

GEOLOGI FOR SAMFUNNET

GEOLOGY FOR SOCIETY



Rapport nr.: 2012.025		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Resistivitetmålinger for løsmasseutbredelse og skredproblematikk langs strandsonen ved Sørbotn i Rissa, Sør-Trøndelag.				
Forfattere: Inger-Lise Solberg, Einar Dalsegg, Jean-Sebastien L'Heureux og Jan Steinar Rønning			Oppdragsgiver: NGU, NVE	
Fylke: Sør-Trøndelag		Kommune: Rissa		
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1522-II Rissa		
Forekomstens navn og koordinater: WGS 1984, UTM sone 32 N, 549000Ø, 7049600N		Sidetall: 38		Pris: 135 kr
Feltarbeid utført: April, mai og oktober 2011	Rapportdato: 31.08.2012	Prosjektnr.: 333000, 345700	Ansvarlig: <i>Jonice Hansen</i>	
Sammendrag:				
<p>2D resistivitetmålingene ved Sørbotn i Rissa kommune (Sør-Trøndelag) er utført innen prosjekter ved NGU knyttet til kartlegging i strandsonen, med spesielt fokus på skredproblematikk. I 2010 ble sjøbunnen i Botn kartlagt i høy oppløsning med interferometrisk sonar og refleksjonsseismikk. Data viste utglidninger og pockmarks flere steder i strandsonen i Sørbotn. Det ble derfor bestemt at områdene på land skulle undersøkes med 2D resistivitetmålinger, som en del av strandsonekartleggingen.</p> <p>Rapporten beskriver og tolker fem 2D resistivitetsprofiler. Resistivitetsprofilene viser sedimenttykkelser på opp til 30 m, vanligvis noe mindre. Sedimenter tolket som utvasket leire kan potensielt være kvikke. Resistivitetsverdiene for utvasket leire ved Sørbotn er for det meste over 50 Ωm, og nord i området som regel over 80 Ωm. Resultatene fra undersøkelsene i Sørbotn er i samsvar med NGUs tolkningsmodell for karakterisering av leire. Høye resistivitetsverdier (>80 Ωm) i leira kan skyldes at den er noe uttørket, men kan stedvis også komme av høyt innslag av grove masser (sand, grus, stein). Store deler av resistivitetsprofilene indikerer fjell, men resistivitetsverdiene her varierer en del. Dette skyldes trolig variasjon i bergartstyper i tillegg til svakhetssoner/sprekkesoner. Kartlagte skredhendelser på sjøbunnen grenser mot fjell, grove masser eller utvasket leire på land. Lokalt viser resistivitetsdata at potensiell skredutbredelse kan være begrenset av barrierer i grunnen.</p> <p>To av resistivitetsprofilene går gjennom ei eksisterende faresone for kvikkeleireskred (faresone Selvika). Faresoners utbredelse og evaluering av faregrad er tradisjonelt basert på en rekke definerte parametre. I denne rapporten sammenholdes nye typer data (2D resistivitet, seismikk og batymetri) med de eksisterende data for en forsøksvis alternativ evaluering av området med hensyn til skredfare. Samlet indikerer dette at utbredelsen av faresonen kunne vært noe justert og at faregraden muligens kan oppjusteres fra middels til høy. Det understrekes at denne vurderingen skal sees som en del av et utviklingsarbeid, og at den tidligere definerte faregraden fremdeles er den som gjelder. Imidlertid tilsier disse undersøkelsene at prosedyrene for faresonevurderinger bør revideres slik at det tas hensyn til mulighetene i nye tilgjengelige metoder.</p>				
Emneord:		Geofysikk	Kvikkleire	
Hav- og fjordavsetninger		Resistivitetmålinger	Fagrapport	

INNHOOLD

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	Profil P1.....	13
6.2	Profil P2.....	16
6.3	Profil P3.....	17
6.4	Profil P4.....	18
6.5	Profil P5.....	20
7.	DISKUSJON.....	21
7.1	Sedimenter.....	21
7.2	Fjell.....	21
7.3	Data fra innsjøen Botn.....	21
7.4	Multidisiplinær evaluering av faresone for kvikkleireskred.....	25
8.	KONKLUSJON.....	29
9.	REFERANSER.....	30
VEDLEGG 1	KOORDINATER TIL INNMÅLTE PROFILER.....	33
VEDLEGG 2A	RESISTIVITETSPROFILER MED LANG FARGESKALA P1-P2.....	35
VEDLEGG 2B	RESISTIVITETSPROFILER MED LANG FARGESKALA P3-P5.....	36
VEDLEGG 3	TABELL FOR EVALUERING AV FAREGRAD.....	37
VEDLEGG 4	OVERSIKTSKART OVER STUDIEOMRÅDET.....	38

1. INNLEDNING

2D resistivitetsmålingene ved Sørbotn i Rissa kommune (Sør-Trøndelag) er utført innen prosjekter ved NGU knyttet til kartlegging i strandsonen, med spesielt fokus på skredproblematikk. I 2010 ble sjøbunnen i Botn kartlagt i høy oppløsning med interferometrisk sonar og refleksjonsseismikk (L'Heureux et al. 2011). De batymetriske data viste utglidninger og pockmarks flere steder i strandsonen i Sørbotn. Ut fra dette ble det stilt spørsmål om hvorfor utglidningene ikke hadde forplantet seg inn på land, og om de eventuelt kunne komme til å gjøre det. Det ble derfor bestemt at områdene på land skulle undersøkes med 2D resistivitetsmålinger, som en del av strandsonkartleggingen.

I denne rapporten presenteres fem 2D resistivitetsprofiler som ble målt i 2011. Resistivitetsmålingene ble utført av Einar Dalsegg (NGU), og en detaljert oversikt over datainnsamlingstidspunktene er gitt i tabell 1. Rapporten dokumenterer datainnsamlingen, presenterer resistivitetsdata og gir en tolkning av disse. Der det er tilgjengelige geotekniske data, er resistivitetsprofilene sammenlignet med disse. To av resistivitetsprofilene går gjennom ei faresone for potensielt kvikkleireskred (faresone Selvika). Faresoners utbredelse og evaluering av faregrad er tradisjonelt basert på en rekke definerte parametre (Gregersen 2008). I rapporten sammenholdes nye typer data (2D resistivitet, seismikk og batymetri) med de eksisterende data for en forsøksvis alternativ evaluering av området med hensyn til skredfare. Det understrekes at denne vurderingen skal sees som en del av et utviklingsarbeid, og at den tidligere definerte faregraden fremdeles er den som gjelder.

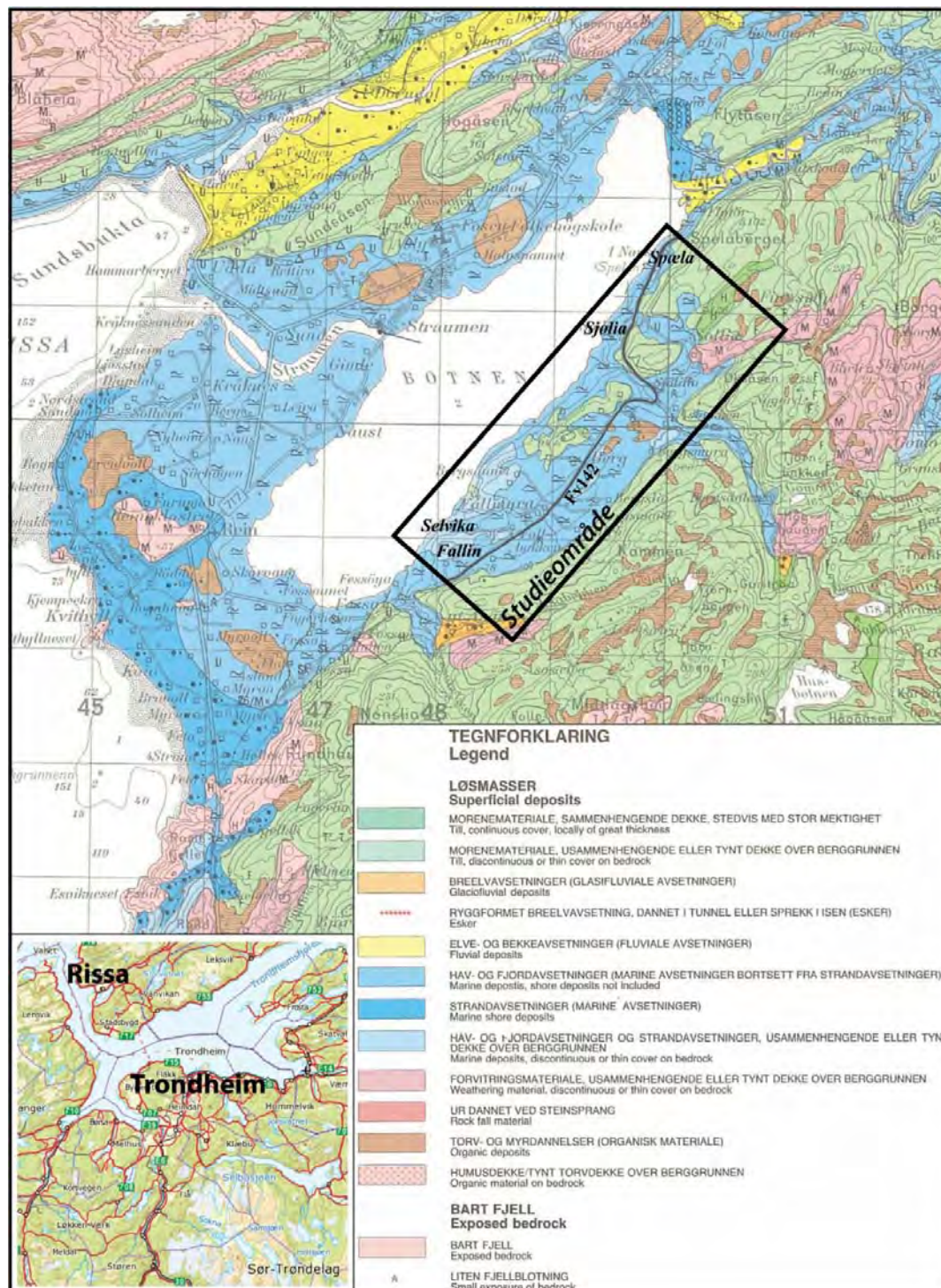
2. LOKALITETEN

Studieområdet Sørbotn ligger i Rissa kommune i Sør-Trøndelag. Sørbotn er her definert som området langs sørøstsida av innsjøen Botn fra Fallin i sørvest til Spæla i nordøst (fig. 1, vedlegg 4). Straumen knytter Botn til Trondheimsfjorden, hvor tidevannet fører med seg saltvann som gjør innsjøen brakk. Sørvest for studieområdet ligger skredgropa til Rissaraset som gikk i 1978 (Gregersen 1981, L'Heureux et al. 2012). Det finnes også spor etter andre skredhendelser i området (fig. 4, 5). I tillegg skjedde det en utglidning i strandsonen ved Sjølia sommeren 2012 (pers. med. S. Vannebo).

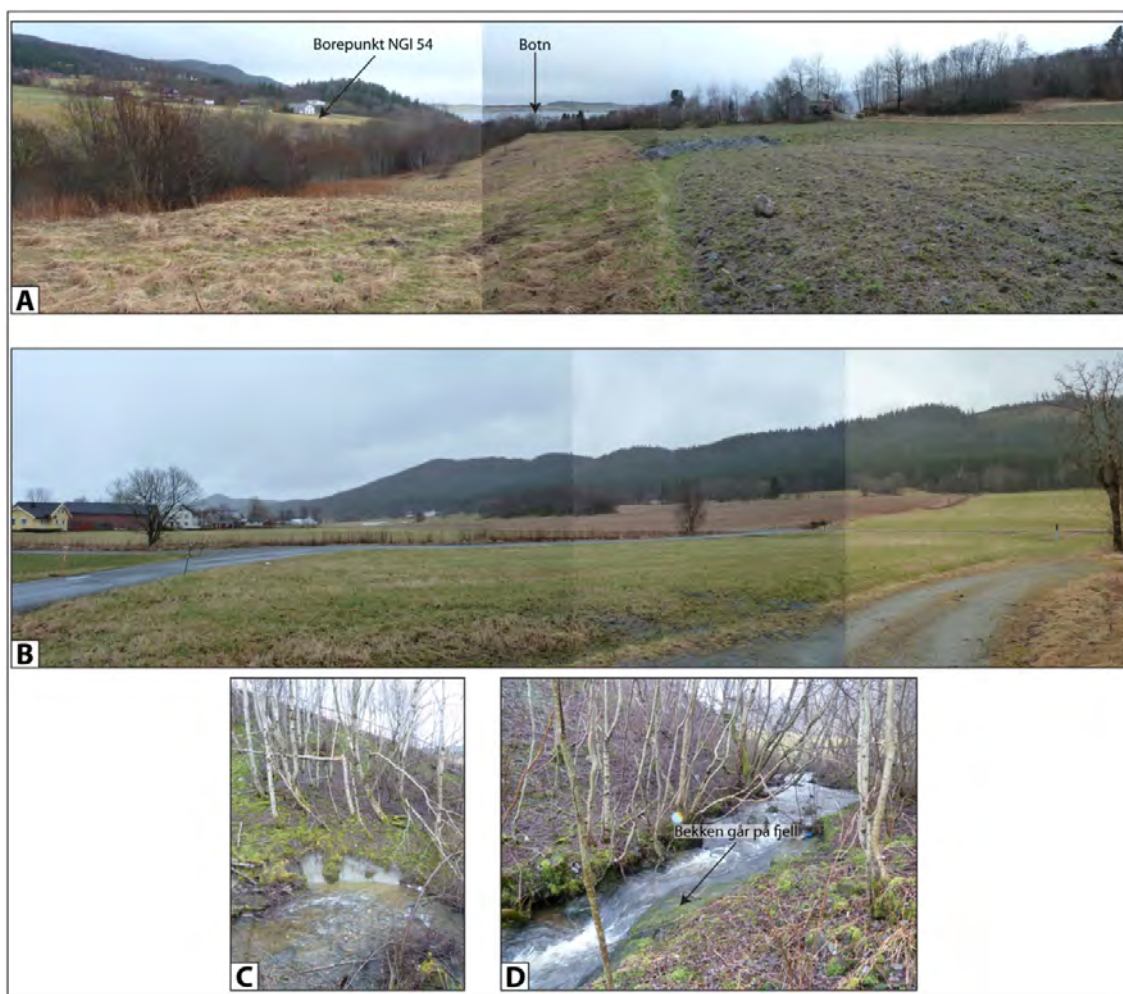
Fylkesveg 142 går gjennom Sørbotn (ligger på 60-80 moh.), og langs vegen er terrenget nokså flatt (fig. 1, 2b). Området for øvrig er småkupert og stedvis nokså bratt ned mot Botn. Botn ligger like over havnivået. Marin grense for Rissa er ca. 160 m over dagens havnivå (Reite 1987, fig. 5). Sedimentene i studieområdet består hovedsakelig av hav- og fjordavsetninger, stedvis med fjellblotninger og myr (fig. 1, 5). Ved befaring i Sørbotn ble det observert nokså grove masser iblandet leira (fig. 2a). Det er to bekker som i området, Bergsbekken i nord og Pølbekken i sør (fig. 4). Bekkene har skåret seg kraftig ned, og går stedvis på fjell (fig. 2d). Aktiv erosjon ble også observert i bekkene (fig. 2c).

