

NGU Rapport 2010.045

Geofysiske målinger for løsmassekartlegging  
i Rissa, Sør-Trøndelag



Rapport nr.: 2010.045		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Geofysiske målinger for løsmassekartlegging i Rissa, Sør-Trøndelag				
Forfattere: Inger-Lise Solberg, Einar Dalsegg og Louise Hansen			Oppdragsgiver: NVE	
Fylke: Sør-Trøndelag			Kommune: Rissa	
Kartblad (M=1:250.000) Sør-Trøndelag			Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1522-II Rissa	
Forekomstens navn og koordinater:			Sidetall: 26 + vedlegg	Pris: 125,-
Feltarbeid utført: 2009-2010	Rapportdato: 04.11.2010	Prosjektnr.: 323800 REMA	Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>	
<p>Sammendrag:</p> <p>Det er utført 2D resistivitetsmålinger i 8 profiler ved Rissa i Sør-Trøndelag som en del av metodeutviklingsprosjektet REMA (Resistivitetsmålinger i marine avsetninger). Prosjektet har som formål å teste anvendeligheten av metoden til å kartlegge kvikkleireforekomster. Lokalt ble valgt fordi Rissa har kjente utfordringer knyttet til kvikkleire. I området er det også planlagt ny veg (Fv. 717 Sund-Bradden), og det er derfor utført en rekke sonderboringer og prøvetakinger som vil kunne benyttes for sammenligning med resistivitetsdata.</p> <p>Rapporten beskriver resistivitetsmetoden, presenterer innsamlede data og gir en kort vurdering av disse. Måledata viser at det i den nordlige delen av området (P1-P5, nær Rein kirke) er relativt kompliserte geologiske forhold med undulerende fjelloverflate, utvasket leire med lommer av saltholdig leire, og stedvis topplag av sand og grus. I den sørlige delen (P6-P8, nær gården Åsan) er forholdene mer homogene, med utvasket leire i toppen og nær åsen i sør. I tillegg finnes et utholdende lag av saltholdig leire i disse profilene.</p> <p>For å få verifisere de tolkninger som her er gjort bør profilene sammenlignes med tilgjengelig boredata, og det vil også være nyttig med refraksjonsseismikk for å finne forløpet til fjelloverflaten i området under profilene P1-P5.</p>				
Emneord:		Geofysikk	Fagrapport	
		Resistivitetsmålinger	Kvikkleire	



## **INNHold**

<b>1.</b>	<b>INNLEDNING.....</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>TIDLIGERE UNDERSØKELSER .....</b>	<b>7</b>
<b>3.</b>	<b>LOKALITETEN.....</b>	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>MÅLEMETODER OG UTFØRELSE .....</b>	<b>9</b>
<b>4.1</b>	<b>Datainnsamling.....</b>	<b>9</b>
<b>4.2</b>	<b>Strømstyrke og datakvalitet .....</b>	<b>9</b>
<b>4.3</b>	<b>Inversjon .....</b>	<b>10</b>
<b>5.</b>	<b>KLASSIFISERING AV SEDIMENTER FRA RESISTIVITETSVERDIER.....</b>	<b>10</b>
<b>6.</b>	<b>RESULTATER OG TOLKNING .....</b>	<b>12</b>
<b>6.1</b>	<b>Rein kirke (Profil 1-5) .....</b>	<b>14</b>
<b>6.2</b>	<b>Åsan (Profil 6-8) .....</b>	<b>16</b>
<b>7.</b>	<b>DISKUSJON OG KONKLUSJON .....</b>	<b>17</b>
<b>8.</b>	<b>REFERANSER .....</b>	<b>18</b>
<b>VEDLEGG 1</b>	<b>FELTOBSERVASJONER AV BERGGRUNNEN I RISSA .....</b>	<b>29</b>
<b>VEDLEGG 2</b>	<b>KOORDINATER TIL INNMÅLTE PROFILER.....</b>	<b>35</b>



## **1. INNLEDNING**

Resistivitetmålingene i Rissa er en del av prosjektet 323800 REMA (Resistivitetmålinger i marine avsetninger) som har som formål å teste anvendeligheten av metoden til å kartlegge kvikkleireforekomster. Rissa har kjente utfordringer knyttet til kvikkleire, og lokaliteten ble blant annet valgt på grunn av tilgangen til geotekniske data som vil kunne sammenlignes med de geofysiske data. I området har Statens vegvesen planlagt ny veg (Fv. 717 Sund-Bradden), og det er derfor utført en rekke sonderboringer og prøvetakinger. På grunn av utfordrende stabilitetsforhold, er byggingen av vegen utsatt.

Det er målt 8 2D resistivetsprofiler. I tillegg er det målt induisert polarisasjon (IP) langs de samme profillinjene, men disse data er ikke presentert i denne rapporten. Resistivitetmålingene ble utført av Einar Dalsegg (NGU) i 2009 og 2010. Under deler av arbeidet har en assistent hjulpet til (Kari Sletten (NGU) og Rolf Aasland (NTNU)). En detaljert oversikt over datainnsamlingstidspunktene er gitt i tabell 1. Rapporten dokumenterer datainnsamlingen, presenterer resistivetsdata og gir en kort vurdering av disse.

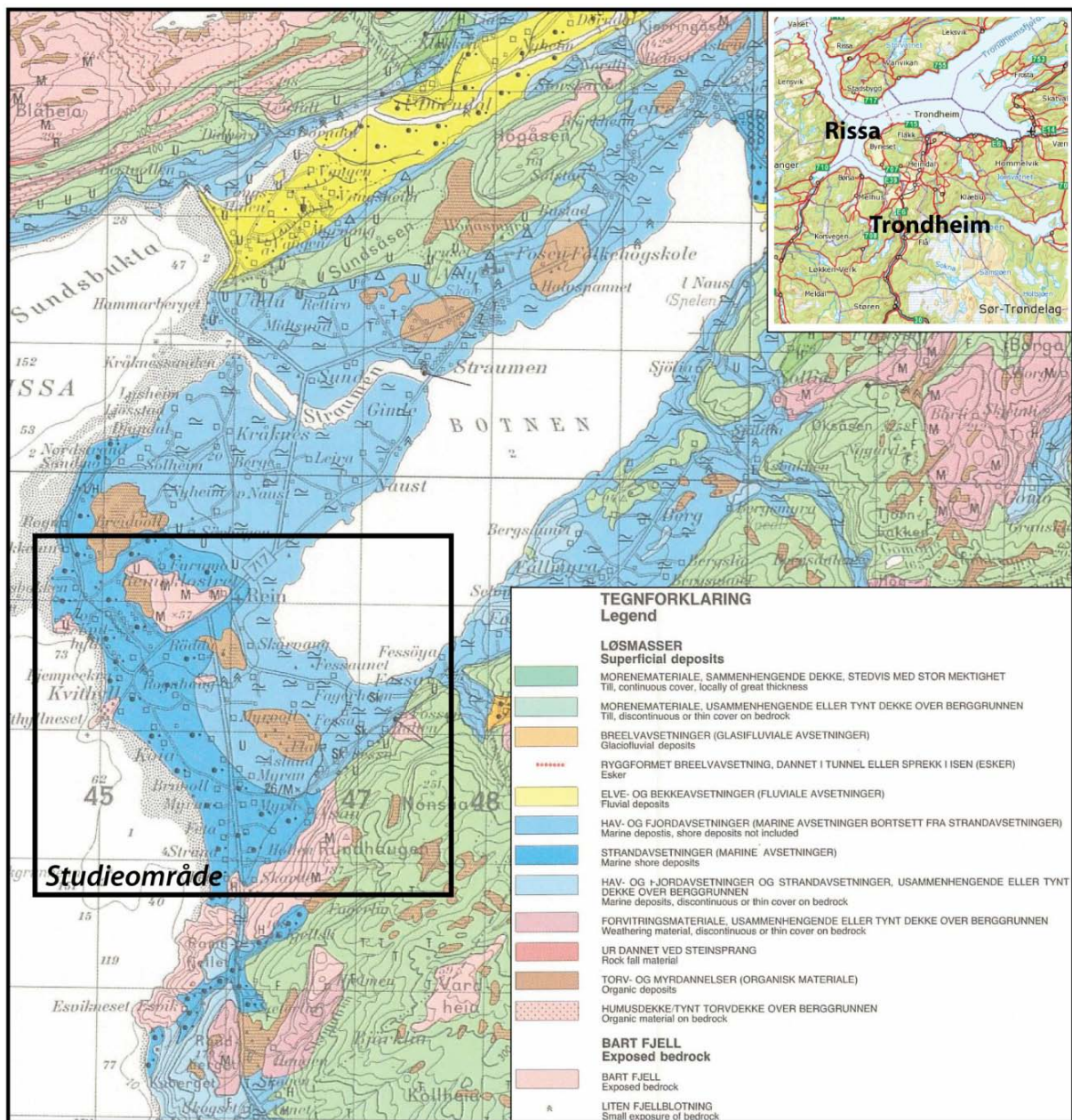
## **2. TIDLIGERE UNDERSØKELSER**

Det er utført en rekke geotekniske undersøkelser av ulike firma i området: i etterkant av Rissaraset i 1978 og knyttet til prosjektering av ny veg (Fv. 717 Sund - Bradden). Det er også blitt utført faresonekartlegging for kvikkleireskred i området (Gregersen & Korbøl 1989). Våren 2010 ble det utført RCPTU-målinger i en Masteroppgave ved NTNU. RCPTU er 1D resistivitetmålinger som utføres i borehull samtidig med konvensjonell CPTU-boring. Data fra 1D-målingene ble sammenlignet med 2D-målingene fra Rissa i en masteroppgave ved NTNU (Aasland 2010).

## **3. LOKALITETEN**

Studieområdet ligger i Rissa kommune i Sør-Trøndelag. Lokaliteten ligger på et  $\pm 1,5$  km bredt landområde mellom Trondheimsfjorden i vest og innsjøen Botn i øst (fig. 1). Straumen knytter Botn til Trondheimsfjorden, hvor tidevannet fører med seg saltvann som gjør innsjøen brakk. Sør i studieområdet ligger skredgropa til Rissaraset som gikk i 1978 (Gregersen 1981), og nedenfor Rein kirke mot Botn ser det ut til å være ei gammel skredgrop. Bortsett fra åsen i sør, er terrenget er relativt flatt med haugen bak Rein kirke og kloster som høyeste punkt (50 moh.). Marin grense for Rissa er ca. 160 m over dagens havnivå (Reite 1987). Sedimentene i

studieområdet er i hovedsak tykke hav- og fjordavsetninger, stedvis med fjellblotninger og myr. Den vestre delen er dekket med marine strandavsetninger.



