



GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**

· NGU ·

NGU RAPPORT 2022.007

GPR- og ERT-undersøkelser ved
Arildsløkka, Trondheim for å undersøke
historiske sikringsanlegg langs Nidelva.



RAPPORT

Rapport nr.: 2022.007	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen
Tittel: GPR- og ERT-undersøkelser ved Arildsløkka, Trondheim for å undersøke historiske sikringsanlegg langs Nidelva.		
Forfatter: Georgios Tassis, Bjørn Eskil Larsen og Inger-Lise Solberg	Oppdragsgiver: NVE	
Fylke: Trøndelag	Kommune: Trondheim	
Kartblad (M=1:250.000) Sør Trøndelag	Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1621-IV Trondheim	
Forekomstens navn og koordinater: Trondheim bysentrum	Sidetall: 21 Kartbilag:	Pris: 100,-
Feltarbeid utført: 21-22/11/2019, 25-26-28-29/5/2020, 16-17/9/2021	Rapportdato: 26/07/2022	Prosjektnr.: 388001
		Ansvarlig:
Sammendrag: For å indirekte oppdage støttestrukturen i nærheten av tømmerkassene, har NGU utført to GPR-undersøkelser i området, en i november 2019 og en mer detaljert andre i mai 2020. Målet med disse undersøkelsene var å bestemme status for disse historiske forsterkningsstrukturer enten direkte f.eks. ved å oppdage trepilarer eller tømmerkasser eller indirekte f.eks. ved å undersøke de sedimentære geologiske lagene i studieområdet. Den første undersøkelsen ble gjennomført så nær tømmerkassene som mulig, med en GPR-linje langs den nordlige Nidelva-bredden og den andre på den eneste åpne plassen som er tilgjengelig sør for Ila kirke, på et lite grøntområde i bratt terreng. Databehandling har avdekket to klare distinkte dielektriske (elektrisk isolerende) regimer vest og øst for Nidareid bro, der den totale penetrasjonen i førstnevnte er større enn den sistnevnte. Ved å tegne resultatene mot et historisk kart fra 1772, var vi i stand til å identifisere en klar sammenheng mellom høyere penetrasjon og forankringsstrukturer på elvebredden, men også områder med reduserte penetrasjonsdybder som kunne indikere svekkelse i forsterkningsstrukturene. Vi var også i stand til å følge grus/sand som muligens rammer inn den gamle Skansen-festningen som tidligere lå i området, og en høy tetthet av nedgravde gjenstander som, hvis de var korrelert lineært, kunne indikere nedgravd tømmer, men også moderne rør. Samlet sett klarte vi å oppdage mulige horisontale pilarer i det historiske forankringssystemet i studieområdet og utlede mulige geologiske endringer som kunne knyttes til menneskeskapte strukturer ved å bruke GPR-penetrasjonsdybde som et evalueringskriterium. Rapporten er i 2022 oppdatert med fire ERT undersøkelser. Alle linjene er 40 meter lange og går parallelt med Nidelvas nordre banke. I de tre profilene lengst borte fra elva er det kun mulig å skille mellom forskjellige sedimenter, det er ingen spor etter trekasser. Men langs Profil 4, som går helt ved elvebredden, er det flere lommer med lavere resistivitet som kan være spor etter nedgravde trekasser eller pålerække av tre.		
Emneord:	Geofysikk	Georadar
Resistivitet	Arkeologi	Avsetninger
Stabilitet	Sikring	Trondheim

INNHALDSFORTEGNELSE

1. INNHold	5
2. DATAINNSAMLING.....	5
3. DATAHÅNDTERING / PROSESSERING.....	8
4. FØRSTE UNDERSØKELSESRESULTATER	8
4.1 Radargrammer for AR100-00 Vest og Øst (100 MHz)	8
4.2 Tolkning for AR100-00 Vest og Øst (100 MHz).....	8
5. ANDRE UNDERSØKELSESRESULTATER	11
5.1 Radargrammer for AR100-01 til AR100-08(100 MHz)	11
5.2 Radargrammer for AR200-01 til AR200-09 (100 MHz)	11
5.3 Tolkning for alle AR100 og AR200 profiler (100 & 200 MHz)	12
6. KONKLUSJONER GPR	15
7. ELEKTRISK RESISTIVITET.....	16
7.1 Metodikk	16
7.2 Resultater	18
8.....	20
9. REFERANSER.....	21

FIGURER

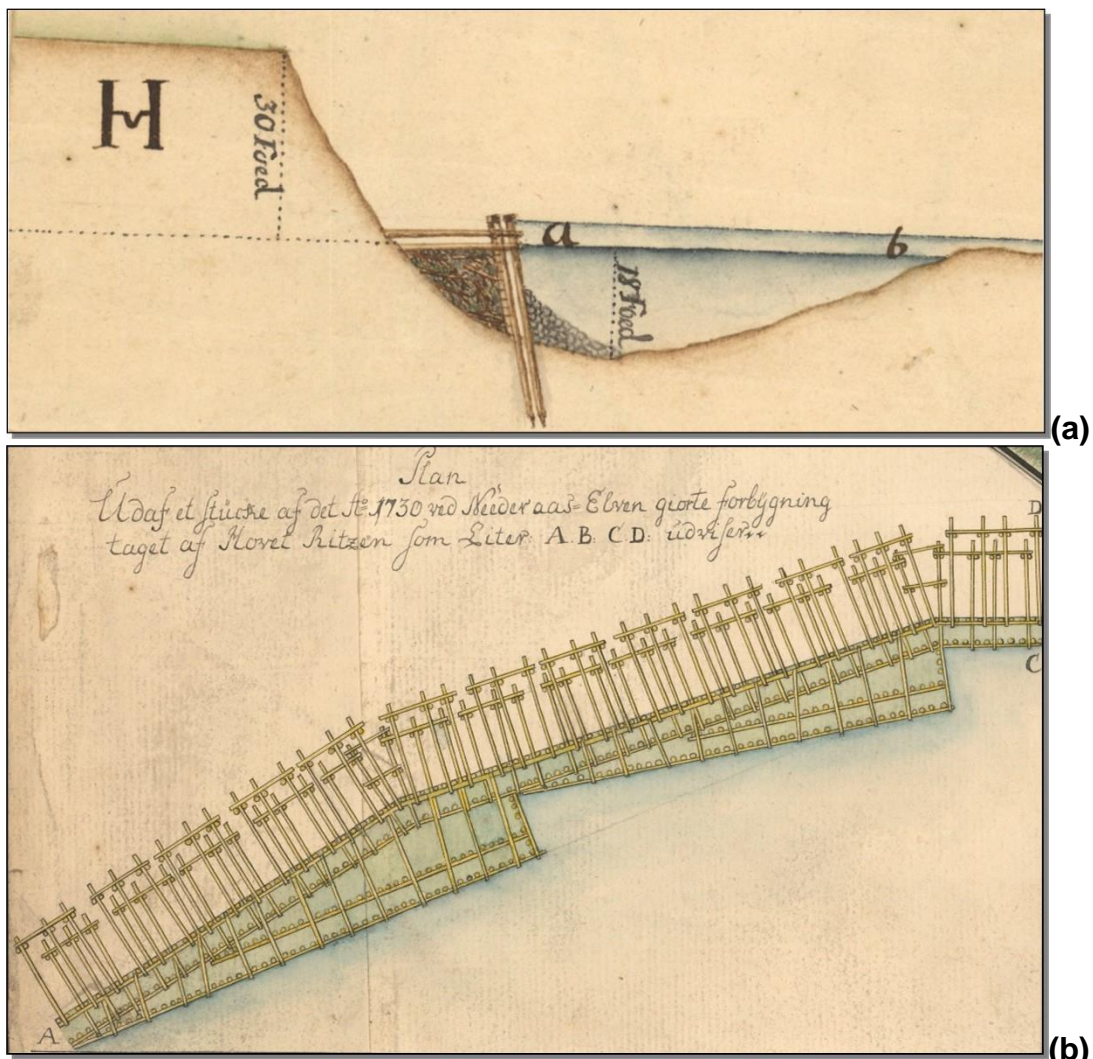
Figur 1.1: Tverrsnitt (a) og planvisning (b) av armeringstømmerkassene på Arildsløkka fra 1730 (detaljer fra historisk kart – Kartverket, 1772).	5
Figur 2.1: Plasseringen av GPR-profilene samlet på Arildsløkka i november 2019 plottet på det historiske kartet (Kartverket, 1772) og nyere ortofoto av Trondheim (Norge i bilder, 2019) med tilgjengelige borehull (NADAG, 2020).	6
Figur 2.2: Plasseringen av GPR-profilene samlet på Arildsløkka i mai 2020 plottet på det historiske kartet (Kartverket, 1772) og nyere ortofoto av Trondheim (Norge i bilder, 2019) med tilgjengelige borehull (NADAG, 2020).	7
Figur 4.1: Prosessert radargram for profilene AR100-00W & AR100-00E med tolkninger (rød stiplet linje: GPR-penetrasjonsdybde, svarte stiplede linjer: fremtredende reflektorer). Borehull B1-B8 er fra TK (1898), B462 er fra TK (1986) og B1418-2 er fra TK (2008). Borehullsrapporter er tilgjengelige fra NADAG (2020). Forankringsområder i AR100-00W refererer til den utledede konstruksjonen, vist i figurene 1.1b og 2.1/2.2.	9
Figur 4.2: GPR Dybdepenetrasjonspunktsky for profilene AR100-00W & E plottet på et historisk kart (øverst - Kartverket, 1772) og et nyere ortofoto av Trondheim (nederst – Norge i Bilder, 2019). De fargede rektanglene refererer til digitaliserte posisjoner for tømmerkasser, forankringsområder og pelerekker.	10
Figur 5.1: Prosessert radargram for profil AR100-01 med tolkninger (rød stiplet linje: GPR Penetrasjonsdybde, svarte stiplede linjer: fremtredende reflektorer).	11
Figur 5.2: Prosessert radargram for profil AR200-03 med tolkninger (svarte prikkede linjer: fremtredende reflektorer, blå prikkede linjer: hyperbler, lysegrønne sirkler: nedgravde objekter).	12
Figur 5.3: GPR Dybdepenetrasjonspunktsky for alle AR100-profiler plottet på et historisk kart (øverst - Kartverket, 1772) og et nyere ortofoto av Trondheim (nederst – Norge i Bilder, 2019). De fargede rektanglene refererer til digitaliserte posisjoner for tømmerkasser, forankringsområder og pelerekker.	13
Figur 5.4: GPR-hyperbelposisjoneringspunktsky for alle AR200-profiler plottet på et historisk kart (øverst - Kartverket, 1772) og et nyere ortofoto av Trondheim (nederst – Norge i Bilder, 2019). De fargede rektanglene refererer til digitaliserte posisjoner for tømmerkasser, forankringsområder og pelerekker.	14
Figur 7.1: LUND-systemet med 4 multi-elektrode kabler. Figuren viser også hvordan roll-along systemet fungerer.	16
Figur 7.2: Kartoversikt med målte ERT-profiler.	18
Figur 7.3: ERT-profil 1-4 med tolkning.....	19

