



GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·



| | | |
|--|---|--|
| Rapport nr.: 2016.020 | ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online) | Gradering: Åpen |
| Tittel: Bakkegeofysiske undersøkelser ved Ydalir og Elverum sentrum, Elverum kommune, Hedmark | | |
| Forfatter: Bjørn E. Larsen, Guri V. Ganerød og Fredrik Høgaas | Oppdragsgiver: Elverum kommune og NGU | |
| Fylke: Hedmark | Kommune: Elverum | |
| Kartblad (M=1:250.000) Hamar | Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 2016 IV Elverum | |
| Forekomstens navn og koordinater: WGS84 UTM 32 Elverum, 6752636 N, 639215 Ø | Sidetall: 27 Kartbilag: 2 | Pris: kr 200,- |
| Feltarbeid utført: 18-24 sept, 2015 | Rapportdato: 20.05.2016 | Prosjektnr.: 363200 |
| | | Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i> |
| Sammendrag: <p>Som del av ORMEL-prosjektet ble det høsten 2015 utført 2D resistivitets- og georadar-undersøkelser ved Elverum sentrum og Ydalir. Målet med undersøkelsene er å kartlegge hvor mye grunnvann, og derav energi som kan hentes ut fra løsmasseakviferen i dette området.</p> <p>Området ved Ydalir og Elverum er en svært homogen glasifluvial og stedvis eolisk avsetning hovedsakelig bestående av sand. Slike typer avsetninger er meget velegnet å kartlegge med georadar, siden massene tillater dyp penetrasjon av radarbølger. Ved 2D resistivitet kan meget tørr sand i overflaten være en utfordring siden overgangsmotstanden fra elektrodene til omliggende løsmasser kan bli veldig høy, men dette var overkommelig og resultatene gode.</p> <p>Ved Ydalir identifiserer begge metodene tre enheter; tørr sand på toppen, vannmettet sand og fast fjell i bunn. Mektigheten til de tørre løsmassene varierer mellom 5-20 meter. Mektigheten til de vannmettede massene varierer også mellom 5-20 meter, og er hovedsakelig basert på resistivitetmålingene siden fjelloverflaten kun er synlig i et fåtall av georadar-profilene.</p> <p>Langs Glomma i Elverum sentrum, er begge metodene påvirket av støy fra infrastruktur, men det er likevel mulig å identifisere de samme tre enhetene som ved Ydalir. Mektigheten på vannmettede masser varierer også her og ligger mellom 5-20 meter.</p> | | |
| Emneord: Bakkegeofysikk | 2D Resistivitet | Georadar |
| Grunnvann | | |
| | | Fagrapport |

Innholdsfortegnelse

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | Innledning..... | 1 |
| 1.1 | ORMEL i Melhus og Elverum..... | 1 |
| 1.2 | Geologisk beskrivelse i og rundt Elverum..... | 1 |
| 2. | Målemetoder..... | 3 |
| 2.1 | Georadar (GPR) | 3 |
| 2.1.1 | Innsamling av data | 4 |
| 2.1.2 | Stedfesting..... | 5 |
| 2.1.3 | Terrengkorrigering | 5 |
| 2.1.4 | Prosessering..... | 5 |
| 2.1.5 | Hastighetsbestemmelse | 7 |
| 2.2 | 2D resistivitet | 7 |
| 2.2.1 | Datakvalitet | 8 |
| 3. | Resultater og tolkning | 8 |
| 3.1 | GPR..... | 9 |
| 3.1.1 | Ydalir..... | 9 |
| 3.1.2 | Glomma..... | 15 |
| 3.2 | 2D Resistivitet..... | 18 |
| 3.2.1 | Ydalir..... | 18 |
| 3.2.2 | Glomma..... | 18 |
| 4. | Sammendrag..... | 21 |
| 5. | Referanser..... | 22 |
| A. | Vedlegg | 23 |
| A.1 | Koordinater | 23 |
| A.2 | GPR-profiler uten tolkning | 25 |

Figurliste

| | |
|--|-----------|
| <i>Figur 1.1: Kvantærgeologisk kart over Elverum.....</i> | <i>2</i> |
| <i>Figur 1.2: Berggrunnskart over Elverum</i> | <i>3</i> |
| <i>Figur 2.1: Effekten av et dewow-filter.</i> | <i>6</i> |
| <i>Figur 2.2: Illustrasjon som viser oppsettet ved Lund-systemet og hvordan "roll along"-metoden utføres.</i> | <i>8</i> |
| <i>Figur 3.1: Alle GPR-profiler målt ved Ydalir, bakgrunn er kvantærgeologisk kart</i> | <i>9</i> |
| <i>Figur 3.2: GPR Line 71 med tolkning.</i> | <i>10</i> |
| <i>Figur 3.3: GPR Line 72 med tolkning.....</i> | <i>10</i> |
| <i>Figur 3.4: GPR Line 73a med tolkning.....</i> | <i>11</i> |
| <i>Figur 3.5: GPR Line 73b med tolkning.....</i> | <i>11</i> |
| <i>Figur 3.6: GPR Line 74 med tolkning.....</i> | <i>12</i> |
| <i>Figur 3.7: GPR Line 76 med tolkning.....</i> | <i>12</i> |
| <i>Figur 3.8: GPR Line 77 med tolkning.....</i> | <i>13</i> |

| | |
|---|----|
| <i>Figur 3.9: GPR Line 78 med tolkning.</i> | 13 |
| <i>Figur 3.10: GPR Line 79 med tolkning.</i> | 14 |
| <i>Figur 3.11: GPR Line 80 med tolkning.</i> | 14 |
| <i>Figur 3.12: Alle GPR-profiler målt ved Glomma, bakgrunn er kvartærgeologisk kart.</i> | 15 |
| <i>Figur 3.13: GPR Line 81.</i> | 16 |
| <i>Figur 3.14: GPR Line 88.</i> | 16 |
| <i>Figur 3.15: GPR Line 89 med tolkning.</i> | 16 |
| <i>Figur 3.16: GPR Line 91 med tolkning.</i> | 17 |
| <i>Figur 3.17: GPR Line 93.</i> | 17 |
| <i>Figur 3.18: Oversikt over 2D resistivetsprofiler, bakgrunn er kvartærgeologisk kart.</i> | 18 |
| <i>Figur 3.19: 2D resistivitet målt ved Ydalir med tolkning.</i> | 20 |
| <i>Figur 3.20: 2D resistivitet målt ved Glomma med tolkning.</i> | 20 |
| <i>Figur A.1: Alle georadarprofiler samlet ved Glomma og Ydalir.</i> | 26 |
| <i>Figur A.2: 3D visualisering over alle georadarprofiler samlet ved Ydalir.</i> | 27 |

Tabelloversikt

| | |
|---|----|
| <i>Tabell 2.1: Oversikt over relativ dielektrisk konstant (ϵ_r), hastighet (V) og elektrisk konduktivitet (σ) i utvalgte geologiske materialer.</i> | 4 |
| <i>Tabell 2.2: Parametre brukt ved innsamling av GPR-profiler</i> | 5 |
| <i>Tabell A.1: Koordinater til 2D res Profil 1 i WGS 84 UTM32.</i> | 23 |
| <i>Tabell A.2: Koordinater til 2D res Profil 2 i WGS 84 UTM32.</i> | 23 |
| <i>Tabell A.3: Koordinater til alle georadar-profiler ved Ydalir i WGS 84 UTM 32.</i> | 24 |
| <i>Tabell A.4: Koordinater til alle georadar-profiler ved Glomma i WGS 84 UTM 32.</i> | 24 |

1. Innledning

Som et ledd i forskningsprosjektet ORMEL - Optimal ressursutnyttelse av grunnvann til oppvarming og kjøling i Melhus og Elverum - ble det høsten 2015 utført 2D resistivitets- og georadar-undersøkelser ved Ydalir og Elverum sentrum. Hensikten var å kartlegge mektighet av løsmasser samt vannmettet sone for fremtidig utnyttelse av grunnvarme.

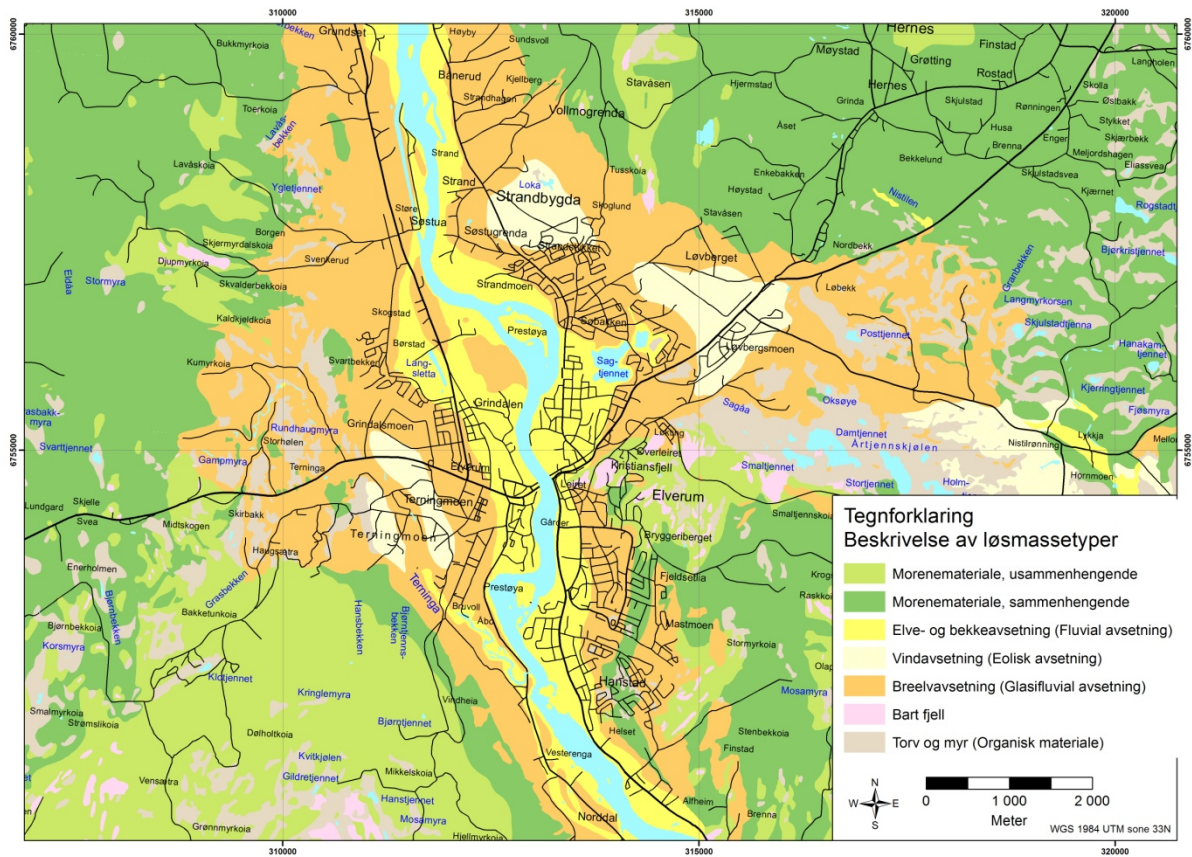
1.1 ORMEL i Melhus og Elverum

ORMEL startet i 2015 og er årsaken til at det vil pågå en del feltaktivitet i Melhus og Elverum sentrum i perioden 2015-2017. Hovedmålet i prosjektet er å fremskaffe et faglig solid og bærekraftig grunnlag for en optimal utnyttelse og forvaltning av grunnvannsressursene i de to kommunesentrene. I første omgang må det derfor kartlegges hvor mye grunnvann, og derav energi, som går an å ta ut fra de store sand- og gruslagene over fjelloverflaten. De pågående feltundersøkelsene er et vitalt ledd i denne kartleggingen. Prosjektet er et samarbeid mellom Melhus (prosjekteier) og Elverum kommuner, instituttene geologi og bergteknikk (prosjektledelse) og energi- og prosessteknikk ved NTNU, Norges geologiske undersøkelse (NGU) og konsultentselskapet Asplan Viak AS. Flere prosjekt- og masterstudenter, i tillegg til en PhD-stipendiat ved NTNU, er tilknyttet prosjektet. Prosjektet er finansiert av Regionale forskningsfond Midt-Norge (RFFMN), hvor partene bidrar med ca. 30% egenandel hver.

Målet med undersøkelsene er å detaljkartlegge mulighetene for å pumpe ut grunnvann fra akviferen under Ydalir og Elverum sentrum. Oppumpet grunnvann er allerede, og vil også i framtida, være en viktig kilde til fornybar oppvarming og kjøling av byggene i sentrum samt i nye boligområder.

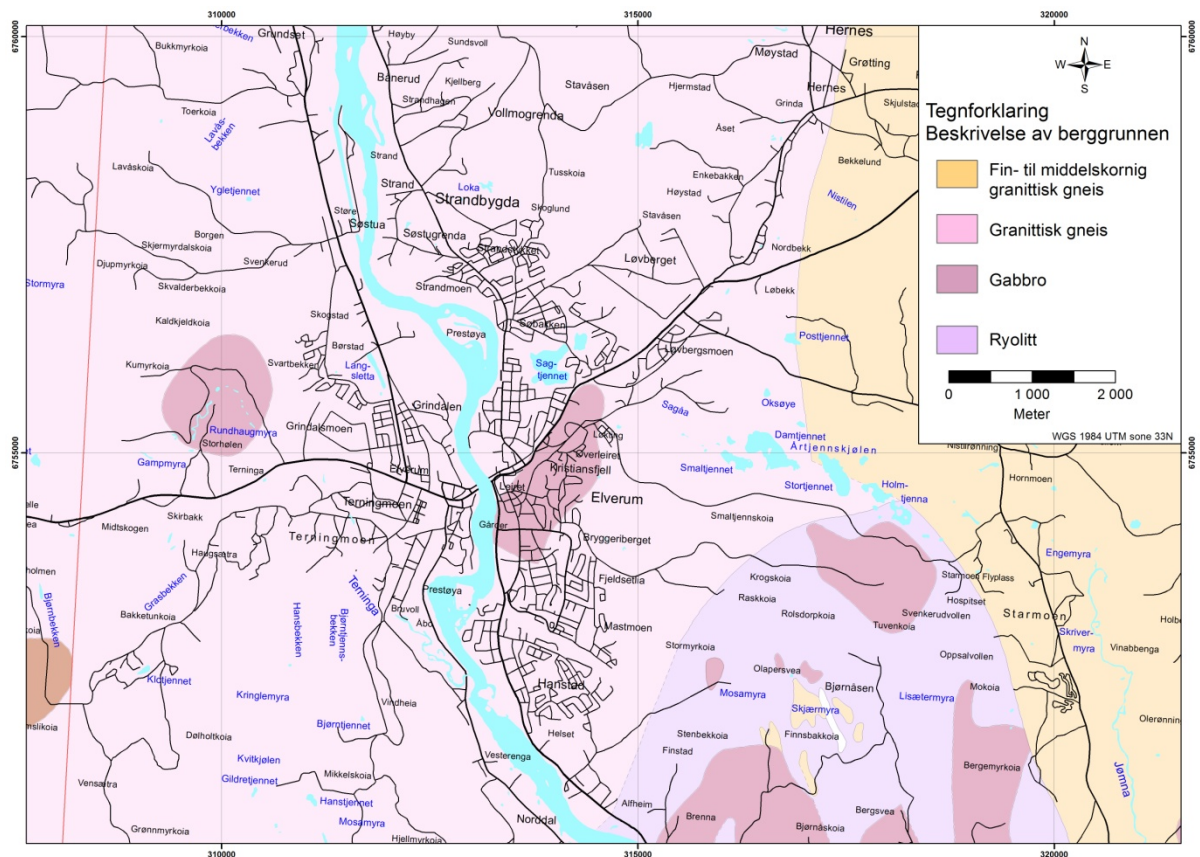
1.2 Geologisk beskrivelse i og rundt Elverum

Området i og rundt Elverum er dekket med sedimenter fra kvartær tid og som senere er erodert og resedimentert av Glomma og mindre sidevassdrag. Det som er markert med grønt på kartet under er kartlagt som morene avsatt av innlandsisen (se *Figur 1.1*) mens oransje til gul farge er grus, sand og silt avsatt av rennende vann, enten i sammenheng med breelv på slutten av istiden (oransje) eller av senere elveaktivitet av og rundt Glomma (gult). Lys gul farge viser finkorning sand som er fraktet og avsatt av vind (eoliske avsetninger). Eoliske avsetninger finner en mye av i øvre Ydalir massetak, og ellers andre steder rundt Elverum. Stedvis stikker fjellgrunnblotninger fram og er vist med lys rosa farge på det kvartærgeologiske kartet. Områder med torv (organisk materiale) er vist med gråbrun farge.



Figur 1.1: Kvantærgeologisk kart over Elverum (Kilde:ngu.no).

Berggrunnen i Elverum består av prekambrisk grunnfjell, som er nærmere kartlagt som fin- til middelskorning granittisk gneis (oransje) øst for Elverum, ryolitt (lilla) av vulkansk opprinnelse sørøst for Elverum, stedvis gabbro (mørk rosa) og granittisk gneis (rosa).



Figur 1.2: Berggrunnskart over Elverum (Kilde: NGU.no, kartserie 1:250.000).

2. Målemetoder

Ved undersøkelsene ved Elverum er det foretatt målinger med georadar og 2D resistivitet. Begge metodene egner seg godt for kartlegging av sedimenter og dyp til fjell. Metodene utfyller hverandre godt da resistivitet har god dybdepenetrasjon men lavere oppløsning og georadar har høy oppløsning men dybdepenetrasjonen er begrenset av valgt frekvens.

2.1 Georadar (GPR)

GPR-målinger utføres ved at elektromagnetiske bølger sendes i pulser ned i bakken. Disse bølgene reflekteres tilbake til en mottaker, ved samme prinsipp som refleksjonsseismikk. For å oppnå refleksjon av bølger må det være en kontrast i den dielektriske konstanten mellom to lag. Jo større denne kontrasten er, jo kraftigere refleksjon oppnås. Andelen energi som reflekteres kalles refleksjonskoeffisienten og er styrt av kontrast i **hastigheten** av elektromagnetiske bølger mellom lag. Formel for hastigheten til en elektromagnetisk bølge er gitt ved

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$$

hvor c er lyshastigheten i vakuum og ϵ_r er den relative dielektriske konstanten. Formelen viser at hastigheten, v , er omvendt proporsjonal med kvadratroten av den dielektriske konstanten. Typiske verdier av relativ dielektrisk konstant, hastighet og konduktivitet i et utvalg geologiske materialer er gitt i *Tabell 2.1*.

I tillegg til at elektromagnetiske bølger har forskjellig hastighet, har de også forskjellig penetrasjonsdybde i forskjellige materialer. Skinndyp (δ) er det dypet når amplituden til et signal har avtatt til $1/e$ (37%) opprinnelig styrke. Det er avhengig av dielektriske og elektriske egenskaper til et material, gitt ved formelen

$$\delta = \frac{5.31\sqrt{\epsilon_r}}{\sigma}$$

Formelen viser at økt elektrisk konduktivitet, σ , gir grunnere skinndyp. Det er verdt å notere seg at skinndyp ikke nødvendigvis er lik penetrasjonsdybden til georadar, men det gir et godt estimat.

Tabell 2.1: Oversikt over relativ dielektrisk konstant (ϵ_r), hastighet (V) og elektrisk konduktivitet (σ) i utvalgte geologiske materialer. Fra (Reynolds, 2011)

| Material | ϵ_r | V (m/ns) | σ (mS/m) |
|---------------------------|--------------|-----------|-----------------|
| Luft | 1 | 0,3 | 0 |
| Vann (ferskt) | 81 | 0,033 | 0,5 |
| Vann (salt) | 81-88 | 0,033 | 3000 |
| Sand og grus (tørr) | 3,5-6,5 | 0,12-0,16 | 0,007-0,06 |
| Sand og grus (vannmettet) | 15,5-17,5 | 0,07-0,08 | 0,7-9 |
| Sand (tørr) | 3-6 | 0,12-0,17 | 10^{-4} -1 |
| Sand (våt) | 10-32 | 0,05-0,1 | 0,1-10 |
| Leire | 2-5 | 0,13-0,21 | 2-100 |
| Leire (våt) | 8-40 | 0,05-0,11 | 20-1000 |

2.1.1 Innsamling av data

Det ble utført 15 profil-linjer med MALÅ sitt RTA System (Snake). To antenner, en sender og en mottaker er koblet opp langs en slange. Slangen er koblet opp mot MALÅ ProEx kontrollenhet via MALÅ ProEx Optisk Modul for signaloverføring gjennom fiberoptikk. Måleresultater vises på MALÅ XV Monitor. Innstillinger og parametre brukt ved de forskjellige profillinjene er gitt i Tabell 2.2.