Figur 1 Området i Rissa hvor resistivitetmålingene er utført ligger knapt 3 mil (luftlinje) nordvest for Trondheim. Det kvartærgeologiske kartet viser sedimentfordelingen i overflata (etter Reite 1987).

I følge berggrunnskart er bergartene i den nordlige delen av området grønnstein og grønskifer med kvartslinser, mens sør i studieområdet er det amfibolitt og granodiorittisk gneis (Wolff 1976, 1978). Under befaring av fjellblotninger nord i studieområdet ble det observert steiltstående, SV-NØ-gående lagdeling/bånding i grønskifer/glimmerskifer med kvartslinser, samt en blotning med krystallinsk kalkstein (vedlegg 1). Det kan være



sprekkesoner (i skifer) og/eller oppløsningshorisonter/karst (i kalkstein) parallelt med båndingen i den begravde berggrunnen under løsmassene.

## 4. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

### 4.1 Datainnsamling

Måledata ble innsamlet med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høgskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993). Systemet består av en releboks (Electro Selector ES10-64C), fire multi-elektrode kabler og måleinstrumentet ABEM Terrameter SAS 4000 (ABEM 1999). Ved denne undersøkelsen ble det benyttet kabler med 5 m elektrodeavstand, som gir maksimal dybderekkevidde på ca. 60 m. 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 Gradient elektrodekonfigurasjon, som har vist seg å være godt egnet til kartlegging av horisontale strukturer (Reiser et al. 2010).

Profilenes beliggenhet er innmålt med GPS (vedlegg 2), men er ikke merket i terrenget da mesteparten av profilene går på innmark.

*Tabell 1 Oversikt over innsamling av 2D resistivitet (og IP). For alle profiler: Gradient elektrodekonfigurasjon og 5 m elektrodeavstand.*

Dato	Profilnr.	Antall meter	Tidsbruk totalt (timer)	Markslag
01-02.12.2009	1	1000	20,5	Dyrkajord, krysser bekk
02-03.12. 2009	5	700	6,5	Dyrkajord, noe skog
03-04.12. 2009	3	500	11	Dyrkajord
07-08.12. 2009	6	1100	12,5	Dyrkajord
08-09.12. 2009	7	800	10	Dyrkajord
08.04.2010	4	600	12	Dyrkajord
08-09.04. 2010	2	900	20	Dyrkajord, noe skog
13-14.04. 2010	8	1200	20,5	Dyrkajord

### 4.2 Strømstyrke og datakvalitet

Jordingsbetingelsene var generelt meget gode med unntak av 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.

### 4.3 Inversjon

Ved alle resistivitetsmålinger måles tilsynelatende verdier. Denne representerer et veid middel av alle resistivitetsverdier som er innenfor målingens influensvolum. 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.

Resistivitetsdata ble invertert ved bruk av dataprogrammet Res2DInv (Loke 2007). Standard "Least Square" ("Smooth") og "Robust" ble benyttet som inversjonsmetoder. Vertikal/horisontalfilter er ved inversjonen satt til 0,5, noe som til en viss grad favoriserer horisontal lagdeling.

## 5. KLASSIFISERING AV SEDIMENTER FRA RESISTIVITETSVERDIER

Tabell 2 viser klassifisering av sedimenter fra resistivitetsverdier som kan benyttes som utgangspunkt for tolkning av 2D resistiviteitsprofiler (for mer utførlig diskusjon av klassifisering, se f.eks. Solberg et al. (2008) og Solberg et al. (subm)). Det er viktig å være klar over at det er gradvise overganger mellom klassene, slik det gjerne også er i sedimentene selv. Det kan også være lokale variasjoner avhengig av f.eks. porevannskjemi, metningsgrad og mineralsammensetning. Undersøkelser i Sverige (f.eks. Dahlin et al. 2001) tyder på at grensen mellom marin salt/intakt leire og mulig kvikk leire går ved ca. 7  $\Omega\text{m}$ . Etter supplerende undersøkelser/sammenligning med geotekniske data, vil grensene for den aktuelle lokaliteten kunne bli justert.

Resistivitetsverdier fra ca. 1-10  $\Omega\text{m}$  er materiale med god ledningsevne, som saltholdig leire. Verdier fra 10  $\Omega\text{m}$  og opp til 90-100  $\Omega\text{m}$  kan være kvikkleire, men økningen i resistivitet kan også skyldes innslag av grovere masser som silt/sand. Tørrskorpeleire er vanligvis mellom 100  $\Omega\text{m}$  og 200  $\Omega\text{m}$ . 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. Overgangen til rød og spesielt lilla farge (over 200  $\Omega\text{m}$ ) kan skyldes fjell, men disse fargene kan også representere sand/grus-avsetninger. Ved invertering av data vil skarpe overganger i geologisk materiale (f.eks. leire over fjell) framkomme som en gradvis overgang, ikke som et tydelig hopp i resistivitetsverdier. Det ser ut til at når sedimenter med lave resistivitetsverdier

ligger over fjell blir verdiene i fjell generelt lavere enn de reelle fjellverdiene, og fjelldypet forskjøvet nedover i profilet (metodisk svakhet, se Reiser et al. 2010).

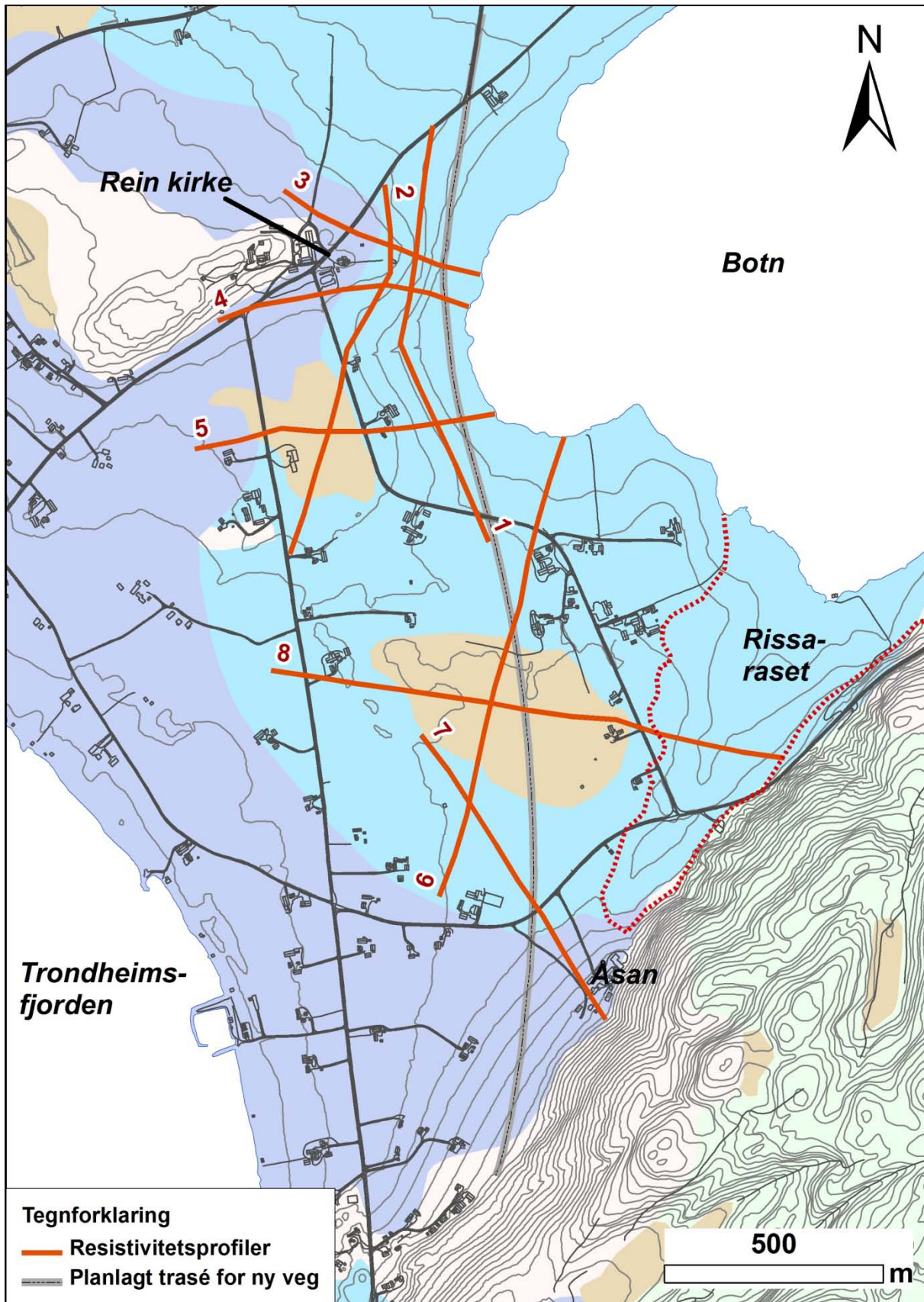
*Tabell 1. Utgangspunkt for løsmasseklassifisering fra resistivetsverdier. Merk at det er gradvise overganger mellom klassene, og at det kan være lokale variasjoner avhengig av f.eks. porevannskjemi, metningsgrad og mineralsammensetning (basert på bl.a. Berger 1983, Solberg et al. 2008 og Solberg et al. in prep).*

Resistivetsverdier	Materiale	Fargekode (NGUs kvikkleire-prosjekter)	Beskrivelse
1-10 $\Omega\text{m}$	Ikke-utvaskede marine leiravsetninger	Blå	Leira har vært lite utsatt for utvasking etter avsetning. Porevannet inneholder fremdeles mye ioner som stabiliserer strukturen og gir god ledningsevne og dermed lave resistivetsverdier. Godt ledende mineraler som sulfider og grafitt, og andre sedimenter mettet med ionerikt vann kan også gi lave resistivetsverdier.
10-100 $\Omega\text{m}$	Utvaskede marine leiravsetninger	Grønn, gul	Utvasking av leire fører til færre ioner i porevannet og ved et saltinnhold på mindre enn ca. 5 g/l kan kvikkleire dannes. Resistivetsverdiene er fremdeles lave, men høyere enn for ikke-utvasket leire. Utvasket, men ikke-kvikk leire, leirig morene og siltige sedimenter kan også ligge i dette intervallet.
100+ $\Omega\text{m}$	Tørrskorpeleire	(Gul), Orange	Tørrskorpeleire, leirskredmasser, sand og grus vil ha høyere resistivetsverdier. Vanninnhold i sedimentene vil ha betydning for ledningsevnen. Berggrunnen har som regel resistivetsverdier på flere tusen ohmm, men oppsprukket fjell og malmrike bergarter kan ha betydelig lavere resistivitet.
50-150 $\Omega\text{m}$	Siltige masser	Gul, orange	
150+ $\Omega\text{m}$	Sand, grus	Orange, rød, mot lilla	
1000+ $\Omega\text{m}$	Fjell	(Rød), Lilla	

