

NGU Rapport 2011.002

Geofysiske målinger for tunelltrasè
rv80-05 Hunstad – Bodøelv
Bodø, Nordland

Rapport nr.: 2011.002		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Geofysiske målinger for tunelltrasè rv80-05 Hunstad – Bodøelv, Bodø, Nordland				
Forfatter: Einar Dalsegg		Oppdragsgiver: Statens vegvesen, Region Nord - NGU		
Fylke: Nordland		Kommune: Bodø		
Kartblad (M=1:250.000) Bodø		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 2029 IV Bodø		
Forekomstens navn og koordinater: Hunstad – Bodøelv 33 V 218750 7477500		Sidetall: 18 Kartbilag: 1	Pris: 80.-	
Feltarbeid utført: Oktober 2010	Rapportdato: 11.01.2011	Prosjektnr.: 296100	Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>	
Sammendrag:				
<p>I samarbeid med Statens vegvesen, Region Nord har NGU (Norges geologiske undersøkelse) utført geofysisk kartlegging ved den planlagte tunneltraseen mellom Hunstad og Bodøelv langs riksveg 80 i Bodø. Det ble målt 4 profiler med en samlet lengde på 2,4 km med metoden 2D resistivitet, som er en elektrisk målemetode som angir den elektriske motstanden i fjellet. Profilenes plassering ble ikke optimal for kartlegging av eventuelle svakhetssoner, da en måtte ta hensyn til jernbanetraseen ved plassering av profilene. Denne kunne ikke krysses og en kunne heller ikke legge profilene for nærme da jernbanelinjen er godt ledende og dermed påvirker måledata.</p> <p>De geofysiske målingene har kartlagt flere soner som kan krysse den planlagte tunelltraseen. Flere av sonene faller sammen med tidligere kartlagte lineamenter. Sonene som trolig er sprekkesoner eller forkastninger er markert på eget oversiktskart. I egen tabell er resistivitet, fall og dybdeangivelse angitt. Ikke alle de tidligere kartlagte lieamentene har gitt respons på resistivitetsmålingene. Dette kan tyde på at de ikke er så oppsprukket og dermed problematisk som fryktet.</p> <p>Det er også målt IP (Indusert polarisasjon). Høy IP indikerer mineraliseringer (sulfider, grafitt o. l.) som kan gi tilsvarende resistivitetsanomalier som vannfylte sprekkesoner med eller uten leire. En sone (sone 1 på profil 4) har gitt en markert IP-anomali. Ellers inneholder IP-data en god del anomalier som kan tilskrives støy fra tekniske anlegg i området.</p>				
Emneord: Geofysikk	2D resistivitet		Tunnel	
	Berggrunnsgeologi		Sprekkesone	
	Tolkning		Fagrapport	

INNHold

1. INNLEDNING	4
2. METODEBESKRIVELSE - GEOFYSIKK.....	4
2.1 Målemetode og utførelse	4
2.2 Datainnsamling.....	5
2.3 Strømstyrke og datakvalitet	5
2.4 Inversjon.....	5
3. RESULTATER	5
3.1 Profil 1-4.....	9
4. KONKLUSJONER	15
5. REFERANSER	16

FIGURER

Figur 1. Oversiktskart over målte profiler med angivelse av påviste svakhetssoner.	8
Figur 2. Profil 1, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.....	11
Figur 3. Profil 2, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.....	12
Figur 4. Profil 3, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.....	13
Figur 5. Profil 4, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.....	14

TABELLER

Tabell 1. Klassifisering av soner.	6
Tabell 2. Karakterisering av soner. Sonene er indikert ved hjelp av 2D resistivitet og er klassifisert i klasse 0-4 ut fra dybde (A), bredde (B) og resistivitet (C) på sonen.	7

TEKSTBILAG

For tekstbilag for metoden(e) som er anvendt vennligst gå til våre nettsider [www.ngu.no/geofysiske metoder](http://www.ngu.no/geofysiske_metoder)

DATABILAG

Databilag 1: Innmålte profiler 2D resistivitet

KARTBILAG

Kartbilag 01: Oversiktskart over undersøkt område 1 : 50 000.

1. INNLEDNING

I samarbeid med Statens vegvesen, Region Nord har NGU (Norges geologiske undersøkelse) utført geofysisk kartlegging ved den planlagte tunneltraseen mellom Hunstad og Bodøelva langs riksveg 80 i Bodø. Det ble målt 4 profiler med en samlet lengde på 2,4 km med metoden 2D resistivitet, som er en elektrisk målemetode som angir den elektriske motstanden i fjellet. Profilenes plassering ble ikke optimal for kartlegging av eventuelle svakhetssoner, da en måtte ta hensyn til jernbanetraseen ved plassering av profilene. Denne kunne ikke krysses og en kunne heller ikke legge profilene for nærmere da jernbanelinjen er godt ledende og dermed påvirker måledata.

Innenfor prosjektet "Miljø- og Samfunnstjenlige tunneler", som ble gjennomført i perioden 2001 til 2003, ble metoden 2D resistivitet introdusert som en interessant teknikk ved forundersøkelser for tunneller (Rønning, 2003). På grunnlag av målinger ved Lunnertunnelen, ble det foreslått en modell for karakterisering av svakhetssoner i fjell (Rønning m.fl. 2003). Under de rådende geologiske forhold, Oslofeltets intrusiver og sedimenter (Syenitt og sandstein) indikerte resistivitetsverdier høyere enn ca 3000 Ωm stabilt godt drivbart fjell; soner med resistivitet i området 1000 til 500 Ωm store vannlekkasjer, mens i soner hvor resistiviteten var lavere enn 500 Ωm var det mindre vann og i tillegg var fjellet ustabil. I ettertid har NGU utført modellberegninger som viser at resistivitetsmetoden har muligheter for geometrisk karakterisering av svakhetssoner (Reiser et al. 2009). Disse modelleringene viser at metoden kan nyansere sonenes utstrekning mot dypet, sonenes bredde dagnært og i tillegg kan metoden indikere sonenes fall. Ut fra dette har en konkludert med at resistivitetsmetoden har et potensial for å lokalisere svakhetssoner i fjell og i tillegg foreta geometrisk og mineralogisk karakterisering av svakhetssoner. Det finnes også svakheter med denne metoden. Lav resistivitet i ikke oppsprukket bergart gir lavere kontrast og tykt overdekke av godt ledende masser (leire) hindrer strømmen i å nå ned i fjellet. Begge disse effektene reduserer mulighetene for kartlegging av svakhetssoner. I tillegg har modellering vist at det kan oppstå kunstige effekter ved inversjonen av måledata.

