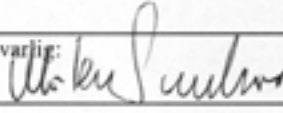


Rapport nr.: 2004.058		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: 2D resistivitet og georadarmålinger Ebbadalen og Wordiekammen, Billefjorden, Svalbard			
Forfatter: Einar Dalsegg, Harald Elvebakk og Jan Steinar Rønning		Oppdragsgiver: Norsk Hydro/CIPR/NGU	
Fylke: Svalbard		Kommune:	
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:100.000) C7 Dicksonfjorden	
Forekomstens navn og koordinater: Ebbadalen 536700 8738400 Wordiekammen 536700 8736200		Sidetall: 23 Kartbilag: 9	Pris: Kr. 285.-
Feltarbeid utført: 09.– 16.07. 2004	Rapportdato: 25.01. 2005	Prosjektnr.: 296104	Ansvarlig: 
<p>Sammendrag: I forbindelse med samarbeidsprosjekt med Norsk Hydro og CIPR (Centre for Integrated Petroleum Research) ved universitetet i Bergen, har NGU utført 2D resistivitet- og georadarmålinger i Ebbadalen og på Wordiekammen ved Billefjorden på Svalbard. Hensikten med undersøkelsene var å se om en med geofysiske målinger kunne påvise strukturer i karbonatbergarter med permafrost. Denne rapporten presenterer alle resultater fra undersøkelsen. En geologisk tolkning av disse resultatene må senere foretas i et samarbeid mellom de involverte parter.</p> <p>I løpet av de 7 dagene målingene pågikk ble det samlet inn ca 4 km resistivitetsdata fordelt på 4 profiler og ca 7 km georadardata fordelt på 24 profiler.</p> <p>Resistivitetsmålingene i Ebbadalen viser til dels meget lav resistivitet (< 100 Ω m) i de øvre lag men også mot dypet. I et område med permafrost skulle en ikke forvente så lave verdier. På dyp større enn 60 meter øker resistiviteten til verdier en kan forvente i permafrost (10 – 100 kΩm). På Wordiekammen er det i toppen påvist et tynt sjikt med relativt lav resistivitet (1 – 2 kΩ m) som kan relateres til den aktive sonen. I de dypere partiene varierer resistiviteten i området 10 til 100 kΩm som er forenlig med frossent fjell. I dette bildet finnes vertikale strukturer med resistivitet lavere enn 2 kΩm som kan relateres til kollapsstrukturer. Det er uklart hva som er årsak til de spesielt lave resistivitetsverdiene (<100Ωm) og det er derfor nødvendig med videre undersøkelser.</p> <p>Georadarmålinger med 4 forskjellige frekvenser (25, 50 100 og 200 MHz) langs ett og samme profil demonstrerer klart hvordan penetrasjonen avtar og oppløsningen øker med økende frekvens. På grunn av dette ble de to laveste frekvensene valgt for kartleggingen. Hastighetsanalyser på to punkter opp på Wordiekammen viser begge en gjennomsnittlig hastighet på 0,11 m/ns, og denne ble benyttet ved dybdekonvertering av data. På grunn av lav resistivitet var penetrasjonen nede i Ebbadalen mindre enn 5 meter. Oppe på Wordiekammen var maksimal penetrasjon på ca 40 meter med antennefrekvens 25 MHz. Her viser georadardata en detaljert avtegning av lagdeling og strukturer. Flere kollapsstrukturer indikeres, og disse synes delvis å være knyttet til soner med lavere resistivitet. Forsøk med migrering av opptakene viser at det kan være vel verdt å gjøre mer prosessering på data.</p> <p>Til tross for at både resistivitet og georadar har begrenset dybderekkevidde kan metodene bidra til å kartlegge kollapsstrukturer i karbonatbergarter.</p>			
Emneord: Geofysikk	Elektrisk måling	Georadar	
		Fagrapport	

INNHold

1.	INNLEDNING	4
2.	MÅLEMETODER OG UTFØRELSE	4
2.1	2D Resistivitet	4
2.1.1	Datainnsamling	4
2.1.2	Strømstyrke og datakvalitet	4
2.1.3	Inversjon	5
2.2	Georadar	5
2.2.1	Instrument og måleparametere	5
2.2.2	Prosessering	5
2.3	Posisjonering av profilene	6
3.	RESULTATER	6
3.1	2D Resistivitet	6
3.1.1	Ebbadalen	6
3.1.2	Wordiekammen	7
3.2	Georadar	12
3.2.1	CMP Hastighetsanalyse	12
3.2.2	Ebbadalen	15
3.2.3	Wordiekammen	15
4.	KONKLUSJON	16
5.	REFERANSER	18

FIGURER

Figur 1.	Ebbadalen. Modellert resistivitet profil 1.	8
Figur 2.	Ebbadalen. Modellert resistivitet profil 2.	9
Figur 3.	Wordiekammen. Modellert resistivitet profil 3.	10
Figur 4.	Wordiekammen. Modellert resistivitet profil 4.	11
Figur 5.	CMP2, rådata og hastighetsanalyse	13
Figur 6.	CMP4, rådata og hastighetsanalyse	14
Figur 7.	Migrert seksjon av profil W15	17

DATABILAG

Databilag 1: Innmålte profiler (ED-50).

TEKSTBILAG

Tekstbilag 1: Metodebeskrivelse for georadar.

KARTBILAG

- Kartbilag 2004.058-01: Oversiktskart 1 : 100 000.
- Kartbilag 2004.058-02: Oversiktskart 2D Resistivitetsmålinger 1: 25 000.
- Kartbilag 2004.058-03: Wordiekammen. Georadaropptak W2 og W3.
- Kartbilag 2004.058-04: Wordiekammen. Georadaropptak W5, W7, W3, W6, W2 og W14.
- Kartbilag 2004.058-05: Wordiekammen. Georadaropptak W10, W9, W8, W11, W12, W13 og W1.
- Kartbilag 2004.058-06: Wordiekammen. Georadaropptak W15.
- Kartbilag 2004.058-07: Wordiekammen. Georadaropptak W15, W16, W17 og W20.
- Kartbilag 2004.058-08: Wordiekammen. Georadaropptak W18 og W19.
- Kartbilag 2004.058-09: Ebbadalen. Georadaropptak P1, P2B, P3 og P4.

1. INNLEDNING

I forbindelse med samarbeidsprosjekt med Norsk Hydro og CIPR (Centre for Intergrated Petroleum Research) ved universitetet i Bergen, har NGU utført 2D resistivitet- og georadarmålinger i Ebbadalen og på Wordiekammen ved Billefjorden på Svalbard. Hensikten med undersøkelsene var å se om en med geofysiske målinger kunne påvise strukturer i karbonatbergarter med permafrost. Tidligere geologiske arbeider viser at det finnes kollapsstrukturer i karbonatene som er forårsaket av utvasking av underliggende evaporitter. Rundt Wordiekammen er disse blottet i fjellsidene. En kjenner imidlertid ikke til hvor hyppig de forekommer og heller ikke størrelse og form. Denne undersøkelsen ble gjennomført som et metodestudium for å se om 2D-resistivitet og georadar kan benyttes til denne type kartlegging.

Denne rapporten presenterer alle resultater fra undersøkelsen. En geologisk tolkning av disse resultatene må senere foretas i et samarbeid mellom de involverte parter.

Målingene ble utført av Jan Steinar Rønning og Einar Dalsegg fra NGU med assistanse av Walter Wheeler og Kristine Karoliussen fra CIPR i tiden 09.07 til 16.07 2004.

Beliggenheten av de undersøkte områdene framgår av kartbilag -01.

2. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

De målingene som ble foretatt var 2D resistivitet og georadar. I det følgende blir metoder og utførelse kort beskrevet.

2.1 2D Resistivitet.

2.1.1 Datainnsamling.

Måledata ble innsamlet med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høyskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993). Systemet består av en releboks (Electrode Selector ES464) og to eller fire multi-elektrode kabler som styres av et ABEM Terrameter SAS 4000 (ABEM 1999). Ved denne undersøkelsen ble det benyttet fire kabler med 10 meters elektrodeavstand. Dybderekkevidden er med denne elektrodeavstanden 130 til 140 meter, med størst oppløsning i de øverste 50 – 60 meterne. Den elektrodekonfigurasjon som ble benyttet på begge områdene var Dipol-Dipol.

2.1.2 Strømstyrke og datakvalitet

I Ebbadalen var jordingsbetingelsene stort sett meget gode, og strømstyrken var ved de aller fleste målingene 200 mA. På Wordiekammen var jordingsforholdene noe dårligere og strømstyrken varierte fra 20 til 200 mA. Datakvaliteten var for begge måleområdene meget god, med kun noen få målinger over akseptabelt støynivå. Disse ble slettet før prosessering.

2.1.3 Inversjon

Ved alle resistivitetsmålinger måles en tilsynelatende resistivitet. Denne representerer et veid middel av alle resistiviteter som er innenfor målingens influensområde. 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.

Resistivitetsmålingene ble invertert ved bruk av dataprogrammet RES2DINV (Loke 2001). Det ble gjort forsøk med forskjellig inversjonsmetoder (Least Square og Robust) og det ble eksperimentert med forskjellige inversjonsparametere, dempningsfaktorer og forskjellige filtre. Dette ga ikke noen endringer i hovedtrekkene i de inverterte profilene, men mindre avvik i detaljer.

2.2 Georadar

2.2.1 Instrument og måleparametere

En generell beskrivelse av georadarmetoden er gitt i tekstbilag 1. Målingene ble utført med digital georadar av typen pulseEKKO 100 (Sensors & Software Inc., Canada). Det ble benyttet 25 MHz og 50 MHz antenner og 1000 V sender. Ett profil ble i tillegg målt med 100 MHz og 200 MHz. Profilene er målt med total opptakstid fra 1000 - 1400 ns (Wordiekammen) og 400 eller 800 ns (Ebbadalen). Samplingsintervall var 1.6 ns og signalene ble summert 4, 8 eller 16 ganger (number of stacks) ved hvert målepunkt (posisjon). Antenneavstanden var 2 m og målepunktavstand 1 m ved 25 MHz og 1 m og 0.5 m ved 50, 100 og 200 MHz. Posisjonene øverst på opptakene angir hvilken retning det er målt (start er posisjon 0).

2.2.2 Prosessering

Opptakene er terrengkorrigert ved bruk av høydedata innmålt med differensiel GPS (Geodetisk datum ED50, se databilag 1). Kartgrunnlaget hadde målestokk 1 : 100 000 slik at inntegning av profilene på kart kan være noe unøyaktig. Det er benyttet SEC forsterkning av signalene (Spreading and Exponential Compensation). Ved dybdekonvertering må en benytte EM-bølgehastigheten til de underliggende masser. Denne kan bestemmes ved en hastighetsanalyse, CMP, som gir en gjennomsnittshastighet ned til de observerte reflektorer. Ellers kan en grovt bestemme hastigheten ut fra de masser en observerer. Vanntettede løsmasser har lavere hastighet (0.06 – 0.07 m/ns) enn tørr sand (0.12 m/ns). Dersom flere lag med ulike hastigheter opptrer, må en benytte en gjennomsnittshastighet. Dette kan føre til feil i angivelsen av tykkelse til de lag som avviker mye fra gjennomsnittshastigheten. CMP målinger på Wordiekammen viste en gjennomsnittshastighet på 0.11 m/ns. (se figur 5 og 6). Denne hastigheten er benyttet på alle profiler.

Migrering er utført på deler av profil W15. Migrering utføres for å fjerne diffraksjoner og få frem riktig fall på skrå reflektorer.

Penetrasjonsdypet (dybderekkevidden) er avhengig av den elektriske ledningsevnen i bakken og målefrekvens. Finstoff, og spesielt leire, vil dempe EM-bølgene raskt slik at underliggende lag ikke registreres. Lav frekvens gir størst penetrasjon, men oppløsningen avtar med synkende frekvens.

2.3 Posisjonering av profilene

Til posisjonering av profilene ble Magellan GPS ProMark X (DGPS) benyttet. Ved målingene på Wordiekammen ble Rudmosepynten benyttet som fastpunkt, mens det for målingene i Ebbadalen ble etablert et nytt basepunkt ved Skottehytta. Nøyaktigheten i målingene ved dette systemet er avhengig av måletid og satelittdekning. Selv om en benytter fast måletid vil en oppnå varierende nøyaktighet, da satelittdekningen vil variere i løpet av dagen.

Alle innmålte data er i geodetisk datum ED50, og angitt i databilag 1. Standardavviket som er et mål på målenøyaktigheten er for de fleste målingene i Ebbadalen mindre en 0.5 meter. For målingene på Wordiekammen er nøyaktigheten noe dårligere og for majoriteten av målingene ser standardavviket ut til å ligge i området 0.5 – 1m.

Koordinater og høyde for Rudmosepynten (ED-50): Nord 8734032.51 Øst 535876.88
Høyde 3m.

3. RESULTATER

Lokalisering av målte 2D Resistivitetsprofiler framgår av kartbilag –02, mens lokaliseringen av georadarprofilene framgår av kartbilagene 03 til 09.

3.1 2D Resistivitet

3.1.1 Ebbadalen

De inverterte resistivitetsdata fra profil 1 og 2 er vist på figurene 1 og 2. De viste seksjonene er produsert med Standard inversjon og vertikal-/horisontalfilter 1.

Profil 1 (figur 1) viser at de øverste 40 til 60 meterne er forholdsvis godt ledende med resistivitetsverdier i området 100 til 1000 ohmm. Videre mot dypet øker resistiviteten til over 100 kΩm. Tidligere målinger av resistivitet i alpine strøk (Hauck 2001) viser at dette er typiske verdier for isrik permafrost. Undersøkelser av permafrost i Norge viser også tilsvarende resultater (Hauck et. al., 2000 og Isaksen et al., 2001). Det er ikke kjent at det tidligere er utført tilsvarende målinger på Svalbard.

Ved koordinat 620 indikerer måledata et brudd i den høye resistiviteten på dypet. Dette kan skyldes en forkastningssone, men det kan også være lokale variasjoner i permafrosten.

Dette profilet er også målt med georadar. Som kartbilag –09 viser er penetrasjonen bare noen få meter, slik at målingene er til liten støtte for vurderingen av resistivitetsdata.

Profil 2 (figur 2) har mange likhetstrekk med profil 1. Også her er det et øvre lag på 40 til 50 meter med forholdsvis god ledningsevne. Dette godt ledende laget blir i øst erstattet med et øvre lag med vesentlig dårligere ledningsevne. Årsaken til dette er trolig at dette er en annen type avsetning med et større innslag av grovere masser.

På dypet er det i likhet med profil 1 indikasjoner på isrik permafrost. Fram til koordinat 960 ligger resistiviteten i området 100 k Ω m. Herfra og østover er resistiviteten merkbart lavere og lengst i øst er det indikert en sone med meget god ledningsevne (resistivitet lavere enn 100 Ω m) som kommer skrått opp mot koordinat 1040.

En påvist resistivitet i størrelsesorden 100 Ω m i et område med permafrost er vanskelig å forklare. Det ble vurdert om utvasket salt fra evaporitter i dalsidene kunne være årsak til den lave resistiviteten. Overflatevann som har passert utgående evaporitter ble prøvetatt og vannets ledningsevne målt. Ledningsevne på 100-200 μ S/cm dokumenterer relativt ionefattig vann, og lav resistivitet kan ikke forklares ut fra dette. En mulig forklaring er at massene bare delvis er frosset og at det gjenstår lommer/kanaler med ionerikt vann som ikke er frosset.

3.1.2 Wordiekammen

De inverterte resistivitetsdata fra profilene 3 og 4 er vist på figurene 3 og 4. De viste seksjonene er produsert med Standard inversjon og vertikal-/horisontalfilter 1.

Profil 3 (figur 3) viser at det er til dels store variasjoner i berggrunnens resistivitet. Under tynt topplag med resistivitet på under 6 k Ω m (aktiv sone), viser måledata at resistiviteten i permafrosten langs profilet ligger i området 10 k Ω m til 50-60 k Ω m. Et unntak er ved koordinat 500. Her indikeres en tilnærmet vertikaltstående sone med resistivitet ned i mot 1 – 2 k Ω m. Dette er noe høyere verdier enn lavresistivitetssonen på profil 2 i Ebbadalen, men de lave verdiene tilsier at det også her ikke kan være is av betydning i sonen.

