



# **GEOLOGI FOR SAMFUNNET**


SIDEN 1858



**NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE**  
· NGU ·





Rapport nr.: 2016.042	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen	
<b>Tittel:</b> Grunnundersøkelser på sykehustomta i Tønsberg.			
<b>Forfatter:</b> J.S. Rønning, U. Polom, G. Druivenga, J. Gellein & G. Tassis		<b>Oppdragsgiver:</b> Sykehuset i Vestfold (SIV) / NGU	
<b>Fylke:</b> Vestfold		<b>Kommune:</b> Tønsberg	
<b>Kartblad (M=1:250.000)</b> OSLO		<b>Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)</b> 1813 I Horten	
<b>Forekomstens navn og koordinater:</b> Sykehuset i Tønsberg UTM 32N 581000 - 6571300		<b>Sidetall:</b> 49	<b>Pris:</b> 150,-
<b>Feltarbeid utført:</b> 06. - 11. juni 2016		<b>Rapportdato:</b> 07. juli 2016	<b>Prosjektnr.:</b> 371200
		<b>Ansvarlig:</b> 	
<b>Sammendrag:</b> I et samarbeid mellom Sykehuset i Vestfold (SIV), Norges geologiske undersøkelse (NGU), Geophysikalische Messsysteme (GEOSYM) og Leibniz Institute for Applied Geophysics (LIAG) er det foretatt refleksjonsseismiske undersøkelser på sykehustomta i Tønsberg. Hensikten var å kartlegge dyp til fjell og samtidig gi en karakterisering av løsmassene.  Skjærbølger med varierende frekvens ble generert for hver andre meter langs profiler med energikilden ELVIS III S8 utviklet av LIAG. Reflekterte bølger ble fanget opp av 72 spesialbygde geofoner med avstand 1 meter langs profilet. Bølgene ble registrert med 3 X Geometrics Geode seismograf. I alt er det målt langs 14 korte profiler. GEOSYM var ansvarlig for datainnsamlingen mens LIAG sto for prosesseringen av data. NGU utførte innmåling av profilene med DGPS, nivellerte alle målepunkter v.h.a. detaljerte LIDAR-data, og utførte den endelige kartfremstillingen av løsmassetykkelse og fjelltopografi. På grunnlag av foreløpig prosesserte data ble det anbefalt et boreprogram som ble gjennomført av Multiconsult. Prosjektet ble administrert av NGU.  Innenfor sykehustomta i Tønsberg er det utført refleksjonsseismikk langs 14 profiler med samlet lengde ca. 1400 meter. Datakvaliteten varierte og ble karakterisert som god langs 6 av profilene, moderat langs 2 profiler og dårlig langs 6 profiler.  På grunnlag av foreløpige resultater ble det foretatt fjellkontrollboringer ved 17 lokaliteter. På grunnlag av alle tilgjengelige data er det utarbeidet en 3D modell av løsmassenes tykkelse og fjelltopografien. Løsmassetykkelsen varierer fra 0 til ca. 16 m og fjelloverflaten ligger fra ca. 24 m ned til ca. 8 m over havet. Usikkerheten i disse data antas å ligge på +/- 0,5 m, men betydelig større i områder med store variasjoner i fjelltopografien. Det har ikke vært mulig å bestemme løsmassetykkelsen langs profilene med dårlig datakvalitet uten resultater fra boringene.  Oppdragsgiver, Sykehuset i Vestfold (SIV), har fått oversendt filer som viser koordinater, bakkens høyde over havet, løsmassetykkelse og fjelloverflaten i meter over havet til bruk i organisasjonens Bygnings Informasjons-Modell (BIM).			
<b>Emneord:</b>	Geofysikk	Refleksjonsseismikk	
Skjærbølge	Vibroseismikk	Dyp til fjell	
	Løsmasser	Fagrapport	



## **Innhold**

1. INNLEDNING.....	6
2. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE .....	6
3. FORELØPIGE RESULTATER .....	9
4. FORSLÅTT OG UTFØRT BOREPROGRAM.....	12
5. TOLKNINGER, LØSMASSETYKKELSE OG DYP TIL FJELL .....	13
5.1 Eksempel på profildata. ....	13
5.2 Generering av 3D løsmassetykkelse og fjelltopografi.....	15
6. DISKUSJON.....	18
7. KONKLUSJONER.....	19
8. REFERANSER .....	20

## **VEDLEGG**

Vedlegg 1: Plott av foreløpige prosesserte data langs 14 profiler.....	22 - 34
Vedlegg 2: Tolket fjellreflektor langs de samme 14 profilene.....	35 - 48

## 1. INNLEDNING

NGU ble høsten 2015 kontaktet av prosjektleder Inge Vidar Aarset ved Sykehuset i Vestfold (SIV) med spørsmål om hvilke metoder som finnes for å bestemme dyp til fjell og samtidig karakterisere løsmassene. Sykehuset skulle bygges ut, og det var viktig å få sikker kunnskap om dyp til fjell og egenskaper til løsmassene. På dette tidspunkt var det allerede utført målinger med georadar uten at dette kunne gi svar på de aktuelle spørsmålene. Årsaken til dette var trolig at løsmassene består av leire, materialer som vil absorbere nesten all energi og redusere dybderekkevidden til et minimum.

NGU vurderte resistivitetsmålinger, men erfaring tilsier at i urbane områder med mye tekniske anlegg på og i bakken er dette ikke den beste metode. Metoden kan heller ikke bestemme dyp til fjell med den nøyaktighet som kreves ved et utbygningsprosjekt som ved SIV. Det er tidligere utført refleksjonsseismiske målinger med skjærbølger i Norge ved Trondheim Havn (Hansen et al. 2013, L'Heureux et al. 2013, Polom et al. 2010) og ved Hvitvingfoss i Numedalen (Sauvin et al. 2014). Skjærbølger har lavere hastighet og derved lavere bølgelengde enn trykkbølger (P-bølger) noe som gir bedre oppløsning og derved bedre mulighetene til å kartlegge lagdeling i løsmassene. NGUs råd til SIV var å benytte denne teknikken.

NGU ønsker å bygge opp kompetanse på urban geologi, og den metodikk som ble foreslått for undersøkelsene i Tønsberg er aktuell i denne sammenheng. Det ble derfor inngått et samarbeid der SIV dekker alle direkte kostnader knyttet til undersøkelsen mens NGU bistår med timeinnsats til feltarbeid og prosjektadministrasjon. LIAG dekket egne lønnskostnader som en del av et forskningsprosjekt. Som støtte til tolkingen av seismikken utførte Multiconsult fjellkontrollboringer og to CPTU-boringer for karakterisering av løsmassene.

Feltmålingene ble utført i perioden 6. – 11. juni 2016 av det tyske firmaet GEOSYM ved Gunther Druivenga med assistanse av NGU-medarbeiderne Jomar Gellein og Georgios Tassis. Prosesseringen av data ble utført ved Leibniz Institute for Applied Geophysics (LIAG) ved forsker Ulrich Polom. Prosjektet ble administrert av lagleder Jan S. Rønning ved NGU.

## 2. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

Ved den refleksjonsseismiske undersøkelsen ved Sykehuset i Tønsberg ble følgende utstyr benyttet:

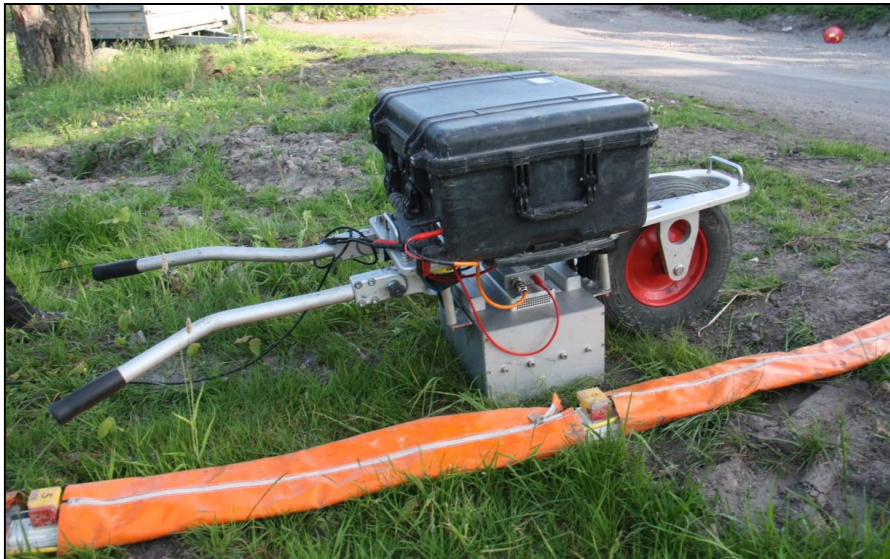
Energikilde:	ELVIS III S8, utviklet ved LIAG
Signalgenerator:	Frekvensgenerator utviklet ved LIAG
Registrering:	72 spesialgeofoner for skjærbølger
Registreringsenhet:	3 x 24 kanalers Geometrics Geode.

En "streamer" med 72 geofoner med innbyrdes avstand 1 m ble lagt ut langs de aktuelle profilene. Geofonene her har tre plastklosser under slik at de kan få god kontakt med bakken. Dette fungerer absolutt best på asfaltert veg. I områder med

løst pakket sand-grus og på plen fungerer dette mindre bra og det ble i enkelte tilfeller benyttet "plantede geofoner", geofoner med en ca. 10 cm lang spiss som trykkes ned i bakken.

Skjærbølger ble generert med 2 meters intervall over en periode på 10 sekund med varierende frekvens fra 20 til 120 Hz. Punkt for hver meter langs en reflektor i bakken gir flere refleksjoner (CMP-Fold) og disse legges sammen under prosesseringen. Kvaliteten på måledata ble kontinuerlig vurdert under måling, og støyfulle målinger ble vraket og målt på nytt. For å øke signal/støy-forholdet på skjærbølgene ble vibrasjonssekvensen gjentatt med motsatt polaritet. Ved prosesseringen kan da energien fra P-bølger kanselleres.

Frekvensinnholdet i de reflekterte signalene var jevnt over < 60 Hz med en toppverdi ved 35 Hz. Skjærbølgehastigheten var typisk 200 m/s. Dette gir en bølgelengde på 5,7 m, og en teoretisk mulighet til å identifisere individuelle lag med tykkelse 1,4 m.

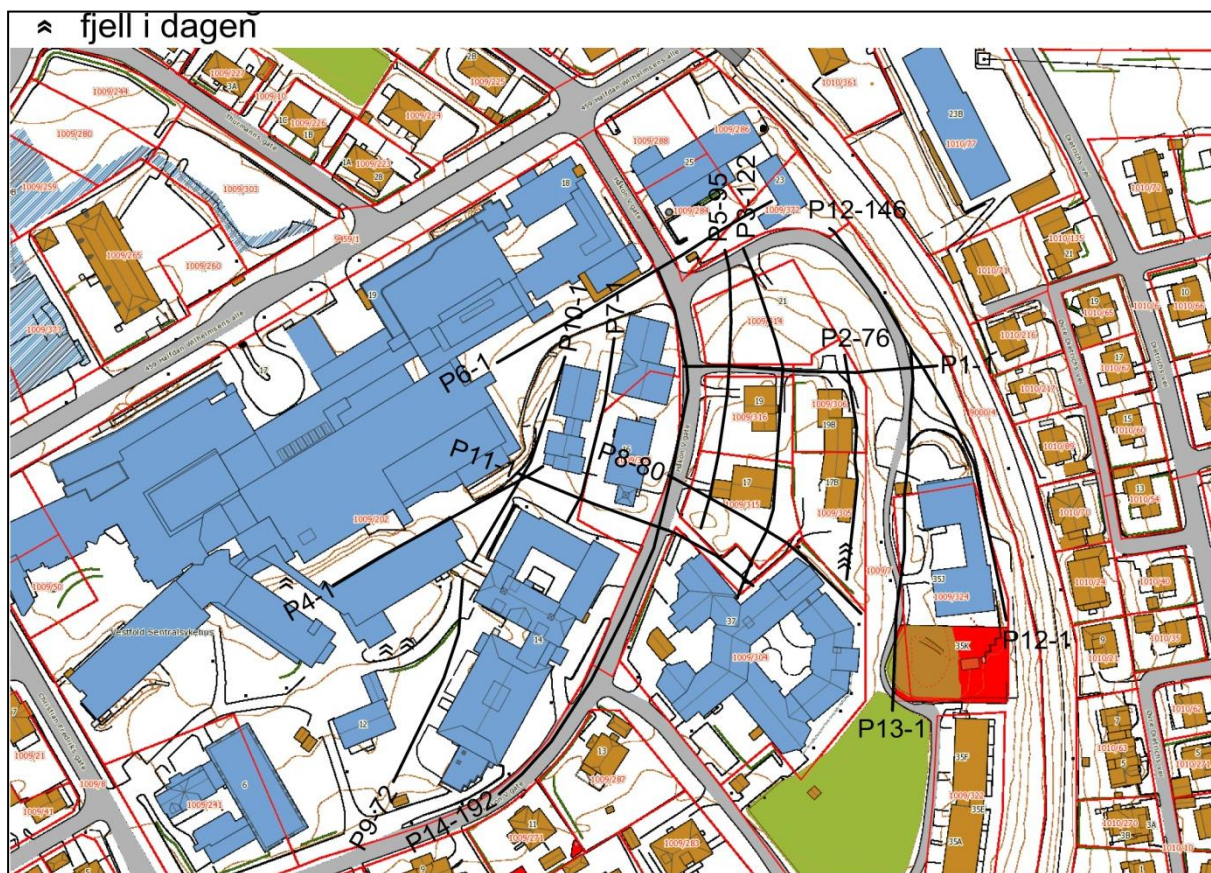


Figur 1: Energikilden ELVIS III S8 langs geofon-rekken (avstand 1 m).



Figur 2: Gunther Druivenga styrer datainnsamlingen. Gule bokser bak er 3 X Geometrics Geode seismograf. Grå boks er signalgenerator utviklet ved LIAG.

I alt ble det foretatt målinger langs 14 profiler av varierende lengde. Figur 3 viser hvor profilene ligger på sykehusomtå. Ved plassering av profiler ble det lagt vekt på fremkommelighet og grunnforhold, og linjemønsteret avviker derfor noe fra opprinnelige plan. Under måling ble det gjort observasjoner av mulig blottet fjell (fjell i dagen) som vist i Figur 3.



Figur 3: Målte profiler på sykehusomtå i Tønsberg. P13-1 angir Profil 13 og geofon nr. 1.

En foreløpig prosessering av måledata ble foretatt av Ulrich Polom ved LIAG i løpet av tre uker etter avsluttet datafangst. Prosesseringen følger i hovedsak trinnene tidligere beskrevet av Polom et al. (2010). Ved prosesseringen kan hastigheten i lagene bestemmes, men for å være sikker på riktig hastighet, og hvilke reflektorer som tolkes som lagdeling i løsmassene og fjell må disse målingene følges opp med borer, totalsondering for å bestemme dyp til fjell og CPTU for å avklare løsmassetyper. Senere forskning har vist at en med stor fordel kan hekte på en resistivitetssonde ved sistnevnte og derved få en bedre vurdering om det finnes kvikkleire i avsetningen (se bl. a. Long et al. 2012, Solberg et al. 2016).

I alt 17 fjellkontrollboringer og to CPTU-boringer for karakterisering av løsmassene ble utført av Multiconsult i uke 36 (5. - 9. september 2016, Multiconsult 2016). På grunn av logistikkvansker ble det ikke utført R-CPTU boringer slik NGU ønsket. Resultater fra boringene og de refleksjonsseismiske profilene ble så benyttet i den endelige digitaliseringen av fjelltopografien som ble utført av Ulrich Polom.

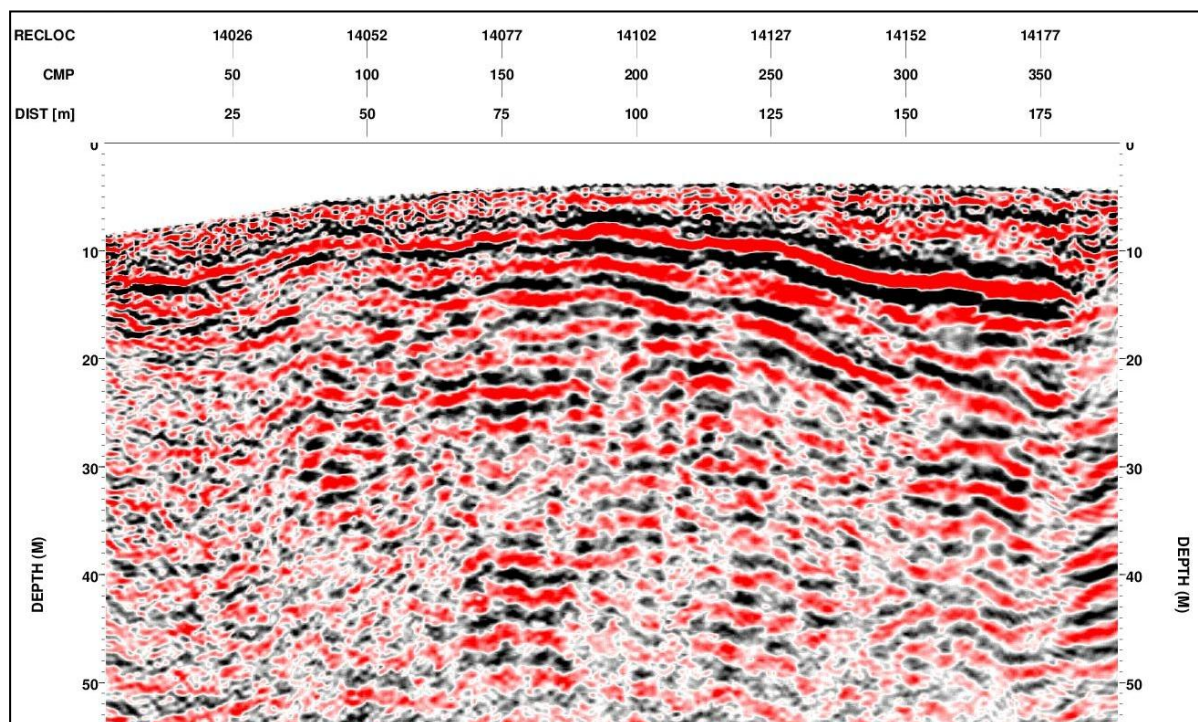


Profilene ble målt inn av Jomar Gellein fra NGU ved hjelp av Differensiell GPS (Topcon Legacy). I noen punkter trengt inn mot høye sykehusbygg ble antall tilgjengelige satellitter for lavt og høydedata ble derfor noe usikker. Alle målpunktene høyde ble derfor bestemt ut fra LIDAR-data som har en nøyaktighet på 1 dm og med 3 – 5 høydeangivelser pr. kvadratmeter. Høyde er angitt med referanse i datum NN2000.

### 3. FORELØPIGE RESULTATER

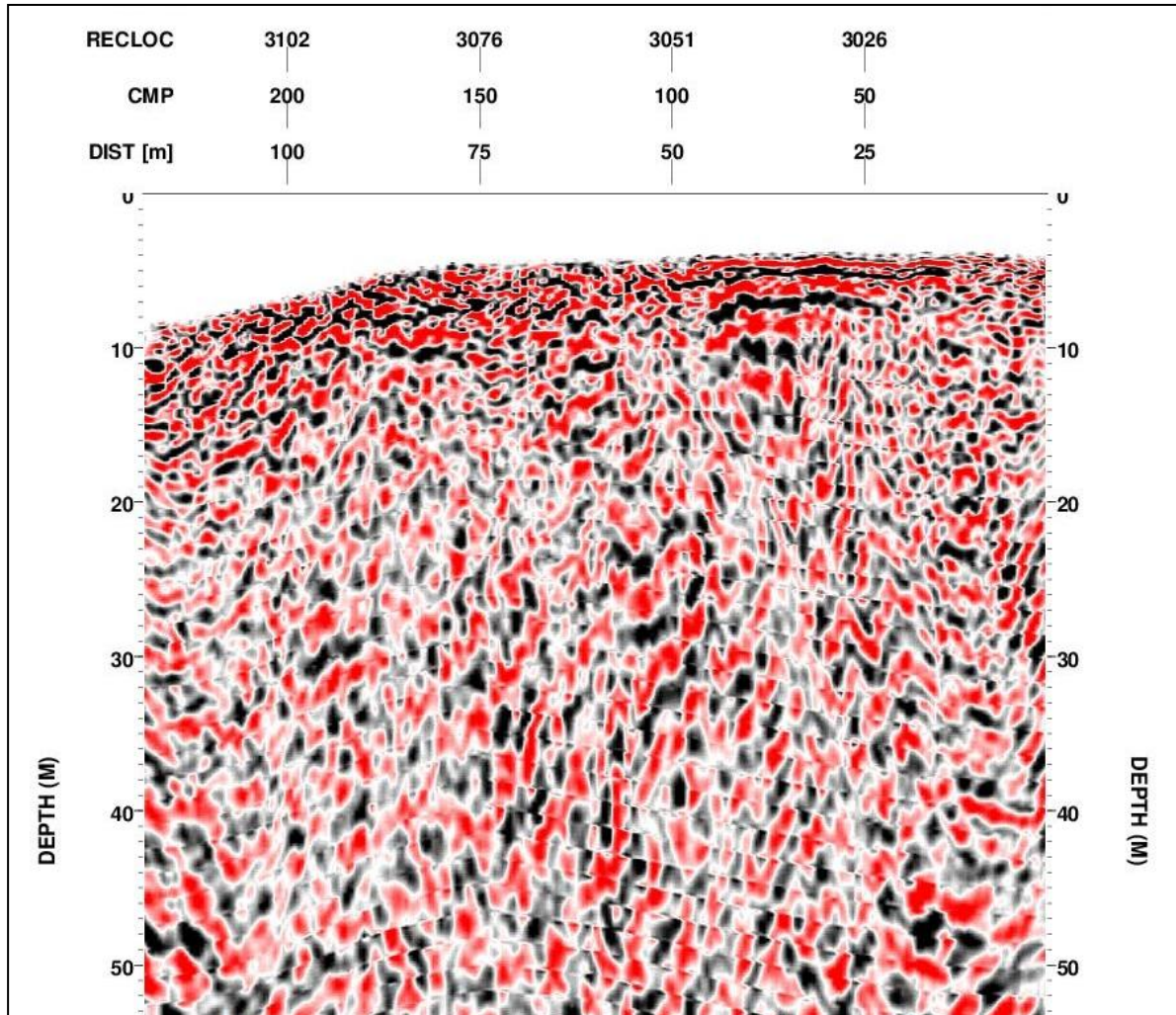
Figur 4 viser eksempel på plott av foreløpig prosesserte data med god kvalitet. Figur 5 viser data av mindre god kvalitet. Foreløpige plott av alle prosesserte data er vist i vedlegg 1 sidene 1 til 14.

