

NGU Rapport 2012.004

Resistivitetmålinger for løsmassekartlegging
ved skredgrop på Byneset, Sør-Trøndelag

Rapport nr.: 2012.004		ISSN 0800-3416		Gradering: Åpen	
Tittel: Resistivitetmålinger for løsmassekartlegging ved skredgrop på Byneset, Sør-Trøndelag					
Forfattere: Inger-Lise Solberg, Einar Dalsegg, Jean-Sebastien L'Heureux og Jan Steinar Rønning			Oppdragsgiver: NVE		
Fylke: Sør-Trøndelag			Kommune: Trondheim		
Kartblad (M=1:250.000) Sør-Trøndelag			Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1521-I Orkanger		
			Sidetall: 17 + vedlegg Pris: 150 kr		
Feltarbeid utført: Januar 2012		Rapportdato: 17.01.2012		Prosjektnr.: 331600	
				Ansvarlig: 	
Sammendrag: Det er utført 2D resistivitetmålinger i 2 profiler på Byneset i Sør-Trøndelag, som et bidrag til vurdering av grunnforholdene etter et kvikkleireskred 1. januar 2012. Rapporten beskriver resistivitetsmetoden, presenterer innsamlede data og gir en kort vurdering av disse. Profilene er også sammenlignet med geotekniske data fra området (sonderboringer). Måldata viser oppstikkende fjell, mulig grove masser, store lommer med saltholdig, stabil leire, soner med potensiell kvikkleire, og tørrskorpeleire. Undersøkelsene ved Esp på Byneset bekrefter tidligere publiserte resistivitetsintervaller for disse massene. Informasjonen om oppstikkende fjell, grove masser og saltholdig leire som vises på profilene er av vesentlig betydning for begrensning av skredutbredelsen. De geofysiske data, sammenholdt med de geotekniske data, viser tykke utvaskede og mulig kvikke masser (nord)øst og nordvest for den nåværende skredgropa. Det er ikke foretatt noen stabilitetsberegninger i denne rapporten, men det anbefales at stabiliteten vurderes og at skråningene sikres før eventuell erosjon kommer i gang. Siden det er nokså lite informasjon om sedimentene vest for skredgropa, anbefales resistivitetmålinger i et profil her, parallelt med skredgropa.					
Emneord: Kvikkleire		Geofysikk		Fagrapport	
Hav-og fjordavsetninger		Resistivitetmålinger			

INNHold

1.	INNLEDNING	4
2.	LOKALITETEN	5
3.	GEOTEKNISKE UNDERSØKELSER.....	7
4.	MÅLEMETODE OG UTFØRELSE	7
4.1	Datainnsamling	7
4.2	Strømstyrke og datakvalitet.....	8
4.3	Inversjon	8
5.	KLASSIFISERING AV SEDIMENTER FRA RESISTIVITETSVERDIER	9
6.	RESULTATER OG TOLKNING.....	11
6.1	Profil P1.....	11
6.2	Profil P2.....	13
7.	DISKUSJON OG KONKLUSJON	16
8.	REFERANSER	17
VEDLEGG 1	KOORDINATER TIL INNMÅLTE PROFILER.....	19
VEDLEGG 2	OVERSIKTSKART MED RESISTIVITETSPROFILENE.....	20
VEDLEGG 2	PROFILENE P1 OG P2 MED GEOTEKNISKE DATA I A3.....	21

1. INNLEDNING

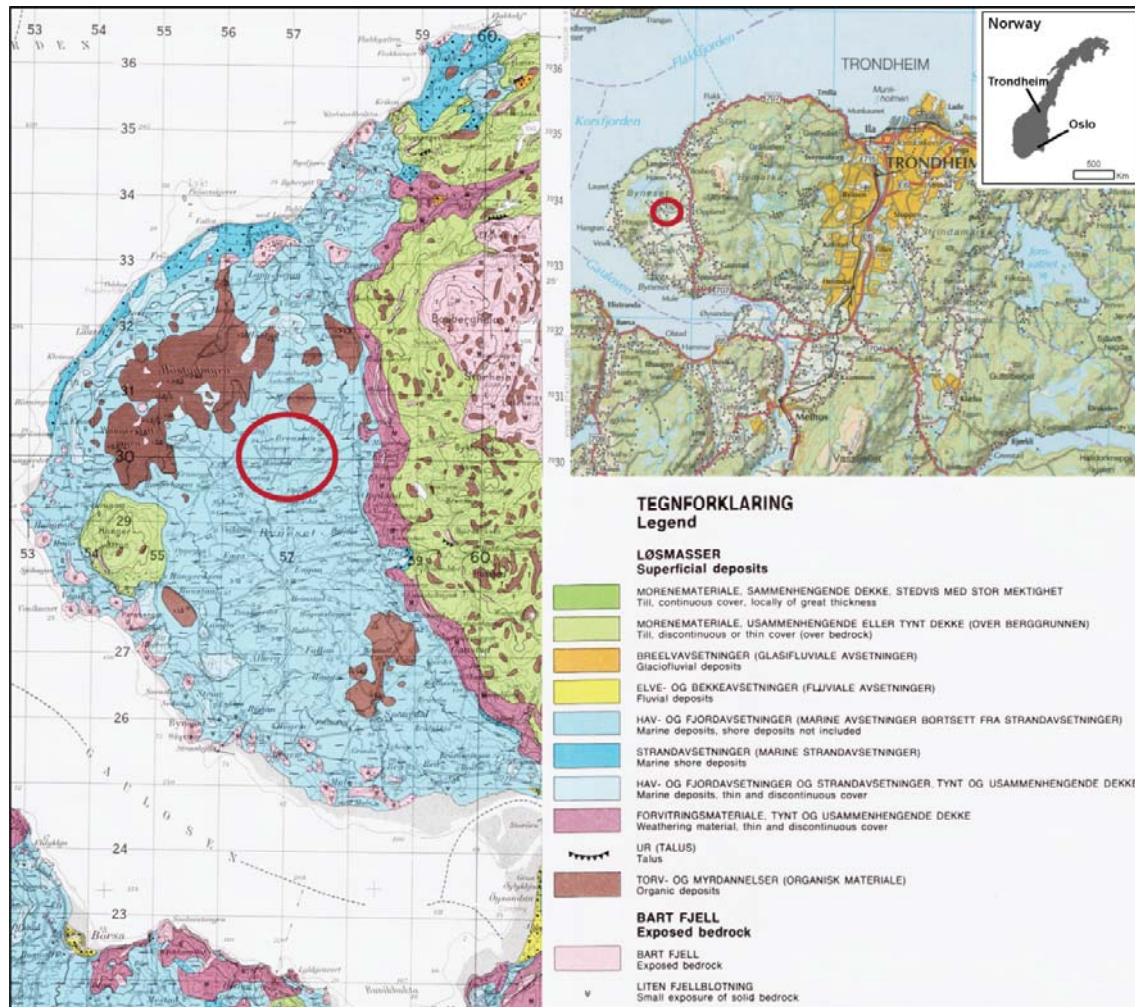
1. januar 2012 gikk det et kvikkleireskred på Byneset i Trondheim kommune, Sør-Trøndelag (fig. 1). Dette er et jordbruksområde, og skredet gikk i dyrket mark uten bebyggelse. Gårdene i områdene rundt skredet ble evakuert. Skredgropa var ca. 100 m bred og 400 m lang, og NVE har anslått at et volum på ca. 350 000 m³ raste ut. Bakkanten i skredgropa er ca. 10 m høy. Skredgropa har smal skredport, og gropa er nokså tømt for skredmasser. Dette indikerer at store deler av massene var omrørte. Skredmassene fulgte bekkeravinen, og demmet opp noen sideraviner. Utløpsområdet strekker seg en knapp km nedstrøms skredporten. Det var trolig erosjon i en bekkeravine som utløste skredet (NVE 2012).



