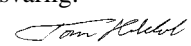


GEOLOGI FOR SAMFUNNET

GEOLOGY FOR SOCIETY



Rapport nr.: 2012.058		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Geofysiske bakkemålinger på Lista i 2011.			
Forfatter: J. F. Tønnesen, E. Dalsegg og J. S. Rønning		Oppdragsgiver: NGU	
Fylke: Vest-Agder		Kommune: Farsund	
Kartblad (M=1:250.000) Mandal		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1311 II Farsund, 1311 III Hidra	
Forekomstens navn og koordinater: Lista		Sidetall: 27 Kartbilag: 7	Pris: kr. 245,-
Feltarbeid utført: Juni-Juli 2011	Rapportdato: 22. okt. 2012	Prosjektnr.: 341800	Ansvarlig: 
<p>Sammendrag: Målingene er utført i forbindelse med den kvartærgeologiske kartleggingen som NGU for tiden utfører i Vest-Agder, men er også knyttet opp mot kartlegging av underliggende berggrunn i overgangssonen mellom fastlands- og sokkel-bergarter. Det ble totalt målt 6200 m 2D resistivitet fordelt på 3 linjer, 1840 m refraksjonsseismikk fordelt på 3 linjer og i alt 9947 m georadar fordelt på 21 linjer.</p> <p>Refraksjonsseismisk tolkning øst på Lista indikerer fjell på fra 3 til vel 30 meters dyp i nordlige del og fra 40 til 70 meters dyp i sørlige del mot sjøen. Seismisk hastighet i fjell er stedvis så høy at det kan være krystallin berggrunn (5100-5400 m/s), men er stedvis også betydelig lavere (4400-4600 m/s) og kan skyldes oppsprukket/forvitret fjell eller muligens sedimentære bergarter. I nord er det også noen smalere soner (30-45 m) med enda lavere, men noe mer usikker hastighet (3000-3700 m/s). Disse sonene indikerer trolig sterkt oppsprukket/oppknust fjell og kan være forårsaket av forkastninger i berggrunnen.</p> <p>Resistivetsmålingene øst på Lista viser at resistivetsverdiene på dyp som tilsvarer fjell fra seismikken ikke er forenlig med massiv krystallin berggrunn. Resistivetsverdiene er mer i samsvar med det som er registrert i mesozoiske bergarter på Andøya (Olesen et al. 2012). For å få klarhet i hvilken berggrunn som ligger under løsmassene på Lista vil det være nødvendig med boringer.</p> <p>Resistivetsmålinger ved Lista fyr indikerer meget lave resistivetsverdier mot dypet. Refraksjonsseismikk noen hundre meter lenger nordøst viser at fjelloverflate der må ligge mer enn 130 m dypt. Disse resultatene indikerer at det er svært lite sannsynlig at fjell stikker opp i dagen oppe på ryggformen ved Lista fyr.</p> <p>Georadarmålingene viser at dybderekkevidden av georadarsignalene er forholdsvis begrenset i hele måleområdet på Lista, og det oppnås sjelden reflekterte signaler fra et dyp på mer enn 8-12 m under terrengoverflaten. Begrensningen mot dypet skyldes trolig godt elektrisk ledende materiale. Det kan være finstoffrike marine avsetninger (leire), innslag av salt grunnvann i grovere avsetninger eller moreneavsetninger med høyt leirinnhold. Det regnes at slike moreneavsetninger arealmessig er dominerende i området når det gjelder begrensningen i dybderekkevidden. Avsetningene over regnes å være av ulik opprinnelse og alder, fra breelvavsetninger og senere avsetninger som laguneavsetninger, innsjøsedimenter, strandavsetninger og vindavsetninger. De fleste ryggformene som er undersøkt, er dominert av morenemateriale, ofte med høyt leirinnhold. Noen få ryggformer er dominert av sand/grus med tykkelser på opptil 10-12 m og regnes å være avsatt i forbindelse med isavsmeltingen.</p>			
Emneord: Geofysikk	2D Resistivitet	Refraksjonsseismikk	
Georadar	Kvartærgeologi	Løsmasser	
Berggrunn		Fagrapport	

INNHold

1.	INNLEDNING	4
2.	MÅLEMETODER, UTFØRELSE OG PROSESSERING.....	4
2.1	2D Resistivitet	4
2.2	Refraksjonsseismiske målinger	5
2.3	Georadarmålinger	6
3.	RESULTATER	7
3.1	2D Resistivitet (Profil1, Profil 2 og Profil 3).....	7
3.2	Refraksjonsseismikk (S1, S2 og S3)	10
3.3	Samtolkning 2D resistivitet og refraksjonsseismikk	11
3.4	Georadar	13
3.4.1	Øymona - Nesheim (G1, G2, G3 og G18)	14
3.4.2	Vesthassel (G9 og G10)	15
3.4.3	Vestbygd - Tjørve (G8 og G11 - G17).....	15
3.4.4	Lista fyr - Vågsvoll (G4 - G7 og G19 - G21).....	17
4.	SAMMENFATNING	18
5.	REFERANSER	19

FIGURER

<i>Figur 1. Seismisk kabelsystem brukt for de refraksjonsseismiske profilene.</i>	<i>5</i>
<i>Figur 2. Lista Profil 1. Beregnet resistivitet. Av hensyn til prosesseringen er det lange resistivitetsprofilet delt i tre.</i>	<i>8</i>
<i>Figur 3. Lista Profil 2. Beregnet resistivitet. Av hensyn til prosesseringen er det lange resistivitetsprofilet delt i to.....</i>	<i>9</i>
<i>Figur 4. Lista Profil 3. Beregnet resistivitet.</i>	<i>9</i>
<i>Figur 5. Lista Profil 1. Sammenstilling av resistivitet og seismiske tolkninger. Av hensyn til prosesseringen er det lange resistivitetsprofilet delt i tre.....</i>	<i>12</i>

DATABILAG

1	Kartkoordinater for profilene målt med 2D Resistivitet (Profil 1, Profil 2 og Profil 3)
2	Kartkoordinater for de refraksjonsseismiske profilene (S1, S2 og S3)
3	Kartkoordinater for georadarprofilene (G1-G21) og CMP -målingene (3 stk.)
4	Hastighetsanalyse (CMP1)
5	Hastighetsanalyse (CMP2)
6	Hastighetsanalyse (CMP3)

KARTBILAG

2012.058-01	Oversiktskart Lista (M 1:50 000)
2012.058-02	Oversiktskart Lista, 2D-Res. og seismikk (M 1:10 000)
2012.058-03	Geofysisk tolkning refraksjonsseismikk (S1, S2 og S3) og Lokalkart (M 1:5 000)
2012.058-04	Øymona-Nesheim. Utskrift av georadaropptak G1, G2, G3 og G18 og Lokalkart (M 1:5 000)
2012.058-05	Vesthassel. Utskrift av georadaropptak G9 og G10 og Lokalkart (M 1:5 000)
2012.058-06	Vestbygd-Tjørve. Utskrift av georadaropptak G8 og G11-G17 og Lokalkart (M 1:5 000)
2012.058-07	Lista fyr-Vågsvoll. Utskrift av georadaropptak G4-G7 og G19-G21 og Lokalkart (M 1:5 000)

1. INNLEDNING

Sommeren 2011 ble det utført geofysiske målinger på Lista i Farsund kommune. Målingene er lokalisert til de lavtliggende løsmassedekte områdene, dvs. stort sett under 20 m over havnivå. Det ble totalt målt 6200 m 2D resistivitet fordelt på 3 linjer, 1840 m refraksjonsseismikk fordelt på 3 linjer, og i alt 9947 m georadar fordelt på 21 linjer.

Målingene er utført i forbindelse med den kvartærgeologiske kartleggingen som NGU for tiden utfører i Vest-Agder, men er også knyttet opp mot kartlegging av underliggende berggrunn i overgangssonen mellom fastlands- og sokkel-bergarter.

Hensikten med disse undersøkelsene var primært å se hvilke dybder det er ned til fjell, hvilke løsmasseavsetninger som finnes, karakterisere fjellkvalitet og prøve å bestemme bergartstype. Georadar regnes å ha minst dybderekkevidde og er vesentlig utført for å få informasjon om dagnære strukturer og løsmassevariasjoner.

Oversiktskart over Lista er vist i kartbilag -01 (M 1:50 000). I kartet er alle måleområdene for hver metode tegnet inn, og disse utsnittene er vist i større målestokk i de påfølgende kartbilagene.

2. MÅLEMETODER, UTFØRELSE OG PROSESSERING

I det følgende blir utførelsen av de geofysiske målingene beskrevet. Mer utfyllende metodebeskrivelser finnes på <http://www.ngu.no/no/hm/Norges-geologi/Geofysikk/Bakkegeofysikk/>

Målingene ble utført i perioden 22.juni til 5. juli 2011 av Einar Dalsegg og Jan Fredrik Tønnesen (NGU) og Kenneth Andre Olsen (student NTNU). Einar Dalsegg har hatt ansvaret for innsamling, prosessering og tolkning av data fra måling av 2D resistivitet, mens Jan Fredrik Tønnesen har hatt ansvaret for refraksjonsseismikken og georadarmålingene.

2.1 2D Resistivitet

Ved denne undersøkelsen ble det foretatt måling av **2D resistivitet og industert polarisasjon (IP)**. IP måles samtidig med resistivitetsmålingene og fører til noe utvidet måletid. Dette er av mindre betydning i forhold til viktigheten av også å måle IP. Ved å kombinere de to metodene kan risiko for feiltolkninger reduseres.

Måledata ble innsamlet med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høgskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993). Systemet består av en relèboks (Electrode Selector ES10-64) og to eller fire multi-elektrode kabler. Måleprosessen styres av et ABEM Terrameter SAS 4000. Ved denne undersøkelsen ble det benyttet fire kabler med 5 og 10 meters elektrodeavstand som gir maksimal dybderekkevidde på henholdsvis ca. 60 og 120 meter. Oppløsningen, og dermed nøyaktigheten, er størst i den øvre halvdel av pseudoseksjonen, noe en må ta hensyn til ved valg av elektrodeavstand. Det ble valgt å benytte Gradient elektrodekonfigurasjon, som er godt egnet til kartlegging av horisontale strukturer (Reiser et al. 2010).

Strøm ble sendt i pulser på 1 sekund og alternerende polaritet. Dette gir en målesyklus på 3,8 sekund. Målingen av resistivitet (enhet ohmm eller Ωm) startet 0,3 sekund etter at strømmen ble slått på og måletiden var 0,5 sekund.

Profilenes beliggenhet er innmålt med GPS (databilag 1).

Strømstyrken for mesteparten av målingene lå i områdene 100 og 200 mA. Datakvaliteten for resistivitetsmålingene var meget god, og kun et fåtall måledata måtte fjernes før inversjon. IP-målingene inneholdt for mye støy til at de var å anse som pålitelige, og de er derfor ikke presentert i rapporten.

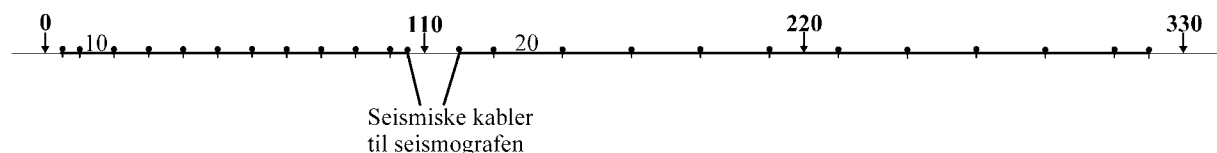
Ved alle resistivitetsmålinger måles en tilsynelatende resistivitet. Denne representerer et veid middel av alle resistiviteter som er innenfor målingens influensvolum. For å finne den spesifikke resistivitet i ulike deler av undergrunnen må data inverteres. Dette utføres ved at bakken deles opp i blokker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

Resistivitetsmålingene ble invertert ved bruk av dataprogrammet RES2DINV (Loke 2010). Det ble gjort forsøk med forskjellig 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, som gjør at horisontale strukturer fremheves.

2.2 Refraksjonsseismiske målinger

For innsamling av måledata ble det benyttet et registreringsinstrument av typen ABEM Terraloc MK6 med 24 kanaler. Måleutlegget bestod av to seismiske kabler plassert etter hverandre langs profilretningen og med 12 geofoner tilkoblet langs hver kabel. Geofonavstanden langs den ene kablen var gjennomgående 10 meter og 20 meter langs den andre kablen, men i hver ende av de seismiske kablene er geofonavstanden halvert for å oppnå bedre kontroll med seismiske hastigheter i overflatematerialet.

Skuddpunkt er plassert 5 meter ut fra hver endegeofon langs den korte kablen og 10 m fra endegeofonene langs den lange kablen. Det er også et skuddpunkt mellom geofon 6 og 7 langs den lange kablen. Skuddpunktavstanden langs måleutlegget blir da 110 meter og total profilengde mellom de ytterste endeskuddene blir 330 meter (se Fig. 1).



Figur 1. Seismisk kabelsystem brukt for de refraksjonsseismiske profilene.

Profil **S3** består av ett slikt måleutlegg. Profil **S2** består av 2 utlegg, men i siste utlegg er de tre sørligste geofonavstandene langs den lange kablen innkortet til det halve. Profil **S1** består av 3 måleutlegg, men i siste utlegg (lengst sør) er det brukt 2 korte kabler. Profilenes beliggenhet er vist både i kartbilag -02 og -03.

For å få best mulig dekning av refraksjoner fra fjelloverflaten ble det i tillegg til skuddene vist i fig. 1 plassert fjernskudd i begge retninger i større avstand fra måleutlegget. I profil **S3** er det 2 fjernskudd i sør i avstand 87 og 159 m fra endeskuddet i starten av utlegget, mens det i nord er ett fjernskudd 64 m nord for det nordligste endeskuddet. På grunn av manglende tilgjengelighet var det ikke mulig å få plassert fjernskudd lenger fra endene på kabelutlegget. I profil **S2** er det for det nordlige utlegget ett fjernskudd 230 m nord for det nordligste endeskuddet. Sør for utlegget er det 3 fjernskudd som ble plassert i samme punkter som skuddene i naboutlegget (dvs. 110, 220 og 300 m fra endeskuddet). I det søndre utlegget er det også benyttet fjernskudd i skuddpunktene i naboutlegget i nord, men det er ikke noe fjernskudd sør for utlegget da dette ville kommet inn på vernet strandsone. For de to nordligste utleggene i profil **S1** er det 2 fjernskudd i hver retning. Lengst nord er fjernskudd lokalisert 110 og 190 m fra nordligste endeskudd. For øvrig er fjernskuddene plassert i skuddpunktene i naboutleggene (dvs. 110 og 220 m fra endeskuddene i utleggene). Sør for det sørligste utlegget er det bare ett fjernskudd i avstand 110 m.

Profilene er posisjonsbestemt med håndholdt GPS-mottaker, og UTM-koordinater for alle skuddpunktene framgår av databilag 2.

Det ble benyttet dynamitt med elektrisk tenning som energikilde, og det ble gjennomgående brukt 1-2 dynamittgubber (ca 100-200 gram) for hvert skudd. De ble plassert i grunnen i håndspettet hull.

Datakvaliteten på seismikkopptakene var noe variabel. Dette skyldes dels demping av energien i løst lagret overflatelag, men for profil S2 var det spesielt mye bakgrunnsstøy på grunn av kraftig vind. Det har imidlertid vært mulig å avlese førsteankomsttider for de fleste geofonene i hvert opptak.

2.3 Georadarmålinger

Georadar er en elektromagnetisk målemetode som kan benyttes til undersøkelse av lagdeling og strukturer i grunnen. Metoden er basert på registrering av reflekterte elektromagnetiske bølgepulser fra grenseflater i jorda. Georadaren som ble benyttet er digital og av typen pulseEKKO PRO (Sensors & Software Inc., Canada).

For alle profilene ble det benyttet en sender på 1000 V og antenner med senterfrekvens 100 MHz. Opptakstiden var på 1000 ns (nanosekunder) med samplingsintervall på 0,8 ns. Signalene ble summert ('stacket') 4 ganger ved hvert målepunkt. For å lette gjennomføringen av profilmålingene ble antennene plassert på en håndtrukket spesialvogn med en fast antenneavstand på 1,0 m. Et tilhørende målehjul registrerte avstand langs profilet, og fra en kontrollenhet ble målepunktavstanden forhåndsinnstilt slik at radaren automatisk utførte måling for hver 0,5 m. Det ble utført tre CMP-målinger for å bestemme radarbølgehastigheten i grunnen. For lokalisering av profilene er det benyttet økonomisk kartverk (M 1:5000) og profilkoordinater (UTM-koordinater) er bestemt med en håndholdt GPS-mottaker (databilag 3).

På grunn av en del teknisk støy i opptakene ble de høyeste frekvenser (>125 MHz) forsøkt fjernet ved filtrering. Ved utskrift av georadarpptakene (kartbilag -04, -05, -06 og -07) ble det benyttet egendefinert forsterkning. Ved denne type forsterkning settes bestemte forsterkningsverdier ved bestemte tidspunkt i opptaket og signalstyrken blir lineært interpolert mellom forsterkningsverdiene. Terreng høyden langs profilene er vesentlig bestemt ut fra økonomisk kartverk, men lokalt også ut fra visuell vurdering under profileringen. For å angi

en korrekt høydeskala for profilutskriftene er det nødvendig å kjenne radarbølge-hastigheten i undergrunnen. Ut fra resultatet av hastighetsanalysene fra CMP-målingene (databilag 4, 5 og 6) er det benyttet en hastighet på 0,08 m/ns for beregning av høydeskala. Denne hastigheten er forenlig med vannmettede løsmasser, men også med løsmasser uten full vannmetning.

Observerte refleksjonsmønstre vil være en god indikasjon på hva slags løsmassetyper som opptrer langs profilene. I sand- og grusdominerte avsetninger kan det oppnås reflekterte signaler fra flere titalls meter dyp, mens det i godt elektrisk ledende materiale som marin leire vil være minimal dybderekkevidde for georadarsignalene.

3. RESULTATER

3.1 2D Resistivitet (Profil 1, Profil 2 og Profil 3)

Lokaliseringen av målelinjen **Profil 3** ved Lista fyr er vist i oversiktskart Lista V i kartbilag -02, mens plasseringen av de to kryssende linjene **Profil 1** og **Profil 2** er vist i oversiktskart Lista Ø i samme kartbilag.