I følge berggrunnskart er det i området grønnstein og grønnskifer med innslag av kvarts (Wolff 1976, 1978). I tillegg finnes det linser/lag av krystallinsk kalkstein og glimmerskifer. Det ble i 2010 gjort befaring av fjellblotninger ved Rein kirke, vest for studieområdet. Her ble det observert steiltstående, SV-NØ-gående lagdeling/bånding i grønnskifer/glimmerskifer med kvartslinser, samt en blotning med krystallinsk kalkstein (Solberg et al. 2010). Derfor

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



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



Figur 2. Selvika i Sørbotn. (A) Foto tatt på nordsida av Pølbekken, mot sørvest, legg merke til de grove massene i leira på jordet. (B) Østlig del av profil P5 går i retning åsen (foto tatt mot nordøst). (C) Aktiv erosjon i Pølbekken. (D) Pølbekken går noen steder på fjell. (Alle foto: Inger-Lise Solberg)

3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

Resistivitetsmålinger i to dimensjoner (2D) utføres ved å legge ut kabler på bakken og knytte elektroder til disse. Når utlegget er etablert, startes en automatisk styrt måleprosess der forskjellige elektrodepar benyttes som strømelektroder mens den oppsatte elektriske spenningen måles mellom to andre elektroder. Ved å la en slik elektrodekonfigurasjon vandre langs kabelutlegget kartlegges resistiviteten lateralt. Når elektrodeavstanden økes, trenger strømmen dypere ned i bakken. Da kan resistiviteten kartlegges mot dypet. Kombineres disse to teknikkene, kan kartleggingen skje i to dimensjoner.

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 måleinstrumentene ABEM Terrameter SAS 4000 og ABEM LS (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 den såkalte pseudoseksjonen, noe en må ta hensyn til ved valg av elektrodeavstand. Det ble valgt å benytte Gradient elektrodekonfigurasjon, 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 profilenes lengde og plassering finnes i tabell 1.

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 Ωm) startet 0,3 sekund etter at strømmen ble slått på og måletiden var 0,5 sekund.

Tabell 1. Oversikt over innsamling av 2D resistivitet i Sørbotn. For alle profiler: 5 m elektrodeavstand og Gradient elektrodekonfigurasjon. Det er målt 5300 m (6200 m uten overlapp).

Dato	Profil-nr.	Del av profilet (m)	Profil-lengde (m)	Markslag
11.04.11	P1	0-600	600	Dyrket mark
12.04.11 og 31.10.11		300-900	600	
13.04-15.04.11		600-2200	1600	
26.04.11	P2		500	Dyrket mark, skog
29.04.11	P3		600	Dyrket mark
27.-28.04.11	P4	0-700	700	Dyrket mark, veg
		400-1200	800	
02.05.11	P5		800	Dyrket mark, veg

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 resistivitetsverdier. 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 resistivitetsprofil.

Resistivitetsdata ble invertert ved bruk av dataprogrammet Res2DInv (Loke 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 resistivitetsverdier, som er benyttet som *utgangspunkt* for tolkningen av 2D resistivitetsprofilene. Denne klassifiseringen er basert på erfaring fra en rekke lokaliteter i Norge, og også fra studier i Sverige (se mer om dette i Solberg et al. 2011, 2012c). 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.

Resistivitetsverdier fra ca. 1-10 Ωm representerer materiale med god ledningsevne, som saltholdig leire. Verdier fra 10 Ωm og opp til 90-100 Ωm kan være kvikkleire, men økningen i resistivitet kan også skyldes innslag av grovere masser som silt/sand. Tørrskorpeleiras resistivitet er vanligvis mellom 100 Ωm og 200 Ωm . 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 Ωm) 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 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).

Oppløsning og nøyaktighet er størst i øvre og midtre deler av et resistivitetsprofil. 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 resistivitetmetoden, mulige anvendelser og usikkerheter knyttet til kvikkleirekartlegging, henvises det til Solberg et al. (2011, 2012c).

Tabell 2. Utgangspunkt for løsmasseklassifisering fra resistivitetsverdier. 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 kvikkleire-relaterte prosjekter (basert på bl.a. Solberg et al. 2008, 2011, 2012c).

Resistivitetsverdier	Materiale	Fargekode	Beskrivelse
1-10 Ωm	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 resistivitetsverdier. Godt ledende mineraler som sulfider og grafitt, og andre sedimenter mettet med ionerikt vann kan også gi lave resistivitetsverdier.
10-100 Ωm	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. Resistivitetsverdiene 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 Ωm	Tørreskorpeleire	(Gul), Orange	Tørreskorpeleire, leirskredmasser, sand og grus vil generelt ha høyere resistivitetsverdier.
50-150 Ωm	Siltige masser	Gul, orange	Vanninnhold i sedimentene vil ha betydning for ledningsevnen. Berggrunnen har som regel resistivitetsverdier på flere tusen ohmm, men oppsprukket fjell og malmrike bergarter kan ha betydelig lavere resistivitet.
>150 Ωm	Sand, grus, morene	Orange, rød, mot lilla	
>1000 Ωm	Fjell	(Rød), Lilla	



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

5. GEOTEKNISKE UNDERSØKELSER

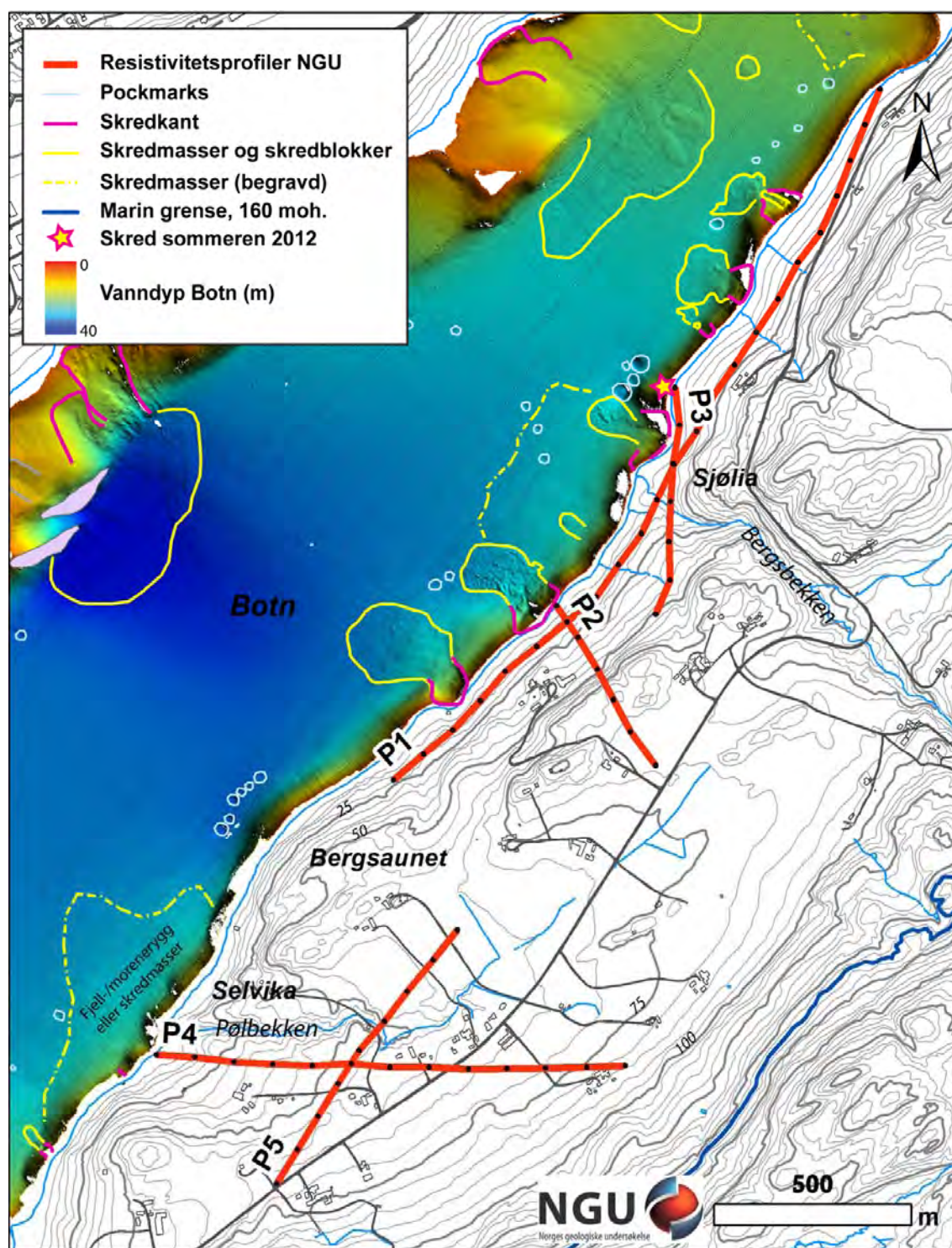
Etter utglidningen i strandsonen sommeren 2012 ble det utført fire dreietrykksonderinger ved Sjølia (fig. 5) (Multiconsult 2012). De utførte dreietrykksonderingene stoppet mellom 3,6 m og 6,5 m dybde, i grove masser. Sonderingene MC 1, MC 2 og MC 3 gikk hovedsakelig i friksjonsmasser, mens sondering MC 4 gikk fast leire.

Av andre geotekniske undersøkelser i studieområdet er det er kun funnet data fra kartleggingen av faresoner for potensielle kvikkleireskred som ble utført på slutten av 1980-tallet (Gregersen & Korbøl 1989). Det er plassert en faresone i Sørbotn, i Selvika (fig. 5). Her er det ett borepunkt (NGI 54), hvor det er utført dreietrykksondering og prøvetaking. Prøvetakingen viser kvikkleire på dyp 10-14 m under terreng (4 m mektighet). Dette borepunktet ligger ca. 30 m fra resistivetsprofil P4. Det finnes to andre borepunkt i Sørbotn som stopper mot faste masser/antatt fjell på 10,1 m dyp (NGI 53) og 2,3 m dyp (NGI 55) (Gregersen & Korbøl 1989).

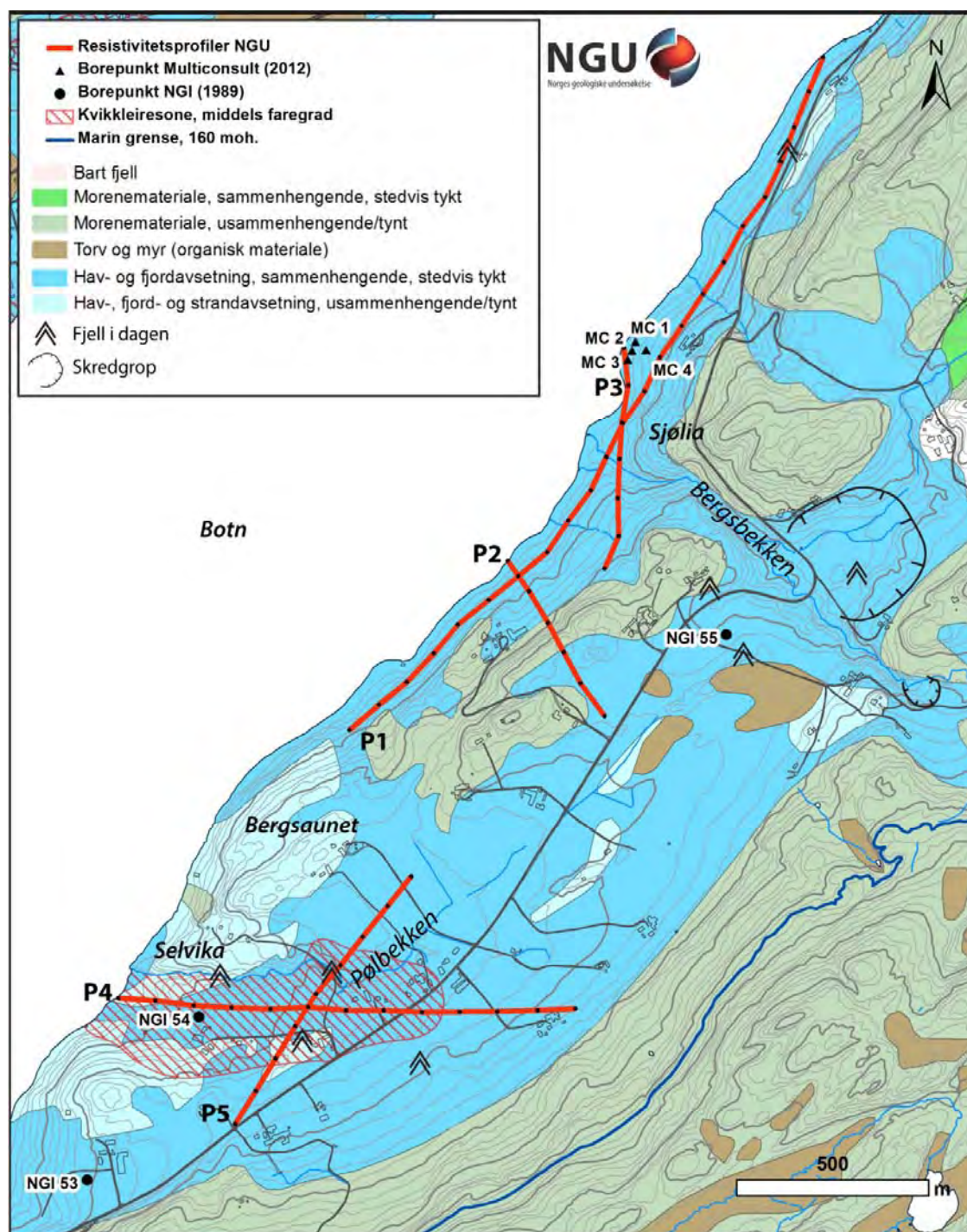
6. RESULTATER OG TOLKNING

For å kartlegge løsmasseavsetningene ved Sørbotn i Rissa er det målt til sammen 5300 m med 2D resistivitet (tabell 1). Beliggenheten til resistivetsprofilene er vist på figurene 4 og 5 (og vedlegg 4). 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 annen fargeskala benyttet for eksempel for å fram nyanser i høye resistivetsverdier (vedlegg 2). Profilene har standard inversjon ("Least Square"/"smooth").

