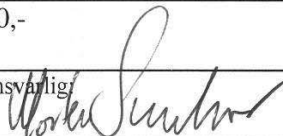


NGU Rapport 2006.056

Elektriske målinger i tunnel,
Funna Kraftverk, Meråker,
Nord-Trøndelag

Rapport nr.: 2006.056		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Elektriske målinger i tunnel, Funna Kraftverk, Meråker, Nord-Trøndelag			
Forfatter: Einar Dalsegg og Jan Steinar Rønning		Oppdragsgiver: NTE	
Fylke: Nord-Trøndelag		Kommune: Meråker	
Kartblad (M=1:250.000) Trondheim		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1721 I Meråker	
Forekomstens navn og koordinater: Funna Kraftverk 32V 636700 7036850		Sidetall: 13 Kartbilag: 1	Pris: 70,-
Feltarbeid utført: 6-7 juli 2006	Rapportdato: 19.07.2006	Prosjektnr.: 296100	Ansvarlig: 
Sammendrag: <p>For å kartlegge gunstige soner for jording av de elektriske anleggene knyttet til det nye Funna Kraftverk i Meråker, har NGU utført resistivitetsmålinger (elektriske motstandsmålinger) langs den nye utløpstunnelen. Målte verdier ble påvirket av to metalliske rør som var montert inne i tunnelen, og av geometrien i opplegget der en benytter inversjonsprogrammer som forutsetter at målingene gjøres på bakken (overflaten av et halvrom), men hvor fjellvolum også over og til side for tunnelen etter hvert påvirker målingene. Begge disse forhold bidrar til en reduksjon av beregnet resistivitet langs tunnelen, en effekt som er vanskelig å korrigere for. Effekten er imidlertid konstant langs tunnelprofilet, og de relative variasjoner i resistiviteten kan kartlegges. På grunnlag av måledata er det identifisert tre mindre soner med lav elektrisk motstand og flere områder med moderat motstand som kan være aktuelle som jordingspunkter.</p>			
Emneord: Geofysikk		Elektrisk måling	
		Fagrapport	

INNHOOLD

1. INNLEDNING	4
2. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE.....	4
2.1 Datainnsamling.....	4
2.2 Strømstyrke og datakvalitet.....	4
2.3 Inversjon.....	5
3. RESULTATER	5
4. DISKUSJON	7
5. KONKLUSJON	8
6. REFERANSER	8

FIGURER

<i>Figur 1. Modellert resistivitet Profil 1, Dipol/Dipol elektrodekonfigurasjon.....</i>	<i>6</i>
--	----------

TEKSTBILAG

Tekstbilag 1: Metodebeskrivelse 2D resistivitetsmålinger.

KARTBILAG

Kartbilag 2006.056-01: Oversiktskart 1 :5 000.

1. INNLEDNING

På oppdrag for Nord-Trøndelag E-verk (NTE) har NGU utført elektriske motstandsmålinger i utløpstunnelen til nye Funna Kraftverk i Meråker. Hensikten med målingene var å kartlegge motstandsforholdene langs tunnelen for best mulig plassering av jordingspunkter.

Det å jobbe i en tunnel som dette byr på spesielle utfordringer. Programvare som benyttes forutsetter at alle elektroder plasseres på overflaten av de masser som skal undersøkes. I dette tilfellet vil en gradvis få en påvirkning av at en har elektrisk "ledende" masser også over det undersøkte nivå. Målingene forutsetter også at det ikke er tekniske anlegg som forstyrrer strømbanene. Det ble opplyst fra oppdragsgiver at så ikke var tilfellet, men ved ankomst tunnelen viste det seg at to sammenhengende metallrør var festet til fjellet i hele tunnelens lengde. En visste at disse ville påvirke måleresultatene, men siden rørene gikk i hele tunnelens lengde, ville de gi et konstant bidrag til den målte resistiviteten. I rapporten blir effekten av disse forhold diskutert.

Målingene ble utført den 6. og 7. juli 2006 av Einar Dalsegg fra NGU med assistanse av Kåre Pynten fra NTE.

2. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

En generell beskrivelse av måleteknikken er beskrevet i tekstbilag 1. I det følgende blir utførelsen kort beskrevet.

2.1 Datainnsamling.

Måledata ble innsamlet med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høgskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993). Systemet består av en releboks (Electrode Selector ES10-64C) og to eller fire multi-elektrode kabler og et måleinstrument (ABEM Terrameter SAS 4000, (ABEM 1999). Ved denne undersøkelsen ble det benyttet 4 kabler med 5 m elektrodeavstand. Dybderekkevidden med denne elektrodeavstanden er ca. 50 m. Oppløsning, og dermed nøyaktigheten, er størst i den øvre halvdelen av pseudoseksjonen, noe en må ta hensyn til ved valg av elektrodeavstand. Det ble valgt å benytte Dipol/Dipol elektrodekonfigurasjon, da denne elektrodekonfigurasjonen har vist seg å være best egnet til kartlegging av vertikale strukturer og viser flere detaljer.

