



# **GEOLOGI FOR SAMFUNNET**

SIDEN 1858



**NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE**  
· NGU ·



<b>Rapport nr.: 2015.033</b>	<b>ISSN: 0800-3416 (trykt)</b> <b>ISSN: 2387-3515 (online)</b>	<b>Gradering: Åpen</b>	
<b>Tittel:</b> Geofysiske undersøkelser for løsmassekartlegging nær Bardufoss i Målselv kommune			
<b>Forfatter:</b> Inger-Lise Solberg, Einar Dalsegg, Jan Steinar Rønning, Raymond S. Eilertsen og Alexei Rodionov		<b>Oppdragsgiver:</b> NGU	
<b>Fylke:</b> Troms		<b>Kommune:</b> Målselv	
<b>Kartblad (M=1:250.000)</b> Tromsø		<b>Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)</b> 1533-III Takvatnet	
<b>Forekomstens navn og koordinater:</b>		<b>Sidetall: 35</b>	<b>Pris: 100,-</b>
<b>Feltarbeid utført:</b> 2011 og 2012		<b>Rapportdato:</b> 05.08.2015	<b>Prosjektnr.:</b> 348400
		<b>Ansvarlig:</b> 	
<b>Sammendrag:</b>			
<p>I løpet av de siste årene har prosjektet MINN (Mineralressurser i Nord-Norge) blitt gjennomført. I den forbindelse har berggrunnen blitt undersøkt for mineralforekomster, blant annet ved bruk av ElektroMagnetiske (EM) målinger fra helikopter. I Målselv kommune ble dette utført i 2011. Noen av målingene foregikk over områder med løsmasser, blant annet et område sørvest for Mauken i Målselv og her kom det frem anomalier som skyldes løsmassene. Året etter ble det derfor i dette området målt to 2D-resistivitetsprofiler til sammenligning, og for å se hvor godt EM-data kan karakterisere løsmasser.</p> <p>Ved Bardufoss i Målselv er det relativt god overensstemmelse mellom helikopter-EM-profilene og 2D-resistivitesprofilene, men best der det ser ut til at dyp til fjell er størst. Variasjoner i bergartstyper påvirker målingene mest der sedimentoverdekningen er liten. Det finnes få geotekniske undersøkelser i studieområdet, og ingen av disse ligger direkte på 2D-resistivitesprofilinjene. Det har derfor ikke vært mulig å få detaljert sammenligning av 2D-resistivitesverdier og geotekniske egenskaper i dette prosjektet. Overordnet er det likevel godt samsvar mellom geofysiske og geotekniske data.</p> <p>Som for 2D-resistivitesmålinger kan også helikopter-EM-målinger indikere utbredelse av potensiell kvikkleire, men med dårligere oppløsning. Helikopter-EM-målinger vil kunne egne seg til en første oversiktskartlegging i områder med marine avsetninger. Resultatene kan benyttes som redskap til å velge ut områder for mer detaljkartlegging. Når det gjelder geofysiske målinger for kartlegging av materialeegenskaper, vil det være nødvendig med geotekniske undersøkelser i tillegg – og helst prøvetaking med laboratorietester – for å tolke og forstå de geofysiske datasettene bedre. Det er likevel gunstig å kombinere ulike undersøkelsesmetoder for å få den beste oversikten over grunnforholdene. Ved tolkning av geofysiske og geotekniske data er det viktig å være oppmerksom på de geologiske forholdene, både når det gjelder de lokale bergartstypene, avsetningshistorien for løsmassene og landskapsutviklingen.</p>			
<b>Emneord:</b>	Geofysikk	Geoteknikk	
Helikopter EM	Elektriske målinger	2D-resistivitet	
		Fagrapport	



## INNHOOLD

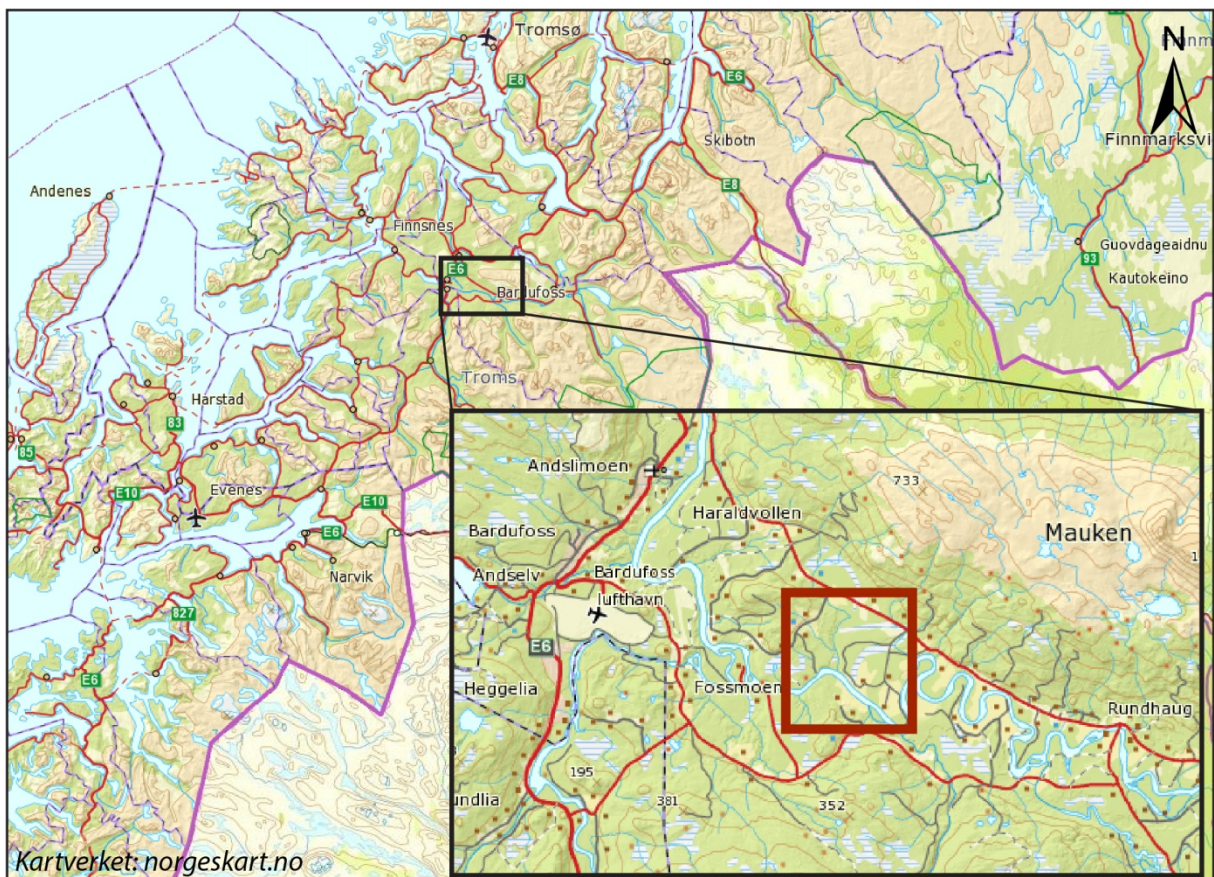
1	INNLEDNING .....	6
2	LOKALITET, GEOLOGI OG SKREDHENDELSER.....	6
2.1	Berggrunn .....	7
2.2	Løsmasser .....	7
2.3	Kvikkleire og skred .....	10
3	GEOFYSISKE MÅLEMETODER OG UTFØRELSE.....	11
3.1	Elektromagnetiske målinger fra helikopter (EM) .....	11
3.1.1	Datainnsamling og prosessering .....	12
3.1.2	Svakheter, feilkilder og datakvalitet .....	13
3.1.3	Invertering av EM-data målt fra helikopter .....	13
3.2	2D-resistivetsmålinger .....	13
3.2.1	Datainnsamling .....	14
3.2.2	Strømstyrke og datakvalitet.....	14
3.2.3	Inversjon .....	14
3.3	Klassifisering av løsmasser og berggrunn fra resistivetsverdier .....	15
3.4	Refraksjonsseismiske undersøkelser .....	17
4	GEOTEKNISKE DATA .....	17
5	LIDAR-DATA .....	18
6	RESULTATER OG TOLKNING .....	19
6.1	Profil P1 .....	19
6.2	Profil P2 .....	21
6.3	Helikopter-EM-profiler .....	23
7	DISKUSJON .....	24
8	KONKLUSJON .....	25
9	REFERANSER .....	26
	VEDLEGG 1 Faresonekart for potensielle kvikkleireskred i Målselv .....	29
	VEDLEGG 2 Plassering til utvalgte EM-profiler .....	30
	VEDLEGG 3 Helikopter-EM-profiler Linje 770 – Linje 900 .....	31
	VEDLEGG 4 Koordinater til innmålte 2D-resistivetsprofiler .....	33
	VEDLEGG 5 Refraksjonsseismiske profiler .....	34

## 1 INNLEDNING

I løpet av de siste fire årene har prosjektet MINN (Mineralressurser i Nord-Norge) blitt gjennomført. I den forbindelse har berggrunnen blitt undersøkt for mineralforekomster, blant annet ved bruk av ElektroMagnetiske (EM) målinger fra helikopter. I Målselv kommune, i fjellområdet Mauken, ble dette utført i 2011 (Rodionov m.fl. 2012). I noen områder har helikoptermålingene gitt anomalier på løsmasser, blant annet sørvest for Mauken. Her ble det i 2012 målt to 2D-resistivetsprofiler til sammenligning og for å se hvor godt EM-data kan karakterisere løsmasser.

## 2 LOKALITET, GEOLOGI OG SKREDHENDELSER

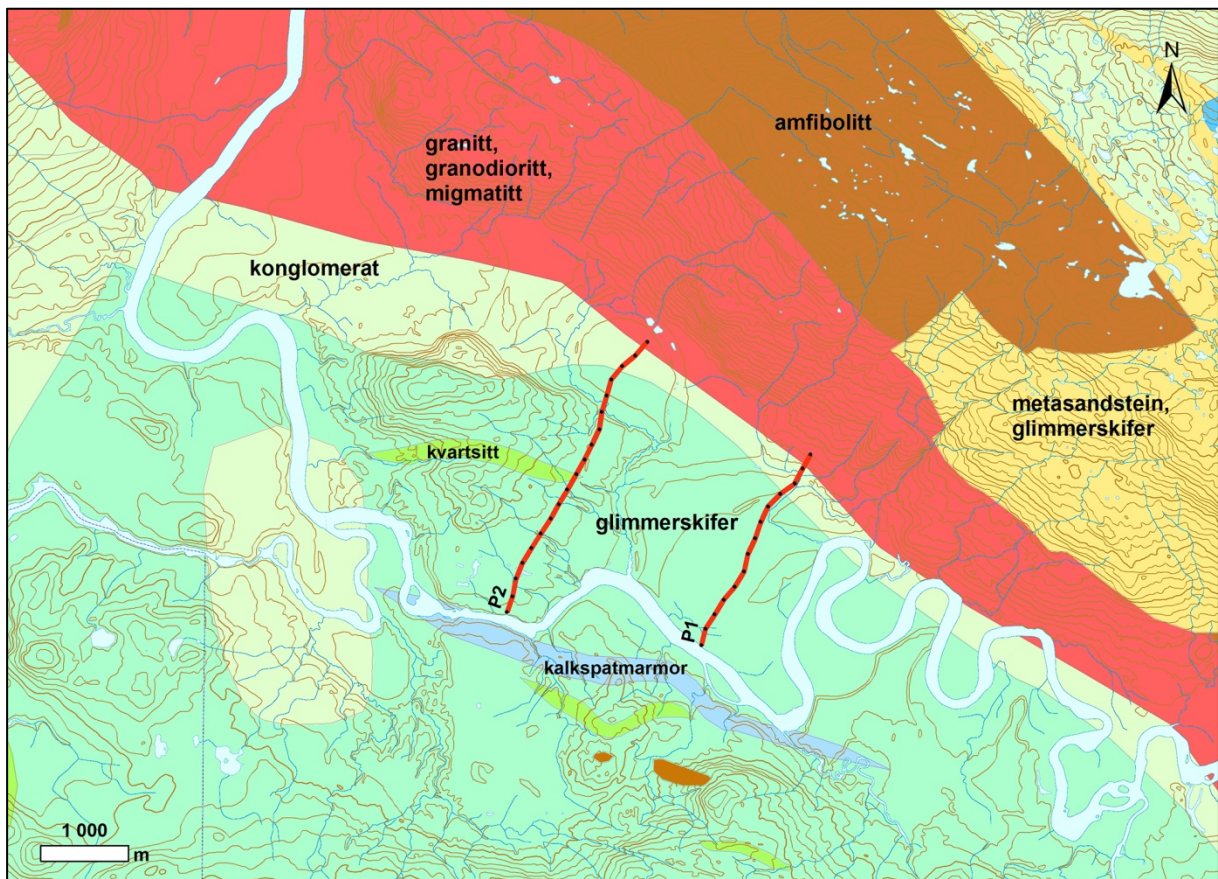
Studieområdet ligger i Målselv kommune, i Troms fylke (fig. 1). Området ligger nord for Målselva, mellom Bardufoss og fjellet Mauken.



Figur 1. Undersøkelsene er utført i området i rød ramme, øst for Bardufoss i Målselv kommune.