Beregnet resistivitetsfordeling langs **Profil 1** er vist i figur 2. Øverst ses stedvis et meget tynt lag med resistivitet høyere enn 1000 ohmm. Dette representerer trolig tørre løsmasser (vesentlig sand). Under dette finnes spesielt lengst i sør (pos. 0-700 m) resistivitetsverdier ned mot 10 ohmm og som når ned mot 30-40 meters dyp. I følge NGUs tolkingsmodell er dette marine avsetninger med intakt leire (lavere enn 10 ohmm) og eventuelt utvasket leire (10 – 60 ohmm), (Solberg et al. 2008). Under kommer det inn materiale med høyere motstandsverdier (60-400 ohmm) som kan representere morenedominert materiale. Lavmotstandslaget (<60 ohmm) er tynnere, men fortsetter tilsynelatende videre nordover til pos. 1800-1900 m. Derfra og videre nordover til pos. 2600 m er det meget inhomogene resistivetsforhold og det er vanskelig å indikere klar lagdeling. Videre nordover til pos. 2950 m er det lave resistivetsverdier (<60 ohmm) fra 20-30 meters dyp til 40-50 meters dyp. Lengst nord i profilet er fjelloverflaten blottet og det er der resistivetsverdier over 1000 ohmm, men meget inhomogene forhold. Det kan se ut som det er en nær vertikal grense ved pos. 2950 m og at området nordafor trolig er krystallin berggrunn, men at den kan være forvitret og inhomogen. Frisk Charnokitt fra området ved Ravneheitunnelen viser resistivitet i størrelsesorden 10000 ohmm (Rønning m.fl. 2009). Langs profilet for øvrig er det ikke indikert resistivetsverdier mot dypet som klart indikerer krystallin berggrunn.

Resistivetsfordelingen i det kryssende **Profil 2** er vist i figur 3. Profilet viser i hovedtrekk samme resistivetsverdier og fordeling som i **Profil 1**. Lavmotstandslaget (<60 ohmm) under et få meter tykt overflatelag er indikert langs østlige halvdel av profilet og ser ut til å nå ned til 30-60 m under havnivå. Materialet under disse leiravsetningene har noe høyere verdier og kan representere morenedominerte avsetninger. Langs vestlige del av profilet er overflatelaget betydelig tykkere og med resistivetsverdier som kan indikere morenedominerte avsetninger. Fra et dyp som varierer fra 30 til 50 meter under havnivå kommer det der inn materiale med lavere resistivitet (<60 ohmm) og som når ned til mer enn 100 m under havnivå. Det er ikke påvist høyere resistivetsverdier mot dypet som klart indikerer krystallin berggrunn.

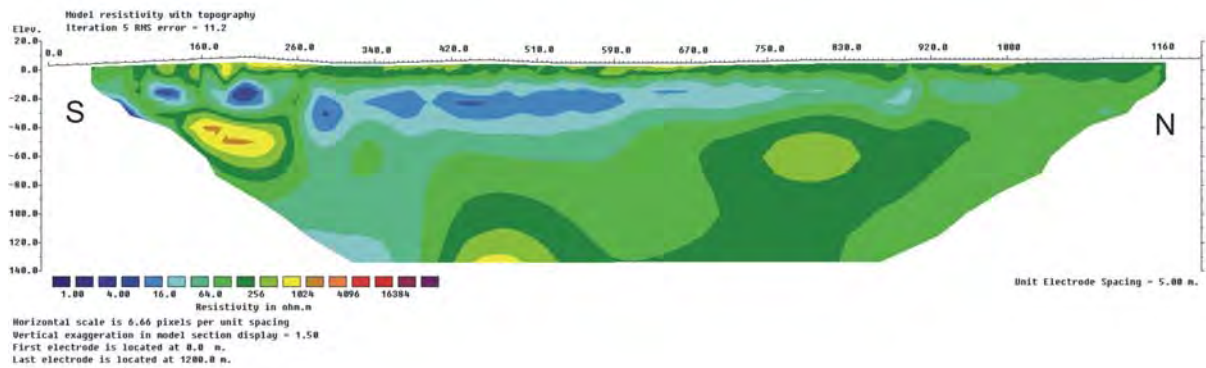
Profil 3 er målt over ryggformen ved Lista fyr. Det er ved overflatekartlegging antydning mulighet for blottet fjell, og det var ønskelig å sannsynliggjøre om dette er riktig.

Resistivetsprofilet er vist i figur 4. Målingene indikerer at det over ryggen er et 2-5 m tykt

Lista

Profil 1-A

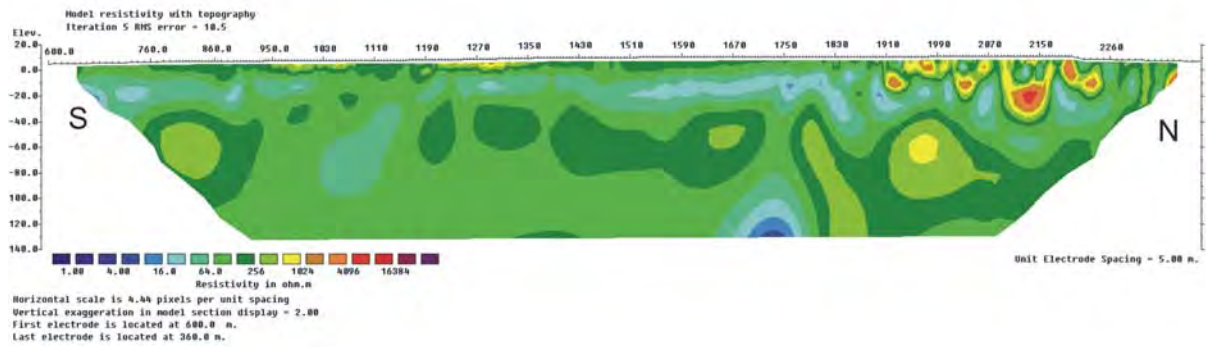
Gradient, el.avst. 10 m
V/H-filter = 0.5



Lista

Profil 1-B

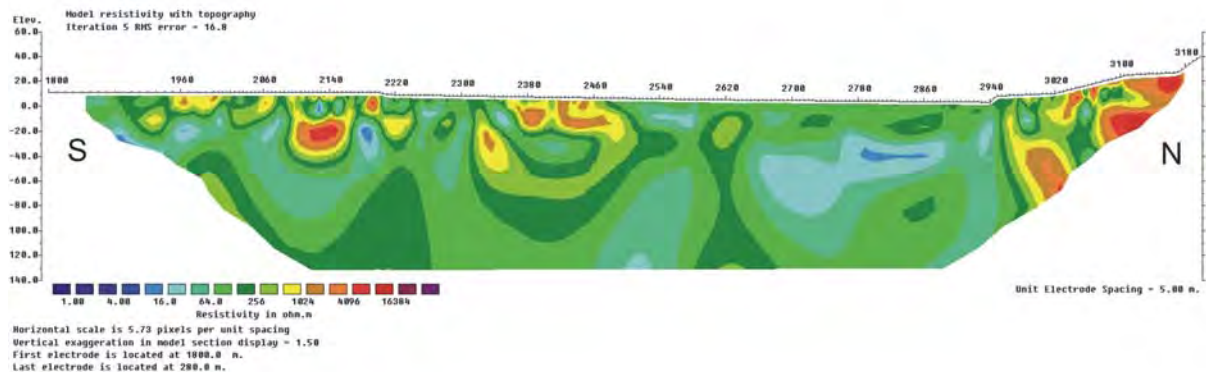
Gradient, el.avst. 10 m
V/H-filter = 0.5



Lista

Profil 1-C

Gradient, el.avst. 10 m
V/H-filter = 0.5

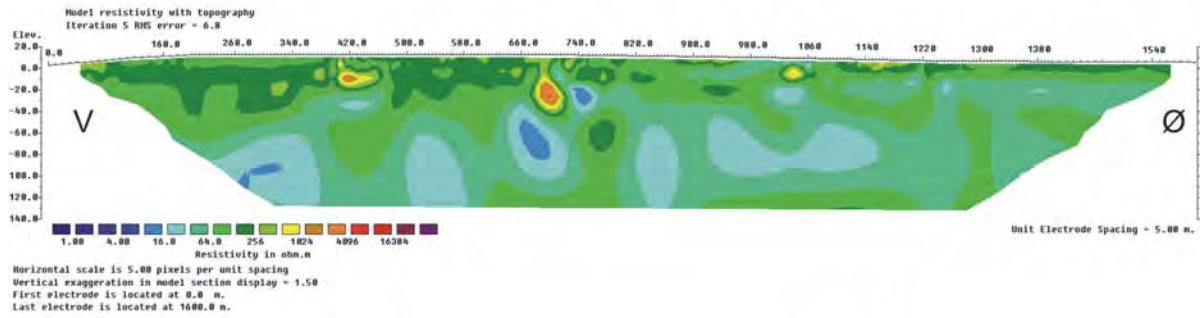


Figur 2. Lista **Profil 1**. Beregnet resistivitet. Av hensyn til prosesseringen er det lange resistivetsprofil delt i tre.

Lista

Profil 2-A

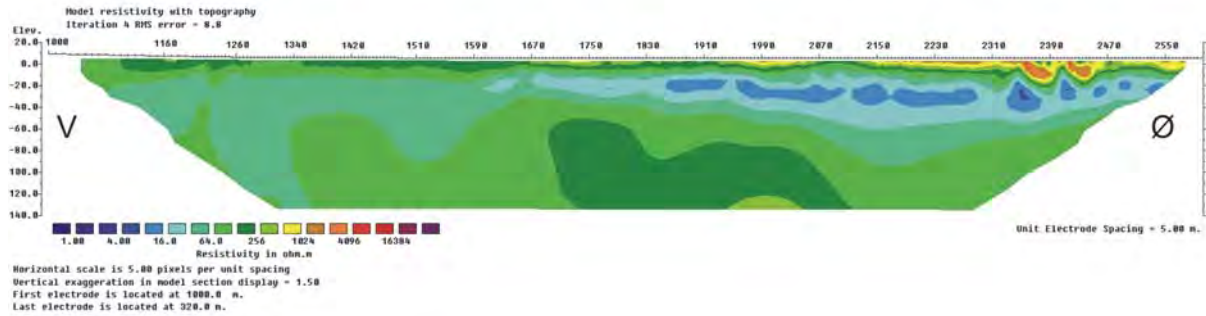
Gradient, el.avst. 10 m
V/H-filter = 0.5



Lista

Profil 2-B

Gradient, el.avst. 10 m
V/H-filter = 0.5

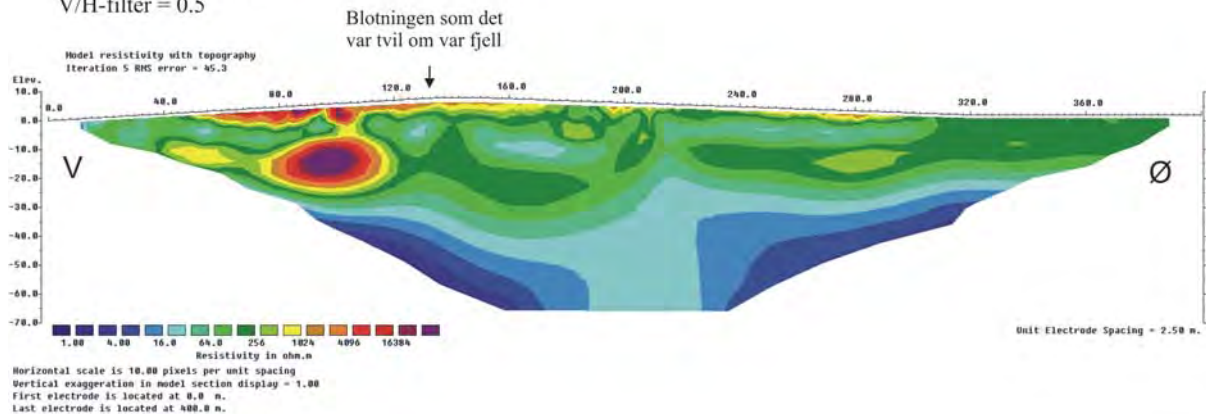


Figur 3. Lista Profil 2. Beregnet resistivitet. Av hensyn til prosesseringen er det lange resistivitetsprofilet delt i to.

Lista Fyr

Profil 3

Gradient, el.avst. 10 m
V/H-filter = 0.5



Figur 4. Lista Profil 3. Beregnet resistivitet.

overflatelag med høy resistivitet og med de høyeste verdiene i vestskråningen. Under er det indikert et varierende og ikke helt sammenhengende lag med lavere resistivitet. Det er 5-10 m tykt og har stedvis resistivitetsverdier under 60 ohmm. Under kommer det inn materiale med noe høyere resistivitet som kan indikere morenedominert materiale, men i området pos. 80-120m indikerer tolkningen tilsynelatende meget høy resistivitet i dette materialet. Verdiene kan tilsvare verdier funnet for fjell, men er tolket som store inhomogeniteter i morenedominert materiale, muligens stor ansamling av blokk-dominert materiale. Målingene indikerer at det under dette laget opptrer meget lave resistivitetsverdier langs profilet fra et nivå varierende fra 20 til 30 m under havnivå. Det er her ikke indikert høyere resistivitetsverdier mot større dyp. Det anses for lite sannsynlig at fjelloverflaten er blottet i ryggformen ved lista fyr, men at det i overflaten ligger meget store blokker.

3.2 Refraksjonsseismikk (S1, S2 og S3)

Geofysisk tolkning av de tre refraksjonsseismiske profilene er vist sammen med lokaliseringskart i kartbilag -03. Profil **S1** er nær sammenfallende med georadarprofil G1, likeså profil **S2** med G3 og **S3** med G21.

Langs profil **S1** er løsmassemekktigheten beregnet å variere fra knapt 3 til vel 30 m. Minst løsmasseykkelse opptrer over oppstikkende fjellkulle sentralt i profilet (pos.460-480 m) og størst tykkelse er funnet i nordlige del (pos.60-160 m). I løsmassene er det et overflatelag som er fra 2 til maksimum 4 m tykt og seismisk hastighet i laget er indikert å variere fra 300 til 700 m/s. Det synes å være høyest hastighet sentralt i profilet (ca. pos. 160-580 m) og lavest i nord. Laget regnes stort sett å bestå av tørre sand/grus-dominerte avsetninger, men i nord og sør er det trolig også innslag av organisk materiale (myrtorv). Over toppen av fjellryggen synes overflatelaget å ligge direkte på fjelloverflaten, mens underliggende løsmasseavsetninger både nord og sør for fjellryggen ser ut til å bestå av to hastighetslag. I det nederste løsmasselaget er seismisk hastighet godt bestemt til 1900-2000 m/s i nordligste del (pos. 0-250 m), mens verdiene er mer usikre videre mot sør fram til fjellryggen (pos. 440 m) og likedan i sørlige del (pos. 550-880 m). Usikre verdier skyldes at laget er forholdsvis tynt og delvis opptrer i blindsoner. Laget regnes å bestå av morenedominert materiale. I laget over er seismisk hastighet bestemt til ca. 1200 m/s i nord (pos. 0-160 m) og 1400-1600 m/s sørover mot fjellryggen (pos. 300-440 m) og sør for ryggen fra pos. 620 m. I nord er det noe usikkert om laget bare tynner ut eller forsvinner helt i området pos. 200-280 m. Laget regnes å bestå av vannmettede løsmasser som trolig er sanddominerte, men det kan ikke utelukkes innslag av leire. Den lave hastigheten i nord kan skyldes løst lagret og forholdsvis fine avsetninger (finsand/silt), muligens med et visst innhold av organisk materiale.

Seismisk hastighet i fjell varierer betydelig langs profilet. Det er indikert 3 soner med meget lav hastighet (3000-3700 m/s), en under dypeste del av avsetningsbassenget i nord (pos. 90-130 m) og en på hver side av fjellryggen sentralt i profilet (pos. 380-410 m og pos. 620-665 m). De sistnevnte ser også ut til å være knyttet til mindre fordypninger i fjelloverflaten. Lavhastighetssonene regnes å representere områder med meget oppsprukket, til dels oppknust og/eller forvitret fjell. Tolkningsmetoden kan ikke si noe sikkert om fallretningen for sonene og de er derfor tegnet med vertikale grenser. Dybderekkevidden for sonene er heller ikke bestemt. Seismisk hastighet i fjell mellom lavhastighetssonene er på 5200-5400 m/s og synes å representere normale verdier for krystallin berggrunn. Nord for den nordligste og sør for den sørligste lavhastighetssonen er det indikert seismiske hastigheter i fjell på henholdsvis rundt 4600 m/s og 4400-4500 m/s. Dette kan tyde på partier med mer moderat oppsprekking eller forvitring, men det kan heller ikke utelukkes at de forholdsvis lave hastighetene kan representere sedimentære bergarter.

Langs profil **S2** er løsmassemektigheten beregnet å være 35-40 m ved nordenden, 60-70 m sentralt i profilet og er 70-75 m ved sørenden. Fjelloverflaten er da beregnet å skråne nedover fra 32 m under havnivå ved nordenden av profilet til rundt 60 m sentralt i profilet og til 70 m under havnivå ved sørenden. I løsmassene er det registrert et 1-3 m tykt overflatelag med seismisk hastighet 400-550 m/s med de høyeste hastighetsverdiene i nord. Laget regnes vesentlig å bestå av tørt sanddominert materiale. I løsmasseavsetningene under er det gjennomgående registrert seismiske hastigheter rundt 1700-1800 m/s. Avsetningene regnes å være vannmettet, og hastighetene kan representere morenedominert materiale som er forholdsvis løst lagret, men det kan ikke utelukkes at kompakt leire kan oppnå tilsvarende verdier.

Seismisk hastighet i fjell er langs hoveddelen av profilet beregnet å ligge på 5100-5200 m/s og kan representere vanlig krystallin berggrunn. Nord for midten av profilet er det imidlertid indikert et ca. 140 m bredt område (pos. 150-290 m) hvor det er indikert seismisk hastighet på bare 4400-4500 m/s. Dette kan bety et område med betydelig oppsprukket/forvitret berggrunn eller muligens sedimentære bergarter. Langs de sørligste 200 m av profilet er hastigheten i fjell usikker på grunn av manglende fjernskudd fra sør.