De lange resistivetsprofilene P1 og P4 er målt med to ulike instrumenter (ABEM SAS 4000 og ABEM LS) og profilene er derfor ikke satt sammen. Tolkningen er i hovedsak basert på klassifiseringen gitt i tabell 2 og figur 3, men erfaringer fra undersøkelsene i sørvestre del av Botn ligger også til grunn (Solberg et al. 2012a).



Figur 4. 2D resistivetsprofilene P1-P5 målt i Sørbotn i Rissa. Profilidentifikasjon er plassert ved posisjon 0 m på profilene, og markeringene på profillinjene er pr. 100 m. Se også fig. 5 og vedlegg 4.



Figur 5. Studieområdet med resistivetsprofilinjer, faresone Selvika, borepunkt og kvartærgeologi. NB: Kartleggingsmålestokk for de kvartærgeologiske data er 1:50 000, så grensene må ikke brukes detaljert. Kartet er modifisert etter Reite (1987) med noen nye tilføyelser av fjell i dagen og skredgrop. Referanse til faresone og borepunkt: Gregersen & Korbøl (1989); Multiconsult (2012).

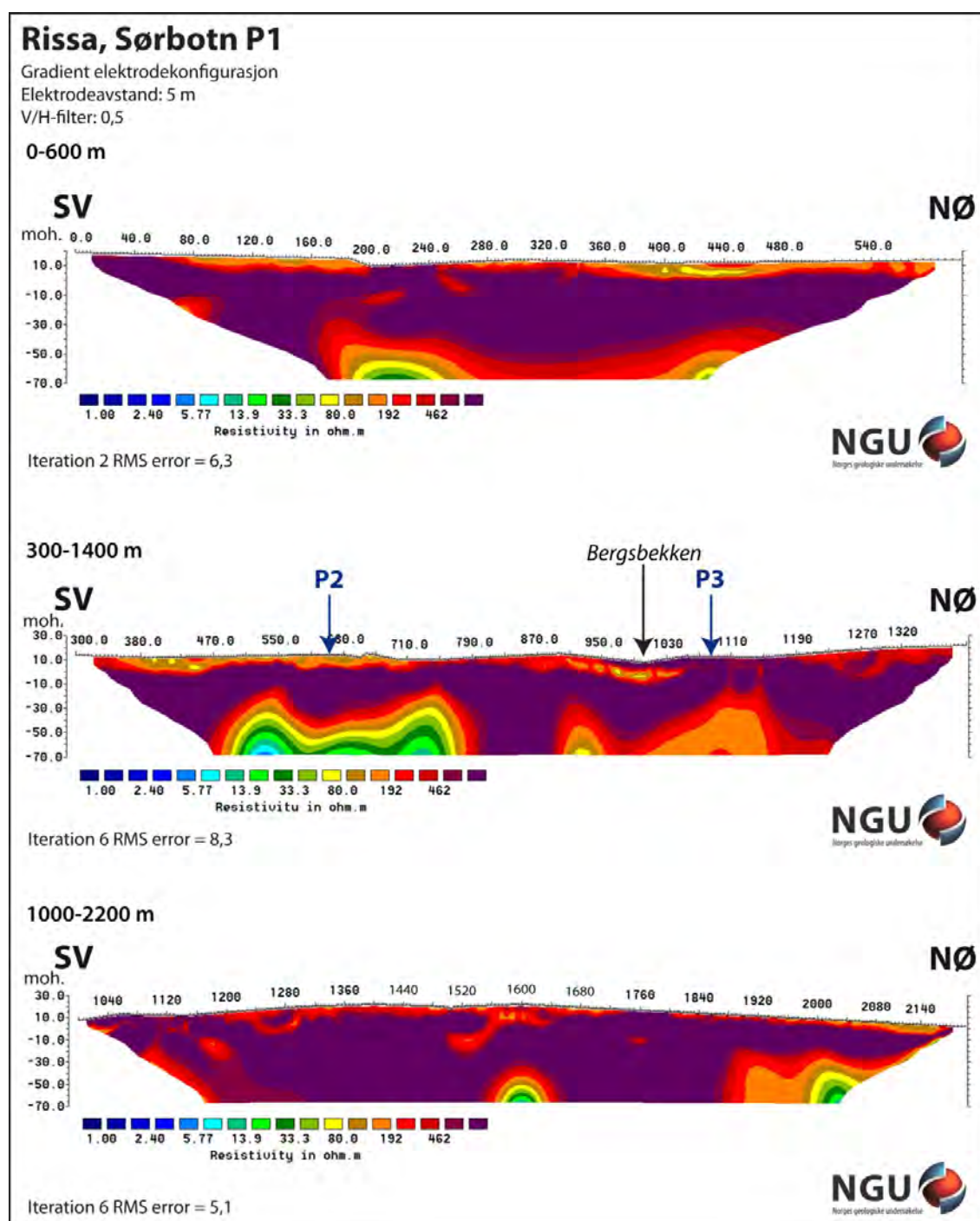
6.1 Profil P1

Profil P1 ligger langs innsjøen Botn (fig. 4-6). Sedimentlaget i profilet over fjell er ± 15 m tykt. Resistivitetsverdiene over $50 \Omega\text{m}$ tolkes til å være utvasket leire og tørrskorpeleire (fig. 7). Der verdiene er over $200 \Omega\text{m}$, tolkes sedimentene til å være grove (sand og grus, evt. med noe leirinnhold). Befaring langs siste del av profilet viste at jorda var leirholdig, men med mye grus/stein. Profilet viser at fjellet ligger relativt grunt her.

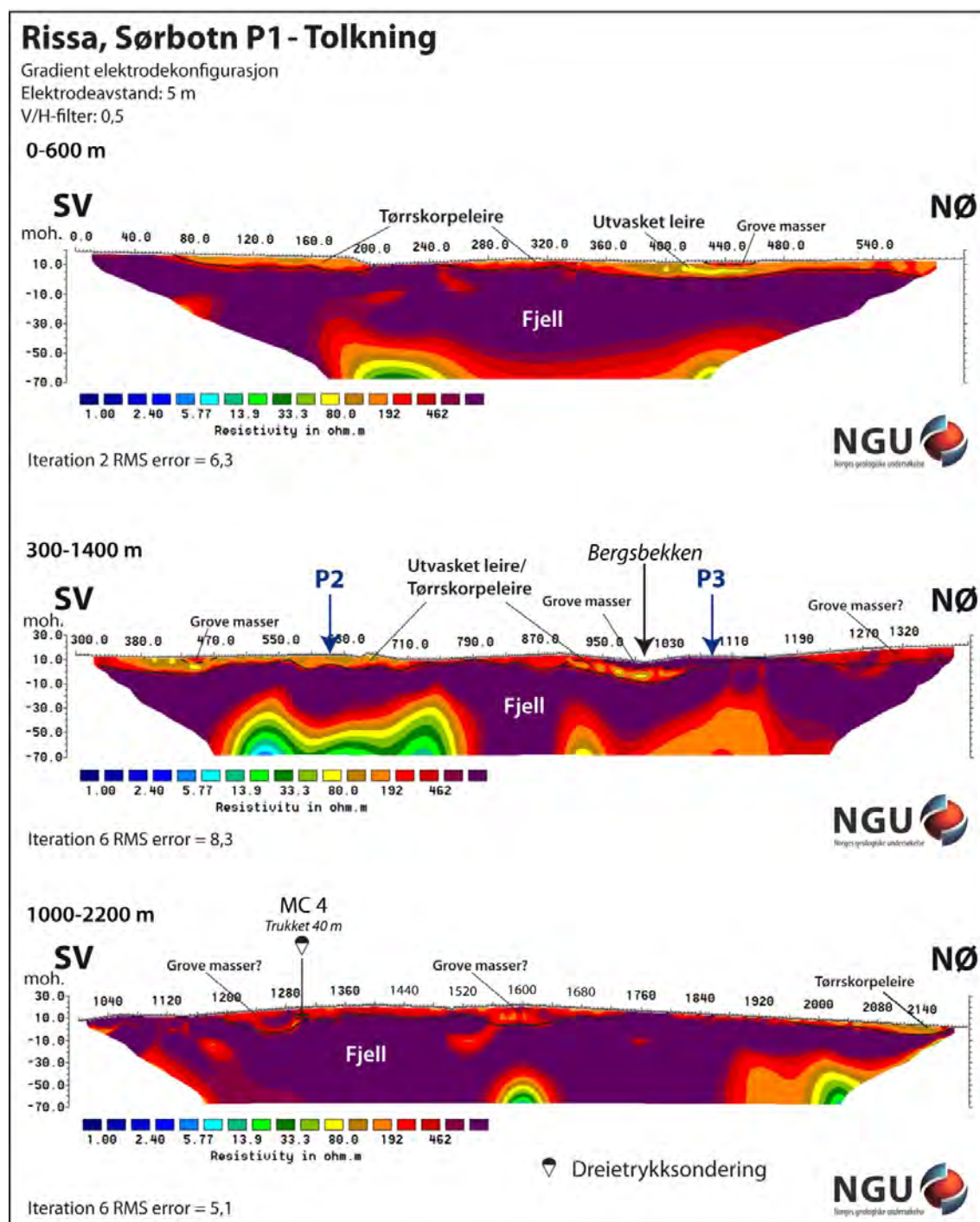
P1 krysser Bergsbekken ved profilpunkt 1000 m. Rundt bekken er resistivitetsverdiene høye (opp til ca. $5000 \Omega\text{m}$). Dette er trolig bekkeavsetninger som ligger over en ca. 10 m tykk leiravsetning (over $50 \Omega\text{m}$).

Nedenfor/vest for profilet ved Sjølia er det fire sonderingspunkt. Den nærmeste dreietrykksonderingen ligger 40 m unna (ved profilpunkt 1300 m), og viser 3-4 m fast leire (Multiconsult 2012). De tre andre sonderingene ligger 75 m unna og viser 5-6 m grove masser. Resistivitetsverdiene i overflata i denne delen av profilet er generelt høye (over $200 \Omega\text{m}$). Ved Sjølia er det derfor trolig nokså grunt til fjell, og sedimentene består i hovedsak av fast leire og/eller grove masser.

Store deler av profilet har høye resistivitetsverdier som tolkes til å være fjell. I de dypeste delene av profilet er det lavere verdier, noe som tolkes til å være innvirkning fra innsjøen (brakkvannet har trolig resistivitet på ca. $10 \Omega\text{m}$).



Figur 6. Resistivetsprofil P1 i Sørbotn. Profilet er målt med to instrumenter, og vises derfor oppdelt. Krysningspunkt med profilene P2 og P3 er vist.

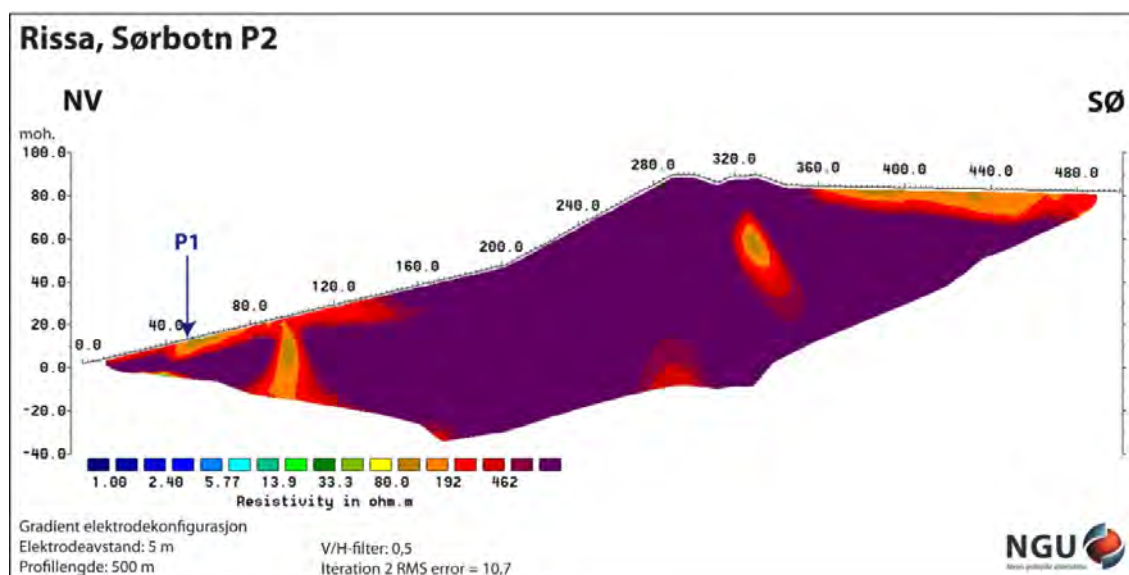


Figur 7. Tolket resistivetsprofil P1(MC 4: Multiconsult 2012).