## 2.1 Berggrunn

Berggrunnen i studieområdet er kaledonske kambrosilur-bergarter som glimmerskifer, marmor og kvartsitt (fig. 2). I tillegg ligger Mauken grunnfjellsvindu med amfibolitt, hornblendeskifer og granodioritt i området. Dette er mellomprekambriske og senprekambriske bergarter. De kaledonske bergartene ligger skjøvet over grunnfjellsbergartene, og er delt inn i flere skyvedekker. I Målselvdalen finnes det bergarter fra både Målselvdekket og Reisadekket (Fareth 1982; Zwaan m.fl. 1998).



Figur 2. Oversikt over berggrunnen i studieområdet. Plasseringen av 2D-resistiviteitsprofilene er vist som røde linjer (svarte prikker for hver 100 m på profilene). Kartdata fra Fareth (1982) og Zwaan m.fl. (1998).

## 2.2 Løsmasser

Løsmassene i Målselv er beskrevet og tolket av Nålsund & Hamborg (1985), Eilertsen (2002), Eilertsen m.fl. (2005, 2006, 2008, 2011) og (Hansen m.fl. 2002). Figur 3 viser løsmassefordelingen i studieområdet.

Det er to hovedfordypninger i Målselvdalen, og disse er lokalisert ovenfor og nedenfor Målselvfossen (Eilertsen et al. 2006):

- Øvre basseng: fordypningen er minimum til 84 m under dagens havnivå, med sedimenttykkelsen på mer enn 135 m
- Nedre basseng: fordypningen er minimum til 129 m under dagens havnivå, med sedimenttykkelsen på mer enn 158 m

Bassengene har konkav, asymmetrisk form og løsmassene følger dalformene. Slike overfordypninger er vanlig i daler og fjorder som har vært nediset. Dalinnfyllingen er av Eilertsen et al. (2006) delt inn i fem avsetningsenheter:

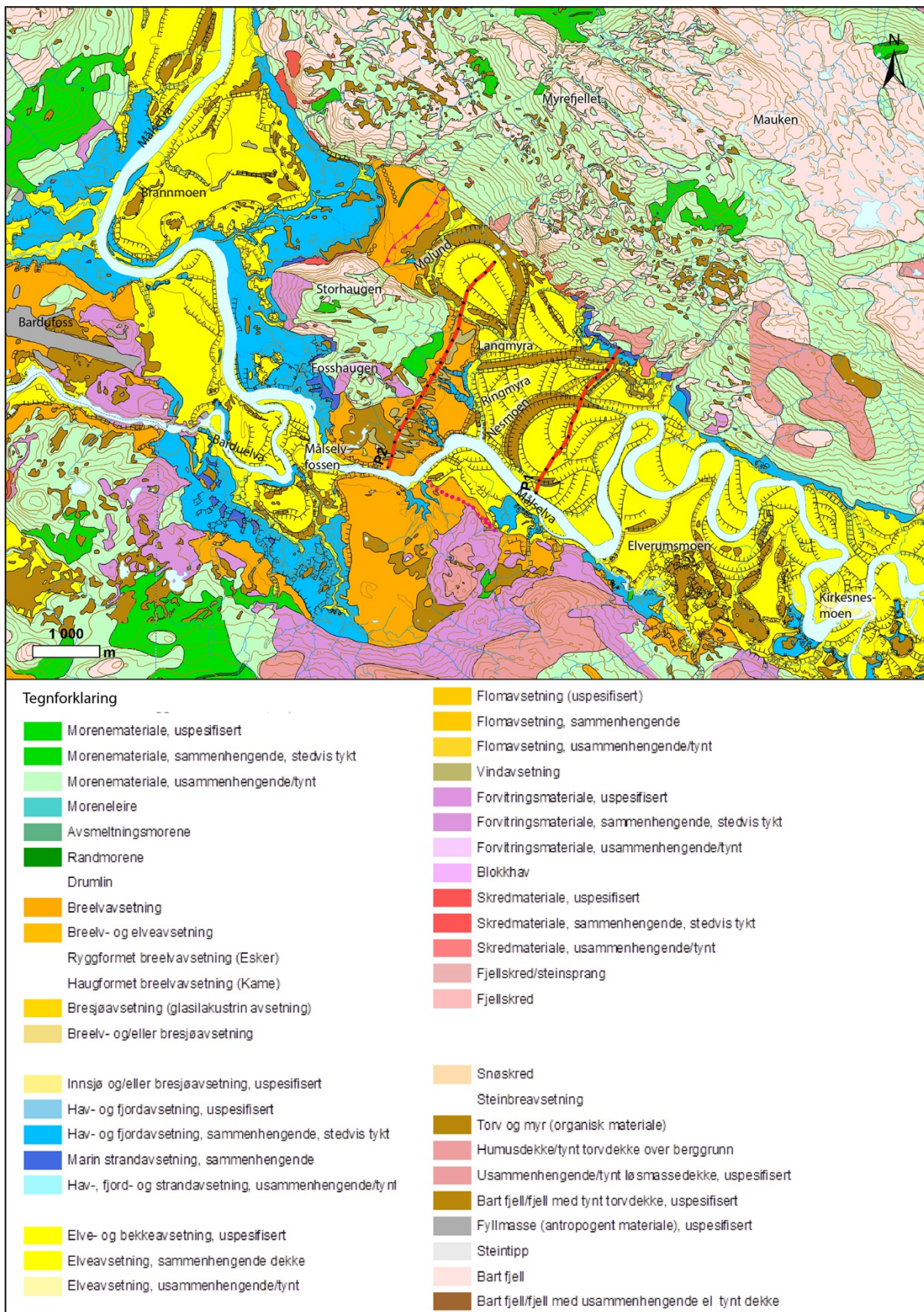
- Isavsmeltningsfase:
  1. Glasifluvial enhet (isfrontavsetninger)
  2. Glasimarin enhet
- Postglasial fase:
  3. Marin enhet (åpen fjord)
  4. Fluviodeltaisk enhet
  5. Fluvial enhet

Rett vest for profil P2 i studieområdet ligger Måselvfossen, hvor fjellet stikker fram. Ved Fosshaugen finnes primært leire som er overlagret av noen meter grusige sedimenter. Blotninger viser at det finnes tynne sandlag i leira her (Hansen m.fl. 2002). Øst for studieområdet ligger Pannesmoen og Kirkesnesmoen som er relativt flate, fluviodeltaiske terrasser bestående av sand- og fin grus, og som ligger 30-35 m over elvenivå. Tykkelsen varierer, men i de midtre delene av dalen ligger 20-30 m sand og grus over finkornete marine avsetninger (Eilertsen m.fl. 2011). Tykkelsen blir generelt mindre mot dalsidene hvor de finkornete avsetningene ligger nærmere overflaten.

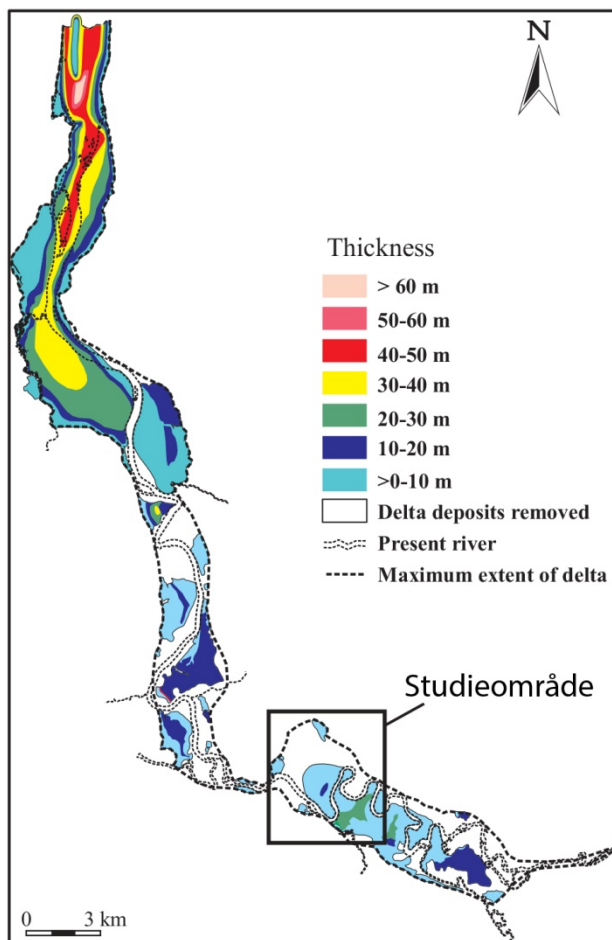
Det finnes eoliske dyner på toppen av de glasifluviale terrassene øst for Storhaugen og Fosshaugen. Disse dynene er antatt til å være dannet like etter tørleggingen av glasifluviale delta, og var trolig aktive fram til de ble dekket med vegetasjon.

Figur 4 viser en oversikt over sedimenttykkelser til de fluviodeltaiske avsetningene i Måselvdalen (Eilertsen m.fl. 2011). Denne er basert på ulike undersøkelser, bl.a. geofysikk og boringer. Fluviodeltaiske avsetninger ligger stratigrafisk over finkornete marine avsetninger som leire og silt, slik at figur 4 også viser potensiell dybde til sistnevnte avsetninger. I studieområdet viser oversikten at de deltaiske avsetningene er opptil 20 m tykke (30 m ved Pannesmoen lenger sørøst), men at de også enkelte steder er helt fraværende pga. senere elveerosjon. I disse områdene ligger et tynt dekke av fluviale avsetninger, typisk 3-5m tykke, over de finkornete marine avsetningene.





Figur 3. Kvartærgeologisk kart over området ved Bardufoss i Målselv. Plasseringen av 2D-resistivits-profilene er vist som røde linjer (svarte prikker for hver 100 m på profilene). Kartdata fra Nålsund & Hamborg (1985).



Figur 4. Sedimenttykkelser til de fluviodeltatiske avsetningene i Målselvdalen (modifisert etter Eilertsen m.fl. 2011)

### 2.3 Kvikkleire og skred

Det er kartlagt en mengde skredgroper i Målselv, og mange områder er kraftig ravinert (Hansen m.fl. 2002; Eilertsen m.fl. 2008) (se også figur 8). Det siste større skredet i nærheten av studieområdet skjedde i 1990 ved Fosshaugen (fig. 5). Det er i tillegg observert tallrike og store grunne utglidninger av leirholdig sediment i raviner langs skrenten av Fosshaugen. Disse finnes flere titalls meter over elvenivå. Erosjonen skyldes derfor trolig ikke Måselva, men grunnvannsutslag fra grove lag i leiravsetningen. Utglidningene kan skyldes oppbygging av poreovertrykk i leira.

Generelt i Målselvdalen er det grove fluviale eller glasifluviale masser over mer finkornige leiravsetninger. I mange av skredgropene er det derfor ofte sand og/eller grus som har rast ut, mens glideplanet har vært i leire.

NGI kartla i 2004 fareområder for potensielle kvikkleireskred innen kartblad Bardufoss (NGI 2004), og disse sonene ble risikoklassifisert året etter (NGI 2005). Vedlegg 1 viser sonene i studieområdet. Sonen Gårds-Ivarmoen ligger mellom 2D-resistivitetsprofil P1 og P2, og sonen har middels faregrad.



Figur 5. Skredgrop fra hendelse ved Fosshaugen i 1990. Det var foretatt forbygning i yttersvingen til Målselva før skredet gikk. Skredet ble muligens utløst av poreovertrykk i leiravsetningen, siden det ble funnet grunnvannsutslag i skredgropa. Foto: L. Hansen.

### 3 GEOFYSISKE MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

Som et ledd i NGUs satsning på Mineraler i Nord-Norge (MINN) er det utført elektromagnetiske målinger fra helikopter i fjellområdet Mauken i Målselv kommune, Troms (Rodionov et al. 2012). Disse målingene viste resistivitetsanomalier som kunne skyldes løsmasser, og disse ble fulgt opp med 2D-resistivitetsmålinger på bakken.

#### 3.1 Elektromagnetiske målinger fra helikopter (EM)

I det følgende gis en kort beskrivelse av målemetode, utførelse, prosessering, inversjon av måledata og oppnådde resultater ved elektromagnetiske målinger (EM) fra helikopter øst for Bardufoss i Målselv. Innsamlingsprosedyrer og krav til kvalitet for disse målingene er nærmere beskrevet i Rønning (2013). Se også Rodionov m.fl. (2012) for flere detaljer om målingene og resultatene i Målselv. Beliggenheten til de profilene som er relevante for studieområdet, er vist i vedlegg 2 og figur 8.

### 3.1.1 Datainnsamling og prosessering

Ved NGUs helikoptermålinger benyttes en ElektroMagnetisk utrustning produsert av Geotech i Canada (Geotech 1997). Tabell 1 viser hvilke frekvenser og spolekonfigurasjoner som benyttes.

