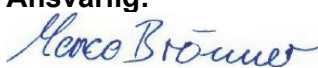


NGU RAPPORT 2023.014

Resistivetsmålinger for
løsmassekartlegging i Verdal, Trøndelag



Rapport nr.: 2023.014	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen	
Tittel: Resistivitetmålinger for løsmassekartlegging i Verdal, Trøndelag			
Forfatter: Inger-Lise Solberg, Jomar Gellein, Sofie Gradmann, Tom Kristiansen og Bjørn Eskil Larsen		Oppdragsgiver: NVE	
Fylke: Trøndelag		Kommune: Verdal	
Kartbladnr. (M=1:50.000) 1722I og 1722IV		Sidetall: 37	Pris: 150 kr
Feltarbeid utført: 17.-21.04.2023	Rapportdato: 29.06.2023	Prosjektnr.: 388010	Ansvarlig: 
Sammendrag <p>Det er utført 2D resistivitetmålinger (ERT) i tre profiler i faresone Gudding og i to profiler i faresone Ekren i Verdal kommune i Trøndelag. Formålet med kartleggingen var å vurdere grunnforholdene med utbredelse av mulig kvikkleire og dyp til berg.</p> <p>Rapporten beskriver resistivitetmetoden, presenterer innsamlede data og gir en vurdering av disse. Profilene er tolket sammen med tidligere innsamlede geotekniske boredata og kvartærgeologisk informasjon fra områdene.</p> <p>Tolkning av data fra resistivitetmålingene og geotekniske boringer indikerer at løsmassene består av utvaskede, potensielt kvikke, leiravsetninger over nokså tykke grove avsetninger, som igjen ligger over berggrunnen. Dyp til berg varierer, noen steder er det berg i dagen, eller grunt til berg. Resistivetsverdiene i berg er stedvis svært lave, og indusert polarisasjon (IP, som måles samtidig med resistivitet) indikerer at det finnes soner med ledende mineraler i berget.</p> <p>Gudding og Ekren ligger i området for Vukutrinnet, noe som betyr at det er forekomster av grove masser i glasifluviale avsetninger. Dette viser seg som silt- og sandlag i marin leire, og grove masser under/ved/over leira. Ved Gudding er det også fluviale avsetninger over den marine leira.</p>			
Emneord			
Resistivitetmålinger	ERT	Kvikkleire	
Geofysikk	Fagrapport	Marine avsetninger	
Indusert polarisasjon (IP)	Geoteknikk	Kvartærgeologi	

INNHold

1. INNLEDNING	4
2. LOKALITETENE	4
3. MÅLEMETODE OG UTFØRELSE	5
3.1 Datainnsamling	5
3.2 Strømstyrke og datakvalitet	7
3.3 Inversjon	7
4. KLASSIFISERING AV SEDIMENTER FRA RESISTIVITETSVERDIER	7
5. TIDLIGERE GRUNNUNDERSØKELSER	9
5.1 Boredata	9
5.2 Geofysiske undersøkelser	9
6. RESULTATER OG TOLKNING AV PROFILER	10
6.1 Gudding	10
6.1.1 Resistivitetsdata Profil G1	11
6.1.2 Tolkning av resistivitetsdata sammen med geotekniske data for Profil G1	12
6.1.3 Resistivitetsdata Profil G2	14
6.1.4 Tolkning av resistivitetsdata sammen med geotekniske data for Profil G2	14
6.1.5 Resistivitetsdata Profil G3	16
6.1.6 Tolkning av resistivitetsdata sammen med geotekniske data for Profil G3	16
6.2 Tolkning Gudding	18
6.3 Ekren	19
6.3.1 Resistivitetsdata Profil E1	20
6.3.2 Tolkning av resistivitetsdata sammen med geotekniske data for Profil E1	20
6.3.3 Resistivitetsdata Profil E2	23
6.3.4 Tolkning av resistivitetsdata sammen med geotekniske data for Profil E2	23
6.4 Tolkning Ekren	25
7. KONKLUSJON	26
8. REFERANSER	27
9. VEDLEGG	29
9.1 Terrengforhold (høydedata)	30
9.2 Berggrunnskart	32
9.3 Tidligere ERT-måling i Vuku, Verdal	33
9.4 Koordinater langs innmålte profiler	35
9.5 Indusert polarisasjon (IP)	36
9.6 ERT-profiler med «lang fargeskala»	37

1. INNLEDNING

Resistivitetmålingene i Verdal (Trøndelag) er utført i to eksisterende kvikkleirefaresoner: Gudding og Ekren. Kvikkleirefaresoner viser områder som kan være utsatt for store kvikkleireskred. Sonene er tidligere utredet (NVE 2023a), og Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) skal vurdere skredsikring på bakgrunn av supplerende datainnsamling. Resistivitetmålingene er en del av denne datainnsamlingen, og har som formål å kartlegge utbredelsen av mulig kvikkleire og dyp til berg.

2D resistivitetmålinger blir også kalt Electrical Resistivity Tomography (ERT). I denne rapporten blir begge begrep benyttet. I tillegg til resistivitetmålingene er det målt induert polarisasjon (IP) i de samme profilene.

2. LOKALITETENE

Kvikkleirefaresonene Gudding og Ekren ligger i Verdal kommune (Fig. 1). Området er kvartærgeologisk kartlagt av Sveian (1981, 1989) og Sveian mfl. (1993). Det finnes mange og til dels store israndavsetninger i Verdal. De fleste avsetningene er trolig topografisk betinget, og ble dannet under kortvarige opphold i isens tilbaketrekking. De finnes både som glasifluviale avsetninger i lavereliggende områder i dalbunnen, og som randmorener i høyereliggende områder. Fremstøtmorene er mest typiske i Tautratrinnet, Hoklingentrinnet og Vukutrinnet (Sveian 1989). Vukutrinnet består av flere glasifluviale avsetninger som ble avsatt i hovedsak fra øst mot vest for ca. 10 000 år siden (Sveian 1989). Mellom de glasifluviale avsetningene er det under marin grense mektige hav- og fjordavsetninger (marine avsetninger).

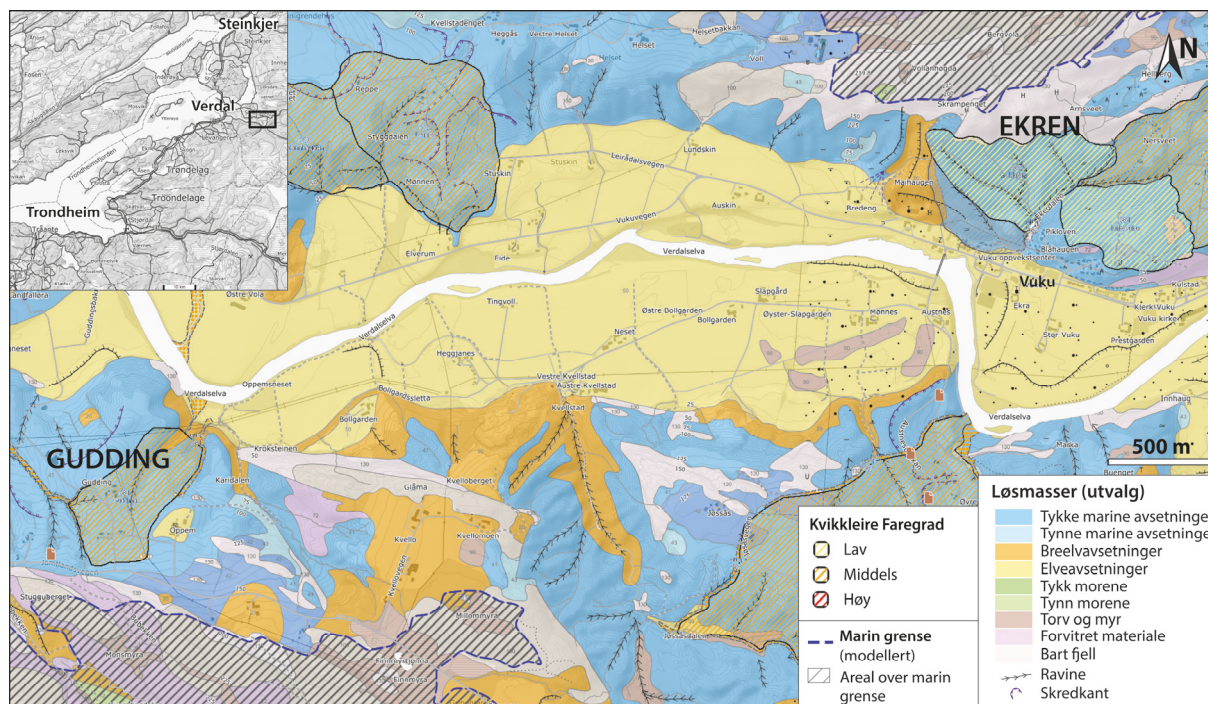
Midtre deler av dalbunnen i Verdal er nokså flat og dominert av Verdalselvas meandring. Det er spor etter en rekke tidligere elveløp. Langs dalsidene er det tykkere sedimenter opp mot 10-20 m under marin grense, som i området er 180-185 moh. (Sveian 1989). I disse sedimentene er det bl.a. elveterrasser, raviner og skredkanter, se terrengforhold i vedlegg 9.1.

I kvikkleirefaresone **Gudding** er det et lite platå (± 105 moh.), med en ravine som skjærer inn i sonen i norddelen. I tillegg ligger noen raviner i sonegrensen. Det finnes skredgroper både øst og vest for sonen, og Verdalsraset ligger ca. 2,5 km nordvest (55 mill. m³ stort kvikkleireskred som gikk i 1893). Faresonen har i hovedsak marine avsetninger, men berg i dagen finnes i østre del. Det er også fluviale og glasifluviale avsetninger i og i nærheten av sonen (Fig. 1). Disse er tolket til å være randåser (ved Sundby og Kvello) (Sveian 1989).

Kvikkleirefaresone **Ekren** domineres av raviner. Sonen har marine avsetninger, og grenser til berg i nord. Det er også berg i dagen helt sør i sonen. Vest for sonen ligger en glasifluvial avsetning (Bredeng) (Fig. 1).

I Vukuområdet er bergoverflaten tolket til å ligge rundt 100 m under havnivå på det dypeste (Tønnesen 1993). Mellom de to faresonene ligger elva på 9-17 moh. Langs dalsidene stikker berget opp flere steder, så dyp til berg varierer nokså mye.

Berggrunnen i Verdal er dominert av grønnstein, amfibolitt og fyllitt. Kalkstein forekommer flere steder. Se berggrunnskart i vedlegg 9.2.



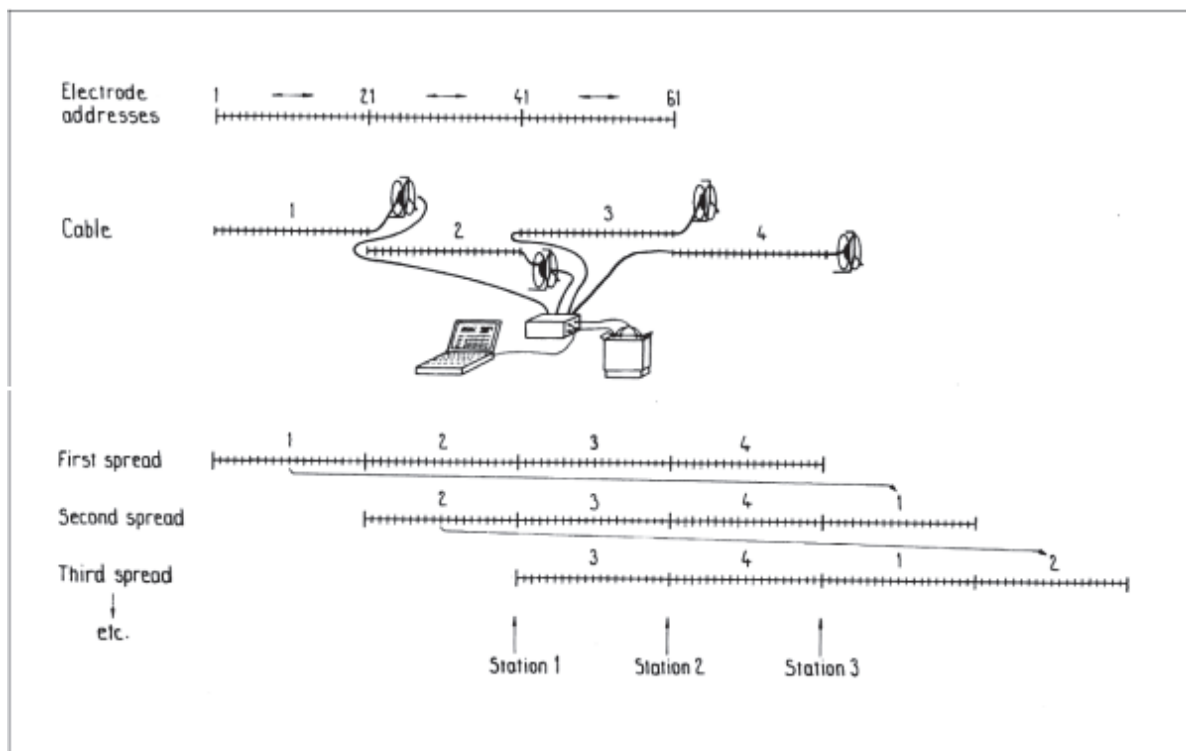
Figur 1. Lokaltetene Gudding og Ekren i Verdal. Kartdata fra NGU (2023c), NVE (2023b) og Kartverket (2023). Se NGU (2023c) for full kvartærgeologisk tegnforklaring.