Langs profil **S3** ligger fjelloverflaten så dypt at det ikke er registrert refrakterte signaler fra den. Ut fra de stedlige forhold var det ikke tilrådelig å plassere fjernskudd i større avstand fra profilene enn det som ble gjennomført. Ut fra de målinger som er gjort kan det fastslås at fjelloverflaten gjennomgående må ligge dypere enn 130 m under havnivå. Det er registrert et overflatelag med seismisk hastighet 600-700 m/s og med en tykkelse som varierer fra 1 til vel 5 m. Hastigheten kan indikere tørre sanddominerte avsetninger. Stedvis når laget ut fra tolkningen ned til 2-3 m under havnivå og burde derfor være vannmettet i nedre deler. Det er mulig at den lave hastigheten kan skyldes høyt organisk innhold i materialet. I avsetningene under ser seismisk hastighet ut til å være 1600-1700 m/s øverst og øker til 1750-1850 m/s mot dypet, men uten noen klar grense mellom hastighetsverdiene. Hastighetene er bestemt ut fra skudd og motskudd. De lave verdiene er bestemt ut fra skuddpunktavstander på 110 m, mens de høye verdiene kommer fram ut fra skuddpunktavstander på 220 m og større. Med de korte avstandene regnes det at hastighetene beskriver forholdene nærmest overflaten av laget, mens med større skuddpunktavstander vil bølgefronten omfatte dypere deler av laget. Avsetningene kan i hovedsak bestå av morenedominert materiale som er forholdsvis løst lagret, men det kan ikke utelukkes at kompakt leire kan oppnå tilsvarende verdier. Det er også mulig at øvre del av avsetningene med hastighet 1600-1700 m/s kan bestå av sanddominert materiale.

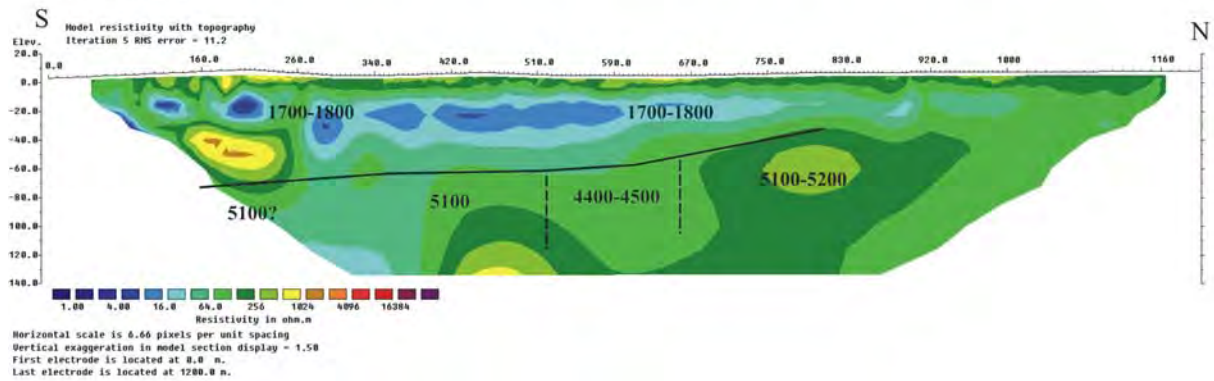
3.3 Samtolkning 2D resistivitet og refraksjonsseismikk

Selv om de refraksjonsseismiske profilene ikke er sammenfallende med resistivitetsprofilene er det forsøkt å gi en samtolkning av målingene. I figur 5 er beregnet resistivitet fra **Profil 1** sammenstilt med de seismiske tolkningene for profilene **S1** og **S2**. (**S1** ligger fra 50 til 200 m øst for **Profil 1** og **S2** ligger fra 15 til 250 m vest for **Profil 1**). De seismiske profilene er da projisert inn langs resistivitetsprofilet. (Lokaliseringen av de respektive profilene framgår av kartbilag -02). Sammenstillingen viser dårlig sammenheng mellom tolket fjelloverflate fra seismikken og hva som burde forventes av resistivitetsverdier. Dersom det er krystallin berggrunn fra nivåene angitt som fjellgrunn i den seismiske tolkningen, burde resistiviteten kommet opp i over 1000 ohmm mot dypet (Elvebakk 2011). Modelleringer har vist at selv om fjellet ligger relativt dypt så vil det komme frem med høye verdier (Reiser et al. 2009). Resistivitetsnivået mot dypet er mer i samsvar med verdier funnet i mesozoiske sedimentære bergarter på Andøya (Olesen et al 2012). De seismiske hastighetene langs fjelloverflaten

Lista

Profil 1-A

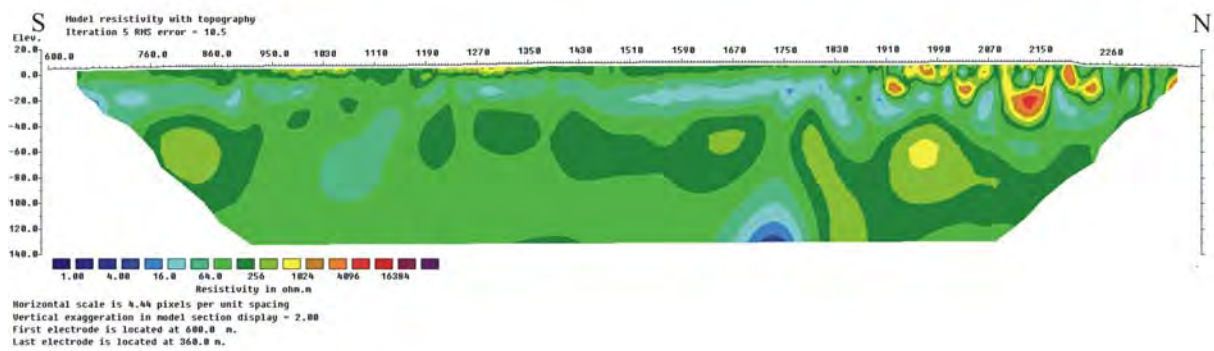
Gradient, el.avst. 10 m
V/H-filter = 0.5



Lista

Profil 1-B

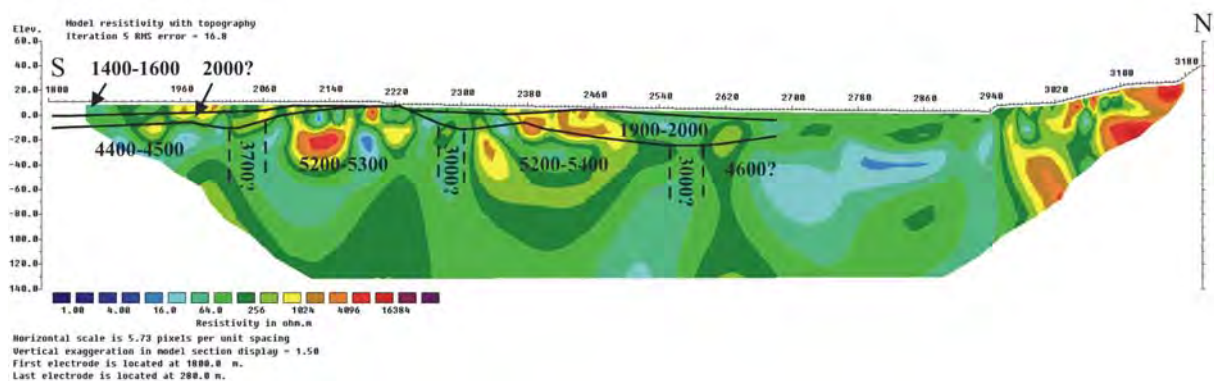
Gradient, el.avst. 10 m
V/H-filter = 0.5



Lista

Profil 1-C

Gradient, el.avst. 10 m
V/H-filter = 0.5



Figur 5. Lista **Profil 1**. Sammenstilling av resistivitet og seismiske tolkninger. Av hensyn til prosesseringen er det lange resistivitetsprofilet delt i tre.

varierer betydelig. Forholdsvis høye verdier på 5100-5400 m/s indikerer trolig normal massiv berggrunn (krystallinsk), mens de lavere verdiene på 4400-4600 kan representere oppsprukket/forvitret fjell eller muligens sedimentære bergarter. Soner med hastighet 3000-3700 m/s i profil **S1** må regnes som meget svakt fjell, sannsynligvis oppknust. Det kan se ut til å være en viss sammenheng mellom lavere hastighetsverdier og samtidig noe lavere resistivitet mot dypet, og i profil **S1** er det også en viss sammenheng mellom lavhastighetssonene og soner med lavere resistivitet.

Ved Lista fyr ligger østenden av resistivitetsprofilen (**Profil 3**) ca. 400 m vestsørvest for sørenden av seismikkprofilen (**S3**), se kartbilag -02. Resultatene fra målingene kan derfor ikke direkte sammenlignes. Fra seismikken er dyp til eventuell krystallin berggrunn uviss, men må ligge dypere enn 130 m. Fra resistivitetsmålingene indikeres meget lave resistivitetsverdier mot dypet. Begge metodene indikerer derfor stort dyp til normal berggrunn, og det regnes derfor som svært lite sannsynlig at fjell når opp i dagen ved Lista fyr.

3.4 Georadar

Utskrift av georadaropptakene langs profilene er vist sammen med lokaliseringskart i kartbilagene -04 til -07. Utskrift av 3 CMP- målinger og resultater av hastighetsanalysene framgår av databilagene 4, 5 og 6. CMP-målingene er alle lokalisert på østre del av Lista, og målepunktene er fordelt på profilene **G1**, **G2** og **G3** (se kartbilag -04). Hastighetsanalysen indikerer at radarbølgehastigheten er på rundt 0.08 m/ns ved målepunktene for **CMP2** og **CMP3** ned til et tidsdyp på henholdsvis rundt 300 ns og 220-240 ns. Denne hastigheten er forenlig med vannmettede løsmasser, men også med løsmasser uten full vannmetning. Ved målepunktet for **CMP1** er det indikert en radarbølgehastighet på bare rundt 0.05 m/ns ned til et tidsdyp på 250 ns. Dette er også forenlig med vannmettede løsmasser, men den spesielt lave hastigheten er trolig påvirket av høyt vanninnhold i organisk materiale (myr i overflaten). For alle profilutskriftene er det valgt å bruke en hastighet på 0.08 m/ns for beregning av høydeskala. I de områdene som eventuelt har lavere hastighet, vil derfor dypet ned til indikerte reflektorer være mindre enn det høydeskalaen viser.

Generelt er dybderekkevidden av georadarsignalene forholdsvis begrenset i hele måleområdet på Lista, og det oppnås sjelden reflekterte signaler fra et tidsdyp på mer enn 200-300 ns, dvs. ned til et dyp på 8-12 m under terrengoverflaten. Dybderekkevidden varierer imidlertid betydelig og er i flere områder mindre enn 5 m. Begrensningen mot dypet skyldes trolig godt elektrisk ledende materiale. Det kan være finstoffrike marine avsetninger (leire), innslag av salt grunnvann i grovere avsetninger eller moreneavsetninger med høyt leirinnhold. Det regnes at slike moreneavsetninger arealmessig er dominerende i området når det gjelder begrensningen i dybderekkevidden. I tillegg til høyt leirinnhold har moreneavsetningene også et høyt innhold av blokker. Dette medfører en spredning og svekking av georadarsignalene og gir et kaotisk refleksjonsbilde med mye diffraksjonsstrukturer. Ut fra refleksjonsmønsteret kan det være vanskelig å skille mellom en moreneoverflate og refleksjoner fra fjelloverflaten, og det er derfor mulig at begrensningen mot dypet enkelte steder også kan skyldes at fjelloverflaten ligger grunt. Varierende overflateforhold kan også ha stor påvirkning på den tilsynelatende dybderekkevidden. Dette kan skyldes naturlige variasjoner i finstoffinnhold, vegetasjonstype og vanninnhold, men også variable gjødslingsforhold på dyrket mark og tilført salt på veg, både fra salt tilført veglegemet og rester fra vintersalting av vegbanen.

Avsetninger som ligger over moreneavsetninger kan være av ulik opprinnelse og alder, fra breelvavsetninger fra avsmeltningstiden ved slutten av siste istid og senere avsetninger som laguneavsetninger, innsjøsedimenter, strandavsetninger og vindavsetninger. Det er ikke

umiddelbart lett å skille mellom disse avsetningstypene bare ut fra refleksjonsmønsteret, og det vil her i første omgang bli foretatt en beskrivelse og kommentering av profilene uten å gå inn på en endelig tolkning av kvartærgeologisk utvikling i området. Resultatene regnes å gi viktige innspill for den kvartærgeologiske kartlegging og forståelse.

3.4.1 Øymona - Nesheim (G1, G2, G3 og G18)

Utskrift av georadaropptakene langs profilene er vist sammen med lokaliseringskart i kartbilag -04. Målingene i nord ved Øymona omfatter det nordsør-gående profilet **G1** og det kryssende profilet **G2**. **G1** er sammenfallende med det refraksjonsseismiske profilet **S1** og krysser over 2 parallelle ryggformer i området pos. 330-750 m. Området nordafor er ut fra kartet anslått å ligge rundt 6 m o.h., mens området sønnafor er anslått å ligge rundt 8 m o.h. Den nordlige ryggen har toppnivå på nær opp mot 10 m o.h. rundt pos. 430-440 m, mens den andre ryggen når litt høyere med toppnivå rundt pos. 630-640 m.

Langs nordligste del av **G1** (pos. 0-180 m) er det et gjenfylt basseng. Ut fra CMP-målingen der er radarbølghestigheten bare på rundt 0.05 m/s i området og dyp ned til reflektorer vil være mindre enn høydeskalaen tilsier. Bassengavsetningene synes å være todelt hvor øverste lag har en kraftig bunnreflektor på et reelt dyp på 3-4 m i området pos. 40-145 m mens det er tynnere i nordligste del og kiler ut mot sør. Det er mulig at dette laget vesentlig består av organisk materiale med myrortov i hvert fall i overflaten. Avsetningene under har et noe undulerende forløp av reflektorene og kommer dels diskordant opp mot overliggende lag. Videre sørover langs profilet er dybderekkevidden stort sett mindre enn 5 m fram til kryss med profil **G2** og grusveg (pos. 437 m), og antatt moreneoverflate ser ut til å være overlagret av yngre løsmasser med tykkelse som varierer fra 1 til 5 m. Forholdsvis kaotisk refleksjonsmønster ca. 100 m videre mot sør og vanskelig å skille ut reflektorer mot dypet. Seismikkprofilet indikerer imidlertid at fjelloverflaten stikker opp under den nordlige ryggen og ligger mindre enn 5 m dypt i området pos. 450-520 m. En reflektor skråner ned mot sør fra pos. 550 m, og under den sørlige ryggen kan det tolkes å være sand/grus-dominerte avsetninger ned til 0-3 m over havnivå, dvs. 6-8 meters dyp før overgang til annet materiale. Sør for pos. 760 m er refleksiviteten variabel og stykkevis begrenset til 2-3 m, noe som til dels kan skyldes topplag av myr og muligens en del finstoff i overflaten. Lengst sør (fra pos. 875 m) er det likevel indikert reflektorer som tyder på sandige avsetninger ned til noe under havnivå.

Tverrprofilet **G2** er målt på grusveg langs nordkanten av den nordlige ryggformen. Vest for den kryssende vegen med asfaltdekke (pos. 0-75 m) er det reflekterte signaler ned til 10-12 meters dyp og det ser ut til å være sand/grus-dominert materiale ned til ca. 10 m, dvs. rundt havnivå. Kryssingen av asfaltvegen viser betydningen av variasjonen i overflatenære forhold, da refleksiviteten der forsvinner nesten totalt (pos. 75-81 m). Østover avtar dybderekkevidden og er mindre enn 5 m fra pos. 270 m, dvs, øst for kryss med **G1**.

De forholdsvis tykke sand/grusavsetningene i vest langs **G2** på den nordlige ryggformen og langs **G1** over den søndre ryggen tyder på at materialet er breelvavsetninger fra avsmeltningstiden ved slutten av siste istid. Andre tolkninger kan ikke utelukkes, og avsetningstype kan bare fastslås ved boring/prøvetaking.

Målingene ved Nesheim omfatter det nordsør-gående profilet **G3** og det kryssende profilet **G18**. Profil **G3** er sammenfallende med det refraksjonsseismiske profilet **S2**, mens **G18** er målt langs østligste del av **Profil 2** (2D-resistivitetsprofil). Fra starten av **G3** i nord skråner terrengoverflaten slakt nedover fra ca. 6 m o.h. til 3-4 m o.h. ved pos 180-190 m i profilet for deretter å skråne slakt oppover en bred ryggform med toppunkt ca. 8 m o.h. ved pos 450 m og nedover til ca. 4 m o.h. ved sørenden.

Overflatenært er det betydelig variasjon i avsetningene langs **G3**. I nord opptrer det to bassenger (pos. 50-120 m og 180-250 m) som er fylt opp med 3-5 m tykke avsetninger med nær horisontale reflektorer. Avsetningene for øvrig de nordligste 300-400 m er morenepreget med lite sammenhengende refleksjonsstrukturer, men partivis er det en del skråstrukturer og dels horisontale strukturer som indikerer materiale avsatt med strømmende vann, muligens fra isavsmeltningsperioden. I området pos. 360-400 m er det et 2-3 m tykt overflatelag med horisontale reflektorer. Tykkelsen på laget øker til 8 m fram til toppen av ryggen (pos. 440 m) og når ned til rundt havnivå. Det fortsetter ned til samme nivå fram til pos. 550 m, men kan ligge litt høyere lengst sør i profilet. Laget regnes å bestå av sanddominerte strandavsetninger, mens manglende penetrasjon i avsetningene under kan skyldes leirholdig morene.

