

NGU Rapport 2012.018

Resistivitetmålinger for løsmassekartlegging  
ved Rein kirke i Rissa, Sør-Trøndelag.  
Data og tolkninger.

Rapport nr.: 2012.018		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Resistivitetsmålinger for løsmassekartlegging ved Rein kirke i Rissa, Sør-Trøndelag. Data og tolkninger.			
Forfattere: Inger-Lise Solberg, Einar Dalsegg og Jean-Sebastien L'Heureux		Oppdragsgiver: Statens vegvesen og NGU	
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: WGS 1984, UTM sone 32 N, 546100Ø, 7048800N		Sidetall: 44	Pris: 180,-
Feltarbeid utført: Mai og oktober 2011	Rapportdato: 20.03.2012	Prosjektnr.: 344500	Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>
Sammendrag:			
<p>2D resistivitetsmålingene er utført som en del av et FOU-prosjekt i samarbeid med Statens vegvesen for å karakterisere løsmasseavsetninger ved Rein kirke i Rissa kommune (Sør-Trøndelag). Statens vegvesen planlegger ny vegtrasé ved Rein kirke, og området har kjente utfordringer knyttet til kvikkleire og stabilitetsforhold. NGU utførte også i 2009-2010 2D resistivitetsmålinger i området, og fem av disse profilene ligger ved Rein kirke. Sammen med de tolv nye profilene som er målt er det derfor nå et nettverk av sytten resistivetsprofiler på knappe 1 km<sup>2</sup>. Dette er de mest omfattende målingene som er foretatt med resistivitet for kvikkleirekartlegging i Norge.</p> <p>Resistivitetsmålingene ved Rein kirke viser en kompleks geologi med undulerende fjelloverflate, sand og grus i overflata øst for Reinshaugen, og endel relativt store soner med både utvasket leire og saltholdig leire. Sammenligning med geotekniske data viser at den utvaskede leira noen steder er kvikk. En rekke av sonderingene stopper mot faste masser (fjell eller grove masser). Disse er benyttet for å antyde grensen mellom løsmasser og fjell, spesielt der fjell er antatt til å ha lave resistivetsverdier grunnet bl.a. bergartstype, fjellkvalitet og -topografi. Det tette nettverket med resistivetsprofiler gir et godt grunnlag for tolkning av fjelloverflaten i studieområdet og resultatene samsvarer med tidligere undersøkelser i innsjøen Botn. Største fjelldyp er antydnet til å være ca. 75 m. Resultatene fra disse undersøkelsene er i samsvar med NGU sin tolkningsmodell for karakterisering av leire.</p>			
Emneord:	Geofysikk	Kvikkleire	
Hav- og fjordavsetninger	Resistivitetsmålinger	Fagrapport	

## INNHold

1.	INNLEDNING.....	4
2.	LOKALITETEN.....	4
3.	MÅLEMETODER OG UTFØRELSE.....	7
3.1	Datainnsamling .....	7
3.2	Strømstyrke og datakvalitet .....	8
3.3	Inversjon.....	8
4.	KLASSIFISERING AV SEDIMENTER FRA RESISTIVITETSVERDIER.....	8
5.	GEOTEKNISKE UNDERSØKELSER .....	10
6.	RESULTATER OG TOLKNING.....	10
6.1	Profilene vinkelrett på Botn .....	12
	Profil P9-11 .....	14
	Profil P8-11 .....	15
	Profil P7-11 .....	16
	Profil P6-11 .....	17
	Profil P3-11 .....	18
	Profil P2-11 .....	19
	Profil P1-11 .....	20
	Profil P1A-11 .....	21
6.2	Profilene parallelt med Botn .....	22
	Profil P10-11 .....	22
	Profil P11-11 .....	23
	Profil P13A-11.....	24
	Profil P13B-11 .....	25
6.3	2D resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske sonderingsdata for utvalgte profiler	26
7.	DISKUSJON.....	28
7.1	Kvikkleire og saltholdig leire .....	28
7.2	Sand-/grusavsetninger .....	29
7.3	Fjell.....	30
7.4	Sammenligning med Botn-data .....	31
8.	KONKLUSJON .....	32
9.	REFERANSER.....	33
VEDLEGG 1	KOORDINATER TIL INNMÅLTE PROFILER .....	36
VEDLEGG 2	PROFILER FRA NGU-RAPPORT 2010.045.....	39
VEDLEGG 3	OVERSIKTSKART OVER STUDIEOMRÅDET .....	41
VEDLEGG 4	KART OVER GEOTEKN. BOREPUNKT VED REIN KIRKE.....	43
VEDLEGG 5	KART OVER BATYMETRI I BOTN UTENFOR REIN KIRKE.....	44

## 1. INNLEDNING

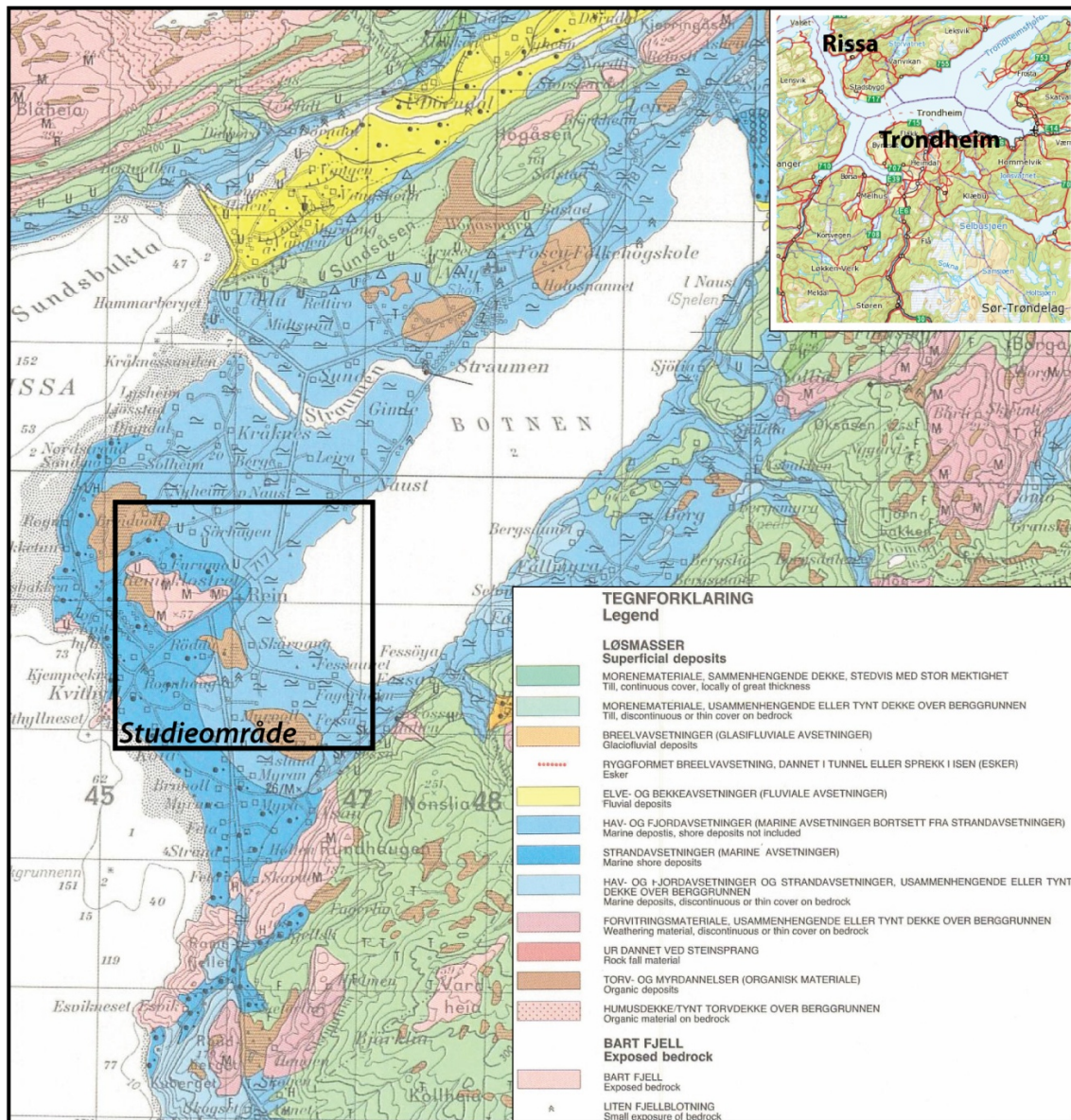
2D resistivitetsmålingene er utført som en del av et FOU-prosjekt i samarbeid med Statens vegvesen for å karakterisere løsmasseavsetninger ved Rein kirke i Rissa kommune (Sør-Trøndelag). Statens vegvesen planlegger ny vegtrasé ved Rein kirke, og området har kjente utfordringer knyttet til kvikkleire og stabilitetsforhold. NGU utførte også i 2009-2010 2D resistivitetsmålinger i området, og fem av disse profilene ligger ved Rein kirke (Solberg et al. 2010b). Sammen med de tolv nye profilene som er målt er det derfor nå et nettverk av sytten resistivetsprofiler på knappe 1 km<sup>2</sup>. Dette er de mest omfattende målingene som er foretatt med 2D resistivitet for kvikkleirekartlegging i Norge.

I denne rapporten presenteres de tolv 2D resistivetsprofilene som ble målt ved Rein kirke i 2011. I tillegg er det målt induisert polarisasjon (IP) langs de samme profillinjene, men disse data er ikke presentert i denne rapporten. Resistivetsmålingene ble utført av Einar Dalsegg (NGU). En detaljert oversikt over datainnsamlingstidspunktene er gitt i tabell 1. Guillaume Sauvin (UiO) har bidratt med visualisering av profilene i 3D. Rapporten dokumenterer datainnsamlingen og presenterer resistivetsdata. De tolkede profilene som presenteres er basert på en samtolkning av resistivetsdata og tilgjengelige geotekniske data. De fem 2D resistivetsprofilene fra 2009-2010 er inkludert i sammenstillinger og tolkninger. Geofysiske og geotekniske data er også sammenstilt med data fra innsjøen Botn (L'Heureux et al. 2011), for blant annet å kunne modellere fjelloverflate under sedimentene.

## 2. LOKALITETEN

Studieområdet ligger i Rissa kommune i Sør-Trøndelag. Lokaliteten ligger på et ± 1,5 km bredt landområde mellom Trondheimsfjorden i vest og innsjøen Botn i øst (fig. 1 og 2, vedlegg 3). Straumen knytter Botn til Trondheimsfjorden, hvor tidevannet fører med seg saltvann som gjør innsjøen brakk. Botn ligger like over havnivået. Sør i studieområdet ligger skredgropa til Rissaraset som gikk i 1978 (Gregersen 1981, L'Heureux et al. 2012), og nedenfor Rein kirke mot Botn ser det ut til å være ei gammel skredgrop. Bortsett fra åsen i sør, er terrenget relativt flatt med haugen bak Rein kirke som høyeste punkt (Reinshaugen, 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.

I følge berggrunnskart er bergartene i den nordlige delen av området grønnstein og grønnskifer med kvartslinser, mens sør i studieområdet er det amfibolitt og granodiorittisk gneis (Wolff 1976, 1978). Det ble i 2010 gjort befarings av fjellblotninger i/nær studieområdet hvor det ble observert steiltstående, SV-NØ-gående lagdeling/bånding i grønnskifer/glimmerskifer med kvartslinser, samt en blotning med krystallinsk kalkstein (Solberg et al. 2010b). Det kan være sprekkesoner (i skifer) og/eller oppløsningshorisonter/karst (i kalkstein) parallelt med båndingen i den begravde berggrunnen under løsmassene.



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



Figur 2. Studieområdet mot nord (A), sørvest (B) og nordøst (C). Foto: Inger-Lise Solberg (A) og Louise Hansen (B,C).

### 3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

I det følgende blir datainnsamling, datakvalitet og inversjon beskrevet. For utfyllende metodebeskrivelse henvises det til:

<http://www.ngu.no/no/hm/Norges-geologi/Geofysikk/Bakkegeofysikk/Elektriske-metoder/>.

#### 3.1 Datainnsamling

Måledata ble innsamlet med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høgskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993). Systemet består av en reléboks (Electrode Selector ES10-64C), fire multi-elektrode kabler og måleinstrumentet ABEM Terrameter SAS 4000 (ABEM 1999). Ved denne undersøkelsen ble det benyttet kabler med 2 m og 5 m elektrodeavstand, som gir maksimal dybderekkevidde på henholdsvis ca. 25 m og 60 m. Opplysning, og dermed nøyaktigheten, er størst i den øvre halvdel av den såkalte pseudoseksjonen, noe en må ta hensyn til ved valg av elektrodeavstand. Det ble valgt å benytte Gradient elektrode-konfigurasjon, som er godt egnet til kartlegging av horisontale strukturer (Reiser et al. 2010). Profilenes beliggenhet er innmålt med GPS (vedlegg 1), men er ikke merket i terrenget da mesteparten av profilene går på innmark. Oversikt over profilene finnes i tabell 1.

Tabell 1. Oversikt over innsamling av 2D resistivitet (og IP). For alle profiler: Gradient elektrode-konfigurasjon. Med unntak av P3-11 (2 m) er alle profiler målt med 5 m elektrodeavstand.

Dato	Profilnr.	Lengde (m)	Markslag	Merknad
5.-6. og 17.10.11	P1-11	500	Dyrket mark	
5.10.11	P1A-11	500	Dyrket mark	
6.-7.10.11	P2-11	500	Dyrket mark	
3.5.11	P3-11	400	Dyrket mark	
4.5.11	P6-11	700	Dyrket mark	
10.10.11	P7-11	490	Dyrket mark, skog	
11.10.11	P8-11	500	Dyrket mark, skog	
18.10.11	P9-11	500	Dyrket mark, skog	Målt med både ABEM-LS og SAS 4000
24.-25.10.11	P10-11	1200	Dyrket mark (stedvis meget bløtt)	
19.-20.10.11	P11-11	1100	Dyrket mark	
21.10.11	P13A-11	700	Dyrket mark, langs veg	Noe av profilet ble målt med både ABEM-LS og SAS 4000
26.10.11	P13B-11	800	Dyrket mark, langs veg	

Strøm ble sendt i pulser på 1 sekund og alternerende polaritet. Dette gir en målesyklus på 3,8 sekund. Målingen av resistivitet (enhet ohmm eller  $\Omega\text{m}$ ) startet 0,3 sekund etter at strømmen ble slått på og måletiden var 0,5 sekund. Indusert polarisasjon (IP) ble målt som en

integring av signalet fra 10 ms etter strømbrudd i et tidsvindu på 100 ms. IP-data presenteres ikke i denne rapporten.

### 3.2 Strømstyrke og datakvalitet

Jordingsbetingelsene var generelt meget gode med unntak av der profilene krysset veg. 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.

### 3.3 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. Den inverterte seksjonen er det resulterende 2D resistivetsprofil.

Resistivetsdata ble invertert ved bruk av dataprogrammet Res2DInv (Løke 2010). Standard "Least Square" ("Smooth") ble benyttet som inversjonsmetode. V/H-filter (vertikal/horisontal-filter) er ved inversjonen satt til 0,5, noe som til en viss grad favoriserer horisontal lagdeling.

## 4. KLASSIFISERING AV SEDIMENTER FRA RESISTIVITETSVERDIER

Tabell 2 og figur 3 viser klassifisering av sedimenter fra resistivetsverdier som er benyttet som utgangspunkt for tolkningen av 2D resistivetsprofilene. 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, kornfordeling, mineralsammensetning og romlig geologi. Etter supplerende undersøkelser/sammenligning med geotekniske data, vil grensene for den aktuelle lokaliteten kunne bli justert.

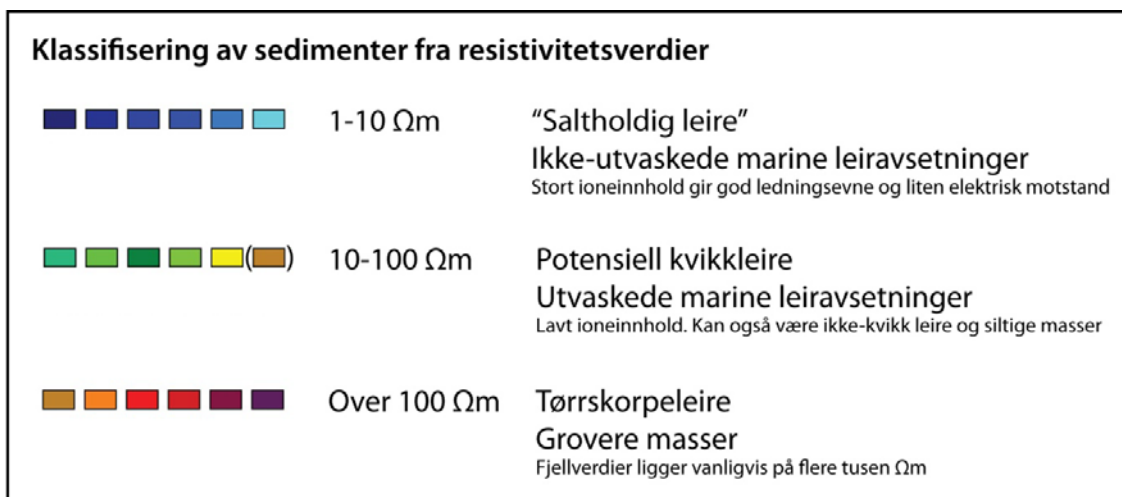
Resistivetsverdier fra ca. 1-10  $\Omega\text{m}$  er materiale med god ledningsevne, som saltholdig leire. Verdier fra 10  $\Omega\text{m}$  og opp til 90-100  $\Omega\text{m}$  kan være kvikkleire, men økningen i resistivitet kan også skyldes innslag av grovere masser som silt/sand. Tørrskorpeleire er vanligvis mellom 100  $\Omega\text{m}$  og 200  $\Omega\text{m}$ . Fargeskalaen 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 morene og 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 resistivetsverdier. Det ser ut til at når sedimenter med lave resistivetsverdier 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).



