

We make the
shift happen

Grunnundersøkelser for Tønsberg transformatorstasjon



21.02.2023



PÅMINNELSE

FUNNENE I DENNE RAPPORTEN ER RESULTATET AV EN GEOFYSISK UNDERSØKELSE VED HJELP AV IKKE-INVASIVE TEKNIKKER UTFØRT PÅ OVERFLATEN. TOLKNINGER I DENNE RAPPORTEN ER HENTET FRA KUNNSKAPER OM GRUNNFORHOLD, SEKUNDÆRE DATA, NGU-KART, GEOFYSISKE DATA OG FORFATTERNES ERFARINGER. RUDEN GEO SERVICES HAR UTARBEIDET DENNE RAPPORTEN I TRÅD MED BESTE GJELDENE PRAKSIS OG MED ALL RIMELIG DYKTIGHET, OMSORG OG FLID MED TANKE PÅ UNDERSØKELSESTEKNIKKENES BEGRENSNINGER OG DE ANVENDTE RESSURSENE. DET BØR TAS HENSYN TIL TOLKNINGSGRUNNLAGET FOR KONKLUSJONENE VED EVENTUELL FREMTIDIG BRUK AV RAPPORTEN.

RUDEN AS – Mariusbakken 1, 1628 Engelsviken, NORGE

Prosjekt Tittel:

Grunnundersøkelser for Tønsberg transformatorstasjon

Bidragstere:

Mhairi Hamilton, MSc, BSc
Samuel Kebede Gelena, MSc
Bendik Nordstrøm, MSc

Kunde:

Mesta AS
Statnett

Kommune/sted:

Tønsberg

Feltarbeid Datoer:

01.02.2022 – 02.02.2023

Rapport Dato:

21.02.2022

Prosjektleder:

Bendik Nordstrøm, MSc
bendik@rudenas.com

Ruden Geo Services har på forespørsel fra Mesta utført elektrisk resistivitetstomografi over 4 profiler i Tønsberg kommune. Målet med undersøkelsen var å kartlegge dyp til berggrunn. Datainnsamlingen ble utført ved hjelp av IRIS Syscal Pro, med 72 elektroder og varierende elektrodeavstand.

Resultatene presenteres som tomografiske profiler som viser fordelingen av resistivitet (ohm-m) i undergrunnen. I tillegg er det presentert tolkningsprofiler, supplert med georefererte sonderinger levert av NIRAS til kalibrering av resistivitetsprofilene.

En Leapfrog Viewer-modell er gjort tilgjengelig for resultatvisualisering i 3D. Leapfrog Viewer er et gratis visningsprogram som kan lastes ned fra [Seequent™](#).
Alle rådata er tilgjengelige hos Ruden Geoservices på forespørsel.

Stikkord:

Geofysikk, Elektrisk resistivitetstomografi

Kategori:

Geofysikk, Kvartærgeologi

Kvalitetskontroll:

Bendik Nordstrøm, MSc

Sammendrag	5
1. Områdebeskrivelse	6
2. Områdets geologi	7
3. Feltprosedyre og undersøkelse	8
4. Prosessering.....	10
5. ERT-resultater	11
5.1. Elektrisk resistivitetstomografi (ERT)	11
5.2. Resultater	12
6. Tolkning av dyp til grunnfjell	16
6.1. Sonderinger	16
6.2. ERT.....	18
6.2.1. Profil 2	18
6.2.2. Profil 3	19
6.2.3. Profil 4	20
6.2.4. Profil 6	21
6.3. Leapfrog.....	22
7. Konklusjon	23
Vedlegg A. Prosessering, modellering og kvalitetskontroll	24
Vedlegg D. Leapfrog Modell.....	25
Vedlegg E. ERT Profiler.....	26

Sammendrag

Ruden Geo Services har på oppdrag av Mesta AS utført elektrisk resistivitetstomografi (ERT) over 4 profiler for å kartlegge dyp til grunnfjell.

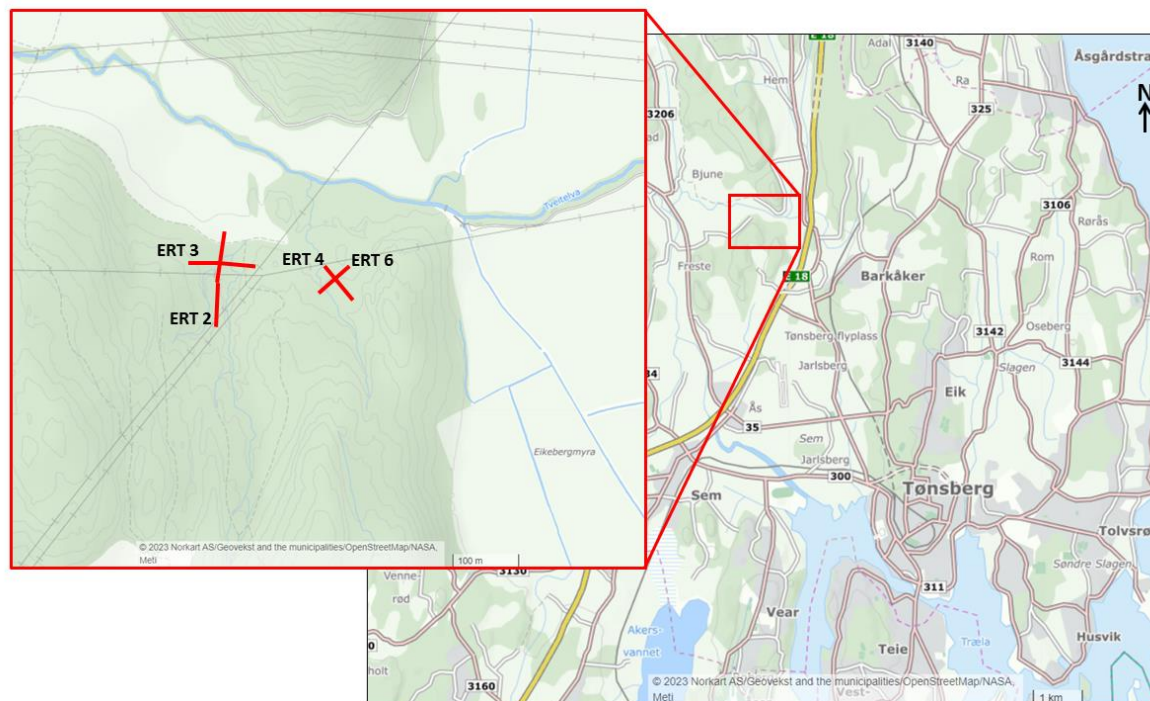
Fire ERT-profiler ble samlet inn på området over 2 dager, med feltarbeid mellom 1. og 2. Februar 2023.

En geologisk modell ble opprettet ved hjelp av ERT-data og sonderinger levert av NIRAS. Dyp til grunnfjell fra sonderinger er antatt som sant dyp og er brukt som korrelasjonspunkter i ERT-prosesseringen og 3D-modelleringen.

Løsmassene består i hovedsak av marin leire og har varierende mektighet. Grunnfjellet er Monzonitt og Monzodioritt. Grunnfjellet er tolket som lett forvitret i øverste lag og gradvis fastere med dyp. Konturer for 900-1200 ohm-m er tolket som toppen av grunnfjellet og dette korrelerer fint med sonderingsdata.

