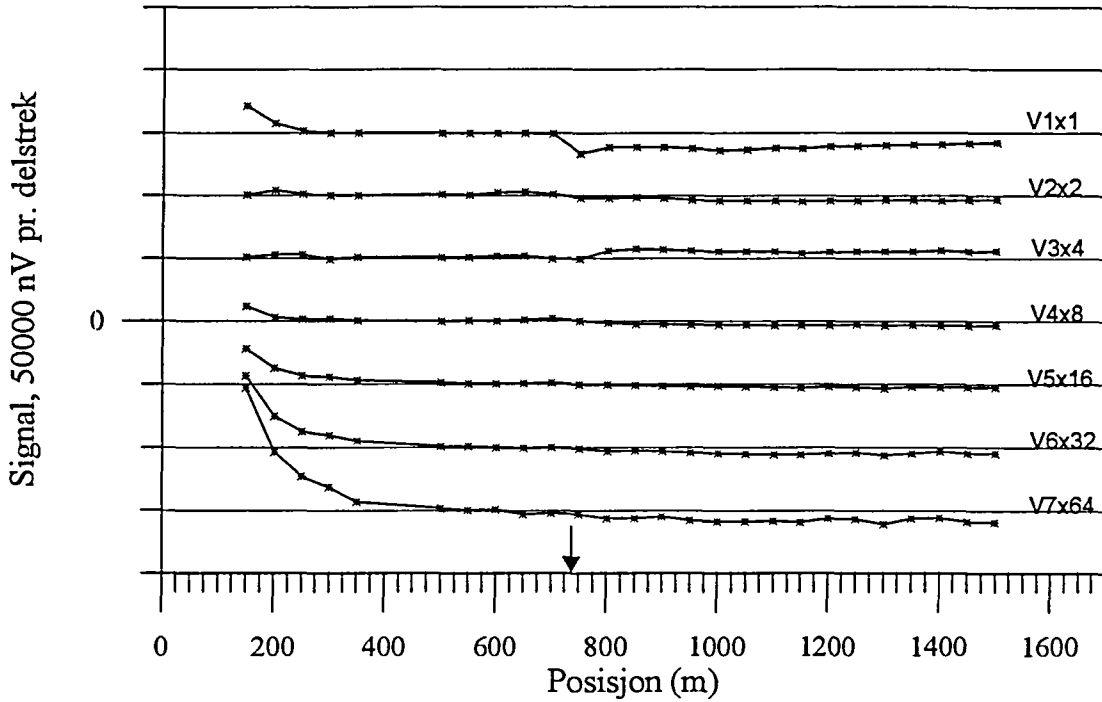


TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
 Profil 1600N, norm. 25 Hz



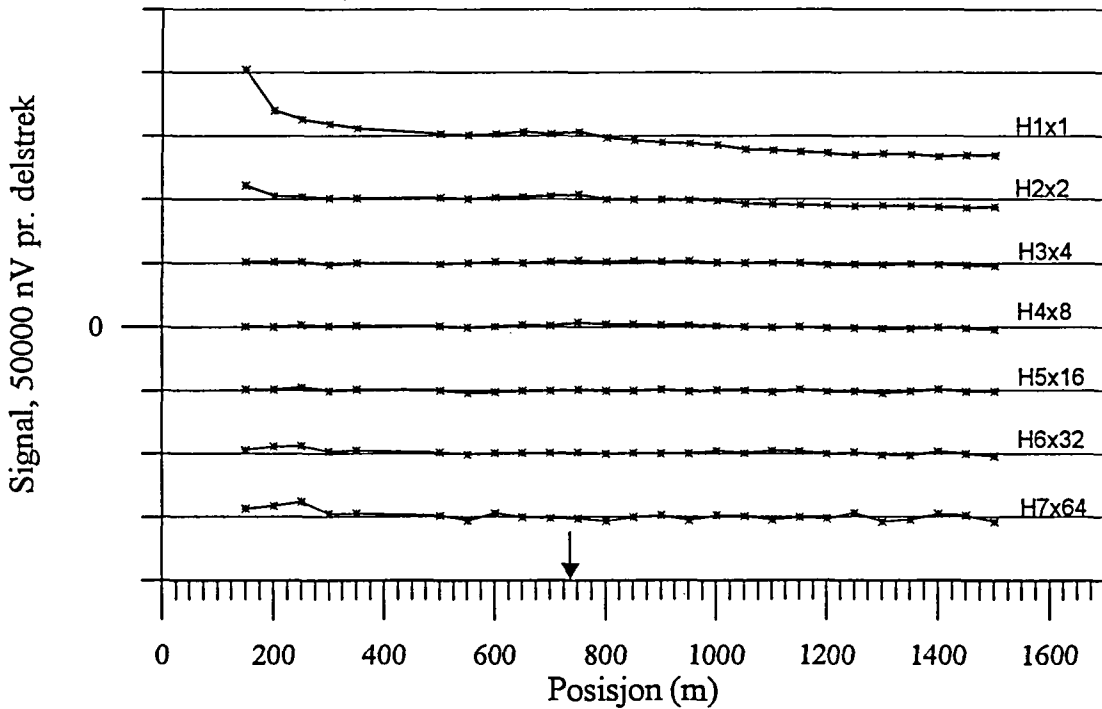
Figur 6b. Normalisert V0, Htot og 25 Hz, profil 1600N

TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
Profil 1400N, V1-V7

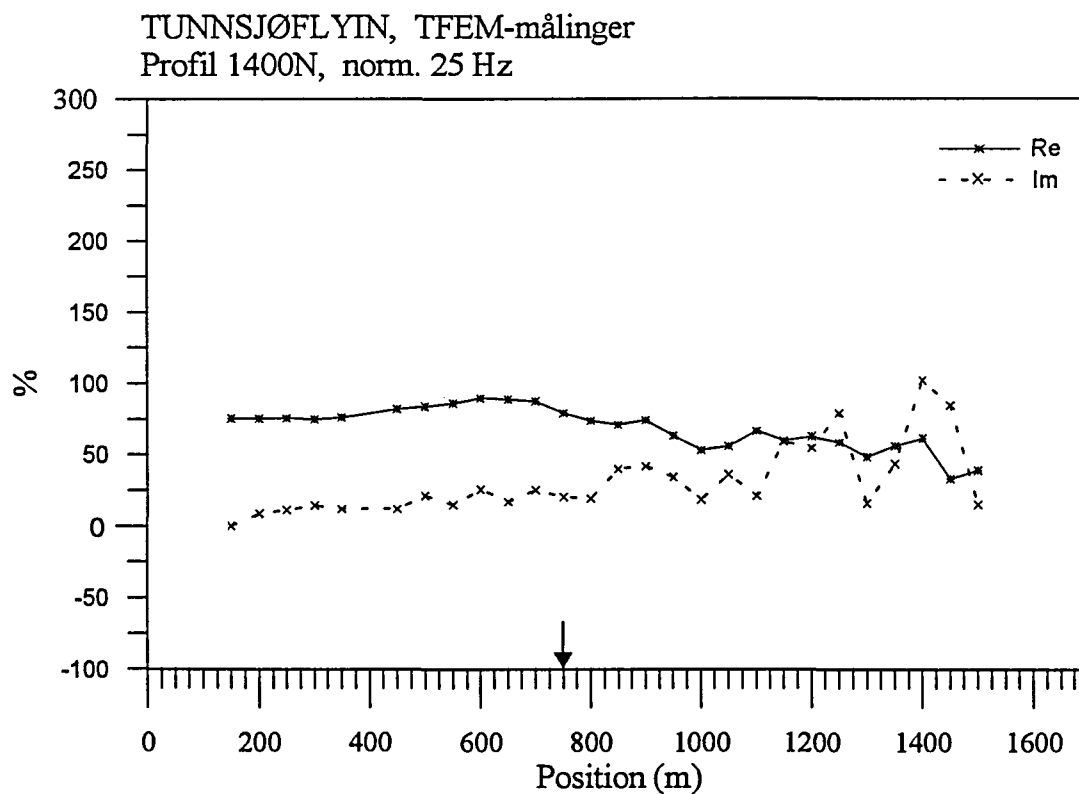
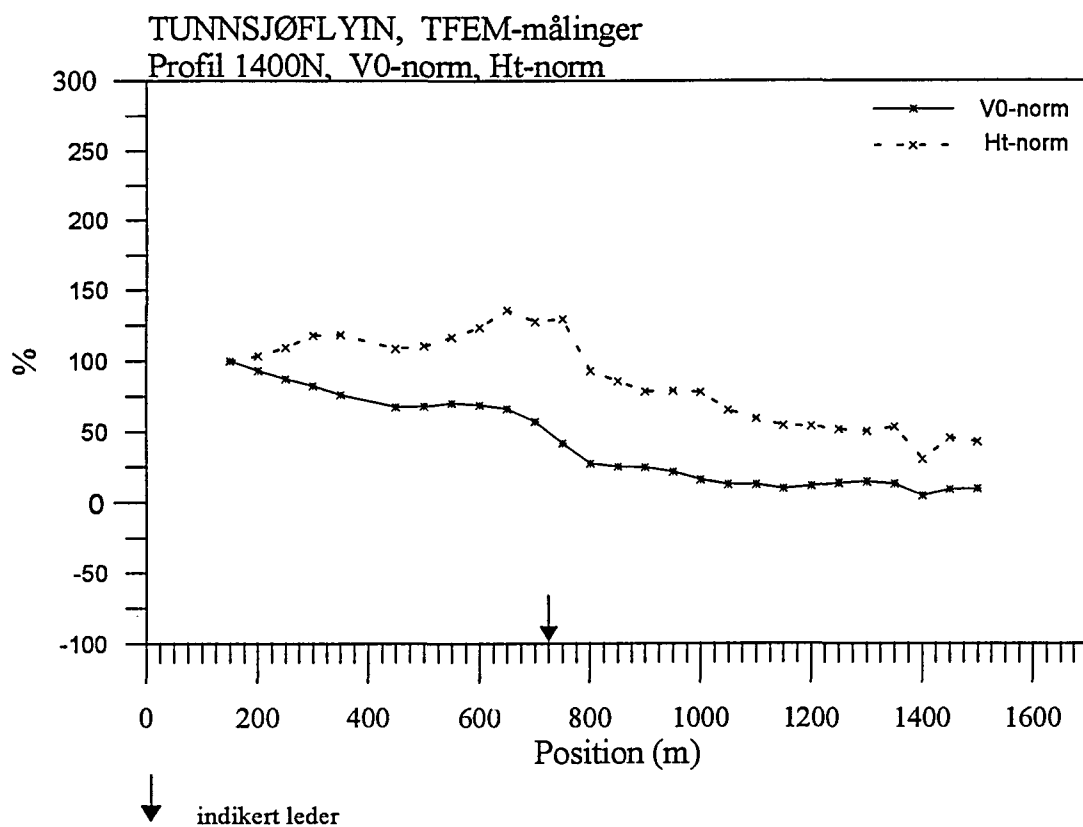


