

NGU Rapport 2006.006

Geofysiske målinger for løsmassekartlegging i
Buvika, Skaun kommune, Sør-Trøndelag

Rapport nr.: 2006.006		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Geofysiske målinger for løsmassekartlegging i Buvika, Skaun kommune, Sør-Trøndelag.				
Forfatter: Einar Dalsegg, Harald Elvebakk, Jan S. Rønning, Inger-Lise Solberg, Arne Solli og Jan F. Tønnesen			Oppdragsgiver: Internasjonalt Centre for Geohazards (ICG)	
Fylke: Sør-Trøndelag		Kommune: Skaun		
Kartblad (M=1:250.000) Trondheim		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1521-I Orkanger		
Forekomstens navn og koordinater: Buvika 32V 559000 7020500		Sidetall: 33	Pris: 184.-	
Feltarbeid utført: 2003-2006		Rapportdato: 25.07.2006	Prosjektnr.: 300505	Ansvarlig:
Sammendrag:				
<p>I forbindelse med Inger-Lise Solbergs doktorgradsarbeide er det utført geofysiske målinger i Buvika, Skaun kommune i Sør-Trøndelag. Doktorgradsprosjektet finansieres av Internasjonalt Centre for Geohazards (ICG), NGU, NTNU og NVE. Hensikten med målingene var å kartlegge løsmassetyper og utbredelse i det aktuelle området for doktorgradsarbeidet. Av spesiell interesse var det å se om resistivitetsmålinger i kombinasjon med induert polarisasjon (IP) kunne skille mellom ulike typer leire. Rapporten dokumenterer datainnsamlingen, presenterer data og gir en vurdering av disse. En fullstendig geologisk tolkning av måledata bl.a. med hensyn på å skille stabil salt leire fra kvikkleire, behandles utførlig i Solbergs doktorgradsarbeide.</p> <p>Refraksjonsseismikken som her rapporteres, viser løsmassemektigheter på fra ca. 40 til ca. 90 m. Seismisk hastighet er forenlig med fjordavsetninger, men morene kan forekomme i "blindsone" over fjell.</p> <p>Resistivitetsmålingene gir mer uklare anslag på løsmassemektighet, men kan til gjengjeld bedre karakterisere løsmassene. Ut fra kunnskap ervervet i det aktuelle doktorgradsarbeidet, og fra andre kilder kan det konkluderes med at salt intakt leire viser resistivitetsverdier i intervallet 1 til 10 Ωm, mens kvikkleire faller i intervallet 10 til 80 Ωm. Tørrskorpeleire viser resistivitetsverdier i området 60 til 200 Ωm.</p> <p>Målingene med georadar viser moderat penetrasjon til maksimum 7 m. Refleksjonsmønsteret varierer fra nær horisontale reflekser i noen områder til ujevn og usammenhengende reflektorer i andre. Refleksjonsmønsteret er forenlig med masser av lagdelt sand og leire som er observert i området.</p> <p>Måling av induert polarisasjon (IP) på løsmassene har ikke bidratt til karakterisering av disse. Målingene påviste imidlertid klart en grafittholdig bergart og kunne skille denne fra leire med tilsvarende resistivitet.</p>				
Emneord:	Geofysikk	Elektrisk måling	Refraksjonsseismikk	
	Georadar			
			Fagrapport	

INNHold

1.	INNLEDNING	4
2.	TIDLIGERE UNDERSØKELSER	4
3.	MÅLEMETODER OG UTFØRELSE	5
3.1	2D Resistivitet	5
3.1.1	Datainnsamling	5
3.1.2	Strømstyrke og datakvalitet	6
3.1.3	Inversjon	6
3.2	Refraksjonsseismikk	6
3.3	Georadar	7
3.4	Fjellboring, resistivitet- og IP-målinger i borehull og analyse av borekjerne	7
3.4.1	Fjellboring	7
3.4.2	Resistivitet- og IP-målinger i borehull	7
3.4.3	Analyse av borekjerne	7
4.	RESULTATER / DISKUSJON	7
4.1	2D Resistivitet og IP	7
4.2	Refraksjonsseismikk	10
4.3	Georadar	11
4.4	Borehullsmålinger og analyse av kjerneprøve	11
4.4.1	Resistivitet- og IP-målinger i DBh 1	11
4.4.2	Analyse av borekjerne	11
5.	KONKLUSJON	23
6.	REFERANSER	24

FIGURER

<i>Figur 1. Profil 1a. Modellert resistivitet og IP, Wenner, elektrodeavstand 2 meter.</i>	12
<i>Figur 2. Profil 1b. Modellert resistivitet og IP, Wenner, elektrodeavstand 10 meter.</i>	13
<i>Figur 3. Profil 2a. Modellert resistivitet og IP, Wenner, elektrodeavstand 10 meter.</i>	14
<i>Figur 4. Profil 2b. Modellert resistivitet og IP, Wenner, elektrodeavstand 2 meter.</i>	15
<i>Figur 5. Profil 3 og 5. Modellert resistivitet, Wenner, elektrodeavstand 2 og 5 meter.</i>	16
<i>Figur 6. Profil 4. Modellert resistivitet og IP, Wenner, elektrodeavstand 10 meter.</i>	17
<i>Figur 7. Profil 6 og 7. Modellert resistivitet, Wenner, elektrodeavstand 5 meter.</i>	18
<i>Figur 8. Profil 8 og 9. Modellert resistivitet, Wenner, elektrodeavstand 5 meter.</i>	19
<i>Figur 9. Profil 10 og 11. Modellert resistivitet, Wenner, elektrodeavstand 5 meter.</i>	20
<i>Figur 10. Refraksjonsseismisk tolkning, profil S1.</i>	21
<i>Figur 11. Borehullsmålinger DBh 1.</i>	22

DATABILAG

- Databilag 1: Innmålte profiler 2D resistivitet, refraksjonsseismikk, georadar og fjellboringspunkt
- Databilag 2: Resistivitetsmålinger i borehull
- Databilag 3: Analyse av borekjerne DBh 1

TEKSTBILAG

- Tekstbilag 1: Metodebeskrivelse refraksjonsseismikk
- Tekstbilag 2: Metodebeskrivelse georadar

KARTBILAG

- Kartbilag 2006.006-01: Oversiktskart 1 : 50 000
- Kartbilag 2006.006-02: Oversiktskart målte profiler
- Kartbilag 2006.006-03: Georadarprofiler

1. INNLEDNING

I forbindelse med Inger-Lise Solbergs doktorgradsarbeide er det utført geofysiske målinger i Buvika, Skaun kommune i Sør-Trøndelag. Doktorgradsprosjektet finansieres av Internationalt Centre for Geohazards (ICG), NGU, NTNU og NVE. Hensikten med målingene var å kartlegge løsmassetyper og utbredelse i det aktuelle området for doktorgradsarbeidet. Av spesiell interesse var det å se om resistivitetsmålinger i kombinasjon med industert polarisasjon (IP) kunne skille mellom ulike typer av leire. Rapporten dokumenterer datainnsamlingen, presenterer data og gir en vurdering av disse. En fullstendig geologisk tolkning av måledata bl.a. med hensyn på å skille stabil salt leire fra kvikkleire, behandles utførlig i Solbergs doktorgradsarbeide (Solberg et al. *in prep.*).

Den målemetode som ble valgt var primært 2D resistivitet (13 profiler), og på de første profiler ble det i tillegg målt industert polarisasjon (IP). IP-målingene ble foretatt for å se om de kunne bidra til å skille stabil marin leire fra ustabil leire (kvikkleire). IP-målingene ga ikke noe bidrag til dette, og da dette økte måletiden betraktelig ble kun noe få profiler målt. For å støtte tolkningen av resistivitetsmålingene ble det også målt ett profil med refraksjonsseismikk og seks profiler med georadar. En fjellboring er også utført, der kjerneprøve ble tatt opp og resistivitet- og IP-målinger er foretatt i borehullet.

Beliggenheten av måleområdet er vist i oversiktskart -01, mens de målte profilene er vist i kartbilagene -02 og -03.

De utførte målingene:

- Resistivitetsmålingene ble utført av Einar Dalsegg i flere perioder fra 2003 til 2005. En detaljert oversikt over datainnsamlingstidspunktene er gitt i Tabell 1 under pkt. 2.1.1.
- De seismiske målingene ble utført av Jan Fredrik Tønnesen sammen med student Anders Vatlé (NTNU) den 21. 22. og 27. april 2005.
- Georadarprofilene ble målt 18. april 2006 av Jan Fredrik Tønnesen sammen med student Kari Charlotte Sellgren (NTNU). Harald Elvebakk har prosessert måledata.
- Fjellboringen ble foretatt av Frank Sivertsvik og Geir Viken den 21. mai 2006, og resistivitetsmålingene i borehullet av Einar Dalsegg og Harald Elvebakk den 24. mai 2006. I etterkant analyserte Arne Solli kjerneprøven.

2. TIDLIGERE UNDERSØKELSER

Tidligere geofysiske undersøkelser i området er seismiske undersøkelser i 1963, 1987 og 2003 (Hillestad 1963; Rye og Lefstad 1987; Pedersen 2003). Det er ellers utført ca 700 geotekniske boringer i området (se Solberg et. al. *in prep.*).

3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

I det følgende blir metoder og utførelse for 2D resistivitet og IP, refraksjonsseismikk, georadar og fjellboring med borehullsmåling og logging kort beskrevet.

3.1 2D Resistivitet.

3.1.1 Datainnsamling.

Måledata ble innsamlet med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høgskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993). Systemet består av en releboks (Electrode Selector ES464) og to eller fire multi-elektrode kabler og et måleinstrument ABEM Terrameter SAS 4000, (ABEM 1999). Ved denne undersøkelsen ble det benyttet kabler med 2, 5 og 10 m elektrodeavstand. Dybderekkevidden er ca 120 m med 10 m elektrodeavstand, ca 60 m med 5 m og ca 25 m med 2 m elektrodeavstand. Oppløsning, og dermed nøyaktigheten, er størst i den øvre halvdel av pseudoseksjonen, noe en må ta hensyn til ved valg av elektrodeavstand. Det ble valgt å benytte Wenner elektrodekonfigurasjon, da Wenner har vist seg å være godt egnet til kartlegging av horisontale strukturer.

Indusert polarisasjon (IP-målinger) ble utført samtidig med resistivitetsmålingene langs enkelte profiler.

Profilenes beliggenhet er innmålt med GPS (databilag 1), men er ikke merket i terrenget da mesteparten av profilene går på innmark.

Tabell 1. Innsamlingstidspunkt og elektrodeavstander for 2D resistivitet. IP angir om det er utført måling av indusert polarisasjon.

Resistivitetsprofil	Tidspunkt	Elektrodeavstand	IP
P1a	9.10 2003	2m	Ja
P1b	10.10 2003	10m	Ja
P2a	13-16.10 2003	10m	Ja
P2b	17.11 2003	2m(0-400)	Ja
P3	18-19.11 2003	2m	Nei
P4	01.06 2004	10m	Ja
P5	02-03.06 2004 +18.05 2005	5m	Nei
P6	09-11.11 2004	5m	''
P7	11-12.11 2004	5m	''
P8	15-16.11 2004 + 19.05 2005	5m	''
P9	24-25.05 2005	5m	''
P10	11.05 2005	5m	''
P11	20.05 2005	5m	''

3.1.2 Strømstyrke og datakvalitet

Jordingsbetingelsene var generelt meget gode med få unntak der profilene krysset veger. Strømstyrken var 200 mA for stort sett alle målingene. Datakvaliteten var gjennomgående meget god, med bare noen få målinger over akseptabelt støynivå (20 %). Disse ble slettet før prosessering.

3.1.3 Inversjon

Ved alle resistivitet- og IP-målinger måles tilsynelatende verdier. Denne representerer et veid middel av alle resistiviteter og IP-effekter som er innenfor målingens influensområde. For å finne den spesifikke resistivitet i ulike deler av undergrunnen må data inverteres. Dette utføres ved at profilet deles opp i blokker som tilordnes en bestemt resistivitetsverdi. Denne blir så justert i flere trinn (iterasjoner) inntil responsen fra den teoretiske modellen blir mest mulig lik de målte data.

Resistivitet- og IP-data ble invertert ved bruk av dataprogrammet RES2DINV (Loke 2001). "Least Square" ble benyttet som inversjonsmetode. Vertikal/horisontalfilter er ved inversjonen satt til 0,5, noe som til en viss grad favoriserer horisontal lagdeling.

3.2 Refraksjonsseismikk

Det ble målt ett refraksjonsseismisk profil (S1) med lengde 956 m i retning fra NNV til SSØ (se kartbilag -02). Profilet går tilnærmet parallelt med fylkesveg 708, men ligger 30-130 m øst for vegen. Kartkoordinater for alle skuddpunktene i profilet (mellom posisjon 0 og 956 m) er bestemt med håndholdt GPS-instrument og framgår av databilag 1.