1. Områdebeskrivelse

ERT-undersøkelsene fant sted i Tønsberg kommune, ca. 7 km nord-øst for Tønsberg by. Undersøkelsen dekker et område kalt «alternativ 3», som er til vurdering av Statnett for bygging av ny transformatorstasjon. Figur 1 viser feltplassering med ERT-profiler og tabell 1 oppsummerer profilenes lengde og endekoordinater.



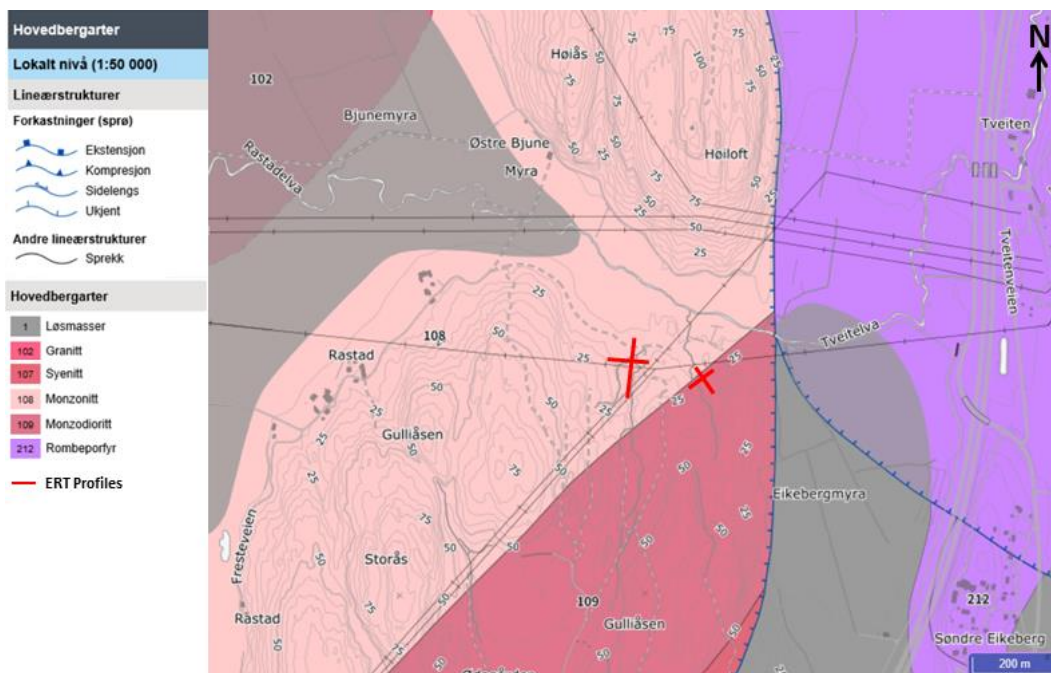
Figur 1: Kart over feltplassering og geofysiske profiler.

Tabell 1: Oppsummering av geofysiske profiler. Koordinater er i referansesystem EPSG:32632 - WGS 84 UTM zone 32N.

	Orientering	Lengde (m)	Start X	Start Y	Slutt X	Slutt Y
2	E-W	106	577677.900	6577226.805	577576.290	6577231.683
3	N-S	144	577626.895	6577277.804	577620.799	6577137.795
4	NW-SE	71	577825.351	6577236.624	577774.913	6577188.669
6	NE-SW	71	577783.460	6577230.023	577827.336	6577171.416

2. Områdets geologi

Prosjektområdet er underlagt grunnfjell av Monzonitt og Monzodioritt (Figur 2). Området mellom overflate og grunnfjell (løsmasser) inneholder diverse marine avsetninger (Figur 3). De marine avsetningene inneholder for det meste finkornede silt og leire og har en varierende tykkelse i prosjektområdet.



Figur 2: Regionalgeologisk kart med prosjektområdet identifisert med svart boks. Hentet fra https://geo.ngu.no/kart/arealis_mobil/.



Figur 3: Geologisk kart som viser løsmasser, hvor ERT linjer er røde linjer. Hentet fra https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/.

3. Feltprosedyre og undersøkelse

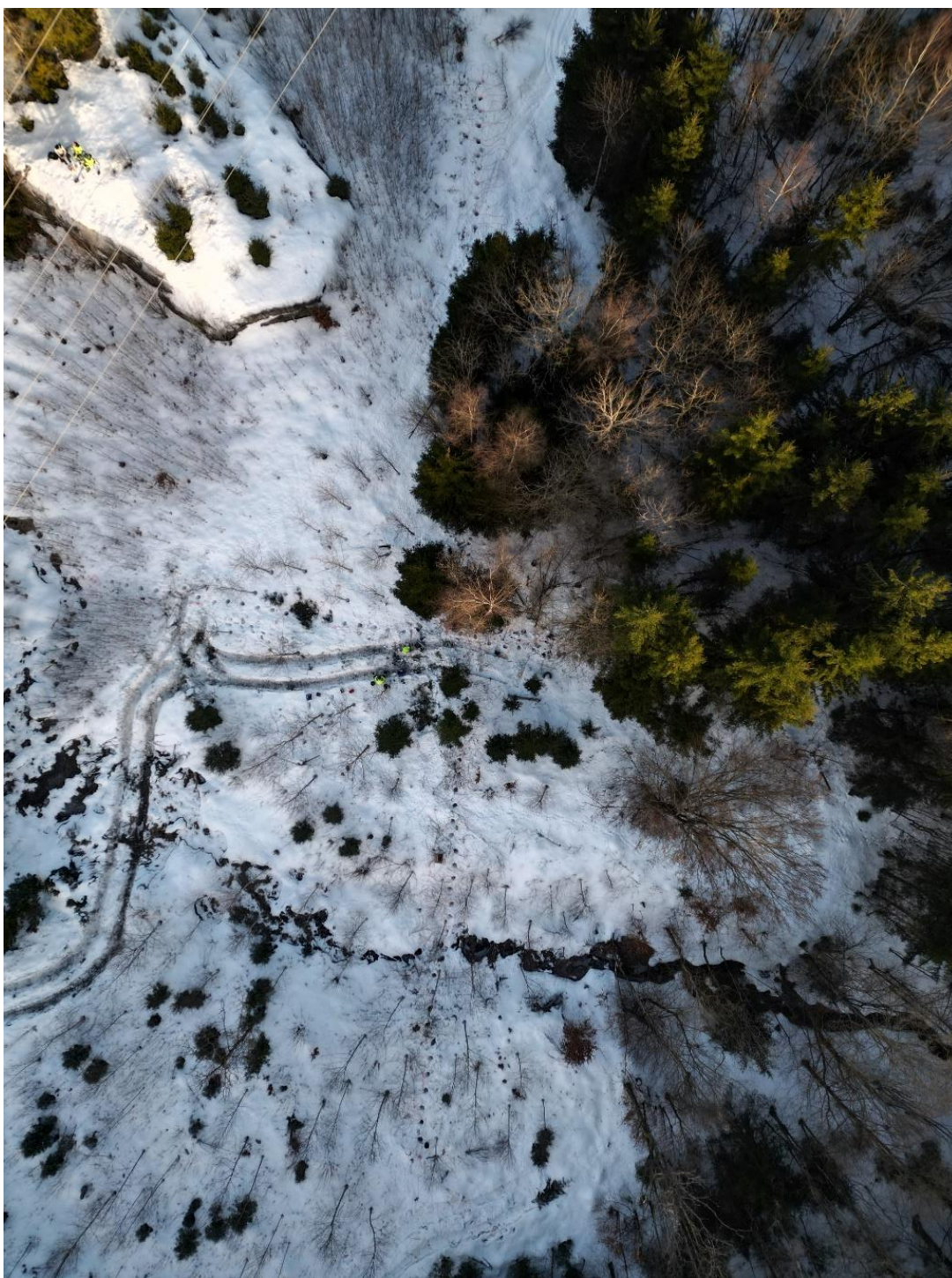
Et team på 4 personer utførte feltarbeid med resistivitetsmålinger fra onsdag 1. februar til torsdag 2. februar. Utstyret bestod av en 10-kanals/72 elektroders Syscal Pro fra IRIS Instruments, samt tilhørende elektroder og kabler. Siden prosjektområdet var dekket av snø ble det gravet hull for hver elektrode for å oppnå god kontakt med bakken (Figur 5). Saltvann ble så tilført rundt alle elektroder for å bedre kontakten ytterligere. Elektrodeavstanden var 1,5 m på profil 2, 2 m på profil 3, og 1 meter på profil 4 og 6 (Tabell 2). Alle elektrodeposisjoner ble målt inn med RTK for koordinater som brukes i prosessering og 3D modellering.

