

NGU Rapport 2009.068

2D resistivitetsmålinger langs den planlagte  
Holm-Holmestrand-Nykirke jernbanetunnel



Rapport nr.: 2009.068		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: 2D resistivitetsmålinger langs den planlagte Holm-Holmestrand-Nykirke jernbanetunnel			
Forfatter: Guri V. Ganerød, Einar Dalsegg og Jan S. Rønning		Oppdragsgiver: Jernbaneverket / NGU	
Fylke: Vestfold		Kommune: Holmestrand	
Kartblad (M=1:250.000) Oslo		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1813-IV Holmestrand og 1814-III Drammen	
Forekomstens navn og koordinater: Holmestrand 32 V 573930 6595859		Sidetall: 46	Pris: 320,-
Feltarbeid utført: August 2009		Rapportdato: 18.12.2009	Prosjektnr.: 329501
		Ansvarlig: <i>P. Nordgulen</i>	
<p><b>Sammendrag:</b> I oppdrag for Jernbaneverket har NGU utført geofysisk kartlegging med 2D resistivitet langs tunneløpet Holm-Holmestrand-Nykirke, i Vestfold fylke. Det er totalt samlet inn ca 14 km resistivitetsdata, som så er prosessert og tolket. Det er tatt hensyn til eksisterende geologiske data fra kartlegging i tolkingen av de geofysiske dataene. Hensikten med dette var å påvise og karakterisere svakhetssoner forut for tunneldrivingen. NGU vil poengtere at karakterisering av svakhetssoner ved hjelp av resistivitetsdata er en ny teknologi, og at dette prosjektet er et ledd i å bygge opp kompetanse på tolking av denne type data.</p> <p>Soner som er tolket til å være sprekkesoner eller forkastninger er lagt inn i resistivitetsplottene, og plasseringen av sonene er i tillegg angitt i tabellform med ca. pelnummer for tunnelen, koordinat langs resistivitetsprofil og UTM-koordinater. Her er også tolket fall og fallretning angitt. Hensikten er at med å koordinatfeste sonene på overflaten og angi fall vil det være mulig å projisere sonen ned i tunnelnivå. Sonene er angitt med +/- 5 m nøyaktighet på overflaten.</p> <p>Metoden indikerer flere soner i berggrunnen enn det som er mulig å kartlegge på overflaten og vi kan angi bredde, fall og "kvalitet" på sonene. 2D resistivitetsprofil har en begrenset rekkevidde i dypet til ca 120 m. Oppløsningen avtar mot dypet og resistivitetsdata dypere enn ca. 80 meter er erfaringsmessig lite pålitelige. At sonene blir bredere i dypet er en kunstig effekt av inversjonsprosessen, og ikke en reell utvikling av sonen. Det er mer sannsynlig at sonene blir smalere i dypet pga økt omslutningstrykk med dypet. Generelt er det bra kvalitet på dataene fra 2D resistivitetsmålingene, selv der hvor det er mye bebyggelse og en måtte redusere antall elektroder. Det er også samlet inn IP data (Indusert Polaritet). Høy IP indikerer mineraliseringer (sulfider, grafitt og o.l.) som kan gi tilsvarende anomalier som vannfylte sprekkesoner med eller uten leire. Dette er det tatt hensyn til i tolkingen presentert i denne fagrapporten.</p> <p>Det er kartlagt mulig dypforvitring i noen få soner langs tunneltraseen, noe som bør tas med i vurderingen når en planlegger tunnelutbyggingen.</p>			
Emneord: Geofysikk	2D resistivitet	Tunnel	
	Berggrunnsgeologi	Sprekkesone	
	Tolkning	Fagrapport	



## INNHOOLD

1. INNLEDNING .....	7
1.1 Geologisk beskrivelse av området .....	9
2. METODEBESKRIVELSE - GEOFYSIKK .....	9
2.1 Målemetode og utførelse .....	9
2.2 Datainnsamling .....	9
2.3 Strømstyrke og datakvalitet .....	10
2.4 Inversjon .....	10
3. RESULTATER .....	11
3.1 Strekningen Holm-Holmestrand .....	12
3.1.1 Profil 1a .....	14
3.1.2 Profil 1b .....	16
3.1.3 Profil 1c .....	18
3.1.4 Profil 1d .....	21
3.1.5 Profil 1e .....	23
3.2 Strekningen Holmestrand-Nykirke .....	25
3.2.1 Profil 1f .....	27
3.2.2 Profil 1g .....	29
3.2.3 Profil 1h .....	31
3.2.4 Profil 2 .....	33
4. TILLEGGSINFORMASJON OM OMRÅDET .....	35
4.1 Vanngiverevne i hovedbergarter .....	35
4.2 Aktsomhetskart for tunneler .....	35
5. KONKLUSJONER .....	38
REFERANSER .....	39
VEDLEGG .....	41

## FIGURER

Figur 1. Plassering av 2D resistivitetsprofil langs tunneltraseen Holm-Holmestrand-Nykirke.	8
Figur 2. Tolkning av 2D resistivitetsprofil mot geologisk overflatekartlegging og tilhørende tverrsnitt for tunnelen Holm-Holmestrand .....	13
Figur 3. Profil 1a, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner. ....	15
Figur 4. Profil 1b, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner. ....	17
Figur 5. Profil 1c, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner. ....	20
Figur 6. Profil 1d, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner. ....	22
Figur 7. Profil 1e, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner. ....	24
Figur 8. Utsnitt fra geologisk tverrsnitt fra Bøe m.fl. (1999) .....	25
Figur 9. Tolkning av 2D resistivitetsprofil mot geologisk overflatekartlegging og tilhørende tverrsnitt for tunnelen Holmestrand-Nykirke .....	26

Figur 10. Profil 1f, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner. ....	28
Figur 11. Profil 1g, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.....	30
Figur 12. Profil 1h, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.....	32
Figur 13. Profil 2, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.....	34
Figur 14. Kart over vanngiverevne for hovedbergarter i Vestfold fylke .....	35
Figur 15. Utdrag fra Aktsomhetskartet for tunnelplanlegging, .....	36
Figur 16. Detaljert oversikt over sannsynlig og mulig forekomst av dypforvitring i Holmestrandområdet .....	37

## **TABELLER**

Tabell 1. Klassifisering av soner, inndeling av klasser. ....	11
Tabell 2. Klassifisering av soner langs profil 1a. ....	14
Tabell 3. Klassifisering av soner langs profil 1b.....	16
Tabell 4. Klassifisering av soner langs profil 1c.....	18
Tabell 5. Klassifisering av soner langs profil 1d.....	21
Tabell 6. Klassifisering av soner langs profil 1e.....	23
Tabell 7. Klassifisering av soner langs profil 1f. ....	27
Tabell 8. Klassifisering av soner langs profil 1g.....	29
Tabell 9. Klassifisering av soner langs profil 1h.....	31
Tabell 10. Klassifisering av soner langs profil 2.....	33
Tabell 12: Tabell over alle kartlagt soner langs resistivitetsprofil. ....	41
Tabell 13. GPS-posisjoner for profil 1 og 2.....	45

## **TEKSTBILAG**

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

## **KARTBILAG**

Kartbilag 01 – Oversikt over hvor 2D resistivitetmålingene er samlet inn langs tunneltraseen.

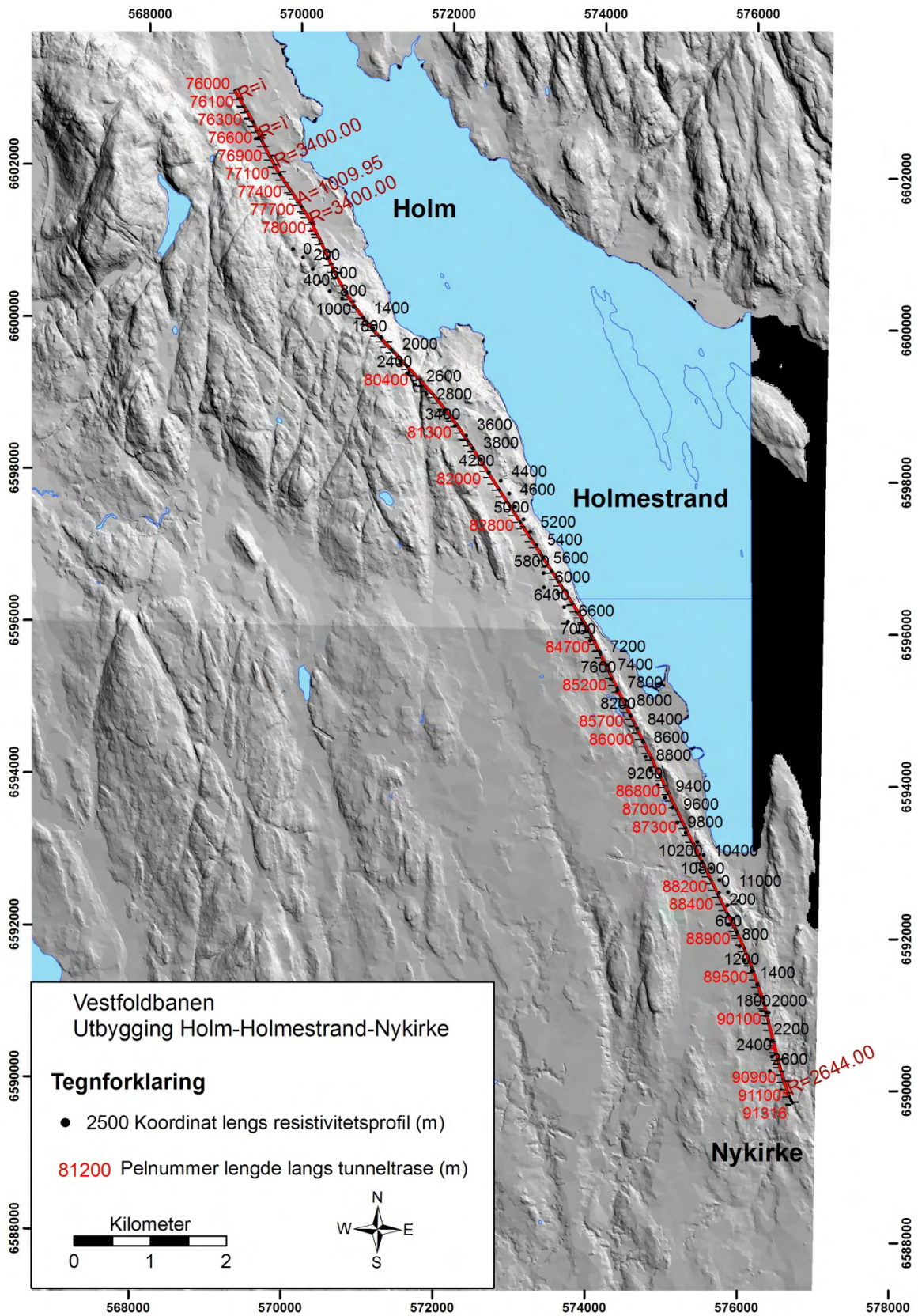
## 1. INNLEDNING

Sommeren 2009 foretok NGU (Norges geologiske undersøkelse) en geofysisk kartlegging for JBV (Jernbaneverket) i forbindelse med den planlagte tunneltraseen mellom Holm og Nykirke i Vestfold, med ny stasjon i fjellet ved Holmestrand. Ca 14 km langs tunneltraseen ble kartlagt med metoden 2D resistivitet, som er en elektrisk målemetode som angir motstanden i fjellet ned til en ca 120 meters dyp. Strekningen er kartlagt fra nord mot sør fra Holm til Nykirke (Figur 1). Hensikten med dette var å påvise og karakterisere svakhetssoner forut for tunneldrivingen. NGU vil poengtere at karakterisering av svakhetssoner ved hjelp av resistivitetsdata er en ny teknologi, og at dette prosjektet er et ledd i å bygge opp kompetanse på tolking av denne type data.

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 Ohmm stabilt godt drivbart fjell; soner med resistivitet i området 1000 til 3000 Ohmm store vannlekkasjer, mens i soner hvor resistiviteten var lavere enn 500 Ohmm 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 (Rønning 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 gi en 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.

Dataene er prosessert og tolket, og det er tatt hensyn til eksisterende geologiske data fra kartlegging i tolkingen av de geofysiske dataene. Soner som er tolket til å være sprekkesoner eller forkastninger er lagt inn i profilene, og er vist på figurer. Plassering av sonene er i tillegg angitt i tabellform med ca pelnummer for tunnelen, koordinat langs måleprofilen og UTM-koordinat. I tillegg er tolket fall og fall retning på sonene gitt. Sonene er angitt med koordinater med +/- 5 m nøyaktighet, samt antatt fall på sonen, slik at det blir lettere å korrelere dataene til tunnelnivå. Under feltarbeidet var det ikke mulig å følge tunneltraseen helt eksakt på grunn av blant annet topografi og bebyggelse. Dette kan gi avvik i plassering av soner som er kartlagt og hvor de vil treffe i tunnelnivå.

Store områder hvor dataene er samlet inn er dekket av vegetasjon, dyrket mark og bebyggelse. Fra overflaten er det derfor ikke mulig å angi retning (strøk) på sonen, og siden det kun er samlet inn ett langt profil gir ikke målingene noe informasjon om retning (strøk) på sonene. Det er derfor vanskelig å angi nøyaktig hvor hver enkelt sone vil skjære i tunnelnivå.



Figur 1. Plassering av 2D resistivetsprofil langs tunneltraseen Holm-Holmestrand-Nykirke, Vestfold.



## 1.1 Geologisk beskrivelse av området

Området er kartlagt blant annet av NGU (Bøe m.fl., 1999), hvor området er beskrevet med lav-metamorfe sedimenter som Ringerikesandstein, Askergruppen og vulkanske bergarter som basalter og rombeporfyr. En mer detaljert beskrivelse av bergets kvalitet er gitt i "Kapittel 3 Geologisk Beskrivelse" i V21401 (JBV, 2009). Fra nord til sør er det antatt at tunnelen vil gå gjennom Ringerikesandstein, en syenittisk intrusjon, basalt som er forkastet ned på nivå med Ringerikesandstein og rombeporfyr, samt flere intrusive ganger og forkastningssoner. Det er kartlagt flere soner ved hjelp av 2D resistivitet enn det er kartlagt med geologisk overflatekartlegging (Figur 2 og Figur 9). Grimstad (1979, 1980) har gjennomført en detaljert geologisk kartlegging i forbindelse med tunnelene langs E18, hvor han også beskriver flere soner, både som forkastninger, slepper og sprekkesoner. Flere av disse sonene kan sammenfalle med dem indikert i 2D resistivitetsprofilene.

## 2. METODEBESKRIVELSE - GEOFYSIKK

### 2.1 Målemetode og utførelse

Ved denne undersøkelsen ble det foretatt var måling av **2D resistivitet og induisert polarisasjon (IP)**. IP måles samtidig med resistivitetmålingene 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/>.

2D resistivitetsprofil har en begrenset rekkevidde i dypet. Oppløsningen avtar mot dypet og resistivitetsdata dypere enn ca. 80 meter er erfaringsmessig lite pålitelige. At sonene blir bredere i dypet er en kunstig effekt av inversjonsprosessen, og ikke en reel utvikling av sonen. Det er mer sannsynlig at sonene blir smalere i dypet pga økt omslutningstrykk med dypet. Inntil videre er det ikke vurdert å måle noen tverrprofil i området. Ut i fra overflatekartleggingen ser det ut til at de fleste sonene har en vinkel til profilet, og bør derved bli indikert på 2D resistivitetsprofilene.

Elektronisk ledende mineraler som sulfider, metalloksyder og grafitt kan gi økt elektisk ledningsevne (reduert resistivitet), og derved gi anomalier av samme type som ved vannfylte svakhetssoner med eller uten leire. De nevnte mineralene gir utslag på metoden, og kartlegges ved hjelp av IP-målinger.