Figur 1. Skredgropa etter kvikkleireskredet ved Esp, Byneset 1. januar 2012 (Foto: Einar Dalsegg).

Resistivitetsmålingene på Byneset ble utført få dager etter skredhendelsen. Det ble målt to profiler, øst og nord for skredgropa, 50-100 m fra skredkanten. Det ble også målt IP (Indusert Polarisasjon), men disse profilene er ikke tatt med i denne rapporten. Resistivitetsmålingene ble utført med hensikt å bidra til vurdering av grunnforholdene og en eventuell videre skredutvikling.

Resistivitetsmålingene ble utført av Einar Dalsegg (NGU) 4.-7. januar 2012, med god støtte fra Sivilforsvaret. Profilene er 700 m (P1) og 1100 m (P2) lange. Rapporten dokumenterer datainnsamlingen, presenterer resistivitetsdata og gir en kort vurdering av disse. De geofysiske dataene er også sammenlignet med tilgjengelige geotekniske data.



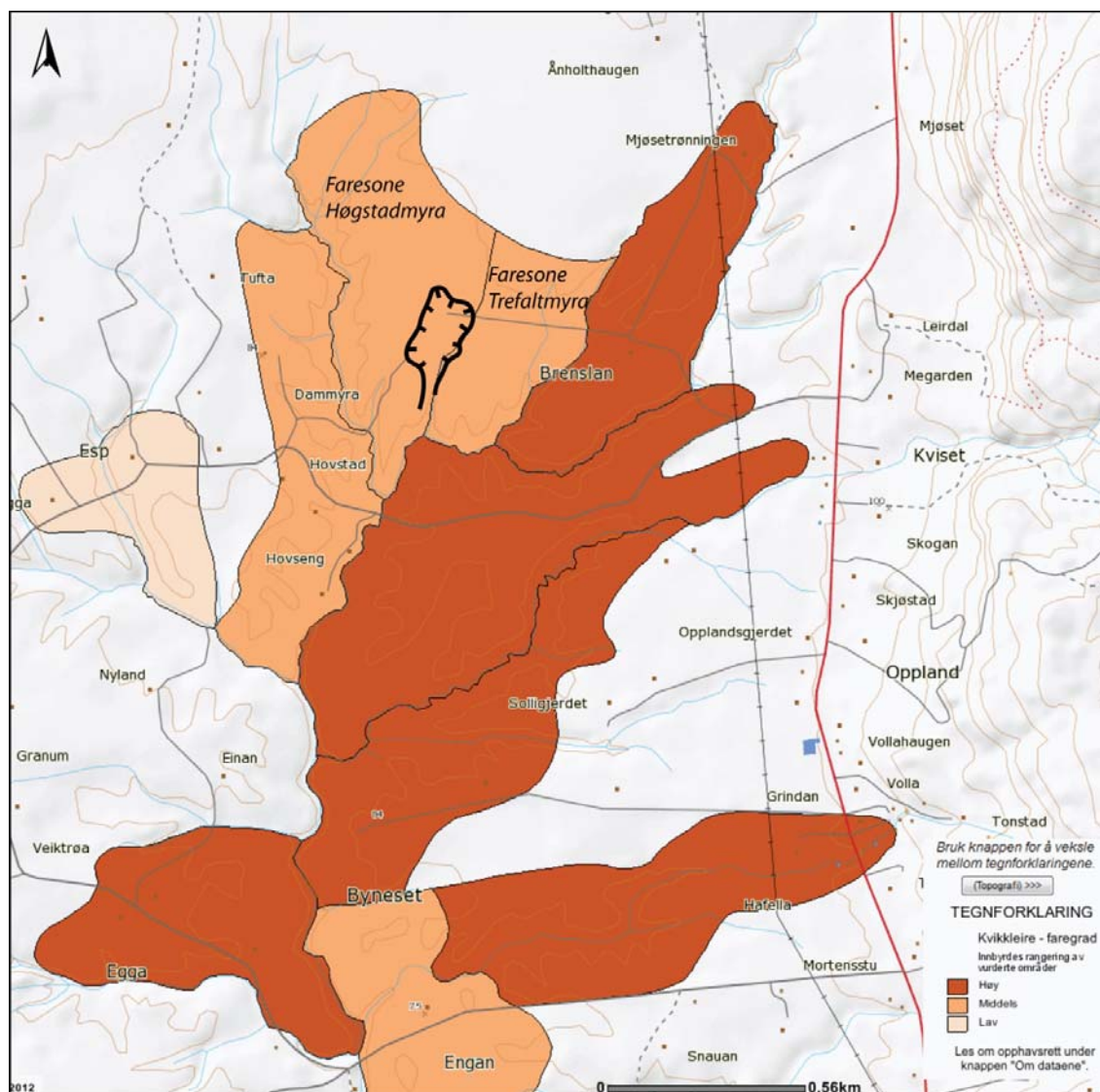
Figur 2. Skredet ved Esp på Byneset 1. januar 2012 ligger vest for Trondheim by. Det kvartær-geologiske kartet viser sedimentfordelingen i overflata (etter Reite 1983).