Bruk av resistivitet for karakterisering av svakhetssoner i fjell er fremdeles på utviklingsstadiet, og resultatene fra målingene i Bodø må ses i lys av dette. Geometrisk karakterisering av svakhetssonene synes grei, men det er uklart om tolkningsmodell for vann og stabilitet fra Lunnertunnelen kan anvendes. Dette må derfor studeres ved en fremtidig tunnelbygging.

2. METODEBESKRIVELSE - GEOFYSIKK

2.1 Målemetode og utførelse

Ved denne undersøkelsen ble det foretatt måling av **2D resistivitet og induert polarisasjon (IP)**. IP måles samtidig med resistivitetsmålingene og fører til noe utvidet måletid. Dette er av mindre betydning i forhold til viktigheten av også å måle IP. Ved å kombinere de to metodene kan risiko for feiltolkninger reduseres. I det følgende blir metoden og utførelse kort beskrevet. En mer utførlig beskrivelse av metoden finnes på <http://www.ngu.no/no/hm/Norges-geologi/Geofysikk/Bakkegeofysikk/Elektriske-metoder/>.

2.2 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 ES10-64) og to eller fire multi-elektrode kabler. Måleprosessen styres av et ABEM Terrameter SAS 4000 (ABEM 1999). Ved denne undersøkelsen ble det benyttet fire kabler med 5 og 10 meters elektrodeavstand og Gradient elektrodekonfigurasjon. Dybderekkevidden er ca 120 meter med 10 meters elektrodeavstand og ca 60 meter med 5 meters elektrodeavstand. Oppløsningen, og dermed nøyaktigheten, er størst i den øvre halvdel av pseudoseksjonen. Hele systemet kan flyttes langs profilet slik at utstrekningen av et profil er ubegrenset.

Profilenes beliggenhet er innmålt med GPS (databilag 1).

2.3 Strømstyrke og datakvalitet

Strømstyrken for mesteparten av målingene lå i områdene 100 og 200 mA. Datakvaliteten var med unntak av profil 1 meget god, og kun et fåtall måledata måtte fjernes før inversjon. På profil 1 var det av en eller annen grunn mye støy og en god del målepunkter måtte fjernes før inversjon. Dette gjør at måledata på dette profilet har noe dårligere kvalitet enn de øvrige.

Tidligere målinger har vist at en må forvente blandet kvalitet på måledata i urbane strøk. Dette gjelder spesielt for IP-målingene. Grunnen er det store innslag av elektrisk ledende tekniske anlegg, som vil "stjele" strøm og dermed gi feil måledata. Med ledende tekniske anlegg menes metalliske hagegjerder, jordet strømmnett, nedgravde metallrør o. l.

2.4 Inversjon.

Ved alle resistivitetsmålinger måles en tilsynelatende resistivitet. Denne representerer et veid middel av alle resistiviteter som er innenfor målingens influensvolum. For å finne den spesifikke resistivitet i ulike deler av undergrunnen må data inverteres. Dette utføres ved at bakken 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.

Resistivitetsmålingene ble invertert ved bruk av dataprogrammet RES2DINV (Loke 2007). Det ble gjort forsøk med forskjellig inversjonsmetoder (Least Square og Robust) og det ble eksperimentert med forskjellige inversjonsparametre, dempningsfaktorer og forskjellige filtre. Dette ga ikke noen endringer i hovedtrekkene i de inverterte profilene, men mindre avvik i detaljer. Det er benyttet vertikal/horisontal-filter 2, som gjør at vertikale strukturer fremheves.

3. RESULTATER

Måleresultatene er presentert i figurene 1 til 5 og i tabell 2. Resistivitetsmålingene er fremstilt i figurer med et fargeflott som gjenspeiler resistiviteten (det inverse av elektrisk ledningsevne

i berggrunnen), hvor det er tatt hensyn til topografi. Fargeskalaen går fra lav resistivitet gitt i blått og grønt (1-500 Ωm) til høy resistivitet gitt i rødt (>5.000 Ωm). Rødt indikerer generelt godt fjell, mens blått/grønt indikerer dårligere fjell. Der det er påvist lavresistivitetssoner er disse nummerert og markert (stiplet sort) med angivelse av indikert fall.

I et forsøk på å gjøre tolkningen mer anvendelig har vi kommet opp med en klassifisering hvor det er tatt hensyn til sonens dybde, bredde og resistivetsverdi. Klassene går fra 0 til 4, hvor 0 tilsvarer godt fjell, og 4 antyder antatt problematisk fjell (se Tabell 1). Om en sones dybde angis med klasse 4 betyr det at sonen antas å gå ned til tunnelnivå. Øket sonebredde antas å gi større problemer, og lav resistivetsverdi kan indikere leire på sprekke og derved ustabile forhold (Rønning et al., 2009). En samlet oversikt over alle påviste soner er vist i tabell 2. Her angis koordinater langs resistivetsprofilene, UTM-koordinater og sonenummer. I tillegg angis tolket fall og om det kan være sulfider eller andre mineraler som kan forklare lave resistivetsverdier.

