

NGU Rapport 2012.013

Resistivitetsmålinger for løsmassekartlegging i  
Kaldvelladalen og ved Fallan i Melhus  
kommune, Sør-Trøndelag. Data og tolkninger.

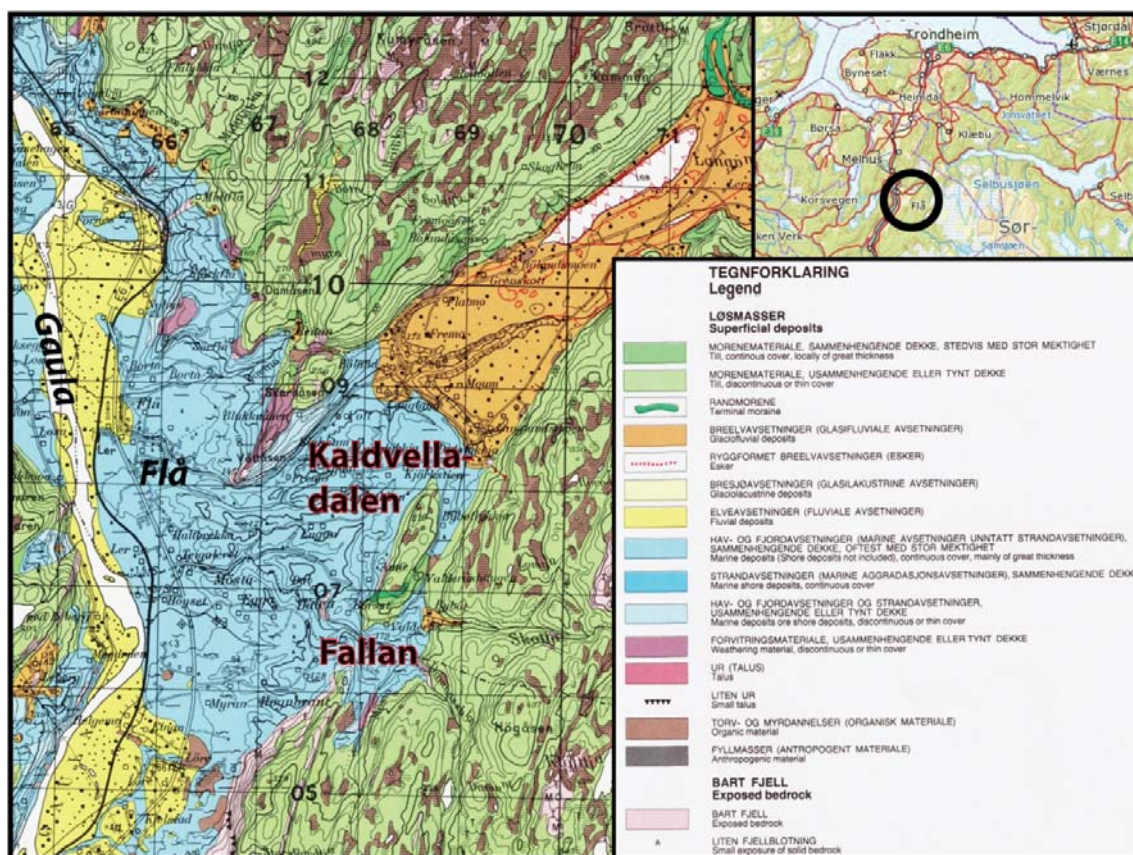
Rapport nr.: 2012.013		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Resistivitetmålinger for løsmassekartlegging i Kaldvelladalen og ved Fallan i Melhus kommune, Sør-Trøndelag. Data og tolkninger.				
Forfattere: Inger-Lise Solberg og Einar Dalsegg		Oppdragsgiver: Statens vegvesen og NGU		
Fylke: Sør-Trøndelag		Kommune: Melhus		
Kartblad (M=1:250.000) Sør-Trøndelag		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1621 III Støren		
Koordinater: UTM sone 32N Kaldvelladalen: 568150, 7008250 Fallan: 568150, 7006040		Sidetall: 40		Pris: 170 kr
Feltarbeid utført: 11.-19. november 2010	Rapportdato: 15.02.2012	Prosjektnr.: 340100	Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>	
<p>Sammendrag:</p> <p>2D resistivitetmålingene i Kaldvelladalen og ved Fallan er utført i samarbeid med Statens vegvesen i forbindelse med utredning av ny E6 gjennom Melhus kommune i Sør-Trøndelag. Det er målt tre resistivetsprofiler i Kaldvelladalen (P1-P3) og ett ved Fallan (P4) på til sammen 3,2 km. Det er også målt industert polarisasjon (IP). Undersøkelsene i Kaldvelladalen og Fallan i Melhus gir en god oversikt over grunnforholdene i området for den planlagte traseen.</p> <p>Resistivetsprofilene ble først tolket sammen med tidligere utførte geotekniske data, og brukt som grunnlag for plassering av nye bore- og sonderingspunkt. Etter at nye geotekniske data var samlet inn (Multiconsult), er alle data sammenlignet og tolket. Generelt var overensstemmelsen mellom geofysiske og geotekniske data veldig god. Alle prøver med påvist kvikkleire og alle saltinnholdsmålinger med verdier under 5 g/l har korresponderende resistivetsverdier innenfor kvikkleireintervallet. I tillegg bekrefter resultatene i hovedsak tidligere publiserte resistivetsintervaller for saltholdig, intakt leire, mulig kvikkleire, tørrskorpeleire og grovere masser.</p> <p>Undersøkelsene i Kaldvelladalen og Fallan viser også, spesielt i ett profil (P2), hvordan bruk av resistivetsmålinger hjelper tolkning av og interpolering mellom geotekniske data, noe som vil kunne være svært nyttig i forbindelse med stabilitetsvurderinger.</p>				
Emneord:	2D Resistivitet		Geofysikk	
Hav- og fjordavsetninger	Kvikkleire		Geoteknikk	
			Fagrapport	

## INNHOOLD

1.	INNLEDNING .....	4
2.	LOKALITETER.....	5
3.	MÅLEMETODER OG UTFØRELSE.....	6
3.1	Datainnsamling.....	6
3.2	Strømstyrke og datakvalitet.....	7
3.3	Inversjon.....	7
4.	KLASSIFISERING AV SEDIMENTER FRA RESISTIVITETSVERDIER .....	8
5.	GEOTEKNISKE UNDERSØKELSER.....	9
6.	RESULTATER OG TOLKNING AV RESISTIVITETSDATA, OG SAMMENLIGNING MED GEOTEKNISKE DATA.....	10
6.1	Innledning.....	10
6.2	Kaldvelladalen.....	13
	<i>Resistivitetsdata Profil P1</i> .....	13
	<i>Resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil P1</i> .....	14
	<i>Resistivitetsdata Profil P2</i> .....	15
	<i>Resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil P2</i> .....	16
	<i>Resistivitetsdata Profil P3</i> .....	17
	<i>Resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil P3</i> .....	18
6.3	Fallan.....	19
	<i>Resistivitetsdata Profil P4</i> .....	20
	<i>Resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil P4</i> .....	20
6.4	Saltinnhold .....	22
6.5	Data fra induisert polarisasjon (IP) .....	23
7.	DISKUSJON .....	25
8.	KONKLUSJON .....	28
9.	REFERANSER .....	29
VEDLEGG 1	KOORDINATER TIL INNMÅLTE PROFILER.....	32
VEDLEGG 2	OVERSIKTSKART MED RESISTIVITETSPROFILENE.....	33
VEDLEGG 3	GEOTEKNISKE DATAPUNKT OG RESISTIVITETSPROFILER .....	34
VEDLEGG 4	RESISTIVITETSPROFILENE P1-P4 MED GEOTEKN. TOLKNINGER I A3 .....	36

## 1. INNLEDNING

2D resistivitetmålingene i Kaldvelladalen og ved Fallan er utført i samarbeid med Statens vegvesen i forbindelse med utredning av ny E6 gjennom Melhus kommune i Sør-Trøndelag. Det er målt tre resistivetsprofiler i Kaldvelladalen (P1-P3) og ett i Fallan (P4) på til sammen 3,2 km (fig. 1). I tillegg er det målt industert polarisasjon (IP) langs de samme profilinjene, og resultatene for tre av målingene er presentert i denne rapporten. Resistivitetmålingene ble utført i november 2010 av Einar Dalsegg (NGU), med hjelp av student Kennet A. Olsen (NTNU) og Harald Elvebakk (NGU). Oversikt over datainnsamlingstidspunktene er gitt i tabell 1. Louise Hansen (NGU) har klargjort profilene for visualisering i 3D. Rapporten dokumenterer datainnsamlingen, presenterer data og gir en kort vurdering av disse. Resistivetsdataene ble først sammenlignet med tidligere rapporterte geotekniske data. Resultatene fra dette ble deretter brukt som utgangspunkt for innsamling av nye geotekniske data (forslag til boreplan). Da de nye geotekniske dataene forelå (Sandven & Vik 2011), ble alle geofysiske og geotekniske data tolket sammen.



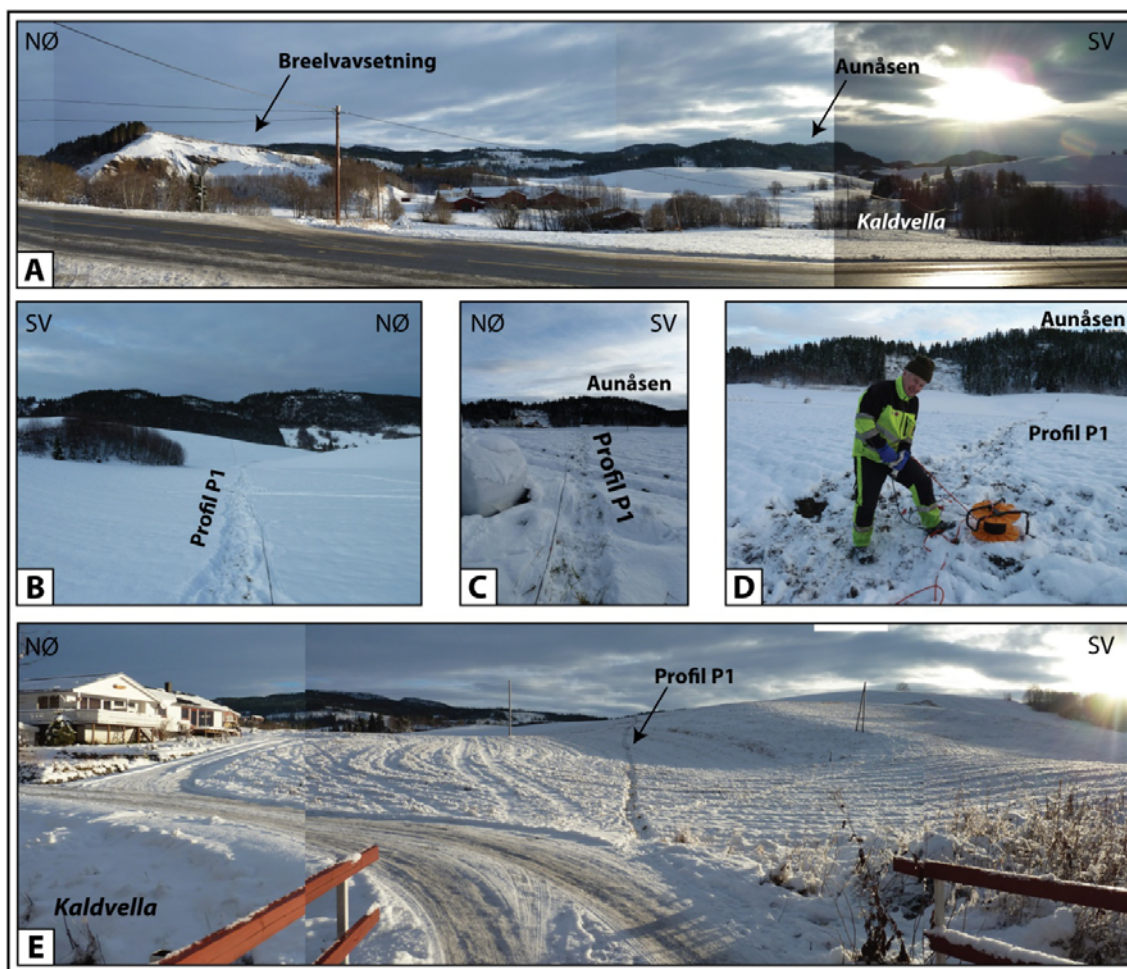
Figur 1. Området hvor resistivitetmålingene er utført ligger ca. 3 mil sør for Trondheim. Det kvartærgeologiske kartet viser sedimentfordelingen i overflata (Reite & Sørensen 1980).



## 2. LOKALITETER

Resistivetsmålingene er utført i Kaldvelladalen og ved Fallan i Melhus kommune, Sør-Trøndelag (fig. 1-3). De to lokalitetene er adskilt av en 240 m høy ås (Aunåsen). Marin grense i området er ca. 180 m over dagens havnivå (Reite 1985). Berggrunnen i området består hovedsakelig av grågrønn leirskifer og fyllitt (Wolff 1976).

Lokaliteten Kaldvelladalen ligger på tykke hav- og fjordavsetninger sørvest for en stor sand- og grusavsetning (fig. 1 og 2a). Dette er en stor breelvavsetning avsatt ut mot Gauldalen av en bre som lå i Selbu, og delvis bygget opp til over marin grense (Reite 1985). Mektigheten er minst 50 m, og skrålag faller mot sørvest. Bekken Kaldvella renner gjennom området. Terrenget er kupert, formet av tidligere skredhendelser og ravineutvikling. Lokaliteten ligger i faresone Engan, med middels faregrad for potensielle kvikkleireskred (Gregersen et al. 1990; Lyche et al. 2007, [www.skrednett.no](http://www.skrednett.no)).



Figur 2. Foto fra Kaldvelladalen (alle foto: Inger-Lise Solberg). A: Breelvavsetningen er avsatt inn mot Kaldvelladalen. B: Plasseringen til resistivetsprofil P1 mot NV. C: Plassering til profil P1 mot SØ. D: Måling av profil P1. E: Profil P1 starter ved bekken Kaldvella i NV og går mot SØ.

Lokaliteten Fallan ligger sør for Kaldvelladalen, på tykke hav- og fjordavsetninger (fig. 1 og 3). Ved Bybot er det er liten sand- og grusavsetning (breelvavsetning i et dreneringsløp fra øst). Bekken Møsta renner gjennom området. Hele området Fallan er ei stor gammel skredgrop, datert til ca. 1665 (Rokoengen 1998).



Figur 3. Ned mot Fallan (sett mot sør) (foto: Inger-Lise Solberg).

### 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 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.

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  $\Omega m$ ) startet 0,3 sekund etter at strømmen ble slått på og måletiden var 0,5 sekund. Indusert polarisasjon ble målt som en integrering av signalet fra 10 ms etter strømbrudd i et tidsvindu på 100 ms. Integrert IP-signal over tid med enhet mVms, normaliseres mot resistivitetssignalet (mV) og får enheten ms.