Dette profilet er det samme som profil W18 ved radarmålingene (kartbilag –08). Fra koordinat 460 til 510 indikerer resistivitetmålingene et grunt område med meget høy resistivitet. Dette området kommer fram på georadarmålingene med klare brudd i de horisontale strukturene, og representerer trolig en kollaps-struktur.

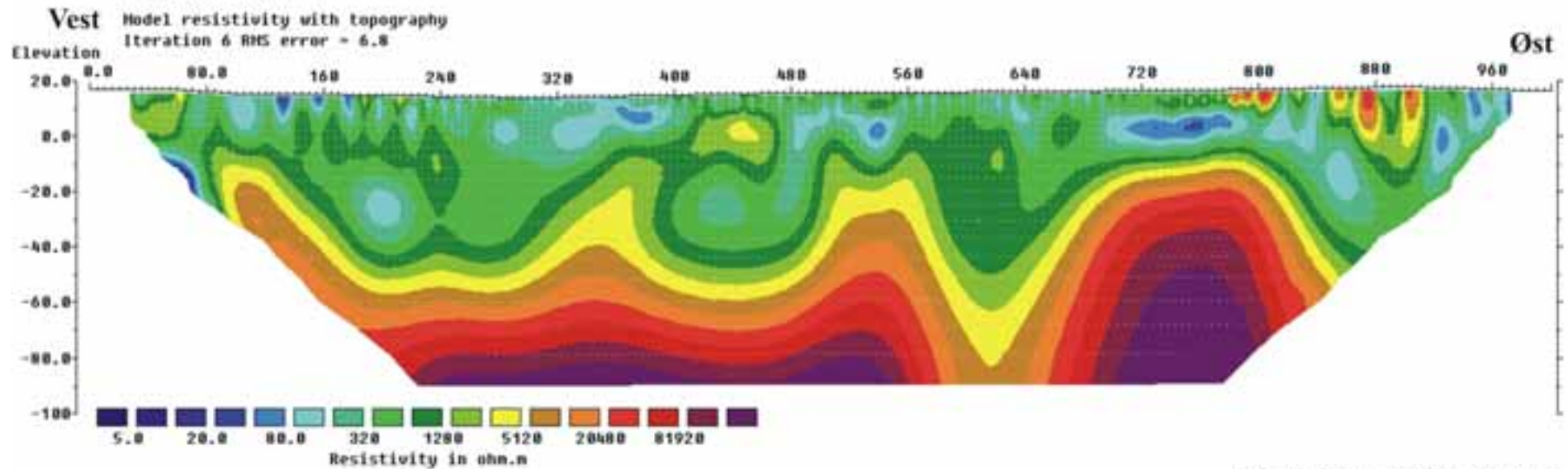
Måledata fra **profil 4** (figur 4) indikerer og et forholdsvis godt ledende topplag (aktiv sone). I likhet med profil 3 viser måledata også her at det i permafrosten er store variasjoner i resistiviteten (10-80 k Ω m). Ved koordinat 830 er det et markert brudd i den høye resistiviteten og måledata indikerer her en sone som går ut i dagen med forholdsvis lav resistivitet (1 – 2 k Ω m). Profil 4 går tilnærmet parallelt med deler av georadarprofilet W15 (kartbilag –06), og profilene har sammenfallende koordinater. Sonen som kommer fram med lav resistivitet ved koordinat 830 kommer fram på georadarprofilet som et område med lavere penetrasjon og reflektivitet, og ligger i randsonen til en mulig kollaps-struktur .

Det er også dagnære områder med markert lavere resistivitet lengre vest på profilet. Ingen av disse områdene ser ut til å ha gitt variasjoner av betydning på radarprofilet.

Ebbadalen

Profil 1

Dipol/Dipol
Standard inversjon
Vert./Hor. Filter = 1



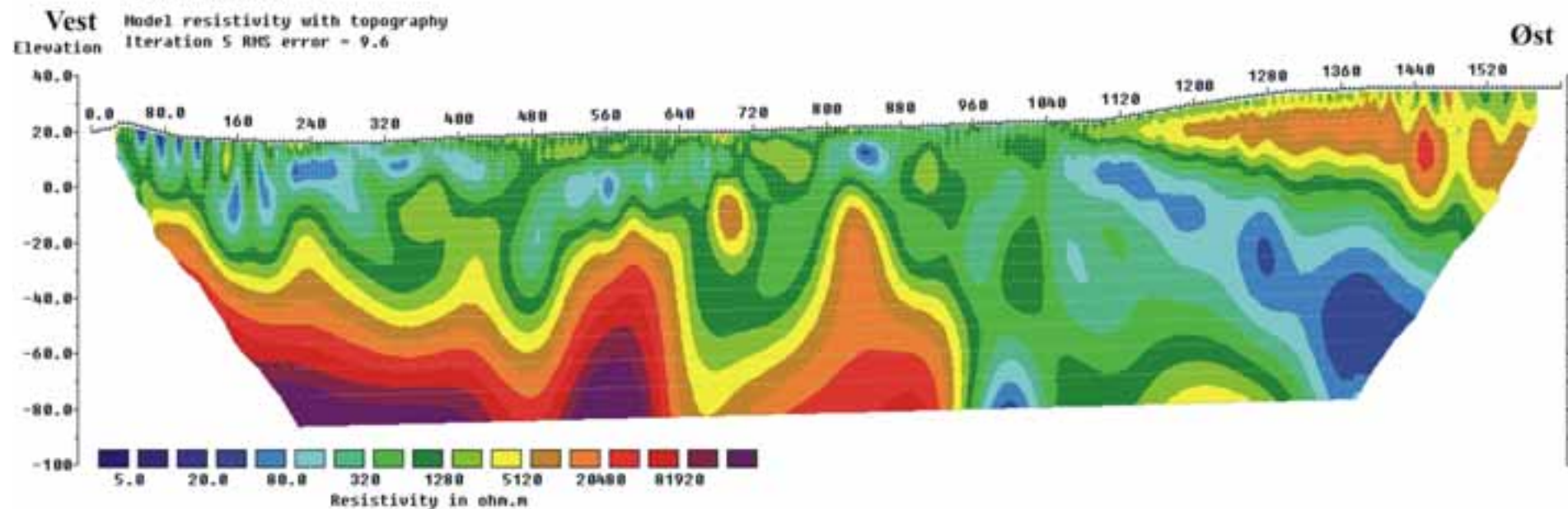
Horizontal scale is 5.94 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.90
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 1000.0 m.

Figur 1. Ebbadalen. Modellert resistivitet profil 1.

Ebbadalen

Profil 2

Dipol/Dipol
Standard inversjon
Vert./Hor. Filter = 1



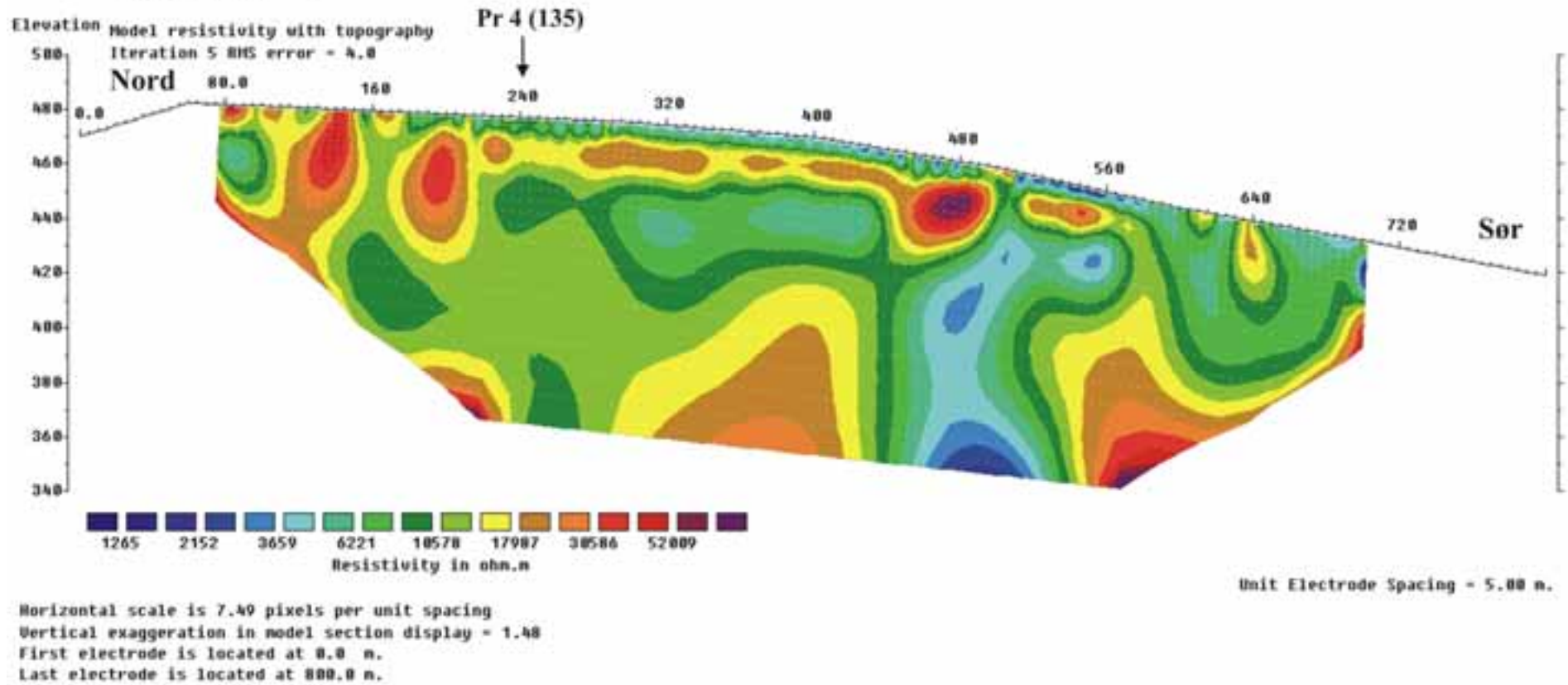
Horizontal scale is 3.74 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 3.02
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 1600.0 m.

Figur 2. Ebbadalen. Modellert resistivitet profil 2.

Profil 3

Dipol/Dipol
Standard inversjon
Vert./Hor. Filter = 1

Wordiekammen

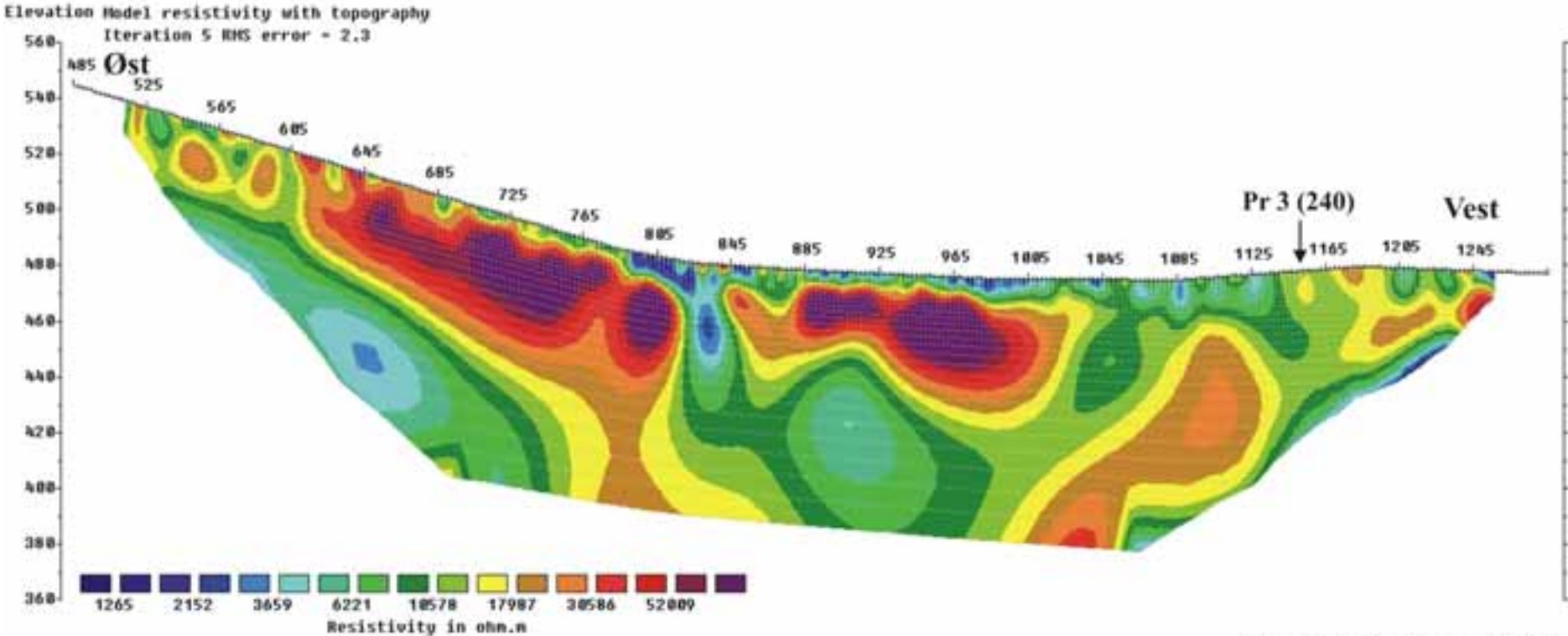


Figur 3. Wordiekammen. Modellert resistivitet profil 3.

Wordiekammen

Profil 4

Dipol/Dipol
Standard inversjon
Vert./Hor. Filter = 1



Horizontal scale is 3.75 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.50
First electrode is located at 485.0 m.
Last electrode is located at 1285.0 m.

Figur 4. Wordiekammen. Modellert resistivitet profil 4.

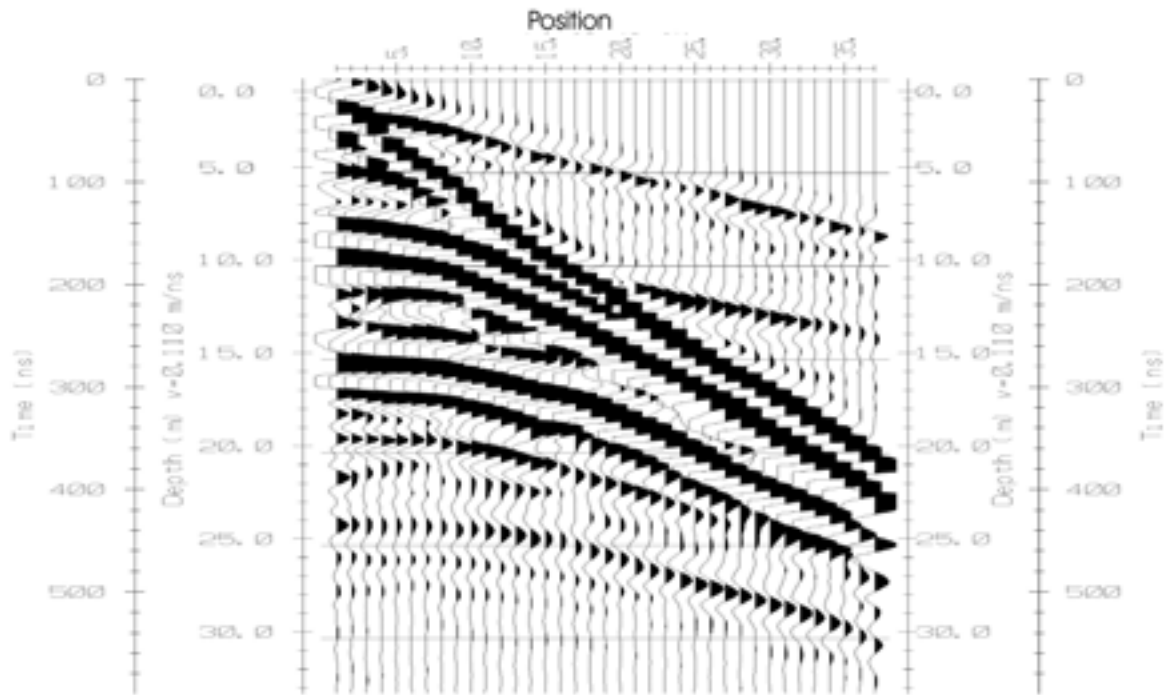
3.2 Georadar

Det blir ikke gjort noen geologisk tolkning av georadaropptakene i denne rapporten. Data presenteres som profilplott som viser alle traser langs et profil slik at sammenhengende strukturer (reflektorer) kan kartlegges (kartbilag 03 - 09). Kartbilagene viser også profilenes beliggenhet. Data fra Wordiekammen er meget gode med et maksimalt penetrasjonsdyp på ca 40 m. Her er det ikke overdekke. I Ebbadalen, hvor det er et ledende overdekke (se resistivitetmålingene foran), er penetrasjonsdypet ca 5 m.

