

NGU Rapport 2011.006

Geofysiske målinger i Endelausskogen og ved
Ulvvatn for ny E 39 Svegatjern - Rådal
Bergen og Os, Hordaland

Rapport nr.: 2011.006		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Geofysiske målinger i Endelausskogen og ved Ulvvatn for ny E 39 Sveгатjern – Rådal, Bergen og Os, Hordaland				
Forfatter: Einar Dalsegg		Oppdragsgiver: Statens Vegvesen Vegdirektoratet, Statens Vegvesen Region Vest og NGU		
Fylke: Hordaland		Kommune: Bergen og Os		
Kartblad (M=1:250.000) Bergen		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1115-I Bergen og 1115 II Austvoll		
Forekomstens navn og koordinater: Ulvvatn 32 V 300710 6685030 Endelausskogen 32 V 301930 6681500		Sidetall: 17 Pris: 100,- Kartbilag: 1		
Feltarbeid utført: Juli 2010	Rapportdato: 01.02.2011	Prosjektnr.: 329500	Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>	
Sammendrag:				
<p>I samarbeid med Statens Vegvesen Vegdirektoratet og Region Vest, har NGU (Norges geologiske undersøkelse) utført geofysisk kartlegging i Endelausskogen og ved Ulvvatn i forbindelse med ny E39 mellom Sveгатjern og Rådal i Bergen og Os kommuner. Hensikten med dette var å kartlegge mulige svakhetssoner som kan skape problemer under tunneldrivinga. Det ble målt 3 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. Hensikten med dette var å kartlegge mulige svakhetssoner som kunne skape problemer ved fremtidig tunneldriving.</p> <p>I Endelausskogen har de geofysiske målingene bekreftet de to tidligere kartlagte svakhetssonene i området og i tillegg indikert to nye soner. Sonene ligger utenfor det planlagte påhugget til Lyshorntunnelen, og vil derfor ikke komme i konflikt med drivingen av dette. De nye sonene som er påvist, ligger på østsiden av Endelausdalen og vil heller ikke skape problemer.</p> <p>Ved Ulvvatn ble det påvist flere svakhetssoner. Tre av disse indikeres å gå ned i tunnelnivå. Resistivitetsnivået på disse sonene ligger i et område som ut fra tidligere undersøkelser, i tillegg til ustabilitet, også vil gi vannlekkasjer. Den generelle resistiviteten i området ser ut til å ligge fra 4 kΩm til 10 kΩm, noe som indikerer lite oppsprukket fjell.</p> <p>NGU presiserer at dette arbeidet er utført som en del av et forskningsprosjekt, og at vi gjerne vil retolke resultatene når de ingeniørgeologiske observasjonene fra tunneldrivingen foreligger.</p>				
Emneord: Geofysikk	2D resistivitet		Tunnel	
			Sprekkesone	
			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 Endelausskogen	6
3.2 Ulvvatn	7
4. KONKLUSJONER	14
5. REFERANSER	15

FIGURER

Figur 1. Profil 1 Endelausskogen, modellert resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.	8
Figur 2. Profil 2 Endelausskogen, modellert resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.	9
Figur 3. Profil 3 Ulvvatn, modellert resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.....	10
Figur 4. Oversiktskart over målte profiler med angivelse av påviste svakhetssoner Endelausskogen.....	11
Figur 5. Oversiktskart over målte profiler med angivelse av påviste svakhetssoner Ulvvatn. 12	

TABELLER

Tabell 1. Klassifisering av soner.	6
Tabell 2. Karakterisering av soner.	13

TEKSTBILAG

For tekstbilag for metoden(e) som er anvendt, vennligst gå til våre nettsider 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 Vest og Vegdirektoratet, har NGU (Norges geologiske undersøkelse) utført geofysisk kartlegging i Endelausskogen og ved Ulvvatn i forbindelse med ny E39 mellom Svegatjern og Rådal i Bergen og Os kommuner. Hensikten med dette var å kartlegge mulige svakhetssoner som kan skape problemer under tunneldrivinga. Det ble målt 3 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.

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 tunneler (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 ohm 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 og Rønning et al. 2009). Disse modelleringene viser at metoden kan angi 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 disse 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 resistivitmålingene 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 relèboks (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 meget god, og kun et fåtall måledata måtte fjernes før inversjon.

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 2010). Det ble gjort forsøk med forskjellige 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 ($>5.000 \Omega\text{m}$). 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 resistivitetsverdi. 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 resistivitetsverdi kan indikere leire på sprekkene og derved ustabile forhold (Rønning et al., 2009). En samlet oversikt over alle påviste soner er vist i tabell 2. Her angis koordinater langs resistivitetsprofilene, UTM-koordinater og sonenummer. I tillegg angis tolket fall og om det kan være sulfider eller andre mineraler som kan forklare lave resistivitetsverdier.