↓ indikert leder

TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
Profil 1400N, H1-H7

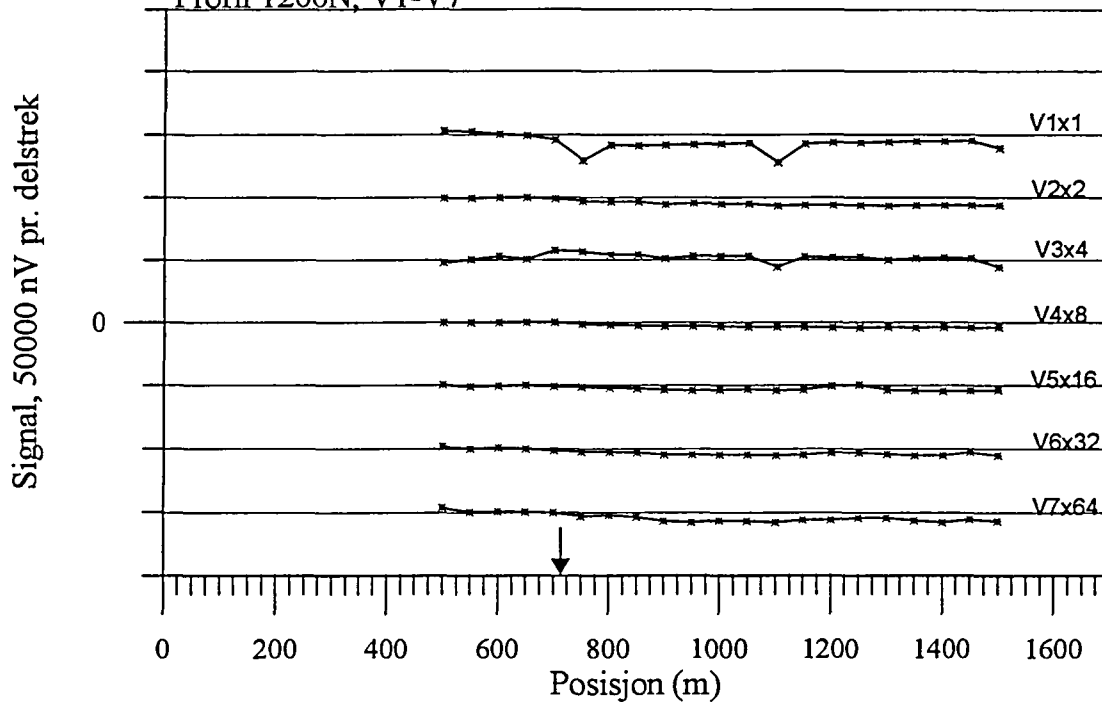


Figur 7a. Vertikal og horisontalkanaler profil 1400N

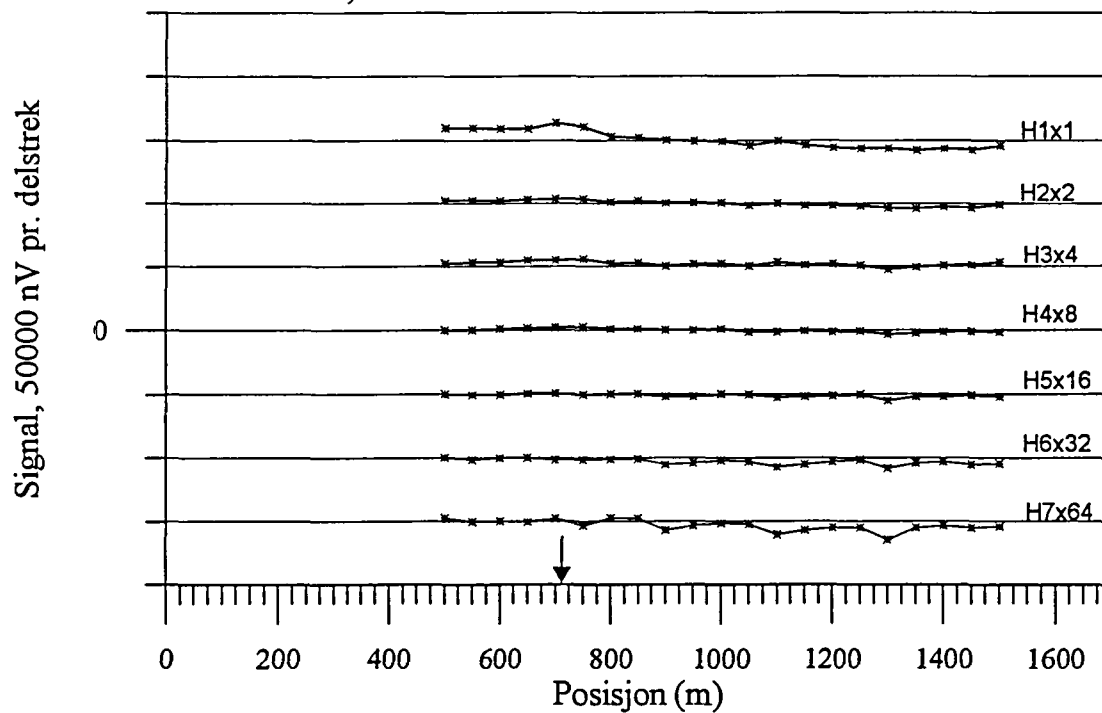


Figur 7b. Normalisert V0, Htot og 25 Hz, profil 1400N

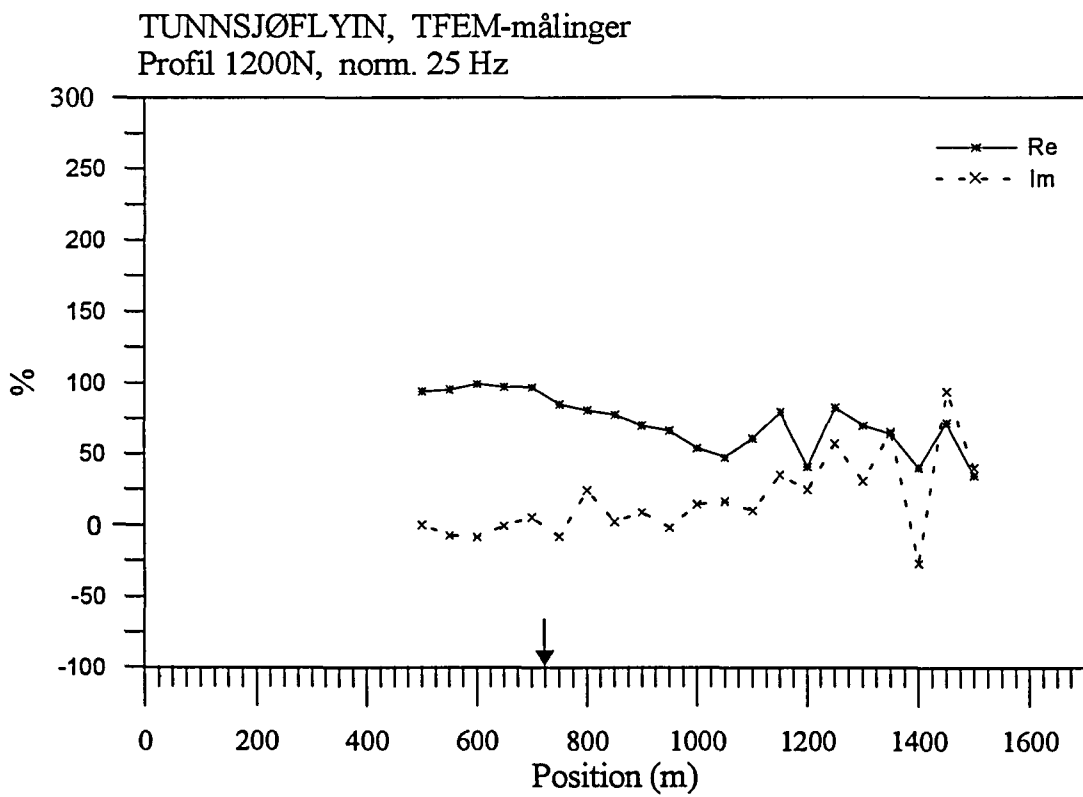
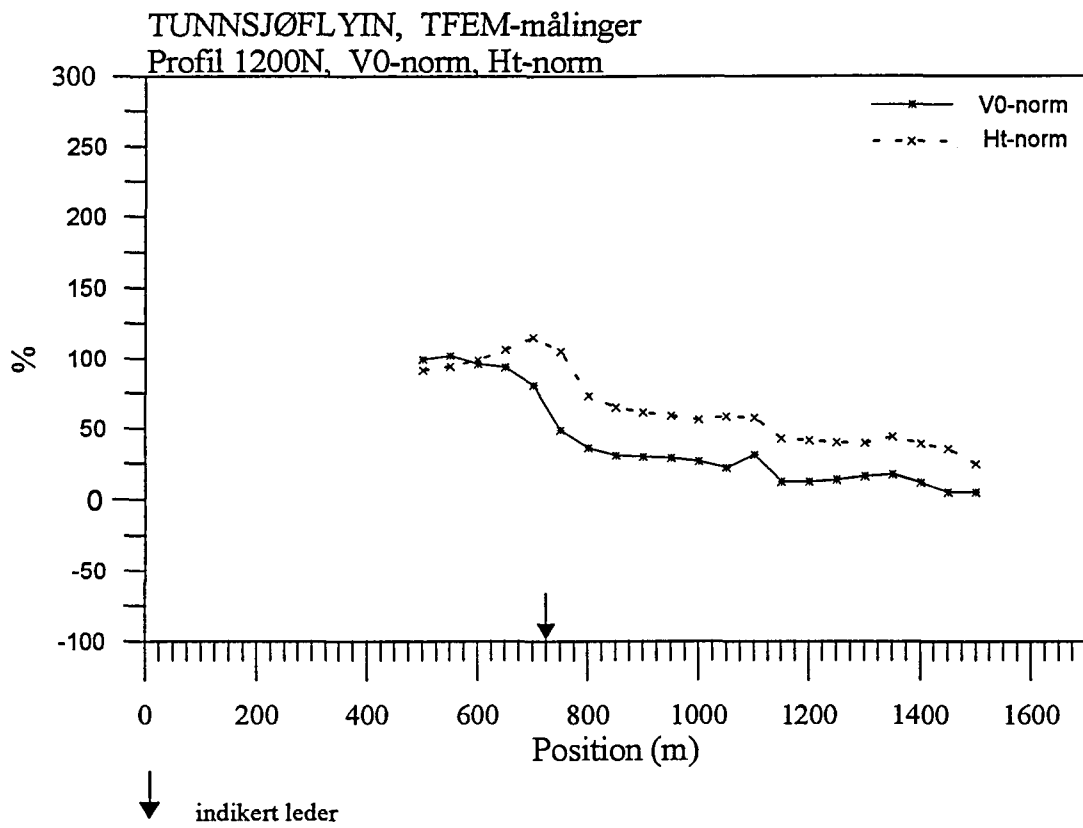
TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
Profil 1200N, V1-V7



TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
Profil 1200N, H1-H7

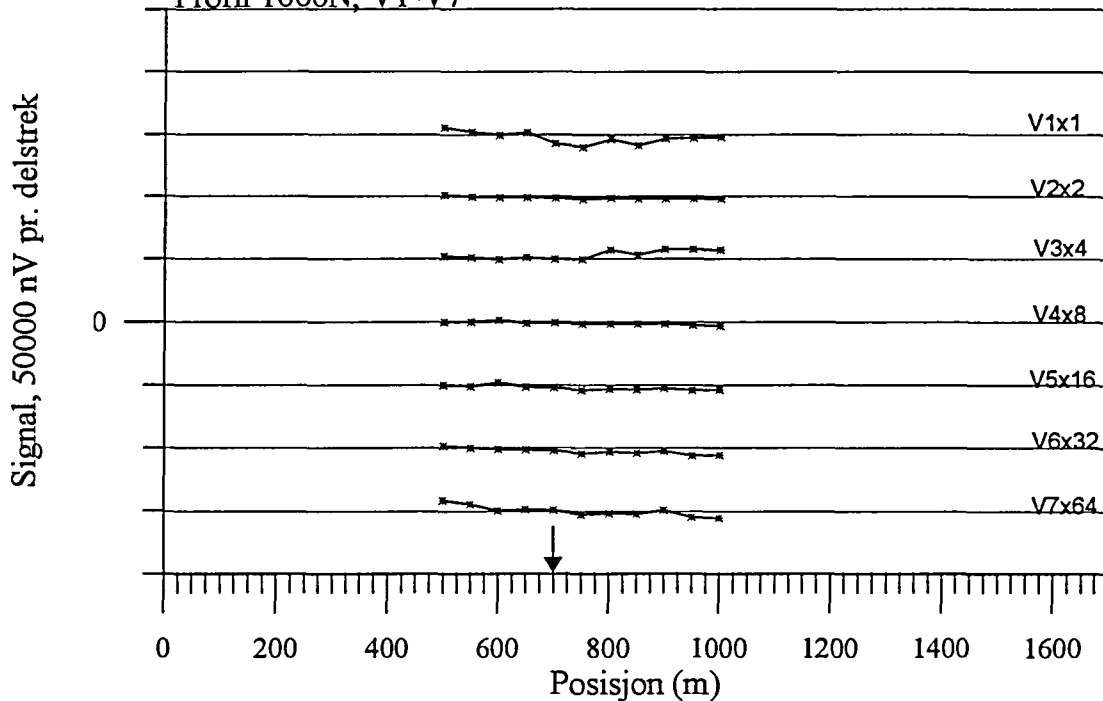


Figur 8a. Vertikal og horisontalkanaler profil 1200N



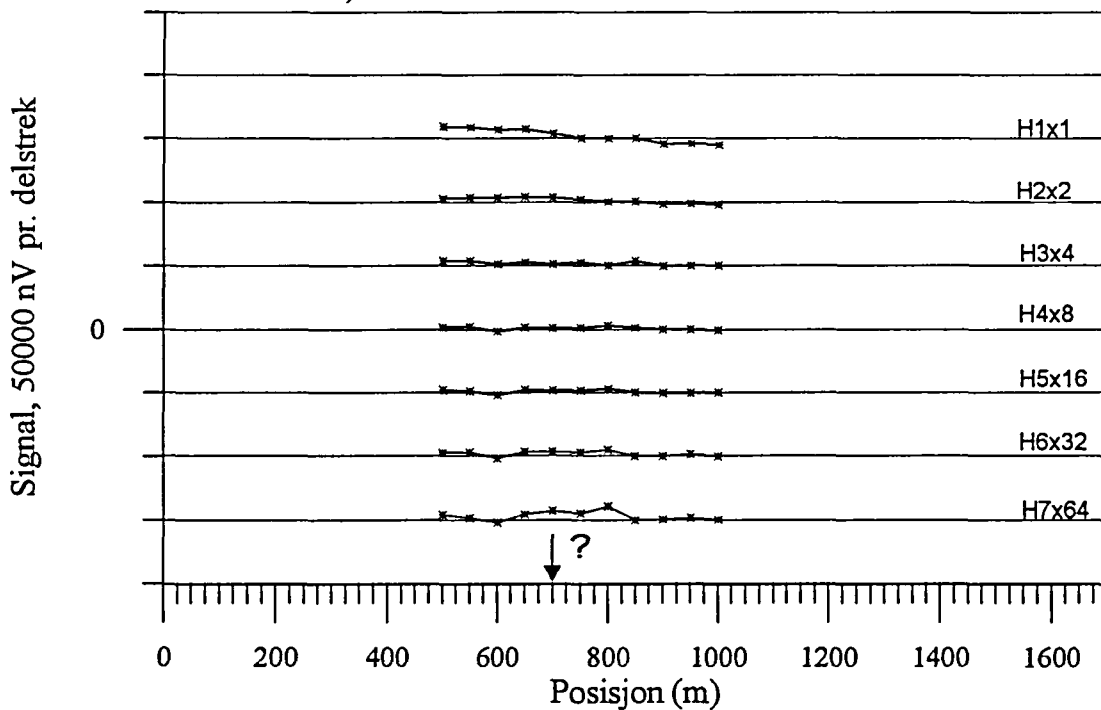
Figur 8b. Normalisert V0, Htot og 25 Hz, profil 1200N

TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
 Profil 1000N, V1-V7

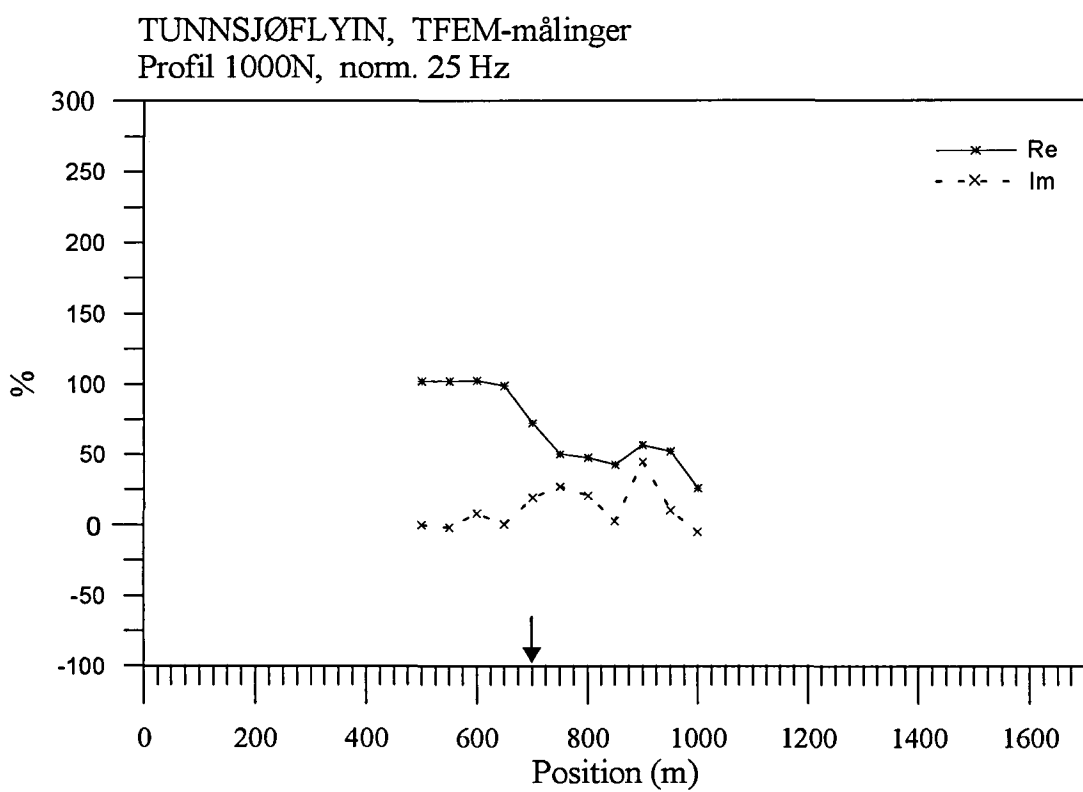
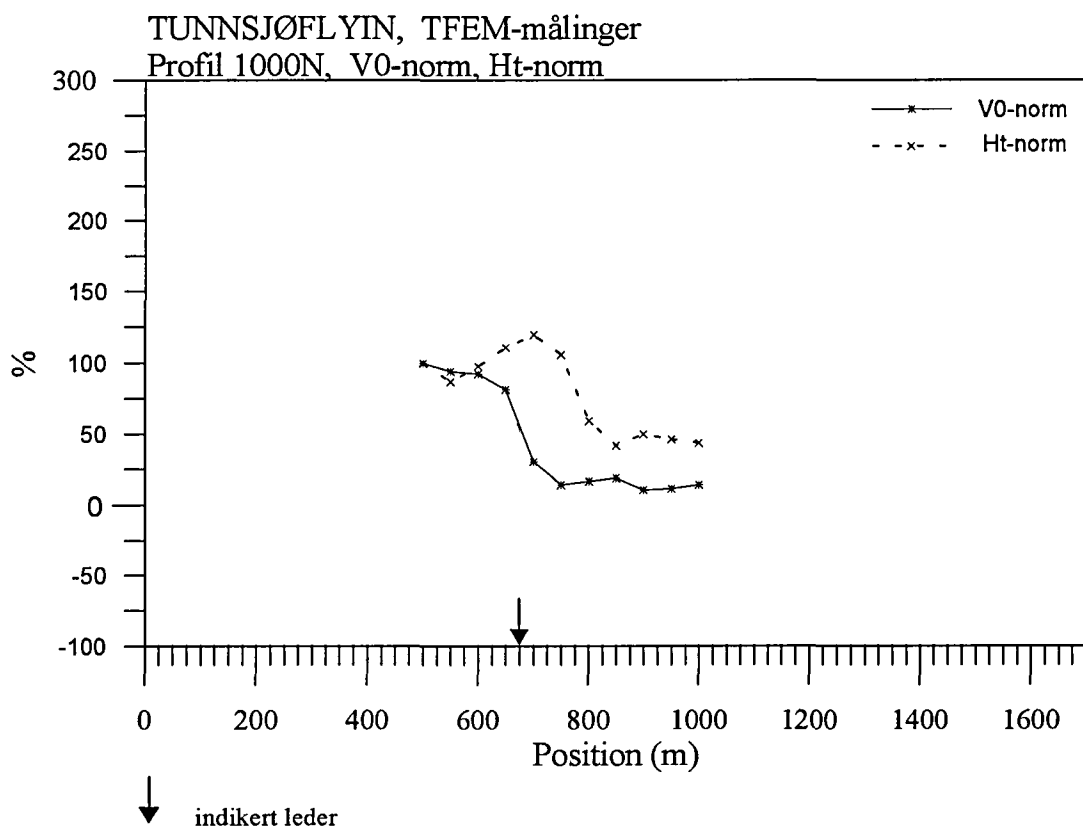


↓ indikert leder

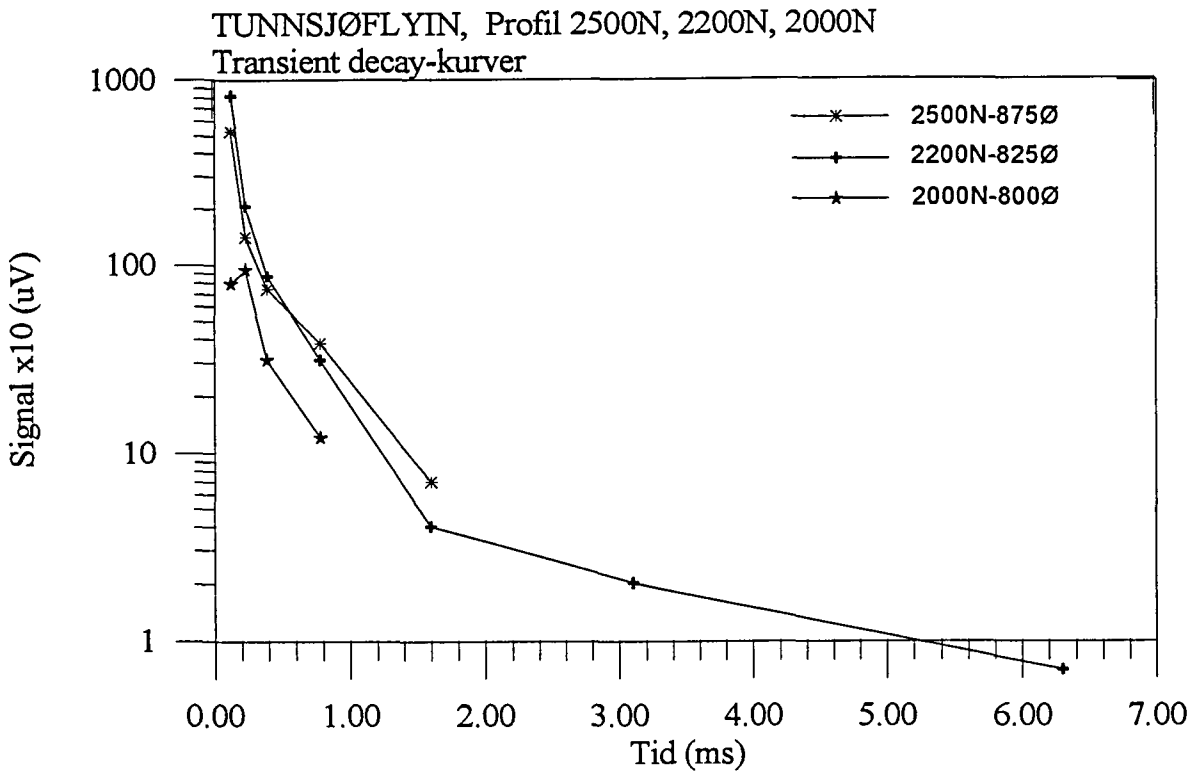
TUNNSJØFLYIN, TFEM-målinger
 Profil 1000N, H1-H7