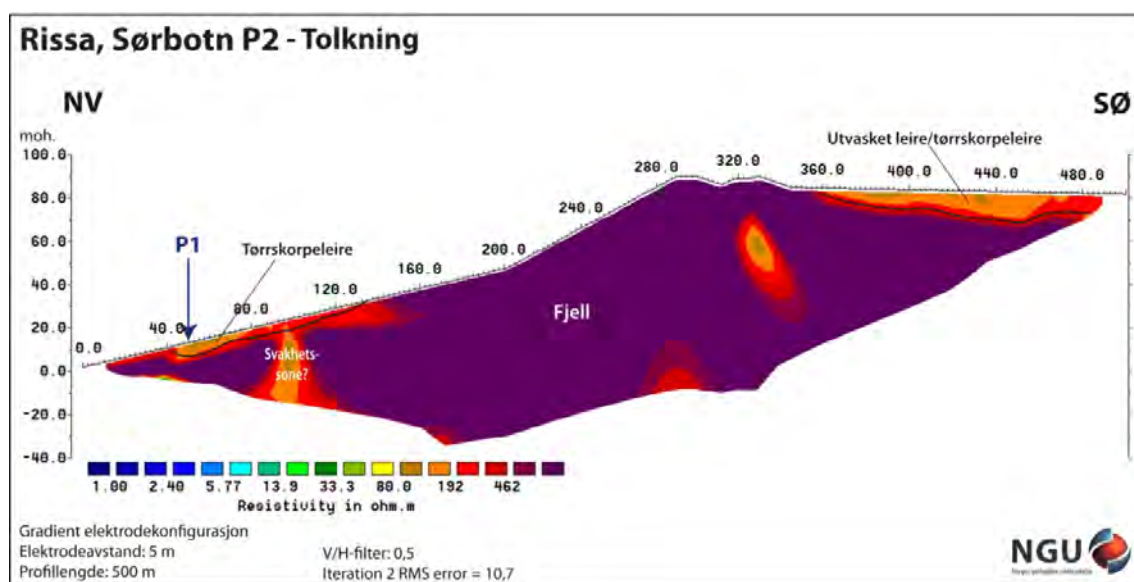
6.2 Profil P2

Profil P2 ligger vinkelrett innsjøen Botn (fig. 4, 5, 8). Det finnes sedimenter i skråningen ned mot Botn, og i den sørøstlige delen av profilet, og resistivetsverdiene er over 80 Ωm . Sedimentlaget er tykkest ved profilpunkt 450 m (10-15 m tykt). Sedimentene tolkes til å være utvasket leire, som trolig er nokså uttørket og/eller med relativt høyt innhold av grove sedimenter (fig. 9).

Mesteparten av profilet har høye resistivetsverdier som tolkes til å være fjell. Ved profilpunkt 100 m, og muligens også ved profilpunkt 320 m, er det noe lavere fjellverdier som tolkes til å være svakhetszone eller annen type bergart enn fjellet rundt. Se mer om dette under diskusjonen i kap. 7.



Figur 8. Resistivetsprofil P2 i Sørbotn. Krysningspunkt med profil P1 er vist.

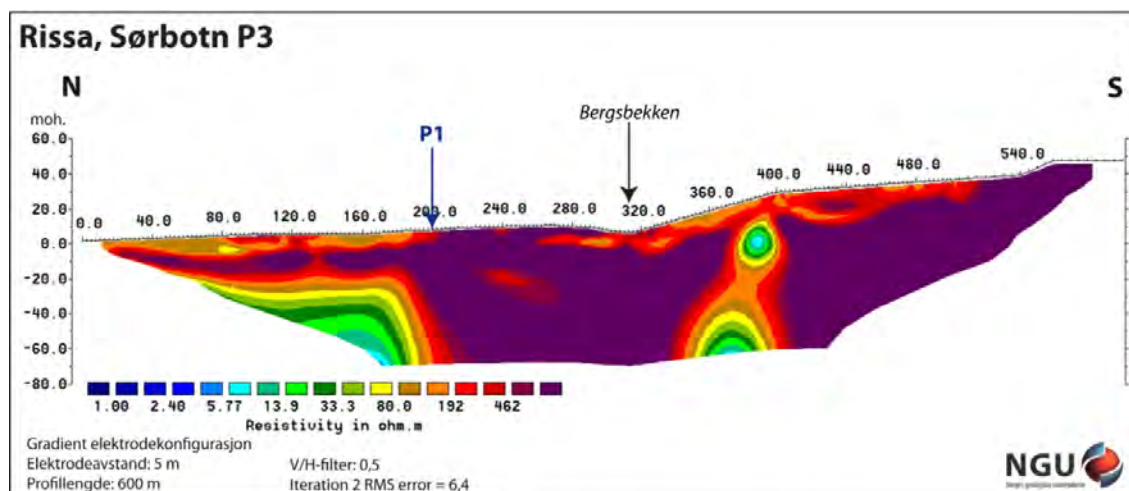


Figur 9. Tolket resistivetsprofil P2.

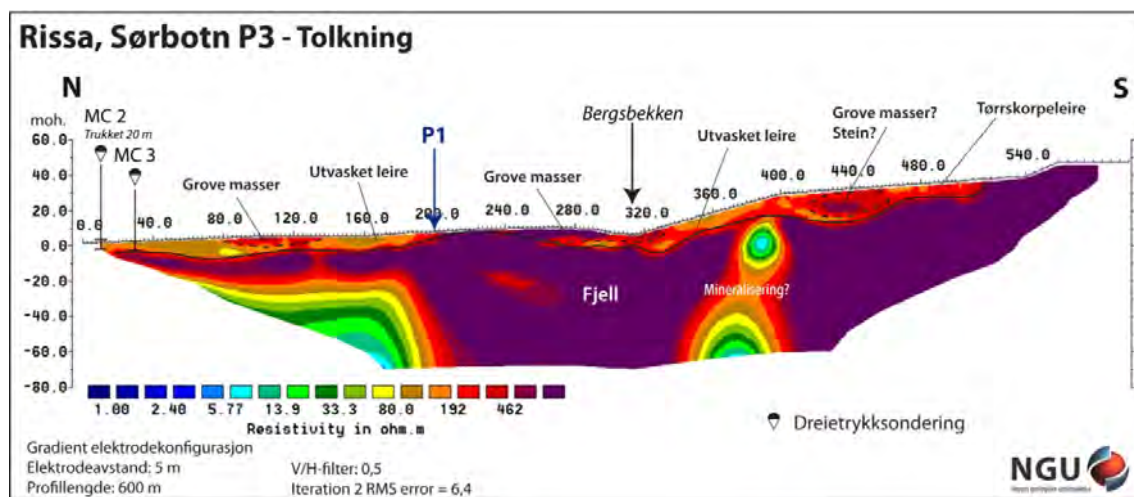
6.3 Profil P3

Profil P3 ligger i vinkel ca. 40° på innsjøen Botn (fig. 4, 5, 10). Som for P1 og P2 er sedimenttykkelsen stedvis relativt liten (0 til 15 m), med resistivetsverdier i hovedsak over 80 Ωm (over 50 Ωm ved profilpunkt 80 m). Sedimentet er tolket til å være utvasket leire og/eller tørrskorpeleire (fig. 11). Det er flere steder høye verdier i/nær overflata (f.eks. ved profilpunktene ±100 m og 400-520 m). En tolkning av dette kan være grove masser/stein som har rast/er vasket ned fra de bratte skråningene i nærheten, som delvis består av morene (fig. 1, 5). Dette kan også være tilfelle ved Bergsbekken, i tillegg til avsetninger fra bekken selv. I starten av profilet finnes det data fra to dreietrykksonderinger, som viser 5-6 m grove masser (Multiconsult 2012). Resistivetsverdiene her er over 100 Ωm.

Store deler av profilet har høye resistivetsverdier som tolkes til å være fjell. I første del av P3, der profilet ligger nokså parallelt Botn, ser de dypeste delene av profilet ut til å være påvirket av brakkvannet (profilpunkt 0-160 m). Der er resistivetsverdiene lave, som også sett i P1. Ved profilpunkt ±390 m er det også ei sone med svært lave verdier. Dette kan skyldes godt ledende mineraler i fjellet (mineralisering).



Figur 10. Resistivetsprofil P3 i Sørbotn. Krysningpunkt med profil P1 er vist.

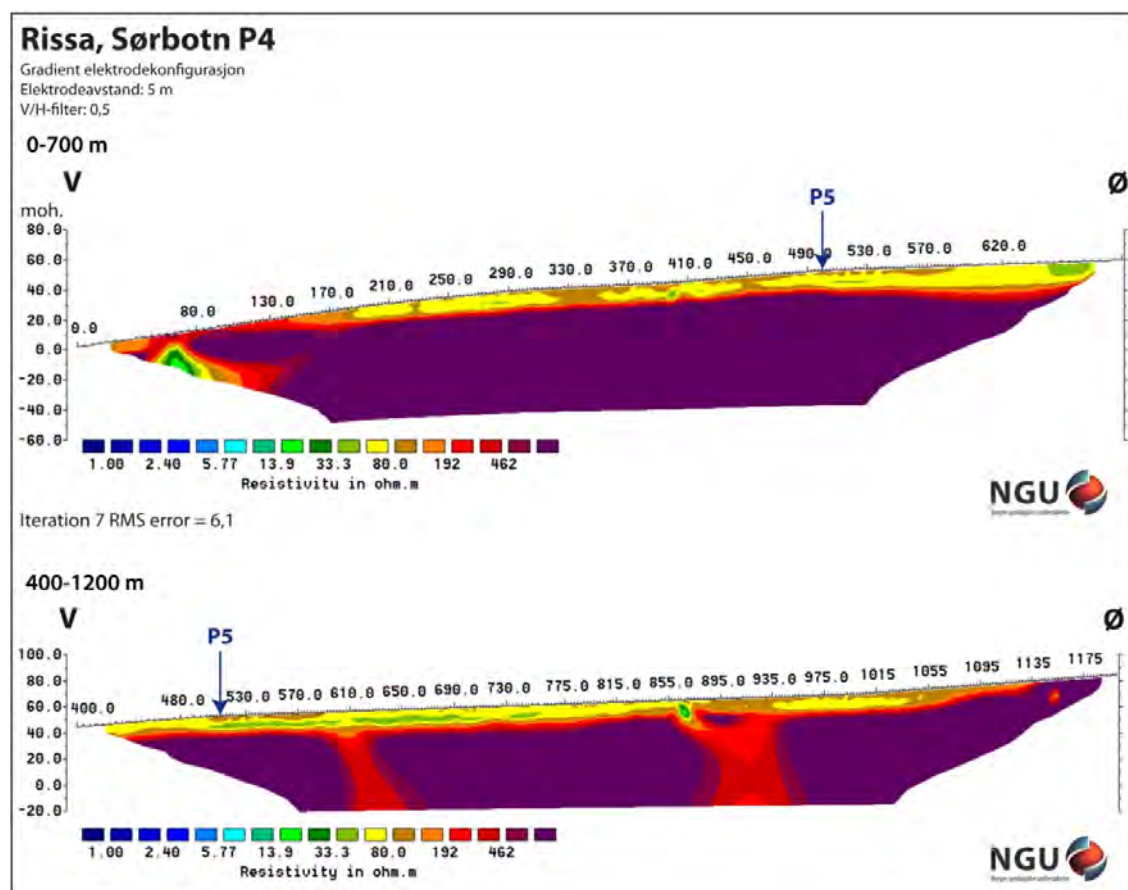


Figur 11. Tolket resistivetsprofil P3 (MC 2, MC 3: Multiconsult 2012).

