

NGU Rapport 92.268

Geofysiske målinger over deponi
på Trandum, Ullensaker kommune,
Akershus

Rapport nr. 92.268		ISSN 0800-3416		Gradering: Åpen	
Tittel: Geofysiske målinger over deponi på Trandum, Ullensaker kommune, Akershus					
Forfatter: Eirik Mauring Jan S. Rønning Jan E. Tønnesen			Oppdragsgiver: Carl-H. Knudsen AS		
Fylke: Akershus			Kommune: Ullensaker		
Kartbladnavn (M=1:250.000) Hamar			Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1915 II Ullensaker		
Forekomstens navn og koordinater: Trandum 32V 6180 64773			Sidetall: 31		Pris: 55,-
			Kartbilag: 5		
Feltarbeid utført: 25/6, 27/8-92		Rapportdato: 15/9-92		Prosjektnr.: 63.2586.00	Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>
<p>Sammendrag:</p> <p>I samarbeid med firma Carl-H. Knudsen AS, Drammen, har NGU utført geofysiske målinger på et område i Trandum militærleir. Formålet med undersøkelsen var å kartlegge utbredelsen av et gjenfylt deponi. De anvendte målemetoder var; georadar, magnetometri, elektriske og elektromagnetiske målinger. Ved en samtolkning av måleresultater har det vært mulig å kartlegge deponiets utbredelse. Magnetiske og elektromagnetiske målinger viser at den nordlige del av deponiet inneholder en større andel metallskrot (vesentlig jernholdig) enn den sørlige del. På et georadarprofil har det vært mulig å se bunnen av deponiet. Modelltilpasning av elektriske målinger i sørlig del gir et dyp ned til overflaten av deponiet på ca. 0.5-0.6 m. Georadarmålinger gir et maksimaldyp til bunnen av deponiet på ca. 6.5 m.</p>					
Emneord: Geofysikk		Elektromagnetisk måling			
Georadar		Magnetometri			
Elektrisk måling		Deponi		Fagrapport	

INNHold

1 INNLEDNING.....	4
2 UTFØRELSE.....	4
2.1 Georadar.....	4
2.2 Magnetometri.....	5
2.3 Elektriske målinger.....	5
2.4 Elektromagnetiske målinger.....	5
3 RESULTATER.....	6
3.1 Georadar.....	6
3.2 Magnetometri.....	7
3.3 Elektriske målinger.....	8
3.4 Elektromagnetiske målinger.....	9
3.5 Samtolking av data.....	10
4 KONKLUSJON.....	11
5 REFERANSER.....	12

Tekstbilag

1. Georadar - metodebeskrivelse
2. Magnetometri - metodebeskrivelse
3. Kombinert elektrisk profilering/sondering - metodebeskrivelse
4. Elektromagnetiske målinger (EM-31) - metodebeskrivelse

Databilag

1. Eksempel på georadarprofiler
2. Eksempel på magnetiske profiler
3. Elektriske målinger, pseudoseksjon og modellberegninger
4. Eksempel på elektromagnetiske profiler

Kartbilag

- | | |
|-----------|------------------------------------------------------|
| 92.268-01 | Oversikts-/tolkningskart, georadar |
| 92.268-02 | Oversikts-/tolkningskart, magnetometri |
| 92.268-03 | Oversikts-/tolkningskart, elektriske målinger |
| 92.268-04 | Oversikts-/tolkningskart, elektromagnetiske målinger |
| 92.268-05 | Samtolkningskart |

1 INNLEDNING

I samarbeid med firma Carl-H. Knudsen AS, Drammen, har NGU utført geofysiske målinger på et område i Trandum militærleir. Hovedformålet med undersøkelsen var å vurdere forskjellige målemetoder som kunne avgrense et område som tidligere er benyttet som avfallsdeponi. Deponiet ligger i en gjenfylt dødisgrop. Metodene som ble benyttet var georadar, magnetometri, elektrisk og elektromagnetisk profilering. Målingene med de tre første metodene ble utført 25/6-92 av Eirik Mauring og Jan F. Tønnesen med hjelp av to assistenter som vollmesteren på leiren velvillig stilte til disposisjon. Elektromagnetiske målinger ble utført av Jan S. Rønning den 27/8-92. NGU har tidligere utført georadarmålinger innenfor Trandum leir, i en mindre målestokk og med en annen problemstilling (Mauring & Rønning 1991).

2 UTFØRELSE

Området som ble undersøkt er vist i kartbilagene -01-05. Det ble først satt opp et stikningsnett med basislinje som gikk parallelt med garasje, 40 m fra denne. Basislinjen ble lagt over de sentrale deler av antatt fyllingsområde. Områdets avgrensninger ble på forhånd definert av oppdragsgiver. Profilene ble målt et godt stykke lenger enn områdets avgrensninger.

2.1 Georadar

En beskrivelse av georadarmålinger og teoretiske prinsipper er vedlagt (tekstbilag 1). Georadaren som ble benyttet var av typen pulseEKKO IV (Sensors & Software Inc.). Antennenes senterfrekvens var på 200 Mhz. Samplingsintervallet var 0.8 ns. Opptakstiden var 512 ns, med 64 registreringer ('stacks') ved hvert målepunkt. Antenne- og flyttavstand var 1 m. Målte profiler framgår av kartbilag -01. Ved dybdekonvertering av georadaropptakene ble det benyttet en hastighet på 0.125 m/ns. Denne er valgt på bakgrunn av CMP-målinger utført tidligere (Mauring & Rønning 1991).

2.2 Magnetometri

En beskrivelse av magnetiske målinger er vedlagt (tekstbilag 2). Protonmagnetometeret som ble benyttet var av typen Geometrics G 816 med en målenøyaktighet på ± 1 nT. Ved målingene ble sonden plassert ca. 1.5 m over bakken. Målepunktavstanden var 2 m. De magnetiske profilene er sammenfallende med georadarprofilene. Profil 14 ble dessuten målt helt ut til enden av profil 12 (140 m langt). Profilene er vist i kartbilag -02. Måleverdiene er ikke korrigert for daglige variasjoner.

2.3 Elektriske målinger

Målingene ble utført med pol-dipol elektrodekonfigurasjon (se tekstbilag 3). Med denne teknikken oppnås en to-dimensjonal kartlegging av tilsynelatende resistivitet. Målingene ble utført langs deler av profil 13 (se kartbilag -03). Avstanden mellom hvert sonderingspunkt var 20 m. For hver sondering ble avstanden mellom potensialelektrodene holdt konstant lik 3 m, mens avstanden fra strømelektroden til nærmeste potensialelektrode var $n \cdot 3$ m, der n varierte fra 1 til 10. Fjernelektroden ble plassert ved bredden av Transjøen. Ved målingene ble det benyttet et registreringsinstrument av typen ABEM SAS300 Terrameter med strømforsterker. Strømstyrken varierte mellom 2 mA og 20 mA. Det var svært tørt i bakken når målingene ble utført.

2.4 Elektromagnetiske målinger

Elektromagnetisk profilering ble utført med EM-31 produsert av Geonics Ltd. i Canada (se tekstbilag 4). Etter noen testmålinger ble det besluttet å måle med instrumentet liggende på bakken med henholdsvis vertikale og horisontale spoleakser. Målepunktavstand var 2 m. Målte profiler framgår av kartbilag -04.

3 RESULTATER

Området i nærheten av Trandum har vært gjenstand for undersøkelser tidligere (Longva 1987, Jørgensen & Østmo 1990, Hillestad 1975). NGU har også tidligere gjennomført undersøkelser inne i selve leirområdet i forbindelse med en oljelekkasje i 1990 (Storrø 1991) og annen deponiundersøkelse (Mauring & Rønning 1991, Misund & Sæther 1991). Massene i området er dominert av sand og grus i en deltaavsetning med flere dødisgroper. Tidligere seismiske målinger viser at dyp til grunnvannsspeil er ca. 30 m og dyp til fjell er ca. 90 m.

Tolkning av geofysiske data i områder der en har mye tekniske anlegg (som på Trandum), vil ofte være vanskelig. I denne undersøkelsen har vi forsøkt å skille ut anomalier som kan tilskrives tekniske anlegg. De resterende antas å skyldes deponert materiale. Denne tolkningsprosedyren kan feile ved at en har deponert materiale også der en har tekniske anlegg og ved at det finnes tekniske anlegg de undertegnede ikke kjenner til.

3.1 Georadar

Eksempel på georadaropptak er vist i databilag 1. Det er naturlig å ta utgangspunkt i profil 13 (langs basis, databilag 1 side 3) som antas å gå over det gamle deponiet. Mellom posisjon 0 og 35 og 110 og 220 sees en markert reflektor på 5-10 m dyp. Denne er ved tidligere undersøkelser antatt å representere 'topset' i deltaavsetningen. Reflektoren faller jevnt nedover fra ca. 5 m dyp ved posisjon 160 til ca. 10 m dyp ved posisjon 110. Mellom posisjon 35 og 110 sees ikke denne reflektoren. En annen reflektor faller nedover fra ca. 1 m dyp ved posisjon 160 til ca. 5 m dyp ved 110. Sør for posisjon 110 er den ikke mulig å følge. Mellom posisjon 35 og 110 sees trauformet, reflektert energi ned til et maksimumsdyp på ca. 6.5 m ved posisjon 75. Over reflektoren sees mye energi med varierende amplitude uten at klare reflektorer skiller seg ut. Kraftig redusert penetrasjon under reflektoren indikerer at mye energi blir absorbert eller reflektert/diffraktet. Området under reflektoren virker 'dødt'. Sør og nord for reflektorens utgående ved henholdsvis posisjon 40 og 110 sees de tidligere omtalte reflektorene. Det antas at den trauformete reflektoren utgjør nedre grense for gjenfylt dødisgrop (gammelt avfallsdeponi). Svak signalstyrke mellom posisjon 180 og 200 skyldes passering av armert betongveg.

Tverrprofilene 3, 4, 5, 6 og 7 antas å krysse deponiet. Profilene (med unntak av profil 4) viser sentralt et 'dødt' område, noe som kan skyldes at deponiet her krysses. Dette er spesielt tydelig i profil 5 som viser et klart 'dødt' område mellom posisjon 30 og 60 fra ca. 4 m dyp (se databilag 1 side 2). På hver side sees reflektorer som heller ned mot dette området. Disse antas å representere opprinnelig terrengoverflate i dødisgropa.

Tverrprofilene viser trolig ikke hele det gjenfylte området, men viser tydelig redusert dybdepenetrasjon i de områder der det gjenfylte området har størst mektighet. Den stiplede linja i kartbilag -01 representerer ytre tolket grense for redusert georadarpenetrasjon.

To georadarprofiler som ikke krysser antatt område for deponi omtales under.

Profil 1 (databilag 1 side 1) viser mye reflektert energi i området 4-7 m og en reflektor på 1-3 m dyp (spesielt tydelig mellom posisjon 0 og 30). Førstnevnte reflektorer representerer muligens bunnen av en sandurflate (Longva 1987, Misund & Sæther 1991). Sistnevnte reflektor representerer trolig en grense mellom lag med litt forskjellig korngradering. Her indikeres ikke noe deponert materiale.

Profil 14 (databilag 1 side 4) ble målt fra enden av profil 5 i NNV-lig retning til enden av profil 10. Flere horisontale reflektorer kan sees ned til ca. 10 m dyp. Den mest markerte opptrer på ca. 5 m dyp og representerer trolig bunn av sanduravsetningen.

3.2 Magnetometri

Eksempler på magnetiske profiler er vist i databilag 2 (profil 1, 4 og 13). Profil 1 viser uregelmessigheter de første 20 metrene som kan tilskrives tekniske anlegg. En negativ anomali ved posisjon 94 skyldes en stridsvogn like sør for profilet. Ellers viser profilet meget konstante verdier, og en kan konkludere med at det her ikke finnes jernskrot i bakken.

Profil 4 antas å krysse deponiet. Sentralt i området (posisjon 40) vises ingen magnetiske anomalier, og det er sannsynlig at deponiet her ikke inneholder jernskrot. Uregelmessigheter ved start og ende av profil 4 er trolig en effekt av armering i grunnmur til hus i nærheten.

Profil 13 viser anomale verdier fra posisjon 180 og nordover ut profilet, og dette skyldes armering i betongvegen som her krysses. Det er uklart om magnetisk anomali mellom posisjon 70 og 80 representerer metallskrot i deponiet eller stålstativ for ballnett. Anomale verdier mellom posisjon 20 og 40 kan delvis tilskrives rørledning.

En sammenstilling av alle data er vist som 3-D-plott i databilag 2 side 4. Uregelmessigheter lengst mot vest kan i sin helhet tilskrives tekniske anlegg som armert betong i vei og grunnmur samt metallrør i bakken. Anomalien sentralt i profil 3 kan tilskrives rør i bakken, dette gjelder også anomalien ved enden av profil 5. Anomalier sentralt i profil 5 kan skyldes passering av stålstativ for ballnett. Anomalier sentralt i profilene 6, 7, og 8 kan en ikke gi tilfredsstillende forklaring på, og det antas at disse skyldes materiale av jern i bakken (deponiet). Svake anomalier på profil 9 kan skyldes deponert jernskrot eller være en randeffekt

av deponert materiale like sør for profilet. En sammenstilling av anomalier er vist i kartbilag - 02.

