

NGU Rapport 2001.090

Tunnelprosjektet.  
Geofysiske målinger ved Langvatnet,  
Lunner, Oppland

Rapport nr.: 2001.090		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Tunnelprosjektet. Geofysiske målinger ved Langvatnet, Lunner, Oppland			
Forfatter: Jan Steinar Rønning & Einar Dalsegg		Oppdragsgiver: Statens vegvesen	
Fylke: Oppland		Kommune: Lunner	
Kartblad (M=1:250.000) Hamar		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1815 I Gran og 1915 IV Hurdal	
Forekomstens navn og koordinater: Langvatnet 32 V 594600 6682500		Sidetall: 22 Kartbilag: 3	Pris: kr 180,-
Feltarbeid utført: 26.06-05.07 2001	Rapportdato:	Prosjektnr.: 2827.02	Ansvarlig:
<p>Sammendrag:</p> <p>I forbindelse med prosjektet "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler", her kalt Tunnelprosjektet, har NGU foretatt geofysiske målinger på bakken og i borehull ved Langvatnet, Lunner kommune. Hensikten med dette var å teste nye teknikker som hittil er lite benyttet ved forundersøkelser for tunneler. De anvendte teknikker på bakken er VLF-EM (Very Low Frequency ElectroMagnetic), magnetometri og 2D resistivitetsmålinger. I tillegg er det foretatt måling av resistivitet i 4 borehull samt inspeksjon med optisk televiewer i to brønner. Parallelt med de geofysiske undersøkelsene har NGU foretatt oppfølgende geologiske undersøkelser. Denne rapporten beskriver undersøkelsene på bakken og resistivitets-målingene i borehullene. NGUs geologiske undersøkelser og inspeksjonsdata blir beskrevet i egen rapport.</p> <p>Måling av resistivitet i 2 dimensjoner langs 2 profiler har gitt interessant informasjon om resistivetsfordelingen i bakken ved Langvatnet. Inversjon av data gir entydige fysiske modeller som bekreftes ved resistivitetsmålinger i eksisterende brønner. I motsetning til andre aktuelle geofysiske metoder for sprekkekartlegging (Refraksjonsseismikk, VLF og magnetometri), gir 2D resistivitet informasjon om sprekkesonenes forløp mot dypet.</p> <p>Flere soner viser redusert resistivitet ned til tunnelnivå, og det antas at dette skyldes økt oppsprekning og vannlekkasjer i berggrunnen. For å få en bekreftelse på hva den reduserte resistiviteten betyr med hensyn på fjellkvalitet, foreslås boring av 3 nye brønner. Disse plasseres slik at resultatene kan benyttes ved tunneldrivingen. Det er planlagt inspeksjon med optisk televiewer og hydrogeologiske undersøkelser i disse brønnene.</p>			
Emneord: Geofysikk	Elektrisk måling	Elektromagnetisk måling	
Magnetometri			
		Fagrapport	

## INNHOOLD

1. INNLEDNING.....	4
2. BAKGRUNN OG TIDLIGERE UNDERSØKELSER.....	4
3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE.....	5
3.1 2D Resistivitet.....	5
3.2 VLF.....	6
3.3 Magnetometri.....	6
3.4 Resistivitet i borehull.....	6
4. RESULTATER.....	7
4.1 2D Resistivitet.....	7
4.2 VLF.....	8
4.3 Magnetometri.....	8
4.4 Resistivitet i borhull.....	9
5. DISKUSJON.....	9
6. KONKLUSJONER.....	11
7. REFERANSER.....	12

## FIGURER:

Figur 1:	Resistivitetmodell profil 1
Figur 2:	Resistivitetmodell profil 2
Figur 3:	VLF Profil 1
Figur 4:	Magnetisk totalfelt profil 1
Figur 5:	VLF og magnetisk totalfelt profil 2
Figur 6:	VLF profil 3 og 4
Figur 7:	Tilsynelatende resistivitet borhull 1
Figur 8:	Tilsynelatende resistivitet borhull 2
Figur 9:	Tilsynelatende resistivitet borhull 3
Figur 10:	Tilsynelatende resistivitet borhull 4

## DATABILAG:

Databilag 1:	Utdrag av NGU Analyserapport 2001.0392.
Databilag 2:	Innmålte profil- og borhullskoordinater (WGS-84)

## KARTBILAG:

Kartbilag 2001.090-01:	Oversiktskart
Kartbilag 2001.090-02:	VLF/Resistivitet tolkningskart
Kartbilag 2001.090-03:	VLF/Magnetisk tolkningskart

## **1. INNLEDNING.**

I forbindelse med prosjektet "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler", her kalt Tunnelprosjektet, har NGU foretatt geofysiske målinger på bakken og i borehull ved Langvatnet, Lunner kommune. Hensikten med dette var å teste nye teknikker som hittil er lite benyttet ved forundersøkelser for tunneler. De anvendte teknikker på bakken er VLF-EM (Very Low Frequency ElectroMagnetic), magnetometri og 2D resistivitetsmålinger. I tillegg er det fortatt måling av resistivitet i 4 borehull samt inspeksjon med optisk televiwer i to brønner. Parallelt med de geofysiske undersøkelsene har NGU foretatt oppfølgende geologiske undersøkelser. Denne rapporten beskriver undersøkelsene på bakken og resistivitetsmålingene i borehullene. NGUs geologiske undersøkelser og inspeksjonsdata blir beskrevet i egen rapport.

Målingene ble utført av Roger Wisen fra Lunds Tekniske Universitet og Einar Dalsegg, Harald Elvebakk og Jan Steinar Rønning fra NGU i tiden 26.06 til 05.07 2001.

Det undersøkte området framgår av kartbilag –01

## **2. BAKGRUNN OG TIDLIGERE UNDERSØKELSER.**

For å lette trafikkavviklingen mellom Hadeland-Tyrifjorden-Randsfjorden og den nye hovedflyplassen på Gardermoen, er det planlagt en tverrforbindelse mellom riksveg 4 i vest og riksveg 174 i øst. Hele parsellen er 26 km lang hvorav den vestligste delen går i en 3,8 km lang tunnel under Dalasjøhøgda, Langvatnet og Rinilhaugen naturreservat.

Geologiske og ingeniørgeologiske forhold er beskrevet i rapport fra forundersøkelser av Kirkeby og Iversen (1996). Basert på disse undersøkelsene er det utført refraksjonsseismiske målinger over Langvatnet (Geomap 1997) og foretatt en kjerneboring under Langvatnet (Iversen 1998). Hydrologiske konsekvenser av tunnelen er beskrevet av Jordforsk (Kløve m.fl. 1999).

NGU har tidligere utført geofysiske målinger fra helikopter over det aktuelle området (Beard 1998, Beard og Mogaard 2001). Som en første fase av tunnelprosjektet har NGU foretatt en tolkning av disse data med vektlegging på lineamenter (strukturer) som kan ha betydning for tunnelbyggingen (Beard 2001).

Resistivitetsmålinger i 2 dimensjoner var den primære målemetode ved denne undersøkelsen. Metoden er relativt ny og hittil benyttet i ett tilfelle ved sprekkekartlegging i Norge. Dette var under et Nordisk forskerkurs i Ingeniørgeofysikk som ble arrangert av Universitetet i Oslo høsten 2000. Det ble da målt et 1300 meter langt profil over Romeriksporten, og dette viste interessante resultater (Nordgulen & Rønning 2000). VLF- og magnetiske målinger ble utført som referansemetoder. VLF er benyttet en del for lokalisering av sprekker i fjell i Norge. Det samme er magnetiske målinger, men kanskje mest ved regionale undersøkelser. I tillegg til å lokalisere sprekkesoner kan magnetiske målinger lokalisere ganger.

### 3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

På bakken er det foretatt måling av 2D resistivitet, VLF-EM (Very Low Frequency ElectroMagnetic) og magnetometri. I de tilgjengelige borehullene er det foretatt resistivitetsmålinger som rapporteres her. I det følgende blir metoder og utførelse kort beskrevet.

#### 3.1 2D Resistivitet.

##### Datainnsamling.

Resistivitetsmålinger (elektriske motstandsmålinger) i 2 dimensjoner ble utført med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høgskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993). Ved denne undersøkelsen ble det benyttet 8 aktive kabler, alle med lengde 100 meter slik at utlegget ble totalt 800 meter. Sentralt i utlegget (de 4 kablene i midten) ble det benyttet en elektrodeavstand på 10 meter. I utleggets perifere deler (ytterste 200 meter til hver side) var elektrodeavstanden 20 meter. Selve målingene, som ble styrt av en PC, ble foretatt med en kombinasjon av Wenner og Schlumberger elektrodekonfigurasjon. For hver 100 meter langs profilet ble det foretatt 190 målinger med forskjellige elektrodekonfigurasjoner. Ved å utnytte dette utlegget maksimalt kan en kartlegge resistiviteten ned til ca 120 meters dyp. Størst oppløsning oppnås i de øverste 50 – 60 metrene.

På grunn av topografien var det ikke mulig å legge ett profil langs hele den planlagte tunneltraséen. Profilenes beliggenhet og de noe varierende retninger har sin årsak i sterkt begrenset fremkommelighet i deler av området. Selv om profilenes beliggenhet ikke er ideell med tanke på tunneltraséen, krysser profilene de mest markerte sprekkesystemene i området. Profilene ble stukket samtidig med målingene og er merket med trestikker med angitte koordinater for hver 20 meter. Profilene og borehullenes beliggenhet er innmålt med GPS.

##### Inversjon.

Ved alle resistivitetsmålinger måles en tilsynelatende resistivitet. Denne representerer et veid middel av alle resistiviteter som er innenfor målingens influensområde. For å finne den spesifikke resistivitet i ulike deler av undergrunnen må data inverteres. Dette utføres ved at bakken deles opp i ruter som tilordnes en bestemt resistivitetsverdi. Denne blir så justert i flere trinn (iterasjoner) inntil responsen fra den teoretiske modellen blir mest mulig lik de målte data.

Resistivitetsmålingene ble invertert ved bruk av dataprogrammet RES2DINV (Loke 2001). Datakvaliteten var i hovedsak meget god, men et fåtall måleverdier som så ut til å være feil ble tatt ut av datasettet før inversjonen av data startet. Det ble gjort forsøk med forskjellig inversjonsmetoder (Least Square og Robust) og det ble eksperimentert med forskjellige inversjonsparametre, dempningsfaktorer og forskjellige filtre som favoriserte vertikale strukturer. Dette ga ikke noen endringer i hovedtrekkene i de inverterte profilene, men mindre avvik i detaljer.

### 3.2 VLF

VLF (Very Low Frequency) er en elektromagnetisk metode som bl.a. gir anomalier på økt elektrisk ledningsevne som skyldes mineraliseringer eller større vanninnhold i oppsprukket fjell. Metoden er derfor velegnet for påvisning av større sprekkesoner/forkastninger (svakhetssoner i fjell).

Metoden benytter feltet fra fjerntliggende radiosendere, hvor frekvensen ligger i intervallet 15 til 30 kHz. Uten ledende soner er magnetfeltet horisontalt. I ledende soner indueres sekundære strømmer, og det totale elektromagnetiske feltet vil ikke lenger være horisontalt. Ved å måle feltets fall (dipvinkel, reellkomponent  $R_e$ ), og en størrelse som er avhengig av faseforskyvningen mellom det primære og det sekundære feltet (imaginærkomponenten  $I_m$ ), kan ledende soner påvises.