En generell beskrivelse av refraksjonsseismiske målinger på land er vedlagt i tekstbilag 1. Som registreringsinstrument ble det benyttet en 24 kanals digital seismograf av typen ABEM Terraloc MK6. Det ble målt tre utlegg langs profilet. For hvert utlegg ble det benyttet to målekabler med 12 geofoner langs hver kabel. Langs første kabel var avstanden mellom geofonene 20 m, mens den var 10 m langs den andre kabelen, men nærmest hver ende av kablene ble geonavstanden halvert. Skuddpunkt ble stort sett plassert 5 m fra endegeofonene langs den korte kabelen, og 10 m fra endegeofonene samt ved midtpunkt langs den lange kabelen, slik at gjennomgående skuddpunktavstand skulle bli 110 m. I tillegg ble det plassert skuddpunkt i større avstand fra kabelendene for å få bedre måledekning av fjelloverflaten. Langs den lange kabelen var 1 kanal i uorden og for utlegg 2 og 3 ble derfor kabellengden innkortet med 20 m. Plasseringen av skuddpunkt er også noe justert, både pga. endring i kabellengde og ut fra praktiske feltforhold. For de tre utleggene ble skuddpunkt plassert i følgende posisjoner langs profilet:

-Utlegg 1 (med geofoner i pos. 10-325); -150, 0, 110, 220, 330, 420, 525.

-Utlegg 2 (med geofoner i pos. 340-635); 0, 110, 220, 330, 420, 525, 640, 761, 846.

-Utlegg 3 (med geofoner i pos. 650-951); 525, 640, 761, 846, 956, 1006, 1216.

Som energiseringskilde ble det benyttet dynamitt. Datakvaliteten var stort sett god.

3.3 Georadar

En generell beskrivelse av måling med georadar er vedlagt i tekstbilag 2. Georadaren som er benyttet er av typen pulseEKKO 100 (Sensors & Software Inc., Canada).

For alle profilene ble det benyttet en sender på 1000 V og antenner med senter-frekvens 100 MHz. Opptakstiden var 1000 ns (nanosekunder) med samplingsintervall på 0,8 ns. For å lette gjennomføringen av målingene ble antennene plassert på en håndtrukket spesialvogn med en fast antenneavstand på 1,0 m. Et tilhørende målehjul registrerte avstand langs profilet, og fra en kontrollenhet ble målepunktavstanden forhåndsinnstilt slik at radaren automatisk utførte måling for hver 0,5 m. I hvert målepunkt (posisjon) ble det foretatt 4 registreringer som ble summert. Det er ikke utført noen CMP-måling for å bestemme radarbølgehastigheten i grunnen. En verdi på 0,08 m/ns er benyttet for beregning av høydeskala i profilutskriftene. Den kan representere stort sett vannmettet materiale, men vil være for lav for umettede og spesielt tørre løsmasser (se tekstbilag 2).

3.4 Fjellboring, resistivitet- og IP-målinger i borehull og analyse av borekjerne

3.4.1 Fjellboring

DBh 1 ble boret med NGUs ”Lito-rigg”. Utvendig borekronediameter og borekjernediameter var henholdsvis 46 og 35 mm. Hullet ble boret til 20 m dyp. Koordinater framgår av databilag 1.

3.4.2 Resistivitet- og IP-målinger i borehull

Resistivitet- og IP-målingene i borehullet ble målt med Terrameter SAS4000 og SAS LOG 200. Målepunktavstanden langs borehullet var 0,2 m, og det ble benyttet pol/pol Short Normal (SN) som elektrodekonfigurasjon. Fjernelektrodene ble plassert ca. 50 m i hver sin retning fra borehullet. Med SN kartlegges resistivitet og IP i borehullsveggenes umiddelbare nærhet, da elektrodeavstanden er 40 cm.

3.4.3 Analyse av borekjerne

Det er også foretatt geologisk logging av kjernene (se databilag -02). Mengdebetegnelse er relative og det er ikke gjort forsøk på prosentangivelser, noe som ville innebære studier av tynnslip.

4. RESULTATER / DISKUSJON

I det følgende blir måleresultatene fra de forskjellige målemetodene presentert og diskutert.

4.1 2D Resistivitet og IP

Beliggenheten av de målte profilene er vist i kartbilag -02, og de inverterte resistivitet- og IP-data er vist på figurene 1 til 9. For å få sammenlignbare presentasjoner er samme fargeskala benyttet ved alle profiler.

Undersøkelser i Sverige (Dahlin et al. 2001) tyder på at grensen mellom marin salt/intakt leire og mulig kvikk leire går ved ca. 7 Ω m. Resistivitet i ulike leirtyper diskuteres utførlig i

Solbergs doktorgradsarbeide (Solberg et al. *in prep.*). Ut fra de undersøkelsene som er gjort i Buvika, ser det ut som om denne grensen også her ligger omtrent på dette nivået.

Resistiviteter fra ca. 10 Ωm og opp til 60 til 80 Ωm kan være kvikkleire, men økningen i resistivitet kan også skyldes innslag av grovere masser som silt/sand. Tørrskorpeleire ligger vanligvis i område 80 til 200 Ωm . Fargeskalaen er valgt slik at antatt intakt marin leire er indikert med blå farge på figurene, mens områder med grønn/gul farge kan representere kvikkleire. Ut fra de seismiske målingene ser det ut til at overgangen til rød og spesielt lilla farge trolig skyldes fjell, men disse fargene kan også representere sand/grus-avsetninger.

Tabell 2. Oversikt over resistivitetsverdier til ulike typer geologisk materiale (basert på Berger 1983)

Materiale	Resistivitetsverdier	Farge på profilet	Merknad
Marin leire, intakt	1-10 Ωm	Blå	Inneholder salt
Marin leire, utvasket	10-80 Ωm	Grønn, mot gul	Saltet er helt/delvis vasket ut. Leira kan være kvikk.
Tørrskorpeleire	80+ Ωm	Orange	Uttørket, oppsprukket og kjemisk endret
Siltige masser	50-150(?) Ωm	Gul, orange	
Sand, grus og grov morene	150+ Ωm	Orange, rød, mot lilla	
Fjell	1000+ Ωm	Lilla (rød)	

Profil 1 er målt med både 2 m (profil 1a, figur 1) og 10 m elektrodeavstand (profil 1b, figur 2). Målingene viser for begge elektrodeavstander resistiviteter fra ca. 15 til 100 Ωm ned til ca. 20 m. Videre mot dypet øker resistiviteten og de høyeste verdiene representerer trolig fjell. I øst ved koordinat 370 ligger fjellet helt i dagen. Med 2 m elektrodeavstand (figur 1) er oppløsningen større i det øverste laget. Dette kommer klart fram fra koordinat 0 til 100, hvor det med den korteste elektrodeavstanden er indikert et topplag med noe høyere resistivitet. På figur 1 indikeres ett par vertikale strukturer med noe høyere resistivitet (koordinat 115 og 256). Disse er ikke enkle å forklare geologisk, og mest sannsynlig er dette kunstige effekter konstruert under inversjonen.

Det ble valgt å måle indusert polarisasjon (IP), for å se om disse kunne bidra til tolkningen av leira. Som nedre del av figurene viser er det ingen tydelige forskjeller i IP-verdiene i leira (under 1 ms). Unntaket er i vest hvor det ved koordinat 40 er noe høyere verdier. Disse fremstår både på profil 1a og 1b og synes reelle. Høyere verdier mot dypet i øst ser ut til å være knyttet til fjell.

Profil 2 (profil 2a, figur 3) er primært målt med 10 m elektrodeavstand, men for å få bedre oppløsning i det øverste laget vest for Hammerbekken ble profilet også målt med 2 m elektrodeavstand fra koordinat 0 til 400 (profil 2b, figur 4).

Figur 3 viser at fra Hammerbekken (koordinat 400) og østover indikeres leire med økende dyp mot øst. Fra koordinat 700 og østover indikeres et lag med resistiviteter fra 1 til 7-8 Ωm . Dette laget ligger under et topplag med noe høyere resistivitet og er innenfor området for stabil marin leire. Samme lave verdier er påvist i vest fra koordinat 250. Det er fjell i dagen ved koordinat 0 og seismiske målinger indikerer fjell på ca. 20 m ved koordinat 340 (Rye og Lefstad 1987). Disse lave resistivitetene som helt klart er i fjell, er vanskelig å forklare som

annet enn godt ledende mineraliseringer. Også IP-målingene i de to profilene viser høye verdier som indikerer elektronledende mineraler. Støy på grunn av tekniske anlegg er lite sannsynlig. For å få en mulig forklaring på dette, og dermed få testet målemetoden, ble det satt på et kort borehull (DBh 1) ved koordinat 20. Boringene påviste flere soner med grafittskifer (se avsnitt 4.4). Måledata fra borehullet er vist i figur 11. Disse viser resistiviteter på ca. 8-10 Ω m ned til 8 m og ca. 40-80 Ω m i resten av borehullet. Målingene viser også tildels høye IP-verdier. Dette bekrefter at den lave resistiviteten i dette området skyldes grafittskifer. Måledata indikerer at disse fortsetter ned til Hammerbekken. Ved koordinat 400 viser målingene en markert vertikal grense som kan skyldes en forkastning.

Profil 3 (figur 5) overlapper delvis profil 2 (fra koordinat 560 til 1000), og ble målt med tettere elektrodeavstand (2 m) for å få bedre oppløsning i de øvre lag. Profilet viser stort sett samme resistivitetsbilde som for øvre del av profil 2, men på grunn av tettere elektrodeavstand er det indikert et topplag med forholdsvis høy resistivitet fra koordinat 160 til 420 (antatt tørrskorpe). Fra koordinat 0 til 160 er tørrskorpelaget skavet av, noe som kommer klart fram på figuren. Antatt kvikkleire i dette profilet er mellom det blå området og topplaget, og vest for koordinat 160.

Profil 4 (figur 6) viser at marin salt leire kun er indikert lengst nord i profilet. Mot sør ligger resistiviteten, under et tynt topplag, i området for mulig kvikkleire. Ut fra de seismiske målingene representerer trolig den røde/lilla fargen overgangen til fjell. Det er mulig at grove masser (f.eks. morene) ligger over fjell.

Det er også målt IP på dette profilet, men som figuren viser er det ingen korrelasjon mellom målt resistivitet og IP. Årsaken til høy IP-effekt ved koordinat 320 er uklar. Den øverste delen ligger i løsmassene, mens de dypere delene synes å være fra fjell. Sistnevnte kan være en kunstig effekt.

Profil 5 er vist nederst på figur 5, og indikerer et noe uryddig resistivitetsbilde. I de to høydedragene i begge ender av profilet ligger resistiviteten i området 80 til 150 Ω m, noe som er i det øvre området for mulig kvikkleire. Videre mot dypet indikeres områder med stabil marin leire og mulig kvikkleire. I den sentrale delen av profilet, som går parallelt elva Vigda, er det noe økende resistivitet. Dette tyder på at leira kan være mer utvasket i dette området.

Profil 6 (figur 7) krysser elva Vigda og her indikeres klare grenser mellom de forskjellige lagene. Øverst indikeres et tynt tørrskorpelag, over et lag med mulig kvikkleire. Videre indikeres marin leire som tydeligvis er utvasket i dalbunnen der profilet krysser elva. Sikringstiltak i elva gjør at elvebunnen er hevet ca. 2 m med steinmasser, noe som viser seg i meget høye resistivitetsverdier fra koordinat 530 til 650. Vest for elva indikeres fjell på ca. 60 m. Dypet er her meget usikkert på grunn av dårlig oppløsning i nedre delen av pseudoseksjonen, og at metoden ikke er den beste for kartlegging av dyp til fjell.

Profil 7 (nedre del av figur 7) går langs profil 4 fra koordinat 300 til 1000. Profilet er målt med tettere elektrodeavstand (5 m) enn profil 4, for å få bedre oppløsning i de øvre lag. Profilet viser stort sett samme resistivitetsbildet som øvre del av profil 4. Forskjellen består i at tørrskorpelaget kommer bedre fram, og det markeres flere detaljer i det underliggende leirlaget på profil 7. Fra koordinat 0 til 350 ligger resistiviteten innenfor området for mulig kvikkleire. Fjell indikeres helt i bunnen av pseudoseksjonen, muligens sammen med grovere materiale.

Profil 8 (figur 8) er det sydligste tverrprofil og krysser dalen med elva Vigda ved koordinat 630. I vest indikeres fjell og muligens grovere masser, og ut fra de seismiske målingene ligger trolig grensen ved overgangen til rød/lilla farge. Plott med annen fargeskala viser imidlertid flere detaljer i de høye resistivetsverdier, og det kan se ut som om fjellet ligger dypere enn målerekkevidden i området koordinat 160 til 400. Dette indikerer grovere masser med betydelig mektighet over fjell. Den sentrale delen av profilet består trolig av marin salt leire, mens øst for elva ligger mesteparten innenfor området for mulig kvikkleire.