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 Ωm	0
0-20 m	0-10 m	2000-1000 Ωm	1
20-40 m	10-20 m	1000-500 Ωm	2
40-60 m	20-40 m	500-200 Ωm	3
> 60 m	> 40 m	< 200 Ωm	4

3.1 Endelausskogen

I Endelausskogen ønsket oppdragsgiver å undersøke to tidligere kartlagte svakhetssoner som ligger nært opp til det planlagte påhugget til Lyshorntunnelen. Som vist på figur 4 ble det målt to profiler, ett på hver side av det planlagte påhugget. Retningen på profilene var et kompromiss for å dekke begge de to svakhetssonene. Elektrodeavstanden var fem meter, noe som gir en dybderekkevidde på ca. 60 meter.

Profil 1 (figur 1) viser at det er påvist flere soner i og nært opp til Endelausdalen. Den mest markerte (sone 2) ligger midt i dalen og faller nær sammen med den N-S-gående tidligere kartlagte svakhetssonen. Sonen kan være bred (10-20 m) og fallet ser ut til å være tilnærmet steilt mot SØ. Resistiviteten i sonen ligger i et nivå som kan tilsi leire på sprekkene (jfr. modell beskrevet i innledningen). Øst for dalen indikeres to mindre markerte soner (sone 3 og 4). Som figur 4 viser er disse tolket til å være to parallelle soner med en liten vinkel til hovedsonen som følger dalen.

Sone 1 ligger vest for dalen i et markert søkk i terrenget med retning SV-NØ. Som figur 1 viser, er sonen knapt synlig på resistivitetsdata, og ville vel heller ikke blitt markert om den ikke hadde ligget nært opp til den andre tidligere kartlagte svakhetssonen i området. Sonen ser ut til å være tilnærmet steil, er smal (0-10 m) og forholdsvis høy resistivitet (1 – 2 k Ωm) noe som tilsvarer en ren oppsprekning (jfr. tolkingsmodell beskrevet i innledningen).

Profil 2 (figur 2) indikerer fire soner hvor sone 1 faller sammen med den tidligere kartlagte svakhetssonen nede i dalen. I likhet med profil 1 er sonen tilnærmet steil og kan være 10 til 20 meter bred. Sone 3 og 4 er to smale soner på østsiden av dalen og er trolig samme soner som sone 3 og 4 på profil 1. Sonene er tilnærmet steile.

Sone 2 er som figur 1 viser tolket til å skyldes den SV-NØ-gående svakhetssonen. Sonen er mer markert på dette profilet, og resistiviteten er noe lavere enn på profil 1 noe som kan indikere leire på sprekkene (jfr tolkingsmodell beskrevet i innledningen). Fallet på sonen ser ut til å være mot nord-vest.

Resistivetsmålingene i dette området har bekreftet de to tidligere kartlagte svakhetssoner. Sonene ligger utenfor det planlagte påhugget til Lyshorntunnelen, og vil derfor ikke komme i konflikt med drivingen av dette. De nye sonene som er påvist ligger på østsiden av Endelausdalen og vil heller ikke skape problemer.

