



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2025 60 stp
Miljøvitenskap

Kartlegging av utbredelsen av et norsk ravinefylt nedlagt deponi ved bruk av en kombinasjon av elektriske metoder

Mapping the Extent of a Norwegian Ravine-Filled Closed Landfill Using
a Combination of Electrical Methods

Forord

Arbeidet med denne masteroppgaven har vært både lærerikt og utfordrende, og jeg ønsker å rette en stor takk til alle som har bidratt underveis.

Først og fremst vil jeg takke min hovedveileder, Helen Kristine French, for verdifulle råd og konstruktiv veiledning gjennom hele skriveprosessen. Din faglige innsikt og støtte har vært uvurderlig. Jeg vil også rette en stor takk til mine medveiledere, Saheed Opeyemi Adebunmi og Esther Bloem, for deres veiledning og innspill. En spesiell takk går til Saheed for god hjelp og hyggelig selskap under feltarbeidet – din tilstedeværelse gjorde lange dager i felt både mer effektive, underholdene og lærerike.

Videre ønsker jeg å takke min bror og hans gravide kone for deres gjestfrihet, gode selskap og alltid åpne dører. Å ha et sted å slappe av, dele måltider og få en pause fra arbeidet har vært til stor hjelp gjennom denne prosessen.

Til slutt vil jeg takke familie og venner som har vist interesse og gitt støtte underveis. Deres oppmuntring har vært viktig i gjennomføringen av denne oppgaven.

Oslo, 17.03.25

Thomas Stokke

Innhold

SAMMENDRAG.....	7
Om avfallsdeponi	9
Tidligere arbeid	12
Formål	15
Områdebeskrivelse	17
Teori – Elektromagnetisk metode (EM).....	23
Metode	28
Metode – EM38	28
Metode EM34-3.....	29
Elektro-resistive tomografi (ERT)	34
Databehandling og Kunstig Intelligens (chat-gpt).....	35
Resultat.....	37
ERT resultater mot EM.....	54
Bølstad.....	61
Diskusjon.....	64
Elektrisk ledningsevne i park og boligområde mot jordbruksområde	64
Antatt deponi vs utenfor deponi	65
Dype vs grunne målinger	67
EM og ERT	67
potensielle feilkilder	68
Konklusjon.....	68
Referanser	71
Vedlegg.....	74
.....	74

Figur 1 Illustrasjon for oppbygning av barrierer rundt deponerte masser (Miljødirektoratet, 2003).....	12
Figur 2 Oversiktskart over Brånåsdalen nedlagte avfallsdeponi med markert antatt ytre grense for deponiet.....	18
Figur 3: kartutsnittet viser tidligere ravinebekker som ble lagt om i betongrør ved opprettelsen av deponiet. Gul linje markerer bekkelukkingene (Hassum, 2022).	19
Figur 4A viser NGU løsmasskart over Brånåsdalen nedlagte avfallsdeponi. Deponiet ligger i et område med Hav- og fjordavsetninger (NGU, 2025). Figur 4B viser NGU berggrunnskartet over avfallsdeponiet. Kartet viser at deponiet ligger på et lag av glimmerskifer (NGU, 2025). Fjellblotninger i området ser mer ut som gneis.	21
Figur 5 indusert strøm i en homogen masse. Hentet fra: (McNeill, 1980)	23
Figur 6 viser plasseringen av antennene TX og RX ved vertikal dipol til venstre og horisontal dipol til høyre. Pilene viser retningen til det induserte elektromagnetiske feltet (bedre vist i Figur 5).	24
Figur 7 viser en graf over utstyrets respons til ulike dybder ved horisontal dipol ($\emptyset H$) og vertikal dipol ($\emptyset V$). Z dybde iforhold til antenneavstand. (McNeill, 1980) .	26
Figur 8 viser resistivitet og konduktivitet for ulike materialer (Kumar et al, 2025) (Palacky, 1987).....	27
Figur 9 viser datapunkter for et tenkt profil, der koordinatene til endepunktene er registrert, og punktene imellom har fått tildelt en koordinat basert på profilets lengde og antall datapunkt.....	28
Figur 10 viser datapunkt for EM34 med 10m antenneavstand.....	30
Figur 11 viser en illustrasjon for å forklare begrepet samplan/koplanar. TX og RX representerer antennene. Under måling var det viktig å holde antennene koplanar for å sikre riktig verdi og antenneavstand.....	31
Figur 12 Bildet viser oversikt over utstyret: RX og TX antenne og monitor, samt kabler for kobling mellom antenne og tilhørende monitor og kabler for bruk med antenneavstand 10, 20 og 40m og målebånd for kontroll av korrekt innstilling og antenneavstand ved første måling	32
Figur 13: Bildet viser bruk av EM34-3 i horisontal dipol modus med 10m avstand mellom antennene.....	33

Figur 14: Bildet viser bruk av EM34-3 i vertikal dipol modus med 10m avstand mellom antennene.....	33
Figur 15 målepunkter ved Bølstad nedlagte avfallsdeponi.....	34
Figur 16 Kartet inneholder referanseområder som er brukt under resultat og diskusjonsdel.....	37
Figur 17 viser oversikt over gyldige og ekskluderte datapunkter/målepunkter for antenneavstand på 10m og 20m.....	40
Figur 18 viser målepunkter med fargekoder etter målt elektrisk konduktivitet. Bildet til høyre viser interpolasjon av datapunktene. Målingene har en gjennomtrengningsdybde på 1,5m.	41
Figur 19 EM34 10m Horisontal dipol (gjennomtrengningsdybde 7,5m dybde) med målepunkter til venstre og interpolert konturkart til høyre. Punktene og konturkartet deler fargeskala.....	43
Figur 20 Målepunkt for 10m avstand med vertikal dipol (dybde 15m) til venstre og interpolert kart til høyre. Punkter og kart deler fargeskala.....	45
Figur 21 Datapunkter for 20m antenneavstand med horisontal dipol til venstre og konturkart for interpolerte punkter til høyre (gjennomtrengningdybde 15m).	47
Figur 22 EM34 20m vertikal dipol med punkter til venstre og konturkart til høyre. Punkter og konturkart deler fargeskala.....	49
Figur 23 EM34 40m horisontal dipol (dybde 30m). Punkter på kartet til venstre og konturkart til høyre med delt fargeskala for konduktivitet,.....	51
Figur 24 Em34 40m vertikal dipol. Omriss av antatt ytre grense er markert i rødt (dybde 60m).	53
Figur 25 viser oversikt over ERT profil som er diskutert i denne oppgaven. Profilene er hentet fra oppgavene til Malin Hassum og Sarah Lise Hjelle	54
Figur 26: Profil 4 som går nordvest for Lillehaugen borettslag. Profilet har en lengde på 95 m og en dybde på 20m. Hentet fra masteroppgaven til Hjelle.....	55
Figur 27: Profil 5 ligger i sentralområdet og starter rett øst for gasshuset og går i østgående retning. Profilet er 95m langt og har en dybde på omtrent 20m.	56
Figur 28 viser profil 8. Profilet ligger ved snuplassen i den vestre enden av Lensmanns Ole Oppens vei og ligger delvis utenfor deponiets antatte ytre grense..	57

Figur 29 viser ERT profil 30 fra jordbruksområdet. Elektrodeavstand 5m og målekonfigurasjon wenner.....	59
Figur 30 Viser to profiler med 5m antenneavstand samlet inn av Malin Hassum (Hassum, 2022). Profil A_5m ligger i Dal Sør og B_5m fra jordbruksområdet. Profil A_5m har en dybde på ca. 20m og en lengde på ca. 230m. profil B_5m har en dybde på ca. 30m og en lengde på ca. 450m.....	60
Figur 31 viser datapunkt (øverst) og konturkart nederst for Bølstad nedlagte deponi.....	62
Figur 32 viser konturkart av data fra EM34-3 med 10m antenneavstand og horisontal dipol (gjennomtrengningsdybde 7,5m). Kartet viser også ERT profil. Markert er punkter for første elektrode og distanse til økning i konduktivitet fra EM34.....	63
Figur 33 viser ERT profil fra Bølstad (Adebunmi, 2024). Profilet er samlet med Wenner konfigurasjon og med en elektrodeavstand på 5m. Profilet måler til en dybde på 20m. ERT profilet viser ikke endring i topografi.	64
 vedlegg 1 ekskluderte punkter for 40m antenneavstand.....	74
vedlegg 2 EM38 vertikal dipol uten klipping.....	75
vedlegg 3 10m antenneavstand horisontal dipol uten klipping.....	76
vedlegg 4 10m antenneavstand vertikal dipol uten klipping.....	77
vedlegg 5 20m antenneavstand horisontal dipol uten klipping.....	78
vedlegg 6 20m antenneavstand vertikal dipol uten klipping.....	79

SAMMENDRAG

Avfallsdeponier bidrar til flere problemer i samfunnet vårt, inkludert giftige sigevann som forurenses grunnvann og jord, utslipp av metan og CO₂ samt infrastruktursskader forårsaket av nedbrytning av organisk materiale.

Brånåsdalen avfallsdeponi, som ligger i Lillestrøm kommune, er plassert i en gammel ravine med marine avsetninger. Området brukes i dag til industri-, bolig-, landbruks- og rekreasjonsformål. Deponiet har forårsaket en rekke utfordringer siden det ble stengt, inkludert skader på boliger, utslipp av metangass, belastning på beboerne, rettssaker og betydelige erstatningskostnader for Lillestrøm kommune.

De siste årene har det blitt gjennomført omfattende forskning på Brånåsdalen deponi for å avgrense dets ytre grenser og vurdere metangassutslipp. Nylige studier inkluderer elektrisk resistivitetstomografi (ERT) samt målinger av gassfluks og -konsentrasjon både innendørs i industri- og boligområder og utendørs for å estimere CO₂- og metanutslipp samt lokalisere utslippshotspots.

Denne masteroppgaven fokuserer på kartlegging av deponiets ytre grenser ved bruk av Geonics EM34-3 og EM38-MK2-instrumentene. Dataene som samles inn fra den elektromagnetiske (EM) undersøkelsen, vil sammenlignes med tidligere forskning som har benyttet elektrisk resistivitetstomografi (ERT) og kart over deponiets antatte grenser, utviklet av Norconsult. EM gir mulighet for rask innsamling av data over et stort område, samt mulighet for innsamling på områder uavhengig av underlag, der ERT gir mer høyoppløselig data, men med lavere innsamlingshastighet og umulig å benytte på enkelte underlag.

Studien undersøker kontraster i elektrisk ledningsevne i undergrunnsmaterialer for å lokalisere deponiets grenser og vurderer metodens styrker og svakheter for potensielle fremtidige kartlegging av avfallsdeponi og forurensninger. EM34-3 ble brukt i både horisontal og vertikal dipolkonfigurasjon, med sender-mottaker-avstander på 10 m, 20 m og 40 m for å måle ledningsevne på ulike dybder og teste utstyrets følsomhet for støy under forskjellige forhold. EM38-MK2 ble brukt i vertikal dipolkonfigurasjon med en effektiv gjennomtrengningsdybde på 1,5 m.

Brånåsdalen deponi er et ideelt testområde for denne metoden på grunn av tidligere forskning og områdets varierte bruk. Jordbruksarealer gir et miljø med minimal menneskeskapt støy, mens bolig- og parkområder tester utstyrets effektivitet under mer støyende forhold.

Resultatene viser en økning i elektrisk ledningsevne som stort sett samsvarer med det tidligere antatte kartet over deponiet. Imidlertid ble det observert betydelig høyere verdier i boligområder sammenlignet med jordbruksland. Dataene antyder at utstyret er mindre følsomt i horisontal dipolmodus og med kortere antenneavstander, noe som gjør det mer egnet i områder med menneskelig påvirkning. Samlet sett er utstyret effektivt for rask kartlegging i områder med minimal menneskelig forstyrrelse, som jordbruksland eller utmark. Det anbefales å kombinere EM-data med ERT for kontrollmålinger i utvalgte interesseområder for økt nøyaktighet.

ABSTRACT

Landfills contribute to several problems in our society, including toxic leachates contaminating groundwater and soil, methane and CO₂ emissions, and infrastructure damage caused by the degradation of organic material. Brånåsdalen landfill, located in the municipality of Lillestrøm, is situated in an old ravine within marine deposits. The area is currently utilized for industrial, residential, agricultural, and recreational purposes. The landfill has caused numerous challenges since its closure, including damage to residential properties, methane gas emissions, stress on residents, lawsuits, and significant compensation costs borne by the municipality of Lillestrøm. In recent years, extensive research has been conducted on Brånåsdalen landfill to delineate its outer borders and assess methane gas emissions. Recent research includes ERT and measurements of gas flux and concentration both inside industry and residence, as well as outdoors to estimate CO₂ and methane emissions and locate emission hotspots. This master's thesis

focuses on mapping the outer borders of the landfill using the Geonics EM34-3 and EM38-MK2 instruments. The data collected from the electromagnetic (EM) survey will be compared with previous research utilizing Electrical Resistivity Tomography (ERT) and maps of the assumed borders developed by Norconsult. The study investigates contrasts in electrical conductivity in subsurface materials to locate the landfill boundaries and evaluates the strengths and weaknesses of the method for potential future environmental applications. The EM34-3 was deployed in both horizontal and vertical dipole configurations, with transmitter-receiver antenna spacings of 10 m, 20 m, and 40 m, to measure conductivity at varying depths and test the equipment's sensitivity to noise under different settings. EM38-mk2 was used in vertical dipole with a effective skin depth of 1,5m. Brånåsdalen landfill provides an ideal site for testing this method due to previous research and the area's diverse usage. Agricultural land offers an environment with minimal cultural noise, while residential and park areas test the limits of the equipment's effectiveness in noisier conditions. The results show an increase in electrical conductivity values that mostly align with the previously assumed map of the landfill. However, significantly higher values were observed in residential areas compared to agricultural land. The data suggest that the equipment is less sensitive in horizontal dipole mode and with shorter antenna spacings, making it suitable more suitable in areas with human interference. Overall, the equipment is effective for fast mapping minimal human interference, like farmland or outfield. Combining EM data with ERT for control measurements in areas of interest is recommended for improved accuracy.

Om avfallsdeponi

Avfallsdeponier er en urgammel form for avfallshåndtering. Avfall har historisk sett blitt håndtert uten regulering eller hensyn til helse og miljø, og i mange utviklingsland er dette fortsatt vanlig praksis. Avfallsdeponier har ofte blitt lagt til områder for å enklere kunne bygge infrastruktur, for eksempel over nedlagte sanduttak, dødisgroper, fjelldaler og raviner, etc. Økt fokus på konsekvenser knyttet

til helse, miljø og klima har ført til strengere regulering av plassering av nye avfallsdeponier, samt hvordan areal over gamle avfallsdeponier benyttes (Poulsen, 2014).

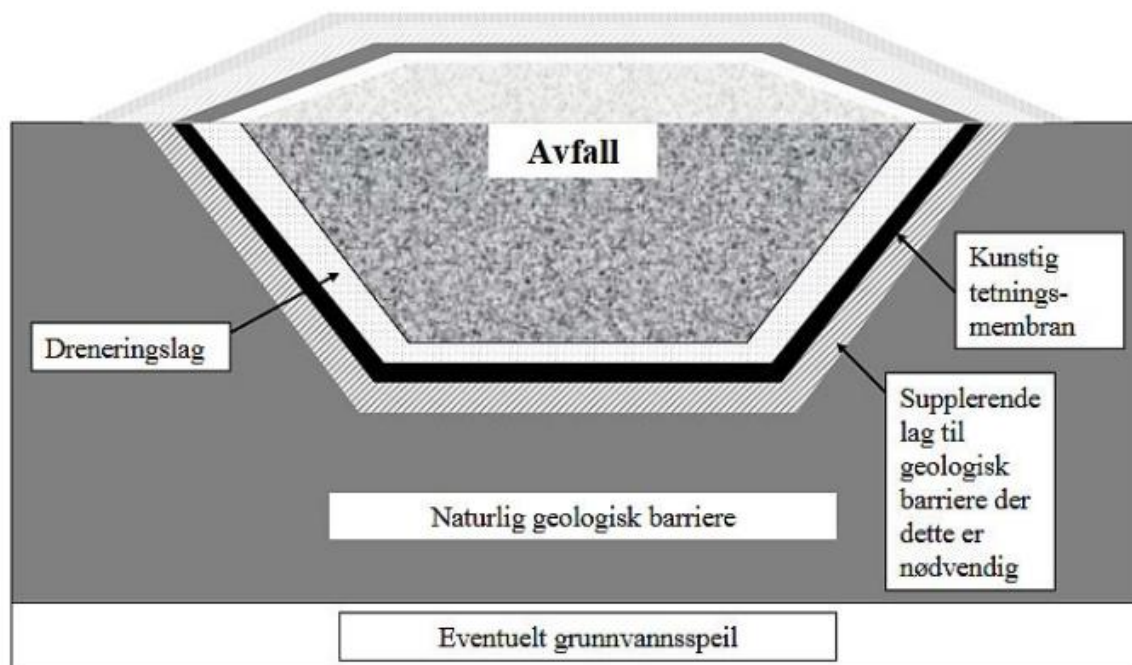
På 1960 og 1970-tallet begynte regelverket å strammes inn, med «solid Waste Disposal Act (SWDA) i 1965 som første føderale lov om avfallshåndtering i USA, NEPA (National Environmental Policy Act) i 1969 for utredning av føderale tiltak og opprettelsen av EPA (Environmental Protection Agency) i 1970 for å utforme og håndheve miljølovverket (Solid Waste Disposal Act, 1965) (NEPA, 2025) (EPA, 2025). EU fulgte etter med sitt første rammedirektiv for avfallshåndtering i 1975.

I Norge ble det vesentlig strengere lovverk innen deponering etter inngått EØS avtale. Lovverket trådte i kraft i 2002 og før dette var det ikke strengt reglement til hvor og hvordan masser skulle deponeres, eller behandling av sigevann og bunntetting av deponiet (Slinde, et al., 2023).

Avfallsdeponier har blitt anlagt på sentrale områder i nærhet av byer. Ettersom byene har vokst har det blitt behov for å benytte nedlagt avfallsdeponier til boligformål. Det har derfor blitt bygget boliger, industri og annen infrastruktur på og i randsonen til avfallsdeponier. Dette har ført til skade på bygninger som et resultat av setninger i de deponerte massene, innsig av brennbare gasser som metangass i bygninger og annen infrastruktur. Gassutslipp kan føre til eksplosjoner, men kan også føre til helseplager, vond lukt og andre plager for mennesker som bor og bruker området (Bakke, 2017). Miljødirektoratet anbefaler derfor ikke bygging i randsonen eller på gamle deponier. Dersom det skal bygges må det gjøres tilstrekkelig med tiltak for å hindre negativ effekt på helse og miljø. Dessverre er det ofte dårlig kjennskap til gamle deponiers utstrekning grunnet dårlig dokumentasjon under deponering og tildekking. Ved graving i massene vil forurensninger og metangass enklere slippes ut i atmosfæren, det er derfor foretrukket med indirekte undersøkelser for å finne deponiets utbredelse, for eksempel geofysiske undersøkelser som elektromagnetiske metoder eller elektroresistiv tomografi (ERT), historiske flyfoto eller lidar data. (Reynolds, 1997)

EØS reglementet gir også krav som skal redusere utslipp fra deponiet. For å redusere forurensning av grunnvann og anoksisk nedbrytning av organisk materiale benyttes en topptetting bestående av ulike lag. De ulike lagene består gjerne av en toppdekning av jord som skal beskytte de underliggende lagene mot erosjon, tørkesprekker og tele (Figur 1). Toppdekket skal være på minimum en meter ved deponering av ordinært avfall. Under toppdekket ligger tetningslaget, tetningslaget skal hindre innsig av vann, i Norge benyttes vanligvis naturprodukter som leire (Dagestad, Hansen, & Braathen, 2003). Leire har svært lav hydraulisk ledningsevne og ansees som en egnet hydraulisk barriere. Under tetningslaget ligger et lag for å drenere gass. På avfallsdeponi i Norge vil disse lagene ofte ha rør med negativt trykk for å suge opp metangass i deponiet, før det får mulighet til å slippe ut gjennom svakheter i deponiets tetning. Gassen benyttes deretter gjerne til energiformål eller brennes på stedet for å redusere klimaavtrykk. Det siste laget i toppdekket er et arronderingslag der funksjonen er å jevne ut de deponerte massenes overflate. (Miljødirektoratet, 2003)

I tillegg til en toppdekning er det krav til en barriere i bunnen og sidene av deponiet, enten i form av en naturlig geologisk barriere eller en syntetisk membran, gjerne begge deler.



Figur 1 Illustrasjon for oppbygning av barrierer rundt deponerte masser (Miljødirektoratet, 2003)

Tidligere arbeid [MERK: Vurder å sammenligne tydeligere med tidligere arbeid av Hassum og Hjelle, og hvordan metodene deres har påvirket denne oppgavens tilnærming.]

Lillestrøm kommune har tidligere hyret konsultantselskaper som Norconsult til blant annet estimere en ytre grense på deponiet. Norconsult har gjort undersøkelser på deponiet. Det er blant annet gjort skavl boring rundt boliger i Lensmanns Ole Oppesens vei, Lennsmanns Kleivs vei og Lillehaugen borettslag. Under boringene ble deponert avfall funnet så høyt som 1,5m under overflaten. Grunnvann/mettede sone ble funnet fra 1-5m under overflaten. Resultat fra boring beskriver varierende avfallstyper, blant annet: plast, trevirke, isolasjon og isopor samt noe metall som trolig stammer fra et bilvrak. Boringene ble avsluttet når de støtte på deponi eller høye gassmålinger (Rismyhr, 2018). En kombinasjon fra funn gjort med

skavlboringer og sammenligning av gamle og nye høydekoter over området (Bakke, 2017).

