

NGU Rapport 2010.046
Resistivitetmålinger for løsmassekartlegging
i Namsos, Nord-Trøndelag. Data og tolkninger.

Rapport nr.: 2010.046		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Resistivitetsmålinger for løsmassekartlegging i Namsos, Nord-Trøndelag. Data og tolkninger.				
Forfattere: Inger-Lise Solberg, Einar Dalsegg, Louise Hansen		Oppdragsgiver: NVE		
Fylke: Nord-Trøndelag		Kommune: Namsos		
Kartblad (M=1:250.000) Nord-Trøndelag		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1723-IV Namsos		
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 53	Pris: 175 kr	
Feltarbeid utført: April 2010	Rapportdato: 24.01.2011	Prosjektnr.: 323800 REMA	Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>	
Sammendrag: <p>Det er utført 2D resistivitetsmålinger i 7 profiler ved Kattmarka og Gullvika i Namsos kommune (Nord-Trøndelag) som en del av metodeutviklingsprosjektet REMA (Resistivitetsmålinger i marine avsetninger). Prosjektet har som formål å teste anvendeligheten av metoden til å kartlegge kvikkleireforekomster. Lokaliteter i nærheten av og direkte knyttet til skredhendelsen i Kattmarka (13. mars 2009) er valgt som testområde. Rapporten beskriver resistivitetsmetoden, presenterer innsamlede data og gir en kort vurdering av disse. I Kattmarka er det etter skredhendelsen utført en rekke sonderboringer og prøvetakinger. Dette gjelder også deler av Gullvika, men her var det også noen tidligere utførte grunnundersøkelser. De geotekniske dataene er benyttet for sammenligning med resistivitetsdata, og samtolkning er foretatt.</p> <p>I sammenligningen mellom resistivitetsdata og geotekniske data er det som oftest godt samsvar i profilene fra de to lokalitetene. Likevel viser det seg at inntrekking av sonderingsprofiler/boreprofiler til resistivitetsprofilinjene ikke alltid fungerer godt hvis avstanden er over ca. 25 m. Dette gjelder både for dyp til fjell og for karakterisering av sedimentene. Dette kan komme av at de to lokalitetene er nokså små, avgrensede områder med stedvis grunt til fjell, og hvor geologien skifter nokså raskt. Det er generelt svært godt overlapp mellom de kryssende resistivitetsprofilene på lokalitetene, og ser man helhetlig på områdene, f.eks. i forhold til kvikkleireutbredelse, er samsvaret med geotekniske data godt. Dette viser at det er nødvendig å være ekstra oppmerksom på avstanden mellom grunnundersøkelsene og 2D resistivitetsprofilinjer i områder med sterkt varierende geologiske forhold. Undersøkelsene viser også nytten av kryssende resistivitetsprofiler, og viktigheten av å tolke områder helhetlig.</p>				
Emneord:		2D Resistivitetsmålinger	Geofysikk	
Fagrapport		Kvikkleire	Geoteknikk	

INNHold

1. INNLEDNING.....	7
2. STUDIEOMRÅDET.....	7
3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE	10
3.1 Datainnsamling	10
3.2 Strømstyrke og datakvalitet	11
3.3 Inversjon	11
4. KLASSIFISERING AV SEDIMENTER FRA RESISTIVITETSVERDIER.....	12
5. GEOTEKNISKE UNDERSØKELSER.....	14
6. RESULTATER OG TOLKNING AV RESISTIVITETSDATA, OG SAMMENLIGNING MED GEOTEKNISKE DATA.....	15
6.1 Innledning	15
6.2 Kattmarka.....	18
Resistivitetsdata Profil K1	18
Resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil K1.....	21
Resistivitetsdata Profil K2	22
Resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil K2.....	22
Resistivitetsdata Profil K3	25
Resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil K3.....	25
Resistivitetsdata Profil K4	28
Resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil K4.....	28
6.3 Gullvika.....	31
Resistivitetsdata Profil G1	31
Resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil G1.....	32
Resistivitetsdata Profil G2	36
Resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil G2.....	36
Resistivitetsdata Profil G3	39
Resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil G3.....	39
7. DISKUSJON OG KONKLUSJON	43
8. REFERANSER	44
VEDLEGG 1 KOORDINATER TIL INNMÅLTE PROFILER.....	47
VEDLEGG 2 DETALJKART PROFILPLASSERING	49
VEDLEGG 3 GEOTEKNISKE DATAPUNKT OG RESISTIVITETSPROFILER	51

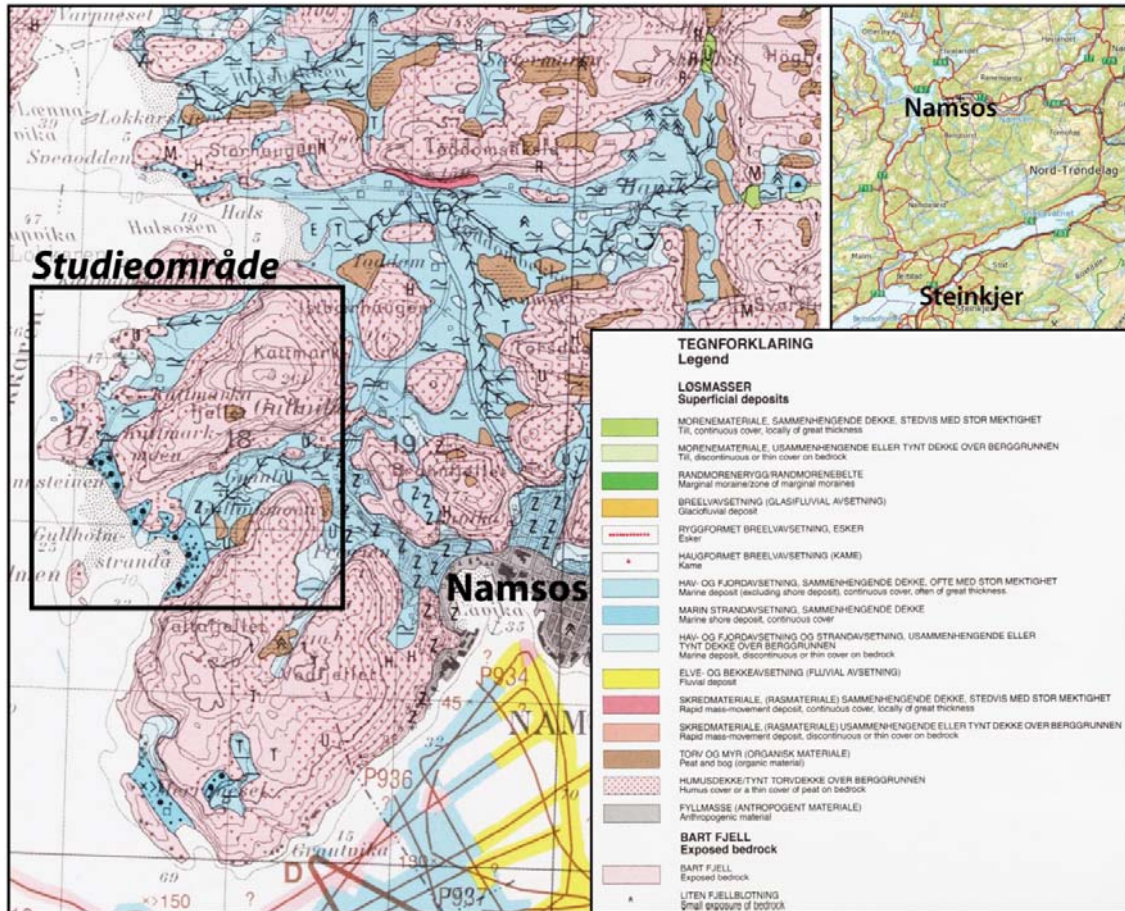
1. INNLEDNING

Resistivitetmålingene i Namsos er en del av prosjektet 323800 REMA (Resistivitetmålinger i marine avsetninger) som har som formål å teste anvendeligheten av metoden for å kartlegge kvikkleireforekomster. I Namsos ble lokaliteter i nærheten av og direkte knyttet til skredhendelsen i Kattmarka (13. mars 2009) valgt som testområde (fig. 1-3). Før skredhendelsen var det relativt lite geotekniske undersøkelser i Kattmarka og deler av Gullvika (Fiolvika), men noe data fra eldre grunnundersøkelser fantes ellers i Gullvika. Etter skredhendelsen, og i forbindelse med opprydningen og stabilisering av de gjenværende massene, ble det utført en rekke grunnundersøkelser. De geotekniske dataene er nyttige for sammenligning med de geofysiske dataene.

Det er målt 7 2D resistivetsprofiler i Namsos: 4 i Kattmarka, og 3 i Gullvika (fig. 3). I tillegg er det målt industert polarisasjon (IP) langs de samme profillinjene, men resultatene fra disse målingene er ikke presentert i denne rapporten. Resistivitetmålingene ble utført av Einar Dalsegg (NGU) og assistent Anne Mari Farstad (NTNU) våren 2010. En oversikt over datainnsamlingstidspunktene er gitt i tabell 1. Rapporten dokumenterer datainnsamlingen, presenterer data og gir en kort vurdering av disse. I samme periode som resistivitetmålingene ble utført, ble det også foretatt en mer detaljert geologisk kartlegging i studieområdet. Dette ble utført av Inger-Lise Solberg og Louise Hansen (begge NGU). Resultatene fra denne kartleggingen er vist på samme kart som profilplasseringene (fig. 3). Resistivitetsdataene er sammenlignet med de relevante geotekniske data fra studieområdet, og samtolkningen blir vist og diskutert.

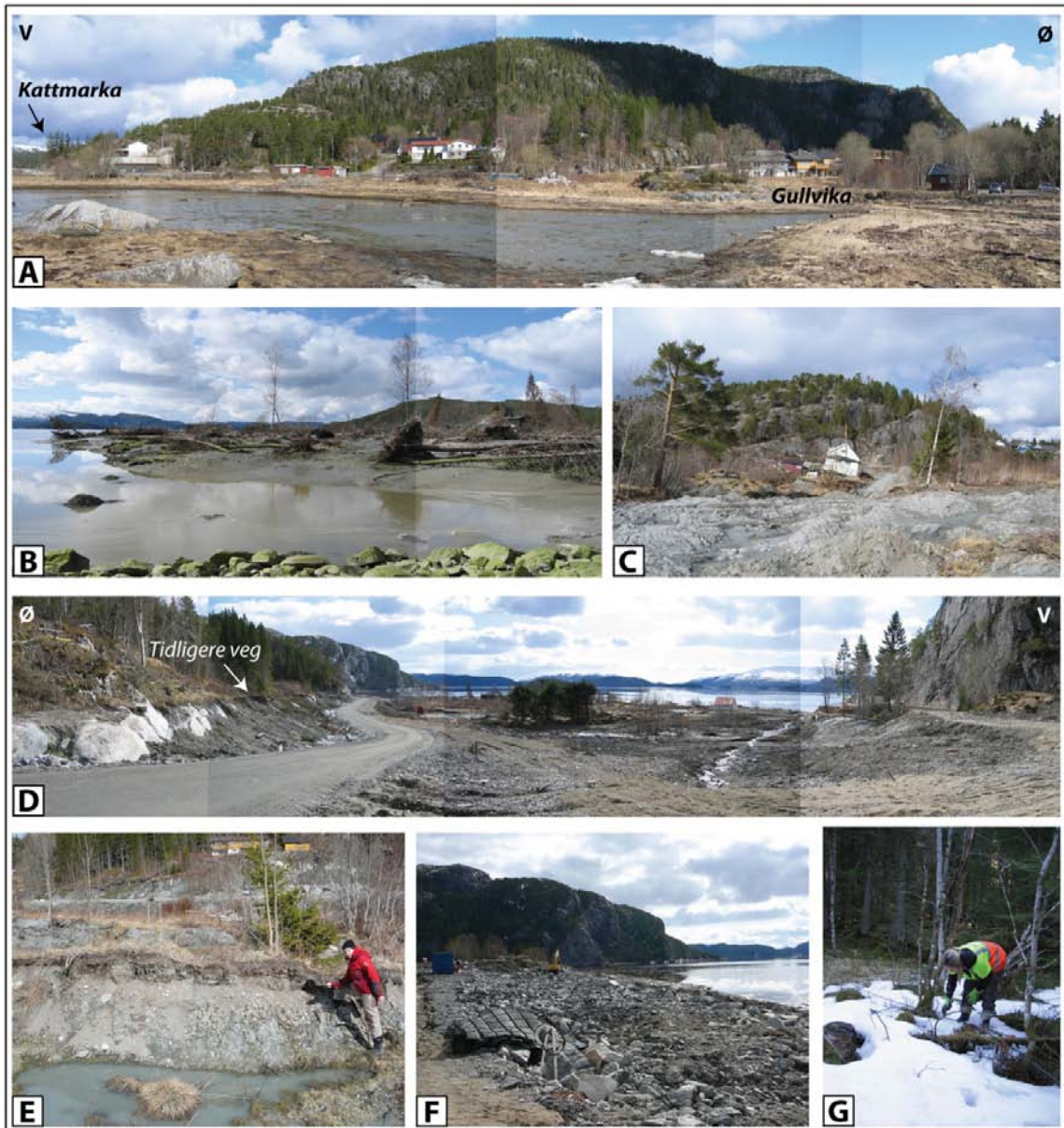
2. STUDIEOMRÅDET

Studieområdet ligger i Namsos kommune i Nord-Trøndelag, og er delt i to lokaliteter (adskilt av en ca. 200 m høy ås): Kattmarka og Gullvika. I ”lokaliteten Kattmarka” inngår skredgropa (fra 2009) og Kattmarkmoen, og i ”lokaliteten Gullvika” inngår Gullvika, Fiolvika og Gullvikmoen (fig. 3). Lokalitetene kjennetegnes av nokså trange små daler med sedimentlommer mellom fjellblotninger. Marin grense i området er ca. 140 m over dagens havnivå (Sveian 1991). Sedimentene er hav- og fjordavsetninger, både som tykt og tynt dekke, og marine strandavsetninger (fig. 1). Berggrunnen består av migmatittgneis, granittisk til granodiorittisk sammensetning (Solli et al. 1997).

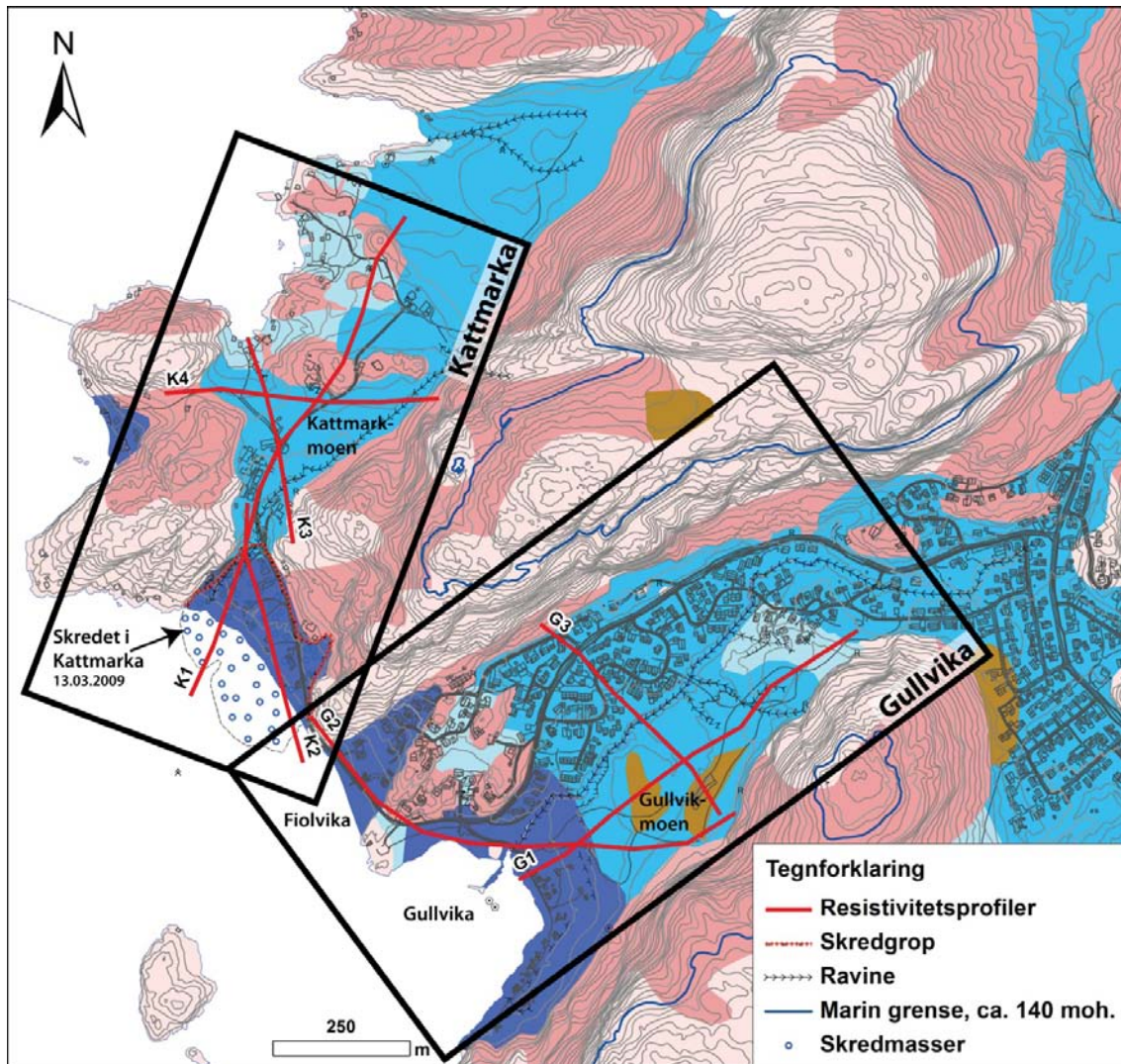


Figur 1: Området hvor resistivitetsmålingene er utført ligger like vest for byen Namsos. Det kvartærgeologiske kartet viser sedimentfordelingen i overflata (Sveian 1991).