3.3 Elektriske målinger

Resultater fra kombinert elektrisk profilering/sondering med pol-dipol elektrodekonfigurasjon er framstilt som pseudoseksjon i databilag 3 side 1. Pseudoseksjonen gir et kvalitativt inntrykk av hvordan tilsynelatende resistivitet endrer seg langs profilet og mot dypet. I pseudoseksjonen trekkes konturer gjennom områder med lik tilsynelatende resistivitet. Det må presiseres at dybdeskala representerer plottedyb og ikke sanne dyp. For å få bedre kvantitativ vurdering av lagtykkelser og motstander er det foretatt modellberegning for to sonderingspunkter ved bruk av programpakken Interpex/Resixip (Interpex 1988).

Profilet ble målt fra posisjon 20 til posisjon 170 langs basislinjen (profil 13). I starten av profilet har vi høy tilsynelatende resistivitet øverst som representerer tørre, grove avsetninger. Resistiviteten avtar raskt langs profilet, sannsynligvis som en følge av økende ledningsevne når en kommer inn i deponiødet. Det ser ut som om sørlig grense for deponiet ligger ca. ved posisjon 35, helt i samsvar med resultater fra georadarmålinger. For den første sonderingen (posisjon 20) avtar tilsynelatende resistivitet mot dypet. Mellom sondering i posisjon 40 og sondering i posisjon 140 øker tilsynelatende resistivitet mot dypet. Ekviresistivitetskurvene har et skålformet utseende i dette området, og det antas at deponiet ligger her. Det er uklart hvorvidt det strekker seg så langt nord som til posisjon 140, fordi antatt deponert metall øst for profilet kan påvirke resistivitetskurvene.

Det ble foretatt modellberegning for sondering i posisjon 60 og 100 (se databilag 3 side 2 og 3). Ved modelltilpasningen ble det valgt høy resistivitet for topplaget, som indikert i sondering ved posisjon 20 (ca. 40000 Ωm) skyldes tørre og grove avsetninger øverst. Denne parameteren ble holdt fast ved modelleringene. For sonderingen i posisjon 60 er topplaget ca. 0.6 m mektig. Laget under har en mektighet på ca. 5.4 m og resistivitet på ca. 410 Ωm . Dette antas å representere fyllingsmateriale. Totalt dyp til bunnen av fyllingen (6 m) er i samsvar med resultater fra georadarmålingene. For sonderingen i posisjon 100 er topplaget ca. 0.5 m mektig. Antatt fylling har her en mektighet på ca. 4.5 m og en resistivitet på ca. 565 Ωm . Laget under fyllingen representerer tørr sand/grus. Kartbilag -03 viser området langs profilet der tilsynelatende resistivitet øker mot dypet.

3.4 Elektromagnetiske målinger

Eksempel på elektromagnetiske data er vist i databilag 4 (profil 2 og 13). Profil 2 viser store uregelmessigheter mellom posisjon 0 og 54. Disse kan tilskrives armert betong i grunnmur (posisjon 0), nær nord-sør-gående rørledning (posisjon 24) og nordøst-sørvestgående rørledning (posisjon 40). Resten av profilet viser konstante verdier som representerer i sin helhet den tilsynelatende ledningsevnen i de øvre deler av avsetningen. Denne er ca. 1.5 mS/m, noe som tilsvarer en resistivitet på ca. 700 Ω m. I profil 13 antas anomale verdier ved posisjon 60 og 100-110 å skyldes ledende materiale i deponiet. Anomali ved posisjon 140 skyldes passering av rørledning.

Som vist ved elektriske målinger, øker tilsynelatende elektrisk ledningsevne mot dypet innen deponiet, mens det motsatte er tilfellet utenfor. Siden målinger med horisontale spoleakser gir bedre respons fra grunne dyp, ble det antatt at områder innenfor deponiet ville gi høyere tilsynelatende ledningsevne målt med denne konfigurasjonen enn tilsynelatende ledningsevne målt med vertikale spoleakser. Tilsynelatende ledningsevneverdier målt med horisontale spoleakser er framstilt som 3-D-plott i databilag 4 side 3. Høye verdier i profil 6, 7 og 8 antas å skyldes deponert materiale (metallskrot) i bakken her. De fleste småtopper i 3-D-plottet skyldes kabler, rør og bygninger.

En annen framstillingsmåte av data er vist i kartbilag -04. Det er her valgt ut to parametre for presentasjon. 1) Tilfeller der tilsynelatende ledningsevne målt med vertikal spoleakse er mindre enn 0 ($\sigma_v < 0$). Dette inntreffer ofte der ledninger og rør i bakken krysses, og negative verdier måles på grunn av dårlig kobling mellom EM-felt og retning på leder. Denne parameteren ble benyttet til å skille ut anomalier som skyldes støykilder (kabler, rør). Områder der $\sigma_v < 0$ er markert som svarte felter over profillinjene. 2) Utheving av områder der tilsynelatende ledningsevne målt med horisontale spoleakser er større enn tilsynelatende ledningsevne målt med vertikale spoleakser ($\sigma_H > \sigma_v$) angir høyere ledningsevne på grunne dyp, og vil være med på å plassere grunne ledere (fortrinnsvis i deponiet). Denne parameteren er skravert under profillinjene. Sistnevnte parameter angir best ledende materiale i deponiet.

Som en ser fra kartbilag -04, faller områder med $\sigma_v < 0$ oftest sammen med inntegnede kabler/rør i bakken. I områder der dette ikke er tilfelle kan tilsynelatende negativ ledningsevne skyldes tilfeldig dårlig kobling med ledende materiale (f.eks. ved endene av P7 og P8). Områder der $\sigma_H > \sigma_v$ (skravert) faller ofte sammen med magnetiske anomalier. Spesielt tydelig er dette i profil 6, 7 og 8, og dette bekrefter plassering av deponiets yttergrenser i dette området. Anomalier mellom posisjon 16 og 28 og ved enden av profil 6 antas å ligge utenfor deponiet, fordi ingen av de andre målemetodene indikerer deponert materiale her. Anomalier i profil 3, 3.5, 4 og 4.5 antas å være forårsaket av ledende materiale i deponiet.

3.5 Samtolking av data

Et samtolkningskart er presentert i kartbilag -05. Stiplet linje angir antatt yttergrense av gammelt deponi. Magnetiske og elektromagnetiske anomalier som antas å skyldes deponert materiale er også tegnet inn.

Et topografisk kart fra 1957 over det aktuelle området ble via oppdragsgiver stilt til rådighet. Dødisgropa var på den tid kartet ble laget ikke helt gjenfylt. Kartbilaget viser koter lavere enn 208 m.o.h, dvs. de deler av dødisgropa som ikke var fylt opp til dagens nivå. De nordvestlige deler av gropa er muligens fylt igjen med løsmasser for å få området plant.

For profilene 7 og 8 er anomaliene fra magnetiske og elektromagnetiske målinger sammenfallende, og definerer deponiets grenser godt i dette området. Profil 7 viser også redusert penetrasjonsdyp for georadar i tilsvarende område. Profil 8 viser ingen markert reduksjon i penetrasjonsdyp, noe som kan indikere at tykkelsen på deponiet her er for liten til å ha særlig dempende effekt på radarsignalene. Deponiets yttergrense ved profil 9 er kun basert på magnetisk anomali (det er ikke utført elektriske eller elektromagnetiske målinger her). Anomalien er her ikke særlig stor, og tykkelsen på deponiet er trolig minimal, eller kan skyldes randeffekt som nevnt under pkt. 3.2. En av deponiets yttergrenser krysser basis (P13) ved posisjon 110 (mellom P6 og P7), indikert ved redusert georadarpenetrasjon og elektromagnetisk anomali. Sørlig grense langs basis er meget godt definert ved elektriske målinger og georadar ved posisjon 35. På georadaropptakene er det mulig å se antatt forløp av deponiets nedre grense langs basis (databilag 1 side 3) mellom posisjon 35 og 110. Yttergrensene langs profil 6 er først og fremst definert av magnetiske anomalier. Vestlig yttergrense er også sammenfallende med elektromagnetisk anomali og indikasjoner fra georadarmålinger. Elektromagnetisk anomali vest for yttergrensen antas å skyldes andre forhold (påfylt finstoff i overflaten?). Østlig grense er ikke like godt definert, der de tre anvendte metoder viser tre forskjellige plasseringer av denne. Valg av østligste grense angir maksimal utbredelse av deponi langs P6. Yttergrensene for P5 er kun definert av område med redusert georadarpenetrasjon. Det samme gjelder P3, selv om deler av P3 viser elektromagnetisk anomali. Yttergrensene langs P4 er definert av elektromagnetiske anomalier. For profil 3.5 og 4.5 er det kun utført elektromagnetiske målinger. Deponiets vestlige yttergrense indikeres i P3.5. Deler av elektromagnetisk anomali ved enden av P4.5 antas å skyldes påvirkning av kabel/rør ved enden av profilet. Østlig yttergrense er bestemt ved interpolasjon mellom P4 og P5.

I de nordlige deler (nord for P6) har vi til dels meget kraftige magnetiske og elektromagnetiske anomalier, noe som indikerer en større dominans av metallisk/magnetisk materiale enn de sørlige deler. Deponert materiale kan også ligge noe grunnere i de nordlige områder (moderat reduksjon i georadarpenetrasjon). De sørlige deler av deponiet inneholder også elektrisk

ledende materiale, som indikert ved elektromagnetiske anomalier, men dette materialet gir ikke magnetiske anomalier.

4 KONKLUSJON

For å kartlegge utbredelsen av et gjenfylt deponi i Trandum militærleir er det utført geofysiske målinger. De anvendte målemetoder var; georadar, magnetometri, elektriske og elektromagnetiske målinger. Ved en samtolking av måleresultater har det vært mulig å kartlegge deponiets utbredelse. En tolket yttergrense av deponiet er vist i kartbilag -05. Magnetiske og elektromagnetiske målinger viser at de deler av deponiet som ligger nord for profil 6 antas å inneholde en større andel metallskrot (vesentlig jernholdig) enn området sør for profil 6. Langs basislinjen (profil 13) har det vært mulig å se bunnen av deponiet på georadaropptakene. Modelltilpasning av elektriske målinger langs basis (posisjon 60 og 100) gir et dyp ned til deponiet på ca. 0.5-0.6 m. Dyp til bunnen av deponiet er ved modelleringen beregnet til henholdsvis ca. 6 og 5 m. Dette er i overensstemmelse med hva som observeres på georadaropptakene som gir et maksimaldyp til bunnen av deponiet på ca. 6.5 m mellom posisjon 70 og 80 langs profil 13.

5 REFERANSER

- Hillestad, G. 1975: Seismiske målinger på Øvre Romerike i perioden 1967-1974 i forbindelse med den Internasjonale Hydrologiske Dekade (IHD). *NGU-oppdrag 1310* (originaltolkninger i NGU's arkiv).
- Interpex 1988: RESIXIP, *user's manual*.
- Jørgensen, P. & Østmo, S.R. 1990: Hydrogeology in the Romerike area, Southern Norway. *Norges geologiske undersøkelse, bulletin 418, 19-26*.
- Longva, O. 1987: Ullensaker 1915 II. Beskrivelse til kvartærgeologisk kart M 1:50 000 (med fargetrykt kart). *Norges geologiske undersøkelse, skrifter 76*.
- Mauring, E. & Rønning, J.S. 1991: Undersøkelse av forurenset grunn/grunnvann på Trandum. Georadarmålinger. *NGU Rapport 91.218*.
- Misund, A. & Sæther, O.M. 1991: Undersøkelse av forurenset grunn og grunnvann ved Trandum militærleir. *NGU Rapport 91.228*.
- Storrø, G. 1991: Kartlegging av oljeforurenset grunn/grunnvann ved bygning 111, Trandum militærleir. *NGU Rapport 91.155*.

GEORADAR - METODEBESKRIVELSE

Georadar er en elektromagnetisk målemetode som kan benyttes til undersøkelse av lagdeling og strukturer i grunnen. Med en spesiell antenne sendes elektromagnetiske bølgepulser ned i jorda. En del av bølgeenergien blir reflektert tilbake til overflaten når bølgepulsen treffer en grense som representerer en endring i mediets dielektriske egenskaper. Resten av energien vil fortsette nedover og det kan fås reflekterte signaler fra en rekke grenseflater. Refleksjonene kan registreres med en mottakerantenne på overflaten. De mottatte signaler overføres til en kontrollenhet for forsterkning (og digitalisering ved digital georadar). Signalene sendes derfra til skriver (ved analog georadar) eller PD (digital georadar). Fra en utskrift av et georadar-opptak kan toveis gangtid (t_{2v}) til de forskjellige reflektorene avleses. For å bestemme virkelig dyp til en reflektor må bølgehastigheten (v) i overliggende medium være kjent eller kunne bestemmes.