Oppløsning og nøyaktighet er størst i øvre og midtre deler av et resistivetsprofil. Tolkning i ytterkantene og dypere del av profilene må derfor gjøres med forsiktighet. Eksakt avstand til dyptliggende lag må verifiseres med andre metoder. For mer detaljer om resistivetsmetoden og dens anvendelse knyttet til kvikkleirekartlegging henvises det til Solberg et al. (2011).

Tabell 2. 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, kornfordeling og mineralsammensetning. Fargekoden benyttes i NGUs kvikkleireprosjekter (tabellen er basert på bl.a. Solberg et al. 2008, 2011, 2012b).

Resistivetsverdier	Materiale	Fargekode	Beskrivelse
1-10 $\Omega\text{m}$	Ikke-utvaskede marine leiravsetninger (Saltholdig leire)	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 (Mulig kvikkleire)	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 $\Omega\text{m}$	Tørskorpeleire	(Gul), Orange	Tørskorpeleire, leirskredmasser, sand og grus vil generelt 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, morene	Orange, rød, mot lilla	
>1000 $\Omega\text{m}$	Fjell	(Rød), Lilla	



Figur 3. Fargeskala som brukes i NGU-prosjekter knyttet til kartlegging av potensiell kvikkleire (Solberg et al. 2011).

## 5. GEOTEKNISKE UNDERSØKELSER

Det er utført en rekke geotekniske undersøkelser av ulike firma i området: i etterkant av Rissaraset i 1978 og senere knyttet til prosjektering av ny veg (Fv. 717 Sund - Bradden). Det er også blitt utført faresonekartlegging for kvikkleireskred i området (Gregersen & Korbøl 1989). 2D resistivetsprofilene er sammenlignet med geotekniske data, og tolkningene som er gitt er en sammenstilling av disse data. Generelt er ikke de geotekniske data vist i denne rapporten, men følgende geotekniske rapporter er benyttet: Karlsrud & Gregersen (1981), Moholdt & Harbækvold (2008), Lande (2009), Lund (2009a, b) og Aasland (2010). Statens vegvesen har utført noen ytterligere geotekniske undersøkelser i området i forbindelse med planleggingen av ny Fv. Sund-Bradden. Disse dataene er vist sammen med 2D resistivetsdata som en del av samarbeidsprosjektet som presenteres i denne rapporten (se kap. 6.3).

## 6. RESULTATER OG TOLKNING

For å kartlegge løsmasseavsetningene ved Rein kirke i Rissa er det målt til sammen 11 590 m med 2D resistivitet i løpet av perioden 2009-2011. Denne rapporten beskriver de tolv nyeste profilene, på til sammen 7890 m. Beliggenheten til resistivetsprofilene er vist på figur 4 (gamle og nye profiler). Resistivetsprofilene er satt sammen for å få et tilnærmet tredimensjonalt bilde av undergrunnen. Figur 5 viser ulike utsnitt fra nettverket av profilene, laget i programmet OpendTect (versjon 4.2).

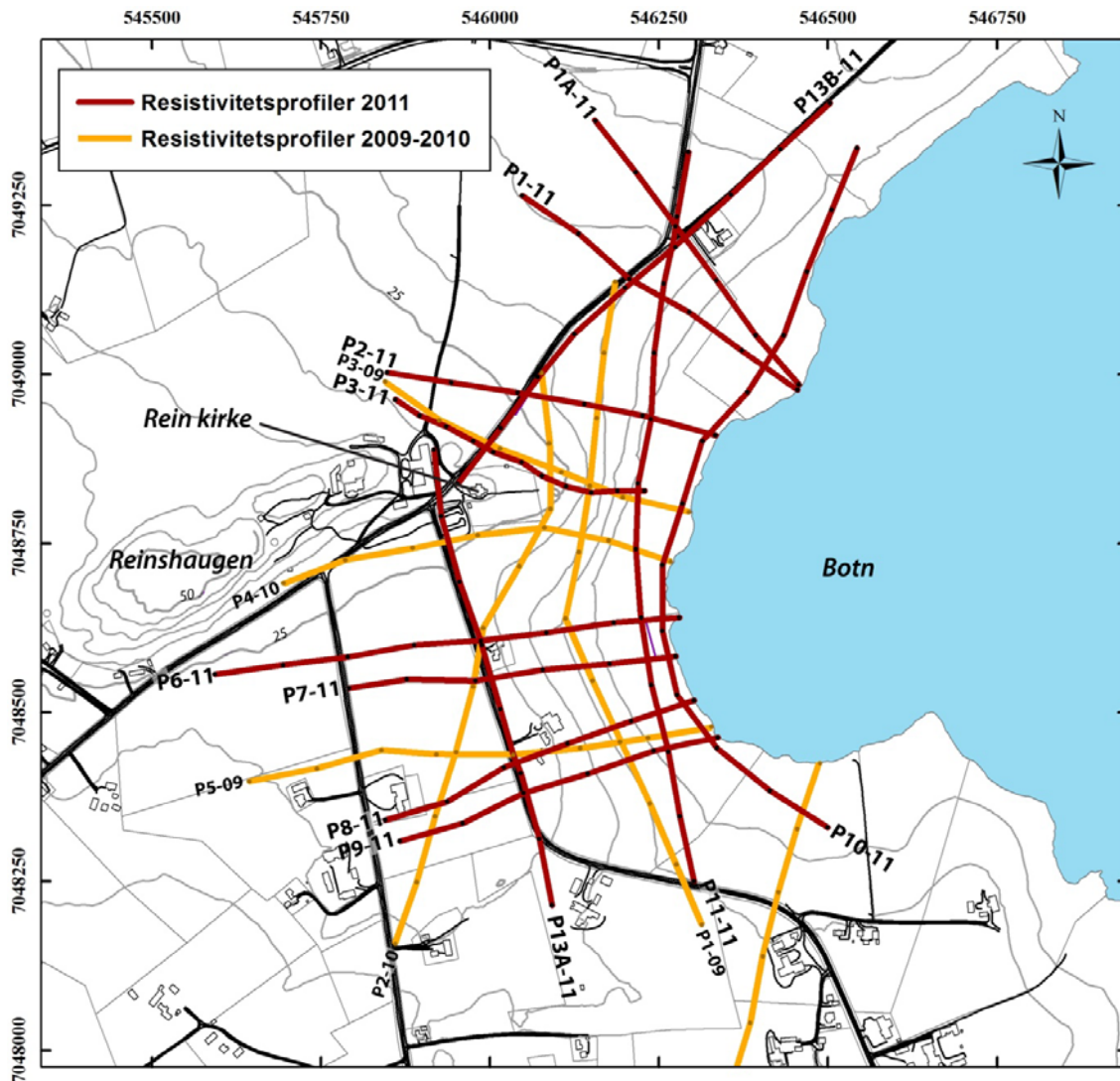
De enkelte resistivetsprofilene (uten og med tolkning) er vist sammen med beskrivelsene/tolkningene i det følgende. For lettere å kunne sammenligne profilene er de vist med samme fargeskala på figurene, men under tolkningsarbeidet er også en lengre skala (ca. 1-15 000  $\Omega\text{m}$ ) benyttet for bedre å få fram nyanser i høyere resistivetsverdier. Profilene har standard inversjon ("Least Square"/"smooth"). Profilene blir beskrevet i rekkefølgen som vist i tabell 3. Resistivetsprofilene fra 2009 og 2010 er vist i vedlegg 2.

Tabell 3. Alle 2D resistivitetsprofiler som NGU har målt ved Rein kirke i Rissa i perioden 2009-2011. Alle profilene er med gradient elektrodekonfigurasjon, og med 5 m elektrodeavstand (bortsett fra P3-11 som har 2 m elektrodeavstand). Siste del av profilnummeret (-XX) viser hvilket år profilet er målt.

<b>Profiler vinkelrett på Botn, fra sør mot nord</b>		
<b>Profilnr.</b>	<b>Profil-lengde (m)</b>	<b>Referanse</b>
P9-11	500	
P8-11	500	
P5-09	700	NGU Rapport 2010.045 (Solberg et al. 2010b) (vedlegg 2b)
P7-11	490	
P6-11	700	
P4-10	600	NGU Rapport 2010.045 (Solberg et al. 2010b) (vedlegg 2b)
P3-11	400	
P3-09	500	NGU Rapport 2010.045 (Solberg et al. 2010b) (vedlegg 2b)
P2-11	500	
P1-11	500	
P1A-11	500	
<b>Profiler parallelt Botn, fra øst mot vest</b>		
<b>Profilnr.</b>	<b>Profil-lengde (m)</b>	<b>Referanse</b>
P10-11	1200	
P11-11	1100	
P1-09	1000	NGU Rapport 2010.045 (Solberg et al. 2010b) (vedlegg 2a)
P13A-11	700	
P13B-11	800	
P2-10	900	NGU Rapport 2010.045 (Solberg et al. 2010b) (vedlegg 2a)

Tolkningen som er vist på figurene er utført på bakgrunn av resistivitetsverdiene på gjeldende profil, ved sammenligning med nærliggende parallelle profiler og med kryssende profiler. Der det er utført geotekniske undersøkelser, er resultatene fra disse også benyttet i tolkningen. Disse data er ikke vist på profilene, men er mange steder benyttet for å antyde overgangen mellom løsmasser og fjell (evt. mellom fine og grove masser). Vedlegg 4 viser hvor det finnes geotekniske undersøkelser.

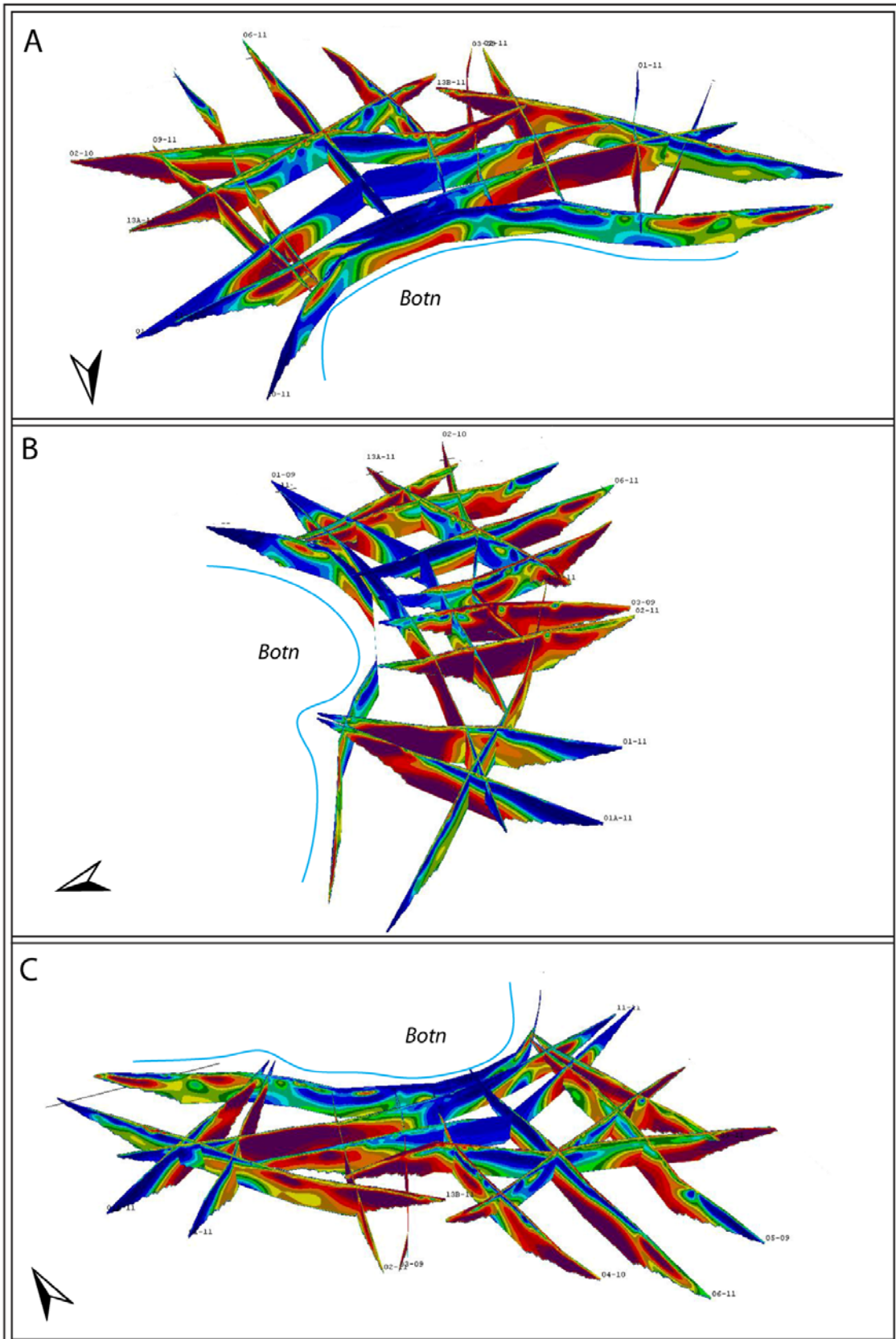
Potensiell kvikkleire omtales som "utvasket leire". Hvis det er markert "kvikkleire" er det påvist kvikkleire fra prøvetaking eller svært sannsynlig tolkning av sonderingsdata. I en del geofysiske overgangssoner mellom saltholdig leire og fjell ligger resistivitetsverdiene på 10-100  $\Omega$ m. Dette kan være utvasket leire, men det kan også være grove masser mellom leire og fjell. Hvis det ikke finnes noen sonderingsdata fra disse delene av profilene, kan slike overgangssoner være markert med spørsmålsteget.



Figur 4. 2D resistivetsprofiler målt ved Rein kirke i Rissa. Med unntak av P13B-11 er profilidentifikasjon plassert ved posisjon 0 m på profilene. Markeringene på profillinjene er pr. 100 m (40 m på P3-11).

### 6.1 Profiler vinkelrett på Botn

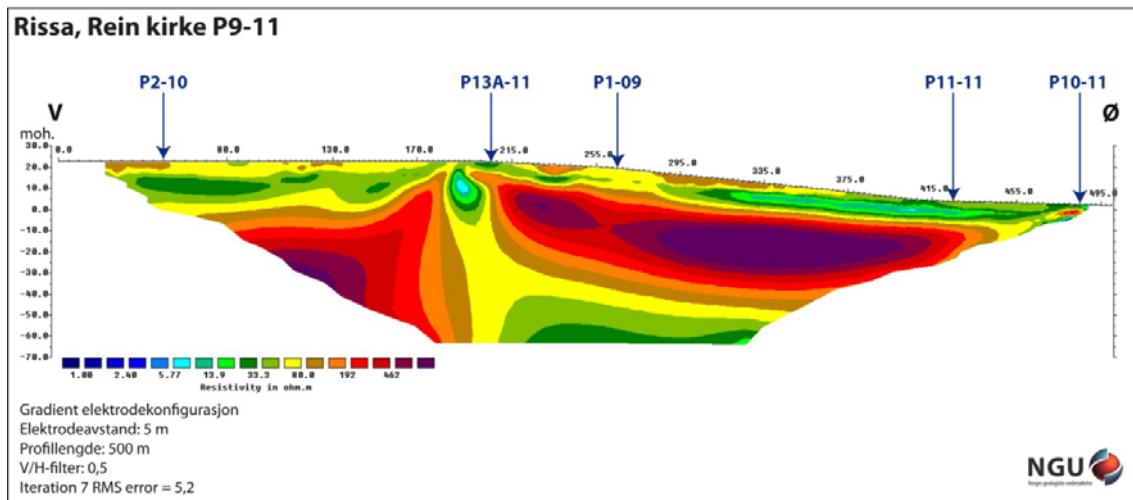
Vinkelrett på innsjøen Botn er det åtte nye og tre eldre 2D resistivetsprofiler (tabell 3, fig. 4). De er 400-700 m lange. Ett er målt med 2 m elektrodeavstand (P3-11), resten med 5 m elektrodeavstand.