13. mars 2009 raste det ut et ca. 30 000 m² område i Kattmarkveien, som tok med seg 4 boligenheter og 6 fritidseiendommer (Nordal et al. 2009; fig. 2b-e). Kvikkleireskredet isolerte ca. 15 hus lenger inn i Kattmarka. Ingen mennesker omkom i hendelsen. Konklusjonen fra undersøkelsesgruppa etter hendelsen var at skredet var utløst av en relativt beskjeden sprengning knyttet til utvidelse av veg. Initialskredet startet nær sjøen, og utvidet seg nordvestover. Kartlegging av kvikkleiras omfang og avgrensning i området var ikke godt nok utredet i prosjekteringen av den nye vegen (Nordal et al. 2009). Området er ikke avmerket som noen faresone for kvikkleireskred, selv om kartbladet er utredet (Tuft 1993).



Figur 2: A: Gullvika. B,C: Skredmasser i Kattmarka ca. ett år etter skredhendelsen. D: Skredgropa i Kattmarka ca. ett år etter hendelsen: de fleste husene i gropa er fjernet, og ny veg gjennom området er anlagt. E: Skredblokk med intakt lagdeling fra den tidligere jordoverflata: grus over leire med jordsmonn på toppen. Grusavsetningen inneholder avrundede steiner og tolkes som strandavsetning. F: Støttefylling i Fiolvika. G: Utlegg av strømkabler og elektroder i Gullvika (Foto A-D, G: Inger-Lise Solberg; Foto E, F: Louise Hansen).



Figur 3: Oversikt over plasseringen av resistivetsprofilene i Namsos: K1-K4 er i lokalitet Kattmarka, G1-G3 er i lokalitet Gullvika. Det kvartærgeologiske kartet i bakgrunnen er modifisert etter Sveian (1991), se fig. 1 for ytterligere tegnforklaring. Større kart over hver lokalitet finnes i vedlegg 2. Ekvidistanse 5 m.

3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

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 har vist seg å være 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.

Tabell 1: Data fra innsamlingen av 2D resistivitet (og IP). For alle profiler: Gradient elektrodekonfigurasjon og 5 m elektrodeavstand. Under hele måleperioden var det oppholdsvær, kaldt og ikke tele (muligens tele i dypet).

Dato	Profil-nr.	Antall meter	Tidsbruk totalt (timer)	Markslog
20-21.04.2010	K1	1000	23	Bløt leire (skredgrop), dyrka mark, veg
21.04.2010	K2	500	10	Bløt leire (skredgrop), veg
22.04.2010	G1	800	20	Skog, myr
23-24.04.2010	G2	900	21	Veg, skog
24.04.2010	K3	400	8	Skog, dyrka mark
25.04.2010	K4	500	10	Skog, dyrka mark
26.04.2010	G3	500	12	Boligområde, skog

3.2 Strømstyrke og datakvalitet

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

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

For mer detaljer om resistivitetsmetoden og dens anvendelse knyttet til kvikkleire-kartlegging henvises det til Solberg et al. (2011).

4. KLASSIFISERING AV SEDIMENTER FRA RESISTIVITETSVERDIER

Tabell 2 og figur 4 viser en klassifisering av sedimenter fra resistivitetsverdier som kan benyttes som utgangspunkt for tolkning av 2D resistivitetsprofiler (for mer utførlig diskusjon av klassifisering, se f.eks. Solberg et al. (2008) og Solberg et al. (in press)). Det er viktig å være klar over at det er gradvise overganger mellom klassene, slik det gjerne også er i sedimentene selv. Det kan også være lokale variasjoner avhengig av f.eks. porevannskjemi, metningsgrad og mineralsammensetning. Etter supplerende undersøkelser/sammenligning med geotekniske data, vil grensene for den aktuelle lokaliteten kunne bli justert. Ved måling langs sjøen vil de dypeste delene av profilet ofte være påvirket av det godt ledende saltvannet, slik at profilet her vil kunne vise for lave verdier.

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 og mineralsammensetning (basert på bl.a. Berger 1983, Solberg et al. 2008 og Solberg et al. 2011).

Resistivitetsverdier	Materiale	Fargekode (NGUs kvikkleire-prosjekter)	Beskrivelse
1-10 Ω m	Ikke-utvaskede marine leiravsetninger	Blå	Leira har vært lite utsatt for utvasking etter avsetning. Porevannet inneholder fremdeles mye ioner som stabiliserer strukturen og gir god ledningsevne og dermed lave resistivitetsverdier. Godt ledende mineraler som sulfider og grafitt, og andre sedimenter mettet med ionerikt vann kan også gi lave resistivitetsverdier.
10-100 Ω m	Utvaskede marine leiravsetninger	Grønn, gul	Utvasking av leire fører til færre ioner i porevannet og ved et saltinnhold på mindre enn ca. 5 g/l kan kvikkleire dannes. 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+ Ω m	Tørrskorpeleire	(Gul), Orange	Tørrskorpeleire, leirskredmasser, sand og grus vil generelt ha høyere resistivitetsverdier. 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.
50-150 Ω m	Siltige masser	Gul, orange	
150+ Ω m	Sand, grus	Orange, rød, mot lilla	
1000+ Ω m	Fjell	(Rød), Lilla	



Figur 4: Fargeskala som brukes i NGU-prosjekter knyttet til kartlegging av potensiell kvikkleire (Solberg et al. 2011).

Resistivitetsverdier fra ca. 1-10 Ωm (lav resistivitet) er 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. Tørreskorpeleire er vanligvis mellom 100 Ωm og 200 Ωm . I dette studiet er 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 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 (Reiser et al. 2010). I tillegg blir ofte fjelldypet forskjøvet nedover.

5. GEOTEKNISKE UNDERSØKELSER

Det er utført en rekke geotekniske undersøkelser i studieområdet (se referanser senere): dreiesonderinger, dreietrykksonderinger, trykksonderinger, totalsonderinger, vingebortester, prøvetaking med laboratorieundersøkelser og poretrykksmålinger. Ved sonderboringer indikeres kvikkleire ved konstant eller synkende boremotstand, mens ikke-sensitive leire indikeres ved økende boremotstand med dybden. Påvisning av kvikkleire er likevel bare sikker ved opptak av uforstyrrede prøver (prøvetaking) som testes i laboratoriet hvor geotekniske materialegenskaper bestemmes.

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 kN/m² 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 $s_r < 2$ kN/m² for potensielt kollapsibelt leirmateriale (dvs. leire som utviser sprøbruddegenskaper) (NVE 2009). Dette gir en bredere klassifisering av sensitivitet enn den klassiske.

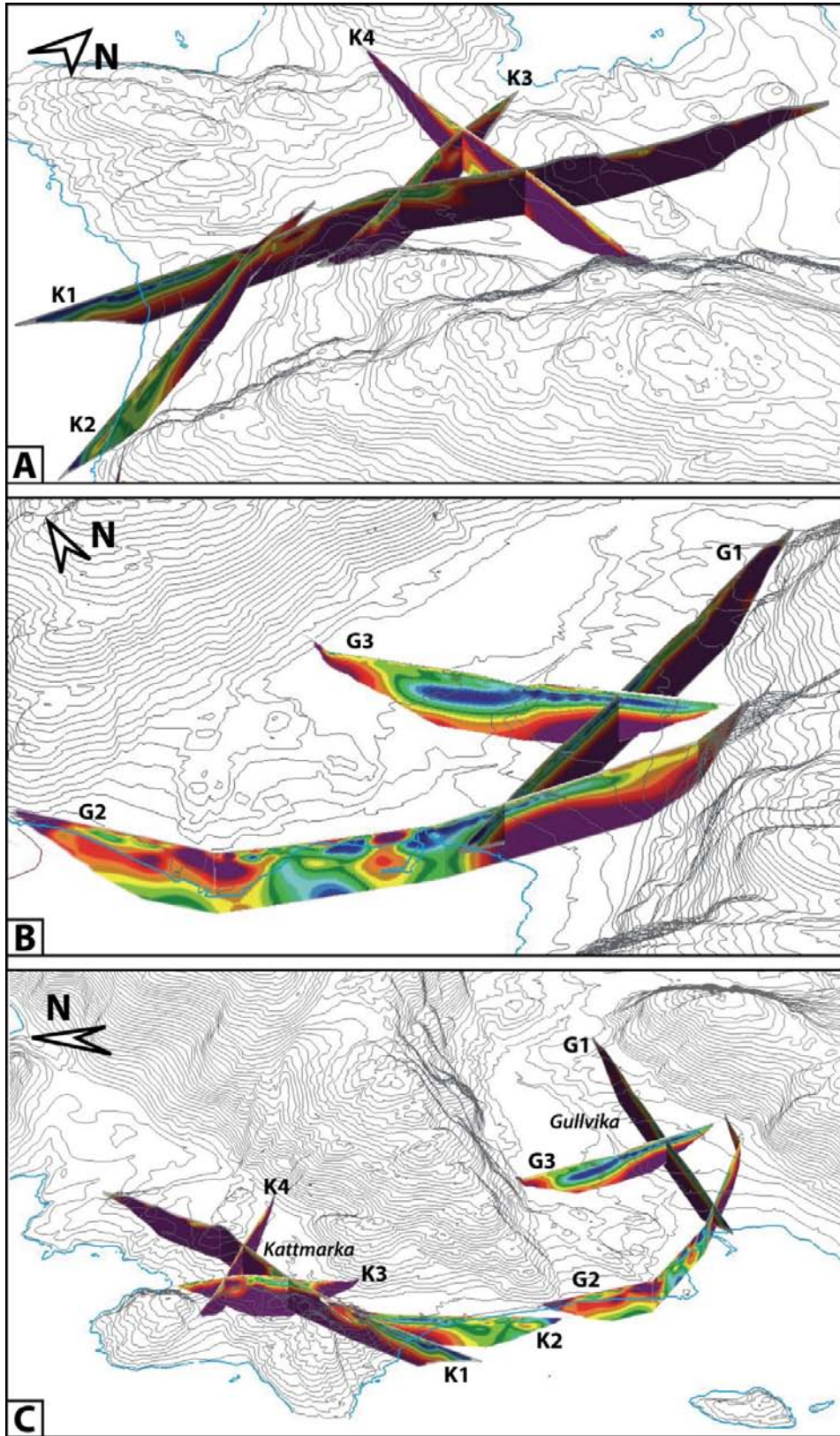
6. RESULTATER OG TOLKNING AV RESISTIVITETSDATA, OG SAMMENLIGNING MED GEOTEKNISKE DATA

6.1 Innledning

For å kartlegge løsmasseavsetningene i Namsos er det målt til sammen 4,6 km 2D resistivitetsprofiler. Beliggenheten til de målte profilene er vist i figur 3, se vedlegg 2 for større kart av de to lokalitetene Kattmarka og Gullvika. De inverterte resistivitetsdata som er vist på figurene har samme fargeskala og er utført med standard inversjon ("Least Square"/"Smooth" inversjon) 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). Figur 4 er en sammenstilling av profilene i et 3D-program. Dette er gjort for å se hvordan profilene overlapper hverandre, og for lettere å kunne sammenligne dem.

2D resistivitetsprofiler inneholder mest data i øvre og midtre deler. Tolkning i ytterkantene og dypere deler av profilene må derfor gjøres med forsiktighet. Eksakt avstand til dyptliggende lag må verifiseres med andre metoder. Enkelte av de målte resistivitetsprofilene har høye feilverdier fra inverteringen ("rms error"-verdier opp til 22,4 for profil G2). En forklaring til dette kan være de raske skiftene/store variasjoner i resistivitetsverdier (grunt til fjell med høye resistivitetsverdier). Flere iterasjoner i inverteringer vil ikke gi vesentlig lavere rms-error.

Alle geotekniske data fra Kattmarka og Gullvika ble samlet inn før sikringsarbeider i områdene ble utført, mens resistivitetsmålingene ble utført i etterkant. På figurene der sonderingsprofiler er lagt over resistivitetsprofilene er avstanden fra sonderingspunkt til profillinja for 2D-målingene oppgitt, dersom avstanden er mer enn 5 m. Der avstanden er over 25 m er dette markert med rød tekst, og her er samtolkning mellom sonderingsdata og resistivitetsdata gjort ekstra forsiktig. Det er stedvis nokså store lokale variasjoner i geologien, bl.a. dyp til fjell, slik at sonderingene ikke nødvendigvis er representative selv om de ligger nokså nær resistivitetsprofillinja. Geotekniske datapunkt i studieområdet er vist i vedlegg 3. Sonderingsprofilene som er lagt over resistivitetsprofilene blir på de fleste figurene i denne rapporten svært små og utydelige, men er likevel tatt med som illustrasjon på hvordan sammenligningen er foretatt.



Figur 5: Resistivetsprofilene satt sammen for kvasi-3D-visning i programmet ArcScene (fra ESRI). Se fig. 3 for skala og profilplassering. A: Profil K1-K4 fra Kattmarka, B: Profil G1-G3 fra Gullvika, C: Alle profilene.

Tabell 3 gir en oversikt over sikrings-/anleggsarbeid utført i Kattmarka og Gullvika. Kalk-sement-pelingen i skredgrova ble utført i perioden 30.10.-17.11.2009, og på Kattmarkmoen 17.11.2009-20.01.2010 (Pers. med. V. Opdahl 2011). Områdene for plassering av pelene er skissert i vedlegg 3, og de ble satt ned til det dyp hvor borstanga møtte kontant motstand. Ved denne typen sikring blir en blanding av kalk og sement blandet inn i omrørt leire som stivner til harde pilarer i grunnen. Disse bør i prinsippet komme ut med relativt høye resistivitetsverdier på profilene.

I det følgende blir hvert profil først beskrevet ut fra resistivitetsdata, deretter samtolket med sonderingsdata/borehullsdata.

Tabell 3: Oversikt over sikrings-/anleggsarbeid i Kattmarka og Gullvika. Se vedleggsfig. 3 og 4 for omtrentlig plassering av kalk-sement-peling.

Hvor	Hva	Berørt profil	Profilpunkt	Resistivitetsverdier	Referanse for sikringrapport
Skredgrova, Kattmarka	Steinfylling for veg*	K1 K2	K1: ± 300 K2: 105-120, ± 400	500-flere tusen Ωm (avhengig av tykkelse)	Osnens & Hagen (2009)
Skredgrova, Kattmarka	Kalk-sement-peling (ca. 15 m dype), vertikaldren	K1 K2	K1: 275-305 K2: 385-410	Opp til ca. 20000 Ωm	Osnens & Hagen (2009)
Kattmarkmoen	Kalk-sement-peling (inntil 25 m dype), vertikaldren	K3 (K1)	K3: 200-240 (K1: ± 525)	K3: opp til ca. 200 Ωm K1: opp til ca. 400 Ωm	Osnens & Hagen (2009)
Kattmarkmoen	Steinfylling i bekk (ca. 120 m, heving av bekkebunn ca. 1 m). Kulvert: betongrør og PP-rør (plast)	K3	± 120	Opp til ca. 200 Ωm	Pers. med. V. Opdahl (2010), og observert ved befarings
Kattmarkmoen	Sand- og grus-fylling	K3	130-150	Opp til ca. ca. 500 Ωm	Observed ved befarings
Gullvika (Fiolvika)	Støttefylling/erosjons-sikring (stein) i fjæra i Fiolvika	G2	65-200	Opp til ca. 600 Ωm	Osnens et al. (2009)
Gullvika	Erosjonssikring langs Gullvikbekken og i sideravine	G3	260-350	Opp til ca. 200 Ωm	Opdahl (2001)

*Grunnen under vegen stabiliseres med innblanding av kalk i toppleirlaget, nedsetting av vertikaldren for dypstabilisering – i tillegg til stein/sand/grus-fylling

6.2 Kattmarka

I Kattmarka er det målt fire resistivetsprofiler (K1-K4). To av profilene går gjennom skredgropa (K1 og K2), og tre av profilene går over Kattmarkmoen (K1-K3). Det er godt overlapp mellom de kryssende profilene (fig. 5). Se figur 3 og vedlegg 2 for plassering av profilene.