Bølgehastigheten kan bestemmes ved CDP-målinger ('common depth-point'). Slike målinger utføres ved å flytte sender- og mottakerantenne skrittvis og like langt ut til hver side fra et fast midtpunkt og registrere for hver ny posisjon. Refleksjoner vil da ideelt sett komme fra samme punkt på en reflektor som er planparallel med overflaten. Når antenneavstanden øker, vil reflekterte bølger få lenger gangvei og økning i gangtid. Denne økning i gangtid kan ved digitale opptak kompenseres for ved å utføre NMO-korreksjon ('normal move-out'). Størrelsen på korreksjonen er avhengig av antenneavstand, toveis gangtid og bølgehastighet i materialet over reflektoren. Et CDP-opptak korrigeres med forskjellige hastigheter, og den hastighet som etter NMO-korreksjon gir best amplitude etter summering av trasene, angir radarbølgehastigheten i mediet.

Etter at hastigheten er bestemt kan dypet (d) beregnes etter uttrykket;

$$d = \frac{v t_{2v}}{2}$$

I vakuum er bølgehastigheten lik lyshastigheten: $c = 3.0 \cdot 10^8$ m/s. I alle andre media gjelder følgende relasjon;

$$\epsilon_r = \left(\frac{c}{v}\right)^2$$

hvor ϵ_r er det relative dielektrisitetsstallet. ϵ_r -verdien for et materiale vil derfor være en bestemmende faktor for beregning av dyp til reflektorer. I tabellen på neste side er det gitt en oversikt over erfaringstall for ϵ_r i en del materialtyper. Tabellen viser også hastigheter og ledningsevne i de samme media.

Dybderekkevidden for georadarmålinger er i stor grad avhengig av elektrisk ledningsevne i grunnen og av den utsendte antennefrekvens. Både økende ledningsevne og en økning i antennefrekvens vil føre til hurtigere dempning av bølgepulsene og dermed minkende penetrasjon. I godt ledende materiale som marin silt og leire vil penetrasjonen være helt ubetydelig. I dårlig ledende materiale som f.eks. tørr sand, kan det forventes en dybderekkevidde på flere titalls meter når det benyttes en lavfrekvent antenne (f.eks. 50 eller 100 Mhz). For grunnere undersøkelser vil en mer høyfrekvent antenne gi bedre vertikal oppløsning.

<u>Medium</u>	<u>ϵ_r</u>	<u>v (m/ns)</u>	<u>ledningsevne (mS/m)</u>
<i>Luft</i>	<i>1</i>	<i>0.3</i>	<i>0</i>
<i>Ferskvann</i>	<i>81</i>	<i>0.033</i>	<i>0.1</i>
<i>Sjøvann</i>	<i>81</i>	<i>0.033</i>	<i>1000</i>
<i>Leire</i>	<i>5-40</i>	<i>0.05-0.13</i>	<i>1-300</i>
<i>Tørr sand</i>	<i>5-10</i>	<i>0.09-0.14</i>	<i>0.01</i>
<i>Vannmettet sand</i>	<i>15-20</i>	<i>0.07-0.08</i>	<i>0.03-0.3</i>
<i>Silt</i>	<i>5-30</i>	<i>0.05-0.13</i>	<i>1-100</i>
<i>Fjell</i>	<i>5-8</i>	<i>0.10-0.13</i>	<i>0.01-1</i>

Tabell over relativt dielektrisitetstall, radarbølge-hastigheter og ledningsevne i vanlige materialtyper.

MAGNETOMETRI - METODEBESKRIVELSE

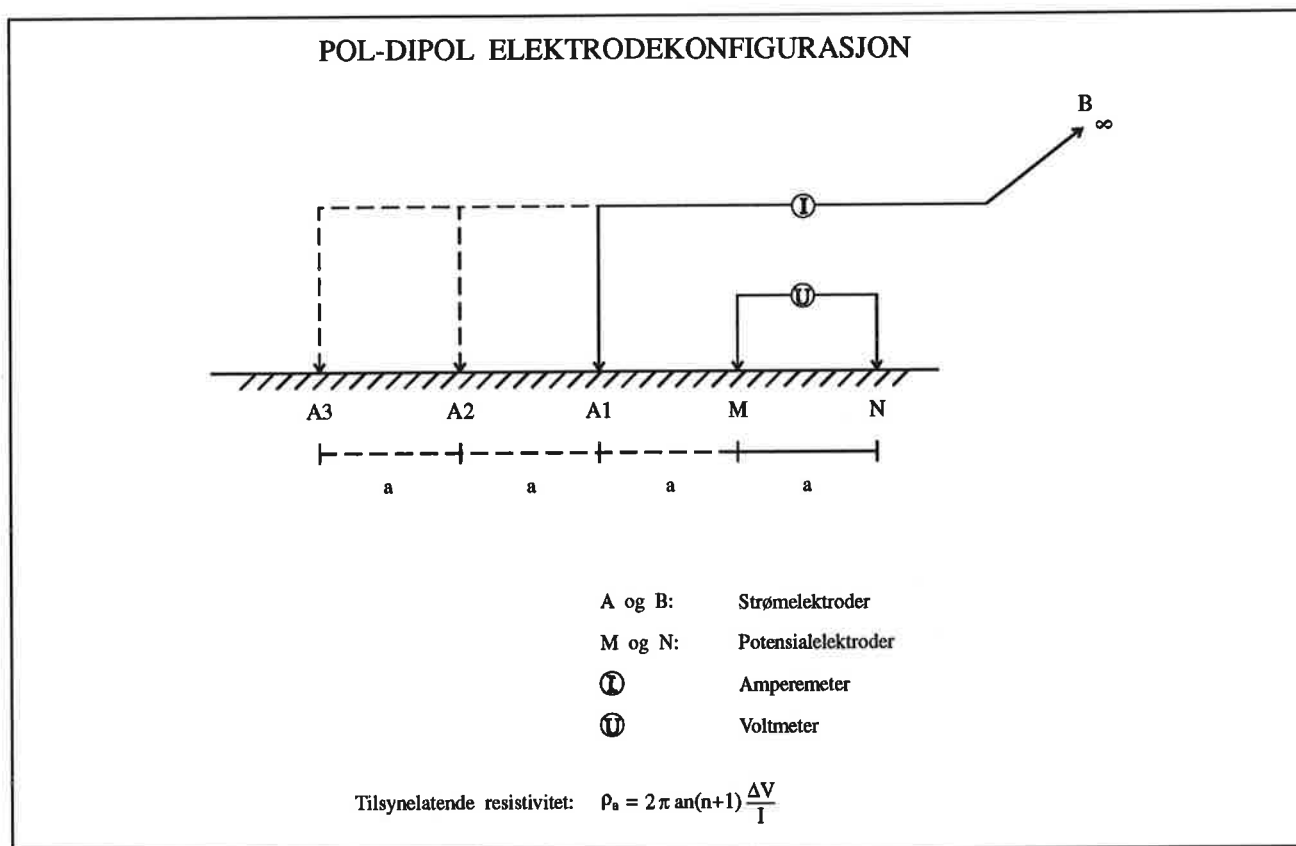
Ved magnetiske målinger kartlegges bergartenes magnetiske egenskaper. I praksis er det bare mineralet magnetitt som gir anomalier, og magnetiske målinger gir derfor et bilde av bergartenes magnetittinnhold. Ved undersøkelse av deponi/avfallsplasser vil jernholdige gjenstander kunne være opphav til magnetiske anomalier.

Metoden fungerer ved at magnetiserbare objekter som plasseres i jordas magnetfelt selv vil indukere et magnetfelt. Styrken av dette feltet vil være avhengig av objektets volum, dets evne til å la seg magnetisere (susceptibilitet) og geometri. Vanligvis er dette feltet rettet med jordfeltet, og den totale feltstyrken blir høyere enn stedets normale verdier (positive anomalier). På grunn av geometri og eventuell remanent magnetisering kan imidlertid det induerte feltet også svekke totalfeltet (negative anomalier).

KOMBINERT ELEKTRISK PROFILERING/SONDERING - METODEBESKRIVELSE

Metoden benyttes for å kartlegge laterale og vertikale endringer i elektrisk motstand langs profiler. I måleprofilen benyttes to potensialelektroder og en strømelektrode, mens en annen strømelektrode er fast plassert langt unna ('uendelig'). Ved å holde potensialelektrodeavstanden fast og flytte strømelektroden stegvis utover oppnås en dybdesondering. Elektrodeutlegget flyttes så til neste målepunkt i profilet og måleprosedyren gjentas. Måleprosedyre og beregning av tilsynelatende resistivitet (ρ_a) framgår av figuren nedenfor.

Motstandsverdiene kan framstilles som profilkurver for hver strømelektrodeavstand, som dybdesonderingskurver i hvert målepunkt eller som pseudoseksjoner. Målemetoden gir et tilnærmet kontinuerlig 2-dimensjonalt bilde av motstandsforholdene langs måleprofilen. Kvalitativ tolkning av lagfølge kan foretas direkte ut fra sonderingskurvene. Det er også mulig med kvantitativ tolkning av lagtykkelser og resistivitet ved å benytte egnet programvare. Tolkingsproblemer og usikkerheter vil stort sett være de samme som ved 'normale' vertikale elektriske sonderinger.



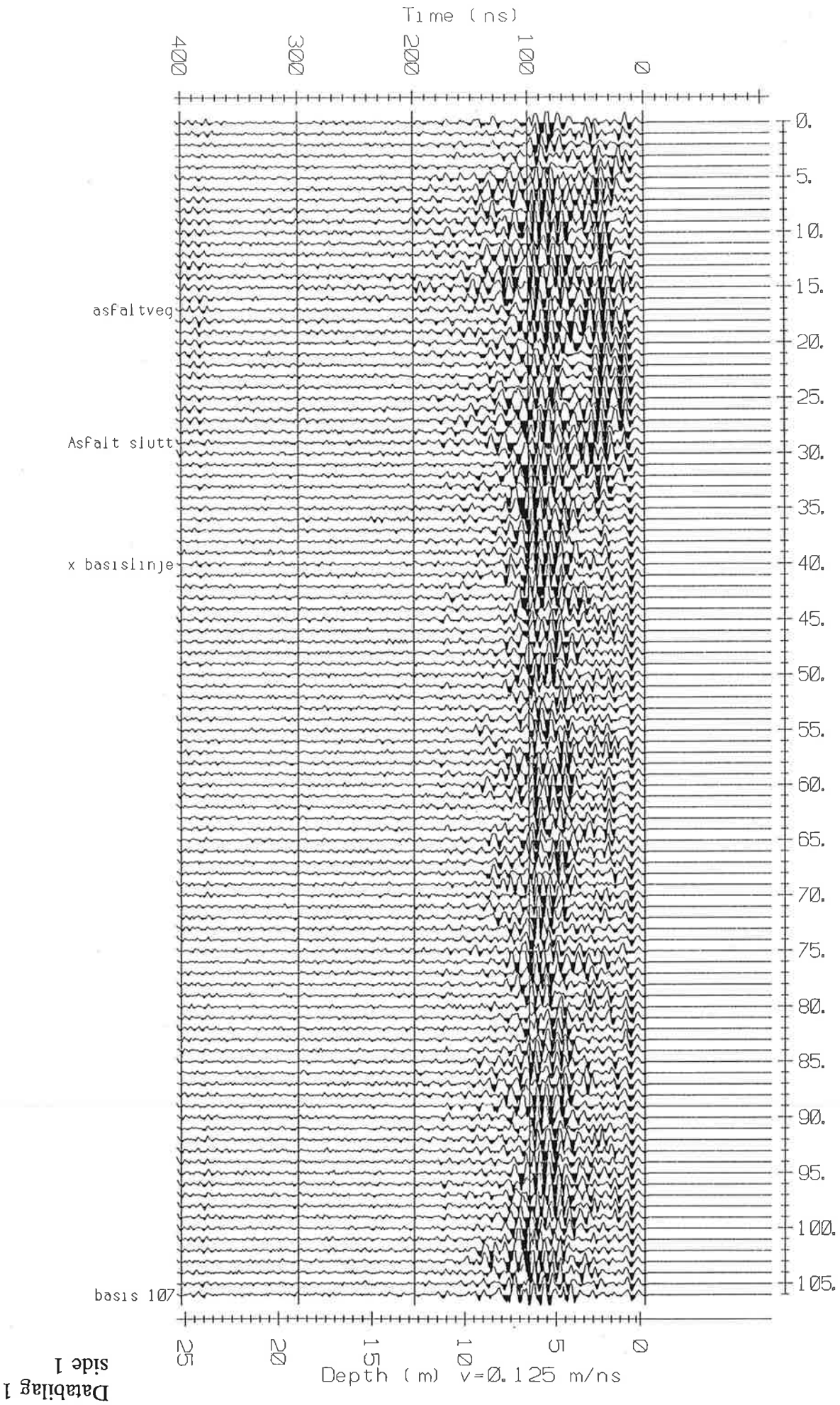
EM-31 - METODEBESKRIVELSE

EM-31 er en elektromagnetisk utrustning som måler undergrunnens elektriske ledningsevne direkte uten å ha kontakt med bakken. Instrumentet er spesialbygd for kartlegging av forskjellige jordarter, og kan til en viss grad bestemme deres mektighet. Instrumentet består av en senderspole og en mottakerspole samt en kontrollenhet hvor tilsynelatende ledningsevne kan avleses direkte i mS/m. Tilsynelatende resistivitet er det inverse av denne størrelsen. Spolene er plassert i en konstant avstand 3.66 meter fra hverandre og har normalt vertikale akser. Arbeidsfrekvensen er på 9.8 kHz, og dybderekkevidden angis til 6 meter. Med dette menes at instrumentet kan detektere endringer i ledningsevnen ned til 6 meters dyp. Tilsynelatende ledningsevne kan måles kontinuerlig, men i praksis vil en registrere data ved faste intervaller for seinere profiluttegning.