Profil 9 (nedre del figur 8) krysser også dalen og ligger mellom profil 6 og 8. Resistivetsbildet viser stort sett samme forløp som for profil 8, og dypet til fjell i vest (koordinat 200 – 800) ser ut til å være ca 60 meter. Også her indikeres grovere masser med betydelig mektighet over fjell. Områdene med resistivitet for intakt marin salt leire er mindre enn for profilene 6 og 8, og mesteparten av løsmassene ligger her innefor området for mulig kvikkleire.

Profil 10 og 11 (figur 9) ligger i ei bukt like vest for Buvika sentrum. Profil 10 ligger helt i sjøkanten, mens profil 11 går over et jorde vest for E-39. Profilene viser stort sett samme forløp med et øvre lag med resistivitet innenfor området for mulig kvikkleire. Dypet til fjell ser ut til å være ca. 15 m i den sentrale delen av profil 11, og noe grunnere og mer uregelmessig på profil 10. I nord er det indikert fjell i dagen ved begge profilene. Spesielt på profil 10 indikeres lav resistivitet på dypet. Dette er ikke reelle verdier, men skyldes innvirkning av sjøen som er en meget god leder.

4.2 Refraksjonsseismikk

Geofysisk tolkning av de refraksjonsseismiske opptakene er vist i figur 10.

Terrengoverflaten er hovedsakelig tegnet ut fra tilgjengelig kartgrunnlag, men enkelte lokale variasjoner er tegnet ut fra observasjoner under feltarbeidet. Overflaten varierer fra 18 til 40 moh og ligger lavest rundt pos. 460 og høyest rundt pos. 110 og ved pos. 760.

Total løsmassetykkelse er beregnet å variere mellom 38 og 86 m og den er størst ved nordenden og minst sentralt i profilet i området pos. 430-520. Fjelloverflaten er beregnet å ligge stort sett mellom 20 og 30 m under havnivå i hele området mellom pos. 110 og 750 med høyeste nivå på 17 m under havnivå ved pos. 625. Fra pos. 180 til nordenden av profilet skråner fjelloverflaten betydelig ned fra 20 til 60 m under havnivå. Den skråner nedover mot sør i området pos. 690-790 fra 20 til 40 m under havnivå og fortsetter mellom 35 og 40 m under havnivå langs sørligste del av profilet. Seismisk hastighet i fjellgrunnen er beregnet å variere i området 5200-5600 m/s.

I løsmassene er det registrert to gjennomgående hastighetslag. Det er et 1-6 m tykt overflatelag med seismisk hastighet 500-800 m/s. Hastighetsvariasjonen indikerer inhomogene forhold, spesielt i nordlige halvdel av profilet. Hastighet på rundt 500 m/s langs sørlige halvdel indikerer forholdsvis tørt materiale, trolig sand-dominerte elve/strand-avsetninger, mens avsetningene lenger nord kan ha mer innslag av finstoff, men fremdeles ikke vannmettet.

I løsmassene under er det langs hele profilet registrert en seismisk hastighet på 1500-1550 m/s. Hastigheten regnes å representere finstoffrike vannmettede sedimenter (silt og leire).

Hastigheten i det nedre løsmasselaget er imidlertid ikke entydig, da også vannmettede grovkornige avsetninger (sand og grus) kan ha tilsvarende verdi. Dersom det i dypet finnes materiale med høyere seismisk hastighet (morene), kan denne ha betydelig tykkelse uten å bli oppdaget i registreringene (blindsone). Dyp til fjell vil da være noe større enn beregnet. Det kan også tenkes at det stedvis kan ligge umettede sorterte avsetninger under finstoffrike avsetninger. Da fås en hastighetsinversjon og beregnet dyp til fjell kan da være betydelig større enn reelt dyp. Dersom hastighetsverdiene som er funnet er representative, anslås det at usikkerheten i beregnet dyp til fjell gjennomgående er mindre enn 10%.

4.3 Georadar

Utskrift av georadaropptakene og lokaliseringskart for profilene er vist i kartbilag -03.

Det er gjennomgående meget begrenset penetrasjonsdyp langs alle profilene. Den varierer fra 3-4 m til maks 6-7 m og øker gjennomgående vestover i måleområdet. Den dårlige penetrasjonen indikerer at finstoffrikt materiale under overflatematerialet demper signalene kraftig. Georadarmålingene gir derfor ingen informasjon om eventuelle dypere liggende grove avsetninger i området.

Refleksjonsmønsteret varierer fra nær horisontale reflektorer i noen områder til ujevne og usammenhengende reflektorer i andre. Geologisk tolkning er noe usikker. Det er imidlertid observert lagdelt sand og leire i området, en avsetningstype som er forenlig med refleksjonsmønsteret.

Lengst sør i P4 (posisjon 0 til ca. 60) og i vestlige del av P3 kommer det inn kraftig og skarp refleksor på et tilsynelatende dyp på fra 6 til 8 m. Dette regnes å være støysignal fra en stor kraftlinje i området. Georadaropptakene generelt skjemmes av mye bakgrunnsstøy, trolig forårsaket av Vassfjellsenderen.

4.4 Borehullsmålinger og analyse av kjerneprøve

4.4.1 Resistivitet- og IP-målinger i DBh 1

Resistivitet- og IP-målingene er vist i figur 11. Målingene viser at resistiviteten ligger på ca. 10 Ω m fra 2 til 8 m, for å øke til ca. 40-50 Ω m videre ned til ca. 19 m. IP-verdiene varierer noe mer, men de fleste ligger i området 10 – 25 ms. Fra bakkemålingene utenfor profil 2 ser vi at IP-effekten kun sporadisk overstiger 2 ms i fjell (profil 1, figur 1 og 2, profil 4, figur 6). Dette bekrefter bakkemålingene (profil 2), både når det gjelder resistivitet og IP. Dette er anomale verdier i fjell, og analysen av borekjernen (se databilag 2) viser at anomaliårsaken skyldes et vesentlig innslag av grafitt med noe innslag av sulfider.

4.4.2 Analyse av borekjerne

Bergarten er en fyllitt med vekslende innhold av muskovitt, kloritt, kvarts og karbonat. I tillegg inneholder den grafitt og sulfid i en del partier (se databilag 2). Loggingen ble gjort med tanke på se på vekslingen av disse mineralene, men bare på visuelt grunnlag. Mengdebetegnelse er derfor relative og det er ikke gjort forsøk på noe prosentangivelser, noe som ville innebære studier av tynnslip. Prøvene kan inneholde grafitt selv om dette ikke er angitt, men bare i små mengder. Kjernen er 20m lang.

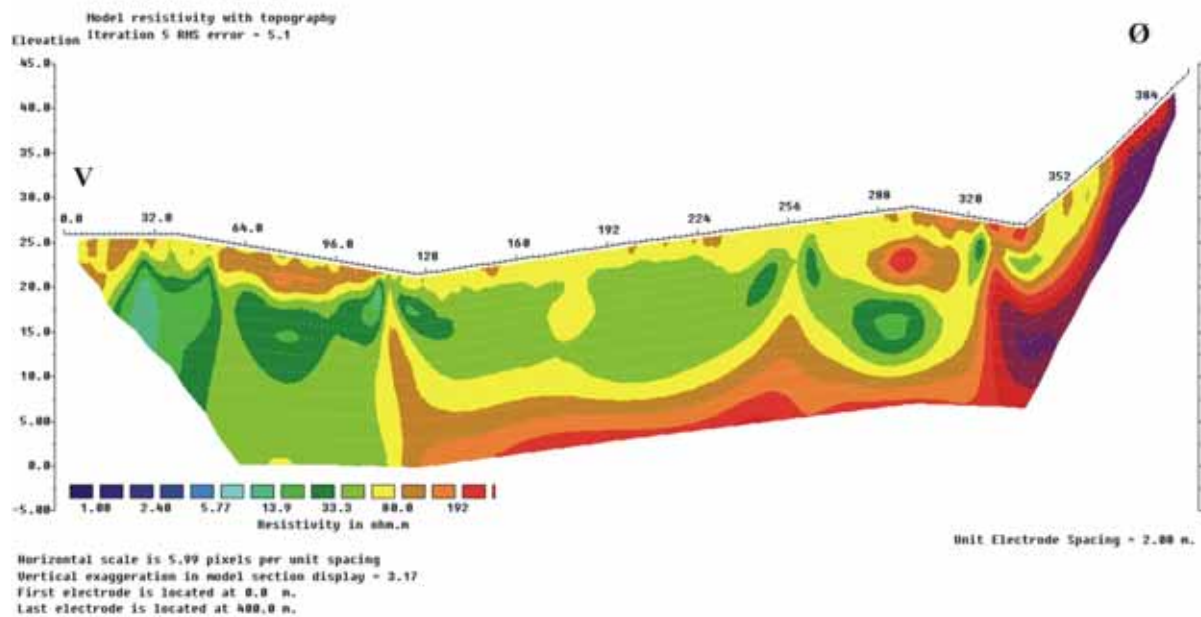
Buvika Profil 1a

Resistivitet

Wenner (El.avst. 2m)

Standard inversjon

Vert/Hor. Filter = 0.5

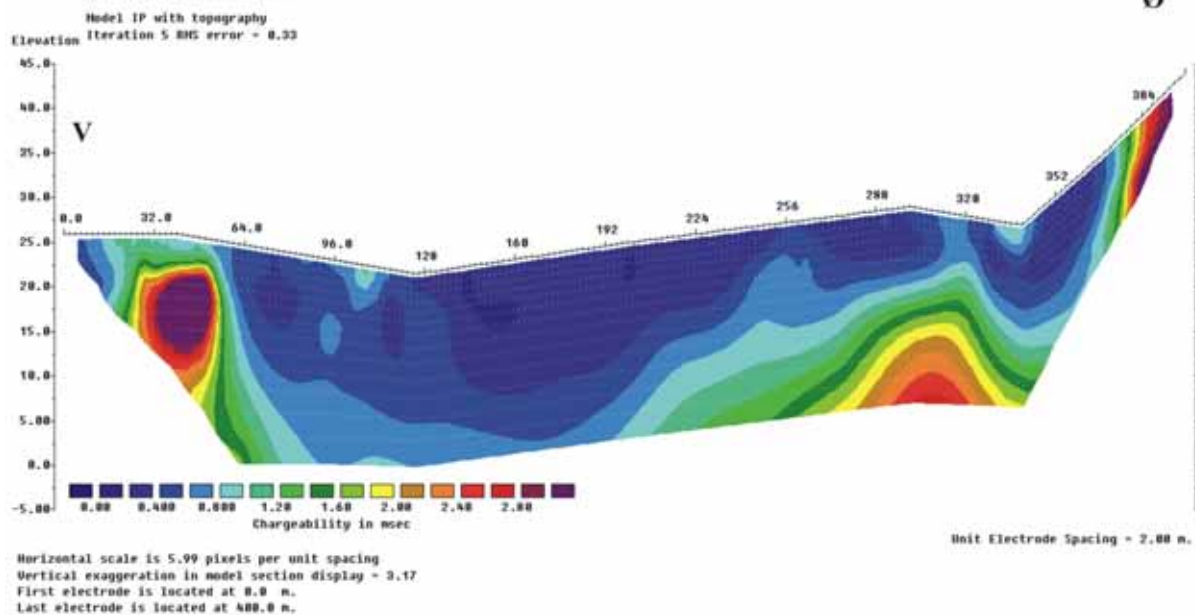


IP

Wenner (el.avst. 2m)

Standard inversjon

Vert/Hor. Filter = 0.5



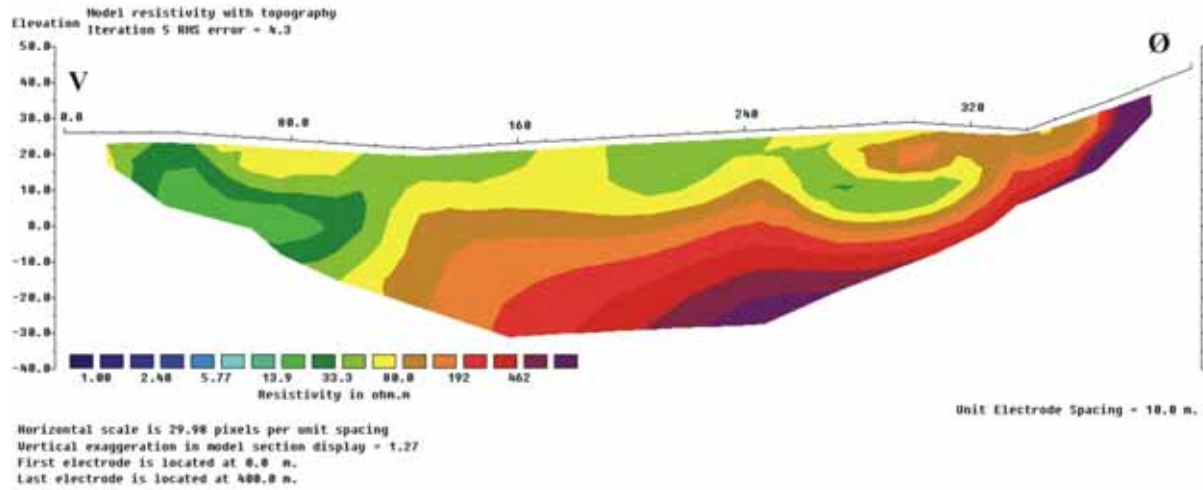
Figur 1. Profil 1a. Modellert resistivitet og IP, Wenner, elektrodeavstand 2 meter.