2. LOKALITETEN

Skredet 1. januar 2012 gikk ved Esp på Byneset i Trondheim kommune, Sør-Trøndelag (fig. 2). Sedimentene i området består i hovedsak av tykke hav- og fjordavsetninger. Like nord for Esp ligger store myrområder (Høstadmyra). Marin grense for Byneset er ca. 175 m over dagens havnivå (Reite 1983). På store deler av Byneset er den gamle havbunnen stort sett bevart, men sentralt er området gjennomskåret av bekkeraviner. Det finnes mange spor etter

tidligere kvikkleireskred, de mest kjente ligger ved Brå og Rye (Reite et al. 1999). Skredet i januar 2012 gikk ut i Ristabekkvassdraget. Ravinene i nærheten av den nye skredgropa er opptil ca. 15 m dype.

I følge berggrunnskart er bergartene i området i hovedsak biotittskifer (Wolff 1976). Grensa mot Bymarkas grønnstein/grønnskifer ligger like øst for studieområdet. Det er ikke registrert fjellblotninger på løsmassekartet, men en gårdbruker har tidligere oppdaget en blotning ca. 150 m nordøst for bakkanten av skredgropa.



Figur 3. Faresoner på Byneset. Skredet 1. januar 2012 gikk hovedsakelig i faresone Høgstadmyra, som har middels faregrad (www.skrednett.no).

3. GEOTEKNISKE UNDERSØKELSER

Det er tidligere blitt utført faresonekartlegging i området, og skredgropa ligger hovedsaklig i faresone Høgstadmyra, og noe inn faresone Trefaltmyra (fig. 3). Begge har middels faregrad, og det ble utført dreietrykksonderinger og noe vinge boring i forbindelse med faresonekartleggingen (NGI 1988, 1994). I dagene etter skredhendelsen i januar 2012 ble det utført dreietrykksonderinger og noen trykksonderinger i området rundt skredgropa (TK 2012).

4. MÅLEMETODE OG UTFØRELSE

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

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

4.1 Datainnsamling

Måledata ble innsamlet med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høgskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993) (fig. 4). Systemet består av en releboks (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 halvdelen av 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 av Trondheim kommune (vedlegg 1).

Strøm ble sendt i pulser på 1 sekund og alternerende polaritet. Dette gir en målesyklus på 3,8 sekund. Målingen av resistivitet (enhet ohmm eller Ωm) startet 0,3 sekund etter at strømmen ble slått på og måletiden var 0,5 sekund. Indusert polarisasjon ble målt som en integrering av signalet fra 10 ms etter strømbrydd i et tidsvindu på 100 ms. Integrert IP-signal over tid med enhet mVms, normaliseres mot resistivitetssignalet (mV) og får enheten ms.



Figur 4. Resistivitetsmålinger ved skredgropa på Byneset i januar 2012. Målingene ble utført på snødekt mark uten tele (Foto: Einar Dalsegg).

4.2 Strømstyrke og datakvalitet

Jordingsbetingelsene var generelt meget gode. 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 var beheftet med så mye støy at data anses som ubrukelig og presenteres derfor ikke.

4.3 Inversjon

Ved alle resistivitetsmålinger måles tilsynelatende verdier. Denne representerer et veid middel av alle resistivitetsverdier som er innenfor målingens influensvolum. For å finne den spesifikke resistivitet i ulike deler av undergrunnen må data inverteres. Dette utføres ved at profilet deles opp i blokker som tilordnes en bestemt resistivitetsverdi. Denne blir så justert i flere trinn (iterasjoner) inntil responsen fra den teoretiske modellen blir mest mulig lik de målte data.

Resistivitetsdata ble invertert ved bruk av dataprogrammet Res2DInv (Loke 2010). Standard ”Least Square” (”Smooth”) og ”Robust” ble benyttet som inversjonsmetoder. Data vist i rapporten er med ”Smooth” inversjon. Vertikal/horisontalfilter er ved inversjonen satt til 0,5, noe som til en viss grad favoriserer horisontal lagdeling.

5. KLASSIFISERING AV SEDIMENTER FRA RESISTIVITETSVERDIER

Tabell 1 og figur 5 viser klassifisering av sedimenter fra resistivitetsverdier som kan benyttes som utgangspunkt for tolkning av 2D resistivetsprofiler. 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 1. 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. Berger 1983, Solberg et al. 2008 og Solberg et al. 2011a, b).

Resistivitetsverdier	Materiale	Fargekode (NGUs kvikkleire-prosjekter)	Beskrivelse
1-10 Ω 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 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	Tørskorpeleire	(Gul), Orange	Tørskorpeleire, 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 5. Fargeskala som brukes i NGU-prosjekter knyttet til kartlegging av potensiell kvikkleire (Solberg et al. 2011a).