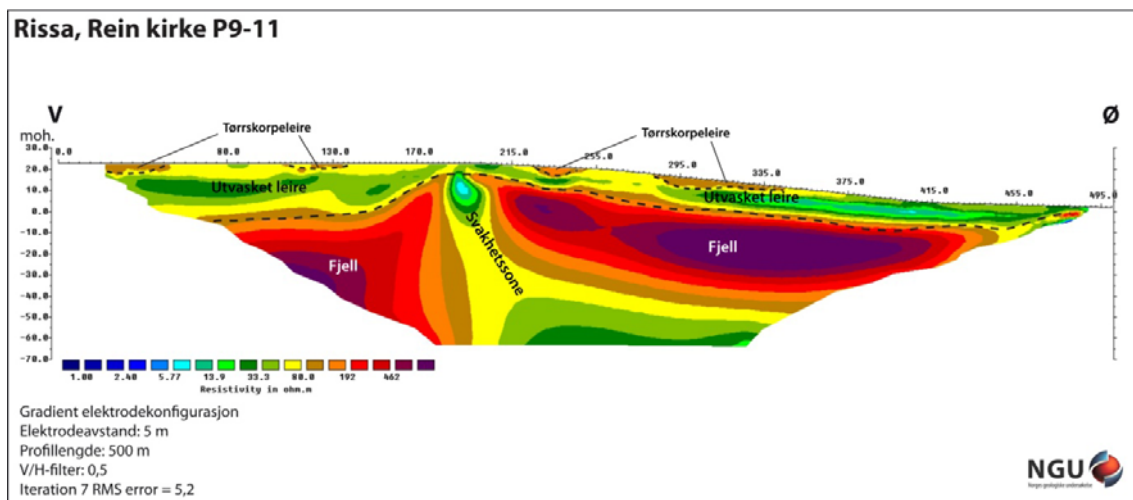
Figur 5. 2D resistivetsprofilene ved Rein kirke satt sammen for 3D-visualisering i programmet OpendTect.

### Profil P9-11

Profil P9-11 er 500 m langt og er det sørligste av profilene som ligger vinkelrett på innsjøen Botn (fig. 4 og 6). Så å si hele profilet har resistivitetsverdier over 10  $\Omega\text{m}$ . De øverste 5-25 m har verdier hovedsakelig i intervallet 10-100  $\Omega\text{m}$ . Dette er tolket til å være utvasket leire som kan være kvikk (fig. 7). Sedimentene med noe høyere verdier i overflata er trolig tørrskorpeleire. Dominerende i profilet er to soner med høy resistivitet (opp til noen tusen  $\Omega\text{m}$ ), med ei lavresistivitetssone i mellom. Hele dette partiet er tolket til å være fjell gjennombrutt av ei svakhetszone. Grensa mot fjell er tolket både ut fra resistivitetsverdier og fra sonderingsdata langs profilet. Sonderingene har stoppet mot antatt fjell, men de kan også ha stoppet mot grove masser (evt. grove masser over fjell).



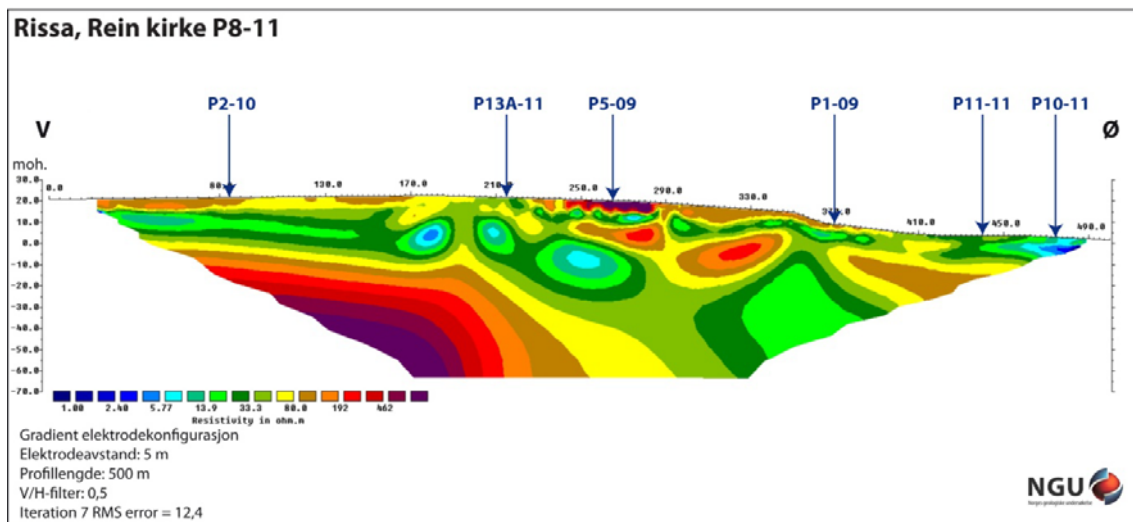
Figur 6. Resistivitetsprofil P9-11, med krysningspunkter med andre resistivitetsprofiler.



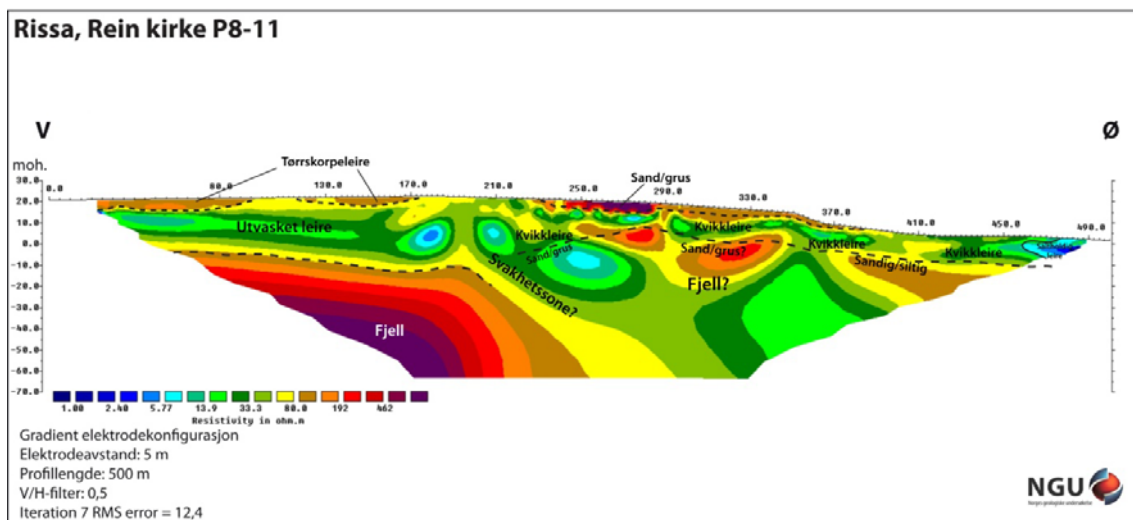
Figur 7. Tolket resistivitetsprofil P9-11.

### Profil P8-11

Profil P8-11 er 500 m langt og ligger parallelt med P9-11 (35-60 m mellom profilene) (fig. 4 og 8). Profilet preges av mange lommer med ulike resistivitetsverdier. Nær overflata er det tolket tørrskorpeleire (100-200  $\Omega\text{m}$ ) og ei lomme med sand/grus (> 200  $\Omega\text{m}$ ) (fig. 9). Under disse overflatelagene er det utvasket leire. Kvikkleire er påvist fra prøve ved profilpunkt 315 m, og ellers tolket fra sonderprofiler. Helt i øst, nær Botn er det lave resistivitetsverdier, tolket som saltholdig leire (1-10  $\Omega\text{m}$ ). De fleste sonderinger viser i nedre del enten grove masser eller at de stopper mot antatt fjell. Resistivitetsverdiene er veldig varierende (3-5000  $\Omega\text{m}$ ). Antydte fjellgrense på figur 9 er tegnet ut fra sonderprofiler og ut fra sammenligning med nærliggende resistivitetsprofiler. Bergartstype og -kvalitet spiller trolig en viktig rolle her, noe som diskuteres senere. Den tolkede svakhetssona i P9-11 går nok også gjennom dette profilet, men er trolig litt mindre bratt.



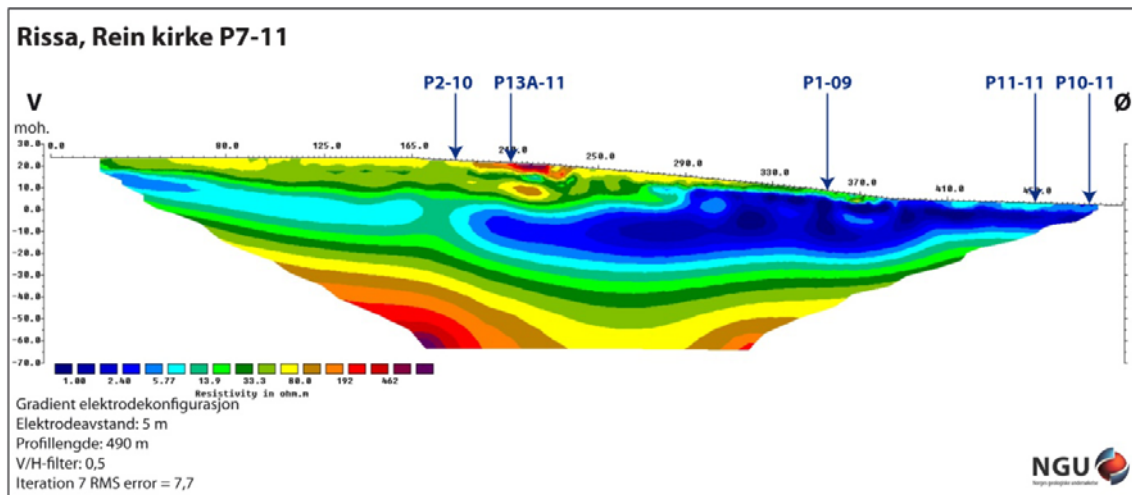
Figur 8. Resistivetsprofil P8-11, med krysningspunkter med andre resistivetsprofiler.



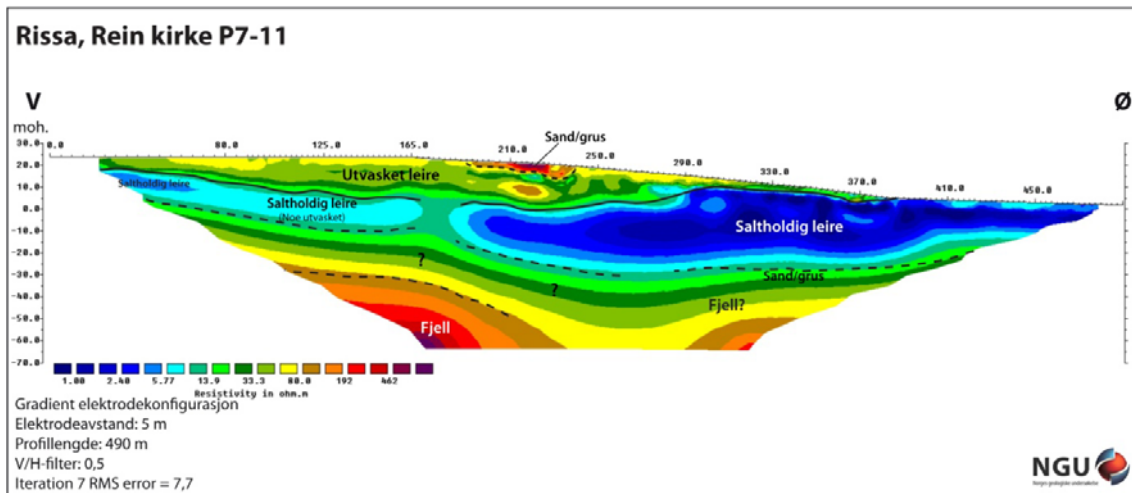
Figur 9. Tolket resistivetsprofil P8-11.

### Profil P7-11

Profil P7-11 er ca. 500 m langt og ligger relativt parallelt med P8-11 (70-200 m mellom profilene) (fig. 4 og 10). Fra vest og mot midten av profilet er det i en 5-15 m tykk sone trolig utvasket leire som kan være kvikk (fig. 11). Ved profilpunkt  $\pm 210$  m ligger ei lomme resistivitetsverdier  $> 200 \Omega\text{m}$ , tolket til å være grove masser. Under den utvaskede leira og opp i dagen i den østlige delen ligger mer eller mindre sammenhengende, saltholdig leire ( $< 10 \Omega\text{m}$ ). Sondringer i den østlige delen av profilet bekrefter dette, og det er trolig grove masser over fjell under leira her. Som for de to forrige profilene er det noe usikkert hvor grensa mellom løsmasser og fjell går.



Figur 10. Resistivetsprofil P7-11, med kryssningspunkter med andre resistivetsprofiler.

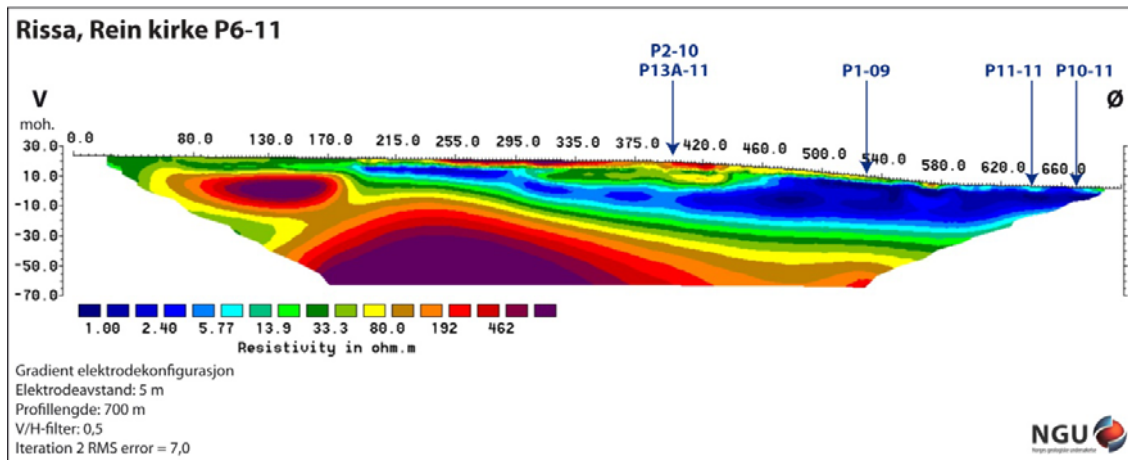


Figur 11. Tolket resistivetsprofil P7-11.

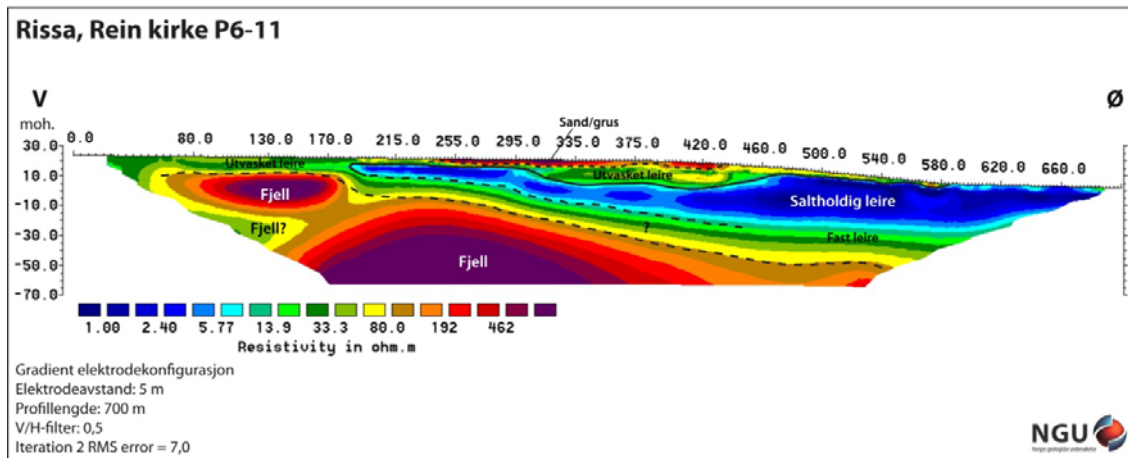


### Profil P6-11

Profil P6-11 er 700 m langt og ligger parallelt med P7-11 (50-60 m mellom profilene) (fig. 4 og 12). I vest ligger profilet nær Reinshaugen (består av fjell). Fjell ligger trolig nokså grunt på profilet her (10-15m overdekning), men dyp til fjell øker mot øst (fig. 13). Som for de andre profilene har det som tolkes som fjell nokså lave resistivitetsverdier (fra ca. 200  $\Omega\text{m}$  og oppover), men noe av dette kan også være grove masser over fjell. Mellom profilpunkt 235 m og 435 m er det høye resistivitetsverdier i overflata (100-1000  $\Omega\text{m}$ ), tolket som grove masser. Fra profilpunkt 185 m og ut profilet mot øst ligger er stor lomme med saltholdig leire (< 10  $\Omega\text{m}$ ). Denne er også bekreftet med to sonderinger. Nær overflata i vest, og mellom sand/grus og saltholdig leire er det utvasket leire som kan være kvikk.