**Tabell 1: Geotech Hummingbird elektromagnetisk system, frekvenser og spolekonfigurasjoner.**

Spoler	Frekvens	Spoleorientering	Spoleavstand
A	7700 Hz	Koaksial	6,20 m
B	6600 Hz	Koplanar	6,20 m
C	980 Hz	Koaksial	6,025 m
D	880 Hz	Koplanar	6,025 m
E	34000 Hz	Koplanar	4,87 m

Målesystemet registrerer "I fase" og Ut-av-fase-komponent" (også kalt Reell- og Imaginær-komponent) for de fem frekvensene 10 ganger i sekundet. I tillegg registreres høyde over bakken med radarhøydemåler og posisjon med en enkel GPS/Glonass-mottaker. Elektronisk drift i målesystemet registreres ved å løfte målesystemet så høyt at en ikke lengre har responser fra bakken ca. hvert 20. minutt. I tillegg til elektromagnetiske målinger måles også magnetfeltet og radioaktiv stråling fra bakken. Disse måledata blir ikke omtalt her.

Ved målingene på Målselv ble det fløyet linjer med innbyrdes avstand 200 meter. Gjennomsnittlig sondehøyde var 45 meter. Målehastigheten i det aktuelle området var ca 90 km/t. EM-data registreres 10 ganger i sekundet noe som gir en gjennomsnittlig målepunktavstand på ca. 3 meter. Se vedlegg 2 og figur 8 for kart over et utvalg av målelinjene.

Prosessering av de ElektroMagnetiske data følger følgende trinn som alle er standard-prosedyrer (Geosoft 1997):

1. Fjerning av eventuelle "Spikes" fra måledata
2. Filtrering: ikke-lineært og lavpassfilter
3. Automatisk korrigering av instrumentdrift
4. Manuell fjerning av gjenværende instrumentdrift
5. Beregning av tilsynelatende resistivitet
6. Visuell inspeksjon og nivåjustering
7. Gridding, glatting og kartfremstilling

Tilsynelatende resistivitet (punkt 5) beregnes ut fra målte reell- og imaginærkomponenter for hver frekvens individuelt. Under disse beregningene antar en at bakken består av en homogen halvkule, dvs. at den elektriske ledningsevnen eller den inverse størrelsen resistivitet (elektrisk motstand), er den samme i hele målevolumet. Denne forutsetningen er sjelden oppfylt, og en vil beregne en tilsynelatende resistivitet. For å finne et tilnærmet riktig bilde av resistiviteten i bakken må data inverteres. En får da et mer sant bilde av hvor god den elektriske ledningsevnen (resistiviteten) er, hvor store volum de ledende kroppene utgjør og hvor de ligger i bakken.

### 3.1.2 Svakheter, feilkilder og datakvalitet

Elektromagnetiske data målt fra helikopter 30-50 meter over bakken har en begrenset oppløsning. Det er ikke mulig å se i detalj hvor de induerte sekundære strømmene kommer fra, og soner med flere parallelle elektrisk ledende kropper kan bli avbildet som en sammenhengende struktur. Også kropper til side for det målte profilet kan gi responser som blir avbildet på profilet. Ledende kropper som ligger i profilet vil detekteres før en er kommet over forekomsten, og en vil se den etter at den er passert. Siden inversjonen av disse måledata er endimensjonal (1D) vil det kunne oppstå kunstige effekter som at vertikale strukturer avbildes som hyperbler og forekomster synes å bøye ned mot dypet ved endene.

Drift i måleverdier som i hovedsak skyldes temperaturvariasjoner i og rundt elektronikken, kan forekomme. Dersom driften er lineær, blir det effektivt korrigert for denne ved å benytte avleste verdier i stor høyde som da skal representere et nullnivå (intet signal fra bakken). Dersom driften er ikke-lineær mellom to avlesninger, blir den automatiske korreksjonen feil, og en må foreta en manuell korreksjon. Dette er et problem i områder med høy resistivitet som f.eks., der en har berggrunn i dagen. Ved undersøkelsene i Målselv var instrumentdriften innenfor strenge kvalitetskrav (Rønning 2013), og kvaliteten på de elektromagnetiske data må karakteriseres som gode.

### 3.1.3 Invertering av EM-data målt fra helikopter

For å få et best mulig bilde av sann resistivitet i bakken, ble alle profiler invertert med programmet EM1DFM utviklet ved Universitetet i British Columbia (UBC 2000).

EM1DFM benytter Reell- og Imaginærkomponent for alle fem frekvensene og beregner en endimensjonal (1D) modell som kan forklare hver enkelt måleverdi. Ved denne prosessen antar en at bakken består av horisontale lag som har en uendelig utstrekning i forhold til målingenes influensvolum (1D). Inversjonen utføres for hvert enkelt målepunkt, noe som gir en punktavstand på 2-4 meter, avhengig av målehastighet. Segmenter fra disse inversjonene settes så sammen til et todimensjonalt (2D) bilde langs profilet. I prinsippet kan så flere inverterte målelinjer settes sammen til et pseudo-3D-bilde (ikke ekte 3D) av den aktuelle geologien.

## 3.2 2D-resistivitetsmålinger

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 mer utfyllende metodebeskrivelse henvises det til NGUs nettsider.

### 3.2.1 Datainnsamling

Plasseringen av 2D-resistivitetsprofilene ble gjort på grunnlag av 1) EM-anomali fra helikoptermålingene og 2) fremkommelighet. Måledata (se tabell 2) ble innsamlet av Einar Dalsegg ved NGU. Det ble benyttet et kabelsystem utviklet ved den tekniske høgskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993). Ved denne undersøkelsen ble det benyttet kabler med 10 m elektrodeavstand, som gir maksimal dybderekkevidde på ca. 130 m. Oppløsning, og dermed nøyaktigheten, er størst i den øvre halvdel av profilet, noe en må ta hensyn til ved valg av elektrodeavstand. Det ble valgt å benytte Gradient elektrodekonfigurasjon, som er godt egnet til kartlegging av horisontale strukturer (Reiser m.fl. 2010). Måleinstrumentet ABEM Terrameter SAS 4000 med tilhørende koblingsboks ES10 64C ble benyttet (ABEM 1999). Profilenes beliggenhet er innmålt med GPS (vedlegg 4), men er ikke merket i terrenget da mesteparten av profilene går på innmark. Oversikt over profilenes lengde og plassering finnes i tabell 2, samt vist på figurene 2, 3 og 8.

Strøm ble sendt i pulser på 1 sekund og alternerende polaritet. Målingen av resistivitet (enhet ohmm eller  $\Omega\text{m}$ ) startet 0,4 sekund etter at strømmen ble slått på og måletiden var 0,6 sekund. Indusert polarisasjon (IP) ble målt 100 ms etter strømbrudd i 8 tidsvindu på 20, 40, 60, 80, 120, 160, 200 og 280 ms. Integreert IP-signal over tid med enheten mVs, normaliseres mot resistivitetssignalet (mV) og får enheten ms. Data fra IP-målingene er ikke presentert i denne rapporten.

**Tabell 2. Oversikt over innsamling av 2D-resistivitet i Målselv. For alle profiler: 10 m elektrodeavstand og Gradient elektrodekonfigurasjon.**

Dato	Profilnr.	Profil lengde (m)	Markslag
13. – 16. juni 2012	RP1	2600	Skog, noe myr og dyrkamark
3. – 7. juli 2012	RP2	3600	

### 3.2.2 Strømstyrke og datakvalitet

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

### 3.2.3 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 til en viss grad favoriserer horisontal lagdeling.

Inversjonen av måledataene ble noe dårlig, med nokså høy "rms error" for profilene. Usikkerheten i enkeltmålinger var relativt god, og dårlig modelltilpasning skyldes trolig forholdsvis lange profiler med hurtige skiftninger i resistivitet. Store kontraster i resistivitet bidrar også til dårlig modelltilpasning.

### 3.3 Klassifisering av løsmasser og berggrunn fra resistivetsverdier

Tabell 3 og figur 6 viser klassifisering av løsmasser fra resistivetsverdier, som er benyttet som *utgangspunkt* for tolkningen av 2D-resistivetsprofilene og EM-dataene. Denne klassifiseringen er basert på erfaring fra en rekke lokaliteter i Norge, og også fra studier i Sverige (se mer om dette i Solberg m.fl. 2011, 2012b). 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. Etter supplerende undersøkelser/sammenligning med geotekniske data, vil grensene for den aktuelle lokaliteten kunne bli justert.

Resistivetsverdier fra ca. 1-10  $\Omega\text{m}$  representerer materiale med god elektrisk ledningsevne, som saltholdig leire. Verdier fra 10  $\Omega\text{m}$  og opp til 90-100  $\Omega\text{m}$  kan være kvikkleire, men økningen i resistivitet kan også skyldes innslag av grovere masser som silt/sand. Tørrskorpeleiras resistivitet er vanligvis mellom 100  $\Omega\text{m}$  og 200  $\Omega\text{m}$ . Fargeskalaen ved presentasjonen av 2D-resistivetsprofiler 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 200  $\Omega\text{m}$ ) kan skyldes fjell, men disse fargene kan også representere morene og sand/grus-avsetninger. Ved invertering av data vil skarpe overganger i geologisk materiale (f.eks. leire over fjell) framkomme som en gradvis overgang, ikke som et tydelig hopp i resistivetsverdier. Det ser ut til at når løsmasser med lave resistivetsverdier ligger over fjell, blir verdiene i fjell generelt lavere enn de reelle fjellverdiene, og fjelldypet forskjøvet nedover i profilet (metodisk svakhet, se Reiser m.fl. 2010). Vær oppmerksom på at for de presenterte EM-profilene er fargeskalaen omvendt i forhold til 2D-resistivetsprofilene. Her representerer blå farger høy resistivitet, og gul til rød farge kan representere leire/kvikkleire.

Oppløsning og nøyaktighet er størst i øvre og midtre deler av et 2D-resistivetsprofil. Tolkning i ytterkantene og dypere deler av profilene må derfor gjøres med forsiktighet. Eksakt avstand til dyptliggende lag må verifiseres med andre metoder. For mer detaljer om resistivetsmetoden, mulige anvendelser og usikkerheter knyttet til kvikkleirekartlegging, henvises det til Solberg m.fl. (2011, 2012).

Tabell 1. Utgangspunkt for løsmasseklassifisering fra resistivitetsverdier. Merk at det er gradvise overganger mellom klassene, og at det kan være lokale variasjoner avhengig av f.eks. porevannskjemi, metningsgrad, kornfordeling og mineralsammensetning. Fargekoden benyttes i NGUs kvikkleirerelaterte 2D-resistivitetsprosjekter (basert på bl.a. Solberg m.fl. 2011, 2012).

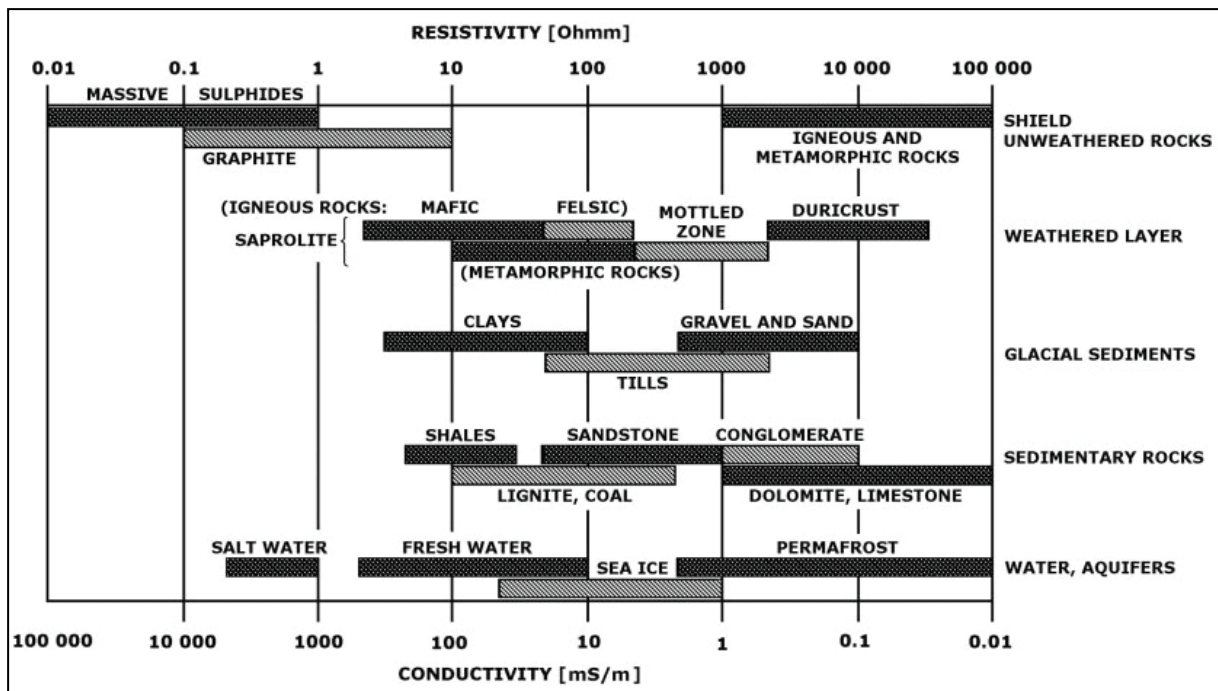
Resistivitetsverdier	Materiale	Fargekode NGU-skala for 2D-resistivitets- profiler	Beskrivelse
1-10 $\Omega\text{m}$	Ikke-utvaskede marine leiravsetninger (Saltholdig leire)	Blå	Leira har vært lite utsatt for utvasking etter avsetning. Porevannet inneholder fremdeles mye ioner som stabiliserer strukturen og gir god ledningsevne og dermed lave resistivitetsverdier. Godt ledende mineraler som sulfider og grafitt, og andre sedimenter mettet med ionerikt vann kan også gi lave resistivitetsverdier.
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. Resistivitetsverdiene er fremdeles lave, men høyere enn for ikke-utvasket leire. Utvasket, men ikke-kvikk leire, leirig morene og siltige sedimenter kan også ligge i dette intervallet.
>100 $\Omega\text{m}$	Tørskorpeleire	(Gul), Orange	Tørskorpeleire, leirskredmasser, sand og grus vil generelt ha høyere resistivitetsverdier. Vanninnhold i sedimentene vil ha betydning for ledningsevnen. Berggrunnen har som regel resistivitetsverdier på flere tusen ohmm, men oppsprukket fjell og malmrike bergarter kan ha betydelig lavere resistivitet.
50-150 $\Omega\text{m}$	Siltige masser	Gul, orange	
>150 $\Omega\text{m}$	Sand, grus, morene	Orange, rød, mot lilla	
>1000 $\Omega\text{m}$	Fjell	(Rød), Lilla	



Figur 6. Fargeskala som brukes i NGUs 2D-resistivitetsprosjekter knyttet til kartlegging av potensiell kvikkleire (Solberg m.fl. 2011).