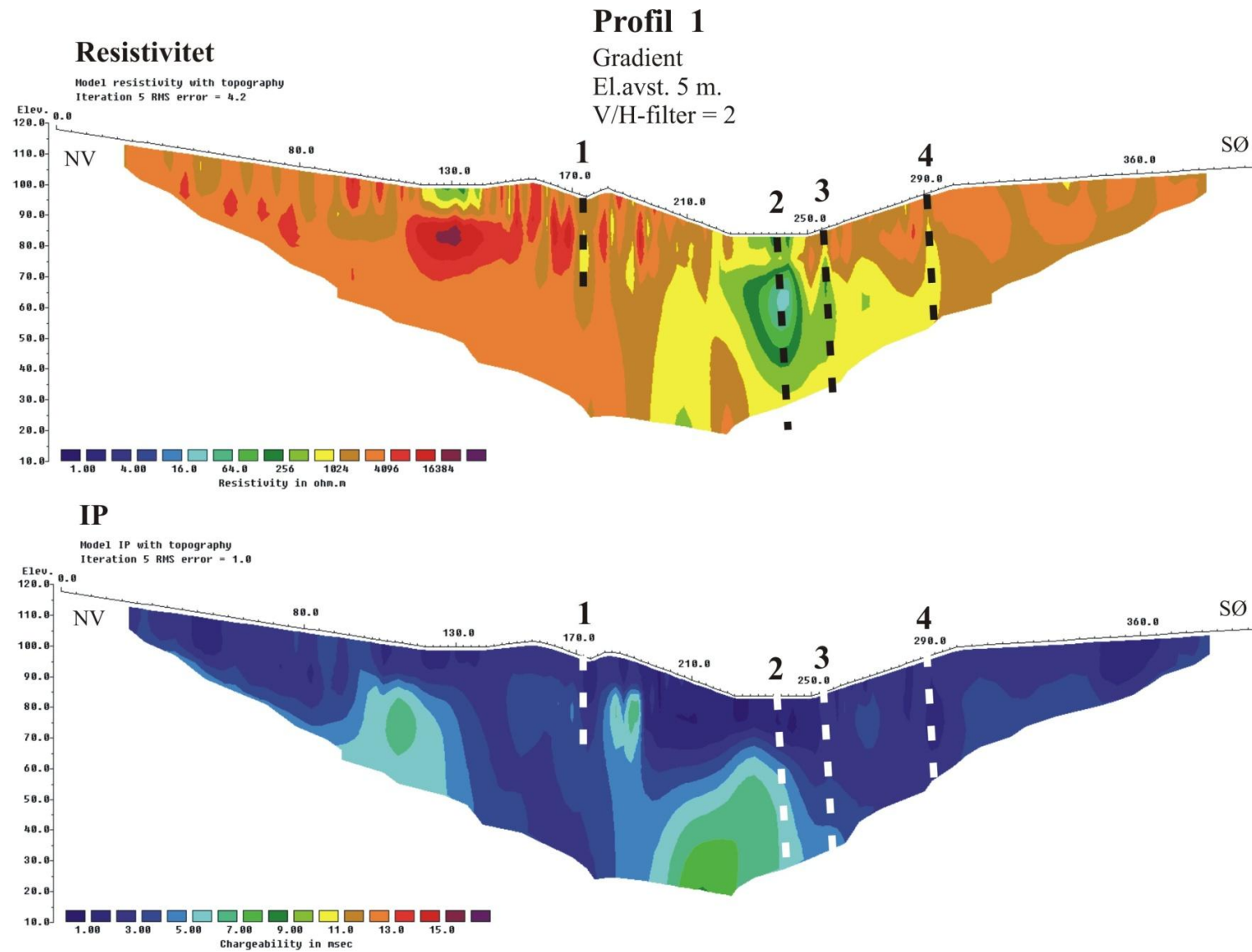
3.2 Ulvvatn

Ved Ulvvatn ble det målt ett profil (profil 3), og profilet ble forsøkt lagt mest mulig langs den planlagte tunneltraseen (se figur 5). For å få en dybderekkevidde ned til tunnelen ble profilet målt med ti meters elektrodeavstand, noe som gir en dybderekkevidde på ca. 120 meter. Da det kun er målt ett profil gir ikke målingene noen indikasjoner på retningen av sonene. Den retningen som er angitt på figuren er valgt ut fra topografi og retningen på de tidligere kartlagte svakhetssonene i området.