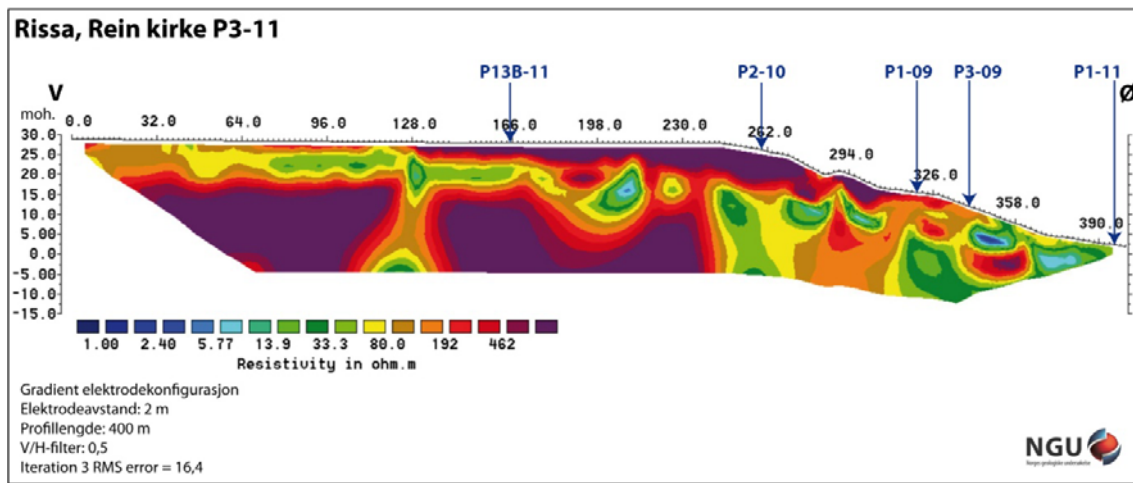
Figur 12. Resistivitetsprofil P6-11, med kryssningspunkter med andre resistivitetsprofiler.



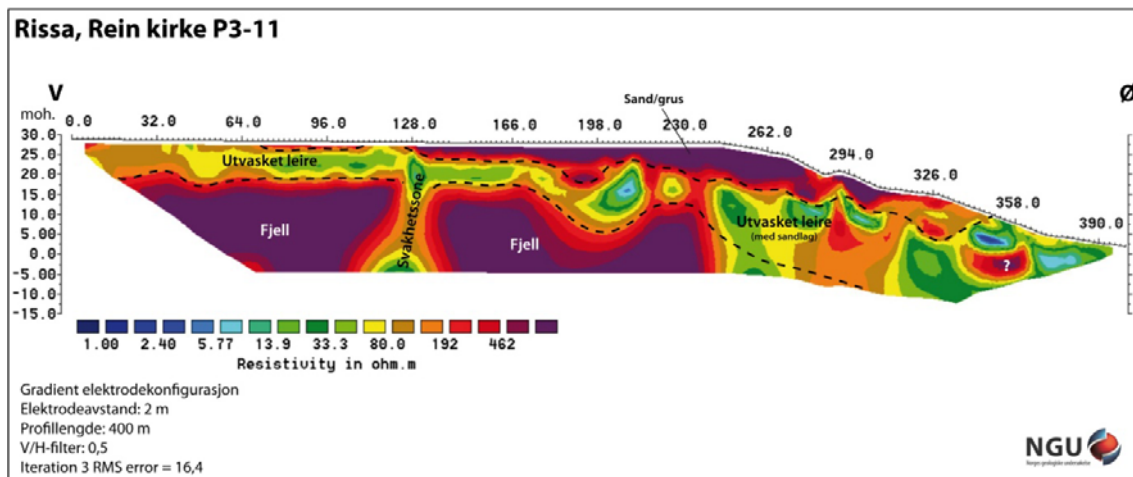
Figur 13. Tolket resistivitetsprofil P6-11.

### Profil P3-11

Profil P3-11 er 400 m langt og starter nordøst for Reinshaugen (fig. 4 og 14). Dette profilet er målt med 2 m elektrodeavstand og har ikke samme dybderekkevidde som de andre profilene. Til gjengjeld har dette profilet bedre oppløsning. Mellom profilpunkt 70 m og 110 m, og mellom 125 m og 350 m er det høye resistivitetsverdier (100-5000  $\Omega\text{m}$ ) i et opp til 10 m tykt topplag (fig. 15). Dette tolkes til å være sand/grus. Deler av avsetningen er trolig noe drenert siden resistivitetsverdiene er så høye. På dypet i profilet er det tolket fjell, med ei svakhetssone ved profilpunkt 128 m. Dyp til fjell øker mot øst. Mellom sand/grus i overflata, og fjell, er det utvasket leire. Sonderinger i den østlige delen viser at det er sandlag i leira, noe som gir seg utslag i stedvis høyere resistivitet. Sonderinger indikerer også at noe av leira trolig er kvikk (se også fig. 31c). Det finnes noen små lommer med saltholdig leire (blå), men disse er ikke sammenhengende i denne retningen.



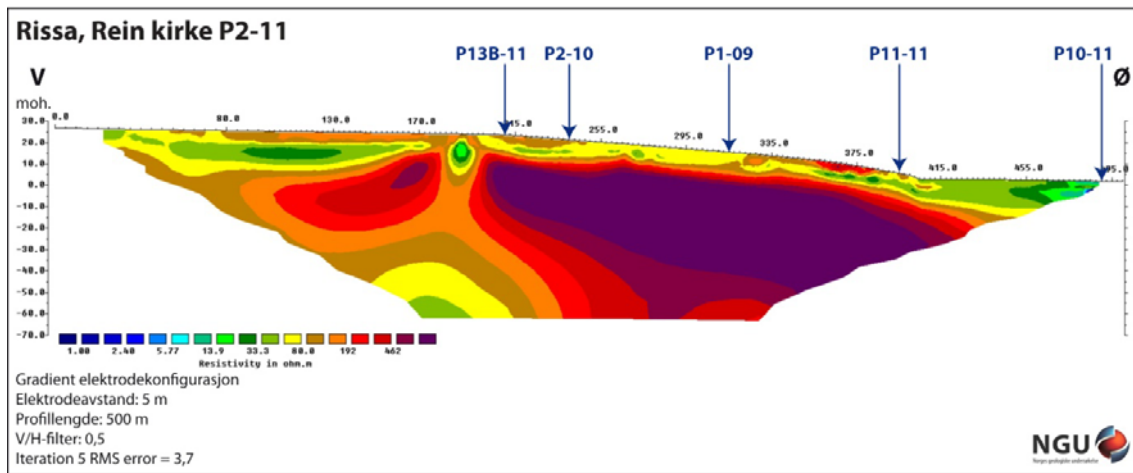
Figur 14. Resistivetsprofil P3-11, med kryssningspunkter med andre resistivetsprofiler.



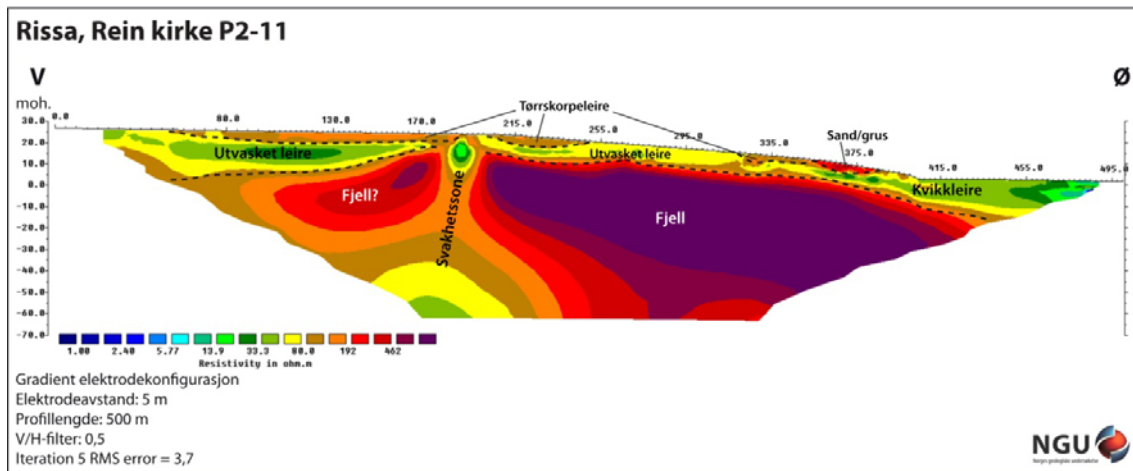
Figur 15. Tolket resistivetsprofil P3-11.

### Profil P2-11

Profil P2-11 er 400 m langt og ligger relativt parallelt med P3-11 (40-125 m mellom profilene) (fig. 4 og 16). Profilet domineres av høye resistivitetsverdier som tolkes som fjell (fig. 17). Fjellet gjennomskjæres av ei svakhetssone ved profilpunkt 190 m. På hver side av denne er det tørrskorpeleire i overflata (100-200  $\Omega$ m), og mellom profilpunkt 355 m og 385 m er det sand/grus. Ellers i profilet er det utvasket leire, og sonderinger i den østre delen indikerer at den er kvikk.



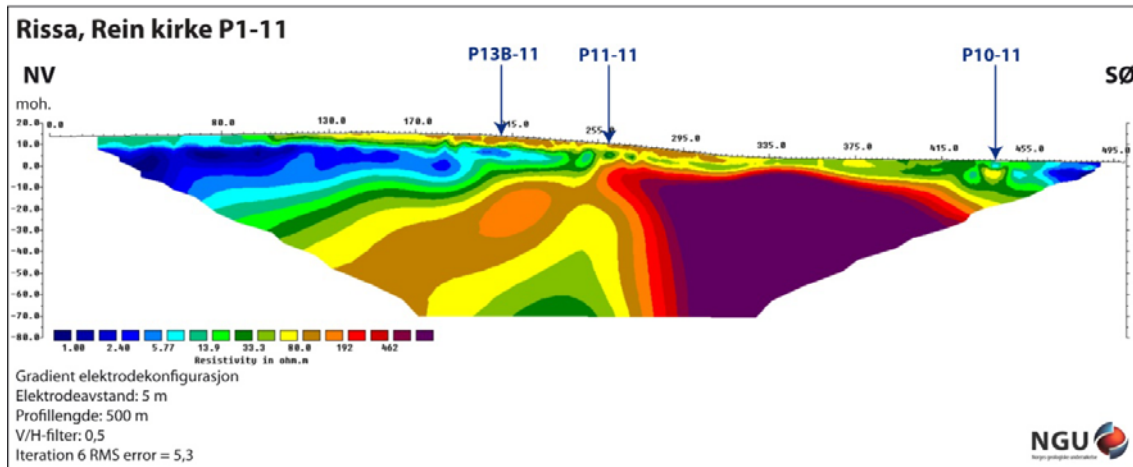
Figur 16. Resistivetsprofil P2-11, med kryssningspunkter med andre resistivetsprofiler.



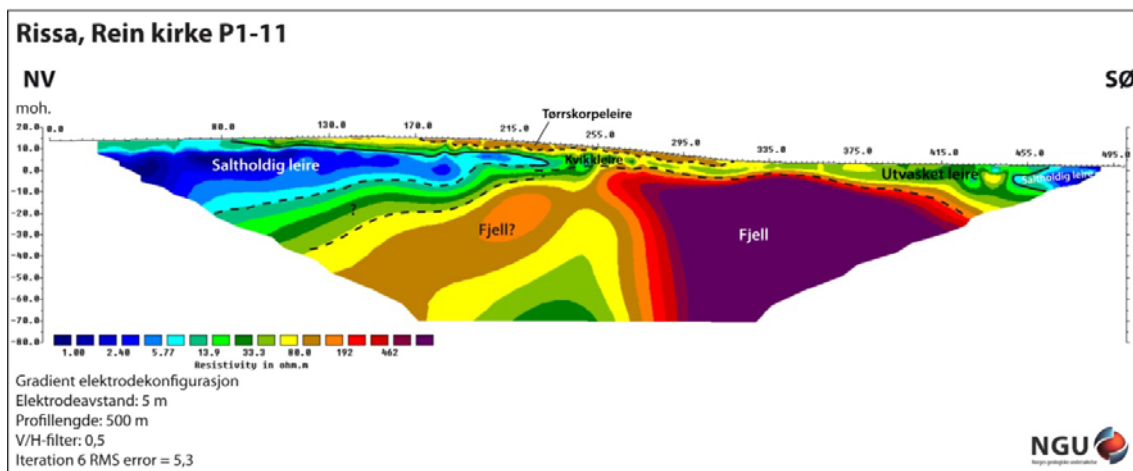
Figur 17. Tolket resistivetsprofil P2-11.

### Profil P1-11

Profil P1-11 er 500 m langt og ligger nokså langt nord i studieområdet (fig. 4 og 18). I den nordvestlige delen av profilet dominerer ei lomme med lave resistivitetsverdier ( $< 10 \Omega\text{m}$ ) som er saltholdig leire (fig. 19). Deler av det som er tolket som fjell på dypet har nokså lave verdier til å være fjell, men sonderinger i midtre deler av profilet stopper mot fjell eller grove masser (se også diskusjon senere). Mellom profilpunkt 170 m og 315 m er det tørrskorpeleire. Ellers er det utvasket leire i overflata, som øker i tykkelse mot sørøst. Noe av denne er kvikk (fra prøvetaking/sondering). Helt i sørøst, ved Botn, er det saltholdig leire.



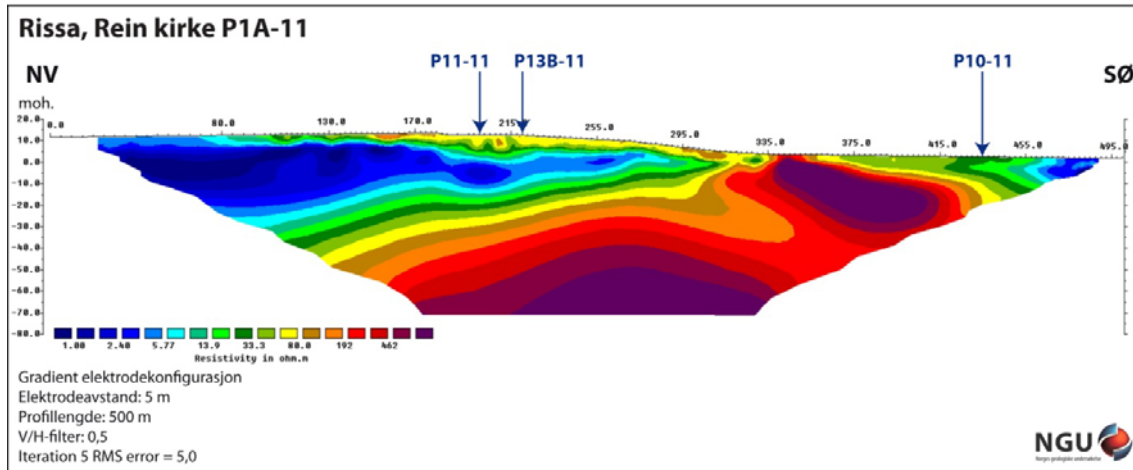
Figur 18. Resistivitetsprofil P1-11, med kryssningspunkter med andre resistivitetsprofiler.



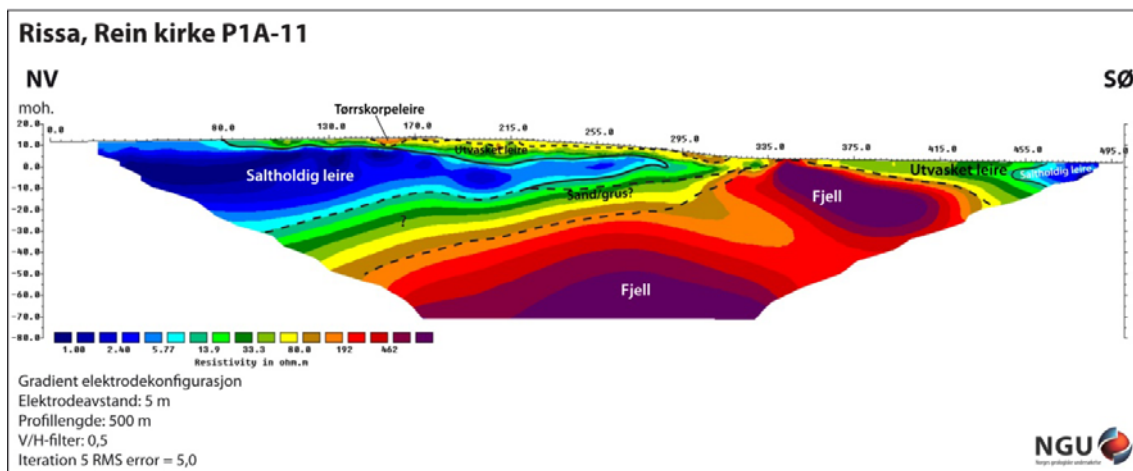
Figur 19. Tolket resistivitetsprofil P1-11.

### Profil P1A-11

Profil P1A-11 er 500 m langt og er det nordligste av profilene som ligger vinkelrett på innsjøen Botn (fig. 4 og 20). Profilet ligger relativt parallelt med P1-11, og profilene ligner på hverandre. I den nordvestlige delen av profilet dominerer ei lomme med lave resistivitetsverdier ( $< 10 \Omega\text{m}$ ) som er salthold leire (fig. 21). På dyppet er det fjell som ligger nær dagen ved profilpunkt 345 m. På hver side er det utvasket leire, med noe tørrskorpeleire i den nordvestre delen. Utvasket leire øker i tykkelse mot sørøst, og ved Botn er det saltholdig leire.



Figur 20. Resistivitetsprofil P1A-11, med kryssningspunkter med andre resistivitetsprofiler.