Målingene ble utført med NGUs egenproduserte mottaker. Profil 1 og 2 ble målt i juli samtidig med resistivitetsmålingene. Profil 3 og 4, som begge er målt for å få data rett over tunnelen, ble målt den 28. august. Senderstasjonen som ble benyttet var den engelske senderen GBZ unntatt på profil 4 hvor den norske JXZ ble benyttet. Valg av senderstasjon ble bestemt av dens beliggenhet i forhold til antatt sprekeretning, og av mottaksforholdene. Målepunktavstanden langs profilet var 20 meter med mellommålinger i de anomale områdene.

### 3.3 Magnetometri.

De magnetiske målingene som ble utført var målinger av jordens totale magnetfelt. Disse målingene gir i hovedsak opplysninger om berggrunnens magnetittinnhold. Svakhetssoner i fjell kan komme frem ved at bergartens opprinnelige innhold av magnetitt oksyderes til det mindre magnetiske mineralet hematitt (Henkel & Guzman 1977), noe som gir utslag i redusert magnetfelt over sonen. I tillegg kan metoden påvise ganger som kan ha annen magnetisering enn omgivelsene.

Målingene ble utført med et protonmagnetometer av typen Scintrex ENVI-MAG med en målenøyaktighet på +/- 0.1 nT. De daglige variasjonene i magnetfeltet ble jevnlig kontrollert med måling i et fast punkt. De daglige variasjonene var i måleperioden minimale og måldata er derfor av god kvalitet. Målesonden var plassert 2.5 meter over bakken og målepunktavstanden langs profilene var 10 meter.

### 3.4 Resistivitet i borehull.

Det ble utført borehullslogging av tilsynelatende resistivitet i borehullene 1, 2, 3 og 4 (se kartbilag -02). Loggingen ble foretatt med ABEMs Terrameter SAS 300A og SAS Log 200 (ABEM 1979). Målekonfigurasjonen Long Normal Logging (LN) ble benyttet, og denne konfigurasjonen har en avstand mellom strøm- og potensialelektrode i borehullet på 160 cm. Fjernelektrodene ble plassert ca. 100 m fra borehullene. Målepunktavstanden langs borehullet var 1 meter. Da dette er en elektrisk målemetode, kan målingene foretas kun i den delen av

borehullet som er vannfylt. I borehullene 1 og 2 stod vann-nivået nesten helt i toppen av hullet, mens det for borehullene 3 og 4 var nede på vel 40 meter.

## 4. RESULTATER

Lokalisering av målte profiler fremgår av kartbilagene –02 og –03. I det følgende blir måleresultatene kommentert.

### 4.1 2D Resistivitet

Inverterte resistivitetsdata fra profilene 1 og 2 er vist i figurene 1 og 2. De viste seksjonene er produsert med Robust inversjon og et filter som favoriserer vertikale strukturer (Ver/Hor = 2). Det er tatt hensyn til topografien under inversjonen, noe som avspeiles i varierende dybderekkevidde langs profilene.

**Profil 1** (Figur 1) kjennetegnes med en meget stor variasjon i resistiviteten. Laveste verdi er ned mot 1 ohmm mens høyeste er over 60000 ohmm. Generelt ligger resistiviteten for Oslofeltets bergarter (koordinat 700 til 2500) i området 5000 til ca 60000 ohmm, mens resistiviteten i den kambrosilurske hornfelsen (koordinat 0 til 700) jevnt over er noe lavere (500 til 3000 ohmm). Denne variasjonen kan indikere generelt høyere oppsprekning i hornfelsen.

Innenfor det generelle bildet fremstår flere detaljer. Mest interessant er soner med lavere resistivitet enn det generelle nivået. Øst for koordinat 700 (i Oslofeltets bergarter) finnes disse hovedsakelig knyttet til depresjoner i terrenget som tidligere er kartlagt som svakhetssoner (Kirkeby og Iversen 1996). Lavere resistivitet kan skyldes økt oppsprekning (større porøsitet), men også tilstedeværelse av ledende mineraler (sulfider, oksyder og leirmineraler). Enkelte av disse sonene med lavere resistivitet synes å dø ut mot dypet (ved koordinatene 1000, 1100 og 1240), mens andre fortsetter mot dypet og vil trolig nå ned til tunnelnivået (ved koordinatene 820, 1760 og 2160). Dagnære områder med lav resistivitet synes å være knyttet til myrområder.

I kontakten mellom Oslofeltets bergarter og kambrosiluriske bergarter, ved koordinat 700 fremstår en sone med spesielt lav resistivitet. Målingene rekker ikke ned til tunnelnivå (385 m.o.h), men sonen viser ingen svekning, og trolig vil den nå ned. Dagnært i bratthenget mellom koordinatene 450 og 640 er resistiviteten høyere enn mot dypet, noe som kan skyldes uttørking i det gode været en hadde når målingene ble utført. Profilets vestlige ende karakteriseres av ekstreme variasjoner i resistiviteten. Verdier ned mot 1 ohmm kan ikke forklares med oppsprukket fjell, og her finnes trolig materiale med elektronisk ledningsevne (sulfider eller grafitt). Ekstremt høye verdier i dette område kan være en kanteffekt, og tillegges ikke oppmerksomhet.

**Profil 2** (Figur 2) viser negative koordinater noe som skyldes at profilet er målt fra øst mot vest og senere snudd under bearbeidingen. I profilets østlige del (koordinat 0 –200), hvor vi finner syenitt tilhørende Oslofeltet, ligger resistiviteten i området 5000 ohmm og høyere. I Hornfelsen vest for koordinat 200, ligger resistiviteten generelt lavere enn 5000 ohmm i likhet med profil 1. En sone med spesielt lav resistivitet i kontakten mellom Oslofeltets bergarter og hornfelsen, slik vi så på profil 1, kommer ikke frem på profil 2.

Sentralt i profil 2, mellom koordinatene 450 og 700 fremstår et større område med meget lav resistivitet. Jevnt over er verdiene lavere enn 100 ohmm, og mindre områder der verdien er under 10 ohmm. Som for profil 1 anses disse verdiene å være så lave at en får mistanke om at det kan være sulfider eller grafitt til stede.

Indikerte soner med spesielt lav resistivitet er plottet inn på tolkningskart (kartbilag -02). Her skilles det mellom soner som kun opptrer i grunnere deler av profilet (ned til ca 50 meter) og soner som strekker seg mot dypet. Kartlagte resistivitetsanomalier korrelerer meget godt med de tidligere geologisk kartlagte svakhetssonene. Unntak fra dette er på høydedraget vest for Langvatnet hvor en har indikasjoner på at redusert resistivitet skyldes elektronisk ledende mineraler (sulfider eller grafitt).

## 4.2 VLF

VLF-målingene har gitt klare indikasjoner på sprekkesoner på alle profiler. På **profil 1** (figur 3) er styrken på de fleste anomaliene av en slik størrelse en kan forvente over sprekkesoner. Unntaket er anomaliene på koordinat 190 og 255. Disse anomaliene er så store og markerte at anomaliårsaken trolig er mineraliserte soner (sulfider eller grafitt). Den meget skarpe gradienten indikerer i tillegg at anomaliårsaken er meget grunn.

På **profil 2** (figur 5) er også anomaliårsaken til de fleste anomaliene trolig sprekkesoner. Unntaket her er anomalien på koordinat 475. I likhet med de to nevnte anomaliene på profil 1, er trolig anomaliårsaken til denne anomalien også en grunn, mineralisert sone.

**Profilene 3 og 4** (figur 6) indikerer svake anomalier som kan tilskrives oppsprukket fjell. En merker seg at profil 3 som krysser en svakhetszone K ved koordinat 95 ikke viser noen anomali her.

De to tolkningskartene (kartbilag -02 og -03) viser de påviste VLF-anomaliens plassering i forhold til de påviste sprekkesonene (Iversen 1998) og kartlagte resistivitetsanomalier i området. De sprekkesonene som har gitt de klareste VLF-anomalier er sonene K (profil 1 og 3), L, og S. Oppe på høydedraget vest for Langvatnet er sprekkesystemene mer uryddige, og det er derfor noe vanskelig å si hvilke anomalier som faller sammen med de tidligere påviste sprekkesonene.

## 4.3 Magnetometri

Det magnetiske totalfeltet ble målt kun på profilene 1 og 2 og er vist som kurveplott i figurene 4 og 5. Måledata viser at totalfeltet varierer rundt 51000 nT med noen høy- og lavmagnetiske soner. På begge profilene kommer overgangen mellom hornfelsen og Oslofeltets bergarter fram ved at totalfeltet øker med ca. 700 nT når en kommer inn i syenitten. Det er forventet at større sprekkesoner vil komme fram som lavmagnetiske soner på grunn av omvandling av magnetitten. Selv om dette ikke er spesielt markert, viser måledata noen lavmagnetiske soner på profil 1. Disse er markert på kartbilag -03, og de aller fleste ser ut til å ha tilknytning til sprekkesoner.



#### 4.4 Resistivitet i borehull

Målingene i de to borehullene oppe ved Munkerudstjernene (**borehull 1 og 2**) viser noenlunde samme forløp når det gjelder tilsynelatende resistivitet i borehullene. Som figurene 7 og 8 viser, synker resistiviteten nedover i begge borehullene, og fra ca 20 meter til 50 / 60 meter ligger den tilsynelatende resistiviteten på 30 til 70 ohmm. Dette er meget lavt og vanligvis verdier vi forbinder med mineraliserte soner (sulfider eller grafitt). **Borehull 2** viser at det i dette området en dårligere ledende sone mellom 26 og 30 meter med en tilsynelatende resistivitet på ca. 1000 ohmm. Ved 50 meter i borehull 2 og 65 meter i borehull 1 kommer en inn i en dårlig ledende bergart igjen. I borehull 2 synker resistiviteten igjen mot bunnen til meget lave verdier.

I **borehullene 3 og 4** som ligger nede ved vegen vest for Langvatnet viser målingene en vesentlig høyere tilsynelatende resistivitet i bergarten (figurene 9 og 10). Dette gjelder spesielt for borehull 3 hvor resistiviteten mellom 55 og 90 meter ligger i området 45000 til 70000 ohmm. Dette er meget høyt og tyder på at bergarten, som her er syenitt, må være homogen og uten sprekker av betydning. Dette stemmer godt med inspeksjonsdata som indikerer en homogen sprekkefri bergart (syenitt) i dette området (se senere rapport).

I borehull 4 viser målingene et noe lavere resistivitetsnivå, selv om inspeksjonsdata indikerer at bergarten i det aktuelle dypet også her er syenitt. Det er spesielt to områder som viser lave resistivetsverdier. Ett område mellom 45 og 55 meter og ett fra 80 meter og til bunn av borehullet. Disse områdene er trolig partier av syenitten med en markert økning i oppsprekning og/eller porøsitet. En sammenstilling av resistivetsdata og data fra inspeksjonene vil bli diskutert i en senere rapport.