Tabell 2: Lengde og elektrodeavstand for hvert profil.

Profil	Lengde (m)	Elektrodeavstand (m)
2	106	1.5
3	144	2
4	71	1
6	71	1



Figur 4: Venstre: Bilde som viser ERT-kabel lagt gjennom skogsområdet. Høyre: Nærbildet som viser hullene som ble gravet for hver elektrode for å oppnå god nok kobling til bakken.



Figur 6: Dronefoto fra prosjektområdet. Her kan man se linje 4 (horisontal) og 6 (vertikal) med elektrodehull i snøen.

4. Prosessering

Rådata fra Syscal Pro lagres ved hjelp av Prosys-3 programvare, og konverteres deretter til en .dat fil for behandling ved hjelp av Res2DInv.

ERT-dataene bearbeides ved hjelp av iterativ inversjonsmodellering. Dette innebærer en automatisert oppdateringsalgoritme som minimerer forskjellen mellom de observerte dataene og et beregnet datasett basert på gjeldende grunnmodell.

Etter at den første inversjonen er utført inspiseres dataene for RMS-feil (Root Mean Square) mellom de målte og beregnede pseudoseksjonene. Utliggere fjernes manuelt før RMS-feilstatistikk og invertering utføres igjen. Data presenteres til slutt som en 2D-modell av den elektriske resistivitetsfordelingen under profilet.

5. ERT-resultater

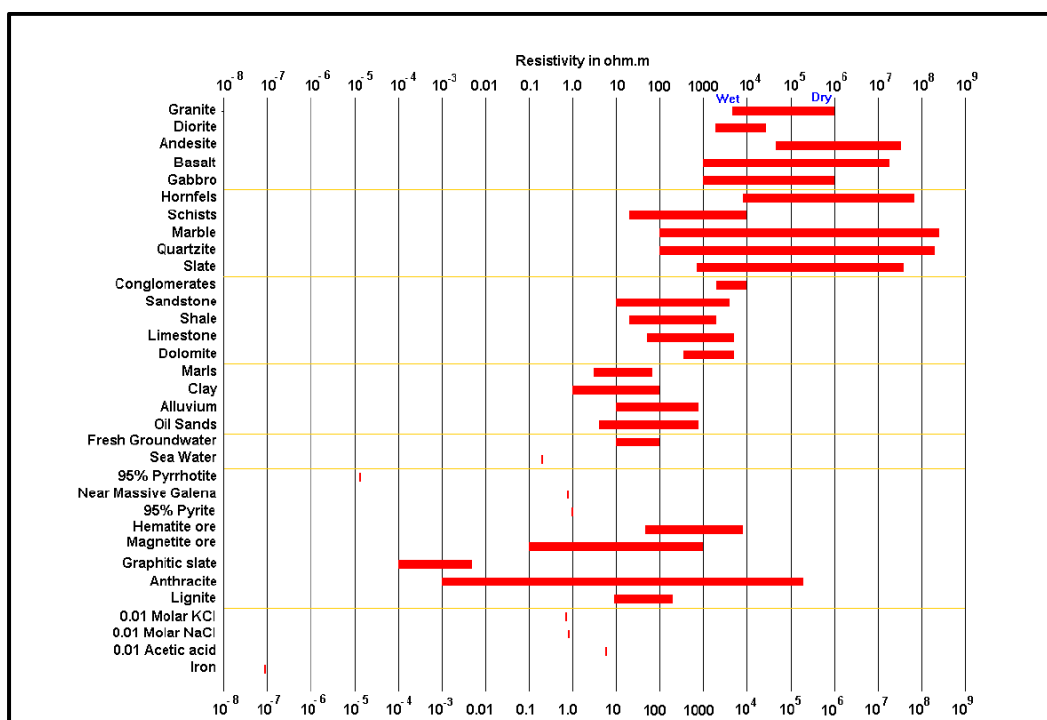
5.1. Elektrisk resistivitetstomografi (ERT)

Formålet med en ERT-undersøkelse er å bestemme fordelingen av resistivitet i undergrunnen via en serie elektriske målinger langs bakken. I ERT-målinger anvendes en kvadripol bestående av 4 elektroder, hvor det ledes strøm i det ene paret og potensialet måles i det andre elektrodeparet. I praksis programmeres instrumentet til å benytte ett elektrodepar til strømelektroder hvor potensialet måles i 10 forskjellige elektrodepar samtidig (10 kanaler). Dette gjentas ca. hvert sekund.

Ved å bruke et oppsett med 72 elektroder langs et enkelt profil og kombinere et stort antall målinger med ulike elektrode-geometrier som skisserert ovenfor kan det etableres en *tilsynelatende 2D-resistivitetsfordeling* i undergrunnen. Grunnens sanne resistivitet beregnes ut fra dette ved hjelp av en *finite difference* inversjonsprosedyre ved hjelp av RES2DINV programvare.

Ulike geologiske formasjoner har ofte (men ikke alltid) forskjellige og kjente geoelektriske karakteristikker og en tolkning kan foretas på bakgrunn av dette. Enheten er ohm-meter (Ωm).

Resistiviteten i grunnen er relatert til ulike geologiske parametere, som mineral- og vanninnhold og porøsitet. En oversikt over resistivitetsområdene for ulike bergarter, jord og sand er gitt i Figur 7.



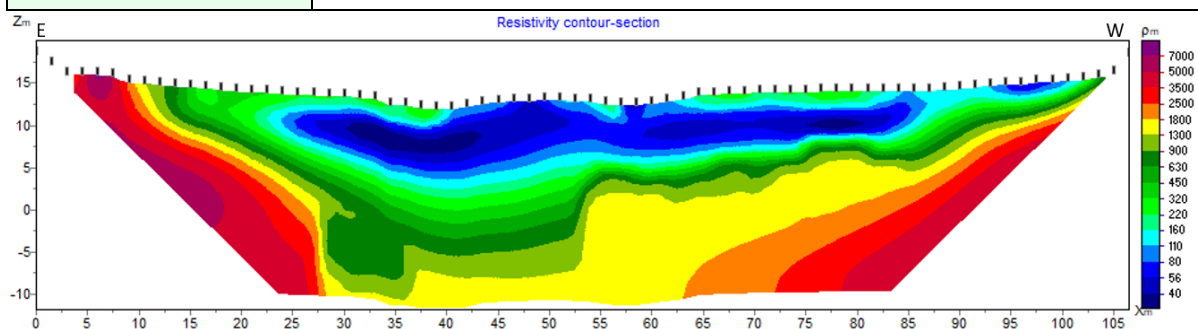
Figur 7: Resistivitet for ulike berg- og jordarter. (fra Loke M., 2004 *Opplæring: 2-D og 3-D elektriske undersøkelser*).