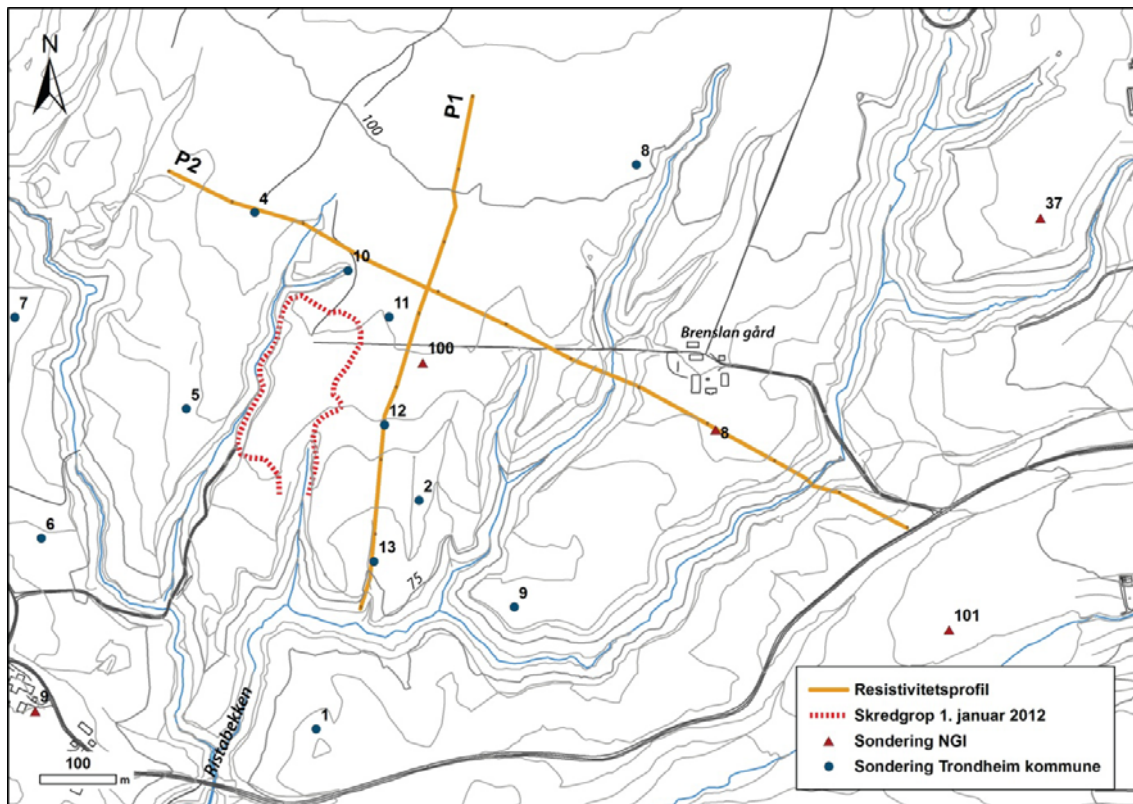
Resistivitetsverdier fra ca. 1-10 Ωm er materiale med god ledningsevne, som saltholdig leire. Verdier fra 10 Ωm og opp til 90-100 Ωm kan være kvikkleire, men økningen i resistivitet kan også skyldes innslag av grovere masser som silt/sand. Tørrskorpeleire er vanligvis mellom 100 Ωm og 200 Ωm . Fargeskalaen er valgt slik at antatt intakt marin leire er indikert med blå farge på figurene, mens områder med grønn/gul farge kan representere kvikkleire. Overgangen til rød og spesielt lilla farge (over 200 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, og fjelldypet forskjøvet nedover i profilet (metodisk svakhet, se Reiser et al. 2010).

Resistivitetsprofiler har mest data i øvre og midtre deler. Tolkning i ytterkantene og nedre del av profilene må derfor gjøres med forsiktighet. Eksakt avstand til dyptliggende lag må verifiseres med andre metoder. I det følgende er resistivitetsprofilene fra målingene på Byneset kort beskrevet og tolket. Profilene er også sammenlignet med geotekniske data.

For mer detaljer om resistivitetsmetoden og dens anvendelse knyttet til kvikkleirekartlegging henvises det til Solberg et al. (2011a).

6. RESULTATER OG TOLKNING

Beliggenheten til de målte resistivitetsprofilene er vist i figur 6 og vedlegg 2, og de inverterte resistivitetsdata er vist på figurene 7-10. For å få sammenlignbare presentasjoner er samme fargeskala benyttet på profilene. Profilene med geotekniske sonderingsdata og tolkning finnes også i vedlegg 3, i større format.



Figur 6 Oversikt over plasseringen av resistivitetsprofiler og geotekniske undersøkelser ved skredgropa på Byneset. Ekvidistanse 5 m.

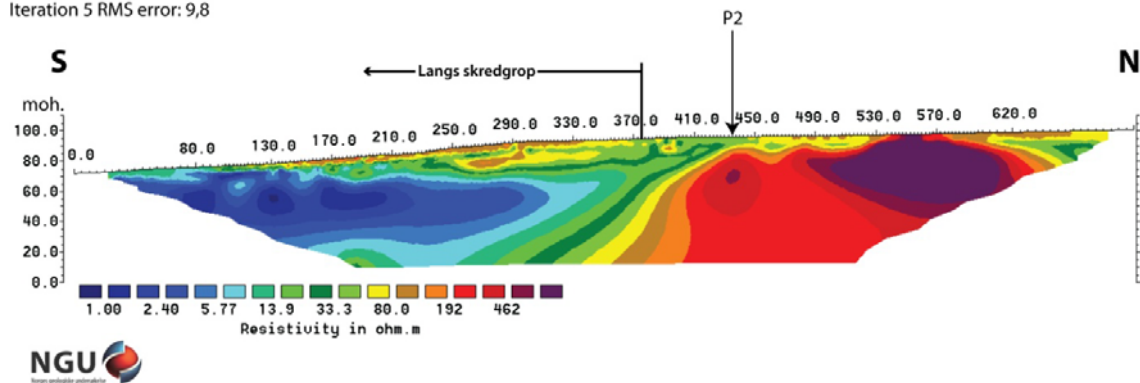
6.1 Profil P1

Resistivitetsdata Profil P1

Profil P1 ligger langsmed og øst for skredgropa, i en avstand 50-100 m fra skredkanten (fig. 6 og 7). Profilet er 700 m langt. Den sørlige delen av profilet domineres av ei lomme med lave resistivitetsverdier (1-10 Ωm), og den nordlige delen av høye resistivitetsverdier ($\sim 100\text{-}5000$ Ωm). Den øverste delen av profilet viser masser med resistivitetsverdier 10-100 Ωm .

