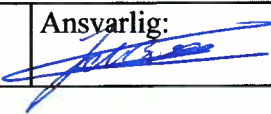


# GEOLOGI FOR SAMFUNNET

*GEOLOGY FOR SOCIETY*



|   |                                   |  |   |
|---|-----------------------------------|--|---|
| Rapport nr.: 2014.022   |                                   | ISSN 0800-3416   | Gradering: Åpen   |
| <b>Tittel:</b><br>2D resistivitetsmålinger ved Brubakken, Melhus sentrum og Skjerdingsstad i Melhus kommune, Sør-Trøndelag. Data og tolkninger.   |                                   |  |   |
| <b>Forfatter:</b><br>Inger-Lise Solberg, Atle Dagestad og Einar Dalsegg   |                                   | <b>Oppdragsgiver:</b><br>NGU   |   |
| <b>Fylke:</b><br>Sør-Trøndelag  |                                   | <b>Kommune:</b><br>Melhus  |   |
| <b>Kartblad (M=1:250.000)</b><br>Trondheim  |                                   | <b>Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)</b><br>1621 IV Trondheim<br>1621 III Støren |   |
| <b>Forekomstens navn og koordinater:</b><br>Melhus 32V 564230 7017900   |                                   | <b>Sidetall:</b><br>44   | <b>Pris:</b><br>Kr 170,-  |
| <b>Feltarbeid utført:</b><br>2003 og 2008   | <b>Rapportdato:</b><br>24.06.2014 | <b>Prosjektnr.:</b><br>351800  | <b>Ansvarlig:</b><br> |
| <b>Sammendrag:</b><br><p>Rapporten inneholder data fra 2D resistivetsundersøkelser og grunnboringer fra tre områder i Melhus kommune: Brubakken i nord, Melhus sentrum og Skjerdingsstad i sør. Data er samlet inn for å få en mer helhetlig forståelse av løsmasseoppbyggingen ved disse lokalitetene. I tillegg er data tolket mht. avsetningenes grunnvanns- og grunnvarmepotensial, samt hvilke områder som kan ha stabilitetsproblemer på grunn av potensielle kvikkleireforekomster. Der geotekniske data er tilgjengelige, har disse blitt sammenlignet med de geofysiske dataene.</p> <p>Tolkningen av 2D resistivetsprofiler, grunnboringer og feltobservasjoner ved Brubakken viser at utvasket marin leire ligger over og under grove masser. Deler av leirlaget på toppen er skredmasser, som ligger over elveavsetninger.</p> <p>Brønnetableringer i Melhus sentrum viste stor variasjon i løsmasseoppbyggingen i området, og grunnvannspotensialet domineres av dypere liggende grove avsetninger med god vanngiverevne som sør for Melhusryggen er overlappet av mektige lag av finkornige marine sedimenter. På ett av de geofysiske profilene ble ikke dypere liggende grovkornete avsetningene detektert pga. at grunnvannet i avsetningene har brakkvannskarakter og gjennomgående lav resistivitet.</p> <p>Grunnboringer ved Skjerdingsstad viste at området domineres av finkornige marine sedimenter med ubetydelig grunnvanns- og grunnvarmepotensial. Geologisk tolkning ut fra grunnboringene var stedvis i god overensstemmelse med geologisk tolkning ut fra de geofysiske undersøkelsene.</p> <p>De samlede data i studieområdet viser at grove masser dominerer, men det finnes likevel lommer eller lag av utvasket leire som potensielt kan være kvikke.</p> |                                   |  |   |
| Emneord: Geofysikk  | 2D resistivitet                   | Grunnvann  |   |
| Grunnvarme  | Løsmasser                         | Kvikkleire   |   |
|   | Vannkjemi                         | Fagrapport   |   |

## INNHOOLD

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.    | INNLEDNING .....  | 4  |
| 2.    | Kvartærgeologiske avsetninger i undersøkelsesområdene .....                           | 4  |
| 2.1   | Brubakken .....   | 5  |
| 2.2   | Melhus sentrum .....  | 6  |
| 2.3   | Skjerdingstad .....   | 6  |
| 3.    | Tidligere geologiske undersøkelser i området .....                                    | 8  |
| 4.    | MÅLEMETODER OG UTFØRELSE .....  | 9  |
| 4.1   | 2D resistivitet .....   | 9  |
| 4.2   | Datainnsamling .....  | 9  |
| 4.2.1 | Strømstyrke og datakvalitet .....   | 10 |
| 4.2.2 | Inversjon .....   | 10 |
| 4.3   | Klassifisering av sedimenter ut fra resistivitetsverdier .....                        | 11 |
| 5.    | RESULTATER OG TOLKNING .....  | 12 |
| 5.1   | Brubakken .....   | 12 |
| 5.2   | Melhus sentrum .....  | 15 |
| 5.2.1 | Profil M1 .....   | 15 |
| 5.2.2 | Profil M2 .....   | 17 |
| 5.2.3 | Profil M3 .....   | 20 |
| 5.3   | Skjerdingstad .....   | 21 |
| 6.    | DISKUSJON og SLUTTORD .....   | 23 |
| 7.    | REFERANSER .....  | 25 |
|       | Vedlegg 1a: Innmålte profiler Melhus sentrum .....                                    | 28 |
|       | Vedlegg 1b: Innmålte profiler Skjerdingstad .....                                     | 29 |
|       | Vedlegg 2: Kart over alle 2D resistivetsprofilene .....                               | 30 |
|       | Vedlegg 3a: Kart over 2D resistivetsprofiler ved Brubakken .....                      | 31 |
|       | Vedlegg 3b: Kart over 2D resistivetsprofiler i Melhus sentrum .....                   | 32 |
|       | Vedlegg 3c: Kart over 2D resistivetsprofil ved Skjerdingstad .....                    | 33 |
|       | Vedlegg 4: LiDAR-data fra studieområdene .....  | 34 |
|       | Vedlegg 5: Faresoner for potensielle kvikkleireskred og marin grense .....            | 35 |
|       | Vedlegg 6: 2D resistivetsprofilene i større format .....                              | 36 |
|       | Vedlegg 7: 2D resistivetsprofilene vist med lang fargeskala .....                     | 42 |
|       | Vedlegg 8: Kjemiske analyser av grunnvann fra grunnvarmeanlegg i Melhus sentrum ..... | 44 |

## 1. INNLEDNING

Uttak av grunnvann til grunnvarmeformål har et stort uutnyttet potensial i Norge. Store befolkningsentra, spesielt i mange av våre dalganger, ligger på eller i nærheten av store løsmasseavsetninger med betydelig potensial for uttak av større mengder grunnvann. Dette grunnvannet kan gjennom bruk av varmepumpe eller direkte frikjøling utgjøre en betydelig fornybar energiresurs. Kartleggingen av disse grunnvanns- og grunnvarmeressursene er utført sporadisk og ofte gitt av lokale behov. Det er ikke utført noen nasjonal kartlegging av grunnvannspotensialet og det finnes ingen nasjonale føringer eller lokale reguleringer på uttak av grunnvarme.

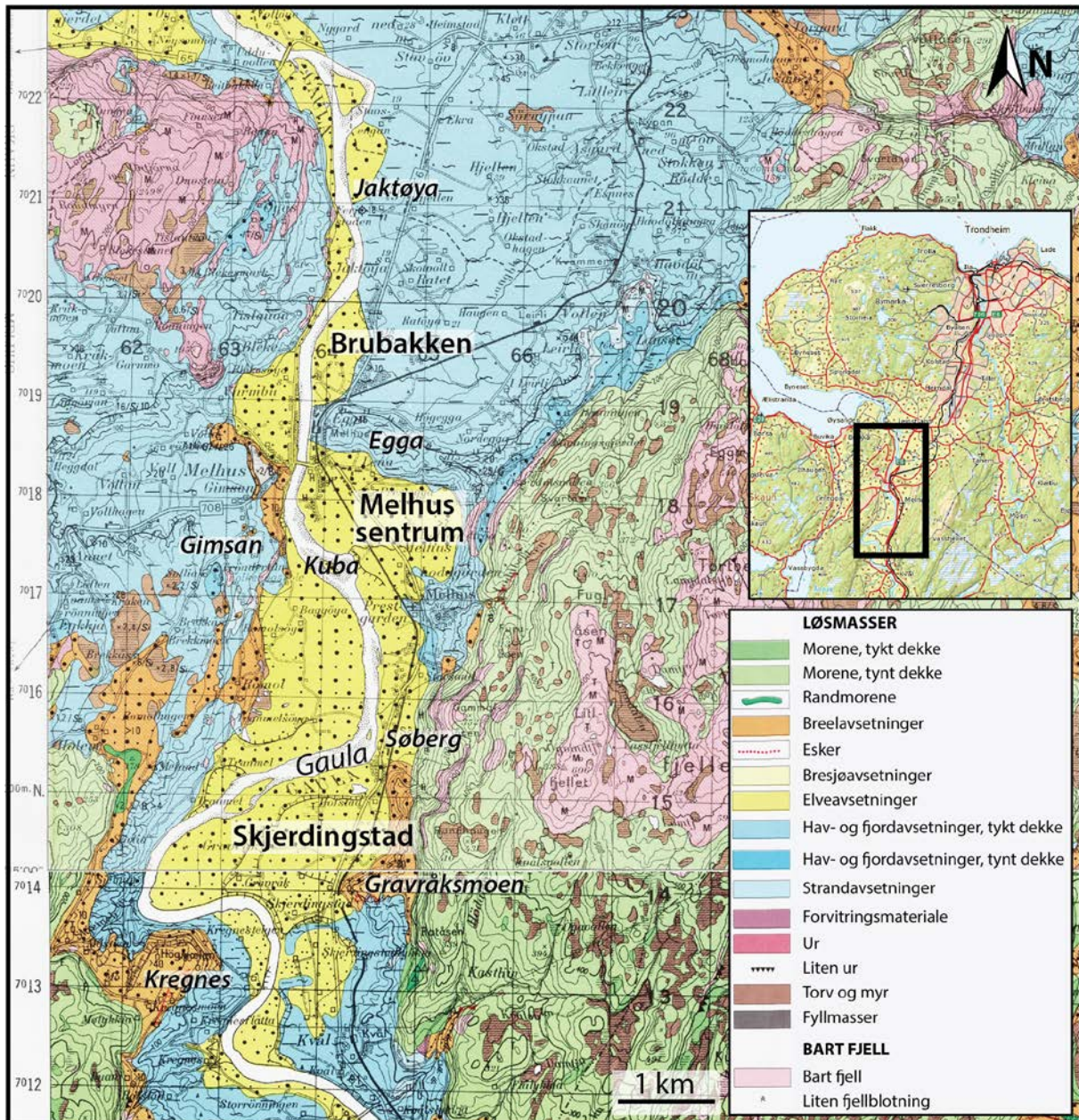
I kommunesenteret Melhus i kommunen med samme navn, benyttes grunnvarme basert på grunnvannsuttak ved flere større kommunale og private bygg. Kartleggingen av grunnvannspotensialet har vært basert på grunnboringer, brønnetableringer og prøvepumping ved hver enkelt lokalitet. Det har ikke tidligere vært gjennomført noen regional kartlegging av løsmasseoppbyggingen og grunnvannsressursene i Melhusområdet.

I et forsøk på å få enn mer helhetlig forståelse av løsmasseoppbyggingen ved Melhus, ble det i regi av NGU utført 2D resistivitetsmålinger i dette området. I forbindelse med arbeidene i Melhus ble NGU samtidig forespurt av Skogplanter Midt-Norge om å bistå dem i å undersøke potensialet for uttak av grunnvann til grunnvarme til planteskole på Skjerdingstad i Melhus kommune. Det er valgt å rapportere resultatene fra disse undersøkelsene også i denne rapporten.

Rapporten inneholder data fra tre områder i Melhus: Brubakken i nord, Melhus sentrum og Skjerdingstad i sør (fig. 1, vedlegg 2). I tillegg til å tolke data mht avsetningenes grunnvannspotensiale, er det også tolket hvilke områder som kan ha stabilitetsproblemer på grunn av potensielle kvikkleireforekomster. Der data fra grunnboringer er tilgjengelige, har disse blitt sammenlignet med de geofysiske dataene.

## 2. KVARTÆRGEOLOGISKE AVSETNINGER I UNDERSØKELSESONRÅDENE

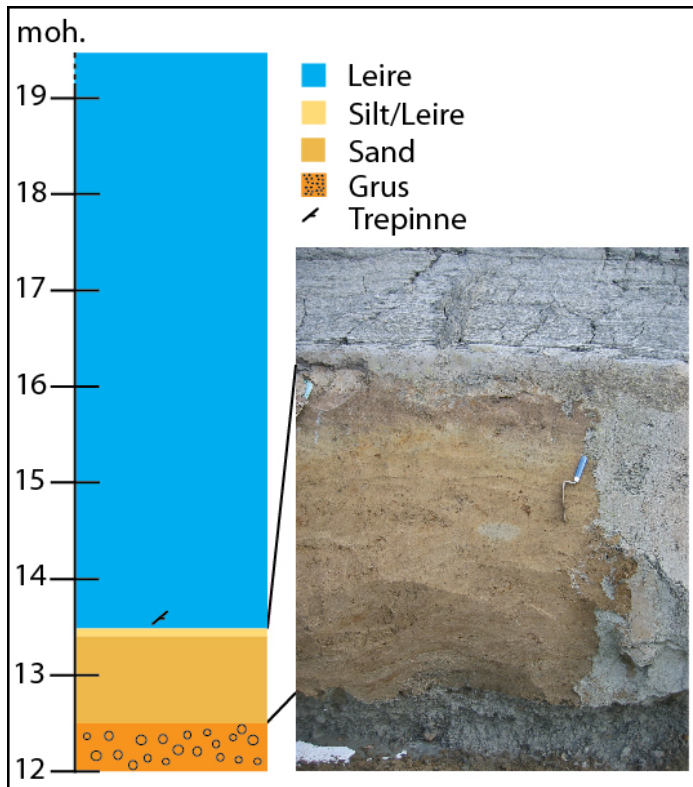
I nordre del av Gauldalen er dalen vid og det er utviklet en flat og åpen elveslette som avgrenses av bratte dalsider. Seismiske undersøkelser (Sindre 1980) viser at det under løsmassene er et overfordypet u-formet dalprofil, utformet gjennom glasial erosjon. Flere steder er det registrert mer enn 200 m overdekning ned til berggrunnen. Størst tolket mektighet har løsmassene ved utløpet av Gaula der det er målt mer enn 400 m dyp ned til fast fjell (Sindre 1980). Man antar at det ligger et tynt morenedekke over berggrunnen, med glasimarine og marine avsetninger over. Generelt ligger fluviale sedimenter over de marine sedimentene. Andre spor etter Gaulas aktivitet er elveterrasser og gamle elveløp. I tillegg finnes mange spor etter skredaktivitet, som skredgroper og skredmasser (bl.a. over elveavsetningene, se eksempler under). Bergartene i studieområdet består av grønnstein og amfibolitt (Wolff 1976).



Figur 1. Kvartærgeologisk kart over studieområdet (Reite 1983, 1985). Kartet har blitt noe revidert i ettertid, se f.eks. Melhus sentrum fig. 10.

## 2.1 Brubakken

Ved Brubakken er det fluviale sand- og grusavsetninger, i tillegg til hav- og fjordavsetninger (Reite 1983; fig. 1). Her ble det laget ei 7-8 m dyp byggegrop til en miljøkulvert for den nye E6 i området. I gropa ble det funnet 6 m skredmasser over elveavsetninger (sand og grus) (Solberg & Glåmen 2004; Hansen et al. 2007; fig. 2). Skredmassene består av delvis intakte leirblokker med deformasjonsstrukturer (folding), men det er mulig å kjenne igjen lagdeling. Det er derfor trolig at kun noe av leira ble omrørt under skredprosessen, og at leirblokkene kan ha blitt fraktet nokså kort. Lignende, tilnærmet intakte blokker i skredmasser har blitt detektert i flere skjæringer i nærliggende områder (Hansen et al. 2007; Solberg et al. 2008a). Det er tidligere tatt ut grus i området ved Brubakken (pers.med. J.S. Rønning, NGU).



Figur 2. Byggegrøp ved Brubakken. Skredleire ligger på toppen av elveavsetninger (sand over grus). Datering av pinnen gav alderen  $810 \pm 40$  BP (kalibrert alder AD 1215-1280), som gir en maksimumsalder for skredhendelsen (figur modifisert etter Solberg & Glåmen (2004)).