### 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 på 200 meter og GRADIENT elektrodekonfigurasjon med 10 meters elektrodeavstand. Med dette utlegget oppnås en maksimal dybderekkevidde på ca 130 meter. Hele systemet kan flyttes langs profilet slik at utstrekningen av et profil er ubegrenset. Samlet vil en da ha en

elektrodeavstand på 10 meter langs hele profilet med unntak for de første og siste 200 meterne hvor elektrodeavstanden er 20 meter. Størst oppløsning oppnås i de øverste 50 – 60 meterne.

Det ble målt to profiler med en samlet lengde på 13.8 km. Profilene overlapper hverandre der E-18 krysser tunneltraseen. Det ble i størst mulig grad forsøkt å følge tunneltraseen. Dette lot seg ikke gjøre i starten av profilet på grunn av topografien, og i den sentrale delen på grunn av tett bebyggelse (Figur 2 og Figur 9). Profilenes beliggenhet er innmålt med GPS (Tabell 12).

### **2.3 Strømstyrke og datakvalitet**

Strømstyrken for mesteparten av målingene lå i områdene 50 og 200 mA. Datakvaliteten var meget god, og kun et fåtall måledata måtte fjernes før inversjon. Dette gjelder også der profil 1 følger gatene i den tettbebygde delen av tunneltraseen.

Flere steder var det umulig å sette ned elektroder på grunn av asfalterte områder. Her ble antall målepunkter redusert og derved ble også oppløsningen langs profilet redusert. Området med flest manglende elektrodepunkter, og dermed noe dårligere oppløsning, var ved kryssing av riksveg 315 ved profilkoordinat 9000 (Figur 9). Datakvaliteten i områder med redusert elektrodeantall er bedre enn forutsett, og det ser ikke ut til at det har forringet datakvaliteten.

### **2.4 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 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

Resultatene av arbeidet er presentert i figurer og tabeller. Resistivitetsmålingene er fremstilt i figurer med et fargeplott 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 (0-10  $\Omega\text{m}$ ) til høy resistivitet gitt i RØDT (16.000 -20.000  $\Omega\text{m}$ ). Rødt indikerer generelt godt fjell, mens blått indikerer dårligere fjell. Der det er påvist lavresistivitetssoner er disse nummerert og markert (stiplet hvit linje) med angivelse av indikert fall. På grunn av lengden på profil 1 måtte profilet deles opp i flere seksjoner under inversjonsprosessen. Det er god overlapp mellom disse seksjonene slik at det hele tiden er full dybderekkevidde langs profilet. På endene av de enkelte seksjonene, hvor disse overlapper og det er gradvis reduksjon av dybderekkevidden, kan det være noe forskjell i de overlappede seksjonene. Dette skyldes manglende data på dypet i de ytre delene av modellen.

I et forsøk på å gjøre tolkningen mer anvendelig for ingeniørgeologer 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, mens 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 slik karakterisering blir gitt for seksjoner av det ca. 14 km lange resistivetsprofil. En samlet oversikt over alle påviste soner er vist i tabell 11 bakerst i rapporten. Her angis ca. pelnummer langs tunneltrase, koordinat langs resistivetsprofil, UTM-koordinat 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 som er indikert ved hjelp av 2D resistivitet er klassifisert i klasse 0-4 ut i fra dybde (A), bredde (B) og resistivitet (C) på sone.**

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

Tolkningen av resistivetsprofilene er sammenstilt med geologisk overflatekartlegging (Figur 2 og Figur 9, Bøe m.fl. 1999). Flere av sonene som er kartlagt på overflaten sammenfaller med soner kartlagt med 2D resistivitet, men det er også soner som ikke samsvarer. Overflatekartleggingen vil være begrenset til blotninger og området er stedvis dekket av dyrket mark, vegetasjon og bebyggelse. Det er flere soner kartlagt av Grimstad (1979, 1980) i forbindelse med tunnel langs E 18, som ikke er markert på geologiske kartet (Figur 2 og Figur 9). Flere av sonene kartlagt av Grimstad (1979, 1980) kan sammenfalle med soner indikert på 2D resistivetsprofilene.

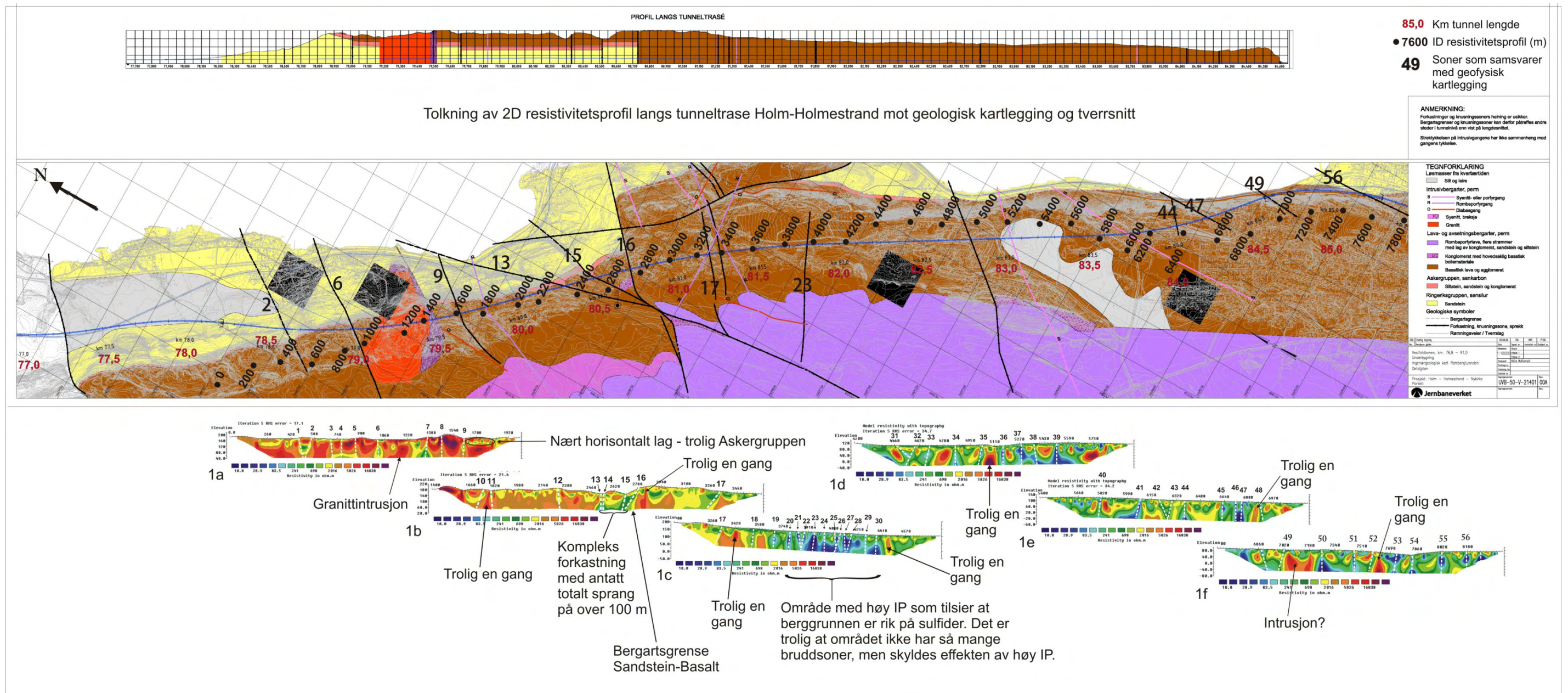
### 3.1 Strekingen Holm-Holmestrand

Lokaliseringen av profilene framgår av Figur 1 og Figur 2 (og kartbilag-01). I terrenget er profil 1 plassert best mulig etter tunneltraseen, og det er kartlagt basalt, og granittintrusjon, i overflaten langs profilet (Figur 2). Den geofysiske kartleggingen indikerer flere soner enn det som er kartlagt på overflaten. Sonene er generelt steile, med svakt fall mot nord eller sør (85-80°), med unntak av noen få soner som er antatt å være bredere og ha stor utstrekning. Dette gjelder spesielt for overgangen mellom sandstein til basalt, ved sone 13 til 16. Den geologiske kartleggingen viser at det er et stort sprang langs en eller flere forkastninger, hvor basaltpakken er forkastet ned i forhold til sandsteinen (Figur 2). I 2D resistivetsprofilet er dette området (ca km 80,5-80,8 tunnellengde) tolket til å ha flere forkastninger, som kan være to store soner (og ikke 4). Den nordlige sonen (13 og 14) indikerer et steilt fall mens den sørlig sonen (15 og 16) indikerer moderat fall, 60°, mot nord. Det er antatt ut i fra den geologiske kartleggingen (Bøe m.fl. 1999) at denne sonen (nr. 16) har et sprang på over 100 m. Det er også en kontrast i resistivetsverdier nord og sør for dette området ca km 80,5-80,8, noe som kan gjenspeile overgangen fra sandstein i nord til basalt i sør (Figur 2 og Figur 4).

Sone 13 er angitt som 2 soner i 2D resistivetsprofilet mens på det geologiske kartet er den angitt som 1 sone (Figur 2 og Figur 4). Dette kan skyldes en variasjon i tolkning. Sonen sør for sone 17 i det geologiske kartet er ikke sammenfallende med en sone i 2D resistivetsprofilet, det samme gjelder for sonen på kartet som faller mellom sone 34 og 35 i profilet (Figur 2, Figur 5 og Figur 6). Selv om sonene på kartet ikke samsvarer med soner i profilet kan det ikke utelukkes at de eksistere men ikke blir påvist av metoden

Området ved ca km 81,6-82 tunnellengde gir utslag med høy IP (Figur 5). Høy IP-verdi indikerer tilstedeværelse av elektronisk ledende mineraler (sulfider, oksyder eller grafitt), og disse kan opptre på en måte som gir økt elektrisk ledningsevne, det vil si redusert resistivitet. I dette området er det tolket inn flere soner, men det er ikke sikkert at alle er reelle.

Det er tolket inn forekomster av ganger, som gjenspeiles som høy resistivitet i profilene (rød farge). Noen av disse sammenfaller med ganger kartlagt på overflaten, mens andre ikke er kartlagt (Figur 2).



Figur 2. Tolkning av 2D resistivitetsprofil mot geologisk overflatekartlegging og tilhørende tversrsnitt for tunnelen Holm-Holmestrand. 2D resistivitetsprofilene er navngitt fortløpende 1a-1f, med tolkede svake soner lagt inn med hvite, stiplede linjer.

### 3.1.1 Profil 1a

I følge det ingeniørgeologiske kartet (JBV, 2008) går profilet her i hovedsak i basalt med underliggende sandstein (Figur 2). Unntaket er mellom koordinat 1000 og 1450, hvor det er indikert granitt og syenitt. Fram til ca 1800 ligger resistiviteten i området 5 000 til 20 000  $\Omega\text{m}$ . Dette er vanligvis indikasjoner på kompakte bergarter. Granitten skiller seg ikke ut fra sandsteinen når det gjelder den generelle resistiviteten, men sone 6 og 8 kan være knyttet til bergartsgrensen sandstein/granitt og granitt/syenitt. Alle påviste soner innenfor denne delen av profilet er forholdsvis steile og med en resistivitet fra 500 til 1500  $\Omega\text{m}$ . Tre av sonene faller sammen med tidligere påviste soner. Dette gjelder sone 2, 6 og 9. Sone 5 faller sammen med en høy IP-sone og kan inneholde sulfider.

I slutten av dette profilet kan en se en horisontalt gul-grønt lag, tilsvarende ca km 79,65-79,85 tunnallengde. Dette er tolket til å være siltsteinlaget i Askergruppen som forekommer på et dyp fra ca 165 m o.h. til ca 130 m o.h ut i fra resistivetsprofilen (Figur 3). Ut fra tolkningen av resistivetsdataene vil det si at laget er opp til 35 m tykt og toppen ligger ca 20 m under terrengoverflaten.

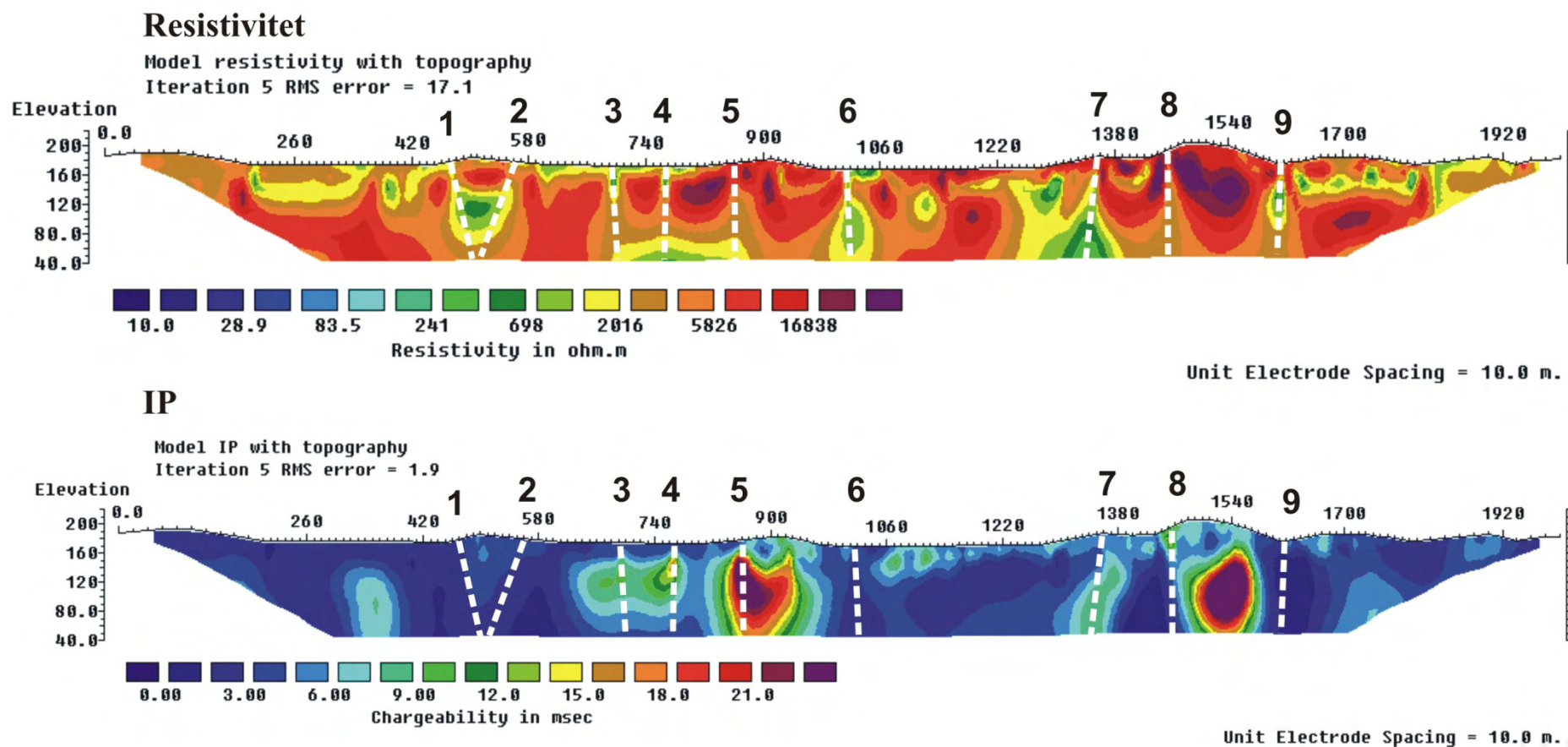
**Tabell 2. Klassifisering av soner langs profil 1a. Koordinater gitt i WGS-84, UTM sone 32V. RES = resistivitet. # = kommentar. \* - Påvist med geologisk overflatekartlegging.**

Ca løpenr. tunnel	Posisjon langs profil P1	X	Y	Sone	Fall (retning)	Fall (ca°)	A dybde	B bredde	C RES	#
78750	470	570241	6600638	1	Steil mot sør	80	4	1	1	
78800	560	570280	6600560	2	Steil mot nordvest	80	4	1	1	*
78930	695	570352	6600457	3	≈ Steil	85	4	1	2	
78990	768	570403	6600414	4	≈ Steil	85	4	1	2	
79050	860	570480	6600378	5	≈ Steil	85	4	1	0	Høy IP-mulig sulfider
79115	1015	570601	6600300	6	≈ Steil	85	4	1	2	*
79390	1355	570837	6600083	7	Steil mot nord	80	4	1	2	
79455	1455	570908	6600018	8	≈ Steil	85	4	1	0	
79600	1615	571011	6599915	9	≈ Steil	80	4	1	2	*

# Holmestrand

## Profil 1a

Gradient, el.avst. 10 m.  
V/H-filter 2



Figur 3. Profil 1a, resistivitet og IP med tolkede svakhetszoner.