Frekvensen på de elektromagnetiske bølgene er en parameter som styrer oppløsning og dybderekkevidde. Høye frekvenser har liten penetrasjonsdybde og høy oppløsning mens ved lave frekvenser er det motsatt. Den valgte frekvensen på 100MHz er velegnet for formålet til denne undersøkelsen som var å kartlegge dyp til grunnvann og eventuelt fjell.

Tidsvinduet styrer hvor lenge systemet vil måle et signal, og dermed også hvor dypt vi kan måle. Formelen $D = V * \frac{T_2}{2}$ gir dybde som funksjon av toveis gangtid (T_2) og hastighet (V). Teoretisk dybderekkevidde med et tidsvindu på 1032 ns og en hastighet på 0.1 m/ns vil være 51.6 m.

Samplingsintervall er tiden mellom hver måling på hvert enkelt signal. Det er veldig viktig at samplingsintervallet er korrekt i forhold til frekvensen på signalet. Jo høyere frekvens som blir benyttet jo oftere må signalet måles for å unngå forstyrrelser i signalet (aliasing). Sensors & Software anbefaler et samplingsintervall på 0.8 ns ved 100 MHz senterfrekvens.

Avstand mellom antenner er ved MALÅ sitt RTA system bestemt av antennefrekvensen. Ved 100 MHz er avstanden mellom antennene 2 m.

Steglengde er avstanden mellom hver måling (trace) langs profilet.

Ved hver måling gjøres det repeterte målinger, kalt "stacks". Deretter beregnes et gjennomsnitt av alle "stacks" fra samme punkt. Dette gjøres for å fjerne tilfeldig støy fra målingene samt forsterke reflektorene.

Utløsermekanismen brukt i denne undersøkelsen er et "hipchain"-system som aktiverer målingene ved fast intervall. Denne fungerer ved å knyte en tynn hyssing fast ved oppstartspunktet slik at hyssingen dras gjennom en triggerspole gjerne festet i beltet på operatøren etter hvert som man går langs profilet. Systemet er satt til å trigge hver 0,5 m, men svakheter ved metoden gjør at nøyaktigheten varierer. Se *Tabell 2.2* for gjennomsnittlig steglengde.

Tabell 2.2: Parametre brukt ved innsamling av GPR-profiler.

*Beregnet gjennomsnittlig steglengde basert på antall trace og faktisk lengde av profil.

| Linje | Type | Frekvens (MHz) | Tidsvindu (ns) | Samplingsintervall (ps) | Pkt per trace | Antenneavstand (m) | Steglengde (m)* | Trace # | Stacks |
|-------|------------|----------------|----------------|-------------------------|---------------|--------------------|-----------------|---------|--------|
| L71 | Refleksjon | 100 | 1032 | 782 | 1320 | 2 | 0.503 | 710 | 4 |
| L72 | Refleksjon | 100 | 1032 | 782 | 1320 | 2 | 0.5 | 542 | 4 |
| L73a | Refleksjon | 100 | 1032 | 782 | 1320 | 2 | 0.504 | 470 | 4 |
| L73b | Refleksjon | 100 | 1032 | 782 | 1320 | 2 | 0.667 | 490 | 4 |
| L74 | Refleksjon | 100 | 1032 | 782 | 1320 | 2 | 0.506 | 1656 | 4 |
| L76 | Refleksjon | 100 | 1032 | 782 | 1320 | 2 | 0.507 | 369 | 4 |
| L77 | Refleksjon | 100 | 1032 | 782 | 1320 | 2 | 0.511 | 416 | 4 |
| L78 | Refleksjon | 100 | 1032 | 782 | 1320 | 2 | 0.505 | 449 | 4 |
| L79 | Refleksjon | 100 | 1032 | 782 | 1320 | 2 | 0.496 | 299 | 4 |
| L80 | Refleksjon | 100 | 1032 | 782 | 1320 | 2 | 0.492 | 332 | 4 |
| L81 | Refleksjon | 100 | 1032 | 782 | 1320 | 2 | 0.541 | 644 | 4 |
| L88 | Refleksjon | 100 | 1032 | 782 | 1320 | 2 | 0.539 | 159 | 4 |
| L89 | Refleksjon | 100 | 1032 | 782 | 1320 | 2 | 0.508 | 428 | 4 |
| L91 | Refleksjon | 100 | 1032 | 782 | 1320 | 2 | 0.497 | 1037 | 4 |
| L93 | Refleksjon | 100 | 1032 | 782 | 1320 | 2 | 0.502 | 2723 | 4 |

2.1.2 Stedfesting

Alle trace er tilknyttet en GPS posisjon gjort under målingene. Av praktiske årsaker befinner GPS-antennen seg på operatøren og ikke på selve GPR-antennene hvor dataene samles inn. Derfor anbefales det å gjøre en korrigering av GPS-posisjon for hvert trace. Ved bruk 100 MHz antenner må posisjon korrigeres 5.5 m bakover og ved 50 MHz 7.5 m. Denne korreksjonen er utført for alle de målte profilene.

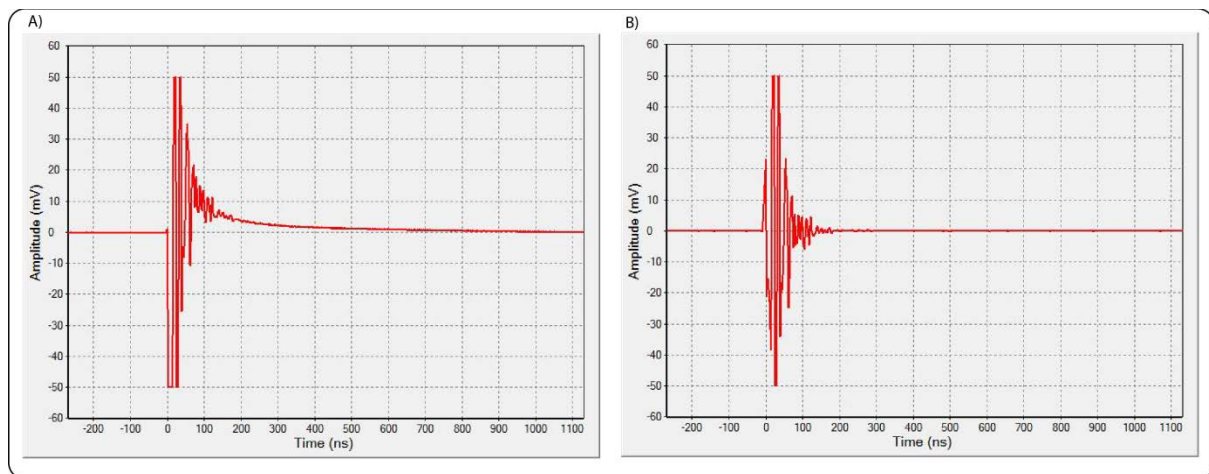
2.1.3 Terrengekorrigerings

Siden høydedata målt med vanlig GPS ikke har tilfredsstillende nøyaktighet, er det nødvendig å utføre en korrigering. I denne undersøkelsen er høydedata tilhørende hvert profilerstøttet med verdier fra LiDAR-data fra 2014 med punktetthet på ca 4 punkt per m².

2.1.4 Prosessering

For å få utført en tolkning må data prosesseres. All data ble konvertert fra RAMAC/GPR format til PulseEKKO ved bruk av programmet ReflexW (Sandmeier, 2010) slik at all prosessering kunne gjøres i EKKO_Project V1 R3 (Sensors & Software, 2013).

Dewow er gjerne det første steget som blir gjort under prosessering. Det utsendte GPR-signalet kan indukere lav-frekvente bølger kalt *wow* som legger seg oppå det resterende signalet (Figur 2.1). For å kompensere for denne effekten utføres en dewow langs hver trace.



Figur 2.1: Effekten av et dewow-filter. Uprosessert til venstre og prosessert til høyre

Siden radarsignalet svekkes med tiden, er det ofte nødvendig å forsterke signalet mot slutten av tidsvinduet. Dette gjøres for at også dypliggende strukturer skal kunne visualiseres på lik linje med grunne. Denne prosessen kalles tidsavhengig *forsterkning*, og det fins flere måter å utføre den på.

Automatic Gain Control (AGC) forsøker å utlikne amplitudene omvendt proporsjonalt med signalstyrken. Dette gjør at svake, dypliggende reflektorer, blir mest forsterket. For å unngå at veldig svake signal skal produsere veldig store gains fins det en innstilling for maksimal gain.

Konstant forsterkning er den enkleste forsterkningen som kan utføres. Det er kun en lineær multipliseringsfaktor som styrer forsterkningen. Ulempen er at allerede sterke signaler forsterkes for mye siden forholdet mellom sterke og svake signaler beholdes.

Spreading & Exponential Calibrated Compensation (SEC2) er eksponensiell forsterkning. I motsetning til AGC, som forsterker omvendt eksponensielt med amplituden, forsterker SEC2 eksponensielt med *tid*. Dermed tar SEC2 bedre hensyn til den naturlige svekkelsen av signalet med dypet. Også denne metoden har en innstilling for maksimal forsterkning for å unngå for store amplituder. I tillegg må demping av radarsignalet oppgis i dB/m, samt en startverdi som skal legges til eksponensialfunksjonen. Startverdien avhenger av hvor stor forsterkning som ønskes i overflatenære strukturer. EKKO_Project foreslår automatisk verdier for alle disse parameterene basert på datainnholdet som ofte gir tilfredstillende resultater.

Romlig horisontalt filter som anvender et symmetrisk utjevnefilter med bredde på 1m vandrer langs hele profilet, dette reduserer høye frekvenser og minker mengden støy.

Reposisjonering av trace ble brukt da den faktiske lengden av målte profil ikke samsvarer med lengden beregnet av EKKO_Project, siden faktisk avstand mellom hvert trace ikke nødvendigvis er 0.5 m på grunn av unøyaktighet i utløsermekanismen.

2.1.5 Hastighetsbestemmelse

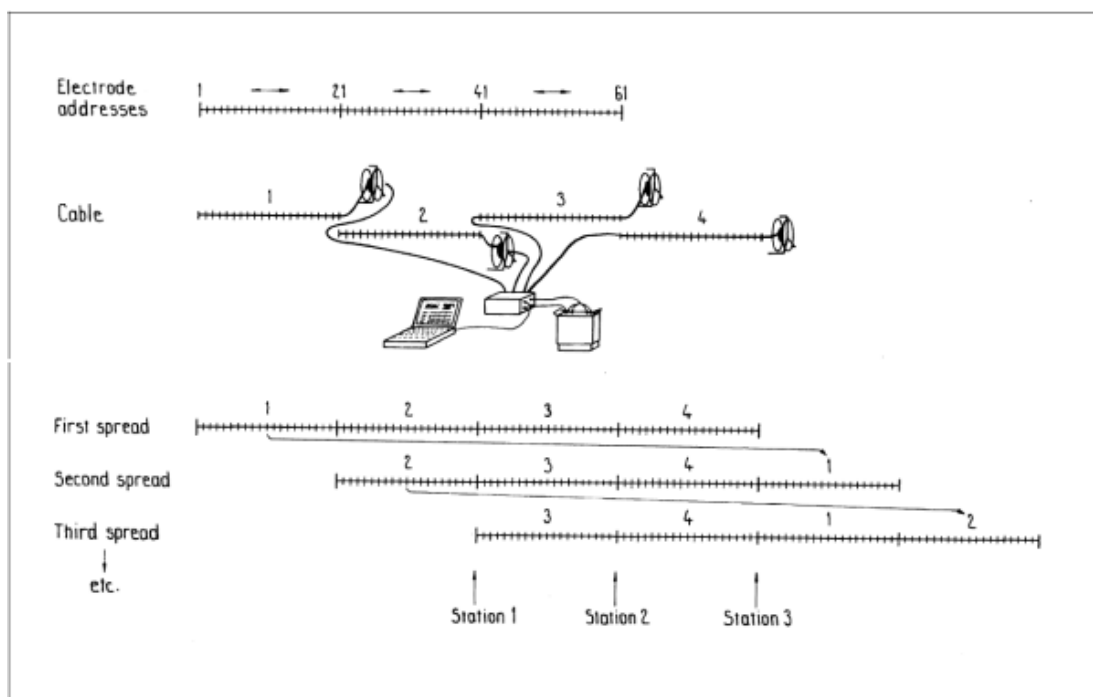
For at profilene skal kunne konverteres fra tid til dyp er det nødvendig å vite hastigheten til radar-bølgene. Det er vanlig å gjøre en "common mid point"-undersøkelse (CMP) for å få gjennomført en hastighetsanalyse, men da er man avhengig av at antennene har muligheten for å kobles fri, noe MALÅ RTA-systemet ikke tillater. Dette gjør at man er avhengig av hyperbler eller for eksempel borehullsdata for å gjennomføre en hastighetsanalyse, noe som viste seg å være utilgjengelig i denne undersøkelsen. Dette gjorde at bølgehastighet i løsmassene var mer utfordrende å estimere.

Ved Ydalir ble hastighet fastsatt basert på geologisk materiale i området samt dybden til et sandtak det ble målt parallelt langs. Det ble her gjort en antagelse at bunnen på sandtaket er like over grunnvannsnivået og dermed ble denne dybden brukt for å anslå dybden fra toppen av grustaket ned til reflektoren tolket som grunnvannsspeil. Både tabellverdien for sand (*Tabell 2.1*) og toveis gangtid gir en hastighet rundt 0,15 m/ns for øverste del av de tørre løsmassene. Det vil si at profilene er hastighetsjustert til å gi riktig dyp til vannspeilet, og dyp til fjell vil bli vist dypere enn det faktisk ligger.

Profilene langs Glomma var mer utfordrende å bestemme bølgehastighet til da det ikke finnes hyperbler å kalibrere mot. Det er heller ingen pålitelige reflektorer med kjent dyp. Det ble derfor bestemt å sette hastigheten til 0,1 m/ns, noe som er tilnærmet et gjennomsnitt for hastighet i tørr og vannmettet sand (se *Tabell 2.1*).

2.2 2D resistivitet

Ved utførelse av metoden legges et kabelutlegg på 4 kabler ut i serie *Figur 2.2*. Dette systemet kalles Lund-systemet (Dahlin, 1993). Hver kabel har 21 elektrodekontakter hvor siste elektrode på en kabel er første elektrode på neste kabel. Til sammen utgjør dette 81 elektroder på et utlegg. Under måling sendes det strøm gjennom to elektroder mens det måles spenning mellom to andre elektroder. Denne prosessen er styrt av et ABEM Terrameter LS (ABEM, 2012) og en multi gradientkonfigurasjon (Dahlin & Zhou, 2006) ble brukt. Målingene i denne undersøkelsen ble utført med 10 m elektrodeavstand.



Figur 2.2: Illustrasjon som viser oppsettet ved Lund-systemet og hvordan "roll along"-metoden utføres. Fra (ABEM, 2012).

Målte motstander plottes på et dyp gitt av avstanden mellom måleelektrodene. Resultatet blir da en pseudoseksjon med tilsynelatende resistivitet. For å konvertere pseudoseksjonen til en seksjon med sann resistivitet må dataene inverteres. Dette ble utført med programvaren RES2DINV (Loke, 2014) med robust databehandling.

Topografiske data er hentet fra samme høydemodell brukt for å høydekorrigere GPR-data.

2.2.1 Datakvalitet

Under måling av Profil 1 ble det oppdaget en defekt kontakt på den ene av kablene. Dette gjorde at ved noen målinger måtte denne kontakten ekskluderes. Resultatet av dette vil være noe lavere tetthet av målepunkter rundt aktuelle elektrode.

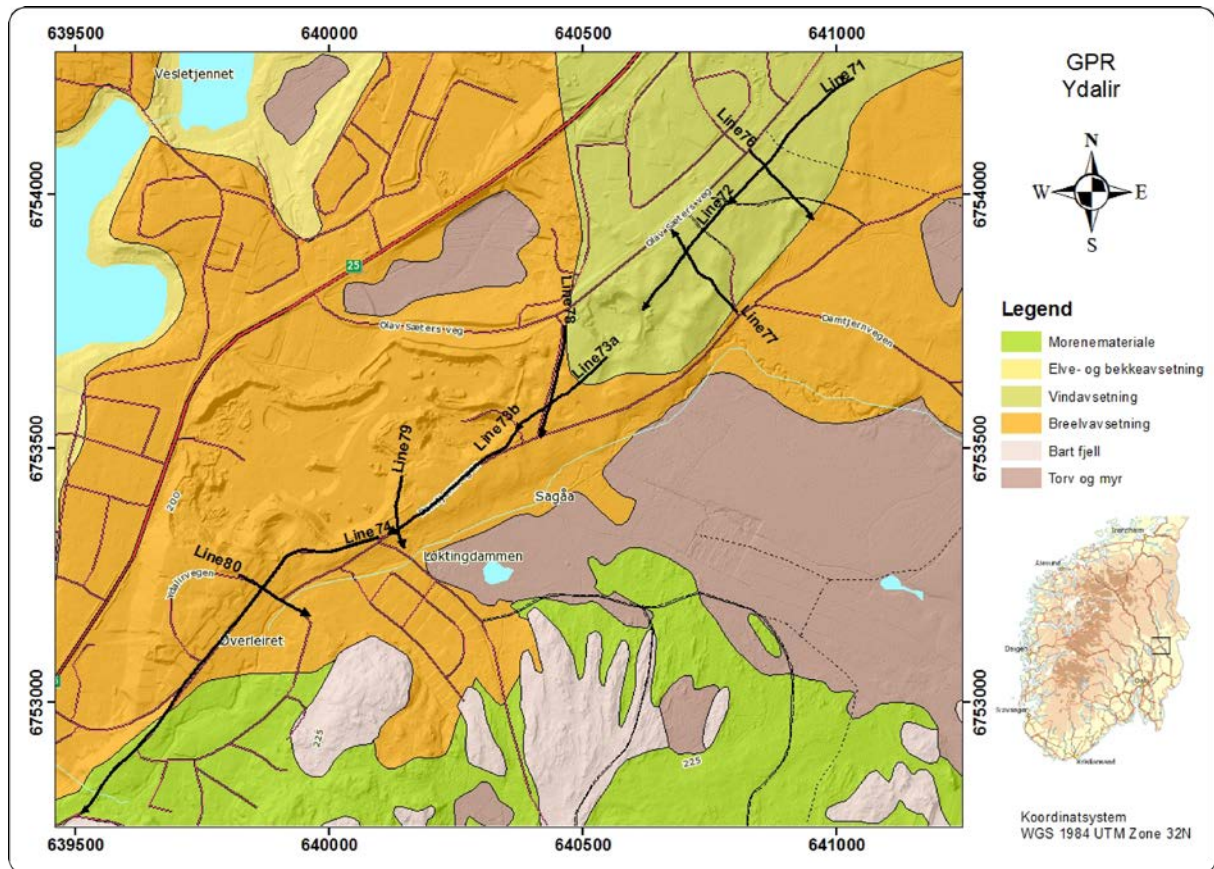
For å bedre kunne si noe om datakvaliteten ble alle målinger utført to ganger. Det blir da kalkulert en varians som gir en indikasjon på om måleverdiene ligger i støynivå. Varians ved begge profilene er jevnt over veldig lav, noe som tilsier god kvalitet på måledataene.