For eventuelt å avklare hva den lave resistiviteten som ble målt langs profilene 1 og 2 og i Bh 1 og Bh 2 skyldes, ble borekasset som lå igjen ved brønnene prøvetatt og analysert. Analyseresultatene er vist i databilag 1. Begge prøvene, som ut fra beliggenheten, antas å stamme fra de øvre delene av borehullene. Prøven fra Bh2 viser et innhold på 0,73 % S og 0,69 % C. Tilsvarende tall for Bh1 er 0,35 og 0,39.

### 5. DISKUSJON

Ideelt sett burde alle målte profiler gå langs den planlagte tunneltraséen. I det aktuelle området var dette ikke mulig. En kunne ikke krysse Langvatnet på en praktisk aksepterbar måte, og i tillegg var topografien så steil at profilene måtte justeres til områder det var mulig å ta seg frem. For å kompensere for dette ble det lagt ut to profiler, og disse ble orientert slik at de ble liggende nærmest mulig tunneltraséen. Ut fra dette er ikke det valgte område for uttesting av målemetoder gunstig.

Resistivetskartlegging i 2 dimensjoner er en ny metode i Norge. Det finnes derfor liten erfaring med metoden og spesielt anvendt mot kartlegging av svakhetssoner i fjell. Metoden har gitt interessante anomalier på tidligere kartlagte svakhetssoner. Hva dette betyr for tunneldrivingen er for tidlig å si noe sikkert om. Redusert resistivitet kan bety økt oppsprekning, men også tilstedeværelse av ledende mineraler. Økt oppsprekning i kombinasjon med elektrisk ledende leirmineraler kan være ugunstig ved tunneldrift. Dersom redusert resistivitet ene og alene skyldes elektronledende mineraler som sulfider eller grafitt,

vil dette trolig ha minimal betydning for tunneldriving. Ut fra plasseringen av de kartlagte sonene og nivået på resistiviteten, antar en at redusert resistivitet skyldes økt porøsitet pga oppsprekning og derved økt vanninnhold. En kan ikke utelukke at det finnes leirmineraler i de kartlagte sonene.

Målinger med Indusert Polarisasjon (IP), som kunne avklart om sonene med redusert resistivitet inneholdt ledende mineraler, ble vurdert. Dessverre var bakken stedvis meget tørr, og det var ikke mulig å få sendt nok strøm til at IP-målinger av støymessige årsaker kunne gjennomføres.

Som nevnt under resultater, er det forsøkt med forskjellige parametere under inverteringen av resistivitetsdata. Dette endret ikke på hovedtrekkene i det 2-dimensjonale bildet, men en fikk mindre avvik i detaljer (sonene kunne bli tynnere, resistivitetsnivå endret seg noe). Ut fra dette kan en konkludere med at metoden er stabil og gir i hovedsak entydige løsninger. Målt resistivitet i de 4 borehullene bekrefter resistivitetsverdiene kartlagt ved bakkemålinger. Dette gjelder lave verdier i og ved borehullene 1 og 2, men også ekstremt høye verdier (Bh 3). De angitte fysiske modellene (resistivitetsfordelingene) synes derfor å være riktige, men viktigst er den geologiske tolkningen av disse data.

Fra refraksjonsseismikken er vi vant til å benytte lydshastigheten som et mål for kvaliteten på fjellet. Tilsvarende kan vi ikke gjøre ved resistivitetsmålinger. Resistivitetsmålingene viser ofte store variasjoner i måleverdier fra en bergart til en annen. Dette skyldes mineralogi, porøsitet, væskemetning, ledningsevne på væskefylling m.m. Det er derfor vanskelig å si hvilke verdier som representerer massivt fjell, og hva som indikerer problemfylt oppsprekning. Dette gjør at en må vurdere måledata relativt, og som ved våre målinger se hvilke områder som skiller seg ut fra omgivelsene.

I motsetning til de fleste andre geofysiske metoder som er aktuelle for kartlegging av svakhetssoner, kan 2D resistivitet gi et bilde av variasjonene mot dypet. Dersom en måler tett nok i forhold til soners utstrekning, kan en få et begrep om sonenes mektighet. Målingene ved Langvatnet viser variasjoner i påviste soners dybderekkevidde, og dette kan være meget interessant informasjon. Det ser ikke ut som om alle kartlagte svakhetssoner har samme utholdenhet mot dypet.

Resistivetsprofilene indikerer et relativt steilt fall på de fleste soner. Unntaket er sonen ved koordinat 1280 (sone O, kartbilag -02). Nyere modelleringer har imidlertid vist at det ikke er så enkelt å tolke fall (Dahlin & Bing 2001), spesielt med de konfigurasjoner som er anvendt ved denne undersøkelsen (Wenner og Schlumberger). Det kan derfor tenkes at det tilsynelatende fall denne sonen viser skyldes at profilet krysser sonen i en relativt spiss vinkel.

Profil 1 viste en sone med spesielt lav resistivitet mellom sone K og L (koordinat 600 til 650). Noe tilsvarende kunne ikke påvises langs profil 2 på tilsvarende sted. Det kan tenkes at det samtløpet sonene K og L har like nord for profil 1 kanskje gir seg utslag i større oppsprekning lokalt. Observasjonen viser at det kan være store variasjoner langs svakhetssonene.

Resistivetsmålingene viste uvanlig lave verdier på høydedraget vest for Langvatnet. Det ble antydnet at denne kunne skyldes sulfider eller grafitt (alunskifer?). De kjemiske analysene som ble foretatt på borekaksprøver fra Bh 1 og Bh 2 gir ikke entydig svar på dette. Kaksprøvene viser litt forhøyde verdier for Karbon, Uran og Thorium, noe som kan indikere alunskifer. Et lavt glødetap taler i mot dette. Ved en befaring ved tunnelens påhugg i vest, ble det funnet sulfidmineraliseringer (svovelkis og magnetkis) på sprekker. Disse ble prøvetatt, og

kvalitativ vurdering av elektrisk ledningsevne på disse prøvene viser at en beskjeden sulfidmineralisering (mindre enn 5 % i stoffen) kan forklare de lave resistivitetsverdiene. Prøven viste ellers kalkspatmineralisering på sprekkene, og dette kan forklare forhøyet CaO-innhold. Det antas derfor med rimelig sannsynlighet at den spesielt lave resistiviteten på høydedraget vest for Langvatnet skyldes et nettverk av sulfidmineraliseringer på sprekker.

VLF-målingene har som forventet gitt anomalier på enkelte av de på forhånd geologisk kartlagte svakhetssonene. En interessant observasjon, som ofte blir neglisjert ved tolkning av VLF-data, er tendensen en har til at VLF-anomalien kommer på kantene av et ledende parti. En ser dette på profil 1 ved koordinatene 120, 260, 600 og 640. Dette er et kjent fenomen i litteraturen, men det er ofte vanskelig å tolke dette ut fra kurveform. Observasjonen viser at 2D resistivitet kan gi langt sikrere tolkninger med hensyn på lokalisering av soner med lav resistivitet.

Magnetiske målinger viste nivåforskjeller mellom Oslofeltets bergarter og den kambro-siluriske Hornfelsen. I tillegg kunne en registrere redusert magnetfeltstyrke over enkelte soner. Denne reduksjonen kan delvis være styrt av økt avstand til magnetisk materiale (økt løsmasse-mektighet over sonene). Uansett årsak til anomaliene, har metoden i dette tilfellet ikke gitt opplysninger ut over det som den geologiske kartleggingen og andre geofysiske metoder gir oss.

På grunnlag av resultatene fra denne undersøkelsen har den lokale prosjektgruppen på NGU foreslått å bore 3 nye brønner. En har da valgt å konsentrere seg om de sonene som synes å strekke seg ned mot tunnelnivå. Brønnene som er kalt Bh 5, Bh 6 og Bh 7 (se kartbilag -02 og -03), er foreslått boret på skrå slik at de skjærer sonene K, Q og S. En la vekt på at data fra brønnene skulle komme utbyggerne til gode, og Bh 5 ble derfor planlagt mot sone K hvor denne krysser tunneltraséen, og brønnen bores ned til tunnelnivå. Tilsvarende flytting av Bh 6, fra målte profil 1 til der tunnelen er planlagt (Profil 4) ble vurdert, men her ble det for vanskelig å ta seg frem med borerigg. Profil 1 krysser sone S omtrent ved tunneltraséen, og Bh 7 ble planlagt boret ned til tunnelnivå. En sone med lav resistivitet på stort dyp i nordenden av Langvatnet (Profil 1, koordinat 820) burde vært boret opp. Vanskelig adkomst, restriksjoner på inngrep i naturreservat som her finnes og økonomiske begrensninger gjorde at boringer her måtte skrinlegges. For å vurdere fjellkvalitet og vannlekkasjer er det planlagt inspeksjon med optisk televiewer og hydrogeologiske undersøkelser i disse brønnene.

## **6. KONKLUSJONER**

Måling av resistivitet i 2 dimensjoner langs 2 profiler har gitt interessant informasjon om resistivitetsfordelingen i bakken ved Langvatnet. Inversjon av data gir entydige fysiske modeller som bekreftes ved resistivitetsmålinger i eksisterende brønner. I motsetning til andre aktuelle geofysiske metoder for sprekkekartlegging (Refraksjonsseismikk, VLF og magnetometri), gir 2D resistivitet informasjon om sprekkesonenes forløp mot dypet.

Flere soner viser redusert resistivitet ned til tunnelnivå, og det antas at dette skyldes økt oppsprekning i berggrunnen. For å få en bekreftelse på hva den reduserte resistiviteten betyr med hensyn på fjellkvalitet og vannlekkasjer, foreslås boring av 3 nye brønner. Disse plasseres slik at resultatene kan benyttes ved tunneldrivingen. Det er planlagt inspeksjon med optisk televiewer og hydrogeologiske undersøkelser i disse brønnene.

## 7. REFERANSER.

ABEM 1979: ABEM Terrameter SAS System. Instruction Manual. ABEM Printed Matter 93041. ABEM, Bromma Sverige.

Beard, L.P. 1998: Data Acquisition and Processing-Helicopter Geophysical Survey, Oppkuven and Gran. NGU Rapport 98.079.

Beard, L.P. 2001: Assessment of Geophysical Anomalies near Langvannet, Lunner, Oppland Fylke. NGU Rapport 2001.046.

Beard, L.P. og Mogaard J.O. 2001: Data Acquisition and Processing-Helicopter Geophysical Survey, Hurdal. NGU Rapport 2001.018.

Dahlin, T. 1993: On the Automation of 2D Resistivity Surveying for Engineering and Environmental Applications. Dr. Thesis, Department of Engineering Geology, Lund Institute of Technology, Lund University. ISBN 91-628-1032-4.

Dahlin, T. & Bing, Z. 2001: A Numerical Comparison of 2D Resistivity Imaging with Eight Electrode Arrays. Proceedings, 7<sup>th</sup> EEGS Meeting Birmingham, 2<sup>nd</sup> – 6<sup>th</sup> September 2001. pp.92-93.

Geomap 1997: Refraksjonsseismiske målinger over Langevatn, Lunner. Geomap Rapport 97.943 nr.1.

Henkel, H. & Guzman, M. 1977: Magnetic Features of Fracture Zones. *Geoexploration* 15, 173–181.