3. MÅLEMETODE OG UTFØRELSE

3.1 Datainnsamling

Data ble samlet inn av Tom Kristiansen og Jomar Gellein 17.-21. april 2023.

Elektrisk Resistivitet Tomografi (ERT) utføres ved å sende strøm mellom et elektrodepar samtidig som det måles potensial og motstand mellom et annet elektrodepar. Basert på strømstyrke, målt spenning og elektrodene posisjon i forhold til hverandre (geometrisk faktor) beregnes tilsynelatende resistivitet. Utstyret brukt i undersøkelsene er utført med Lund kabelsystem og ABEM Terrameter LS (ABEM, 2012). Som vist i figur 2, kobles fire multielektrode-kabler med 21 elektroder hver til instrumentet, så kjøres en protokollfil med elektrodekonfigurasjoner. I denne undersøkelsen ble elektrodekonfigurasjonen Gradient Plus brukt.



Figur 2. LUND-systemet med 4 multi-elektrode kabler. Figuren viser også hvordan roll-along systemet fungerer (ABEM 2012).

Oppløsning på datasettet styres av elektrodeavstanden. Mindre elektrodeavstand gir høyere oppløsning, men det er på bekostning av dybdepenetrasjon. Ved 5 m elektrodeavstand vil fullt utlegg være 400 m langt og pålitelig dybdepenetrasjon være ca. 50 m. Ved måling av profiler som er lengre enn fullt utlegg brukes «roll-along»-metode (Fig. 2). Tabell 1 viser lengde, elektrodeavstand og datakvalitet for alle profiler. Elektrodeavstanden for alle profiler er 5 meter.

Indusert polarisasjon (IP) ble målt samtidig med resistivitet langs profilene. IP kartlegger hvor lang tid det tar å lade opp eller ut materiale – noe som ofte henger sammen med elektrisk ledende mineraler i undergrunnen. IP-metoden kan supplere tolkningen der lav-resistive ERT-verdier kan tolkes forskjellige (marin leire vs. installasjoner i undergrunnen eller grove masser vs. lav-resistivt fjell). Resultatet fra målingene er vist for tre av profilene.

Tabell 1. Målte profilers lengde, måleretning, elektrodeavstand og datakvalitet i form av RMS error og antall målte datapunkt og fjernede datapunkt.

Profilnr.	Lengde	Retning	Datapunkt (fjernet)	RMS error	Elektrode-avstand	Sted
G1	600 m	Sør → Nord	2150 (7)	2,1 %	5 m	Gudding
G2	700 m	Vest → Øst	2638 (19)	2,6 %	5 m	Gudding
G3	700 m	Vest → Øst	2470 (16)	2,6 %	5 m	Gudding
E1	600 m	Vest → Øst	2146 (14)	2,5 %	5 m	Ekren
E2	700 m	Vest → Øst	2634 (24)	2,5 %	5 m	Ekren

3.2 Strømstyrke og datakvalitet

Jordingsbetingelsene var generelt gode. Strømstyrken var 200 mA for stort sett alle målingene. Datakvaliteten var gjennomgående meget god, kun datapunkt med negativ resistivitet ble fjernet under måling.

3.3 Inversjon

Resistivitetsdata ble invertert av Bjørn Eskil Larsen.

Ved alle resistivetsmålinger måles tilsynelatende verdier. Denne representerer et veid middel av alle resistivetsverdier 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 resistivetsverdi. Denne blir så justert i flere trinn (iterasjoner) inntil responsen fra den teoretiske modellen blir mest mulig lik de målte data.

Alle data er invertert med Res2DInv (Loke 2018) med robust databegrensing. RMS error for alle målte profiler er lav, dette gjenspeiler de gode jordingsforholdene ved målinger og lite støy i datasettene. Bare noen få enkeltmålinger ble fjernet under inversjon. Se Tabell 1 for oversikt.

4. KLASSIFISERING AV SEDIMENTER FRA RESISTIVITETSVERDIER

Tabell 2 og figur 3 viser klassifisering av sedimenter fra resistivetsverdier 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.

Resistivetsverdier lavere enn ca. 10 ohmm finnes i materiale med god ledningsevne, som saltholdig leire. Verdier fra 10 ohmm og opptil 90-100 ohmm kan være kvikkleire, men økningen i resistivitet kan også skyldes innslag av grovere masser som silt/sand. Tørrskorpeleire har vanligvis verdier mellom 100 ohmm og 200 ohmm. Fargeskalaen er valgt slik at antatt intakt/saltholdig 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 2000 ohmm) kan skyldes berg, men disse fargene kan også representere sand/grus-avsetninger. Avhengig av type invertering av data vil skarpe overganger i geologisk materiale (f.eks. leire over berg) noen ganger framkomme gradvis ikke som et tydelig hopp i resistivetsverdier. Med robust databegrensning minimeres denne effekten. Det ser ut til at når sedimenter med lave resistivetsverdier ligger over berg blir verdiene i berg generelt

lavere enn de reelle bergverdiene, og tolket bergdyp blir forskjøvet nedover i profilet (metodisk svakhet, se Reiser mfl. 2011).

Resistivetsprofiler har mest informasjon 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 resistivetsprofilene fra målingene i Verdal beskrevet og tolket. Profilene er også sammenlignet med geotekniske data.

For mer detaljer om resistivetsmetoden og dens anvendelse knyttet til kvikkleirekartlegging henvises det til Solberg mfl. (2011a).

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 (basert på bl.a. Solberg mfl. 2008 og Solberg mfl. 2011a, b).

Resistivetsverdier	Materiale	Fargekode	Beskrivelse
1-10 ohmm	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 ohmm	Utvaskede marine leiravsetninger	Grønn, gul	Utvasking av leire fører til færre ioner i porevannet og ved et saltinnhold på mindre enn ca. 2 g/l kan kvikkleire dannes. Resistivetsverdiene 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 ohmm	Tørrskorpeleire	(Gul), Orange	Tørrskorpeleire, leirskredmasser, sand og grus vil generelt ha høyere resistivetsverdier. Vann-innhold i sedimentene vil ha betydning for ledningsevnen.
50-150 ohmm	Siltige masser	Gul, orange	
>150 ohmm	Sand, grus	Orange, rød, mot lilla	Berggrunnen har som regel resistivetsverdier på flere tusen ohmm, men oppsprukket berg og malmrike bergarter kan ha betydelig lavere resistivitet.
>1000 ohmm	Berg	(Rød), Lilla	



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

5. TIDLIGERE GRUNNUNDERSØKELSER

5.1 Boredata

I og rundt de to kvikkleirefaresonene Gudding og Ekren er det gjort geotekniske boringer av Multiconsult, Rambøll, NGI og Statens vegvesen som er tilgjengelige gjennom NADAG (2023). Noen av boringene indikerer eller påviser kvikkleire og dyp til berg. Boredata er sammenlignet med ERT-profilene. Boringer som ligger et stykke fra resistivetsprofilen er trukket inn og brukt veiledende.

Grunnvanns- og energibrønner gir ofte god informasjon om dyp til berg, og noen ganger løsmassetyper. Det finnes noen brønner i nærheten av lokalitetene, men ikke nær nok til å kunne sammenlignes med ERT-profilene.

5.2 Geofysiske undersøkelser

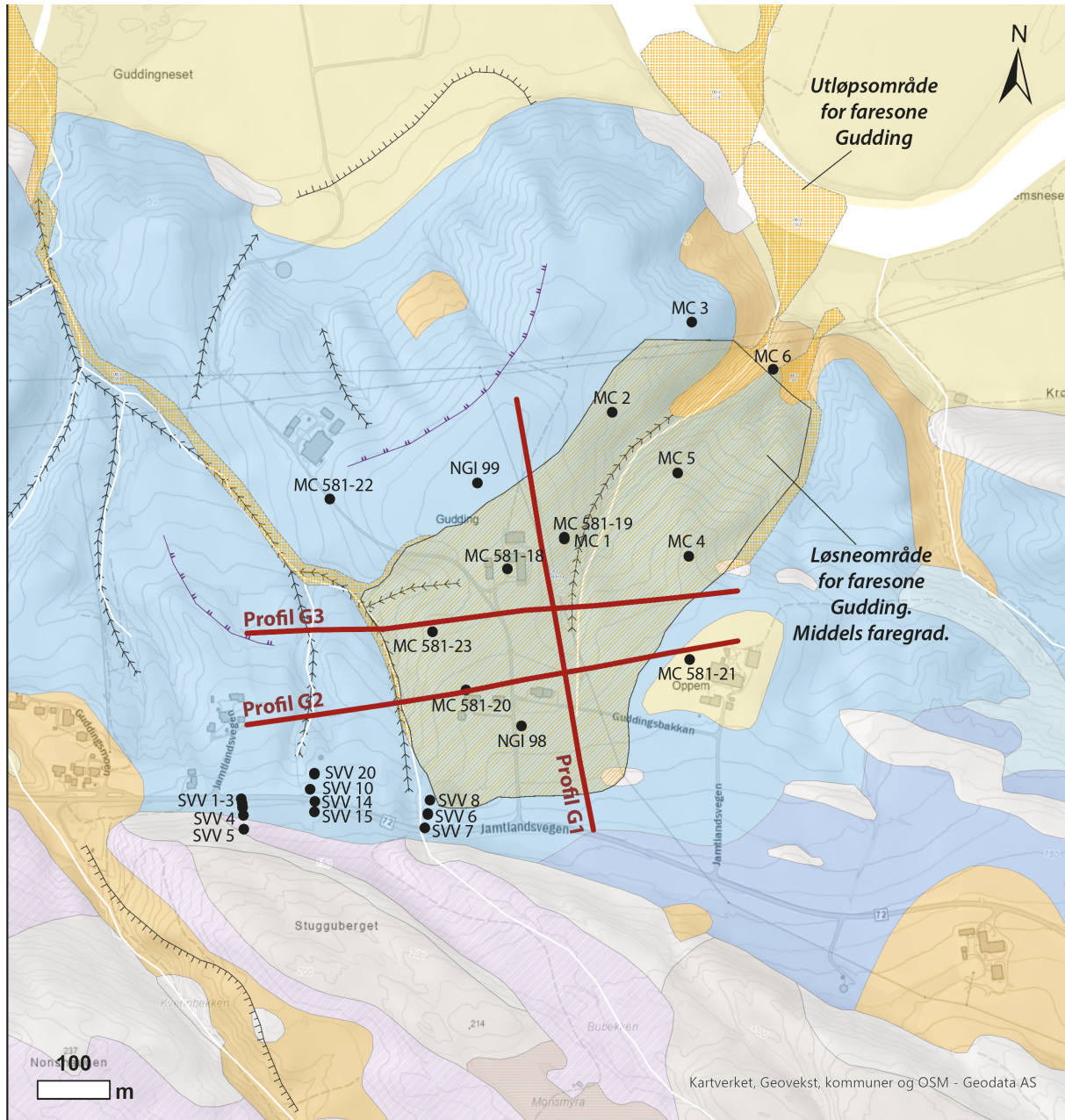
NGU har tidligere gjort ulike typer geofysiske undersøkelser i Verdalen (NGU 2023a). Sør for Ekren og øst for Gudding ble det i 2008 gjort ERT-måling for å vurdere en grusforekomst (Hugdahl 2008). Vedlegg 9.3 viser noen resultater fra denne kartleggingen. Tønnesen (1993) utførte gravimetrimålinger for å kartlegge dyp til berg / løsmassemektheter.