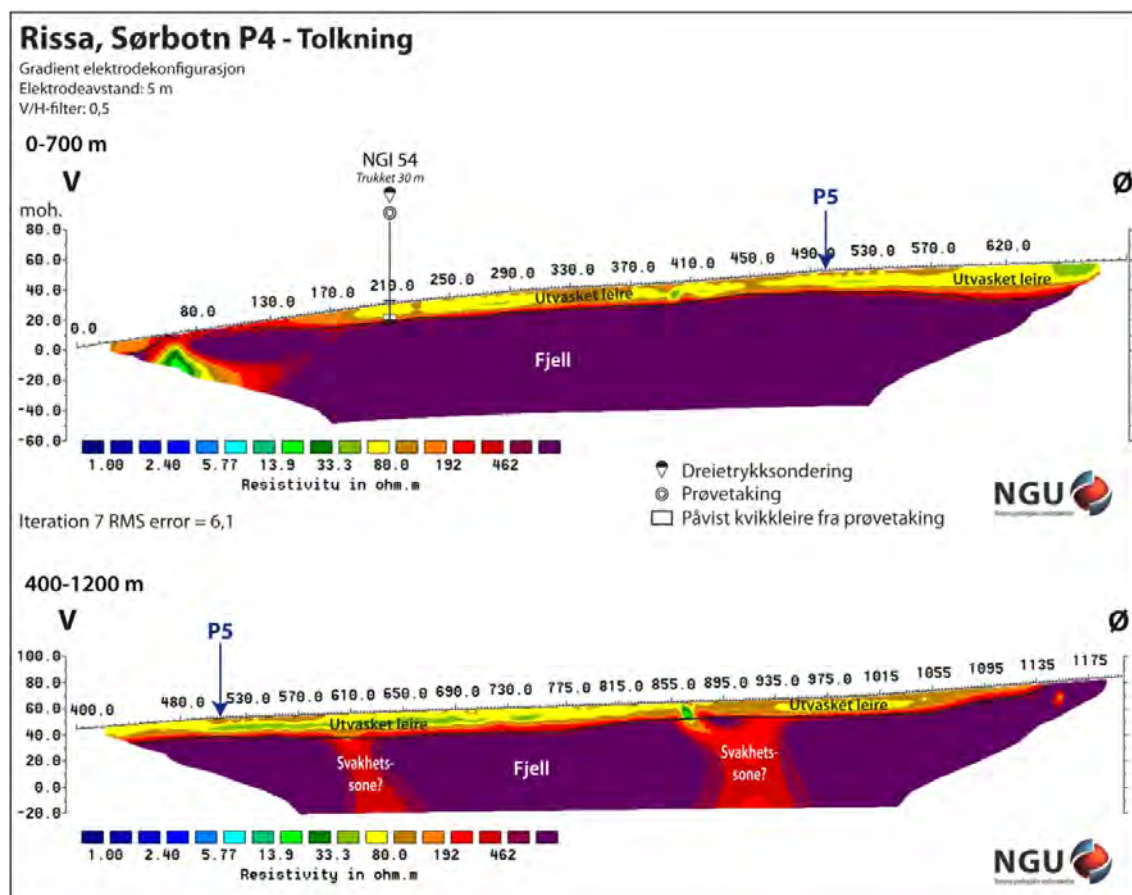
6.4 Profil P4

Profil P4 ligger nokså vinkelrett på Botn (fig. 4, 5, 12). Sedimenttykkelsen i profilet er opp til ca. 25 m, med resistivetsverdier i hovedsak over 30 Ωm . Dette tolkes til å være utvasket leire (fig. 13). Ved profilpunkt 215 m er et borepunkt (trukket 30 m), med data fra dreietrykksondering og prøvetaking. Sonderingen stopper mot antatt fjell på 14,1 m, og dette stemmer godt med resistivetsverdiene som her blir høye (over 1000 Ωm). Prøvetakingen viser kvikkleire i en 4 m tykk sone over fjell (Gregersen & Korbøl 1989). Resistivetsverdiene i kvikkleiresonen er $\pm 100 \Omega\text{m}$. Profilet går gjennom Selvika faresone, se mer om dette i kap. 7.

Store deler av profilet har høye resistivetsverdier som tolkes til å være fjell. Fjellverdiene er høyere i den vestlige delen, i forhold til den østlige (vedlegg 2b). Dette har trolig med type bergart å gjøre, og/eller tilstedeværelse av svakhetssoner (se kap. 7).



Figur 12. Resistivetsprofil P4 i Sørbotn. Profilet er målt med to instrumenter, og vises derfor oppdelt. Krysningspunkt med profil P5 er vist.

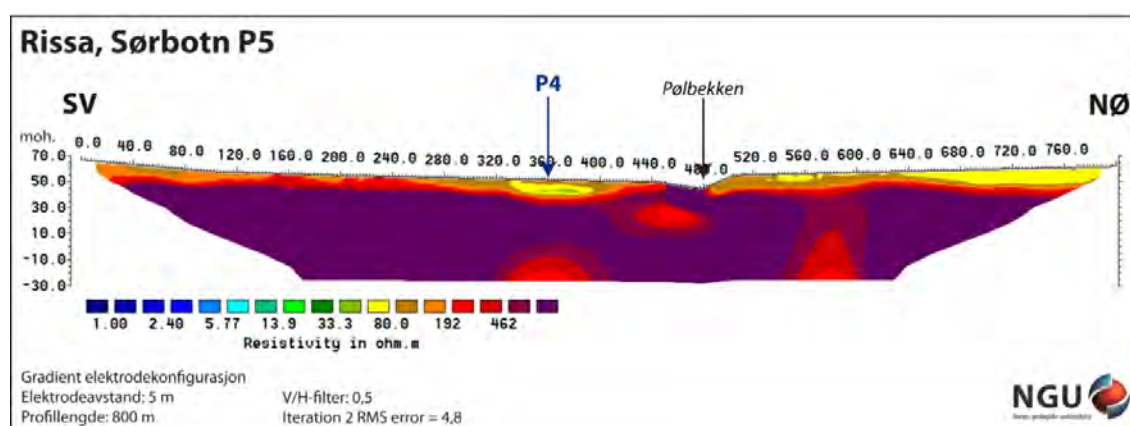


Figur 13. Tolket resistivetsprofil P4 (NGI 54: Gregersen & Korbøl 1989).

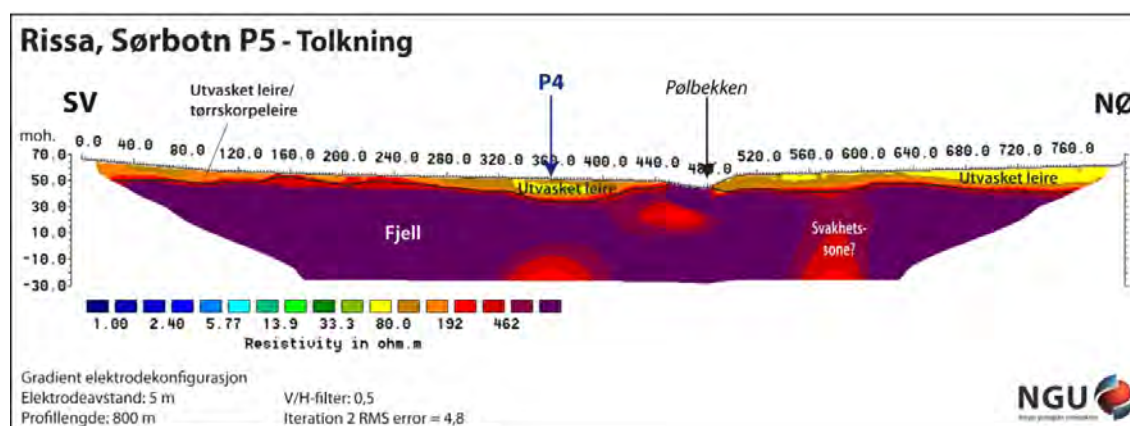
6.5 Profil P5

Profil P5 ligger parallelt med Botn (fig. 4, 5, 14). Sedimenttykkelsen i profilet er opp til ca. 30 m, med resistivitetsverdier i hovedsak over 50 Ωm (over 30 Ωm ved profilpunkt ± 370 m). Dette tolkes til å være utvasket leire (fig. 15). Mellom profilpunkt 0 og 270 m er leira trolig nokså tørr (relativt høye resistivitetsverdier), i tillegg til at det sannsynligvis er endel innslag av grovere masser. Profilet går gjennom Selvika faresone, se mer om dette i kap. 7.

Store deler av profilet har høye resistivitetsverdier som tolkes til å være fjell. Fjellverdiene i P5 stemmer overens med fjellverdiene i den østlige delen av P4 (vedlegg 2b). Bergartstyper og/eller svakhetssoner har betydning for resistivitetsverdiene i fjell (se kap. 7). P5 krysser Pølbekken, og her går både profil og bekk på fjell i dagen, bekreftet ved befaring (fig. 2d).



Figur 14. Resistivitetsprofil P5 i Sørbotn. Krysningspunkt med profil P4 er vist. Pølbekken går på fjell der den krysser profilet.



Figur 15. Tolket resistivitetsprofil P5.

7. DISKUSJON

7.1 Sedimenter

Resistivetsprofilene viser at sedimenttykkelsen i Sørbotn er opp til 30 m, vanligvis noe mindre. Det finnes ikke intakt, saltholdig leire på noen av profilene. Sedimentene som er tolket som leire er derfor utvasket, og kan potensielt være kvikke. Resistivetsdata er sammenlignet med informasjon fra fem dreietrykksonderinger og en prøvetaking. Påvist kvikkeleire i P4 har resistivetsverdi $\pm 100 \Omega\text{m}$. Resistivetsverdiene for utvasket leire er for det meste over $50 \Omega\text{m}$, og for P1-P3 som regel over $80 \Omega\text{m}$.

Ved befaring ble det observert mye grove masser (grus, stein) i leira (fig. 2a), noe som vil øke resistivetsverdiene. De grove massene kommer trolig fra nærliggende morene, fraktet med bølgene under havnivåsenkningen/landhevningen. I tillegg kan massene være droppstein og/eller ha rast ned fra bratte skråninger. Materialet er delvis rundet.

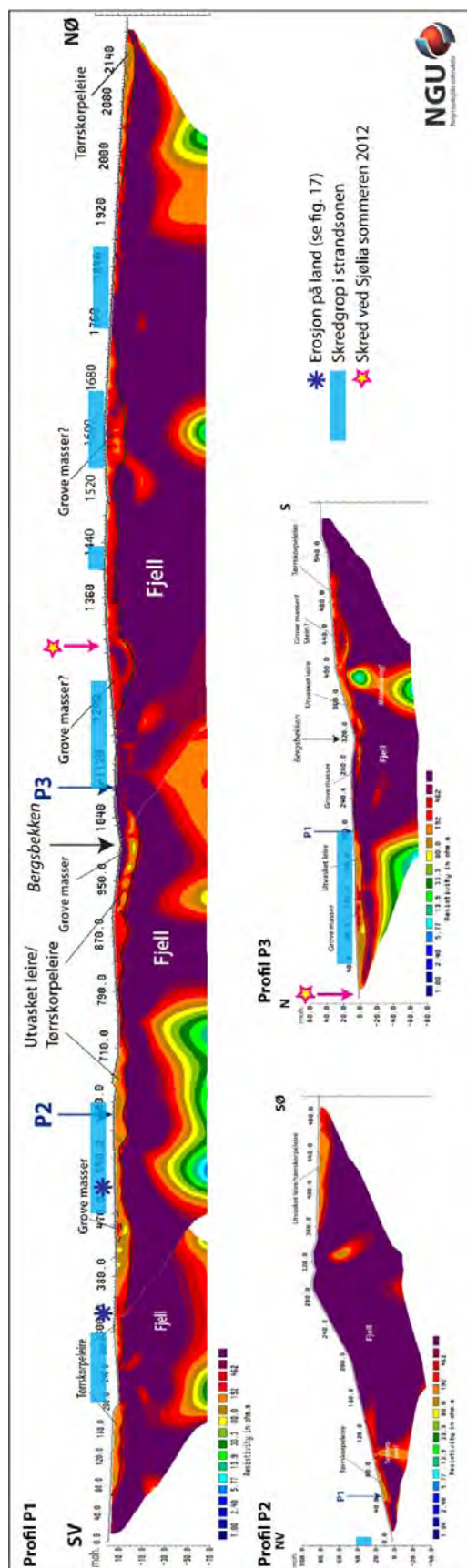
7.2 Fjell

Store deler av resistivetsprofilene indikerer fjell, og det stikker opp fjell i dagen flere steder (fig. 5). Resistivetsverdiene i det som tolkes som fjell er likevel ikke helt ensartede (vedlegg 2). I undersøkelsene sørvest for Botn varierte fjellverdiene i enda større grad; det ble knyttet til stor variasjon i romlig geologi med fjellrygger under sedimentene (Solberg et al. 2010, 2012a). I tillegg ble det tolket svakhetssoner og variasjon i bergartstype og -kvalitet. Fra berggrunnskart vises det at det også på østsiden av Botn kan være ulike bergartstyper som vil kunne påvirke resistivetsverdiene. For det meste er det grønnstein/-skifer i området, stedvis med glimmerskifer, og disse kan ha sprekkesoner (Wolff 1976, 1978, Solberg et al. 2010). Parallelt med Botn er det ei langsgående linse av kalkstein, lokalisert ca. 350 m sørøst for P4 og P5. Utbredelsen av linsa på dypet er ikke kjent, og det kan også være flere lenser som ikke er lokalisert. Ved P4 er det et markert skille i resistivetsverdiene ved profilpunkt 600 m, hvor de østlige verdiene er lavere. P5 har også tilsvarende lave fjellverdier. Endring i type bergart er en sannsynlig årsak. Sprekkesoner i skifer og oppløsningshorisonter/karst i kalkstein vil kunne gi lavere resistivitet, bl.a. på grunn av høyere innhold av finmasser og vann. Svært lave resistivetsverdier i fjell kan også skyldes godt ledende mineraler (mineralisering) (f.eks. Solberg et al. 2008).

7.3 Sammenligning av resistivetsdata og data fra Botn

Resistivetsprofiler kan potensielt gi informasjon om skredutbredelse, som f.eks. om sedimentene er skredfarlige eller om det finnes materiale som vil kunne opptre som barrierer mot skred (f.eks. Solberg et al 2012b, 2012c). Siden data fra innsjøbunnen i Botn viste spor etter utglidninger langs land, i tillegg til skredavsetninger, ble resistivetsmålinger benyttet for å undersøke forholdene på land langs sjøkanten.

Utenfor profilene P1-P3 er det på sjøbunnen kartlagt spor etter eldre og nyere skredhendelser (fig. 4, 16). Noen av skredavsetningene utenfor utløpet til Bergsbekken er begravd, noe som tilsier at de er gamle. Disse skredmassene kommer trolig fra skredgropene som er kartlagt langs bekken (fig. 5). Skråningene i innsjøen er spesielt bratte rett nedenfor strandlinja (flere steder over 30°).