Byneset (Esp): Profil P1

Gradient elektrodekonfigurasjon
Elektrodeavstand 5 m. Profillengde 700 m.
V/H=0,5
Iteration 5 RMS error: 9,8

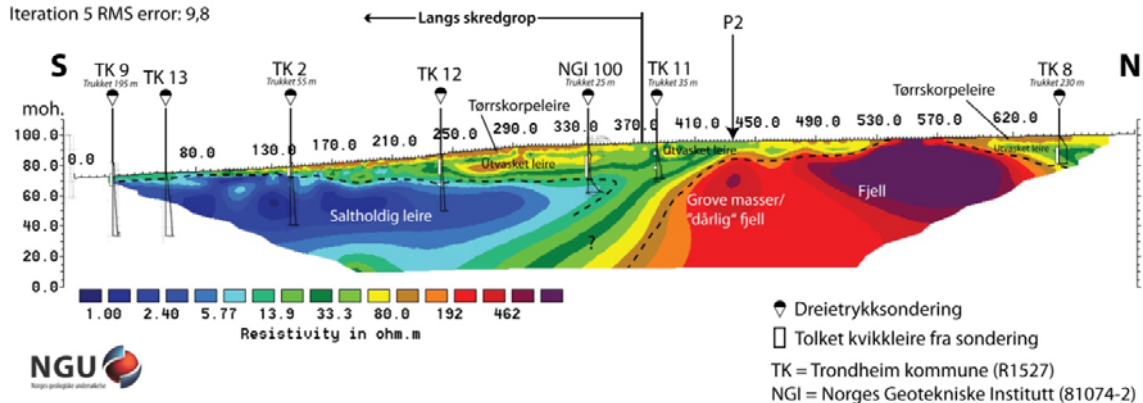


Figur 7. Resistivitetsprofil P1 på Byneset. P1 ligger langsmed og øst for skredgropa, i en avstand 50-100 m fra skredkanten.

De lave resistivitetsverdiene (blå lomme) tolkes til å være saltholdig leire, altså leire med god ledningsevne. De høye resistivitetsverdiene i nord (rød og lilla) tolkes til å være oppstikkende fjell, noe som stemmer godt med gårdbrukerens observasjon (se kap. 2). Deler av denne sonen har relativt lave resistivitetsverdier i forhold til det som er mest vanlig for fjell. Det er derfor mulig at det ligger grove masser (eventuelt morene og/eller breelvavsetning) inntil fjellet, eller det kan være to typer fjell med ulik resistivitet. Sonen nær overflata (grønn, gul) er tolket til å være utvasket leire og dermed potensielt kvikkleire. Deler av topplaget er trolig tørrskorpeleire (orange).

Byneset (Esp): Profil P1

Gradient elektrodekonfigurasjon
Elektrodeavstand 5 m. Profillengde 700 m.
V/H=0,5
Iteration 5 RMS error: 9,8



Figur 8. Geotekniske data lagt over og tolket sammen med resistivitetsprofil P1 på Byneset (se vedlegg 3 for profil P1 i A3) (NGI 1994; TK 2012).

Resistivetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil P1

Det finnes 7 geotekniske sonderingsprofiler som er aktuelle for sammenligning med resistivetsprofil P1 (fig. 6 og 8). To av disse er trukket nokså langt (± 200 m, TK 8 og TK 9) og må derfor samtolkes med større forsiktighet. Nesten alle sonderingsprofilene kan tolkes til å inneholde soner med kvikkleire, for de fleste i øvre del av profilene. Sammenholdt med resistivetsprofilet, ligger tolket kvikkleire i hovedsak innenfor intervallet 10-100 Ωm . Sonderingsmotstanden øker med dybden i leire med resistivetsverdier under 10 Ωm . Det er derfor godt samsvar mellom de to metodene. De fire sørligste sonderingene er avsluttet i leire, mens de tre nordligste er avsluttet mot "stein". For TK 8 stemmer dette med overgang mot høye resistivetsverdier, for NGI 100 og TK 11 kan det være grove lag/lommer i leire eller en stein (f.eks. droppstein).

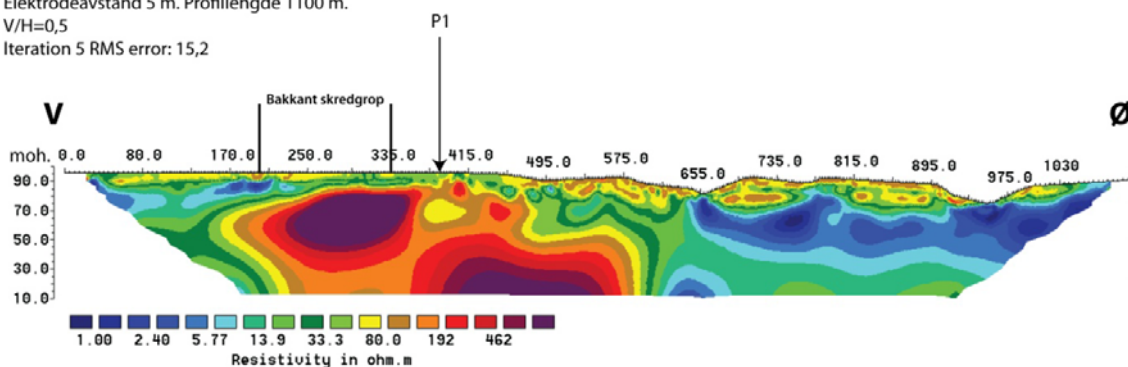
6.2 Profil P2

Resistivetsdata Profil P2

Profil P2 ligger nord for og i bakkant av skredgropa (fig. 6 og 9). Profilet er 1100 m langt, og krysser flere bekkeraviner. Den midtre/vestlige delen av profilet domineres av høye resistivetsverdier (~ 100 -5000 Ωm). I den østlige delen ligger ei lomme med lave resistivetsverdier (1-10 Ωm) under ravinebunn-nivå. Tilsvarende finnes ei lomme med lave resistivetsverdier i den vestligste delen av profilet. De øvre delene av profilet domineres av masser med resistivetsverdier 10-200 Ωm .

Byneset (Esp): Profil P2

Gradient elektrodekonfigurasjon
Elektrodeavstand 5 m. Profillengde 1100 m.
V/H=0,5
Iteration 5 RMS error: 15,2



Figur 9. Resistivetsprofil P2 på Byneset. P2 ligger nord for skredgropa.

De høye resistivitetsverdiene i midten/vest (rød og lilla) tolkes til å være fjell. Mellom profilpunkt 260 og 375 er fjellet overdekket av 10-20 m utvasket leire. Mellom profilpunkt 375 og 550 er det trolig grove masser over fjell (evt. "lavresistivitetsfjell") (se også beskrivelse av P1), med utvasket leire i øvre deler av profilet. P2 krysser P1 i sonene med høye resistivitetsverdier på begge profiler. Det er en overdekning på 5-10 m leire over grovere masser/fjell i krysningspunktet på profilene.