Det har tidligere vært skrevet to masteroppgaver om Brånåsdalen nedlagte avfallsdeponi. Malin Hassum skrev i 2022 en masteroppgave, der hun benyttet ERT (elektrisk resistivitets tomografi) jordprøver og infiltrasjonsprøver til kartlegging av Brånåsdalen avfallsdeponi og toppdekning. ERT-målingene ble gjort med lengre elektrodeavstand i forhold til den etterfølgende masteroppgaven fra Sarah Lise Hjelle fra 2023 (Hjelle, 2024). Der en lengre elektrodeavstand resulterer i en større måledybde enn kortere elektrodeavstand, kort avstand vil derimot føre til en høyere oppløsning på dataene nær overflaten.

Formålet med Hassums studie var å finne tykkelse og egenskaper til toppdekket, avgrensningen til deponiet og hvor egnet ERT er til undersøkelse av eldre deponier. Kornfordelingsanalyse beskrevet i masteroppgaven av Hassum viser at toppdekket består av kornstørrelser fra leire til sand/grus. Toppdekket har derimot en tykkelse som varierer mellom 10 og 32 cm (Hassum, 2022). Det var ikke mulig å identifisere grensen mellom toppdekket og de deponerte massene med ERT målingene gjort av Hassum. Dette var på grunn av for lav kontrast i elektrisk ledningsevne for marin leire, topptetting og de deponerte massene. (Hassum, 2022). Ved hjelp av en kombinasjon av metoder, i dette tilfellet: ERT, infiltrasjonstester, glødetap og MPD-infiltrometer konkluderer Hassum med at samlet data gir en god indikasjon på toppdekkets egenskaper. Hassum har ERT profiler elektrodeavstander på 5m og 1m, som gir dype dykk i massene. De lange profilene er benyttet for å finne grensen til grunnfjell. Som er funnet ved enkelte profiler mellom 22 og 26 meters dyp, og stort sett lave resistivitetsverdier nær overflaten.

Hassum anbefaler videre arbeid med elektromagnetisk metode (EM), da dette gir en rask datainnsamling og muligheten for å samle inn data i områder med vanskeligheter for kontakt med elektroder og uten penetrasjon av toppdekning og tetningslag.

Hjelles oppgave hadde som mål å kartlegge grensen mellom toppdekket, tetningslaget og de deponerte massene ved hjelp av elektrisk resistivitetstomografi (ERT). Målingene ble utført med en elektrodeavstand på 0,5–1 meter, supplert med infiltrasjonstester og jordprøver med kornfordelingsanalyse for å fastslå de fysiske egenskapene og sammensetningene til toppdekket og tetningslaget. Kortere elektrodeavstand gir høyere oppløsning, særlig i de øvre lagene. Profilene ble også lagt til andre lokasjoner. Ved Lillehaugen og Sentralområdet ble det også foretatt ERT målinger parallelt og med kort avstand mellom profilene for 3D fremstilling bakkens resistivitet i disse områdene. Til slutt skulle nye ERT-målinger vurderes for å identifisere avfallsdeponiets grenser. Undersøkelsene viste imidlertid at det ikke var mulig å tydelig skille toppdekket fra tetningslaget, sannsynligvis på grunn av dets begrensede tykkelse, som varierte mellom 9 og 40 cm. I tillegg kan den valgte elektrodeavstanden ha resultert i for lav oppløsning til å identifisere overgangen mellom lagene. Det ble heller ikke påvist et klart skille mellom utsiden og innsiden av deponiet i horisontal retning. (Hjelle, 2024)

Hjelle anbefaler i likhet med Hassum bruk av EM for å kartlegge områder som var utilgjengelig for målinger med ERT, deriblant områder med asfalt. Hun anbefaler også flere jordprøver.

I denne oppgaven vil data fra oppgavene til Hjelle og Hassum sammenlignes med egne innsamlede EM-målinger. Det har tidligere ikke vært gjort undersøkelser med EM ettersom utstyret ikke har vært tilgjengelig. EM34-3 ble leid fra Georeva i Frankrike og EM38-mk2 ble lånt fra NiBio. Mens ERT måler bakkens elektriske resistivitet måler EM bakkens elektriske konduktivitet som har en nær korrelasjon. Det vil være hensiktsmessig å måle med EM over samme områdene som Hjelle og Hassum for å sammenligne data i tillegg til å måle over ett større område, spesielt i det som antas å være deponiets ytre grenser, samt utenfor grensene for å sammenligne naturlige sedimenter med deponerte masser, toppdekning og bunn og sidetetting.

Formål

Hovedmål

Oppgaven tar for seg EM målinger ved to ulike nedlagte deponier; Bølstad og Brånåsdalen. Bølstad er et mindre nedlagt avfallsdeponi i Ås kommune som ligger i et landlig område. Brånåsdalen som er et mer sammensatt område med landbruksområder, park og boligfelt. Der Bølstad er et praktisk sted for å bli kjent med metoden i et område med minimale forstyrrelser, tilbyr Brånåsdalen en setting som kan teste EM-metodens egenskaper til det ytterste. Brånåsdalen har også tidligere vært undersøkt med ERT, skavlboringer og sedimentanalyser, samtidig som det er et deponi som har utfordringer som gassutslipp og setningsskader i forbindelse med bolig og arbeidsplasser. Oppgaven vil ha hovedfokus på Brånåsdalen.

Hovedmålet med oppgaven er å kartlegge Brånåsdalens ytre horisontale grense ved hjelp av elektromagnetiske (EM) målinger. Resultatene vil sammenlignes med den estimerte horisontale grensen som Norconsult har beregnet basert på sammenligning av gamle og nye høydekurver.

I tillegg skal EM-metoden testes opp mot eksisterende ERT-data for å evaluere metodens evne til å kartlegge deponiets utstrekning. Ved å kombinere de to metodene kan deres styrker utnyttes: EM gir rask datainnsamling og tilgang til områder som er utilgjengelige for ERT, mens ERT gir høyere oppløsning i utvalgte interesseområder.

- Kan EM brukes til å finne kartlegge deponiets ytre horisontale grense?
- Er det nyttig å kombinere data fra EM og ERT for en mer helhetlig kartlegging av deponiet?

Delmål

En del av undersøkelsen vil være å analysere hvordan målingene responderer på ulike dybder og hvorvidt de kan indikere overgangen mellom deponerte masser,

naturlige sedimenter og berggrunn. Målingene vil dekke dybder på 1,5, 7,5, 15, 30 og 60 meter, avhengig av målemetode (se *Teori – Elektromagnetisk metode (EM)*).

Selv om EM-metoden har begrenset vertikal oppløsning, kan den gi indikasjoner på hvor deponiets vertikale avgrensning. Særlig målinger på 1,5 meter er av interesse, da de antas å ligge innenfor topptettingen. Det vil derfor undersøkes om konduktiviteten i topptettingen skiller seg fra både deponerte masser og naturlige omgivelser.

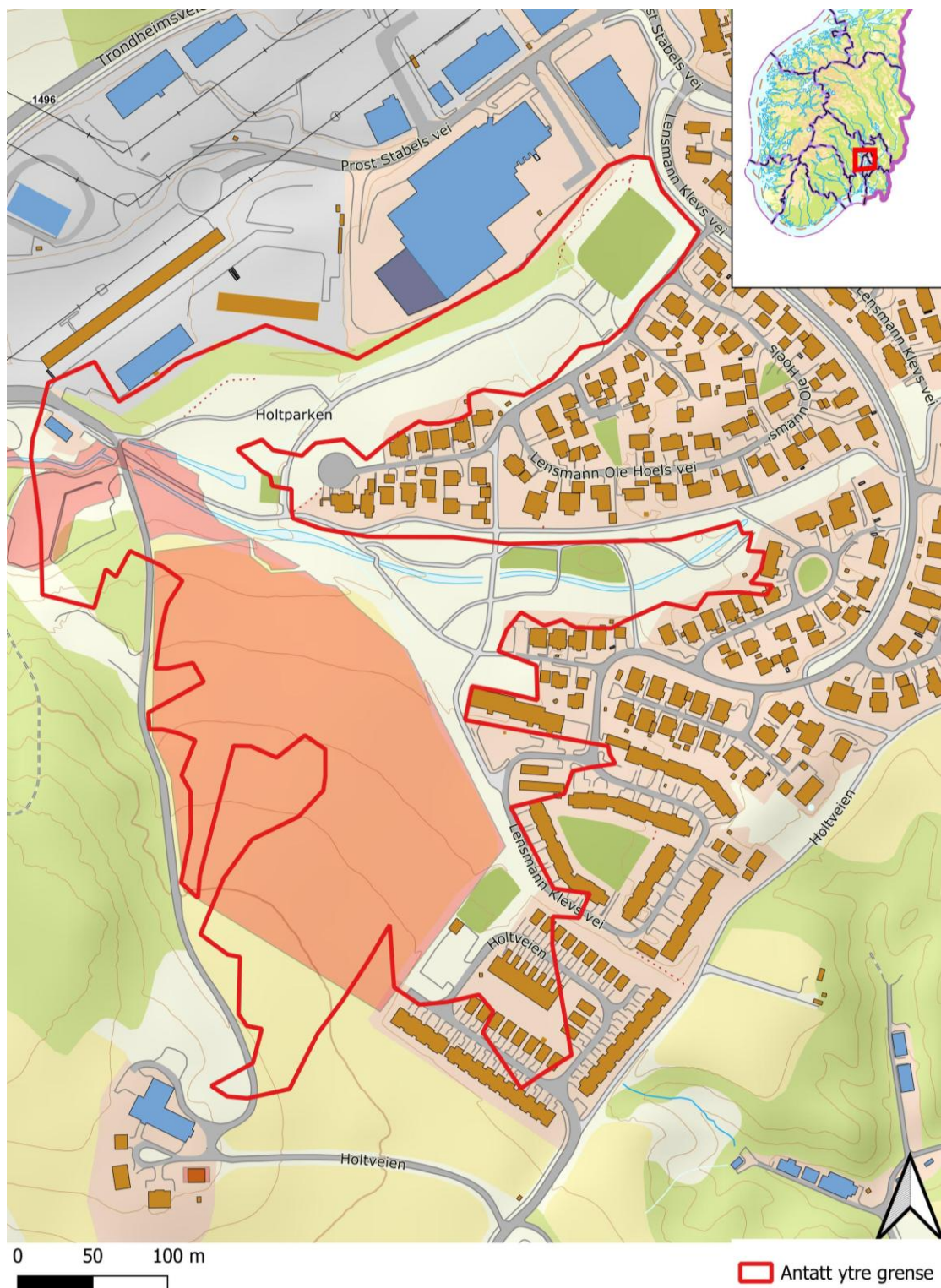
- Kan EM brukes til å lokalisere dybde til berggrunn?
- Kan EM skille topptetting fra deponerte masser

Områdebeskrivelse

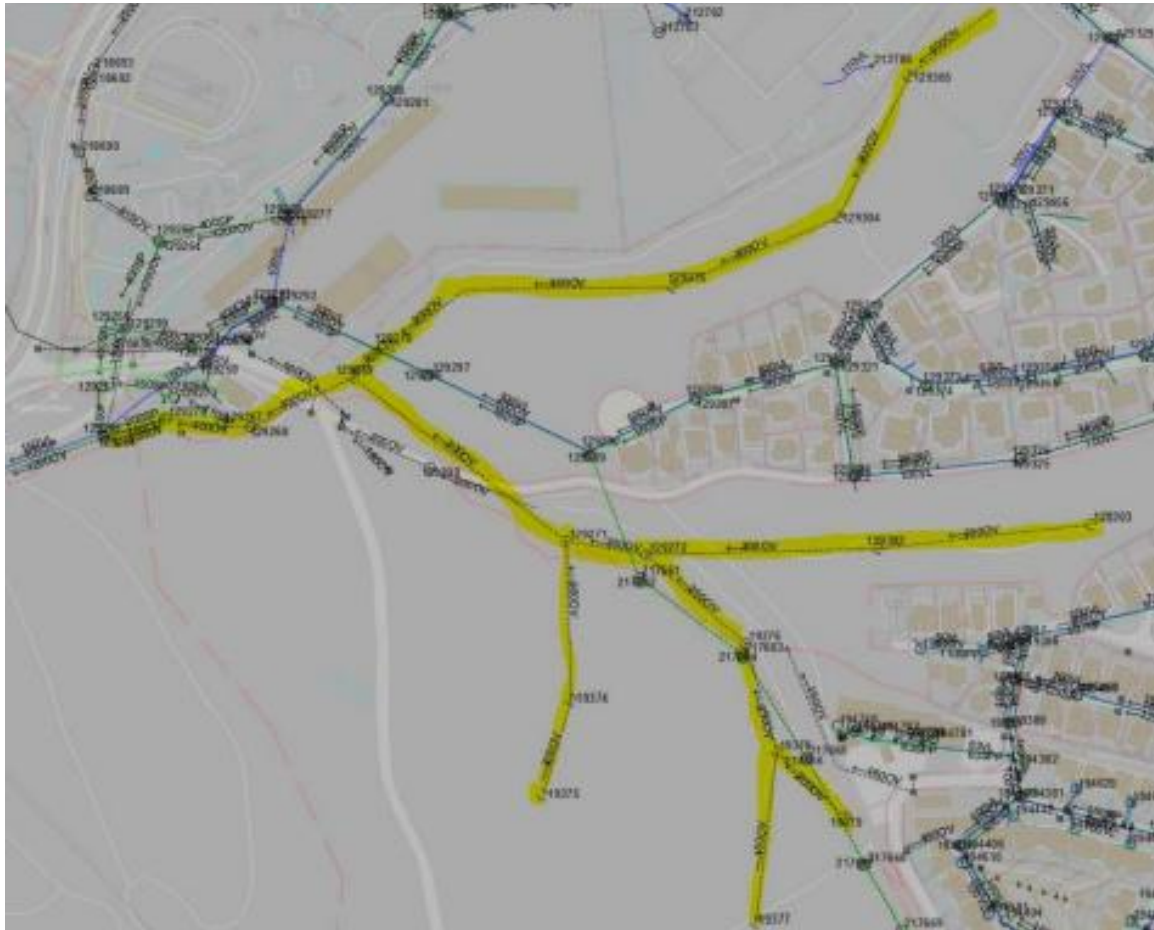
Brånåsdalen er et nedlagt avfallsdeponi som var aktivt mellom 1971 og 1991 (Figur 2).

Deponiet ligger ved Kjeller i Lillestrøm kommune og ble etablert for å fylle igjen en gammel ravine. Før oppstart av deponiet ble ravinebekkene lagt i doble betongrør for å hindre at sigevann fra deponiet rant ut i Nitelva nedstrøms for deponiet (Figur 3) (Bakke, 2017).

Deponerte masser inkluderer bolig- og industriavfall, kjøretøy med drivstoff og olje, slam og kjemisk avfall. Det er høy sannsynlighet for at massene inneholder giftige stoffer og tungmetaller, men mangel på dokumentasjon og krav til rapportering på deponeringstidspunktet gjør at innholdet er usikkert (Bakke, 2017). I ettertid har det vist seg at deponiets plantegninger ikke ble fulgt, og undersøkelser har avdekket uklare yttergrenser og for tynt toppdekke (Hjelle, 2024). Gravearbeid mellom gasshuset og Trondheimsveien har også påvist deponerte masser. Gravearbeidet ble utført før målinger og tiltak som ble gjort i området kom ikke frem i samtalen med Harald Berge (Berge, 2024).



Figur 2 Oversiktskart over Brånåsdalen nedlagte avfallsdeponi med markert antatt ytre grense for deponiet.

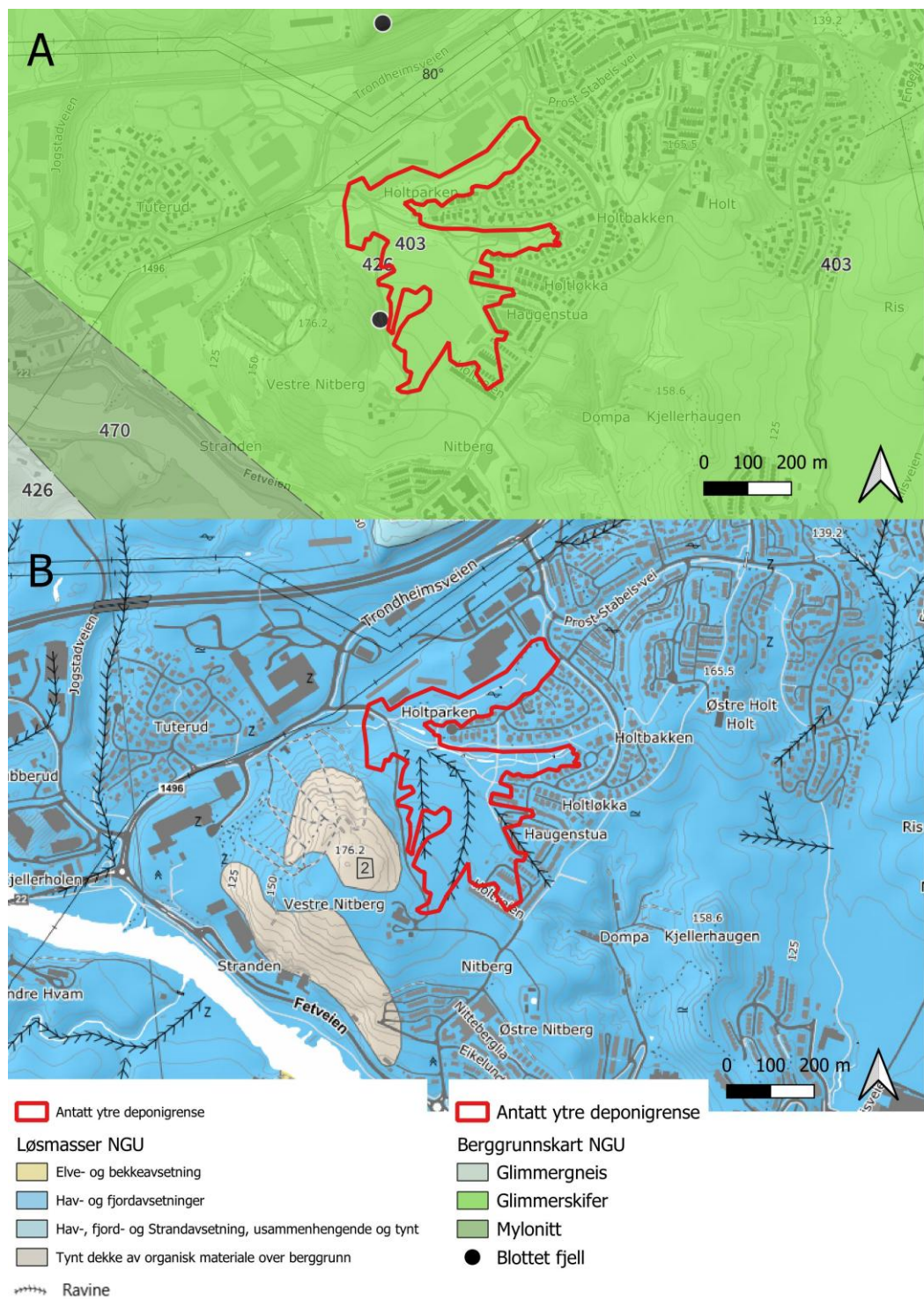


Figur 3: kartutsnittet viser tidligere ravinebekker som ble lagt om i betongrør ved opprettelsen av deponiet. Gul linje markerer bekkelukkingene (Hassum, 2022).

Geologi og grunnforhold

Løsmassene i området består av et tykt lag med hav- og fjordavsetninger, hovedsakelig leire og silt, avsatt etter siste istid (Longva, 1991). Disse finkornede sedimentene fungerer som en naturlig geologisk barriere for deponiet og er vist i NGUs løsmassekart (Figur 4A).

Berggrunnen i området er ifølge NGUs berggrunnskart (Figur 4B) dominert av glimmerskifer, men feltobservasjoner tyder på at det også finnes gneis/glimmergneis langs vestgrensen til deponiet. Dette indikerer at NGUs kartlegging av berggrunnen kan være noe unøyaktig. Berggrunnen er i stor grad dekket av løsmasser, bortsett fra et område vest for deponiet, hvor fjellet er blottet.



Figur 4A viser NGU løsmasskart over Brånåsdalen nedlagte avfallsdeponi. Deponiet ligger i et område med Hav- og fjordavsetninger (NGU, 2025). Figur 4B viser NGU berggrunnskartet over avfallsdeponiet. Kartet viser at deponiet ligger på et lag av glimmerskifer (NGU, 2025). Fjellblotninger i området ser mer ut som gneis.

Miljøpåvirkninger

Deponiet har hatt problemer med metangassutslipp og setningsskader, noe som har ført til søksmål og erstatningsutbetalinger for Lillestrøm kommune. Av de 22 boenhetene som ligger innenfor det estimerte deponiområdet, har 14 enheter påvist setningsskader som uten tvil stammer fra deponiet (Nedre Romerike tingrett, 2019). Lillehaugen borettslag ble oppkjøpt av kommunen på grunn av metangassutslipp i boligene og setningsskader.

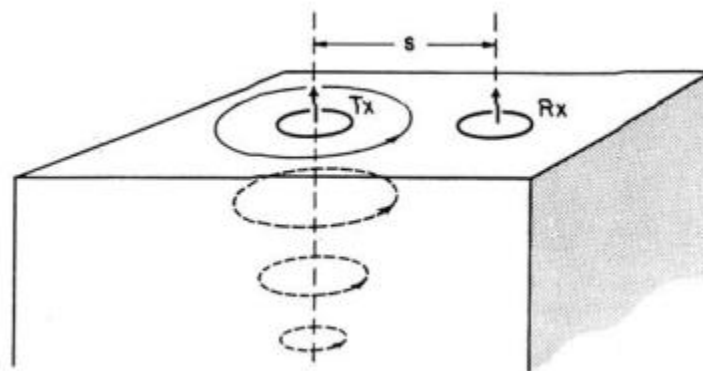
For å håndtere metangassen har deponiet et gassoppsamlingssystem, hvor gassledninger i hardplast fører metan til et gasshus i nordvestre hjørne av deponiet, hvor den brennes i en fakkel. Gassoppsamlingssystemet er vist i oversiktskartet (Figur 2). Norconsult, Multiconsult, IFE og Rambøll har på bestilling fra kommunen gjennomført undersøkelser for å kartlegge deponiets yttergrenser, måle gassutslipp og vurdere mulige helseeffekter (Haug, 2023; Nesbakken, 2024). IFE har utført fluksmålinger av metan i bolig- og parkområder for å estimere totale utslipp, klimaavtrykk og mulige forebyggende tiltak (Schöpke, 2022).