Målingene langs profil 14 viser meget gode resultater (Figur 4). En sammenhengende skarp reflektor (svart- rød – svart) kan følges fra dybde 12 m i starten av profilet til samme dyp ved slutten av profilet. Dette kan representere fjelloverflaten, men en ser også en reflektor under dette. Sistnevnte kan være en "multippel" (en repetert respons av den første) og derved en falsk reflektor. Ved å anta at det er bare den første reflektoren som er sann vil dyp til fjell variere fra ca. 3 meter de første 100 metrene og øke til ca. 9 meter ved slutten av profilet. Merk at terrenget stiger langs profilet. I den dypeste delen av profilet indikeres en reflektor som kan representere en lagdeling i løsmassene. På slutten av profil 6 indikeres opp mot 15 meter løsmasser (Vedlegg 1 side 6) og her er det rapportert leire (Aarset, personlig meddelelse). Høydeskala refererer her til høyeste punkt i det undersøkte området (NN2000).



Figur 4: Eksempel på data av meget god kvalitet, Profil 14. RELOC angir nummer på geofon, CMP posisjon i dypet for refleksjonen og DIST avstand langs profilet i meter. Dybdeskala i plottet er angitt i forhold til høyeste geofon i undersøkelsen.

Profil 3 (Figur 5) viser data av mindre god kvalitet. Refleksjonsmønsteret er kaotisk i store deler av profilet. I første del av profilet (DIST 15 til 50) opptrer sterke refrakterte bølger nært overflaten, dvs. bølger som er blitt brutt ved en laggrense og følger denne. Dette representerer trolig nær utgående fjell.



Figur 5: Eksempel på data med mindre god datakvalitet, Profil 3. Angitte begrep er forklart i Figur 4.

Ulrich Polom, som har prosessert data, karakteriserer kvaliteten som vist i tabell 1. Kvaliteten karakteriseres som god, moderat og dårlig. I kommentarene angis hvilket materiale profilet går over, områder med sterke refraksjoner som kan bety grunt til fjell, kvalitet på refleksjoner m.m.

Profil	Lengde (m)	Data-kvalitet	Kommentar: Materialtype og datakvalitet.
1	83	Moderat	Første del: Sterke refraksjoner (grunt til fjell?) Svake refleksjoner, Andre del: Med <b>asfalt</b> fine grunne refleksjoner.
2	72	Dårlig	Delvis <b>plen</b> . Sterke refraksjoner (grunt til fjell?), svake refleksjoner
3	136	Dårlig	<b>Plen og fylling?</b> Første del: Sterke refraksjoner (grunt til fjell?). Andre del: Svake refleksjoner, overflatebølger
4	82	Moderat	<b>Asfalt</b> mellombygg. Første del: Refraksjoner og refleksjoner (grunt til fjell?) Andre del: Bare refleksjoner
5	94	Dårlig	<b>Plen og fylling?</b> Svake refleksjoner, ingen refraksjoner
6	104	God	<b>Asfalt</b> . Fine refleksjoner, grunne refraksjoner i andre del.
7	63	God	<b>Plen, noe asfalt</b> . Fine refleksjoner, sjelden eller ingen refraksjoner
8	74	Dårlig	<b>Plen</b> . Veldig grunne refraksjoner (grunt til fjell?) frem til geofon 35. Deretter uvanlige responser.
9	70	Dårlig	<b>Mest plen</b> . Ingen refleksjoner, ingen refraksjoner
10	76	God	<b>Delvis asfalt</b> . Klare refleksjoner, ingen refraksjoner
11	87	God	<b>Asfalt</b> . Tydelig refleksjon på fjell, refraksjoner, lite støy
12	143	God	<b>Asfalt</b> , noe gress i midten. Vanskelig å prosessere p.g.a. sterke inhomogeniteter langs profilet.
13	120	Dårlig	<b>Delvis asfalt, pågående anleggsarbeid</b> . Åpenbart grunt til fjell, støy fra vind og vegarbeid.
14	190	God	<b>Asfalt</b> , beste betingelser for skjærbølge refleksjons-seismikk.

Tabell 1: Profillengde, datakvalitet og kommentarer til de målte refleksjonsseismiske profilene.

#### 4. FORSLÅTT OG UTFØRT BOREPROGRAM

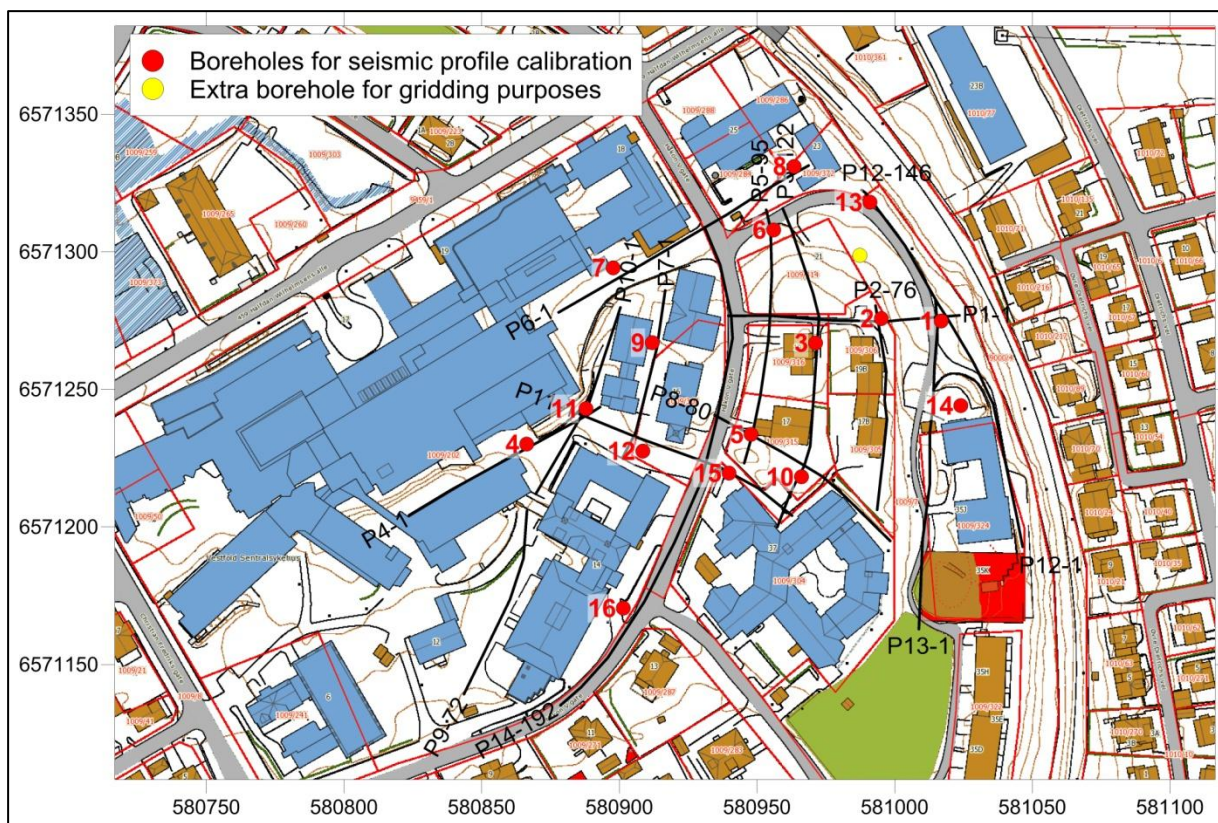
Som avtalt ved prosjektoppstart var det nødvendig med supplerende boringer for å få en bedre bestemmelse av dyp til fjell og karakterisering av løsmassene. Boreprogrammet foreslått i tabell 2 bygger på forslag fra Ulrich Polom hvor formålet er først og fremst testing og kalibrering av refleksjonsseismikken. NGU har justert forslaget fra Polom noe, og i tillegg forslått en annen boring primært for å få en bedre dekning ved endelig utarbeidelse av kart over fjelltopografi (Borepunkt Ekstra i tabell 2). Utført boreprogram avviker noe i forhold til NGUs forslag (se tabell 2)

Type boring er diskutert tidligere. Totalsondering vil gi sikker informasjon om dyp til fjell mens en ved CPTU (Trykksondering med poretrykksmåling, Sandven et al. 2015) vil gi informasjon om massetyper. Ut fra foreløpige tolkinger og samtaler med byggeleder på området, er det stedvis veldig grunt til fjell. Ved noen steder er det likevel behov for å kalibrere de refleksjonsseismiske data. I to områder ble det indikert noe større dyp til fjell og her var det ønskelig med CPTU-boring for karakterisering av mulig leiravsetninger. Som tidligere nevnt vil resistivitet i kombinasjon med CPTU (R-CPTU) gi en ekstra dimensjon i karakteriseringen av mulige leiravsetninger, men dette var ikke mulig å gjennomføre innenfor akseptabel tidshorisont. Det foreslåtte boreprogrammet ble gjennomført hovedsakelig som planlagt bortsett fra CPTU-boringene som ble gjennomført uten resistivitetmåling og mindre justeringer i posisjon (se tabell 2).

Borepunkt	Forslag			Utført			Avstand fra forslag (m)	Type boring
	UTM 32N Øst	UTM 32N Nord	Høyde m o.h.	UTM 32N Øst	UTM 32N Nord	Høyde m o.h.		
1	581017	6571277	20,2	581017	6571275	20,3	1,71	Total
2	580993	6571278	22,4	580995	6571276	22,3	2,75	Total
3	580970	6571268	24,3	580971	6571267	24,5	1,34	Total
4	580867	6571229	25,6	580866	6571230	25,6	1,41	Total
5	580948	6571235	24,7	580948	6571234	24,7	1,35	Total
6	580954	6571309	19,8	580956	6571308	20,2	2,2	Total
7	580900	6571291	19,7	580898	6571294	19,8	4,14	Total
8	580964	6571329	18,9	580963	6571331	18,8	2,51	Total + CPTU
9	580911	6571260	23,2	580912	6571267	22,8	6,68	Total
10	580968	6571220	25,0	580966	6571218	25,0	2,51	Total
11	580887	6571244	24,4	580888	6571243	24,6	1,59	Total
12	580909	6571232	23,8	580908	6571228	24,0	4,5	Total
13	580990	6571319	19,5	580991	6571318	19,5	0,84	Total
14	581035	6571241	20,2	581024	6571244	22,4	11,25	Total
15	580930	6571221	24,3	580940	6571220	24,4	9,72	Total
16	580904	6571167	24,5	580901	6571170	23,8	4,01	Total + CPTU
17, Extra	580984	6571296	21,0	580987	6571299	20,5	4,12	Total

Tabell 2: Forslag til boreprogram og utførte boringer på sykehustomta i Tønsberg.

I figur 6 er det endelige boreprogrammet plottet på kart sammen med måleprofilene. Forfatterne påpekte at det ut fra geotekniske vurderinger kunne være behov for ytterligere boringer, men det ble ikke utført boringer ut over NGUs forslag.



Figur 6: Utførte boringer sett i forhold til målte profiler.

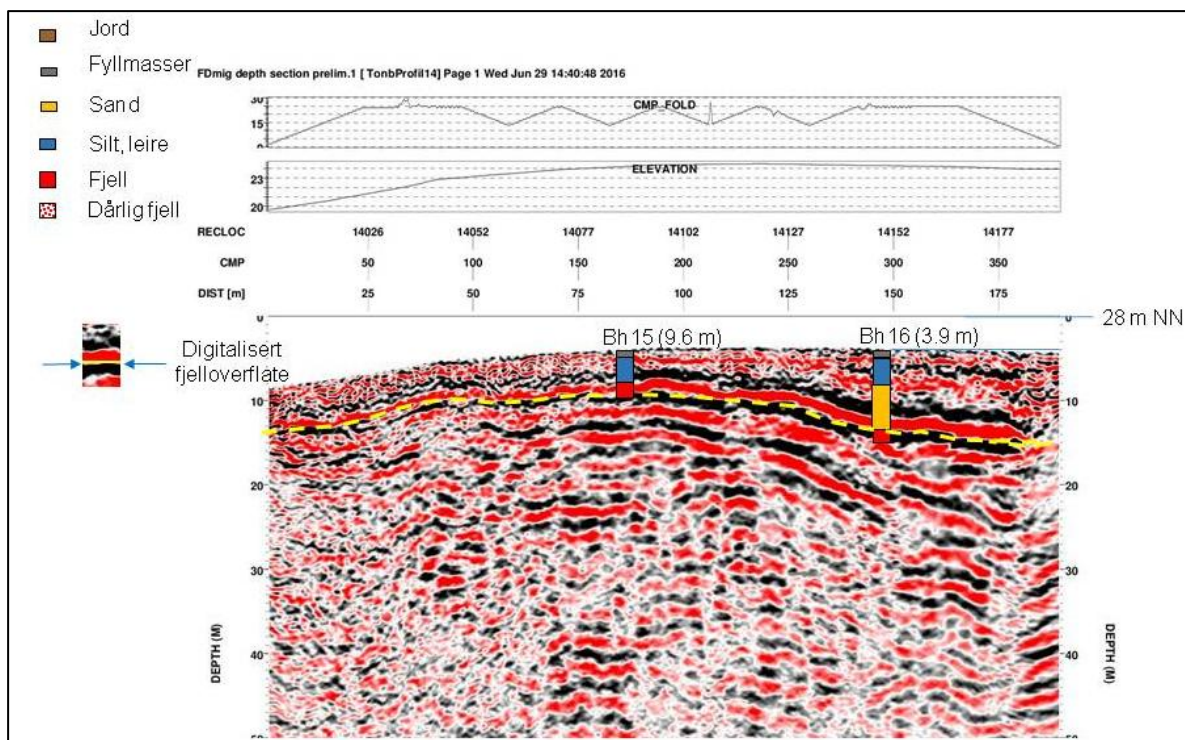
## 5. TOLKNINGER, LØSMASSETYKKELSE OG DYP TIL FJELL

I dette avsnittet presenteres en samtolkning av løsmassetykkelse og dyp til fjell basert på de refleksjonsseismiske data, resultatene fra boringene og blottet fjell.

### 5.1 Eksempel på profildata.

Etter å ha mottatt rapport fra boringene har LIAG ved Ulrich Polom vurdert den opprinnelige prosesseringen til å være god og reprosessering av seismikkdata var derfor ikke nødvendig. Resultater fra boringene ble plottet direkte på de seismiske profilene, og fjellreflektor ble digitalisert som en samtolkning av resultater fra seismikken og boringene. Langs profilene er dyp til fjell bestemt for hver 0,5 meter. I tillegg er observerte blotninger av fjell benyttet.

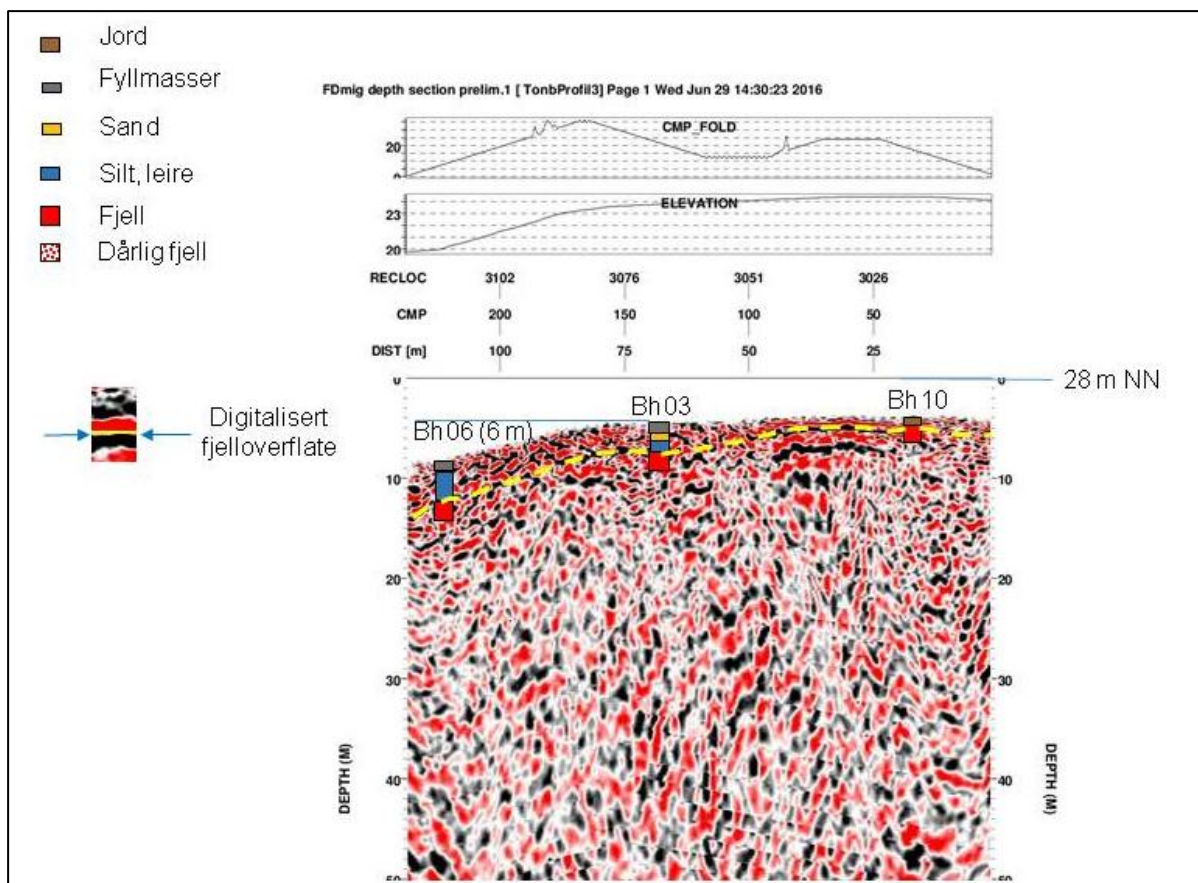
Figur 7 viser et eksempel på samtolkning med gode seismiske data (profil 14), mens figur 8 viser samtolkning langs et profil med mindre bra seismiske data (profil 3). Tilsvarende resultater fra alle de seismiske profilene unntatt profil 9 er vist i vedlegg 2.



Figur 7: Eksempel på tolkede data av meget god kvalitet, Profil 14. Resultater fra borer med angivelse av massetyper er hentet fra borerapport (Multiconsult 2016). Angitte begrep er forklart i Figur 4. Tall i parentes etter angivelse av borenummer angir avstand fra profil til boring.

En gjennomgående trend langs alle profiler er at fjellreflektoren i følge borer faller langs overgangen mellom markert rødt utslag og underliggende svart utslag på de seismiske opptakene (se vedlegg 2). Av praktiske årsaker ble borer langs profil 14 plassert 3,9 og 9,6 meter fra seismikkprofilen. Ved Bh16, som står nærmest seismikkprofilen, passer tolkingen meget bra. Ved Bh15, stemmer ikke tolkingsmodellen fullt så bra, noe som skyldes avstanden mellom profil og borehull. Siden kvaliteten på seismikken her er så god, vurderes den digitaliserte fjelloverflaten som sikker. Profilen demonstrerer ellers hvordan en med geofysiske målinger, her refleksjonsseismikk, kan utvide informasjon fra borepunkter til også å gjelde en to-dimensjonal modell (2D) langs et profil. Ved å sammenholde resultater fra flere profiler kan en tredimensjonal modell av fjelltopografien utarbeides.