### 3.1.2 Profil 1b

Langs denne delen av profilet er den generelle resistiviteten noe lavere. Fram til ca 2500 indikeres en resistivitet på 2000 til 5000  $\Omega\text{m}$ , mens den videre mot sør blir noe lavere. Dette indikerer trolig overgangen fra sandstein til basalt. Sandstein viser generelt høyere resistivetsverdier (2000 til 5000 $\Omega\text{m}$ ) enn basalt (1000 til 3000  $\Omega\text{m}$ ). Sone 13 og 14 kommer fram som to parallelle soner på modellen, men er markert som en sone på det geologiske kartet (Figur 2). Dette kan skyldes en variasjon i tolkning. Hver av sonene 13 og 14 i 2D resistivetsprofil er tolket til å ha en bredde på opptil 10 m, men hvis dette er én sone kan bredden på sonen være opp til 30 m. I tillegg til disse er også sonene 15 til 17 tidligere kartlagt. Sone 16 og 17 ser ut til å ha et markert fall mot nord. Resistiviteten i de påviste sonene ligger også her i området 500 til 1500 $\Omega\text{m}$ . Ingen av svakhetssonene har gitt høy IP langs denne delen av profilet.

Sonene 13 til 16 utgjør en kompleks forkastningssone, hvor de yngre basaltlagene i sør er forkastet ned i forhold til de eldre silt- og sandsteinslagene i nord. Spranget på sonen er antatt å være opp til 100 m (Bøe m.fl., 1999). Det er ikke påvist kompresjon i Oslofjord området, derfor er det utelukket at sone 13 til 16 er reversforkastninger. Strukturene i området er ikke fullstendig forstått, men det er trolig en kombinasjon av sidelengs og normal bevegelse som til sammen har flyttet yngre bergarter på toppen ned i forhold til eldre bergarter.

**Tabell 3. Klassifisering av soner langs profil 1b. Koordinater gitt i WGS-84, UTM sone 32V. RES = resistivitet. # = kommentar. \* - Påvist med geologisk overflatekartlegging.**

Ca løpenr. tunnel	Posisjon langs profil P1	X	Y	Sone	Fall (retning)	Fall (ca°)	A dybde	B bredde	C RES	#
79700	1745	571092	6599838	10	Steil mot nord	70	4	1	1	
79750	1795	571114	6599800	11	≈ Steil	85	4	1	1	
80195	2235	571386	6599463	12	Steil mot sør	80	4	1	1	
80500	2525	571529	6599241	13	≈ Steil	85	4	1	3	*
80550	2545	571541	6599226	14	≈ Steil	85	4	1	3	*
80700	2695	571641	6599127	15	Steil mot nordvest	70	4	2	2	*
80750	2790	571710	6599068	16	Moderat mot nord	60	4	2	2	*
81200	3325	572051	6598700	17	Moderat mot nord	60-70	4	1	2	*

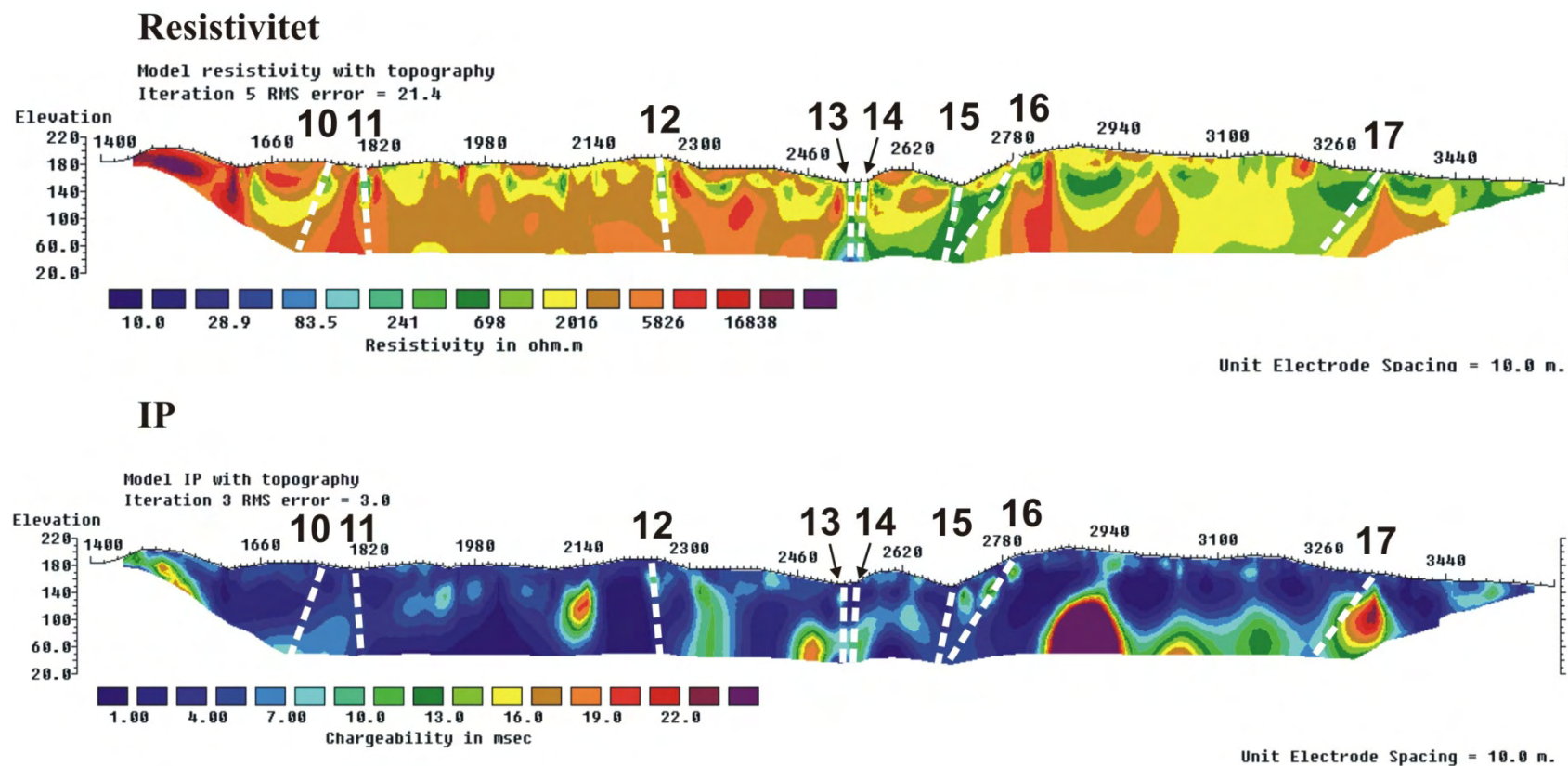


# Holmestrand

## Profil 1b

Gradient, el.avst. 10 m.

V/H-filter 2



Figur 4. Profil 1b, resistivitet og IP med tolkede svakhetszoner.

### 3.1.3 Profil 1c

Det mest markerte for denne delen av profilet er at det mellom ca 3770 og 4400 er et sammenhengende område av soner/partier med meget lav resistivitet. Ut fra det geologiske kartet er det ingen grunn til at det her skal være så lav resistivitet, da hele denne delen av profilet er kartlagt som basalt (Figur 2). Som nedre del av Figur 5 viser, så har også dette området gitt soner/partier med meget høy IP, noe som indikerer stort innslag av sulfider. Derfor er det usikkert om alle de markerte sonene i dette området (sone 20 til 31) representerer svakhetssoner, men kan være en effekt av høy IP. Sone 23 er mest trolig reell, da den faller sammen med en tidligere kartlagt sone. Sonen sør for sone 17 i det geologiske kartet (Figur 2) er ikke sammenfallende med noen sone i 2D resistivitet profilet. Grunnen til dette er trolig at ledningsevnekontrasten mellom sprekkesonene og sideberget ikke er stor nok til at sonene blir påvist med resistivitetmålingene.

**Tabell 4. Klassifisering av soner langs profil 1c. Koordinater gitt i WGS-84, UTM sone 32V. RES = resistivitet. # = kommentar. \* - Påvist med geologisk overflatekartlegging.**

Ca løpenr. tunnel	Posisjon langs profil P1	X	Y	Sone	Fall (retning)	Fall (ca°)	A dybde	B bredde	C RES	#
81200	3325	572051	6598700	17	Moderat mot nord	60-70	4	1	2	*
81420	3540	572207	6598553	18	Steil mot nord	80	4	1	2	
81550	3685	572290	6598449	19	≈ Steil	80	4	1	4	
81625	3785	572334	6598376	20	≈ Steil	85	4	1	4	Høy IP -mulig sulfider
81700	3840	572364	6598336	21	Steil mot sør	80	4	1	4	Høy IP -mulig sulfider
81745	3885	572390	6598303	22	Steil mot nord	80	4	1	4	Høy IP -mulig sulfider
81800	3955	572430	6598251	23	≈ Steil	80	4	3	4	* Høy IP -mulig sulfider
81820	4015	572464	6598205	24	≈ Steil	85	4	1	4	Høy IP -mulig sulfider
81890	4090	572502	6598142	25	≈ Steil	85	4	1	4	Høy IP -mulig sulfider
81950	4125	572520	6598113	26	Steil mot nord	80	4	1	4	Høy IP -mulig sulfider
81975	4150	572533	6598092	27	≈ Steil	80	4	2	4	Høy IP -mulig sulfider

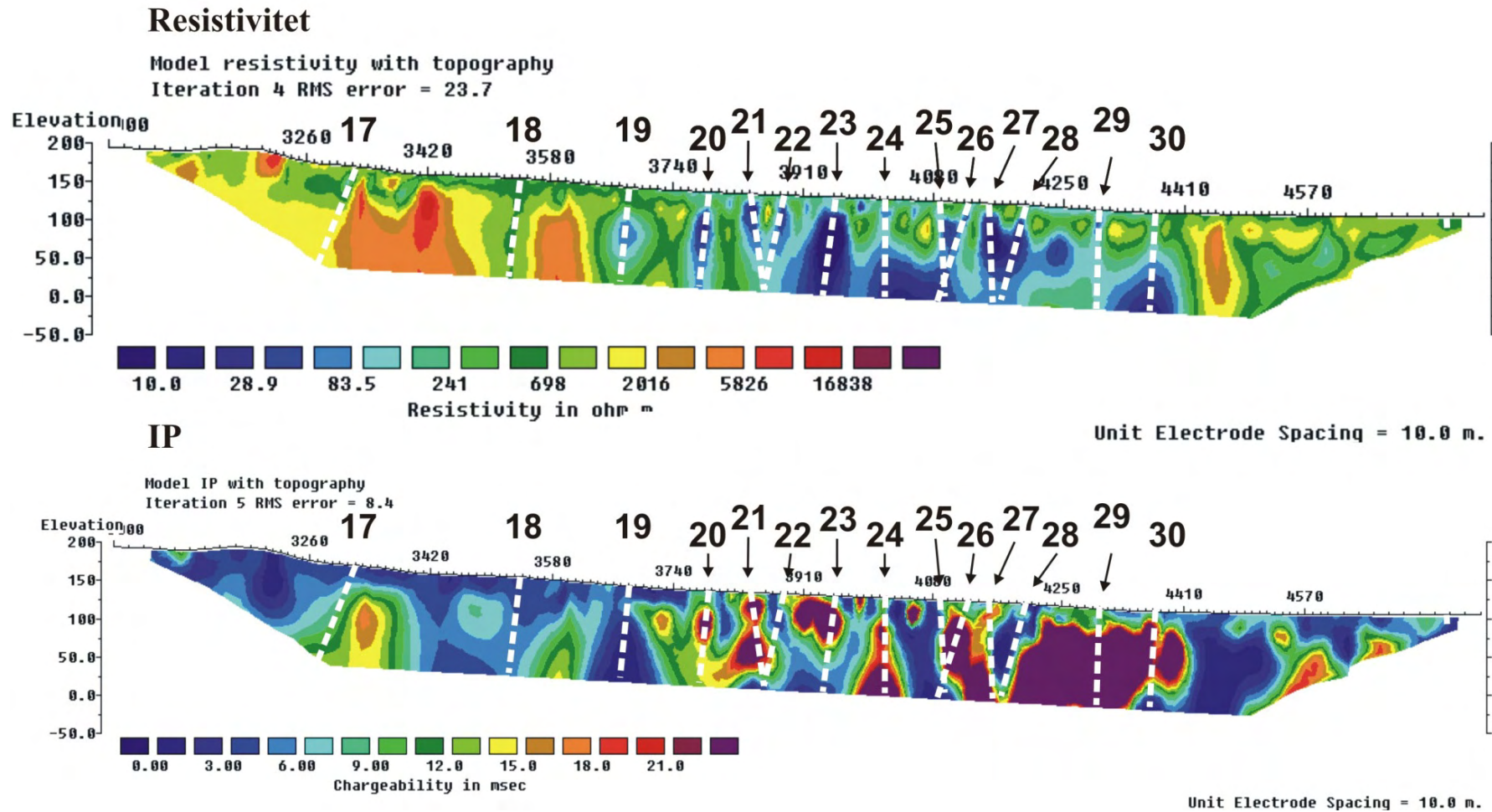
82020	4205	572562	6598047	28	Steil mot nord	80	4	1	4	Høy IP-mulig sulfider
82090	4305	572643	6597994	29	≈ Steil	85	4	1	4	Høy IP-mulig sulfider
82150	4370	572696	6597959	30	≈ Steil	85	4	1	4	Høy IP-mulig sulfider

# Holmestrand

## Profil 1c

Gradient, el.avst. 10 m.

V/H-filter 2



Figur 5. Profil 1c, resistivitet og IP med tolkede svakhetszoner.

### 3.1.4 Profil 1d

Den generelle resistiviteten er fortsatt lav (1000 til 3000 $\Omega$ m), med flere markerte soner. De fleste er forholdsvis steile med unntak av sone 31 som ser ut til å ha fall ca 45° mot sør. Sonene 37, 38 og 39 faller sammen med høy IP og representerer mest trolig mineraliserte soner. Det opptrer også soner med meget høy resistivitet (koordinat 5075). Disse kan representere ganger selv om de ikke er markert på det geologiske kartet. Sonen på det geologiske kartet som faller mellom sonene 34 og 35 er ikke sammenfallende med noen sone i 2D resistivitet profilet (Figur 2 og Figur 6). Grunnen til dette er trolig at ledningsevnekontrasten mellom sprekkesonene og sideberget ikke er stor nok til at sonene blir påvist med resistivitetsmålingene.