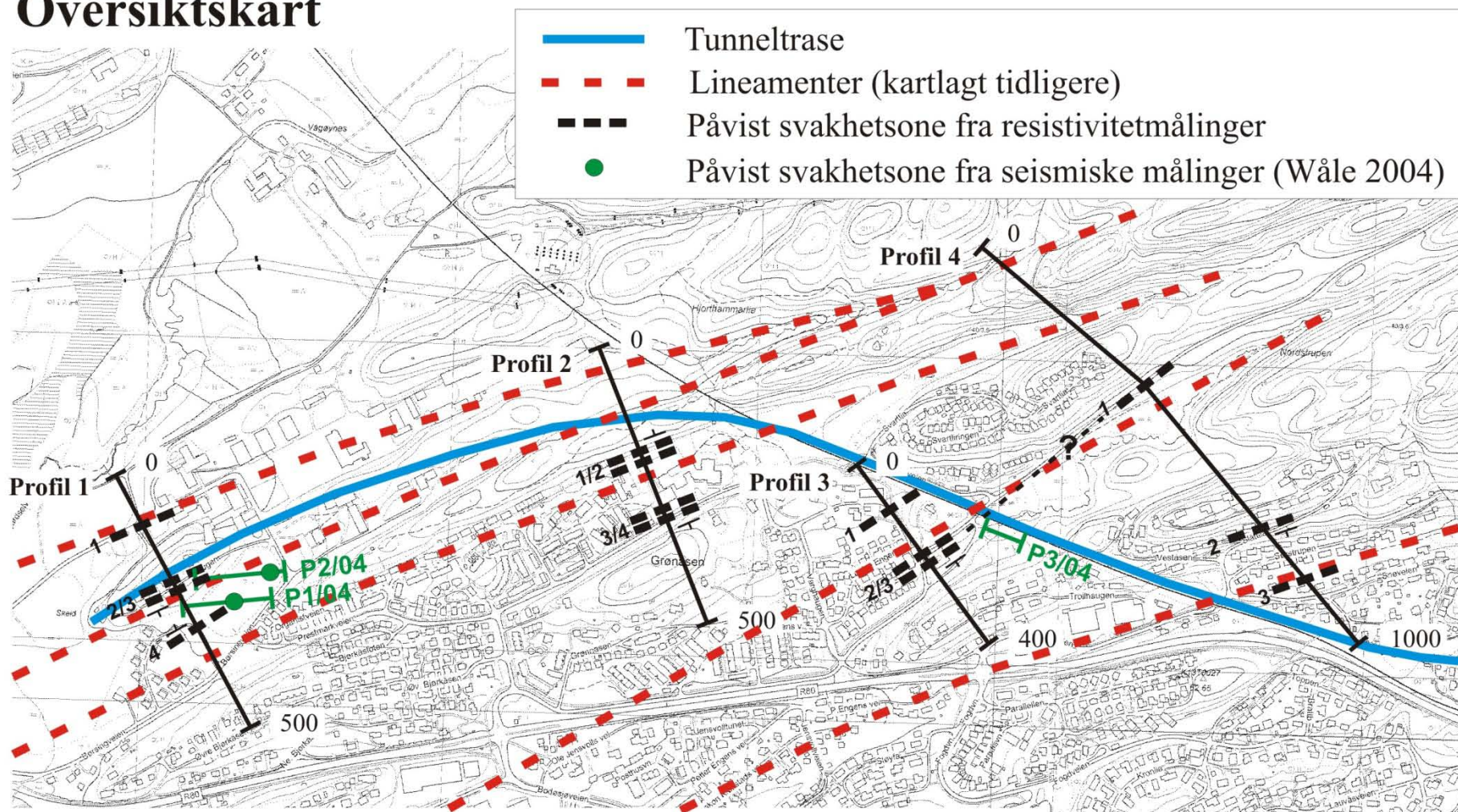
Tabell 1. Klassifisering av soner. Sonene er indikert ved hjelp av 2D resistivitet og er klassifisert i klasse 0-4 ut i fra dybde (A), bredde (B) og resistivitet (C) på sonen.

A - Dybde på sone	B - Bredde på sone	C - Resistivitet på sone	Klasse
		> 2000 ohmm	0
0-20 m	0-10 m	2000-1000 ohmm	1
20-40 m	10-20 m	1000-500 ohmm	2
40-60 m	20-40 m	500-200 ohmm	3
> 60 m	> 40 m	< 200 ohmm	4

Tabell 2. Karakterisering av soner. Sonene er indikert ved hjelp av 2D resistivitet og er klassifisert i klasse 0-4 ut fra dybde (A), bredde (B) og resistivitet (C) på sonen.

Koordinater langs profilet (m)	Sone	Koordinat X WGS-84 UTM sone 33 V	Koordinat Y WGS-84 UTM sone 33 V	Fallretning	A Dybde	B Bredde	C Resistivitet	Kommentar
P 1 - 90	1	476118	7462704	Steil	2 ?	1	4	
P 1 - 200	2	476166	7462607	≈ Steil mot SØ	4	1	4	Samme som P 1 – 215 ?
P 1 - 215	3	476169	7462593	≈ Steil mot SØ	4	1	4	Samme som P 1 – 200 ?
P 1 - 295	4	476183	7462521	≈ Steil mot NV	4	1	4	
P 2 - 185	1	476917	7462803	≈ Steil mot NV	4	1	2	Samme som P 2 – 200 ?
P 2 - 200	2	476920	7462789	≈ Steil mot NV	4	1	2	Samme som P 2 – 185 ?
P 2 - 300	3	476960	7462701	≈ Steil mot SØ	4	1	2	IP, mulig sulfider Samme som P 2 – 315 ?
P 2 - 315	4	476967	7462689	≈ Steil mot SØ	4	1	2	IP, mulig sulfider Samme som P 2 – 300 ?
P 3 - 115	1	477353	7462721	Steil	3	1	2	
P 3 - 210	2	477400	7462647	≈ Steil mot SØ	4	1	3	
P 3 - 225	3	477403	7462634	≈ Steil mot SØ	4	1	3	
P 4 - 400	1	477751	7462929	Steil	4	1	2	IP, mulig sulfider
P 4 - 720	2	477957	7462713	≈ Steil mot SØ	4	1	2	IP, mulig sulfider
P 4 - 855	3	478030	7462615	Steil	4 ?	1	4	

Oversiktskart



Figur 1. Oversiktskart over målte profiler med angivelse av påviste svakhetssoner.