Ved borehull 15 er løsmassene tolket som ca. 1 m grus og stein over 3,2 m silt og leire (Multiconsult 2016). Det første laget kan være påfylte masser. Tilsvarende er løsmassene ved Bh16 tolket som 1m fyllmasse over 3,2 m silt/leire med noe sand, som igjen ligger over et lag tolket til silt og sand med noe grus. Overgangen fra topplaget til underliggende finkornige masser (silt/leire) synes å ligge ved en markert tynn (høyfrekvent) rød reflektor. Noe tilsvarende kan sees ved noen av de øvrige profilene (se vedlegg 2). Forfatterne mener likevel at dette er for svake indikasjoner til å kunne tolke denne laggrensen. Tilsvarende må også sies ved overgangen fra finkornige masser (blå) til underliggende mer sandige masser med innslag av silt og sand i Bh 16. Ut fra dette må en konkludere at det i denne undersøkelsen ikke har vært mulig å tolke laggrenser i løsmassene ut fra refleksjonsseismikken. Årsaken til dette er liten tykkelse på løsmassene kombinert med delvis dårlig datakvalitet. Det kan også tenkes at overgangen mellom massetyper er gradvis, og at det ikke eksisterer noen klar kontrast i seismisk impedans (hastighet X tetthet).



Figur 8: Eksempel på tolkede data med mindre god datakvalitet langs Profil 3. Resultater fra boreringer med angivelse av massetyper er hentet fra borerapport (Multiconsult 2016). Angitte begrep er forklart i Figur 4.

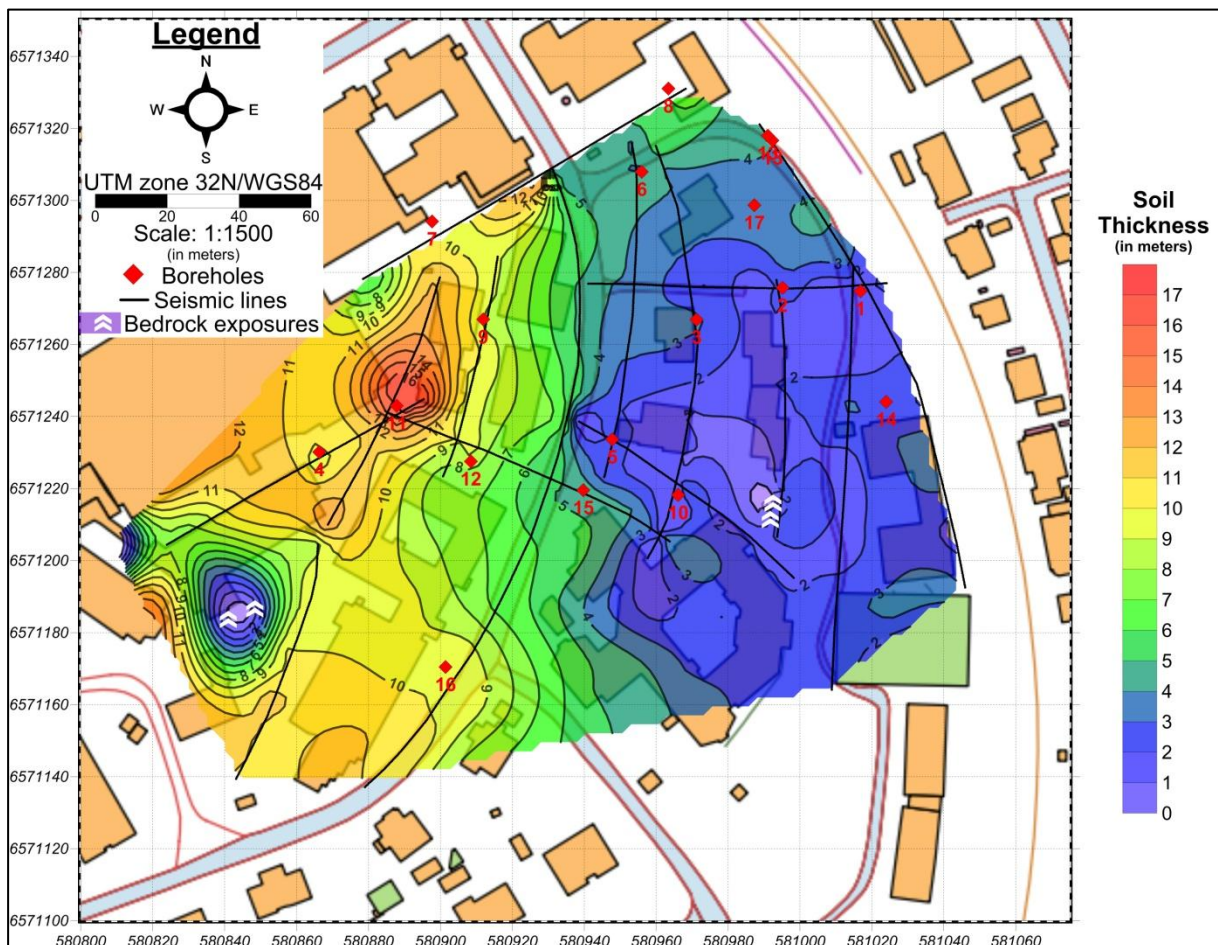
Langs profil 3 er kvaliteten på refleksjonsseismikken betydelig dårligere. Årsaken til dette er delvis uheldige overflatemasser for denne type seismikk (gress og løst lagrede sedimenter) og delvis tynne løsmasser. Uten boreringer langs dette profilet, har det ikke vært mulig å tolke noen fjellreflektor på rette nivå.

Det er heller ikke mulig å se klare reflekser fra påviste grenser mellom massetyper. Årsaken er som for profil 14, og i tillegg den dårlige datakvaliteten langs dette profilet, og at de forskjellige lagene er tynne i forhold til bølgelengden (5,7 m) på de seismiske signalene.

## 5.2 Generering av 3D løsmassetykkelse og fjelltopografi.

På grunnlag av digitalisert fjelloverflate langs de enkelte profilene har NGU generert en oversikt over løsmassenes tykkelse og fjelltopografi i tre dimensjoner (3D). Opprinnelig var det planlagt å benytte DGPS for både koordinatfesting og nivellering av målepunkter. På grunn av stedvis høye bygninger og noe skog som skjermer for satellitter, ble ikke disse data så god som ønsket. NGU benyttet derfor kartverkets LIDAR-data for nivellering, mens koordinatene ble hentet fra DGPS-målinger i punkter og interpolasjon mellom disse. I gjennomsnitt er det målt inn punkter for hver 20 meter, men punktetheten er bestemt av knekkpunkter og høydeforskjeller langs profilene.

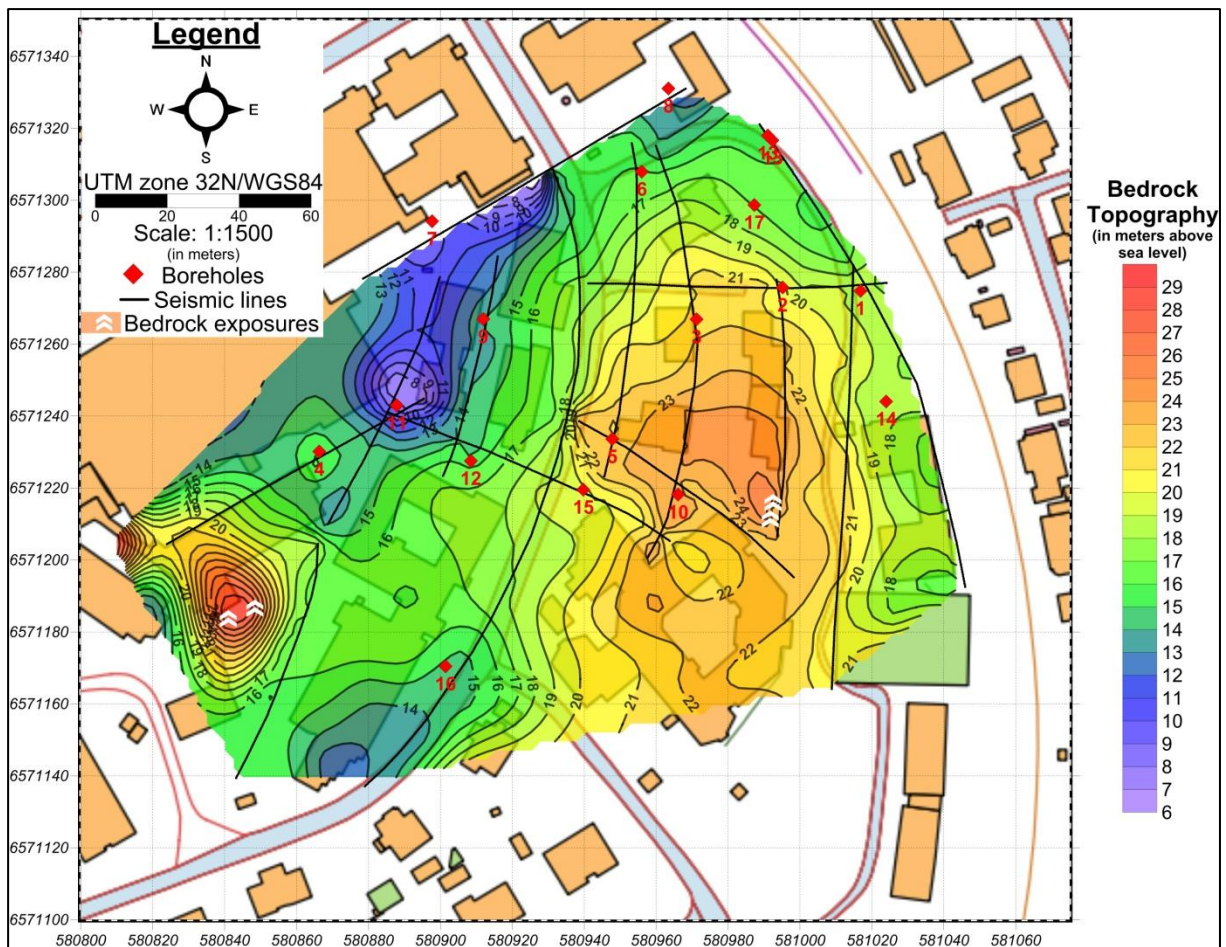
Gridding og konturering av data som er samlet tett langs profiler mens avstanden mellom profilene er større, gir utfordringer. Dersom en ønsker å opprettholde oppløsningen langs profilene kan det bli konstruert kunstige effekter mellom profilene. For å unngå dette, må en lage et gridd (regulært rutemønster) av større celler, men da tapes detaljer langs profilene. For å overkomme dette dilemmaet, har NGU griddet data med to celled størrelser, 2,5 m X 2,5 m og 5 m X 5 m. I utgangspunktet er det første griddet med celled størrelse 2,5 m X 2,5 m benyttet, men med innfyll av punkter mellom profilene fra griddet med celled størrelse 5 m X 5 m. I tillegg til data fra seismikken og boringene er fjellblotninger på to steder benyttet. Griddet er generert ved å benytte "Minimum curvature" i programsystemet Surfer (Golden Software).



Figur 9: Konturert løsmassetykkelse basert på tolkning av refleksjonsseismikk, boringer og blottet fjell.

Figur 9 viser et konturkart over løsmassetykkelsen på sykehustomta i Tønsberg. Alle tilgjengelige data er benyttet ved utarbeidelsen, resultater fra boringene, tolket løsmassetykkelse fra refleksjonsseismikken og kartlagte fjellblotninger. Som det fremgår av figur 9 varierer løsmassetykkelsen fra blottet fjell (ved UTM koordinat 580990 - 6571215) til mer enn 16 meter løsmasser ved borehull 11 (ved UTM koordinat 580890 – 6571245). Lengst mot vest er løsmassetykkelsen generelt mindre enn ca. 4 meter, mens de er noe større mot øst. I ytterkanter der det ikke finnes måledata, er usikkerheten i løsmassetykkelsen større.

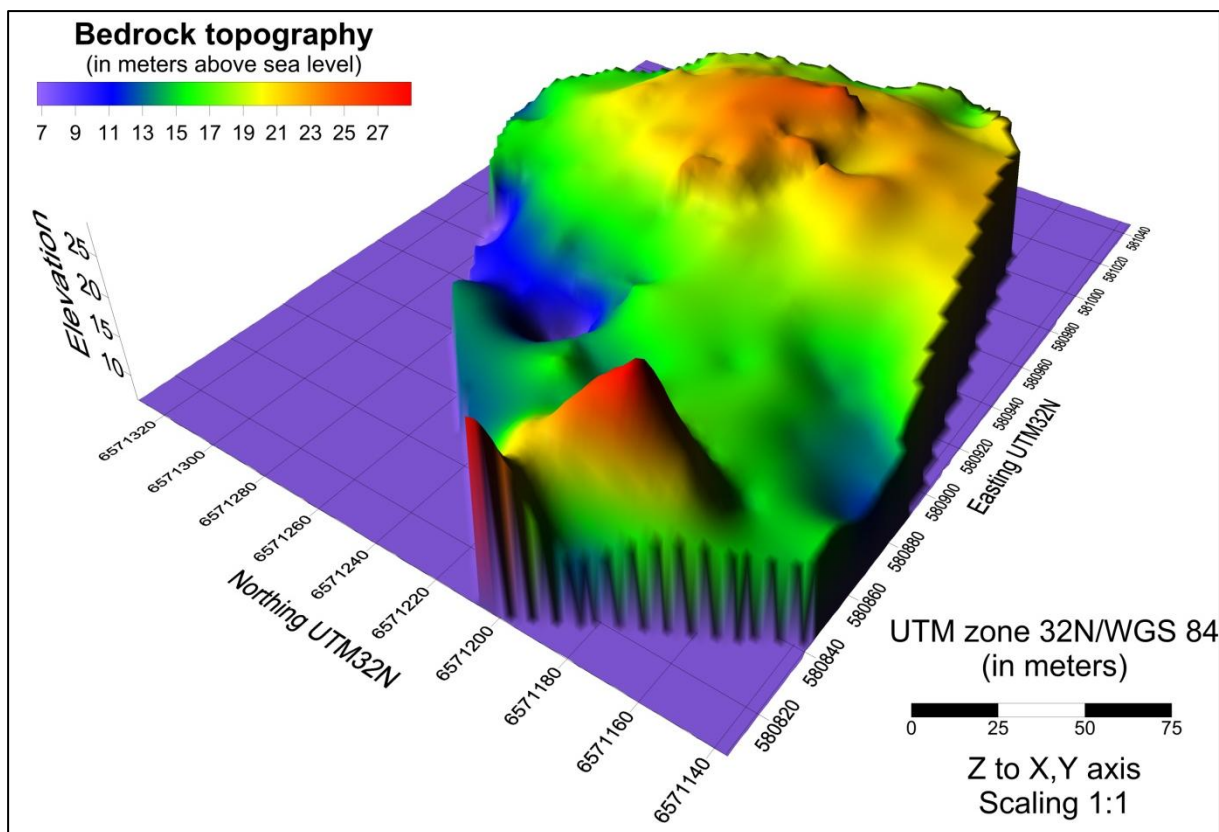




Figur 10: Tolket fjelltopografi basert på refleksjonsseismikk, boringer og blottet fjell.

Ved utarbeidelse av fjelltopografikartet vist i figur 10, er de samme prosedyrer som ved løsmasseykkelsen benyttet. For å få et så godt utgangspunkt for beregningene som mulig, er bakkeoverflaten hentet fra kartverkets LIDAR-data, og fjelloverflaten er funnet ved å trekke tolket løsmasseykkelse langs profilene fra denne. Som konturkartet i figure 10 viser varierer fjelloverflaten fra ca. 24 meter ned til ca. 8 meter over havet referert til datum i NN2000. Figur 11 viser fjelltopografien fremstilt som en 3D-modell.

De data som her er vist er oversendt Sykehuset i Vestfold som x-y-z-filer der x og y representerer UTM-koordinater (UTM-sone 32N) mens tre z-verdier er bakkens høyde over havet i meter (fra LIDAR-data med datum NN2000), tolket løsmasseykkelse i meter og fjelltopografien i meter over havet. Det er utarbeidet en fil med disse data langs alle profiler med punkttetthet 0,5 meter. I tillegg er det utarbeidet en fil med griddede verdier med cellestørrelse 2,5 m X 2,5 m.



Figur 11: Presentasjon av fjelltopografien som 3D-modell.

## 6. DISKUSJON

Datakvaliteten ved de refleksjonsseismiske undersøkelsene ble varierende. Langs enkelte profiler ble kvaliteten karakterisert som god, langs noen profiler som moderat og langs andre som dårlig. Best kvalitet fikk en langs profiler som ble målt langs asfaltert veg (profilene 4, 6, 10, 11, 12 og 14). En fikk jevnt over dårlig kvalitet over plen og antatte fyllinger (profilene 2, 3, 5, 8, 9 og 13). Kvaliteten av data ser også ut til å være styrt av løsmassetykkelsen. I områder der fjellet ligger grunt (ca. 1 meter eller mindre) ble kvaliteten av data karakterisert som dårlig. Det er rimelig å anta at kvaliteten ville blitt bedre dersom det hadde vært større løsmassetykkelser.

Hvor tykke lag det er mulig å påvise avhenger av de reflekterte signalenes bølgelengde som ved denne undersøkelsen var på ca. 5,7 m (varierer med hastigheten). Teoretisk er det mulig å se lagtykkelser ned mot 1,4 meter med denne bølgelengden, men i praksis er dette vanskelig, spesielt med moderat og dårlig datakvalitet. Et annet forhold som påvirker oppløsningen er om det finnes klare kontraster i seismisk impedans (hastighet x tetthet) i de enkelte lag. Ved boringer blir det skilt mellom f.eks silt/leir og silt. Disse overgangene kan godt være gradvise, og det betyr at en ikke har klare kontraster som kan gi reflekser, og om det er klare kontraster, så behøver ikke de være så sterke at en får klare reflekser. Ved undersøkelsen ved sykehuset i Tønsberg må vi konkludere med at det ikke er mulig å se klare laggrensene i løsmassene.

En viktig parameter ved denne type undersøkelse er nøyaktigheten i angivelse av dyp til fjell. I denne undersøkelsen er bakkehøyde hentet fra LIDAR-data som har en nøyaktighet ned mot en desimeter i høyde, og med opp mot 5 punkter pr. m<sup>2</sup>. Som nevnt var bølgelengden på de seismiske signalene 5,7 meter. Ved digitalisering av fjellreflektor kan en ikke regne med en større nøyaktighet enn +/- 0,3 meter. I områder med dårlig datakvalitet må en påregne større usikkerhet. Enkelte av de seismiske linjene viser hurtige variasjoner i dyp til fjell. Tilsvarende variasjonene kan godt ligge mellom de seismiske linjene uten at en kan ha kontroll på dette. En må derfor anta at usikkerheten i angivelse av dyp til fjell ligger generelt i området +/- 0,5 meter.

Lengst øst i det undersøkte området er det store variasjoner i fjelltopografien. På en strekning på 70 meter øker løsmassetykkelsen fra 0, (blottet fjell) til 16 meter. I dette området kan det finnes bratte skrenter som gjør at nøyaktigheten i angivelse av fjelltopografien er betydelig større enn +/- 0,5 m. Dette er i et område med etablert bebyggelse, og den usikkerheten vil ikke ha så mye å si for den planlagte utbyggingen av sykehuset i Tønsberg.

## **7. KONKLUSJONER**

Innenfor sykehusomtata i Tønsberg er det utført refleksjonsseismikk langs 14 profiler med samlet lengde ca 1400 meter. Det er benyttet skjærbølger generert med vibrator med varierende frekvens. Datakvaliteten varierte og ble karakterisert som god langs 6 av profilene, moderat langs 2 profiler og dårlig langs 6 profiler.

På grunnlag av foreløpige resultater ble det foretatt fjellkontrollboringer ved 17 lokaliteter. På grunnlag av disse data er det utarbeidet en 3D modell av løsmassenes tykkelse og fjelltopografien. Løsmassetykkelsen varierer fra 0 til ca. 16 m og fjelloverflaten ligger fra ca. 24 m ned til ca. 8 m over havet. Usikkerheten i disse data antas å ligge på +/- 0,5 m i områder med lavt fjelltopografisk relieff. I områder med hurtige skiftninger i fjelltopografien er usikkerheten betydelig større. Det har ikke vært mulig å bestemme løsmassetykkelsen langs profilene med dårlig datakvalitet uten resultater fra boringene.

Oppdragsgiver, Sykehuset i Vestfold (SIV), har fått oversendt filer som viser koordinater, bakkens høyde over havet, løsmassetykkelse og fjelloverflaten i meter over havet.

## 8. REFERANSER

Hansen, L., L'Heureux J-S, Sauvin, G., Polom, U., Lecomte, I., Vanneste, M., Longva, O. & Krawczyk, C.M. 2013: Effects of mass-wasting on the stratigraphic architecture of a fjord-valley fill: Correlation of onshore, shear-wave seismic and marine seismic data at Trondheim, Norway. *Sedimentary Geology* 289 (2013) 1–18.

L'Heureux, J-S., Long, M., Vanneste, M., Sauvin, G, Hansen, L., Polom, U., Lecomte, I., Dehls, J.F. & Janbu, N. 2013: On the prediction of settlement from high-resolution shear-wave reflection seismic data: The Trondheim harbor case study, mid Norway. *Engineering Geology* 167 (2013) 72–83.