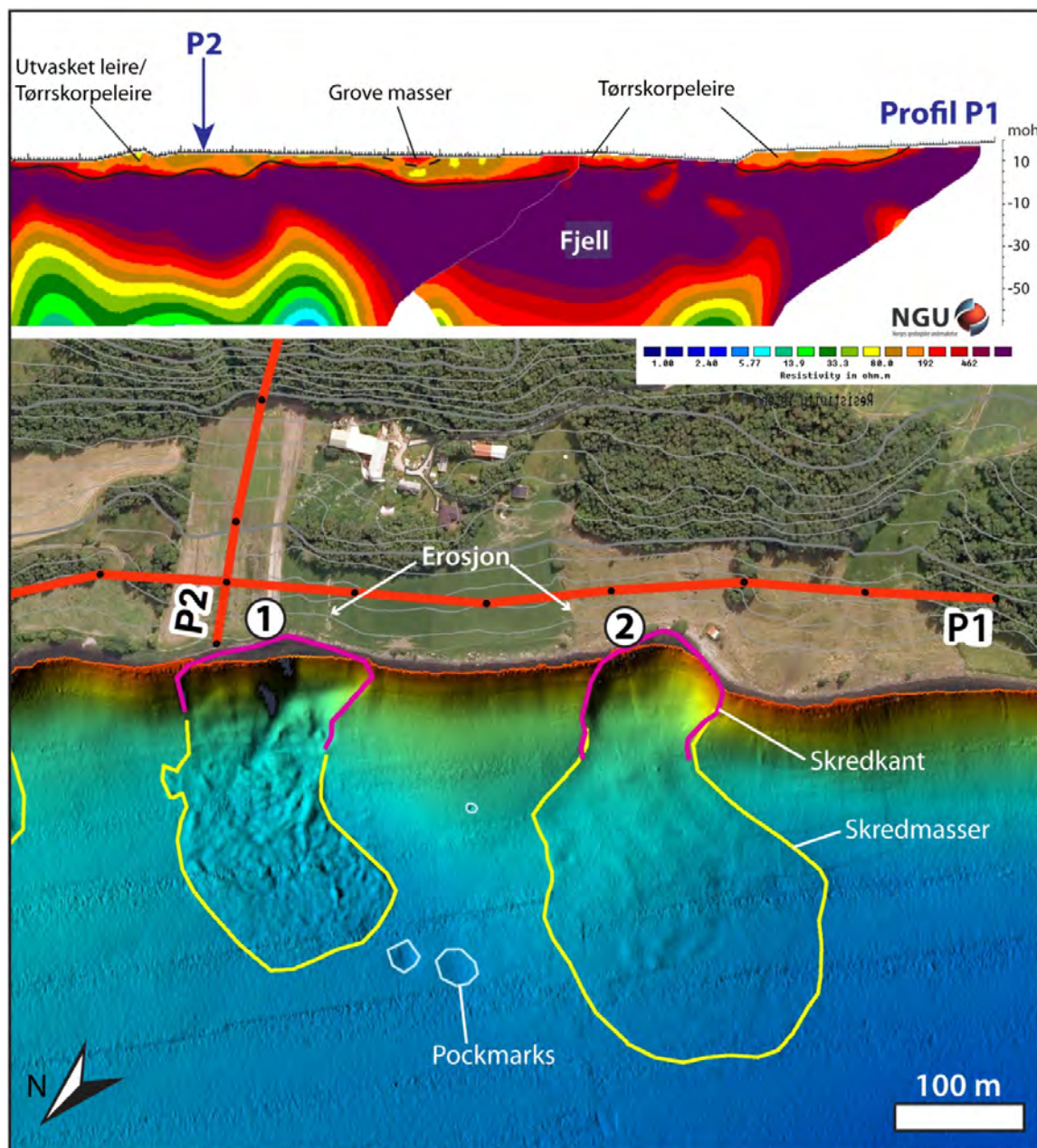


Figur 16. Områder nær resistivetsprofilene P1-P3 hvor det er kartlagt skredhendelser på sjøbunnen i Botn.

I strandsonen langs Sørbotn er det en rekke pockmarks (fig. 4). Dette er sirkulære fordypninger på sjøbunnen som dannes ved kortvarige utstrømninger av gass eller væske fra undergrunnen. Noen pockmarks representerer muligens gjentagende eller kontinuerlig utsiving. I Botn har pockmarks en diameter 25-60 m og er opptil 4-5 m dype (L'Heureux et al. 2011). Det er mulig at noen av disse er knyttet til sprekkesoner i fjellet under innsjøsedimentene, f.eks. i overgangen mellom to bergarter, eller i oppsprukkede bergarter (se kap. 7.2). Bergartsformasjonene i Rissa går i hovedsak parallelt med Botn (Wolff 1978). Beltet av pockmarks som krysser Botn, kan være knyttet til sprekkesoner i forbindelse med forsinkingen som Bergsbekken går i. En rekke av skredgropene i strandsonen ligger i nærheten av pockmarks, noe som tilsier at artesisk trykk kan være tilstede. Skredene kan i noen tilfeller være utløst på grunn av poreovertrykk knyttet til utsiving av gass/væske fra undergrunnen.

Den nye skredhendelsen ved Sjølia ligger nær starten på resistivetsprofil P3 (fig. 4, 16). Det er et lite nes som stikker ut her, med store pockmarks på sjøbunnen 60-70 m fra land. Det er således trolig høyt poretrykk i avsetningene på sjøbunnen som var destabiliserende eller utløsende årsak til skredet. Resistivetsprofilene P1 og P3 som er målt på land ovenfor skredet viser nokså liten sedimenttykkelse over fjell, og massene er trolig utvasket leire (evt. med grove innslag) og grove masser (fig. 16). Moreneavsetninger er tidligere kartlagt i øst (fig. 5). Sonderingsdataene støtter resistivetsmålingene og viser at det er friksjonsmasser og fast leire her (Multiconsult 2012). Det er således ikke stor sannsynlighet at skredet skal forplante seg videre langt inn på land.

Figur 17 viser skredgrop i Botn utenfor den sørligste delen av resistivetsprofil P1. Utenfor skredgrop 1 vises skredmassene nokså tydelig, og hendelsen er derfor trolig yngre enn hendelsen i skredgrop 2. Skredene har trolig gått i kvikk leire/silt siden de har den klassiske pæreformen til kvikkleireskred (L'Heureux et al. 2011). Ved innsamlingen av sjøbunnsdata ble det registrert aktiv erosjon på land (ca. ved profilpunktene 330 m og 510 m på P1). Profil P1 viser at sedimenttykkelsen er ca. 5-10 m på land innenfor *skredgrop 1* (fig. 17). Leira er utvasket, men har høy resistivitet så det er usikkert hvor sensitiv den er. Den høye resistiviteten kan også komme av grus/stein iblandet leira. Profil P2 går opp skråningen fra Botn ovenfor skredgrop 1 (fig. 5, 9, 16). Det er trolig fjell nær dagen i strandkanten på østsiden av skredets bakkant, noe som vil forhindre en eventuell forplanting av skredgropas bakkant mot øst. For *skredgrop 2* indikerer resistivetsprofil P1 fjell og grove masser (evt. tørrskorpeleire) i bakkant av skredgropa.



Figur 17. Deler av profil P1 som går langs Botn og ovenfor to skredgroper i strandsonen. På land er det registrert erosjon i overflata (L'Heureux et al. 2011). Resistivetsprofil P1 viser at sedimenttykkelsen i bakkant av skredgrop 1 er 5-10 m. Det kryssende profilet P2 (fig. 9, 16) indikerer fjell i strandkanten, slik at skredgropa trolig ikke vil forplante seg mot øst. For skredgrop 2 indikerer resistivetsprofil P1 fjell og grove masser (evt. tørrskorpeleire) i bakkant av skredgropa.

7.4 Multidisiplinær evaluering av faresone for kvikkleireskred

Nyere studier har vist at resistivitetsdata potensielt kan brukes i forbindelse med avgrensning og evaluering av faresoner for kvikkleireskred (f.eks. Solberg et al. 2012c). I det følgende vises et eksempel på hvordan en eksisterende faresone ved Botn vil kunne justeres ved bruk av resistivitetsdata og data fra innsjøbunnen sammen med eksisterende data fra sonen.

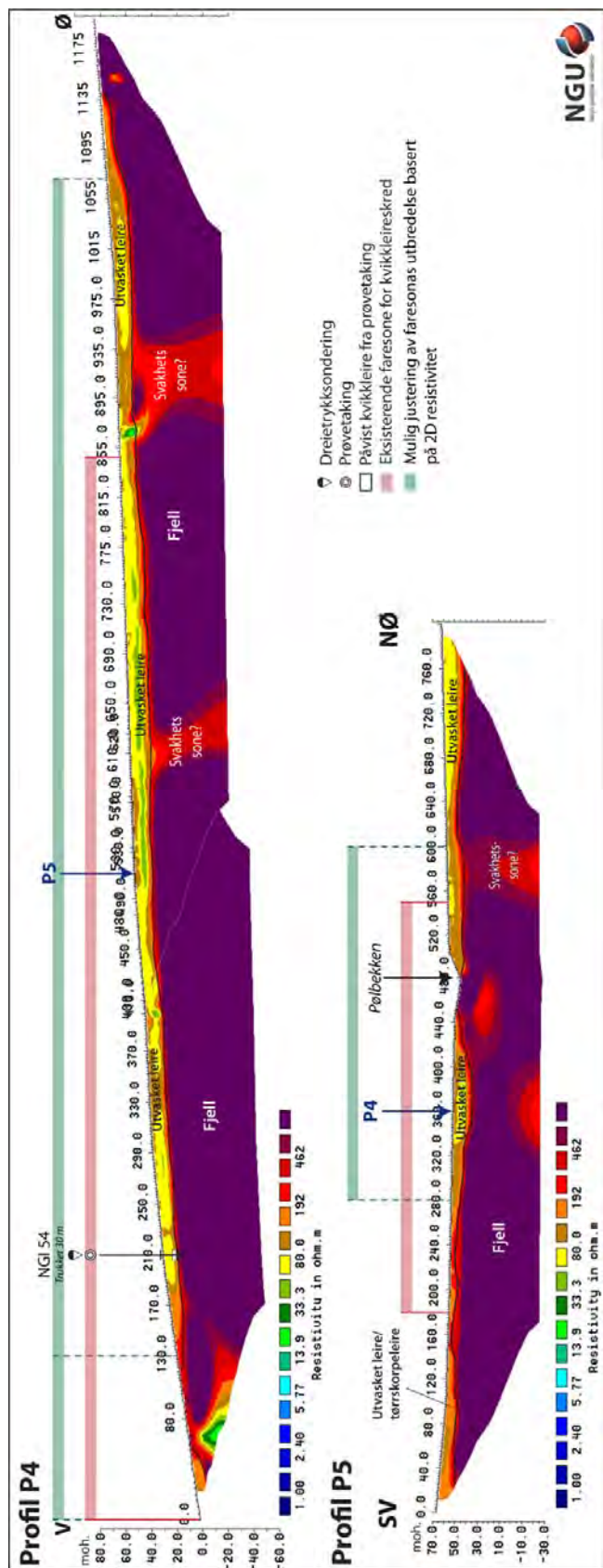
Resistivitetsprofilene P4 og P5 går gjennom "Faresone Selvika" (fig. 5). Faresona ble avgrenset ut fra kvartærgeologisk kart, topografisk kart, befaring og geotekniske data i borepunkt nr. 54 (Gregersen & Korbøl 1989). Høydeforskjellen mellom øvre del av sona og Botn er 60 m, og på det bratteste er skråningshelningen 1:2. I 2005 ble sona klassifisert, og fikk middels faregrad (Vernang et al. 2006).

Figur 18 viser utbredelsen av faresona i forhold til resistivitetsprofilene. Faresona avsluttes der terrenget flater noe ut. Resistivitetsprofilene viser at utvasket, potensiell kvikkleire fortsetter videre mot øst på *profil P4*, slik at faresona kunne vært noe forlenget. Nede ved sjøen indikerer resistivitetsverdiene en oppstikkende fjellrygg/knaus, og denne vil kunne fungere som en barriere mot skred/erosjon – spesielt hvis den går parallelt strandlinja. På *profil P5* kunne sona eventuelt vært utvidet til ca. profilpunkt 600 m i nordøst, der dyp til fjell ser ut til å minke noe (før sedimenttykkelsen øker noe igjen). I sørvest kunne sona potensielt reduseres mot profilpunkt 280 m. Her viser også det kvartærgeologiske kartet at sedimenttykkelsen er liten (fig. 5).