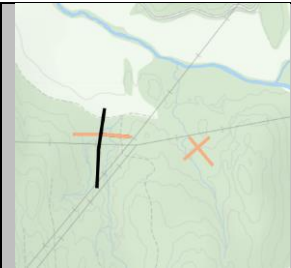
5.2. Resultater

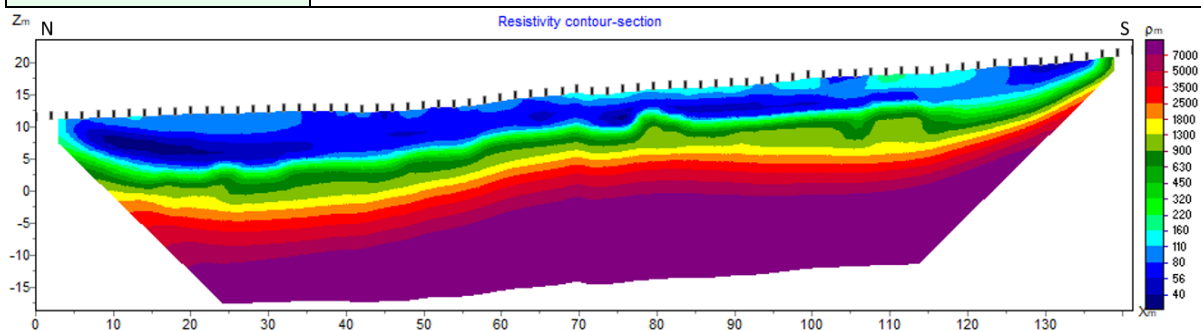
I dette kapittelet presenteres resultatene for den geofysiske undersøkelsen.

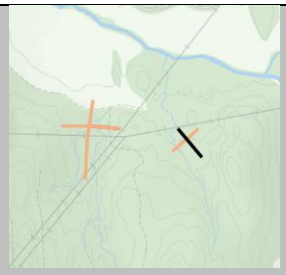
Visualiseringen av resultatene er også tilrettelagt ved hjelp av 3D-modelleringsverktøyet Leapfrog fra Seequent. Det oppfordres til å laste ned [Leapfrog Viewer](#) (gratis). 3D modellen gir et godt overblikk over informasjonen fra resistivitetsundersøkelsene og sonderingsinformasjon, samt en digital høydemodell. Modellen er et nyttig verktøy i avgjørelser rundt infrastruktur og planlegging. Modellen kan eksporteres i de fleste formater, for eksempel .dwg.

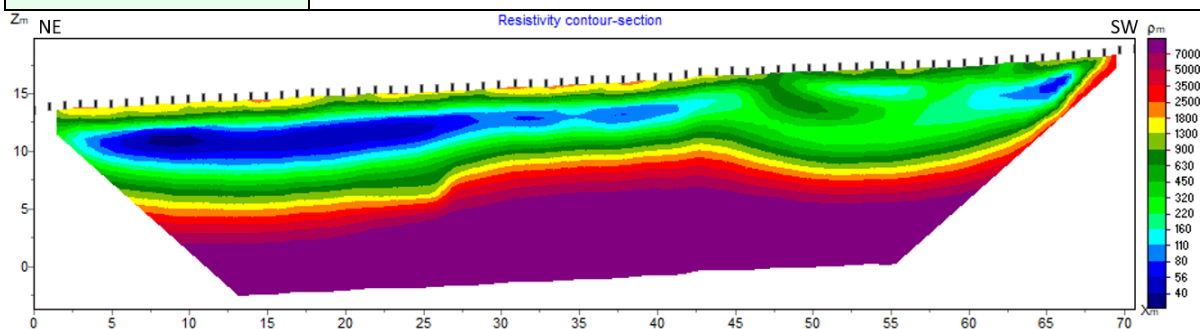
	Profil 2
Datoer for feltarbeid	01.02.2023
Geofysisk metode	ERT med elektrodeavstand på 1,5 m. 72 elektroder i ett utlegg. Schlumberger elektrodekonfigurasjon.
Kommentarer	RMS: 2.9% Dipole-dipole elektrodekonfigurasjon ble testet for å sammenligne resultater. Profilet er avgrenset av fjell i dagen i Øst. Grunnfjell tolkes som rundt 900-1300 ohm-m – dog oppsprukket i toppen og fastere med dyp.

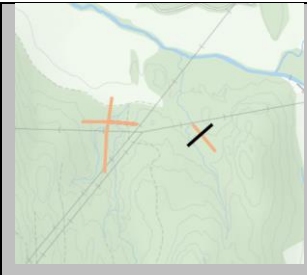


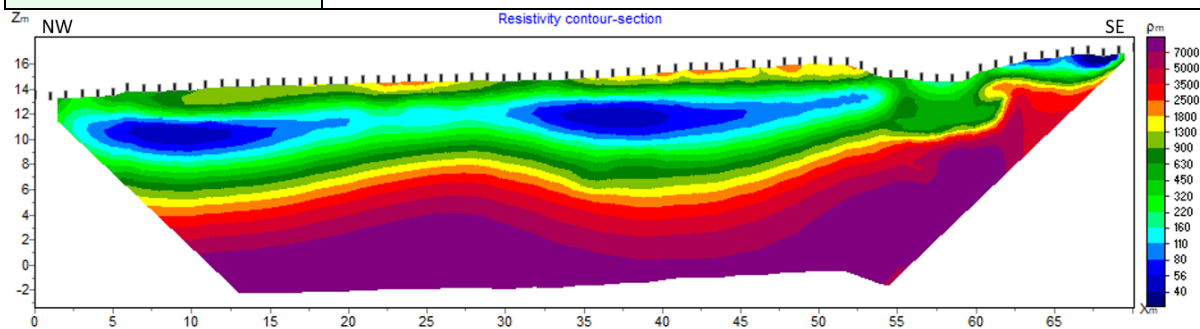
	Profil 3
Datoer for feltarbeid	01.02.2023
Geofysisk metode	ERT med elektrodeavstand på 2 m. 72 elektroder i ett utlegg. Schlumberger elektrodekonfigurasjon.
Kommentarer	RMS: 4.4% ERT profil 2 og sonderinger 103, 311 og 309 er lagt inn ved inversjon for å korrelere modellen og bedre kvaliteten. Profil 3 følger elven fra nord før den beveger seg opp på skogsvei. Grunnfjell tolket til 900-1200 ohm-m.



	Profil 4
Datoer for feltarbeid	02.02.2023
Geofysisk metode	ERT med elektrodeavstand på 1 m. 72 elektroder i ett utlegg. Schlumberger elektrodekonfigurasjon.
Kommentarer	RMS: 4.7 % ERT profil 6 og sondering 351 er lagt inn ved inversjon for å korrelere modellen og bedre kvaliteten. Sondering 351 ligger i krysset mellom ERT profil 4 og 6 (24 m langs dette profilet).



	Profil 6
Datoer for feltarbeid	02.02.2023
Geofysisk metode	ERT med elektrodeavstand på 1 m. 72 elektroder i ett utlegg. Schlumberger elektrodekonfigurasjon.
Kommentarer	RMS: 8% ERT profil 6 og sondering 351 er lagt inn ved inversjon for å korrelere modellen og bedre kvaliteten. Den sør-østlige delen av profilet krysser en elv.