De lave resistivitetsverdiene i øst (blå lomme) tolkes til å være saltholdig leire. I områdene øst for fjell/grovere masser er det trolig utvasket leire, hovedsakelig i nivå over bunnen av ravinene. Resistivitetsverdiene her er nokså høye, og masser med verdier på 100-200 Ωm tolkes generelt til å være tørrskorpeleire. I leirområder gjennomskåret av raviner er dreneringen vanligvis god, og leira kan være noe tørrere. Det viste seg ved resistivitetsmålinger i et lignende leirområde på Rødde (ca. 2 mil sørøst), at disse drenerte "haugene" mellom ravinene godt kunne inneholde kvikkleire, selv om resistivitetsverdiene var noe over 100 Ωm (Solberg et al. 2008). En rekke sandlag i leira vil også kunne gjøre den gjennomsnittlige resistivitetsverdien høyere (Reiser et al. 2010). Deler av topplaget i P2 er trolig tørrskorpeleire (orange).

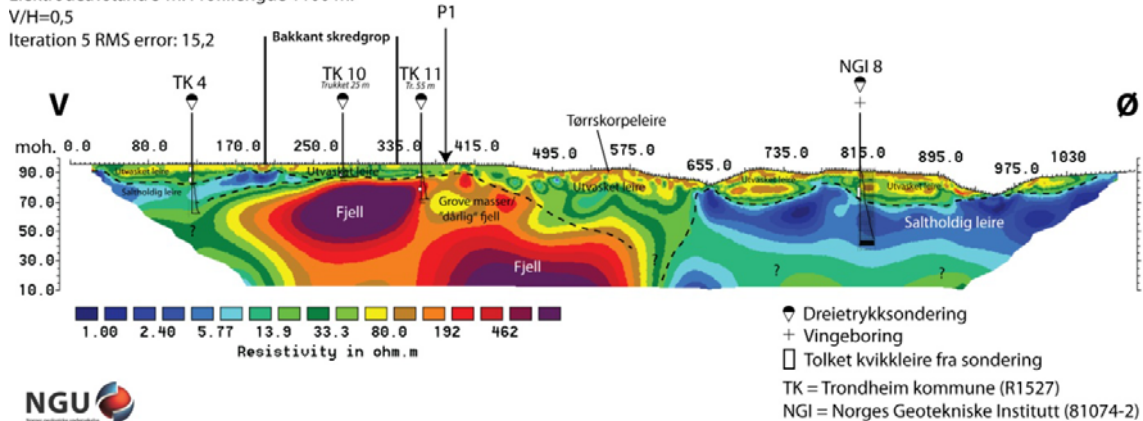
Byneset (Esp): Profil P2

Gradient elektrodekonfigurasjon

Elektrodeavstand 5 m. Profilengde 1100 m.

V/H=0,5

Iteration 5 RMS error: 15,2



Figur 10. Geotekniske data lagt over og tolket sammen med resistivetsprofil P2 på Byneset (se vedlegg 3 for profil P2 i A3) (NGI 1994; TK 2012).

Resistivitetsdata sammenlignet med geotekniske data for Profil P2

Det finnes 4 geotekniske sonderingsprofiler som er aktuelle for sammenligning med resistivitetsprofil P1 (fig. 6 og 10). Alle sonderingsprofilene kan tolkes til å inneholde soner med kvikkleire. For tre av sonderingene ligger tolket kvikkleire i hovedsak innenfor intervallet 10-100 Ωm på resistivitetsprofilet. TK 11 er et unntak, for sonderingsprofilet viser leire (og til dels kvikkleire) og stoppes mot stein på 23 m dyp. Sammenlignet med P2, går store deler av sonderingsprofilet ned i de høye resistivitetsverdiene som tolkes til å være fjell (evt. grovere masser). Grunnen til dette er trolig at TK 11 er trukket 55 m, og det oppstikkende fjellet er sannsynligvis en "knaus". Resistivitetsverdiene i P1 bekrefter oppstikkende fjell nær krysningspunktet mellom P1 og P2, og det er godt samsvar mellom de to profilene. Det er altså store variasjoner i sedimenttykkelse over korte avstander. Som for P1 øker sonderingsmotstanden i leire med resistivitetsverdier under 10 Ωm på profil P2.

7. DISKUSJON OG KONKLUSJON

De to kryssende resistivitetsprofilene på Byneset viser oppstikkende fjell, mulig grove masser, store lommer med saltholdig, stabil leire, soner med potensiell kvikkleire, og tørrskorpeleire. Når resistivitetsverdiene sammenlignes med nærliggende sonderingsprofiler er det generelt meget godt samsvar mellom de to metodene for kartlegging av undergrunnen. Resistivitetsprofillinjene på Byneset ble lagt så nærme skredgropa som forsvarlig mulig for å kunne bidra til å gi et bilde av grunnforholdene i dens umiddelbare nærhet. Det var viktig å få en rask oversikt over mulighetene for at skredet kunne utvide seg. I så måte er resistivitetsmetoden godt egnet, det ble målt 1800 m på 3 dager. Det sammenhengende, todimensjonale – og til dels tredimensjonale – bildet av geologien letter interpolering mellom den punktvis informasjonen som sonderingene gir. Ved å sammenligne resultatene fra de to metodene får man en gjensidig styrking av tolkningene, og i neste runde sikrere profiler for beregning av stabilitet.

Undersøkelsene ved Esp på Byneset bekrefter tidligere publiserte resistivitetsintervaller for saltholdig, intakt leire, mulig kvikkleire, tørrskorpeleire og grovere masser (f.eks. Solberg et al. 2008, 2011b).

I dette konkrete tilfellet er dokumentasjonen av oppstikkende fjell og grove masser av vesentlig betydning for begrensnings av skredutbredelsen mot nordøst. I P1, som ligger langs skredgropa, viser de lave resistivitetsverdiene i sør at det trolig er stabil leire under bekkenivå. Sonen med utvasket leire er også relativt tynn (~5 m) i øvre deler av profil P1 mellom profilpunkt 40 og 130. Omtrent ved profilpunkt 130, ca. 100 m vest for P1, åpnet skredporten seg. Skredet forplantet seg bakover og parallelt med P1, hvor sonen med utvasket leire øker i tykkelse mot nord.