Det målte profilet følger den nye utløpstunnelen med start 26 m fra kraftstasjonen (tunnelkoordinat 0). **Kordinatene på resistiviteitsprofilet er forskjøvet 26 m slik at de er identiske med tunnelkordinatene.**

2.2 Strømstyrke og datakvalitet

Jordingsbetingelsene var generelt meget gode da det var mye vann i tunnelen. Strømstyrken var med noen få unntak i områdene 100 og 200 mA. Datakvaliteten var gjennomgående meget

god, med bare noen få målinger var over akseptabelt støynivå (20 %). Disse ble slettet før prosessering.

2.3 Inversjon

Ved alle resistivitetmålinger måles tilsynelatende verdier. 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 profilet deles opp i blokker 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.

Resistivitet-data ble invertert ved bruk av dataprogrammet RES2DINV (Loke 2001). Least Square ble benyttet som inversjonsmetode. Vertikal/horisontalfilter er ved inversjonen satt til 2, noe som til en viss grad favoriserer vertikale strukturer.

3. RESULTATER

Beliggenheten av det målte profilet er vist i kartbilag -01. De inverterte resistivitetdata er vist i figur 1.

Resistivetsprofilen viser i de øvre 2-3 meterne relativt lave motstandsverdier, 500 til 2500 ohmm. Dette antas å skyldes utsprengte masser og økt oppsprekning i fjellet som følge av spregningsarbeidene. Disse massene er vannmettet, og bidrar til redusert resistivitet i hele tunnelens lengde. Under dette laget er motstanden høyere, men avtar igjen mot dypet. Sistnevnte er en effekt av at beregningsprogrammet forutsetter at alle elektroder er plassert på overflaten. Ved korte avstander mellom elektrodene er dette også tilfelle i tunnelen, men etter hvert som avstanden mellom elektrodene økes, får vi en gradvis større effekt av å arbeide i et "helrom". Dette vil resultere i at resistiviteten til slutt bli halvert.

I det laget som viser høyest motstand er det variasjoner som viser relative endringer i fjellets resistivitet. Blå og grønne partier (resistivitet henholdsvis ca 100 til 800 og 800 til ca 6000 ohmm) anses som gunstige områder for plassering av jordingselektroder. Disse er karakterisert som lav og moderat resistivitet og markert med fargekode over selve resistivetsprofilen. Disse områdene er også angitt i tabell 1.

Tabell 1. Områder med lav og moderate resistivetsverdier (tunnelkoordinater).

Lav resistivitet	Moderat resistivitet
386 - 392m	56 - 126m
426 - 431m	198 - 203m
723 - 728m	216 - 223m
	268 - 273m
	398 - 411m
	666- 723m
	728 - 776m
	791 - 826m

Funna Kraftverk

Profil 1

Resistivitet

Dipol/Dipol

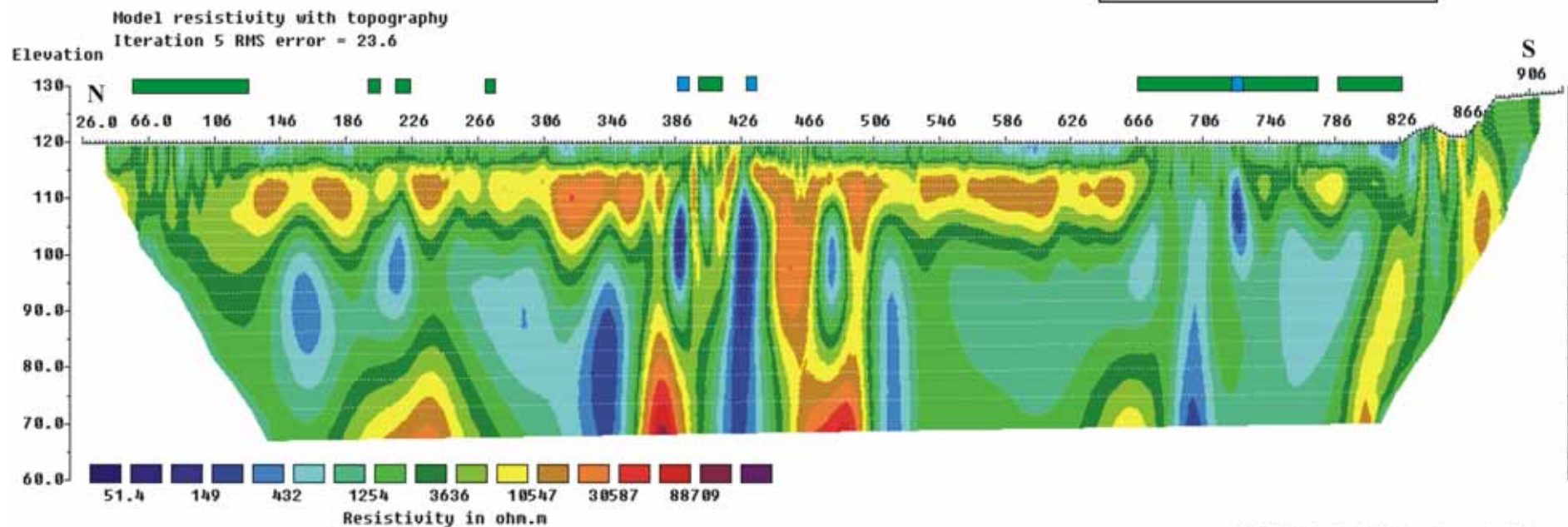
Standard inversjon

Vert/Hor. Filter = 2

Tegnforklaring

■ Lav motstand

■ Moderat motstand



Unit Electrode Spacing = 2.50 m.