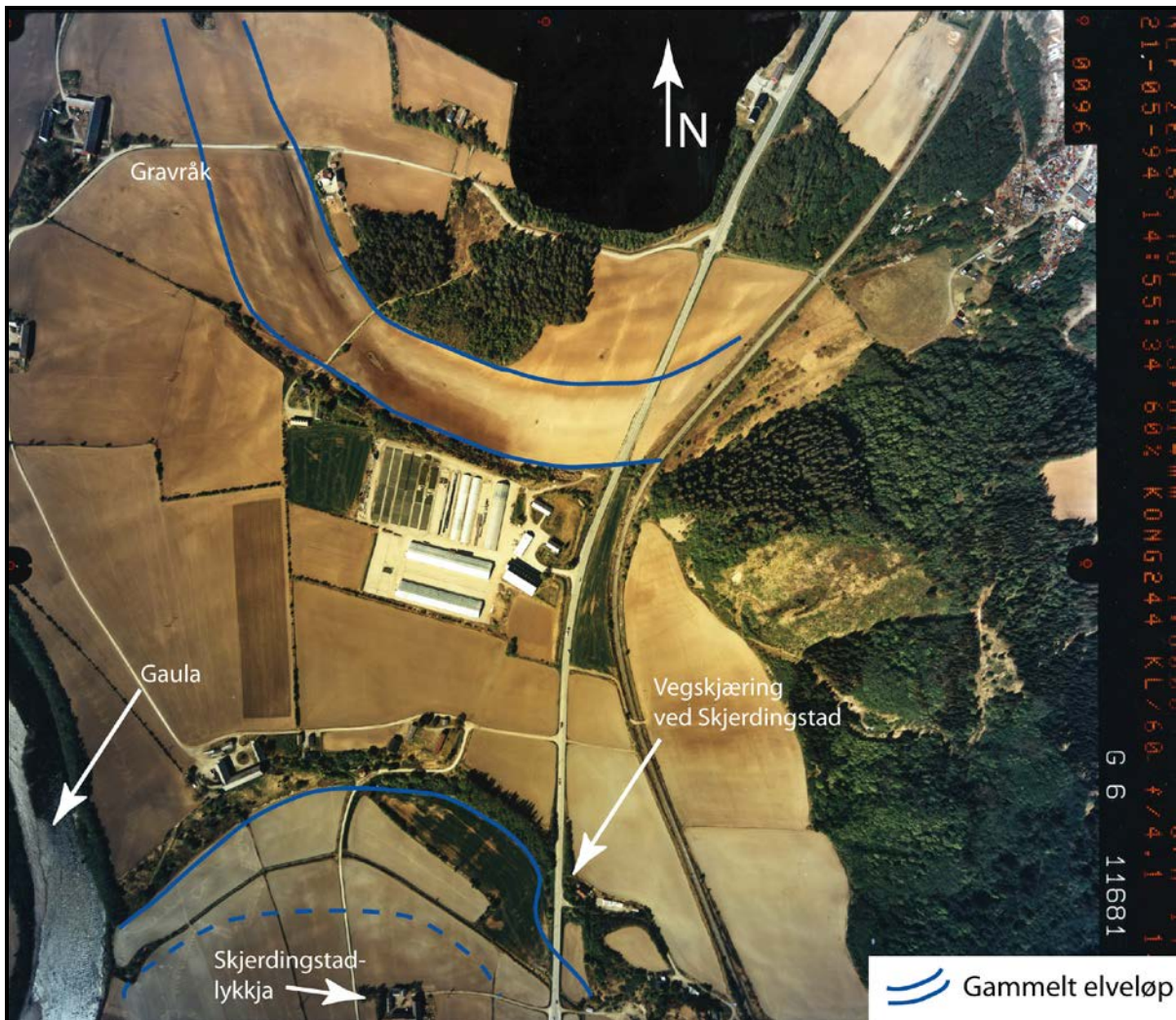
## 2.2 Melhus sentrum

Løsmassene i overflaten domineres av tykke marine avsetninger, som stedvis er overlappet av fluviale sedimenter (fig. 1 og 10). Melhusryggen (Egga) ligger lett synlig i terrenget og er tolket til å være restene av en glasifluvial randavsetning avsatt i framkant av en brefront under siste istid for ca. 10.000 år siden. Avsetningen består hovedsakelig av et 10-30 m tykt leirlag over sand og grus (Hugdahl 1979; Multiconsult 2006). En slik tolkning underbygges også av grunnboringer utført i forbindelse med grunnvarmeprosjekter i Melhus sentrum. Geotekniske prøver testet i laboratorium viser at det finnes kvikkleirelag (Multiconsult 2006). Det antas at Melhusryggen ble bygd opp i hele dalgangens bredde i dette området og strakk seg over mot Gimsan, men trolig ikke like høyt alle steder. Senere landheving og erosjon fra elva Gaula har gjennomskåret randavsetningen. Som ved Brubakken er det også i Melhus sentrum funnet leirskredmasser over elveavsetninger. Disse avsetningene er detaljert beskrevet i Hansen et al. (2007).

## 2.3 Skjerdingsstad

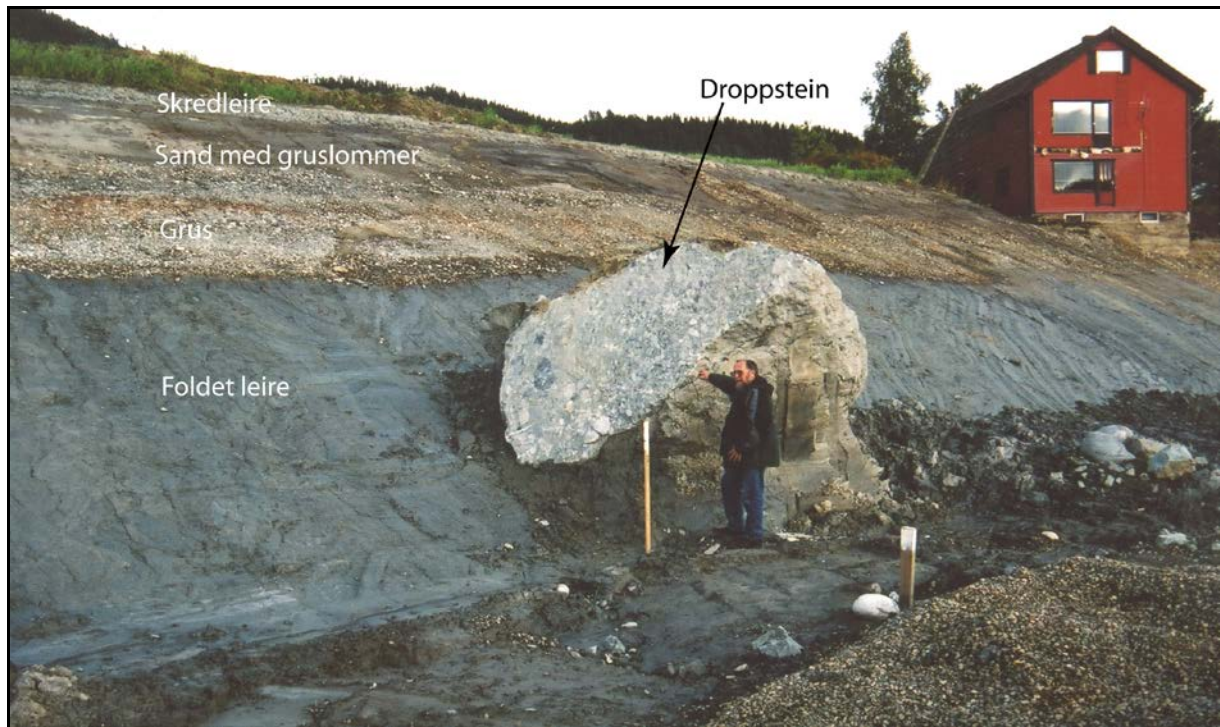
Kregnes-Søberg er en stor breelvavsetning som er bygget opp til marin grense, og er en fremtredende terrengformasjon (Reite 1983, 1985). Dette er rester av en større sammenhengende israndavsetning som trolig strakk seg over hele dalgangens bredde, før landheving og elveerosjon førte til gjennomskjæring. Skjerdingsstad ligger foran denne avsetningen, og sedimentene i overflata er dominert av elveavsetninger. Israndavsetningene består hovedsakelig av sand og grus, noe som kan sees i de store løsmasseuttakene på Gravråksmoen og Kregnes (Høgmælen).

Gaula meandrerer, og på flyfoto og LiDAR-data kan man se spor etter tidligere elveløp. Figur 3 og vedlegg 4 viser et eksempel på dette ved Skjerdingsstad, hvor det er tydelige terrasser i terrenget.



Figur 3. Gamle elveløp ved Skjerdingsstad og Gravråk (Solberg & Glåmen 2004: foto fra Fjellanger Widerøe AS). Se også vedlegg 4.

Under byggingen av den nye E6 gjennom Melhus ble laget en rekke skjæringer, bl.a. ved Skjerdingsstad (fig. 3 og 4). Leira øverst i skjæringen er tolket til å være skredmasser. Her ble det funnet organisk materiale (tre),  $^{14}\text{C}$ -datert til  $4745 \pm 75$  BP, som gir en maksimumsalder for skredhendelsen (Solberg & Glåmen 2004). Under ligger det elveavsetninger (sand og grus). Leira nederst er foldet og kan være skredmasser, da trolig fra et undersjøisk skred. Et annet alternativ kan være at foldingene i leira kommer av glasitektikk, ved at isen har skjøvet på massene etter at de ble avsatt. Steinen i leira er en droppstein.



Figur 4. Avsetningene i vegskjæringen ved Skjerdingsstad (Solberg & Glåmen 2004: foto av T. Gunleiksrud).

### 3. TIDLIGERE GEOLOGISKE UNDERSØKELSER I OMRÅDET

En regional oversikt over løsmasseavsetningene i denne delen av Gauldalen finnes på de kvartærgeologiske kartene Trondheim og Støren (Reite 1983, 1985) (fig. 1). Ved bygging av ny E6 gjennom Melhus (ferdig i 2005), ble det laget flere store vegskjæringer. Noen av disse ble studert i prosjekter ved NGU og NTNU, se kap. 2 (Solberg & Glåmen 2004; Hansen et al. 2007).

Det er tidligere utført flere lokale geologiske undersøkelser i og i nærheten av Melhus sentrum som gir detaljert informasjon om løsmasseoppbyggingen i dette området (Hugdahl 1979; Mauring 1992; Storrø 2000; Hansen et al. 2007). I forbindelse med utbygging av grunnvarmeanlegg er det utført flere grunnboringer og brønnetableringer i Melhus sentrum som gir viktig informasjon om løsmassesammensetningen mot dypet i dette området.

Ved Brubakken og Skjerdingsstad er det utført geologiske undersøkelser i prosjekter ved NTNU og NGU (Solberg & Glåmen 2004; Hansen et al. 2007). I tillegg er det ved Skjerdingsstad (Gravråksmoen) utført en dyp brønnboring i privat regi, i forbindelse med undersøkelse av grunnvarmepotensialet fra løsmasser til industriparken her.

På 1970-tallet ble det utført seismiske målinger flere steder i Gauldalen for å estimere tykkelsen til løsmassene over berggrunnen (Sindre 1980). Også georadarundersøkelser er utført langs flere elvestrekninger i Gaula, bl.a. på Kuba ved Melhus sentrum (Lauritsen 1998).

Geotekniske undersøkelser i de tre områdene ble utført i forbindelse med kartlegging av potensiell fare for kvikkleireskred, samt i forbindelse med forundersøkelsene til byggingen av ny E6 gjennom Melhus. Der det har vært mulig å framskaffe koordinater til borepunktene, er disse sammenlignet direkte med 2D resistivitetsprofilene. I andre tilfeller, der vi kun har tilgjengelig datarapportene (men uten detaljert oversikt over koordinater) er sammenligningen



mellom geofysiske og geotekniske data gjort overordnet. Etablerte brønner i forbindelse med grunnvarmeprosjekter og boring etter grunnvann, gir også viktig lokal informasjon til støtte i tolkning av de geofysiske undersøkelsene. Disse er markert på 2D resistivitetsprofilene.

## 4. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

Måling av 2D resistivitetsprofiler ble utført i 2003 ved Brubakken, og i 2008 i Melhus sentrum og ved Skjerdingsstad. I forkant av resistivitetsmålingene i Melhus sentrum ble det utført georadarundersøkelser av J.F. Tønnesen ved NGU. Det viste seg imidlertid raskt at denne metoden ikke var egnet på grunn av overdekke av finkornige marine sedimenter som medførte betydelig dempning, og følgelig liten dybderekkevidde på georadarsignalene. Resultatene fra georadarundersøkelsene er derfor ikke rapportert.

### 4.1 2D resistivitet

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

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

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

### 4.2 Datainnsamling

Måledata ble innsamlet med et kabelsystem utviklet ved Lund tekniske høgskole (LUND-systemet, Dahlin 1993). Systemet består av en reléboks (Electrode Selector ES10-64C) og to eller fire multi-elektrode kabler. Måleprosessen styres av et ABEM Terrameter SAS 4000 (ABEM 1999). Ved denne undersøkelsen ble det benyttet fire kabler med 2 m eller 10 m elektrodeavstand, noe som gir en maksimal dybderekkevidde på henholdsvis 25 m og 130 m. Oppløsningen, og dermed nøyaktigheten, er størst i den øvre halvdel av pseudoseksjonen (profilet). Hele systemet kan flyttes langs profilet slik at utstrekningen av et profil er ubegrenset. Det ble benyttet Wenner eller Gradient elektrodekonfigurasjon, som begge er godt egnet til kartlegging av horisontale strukturer (Reiser et al. 2010).

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

For Melhus sentrum og Skjerdingsstad ble profilenes beliggenhet innmålt med GPS (vedlegg 1), men ikke merket i terrenget. Profilene ved Brubakken ble kun avmerket på kart. Oversikt over profilenes lengde og plassering finnes i tabell 1. For lokalisering av profilene på kart, se kap. 5 og vedleggene 2 og 3. Det er ikke anbefalt å ha større knekk på målelinja (i

horisontalplanet) enn 20°, da dette kan føre til nivåfeil (Solberg et al. 2011). Det betyr at dybden til lag kan bli påvirket. I Melhus sentrum kan dette være et problem for profilene M1 og M2.

Tabell 1. Oversikt over innsamling av 2D resistivitet i Melhus.

| Sted           | Dato                      | Profil-nr. | Profil-lengde (m) | Elektrode-avstand (m) | Elektrode-konfigurasjon | Personell (NGU)                |
|----------------|---------------------------|------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Brubakken      | 9. juli 2003              | B1         | 800               | 10                    | Wenner                  | Einar Dalsegg                  |
| Brubakken      | 8. oktober 2003           | B2         | 240               | 2                     | Wenner                  | Einar Dalsegg                  |
| Melhus sentrum | 23.-25. september 2008    | M1         | 2800              | 10                    | Gradient                | Einar Dalsegg                  |
| Melhus sentrum | 29.-30. september 2008    | M2         | 1800              | 10                    | Gradient                | Einar Dalsegg, Harald Elvebakk |
| Melhus sentrum | 30. sept.-1. oktober 2008 | M3         | 1200              | 10                    | Gradient                | Einar Dalsegg                  |
| Skjerdingsstad | 11.-13. november 2008     | S1         | 2000              | 10                    | Gradient                | Einar Dalsegg                  |

#### 4.2.1 Strømstyrke og datakvalitet

Strømstyrken for mesteparten av målingene lå i områdene 100 og 200 mA. Langs profil M2 i Melhus sentrum var strømstyrken noe lavere på grunn av dårligere jordingsbetingelser. Datakvaliteten var meget god, og kun et fåtall måldata måtte fjernes før prosessering.

Root-mean-square (rms) error, kvadratisk middelfeil (effektverdi), sier noe om hvor god inversjonen av måldata er (Solberg et al. 2011). For dataene i studieområdene varierer denne fra ganske lav ved Brubakken (2,1 og 6,4), middels til høy i sentrum (10,1, 11,9 og 19,1), og høy (27,3) ved Skjerdingsstad. En mulig forklaring på stedvis dårlig inversjon kan være stor grad av inhomogenitet i massene.

#### 4.2.2 Inversjon

Ved alle resistivitetsmålinger måles tilsynelatende resistivitetsverdier. Denne representerer et veid middel av alle resistivitetsverdier som er innenfor målingens influensvolum. For å finne den spesifikke resistivitet i ulike deler av undergrunnen må data inverteres. Dette utføres ved at profilet deles opp i blokker som tilordnes en bestemt resistivitetsverdi. Denne blir så justert i flere trinn (iterasjoner) inntil responsen fra den teoretiske modellen blir mest mulig lik de målte data. Den inverterte seksjonen er det resulterende 2D resistivetsprofil.

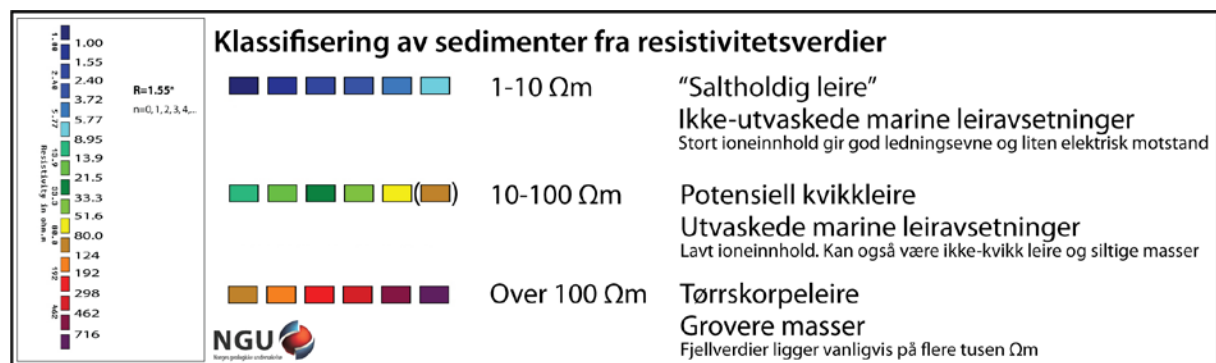
Resistivetsdata ble invertert ved bruk av dataprogrammet Res2DInv (Loke 2010). Standard "Least Square" ("Smooth") ble benyttet som inversjonsmetode. V/H-filter (vertikal/horisontal-filter) er ved inversjonen satt til 0,5, noe som gjør at horisontale strukturer framheves.

### 4.3 Klassifisering av sedimenter ut fra resistivetsverdier

Tabell 2 og figur 5 viser klassifisering av sedimenter fra resistivetsverdier som er benyttet som utgangspunkt for tolkningen av 2D resistivetsprofilene. Tabellen og figuren er basert på erfaringer fra tidligere arbeider, spesielt i kvikkleireområder (Solberg et al. 2008b, 2011 og 2012). Det er viktig å være klar over at det er gradvise overganger mellom klassene, slik det gjerne også er i sedimentene selv. Det kan også være lokale variasjoner avhengig av f.eks. porevannskjemi, metningsgrad, kornfordeling, mineralsammensetning og romlig geologi.