*Tabell 1. Data fra innsamlingen av 2D resistivitet og IP. For alle profiler: Gradient elektrode-konfigurasjon og 5 m elektrodeavstand. Under hele måleperioden var det oppholdsvær, kaldt og snødekke men ikke tele.*

Dato	Profil-nr.	Antall meter	Tidsbruk totalt (timer)	Markslag
11.-12.11.2010	P1	1200	30	Dyrka mark
17.11.2010	P2	700	16	Dyrka mark
18.11.2010	P3	700	15	Dyrka mark
19.11.2010	P4	600	14	Noe skog, dyrka mark

### 3.2 Strømstyrke og datakvalitet

Jordingsbetingelsene var generelt meget gode med unntak av der profil P1 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. IP-data for profil P1 var beheftet med så mye støy at data anses som ubrukelig og presenteres derfor ikke.

### 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 resistivitetsprofil.

Resistivitetsdata ble invertert ved bruk av dataprogrammet Res2DInv (Loke 2010). Standard "Least Square" ("Smooth") ble benyttet som inversjonsmetoder. "Robust inversjon" ble testet, men dette ga ikke nevneverdige endringer i resistivitetsseksjonene. V/H-filter (vertikal/horisonal-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 4 viser klassifisering av sedimenter fra resistivitetsverdier som kan benyttes som utgangspunkt for tolkning av 2D resistivitetsprofiler. 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 og mineralsammensetning. Etter supplerende undersøkelser/sammenligning med geotekniske data, vil grensene for den aktuelle lokaliteten kunne bli justert.

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 (basert på bl.a. Solberg et al. 2008b, 2011b, 2012).

Resistivitetsverdier	Materiale	Fargekode (NGUs kvikkleire-prosjekter)	Beskrivelse
1-10 $\Omega$ 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 resistivitetsverdier. Godt ledende mineraler som sulfider og grafitt, og andre sedimenter mettet med ionerikt vann kan også gi lave resistivitetsverdier.
10-100 $\Omega$ 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. 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 $\Omega$ m	Tørskorpeleire	(Gul), Orange	Tørskorpeleire, leirskredmasser, sand og grus vil generelt ha høyere resistivitetsverdier.
50-150 $\Omega$ m	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 $\Omega$ m	Sand, grus, morene	Orange, rød, mot lilla	
>1000 $\Omega$ m	Fjell	(Rød), Lilla	

Resistivitetsverdier fra ca. 1-10  $\Omega$ m (lav resistivitet) er materiale med god ledningsevne, som saltholdig leire. Verdier fra 10  $\Omega$ m og opp til 90-100  $\Omega$ m kan være kvikkleire, men økningen i resistivitet kan også skyldes innslag av grovere masser som silt/sand. Tørskorpeleire er vanligvis mellom 100  $\Omega$ m og 200  $\Omega$ 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  $\Omega$ m) kan skyldes fjell, men disse fargene kan også representere morene og sand/grus-avsetninger. Ved



prøver i fem (Kaldvelladalen) og to (Fallan) borehull. I alle disse er det tatt en eller flere målinger av saltinnhold.

I henhold til norske standarder har jordarten leire minst 30 % leirinnhold. Generelt er naturlig saltinnhold i sjøvann ca. 35 g/l, og ionene i porevannet gjør strukturen av leirkorn stabil (korthusstruktur). Ved utvasking av marin leire på land vil det bli færre stabiliserende ioner i porevannet. Marin leire hvor saltinnholdet i porevannet er mindre enn 5 g/l kan være meget sensitiv/kvikk (Rosenqvist 1953). Når omrørt skjærstyrke ( $s_r$ ) er mindre enn  $0,5 \text{ kN/m}^2$  defineres leira som kvikk. Sensitivitet ( $S_t$ ) er forholdet mellom udrenert, uforstyrret skjærstyrke ( $s_u$ ) og  $s_r$ , og standard norsk klassifisering av sensitiv leire er som følger (NGF 1975): lav sensitivitet  $S_t < 8$ ; middels sensitivitet:  $8 < S_t < 30$ ; høy sensitivitet (kvikkleire):  $S_t > 30$ . Nye retningslinjer utviklet av NVE anbefaler å benytte  $S_t \geq 15$  og  $s_r < 2 \text{ kN/m}^2$  for potensielt kollapsibelt leirmateriale (dvs. leire som utviser sprøbruddegenskaper) (NVE 2009). Dette gir en bredere klassifisering av sensitivitet enn den klassiske.

## **6. RESULTATER OG TOLKNING AV RESTSITIVITETSDATA, OG SAMMENLIGNING MED GEOTEKNISKE DATA**

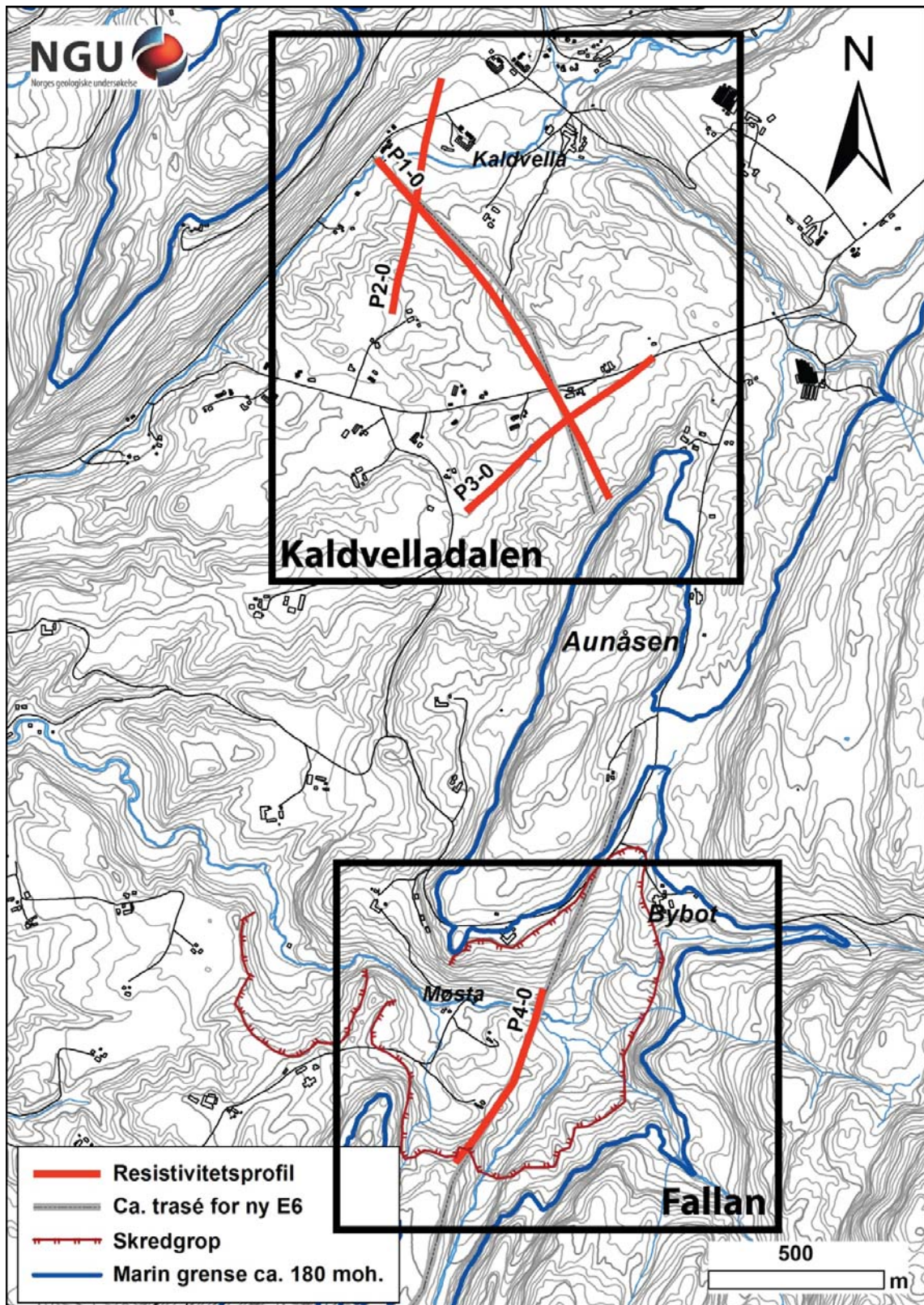
### **6.1 Innledning**

Plassering av 2D resistivitetsprofilene ble gjort i samarbeid med Statens vegvesen, i forhold til planlagt trasé av ny E6 gjennom Melhus kommune. Beliggenheten til de målte profilene er vist i figur 5 og vedlegg 2. Figur 6 er en sammenstilling av profilene P1-P3 i et 3D-program. Dette er gjort for å se hvordan profilene overlapper hverandre, og for lettere å kunne sammenligne dem.

De inverterte resistivitetsdata som er vist på figurene har samme fargeskala og er utført med standard inversjon ("Least Square"/"Smooth" inversjon) og V/H-filter 0,5 for å få sammenlignbare profiler. Tolkningen er utført på bakgrunn av disse profiler, i tillegg til profiler med justert skala (får fram de reelle høye verdier bedre) og med "Robust" inversjon (gir en noe skarpere overgang mellom lave og høye resistivitetsverdier).

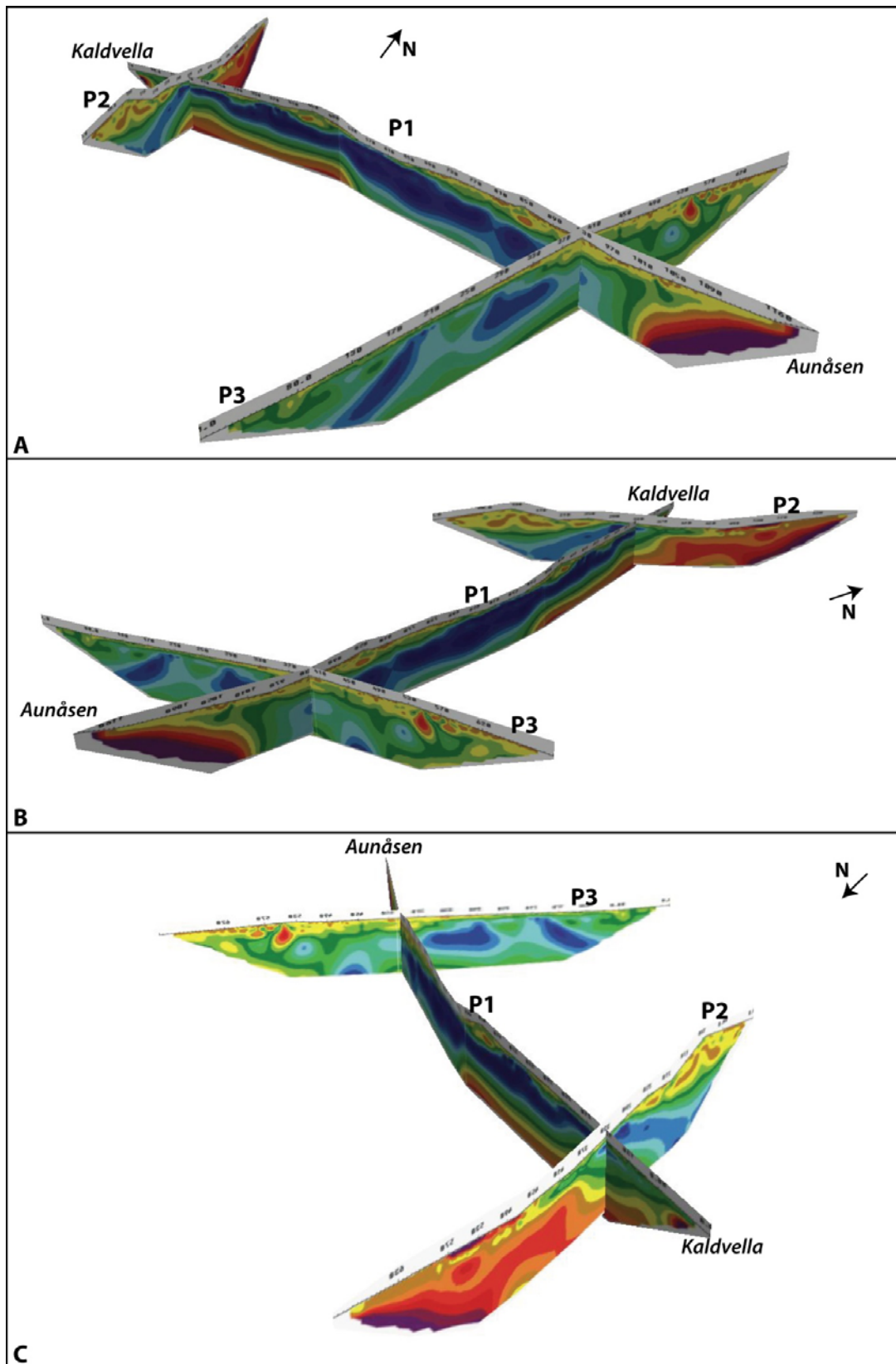
I det følgende er resistivitetsprofilene fra målingene i Kaldvelladalen og ved Fallan i Melhus beskrevet og tolket. Profilene er også sammenlignet med geotekniske data. Resistivitetsprofilene med tolkede geotekniske sonderingsdata finnes, i tillegg til som figurer i teksten, også som A3-figurer i vedlegg 4.





Figur 5. Oversikt over plasseringen av resistivetsprofilene i lokalitetene Kaldvelladalen (P1-P3) og Fallan (P4). Ekvidistanse 5 m.





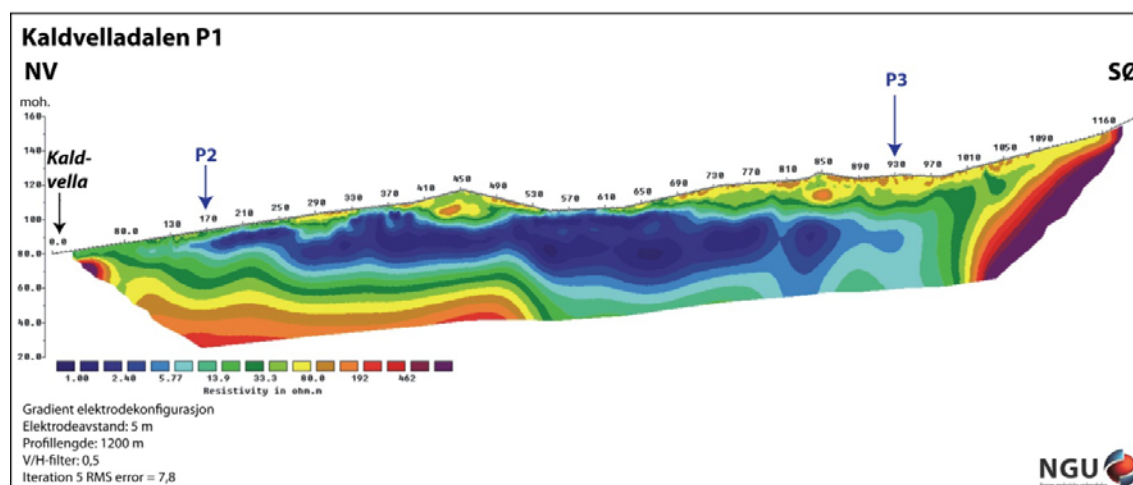
Figur 6. Resistivetsprofilene P1-P3 i Kaldvelladalen satt sammen for kvasi-3D-visning i programmet ArcScene (fra ESRI). Se fig. 5 for profilplassering. Godt overlapp mellom profilene.