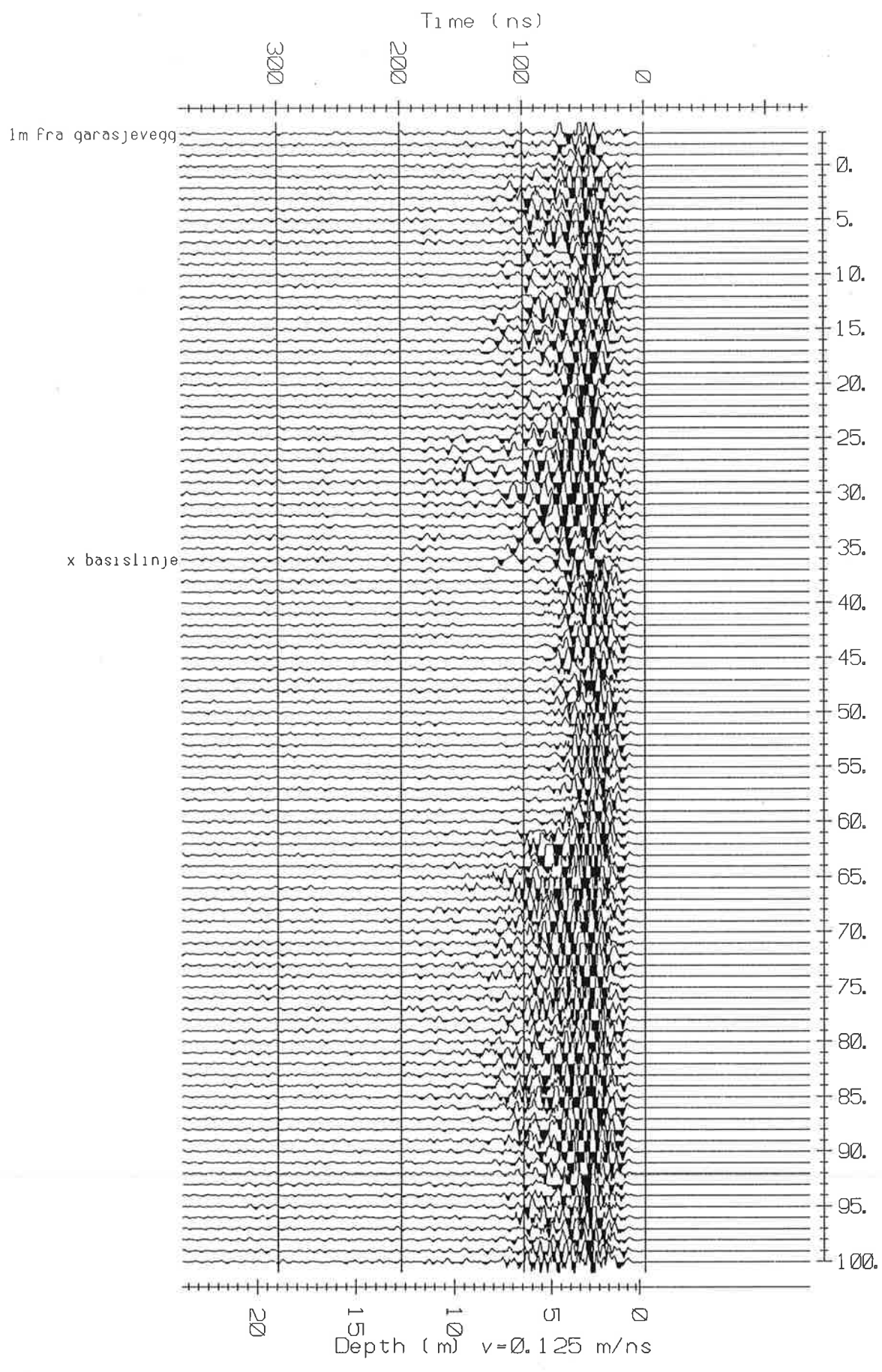
Mulighetene til å utføre dybdesonderinger med instrumentet er begrenset i og med at både spoleavstand og frekvens er fiksert. En kan imidlertid foreta såkalte geometriske dybdesonderinger. Dette kan enten gjøres ved å bestemme ledningsevnen ved forskjellige høyder over bakken, eller ved å måle med spoleaksene vertikalt og horisontalt. For å oppnå sikre data ved førstnevnte metode, bør det måles fra 0 til ca. 3 meter over bakken, og det sier seg selv at dette byr på praktiske problemer.

Ut fra en geometrisk dybdesondering kan en generelt for tolags-tilfelle beregne tykkelse av lag 1 og ledningsevnen i det andre laget. Siden EM-31 alltid måler tilsynelatende ledningsevne, er det vanskelig å bestemme ledningsevnen i det ene laget slik at de andre to størrelsene kan bestemmes. Uten tilleggsinformasjon fra f.eks. vertikale elektriske sonderinger har derfor denne tolkningsmuligheten begrenset verdi. I tolags-tilfeller hvor en kjenner ledningsevnen i det best ledende laget og hvor en vet at ledningsevnekontrasten er stor (≥ 10) kan tykkelsen av lag 1 beregnes for hver stasjon uten å utføre dybdesondering.