Tabell 2. Utgangspunkt for løsmasseklassifisering fra resistivetsverdier. Merk at det er gradvise overganger mellom klassene, og at det kan være lokale variasjoner avhengig av f.eks. porevannskjemi, metningsgrad, kornfordeling og mineralsammensetning. Fargekoden benyttes i NGUs kvikkleire-relaterte prosjekter (basert på bl.a. Solberg et al. 2008b, 2011, 2012).

| Resistivetsverdier      | Materiale  | Fargekode              | Beskrivelse  |
|-------------------------|--|------------------------|--|
| 1-10 $\Omega\text{m}$   | Ikke-utvaskede marine leiravsetninger (Saltholdig leire) | Blå                    | Leira har vært lite utsatt for utvasking etter avsetning. Porevannet inneholder fremdeles mye ioner som stabiliserer strukturen og gir god ledningsevne og dermed lave resistivetsverdier. Godt ledende mineraler som sulfider og grafitt, og andre sedimenter mettet med ionerikt vann kan også gi lave resistivetsverdier. |
| 10-100 $\Omega\text{m}$ | Utvaskede marine leiravsetninger (Mulig kvikkleire)      | Grønn, gul             | Utvasking av leire fører til færre ioner i porevannet og ved et saltinnhold på mindre enn ca. 5 g/l kan kvikkleire dannes. Resistivetsverdiene er fremdeles lave, men høyere enn for ikke-utvasket leire. Utvasket, men ikke-kvikkleire, leirig morene og siltige sedimenter kan også ligge i dette intervallet.             |
| >100 $\Omega\text{m}$   | Tørrskorpeleire  | (Gul), Orange          | Tørrskorpeleire, leirskredmasser, sand og grus vil generelt ha høyere resistivetsverdier.  |
| 50-150 $\Omega\text{m}$ | Siltige masser   | Gul, orange            | Vanninnhold i sedimentene vil ha betydning for ledningsevnen. Berggrunnen har som regel resistivetsverdier på flere tusen ohmm, men oppsprukket fjell og malmrike bergarter kan ha betydelig lavere resistivitet.  |
| >150 $\Omega\text{m}$   | Sand, grus, morene                                       | Orange, rød, mot lilla |  |
| >1000 $\Omega\text{m}$  | Fjell  | (Rød), Lilla           |  |



Figur 5. Fargeskala som brukes ved NGU ved kartlegging av potensiell kvikkleire (Solberg et al. 2011).

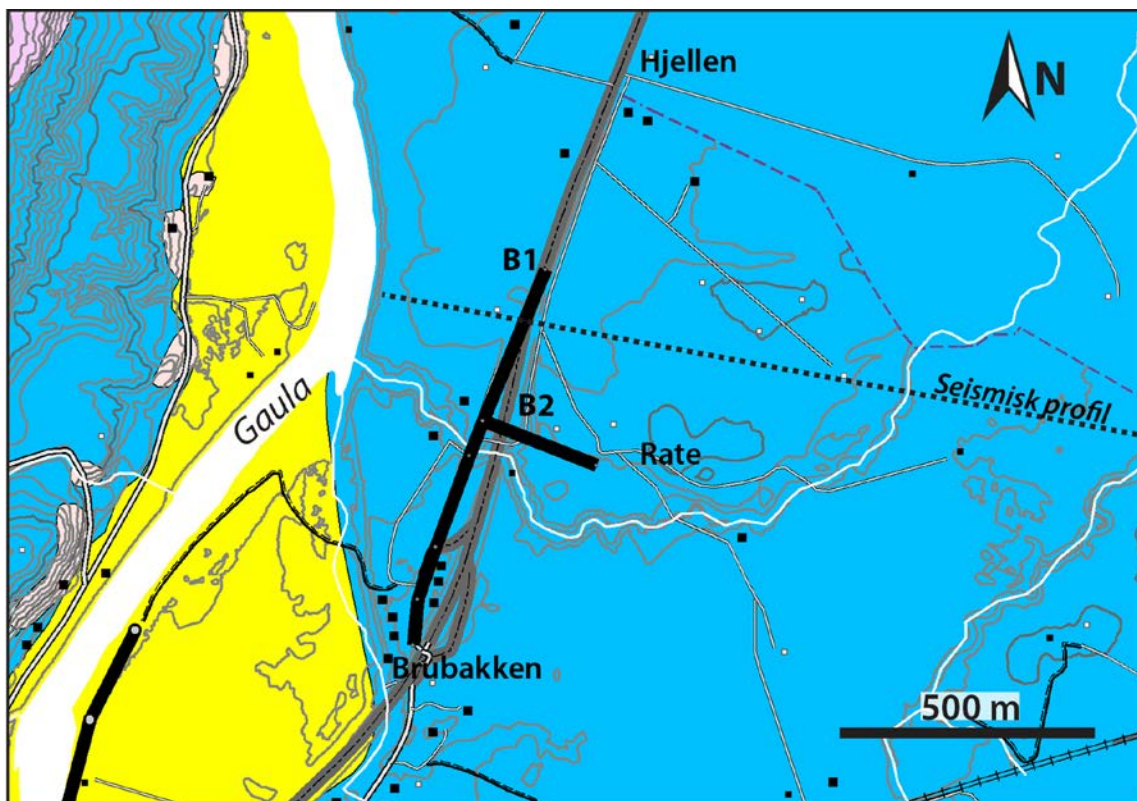
Når man tolker et 2D resistivitetsprofil vil de beste dataene ligge i de øverste og sentrale delene av profilet, hvor det er mest måledata. I ytterkantene og dype delene av profilet er det lite datapunkter, og disse delene av profilet må derfor tolkes med forbehold.

Profilene vist i rapporten har samme fargekode, slik at de lettere kan sammenlignes. Skalaen går fra ca. 1-1000  $\Omega\text{m}$ , dette for å kunne vise små variasjoner i den nedre del av skalaen. I tillegg til at profilene er vist i teksten, er de også gjengitt i litt større versjon i vedlegg 6. Ved tolkning av profilene er data også vist med en lengre skala (1-65000  $\Omega\text{m}$ ), for bedre å kunne skille mellom verdier i øvre del av skalaen (f.eks. mellom sand/grus og fjell). Disse profilene er vist i vedlegg 7.

## 5. RESULTATER OG TOLKNING

### 5.1 Brubakken

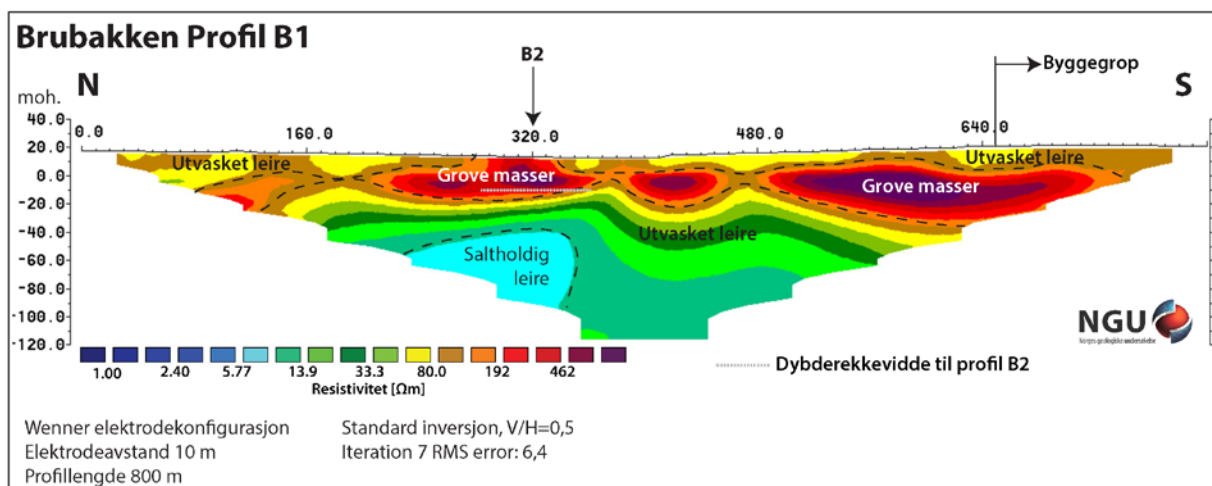
2D resistivitetsprofilene ved Brubakken er 240 m og 800 m lange, og krysser hverandre så vidt (fig. 6, vedlegg 3a). I området finnes også et ca. 2500 m langt seismisk profil som krysser B1 og ligger parallelt med og nord for B2 (Sindre 1980). Profilet viser at dyp til fjell er ca. 150 m ved Brubakkenprofilene, og altså dypere enn 2D resistivitetsprofilene som kun viser løsmasser.



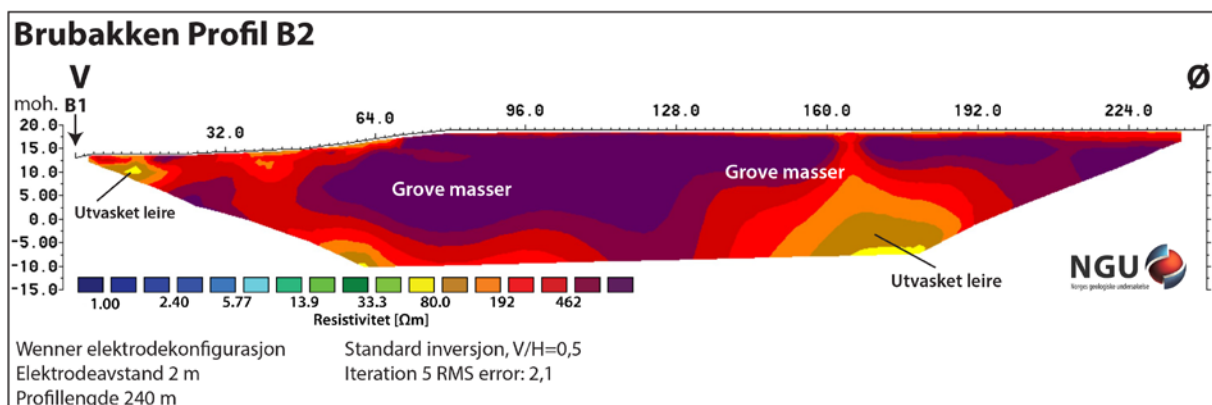
Figur 6. Lokalisering av 2D resistivitetsprofilene ved Brubakken, se også vedlegg 2. Kartleggingsmålestokken for løsmassekartet er 1:50 000, så grensene er ikke nøyaktige. Blått: tykke marine avsetninger, gult: elveavsetninger, rosa: bart fjell (kart modifisert etter Reite 1983). Stiplet linje viser deler av plasseringen til et seismisk profil (Sindre 1980).

Profil B1 viser et stort sett sammenhengende topplag med resistivitetsverdier på 50-120  $\Omega\text{m}$  (fig. 7, vedlegg 6). Dette er trolig utvasket leire, tørrskorpeleire og leirskredmasser (se mer om dette under). Ved krysningpunktet med profil B2 ligger masser med høyere resistivitet (opp mot 1000  $\Omega\text{m}$ , vedlegg 7). Dette er grove sedimenter (sand/grus), og utgjør et lag med varierende tykkelse under topplaget av leire. Under sand-/gruslaget registreres det igjen lave resistivitetsverdier, og dette er trolig utvasket, potensiell kvikk marin leire. Ei lomme med mer saltholdig leire registreres mot dypet, men siden denne ligger i dypere del av profilet, og i kanten, er utbredelsen noe usikker.

Profil B2 er målt med 2 m elektrodeavstand, og har derfor god oppløsning i øvre del, men går ikke så dypt (fig. 8). Profilet viser så å si kun høye resistivitetsverdier (200-4000  $\Omega\text{m}$ ) noe som tilsier drenert tørr sand/grus. Noen lommer med lavere resistivitet som trolig er utvasket leire finnes også (50-120  $\Omega\text{m}$ ).



Figur 7. Tolket 2D resistivitetsprofil B1 ved Brubakken. Krysningpunkt med B2 er vist. Byggegrøpa ble laget året etter, i forbindelse med bygging av ny E6. Profilet viser et grovkornet lag, trolig sand og grus, med leire over og under.



Figur 8. Tolket 2D resistivitetsprofil B2 ved Brubakken. Krysningpunkt med B1 er vist. Profilet viser hovedsakelig grove masser. Merk at dybderekkevidden til B2 er kun til -15 moh.

Profilene ved Brubakken overlapper ikke, men korrelasjonen mellom dem er god. Ved krysningspunktet ligger grove masser nær overflata på B1, og i hele B2 ser de grove massene også her ut til å ligge i overflata. Løsmassekartet viser marine avsetninger i hele området hvor B1 og B2 er lokalisert (fig. 6). Ut fra 2D resistivitetsundersøkelsene ser det ut til at grove masser kunne vært indikert på deler av dette kartet.

2D resistivitetsmålingene ble utført året før ny E6 ble bygget i området. Byggegroppa for løsmassetunnelen ble laget i 2004 (fig. 2 og 9). Skjæringen viste elvededimenter (sand over grus) i bunnen, med skredleire over (se mer om dette i kap. 2.1). Lokaliseringen av byggegroppa i forhold til 2D resistivitetsprofil B1 er vist på fig. 7. Leire med nokså høy resistivitet kan tolkes som skredmasser, siden de kan være mer uttørket og kompakt enn intakt leire. Tilsvarende resistiviteter for skredmasser er funnet andre steder, f.eks. på Rødde tre km nordøst for Brubakken (Solberg et al. 2012).

Ved forundersøkelsene til ny E6 gjennom Melhus ble foretatt mange geotekniske undersøkelser. Ved Brubakken viser de geotekniske sonderingene generelt middels fast leire/silt over et grovere lag i området for 2D resistivitetsprofil B1 (SVV 2002, 2003; Multiconsult 2005). Prøver herfra viser for det meste at leira er lite til middels sensitiv, og ofte iblandet endel silt/sand. Ved krysningspunktet mellom B1 og B2 viser sonderinger grove masser i omtrent hele sonderingsprofilen. Sonderingene er ikke dype nok til å se lag under de grove massene. Generelt er det godt samsvar mellom geofysiske og geotekniske data ved Brubakken.



Figur 9. Byggegropp for løsmassetunnel ble laget ved Brubakken i 2004. Se fig. 2 for detalj. Skjæringen viser elvededimenter (sand over grus) i bunnen, med skredleire over (leire med forstyrret lagdeling). Dette korresponderer godt med 2D resistivitetsprofil B1 (Foto: I.L. Solberg).

## 5.2 Melhus sentrum

I Melhus sentrum er det målt 3 2D resistivitetsprofiler (fig. 10, vedlegg 3b). Profilene ligger tilnærmet parallelt, men viser likevel nokså forskjellige resultater. Dette viser at geologien i området varierer en del over korte avstander. Profilene ligger alle vest for Melhusryggen, og lokaliseringen av denne er gitt på alle tre profilene for enklere sammenligning og tolkning.

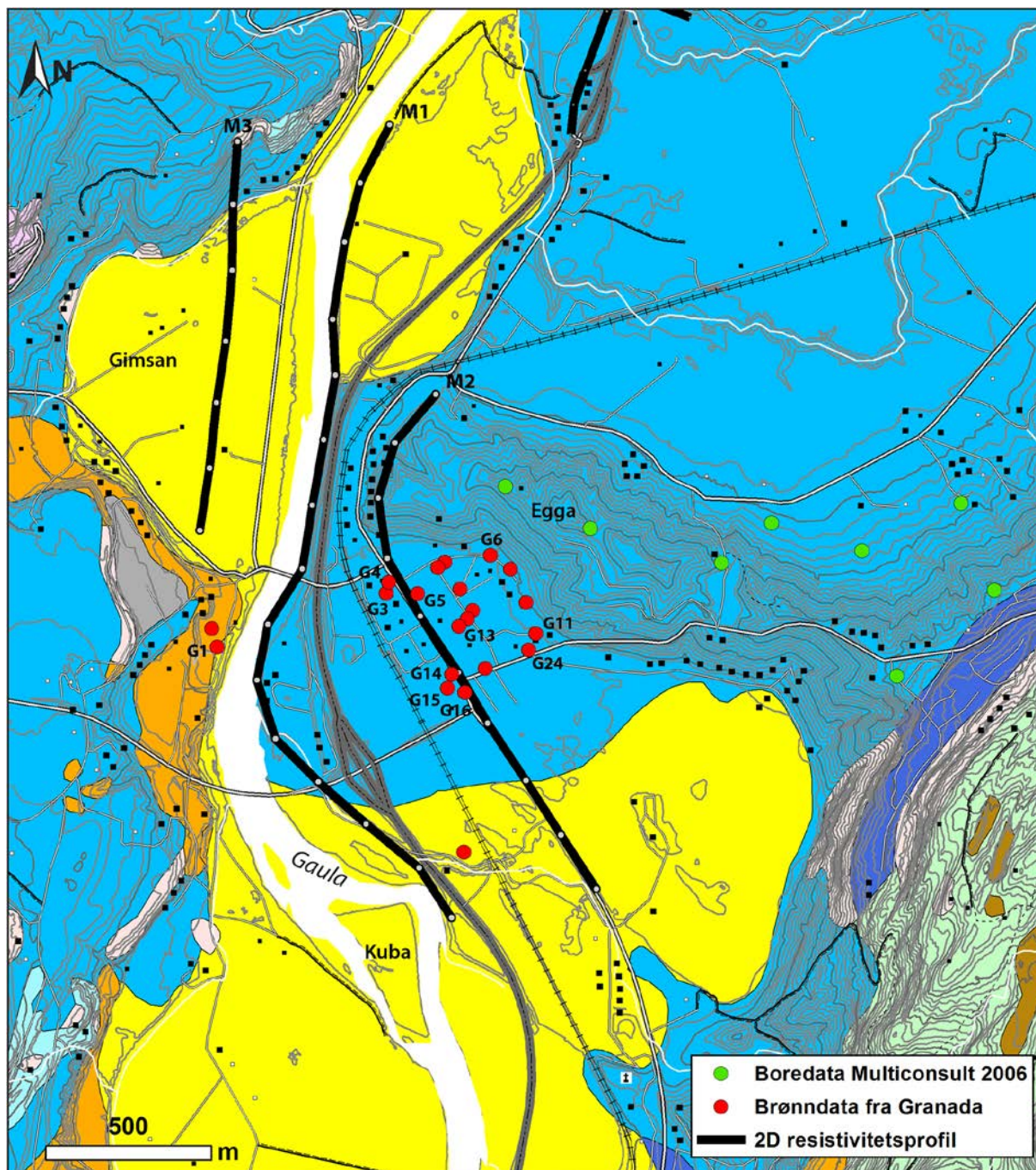
### 5.2.1 Profil M1

2D resistivitetsprofil M1 er det lengste profilet, og i sentrale deler dominerer høye resistivitetsverdier (200-5000  $\Omega\text{m}$ ) (fig. 11, vedlegg 6 og 7). Noen av verdiene midt i dette profilet har verdier som kan indikere fjell, men verdiene synker igjen mot dypet. I 1991 utførte NGU refleksjonsseismiske målinger langs tre profiler i Melhus, hvor hensikten var å finne et testområde for NGUs nye boreutstyr (Mauring 1992). Det ene profilet var langs Gaula mellom profilpunktene 1500 og 1700 på 2D resistivitetsprofil M1. Langs hele dette profilet ble det påvist en kraftig reflektor på kote ca. -50 moh. som ble tolket til å være en markert fjellterskel. To korte refleksjonsseismiske profiler øst for dette langs Gaula, viser antatt fjell på kote -140 moh., og -200 moh. I tillegg viser seismiske målinger fra 1972-1979 (Sindre 1980) 200-300 m dyp til fjell både sør og nord for Melhus sentrum. Selv om dybden til fjell kan variere mye over korte avstander, er det sannsynlig at de relativt høye resistivitetsverdiene i sentrale deler av 2D resistivitetsprofil M1 indikerer grove masser.