3. Resultater og tolkning

Det ble gjort to 2D resistivetsprofiler, en ved Ydalir og en langs Glomma (Figur 3.18). For å styrke målingene ble det også målt georadar langs disse profilene. Ved Ydalir ble det målt fire profiler langs traseen (Line73 er delt i to under prosessering) og fem kryssprofiler (se Figur 3.1). Langs Glomma ble det målt fem georadar-profiler langs resistivetsprofilet. På grunn av stedvis dårlig fremkommelighet ble ikke hele lengden målt.

3.1 GPR

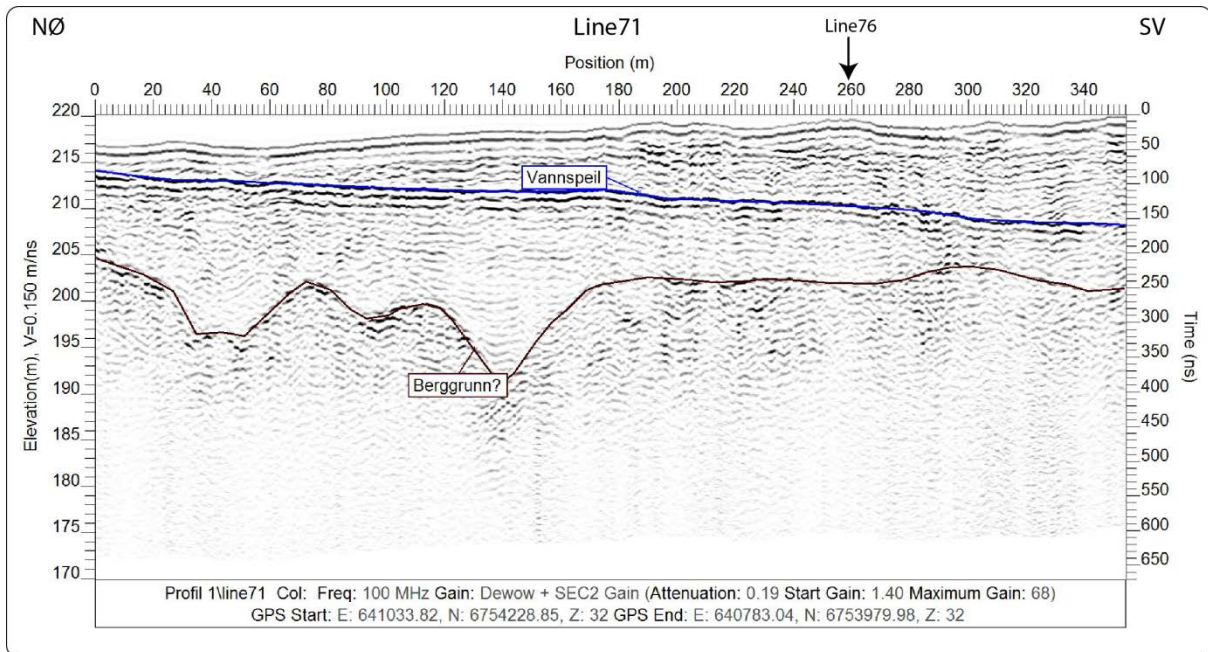
3.1.1 Ydalir



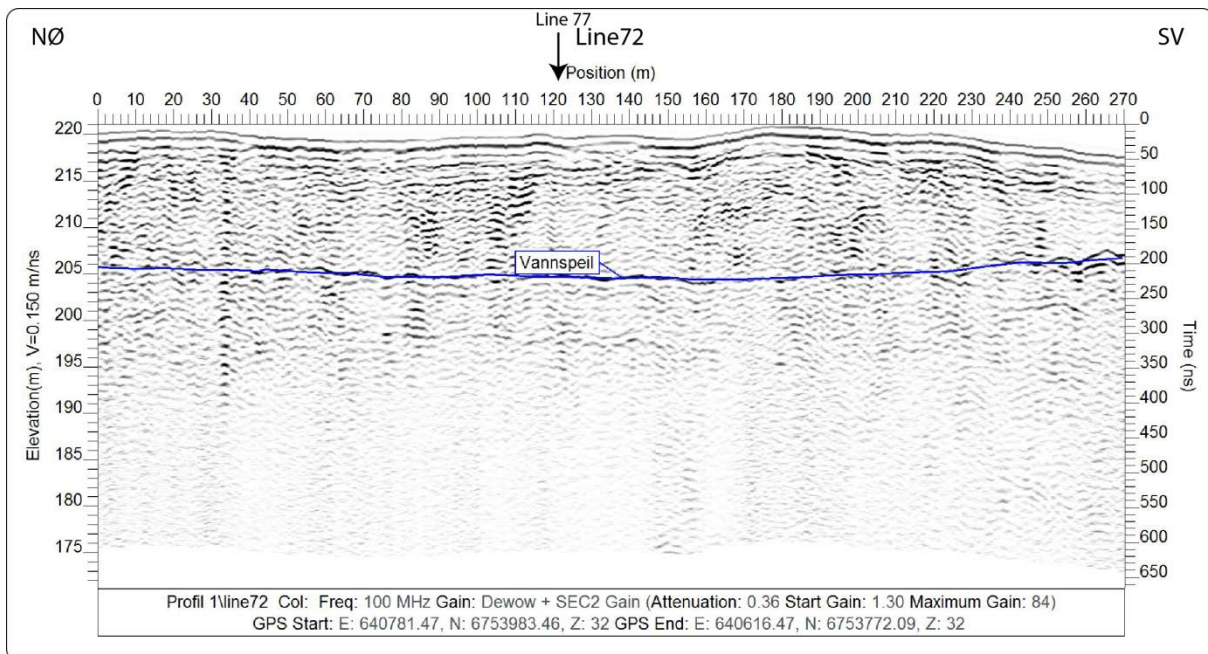
Figur 3.1: Alle GPR-profiler målt ved Ydalir, bakgrunn er kvartærgeologisk kart (Kilde: www.ngu.no).

Line 71 som ligger lengst nord viser to klare reflektorer (Figur 3.2). Øverst er vannspeil som tilsynelatende heller svakt mot sørvest. Under vannspeilet ligger en ujevn refleksor tolket å være fjelloverflaten. Dette profilet krysses av Line 76 (Figur 3.7), her er det også mulig å følge vannspeilet som stiger tilsynelatende svakt mot sørøst. Det er også mulig å følge fjelloverflaten som er en noe mer ujevn refleksor også her. Lengre sør, langs Line 72 (Figur 3.3) forsvinner fjellreflektoren, men vannspeilet kan fremdeles følges gjennom hele profilet. Line 72 krysses av Line 77 (Figur 3.8) og viser et vannspeil som stiger mot sørøst. Midt i profilet mellom 80m og 140m ligger en dødisgrop som skaper skyggeeffekter slik at vannspeilreflektoren er vanskelig å følge direkte under. På østlig side fortsetter vannspeilreflektoren men den ligger 1-2 m høyere enn vestlig side. Dette er høyst sannsynlig ikke nivåforskjell på grunnvannet, men lavere hastighet på radarbølgene, noe som tyder på høyere vanninnhold i massene på østlig side. Langs Line 73a (Figur 3.4) er kun vannspeil synlig. Samme trend fortsetter som profilene lengre nord; en svak tilsynelatende helning mot sørvest av vannspeilet. Profilet krysses av Line 78 (Figur 3.9) som viser tydelig refleksor for vannspeil, men her er også dypere, svak refleksor tolket som fjelloverflate. En dødisgrop mellom 145m og 190m er også synlig. Mot slutten av Line 73a forsvinner grunnvannsreflektoren gradvis og ved overgangen til Line 73b (Figur 3.5) er den helt usynlig. En refleksor som er tolket til fjelloverflaten er derimot synlig og kan følges nesten gjennom hele profilet, den sammenfaller også med refleksoren tolket til fjelloverflaten i Line 79 (Figur 3.10). Reflektoren fortsetter sørvest lang hele Line 74 (Figur 3.6) med varierende dybde men

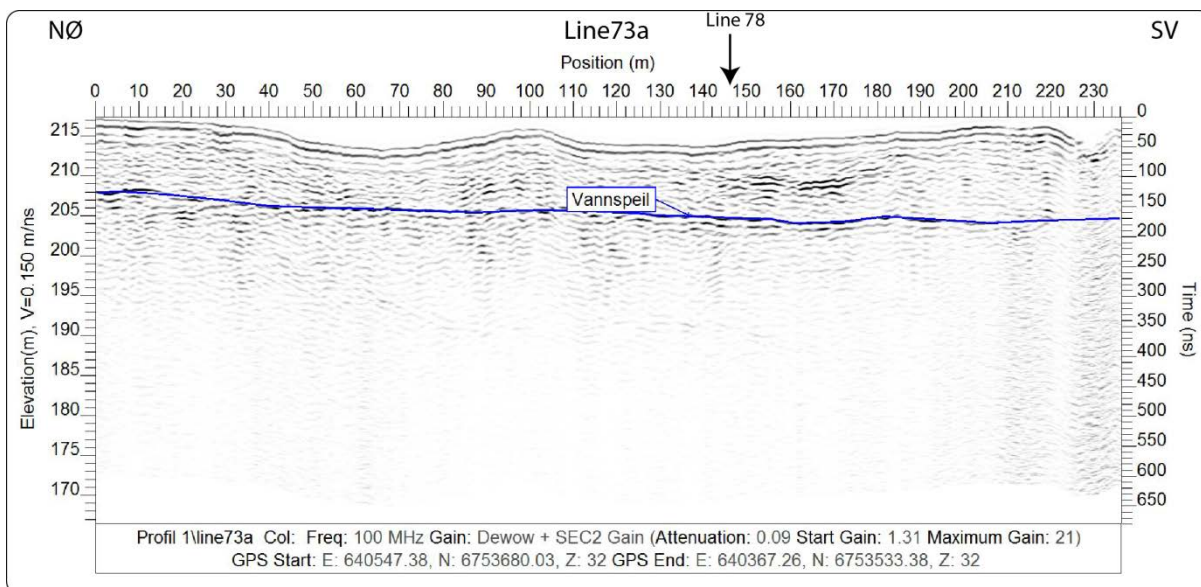
stiger mot overflaten mot enden av profilet. Dette stemmer overens med kvartærgeologisk kart (Figur 1.1) som viser fjellblotning noen meter fra enden av profilet. Kryssprofilet, Line 80 (Figur 3.11) viser den samme reflektoren for fjelloverflate. Her stiger den mot sørøst, nesten helt mot overflaten, noe som stemmer med en fjellblotning øst for profilet på kvartærgeologisk kart (Figur 1.1).



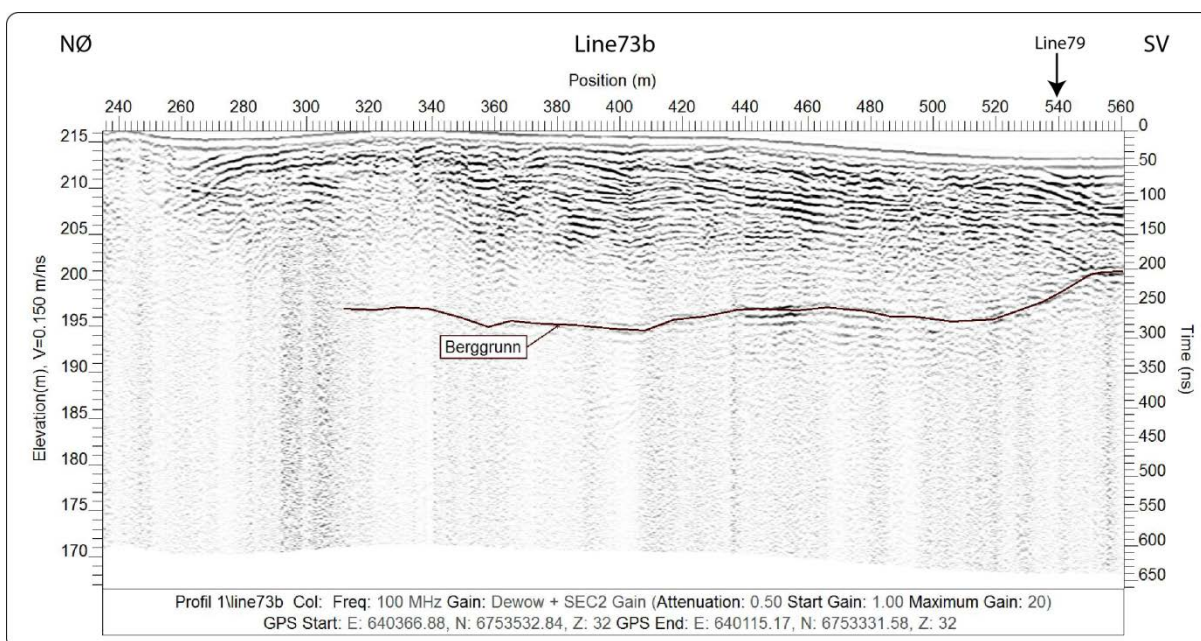
Figur 3.2: GPR Line 71 med tolkning.



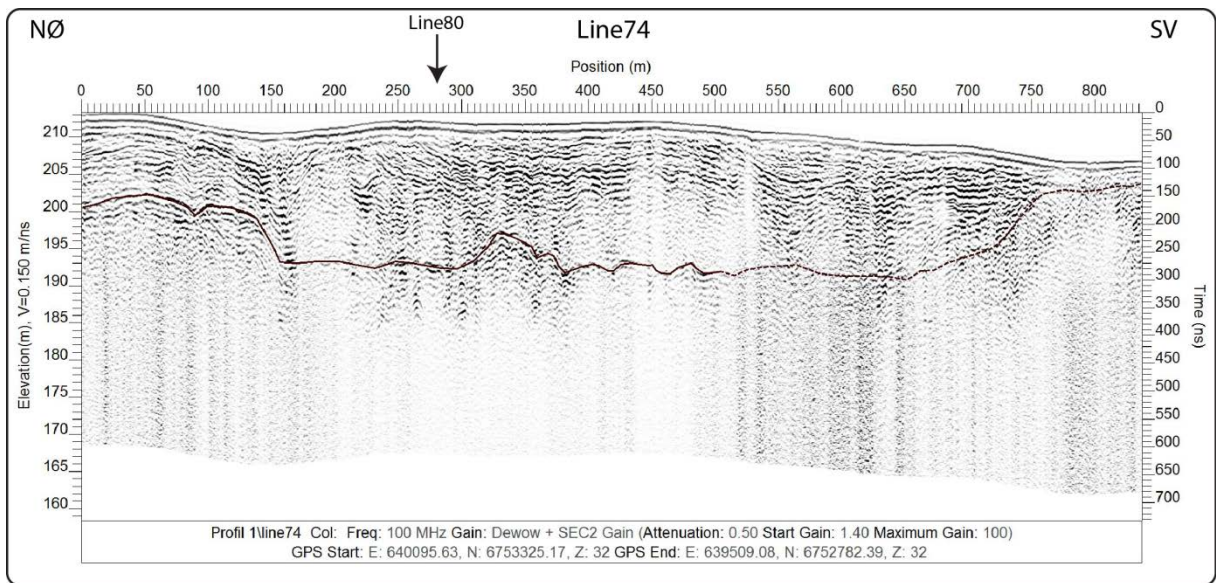
Figur 3.3: GPR Line 72 med tolkning.



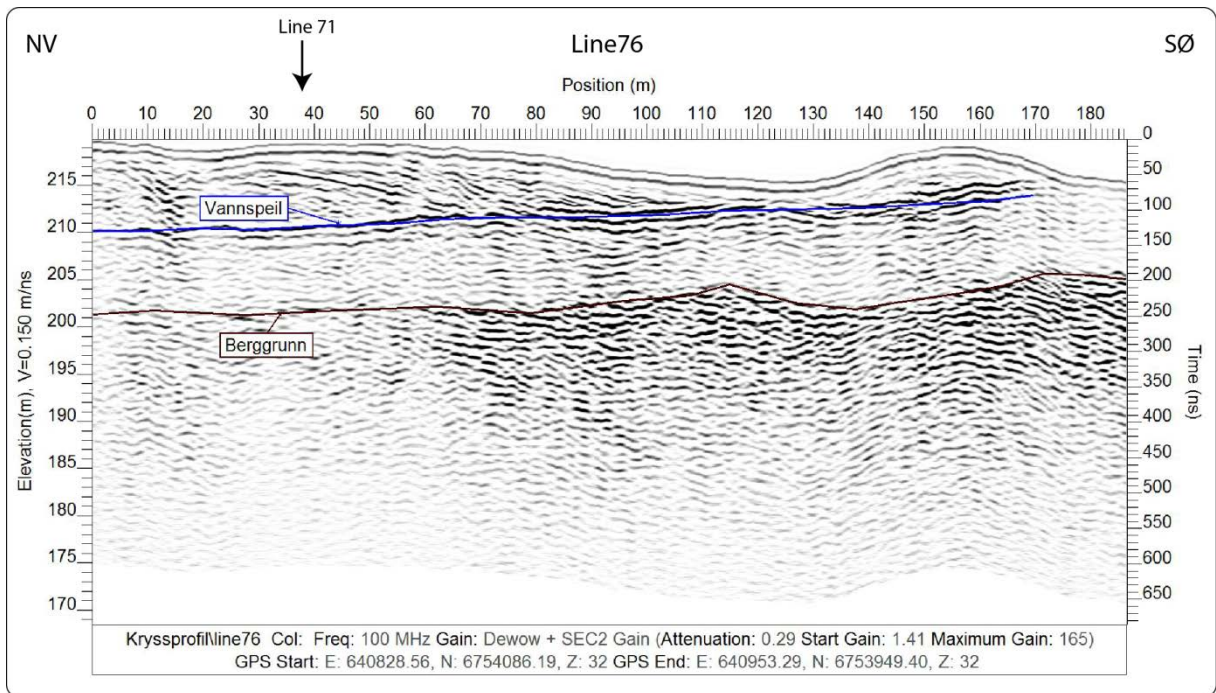
Figur 3.4: GPR Line 73a med tolkning.



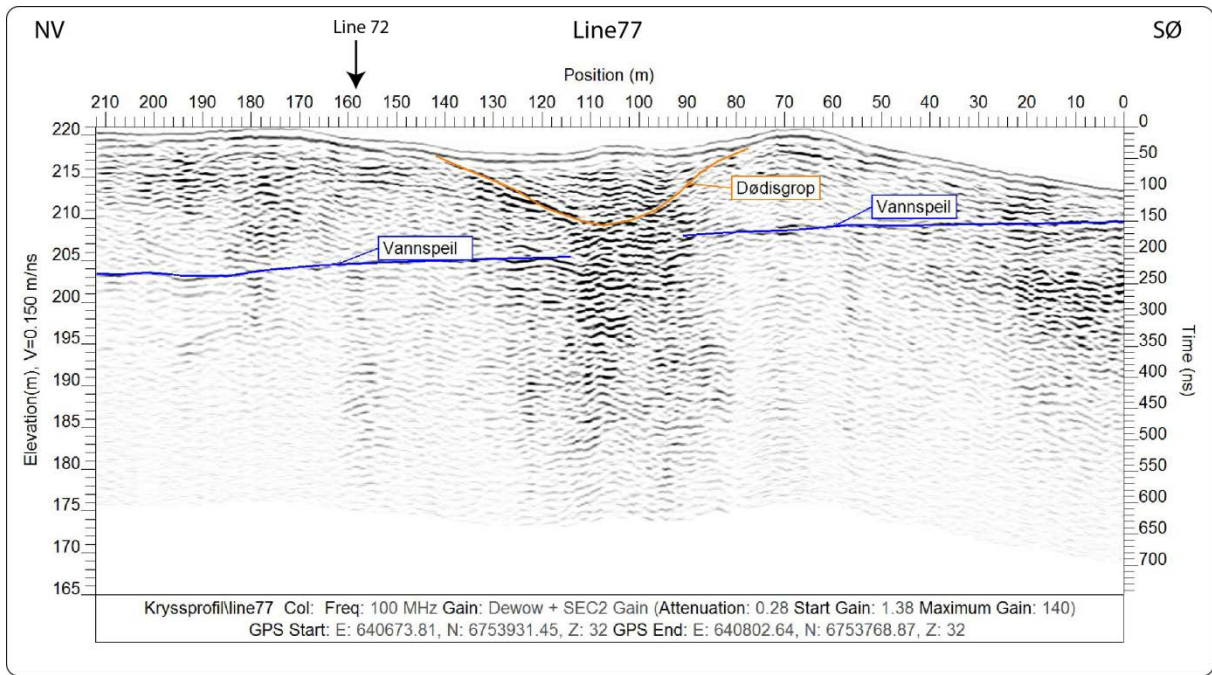
Figur 3.5: GPR Line 73b med tolkning.