TABELLER

Tabell 1: Tabellen viser lengde og elektrodeavstand for målte profiler.....	16
Tabell 2: Resistivitetsverdier i utvalgte materialer. (Reynolds, 2011) og (Solberg, Hansen, Rønning, & Dalsegg, 2011).....	17
Tabell 3: Koordinater til målestasjoner og endepunkt til resistivitetslinjene i WGS84 – UTM32	20

1. INNHOLD

For at NVE skal kunne vurdere mulighetene for å utføre sikringsarbeider med moderne (tyngre) utstyr i området, trengs det informasjon om statusen til det historiske sikringstiltaket. **Figur 1.1** viser den gamle tømmerkistestrukturen fra rundt 1730: vertikale peler ble satt ned i elveleiet og støttet av steinblokker mens horisontale stokker var forankret i skråningen og dannet tømmerkasser som var fylt med varierte materialer. Imidlertid, når det skal brukes moderne tyngre anleggsutstyr for utførelse av sikringsarbeider, må man vite hvilken belastning som tolereres med tanke på maskinens vekt, om det er mulig å grave bak boksene under konstruksjonsoperasjonen, etc.

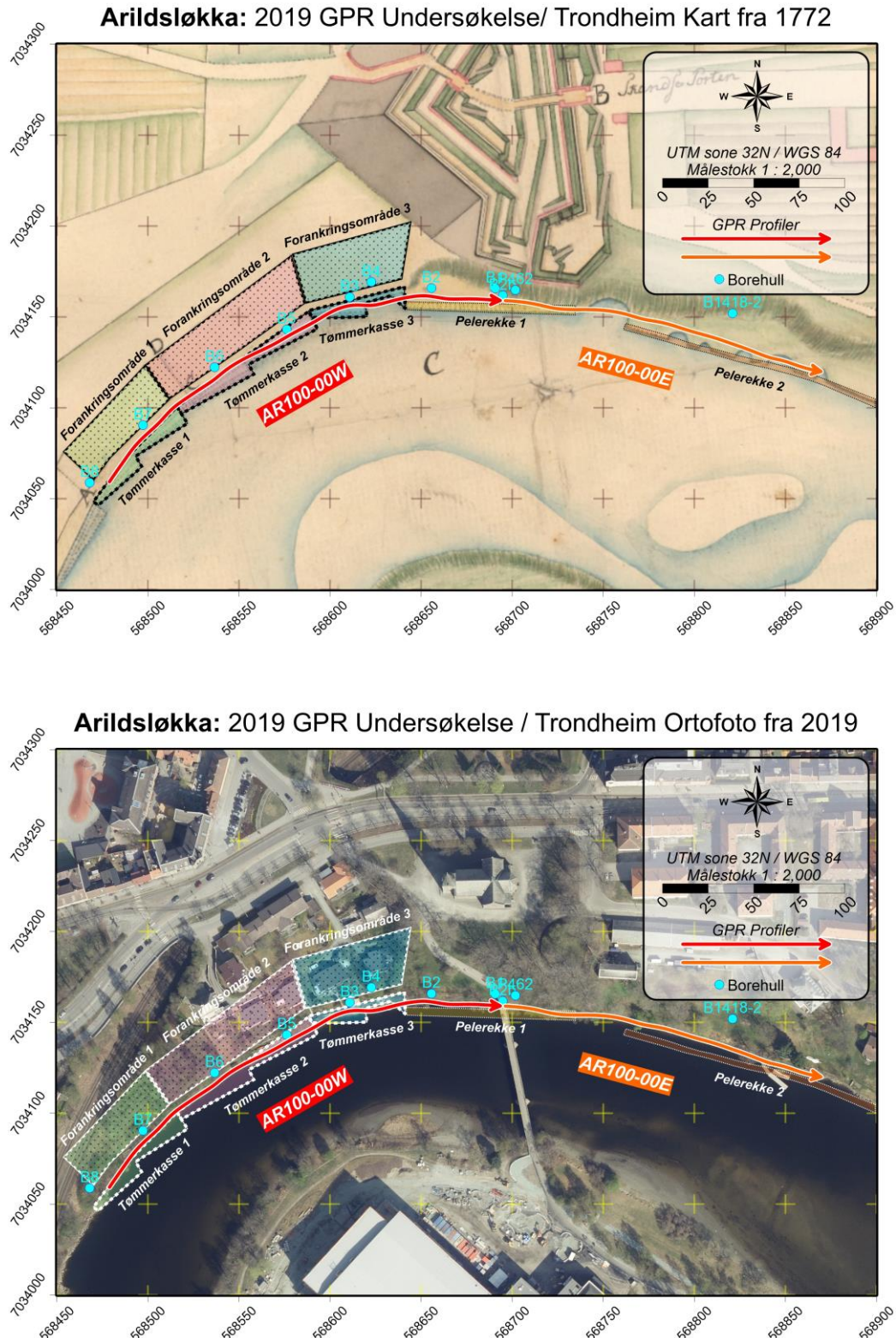


Figur 1.1: Tversnitt (a) og planvisning (b) av armeringstømmerkassene på Arildsløkka fra 1730 (detaljer fra historisk kart – Kartverket, 1772).

2. DATAINNSAMLING

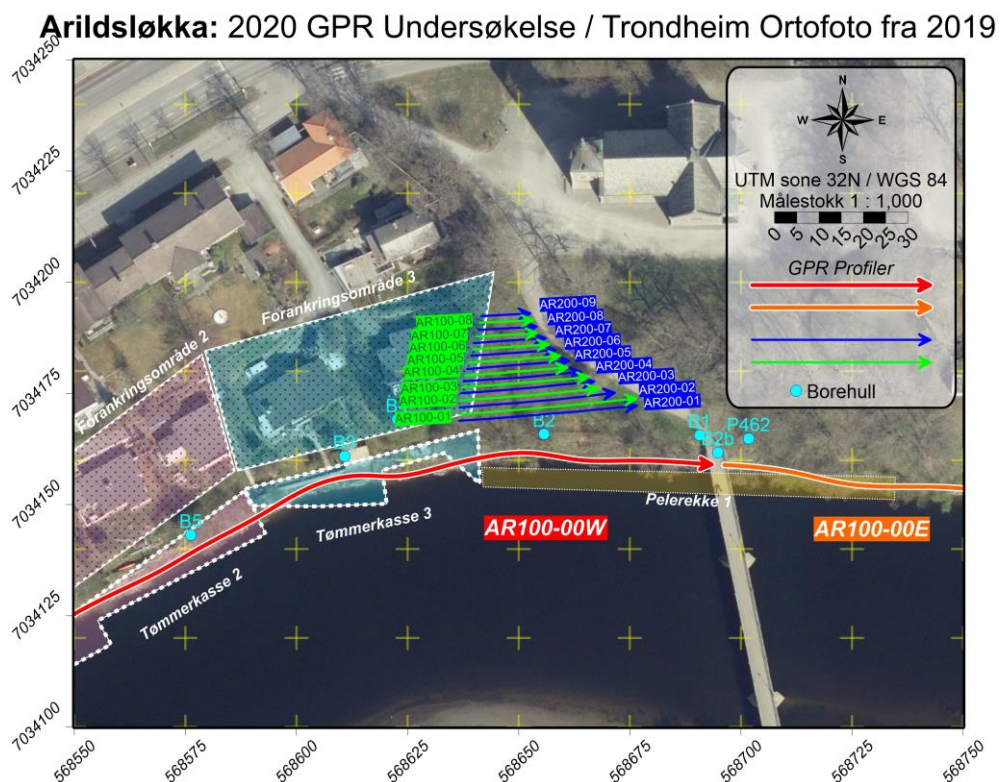
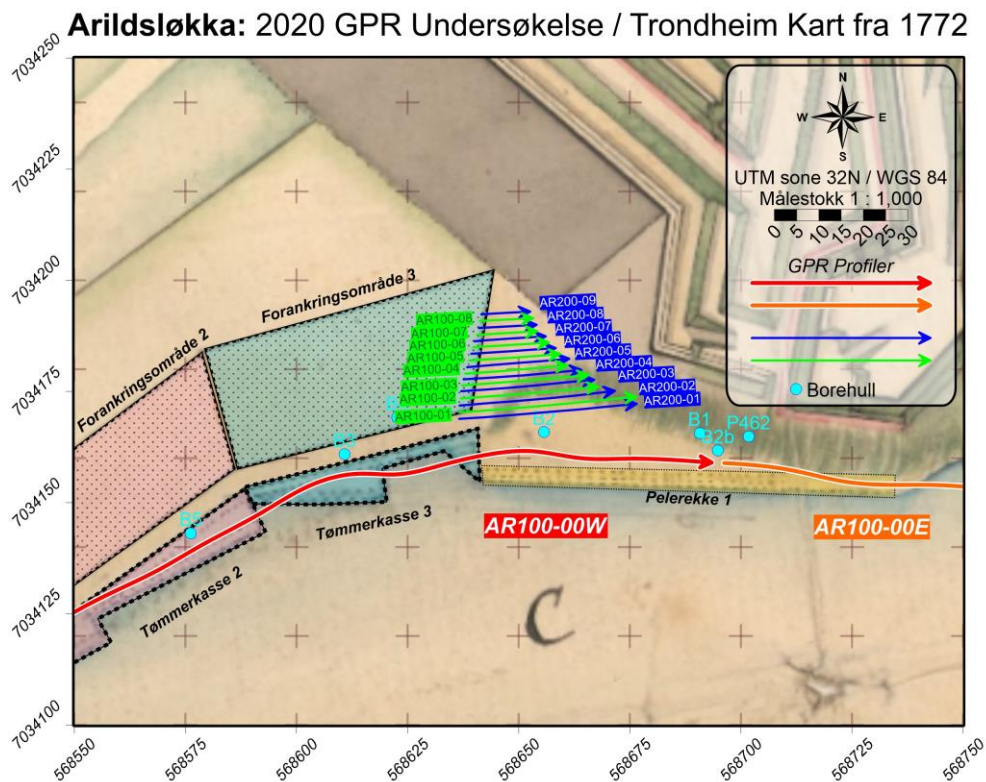
Den første fasen av undersøkelsen besto av en 427 meter lang GPR-profil langs den nordlige bredden av Nidelva, profilen er delt i to deler: en vest (profil AR100-00W) og en øst (profil AR100-00E) for Nidareid bro.