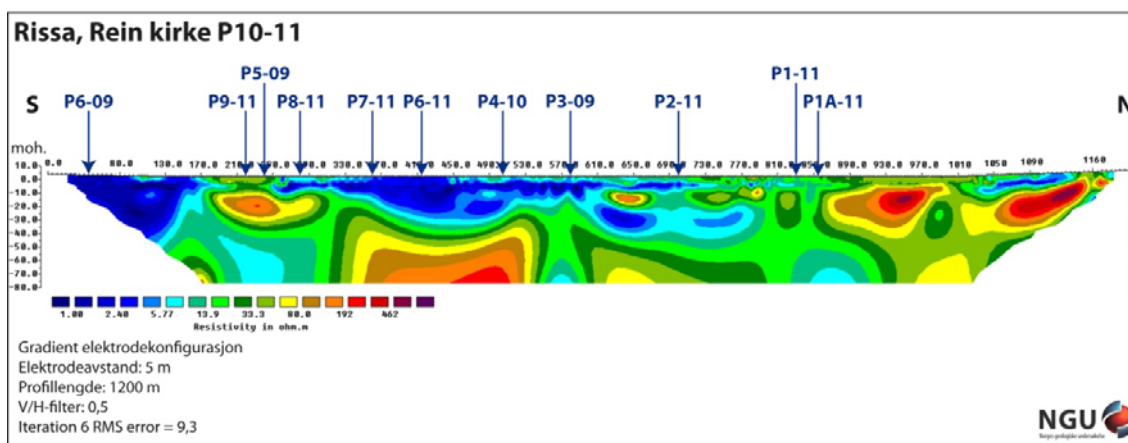
Figur 21. Tolket resistivitetsprofil P1A-11.

## 6.2 Profiler parallelt med Botn

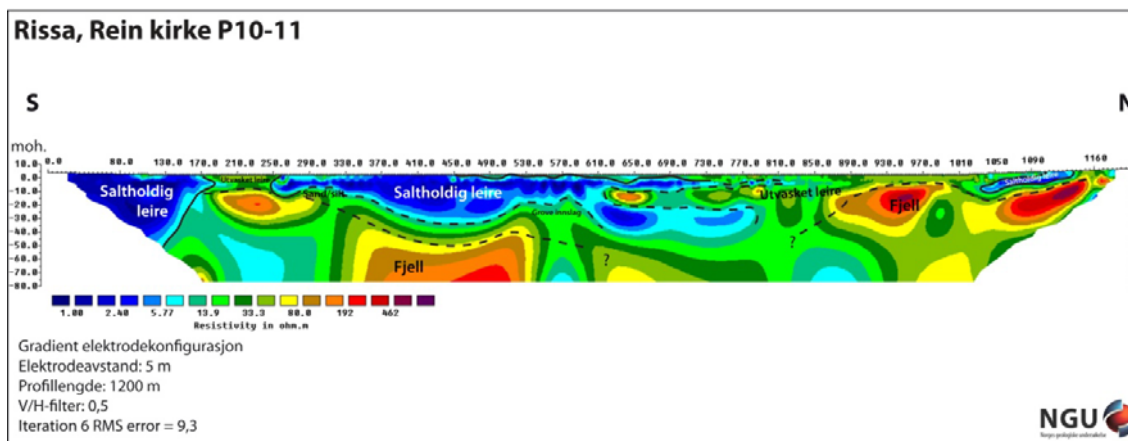
Parallelt med innsjøen Botn er det fire nye og to eldre 2D resistivetsprofiler (tabell 3, fig. 4). De er 700-1200 m lange. Alle er målt med 5 m elektrodeavstand.

### Profil P10-11

Profil P10-11 er 1200 m langt og er det østligste av profilene som ligger relativt parallelt med innsjøen Botn (fig. 4 og 22). Profilet, som ligger helt i strandkanten, er trolig noe påvirket av brakkvannet i de dypere delene, og viser noe for lave resistivetsverdier. I tillegg kommer trolig problematikken med fjelltype/-kvalitet inn her, som for de andre profilene. Tolkningen av dette profilet er derfor gjort sammen med P11-11, som ligger relativt parallelt med P10-11 (30-230 m mellom profilene), og sammen med sonderingsdata langs profillinja (se ett eksempel i fig. 31d). I midtre del, og i sørlige del, av profilet, nær overflata dominerer lommer saltholdig leire ( $< 10 \Omega\text{m}$ ) (fig. 23). Ellers er det endel utvasket leire i de øvre delene av profilet. Grensa mot fjell på dypet er vanskelig å trekke nøyaktig. Sonderinger antyder at det kan være grove innslag i leira.



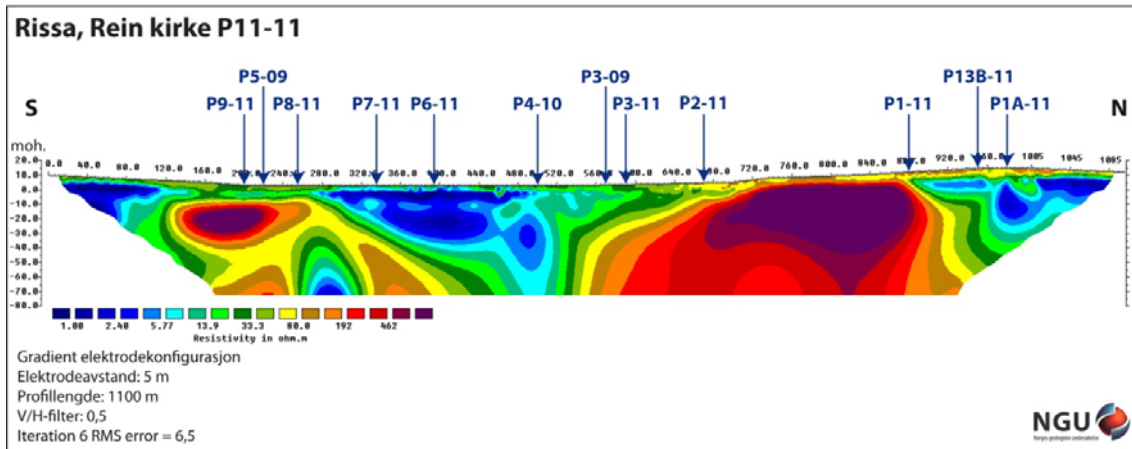
Figur 22. Resistivetsprofil P10-11, med kryssningspunkter med andre resistivetsprofiler.



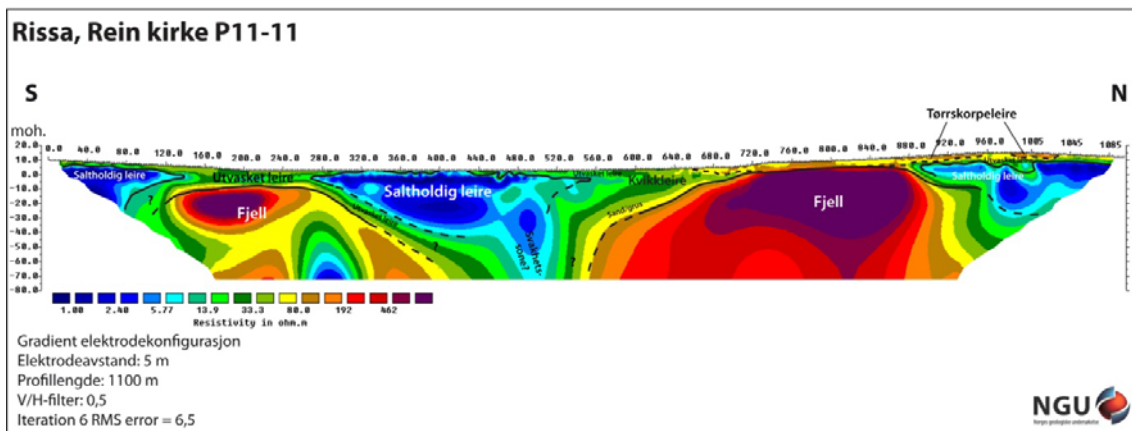
Figur 23. Tolket resistivetsprofil P10-11.

### Profil P11-11

Profil P11-11 er 1100 m langt og ligger relativt parallelt med P10-11 (30-230 m mellom profilene) (fig. 4 og 24). Som for P10-11 kan verdiene i dypet på deler av dette profilet være noe påvirket av brakkvannet i Botn, men P11-11 likevel noe enklere å tolke. Det er trolig to fjellrygger, en i sør og en i nord (fig. 25). Hvordan disse henger sammen i midtre deler av profilet er noe usikkert, men det kan være ei svakhetszone i mellom. På siden av ryggene er det lommer med saltholdig leire ( $< 10 \Omega\text{m}$ ), med utvasket leire i nær overflata og i en tykkere del ved profilpunkt  $\pm 600$  m. Her er det også antydnet kvikkleire fra sonderinger.



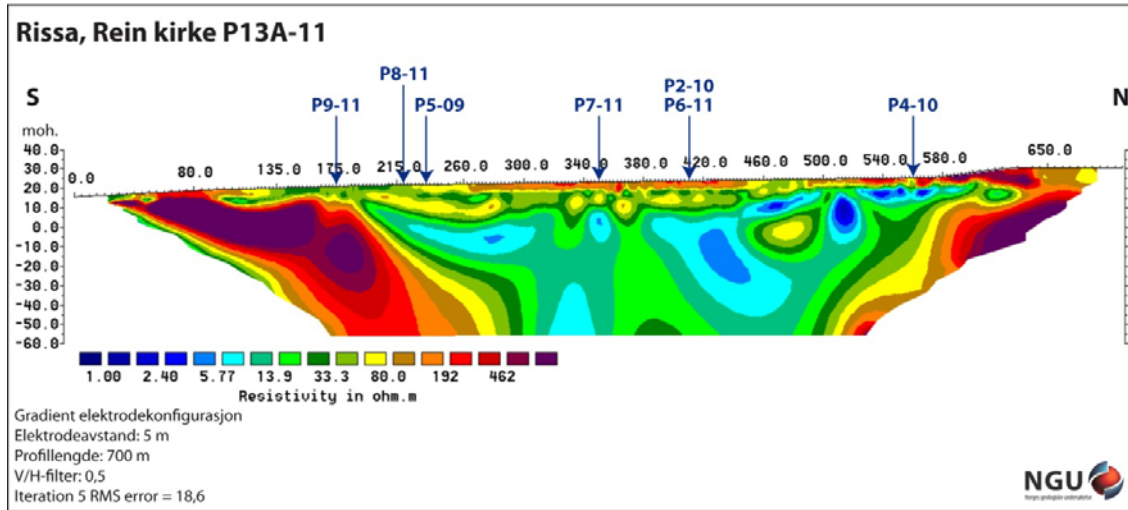
Figur 24. Resistivetsprofil P11-11, med krysningspunkter med andre resistivetsprofiler.



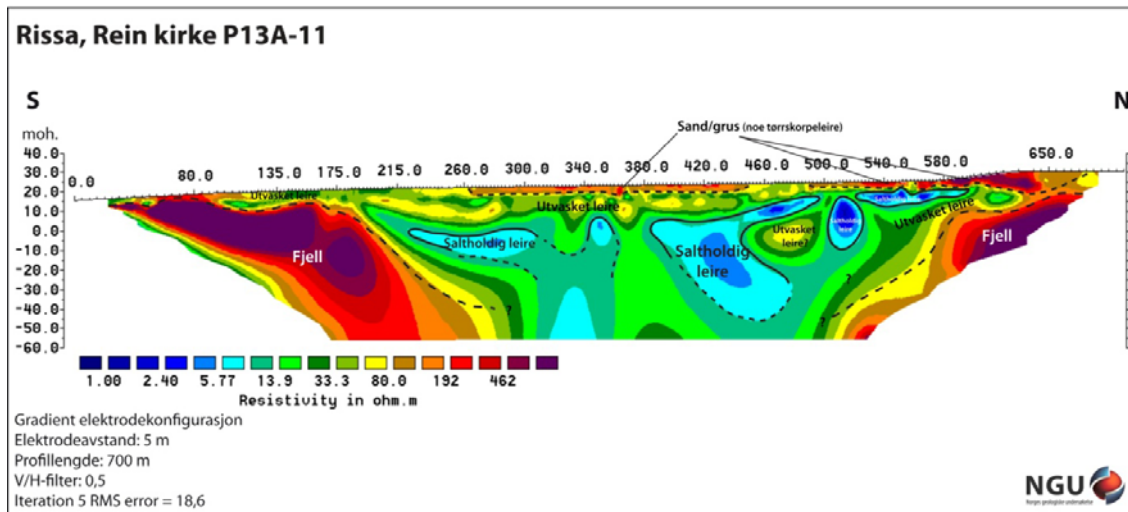
Figur 25. Tolket resistivetsprofil P11-11.

### Profil P13A-11

Profil P13A-11 er 700 m langt og ligger relativt parallelt med P11-11 (200-300 m mellom profilene) (fig. 4 og 26). Mesteparten av profilet går langs veg. Fjell er tolket til å ligge både sør og nord i profilet (fig. 27). I nord, og noe i midten av profilet, er det i overflata trolig sand-/grusavsetninger (100-1000  $\Omega$ m). Ellers er det mye utvasket leire og noe tørrskorpeleire i overflatelagene, med saltholdig leire under. Dyp til fjell under løsmassene er noe vanskeligere å bestemme (lave resistivitetsverdier), men i de kryssende profilene P7-11 og P6-11, ligger tolket fjell ca. på kote -40 moh.



Figur 26. Resistivetsprofil P13A-11, med kryssningspunkter med andre resistivetsprofiler.

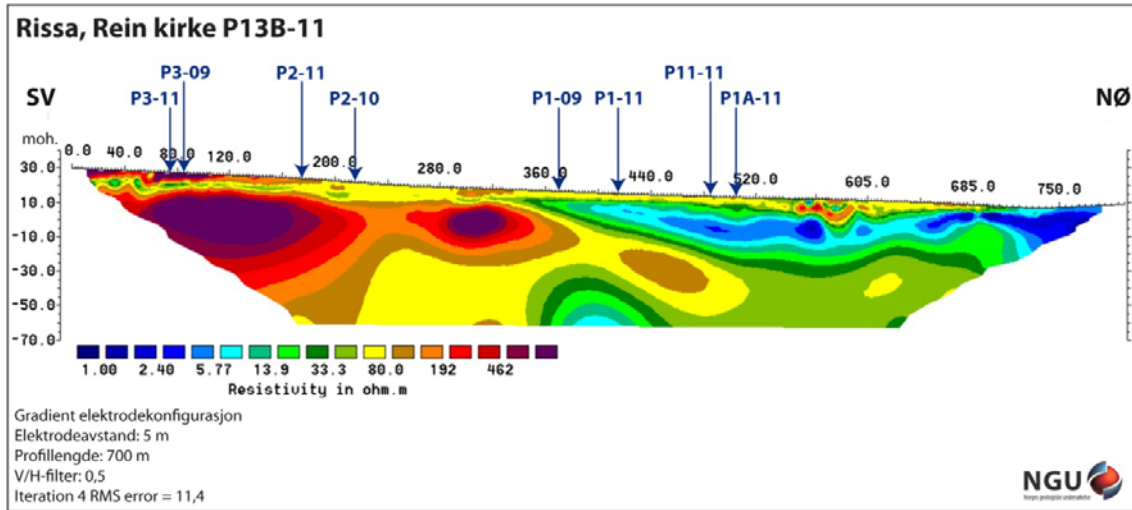


Figur 27. Tolket resistivetsprofil P13A-11.

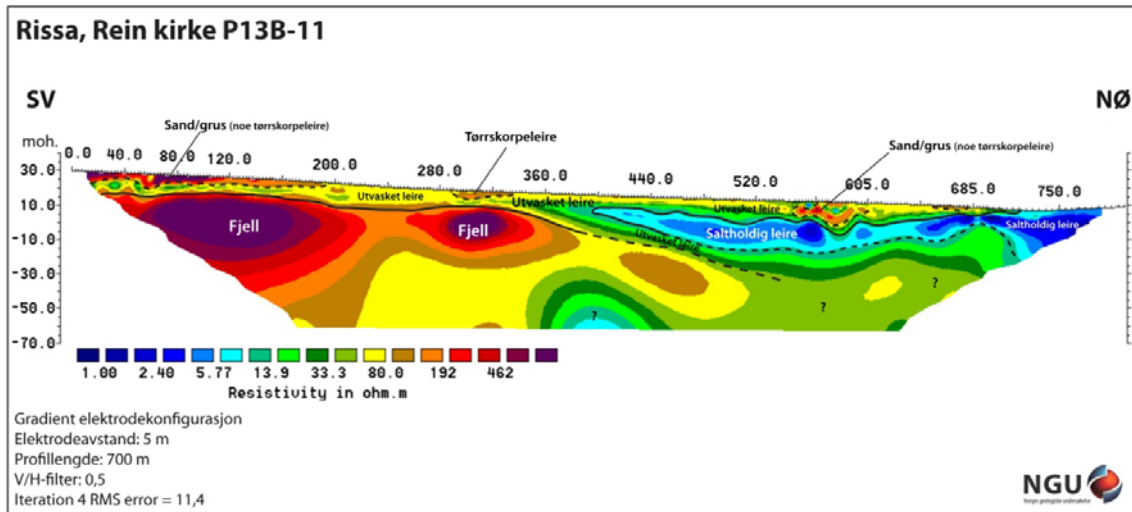


### Profil P13B-11

Profil P13B-11 er 700 m langt og ligger i en slags forlengelse, nord for, profil P13A-11 (fig. 4 og 28). Profilet går langs veg. Fjell er tolket til å ligge i de høye resistivitetsverdiene på ca. 10 m dyp i den sørvestre delen av profilet (fig. 29), også antydnet av sonderinger. I overflata i nordvest, og ved profilpunkt ± 560 m er det i/nær overflata sand-/grusavsetninger (100-2000  $\Omega\text{m}$ ). Det er også tørrskorpeleire i overflata flere steder. Saltholdig leire (< 10  $\Omega\text{m}$ ) finnes som ei sammenhengende sone fra midten av profilet og ut mot nordøst. Utvasket leire finnes over, og delvis mellom, fjell og saltholdig leire.