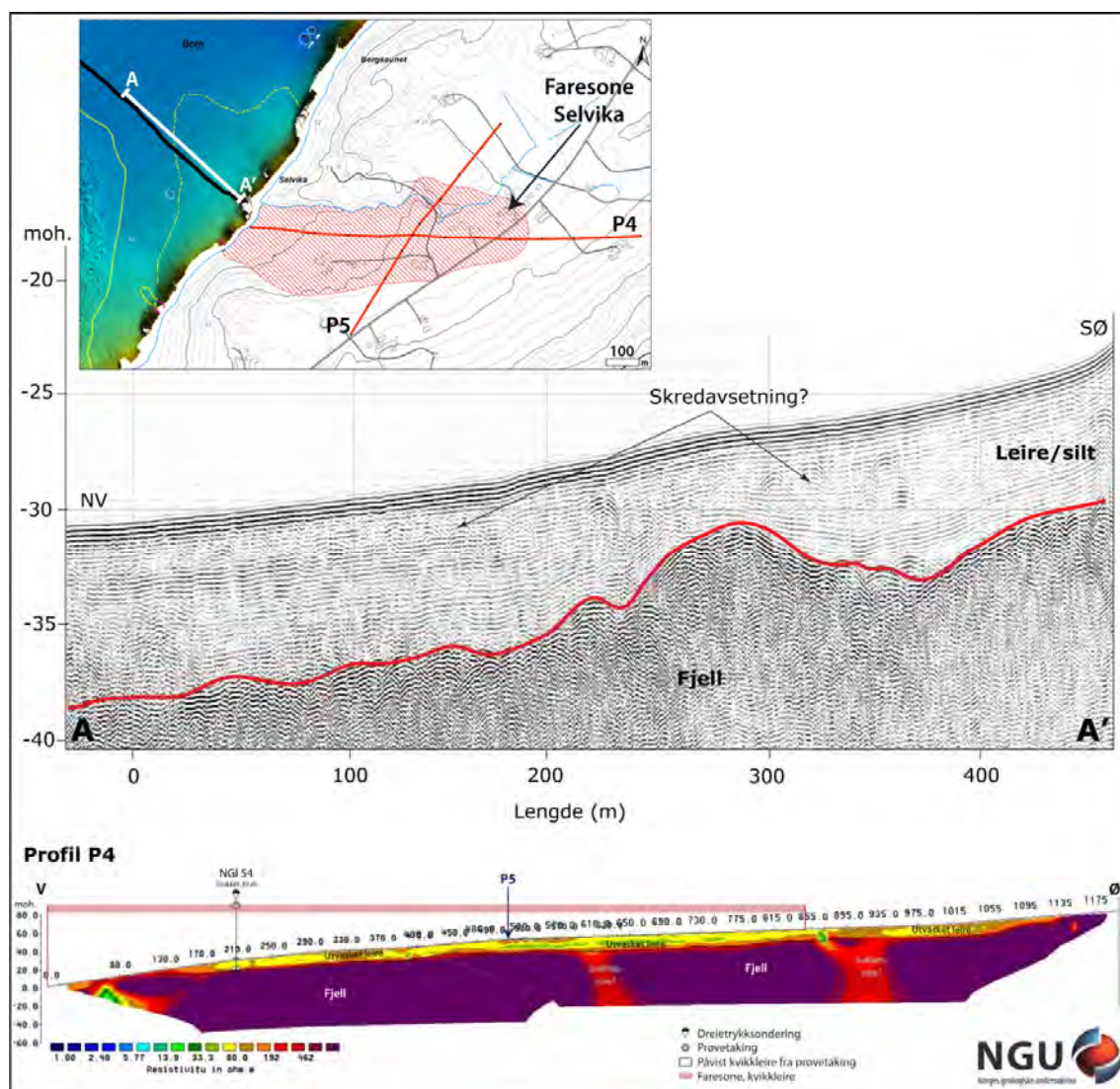
Ved befaring ble det observert at Pølbekken flere steder går på fjell (fig. 2d, 5). Dette er gunstig, siden bekken da ikke vil grave seg dypere ned i leire. Samtidig er bekkeravinen dyp (opp til 10-15 m) og skråningene svært bratte, og erosjon i sidene vil fortsette. Aktiv erosjon ble observert (f.eks. fig. 2c). Ved snøsmelting og/eller langvarig/store mengder nedbør vil vannføringen i bekken øke og gi kraftigere erosjon i skråningene.

Figur 19 viser data fra Botn som er relevant ved alternativ evaluering av faresone Selvika. Det seismiske profilet ligger i forlengelse av resistivitetsprofil P4. A-A' er deler av det seismiske profilet, og viser en undulerende fjelloverflate under leire og silt. Data viser at fjelloverflata heller i vestlig retning, og grunnvannet får dermed en gradient nedover mot Botn. Oppstikkende fjell under sedimentene i Botn tvinger grunnvannstrømmen opp igjen, noe som gir artesiske forhold. Dette vises ved sirkulære fordypninger på sjøbunnen (pockmarks) (se også fig. 4). Resistivitetsprofilet viser også en undulerende fjelloverflate, så også på land kan det stedvis være artesiske forhold.

Den nye informasjonen fra datainnsamlingene, samt befaring, er forsøksvis benyttet for å supplere den opprinnelige faresoneevalueringen av faresone Selvika. Dette er vist i tabell 3. De supplerende dataene gir en mer helhetlig vurdering av området. 2D resistivitetsprofiler gir informasjon om mulig utstrekning av en faresone og barrierer mot skred, i tillegg til å indikere om sedimentene kan være kvikke. Ny informasjon om enkelte faktorer fra den multidisiplinære evalueringen viser at faregraden muligens kan oppjusteres fra "middels" til "høy". Det understrekes at denne vurderingen skal sees som en del av et utviklingsarbeid, og at den tidligere definerte faregraden fremdeles er den som gjelder.



Figur 18. Resistivetsprofilene P4 og P5 går gjennom "Faresone Selvika".



Figur 19. Seismisk profil 15 (L'Heureux et al. 2011) ligger i forlengelse av resistivetsprofil P4. A-A' er deler av det seismiske profilet, og viser en undulerende fjelloverflate under leire og silt. Avstanden mellom seismisk profil og resistivetsprofil er 110 m.

Tabell 3. Sammenligning av standard vurdering (NGI 2005) og foreslått nyvurdering av faregraden for faresone Selvika. Den reviderte vurderingen viser et eksempel på hvordan mer detaljerte data og observasjoner kan gi ny informasjon om enkelte faktorer som inngår i den samlede farevurderingen. Se vedlegg 3 for hvordan faregrad evalueres.

Faktorer	Vekt-tall	Standard vurdering. Faregrad score	Multi-disiplinær vurdering. Faregrad score	Kommentarer	Datatype (multi-disiplinær vurdering)
Tidligere skredaktivitet	1	3	3	Det har forekommet en del skredaktivitet med kvikkleire langs Botn og i Rissa kommune.	IIIa, IV, V
Skråningshøyde, meter	2	3	3	Terrenget på land er svakt hellende, men brattere foran strandlinja mot Botn (opp til 25°).	IV
Tidligere/nåværende terrengnivå (OCR)	2	3	3	Normalkonsolidert terreng.	V
Poretrykk Overtrykk, kPa Undertrykk, kPa	3 -3	0	2	Batymetrisk data viser flere store pockmarks ved foten av skråningen (fig. 4). Disse tolkes som grunnvannutslag p.g.a. artesisk trykk. Artesisk trykk er målt flere steder rundt Botn.	IIIa, V
Kvikkleire-mektighet	2	2	2	Prøvedata viser kvikkleire på 10-14 m dyp (4 m mektighet). Tolkning av 2D resistivitet viser opp til 15-20 m utvasket leire som potensielt kan være kvikk.	Ia, Ib, IIa
Sensitivitet	1	2	2	Antar at sensitivitet ligger i intervallet 30-100. Dette er basert på andre målinger rundt Botn (Rein kirke og ved Rissaraset).	V
Erosjon	3	1	2	Det er observert aktiv erosjon i Pølbekken (f.eks. fig. 2c).	IV
Inngrep: Forverring Forbedring	3 -3	0	0	Ingen inngrep registrert.	
Sum		24	33		
% av maksimal poengsum		47	65		
Faregrad		Middels	Høy		

Dat typer

I	Geotekniske undersøkelser	Ia	Sondering
		Ib	Prøvetaking med laboratorietester
II	Geofysiske undersøkelser (land)	IIa	2D resistivitet
		IIb	Seismikk eller andre metoder
III	Geofysiske undersøkelser (sjøen)	IIIa	Multi-trålekkolodd
		IIIb	Seismikk eller andre metoder
IV	Befaring og kartstudier		
V	Artikler/rapporter/historiske dokumenter/annen litteratur		

8. KONKLUSJON

Resistivetsprofilene i Sørbotn viser sedimenttykkelser på opp til 30 m, vanligvis noe mindre. Profilene viser at det ikke finnes intakt, saltholdig leire i området. Sedimentene som er tolket som leire er derfor utvasket, og kan potensielt være kvikke. Resistivetsverdiene for utvasket leire er for det meste over 50 Ωm , og nord i området som regel over 80 Ωm . Påvist kvikkeleire i ett borepunkt har resistivetsverdi $\pm 100 \Omega\text{m}$. Resultatene fra undersøkelsene i Sørbotn er i samsvar med NGU sin tolkningsmodell for karakterisering av leire. Høye resistivetsverdier i leira kan skyldes at den er noe uttørket, men kan stedvis også komme av høyt innslag av grove masser (sand, grus, stein).

Store deler av resistivetsprofilene indikerer fjell, men resistivetsverdiene her varierer endel. Dette skyldes trolig variasjon i bergartstyper i tillegg til svakhetssoner/sprekkesoner. I ett tilfelle er resistiviteten i fjell så lav at mineralisering kan være en mulig forklaring.

Resistivetsmålingene ble foretatt i strandsonen i Sørbotn, delvis med hensikt å sammenligne med data fra sjøbunnen i Botn. Kartlagte skredhendelser på sjøbunnen grenser mot fjell, grove masser eller utvasket leire på land. Lokalt viser resistivetsdata at potensiell skredutbredelse kan være begrenset av barrierer i grunnen.

To av resistivetsprofilene går gjennom ei eksisterende faresone for kvikkeleireskred. En forsøksvis multidisiplinær nyevaluering av faresona indikerer at utbredelsen av sonen kunne vært noe justert og at faregraden muligens kan oppjusteres fra middels til høy. Det understrekes at denne vurderingen skal sees som en del av et utviklingsarbeid, og at den tidligere definerte faregraden fremdeles er den som gjelder. Imidlertid tilsier disse undersøkelsene at prosedyrene for faresonevurderinger bør revideres slik at det tas hensyn til mulighetene i nye tilgjengelige metoder.

9. REFERANSER

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

Dahlin, T. 1993: On the Automation of 2D Resistivity Surveying for Engineering and Environmental Applications. Dr. Thesis, Department of Engineering Geology, Lund Institute of Technology, Lund University. ISBN 91-628-1032-4

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

Gregersen, O. 2008: Program for økt sikkerhet mot leirskred. Metode for kartlegging og klassifisering av faresoner, kvikkleire. NGI Rapport 20001008-2, rev. 3. 08.10.2008.

Gregersen, O. & Korbøl, B. 1989: Kartlegging av områder med potensiell fare for kvikkleireskred. Kartblad Rissa M 1:50 000. NGI Rapport 86054-1 og Rapport 86054-2 (datarapport)

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

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

Loke, M.H. 2010: Res2DInv ver. 3.59.102. Geoelectrical Imaging 2D and 3D. Instruction Manual. Geotomo Software, www.geoelectrical.com

Multiconsult 2012: Rissa kommune, glidninger i Botn. Rapport nr. 414525-001 (rapporten under utarbeidelse)

NGI 2005: Talldata fra evaluering av risiko for kvikkleireskred i Rissa kommune. Evalueringen er omtalt i Vernang et al. 2006 (NGI rapport 20001008-30)

Reiser, F., Dahlin, T., Rønning, J.S. & Solberg, I.L. 2010: Resistivity modelling for clay layer characterization, 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., Dalsegg, E. & Hansen, L. 2010: Geofysiske målinger for løsmassekartlegging i Rissa, Sør-Trøndelag. NGU Rapport 2010.045

Solberg, I.L., Dalsegg, E. & L'Heureux, J.S. 2012a: Resistivitetmålinger for løsmassekartlegging ved Rein kirke i Rissa, Sør-Trøndelag. Data og tolkninger. NGU Rapport 2012.018

Solberg, I.L., Dalsegg, E., L'Heuereux, J.S. Rønning, J.S. 2012b: Resistivitetmålinger for løsmassekartlegging ved skredgrop på Byneset, Sør-Trøndelag. NGU rapport 2012.004

Solberg, I.L., Hansen, L., Rønning, J.S. & Dalsegg, E. 2011: Veileder for bruk av resistivitetmålinger 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. 2012c: 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

Vernang, T., Høydal, Ø.A. & Paulsen, E.M. 2006: Program for økt sikkerhet mot leirskred. Evaluering av risiko for kvikkleireskred Rissa kommune. NGI Rapport 20001008-30, 5. januar 2006

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.

Personlig meddelelse: Siri Vannebo, Rissa kommune, august 2012

VEDLEGG

VEDLEGG 1 KOORDINATER TIL INNMÅLTE PROFILER

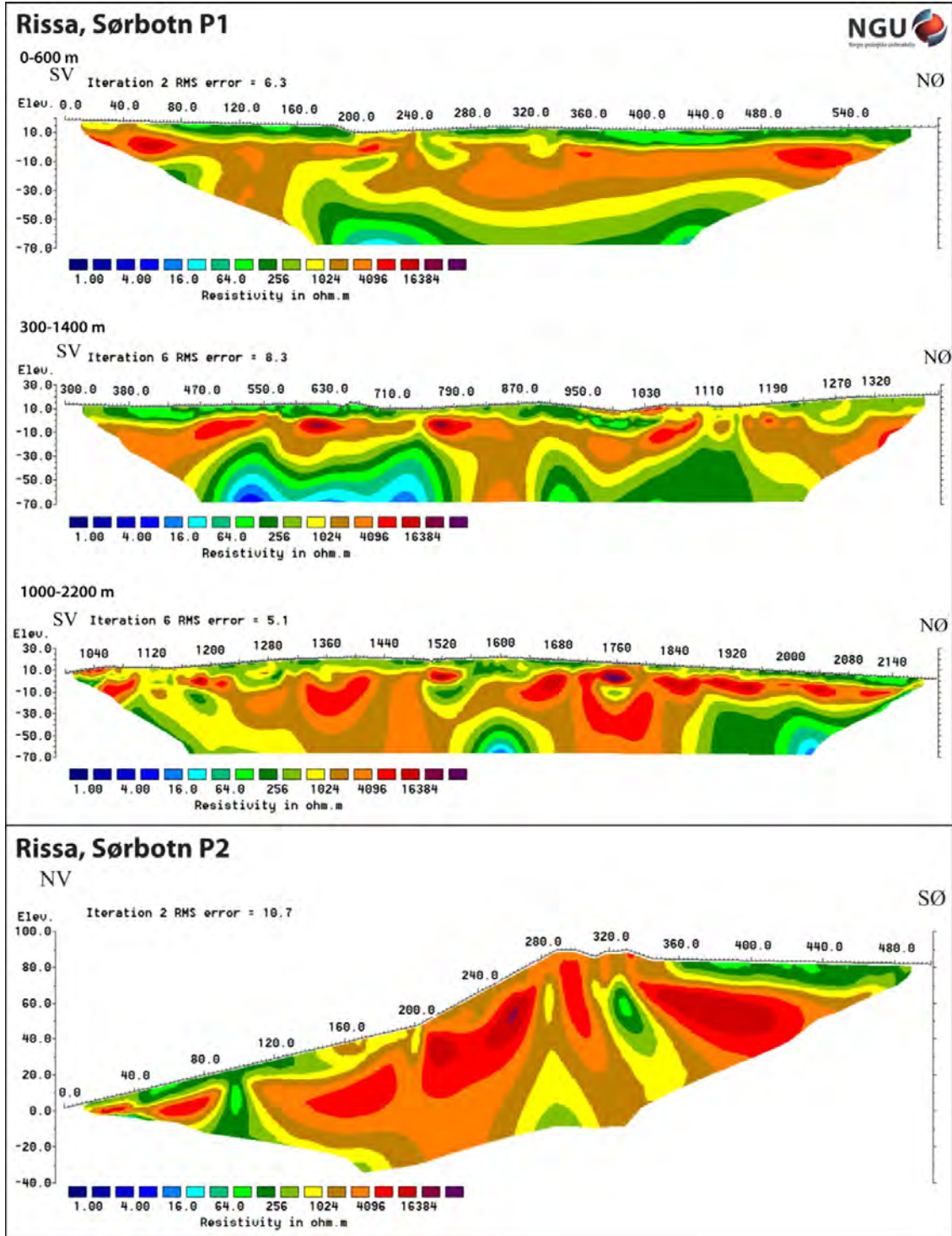
Koordinatene er målt med håndholdt GPS.
WGS 1984, UTM sone 32 N