Figur 2.1 viser plasseringen av profilene målt i den første undersøkelsen, plottet på det historiske kartet fra 1772 (øverst) og på et nyere ortofoto av studieområdet. For å markere de historiske forsterkningsstrukturene (tømmerkasser, forankringsområder, pelerader) i forhold til GPR-undersøkelsen, ble deres posisjoner digitalisert og tegnet som rektangler på begge kartene i **figur 2.1**.



Figur 2.1: Plasseringen av GPR-profilene samlet på Arildsløkka i november 2019 plottet på det historiske kartet (Kartverket, 1772) og nyere ortofoto av Trondheim (Norge i bilder, 2019) med tilgjengelige borehull (NADAG, 2020).

Totalt ble ni profiler av forskjellige lengder samlet med 200 MHz-systemet (AR200-01 til AR200-09, figur 2.2), som totalt dekker 213 meter med steglengde lik 0,10 m (2139 trace).



Figur 2.2: Plasseringen av GPR-profilene samlet på Arildsløkka i mai 2020 plottet på det historiske kartet (Kartverket, 1772) og nyere ortofoto av Trondheim (Norge i bilder, 2019) med tilgjengelige borehull (NADAG, 2020).

3. DATAHÅNDTERING / PROSESSERING

Dataene som ble samlet inn ved den første undersøkelsen (profilene AR100-00W og AR100-00E) krevde tilpasninger på grunn av problemer knyttet til det vanskelige terrenget, for eksempel dårlig signal på grunn av dårlig kontakt i grunnen, ødelagte kabler på grunn av vegetasjon, forskjøvet polaritet mellom fragmentene i profilen, tap av signal på grunn av ekstern støy som nedgravde strømkabler, hull i dataene på grunn av menneskeskapte strukturer som stolper eller vegger.

4. FØRSTE UNDERSØKELSESRESULTATER

4.1 Radargrammer for AR100-00 Vest og Øst (100 MHz)

Resultatene våre bekrefter at studieområdet har forskjellige inntrengningsdybder, avhengig av løsmassetype, og markerer to forskjellige dielektriske regimer, vest og øst for Nidareid bro. Dielektrisk regime avgjør hvor godt bakken er i stand til å transportere elektromagnetiske bølger.

Til tross for den meget gode datakvaliteten og tilstrekkelig gjennomtrengningsdybde for de dominerende delene av profilene, viser dataene ingen direkte indikasjon på noen trekonstruksjon, selv om GPR-data med en slik oppløsning burde ha respondert på slik infrastruktur. Forutsatt at den eldgamle forsterkningen var lik eller lik den som er presentert i **figur 1.1a og b**, må man anta at tømmerkassene ikke eksisterer lenger, men den andre eller til og med tredje raden med peler er det som er utsatt i dag langs elvebredden.

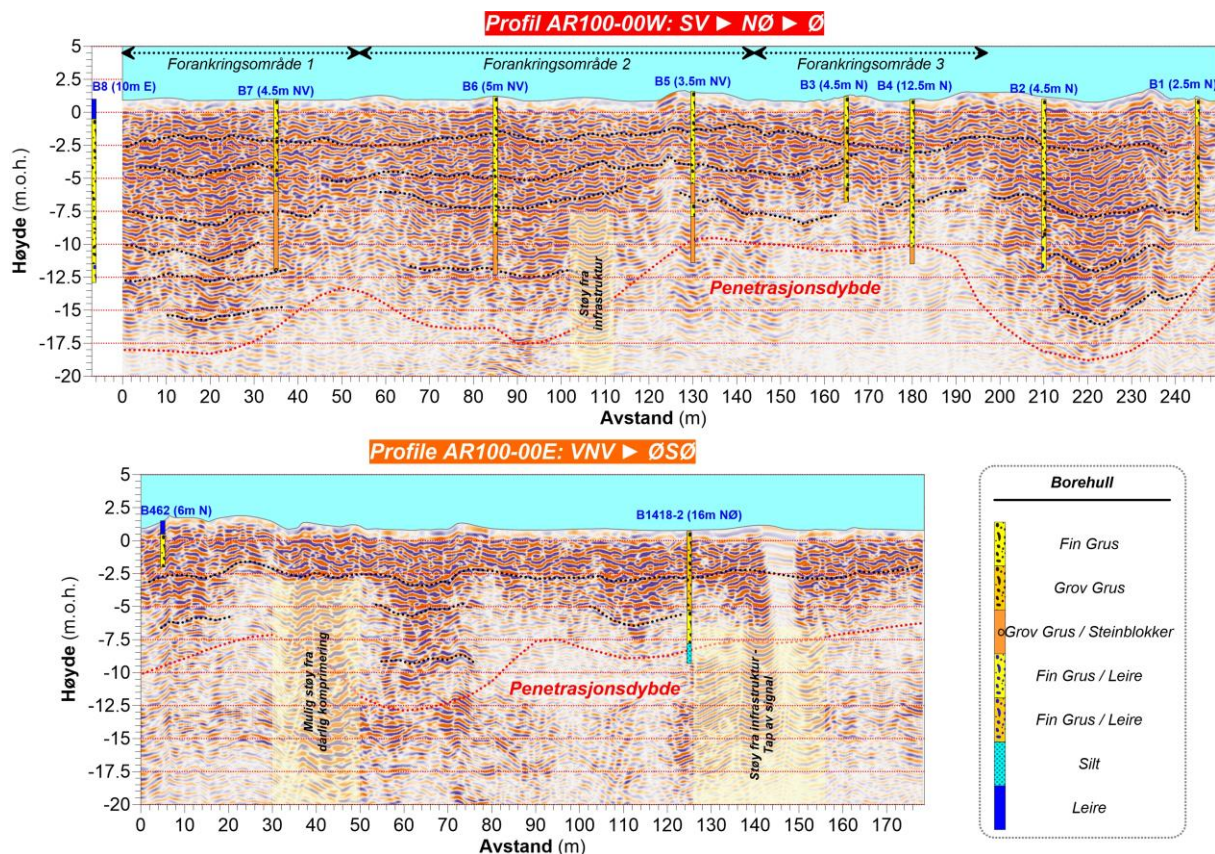
4.2 Tolkning for AR100-00 Vest og Øst (100 MHz)

For å forstå den foreslåtte tolkningen i **figur 4.1** bedre, ble resultatene av undersøkelsen plottet på et historisk kart over Trondheim sentrum fra 1772, dvs. omtrent 40 år etter byggingen av disse sikringskonstruksjonene. **Figur 4.2** viser en forenklet punktsky av oppnådd GPR-penetrasjonsdybde plottet opp på det georefererte historiske kartet over Arildsløkka fra 1772 (øverst) og et nyere ortofoto av Trondheim sentrum (nederst).

Det historiske kartet viser Skansen-festningen som kontrollerer den vestlige inngangen til byen, nå erstattet av Ila kirke, mens tømmerkassene er avbildet av takkede rektangler som dekker den vestlige delen av Nidelva-elvebredden. Rektanglene over dem indikerer omfanget av tømmerforankring i skråningen mens flere peler er avbildet øst for Nidareid bru, uten å være en del av tømmerkasser.

Ved hjelp av denne planvisningen er det lett å se forskjellig inntrengningsdybde vest og øst for Nidareid bru, men merk også sammenhengen mellom rektanglene på kartet som viser tømmerkassene og forankringsområdene, og høyere dybdepenetrasjon. Tømmerkasseområdene 1 og 2 er dermed beskrevet med høyere dybdepenetrasjon i midten som avtar mot kantene (mer fremtredende i tømmerkassene område 2).

Selv om tømmerkistene i område 3 følger det ovenfor beskrevne modellen, er det imidlertid ikke preget av dyp signalinntrengning, men av en jevn lavere dekning som er omtrent halvparten sammenlignet med den som er observert i de andre boksene (mellom 10,5 og 12,5 meter). Dette er en indikasjon på en mulig svekkelse i strukturen på grunn av trykk fra bebyggelsen like over dette området (bunn **figur 4.2**). Det samme gjelder den østlige kanten av tømmerkassene område 2, med inntrengningsdybde som gjenvinner sine maksimale verdier igjen så snart bebyggelsen stopper.