Buvika

Profil 1b

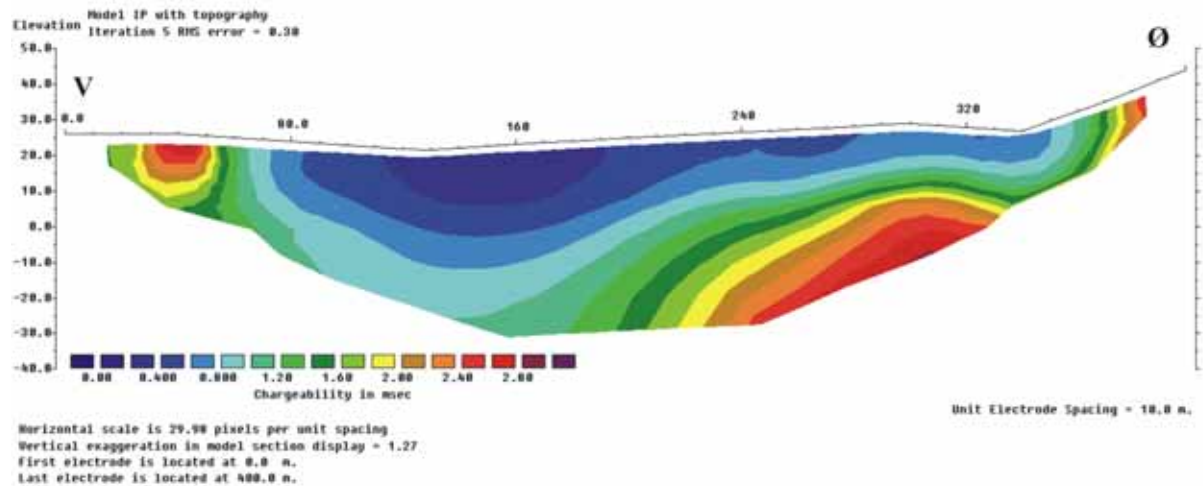
Resistivitet

Wenner (El.avst. 10m)
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 0.5



IP

Wenner (el.avst. 10m)
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 0.5



Figur 2. Profil 1b. Modellert resistivitet og IP, Wenner, elektrodeavstand 10 meter.

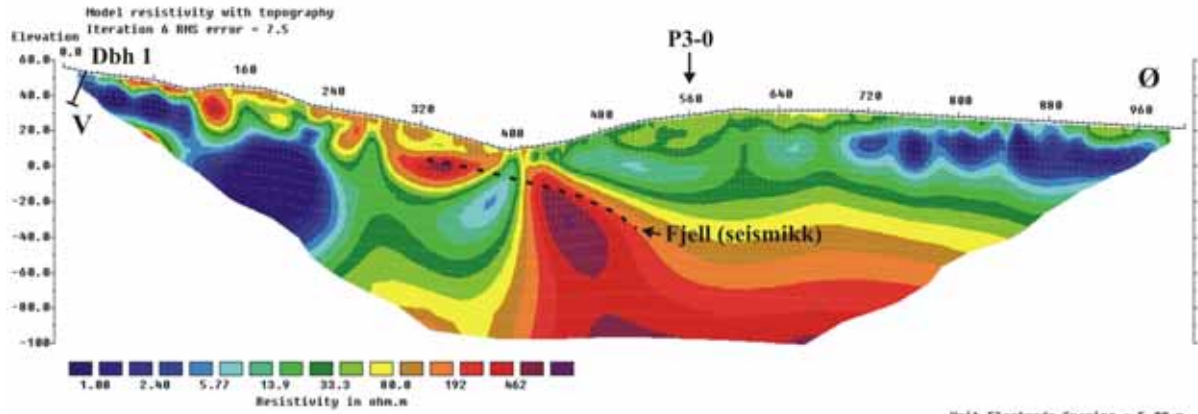
Buvika Profil 2a

Resistivitet

Wenner (El.avst. 10m)

Standard inversjon

Vert/Hor. Filter = 0.5



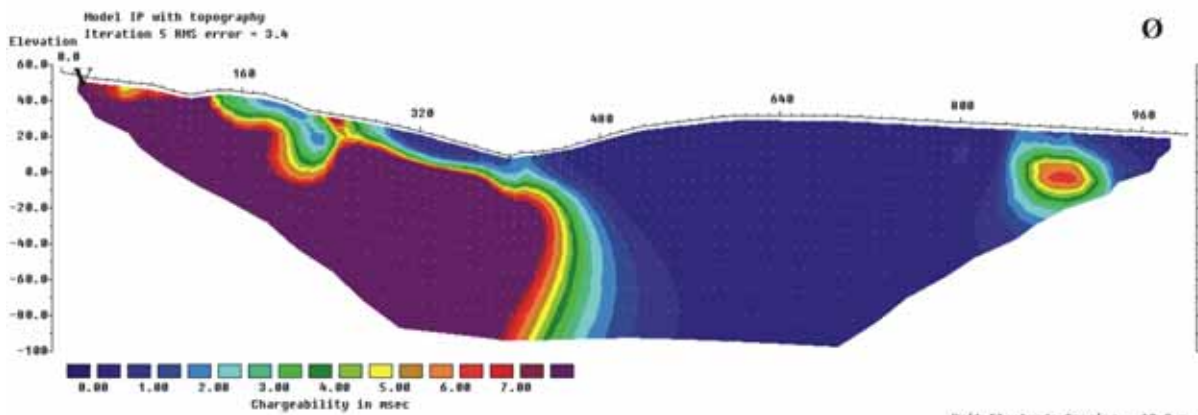
Horizontal scale is 5.99 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.58
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 1000.0 m.

IP

Wenner (el.avst. 10m)

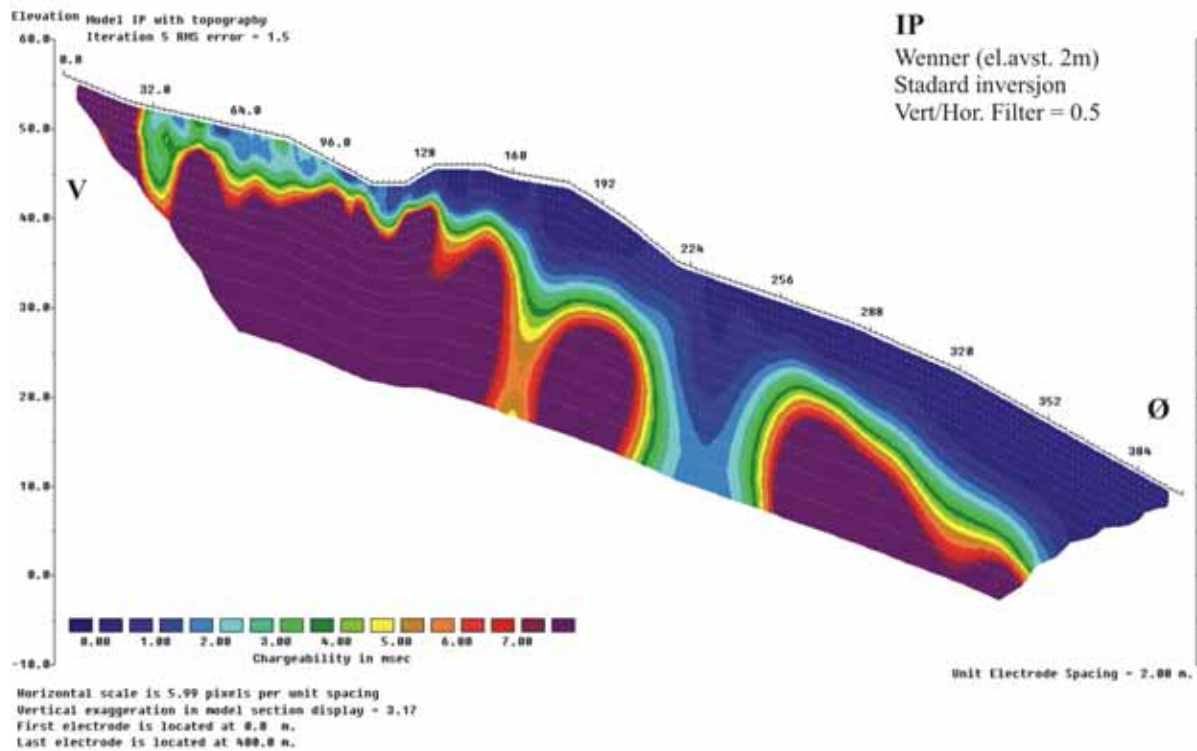
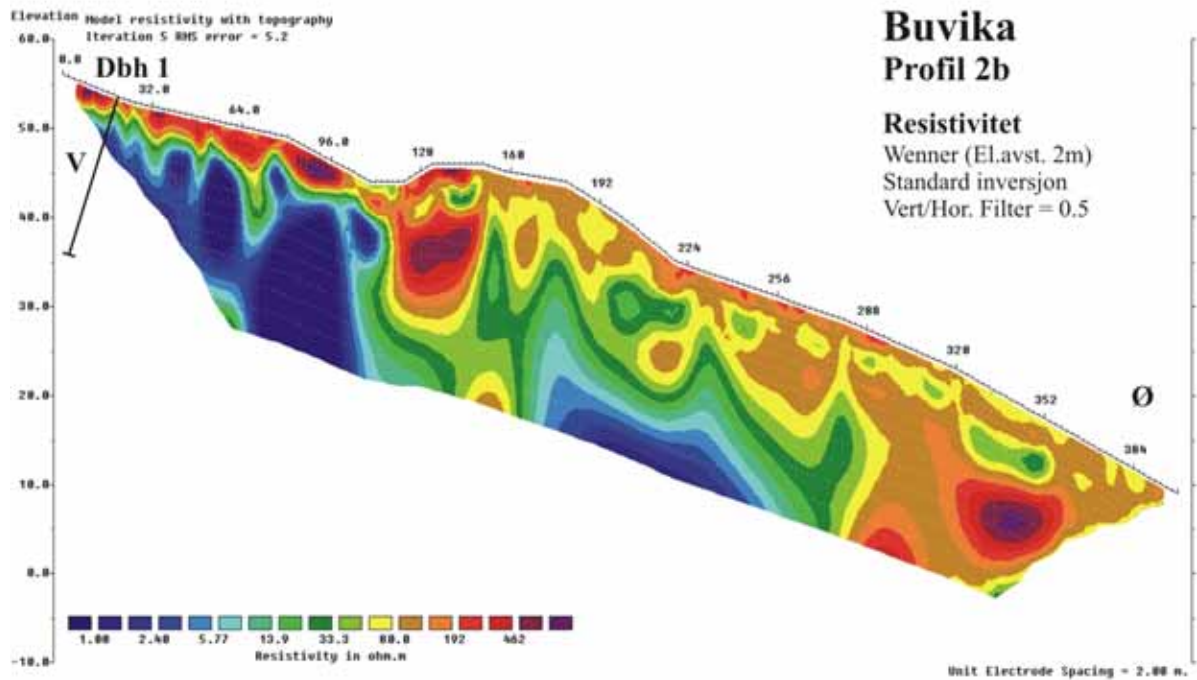
Standard inversjon

Vert/Hor. Filter = 0.5



Horizontal scale is 11.99 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.58
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 1000.0 m.

Figur 3. Profil 2a. Modellert resistivitet og IP, Wenner, elektrodeavstand 10 meter.



Figur 4. Profil 2b. Modellert resistivitet og IP, Wenner, elektrodeavstand 2 meter.

Buvika

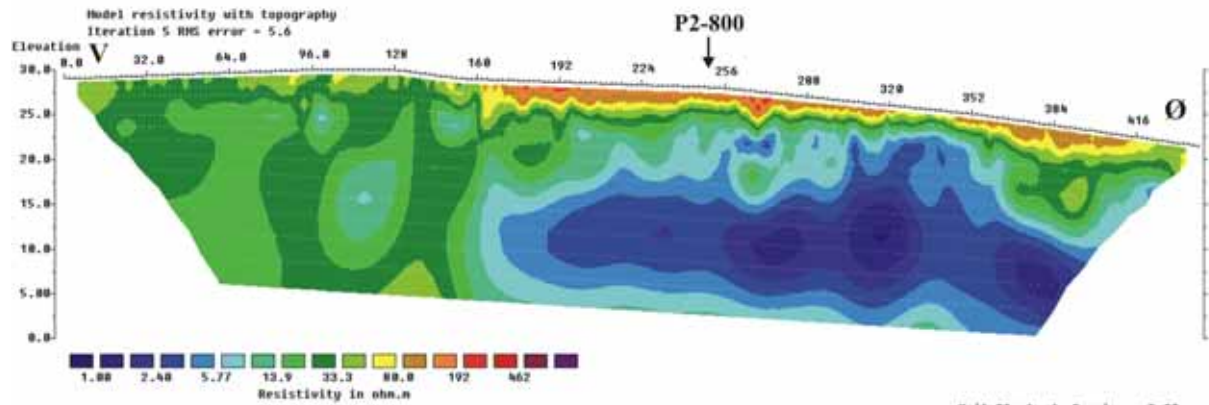
Profil 3

Resistivitet

Wenner (El.avst. 2m)

Standard inversjon

Vert/Hor. Filter = 0.5



Horizontal scale is 5.45 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 3.48
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 416.0 m.