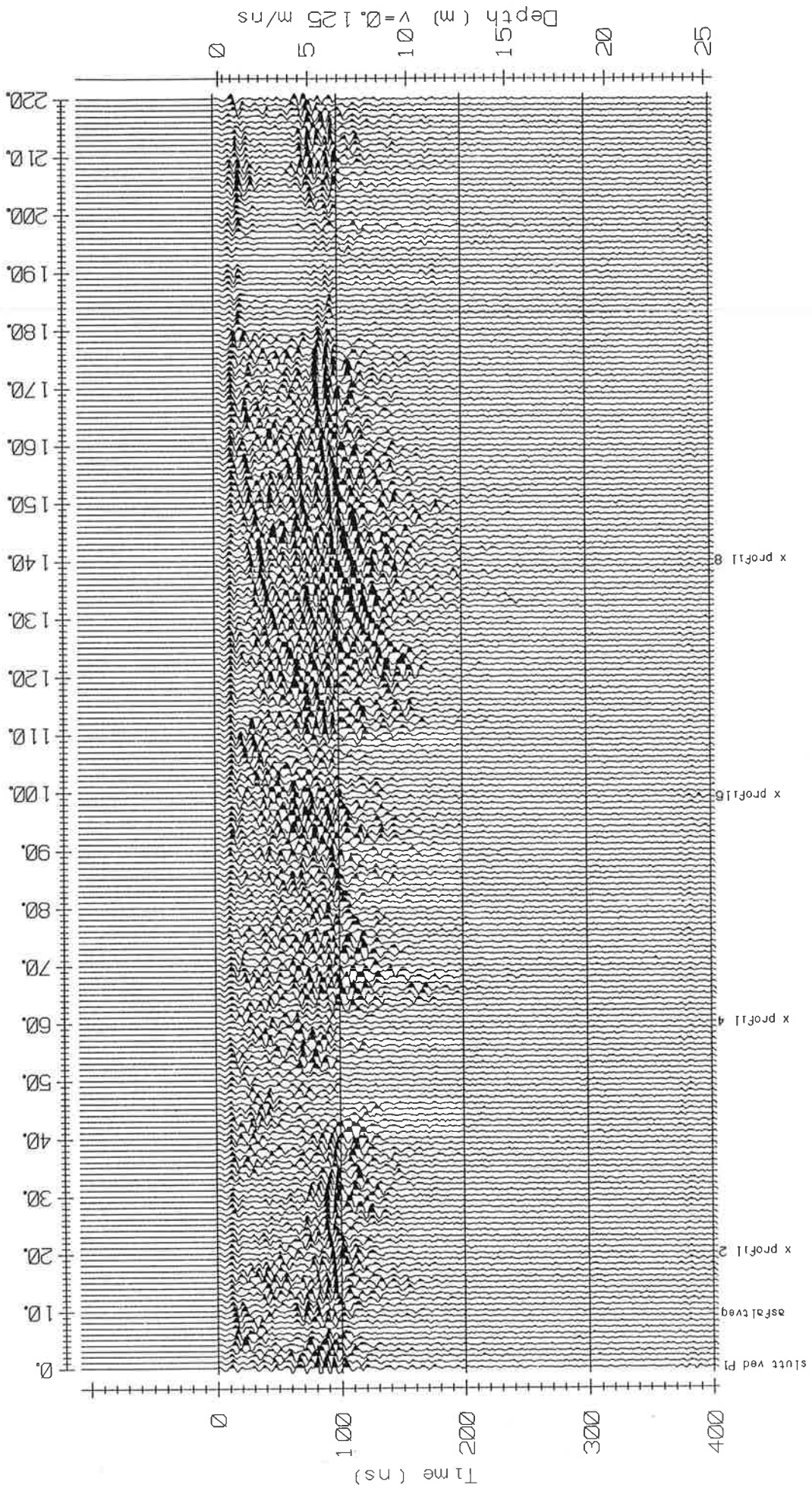
Georadar, profil 1



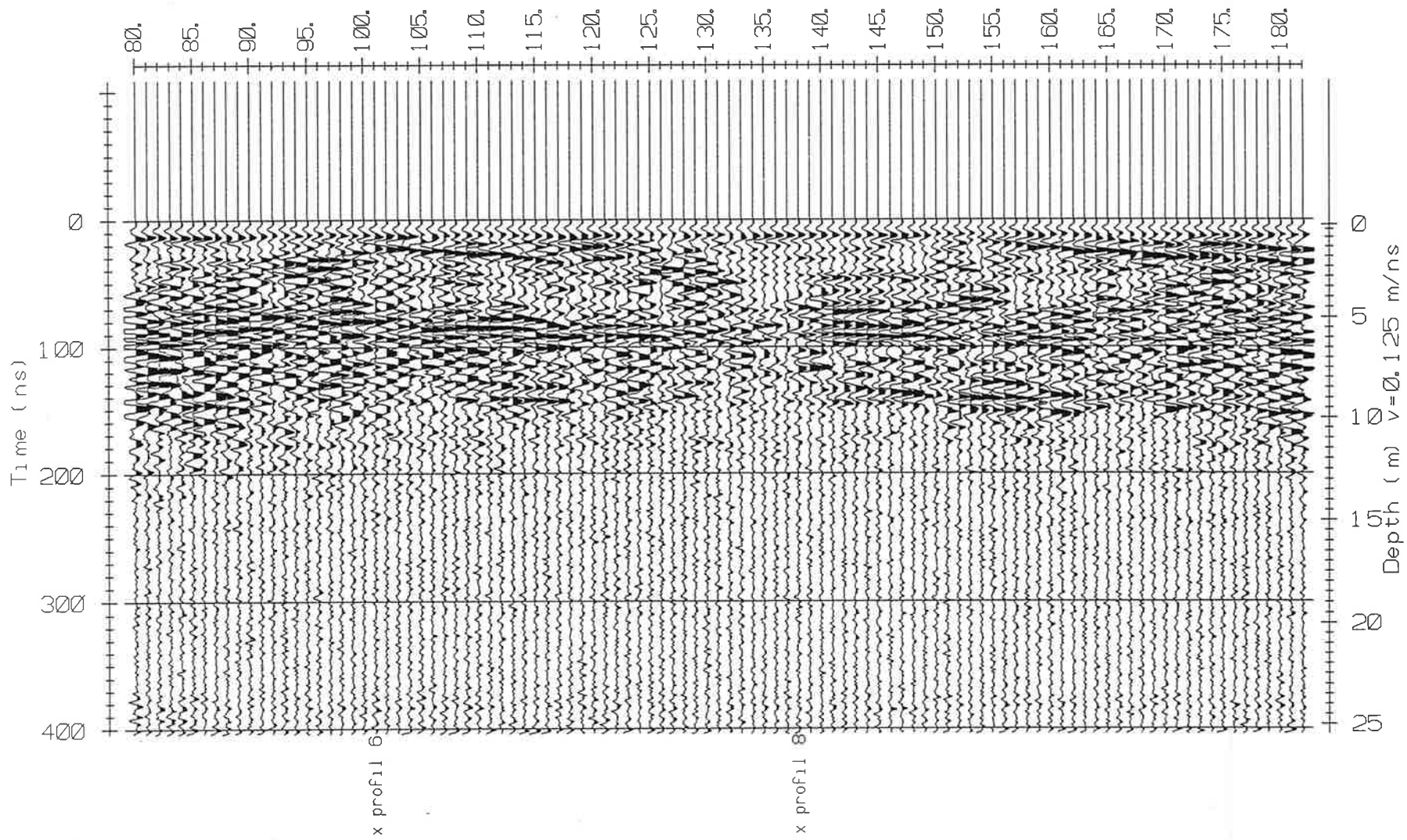
Georadar, profil 5



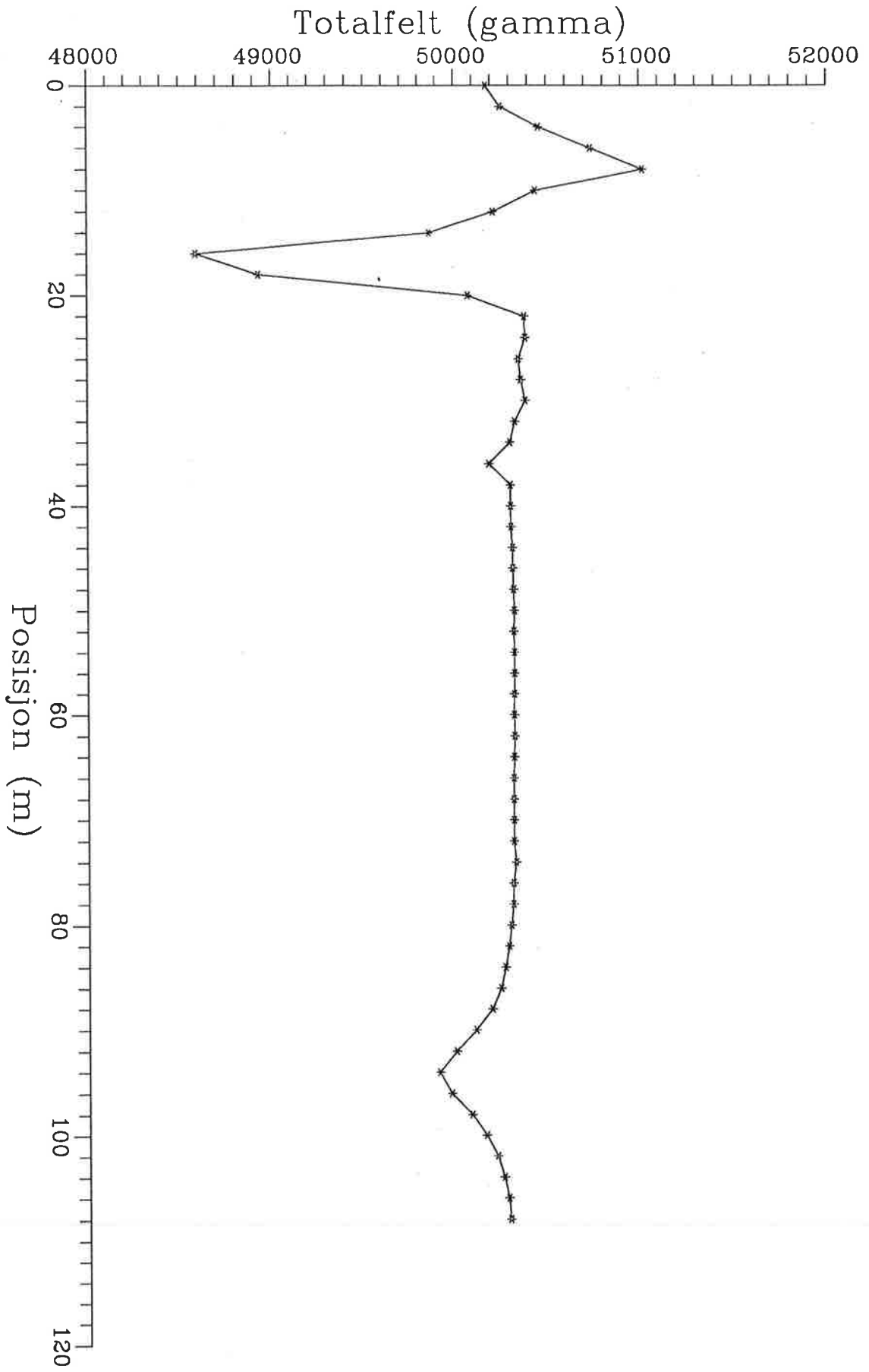
Georadar, profil 13



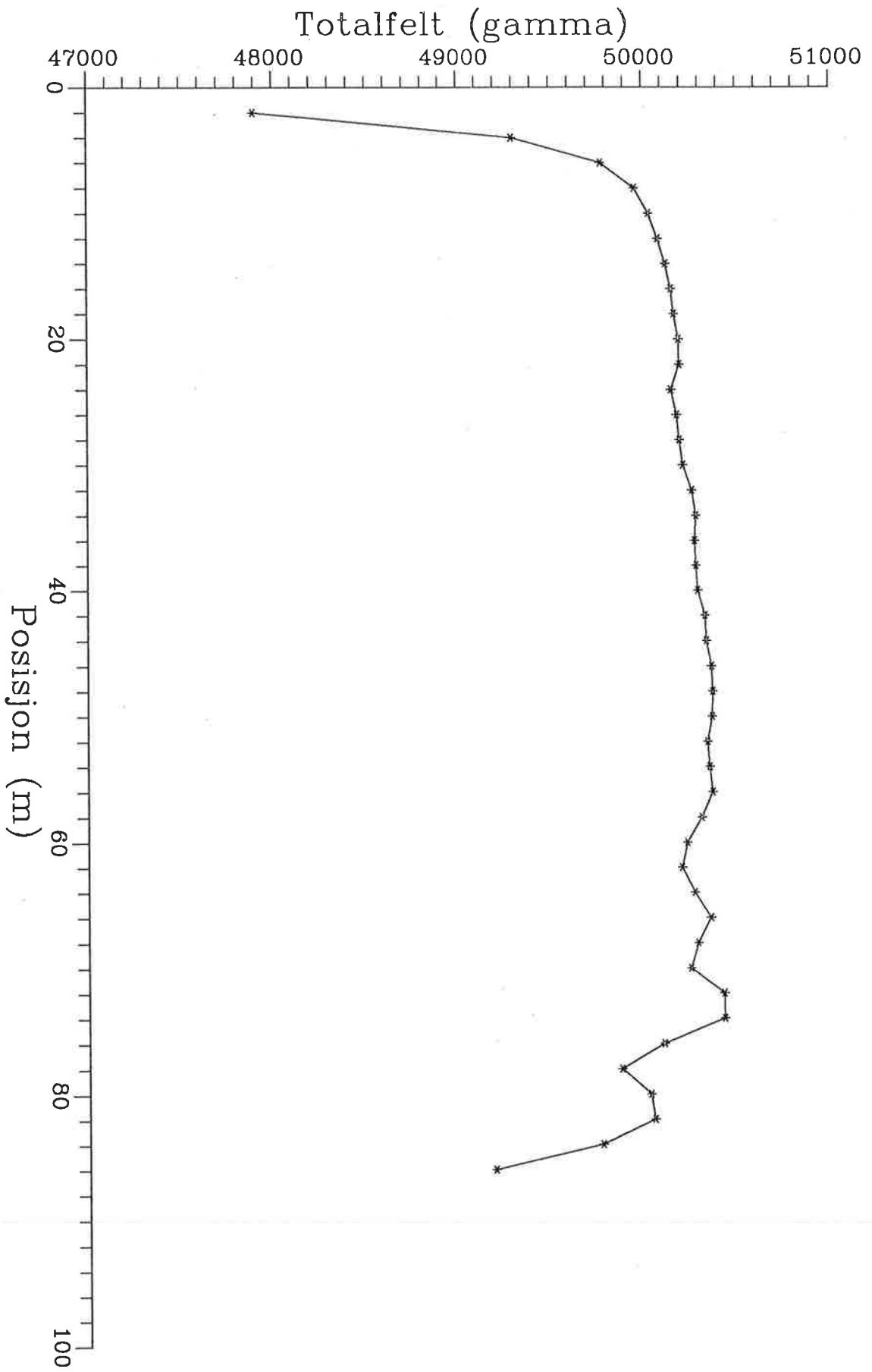
Georadar, profil 14



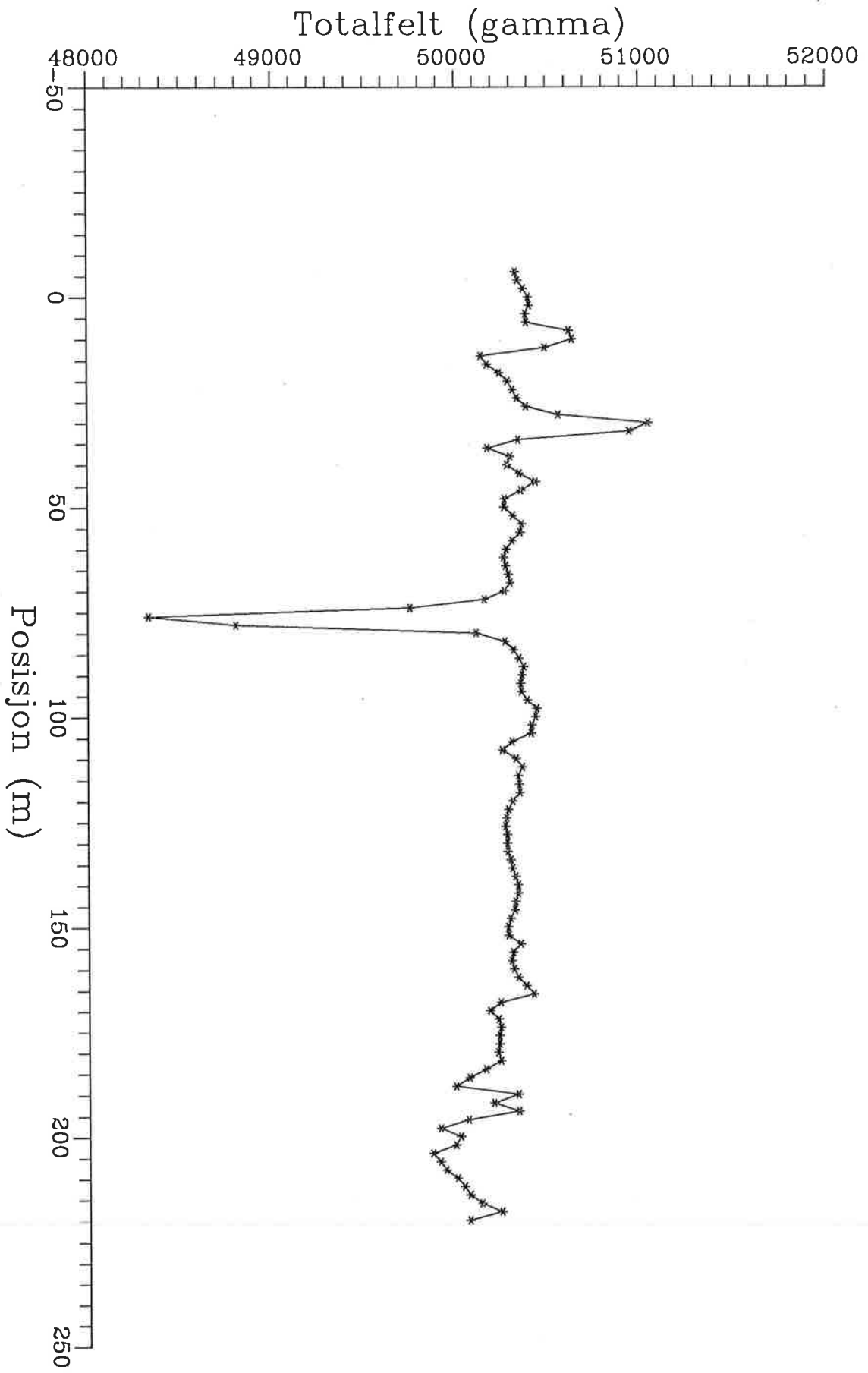
Magnetometri, profil 1



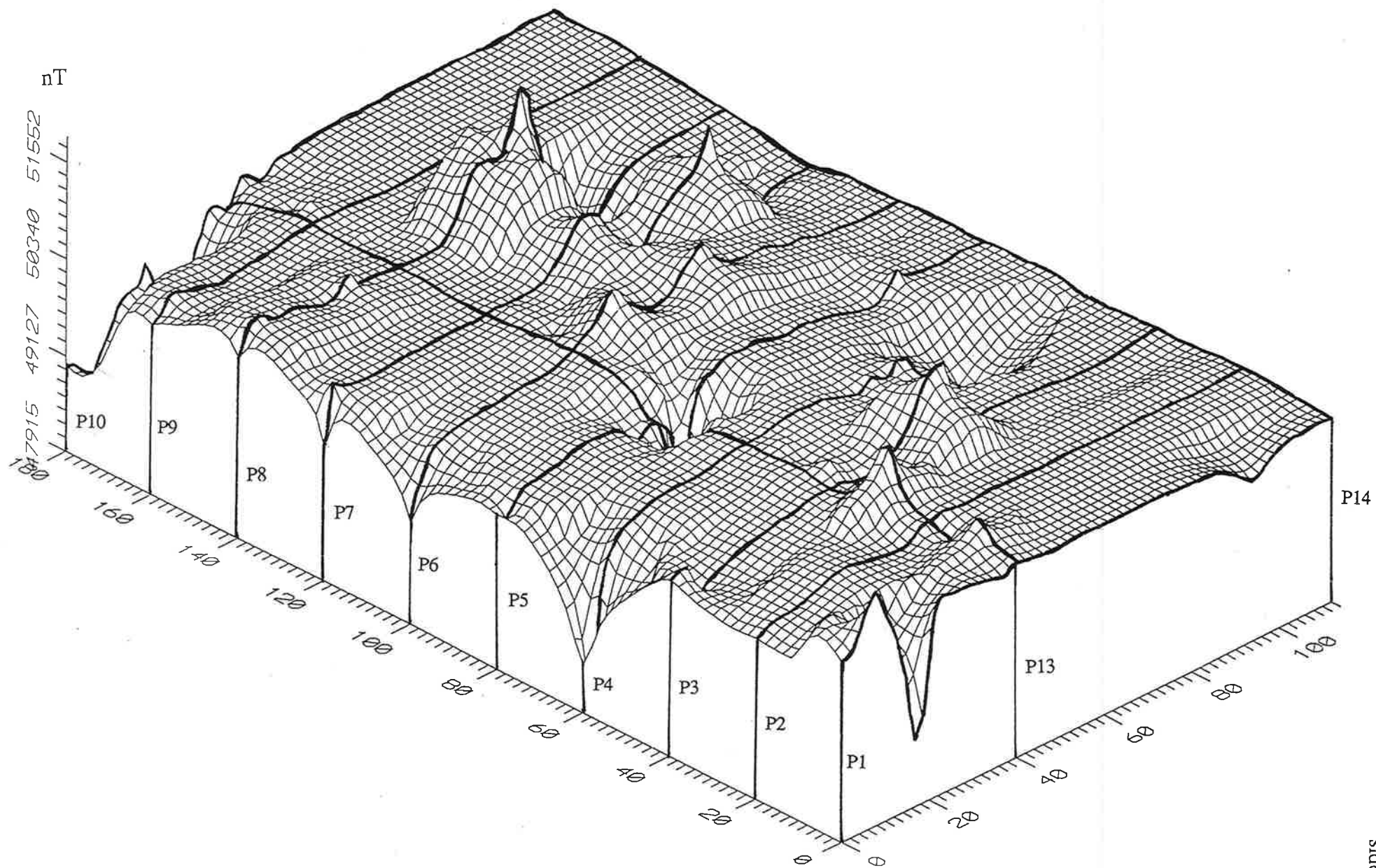
Magnetometri, profil 4



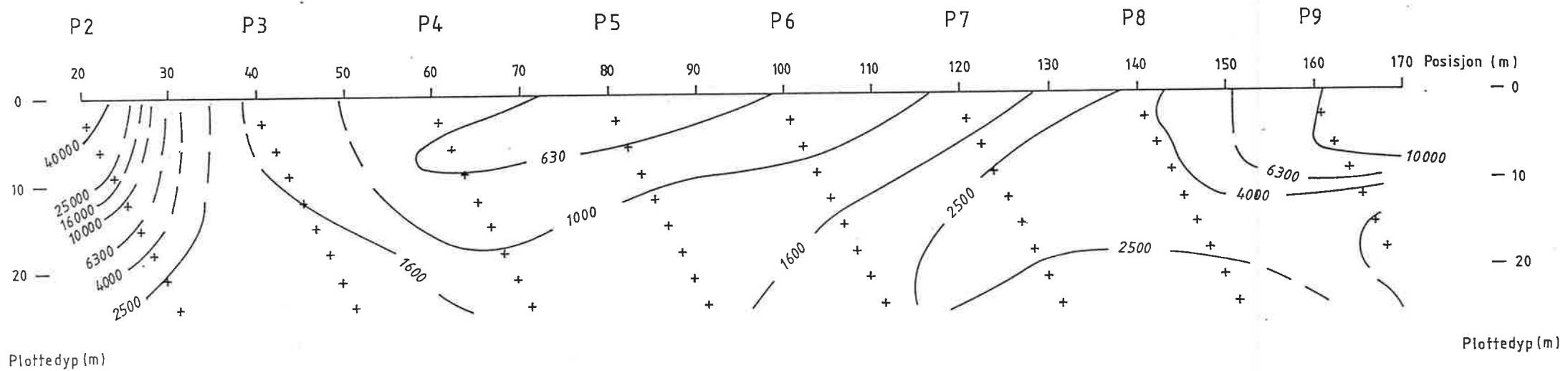