6. Tolkning av dyp til grunnfjell

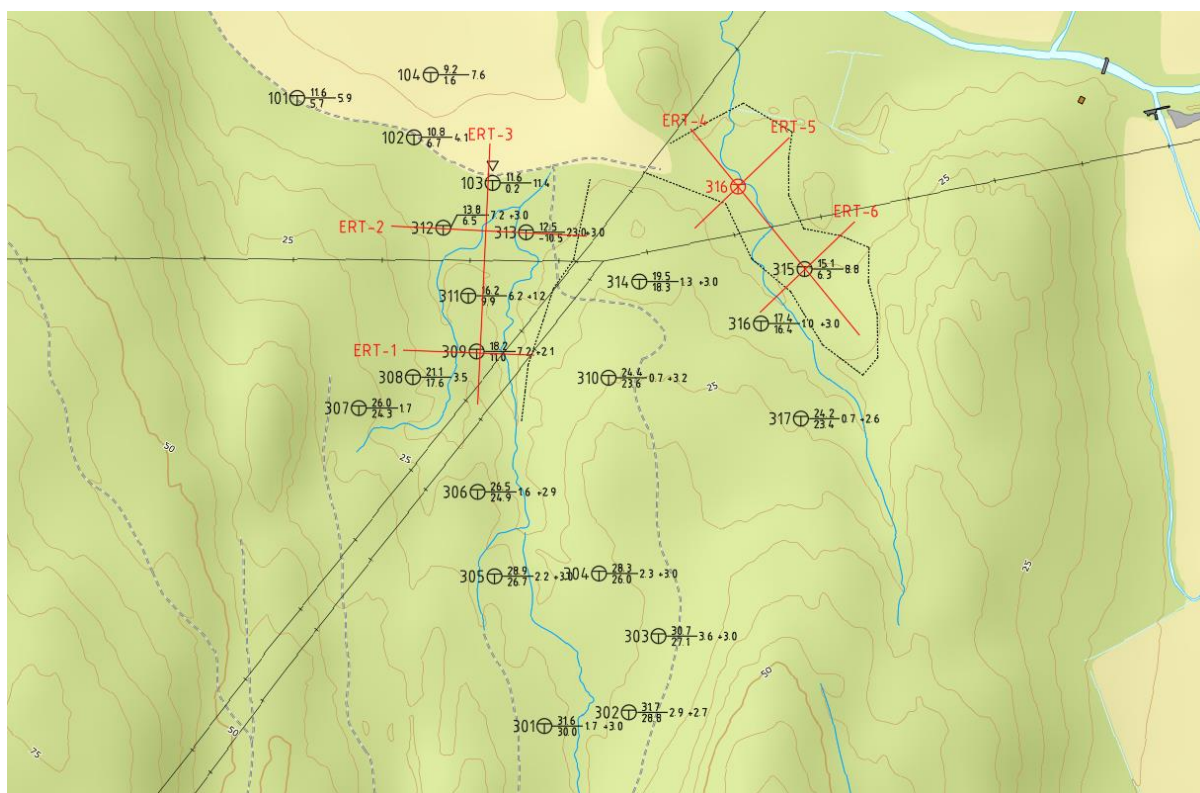
Dyp til grunnfjell i området har blitt kartlagt på bakgrunn av sonderingsdata og ERT-profiler. Sonderingsdata er ansett som sann verdi og har blitt brukt som korrelasjonspunkter i prosesseringen av ERT-profilene.

6.1. Sonderinger

NIRAS foretok sonderingboring i prosjektområdet i januar og februar 2023 (Tabell 3 og Figur 9). Resultater fra sonderingene er blitt brukt i prosessering av ERT data som sanne verdier på fast grunnfjell. Sonderingene er også lagt inn i 3D modellen for å skape et helhetlig bilde over dyp til grunnfjell.

Tabell 3: Oversikt over sonderinger utført av NIRAS.

ID	X	Y	Z	Berggrunn Z	Berggrunn dyp	Boret i berggrunn	Borehull maks. dyp
BH101	577522.4	6577304	11.6	5.7	5.9	0	5.9
BH102	577585.9	6577283	10.8	6.7	4.1	0	4.1
BH103	577628.7	6577258	11.6	0.2	11.4	0	11.4
BH104	577595	6577317	9.2	1.6	7.6	0	7.6
BH301	577656.9	6576963	31.6	30	1.7	3	4.7
BH302	577702.8	6576970	31.7	28.8	2.9	2.7	5.6
BH303	577719	6577012	30.7	27.1	3.6	3	6.6
BH304	577686.6	6577046	28.3	26	2.3	3	5.3
BH305	577629.7	6577044	28.9	26.7	2.2	3	5.2
BH306	577620.5	6577090	26.5	24.9	1.6	2.9	4.5
BH307	577555.9	6577136	26	24.3	1.7	0	1.7
BH308	577585.3	6577153	21.1	17.6	3.5	0	3.5
BH309	577620	6577167	18.2	11	7.2	2.1	9.3
BH310	577691.8	6577152	24.4	23.6	0.7	3.2	3.9
BH311	577615.5	6577197	16.2	9.9	6.2	1.2	7.4
BH312	577601.9	6577234	13.8	6.5	7.2	3	10.2
BH313	577646.9	6577231	12.5	-10.5	23	3	26
BH314	577708.5	6577205	19.5	18.3	1.3	3	4.3
BH315	577798.4	6577211	15.1	6.3	8.8	0	8.8
BH316	577774.7	6577182	17.4	16.4	1	3	4
BH317	577796.5	6577130	24.2	23.4	0.7	2.6	3.3

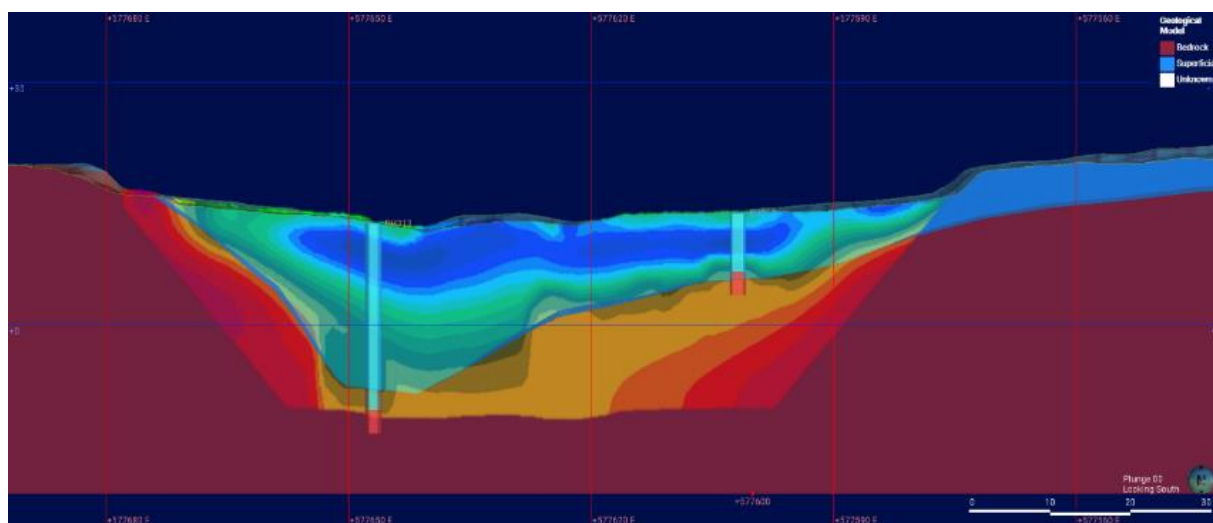


Figur 8: Kart over sonderinger og ERT-profiler.