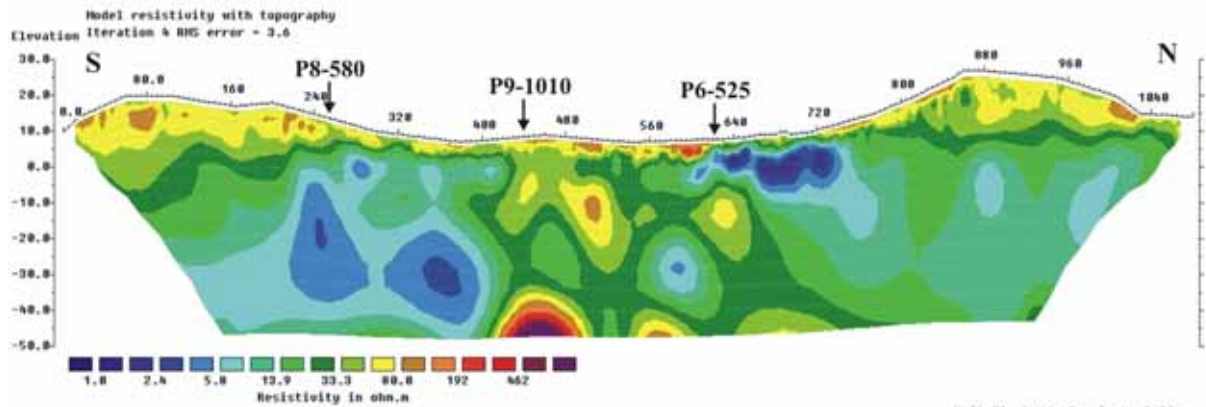
Profil 5

Resistivitet

Wenner (El.avst. 5m)

Standard inversjon

Vert/Hor. Filter = 0.5



Horizontal scale is 5.55 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 3.42
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 1000.0 m.

Figur 5. Profil 3 og 5. Modellert resistivitet, Wenner, elektrodeavstand 2 og 5 meter.

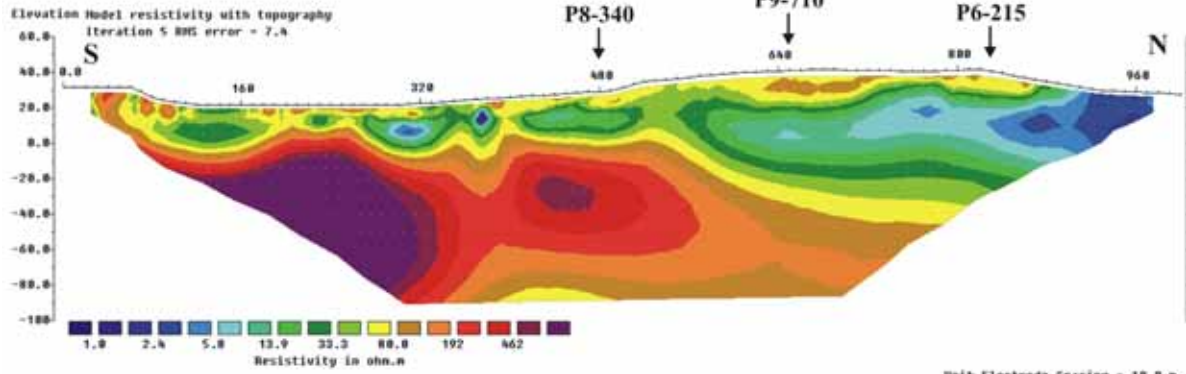
Buvika

Profil 4

Resistivitet

Wenner (El.avst. 10m)
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 0.5

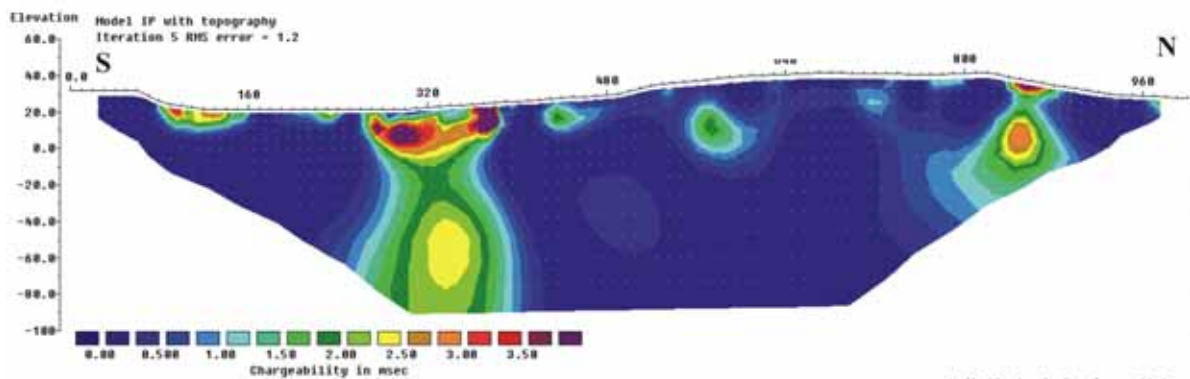
Profil 7 (5m)



Horizontal scale is 11.99 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.58
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 1000.0 m.

IP

Wenner (el.avst. 10m)
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 0.5



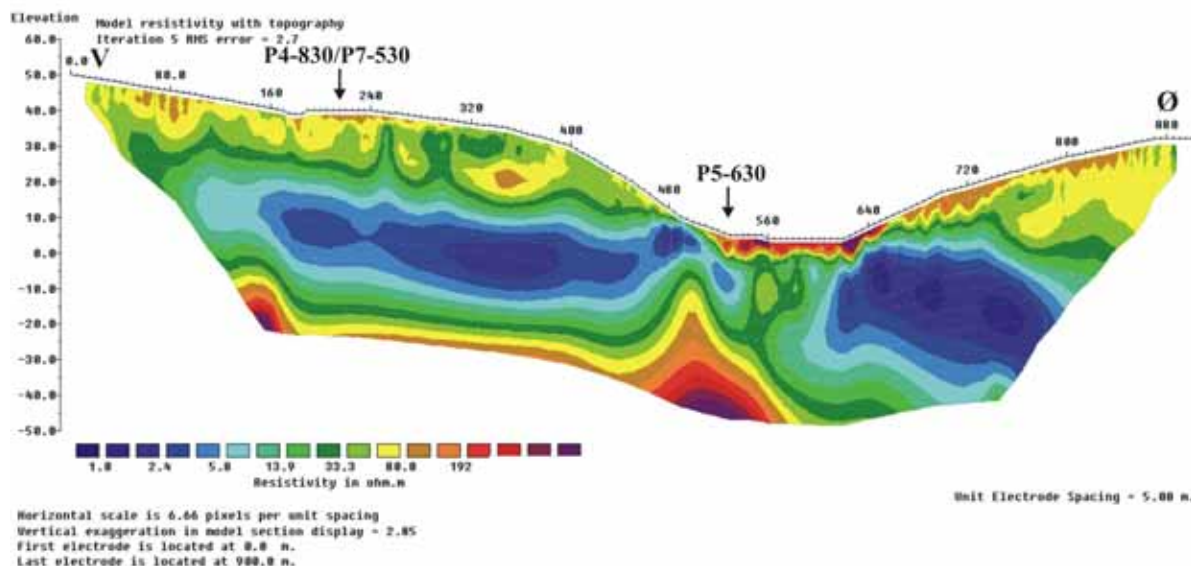
Horizontal scale is 11.88 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.63
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 1000.0 m.

Figur 6. Profil 4. Modellert resistivitet og IP, Wenner, elektrodeavstand 10 meter.

Buvika

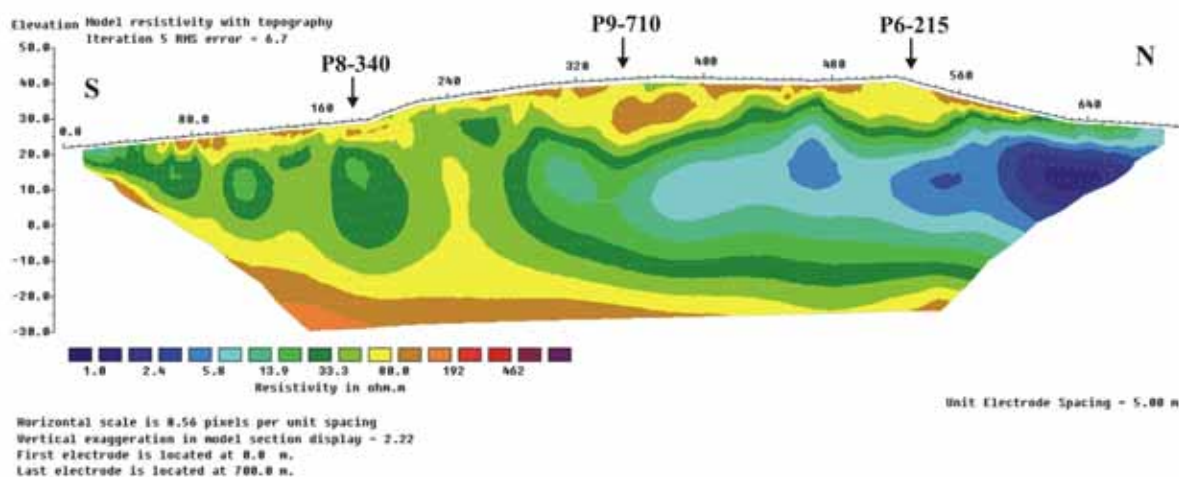
Profil 6

Resistivitet
 Wenner (El.avst. 5m)
 Standard inversjon
 Vert/Hor. Filter = 0.5



Profil 7

Resistivitet
 Wenner (El.avst. 5m)
 Standard inversjon
 Vert/Hor. Filter = 0.5



Figur 7. Profil 6 og 7. Modellert resistivitet, Wenner, elektrodeavstand 5 meter.

Buvika

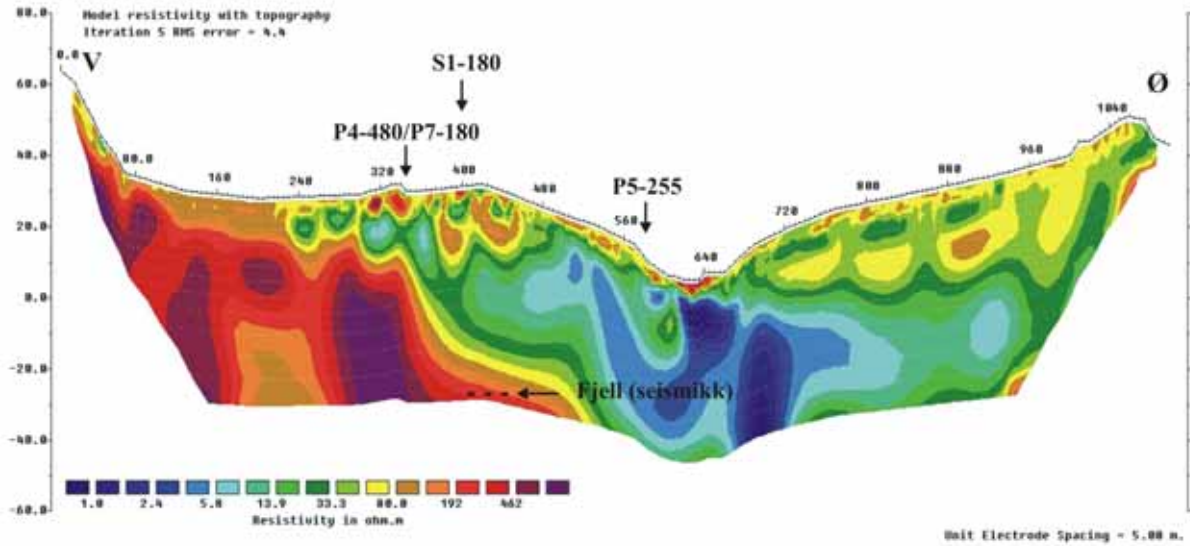
Profil 8

Resistivitet

Wenner (El.avst. 5m)