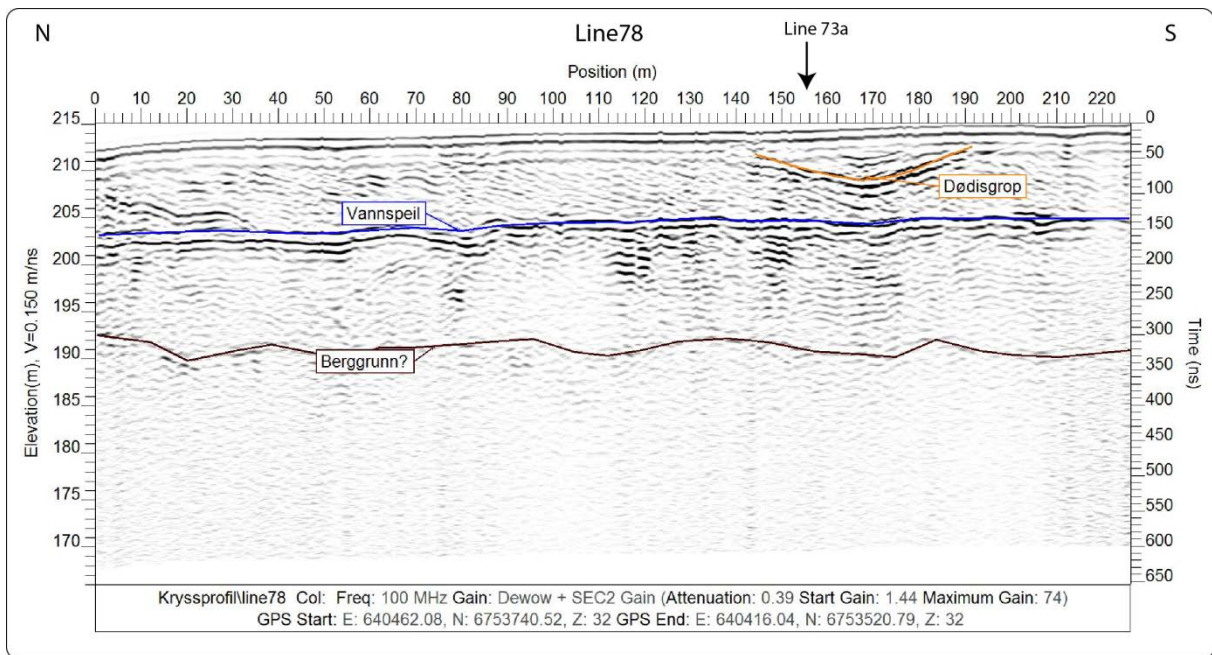
Figur 3.6: GPR Line 74 med tolkning.



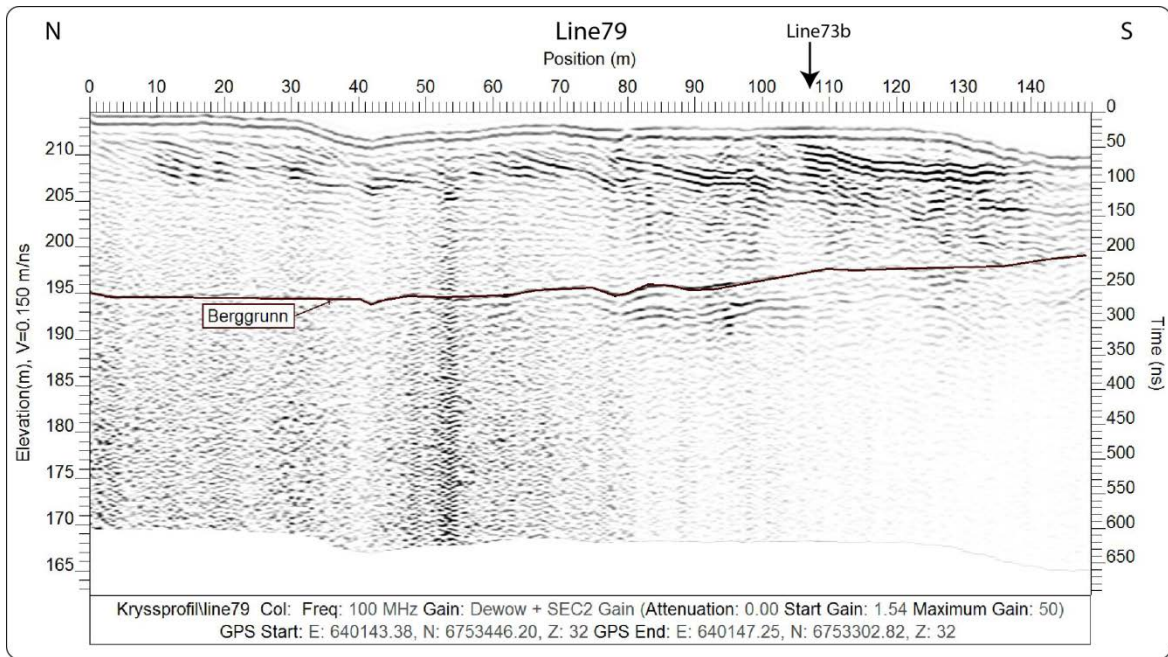
Figur 3.7: GPR Line 76 med tolkning.



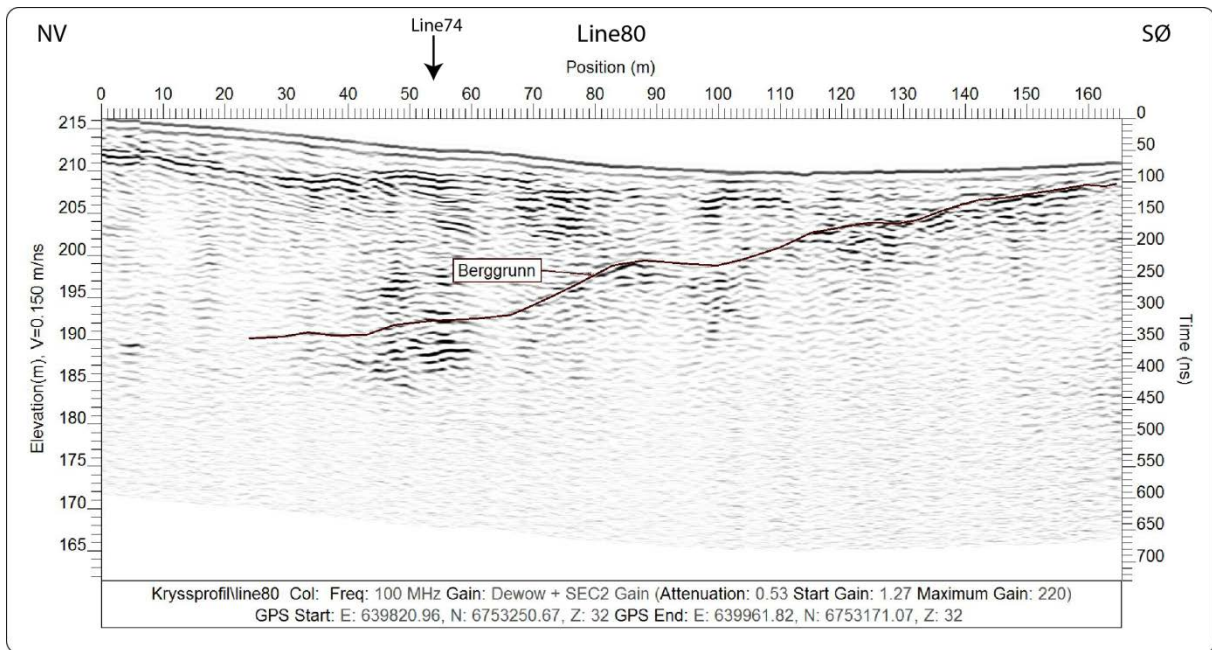
Figur 3.8: GPR Line 77 med tolkning.



Figur 3.9: GPR Line 78 med tolkning.

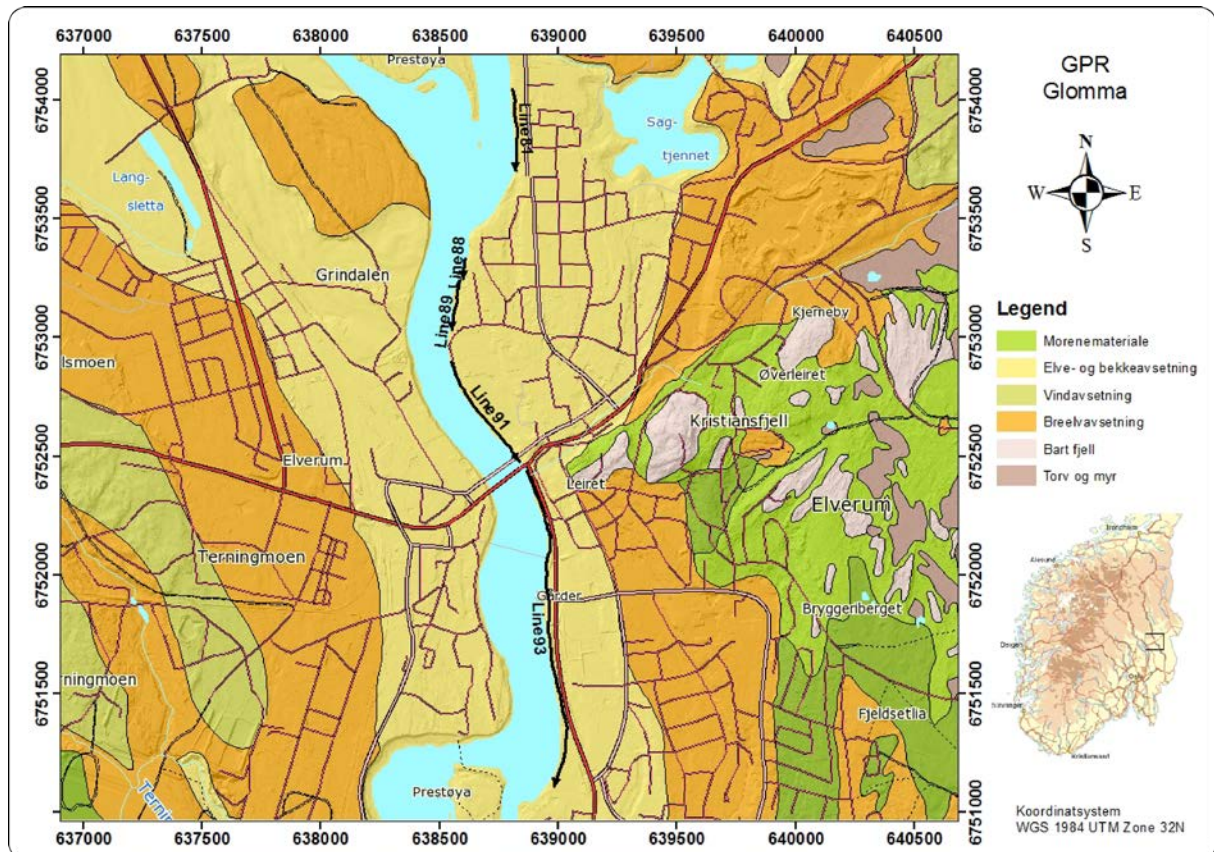


Figur 3.10: GPR Line 79 med tolkning.



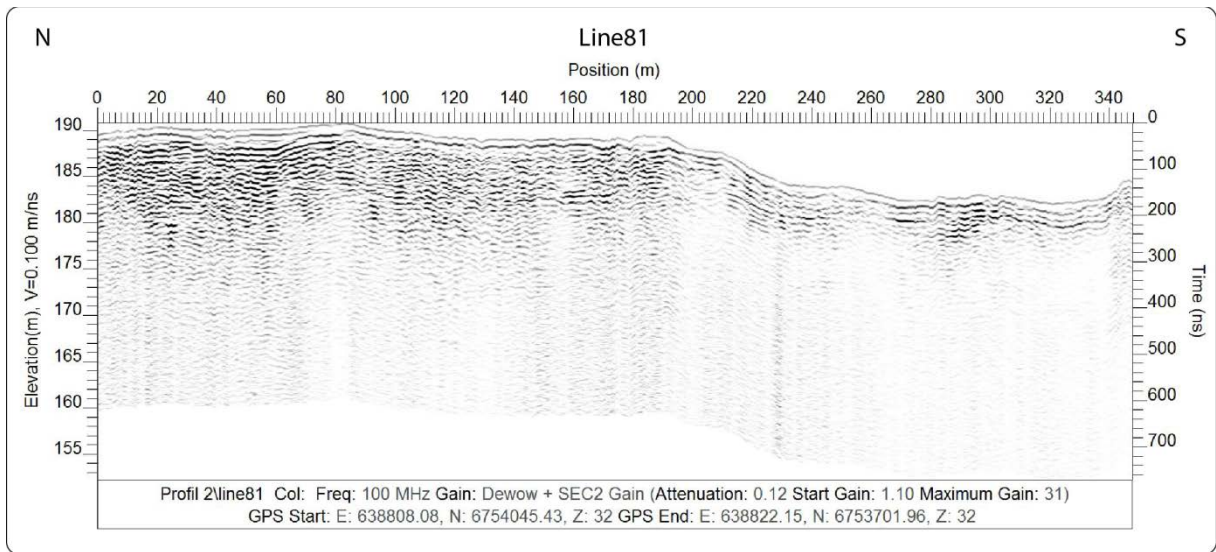
Figur 3.11: GPR Line 80 med tolkning.

3.1.2 Glomma

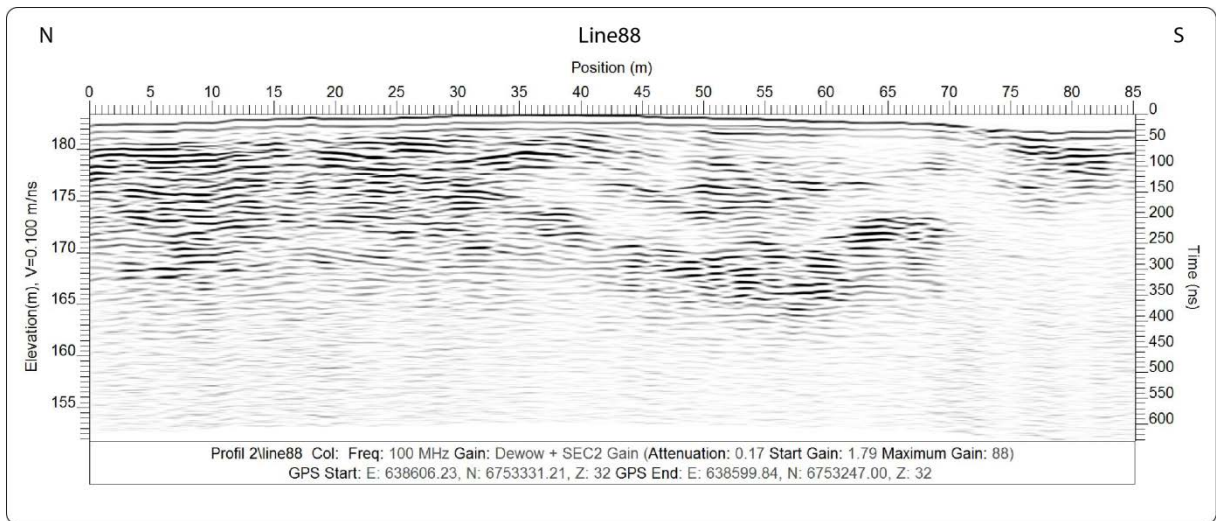


Figur 3.12: Alle GPR-profiler målt ved Glomma, bakgrunn er kvartærgeologisk kart.

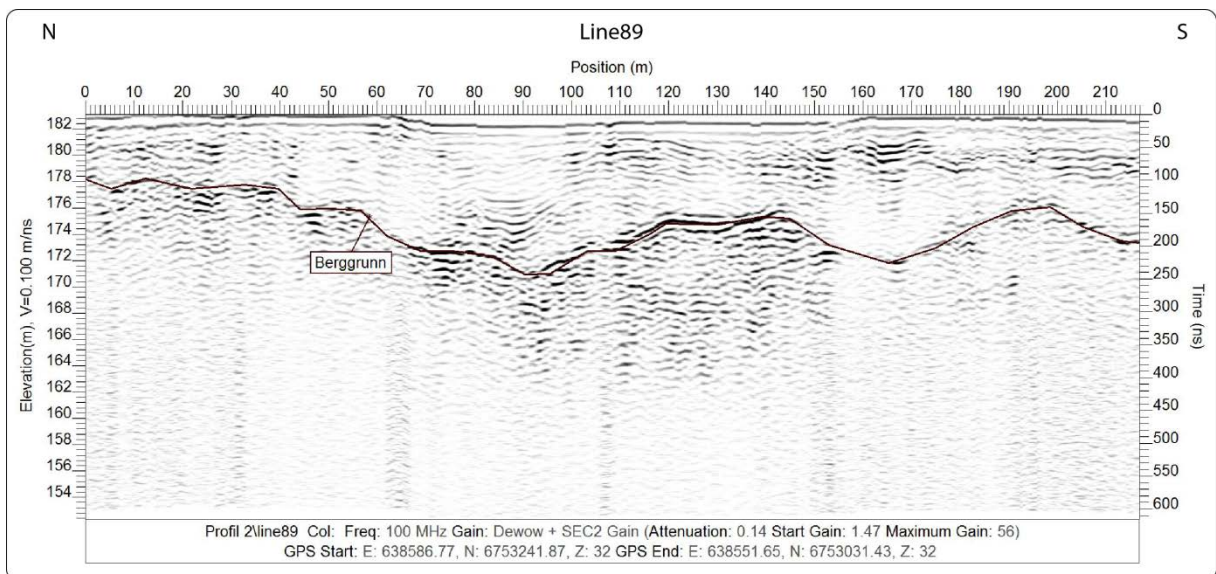
Siden alle profiler går langs Glomma er det ventet å finne grunnvannspeilet ved forholdsvis grunne dyp, nivået til Glomma vil være en god indikator. Line 81 (Figur 3.13) ligger ca 10 m over Glomma langs den nordlige delen mens den sørlige delen ligger noe lavere. Det er imidlertid vanskelig å identifisere en reflektor som kan representere nivået til Glomma. Dette er tilfelle for alle profiler målt i området (Figur 3.14 til og med Figur 3.17) bortsett fra Figur 3.16 hvor vannspeilet i nordlige del av profilet er å finne på ca 2 m dyp. Dette profilet har også en reflektor tolket som fjelloverflate som stiger kraftig i sørlig del, men den er ikke kontinuerlig gjennom profilet. Line 89 (Figur 3.15) som ligger nord for Line 91 har også en ujevn reflektor tolket som fjelloverflate, denne er kontinuerlig gjennom hele profilet.