3.1 Profil 1-4

Som tidligere nevnt var måledata på **profil 1** av noe dårligere kvalitet enn de øvrige, men de svakhetssonene som ble påvist (figur 1 og 2) er mest trolig reelle. Som figur 2 viser, er resistivitetsnivået lite homogent langs profilet, noe som kan skyldes stort innslag av støy langs profilet. Å angi den generelle resistiviteten i bergarten langs dette profilet blir derfor meget usikker, men den ligger trolig i området 4 k Ω m - 5 k Ω m. Det er langs profilet tolket fire svakhetssoner, men det kan være flere. Det er spesielt på flankene av profilet dette kan være mulig, da det her er mangelfullt datagrunnlag.

Sone 1 faller sammen med det nordligste av de tidligere kartlagte lineamenter og er derfor trolig reell. Sonen gir meget lav resistivitet og er trolig steil. På grunn av manglende datagrunnlag er dyptgående usikker. Sone 2 og 3 er to parallelle soner som også faller sammen med et tidligere kartlagt lineament. Selv om sonene er markert som to smale soner kan dette være en bred sone. Selv om fallet er tolket til å være mot sør og dermed har fall i fra tunelltraseen, så viser oversiktskartet (figur 1) at sonene ligger meget nær. Den lave resistiviteten indikerer at sonene trolig inneholder leire, og kan derfor føre til stabilitetsproblemer.

Sone 4 kommer fram som en smal og tilnærmet steil sone. Det er spesielt bredden en her kan være noe tvilende til. Seismiske målinger like nordøst for profilet (Wåle 2004) har her indikasjoner på en ca 25 meters bred sone som faller sammen med denne sonen. Det er derfor grunn til å anta at sonen er bredere enn angitt, og ut fra måledata vil da økningen av bredden trolig være mot nordvest.

På **profil 2** (figur 3) gir målingene et mye mer homogent bilde av den generelle resistiviteten langs profilet, og den ser her ut til å ligge i området 4 k Ω m - 20 k Ω m. Det ble påvist to områder med lav resistivitet som er tolket til to (sone 1-2) og to soner (sone 3-4) med en innbyrdes avstand på ca 15 meter. Disse kan representere to enkeltsoner som da vil være ca. 15 meter brede. Sonene indikeres å være tilnærmet steile, med et steilt fall mot nordvest for sone 1-2, mens sone 3-4 trolig faller steilt mot sørøst. Sonene har høyere resistivitet enn på profil 1, men lavere enn 500 Ω m og kan derfor i henhold til foreslått tolkningsmodell inneholde leire. Ut fra tidligere undersøkelser vil soner i dette resistivitetsnivået i tillegg til ustabilitet, gi vannlekkasjer. En kan ikke se bort fra at sonene 3 og 4 kan være forårsaket av elektronisk ledende mineraler (sulfider o. l.), da en her har IP-effekt.

Ved koordinat 265 er det indikert meget lav resistivitet på dypet. Anomalien ligger i et område med høy resistivitet (fjell) og skyldes trolig støy fra tekniske anlegg. Profilet går her gjennom bebygde område hvor en kan forvente forstyrrelser på måledata.

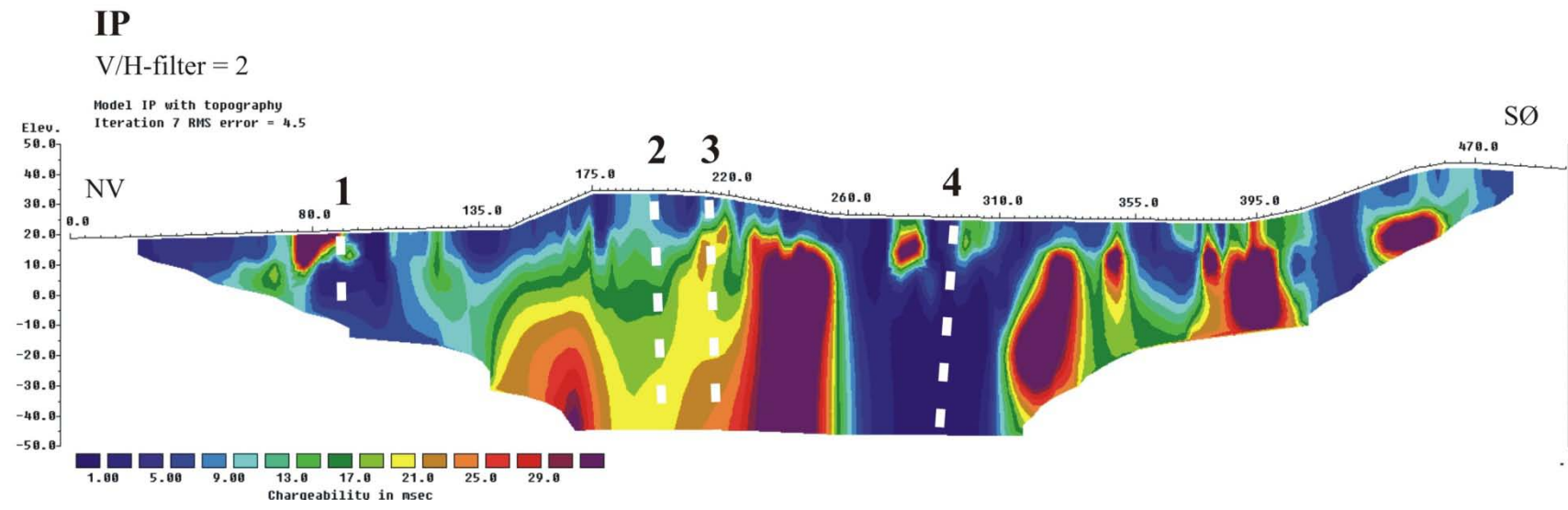
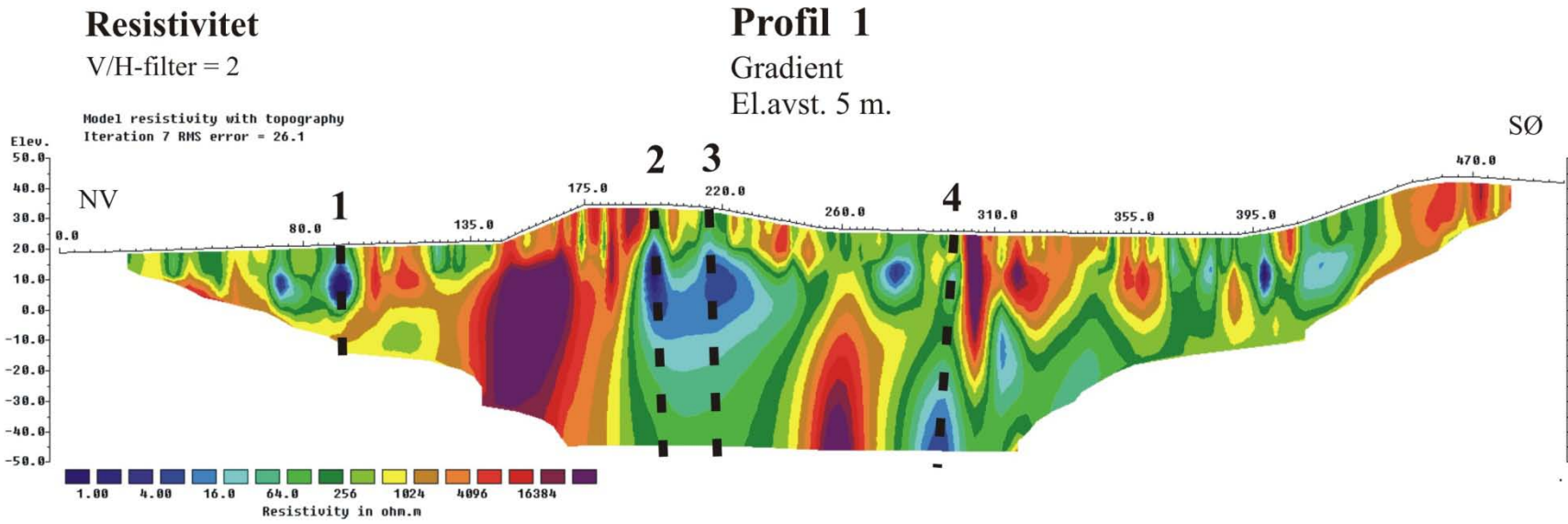
Profil 3 (figur 4) viser en generell resistivitet på ca 4 k Ω m - 10 k Ω m. Det er indikert tre soner hvor sone 1 er noe usikker. Profilet ender opp mot jernbanelinjen i nord og måledata er i dette området trolig noe påvirket av denne. Indikasjonen på meget lav resistivitet på dypet fra koordinat 50 til 100 skyldes trolig innvirkning fra jernbanelinjen. Sone 2 og 3 er to parallelle soner som faller sammen med et tidligere kartlagt lineament. Sone 2 er mest markert, men de kan også her representere en ca. 15 meters bred sone. Resistiviteten i sonene ligger i området som tilsier problemer både med stabilitet (leire) og vanninntrenging.