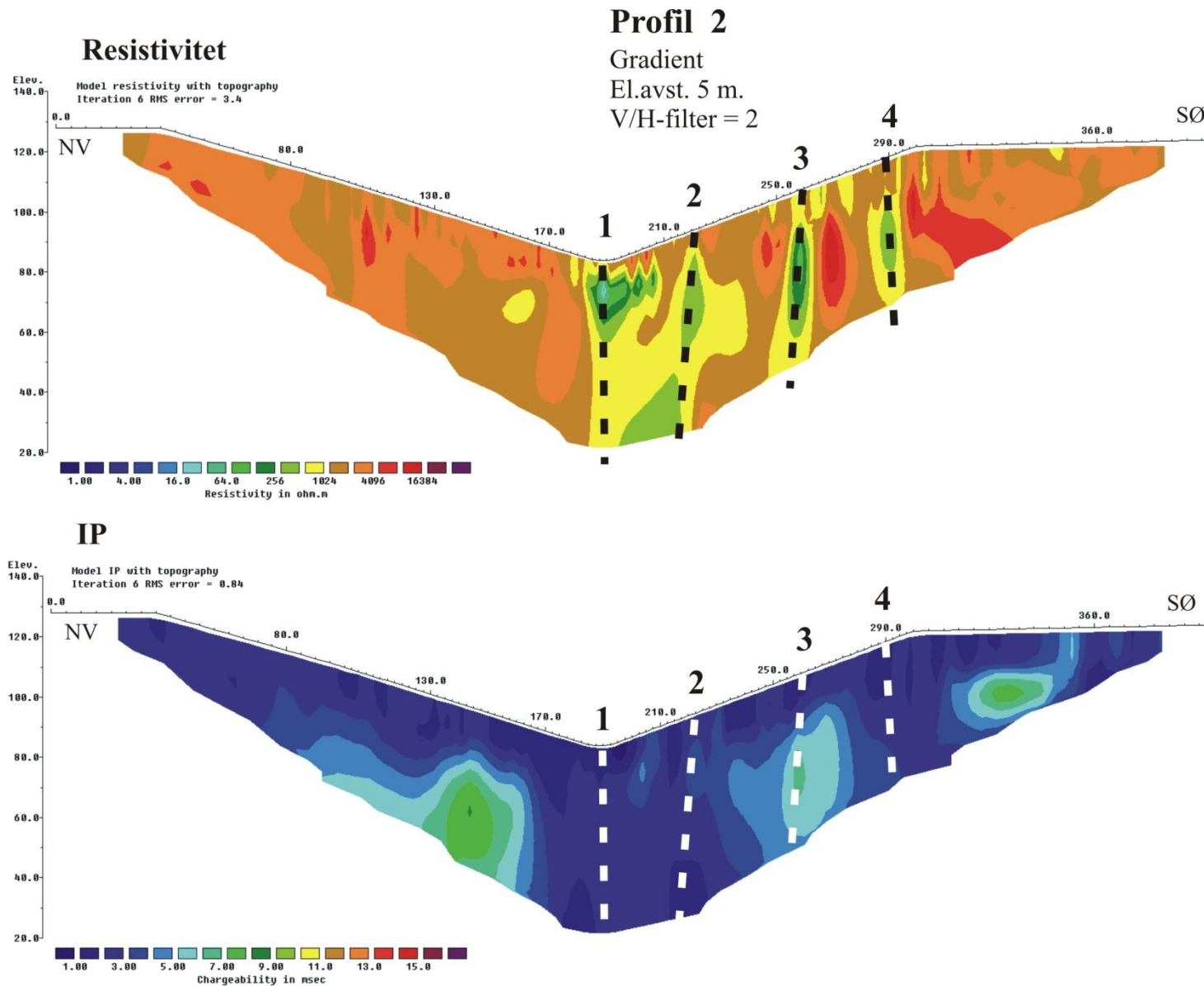
Som figur 3 viser, ser den generelle resistiviteten i området ut til å ligge fra 4 k Ω m til 10 k Ω m, noe som indikerer lite oppsprukket fjell. Flere av de sonene som er påvist er markert som grunne og når ikke ned til tunnelnivået. Det er godt mulig de går ned til tunnelnivået, men de har ikke gitt lav resistivitet ned til dette dypet. Dette indikerer lav oppsprekking og trolig ikke problemer ved tunneldrivingen. Vi må ta et forbehold på flankene av profilet. Her er det mangelfulle data, og tolkingen av sonenes utstrekning mot dypet i disse områdene blir usikre. Dette gjelder sone 1,2,3 og 11.

De sonene som indikeres å nå ned i tunnelnivå er sone 4, 7 og 8. Sone 4 og 7 indikeres å være to steile smale (0-10 m) soner med en resistivitet i området 500 – 200 Ω m. Ut fra tidligere undersøkelser vil soner i dette resistivetsnivået i tillegg til ustabilitet (leirsoner, jfr. tolkingsmodell beskrevet i innledningen), også gi vannlekkasjer. Sone 4 ligger mellom to tidligere kartlagte svakhetssoner. Ved sone 7 er det ikke markert noen svakhetszone, men sonen ligger nært inn til en meget markert skrent.