I tillegg til grove masser sentralt i profil M1, ligger masser med høy resistivitet i toppen av profilet både i sør og i nord. Dette er tolket til å være sandige/grusige elveavsetninger, som også korresponderer med disse avsetningene på løsmassekartet (fig. 10). Under er det trolig mer finkornige masser (resistivitetsverdier 10-100  $\Omega\text{m}$ ), og lommer med saltholdig leire (3-10  $\Omega\text{m}$ ).

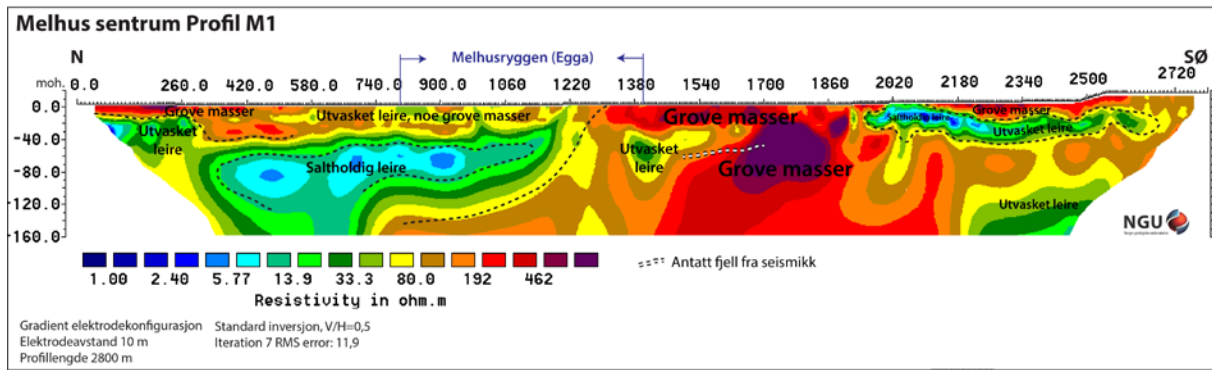
Løsmassekartet viser breelavsetninger på vestsiden av Gaula i sentrale deler av profil M1, mens profil M1 på østsiden av elva ligger på leiravsetninger. På grunn av den store elektrodeavstanden (10 m) kan det ligge noe leire nær overflata, selv om dette ikke vises på profilet. Skjæringer som ble laget i forbindelse med byggingen av ny E6 gjennom området viste at store deler av Melhus sentrum er bygget på skredmasser fra leirskred (Hansen et al. 2007). Disse massene ligger over elveavsetninger. Under er de grove massene sentralt i profil M1 trolig en del av samme randavsetningen som Melhusryggen, altså breelavsetninger.

Ved forundersøkelsene til ny E6 gjennom Melhus ble foretatt mange geotekniske undersøkelser (SVV 2003). Langs profil M1 er sonderingene generelt ned til kote -10 moh. I sentrale deler viser sonderingsprofilene for det meste grove masser, noen steder med et leirlag på toppen. Mellom 2D resistivitetsprofilpunkt 750 og 1200 viser løsmasseprøver at det er siltig leire med lag av sand og grus. En løsmasseboring registrert i Granada på vestsiden av Gaula, i nærheten av profilpunkt 1600, viser sand ned til 26 m dyp med 10 m leire under (G1 på fig. 10). Boredata stemmer generelt godt overens med 2D resistivitetsdata.



Figur 10. Lokalisering av 2D resistivitetsprofilene i Melhus sentrum. Kartleggingsmålestokken for løsmassekartet er 1:50 000, så grensene er ikke nøyaktige. Se fig. 1 for tegnforklaring løsmassekart (kart modifisert etter Reite 1983). Hav- og fjordavsetningene i Melhus sentrum er leirskredmasser.





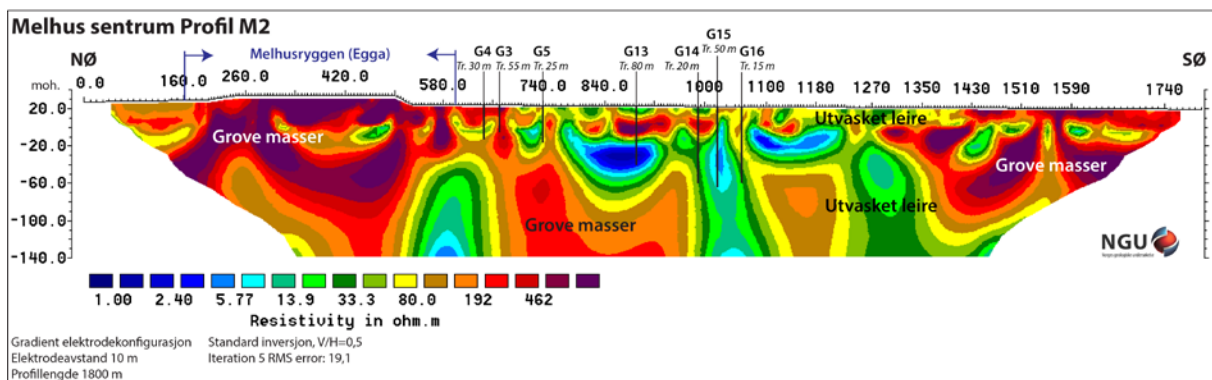
Figur 11. Tolket 2D resistivitetsprofil M1 ved Melhus sentrum.

### 5.2.2 Profil M2

Det er store variasjoner i resistivitetsverdier langs 2D resistivitetsprofil M2 (fig. 12, vedlegg 6). Profilet går gjennom sentrum og følger gamle E6 mot sør. Gjennom Melhus sentrum var det en del elektrisk støy under opptakene, og måleresultatene er derfor her mer usikre enn for profilene M1 og M3.

I nord krysser profilet vestre flanke av Melhusryggen. I Hugdahl (1976) er det referert til Veglab (1966) hvor det skal være påvist en fjellterskel under Melhusryggen. Nyere sonderinger på ryggen har ikke påvist fjell, men sonderingene stoppet mot faste masser (Multiconsult 2006).

Resistivitetsverdiene på profil M2 like vest for Melhusryggen indikerer i hovedsak grove masser og ikke fjell i det aktuelle området (200-4000  $\Omega$ m, vedlegg 7). Resistivitetsverdiene er høye også dagnært, noe som viser at den vestre flanken av Melhusryggen ikke er dekket av marine sedimenter av betydning.



Figur 12. Tolket 2D resistivitetsprofil M2 ved Melhus sentrum. Profilet viser også lokalisering av nærliggende brønner/sonderinger fra Granada. Tr. = trukket og antyder hvor langt unna profilet sonderingene er gjort. Tabell 3 viser tolkning av sonderingene.

Tabell 3. Løsmasselag og kjemiske karakteristikk på grunnvann fra et utvalg energibrønner i Melhus sentrum. Data fra Granada og Storrø (2000) samt analyser av grunnvannsprøver fra brønnene G4, G6 G13, G14 og G24 fra 2014.

| Borenr. | Borenr. Granada | Uttakssted      | Boredyp (m) | Løsmasselag (m)   | Akviferdyp (m) # | El.ledn.-evne (µS/cm) |
|---------|-----------------|-----------------|-------------|---|------------------|-----------------------|
| G4      | 64111           | Oterholm-gården | 38          | 0-9: hard leire; 9-30: grus og sand; 30-35: finsand, sand, grus; 35-38: sand og grus        | 23-30            | 1040                  |
| G3*     | 64110           | Oterholm-gården | 30          | 0-17: hard leire; 17-19: sand og stein; 19-23: leire; 23-27: sand og grus; 27-30: grov grus | 23-30            | 1040                  |
| G5      | 6813            | Melhuset        | 40          | 0-30: siltig sand; 30-40: stein, grus, sand   | 30-40            | -                     |
| G13     | 51517           | Idehuset        | 65,5        | 0-4: morene; 4-55: leire; 55-65,5: grus   | 55-65            | 2530                  |
| G14     | 72455           | Thora-gården    | 83,7        | 0-55: leire; 53-77: silt; 77-83,7: grus, sand, stein  | 78-83            | 4900                  |
| G15*    | 74261           | Thora-gården    | 87          | 0-15: sand og grus; 15-63: bløt leire; 63-82: silt; 82-87: grus                             | 78-83            | 4900                  |
| G16     | 72453           |                 | 81          | 0-58: leire; 58-81: silt  |                  |                       |
| G6      | 74249           | Buen sykehjem   | 33          | 0-33: sand og grus  | 0-33?            | 4060                  |
| G11**   | 6809            | Lena Bo og S.   | 34          | 0-15: siltig sand; 15-34: sand og grus med lag av stein                                     | 20-34?           | 1700                  |
| G24***  | 80480           | Lena Bo og S.   | 43          | 0-2: finsand; 2-10: grus; 10-20 leire; 20-43: grus  | 20-40            | 1997                  |

# Basert på borelogg og ikke på endelig brønnutforming som viser plassering av brønnfilter

\* Infiltrasjonsbrønn

\*\* Fra Storrø (2000): 510 mg/l klorid, 320 mg/l natrium, 82,2 mg/l kalsium

\*\*\* Ny brønn

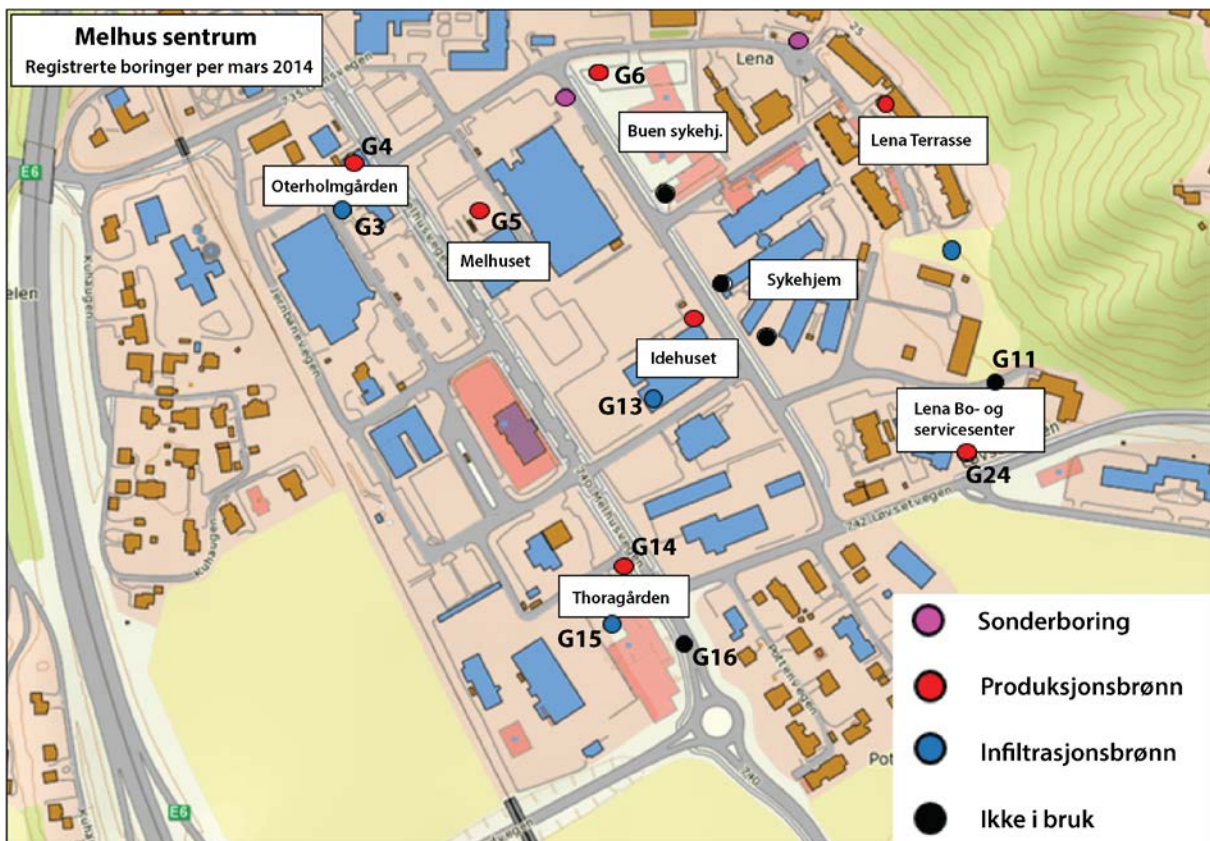
Mellom resistivitetsprofilpunktene 700 og 1200 er det på ca. kote -40 moh. lommer med lav resistivitet (1-10 Ωm). Dette ville normalt blitt tolket til å være saltholdig leire. Over denne leirlommen ligger lommer/lag med antatt utvasket leire (10-100 Ωm) og grovere masser (>100 Ωm). I den sørlige delen av profilet er det igjen store mengder grove masser (200-2000 Ωm) med lommer av lavere resistivitet (finere masser).

I Melhus sentrum finnes det flere energibrønner som ble etablert både før og etter at 2D resistivetsmålingene ble utført. De nummererte brønnene i figur 10 er energibrønner/sonderinger i Melhus sentrum som er benyttet for sammenligning med profil M2 (fig. 12). Tabell 3 viser tolkede løsmasselag fra sonderingene i Melhus sentrum. Siden resistivetsprofilen er målt med 10 m elektrodeavstand, vil det ikke være mulig å detektere lag som er tynnere enn 10 m. Sammenligning av geologisk tolkning av profiler fra geofysiske målinger og grunnboringer blir derfor noe overordnet. Dette er fordi grunnboringprofilene viser detaljert geologisk informasjon fra en liten lokalitet, mens 2D resistivetsmålingene gir en gjennomsnittlig geologisk tolkning over et større område. Fordelen med data fra brønn-/energiboringer, er at disse ofte går mye dypere enn geotekniske sonderinger f.eks. fra

vegprosjekter – og kan dermed gi nyttige informasjon til tolkningen av 2D resistivetsprofiler.

Løsmasseboringene G4 og G3 korrelerer godt med profil M2, hvor det registreres hard leire og grove masser. For G5 er resistivetsverdiene noe lavere enn forventet. G13 består for det meste av leire med grus de nederst 10 m. Denne sonderingen ligger 80 m unna proffillinja, og her viser profil M2 grove masser fra ca. 10-20 m dyp, med leire under. Dette stemmer derfor dårlig overens med G13. Tilsvarende er det for G14, mens G15 korrelerer noe bedre på leira, men dårligere på grove masser i bunnen. G16 korrelerer godt, både sondering og profil M2 antyder leirige/siltige masser.

Årsaken til tidvis dårlig korrelasjon kan være flere. På støtsiden av en randås lik Melhusryggen, har brefronten beveget seg fram og tilbake flere ganger og dels overkjørt og skjøvet sammen løsmasser i front av breen. Løsmassesammensetningen kan dermed være komplisert og variere mye over korte avstander. Som nevnt vil et 2D resistivetsprofil vise et gjennomsnittlig bilde av grunnforholdene i et belte parallelt med utlegget, siden strømmen brer seg i et halvrom i undergrunnen og ikke i et smalt profil. Bredden på dette beltet avhenger av elektrodeavstanden og resistivetskontrasten til avsetningene. Måling med 10 m elektrodeavstand vil også gi et grovere bilde av forholdene i øvre lag, sammenlignet med profiler med kortere elektrodeavstand.



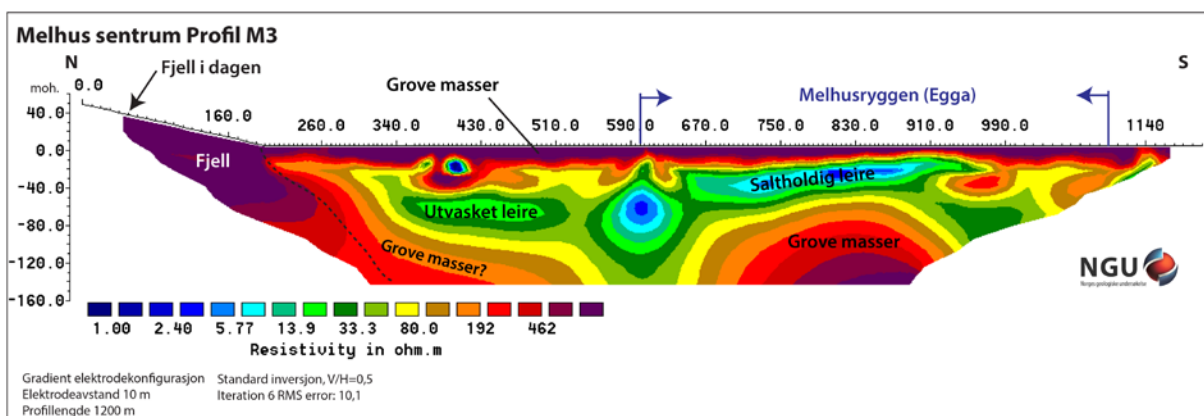
Figur 13. Kart over Melhus sentrum der syv kjente grunnvarmeanlegg er avmerket med navn (kartgrunnlaget er utarbeidet av M.H. Rise, NTNU og R.K. Ramstad, Asplan Viak AS). Data for nummererte borer finnes i tabell 3.

En annen årsak til dårlig korrelasjon kan komme av kjemiske egenskaper til grunnvannet i Melhus sentrum. Kjemiske analyser av grunnvannsprøver fra energibrønner i Melhus sentrum viser til dels meget høy elektrisk ledningsevne. Figur 13 viser plassering av kjente grunnvarmeanlegg i Melhus sentrum, og i tabell 3 finnes resultater fra måling av elektrisk ledningsevne i utpumpet grunnvann fra flere av disse anleggene. Det ble også tatt ut grunnvannsprøver til kjemisk analyse fra flere av anleggene og resultatene fra disse er vist i vedlegg 8. Som det framgår av disse analysene er den høye ledningsevnen som observeres hovedsakelig gitt av høyt innhold av klorid og natrium, og som viser at akviferen har vært sjøvannspåvirket. Dette skyldes trolig utvasking av salt porevann fra overliggende leirsedimenter, muligens i kombinasjon med at sjøvann har blitt kapslet inn under avsetning av de grovere sedimentene. Det salte porevannet kan ha blitt ”fanget i sedimentene” og i liten grad drenert ut. Dette medfører at vannmettet sand og grus med god vanngiverevne, som normalt har høy resistivitet, vil bli tolket som finkornige marine sedimenter med lav resistivitet (jf. fig. 5). Vest for denne delen av M2 er det på profil M1 trolig finkornede masser som kan være med på å ”kapsle inn” de grove massene med høy ledningsevne på profil M2.