Horizontal scale is 3.24 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 3.42
First electrode is located at 26.0 m.
Last electrode is located at 926.0 m.

Figur 1. Modellert resistivitet Profil 1, Dipol/Dipol elektrodekonfigurasjon.

4. DISKUSJON

Ved oppstarten av dette prosjektet ble det fra NGUs side presisert at det ikke måtte være noen elektrisk ledende tekniske anlegg i tunnelen, da disse kunne påvirke målingene på en måte som gjorde tolkningene vanskelige. Oppdragsgiver kjente ikke til noe anlegg av denne type, men ved oppstart viste det seg at det var to metallrør med diameter ca 5-7 cm festet til fjellveggen i hele tunnelens lengde. Det ble vurdert å ikke gjennomføre målingen på grunn av dette, men rørene hadde en lik utforming langs hele tunnelen, og ville derfor bidra med en konstant reduksjon av den målte resistiviteten. En antok derfor at selv om det ble vanskelig å kvantifisere effekten av rørene, ville en likevel kunne kartlegge relative variasjoner i resistiviteten langs tunnelen, og målingene ble gjennomført som planlagt.

Som beskrevet under resultater vil målevolumet endre seg etter vært som avstanden mellom elektrodene økes, noe som resulterer i feil beregnede resistivetsverdier. Ved korte avstander måles en tilnærmet sann resistivetsverdi. Etter hvert som elektrodeavstanden øker vil en gradvis gå over fra å arbeide i et halvrom til et helrom. I prinsippet er det mulig å korrigere for dette, men programvare for dette er ikke tilgjengelig, og en utvikling av dette ligger utenfor rammen av dette prosjektet. Effekten er som beskrevet en gradvis reduksjon av beregnet resistivitet, men denne vil, på grunn av konstant tunnelutforming, være konstant langs tunnelen. Dette betyr at en kan kartlegge relative verdier langs tunnelen, men disse vil være noe lavere enn den virkelige resistiviteten.

I det viste resistivetsprofilen gis det inntrykk av at målingene kartlegger resistiviteten ca 55 meter inn i fjellet. NGUs erfaring tilsier at den nedre halvdel av seksjonen kan gi lite pålitelige verdier. Dette skyldes først og fremst manglende oppløsning, men også større frihetsgrader i selve inversjonen siden en ikke har data fra større dyp som kan bidra til en mer entydig bestemmelse av resistivetsverdiene. Dette er en metodisk svakhet hvor konsekvensen er at en må velge en elektrodekonfigurasjon som ser betydelig dypere enn det en er interessert i å kartlegge.

Ved utførelsen av disse målingene ble det valgt å benytte en elektrodekonfigurasjon kalt dipol/dipol hvor elektrodeavstanden var 5 meter. Den valgte konfigurasjon er gunstig med hensyn på oppløsning og kartlegging av ledende soner som skjærer tunnellopet vertikalt. Ideelt sett burde en benyttet kortere avstander mellom elektrodene, for eksempel 2 meter eller helst bare 1 meter. En kunne da oppnådd å få kartlagt tynnere soner som kanskje kunne være aktuelle som jordingspunkt, men som ikke kommer klart frem med valgte konfigurasjon. Ulempen med dette først og fremst knyttet til målehastighet. I løpet to dager produserte to mann ca 900 meter målt profil. Tilsvarende målinger med to meters elektrodeavstand ville tatt 5 dager å gjennomføre. I tillegg ville dybderekkevidden bli redusert til ca 20 meter, men hvor nedre halvdel ville gitt tvilsomme data (se forrige avsnitt).

NGU vurderte for egen regning å utføre enkle elektromagnetiske målinger med en utrustning kalt Geonics EM-31. Dette er en metode som meget raskt gir et bilde av godt elektrisk ledende soner i fjellet. Ulempen med denne metoden er begrenset dybderekkevidde (ca 6 meter), den gir kun respons på godt ledende soner og er meget følsom for metall i alle størrelser og fasonger. Da det ble oppdaget to metallrør i tunnelen ble planene om å prøve denne utrustningen skrinlagt.

5. KONKLUSJON

For å kartlegge gunstige soner for jording av de elektriske anleggene knyttet til det nye Funna Kraftverk i Meråker, har NGU utført resistivitetsmålinger (elektriske motstandsmålinger) langs den nye avløpstunnelen. Målte verdier ble påvirket av to metalliske rør som var montert inne i tunnelen, og av geometrien i opplegget der en benytter inversjonsprogrammer som forutsetter at målingene gjøres på bakken (overflaten av et halvrom), men hvor fjellvolum også over og til side for tunnelen etter hvert påvirker målingene. Begge disse forhold bidrar til en reduksjon av beregnet resistivitet langs tunnelen, en effekt som er vanskelig å korrigere for. Effekten er imidlertid konstant langs tunnelprofilen, og de relative variasjoner i resistiviteten kan kartlegges. På grunnlag av måledata er det identifisert tre mindre soner med lav elektrisk motstand og flere områder med moderat motstand som kan være aktuelle som jordingspunkter.