Bølstad - områdebeskrivelse

Bølstad er et nedlagt avfallsdeponi som ligger 2,5 km nord for NMBU. Området brukes i dag som jordbruksområde og miljøstasjon. Dette Deponiet har i likhet med Brånåsdalen noe uklare grenser, men deponiet ligger nær NMBU og NIBIO har hatt overvåkning der i mange år og forskerne har god kjennskap til deponiet. Årlig utslippsmengde for jern, ammonium og tungmetaller er lav og tilfredsstillende alle parametere for årlig middelkonsentrasjon (Mæhlum, 2022). Berggrunnen består av glimmergneis (NGU, 2025) og løsmassene er av typen hav og fjordavsetninger (NGU, 2025). Ved den søndre grensen til deponiet går det en bratt skråning ned til elv. Nedenfor deponiet er det oppsamling av vann med tilhørende renseanlegg. Miljøstasjonen grenser til jordbruksområdet i nord. Det er kun tatt målinger på jordbruksområdet og på grusveien langs elven sør for deponiet mot bassenget. Utstyret har ulike konfigurasjoner for måledybde som vil forklares senere.

Teori – Elektromagnetisk metode (EM)

Data er samlet inn med Geonics EM34-3 og EM38-mk2, som begge benytter et to-spole-system bestående av en sender (TX) og en mottaker (RX) antenne. Senderen danner et primært elektromagnetisk felt som penetrerer jordens overflate og inducerer virvelstrømmer i jordmassene (Figur 5). Disse virvelstrømmene skaper et sekundært elektromagnetisk felt, som mottakerantennen kontinuerlig måler. Styrken og fasen til det sekundære feltet avhenger av de elektrisk-konduktive egenskapene til materialet i bakken. Høyere elektrisk konduktivitet fører til sterkere induserte strømmer, men svært ledende strømmer kan gi skjermingseffekter redusere sekundærfeltet dybdeutbredelse. Dette vil føre til lavere antatt elektrisk ledningsevne enn den reelle (McNeill, 1980) (Reynolds, 1997).

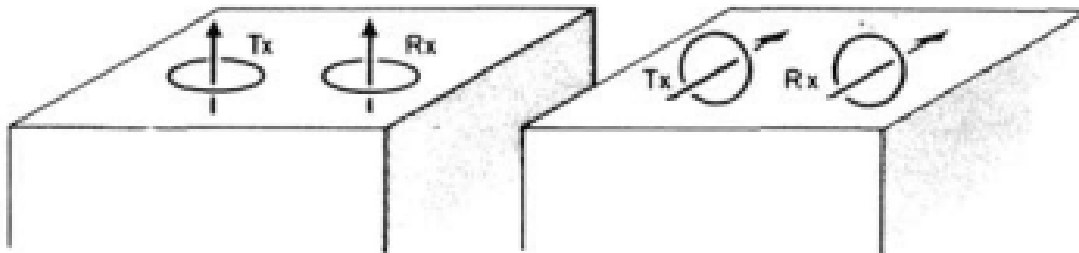


Figur 5 induert strøm i en homogen masse. Hentet fra: (McNeill, 1980)

Utstyr som benytter to-spole-system vil støtte på utfordringer ved målinger perpendikulært på et konduktivt materiale (for eksempel en elektrisk kabel). Ved målinger over et slikt materiale vil man forvente to høye anomalitopper og sterkt negativ verdi i midten. Dette er viktig å være bevisst på ved tolkning av data (Reynolds, 1997).

Avstanden mellom antennene er fast for en gitt målekonfigurasjon, men separasjon kan justeres ved behov for dypere eller grunnere måling, sammen med endring av

vertikal og horisontal dipol (Figur 6). EM38-mk2 har en fast antenneseparasjon på 1m. EM34-3 kan ha avstand mellom antennene på 10m, 20m og 40m. (Tabell 1 viser måledybde ved ulike målekonfigurasjoner for antenneavstand og horisontal/vertikal dipol)



Figur 6 viser plasseringen av antennene TX og RX ved vertikal dipol til venstre og horisontal dipol til høyre. Pilene viser retningen til det induserte elektromagnetiske feltet (bedre vist i Figur 5).

Tabell 1 Måledybde beregnet ut ifra Maxwells ligning ved ulike avstander mellom sender og mottaker antenne, ved horisontal og vertikal dipol. (Geonics Limited, 2009)

Måledybde (meter)		
Coil avstand (m)	horisontal dipol	vertikal dipol
10	7,5	15
20	15	30
40	30	60

Mottakerantennen registrerer forholdet mellom det sekundære feltet (HS) og det primære feltet (HP), noe som gir informasjon om materialets elektriske konduktivitet. Forskjellen i styrken og faseforskyvningen mellom primær- og

sekundærfeltet brukes til å beregne den tilsynelatende elektriske konduktiviteten til undergrunns materialet.

Beregningen er basert på Maxwells ligninger for elektriske og magnetiske felt, og kan uttrykkes som:

$$\frac{H_S}{H_P} \simeq \frac{\omega \mu_0 \sigma S^2}{4} \quad (1)$$

Her er:

$\frac{H_S}{H_P}$ = forholdet mellom sekundær- og primærfeltet,

$\omega = (2\pi f)$ vinkelfrekvensen,

f = frekvens (Hz),

μ_0 = permeabiliteten i vakuum,

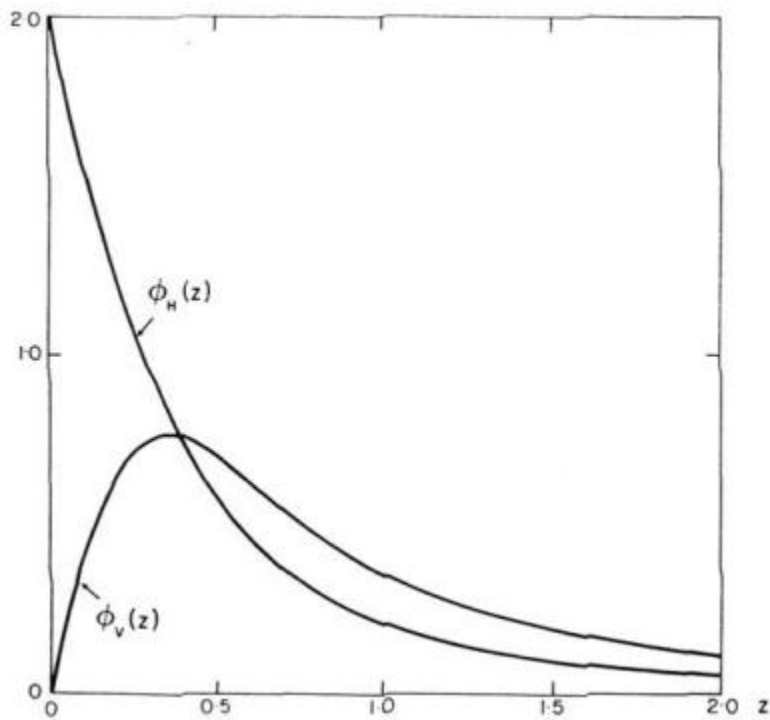
σ = elektrisk konduktivitet i jordmaterialet,

S = avstanden mellom sender- og mottakerantennene. (McNeill, 1980)

Prinsippet bak EM-metoden er å analysere undergrunnens respons på et påført, tidsvarierende elektromagnetisk felt. Metoden måler både amplituden og faseforskyvningen av det induerte sekundærfeltet, som gir informasjon om materialets elektriske konduktivitet.

Figur 7 viser horisontal og vertikal dipols respons til elektrisk konduktivitet ved ulike dybder. Horisontal dipol responderer på grunne målinger, mens vertikal dipol er mindre påvirket av elektrisk konduktivitet nær overflaten. Integralet av

funksjonen gir bidraget til den tilsynelatende konduktiviteten. Dette vil si at målinger ved vertikal dipol vil bli mindre påvirket av for eksempel topptetting enn målinger ved horisontal dipol med samme antenneavstand. I jord med flere lag vil dette føre til at over og underliggende lag kan ha en dempende eller forsterkende effekt på den målte konduktiviteten (McNeill, 1980).

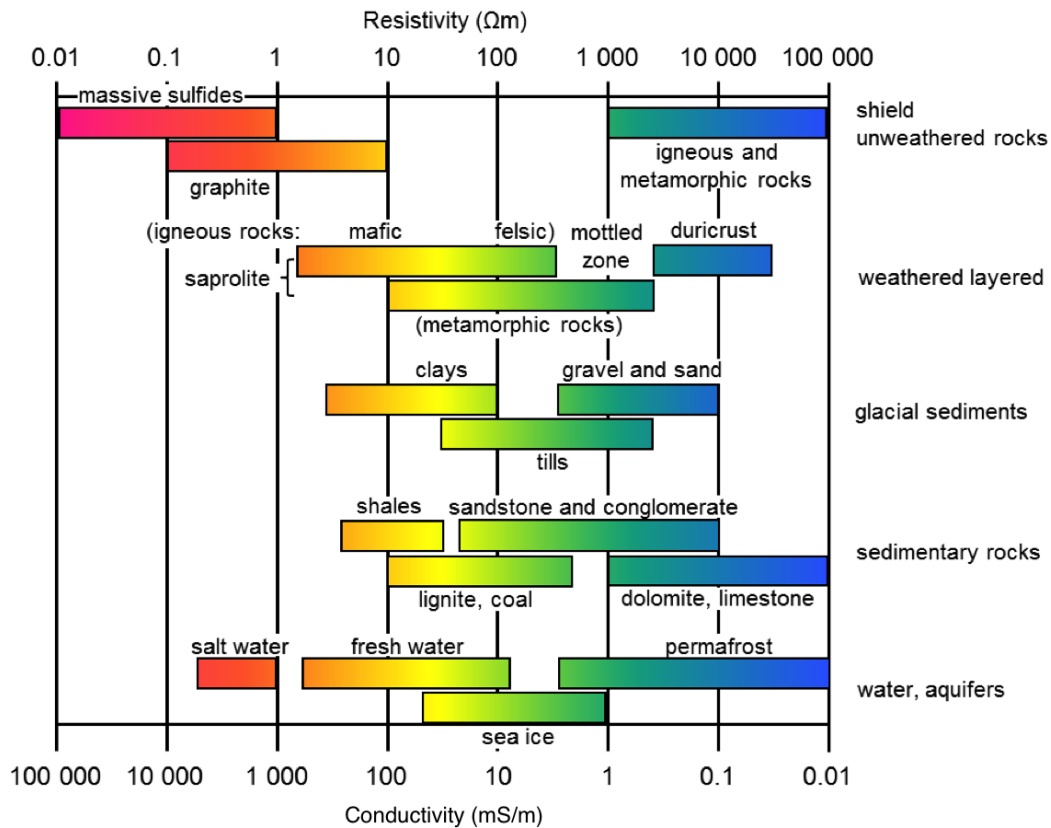


Figur 7 viser en graf over utstyrets respons til ulike dybder ved horisontal dipol (ϕ_H) og vertikal dipol (ϕ_V). Z dybde iforhold til antenneavstand. (McNeill, 1980)

Resultatene av EM-målingene avhenger av jordmassens konduktivitet og resistivitet, på samme måte som ved elektrisk resistivitetstomografi (ERT). En fordel med EM-metoder er rask datainnsamling uten behov for fysisk kontakt med bakken. EM38-MK2 gir høyoppløselige målinger av konduktivitetsendringer nær overflaten, mens EM34-3 muliggjør målinger på større dyp på grunn av økt avstand mellom TX og RX (McNeill, 1980).

Naturlig materiale i området består for det meste av finkornede løsmasser (leire og sil, men også noe sand og grus) og berggrunn av glimmerskifer og glimmergneis.

Dette er begge metamorfe bergarter som vil forventes å gi lav konduktivitet (se Figur 8). Leire kan ha svært varierende konduktivitet, men fortsatt høy ledningsevne sammenlignet med sand og grus.



Figur 8 viser resistivitet og konduktivitet for ulike materialer (Kumar et al, 2025) (Palacky, 1987).

Metode

Metode – EM38

Målinger gjort med Geonics EM38-mk2 er gjort i Quad Phase i vertikal dipol. Quad Phase måler elektrisk konduktivitet (Siemens/meter). Utstyret oppgir målinger i milliSiemens/meter (mS/m). Dette gir en dybde på omtrent 1,5m.

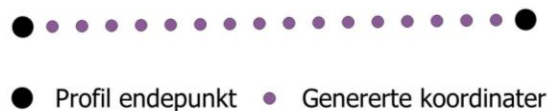
Målinger ble tatt i rette profiler med jevn avstand mellom målepunkter. Koordinater ble notert ved start og sluttmåling for hvert profil, koordinatene for hvert separate målepunkt ble frembrakt ved hjelp av oppgitt kode (se side 96) (visualisert ved Figur 9). Der målinger ble tatt langs vei eller gangsti ble start og slutt koordinat notert og ruten opptegnet i QGIS og koordinater beregnet ut ifra avstand mellom målepunkt (Formel 2)(verktøy: points along geometry).

$$Distanse = \frac{\text{profil lengde}}{\text{antall målepunkt} - 1} \quad (2)$$

Der distanse er avstand mellom målepunktene i et gitt profil

Profil lengde er totale avstanden mellom start og endepunkt i profilet

Antall målepunkt er antall målinger i profilet inkludert start og sluttpunkt.



Figur 9 viser datapunkter for et tenkt profil, der koordinatene til endepunktene er registrert, og punktene imellom har fått tildelt en koordinat basert på profilets lengde og antall datapunkt.

Hver dag ved oppstart ble utstyret kalibrert i henhold til Geonics EM38 brukermanual, der det ble benyttet en 1,5m høy kjepp til å heve utstyret over

bakken for å få en upåvirket kalibrering. Etter ca. 4 timer med måling ble kalibreringen utført på nytt (Geonics Limited, 2016).

Metode EM34-3

Figur 10 viser datapunkt for EM34 med 10m antenneavstand. Datapunktene ble valgt ut ifra ønske om å lokalisere den ytre grensen til deponiet, men også å teste ut utstyret under påvirkning fra infrastruktur (lyktestolper, kabler, biler, biler og annen elektronikk og metaller). I boligområder var det vanskelig å måle nært den antatte deponigrensen med tanke på at den ofte lå på privat område. Dette sammen med Hassum og Hjelles forslag til videre arbeid med EM i boligområder og andre områder som var utilgjengelige med ERT førte til mange profiler i bebyggede områder. På jordbruksområdet ble det tatt profiler på tvers av den antatte ytre deponigrensen. Ved oppstart var avstand mellom punktene 5m, men dette ble økt til 10m og 15m av hensyn til tid. Ved lengre antenneavstand ble enkelte områder i boligfelt utelatt grunnet dårlige data.

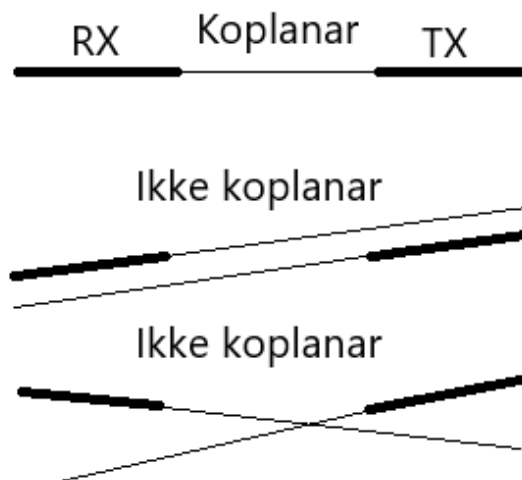
Registrering og forskyvning av datapunkter

Datapunktene ble opprinnelig registrert ved TX-antennen, men har i ettertid blitt justert for å representere en posisjon midt mellom TX- og RX-antennen. Under innsamlingen ble RX- og TX-antennen alltid båret på linje, noe som sikrer konsistent posisjonering av målepunktene. For å reflektere måleposisjonens faktiske plassering, er de registrerte punktene forskjøvet 5m, 10m eller 20m i retning av RX-antennen for antenneavstander på henholdsvis 10m, 20m og 40m.



Figur 10 viser datapunkt for EM34 med 10m antenneavstand.

Geonics EM34-3 ble leid fra Georeva i perioden 15.november til 12.desember (se Figur 12 for oversikt over utstyr). I denne perioden ble utstyret benyttet for testmålinger ved det nedlagte avfallsdeponiet på Bølstad. Dette deponiet ble valgt på grunn av tidligere dekning med ERT-målinger og lite støy/menneskelig påvirkning i området. Deretter ble det benyttet på Brånåsdalen nedlagte avfallsdeponi der det ble utført målinger med 10m avstand mellom TX og RX antennene i både horisontal (Figur 13) og vertikal modus (Figur 14). Deretter ble målinger tatt med 20m og 40m avstand. Ved større avstand ble målingene mer følsomme for støy og det ble derfor tatt færre målinger i områder med tett bebyggelse. Ved måling var det også fokus på å holde antennene i samme plan (antennene deler samme plan, illustrert i Figur 11), da dette hadde innflytelse på registrert avstand mellom antenne og målt verdi. 40m avstand ble begrenset til jordbruksområdet i den sørøstre delen av deponiet.



Figur 11 viser en illustrasjon for å forklare begrepet samplan/koplanar. TX og RX representerer antennene. Under måling var det viktig å holde antennene koplanar for å sikre riktig verdi og antenneavstand.



Figur 12 Bildet viser oversikt over utstyret: RX og TX antenne og monitor, samt kabler for kobling mellom antenne og tilhørende monitor og kabler for bruk med antenneavstand 10, 20 og 40m og målebånd for kontroll av korrekt innstilling og antenneavstand ved første måling.



Figur 13: Bildet viser bruk av EM34-3 i horisontal dipol modus med 10m avstand mellom antennene.

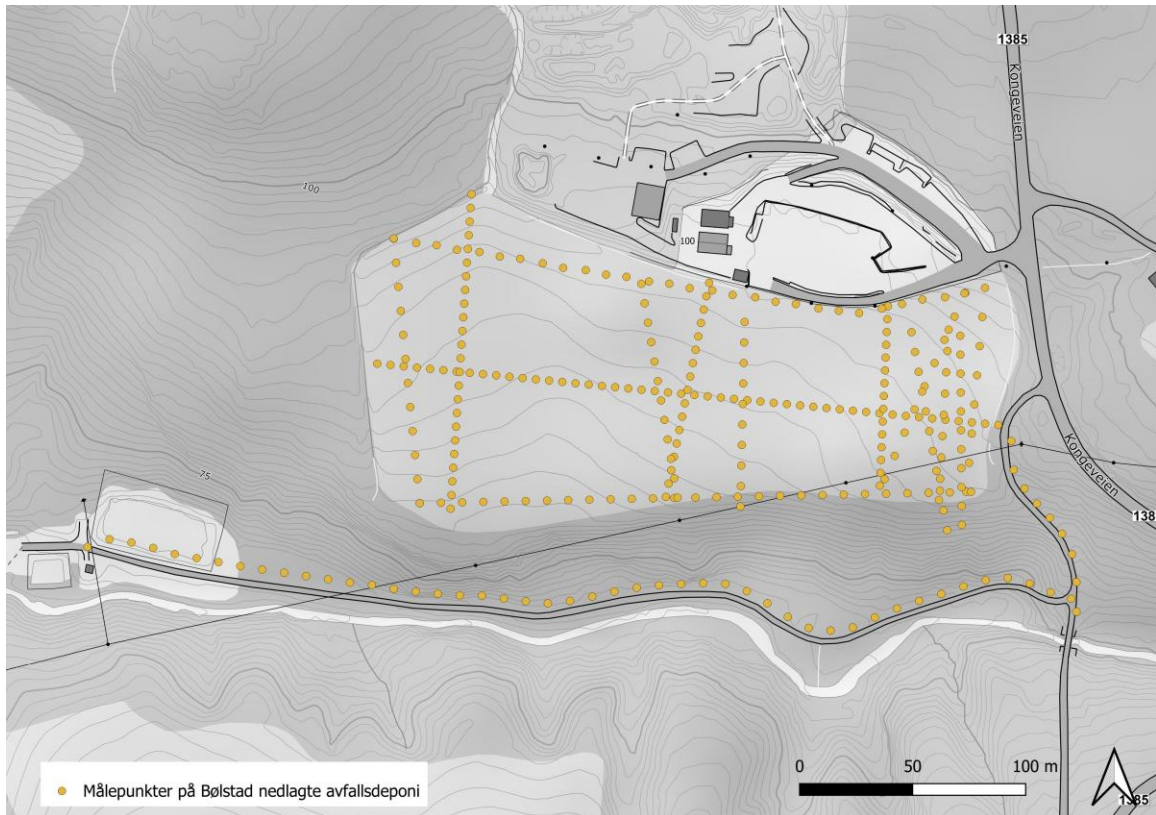


Figur 14: Bildet viser bruk av EM34-3 i vertikal dipol modus med 10m avstand mellom antennene.

Før oppstart ble utstyret kalibrert på jordbruksområdet grunnet lite støy fra infrastruktur for mer nøyaktige målinger. Der RX-antenne ble slått av, deretter utstyret nullet for å eliminere eventuell bakgrunnsstøy. Kalibrering ble utført i henhold til Geonics Limited manual for EM34-3 (Geonics Limited, 2009) og Geonics limited manual for EM38-mk2 (Geonics Limited, 2016).