Standard inversjon

Vert/Hor. Filter = 0.5



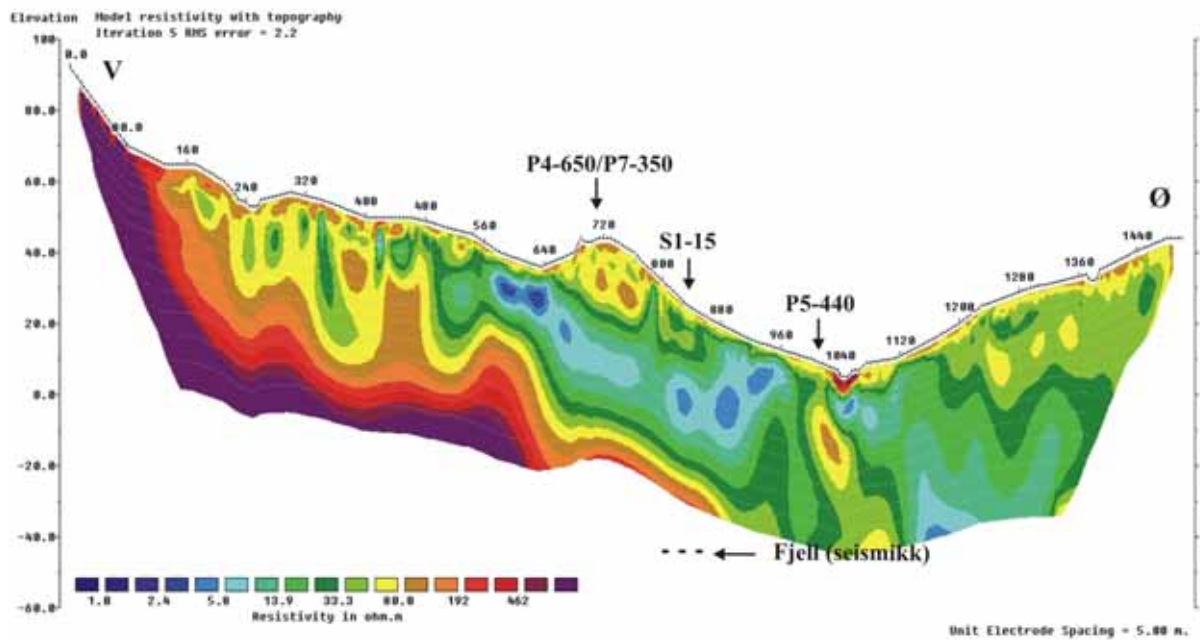
Profil 9

Resistivitet

Wenner (El.avst. 5m)

Standard inversjon

Vert/Hor. Filter = 0.5



Figur 8. Profil 8 og 9. Modellert resistivitet, Wenner, elektrodeavstand 5 meter.

Buvika

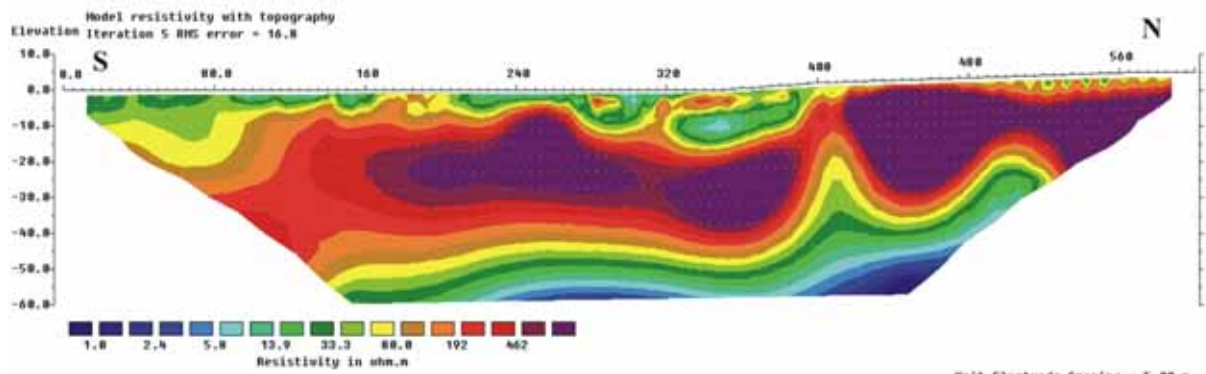
Profil 10

Resistivitet

Wenner (El.avst. 5m)

Standard inversjon

Vert/Hor. Filter = 0.5



Horizontal scale is 9.99 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.98
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 600.0 m.

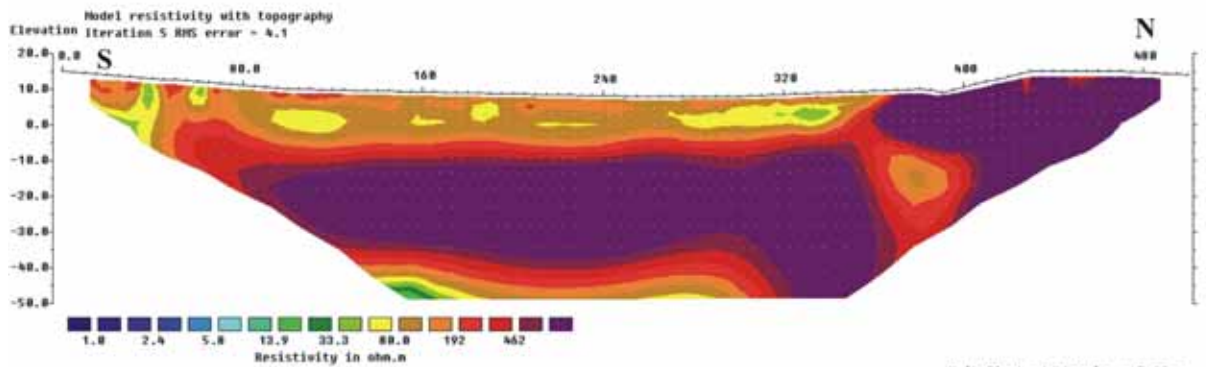
Profil 11

Resistivitet

Wenner (El.avst. 5m)

Standard inversjon

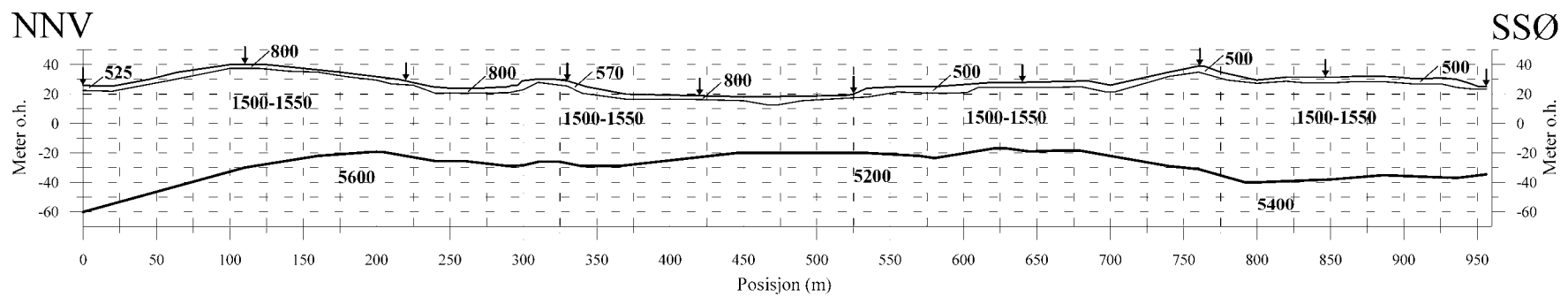
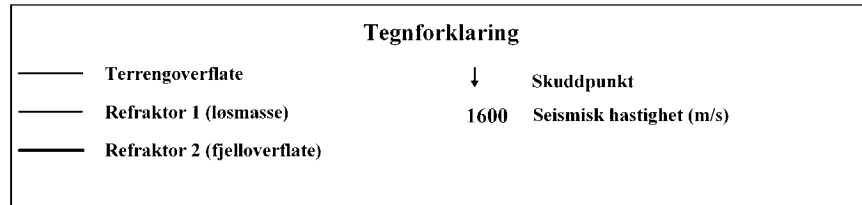
Vert/Hor. Filter = 0.5



Horizontal scale is 11.99 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.58
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 500.0 m.

Figur 9. Profil 10 og 11. Modellert resistivitet, Wenner, elektrodeavstand 5 meter.

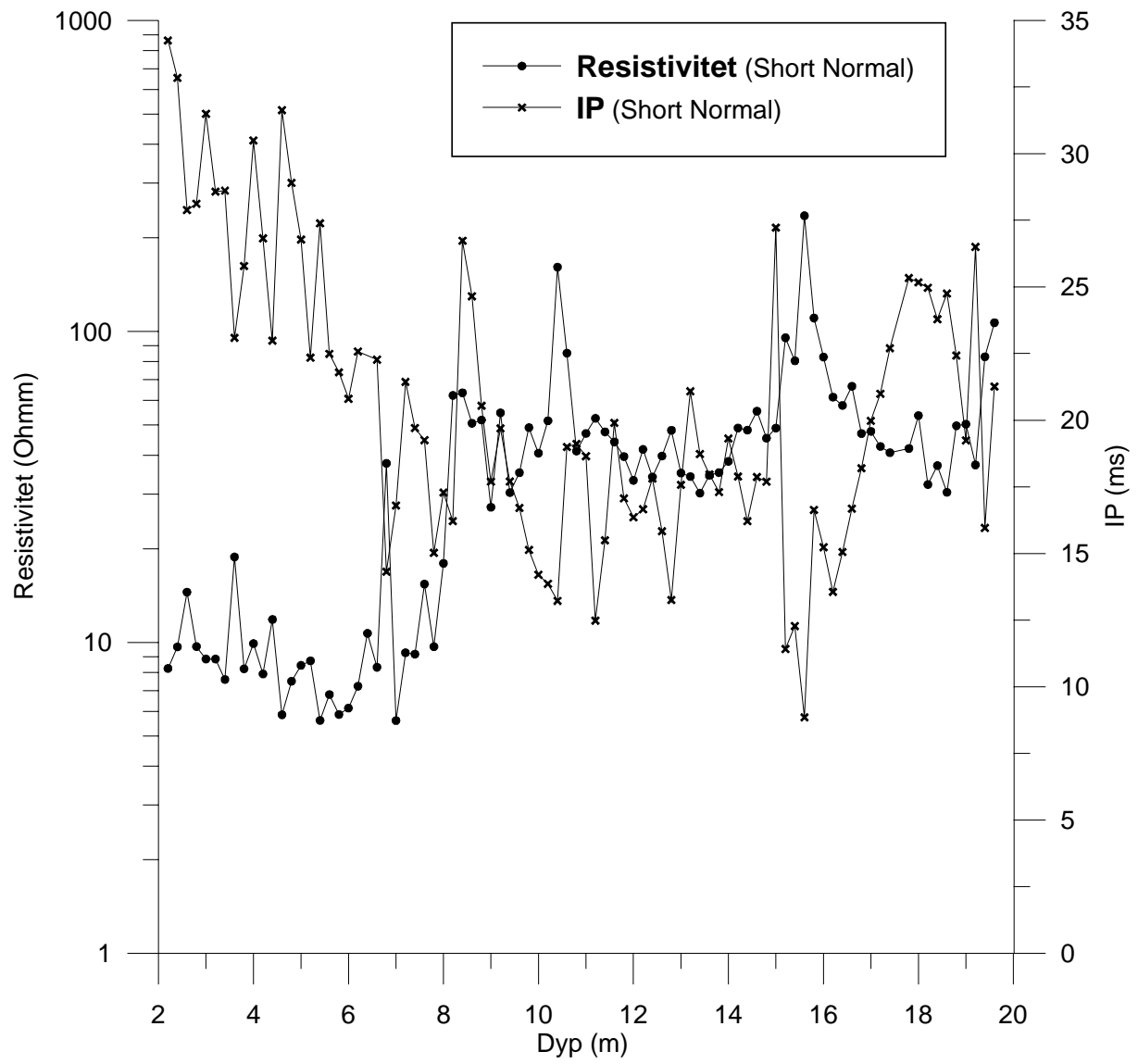
BUVIKA, refraksjonsseismisk profil S1



Figur 10. Refraksjonsseismisk tolkning, profil S1.

Buvika

DBh 1



Figur 11. Borehullsmålinger DBh 1.

5. KONKLUSJON

For å kartlegge løsmasseavsetningene i Buvika er det målt til sammen ca. 10 km med 2D resistivitet, ca. 1,9 km georadar og ca. 1 km med refraksjonsseismikk. I tillegg ble det målt induert polarisasjon (IP) langs 3 profiler, til sammen ca. 3,2 km.

Refraksjonsseismikken som her rapporteres, viser løsmassemektheter på fra ca. 40 til ca. 90 m. Seismisk hastighet er forenlig med fjordavsetninger, men morene eller andre grove masser kan forekomme i "blindsoner" over fjell.