Multiconsult 2016: Tønsbergprosjektet – Grunnundersøkelser. Nordconsult  
DOKUMENTKODE: 129172-1-RIG-RAP-001

Polom, U., L'Heureux, J.-S., Hansen, L., Lecomte, I., Longva, O., Krawczyk, C.M. 2010: High-resolution SH-wave reflection seismics for characterization of onshore ground conditions in the Trondheim harbor, central Norway. In R.D. Miller, J.D. Bradford & K. Holliger (eds.), *Advances in Near-Surface Seismology and Ground-Penetrating Radar*, SEG, Tulsa, p. 297-312.

Sauvin, G., Lecomte, I., Bazin, S., Hansen, L., Vanneste, M. & L'Heureux, J-S. 2014: On the integrated use of geophysics for quick-clay mapping: The Hvitvingfoss case study, Norway. *Journal of Applied Geophysics* 106 (2014) 1–13.

Long, M., Donohue, S., L'Heureux, J-S., Solberg, I-L., Rønning, J.S., Limacher, R., O'Connor, P., Sauvin, G., Rømoen, M. & Lecomte, I. 2012: Relationship between electrical resistivity and basic geotechnical parameters for marine clays. *Can. Geotech. J.* 49: 1158–1168 (2012).

Sandven, R., Montafia, A., Gylland, A.S., Paffhuber, A.A., Kåsin, K. & Long, M. 2015: Detektering av kvikkleire. Naturfareprosjektet, delprosjekt 6 Kvikkleire. NVE (NIFS) Rapport 126.2015.

Solberg, I-L., Long, M., Baranwal, V.C., Gylland, A.S. & Rønning, J.S., 2016: Geophysical and geotechnical studies of geology and sediment properties at a quick-clay landslide site at Esp, Trondheim, Norway. *Engineering Geology* 208 (2016) xxx–xxx. doi: 10.1016/j.enggeo.2016.04.031

## Vedlegg.

Vedlegg 1: Plott av foreløpige prosesserte data langs 14 profiler..	22 - 34
Vedlegg 2: Tolket fjellreflektor langs de samme 14 profilene.....	35 – 49

### Tegforklaring til vedleggene:

RELOC angir nummer på geofon.

ELEVATION høyde over havet.

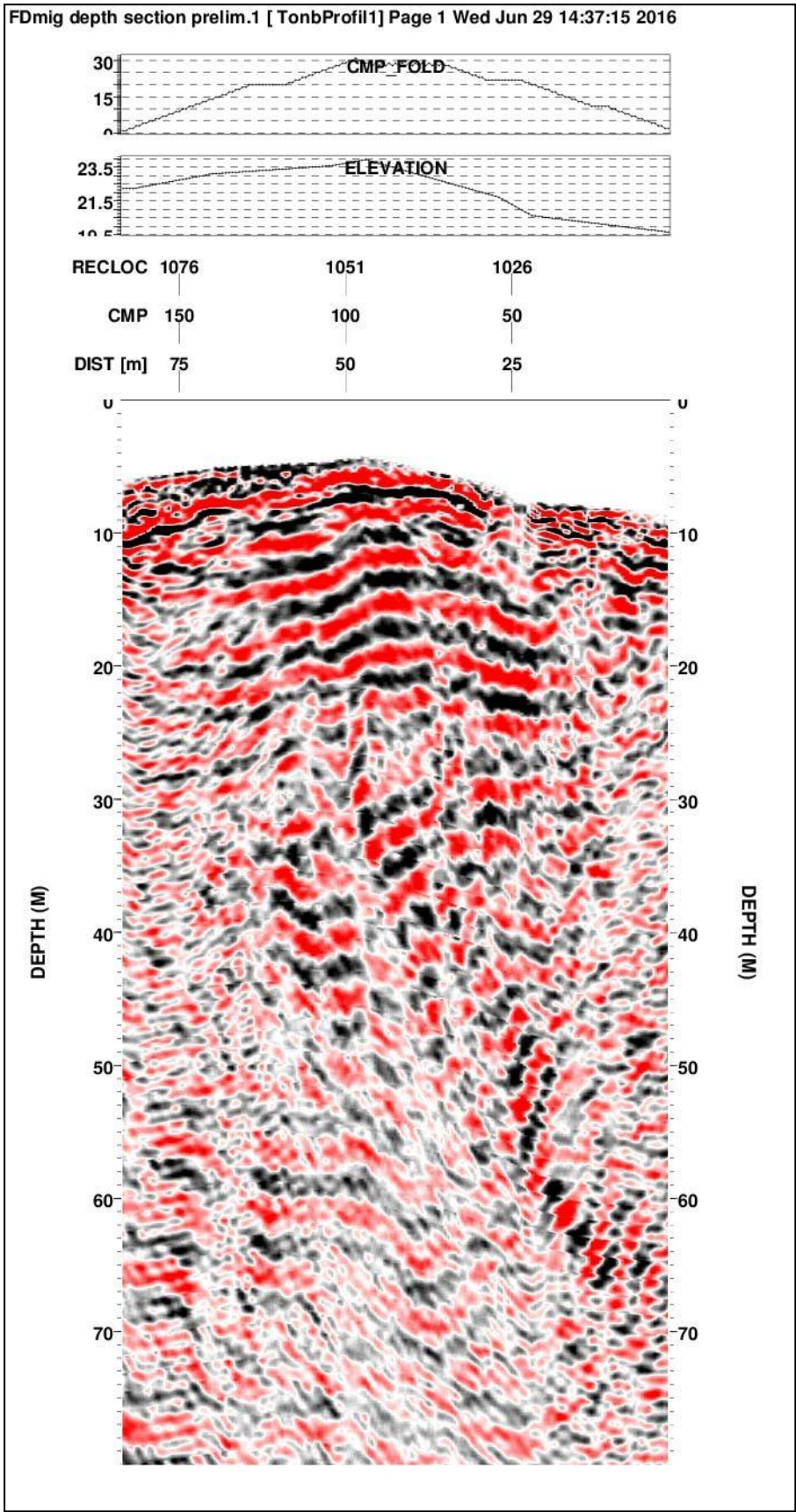
CMP posisjon i dypet for refleksjonen.

DIST avstand langs profilet i meter.

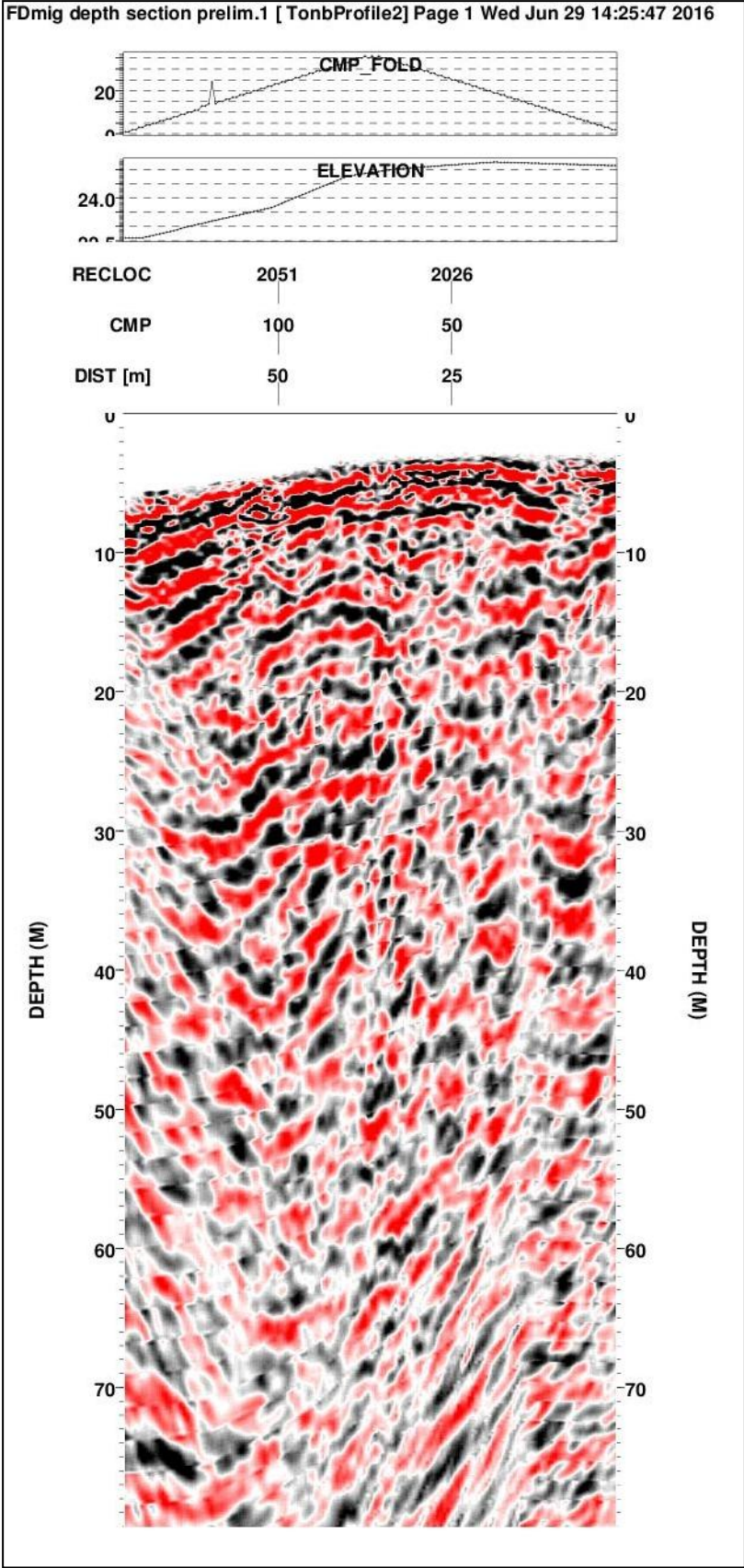
Dybdeskala i plottet er angitt i forhold til høyeste geofon i undersøkelsen.

Angitte massetyper og dyp til fjell i borepunkter (Vedlegg 2) er hentet fra rapport fra boringer (Multiconsult 2016).

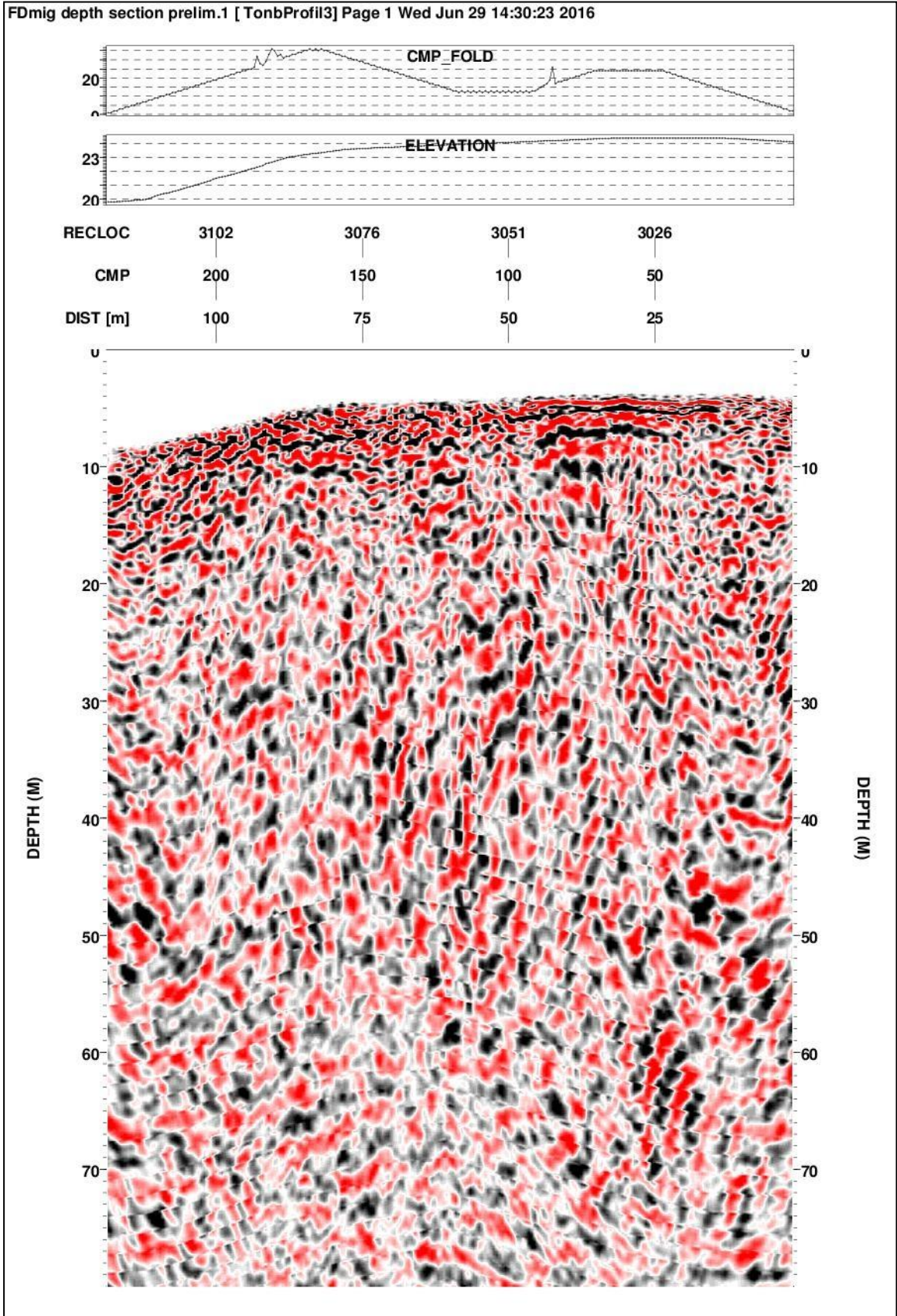
Vedlegg 1 side 1: Foreløpig prosesserte data Profil 1.



Vedlegg 1 side 2: Foreløpig prosesserte data Profil 2.

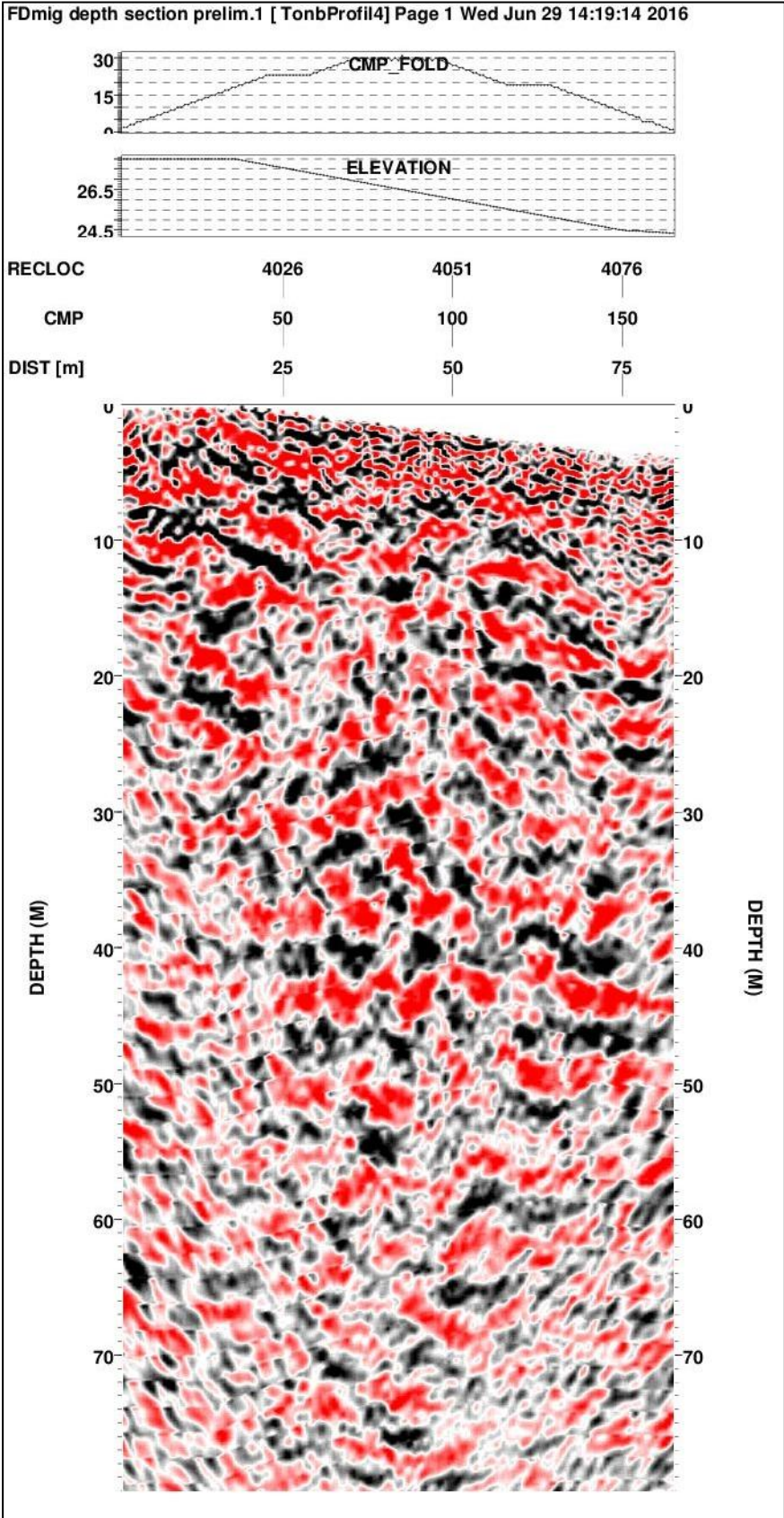


Vedlegg 1 side 3: Foreløpig prosesserte data Profil 3.