Det er utført en rekke geotekniske undersøkelser i Kattmarka i etterkant av skredhendelsen for å kunne vurdere stabiliteten til de gjenværende massene, som grunnlag for sikringsarbeider i/utenfor skredområdet, og for gjenoppbygging av vegen i skredgropa (Ask 2009a,b; Gylland & Alén 2009; Karlsrud et al. 2009b). Se vedlegg 3 for oversikt over hvor grunnundersøkelsene er foretatt.

Resistivetsdata Profil K1

Resistivetsprofil K1 er det lengste profilet i studieområdet (1 km) og går fra sjøen, gjennom skredgropa og over Kattmarkmoen (fig. 6). Fjelloverflaten under sedimentene er undulerende, og det ser ut til å være grunt til fjell enkelte steder. Det er trolig noen svakhetssoner i fjellet (stemmer overens med fjellstrukturer i dagen). Profilet går direkte på fjell mellom profilpunktene 630-720. I skredgropa har sedimentene i overflata nær sjøen lave resistivetsverdier (1-10 Ωm), og denne lomma fortsetter inn under utvaskede sedimenter (10-100 Ωm) fra profilpunkt 125 og nordover til profilpunkt 230. Sedimentene er også utvasket ellers i profilet. Mellom profilpunktene 270-310 er det ei lomme med høye resistivetsverdier (opp til ca. 20 000 Ωm) som trolig skyldes kalk-sement-peling og steinfylling i forbindelse med sikringsarbeid (se tabell 3). Rett nord for denne er det ei lomme på 10-20 meters dyp (opp til ca. 1000 Ωm) som kan representere grove masser/morene. K1 går på Kattmarkmoen like forbi kalk-sement-pelingen (vedleggsfig. 4), og resistivetsverdiene her er opp til 300 Ωm .

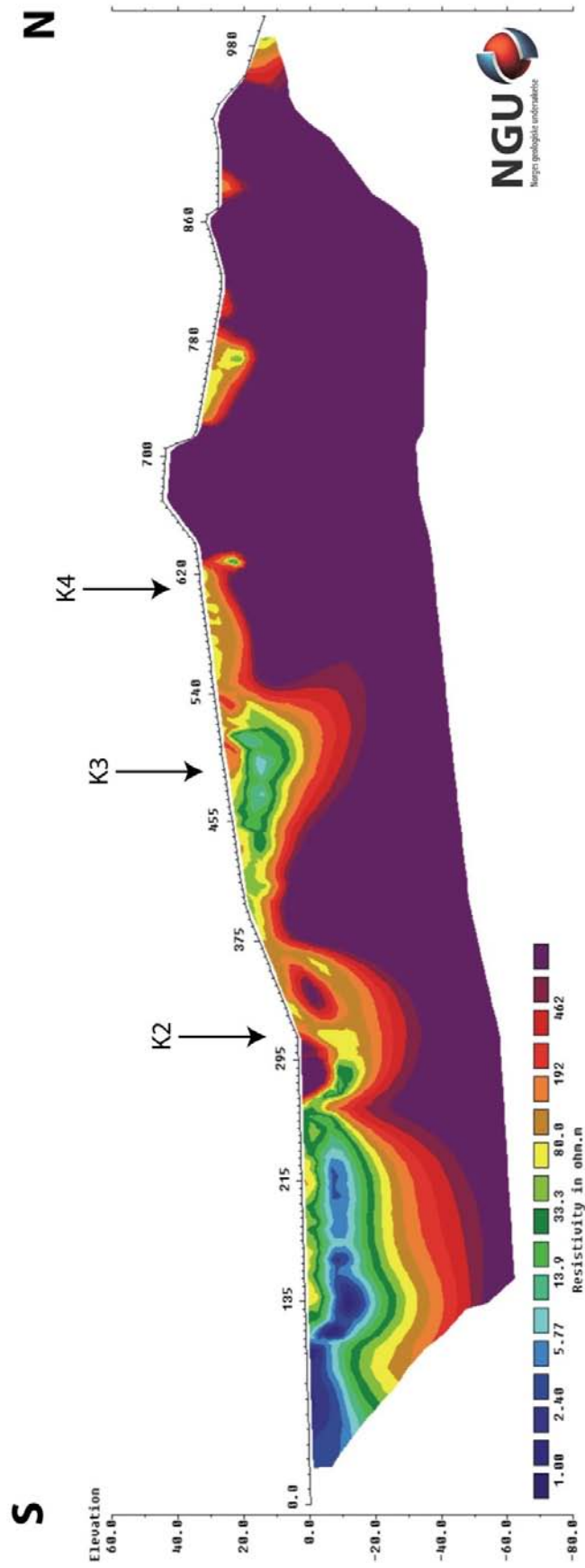
Namsos: Profil K1

Gradient

Elektrodeavstand 5 m

V/H=0,5

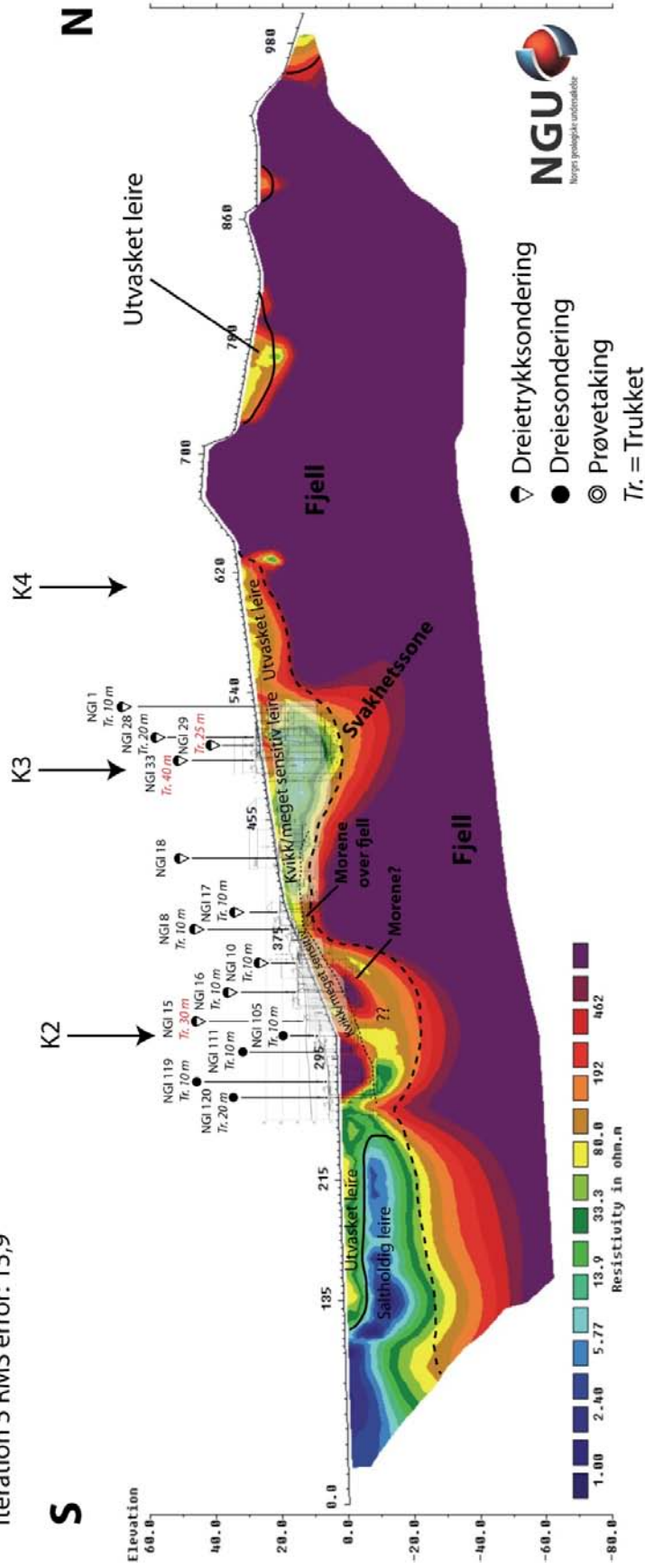
Iteration 5 RMS error: 15,9



Figur 6: Resistivetsprofil K1 går gjennom skredgroppa og over Kattmarknoen.

Namsos: Profil K1

Gradient
 Elektrodeavstand 5 m
 V/H=0,5
 Iteration 5 RMS error: 15,9

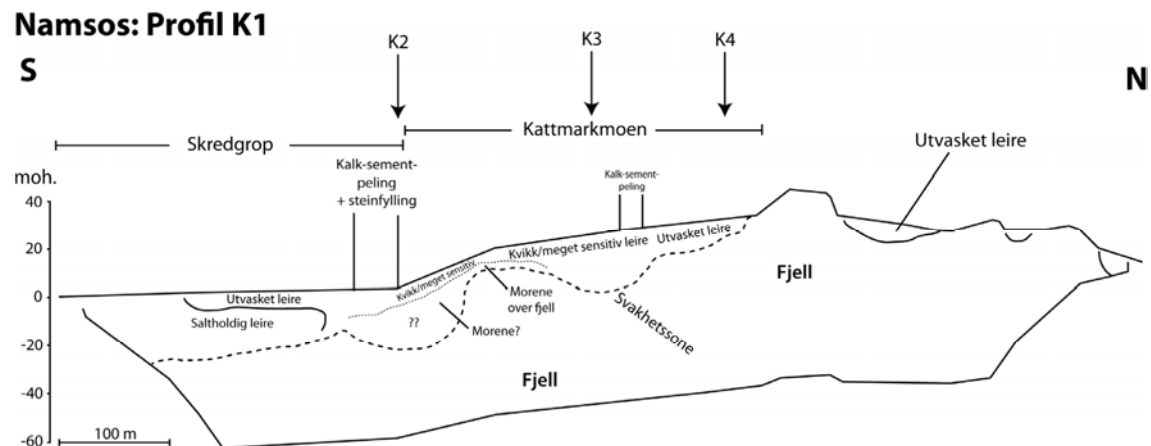


Figur 7: Geotekniske data lagt over og tolket sammen med resistivitetsprofil K1 i Kattmarka (NGI: Ask 2009a,b; Karlsrud et al. 2009b).

Resistivetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil K1

Geotekniske data som kan sammenlignes med resistivetsprofil K1 konsentrerer seg i overgangen fra skredgropa og opp på Kattmarkmoen (fig. 7). Siden resistivetsmålingene er utført etter sikringsarbeidet, og de geotekniske undersøkelsene før, vil noen av grunnundersøkelsene ikke være representative for dagens forhold.

I nedre del av flere av sonderingene på vei opp til Kattmarkmoen er det indikert grove masser (f.eks. NGI 8, 12, 14, 16 og 17). Dette er trolig grov morene som ligger over fjell, og deler av resistivetsprofilen viser her høye verdier (opp til 1000 Ωm). Leira over de grove massene var i utgangspunktet kvikk/meget sensitiv (vist ved både prøvedata og sonderingsdata), og resistivetsverdiene her er ca. 10-100 Ωm , bortsett fra høyresistivetslomma som representerer kalk-sement-peling/steinfylling (fig. 8). Lenger nord (på Kattmarkmoen) indikerer mange av sonderingene meget sensitiv/kvikk leire, og de aktuelle resistivetsverdiene ligger stort sett i "kvikkleireintervallet" (10-100 Ωm , se tabell 2).



Figur 8: Samtolket profil K1 i Kattmarka: geotekniske data og resistivetsdata.

Resistivetsdata Profil K2

Profil K2 krysser K1, men de ligger med en nokså liten vinkel i forhold til hverandre. K2 som er kortere enn K1 går hovedsakelig gjennom skredgropa, og ligger parallelt med fjellsida i øst. Helt i sør ligger saltholdig leire med lave resistivetsverdier i overflata (1-10 Ωm), videre nordover dominerer 10-100 Ωm -intervallet. K2 har noen lommer i overflata på opp til minst 500 Ωm (fig. 9). I sør er dette trolig noe av steinfyllingen knyttet til vegbyggingen. Videre langs profilet kan dette være rester av de marine strandavsetninger som sees på det kvartærgeologiske kartet for området (Sveian 1991) og som ble observert i skredgropa under befarig (40-50 cm tykt lag av sand/grus, fig. 2e). De høye resistivetsverdiene i overflata kan også skyldes rester av grunnmurer, fyllmasser og/eller tørrskorpe i skredmassene. Mellom profilpunktene 235 og 370 er det ei lomme saltholdig leire, tilsvarende profil K1. De høye verdiene i nord er trolig knyttet til kalk-sement-peling og steinfylling i forbindelse med sikringsarbeidene, se tabell 3. I den nordlige halvdel av K2 er det høye resistivetsverdier i dypet (trolig grove masser og fjell).

Resistivetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil K2

Langs dette profilet er det en rekke geotekniske undersøkelser (hovedsakelig dreiesonderinger) (fig. 10). En av sonderingene lengst sør er utført av NTNU (S5-B, trukket 20 m) og prøvetaking her viser middels til meget sensitiv leire og saltinnhold på 2-3 g/l som avtar med dypet. Resistivetsverdiene her øker fra ca. 6 Ωm i toppen til ca. 50 Ωm mot dypet (verdiene her kan være noe påvirket av salt porevann fra sjøvannet), altså nokså godt samsvar. Sonderingen videre mot nord indikerer generelt bløte/kvikke masser der resistivetsverdiene ligger i kvikkleireintervallet, med noe økende boremotstand i den saltholdige leirlomma mellom profilpunktene 235 og 370. De fleste sonderingene stopper mot antatt fjell (evt. faste masser) – og her er det ikke samsvar med resistivetsverdiene som antyder at fjelloverflata stuper bratt ned fra midten av profilet mot sør. På den dype delen av resistivetsprofilet kan sjøvannet ha influert på målingene og gitt de lave verdiene. Samtolkingen er vist i figur 11.

I skråningen som utgjør bakkant av skredgropa viser sonderingene stort sett ingen/liten boremotstand, så leira her var det trolig meget sensitiv/kvikk før kalk-sement-peling/steinfylling. Sonderingene her stopper mot antatt fjell/grove masser.