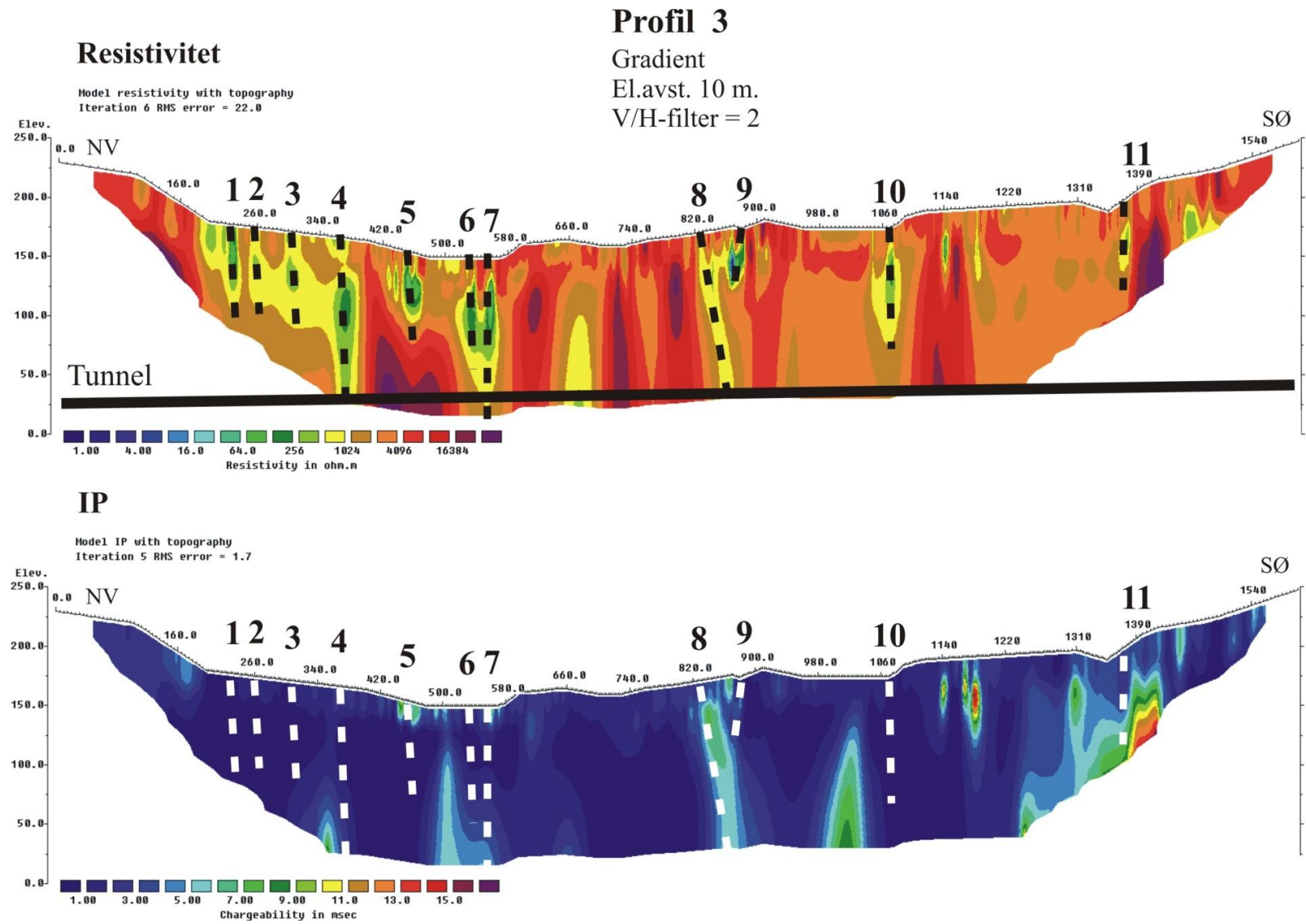
Sone 8 har noe høyere resistivitet enn sone 4 og 7. Dette indikerer vanligvis at sonen trolig ikke inneholder så mye leire som de to andre og kan ut fra tidligere undersøkelser gi noe større vannlekkasjer. Det som gjør tolkingen her usikker er at sonen har gitt IP-effekt. Dette indikerer at den lave resistiviteten kan være forårsaket av elektronisk ledende mineraler (sulfider o. l.) og ikke av oppsprukket fjell. Sonen er smal (0-10 m) og har et steilt fall mot sør-øst. Det er ikke kartlagt noen svakhetszone i dette området.



Figur 1. Profil 1 Endelausskogen, modellert resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.