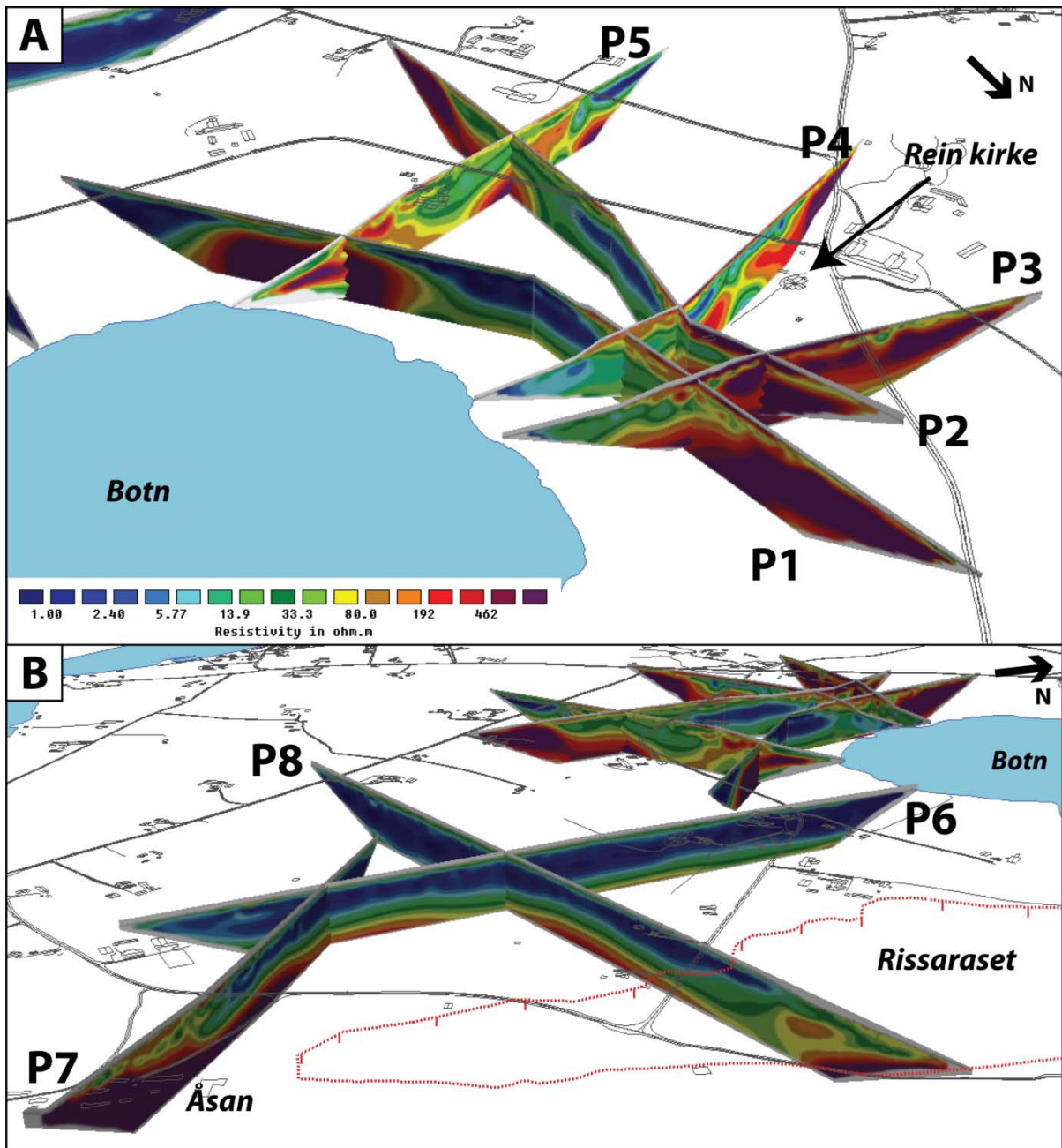
## 6. RESULTATER OG TOLKNING

For å kartlegge løsmasseavsetningene i Rissa er det målt til sammen 6,8 km med 2D resistivitet. Beliggenheten til de målte profilene er vist i figur 2, og de inverterte resistivitetsdata er vist på figurene 4-27 (profilfigurene er lagt i rekkefølge etter kap. 8). For å få sammenlignbare presentasjoner er samme fargeskala benyttet på profilene. I tillegg er profilene også vist med lengre resistivitetsskala. Dette endrer ikke data, men får fram de reelle høye verdier bedre. I tillegg til Smooth inversjon (standard), er også Robust inversjon kjørt for alle profilene. Dette er gjort for å få fram en skarpere overgang mellom lave og høye resistivitetsverdier. Figur 3 er en sammenstilling av profilene i et 3D-program. Dette er gjort for å se hvordan profilene overlapper hverandre, og for lettere å kunne sammenligne dem.

Resistivitetsprofiler har mest data i øvre og midtre deler. Tolkning i ytterkantene og nedre del av profilene må derfor gjøres med forsiktighet. Eksakt avstand til dyptliggende lag må verifiseres med andre metoder. I det følgende er resistivitetsprofilene fra målingene i Rissa kort beskrevet og tolket. Resultater fra videre tolkning og sammenligning med andre data (f.eks. geotekniske boredata) vil publiseres på andre måter, bl.a. i Solberg et al. (2010). Dataene er også som nevnt benyttet i en masteroppgave ved NTNU (Aasland 2010). Lokalteten er delt i to deler: området i nord ved Rein kirke (Profil 1-5) og området i sør ved gården Åsan (Profil 6-8).



Figur 2 Oversikt over plasseringen av resistivetsprofilene i Rissa. Bakgrunnsfarger er fra kvartærgeologisk kart, se fig. 1. Ekvidistanse 5 m.



Figur 3 Resistivetsprofilene satt sammen for kvasi-3D-visning i programmet ArcScene (fra ESRI). A: P1-P5 ved Rein kirke, B: P6-P8 ved Åsan.

## 6.1 Rein kirke (Profil 1-5)

### Profil 1 (fig. 4-6)

Profil 1 går langs innsjøen Botn (brakkvann) og viser stor variasjon i resistivetsverdier. Det er trolig nokså grunt til fjell i den nordlige delen av profilet, hvor det er høye resistivetsverdier. Fjellverdier finnes også sør i profilet (profilpunkt 655m-815m). Dette tyder på en undulerende fjelloverflate under sedimentene. Den midterste delen av profilet domineres av resistivetsverdier fra 1Ωm til 100 Ωm. De to blå lommene i profilet er trolig

leire med saltholdig porevann, mens utvasket leire (mulig kvikk) er indikert med grønn (gul) farge (10-80  $\Omega$ m). De høye resistivitetsverdiene helt i toppen av profilet i nord (profilpunkt 175m-430m) er trolig sand/grus (marine strandavsetninger; Reite 1987) med godt drenert/utvasket leire under. Til tross for at det er noe saltinnhold i Botn, ser det ikke ut til at dette influerer resultatene til P1 som ligger parallelt innsjøen (ca. 100 m unna).

#### Profil 2 (fig. 7-9)

Profil 2 ligger relativt parallelt med og vest for profil 1. P1 og P2 viser de samme trendene, med noen små variasjoner. Den marine strandavsetningen er mye tykkere her (profilpunkt 80m-300m). Siden resistivitetsverdiene er høye er trolig sand/grus-avsetningen nokså tørr. Det er også mer utpreget tørrskorpe (over 100  $\Omega$ m) i dette profilet enn i profil P1.

#### Profil 3 (fig. 10-12)

Profilene 3-5 ligger relativt parallelt med hverandre, og tilnærmet vinkelrett på P1 og P2. Profil 3 ligger lengst nord av de tre profilene. Profilet er dominert av høye resistivitetsverdier, og det ligger nær oppstikkende fjell (i dagen). Likevel, verdiene for det som er antatt fjell er lave sammenlignet med "vanlige" fjellverdier (ofte flere tusen ohmm). Dette kan ha med typen bergart og dets beskaffenhet å gjøre (evt. innhold av ledende mineraler, graden av forvitring/ oppsprekking, se vedlegg 1). På toppen av profilet (profilpunkt 130m-335m) er det trolig sand/grus (se beskrivelse av P1). Det meste av leira er utvasket (10-100  $\Omega$ m), trolig med noe høyere saltinnhold ved Botn siden resistivitetsverdien synker her.

#### Profil 4 (fig. 13-15)

Profil 4 er det midterste av de tre parallelle profilene (P3-P5). Som i P3 har store deler av profilet høye resistivitetsverdier, men bare deler av disse er typiske fjellverdier (se beskrivelse av P3). Også i dette profilet er det øverste laget dominert av sand/grus, delvis tørr (200-5000  $\Omega$ m). I uvasket leire mellom sand/grus og fjell (eller grove masser) finnes relativt små lommer med lavere resistivitetsverdier (1-10  $\Omega$ m). Dette er noe overraskende siden forholdene i prinsippet skulle ligge godt tilrette for utvasking (se kap. 7). Lommene med saltholdig leire henger mer eller mindre sammen ned mot Botn.

#### Profil 5 (fig. 16-18)

Profil 5 ligger lengst sør av de tre parallelle profilene (P3-P5). Som for P3 og P4 er det stor variasjon i resistivitetsverdiene for det som er mulig fjell. I tillegg ligger de høye verdiene

innkapslet i noe lavere verdier (profilpunkt 0-230m), og sammenlignet med det kryssende profilet P1, skulle de høye verdiene vært mer dominerende i dette området. En mulig forklaring kan være at P5 går nokså parallelt en fjellrygg med leire på begge sider som antydnet i P1 og P2 (som ligger vinkelrett på P5). Store deler av strømmen vil trolig gå i disse avsetningene som har bedre ledningsevne. I tillegg ser bergarten i fjellryggen til å være oppsprukket/forvitret i den steiltstående lagdelingen (strøk: 63°) Forklaringen kan også være en kombinasjon flere årsaker, og måleretningen vil uansett ha noe å si for hva som dominerer profilene. Den vestre delen av P5 har ei lomme med lave resistivitetsverdier (profilpunkt 540m og ut profilet), som trolig er saltholdig leire. Resten av profilet viser utvasket leire (10-100  $\Omega$ m), og tørrskorpeleire i deler av topplaget (100-200  $\Omega$ m).