Profil 4 (figur 5) ligger øst for den planlagte tunelltraseen, men ble målt for å se om en kunne følge de påviste sonene fra de øvrige profiler inn i dette området. De ville i tilfelle krysse den

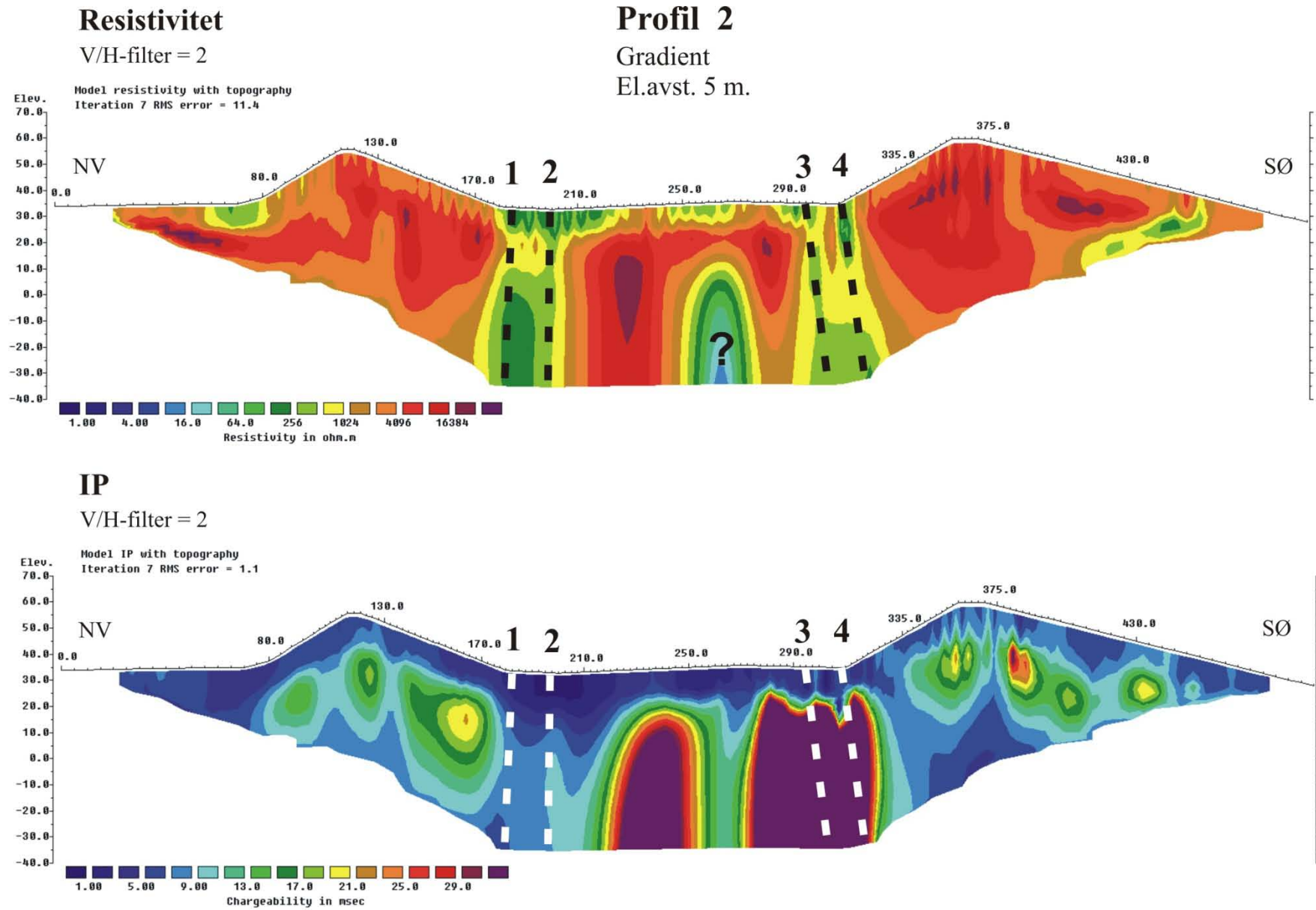
planlagte tunelltrasen. I tillegg ble profilet målt med 10 meters elektrodeavstand for å få en større dybderekkevidde (ca. 120 m).