I tillegg er det gjort helikoptermålinger øst i området, som bl.a. har målt elektromagnetisme (EM) med bl.a. malmleting som formål (Skilbrei 1994; Ofstad mfl. 2022). Disse gir også resistivetsdata, men med mye grovere oppløsning enn 2D resistivetsmålinger.

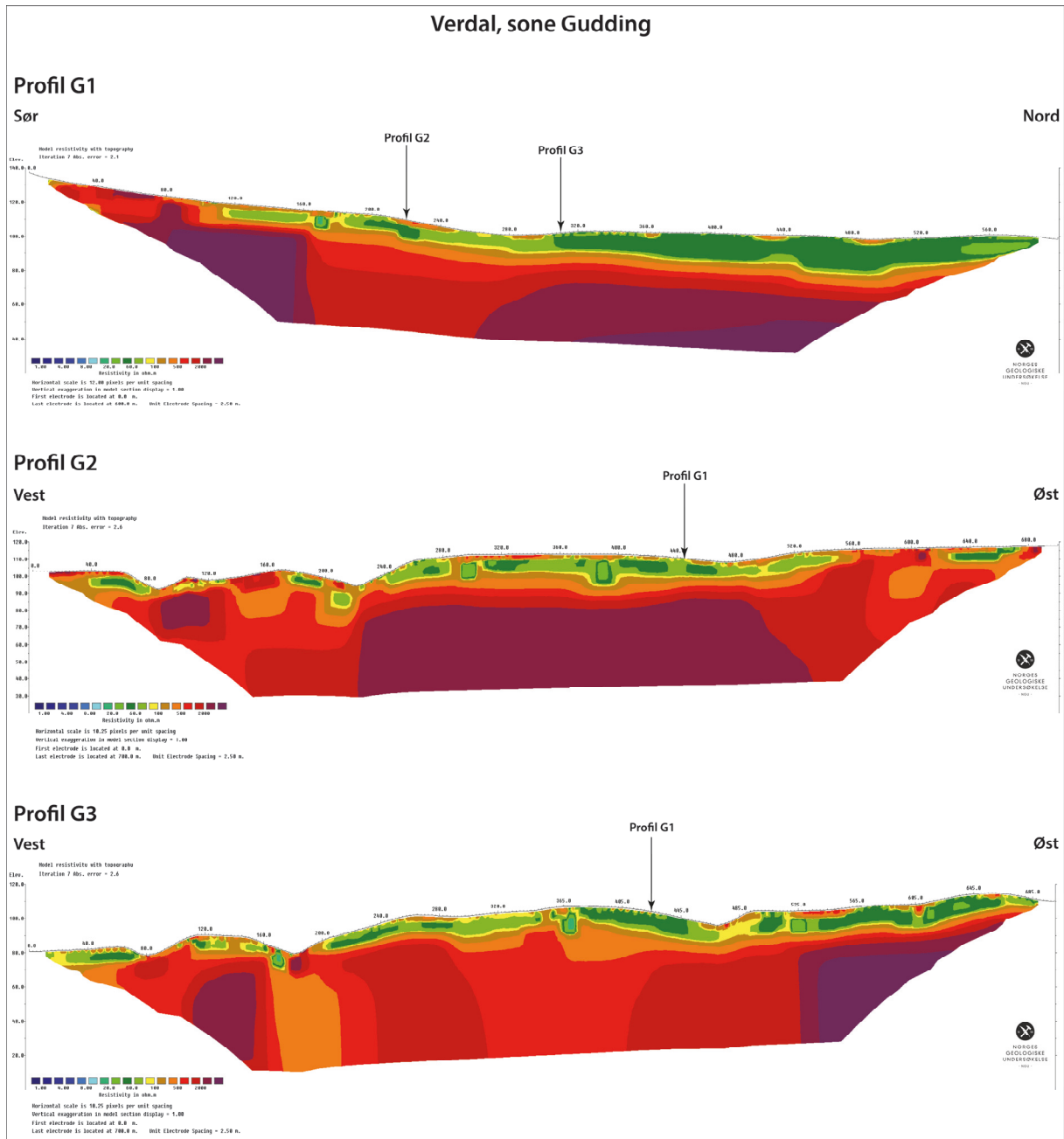
6. RESULTATER OG TOLKNING AV PROFILER

6.1 Gudding

Figur 4 viser kart over målte ERT-profiler og lokaliteter til tidligere geotekniske grunnundersøkelser ved Gudding i Verdal. Figur 5 viser resultatet fra 2D-resistivetsmålingene. Koordinater til innmålte profiler finnes i vedlegg 9.4. Profilene strekker seg utover selve faresone Gudding. Vedlegg 9.5 viser resultater av IP for profil G3, og vedlegg 9.6 viser profilene med «lang fargeskala» for å vise nyanser i høyere resistivetsverdier.



Figur 4. Oversikt over plasseringen av resistivetsprofiler G1-G3 ved Gudding (røde linjer). Geotekniske borerer fra Multiconsult (MC), NGI og Statens vegvesen (SVV) vist som svarte prikker (NADAG 2023). Som bakgrunnskart ligger faresoner fra NVE (NVE 2023b) og kvartærgeologisk kart fra NGU (2023c). NB! Kartleggingsmålestokken for det kvartærgeologiske kartet er 1:20 000, her er det zoomet til ca. 1:5000. Se figur 1 eller NGU (2023c) for tegnforklaring.



Figur 5. Oversikt over de målte 2D-resistivetsprofiler (ERT) ved Gudding i Verdal. For profiler med tolkning, se fig. 6-8.

6.1.1 Resistivetsdata Profil G1

Resistivetsprofil G1 er 600 m langt og går over dyrket mark. Det var tørre forhold på jordene. Fra sør til kryssing med profil G3 var det stein og grus i overflaten, videre nordover leirig i overflaten. Profilet viser høye resistivetsverdier i øvre del i sørenden av profilet (over 2000 ohmm). Fra profilpunkt 100 m og nordover er det resistivetsverdier mellom 50 og 100 ohmm i et 10-30 m tykt lag over de høyere resistivetsverdiene. Stedvis er det lag/lommer med resistivetsverdier på 200-1000 ohmm i overflaten.

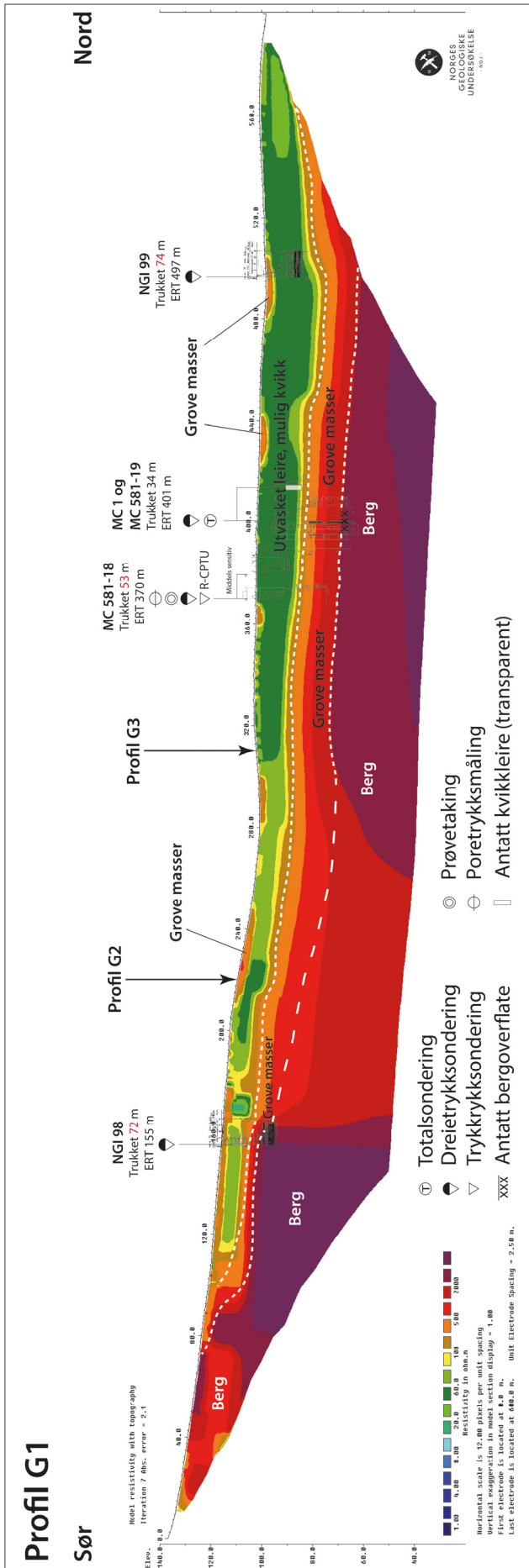
6.1.2 Tolkning av resistivitetsdata sammen med geotekniske data for Profil G1

Figur 6 viser samtolkning av resistivitetsdata og geotekniske boredata. I sør ligger bergoverflaten trolig svært nær overflaten. Kvartærgeologisk kart viser berg i dagen like øst for profilet (Fig. 4). Videre nordover øker dyp til berg jevnt. Resistivitetsverdiene i berget er stedvis lave, noe som kan skyldes svakhetssoner eller ledende mineraler i berggrunnen.

Over berget ligger grove masser, trolig i et 10-15 m tykt lag. I løsmassene over dette er det leire med siltlag, noe som støttes av boredata. Multiconsult oppsummerer grunnforholdene i faresone Gudding med at løsmassene i sonen generelt består av et lag leire med silt- og finsandlag over grovere, fastere masser. Måling av vannstanden indikerer en grunnvannstand ca. 4,5 m under terreng. Poretrykksfordelingen er preget av poreundertrykk i dybden (MC 2018). Grunnvann kommer ut i ravinesidene i bekken nord i sonen (øst for nordligste del av profil G1), noe som indikerer vannførende lag. Her er det lagdelt leire og silt, med enkelte grovere lag av antatt sand/grus. Leira er stedvis sensitiv/kvikk (MC 2004).

Flere steder i overflata er det observert grove masser, og der disse er tørre/drenerte framkommer de med høye resistivitetsverdier.

Det finnes ingen partier med saltholdig leire. Det er antatt kvikkleire ved sondering ved profilpunkt 400 m, og det kan også finnes kvikkleire flere steder langs profilet.



Figur 6. Samtolkning av ERT-profil G1 og geotekniske boredata ved Gudding i Verdal. Boringene er utført av Multiconsult og NGI (MC 2004, 2018; NGI 1987).

6.1.3 Resistivetsdata Profil G2

Resistivetsprofil G2 er 700 m langt og går over dyrket mark og på tvers av bekkeraviner. Det var relativt tørre forhold på jordene. Nede i bekkefarene var det steiner, og små utglidninger i leire. Mye av profilet viser relativt høye resistivetsverdier (over 2000 ohmm), men i lengre partier 50-100 ohmm i et 5-30 m tykt lag. Stedvis er det lag/lommer med resistivetsverdier på 200-2000 ohmm i overflaten.