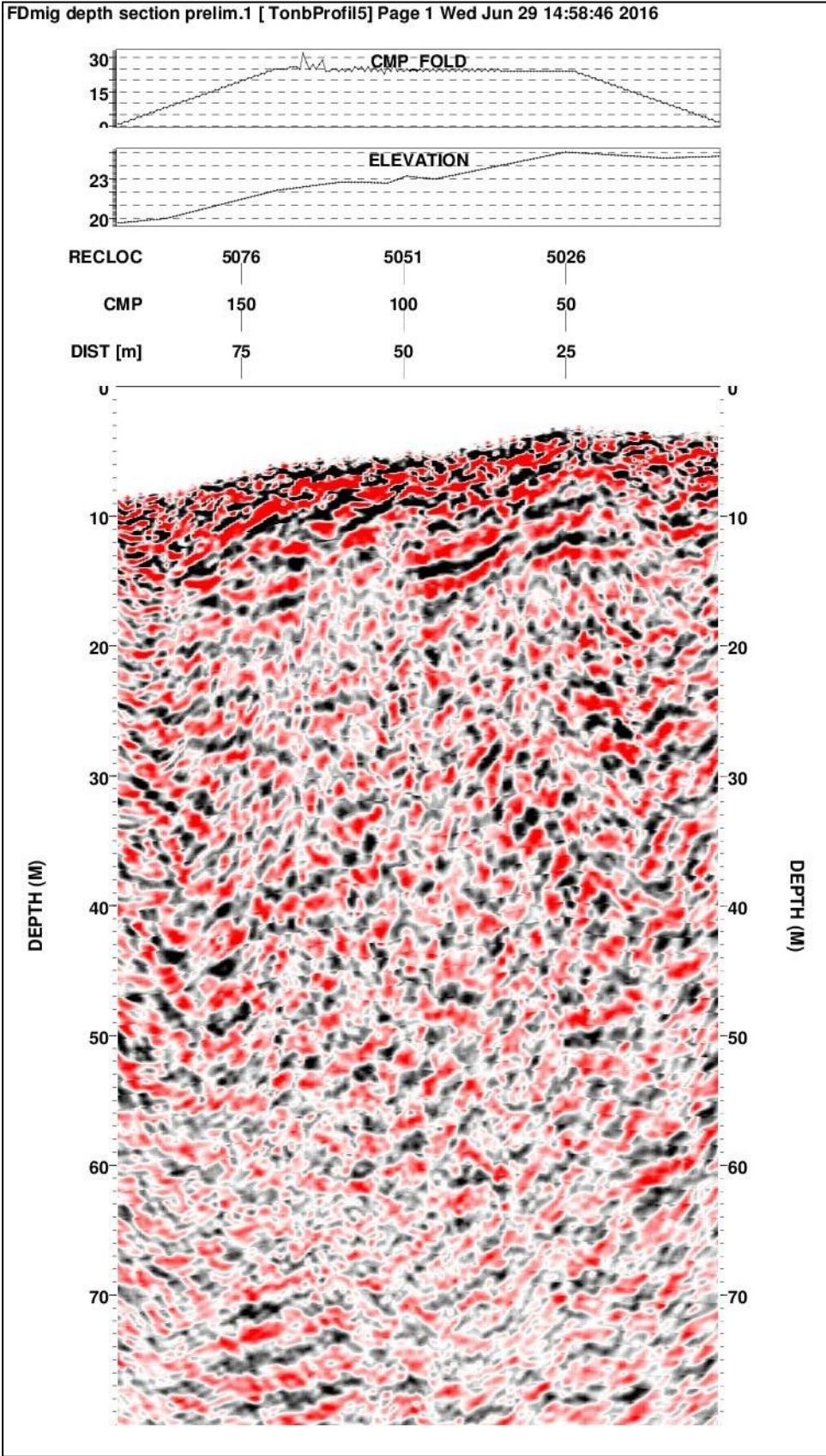




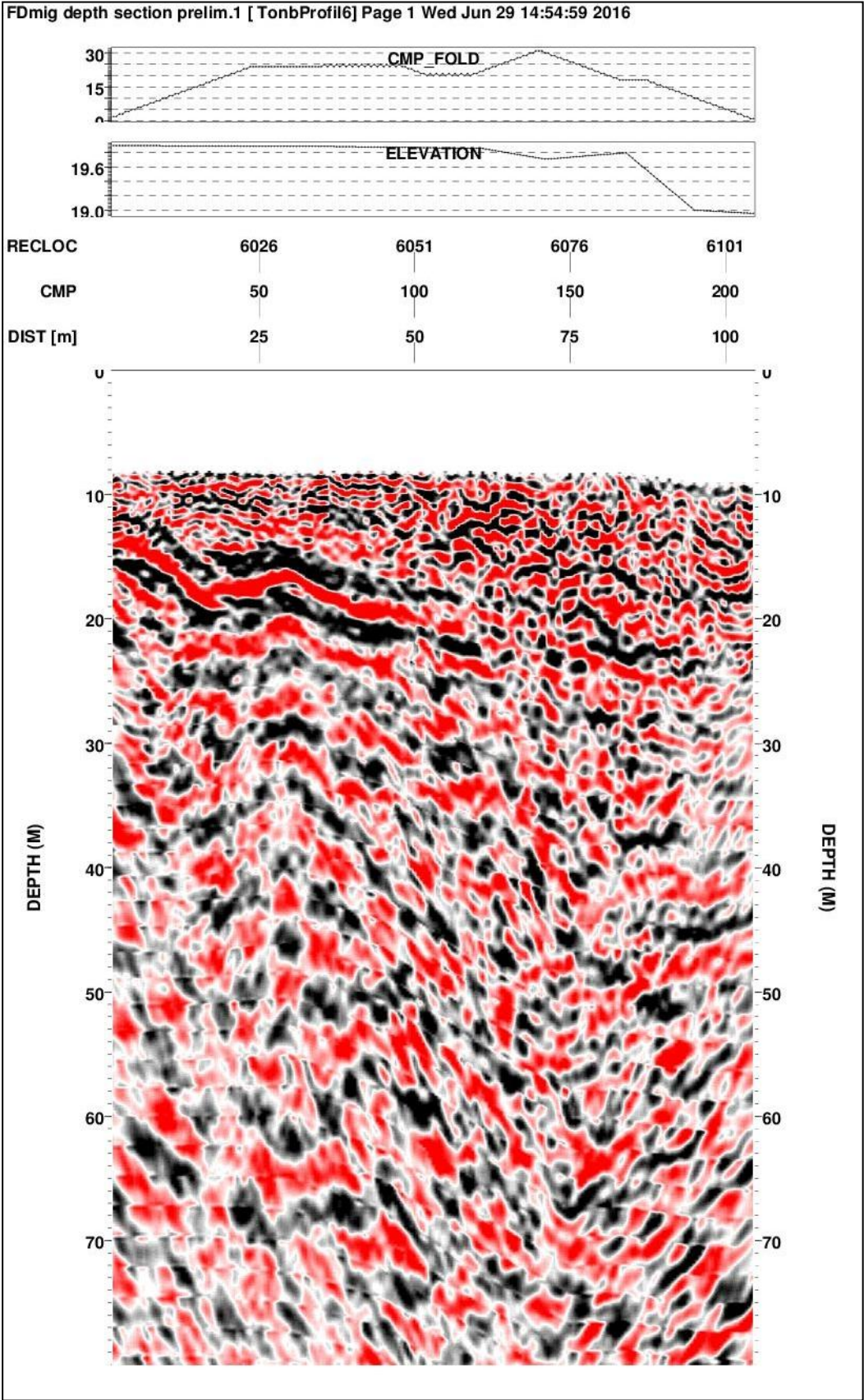
Vedlegg 1 side 4: Foreløpig prosesserte data Profil 4.



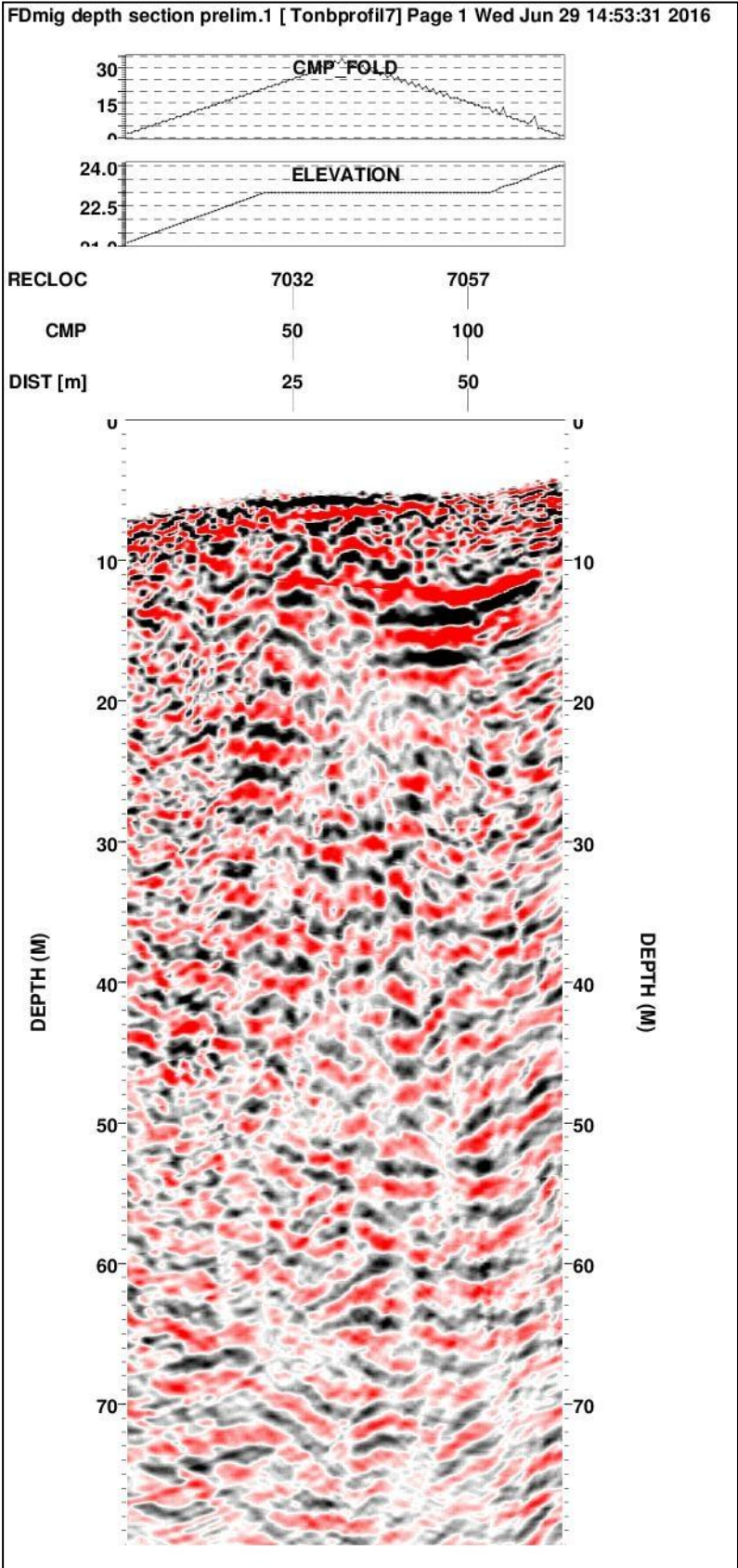
Vedlegg 1 side 5: Foreløpig prosesserte data Profil 5.



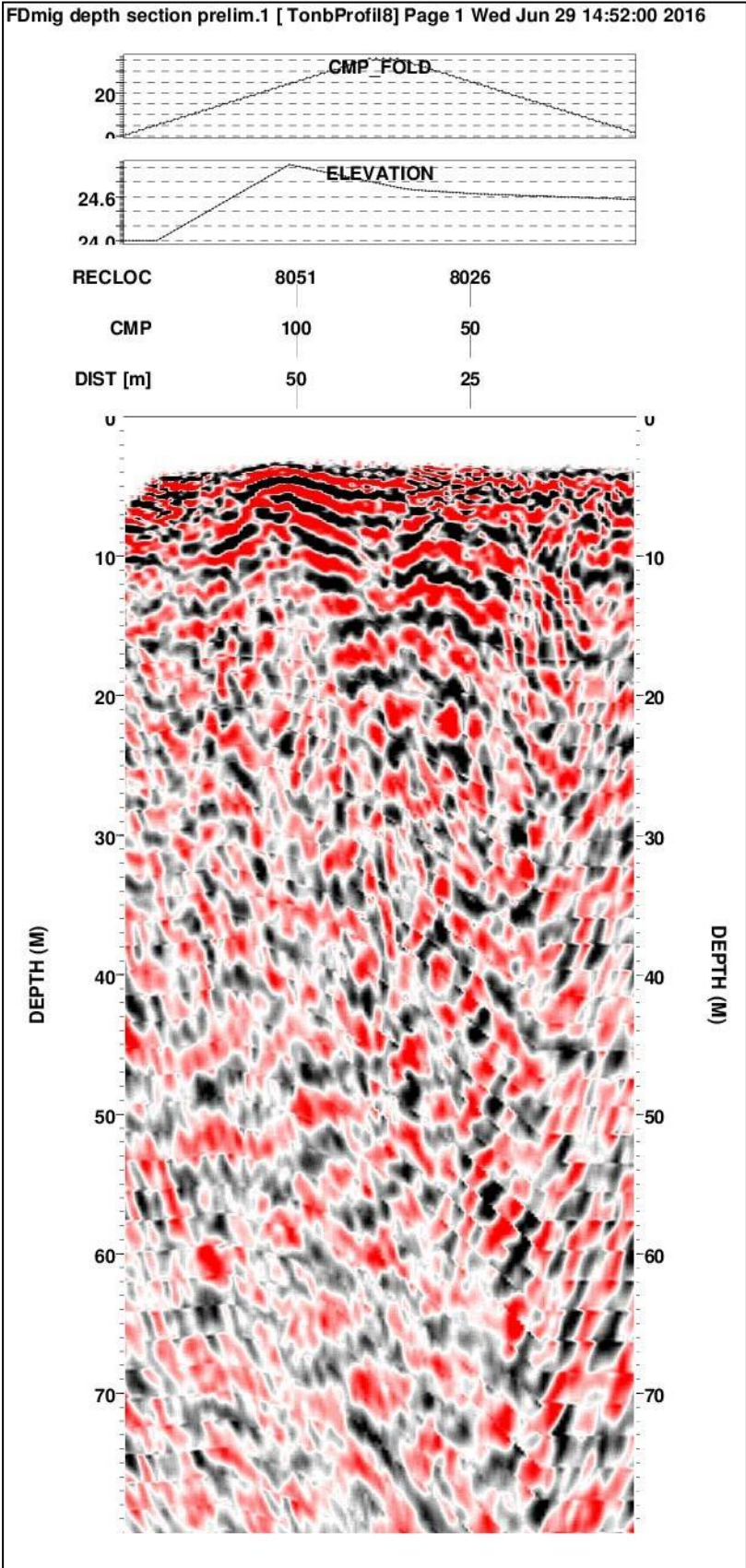
Vedlegg 1 side 6: Foreløpig prosesserte data Profil 6.



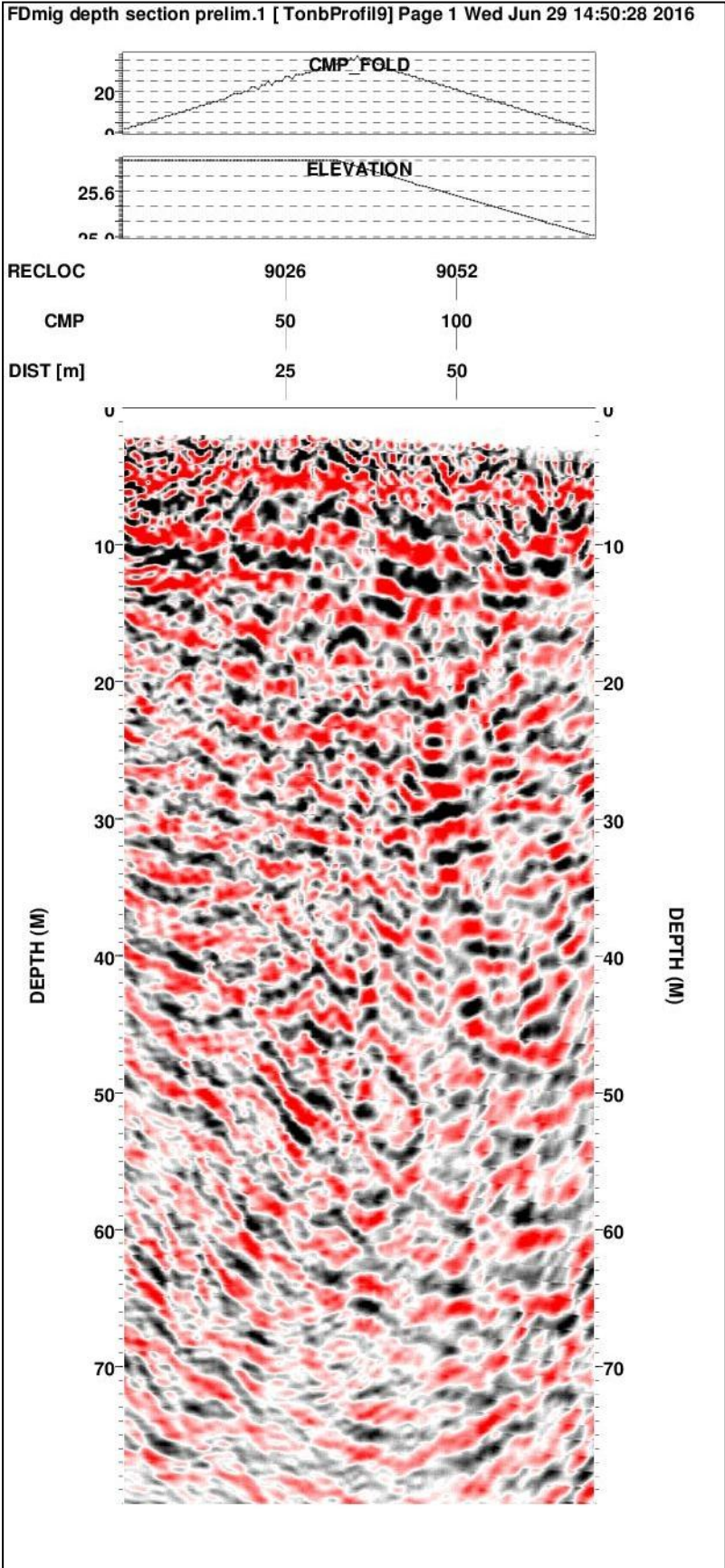
Vedlegg 1 side 7: Foreløpig prosesserte data Profil 7.

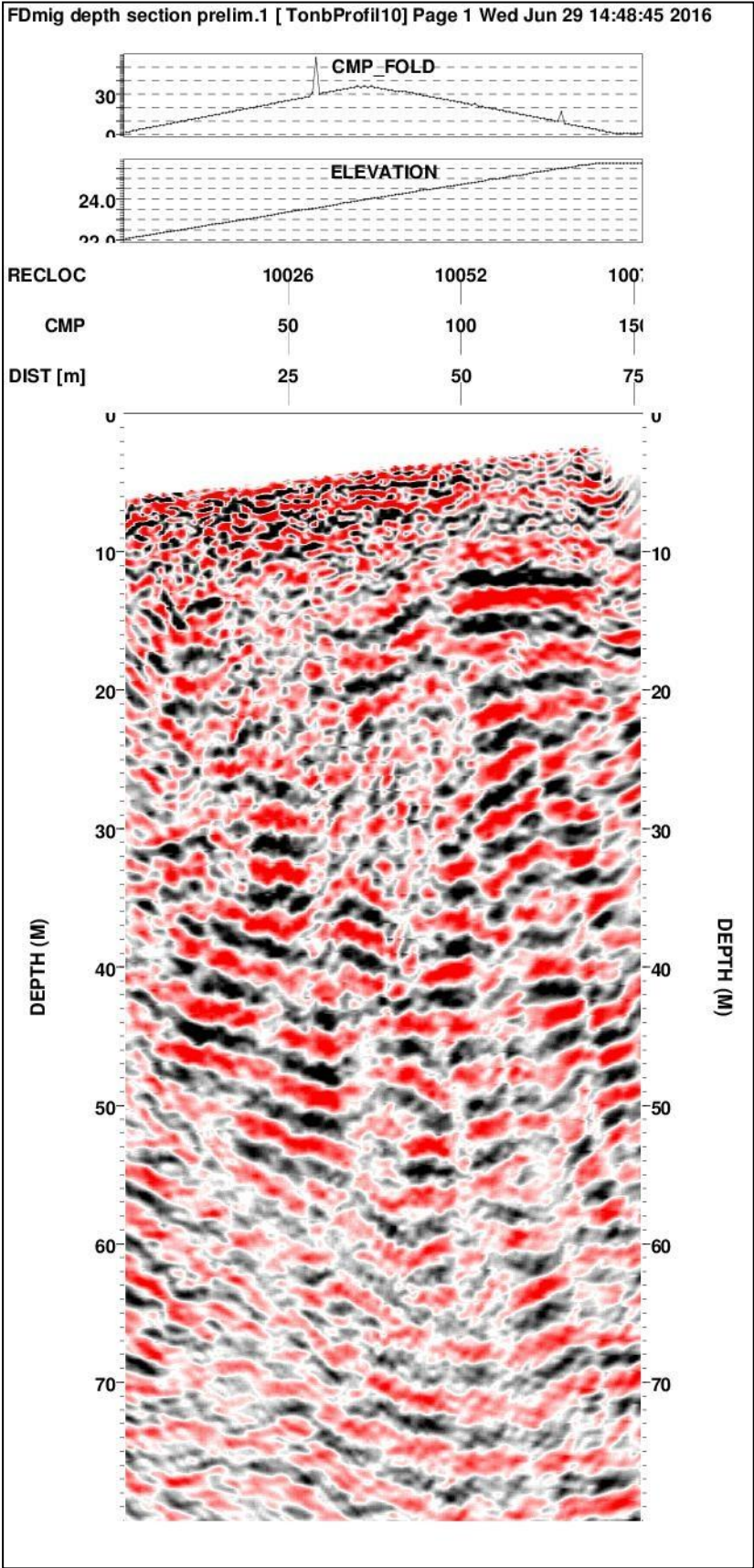


Vedlegg 1 side 8: Foreløpig prosesserte data Profil 8.

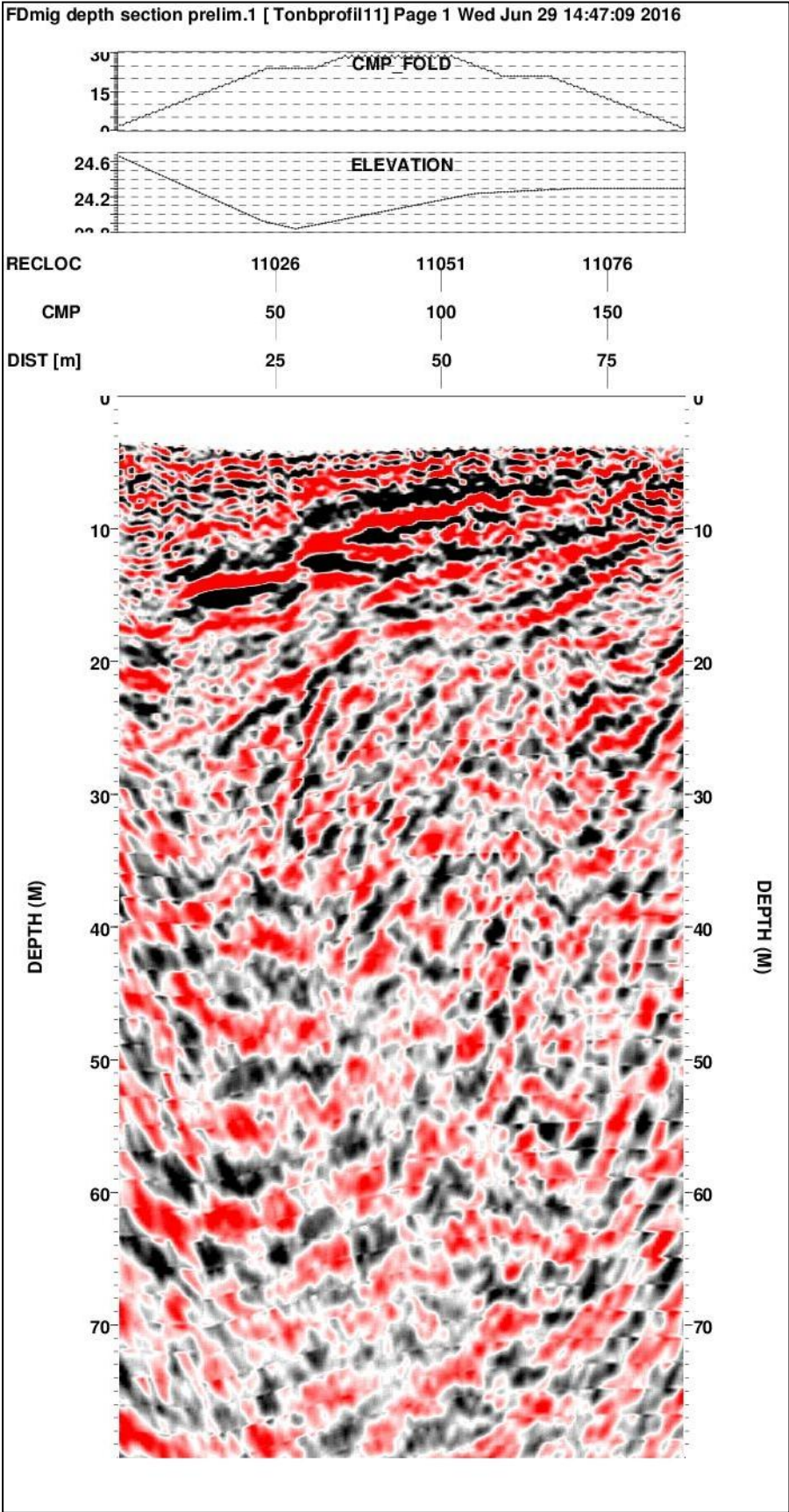


Vedlegg 1 side 9: Foreløpig prosesserte data Profil 9.