Magnetometri, profil 13



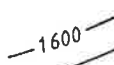
Magnetometri, 3-D-plott

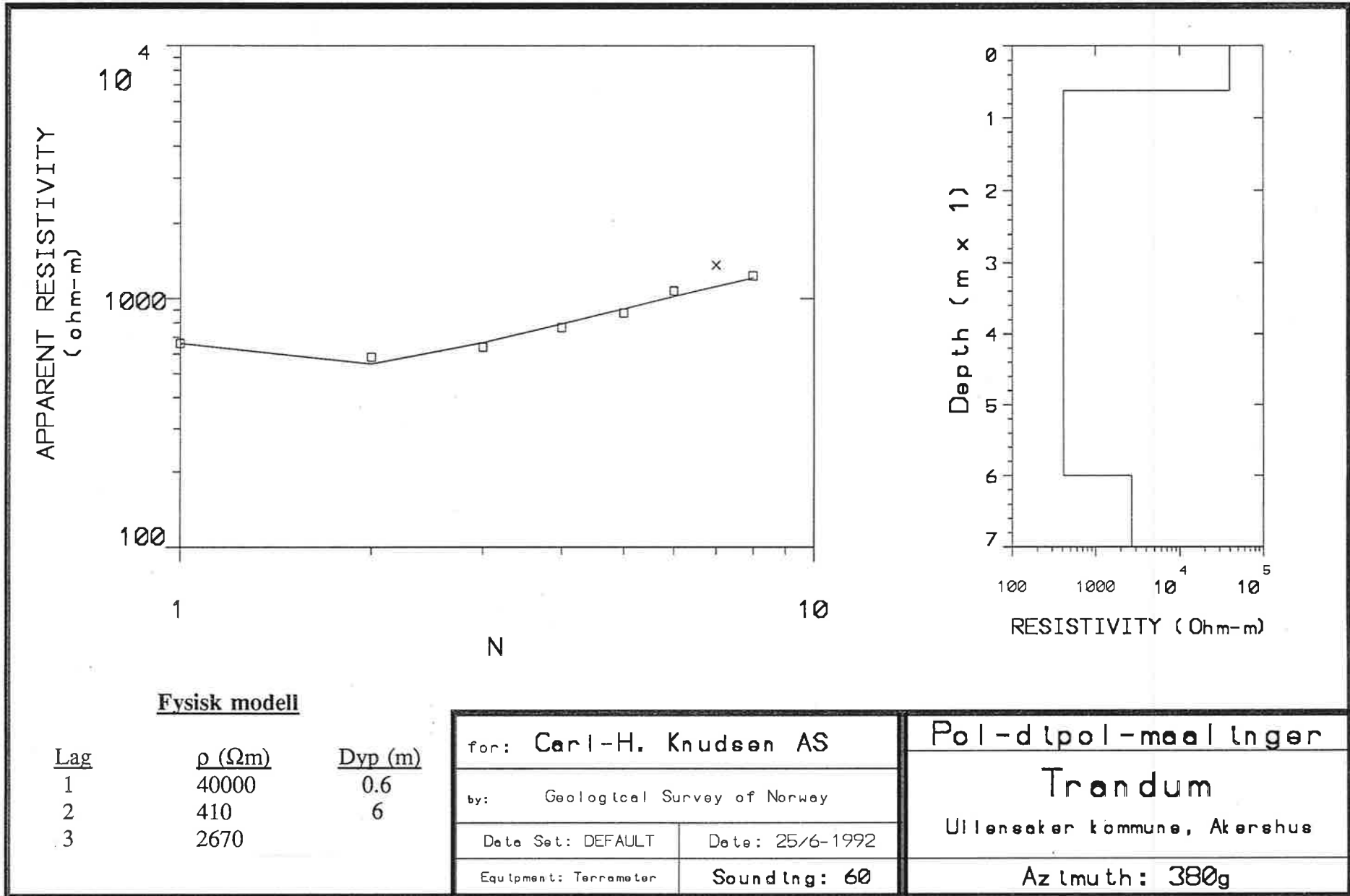


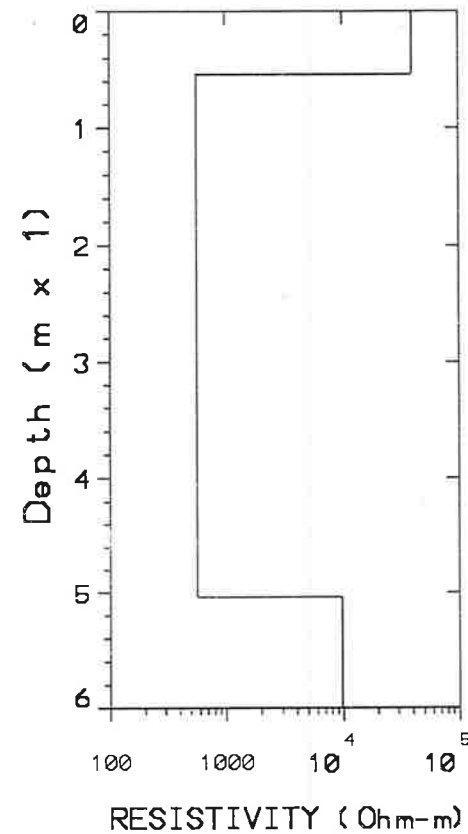
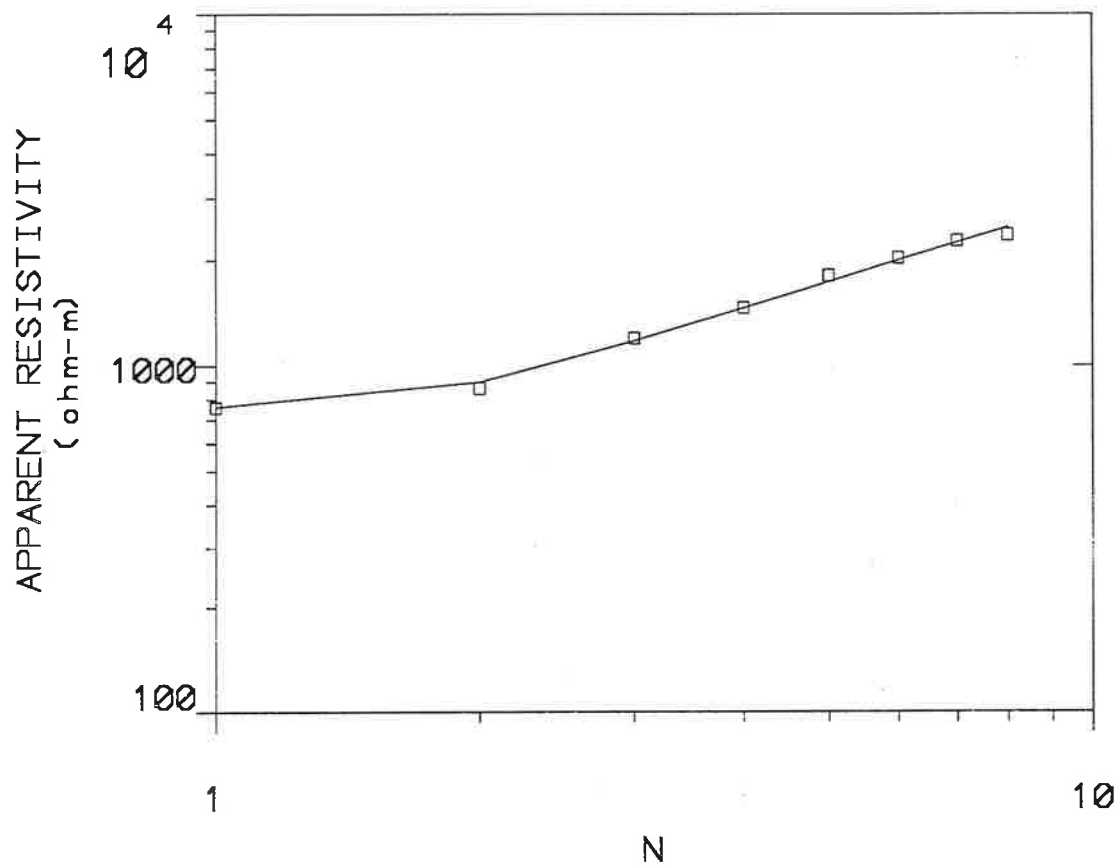
PROFIL 13 (langs deler. av basis)



TEGNFORKLARING

- P2 Kryssende profiler
- + Plottepunkt for måleverdier, tilsynelatende resistivitet
-  Ekviresistivitetskurver med angivelse av tilsynelatende resistivitet i ohmm