Koordinater ble notert ved start og slutt punkt ved hvert profil. Dersom profilet lå langs en vei eller sti bli profilet tegnet opp i QGIS og koordinater ble beregnet ut ifra avstanden benyttet ved profilet. Dersom profilet ble tatt i rette linjer ble koordinatene frembrakt ved hjelp av oppgitt kode. (se side91).

Ved Bølstad nedlagte avfallsdeponi er det tatt målinger på jordbruksområdet og på grusveien langs elven sør for deponiet mot bassenget. Målingene er tatt med 10m antenneavstand og i horisontal dipol (dybde 7,5m). Forskjellige målekonfigurasjoner på Bølstad ble nedprioritert grunner begrenset tid med utstyret. Formålet med disse målingene var for å bli kjent med utstyret, og kunne sammenligne metode i et landlig strøk i forhold til bebygget område.



Figur 15 målepunkter ved Bølstad nedlagte avfallsdeponi

Elektro-resistive tomografi (ERT)

Data fra ERT er samlet av Sarah Lise Hjelle sommer og høst 2023. Denne delen beskriver hennes metode for datainnsamling benyttet i denne oppgaven.

Data ble samlet inn med Syscal Pro fra Isis instruments. Utstyret ble koblet til et 12V bilbatteri for tilstrekkelig strømtilførsel. Under innsamling ble det benyttet to ulike

sett med kabler med avstander på 1 og 5 meters mellomrom mellom elektrode. Det ble så benyttet målebånd og tommestokk for å sikre riktig avstand mellom elektrodene og at profilet ble så rett som mulig. Ved måling ble det benyttet 48, 64 eller 96 elektroder bestemt ut ifra formål med undersøkelsene eller hva lokasjonen tillot. Elektrodene ble banket i bakken med hammer og festet til kablene ved hjelp av krokodilleklyper. Før måling ble kontakten til elektrodene sjekket ved RS-sjekk; dårlig kontakt eller høy RS ble sjekket manuelt.

Hjelle utført målinger hovedsakelig i tre områder: Lillehaugen, Hovedområdet (øst for gasshuset) og jordbruksområdet. I denne oppgaven vil EM data sammenlignes med et profil fra utenfor Lillehaugen borettslag (profil 4), et profil fra sentralområdet (profil 5) og et profil fra jordbruksområdet (profil 31).

Ved innsamling av data var det utfordrende å unngå asfalterte områder og infrastruktur. I enkelte tilfeller ble elektroder plassert i underlag av grus, eller i nærheten av infrastruktur som kan ha hatt en forstyrrende effekt på resultatet. Under innsamling var det skiftende værforhold med nedbør og tordenvær. Nedbør førte til bedre kontakt for elektrodene. Under tordenvær ble datainnsamling pauset.

Data ble overført til PC fra Syscal Pro med programvaren ProSys II, deretter ble data kontrollert for korrekt elektrodeavstand og målepunkt. Rådataen ble prosessert i ResIPy; et program for prosessering av geofysiske data og inversjonsmodeller. Programmet ResIPy er basert på kodespråket python

Databehandling og Kunstig Intelligens (chat-gpt)

Kunstig intelligens (KI) er benyttet til å utarbeide python kode for å frembringe konturkart basert på innsamlet data. Python er benyttet til å fremstille koordinater til datapunkter samlet på rett linje med jevn avstand mellom datapunktene. Ferdig kode og sammendrag av samtale med chat-gpt vil ligge under vedlegg (side 81).

Dataprosessering

For generering av konturkart ble det benyttet Ordinary Kriging. Koden har innebygd funksjonalitet for automatisk estimering av variogramparametrene sill, range og

nugget, og denne metoden ble anvendt for data innsamlet med EM34-3, der variogrammodell ble satt til eksponentiell. For data fra EM38-MK2 var det imidlertid nødvendig å spesifisere disse parameterne manuelt, med verdiene 750, 200 og 100 for sill, range og nugget, henholdsvis.

Valg av variogrammodell ble valgt ut ifra hvilket resultat som så ut til å best representere dataene. Det ble også testet lineær, gaussian og spherical, der eksponentiell ga en mer naturlig og god representasjon av variasjon i datasettet. Eksponentiell er et robust semivariogram om egner seg for data med høy romlig kontinuitet og lokale heterogeniteter. Eksponentiell tillater gradvis variasjon i datasettet og områder med brå endring i konduktivitet (Kitanidis, 1997).

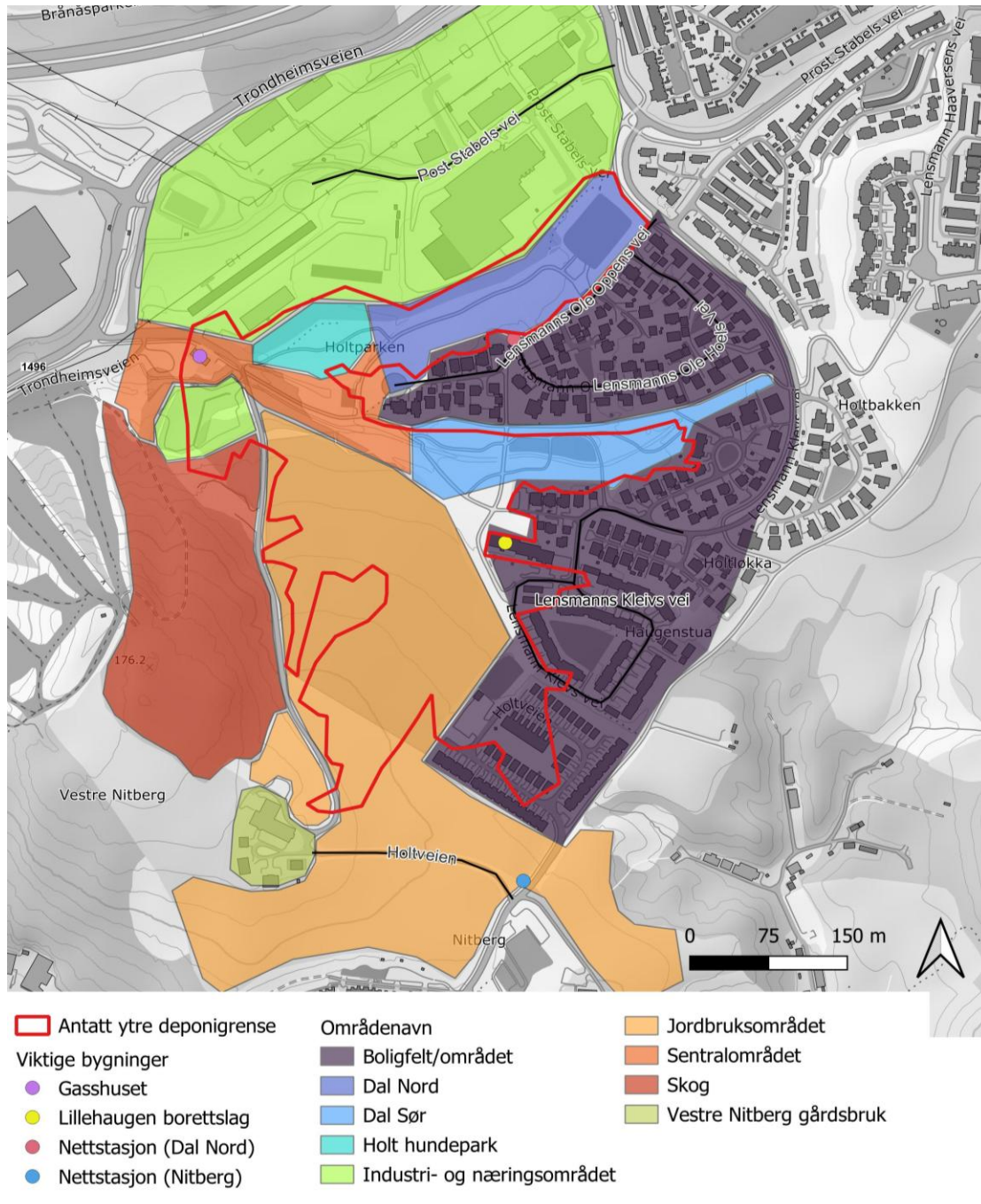
Måleverdier utenfor intervallet -20 til 100 mS/m ble automatisk filtrert ut i koden. Det ble observert at svært få datapunkter lå utenfor dette intervallet, spesielt for målinger med 10 m antenneavstand. De ekskluderte punktene hadde ofte måleverdier som avvek med flere hundre mS/m i både positiv og negativ retning, og ble vurdert som tydelige anomalier.

Dette intervallet ble valgt for å effektivt fjerne støy fra datasettet uten behov for manuell gjennomgang og fjerning av verdier. I tillegg er dette intervallet satt som minimums- og maksimumsverdi for fargeskalaen i alle konturkart i oppgaven. En ytterligere fordel med dette valget er at det samsvarer godt med forventede naturlige variasjoner i konduktivitet, noe som gir et mer kontrastfylt og lesbart kartgrunnlag.

Videre ble det gjennomført en manuell filtrering av enkelte datapunkter i områder med høy grad av forstyrrelser, selv om verdiene i disse tilfellene lå innenfor det definerte intervallet. Denne manuelle filtreringen ble utført for å sikre at interpolasjonen ikke ble påvirket av lokale anomalier som kunne skyldes instrumentelle eller miljømessige interferenser.

Resultat

Under resultat og diskusjon vil det refereres til ulike områdenavn, veier og bygninger. Ulike områder og bygninger som er nevnt gjennom resultatdelen er derfor lagt inn i kartet på Figur 16.



Figur 17 viser datapunkt for 10 og 20m antenneavstand med horisontal og vertikal dipol som er benyttet til interpolasjon etter filtrering som blå punkter som gyldige datapunkter og røde som ekskluderte datapunkter. Dersom man sammenligner kartene ser man at gjennomtrengningsdybde ser ut til å spille en stor rolle for sensitiviteten til utstyrer (Antall ekskluderte punkter for hver målekonfigurasjon er vist i Tabell 2). Der for eksempel 10m antenneavstand og horisontal dipol ser ut til å ha nokså lik følsomhet som 20m horisontal. Oversikt over 40m antenneavstand er ikke inkludert på grunn av få ekskluderte punkt.

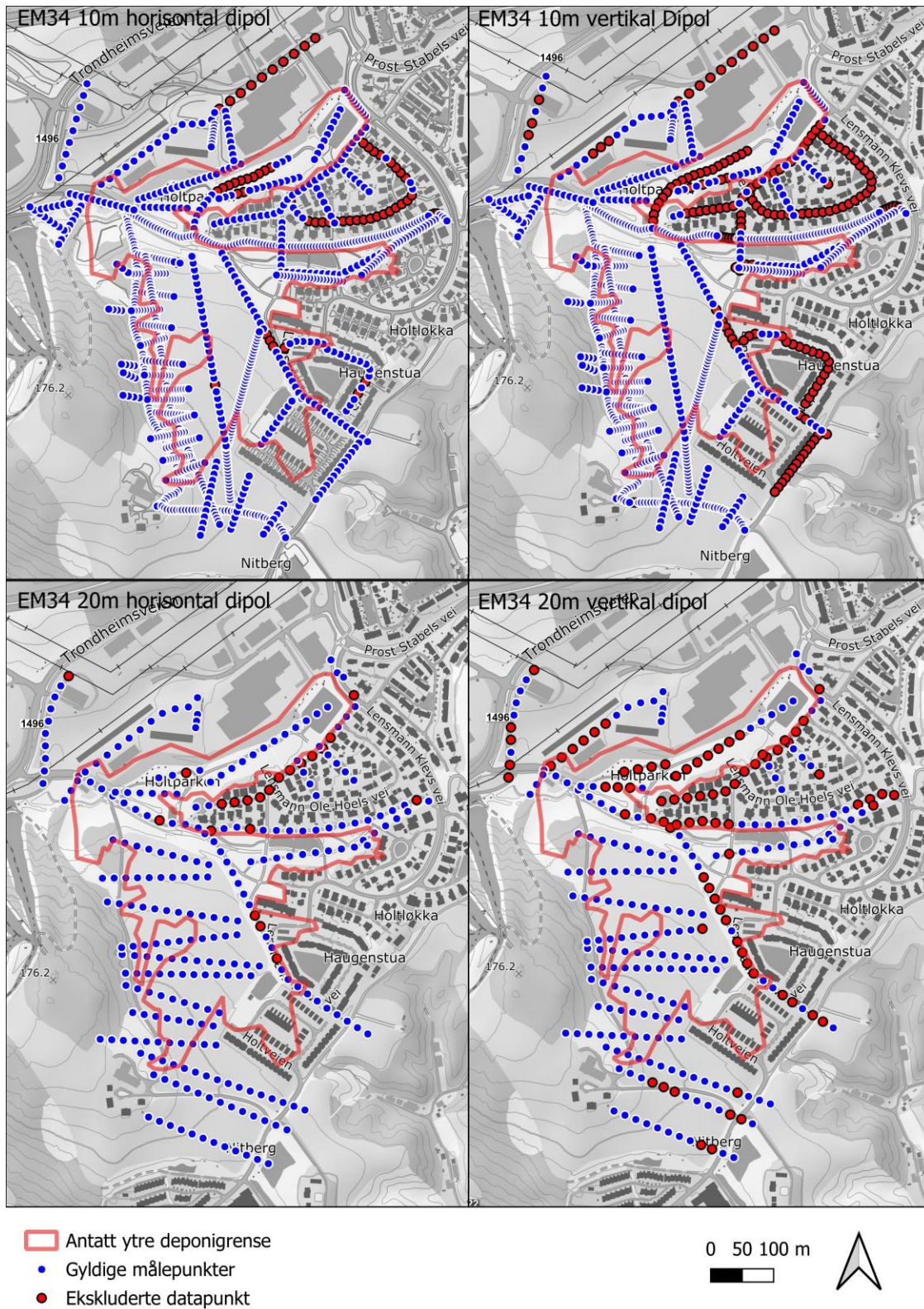
Tabell 2 viser oversikt over totalt antall målepunkt for hver antenneavstand og antall ekskluderte punkt for ulike konfigurasjoner.

Antenneavstand (meter)	Antall målepunkt	Ekskluderte Horisontal dipol	Ekskluderte Vertikal dipol
1 (EM38-mk2)	709	-	4
10	1086	35	153
20	280	20	79
40	71	2	8

Vertikal dipol med 10m antenneavstand og horisontal dipol med 20m antenneavstand begge gjennomtrengningsdybde på omtrent 15m, disse har også en sammelignbar mengde ekskluderte punkt i de samme områdene. Det skal merkes at områdene vi erfarte mest støy med 10m antenneavstand ble utelatt med 20m antenneavstand. Datainnsamling i industriområdet på Prost stabels vei (østre delen av industriområdet) førte til feilmelding på samtlige punkt. Dette var også tilfelle langs Lensmanns Ole Hoels vei i boligfeltområdet. Med 20m vertikal dipol er det mye støy i den nordre delen av deponiet og det begynner å bli større områder uten data. Ved måling i disse områdene gikk utstyret som regel i feilmelding.

40m antenneavstand ble kun tatt på landbruksområdet, der det var lite støy. Dette førte til få ekskluderte punkter. De ekskluderte punktene var enten mot grensen til Lillehaugen eller oppe eller negative verdier som overskred -20 i skogsområdet i

tillegg til et på landbruksområdet. (Kart for ekskluderte punkter med 40m antenneavstand ligger under vedlegg 1)



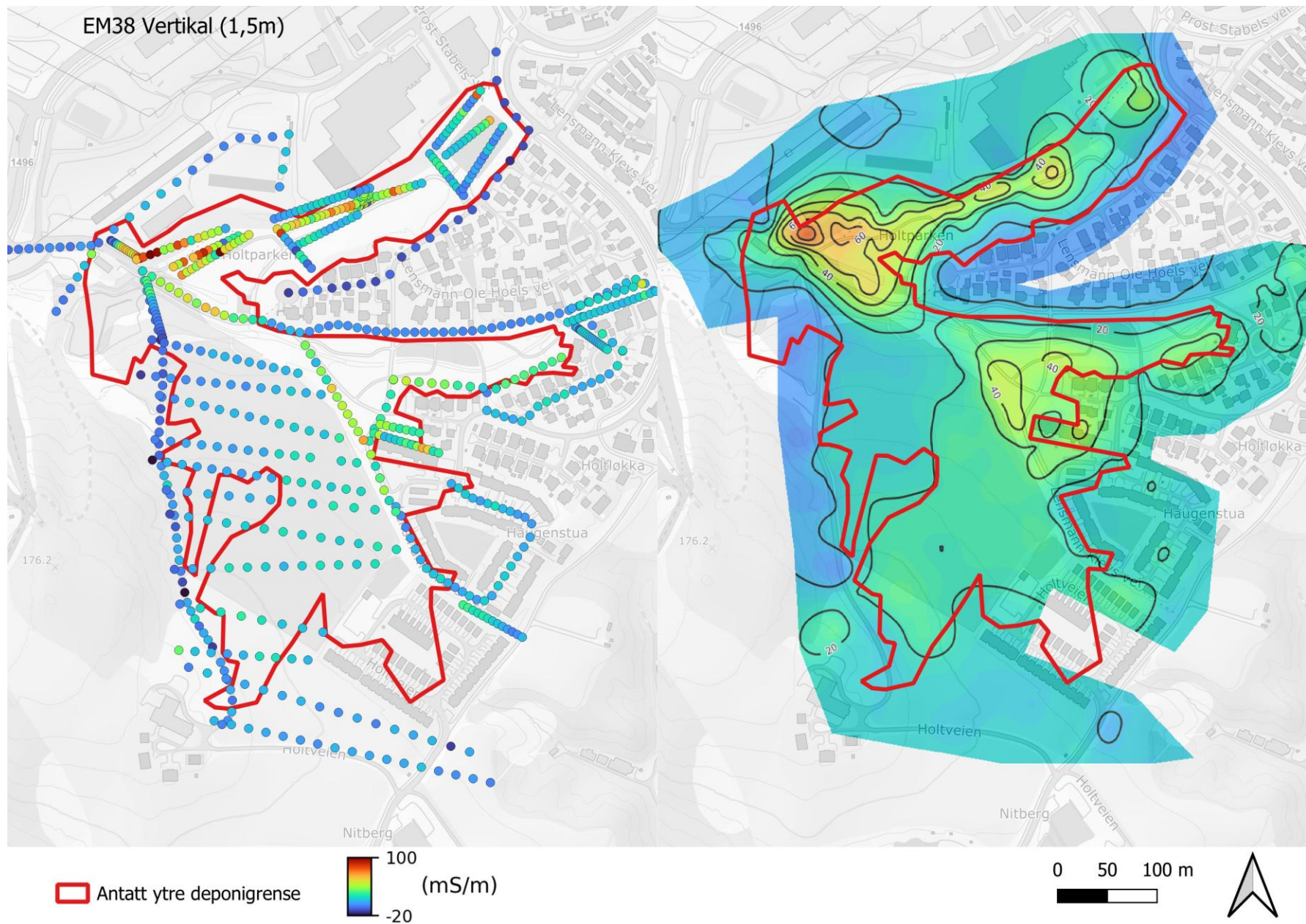
Figur 17 viser oversikt over gyldige og ekskluderte datapunkter/målepunkter for antenneavstand på 10m og 20m.

Konturkartene og målepunktene for EM ved alle målekonfigurasjoner viser målte verdier i tilsynelatende konduktivitet. Se **Teori – Elektromagnetisk metode (EM)**.

Med EM38 (vertikal dipol) ble 4 av 709 punkter ekskludert og viste seg å være svært motstandsdyktig mot støy iforhold til EM34. På Figur 18 vises datapunkter for EM38 med datapunkter og konturkart. Konturkartet viser et skille i elektrisk konduktivitet langs vestsiden av jordbruksområdet med verdier mellom 20 og 30mS/m i den søndre delen av deponiområdet. I den nordre delen av jordbruksområdet er det verdier mellom 10 og 20mS/m. Disse verdiene er like verdiene som er målt utenfor den antatte deponigrensen i sør, som også befinner seg på landbruksjord. Utenfor den vestre grensen av jordbruksområdet ligger derimot flesteparten av punktene mellom 0 og 10mS/m, men med enkelte punkter med verdier opp mot 20mS/m.

I sentral- og parkområdet var det en signifikant økning i målt elektrisk ledningsevne, men med svært varierende målinger med de høyeste målingene i sentralområdet rundt gasshuset og holtparken. Med verdier opp mot 80mS/m i holtparken og 40-60 mS/m i sentralområdet langs den asfalterte veien mot den midtre ravinen. Langs denne asfalterte veien ser vi et skille nær grensen til den antatte deponigrensen.

Målinger på Lensmanns Ole Oppesens vei målte lave verdier med de fleste mellom 0-5mS/m. Mange av målingene ble tatt på strekninger med asfalt eller grusvei. Tykkelsen på veien er ukjent, men den lave konduktiviteten til asfalt og grus kan påvirke målingen mot en lavere resistivitet med en gjennomtrengningsdybde på kun 1,5m. På den nordre ravinen er det også tatt målinger i et åpent dreneringsløp/grøft der overflaten er grov stein og grus. I dreneringsløpet/grøften er det målt betraktelig mye høyere verdier enn på grusstien som går parallellt noen få meter ved siden av. Det er også tatt målinger vinkelrett på dreneringsløpet og veien, der verdiene går brått fra 82mS/m til 17mS/m.