De geofysiske data, sammenholdt med de geotekniske data, viser tykke utvaskede og mulig kvikke masser (nord)øst og nordvest for den nåværende skredgropa. Det er ikke foretatt noen stabilitetsberegninger i denne rapporten, men det anbefales at stabiliteten vurderes og at skråningene sikres før eventuell erosjon kommer i gang. Siden det er nokså lite informasjon om sedimentene vest for skredgropa, anbefales resistivitetsmålinger i et profil her, parallelt med skredgropa.

8. REFERANSER

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

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

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

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

NGI 1988: Kartlegging av områder med potensiell fare for kvikkleireskred. Kartblad Orkanger M 1:50 000. Norges Geotekniske Institutt Rapport 81074-1, datert 1. juli 1988.

NGI 1994: Kartlegging av områder med potensiell fare for kvikkleireskred. Kartblad Orkanger M 1:50 000. Boreresultater. Norges Geotekniske Institutt Rapport 81074-2, datert 18. mars 1994.

NVE 2012: Kvikkleireskred ved Esp på Byneset i Trondheim. Norges vassdrags- og energidirektorat Rapport 1-2012. Foreløpig versjon.

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

Reite, A.J. 1983: Orkanger. Beskrivelse til kvartærgeologisk kart 1521 I, M 1:50 000. Norges Geologiske Undersøkelse Skrifter 47.

Reite, A.J., Sveian, H. & Erichsen, E. 1999: Trondheim fra istid til nåtid – landskapshistorie og løsmasser. Norges Geologiske Undersøkelse Gråsteinen 5.

Solberg, I.L., Hansen, L., Rønning, J.S. & Dalsegg, E. 2011a: Veileder for bruk av resistivitetmålinger i potensielle kvikkleireområder. Norges Geologiske Undersøkelse Rapport 2010.048.

Solberg, I.L., Hansen, L., Rønning, J.S., Haugen, E.D., Dalsegg, E. & Tønnesen, J.F. 2011b: 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 Online DOI 10.1007/s10064-011-0363-x

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

TK 2012: Byneset – ras. Trondheim kommune Rapport R1527.

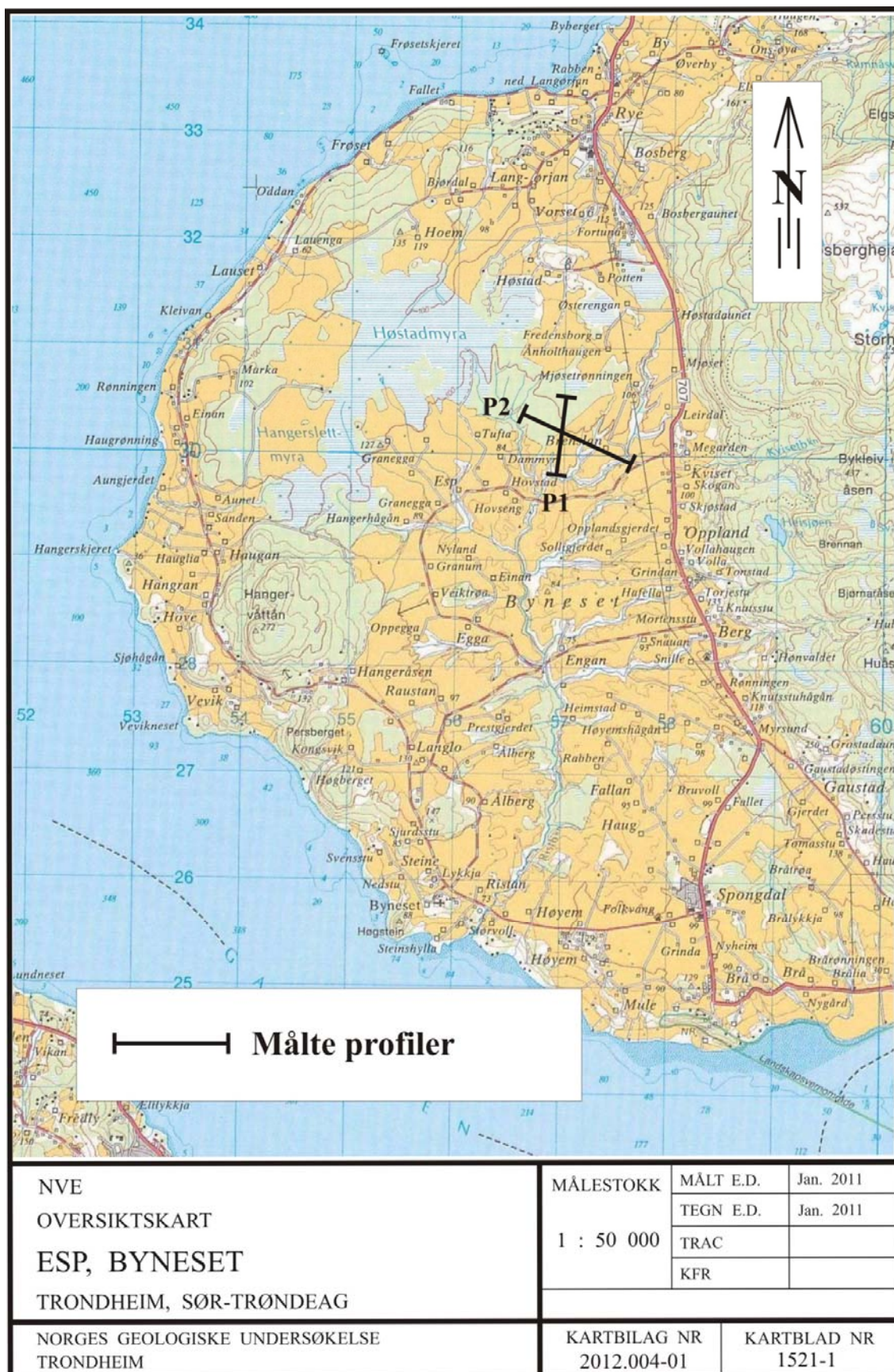
Wolff, F.C. 1976: Geologisk kart over Norge, berggrunnskart Trondheim 1:250 000. Norges geologiske undersøkelse.

VEDLEGG

VEDLEGG 1 KOORDINATER TIL INNMÅLTE PROFILER

Koordinatene er målt inn av Trondheim kommune (CPOS-kvalitet).