Det ble påvist tre soner på profilet med sone 1 og 3 som de mest markerte. Sone 1 ligger i kanten av en markert stigning og faller delvis sammen med et tidligere kartlagt lineament. Sonen er trolig samme sone som sone 2/3 på profil 3 og vil i så fall krysse tunelltraseen. Sonen er tilnærmet steil og resistiviteten i sonene ligger i området som tilsier problemer både med stabilitet og vanninntrenging. Som nedre del av figur 5 viser faller sonen sammen med en tydelig IP-sone, som indikerer at sonen kan inneholde sulfider. Det kan derfor være sulfidene som gir det største bidraget til den lave resistiviteten på denne sonen og ikke oppsprekningen.

Sone 2 ligger i et skrånende terreng og faller ikke sammen med noe tidligere kartlagt lineament. Sone 3 ligger ute på flanken av profilet. Her er datagrunnlaget sterkt redusert og angivelsen av fall, resistivitet og dybderekkevidde blir derfor unøyaktig. Med dette forbehold ser sonen ut til å gi meget lav resistivitet, noe som indikerer innslag av leire. Fallet ser ut til å være tilnærmet steilt. Sonen faller sammen med et lineament, men ligger for langt sør til at den vil krysse noen av de andre profilene.



Figur 2. Profil 1, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.

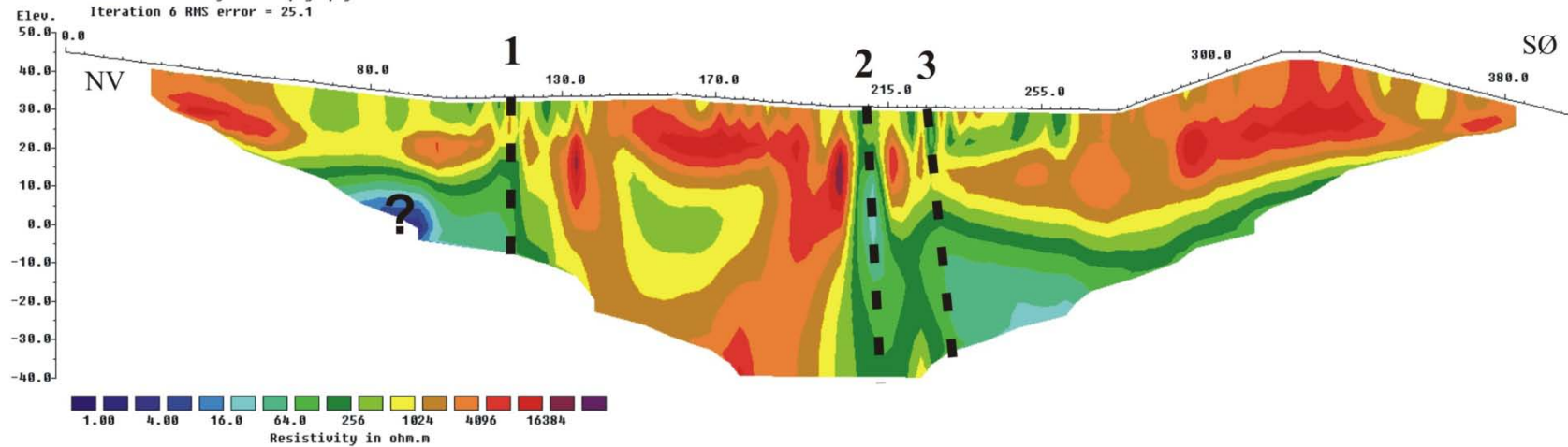


Figur 3. Profil 2, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.

Resistivitet

V/H-filter = 2

Model resistivity with topography
Iteration 6 RMS error = 25.1



Profil 3

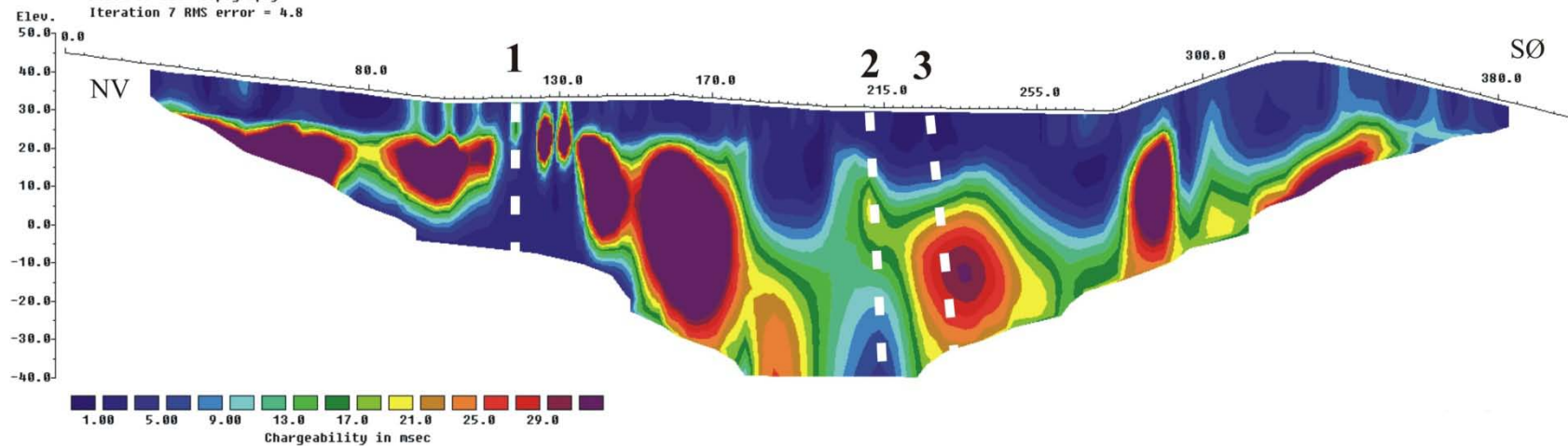
Gradient

El.avst. 5 m.