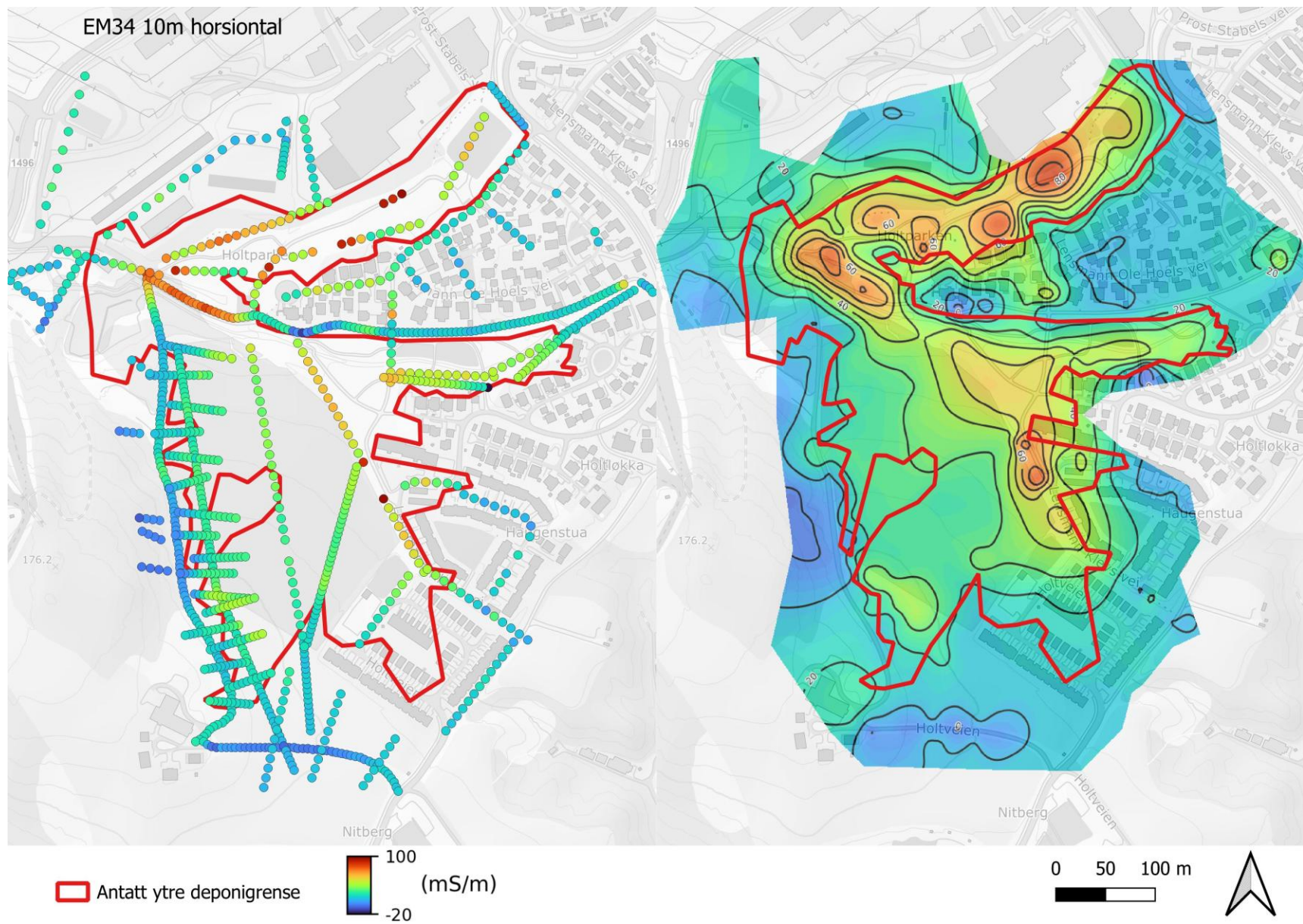


Figur 18 viser målepunkter med fargekoder etter målt elektrisk konduktivitet. Bildet til høyre viser interpolasjon av datapunktene. Målingene har en gjennomtrengningsdybde på 1,5m.

Konturkartet på Figur 19 er en interpolasjon av den elektriske konduktiviteten målt ved de ulike datapunktene med 10m antenneavstand og horisontal dipol. Målepunktene for interpolasjonen kan sees på kartet til venstre.

Konturkartet indikerer lavere elektrisk konduktivitet på jordbruksområdet (sørvestre delen av deponiet) sammenlignet med resten av det antatte deponiområdet. Det er derimot betydelig høyere konduktivitet sammenlignet med området utenfor den antatte deponigrensen. Konturkartet viser større variasjon i konduktivitet utenfor landbruksområdet, særlig i den nordre delen av deponiet. På jordbruksområdet er konduktiviteten målt til mellom 20 og 40 mS/m, mens blant de godkjente punktene i park, industri og boligområde ligger verdien mellom 40 og 80mS/m på majoriteten av punktene. Langs utsiden av den antatte deponigrensen i vest og sør har de fleste punktene en verdi på -5 til 10mS/m, men med en gradvis økning mot deponigrensen.

I boligfeltet på Lensmanns Ole Hoels vei er det fortsatt grei dekning av målepunkt. Disse viser lavere konduktivitet enn sentralområdet og deponiarmene, men høyere enn ved innkjørslene i området. Generelt holder måleverdiene høyere verdi innenfor den antatte deponigrensen, men med interpolasjon viser ofte kartet høye verdier utenfor den antatte deponigrensen grunnet dårlig dekning av punkter i området. Dette gjelder særlig i industri- og boligområder.

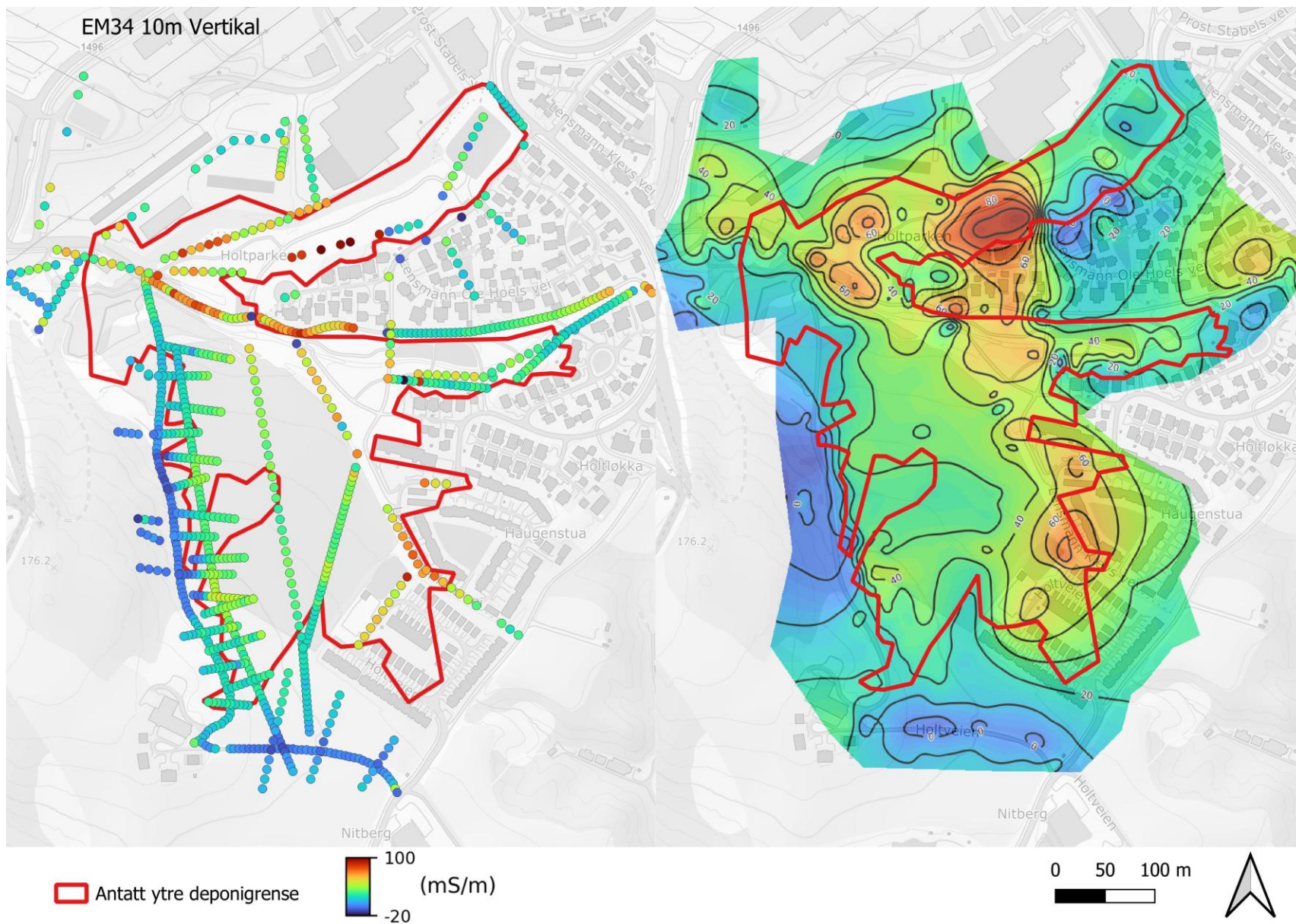


Figur 19 EM34 10m Horisontal dipol (gjennomtrengningsdybde 7,5m dybde) med målepunkter til venstre og interpolert konturkart til høyre. Punktene og konturkartet deler fargeskala.

Figur 20 I jordbruksområdet er tilnærmet alle målepunktene gyldige, med målte verdier stort sett mellom 30 og 40 mS/m. I byggefelt og parker er målingene mer ujevne, med variasjoner fra 30–40 mS/m og opp mot 100 mS/m innenfor deponigrensen. På den nordre armen av deponiet finnes et område med målinger opp mot 100 mS/m, hvor vi også ser en brå overgang til lavere konduktivitetsverdier. Denne grensen ligger rett ved en nettstasjon, som trolig har påvirket målingene både i positiv og negativ retning.

I boligfeltene er det registrert betydelig støy ved bruk av vertikal dipol, noe som har resultert i få gyldige målepunkter langs Lensmann Ole Hoels vei. Nesten alle målinger med vertikal dipol i dette området var ugyldige. Som følge av dette påvirkes interpolasjonen av punktene med høye verdier fra deponiområdet, noe som kan gi en feilaktig representasjon av konduktivitetsfordelingen.

I jordbruksområdet vest for deponiet ser det ut til å være et tydelig skille langs deponigrensen. Utenfor den antatte deponigrensen i vest ligger verdiene normalt mellom -5 og 10 mS/m. Grensen er imidlertid mer diffus mot Vestre Holt gård og langs den søndre delen av deponiet. Veien mellom Vestre Holt og Holt har målte verdier rundt 0 mS/m, men preges av store variasjoner, der utstyret ikke klarte å bestemme en stabil verdi. Øst for denne veien ligger en nettstasjon, som kan ha hatt innvirkning på målingene. Langs den antatte deponigrensen i sør observeres en mer gradvis nedgang i elektrisk ledningsevne i sørlig retning.

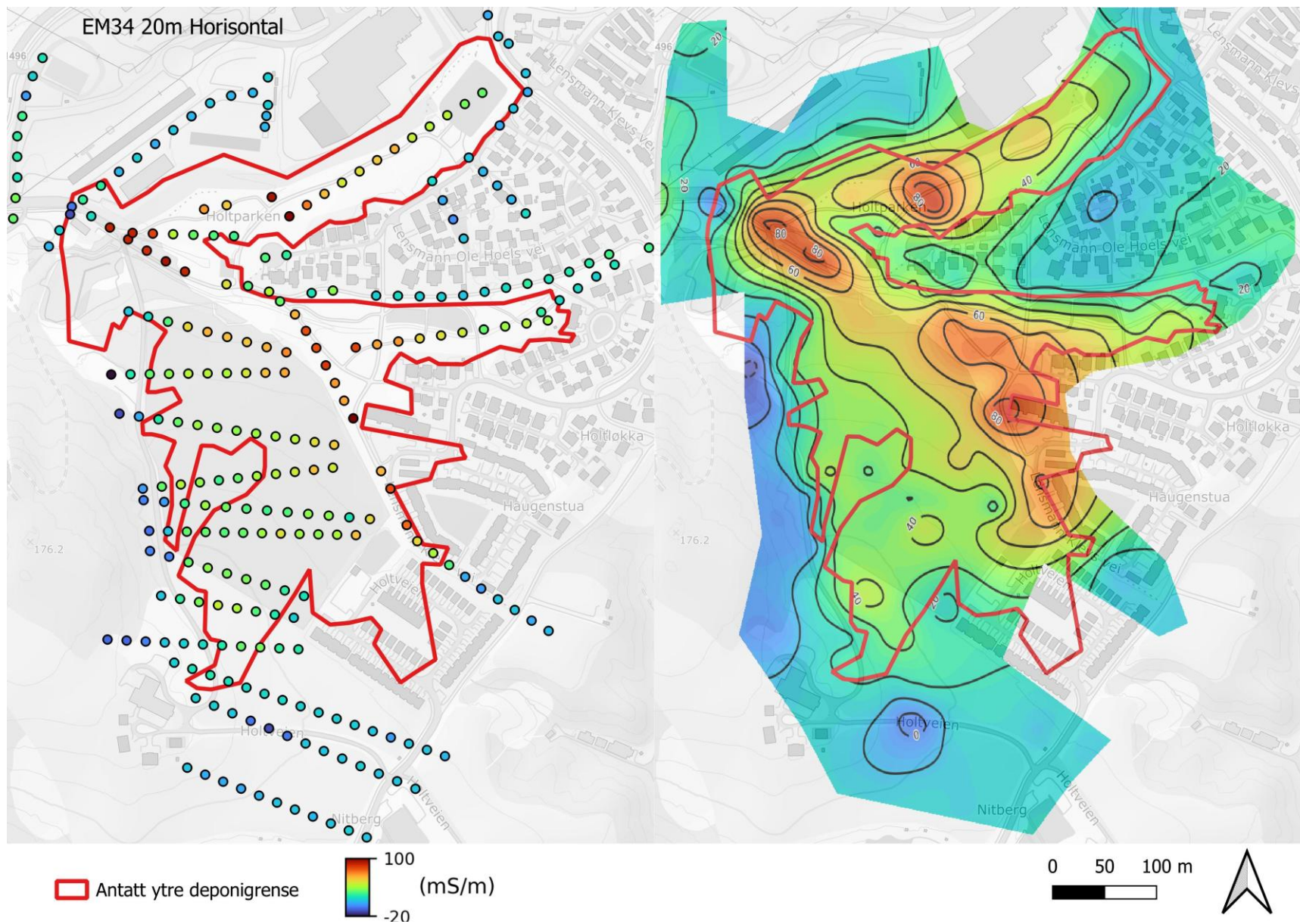


Figur 20 Målepunkt for 10m avstand med vertikal dipol (dybde 15m) til venstre og interpolert kart til høyre. Punkter og kart deler fargeskala.

Figur 21 viser målepunktene for horisontal dipol med 20 m antenneavstand, sammen med interpolasjonen av de målte verdiene. Som tidligere observeres en tendens til at målingene i bebygde områder ofte er ugyldige. Målepunktene har større avstand seg imellom sammenlignet med andre måleserier, og enkelte områder er utelatt grunnet mangel på pålitelige data.

Konturkartet for horisontal dipol med 20 m antenneavstand viser, i likhet med tidligere resultater, forhøyede verdier innenfor den antatte deponigrensen. Jordbruksområdet har gjennomgående lavere verdier enn resten av deponiet. Mens park- og boligområdene generelt viser konduktivitetsverdier mellom 50 og 90 mS/m, ligger verdiene i jordbruksområdet mellom 20 og 50 mS/m, med de høyeste verdiene i grensen mot Lillehaugen. Langs den vestre grensen ses en tydelig overgang til lav konduktivitet, mens overgangen i sør er mer diffus og gradvis.

Til tross for lav tetthet av målepunkter ser konduktivitetsfordelingen i park- og boligområdene ut til å følge deponigrensene. Sammenlignet med målingene ved 10 m antenneavstand og vertikal dipol, er konduktiviteten i park- og boligområdene jevnt høy.



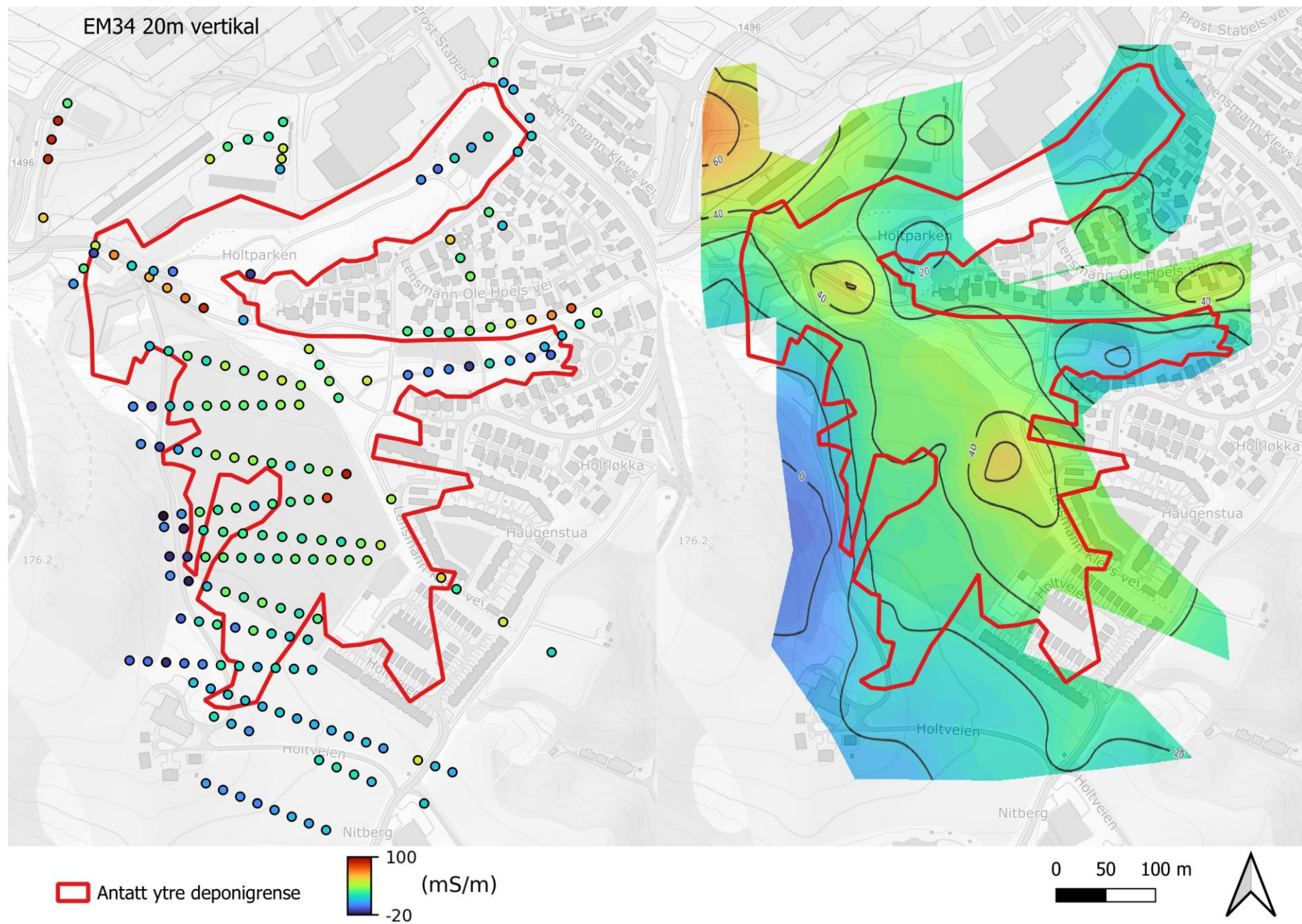
Figur 21 Datapunkter for 20m antenneavstand med horisontal dipol til venstre og konturkart for interpolerte punkter til høyre (gjennomtrengningdybde 15m).

Figur 22 viser konturkartet for vertikal dipol med 20 m antenneavstand, der større områder er utelatt fra interpolasjonen på grunn av dårlig dekning av datapunkter.

I park- og boligområdene er konduktivitetsverdiene nå lavere sammenlignet med tidligere presenterte resultater. Disse områdene har nå verdier som er mer sammenlignbare med jordbruksområdet. Innenfor det antatte deponiområdet ligger interpolerte verdier hovedsakelig mellom 30 og 50 mS/m, med unntak av et område langs gangveien, omtrent 50 meter øst for gasshuset og den vestre delen av industriområdet, hvor verdiene er rundt 70 mS/m.

Den midtre «armen» av deponiet i øst viser nå lavere konduktivitetsverdier sammenlignet med tidligere målinger. I dette området registreres lav konduktivitet, mens boligfeltet rundt Lensmann Ole Hoels vei har høyere verdier. Langs den vestre grensen til jordbruksområdet er det fortsatt en tydelig overgang til lave verdier, med konduktivitet rundt 0 mS/m langs veien fra sentralområdet til gårdsbruket og videre inn i skogen. Denne overgangen fremstår nå mer gradvis enn i tidligere konturkart.

Sør for den antatte deponigrensen er grenseovergangen mer diffus. Det er ikke utført målinger direkte på veien, men utstyret har fortsatt utfordringer med å fastsette en klar verdi i dette området. Konduktiviteten ligger her mellom 10 og 20 mS/m.