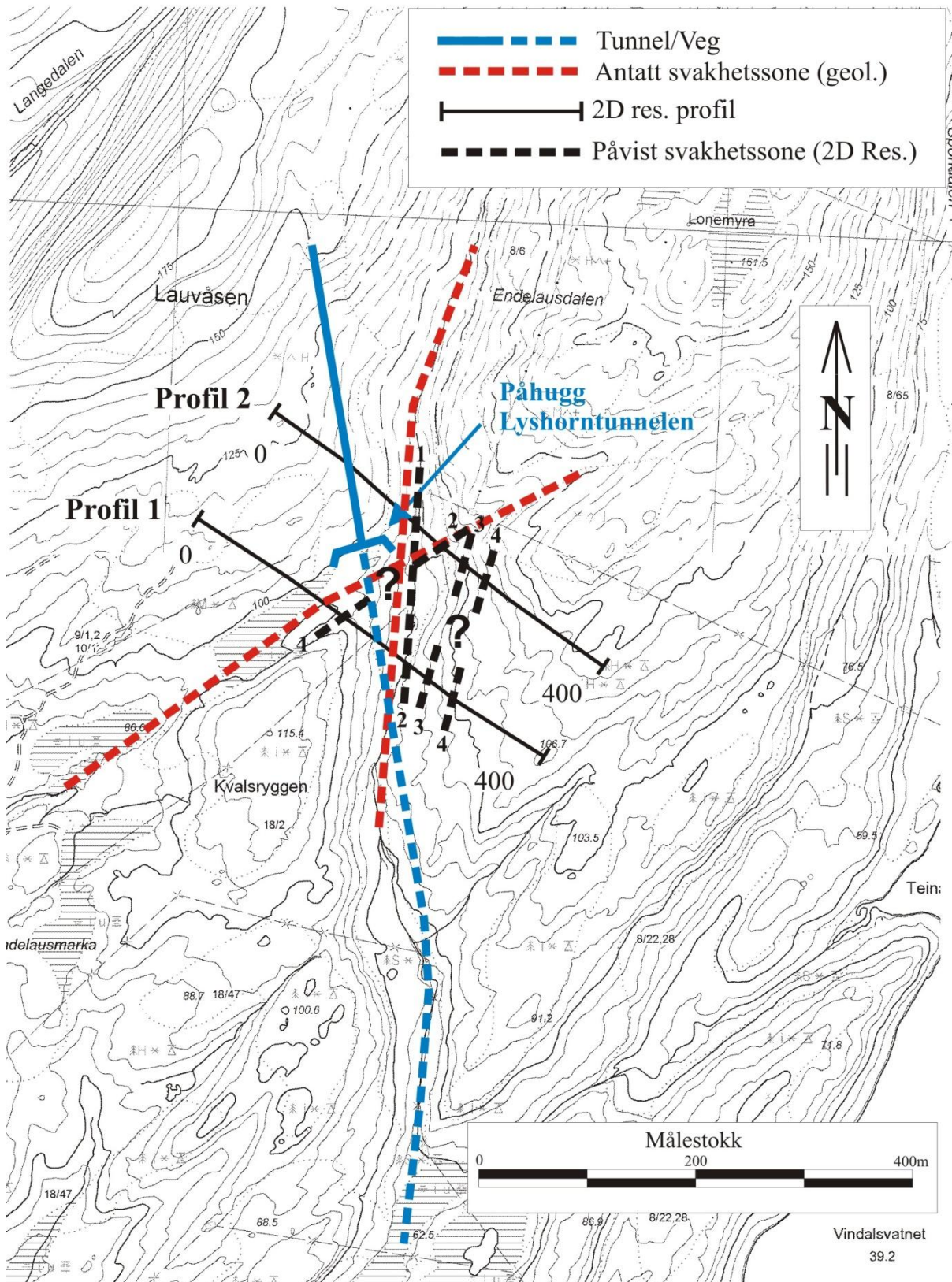


Figur 2. Profil 2 Endelausskogen, modellert resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.



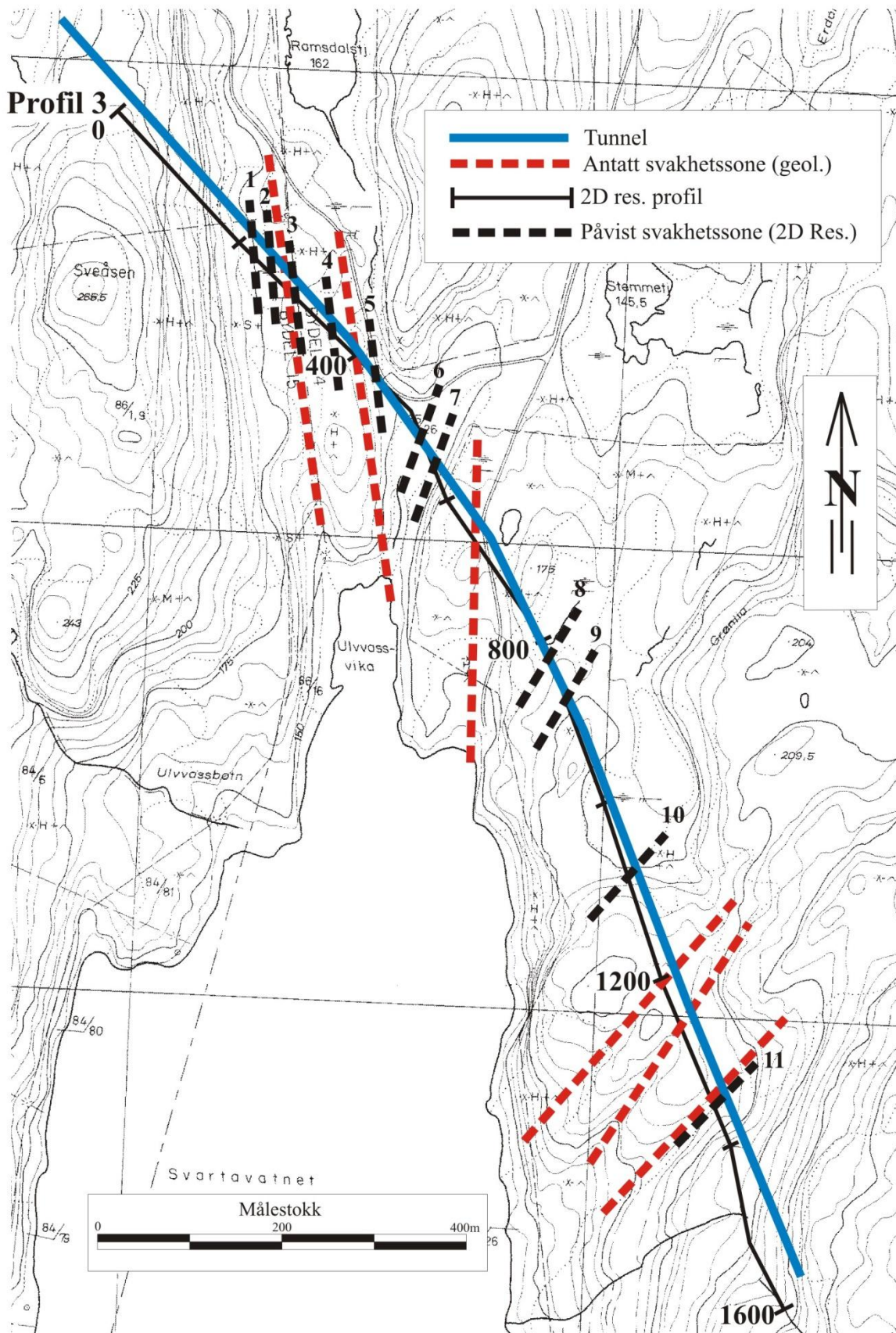
Figur 3. Profil 3 Ulvvatn, modellert resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.