### 5.2.3 Profil M3

2D resistivitetsprofil M3 er det korteste av de tre profilene i Melhus sentrum, og ligger vest for Gaula (fig. 10). Profilet starter på bart fjell (fig. 10, 14, vedlegg 6), og resistivitetsverdiene antyder videre fjellforløp sørover langs profilet. Selv om resistivitetsverdiene er høye også dagnært i dette området, ble det i starten av profilet benyttet en elektrodeavstand på 20 m, noe som gjør at det kan være flere meter med løsmasser over fjellet uten at dette registreres på resistivitetsprofilet. Det kan potensielt også ligge noe grove masser over berggrunnen mot dypet her.

Fra ca. profilpunkt 200 og sørover er det langs hele profilet indikert et topplag på ca. 10 m med meget høy resistivitet. Dette er tolket til i det vesentlige å bestå av drenert sand og grus. Deler av dette er elveavsetninger, som vist på løsmassekartet (fig. 10). Under topplaget av drenerte sedimenter, er det trolig marin leire. Denne er i hovedsak utvasket, men med lommer av saltholdig leire. Mellom profilpunktene 700 og 900 registreres det i de dypere deler høy resistivitet (200-2000  $\Omega\text{m}$ , vedlegg 7). Dette er trolig grove masser som er en del av Melhusryggen, muligens fra de distale deler.



Figur 14. Tolket 2D resistivitetsprofil M3 ved Melhus sentrum, vest for Gaula.

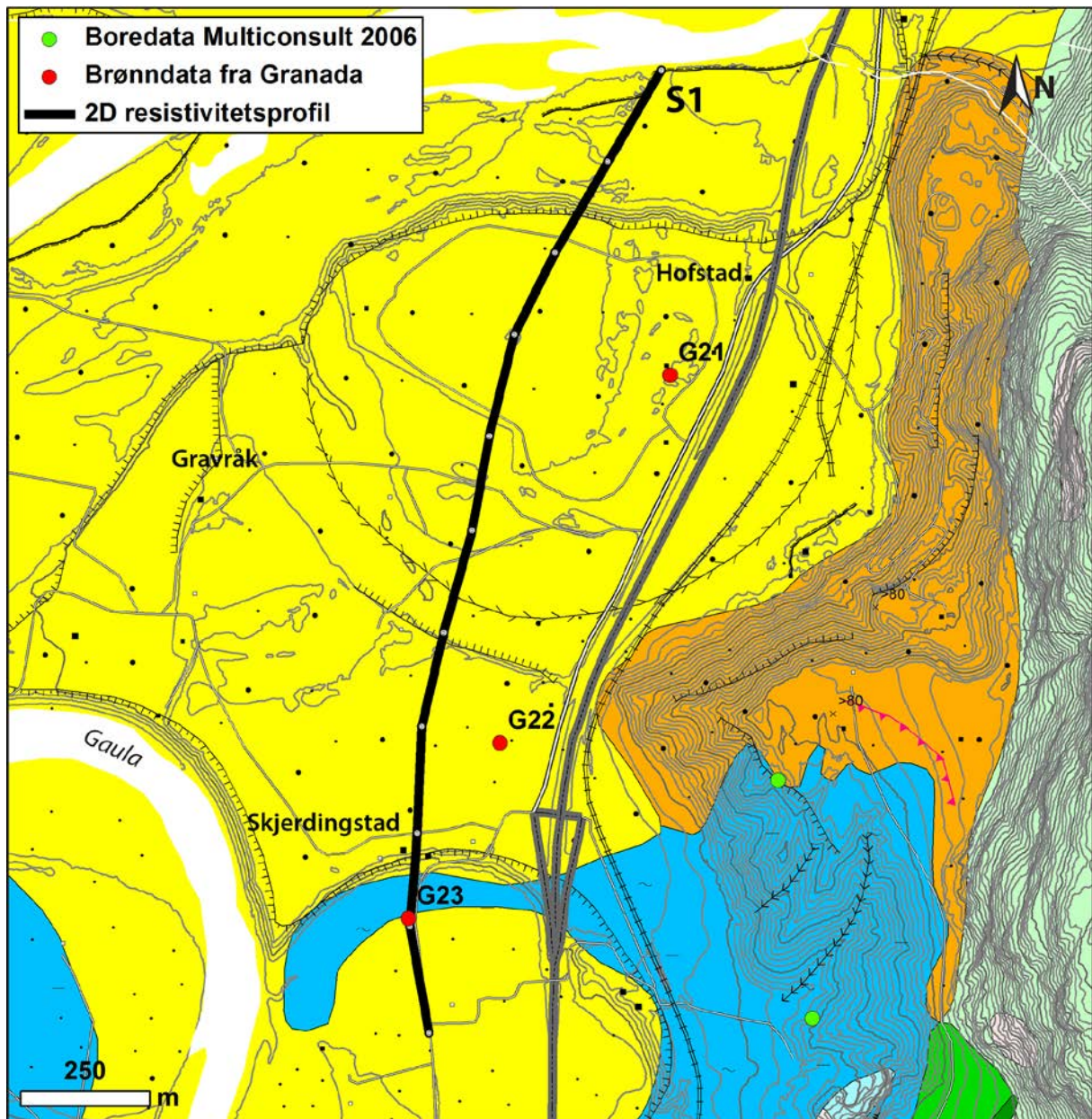
### 5.3 Skjerdingsstad

2D resistiviteitsprofilen S1 ved Skjerdingsstad er 2000 m langt, og ligger parallelt med E6 (fig. 15, vedlegg 3c). Profilen viser et topplag med resistiviteitsverdier på flere tusen  $\Omega\text{m}$  (fig. 16, vedlegg 6 og 7). Dette er tolket til å være drenert sand/grus. Under er resistiviteitsverdiene lavere, i hovedsak 100-1000  $\Omega\text{m}$ , men med små lommer med resistivitet helt ned mot 4  $\Omega\text{m}$ . Her er det trolig et over 100 m mektig løsmasselag bestående av vekslende sand-, grus-, silt- og leirlag. Helt i sør er det i dypet resistiviteitsverdier på over 2000  $\Omega\text{m}$ . Her er det trolig fjell som stikker fram, men siden denne ligger i kanten av profilen, er utbredelsen noe usikker.

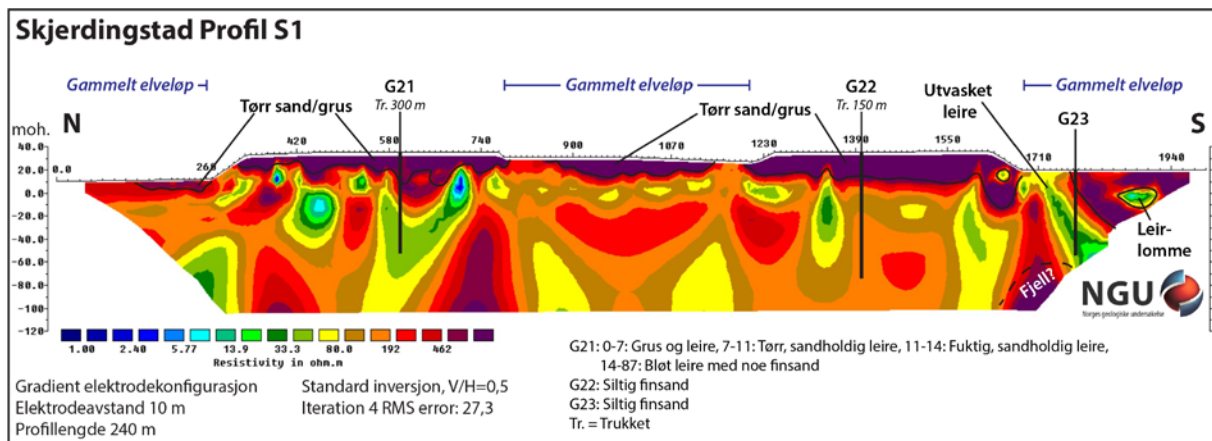
Løsmassekartet viser at profilen ligger på elveavsetninger av sand og grus. Dette stemmer godt med det geofysiske profilen. Som nevnt i kap. 2.3, ligger profilen foran israndavsetningen Kregnes-Søberg, og rester av denne kan sees øst for resistiviteitsprofilen (orange farge på fig. 15). Løsmassene under det drenerte topplaget på profil S1 er derfor trolig en del av deltaet, og har blitt avsatt i sjøvann foran breen da den fylte dalen. Breelver avsetter i perioder materiale i ulike retninger og med ulik intensitet. Slik kan det dannes lommer med f.eks. mer finkornige masser på "roligere deler" av deltaet. Etter at breen trakk seg tilbake, ble finkornige marine sedimenter avsatt delvis over israndavsetningene. Etterhvert som landet steg, og erosjonsbasis ble senket, eroderte elver og bekker seg ned i avsetningene. Det er spor etter mange elveløp i Gauldalen, og de vises godt også i dette området (f.eks. fig. 3 og vedlegg 4). På en deltakant vil det også skje utglidninger som forstyrrer den opprinnelige lagdelingen (se mulig eksempel i kap. 2.3 og fig. 4).

Som en oppfølging av de geofysiske undersøkelsene ble det i mai 2009 gjennomført sonderboringer ved to lokaliteter ved Skjerdingsstad. Boringene G22 og G23 (fig. 15, 16, tabell 4) ble utført av konsulentfirmaet Rambøll på oppdrag fra Skogplanter Midt-Norge. Året før ble det i privat regi også etablert en energibrønn på Gravråksmoen i forbindelse med undersøkelse av muligheter for uttak av grunnvann til industrietableringene her (G21, fig. 15, 16, tabell 4). Sonderboring G22 og brønn G21 er boret ned til henholdsvis 110 m og 87 m dyp, og det ble ikke påtruffet fjell i noen av boringene. G21 og G22 ligger 150-300 m fra profil S1, men sonderingsresultatene er i relativt god overensstemmelse med resistiviteitsdataene. Ved sonderboring G23 i sør er det registrert siltig finsand i hele boreprofilen ned til 76 meters dyp (fig. 16). 2D resistiviteitsprofilen her viser høye verdier i øvre del av profilen (300  $\Omega\text{m}$ ), men lavere verdier med dypet (20  $\Omega\text{m}$ ). Sondering G23 stemmer derfor bare delvis overens med resistiviteitsverdiene. Noe av årsaken til dette kan være at dette er i ytterkanten av resistiviteitsprofilen, hvor det er mindre datatetthet – og dermed dårligere oppløsning.

Ved forundersøkelsene til ny E6 gjennom Melhus ble det foretatt mange geotekniske undersøkelser også ved Skjerdingsstad (SVV 2002, 2003). Sonderingene er generelt opptil 15-20 m dype, og når derfor ikke så mye dypere enn topplaget på 2D resistiviteitsprofilen. Sonderingsprofilene indikerer sandige, grusige sedimenter med innslag av leirige masser. Noen sonderinger og en prøvetaking i den sørlige delen av profilen viser innslag av mer finkornige sedimenter (SVV 2003).



Figur 15. Lokalisering av 2D resistivetsprofilene ved Skjerdingsstad. Kartleggingsmålestokken for løsmassekartet er 1:50 000, så grensene er ikke nøyaktige. Se fig. 1 for tegnforklaring løsmassekart (kart modifisert etter Reite 1983, 1985).



Figur 16. Tolket 2D resistivitetsprofil S1 ved Skjerdingstad. Plassering av brønnpunkter og tolkning av disse sonderingene er fra Granada. Under et topplag av hovedsaklig drenert sand og/eller grus finnes sand og grovere masser med lommer av finkornige sedimenter som leir og silt.

Tabell 4. Løsmassesammensetning mot dypet ved Skjerdingstad tolket ut fra grunnboringer i området Data fra Granada. Elektrisk ledningsevne er ikke målt i vannprøver her.

| Bore-nr. | Borenr. Granada | Uttaks-sted    | Bore-dyp (m) | Løsmasselag (m)   | Akvifer-dyp (m) <sup>#</sup> |
|----------|-----------------|----------------|--------------|---|------------------------------|
| G21      | 54271           | Gravråks-moen  | 87           | 0-7:grus og leire; 7-11: tørr sandholdig leire; 11-14: fuktig sandholdig leire; 14 - 87: Bløt leire med noe finsand | Ingen akvifer                |
| G22      | 80858           | Skjerding-stad | 110          | 0-110: siltig finsand   | Ingen akvifer                |
| G23      | 80859           | Skjerding-stad | 76           | 0-76: siltig finsand  | Ingen akvifer                |

## 6. DISKUSJON OG SLUTTORD

2D resistivetsprofilene målt i Melhus kommune viser store innslag av grove masser. Disse er knyttet både til israndavsetninger i området, og til avsetninger fra den relativt store elva Gaula. Dalen har tykke løsmasseavsetninger, generelt 200-300 m over fjell (seismikk). De utførte 2D resistivetsprofilene viser også løsmassemektigheter på over 100 m. På grunn av den geologiske historien i Melhus-området med iskontakt, glasitektikk, elveerosjon og skredaktivitet, vil kornfordelingen i avsetningene kunne variere nokså mye på korte avstander.

Med unntak av resistivetsprofil B2, hvor det ble benyttet 2 m elektrodeavstand, er alle resistivetsprofilene målt med 10 m elektrodeavstand. Slike elektrodeoppsett gir stor dybderekkevidde, men oppløsningen er ikke særlig god. Det betyr at lag tynnere enn 10 m ikke vil kunne vises på disse profilene. Formålet med 2D resistivetsmålinger vil ofte være bestemmende for valg av elektrodeavstand. Ved grunnvannsuttag vil brønnene kunne gå dypt, og 10 m elektrodeavstand vil kunne være nødvendig for å få oversikt over løsmassesammensetningen også mot dypet, samt eventuelt berggrunnsforløp.

For stabilitetsmessige vurderinger er det ofte mer hensiktsmessig med kortere elektrodeavstand enn 10 m. For utbyggingsprosjekter (f.eks. veger, jernbane, hus o.l.) vil vurderingen av stabilitet vanligvis gjøres ned til nivå litt under elver og bekkeraviner.

Geotekniske sonderinger er generelt ikke dypere enn 30-40 m. For å få god oppløsning bør da elektrodeavstanden ved 2D resistivitetsmålinger være 2 m, men for å dekke større områder raskere, kan f.eks. 5 m elektrodeavstand benyttes som et kompromiss. I denne rapporten er det ikke gjort detaljert sammenligning mellom 2D resistivetsprofilene og geotekniske sonderinger i de aktuelle områdene. Noe av dette skyldes manglende detaljert koordinatinformasjon på de geotekniske borepunktene utført i regi av Statens vegvesen, men også at oppløsningen på 2D resistivetsprofilene ikke er særlig god i øvre lag (som nevnt over). Den overordnede sammenligningen viser likevel at det er god overensstemmelse mellom den geologiske tolkningen av geotekniske data og 2D resistivetsdata.

Vedlegg 5 viser kartlagte faresoner for potensielle kvikkleireskred i Melhus. Ingen av 2D resistivetsprofilene i denne rapporten går gjennom slike soner, men de finnes nord, øst og sør for studieområdet. Profilene viser da også at grove masser dominerer, men det finnes likevel lommer eller lag av utvasket leire som potensielt kan være kvikke på flere av profilene. I tillegg er det ved befarings av byggegrop/skjæringer registrert store mektigheter av skredmasser, f.eks. ved Brubakken. Resistivetsverdiene for disse skredmassene er mellom 50 og 120  $\Omega\text{m}$ .

For profil M2 i Melhus sentrum var det dårlig korrelasjon mellom den geologiske tolkningen ut fra brønnetableringene og 2D resistivetsverdiene. Kjemiske analyser av grunnvannsprøver fra energibrønner viste høy ledningsevne i samtlige uttatte prøver, og viser at grunnvannet i de dypere deler av avsetningene i Melhus sentrum har brakkvannskarakter. Dette gir gjennomgående lav resistivitet på avsetningene, og forklarer manglende korrelasjon mellom den geologiske tolkningen ut fra de geofysiske undersøkelsene (saltholdige marine sedimenter) og resultater fra grunnboringer som viste sand og grus. Dette er et eksempel på hvordan den geologiske klassifiseringen gitt i tabell 2 primært benyttes som *utgangspunkt* for tolkning av resistivetsverdier, og at man må være oppmerksom på lokale variasjoner avhengig av f.eks. porevannskjemi/grunnvannskjemi, metningsgrad, kornfordeling, mineralsammensetning og romlig geologi (kap. 4.3). De spesielle geologiske forholdene i Melhus sentrum har ført til en magasinering av saltholdig porevann i grove sedimenter (lans deler av profil M2). Trolig har små grunnvannsgradienter i kombinasjon med løsmassefordelingen i området, ført til at det saltholdige porevannet ikke har blitt drenert ut. Erfaringene fra disse undersøkelsene bør tas med ved kartlegging i liknende områder med dype akviferer under overliggende marine leirsedimenter med mulighet for marin påvirkning av grunnvannet og ”innkapsling” av de grove sedimentene.

Når det gjelder muligheter for grunnvannsuttak, viste både 2D resistivetsprofilene og grunnvannsboringene ved Skjerdingsstad gjennomgående finkornige sedimenter med svært liten vanngiverevne, og området er derfor lite egnet for uttak av større mengder grunnvann til varmemål. I Melhus sentrum har brønnetableringer til store offentlige og private grunnvarmeanlegg vist betydelig grunnvannspotensial i sand og grusavsetninger. De vannførende sand- og grusavsetninger ligger fra ca. 30 m til hele 80 m dyp under finkornige, lavpermeable sedimenter, der dybden til de høypermeable grove sedimentene øker med avstanden fra Melhusryggen. Stedvis kunne ikke disse grovkornete avsetningene detekteres på 2D resistivetsundersøkelsene som ble utført i dette området, som nevnt over. Ved Brubakken finnes det ingen registrerte grunnvannsbrønner.