Resistivitetmålingene gir mer uklare anslag på løsmassemekthet, men kan til gjengjeld bedre karakterisere løsmassene. Ut fra kunnskap ervervet i det aktuelle doktorgradsarbeidet, og fra andre kilder kan det konkluderes med at salt intakt leire viser resistivitetsverdier i intervallet 1 til 10 Ωm , mens kvikkleire faller i intervallet 10 til 80 Ωm . Tørrskorpeleire viser resistivitetsverdier i området 60 til 200 Ωm .

Måling av induert polarisasjon (IP) på løsmassene har ikke bidratt til karakterisering av leira. Målingene påviste imidlertid klart en grafittholdig bergart og kunne skille denne fra leire med tilsvarende resistivitet.

Målingene med georadar viser moderat penetrasjon til maksimum 7 m. Refleksjonsmønsteret varierer fra nær horisontale reflekser i noen områder til ujevn og usammenhengende reflektorer i andre. Refleksjonsmønsteret er forenlig med masser av lagdelt sand og leire som er observert i området.

En mer utfyllende geologisk tolkning av data blir foretatt i Inger-Lise Solbergs doktorgradsarbeide.

6. REFERANSER

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

Berger, B. 1983. Geofysiske metoder anvendt i ingeniørgeologiske undersøkelser. Dr. ing. avhandling, Institutt for petroleumsteknologi og anvendt geofysikk, NTH.

Dahlin, T., Larson, R., Leroux, V., Svenson, M. & Wisén, R. 2001: Geofysik i släntstabilitetsutredningar. Statens geotekniska institut (SGI) Rapport 62.

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.

Hillestad, G. 1963. Seismiske undersøkelser i Buvika 10.-15. desember 1962. GM Rapport 397, NGU.

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

Pedersen, O. C. 2003. OPS E39 Klett - Bårdshaug. Vigda bru, Hammerbekken bru og Børsla bru. Refraksjonsseismiske grunnundersøkelser. Rapport 231503.1, GEOMAP A.S.

Rye, O.A. and Lefstad, O. 1987. Rv 65 Klett - Orkanger. Geotekniske og seismiske undersøkelser. Datarapport. Rapport 6105.2, Kummeneje A.S.

Solberg, I. L., Dalsegg, E, Hansen, L., Rokoengen, K og Rønning, J. S. *In prep.* Resistivity measurements as a tool for outlining quick clay extent: Case study from Buvika, Middle Norway.

Innmålte profiler (WGS-84)

Resistivitetsprofiler (Res. Profil 1-11), Refraksjonsseismikkprofil (Seis. S1), Georadarprofiler (GPR P1-P6) og Fjellboring. Koordinatene er målt med håndholdt GPS.

	Koordinat	WGS-84 Nord	WGS-84 Øst	NGO48 Nord	NGO48 Øst
Res. profil 1 a og b	0	7020702	559677	591674	-26408
	125	7020769	559773	591738	-26310
	200	7020812	559835	591780	-26247
	300	7020874	559919	591839	-26161
	340	7020897	559945	591862	-26135
	370	7020925	559972	591889	-26107
	400	7020941	559991	591904	-26088
Res. profil 2 a og b	0	7020645	558122	591659	-27965
	80	7020607	558194	591619	-27894
	160	7020567	558256	591577	-27833
	200	7020550	558286	591559	-27803
	280	7020501	558338	591509	-27752
	320	7020474	558389	591481	-27702
	520	7020371	558544	591373	-27550
	600	7020368	558625	591368	-27469
	700	7020342	558724	591340	-27371
	750	7020327	558770	591323	-27325
	800	7020337	558815	591332	-27280
	1000	7020355	559017	591345	-27077
Res. profil 3	0	7020412	558596	591413	-27497
	40	7020405	558616	591405	-27477
	80	7020393	558662	591392	-27431
	120	7020386	558701	591384	-27392
	160	7020371	558738	591368	-27356
	200	7020339	558766	591335	-27329
	240	7020329	558806	591324	-27289
	280	7020331	558848	591325	-27247
	320	7020347	558882	591340	-27213
	360	7020348	558919	591340	-27179
	440	7020366	559006	591356	-27088
Res. profil 4	0	7019441	559219	590425	-26900
	100	7019521	559166	590507	-26951
	200	7019629	559154	590615	-26960
	300	7019720	559138	590706	-26973
	400	7019820	559122	590807	-26987
	500	7019912	559083	590900	-27023
	600	7019997	559031	590986	-27073
	700	7020063	558955	591054	-27147
	800	7020134	558889	591127	-27211
	900	7020226	558845	591220	-27253
	1000	7020324	558850	591318	-27245
Res. profil 5	15	7019786	559357	590767	-26753

	80	7019847	559344	590828	-26764
	180	7019945	559308	590927	-26797
	280	7020036	559276	591019	-26827
	380	7020123	559245	591107	-26856
	480	7020220	559221	591204	-26877
	580	7020294	559155	591280	-26941
	680	7020400	559117	591387	-26976
	780	7020472	559071	591460	-27020
	880	7020556	559018	591546	-27071
	980	7020655	558988	591645	-27098
	1080	7020749	558961	591740	-27123
Res. profil 6	0	7020046	558708	591044	-27395
	100	7020090	558798	591086	-27303
	200	7020139	558883	591132	-27217
	Bh 101	7020136	558874	591129	-27226
	300	7020197	558967	591188	-27132
	400	7020256	559046	591245	-27051
	500	7020312	559125	591299	-26970
	Bh 1	7020334	559145	591320	-26950
	600	7020383	559201	591368	-26893
	655/E 39	7020410	559238	591394	-26855
	700	7020448	559270	591431	-26822
	800	7020495	559357	591476	-26734
	900	7020535	559452	591513	-26637
	Brønn	7020484	559351	591465	-26740
Res. profil 7	0	7019720	559138	590706	-26973
	100	7019820	559122	590807	-26987
	200	7019912	559083	590900	-27023
	300	7019995	559020	590985	-27084
	400	7020061	558947	591053	-27155
	500	7020138	558877	591131	-27223
	600	7020224	558841	591218	-27257
	700	7020330	558849	591324	-27246
Res. profil 8	0	7019732	558808	590727	-27303
	100	7019767	558894	590760	-27216
	200	7019807	558971	590798	-27138
	300	7019858	559058	590847	-27050
	400	7019919	559135	590905	-26971
	500	7019973	559214	590957	-26891
	600	7020031	559302	591013	-26801
	700	7020060	559398	591039	-26704
	800	7020094	559484	591071	-26617
	900	7020113	559582	591087	-26519
	1000	7020134	559680	591106	-26420
	1100	7020138	559784	591107	-26316
Res. profil 9	0	7019663	558368	590670	-27745
	100	7019689	558481	590693	-27631
	200	7019746	558564	590748	-27547
	300	7019802	558650	590801	-27459

	400	7019852	558735	590849	-27373
	500	7019905	558820	590900	-27286
	600	7019962	558901	590955	-27204
	700	7020016	558980	591007	-27123
	800	7020075	559065	591063	-27037
	900	7020128	559143	591114	-26957
	1000	7020182	559226	591166	-26873
	1100	7020231	559313	591213	-26785
	1200	7020276	559401	591255	-26695
	1300	7020328	559484	591305	-26611
	1400	7020372	559570	591347	-26524
	1500	7020406	559667	591378	-26426
Res. profil 10	0	7021127	557951	592145	-28123
	100	7021196	557874	592216	-28198
	200	7021250	557792	592273	-28278
	300	7021318	557721	592342	-28347
	400	7021413	557685	592438	-28381
	500	7021508	557657	592534	-28406
	600	7021588	557601	592616	-28460
Res. profil 11	0	7021092	557792	592115	-28282
	100	7021175	557752	592199	-28320
	200	7021267	557686	592292	-28384
	300	7021359	557651	592385	-28416
	400	7021455	557642	592482	-28423
	500	7021542	557602	592570	-28460
Seis. profil S1	0	7020105	559088	591093	-27013
	110	7020003	559119	590990	-26985
	220	7019895	559154	590881	-26953
	330	7019794	559186	590779	-26923
	420	7019708	559212	590692	-26900
	525	7019608	559242	590592	-26872
	640	7019499	559275	590482	-26842
	761	7019387	559316	590369	-26804
	846	7019312	559340	590293	-26782
	956	7019213	559387	590193	-26738
GPR profil P1	0	7019729	559111	590716	-27000
	246	7019643	558881	590636	-27233
GPR profil P2	0	7019543	558931	590535	-27185
	196	7019622	559117	590609	-26997
GPR profil P3	0	7019520	559124	590507	-26993
	156	7019469	558971	590460	-27147
GPR profil P4	0	7019469	559007	590459	-27111
	533	7019982	558852	590976	-27252
GPR profil P5	0	7020012	558931	591004	-27173
	550	7019490	559114	590477	-27004
GPR profil P6	0	7019844	559088	590832	-27020
	200	7019803	558888	590796	-27221
Borehull DBh 1		7020667	558126	591681	-27960

Analyse av borekjerne DBh 1.

Topp

0-30cm: Kvartsrik fyllitt
30-45cm: Fyllitt med mye grafitt
45-125cm: Kvartsrik fyllitt, 70-100cm i tillegg rik på karbonat
125-150cm: Karbonatførende fyllitt
150-177cm: Kvartsrik fyllitt
177-194cm: Kvartsåre
194-200cm: Kvartsrik fyllitt
200-212cm: Fyllitt med mye grafitt
212-268cm: Fyllitt med noe karbonat
268-276cm: Kvartsåre
276-320cm: Fyllitt med ganske mye grafitt og noe karbonat.
320-342cm: Fyllitt med ganske mye karbonat.
342-390cm: Homogen kvartsfyllitt
390-400cm: Fyllitt med ganske mye karbonat
400-410cm: Kvartsfyllitt
410-425cm: Kvartsåre
425-450cm: Karbonatførende fyllitt
450-455cm: Kvartsåre
455-480cm: Fyllitt med noe karbonat
480-500cm: Svært karbonatrik fyllitt
500-510cm: Kvartsåre
510-530cm: Fyllitt med noe karbonat og kvarts
530-620cm: Fyllitt rik på karbonat, mellom 550-590cm spredte korn av magnetkis.
620-675cm: Fyllitt med en god del grafitt som spredte korn.
675-723cm: Fyllitt med noe karbonat
723-735cm: Fyllitt med ganske mye grafitt
735-757cm: Fyllitt med noe karbonat
757-760cm: Kvartsåre
760-770cm: Fyllitt med noe karbonat
770-775cm: Kvartsåre
775-800cm: Fyllitt med årer av karbonat
800-820cm: Vanlig fyllitt
820-840cm: Fyllitt ned noe grafitt
840-860cm: Fyllitt svært rik på grafitt
860-885cm: Fyllitt med noe grafitt og karbonat
885-910cm: Fyllitt svært rik på grafitt
910-1000cm: Relativt ensartet fyllitt ned noe grafitt, dessuten magnetkis
1000-1170cm: Fyllitt svært rik på grafitt
1070-1115cm: Fyllitt med relativt mye grafitt og karbonat
1115-1200cm: Fyllitt med litt grafitt og ganske mye karbonat.
1200-1300cm: Mørk homogen fyllitt med litt grafitt og magnetkis; også noe karbonat
1300-1400cm: Homogen fyllitt med årer av karbonat, noen korn grafitt og en del sulfid
1400-1500cm: Homogen fyllitt med noe karbonat, spor av grafitt og litt sulfid
1500-1526cm: Fyllitt med spor av grafitt og litt karbonat

1526-1540cm: Fyllitt med noe grafitt
1540-1570cm: Sandig fyllitt
1570-1580cm: Fyllitt med uregelmessige kvartsårer
1580-1600cm: Fyllitt rik på karbonat
1600-1700cm: Karbonatrik fyllitt med noe sulfider
1700-1800cm: Fyllitt med spor av grafitt og noe karbonat
1800-1900cm: Karbonatrik fyllitt med spor av grafitt
1900-1942cm: Karbonatrik fyllitt
1942-1952cm: Kvartsåre
1952-1963cm: Karbonatrik fyllitt
1963-1969cm: Kvartsåre
1969-2000cm: Fyllitt med spor av grafitt
Bunn

REFRAKSJONSSEISMIKK - METODEBESKRIVELSE

Metoden baserer seg på at lydets forplantningshastighet forandrer seg med mediets elastiske egenskaper. Det aktuelle hastighetsområde i den såkalte ingeniørseismikk er fra ca. 200 m/s i visse typer porøst overdekke til godt over 5000 m/s i enkelte bergarter.