**Tabell 5. Klassifisering av soner langs profil 1d. Koordinater gitt i WGS-84, UTM sone 32V. RES = resistivitet. # = kommentar. \* - Påvist med geologisk overflatekartlegging.**

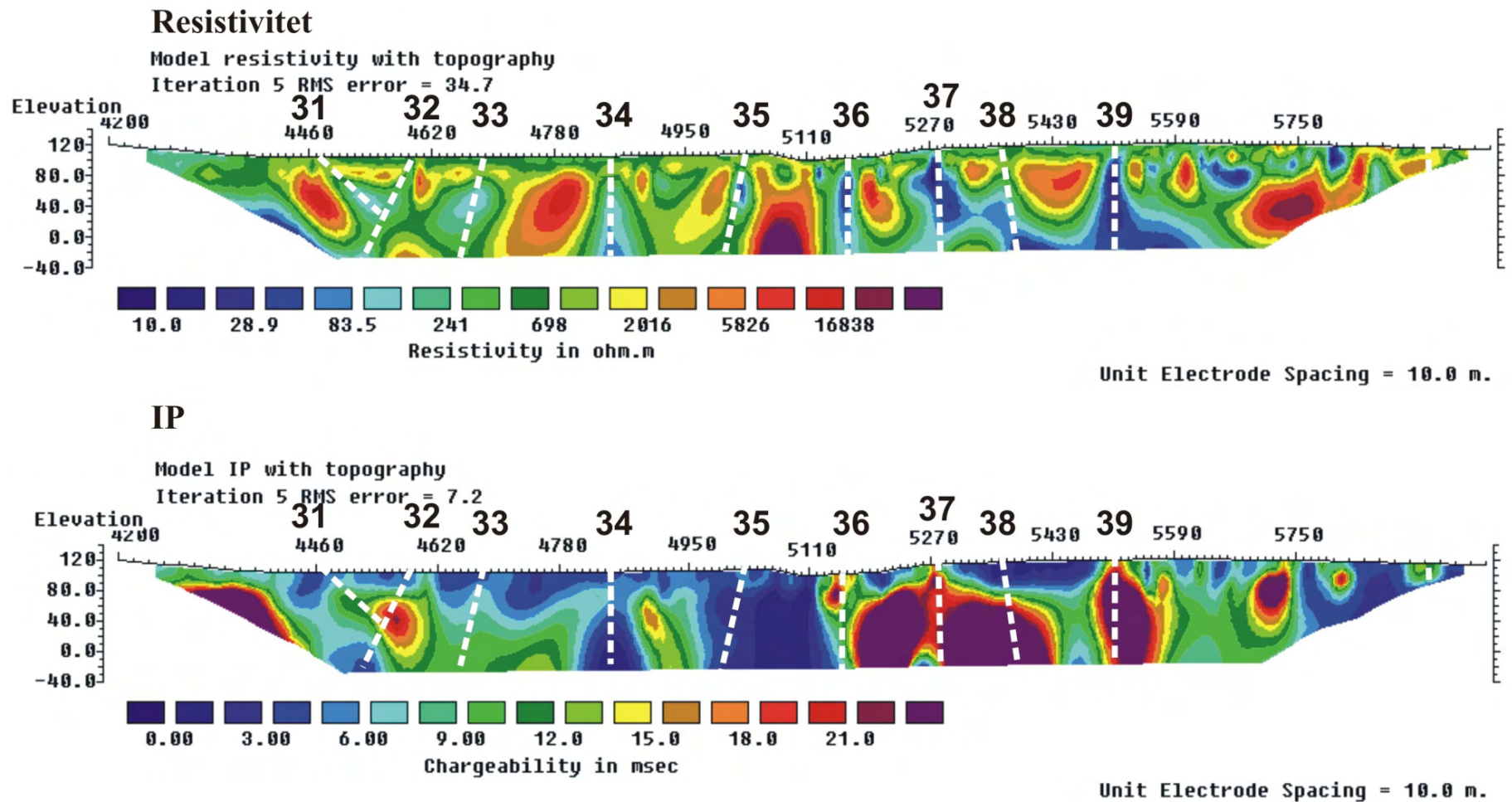
Ca løpenr. tunnel	Posisjon langs profil P1	X	Y	Sone	Fall (retning)	Fall (ca°)	A dybde	B bredde	C RES	#
82250	4470	572760	6597885	31	Mot sør	45	4	1	3	
82350	4595	572831	6597782	32	Mot nord	60	4	1	3	
82450	4690	572870	6597700	33	≈ Steil	70	4	2	3	
82620	4855	572945	6597559	34	≈ Steil	85	4	2	3	
82800	5030	573039	6597418	35	Steil mot nord	80	4	2	3	
82900	5165	573099	6597309	36	≈ Steil	85	4	2	4	
83050	5280	573149	6597210	37	≈ Steil	85	4	2	4	Høy IP - mulig sulfider
83100	5365	573186	6597135	38	≈ Steil	80	4	2	3	Høy IP - mulig sulfider
83260	5510	573249	6597011	39	≈ Steil	85	4	2	4	Høy IP - mulig sulfider

# Holmestrand

## Profil 1d

Gradient, el.avst. 10 m.

V/H-filter 2



Figur 6. Profil 1d, resistivitet og IP med tolkede svakhetszoner.

### 3.1.5 Profil 1e

Måledataene viser fortsatt generell lav resistivitet, og med sone 41, 46 og 47 som de mest markerte. Sonene 44 og 47 faller trolig sammen med tidligere kartlagte soner. Disse sonene gir ikke forhøyet IP, noe som tilsier at den lave resistiviteten ikke skyldes mineraliseringer. Sonene må da inneholde annet godt ledende materiale som kan være leire. I den sørlige halvdel av Figur 7 ligger profilet 100 til 150 meter vest for tunelltrassen. Dette er uheldig med tanke på mest mulig nøyaktig plassering av sonene i tunellnivå, men uunngåelig på grunn av tett bebyggelse.

**Tabell 6. Klassifisering av soner langs profil 1e. Koordinater gitt i WGS-84, UTM sone 32V. RES = resistivitet. # = kommentar. \* - Påvist med geologisk overflatekartlegging.**

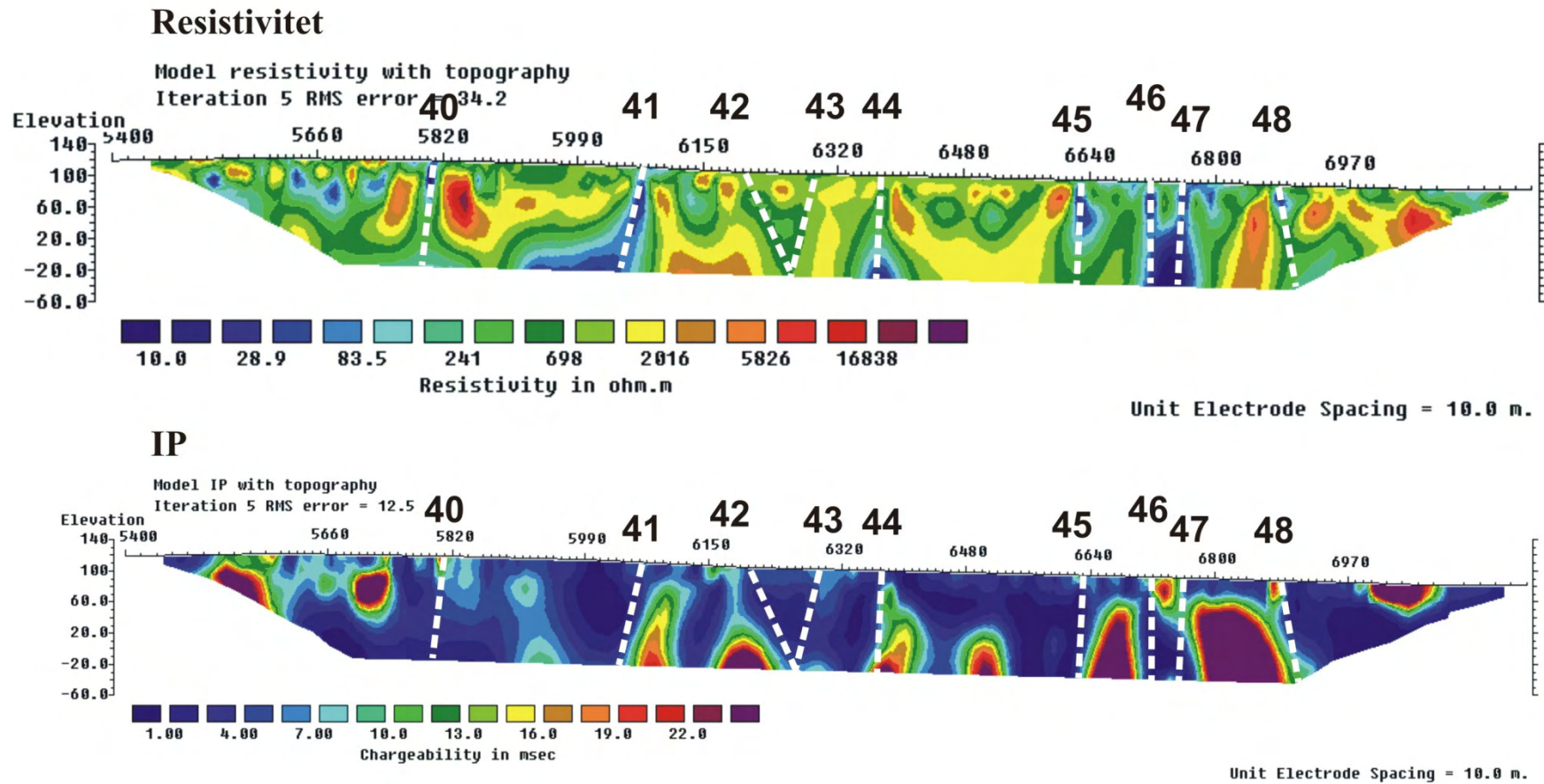
Ca løpenr. tunnel	Posisjon langs profil P1	X	Y	Sone	Fall (retning)	Fall (ca°)	A dybde	B bredde	C RES	#
83600	5810	573304	6596730	40	Steil mot nord	80	4	2	4	
83850	6075	573381	6596521	41	Steil mot nord	70	4	2	4	
83900	6200	573493	6596474	42	Mot sør	70	4	1	2	
84040	6290	573532	6596395	43	Steil mot nord	80	4	1	2	
84090	6375	573568	6596320	44	≈ Steil	80	4	1	3	*
84400	6630	573656	6596086	45	≈ Steil	85	4	1	4	
84450	6715	573714	6596028	46	≈ Steil	85	4	1	4	
84495	6760	573745	6595998	47	≈ Steil	85	4	1	4	*
84550	6880	573835	6595926	48	Steil mot sør	80	4	1	4	

# Holmestrand

## Profil 1e

Gradient, el.avst. 10 m.

V/H-filter 2



Figur 7. Profil 1e, resistivitet og IP med tolkede svakhetszoner.

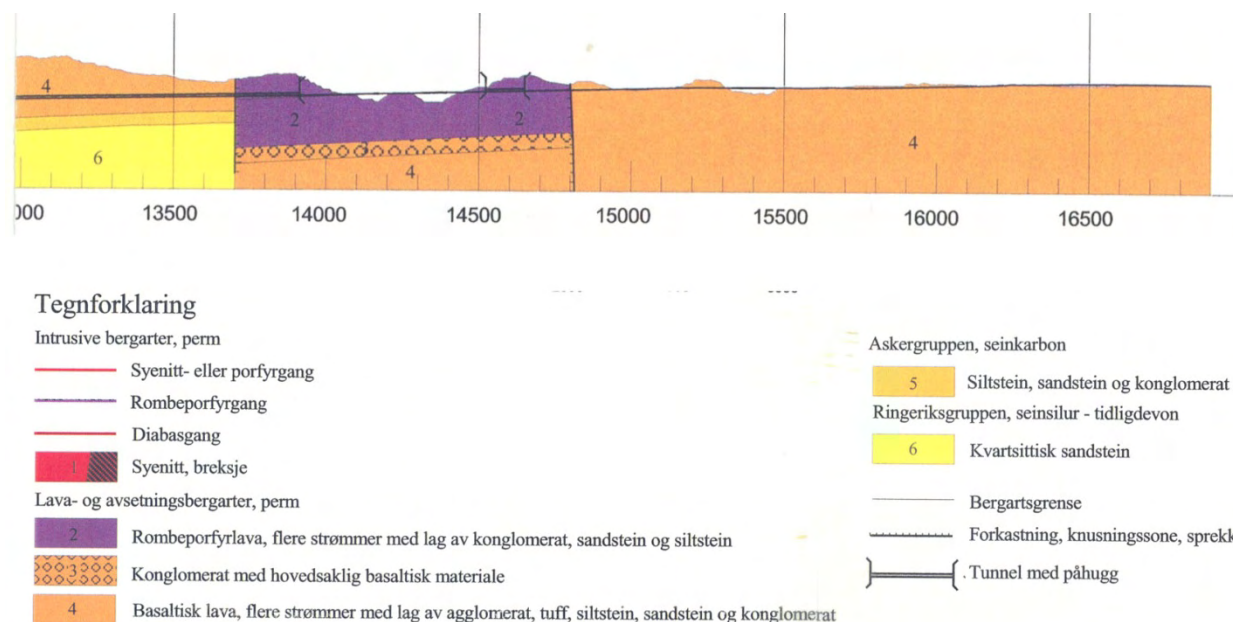


### 3.2 Strekningen Holmestrand-Nykirke

Plassering av 2D resistivitetsprofilene er vist i Figur 1 og Figur 9 (og kartbilag 01). Denne strekningen er delt opp i to profiler, slutten av profil 1 (f-h) og profil 2. Dette er på grunn av at E18 måtte krysses. Det er en overlapp i profilene på ca 200 m. Profilene er hovedsakelig samlet inn på basalt, med overgang til rombeporfyr i sør.

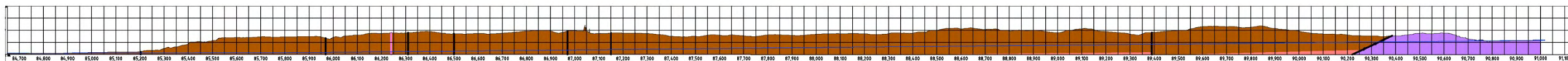
Her, som ved strekningen Holm-Holmestrand, er det indikert flere soner med 2D resistivitet enn det som er kartlagt på overflaten. De fleste av sonene som er kartlagt geologisk på overflaten sammenfaller med soner i resistivitetsprofilen, og er angitt med samme nummer (Figur 9). Noen områder er preget av høy IP (ca km 85,11-85,25; 85,68-86,25; 86,75-86,92 tunnallengde) som kan skyldes forhøyet innhold av sulfider og lignende. Dette kan igjen gi indikasjoner på flere soner enn det som forekommer, men en kan ikke utelukke at alle sonene som indikeres forekommer.

En motsetning i tolkning forekommer ved bergartsgrensen mellom basalt og rombeporfyr i sør ved ca 90,36 km tunnallengde. Denne grensen forekommer som en sone med slakt fall (ca 45°) mot nord i Jernbaneverkets tolkning vist i Figur 9, men som indikeres som en steil sone i resistivitetsprofil 2, identifisert som nr 88 (Figur 9 og Figur 13). Et steilt fall på denne sonen samsvarer også med den geologiske tolkningen gitt i Bøe m.fl. (1999), hvor sonen er markert som vertikal (Figur 8). Området rundt Oslofjorden er kjent som et område med ekstensjon, og det er lite sannsynlig at det forekommer reversforkastninger i denne settingen, som antydnet i Figur 9. Det er ellers liten endring i resistivitetskontrast over denne sonen, noe som kan skyldes at egenskapene til basalt og rombeporfyr er svært like.



Figur 8. Utsnitt fra geologisk tverrsnitt fra Bøe m.fl. (1999), hvor bergartsgrensen mellom basalt og rombeporfyr, 13700-14800 m, er tolket som en steil sone hvor rombeporfyren er nedforkastet i forhold til basaltlagpakken. Dette området samsvarer med ca 90,36 km tunnallengde på overflaten (Figur 9).