## **6.2 Åsan (Profil 6-8)**

### Profil 6 (fig. 19-21)

Profil 6 ligger parallelt, men nordvest, for skredgropa etter Rissaraset. Profilet viser et opp til ca. 6 m tykt lag utvasket leire på toppen (10-50  $\Omega$ m), over et opp til et ca. 50 m tykt lag saltholdig leire (1-10  $\Omega$ m). I den nederste delen av profilet ser det ut til at sedimentene er mer utvasket. Det er så å si ingen tørrskorpe i toppen av profilet (over 100  $\Omega$ m).

### Profil 7 (fig. 22-24)

Profil 7 starter inntil åsen som ligger sør i studieområdet, og fjellverdier i resistivitetsprofilet går herfra og ligger under sedimentene i store deler av profilet. Det er mulig det ligger grove masser (morene) over fjell. Sedimentene mellom profilpunkt 70m og 290m er trolig utvasket og noe opptørket leire (10-120  $\Omega$ m). Mellom punkt 290m og 350m er det et tynt lag med høye verdier (opp til 1000  $\Omega$ m), dette er trolig fyllmassene til en kryssende veg. Fra ca. profilpunkt 350m og ut profilet ligger ei stor lomme saltholdig leire (1-10  $\Omega$ m) med utvasket, mulig kvikk leire (10-100  $\Omega$ m) over og under.

### Profil 8 (fig. 25-27)

Profil 8 starter som P7 inntil åsen som ligger sør i studieområdet, og den første delen av profilet krysser skredgropa etter Rissaraset. I motsetning til P7 vises fjellverdier i hovedsak helt øst i profilet, slik at fjelloverflaten er mye brattere enn for P7. Også helt nederst, i midten av profilet, er det innslag av høyere resistivitetsverdier (over 200  $\Omega$ m) men dette kan også være grove masser (morene). Det har vært størst grad av utvasking øst i profilet nær fjell (under skredgropa), noe som er naturlig på grunn av god tilgang på grunnvann, trolig med



høy gradient (fra åsen). Videre ut profilet ligger ei lomme saltholdig leire (1-10  $\Omega\text{m}$ ), med utvasket, mulig kvikk leire (10-100  $\Omega\text{m}$ ) over og under.

## 7. DISKUSJON OG KONKLUSJON

Området som er målt i Rissa er delt i to, og de viser svært ulike resultater. Området ved **Rein** kirke (P1-P5) viser kompleks geologi med undulerende fjelloverflate. Bergartstypene og fjellkvaliteten spiller trolig en stor rolle her. Resultatene fra målingene som ligger parallelt oppsprekningen (se vedlegg 1) gir stedvis veldig lave resistivitetsverdier i det som er forventet å være fjell (P3- P5). P1 og P2 som går vinkelrett på oppsprekningen, ser ut til å bli mindre influert av dette. Det skal også nevnes at måling parallelt fjellrygger med godt ledende leire på begge sider vil kunne gi lave verdier på dypet, siden resultatene er et gjennomsnitt av verdiene langs et bredt belte langs profillinja. I Rissa er nok de lave fjellverdiene en kombinasjon av flere årsaker. Sammenligninger med geotekniske boringer vil hjelpe tolkningen, men refraksjonsseismikk kunne med fordel ha vært brukt her. I tillegg til leiravsetninger er det en del sand/grus på toppen som er marine strandavsetninger. Det er grunnvannsutslag like nedenfor Rein kirke, og dette kommer muligens ut i overgangen mellom sand/grus og impermeabel leire. Tolkning av at fjelloverflaten under sedimentene er undulerende styrkes av at det finnes flere fjellblotninger i området (se fig. 1). Den spesielle fjelltopografien under sedimentene har trolig betydning for grunnvannsforholdene i området, og tilgangen på grunnvann med høye gradienter *kan* være begrenset ved P3 og P4 på grunn av fjellryggen langs P5. Denne vil fungere som en barriere mot grunnvannsstrømmen fra sør mot nord. Dette kan være årsaken til at det fremdeles finnes lommer av saltholdig leire i utvasket leire mellom permeabel sand/grus og fjell i P4, der fjelloverflata (evt. grove masser) ligger nokså horisontalt i deler av profilet.

Målingene i området **Åsan** (profil 6-8) er enklere å tolke, og det er svært godt overlapp mellom profilene der de krysser hverandre. Området er i hovedsak utvasket i topplaget og i leira som ligger nær åsen i sør, hvor leira trolig er utvasket fra siden og nedenfra. I store deler av profilene ligger et saltholdig leirlag mellom de to utvaskede leirlag.

## 8. REFERANSER

Aasland, R. 2010: Kartlegging av kvikkleire med 2D resistivitet og RCPT i Rissa. Masteroppgave ved Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

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. 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

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

Gregersen, O. 1981: The quick clay landslide in Rissa, Norway. NGI Publikasjon 135: 1-6

Gregersen, O. & Korbøl, B. 1989: Kartlegging av områder med potensiell fare for kvikkleireskred. Kartblad Rissa M 1:50 000. Norges geotekniske institutt Rapport 86054-1

Loke, M.H. 2007: Res2DInv ver. 3.56. Geoelectrical Imaging 2D and 3D. Instruction Manual. Geotomo Software, [www.geoelectrical.com](http://www.geoelectrical.com)

Reiser, F., Dahlin, T., Rønning, J.S. & Solberg, I.L. 2010: Resistivity modelling for clay layer characterisation, possibilities and limitations. NGU rapport 2010.047

Reite, A.J. 1987: Rissa. Kvartærgeologisk kart 1522 II - M 1:50 000. Beskrivelse. NGU Skrifter 82

Solberg, I.L., Hansen, L., Rønning, J.S. & Dalsegg, E. (in prep): Veileder for bruk av resistivitetsmålinger i potensielle kvikkleireområder.

Solberg, I.L., Hansen, L., Rønning, J.S., Haugen, E.D., Dalsegg, E. & Tønnesen, J.F. (subm): Combined geophysical and geotechnical approach for ground investigations and hazard zonation of a quick-clay area, Mid Norway. Submitted to Bulletin of Engineering Geology and the Environment

Solberg, I.L., Aasland, R., Dalsegg, E., Hansen, L., L'Heureux, J.S. & Rønning, J.S. 2010: Kvikkleireproblematikk i Rissa - bruk av resistivitetsmålinger. Artikkel for Geoteknikkdagen i Oslo 26.11.2010

Solberg, I.L., Rønning, J.S., Dalsegg, E., Hansen, L., Rokoengen, K. & Sandven, R. 2008: Resistivity measurements as a tool for outlining quick clay extents and valley fill stratigraphy: feasibility study from Buvika, Central Norway. Canadian Geotechnical Journal 45: 210-225

Wolff, F.C. 1976: Geologisk kart over Norge, berggrunnskart Trondheim 1:250 000. Norges geologiske undersøkelse.

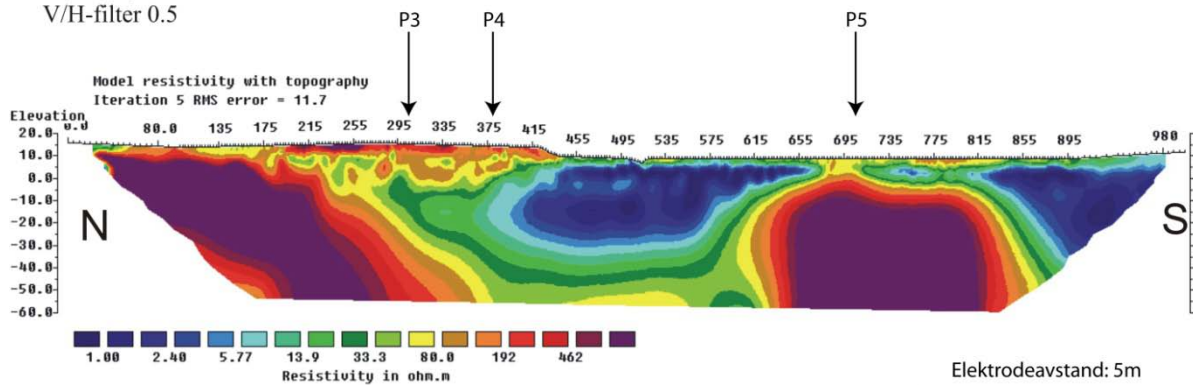
Wolff, F.C. 1978: Rissa, berggrunnsgeologisk kart 1522 II, M 1:50 000. Norges geologiske undersøkelse.

# Rissa

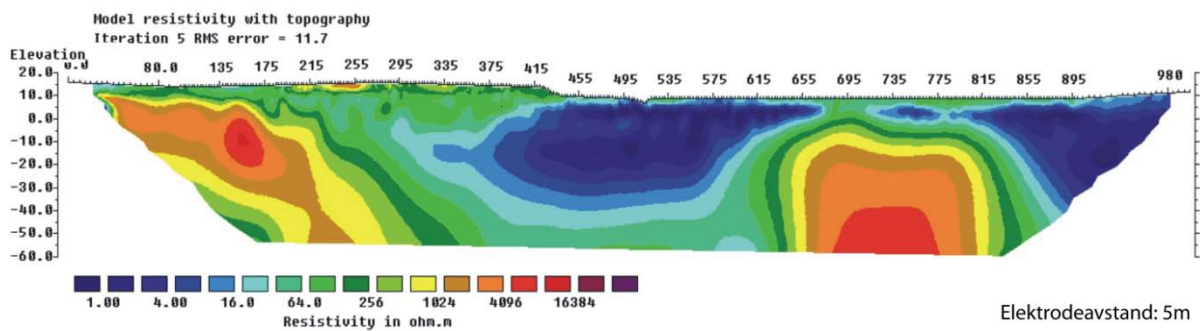
## Profil 1

Gradient, el.avst. 5 m.