## 7. 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

Granada – Nasjonal grunnvannsdatabase: <http://geo.ngu.no/kart/granada/>

Hansen, L., Eilertsen, R.S., Solberg, I.L., Sveian, H. & Rokoengen, K. 2007: Facies characteristics, morphology and depositional models of clay-slide deposits in terraced fjord valleys, Norway. *Sedimentary Geology* 202:710-729

Hugdahl, H. 1979: Løsmassegeologiske undersøkelser i Melhusområdet. Prosjektoppgave NTH

Lauritsen, T. 1998: Georadarundersøkelse av sedimentene i Gaulas elvebunn. NGU rapport 98.147

Loke, M.H. 2010: RES2INV ver. 3.59.102. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual. [www.geoelectrical.com](http://www.geoelectrical.com)

Mauring, E. 1992: Refleksjonsseismiske målinger på Melhus, Melhus kommune, Sør-Trøndelag. NGU rapport 92.176

Multiconsult 2005: Ny E6 parsell Jaktøyen – Sandmoen, profil 900-2600. Geoteknisk rapport. Vurdering av stabilitet og gjennomførbarhet. Multiconsult rapport 410608-1, 18. januar 2005

Multiconsult 2006: Kvikkleirekartlegging Melhus. Geoteknisk datarapport. Multiconsult rapport 411760-1, 3. juli 2006

NGU 2014: Analyserapport 2014.009, NGUs kjemiske laboratorium

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

Reite, A.J. 1983: Trondheim. Beskrivelse til kvartærgeologisk kart 1521 I, M 1:50000. NGU nr. 391. + kart

Reite, A.J. 1985: Støren. Beskrivelse til kvartærgeologisk kart 1621 III, M 1:50000. NGU Skrifter 65, 25 s. + kart

Sindre, A. 1980: Seismiske målinger 1972-1979 i Gauldalen. NGU rapport 1641

Solberg, I.L. & Glåmen, M.G. 2004: Geologisk utvikling med hovedvekt på leirskred i nedre del av Gauldalen, Sør-Trøndelag. Studentoppgave ved Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU

Solberg, I.L., Hansen, L. & Rokoengen, K. 2008a: Large, prehistoric clay slides revealed in road excavations in Buvika, mid-Norway. *Landslides* 5:291-304, doi: 10.1007/s10346-008-0122-7

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. 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

Storrø, G. 2000: Grunnvannsundersøkelser i tilknytning til planlagte energibrønner i Lenaområdet. Melhus sentrum. NGU rapport 2000.069

SVV 2002: E6 Melhus, Hofstad og Brubakken miljøkulverter. Datarapport. Statens vegvesen rapport Ud 800A 9, 12. september 2002

SVV 2003: Ny E6 Melhus, Hølundavegen-Jagtøya. Datarapport. Statens vegvesen rapport Ud 800A 17, 9. juli 2003

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

## **VEDLEGG**

### Vedlegg 1a: Innmålte profiler Melhus sentrum

Koordinatene er målt med håndholdt GPS.

WGS 1984, UTM sone 32 N

| <b>Profil</b> | <b>Profilpunkt</b> | <b>UTM-øst</b> | <b>UTM-nord</b> |
|---------------|--------------------|----------------|-----------------|
| M1            | 0                  | 563869         | 7019533         |
|               | 200                | 563797         | 7019350         |
|               | 400                | 563767         | 7019167         |
|               | 600                | 563752         | 7018931         |
|               | 800                | 563777         | 7018766         |
|               | 1000               | 563760         | 7018568         |
|               | 1200               | 563744         | 7018367         |
|               | 1400               | 563732         | 7018174         |
|               | 1600               | 563644         | 7017997         |
|               | 1800               | 563626         | 7017826         |
|               | 2000               | 563699         | 7017655         |
|               | 2200               | 563840         | 7017537         |
|               | 2400               | 563996         | 7017424         |
|               | 2600               | 564168         | 7017307         |
|               | 2800               | 564279         | 7017167         |
| M2            | 0                  | 564084         | 7018736         |
|               | 200                | 563974         | 7018579         |
|               | 400                | 563941         | 7018407         |
|               | 600                | 563984         | 7018229         |
|               | 800                | 564100         | 7018064         |
|               | 1000               | 564230         | 7017905         |
|               | 1200               | 564332         | 7017762         |
|               | 1400               | 564464         | 7017600         |
|               | 1600               | 564584         | 7017447         |
|               | 1800               | 564706         | 7017294         |
| M3            | 0                  | 563412         | 7018259         |
|               | 200                | 563424         | 7018450         |
|               | 400                | 563427         | 7018648         |
|               | 600                | 563437         | 7018835         |
|               | 800                | 563436         | 7019051         |
|               | 1000               | 563420         | 7019250         |
|               | 1200               | 563416         | 7019439         |

### Vedlegg 1b: Innmålte profiler Skjerdingsstad

Koordinatene er målt med håndholdt GPS.

WGS 1984, UTM sone 32 N

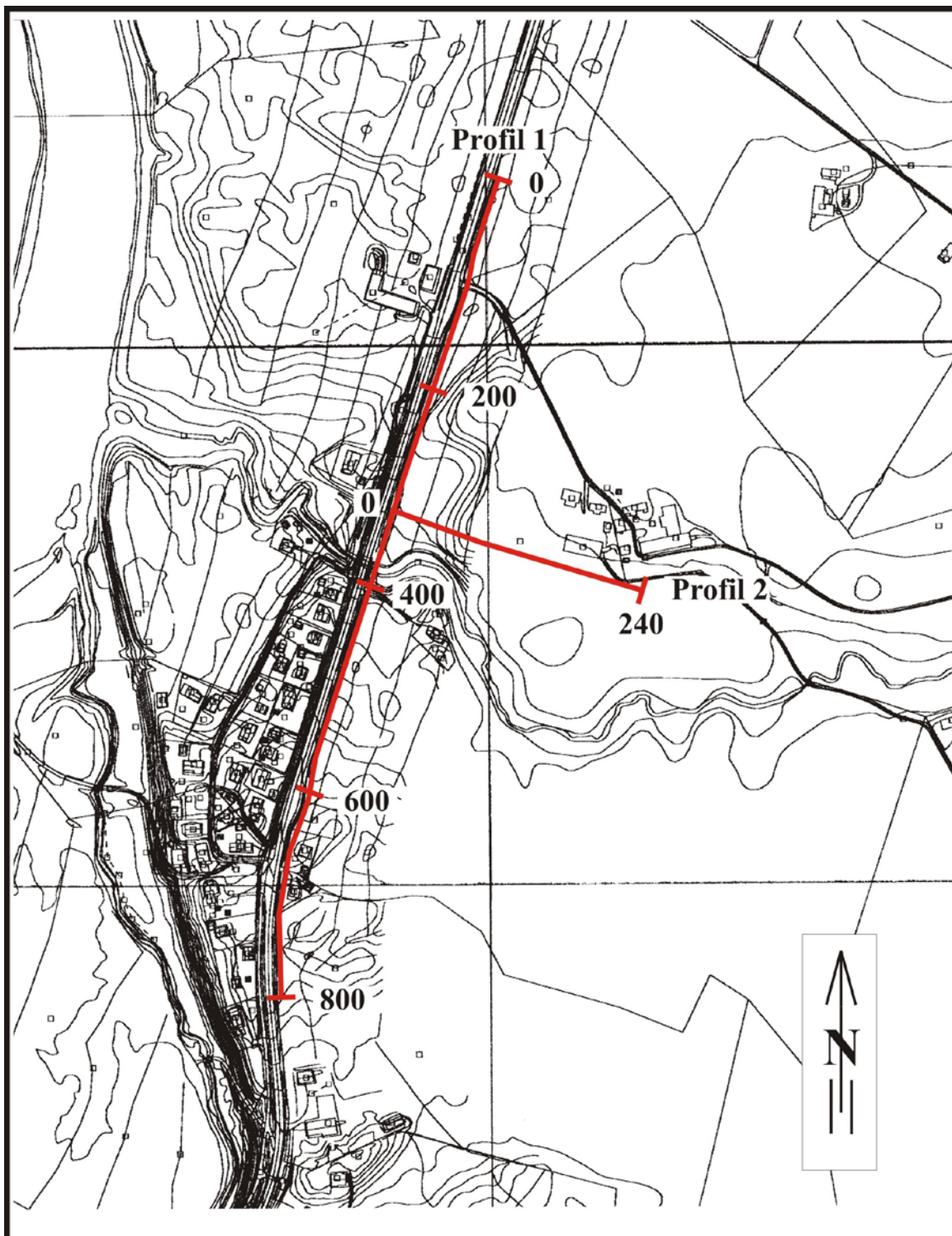
| Profil | Profilpunkt | UTM-øst | UTM-nord |
|--------|-------------|---------|----------|
| S1     | 0           | 564141  | 7015075  |
|        | 200         | 564055  | 7014890  |
|        | 400         | 563970  | 7014705  |
|        | 600         | 563907  | 7014540  |
|        | 800         | 563877  | 7014341  |
|        | 1000        | 563861  | 7014157  |
|        | 1200        | 563825  | 7013956  |
|        | 1400        | 563800  | 7013771  |
|        | 1600        | 563810  | 7013566  |
|        | 1800        | 563813  | 7013386  |
|        | 2000        | 563869  | 7013185  |

Profilene ved **Brubakken** ble ikke målt inn med GPS, kun avtegnet på kart (vedlegg 3a).

## Vedlegg 2: Kart over alle 2D resistivetsprofilene

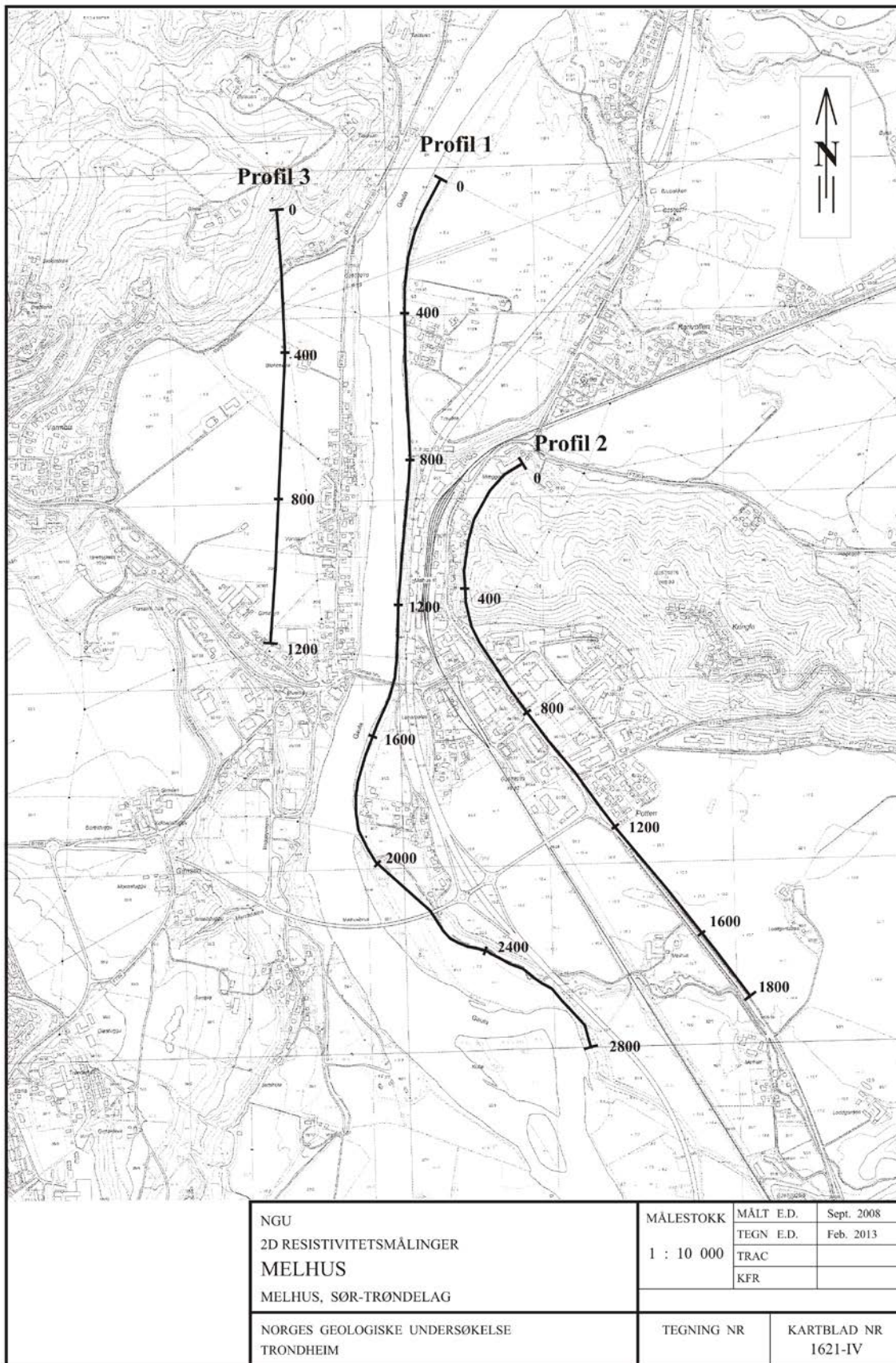


Vedlegg 3a: Kart over 2D resistivetsprofiler ved Brubakken



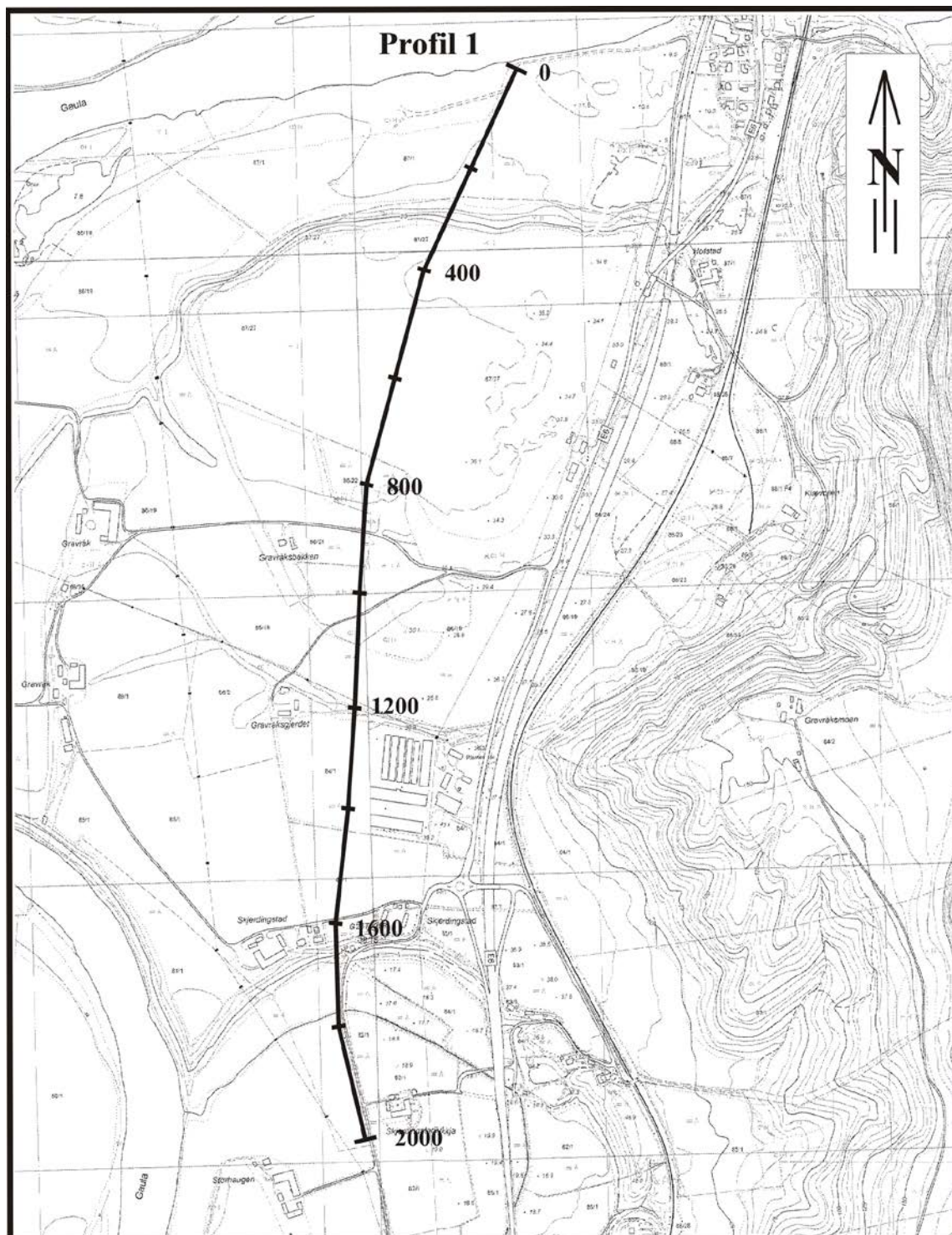
|  |              |                         |      |
|--|--------------|-------------------------|------|
| NGU<br>OVERSIKTSKART<br><b>MELHUS</b><br>MELHUS, SØR-TRØNDELAG | MÅLESTOKK    | MÅLT E.D.               | 2003 |
|  | 1:5 000      | TEGN E.D.               | 2003 |
|  |              | TRAC                    |      |
|  |              | KFR                     |      |
| NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE<br>TRONDHEIM                    | KARTBILAG NR | KARTBLAD NR<br>1621 III |      |