Langs det kryssende profilet **G18** er det oppnådd refleksjoner i avsetningene ned til et nivå varierende mellom 0 og 5 m under havnivå, dvs. en dybderekkevidde som varierer mellom 5 og 10 m. Det er langs store deler av profilet et 1-3 m tykt overflatelag med horisontale reflektorer, mens underliggende materiale har stor variasjon i refleksjonsmønster. I vest (pos. 0-180 m) er det forholdsvis sammenhengende, men noe bølgeformede reflektorer. Videre østover er profilet dominert av mer usammenhengende og dels kaotisk refleksjonsmønster, men det er stedvis innslag av nær horisontale reflektorer og noen steder antydning til skrålagning. Det er sannsynlig at avsetningene er sanddominerte ned til oppnådd refleksjonsdyp. De kan for det vesentligste bestå av strandavsetninger, men andre avsetningstyper kan ikke utelukkes. Det er sannsynlig at det under ligger leirholdig morene, men det er også mulighet for at det kan ligge marine finstoffrike avsetninger der.

3.4.2 Vesthassel (G9 og G10)

Utskrift av georadaropptakene langs profilene er vist sammen med lokaliseringskart i kartbilag -05. Profil **G9** er målt fra vel 50 m øst for sjøbukta i vest og østover og sammenfaller med vestlige del av **Profil 2** (2D-resistivitet). Terrenget stiger opp fra vest og fra ca. 70 m i profilet og østover varierer terreng høyden i området 11-13 m o.h. Tverrprofilet **G10** er målt ved østenden av **G9**, og terreng høyden er anslått til ca. 12 m o.h. i sør og vel 13 m o.h. i nord.

Langs **G9** er dybderekkevidden for reflekterte signaler stort sett mindre enn 5 m, men er litt større i østligste del. Dette indikerer at antatt leirholdig morene ligger grunt i området med et 1-4 m tykt topplag med bedre sorterte avsetninger. Antydning reflektor rundt 10 m o.h. i østligste del, men også stykkevis ganske langt vestover, kan representere grunnvannsmetning. I området pos. 50-110 m kan den ligge rundt 8 m o.h. og skråner ned mot vest og ligger rundt 5 m o.h. i området fra pos. 30 til 10 m fra profilenden.

Langs **G10** er dybderekkevidden stort sett varierende fra 4 til 7 m, men sentralt i profilet (pos. 190-300 m) er det en forsenkning i antatt moreneoverflate med innfylling av bedre sorterte avsetninger, trolig sanddominerte. Disse kan ha en tykkelse på opptil 8-10 m. Grunnvannsmetningen kan ligge på vel 11 m o.h. i nord og rundt 10 m o.h. sentralt i profilet. Lengst sør kan den muligens komme ned på et nivå 7-8 m o.h.

3.4.3 Vestbygd - Tjørve (G8 og G11-G17)

Utskrift av georadaropptakene langs profilene er vist sammen med lokaliseringskart i kartbilag -06. Profil **G14** er målt på tvers av ryggformen som har lengderetning NV-SØ på Tjørveneset, mens profil **G12** er målt over åsryggen med samme lengderetning ved Vestbygd. Ryggformene når opp til henholdsvis vel 10 m o.h. og 15 m o.h. langs de to profilene. Profilene **G13** og **G15-G17** er målt dels på og dels på østsiden av åsryggen ved Vestbygd.

Profil **G11** er målt langs en slak ryggform videre mot øst, mens **G8** er målt på tvers av en annen ryggform lenger sørøst med samme lengderetning (Ø-V). Disse to ryggene har et anslått toppnivå på rundt 6-7 m o.h. langs **G11** og når opp mot rundt 10 m o.h. langs **G8**.

Langs **G14** på Tjørveneset er det meget variabel tilsynelatende dybderekkevidde (3-10 m) med til dels brå vekslinger. Under toppen av ryggformen (pos. 100-200 m) passeres nedgravde bunkere og det er vanskelig å skille støysignaler fra disse anleggene fra naturlige signaler fra løsmassene. I skråningen mot sørvest ned mot sjøen (pos. 0-100 m) er det et 1-3 m tykt topplag som må regnes å være strandavsetninger. Underliggende materiale dominert av diffraksjoner er antatt å være morenedominert. Også i nordsiden av ryggen er det et 2-4 m tykt overflatelag som antas å være strandavsetninger (pos. 200-310 m) over antatt morenedominert materiale. Det regnes at overflatelaget fortsetter videre mot nordøst, men tolkningen mot dypet er usikkert på grunn av støysignaler fra bygninger og annen infrastruktur.

Over åsryggen ved Vestbygd regnes reell dybderekkevidde stort sett å være begrenset til 3-4 m langs hele profil **G12**. Tilsynelatende dypere refleksjoner antas alt vesentlig skyldes støysignaler (bygninger, luftkabler (pos. 0-365 m), skog (pos. 395-450 m)). Det kan derfor se ut til at avsetningene består av morenemateriale med høyt leirinnhold fra bare 1-2 meters dyp. Videre mot øst og sør langs profilene **G13** og **G15** er det trolig tilsvarende avsetninger, men i siste del av **G13** (pos. 190-322 m) og første del av **G15** (pos. 0-70 m) er dybderekkevidden vel 5 m, og det er her antakelig bedre sorterte og trolig sanddominerte avsetninger ned til dette dypet. Dårlig men noe vekslende reflektivitet langs resten av **G15** kan skyldes høyere men variabelt finstoffinnhold i avsetningene. Det kan heller ikke utelukkes at varierende gjødslingsforhold kan ha innvirkning på penetrasjonen og reflektiviteten. Profil **G17** viser også meget begrenset dybderekkevidde oppe på åsryggen (pos. 0-130 m), mens dybderekkevidden nedover skråningen er på ca. 4 m og fra pos. 240 m 5-6 m. Dette indikerer at det er økende tykkelse av antatt sanddominerte avsetninger nedover østskråningen på åsryggen.

Langs profil **G16** som er målt i NØ-SV-retning langs bunnen av østskråningen like øst for østenden av **G17** er det også oppnådd en dybderekkevidde på 5-6 m og det ser ut fra refleksjonsmønsteret å være best sorterte sanddominerte avsetninger i sørvestlige del (pos. 270-405 m). I nordøstligste del av **G16** (pos. 0-60 m) er dybderekkevidden begrenset til 2-3 m. Profil **G11** har samme startpunkt som **G16** og går østover langs slak forhøyning i landskapet. I starten av profilet (pos. 0-50 m) er det svært dårlig dybderekkevidde som i profil **G16**. Det ser derfor ut som det lokalt er et område med mye finstoffmateriale overflatenært som omfatter første del av profilene **G11** og **G16** samt søndre deler av **G15** (pos. 110-210 m). Fra pos. 80 m og videre østover langs **G11** er dybderekkevidden 5-7 m og det regnes å være sanddominerte avsetninger ned til dette dypet som ligger omtrent i havnivå. **NB!** Svak, men utholdende reflektor kommer tilsynelatende opp fra 5 til 3 m under havnivå i området pos. 160-200 m og fortsetter i dette nivå fram til pos. 300 m for deretter å skråne opp mot havnivå ved pos. 400 m. Den regnes å være reflekterte signaler (støy) fra det høye metallgjerdet mot flyplassområdet i nord.

Langs profil **G8** over den østvest-gående ryggformen lenger sørøst er det noe varierende men gjennomgående mindre enn 5 m dybderekkevidde. Lengst sør (pos. 0-70 m) kan det være 4-5 m med sanddominert materiale over antatt morene, mens morenedominert materiale kan ligge grunnere videre mot nord. Under toppen av selve ryggen (pos. 310-350 m) er det noe økning i dybderekkevidden (6-8 m). Mye diffraksjoner tilsier morenedominert materiale, men kan ha mindre finstoffinnhold og/ eller ha lavere vanninnhold enn gruntliggende morene på begge sider. Nederst på begge ryggflankene (pos. 140-230 m og pos. 430-490 m) er overflatelaget

opptil 3 m tykt med utholdende horisontale reflektorer. Dette kan indikere godt sorterte, men trolig forholdsvis finkornige sandavsetninger.

3.4.4 Lista fyr - Vågsvoll (G4 - G7 og G19 - G21)

Utskrift av georadaropptakene langs profilene er vist sammen med lokaliseringskart i kartbilag -07. Profil **G4**, vestlige del av **G5** (pos. 0-200 m) og sørvestligste del av **G7** (pos. 140-175 m) er målt over åsryggen der fyranlegget er lokalisert. Toppen av åsryggen når opp til over 10 m o.h. Oppnådd dybderekkevidde varierer en del (3-8 m). Refleksjonsmønsteret varierer også, men er dominert av mye diffraksjoner og nær kaotisk mønster. Det regnes derfor at åsryggen vesentlig er en moreneavsetning med variabel sammensetning både når det gjelder finstoffinnhold og blokkinnhold. Ut fra georadarmålingene alene er det ikke mulig å antyde om eller utelukke at fjelloverflaten kan stikke opp under åsryggen.

Resten av profil **G5** og **G7** samt profil **G6** dekker området øst og nordøst for åsryggen. Profil **G7** følger en lavereliggende ryggform mot nordøst (ca. 5 m o.h.), mens mesteparten av **G6** (pos. 0-240 m) og østlige del av **G5** (pos. 250-480 m) bare ligger 2-3 m o.h. Langs **G7** er dybderekkevidden 5-7 m og det ser ut til å være sanddominerte avsetninger ned til rundt havnivå. Tilsynelatende betydelig bedre dybderekkevidde lengst nordøst (pos. 0-50 m) antas å skyldes støyreflektorer fra tett skog. Østover langs **G5** er dybderekkevidden vesentlig begrenset til 3-4 m unntatt området pos. 275-360 hvor det kan være bedre sorterte sanddominerte avsetninger ned til 6-7 m under havnivå, dvs. en tykkelse på 8-9 m. Langs profil **G6** er også dybderekkevidden stort sett begrenset til 3-4 m, dvs. 1-2 m under havnivå.

Profil **G19** og første del av **G20** (pos. 0-130 m) er målt over en ryggform som er anslått å nå opp til 6-7 m over havnivå. Profil **G19** ligger delvis i et åpent massetak hvor det er blottet flere meter høye skjæringer med grusdominert materiale. Første del av profilet (pos. 0-65 m) indikerer antatt sand/grus-dominert materiale ned til 5-8 m under havnivå, dvs. en tykkelse på 10-15 m. Videre langs profilet er refleksjonsdypet meget variabelt og kan skyldes varierende innhold av finstoff i overflatelaget i vegen inn til massetaket. Det kan anslås at det gjennomgående er sand/grus-dominert materiale ned til 0-2 m under havnivå. Tilsvarende dyp oppnås i starten av **G20** (pos. 0-40 m), men oppe på ryggformen videre 100 m langs profilet mot nord fås det refleksjoner fra 3 til 5 m under havnivå, noe som indikerer opptil 10-12 m tykke sand/grus-avsetninger. Videre sørøstover nede på flaten fram til pos. 300 m i profilet er det også refleksjoner ned til rundt 5 m under havnivå. Overflaten av sand/grusavsetningene ser ut til å skråne ned under antatt finere sandavsetninger i området pos. 170-220 m til et nivå rundt 2 m under havnivå. De overliggende avsetningene har utholdende og nær horisontale reflektorer, men de nederste reflektorene i dette laget ser ut til å følge variasjonene i underliggende avsetningsoverflate. I området pos. 380-440 m når overflatelaget ned til 3-4 under havnivå og er 6-7 m tykt. Total dybderekkevidde når ned til 8-9 m under havnivå, dvs. at sanddominerte avsetninger her har en total tykkelse på 11-12 m. Videre fram til pos. 560 m er det nesten ingen reflektivitet fra materialet i det nedre laget. Overflaten av laget stikker noe opp og ligger bare 4 m dypt i området pos. 510-520 m. Det er noe usikkert om den dårlige reflektiviteten skyldes økende finstoffinnhold i antatt sanddominerte avsetninger eller om det her kommer inn mer morenepreget materiale med høyt leirinnhold. Langs sørøstligste del av profilet (pos. 560-608 m) er reflektiviteten mot dypet delvis tilbake og når ned til 5-6 m under havnivå. Refleksjonsmønsteret i overflatelaget fra pos. 440 m og sørøstover er mer variabelt enn i området nordvestover.

Profil **G21** fortsetter fra slutten av **G20** og går tilnærmet rett mot sør. Profilet følger grusveien og går parallelt med refraksjonsseismisk profil **S3** som er målt langs åkerkant øst for veien. Seismikkprofilen dekker området pos. 60-390 m i det 409 m lange georadarprofilen.

I starten av profilet (pos. 0-50 m) er det refleksjoner ned til 5-6 m under havnivå som ved slutten av **G20**, og det nær 5 m tykke overflatelaget når ned til 3 m under havnivå. Langs resten av profilet er det ingen refleksivitet under overflatelaget og mot sørenden tynner laget ut til 2-3 m. Refleksjonsmønsteret i overflatelaget er noe variabelt med dels nær horisontale og dels bølgeformede reflektorer. Overflatelaget regnes å være sanddominert, mens underliggende avsetninger trolig har høyt leirinnhold, men det kan heller ikke utelukkes å være påvirket av saltvannsinntrengning.

4. SAMMENFATNING

Refraksjonsseismisk tolkning øst på Lista indikerer fjell på fra 3 til vel 30 meters dyp i nordlige del og fra 40 til 70 meters dyp i sørlige del mot sjøen. Seismisk hastighet i fjell er stedvis så høy at den trolig representerer krystallin berggrunn (5100-5400 m/s), men er stedvis også betydelig lavere (4400-4600 m/s). De lave verdiene kan skyldes oppsprukket/forvitret fjell eller muligens sedimentære bergarter. I nord er det også noen smalere soner (30-45 m) med enda lavere, men noe mer usikker hastighet (3000-3700 m/s). Disse sonene indikerer trolig sterkt oppsprukket/oppknust fjell og kan være forårsaket av forkastninger i berggrunnen.

Resistivitetmålingene øst på Lista viser at resistivitetsverdiene på dyp som tilsvarer fjell fra seismikken ikke er forenlig med massiv krystallin berggrunn. Resistivitetsverdiene er mer i samsvar med det som er registrert i mesozoiske bergarter på Andøya (Olesen et al. 2012). For å få klarhet i hvilken berggrunn som ligger under løsmassene på Lista vil det være nødvendig med boringer.

Resistivitetmålinger ved Lista fyr indikerer meget lave resistivitetsverdier mot dypet. Refraksjonsseismikk noen hundre meter lenger nordøst viser at fjelloverflate, med tilsvarende seismiske hastigheter som i øst, må ligge mer enn 130 m dypt. Disse resultatene indikerer at det er svært lite sannsynlig at fjell stikker opp i dagen oppe på ryggformen ved Lista fyr.

Georadarmålingene viser at dybderekkevidden av georadarsignalene er forholdsvis begrenset i hele måleområdet på Lista, og det oppnås sjelden reflekterte signaler fra et tidsdyp på mer enn 200-300 ns, dvs. ned til et dyp på 8-12 m under terrengoverflaten. Dybderekkevidden varierer imidlertid betydelig og er i flere områder mindre enn 5 m. Begrensningen mot dypet skyldes trolig godt elektrisk ledende materiale. Det kan være finstoffrike marine avsetninger (leire), innslag av salt grunnvann i grovere avsetninger eller moreneavsetninger med høyt leirinnhold. Det regnes at slike moreneavsetninger arealmessig er dominerende i området når det gjelder begrensningen i dybderekkevidden.

Avsetninger som ligger over moreneavsetningene regnes å være av ulik opprinnelse og alder, fra breelvavsetninger fra avsmeltningstiden ved slutten av siste istid, og til senere avsetninger som laguneavsetninger, innsjøsedimenter, strandavsetninger og vindavsetninger. Det er ikke umiddelbart lett å skille mellom disse avsetningstypene bare ut fra refleksjonsmønsteret, og måleresultatene er foreløpig begrenset til en beskrivelse og kommentering av profilene uten å gå inn på en endelig tolkning.

De fleste ryggformene som er undersøkt, er dominert av morenemateriale, ofte med høyt leirinnhold. Noen få ryggformer er dominert av sand/grus med tykkelser på opptil 10-12 m og regnes å være avsatt i forbindelse med isavsmeltningen.

5. REFERANSER

- 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.*
- Elvebakk, H. 2011: Sammenstilling av resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gammastråling i norske bergarter. *NGU Rapport 2011.042 (60 s.).*
- Loke, M.H. 2007: RES2INV ver. 3.56. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual. www.geoelectrical.com.
- Olesen, O., Bering, D., Brønner, M., Dalsegg, E., Fabian, K., Fredin, O., Gellein, J., Husteli, B., Magnus, C., Rønning, J.S., Solbakk, T., Tønnesen, J.F. & Øverland, J.A. 2012: Tropical Weathering In Norway, TWIN Final Report. *NGU Report 2012.005 (188 pp).*
- Reiser, F., Dahlin, T., Rønning, J.S., & Solberg I-L. 2010: Resistivity Modelling for clay layer characterization, possibilities and limitations. *NGU Report 2010.047 (319 pp.).*
- Rønning, J.S., Dalsegg, E., Heincke, B., Olesen, O. & Tønnesen, J.F. 2009: Geofysiske målinger over tunneler ved Hanekleiv, Ravneheia og Vadfoss. *NGU Rapport 2009.040 (33pp.).*
- Solberg, I.L., Rønning, J.S., Dalsegg, E., Hansen, L., Rokoengen, K. & Sandven, R. 2008: Resistivity measurements as a tool for outlining quick clay extents and valley fill stratigraphy: a feasibility study from Buvika, Central Norway. *Canadian Geotechnical Journal 45: 210-225.*

**Kartkoordinater for 2D-Resistivetsprofiler målt i juni 2011
på Lista i Farsund kommune**
UTM-koordinater (WGS84, sone 32) er bestemt med GPS-instrument.

UTM-øst	UTM-nord		Posisjon (m)
6439657	361828	Profil 1	0
6439854	361818		200
6440033	361814		400
6440193	361818		600
6440373	361797		800
6440563	361775		1000
6440761	361779		1200
6440959	361815		1400
6441155	361891		1600
6441354	361947		1800
6441551	359969		2000
6441753	360162		2200
6441953	360357		2400
6442148	360552		2600
6442525	360742		3000
6442702	360942		3200
6440064	361139	Profil 2	0
6440103	361335		200
6440072	361531		400
6440031	361731		600
6439987	361934		800
6439983	362127		1000
6440005	362314		1200
6440011	362513		1400
6440045	356475		1600
6440061	356570		1800
6440070	356669		2000
6440108	356767		2200
6440163	356865		2400
6440198	361828		2600
6443440	361818	Profil 3	0
6443480	361814		100
6443490	361818		200
6443500	361797		300
6443515	361775		400

Kartkoordinater for de refraksjonsseismiske profilene S1, S2 og S3 målt i juni/juli 2011 på Lista i Farsund kommune.
UTM-koordinater (WGS84, sone 32) er bestemt med GPS-instrument.