6.2. ERT

6.2.1. Profil 2

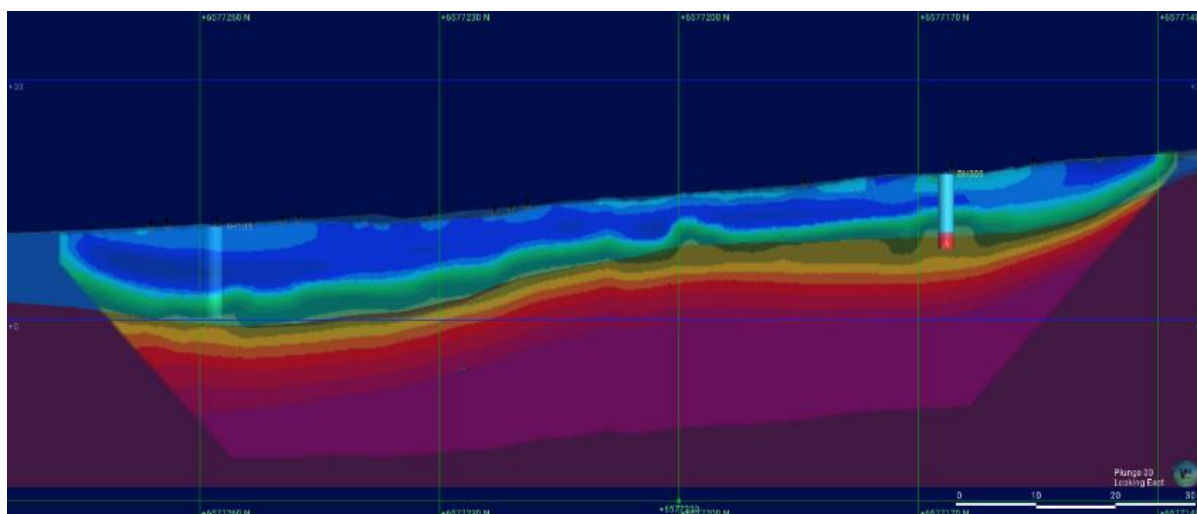
ERT-profil 2 krysser en dal fylt med løsmasser fra øst, der grunnfjell er i dagen, til vest, der grunnfjell igjen er i dagen. Grunnfjellet faller bratt fra østsiden, ned til 25m under overflaten på det dypeste, og stiger så mer gradvis mot vest. Figur 10 viser et utsnitt fra 3D-modellen hvor sonderinger vises foran ERT-profilet.



Figur 9: ERT-profil 2 og sonderinger 313 og 312. Grunnfjell er markert i rødt.

6.2.2. Profil 3

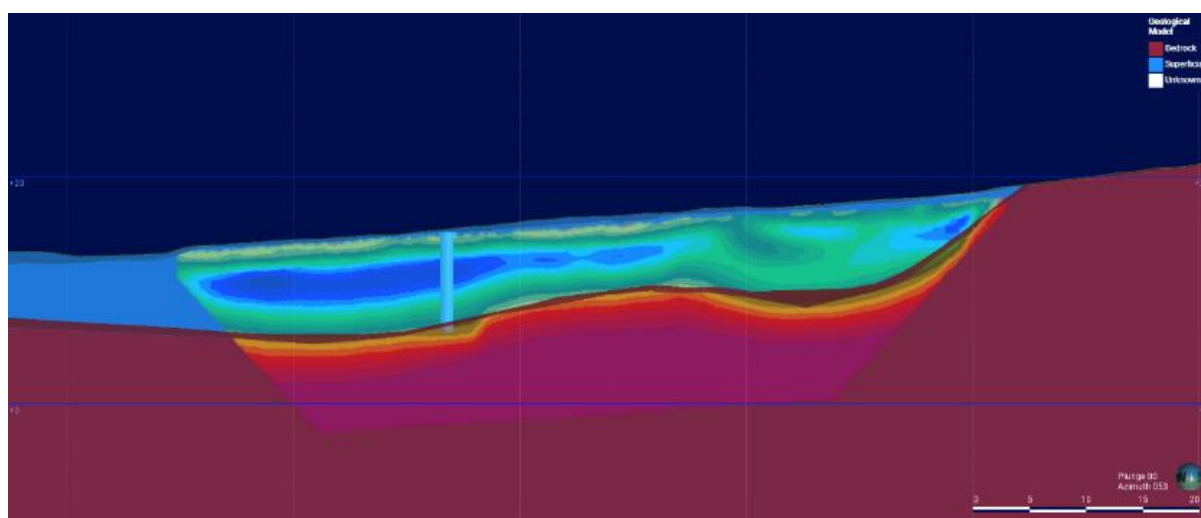
ERT profil 3 viser en jevn økning i resistivitet med dyp. Den geologiske lagdelingen følger topografien i profilet og faller mot nord. Det øverste laget har lav resistivitet (hovedsakelig 40-110 ohm-m) og varierer fra 10m mektighet i nord til rundt 4 m mektighet i sør. Dette er tolket til marin leire. Dette laget er avgrenset av konturene på 900 ohm-m, som følger topografien og representerer oppsprukket grunnfjell. Grunnet noe lavere resistivitet enn hva som er forventet er det tolket som en oppsprukket sone, hvor de stadig økende resistivetsverdiene fra 900 ohm-m og opp representerer overgangen til fast grunnfjell.



Figur 10: Overgangen fra løsmasser til grunnfjell følger topografien.

6.2.3. Profil 4

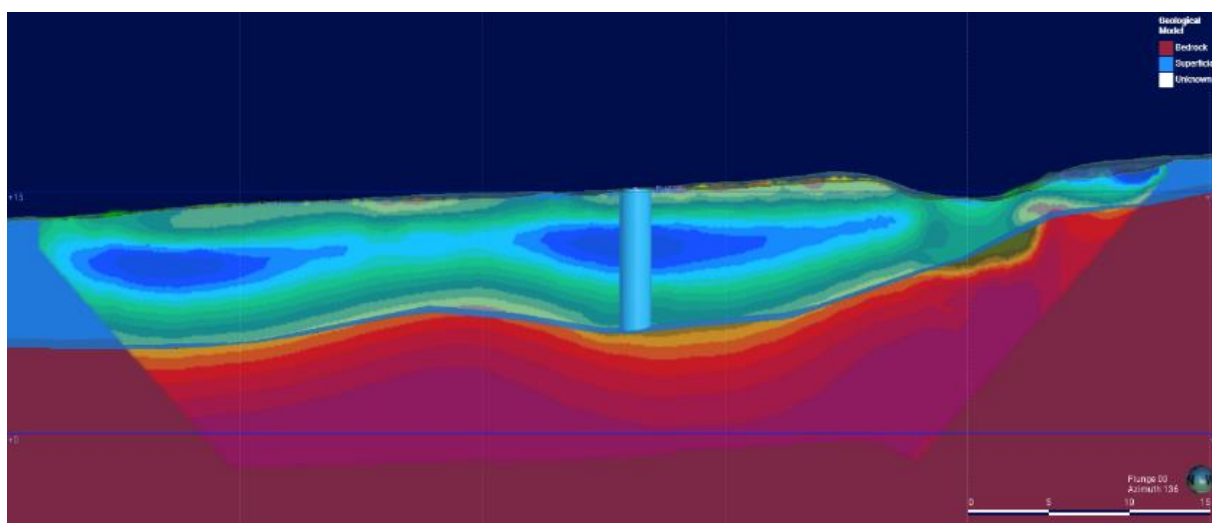
ERT-profil 4 viser et lag på rundt 2 m mektighet som følger overflaten av profilet fra nord til øst og termineres rundt 45 m langs profilet. Den høye resistiviteten i dette laget skyldes trolig frossen grunn. Under dette er det et krapt skifte til lav resistivitet på rundt 40-120 ohm-m. Dette laget er markant i nord-øst og avtar gradvis mot sør-vest. Dette laget er tolket som marine leire. Under dette øker resistiviteten gradvis med tettere konturer rundt 900-1300 ohm-m, som representerer grunnfjell. Den bratte stigningen i slutten av profilet mot sør-vest skyldes trolig en inverteringserror som følge av bratt grunnfjell og frossen grunn.