## 6.2 Kaldvelladalen

I Kaldvelladalen er det målt tre resistivetsprofiler (P1-P3). P1 er det lengste profilet (1,2 km), og krysses av de to andre profilene (fig. 5 og 6). Det har tidligere vært utført noen geotekniske undersøkelser i området – hovedsakelig i forbindelse med bearbeidelse av faresoner for kvikkleireskred (Gregersen et al. 1990; Emaus 2002; Tørrum & Solheim 2006; Lyche et al. 2007). Etter at resistivetsmålingene var utført ble det i samarbeid mellom NGU og Statens vegvesen foreslått plassering av punkter for nye grunnundersøkelser (forslag til boreplan). Resultatene fra de nye geotekniske undersøkelsene (Sandven & Vik 2011), de tidligere geotekniske undersøkelsene og resistivetsmålingene, ble deretter sammenlignet og tolket. Se vedlegg 3 for oversikt over hvor alle grunnundersøkelsene er foretatt.

### *Resistivetsdata Profil P1*

Profil P1 er 1200 m langt og starter ved Kaldvellabekken i nordvest og ender ved Aunåsen i sørøst (fig. 5). Profilet krysser P2 ved profilpunkt 170, og P3 ved profilpunkt 930. I sørøst er det høye resistivetsverdier ( $> 300 \Omega\text{m}$ ) som antyder fjell der profilet nærmer seg Aunåsen (fig. 7). I nordvest er det innslag av høye verdier som kan være fjell (helt i NV) og grove masser. Store deler av profilet er dekket av ei langsgående lomme med lave resistivetsverdier (1-10  $\Omega\text{m}$ ), tolket til å være saltholdig, stabil leire. Denne omgis av løsmasser med verdier mellom 10 og 200  $\Omega\text{m}$ . Nær overflata tolkes disse til å være utvaska leire, potensiell kvikk, med tørrskorpeleire i toppen. Det kan potensielt også være kvikkleire noen steder under det saltholdige laget.



Figur 7. Resistivetsprofil P1 i Kaldvelladalen.

### ***Resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil P1***

Langs profil P1 finnes det resultater fra 20 sonderinger og fem prøvetakinger som er relevante i forhold til resistivetsprofilen (fig. 8 og vedleggsfig. 1). Noen av disse er trukket nokså langt (opp til 175 m), og samtolkningen må da gjøres med forsiktighet. De fleste sonderingsprofilene kan tolkes til å inneholde soner med kvikkleire, og mange av disse ligger innenfor kvikkleireintervallet på resistivetsprofilen (10-100  $\Omega\text{m}$ ). Alle prøver med påvist kvikkleire er innenfor kvikkleireintervallet.

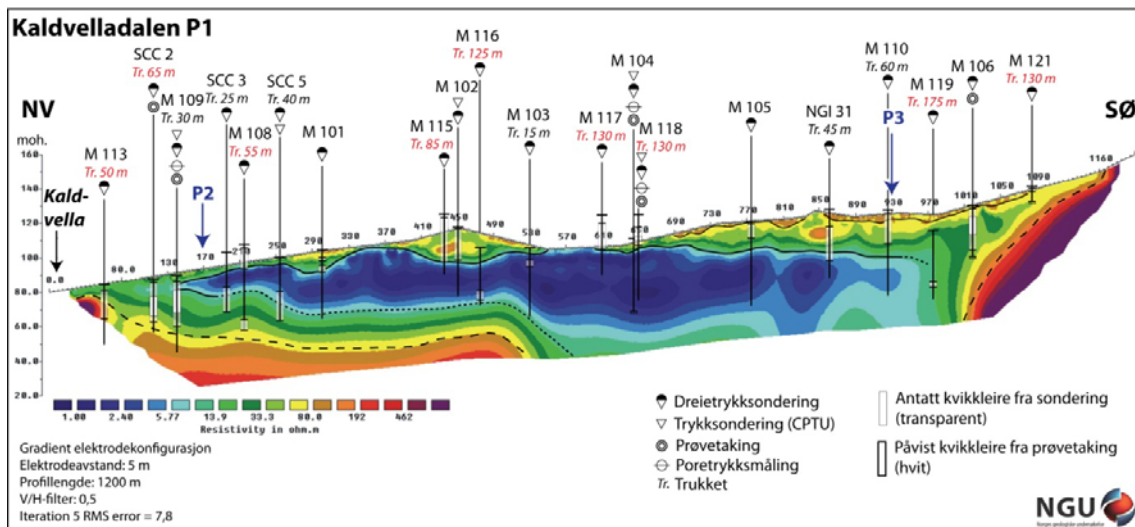
Noen av sonderingsprofilene som antyder bløte/kvikke masser er utført i overgangen mellom mulig kvikkleire og saltholdig leire på resistivetsprofilen (og delvis innenfor sonen med saltholdig leire): SCC 3, SCC 5, M 101, M 116, NGI 31. Dette kan forklares med at disse sonderingene er trukket (25 m-130 m), og forandring av topografi, lagdeling m.m. kan ha betydning for tykkelse av lag. Se diskusjon senere for mer om dette (kap. 7).

Dreietrykksondering M 103 (trukket 15 m) viser økende boremotstand ned til 5 m. Herfra og ned til 11-12 m sonderingsdyp er det svak eller ingen økning i boremotstand (22 kN). Resten av sonderingsprofilen viser økende boremotstand med dypet. Resistivetsverdiene langs dette sonderingsprofilen er 1-10  $\Omega\text{m}$ , med unntak av toppen (ca. 3 m) som ligger i kvikkleireintervallet. Hvis det finnes ei lita lomme med middels eller meget sensitiv/kvikk leire i den saltholdige leira, vil den trolig være så liten at den ikke fanges opp i resistivetsprofilen. Tolkningen av et tykt, saltholdig lag som dominerer store deler av P1 blir bekreftet av de resterende sonderingene (med noe forbehold av eksakt tykkelse).

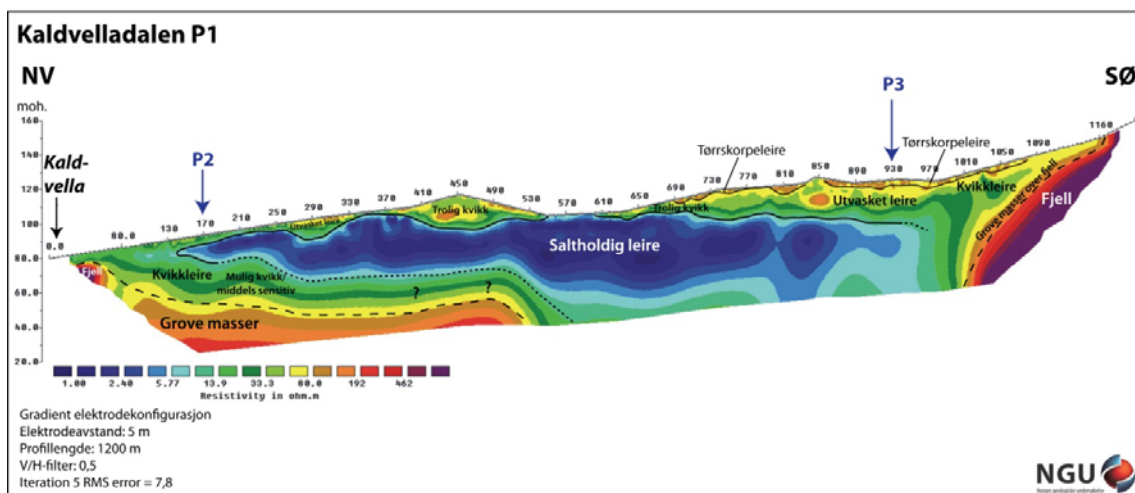
I de nordvestre delene av P1 er det høye resistivetsverdier på dypet. Benytter man en lengre  $\Omega\text{m}$ -skala ved visualisering av data (1-16000  $\Omega\text{m}$ ) kommer det fram at det trolig er grove masser som ligger under leira (evt. noe lagdelt sand/grus/leire). Sonderboringene M 113, SCC 2 og M 109 bekrefter dette.

I sørøst er det også høye resistivetsverdier, men disse ligger i et høyere intervall (enn i NV), og er derfor trolig fjell. Dette er naturlig, da profilen slutter nær Aunåsen. Ut fra sonderingene M 106 og M 121 ligger trolig grove masser over fjell, og dette kan være morene.

Det er i hovedtrekk godt samsvar mellom de geofysiske og geotekniske dataene, og figur 9 viser kombinert tolkning av P1.



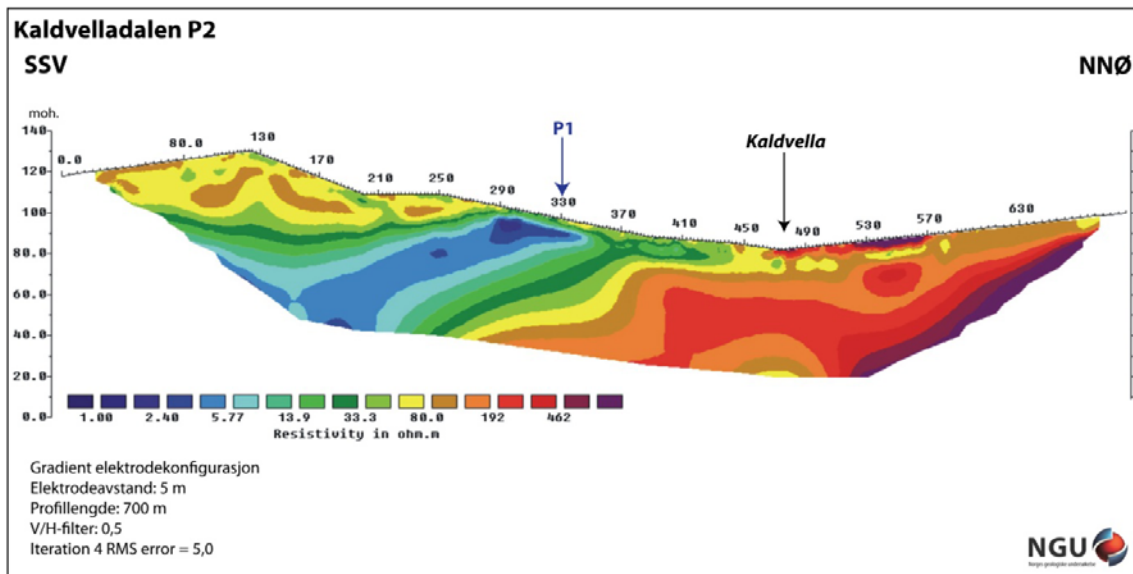
Figur 8. Tolkede geotekniske data lagt over og tolket sammen med resistivetsprofil P1 i Kaldvelladalen (se vedlegg 4 for profil P1 i A3) (NGI: Gregersen et al. 1990; SCC: Emaus 2002; M: Sandven & Vik 2011).



Figur 9. Geofysisk og geoteknisk tolket resistivetsprofil P1 i Kaldvelladalen.

### Resistivetsdata Profil P2

Profil P2 er 700 m langt, orientert SSV-NNØ, og krysser P1 ved profilpunkt 330 (fig. 5). I sør går profilet over en haug med resistivetsverdier 30-120  $\Omega$ m som tolkes til å være utvasket leire (fig. 10). Denne kan potensielt være kvikk, og noe kan være tørrskorpeleire. I midtre-sørvestre del av P2 ligger ei lomme med verdier 1-10  $\Omega$ m, tolket til å være saltholdig leire. Denne kommer opp mot overflata (til ca. 5 m dyp) nærheten av krysningpunkt P2-P1. Under denne saltholdige leira og midt på i toppen av profilet er det trolig utvaska leire. Mot nord nærmer profilet seg den glasifluviale avsetningen som her trolig ligger under leira (sand og grus, over 200-300  $\Omega$ m). Helt nordøst kan det være fjell.



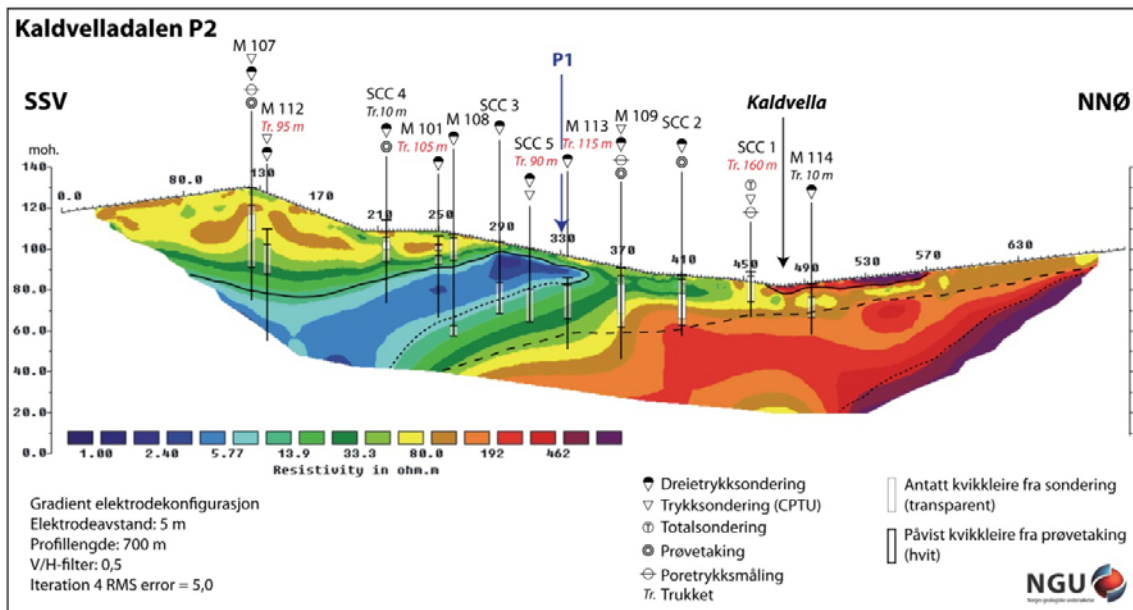
Figur 10. Resistivitetsprofil P2 i Kaldvelladalen.

### ***Resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil P2***

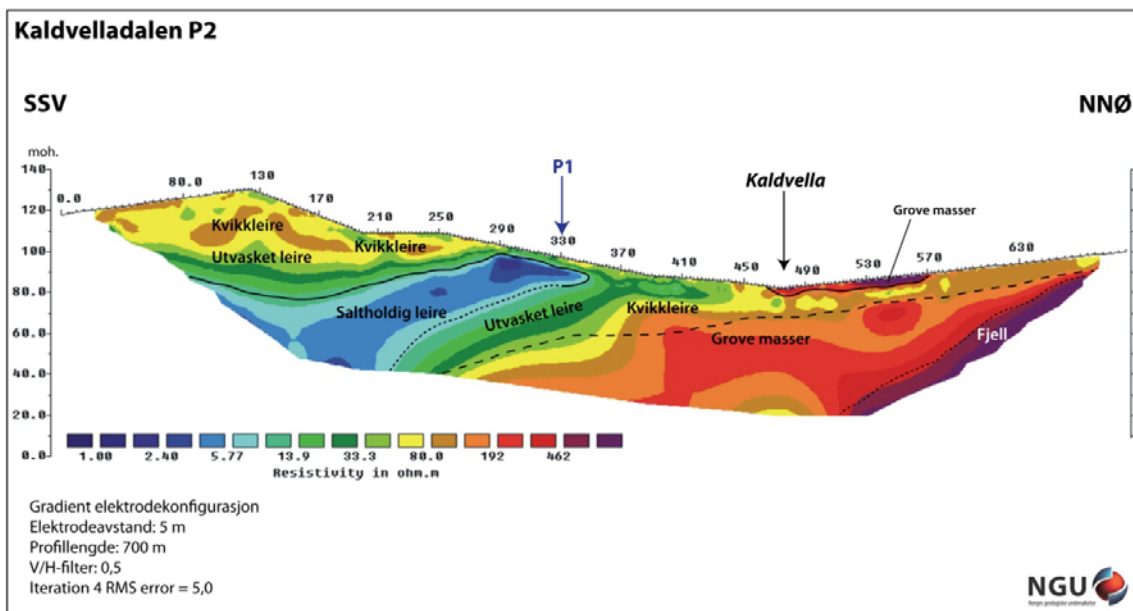
Langs profil P2 finnes det resultater fra tolv sonderinger og fire prøvetakinger som er relevante i forhold til resistivitetsprofilet (fig. 11 og og vedleggsfig. 1). Fire av disse er trukket nokså langt (90 m-160 m). Alle sonderingsprofilene kan tolkes til å inneholde soner med kvikkleire, og de fleste ligger innenfor kvikkleireintervallet på resistivitetsprofilet (10-100  $\Omega$ m). Alle prøver med påvist kvikkleire er innenfor kvikkleireintervallet, med unntak av SCC 2 hvor resistivitetsverdiene i kvikkleira går opp mot 200  $\Omega$ m. I sørvest har utvasking av leire foregått fra overflata og i skråningene, i midten av profilet foran den grove avsetningen.