Koordinatene angir skuddpunkt-posisjonene langs profilene.

Fet skrift: Endepunkter i profilet

Skråskrift: Fjernskudd (for profilforlengelse)

Profilxposisjon (m)	UTM-N (m)	UTM-E (m)
<i>S1x-190</i>		
<i>S1x-110</i>		
S1x0	6442227	361878
S1x110	6442121	361902
S1x220	6442014	361928
S1x330	6441906	361951
S1x440	6441798	361974
S1x550	6441691	361986
S1x660	6441583	362000
S1x770	6441472	361994
S1x880	6441365	361982
<i>S1x990</i>	<i>6441257</i>	<i>361960</i>
<i>S2x-230</i>	<i>6440581</i>	<i>361835</i>
S2x0	6440353	361859
S2x110	6440245	361872
S2x220	6440136	361886
S2x330	6440028	361895
S2x440	6439918	361898
S2x550	6439808	361902
S2x630	6439729	361905
<i>S3x-159</i>	<i>6443482</i>	<i>357241</i>
<i>S3x-87</i>	<i>6443552</i>	<i>357237</i>
S3x0	6443637	357252
S3x110	6443748	357263
S3x220	6443855	357270
S3x330	6443964	357287
<i>S3x394</i>	<i>6440028</i>	<i>357298</i>

Kartkoordinater for georadarprofiler målt i juli 2011 på Lista i Farsund kommune.

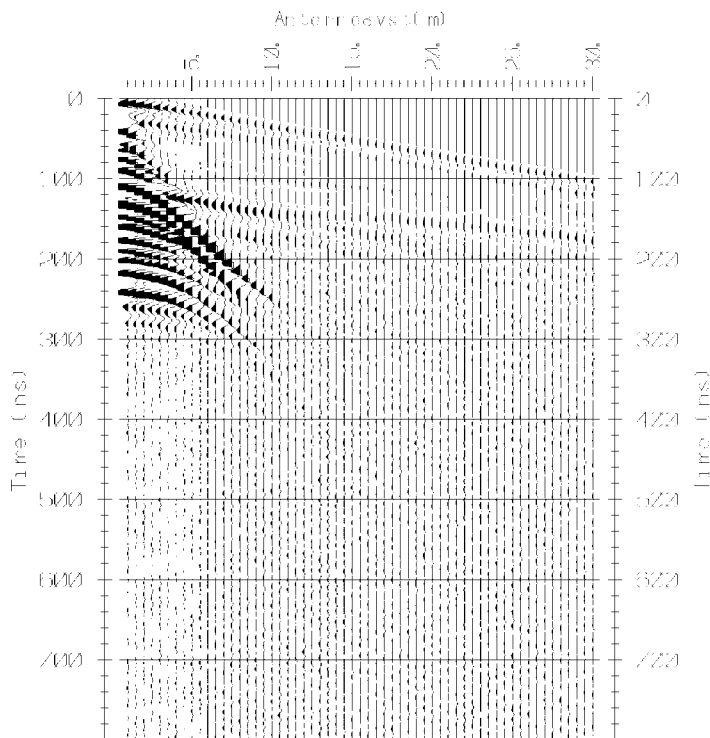
UTM-koordinater (WGS84, sone 32) er bestemt med håndholdt GPS-mottaker.

Profilxposisjon	UTM-N (m)	UTM-E (m)
G1x0	6442227	361878
G1x880	6441365	361982
G1x924	6441324	361971
G2x0	6441736	361702
G2x446	6441869	362130
G3x0	6440353	361859
G3x626,5	6439729	361905
G4x0	6443409	356786
G4x86	6443486	356738
G4x96	6443493	356728
G4x177	6443491	356653
G4x236,5	6443475	356596
G5x0	6443438	356621
G5x139	6443442	356752
G5x184	6443415	356789
G5x480,5	6443429	357084
G6x0	6443430	357015
G6x289	6443634	356820
G7x0	6443634	356820
G7x175,5	6443477	356741
G8x0	6441670	359553
G8x530	6442188	359462
G9x0	6440081	360017
G9x173	6440114	360184
G9x681	6439991	360683
G10x0	6439886	360636
G10x478	6440316	360856
G11x0	6442140	358694
G11x486	6442188	359174
G12x0	6442238	357768
G12x87	6442295	357827
G12x365	6442359	358097
G12x452	6442406	358162
G12x606	6442500	358283
G12x779,5	6442495	358459
G13x0	6442495	358459
G13x180	6442447	358625
G13x322	6442378	358749
G14x0	6440954	358276
G14x107	6441024	358356
G14x200	6441123?	358372

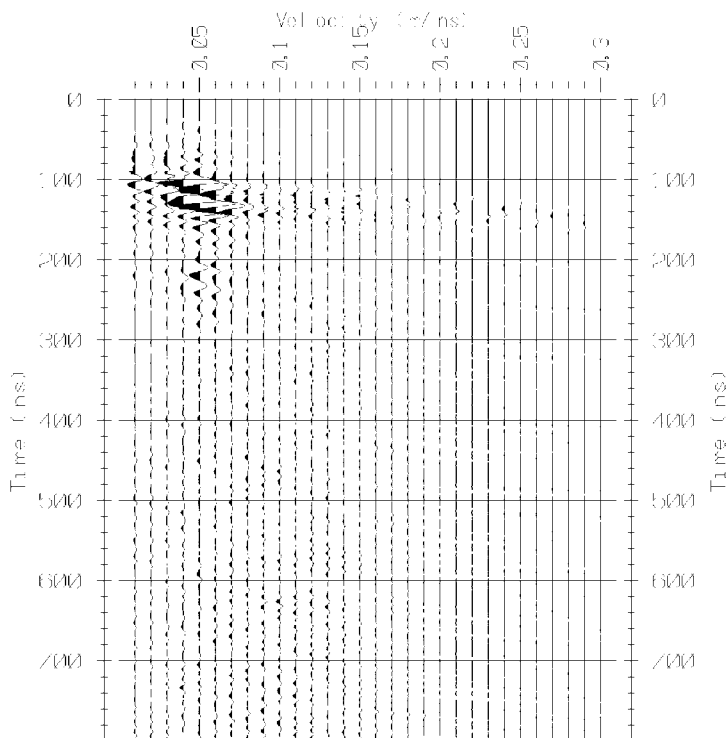
G14x295	6441200	358414
G14x429,5	6441297	358497
G15x0	6442369	358757
G15x125	6442244	358755
G15x227,5	6442144	358782
G16x0	6442137	358695
G16x405,5	6441785	358498
G17x0	6442015	358415
G17x129	6442119	358487
G17x293,5	6442074	358643
G18x0	6440048	361590
G18x474	6440086	362061
G18x953	6440214	362520
G19x0	6444135	356993
G19x108	6444194	356907
G19x163	6444221	356956
G20x0	6444197	356987
G20x112	6444286	356921
G20x160	6444321	356957
G20x259	6444255	357030
G20x609	6444024	357294
G21x0	6444024	357294
G21x126	6443901	357276
G21x411,5	6443613	357249
CMP1	6442167	361888
CMP2	6441742	361735
CMP3	6439845	361904

Lista, CMP1, lokalisert ved pos. 60 m i G1

CMP-opptak

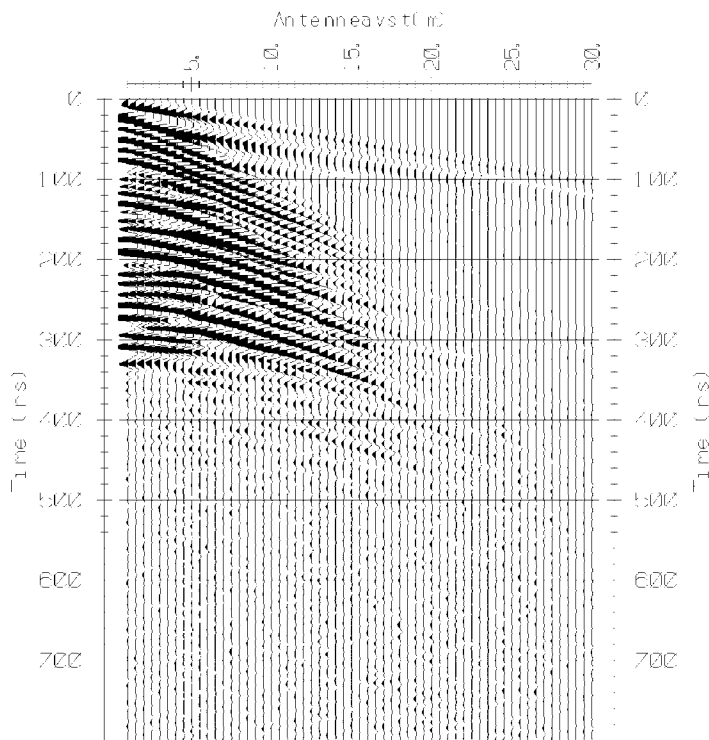


Hastighetsanalyse

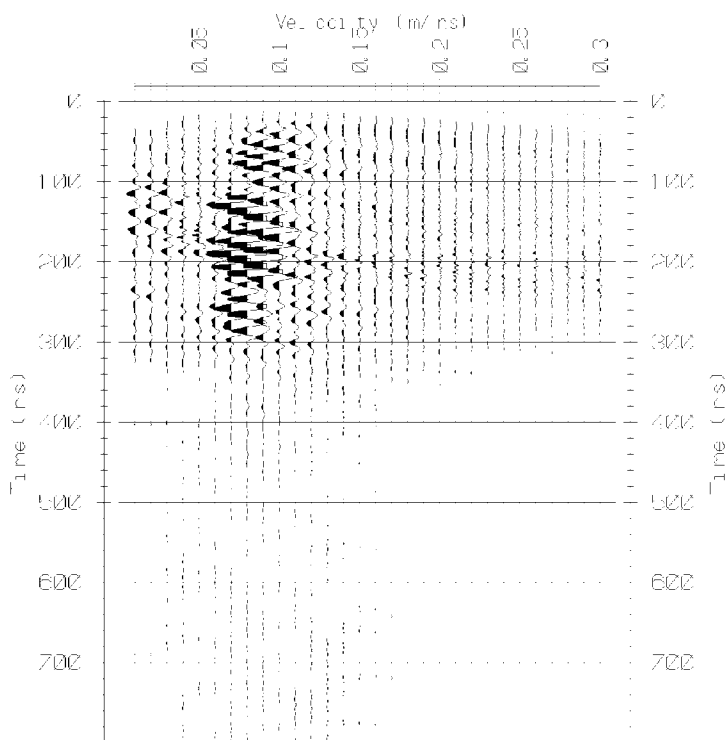


Lista, CMP2, lokalisert ved pos. 30 m i G2

CMP-opptak

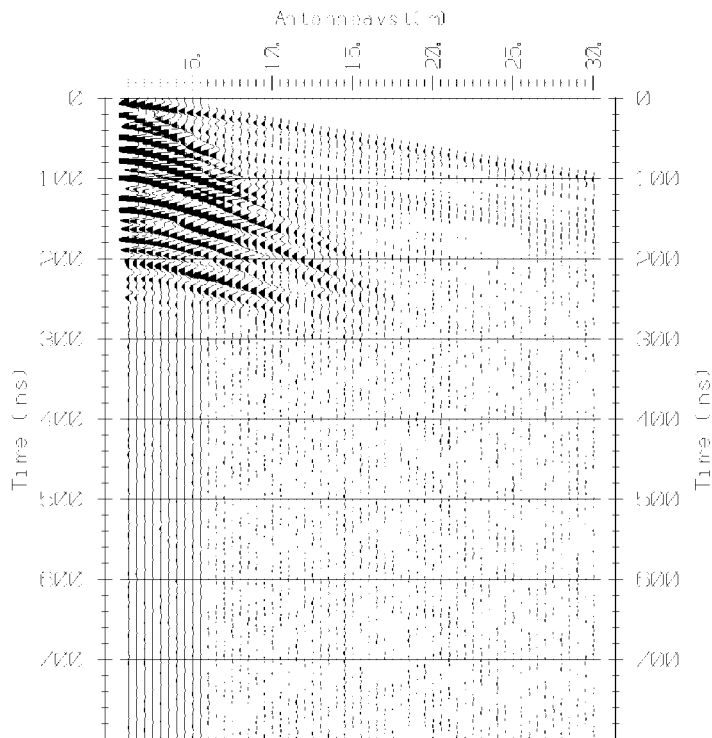


Hastighetsanalyse

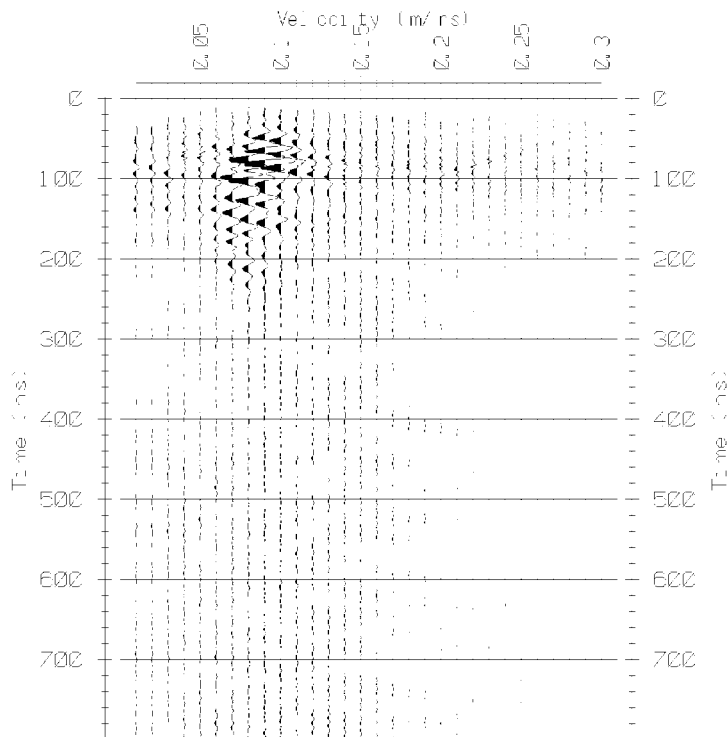


Lista, CMP3, lokalisert ved pos. 510 m i G3

CMP-opptak



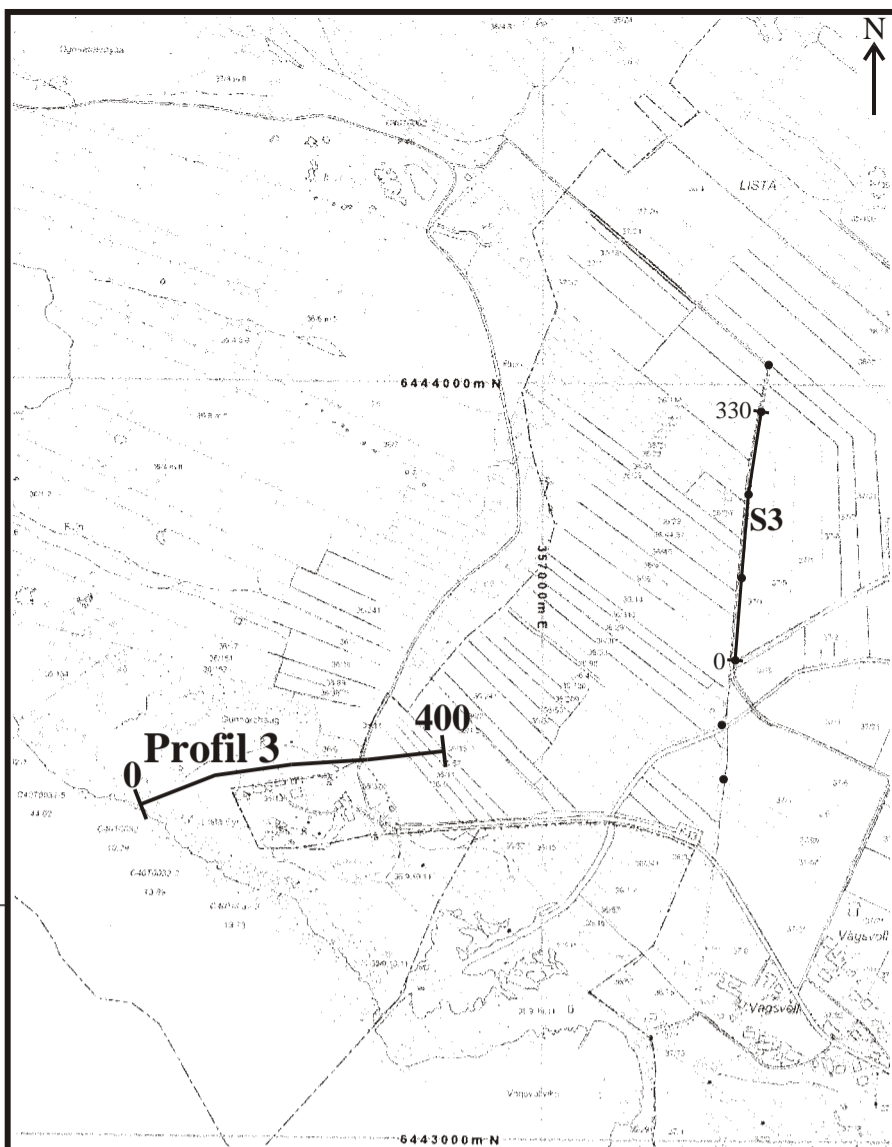
Hastighetsanalyse





Kartutsnitt (M 1:10 000),
 2D Resistivitet og refraksjonsseismikk (Kartbilag -02)
 Kartutsnitt (M 1:5 000),
 Refraksjonsseismikk (Kartbilag -03) og georadar (Kartbilag -04 - -07)

NGU OVERSIKTSKART LISTA FARSUND KOMMUNE, VEST-AGDER	MÅLESTOKK	MÅLT ED/JFT	Juni/Juli 2011
	1:50 000	TEGN JFT	Feb. 2012
		TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBILAG NR 2012.058-01	KARTBLAD NR 1311 II, 1311 III	