Resistivitetsverdiene for sedimenter er i prinsippet mye lavere enn for berggrunnen, men bergarter kan ha lave resistivitetsverdier. Det gjelder spesielt for ledende mineraler, men også hvis fjellet er oppsprukket og vannmettet. Figur 7 viser eksempler på resistivitetsverdier i geologiske materialer.





Figur 7. Resistivitetsverdier i geologiske materialer (Palacky 1987).

### 3.4 Refraksjonsseismiske undersøkelser

I 1980 ble det målt fire refraksjonsseismiske profiler sørvest og nordvest for 2D-resistivetsprofil P2 (fig. 8) (Hillestad 1991). Målingene ble gjort i tilknytning til kvartærgeologisk kartlegging. Profilene ble lagt på steder hvor man håpet å kunne påvise nyttbare forekomster av sand og grus. Profilene finnes i vedlegg 5.

Beskrivelse av den refraksjonsseismiske metode benyttet på NGU finnes på NGUs nettsider.

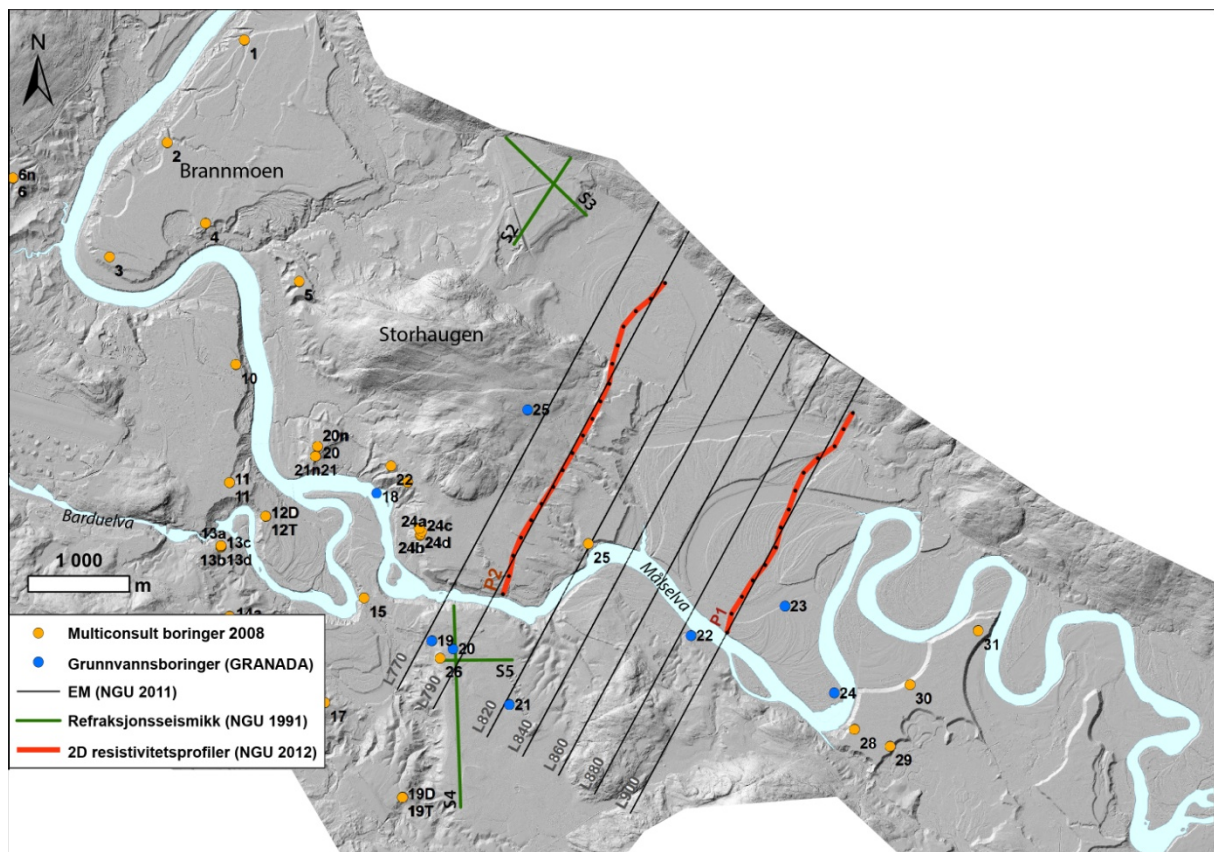
## 4 GEOTEKNISKE DATA

Det er ikke funnet store mengder geotekniske data fra eller nær studieområdet. Figur 8 viser de kjente borepunktene, og de nærmeste er benyttet for sammenligning med geofysiske data.

Geotekniske data fra Multiconsult (2003) ble samlet inn i forbindelse med faresonekartleggingen (NGI 2004). Dette var primært dreietrykksonerer. I tillegg finnes det boringer fra grunnvannsbrønner som kan vise dyp til fjell, og som i noen tilfeller har informasjon om sedimenttyper (Gaut & Klemetsrud 1984; GRANADA 2015).

## 5 LIDAR-DATA

LiDAR (Light Detection and Ranging) er en optisk fjernanalytisk teknologi som blant annet måler avstand til bakken ved hjelp av laserstråler. Når LiDAR måles fra et fly skytes hundretusenvis av laserpulser hvert sekund og retursignalet måles. Moderne systemer har muligheten for å klassifisere laserreturen i forskjellige objekter, for eksempel ”treetopp”, ”bakke”, ”infrastruktur” og ”uspesifisert”. På den måten kan punktskyen prosesseres slik at bare ”bakkepunkter” brukes fra punktskyen, som i praksis betyr at vegetasjon og infrastruktur kan fjernes fra punktskyen (Fredin m.fl. 2014). Figur 8 viser LiDAR-data fra studieområdet.



Figur 8. Studieområdet med LiDAR-data som bakgrunn (Statens kartverk). 2D-resistivetsprofiler (svarte prikker for hver 100 m på profilene), borepunkter, EM-profiler og refraksjonsseismiske profiler.

## 6 RESULTATER OG TOLKNING

Omtalen av resultatene er delt inn i to hoveddeler basert på lokaliseringen til 2D-resistivitetsprofilene. Resultater og en samtolkning av geofysiske, geotekniske og geologiske data presenteres. 2D-resistivitetsprofilene i dette kapitlet er vist med skalaen som benyttes ved NGU-prosjekter for å kunne skille løsmasseyper med lave resistivitetsverdier. I tillegg er profilene vist med en annen fargeskala slik at nyanser i de høyere delene av resistivitetsskalaen kommer fram. I det tredje delkapitlet er helikopter-EM-profilene vist samlet og omtalt.

### 6.1 Profil P1

Profil P1 er det østligste profilet og går bl.a. over Nesmoen (fig. 3, 8, 9). Det kvartær-geologiske kartet viser at profilet går over elveavsetninger og noe myr. I de nordøstligste 200 m går profilet over marine avsetninger. Det er lavt relieff, og LiDAR-data viser at profilet krysser gamle meandersvinger etter Målselva.

2D-resistivitetsprofil P1 har høy resistivitet i det øvre, opptil 10 m tykke laget, fram til profilkoordinat 1950. Resistivitetsverdiene varierer fra ca. 200  $\Omega\text{m}$  til 20 000  $\Omega\text{m}$ . Dette er tolket til å være sand- og grusavsetninger, og deler av disse er trolig tørre masser siden de har så høy resistivitet. Under sand- og gruslaget er det et 5-10 m tykt lag med resistivitetsverdier på 10-100  $\Omega\text{m}$ , og under dette igjen et utholdende lag med verdier lavere enn 10  $\Omega\text{m}$ . Tykkelsen på det utvaskede (potensielt kvikke) laget er metodisk usikker fordi det her er en skarp overgang mellom masser med høy resistivitet til masser med lav resistivitet.

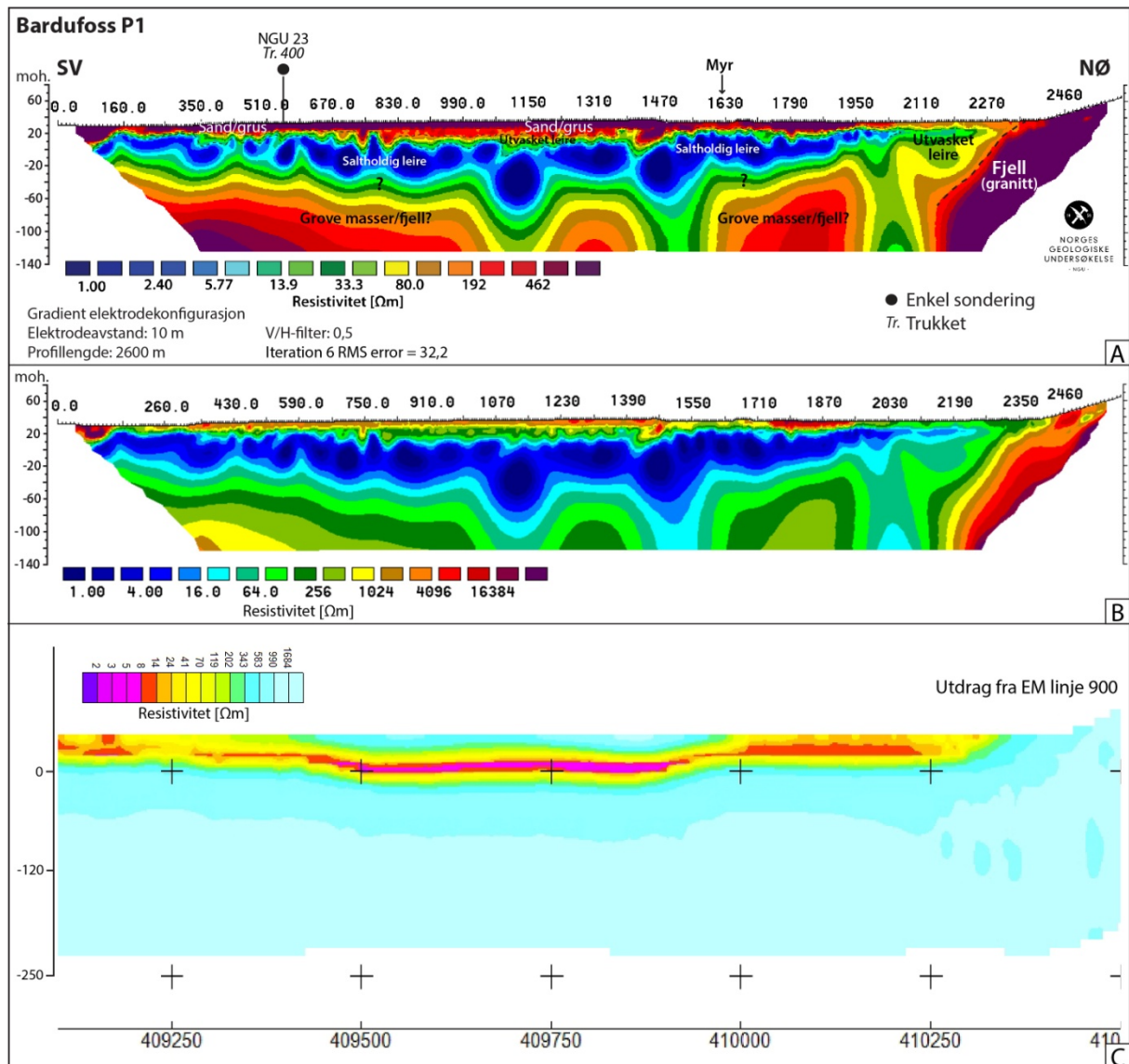
Mellom profilkoordinat 1950 til ca. 2400 er det sannsynlig at det kan finnes utvasket leire. Her er det trolig mindre grove masser i topplaget, og skrånende, ganske bratt fjell kommer inn fra nordøst. Her vil det kunne være god tilgang på grunnvannsstrømmer til å vaske ut leire.