6.1.4 Tolkning av resistivetsdata sammen med geotekniske data for Profil G2

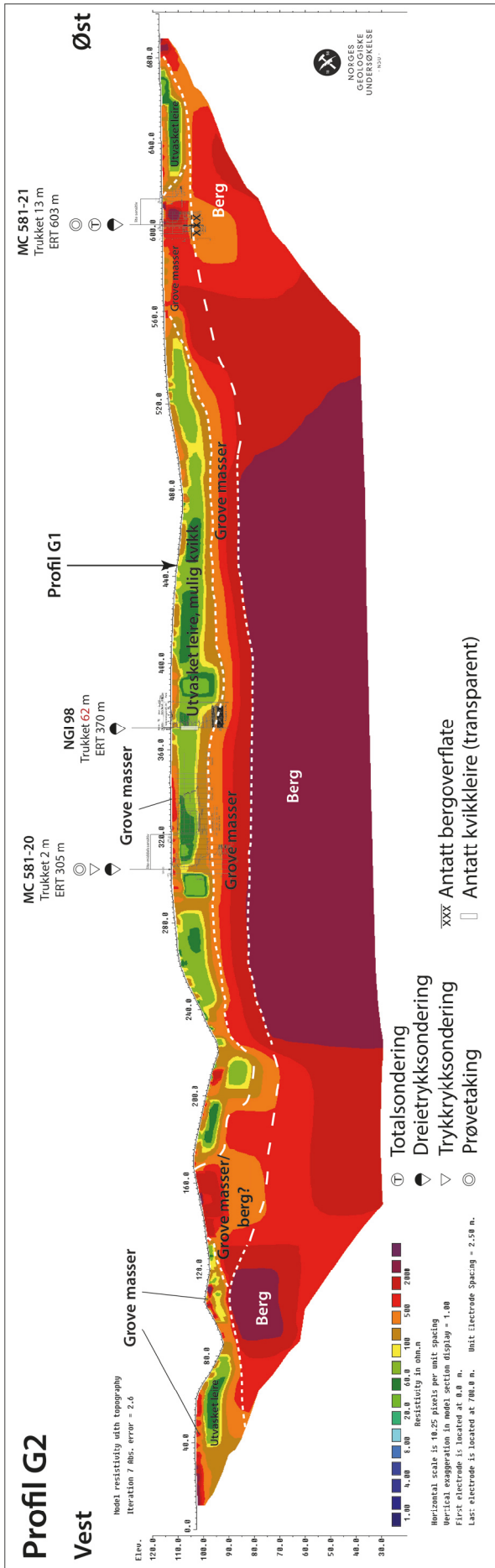
Figur 7 viser samtolkning av resistivetsdata og geotekniske boredata. Generelt ligger trolig bergoverflaten på 40 m dyp eller grunnere. Resistivetsverdiene i berget er stedvis lave, noe som kan skyldes svakhetssone eller ledende mineraler i berggrunnen.

Over berget ligger trolig grove masser i et 10-15 m tykt lag. I løsmassene over dette er det leire med silt- og/eller sandlag, noe som støttes av boredata. Se beskrivelse av boredata for sonen generelt i kap. 6.1.2. I overflata er det stedvis observert grove masser, og der disse er tørre/drenerte framkommer de med høye resistivetsverdier.

Tolkningen mellom profilpunkt 120 og 200 m er noe utfordrende, siden det er usikkert om resistivetsverdiene her indikerer grove masser eller berg med noe ledende materiale.

Kvartærgeologisk kart viser fluviale avsetninger øst i profil G2 (Fig. 4). Dette stemmer godt overens med ERT-profilet fra profilpunkt 610 m og østover. Mellom profilpunkt 560 og 610 m indikerer resistivetsverdiene grove masser i større del av profilet, men boredata viser mer nyanser her med grove masser i topplaget (ca. 1 m), deretter lite sensitiv leire med mange silt- og sandlag ned til 7 m, før det er et ca. 5 m tykt lag grove løsmasser over påvist berg på 12,7 m dyp (MC 2018).

Det finnes ingen partier med saltholdig leire. Det er antatt kvikkleire ved sondering ved profilpunkt 370 m, og det kan også finnes kvikkleire flere steder langs profilet.



Figur 7. Samtolkning av ERT-profil G2 og geotekniske boredata ved Gudding i Verdal. Boringene er utført av Multiconsult og NGI (MC 2018; NGI 1987).

6.1.5 Resistivetsdata Profil G3

Resistivetsprofil G3 er 700 m langt og går over dyrket mark og på tvers av bekkeaviner. Det var relativt tørre forhold på jordene. Nede i bekkefarene var det steiner, og små utglidninger i leire – spesielt i skråningen ved profilpunkt 470-490 m. Mye av profilet viser relativt høye resistivetsverdier (500-2000 ohmm), men over dette ligger et 10-30 m tykt lag med verdier på 50-100 ohmm. Stedvis er det lag/lommer med resistivetsverdier på 200-1000 ohmm i overflaten.

Indusert polarisasjon (IP) i dette profilet er vist i vedlegg 9.5. Under hele den midtre delen av profilet er det et parti med relativt høy IP. I tillegg er det mindre lommer med høy IP i øvre del av profilet.

6.1.6 Tolkning av resistivetsdata sammen med geotekniske data for Profil G3

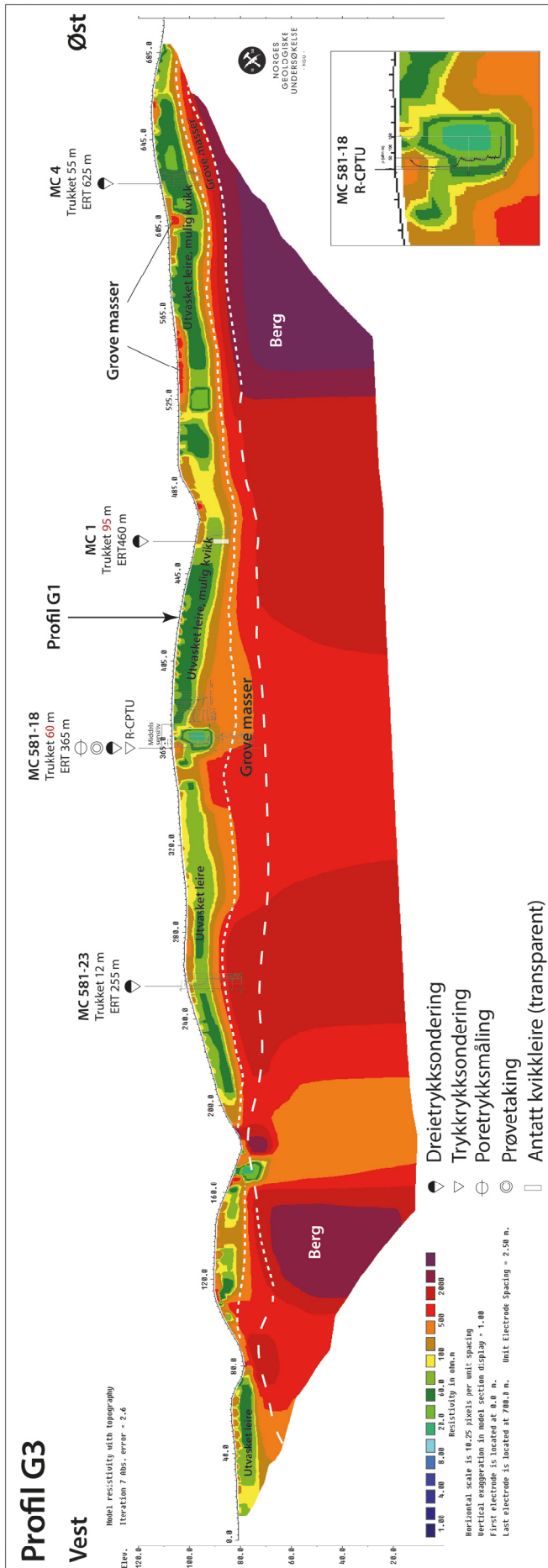
Figur 8 viser samtolkning av resistivetsdata og geotekniske boredata. Generelt ligger trolig bergoverflaten på 40 m dyp eller grunnere. Resistivetsverdiene i berget er lave, spesielt mellom profilpunkt 160 og 525 m. Dette er også veldig tydelig når data visualiseres med «lang fargeskala» (vedlegg 9.6). Dette kan skyldes ledende mineraler i berggrunnen, noe IP indikerer.

Over berget ligger grove masser, trolig i et 10-15 m tykt lag. I løsmassene over dette er det leire med silt- og/eller sandlag, noe som støttes av boredata. Se beskrivelse av boredata for sonen generelt i kap. 6.1.2.

Ca. 60 m nord for ERT-profilpunkt 365 m er det utført RCPTU. Mellom 3 og 8 m dyp er resistivetsverdiene i boringen ca. 10 ohmm. Også ERT-profilet viser lave verdier i en lomme her. IP-profilet har høye verdier i denne lomma. Dette er i løsmasser, så her er det trolig nedgravd, uisolert metall som gir utslag (rør, tank e.l.). Utslaget på profilet vises dypere enn metallet trolig er nedgravd, både for ERT og RCPTU.

I overflata er det stedvis observert grove masser, og der disse er tørre/drenerte framkommer de med høye resistivetsverdier.

Det finnes ingen partier med saltholdig leire. Det er antatt kvikkleire ved sondering ved profilpunkt 460 m, og det kan også finnes kvikkleire flere steder langs profilet.



Figur 8. Samtolkning av ERT-profil G3 og geotekniske boredata ved Gudding i Verdal. Innfelt bilde er forstørring av ERT-profilpunkt 365 m der det finnes resistivitetsprofil fra RCPTU i nærheten. Boringene er utført av Multiconsult (MC 2004, 2018).

6.2 Tolkning Gudding

De to ERT-profilene G2 og G3 krysser ERT-profil G1. Kryssende profiler gir et godt inntrykk av grunnforholdene i tre dimensjoner, og her i Gudding er det godt samsvar mellom profilene. Samtolkning av profiler og boredata indikerer at det i området finnes et 10-30 m tykt lag leire med tynne silt- og sandlag. Dette tolkes som marine leiravsetninger, og disse er utvaskede. Det vil si at det stedvis kan være kvikkleire. Det er antatt kvikkleire i noen sonderinger, og også noen prøver i området påviser kvikkleire. Noen steder langs profilene er leira lite sensitiv, men likevel utvasket, siden det ikke finnes saltholdig leire med lave resistivitetsverdier her.

I overflata finnes det stedvis grove avsetninger, noe som trolig er fluviale avsetninger dersom de ligger over leiravsetninger. Også kvartærgeologisk kart indikerer at elva har vært over dette området (Fig. 1, 4).

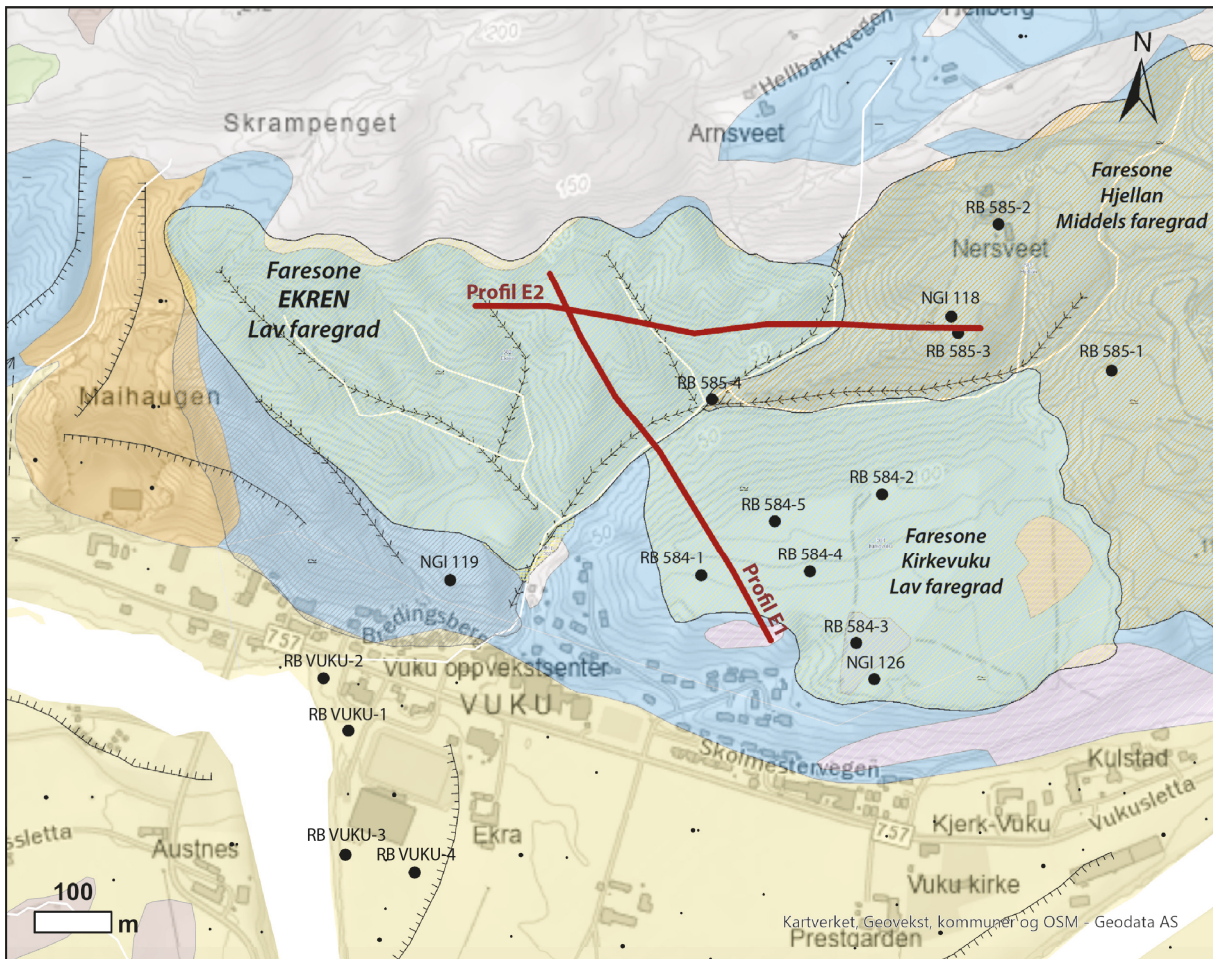
Under leiravsetningene finnes grove masser, som trolig er glasifluvial sand og grus. Noe kan også være morene, men området er en del av Vukutrinnet, og viser mange glasifluviale avsetninger (Fig. 1). Nærheten til glasifluviale randåser og randdelta forklarer også de mange silt- og sandlagene i leira som boredata viser.