Sonderingsprofilene i nordøst (M 114, SCC 1, SCC 2, M 109, M 113) viser lagdelt materiale, og mye innslag av grove masser i de nederste delene. I M 114 er det også sand/grus i de øverste 3 m av sonderingsprofilet, noe som også kan sees på resistivitetsprofilet (>200  $\Omega$ m). Videre i M 114 er det trolig leire med lag av silt/sand. Det grove laget på toppen kan være avsetning fra eventuelle tidligere bekkeløp til Kaldvella, eller knyttet til den glasfluviale avsetningen øst for profilet (se kap. 2). Poretrykksmåling ved bekken (SCC 1) viser betydelig poreovertrykk i massene (Emaus 2002).

Det er godt samsvar mellom de geofysiske og geotekniske dataene, og figur 12 viser kombinert tolkning av P2. Se også diskusjonen senere (kap. 7).



Figur 11. Tolkede geotekniske data lagt over og tolket sammen med resistivitetsprofil P2 i Kaldvelladalen (se vedlegg 4 for profil P2 i A3) (SCC: Emaus 2002; M: Sandven & Vik 2011).



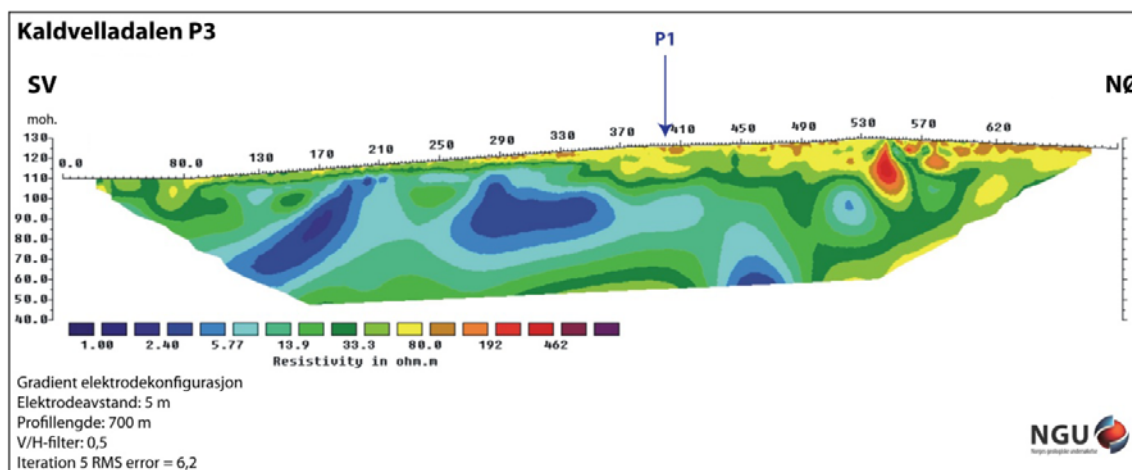
Figur 12. Geofysisk og geoteknisk tolket resistivitetsprofil P2 i Kaldvelladalen.

### Resistivetsdata Profil P3

Profil P3 er 700 m langt, orientert SV-NØ, og krysser P1 ved profilpunkt 400 (fig. 5). Størstedelen av profilet har resistivetsverdier mellom 10  $\Omega\text{m}$  og 100  $\Omega\text{m}$  (fig. 13). Dette er trolig utvasket leire, potensiell kvikk. Mest tørrskorpeleire ser det ut til å være i den nordøstlige delen (100-200  $\Omega\text{m}$ ). I denne delen av profilet er det også ei linse med verdier opp mot 500



$\Omega\text{m}$  (profilpunkt 545). Ellers i profilet finnes noen nokså store lommer med lave verdier (1-10  $\Omega\text{m}$ ) som trolig er saltholdig leire.



Figur 13. Resistivitetsprofil P3 i Kaldvelladalen.

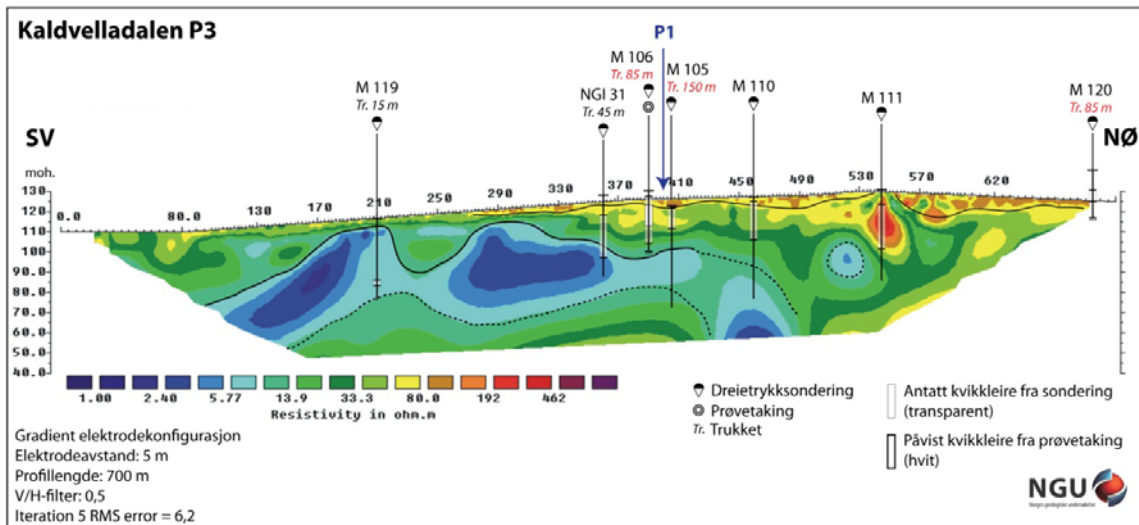
### ***Resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil P3***

Langs profil P3 finnes det resultater fra syv sonderinger og en prøvetaking som er relevante i forhold til resistivitetsprofilet (fig. 14 og vedleggsfig. 1). Tre av disse er trukket nokså langt (85 m-150 m). Alle sonderingsprofilene kan tolkes til å inneholde soner med kvikkleire, og de fleste ligger innenfor kvikkleireintervallet på resistivitetsprofilet (10-100  $\Omega\text{m}$ ). Prøven i M 106 påviser kvikkleire og resistivitetsverdiene her er innenfor kvikkleireintervallet. Sonderingsprofilene til M 119 og NGI 31 har partier som kan tolkes som middels eller meget sensitiv/kvikk leire, som helt eller delvis er i områder med lave resistivitetsverdier (saltholdig leire). Se beskrivelse av P1 og kap. 7 for kommentarer til dette.

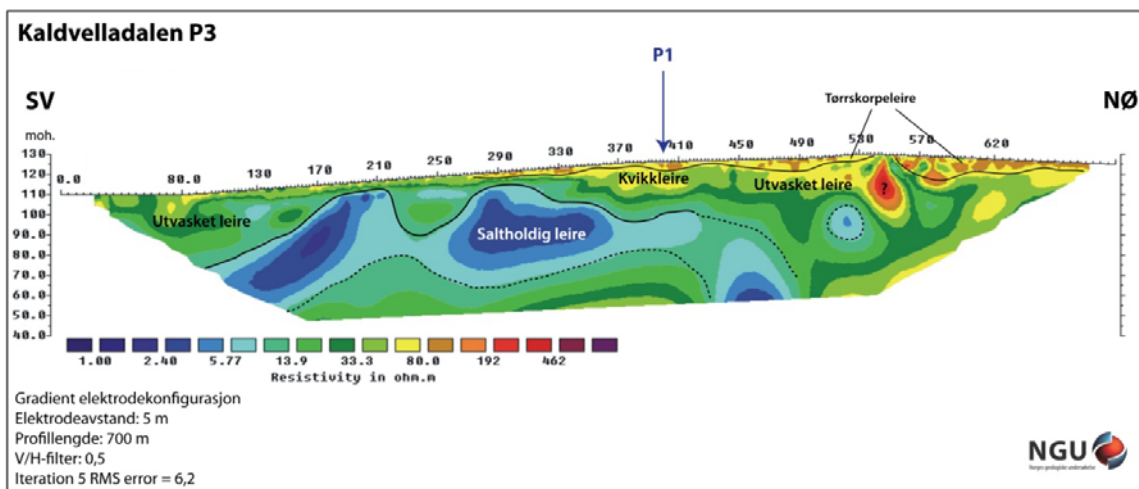
Linsa ved profilpunkt 545 med resistivitetsverdier opp mot 500  $\Omega\text{m}$ , vil kunne tolkes som steinblokk(er) eller grove masser (evt. blandet med leire). Sondring M 111 går gjennom denne lomma, og indikerer nokså tydelig at det kan være kvikkleire (synkende/konstant boremotstand med dybden). Det er ikke noe i sonderingsprofilet som skulle tilsi at resistivitetsverdiene skulle være så høye her. Et lignende tilfelle ble funnet ved et prosjekt på Rødde (Solberg et al. 2012). Der ble det foreslått at 3D-effekter spilte inn, og at noe som lå på siden av resistivitetsprofilet ble fanget opp ved målingene, men som likevel ikke ble truffet av sonderingen. Se også kap. 6.5 om IP, og diskusjonen i kap. 7.

Det er generelt godt samsvar mellom de geofysiske og geotekniske dataene, og figur 15 viser kombinert tolkning av P3.





Figur 14. Tolkede geotekniske data lagt over og tolket sammen med resistivetsprofil P3 i Kaldvelladalen (se vedlegg 4 for profil P3 i A3) (NGI: Gregersen et al. 1990; M: Sandven & Vik 2011).



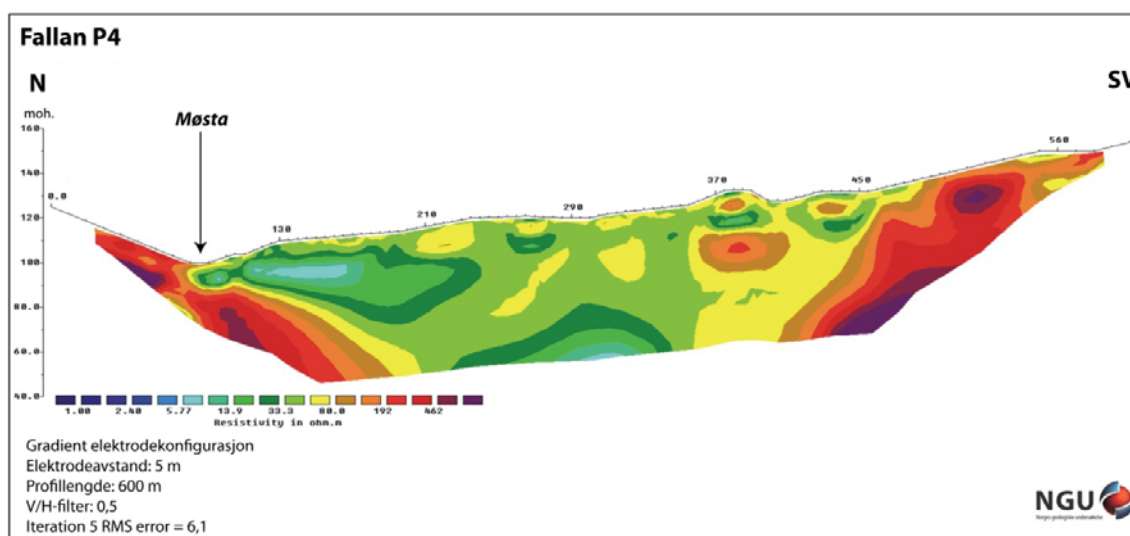
Figur 15. Geofysisk og geoteknisk tolket resistivetsprofil P3 i Kaldvelladalen.

### 6.3 Fallan

I Fallan er det målt ett resistivetsprofil (P4) (fig. 5). Her har det ikke vært utført geotekniske undersøkelser tidligere, men faresone Eggen ligger vest for området, og her er det utført undersøkelser (Gregersen et al. 1990). De nærmeste sonderingspunktene ligger ca. 1 km vest for Fallan, og flere av disse antyder kvikkleire. Etter at resistivetsmålingene var utført ble det foreslått plassering av punkter for grunnundersøkelser (forslag til boreplan). Resultatene fra de geotekniske undersøkelsene (Sandven & Vik 2011) og resistivetsmålingene ble deretter sammenlignet og tolket. Se vedlegg 3 for oversikt over hvor grunnundersøkelsene er foretatt.

### ***Resistivitetsdata Profil P4***

Profil P4 er 600 m langt og starter ved bekken Møsta i nord og ender litt sørvest for gården Fallan (fig. 5). I nord ligger profilet nær en bratt skråning hvor løsmasseoverdekningen trolig er liten. På profilet angis gradvis høyere resistivetsprofiler (fra ca. 100  $\Omega$ m og oppover) (fig. 16). Også i den sørvestlige delen av profilet er det trolig grunt til fjell. Det er observert fjell i dagen like ved profilslutt i sør. Mellom ytterpunktene av profilet er det sedimenter med resistivetsverdier fra ca. 6  $\Omega$ m til 80  $\Omega$ m, med hovedvekt på  $\pm 30$   $\Omega$ m. Mellom profilpunkt 370 og 450 er det noen linser med høyere motstand (opp til 300  $\Omega$ m). Trolig består det meste av løsmassene i profilet av utvasket leire, og denne kan være kvikk.