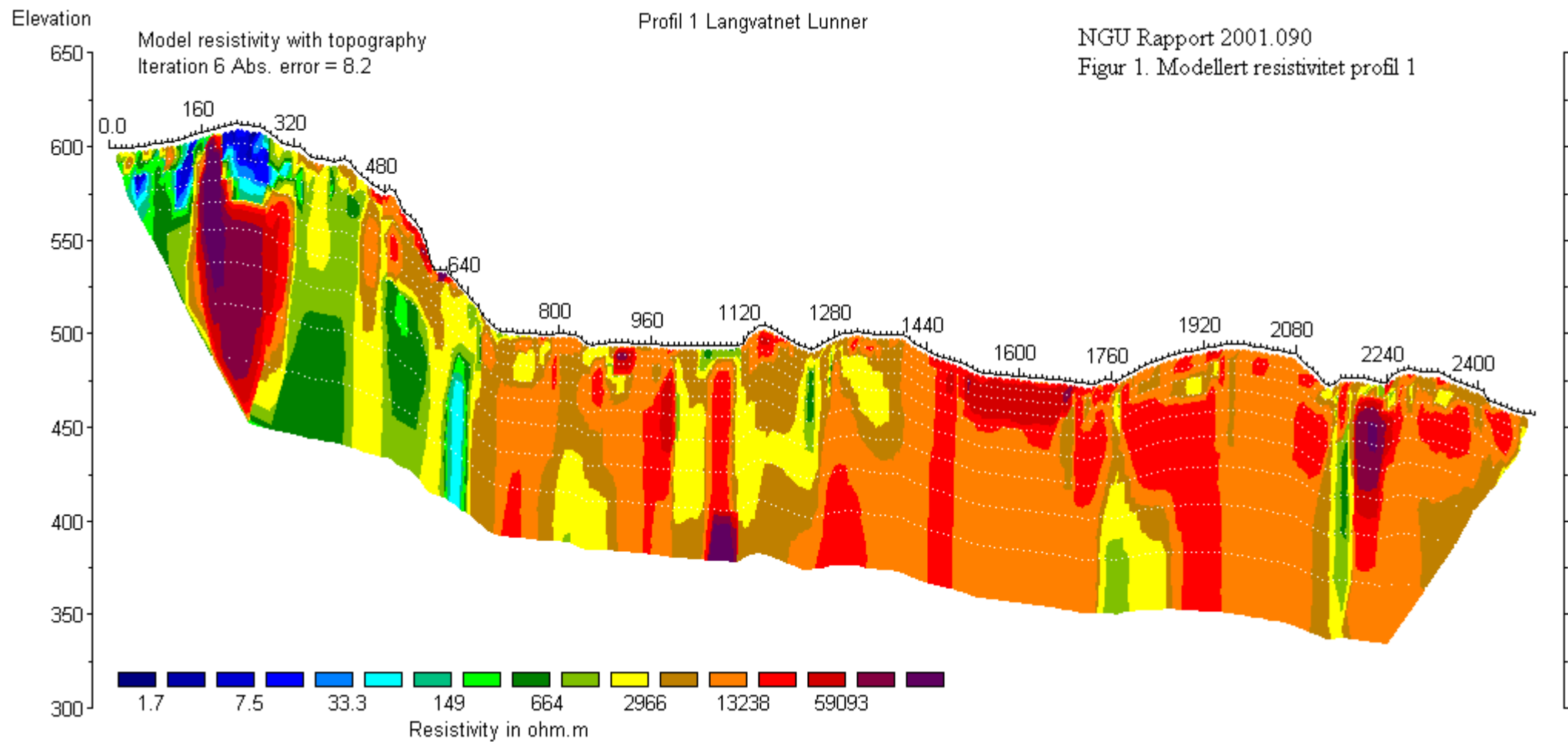
Iversen, E. 1998: Rv. 35 Gualia – Slettmoen, Kjerneboring for tunnel under Langvann. Veglaboratoriet, Oppdrag E-218 A, rapport nr 3.

Kirkeby, T. og Iversen, E. 1996: Rv. 35 Gualia – Slettmoen, tunnel gjennom Tveitmarktoppen. Geologiske undersøkelser for detaljplan. Veglaboratoriet, Oppdrag E-218 A, rapport nr 2.

Kløve, B., Gaut, A. og Kværner, J. 1999: Hydrologiske konsekvenser av vegtunnel Gualia-Bruvoll; Sårbarhet, vannbalanse og lekkasjekriterier. *Jordforsk Rapport* nr. 9/99.

Loke, M.H. 2001: RES2INV ver. 3.4. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual. [www.geoelectrical.com](http://www.geoelectrical.com).

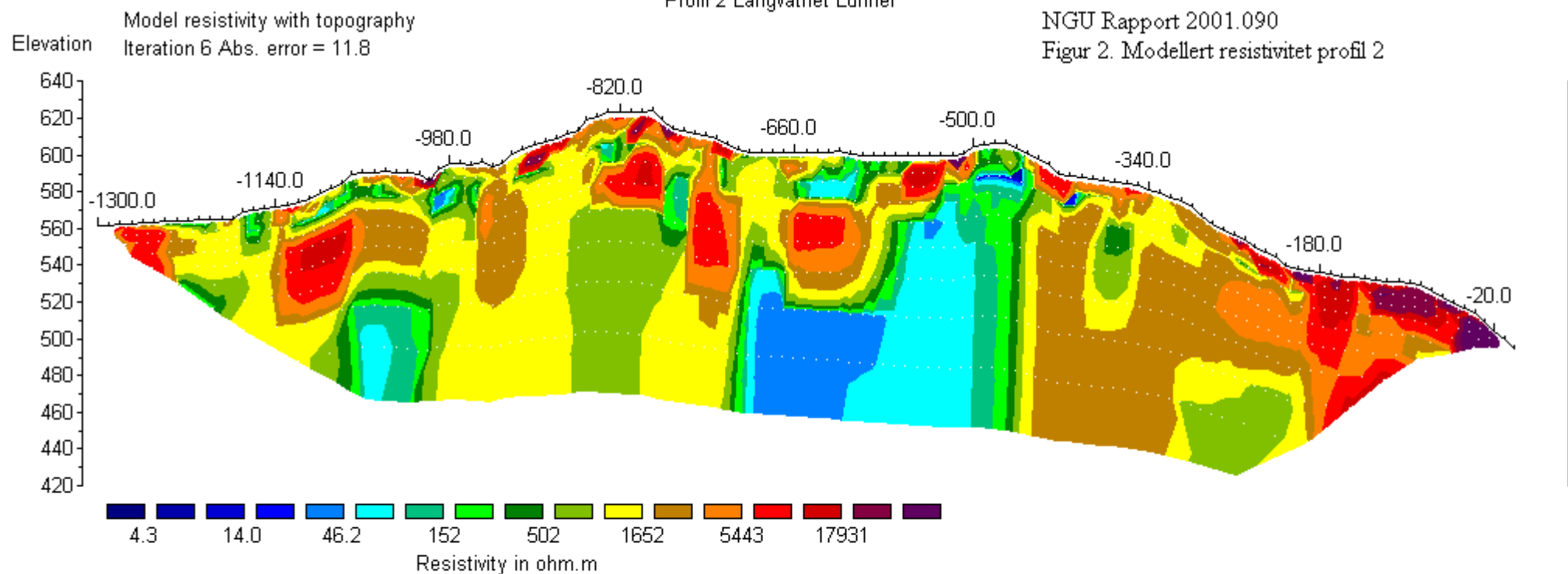
Nordgulen, Ø. & Rønning, J.S. 2000: Tunnelproblemer løses ikke på stoff. *Geo* Nr. 5/2000.



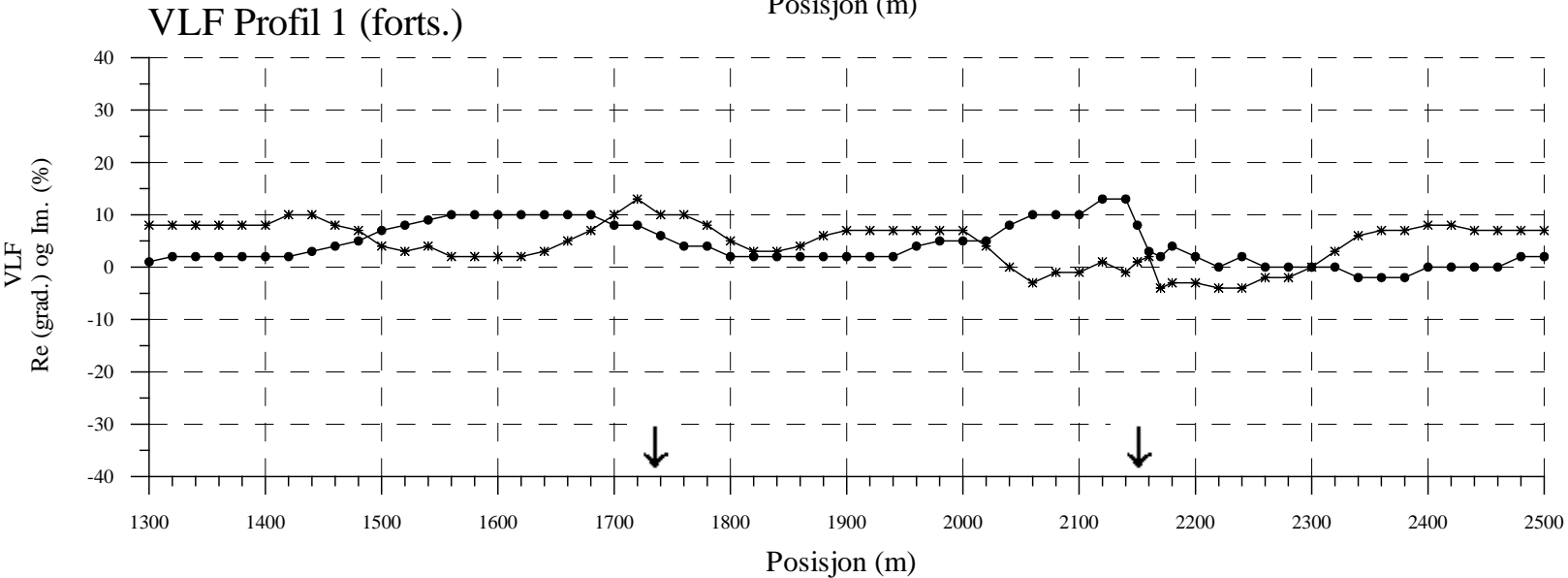
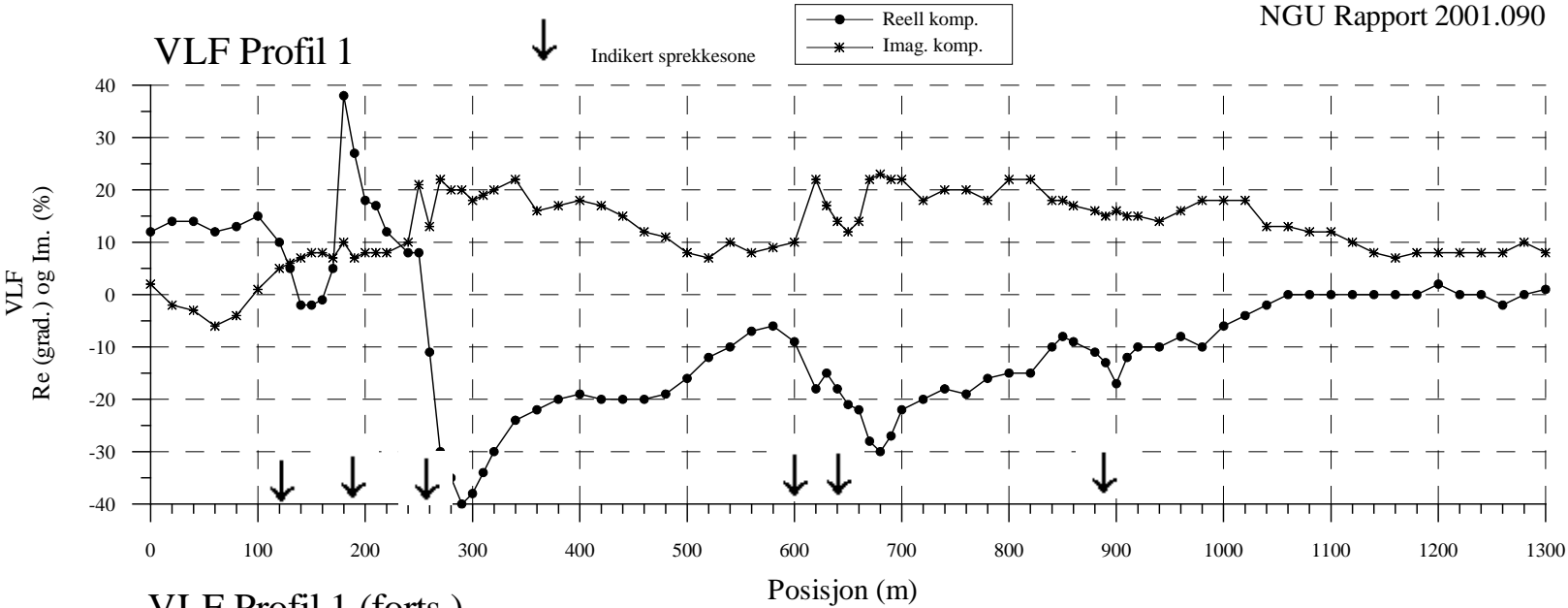
Horizontal scale is 3.77 pixels per unit spacing  
Vertical exaggeration in model section display = 3.22  
First electrode is located at 0.0 m.  
Last electrode is located at 2500.0 m.