**Vedlegg 3b: Kart over 2D resistivitetsprofiler i Melhus sentrum**



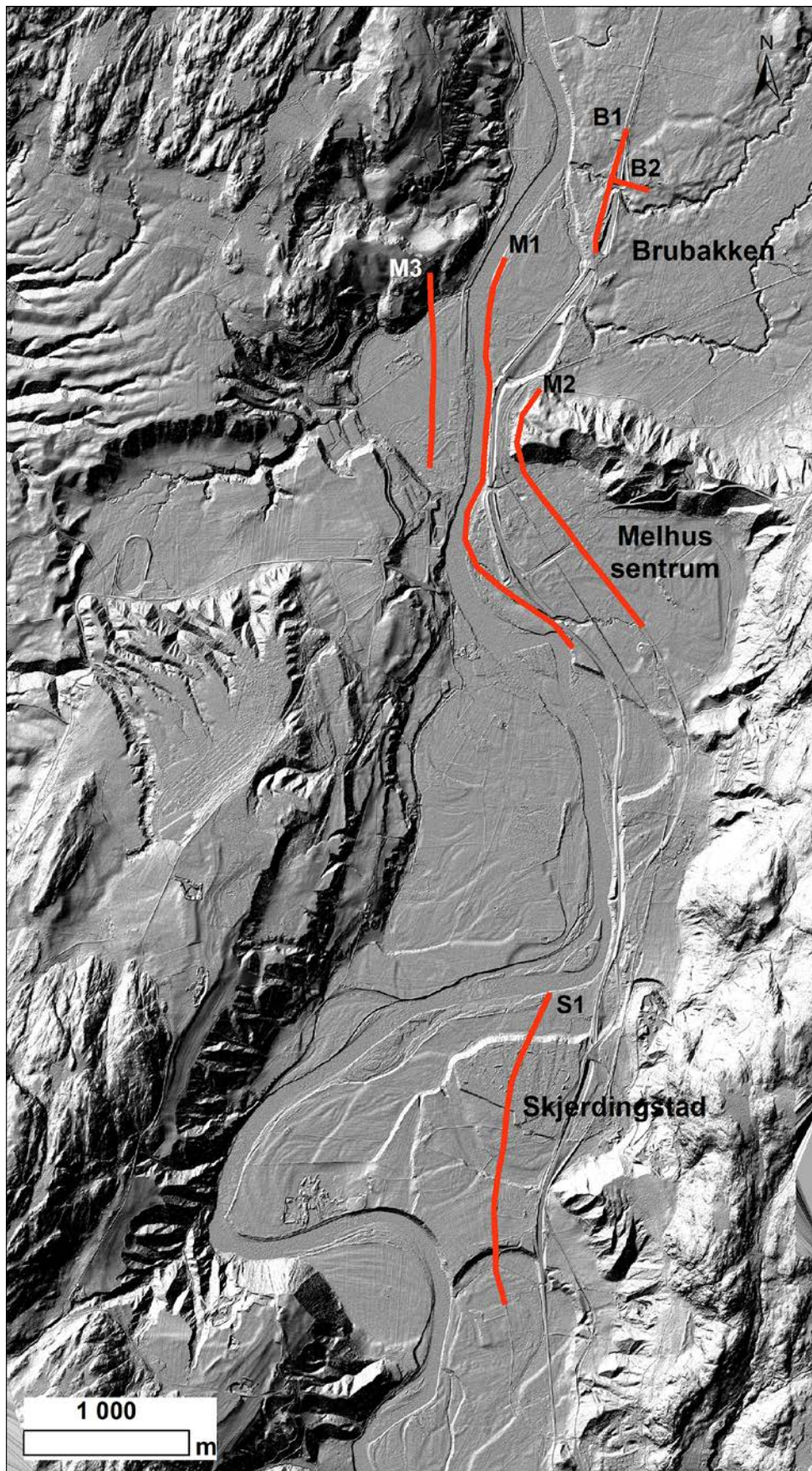


Vedlegg 3c: Kart over 2D resistivetsprofil ved Skjæringstad



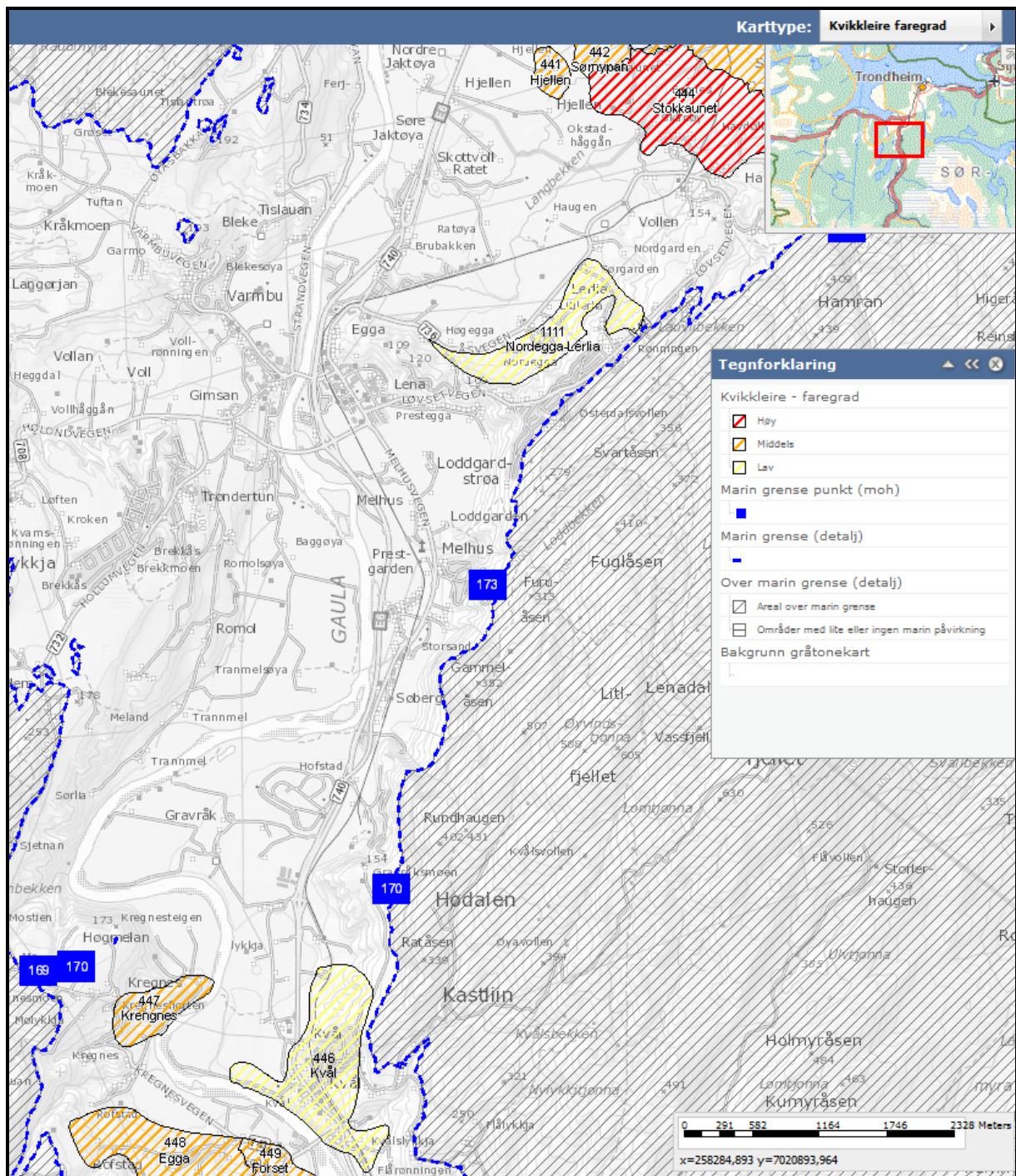
|   |              |                       |            |
|---|--------------|-----------------------|------------|
| NGU<br>OVERSIKTSKART<br>SKJÆRINGSTAD<br>MELHUS, SØR-TRØNDELAG | MÅLESTOKK    | MÅLT E.D.             | Nov. 2008  |
|   | 1 : 10 000   | TEGN E.D.             | April 2014 |
|   |              | TRAC                  |            |
|   |              | KFR                   |            |
| NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE<br>TRONDHEIM                   | KARTBILAG NR | KARTBLAD NR<br>1621-4 |            |

**Vedlegg 4: LiDAR-data fra studieområdene**



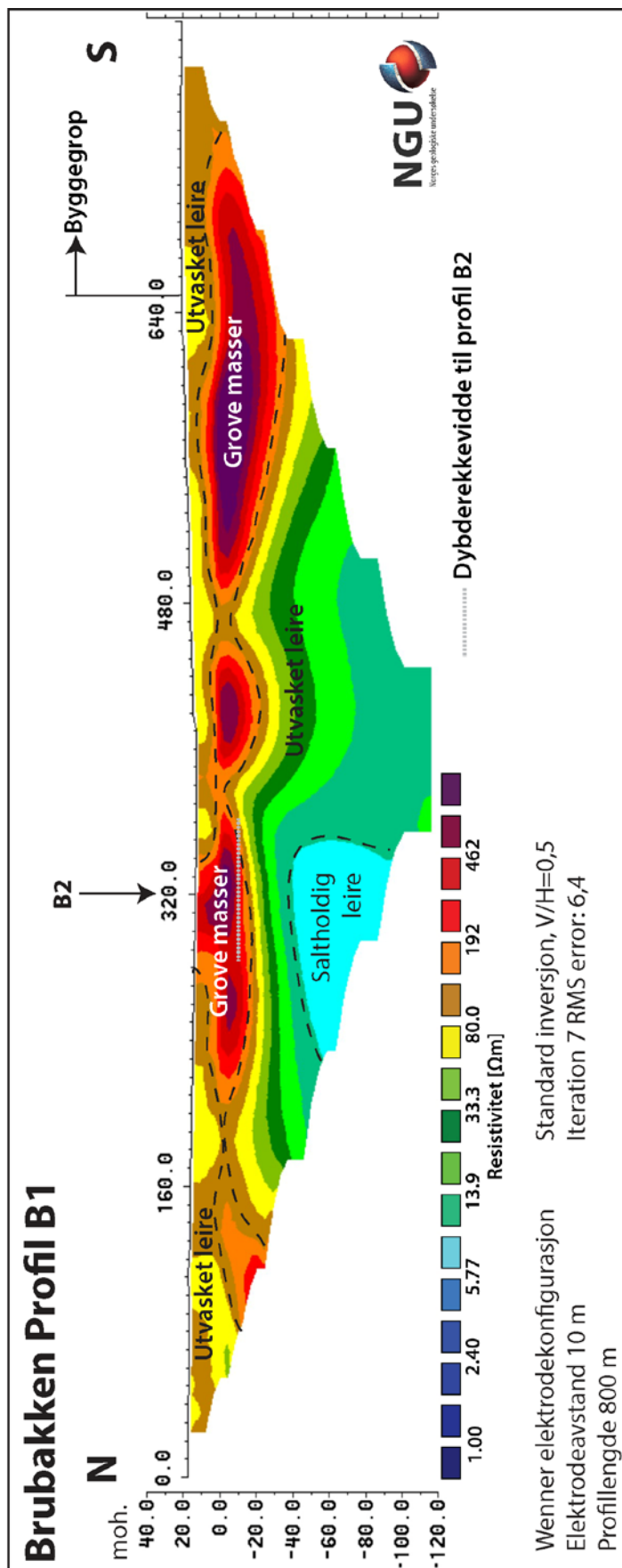
Data fra Statens kartverk.

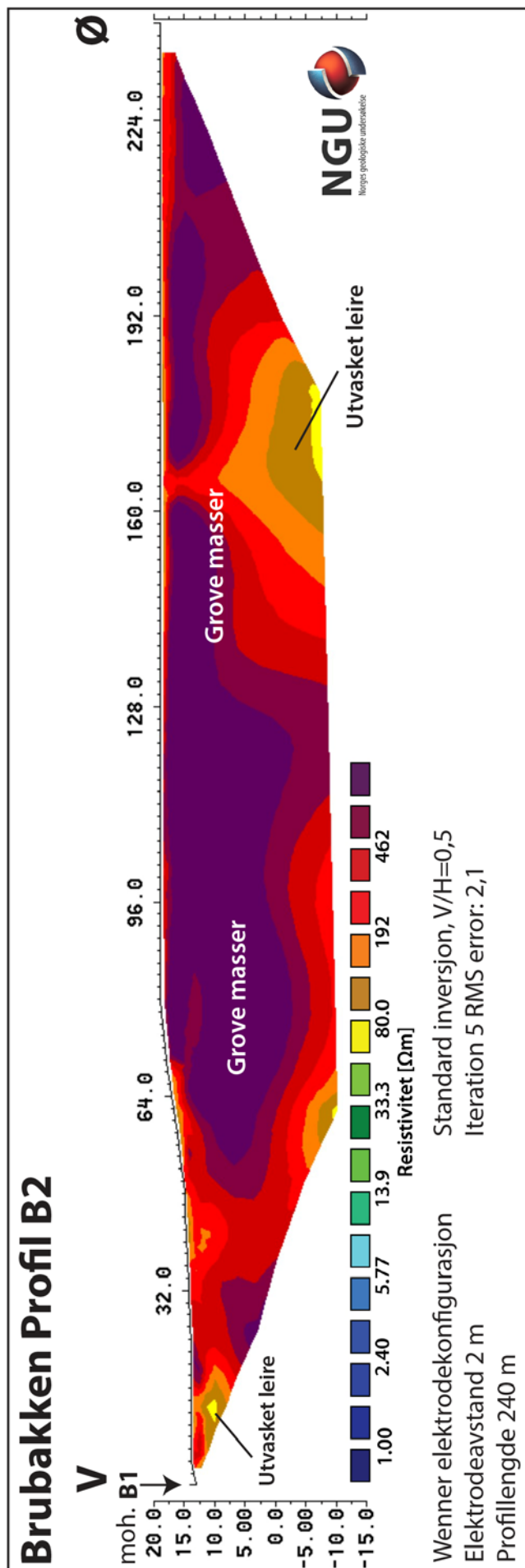
### Vedlegg 5: Faresoner for potensielle kvikkleireskred og marin grense

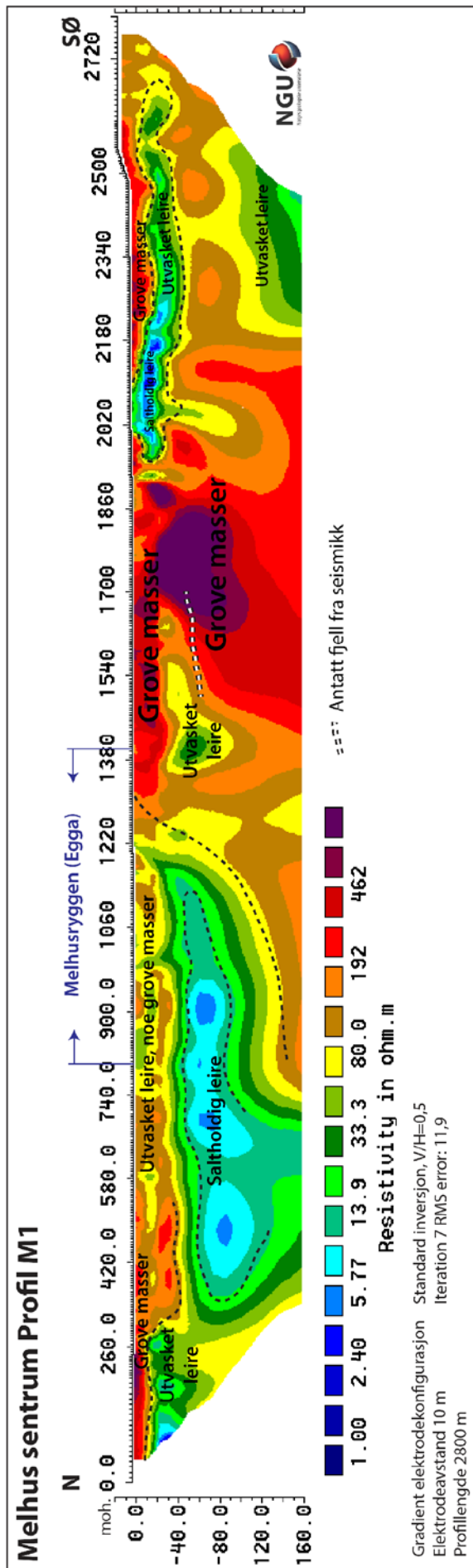


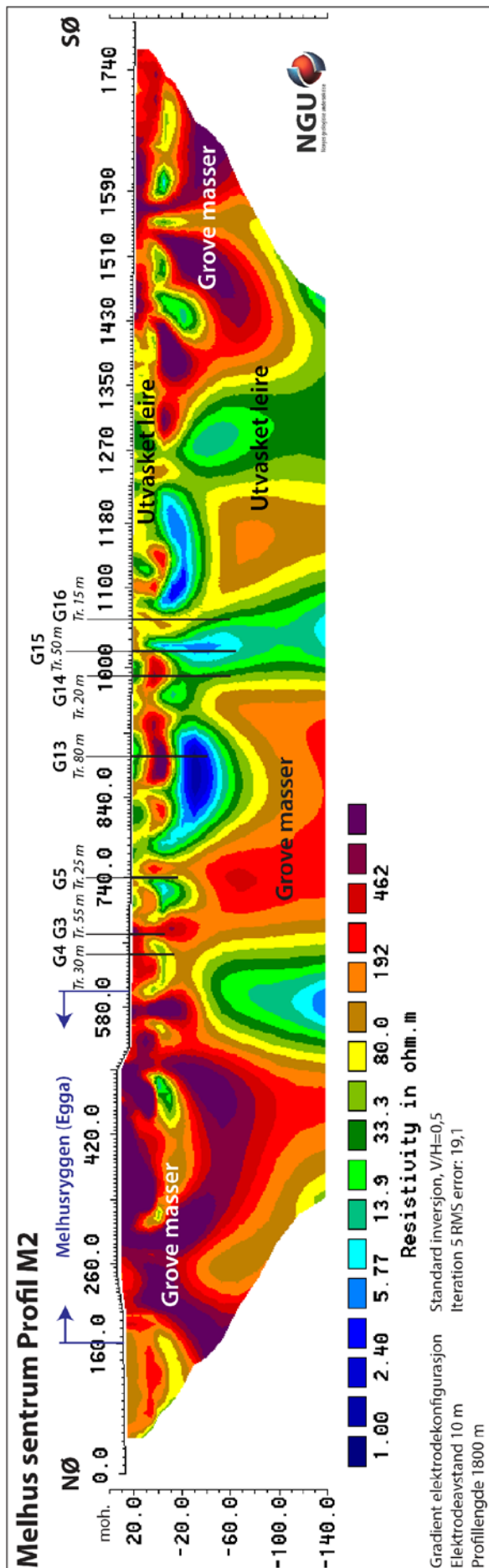
Kilde: [www.skrednett.no](http://www.skrednett.no)