Profilnr.	Profilpunkt	Øst (X)	Nord (Y)
P1	0	548633	7049668
	100	548710	7049734
	200	548783	7049793
	300	548853	7049868
	400	548916	7049942
	500	548996	7050006
	600	549073	7050068
	700	549148	7050131
	800	549203	7050212
	900	549262	7050291
	1000	549301	7050378
	1100	549344	7050466
	1200	549401	7050550
	1300	549442	7050639
	1400	549498	7050721
	1600	549608	7050887
	1700	549658	7050980
	1800	549715	7051055
	1900	549757	7051147
	2000	549791	7051237
	2100	549828	7051329
	2200	549866	7051419
P2	0	549046	7050108
	100	549100	7050029
	200	549150	7049947
	300	549191	7049871
	400	549234	7049790
	500	549297	7049705
P3	0	549347	7050664
	100	549358	7050567
	200	549342	7050468
	300	549336	7050373
	400	549332	7050271
	500	549334	7050173
	600	549297	7050087

Profilnr.	Profilpunkt	Øst (X)	Nord (Y)
P4	0	548031	7048969
	100	548129	7048963
	200	548228	7048950
	300	548327	7048945
	400	548428	7048941
	500	548526	7048946
	600	548624	7048938
	700	548723	7048938
	800	548822	7048933
	900	548920	7048934
	1000	549018	7048935
	1100	549123	7048938
	1200	549221	7048942
P5	0	548336	7048642
	100	548389	7048728
	200	548441	7048813
	300	548492	7048896
	400	548546	7048980
	500	548610	7049055
	600	548668	7049129
	700	548733	7049209
	800	548794	7049286

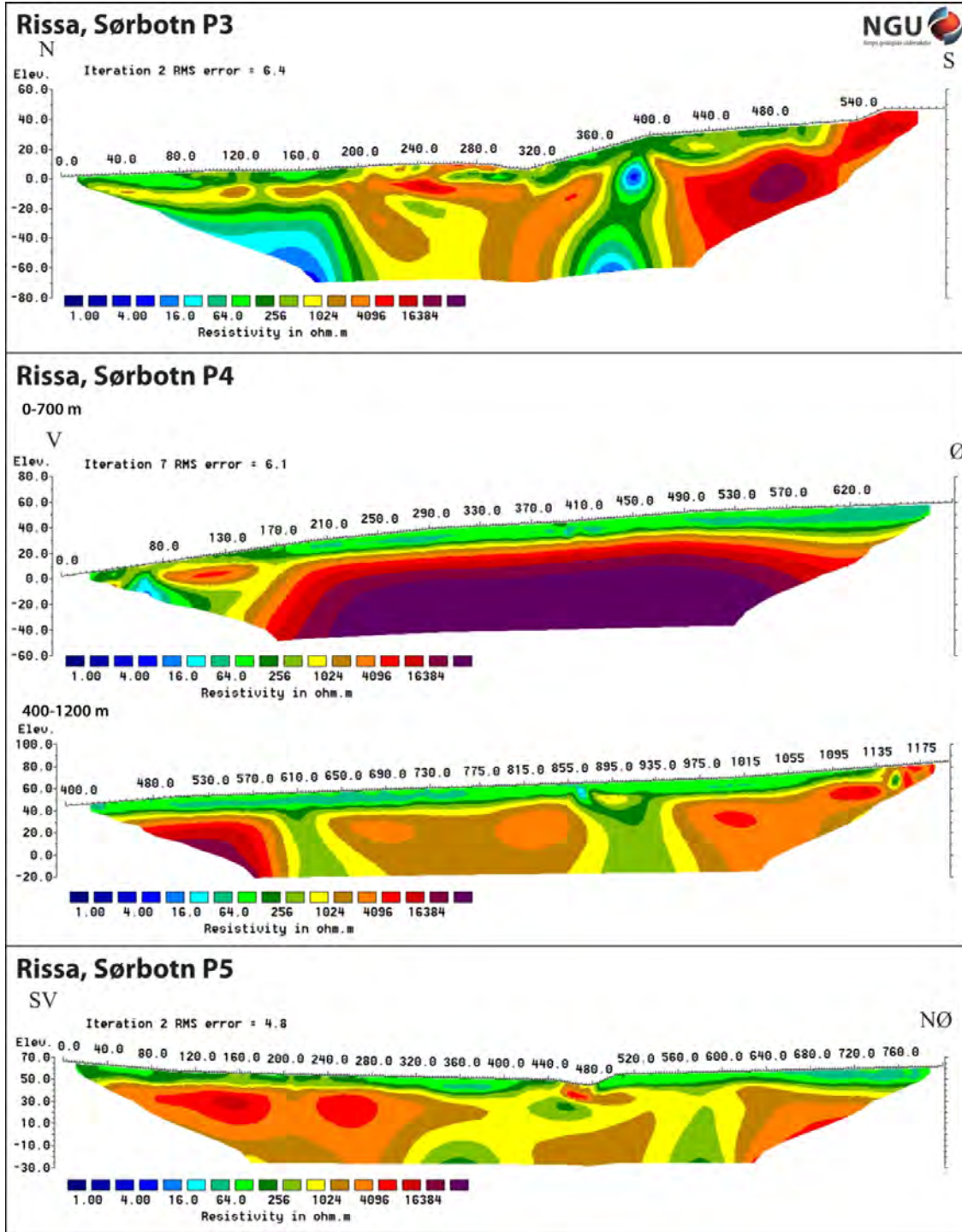
VEDLEGG 2A RESISTIVITETSPROFILER MED LANG FARGESKALA P1-P2

Ved å benytte en annen fargeskala ved visningen av resistivetsdata vil andre nyanser komme fram. Skalaen benyttet på profilene under viser forskjeller i de høye resistivetsverdiene.



VEDLEGG 2B RESISTIVITETSPROFILER MED LANG FARGESKALA P3-P5

Ved å benytte en annen fargeskala ved visningen av resistivetsdata vil andre nyanser komme fram. Skalaen benyttet på profilene under viser forskjeller i de høye resistivetsverdiene.



VEDLEGG 3 TABELL FOR EVALUERING AV FAREGRAD

Evaluering av faregrad basert på topografiske forhold, geologiske/geotekniske forhold og terrengendringer i Norge (Gregersen 2008).

Faktorer	Vekt tall	Faregrad, score				
		3	2	1	0	
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen	
Skråningshøyde, meter	2	>30	20 – 30	15 – 20	<15	
Tidligere/nåværende terrengnivå (OCR)	2	1,0-1,2	1,2-1,5	1,5-2,0	>2,0	
Poretrykk	Overtrykk, kPa	3	> + 30	10 – 30	0 – 10	Hydrostatisk
	Undertrykk, kPa	-3	> - 50	-(20 – 50)	-(0 – 20)	
Kvikkleiremektighet	2	>H/2	H/2-H/4	<H/4	Tynt lag	
Sensitivitet	1	>100	30-100	20-30	<20	
Erosjon	3	Aktiv/glidn.	Noe	Lite	Ingen	
Inngrep:	forverring	3	Stor	Noe	Liten	Ingen
	forbedring	-3	Stor	Noe	Liten	
Sum		51	34	16	0	
% av maksimal poengsum		100 %	67 %	33 %	0 %	

Faregradsklasse Lav: 0-17 poeng

Faregradsklasse Middels: 18-25 poeng

Faregradsklasse Høy: 26-51 poeng

Lav

Gunstige topografiske forhold. Grunnundersøkelser viser at grunnforholdene er akseptable. Det er lite eller ingen aktiv erosjon i vassdraget. Det har vært liten skredaktivitet i området. Ingen terrenginngrep, terrenginngrep har hatt gunstig innvirkning på stabiliteten.

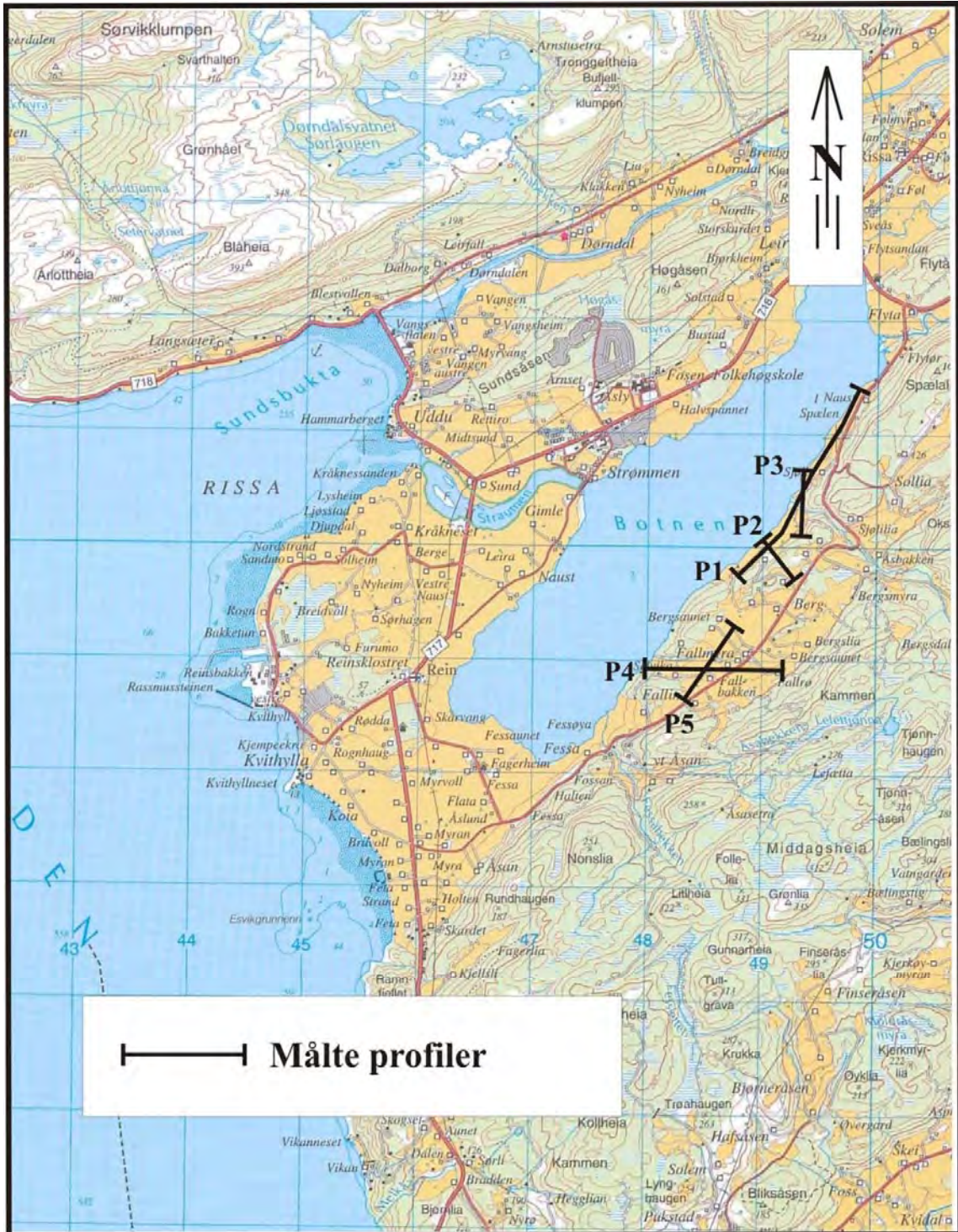
Middels

Mindre gunstig topografiske forhold. Mangelfulle grunnundersøkelser, eller grunnundersøkelsene viser mindre gunstige grunnforhold. Det er aktiv erosjon i vassdraget. Det har vært betydelig skredaktivitet i området. Eventuelle terrenginngrep har liten eller ingen stabilitetsforverrende virkning.

Høy

Ugunstige topografiske forhold. Mangelfulle grunnundersøkelser eller grunnundersøkelsene viser ugunstige grunnforhold. Det er betydelig aktiv erosjon i vassdraget. Det har vært stor skredaktivitet i området. Terrenginngrep med stabilitetsforverrende virkning.

VEDLEGG 4 OVERSIKTSKART OVER STUDIEOMRÅDET



NGU OVERSIKTSKART SØRBOTN RISSA, SØR-TRØNDELAG	MÅLESTOKK 1 : 50 000	MÅLT E.D.	April 2011
		TEGN E.D.	Mars 2012
		TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBILAG NR 2012.025-01	KARTBLAD NR 1522-II	



Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39, 7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00
Telefax 73 92 16 20
E-post ngu@ngu.no
Nettside www.ngu.no

*Geological Survey of Norway
PO Box 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norway*

*Visitor address
Leiv Eirikssons vei 39, 7040 Trondheim*

*Tel (+ 47) 73 90 40 00
Fax (+ 47) 73 92 16 20
E-mail ngu@ngu.no
Web www.ngu.no/en-gb/*