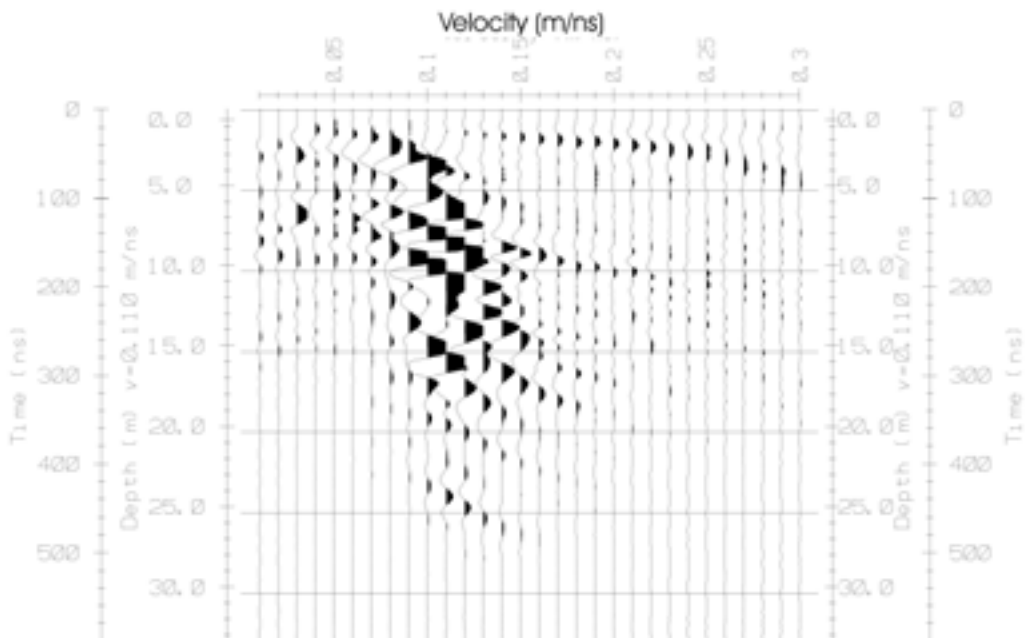
3.2.1 CMP Hastighetsanalyse

Det er gjort to hastighetsanalyser, CMP 2 øverst på Wordiekammen ved kryss mellom profilene W1 og W3 (retning N200) og CMP 4 ved profil W17 koordinat 1000 (retning N300). Begge er utført i områder med nær horisontale reflektorer og relativt god penetrasjon. Resultatene er vist i figur 5 (CMP 2) og figur 6 (CMP 4). Begge analyser viser en gjennomsnittshastighet på 0.11 m/ns til dypeste reflektor. Ved dybdekonvertering av de målte profiler og forsøk på migrering er denne hastigheten benyttet.

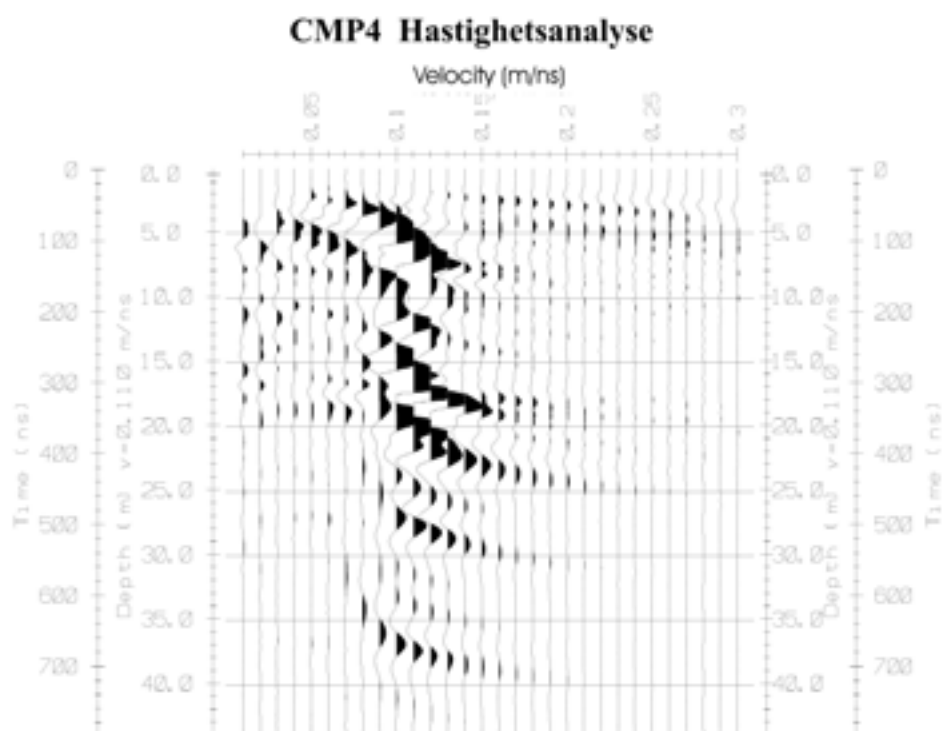
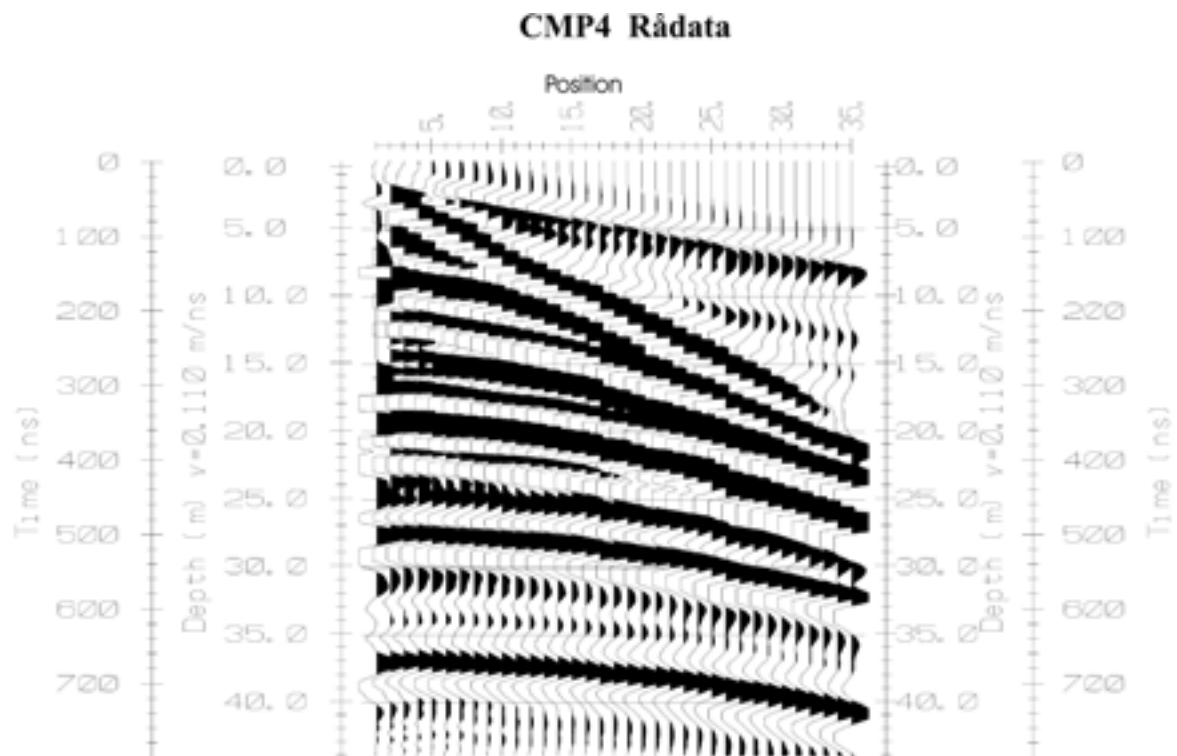
CMP2 Rådata



CMP2 Hastighetsanalyse



Figur 5. CMP2, rådata (øverst) og hastighetsanalyse (nederst).



Figur 6. CMP4, rådata (øverst) og hastighetsanalyse (nederst).

3.2.2 Ebbadalen

Opptakene fra Ebbadalen er vist i kartbilag –09. Profil **P1** går helt nede ved Ebbaelva, mens **P2B** går fra endepunktet til P1 og oppover lia mot Wordiekammen (se kartskisse). Som nevnt foran, og som går fram av resistivitetsmålingene, består dette området av et elektrisk godt ledende overdekke. Dette reduserer penetrasjonsdypet for georadarmålingene til et gjennomsnitt på ca 5 m. Det er ikke mulig "å se" gjennom overdekke med georadaren på profil P1. På profil P2B kommer horisontale lag frem etter hvert som en går oppover lia. På grunn av at lagene ligger horisontalt i stigende terreng kartlegges bare 10 – 40 m av strukturene.

Profil **P3** og **P4** ble målt et stykke opp i lia, se kartbilag –09, hvor P4 går på tvers av P3 (fra endepunktet). Penetrasjonsdypet er noe større, ca 15 m. På profil P3 kommer lagene frem som parallelle med overflaten, mens tverrprofilen P4 viser horisontale lag som går "inn i fjellet". Ingen spesielle hendelser ut over lagdelingen observeres på disse opptakene

3.2.3 Wordiekammen

Profil **W2, W3**. Kartbilag –03 viser opptak for profil W2 og W3. W2 er målt med fire frekvenser: 25, 50, 100 og 200 MHz. Profil W3 er målt med 25 og 50 MHz. Opptakene på W2 viser tydelig hvordan penetrasjonen avtar med økende frekvens, fra ca 40 m (25 MHz) til maksimum 15 m (200 MHz). Samtidig ser en at oppløsningen er dårligst på 25 MHz. Når det gjelder refleksjoner observeres to hovedstrukturer på de tre laveste frekvensene. Med 200 MHz observeres kun den grunneste. Selv om 25 MHz gir størst penetrasjon ser det ut som om 50 MHz gir best data for geologisk tolkning da oppløsningen er betydelig bedre for denne frekvensen. Det samme kan sies om resultatene på profil W3. På dette profilet observeres en tilnærmet horisontal struktur som skråer opp fra posisjon 30 mot posisjon 0.

Profil **W5, W7, W3, W6, W2, W14** er vist i kartbilag –04. Profilene er tilnærmet parallelle og går langs Wordiekammen i sørvestlig retning. Startpunkt 0 er i nordøst. Målefrekvens er 50 MHz som gir god oppløsning og stort penetrasjonsdyp. De samme tilnærmet horisontale strukturene kan observeres på alle profiler. På profilene W2 og W14, nærmest kanten, kommer strukturene først inn ved ca posisjon 70. Første del av profilene, posisjon 10 – 70, viser et mer kaotisk refleksjonsmønster med diffraksjoner som kan tyde på deformert fjell. Lenger inne på plataet, på profilene W6, W3, W7 og W5, observeres ikke dette kaotiske refleksjonsmønsteret. På disse profilene, spesielt W3 og W7, observeres en tydelig nedsynking (trauform) av lagene som kan knyttes til observert deformasjon i fjellsiden.

Profilene **W10, W9, W8, W11, W12, W13 og W1**, på kartbilag –05, går alle vinkelrett på profilene nevnt foran på kartbilag –04. Alle profilene er målt med 50 MHz antenner. Startpunkt er i sørøst ved skrenten. Profilene W8, W9 og W10 viser alle et noe kaotisk refleksjonsmønster de første 25 m. Dette området faller innenfor det samme kaotiske bildet en ser på første del av W14 og W2. For øvrig kommer de tilnærmet horisontale strukturene tydelig fram.

Profil **W15** går langs Wordiekammen i vestlig retning, se kartbilag –06. Profilet er nesten 1.3 km langt og starter i endepunktet av W2. Målefrekvens er 25 MHz. Data er meget gode og indikerer lagstrukturer som er svakt hellende og tilnærmet parallelle med terrengoverflaten. På slutten av profilet, der terrenget er flatt, ser en fortsatt det samme fallet på strukturene. Flere steder langs profilet observeres diffraksjoner og endringer i lagenes helningsvinkel. En

meget spesiell hendelse observeres mellom posisjon 850 og 950 hvor lagene faller brattere og gjenspeiles som tydelige diffraksjoner. For å få mer klarhet i hva som skjer her er området fra posisjon 700 – 1000 migrert. Diffraksjoner blir fjernet og lagenes reelle fall indikeres. Figur 6 viser dette området før og etter migrering. Den migrerte seksjonen viser en nedsynkning av lagene med bunn ved ca posisjon 890.

For å undersøkte nedsynkningen på profil 15 nærmere ble et profil på hver side av W15 målt, **W16 og W17**. **W20** ble målt på tvers av profilene W16, W17 og W15. Opptakene er vist i kartbilag –07. Både W16 og W17 viser den samme nedsynkningen.

Profil **W18** ble målt i nord-sør retning lengst vest på plataet på Wordiekammen. Et tverrprofil, **W19**, ble målt 280 m sør for krysningspunktet med W15, se kartbilag –08. En tydelig uregelmessighet i lagdelingen som kan skyldes kollapsstrukturer observeres mellom posisjon 460 og 510 på profil W18. Tverrprofil W19 ble målt på tvers gjennom denne uregelmessigheten som også kommer fram på dette profilet, posisjon 75 – 130. Den har en bredde på ca 50 m både i nord-sør og øst-vest retning. Mulige andre kollapsstrukturer kan observeres langs profil W18 ved koordinatene 265, 650 og 740.