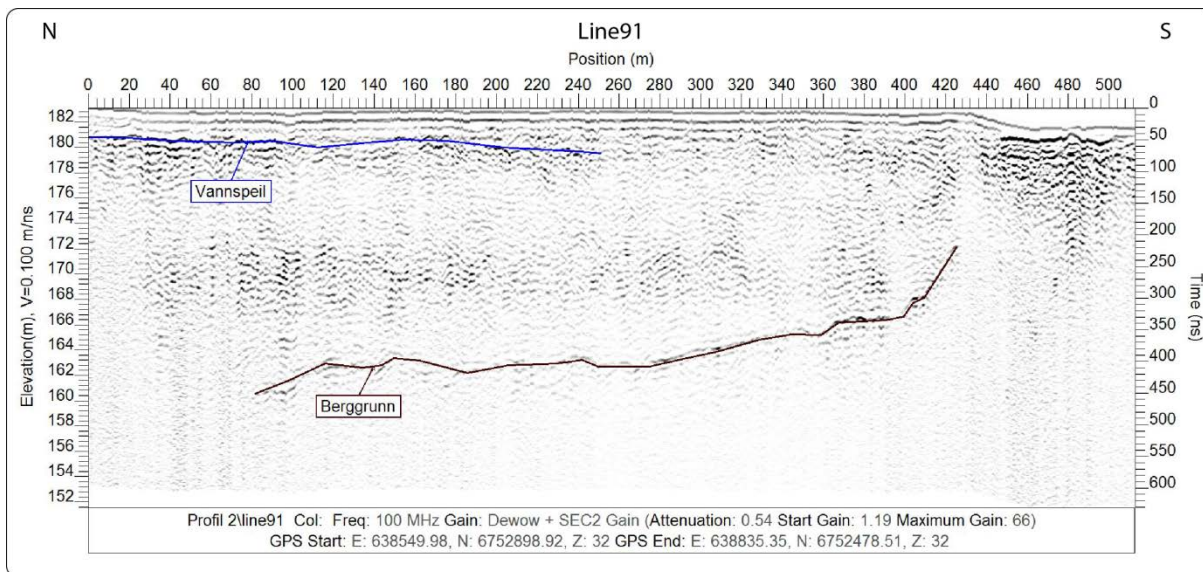
Figur 3.13: GPR Line 81.



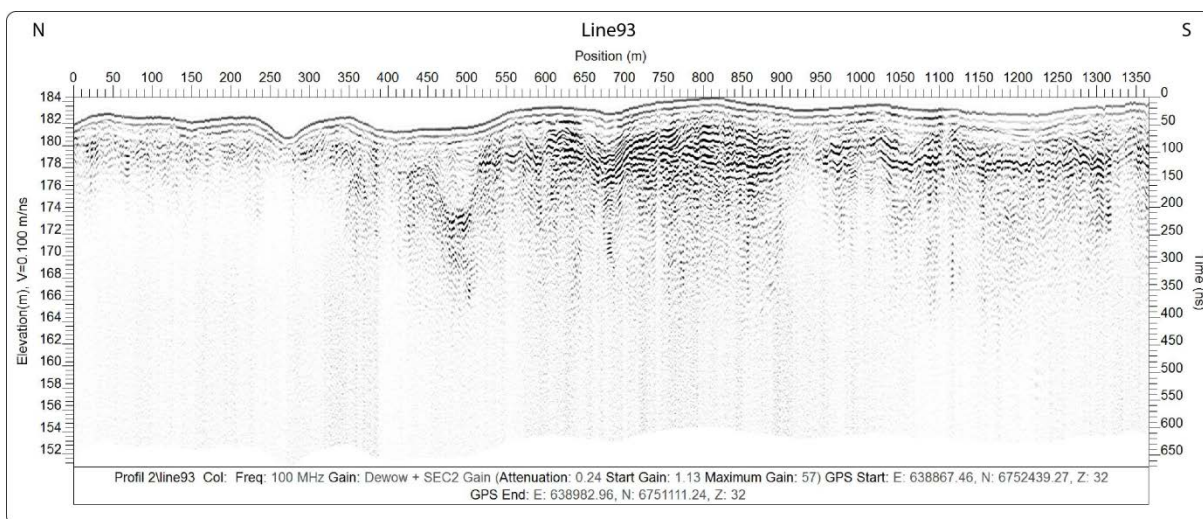
Figur 3.14: GPR Line 88.



Figur 3.15: GPR Line 89 med tolkning.

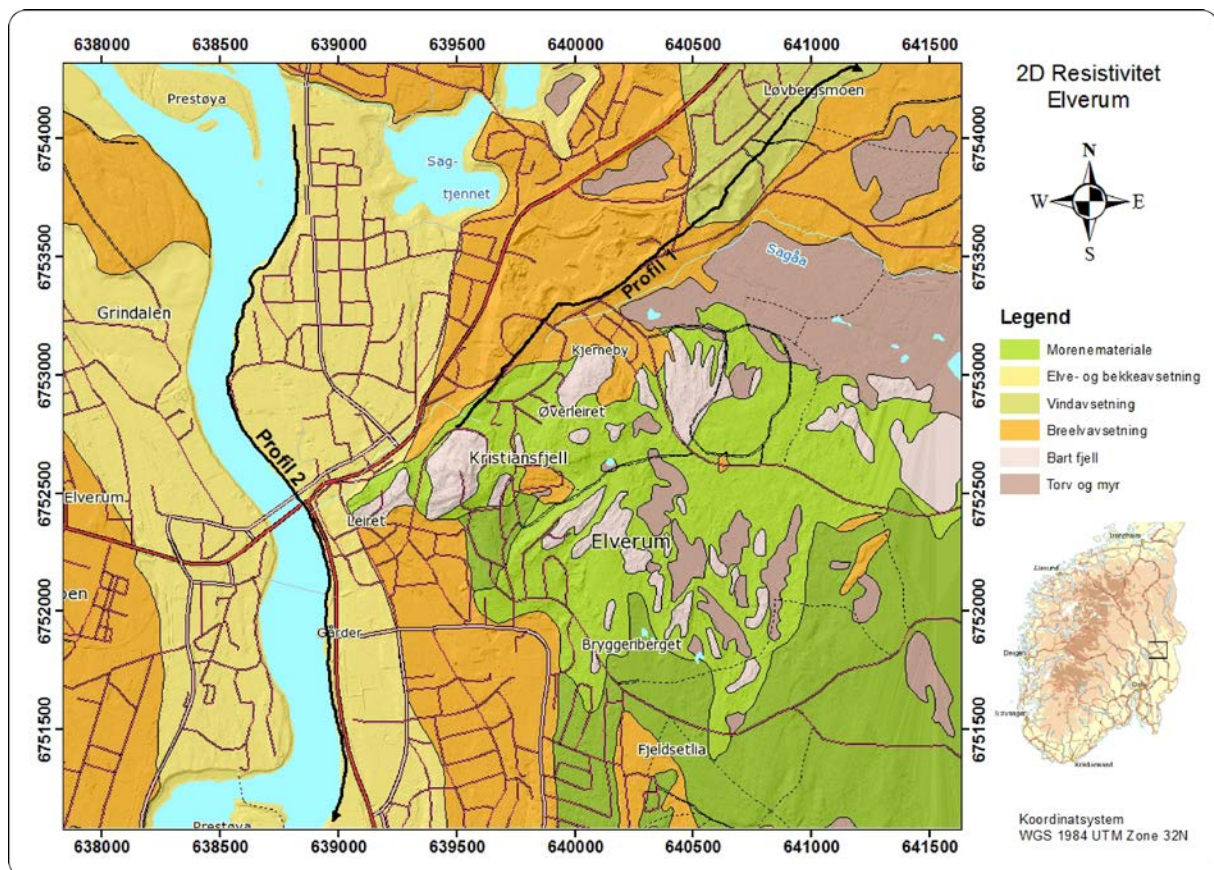


Figur 3.16: GPR Line 91 med tolkning.



Figur 3.17: GPR Line 93.

3.2 2D Resistivitet



Figur 3.18: Oversikt over 2D resistivitetsprofiler, bakgrunn er kvartærgeologisk kart.

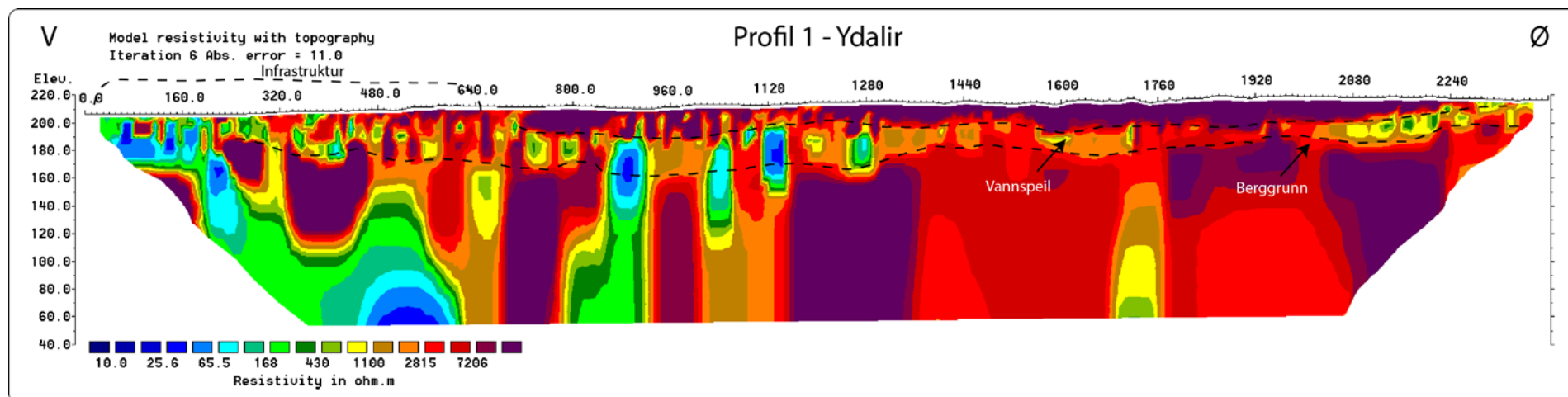
3.2.1 Ydalir

Profil 1 målt ved Ydalir (Figur 3.19) følger samme trase som georadar-profilene bare at den fortsetter noe lengre nordøst. Også her er det mulig å identifisere tørre løsmasser, vannmettede løsmasser og fast fjell. Øverst ligger et lag med meget høy resistivitet ($>8000 \Omega\text{m}$), med en mektighet mellom 10 m og 20 m. Dette laget består av tørr sand og kan følges fra øst i profilet nesten til markøren for 640 m. Vest for denne markøren ligger et boligområde, noe som øker mengden støy fra infrastruktur. Dette gir upålitelige data som er vanskelige å tolke. Under er et lag med betydelig lavere resistivitet (200 – 3000 Ωm). Dette laget er tolket som vannmettet sand, som har lavere resistivitet enn tørr sand. Grensen mellom disse to lagene utgjør da grunnvannspeilet. Mektigheten til dette laget varierer mellom 15 m og 30 m. Bunnen av de vannmettede massene grenser til enda et lag med meget høy resistivitet. Dette laget er tolket til å være fjelloverflaten, og strekker seg ned til bunnen av seksjonen. Fjelloverflaten kunne nok vært fulgt fra øst i profilet og hele veien vestover, men støy fra infrastruktur i vest hindrer dette. Midtre deler av profilet, mellom 800 m og 1300 m, preges av lommer med lav resistivitet. Det vites ikke om dette er forårsaket av infrastruktur eller geologi.

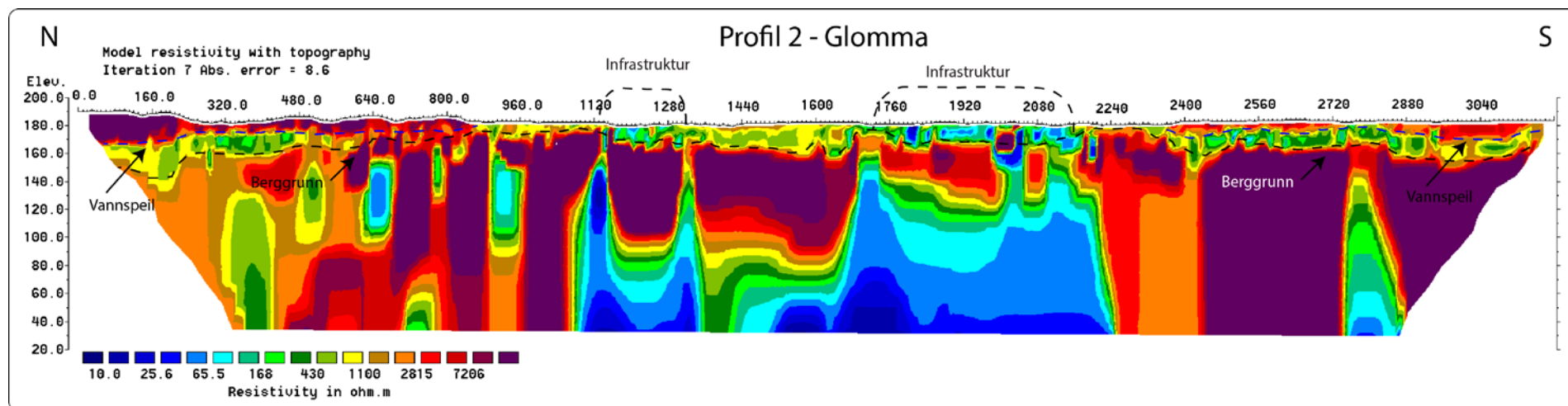
3.2.2 Glomma

Profil 2 målt langs Glomma (Figur 3.20) følger også samme trase som georadar-profilene. Også her er det mulig å identifisere de samme enheter som i Profil 1. Øverst tørre sandige masser som varierer fra 20 m mektighet til å forsvinne i midtre deler av profilet. Her

registreres det vannmettede massene helt opp i dagen, noe som kan forklares av at kabelutlegget lå veldig nære elvebredden i dette området. Mektigheten til de vannmettede massene varierer fra 10 m til 20 m. Det nederste laget har, som i Profil 1, meget høy resistivitet og er tolket som fast fjell. Også langs dette profilet er det flere kilder til støy. Mellom markørene 1120 m og 1300 m lå kabelutlegget langs et autovern av stål slik at den lave resistiviteten i dette området er forårsaket av at deler av strømmen går i autovernet og ikke i undergrunnen. Det samme skjer mellom ca 1700 m og 2200 m. Profilet krysser ved disse to koordinatene broer som krysser Glomma og strømmen følger disse broene med lavere motstand enn å gå i undergrunnen. Det fins også lommer med lav resistivitet ved flere områder men heller ikke her vites det om dette er forårsaket av infrastruktur eller geologi.



Figur 3.19: 2D resistivitet målt ved Ydalir med tolkning.



Figur 3.20: 2D resistivitet målt ved Glomma med tolkning.

4. Sammendrag

Ved Ydalir identifiserer begge metodene tre enheter; tørr sand på toppen, vannmettet sand og fast fjell i bunn. Mektigheten til de tørre løsmassene varierer mellom 5-20 meter. Mektigheten til de vannmettede massene varierer også mellom 5-20 meter, og er hovedsakelig basert på resistivitetmålingene siden fjelloverflaten kun er synlig i et fåtall av georadar-profilene.

Langs Glomma i Elverum sentrum, er begge metodene påvirket av støy fra infrastruktur, men det er likevel mulig å identifisere de samme tre enhetene som ved Ydalir. Mektigheten på vannmettede masser varierer også her og ligger mellom 5-20 meter.

5. Referanser

- ABEM. (2012). *ABEM Terrameter LS. Instruction Manual, release 1.11*. Sundbyberg: ABEM Instrument AB, Sweden.
- Dahlin, T. (1993). *On the automation of 2D resistivity surveying for engineering and environmental applications*. Lund: Department of Engineering Geology, Lund Institute of Technology, Lund University. 187pp, ISBN 91-628-1032-4.
- Dahlin, T., & Zhou, B. (2006). Multiple-gradient array measurements for multichannel 2D. *Near Surface Geophysics, Vol 4, No 2*, pp. 113-123.
- Loke, M. H. (2014). *Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction Manual. Res2DInv ver 4.00*. <http://www.geotomosoft.com/>.
- Reynolds, J. M. (2011). *An Introduction to Applied and Enviromental Geophysics* (2nd ed.). Chichester, West Sussex: Wiley-Blackwell.
- Sandmeier, K. J. (2010). *ReflexW 2D GPR Data Analysis Module Manual*. Sandmeier Geophysical Software/Research.
- Sensors & Software. (2013). *EKKO_Project V1 R3/EKKO_Project LineView V1 R2 User's Guide*. Mississauga, Canada.

A. Vedlegg

A.1 Koordinater

2D Resistivitet

Tabell A.1: Koordinater til 2D res Profil 1 i WGS 84 UTM32.

| Stasjon | X | Y | Lengde |
|---------|--------|---------|--------|
| 1 | 641204 | 6754302 | 0 |
| 2 | 641034 | 6754224 | 200 |
| 3 | 640896 | 6754081 | 400 |
| 4 | 640775 | 6753927 | 600 |
| 5 | 640637 | 6753781 | 800 |
| 6 | 640514 | 6753651 | 1000 |
| 7 | 640354 | 6753526 | 1200 |
| 8 | 640208 | 6753398 | 1400 |
| 9 | 640034 | 6753309 | 1600 |
| 10 | 639869 | 6753233 | 1800 |
| 11 | 639745 | 6753076 | 2000 |
| 12 | 639628 | 6752921 | 2200 |
| 13 | 639492 | 6752777 | 2400 |

Tabell A.2: Koordinater til 2D res Profil 2 i WGS 84 UTM32.

| Stasjon | X | Y | Lengde |
|---------|--------|---------|--------|
| 1 | 638810 | 6754058 | 0 |
| 2 | 638836 | 6753856 | 200 |
| 3 | 638808 | 6753682 | 400 |
| 4 | 638716 | 6753496 | 600 |
| 5 | 638637 | 6753337 | 800 |
| 6 | 638570 | 6753158 | 1000 |
| 7 | 638532 | 6752967 | 1200 |
| 8 | 638600 | 6752781 | 1400 |
| 9 | 638722 | 6752624 | 1600 |
| 10 | 638841 | 6752473 | 1800 |
| 11 | 638931 | 6752283 | 2000 |
| 12 | 638956 | 6752093 | 2200 |
| 13 | 638962 | 6751894 | 2400 |
| 14 | 638967 | 6751694 | 2600 |
| 15 | 639005 | 6751496 | 2800 |
| 16 | 639031 | 6751303 | 3000 |
| 17 | 638974 | 6751109 | 3200 |