6. REFERANSER

ABEM 1999: ABEM Terrameter SAS 4000/SAS 1000. Instruction Manual. ABEM Printed Matter 93101. ABEM, Sverige.

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.

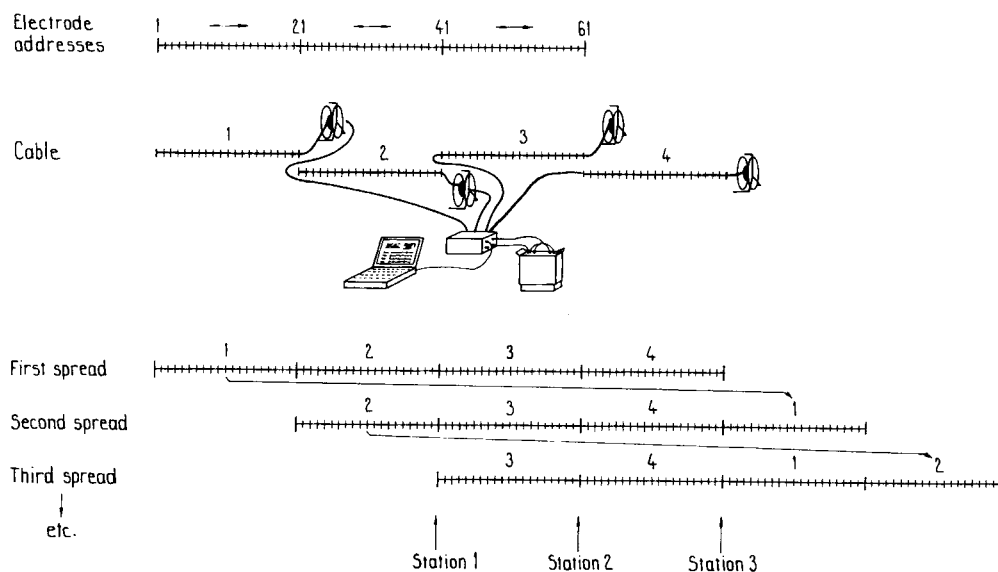
Loke, M.H. 2001: RES2INV ver. 3.4. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual. www.geoelectrical.com.

METODEBESKRIVELSE 2D RESISTIVITETSMÅLINGER.

Arbeidet med 2-D Resistivitetmålinger kan deles i 3; datainnsamling, inversjon for å finne fysisk modell og tolkning til en geologisk modell.

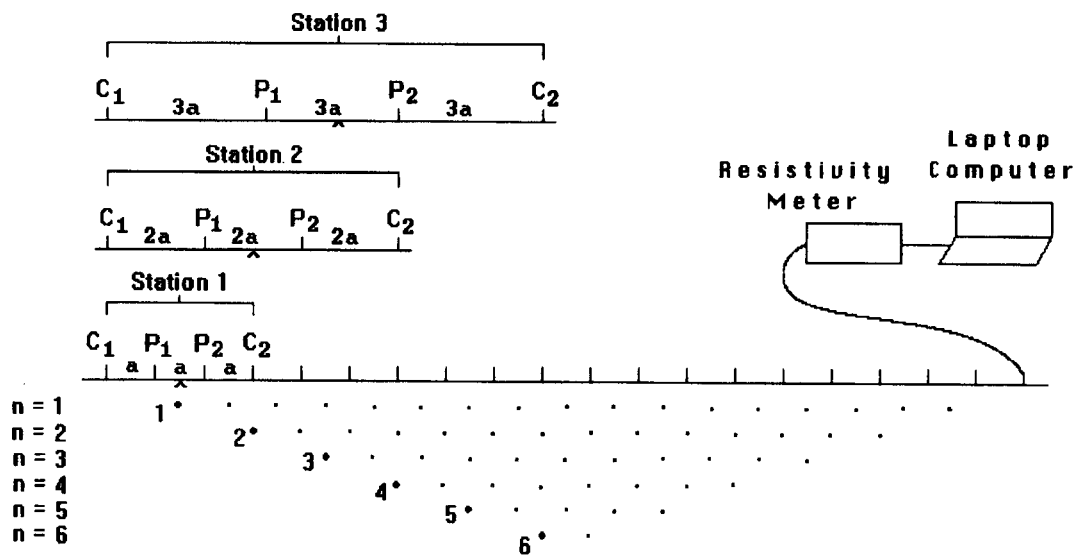
Datainnsamling.