Oversiktskart Lista V: Lista fyr (Profil 3 og S3)

TEGNFORKLARING

0 SX

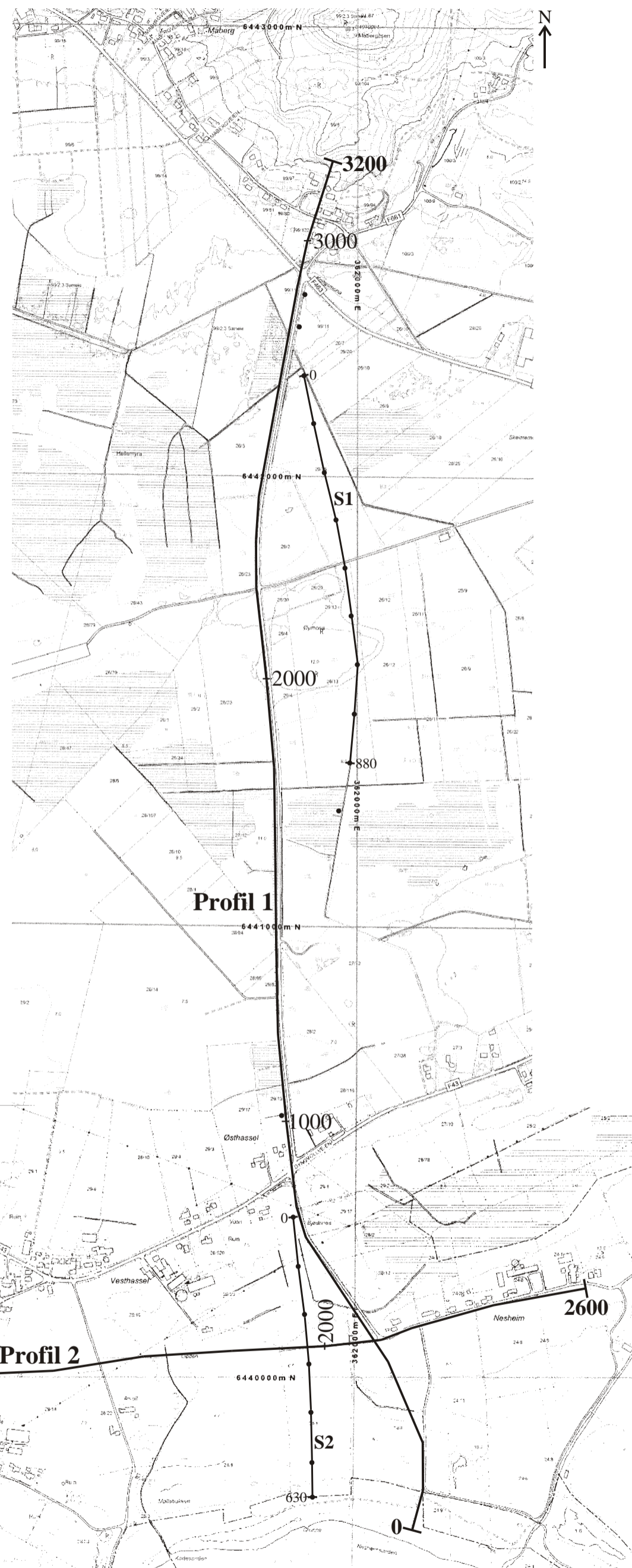
Refraksjonsseismisk profil

•

Skuddpunkt

0 Profil X₁

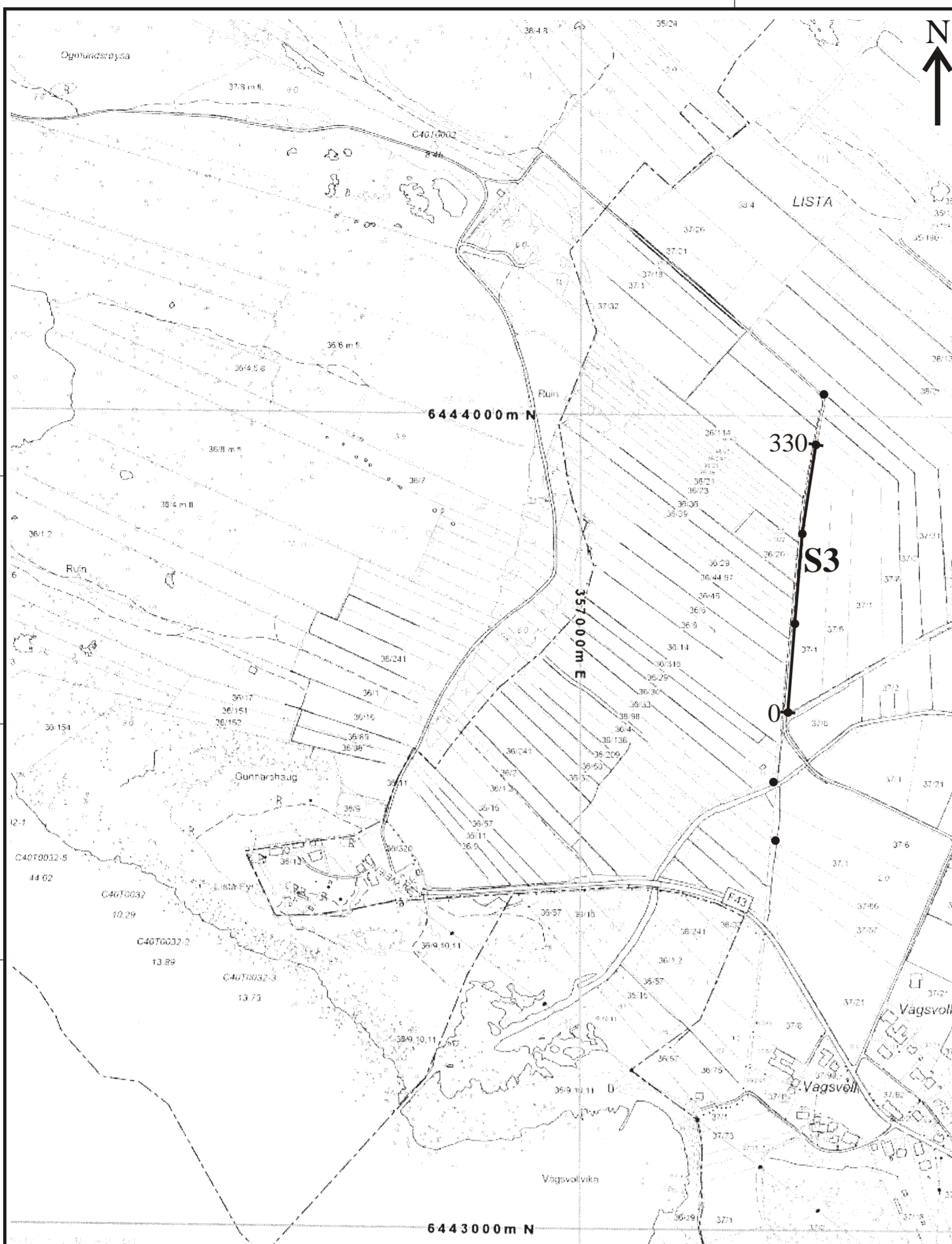
Måleprofil 2D-resistivitet



Oversiktskart Lista Ø: Vesthassel-Nesheim-Maberg (Profil 1, Profil 2, S1 og S2)

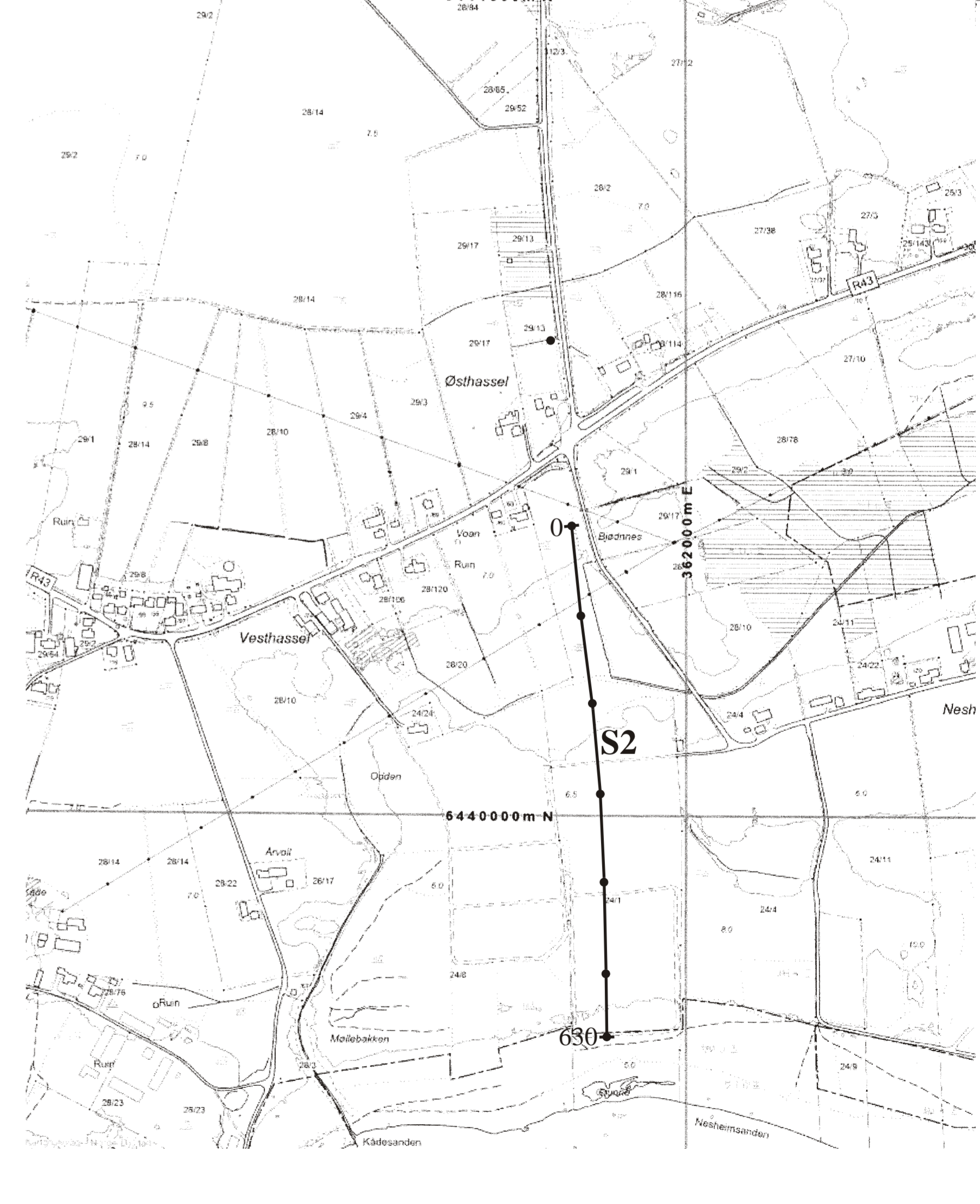
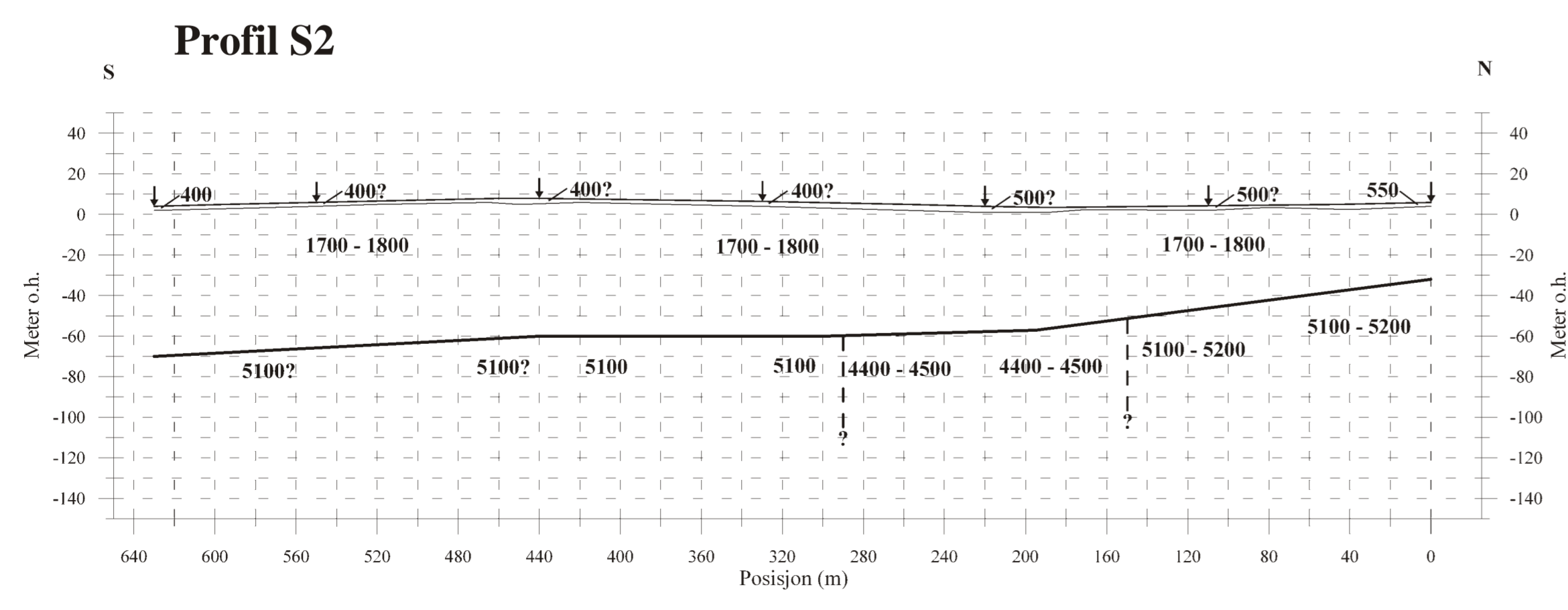
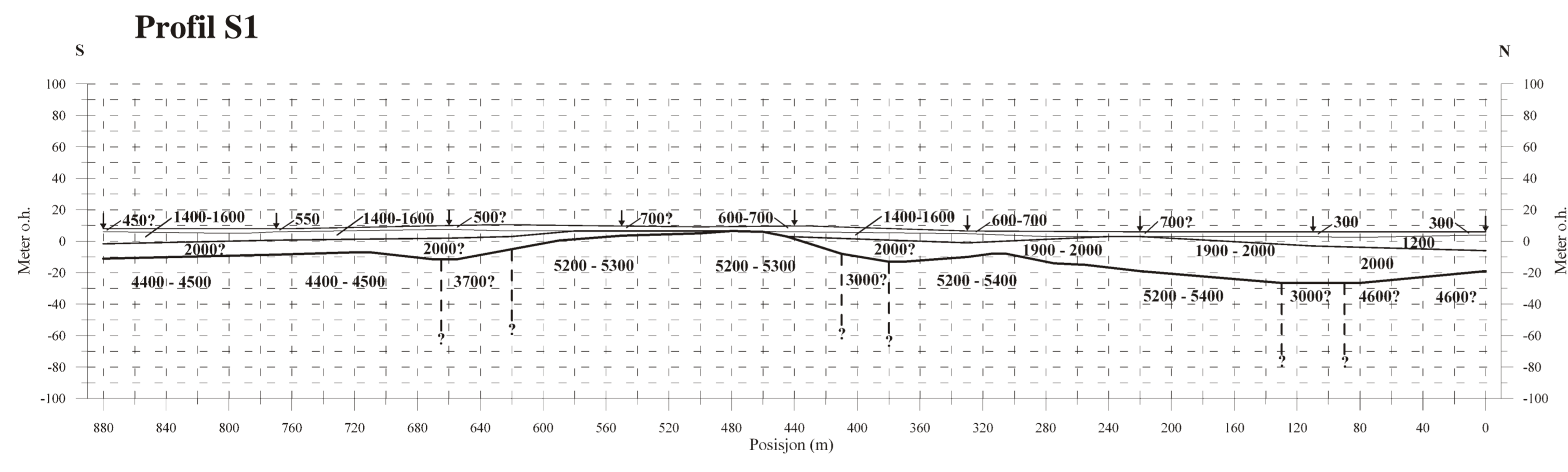
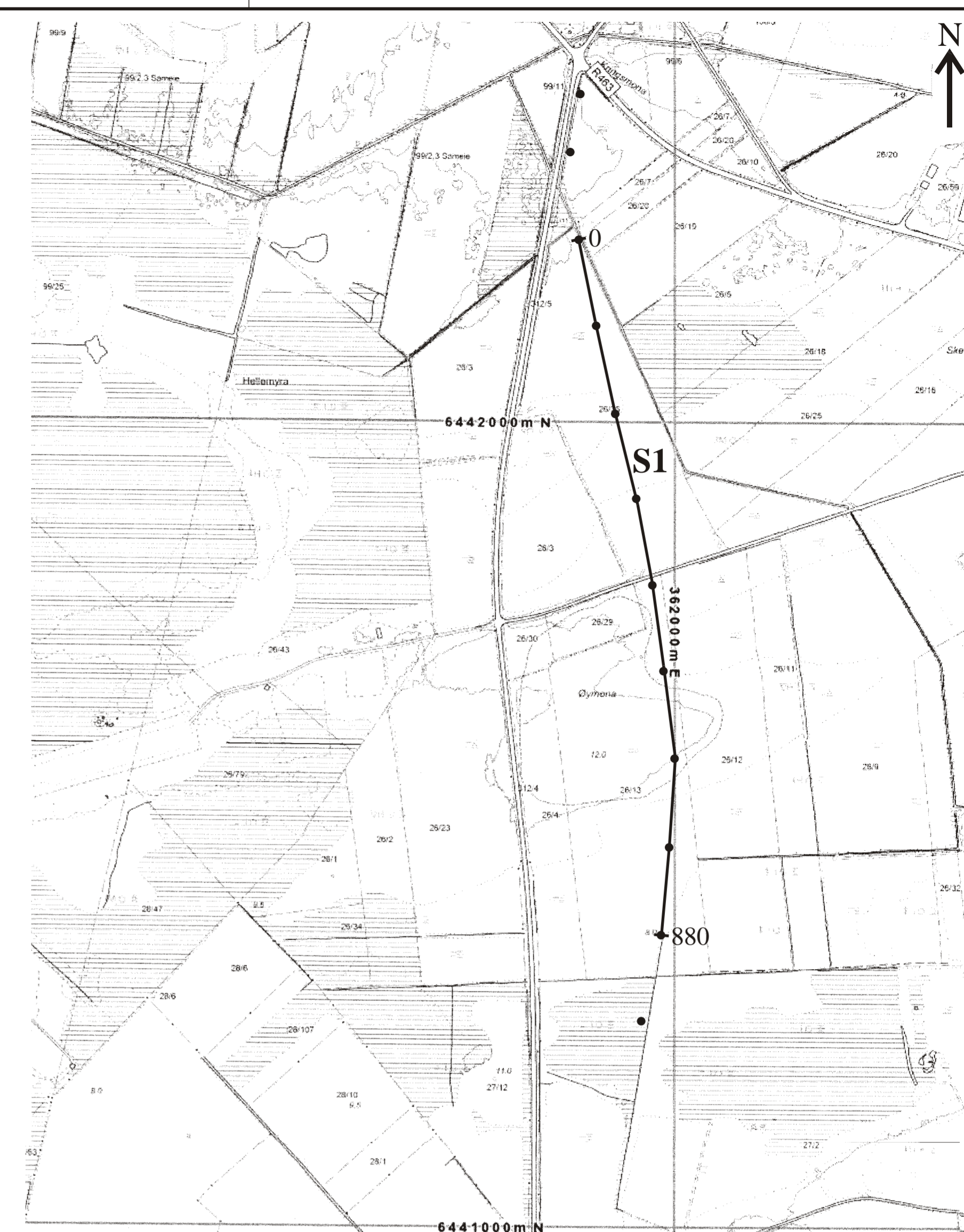
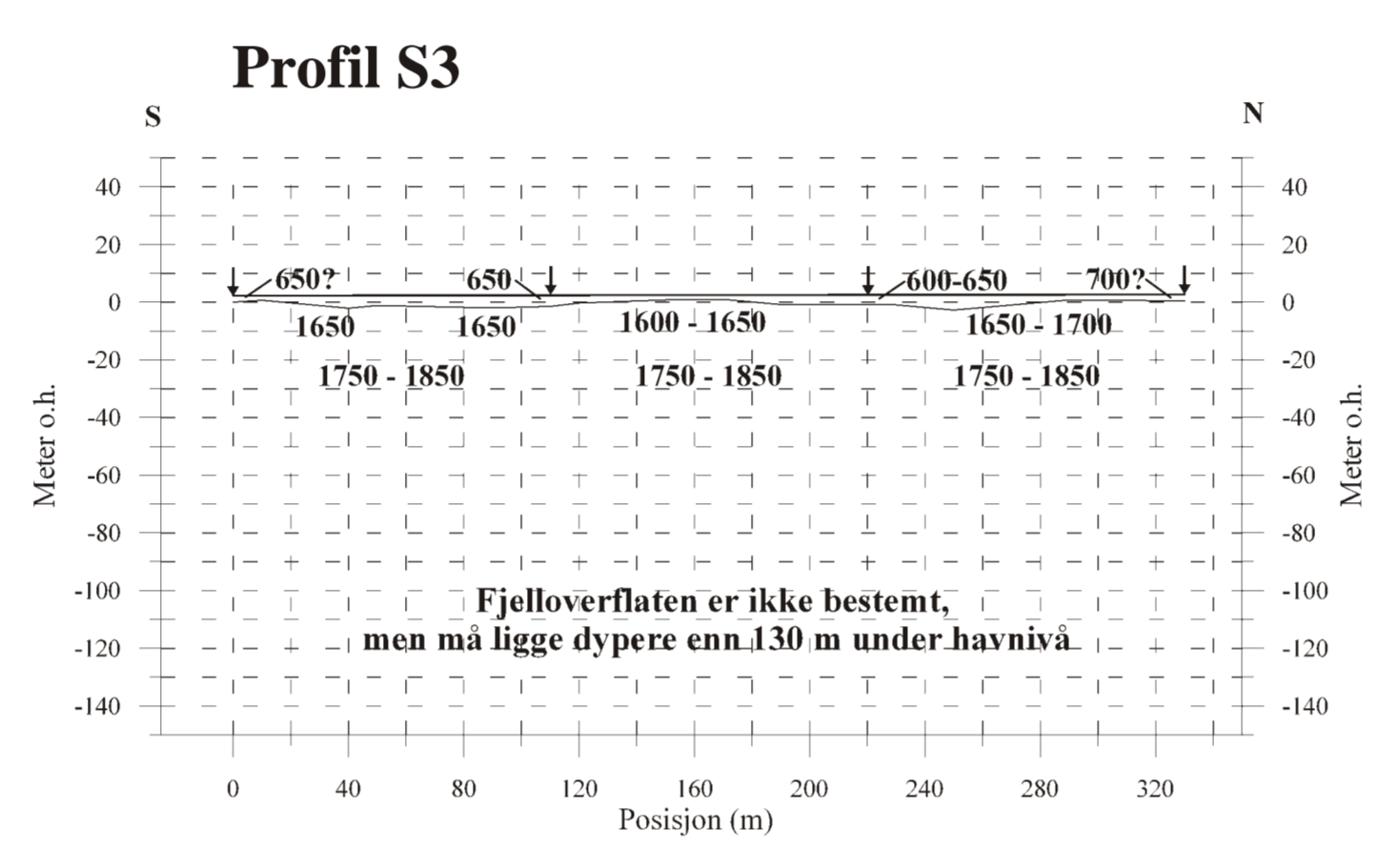
NGU
 OVERSIKTSKART 2D-RES. OG SEISMIKK
LISTA
 FARSUND KOMMUNE, VEST-AGDER
 NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK 1:10 000	MÅLT ED/JFT	Juni/Juli 2011
	TEGN JFT	Okt. 2012
	TRAC	
	KFR	
KARTBILAG NR 2012.058-02	KARTBLAD NR 1311 II, 1311 III	