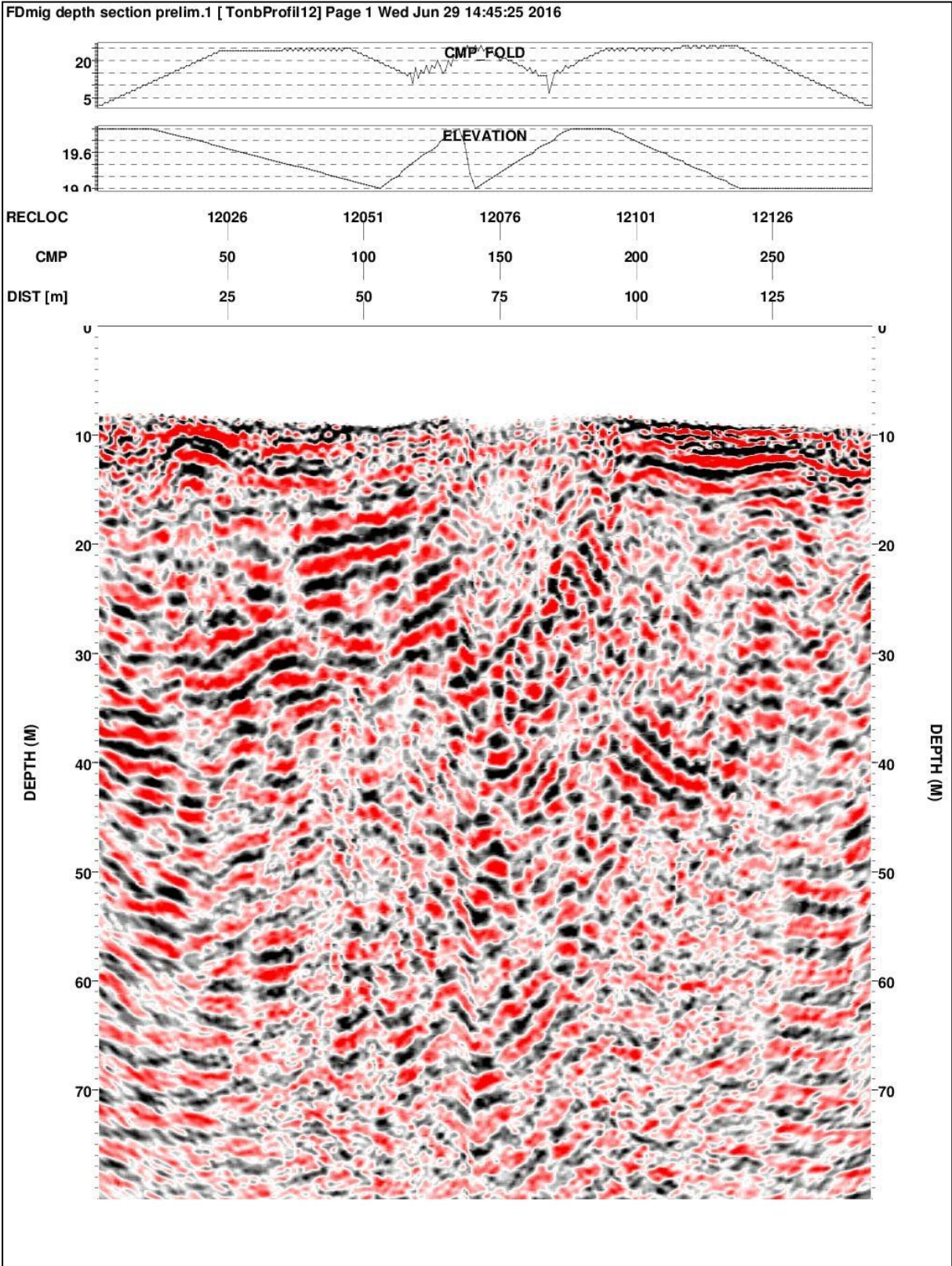


Vedlegg 1 side 11: Foreløpig prosesserte data Profil 11.

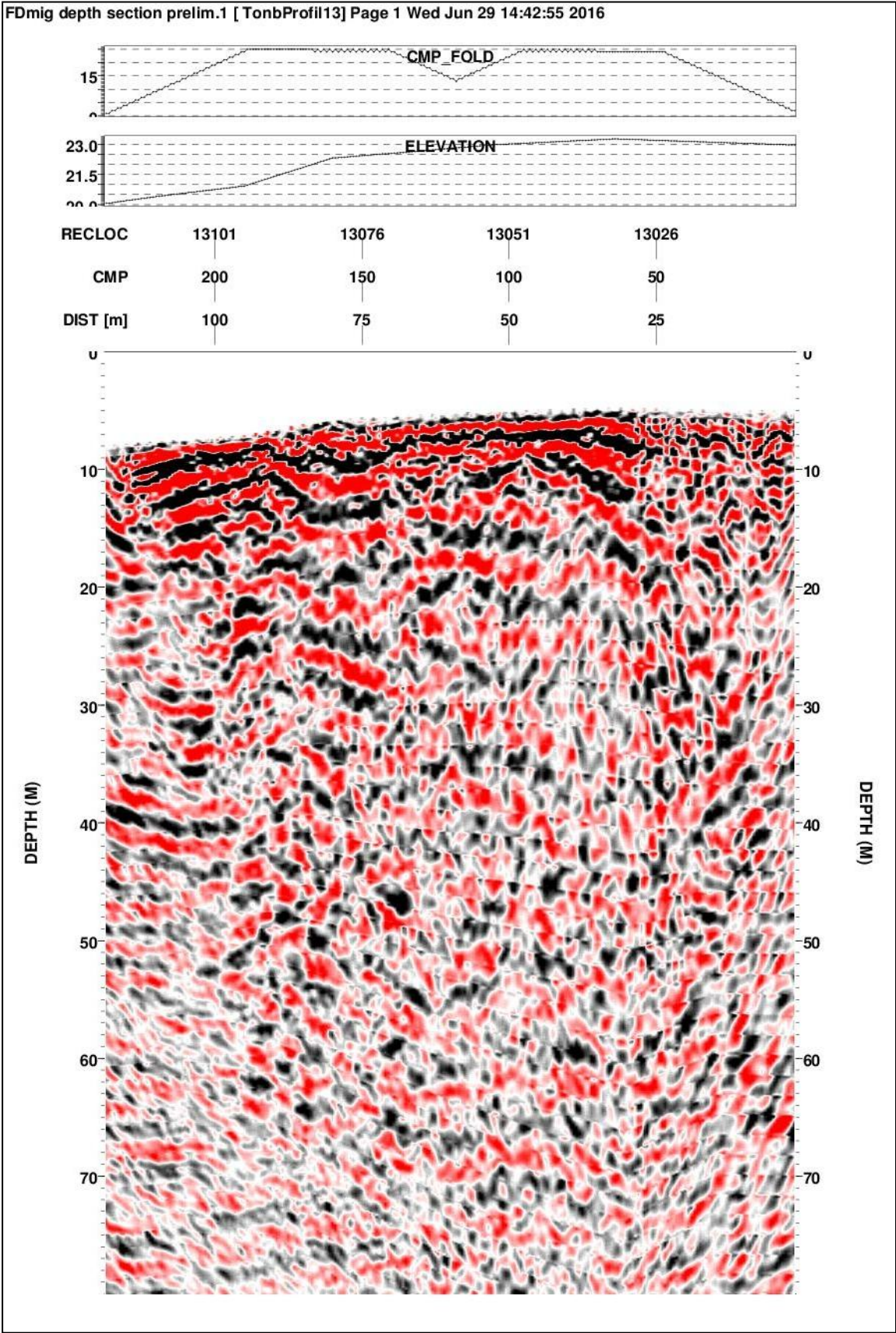




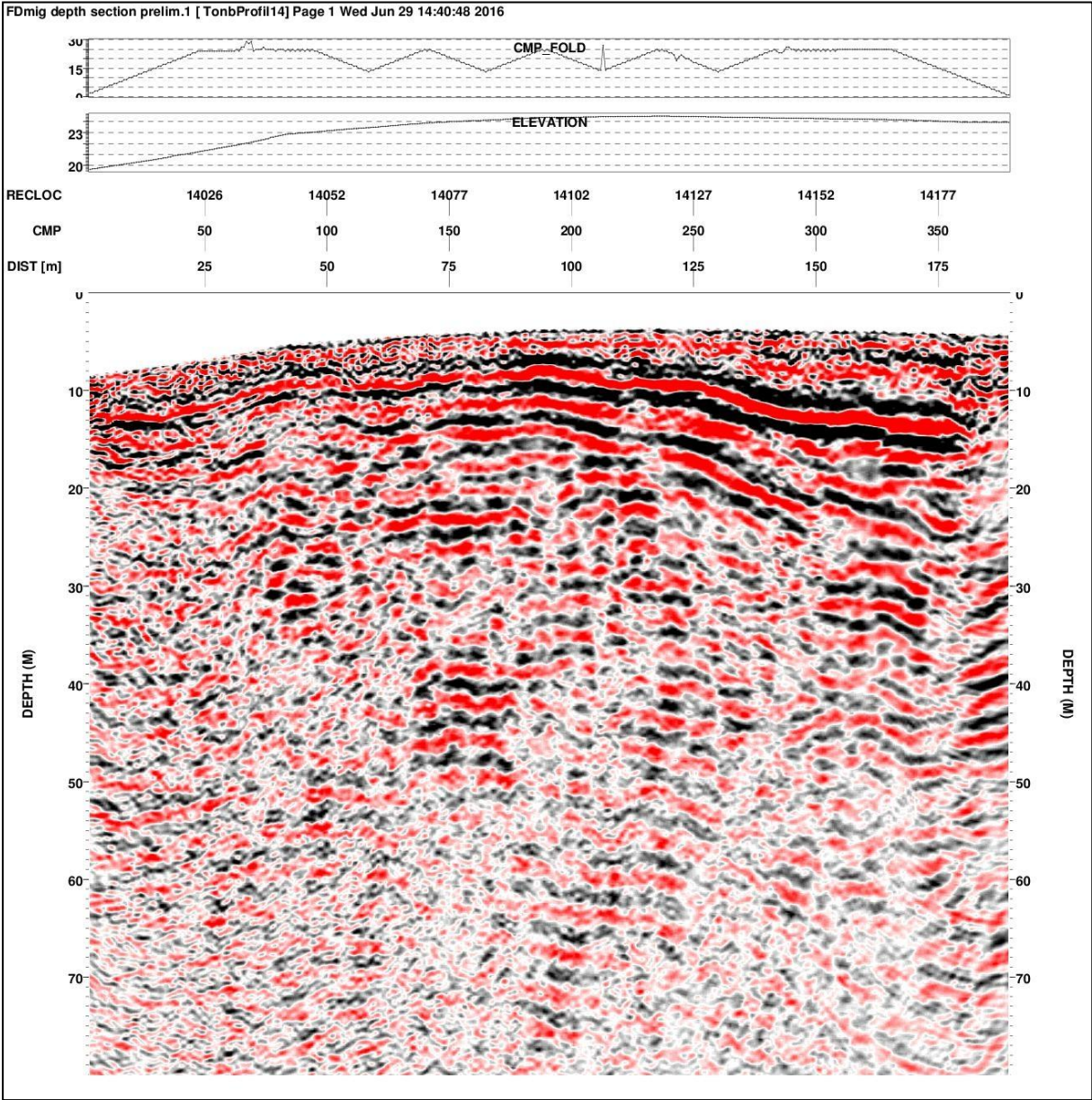
Vedlegg 1 side 12: Foreløpig prosesserte data Profil 12.



Vedlegg 1 side 13: Foreløpig prosesserte data Profil 13.

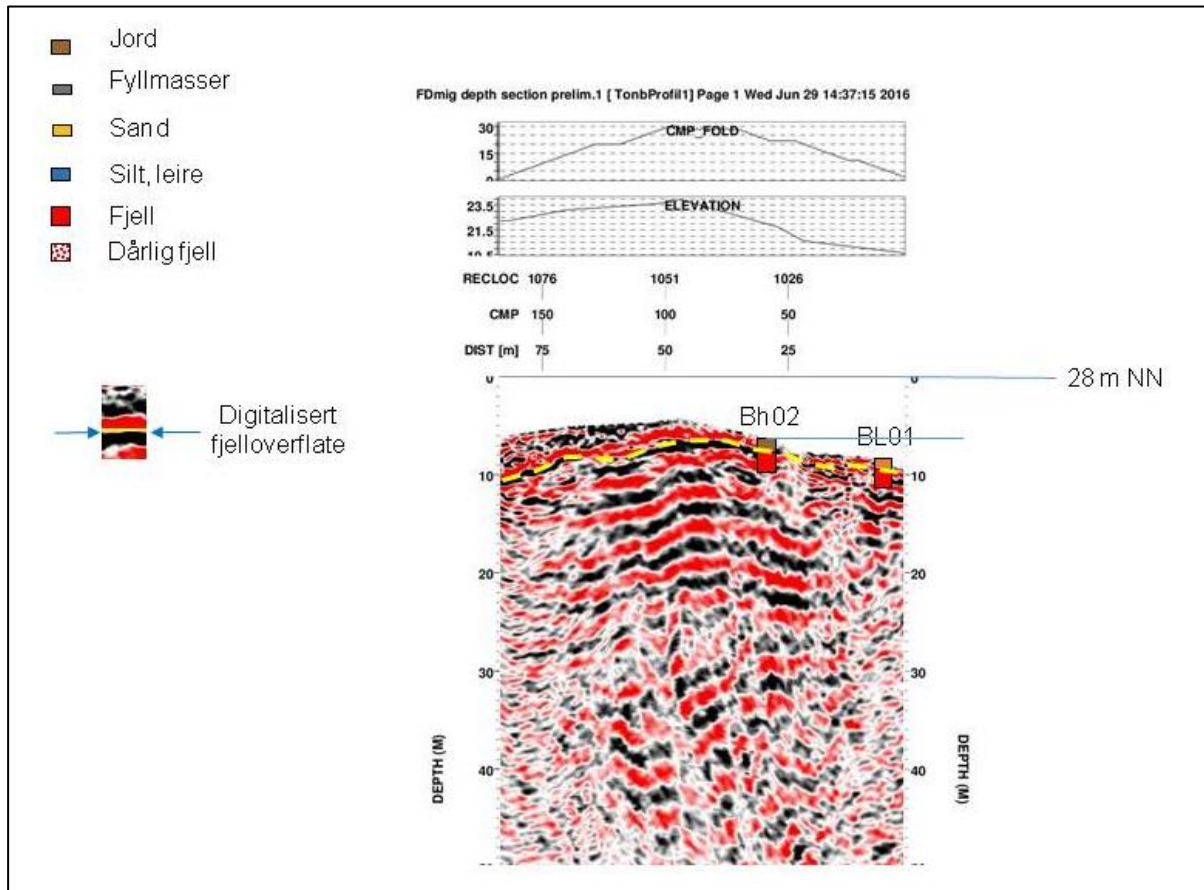


Vedlegg 1 side 14: Foreløpig prosesserte data Profil 14.

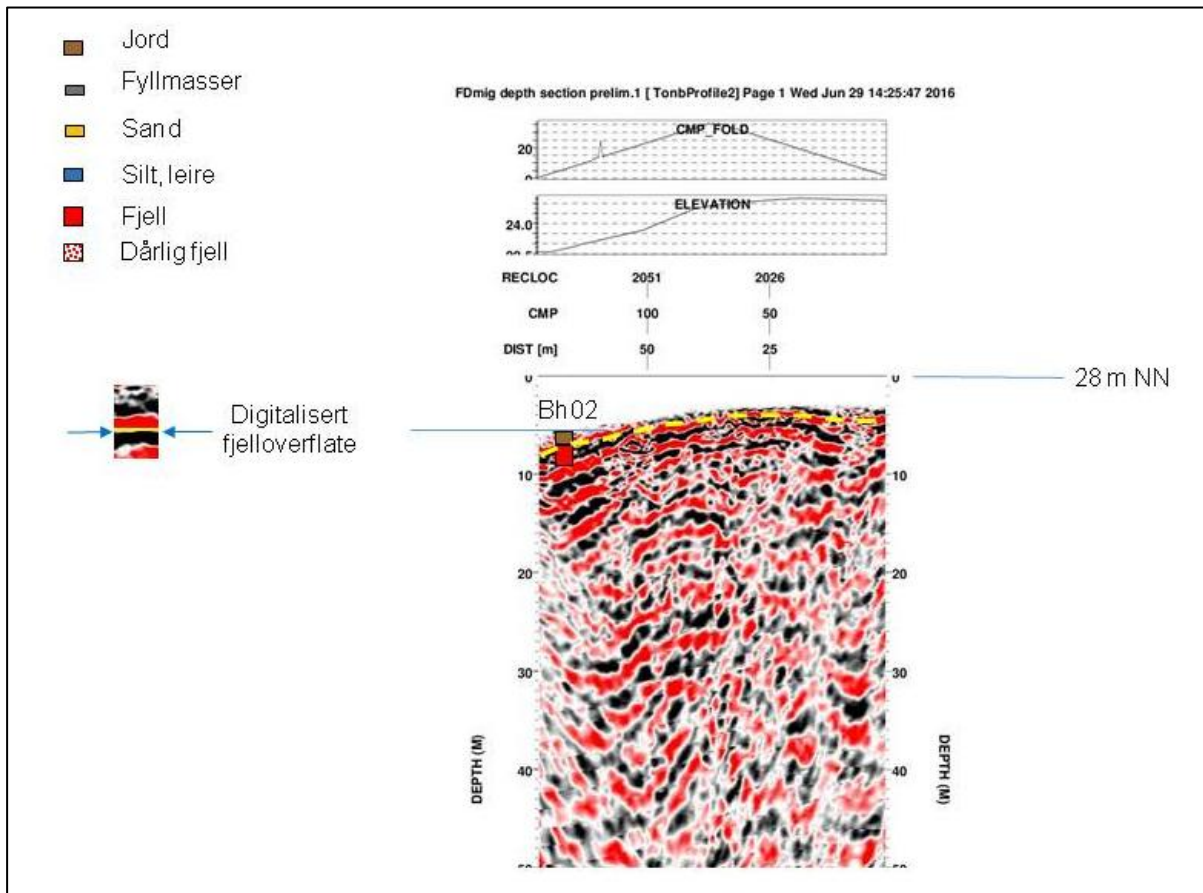


## VEDLEGG 2: Tolket fjellreflektor langs de samme 14 profilene.

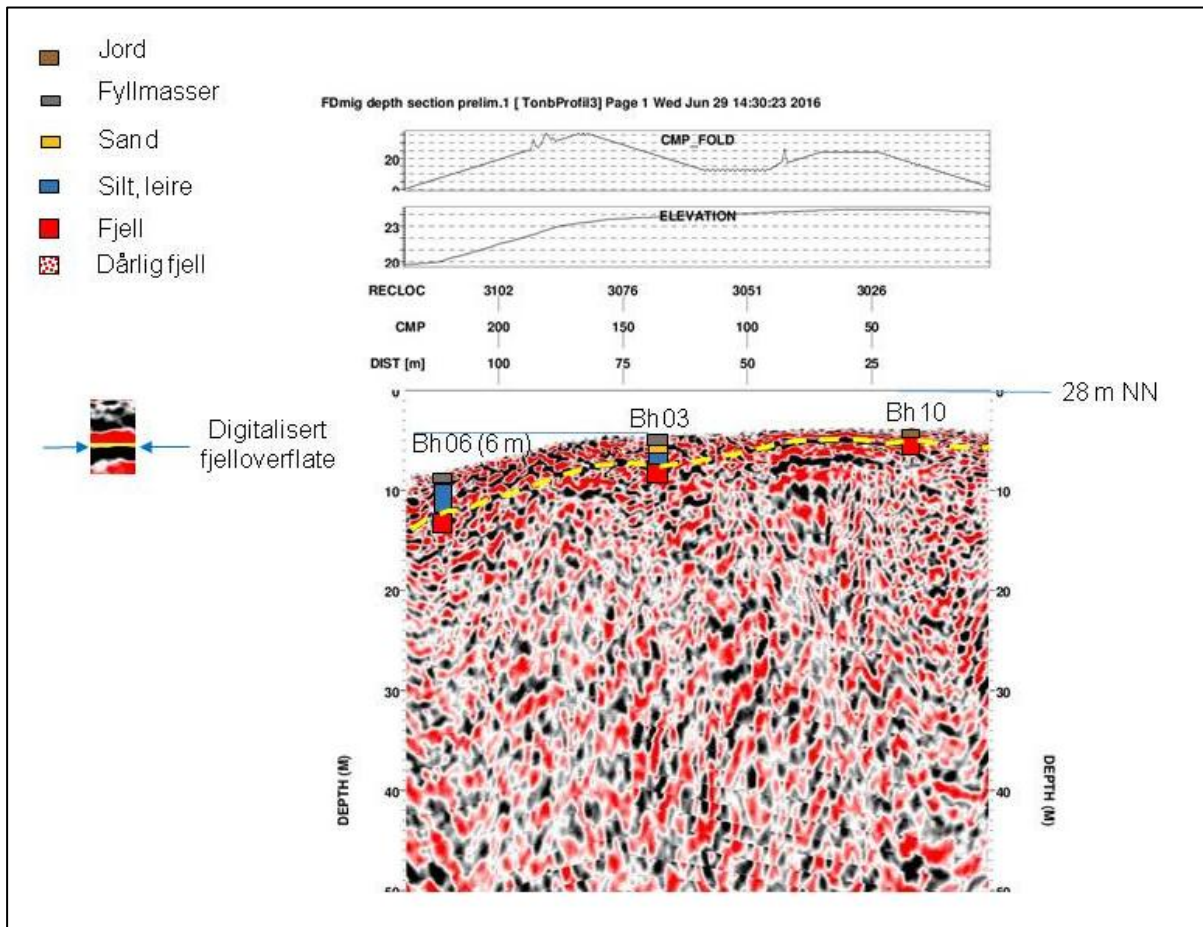
Vedlegg 2 side 1: Endelig prosesserte data med tolket fjelloverflate, Profil 1.