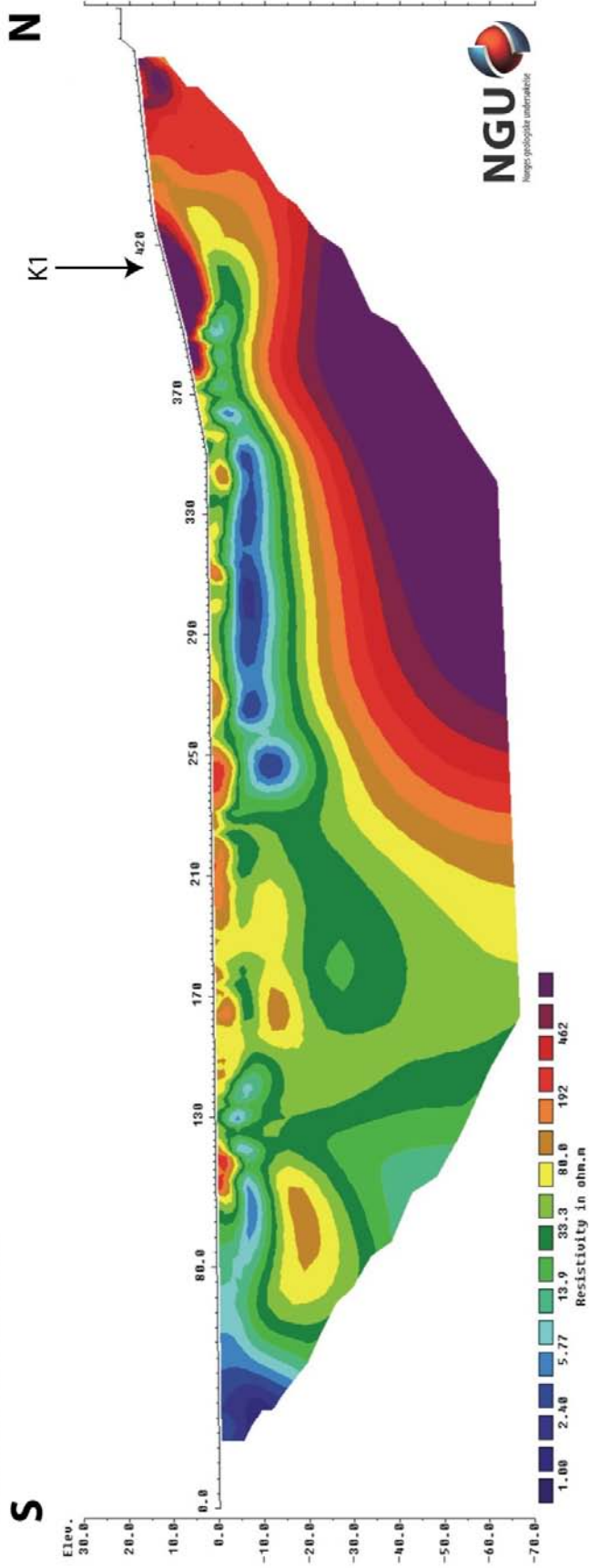
Namsos: Profil K2

Gradient

Elektrodeavstand 5 m

V/H=0,5

Iteration 5 RMS error: 12,0

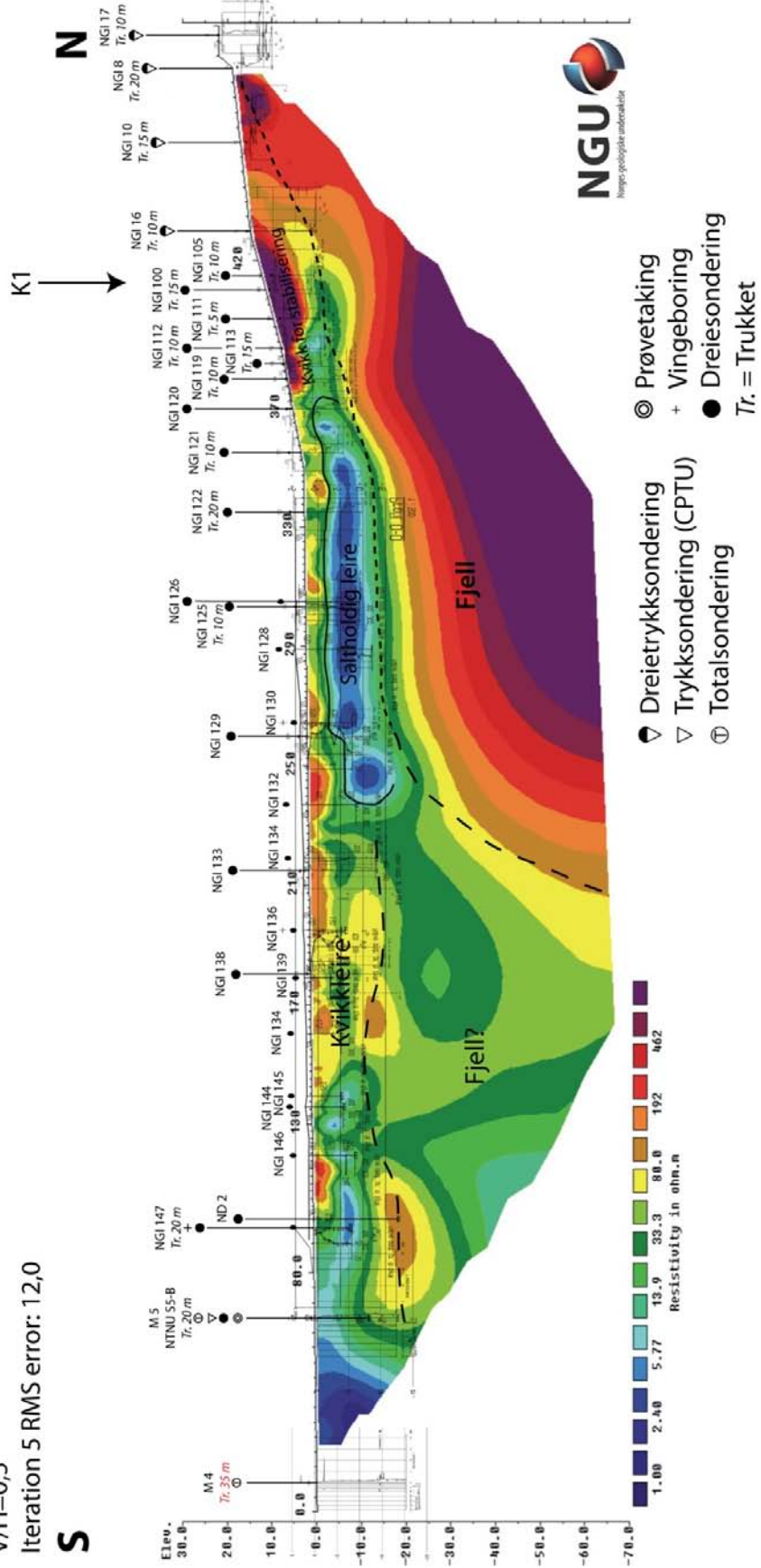


Figur 9: Resistivetsprofil K2 går gjennom skredgroppa i Kattmarka.

Namsos: Profil K2

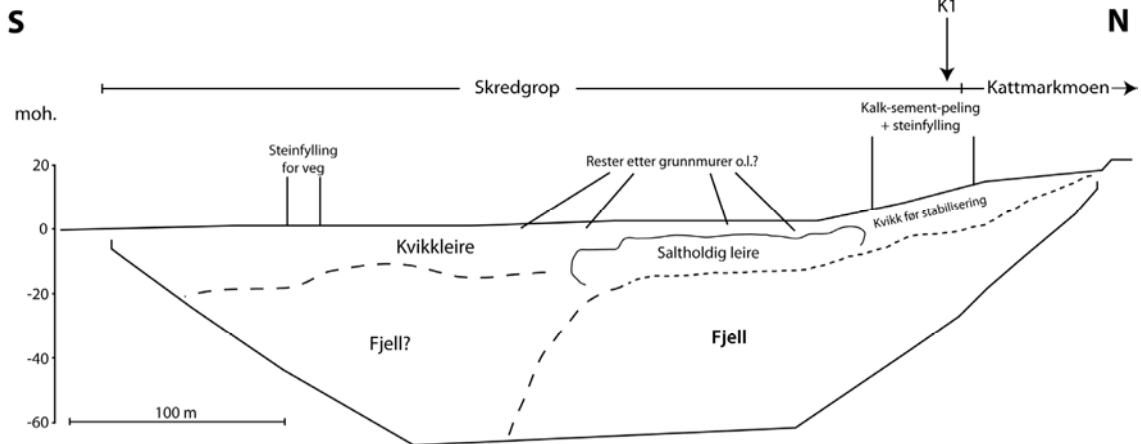
Gradient
 Elektrodeavstand 5 m
 V/H=0,5
 Iteration 5 RMS error: 12,0

S



Figur 10: Geotekniske data lagt over og tolket sammen med resistiviteitsprofil K2 i Kattmarka (NGI: Ask 2009a,b; M: Vik 2009; NTNU/ND: Gylland & Alén 2009).

Namsos: Profil K2



Figur 11: Samtolket profil K2 i Kattmarka: geotekniske data og resistivitetsdata.

Resistivitetsdata Profil K3

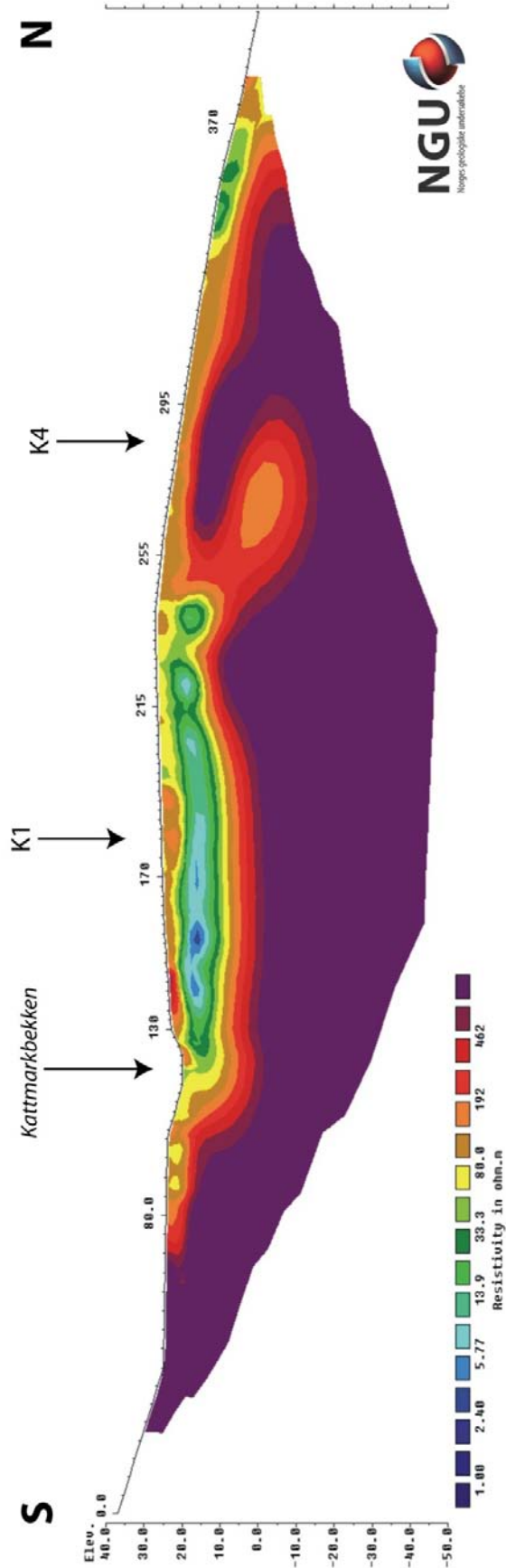
Profil K3 starter på fjell i sør. I midtre deler av profilet er det ei nokså dyp sedimentlomme (ca. 20 m) (fig. 12). Denne har i hovedsak utvaskede sedimenter (10-100 Ω m), men det er trolig rester av saltholdig leire i ei lita lomme (< 10 Ω m) mellom profilpunktene 135 og 185. På toppen er det tørrskorpe (100-200 Ω m), fyllmasser for bekkesikring (ca. 200 Ω m) og sand/grus-fylling (opp til 500 Ω m, profilpunkt 130-150) (tabell 3). Ved profilpunkt 200-240 er det utført kalk-sement-peling, men dette gir ikke noe spesielt utslag på resistivitetsverdiene her, som ved den andre lokaliteten for kalk-sement-peling (se profil K1/K2). Der terrenget heller ned mot sjøen i nord er det nokså grunt til fjell, og her er sedimentene utvasket (ca. 100 Ω m øverst, 10-100 Ω m nærmere sjøen). Det ser ut til å være ei svakhetszone i fjellet fra profilpunkt 230 og på skrå nedover mot nord.

Resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil K3

På Kattmarkmoen indikerer sonderingene generelt nokså sensitive masser (fig. 13), og dette er i hovedsak samsvarende med resistivitetsverdiene. Fjelltopografien under sedimentene er trolig nokså undulerende, i tillegg til at det stedvis er grunt til fjell, noe som gjør at inntrekking av sonderingspunkter til profillinja kan gi misvisende resultater selv på kort avstand (f.eks. NGI 22, 24 og 26 som er trukket 10-15 m). Samtolkingen er skissert i figur 14.

Namsos: Profil K3

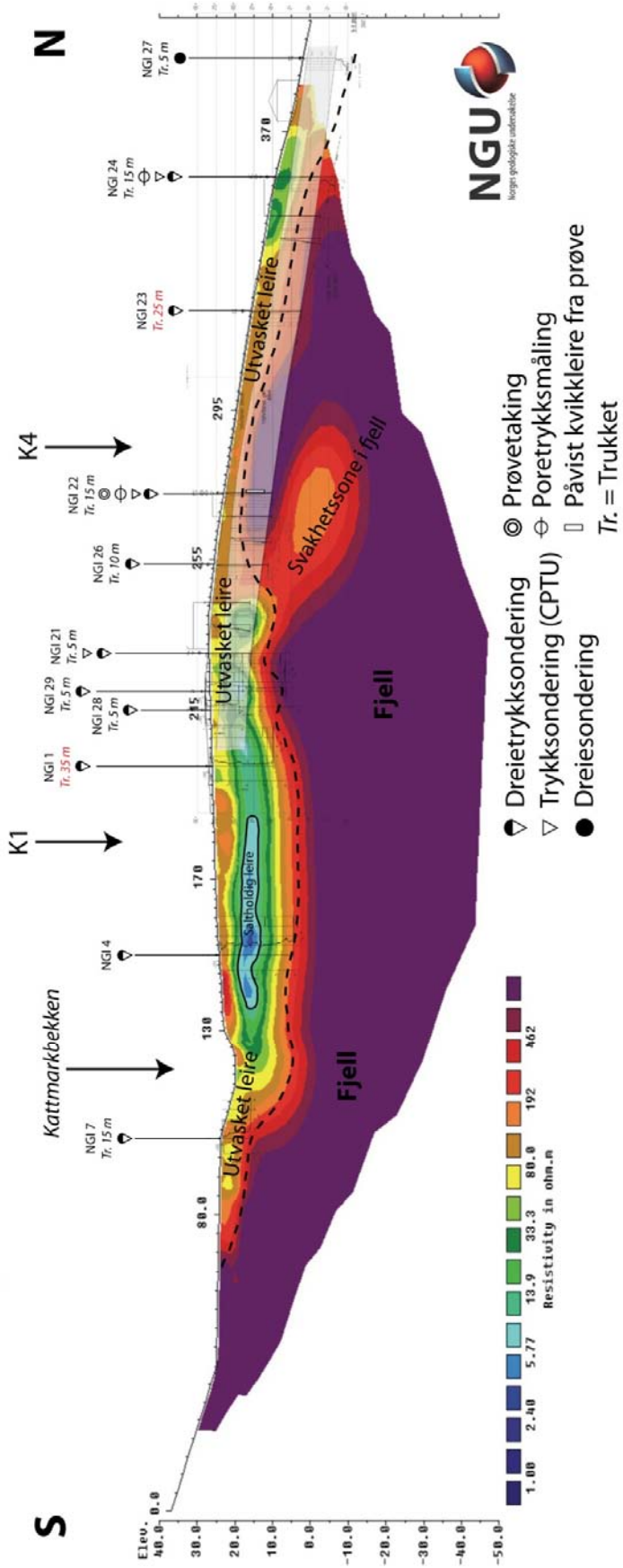
Gradient
Elektrodeavstand 5 m
V/H=0,5
Iteration 5 RMS error: 8,2



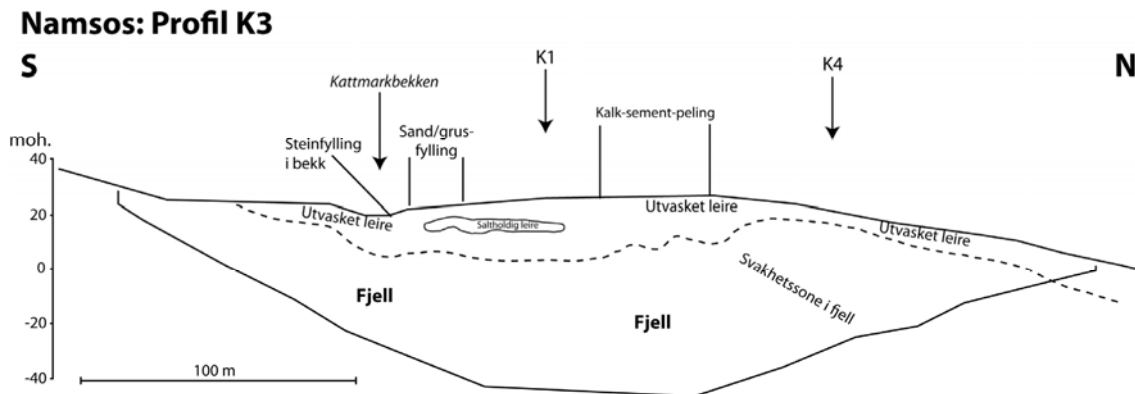
Figur 12: Resistivetsprofil K3 går over Kattmarkmoen.

Namsos: Profil K3

Gradient
 Elektrodeavstand 5 m
 V/H=0,5
 Iteration 5 RMS error: 8,2



Figur 13: Geotekniske data lagt over og tolket sammen med resistivitetsprofil K3 på Kattmarkmoen (NGI: Ask 2009a; Karlsrud et al. 2009b).



Figur 14: Samtolket profil K3 på Kattmarkmoen: geotekniske data og resistivitetsdata.

Resistivitetsdata Profil K4

Sedimenttykkelsen i profil K4 ser ut til å være noe begrenset (fig. 15). Den tykkeste lomma (ca. 15 m) ligger trolig over ei svakhetszone i fjellet (profilpunkt ± 150) som heller mot øst. Sedimentene i profilet er utvaska (10-100 (200) Ωm).

Resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil K4

Langs dette profilet er det kun 3 sonderingspunkter som kan brukes for sammenligning med resistivitetsprofilet, og disse er trukket 15-35 m inn til profilet (fig. 16). På resistivitetsprofilet er det kun noen lommer med sedimenter mellom fjell, og disse antyder utvasket leire. Det samme gjør sonderingene, og prøven i NGI 22 viser kvikkleire. Som for profil K3 har den undulerende fjelloverflata betydning for om de inntrukne sonderingsprofilene har samsvarende fjelldyp med resistivitetsprofilet. Samtolkingen er skissert i figur 17.