Resistivitetmålinger (elektriske motstandsmålinger) i 2 dimensjoner kan utføres med et system der kabler legges ut på bakken og elektroder knyttes til (Figur 1). Når alt er etablert, kan en PC-styrt måleprosess begynne. Forskjellige elektrodepar kobles inn som strøm- og potensialelektroder etter et fastsatt mønster. Ved å flytte elektrode-settet til side oppnås en lateral kartlegging (profilering). Ved å øke avstanden mellom strømelektroden, vil strømmen trenge dypere, og en får respons fra dypere områder (dybdesondering). Til sammen gir dette en todimensjonal (2D) kartlegging av resistiviteten i bakken.



Figur 1: Prinsippskisse av kabelsystem bestående av kabler med elektroder, bryterboks, måleutstyr og PC (fra Dahlin 1993).

Når måleprosessen er avsluttet, kan en pseudoseksjon av måledata konstrueres som vist i figur 2. Målt tilsynelatende resistivitet med en målekonfigurasjon plottes i et gitt dyp mellom de to potensialelektroden. Når strømelektrodeavstanden øker, flyttes plottepunktet ett nivå ned. Dette gir et bilde av fordelingen av tilsynelatende resistivitet i et fiktivt dyp, en pseudoseksjon.



Figur 2: Konstruksjon av pseudoseksjon. C1 og C2 angir strømelektroder, P1 og P2 potensialelektroder. N angir multipler av minste elektrodeavstand.

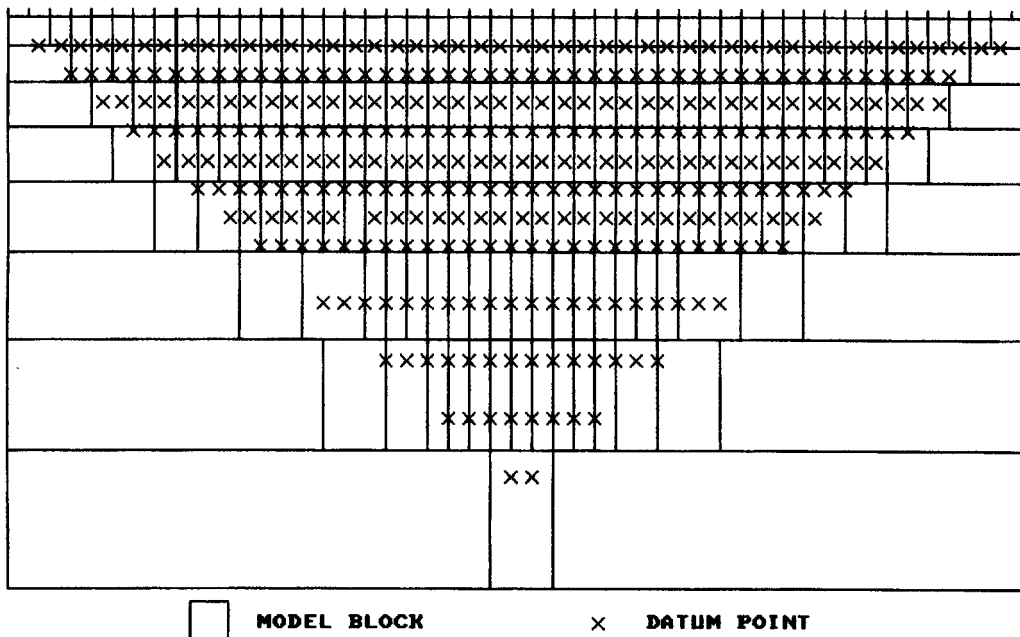
NGU har anskaffet LUND-systemet med 4 aktive kabler, alle med lengde 200 meter slik at et enkelt utlegg kan dekke totalt 800 meter. Sentralt i utlegget (de 2 kablene i midten) blir det benyttet en elektrodeavstand på 10 meter. I utleggets perifere deler (ytterste 200 meter til hver side) blir elektrodeavstanden 20 meter. Selve målingene, som blir styrt av en PC, blir vanligvis foretatt med en Wenner elektrodekonfigurasjon. Ved ett enkelt utlegg på 800 meter foretas totalt 277 målinger med forskjellige elektrodeoppsett. Ved å utnytte dette utlegget maksimalt kan en kartlegge resistiviteten ned til ca 130 meters dyp. Størst oppløsning oppnås i de øverste 50 – 60 metre. Andre elektrodekonfigurasjoner som bl.a. dipol-dipol og Slumberger kan benyttes.

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 undergrunnen deles opp i blokker som tilordnes en bestemt resistivitetsverdi. Denne blir så justert i flere trinn (iterasjoner) inntil responsen (pseudoseksjonen) fra den teoretiske modellen blir mest mulig lik pseudoseksjonen fra de målte data.

Resistivitetsmålingene blir invertert ved bruk av dataprogrammet RES2DINV (Loke 2001). Det er gjort forsøk med forskjellige inversjonsmetoder (Least Square og Robust) og det er eksperimentert med forskjellige inversjonsparametre, dempnings-faktorer og forskjellige filtre som favoriserer vertikale strukturer. Dette gir ikke noen endringer i hovedtrekkene i de inverterte profilene, men mindre avvik i detaljer.

ARRANGEMENT OF MODEL BLOCKS AND APPARENT RESISTIVITY DATUM POINTS



Figur 3: Oppdeling av bakken i blokker og tilordning av målte verdier av tilsynelatende resistivitet.