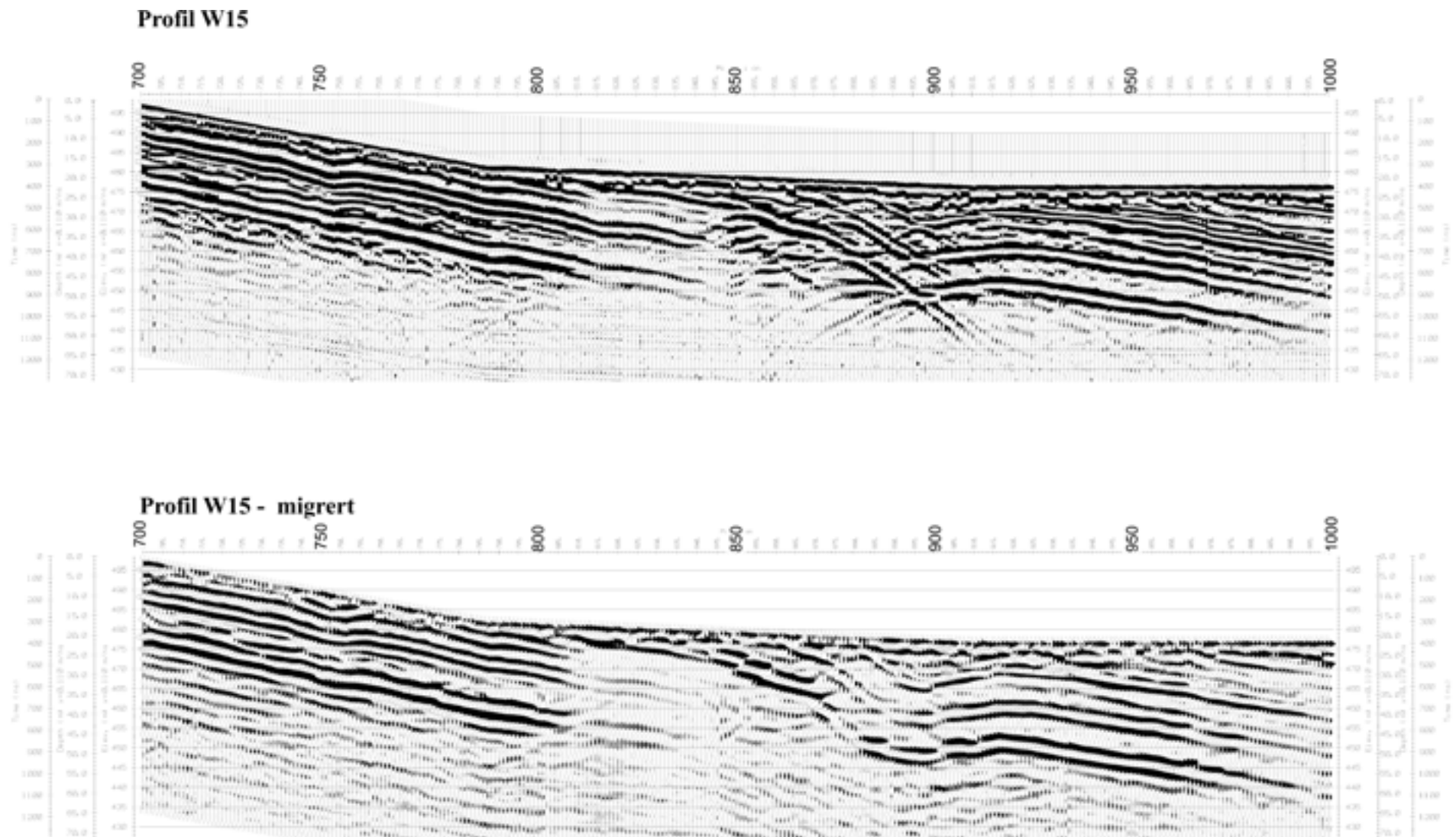
4. KONKLUSJON

I løpet av de 7 dagene målingene pågikk ble det samlet inn ca 4 km resistivitetsdata fordelt på 4 profiler og ca 7 km georadardata fordelt på 24 profiler.

Resistivitetmålingene i Ebbadalen viser til dels meget lav resistivitet ($< 100 \Omega \text{ m}$) i de øvre lag men også mot dypet. I et område med permafrost skulle en ikke forvente så lave verdier. På dyp større enn 60 meter øker resistiviteten til verdier en kan forvente i permafrost (10 – 100 k Ωm). På Wordiekammen er det i toppen påvist et tynt sjikt med relativt lav resistivitet (1 – 2 k $\Omega \text{ m}$) som kan relateres til den aktive sonen. I de dypere partiene varierer resistiviteten i området 10 til 100 k Ωm som er forenlig med frossent fjell. I dette bildet finnes vertikale strukturer med resistivitet lavere enn 2 k Ωm som kan relateres til kollapsstrukturer. Det er uklart hva som er årsak til de spesielt lave resistivitetsverdiene ($< 100 \Omega\text{m}$), og det er derfor nødvendig med videre undersøkelser.

Georadarmålinger med 4 forskjellige frekvenser (25, 50 100 og 200 MHz) langs ett og samme profil demonstrerer klart hvordan penetrasjonen avtar og oppløsningen øker med økende frekvens. På grunn av dette ble de to laveste frekvensene valgt for kartleggingen. Hastighetsanalyser på to punkter opp på Wordiekammen viser begge en gjennomsnittlig hastighet på 0,11 m/ns, og denne ble benyttet ved dybdekonvertering av data. På grunn av lav resistivitet var penetrasjonen nede i Ebbadalen mindre enn 5 meter. Oppe på Wordiekammen var maksimal penetrasjon på ca 40 meter med antennefrekvens 25 MHz. Her viser georadardata en detaljert avtegning av lagdeling og strukturer. Flere kollapsstrukturer indikeres, og disse synes delvis å være knyttet til soner med lavere resistivitet. Forsøk med migrering av opptakene viser at det kan være vel verdt å gjøre mer prosessering på data.

Til tross for at både resistivitet og georadar har begrenset dybderekkevidde kan metodene bidra til å kartlegge kollapsstrukturer i karbonatbergarter.



Figur 7. Migrert seksjon av profil W15 (nederst) og umigrert samme seksjon (øverst).

5. 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.

Hauck, C. 2001: Geophysical methods for detecting permafrost in high mountains. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich. Paper for the degree of Doctor of Natural Sciences.

Hauck, C., Vonder Muhll, D., Russil, N. & Isaksen, K. 2000: An integrated geophysical study to map mountain permafrost: A case study from Norway. 6th EEGS Conference, Proceedings (Bochum, 3-6 September 2000). Extended Abstracts, CH01, 4pp.

Isaksen, K., Hauck, C., Gudevang, E., Ødegård, R.S. & Sollid, J.L. 2001: Mountain permafrost distribution in Dovrefjell and Jotunheimen, southern Norway, based on BTS measurements and 2-D tomography data. Norsk Geografisk Tidsskrift Vol. 56, 122-136.

Loke, M.H. 2001: RES2INV ver. 3.4. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual. www.geoelectrical.com.

Innmålte profiler
Differensiell GPS (ED-50)

Profil	Koordinat	UTM-øst	UTM-nord	Høyde
P1 Res./Radar	0	536080,1	8738456,8	16,9
	100	536176,67	8738479,62	15,54
	200	536275,58	8738482,92	15,03
	300	536375,13	8738485,87	14,21
	400	536477,08	8738480,92	14,85
	500	536564,11	8738489,28	15,8
	600	536662,34	8738506,61	15,59
	700	536759,67	8738526,37	16,55
	800	536857,81	8738537,43	17,27
	900	536956,28	8738546,53	18
	1000	537056,55	8738557,92	16,67
P2B Radar	0	537056,55	8738557,92	16,67
	100	537080,84	8738460,44	22,32
	200	537114,88	8738365,25	29,36
	288	537166,4	8738263,37	38,46
	425	537229,45	8738143,05	50,98
	575	537311,93	8738013,88	67,74
	610	537324,65	8737984,8	71,87
	625	537330,92	8737967,22	75,09
	725	537366,4	8737872,57	96,17
	P3 Radar	0	536449,6	8737489,16
100		536550,14	8737497,84	111,68
168		536619,96	8737502,5	122,92
P4 Radar	0	536619,96	8737502,5	122,92
	Slutt	536641,73	8737418,47	136,85
P2 Res.	0	536090,56	8738348,68	20,26
	100	536188,83	8738357,09	18,22
	200	536289,27	8738364,54	16,58
	300	536388,63	8738375,15	16,06
	400	536487,26	8738383,47	17,76
	500	536587,04	8738390,61	19,03
	600	536687,08	8738399,37	20,31
	700	536786,99	8738408,37	20,28
	800	536885,89	8738417,96	21,45
	900	536985,95	8738426,75	22,28
	1000	537085,66	8738434,08	23,65
	1100	537187,53	8738441,68	24,02
	1200	537284,81	8738451,28	30,22
	1300	537383,73	8738458,69	34,41
	1400	537482,57	8738468,47	35,82
1500	537582,68	8738479,17	36,76	
1600	537681,81	8738490,9	36,31	
1700	537681,55	8738490,51	36,53	
W1 Radar	100	537643,67	8736192,22	651,32
	120	537631,89	8736208,41	648,58
W2 Radar	0	537749,35	8736298,78	671,44
	50	537710,10	8736268,78	661,73
	62,5	537700,48	8736261,18	659,78
	75	537690,99	8736253,52	657,88
	87,5	537681,07	8736246,15	656,37
W2 Radar	100	537671,11	8736238,65	654,69
	150	537631,89	8736208,41	648,58
	200	537595,14	8736175,29	641,00
W3 Radar	0	537730,22	8736316,67	665,23

	50	537691.30	8736287.04	657.52
	100	537652.87	8736255.92	650.89
	200	537573.38	8736197.80	635.57
W5 Radar	0	537720.71	8736339.63	662.32
	150	537599.77	8736250.53	639.22
W6 Radar	0	537743.65	8736309.89	669.57
	25	537724.42	8736295.26	664.95
	50	537704.54	8736280.01	660.66
	75	537685.18	8736264.70	657.09
	100	537666.33	8736249.98	652.79
	125	537646.18	8736234.45	650.02
	150	537626.87	8736219.04	647.18
	175	537607.67	8736203.33	644.32
W7 Radar	0	537725.63	8736328.58	664.41
	25	537706.02	8736313.32	659.78
	50	537686.27	8736298.20	655.85
	75	537667.46	8736282.91	651.77
	100	537647.49	8736267.72	648.83
	175	537588.55	8736221.37	639.13
W8 Radar	0	537710.43	8736247.69	662.94
	62,5	537700.48	8736261.18	659.78
W9 Radar	0	537723.46	8736250.91	666.76
W10 Radar	0	537733.72	8736261.54	667.68
	50	537701.60	8736299.23	659.62
W11 Radar	0	537697.60	8736245.22	659.35
	3	537694.84	8736248.73	659.33
	49	537667.46	8736282.91	651.77
	50	537666.49	8736283.50	651.62
W12 Radar	50	537655.10	8736278.46	649.09
	87,5	537681.07	8736246.15	656.37
W13 Radar	50	537644.89	8736271.04	648.04
W14 Radar	0	537752.25	8736293.44	672.54
	25	537732.48	8736278.93	666.90
	37,5	537724.47	8736272.51	664.98
	50	537713.79	8736263.46	662.76
	62,5	537704.17	8736256.77	660.93
	75	537694.84	8736248.73	659.33
	100	537674.90	8736233.79	656.45
W15 Radar	0	537595.14	8736175.29	641.00
	50	537639.86	8736279.83	646.56
	53	537545.56	8736176.98	626.56
	166	537440.45	8736178.94	591.10
	243	537366.36	8736184.73	574.68
	368	537248.23	8736206.62	556.83
	466	537153.77	8736208.93	543.74
	607	537017.94	8736215.43	515.37
	787	536845.39	8736218.32	483.00
	910	536727.99	8736229.23	477.97
	1157	536483.60	8736237.67	478.45
	1210	536433.65	8736241.12	482.49
	1287	536359.87	8736237.28	479.21
P3 Res./W18 Radar	60	536479.35	8736385.48	482.37
	100	536480.27	8736345.61	481.34
	200	536482.87	8736246.07	478.38
	300	536483.78	8736145.34	475.25
	400	536484.76	8736046.48	469.86
	500	536487.37	8735946.54	461.63
	600	536489.78	8735847.47	446.83
	700	536493.95	8735749.01	434.82

	800	536500.65	8735651.04	421.96
P4 Res	485	537137.70	8736267.97	544.90
	685	536942.37	8736249.02	505.33
	785	536846.27	8736237.62	485.87
	833	536798.62	8736233.92	480.86
	885	536746.66	8736228.78	478.32
	985	536647.45	8736219.76	475.24
	1085	536547.83	8736209.89	474.71
	1185	536449.23	8736200.12	479.64
	1285	536349.45	8736189.78	477.14
W16 Radar	850	536788.18	8736248.96	483.60
W17 Radar	800	536844.03	8736194.30	477.92
	912	536725.62	8736202.18	487.22
W19 Radar	0	536387.40	8735961.88	466.96
	50	536437.53	8735964.74	469.39
	100	536543.51	8735966.19	462.57
W20 Radar	0	536764.25	8736144.95	473.02
Russ.Triggpkt.		536397.93	8736353.12	483.36

GEORADAR - METODEBESKRIVELSE

Georadar er en elektromagnetisk målemetode som kan benyttes til undersøkelse av lagdeling og strukturer i grunnen. Med en spesiell antenne sendes elektromagnetiske bølgepulser ned i jorda. En del av bølgeenergien blir reflektert tilbake til overflaten når bølgepulsen treffer en grense som representerer en endring i mediets dielektriske egenskaper. Resten av energien vil fortsette nedover og det kan fås reflekterte signaler fra en rekke grenseflater. Refleksjonene kan registreres med en mottakerantenne på overflaten. De mottatte signaler overføres til en kontrollenhet for forsterkning (og digitalisering ved digital georadar). Signalene sendes derfra til skriver (ved analog georadar) eller PD (digital georadar). Fra en utskrift av et georadar-opptak kan toveis gangtid (t_{2v}) til de forskjellige reflektorene avleses. For å bestemme virkelig dyp til en reflektor må bølgehastigheten (v) i overliggende medium være kjent eller kunne bestemmes.

Bølgehastigheten kan bestemmes ved CDP-målinger ('common depth-point'). Slike målinger utføres ved å flytte sender- og mottakerantenne skrittvis og like langt ut til hver side fra et fast midtpunkt og registrere for hver ny posisjon. Refleksjoner vil da ideelt sett komme fra samme punkt på en reflektor som er planparallell med overflaten. Når antenneavstanden øker, vil reflekterte bølger få lenger gangvei og økning i gangtid. Denne økning i gangtid kan det ved digitale opptak kompenseres for ved å utføre NMO-korreksjon ('normal move-out'). Størrelsen på korreksjonen er avhengig av antenneavstand, toveis gangtid og bølgehastighet i materialet over reflektoren. Et CDP-opptak korrigeres med forskjellige hastigheter, og den hastighet som etter NMO-korreksjon gir best amplitude etter summering av trasene, angir radarbølgehastigheten i mediet.

Etter at hastigheten er bestemt kan dypet (d) beregnes etter uttrykket;

$$d = \frac{vt_{2v}}{2}$$

I vakuum er bølgehastigheten lik lyshastigheten: $c = 3.0 \cdot 10^8$ m/s. I alle andre media gjelder følgende relasjon;

$$\epsilon_r = \left(\frac{c}{v}\right)^2$$

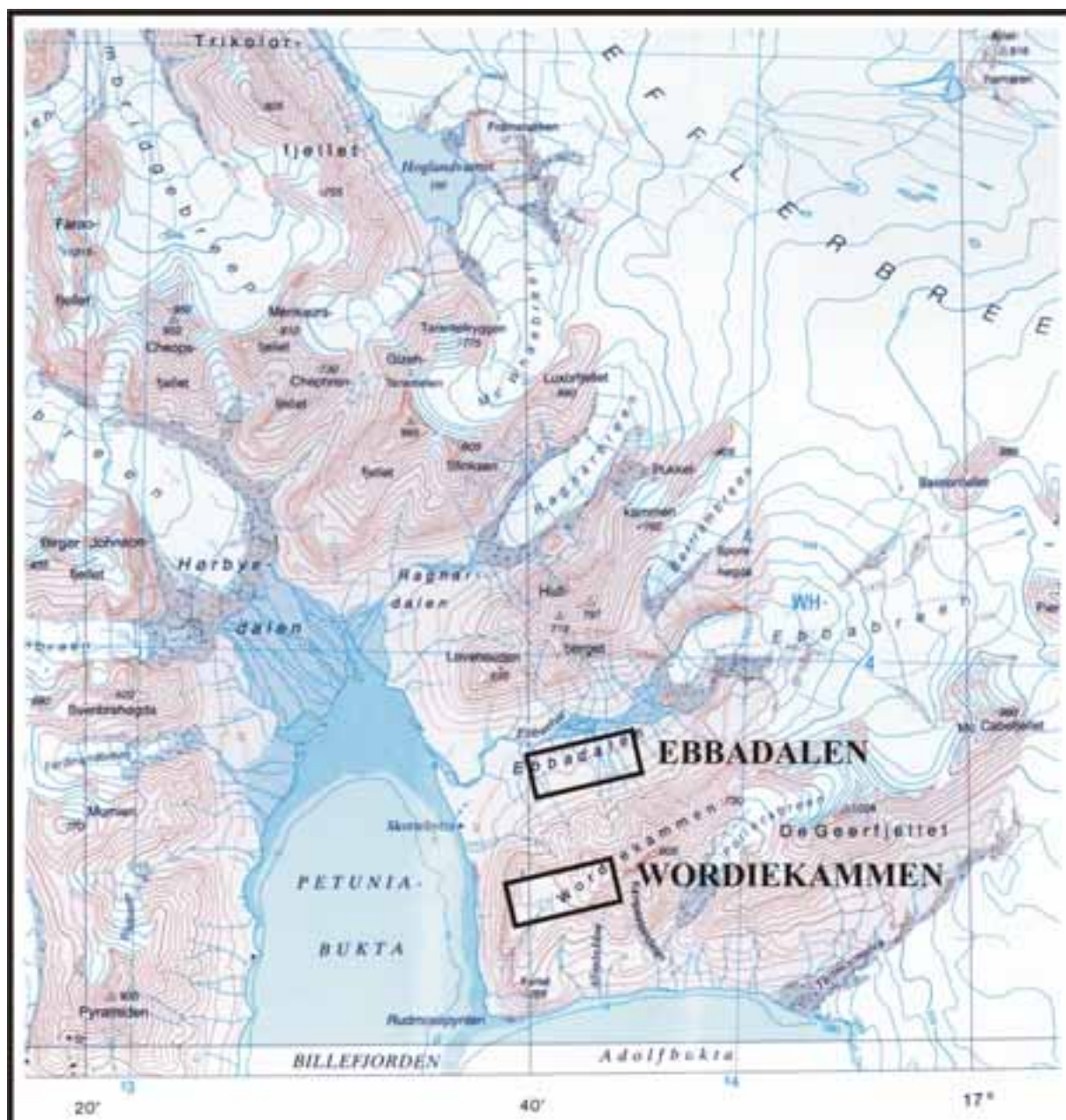
hvor ϵ_r er det relative dielektrisitetstallet. ϵ_r -verdien for et materiale vil derfor være en bestemmende faktor for beregning av dyp til reflektorer. I tabellen på neste side er det gitt en oversikt over erfaringstall for ϵ_r i en del materialtyper. Tabellen viser også hastigheter og ledningsevne i de samme media.