Fysisk modell

Lag	ρ (Ωm)	Dyp (m)
1	40000	0.5
2	564	5
3	9735	

for: Carl-H. Knudsen AS

by: Geological Survey of Norway

Date Set: DEFAULT

Date: 25/6-1992

Equipment: Terrameter

Sounding: 100

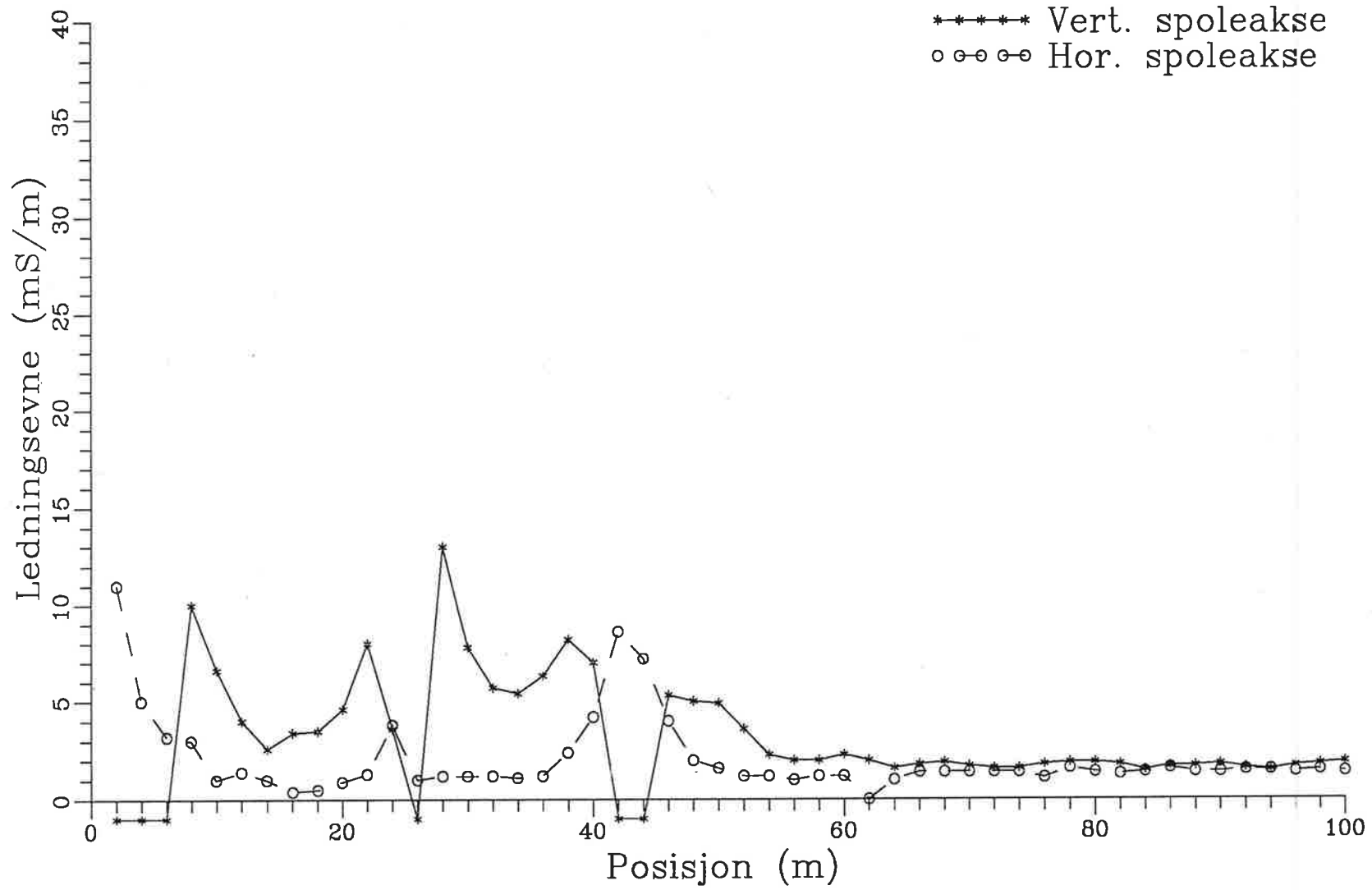
Pol-dtpol-maalinger

Trandum

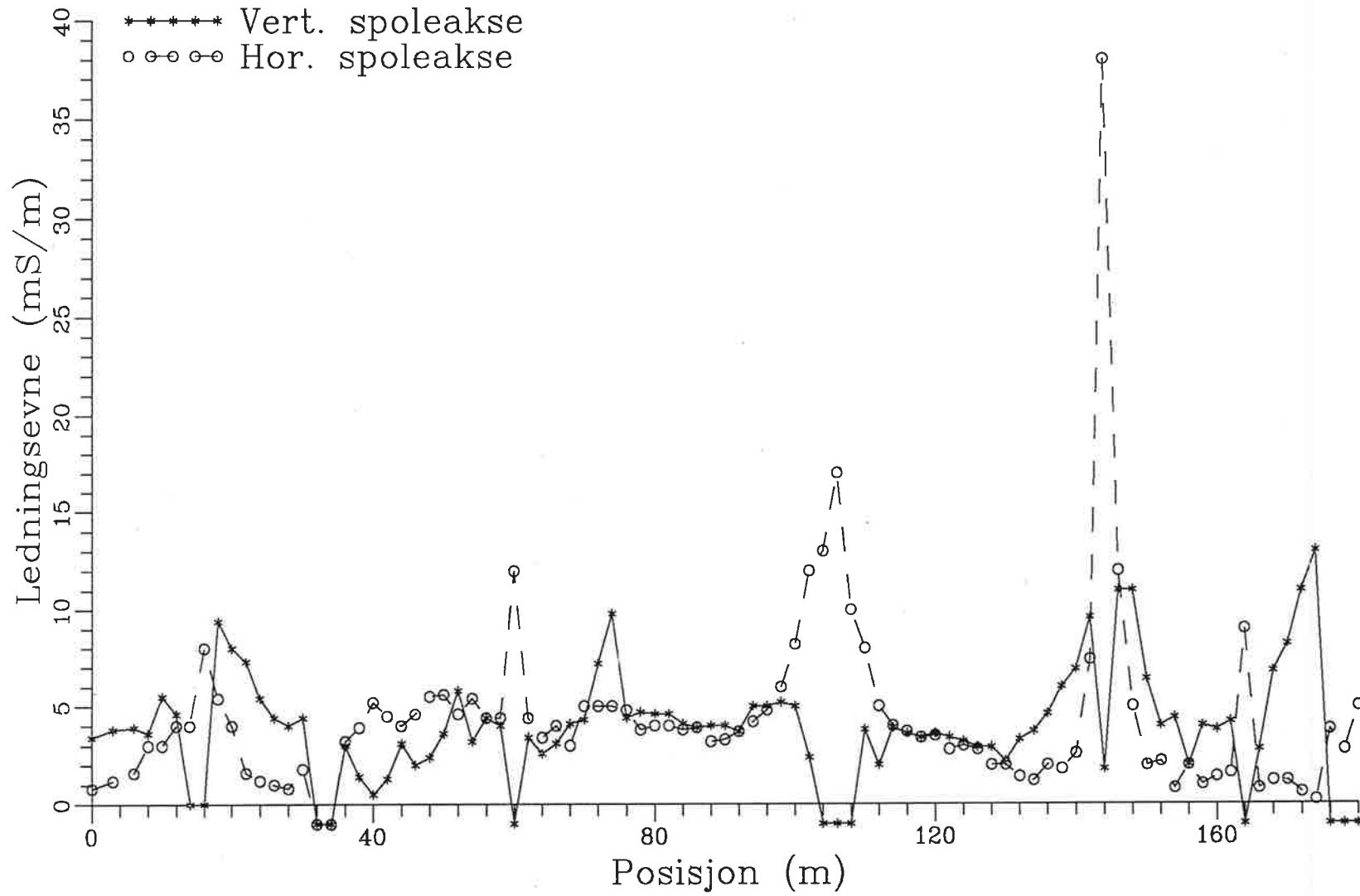
Ullensaker kommune, Akershus

Azimuth: 380g

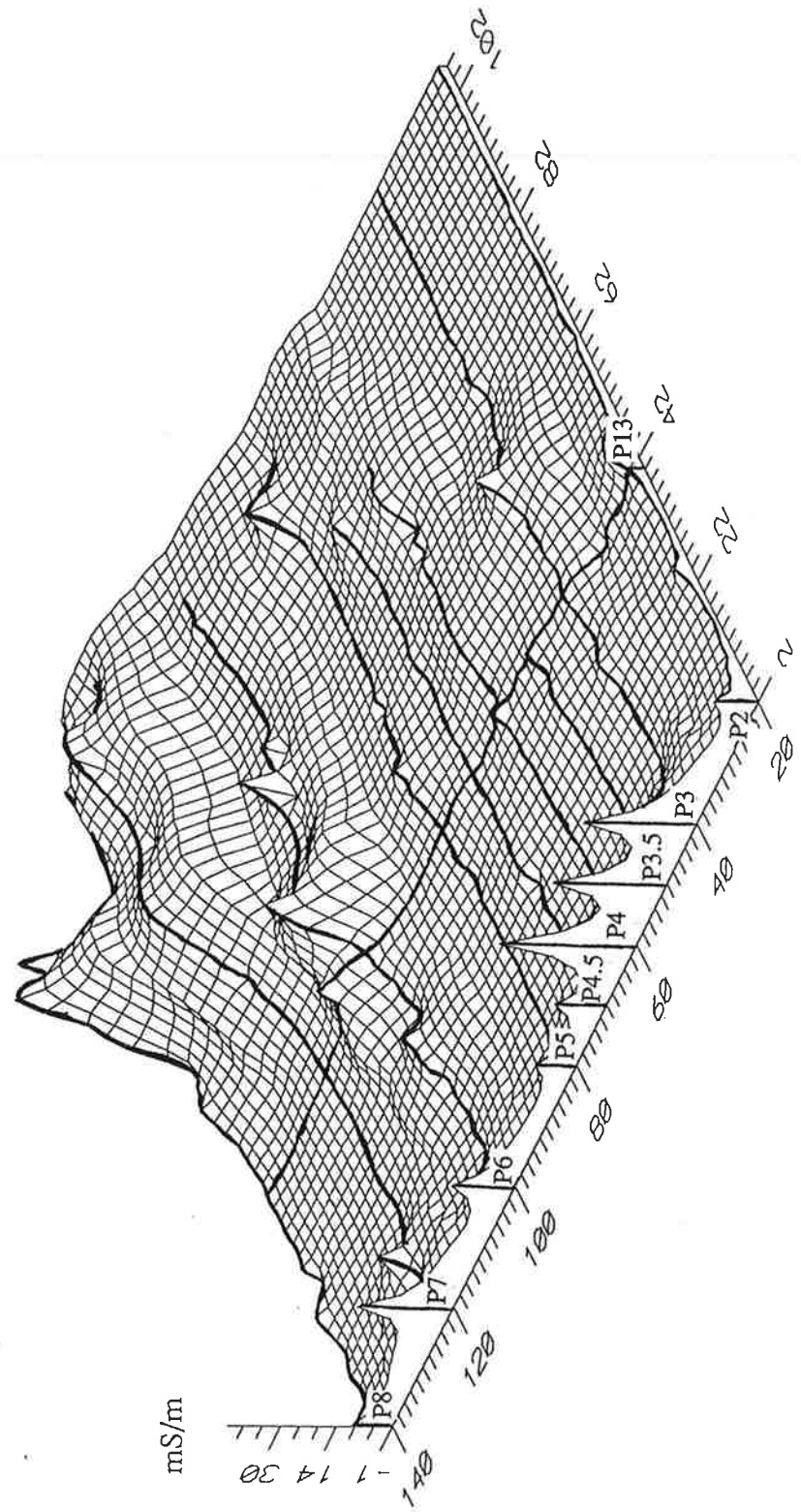
EM-31, profil 2



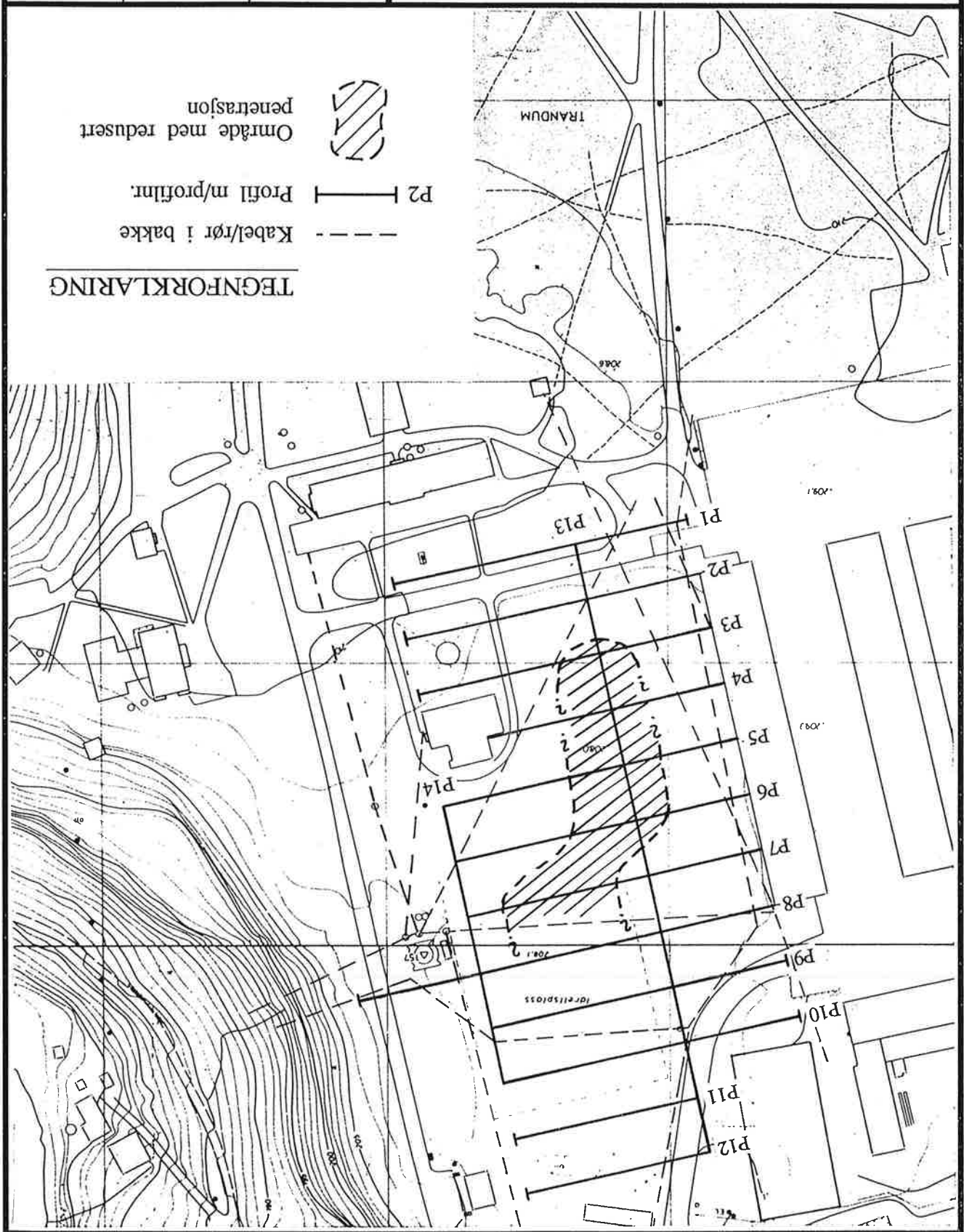
EM-31, profil 13, bakke



EM-31, 3-D-plott



KARTBLAD NR 1915-II		TEGNING NR 92.268-01	NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM
		ULLENSAKER KOMMUNE, AKERSHUS	
		TRANDUM GEORADAR OVERSIKTS-/TOLKNINGSKART NGU/CARL-H. KNUDSEN AS	
MÅLSTOKK	1:2000		
MÅLT EM	Junl -92		
TBGN EM	Sept. -92		
TRAC			
KFR			





TEGNFORKLARING

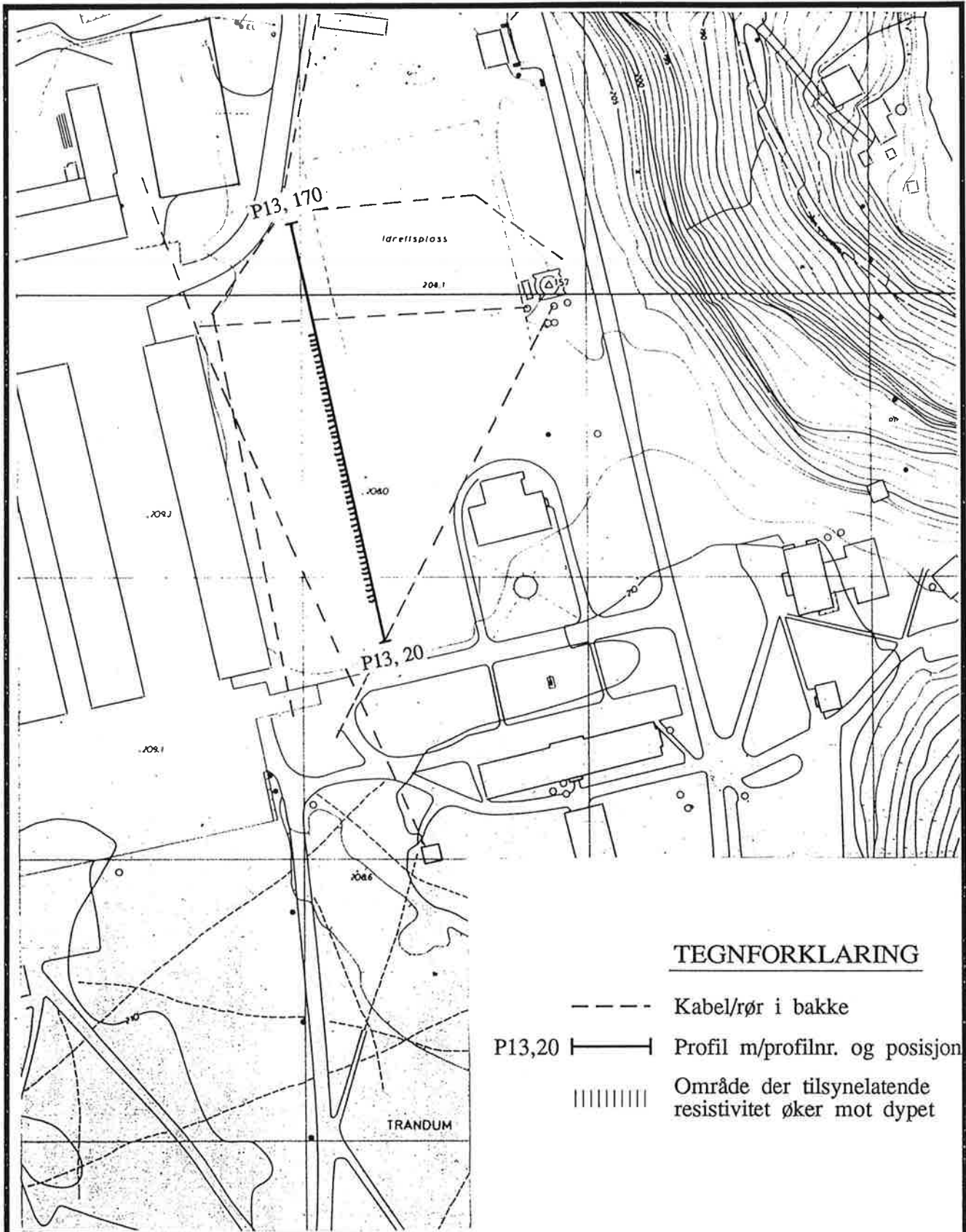
- Kabel/rør i bakke
- P2 ——— Profil m/profilnr.
- ||||||| Magnetisk anomali

NGU/CARL-H. KNUDSEN AS
 OVERSIKTS-/TOLKNINGSKART
 MAGNETOMETRI
TRANDUM
 ULLENSAKER KOMMUNE, AKERSHUS

MÅLESTOKK 1:2000	MÅLT JFT	Juni -92
	TEGN EM	Sept. -92
	TRAC	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

TEGNING NR 92.268-02	KARTBLAD NR 1915-II
-------------------------	------------------------



TEGNFORKLARING

- Kabel/rør i bakke