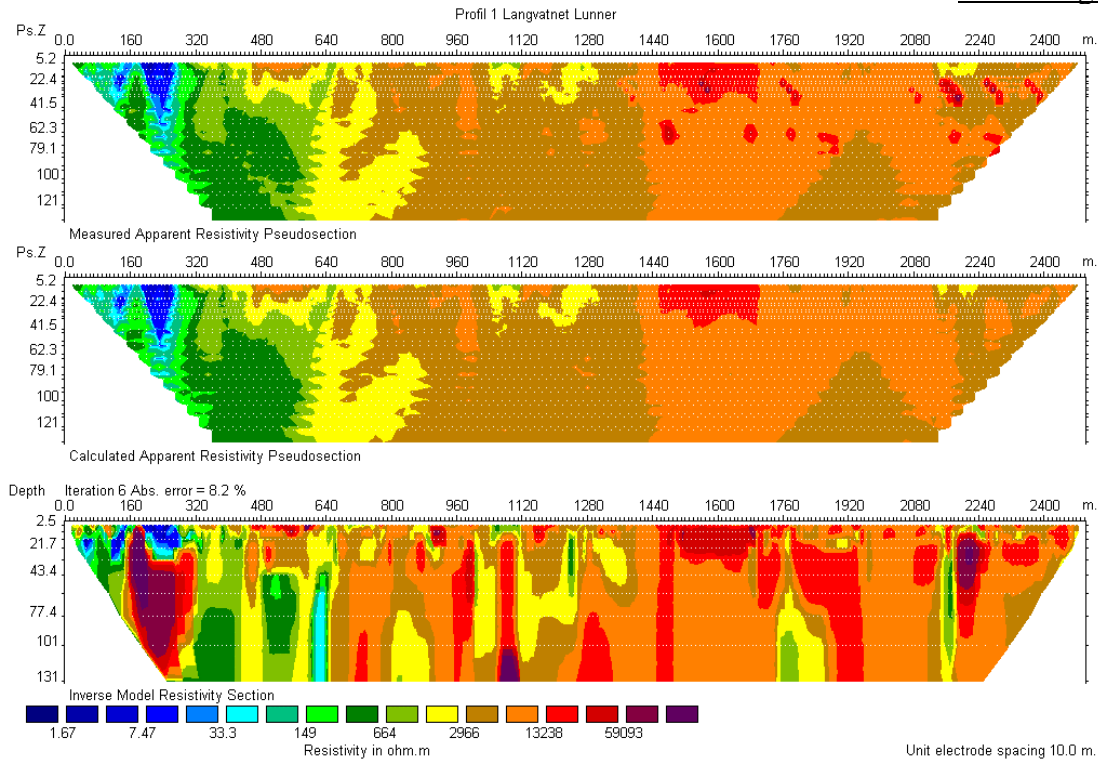
Tolkning.

Figur 4 viser resultater fra et profil målt mer eller mindre langs den planlagte tunnel-traséen ved Gualia i Lunner kommune. Øverste del av figuren viser pseudoseksjonen av de målte data. Denne viser store variasjoner i måleverdi, men en kan ikke indikere noen klare svakhetssoner. Lavere tilsynelatende resistivitet i starten av profilet (mot vest) representerer kambrosilursk hornfels. Fra ca koordinat 600 og østover er Oslofeltets bergarter (syenitt og noen vulkanitter) representert ved jevnt over høyere tilsynelatende resistivitet.

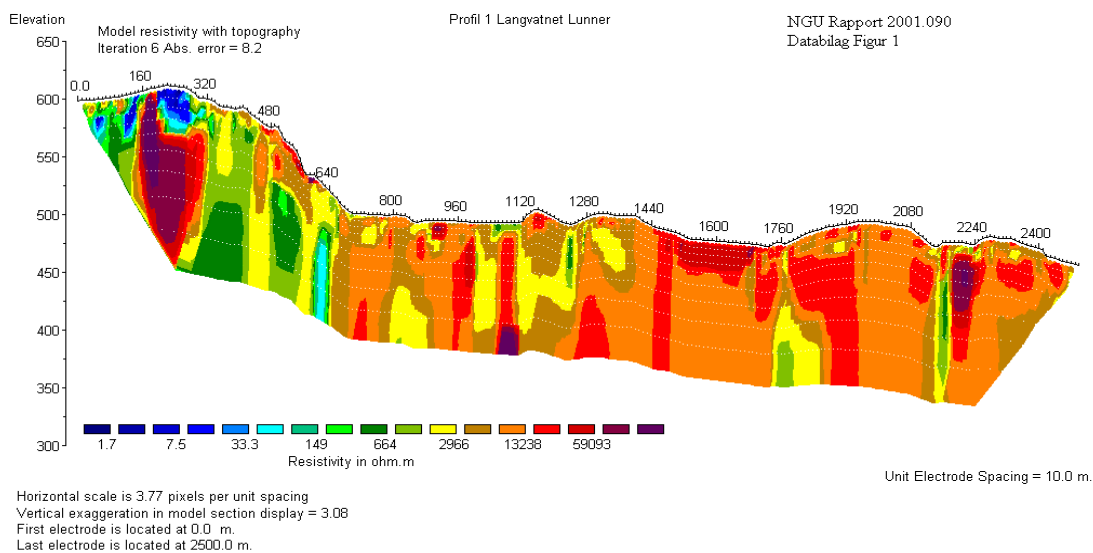
Det inverterte bildet av spesifikk ("sann") resistivitet nederst viser langt flere detaljer. Her ser en klart soner med redusert resistivitet som strekker seg mot dypet. Pseudo-seksjonen av denne modellen, vist i midten, er til forveksling lik pseudoseksjonen av de målte data. Dette viser at modelltilpasningen har vært relativt vellykket.