Georadar

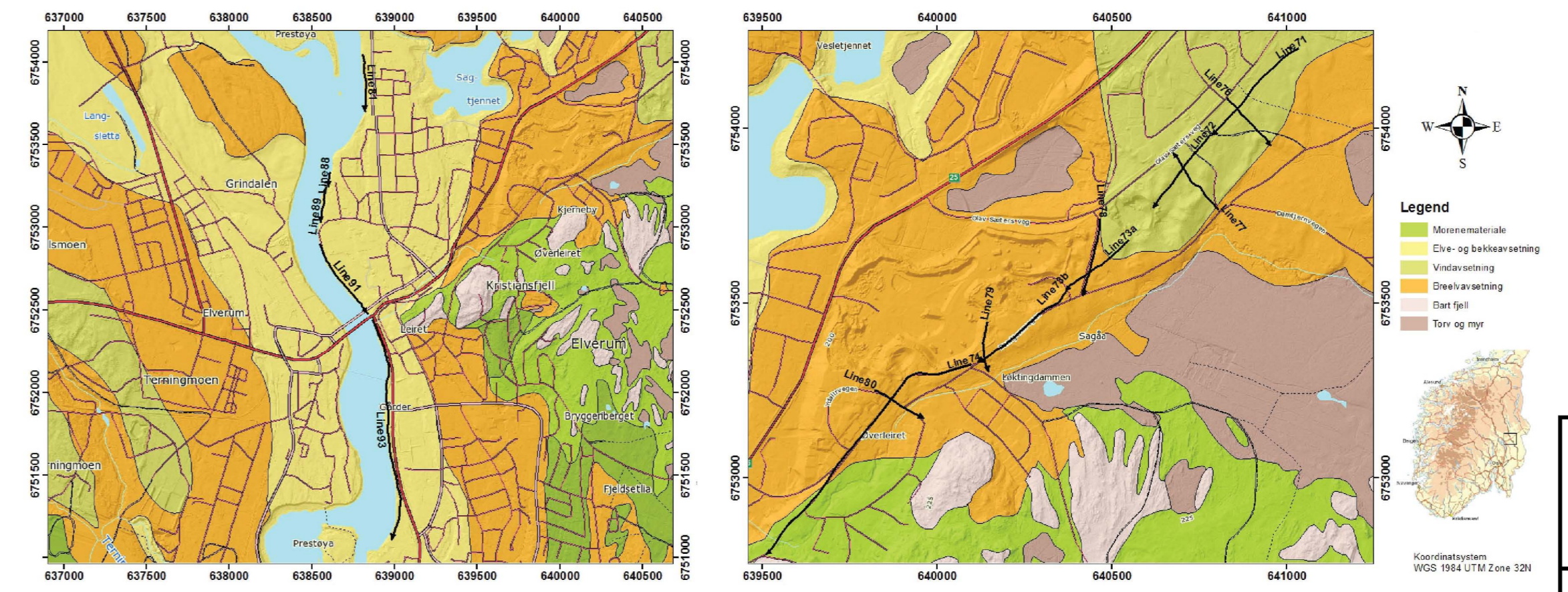
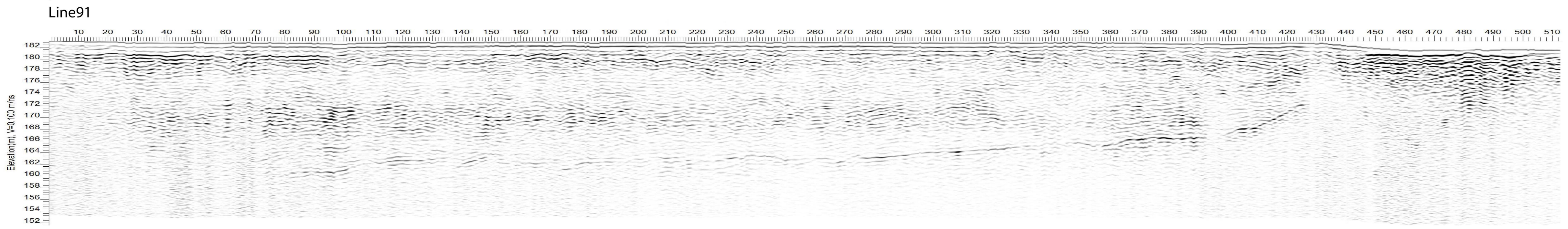
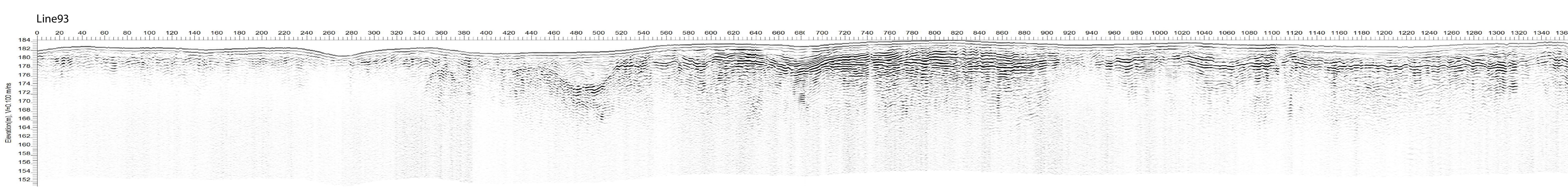
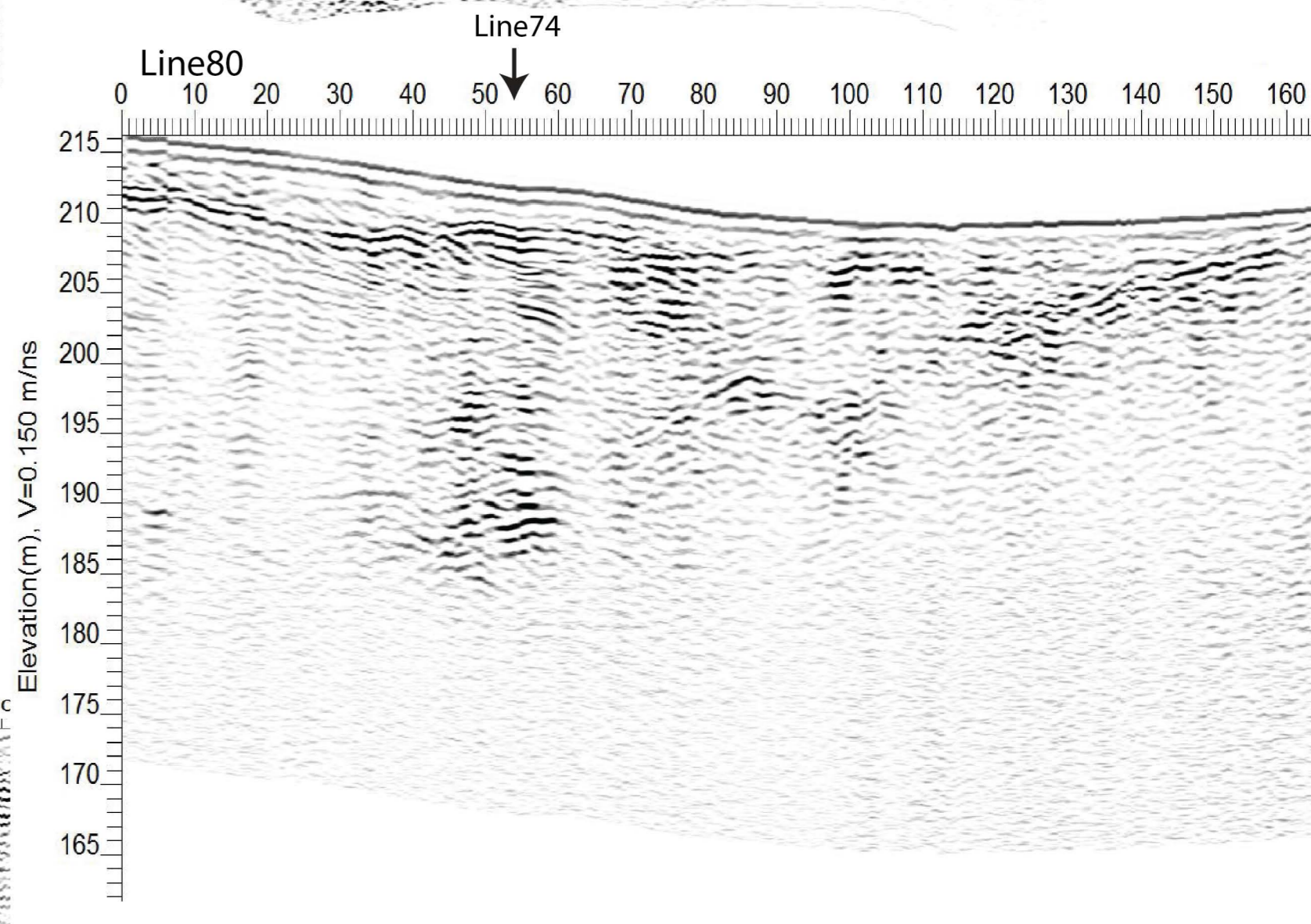
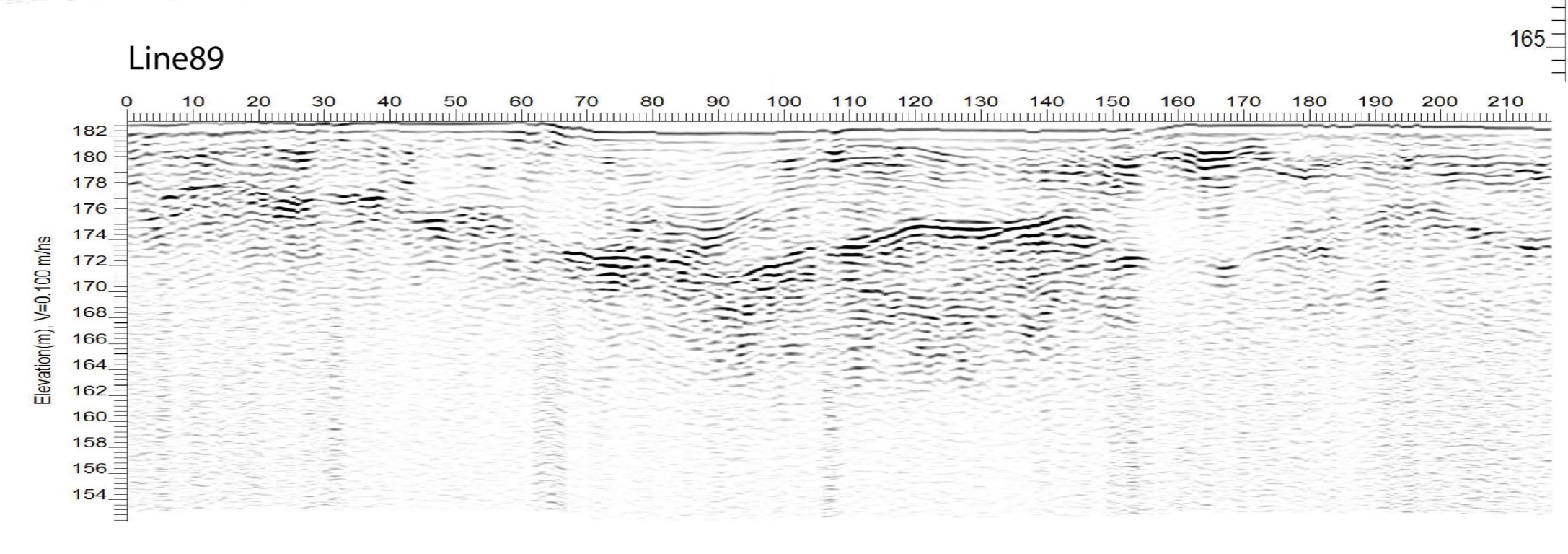
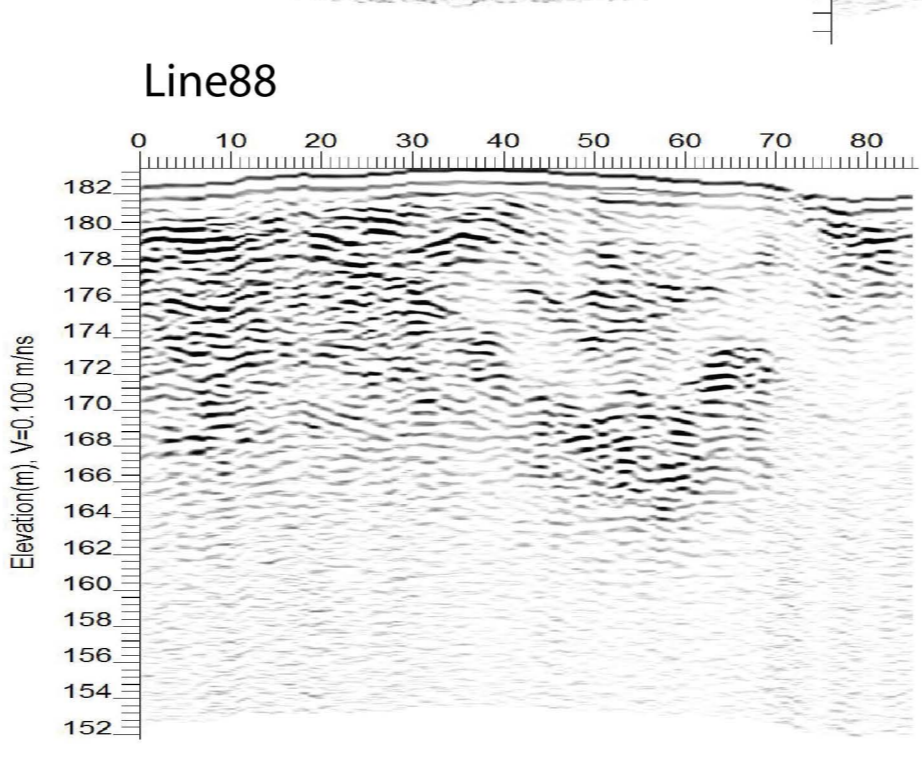
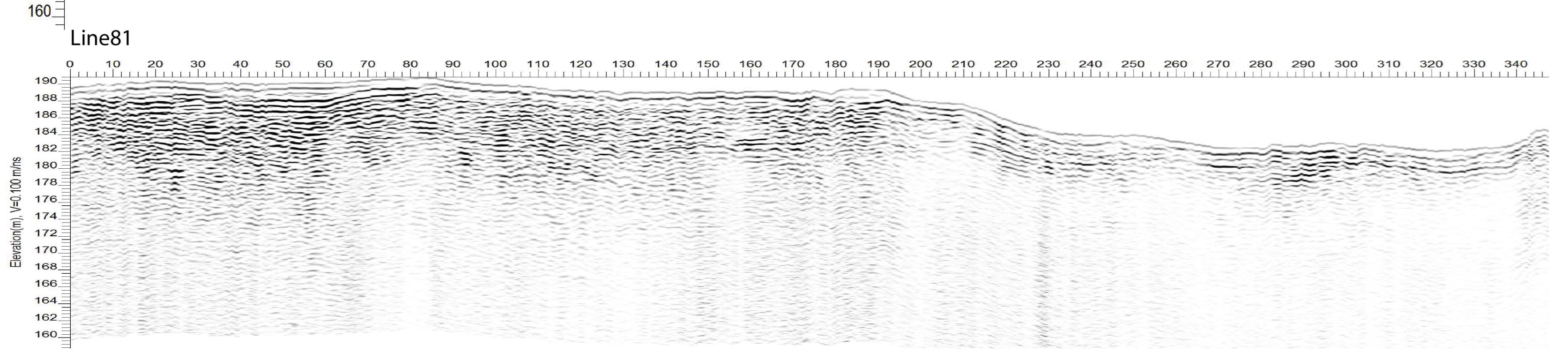
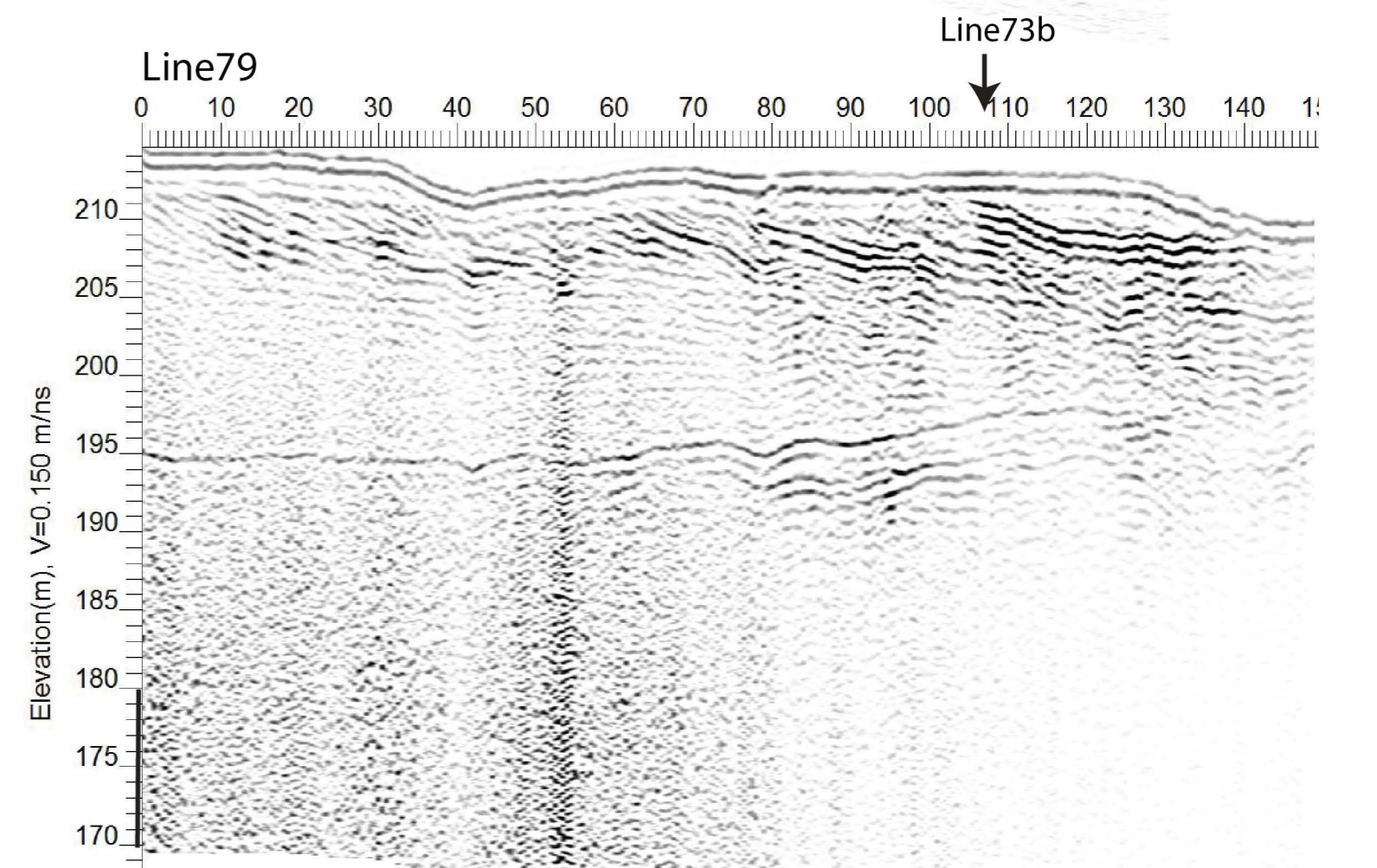
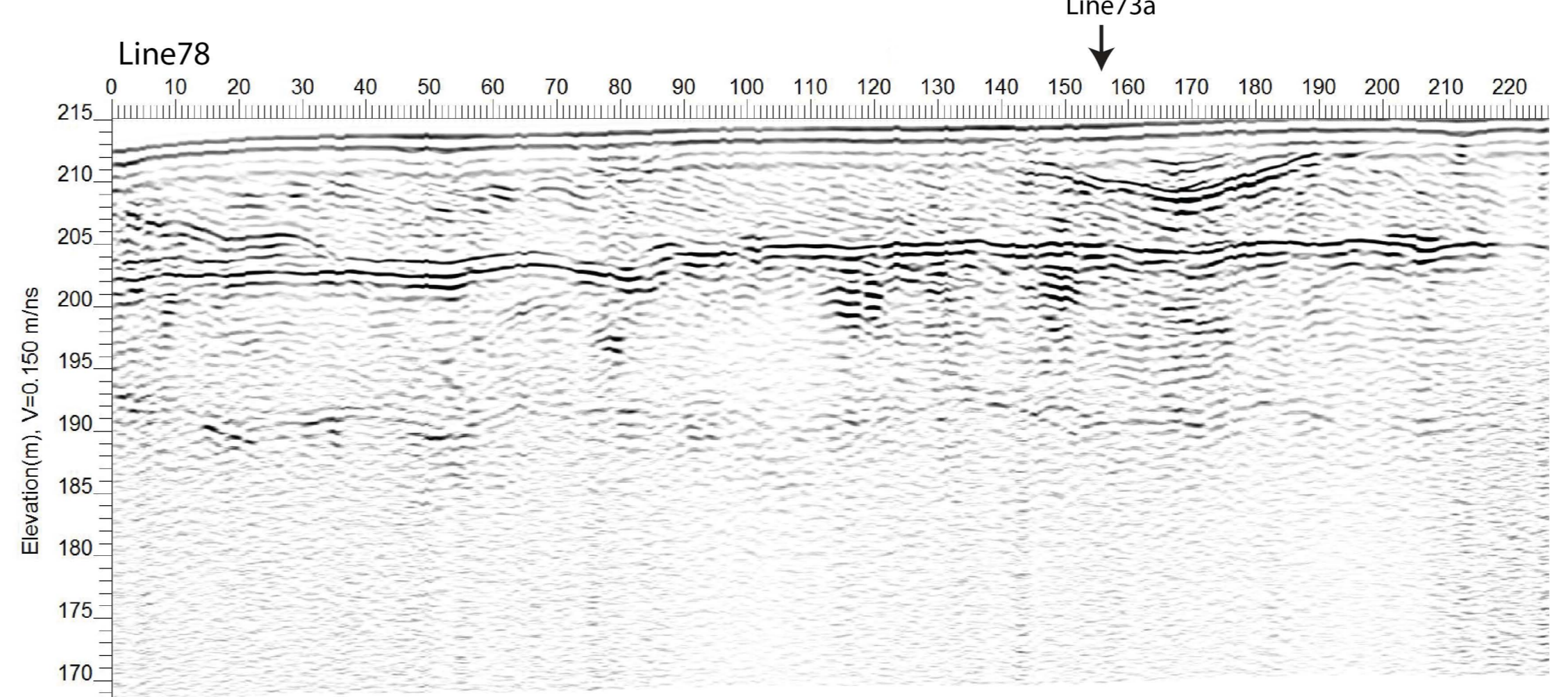