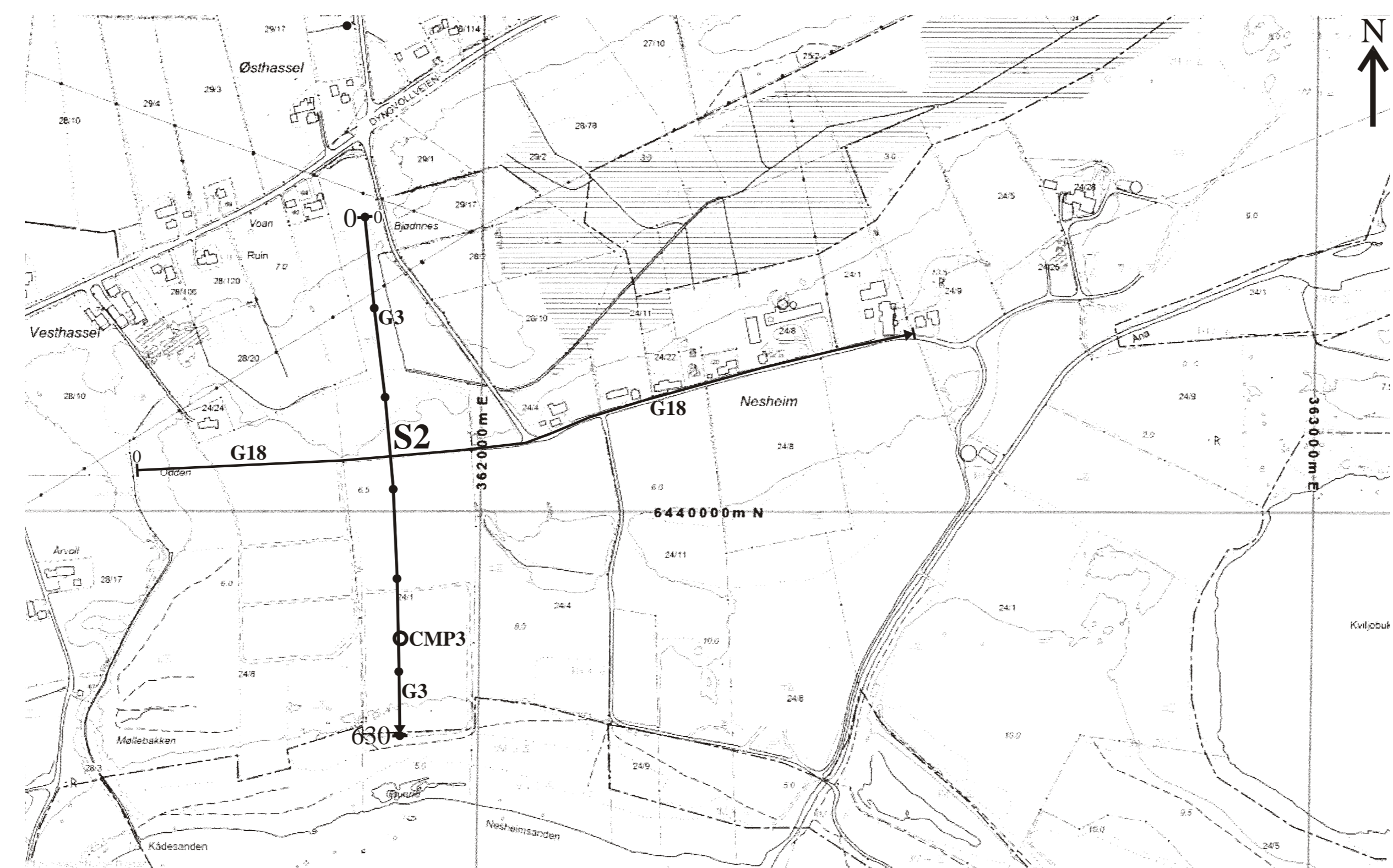
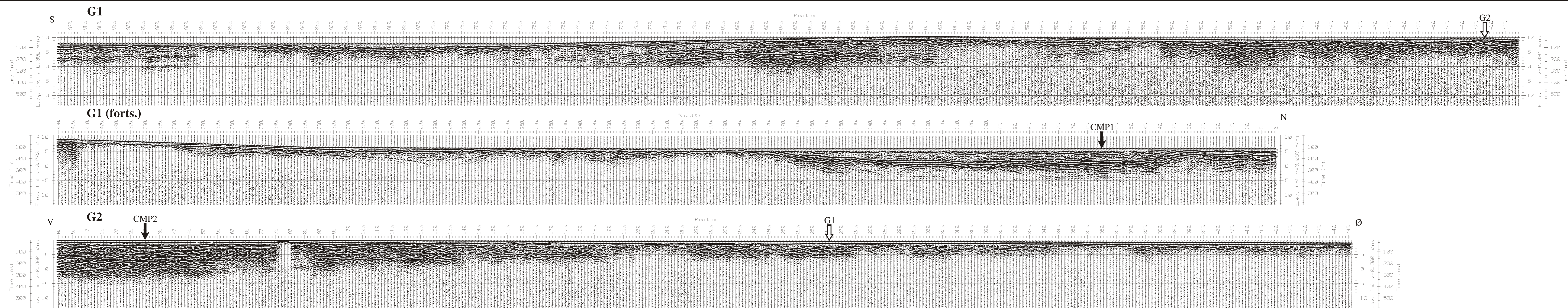


TEGNFORKLARING KART
 Refraksjonsseismisk profil
 Skuddpunkt

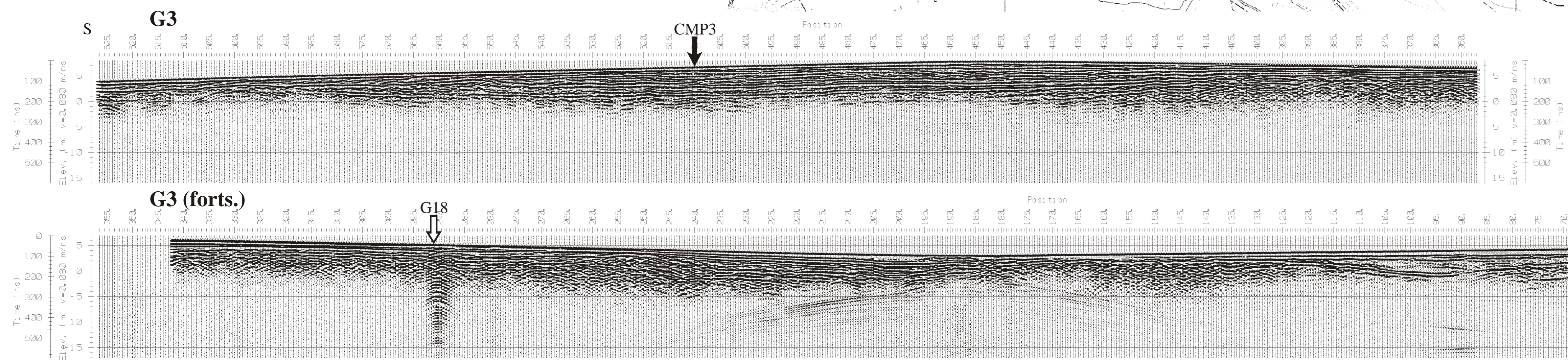
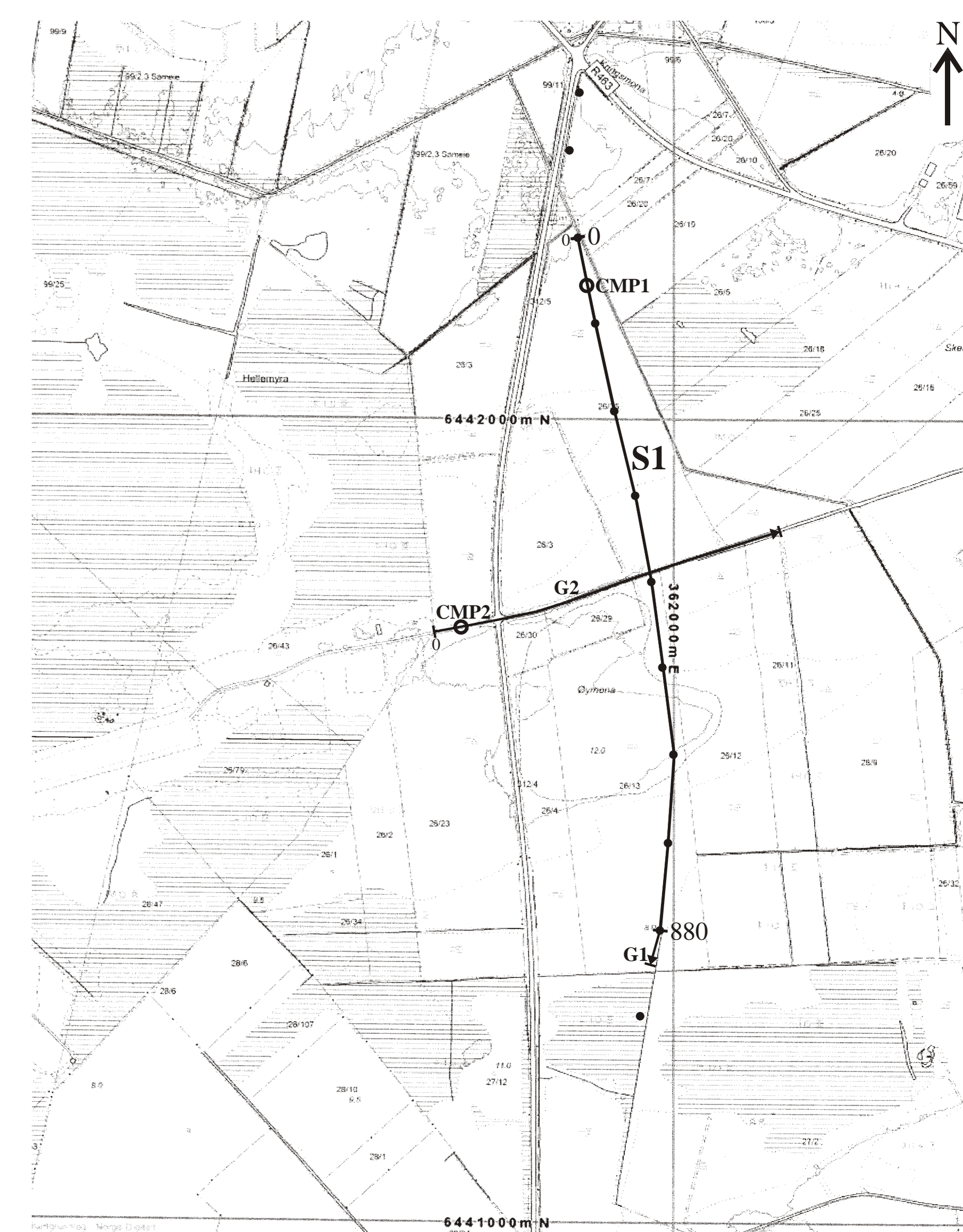
TEGNFORKLARING PROFIL
 — Terrengoverflate
 — Refraktor 1 (Løsmasser)
 — Refraktor 2 (Løsmasser)
 — Refraktor 3 (Fjell)
 ↓ Skuddpunkt
 2000 Seismisk hastighet (m/s)



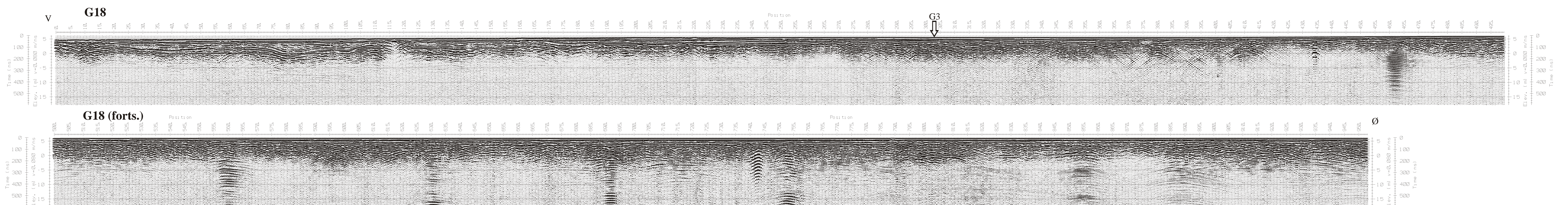
NGU REFRAKSJONSEISMIKK, PROFIL S1, S2 OG S3 LISTA FARSUND KOMMUNE, VEST-AGDER	MÅLESTOKK	MÅLT JFT	Juni/Jul 2011
	1:5000 (KART)	TEGN JFT	Feb. 2012
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBILAG NR	KARTBLAD NR	
	2012.058-03	1311 II, 1311 III	