En 'lydstråle' fra en sprengning i overflaten treffer en grense mellom to sjikt hvor lydhastigheten er henholdsvis V_1 og V_2 , og vinkelen mellom lydstråle og innfallslodd kalles i . Etter at strålen har passert sjiktgrensen vil den danne en vinkel R med innfallsloddet, slik at

$$\sin i / \sin R = V_1 / V_2$$

Når $R=90^\circ$, vil den refrakterte stråle følge sjiktgrensen, og vi har

$$\sin i = V_1 / V_2$$

Den bestemte innfallsvinkel som tilfredsstiller denne betingelse kalles kritisk vinkel eller i_c .

Lydforplantningen langs sjiktgrensen vil gi opphav til sekundærbølger som returnerer til terrengoverflaten under vinkelen i_c . I en viss kritisk avstand fra skuddpunktet vil disse refrakterte bølger nå fram før de direkte bølger som har fulgt terrengoverflaten. Den kritiske avstand er proporsjonal med dypet til sjiktgrensen og forøvrig bare avhengig av forholdet mellom de to hastigheter. Denne sammenheng utnyttes ved å plassere seismometre (geofoner) langs en rett linje i terrenget og registrere de først ankomne bølger fra skudd i hensiktsmessig valgte posisjoner langs samme linje. Man får da bestemt de nødvendige data for å fastlegge dypene til sjiktgrensen. Dersom overdekket er homogent med hensyn på lydhastigheten langs profilet, kan det oppnås en god dybdebestemmelse for hver seismometerposisjon. Imidlertid vil det ofte være betydelige laterale variasjoner til stede, og overdekkehastighetene blir ved små dyp bare bestemt i nærheten av skuddpunktene. Ofte vil det derfor være naturlig å legge størst vekt på dybdebestemmelsen under skuddpunktene.

Disse betraktninger kan utvides til å gjelde flere sjiktgrenser. Man får refrakterte bølger fra alle grenser når hastigheten i det underliggende medium er større enn i det overliggende. Kontrasten må være av en viss størrelse, og vinkelen mellom sjiktgrense og terrengoverflate må ikke være for stor. I praksis vil man ofte få vanskeligheter når denne vinkel overstiger 25° .

Det forekommer at en sjiktgrense ikke avspeiler seg i gangtidsdiagrammene, fordi de refrakterte bølger fra denne grense når overflaten seinere enn fra en dypere grense. Det foreligger da en såkalt 'blind sone', og de virkelige dyp kan være vesentlig større enn de beregnete. En annen feilkilde er til stede hvis man har et sjikt med lavere hastighet enn det overliggende. Fra denne sjiktgrense vil det ikke komme refrakterte bølger til overflaten, og lavhastighetssjiktet vil ikke kunne erkjennes av måledata. Generelt kan det sies at usikkerheten i de beregnete dyp øker med antall sjikt. Med analog apparatur vil en kunne bestemme første ankomsttid med en usikkerhet på

1 millisekund ved middels god opptakskvalitet. Hvis overdekkehastigheten er 1600 m/s, tilsvarer dette en usikkerhet på ca. 0,8 m i dybdebestemmelsen på grunn av avlesningsfeil. I tillegg kommer eventuelle feil på grunn av at forutsetningene om isotropi og homogenitet ikke gjelder fullt ut.

Ved meget god datakvalitet kan første ankomsttid avleses med 0.5 millisekunders nøyaktighet. Med denne nøyaktigheten er det allikevel urealistisk å regne med mindre enn 0.5 m usikkerhet i dybdeangivelsene. Ved meget små dyp til fjell (mindre enn én meter) blir overdekkehastigheten dårlig bestemt, og man må regne med prosentvis store feil i dybdeangivelsene.

P-BØLGEHASTIGHET I NOEN MATERIALTYPER

<i>Luft</i>		<i>330 m/s</i>
<i>Vann</i>		<i>1400-1500 m/s</i>
<i>Organisk materiale</i>		<i>150-500 m/s</i>
<i>Sand og grus</i>	<i>- over vannmettet sone</i>	<i>200-800 m/s</i>
<i>Sand og grus</i>	<i>- i vannmettet sone</i>	<i>1400-1700 m/s</i>
<i>Morene</i>	<i>- over vannmettet sone</i>	<i>700-1500 m/s</i>
<i>Morene</i>	<i>- i vannmettet sone</i>	<i>1500-1900 m/s</i>
<i>Hardpakket bunnmorene</i>		<i>1900-2800 m/s</i>
<i>Leire</i>		<i>1100-1800 m/s</i>
<i>Oppsprukket fjell</i>		<i>< 4000 m/s</i>
<i>Fast fjell</i>		<i>3500-6000</i>

GEORADAR - METODEBESKRIVELSE

Georadar er en elektromagnetisk målemetode som kan benyttes til undersøkelse av lagdeling og strukturer i grunnen. Med en spesiell antenne sendes elektromagnetiske bølgepulser ned i jorda. En del av bølgeenergien blir reflektert tilbake til overflaten når bølgen treffer et objekt som representerer en endring i mediets dielektriske egenskaper. Refleksjonen kommer tilbake nedover og det kan fås reflekterte signaler fra en rekke gjenstander som registreres med en mottakerantenne på overflaten. De mottatte signaler overføres til en kontrollenhet for forsterkning (og digitalisering ved digital georadar). Signalene sendes derfra til skriver (ved analog georadar) eller PD (digital georadar). Fra en utskrift av et georadar-opptak kan toveis gangtid (t_{2v}) til de forskjellige reflektorene avleses. For å bestemme virkelig dyp til en refleksor må bølgehastigheten (v) i overliggende medium være kjent eller kunne bestemmes.

Bølgehastigheten kan bestemmes ved CDP-målinger ('common depth-point'). Slike målinger utføres ved å flytte sender- og mottakerantenne skrittvis og like langt ut til hver side fra et fast midtpunkt og registrere for hver ny posisjon. Refleksjoner vil da ideelt sett komme fra samme punkt på en refleksor som er planparallell med overflaten. Når antenneavstanden øker, vil reflekterte bølger få lenger gangvei og økning i gangtid. Denne økning i gangtid kan ved digitale opptak kompenseres for ved å utføre NMO-korreksjon ('normal move-out'). Størrelsen på korreksjonen er avhengig av antenneavstand, toveis gangtid og bølgehastighet i materialet over reflektoren. Et CDP-opptak korrigeres med forskjellige hastigheter, og den hastighet som etter NMO-korreksjon gir best amplitude etter summering av trasene, angir radarbølgehastigheten i mediet.

Etter at hastigheten er bestemt kan dypet (d) beregnes etter uttrykket;

$$d = \frac{vt_{2v}}{2}$$

I vakuum er bølgehastigheten lik lyshastigheten: $c = 3.0 \cdot 10^8$ m/s. I alle andre media gjelder følgende relasjon;

$$\epsilon_r = \left(\frac{c}{v}\right)^2$$

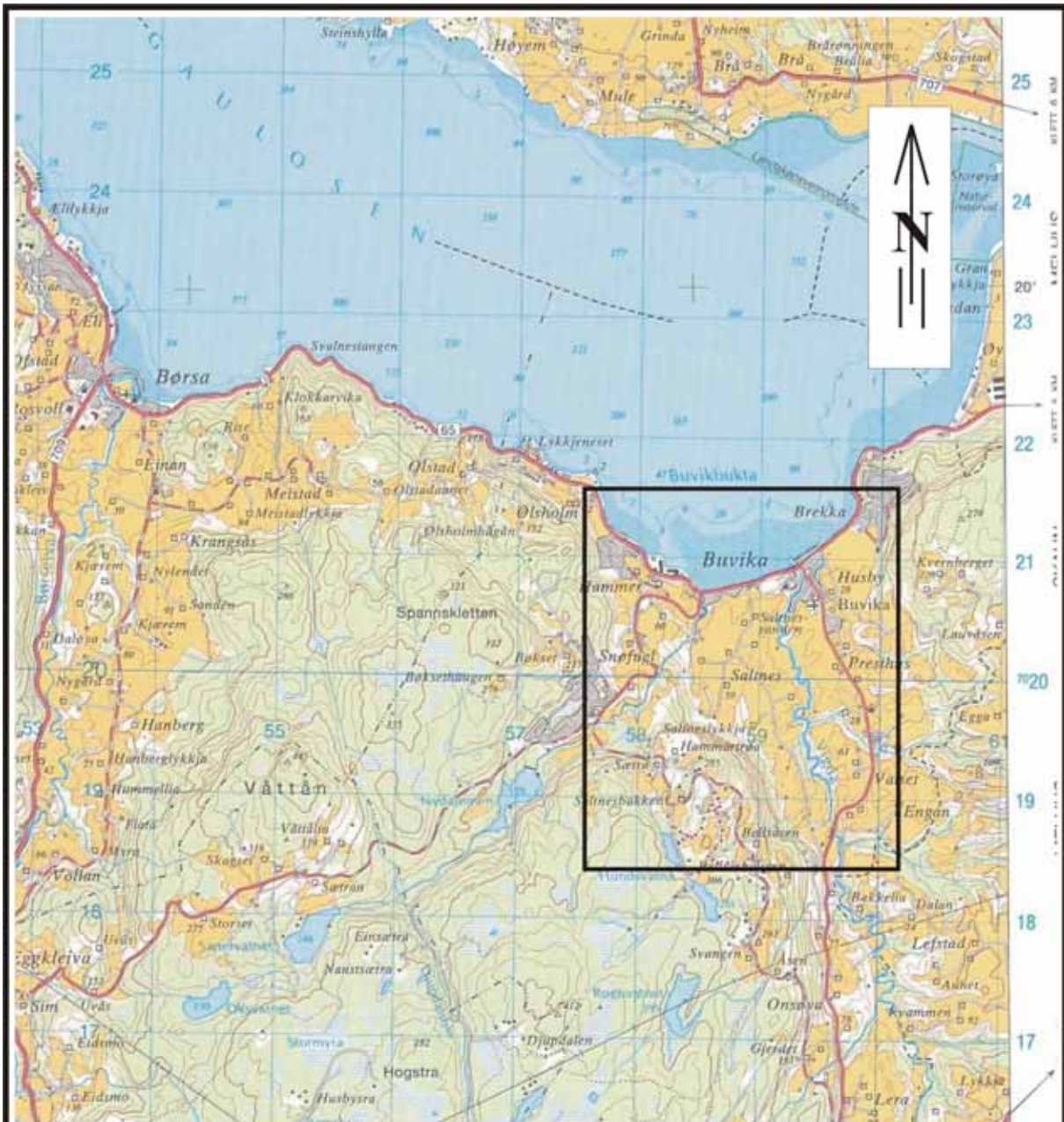
hvor ϵ_r er det relative dielektrisitetsstallet. ϵ_r -verdien for et materiale vil derfor være en bestemmende faktor for beregning av dyp til reflektorer. I tabellen på neste side er det gitt en oversikt over erfaringstall for ϵ_r i en del materialtyper. Tabellen viser også hastigheter og ledningsevne i de samme media.

Dybderekkevidden for georadarmålinger er i stor grad avhengig av elektrisk ledningsevne i grunnen og av den utsendte antennefrekvens. Både økende ledningsevne og en økning i antennefrekvens vil føre til hurtigere demping av bølgepulser og dermed minkende penetrasjon. I godt ledende materiale som marin silt og leire vil penetrasjonen være helt ubetydelig. I dårlig ledende materiale som f.eks. tørr sand, kan det forventes en dybderekkevidde

på flere titalls meter når det benyttes en lavfrekvent antenne (f.eks. 50 eller 100 Mhz). For grunnere undersøkelser vil en mer høyfrekvent antenne gi bedre vertikal oppløsning.

<u>Medium</u>	<u>ϵ_r</u>	<u>v (m/ns)</u>	<u>ledningsevne (mS/m)</u>
<i>Luft</i>	<i>1</i>	<i>0.3</i>	<i>0</i>
<i>Ferskvann</i>	<i>81</i>	<i>0.033</i>	<i>0.1</i>
<i>Sjøvann</i>	<i>81</i>	<i>0.033</i>	<i>1000</i>
<i>Leire</i>	<i>5-40</i>	<i>0.05-0.13</i>	<i>1-300</i>
<i>Tørr sand</i>	<i>5-10</i>	<i>0.09-0.14</i>	<i>0.01</i>
<i>Vannmettet sand</i>	<i>15-20</i>	<i>0.07-0.08</i>	<i>0.03-0.3</i>
<i>Silt</i>	<i>5-30</i>	<i>0.05-0.13</i>	<i>1-100</i>
<i>Fjell</i>	<i>5-8</i>	<i>0.10-0.13</i>	<i>0.01-1</i>

Tabell over relativt dielektrisitetstall, radarbølge-hastigheter og ledningsevne i vanlige materialtyper.



UNDERSØKT OMRÅDE

ICG
 OVERSIKTSKART
BUVIKA
 SKAUN, SØR-TRØNDELAG

MÅLESTOKK 1:50 000	MÅLT ED-JFT.	2002-2005
	TEGN E.D.	Mars 2005
	TRAC	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR 2006.006-01	KARTBLAD NR 1521 I
-----------------------------	-----------------------