- P13,20 |——| Profil m/profilnr. og posisjon
- ||||| Område der tilsynelatende resistivitet øker mot dypet

NGU/CARL-H. KNUDSEN AS
 OVERSIKTS-/TOLKNINGSKART
 ELEKTRISKE MÅLINGER

TRANDUM

ULLENSAKER KOMMUNE, AKERSHUS

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK

1:2000

MÅLT JFT

TEGN EM

TRAC

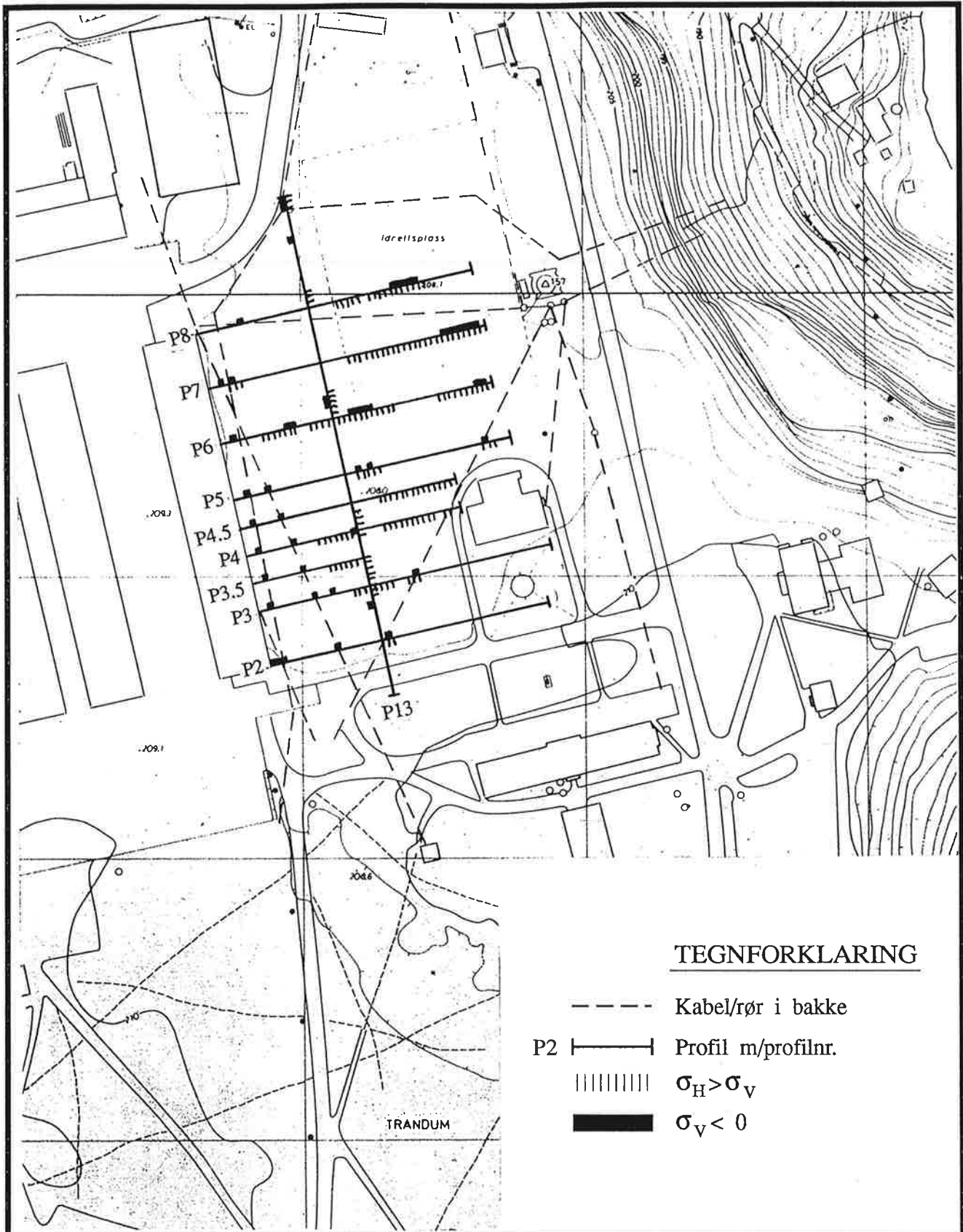
KFR

Juni -92

Sept. -92

TEGNING NR
 92.268-03

KARTBLAD NR
 1915-II



TEGNFORKLARING

- Kabel/rør i bakke
- P2 ——— Profil m/profilnr.
- ||||||| $\sigma_H > \sigma_V$
- $\sigma_V < 0$

NGU/CARL-H. KNUDSEN AS
 OVERSIKTS-/TOLKNINGSKART
 ELEKTROMAGNETISKE MÅLINGER, EM-31

TRANDUM

ULLENSAKER KOMMUNE, AKERSHUS

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK 1:2000	MÅLT JSR	Aug. -92
	TEGN EM	Sept. -92
	TRAC	
	KFR	

TEGNING NR
92.268-04

KARTBLAD NR
1915-II



TEGNFORKLARING

- Kabel/rør i bakke
- Profil m/profilnr.
- ||||| $\sigma_H > \sigma_V$
- Magnetisk anomali
- ⌈ ⌋ Antatt plassering av deponi
- Topografiske koter, ekvidistanse 0.5 m, reproduisert etter kart fra 1957

NGU/CARL-H. KNUDSEN AS SAMTOLKNINGSKART		MÅLESTOKK	MÅLT	Juni-Aug. -92
TRANDUM		1:2000	TEGN EM	Sept. -92
			TRAC	
			KFR EM	
ULLENSAKER KOMMUNE, AKERSHUS		TEGNING NR	KARTBLAD NR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE		92.268-05	1915-II	
TRONDHEIM				