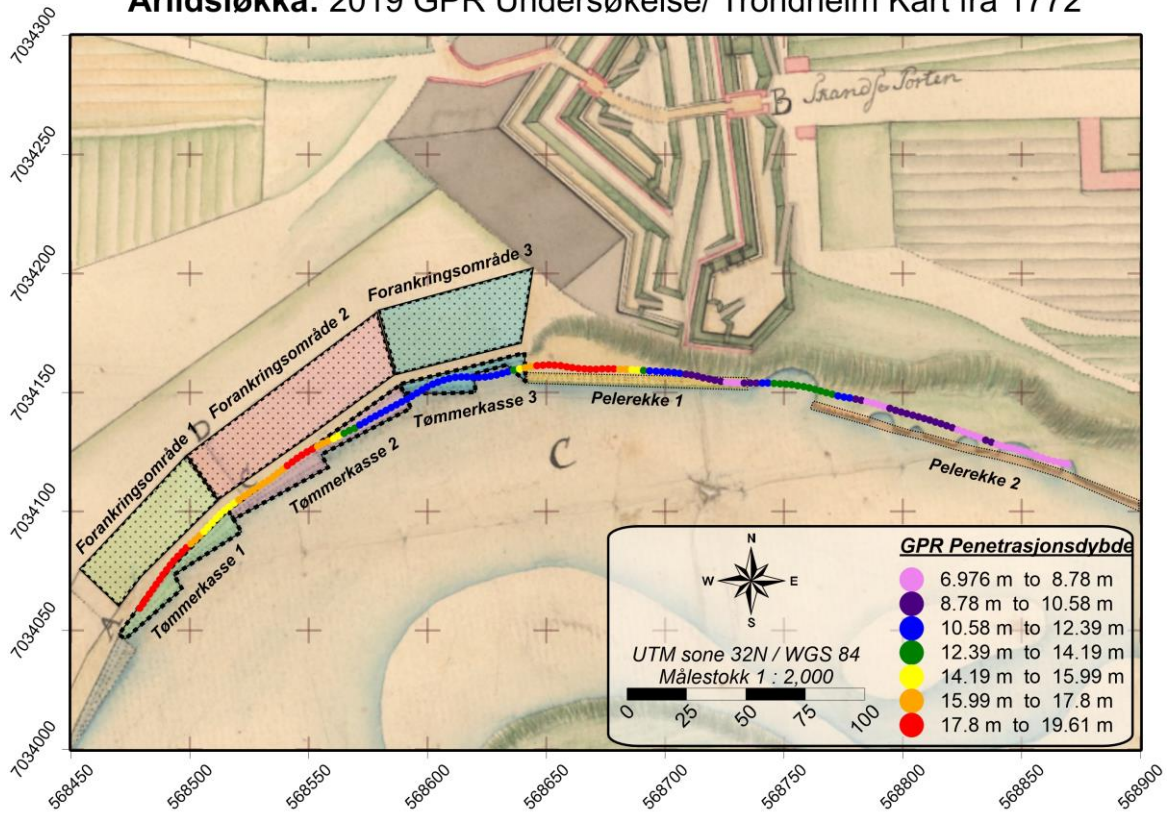


Figur 4.1: Prosessert radargram for profilene AR100-00W & AR100-00E med tolkninger (rød stiplede linje: GPR-penetrasjonsdybde, svarte stiplede linjer: fremtredende reflektorer). Borehull B1-B8 er fra TK (1898), B462 er fra TK (1986) og B1418-2 er fra TK (2008). Borehullsrapporter er tilgjengelige fra NADAG (2020). Forankringsområder i AR100-00W refererer til den utledede konstruksjonen, vist i figurene 1.1b og 2.1/2.2.

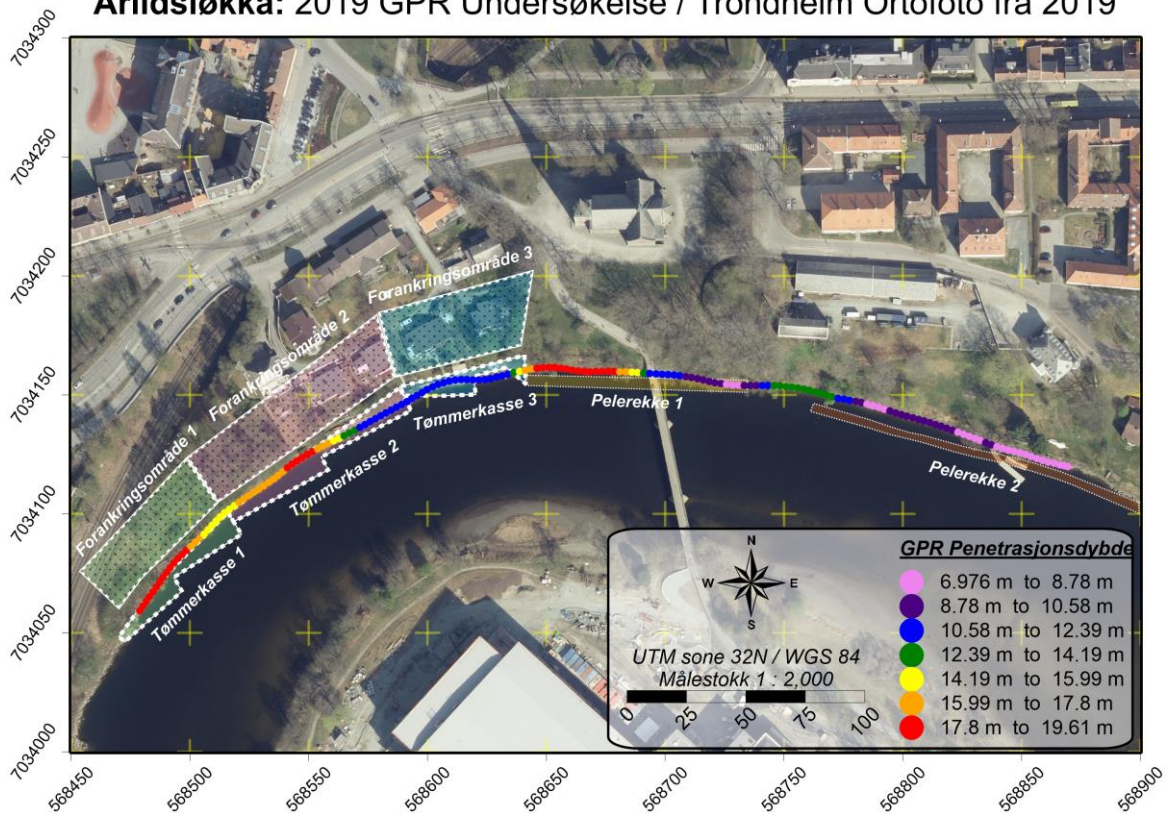
Som nevnt i forrige avsnitt er penetrasjonsdybden i hele området øst for Nidareid bru jevnt lav, bortsett fra et lite område der penetrasjonsdybden er omtrent 12,5 og 14,5 meter og vises i grønn farge nederst på kartet i **figur. 4.2**. Om dette er en indikasjon på en tømmerkasse som ligner på den i vest eller ikke, er uklart.

Et interessant område med lav penetrasjon / bratt topografi kan sees helt til høyre for Nidareid bru, under restene av en gammel bastion som fremdeles er synlig i det moderne ortofotoet sørøst for Ila kirke. Dette kan også indikere et annet svekket system på grunn av høy belastning.

Arildsløkka: 2019 GPR Undersøkelse/ Trondheim Kart fra 1772



Arildsløkka: 2019 GPR Undersøkelse / Trondheim Ortofoto fra 2019

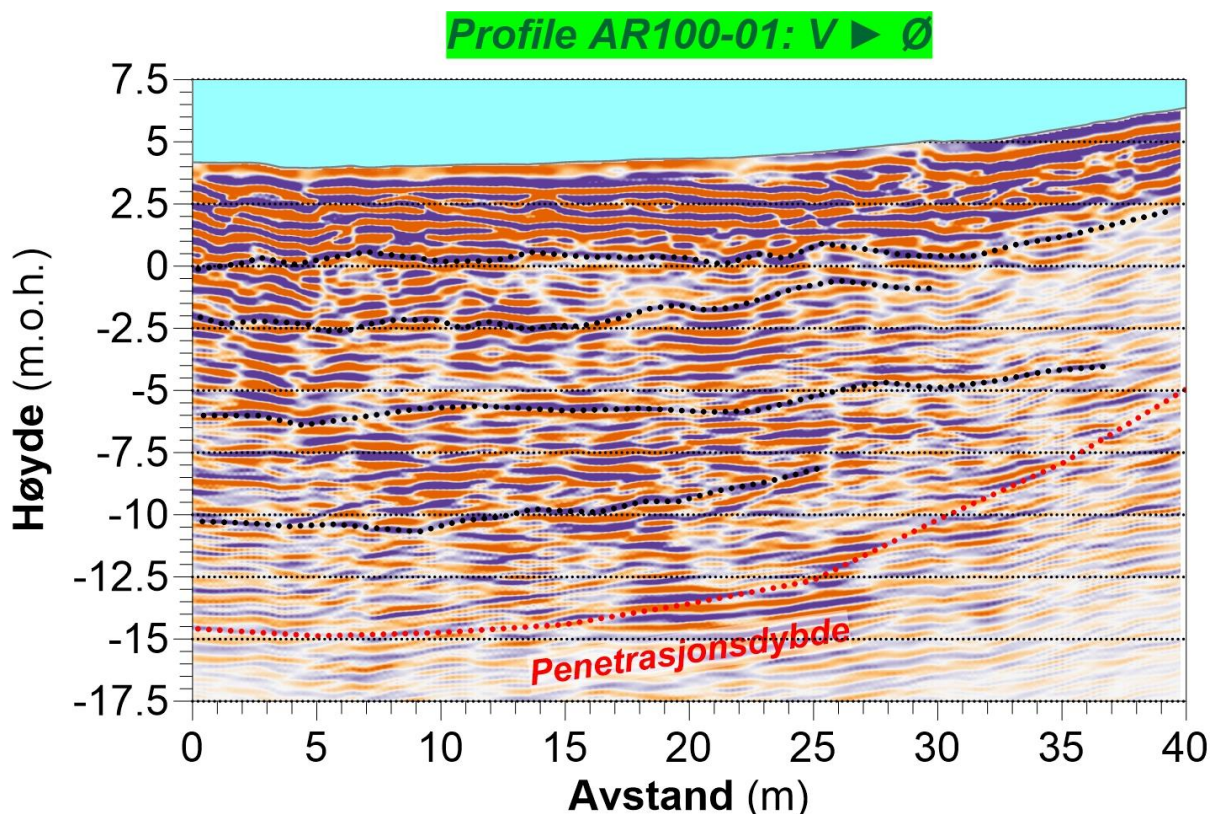


Figur 4.2: GPR Dybdepenetrasjonspunktsky for profilene AR100-00W & E plottet på et historisk kart (øverst - Kartverket, 1772) og et nyere ortofoto av Trondheim (nederst – Norge i Bilder, 2019). De fargede rektanglene refererer til digitaliserte posisjoner for tømmerkasser, forankringsområder og pelerekker.