Profil 2 Langvatnet Lunner

NGU Rapport 2001.090  
Figur 2. Modellert resistivitet profil 2

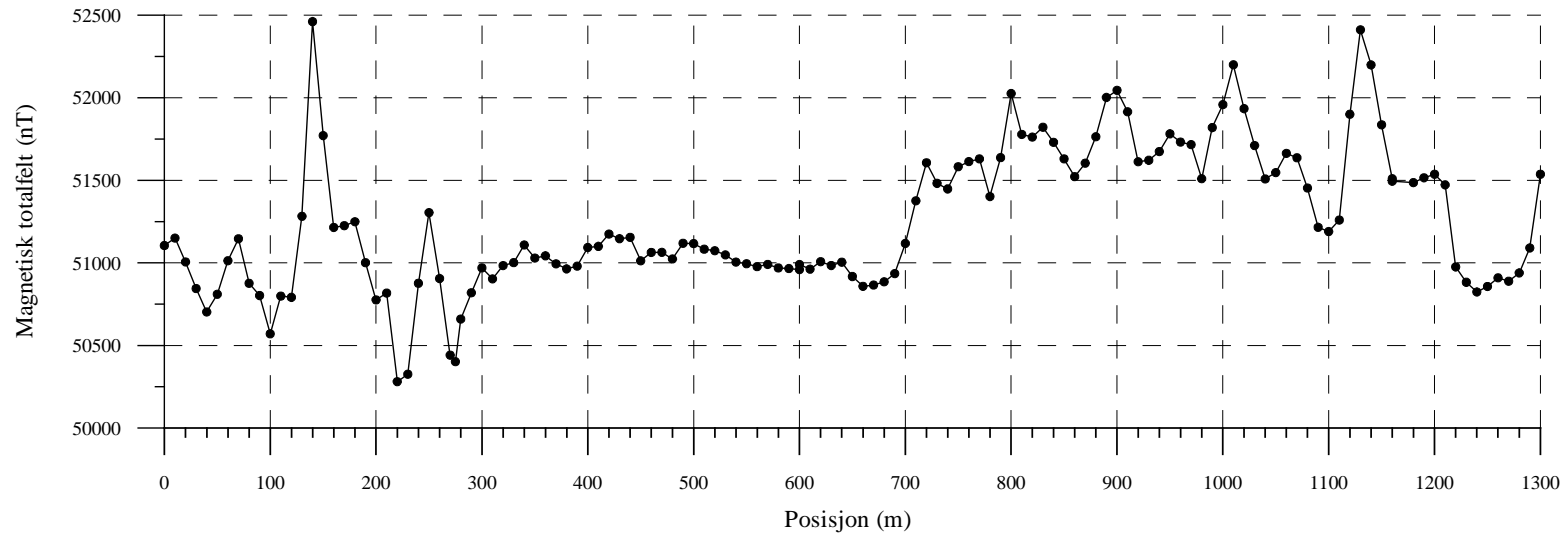


Horizontal scale is 7.25 pixels per unit spacing  
Vertical exaggeration in model section display = 1.63  
First electrode is located at -1300.0 m.  
Last electrode is located at 0.0 m.

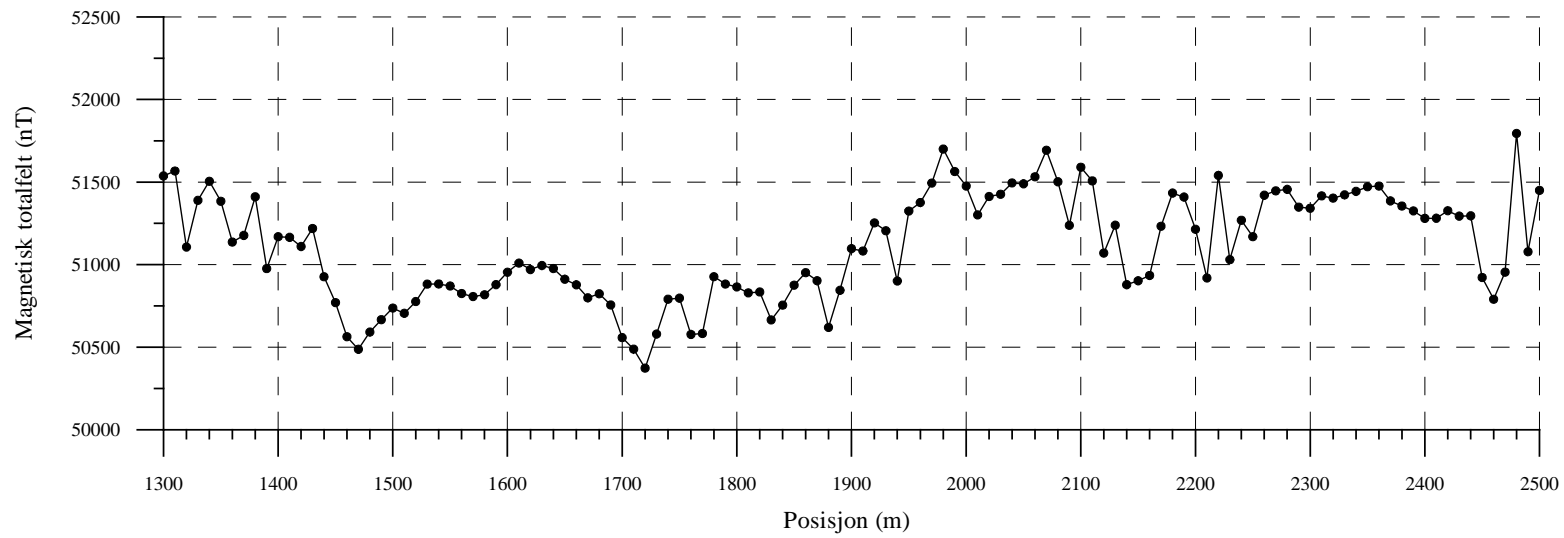


Figur 3. VLF profil 1

### Magnetisk totalfelt Profil 1

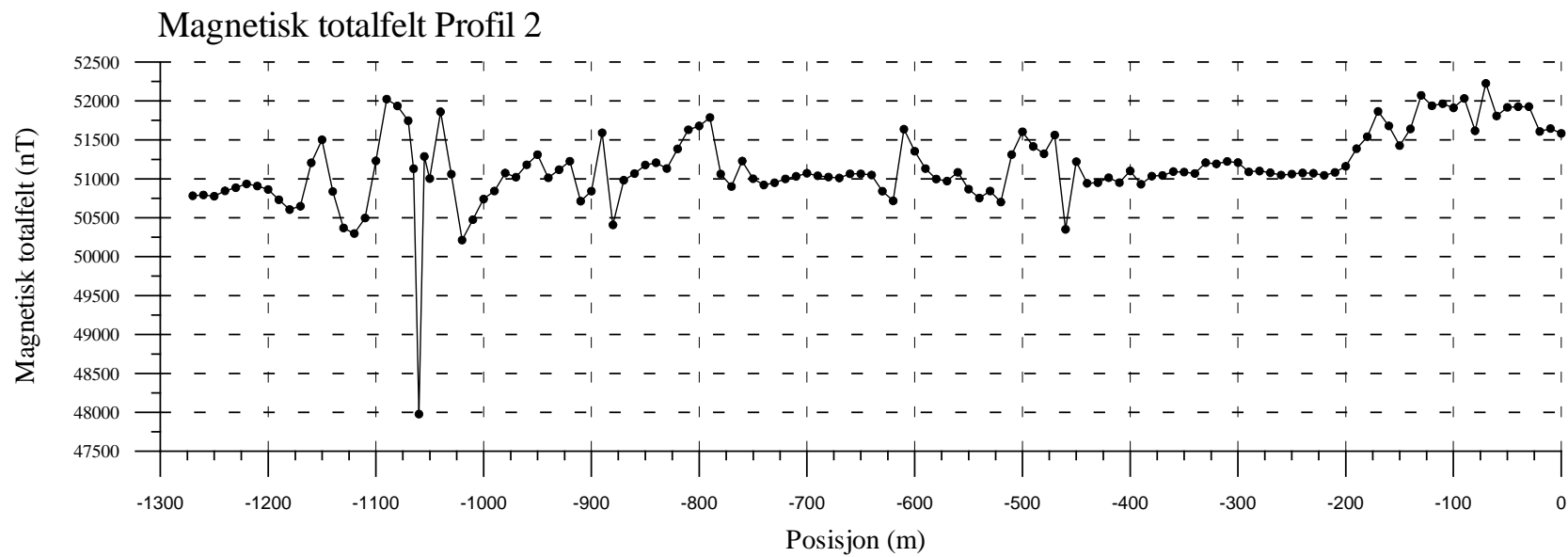
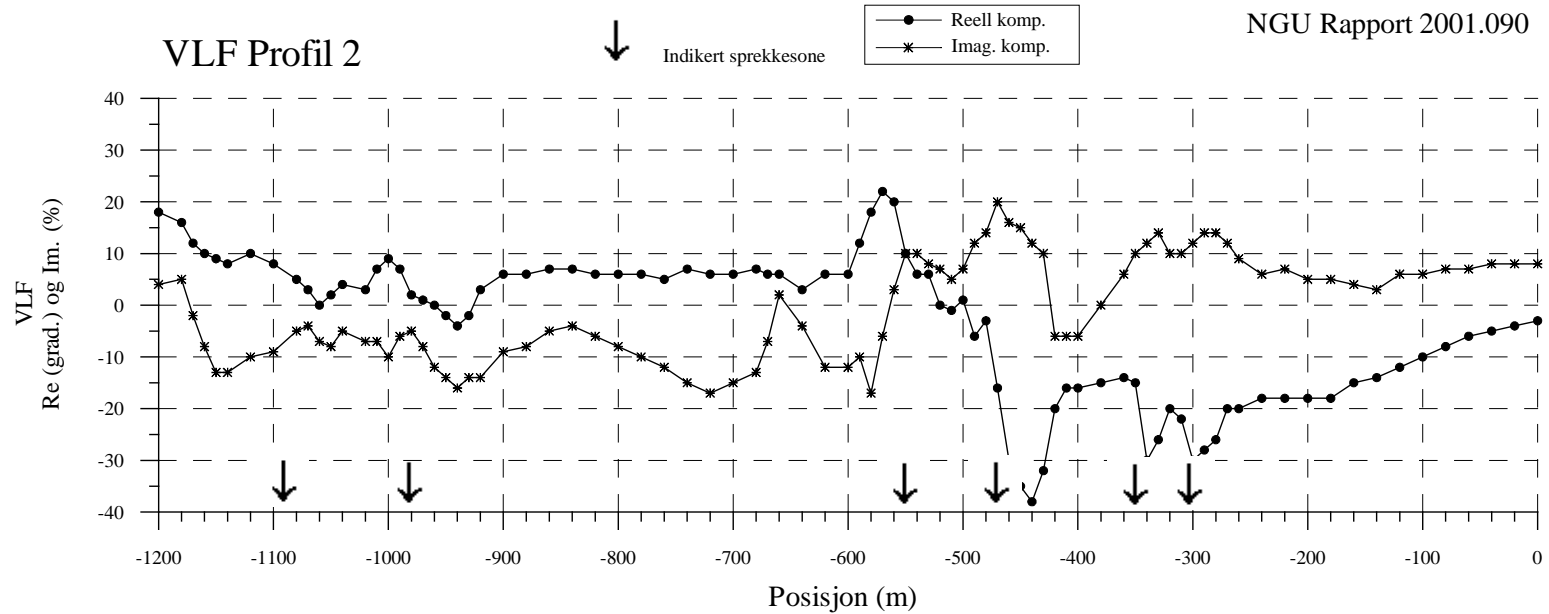