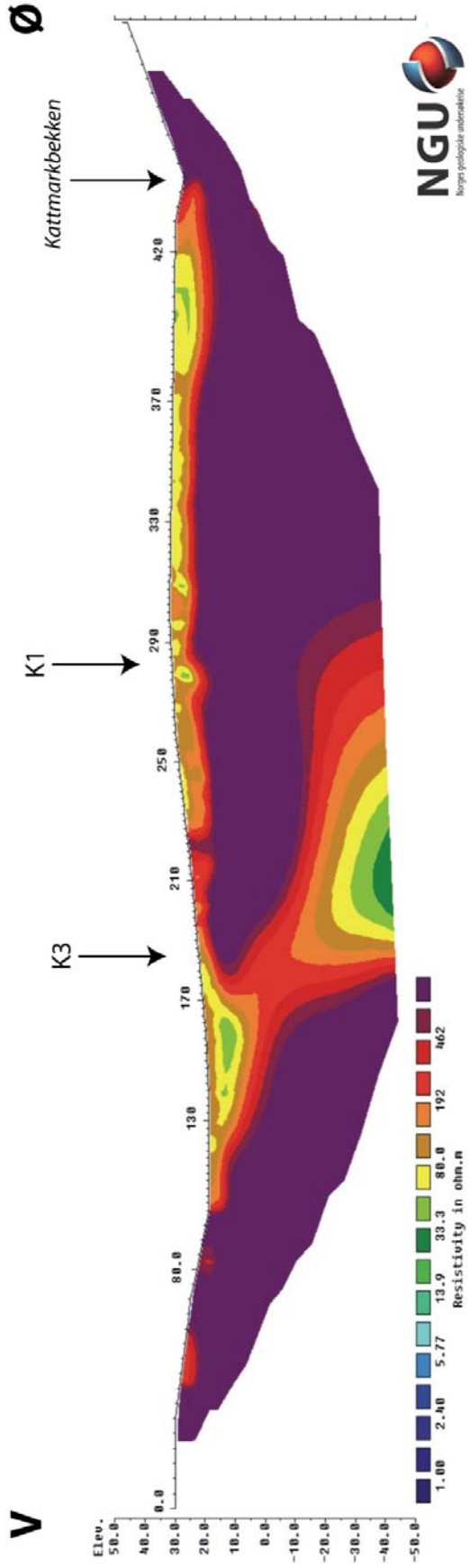
Namsos: Profil K4

Gradient

Elektrodeavstand 5 m

V/H=0,5

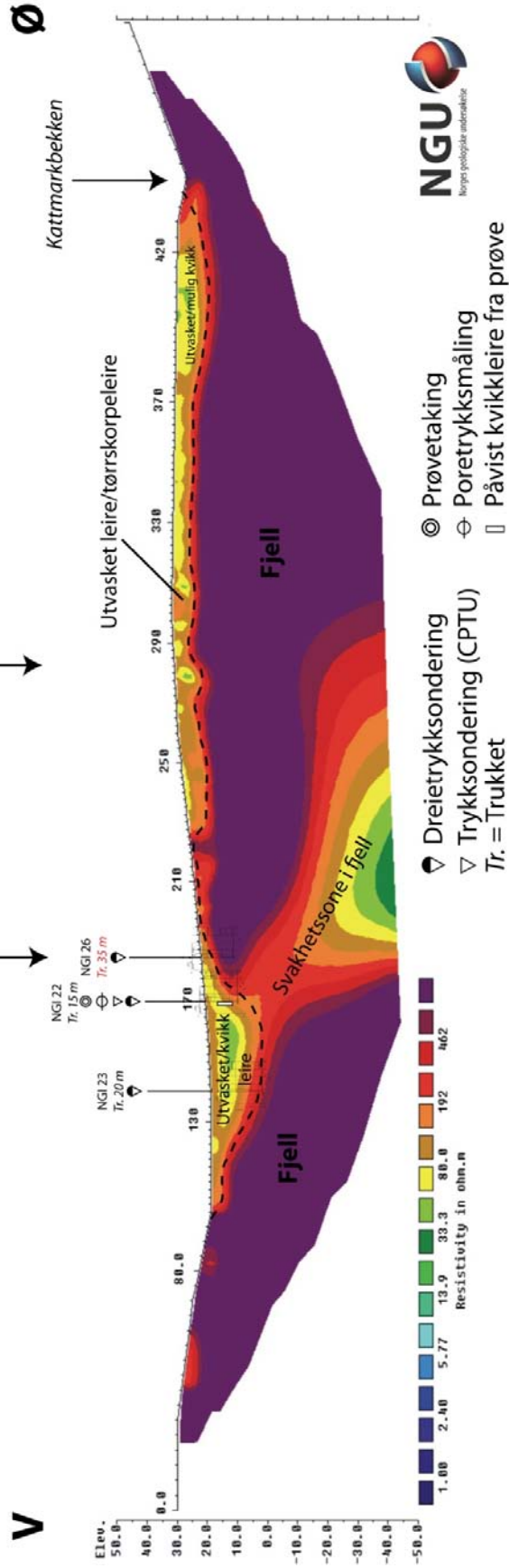
Iteration 5 RMS error: 7,0



Figur 15: Resistivitetsprofil K4 går over Kattmarkmoen.

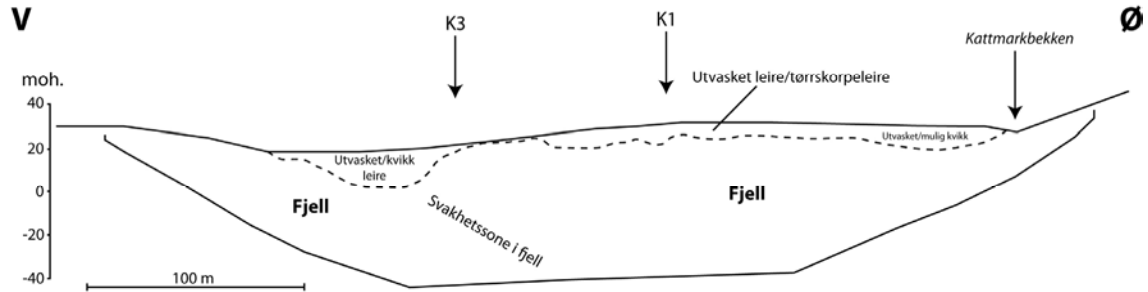
Namsos: Profil K4

Gradient
 Elektrodeavstand 5 m
 $V/H=0,5$
 Iteration 5 RMS error: 7,0



Figur 16: Geotekniske data lagt over og tolket sammen med resistiviteitsprofil K4 på Kattmarkmoen (NGU: Ask 2009a).

Namsos: Profil K4



Figur 17: Samtolket profil K4 på Kattmarkmoen: geotekniske data og resistivitetsdata.

6.3 Gullvika

I Gullvika er det målt tre resistivetsprofiler (G1-G3). To profiler ligger innover i vika (G1 og G3), mens ett profil i hovedsak går langs sjøen (G2). Det er svært godt overlapp mellom de kryssende profilene (fig. 5). Se figur 3 og vedlegg 2 for plassering av profilene.

Geotekniske data fra Gullvika er relativt gamle og er ikke koordinatfestet slik at nøyaktig plassering er noe vanskelig (Kummenje & Enlid 1978, 1979a,b). Unntaket er data fra Fiolvika som er av nyere dato (Karlsrud et al. 2009a; Vik 2009). Se vedlegg 3 for oversikt over hvor grunnundersøkelsene er foretatt.

Resistivetsdata Profil G1

Profil G1 går fra sjøen og opp gjennom Gullvika. Dyp til fjell minker mot nordøst (fig. 18). Sedimentene ser ut til å være utvasket i topp og nedenfra (10-100 Ωm), med ei lavresistivetslomme i mellom (1-10 Ωm) fram til profilpunkt 455. Denne lomma kommer opp til overflata sørvest i profilet, ved sjøen. I den nordøstlige delen av profilet kommer fjell opp i dagen, dette ble observert som fjellblotninger ved befarung. Denne delen av profilet (profilpunkt 670-760) er også avmerket som tynne hav- og fjordavsetninger på det kvartærgeologiske kartet (Sveian 1991). Ved profilpunkt ± 460 er det fylt opp sand/grus til en fotballbane, så dette er nok grunnen til de litt høyere verdiene (opp til 300 Ωm) i overflata her.

Resistivetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil G1

Langs G1 er det valgt å benytte geotekniske data fra 12 dreiesonderinger (fig. 19). I tre av disse punktene er det også tatt prøver (med laboratorietester). Samtolkingen er skissert i figur 20. En rekke av sonderingene går ned til antatt fjell, men noen av disse kan også ha stoppet mot blokk eller grove masser. Dette er antydning i den sørvestlige delen av profilet, men kan godt gjelde langs flere deler av profilet (som antydning i nedre del av enkelte sonderingsprofiler i nordøst). Grunnundersøkelsene i K10 og K7 (trukket 40-50 m inn til profilet), ligger mer mot midten av dalen (mot nordvest), og her ligger fjellet trolig noe dypere enn under profillinja. Hvis K10 og K7 skyves opp slik at antatt fjelldyp ligger på tolket fjelldyp, stemmer data godt overens med resistivetsverdiene i forhold til tolket kvikkleire (10-100 Ω m). For de grunnundersøkelsene som er foretatt langs profillinja er det generelt godt samsvar mellom geotekniske data og resistivetsdata, mens de fleste av grunnundersøkelsene som er trukket 40-50 m stemmer dårligere. Det er mulig kvikkleirelommer har en helning ned mot bekken, hvis man sammenligner med sonderingsprofil K16 som er 50 m nord for profilet. K32 ligger mellom profilene G1 og G3, men stemmer nokså dårlig med begge profiler når sonderingsprofilen trekkes rett inn (fig. 21a). Hvis man tolker området som helhet/i 3D stemmer K32 overens med at det finnes utvasket leire til siden for den saltholdige lomma på begge profiler (G1 og G3). Dette er nokså nært fjell, med tilgang på til grunnvann med høyere trykk og dermed grunnlag for større grad av utvasking/kvikkleireutvikling.

Tolkningen av resistivetsdata mellom lommene av saltholdig leire og fjell vil være noe usikker av metodiske årsaker. Det vil uansett bli en gradvis overgang mellom lave resistivetsverdier fra saltholdig leire og opp til høye fjellverdier. Geologisk sett vil det her være naturlig med en utvasking av leira også nedenfra på grunn av de bratte åssidene, og sonderingene i K17 og K32 indikerer at leira kan være noe utvasket her. Prøvetaking i K33 påviser kvikkleire. Utover dette har utvasking skjedd fra overflata og ned i avsetningen.

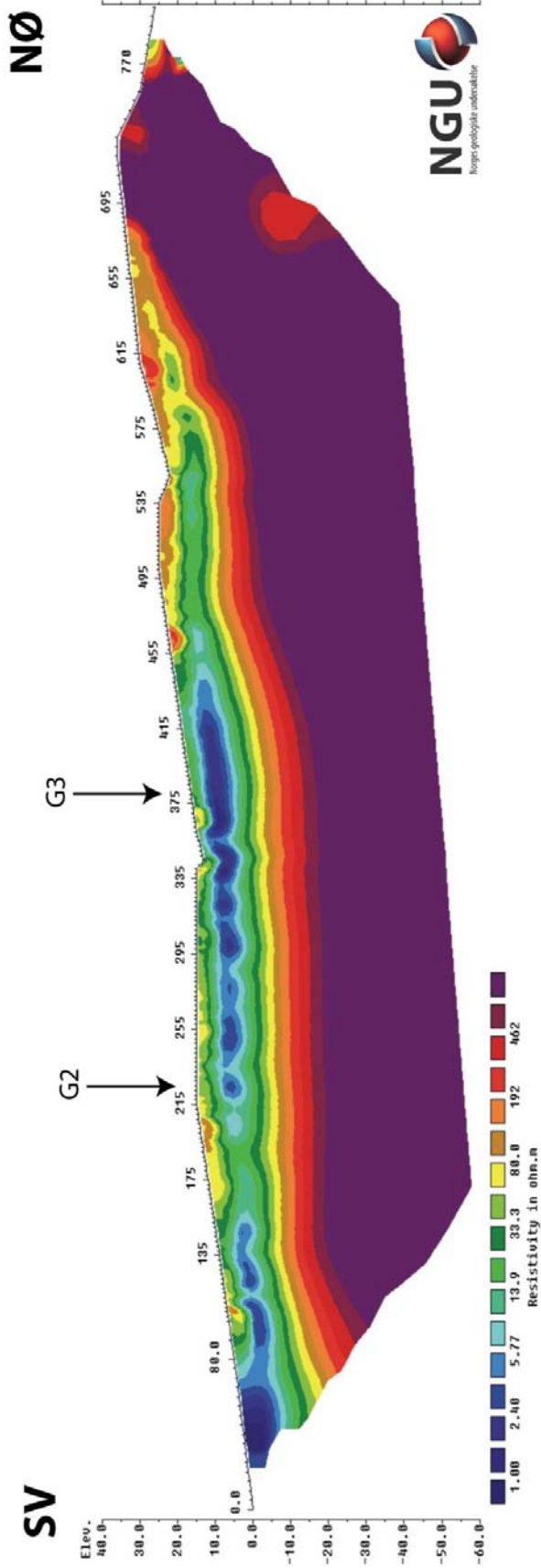
Namsos: Profil G1

Gradient

Elektrodeavstand 5 m

V/H=0,5

Iteration 5 RMS error: 10,8



Figur 18: Resistivitetprofil G1 i Gullvika.

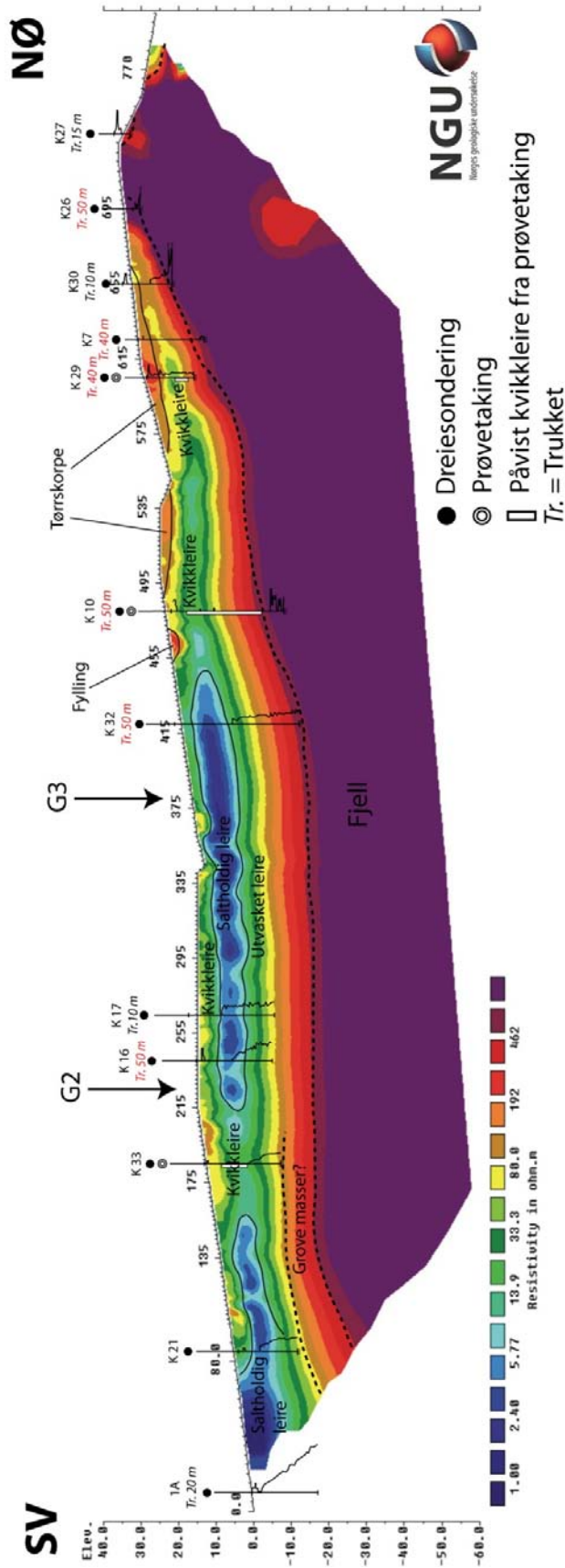
Namsos: Profil G1

Gradient

Elektrodeavstand 5 m

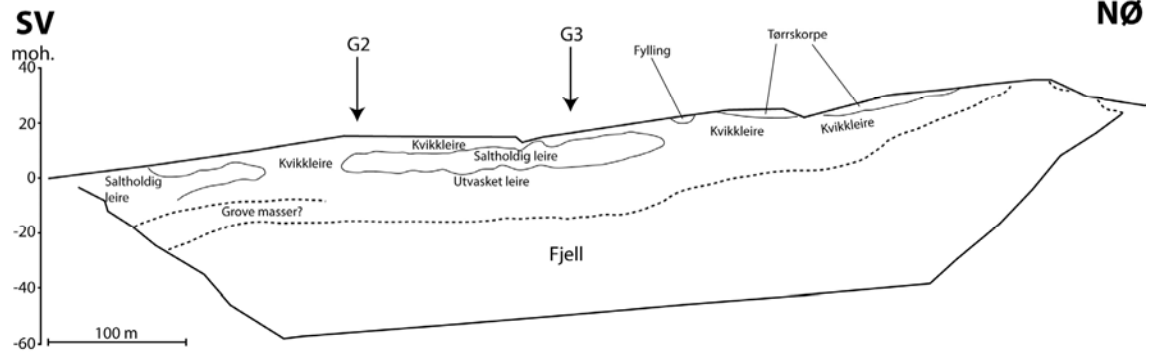
V/H=0,5

Iteration 5 RMS error: 10,8

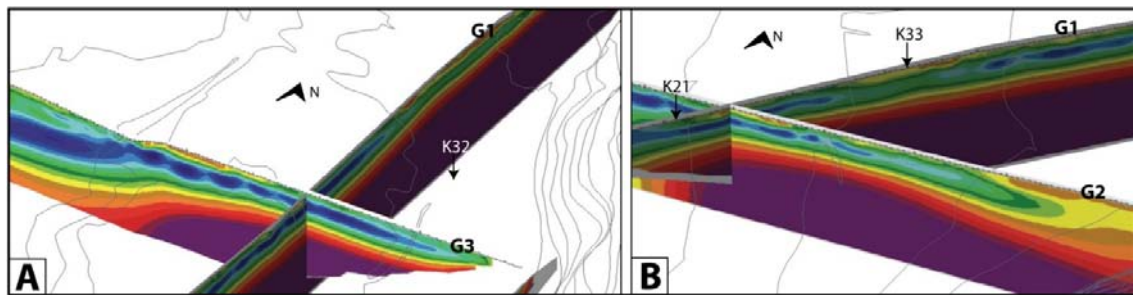


Figur 19: Geotekniske data lagt over og tolket sammen med resistivitetprofil G1 i Gullvika (K: Kummerje & Enlid 1978, 1979a,b).