Figur 5 viser det inverterte profilet fra Gualia med terrengkorreksjon. Legg merke til at enkelte soner går til bunns i plottet, mens andre synes å kile ut på et grunnere nivå. Langs profilet er det påvist lange strekk med til dels meget høy resistivitet. Dette har vist seg å være soner uten problemer under drivingen av tunnelen. Sone ved koordinat 2160 gav store problemer under drivingen. I en lengde av 40 meter var det nødvendig å sikring med sprøytebetong og forbolting for hver 5 meter. Det ble benyttet redusert salvelengde, og det ble foretatt omfattende forinjeksjon ved bruk av mikrosegment. Til tross for dette fikk en ras fra hengen sentralt i sonen (Moksnes 2002, personlig meddelelse).

På grunnlag av oppnådde resultater fra resistivitetmålingene på bakken ble det satt ut 3 borebrønner mot svakhetssonene ved koordinatene 640, 1760 og 2160. Eksempel på oppfølgende undersøkelser i disse blir vist i innlegg 11.1.



Figur 4: Eksempel på 2D resistivitetsdata fra Gualia, Lunner kommune. Øverst pseudoseksjon av målte data, i midten pseudoseksjon av modellerte data og nederst selve modellen.



Figur 5: Invertert modell fra Gualia med terrengkorreksjon. Soner med lav resistivitet faller sammen med depresjoner i terrenget og tidligere geologisk kartlegging (Rønning og Dalsegg 2001).

REFERANSER.