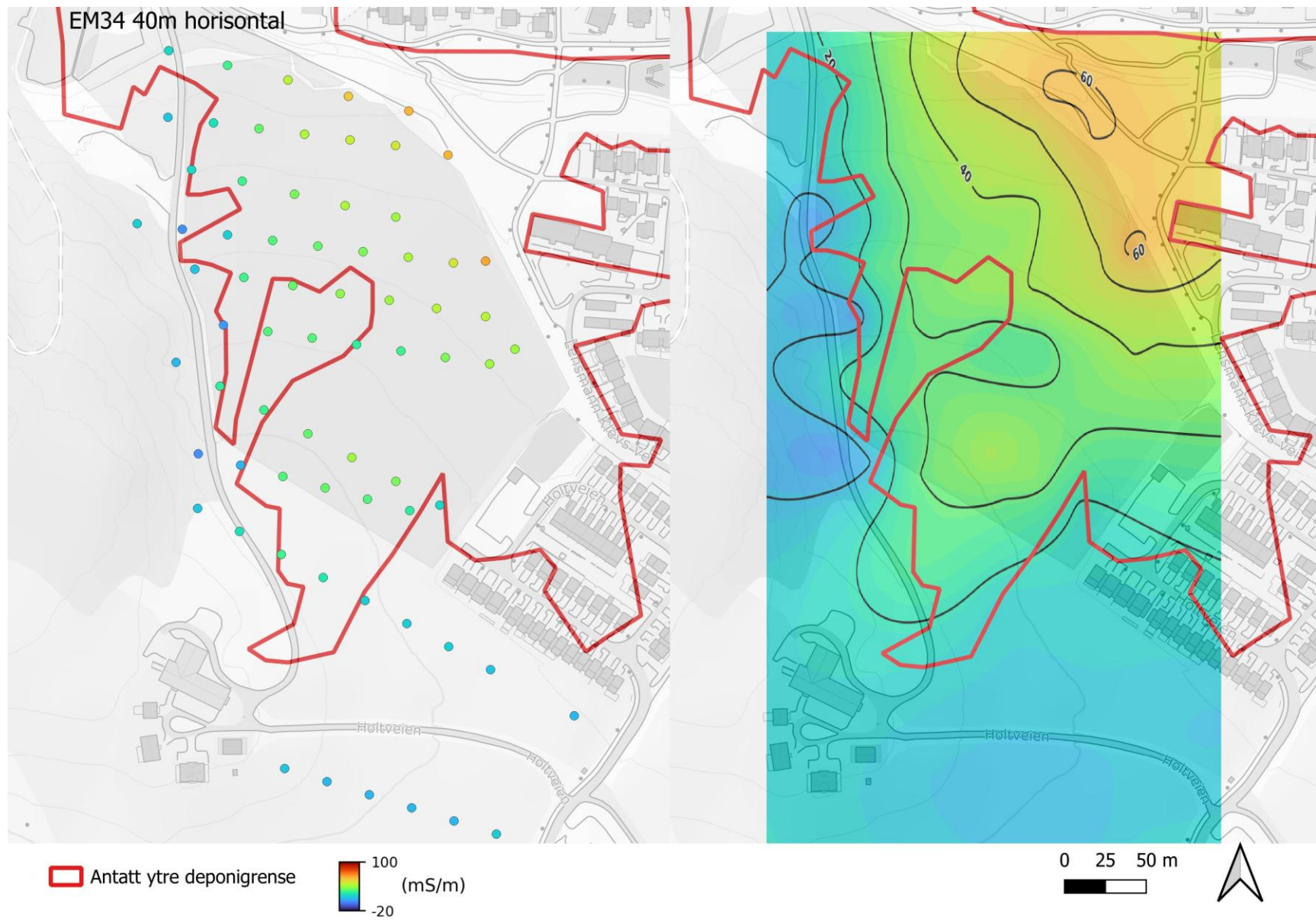


Figur 22 EM34 20m vertikal dipol med punkter til venstre og konturkart til høyre. Punkter og konturkart deler fargeskala.

For 40 m antenneavstand er det kun samlet inn data fra jordbruksområdet, med lengre avstand mellom datapunktene. Til tross for at den økte antenneavstanden gjør utstyret mer sensitivt, er det kun enkelte punkter ved grensen mot Lillehaugen som har ugyldige verdier.

Målinger med horisontal dipol og 40 m antenneavstand gir en inntrengningsdybde på omtrent 30 meter (Figur 23). Ved den østlige grensen til jordbruksområdet registreres høy konduktivitet, med verdier opp mot 70 mS/m. Konduktiviteten avtar gradvis mot sør og vest, og ved deponigrensen i vest er verdiene målt til mellom 10 og 20 mS/m. En tilsvarende gradvis reduksjon observeres også mot deponigrensen i sør, hvor konduktivitetsverdiene ligger mellom 20 og 30 mS/m.

Det er ikke gjennomført målinger i nærheten av veien mellom Vestre Holt gård og Holt, da forstyrrelser fra veien allerede var merkbare ved målepunktene vist på kartet.

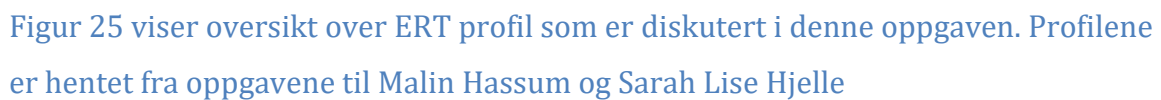


Figur 23 EM34 40m horisontal dipol (dybde 30m). Punkter på kartet til venstre og konturkart til høyre med delt fargeskala for konduktivitet,

Målinger med 40 m antenneavstand og vertikal dipol har en gjennomtrengningsdybde på omtrent 60 meter. De høyeste konduktivitetsverdiene er registrert ved grensen mellom jordbruksområdet og Lillehaugen, med målinger rundt 70 mS/m. Totalt ble det samlet inn 71 målepunkter, hvorav 63 var gyldige. De fleste ugyldige punktene hadde verdier under 20 mS/m og var lokalisert enten midt på jordbruksområdet eller utenfor den vestlige grensen. Dette indikerer en betydelig nedgang i elektrisk ledningsevne i jordbruksområdet.

Noen målepunkter langs grensen mot Lillehaugen ble også forkastet grunnet for høye verdier. Interpolasjonen viser fortsatt en reduksjon i konduktivitet i retning skogen, men det er nå registrert verdier rundt 0 mS/m langt inne på det antatte deponiområdet. Utenfor den antatte deponigrensen i sør observeres derimot en økning i elektrisk konduktivitet sammenlignet med området innenfor grensen.

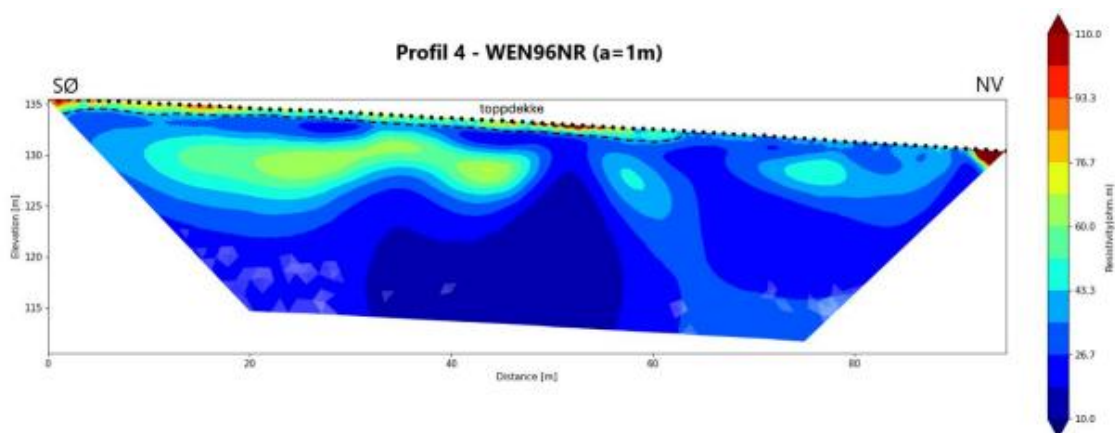
I denne delen vil resultater for ERT samlet ved tidligere masteroppgaver presenteres og sammenlignes med EM data fra samme områder. (Oversikt over interessante ERT profil i Figur 25)



Det er viktig å merke seg at ERT måler faktisk resistivitet, mens EM viser tilsynelatende konduktivitet. Som forklart i teoridelen innebærer dette at de målte EM-verdiene på en gitt dybde er et resultat elektrisk ledningsevne i de overliggende lagene.

Profil 4: Nordvest for Lillehaugen borettslag

Profil 4 går nordvest for Lillehaugen borettslag og avsluttes ved borettslagets vestlige hjørne (Figur 26). Dette profilet er hentet fra masteroppgaven til Sarah Lise Hjelle og blir her sammenlignet med EM-data fra samme område. ERT-dataene for profil 4 viser lav resistivitet, men med et område rundt 5 m dybde i den sørøstre delen av profilet med middels resistivitet. EM-målingene langs samme strekning viser varierende konduktivitetsverdier mellom 19 og 87 mS/m. Målingene med EM38 viser lavere konduktivitet enn de dypere målingene med EM34, mens konduktiviteten på 30 m dyp er generelt lav. Det er verdt å merke seg at målingene i den sørøstre delen av profilet var ugyldige grunnet støy på 30 m dyp. De høyeste konduktivitetsverdiene ble målt i den sørøstre delen på 15 m dyp, men disse verdiene virker uvanlig høye for dette sjiktet av profilet, med unntak av ved ca. 55 m langs x-aksen.

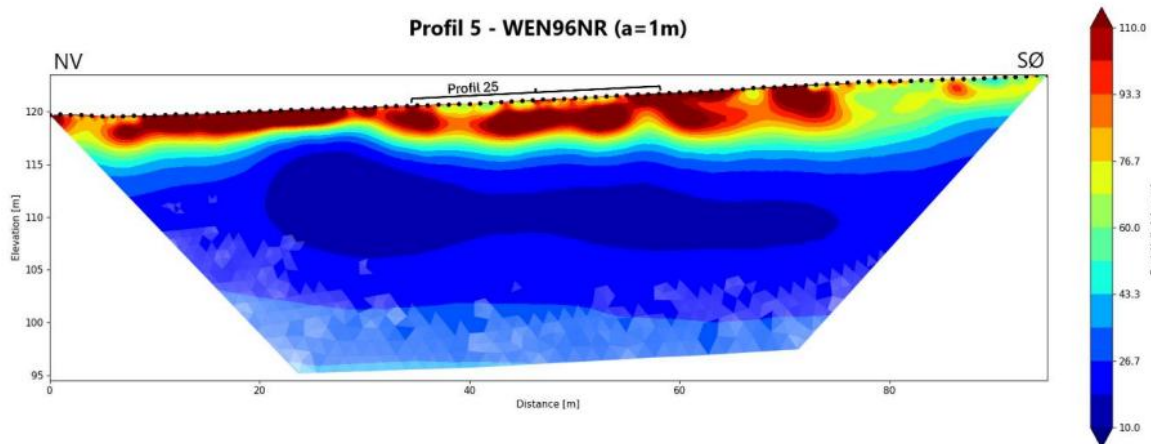


Figur 26: Profil 4 som går nordvest for Lillehaugen borettslag. Profilet har en lengde på 95 m og en dybde på 20m. Hentet fra masteroppgaven til Hjelle.

Profil 5: Sentralområdet ved gasshuset

Profil 5 ligger i sentralområdet og strekker seg østover fra gasshuset. Profilet er 95 m langt og har en dybde på omtrent 20 m.

ERT-dataene viser et øverste lag med høy resistivitet som varierer i tykkelse mellom 2 og 5 m. Under dette laget er resistiviteten gjennomgående lav. EM-målingene fanger ikke opp et lag med lav konduktivitet nær overflaten, men de laveste verdiene er registrert i dette sjiktet, med verdier rundt 40 mS/m. Ved dypere målinger er verdiene hovedsakelig mellom 50 og 60 mS/m, med unntak av en lokal forhøyning på 100 mS/m ved ca. 80 m langs x-aksen på 30 m dyp. I profilets ende (90–100 m langs x-aksen) er det målt verdier rundt 40 mS/m på 15 m dyp.

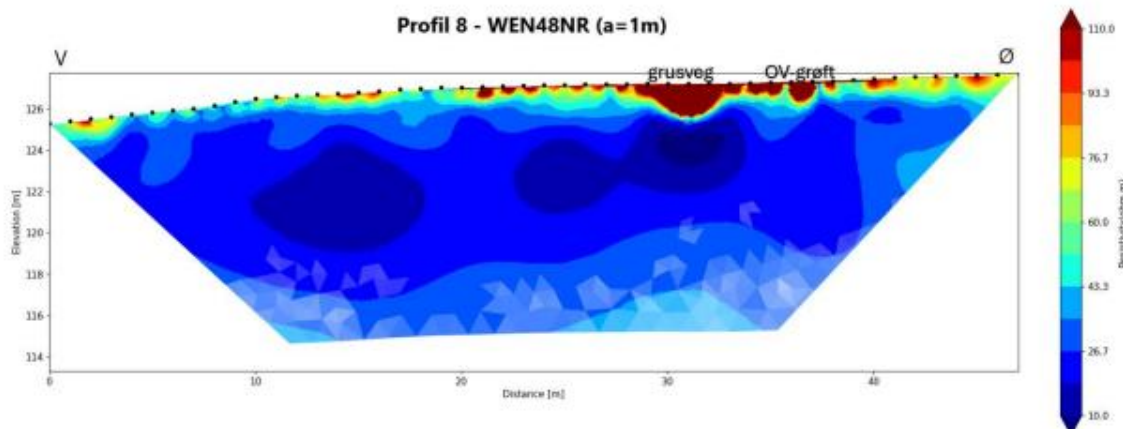


Figur 27: Profil 5 ligger i sentralområdet og starter rett øst for gasshuset og går i østgående retning. Profilet er 95m langt og har en dybde på omtrent 20m.

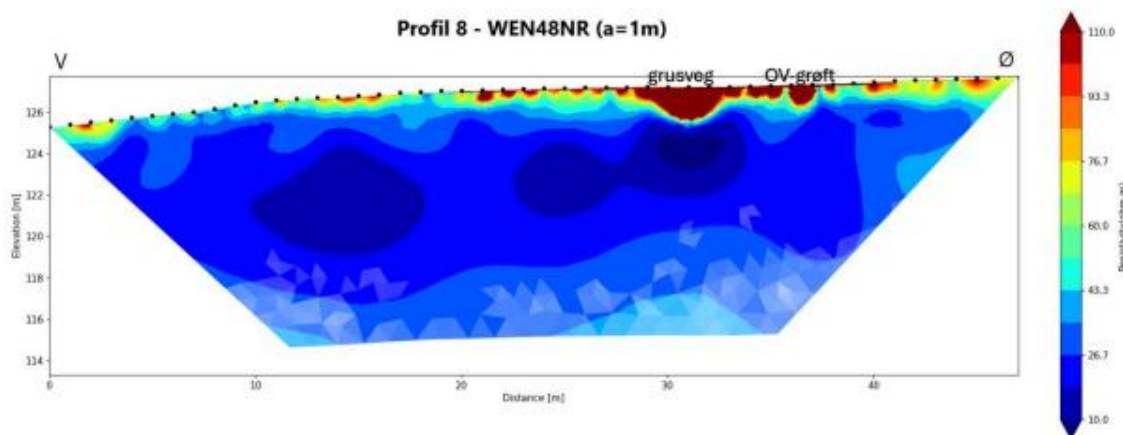
Profil 8 – Snuplass Ole Oppens vei

Hjelle har også utført målinger i et område mellom Dal Nord og Dal Sør, nær Lensmann Ole Oppens vei.

ERT-målingene viser lav resistivitet, med unntak av over en grusvei som er markert på



Figur 28. Mesteparten av profilet er markert til å være utenfor deponiet, men de lave resistivitetsverdiene tyder på deponi/forurensede masser. Det er også utført Skavlboringer i nærheten av profilets beliggenhet, der det ble funnet avfall under boring utenfor det antatte deponiområdet (Bakke, 2017).



Figur 28 viser profil 8. Profilet ligger ved snuplassen i den vestre enden av Lensmanns Ole Oppens vei og ligger delvis utenfor deponiets antatte ytre grense.

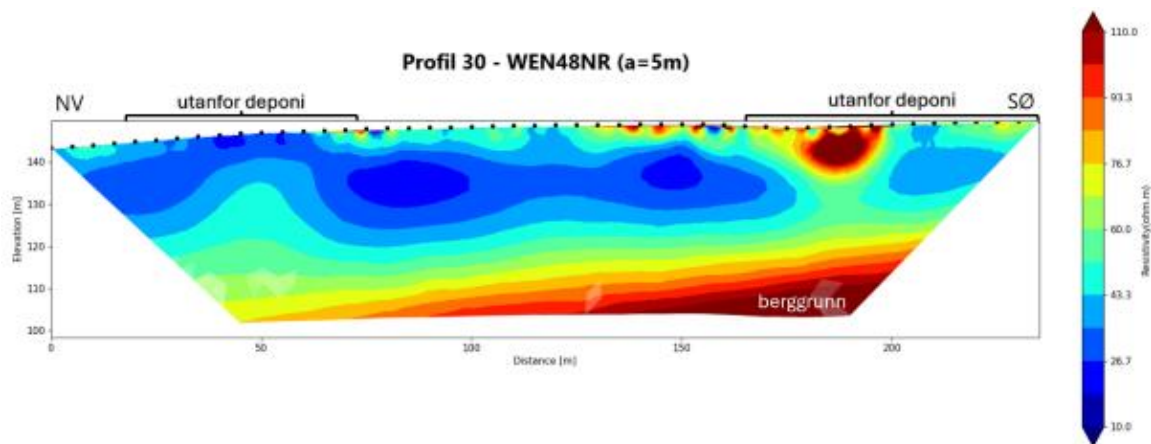
Profilet har et tydelig lag med høy resistivitet i øverst i profilet. Dette laget har varierende tykkelse på 2-5m. Under det resistive laget er det gjennomgående lav resistivitet. Med EM er det ikke målt fanget noe lag med lav konduktivitet i nær overflaten, men det er her de laveste verdiene er målt med verdier nær 40mS/m.

Ved dypere målinger er det målt verdier rundt 50-60mS/m med unntak av ved rundt 80m langs x-aksen der det er målt 100mS/m på 30m dyp. I enden av profilet (90-100m langs x-aksen) er det målt verdier på 40mS/m ved 15m dyp.

Profil 30 er fra landbruksområdet og har en elektrodeavstand på 5 m (Figur 29). Profilet strekker seg over 240 m og har en maksimal dybde på 40 m. ERT-målingene viser generelt lav resistivitet i de øverste 20 meterne fram til omtrent 150 m, hvor det observeres en økning i resistivitet. Mellom ca. 175 og 200 m registreres en svært resistiv plomme nær overflaten. Området ligger utenfor den antatte deponigrensen fra ca. 160 m og videre vestover, men til tross for en økning i resistivitet er det fortsatt ingen klar overgang mellom deponi og naturlige masser. Profilet indikerer svært høye resistivitetsverdier på omtrent 20 m dyp, noe som trolig tilsvarer berggrunn. Mot nordvest ser man imidlertid en gradvis reduksjon i resistivitet.

EM-målinger med en gjennomtrengningsdybde på 60 m viser også lav elektrisk ledningsevne, noe som støtter indikasjonen på berggrunn. På 30 m dybde måles derimot relativt høy elektrisk ledningsevne, noe som tyder på at berggrunnens innvirkning på konduktiviteten er begrenset. Dette skyldes trolig at de øvre 20–30 meterne av deponiet påvirker målingene og overskygger de lavere verdiene fra underliggende berggrunn.

Bruk av vertikal dipol gir mindre påvirkning fra strukturer nær overflaten, og den større gjennomtrengningsdybden gjør at berggrunnen dominerer målingene, noe som resulterer i lav ledningsevne.

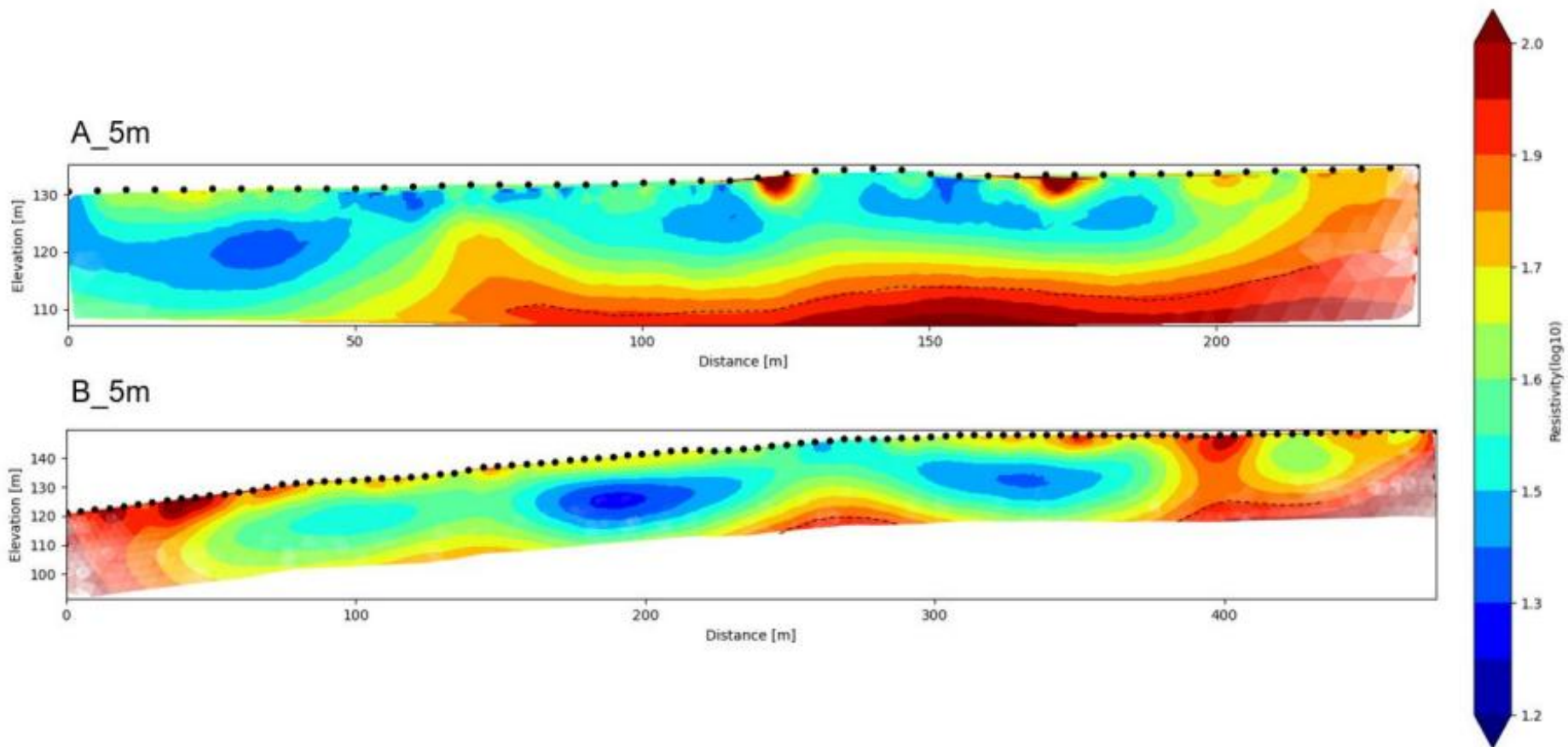


Figur 29 viser ERT profil 30 fra jordbruksområdet. Elektrodeavstand 5m og målekonfigurasjon wenner.