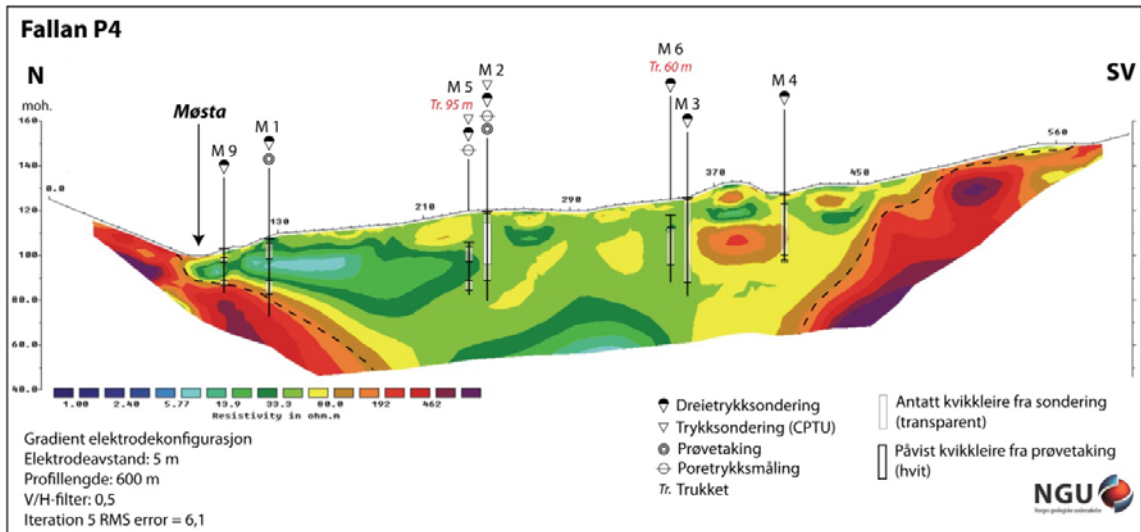
Figur 16. Resistivetsprofil P4 i Fallan.

### ***Resistivetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil P4***

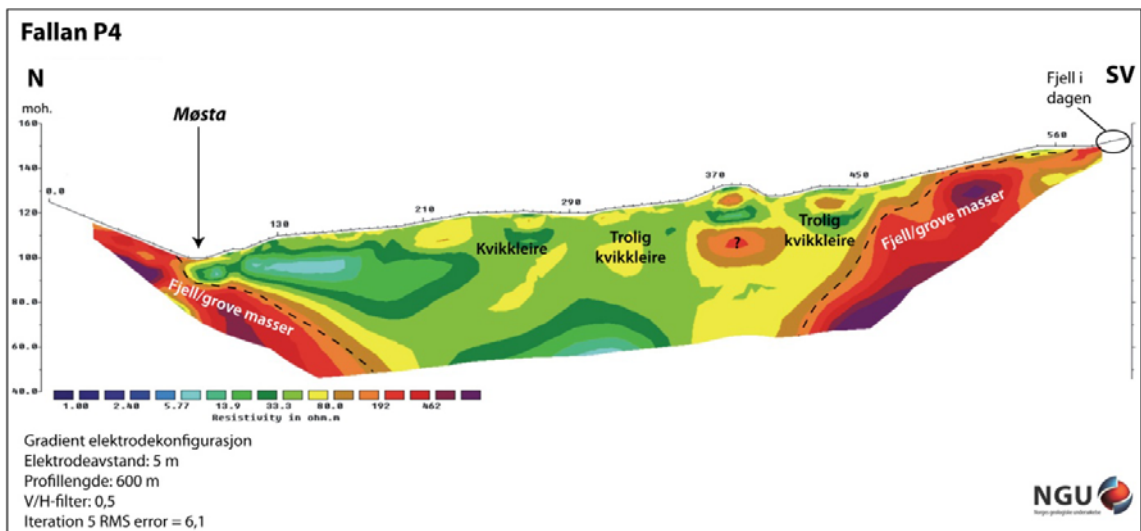
Langs profil P4 finnes det resultater fra syv sonderinger og to prøvetakinger som er relevante i forhold til resistivetsprofilet (fig. 17 og vedleggsfig. 2). To av disse er trukket nokså langt (60 m og 95 m). Alle sonderingsprofilene kan tolkes til å inneholde soner med kvikkleire, og de fleste ligger innenfor kvikkleireintervallet på resistivetsprofilet (10-100  $\Omega$ m). Prøven i M 2 påviser kvikkleire og resistivetsverdiene er innenfor kvikkleireintervallet.

Både i nord og i sørvest er det trolig grove masser over fjell. De nedre delen av sonderingsprofilene M 9 og M 1 (i nord) indikerer også innslag av sand/grus i leire i den dypere delene av sonderingsprofilene.

Det er generelt godt samsvar mellom de geofysiske og geotekniske dataene, og figur 18 viser kombinert tolkning av P4.



Figur 17. Tolkede geotekniske data lagt over og tolket sammen med resistivetsprofil P4 i Fallan (se vedlegg 4 for profil P4 i A3) (M: Sandven & Vik 2011).



Figur 18. Geofysisk og geoteknisk tolket resistivetsprofil P4 i Fallan.

## 6.4 Saltinnhold

Resistivitetsverdiene henger nøye sammen med ioneinnholdet i leiras porevann. Det er derfor målt saltinnhold på 17 prøver i til sammen syv borehull på lokalitetene (tabell 3 og 4, fig. 19). De fleste prøvene har lavt saltinnhold (< 3 g/l) og er da tilstrekkelig utvasket til å kunne være kvikk (< 5 g/l). Sensitiviteten i disse prøvene varierer fra 5 til 190, og de gjennomsnittlige resistivitetsverdiene tatt fra profilene varierer fra 15-100  $\Omega$ m.

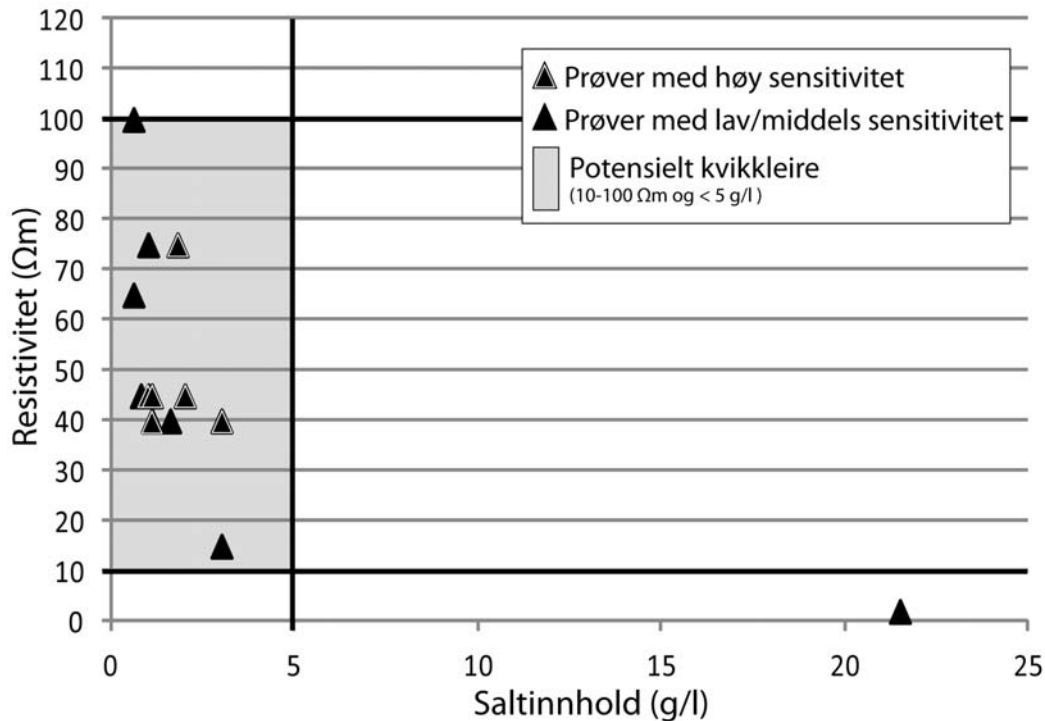
En prøve har høyt saltinnhold (21,5 g/l i M 104), og her er sensitiviteten lav-middels, og resistivitetsverdien 2  $\Omega$ m. For alle prøvene er det veldig god overensstemmelse mellom resistivitetsverdier, saltinnhold og sensitivitet.

Tabell 3. Saltinnhold målt på prøver fra fem borehull i Kaldvelladalen (Sandven & Vik 2011). Resultatene er sammenlignet med gjennomsnittlige resistivitetsverdier tatt fra profilene P1 og P2.

Borehull	Dyp (m)	Saltinnhold (g/l)	Sensitivitet	Resistivitet (ca.-verdi) (ohmm)	Merknad
M 104	18,1	21,5	Middels-Lav (8, 3) (dyp: 14,0 m-14,8 m)	2 $\Omega$ m (P1)	Feil dyp i MC-rapport (4,0 m-4,8 m) (pers. med. Rolf Sandven)
M 106	3,4	0,6	Middels (14, 13)	65 $\Omega$ m (P1)	
M 106	8,4	1,1	Høy (152,135)	45 $\Omega$ m (P1)	
M 106	15,4	3	Høy (68, 54)	40 $\Omega$ m (P1)	
M 107	8,45	0,6	Lav (5, 5)	100 $\Omega$ m (P2)	
M 107	19,65	1,8	Høy (78, 190)	75 $\Omega$ m (P2)	
M 109	4,45	1,6	Middels - Høy (17, 34)	40 $\Omega$ m (P2)	
M 109	15,1	2	Høy (122, 122) (dyp: 15,0 m-15,8 m)	45 $\Omega$ m (P2)	
M 118	7,15	0,5	Lav - Middels (7, 16, 14)		Disse boredata er trukket 130 m, men resistivitetsverdiene ligger innenfor 10-100 $\Omega$ m (P1)
M 118	14,42	1	Høy (75, 44)		
M 118	18,4	3	Middels (16, 23)		

Tabell 4. Saltinnhold målt på prøver fra to borehull i Fallan (Sandven & Vik 2011). Resultatene er sammenlignet med gjennomsnittlige resistivitetsverdier tatt fra profil P4.

Borehull	Dyp (m)	Saltinnhold (g/l)	Sensitivitet	Resistivitet (ca.-verdi) (ohmm)
M 1	2,4	0,8	Middels (8, 10)	45 $\Omega$ m (P4)
M 1	6,4	3	Middels (21, 21)	15 $\Omega$ m (P4)
M 1	21,4	1	Middels (12, 21)	75 $\Omega$ m (P4)
M 2	2,4	0,8	Middels-Lav (9, 7)	45 $\Omega$ m (P4)
M 2	11,5	1	Høy (68, 88)	45 $\Omega$ m (P4)
M 2	22,2	1,1	Høy (67, 63)	40 $\Omega$ m (P4)



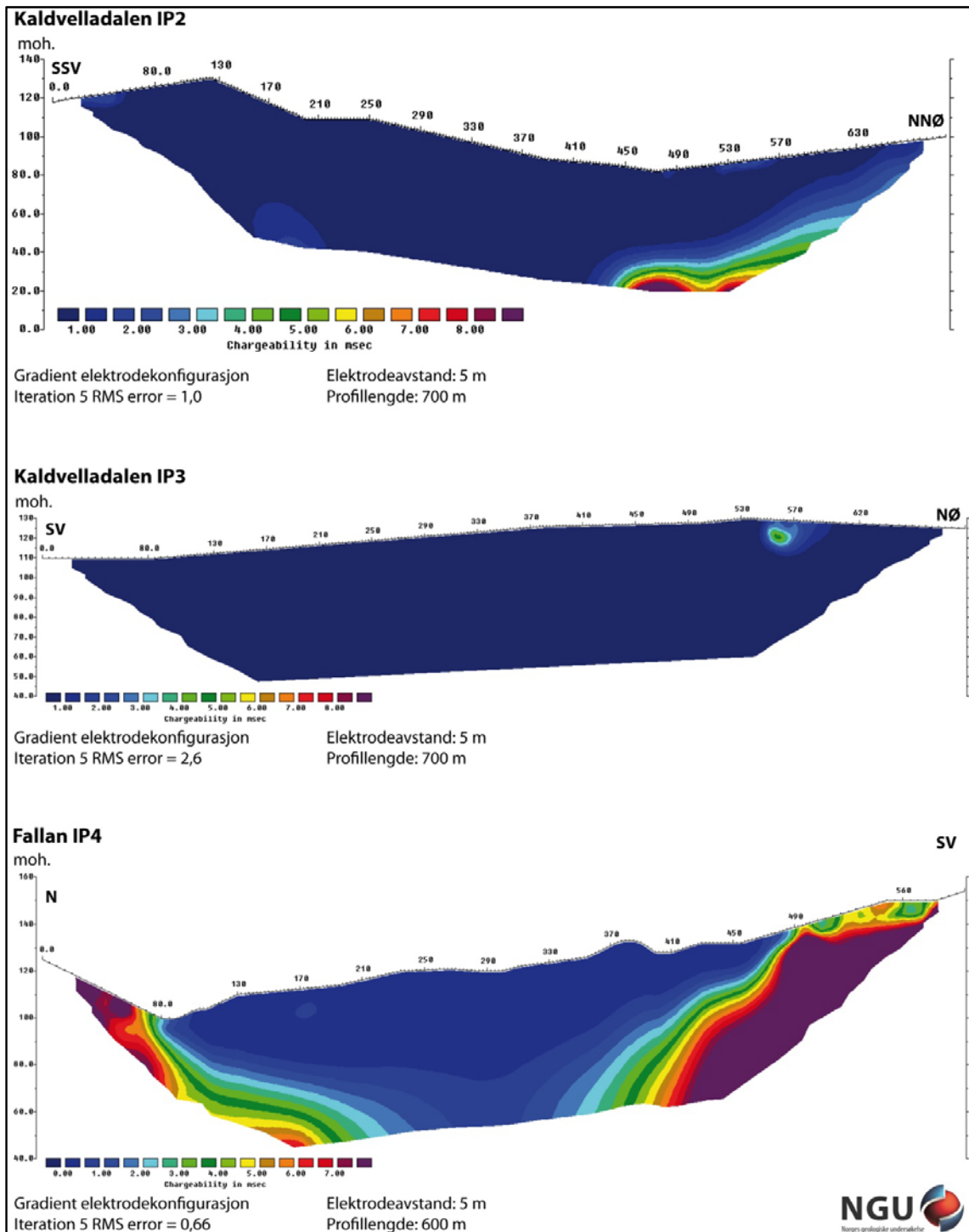
Figur 19. Saltinnholdmålinger i Kaldvella og ved Fallan fra borepunkt M 104, M 106, M 107, M 109, M 1 og M 2, sammenholdt med gjennomsnittlige resistivitetsverdier.

### 6.5 Data fra induisert polarisasjon (IP)

Data fra induisert polarisasjon (IP) for profil IP2-IP4 er vist i figur 20. Data for profil IP1 var beheftet med så mye støy at data anses som ubrukelig og presenteres derfor ikke. Alle tre profilene viser for det meste lav IP-effekt (oppladbarhet).

I IP2 er det opp mot 9-10 ms i nordøstlige del av profilet (i dypet), i IP4 det samme i både nordlig og sørvestlig del. Den høye oppladbarheten tolkes til å være ledende mineraler i berggrunnen. IP-data er i så måte med på å bekrefte tolkningen av fjell i resistivetsprofilene. IP-målinger i Buvika (ca. 15 km nordvest for studieområdene), hadde høy IP i berggrunnen grunnet en rekke grafittlag i fyllitt (Solberg et al. 2008b). Det tilhørende resistivetsprofilet i Buvika ga svært lave resistivetsverdier i fjell (tilsvarende saltholdig leire) på grunn av grafittlagene. Fjellet i Kaldvelladalen og ved Fallan er leirskifer og fyllitt, og gir høy oppladbarhet, men også høye resistivetsverdier. Her kan det være isolerte forekomster av sulfider i stedet for sammenhengende grafittlag, som gir høy IP-effekt.