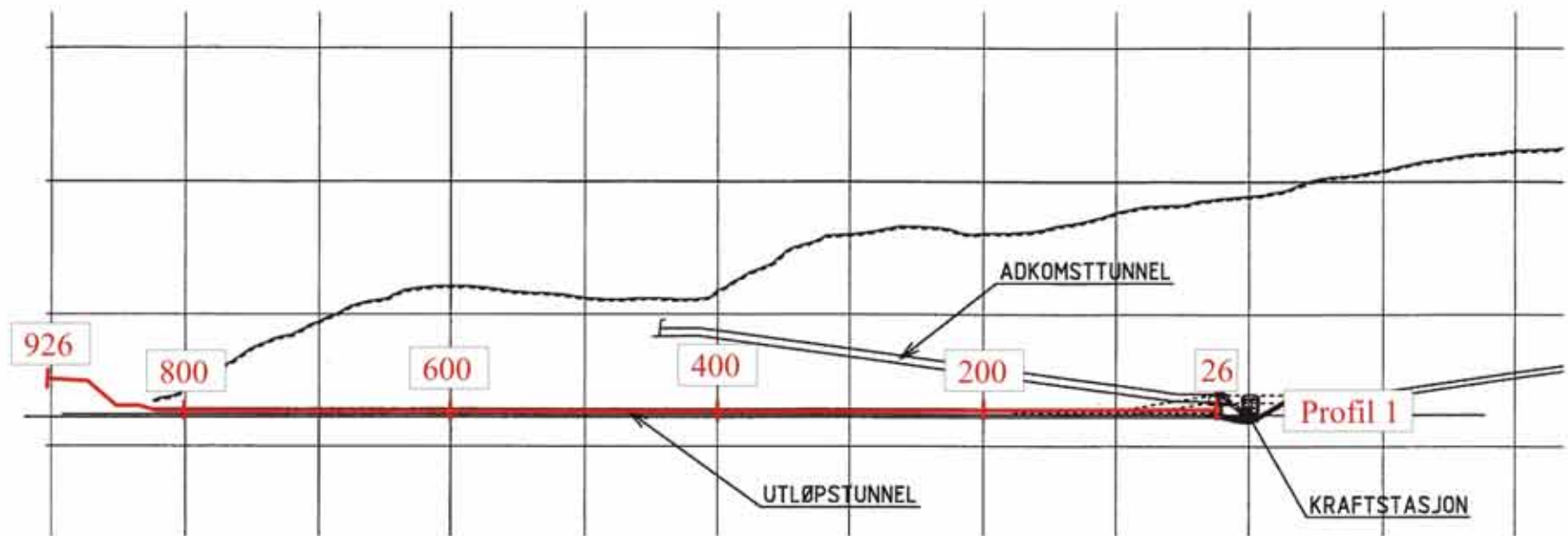
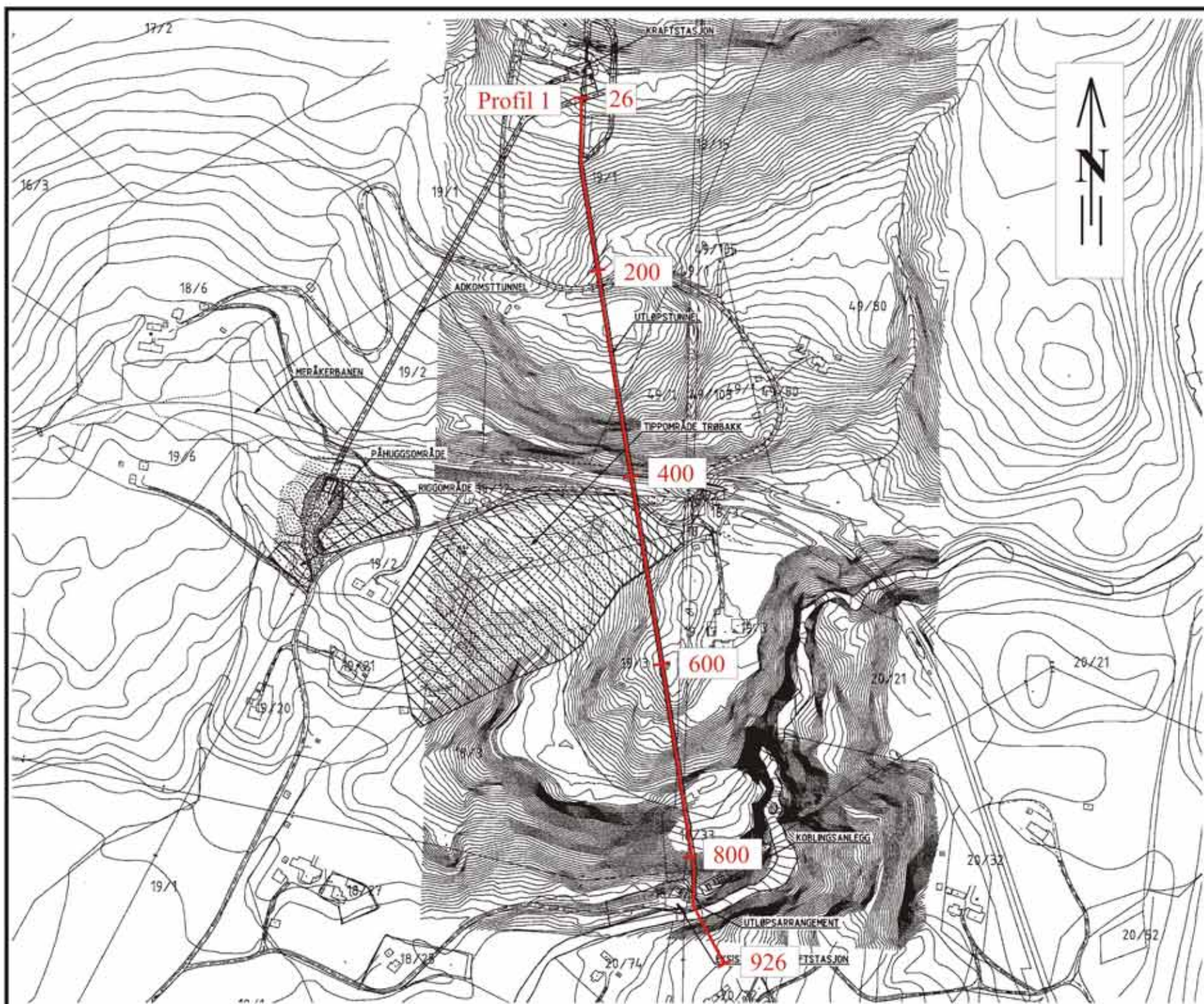
Dahlin, T. 1993: On the Automation of 2D Resistivity Surveying for Engineering and Environmental Applications. Dr. Thesis, Department of Engineering Geology, Lund Institute of Technology, Lund University. ISBN 91-628-1032-4.

Loke, M.H. 2001: RES2INV ver. 3.4. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual. www.geoelectrical.com.

Moksnes, S.: Ingeniørgeologiske observasjoner under tunneldriving. Tunnelprosjektet Rv 35 Gualia – Slettmoen.

Rønning, J.S. 1985: Geofysikk i vannprospektering fra sprekkesoner i fjell. Resultater fra et forprosjekt. NGU Rapport 85.103.

Rønning, J.S. og Dalsegg, E. 2001: Tunnelprosjektet. Geofysiske målinger ved Langvatnet, Lunner, Oppland. NGU Rapport 2001.090. . Statens Vegvesen, Miljø- og Samfunnstjenlige tunneler Rapport nr. 7.



NTE
 OVERSIKTSKART
 FUNNA KRAFTVERK
 MERÅKER, NORD-TRØNDELAG

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK 1 : 5 000	MÅLT E.D.	Juli 2006
	TEGN E.D.	Juli 2006
	TRAC	
	KFR	

TEGNING NR
 2006.056-01

KARTBLAD NR
 1721 I