Profil A_5m (Dal Sør) og Profil B_5m (Jordbruksområdet)

Malin Hassum har samlet flere ERT profiler med lange elektrodeavstander. De mest interessante er Profil A_5m og Profil B_5m fra henholdsvis Dal Sør og Jordbruksområdet Figur 30. Profil A_5m lav resistivitet i de øvre 15m av profilet, der det skjer et skille til høy resistivitet som tyder på grense til berggrunn. Ved sammenligning med EM data fra den østlige delen av profilet fra 50-230m er det målt høy elektrisk ledningsevne med EM38, horisontal og vertikal dipol med 10m antenneavstand, samt horisontal dipol med 20m antenneavstand. Alle har nedgang i resistivitet mot den antatte ytre deponigrensen. Med vertikal dipol med 20m antenneavstand; gjennomtrengningsdybde 30m er det målt lav elektrisk ledningsevne i Dal Sør, med verdier som er lavere enn forventet på deponiet. Dette tyder på at den lave elektriske ledningsevnen fra berggrunnen begynner å dominere målingene med en gjennomtrengningsdybde på 30m med verdier ned mot 10mS/m.

Profil B_5m fra jordbruksområdet viser lav resistivitet imellom ca. 50m og 380m, men med innslag av lav resistivitet mellom 200 og 300m ca. 20m under overflaten. EM målinger for samme området viser høy elektrisk ledningsevne for målinger med en gjennomtrengningsdybde ned mot 30m. Med 60m gjennomtrengningsdybde er lav elektrisk ledningsevne dominerende for målingene med verdier under 0mS/m.



Figur 30 Viser to profiler med 5m antenneavstand samlet inn av Malin Hassum (Hassum, 2022). Profil A_5m ligger i Dal Sør og B_5m fra jordbruksområdet. Profil A_5m har en dybde på ca. 20m og en lengde på ca. 230m. profil B_5m har en dybde på ca. 30m og en lengde på ca. 450m.

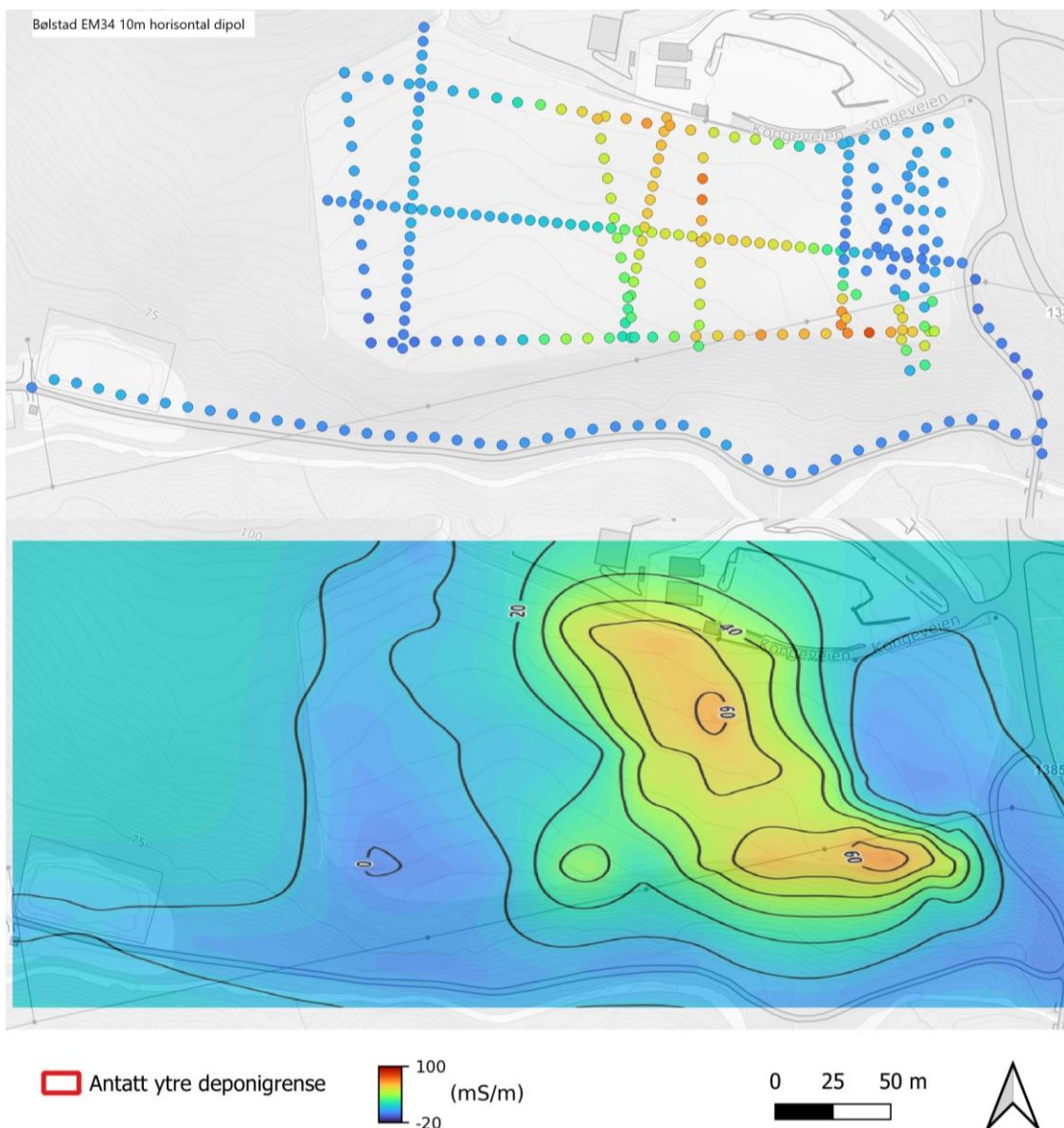
Bølstad

Målingene på Bølstad resulterte i minimalt med punkter som måtte filtreres ut, noe som indikerer lite støy i dataene. De høyeste konduktivitetsverdiene ble registrert sentralt og i den sørøstre delen av jordbruksområdet, som er i tråd med forventningene om høy konduktivitet fra deponiet (Figur 31).

I den vestlige delen av jordbruksområdet ble det derimot ikke registrert forhøyede verdier, heller ikke langs veien som fører til renseanlegget. Denne veien ligger betydelig lavere i terrenget enn jordbruksområdet, og det er derfor lite sannsynlig å finne deponirester her. I stedet kan man forvente å treffe på grunnfjell noen meter under overflaten.

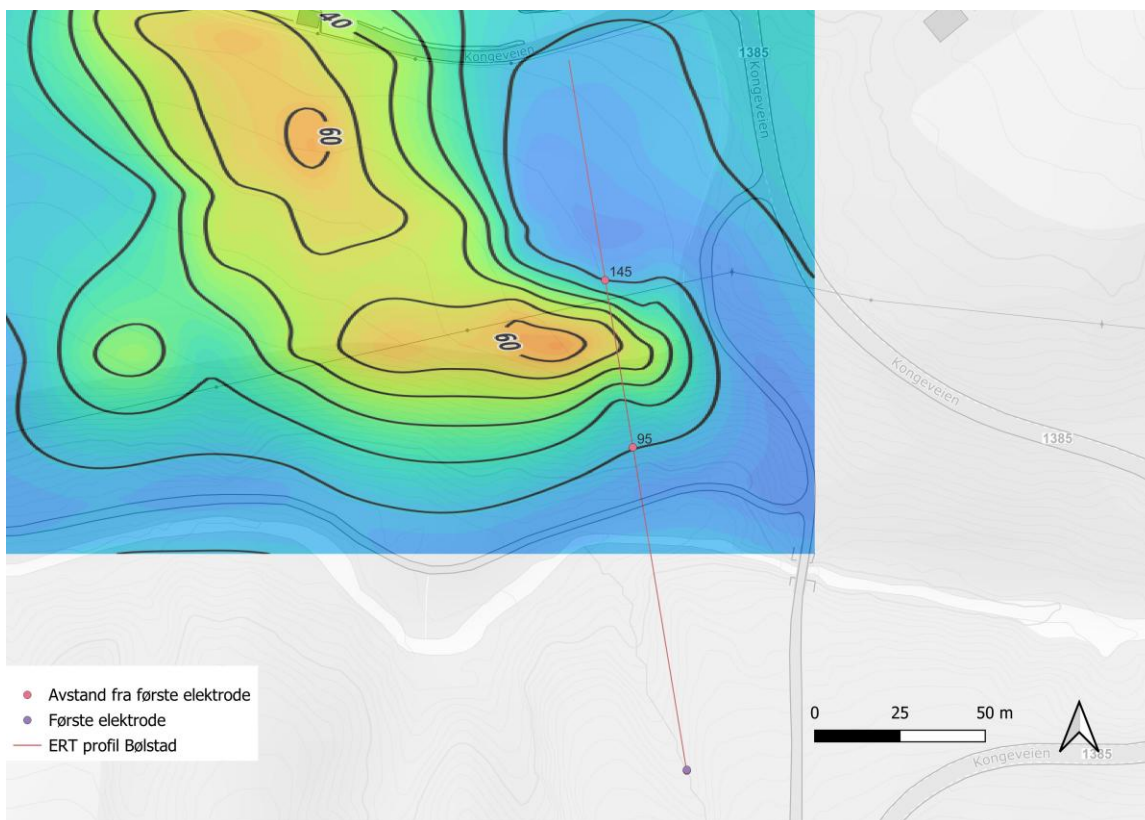
Målingene ble kun utført med horisontal dipol og 10 m antenneavstand.

Målekonfigurasjonen viste seg å være motstandsdyktige mot støy fra gjerdet ved miljøstasjonen og strømlinjene som krysser den sørlige delen av jordbruksområdet.



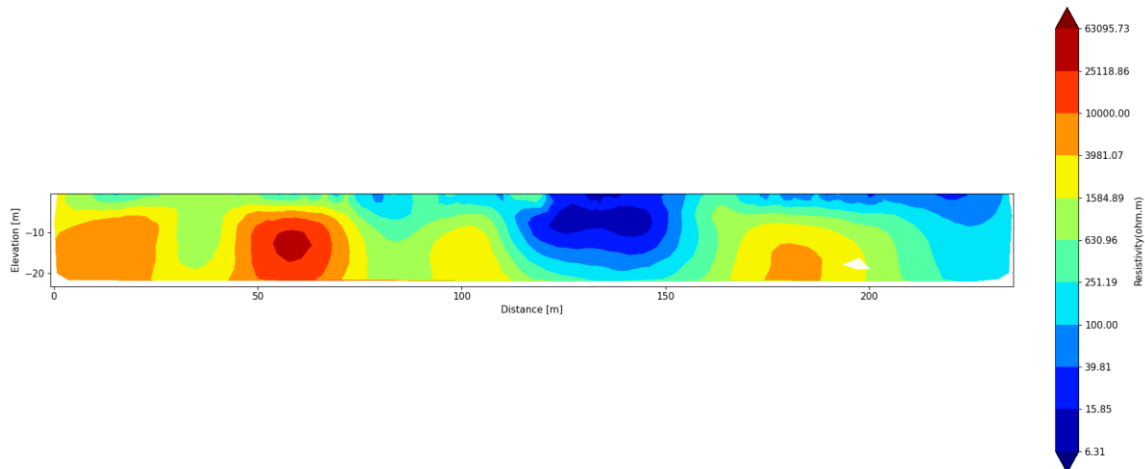
Figur 31 viser datapunkt (øverst) og konturkart nederst for Bølstad nedlagte deponi.

Det har tidligere i 2024 vært foretatt ERT undersøkelser på Bølstad av Saheed Opeyemi Adebunmi. Profilet er ca. 210m langt i luftlinje og samlet med 48 elektroder med Wenner. Profilet er vist sammen med interpolasjon av data samlet med EM34 i Figur 32.



Figur 32 viser konturkart av data fra EM34-3 med 10m antenneavstand og horisontal dipol (gjennomtrengningsdybde 7,5m). Kartet viser også ERT profil. Markert er punkter for første elektrode og distanse til økning i konduktivitet fra EM34.

ERT profilet fra Bølstad er vist i Figur 33. Profilet viser resistivitet i Ohm.m, med verdier mellom 6 og 63100 Ohm.m. Området av særlig interesse i ERT profilet ligger mellom ca. 110 og 160m fra første elektrode markert i Figur 32. Her ser vi et område med svært lav resistivitet, som trolig er deponerte masser. På konturkartet ser vi en økende konduktivitet ved 95m fra første elektrode, før konduktiviteten synker ved 145m fra første elektrode. Størrelsen området med deponerte masser stemmer godt overens ved både EM og ERT målingene. Det er derimot en forskyvning i plasseringen til deponiet, der EM antyder at de deponerte massene er 15m lengre sør enn hva som er målt med ERT. Dette kan skyldes feil ved GPS målinger. Punktet på 95m ligger i en bratt skråning, med mye vegetasjon.



Figur 33 viser ERT profil fra Bølstad (Adebunmi, 2024). Profilet er samlet med Wenner konfigurasjon og med en elektrodeavstand på 5m. Profilet måler til en dybde på 20m. ERT profilet viser ikke endring i topografi.

Diskusjon

Elektrisk ledningsevne i park og boligområde mot jordbruksområde

Gjennomgående for resultatene uansett dybde er lavere verdier på jordbruksområdet sammenlignet med resten av deponiet. Målingene på jordbruksområdet har derimot en jevn konduktivitet med lite forstyrrelser. Det er vanskelig å fastslå noen direkte årsak til dette, men mulige årsaker kan være drenering av landbruksjorden, eller raskere vannavrenning grunnet terrengets helning. Vann masser kan ha løst opp og transportert ioner fra jordbruksområdet til sentralområdet. Det er også mange ulike typer avfall som er deponert på deponiet, som kan føre til høy variasjon i elektrisk ledningsevne. Parkområdet i Dal Sør og Nord har også opplyste gangveier der elektriske kabler forårsake støy som det ikke er nødvendigvis er filtrert ut fra datasettet og kan føre til brå variasjoner i målt ledningsevne.

Betongrørene strekker seg opp i Dal Nord og Dal Sør i tillegg til delvis opp på jordbruksområdet kan også være en mulig kilde til økte verdier for elektrisk ledningsevne. Betongrørene strekker seg også videre forbi på vestsiden av

gasshuset. Både konturkartet på Figur 20 og Figur 21 viser høye verdier for elektrisk ledningsevne over betongrørene i sentralområdet og deler av Dal Nord, Dal Sør og veien forbi Lillehaugen borettslag. På Figur 20 er det derimot store variasjoner i begge dalene nær sentralområdet. Ingen av konturkartene har verdier på jordbruksområdet som korrelerer med løpet til betongrørene. Og ettersom betongrør kan ha stor variasjon i elektrisk ledningsevne er det vanskelig å fastslå om dette er en grunn for de store variasjonene i de målte verdiene.

På Bølstad nedlagte avfallsdeponi er det også målt jevnere elektrisk ledningsevne sammenlignet med park og boligområdet ved Brånåsdalen nedlagte avfallsdeponi. Bølstad er derimot et eksempel på et tilsynelatende «sunt» avfallsdeponi sammenlignet med Brånåsdalen. Lave utslippsverdier av Jern, fosfor og ammonium og tungmetaller kan tyde på at mer elektrisk ledende avfall er deponert på Brånåsdalen med diverse avfall som bilvrak og kjemisk avfall fra industri.

Antatt deponi vs utenfor deponi

Datasettet viser høyere konduktivitet innenfor deponiets antatte grense, med unntak av nordvest og vest for gasshuset. Der det imidlertid er påvist deponerte masser under gravearbeid. Langs den vestre grensen til deponiet mellom gasshuset og Vestre Nitberg ligger grunnfjellet grunnere enn resten av deponiet. Grunnfjell har som regel langt lavere elektrisk konduktivitet enn de finkornede marine løsmassene som befinner seg i området. Det er også tvil om typen berggrunn med NGUs berggrunnskart registrerte glimmerskifer og observert gneis. Med gneis vil vi forvente vesentlig lavere konduktivitet sammenlignet med en typisk gneis. Glimmerskifer vil ha en elektrisk konduktivitet som vil kunne sammenlignes med leire.

For samtlige datasett for EM ser vi et klart skille i konturkartene langs den vestre grensen til deponiet, der grunnfjellet ligger nærmere overflaten. Den lave elektriske konduktivitet er en tydelig indikasjon på grunnfjell. Vi ser også et skille langs den søndre grensen, der det også er landbruksområde. Skillet er litt mindre klart for

datasettet fra EM38-mk2, der vi har en effektiv måledybde på 1,5m og EM34-3 med 40m mellomrom og vertikal dipol; måledybde 60m.

På 60m dybde ser er det områder med lavere konduktivitet inne på landbruksområdet. Dette kan tyde på berggrunn. Målinger fra elektrisk-resistivitet tomografi tyder på at grunnfjellet stedvis dukker opp på rundt 30-40m dybde. Med EM var det ingen målinger på 30m dybde som tydet på grunnfjell.

Målinger med 1,5m dybde måler en gradvis økning i konduktivitet i østgående retning i den nordre delen av jordbruksområdet. Med EM38-mk2 måler i likhet med mer dyptgående målinger høyere konduktivitet på deponiets sentralområde og parkområde innenfor deponiets antatte grense i forhold til landbruksområdet. Utstyret ser derimot ut til å være mindre sensitivt til for støy innenfor boligområder og langs opplyste gangstier, da det måles vesentlig lavere konduktivitet sammenlignet med målingene tatt med EM34-3. Det er derimot målt høye verdier langs gangstien på den nordre ravinen. På dette området er det også registrert et hotspot for utslipp av metan, hvor det i november ble gravd opp toppdekket for deretter å dekke til med kompost. Under gravearbeidet ble leirelaget fra topptettingen allerede funnet 10cm under overflaten. Under prøveboring gjort av Norconsult ble deponert avfall ved flere anledninger funnet så høyt som 1,5m overflaten. Det er derfor ikke usannsynlig at den høye konduktiviteten kommer som en følge av forurensede masser selv på en dybde på 1,5m, men det er også mulig at den økte konduktiviteten kommer av leiren i topptettingen ettersom leirens elektriske konduktivitet kan variere ut ifra salt og vanninnhold.

Den generelle trenden med synkende elektrisk ledningsevne mot den vestre grensen til deponiet ved jordbruksområdet skyldes trolig tynnere lag med deponerte masser og dermed tynnere lag med deponerte masser til å dominere målingene.

Den ujevne elektriske konduktiviteten på deponiets sentralområde og parkområde sammenlignet med jordbruksområdet kan skyldes forskjellige årsaker. Det er mulig at de høye verdiene skyldes støy som elektriske kabler, biler, bygningsmaterialer og

annen menneskelig infrastruktur. ERT er mer motstandsdyktig mot denne formen for støy. Det kan være deponert mer metallholdig avfall i den nordre delen av deponiet, men det kan også skyldes vanntransport av oppløste ioner. Forurensset vann kan i seg selv også være med på å øke den elektriske konduktiviteten. Det er sannsynlig at vann internt i deponiet strømmer i retning sentralområdet fra jordbruksområdet og derfor ligger nærmere overflaten i sentralområdet, park og boligområdet. Skavlboringer av Norconsult viste vannstand på mellom 1,5 og 5m ved ulike lokasjoner i boligområdet.

Dype vs grunne målinger

Med EM38 som måler med en gjennomtrengningsdybde på 1,5m er det antatt at mesteparten av målt verdi kommer fra tetningslaget. Disse målingen viser stort sett en forskjell i konduktivitet innenfor den antatt ytre grensen til deponiet, med noen unntak, blant annet på den nordre delen av jordbruksområdet. Det er derimot ikke målt noen distinkt forskjell på tetningslaget og de deponerte massene. I park og boligområdet er det målt med dybde ned til 30m, men det er ikke målt noen målinger fra disse områdene som tyder på berggrunn eller bunntetting. Fra landbruksområdet er det målinger med gjennomtrengningsdybde helt ned til 60m. Disse målingene er preget av lav elektrisk ledningsevne og er trolig berggrunn. Målinger fra ERT tyder på berggrunn ved 20-30m i samme område, men EM målingene fra 30m dybde er trolig dominert av de mer konduktive lagene nær overflaten.

EM og ERT

Samsvaret mellom målinger med EM og ERT har vist seg å være god. ERT har som forventet høyere oppløsning på målingene, særlig i vertikal retning. De inverterte dataene til ERT fanger opp den lave resistiviteten til berggrunnen på en grunnere dybde enn hva som er mulig med den tilsynelatende elektriske ledningsevnen målt med EM.