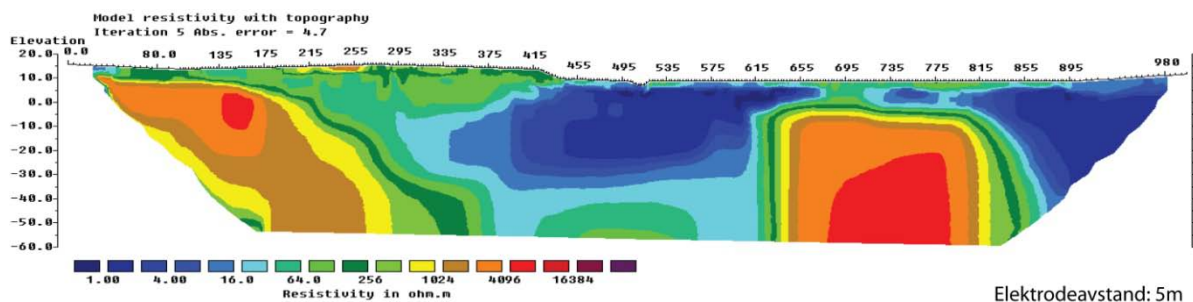
V/H-filter 0.5



Figur 4 Resistivitetsprofil 1. Gradient elektrodekonfigurasjon, 5 m elektrodeavstand.



Figur 5 Resistivitetsprofil 1, vist med justert fargeskala for bedre å få fram høye resistivitetsverdier.

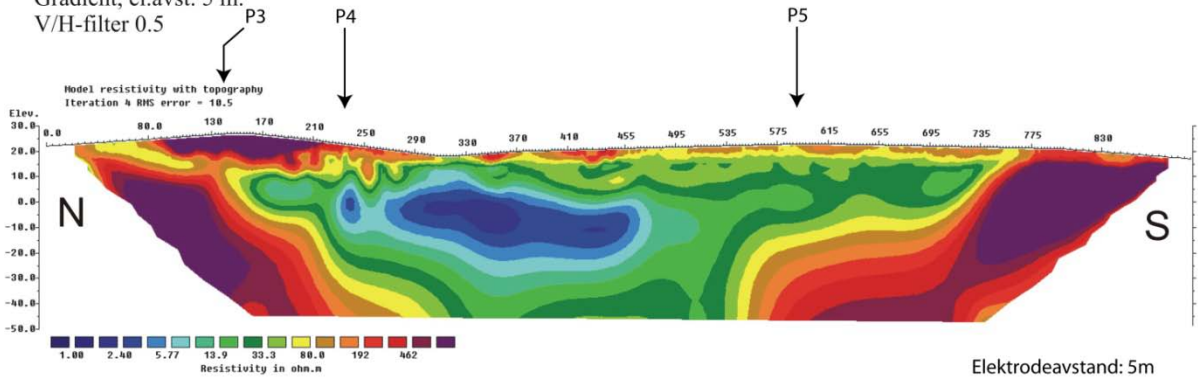


Figur 6 Resistivitetsprofil 1, med Robust inversjon og justert fargeskala for bedre skille mellom sediment- og fjellverdier.

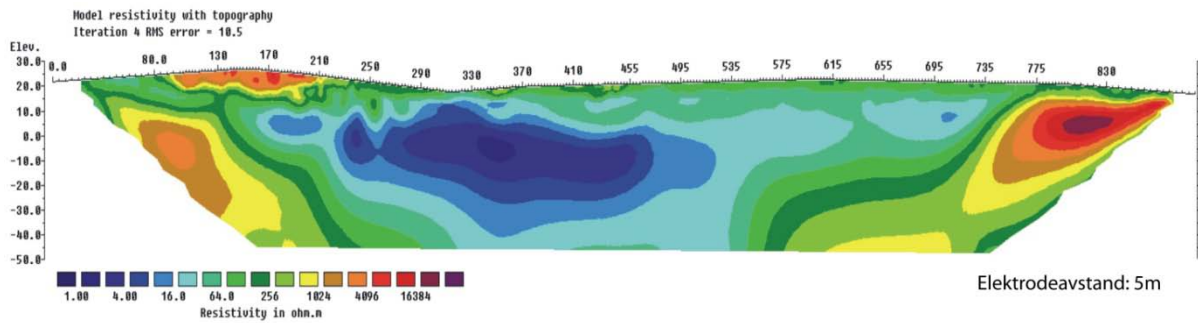
# Rissa

## Profil 2

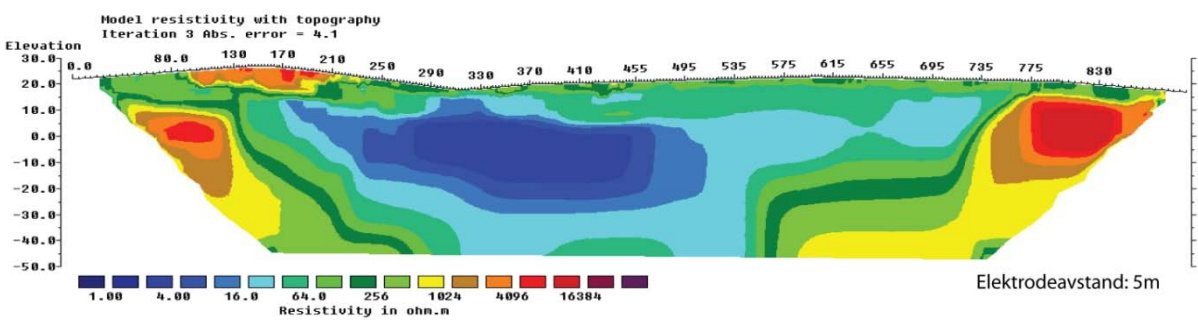
Gradient, el.avst. 5 m.  
V/H-filter 0.5



Figur 7 Resistivitetsprofil 2. Gradient elektrodekonfigurasjon, 5 m elektrodeavstand.



Figur 8 Resistivitetsprofil 2, vist med justert fargeskala for bedre å få fram høye resistivitetsverdier.

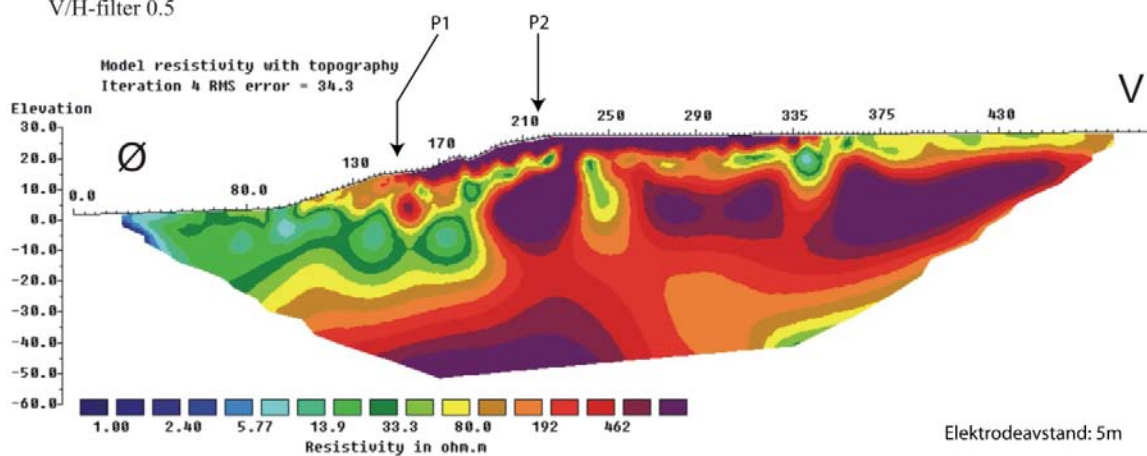


Figur 9 Resistivitetsprofil 2, med Robust inversjon og justert fargeskala for bedre skille mellom sediment- og fjellverdier.

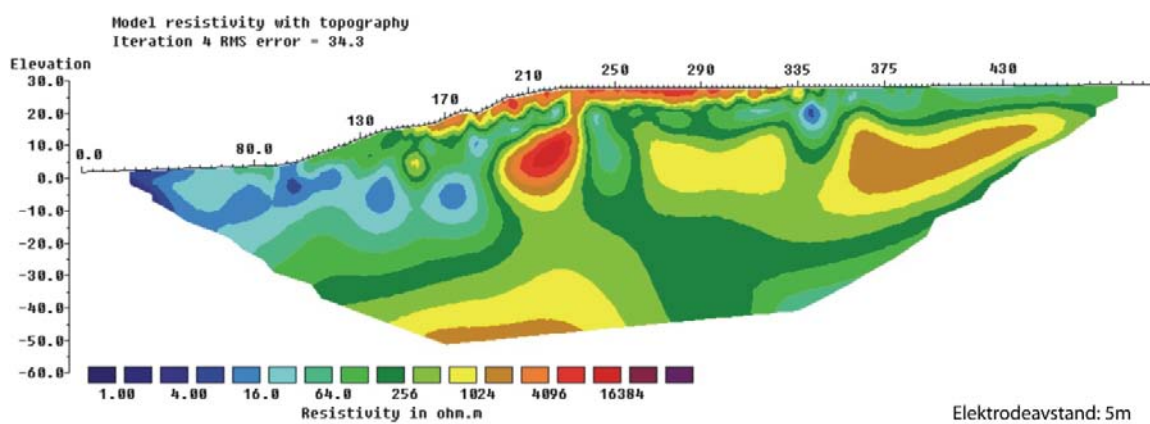
# Rissa

## Profil 3

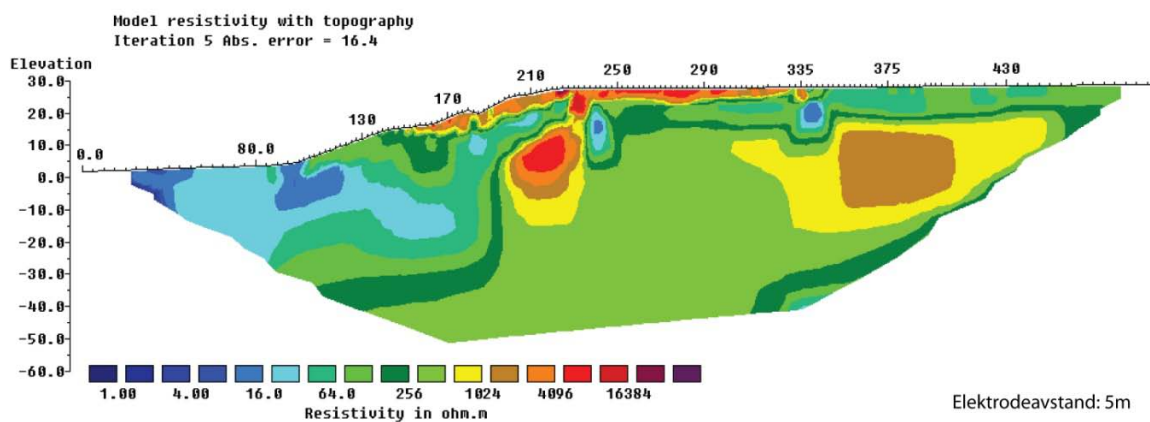
Gradient, el.avst. 5 m.  
V/H-filter 0.5