Namsos: Profil G1



Figur 20: Samtolket profil G1 i Gullvika: geotekniske data og resistivetsdata.



Figur 21: Utsnitt av profilene i Gullvika. A: G1, G3 og sonderingspunkt K32. B: G1, G2 og sonderings-/prøvepunktene K33 og K21. Se vedleggsfig. 5 for kart.

Resistivetsdata Profil G2

Fram til profilpunkt ca. 550 går profil G2 nokså parallelt sjøen, og dette påvirker de dypeste delene av profilet – ved at resistivetsverdiene er lave (fig. 22). Helt i vest går profilet på fjell/steinfylling (fig. 2f), og det fjell i dagen/grunt til fjell mellom profilpunkt 210 og 270, og mellom 430 og 460. På grunn av sjøvanninfluens (gir lavere resistivetsverdier) er det litt vanskelig å bestemme sedimenttykkelsen mellom fjellblotningene, men de kan anslagsvis være opp mot 20 m. Også det at profil G2 er nokså bøyd (i horisontalplanet) vil gi noe lavere resistivetsverdier på dypet. Noe av sedimentene er trolig utvaska (10-100 Ω m), men det ser også ut til å finnes lommer av saltholdig leire (1-10 Ω m). Fra profilpunkt 550 og ut profilet mot øst er det høye resistivetsverdier (fjell) i bunnen av profilet med noe varierende sedimenttykkelse over. Sedimentene har verdier som viser at de trolig er utvasket i topp og bunn (10-100 Ω m), med saltholdig leirlomme i mellom (1-10 Ω m).

Resistivetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil G2

Den aller vestligste delen av G2 er på fjell. Grunnundersøkelsene i denne delen vil derfor ikke være representative for profilet, og de ligger 20-30 m utenfor (fig. 23). Mellom profilpunkt 80 og 215 er det sedimenter. G2 viser her utvasket leire (10-100 Ω m) under et topplag med til dels høye verdier som trolig kommer av steinfyllingen som er lagt her. Under utvaska leire er det høye resistivetsverdier (opp til 1000 Ω m), som trolig er fjell. Grunnundersøkelsene viser bløt/kvikk leire (M13, M12, MC1, SV18 og M1) og dette er i samsvar med resistivetsverdiene (bortsett fra topplaget som viser høye resistivetsverdier på grunn av steinfylling som ble anlagt i etterkant av sonderingene). Flere av sonderingene stopper mot antatt fjell.

Grunnundersøkelsene i den østlige delen av G2 er trukket 30-50 m, men siden forholdene sideveis varierer over korte avstander er det ikke alltid godt samsvar med resistivetsverdiene. For eksempel stemmer sonderingene K20 og K33 (nord for profilet) og K21 (sør for profilet) dårlig overens med profil G2. Imidlertid stemmer K21 og spesielt K33 godt overens med det kryssende profilet G1 (fig. 19 og 21b). Det ser dermed ut til at kvikkleireutbredelsene varierer nokså mye her – slik at det ikke alltid fungerer å sammenligne med grunnundersøkelsesdata som ligger ”for langt unna”. En tolkning av profil G2 er skissert i figur 24.

Namsos: Profil G2

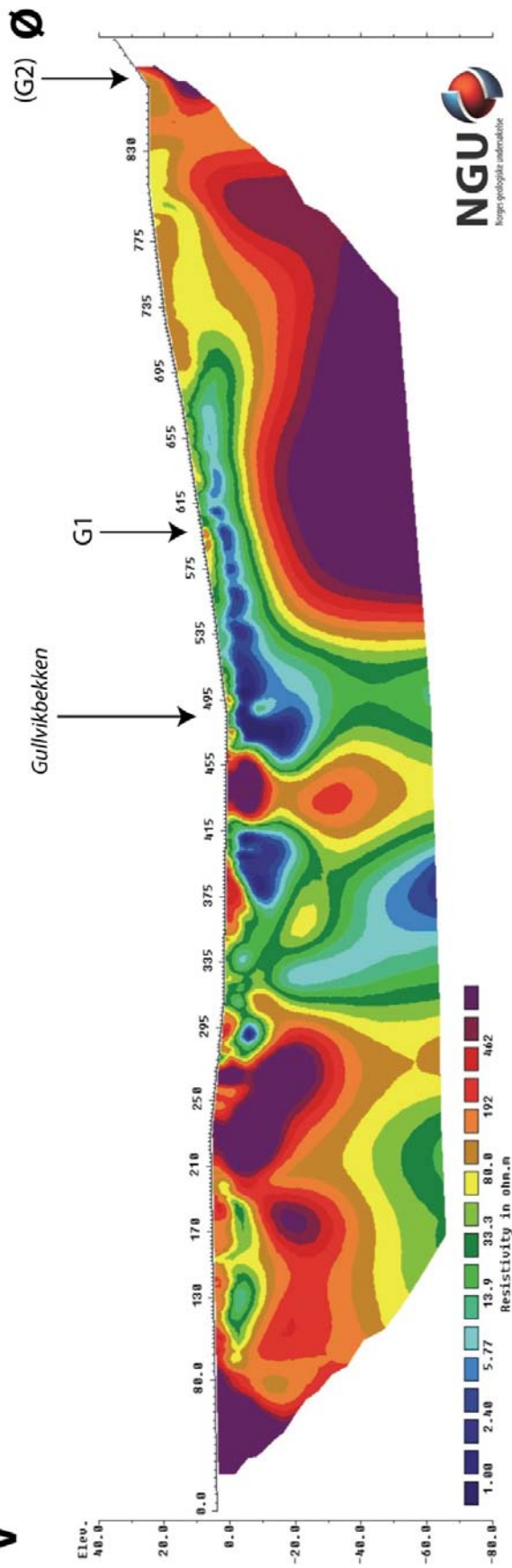
Gradient

Elektrodeavstand 5 m

V/H=0,5

Iteration 4 RMS error: 22,4

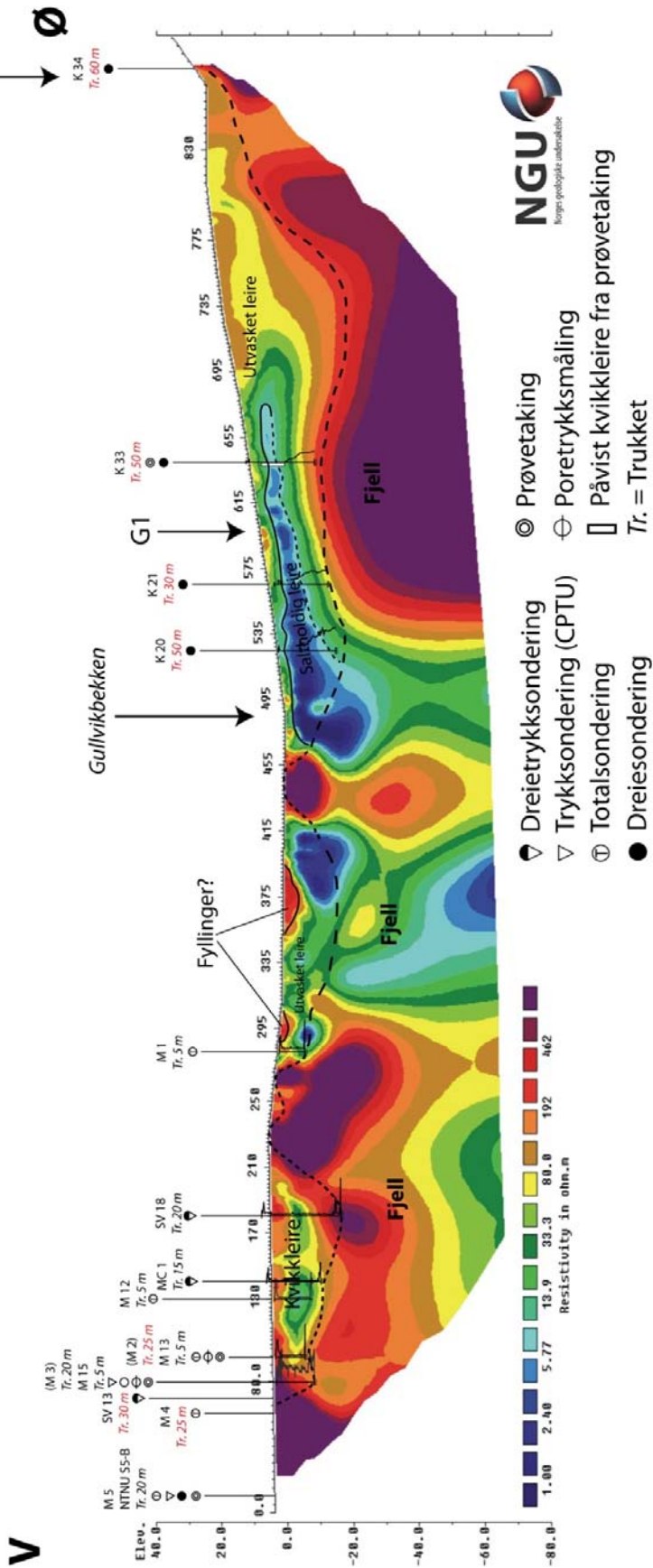
V



Figur 22: Resistiviteitsprofil G2 i Gullvikvika.

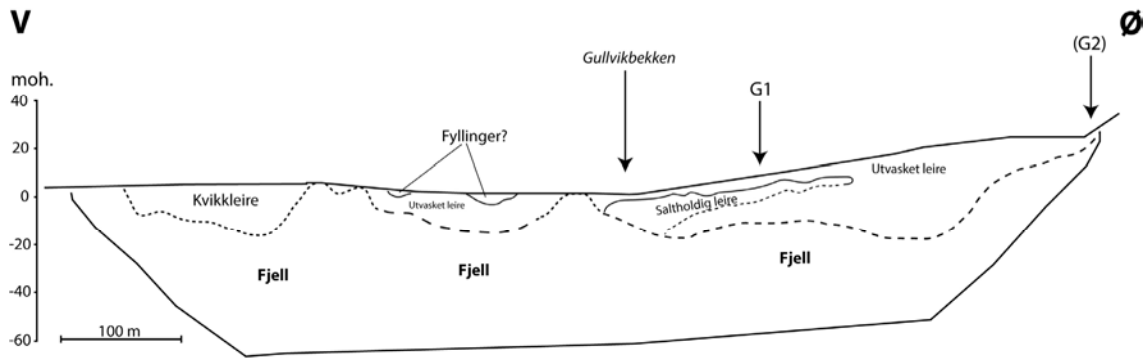
Namsos: Profil G2

Gradient
 Elektrodeavstand 5 m
 V/H=0,5
 Iteration 4 RMS error: 22,4



Figur 23: Geotekniske data lagt over og tolket sammen med resistivetsprofil G2 i Gullvika (K: Kummenje & Enlid 1978, 1979a,b; NTNU: Gylland & Alén 2009; M: Vik 2009; MC og SV: Karlsruud et al. 2009a).

Namsos: Profil G2



Figur 24: Samtolket profil G2 i Gullvika: geotekniske data og resistivitetsdata.

Resistivitetsdata Profil G3

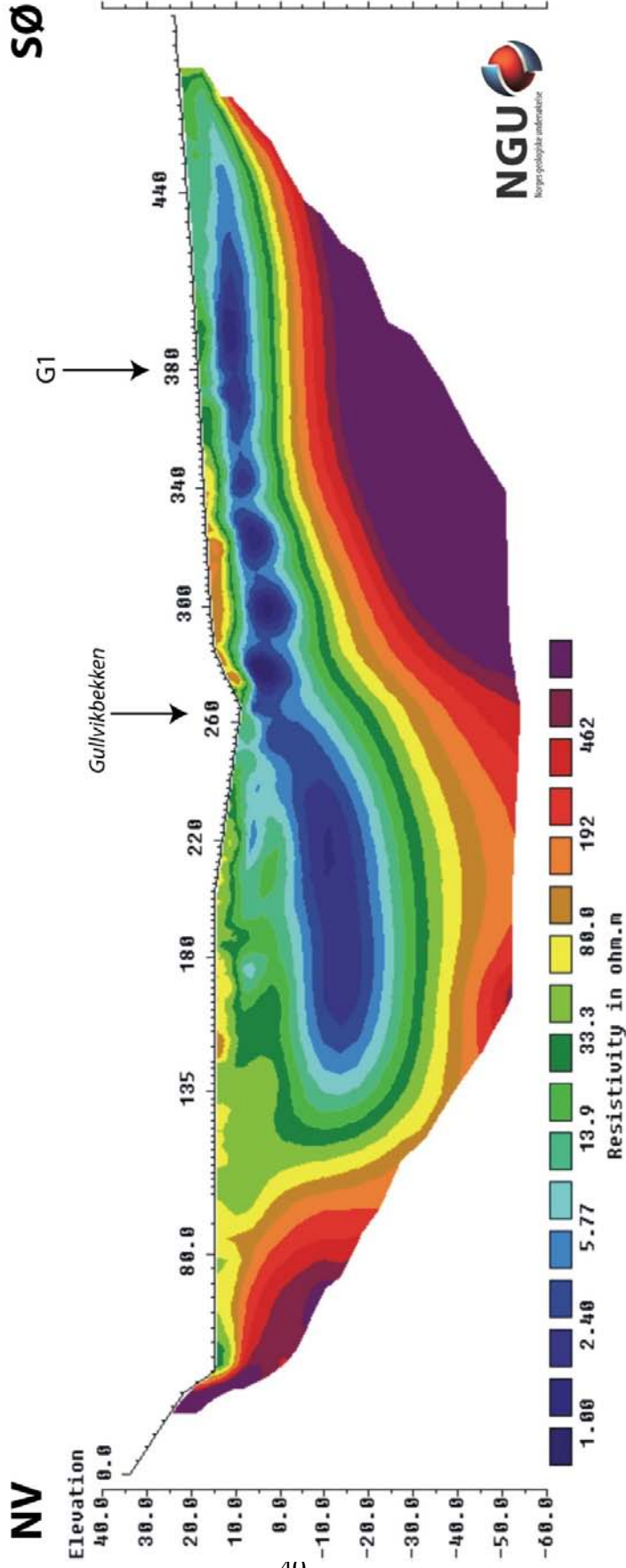
I profil G3 er det dypest til fjell på nordvest-siden av bekken (muligens 50-60 m sedimenttykkelse på det meste) (fig. 25). Gullvikmoen er relativt flat, og skrår jevnt ned mot sjøen – med unntak av skråninger som følge av bekkenedskjæringen og noen få raviner. Utvaskingen av sedimenter har trolig hovedsakelig foregått i skråningene ned mot bekken (og ned mot sjøen), i tillegg til nær fjell. Omsluttet av utvaskede sedimenter (10-100 Ω m) ligger ei lomme med saltholdig leire (1-10 Ω m)

Resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil G3

Langs profilet er det 7 dreiesonderinger, de fleste er trukket 40-75 m inn til profilet (fig. 26). I tillegg er det en prøvetaking (K13, trukket 40 m) som viser leire med siltag og lav sensitivitet. Leira er trolig nokså bløt selv om den har lav sensitivitet, siden det er ingen boremotstand i øvre del av dreiesonderingen i K13. Resistivetsprofilet antyder saltholdig leire langs mesteparten av dette sonderingsprofilet. I K32 oppstår trolig samme problematikk som i G1 (K32 ligger mellom G1 og G3), slik at det egentlig blir feil å trekke sonderingsprofilet rett inn til G3 for sammenligning. Sonderingsprofilet indikerer kvikkleire, mens deler av resistivetsprofilet antyder saltholdig leire her (se beskrivelse av G1, og fig. 21a). For de andre grunnundersøkelsene er det nokså godt samsvar med resistivetsdata. Samtolkingen er skissert i figur 27.