### Magnetisk totalfelt Profil 1 (forts.)

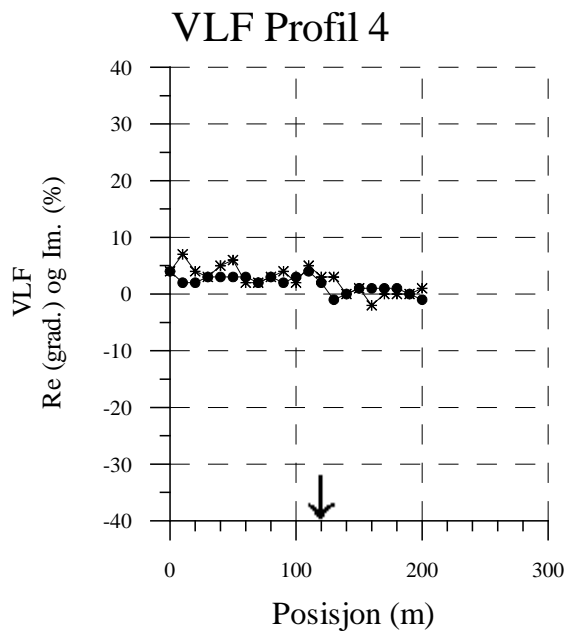
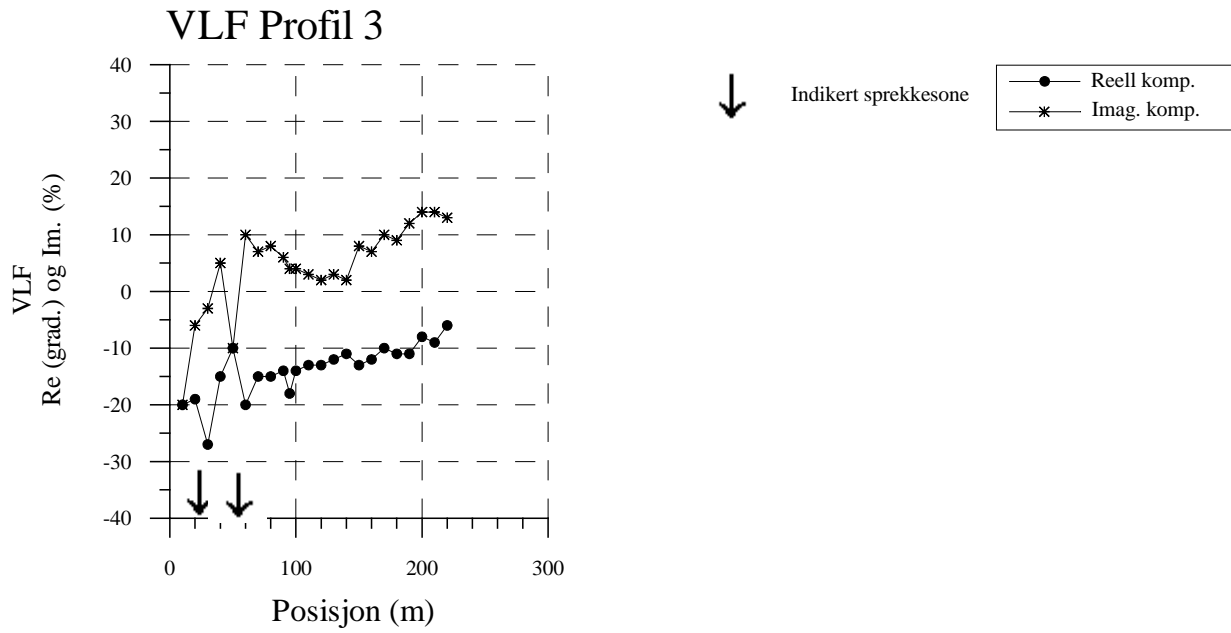