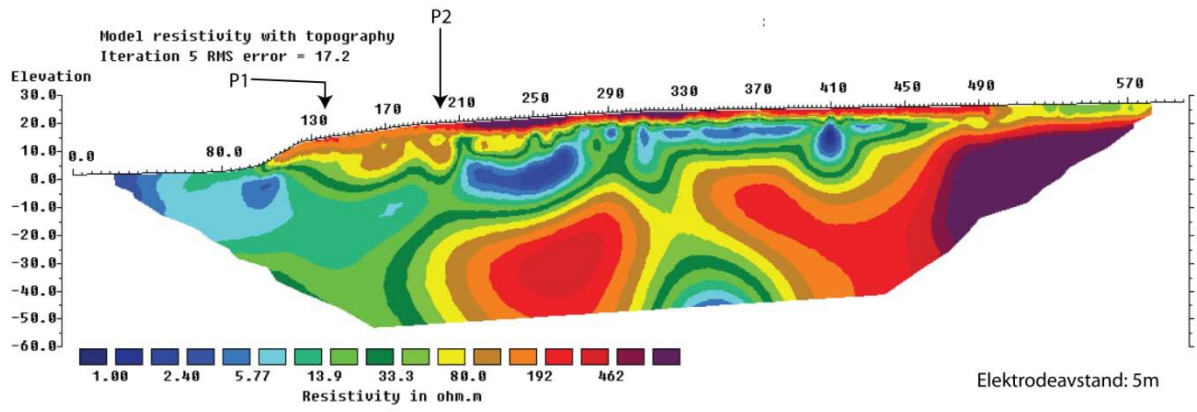
Figur 10 Resistivetsprofil 3. Gradient elektrodekonfigurasjon, 5 m elektrodeavstand.



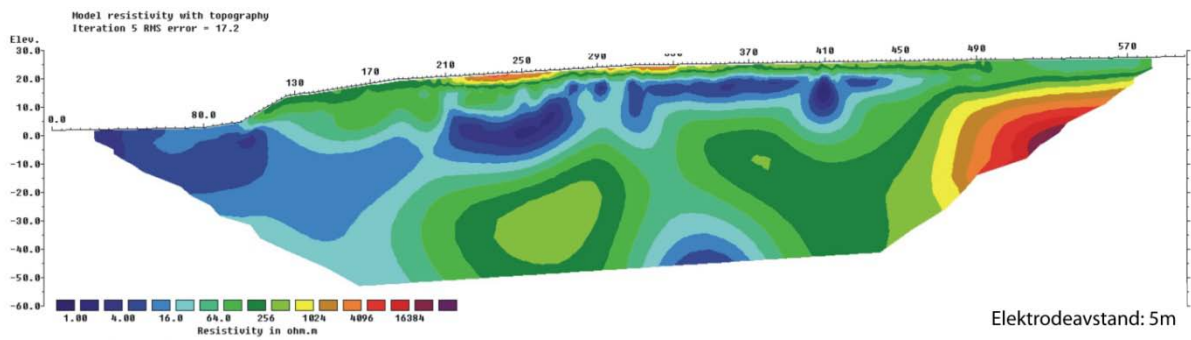
Figur 11 Resistivetsprofil 3, vist med justert fargeskala for bedre å få fram høye resistivetsverdier.



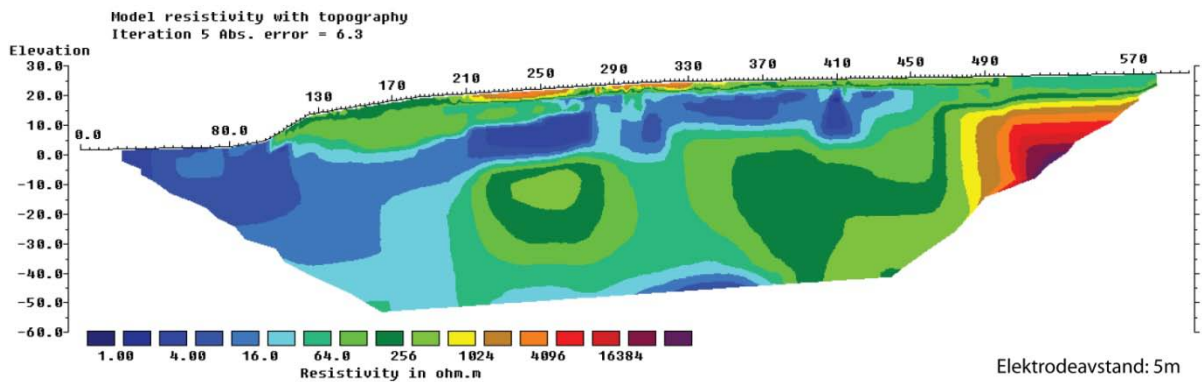
Figur 12 Resistivetsprofil 3, med Robust inversjon og justert fargeskala for bedre skille mellom sediment- og fjellverdier.



Figur 13 Resistivitetsprofil 4. Gradient elektrodekonfigurasjon, 5 m elektrodeavstand.



Figur 14 Resistivitetsprofil 4, vist med justert fargeskala for bedre å få fram høye resistivitetsverdier.

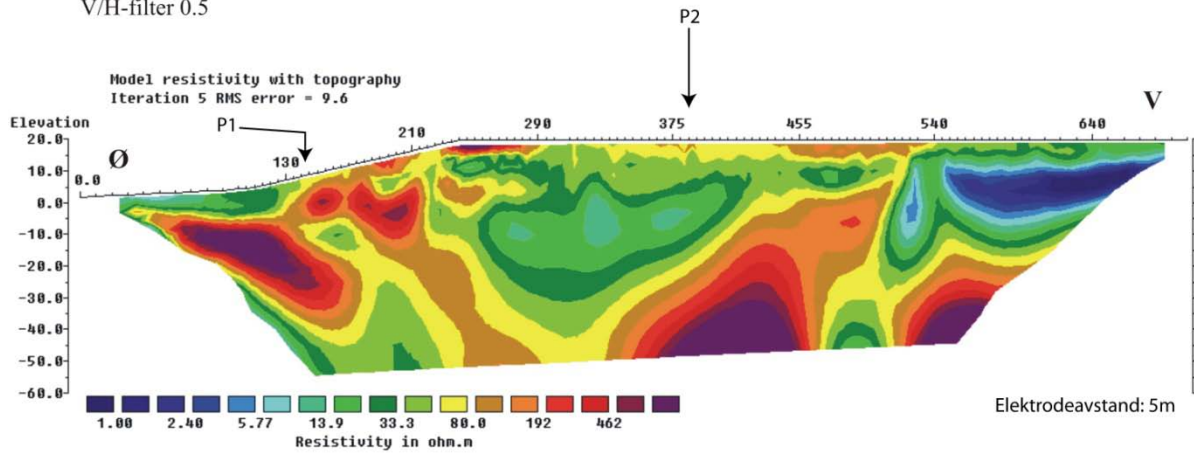


Figur 15 Resistivitetsprofil 4, med Robust inversjon og justert fargeskala for bedre skille mellom sediment- og fjellverdier.

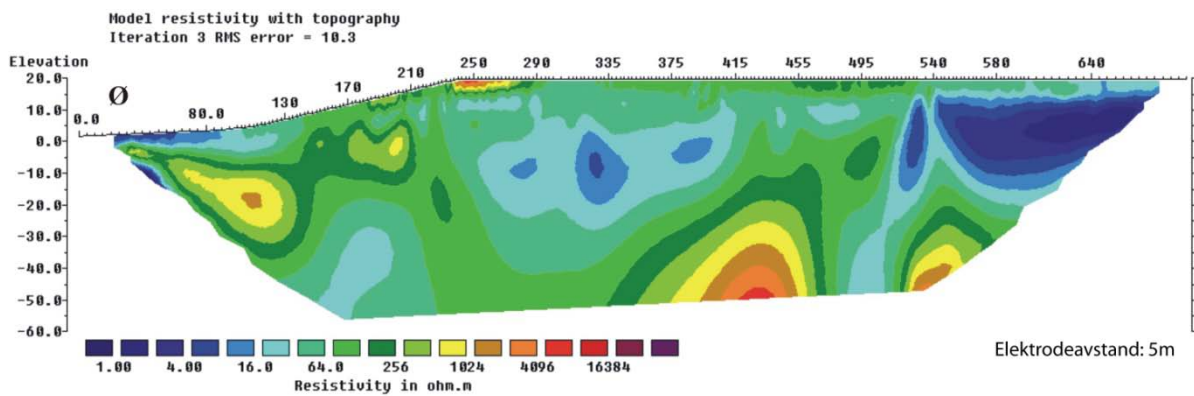
# Rissa

## Profil 5

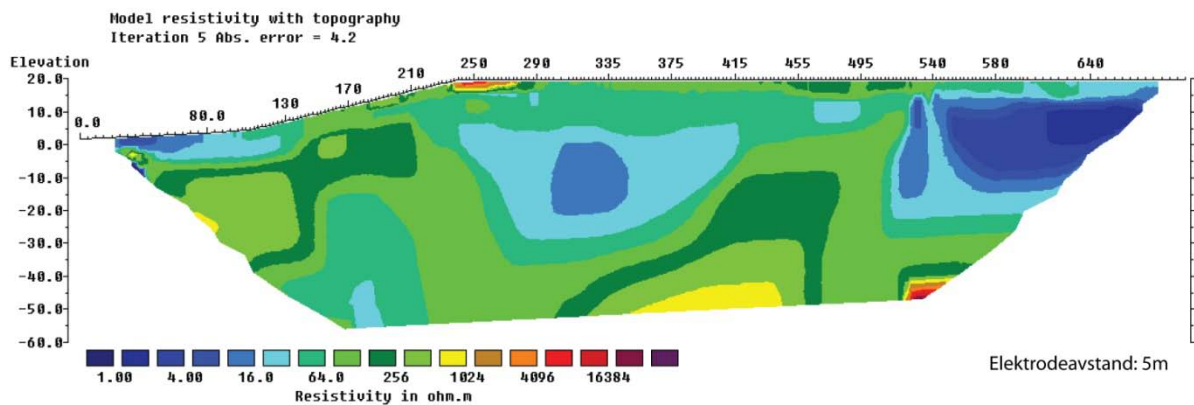
Gradient, el.avst. 5 m.  
V/H-filter 0.5



Figur 16 Resistivetsprofil 5. Gradient elektrodekonfigurasjon, 5 m elektrodeavstand.