Namsos: Profil G3

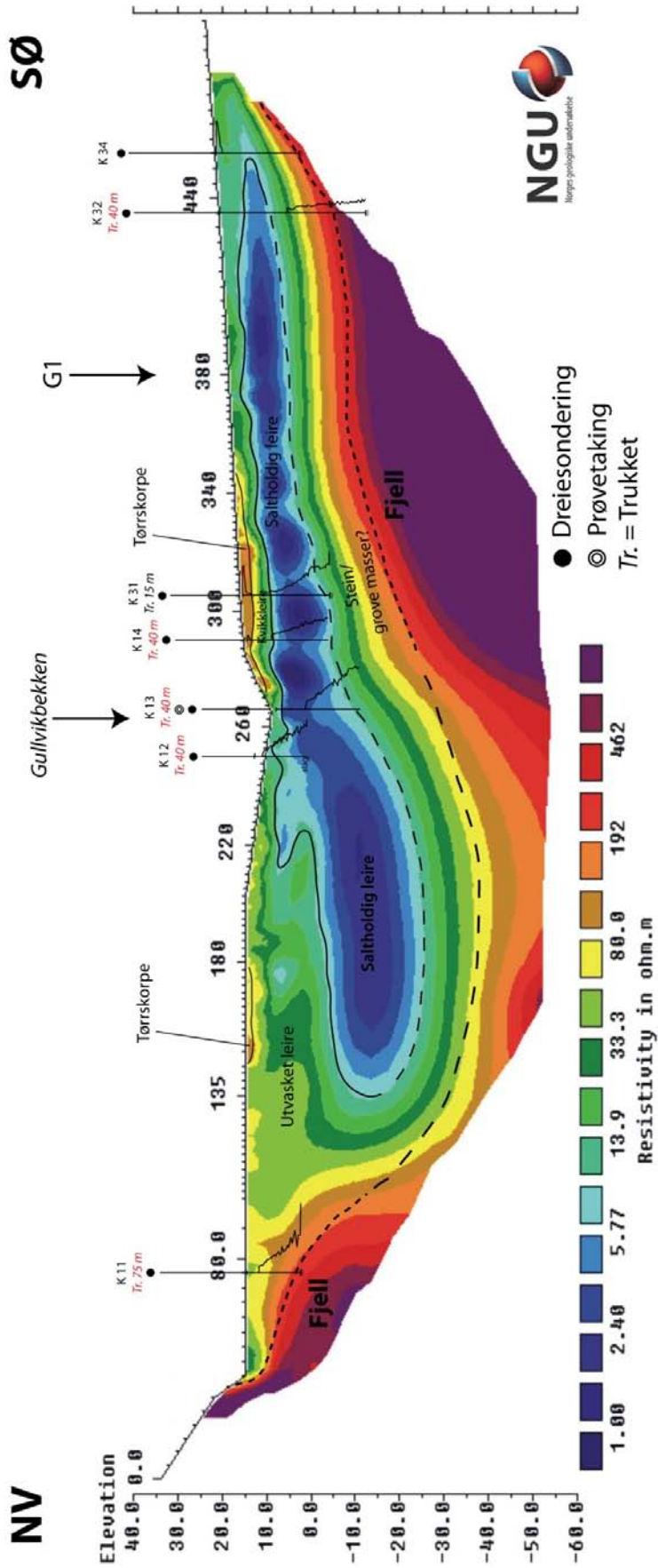
Gradient
Elektrodeavstand 5 m
V/H=0,5
Iteration 5 RMS error: 14,8



Figur 25: Resistivetsprofil G3 i Gullvikvika.

Namsos: Profil G3

Gradient
 Elektrodeavstand 5 m
 V/H=0,5
 Iteration 5 RMS error: 14,8

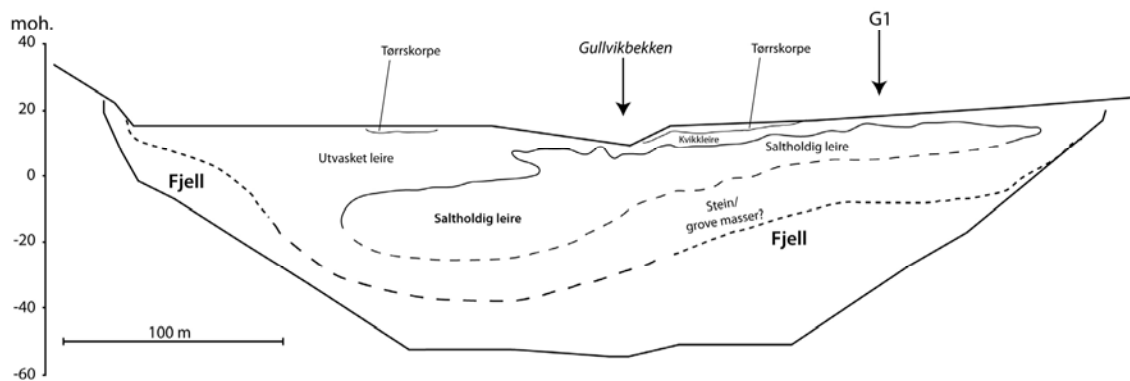


Figur 26: Geotekniske data lagt over og tolket sammen med resistivitetsprofil G3 i Gullvika (K: Kummenje & Enlid 1978, 1979a,b).

Namsos: Profil G3

NV

SØ



Figur 27: Samtolket profil G3 i Gullvika: geotekniske data og resistivitetsdata.

7. DISKUSJON OG KONKLUSJON

De to lokalitetene Kattmarka og Gullvika er nokså små, avgrensede områder med stedvis grunt til fjell. Berggrunnen ser ut til å være av relativt god kvalitet (nokså lite oppsprukket), slik at overgangen mellom sedimenter og fjellgrunn kommer tydelig fram på en rekke av profilene. Svakhetssoner som er indikert på noen av profilene stemmer overens med strukturer i dagen. Ved målingene langs/parallelt sjøen blir dyp til fjell mindre entydig, og her forårsaker sjøvannet lave resistivitetsverdier i de dypere deler av profilene. Øvre del av disse profilene ser likevel ut til å ha gode data, da det stort sett er overensstemmelse med data fra grunnundersøkelsene.

Det er generelt svært godt overlapp mellom de kryssende resistivitetsprofilene i studieområdet. Dette gir grunnlag for å stole på resultatene. Ved sammenligning med geotekniske data viser det seg at imidlertid at inntrekking av sonderingsprofiler/boreprofiler til resistivitetsprofillinjene ikke alltid fungerer godt. I disse relativt små, avgrensede lokalitetene skifter de geologiske forholdene raskere enn i større, mer homogene leiområder. Dette viser seg i Kattmarka ved at fjelltopografien er såpass undulerende at inntrekking av sonderinger kun 10-30 m noen steder ikke fungerer. I Gullvika, som har større sedimentmektigheter enn Kattmarka, gjør det seg både utslag i dyp til fjell, og i forhold til kvikkleireutbredelser. Her er det hovedsaklig sonderingsprofilene/boreprofilene som er trukket inn 40-50 m som kan gi dårlig samsvar. Det kan også bemerkes at noen av sonderingsprofilene som indikerer kvikkleire/svært bløte masser, viser ved prøvetaking i samme punkt lav eller middels sensitivitet. Ser man på området som helhet, og i forhold til utviklingen av kvikkleire i 3D (basert på kryssende resistivitetsprofiler og geotekniske data) er samsvaret godt ut fra klassifiseringen gitt i tabell 2. Studiet viser at det er nødvendig å være oppmerksom på hvor langt fra resistivitetsprofillinjene de geotekniske undersøkelsene er foretatt, spesielt i områder med raskt varierende geologiske forhold. Det viser også at det er svært nyttig med kryssende resistivitetsprofiler, og at det er viktig å tolke områdene helhetlig.

Resistivitetsmålingene ble gjort i etterkant av sikringsarbeidene i området. I skredgropa kommer kalk-sement-pelingen tydelig fram som høye verdier på resistivitetsprofilene (K1 og K2), det gjør den ikke på Kattmarkmoen (K3). En årsak kan være at arbeidet i skredgropa ble gjort før det på Kattmarkmoen, så pelene har hatt noe bedre tid til å stivne her – men det burde ikke gi så stor forskjell. Forskjellen kan muligens tilskrives at det i skredgropa også er lagt steinfylling i forbindelse med nyvegen, noe som kan gi høye resistivitetsverdier. Det kan også være en metodisk årsak: ved pelingen i skredgropa er det både grunt til fjell og kort til fjell sidevegs, slik at strømmen ikke kan ta ”omveger”. På Kattmarkmoen kan strømmen ta

omveg i bedre ledende materiale, slik at pelingen kanskje ikke kommer like tydelig fram. Uansett viser dette at kalk-sement-peling ikke nødvendigvis vises på 2D resistivitetsprofiler.

8. REFERANSER

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

Ask, K. 2009a: Kvikkleireskred Kattmarka, Namsos. Datarapport. NGI rapport 20091257-1, Rev. 1, 29.05.2009

Ask, K. 2009b: Kvikkleireskred Kattmarka, Namsos. Datarapport, skredgrop. NGI rapport 20091257-3, 30.06.2009

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

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

Gylland, A.S. & Alén, C. 2009: Rapport fra laboratorieundersøkelser på prøver fra Kattmarkvegen. NTNU rapport 18.09.2009

Karlsrud, K., Gregersen, O. & Ask, K. 2009a: Kvikkleireskred Kattmarka, Namsos. Grunnundersøkelser, Fiolveien. NGI rapport 20091258-1, Rev.1, 27.05.2009

Karlsrud, K., Gregersen, O. & Moholdt, R. 2009b: Kvikkleireskred Kattmarka, Namsos. Vurdering av stabilitetsforhold og sikringstiltak i Kattmarka. NGI rapport 20091257-00-4-R, Rev.1, 26.05.2009

Kummeneje, O. & Enlid, E. 1978: Diposisjonsplan Gullvik – Gullholmstrand, Namsos. Orienterende undersøkelse. Geoteknisk vurdering. Kummeneje rapport o.2634, 10.05.1978

Kummeneje, O. & Enlid, E. 1979a: Diposisjonsplan Guldvik – Guldholmstrand, Namsos. Supplerende grunnundersøkelse. Geoteknisk vurdering. Kummeneje rapport o.2634-2, 31.08.1979

Kummeneje, O. & Enlid, E. 1979b: Vedr. Guldvik – Guldholmstrand. Kummeneje rapport o.2634-2, 28.03.1979

Loke, M.H. 2007: Res2DInv ver. 3.56. Geoelectrical Imaging 2D and 3D. Instruction Manual. Geotomo Software, www.geoelectrical.com

Nordal, S., Alén, C., Emdal, A., Jendeby, L. Lyche, E. & Madshus, C. 2009: Skredet i Kattmarkvegen i Namsos 13. mars 2009. Rapport fra undersøkelsesgruppe satt ned av Samferdselsdepartementet. Institutt for bygg, anlegg og transport, faggruppe for geoteknikk, NTNU

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

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

Opdahl, V. 2001: Tiltak i vassdrag. Tiltak for redusert rasfare mot bekk ved Gullholmstranda. Detaljplan. NVE rapport 200105292

Osnens, A. & Hagen, G.B. 2009: Tiltak i vassdrag. 10575 Sikringstiltak etter kvikkleireskred i Kattmarka – Delplan 2 Kattmarka. Detaljplan. NVE rapport 200902257

Osnens, A., Hagen, G.B. & Krogstad, T.S. 2009: Tiltak i vassdrag. 10575 Sikringstiltak etter kvikkleireskred i Kattmarka – Delplan 1 Fiolvika. Detaljplan. NVE rapport 200902257

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

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

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. (in press): Combined geophysical and geotechnical approach for ground investigations and hazard zonation of a quick-clay area, Mid Norway. Akseptert for Bulletin of Engineering Geology and the Environment

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

Solli, A., Bugge, T. & Thorsnes, T. 1997: Geologisk kart over Norge, berggrunnskart Namsos, M 1:250 000. NGU

Sveian, H. 1991: Namsos. Kvartærgeologiskkart 1723 IV – M 1:50 000, med beskrivelse. NGU

Tuft, P. 1993: Kartlegging av områder med potensiell fare for kvikkleireskred. Kartbladet Namsos, M 1:50 000. NGI rapport 910044-1

Vik, A. 2009: Namdalsprosjektet Kattmarkvegen. Geoteknisk prosjekteringsrapport. Multiconsult rapport 412074-2, 16.02.2009

Personlig meddelelse (Pers. med.) (e-mail):

Vebjørn Opdahl, NVE, november 2010 og januar 2011

VEDLEGG 1 KOORDINATER TIL INNMÅLTE PROFILER

Koordinatene er målt med håndholdt GPS.

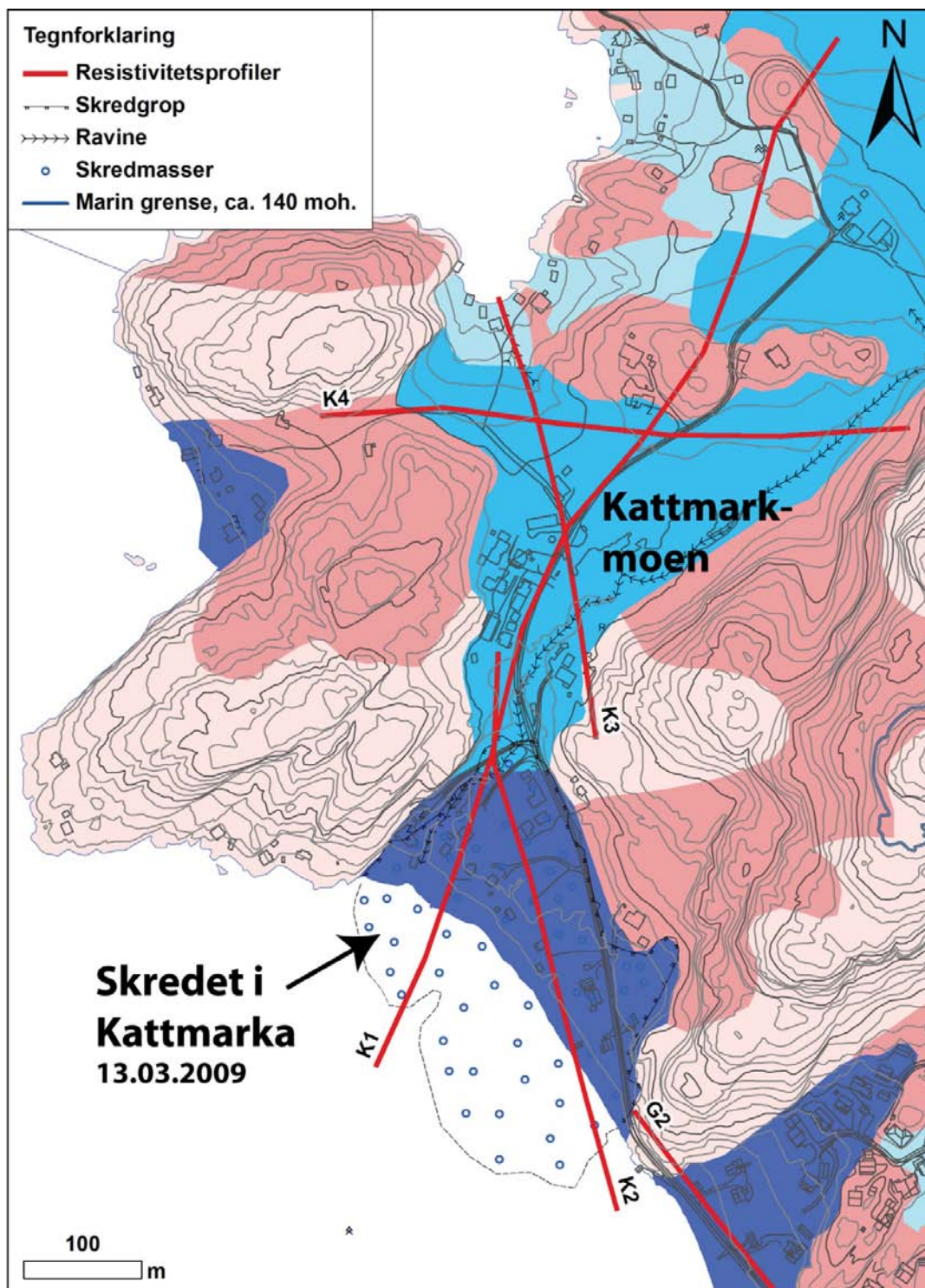
K1-K4

Profilnr.	Koordinat	UTM 32N	
		WGS-84 Nord	WGS-84 Sør
Profil K1	0	7151978	616982
	100	7152070	617024
	200	7152158	617054
	300	7152240	617080
	400	7152349	617106
	500	7152438	617146
	600	7152510	617208
	700	7152584	617260
	800	7152675	617295
	900	7152773	617321
	1000	7152851	617374
Profil K2	0	7151856	617187
	100	7151953	617160
	200	7152045	617136
	300	7152139	617113
	400	7152236	617082
	500	7152330	617086
Profil K3	0	7152256	617169
	100	7152348	617156
	200	7152445	617140
	300	7152541	617116
	400	7152631	617086
Profil K4	0	7152530	616935
	100	7152537	617040
	200	7152524	617135
	300	7152514	617230
	400	7152513	617326
	500	7152520	617435