I IP3 har hele profilet lav oppladbarhet, med unntak av en liten anomali med oppladbarhet opp til 5 ms, mellom profilpunktene 550 og 565 (på 5-10 m dyp). Dette er like nordøst for lomma med høy resistivitet på profil P3.



Figur 20. Indusert polarisasjon i Kaldvelladalen (IP2 og IP3) og Fallan (IP4).

## 7. DISKUSJON

Resistivetsprofilene i Kaldvelladalen og Fallan gir et godt overblikk over grunnforholdene i områdene. P1-P3 i Kaldvelladalen krysser hverandre, og overlappet mellom profilene er meget godt (fig. 6). Dette styrker påliteligheten til resultatene fra målingene, og hjelper også tolkningen av grunnforholdene i 3D. Profilene er tolket sammen med gamle og nye geotekniske data, og generelt er overensstemmelsen veldig god.

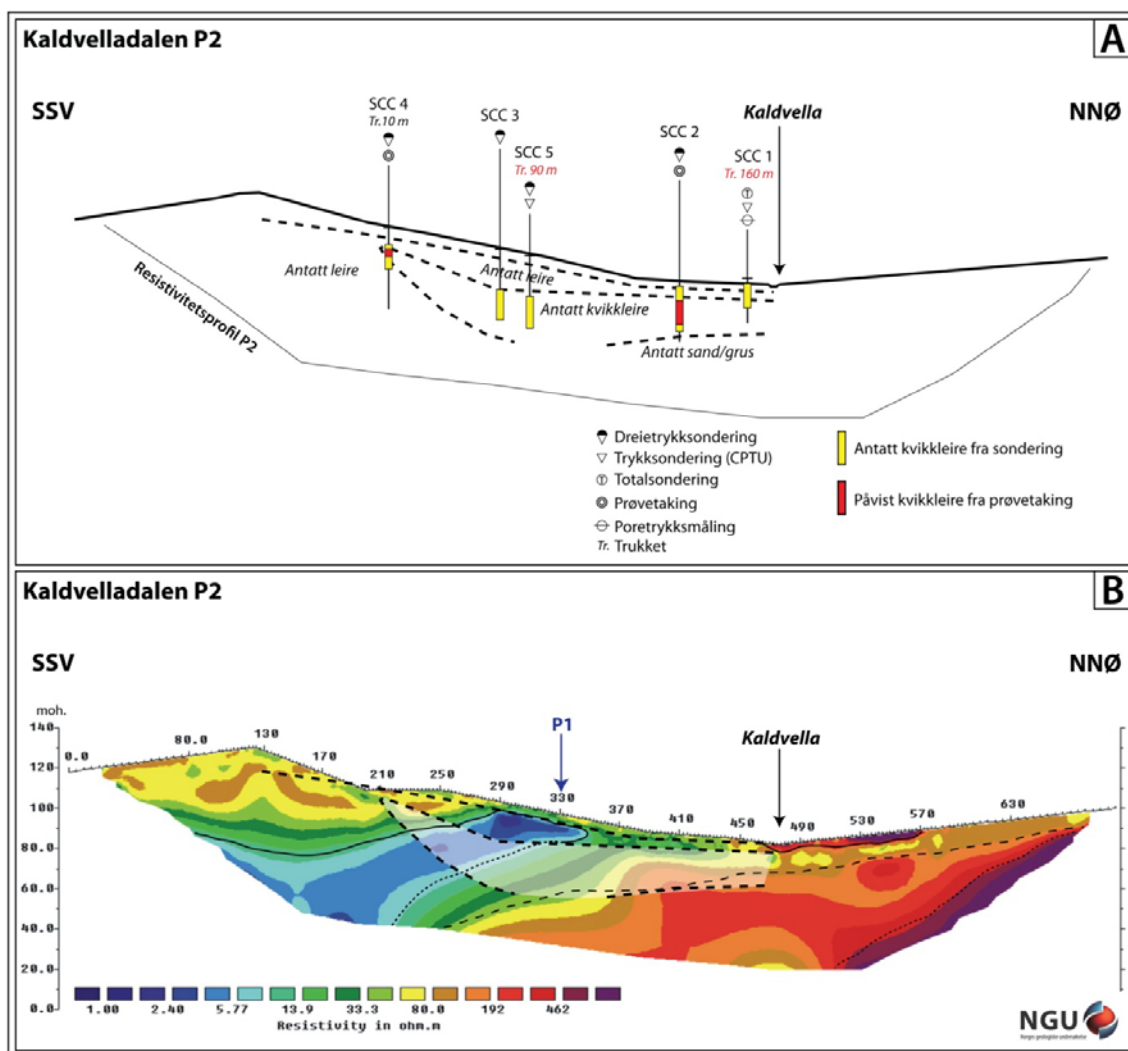
I noen av sonderingsprofilene ligger tolket kvikkeleire helt eller delvis innenfor intervallet for saltholdig leire (1-10  $\Omega$ m). Alle prøvene med *påvist* kvikkeleire ligger innenfor kvikkeleireintervallet (10-100  $\Omega$ m). En av årsakene til at middels eller meget sensitiv/kvikk leire ligger innenfor lave resistivetsverdier kan være 3D-relatert. En rekke av sonderingene er trukket nokså langt inn til profillinja, og topografien til det saltholdige laget vil nok variere – trolig delvis i samsvar med overflatetopografien. Dette var noe som også ble observert/konkludert ved resistivetsmålinger i Namsos (Solberg et al. 2011a). På resistivetsprofilene i Kaldvelladalen er de mulige kvikkeleirelagene (tolket fra sonderingsprofiler) innenfor saltholdig leire 2-3 m tykke. Disse vil ikke kunne framkomme som tynne lag på resistivetsprofilet, delvis fordi de er tynnere enn elektrodeavstanden, og også fordi den saltholdige leira rundt vil være foretrukket strømløder. I Reiser et al. (2010) er det gjort endel modellering på lignende situasjoner. I saltholdig leire vil potensielle kvikkeleirelinser på 30x12 m<sup>2</sup> og lag tykkere enn 5 m (tykkere enn 2 m gir også litt utslag) kunne påvirke/øke gjennomsnittsverdiene i resistivetsprofilet i det saltholdige laget (linsa kommer nokså tydelig fram, men laget blir mye tykkere enn 5 m).

Dyp til underkanten av det saltholdige laget vil være vanskelig å bestemme nøyaktig basert på resistivetsverdiene, både siden den salte leira er godt ledende og dermed vil kunne framtre noe tykkere enn den er (Reiser et al. 2010), og fordi resistivetsdata til en viss grad "trekkes ut" i de nedre delene av profilet hvor det også er færre data (tykkelsen til det øverste laget av resistivetsblokker er 0,5 ganger elektrodeavstanden, og de påfølgende lagene øker med vanligvis med 10 % i tykkelse).

P2 ligger i en skråning som også tidligere har vært undersøkt (Emaus 2002). Her ble kvikkeleiras plassering i skråningen tolket basert på sonderinger og prøvetakinger (fig. 21a). Tolkingsmodellen vil kunne endres noe med de nye geotekniske undersøkelsene (Sandven & Vik 2011), men flere mulige fordelinger av kvikkeleire/stabil leire i skråningen vil kunne finnes hvis det kun baseres på interpolering mellom sonderinger/prøvetaking. Figur 21b viser at resistivetsprofilet er en nyttig hjelp for å tolke grunnforholdene, og sammen med de geotekniske undersøkelsene fås trolig en riktigere tolkning av kvikkeleireutbredelsene. I stedet



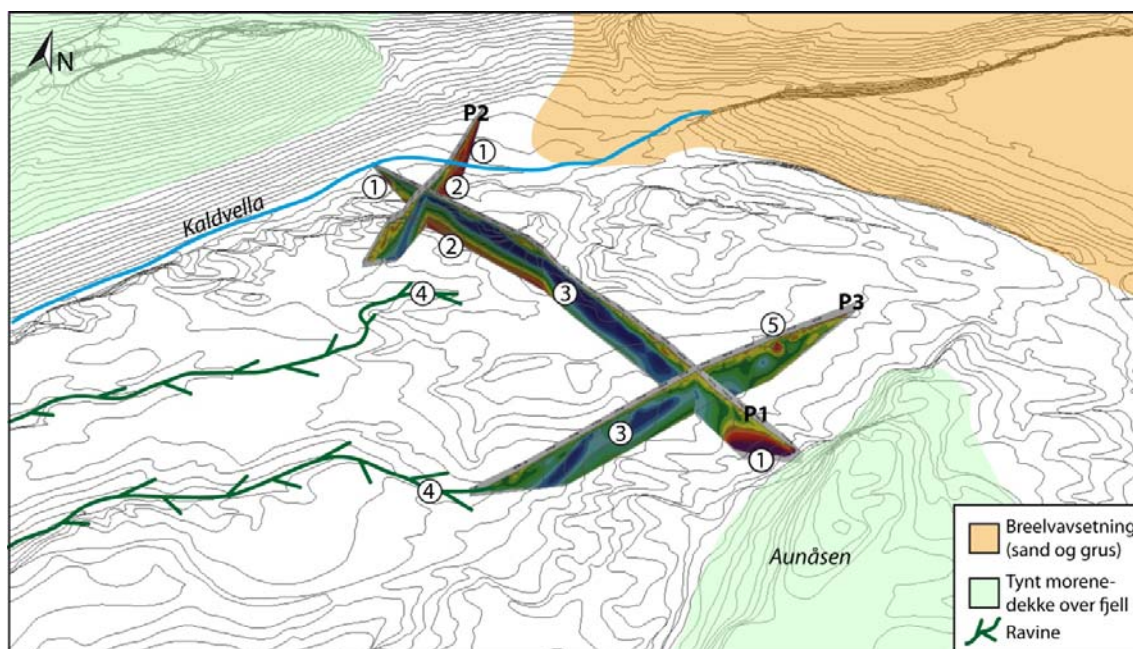
for én, gjennomgående kvikkleiresone i hele skråningen, blir den avskåret av et saltholdig, stabilt leirlag. Dette vil kunne ha betydning for stabiliteten av skråningen.



Figur 21. (A) Tolkning av grunnforholdene i skråningen hvor også P2 ligger – basert kun på tidligere geotekniske undersøkelser (Emaus 2002). (B) Resistivetsprofil P2, med tolkningen fra figur (A) lagt over. Det transparente laget er kvikkleireutbredelse tolket kun fra interpolasjon mellom tidligere geotekniske data. Resistivetsprofilen viser at kvikkleira ikke er sammenhengende gjennom skråningen, men avskjæres av et saltholdig, stabilt leirlag.

I resistivetsprofil P3 i Kaldvelladalen ligger ei linse med resistivetsverdier opp til 500  $\Omega$ m omsluttet av leire. Det er mulig dette er samme lomme vises også på IP3 (fig. 19), med noe høyere oppladbarhet enn massene rundt (liten anomali). En mulig samtolkning av IP og resistivetsdata, er at dette kan være ei nokså stor (eller flere små sammen) fjellblokk som har rast ned fra Aunåsen (ca. 250 m unna) mens havet ennå stod over området (siden marin leire er avsatt over). Et lignende tilfelle ble observert i Buvika, der ei stor steinblokk fra steinsprang kom fram i ei leirskjæring (Solberg et al. 2008a). Alternativt kan det være stor(e)

dropstein fra isavsmeltingen. Det er nærliggende å tro at lomma er lokalt berggrunnsmateriale siden fjellet her har høy IP. Lomma med høy IP ligger like nordøst for høy-resistivitetslomma, men det er sannsynlig at det er samme "objekt". 3D-effekter har trolig spilt inn ved målingen, noe som kan være årsaken til at sonderingen i M 111 ikke har truffet "objektet". Det er i Reiser et al. (2010) gjort modellering av en lignende situasjon der ei linse med resistivitet på  $300 \Omega\text{m}$  ( $30 \times 12\text{m}^2$ ) er omsluttet av potensiell kvikkleire. Linsa vises på resistivetsprofilen, men har litt lavere resistivetsverdi enn i den syntetiske modellen.



Figur 22. "3D-visualisering" av resistivetsprofilene P1-P3 i Kaldvelladalen. Hvite områder på bakgrunnskartet er i hovedsak tykke hav- og fjordavsetninger. Se teksten for beskrivelse av tallene (1)-(5).

I det følgende kommer en oppsummering av resistivetsprofilene P1-P3 i Kaldvelladalen. Nummerhenvisningene hører til figur 22. P1-P3 er delvis omringet av fjell. Dette vises i terrenget og i ytterkant av profilene ved (1). Foran breen som lå i Selbusjøen ble store mengder sand og grus avsatt ut mot studieområdet (den store breevlavsetningen nordøst for P1-P3). Dette preger profilene ved (2) (på dypet i P1 og over/foran fjell i P2). Sand og grus har også blitt avsatt vekselvis med leire, dette vises på noen av sonderingene. Når de tre profilene er satt sammen, ser man at det er et stort sett sammenhengende lag av saltholdig, stabil leire (3) med utvasket leire både over og under. Noen steder er det dype nok sonderinger til å bekrefte at det trolig er middels/meget sensitiv/kvikk leire også under det saltholdige laget. Utvaskingen har dermed skjedd nær overflata, i skråninger ned mot bekkeraviner og nedenfra – trolig styrket av god grunnvannstilgang gjennom grove masser

som henger sammen med breelvavsetningen. Bakkant av ravinene (4) ligger i utvasket/kvikk del av P2 og P3, over nivået for den saltholdige leira (3). Ved (5) kan det være en/flere steinblokk(er) med mulig tolkning som steinsprang fra Aunåsen eller som droppstein under isavsmeltingen.

Så å si hele resistivetsprofilen ved Fallan (P4) ligger innenfor ei skredgrop som trolig er ca. 350 år gammel. I hver ende er det fjell, resten av profilen viser for det meste sedimenter med resistivetsverdier i kvikkleireintervallet (10-100  $\Omega\text{m}$ ). Sondringer og prøver viser at deler av denne utvaskede leira er kvikk, og vil dermed kunne gi stabilitetsmessige utfordringer.

## **8. KONKLUSJON**

Resistivetsprofilene i Kaldvelladalen og Fallan gir et godt overblikk over grunnforholdene i områdene. Profilene er tolket sammen med gamle og nye geotekniske data, og generelt er overensstemmelsen veldig god. Undersøkelsene bekrefter i hovedsak tidligere publiserte resistivetsintervaller for saltholdig, intakt leire, mulig kvikkleire, tørrskorpeleire og grovere masser (f.eks. Solberg et al. 2008b, 2012). Selv om utgangspunktet er at potensiell kvikkleire ligger innenfor intervallet 10-100  $\Omega\text{m}$ , vil lokale forhold kunne føre unntak i begge endene av intervallet. Alle prøver med påvist kvikkleire og alle saltinnholdsmålinger med verdier under 5 g/l har korresponderende resistivetsverdier innenfor kvikkleireintervallet. Undersøkelsene i Kaldvelladalen og Fallan viser også, spesielt i ett profil (P2), hvordan bruk av resistivetsmålinger hjelper tolkning av og interpolering mellom geotekniske data, noe som vil kunne være svært nyttig i forbindelse med stabilitetsvurderinger.