Figur 11: Profil-utsnitt fra 3D-modellen med grunnfjell markert rødt.

6.2.4. Profil 6

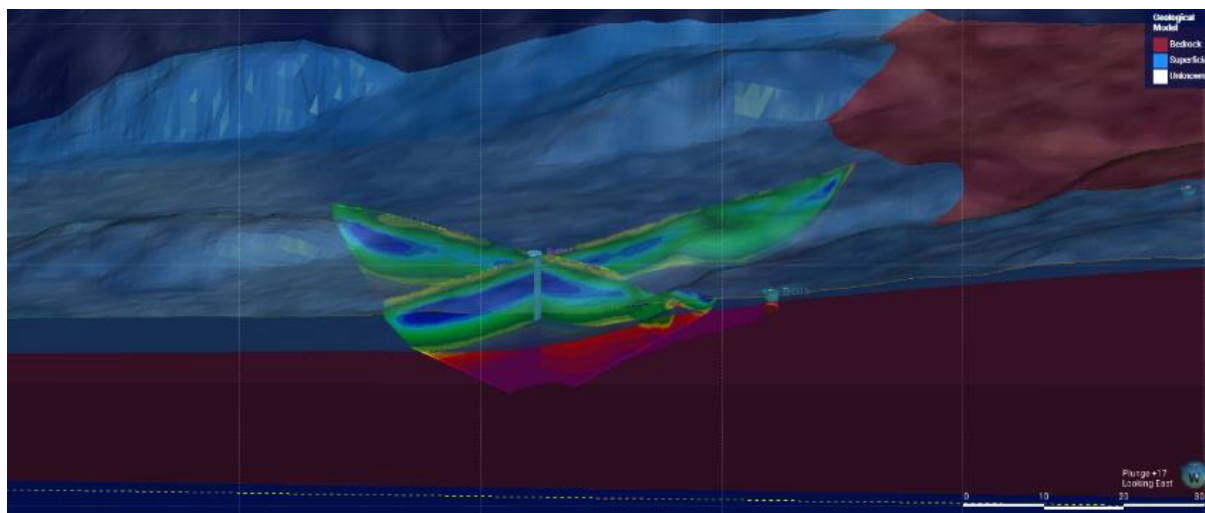
ERT-profil 6 viser områder som på grunn av frossen grunn har høy resistivitet (1300-1800 ohm-m) rett under overflaten. Under dette er det to områder med lav resistivitet (40-160 ohm-m) – ett i nord-vest og ett i midten av profilet, hvor sondering 315 krysser profilet. Disse områdene representerer leireavsetninger. Under leira blir konturene tettere og resistiviteten øker. Dette er tolket som grunnfjell (900-1200 ohm-m). Profilet krysser en elv i sør-øst, som kan sees som en nedbøyning av konturlinjene.



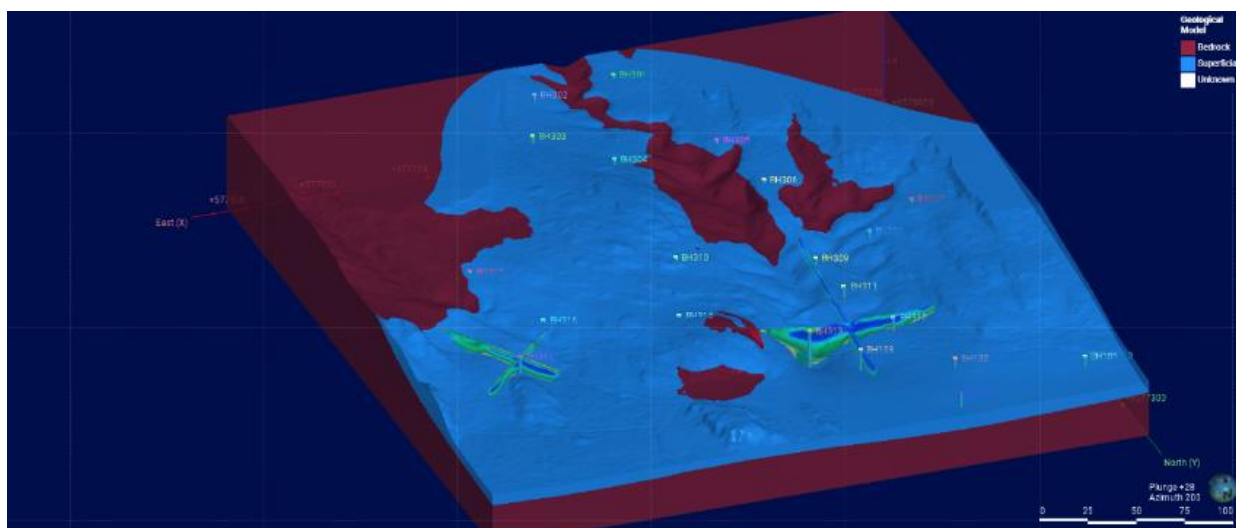
Figur 12: Profilet viser leireavsetinger konsentrert ved blålig farge. Grunnfjell er markert rødt i modellen.

6.3. Leapfrog

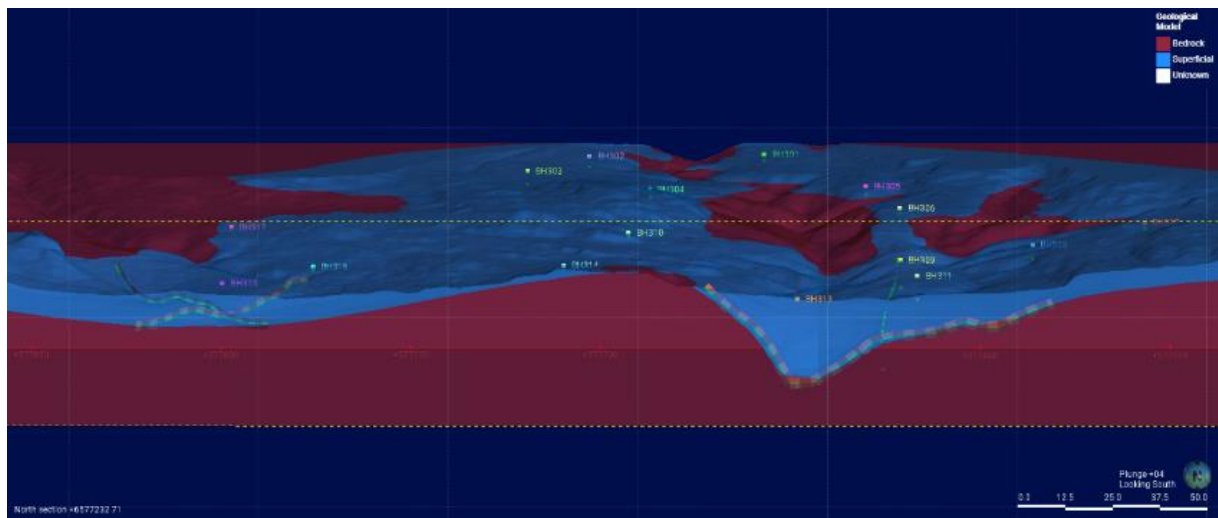
ERT-profiler og sonderingsdata fra NIRAS er lagt inn i en Leapfrog 3D-modell. Topografi er hentet fra hoydedata.no. Tolkning av grunnfjell ble utført på grunnlag av ERT-målinger og sonderinger. Figur 13 til 15 viser utsnitt fra modellen. Det anbefales å laste ned Leapfrog Viewer, der man kan bevege seg rundt i modellen og visualisere området fra ønsket vinkel.