Oversiktskart Endelausskogen



Figur 4. Oversiktskart over målte profiler med angivelse av påviste svakhetssoner Endelausskogen.

Oversiktskart Ulvvatn



Figur 5. Oversiktskart over målte profiler med angivelse av påviste svakhetssoner Ulvvatn.

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 32 V	Koordinat Y WGS-84 UTM sone 32 V	Fallretning	A Dybde	B Bredde	C Resistivitet	Kommentar
P 1 - 175	1	301912	6681538	Steil	2	1	1	
P 1 - 240	2	301960	6681507	≈ Steil	4	2	4	
P 1 - 255	3	301971	6681501	Steil	4	1	3	
P 1 - 290	4	301996	6681486	Steil	4	1	2	
P 2 - 190	1	301976	6681619	≈ Steil	4	2	4	
P 2 - 220	2	301999	6681603	≈ Steil mot NV	4	1	3	
P 2 - 260	3	302028	6681583	≈ Steil mot NV	4	1	4	
P 2 - 290	4	302051	6681568	≈ Steil	4	1	3	
P 3 - 225	1	300477	6685268	≈ Steil mot Ø	3	1	3	
P 3 - 255	2	300499	6685248	≈ Steil mot Ø	3	1	3	
P 3 - 300	3	300532	6685219	≈ Steil mot Ø	3	1	3	
P 3 - 365	4	300579	6685175	≈ Steil mot Ø	4	1	3	
P 3 - 450	5	300632	6685122	≈ Steil mot Ø	3	1	3	
P 3 - 530	6	300675	6685073	Steil	3	1	3	
P 3 - 555	7	300688	6685058	Steil	4	1	3	
P 3 - 825	8	300807	6684834	≈ Steil mot SØ	4	1	2	IP, mulig sulfider ?
P 3 - 880	9	300825	6684783	≈ Steil mot NV	2	1	4	
P3 - 1070	10	300888	6684609	Steil	3	1	3	
P3 - 1370	11	300990	6684341	≈ Steil mot NV	3	1	3	

4. KONKLUSJONER

I Endelausskogen har de geofysiske målingene bekreftet de to tidligere kartlagte svakhetssonene i området og i tillegg indikert to nye soner. Sonene ligger utenfor det planlagte påhugget til Lyshorntunnelen, og vil derfor ikke komme i konflikt med drivingen av dette. De nye sonene som er påvist ligger på østsiden av Endelausdalen og vil heller ikke skape problemer.

Ved Ulvvatn ble det påvist flere svakhetssoner. Tre av disse indikeres å gå ned i tunnelnivå. Resistivitetsnivået på disse sonene ligger i et område som ut fra tidligere undersøkelser, i tillegg til ustabilitet, også vil gi vannlekkasjer. Den generelle resistiviteten i området ser ut til å ligge fra 4 kΩm til 10 kΩm, noe som indikerer lite oppsprukket fjell.

NGU presiserer at dette arbeidet er utført som en del av et forskningsprosjekt, og at vi gjerne vil retolke resultatene når de ingeniørgeologiske observasjonene fra tunneldrivingen foreligger.