5. ANDRE UNDERSØKELSESRESULTATER

5.1 Radargrammer for AR100-01 til AR100-08(100 MHz)

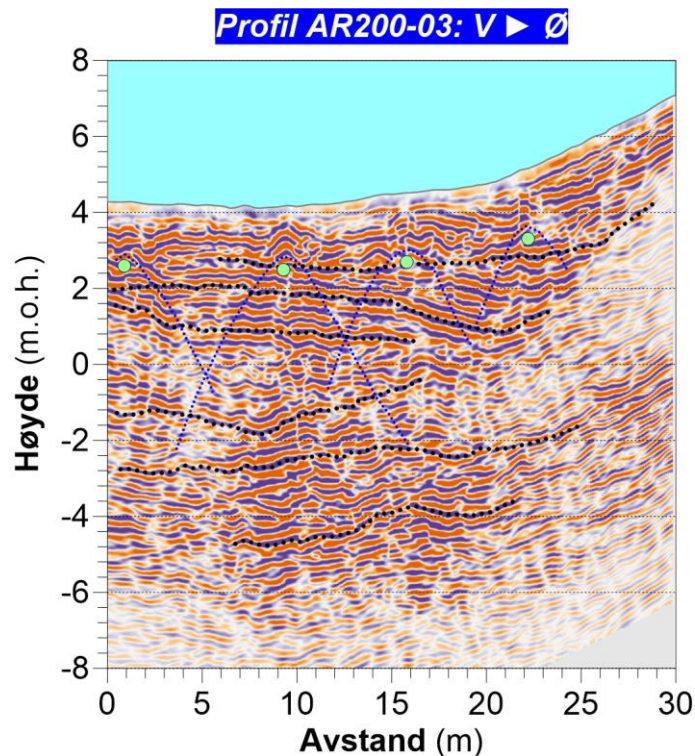
Svarte prikkede linjer i **figur 5.1** viser igjen fremtredende reflektorer som ser ut til å være nesten horisontale der penetrasjonen er dypere. Disse kan knyttes til endringer i kornstørrelse i de naturlig avsatte grus/sand sedimentene. Mens på den østlige kanten av studieområdet, blir disse reflektorene vippet oppover før GPR-signalpenetrasjonen går tapt. Dette er muligens en utløpskanal av elven mot fjorden som var fylt med sand og grus og ser ut til å være naturlig dannet eller et lite marine undersjøisk skred som deretter ble etterfylt. Vi kan anta at det samme mønsteret gjentas på vestsiden av det lille grus/sand området, men den sanne form og profil kunne ikke undersøkes på grunn av tett bebyggelse i området.



Figur 5.1: Prosessert radargram for profil AR100-01 med tolkninger (rød stiplede linje: GPR Penetrasjonsdybde, svarte stiplede linjer: fremtredende reflektorer).

5.2 Radargrammer for AR200-01 til AR200-09 (100 MHz)

Figur 5.2 presenterer resultater og tolkninger for profilene AR200-01 til 09 i samme modus som i **figur 5.1**. Hyperboler vist med stiplede blå linjer i **figur 5.2** indikerer gjenstander i bakken og er vist i lysegrønne sirkler. I tillegg er slike hyperboler kunstige effekter som stammer fra nedgravde gjenstander som rør eller steinblokker. For at denne effekten skal forårsakes av rør, må rørene krysse vinkelrett på måleretningen. Nedgravde tømmerstokker vil muligens gi samme effekt som rør.



Figur 5.2: *Prosessert radargram for profil AR200-03 med tolkninger (svarte prikkede linjer: fremtredende reflektorer, blå prikkede linjer: hyperbler, lysegrønne sirkler: nedgravde objekter).*

200 MHz antennemålingene bekrefter at formasjonene som er undersøkt er naturlig avsatte sedimenter, på grunn av påviselig lagdeling. Menneskelig innblanding er derfor sannsynligvis begrenset for dette spesifikke området, men det er flere hyperboler som indikerer nedgravde gjenstander.

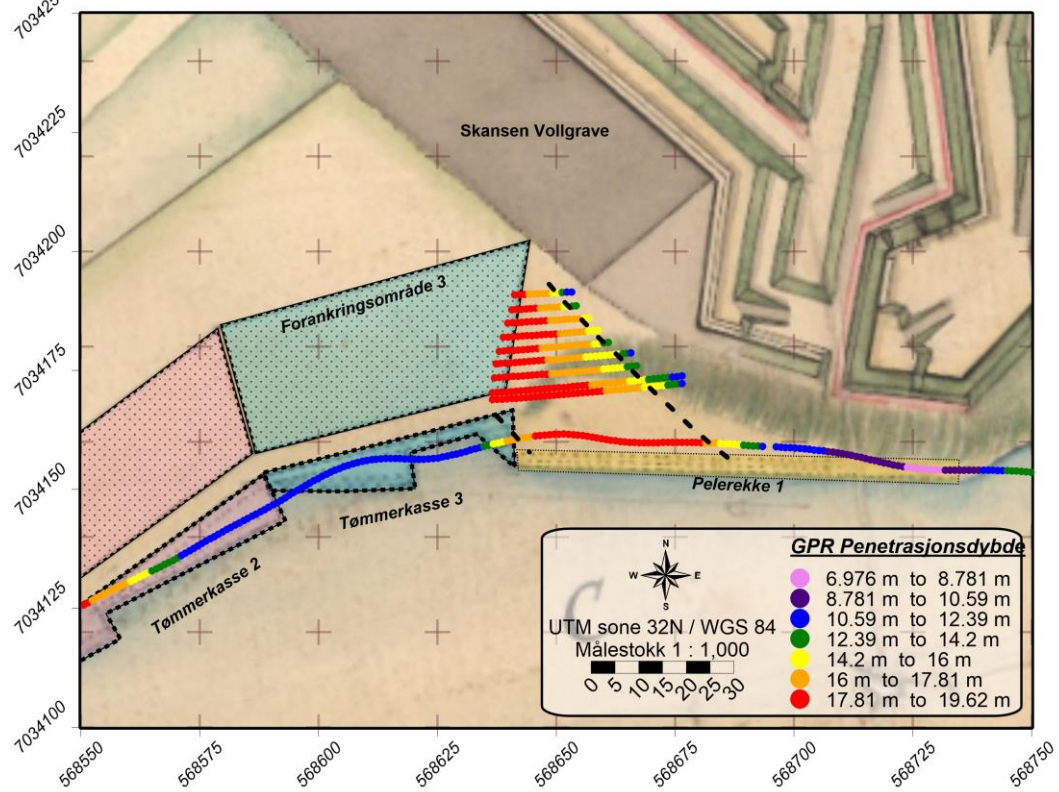
5.3 Tolkning for alle AR100 og AR200 profiler (100 & 200 MHz)

Figur 5.3 viser den samme punktskyen som vist i **figur 4.2** hvor det er lagt til gjennomtrengningsdybder fra den andre undersøkelsen, plottet på det georefererte historiske kartet over Arildsløkka fra 1772 (øverst) og et nylig ortofoto av Trondheim sentrum (nederst).

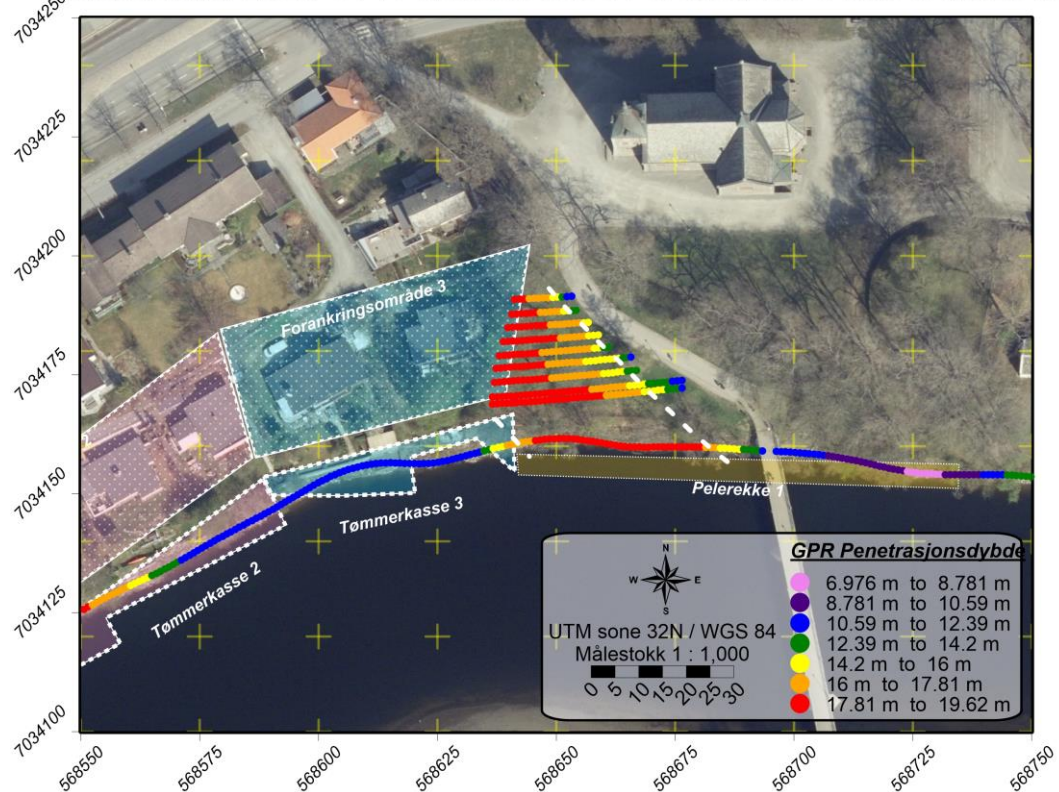
Planvisningen vist i **figur 5.3** avslører den nord-vestlige fortsettelsen av det dype gjennomtrengningstrauet oppdaget ved siden av elven. Dette trauet er innrammet av sorte (øverste) og hvite (nederste) prikkede linjer og er dessverre forstyrret av bebyggelsen som sees i dagens ortofoto av Trondheim.