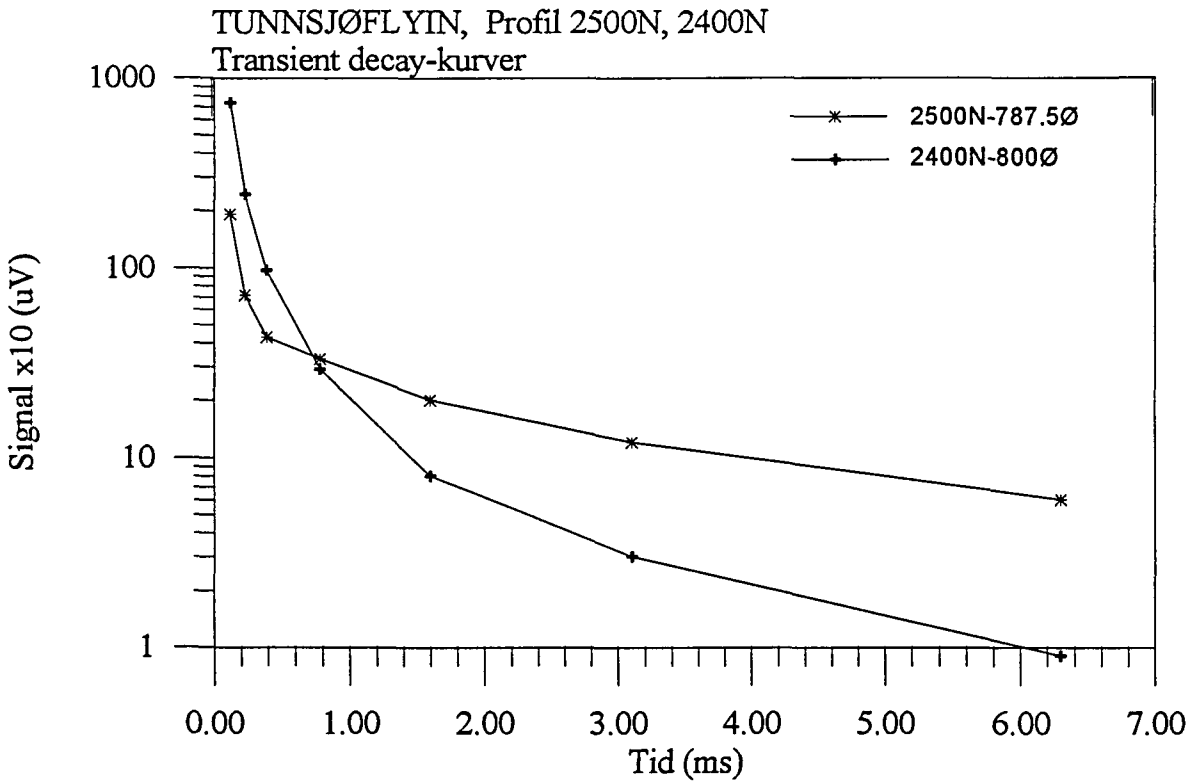
Figur 9a. Vertikal og horisontalkanaler profil 1000N



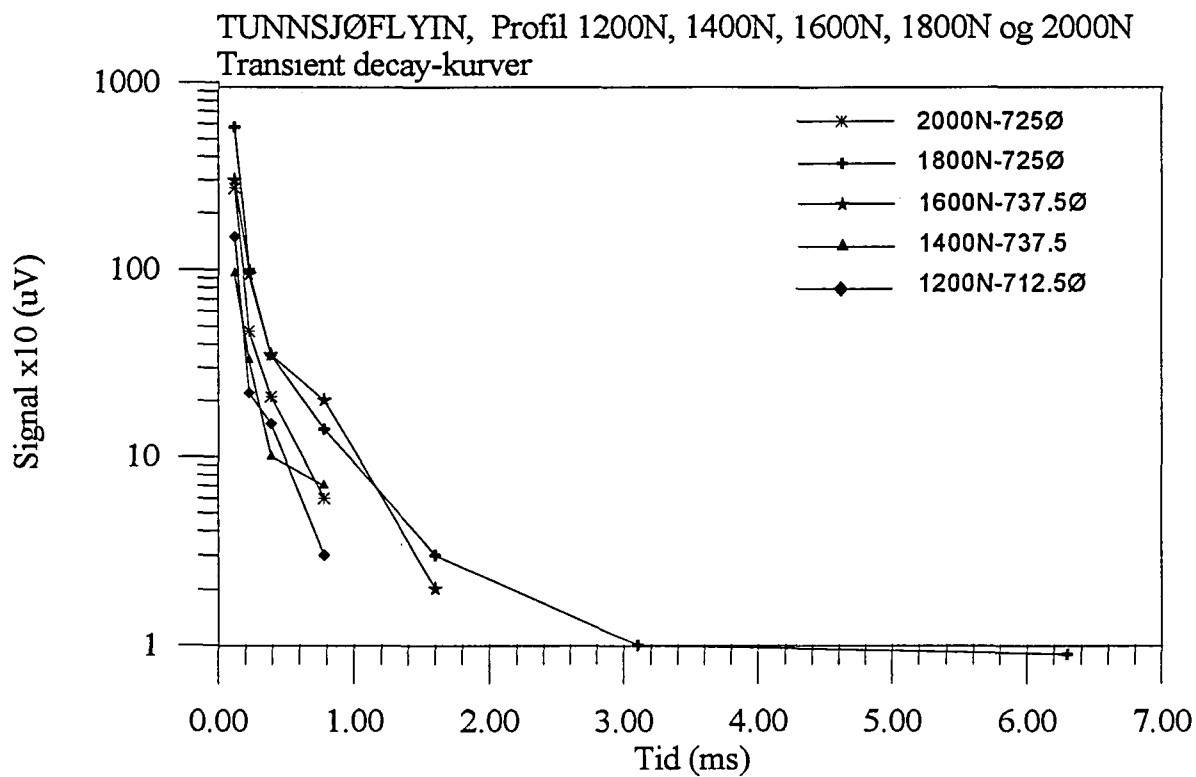
Figur 9b. Normalisert V0, Htot og 25 Hz, profil 1000N