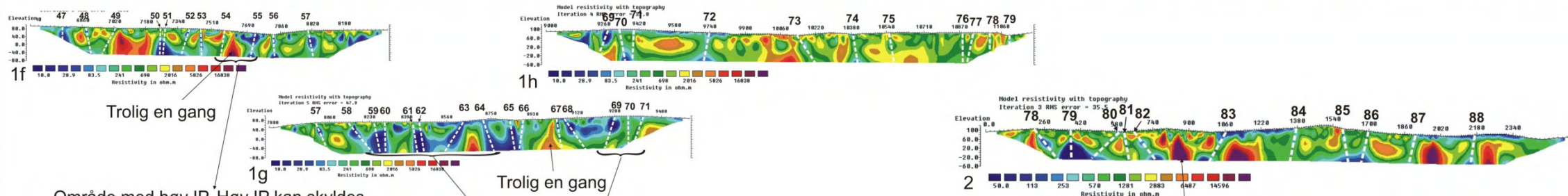
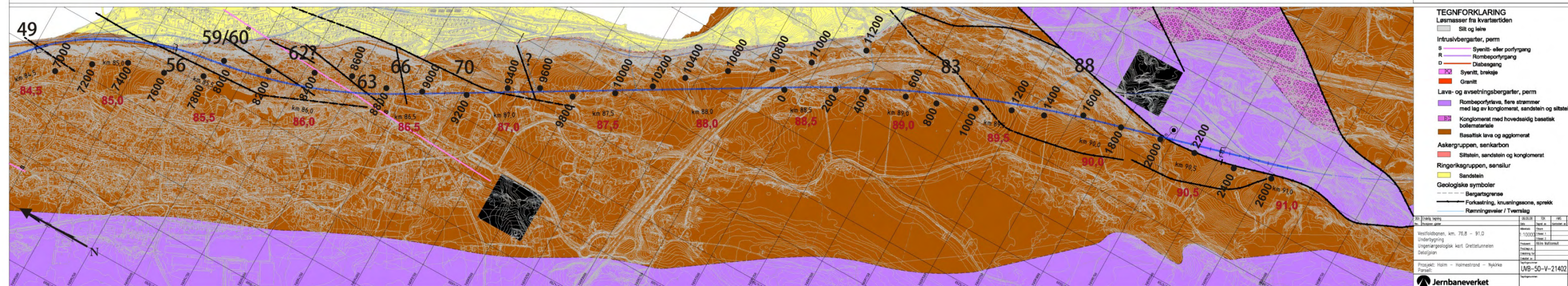
PROFIL LANGS TUNNELTRASÉ



- 87,0 Km tunnel lengde (ca)
- 7900 ID resistivetsprofil (m)
- 49 Soner som samsvarer med geofysisk kartlegging

Tolkning av 2D resistivetsprofil langs tunneltrase Holmestrand-Nykirke mot geologisk kartlegging og tverrsnitt

**ANMERKNING:**  
 Forkastninger og knurringssoners helning er usikker.  
 Bergartsgrensene og knurringssoner kan derfor påvirkede andre steder i tunnelnivå enn vist på lengdesnittet.  
 Strekkvåleken på intrusivganger har ikke sammenheng med gangens tykkelse.



Trolig en gang

Område med høy IP. Høy IP kan skyldes forekomst av sulfider. Høy IP kan gi "falsk" respons på resistiviteten og noen av de tolkede sonene kan være en effekt av høy IP.

Trolig en gang

Område med høy IP. Høy IP kan skyldes forekomst av sulfider. Høy IP kan gi "falsk" respons på resistiviteten og noen av de tolkede sonene kan være en effekt av høy IP.

Mulig en gang

Figur 9. Tolkning av 2D resistivetsprofil mot geologisk overflatekartlegging og tilhørende tverrsnitt for tunnelen Holmestrand-Nykirke. 2D resistivetsprofilene er navngitt fortløpende 1f-1h og 2, med tolkede svake soner lagt inn med hvite, stiplede linjer.

### 3.2.1 Profil 1f

Figur 10 indikerer at det er mange svakhetssoner i dette området. Flere av sonene kommer fram med meget lav resistivitet (<100  $\Omega\text{m}$ , Figur 10). Sone 49 og 56 ser ut til å representere tidligere kartlagte soner (Figur 9 og Tabell 7). Dette er noe usikkert da profilet også her går noe langt unna tunelltraseen. På grunn av at det er så tett med soner, er det vanskelig å fastslå den generelle resistiviteten, men mest trolig er den i området 1000 til 2000  $\Omega\text{m}$ .

Som nedre del av Figur 10 viser faller sone 54 og 55 sammen med soner med meget høy IP. Dette indikerer at disse sonene trolig er mineralisert, og de representerer nødvendigvis ikke sprekkesoner.

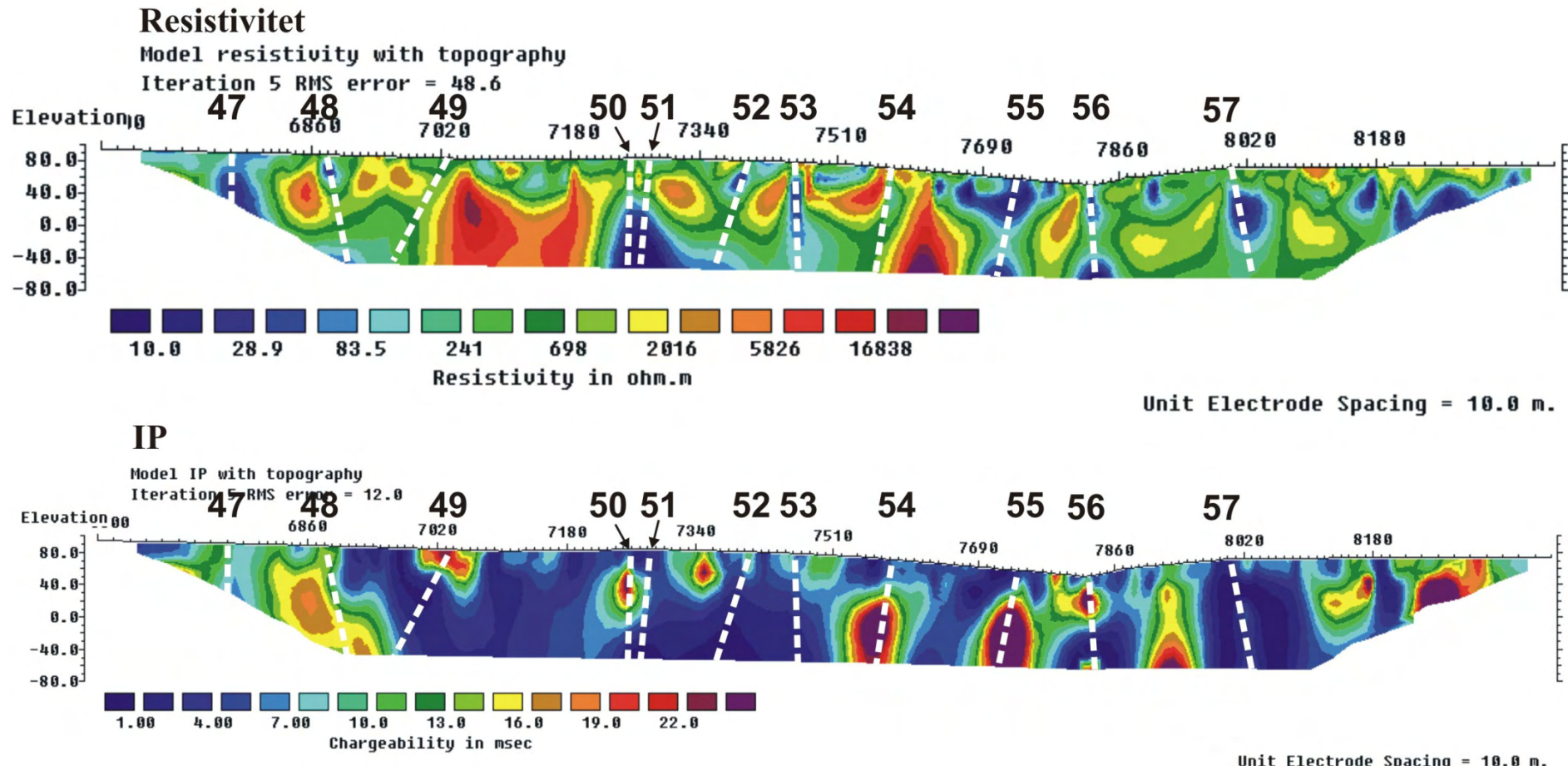
**Tabell 7. Klassifisering av soner langs profil 1f. Koordinater gitt i WGS-84, UTM sone 32V. RES = resistivitet. # = kommentar. \* - Påvist med geologisk overflatekartlegging.**

Ca løpenr. tunnel	Posisjon langs profil P1	X	Y	Sone	Fall (retning)	Fall (ca°)	A dybde	B bredde	C RES	#
84495	6760	573745	6595998	47	≈ Steil	85	4	1	4	
84550	6880	573835	6595926	48	Steil mot sør	80	4	1	4	
84680	7030	573950	6595837	49	Mot nord	60	4	2	2	*
84900	7255	574089	6595667	50	≈ Steil	85	4	1	4	
84930	7280	574101	6595645	51	≈ Steil	85	4	1	4	
85010	7400	574160	6595544	52	Steil mot nord	70	4	2	3	
85070	7455	574173	6595494	53	Steil mot sør	80	4	1	4	
85170	7575	574203	6595385	54	Steil mot nord	80	4	1	2	Høy IP - mulig sulfider
85335	7735	574266	6595256	55	Steil mot nord	80	4	3	4	Høy IP - mulig sulfider
85415	7825	574308	6595189	56	Steil mot sør	80	4	2	3	*
85540	8000	574416	6595078	57	Steil mot sør	70	4	2	4	

# Holmestrand

## Profil 1f

Gradient, el.avst. 10 m.  
V/H-filter 2



Figur 10. Profil 1f, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.

### 3.2.2 Profil 1g

Nordlige del av Figur 11 viser et forholdsvis stort område med høy IP (koordinat 8000-8750m / ca 85,6-86 km). Innenfor dette området er det flere soner hvor alle har meget lav resistivitet. Som tidligere nevnt trenger disse da ikke å skyldes svakhetssoner, men kan skyldes mineraliserte soner som ikke trenger å gi problemer for tunelldrivingen. I følge det ingeniørgeologiske kartet er det påvist tre svakhetssoner langs dette delprofilen (Figur 9). To av disse er påvist som sonene 59 og 63. Den generelle resistiviteten ligger også her trolig i området 1000 til 2000  $\Omega$ m.

**Tabell 8. Klassifisering av soner langs profil 1g. Koordinater gitt i WGS-84, UTM sone 32V. RES = resistivitet. # = kommentar. \* - Påvist med geologisk overflatekartlegging.**

Ca løpenr. tunnel	Posisjon langs profil P1	X	Y	Sone	Fall (retning)	Fall (ca°)	A dybde	B bredde	C RES	#
85540	8000	574416	6595078	57	Steil mot sør	70	4	2	4	
85700	8135	574457	6594950	58	Ssakt mot sør	80	4	3	4	Høy IP - mulig sulfider
85800	8250	574499	6594847	59	Steil mot sør	80	4	2	4	*
85850	8295	574520	6594808	60	Steil mot sør	85	4	2	4	
85975	8415	574574	6594706	61	Steil mot sør	80	4	2	4	
86000	8445	574587	6594679	62	Steil mot sør	80	4	2	4	Høy IP - mulig sulfider
86175	8635	574658	6594507	63	Mot nord	60	4	3	4	* Høy IP - mulig sulfider
86250	8715	574672	6594428	64	Steil mot sør	70	4	3	4	Høy IP - mulig sulfider
86400	8830	574696	6594318	65	Steil mot sør	80	4	3	4	
86480	8910	574725	6594242	66	Steilt mot nord	80	4	2	3	
86575	9035	574771	6594131	67	Steil mot sør	80	4	1	4	
86600	9065	574785	6594101	68	Mot sør	70	4	2	4	
86850	9280	574890	6593905	69	Steil mot nord	70	4	3	4	Høy IP - mulig sulfider
86900	9335	574918	6593862	70	Steil mot sør	85	4	2	2	Høy IP - mulig sulfider
86950	9415	574960	6593802	71	Steil mot nord	80	4	1	2	Høy IP - mulig sulfider

# Holmestrand

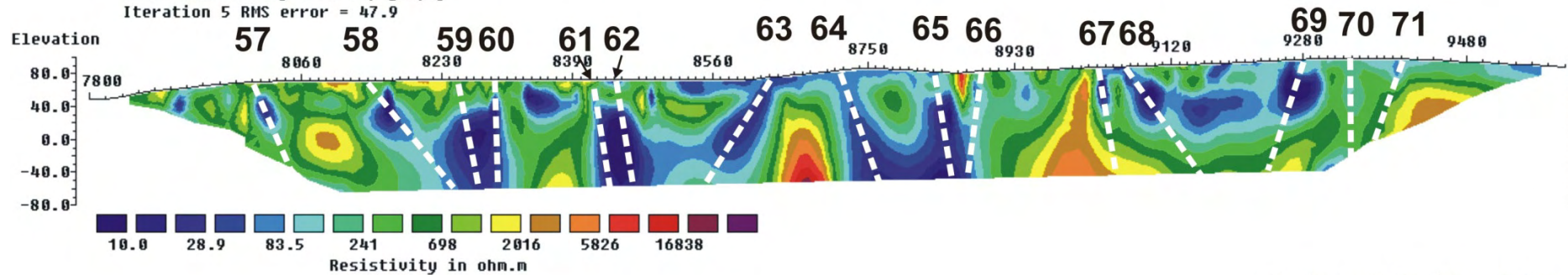
## Profil 1g

Gradient, el.avst. 10 m.

V/H-filter 2

### Resistivitet

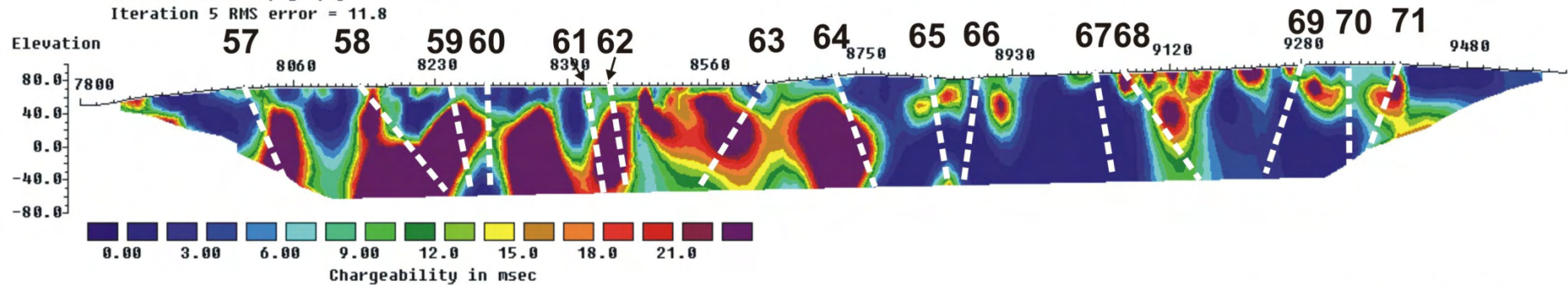
Model resistivity with topography  
Iteration 5 RMS error = 47.9



Unit Electrode Spacing = 10.0 m.

### IP

Model IP with topography  
Iteration 5 RMS error = 11.8



Unit Electrode Spacing = 10.0 m.

Figur 11. Profil 1g, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.

### 3.2.3 Profil 1h

Dette er den sørligste delen av profil 1. På grunn av E-18 måtte mesteparten av denne delen av profilet legges ca. 50 til 100 meter øst for tunelltraseen (Figur 9).