Figur 4. Magnetisk totalfelt profil 1

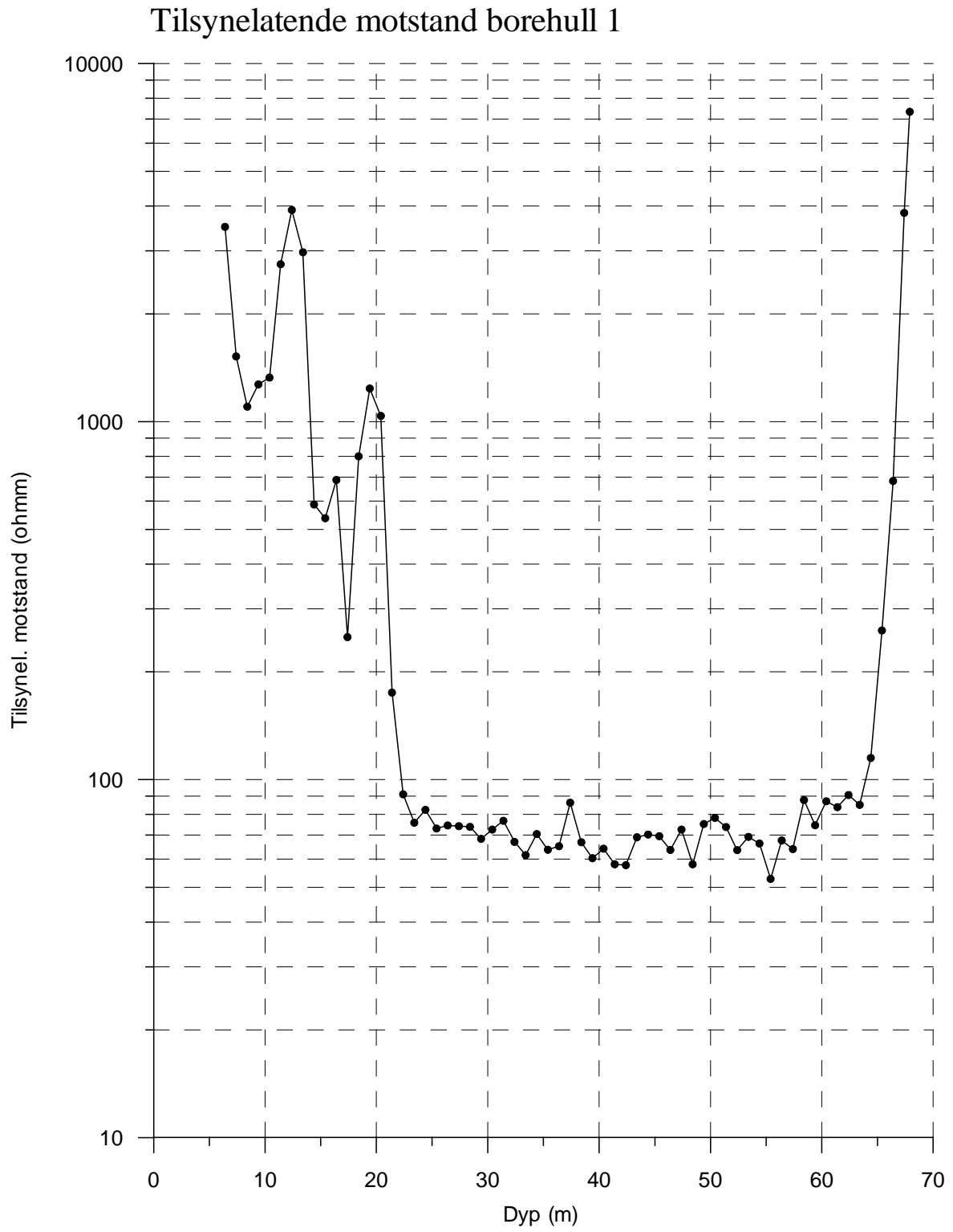




Figur 5. VLF og magnetisk totalfelt profil 2

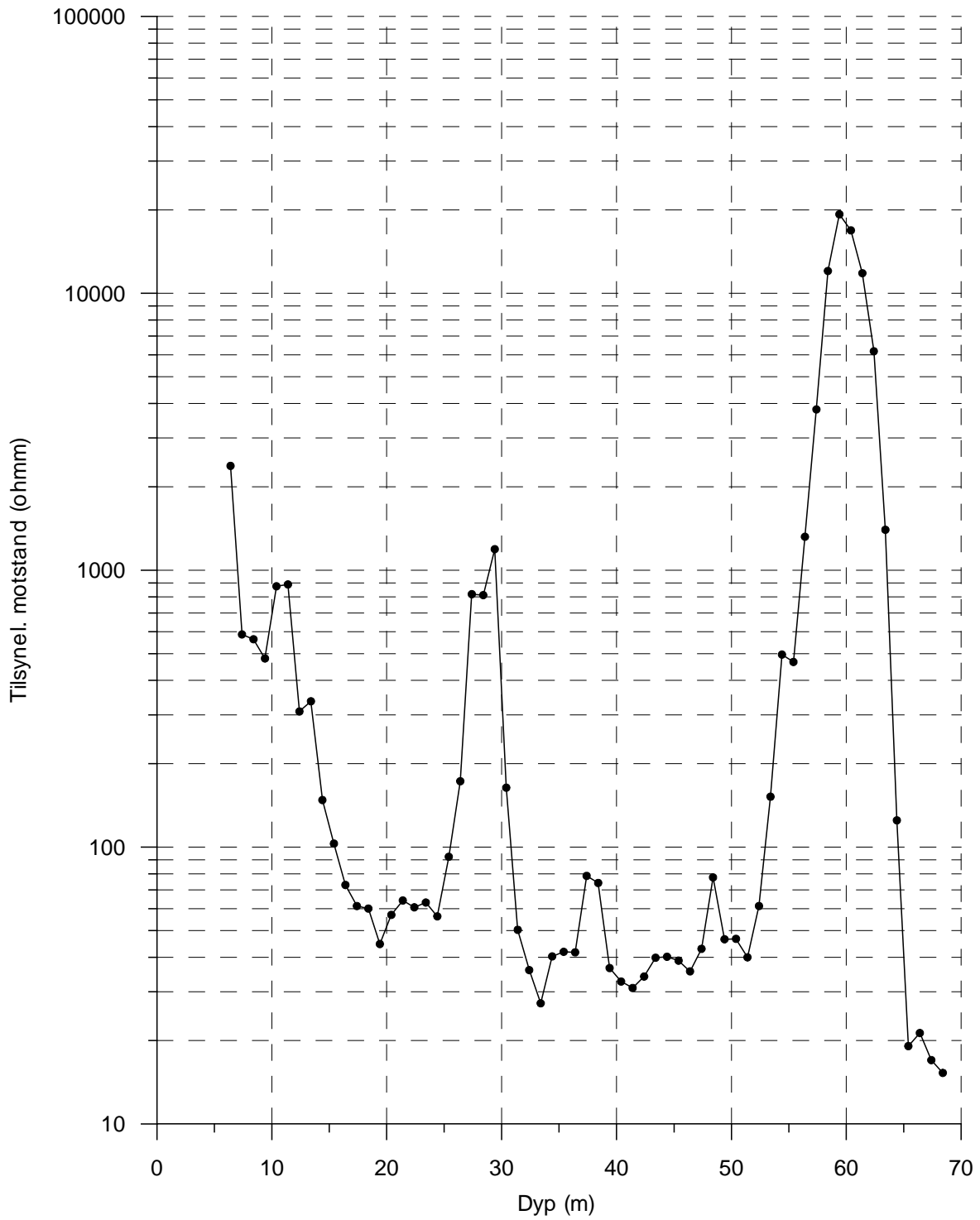


Figur 6. VLF profil 3 og 4



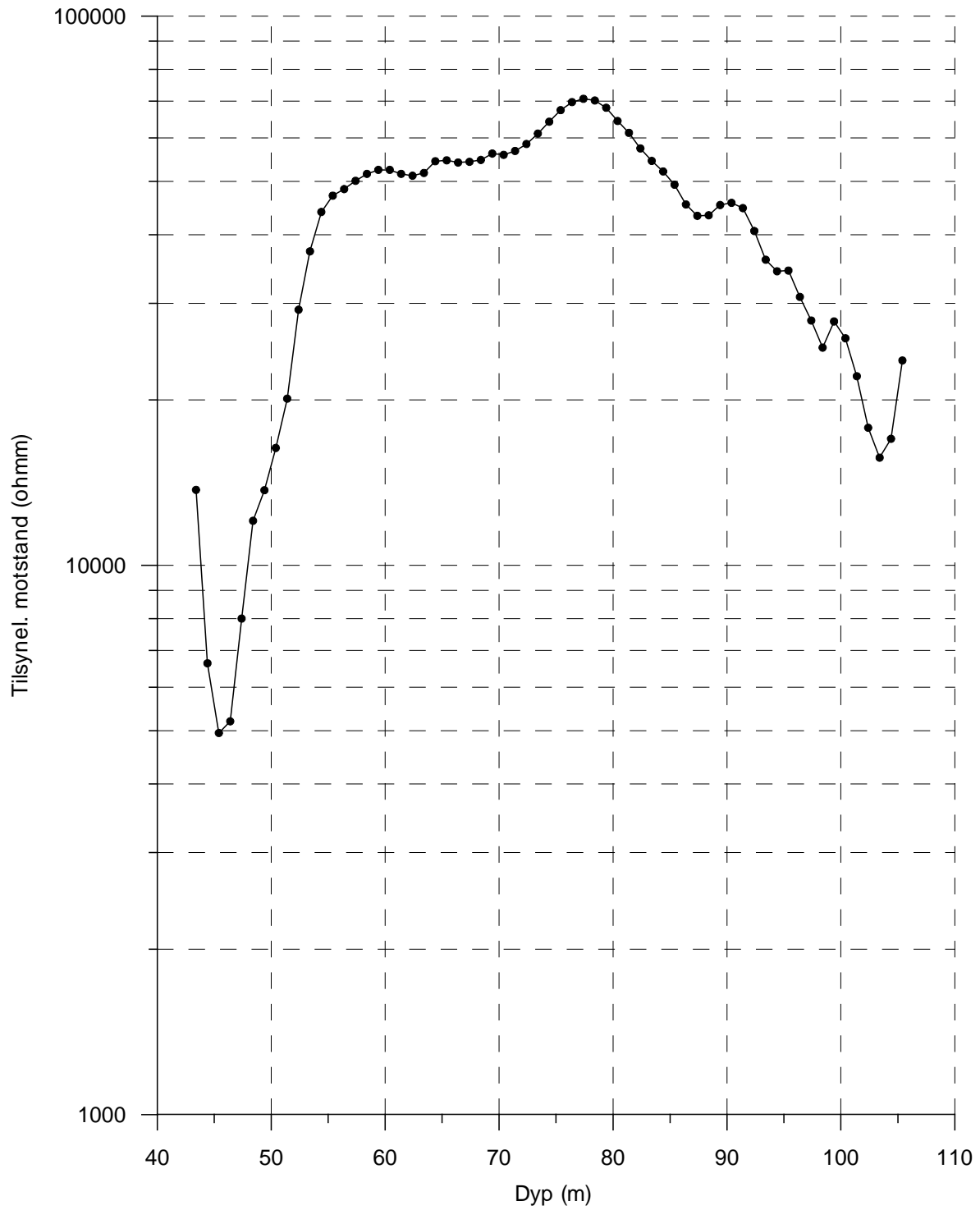
Figur 7. Tilsynelatende motstand borehull 1

### Tilsynelatende motstand borehull 2



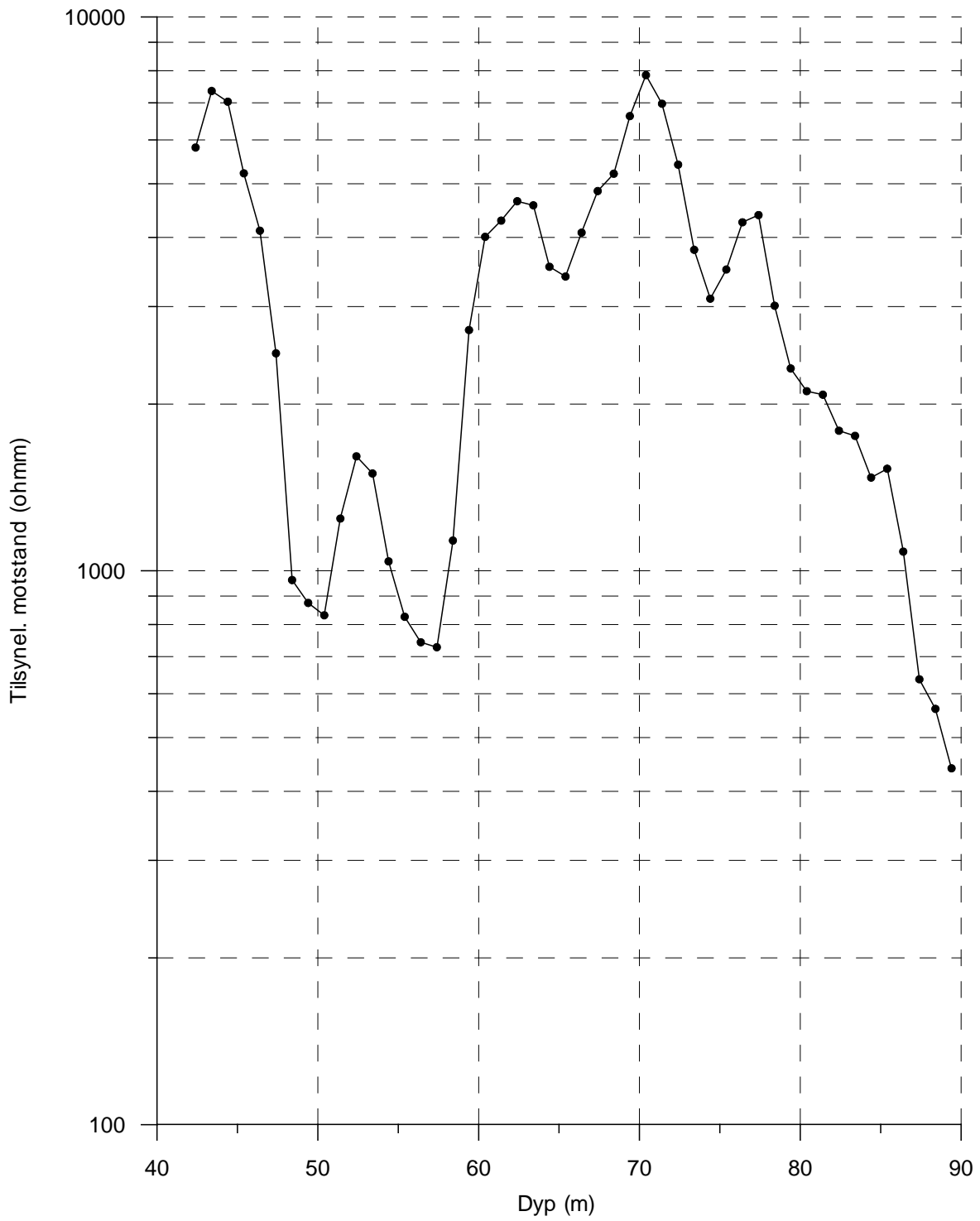
Figur 8. Tilsynelatende motstand borehull 2

### Tilsynelatende motstand borehull 3



Figur 9. Tilsynelatende motstand borehull 3

### Tilsynelatende motstand borehull 4



Figur 10. Tilsynelatende motstand borehull 4



7491 TRONDHEIM  
Tlf.: 73 90 40 00  
Telefaks: 73 92 16 20



## XRF-ANALYSE (Hoved)

Prøve navn	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Gl.tap	SUM
*	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BH 1	54,88	15,88	6,42	0,82	2,92	10,57	1,26	4,27	0,23	0,19	1,27	98,70
BH 2	56,52	15,54	6,24	0,89	2,97	9,40	1,29	3,56	0,07	0,20	1,74	98,42