Dybderekkevidden for georadarmålinger er i stor grad avhengig av elektrisk ledningsevne i grunnen og av den utsendte antennefrekvens. Både økende ledningsevne og en økning i antennefrekvens vil føre til hurtigere dempning av bølgepulser og dermed minkende

penetrasjon. I godt ledende materiale som marin silt og leire vil penetrasjonen være helt ubetydelig. I dårlig ledende materiale som f.eks. tørr sand, kan det forventes en dybderekkevidde på flere titalls meter når det benyttes en lavfrekvent antenne (f.eks. 50 eller 100 Mhz). For grunnere undersøkelser vil en mer høyfrekvent antenne gi bedre vertikal oppløsning.

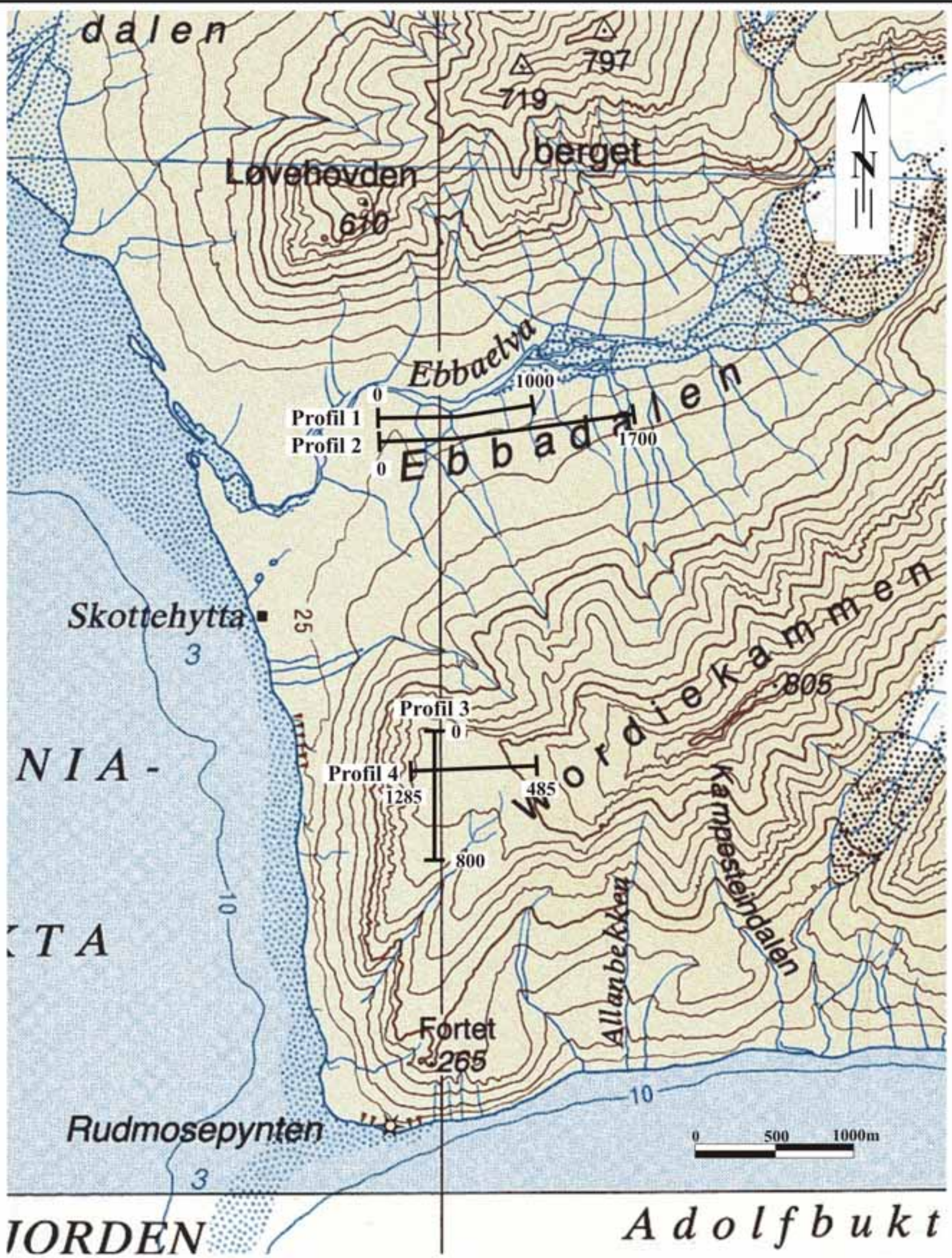
<u>Medium</u>	<u>ϵ_r</u>	<u>v (m/ns)</u>	<u>ledningsevne (mS/m)</u>
<i>Luft</i>	<i>1</i>	<i>0.3</i>	<i>0</i>
<i>Ferskvann</i>	<i>81</i>	<i>0.033</i>	<i>0.1</i>
<i>Sjøvann</i>	<i>81</i>	<i>0.033</i>	<i>1000</i>
<i>Leire</i>	<i>5-40</i>	<i>0.05-0.13</i>	<i>1-300</i>
<i>Tørr sand</i>	<i>5-10</i>	<i>0.09-0.14</i>	<i>0.01</i>
<i>Vannmettet sand</i>	<i>15-20</i>	<i>0.07-0.08</i>	<i>0.03-0.3</i>
<i>Silt</i>	<i>5-30</i>	<i>0.05-0.13</i>	<i>1-100</i>
<i>Fjell</i>	<i>5-8</i>	<i>0.10-0.13</i>	<i>0.01-1</i>

Tabell over relativt dielektrisitetstall, radarbølge-hastigheter og ledningsevne i vanlige materialtyper.



Undersøkte områder

NORSK HYDRO OVERSIKTSKART EBBADALEN OG WORDIEKAMMEN SVALBARD	MÅLESTOKK 1:100 000	MÅLT ED-JSR	Jul 2004
		TEGN E.D.	Des. 2004
		TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBILAG NR 2004.058-01	KARTBLAD NR C7	

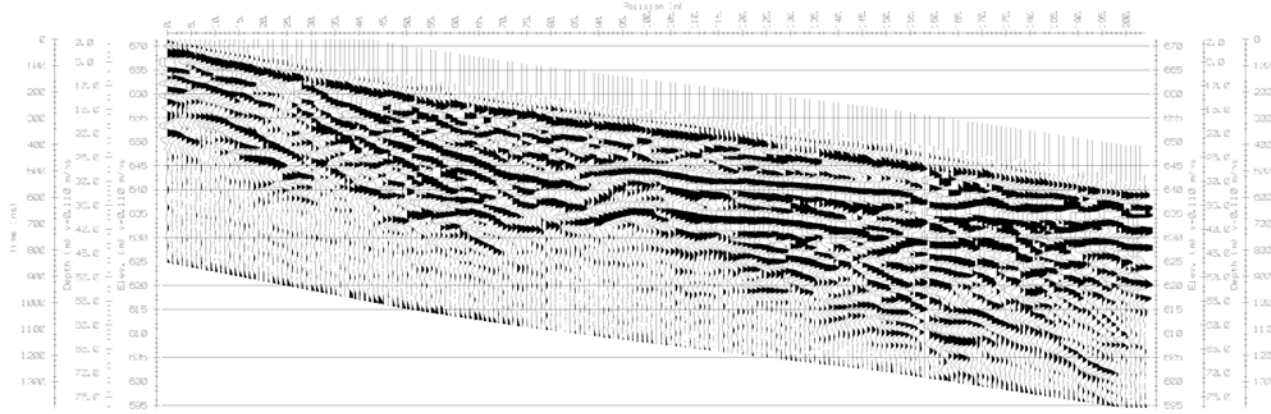


NORSK HYDRO
 2D RESISTIVITETSMÅLINGER
EBBADALEN OG WORDIEKAMMEN
 SKAUN, SØR-TRØNDELAG

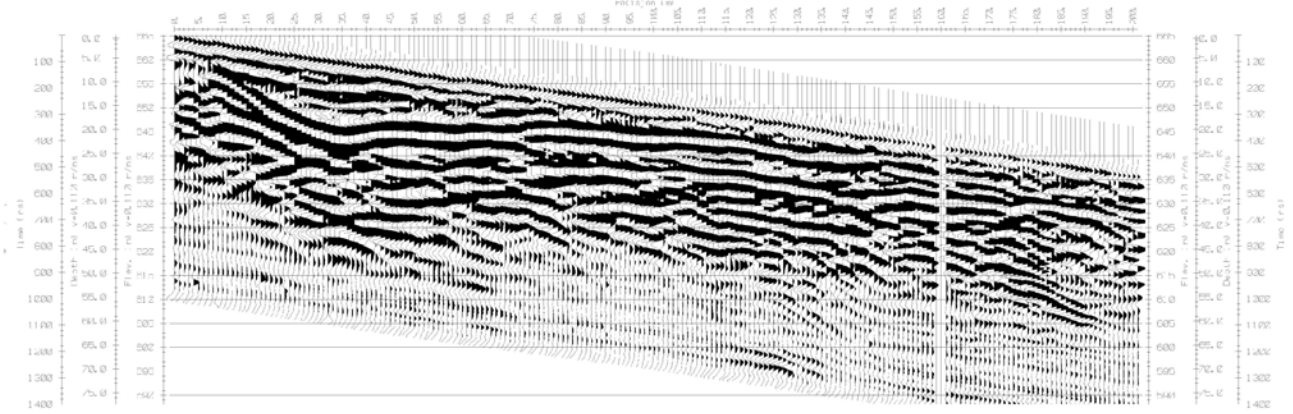
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK 1 : 25 000	MÅLT E.D.	Juli 2004
	TEGN E.D.	Des. 2004
	TRAC	
	KFR	
TEGNING NR 2004.058-02	KARTBLAD NR C7	