Imidlertid viser plottingen av disse resultatene på 1772-kartet over byen at grensen for den lille grus/sandlappen med høy gjennomtrengning samsvarer med grensen til den mørktonet omkretsen av den gamle Skansen-festningen som kunne ha fungert som en vollgrav. Ifølge arkeologiske opptegnelser ble vollgraven fylt opp med sand og grus fra jordarbeidet på Skansen (Bratberg, 1996).

Arildsløkka: 2020 GPR Undersøkelse / Trondheim Kart fra 1772

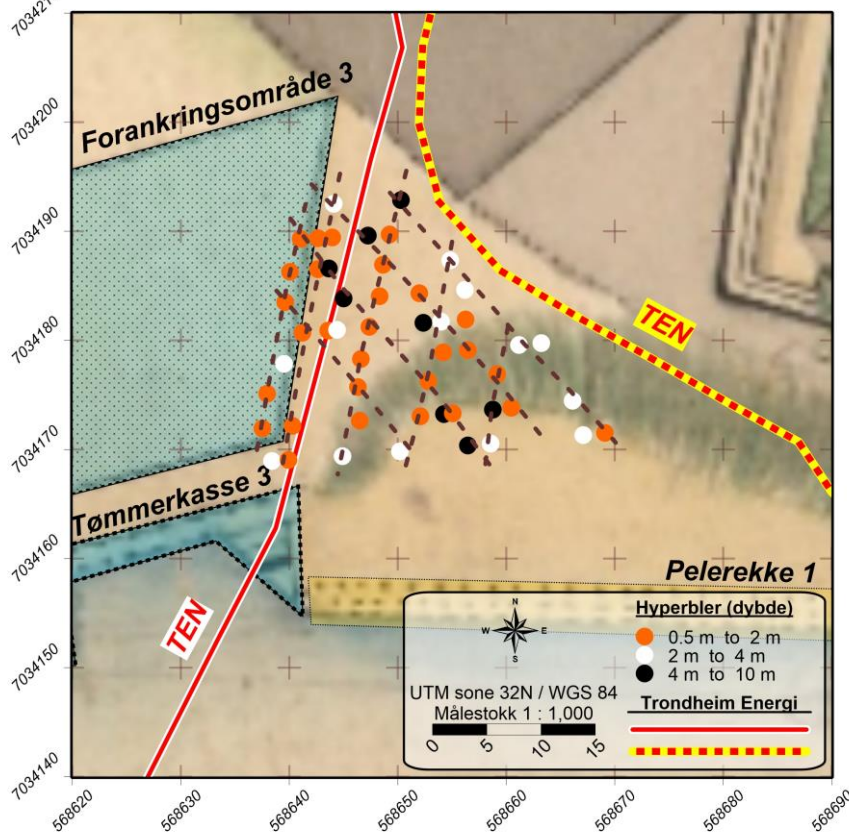


Arildsløkka: 2020 GPR Undersøkelse / Trondheim Ortofoto fra 2019

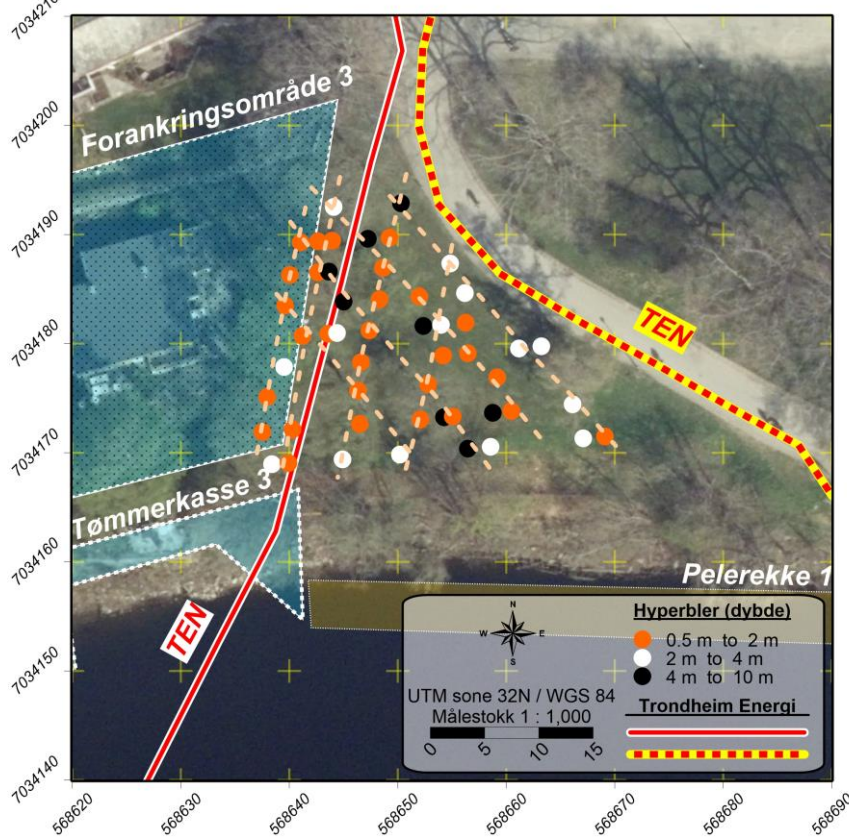


Figur 5.3: GPR Dybdepenetrasjonspunktsky for alle AR100-profiler plottet på et historisk kart (øverst - Kartverket, 1772) og et nyere ortofoto av Trondheim (nederst – Norge i Bilder, 2019). De fargede rektanglene refererer til digitaliserte posisjoner for tømmerkasser, forankringsområder og pelerekker.

Arildsløkka: 2020 GPR Undersøkelse / Trondheim Kart fra 1772



Arildsløkka: 2020 GPR Undersøkelse / Trondheim Ortofoto fra 2019



Figur 5.4: GPR-hyperbelposisjoneringspunktsky for alle AR200-profiler plottet på et historisk kart (øverst - Kartverket, 1772) og et nyere ortofoto av Trondheim (nederst – Norge i Bilder, 2019). De fargede rektanglene refererer til digitaliserte posisjoner for tømmerkasser, forankringsområder og pelerekker.

Figur 5.4 presenterer den romlige fordelingen av alle oppdagede objekter i bakken, slik de ble tolket ut fra 200 MHz-resultatene. Igjen benyttes en punktskypresentasjon der disse objektene er delt inn i tre grupper i henhold til dybden de ser ut til å være begravet på: dypere gjenstander vises i svart, grunnere i oransje og alt imellom i hvitt. De fleste av disse gjenstandene ser ut til å være innenfor 2 meters dyp, og det er en lineær korrelasjon mellom dem som kan indikere nedgravde peler/stokker eller store rør. Kabling i bakken utført av Trondheim kommune ser ikke ut til å forstyrre tolkningene våre, og hyperboler som samsvarer med forløpet, er sannsynligvis ikke forårsaket av dem. Imidlertid er ingen informasjon om store rør tilgjengelig for oss, og derfor er det mulig at noen av disse hyperbolene kan knyttes til vann- og avløpsrør.

Figur 5.4 presenterer også et forsøk på å knytte punkter som muligens kan danne rette linjer og dermed indikere nedgravde stokker fra de gamle forsterkningsstrukturene. Disse tolkningene er vist med mørke (øverste) og bleke (nederste) brune stiplede linjer og er fortrinnsvis valgt parallelt med enten forankringsområde 3 eller Skansens gamle vollgrav. Tettheten til hyperbolene sett i våre 200 MHz-resultater indikerer at hvis de kan knyttes til tømmerstokker, kan disse bli funnet på de første 2-4 meters dyp, mens sedimentlagene under det nivået er uforstyrret. Det faktum at slike hyperboler alltid er tydelige og veldefinerte i alle målte profiler, kan indikere at tømmerstokkene er i relativt god stand og ikke er utslitt.

6. KONKLUSJONER GPR

Avslutningsvis har GPR-undersøkelsene i dette prosjektet igjen vist at metoden er billig, rask og effektiv.

Ved å bruke 8192 stacks for 100 MHz og 16384 stacks for 200 MHz antenner, klarte vi å trenge ned henholdsvis 20 og 10 meter i bakken og dermed overstige antatte dimensjoner på tømmerkasser på Arildsløkka.

Ved å fokusere på den vestlige delen og tegne resultatene inn på et historisk kart fra 1772, var vi i stand til å identifisere en klar sammenheng mellom høyere penetrasjon og installasjoner for forankring på elvebredden rett over tømmerkassene. Imidlertid er det et område like vest for Nidareid bro der det er halv penetrasjon, og dette kan muligens indikere svekket støtte i denne lokaliteten som samsvarer med de moderne boligene i området.