Figur 13: Utsnitt fra 3D modellen av ERT-profil 4 og 6. Løsmasser er farget blått og grunnfjell rødt.



Figur 14: Modellen sett ovenfra. Det røde laget er fjell.



Figur 15: Modell visualisert fra nord mot sør. Utsnittet ligger ved ERT-profil 2, som viser dalen fylt med løsmasser og grunnfjell i rødt.

7. Konklusjon

Ruden AS har gjennomført en integrert undersøkelse av prosjektområdet i Tønsberg kommune, bestående av Rudens egne ERT undersøkelser og sonderinger levert av NIRAS. All relevant informasjon er integrert i en 3D-modell i Leapfrog for visualisering og tolkning. Målet med undersøkelsen var å kartlegge dyp til grunnfjell.

ERT-undersøkelsen ble utført av Ruden AS, over fire profiler i Tønsberg kommune. ERT-dataene ble prosessert i Res2DInv og presentert som fire utsnitt. Sonderinger er brukt som sant dyp til grunnfjell for korrelering av ERT-profilene.

Resultatene viser dyp til grunnfjell på mellom 0 til 25 m. Fjellet har lav resistivitet (900 ohm-m) i toppen, som tolkes til forvitring i øverste lag.

Vedlegg A. Prosessering, modellering og kvalitetskontroll

Rådataene fra Syscal Pro (ERT måleinstrument fra IRIS Instruments) er forhåndsbehandlet i Prosys-III (programvare fra IRIS Instruments), der utligger fjernes og automatisk filtrering utføres. Tomografisk inversjon er utført i Res2DInv og ZondRes2D.

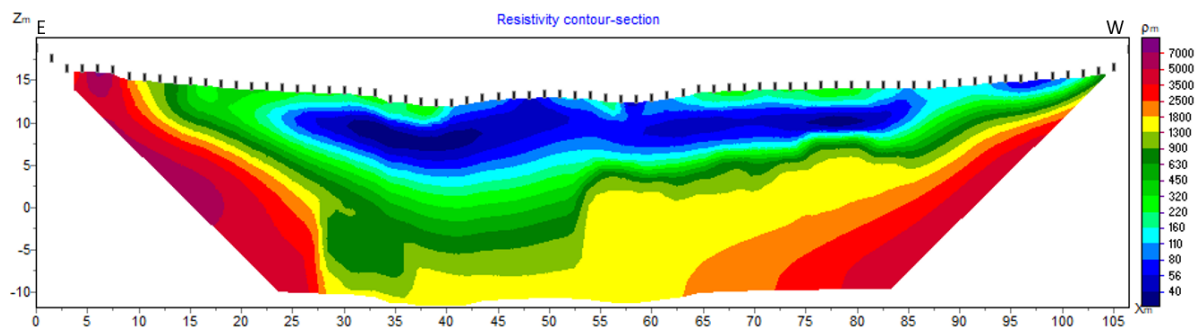
Under inversjonen brukes iterativ oppdateringsalgoritme samt eventuell dataredigering. Oppdateringsalgoritmen forsøker å minimere forskjellen mellom de observerte dataene og et beregnet datasett basert på gjeldende grunnmodell. Etter at den første inversjonen ble utført, ble dataene inspisert for å se RMS-feilen (Root Mean Square) mellom de målte og beregnede pseudoseksjonene. Ekstremverdier ble deretter fjernet manuelt, og RMS-feilstatistikk og inversjon ble utført igjen. Prosessen gjentas til RMS-feilen er under et visst nivå.

Vedlegg D. Leapfrog Modell

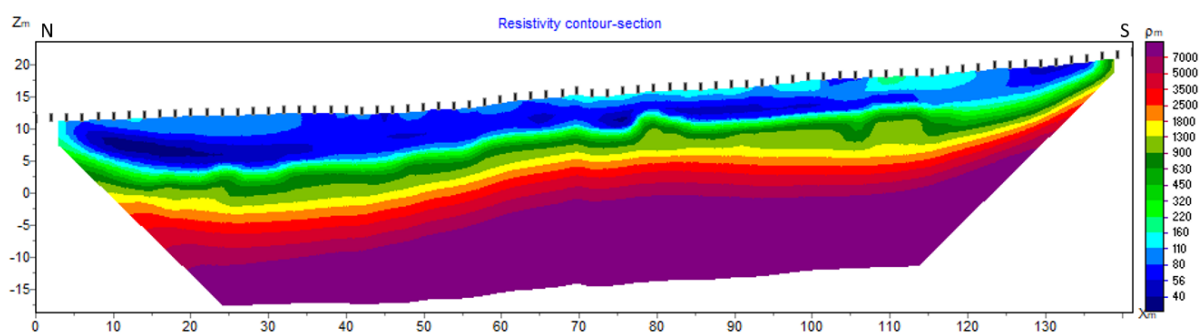
Ta kontakt med Ruden AS (mail@rudenas.com, eller forfatterene av denne rapporten) for å motta en kopi av Leapfrog-modellen.

Vedlegg E. ERT Profiler

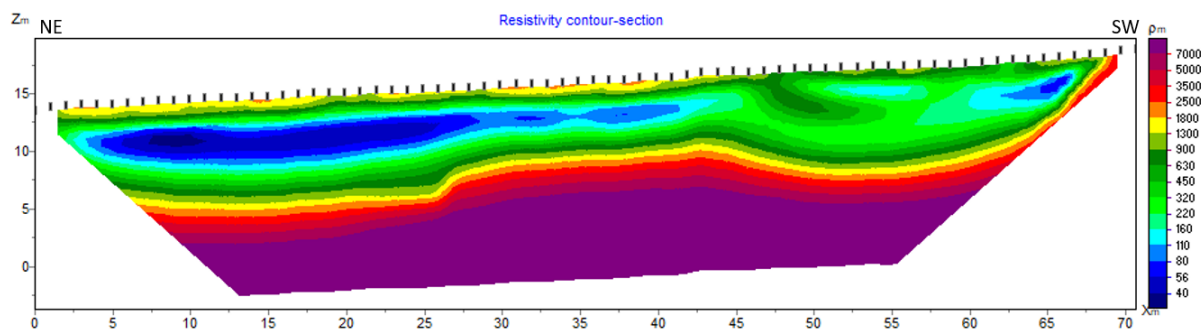
Profil 2:



Profil 3:



Profil 4:



Profil 6:

