

# GEOLOGI FOR SAMFUNNET

*GEOLOGY FOR SOCIETY*





Rapport nr.: 2013.058		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Resistivitetmålinger på Fremoavsetningen, Melhus Kommune. Sør-Trøndelag.				
Forfatter: Håvard Dretvik og Einar Dalsegg		Oppdragsgiver: Norges Geologiske Undersøkelse		
Fylke: Sør-Trøndelag		Kommune: Melhus		
Kartblad (M=1:250.000) Trondheim		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1621-3 Støren		
Forekomstens navn og koordinater: Fremo 32V 569200 7009600		Sidetall: 34	Pris: 150	
Feltarbeid utført: Juli 2013	Rapportdato: 27.03.2014	Prosjektnr.: 351800	Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>	
Sammendrag:				
<p>Resistivitetmålinger på Fremo, Melhus kommune ble utført innenfor KARMA 3D Prosjektet ved Norges geologiske undersøkelse. KARMA 3D tar i bruk nye 3D modellerings- og visualiseringsverktøy for å kunne utvikle mer brukertilpassede løsninger for leveranse og bruk av geologisk kunnskap og data. Formålet med arbeidet var å undersøke dybden ned til grunnvannsnivået og hvordan dette varierer over et større område og om mulig si noe om variasjoner i kornstørrelse (gruskvaliteter) i avsetningen.</p> <p>Fremo er en glasifluvial avsetning med en undulerende overflate hvor grunnvannsnivået ligger på ca. 28-60 meters dyp. Langvatnet ligger i nordøstlig del av undersøkelsesområdet, og har intet utløp. Det beskrives derfor som et hengende vannspeil som drenerer gjennom grunnen mot vest, ned mot Gauldalen. Området er stort sett preget av skog og landbruk, med spredt bebyggelse. Over denne avsetningen er det målt tre profiler med 2D resistivitet i kombinasjon med Indusert Polarisasjon (IP). Tidligere er det utført refraksjonsseismiske målinger og noe georadar på avsetningen.</p> <p>Resistiviteten til et materiale vil generelt være lavere under grunnvannsnivået enn over. På Fremo dominerer grove masser av stein og blokk den øvre delen. Dypere finnes sand og grus som også utvinnes flere steder. Det grove topplaget har en høy resistivitet, opp mot og over 2000 <math>\Omega\text{m}</math>. Det antas at resistiviteten for de finere, vannmettede massene er rundt 1200-1600 <math>\Omega\text{m}</math>.</p> <p>Resistivitetmålingene viser en dybde ned til grunnvannsnivået på omtrent 25 meter i nordøst, mens på kanten av avsetningen i vest er dybden opp mot 60 meter.</p>				
Emneord: Geofysikk	2D-Resistivitet		Indusert Polarisasjon	
Grunnvann	Glasifluvial avsetning			
			Fagrapport	



## **INNHOLD**

1. INNLEDNING.....	1
1.1 Områdebeskrivelse/lokaliteter.....	1
1.2 Tidligere arbeid.....	4
2. METODEBESKRIVELSE .....	4
3. KLASSIFISERING AV SEDIMENTER .....	6
4. RESULTATER .....	7
4.1 Resistivitetsdata og industert polarisasjon Profil 1.....	7
4.2 Resistivitetsdata og industert polarisasjon profil 2.....	9
4.3 Resistivitetsdata og industert polarisasjon profil 3.....	10
5. DISKUSJON.....	12
6. KONKLUSJONER .....	14
7. REFERANSER .....	15

## **FIGURER**

Figur 1: Kwartærgeologisk kart over Melhus og Trondheim.....	2
Figur 2: Oversikt over profiler målt på Fremo.....	3
Figur 3: Klassifisering av sedimenter.....	6

## **TEKSTBILAG**

For tekstbilag for den anvendte metoden(e) henvises til våre nettsider  
[www.ngu.no/no/hm/Norges-geologi/Geofysikk/Bakkegeofysikk/](http://www.ngu.no/no/hm/Norges-geologi/Geofysikk/Bakkegeofysikk/)

## **VEDLEGG**

Vedlegg 1: Profil 1.....	19
Vedlegg 2: Profil 1 - IP.....	21
Vedlegg 3: Profil 2.....	23
Vedlegg 4: Profil 2 - IP.....	25
Vedlegg 5: Profil 3.....	27
Vedlegg 6: Profil 3 - IP.....	29
Databilag Profil 1.....	31
Databilag Profil 2.....	32
Databilag Profil 3.....	33



## **1. INNLEDNING**

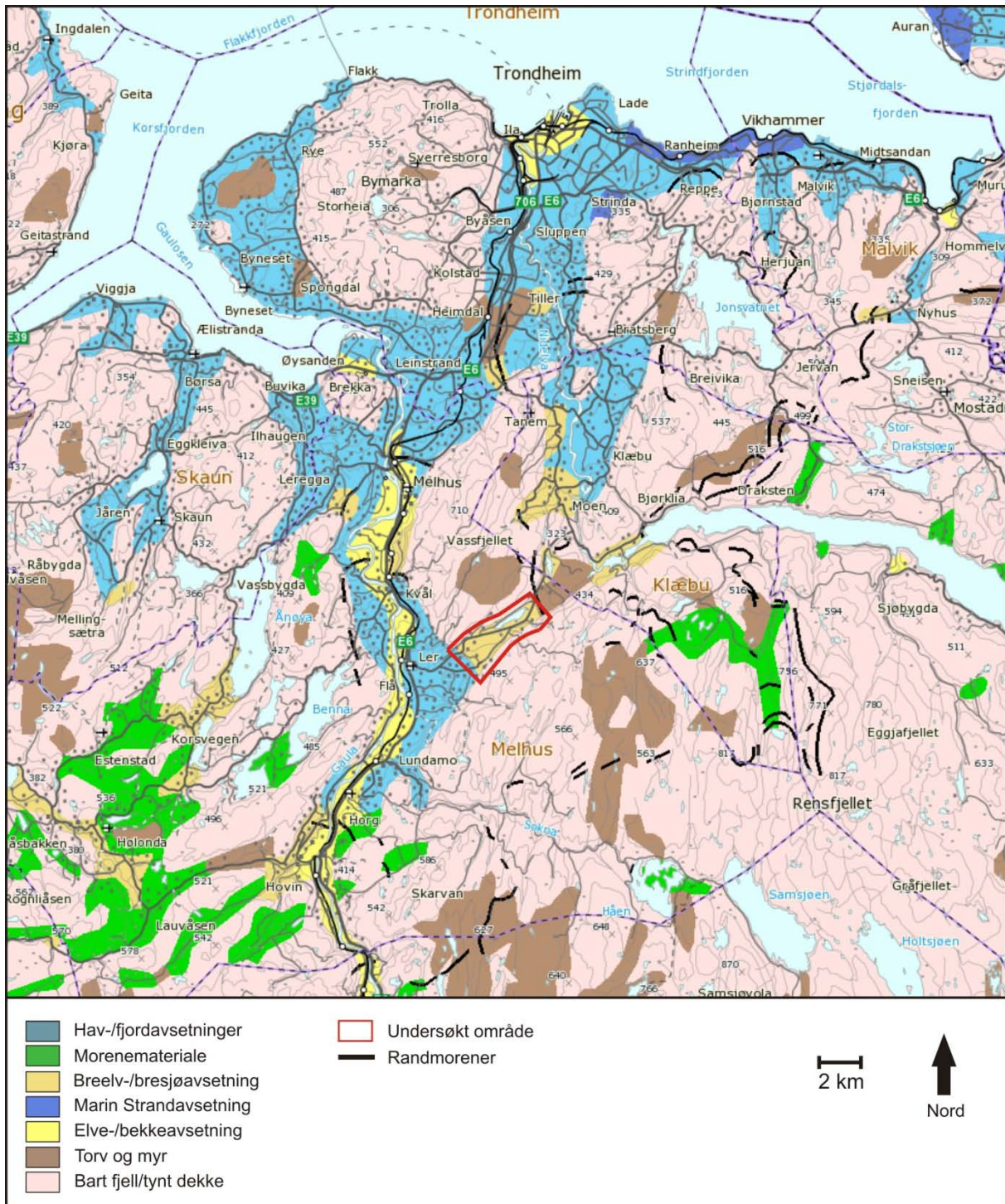
Det ble i juli 2013 utført 2D resistivitetsmålinger i kombinasjon med Indusert Polarisasjon (IP) på Fremoavsetningen i Melhus kommune, Sør-Trøndelag (Figur 1). Fremo er et allerede delvis utnyttet grunnvannsreservoar, blant annet for Klæbu kommune og et mindre lokalt vannverk for Fremo. I forbindelse med tidligere etablering av vannforsyning er det gjennomført undersøkelser av grunnen, blant annet boring av observasjonsbrønner og prøvepumping (Storrø, 2000). Det er også utført refraksjonsseismiske undersøkelser på avsetningen (Hillestad, 1988) og noe georadar. Formålet med denne undersøkelsen var å kartlegge dybden ned til grunnvannsnivået for et større område enn det som er oppnådd med de tidligere undersøkelsene. Undersøkelsene på Fremo er en del av karma 3D-prosjektet ved NGU og har som mål å kartlegge undergrunnen i større utstrekning og behandle de innsamlede data ved hjelp av modelleringsverktøy. Undersøkelsen skal også kunne brukes i vurderingen om grunnvannsforekomsten er egnet til å oppfylle krav som reservevannforsyning.

Vannmettede masser av grus og sand vil generelt ha en bedre elektrisk ledningsevne (lavere resistivitet) enn tilsvarende tørre masser. Ved å utføre resistivitetsmålinger og bestemme skillet mellom de to resistivitetsverdiene, kan en omtrentlig grense for grunnvannsnivået bestemmes.

Innsamling av data ble foretatt av Einar Dalsegg og Håvard Dretvik, med assistanse fra Marit Gjørva og Gaute Storrø.

### **1.1 Områdebeskrivelse/lokaliteter**

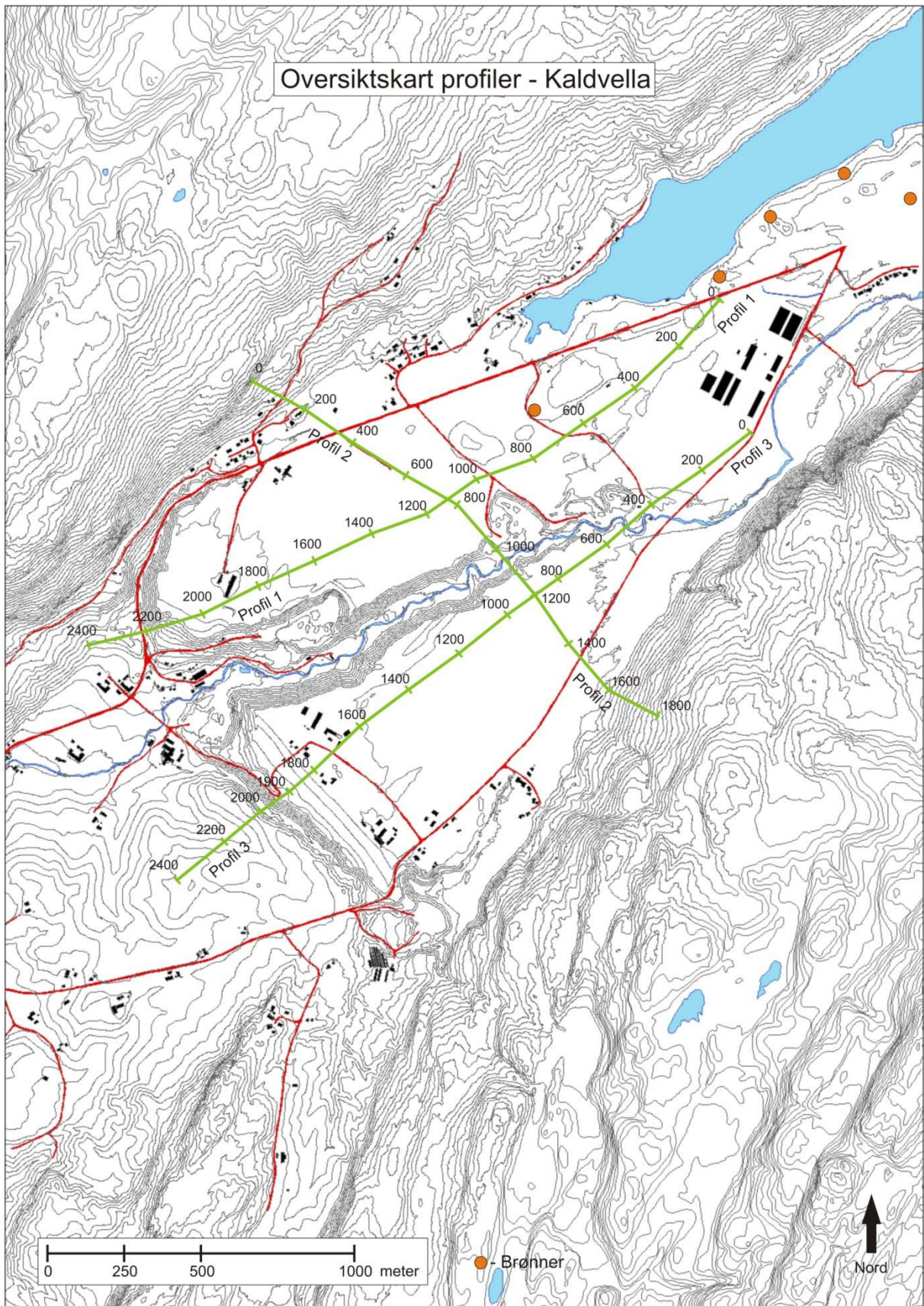
Avsetningen på Fremo består av en svakt undulerende overflate rundt 180 m.o.h., med en bratt skråning i vest ned mot Ler i Gauldalen. Kwartærgeologisk løsmassekart viser at Fremo er en glasifluvial avsetning (Figur 1). Jordbruk og skog preger landskapet, og det drives utvinning av grus ved bekken Kaldvella som drenerer fra fjellet i sørøst. Nordøst på avsetningen er det i dag en nedlagt militærleir. En motorsportbane er etablert på tidligere tømmeplass for Melhus kommune. Langvatnet, beliggende nord på avsetningen, har intet utløp, men drenerer gjennom grunnen. Elven Kaldvella ble observert både vannfylt og tørr på to påfølgende dager.



**Figur 1:** Kvartærgeologisk kart over Melhus og Trondheim. Det undersøkte området er beliggende øst for Ler i Gauldalen, merket med rødt på kartet. Kartet viser at det undersøkte området er en breelv-/bresjøavsetning (glasifluvialt) ([geo.ngu.no/kart/losmasse](http://geo.ngu.no/kart/losmasse)).

To profiler resistivitetsmålinger i kombinasjon med induisert polarisasjon (IP) ble målt i lengderetningen på avsetningen (nordøst-sørvest), mens et tredje profil ble målt på tvers av dalens retning (sørøst-nordvest, Figur 2).





Figur 2: Oversikt over profiler målt på Fremo. Profil 1 og 3 går fra nordøst mot sørvest, mens profil 2 er et tverrprofil fra nordvest mot sørøst. (Brønnedata fra Storrø 2000).

## 1.2 Tidligere arbeid

Tidligere seismiske undersøkelser viser at dybden ned til fjell kan være så mye som 200 meter (Hillestad, 1988). Dybden til grunnvann ved Fremo vannverk er ca. 25 meter (Vannverket er beliggende på 185 m o.h.). Pumpebrønn 2, boret i 1984 på den tidens tømme plass for Melhus kommune (nå motorsportsbane), er 22 meter dyp med en høyde på 168 m o.h. (Andersen, 1985). Det naturlige grunnvannsnivået for Klæbu hovedvannforsyning ligger systematisk 3.8 meter høyere enn Fremo vannverk. Medianvannstanden for Klæbus nye vannverk i perioden 1985 til 1999 var 165.9 m o.h. Laveste registrerte vannstand under prøvepumping i 1999 var 161.9 m o.h. (Storrø 2000). Klæbu nye vannverk er beliggende nordøst for starten på profil 1, mens Fremo vannverk er beliggende nord for profil 1.

## 2. METODEBESKRIVELSE

### Målemetoder

Ved denne undersøkelsen ble det foretatt måling av 2D resistivitet og Indusert Polarisasjon (IP). I det følgende blir metodene og utførelse kort beskrevet. En mer utførlig beskrivelse av metodene finnes på <http://www.ngu.no/no/hm/Norges-geologi/Geofysikk/Bakkegeofysikk>. Resistivitetmålinger kartlegger variasjoner i resistiviteten i bakken. Indusert polarisasjon er opprinnelig en metode for kartlegging av metalliske malmer, men kan også gi respons på leire. Det er påvist IP-anomalier i løsmasser ved flere undersøkelser, men årsak til disse anomaliene er ikke fullstendig forstått (Dahlin et. al. 2013).

### Utførelse

Måledata ble innsamlet med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høgskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993). Systemet består av et Terrameter ABEM-LS (ABEM 2012), og to eller fire multi-elektrode kabler. Ved denne undersøkelsen ble det benyttet fire kabler med 10 meters elektrodeavstand og Gradient elektrodekonfigurasjon. Dybderekkevidden er da ca. 130 meter. Oppløsningen, og dermed nøyaktigheten, er størst i den øvre halvdelen av seksjonen. Hele systemet kan forlenges langs profilet slik at utstrekningen av et profil i prinsippet er ubegrenset.

Strøm ble sendt ut i pulser på 1 sekund og alternerende polaritet. Målingen av resistivitet (enhet ohmm eller  $\Omega\text{m}$ ) startet 0.4 sekunder etter at strømmen ble slått på og måletiden var 0,6 sekund. Indusert polarisasjon ble målt 10 ms etter strømbrudd i 8 tidsvindu på 20, 40, 60,

80, 120, 160, 200 og 280 ms. Integrert IP-signal over tid med enhet mV, normaliseres mot resistivitetssignalet (mV) og får enheten ms. Det er også vanlig å uttrykke IP-effekten som mV/V.

Ideelt sett burde måling av induert polarisasjon vært utført med "ikke polariserbare elektroder", og ikke stålelektroder som ble benyttet i dette tilfellet. Dette ville i så fall komplisere og forsinke målingene i betydelig grad. Forskning har vist at IP kan måles med stålelektroder under forutsetning av at strømstyrken kan opprettholdes på et høyt nivå (>50 mA, Dahlin et. al. 2002).

Profilenes beliggenhet er innmålt med håndholdt GPS (databilag 1)

### **Strømstyrke og datakvalitet.**

Strømstyrken for mesteparten av målingene lå mellom 50 og 200 mA.

Datakvaliteten er gjennomgående god for resistivitetsdataene. Ved robust inversjon, som er benyttet i inverteringen av de innsamlede profilene, oppgis en Abs.error. Abs.error er beregnet ut fra absolutte verdier og angir i hvilken grad inversjonen var vellykket. Verdien for Abs.error varierer mellom 1.2 og 7.7 og anses derfor som meget bra.

Indusert Polarisasjon gir et klart bilde av grunnen, og er i denne rapporten benyttet bl.a. for å påvise hvor berggrunnen er.

### **Inversjon**

Ved alle resistivitetmålinger måles en tilsynelatende resistivitet. Denne representerer et veid middel av alle resistiviteter som er innenfor målingens influensvolum. For å finne den spesifikke resistivitet i ulike deler av undergrunnen må data inverteres. Dette utføres ved at bakken 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.

Resistivitetmålingene ble invertert ved bruk av dataprogrammet RES2DINV (Loke 2011). Det ble gjort forsøk med forskjellige inversjonsmetoder (Least square og Robust) og det ble eksperimentert med forskjellige inversjonsparametre, dempningsfaktorer og forskjellige filtre.

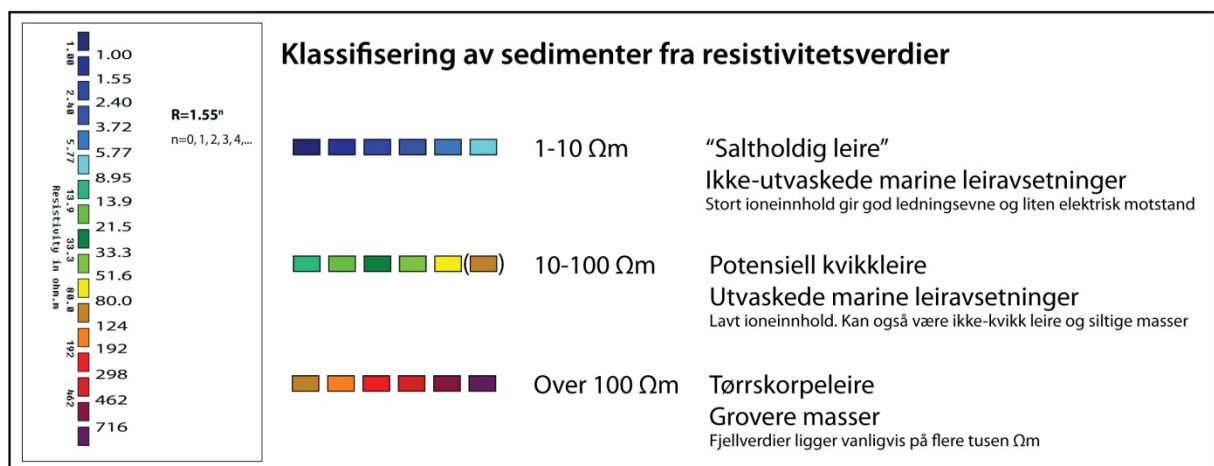
Dette ga ikke noen endringer i hovedtrekkene i de inverterte profilene, men mindre avvik i detaljer. Det er benyttet vertikal/horisontal-filter 0.5, noe som gjør at horisontale strukturer, slik som grunnvannsnivået, fremheves.

### 3. KLASSIFISERING AV SEDIMENTER

Måleområdet består av en stor glasifluvial avsetning. Ut fra undersøkelser i tverrsnitt skapt ved grusuttak vises grove sedimenter, som stein og blokk, dominerer i et tykt topplag. Dypere i sekvensen er gradvis finere sand og grus til stede.

Tørre og grove masser vil ha mellomrom fylt av luft som gir en høy resistivitet, opp mot og over 4000  $\Omega\text{m}$ . Dette gjør det ikke mulig å skille mellom tørre/grove masser og fast fjell, som vil ha omtrent lik verdi for resistivitet. Denne resistivitetsverdien preger de øvre 10-20 meter av samtlige profil. Resistiviteten i ferskvann er betydelig lavere enn luft, og vannmettede masser vil slik ha en lavere resistivitet enn tørre masser. Det er denne studiens mål å bestemme dette skillet.

Vest for Fremoavsetningen, mot Ler sentrum, er det i tidligere undersøkelser funnet store deler av marin leire, både bevart og utvasket (kvikkleire) (Solberg og Dalsegg 2012). Marin leire vil ha en resistivitet på 1-10  $\Omega\text{m}$ , og det er tidligere antatt at den strekker seg under avsetningen. Utvasket (kvikk) leire vil mangle de ionebindingene som holder marin leire sammen, og har derfor en noe høyere resistivitet, 10-100  $\Omega\text{m}$ . Leirig morene, utvasket, men ikke kvikk leire og siltige sedimenter kan ha lik resistivitet som kvikkleire (Figur 3).



Figur 3: Klassifisering av sedimenter ved bruk av standard NGU fargeskala (Fra Solberg et al 2010). På grunn av de høye resistivitetsverdiene er en annen fargeskala benyttet i profilene (se vedlegg).

## 4. RESULTATER

### 4.1 Resistivetsdata og induert polarisasjon Profil 1

Profil 1 er et av to langsgående profiler foretatt i denne undersøkelsen. Profilet starter mellom Fremo militærleir og Fremo vannverk, nordøst for motorbanen (Figur 2). Resistivetsplott er vist i vedlegg 1.

#### Resistivitet Profil 1

Den øvre delen av profilet er preget av løsmasser med stor resistivitet, over 3000  $\Omega\text{m}$ . Flere grustak i området mot elven Kaldvella viser et topplag av grove sedimenter (blokk og grov grus). Sand og grus beliggende under dette topplaget utvinnes. Stein og blokk gir høye verdier for resistivitet, med mindre det er vannmettet. På grunn av den grove kornstørrelsen vil massene i topplaget ikke binde vannet som drenerer gjennom.

Profilet viser flere mindre felter med lavere resistivitet, for eksempel på koordinat 100, 500 og 920. Den førstnevnte er resultatet av myr som gir god ledningsevne, og slik en lavere resistivetsverdi. Myra er tydelig på overflaten, og kan være resultatet av en gjenfylt dødisgrop. Under myra er et lag med høyere resistivitet, og myra kan eventuelt være resultatet av et hengende vannspeil, slik som er tilfellet for Langvatnet. Rundt koordinat 500 er et lite felt med lavere resistivitet på ca. 15 meters dybde. Området er lokalisert rett sør for motorbanen, og kan være på grunn av den nå gjenfylte tømmeplassen for Melhus kommune, eller en sideeffekt av denne fyllingen. Ved koordinat 920 er et område med lavere resistivitet i overflaten. Flybilder viser en fylling, sannsynligvis i forbindelse med grusuttak og bygging av anleggsvei. Bortsett fra de tre små resistivetsanomalierne er resistiviteten over grunnvannsnivået homogent. Det indikeres ikke nyanser som kan benyttes for tolkning av gruskvalitet, noe som antyder en meget homogen massesammensetning eller utilstrekkelig oppløsning ved 10 meters elektrodeavstand.

Dybden til grunnvannet er bestemt ut fra det skarpe resistivets skillet som tydelig trer frem på ca 1200-1600  $\Omega\text{m}$ . Tidligere borede observasjonsbrønner er rapportert i området rundt Fremo militærleir, ved Langvatnet (Andersen 1985, se figur 2), samt på tidligere tømmeplass, nå motorsportbane. Observasjonsbrønnen nærmest Langvatnet viser et grunnvannsnivå på 13.5

m, mens de resterende brønnene viser et grunnvannsnivå på omtrent 20-24 m dybde. Alle observasjonsbrønnene eller pumpebrønnene er lengre enn 150 meter fra profilet. Mot nordøst i profilet antas en dybde ned til grunnvannsnivået på ca. 25 meter. Grunnvannsnivået fremstår svakt undulerende med en senkning mot sørvest, utover i dalen. Der profil 1 krysser profil 2 er grunnvannsnivået tolket til ca. 35 meters dybde. Dybden på de ulike profilene samsvarer godt der de krysser. Ved Fremo gård, ca. ved koordinat 1800, er grunnvannsnivået på ca. 55 meters dybde. Sørvest for Fremo gård er et større grusuttak som ikke har nådd ned til grunnvannsnivået. Det er større usikkerhet knyttet til dybden på grunnvannsnivået ved Fremo gård enn lengre mot nordøst og Langvatnet. Sammenlignet med høyden på elva Kaldvella er den antatte dybden på grunnvannsnivået lavere enn selve elva, og elva er kun en flomelv. Av praktiske hensyn vil utvinning av grus ikke foregå lavere enn grunnvannsnivået, noe som kan gi en antydning på hvor dypt grunnvannsnivået er beliggende. Det er mulig grunnvannsnivået ved Fremo gård er noe grunnere enn hva resistivitetsmålingene antyder da det i andre tilfeller ville være lavere enn bekken Kaldvella.

Under grunnvannsnivået antas det å være finere materiale enn det som er tilfellet i topplaget, basert på observasjoner i grustak. Grunnvannsnivået kan variere noe på bakgrunn av nedbørsmengde, og vil videre variere noe i høyde. Det er i tidligere arbeid vist at Langvatnet drenerer gjennom avsetningen mot sørvest (Andersen 1985).

Resistiviteten når ikke ned til eventuell marin leire som kan være under grusavsetningen, og når derfor heller ikke ned til fjell. Sistnevnte er bestemt til en dybde på omtrent 200 meter basert på refraksjonsseismikk (Hillestad, 1988). Marin leire skal finnes direkte ovenpå fjellet, men tydeligvis ikke i så store mektigheter som man kan få inntrykk av distalt for Fremoavsetningen (Solberg og Dalsegg 2012). Det er mulig dreneringen og utbyggingen av Fremoavsetningen har startet forholdsvis tidlig etter tilbakesmeltingen av ismarginen.

### **Indusert Polarisering Profil 1**

Indusert polarisasjon er målt samtidig med resistivitetsmålingen og vises i vedlegg 2. Profilet domineres av lave IP-verdier, med kun noen få lokaliteter med forhøyet verdier. Ved koordinat 350, beliggende ved tidligere tømme plass, observeres forhøyet IP-verdi her kan være sideeffekt. Forurenset grunnvann og metallrester i grunnen som følge av tømme plass kan være utslagsgivende for denne typen anomalier. Det kan derimot ikke sees utslag ved samme koordinat på resistivetsprofilet.

Høyere verdier for IP observeres ved koordinat 920, der det også er utslag på resistivetsprofilen. Anleggsfylling er tidligere i rapporten blitt foreslått som en forklaring på en slik anomali, eventuelt en sideeffekt.

Helt sørvest i profilen kan også en forhøyet IP-verdi observeres i det som sannsynligvis er skillet der grus og stein møter marin leire. Det er vanskelig å skille mellom de grove grusmassene og berggrunnen. Det kan derfor ikke utelukkes at nedre del av plottet representerer berggrunn under løsmassene.

## **4.2 Resistivetsdata og induert polarisasjon profil 2**

Profil 2 er et tverrprofil som krysser elva Kaldvella, orientert fra nordvest mot sørøst (Figur 2). Resistivitet langs profilen er vist i vedlegg 3 og induert polarisasjon i vedlegg 4. Observasjoner av berggrunn ble gjort ved en høyde på koordinat 180 i nordvest. Det er ikke mulig å skille mellom grove, tørre masser og berggrunn på grunn av sammenfallende resistivetsverdier. Berggrunnen ble observert lengst i sørøst ved koordinat 1540.

### **Resistivitet profil 2**

Den samme høye resistivetsverdien i topplaget observeres også i dette profilen, slik som i de andre to profilene, og er gitt av grove masser over grunnvannsnivået. I sørøst fremkommer svært lave resistivetsverdier fra koordinat 1580 til koordinat 1700, delvis over marin grense på 180 m o.h. Dette området faller sammen med høye IP-verdier (se senere) og den lave resistiviteten tolkes til å være forårsaket av elektronisk ledende mineraler (sulfider, oksider eller grafitt).

Profil 2 viser stor variasjon i dybde mellom høye og lave resistivetsvariasjoner, spesielt i midten av profilen på nordsiden av elven Kaldvella. De vertikale variasjonene forekommer i midten av dalen, og kan ha sammenheng med et tidligere vannløp som har erodert finere materiale og avsatt grovere materiale eller tidligere dødisgroper som senere ble gjenfylt. Resistivetsdata antyder at grunnvannsnivået følger til en viss grad grensen mellom fine sedimenter under og det grovere, tørre topplaget øverst. Finere masser vil generelt ha en dårligere permeabilitet enn grovere masser som gjør at vannet blir stående i de finere massene. Det er vanskelig å bestemme det eksakte grunnvannsnivået i dette området.

Flere mindre områder med lave verdier for resistivitet finnes i profilet ved koordinat 240, 600 850 og i slutten av profilet (tidligere omtalt). Ved koordinat 240 finnes våtere områder ved en skistadion. Flere mindre bekker renner utover dalen, men det er ikke observert hvordan de reguleres i forhold til nedbør, slik som Kaldvella. Ved koordinat 600 finnes ingen tegn til tydelig forhøyning eller grunner for at en lavere resistivitet skal bli målt, annet enn en gruslagt plass like ved. Anomalien kan være et resultat av sideeffekter. Lokaliteten ved koordinat 850 kan være en fylling forbundet med nærliggende grusutvinning, men det observeres ikke tydelige tegn på overflaten. Høye resistivitetsverdier finnes både over og under laget med lavere resistivitetsverdier.

Grunnvannsnivået er bestemt ut fra de verdier som samsvarer med de kryssende profilene sammen med resistivitetsdataene som er fremkommet i dette profilet. Kaldvella er en flombekk, og det antydes at grunnvannsnivået går opp mot dette punktet.

### **Indusert Polarisasjon profil 2**

Indusert polarisasjon for profil 2 er vist i vedlegg 4. På begge sidene av dalen kan det observeres høye IP-verdier, noe som antyder mineralisert berggrunn. Både resistivitetsdata og seismiske data viser store dybder til fast fjell, og de forhøyede IP-verdiene i midten av profilet er derfor i løsmassene. Årsaken til slike anomalier i løsmasser er ikke kjent (Dahlin 2013). Det er ikke mulig å skille mellom berggrunn og grove, tørre løsmasser på bakgrunn av kun resistivitetsdata. Dette er mulig å bestemme overgangen mellom berggrunnen og løsmasser både i den nordvestlige og sørøstlige delen av profilet, basert på en forhøyet IP-verdi. Den forhøyede IP-verdien i sørøst i profilet bidrar til å tro at de lave resistivitetsverdiene beskrevet tidligere i rapporten er forårsaket av ledende mineraler. Den tidligere nevnte resistivitetsverdien ved koordinat 240 kan også være forårsaket av ledende mineraler i fjell.

### **4.3 Resistivitetsdata og indusert polarisasjon profil 3**

Profil 3 er et langsgående profil fra nordøst mot sørvest som løper tilnærmet parallelt med profil 1 og krysser profil 2. Resistivitet langs profilet er vist i vedlegg 5 og indusert polarisasjon i vedlegg 6.



### **Resistivitet profil 3.**

Høye resistivitetsverdier er til stede i hele øvre del av profilet, med unntak av lengst mot sørvest der lavere verdier observeres. Sørvest i profilet vises lave resistivitetsverdier, tilsvarende marin leire. Dette var forventet basert på tidligere arbeid foretatt lengre vest (Solberg og Dalsegg 2012). Marin leire, med mulig kvikkleire på toppen er tilstede i de mest sørvestlige områdene, distalt for den fluviale avsetningen.

Flere steder langs profilets nedre kant kan en resistivitet ned mot 60  $\Omega\text{m}$  observeres. Dette kan være spor av leire avsatt før den glasifluviale avsetningen. Dybderekkevidden til resistivitetmålingene er dessverre for liten til å besvare dette entydig.

Grunnvannsnivået er bestemt klart og tydelig ut fra de målte resistivitetsdata og varierer fra 20-25 meter lengst mot nordøst, ned mot 60 meter i sørvest. Dybden på vannivået er bestemt ut fra nærliggende brønner og kryssende profiler.

### **Indusert Polarisering Profil 3**

IP-data for profil 3 er vist i vedlegg 6. IP-verdiene er moderate for hele profilet, noe som forventes i løsmasser. Det observeres imidlertid noe forhøyede verdier ved posisjon 700 og mellom posisjonene 1700 og 1900. Som tidligere diskutert, foreligger det ikke noen klar årsak til disse. Ved enden av profilet finnes et mindre anomalt område. Dette ligger på flanken på profilet og de inverterte måledata her er usikre.

## 5. DISKUSJON

Ved Langvatnet, lengst nordøst i undersøkelsesområdet, observeres den minste dybden ned til grunnvannsnivået. Dybden ned til grunnvannsnivået bestemmes til ca. 25 meter ut fra de målte profiler og de tidligere omtalte brønner ved Langvatnet. Ved å fastsette høyden på grunnvannsnivået basert på flere uavhengige undersøkelser anses usikkerheten for dybden som innenfor et par meter. Av en slik bestemmelse følger at skillet mellom de tørre og vannmettede massene fastsettes til omtrent 1200-1600  $\Omega\text{m}$ .

De tørre massene har en betydelig høyre resistivitet, mens de vannmettede har en resistivitet under 1200-1600  $\Omega\text{m}$ . Enkelte steder, slik som i nordøstlige del av profil 1, foregår det vertikale skillet mellom 3000  $\Omega\text{m}$  og 1000  $\Omega\text{m}$  over kun noen få meter. Den tolkede skillelinje, og på den måten dybden til grunnvannsnivået, kan derfor bestemmes forholdsvis nøyaktig. Andre steder i profilene kan dette skillet være mer uklart, og dybden til grunnvannsnivået har en større usikkerhet. En av grunnene for denne usikkerheten kan være variasjoner i resistiviteten over eller under grunnvannsnivået langs profilet, som igjen påvirker resistivitetsverdien for grunnvannsnivået. En annen faktor kan være at grunnvannsnivået er over eller under skillet mellom grovere og finere masser. Grunnvannet vil bidra til en lavere resistivitet på de grovere massene, som likevel ikke får en verdi så lav som dersom grunnvannsnivået følger skillet mellom grove og finere masser.

Grunnvannsnivået er en undulerende overflate uten store vertikale variasjoner på korte avstander, noe som bekreftes av profil 1 og 3. Profil 2 viser derimot til tider store vertikale variasjoner på resistiviteten over korte avstander, men det er lite sannsynlig at grunnvannet klarer å følge disse variasjonene i resistivitet. Det er mulig en tidligere breelv har erodert i avsetningen og dannet tykkere avsetninger av grovt materiale midt på avsetningen. Vannføringen må da ha vært av en slik størrelse at det ville erodert under erosjonsbasis. Grunnvannsnivået er derfor blitt tolket som en undulerende overflate, og skjærer delvis gjennom områder med høy resistivitet. Eventuelt kan de høye resistivitetsverdiene skyldes dødigrøper som senere er blitt gjenfylt. Sørøst langs profil 2 er et mindre, vått område, rett før stigningen opp mot dalsiden i sør. Profil 2 går på tvers av dette området, men det er usikkert hva som forårsaker denne samlingen av vann. Flere muligheter finnes, for eksempel en mindre fjellterskel som holder på vannet, mye tilsig fra fjellet som ikke drenerer vekk på

grunn av mindre kornfraksjoner eller en mindre samling av leire vann ikke klarer å drenere gjennom. Resistivitetsdataene gir ingen entydige svar, men viser en lav resistivitet også oppover fjellsiden. Resultatet av IP-målingene i profil 2 viser at berggrunnen er til stede og de lave resistivetsverdiene må være forårsaket av elektronledende mineraler (Sulfider, Oksider eller grafitt).

Dybden ned til grunnvannsnivået øker mot sørvest, og blir på det meste tolket til å være opp mot 60 meter på den vestlige kanten av avsetningen. For å bekrefte eller justere denne høyden kan målinger i bunnen av grustakene vest på avsetningen foretas. Grus vil generelt ikke utvinnes under grunnvannsnivået, av praktiske årsaker.

Profil 3 viser i sørvest at leire er til stede distalt for avsetningen. Under feltarbeidet ble profil 3 lagt over den nedre delen av Kaldvella. På den østlige skråningen ned mot bekken var massene tydelig preget av sand og grus, mens det på den vestlige var leire. Kaldvella har erodert ned mellom den glasifluvale avsetningen i øst og leire i vest. Av profil 3, fra koordinat 2050, vises at leira ligger ovenpå grovere materiale, noe som kan antyde at det den er avsatt etter den glasifluviale avsetningen. Samtlige profiler viser en lavere resistivitet under avsetningen, men dette er på en dybde som kan være forbundet med en del usikkerhet i målingene. Om det finnes leireavsetninger under den glasifluviale grusen avsatt på Kaldvella er usikkert, men må i tilfelle ligge på et betydelig dyp.

## 6. KONKLUSJONER

Et tydelig skille mellom høye og lavere resistivitet vises i alle profilene. Den øvre delen viser resistivitetsverdier tilsvarende grovere og tørre masser, med unntak av vestligste del av profil 3 (fra koordinat 2050) der det er påvist leire som gir en meget lav resistivitet. Målemetoden har ikke dybderekkevidde til å bestemme om leiravsetninger også er til stede under grusavsetningen. Den lavere resistiviteten, som ligger dypere, viser resistivitetsverdier som kan tilsvare vannmettet grus og sand.

Ved sammenstilling av profilene er det kortere ned til det grunnvannsnivået øverst i dalen, mot Langvatnet. Dybden i området sørvest for Langvatnet tilsvarer omtrent den samme dybden angitt ned til grunnvannet i tidligere arbeider (Andersen, 1985). Det øvre topplaget, som ikke er vannmettet, har en resistivitet på opp mot og stedvis over 3000 ohm. m. Under grunnvannsnivået er resistivitetsverdien på under 1000 ohm.m.

Formålet med denne undersøkelsen er å anslå hvor dypt grunnvannsnivået er, samt å se hvordan det varierer på den store glasifluviale avsetningen på Fremo. For å kunne bestemme dybden med større sikkerhet er det behov for å bore observasjonsbrønner, men det er grunn å anta at grunnvannsnivået varierer noen meter avhengig av mengde nedbør over tid.

## 7. REFERANSER

ABEM 2012: ABEM Terrameter LS. Instruction manual. ABEM 20120109, based on release 1.10. ABEM, Sverige.

Andersen, A-B. 1985: Grunnvannsundersøkelser i Kaldvelladalen. Melhus kommune. NGU Foreløpig rapport. 85.006.

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.

Dahlin, T., Leroux, V. & Nissen, J. 2002: Measuring techniques in induced polarization imaging. Journal of Applied Geophysics 50, 279-298.

Dahlin, T., Löfroth, H., Schälin, D. & Suer, P. 2013: Mapping of quick clay using geoelectrical imaging and CPTU-resistivity. Near Surface Geophysics, 659-670.

Hillestad, G. 1988: Refraksjonsseismiske målinger i Kaldvelladalen, Melhus. NGU. Rapport 88.040.

Solberg, I-L., Hansen, L., Rønning, J. S., Dalsegg, E. 2010: Veileder for bruk av resistivitetmålinger i potensielle kvikkleireområder. Versjon 1.0. NGU. Rapport 2010.048.

Solberg, I-L., Dalsegg, E. 2012: Resistivitetmålinger for løsmassekartlegging i Kaldvelladalen og ved Fallan i Melhus kommune, Sør-Trøndelag. Data og tolkninger. NGU. Rapport 2012.013.

Storrø, G. 2000: Grunnvannsundersøkelser for Klæbu nye vannverk på Fremo i Melhus Kommune. NGU. Rapport 2000.054.

Loke, M. H. 2011: RES2DINV ver. 3.59.102. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual. [www.geoelectrical.com](http://www.geoelectrical.com)



## **VEDLEGG OG DATABILAG**

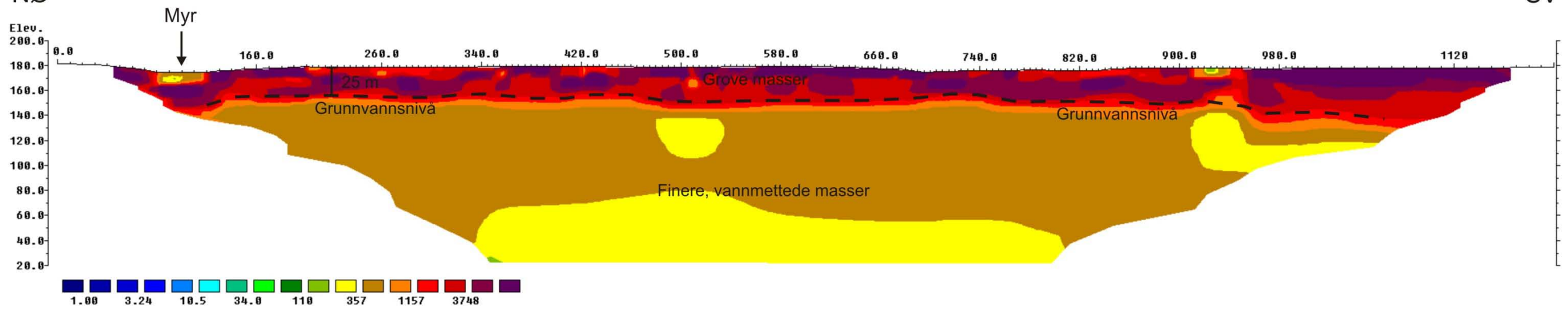




VEDLEGG 1: PROFIL 1

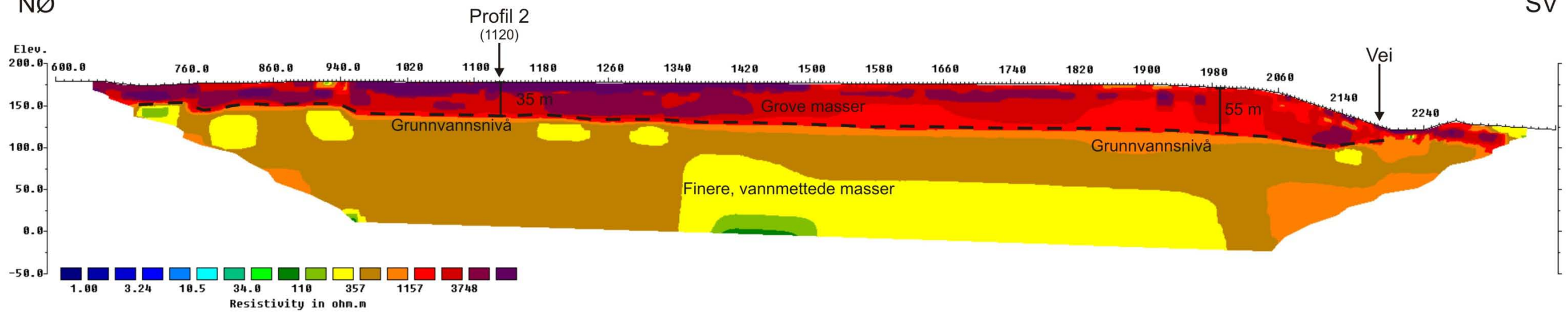
Fremo

Profil 1A  
NØ



Robust Inversjon  
 V/H-filter: 0,5  
 Dempingsfaktor: min. 0.005/maks. 0.1  
 Gradient elektrodekonfigurasjon  
 Elektrodeavstand 10 m.  
 Profil 1 (0-1200 m.)  
 Iterasjon 5 Abs. error = 1.4

Profil 1B  
NØ



Robust Inversjon  
 V/H-filter: 0,5  
 Dempningsfaktor: min.0.005/maks. 0.1  
 Gradient elektrodekonfigurasjon  
 Elektrodeavstand 10 m.  
 Profil 1 (600-2400 m.)  
 Iterasjon 7 Abs. error = 1.5

--- Tolket grunnvannsnivå



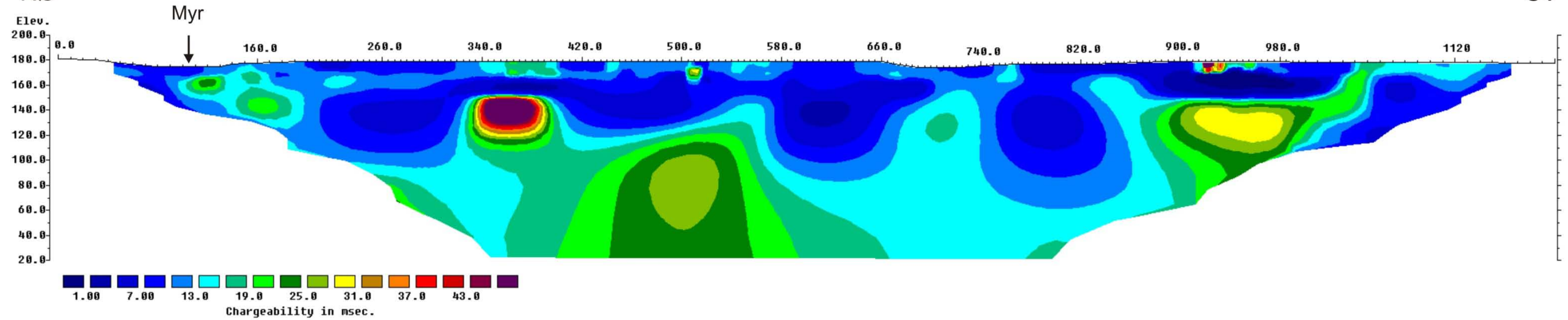
VEDLEGG 2: PROFIL 1 - IP

Fremo

Induced Polarization - IP

Profil 1A - IP  
NØ

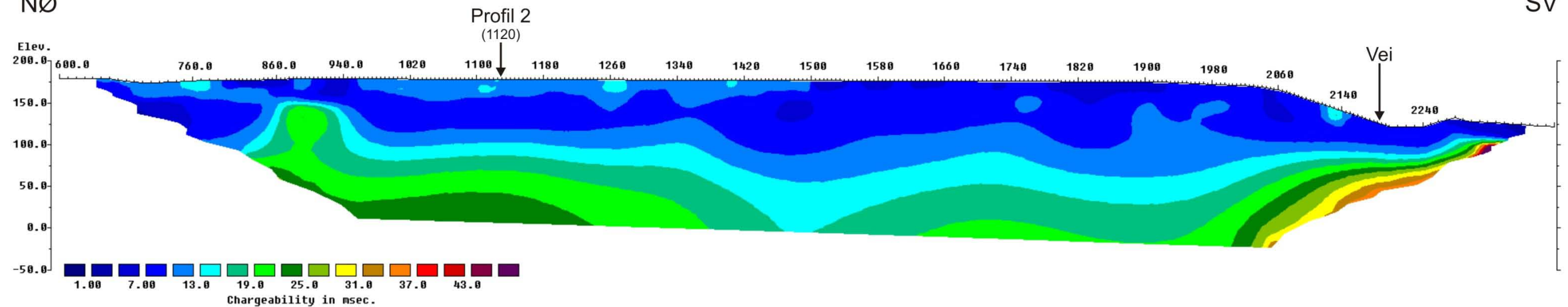
SV



Robust Inversjon  
V/H-filter: 0,5  
Dempningsfaktor: min. 0.005/maks. 0.1  
Gradient elektrodekonfigurasjon  
Elektrodeavstand 10 m.  
Profil 1 (0-1200 m.)  
Iterasjon 5 Abs. error = 1.4

Profil 1B - IP  
NØ

SV



Robust Inversjon  
V/H-filter: 0,5  
Dempningsfaktor: min.0.005/maks. 0.1  
Gradient elektrodekonfigurasjon  
Elektrodeavstand 10 m.  
Profil 1 (600-2400 m.)  
Iterasjon 7 Abs. error = 1.5

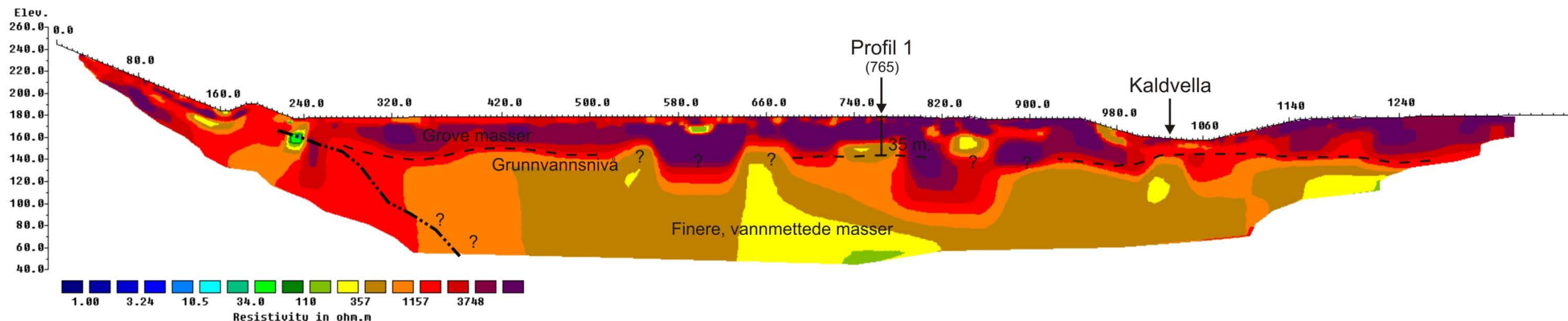


VEDLEGG 3: PROFIL 2

Fremo

Profil 2A  
NV

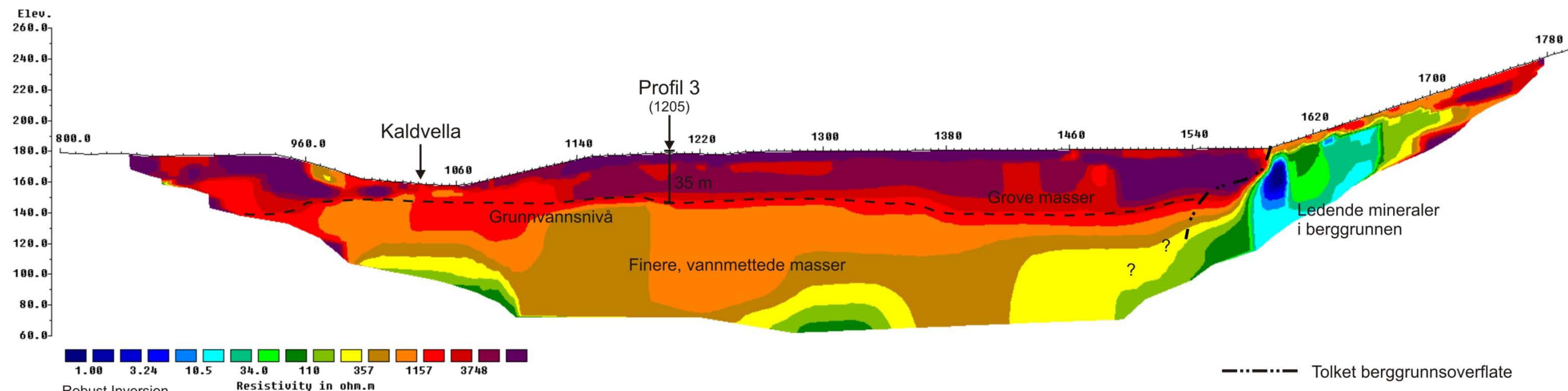
SØ



Robust Inversjon  
V/H-filter: 0,5  
Dempingsfaktor: min. 0.005/maks. 0.1  
Gradient elektrodekonfigurasjon  
Elektrodeavstand 10 m.  
Profil 1 (0-1200 m.)  
Iterasjon 5 Abs. error = 1.4

Profil 2B  
NV

SØ



Robust Inversjon  
V/H-filter: 0,5  
Dempningsfaktor: min.0.005/maks. 0.1  
Gradient elektrodekonfigurasjon  
Elektrodeavstand 10 m.  
Profil 1 (600-2400 m.)  
Iterasjon 7 Abs. error = 1.5

----- Tolket berggrunns-overflate  
- - - - Tolket grunnvannsnivå



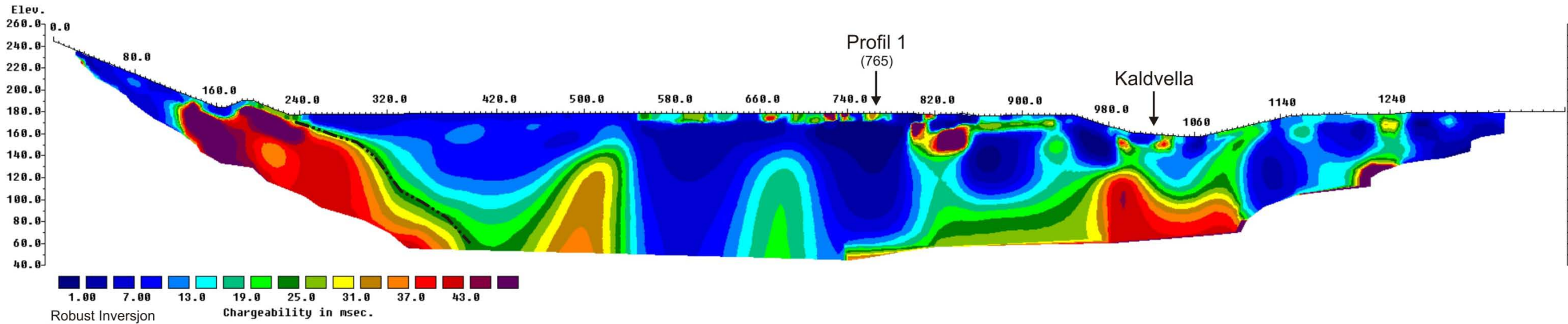
VEDLEGG 4: PROFIL 2 - IP

Fremo

Induced Polarization - IP

Profil 2A - IP  
NV

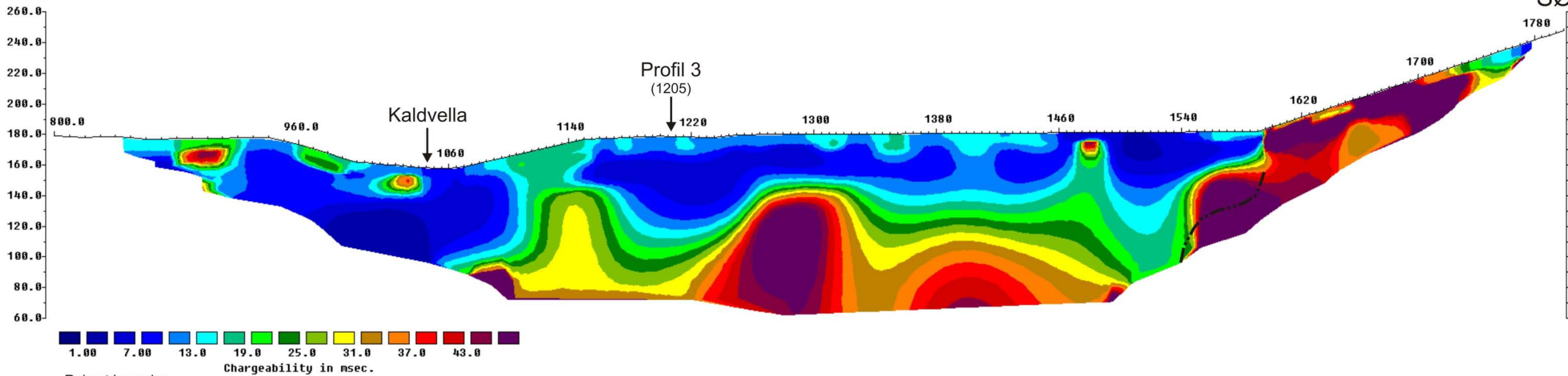
SØ



Robust Inversjon  
V/H-filter: 0,5  
Dempingsfaktor: min. 0.005/maks. 0.1  
Gradient elektrodekonfigurasjon  
Elektrodeavstand 10 m.  
Profil 1 (0-1200 m.)  
Iterasjon 5 Abs. error = 1.4

Profil 2B - IP  
NV

SØ



Robust Inversjon  
V/H-filter: 0,5  
Dempningsfaktor: min.0.005/maks. 0.1  
Gradient elektrodekonfigurasjon  
Elektrodeavstand 10 m.  
Profil 1 (600-2400 m.)  
Iterasjon 7 Abs. error = 1.5

----- Tolket berggrunnsoverflate

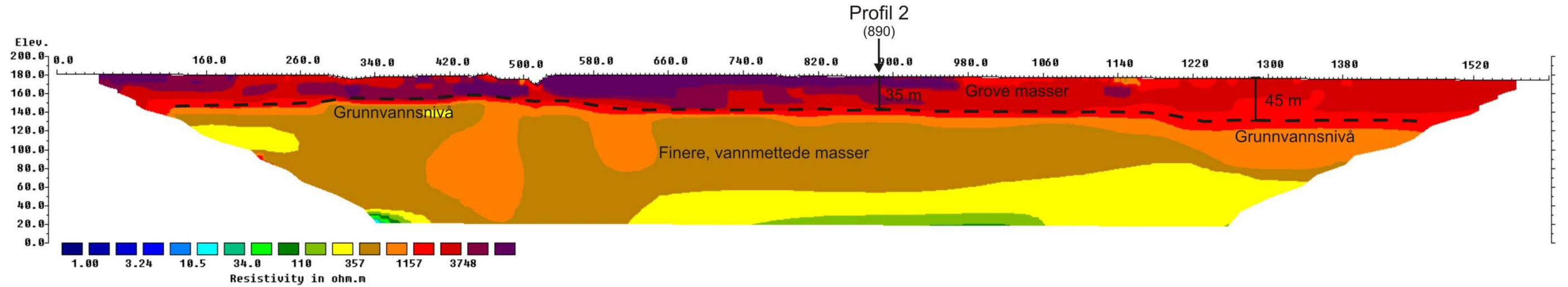




# Fremo

Profil 3A  
NØ

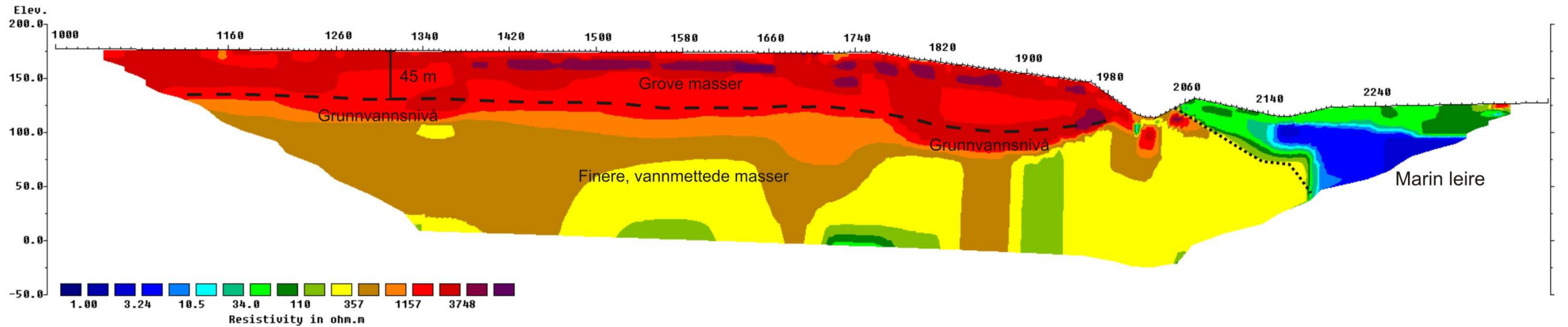
SV



Robust Inversjon  
 V/H-filter: 0,5  
 Dempingsfaktor: min. 0.005/maks. 0.1  
 Gradient elektrodekonfigurasjon  
 Elektrodeavstand 10 m.  
 Profil 1 (0-1200 m.)  
 Iterasjon 5 Abs. error = 1.4

Profil 3B  
NØ

SV



Robust Inversjon  
 V/H-filter: 0,5  
 Dempningsfaktor: min.0.005/maks. 0.1  
 Gradient elektrodekonfigurasjon  
 Elektrodeavstand 10 m.  
 Profil 1 (600-2400 m.)  
 Iterasjon 7 Abs. error = 1.5

----- Tolket skille marin leire  
 - - - - Tolket grunnvannsnivå



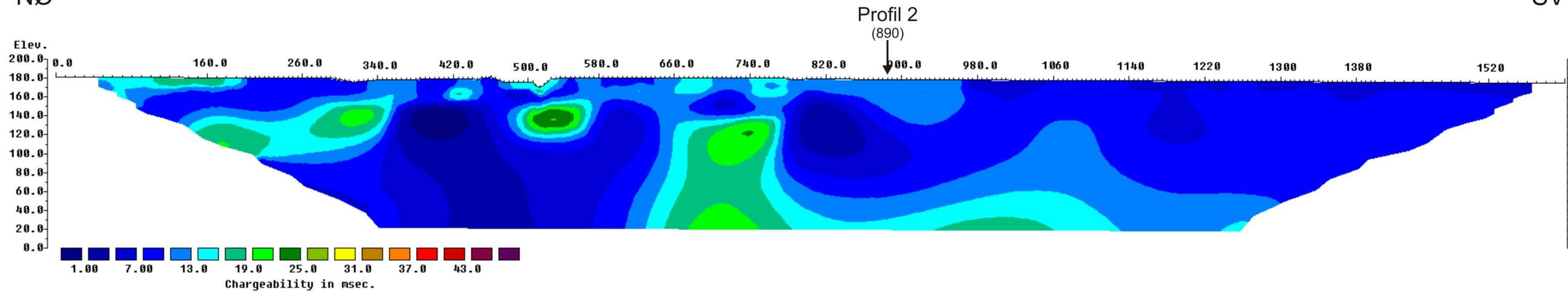
VEDLEGG 6: PROFIL 3 - IP

Fremo

Induced Polarization - IP

Profil 3A - IP  
NØ

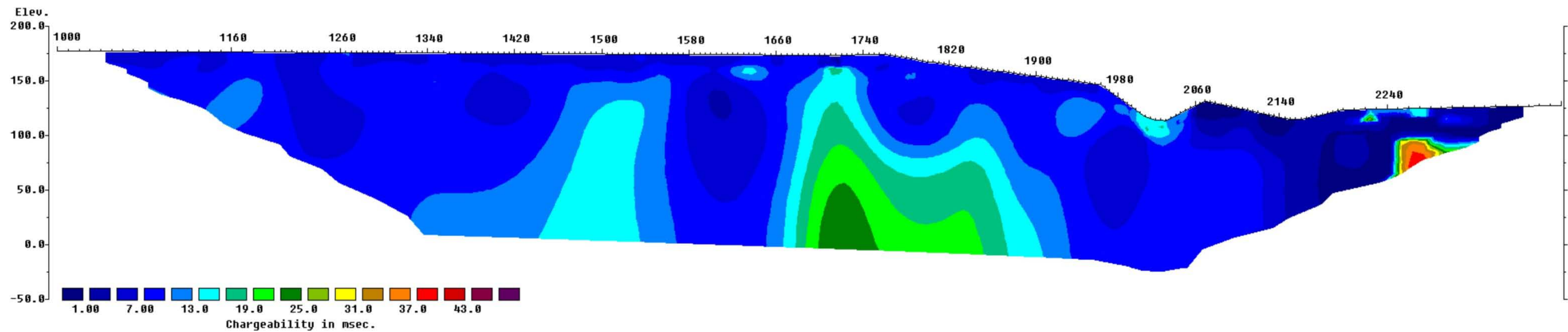
SV



Robust Inversjon  
V/H-filter: 0,5  
Dempingsfaktor: min. 0.005/maks. 0.1  
Gradient elektrodekonfigurasjon  
Elektrodeavstand 10 m.  
Profil 1 (0-1200 m.)  
Iterasjon 5 Abs. error = 1.4

Profil 3B - IP  
NØ

SV



Robust Inversjon  
V/H-filter: 0,5  
Dempningsfaktor: min.0.005/maks. 0.1  
Gradient elektrodekonfigurasjon  
Elektrodeavstand 10 m.  
Profil 1 (600-2400 m.)  
Iterasjon 7 Abs. error = 1.5



## DATABILAG PROFIL 1

### Målepunkter

Avstand	Sone	X	Y
0	32	570119	7010202
200	32	569987	7010057
400	32	569843	7009919
600	32	569681	7009805
800	32	569519	7009690
1000	32	569337	7009624
1200	32	569174	7009513
1400	32	568996	7009449
1600	32	568811	7009364
1800	32	568631	7009281
2000	32	568453	7009191
2200	32	568270	7009134
2400	32	568085	7009089

### Høydedata

Avstand	Høyde (m o.h.)
0	181
30	180
75	175
130	175
135	177
200	179
400	179
600	179
660	179
670	177
690	174
715	174
770	177
830	177
890	179
1915	175
2030	170
2062	165
2204	120
2207	121
2250	121
2268	132
2280	132
2308	125
2314	127
2400	121

## DATABILAG PROFIL 2

### Målepunkter

Avstand	Sone	X	Y
0	32	568613	7009940
200	32	568779	7009849
400	32	568936	7009743
600	32	569106	7009636
800	32	569273	7009542
1000	32	569399	7009402
1200	32	569520	7009254
1400	32	569633	7009095
1600	32	569761	7008945
1800	32	569918	7008862

### Høydedata

Avstand	Høyde (m o.h.)
0	245
160	185
170	185
185	191
195	191
200	189
230	178
345	179
800	179
820	178
845	179
860	177
930	178
945	178
1000	162
1050	158
1065	158
1150	177
1200	179
1235	178
1255	180
1590	182
1800	248

## DATABILAG PROFIL 3

### Målepunkter

Avstand	Sone	X	Y
0	32	570218	7009777
200	32	570060	7009655
400	32	569897	7009542
600	32	569755	7009416
800	32	569598	7009304
1000	32	569433	7009187
1200	32	569277	7009064
1400	32	569116	7008946
1600	32	568958	7008827
1800	32	568811	7008687
2000	32	568639	7008556
2200	32	568523	7008458
2400	32	568369	7008332

### Høydedata

Avstand	Høyde (m o.h.)
0	181
290	180
300	178
315	176
340	178
400	179
440	179
445	178
450	180
460	181
475	176
505	176
513	170
516	170
530	179
540	180
775	180
790	178
800	179
1718	174
1760	175
1800	168
1960	147
2015	115
2027	114
2030	114
2070	132
2155	114
2200	124
2400	128







Norges geologiske undersøkelse  
Postboks 6315, Sluppen  
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse  
Leiv Eirikssons vei 39, 7040 Trondheim

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

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

*Visitor address  
Leiv Eirikssons vei 39, 7040 Trondheim*

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