Øst for Nidareid bro har GPR-kartlegging derimot generelt vist begrenset penetrasjon med bare noen få unntak. Her indikerer borehullsdata høyere tilstedeværelse av leire/silt, noe som delvis kan bevise endringen av inntrengning. Trepeler er fremdeles synlige i elva idag, men ifølge de historiske kartene ble det ikke laget noen tømmerkasser som støttekonstruksjon der. Et område som krever oppmerksomhet, er akkurat øst for broen, hvor penetrasjonen er redusert nøyaktig under den gamle Skansen-festningen hvor restene fortsatt er synlige i terrenget i dag.

Den andre undersøkelsen satte søkelys på et område like nord for en forsenkning med høy penetrasjon rett ved siden av Nidareid bro.

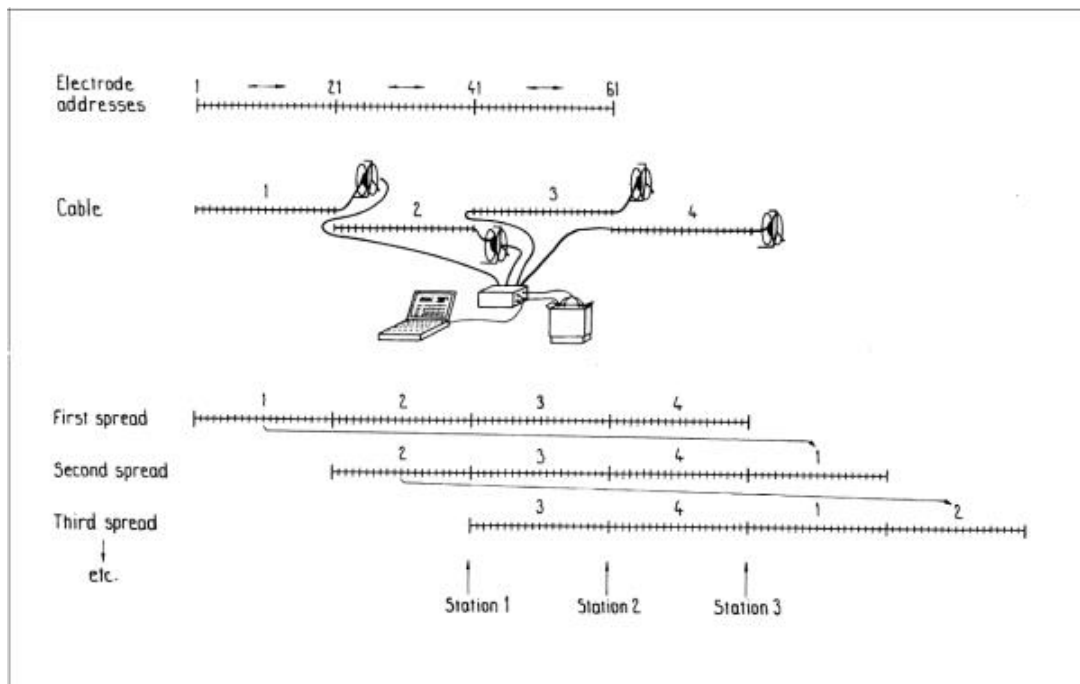
Ved å tegne gjennomtrengningsdybden oppnådd i den andre undersøkelsen sammen med resultatene av den første, kunne vi identifisere en kanal/trau i

nordvestlig retning. En mistet gjennomtrengningen ved siden av gangstien som fører til broen fra Ila kirke. Igjen samsvarer dette resultatet godt med strukturene som er vist i det historiske kartet fra 1772.

7. ELEKTRISK RESISTIVITET

7.1 Metodikk

Elektrisk Resistivitet Tomografi (ERT) utføres ved å sende strøm mellom et elektrodepar samtidig som det måles potensial og motstand mellom et annet elektrodepar. Basert på strømstyrke, målt spenning og elektrodernes posisjon i forhold til hverandre (geometrisk faktor) beregnes tilsynelatende resistivitet. Utstyret brukt i undersøkelsene er utført med Lund kabelsystem (Dahlin, 1993) og ABEM Terrameter LS (ABEM, 2012). Som vist i Figur 7.1, kobles fire multielektrode-kabler med 21 elektroder hver til instrumentet, så kjøres en protokollfil med elektrodekonfigurasjoner. I denne undersøkelsen ble elektrodekonfigurasjonen Gradient Pluss (Dahlin & Zhou, 2006) brukt.



Figur 7.1: LUND-systemet med 4 multi-elektrode kabler. Figuren viser også hvordan roll-along systemet fungerer.

Oppløsning på datasettet styres av elektrodeavstanden. Mindre elektrodeavstand gir høyere oppløsning, men det er på bekostning av dybdepenetrasjon. Ved 0.5 m elektrodeavstand vil fullt utlegg være 40 m langt og pålitelig dybdepenetrasjon være ca. 7 m. Tabell 1 viser lengde og elektrodeavstand for alle profiler.

Tabell 1: Tabellen viser lengde og elektrodeavstand for målte profiler.

Navn	Lengde	Retning	Elektrodeavstand
Profil 1	40m	Vest → Øst	0.5m
Profil 2	40m	Vest → Øst	0.5m
Profil 3	40m	Vest → Øst	0.5m
Profil 4	40m	Vest → Øst	0.5m

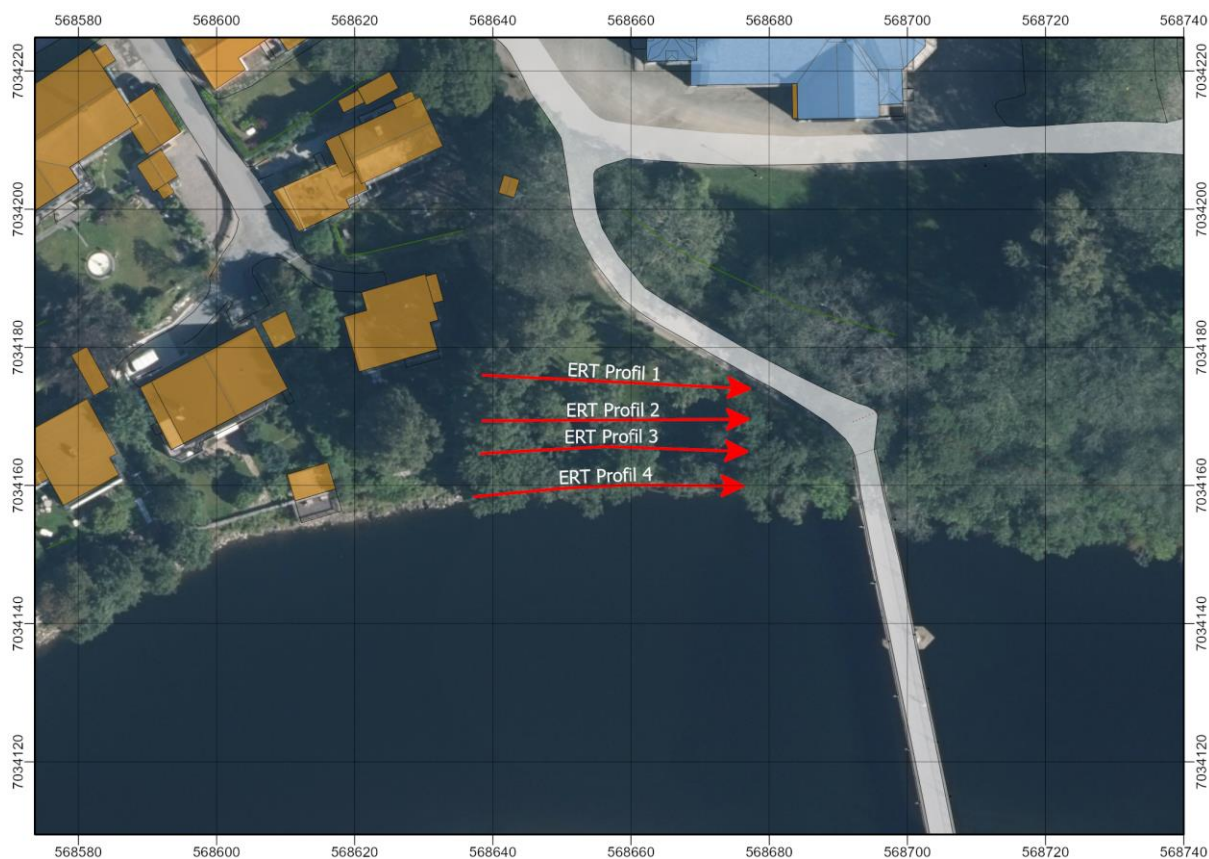
Målte verdier er *tilsynelatende resistivitet* og må inverteres for å få sann resistivitet. All data er invertert med Res2DInv (Loke, 2017) med robust databegrensing.

Ved bruk av ERT kan det forventes å avdekke sprekker, løsmassetykkelse, grunnvannstand samt grenser mellom geologiske enheter (både løsmasser og bergarter) hvor det forekommer en forskjell i elektriske egenskaper. Hvis det er brukt trekasser som en del av sikringsarbeidet kan dette være mulig å detektere siden den elektriske ledningsevnen i vannmettet tømmer burde være lavere enn i vannmettet sand. **Tabell 2** viser resistivitetsverdier i utvalgte geologiske materialer.

Tabell 2: Resistivitetsverdier i utvalgte materialer. (Reynolds, 2011) og (Solberg, Hansen, Rønning, & Dalsegg, 2011)

Materiale	Resistivitet (Ωm)
Marin leire	1 - 20
Utvasket marin leire (potensiell kvikkleire)	10 - 100
Silt	80 - 120
Sand (Vannholdig)	120 - 3000
Sand (Tørr)	> 3000
Morene	100 - 13000
Fjell	1000 - 13000

7.2 Resultater



Figur 7.2: Kartoversikt med målte ERT-profiler.