Den tidligere ERT-målingen i Vuku (Hugdahl 2008, vedlegg 9.3) ligger parallelt med, men ca. 3,5 km øst for, ERT-profil G1. Også dette profilet indikerer tykke, grove, glasifluviale masser, og som i dette tilfellet kiler inn i marine leiravsetninger.

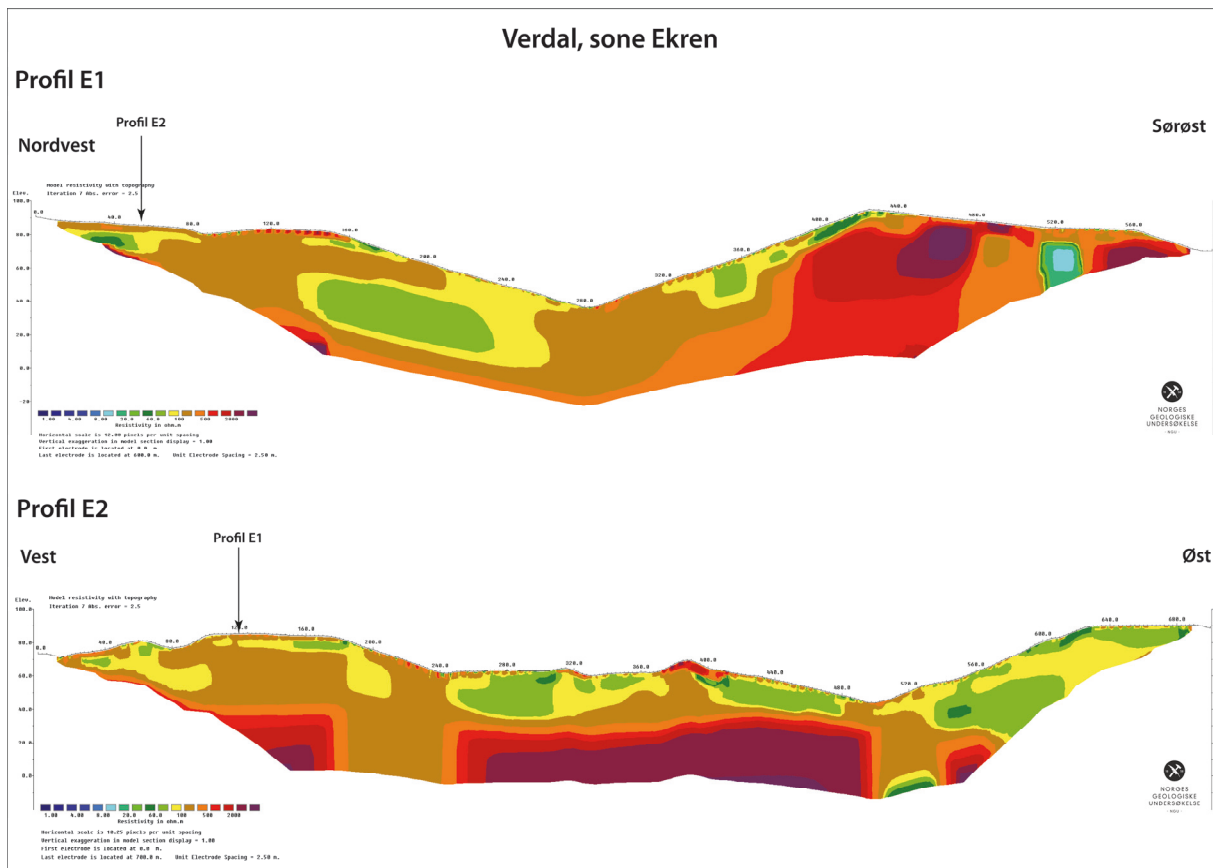
Bergoverflaten undulerer, og stikker fram i dagen flere steder (Fig. 1, 4). Overgangen mellom grove løsmasser og berggrunn er stedvis vanskelig å tolke der resistivitetsverdiene er lave i det som tolkes som berg med støtte i geotekniske boredata. Berggrunnskart i området viser bl.a. fyllitt, og denne kan inneholde elektrisk ledende mineraler som grafitt (f.eks. Dalsegg mfl. 2006). Dette gir utslag på IP. Forekomsten av ledende mineraler ligger trolig i soner i berget og fører lokalt til lave resistivitetsverdier.

6.3 Ekren

Figur 9 viser kart over målte ERT-profiler og lokaliteten til tidligere geotekniske grunnundersøkelser ved Ekren i Verdal. Figur 10 viser resultatet fra 2D-resistivetsmålingene. Koordinater til innmålte profiler finnes i vedlegg 9.4. ERT-profilene går ikke kun gjennom faresone Ekren, men også inn i faresonene Kirkevuku og Hjellan. Vedlegg 9.5 viser resultater av IP for profilene, og vedlegg 9.6 viser profilene med «lang fargeskala» for å vise nyanser i høyere resistivetsverdier.



Figur 9. Oversikt over plasseringen av resistivetsprofiler E1-E2 ved Ekren (røde linjer). Geotekniske borer fra Rambøll (RB) og NGI vist som svarte prikker. Som bakgrunnskart ligger faresoner fra NVE (NVE 2023b) og kvartærgeologisk kart fra NGU (2023c). NB! Kartleggingsmålestokken for det kvartærgeologiske kartet er 1:50 000, her er det zoomet til ca. 1:7500. Se figur 1 eller NGU (2023c) for tegnforklaring.



Figur 10. Oversikt over de målte 2D-resistivetsprofiler (ERT) ved Ekren i Verdal. For profiler med tolkning, se fig. 11-12.

6.3.1 Resistivetsdata Profil E1

Resistivetsprofil E1 er 600 m langt og går i nordvest gjennom skog og gressdekket mark som er sandig og nokså tørr. Profilet krysser en bekk ved profilpunkt 280 m, og denne hadde mye leire i vannet. Bakken var mer fuktig i skråningen på sørøstsiden av bekken, og opp på dyrket mark. I sørøst stopper profilet ved et boligområde. I sørøst er det høye resistivetsverdier (over 1000 ohmm), med unntak av en lomme med verdier ned mot 10 ohmm. I resten av profilet er det hovedsakelig resistivetsverdier mellom 50 og 200 ohmm, med unntak av enkelte lag i overflaten og på dypet som har opp mot 2000 ohmm.

Indusert polarisasjon (IP) i dette profilet er vist i vedlegg 9.5. I sørøstlige delen av profilet er det et parti med relativt høy IP.

6.3.2 Tolkning av resistivetsdata sammen med geotekniske data for Profil E1

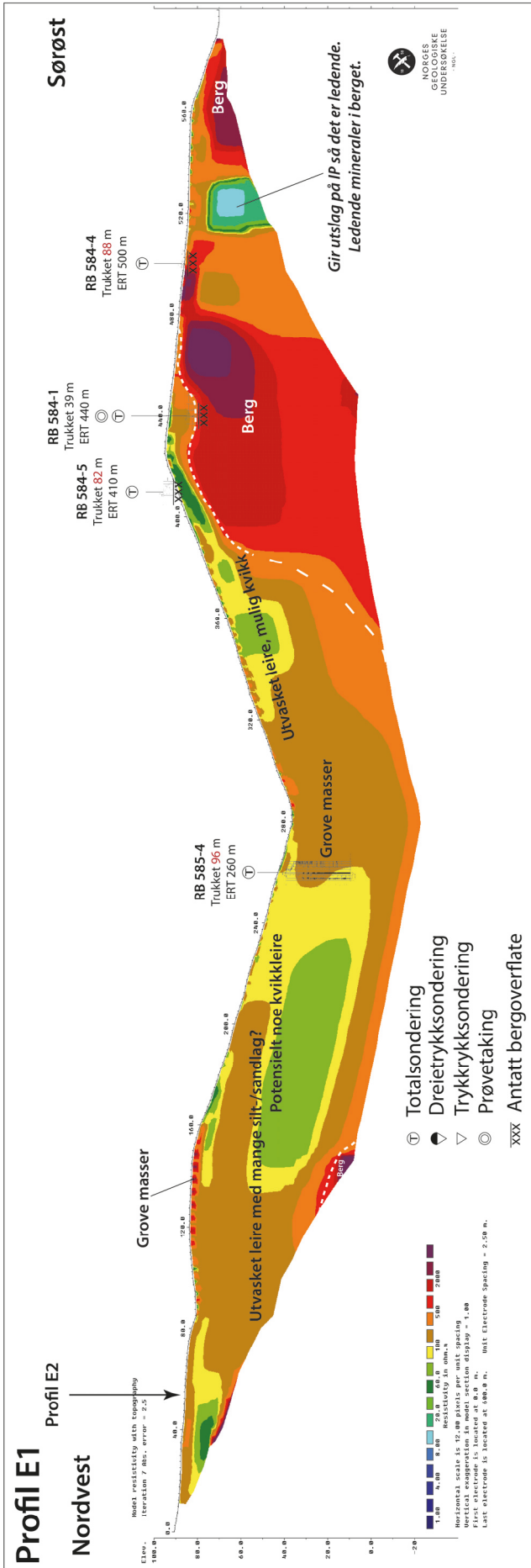
Figur 11 viser samtolkning av resistivetsdata og geotekniske boredata. Kvartærgeologisk kart viser berg i dagen i sørdelen av profilet (Fig. 9), men dette ble ikke observert ved målingen av profil E1 og er trolig dekket av vegetasjon. Den høye IP i den sørøstlige delen av profilet

indikerer ledende mineraler i berg, så selv om det er nokså lave resistivetsverdier her er det trolig berg, eller grunt til berg etter profilpunkt 460 m. Dette støttes av boredata.

Rambøll oppsummerer grunnforholdene med at det i faresone Kirkevuku er mindre leire enn i faresone Hjellan, og det er ikke registrert leire av sensitiv karakter. Det er overgang til faste og grove masser under leira (RB 2018).

Mellom profilpunkt 380 og 460 m er det trolig varierende dyp til berg, men opp mot 10-15 m. I resten av profilet ligger berget trolig dypt, med unntak av i nordvest hvor profilet indikerer at berget ligger noe grunnere igjen.

I løsmassene er det trolig leire vekslende med sand og grus. Det kan være større deler av avsetningen som inneholder vannmettede, grove masser. Dette støttes av boredata. I overflata er det stedvis observert grove masser, og der disse er tørre/drenerte framkommer de med høye resistivetsverdier. Det finnes ingen partier med saltholdig leire. Det kan derfor finnes kvikkleire her.