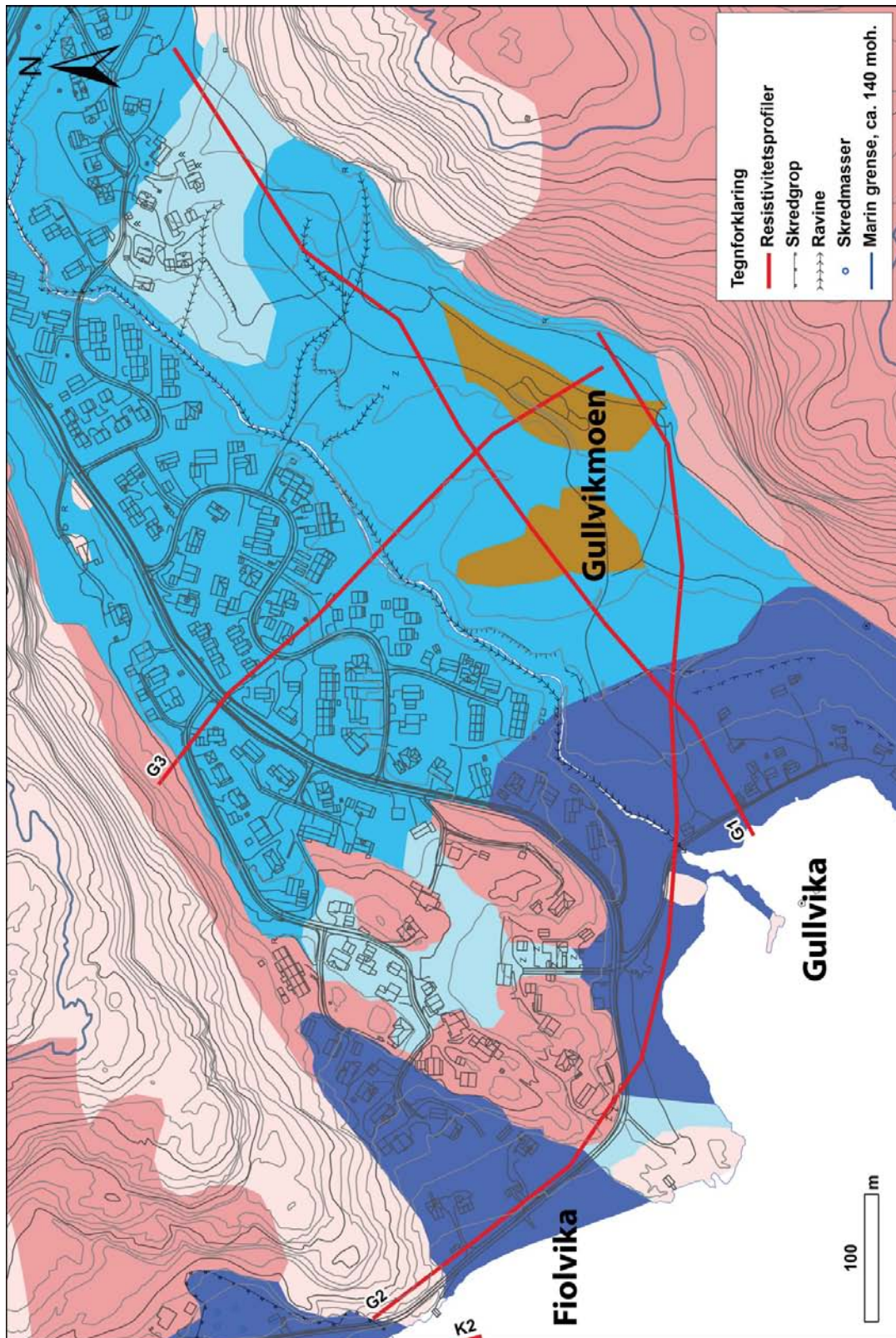
G1-G3

Profilnr.	Koordinat	UTM 32N	
		WGS-84 Nord	WGS-84 Sør
Profil G1	0	7151643	617580
	100	7151690	617667
	200	7151759	617746
	300	7151816	617820
	400	7151873	617899
	500	7151921	617985
	600	7151995	618039
	700	7152047	618120
	800	7152097	618198
Profil G2	0	7151941	617201
	100	7151861	617262
	200	7151787	617321
	300	7151731	617404
	400	7151710	617492
	500	7151703	617592
	600	7151708	617686
	700	7151699	617791
	800	7151710	617887
	900	7151765	617975
Profil G3	0	7152109	617620
	100	7152054	617692
	200	7151984	617753
	300	7151918	617823
	400	7151847	617895
	500	7151761	617948

VEDLEGG 2 DETALJKART PROFILPLASSERING

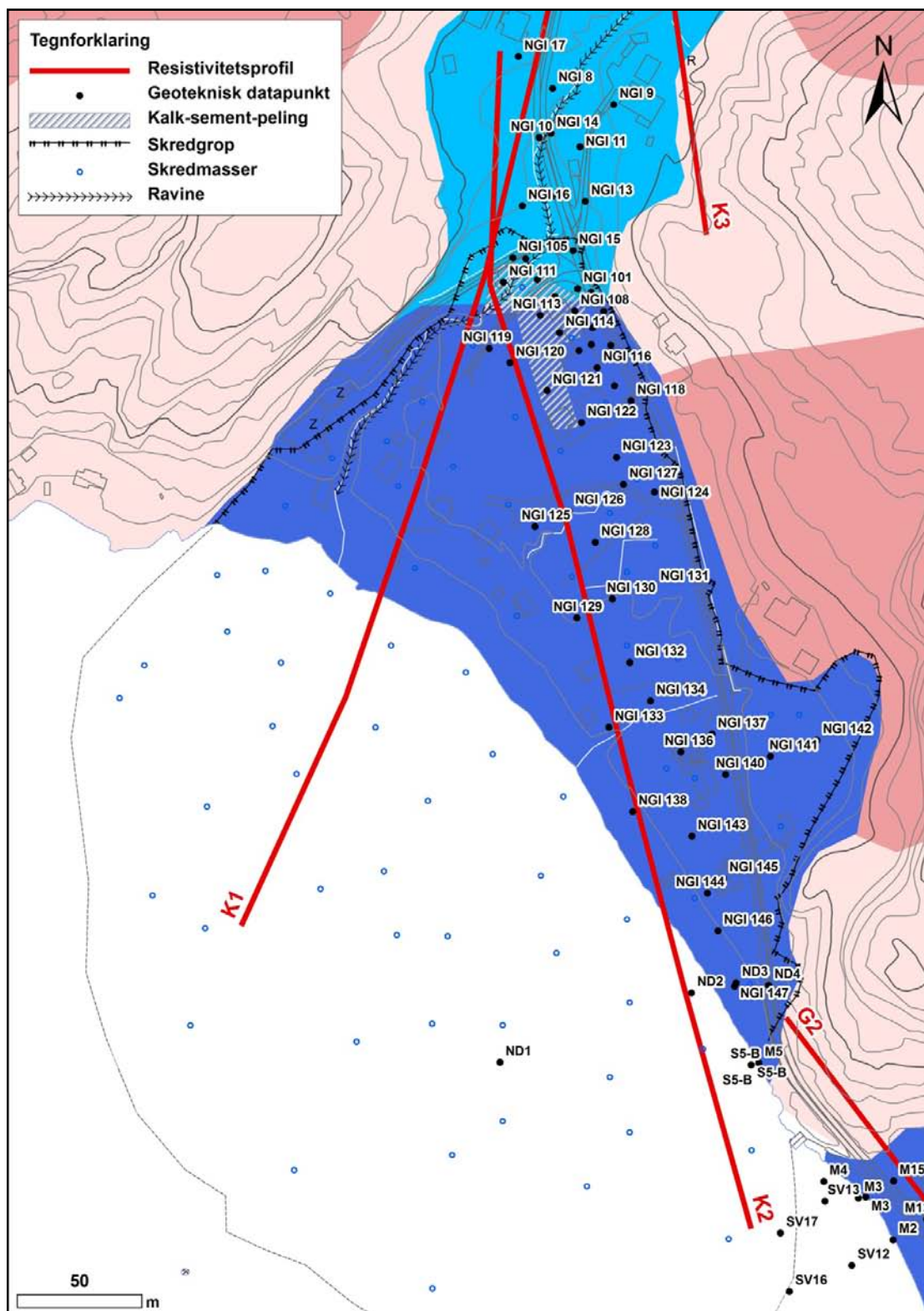


Vedleggsfigur 1: Oversikt over plasseringen av resistivitetsprofilene K1-K4 i Kattmarka, Namsos. Det kvartærgeologiske kartet i bakgrunnen er modifisert etter Sveian (1991), se fig. 1 for ytterligere tegnforklaring. Ekvidistanse 5 m.

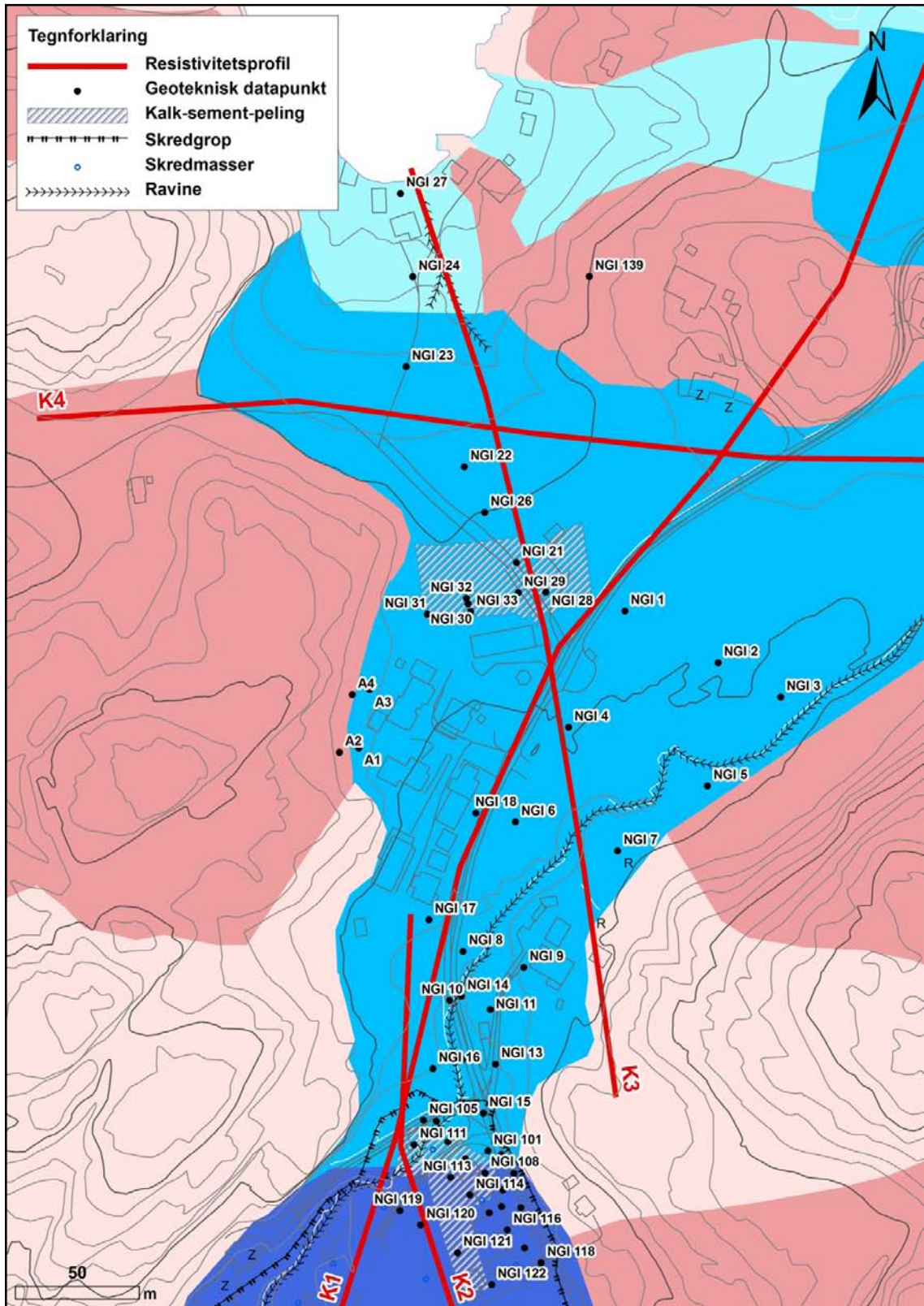


Vedleggsfigur 2: Oversikt over plasseringen av resistivetsprofilene G1-G3 i Gullvika, Namsos. Det kvartærgeologiske kartet i bakgrunnen er modifisert etter Sveian (1991), se fig. 1 for ytterligere tegnforklaring. Ekvidistanse 5 m.

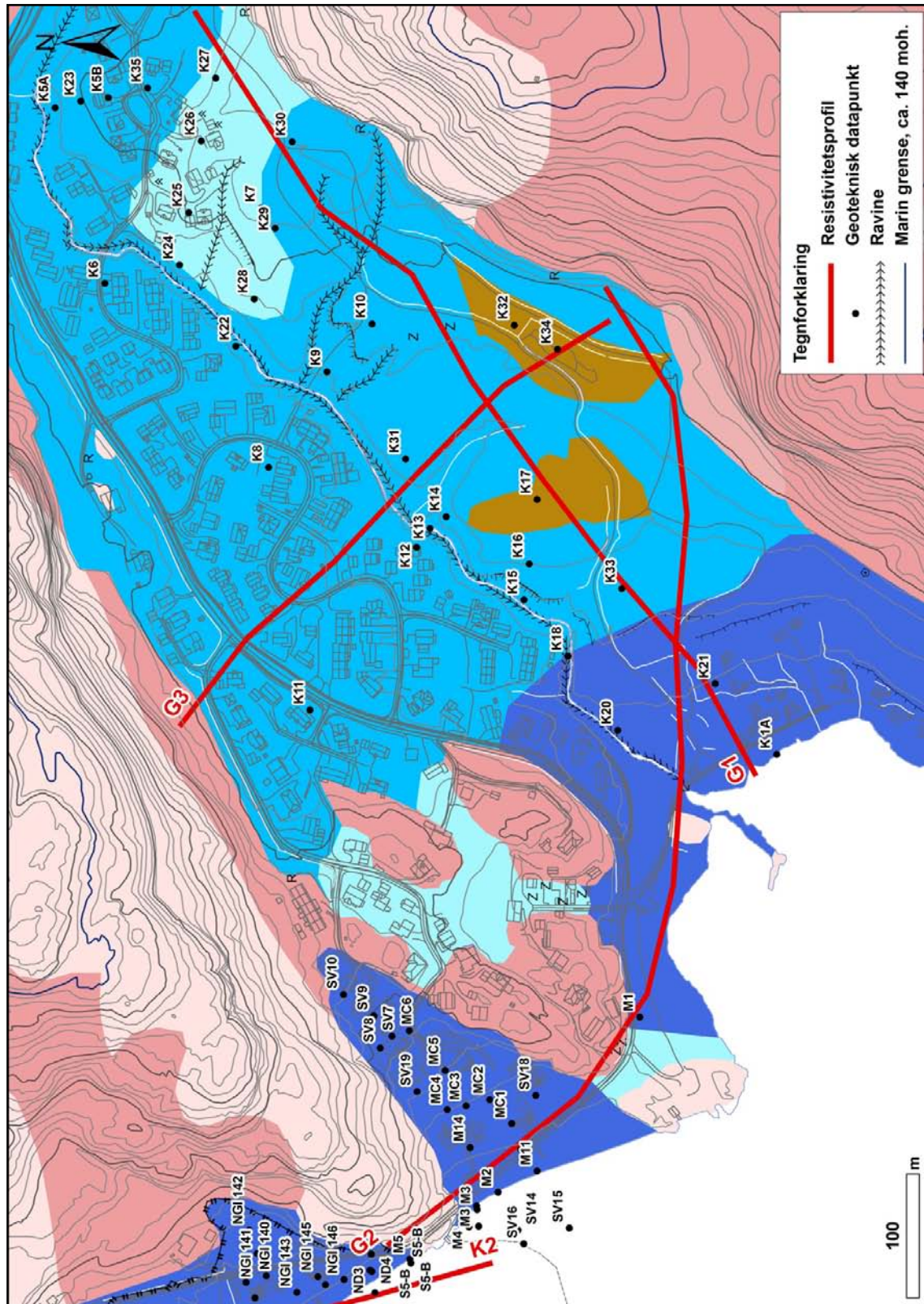
VEDLEGG 3 GEOTEKNISKE DATAPUNKT OG RESISTIVITETSPROFILER



Vedleggsfigur 3: Geotekniske datapunkt langs resistivitetprofilene K1 og K2, skredgropa i Kattmarka. NGI: Ask 2009a,b; ND og S5: Gylland & Alén 2009; M: Vik 2009.



Vedleggsfigur 4: Geotekniske datapunkt langs resistivetsprofilene K1-K4, Kattmarkmoen. NGI: Ask 2009a,b, Karlsrud et al. 2009b.



Vedleggsfigur 5: Geotekniske datapunkt langs resistivetsprofilene G1-G3, Gullvika/Fiolvika. K: Kummenje & Enlid 1978, 1979a,b; ND og S5: Gylland & Alén 2009; M: Vik 2009; MC og SV: Karlsrud et al. 2009a.