Den generelle resistiviteten øker noe på dette delprofilen, men er fortsatt lav (1000 til 3000  $\Omega\text{m}$ , Figur 9 og Figur 12). Det er tidligere kartlagt en sone i dette området, og denne ser ut til å representere sone 70. Denne sonen gir også høy IP i tillegg til sonene 69 til 71. Dette indikerer normalt at sonene inneholder mineraliseringer. I dette tilfellet er denne tolkning noe usikker da det forrige delprofilen (Figur 11) ikke har gitt noe forhøyet IP for disse sonene (69 til 71). For begge delprofiler ligger sonene noe langt ut på flankene. Dette kan være forklaringen på ulikheten mellom delprofilene, da det på flankene er redusert oppløsning på grunn av manglende data på dypet.

I tillegg til disse sonene er det flere soner hvor de fleste har tilnærmet steilt fall (Figur 12). Felles for disse er at resistiviteten i sonene er forholdsvis høy ( $> 1000\Omega\text{m}$ ), noe som er vesentlig høyere enn for det forrige delprofilen (Figur 11).

**Tabell 9. Klassifisering av soner langs profil 1h. Koordinater gitt i WGS-84, UTM sone 32V. RES = resistivitet. # = kommentar. \* - Påvist med geologisk overflatekartlegging.**

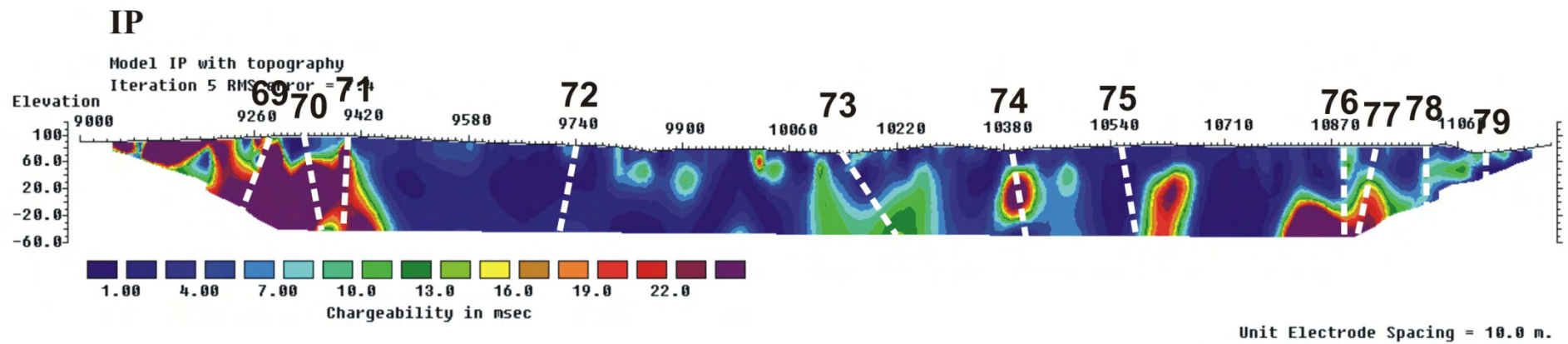
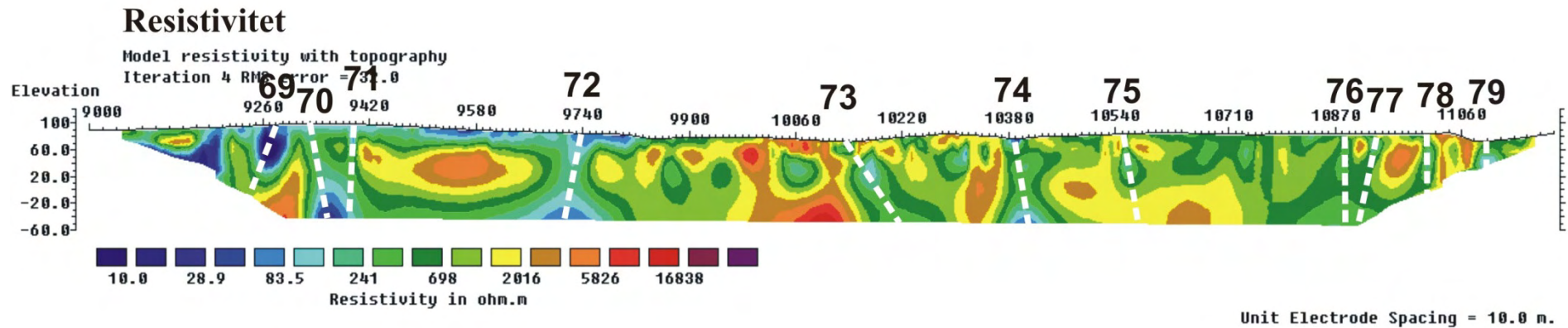
Ca løpenr. tunnel	Posisjon langs profil P1	X	Y	Sone	Fall (retning)	Fall (ca°)	A dypde	B bredde	C RES	#
86850	9280	574890	6593905	69	Steil mot nord	70	4	3	4	Høy IP - mulig sulfider
86900	9335	574918	6593862	70	Steil mot sør	85	4	2	2	* Høy IP - mulig sulfider
86950	9395	574949	6593816	71	Steil mot nord	80	4	1	2	Høy IP - mulig sulfider
87200	9740	575098	6593546	72	Mot sør	70-60	4	2	3	
87500	10130	575331	6593279	73	Steil mot sør	80	4	2	3	
87800	10390	575467	6593073	74	Steil mot sør	80	4	2	3	
87900	10550	575551	6592937	75	Steil	85	4	1	1	
88250	10885	575736	6592673	76	Steil mot nord	80	4	1	2	
88300	10935	575765	6592634	77	Steil mot nord	85	4	1	2	
88350	11010	575810	6592578	78	Moderat mot sør	60	4	1	2	
88400	11100	575872	6592528	79	≈ Steil	85	4	2	3	

# Holmestrand

## Profil 1h

Gradient, el.avst. 10 m.

V/H-filter 2



Figur 12. Profil 1h, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.



### 3.2.4 Profil 2

Profil 2 overlapper profil 1 med ca 200 m, men på grunn av at profilene ligger på hver sin side av E-18 er det ca. 100 - 150 meter mellom profilene (Figur 9).

Hvilke soner som er felles på slutten av profil 1 og starten av profil 2 er noe usikkert på grunn av avstanden mellom dem. Som Figur 12 og Figur 13 viser er det likevel valgt å tolke sonene 78 og 79 som felles for de to profilene. Siden det er en overlapp av profilene kan en antyde at sone 78 har NNØ-SSV strøk og ca 60° fall mot SØ, mens sone 79 har et ~Ø-V strøk og steilt fall. Ut over disse er det flere markerte soner også på profil 2. De mest markerte er sonene 82, 83 og 88, hvor sone 83 faller sammen med en tidligere kartlagt svakhetszone. Den generelle resistiviteten ser også her ut til å ligge i området 1000 til 3000 Ωm.

Sone 88 har vi tolket til å samsvare med bergartsgrensen mellom basalt og rombeporfyr. Denne grensen er på det geologiske kartet (Figur 9) tolket til å helle slakt (ca 45°) mot N-NV, mens den i 2D resistivetsprofilen indikerer steilt fall (Figur 9 og Figur 13). Tidligere kartlegging av NGU (Bøe m. fl., 1999) antyder også at denne sonen er steil (Figur 8). Det er ellers liten endring i resistivetskontrast over denne sonen, noe som kan skyldes at egenskapene til basalt og rombeporfyr er svært like.

**Tabell 10. Klassifisering av soner langs profil 2. Koordinater gitt i WGS-84, UTM sone 32V. RES = resistivitet. # = kommentar. \* - Påvist med geologisk overflatekartlegging.**

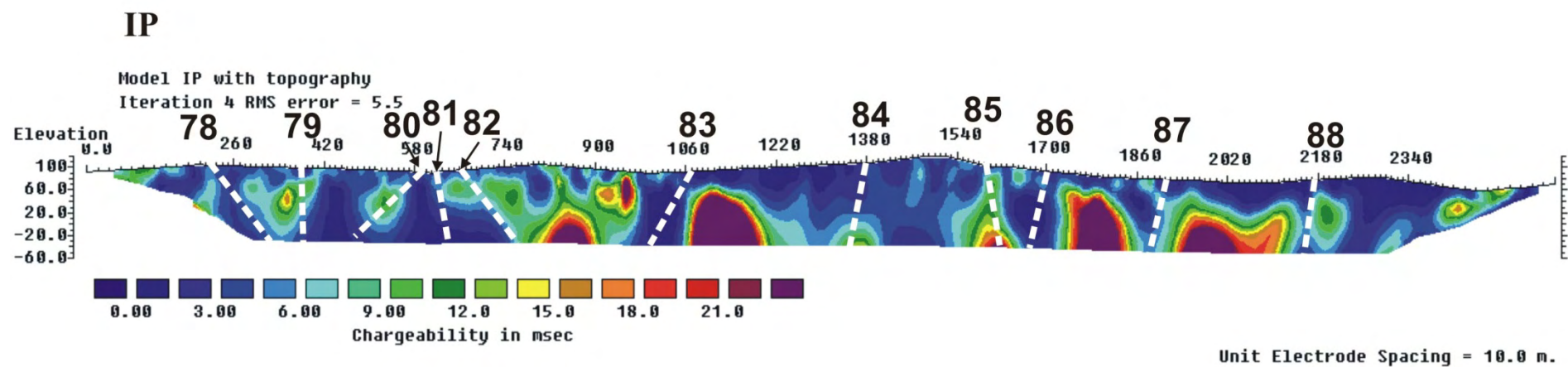
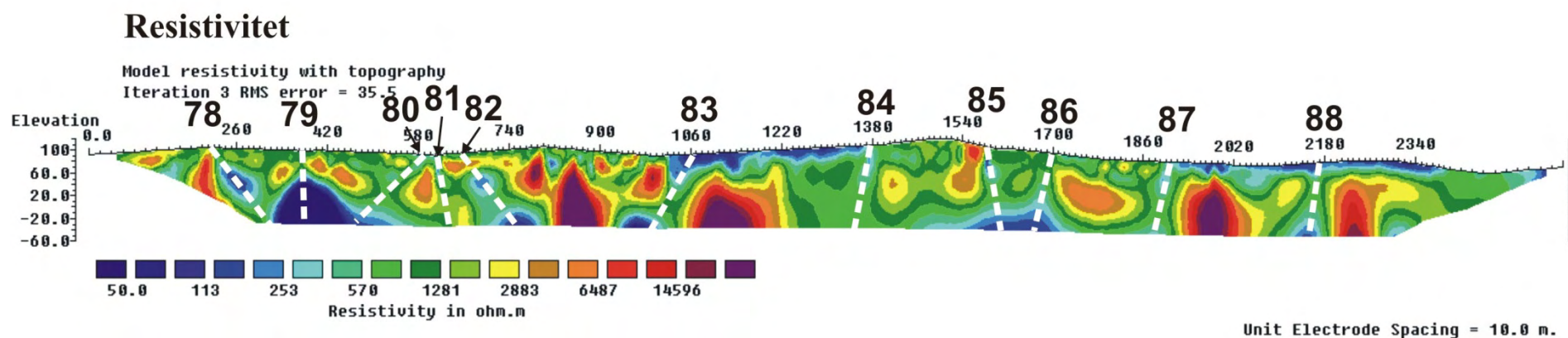
Ca løpenr. tunnel	Posisjon langs profil P2	X	Y	Sone	Fall (retning)	Fall (ca°)	A dybde	B bredde	C RES	#
88550	215	575800	6592397	78	Moderat mot SØ	60	4	1	3	
88700	375	575859	6592255	79	≈ Steil	85	4	2	4	
88850	590	575922	6592062	80	Moderat mot nord	60	4	1	2	Høy IP - mulig sulfider
88950	615	575929	6592040	81	≈ Steil	85	4	1	2	
88975	660	575939	6591999	82	Mot sør	70	4	3	3	
89400	1060	576063	6591648	83	Mot nord	70	4	2	3	*
89575	1375	576199	6591399	84	Steil mot nord	80	4	1	2	
89800	1585	576285	6591218	85	Steil mot sør	80	4	1	3	
89950	1700	576311	6591106	86	Steil mot nord	80	4	2	2	
90150	1905	576350	6590908	87	Steil mot nord	80	4	2	2	
90400	2170	576402	6590665	88	Steil mot nord	80	4	1	2	*

# Holmestrand

## Profil 2

Gradient, el.avst. 10 m.

V/H-filter 2

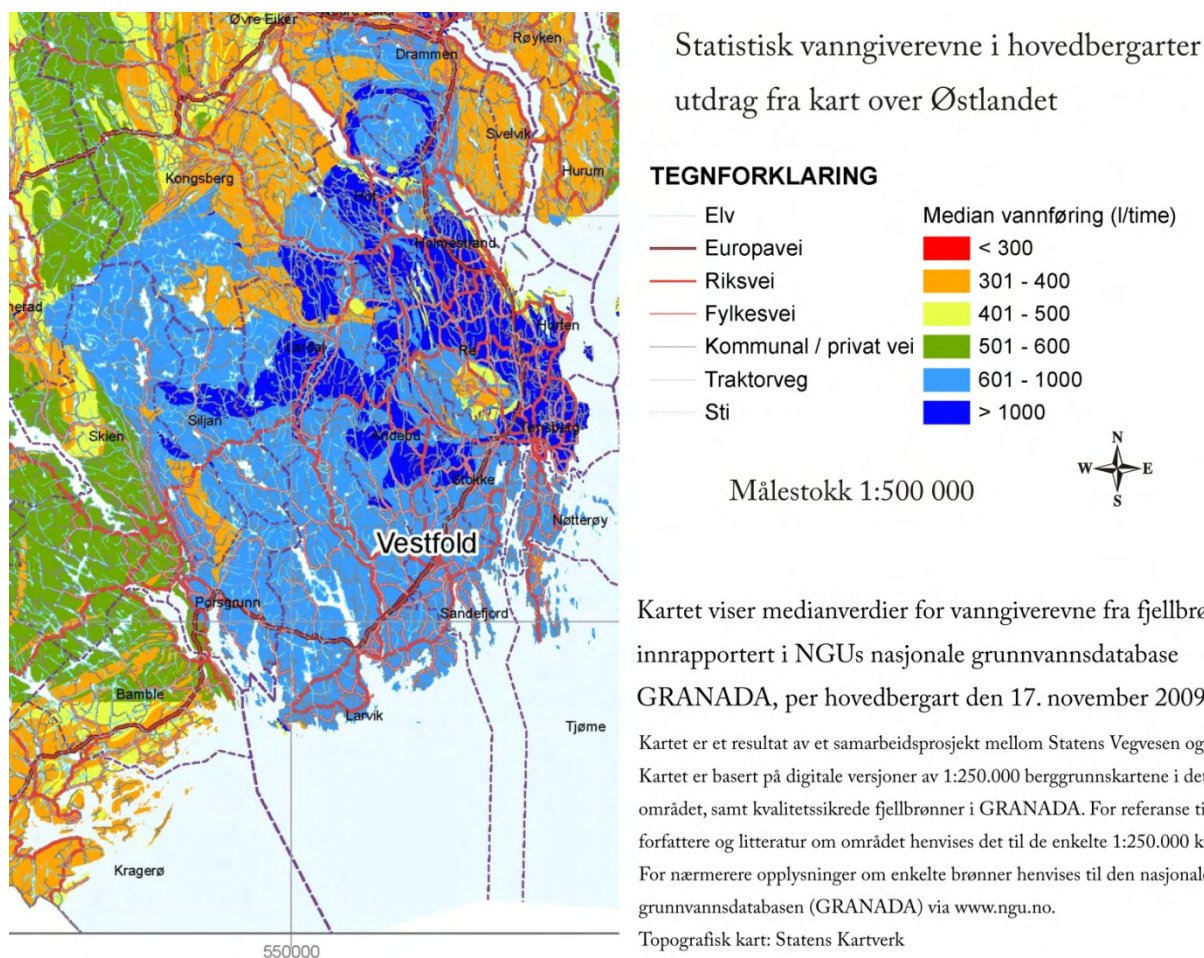


Figur 13. Profil 2, resistivitet og IP med tolkede svakhetszoner.