Figur 11. Samtolkning av ERT-profil E1 og geotekniske boredata ved Ekren i Verdal. Boringene er utført av Rambøll (RB 2018).

6.3.3 Resistivetsdata Profil E2

Resistivetsprofil E2 er 700 m langt og går gjennom skog, med unntak av helt i øst hvor det er dyrket mark. Profilet krysser noen bekkeraviner. Det var relativt tørre forhold fram til profilpunkt 160 m. I skråningene etter profilpunkt 420 m var det vannutsig flere steder. I nedre del av profilet er det relativt høye resistivetsverdier (500-2000 ohmm), med unntak av to vertikale soner på 200 ohmm og lavere. Over ligger et 30-50 m tykt lag med verdier på 50-200 ohmm. Stedvis er det lag/lommer med høyere resistivetsverdier i overflaten, spesielt ved profilpunkt 360-400 m hvor det er et 5-10 m tykt lag med resistivetsverdier opp mot 2000 ohmm.

Indusert polarisasjon (IP) i dette profilet er vist i vedlegg 9.5. I den østlige delen av profilet er det et parti med relativt høy IP.

6.3.4 Tolkning av resistivetsdata sammen med geotekniske data for Profil E2

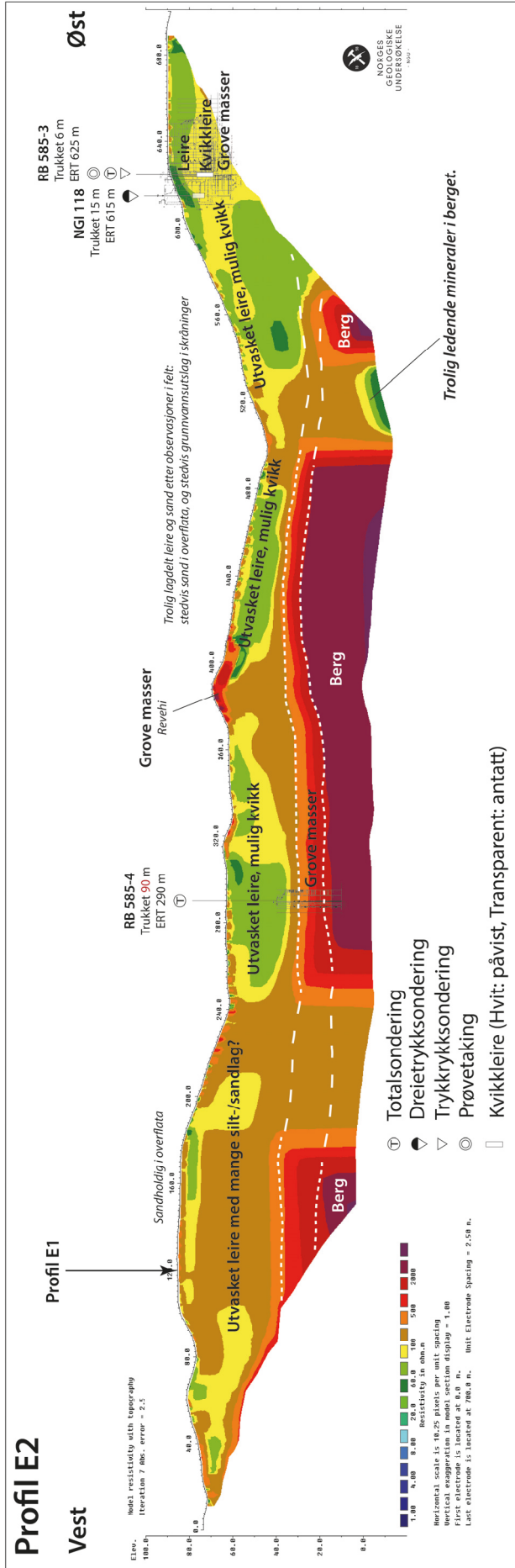
Figur 12 viser samtolkning av resistivetsdata og geotekniske boredata. Bergoverflaten ser ut til å ligge på ca. 20-30 moh. Resistivetsverdiene i berget er nokså lave, spesielt i to soner hvor det muligens er ledende mineraler i berggrunnen. Selv om de høye IP-verdiene i østlige delen ligger ved bunnen av profilet og er dermed veldig usikre, så støtter de likevel denne tolkningen.

Over berget ligger grove masser, trolig i et 10-20 m tykt lag. I løsmassene over dette er det leire, men trolig med mangesilt-, sand- og gruslag. Det kan være større deler av avsetningen som inneholder vannmettede, grove masser. Dette støttes av boredata, selv om det er få boringer her.

Rambøll oppsummerer grunnforholdene i faresone Hjellan med at det er mektige forekomster av leire hvor det også er funnet kvikk/sensitiv leire. Under leira er det faste og grove masser (RB 2018). Også NGIs sondering i Hjellan indikerer kvikkleire på ca. 13-19 m dyp, med grovere masser under (NGI 1996).

I overflata er det stedvis observert grove masser, og der disse er tørre/drenerte framkommer de med høye resistivetsverdier. Dette gjelder spesielt i haugen midt på profilet («revehiet»).

Det finnes ingen partier med saltholdig leire. Det er påvist kvikkleire ved prøvetaking i østlig del av profilet og det kan også finnes kvikkleire flere steder langs profilet.



Figur 12. Samtolkning av ERT-profil E2 og geotekniske boredata ved Ekren i Verdal. Boringene er utført av Rambøll og NGI (RB 2018; NGI 1996).

6.4 Tolkning Ekren

De to profilene ved Ekren krysser hverandre helt i nordvest, men det er godt samsvar mellom dem. Det er nokså store løsmassemektheter i dette området, og tolkning av resistivetsverdier og boredata indikerer mye grove masser, men stedvis lagdelt med leiravsetninger.

Kvartærkartet viser flere nokså store glasifluviale avsetninger både vest og øst for Ekren (Fig. 1, 9). Disse er en del av Vukutrinnet, og har trolig krysset dalen. Erosjon og skred har fjernet en del av disse avsetningene, men i Ekren-området har de delvis blitt beskyttet mot erosjon fra Verdalselva av oppstikkende berggrunn (blotninger på kvartærkartet, boredata, ERT-profil E1). Faresone Ekren er utsatt for omfattende raviner og små utglidninger – men det er ikke spor etter store skredhendelser i akkurat dette ravinesystemet (vedlegg 9.1, Fig. 9).

Ekren ligger altså både distalt og proksimalt glasifluviale randavsetninger som påvirker lagdelingen. Man kan i så fall forvente grove masser over berg, og en god del grove masser (sand/grus) lagdelt med leire. Dette samsvarer med boringene - og kan være grunnen til at resistivetsverdiene for en del av leiravsetningene ligger rundt 100 ohmm. Grunnvannsutslag i enkelte skråninger tyder også lagdelte masser, og har trolig bidratt til den omfattende ravineren av området.

Det finnes ikke saltholdig leire her, men selv om all leira er utvasket er den ikke nødvendigvis kvikk over alt. Øst i ERT-profil E2 er det påvist kvikkeleire.

Bergoverflata er trolig nokså flat i profil E2, mens undulerende i profil E1. Det er som nevnt noen bergblotninger i området. Overgangen mellom grove løsmasser og berggrunn er stedvis vanskelig å tolke der resistivetsverdiene er lave i det som tolkes som berg med støtte i geotekniske boredata og blotninger. Berggrunnskartet i området viser ikke fyllitt akkurat for Ekren, men i nærheten. Kartet er grovt, og viser ikke alle nyanser – men det kan ikke utelukkes at det er soner med ledende mineraler som gir utslag på IP her. Forekomsten av ledende mineraler ligger trolig i soner i berget og fører lokalt til lave resistivetsverdier. Det er størst utslag i IP på profil E1, men også på E2 er det trolig ledende mineraler i den østlige delen. Det er utført helikoptermålinger i Vuku-området, bl.a. Skilbrei (1994) som indikerer lav resistivitet i «bånd» som går sørvest-nordøst nordøst for Vuku. Dette stemmer overens med lav IP i profilene E1 og E2.

7. KONKLUSJON

Det er utført 2D resistivitetsmålinger (ERT) i tre profiler i faresone Gudding og i to profiler i faresone Ekren i Verdal kommune i Trøndelag. Formålet med kartleggingen var å vurdere grunnforholdene med utbredelse av mulig kvikkleire og dyp til berg.

Tolkning av data fra resistivitetsmålingene og geotekniske boringer indikerer at løsmassene består av utvaskede, potensielt kvikke leiravsetninger over nokså tykke grove avsetninger, som igjen ligger over berggrunnen. Dyp til berg varierer, noen steder er det berg i dagen, eller grunt til berg. Resistivitetsverdiene i berg er stedvis svært lave, og IP indikerer at det finnes soner med ledende mineraler i berget. IP gir også informasjon om nedgravd, uisolert metall i bakken.

Gudding og Ekren ligger i området for Vukutrinnet, noe som betyr at det er forekomster av grove masser i glasifluviale avsetninger. Dette viser seg som silt- og sandlag i marin leire, og grove masser under/ved/over leira. Ved Gudding er det også fluviale avsetninger over den marine leira.