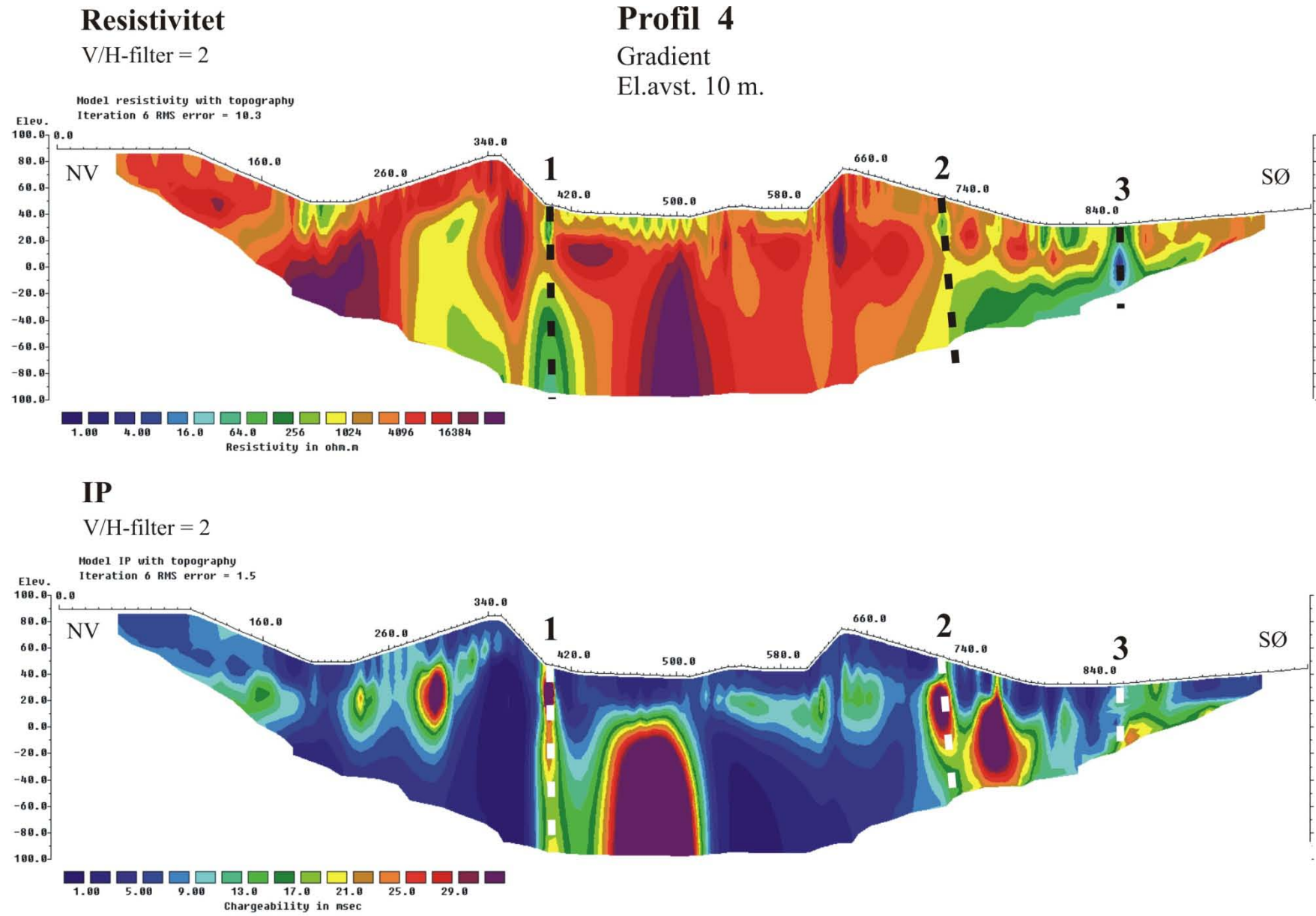
IP

V/H-filter = 2

Model IP with topography
Iteration 7 RMS error = 4.8



Figur 4. Profil 3, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.



Figur 5. Profil 4, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.

4. KONKLUSJONER

De geofysiske målingene har kartlagt flere soner som kan krysse den planlagte tunelltraseen. Flere av sonene faller sammen med tidligere kartlagte lineamenter. Sonene som trolig er sprekkesoner eller forkastninger er markert på eget oversiktskart. I egen tabell er resistivitet, fall og dybdeangivelse angitt. Ikke alle de tidligere kartlagte lineamentene har gitt respons på resistivitmålingene. Dette kan tyde på at de ikke er så oppsprukket og dermed problematisk som fryktet.

Det er også målt IP (Indusert polarisasjon). Høy IP indikerer mineraliseringer (sulfider, grafitt o. l.) som kan gi tilsvarende resistivitetsanomalier som vannfylte sprekkesoner med eller uten leire). En sone (sone 1 på profil 4) har gitt en markert IP-anomali. Ellers inneholder IP-data en god del anomalier som trolig er falske på grunn av støy fra tekniske anlegg i området.

5. 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. 2010: RES2INV ver. 3.59.70. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual. www.geoelectrical.com.