## 4. TILLEGGSINFORMASJON OM OMRÅDET

### 4.1 Vanngiverevne i hovedbergarter

NGU har gjort en analyse over vanngiverevne i hovedbergartene som er kartlagt på Østlandet (Gundersen og de Beer, 2009). I Figur 14 er det vist et utsnitt over Vestfold fylke. Det kommer tydelig frem fra kartanalysen at de permiske vulkanske bergartene som basalt og rombeporfyr har betraktelig høyere gjennomsnittlig vanngiverevne ( $> 1000$  l/time) enn for eksempel Ringeriksgruppen, som ligger under ( $400\text{-}500$  l/time). Dette kan gi store konsekvenser med tanke på vannlekkasje i tunnelen som kan virke drenerende på grunnvannet.



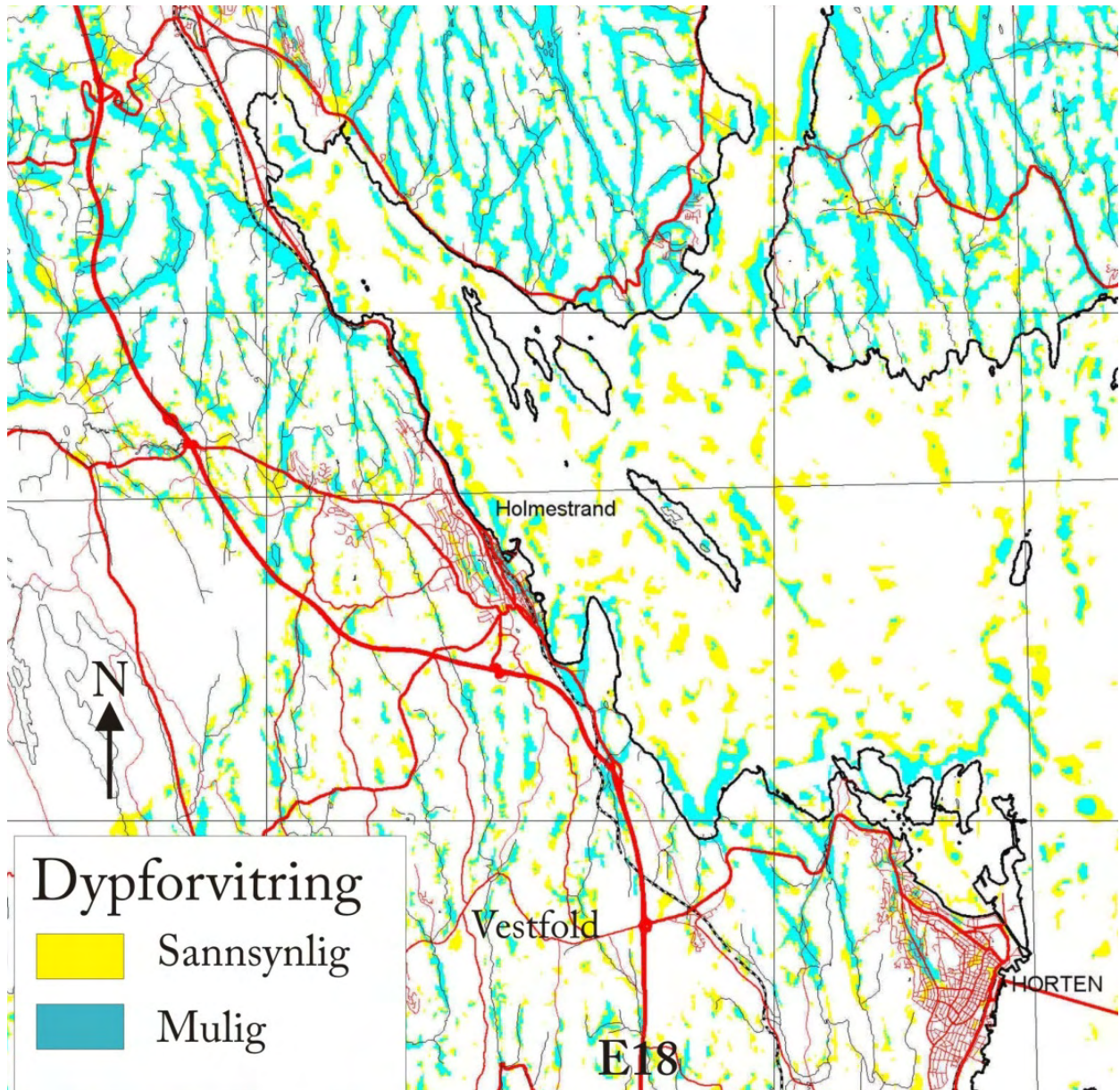
Figur 14. Kart over vanngiverevne for hovedbergarter i Vestfold fylke (Gundersen og de Beer 2009).

### 4.2 Aktsomhetskart for tunneler

NGU har foretatt en regional kartlegging ved hjelp av geofysiske målinger fra fly og helikopter. Med disse dataene kan en måle magnetiske egenskaper i berggrunnen. Der den magnetiske responsen er svekket antar en at det kan forekomme svekket fjell. En av årsakene til magnetisk uttynning er kjemisk forvitring under tropiske forhold. Slike forhold var det i Norge under trias til jura alder, hvor en får omvandlet fjellet til "jord" med steinrester (Olesen m.fl., 2007). I sprekkesoner og forkastninger ble forvitringen ekstra dyp, siden overflatevann kunne trenge lenger ned. Det er også i sprekkesoner og forkastninger dypforvitring er bevart i dag etter flere

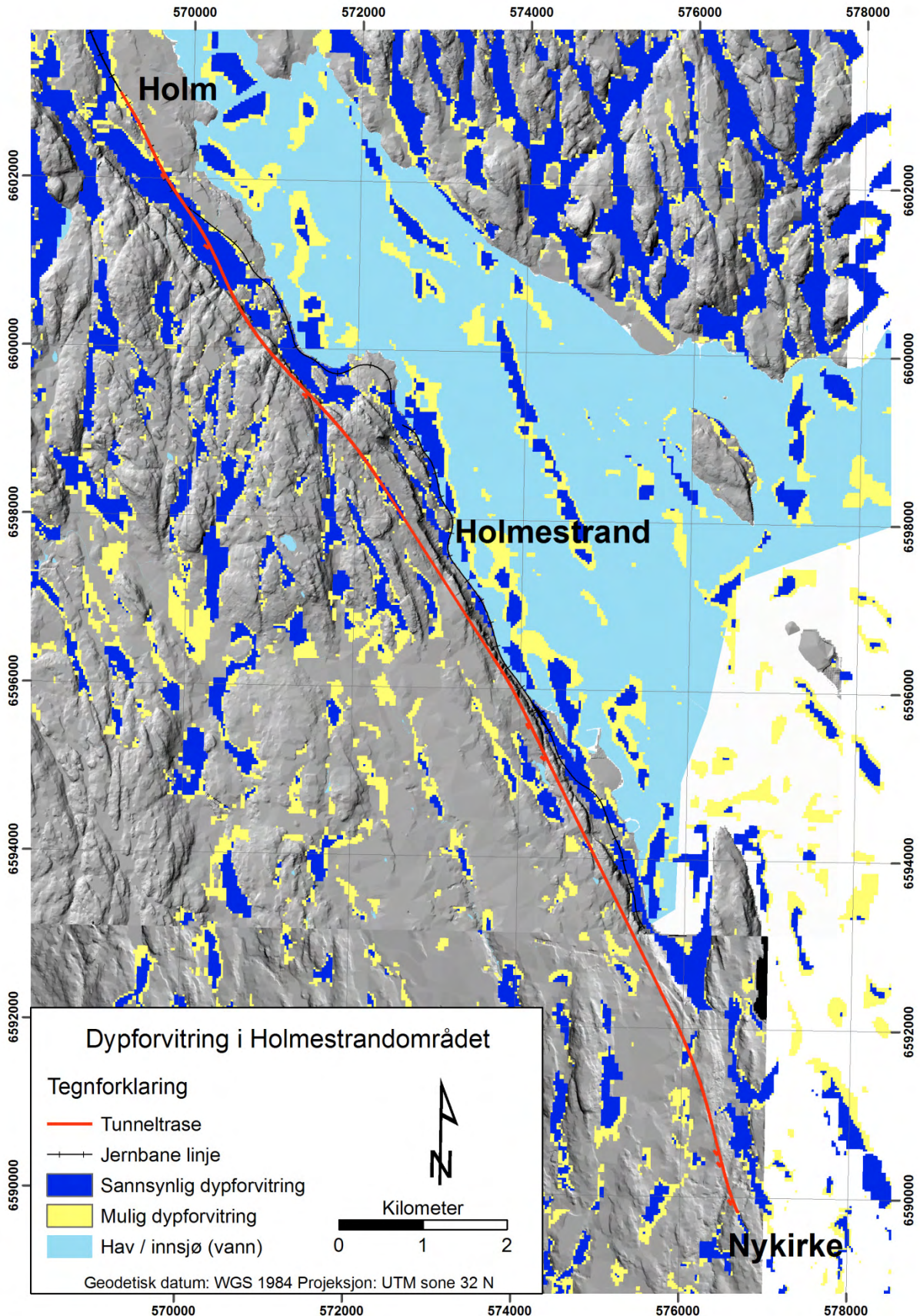
istider med erosjon. Derfor er dette fenomenet spesielt viktig å ta med i beregningen når en planlegger tunnelutbygging i deler av Norge.

Ut i fra Figur 15 ser en at potensialet for at dypforvitring forekommer er stor. Det ser ut til at det største omfanget av dypforvitring følger hovedforkastningen som går i fjorden nordøst for Holmestrand, og som har forårsaket brattkanten som karakteriserer området.



Figur 15. Utdrag fra Aktsomhetskartet for tunnelplanlegging, hvor sannsynlig og mulig forekomst av dypforvitring er kartlagt (Olesen, 2006). Det er sannsynlig at det forekommer dypforvitring langs hovedforkastningen som går i fjorden utenfor Holmestrand, og det er mulig at det stedvis, i begrenset omfang, forekommer dypforvitring langs tunneltraseen.

Detaljert oversikt over sannsynlig og mulig forekomst av dypforvitring i Holmestrandområdet er vist i Figur 16. Det er sannsynlig at det forekommer dypforvitring langs store forkastningen som krysser tunneltraseen, dette gjelder spesielt for sonen markert med nr 16 i Figur 2 og ved nordlig påhugg ved Holm. Det forekommer også begrensede områder langs tunneltraseen hvor det er kartlagt mulig dypforvitring (Figur 16).



Figur 16. Detaljert oversikt over sannsynlig og mulig forekomst av dypforvitring i Holmestrandområdet, basert på data fra Olesen (2006). Det er sannsynlig at det forekommer dypforvitring langs store forkastningen som krysser tunneltraseen, dette gjelder spesielt for sonen markert med nr 16 i Figur 2 og ved nordlig påhugg ved Holm.

## 5. KONKLUSJONER

I oppdrag for Jernbaneverket har NGU utført geofysisk kartlegging med 2D resistivitet langs tunnellopet Holm-Holmestrand-Nykirke, i Vestfold fylke. Det er totalt samlet inn ca 14 km med resistivitetsdata, som så er prosessert og tolket. Det er tatt hensyn til eksisterende geologiske data fra kartlegging i tolkningen av de geofysiske dataene (Figur 2 og Figur 9). Den geofysiske kartleggingen med 2D resistivitet har påvist flere soner i berggrunnen enn det som er kartlagt på overflaten, og flere av sonene viser godt samsvar mellom påvisning på overflaten og i berggrunnen. Soner som er tolket til å være sprekkesoner eller forkastninger er lagt inn i profilene, og vist i figurer. Det er mulig å angi antatt bredde og fall for påviste soner. Vi har angitt geografisk plassering av sonene med koordinater og antatt fall, slik at det skal være mulig å projisere sonene ned til tunneldyp. Denne informasjonen er gitt i tabellform med ca pelnummer for tunnelen (se eksempel Tabell 2). Det er ikke fremhevet noen soner i forhold til andre, med unntak av de som er nevnt nedenfor, fordi vi ikke kan forutsi hvilke soner som kan skape problemer under tunneldriften. Store områder hvor dataene er samlet inn er dekket av vegetasjon, dyrket mark og bebyggelse. Fra overflaten er det derfor ikke mulig å angi retning (strøk) på sonen, og siden det kun er samlet inn ett langt profil får en ikke noe informasjon om retning (strøk) på sonene. Det er derfor vanskelig å angi nøyaktig hvor sonen vil skjære i tunnelnivå. Under feltarbeidet var det ikke mulig å følge tunneltraseen helt eksakt på grunn av blant annet topografi og bebyggelse. Dette gir også avvik for hvor soner er kartlagt og hvor de vil treffe i tunnelnivå.

I området ca km 80,3-80,75 tunnellengde er det kartlagt 3 forkastninger med sprang (nr 13-16), hvor hovedforkastningen er antatt å ha en spranghøyde på over 100 m (nr 16, Figur 2). I 2D resistivetsprofilen (Figur 2 og Figur 4) er den nordligste sonen i dette området tolket som to soner (nr 13 og 14). Sonene i dette området har resistivetsnivåer ned til 250m, noe som gir den en klasse 3, som etter vår erfaring gir vannproblemer og potensielt ustabil fjell. Siden hovedforkastningen er angitt er sprang på 100 m, må en forvente svært omdannet og dårlig fjell med mange sprekker, breksjer og leire i sonen.

Det er også samlet inn IP data (Indusert Polarisasjon). Høy IP indikerer mineraliseringer (sulfider, grafitt og o.l.) som kan gi tilsvarende resistivetsanomalier som vannfylte sprekkesoner med eller uten leire. Dette er det tatt hensyn til i tolkningen presentert i denne fagrapporten. I området ca km 80,9-82,2 tunnellengde er det angitt mange soner i 2D resistivetsprofilen (nr 19-30, Figur 2 og Figur 5). Dette området har høy IP, som kan skyldes sulfider i berggrunnen, og høy IP kan gi en unormalt lav resistivitet, som igjen kan tolkes som sprekkesoner. I dette området er det tolket inn flere soner, men det er ikke sikkert at alle er reelle.

En motsetning i tolkning forekommer ved bergartsgrensen mellom basalt og rombeporfyr i sør ved ca 90,36 km tunnellengde. Denne grensen forekommer som en sone med slakt fall (ca 45°) mot nord i Jernbaneverkets tolkning vist i Figur 9, men som indikeres som en steil sone i 2D resistivetsprofil 2 (sone nr 88 i Figur 13). Et steilt fall på denne sonen samsvarer også med den geologiske tolkningen gitt i Bøe m.fl. (1999), hvor sonen er markert som vertikal (Figur 8). Det er ellers liten endring i resistivetskontrast over denne sonen, noe som kan skyldes at egenskapene til basalt og rombeporfyr er svært like.

Det er kartlagt mulig dypforvitring i noen få soner langs tunneltraseen, noe som bør tas med i bergningen når en planlegger tunnelutbyggingen (Figur 15 og Figur 16).

## REFERANSER

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

Bøe, R., Lutro, O og Nordgulen, N., 1999. Geologiske forhold langs jernbanetrasé Holm-Holmestrand-Nykirke. NGU rapport nr. 99.037

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.

Grimstad, E., 1979: Tunnel forbi Holmestrand. Sluttrapport om geologiske undersøkelser. Oppdrag Z 198 A rapport nr. 5. Veglaboratoriet.

Grimstad, E., 1980: E18 i tunnel gjennom Holmestrand. Oppdrag Z 198 A rapport nr. 6. Veglaboratoriet.

Gundersen, P. og deBeer, H. 2009. Statistikk vannnivåer i forskjellige bergarter. ForForUT deloppgave 3. Statusrapport 2009. NGU Rapport nr. 2009.066.