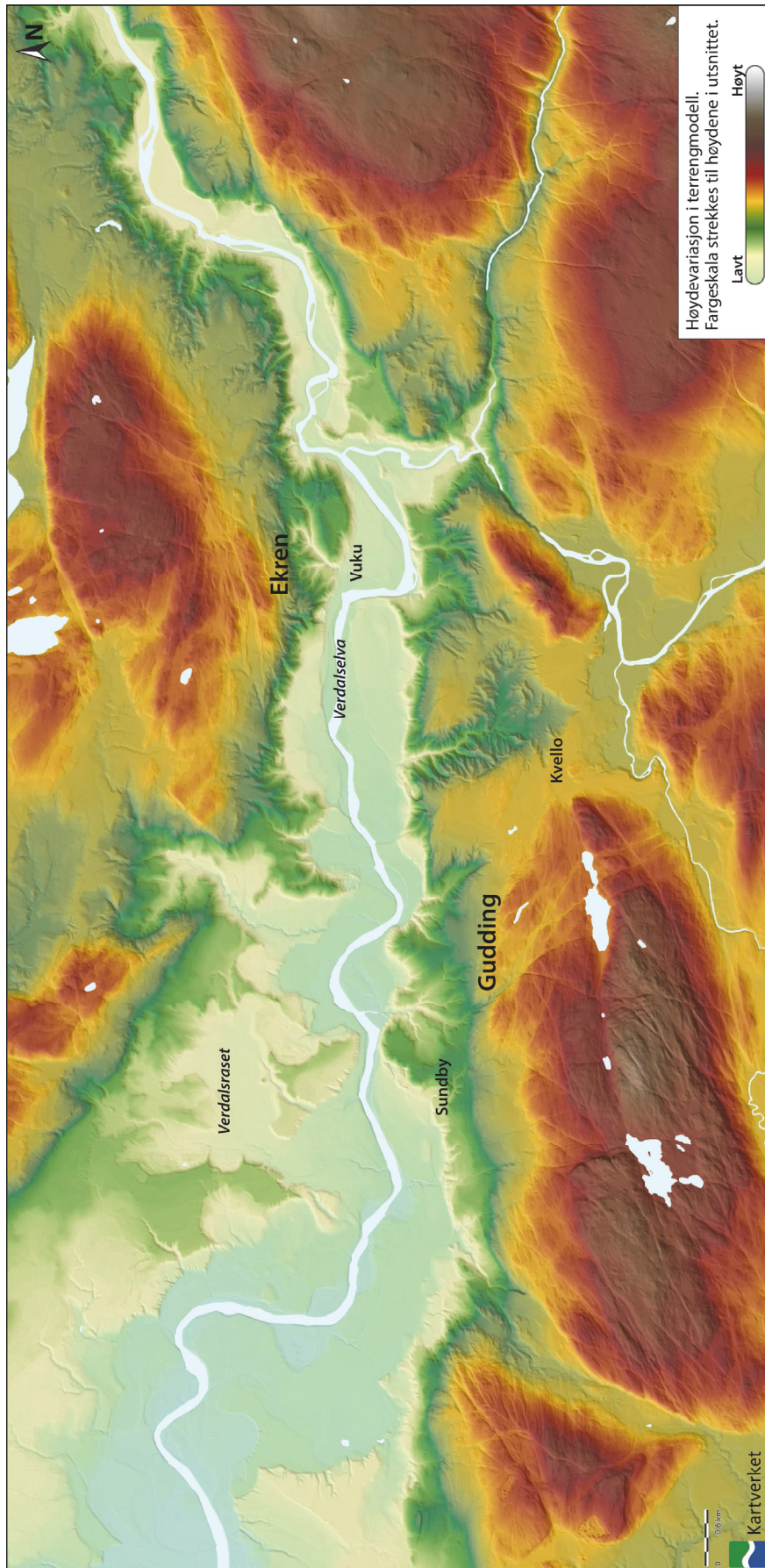
8. REFERANSER

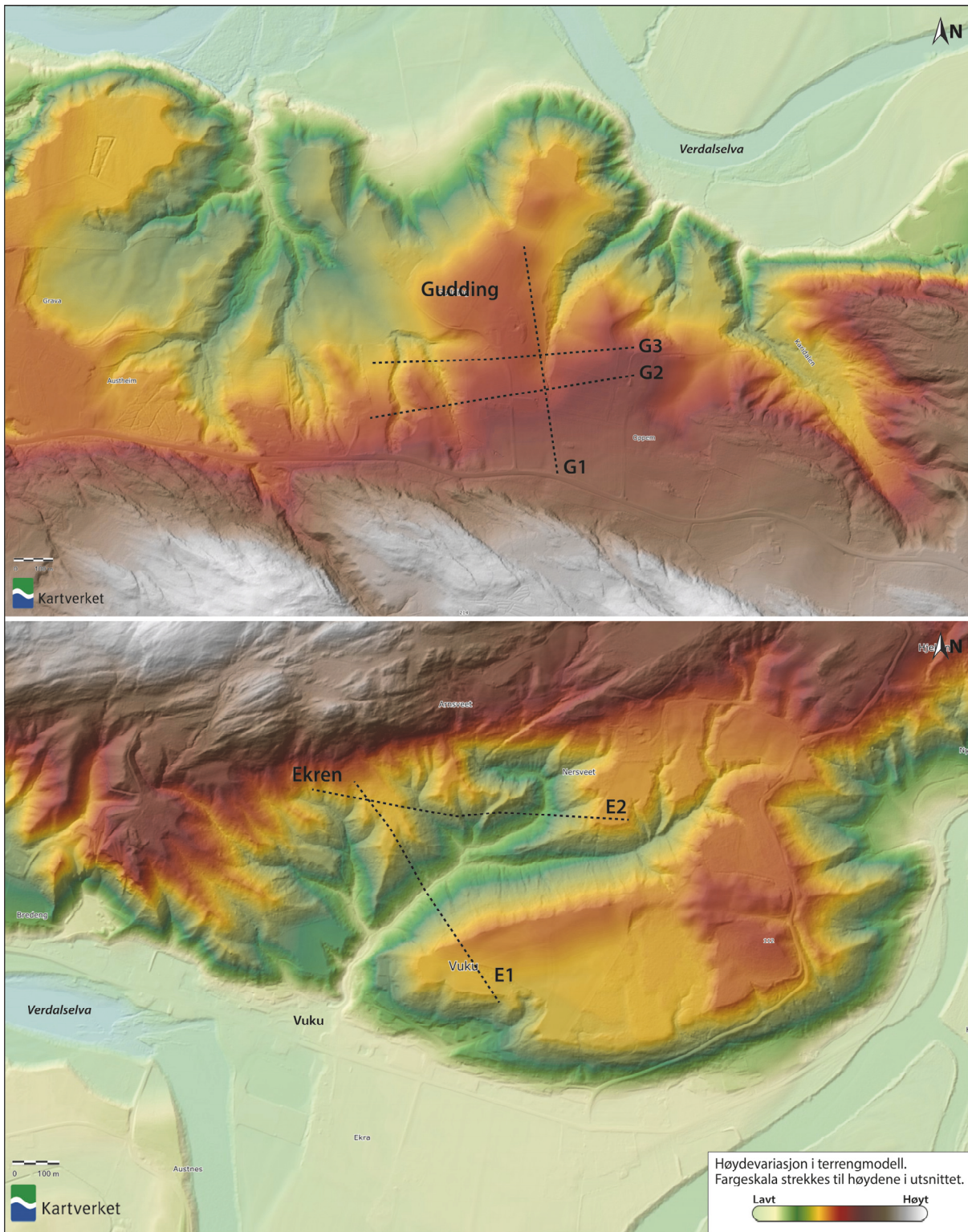
- ABEM 2012: ABEM Terrameter LS. Instruction Manual, relaeas 1.11. ABEM Intrument AB, Sverige
- Dalsegg, E., Elvebakk, H., Rønning, J.S., Solberg, I.L., Solli, A. and Tønnesen, J.F. 2006: Geofysiske målinger for løsmassekartlegging i Buvika, Skaun kommune, Sør-Trøndelag. NGU-rapport 2006.006
- Hugdahl, H. 2008: Undersøkelse av grusforekomster i Vuku, Verdal kommune. NGU-rapport 2008.046. Tilgjengelig fra https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2008/2008_046.pdf
- Kartverket 2023: Norgeskart. Tilgjengelig fra <https://www.norgeskart.no>
- Loke, M.H. 2018: Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction Manual. Res2DInv ver 4.08. <http://www.geotomosoft.com/>
- MC 2004: Sogn grensebekken, Verdal. Bekkeerosjon. Grunnundersøkelser. Orienterende geoteknisk vurdering. Multiconsult Rapport 410622-1, datert 11. oktober 2004
- MC 2018: Kvikkleiresoneutredning "light" Trøndelag - Utlysingsområde 1 - Verdal. Datarapport - Geotekniske grunnundersøkelser. Multiconsult Rapport 10200523-RIG-RAP-003, datert 2. februar 2018
- NADAG 2023: Nasjonal database for grunnundersøkelser. Tilgjengelig fra <https://geo.ngu.no/kart/nadag/>
- NGI 1987: Kartlegging av områder med potensiell fare for kvikkleireskred. Kartbladet Stiklestad 1722IV, M 1:50 000. Norges Geotekniske Institutt Rapport 86024-1-1, datert 25. juni 1987
- NGI 1996: Kartlegging av områder med potensiell fare for kvikkleireskred. Kartbladet Vuku 1722I, M 1:50 000. Norges Geotekniske Institutt Rapport 950066-1, datert juli 1996
- NGU 2023a: Geofysikk. Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra https://geo.ngu.no/kart/geofysikk_mobil/
- NGU 2023b: Nasjonal berggrunnsdatabase. Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/
- NGU 2023c: Nasjonal løsmassedatabase. Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/
- NVE 2023a: Kvikkleirerapporter for Verdal kommune. Tilgjengelig fra <https://www.nve.no/naturfare/utredning-av-naturfare/flom-og-skredfare-i-din-kommune/faresonekart-kommuner/troendelag/verdal-kommune/kvikkleirerapporter-for-verdal-kommune/>

- NVE 2023b: Temakart Kvikkleire. Norges vassdrags- og energidirektorat. Tilgjengelig fra <https://temakart.nve.no/tema/kvikkleire>
- Ofstad, F., Dumais, M.A., Tassis, G., Wang, Y. 2022: Helicopter-borne magnetic, electromagnetic and radiometric geophysical survey in Verdal and Snåsa area, Trøndelag county. NGU-rapport 2021.013. Tilgjengelig fra https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2021/2021_013.pdf
- RB 2018: Kvikkleirekartlegging Vuku. Grunnundersøkelse. Datarapport. Rambøll Rapport 1350030417-1, datert 22. november 2018
- Reiser, F., Dahlin, T., Rønning, J.S. & Solberg, I.L. 2011: Resistivity modelling for clay layer characterisation, possibilities and limitations. NGU-rapport 2010.047
- Skilbrei, Jan. R 1994: Helikoptermålinger i Vuku-området, Steinkjer og Verdal kommuner, Nord-Trøndelag. NGU-rapport 93.104. Tilgjengelig fra https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/1993/93_104.pdf
- Solberg, I.L., Hansen, L., Rønning, J.S. & Dalsegg, E. 2011a: Veileder for bruk av resistivitetsmålinger i potensielle kvikkleireområder. NGU-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
- Sveian, H. 1981: Stiklestad. Kvartærgeologisk kart, CUV 135136, M 1:20 000. Norges geologiske undersøkelse
- Sveian, H. 1989: Stiklestad. Kvartærgeologisk kart, 1722IV, M 1:50 000, med beskrivelse. Skrifter 89. Norges geologiske undersøkelse
- Sveian, H., Hugdal, H. & Bargel, T.H. 1993: Vuku. Kvartærgeologisk kart, 1722I, M 1:50 000. Norges geologiske undersøkelse
- Tønnesen, J.F. 1993: Gravimetri for kartlegging av løsmassemekktigheter i Verdalen. NGU-rapport 92.295

9. VEDLEGG

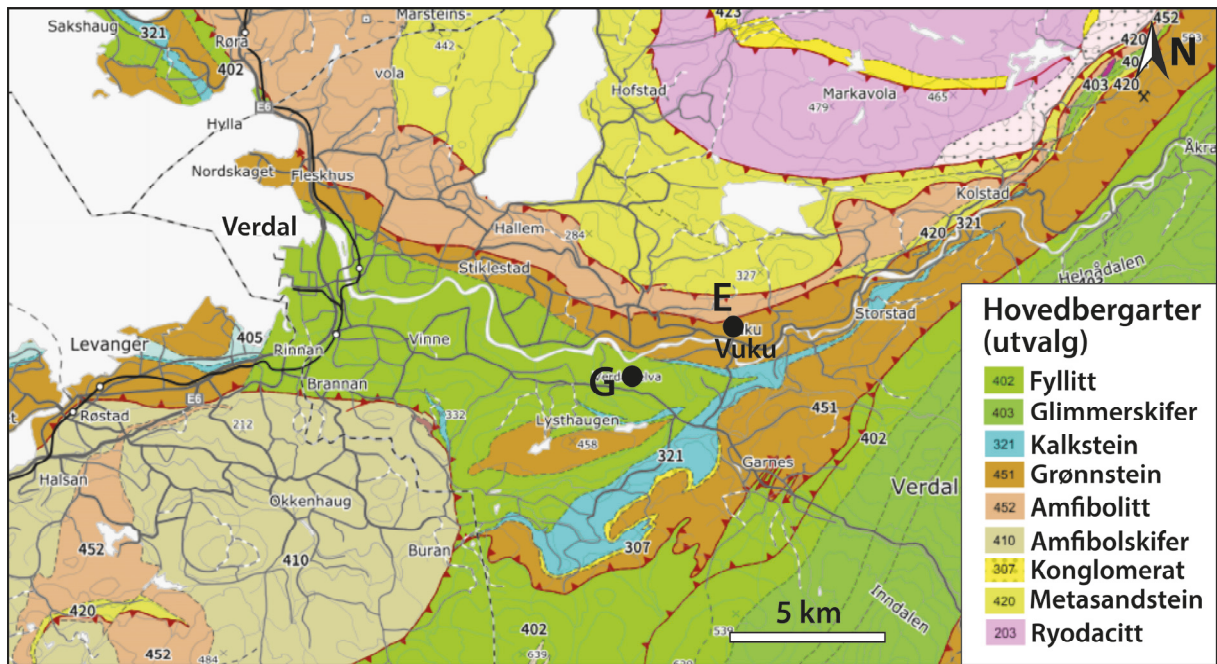
9.1 Terrengforhold (høydedata)





Høydedata fra Kartverket.

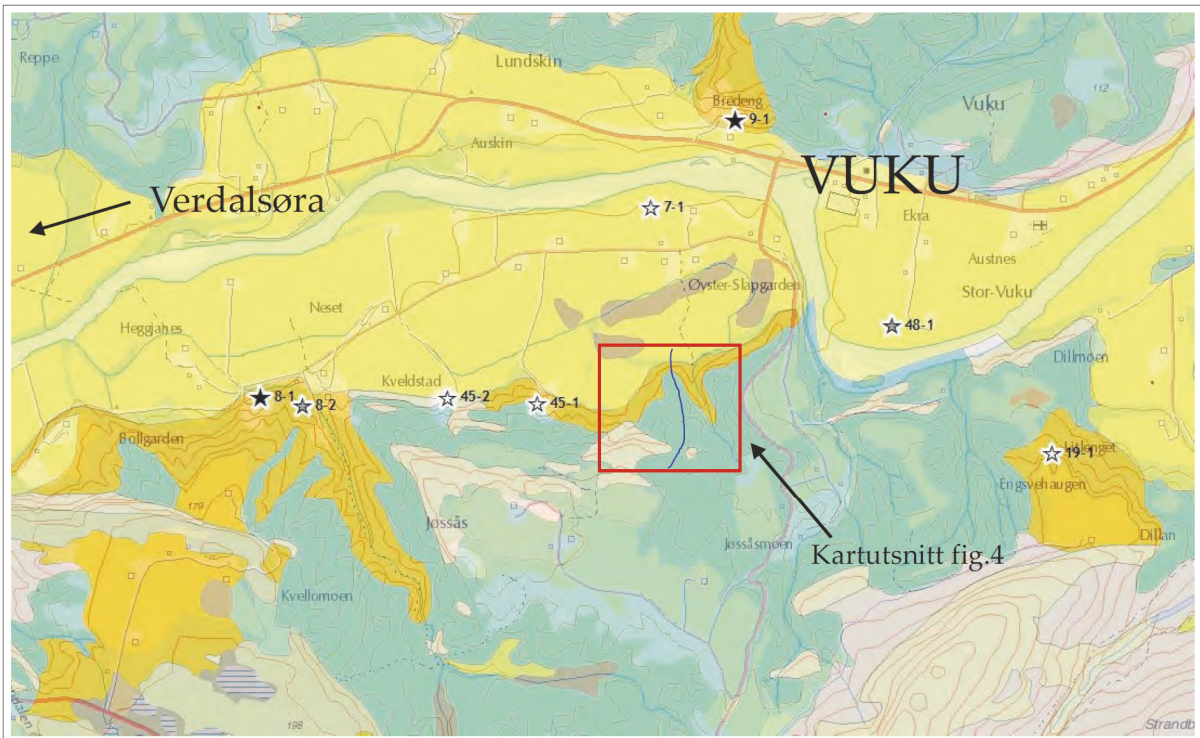
9.2 Berggrunnskart



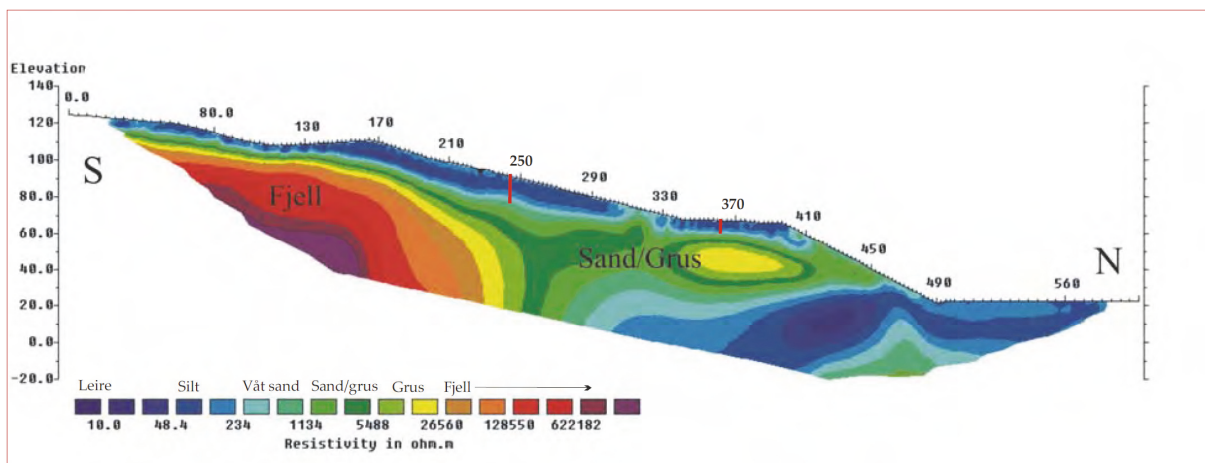
Hovedbergarter i studieområdet. G=Gudding, E=Ekren. Data fra NGU (2023b).

9.3 Tidligere ERT-måling i Vuku, Verdal

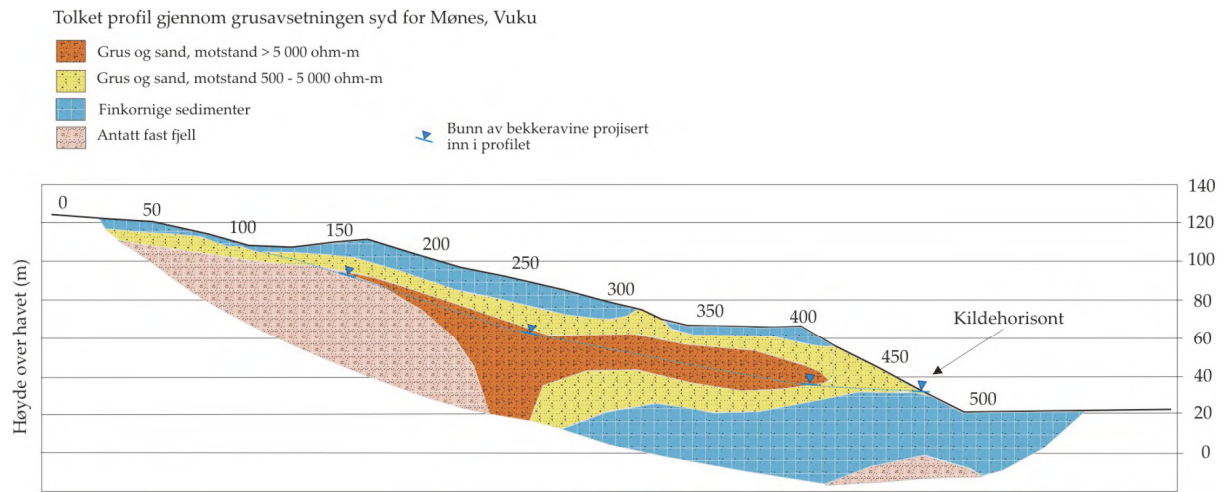
Figurer fra Hugdahl (2008) som målte et resistivitetsprofil i forbindelse med kartlegging av grusressurser sør for Ekren og øst for Gudding.



Kart over området hvor ERT-profilen ble målt. Stjerner markerer massetak i området. Blå profillinje lagt til i den røde ruta på figur fra Hugdahl (2008).



Tolket resistivitetsprofil og lokalisering av sonderinger (røde stolper). Merk at fargeskalaen er annerledes, og får fram variasjoner i de høyere resistivitetsverdiene. Figur fra Hugdahl (2008).



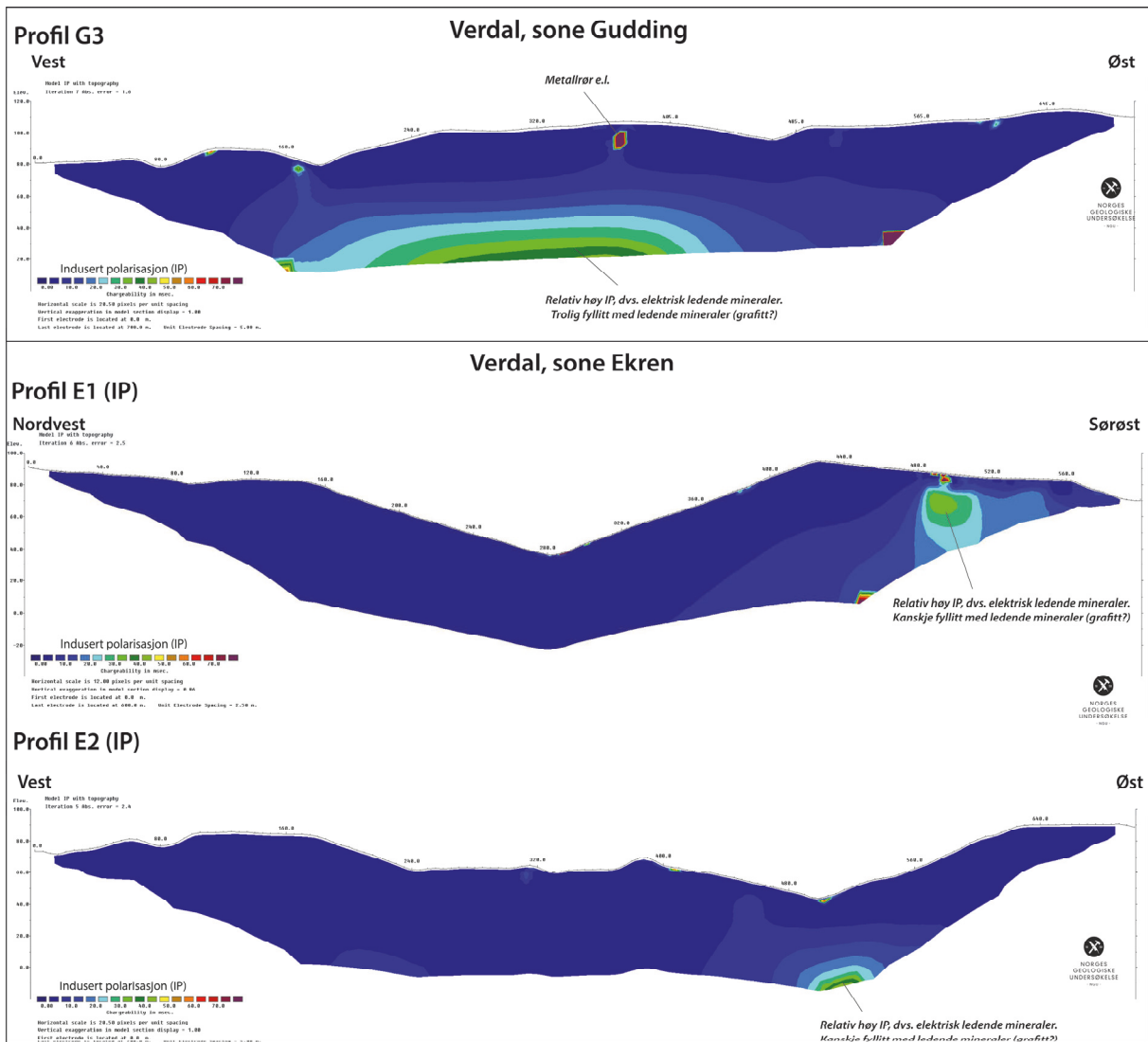
Tolkning av grunnundersøkelsene i Vuku. Figur fra Hugdahl (2008).

9.4 Koordinater langs innmålte profiler

Koordinatsystem ETRS89 – UTM32

Profilnr.	Profil-punkt (m)	X	Y	Kommentar
G1	0	631010	7073117	
	100	630981	7073211	
	200	630955	7073307	Veg ved 180-200 m
	300	630929	7073405	Gård ved 320-400 m
	400	630900	7073501	
	500	630876	7073595	
	600	630848	7073693	
G2	0	630518	7073215	
	100	630614	7073238	
	200	630707	7073261	
	300	630802	7073285	
	400	630896	7073313	
	500	630992	7073339	
	600	631089	7073367	
	700	631185	7073393	
G3	0	630506	7073340	
	100	630600	7073353	
	200	630696	7073363	
	300	630790	7073385	
	400	630887	7073407	Noen utglidninger i skråning ned mot bekk ved 470-490 m
	500	630984	7073422	
	600	631080	7073441	
	700	631178	7073461	
E1	0	634972	7075467	
	100	635020	7075388	
	200	635072	7075315	Bekk ved 280 m, mye leire i vannet
	300	635136	7075248	
	400	635187	7075180	
	500	635246	7075102	
	600	635304	7075016	
E2	0	634879	7075415	
	100	634973	7075424	
	200	635063	7075417	
	300	635167	7075406	Tørr, sandholdig jord ved 360-400 m («Revehiet»)
	400	635261	7075427	
	500	635350	7075436	
	600	635441	7075440	
	700	635538	7075448	

9.5 Indusert polarisasjon (IP)



9.6 ERT-profiler med «lang fargeskala»

NB! *alle* marine leiravsetninger har *blå* farge i denne visualiseringen.