Profilnr.	Profilpunkt	UTM 32N	
		WGS-84 NS	WGS-84 ØV
Profil 1	0	7029800	556959
	100	7029896	556978
	200	7029994	556985
	300	7030089	557005
	400	7030185	557035
	500	7030279	557068
	600	7030374	557087
	700	7030470	557105
Profil P2	0	7030372	556707
	100	7030332	556790
	200	7030304	556883
	300	7030255	556967
	400	7030214	557060
	500	7030171	557149
	600	7030126	557234
	700	7030088	557323
	800	7030041	557413
	900	7029992	557501
	1000	7029951	557586
	1100	7029905	557675



VEDLEGG 3

PROFILENE P1 OG P2 MED GEOTEKNISKE DATA I A3

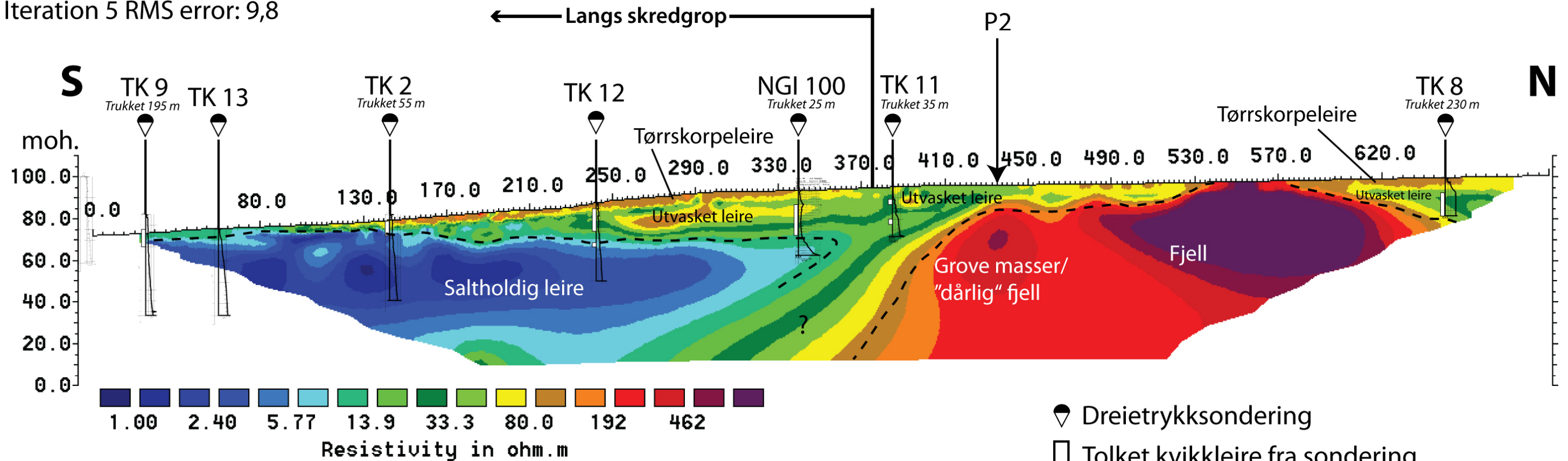
Byneset (Esp): Profil P1

Gradient elektrodekonfigurasjon

Elektrodeavstand 5 m. Profillengde 700 m.

V/H=0,5

Iteration 5 RMS error: 9,8



▽ Dreietrykksondering

□ Tolket kvikkleire fra sondering

TK = Trondheim kommune (R1527)

NGI = Norges Geotekniske Institutt (81074-2)

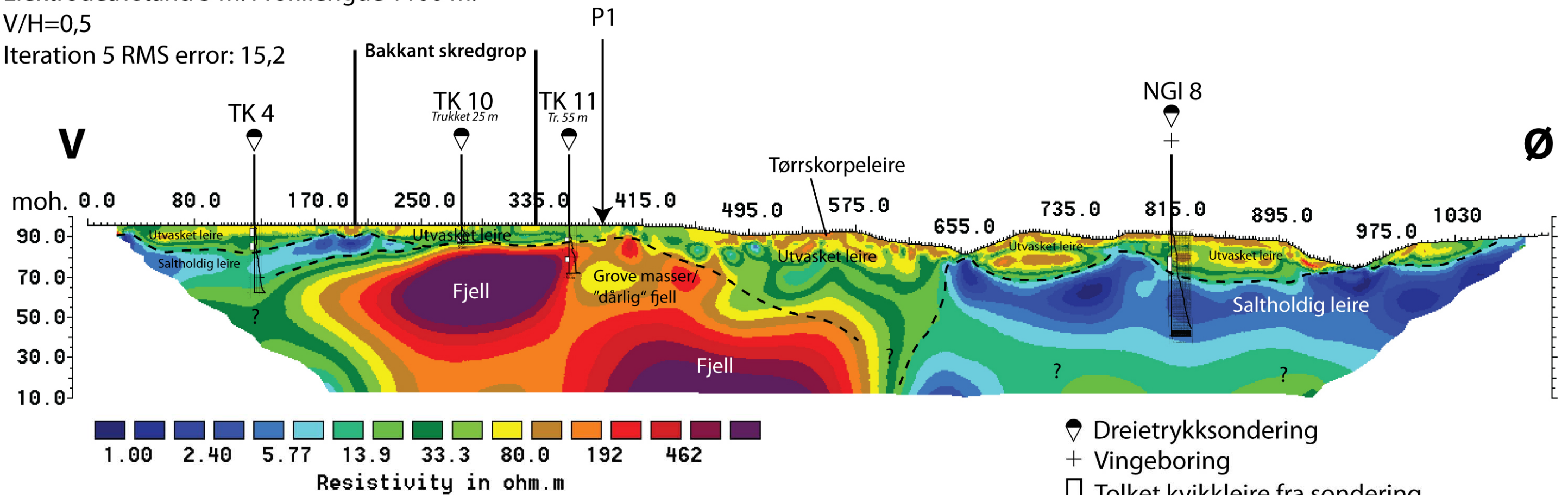
Byneset (Esp): Profil P2

Gradient elektrodekonfigurasjon

Elektrodeavstand 5 m. Profillengde 1100 m.

V/H=0,5

Iteration 5 RMS error: 15,2



- ▼ Dreietrykkssondering
- + Vingebooring
- Tolket kvikkleire fra sondering
- TK = Trondheim kommune (R1527)
- NGI = Norges Geotekniske Institutt (81074-2)