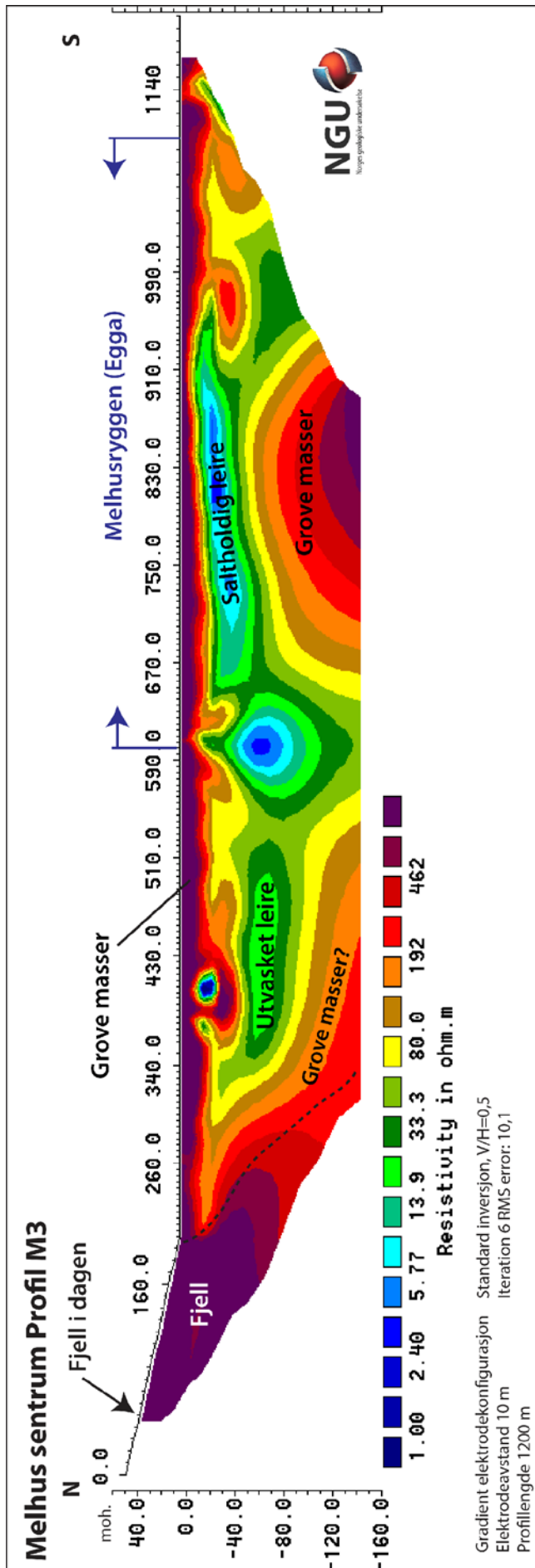
Vedlegg 6: 2D resistivetsprofilene i større format



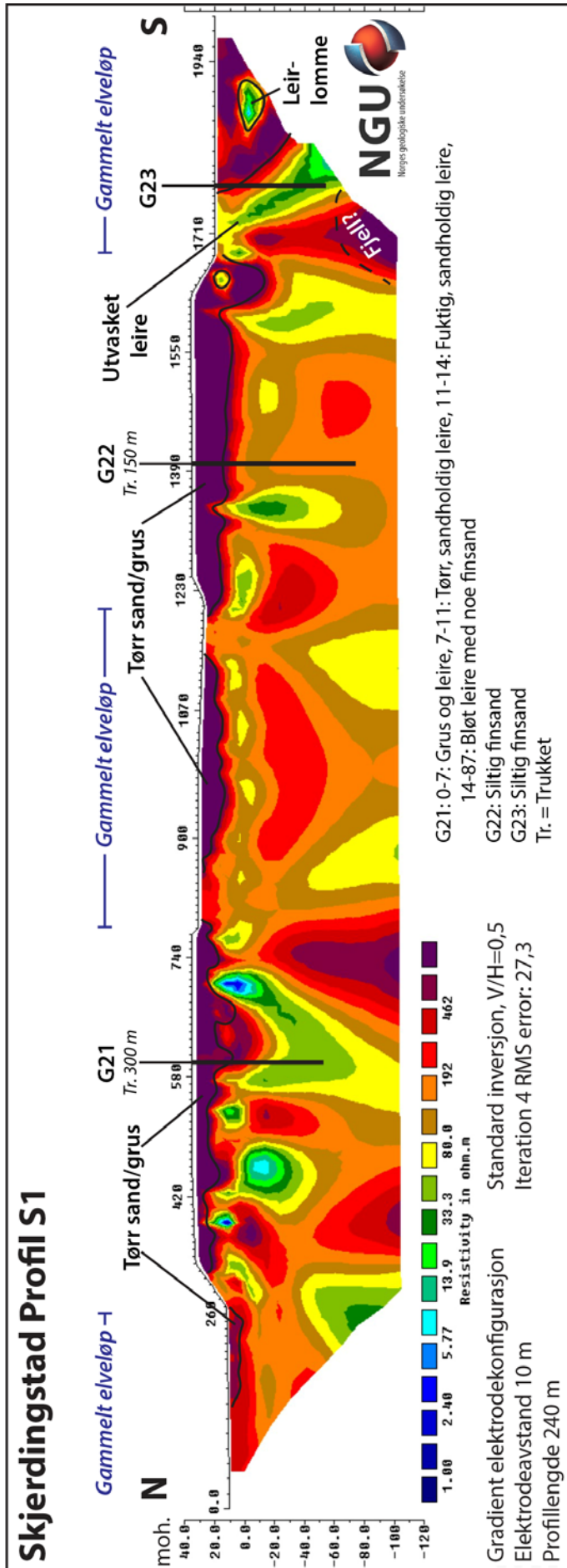








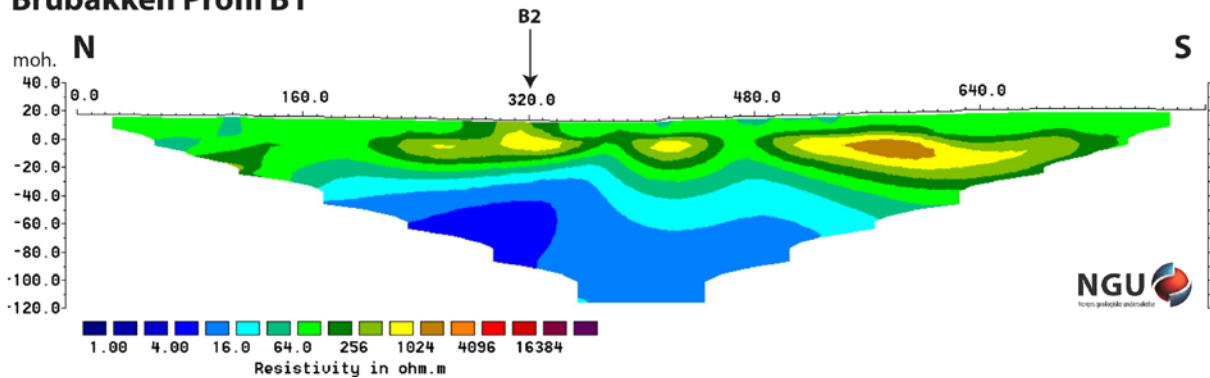




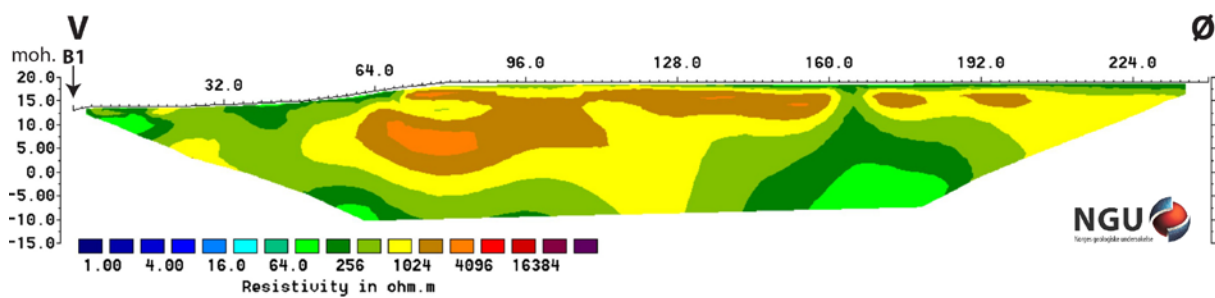
### Vedlegg 7: 2D resistivetsprofilene vist med lang fargeskala

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

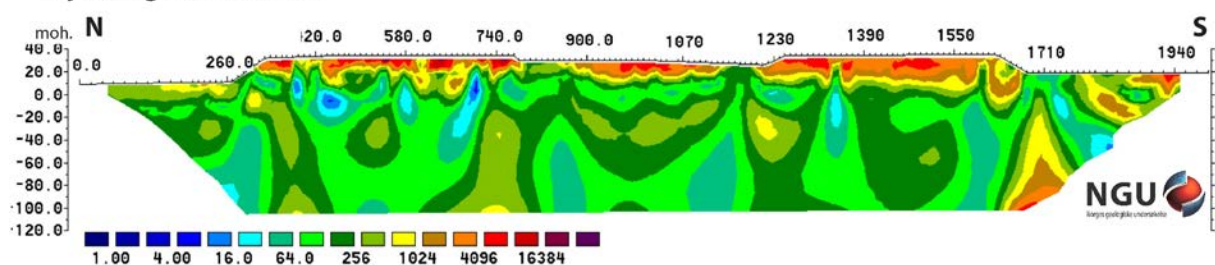
#### Brubakken Profil B1



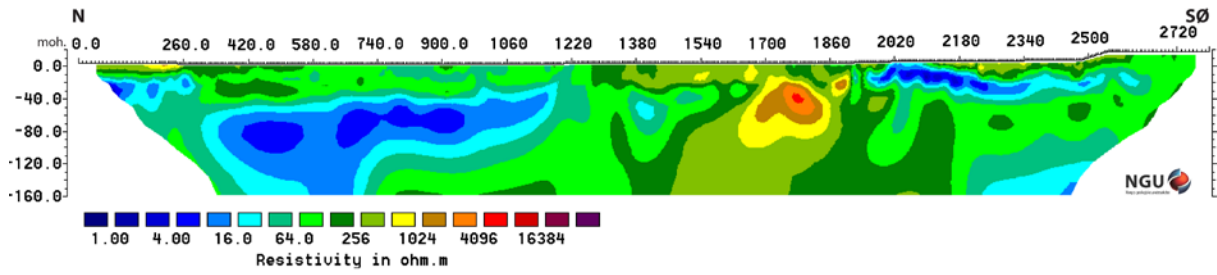
#### Brubakken Profil B2



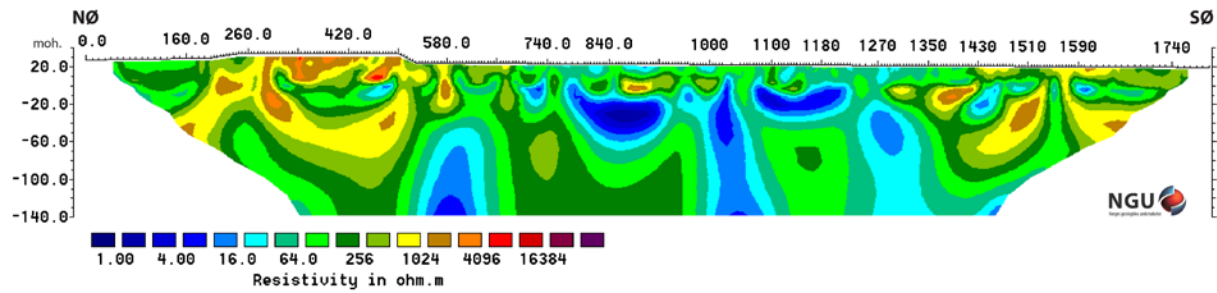
#### Skjerdingsstad Profil S1



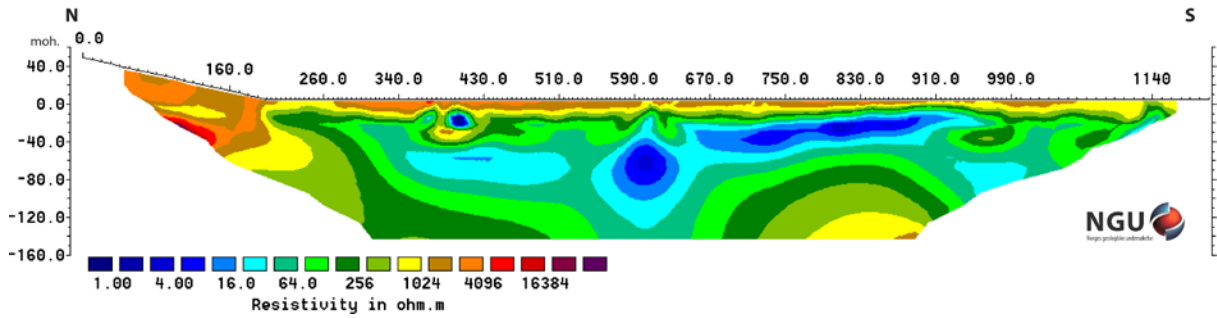
Melhus sentrum Profil M1



Melhus sentrum Profil M2



Melhus sentrum Profil M3



**Vedlegg 8: Kjemiske analyser av grunnvann fra grunnvarmeanlegg i Melhus sentrum**

| Prøve ID       | F <sup>-</sup><br>mg/l | Cl <sup>-</sup><br>mg/l | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup><br>mg/l | Br <sup>-</sup><br>mg/l | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>mg/l | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup><br>mg/l | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>mg/l |
|----------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Torgården      | 0,58                   | 980                     |                                      | 3,5                     | 0,64                                 | <0.4                                  | 210                                   |
| Idègården      | 0,23                   | 550                     |                                      | 1,9                     | 0,39                                 | <0.4                                  | 180                                   |
| Buen Sykehjem  | 0,096                  | 560                     |                                      | 1,9                     | 0,72                                 | <0.4                                  | 180                                   |
| Lenaveien 3    | 0,098                  | 230                     |                                      | 0,81                    | 0,65                                 | <0.4                                  | 66                                    |
| Oterholmgården | 0,83                   | 170                     |                                      | 0,57                    | 0,38                                 | <0.4                                  | 70                                    |

| Prøve ID       | Si<br>[mg/L] | Al<br>[mg/L] | Fe<br>[mg/L] | Ti<br>[mg/L] | Mg<br>[mg/L] | Ca<br>[mg/L] | Na<br>[mg/L] | K<br>[mg/L] | Mn<br>[mg/L] | P<br>[mg/L] | Cu<br>[mg/L] | Zn<br>[mg/L] | Pb<br>[mg/L] | Ni<br>[mg/L] | Co<br>[mg/L] | V<br>[mg/L] |
|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Torgården      | 4,76         | 0,033        | 1,84         | 0,0022       | 58,1         | 67,3         | 556          | 18,2        | 0,159        | <0.05       | 0,0758       | 0,0221       | 0,0065       | 0,139        | <0.001       | <0.005      |
| Idègården      | 4,74         | <0.02        | 3,01         | 0,0011       | 27,7         | 110          | 289          | 11,5        | 0,475        | <0.05       | 0,0258       | <0.002       | 0,0055       | <0.005       | <0.001       | <0.005      |
| Buen Sykehjem  | 5,21         | <0.02        | 5,44         | 0,0012       | 23,9         | 139          | 310          | 12,2        | 0,675        | <0.05       | 0,234        | 0,072        | 0,0299       | <0.005       | <0.001       | <0.005      |
| Lenaveien 3    | 4,44         | 0,409        | 4,84         | 0,0069       | 12,0         | 88,1         | 134          | 8,18        | 0,506        | 0,067       | 0,0967       | 3,28         | 0,0711       | 0,197        | <0.001       | <0.005      |
| Oterholmgården | 4,31         | <0.02        | 2,78         | <0.001       | 15,8         | 30,3         | 149          | 7,68        | 0,178        | <0.05       | <0.005       | <0.002       | <0.005       | <0.005       | <0.001       | <0.005      |

| Prøve ID       | Mo<br>[mg/L] | Cd<br>[mg/L] | Cr<br>[mg/L] | Ba<br>[mg/L] | Sr<br>[mg/L] | Zr<br>[mg/L] | Ag<br>[mg/L] | B<br>[mg/L] | Be<br>[mg/L] | Li<br>[mg/L] | Sc<br>[mg/L] | Ce<br>[mg/L] | La<br>[mg/L] | Y<br>[mg/L] | As<br>[mg/L] | Sb<br>[mg/L] |
|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| Torgården      | <0.005       | <0.0005      | 0,0034       | 0,0443       | 0,640        | <0.002       | <0.005       | 0,290       | <0.001       | 0,0149       | <0.001       | <0.02        | <0.005       | <0.001      | <0.01        | <0.005       |
| Idègården      | <0.005       | <0.0005      | 0,0021       | 0,128        | 0,445        | <0.002       | <0.005       | 0,140       | <0.001       | 0,0069       | <0.001       | <0.02        | <0.005       | <0.001      | <0.01        | <0.005       |
| Buen Sykehjem  | <0.005       | <0.0005      | 0,0024       | 0,241        | 0,459        | <0.002       | <0.005       | 0,126       | <0.001       | 0,0055       | <0.001       | <0.02        | <0.005       | <0.001      | <0.01        | <0.005       |
| Lenaveien 3    | <0.005       | <0.0005      | 0,0025       | 0,212        | 0,296        | <0.002       | <0.005       | 0,128       | <0.001       | 0,0066       | <0.001       | <0.02        | <0.005       | 0,0012      | <0.01        | <0.005       |
| Oterholmgården | <0.005       | <0.0005      | <0.002       | 0,114        | 0,186        | <0.002       | <0.005       | 0,172       | <0.001       | 0,0059       | <0.001       | <0.02        | <0.005       | <0.001      | <0.01        | <0.005       |

Data fra NGU (2014)



Norges geologiske undersøkelse  
Postboks 6315, Sluppen  
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse  
Leiv Eirikssons vei 39, 7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00  
Telefax 73 92 16 20  
E-post [ngu@ngu.no](mailto:ngu@ngu.no)  
Nettside [www.ngu.no](http://www.ngu.no)

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

*Visitor address  
Leiv Eirikssons vei 39, 7040 Trondheim*

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