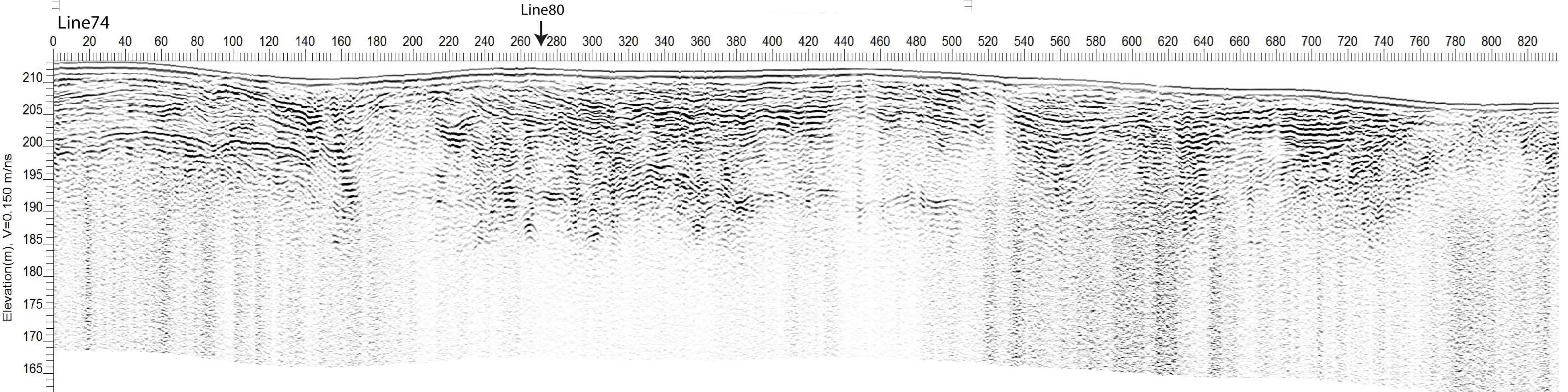
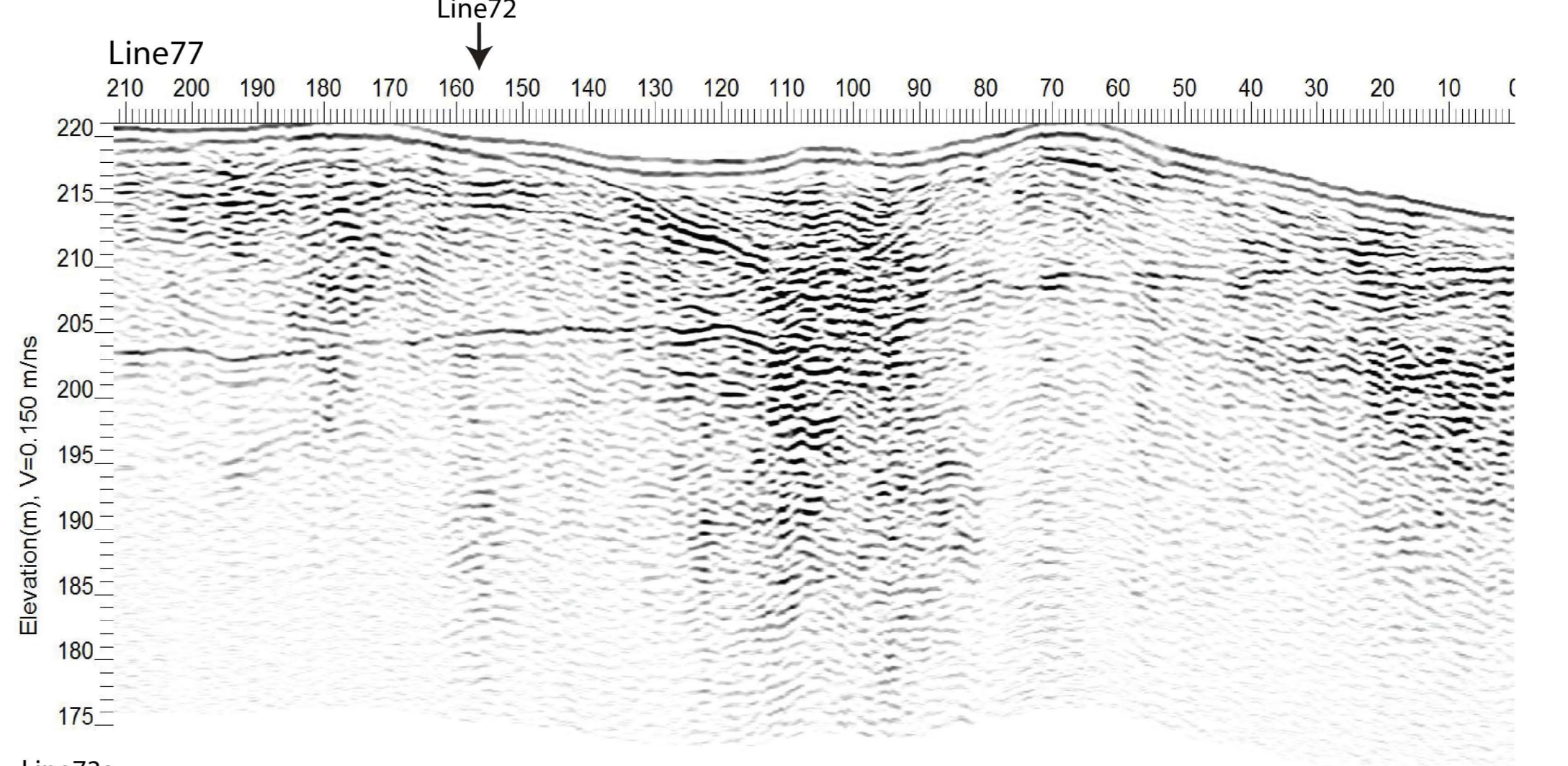
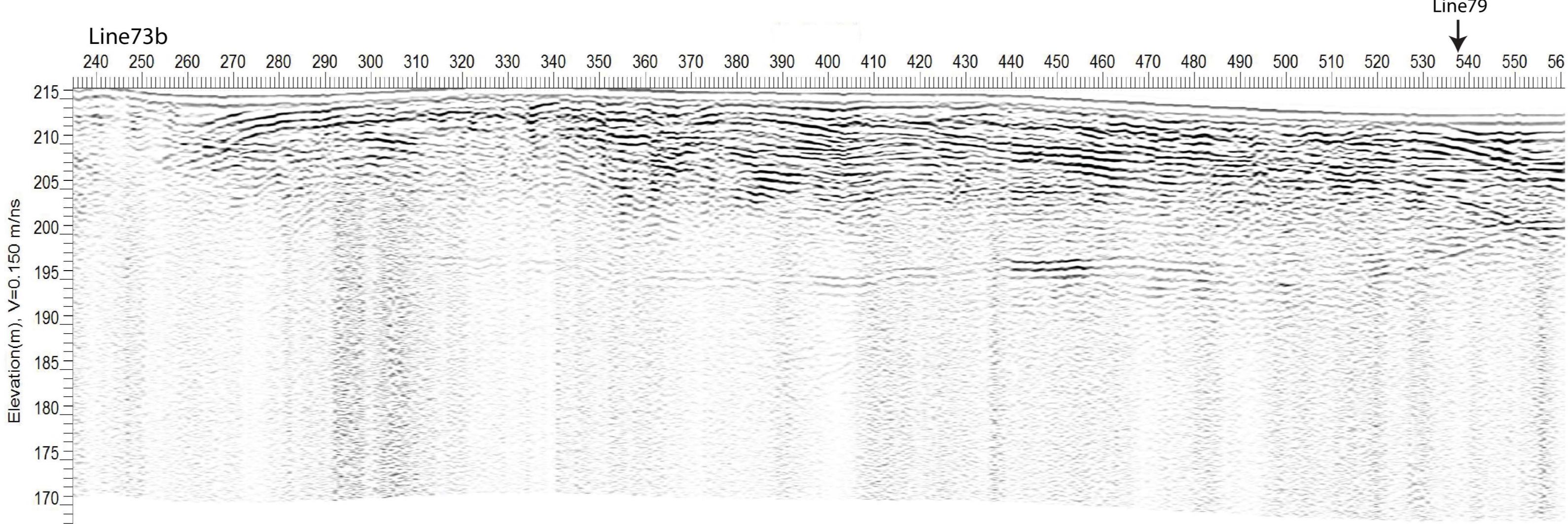
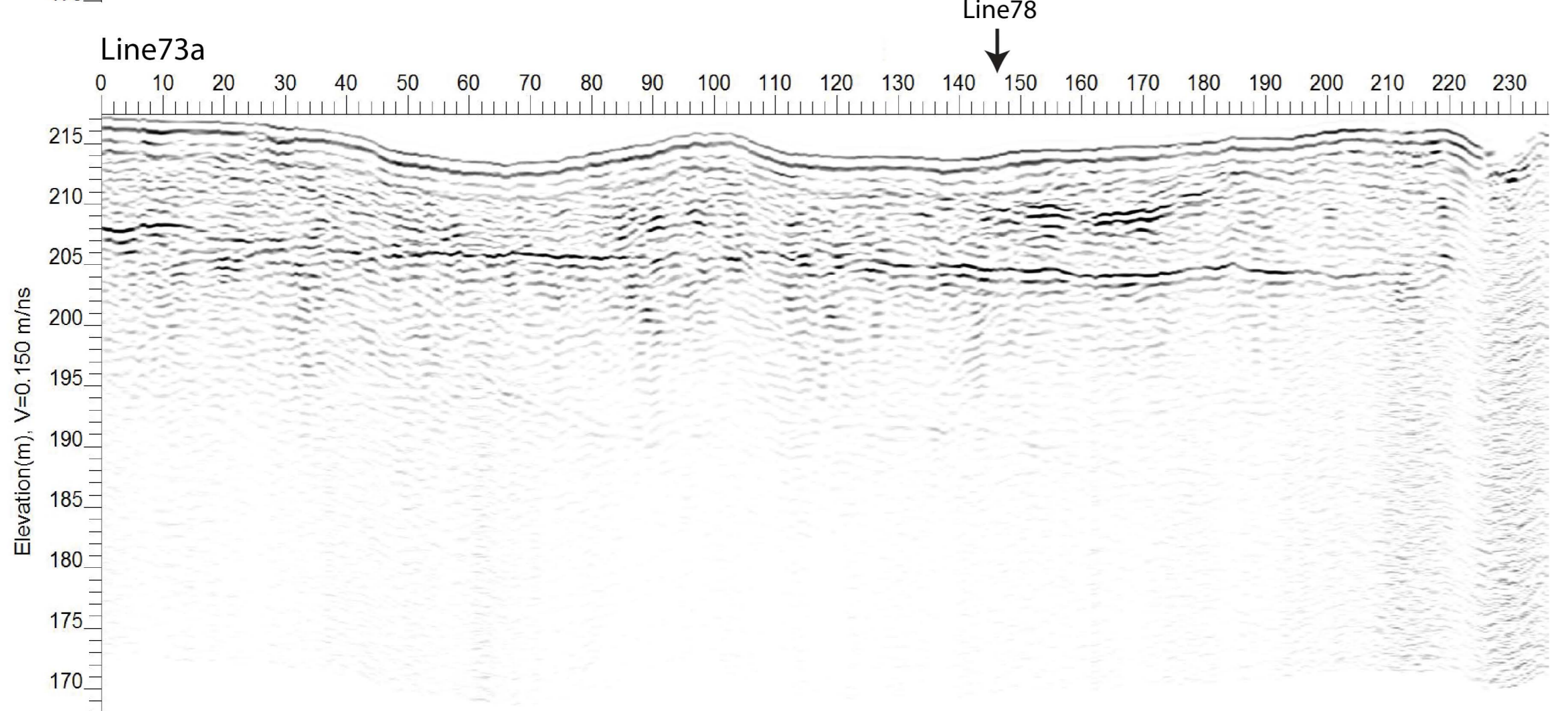
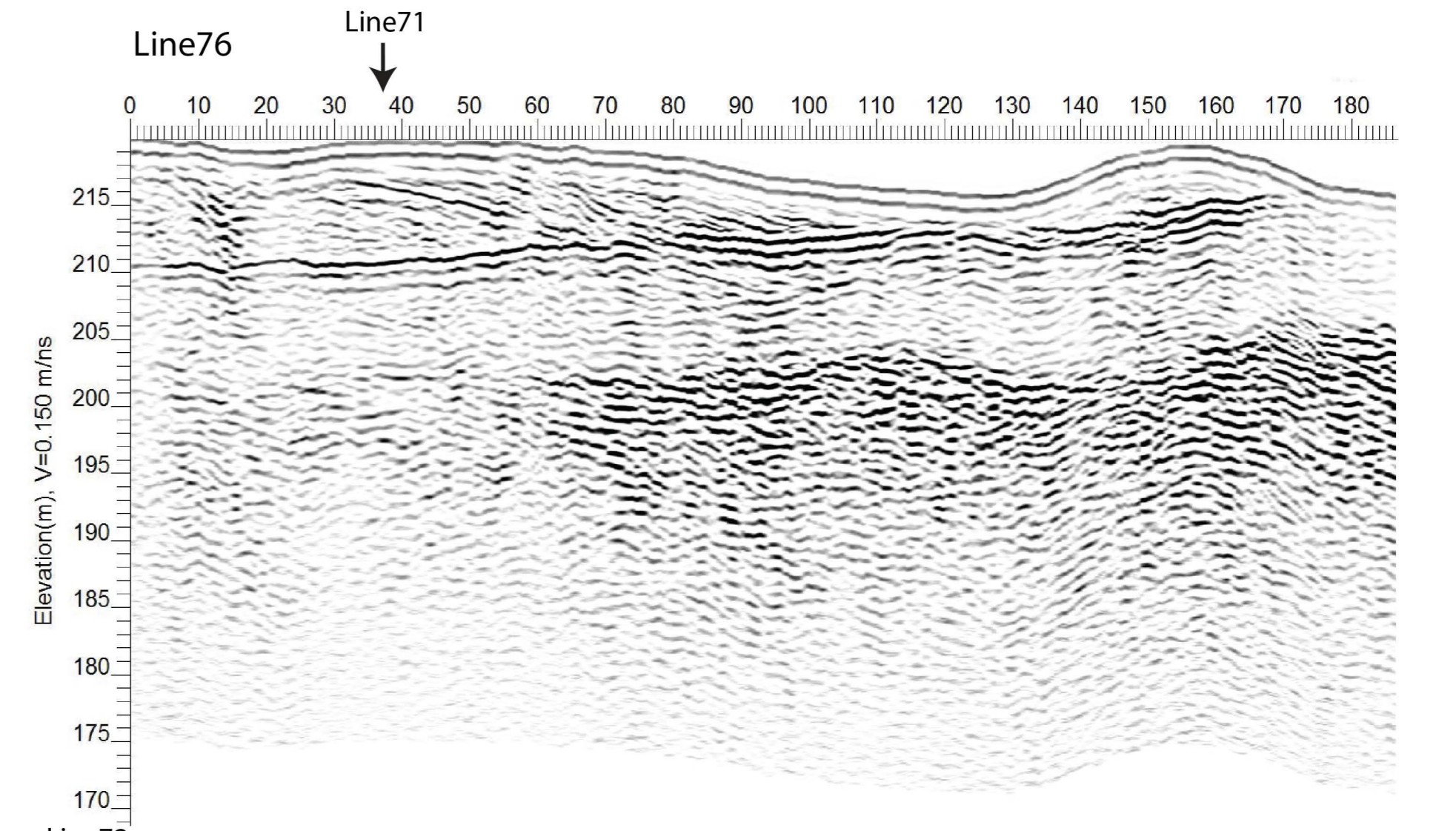
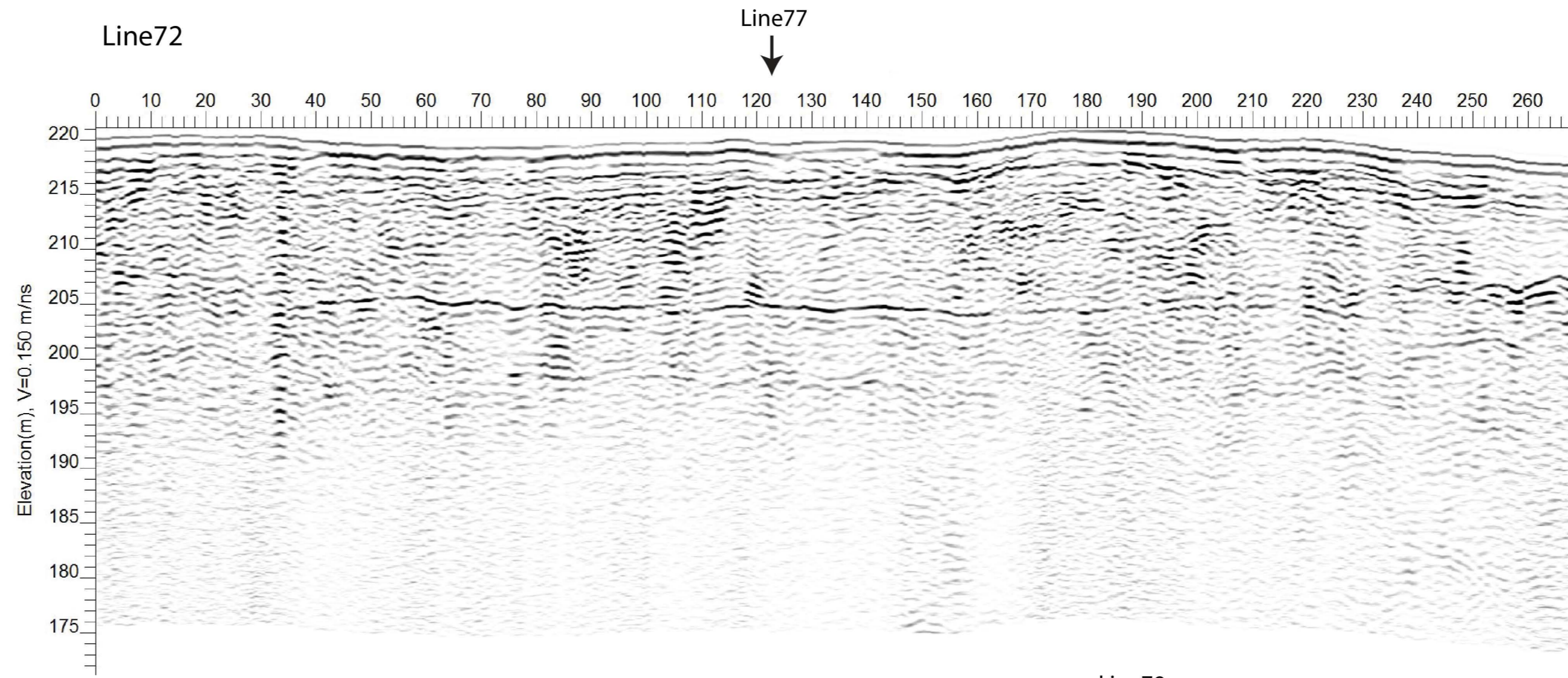
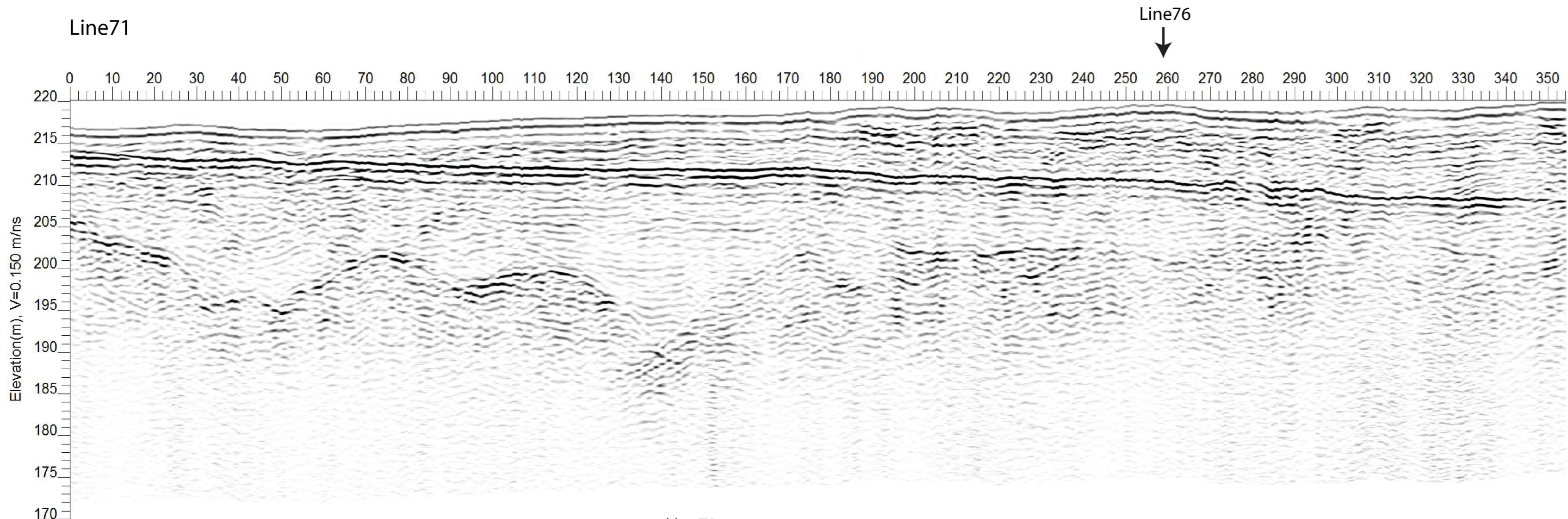
Tabell A.3: Koordinater til alle georadar-profiler ved Ydalir i WGS 84 UTM 32.

