

NGU Rapport 2009.077

Geologiske og geofysiske undersøkelser for
tunnelstrekningen Sandeide-Liavatnet, Ringveg
Vest, Bergen

Rapport nr.: 2009.077		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Geologiske og geofysiske undersøkelser for tunnelstrekningen Sandeide-Liavatnet, Ringveg Vest, Bergen			
Forfatter: Guri V. Ganerød, Einar Dalsegg og Jan S. Rønning		Oppdragsgiver: Statens vegvesen / NGU	
Fylke: Hordaland		Kommune: Bergen	
Kartblad (M=1:250.000) Bergen		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1115 I Bergen	
Forekomstens navn og koordinater: Ringveg vest, Bergen 32V 293730 6696910		Sidetall: 23 Kartbilag: 1	Pris: 125,-
Feltarbeid utført: Juni 2009	Rapportdato: 15.01.2010	Prosjektnr.: 329500	Ansvarlig: <i>P. Nordgulen</i>
<p>Sammendrag: I samarbeid med Statens vegvesen har NGU utført geofysisk kartlegging med 2D resistivitet langs tunnellopet Sandeide-Liavatnet, Ringveg Vest, Bergen. Det er totalt samlet inn 3,5 km resistivetsdata, som så er prosessert og tolket. Det er tatt hensyn til eksisterende geologiske data fra kartlegging i tolkningen 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 resistivetsdata 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 resistivetsplottene, og plasseringen av sonene er i tillegg angitt i tabellform med koordinat langs resistivetsprofil 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 koordinater 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 resistivetsprofil har en begrenset rekkevidde i dypet til ca 120 m dyp. Opplysningen avtar mot dypet og resistivetsdata dypere enn ca. 80 meter er erfaringsmessig lite pålitelig. 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. Generelt er det bra kvalitet på dataene fra 2D resistivetsmålingene. Alle soner som er kartlagt på forhånd gir utslag i resistivetsprofilen, samt at det er påvist flere soner enn det som tidligere er kartlagt.</p> <p>Det er også samlet inn IP data (Indusert Polarisasjon). 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 tolkningen presentert i denne fagrapporten. Målingene viser at området har ingen eller veldig lavt IP utslag, som betyr at berggrunnen ikke inneholder sulfider eller andre ledende mineraler.</p>			
Emneord: Geofysikk	2D resistivitet	Tunnel	
	Berggrunnsgeologi	Sprekkesone	
	Tolkning	Fagrapport	

INNHOOLD

1. INNLEDNING	5
2. Geologisk beskrivelse av området.....	7
3. METODEBESKRIVELSE - GEOFYSIKK.....	11
3.1 Målemetode og utførelse	11
3.2 Datainnsamling.....	12
3.3 Strømstyrke og datakvalitet.....	13
3.4 Inversjon.....	13
4. RESULTATER	13
4.1 Strekingen Sandeide-Liavatnet.....	14
4.1.1 Profil 1a.....	14
4.1.2 Profil 1b.....	15
4.1.3 Profil 1c.....	15
5. KONKLUSJONER	20
REFERANSER	21
VEDLEGG.....	22

FIGURER

1. Ringveg Vest i Bergen.	6
2. Berggrunnsgeologisk kart over Bergen.....	8
3. Orientering av lineament i de forskjellige bergartskompleksene	9
4. Orientering av sprekker ved lokaliteter langs tunneltraseen	10
5. Plassering av resistivetsprofil i forhold til tunneltraseen	12
6. Profil 1a, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.....	16
7. Profil 1b, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner.....	17
8. Profil 1c, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner (5 m elektrodeavstand).....	18

TABELLER

1. Klassifisering av soner.	14
2. Karakterisering av soner kartlagt med resistivitet langs tunnellopet.....	19
3. GPS-posisjoner for profil 1	22

TEKSTBILAG

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

KARTBILAG

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

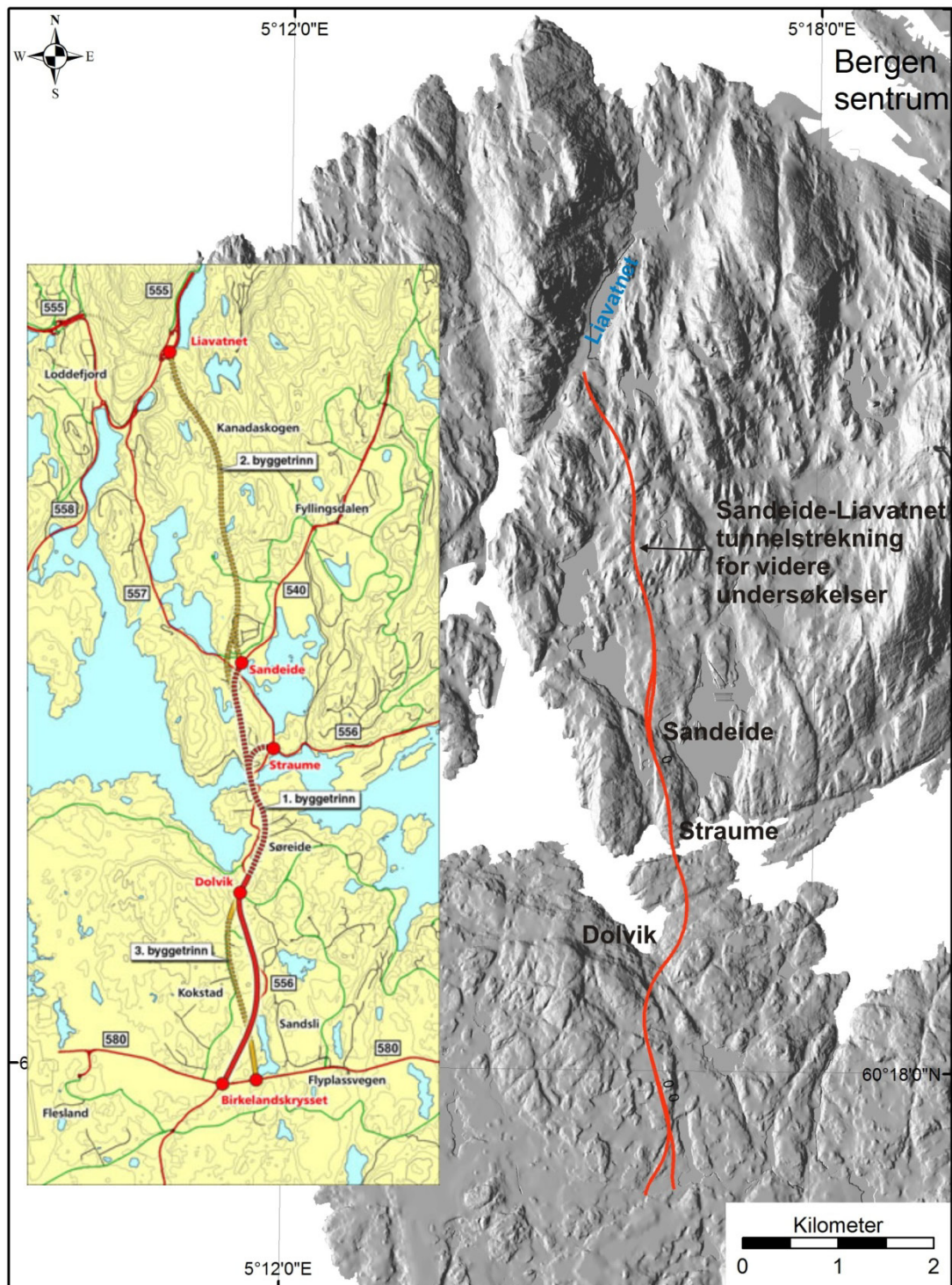
1. INNLEDNING

Sommeren 2009 foretok NGU (Norges geologiske undersøkelse) en geofysisk kartlegging i samarbeid med SVV (Statens vegvesen) i forbindelse med den planlagte tunneltraseen mellom Sandeide og Liavatnet i Bergen, under tunnelprosjektet Ringveg Vest, i regi av Statens vegvesen, Hordaland, som går fra 4 km sørvest for Bergen sentrum (Fyllingsdalen) til Flesland (Bergen flyplass). Ca 3,5 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 sør mot nord fra Sandeide til Liavatnet (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 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 3000 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 (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 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.