Figur 17 Resistivetsprofil 5, vist med justert fargeskala for bedre å få fram høye resistivetsverdier.

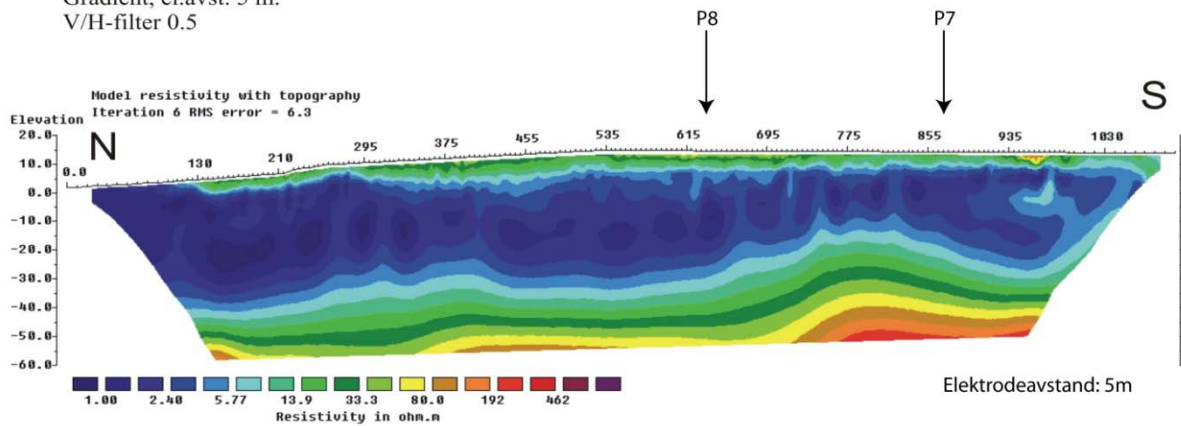


Figur 18 Resistivetsprofil 5, med Robust inversjon og justert fargeskala for bedre skille mellom sediment- og fjellverdier.

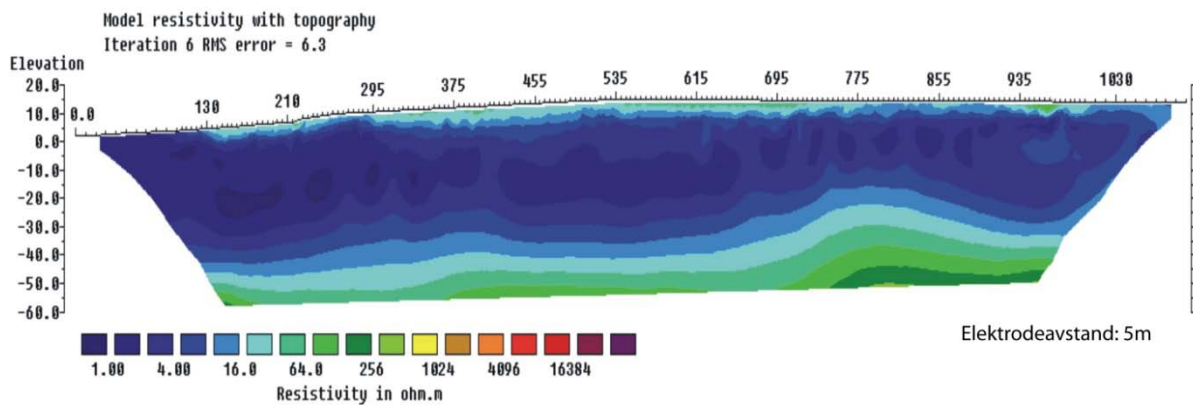
# Rissa

## Profil 6

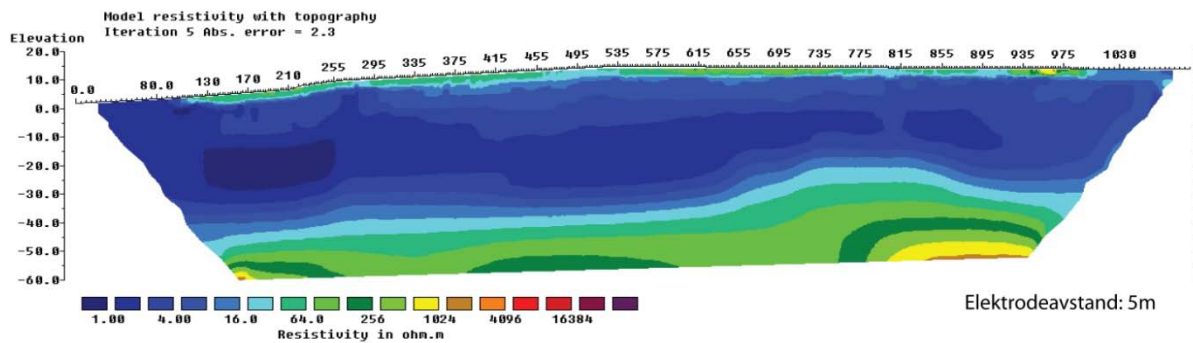
Gradient, el.avst. 5 m.  
V/H-filter 0.5



Figur 19 Resistivetsprofil 6. Gradient elektrodekonfigurasjon, 5 m elektrodeavstand.



Figur 20 Resistivetsprofil 6, vist med justert fargeskala for bedre å få fram høye resistivetsverdier.



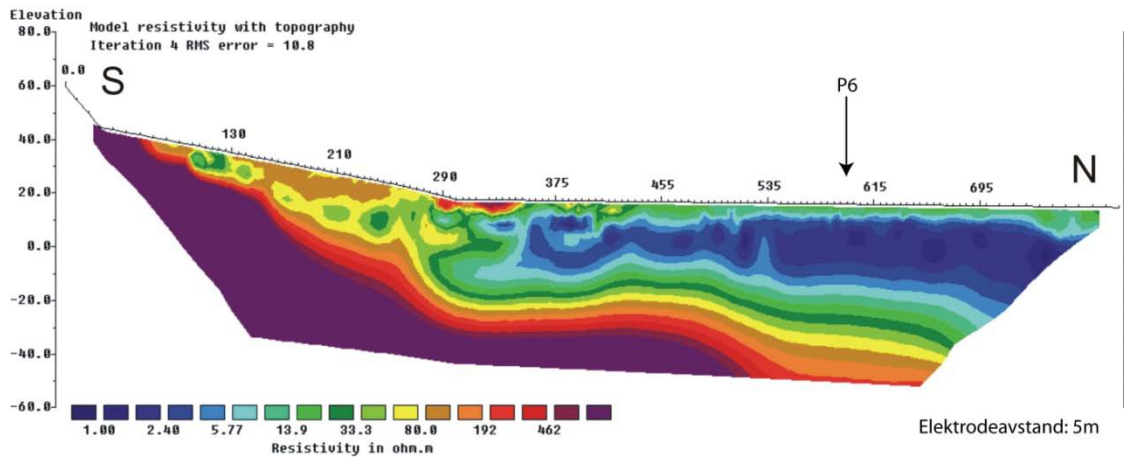
Figur 21 Resistivetsprofil 6, med Robust inversjon og justert fargeskala for bedre skille mellom sediment- og fjellverdier.



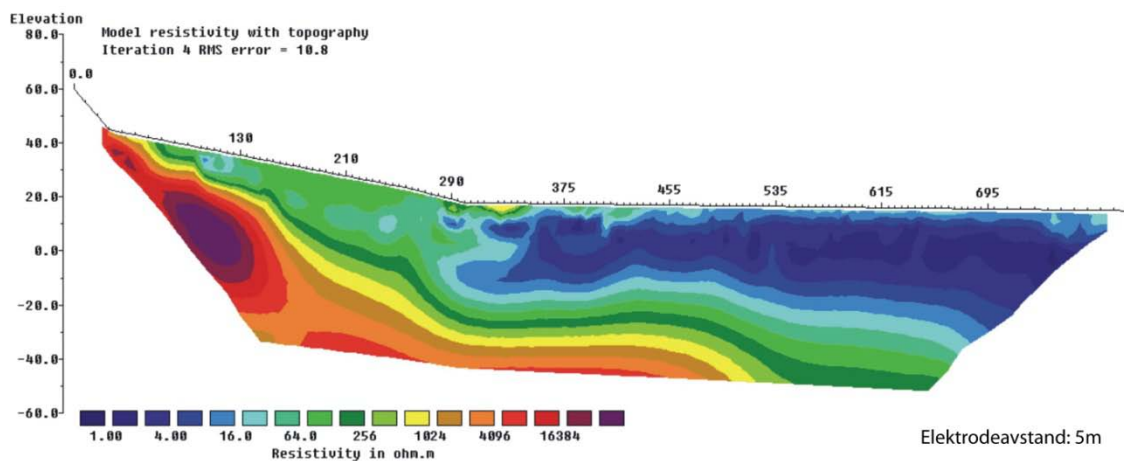
# Rissa

## Profil 7

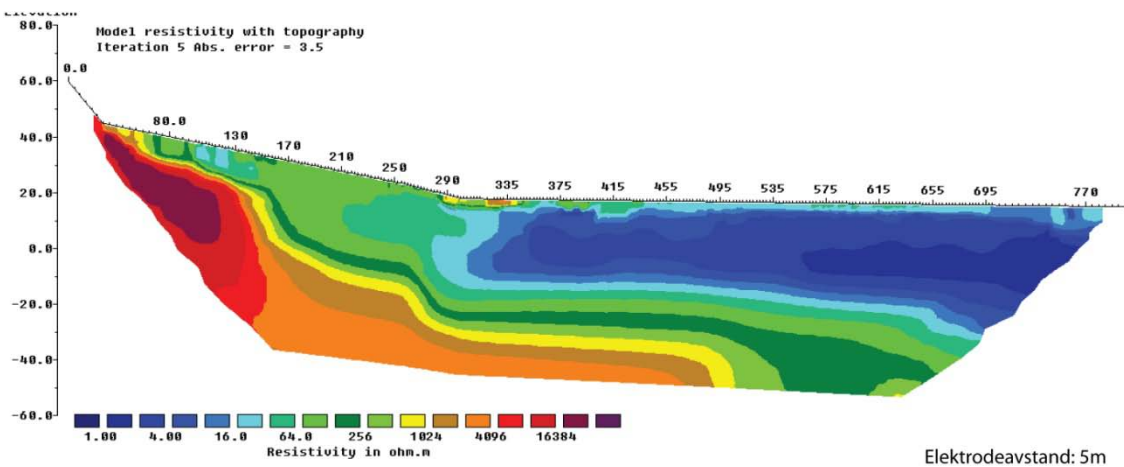
Gradient, el.avst. 5 m.  
V/H-filter 0.5



Figur 22 Resistivitetsprofil 7. Gradient elektrodekonfigurasjon, 5 m elektrodeavstand.