Figur 28. Resistivetsprofil P13B-11, med kryssningspunkter med andre resistivetsprofiler.



Figur 29. Tolket resistivetsprofil P13B-11.

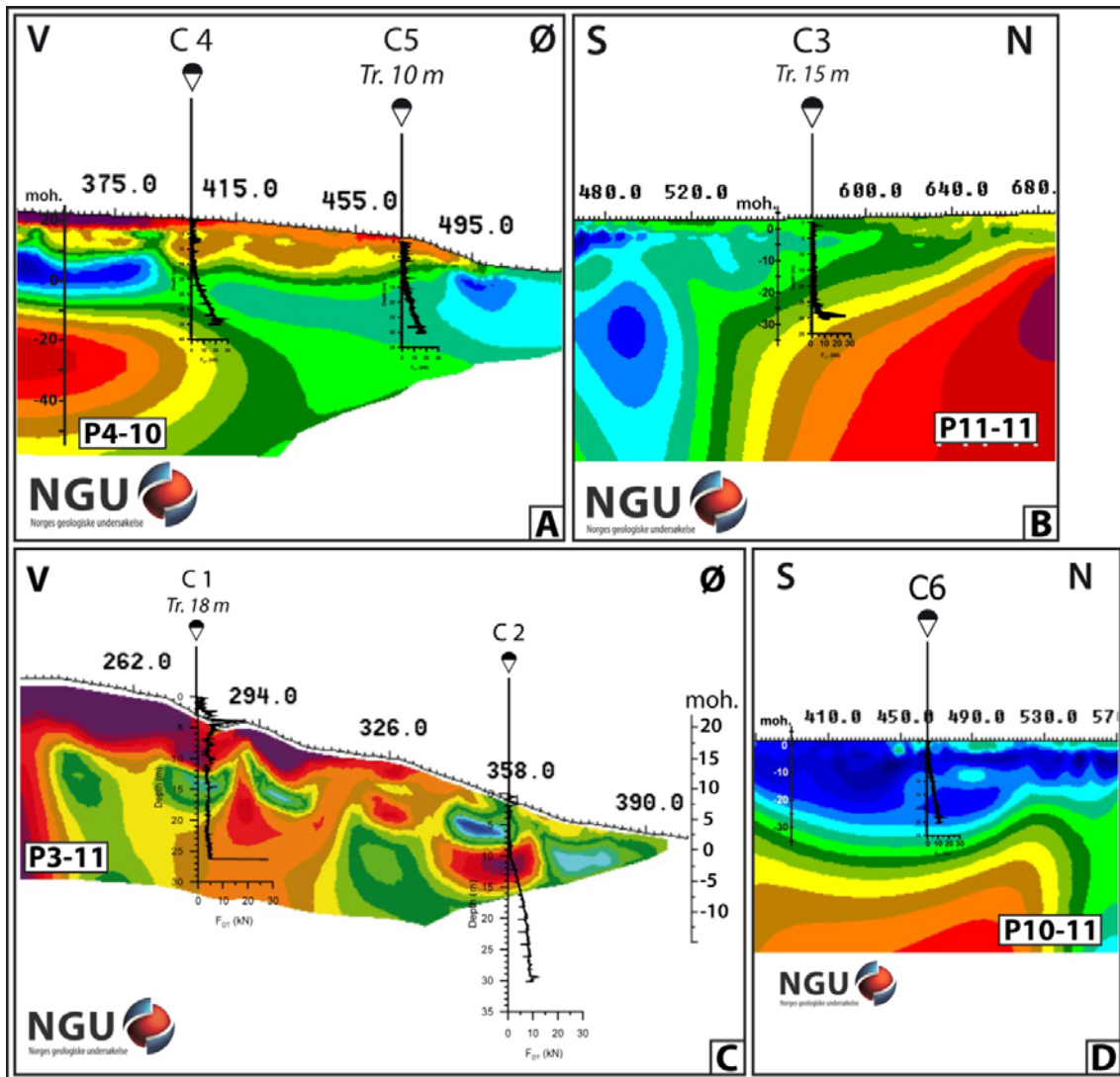
### 6.3 2D resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske sonderingsdata for utvalgte profiler

Statens vegvesen har i 2011 utført sondering i seks punkter ved Rein kirke (dreietrykksonderinger og CPTU) (fig. 30). Resultatene fra disse er sammenlignet med nærliggende 2D resistivitetsprofiler, og figur 31 viser profiler fra dreietrykksonderinger over resistivitetsdata.



Figur 30. Plassering av sonderingspunkt C1-C6. C2-C6: Dreietrykksondering og CPTU, C1 kun dreietrykksondering (2011-data fra Statens vegvesen).

Det er i hovedsak godt samsvar mellom metodene. Der sonderingsmotstanden er liten, ligger resistivitetsverdiene stort sett i intervallet til utvasket leire (10-100  $\Omega$ m). For C1 viser sonderingen grove masser i toppen, i samsvar med de høye verdiene på resistivitetsprofilen (> 200  $\Omega$ m) (fig. 31c). Økende sonderingsmotstand vises f.eks. i soner med lav resistivitet, eller som ikke-sensitiv, utvasket leire (fig. 31a,d). I P3-11 (fig. 31c) er det ei lomme med høy resistivitet på 10-15 m dyp, omgitt av lavere resistivitetsverdier. Ei større fjellblokk eller en ansamling grove masser i leira vil kunne gi et slikt utslag (f.eks. Reiser et al. 2010), men sonderingen C2 antyder ikke dette. Andre studieområder har hatt tilsvarende situasjoner, hvor det der har blitt antatt at 3D-effekter spiller en rolle (Solberg et al. 2008, 2012a,b). Resistivitetsdata kan påvirkes av noe som ligger litt til siden for profillinja, og reflekteres derfor ikke nødvendigvis i punktinformasjonen som sonderingen gir.

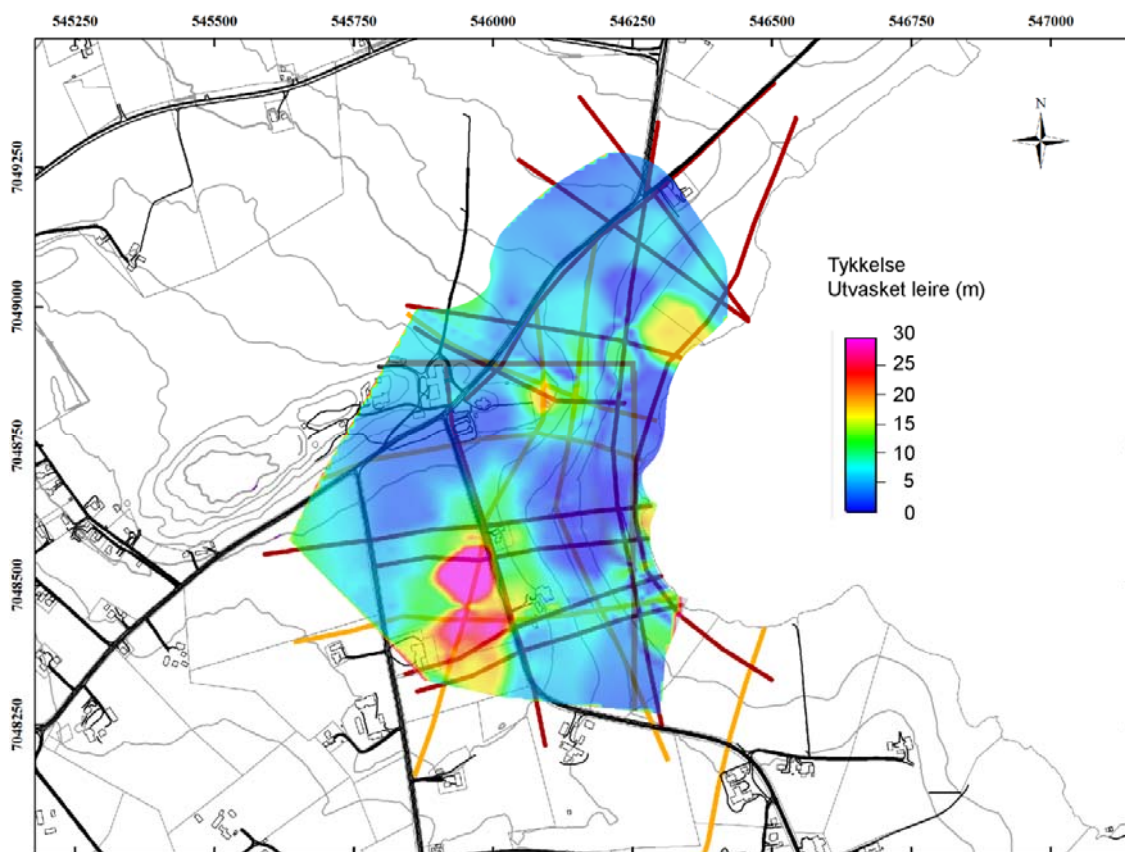


Figur 31. 2D resistivetsprofiler med data fra dreietrykksondering for profilene P4-10 (A), P11-11 (B), P3-11 (C) og P10-11 (D). Tr.=Trukket. (Sonderingsdata er upubliserte 2011-data fra Statens vegvesen).

## 7. DISKUSJON

### 7.1 Kvikkleire og saltholdig leire

Generelt for profilene vinkelrett på Botn er at utvasket leire ligger nær overflata og i øvre deler av skråningen, over saltholdig leire og/eller fjell. Tørrskorpeleire finnes også noen steder. Sondering og prøvetaking viser at leira stedvis er kvikk, men som regel i tynne lag. I sammenligning med 2D resistivitetsverdier ligger de fleste kvikkleireforekomstene innenfor 10-100  $\Omega\text{m}$ . Kvikkleire er ikke påvist under 10  $\Omega\text{m}$ , men det finnes noen kvikkleirepartier med nokså høye resistivitetsverdier (opp mot 200  $\Omega\text{m}$ ). I et tidligere prosjekt ble det utført RCPTU-målinger ved Rein kirke, og her ble det funnet kvikkleire i intervallet 13-80  $\Omega\text{m}$  (Aasland 2010, Solberg et al. 2010a). I hovedsak stemmer resultatene fra undersøkelsene med NGUs tolkningsmodell for karakterisering av kvikkleire (tabell 2 og fig. 3). Figur 32 viser tykkelsen til utvasket leire i studieområdet. Noe av denne er kvikk. Figuren viser det øvre laget utvasket leire. I noen tilfeller kan det være utvasket leire også mellom saltholdig leire og grove masser/fjell, men dette gjenspeiles ikke på figur 32. Se de enkelte resistivitetsprofiler for detaljer.



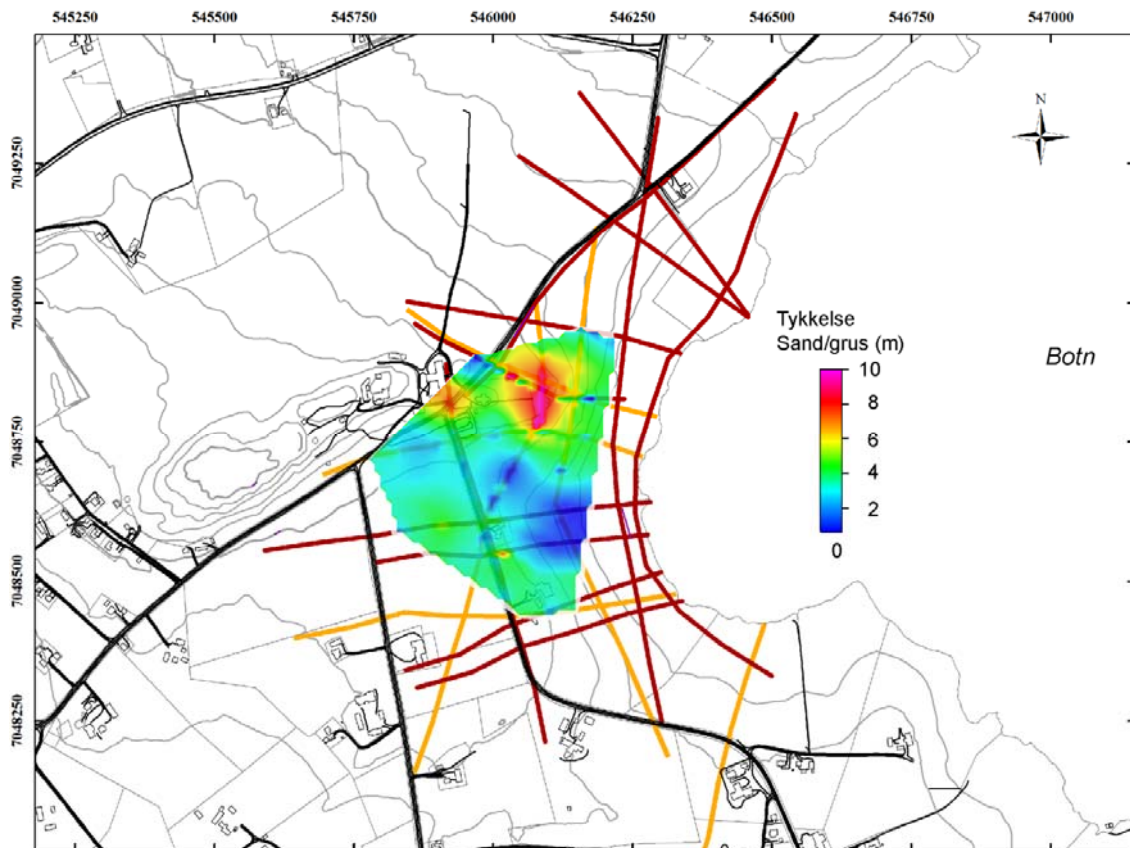
Figur 32. Kartoversikt over utvasket leire i studieområdet basert på 2D resistivitetsprofilene. Det er interpolert mellom profilene med 25 m piksler. Noe av den utvaskede leira er kvikk (se profilene for detaljer). Tykkelsen av laget må ikke tolkes absolutt, men viser trendene i området.

De fleste profilene som ligger vinkelrett på Botn viser saltholdig leire i den østligste delen, altså ned mot innsjøen. Dette stemmer godt overens med de to profilene som ligger

parallelt Botn (P10-11 og P11-11). Utvaskingen av leira har i størst grad skjedd i skråningen over Botn-nivå (dvs. over kote 0), selv om det stedvis også er kvikkleire i strandkanten og under innsjønivå (f.eks. P11-11 profilpunktene 260 og ±620). Den spesielle fjelltopografien under sedimentene har trolig betydning for grunnvanns-/poretrykksforholdene i området, og har påvirket utvasking av leira. Se også Solberg et al. (2010a, b).

## 7.2 Sand-/grusavsetninger

En rekke av resistivitetsprofilene viser grove avsetninger i overflata (100-5000  $\Omega\text{m}$ ). Dette er tolket til å være sand-/grusavsetninger. De tykkeste sand-/grusavsetningene finnes på østsida av Reinshaugen, og er tolket som marine strandavsetninger (opp til 10 m tykke, fig. 15 og 33). Også sørøst for Reinshaugen er det grove masser i overflata. Tynne sandlag i leira vil ikke kunne vises på et resistivitetsprofil, men er det mye sand i leira vil det totalt kunne gi en noe høyere resistivitetsverdi (f.eks. Reiser et al. 2010). Endel sonderinger viser tynne sandlag i leira, og stedvis er det her også høyere resistivitetsverdi. Endel sonderinger stopper i grove masser, og tykkelsen av disse lagene kan være vanskelig å bestemme.