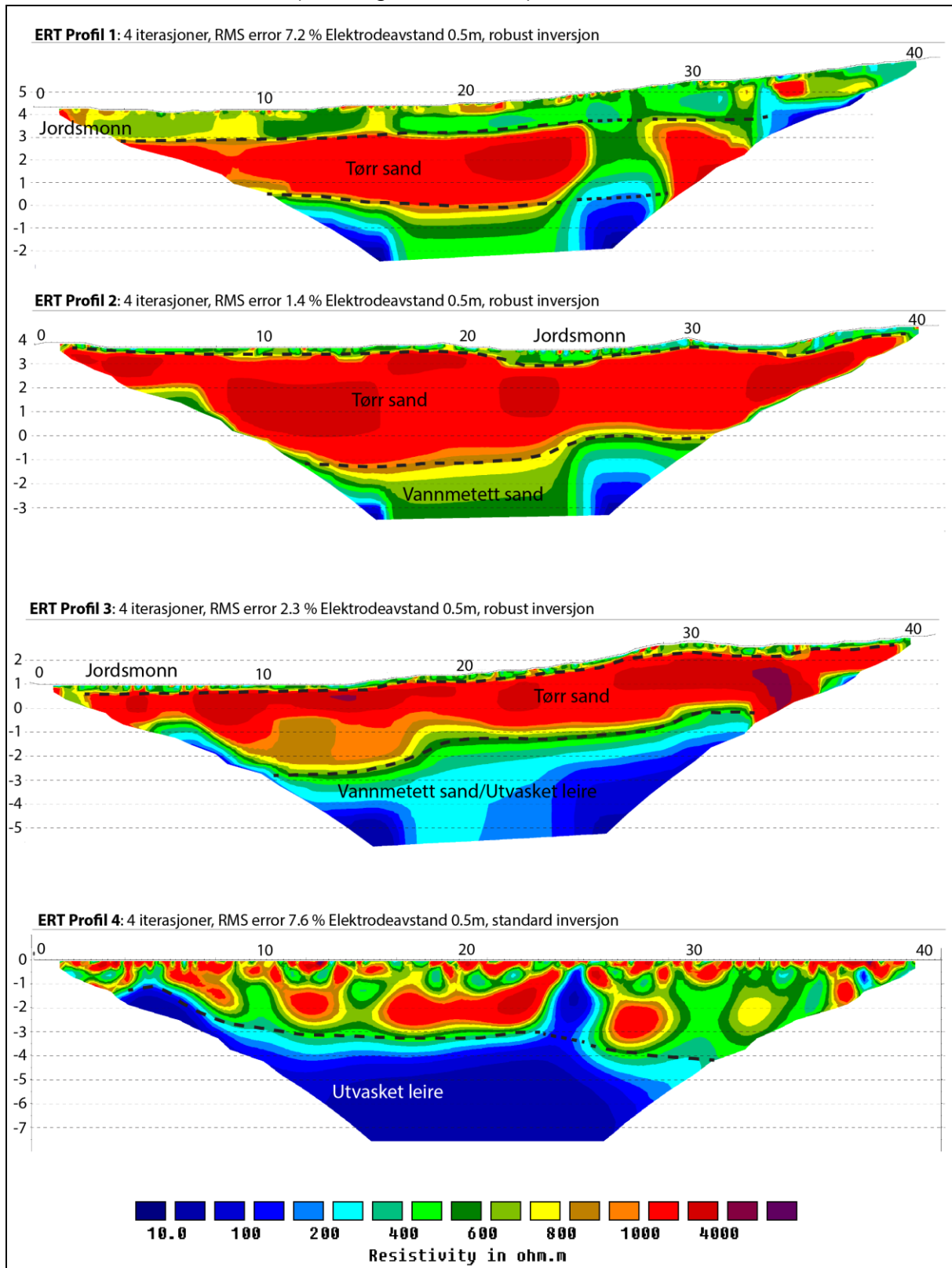
NGU utførte i mai 2021 en testmåling med vårt ERT-system hvor vi forsøkte å identifisere nedgravde tømmerkasser ved Arildsløkka, Trondheim. Metoden baserer seg på den elektriske ledningsevnen til undergrunnen. Organisk materiale, slik som trekassene, vil lede strøm bedre enn tørr sand og vil dermed være mulig å identifisere med ERT-målinger som et område med lavere resistivitet.

Som vedlagte figur 2 viser er det tre horisontale regimer som dominerer i **ERT Profil 1**. De øverste 2 m viser resistivitet på ca. 300-800 Ωm , dette samsvarer med tørt jordsmonn eller tørre siltige/finsandige løsmasser. På ca. 2 m dyp ligger en 2 m tykk sone med verdier på 1000-5000 Ωm , dette tolkes som tørre sandige masser. Det nederste laget har veldig lav resistivitet, < 100 Ωm , og enkelt soner med < 10 Ωm . Soner mellom 10 Ωm og 100 Ωm er nivåer som forventes ved utvasket marin leire. Lavere enn dette er det som forventes i marin leire eller i løsmasser med salt grunnvann. Basert på logg fra boringer i området (se Figur C og D) skyldes nok denne sonen salt grunnvann.

ERT Profil 2 og ERT Profil 3 viser de samme regimene som Profil 1. Den øverste sonen er i begge disse tilfellene betydelig redusert til under 1 meter tykkelse. Profil 3 viser i tillegg at den laveste sonen er nærmere overflaten noe som samsvarer med at den ligger lavere i terrenget og nærmere elva.

ERT Profil 4 ligger helt nede ved elvebredden, under flomålet. Her forventes det at løsmassene er vannmettet, noe som også gjenspeiles i resultatene. De øverste 4

meterne av profilet er preget av vekslende resistivitet. Denne vekslingen kan skyldes variasjon i løsmasetype. Lommer med finkornig materiale vil gi lavere resistivitet. Men det er også mulig at det er pålerekka eller trekasser som leder strøm bedre enn omkringliggende sedimenter. Alt under -4 meters dyp har verdier som samsvarer med utvasket marin leire (Solberg, et al., 2011).



Figur 7.3: ERT-profil 1-4 med tolkning.

Tabell 3: Koordinater til målestasjoner og endepunkt til resistivitetlinjene i WGS84 – UTM32

Linje	X	Y	Stasjon (m)
1	568638	7034169	0
	568648	7034169	10
	568657	7034169	20
	568667	7034170	30
	568677	7034170	40
2	568638	7034165	0
	568647	7034165	10
	568657	7034166	20
	568667	7034165	30
	568677	7034165	40
3	568637	7034158	0
	568647	7034159	10
	568656	7034160	20
	568666	7034160	30
	568676	7034160	40
4	568638	7034176	0
	568648	7034176	10
	568658	7034175	20
	568667	7034174	30
	568677	7034174	40

8. OPPSUMMERING

Alt i alt kan vi utlede at alle områdene som er undersøkt med GPR avslører reflektorer som indikerer uforstyrrete sedimenter, spesielt på større dybder. Et område like vest for Nidareid bro med begrenset dybdeinntrengning kan indikere en stabilitetstrussel for det gamle sikringstiltaket, mens tettheten av hyperboler og nedgravde objekter på både 100 og 200 MHz-resultatene fra den andre undersøkelsen kan knyttes direkte til den gamle forankringssystem. Romlig korrelasjon er åpenbart lineær, men å sjekke vann- og avløpsoversikt i området er en nødvendig handling for at moderne strukturer skal utelukkes. Videre var vi i stand til å utlede mulige geologiske endringer som kunne knyttes til menneskeskapt konstruksjoner ved å bruke GPR-penetrasjonsdybde som et evalueringskriterium.

På grunn av forhold på undersøkelsesområdet var det ikke mulig å utføre en detaljert 3D prosessering av datasettene. Slike undersøkelser krever høy presisjon og tette målelinjer, noe som vanskelig pga bratt terreng og tett vegetasjon.

Fra ERT-målingene er det kun mulig å identifisere mulige historiske sikringstiltak i Profil 4. Sonen med vekslende resistivitet er mellom 3 og 4 meter mektig og går langs hele profilet. GPR-profil AR100-00W overlapper med ERT Profil 4 men det er ingen umiddelbar korrelasjon mellom datasettene. Men hver for seg viser datasettene interessante resultater som kan tyde på et nedgravd sikringsverk, dette vil kun være mulig å bekrefte ved å gjøre direkte undersøkelser som graving.

9. REFERANSER

Bratberg, T.V., 1996: Trondheim Byleksikon. Oslo: Kunnskapsforlaget. s. 469.

Butler, D.K. (edited), 2005: Near Surface Geophysics (Investigations in Geophysics No. 13). Society of Exploration Geophysicists, ISBN: 1-56080-130-1 (Volume - 756 pp.).

Davis, J.L., and Annan, A.P., 1986: Borehole radar sounding in CR-6, CR-7 and CR-8 at Chalk River, Ontario: Technical Record TR-401, Atomic Energy of Canada Ltd.

Kartverket (Norges Geografiske Oppmåling), 1772: Rektangelmåling 1:3000, Søndre Trondhjems amt nr 44: Trondhiem, 1772.

NADAG, 2020: National Database of Ground Investigations. Available from <http://geo.ngu.no/kart/nadag/> [cited November 2020].

TK, 1898: Nidelva ved Nidareid. Grunnboringsrapport. Trondheim kommune Report R.0016.

TK, 1986: Avskjærende ledning Nidareid Grenaderen Etappe II. Grunnundersøkelser. Geoteknisk vurdering. Trondheim kommune Report R.675-2.

TK, 2001: Nidareid. Grunnundersøkelser. Datarapport. Trondheim kommune Report R.1134.

TK, 2008: Nidareid – erosjonssikring. Grunnundersøkelser. Datarapport. Trondheim kommune Report R.1418.

Trondheim Byteknikk, 2007: Elveforbygning Nidareid, Dybdekartlegging 2000 // 1887 / 98. Teknisk Rapport, Sweco Grøner.

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*, April, pp. 113-123.

Loke, M. H., 2017. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction Manual. Res2DInv 4.07. <http://www.geotomosoft.com/>.

Solberg, I.-L., Hansen, L., Rønning, J. S. & Dalsegg, E., 2011. Veileder for bruk av resistivitetmålinger i potensielle kvikkleireområder. *NGU Rapport 2010.048*, Trondheim: NGU.



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