7491 TRONDHEIM  
Tlf.: 73 90 40 00  
Telefaks: 73 92 16 20



## XRF-ANALYSE (spor C)

-ID-	Mo	Nb	Zr	Y	Sr	Rb	U	Th	Pb	Cr	V	As	Sc	S	Cl	F
.	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%
BH 1	<5	20	217	38	438	172	25	26	20	276	164	<10	25	0,44	<0,1	<0,1
BH 2	6	17	233	33	438	140	23	13	11	421	165	<10	21	0,68	<0,1	<0,1



7491 TRONDHEIM  
Tlf.: 73 90 40 00  
Telefaks: 73 92 16 20



## XRF-ANALYSE (Spor D)

-ID-	Ba	Sb	Sn	Cd	Ag	Ga	Zn	Cu	Ni	Yb	Co	Ce	La	Nd	W
.	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
BH 1	631	<10	<10	<10	<10	22	84	27	77	<16	12	75	51	39	<30
BH 2	520	<10	<10	<10	<10	24	69	37	91	<16	16	75	43	35	<30



7491 TRONDHEIM  
Tlf.: 73 90 40 00  
Telefaks: 73 92 16 20



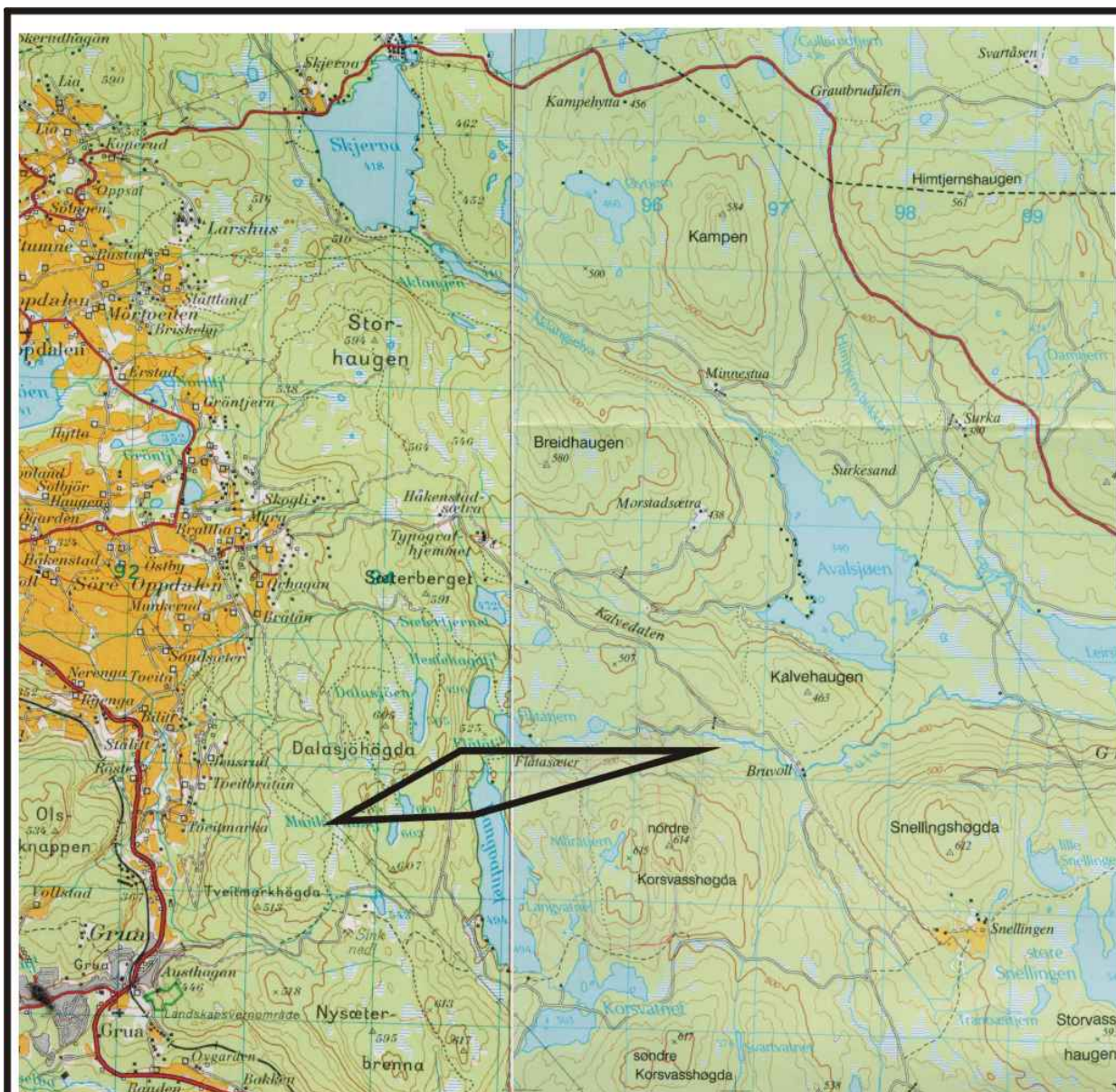
## TOTAL KARBON / TOTAL SVOVEL

Prøve id.	Svovel	Karbon
	[%]	[%]
BH1	0,35	0,39
BH2	0,73	0,69

**Innmålte profil- og borhullskoordinater (WGS-84)**

		UTME	UTMN
Profil 1	0	594141	6682868
"	200	594305	6682953
"	400	594459	6683064
"	600	594600	6683156
"	800	594769	6683163
"	1000	594957	6683127
"	1200	595147	6683125
"	1400	595327	6683103
"	1600	595535	6683117
"	1800	595730	6683122
"	2000	595920	6683098
"	2200	596112	6683088
"	2400	596312	6683088
"	2500	596401	6683092
Profil 2	0	594750	6682630
"	200	594560	6682645
"	400	594379	6682658
"	600	594204	6682637
"	800	594023	6682665
"	1000	593831	6682668
"	1200	593648	6682677
"	1300	593555	6682679
Profil 3	40	594531	6682804
"	200	594679	6682784
Profil 4	0	595592	6683013
"	200	595784	6683004
Bh 1		594181	6682573
Bh 2		594145	6682681
Bh 3		594572	6682645
Bh 4		594584	6682795
Bh 5		594570	6682836
Bh 7		596048	6683112





 UNDERSØKT OMRÅDE



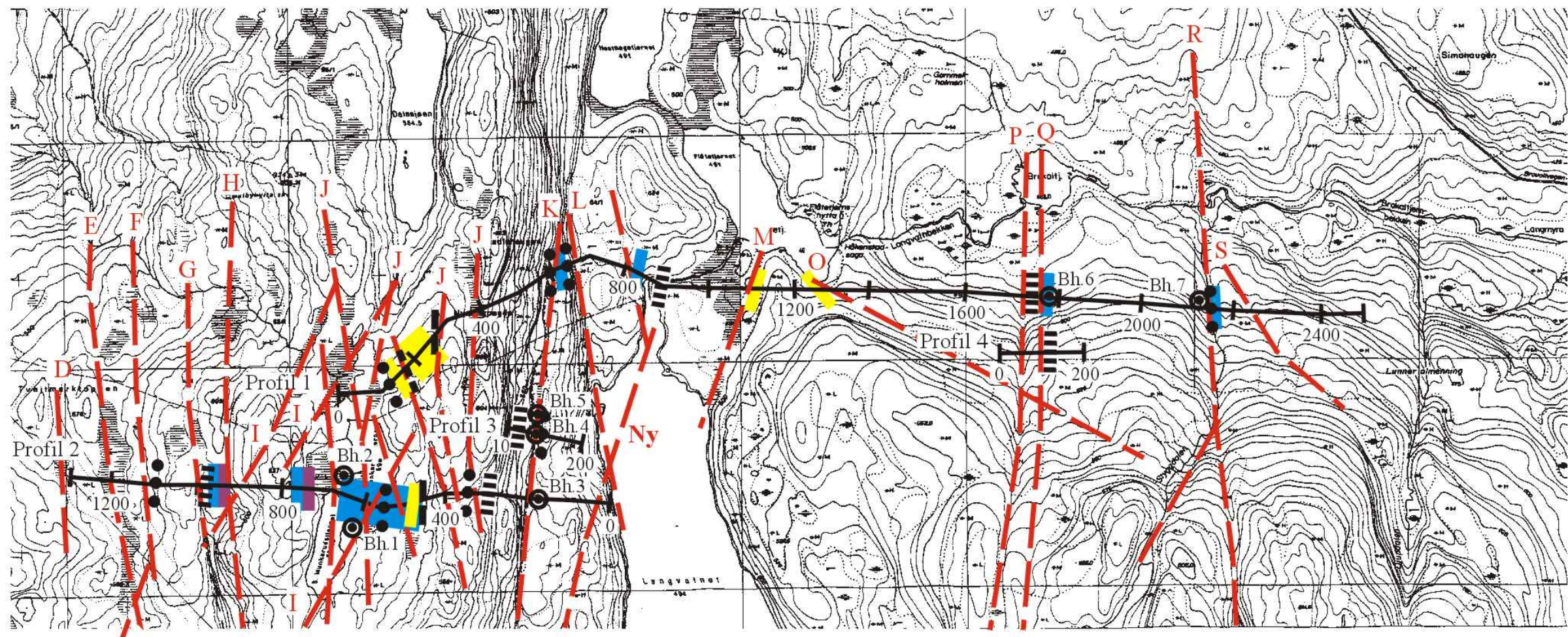
STATENS VEGVESEN  
 OVERSIKTSKART  
 LANGVATNET  
 LUNNER, OPPLAND

MÅLESTOKK  1:50 000	MÅLT RW-ED	Juli 2001
	TEGN E.D.	Juli 2001
	TRAC	
	KFR	











NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE  
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR 2001.090-01	KARTBLAD NR 1815 I - 1915 IV
-----------------------------	---------------------------------





### Tegnforklaring

-  Målt profil
-  Meget sterk VLF-anomali
-  Sterk VLF-anomali
-  Svak VLF-anomali
-  Meget svak VLF-anomali
-  Borhull
-  Grunn lav resistivitet
-  Dyp lav resistivitet
-  Høy resistivitet (gangbergart ?)
-  Sprekkesone



STATENS VEGVESEN  
 VLF/RESITIVITET TOLKNINGSKART  
**LANGVATNET**  
 LUNNER, OPPLAND

MÅLESTOKK  1 : 10 000	MÅLT RW-ED	Juli 2001
	TEGN E.D.	Juli 2001
	TRAC	
	KFR	










NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE  
 TRONDHEIM

TEGNING NR 2001.090-02	KARTBLAD NR 1815 I - 1915 IV
---------------------------	---------------------------------





### Tegnforklaring

-  Målt profil
-  Meget sterk VLF-anomali
-  Sterk VLF-anomali
-  Svak VLF-anomali
-  Meget svak VLF-anomali
-  Borhull
-  Lavmagnetisk sone
-  Høymagnetisk sone
-  Sprekkesone



STATENS VEGVESEN  
 VLF/MAGNETISK TOLKNINGSKART  
**LANGVATNET**  
 LUNNER, OPPLAND

MÅLESTOKK  
 1 : 10 000

MÅLT RW-ED	Juli 2001
TEGN E.D.	Juli 2001
TRAC	
KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE  
 TRONDHEIM

TEGNING NR  
 2001.090-03

KARTBLAD NR  
 1815 I - 1915 IV