## 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

Emaus, K. 2002: Nedre Langeland/Hoven Kaldvelladalen, Melhus. Grunnundersøkelse - Datarapport. Scandiaconsult Rapport 620298-01

Gregersen, O., Tuft, P. & Løken, T. 1990: Kartlegging av områder med potensiell fare for kvikkleireskred, kartblad 1621 III Støren, M 1:50 000. NGI rapport 81075-2

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)

Lyche, E., Rye, O.A., Eggereide, K. & Norrman, T. 2007: Program for økt sikkerhet mot leirskred. Risiko for kvikkleireskred, Melhus kommune. Sone: Bortn, Flå kirke, Engan, Høyeggen. NGI rapport 20051784-2

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) 2009: Retningslinjer for planlegging og utbygging i fareområder langs vassdrag. Retningslinjer nr. 1/2008b, revidert 5. mars 2009

Norsk Geoteknisk Forening (NGF) 1975: Retningslinjer for presentasjon av geotekniske undersøkelser

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. 1985: Støren. Beskrivelse til kvartærgeologisk kart 1621 II, M 1:50 000. Norges geologiske undersøkelse.

Reite, A. & Sørensen, E. 1980: Støren. Kvartærgeologisk kart 1621 II, M 1:50 000. Norges geologiske undersøkelse.

Rokoengen, K. 1998: Naturkatastrofer i Gauldalen. Institutt for Geologi og bergteknikk, Rapport 33, 50 s.

Rosenqvist, I.T. 1953: Considerations on the sensitivity of Norwegian clays. Géotechnique 3: 195-200

Sandven, R. & Vik, A. 2011: Ny E6 Haga-Skjerdingstad. Utredning for kommuneplan. Datarapport grunnundersøkelser. Beskrivelse av grunnforhold. Multiconsult rapport 414622-1, 5. juli 2011

Solberg, I.L., Dalsegg, E. & Hansen, L. 2011a: Geofysiske målinger for løsmassekartlegging i Namsos, Nord-Trøndelag. Data og tolkninger. NGU rapport 2010.046

Solberg, I.L., Hansen, L. & Rokoengen, K. 2008a: Large, prehistoric clay slides revealed in road excavations in Buvika, mid-Norway. *Landslides* 5:291-304

Solberg, I.L., Hansen, L., Rønning, J.S. & Dalsegg, E. 2011b: 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. 2012: 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. 2008b: 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

Tørrum, E. & Solheim, O.M. 2006: Grunnundersøkelser Melhus. Kvikkleirekartlegging Melhus. Geoteknisk datarapport. Multiconsult rapport 411760-1

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

## **VEDLEGG**

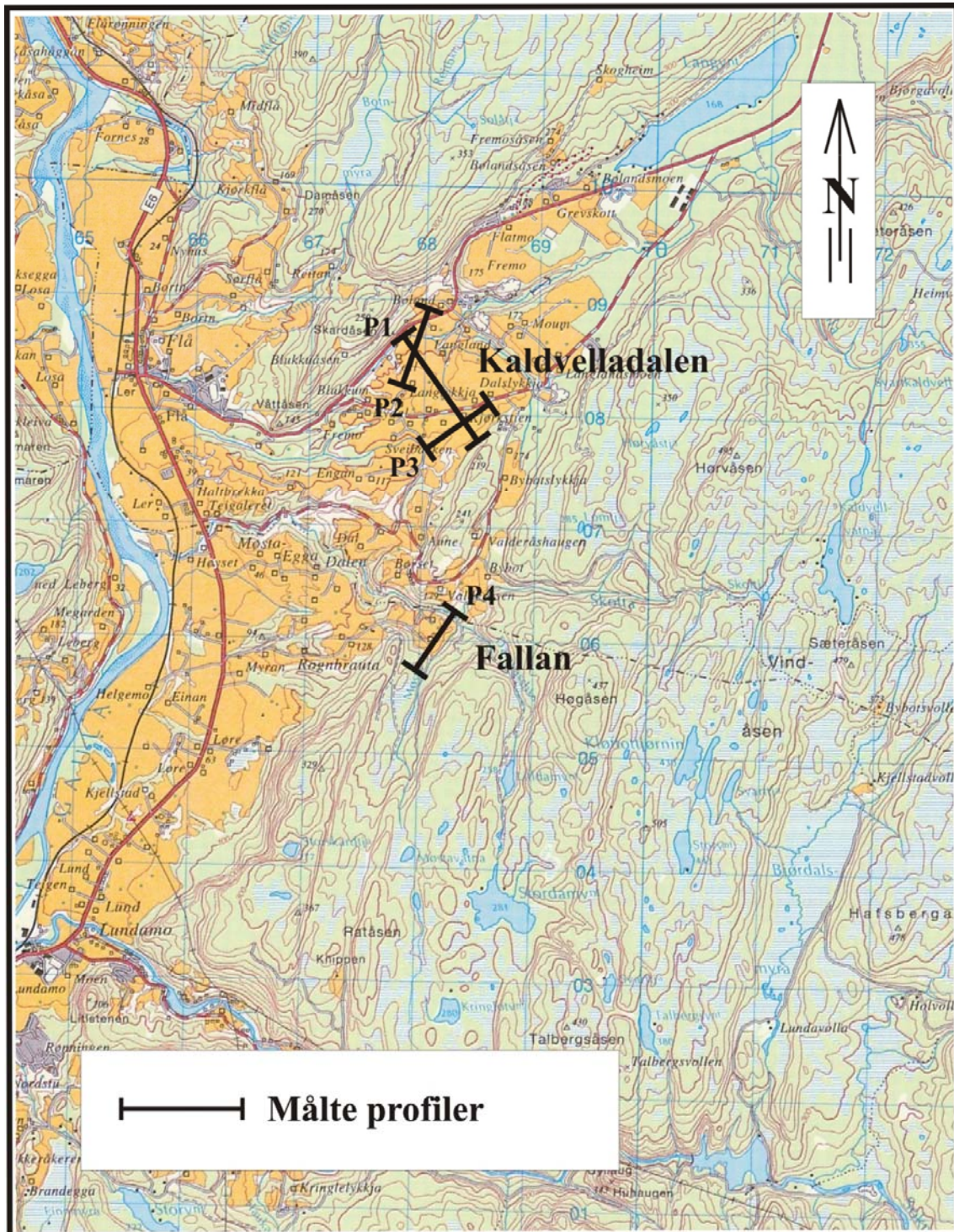
## VEDLEGG 1 KOORDINATER TIL INNMÅLTE PROFILER

Koordinatene er målt med håndholdt GPS.

WGS 1984 UTM sone 32N

<b>Profilnr</b>	<b>Profilpunkt</b>	<b>UTM Y sone 32N</b>	<b>UTM X sone 32N</b>
<b>P1</b>	0	7008693	567790
	100	7008616	567856
	200	7008543	567920
	300	7008469	567986
	400	7008397	568052
	500	7008317	568114
	600	7008237	568169
	700	7008149	568223
	800	7008065	568274
	1000	7007895	568371
	1100	7007806	568414
	1200	7007723	568454
<b>P2</b>	0	7008249	567835
	100	7008346	567850
	200	7008442	567877
	300	7008537	567897
	400	7008635	567913
	500	7008731	567927
	600	7008828	567951
	700	7008922	567975
<b>P3</b>	0	7007688	568046
	100	7007752	568120
	200	7007820	568190
	300	7007891	568263
	400	7007954	568340
	500	7008010	568423
	600	7008065	568504
	700	7008127	568581
<b>P4</b>	0	7006325	568266
	100	7006235	568242
	200	7006148	568212
	300	7006058	568181
	400	7005978	568131
	500	7005899	568071
	600	7005830	568014

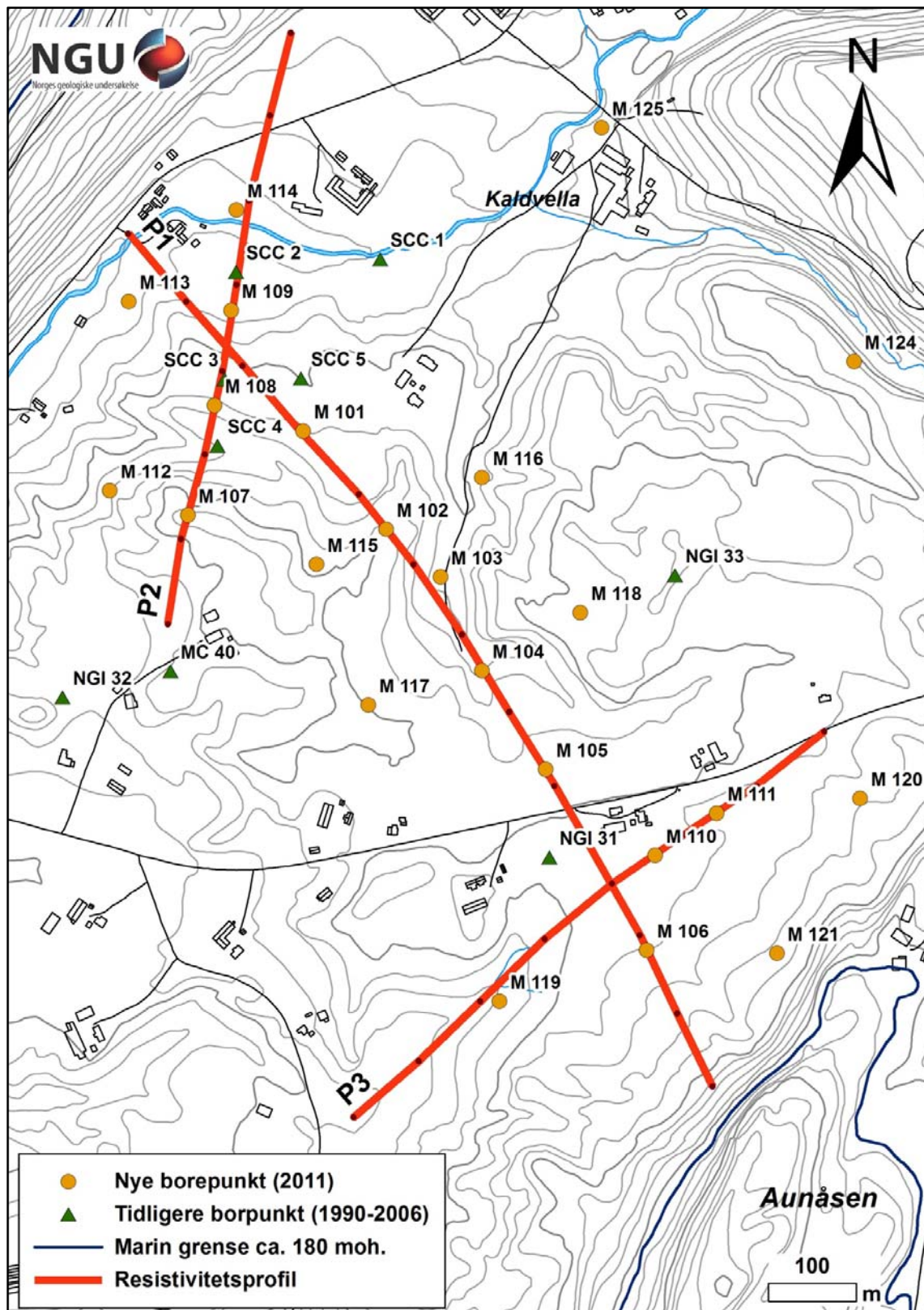




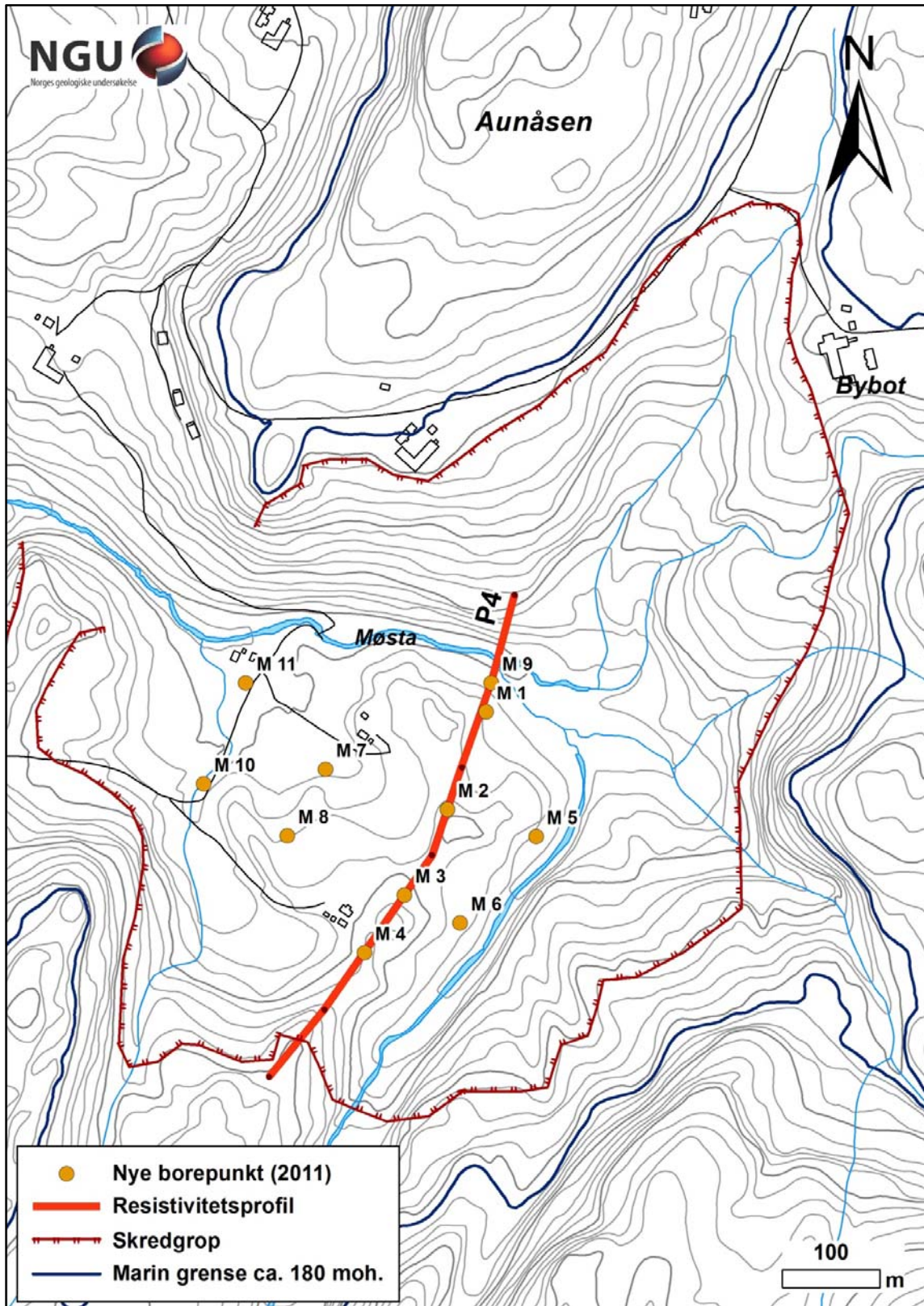
STATENS VEGVESEN - NGU OVERSIKTSKART KALDVELLADALEN OG FALLAN MELHUS, SØR-TRØNDELAG	MÅLESTOKK 1 : 50 000	MÅLT E.D.	Nov. 2010
		TEGN E.D.	Feb. 2012
		TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBILAG NR 2012.013-01	KARTBLAD NR 1621-III	