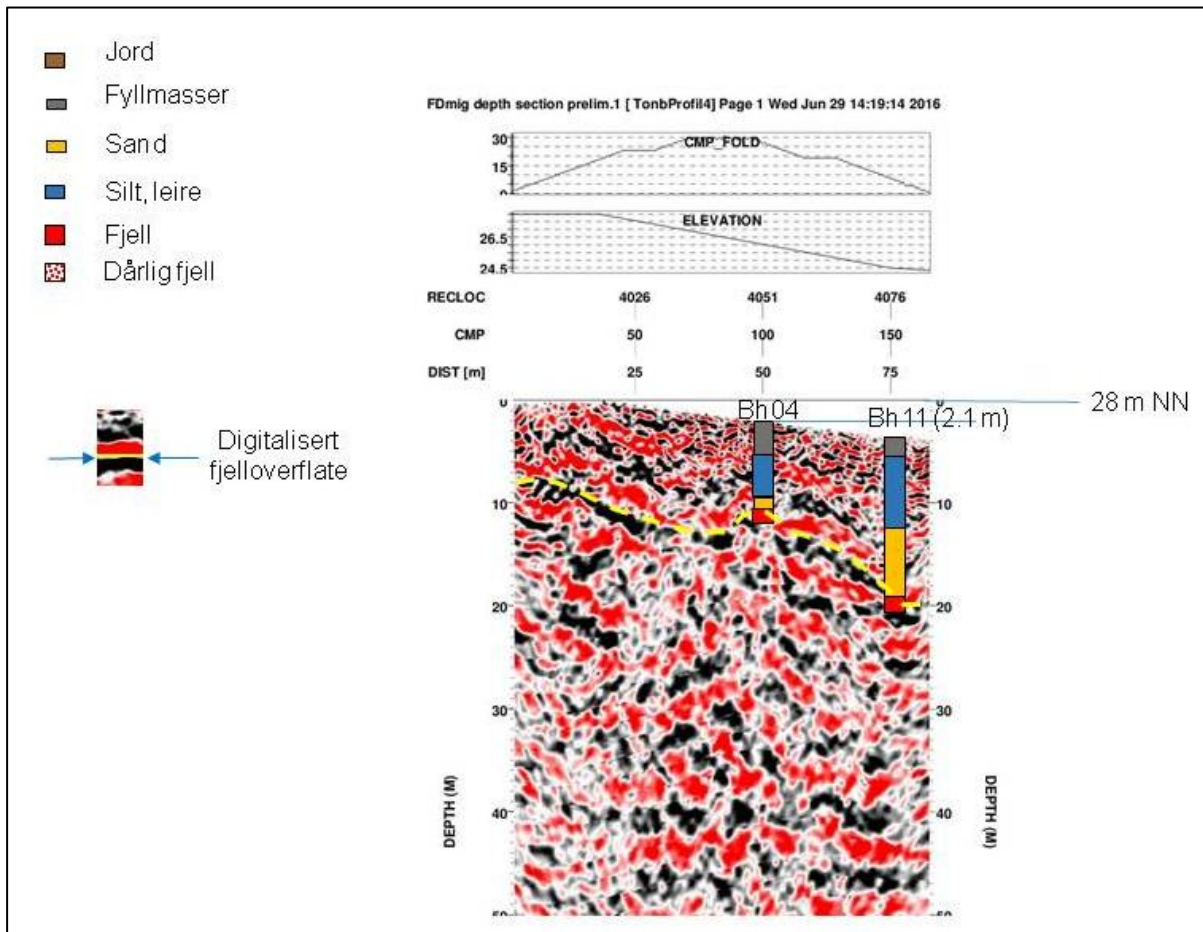
Vedlegg 2 side 2: Endelig prosesserte data med tolket fjelloverflate, Profil 2.



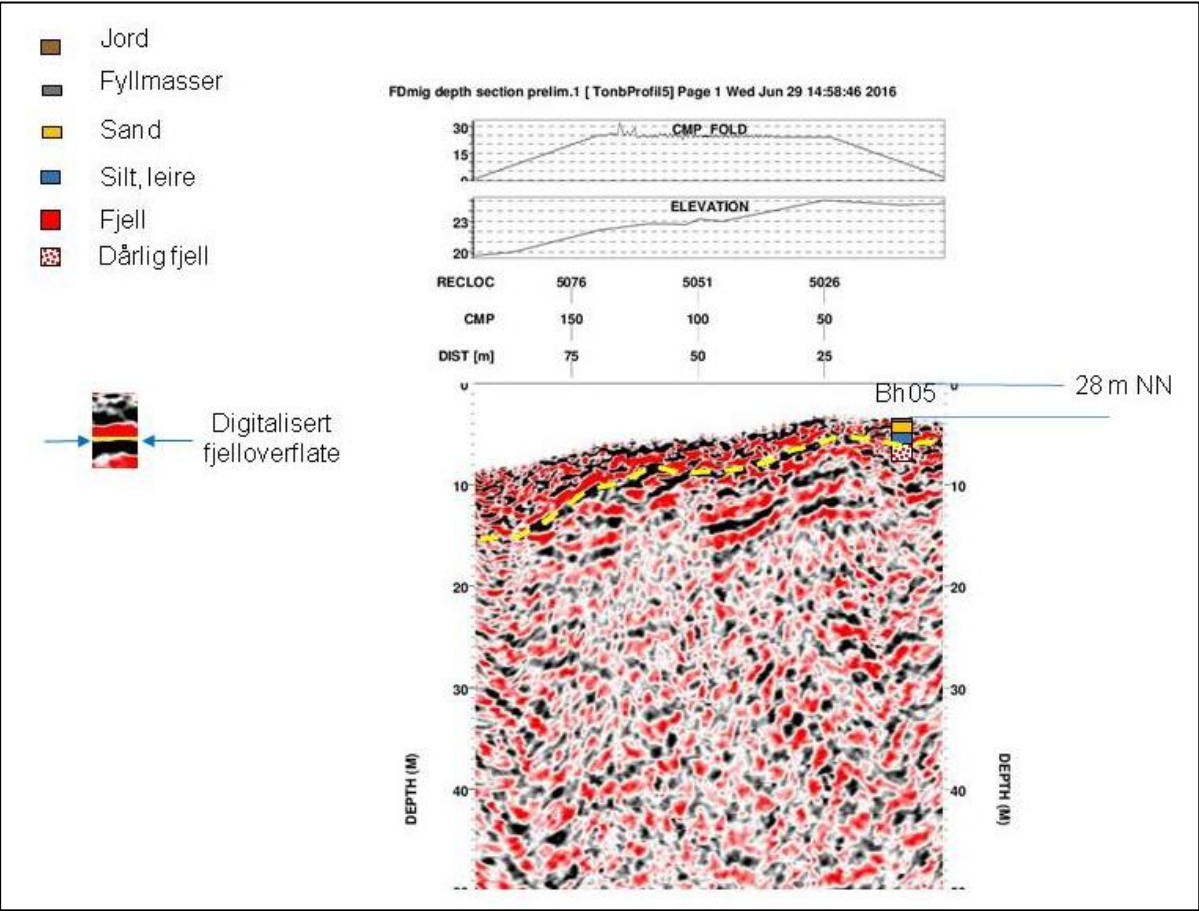
Vedlegg 2 side 3: Endelig prosesserte data med tolket fjelloverflate, Profil 3.



Vedlegg 2 side 4: Endelig prosesserte data med tolket fjelloverflate, Profil 4.

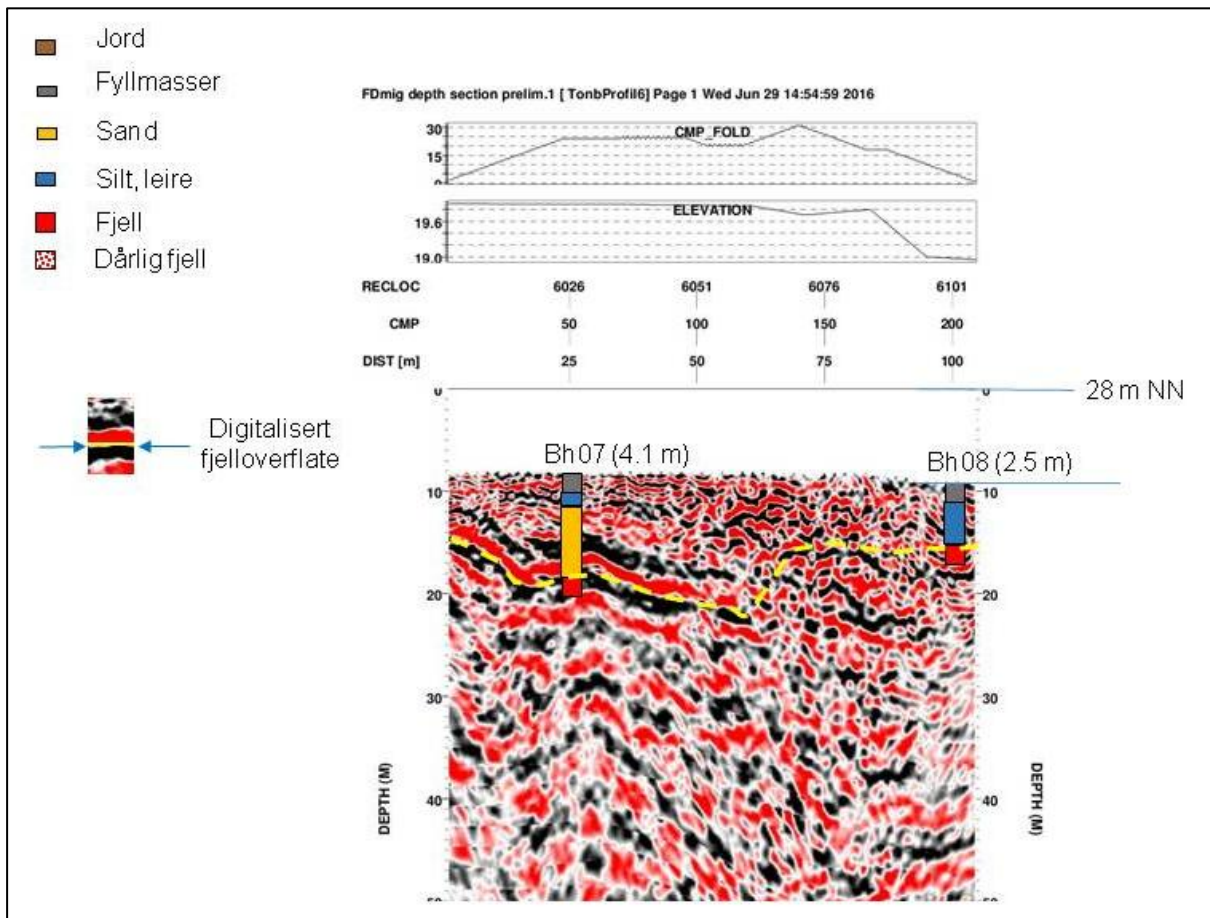


Vedlegg 2 side 5: Endelig prosesserte data med tolket fjelloverflate, Profil 5.

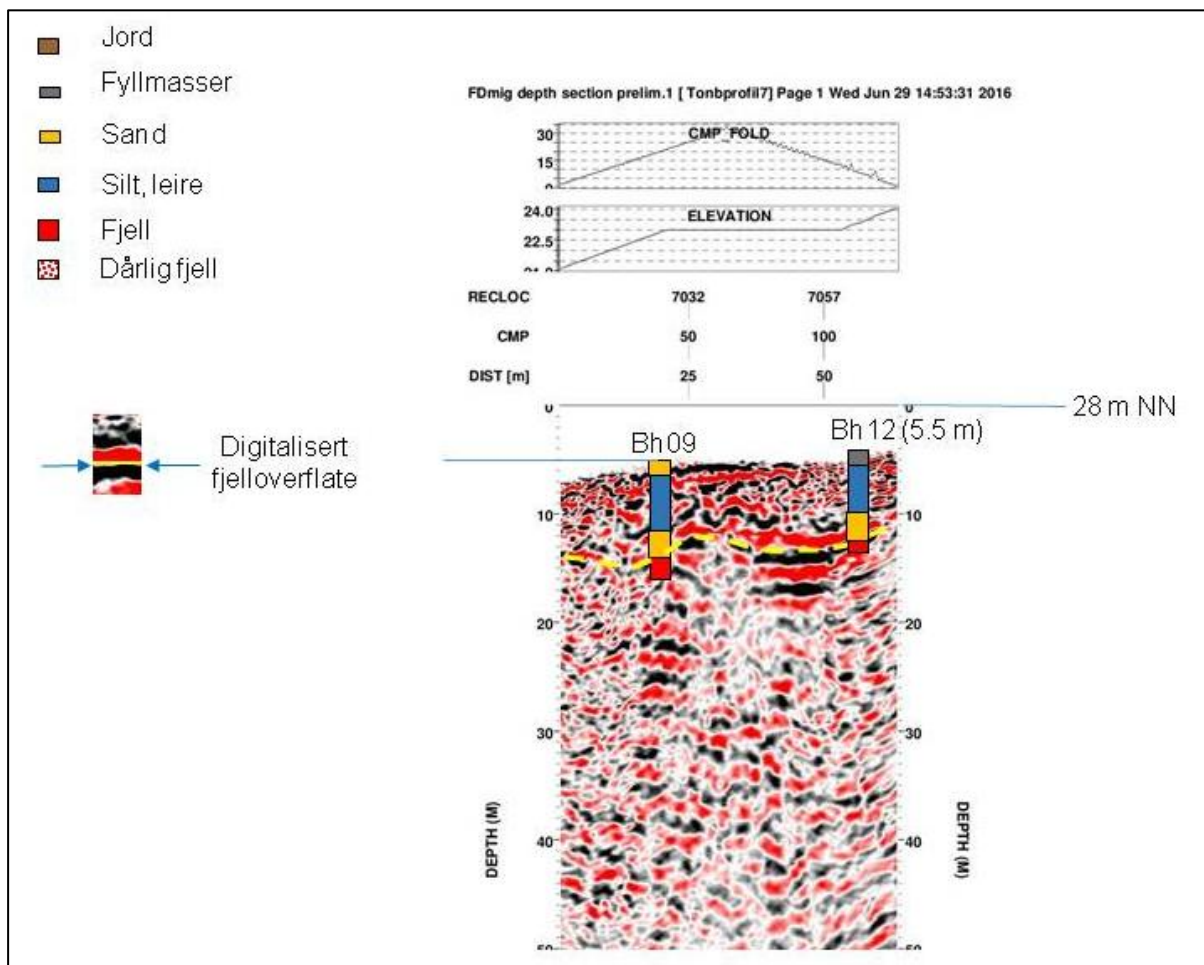




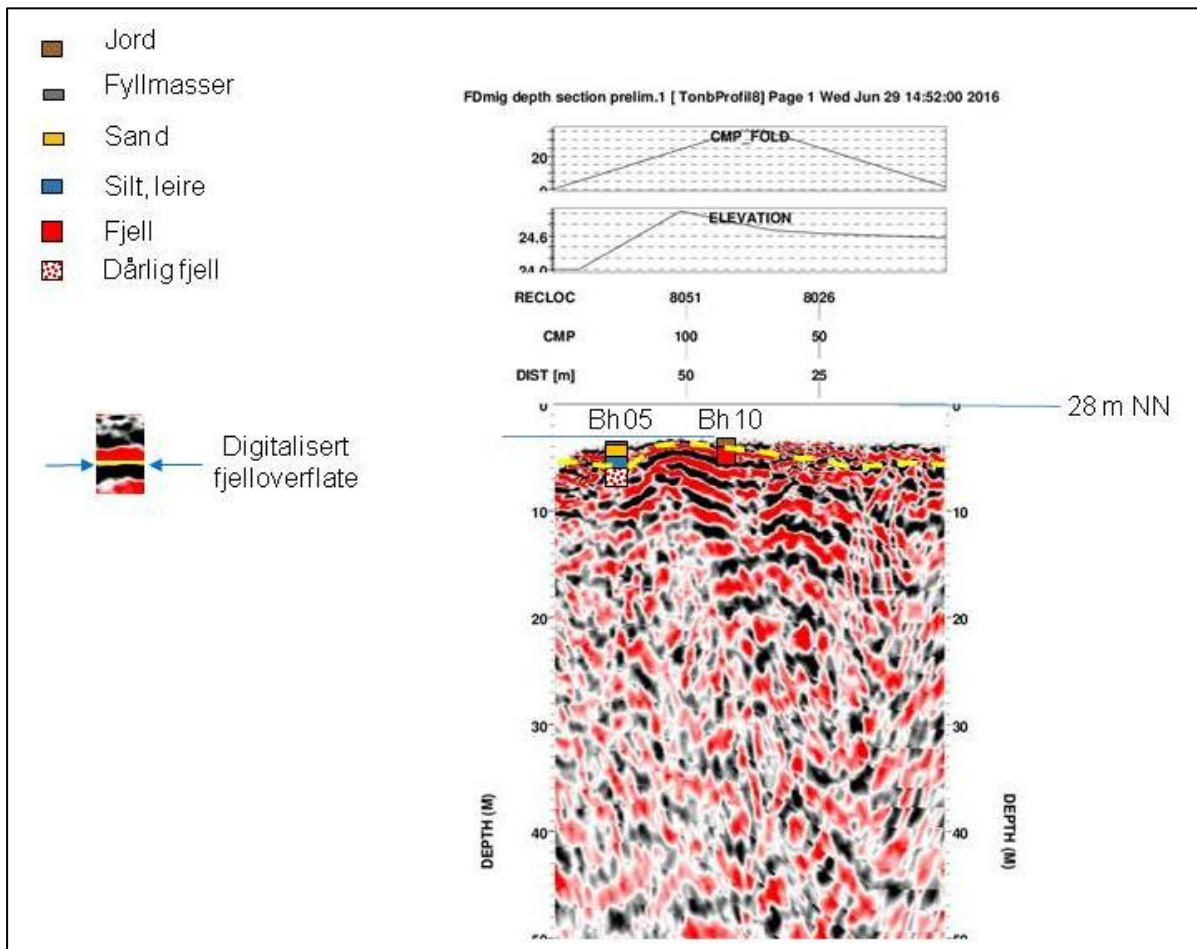
Vedlegg 2 side 6: Endelig prosesserte data med tolket fjelloverflate, Profil 6.