JBV, 2008. Vestfoldbanen, km 76,8-91,0. Utbygging, Ingeniørgeologisk kart Rambergstunnelen, Detaljplan. UVB-50-V-21401

JBV, 2008. Vestfoldbanen, km 76,8-91,0. Utbygging, Ingeniørgeologisk kart Grettetunnelen, Detaljplan. UVB-50-V-21402

JBV. 2009. Kapittel 3 "Geologisk Beskrivelse" i V21401\_Fagrapport ingeniørgeologi og hydrogeologi rev 01

Loke, M.H. 2007: RES2INV ver. 3.56. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual. [www.geoelectrical.com](http://www.geoelectrical.com).

Olesen, O., 2006. Aktsomhetskart for tunnelplanlegging, sentrale Østland, geofysisk tolkning av tropisk dypforvitring. Målestokk 1: 100 000. NGU

Olesen, O. 2006: Aktsomhetskart for tunnelplanlegging, sentrale Østland, geofysisk tolking av tropisk dypforvitring, Målestokk 1: 100.000. Norges geologiske undersøkelse, Trondheim.

Olesen, O., Dehls, J., Ebbing, J., & Lundin, E., 2007. Aeromagnetic mapping of deep-weathered fracture zones in the Oslo Region – a new tool for improved planning for tunnels. Norwegian Journal of Geology, Vol 87, pg 253-267.

Rønning, J.S.: 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



## VEDLEGG

Tabell 11: Tabell over alle kartlagt soner langs resistivetsprofil. Klassifisering av soner langs tunnellop Holm-Holmestrand-Nykirke. RES = 2D resistivitet). Koordinatene er gitt i WGS 1984, UTM sone 32V.

Ca pelnummer. Tunnel (m)	Posisjon langs profil P1 (m)	X	Y	Sone	Fall (retning)	Fall (ca grader)	A dybde	B bredde	C RES	Kommentar
78750	470	570241	6600638	1	Steil mot sør	80	4	1	1	
78800	560	570280	6600560	2	Steil mot nordvest	80	4	1	1	*
78930	695	570352	6600457	3	≈ Steil	85	4	1	2	
78990	768	570403	6600414	4	≈ Steil	85	4	1	2	
79050	860	570480	6600378	5	≈ Steil	85	4	1	0	Høy IP -mulig sulfider
79115	1015	570601	6600300	6	≈ Steil	85	4	1	2	*
79390	1355	570837	6600083	7	Steil mot nord	80	4	1	2	
79455	1455	570908	6600018	8	≈ Steil	85	4	1	0	
79600	1615	571011	6599915	9	≈ Steil	80	4	1	2	*
79700	1745	571092	6599838	10	Steil mot nord	70	4	1	1	
79750	1795	571114	6599800	11	≈ Steil	85	4	1	1	
80195	2235	571386	6599463	12	Steil mot sør	80	4	1	1	
80500	2525	571529	6599241	13	≈ Steil	85	4	1	3	*
80550	2545	571541	6599226	14	≈ Steil	85	4	1	3	
80700	2695	571641	6599127	15	Steil mot nordvest	70	4	1	2	*
80750	2790	571710	6599068	16	Moderat mot nord	60	4	1	2	*
81200	3325	572051	6598700	17	Moderat mot nord	60-70	4	1	2	*
81420	3540	572207	6598553	18	Steil mot nord	80	4	1	2	
81550	3685	572290	6598449	19	≈ Steil	80	4	1	4	
81625	3785	572334	6598376	20	≈ Steil	85	4	1	4	Høy IP -mulig sulfider
81700	3840	572364	6598336	21	Steil mot sør	80	4	1	4	Høy IP -mulig sulfider
81745	3885	572390	6598303	22	Steil mot nord	80	4	1	4	Høy IP -mulig sulfider

81800	3955	572430	6598251	23	≈ Steil	80	4	3	4	* Høy IP -mulig sulfider
81820	4015	572464	6598205	24	≈ Steil	85	4	1	4	Høy IP -mulig sulfider
81890	4090	572502	6598142	25	≈ Steil	85	4	1	4	Høy IP -mulig sulfider
81950	4125	572520	6598113	26	Steil mot nord	80	4	1	4	Høy IP -mulig sulfider
81975	4150	572533	6598092	27	≈ Steil	80	4	2	4	Høy IP -mulig sulfider
82020	4205	572562	6598047	28	Steil mot nord	80	4	1	4	Høy IP -mulig sulfider
82090	4305	572643	6597994	29	≈ Steil	85	4	1	4	Høy IP -mulig sulfider
82150	4370	572696	6597959	30	≈ Steil	85	4	1	4	Høy IP -mulig sulfider
82250	4470	572760	6597885	31	Mot sør	45	4	1	3	
82350	4595	572831	6597782	32	Mot nord	60	4	1	3	
82450	4690	572870	6597700	33	≈ Steil	70	4	2	3	
82620	4855	572945	6597559	34	≈ Steil	85	4	2	3	
82800	5030	573039	6597418	35	Steil mot nord	80	4	2	3	
82900	5165	573099	6597309	36	≈ Steil	85	4	2	4	
83050	5280	573149	6597210	37	≈ Steil	85	4	2	4	Høy IP -mulig sulfider
83100	5365	573186	6597135	38	≈ Steil	80	4	2	3	Høy IP -mulig sulfider
83260	5510	573249	6597011	39	≈ Steil	85	4	2	4	Høy IP -mulig sulfider
83600	5810	573304	6596730	40	Steil mot nord	80	4	2	4	
83850	6075	573381	6596521	41	Steil mot nord	70	4	2	4	
83900	6200	573493	6596474	42	Mot sør	70	4	1	2	
84040	6290	573532	6596395	43	Steil mot nord	80	4	1	2	
84090	6375	573568	6596320	44	≈ Steil	80	4	1	3	*
84400	6630	573656	6596086	45	≈ Steil	85	4	1	4	
84450	6715	573714	6596028	46	≈ Steil	85	4	1	4	
84495	6760	573745	6595998	47	≈ Steil	85	4	1	4	*
84550	6880	573835	6595926	48	Steil mot sør	80	4	1	4	
84680	7030	573950	6595837	49	Mot nord	60	4	2	2	*
84900	7255	574089	6595667	50	≈ Steil	85	4	1	4	
84930	7280	574101	6595645	51	≈ Steil	85	4	1	4	
85010	7400	574160	6595544	52	Steil mot nord	70	4	2	3	

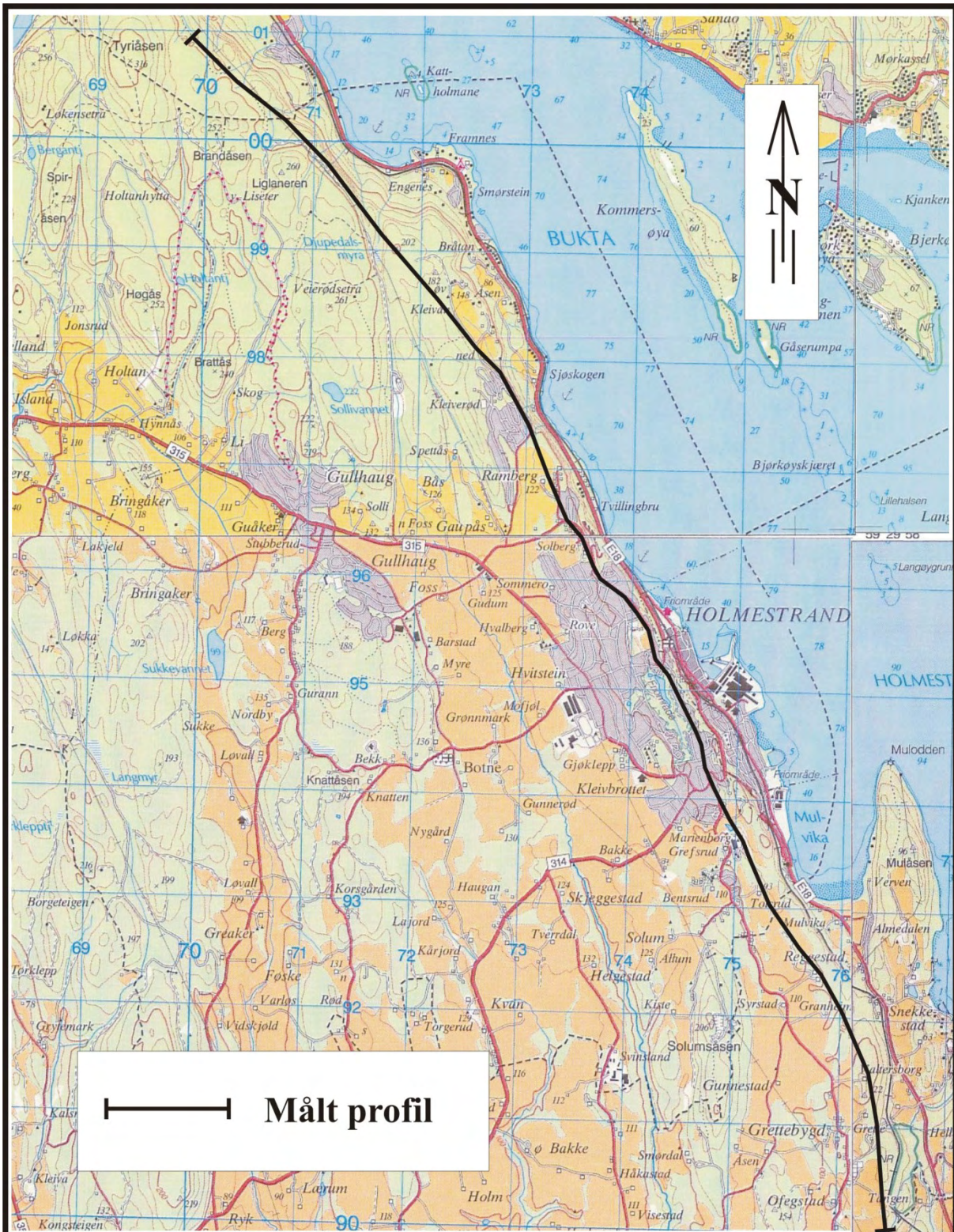
85070	7455	574173	6595494	53	Steil mot sør	80	4	1	4	
85170	7575	574203	6595385	54	Steil mot nord	80	4	1	2	Høy IP -mulig sulfider
85335	7735	574266	6595256	55	Steil mot nord	80	4	3	4	Høy IP -mulig sulfider
85415	7825	574308	6595189	56	Steil mot sør	80	4	2	3	*
85540	8000	574416	6595078	57	Steil mot sør	70	4	2	4	
85700	8135	574457	6594950	58	Ssakt mot sør	80	4	3	4	Høy IP -mulig sulfider
85800	8250	574499	6594847	59	Steil mot sør	80	4	2	4	*?
85850	8295	574520	6594808	60	Steil mot sør	85	4	2	4	*?
85975	8415	574574	6594706	61	Steil mot sør	80	4	2	4	
86000	8445	574587	6594679	62	Steil mot sør	80	4	2	4	*? Høy IP -mulig sulfider
86175	8635	574658	6594507	63	Mot nord	60	4	3	4	* Høy IP -mulig sulfider
86250	8715	574672	6594428	64	Steil mot sør	70	4	3	4	Høy IP -mulig sulfider
86400	8830	574696	6594318	65	Steil mot sør	80	4	3	4	
86480	8910	574725	6594242	66	Steilt mot nord	80	4	2	3	*
86575	9035	574771	6594131	67	Steil mot sør	80	4	1	4	
86600	9065	574785	6594101	68	Mot sør	70	4	2	4	
86850	9280	574890	6593905	69	Steil mot nord	70	4	3	4	Høy IP -mulig sulfider
86900	9335	574918	6593862	70	Steil mot sør	85	4	2	2	* Høy IP -mulig sulfider
86950	9395	574949	6593816	71	Steil mot nord	80	4	1	2	Høy IP -mulig sulfider
87200	9740	575098	6593546	72	Mot sør	70-60	4	2	3	
87500	10130	575331	6593279	73	Steil mot sør	80	4	2	3	
87800	10390	575467	6593073	74	Steil mot sør	80	4	2	3	
87900	10550	575551	6592937	75	Steil	85	4	1	1	
88250	10885	575736	6592673	76	Steil mot nord	80	4	1	2	
88300	10935	575765	6592634	77	Steil mot nord	85	4	1	2	
88350	11010	575810	6592578	78	Moderat mot SØ	60	4	1	2	
88400	11100	575872	6592528	79	≈ Steil	85	4	2	3	

Ca løpenr. tunnel	Posisjon langs profil P2	X	Y	Sone	Fall (retning)	Fall (ca grader)	A dybde	B bredde	C RES	#
88700	375	575859	6592255	79	≈ Steil	85	4	2	4	
88850	590	575922	6592062	80	Moderat mot nord	60	4	1	2	Høy IP -mulig sulfider
88950	615	575929	6592040	81	≈ Steil	85	4	1	2	
88975	660	575939	6591999	82	Mot sør	70	4	3	3	
89400	1060	576063	6591648	83	Mot nord	70	4	2	3	*
89575	1375	576199	6591399	84	Steil mot nord	80	4	1	2	
89800	1585	576285	6591218	85	Steil mot sør	80	4	1	3	
89950	1700	576311	6591106	86	Steil mot nord	80	4	2	2	
90150	1905	576350	6590908	87	Steil mot nord	80	4	2	2	
90400	2170	576402	6590665	88	Steil mot nord	80	4	1	2	*

Tabell 12. GPS-posisjoner for profil 1 og 2 (WGS-84-32V).

UTM-øst	UTM-nord	Profil	Koordinat
569930	6600941	P1	0
569986	6600858		100
570067	6600833		200
570137	6600768		300
570194	6600683		400
570261	6600619		500
570293	6600520		600
570355	6600454		700
570423	6600397		800
570518	6600365		900
570588	6600306		1000
570672	6600266		1100
570740	6600196		1200
570795	6600118		1300
570871	6600054		1400
570939	6599989		1500
571000	6599922		1600
571072	6599872		1700
571116	6599796		1800
571178	6599712		1900
571251	6599644		2000
571315	6599573		2100
571364	6599491		2200
571427	6599412		2300
571456	6599332		2400
571573	6599186		2600
571717	6599062		2800
571844	6598940		3000
571899	6598851		3100
571965	6598782		3200
572102	6598651		3400
572252	6598511		3600
572341	6598365		3800
572456	6598218		4000
572558	6598050		4200
572720	6597943		4400
572834	6597778		4600
572914	6597604		4800
573026	6597442		5000
573114	6597281		5200
573201	6597104		5400
573289	6596934		5600
573304	6596740		5800

573313	6596549		6000
573493	6596474		6200
573579	6596298		6400
573636	6596106		6600
573772	6595971		6800
573930	6595859		7000
574062	6595713		7200
574160	6595544		7400
574209	6595375		7600
574293	6595205		7800
574416	6595078		8000
574476	6594889		8200
574568	6594719		8400
574652	6594541		8600
574686	6594345		8800
574755	6594166		9000
574848	6593976		9200
574952	6593812		9400
575056	6593684		9600
575116	6593487		9800
575230	6593354		10000
575385	6593239		10200
575471	6593064		10400
575577	6592895		10600
575686	6592738		10800
575803	6592584		11000
575940	6592471		11200
575685	6592571	<b>P2</b>	0
575795	6592410		200
575868	6592233		400
575925	6592053		600
575972	6591873		800
576031	6591689		1000
576138	6591553		1200
576208	6591377		1400
576291	6591205		1600
576330	6591006		1800
576368	6590819		2000
576408	6590638		2200
576417	6590431		2400
576392	6590238		2600



NGU  
 OVERSIKTSKART  
**HOLMESTRAND**  
 HOLMESTRAND, VESTFOLD

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE  
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK  1 : 50 000	MÅLT E.D.	Juli 2009
	TEGN E.D.	Okt. 2009
	TRAC	
	KFR	

KARTBILAG NR 2009.068-01	KARTBLAD NR 1813 IV/1814 III
-----------------------------	---------------------------------