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/>

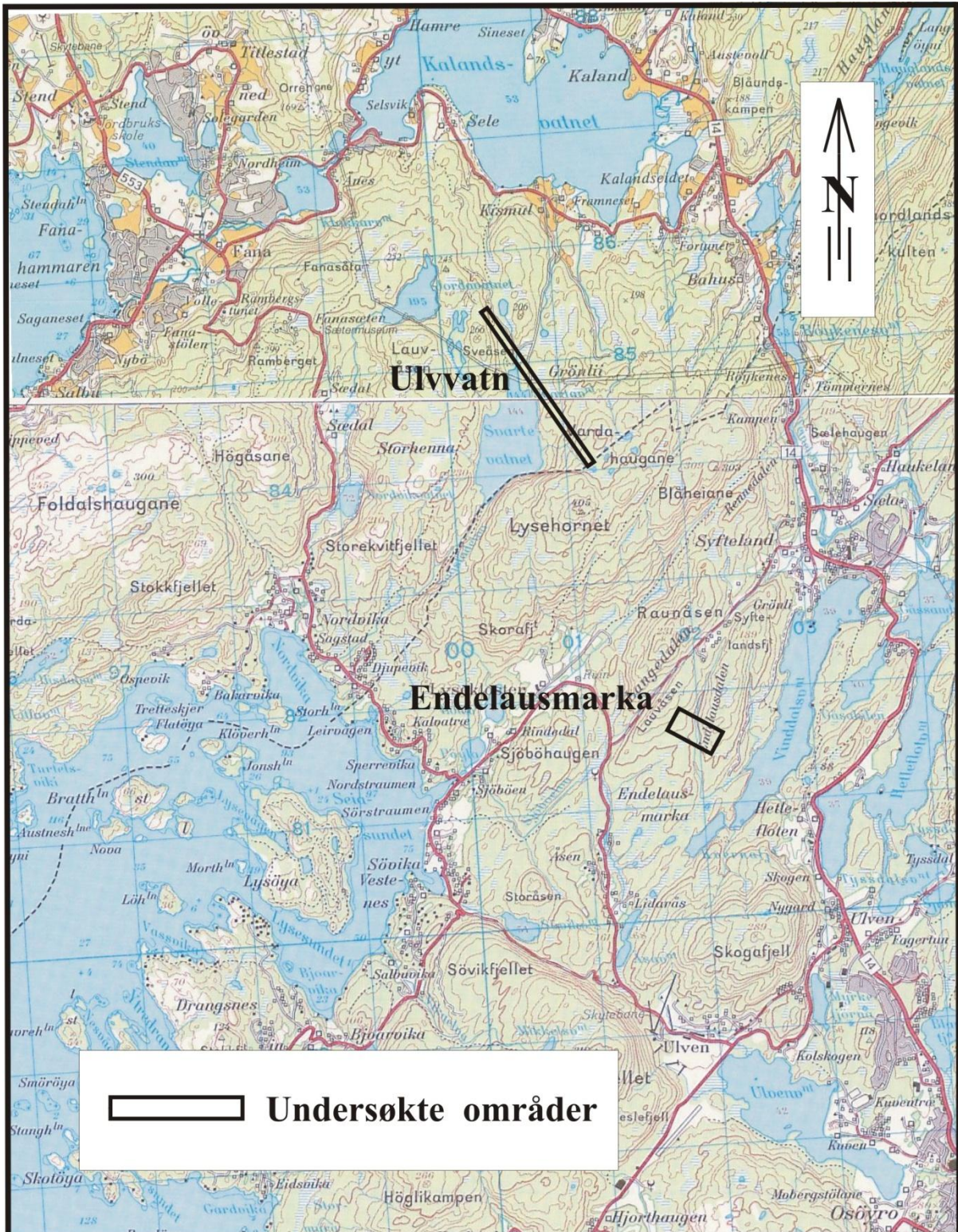
Rønning, J.S. 2003: Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Sluttrapport delprosjekt A, Forundersøkelser. Statens vegvesen, Publikasjon nr. 102.

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

Innmålte profiler (WGS-84, Sone 32 V)

UTM-øst	UTM-nord	Profil	Koordinat
301768	6681629	P1	0
301851	6681580		100
301932	6681524		200
302003	6681482		300
302079	6681418		400
301822	6681716	P2	0
301904	6681669		100
301984	6681613		200
302058	6681563		300
302131	6681498		400
300325	6685406	P3	0
300459	6685285		200
300605	6685152		400
300712	6685031		600
300799	6684857		800
300864	6684673		1000
300932	6684490		1200
301000	6684315		1400
301073	6684140		1600



 **Undersøkte områder**

STATENS VEGVESEN - NGU	
OVERSIKTSKART	
ENDELAUSMARKA - ULVVATN	
BERGEN OG OS, HORDALAND	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	

MÅLESTOKK 1 : 50 000	MÅLT E.D.	Julii 2010
	TEGN E.D.	Jan. 2011
	TRAC	
	KFR	
KARTBILAG NR 2011.006-01	KARTBLAD NR 1115 I - II	