Under det saltholdige laget på profil P1 er det overgang mot fjell, men resistivitetsverdiene er nokså lave, og kan derfor også representere grove masser. Dette er i så fall mest sannsynlig relativt tynne morenelag. Figur 2 viser at P1 for det meste går over glimmerskifer, med innslag av konglomerat og granitt i siste del av profilet. Av figur 7 ser man at skifre kan ha nokså lave resistivitetsverdier, mens granitt – som er en magmatisk bergart – vil ha høye resistivitetsverdier.

De to nærmeste boringene til profil P2 er nr. 22 og nr. 23 (fig. 8, 9), og dette er grunnvannsboringer (Gaut & Klemetsrud 1984):

- Boring 22 er 15 m dyp. Siltig leire med gruslag på 2 m dyp. Svært løs (kvikk?) mellom 2-13 m dyp, deretter noe fastere. Stopp uten påtruffet fjell.
- Boring 23 er 17 m dyp. Sand og grus øverste 10 m, deretter finere – og leire fra 16 m. Stopp uten påtruffet fjell. Boring 23 ligger 400 m øst for profilet, men stemmer likevel nokså godt overens med 2D-resistivitetsdata.

EM-profilen L900 indikerer at det er grove masser på toppen med høye resistivitetsverdier (fig. 9c). Lav resistivitet finnes i et sammenhengende lag (rød-gul farge) langs nesten hele profilet. Dette er trolig marin leire, og deler av denne er trolig utvasket. Laget har en noe skarpere grense mot høye resistivitetsverdier mot dyppet, enn 2D-resistivetsprofilen antyder. Det er likevel god overensstemmelse mellom profilene.



**Figur 9. A) 2D-resistivetsprofil P1 med tolkninger. Boredata fra Gaut & Klemetsrud (1984). B) 2D-resistivetsprofil P1 med lang fargeskala for å vise variasjoner i de høye resistivetsverdiene. C) Utdrag fra EM-profil linje 900. NB: fargeskala her er omvendt i forhold til 2D-resistivetsprofilen.**

## 6.2 Profil P2

Profil P2 er det vestligste profilet og starter litt øst for Målselvfossen og går nordøstover mot Molund (fig. 3, 8, 10). Det kvartærgeologiske kartet viser at profilet de første  $\frac{3}{4}$  går over breelveavsetning, eoliske avsetninger og myr. Den siste delen går over elveavsetninger. Topografien varierer mer enn for profil P1, som også vises på LiDAR-data (fig. 8). I den første delen av profilet griper noe ravineterreng inn langs profilet, før den store, forlatte meandersvingen til Målselva dominerer siste del av profilet.

2D-resistivitetsprofil P2 har høy resistivitet i det øvre, opptil 30 m tykke laget. Resistivitetsverdiene varierer fra ca. 200  $\Omega\text{m}$  til 20 000  $\Omega\text{m}$ . Dette er tolket til å være sand- og grusavsetninger. Profil P2 vist med lengre fargeskala får fram nyanser i de høye resistivitetsverdiene. Figur 10b viser at deler av dette topplaget er trolig tørre masser siden de har så høy resistivitet, mens andre deler kan være vannmettede, grove masser. Fram til profilkoordinat 1600, og mellom 2050 og 2600 ser det ut til at de grove massene ligger rett på fjell, og dette stemmer med tidligere undersøkelser i dalen.

Mellom profilkoordinat 1600 og 2050 er det mer usikkerhet i tolkningene av 2D-resistivitetsprofilet. Det er trolig sand og grus på toppen, men under varierer resistivitetsverdiene fra 2 til 1000  $\Omega\text{m}$ . Relieffet her går fra kote +30 moh. ved Ringmyra og opp til +60 moh. der P2 går (fig. 3). Raviner med erosjon i marine avsetninger dominerer denne delen. Det kan derfor være mulig at fjelldypet er noe større her enn i sørvestlig del av profilet.

Et større fjelldyp mellom profilkoordinat 1600 og 2050 kan skyldes en svakhetssone og/eller kraftigere erosjon av breen under istidene på grunn av en endring i styrken til bergartene. Berggrunnskartet viser at det er kartlagt glimmergneis på Storhaugen (fig. 2), og denne krysser profil P2 i området med lave resistivitetsverdier mot dypet. Denne glimmergneissonen ligger også i en fordypning mellom Storhaugen og Fosshaugen, og dette indikerer at bergarten er svakere enn de omkringliggende.

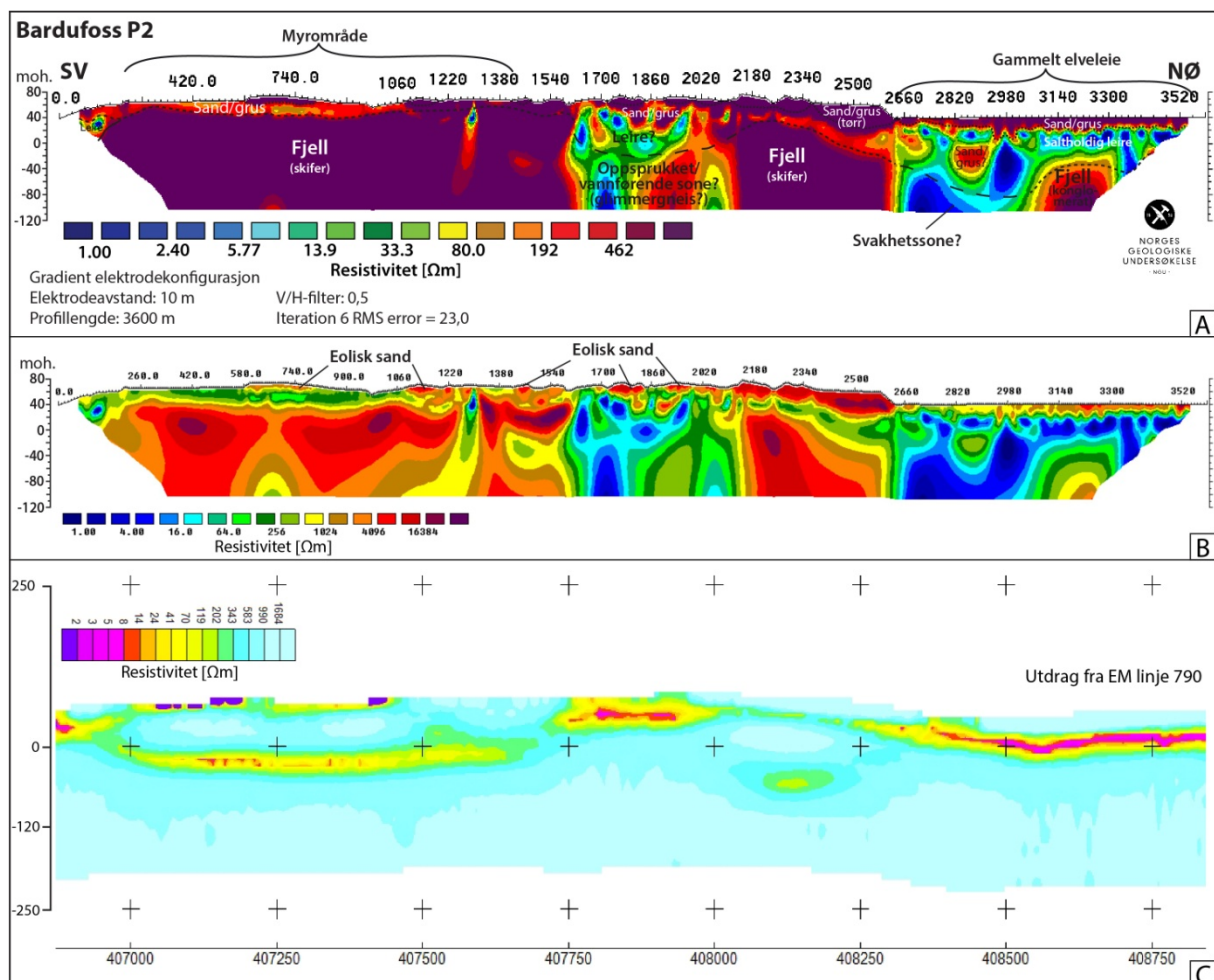
Videre mot nordøst på profil P2 (fra profilkoordinat 2600) ligner det på sonen mellom profilkoordinat 1600 og 2050. Også her er det trolig sand og grus på toppen, men under varierer resistivitetsverdiene fra 2 til 5000  $\Omega\text{m}$ . De to refraksjonsseismiske profilene som ligger ca. 1 km nordvest for 2D-resistivitetsprofil P2 viser et gjennomsnittlig 15 m tykt topplag av tørr sand og grus (fig. 8 og vedlegg 5) (Hillestad 1991). Under en tilnærmet horisontal grense er det registrert et mektig lag med hastighet 1600 m/s. Dette kan være leire eller vannmettet sand og grus. De refraksjonsseismiske profilene ligger for langt unna til å kunne sammenlignes direkte med 2D-resistivitetsprofilet, men det er det trolig leire her, evt. med lommer av vannmettet sand/grus. Dyp til fjell er opp mot 120 m på de refraksjonsseismiske profilene, noe som indikerer at det også kan være store løsmassemektheter på 2D-resistivitetsprofilet – selv om dyp til fjell kan variere mye over korte avstander.

Ca. 400 m sør for starten av 2D-resistivitetsprofil P2 ligger to refraksjonsseismiske profiler til. Her er det grunt til fjell i nærheten av Målselvfossen (fig. 8 og vedlegg 5). Som for profilene lenger nord er det et lag av tørr sand og grus på toppen, 10 m tykt eller tynnere. Under dette er det trolig vannmettet sand og grus (iskontaktavsetning på en terskel). På det dypeste er det ca. 60 m til fjell. I de delene av profilet som er nærmest 2D-resistivitetsprofil

P2 er dyp til fjell 10-30 m. 2D-resistivetsprofilen antyder her at det kan være leire over fjell med grove masser på toppen.

For profil P2 ligger de nærmeste borepunktene 600 m unna, og er derfor ikke tegnet inn på profilen i figur 10. Multiconsults borepunkt 25 ligger 600 m øst for P2, og sonderingen indikerer kvikkleire i kotenivåene +42 til +39 og +34 til +31 moh. (Multiconsult 2003). I den dypeste delen av sonderingsprofilen er det indikert grove masser. Borepunktet ligger for langt unna profilen til at det kan sammenlignes direkte, men sier noe om forholdene mellom 2D-resistivetsprofilene P2 og P1. Borepunkt 25 vest for profil P2 er en fjellboring (GRANADA 2015).

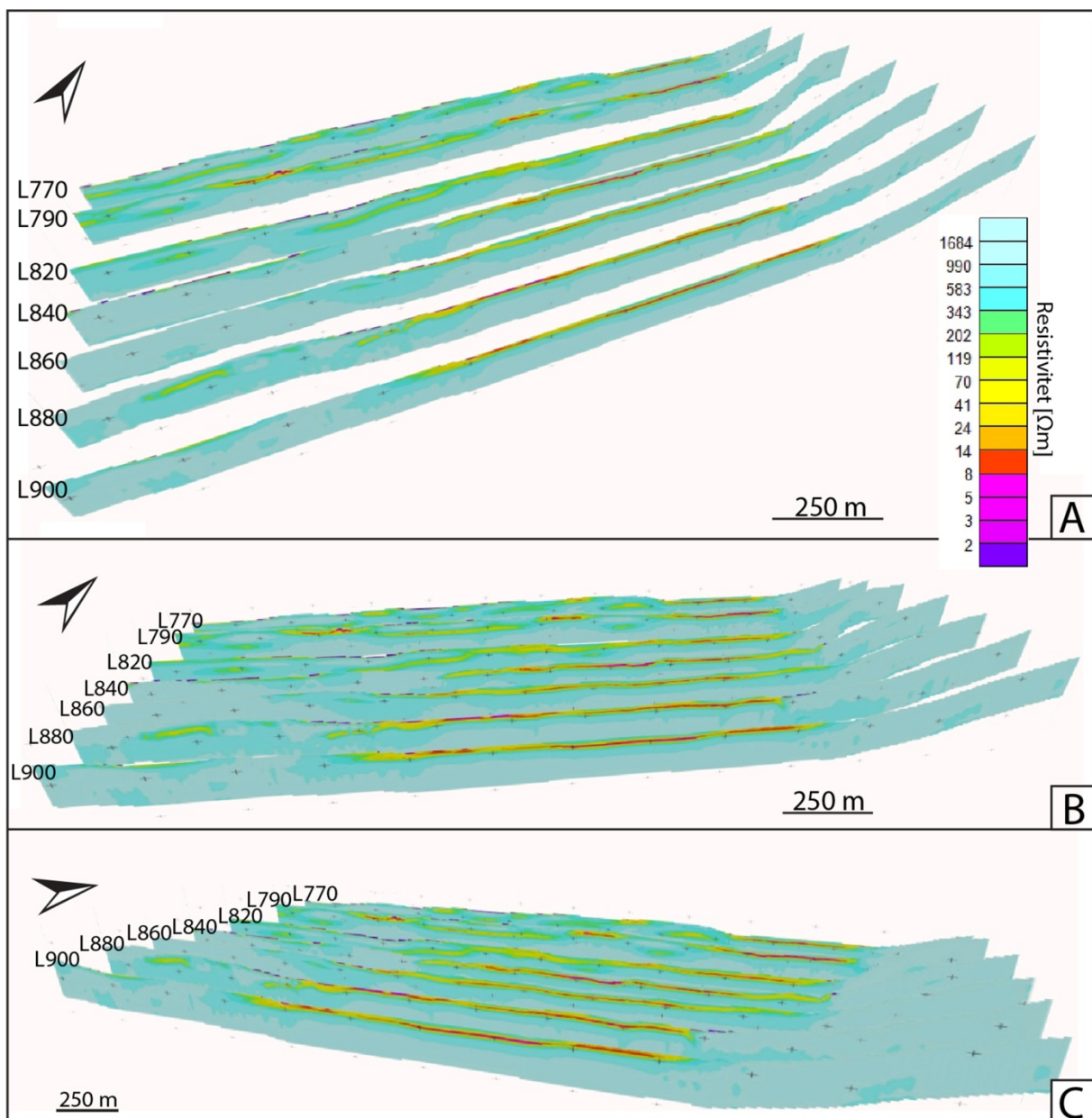
EM-profilen indikerer lave resistivetsverdier både nær overflata og på dypet (fig. 10c). Lengst mot nordøst ligger trolig marin leire under grovere sedimenter på toppen. Lave resistivetsverdier som kan være marin leire finnes også midt på profilen. Mot sørvest er det lave verdier både i overflata, og på kote ca. -35 moh, sistnevnte kan være en kunstig effekt. Overensstemmelsen mellom EM-profilen og 2D-resistivetsprofilen er ikke like godt som for profil P1, men 2D-resistivetsprofilen ser ut til å stemme best overens med dalinnfyllingshistorien. Se mer om dette i kapittel 7.