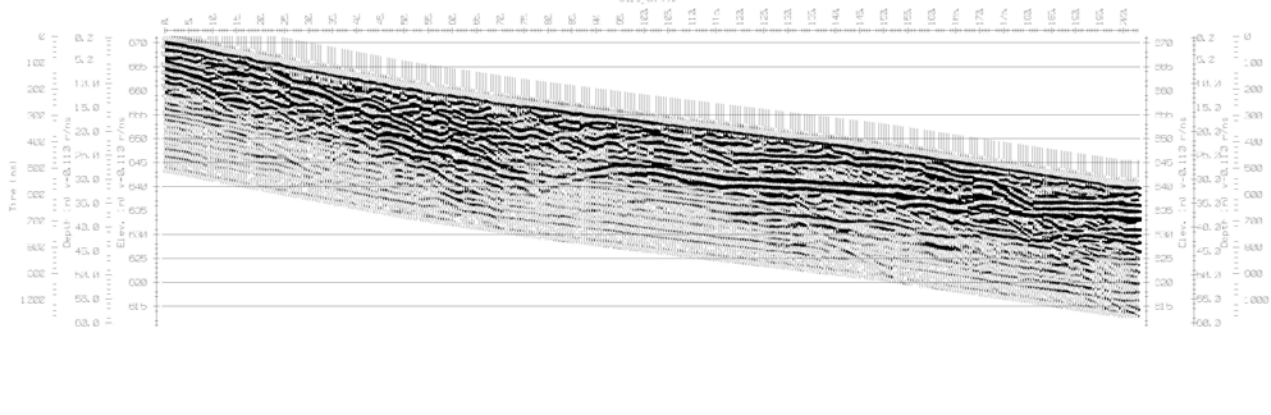
Profil W2 - 25MHz



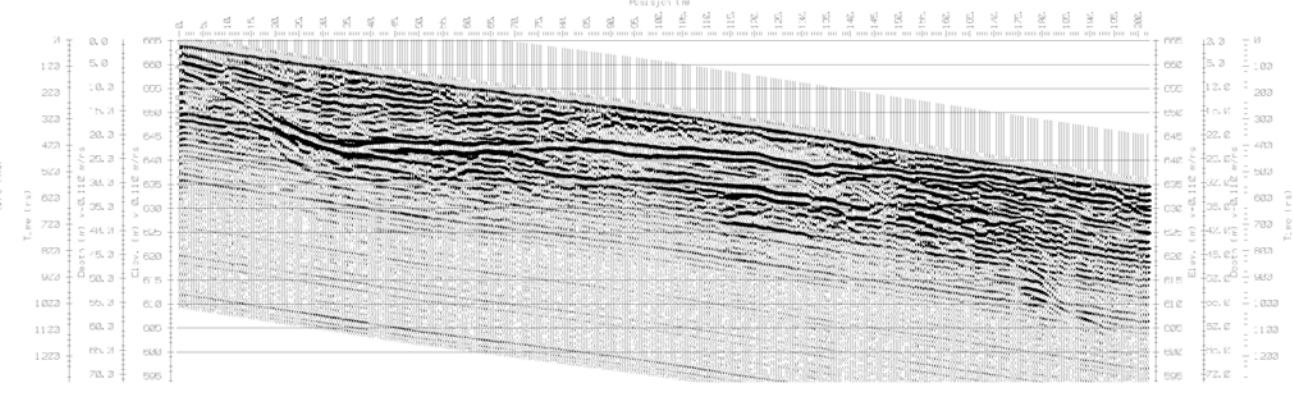
Profil W3 - 25MHz



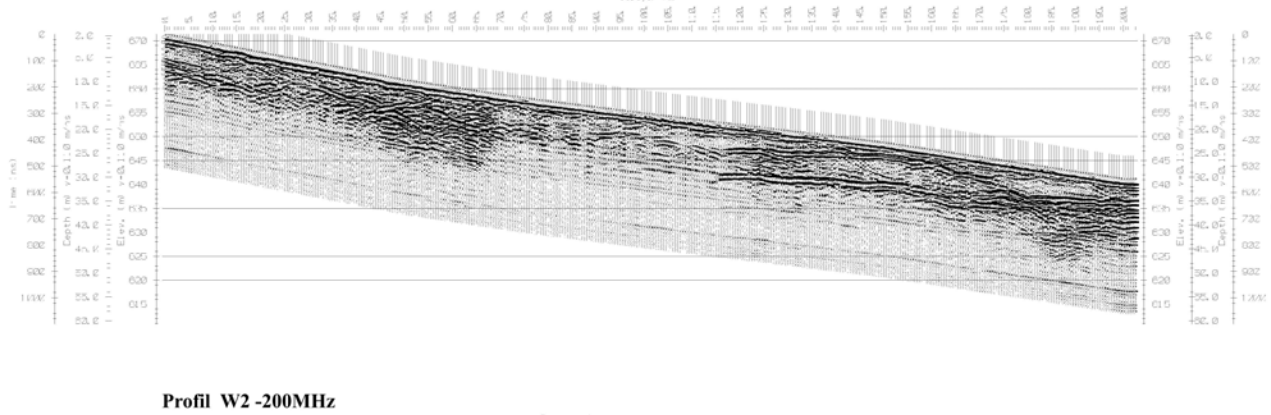
Profil W2 - 50MHz



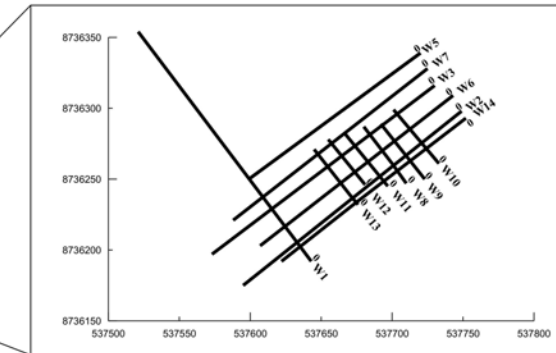
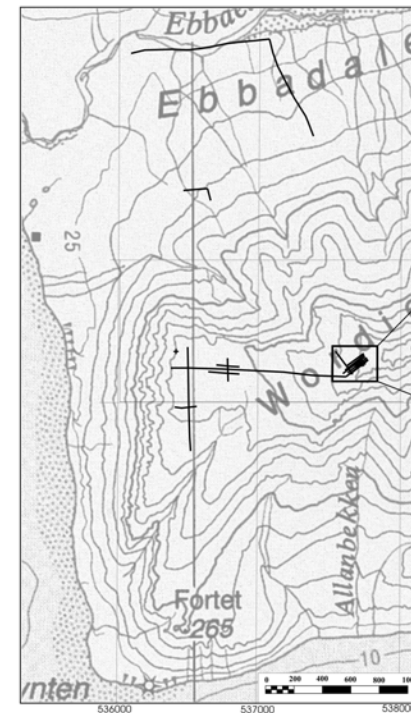
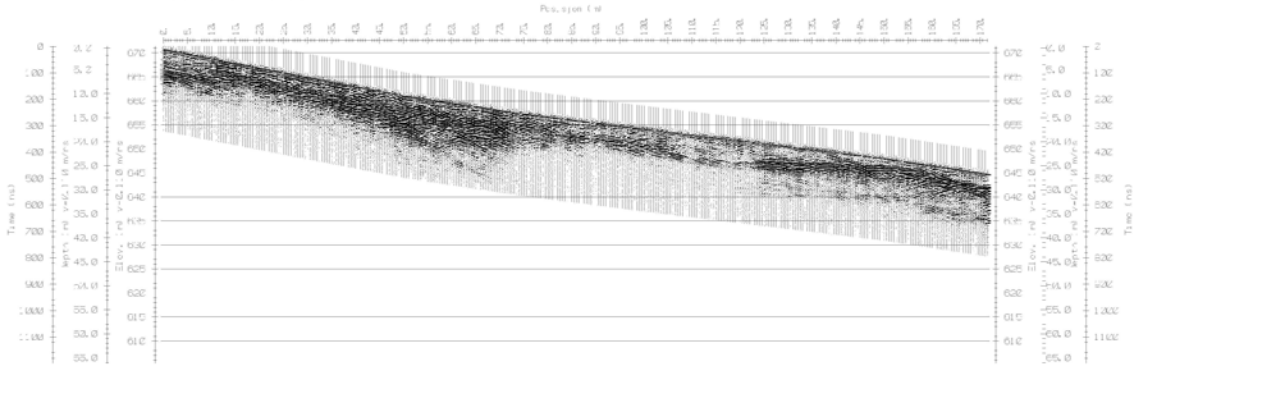
Profil W3 - 50MHz



Profil W2 - 100MHz

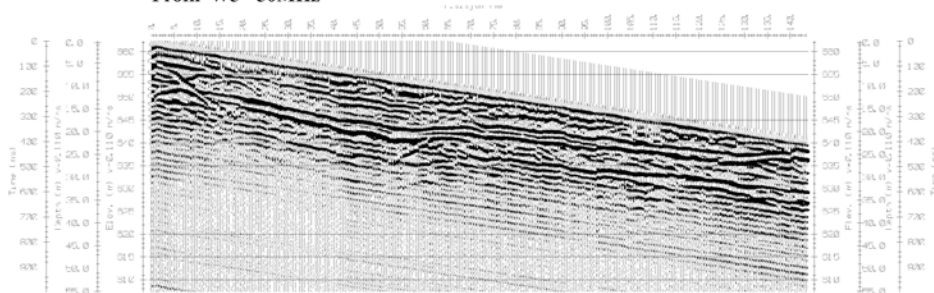


Profil W2 - 200MHz

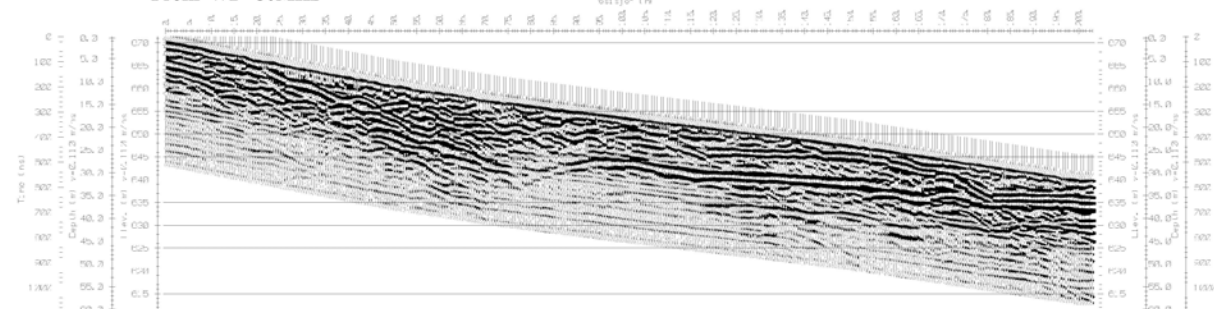


NORSK HYDRO GEORADAROPPTAK W2, W3 WORDIEKAMMEN SVALBARD	MÅLESTOKK 1 : 20 000	MÅLT DNR Jul 2004
	NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 2004.058-03
		KARTBLAD C7 DICKSONFORDEN

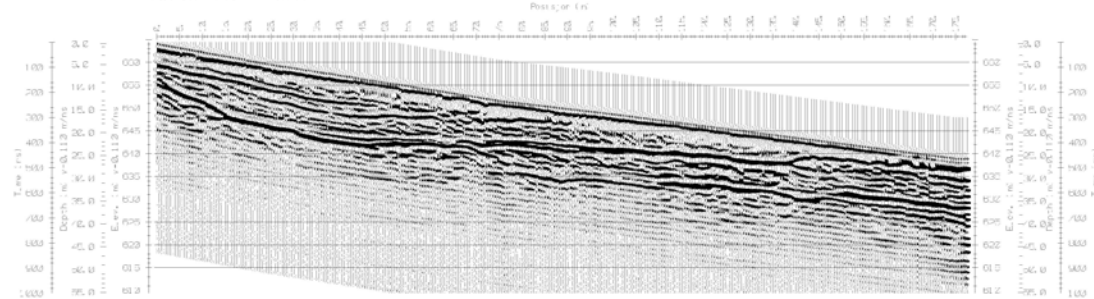
Profil W5 - 50MHz



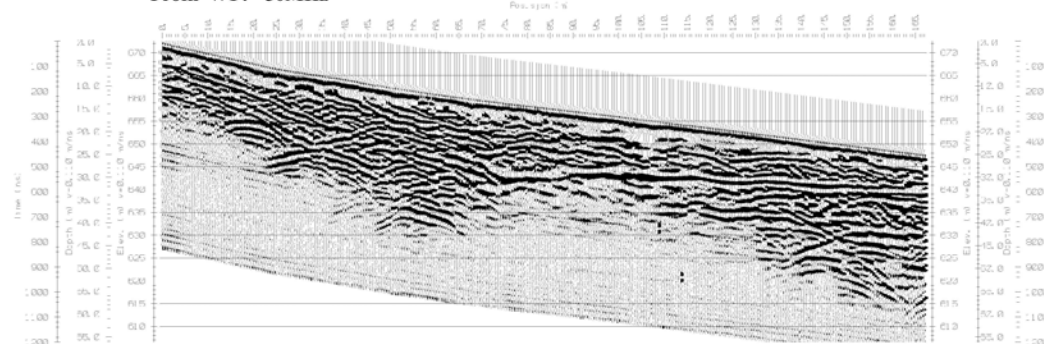
Profil W2 - 50MHz



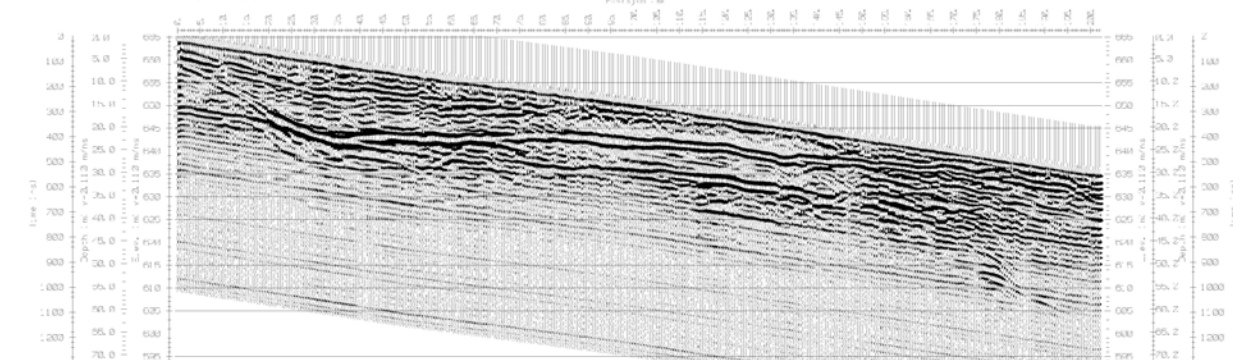
Profil W7 - 50MHz



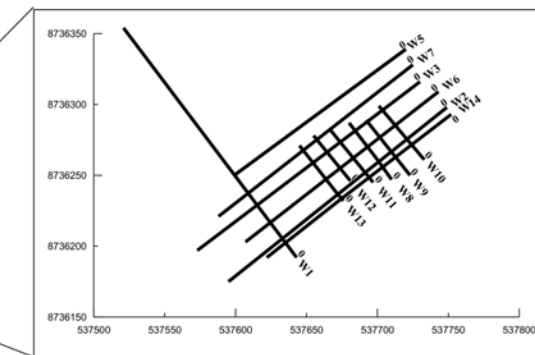
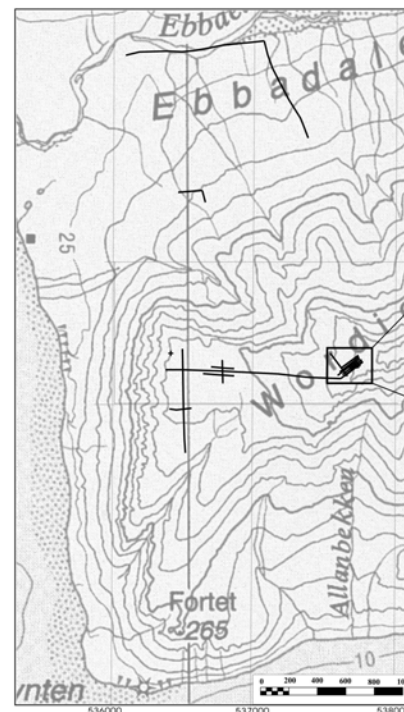
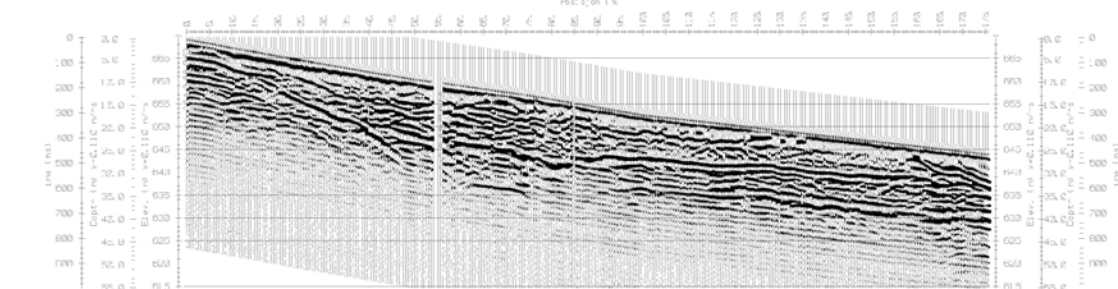
Profil W14 - 50MHz



Profil W3 - 50MHz

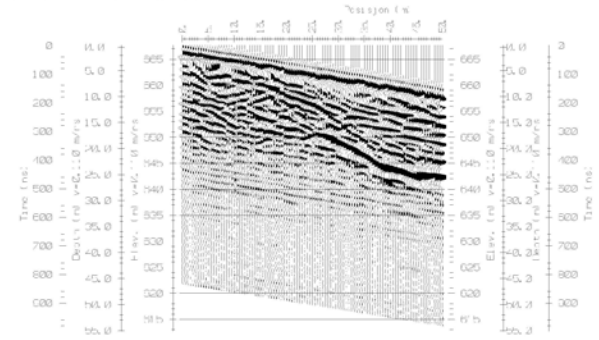


Profil W6 - 50MHz

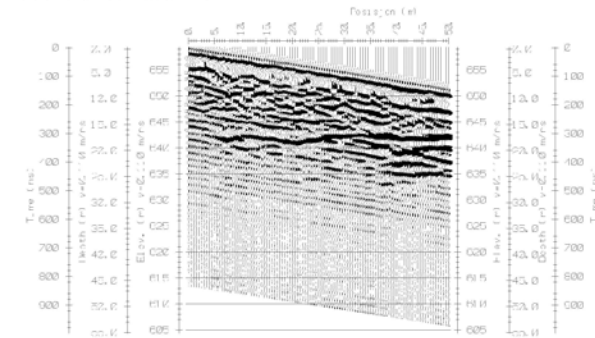


NORSK HYDRO GEORADAROPPTAK W5, W7, W3, W6, W2 og W14 WORDIEKAMMEN SVALBARD	MÅLESTOKK 1 : 20 000 (kart)	MÅLT NR TEGN NR TRAC KTR KONF	Juli 2004 Nov. 2004
	NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 2004.058-04	KARTBLAD C7 DICKSONFJORDEN