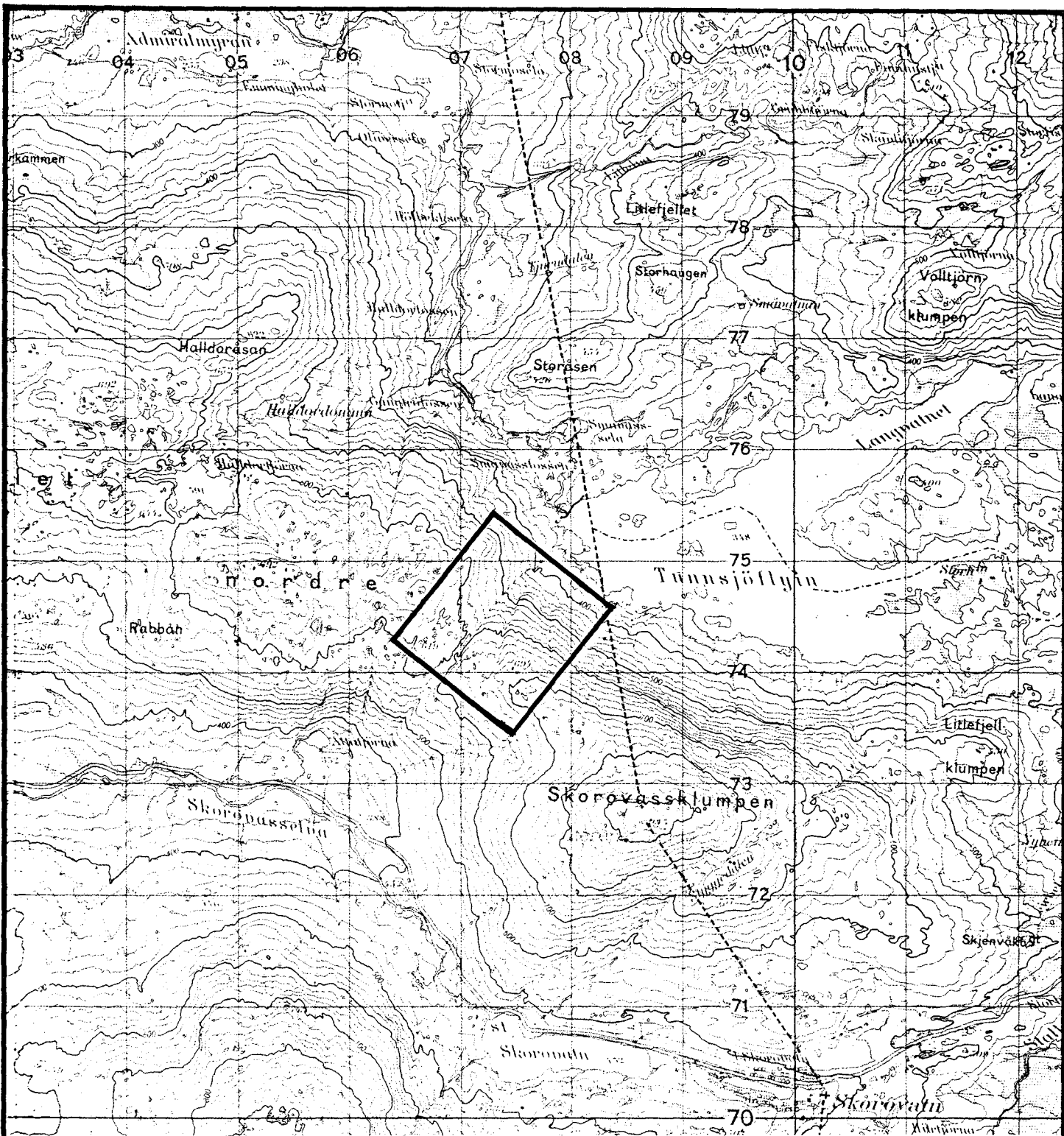
Figur 10. Transient decay-kurver for H1- H7 for leder på profil 2500N,2200N og 2000N



Figur 11. Transient decay-kurver for H1- H7 for leder på profil 2500N og 2400N



Figur 12. Transient decay-kurver for H1- H7 for leder på profil 1200N, 1400N, 1600N, 1800N og 2000N.