### VEDLEGG 3 GEOTEKNISKE DATAPUNKT OG RESISTIVITETSPROFILER



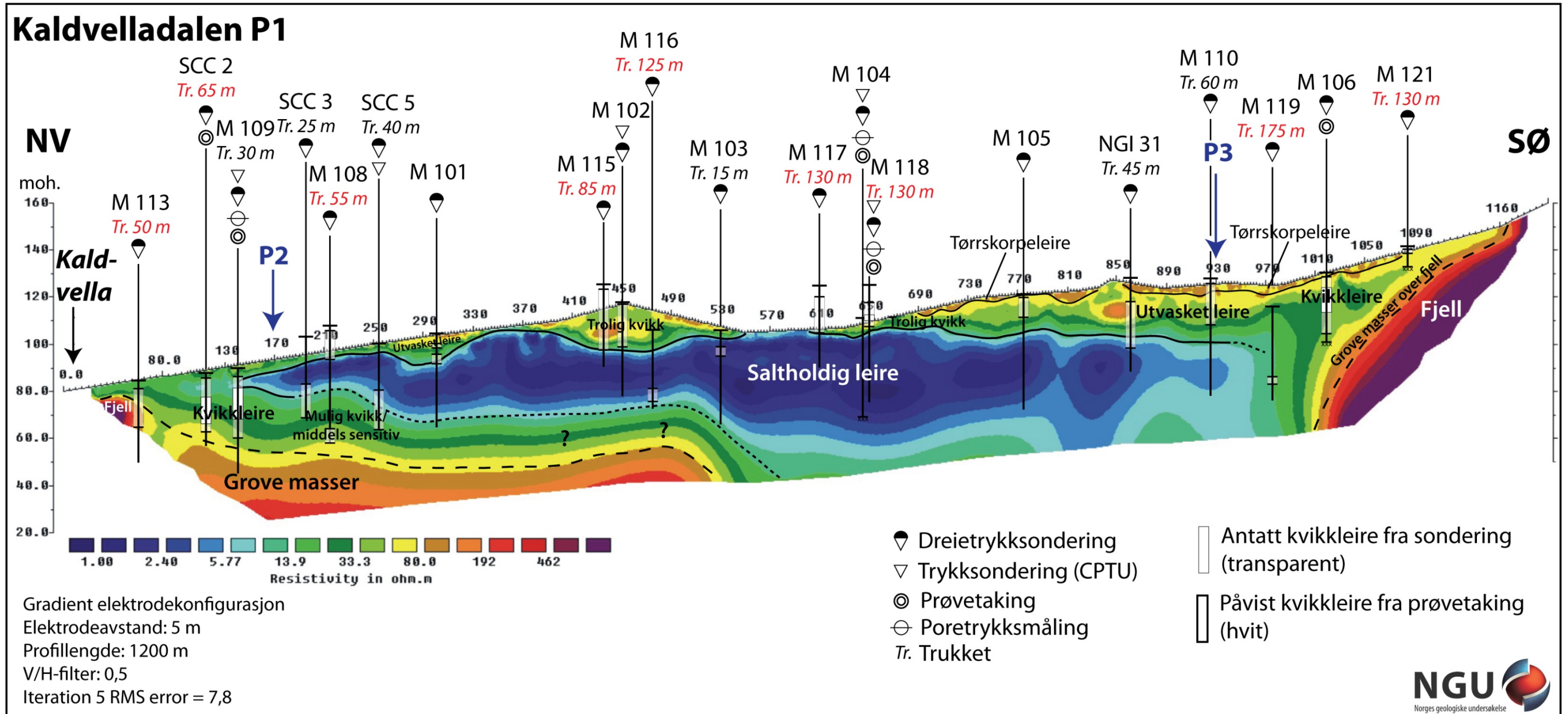
Vedleggsfigur 1. Resistivetsprofiler P1-P3 i Kaldvelladalen og plassering av nærliggende geotekniske undersøkelsespunkt (NGI: Gregersen et al. 1990; SCC: Emaus 2002; MC: Tørrum & Solheim 2006; M: Sandven & Vik 2011)



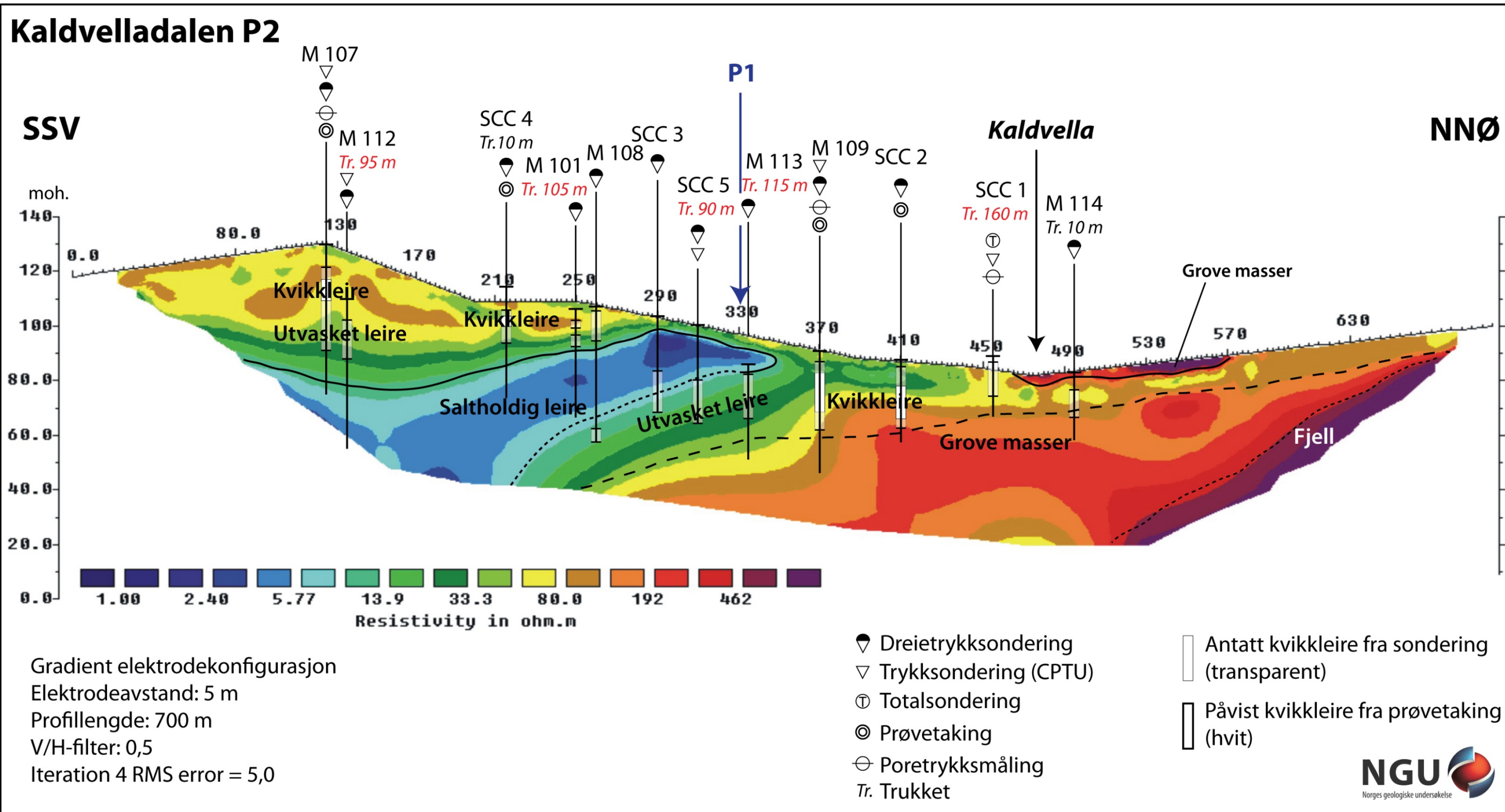
Vedleggsfigur 2. Resistivetsprofil P4 i Fallan og plassering av nærliggende geotekniske undersøkelsespunkt (M: Sandven & Vik 2011)

## VEDLEGG 4 RESISTIVITETSPROFILENE P1-P4 MED GEOTEKNISKE TOLKNINGER I A3





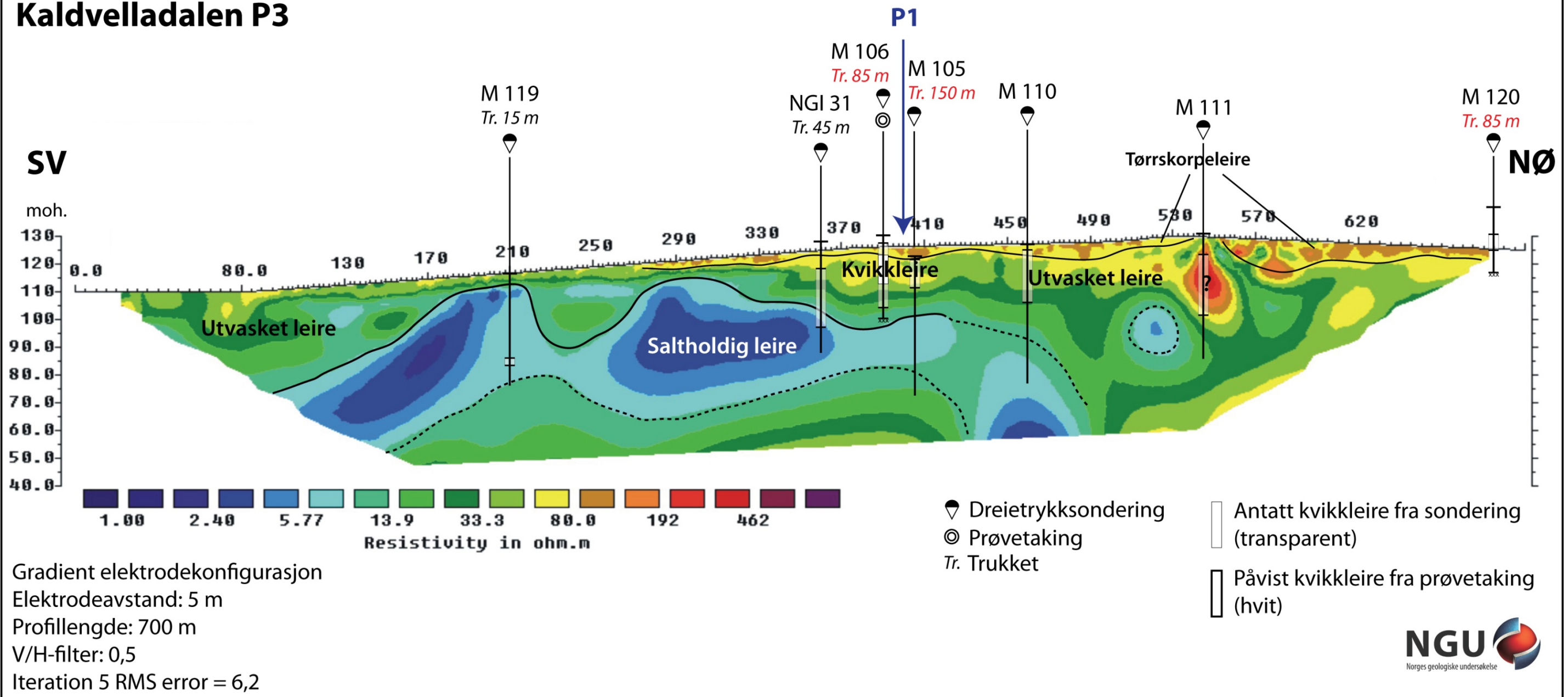
Vedleggsfigur 3. Tolkede geotekniske data lagt over og tolket sammen med resistivitetsprofil P1 i Kaldvelladalen (NGI: Gregersen et al. 1990; SCC: Emaus 2002; M: Sandven & Vik 2011).



Vedleggsfigur 4. Tolkede geotekniske data lagt over og tolket sammen med resistivitetsprofil P2 i Kaldvelladalen (SCC: Emaus 2002; M: Sandven & Vik 2011).

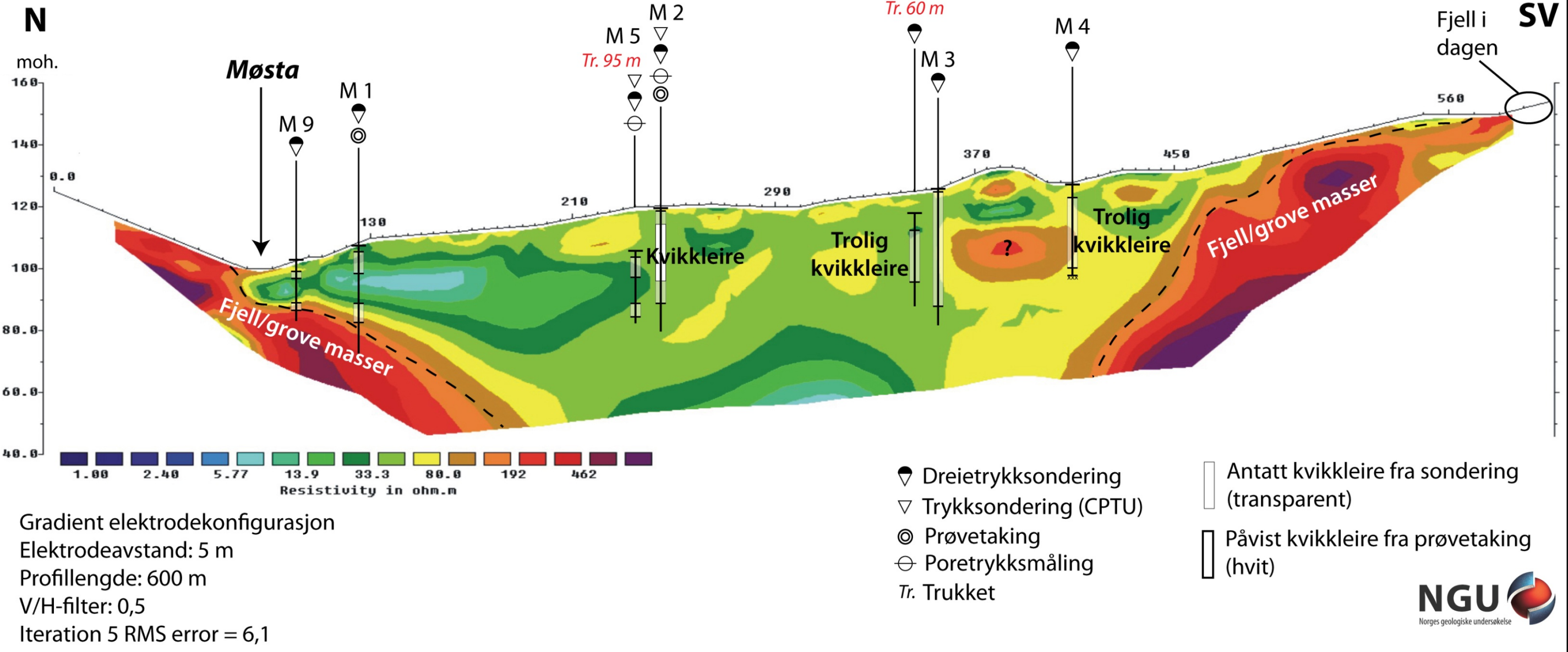


# Kaldvelladalen P3



Vedleggsfigur 5. Tolkede geotekniske data lagt over og tolket sammen med resistivetsprofil P3 i Kaldvelladalen (NGI: Gregersen et al. 1990; M: Sandven & Vik 2011).

# Fallan P4



Vedleggsfigur 6. Tolkede geotekniske data lagt over og tolket sammen med resistivetsprofil P4 i Fallan (M: Sandven & Vik 2011).