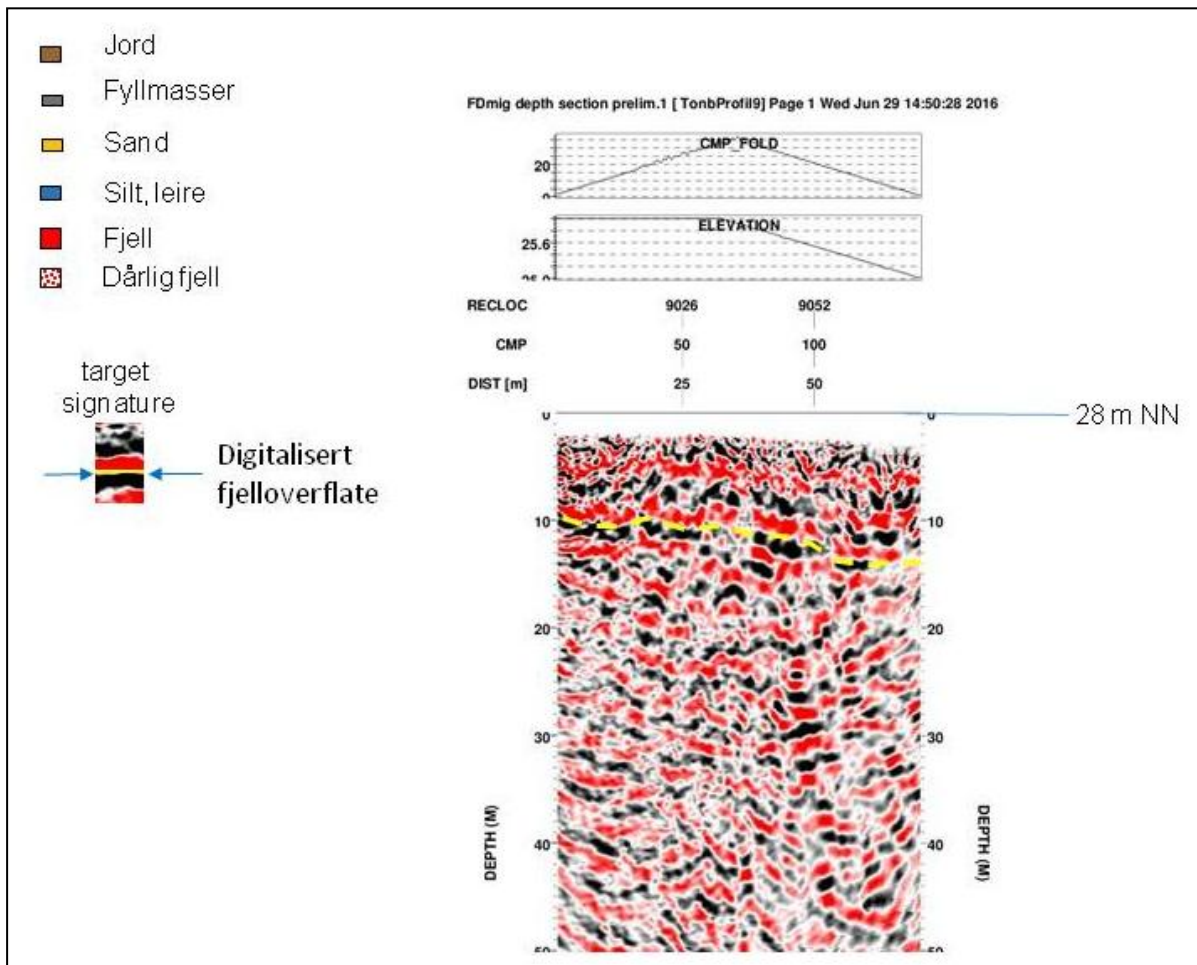
Vedlegg 2 side 7: Endelig prosesserte data med tolket fjelloverflate, Profil 7.



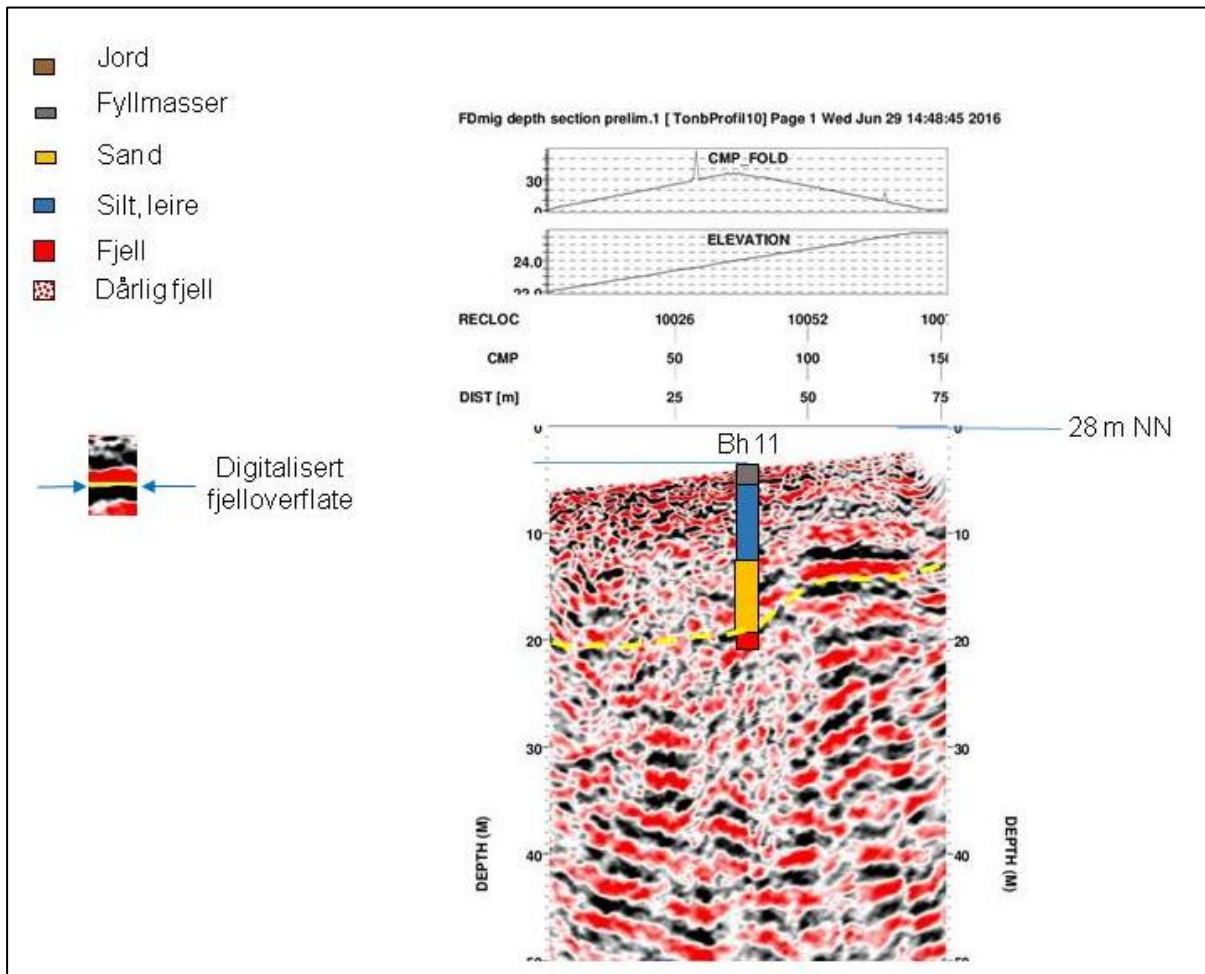
Vedlegg 2 side 8: Endelig prosesserte data med tolket fjelloverflate, Profil 8.



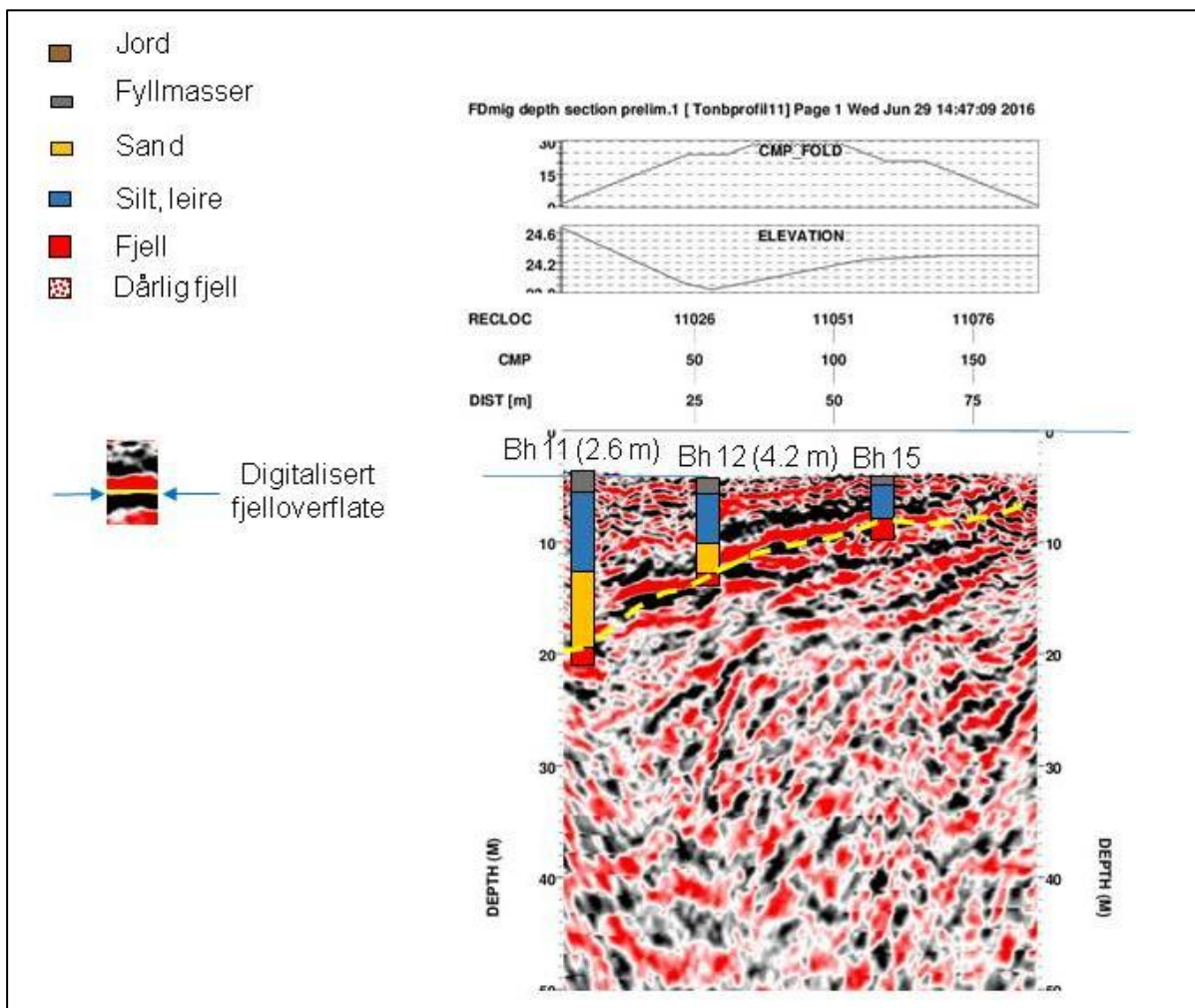
Vedlegg 2 side 9: Endelig prosesserte data med tolket fjelloverflate, Profil 9.



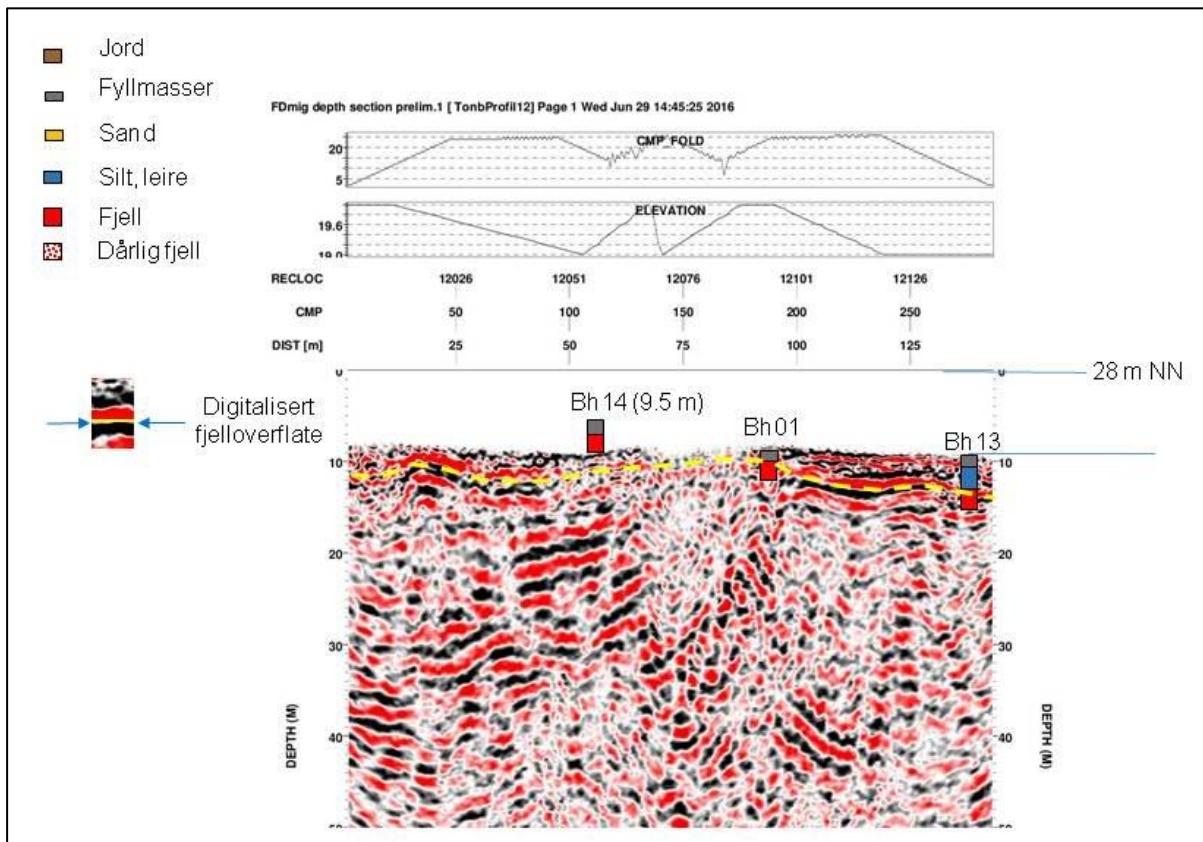
Vedlegg 2 side 10: Endelig prosesserte data med tolket fjelloverflate, Profil 10.



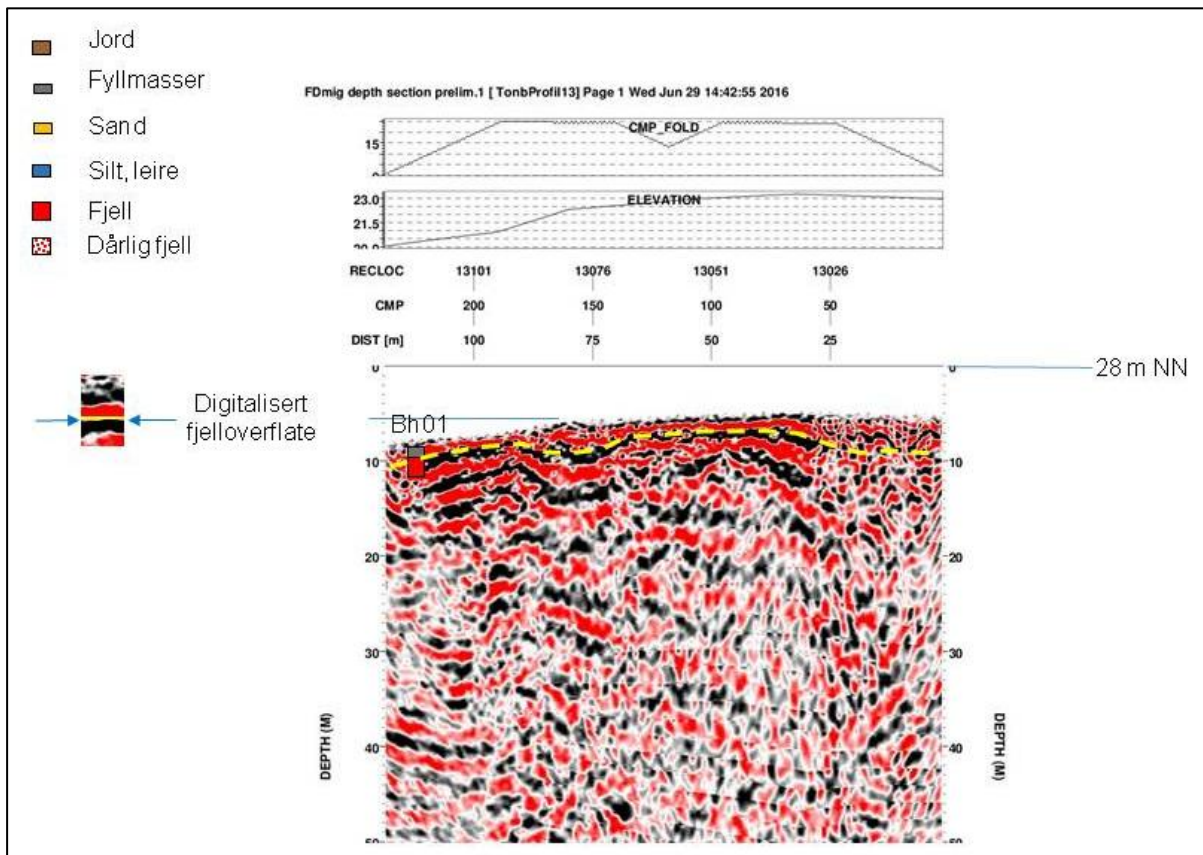
Vedlegg 2 side 11: Endelig prosesserte data med tolket fjelloverflate, Profil 11.



Vedlegg 2 side 12: Endelig prosesserte data med tolket fjelloverflate, Profil 12.

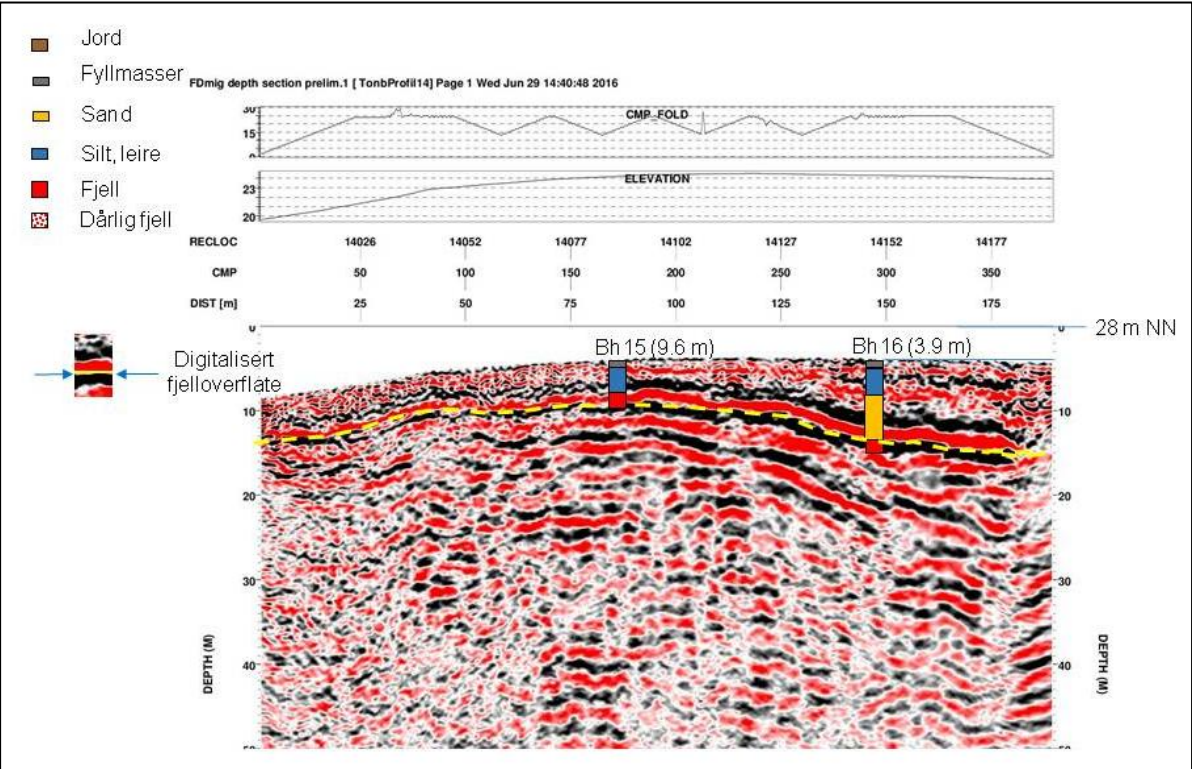


Vedlegg 2 side 13: Endelig prosesserte data med tolket fjelloverflate, Profil 13.





Vedlegg 2 side 14: Endelig prosesserte data med tolket fjelloverflate, Profil 14.





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)