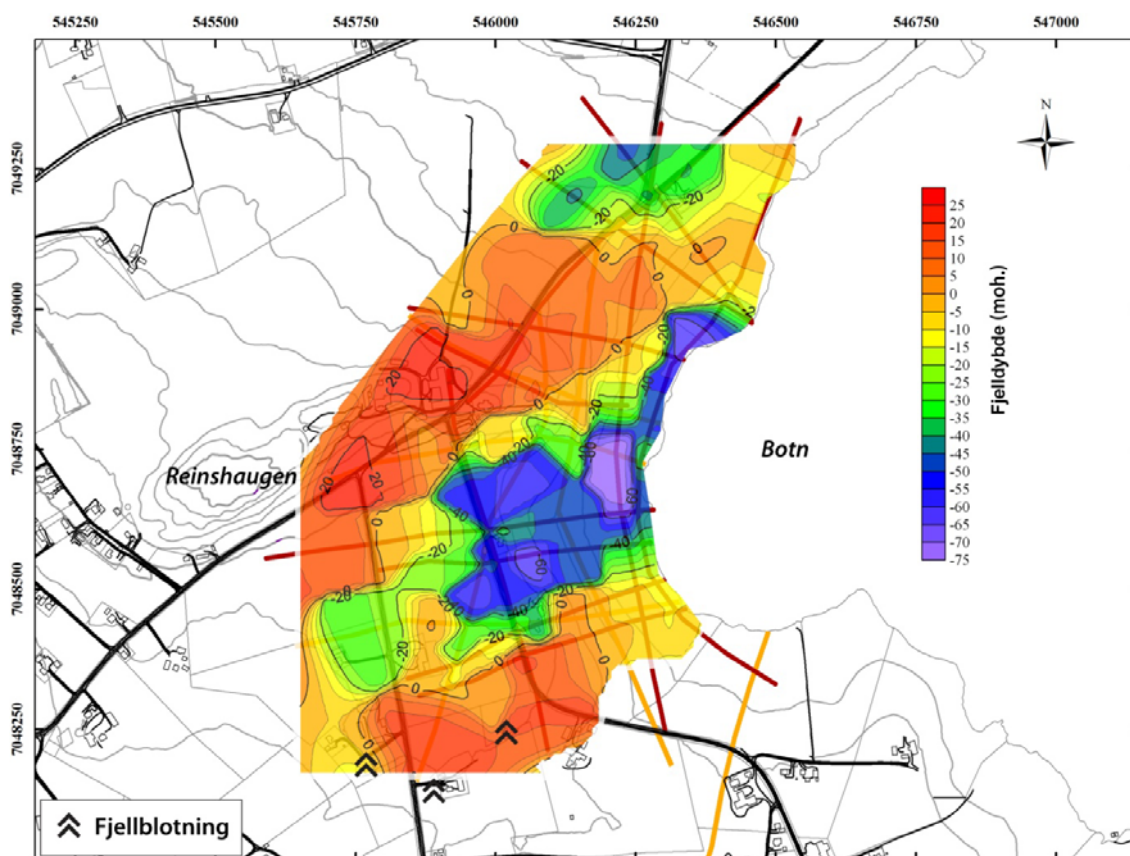


Figur 33. Kartoversikt over grove masser i overflata i studieområdet basert på 2D resistivitetsprofilene. Det er interpolert mellom profilene med 25 m piksler. De tykkeste sand-/grusavsetningene finnes like øst for Reinshaugen. Tykkelsen av laget må ikke tolkes absolutt, men viser trendene i området.

### 7.3 Fjell

I Solberg et al. (2010b) ble det konkludert at geologien i området var kompleks, med undulerende fjelloverflate og varierende bergartstyper og fjellkvalitet med stor betydning for resistivitetsverdiene. De tolv nye profilene fra området understreker dette ytterligere. Alle de sytten profilene til sammen gir nå et bedre helhetlig bilde av området (fig. 5). Den tredimensjonale effekten har mye å si for tolkningen av de enkelte profiler i dette studieområdet. Det er som regel godt samsvar mellom de kryssende profilene. Likevel, og spesielt i de dypere delene, er enkelte profiler vanskeligere å korrelere. I tillegg kan to profiler som ligger nær hverandre være ganske forskjellige (f.eks. P8-11 og P9-11). Dette har trolig å gjøre med de veldig varierende geologiske forholdene og måleretningen. Også manglende samsvar mellom to kryssende profiler gir viktig informasjon om de romlige geologiske forholdene (Solberg et al. 2008).

Det er hovedsakelig tolket fram to relativt parallelle fjellrygger med retning NØ-SV (fig. 34). Den sørligste fjellryggen har blotninger mellom starten av P13A-11 og P2-10, og vest for P2-10. Den nordligste fjellryggen er knyttet til Reinshaugen. Mellom de to relativt smale ryggene er det trolig nokså stor dybde til fjell (opp til 75 m, fig. 34). Det er viktig å være oppmerksom på at resistivitet gir store usikkerheter knyttet til fjelldyp (se også kap. 4). Selve fjellet har her til dels lave resistivitetsverdier, og har stedvis svakhetssoner.



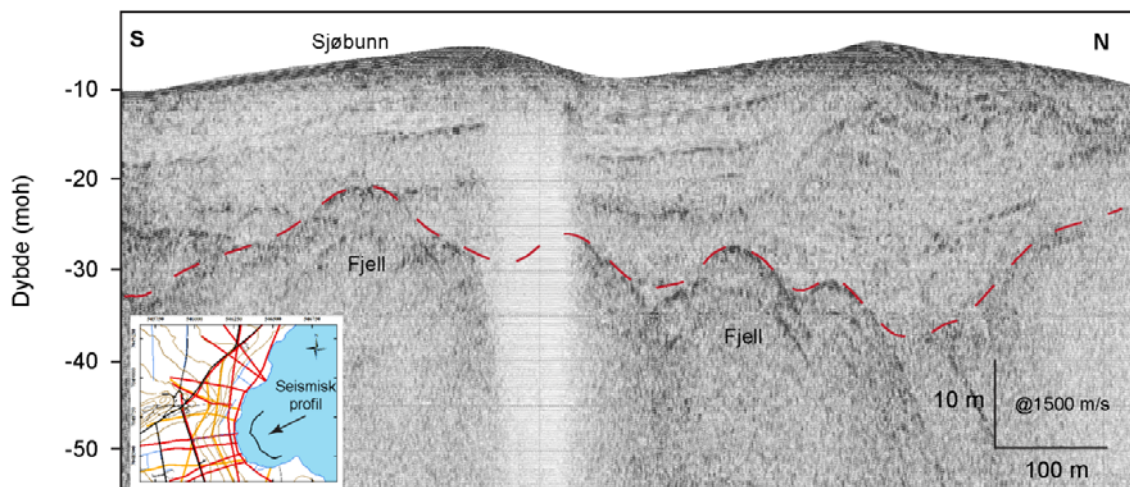
Figur 34. Kartoversikt over dybde til fjell i studieområdet tolket og interpolert fra 2D resistivitetsprofiler med 25 m pikslar. Fjelldypene er ikke absolute, men viser trendene i området med to markerte, relativt parallelle fjellrygger med retning NØ-SV. Den nordligste ryggen henger sammen med Reinshaugen (fjell i dagen).

Svakhetssoner i fjell vil ha lavere resistivitet fordi disse er oppsprukket og inneholder mer finmasser og vann (f.eks. Reiser et al. 2009). Ved befaring i området ble det også avdekket ulike bergartstyper som potensielt vil kunne gi ulike resistivitetsverdier (Solberg et al. 2010b). Det kan være sprekkesoner (i skifer) og/eller oppløsningshorisonter/karst (i kalkstein) parallelt med båndingen i den begravde berggrunnen under løsmassene. Ved måling parallelt en smal fjellrygg, vil mye av strømmen kunne gå i den godt ledende leira på hver side. Siden resultatene er et gjennomsnitt av verdiene i et bredt belte langs profillinja vil det kunne gi en lavere resistivitetsverdi på dypet. Forklaringen til de lave resistivitetsverdiene i enkelte soner og på dypet kan også være en kombinasjon av alle disse årsakene.

Plasseringen av grensen mellom løsmasser og fjell på de tolkede resistivitetsprofilene må ikke tas absolutt. Den er plassert på bakgrunn av sammenstillingen i 3D og av der sonderinger har stoppet mot antatt fjell. Sonderingene kan også ha stoppet mot grove masser, så noen steder kan det være større lommer og lag av dette selv om det ikke tegnet inn. Der det er svært usikker tolkning er dette markert med spørsmålstegn på de enkelte profilene.

#### 7.4 Sammenligning med Botn-data

I 2010 NGU utførte en detaljert sjøbunntkartlegging og innsamling av refleksjonsseismiske data i Botn (L'Heureux et al. 2011, vedlegg 5). Sistnevnte kan brukes for å kartlegge dybden til fjell med høy oppløsning i innsjøen. Figur 35 viser en refleksjonsseismisk profil som ble samlet inn parallelt med strandlinja i bukta nedenfor Rein kirke. De kraftige og litt kaotiske refleksjonene som forekommer mellom kote -22 og -40 moh. tolkes til å være fjelloverflaten. Disse resultatene samsvarer godt med tolkede resistivitetsprofiler og det regionale bildet av fjelloverflaten i studieområdet (fig. 34).



Figur 35. Refleksjonsseismisk profil NGU-1008122 som viser dybde til fjell (rød stiptet linje) utenfor strandlinjen i bukta nedenfor Rein kirke.

## **8. KONKLUSJON**

Resistivitetsmålingene ved Rein kirke viser en kompleks geologi med undulerende fjelloverflate, sand og grus i overflata øst og sørøst for Reinshaugen, og endel relativt store soner med både utvasket leire og saltholdig leire. Sammenligning med geotekniske data viser at den utvaskede leira noen steder er kvikk. En rekke av sonderingene stopper mot faste masser (fjell eller grove masser). Disse er benyttet for å antyde grensen mellom løsmasser og fjell, spesielt der fjell er antatt til å ha lave resistivitetsverdier grunnet bl.a. bergartstype, fjellkvalitet og -topografi. Det tette nettverket med resistivitetsprofiler gir et godt grunnlag for tolkning av fjelloverflaten i studieområdet og resultatene samsvarer med tidligere undersøkelser i innsjøen Botn. Største fjelldyp er antydning til å være ca. 75 m. Resultatene fra disse undersøkelsene er i samsvar med NGU sin tolkningsmodell for karakterisering av leire.



## 9. 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
- 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
- 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
- Karlsrud, K. & Gregersen, O. 1981: Vurdering av stabilitetsforholdene i prosjektet riksvegtrase i Rissa, strekningen Skårvang - Rein kirke. NGI Rapport 79005-2, 2. februar 1981
- Lande E.J. 2009: Rv 717 Sund-Bradden. Stabilitetsberegninger. NGI Rapport 20091264-00-53-R, 9. oktober 2009
- L'Heureux, J.S., Eilertsen, R.S., Glimstad, S., Issler, D., Solberg, I.-L., Harbitz, C.B. 2012: The 1978 quick clay landslide at Rissa, mid-Norway: subaqueous morphology and tsunami simulations. I: Y. Yamada et al. (eds.), Submarine Mass Movements and Their Consequences, Advances in Natural and Technological Hazards Research 31, Springer Science+Business Media B.V. DOI 10.1007/978-94-007-2162-3\_45
- L'Heureux, J.S., Eilertsen, R.S., Hansen, L. & Sletten, K. 2011: Morfologi og skredkartlegging i Botn ved Rissa, Sør-Trøndelag. NGU Rapport 2011.037
- Loke, M.H. 2010: Res2DInv ver. 3.59.102. Geoelectrical Imaging 2D and 3D. Instruction Manual. Geotomo Software, [www.geoelectrical.com](http://www.geoelectrical.com)
- Lund, A.K. 2009a: Rv 717 Sund-Bradden. Grunnundersøkelse, Datarapport NGI Rapport 20091264-00-36-R, 18. august 2009
- Lund, A.K. 2009b: Rv 717 Sund-Bradden. Tolkning av grunnundersøkelser, karakteristiske materialparametere. NGI Rapport 20091264-00-38-R, 18. september 2009

Moholdt, R. & Harbækvold R.A. 2008: Rv. 717 parsell Sund-Bradden, Rissa kommune. Geotekniske undersøkelser. Datarapport. NGI Rapport 20071088-1, 28. februar 2008 (Statens vegvesen rapport nr. 2008/036571-1)

Reiser, F., Dalsegg, E., Dahlin, T., Ganerød, G.V. & Rønning, J.S. 2009: Resistivity Modelling of Fracture Zones and Horizontal Layers in Bedrock. NGU rapport 2009.070

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., Aasland, R., Dalsegg, E., Hansen, L., L'Heureux, J.S. & Rønning, J.S. 2010a: Kvikkleireproblematikk i Rissa - bruk av resistivitetsmålinger. Artikkel for Fjellsprengningsdagen, Bergmekanikk- og Geoteknikkdagen, Oslo 25.-26.11.2010, 37

Solberg, I.L. & Dalsegg, E. 2012a: Resistivitetsmålinger for løsmassekartlegging i Kaldvelladalen og ved Fallan i Melhus kommune, Sør-Trøndelag. Data og tolkninger. NGU rapport 2012.013

Solberg, I.L., Dalsegg, E. & Hansen, L. 2010b: Geofysiske målinger for løsmassekartlegging i Rissa, Sør-Trøndelag. NGU Rapport 2010.045

Solberg, I.L., Hansen, L., Rønning, J.S. & Dalsegg, E. 2011: Veileder for bruk av resistivitetsmålinger i potensielle kvikkleireområder. Versjon 1.0. NGU rapport 2010.048

Solberg, I.L., Hansen, L., Rønning, J.S., Haugen, E.D., Dalsegg, E. & Tønnesen, J.F. 2012b: Combined geophysical and geotechnical approach for ground investigations and hazard zonation of a quick-clay area, Mid Norway. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. Published, Vol. 71(1): 119-133, DOI: 10.1007/s10064-011-0363-x

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.

## **VEDLEGG**

## VEDLEGG 1      KOORDINATER TIL INNMÅLTE PROFILER

Koordinatene er målt med håndholdt GPS.

WGS 1984, UTM sone 32 N

<b>Profil</b>	<b>Profilpunkt</b>	<b>Øst (X)</b>	<b>Nord (Y)</b>
<b>Profil 1-11</b>	0	546048	7049264
	100	546131	7049208
	200	546206	7049141
	300	546295	7049092
	400	546373	7049035
	500	546455	7048977
<b>Profil 1A-11</b>	0	546156	7049375
	100	546216	7049299
	200	546275	7049219
	300	546335	7049139
	400	546393	7049058
	500	546457	7048985
<b>Profil 2-11</b>	0	545848	7049003
	100	545943	7048988
	200	546041	7048973
	300	546140	7048956
	400	546238	7048934
	500	546334	7048910
<b>Profil 3-11</b>	0	546229	7048828
	40	546189	7048828
	80	546150	7048825
	120	546113	7048834
	160	546077	7048850
	200	546047	7048870
	240	546005	7048885
	280	545975	7048901
	320	545935	7048923
	360	545896	7048939
	400	545860	7048962
<b>Profil 6-11</b>	0	545593	7048556
	100	545694	7048570
	200	545790	7048582
	300	545888	7048600
	400	545987	7048606
	500	546084	7048618
	600	546183	7048633
	700	546280	7048640

<b>Profil</b>	<b>Profilpunkt</b>	<b>Øst (X)</b>	<b>Nord (Y)</b>
<b>Profil 7-11</b>	0	545792	7048536
	90	545877	7048549
	190	545979	7048547
	290	546078	7048563
	390	546177	7048572
	490	546275	7048583
<b>Profil 8-11</b>	0	545845	7048341
	100	545937	7048368
	200	546021	7048419
	300	546115	7048454
	400	546209	7048487
	500	546302	7048518
<b>Profil 9-11</b>	0	545867	7048310
	100	545960	7048336
	200	546050	7048381
	300	546145	7048409
	400	546242	7048443
	500	546337	7048463
<b>Profil 10-11</b>	0	546500	7048330
	100	546414	7048384
	200	546336	7048447
	300	546277	7048526
	400	546255	7048621
	500	546255	7048718
	600	546285	7048809
	700	546315	7048901
	800	546381	7048974
	900	546435	7049058
	1000	546469	7049152
	1100	546506	7049243
	1200	546543	7049335
<b>Profil 11-11</b>	0	546302	7048250
	100	546281	7048346
	200	546264	7048442
	300	546239	7048541
	400	546224	7048640
	500	546216	7048741
	600	546219	7048839
	700	546226	7048939
	800	546243	7049032
	900	546257	7049134
	1000	546277	7049233
	1100	546294	7049329

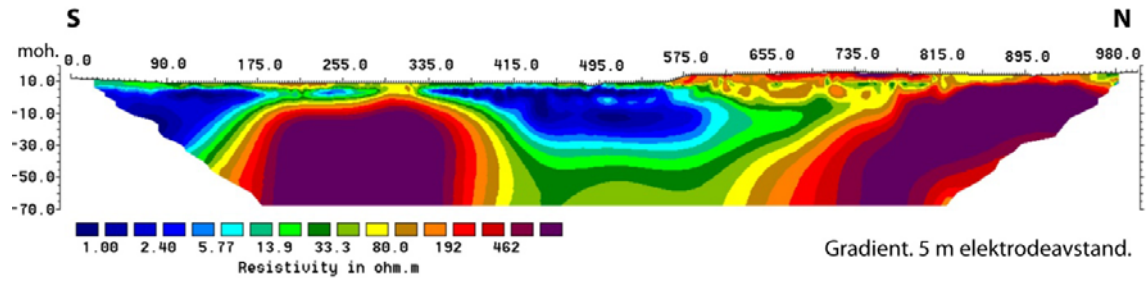
<b>Profil</b>	<b>Profilpunkt</b>	<b>Øst (X)</b>	<b>Nord (Y)</b>
<b>Profil 13A-11</b>	0	546092	7048215
	100	546073	7048313
	200	546046	7048410
	300	546015	7048505
	400	545988	7048600
	500	545955	7048693
	600	545928	7048790
	700	545917	7048888
<b>Profil 13B-11</b>	0	545952	7048838
	100	546016	7048921
	200	546071	7048996
	300	546125	7049060
	400	546200	7049128
	500	546275	7049188
	600	546357	7049266
	700	546430	7049333
	800	546503	7049401

## VEDLEGG 2 A PROFILER FRA NGU-RAPPORT 2010.045

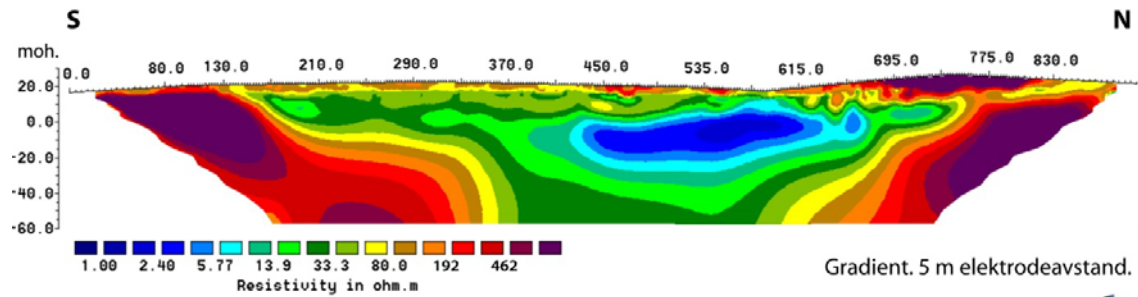
Referanse til profilene: Solberg et al. 2010b. Se figur 4 for profilenes beliggenhet.