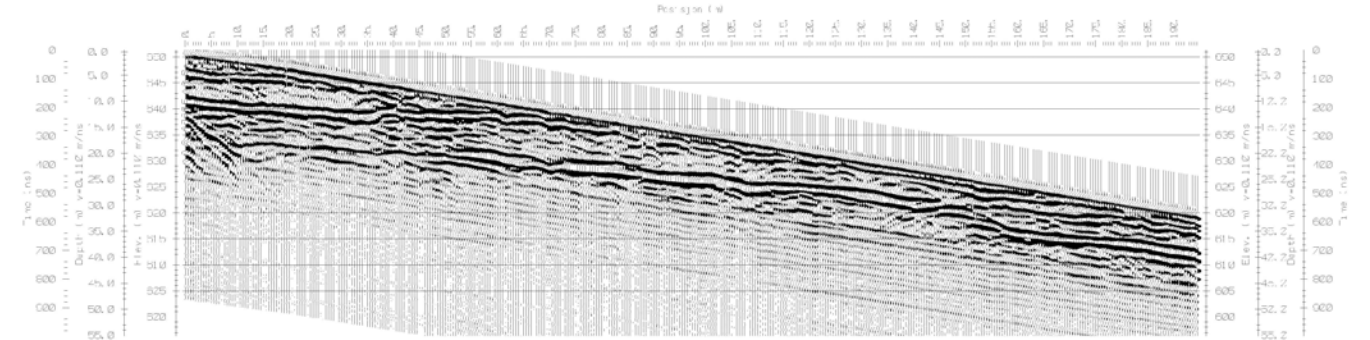
Profil W10 - 50MHz



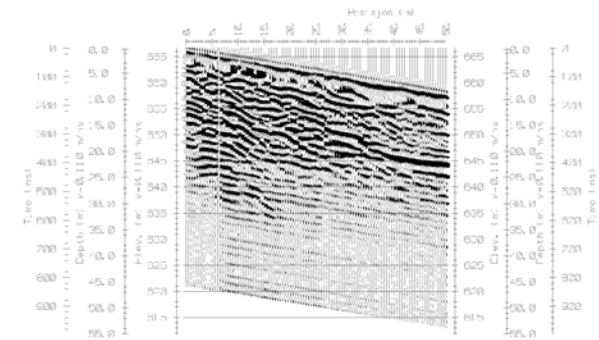
Profil W11 - 50MHz



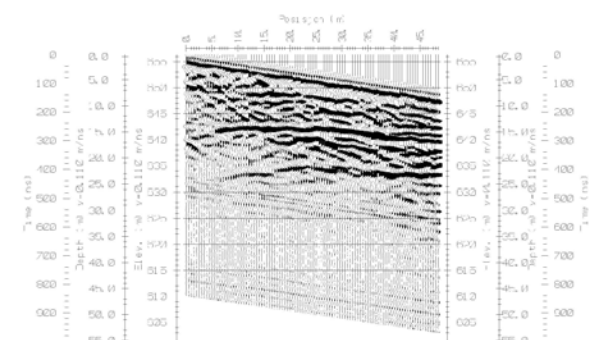
Profil W1 - 50MHz



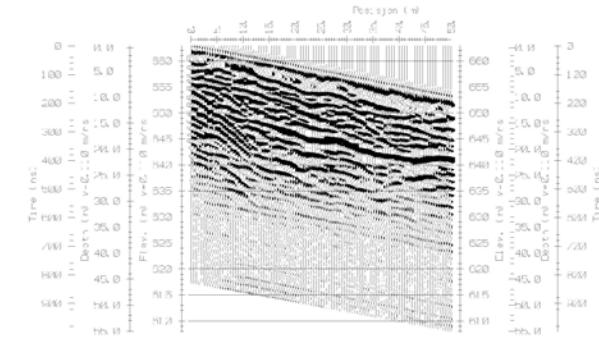
Profil W9 - 50MHz



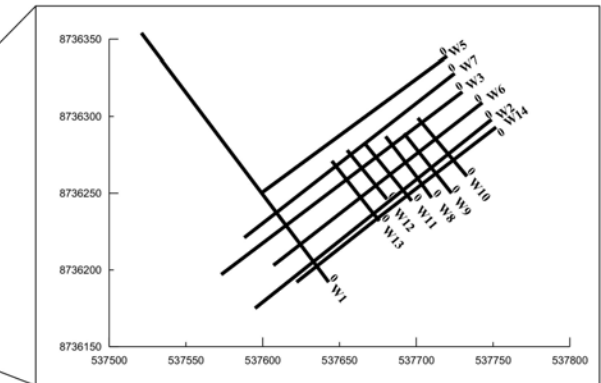
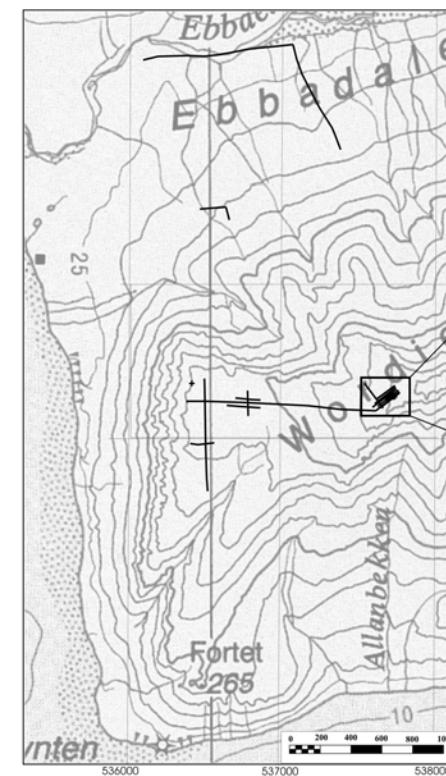
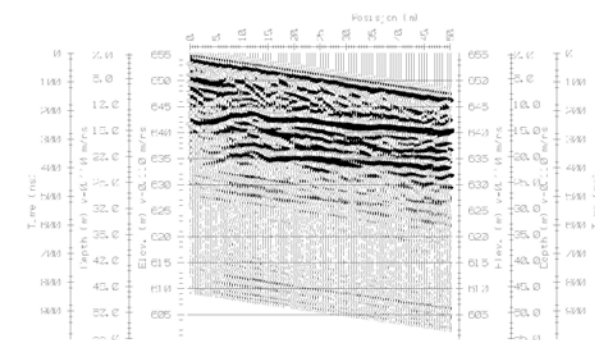
Profil W12 - 50MHz



Profil W8 - 50MHz

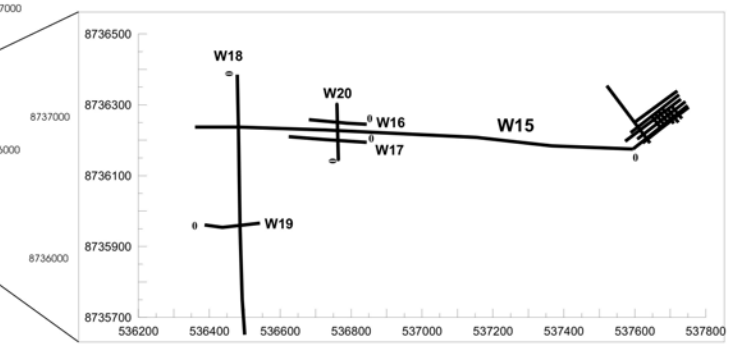
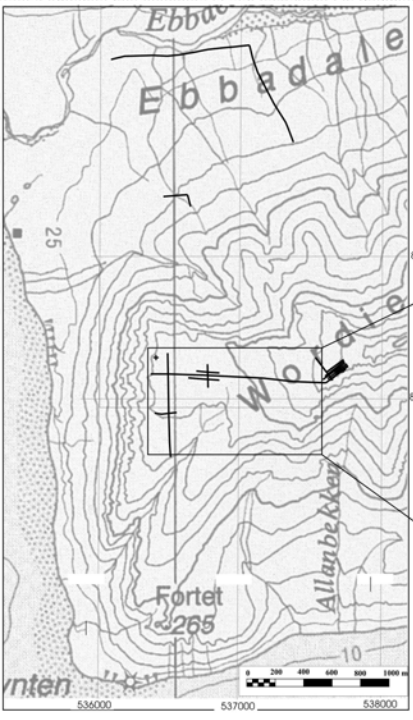
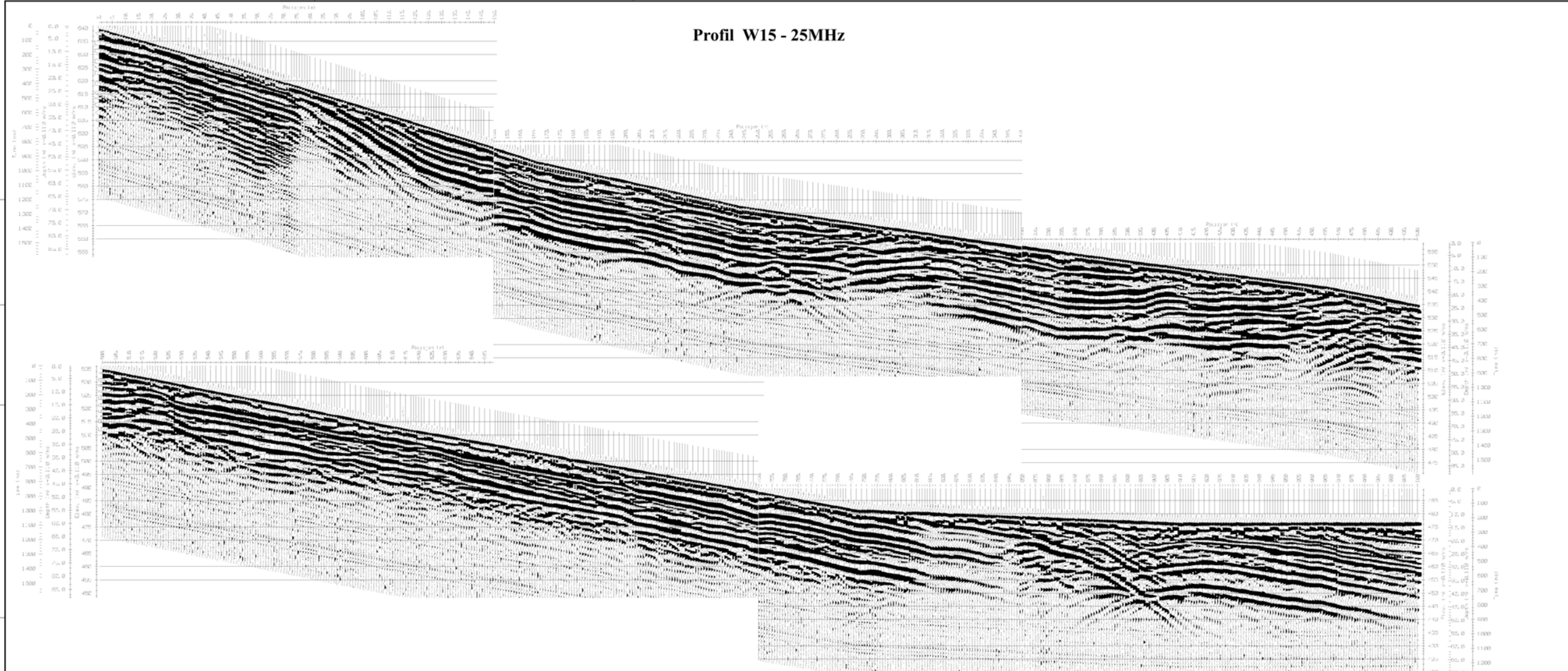


Profil W13 - 50MHz



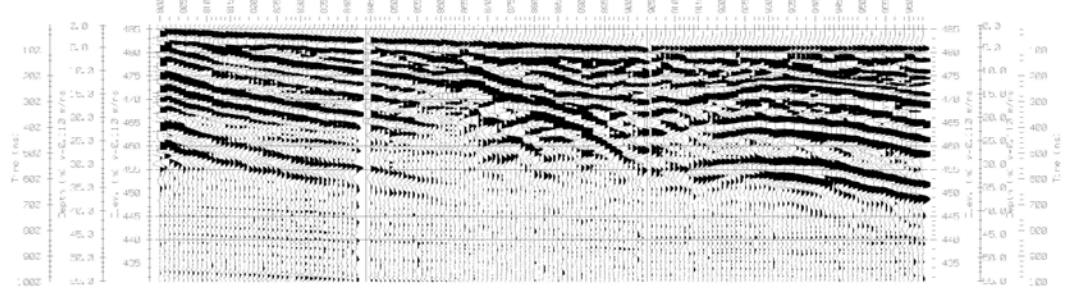
NORSK HYDRO GEORADAROPPTAK W10, W9, W8, W11, W12, W13, W1 WORDIEKAMMEN SVALBARD	MÅLESTOKK	MÅLT JSR	Juli 2004
	1 : 20 000 (kart)	TEGN HE	Nov. 2004
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TRAC	KFR	KONF
	TEGNING NR 2004.058-05	KARTBLAD C7	DICKSONFJORDEN

Profil W15 - 25MHz

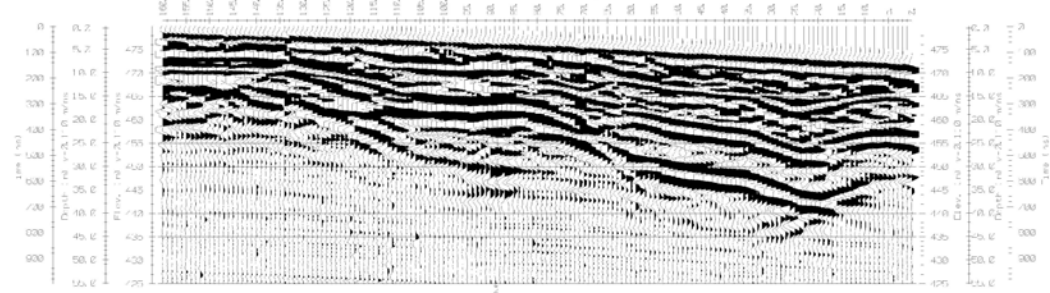


NORSK HYDRO GEORADAROPPTAK W15 WORDIEKAMMEN SVALBARD	MÅLSTOKK 1 : 20 000 (kart)	MÅLT DNR TEGN NR TRAC KTR KONF	Juli 2004 Nov. 2004
	NORGS GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 2004.058-06	KARTBLAD C7 DICKSONFJORDEN

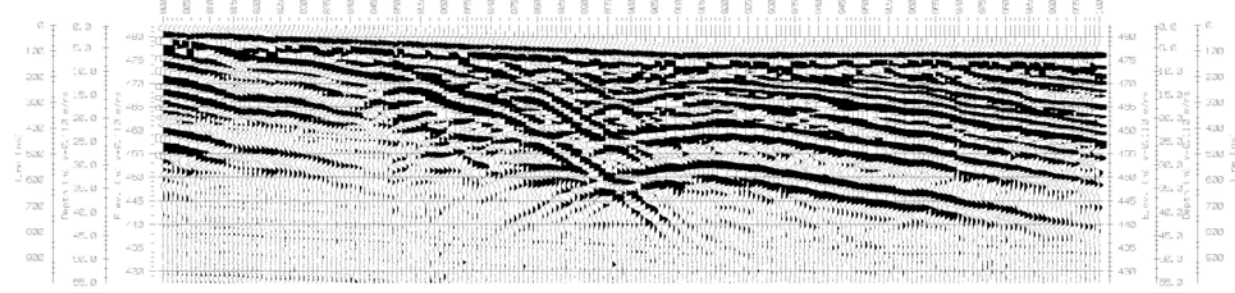
Profil W16- 25MHz



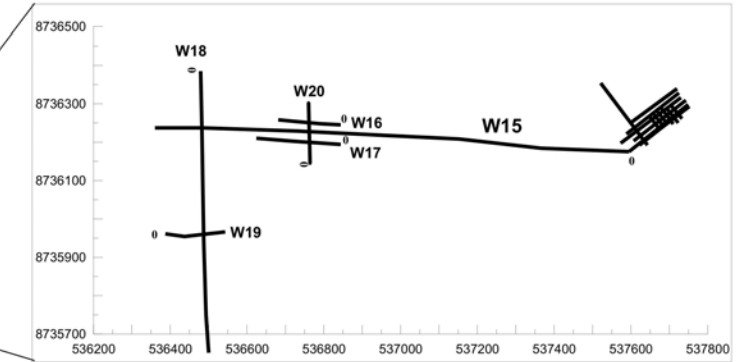
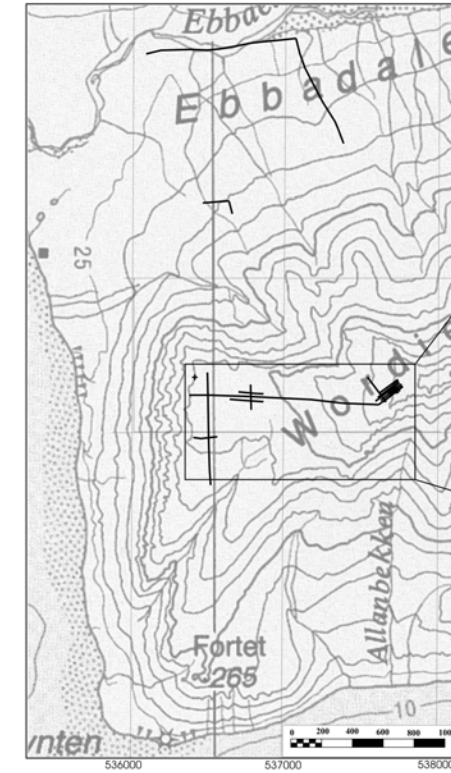
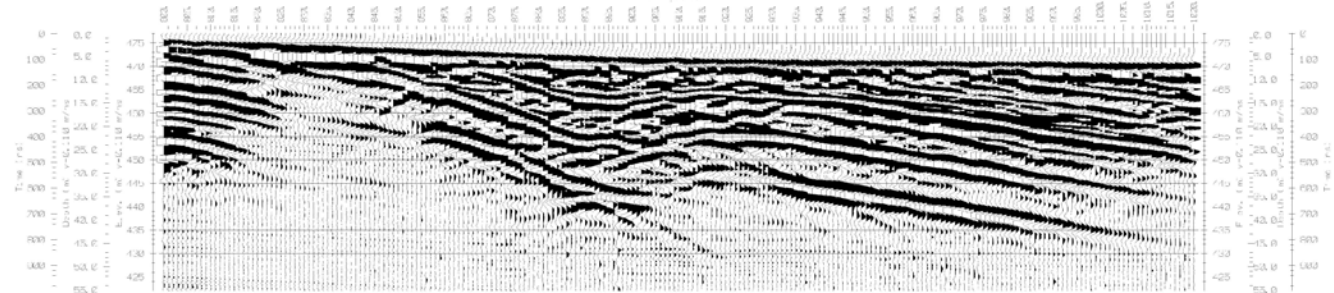
Profil W20 - 25MHz