Figur 10. A) 2D-resistivetsprofil P2 med tolkninger. B) 2D-resistivetsprofil P2 med lang fargeskala for å vise variasjoner i de høye resistivetsverdiene. C) Utdrag fra EM-profil linje 790. NB: fargeskala her er omvendt i forhold til 2D-resistivetsprofilen.

### 6.3 Helikopter-EM-profiler

I figur 11 er alle helikopter-EM-profilene i vedlegg 3 satt sammen og vist i ArcGlobe fra ESRI. Dette gjør det lettere å sammenligne profilene. Det er stedvis godt ledende materiale i overflata (mørk lilla), og dette er trolig kunstige effekter fra inversjonen. Både fjell og grove løsmasser vises med blå farger (høy resistivitet), og man kan ikke se grensen mellom disse dersom de grove massene ligger rett på fjellet. Gul (og ned mot rød) farge kan representere kvikkleire, og dette vises på EM-profilene L820-L900 som nokså sammenhengende lag. Disse lagene er mer oppstykket på L770 og L790, hvor det trolig er tynnere sedimentoverdekning. Dette stemmer også overens med resultatene i Eilertsen m.fl. (2006).



Figur 11. Helikopter-EM-profiler fra studieområdet vist vha. ArcGlobe. For enkeltprofiler, se vedlegg 3. Vær oppmerksom på fargeskala: høye verdier er blå farger, godt ledende materiale er lilla-rosa, potensiell kvikkleire er (rød) gul.

Det finnes noen boredata som er relevante for EM-helikopter-profilene (fig. 8). Siden oppløsningen på profilene er såpass dårlig, og den dypeste boringen 27 m, er ikke det ikke foretatt detaljert sammenligning. Overordnet er likevel samsvaret godt.

## 7 DISKUSJON

I studieområdet ved Bardufoss er det i hovedsak benyttet to geofysiske metoder: helikopter-EM-målinger og 2D-resistivitetsmålinger. I tillegg finnes det data noen tidligere refraksjonsseismiske målinger i nærheten. For å karakterisere løsmasser kan alle metodene benyttes, men det er ved måling av resistivitet man kan få informasjon om egenskaper til marine leiravsetninger og utbredelse av potensiell kvikkleire. I studieområdet er det benyttet 10 m elektrodeavstand for 2D-resistivitetsmålingene. Dette gir en nokså dårlig oppløsning nær overflata, sammenlignet med 2 m eller 5 m elektrodeavstand – som har vært benyttet i de fleste prosjekter ved NGU hvor potensiell kvikkleire skulle kartlegges. Man får likevel indikasjoner på utbredelse, og detaljgraden er større enn for resistivitetsdata fra helikopter-EM-målingene. Det finnes få geotekniske undersøkelser i studieområdet, og ingen av disse ligger direkte på 2D-resistivitesprofilinjene. Det har derfor ikke vært mulig å få detaljert sammenligning av 2D-resistivitesverdier og geotekniske egenskaper i dette prosjektet. Data fra noen av borepunktene kunne potensielt sammenlignes med EM-profilene, men oppløsningen til datasettene er svært forskjellige. I tillegg er boringene nokså grunne, slik at detaljert sammenligning ikke var hensiktsmessig. Overordnet er det likevel godt samsvar mellom geofysiske og geotekniske data.

Når det gjelder overensstemmelse mellom 2D-resistivitet og EM-målingene ved Bardufoss, er det godt samsvar for profil P1. Her er trolig grunnforholdene mer homogene, og det er noe dypere til fjell. Dette er også inntrykket når man ser på de sammensatte EM-profilene i figur 11. De to nordvestligste EM-profilene (L770 og L790) og 2D-resistivetsprofil P2 har bare delvis samsvar. Her er det grunnere til fjell, og det er trolig også noe større variasjon i bergartstyper (fig. 2). L790 indikerer godt ledende materiale på ca. 90 m dyp den sørvestlige delen av profilet, men dette vises ikke på 2D-resistivetsprofilet (P2). Dette kan være en kunstig effekt ved inversjonsrutinen. Mellom profilkoordinat 1600 og 2050 på 2D-resistivetsprofilet (P2) er det motsatt: 2D-resistivetsverdiene indikerer at det er godt ledende materiale, en svakhetsone e.l. her, men dette vises ikke på dypet på EM-profilet. Det samme gjelder for nordøstlig del av profilet. Over kote 0 moh. er det likevel godt samsvar mellom EM- og 2D-profilene. Ved tolking av EM-data må en være klar over at metodens inntregning i bakken styres av resistiviteten i området. I godt ledende materiale kan det teoretiske skinndypet, som kan være et mål for inntregning, være lavt og en kan ikke se gjennom tykke lag av for eksempel leire (Baranwal et al. 2015). Dette forklarer trolig uoverensstemmelser i resistivetsbildet på EM-data under ledende grunne strukturer.

Det er stor variasjon av løsmasstyper i overflata i studieområdet (fig. 3). Dette gjenspeiles i resistivetsverdiene i området når lang fargeskala benyttes, siden denne kan skille mellom variasjoner i høye verdier (fig. 9b og 10b). De grove massene består av tørr sand (eolisk) og sand/grus fra breelvavsetninger og elveavsetninger (tørre eller vannmettede). Tørre masser har høyere verdier enn vannmettede. Figur 4 viser tykkelsen og utbredelsen til fluviodeltatiske



avsetninger i Målselvdalen. Der disse er tilstede ligger de direkte over finkornete marine avsetninger. Der hvor de deltaiske avsetningene (og muligens deler av de marine) er fjernet ved fluvial erosjon (eksempelvis ved Molund), ligger det et tynnere overdekke av grovkornede elveavsetninger over de marine avsetningene. De geofysiske datasettene presentert her stemmer godt overens med dette. Både 2D-resistivetsprofiler og EM-profilene indikerer at det finnes marin leire under grove masser i store deler av studieområdet. Resistivetsverdiene indikerer også at leira stedvis er utvasket og kan være kvikk, og dette er viktig å være oppmerksom på i og utenfor faresonen i området (vedlegg 1).

## 8 KONKLUSJON

Ved Bardufoss i Målselv er det relativt god overensstemmelse mellom helikopter-EM-profilene og 2D-resistivitesprofilene, men best der det ser ut til at dyp til fjell er størst. Uoverensstemmelser kan forklares med manglende penetrasjon EM-bølger har i materialer med høy ledningsevne (lav resistivitet). Variasjoner i bergartstyper påvirker målingene mest der sedimentoverdekningen er liten. Det finnes nokså få geotekniske undersøkelser i studieområdet, og ingen av disse ligger direkte på 2D-resistivitesprofillinjene. Det har derfor ikke vært mulig å få detaljert sammenligning av 2D-resistivitesverdier og geotekniske egenskaper i dette prosjektet. Overordnet er det likevel godt samsvar mellom geofysiske og geotekniske data.

Som for 2D-resistivitesmålinger kan også EM-målinger fra helikopter indikere utbredelse av potensiell kvikkeleire, men med dårligere oppløsning. EM-målinger fra helikopter (eller fly) vil kunne egne seg til en første oversiktskartlegging i områder med marine avsetninger. Resultatene kan benyttes som redskap til å velge ut områder for mer detaljkartlegging.

Når det gjelder geofysiske målinger for kartlegging av materialeegenskaper, vil det være nødvendig med geotekniske undersøkelser i tillegg – og helst prøvetaking med laboratorietester – for å tolke og forstå de geofysiske datasettene bedre. Det er likevel gunstig å kombinere ulike undersøkelsesmetoder for å få den beste oversikten over grunnforholdene. Ved tolkning av geofysiske og geotekniske data er det viktig å være oppmerksom på de geologiske forholdene, både når det gjelder de lokale bergartstypene, avsetningshistorien for løsmassene og landskapsutviklingen.

Det er god overensstemmelse mellom 2D-resistivetsmålingene og den kartlagte fordelingen av løsmasser i overflaten, og med dypet der informasjon om dette var tilgjengelig. 2D-resistivetsmålinger kan således være et svært verdifullt verktøy i kartleggingen av dalinnfyllinger. Inverterte EM-data målt fra helikopter gir et godt grunnlag for å velge ut hvor en bør gjøre oppfølgende geofysikk og andre undersøkelser.

## 9 REFERANSER

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

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

Eilertsen, R. 2002: Sedimentological and geophysical investigation of valley-fill sediments in Målselv, northern Norway. Dr. Scient. thesis. Institutt for Geologi, Universitetet i Tromsø. 173 s

Eilertsen, R., Corner, G.D. & Aasheim, O. 2005: Deglaciation chronology and glaciomarine successions in the Malangen - Målselv area, northern Norway. *Boreas* 34, 3, s. 233-251

Eilertsen, R., Corner, G.D., Aasheim, O., Andreassen, K., Kristoffersen, Y. & Ystborg, H. 2006: Valley-fill stratigraphy and evolution of the Målselv fjordvalley, northern Norway. *SEPM Special Publication No. 85*, s.179-195

Eilertsen, R.S., Hansen, L., Bargel, T.H. & Solberg, I.L. 2008: Clay slides in the Målselv valley, northern Norway: Characteristics, occurrence, and triggering mechanisms. *Geomorphology* 93(3-4): 548-562.

Eilertsen, R.S., Corner, G.D., Aasheim, O. & Hansen, L. 2011: Facies characteristics and architecture related to palaeodepth of Holocene fjord-delta sediments. *Sedimentology* 58, s. 1784–1809

Fareth, E. 1982: Berggrunnskart Takvatnet 1533 III 1:50 000. NGU

Fredin, O., Lyså, A., Sveian, H. & Viola, R. 2014: Kvartærgeologisk kartlegging ved NGU - Informasjon og instruks. NGU Intern rapport 2014.002

Gaut, A. & Klemetsrud, T. 1984: Målselv og Takvatnet – M 1:50 000. Beskrivelse til vannressurskart ”Grunnvann i løsavsetninger”. NGU Spesielle rapporter nr. 39

Geosoft 1997: Geosoft HEM module reference manual. Geosoft Canada.

Geotech 1997: Hummingbird Electromagnetic System. User's manual. Geotech Ltd. October 1997.