UNDERSØKT OMRÅDE

NGU V/NORD-TRØNDELAGSPROGRAMMET
 QVERSIKTSKART
 TUNNSJØFLYIN
 NAMSKOGAN, NORD-TRØNDELAG

MÅLESTOKK

1:50000

MÅLT H.E. JULI - 95

TEGN E.D. NOV - 95

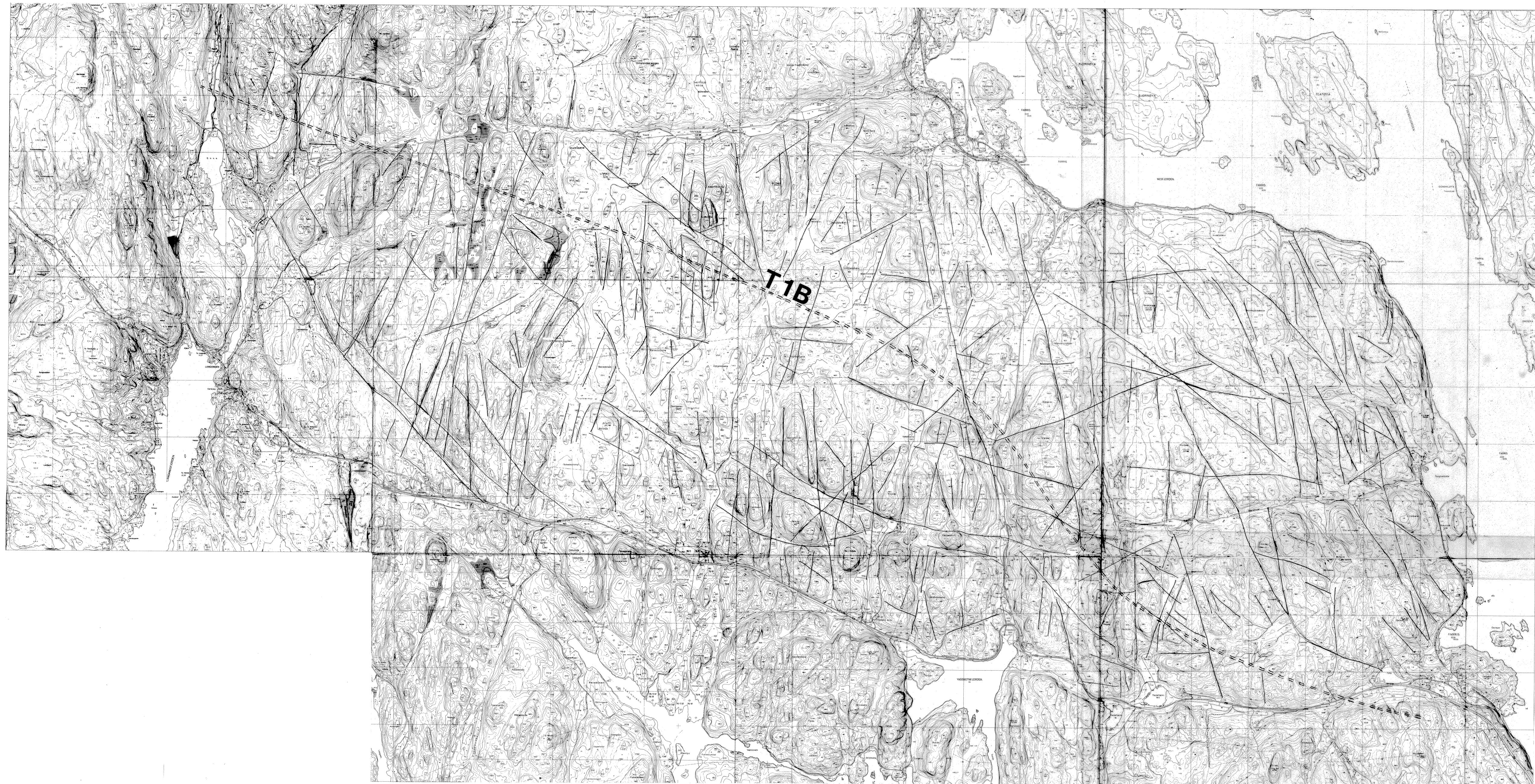
TRAC

KFR.

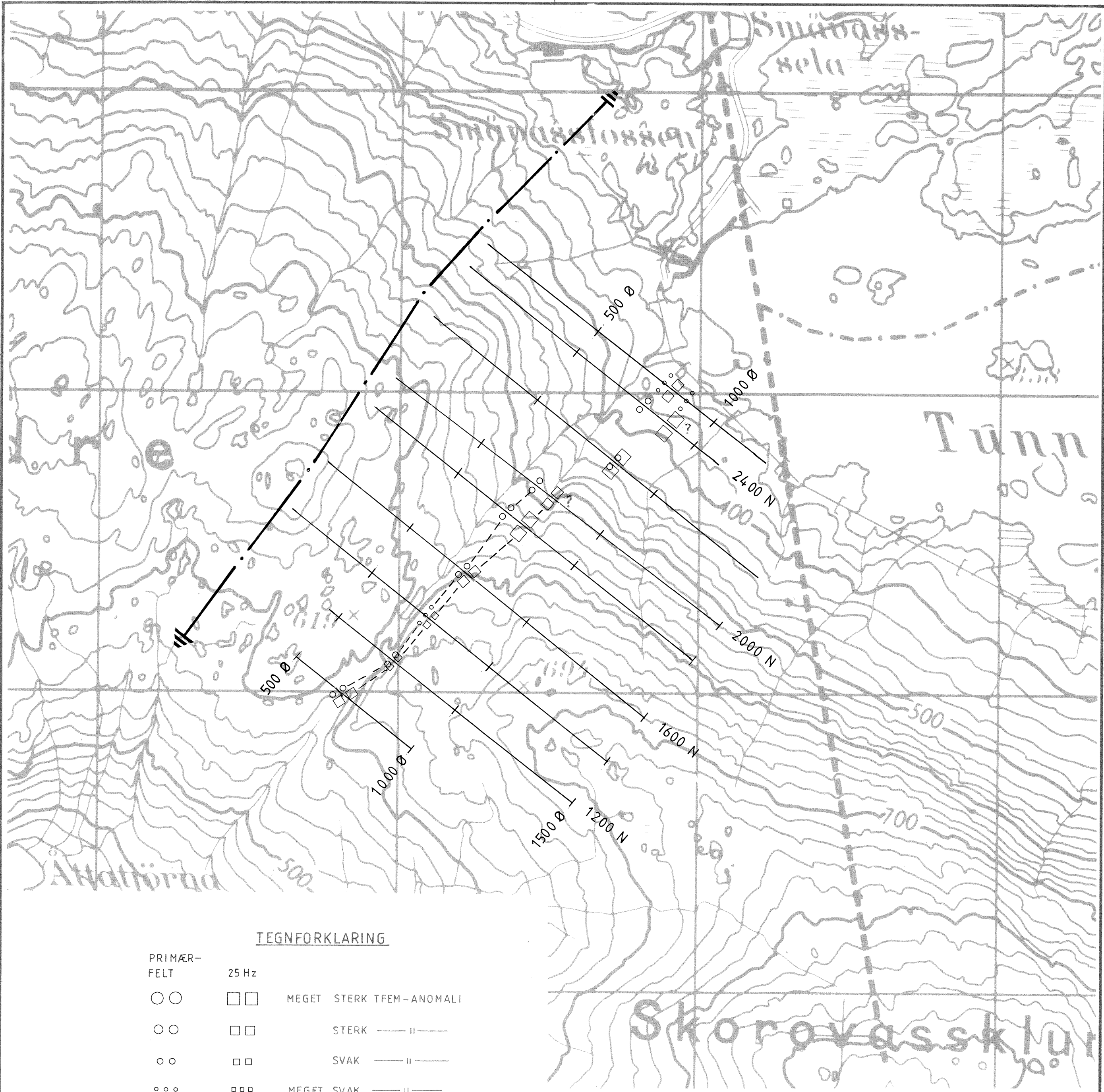
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

TEGNING NR.
 95125-01

KARTBLAD NR.
 1824 II



NGU, NORGES STATSBANER 1995 KARTLEGGING AV LARVIKITTFØREKOMSTER MELLOM FARRIS OG LANGANGEN SPREKKEKART LARVIK KOMMUNE, VESTFOLD	MÅLESTOKK	MÅLT T.H. T.H.	1995
	1:20000	TEGN T.H.	
		TRAC ALH	SEPT.-95
	KFR.		
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 95.122/2	KARTBLAD 1713II, 1813III	



TEGNFORKLARING

- | | | | |
|-------------|-------|--------------------------|--------|
| PRIMÆR-FELT | 25 Hz | | |
| ○ ○ | □ □ | MEGET STERK TFEM-ANOMALI | |
| ○ ○ | □ □ | STERK | — — |
| ○ ○ | □ □ | SVAK | — — |
| ○ ○ ○ | □ □ □ | MEGET SVAK | — — |
| — — | | MÅLTE PROFILER | |
| — . — | | KABELANLEGG | |
| — | | ELEKTRODE | |

NGU V/NORD-TRØNDELAGSPROGRAMMET TFEM-TOLKNINGSKART, PRIMÆRFELT OG 25 Hz TUNNSJØFLYIN NAMSKUGAN, NORD-TRØNDELAG	MÅLESTOKK	MÅLT H.E.	JULI-95
	1:10000	TEGN H.E. E.D.	NOV 95
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR	KARTBLAD NR.	
	95.125-03	1824 II	