Dataene er prosessert og tolket, og det er tatt hensyn til eksisterende geologiske data fra kartlegging i tolkningen av de geofysiske dataene. Soner som er tolket til å være sprekkesoner eller forkastninger er lagt inn i profilene, og er vist som figurer. Plassering av sonene er i tillegg angitt i tabellform med koordinat langs måleprofilen og UTM-koordinat. I tillegg er tolket fall og fallretning på sonene gitt. Sonene er angitt med koordinater med +/- 5 m nøyaktighet, samt antatt fall på sonen, slik at det blir lettere for dere å korrelere dataene til tunnelnivå. Det ble forsøkt å følge tunneltraseen under feltarbeidet, med unntak av lengst sør og ved påhugget i nord (Figur 1). Dette kan gi noe avvik for hvor soner er kartlagt og hvor de vil treffe i tunnelnivå i disse områdene.

Tunnelstrekningen Sandeide-Liavatnet går gjennom Øygarden gneiskompleks, som er den del av grunnfjellet. Lineament og sprekker i området er dominert av NV-SØ til NØ-SV retning.



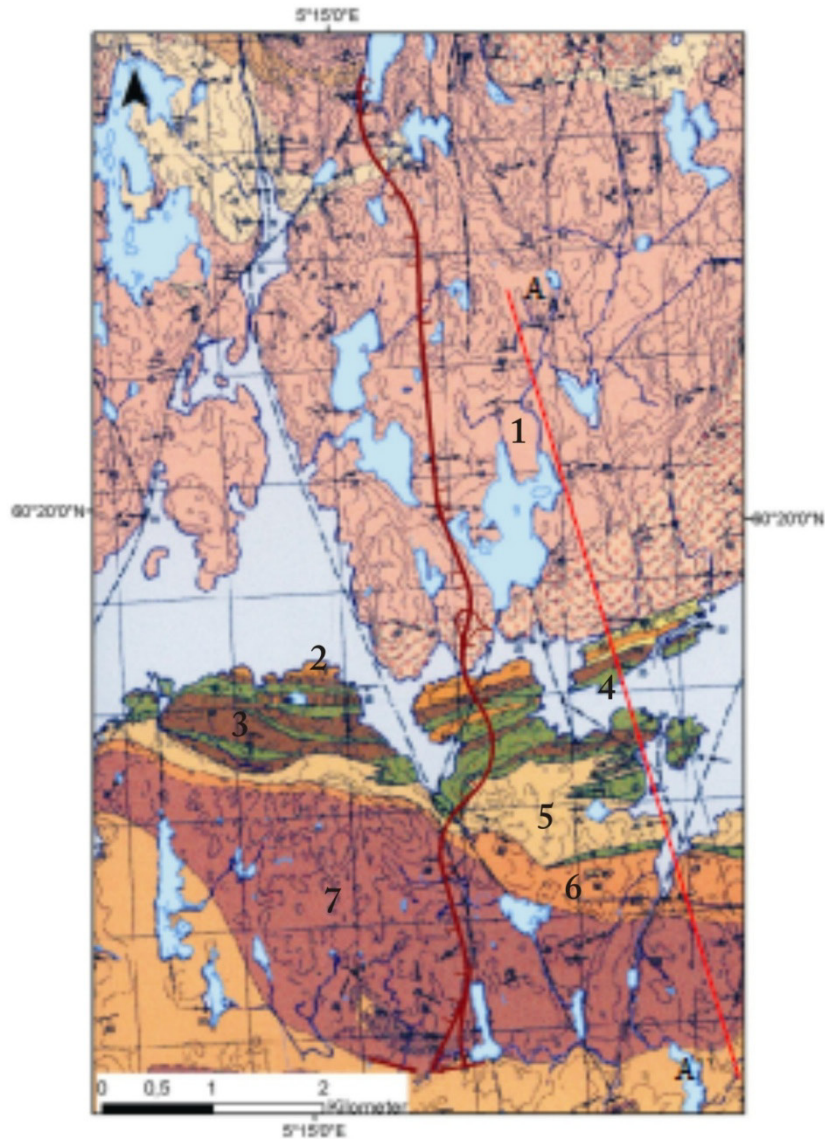
Figur 1. Ringveg Vest i Bergen. Den nordlige tunnelstrekningen Sandeide-Liavatnet er området for geofysiske undersøkelser i denne rapporten. Rød linje er tunneltrase for hele Ringveg Vest.

2. Geologisk beskrivelse av området

Ringveg Vest er et tunnelprosjekt under utbygging av Statens vegvesen, Region Vest, fra Birkelundskrysset nær Flesland flyplass i sør til Liavatnet i nord, utenfor Bergen sentrum. Vegtunnelene er totalt 10 km lange og er delt inn tre tunneler hvor hver tunnel er 4.9 km, 2.7 km og 2.4 km lang fra nord til sør. Den midtre tunnelen som er ferdigstilt går under Nordåsstraumen, et smalt sund med stor strømning ved flo og fjære.

Tunnelene gjennom grunnfjell og tre skyvedekker, som alle er del av Bergenbue-systemet (Figur 2). Fra nord til sør består berggrunnen av Øygarden gneiskompleks som er del av grunnfjellet, Nordåsvannkomplekset og Mindeflakene, som er del av Hardangerfjord-dekket, Blåmandekket og Lindåsdekket (Fossen, 1989; Fossen & Ragnhildstveit, 1997). Øygarden gneiskompleks er en del av grunnfjellet og består hovedsakelig av to komponenter: Granittisk gneis og heterogen gneis (Fossen, 1989; Fossen & Ragnhildstveit, 1997). Lengre sør krysser tunneltraséen Lille Bergensbue som her består av Nordåsvannkomplekset og Mindeflakene. Nordåsvannkomplekset inneholder bergartene amfibolitt, amfibol-granatglimmerskifer og serpentinit. Mindeflakene består av mylonittgneiser, som opprinnelig er grunnfjellskiler (Fossen, 1989; Fossen & Ragnhildstveit, 1997). Nordåsvannkomplekset og Mindeflekene er imbrikkert, sterkt deformert og har mylonittisk tekstur (Fossen, 1989).

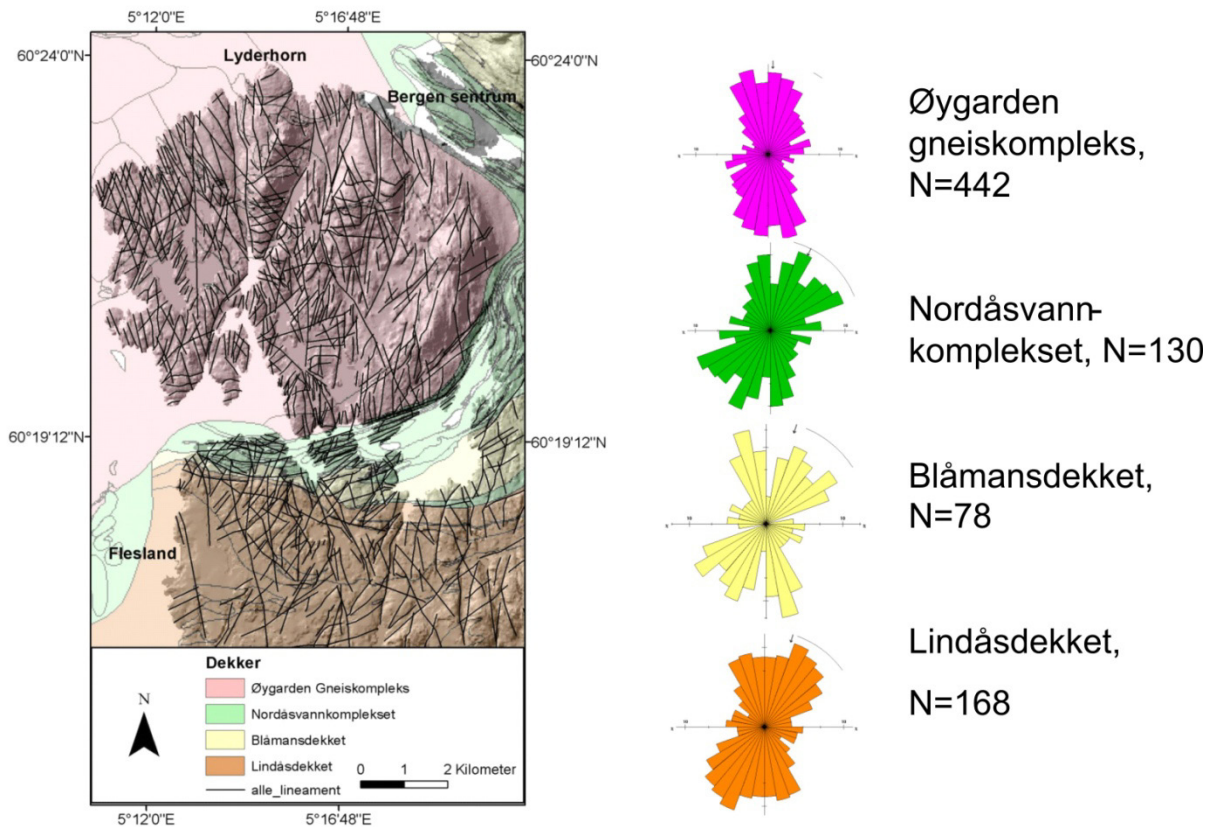
Blåmansdekket ligger sør og øst for Nordåsvannkomplekset og består hovedsakelig av øyegneiser og båndete gneiser (Fossen, 1988; Fossen & Ragnhildstveit, 1997), men det forekommer også stedvis antatt senprekambriske metasedimenter (Fossen, 1988). I den delen av Blåmansdekket som tunneltraséen krysser gjennom, forekommer Ulriken gneiskompleks (Fossen & Ragnhildstveit, 1997). Videre mot sør krysser tunneltraséen Lindåsdekket som her består av anortositt og stedvis metagabbro og amfibolitt (Fossen & Ragnhildstveit, 1997).



Autokton / parautokton		Midtre allokton	
1	Øygarden gneiskompleks	Blåmannsdekket	
Øvre allokton		5	Migmatitt og migmatittgneis
	Mindeflakene	Lindåsdekket	
2	Mylonittgneis	6	Granittisk gneis
	Nordåsvannkomplekset	7	Anortositt
3	Amfibolitt		
4	Amfibol-glimmerskifer		

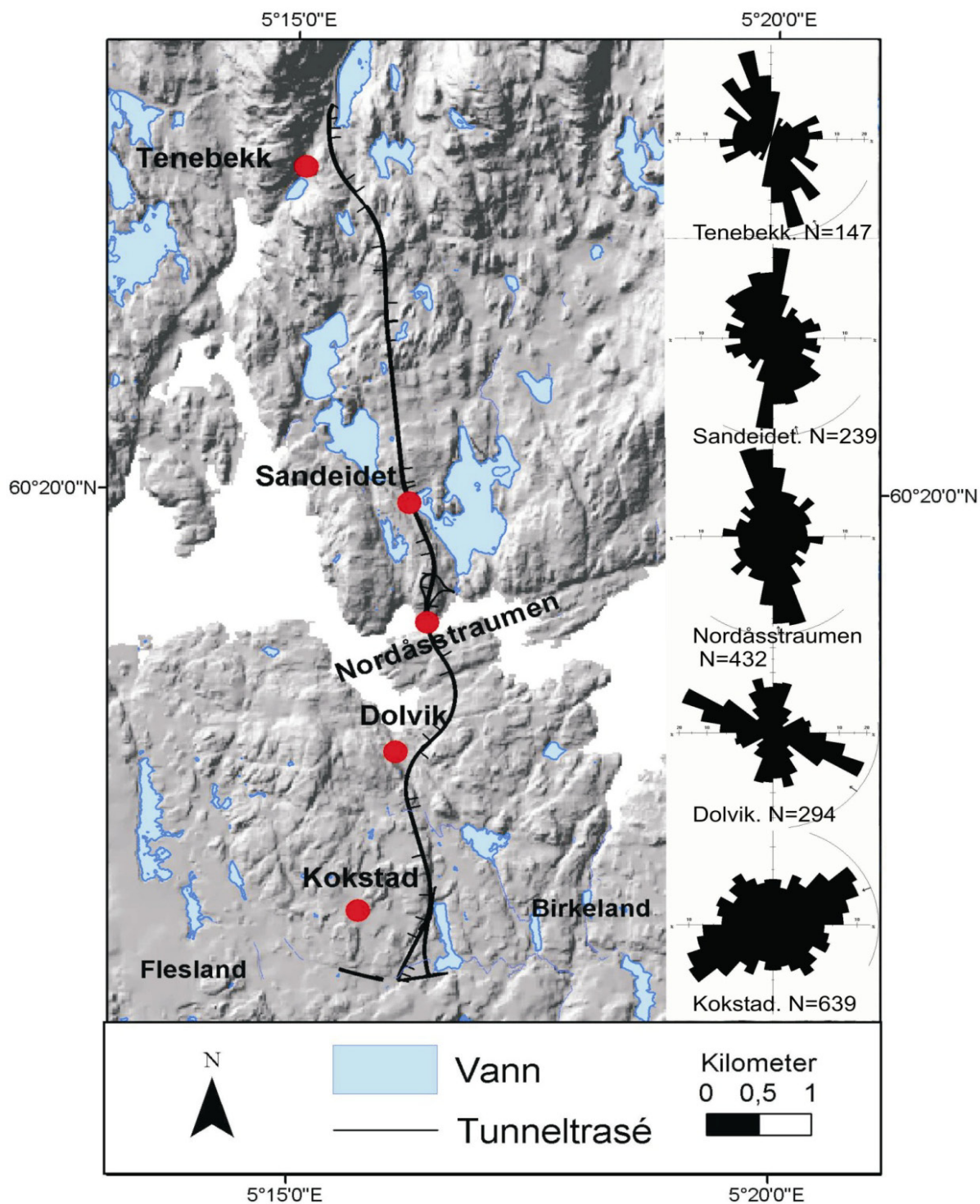
Figur 2. Berggrunnsgeologisk kart over Bergen. Målestokk er 1:35.000 og har tektonostratigrafisk tegnforklaring. Tunneltraseen er lagt til, rød-brun farge (Fossen & Ragnhildstveit, 1997).

Det er stor variasjon i orientering av lineamenter innenfor de forskjellige kompleksene. I grunnfjellet, Øygarden gneiskompleks, dominerer N-S og Ø-V orienterte strukturer, mens ØNØ-VSV og NNW-SSØ orienterte strukturer dominerer i Nordåsvannkomplekset og Blåmandekket. Lindåsdekket har stor variasjon i orientering av lienament, men NØ-SV retning skiller seg noe ut (Figur 3).



Figur 3. Orientering av lineament i de forskjellige bergartskompleksene langs tunneltraseen (Venvik, 2003).

En analyse basert på feltobservasjoner viser at fordeling av sprekker i grunnfjellet basert på lokaliteter ved Sandeidet har hovedsakelig N-S orientering (Figur 4), og oppsprekingsgraden er liten (min 1 sprekke/m, maks 14 sprekker/m, Venvik, 2003). Ved midtre tunnel, i overgangen fra grunnfjellet til dekkene, ved lokalitet Nordåsstraumen, er det også en dominerende N-S sprekkeorientering, med noe mer ØNØ-VSV sprekkeretning. Her har oppsprekningen økt noe sammenlignet med observasjoner fra Sandeidet (min sprekke/m, maks 23 sprekker/m, Venvik, 2003, Elvebakk, 2002). Ved overgangen fra midtre til sørlige tunnel, ved Dolvik, er den dominerende sprekkeretningen VNV-ØSØ og en mindre representert retning N-S (Figur 4). Oppsprekingsgraden er lik som for Nordåsstraumen. For den sørligste tunnelen viser data samlet inn ved Kokstad at sprekkeretningen er hovedsakelig ØNØ-VSV, og oppsprekingsgraden er lav (min 0 sprekke/m, maks 17 sprekker/m, Venvik, 2003).



Figur 4. Orientering av sprekker ved lokaliteter langs tunneltraséen Ringveg Vest, Bergen (Venvik, 2003). Orienteringen til sprekkeene er forskjellig i de forskjellige bergartsenhetene, og sammenfaller til stor grad med orienteringen av lineamentene (Figur 3). Dette gjelder spesielt for lineament og sprekker i Øygarden gneiskompleks.

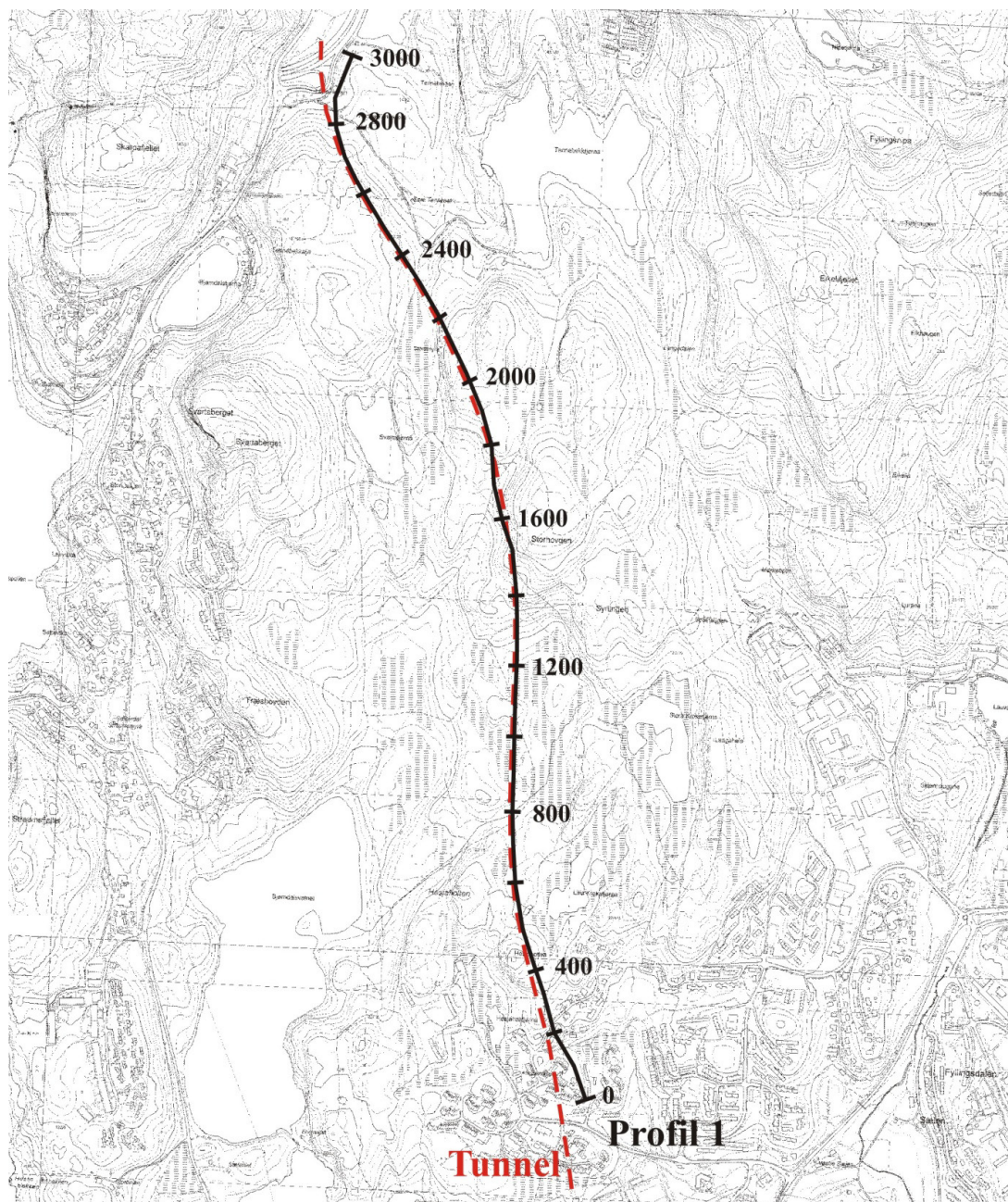
3. METODEBESKRIVELSE - GEOFYSIKK

3.1 Målemetode og utførelse

Ved denne undersøkelsen ble det foretatt var måling av **2D resistivitet og industert 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 [://www.ngu.no/no/hm/Norges-geologi/Geofysikk/Bakkegeofysikk/Elektriske-metoder/](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 pålitelig. 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. 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 elektrisk 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.



Figur 5. Plassering av resistivitetsprofil i forhold til tunneltraseen, Sandeide-Liavatnet, Ringveg Vest i Bergen.

3.2 Datainnsamling

Måledata ble innsamlet med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høyskolen 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.

3.3 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.

3.4 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.

4. RESULTATER

Resultatene av arbeidet er presentert i figurer og tabeller. 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 (50-200 Ωm) til høy resistivitet gitt i RØDT (1 5.000-40.000 Ωm). Rødt indikerer generelt godt fjell, mens blått indikerer dårligere fjell. Der det er påvist lavresistivitetssoner er disse nummerert og markert (stiplet sort) med angivelse av indikert fall.

På grunn av lengden på profil 1 måtte profilet deles opp i to seksjoner under måleprosessen. 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 resistivitetsverdi. 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 resistivitetsverdi kan indikere leire på sprekke og derved ustabile forhold (Rønning et al., 2009). En slik karakterisering er gitt for hele det ca. 3 km lange resistivetsprofil. En samlet oversikt over alle påviste soner er vist i Tabell 2. Her angis koordinat langs resistivetsprofil, UTM-koordinat og sonenummer. I tillegg angis tolket fall. Vi har brukt betegnelsene *steilt fall* for soner med 80-90° fall, *moderat fall* for 45-80° og *slakt fall* for <45°.

Tabell 1. Klassifisering av soner. Sonene som er indikert ved hjelp av 2D resistivitet er klassifisert i klasse 1-4 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
0-20 m	0-10 m	>3000 ohmm	1
20-40 m	10-20 m	3000-1000 ohmm	2
40-60 m	20-40 m	1000-500 ohmm	3
> 60 m	> 40 m	< 500 ohmm	4

4.1 Strekningen Sandeide-Liavatnet

Strekningen er dekket fra Hesjaholtet til Liavatnet med en elektrodeavstand på 10 meter, og en samlet profillengde på 3 km. Profilet er delt i to og vist i figurene 6 og 7. Da det framkom markerte soner i starten av profilet, ble de første 500 meterne av profilet også målt med 5 meters elektrodeavstand (figur 8). Soner som tidligere er kartlagt på overflaten eller lignende er markert med tall (for eksempel 4), mens soner som er påvist med resistivitetsmetoden kommer i tillegg til tidligere soner og er markert med bokstav (f.eks. C).

Deler av profilet er dekket med seismikk (Wåle 2009), og resultatene fra disse undersøkelsene er lagt inn på figurene 6 og 7.

4.1.1 1a

Den generelle resistiviteten langs profilet ser ut til å ligge i området 5000 – 15 000 Ωm (Figur 6), noe som normalt indikerer massive bergarter. Det er tidligere kartlagt flere svakhetssoner ved overflatekartlegging langs profilet (sonene 4 til 9). Disse fremkommer også ved resistivitetsmålingene, men med stor variasjon i resistivitet. Sone 4 og ny sone B er de som har gitt lavest resistivitet, og resistiviteten er her under 10 Ωm . Som nedre del av figur 6 viser er det soner med høy IP i dette området, men selve sonene har ikke gitt forhøyet IP. Dette vises bedre på profil 1C (figur 8), hvor det er tettere elektrodeavstand og dermed bedre oppløsning. Den lave resistiviteten skyldes trolig ikke elektronisk ledende mineraler som sulfider, metalloksyder og grafitt, men vannfylte svakhetssoner med leire. Sonene er ikke dekket av seismiske målinger, men Statens vegvesen ble tidlig informert om den lave resistiviteten i sonene og at de burde dekkes med seismikk.

Resistiviteten i de andre sonene ligger i området 1000-2000 Ωm . Dette gjelder også de tre nye sonene D, E og F. Ingen av sonene har gitt forhøyet IP, noe som tilsier at den økte resistiviteten skyldes oppsprekking. Den forholdsvis høye resistiviteten indikerer at de trolig ikke har noe stort innslag av leire, men erfaringer fra Lunnertunellen (Rønning m.fl. 2003) viste at soner innenfor dette resistivitetsoområdet ga store vannlekkasjer.

Det meste av denne delen av profilet er dekket av de seismiske undersøkelsene (Wåle 2009), og resultatene er lagt på figuren. Av de sonene som faller sammen med lavhastighetssoner er sonene 5, D, 8 og F. Sonene 8 og F ligger på hver sin flanke av en bred lavhastighetsone. Som de seismiske målingene viser er det flere lavhastighetssoner som ikke har kommet fram på resistivitetsmålingene. Dette må skyldes at resistivitetkontrasten mellom disse sonene og den omliggende bergarten ikke er stor nok til at de kommer fram på resistivitetsmålingene. Utslag

på refraksjonsseismikk kan skyldes falske anomalier, hvor smale fordypninger i terrenget / grøfter blir tolket som svakhetssoner (Westerdahl, 2003).

4.1.2 1b

Den generelle resistiviteten også langs denne delen av profilet ser også ut til å ligge i området 5000 – 15 000 Ωm (Figur 7), noe som indikerer fortsatt generell massivt bergart. Av sprekkesoner i dette området er sone 12 den mest markerte med en resistivitet på ca 200 Ωm . Dette indikerer at sonen trolig inneholder leire og kan føre til stabilitetsproblemer. Sonen faller og sammen med en seismisk lavhastighetszone (3300 m/s).

De fleste andre lavresistivitetssonene ligger mellom koordinatene 1660 og 2010 (sonene 10, G, H, 11 og I). Resistiviteten i sonene er her 1000 til 2000 Ωm , og ligger dermed innenfor det området som skal tilsi fare for vannlekkasjer. Sone 10 som er en av de mest markerte i dette området har også gitt en bred lavhastighetszone på seismikken (2500 m/s). Den seismiske sonen er på figuren markert noe lengre nord enn sone 10. Dette avviket skyldes at profilene her har en forskjell i øst/vest posisjonering på ca 50 meter, og at strøkretningen er ØNØ-VSV i dette området.

Ingen av sonene har gitt forhøyet IP, noe som tilsier at den økte resistiviteten skyldes økt oppsprekking.

4.1.3 1c

Som tidligere nevnt ble de første 500 meterne av resistivitetprofilet også målt med en tettere elektrodeavstand. Dette var for at en ønsket bedre oppløsning over to markerte soner som ble påvist i starten av profilet. Profilet er kalt Profil 1c og er vist i figur 8.

Som figuren viser er det her to meget markerte soner (sone 4 og sone B) hvor bare sone 4 er kartlagt tidligere. Resistiviteten i sonene indikeres også med tettere elektrodeavstand til å være under 10 Ωm . Dette tilsier innslag av leire og vil kunne gi stabilitetsproblemer under tunelldrivingen. IP-målingene bekrefter at den lave resistiviteten ikke skyldes elektrisk ledende mineraler som sulfider, metalloksyder og grafitt, men trolig vannfylte svakhetssoner med leire. Mellom disse sonene indikeres en ny sone A. Denne sonen er ikke så markert og har høyere resistivitet (200 – 1000 Ωm), men resistivitetsverdien er fortsatt lav nok til at den kan indikere leire på sprekkene.

Sone C kommer ikke fram på dette delprofilet, og sone 5 ser ut til å ha en begrenset utstrekning mot dypet. Disse vil derfor trolig ikke skape noen problemer ved tunelldrivingen.

Disse supplerende målingene bekreftet at det her er to meget markerte soner som kan skape problemer ved tunelldrivingen, og de bør derfor sjekkes opp med seismikk.

Ringveg vest, Bergen

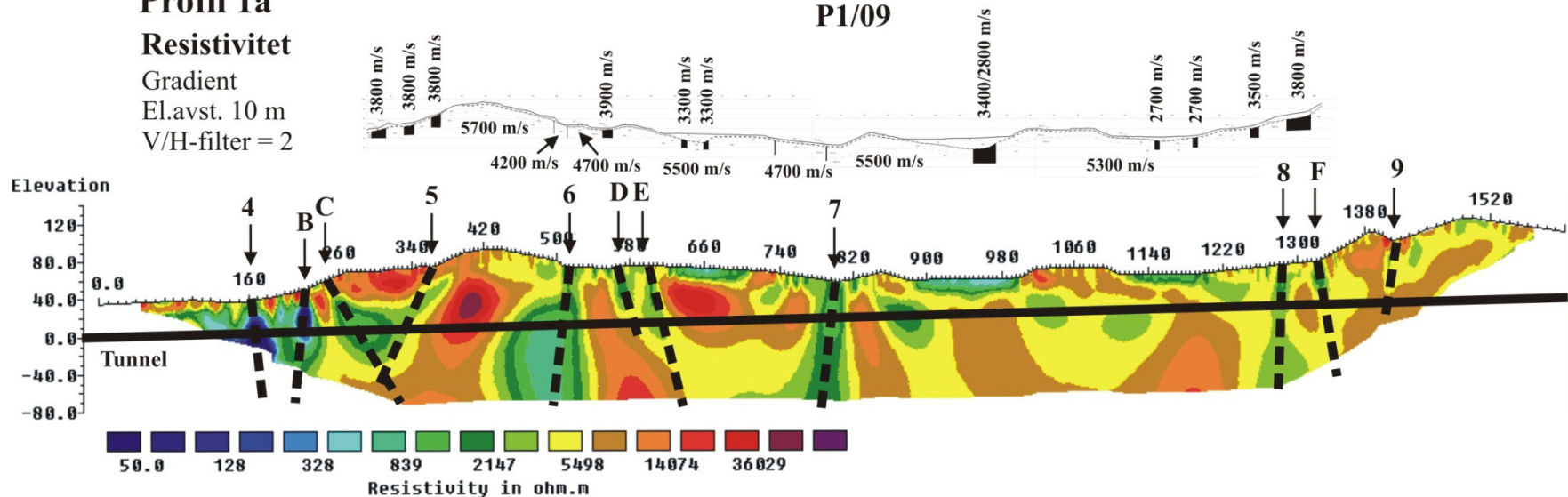
Seismikk
(GeoPhysics)
P1/09

■ Lavhastighetszone
| Laggrense i fjell

Profil 1a

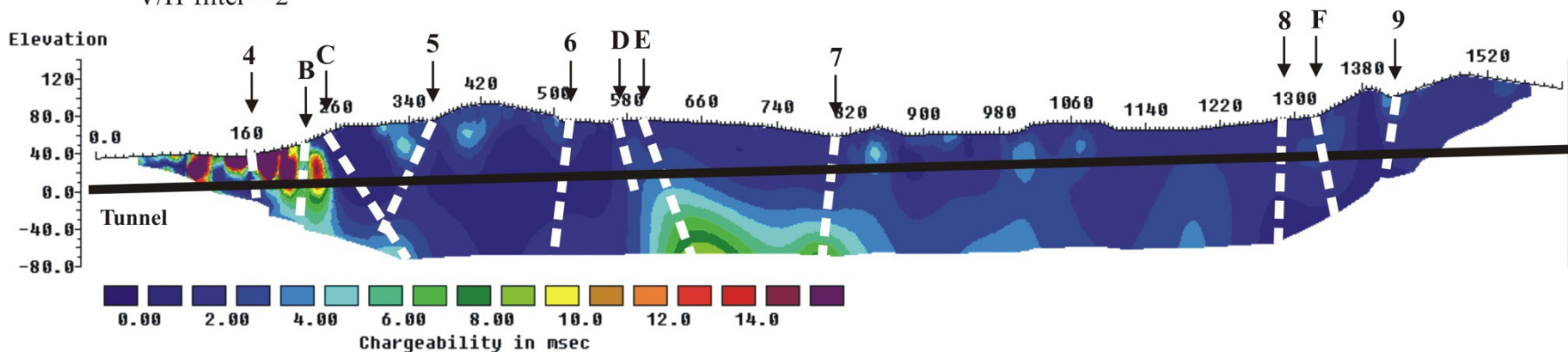
Resistivitet

Gradient
El.avst. 10 m
V/H-filter = 2



IP

Gradient
El.avst. 10 m
V/H-filter = 2



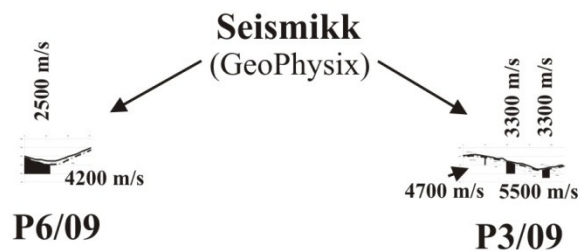
Figur 6. Profil 1a, resistivitet og IP med tolkede svakhetssoner Sone 4-9 er tidligere kartlagt geologisk. Profilet er målt fra sør mot nord.

Ringveg vest, Bergen

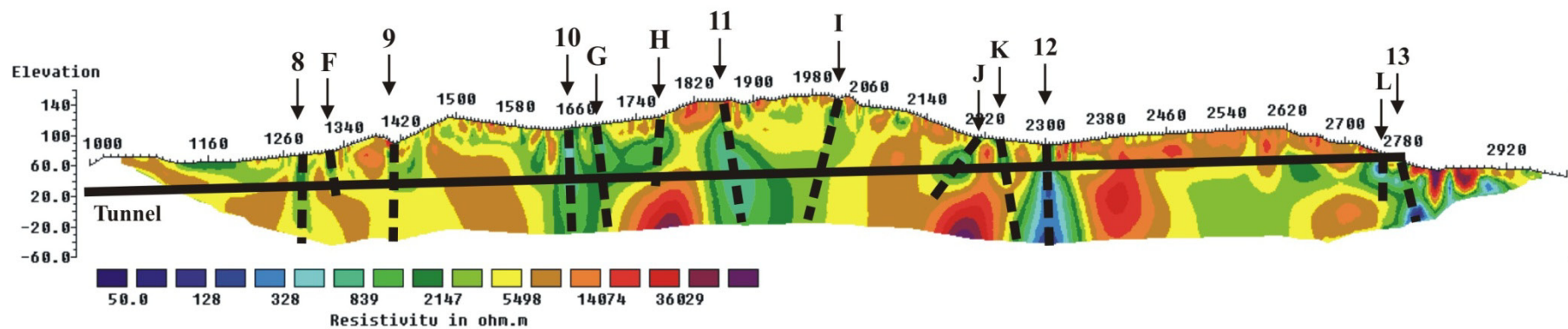
Profil 1b

Resistivitet

Gradient
El.avst. 10 m
V/H-filter = 2

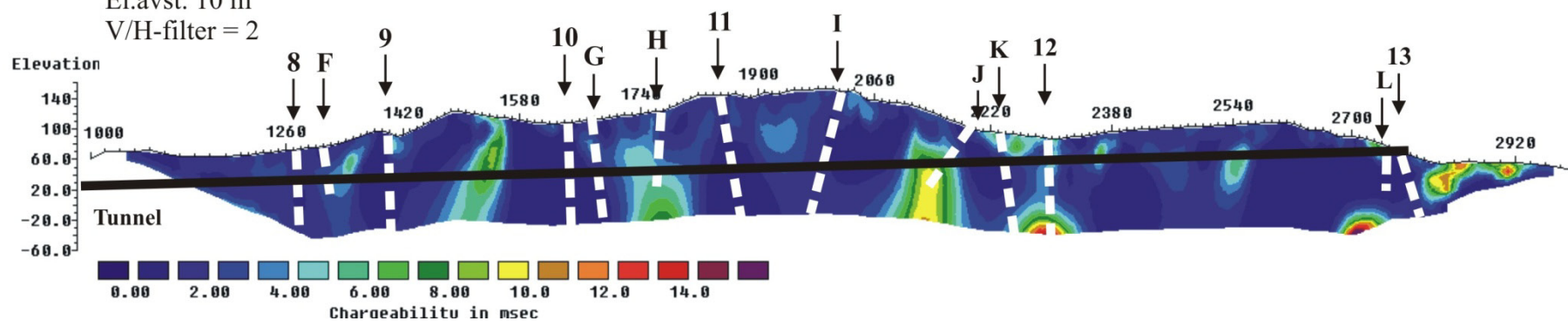


■ Lavhastighetszone
| Laggrense i fjell



IP

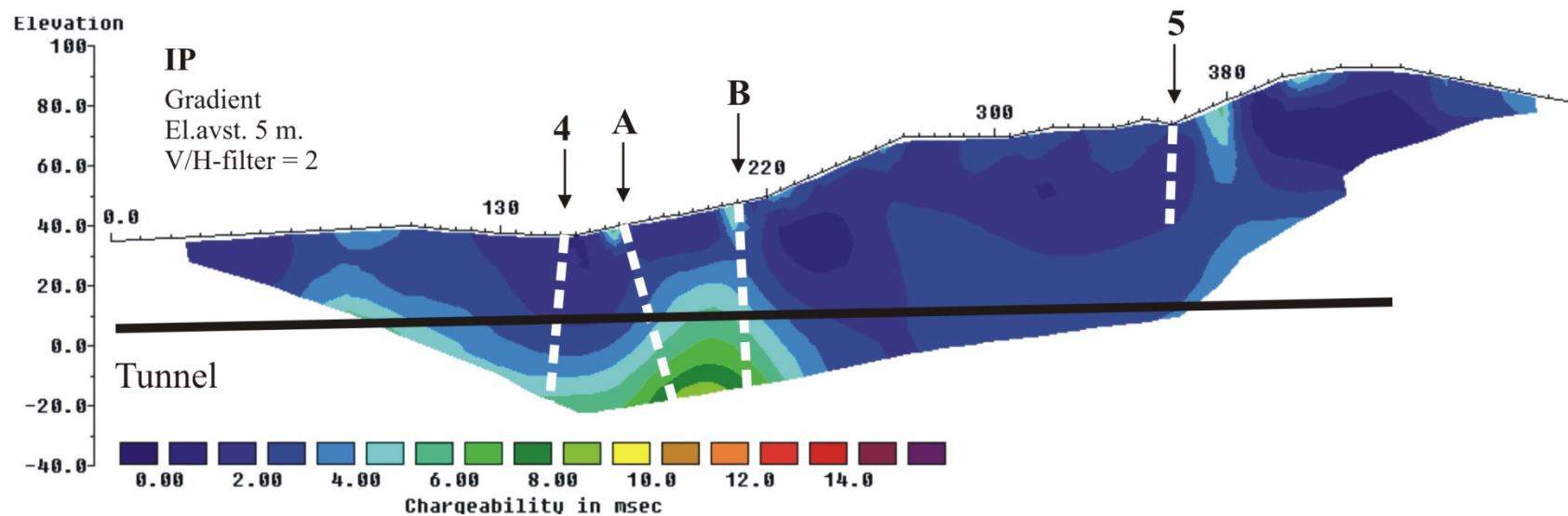
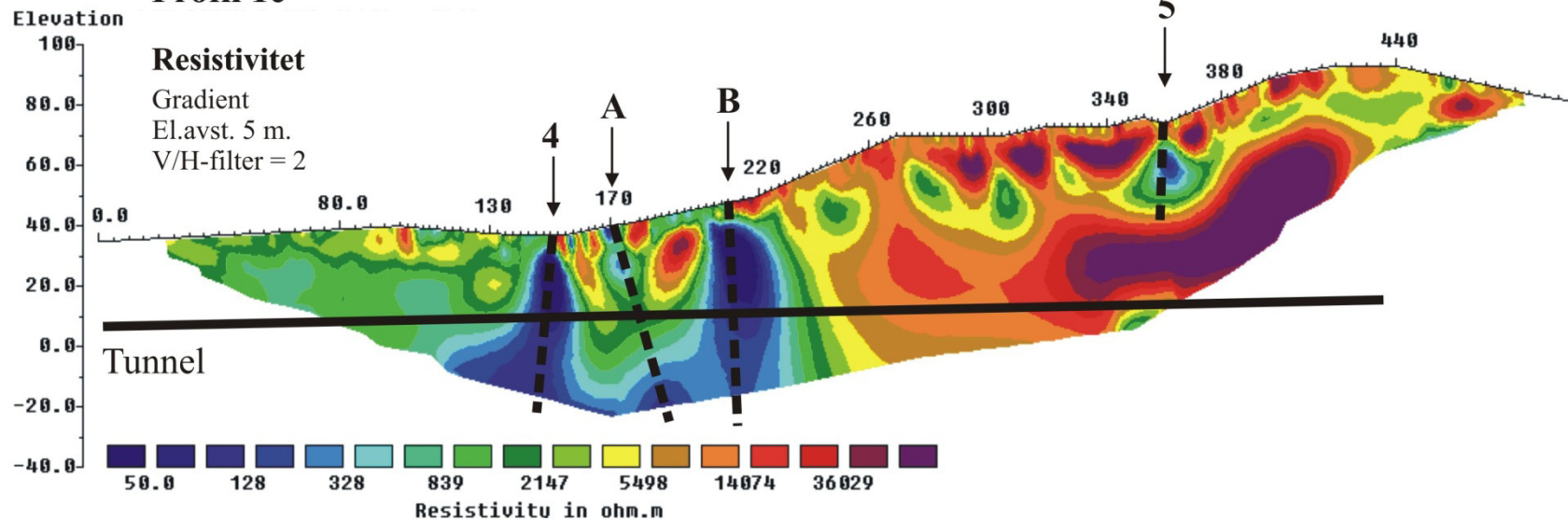
Gradient
El.avst. 10 m
V/H-filter = 2



Figur 7. Profil 1b, resistivitet og IP med tolkede svakhetszoner. Sone 8-13 er tidligere kartlagt geologisk. Profilet er målt fra sør mot nord.