GRANADA 2015: Nasjonal grunnvannsdatabase. [geo.ngu.no/kart/granada/](http://geo.ngu.no/kart/granada/) [februar 2015]

Hansen, L., Bargel, T.H., Tønnesen, J.F., Blikra, L.H., Maurant, E., Solberg, I.L. 2002: Leirskredkartlegging langs Målselvvassdraget. NGU rapport 2001.040

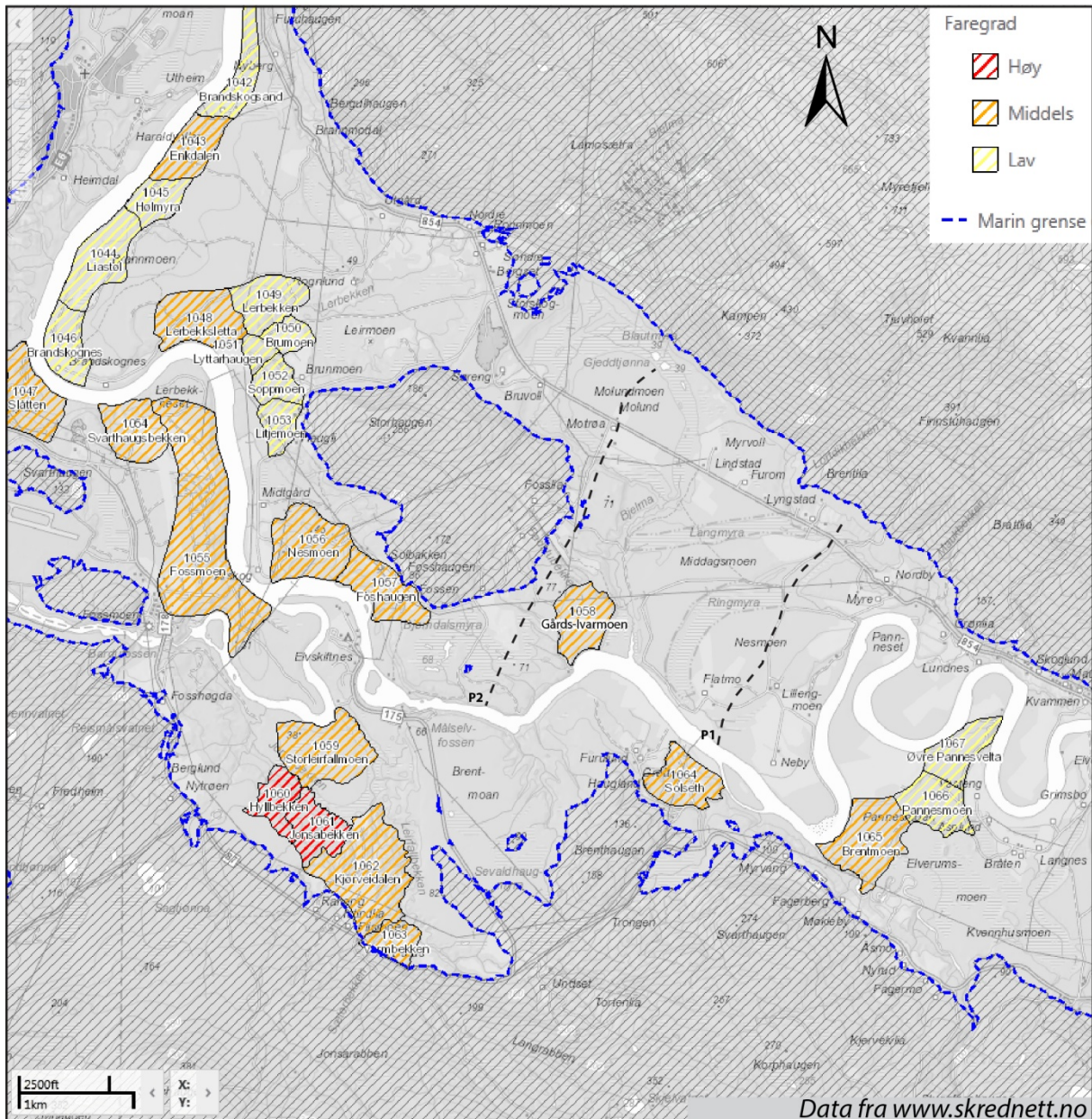
Hillestad, G. 1991: Seismisk undersøkelse Målselvdalen. NGU rapport 1816C

- Loke, M.H. 2010: Res2DInv ver. 3.59.102. Geoelectrical Imaging 2D and 3D. Instruction Manual. Geotomo Software, www.geoelectrical.com
- Multiconsult 2003: Kvikkleirekartlegging Målselv. Grunnundersøkelser. Datarapport. Multiconsult avd. Noteby rapport 710059-1, 04.11.2003
- NGI 2004: Kartlegging av områder med potensiell fare for kvikkleireskred. Kartblad Bardufoss M 1:20 000. NGI rapport 20021393-1, 14.12.2004
- NGI 2005: Risiko for kvikkleireskred. Klassifisering av fareområder. Kartblad Bardufoss M 1:20 000. NGI rapport 20021393-1, 10.10.2005
- Nålsund, R. & Hamborg, M. 1985: Bardufoss. Kvartærgeologisk kart EYZ 257258-20 M 1:20 000 med beskrivelse. NGU
- Palacky, G.J. 1987: Resistivity characteristics of geological targets. I: Nabighian, M.N.: Electromagnetic methods in applied geophysics. Sos. Of Expl. Geoph., Tulsa
- Reiser, F., Dahlin, T., Rønning, J.S. & Solberg, I.L. 2010: Resistivity modelling for clay layer characterization, possibilities and limitations. NGU rapport 2010.047
- Rodionov, A., Koziel, J. & Lynum, R. 2012: Helicopter-borne magnetic, electromagnetic and radiometric geophysical survey in Mauken area, Målselv. NGU rapport 2012.010
- Rønning, J.S. 2013: NGUs helikoptermålinger. Plan for sikring og kontroll av datakvalitet. NGU Intern rapport 2013.001.
- Solberg, I.L., Hansen, L., Rønning, J.S. & Dalsegg, E. 2011: Veileder for bruk av resistivitetsmålinger 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
- UBC 2000: Manual for running the program "EM1DFM". UBC - Geophysical Inversion Facility, Department of Earth & Ocean Sciences, University of British Columbia, Vancouver, CANADA. July, 2000
- Zwaan, K.B., Fareth, E. & Grogan, P.W. 1998: Geologisk kart over Norge, berggrunnskart Tromsø, M 1:250 000. NGU.

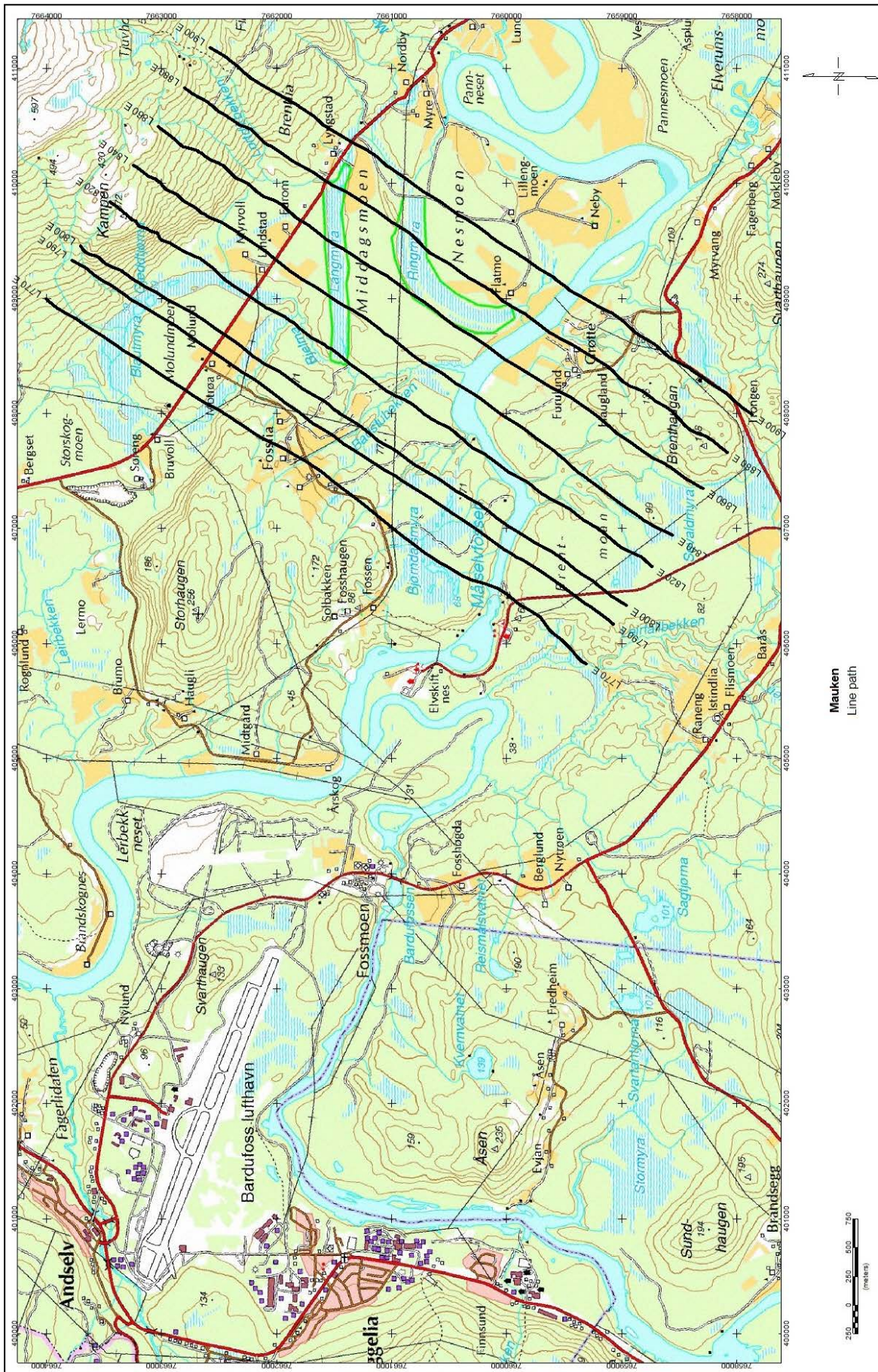
## **VEDLEGG**

## VEDLEGG 1 Faresonekart for potensielle kvikkleireskred i Målselv

Faresoner for potensielle kvikkleireskred i deler av Målselv. Sonen 1058 Gårds-Ivarmoen ligger mellom 2D-resistivitetsprofil P1 og P2.

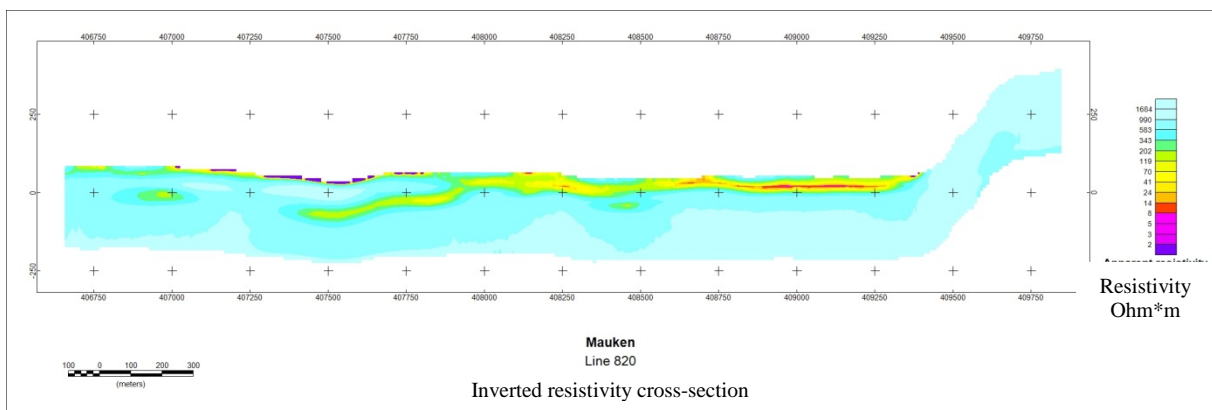
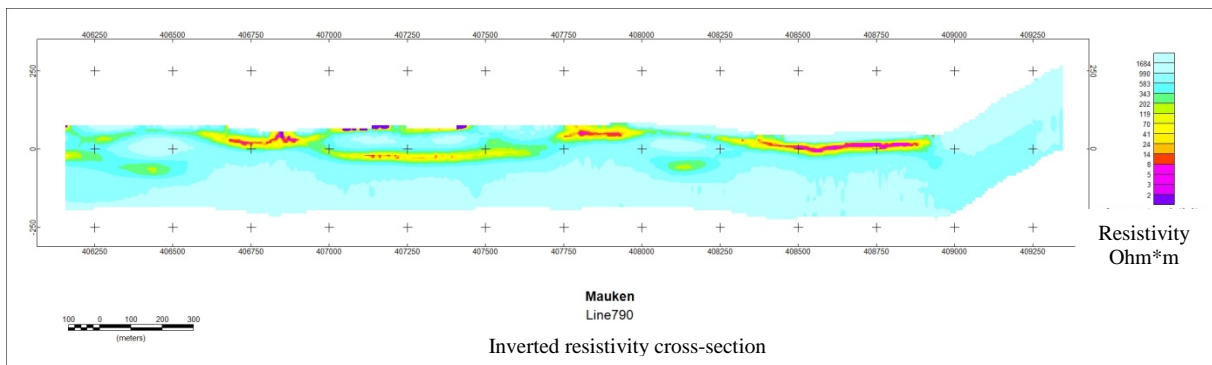
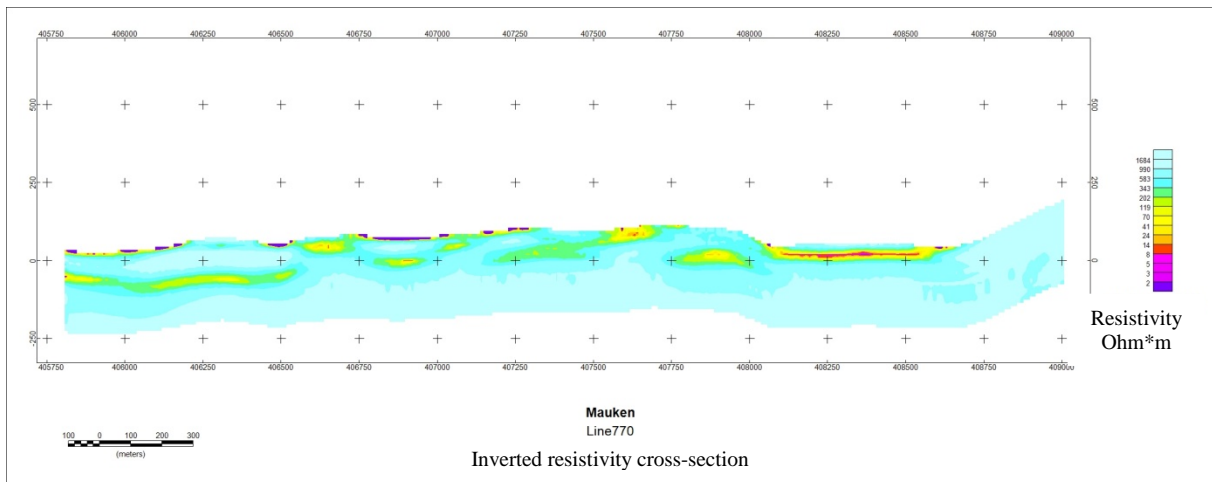
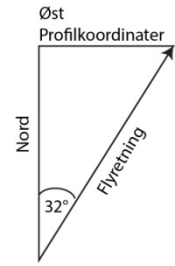