| | X | Y |
|----------------|--------|---------|
| Line 71 Start | 641034 | 6754229 |
| Line 71 Slutt | 640783 | 6753980 |
| Line 72 Start | 640782 | 6753984 |
| Line 72 Slutt | 640616 | 6753772 |
| Line 73a Start | 640548 | 6753680 |
| Line 73a Slutt | 640367 | 6753533 |
| Line 73b Start | 640367 | 6753533 |
| Line 73b Slutt | 640115 | 6753332 |
| Line 74 Start | 640096 | 6753325 |
| Line 74 Slutt | 639509 | 6752782 |
| Line 76 Start | 640828 | 6754087 |
| Line 76 Slutt | 640953 | 6753949 |
| Line 77 Start | 640803 | 6753769 |
| Line 77 Slutt | 640674 | 6753931 |
| Line 78 Start | 640462 | 6753741 |
| Line 78 Slutt | 640416 | 6753521 |
| Line 79 Start | 640144 | 6753447 |
| Line 79 Slutt | 640147 | 6753303 |
| Line 80 Start | 639820 | 6753251 |
| Line 80 Slutt | 639962 | 6753171 |

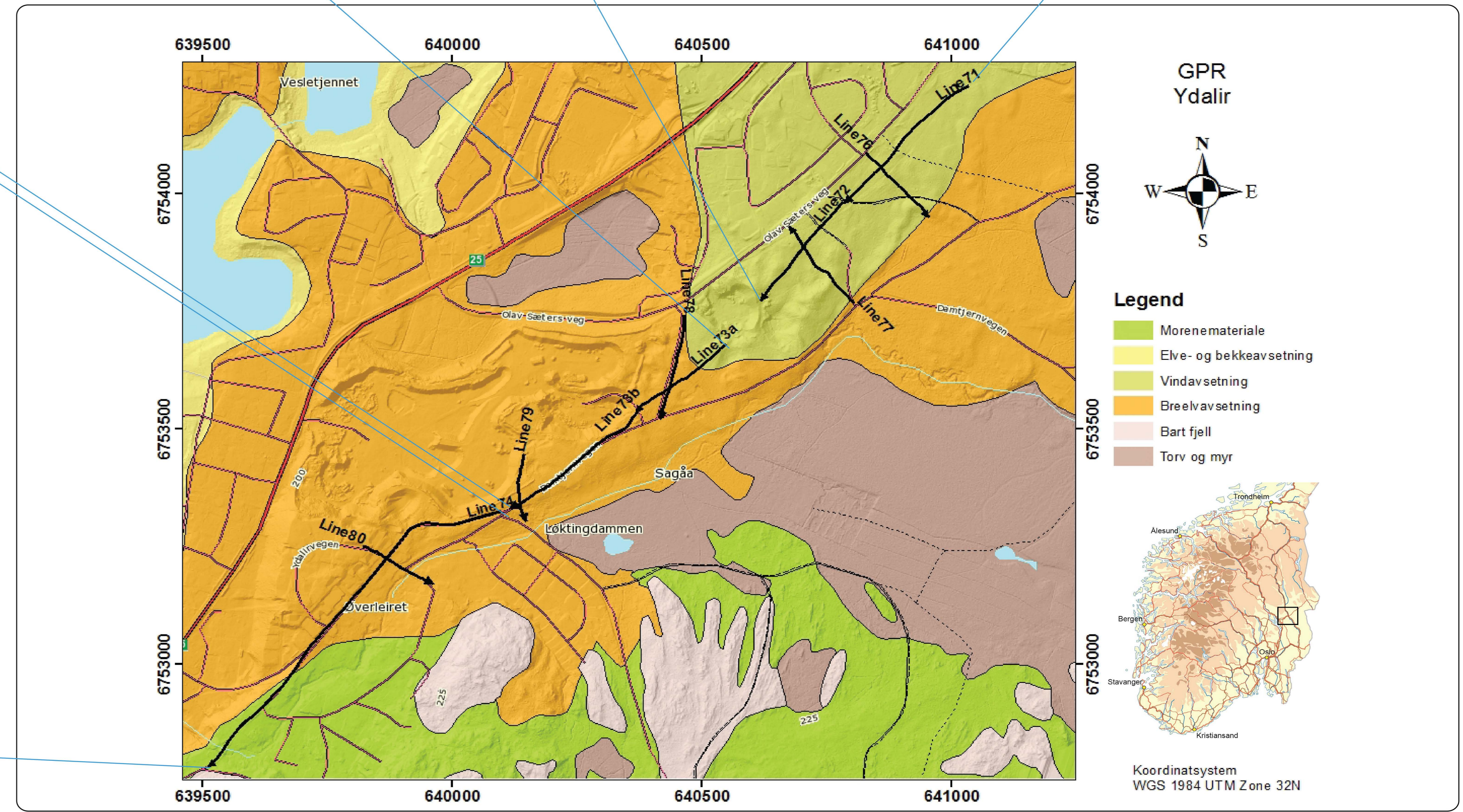
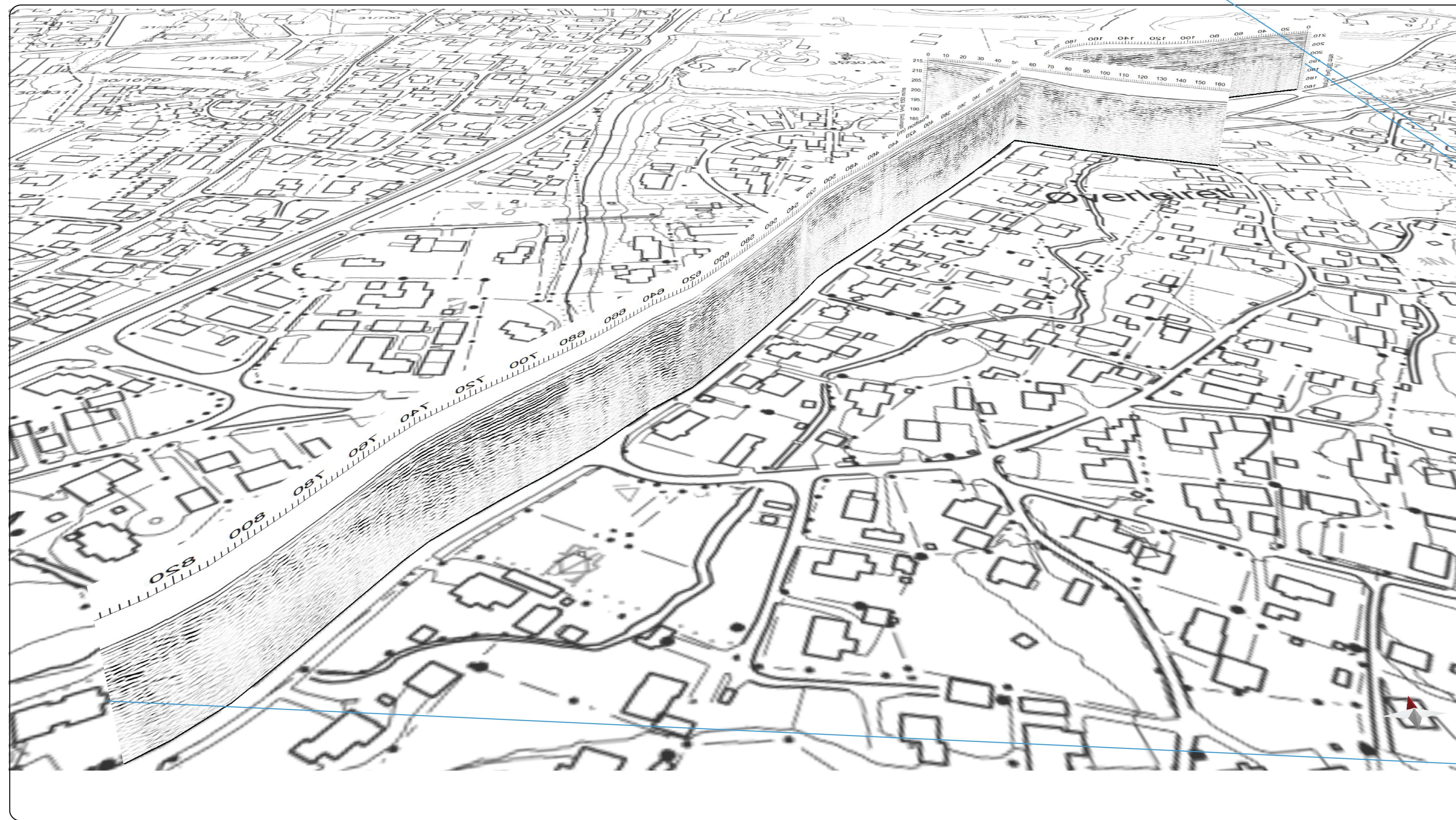
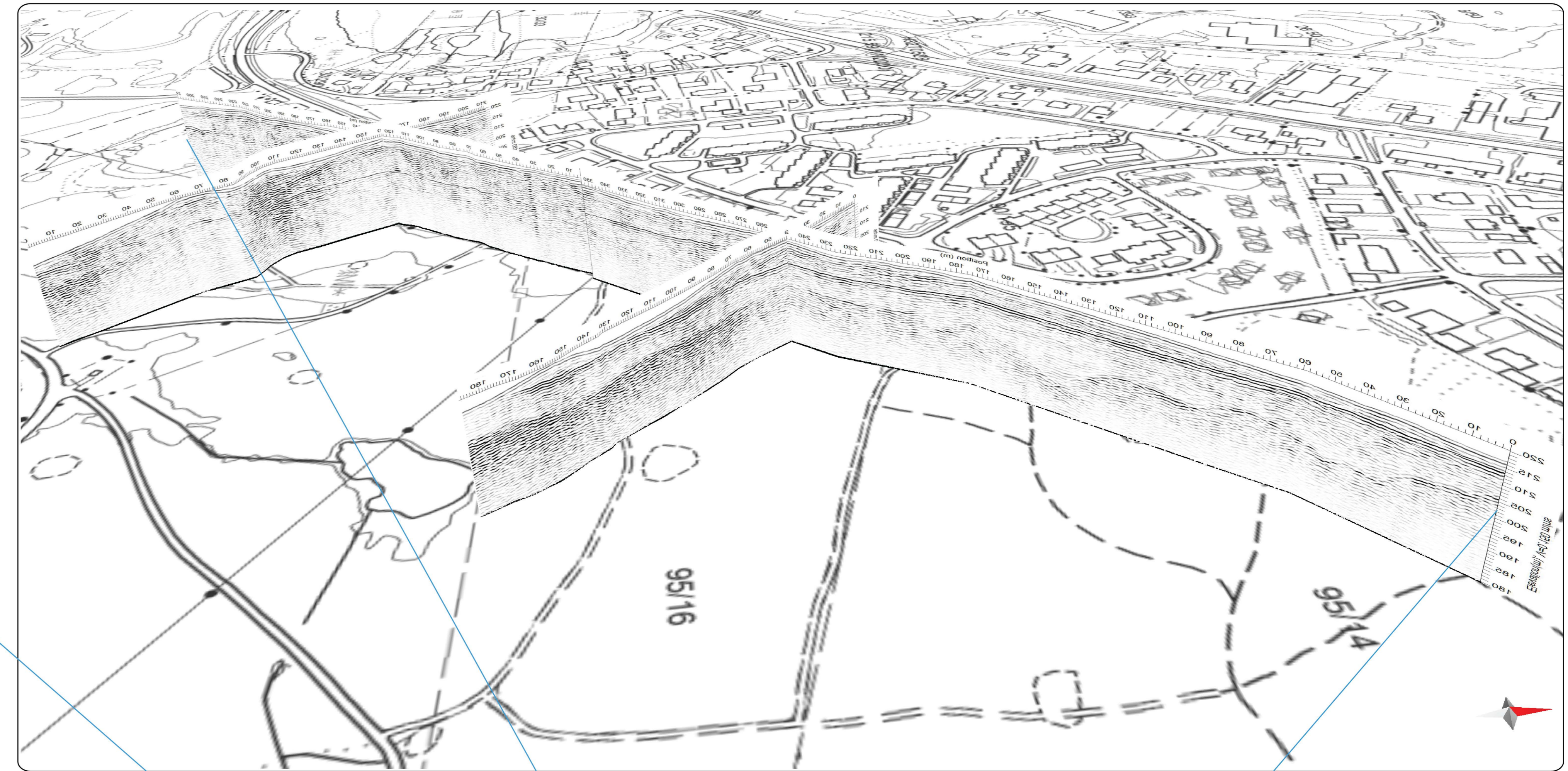
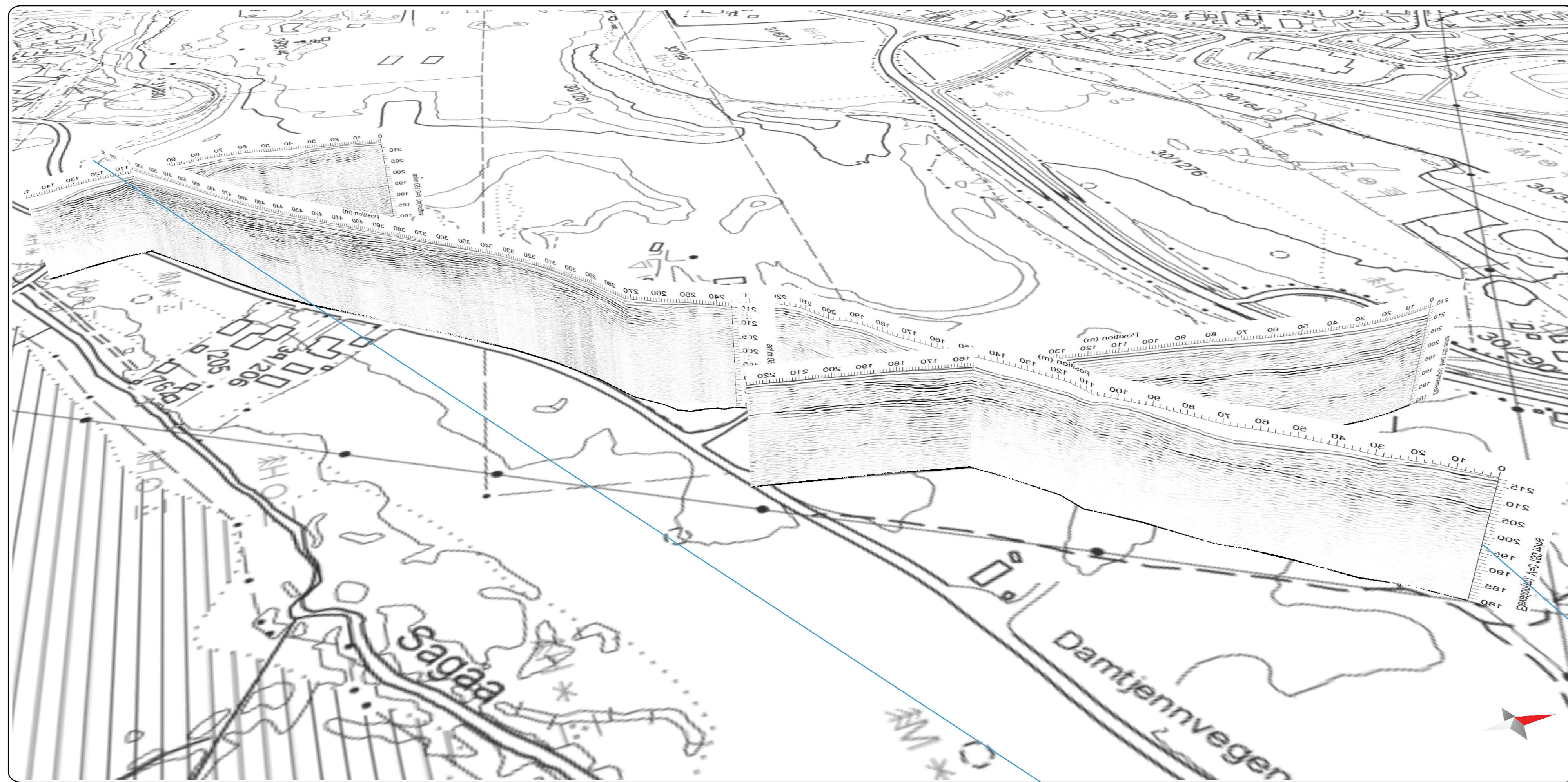
Tabell A.4: Koordinater til alle georadar-profiler ved Glomma i WGS 84 UTM 32.

| | X | Y |
|---------------|--------|---------|
| Line 81 Start | 638808 | 6754046 |
| Line 81 Slutt | 638822 | 6753702 |
| Line 88 Start | 638606 | 6753332 |
| Line 88 Slutt | 638600 | 6753247 |
| Line 89 Start | 638587 | 6753242 |
| Line 89 Slutt | 638552 | 6753031 |
| Line 91 Start | 638550 | 6752899 |
| Line 91 Slutt | 638835 | 6752479 |
| Line 93 Start | 638867 | 6752440 |
| Line 93 Slutt | 638983 | 6751111 |

A.2 GPR-profiler uten tolkning



| | | | |
|--|--|---------------|-----------------|
| GPR-profiler | | MÅLT FM | Sept 15 |
| Elverum og Ydalir | | TEGN BEL | April 16 |
| Elverum kommune, Hedmark | | TRAC | |
| | | KPR | |
| NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM | | TEGNING NR | KARTBLAD NR |
| | | 2016.020 - 01 | 2016 IV Elverum |



Pga valgt innfallsvinkel er tekst på flere av bildene speilvendt.



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
Nettside www.ngu.no