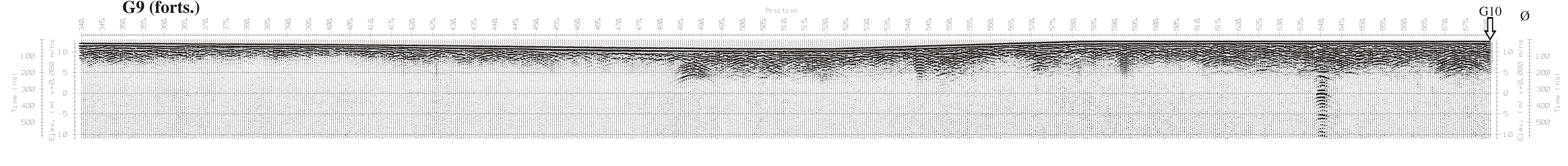
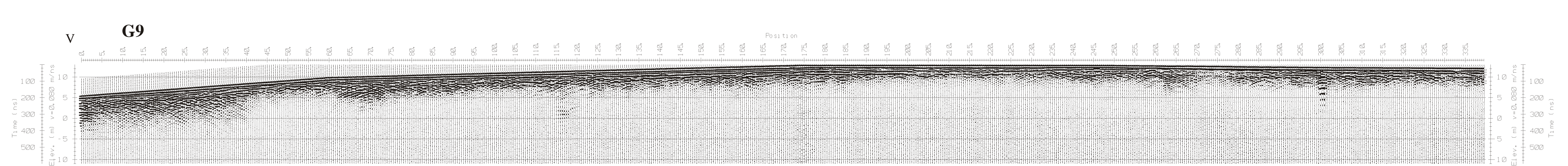
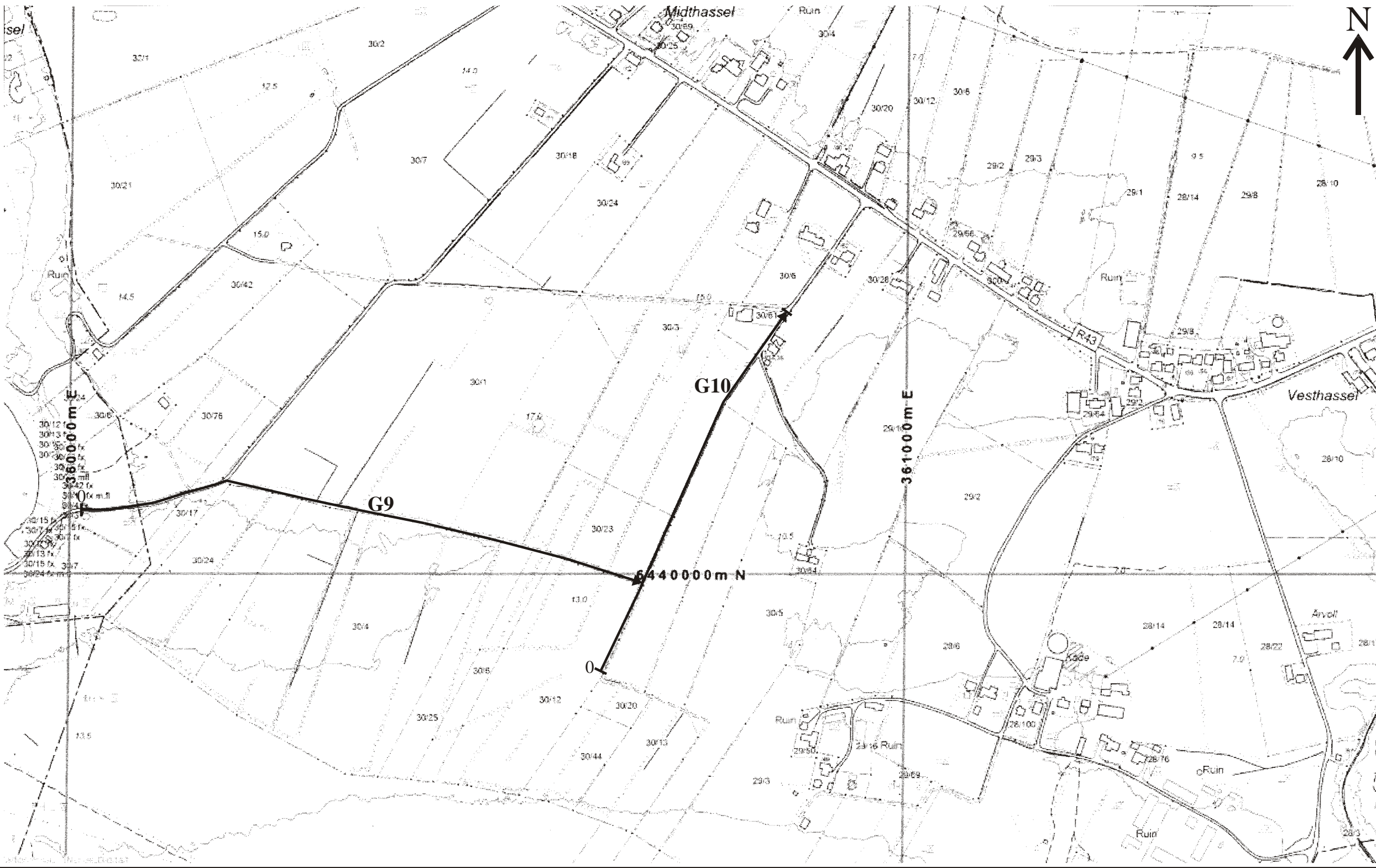
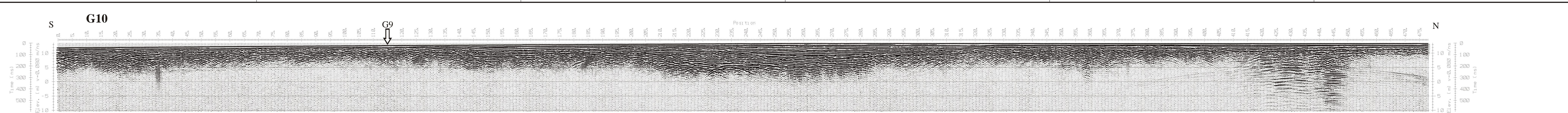
- TEGNFORKLARING KART
- Georadarprofil
 - CMP-måling georadar
 - Refraksjonssismisk profil
 - Skuddpunkt



- TEGNFORKLARING PROFIL
- G3
Kryssende profil
 - CMP3
CMP-måling georadar



NGU GEORADAROPPTAK G1, G2, G3 OG G18 ØYMONA - NESHEIM FARSUND KOMMUNE, VEST-AGDER	MÅLESTOKK	MÅLT JFT	JULI 2011
	1:5 000 (KART)	TEGN JFT	FEB. 2012
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBLAG NR	KARTBLAD NR	
	2012.058-04	1311 II	



TEGNFORKLARING KART

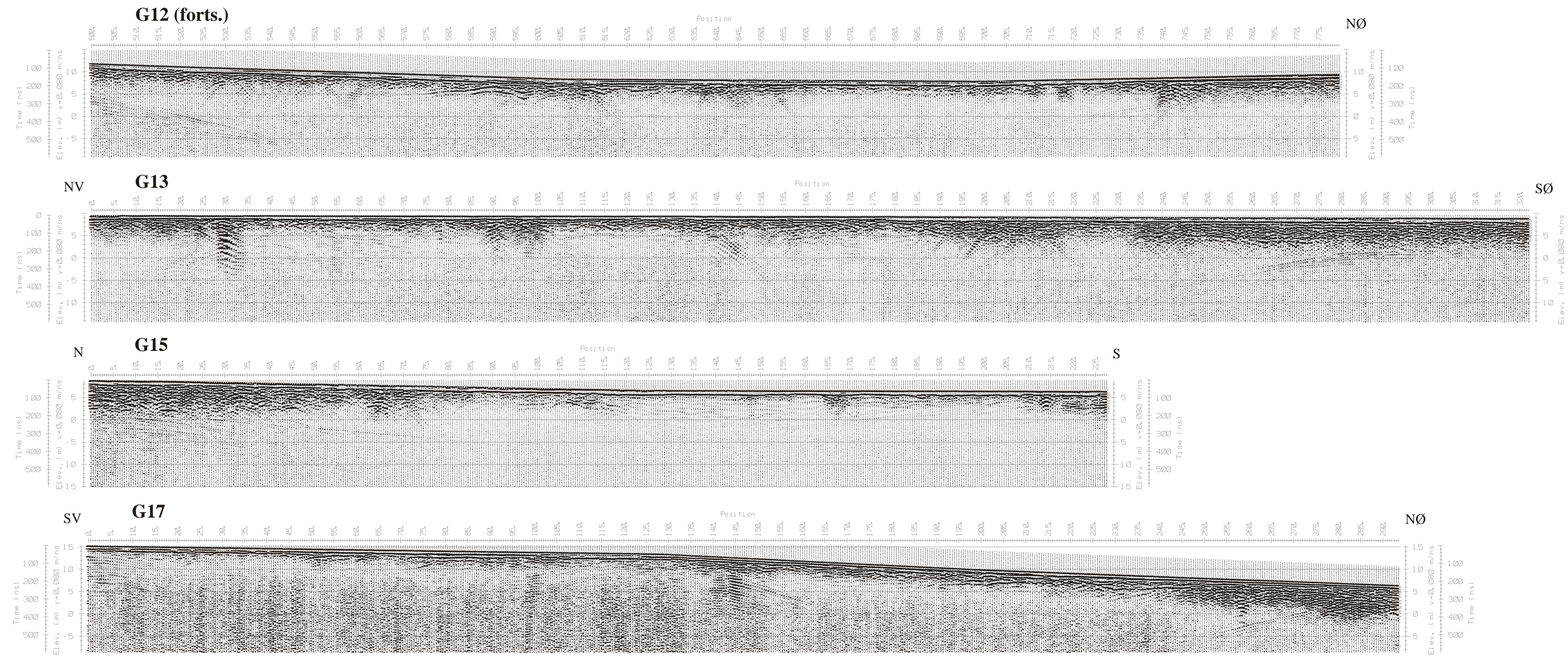
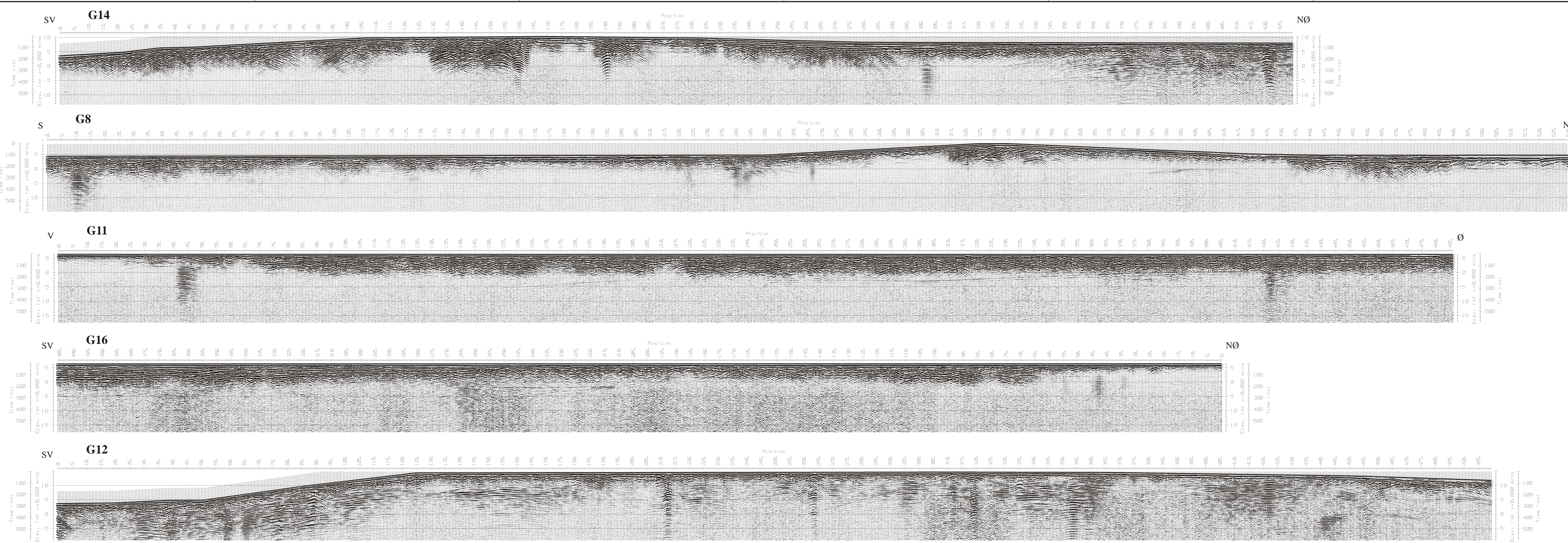
Georadarprofil

TEGNFORKLARING PROFIL

G10

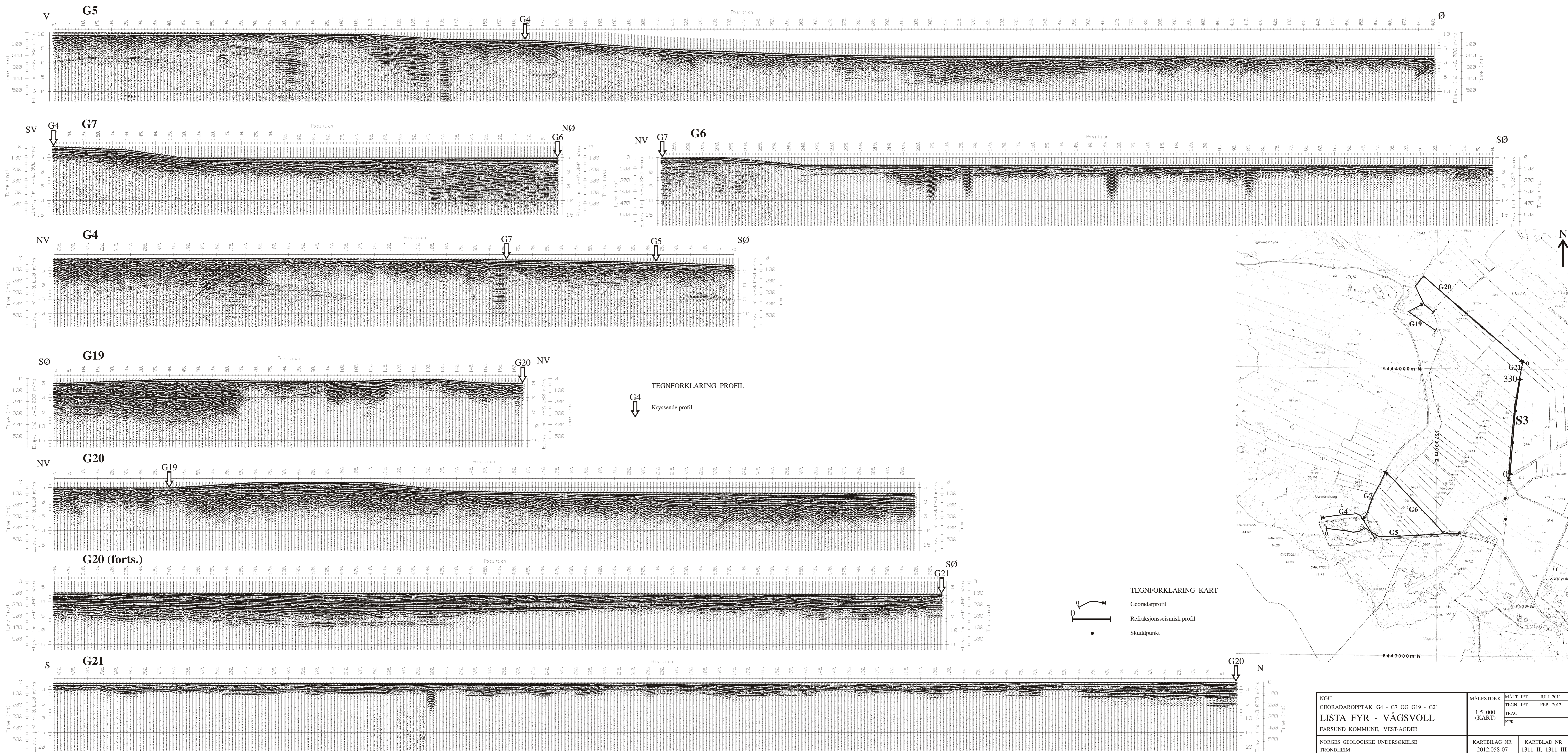
Kryssende profil

NGU GEORADAROPPTAK G9 OG G10 VESTHASSEL FARSUND KOMMUNE, VEST-AGDER	MÅLESTOKK	MÅLT JFT	JULI 2011
	1:5 000 (KART)	TEGN JFT	FEB. 2012
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBILAG NR	TRAC	
	2012.058-05	KFR	
	KARTBLAD NR		KARTBLAD NR
	2012.058-05		1311 II



TEGNFORKLARING KART
Georadarprofil

NGU GEORADAROPPTAK G8 OG G11- G17 VESTBYGD - TJØRVE FARSUND KOMMUNE, VEST-AGDER	MÅLSTOKK	MÅLT JFT	JULI 2011
	1:5 000 (KART)	TEGN JFT	FEB. 2012
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBLAG NR	KARTBLAD NR	
	2012.058-06	1311 II	



TEGNFORKLARING PROFIL
 ↓ G4
 Kryssende profil

TEGNFORKLARING KART
 ○ Georadarprofil
 ● Refraksjonseismisk profil
 ● Skuddpunkt

NGU GEORADAROPPTAK G4 - G7 OG G19 - G21 LISTA FYR - VÅGSVOLL FARSUND KOMMUNE, VEST-AGDER	MÅLESTOKK	MALT JFT	JULI 2011
	1:5 000 (KART)	TEGN JFT	FEB. 2012
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBILAG NR	KARTBLAD NR	
	2012.058-07	1311 II, 1311 III	



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
Nettside 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
Web www.ngu.no/en-gb/*