Ringveg vest, Bergen

Profil 1c



Figur 8. Profil 1c, resistivitet og IP med tolkede svakhetszoner (5 m elektrodeavstand). Sone 4 og 5 er tidligere kartlagt geologisk. Profilert er målt fra sør mot nord.

Tabell 2. Karakterisering av soner kartlagt med resistivitet langs tunneløpet Sandeide-Liavatnet. * - kartlagt sone i overflaten.

Avstand langs profilet (m)	Koordinat X UTM sone 32	Koordinat Y UTM sone 32	Sone	A dybde	B bredde	C resistivitet	Fall	Seismikk (m/s)	Kommentar
			1						Kartlagt*
			2						Kartlagt*
			3						Kartlagt*
150	293857,74	6695661,15	A	4	1	3	Moderat mot N		Ny sone
160	293852,69	6695669,78	4	4	2	4	Steil mot N		Kartlagt*
200	293835,00	6695700,00	B	4	1	4	Steil mot S		Ny sone
245	293819,49	6695742,24	C	4	1	3	Moderat mot N		Ny sone
360	293792,19	6695837,39	5	4	1	2	Moderat mot S	3800	Kartlagt*
510	293751,16	6695976,83	6	4	2	3	Steil mot S	4200	Kartlagt*
565	293741,02	6696030,89	D	3	1	2	Moderat mot N	3900	Ny sone
600	293735,00	6696063,00	E	4	1	2	Moderat mot N		Ny sone
800	293725,00	6696248,00	7	4	3	3	Steil mot S	4700	Kartlagt*
1285	293754,95	6696722,98	8	4	1	1	Steil mot S	3800	Kartlagt*
1320	293752,63	6696744,86	F	4	1	1	Steil mot N	3800	Ny sone
1410	293743,25	6696826,97	9	3	1	1	Steil mot S		Kartlagt*
1650	293682,70	6697033,31	10	4	2	2	Steil mot N		Kartlagt*
1685	293676,88	6697067,82	G	4	1	2	Steil mot N	2500	Ny sone
1770	293687,60	6697147,86	H	3	1	2	Steil mot S		Ny sone
1850	293680,69	6697210,13	11	4	1	3	Steil mot N		Kartlagt*
2010	293622,68	6697348,47	I	4	1	1	Moderat mot S		Ny sone
2220	293531,01	6697515,32	J	3	1	1	Moderat mot S	4700	Ny sone
2235	293523,51	6697528,32	K	4	1	3	Steil mot N	3300	Ny sone
2300	293496,00	6697576,00	12	4	1	4	Steil mot N	3300	Kartlagt*
2750	293300,53	6697955,44	L	3	1	4	Steil mot S		Ny sone
2780	293296,04	6697985,10	13	4	2	4	Steil mot N		Kartlagt*

5. KONKLUSJONER

I samarbeid med Statens vegvesen har NGU utført geofysisk kartlegging med 2D resistivitet langs tunneløpet Sandeide-Liavatnet, Ringveg Vest i Bergen. Det er totalt samlet inn ca 3,5 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. 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 (se eksempel Figur 6). Sonene er påvist, og det er mulig å angi antatt bredde og fall på sonene. 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 (se eksempel Tabell 2).

Store områder hvor dataene er samlet inn er dekket av vegetasjon. 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. Det ble forsøkt å følge tunneltraseen under feltarbeidet, med unntak av påhuggene i sør og nord (Figur 1). Dette kan gi noe avvik for hvor soner er kartlagt og hvor de vil treffe i tunnelnivå.

Det er også samlet inn IP data (Indusert Polarisasjon). Høy IP indikerer mineraliseringer (sulfider, grafitt og o.l.) som kan gi tilsvarende resistivitetsanomalier som vannfylte sprekkesoner med eller uten leire. Dette er det tatt hensyn til i tolkningen presentert i denne fagrapporten. Det er ikke påvist IP-effekt og en kan derfor se bort fra elektronisk ledende mineraler (sulfider, metalloksyder eller grafitt) som årsak til resistivitetsanomalier.

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.

Elvebakk, E. 2002. Borehullsinspeksjon med optisk televiewer, Ringveg Vest under Nordåstrømmen, Bergen. Norges geologiske undersøkelse, NGU-rapport 2002.060, s 43

Fossen, H., 1988: The Ulriken gneiss complex and the Rundemanen formation: a basement-cover relationship in the Bergen arcs, west Norway. *Norges Geologiske Undersøkelse* s.67-86.

Fossen, H., 1989: Geology of the Minor Bergen Arc, West Norway. *Norsk Geologiske Undersøkelse Bulletin* **416**, s.47-62.

Fossen, H. & Ragnhildstveit, J., 1997: Berggrunnskart Bergen 1115 I M 1:50 000. *Norges Geologiske Undersøkelse*.

Loke, M.H. 2007: RES2INV ver. 3.56. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual. www.geoelectrical.com.

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)

Venvik, R.G.F. (Ganerød), 2003: Bruddsystem og spenningsfelt tilknyttet tunneltraséen Ringveg Vest i Bergen. Hovedfagsoppgave ved Geologisk Institutt, Universitetet i Bergen.

Wåle, M. 2009: Refraksjonsseismiske undersøkelser Ringveg vest, byggetrinn 2 Sandeide-Liavatnet. GeoPhysix, Rapport nr 09171.

Westerdahl, H. 2003: Seismisk modellering. Modellering av seismiske data over løsmassefylte depresjoner, svakhetssoner og ved kabelheng. Miljø- og samfunnstjenlige tunneler, Rapport 32. Statens vegvesen.

VEDLEGG

Tabell 3. GPS-posisjoner for profil 1 (WGS-84-32V).

UTM-øst	UTM-nord	Profil	Koordinat
293921	6695531	P1	0
293883	6695618		100
293835	6695700		200
293806	6695779		300
293784	6695872		400
293753	6695967		500
293735	6696063		600
293724	6696156		700
293725	6696248		800
293730	6696344		900
293737	6696440		1000
293744	6696535		1100
293753	6696638		1200
293755	6696725		1300
293744	6696817		1400
293737	6696910		1500
293691	6696984		1600
293675	6697079		1700
293690	6697161		1800
293672	6697256		1900
293628	6697340		2000
293579	6697418		2100
293541	6697498		2200
293496	6697576		2300
293434	6697641		2400
293386	6697729		2500
293342	6697813		2600
293308	6697906		2700
293295	6697992		2800
293320	6698081		2900
293362	6698166		3000



—|— Målt profil

NGU
 OVERSIKTSKART
RINGVEG VEST, BERGEN
 BERGEN, HORDALAND

MÅLESTOKK 1 : 50 000	MÅLT E.D.	Juni 2009
	TEGN E.D.	Nov. 2009
	TRAC	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR 2009.077-01	KARTBLAD NR 1115 I
-----------------------------	-----------------------