### *Parallelt med Botn*

**Profil P1-09**



**Profil P2-10**

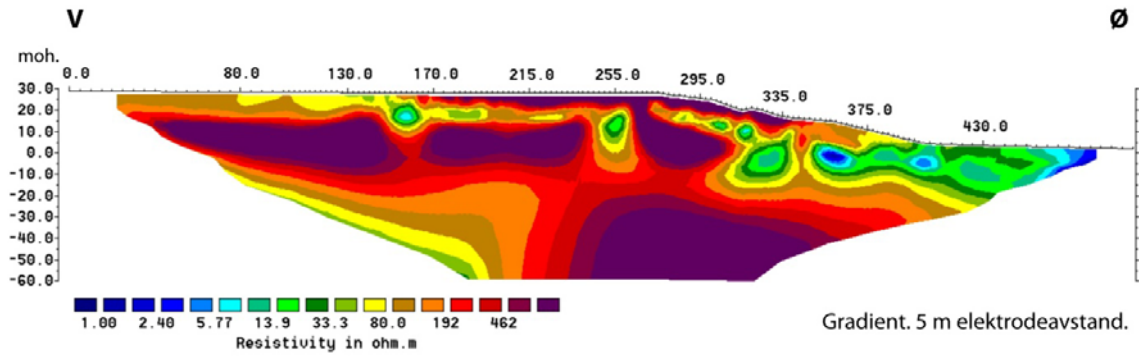


## VEDLEGG 2 B PROFILER FRA NGU-RAPPORT 2010.045

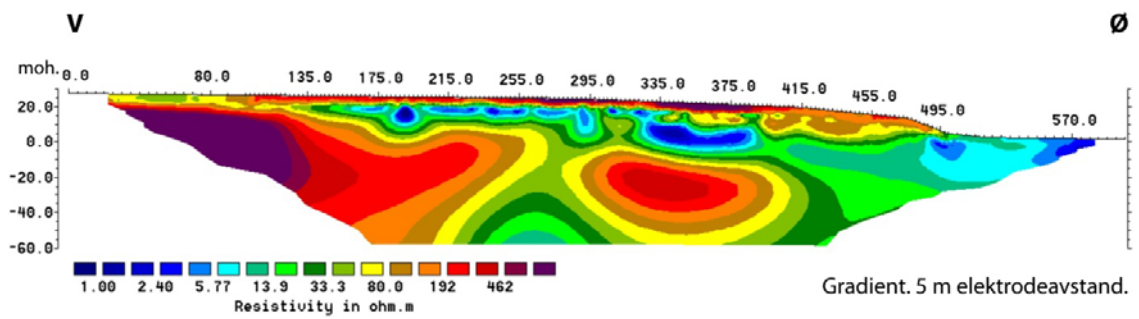
Referanse til profilene: Solberg et al. 2010b. Se figur 4 for profilenes beliggenhet.

### Vinkelrett på Botn

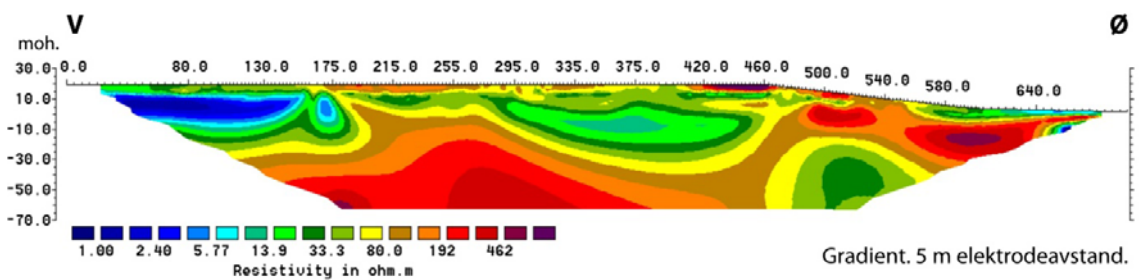
**Profil P3-09**



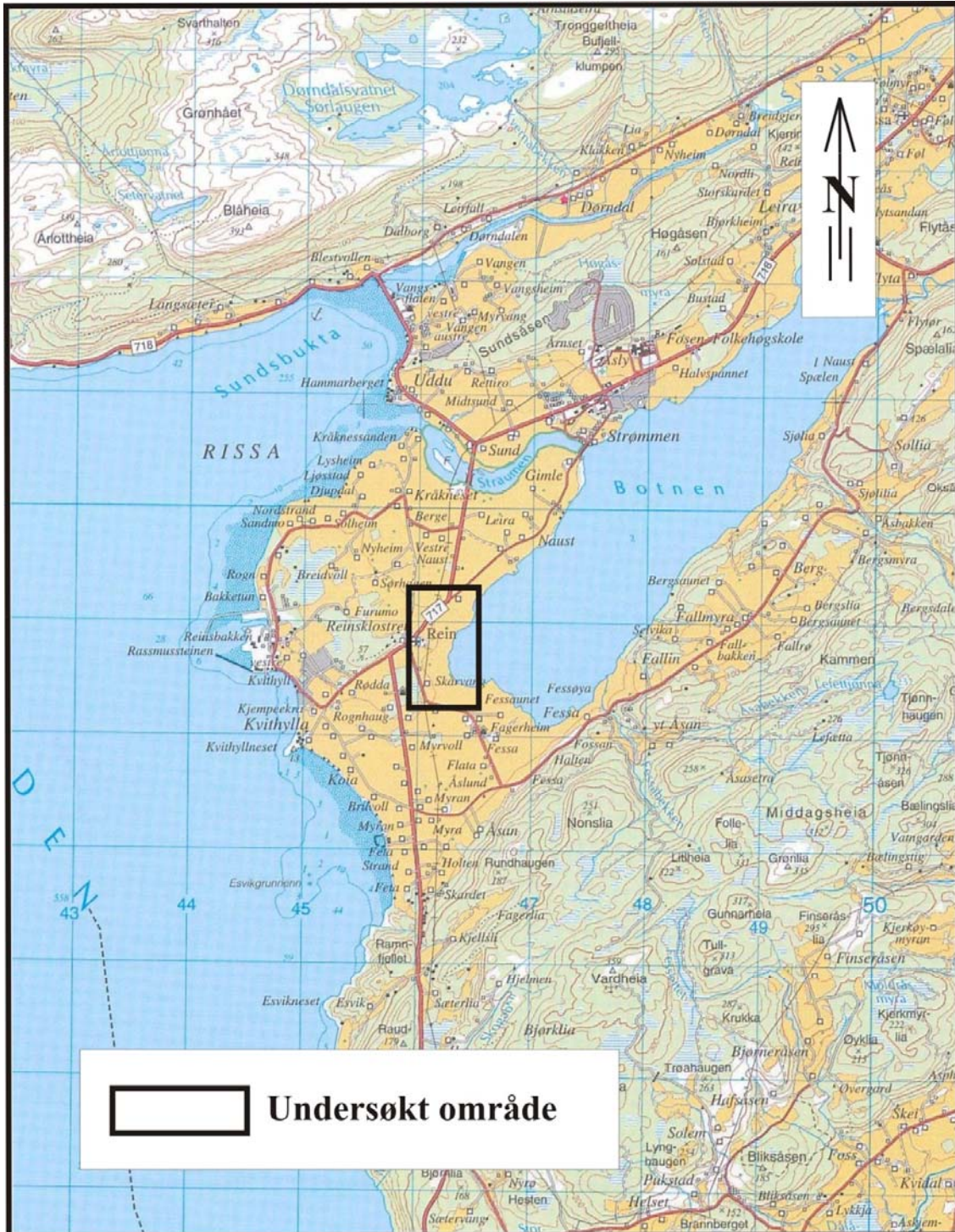
**Profil P4-10**



**Profil P5-09**

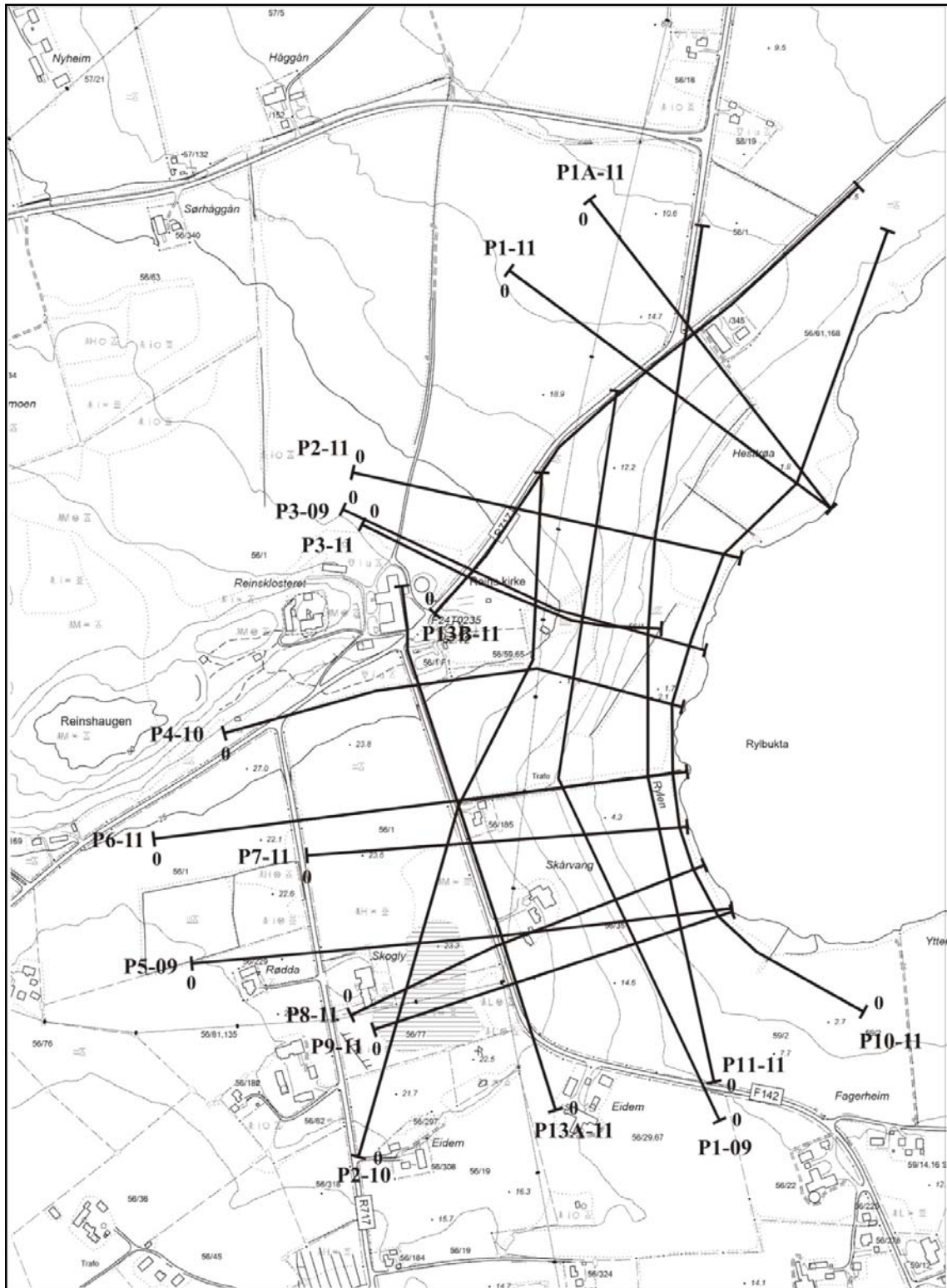






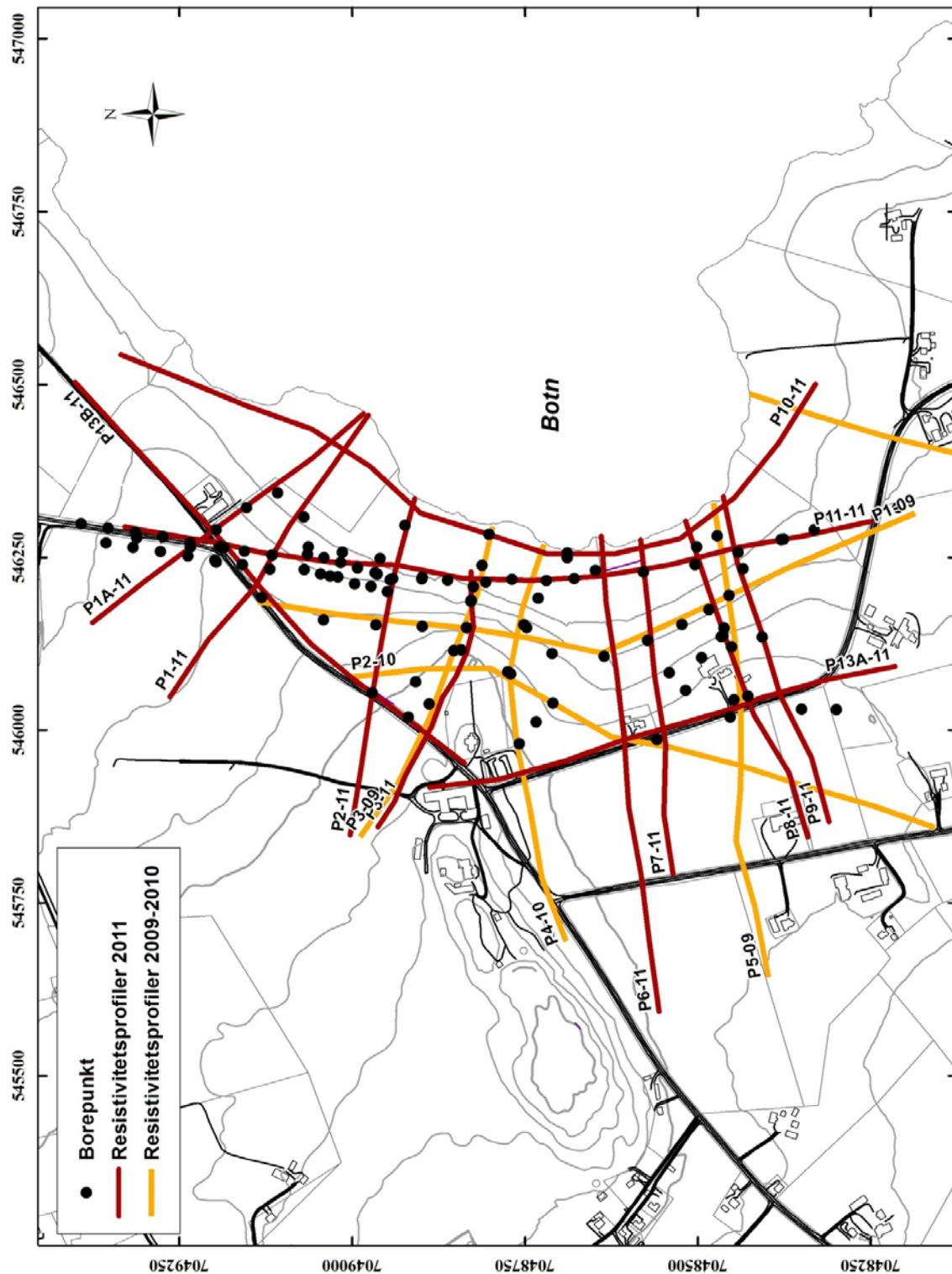
**Undersøkt område**

STATENS VEGVESEN - NGU OVERSIKTSKART <b>REIN KIRKE</b> RISSA, SØR-TRØNDELAG	MÅLESTOKK 1 : 50 000	MÅLT E.D.	Okt. 2011
		TEGN E.D.	Feb. 2012
		TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBILAG NR 2012.018-01	KARTBLAD NR 1522-II	



#### VEDLEGG 4 KART OVER GEOTEKNISKE BOREPUNKT VED REIN KIRKE

Referanse til borepunktene: Karlsrud & Gregersen (1981), Moholdt & Harbækvold (2008), Lande (2009), Lund (2009a, b) og Aasland (2010), upubliserte data fra Statens vegvesen.



## VEDLEGG 5 KART OVER BATYMETRI I BOTN UTENFOR REIN KIRKE

Referanse til Botn-data: L'Heureux et al. 2011.