Figur 23 Resistivitetsprofil 7, vist med justert fargeskala for bedre å få fram høye resistivitetsverdier.

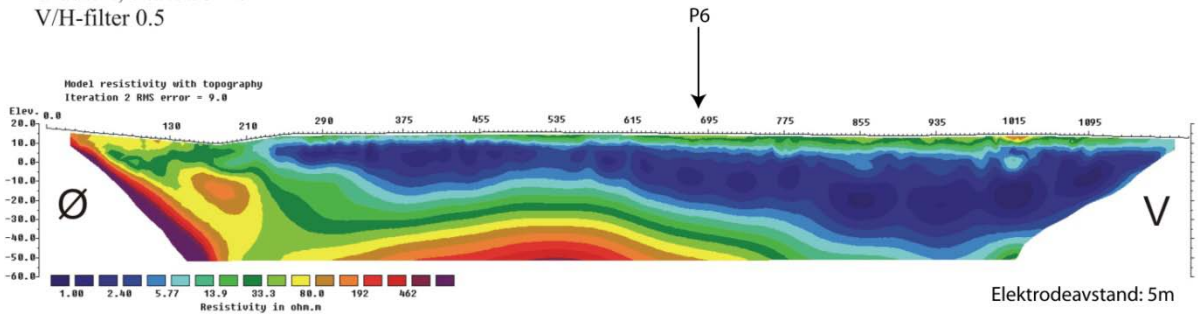


Figur 24 Resistivitetsprofil 7, med Robust inversjon og justert fargeskala for bedre skille mellom sediment- og fjellverdier.

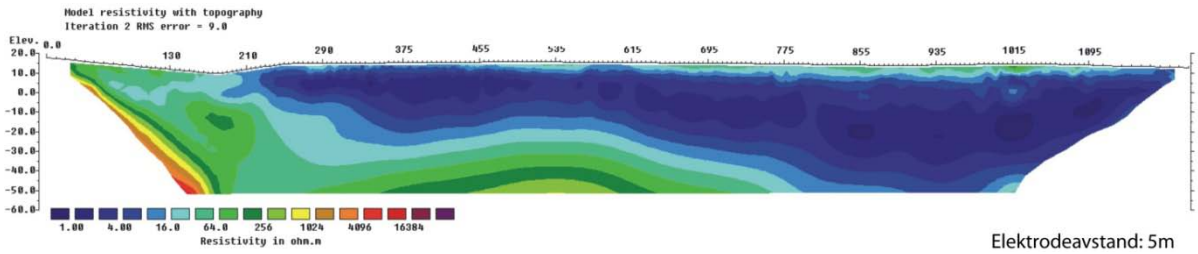
# Rissa

## Profil 8

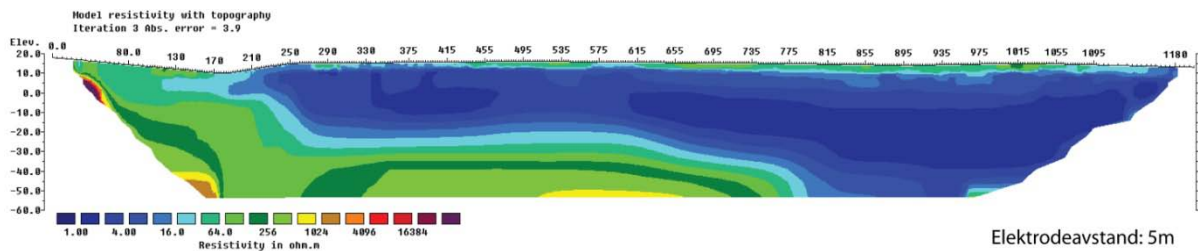
Gradient, el.avst. 5 m.  
V/H-filer 0.5



Figur 25 Resistivetsprofil 8. Gradient elektrodekonfigurasjon, 5 m elektrodeavstand.



Figur 26 Resistivetsprofil 8 vist med justert fargeskala for bedre å få fram høye resistivetsverdier.



Figur 27 Resistivetsprofil 8, med Robust inversjon og justert fargeskala for bedre skille mellom sediment- og fjellverdier.

## **VEDLEGG**



## VEDLEGG 1 FELTOBSERVASJONER AV BERGGRUNNEN I RISSA

*Dato:* 26/10-2010

*Deltakere:* Inger-Lise Solberg og Louise Hansen

*Formål:* Å studere berggrunnsblotninger som hjelp til tolking av 2D resistivetsprofiler fra området som stedvis har uventet lave og varierende resistivetsverdier for fjell.

*Konklusjon:* Det kan være sprekkesoner/oppløsningshorisonter/karst parallelt med båndingen i den begravde berggrunnen under løsmassene.



*Vedleggsfigur 1 Lokalteter ved berggrunnsobservasjoner i Rissa*

### **Lokalitet 1: Eidem ved RV 717, berggrunnsblotning ved gård**

Steiltstående lagdeling/bånding i glimmerskifer/grønnskifer med kvartslinser (noen foldet, se foto) og ulik hardhet/forvitningsgrad. Strøk/fall av lagdeling:  $63^{\circ}/75^{\circ}$  NNV. På motsatt side av huset på bildet er lagdelingen loddrett og strøk er  $55^{\circ}$ .



*Vedleggsfigur 2 Lokalitet 1: blotning av grønnskifer/glimmerskifer med kvartslinser (Foto: Louise Hansen)*



*Vedleggsfigur 3 Lokalitet 1: foldet kvartslinse i grønnskifer/glimmerskifer (Foto: Louise Hansen)*



*Vedleggsfigur 4 Lokalitet 1: ulik forvittringsgrad/hardhet av grønnsteins-/glimmerskiferbånd (Foto: Louise Hansen)*

## **Lokalitet 2**

Fortsettelse av fjellblotningene ved lokalitet 1 mot Botn (øst). Glimmerskifer/grønnskifer med lag av fyllitt med amfibolnåler på kløvflatene og mm-store granater.



*Vedleggsfigur 5 Lokalitet 2: fyllitt på loddrett kløvflate (Foto: Louise Hansen)*



*Vedleggsfigur 6 Lokalitet 2: amfibolnåler på kløvflate (Foto: Louise Hansen)*

### **Lokalitet 3**

Fjell med mye humusdekke på motsatt side av Rv 717 i forhold til lokalitetene 1 og 2. Strøk av loddrett kløvflate: 45°.

### **Lokalitet 4: Kvithylla**

Finner kun krystallinsk kalkstein på sørside av fjellknaus som i hovedsak består av glimmerskifer/grønnskifer med kvartsårer.



*Vedleggsfigur 7 Lokalitet 4 Kvithylla: glimmerskifer/grønnskifer til venstre, krystallinsk kalkstein til høyre (Foto: Louise Hansen)*



### **Lokalitet 5**

Fjell i skog bak kloster. Strøk av bånding: 45° heller bratt mot NV (ca. 75°).



*Vedleggsfigur 8 Lokalitet 5 (Foto: Louise Hansen)*

### **Lokalitet 6**

Fjellblotning (glimmerskifer/grønnskifer) langs Botn.



*Vedleggsfigur 9 Lokalitet 6 ved Botn (Foto: Louise Hansen)*

## **Lokalitet 7**

Fjellblotning (glimmerskifer/grønnskifer) langs Botn.



*Vedleggsfigur 10 Lokalitet 7 ved Botn (Foto: Louise Hansen)*

## VEDLEGG 2 KOORDINATER TIL INNMÅLTE PROFILER

Koordinatene er målt med håndholdt GPS.

Profilnr.	Koordinat	UTM 32N	
		WGS-84 Nord	WGS-84 Sør
<b>P1</b>	0	7049137	546186
	100	7049032	546169
	200	7048935	546158
	300	7048835	546148
	400	7048737	546132
	500	7048639	546112
	600	7048547	546152
	700	7048456	546193
	800	7048365	546237
	900	7048275	546276
	1000	7048186	546314
<b>P2</b>	0	7048157	545860
	100	7048249	545892
	200	7048346	545919
	300	7048441	545950
	400	7048538	545975
	500	7048625	545990
	600	7048716	546044
	700	7048801	546090
	800	7048898	546088
	900	7049002	546077
<b>P3</b>	0	7048796	546295
	100	7048818	546197
	200	7048855	546106
	300	7048890	546015
	400	7048932	545925
	500	7048989	545845
<b>P4</b>	0	7048723	546268
	100	7048754	546176
	200	7048773	546081
	300	7048762	545982
	400	7048743	545886
	500	7048725	545786
	600	7048691	545695

Profilnr.	Koordinat	UTM 32N	
		WGS-84 Nord	WGS-84 Sør
<b>P5</b>	0	7048479	546328
	100	7048462	546234
	200	7048447	546134
	300	7048437	546035
	400	7048438	545921
	500	7048444	545840
	600	7048417	545744
	700	7048398	545644
<b>P6</b>	0	7048425	546489
	100	7048327	546455
	200	7048234	546427
	300	7048139	546404
	400	7048041	546385
	500	7047944	546356
	600	7047852	546329
	700	7047754	546305
	800	7047656	546285
	900	7047562	546265
	1000	7047467	546236
	1100	7047374	546202
<b>P7</b>	0	7047094	546583
	100	7047157	546542
	200	7047244	546489
	300	7047330	546438
	400	7047413	546382
	500	7047495	546330
	600	7047582	546276
	700	7047662	546223
	800	7047745	546162
<b>P8</b>	0	7047691	546990
	100	7047705	546894
	200	7047725	546798
	300	7047748	546699
	400	7047779	546605
	500	7047786	546506
	600	7047800	546406
	700	7047819	546308
	800	7047833	546209
	900	7047848	546112
	1000	7047861	546013
	1100	7047877	545915
	1200	7047892	545816