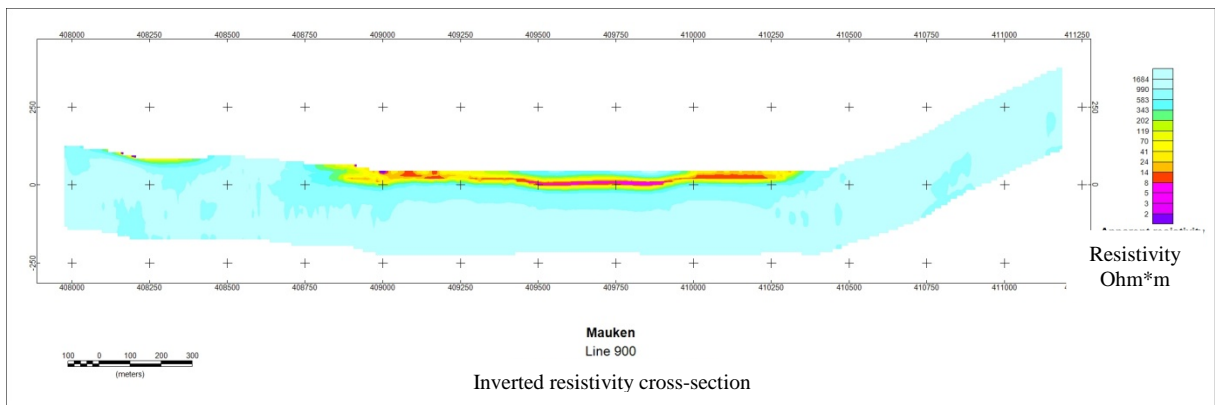
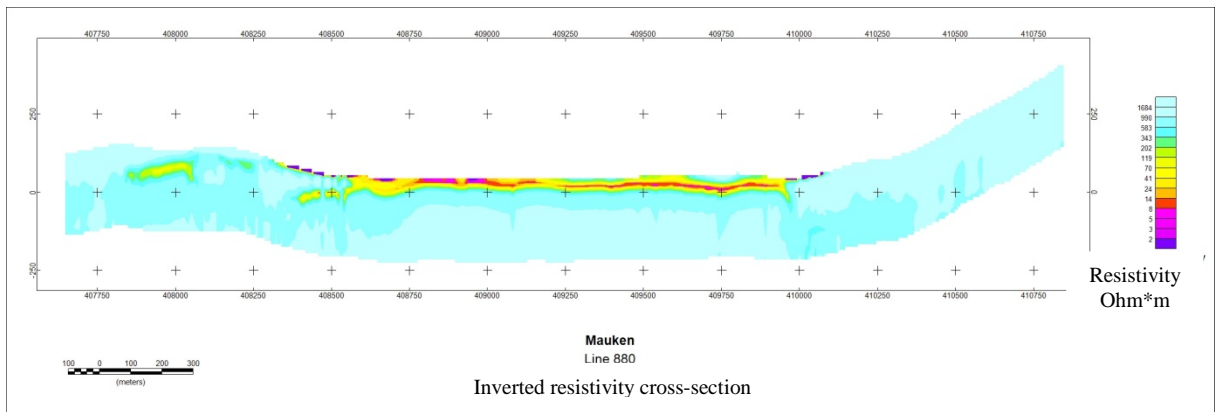
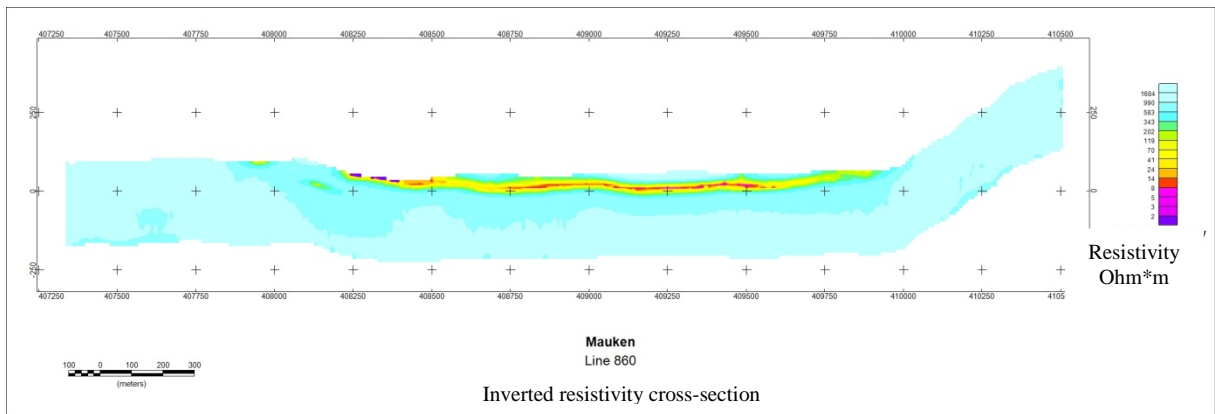
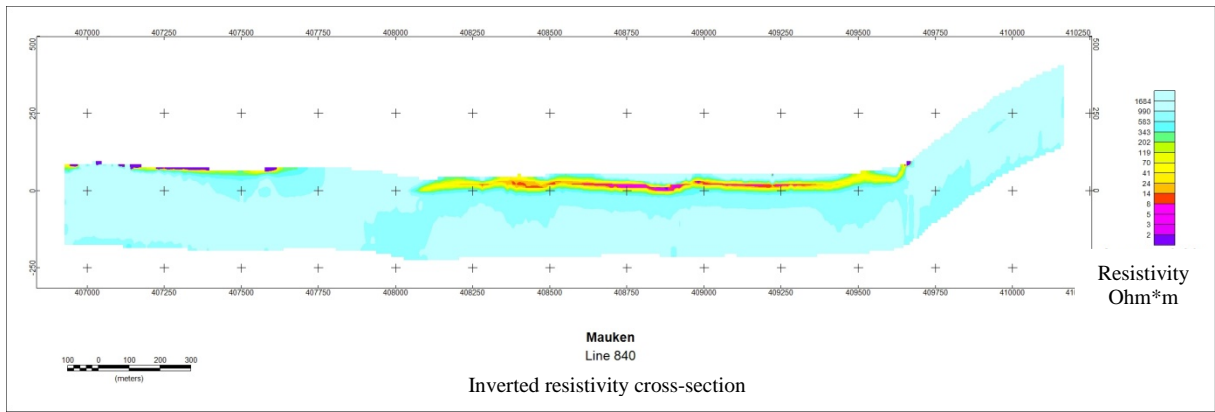
## VEDLEGG 2 Plassering til utvalgte EM-profiler



### VEDLEGG 3 Helikopter-EM-profiler Linje 770 – Linje 900

Profilkoordinatene som er angitt under er avstand i østlig retning, mens flyretningen var 32 grader nordøst. Avstandene på profilene gitt under må derfor deles på sin 32 (= 0,56) for å finne riktig avstand som er vist på i kartet i vedlegg 2.







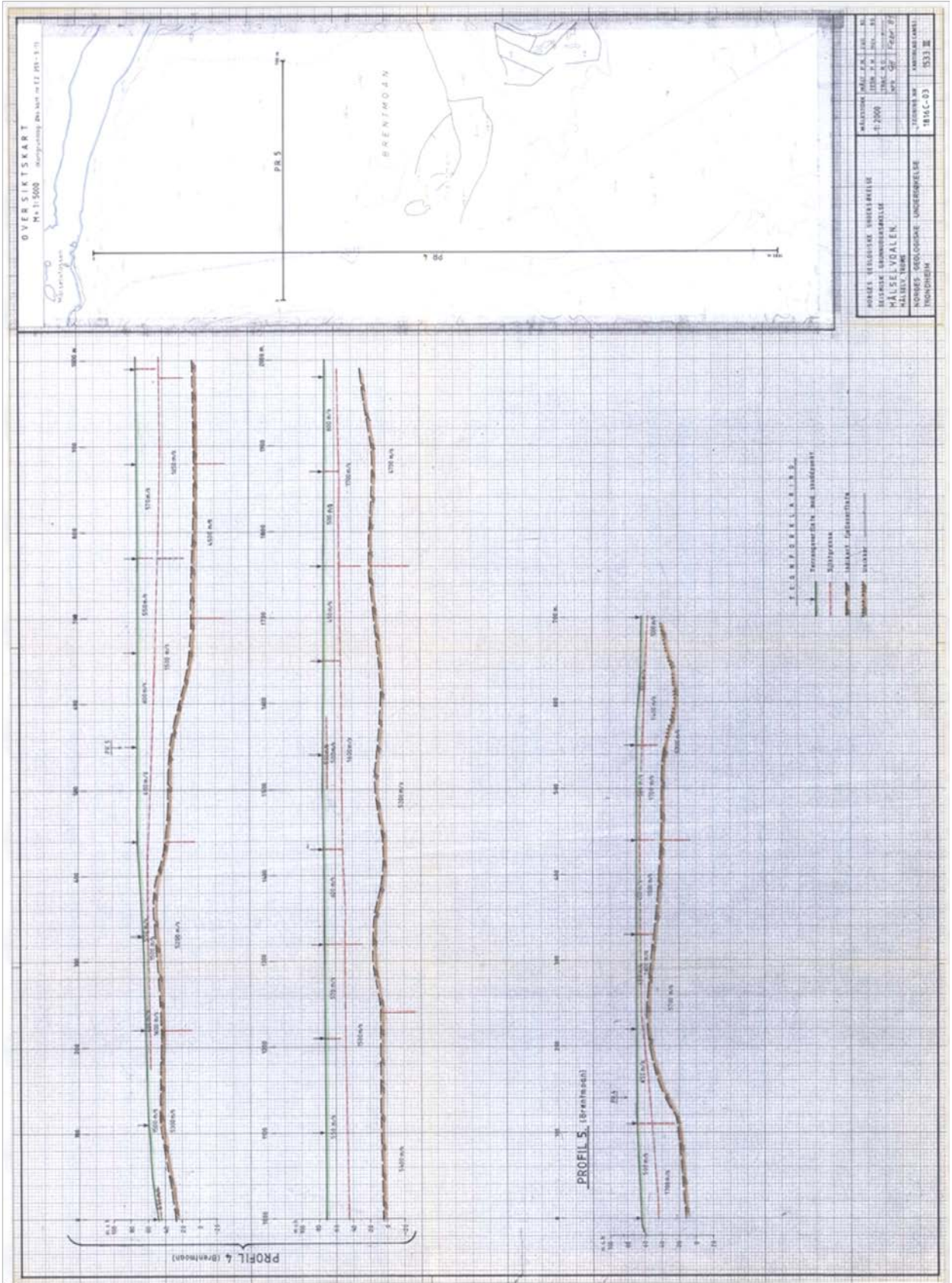
## VEDLEGG 4 Koordinater til innmålte 2D-resistivetsprofiler

Koordinatene er målt med håndholdt GPS.

WGS 1984, UTM sone 34 N

Profil	Koordinat	UTM_X	UTM_Y
P1	0	409107	7659498
	200	409168	7659677
	400	409286	7659833
	600	409407	7659985
	800	409544	7660123
	1000	409666	7660284
	1200	409733	7660476
	1400	409830	7660646
	1600	409912	7660825
	1800	410011	7660990
	2000	410164	7661118
	2200	410340	7661220
	2400	410445	7661380
	2600	410552	7661531
P2	0	406942	7660089
	200	407019	7660260
	400	407080	7660456
	600	407173	7660625
	800	407291	7660787
	1000	407409	7660938
	1200	407539	7661095
	1400	407648	7661249
	1600	407760	7661408
	1800	407881	7661570
	2000	407990	7661725
	2200	408084	7661887
	2400	408189	7662049
	2600	408237	7662244
	2800	408310	7662422
	3000	408383	7662600
	3200	408519	7662738
3400	408677	7662844	
3600	408833	7662987	







NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE  
- NGU -

Norges geologiske undersøkelse  
Postboks 6315, Sluppen  
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse  
Leiv Eirikssons vei 39  
7040 Trondheim

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