Profil W15 - 25MHz

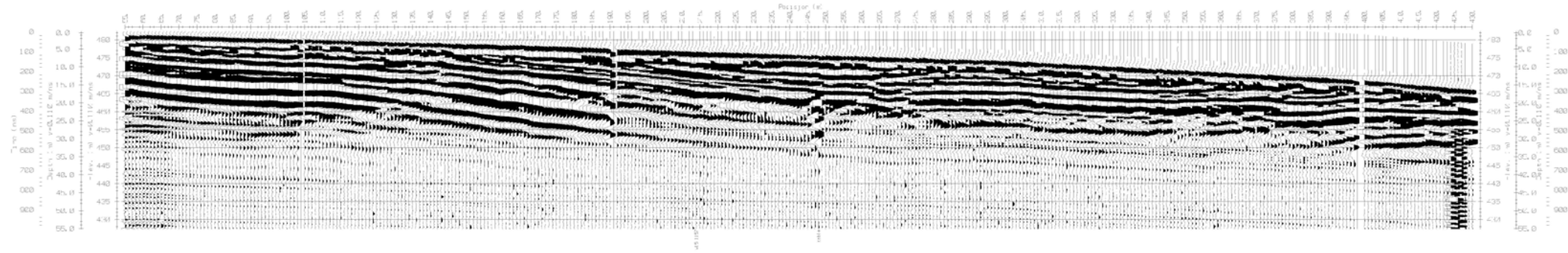


Profil W17 - 25MHz

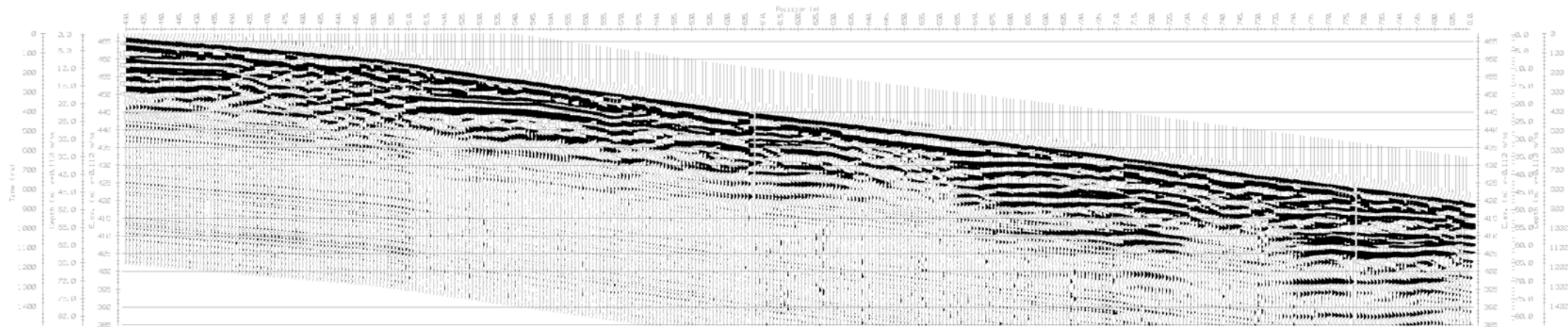


NORSK HYDRO GEORADAROPPTAK W15, W16, W17 og W20	MÅLESTOKK	MÅLT JSR	Juli 2004
	1 : 20 000 (kart)	TEGN HE	Nov. 2004
WORDIEKAMMEN SVALBARD	TEGNING NR	KARTBLAD C7	
	NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	2004.058-07	DICKSONFJORDEN

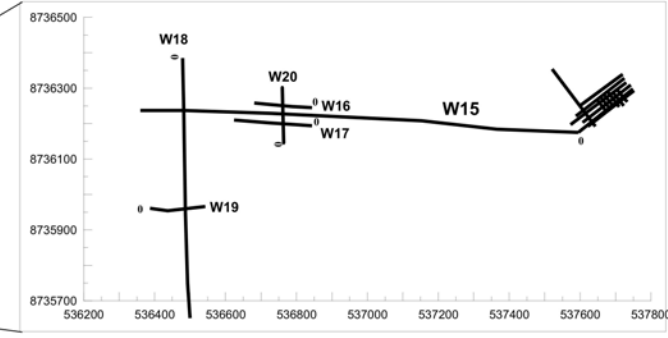
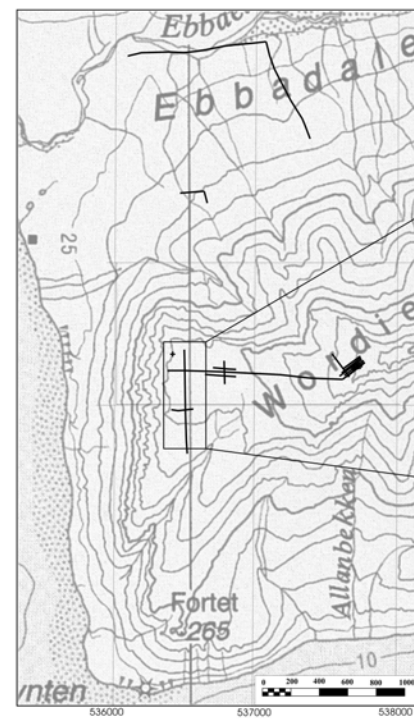
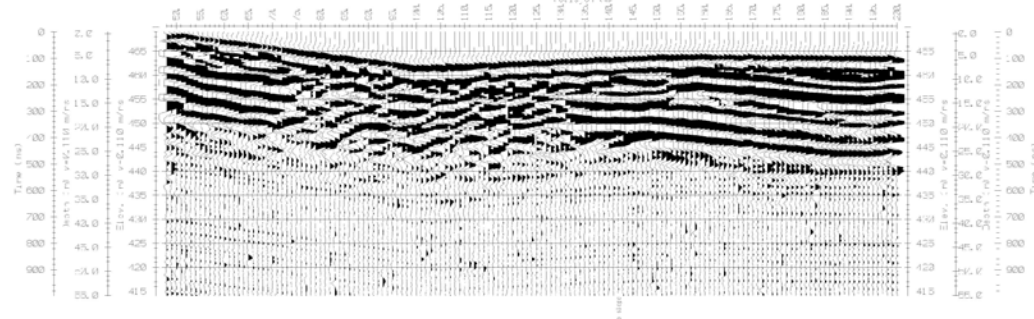
Profil W18 - 25MHz



Profil W18- 25MHz (forts.)

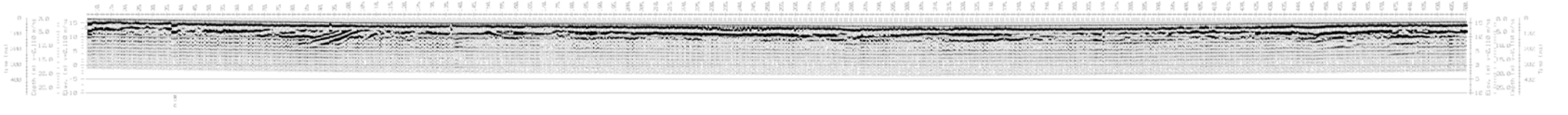


Profil W19 - 25MHz

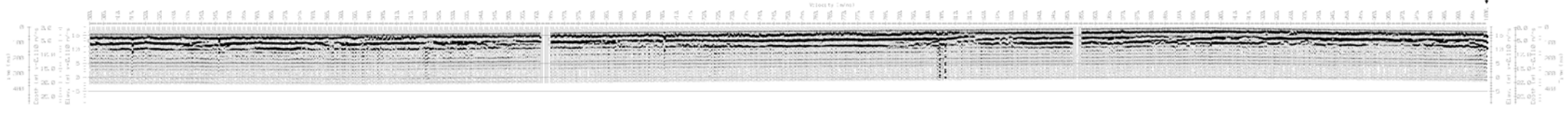


NORSK HYDRO GEORADAROPPTAK W18, W19 STED KOMMUNE OG FYLKE	MÅLSTOKK MÅLT NR. JULI 2004
	TEGN NR. NOV. 2004
NORSGEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TRAC
	RFR KONF.
TEGNING NR. 2004.058-08	KARTBLAD C7 DICKSONFJORDEN

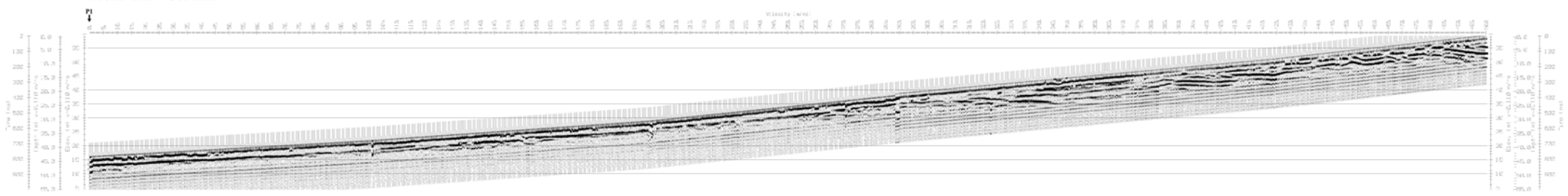
Profil P1 - 50MHz



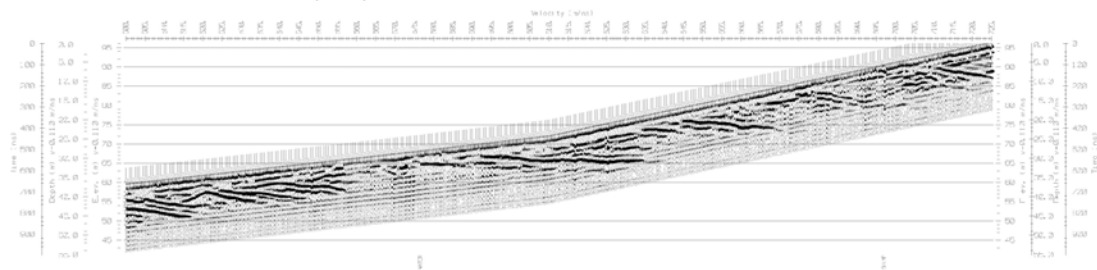
Profil P1 - 50MHz (forts.)



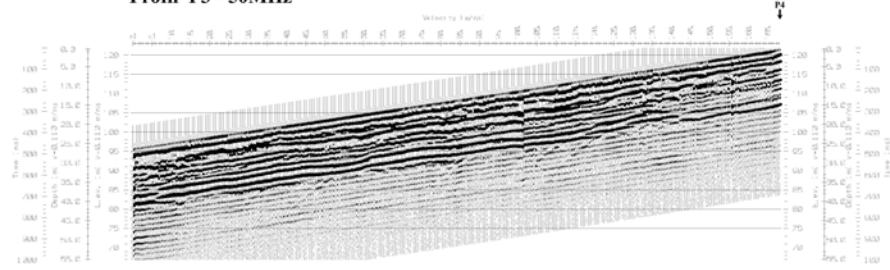
Profil P2B - 50MHz



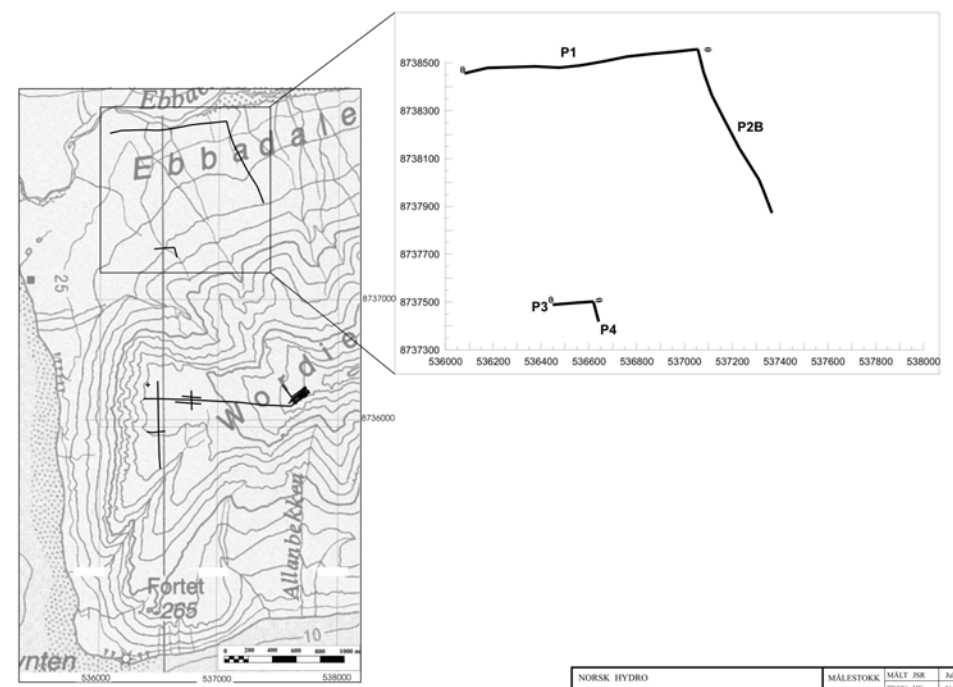
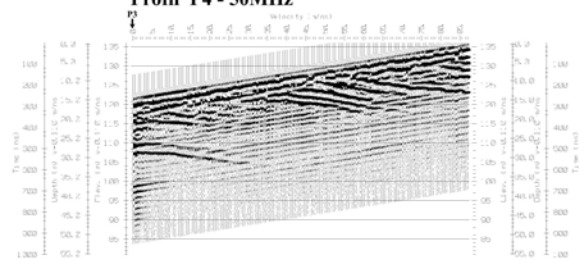
Profil P2B - 50MHz (forts.)



Profil P3 - 50MHz



Profil P4 - 50MHz



NORSK HYDRO GEORADAROPPTAK P1, P2B, P3, P4 EBBADALEN SVALBARD	MALESTORCK 1 : 20 000 (kart)	MALESTORCK TRAC KTR KONF	Juni 2004 Juni 2004
	NORSGEOLGISCHE UNDERSOKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 2004.058-09	KARTBLAD C7 DICKSONFORDEN