Reiser, F., Dalsegg, E., Dahlin, T., Ganerød, G. & Rønning, J.S. 2009, "Resistivity Modelling of Fracture Zones and Horizontal Layers in Bedrock". NGU Report 2009.070, pp. 1-120, 2009 <http://www.ngu.no/no/hm/Publikasjoner/Rapporter/2009/>

Rønning, J.S. 2003: Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Sluttrapport delprosjekt A, Forundersøkelser. Statens vegvesen, Publikasjon nr. 102.

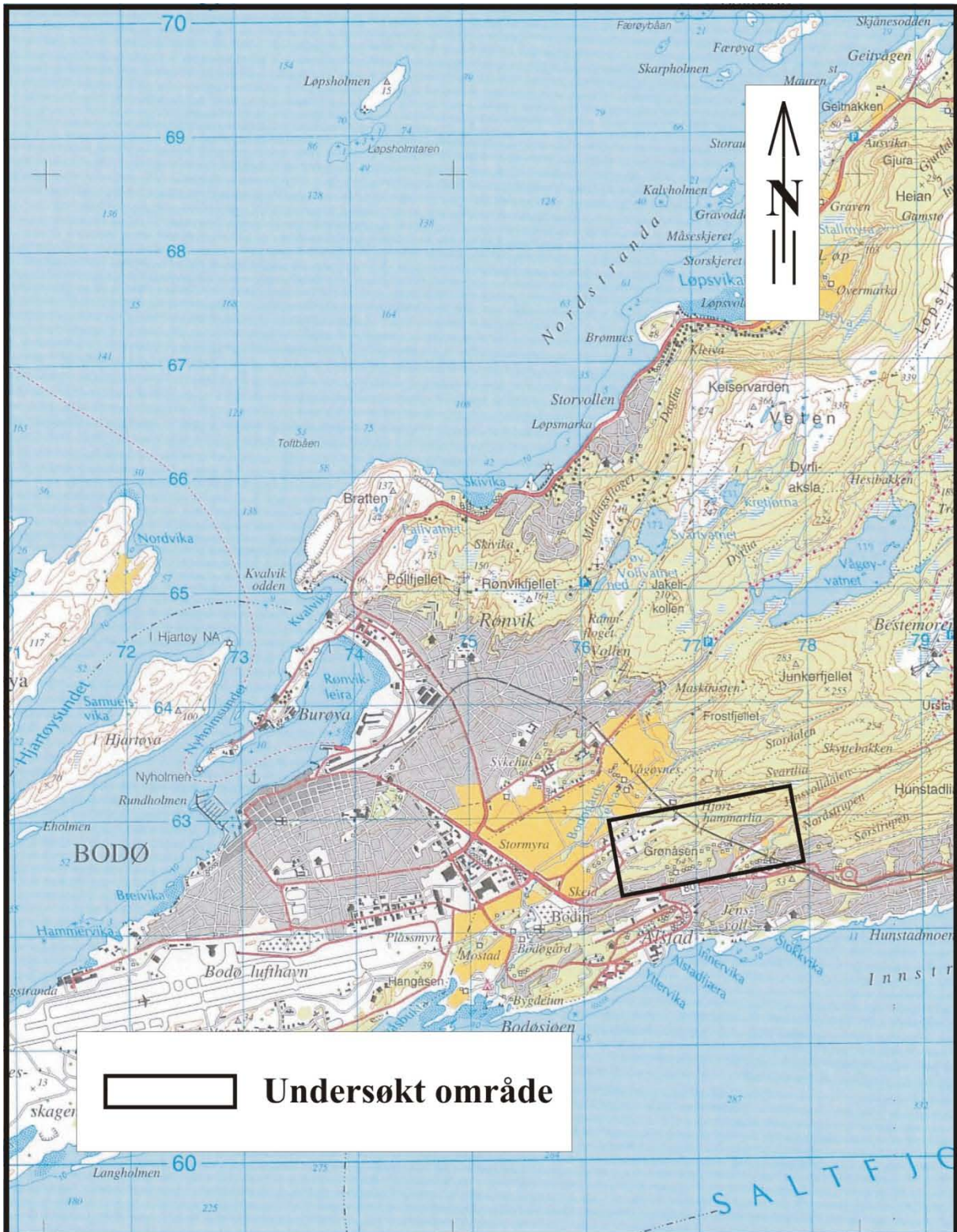
Rønning, J.S., Dalsegg, E., Elvebakk, H. & Storrø, G. 2003: Characterization of fracture zones in bedrock using 2D resistivity. 9th EEGS European Meeting, Prague, August 31 – September 4 2003. Extended Abstract: Proceedings P005.

Rønning, J.S., Dalsegg, E., Elvebakk, H., Ganerød, G.V. & Heincke, B.H. 2009: Characterization of fracture zones in bedrock using 2D resistivity. Proceedings from 5th Seminar on Strait Crossings, Trondheim, June 21 – 24 2009, p. 439 - 444 (SINTEF/NTNU)

Wåle, M. 2004: Refraksjonsseismikk langs Rv 80 og Rv 17 i Bodø kommune. GeoPhysix Rapport nr 04371.

Tabell 3. GPS-posisjoner for profilene.

Koordinat X WGS-84 UTMsone 33	Koordinat Y WGS-84 UTMsone 33	Profil	Koordinat
476077	7462782	Profil 1	0
476123	7462695		100
476166	7462607		200
476184	7462516		300
476247	7462439		400
476297	7462368		500
476879	7462966	Profil 2	0
476901	7462882		100
476920	7462789		200
476960	7462701		300
477009	7462623		400
477040	7462537		500
477264	7462781	Profil 3	0
477345	7462733		100
477397	7462656		200
477422	7462567		300
477480	7462493		400
477492	7463142	Profil 4	0
477617	7463033		200
477751	7462929		400
477890	7462799		600
478001	7462655		800
478105	7462509		1000



 **Undersøkt område**

STATENS VEGVESEN - NGU OVERSIKTSKART HUNSTAD - BODØELV BODØ, NORDLAND	MÅLESTOKK	MÅLT E.D.	Okt. 2010
	1 : 50 000	TEGN E.D.	Jan. 2011
		TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBILAG NR 2011.002-01	KARTBLAD NR 2029 IV	