ERT er også mer motstandsdyktig mot støy, der EM sliter med feilmeldinger ved høy gjennomtrengningsdybde.

potensielle feilkilder

Unøyaktigheter med GPS og datapunkt. Datapunkter er registrert med mobil gjennom Norgeskart friluftsliv, noe som vil gi mer unøyaktige koordinater enn ved en dedikert GPS Tracker.

Utstyret er som tidligere nevnt sensitivt for støy. Utstyret er såpass sensitivt at det ofte blir lett å fastslå at målingene er påvirket av noe uønsket. For eksempel langs Holtveien mellom Vestre Nitberg gårdsbruk og Nitberg fikk vi ikke stabile målinger i motsetning til områder rundt sentralområdet og jordbruksområdet, selv om målingene ikke var ekstreme. I bebyggede områder var det ofte store variasjoner i måleresultatene, der verdiene ofte varierte mellom under -200 og +200, ved enkelte tilfeller opp mot -1000 og +1000. I tilfeller med urimelig høye verdier vil også avstandsindikatoren kreve lengre avstand mellom antenne; ofte lengre enn hva som er mulig med tilhørende kabel. Dette gjorde at det ofte var lett å utelukke dårlige datapunkt, men i filtreringsprosessen kan det også ha blitt fjernet gode punkter eller dårlige punkter kan ha sneket seg gjennom filteret.

Konklusjon

Kartlegging av deponigrense

Målinger gjort med EM samsvarer godt med målinger gjort med ERT og den antatte ytre grensen til deponiet. Kartlegging av den ytre horisontale deponigrensen var krevende i boligstrøk, da grensen gikk tett på og ofte inne på privat grunn. Både data samlet med EM34 og EM38 var nyttig til å kartlegge den ytre grensen. EM38-mk2 med en gjennomtrengningsdybde på 1,5m er kanskje særlig egnet på Brånåsdalen, da den er mer motstandsdyktig mot støy. Brånåsdalen har også en toppdekning som er langt tynnere enn anbefalt for et avfallsdeponi, noe som gjør at EM38 i dette tilfellet fanget opp høy elektrisk ledningsevne. Dette er ikke gitt ved et annet deponi der kravene til toppdekkets tykkelse er tilfredsstillende.

Målte verdier med EM38-mk2 skilte seg ikke ut fra målinger med større dybde, utenom at målingene var mer stabile i byggefeltene. Det var derfor ikke mulig å

skille den elektriske ledningsevnen til toppdekningen og deponiet. Grunnfjell ble funnet 20m antenneavstand og vertikal dipol tilsvarende en gjennomtrengningsdybde på 30m og med 40m antenneavstand og vertikal dipol tilsvarende 60m gjennomtrengningsdybde. Med ERT ble grunnfjellet funnet på henholdsvis 15m og 20-30m. EM er derfor ikke egnet til å kartlegge vertikal lagdeling som topptetting eller grunnfjell med nøyaktighet.

Erfaringer fra Brånåsdalen og Bølstad tilsier at Elektromagnetisk metode er en svært god metode for rask innsamling og grov kartlegging av et deponis ytre horisontale avgrensning. Målinger var utmerket for alle målekonfigurasjoner på jordbruksområdet på Brånåsdalen. Målingene fra Bølstad resulterte også i minimalt med anomalier og støy. Utstyret egner seg godt i landlige omgivelser selv med høy gjennomtrengningsdybde.

For kartlegging i vertikal retning bør utstyret kombineres med elektrisk resistivitets tomografi. EM kan også være en god metode for å lokalisere interessante områder for deretter å utforske med høyoppløselig metode. ERT er også en potensiell tidskrevende innsamlingsprosess, men som trenger lite fokus etter oppstart av datainnsamling. Dette tillater bruk av EM i ventetiden mens ERT samler data.

Svakheter/styrker ved metoden

Metoden tillater rask innsamling av data over et stort område. Datainnsamling til denne oppgaven var gjort med manuell nedskrivning av data og registrering av koordinater. Utstyret har mulighet for tilkobling til datalogger for enda raskere datainnsamling og prosessering.

EM krever heller ikke direkte kontakt med bakken, hvilket tillater datainnsamling uavhengig av underlag. EM er også bedre egnet for bruk i vinterhalvåret når bakken er fryst. Utstyret kan også brukes både i kupert og flatt landskap.

EM måler god kontrast mellom materialer med ulik konduktivitet i horisontal retning, men har begrenset oppløsning i vertikal retning, der ERT er et langt bedre alternativ. EM kan derimot raskt bytte målekonfigurasjon for innslag av den

elektriske ledningsevnen fra dypere lag. Ved datainnsamling i områder med høy elektrisk ledningsevne blir dype lag med lav ledningsevne fort dominert av de overliggende lagene med høy ledningsevne.

Der EM38-mk2 var motstandsdyktig mot støy, ble EM34-3 tydelig påvirket av infrastrukturen i park-, bolig- og industriområdet. Dette ble ekstra tydelig ved dypere gjennomtrengningsdybde. Dersom toppdekningen hadde vært tykkere ville det blitt betydelig mye vanskeligere å kartlegge grensene til deponiet i urbane områder.

Videre arbeid

For videre undersøkelser anbefales det å teste EM på andre deponier med ulik geologi, topografi og tilfredsstillende toppdekning, for å evaluere metodens robusthet under mer krevende forhold. I tillegg kan sammenligning av EM med andre geofysiske metoder, som georadar eller seismiske undersøkelser, bidra til en mer helhetlig forståelse av deponiets vertikale og horisontale utstrekning.

Referanser

- Adebunmi, S. O. (2024). ERT profil Bølstad nedlagte avfallsdeponi. Ås, Norge: NMBU.
- Bakke, K. (2017). *Brånåsen avfallsdeponi: Undersøkelser ved nedlagt deponi (5171225-M1)*. Sandvika: Norconsult.
- Berge, H. (2024, 12 6). Info om deponerte masser ved gravearbeid. (T. Stokke, Intervjuer)
- Dagestad, A., Hansen, L., & Braathen, A. (2003). *Hydrauliske egenskaper i løsmaser og fjell sett i sammenheng med EU-direktivet for deponering av avfall*. NGU.
- EPA. (2025, 03 06). *epa.gov*. Hentet fra EPA: United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/history/origins-epa>
- Geonics Limited. (2009). *EM34-3 & EM34-3XL OPERATING INSTRUCTIONS*. Ontario: Geonics Limited.
- Geonics Limited. (2016). *EM38-MK2 GROUND CONDUCTIVITY METER OPERATIONAL MANUAL*. Ontario: Geonics Limited.
- Hassum, M. (2022). *Kartlegging av utbredelse og egenskaper til topptetting på Brånåsdalen nedlagte avfallsdeponi*. Ås: NMBU.
- Haug, S. (2023). *Brånåsdalen avfallsdeponi; metanmålinger i næringsbygg, UCO*. Odlo: Multiconsult.
- Hjelle, S. L. (2024). *Feltundersøkelser og kartlegging av toppdekke og tetningslag på Brånåsdalen nedlagte avfallsdeponi*. Ås: NMBU.
- Kitanidis, P. K. (1997). Introduction to Geostatistics. I P. K. Kitanidis, *Introduction to Geostatistics* (ss. 65-67). Cambridge: Cambridge University Press.
- Kumar et al, 2. (2025, 03 12). *eophysical investigation for groundwater potential and water quality assessment in parts of Chhattisgarh, India*. Hentet fra ResearchGate: <https://www.researchgate.net/publication/356585794>
- Longva, O. (1991). *FET 1914 i. Kvartærgeologi og kvartærgeologiske kart 1:50 000*. Hentet fra Norges geologiske undersøkelser: <https://www.ngu.no/filearchive/198/K19141.pdf>

- Mauset, M.-A. (2017). *Oppsummering: Setningsmålinger i boliger langs Brånåsdeponiet*. Oslo: Hjellnes Consult.
- McNeill, J. D. (1980). *Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers*. Ontario: Geonics Limited.
- Miljødirektoratet. (2003). *Veileder til deponiforskriften*. Oslo: Miljødirektoratet.
- Mæhlum, T. (2022). *Miljøovervåkning av sigevann fra Bølstad avfallsdeponi i Ås kommune*. Ås: NIBIO.
- Nedre Romerike tingrett. (2019, 12 20). *Dom i sivil sak av 20.12.2019 (saksnr. 3389933.1-003)*. Hentet fra lillestrøm kommune:
<https://www.lillestrom.kommune.no/globalassets/pdf/branasdalen-nedlagte-avfallsdeponi/dom-i-sivil-sak-av-20.12.20193389933.1-003.pdf>
- NEPA. (2025, 03 06). *Nepa.gov*. Hentet fra Nepa.GOV national Environmental Policy Act: <https://ceq.doe.gov/>
- Nesbakken, S. (2024). *Brånåsdalen avfallsdeponi; Metanmålinger ved kraftig lavtrykk*. Oslo: Multiconsult.
- Nesbakken, S., & Munthe-Kaas, N. R. (2019). *Brånåsdalen nedlagte avfallsdeponi deponigassanlegg, landskap og overvannsbehandling*. Oslo: Multiconsult ASA.
- NGU. (2025, februar 01). *NGU berggrunnskart*. Hentet fra
https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/:
https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/
- NGU. (2025, Februar 01). *NGU løsmassekart*. Hentet fra
https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/:
https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/
- Palacky, G. (1987). Resistivity characteristics of geologic targets. I *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics* (ss. 53-129). Society of Exploration Geophysicists.
- Poulsen, T. (2014). *Landfilling, Past, present and future*. International Solid waste Association.
- Reynolds, J. M. (1997). Bygging på nedlagte deponier. I J. M. Reynolds, *An introduction to applied and environmental geophysics* (s. Chapter 10). Chichester, Norge: John Wiley & Sons. Hentet fra Miljødirektoratet.no:

<https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1780/m1780.pdf>

Rismyhr, E. (2018). *Brånåsdalen avfallsdeponi: Kartlegge deponigrense (5171225_M9)*. Sandvika: Norconsult.

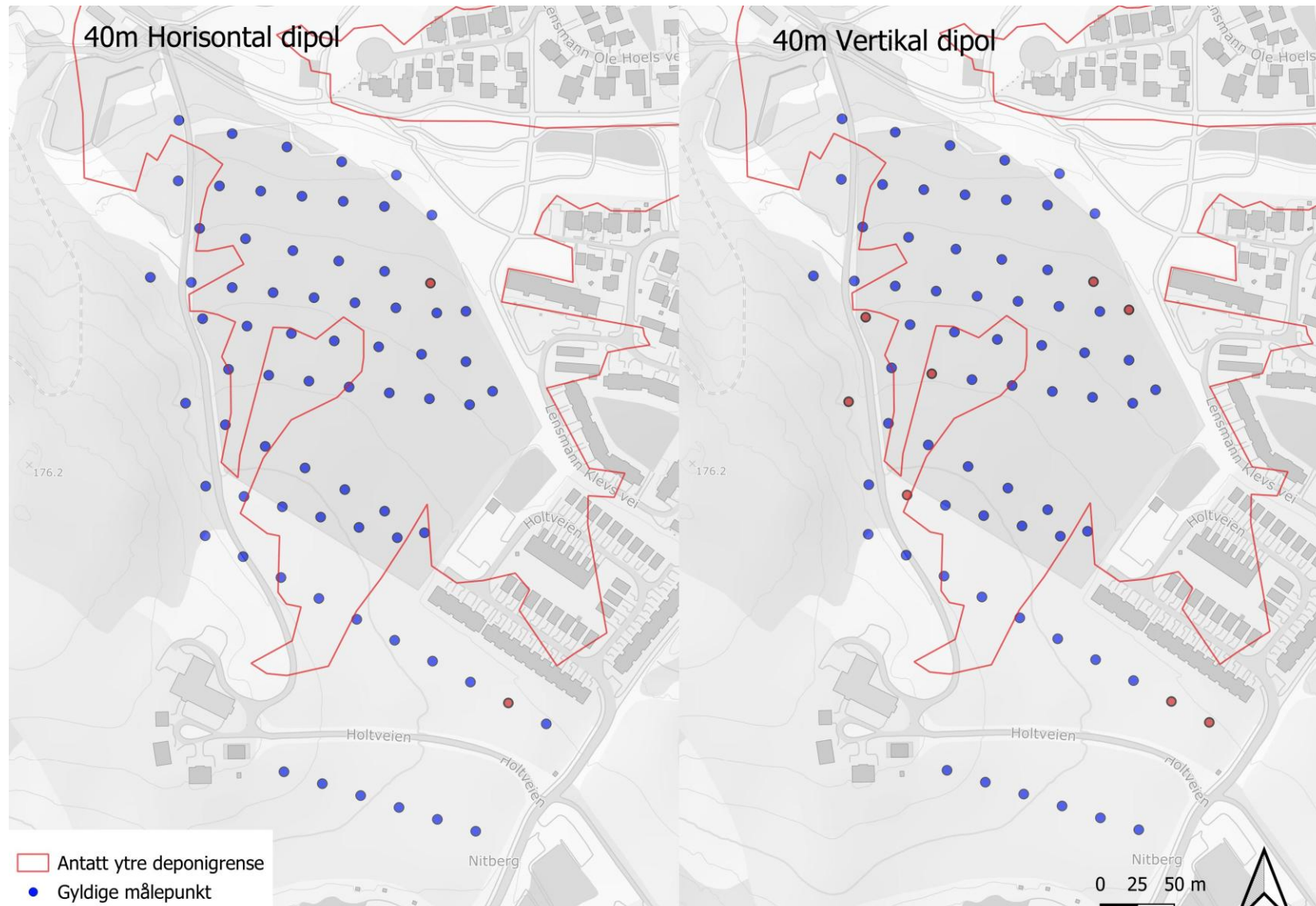
Schöpke, C. (2022). *Diffuse gassutslipp via toppdekket på Brånåsdalen avfallsdeponi, juli 2022*. Lillestrøm: IFE.

Schöpke, C. (2024, 12 10). Info om gassledninger. (T. Stokke, Intervjuer)

Slinde, G. A., Mæhlum, T., Ranneklev, S. B., Mjelde, M., Trannum, H. C., Grung, M., . . . French, H. K. (2023). *Vurdering av sigevann fra deponier i Norge*. Oslo: NGL, NIVA, NIBIO.

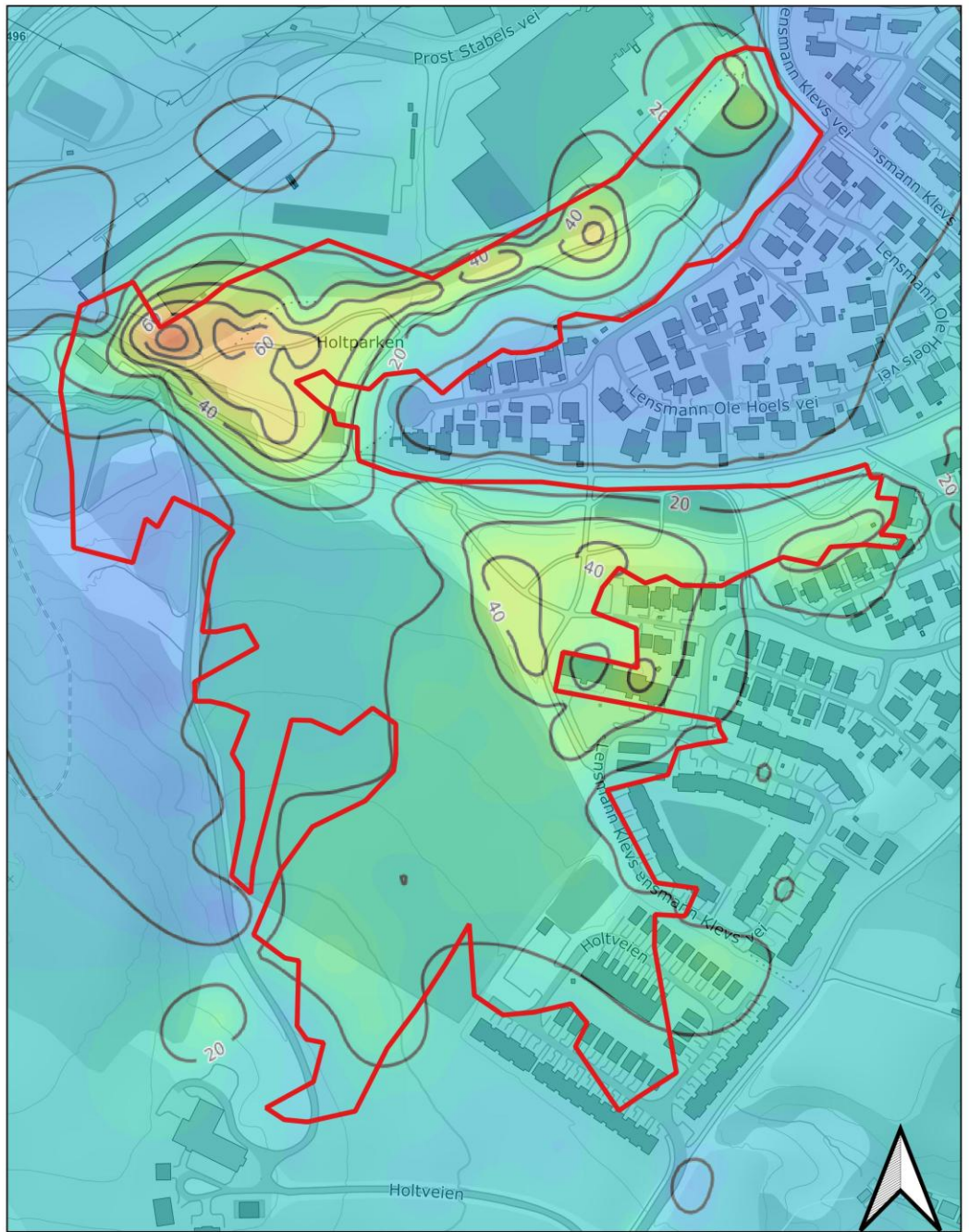
Solid Waste Disposal Act. (1965). *EPA.gov*. Hentet fra EPA: Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/rcra/history-resource-conservation-and-recovery-act-rcra>

Vedlegg



vedlegg 1 ekskluderte punkter for 40m antenneavstand

EM38 vertikal dipol

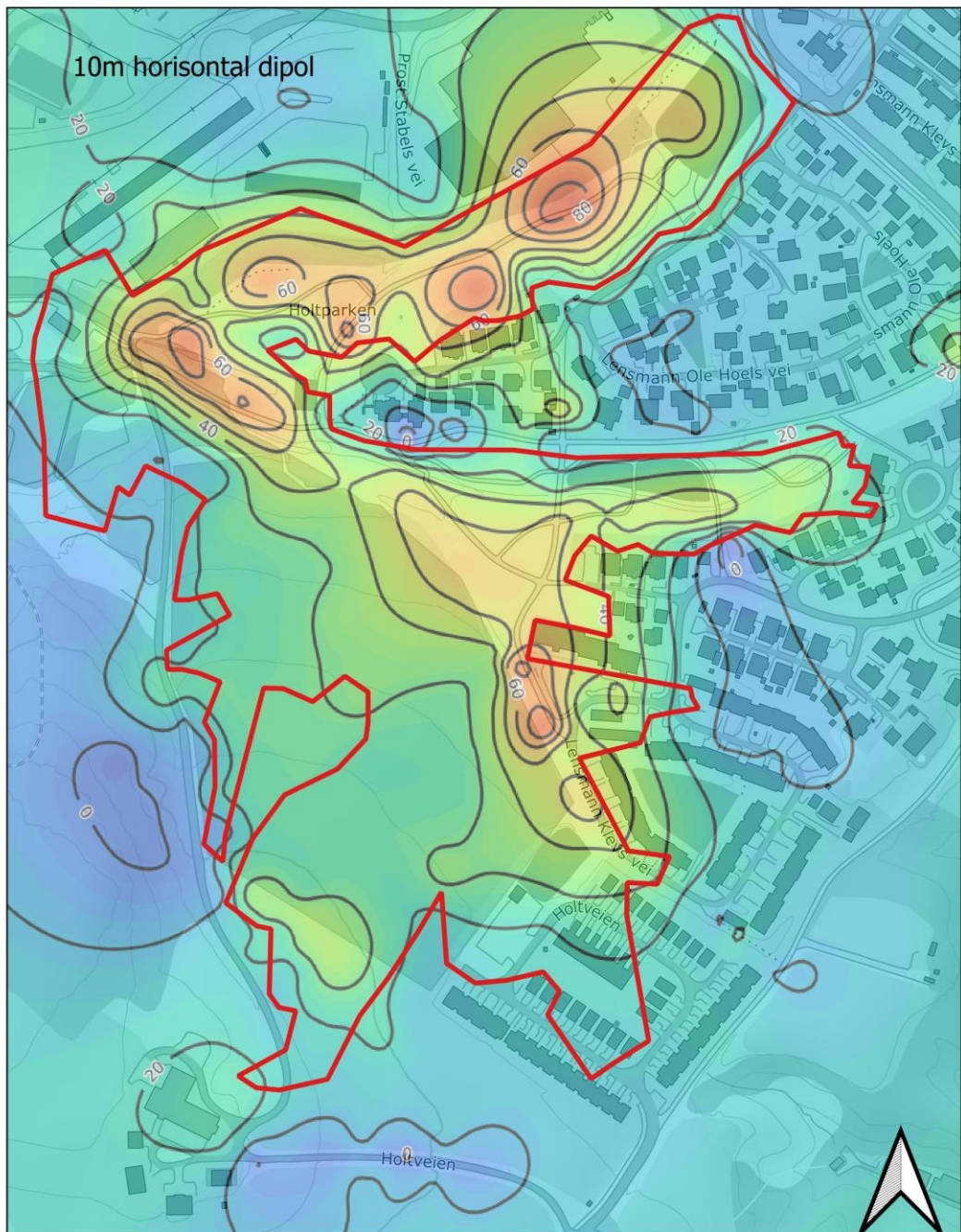


0 50 100 m

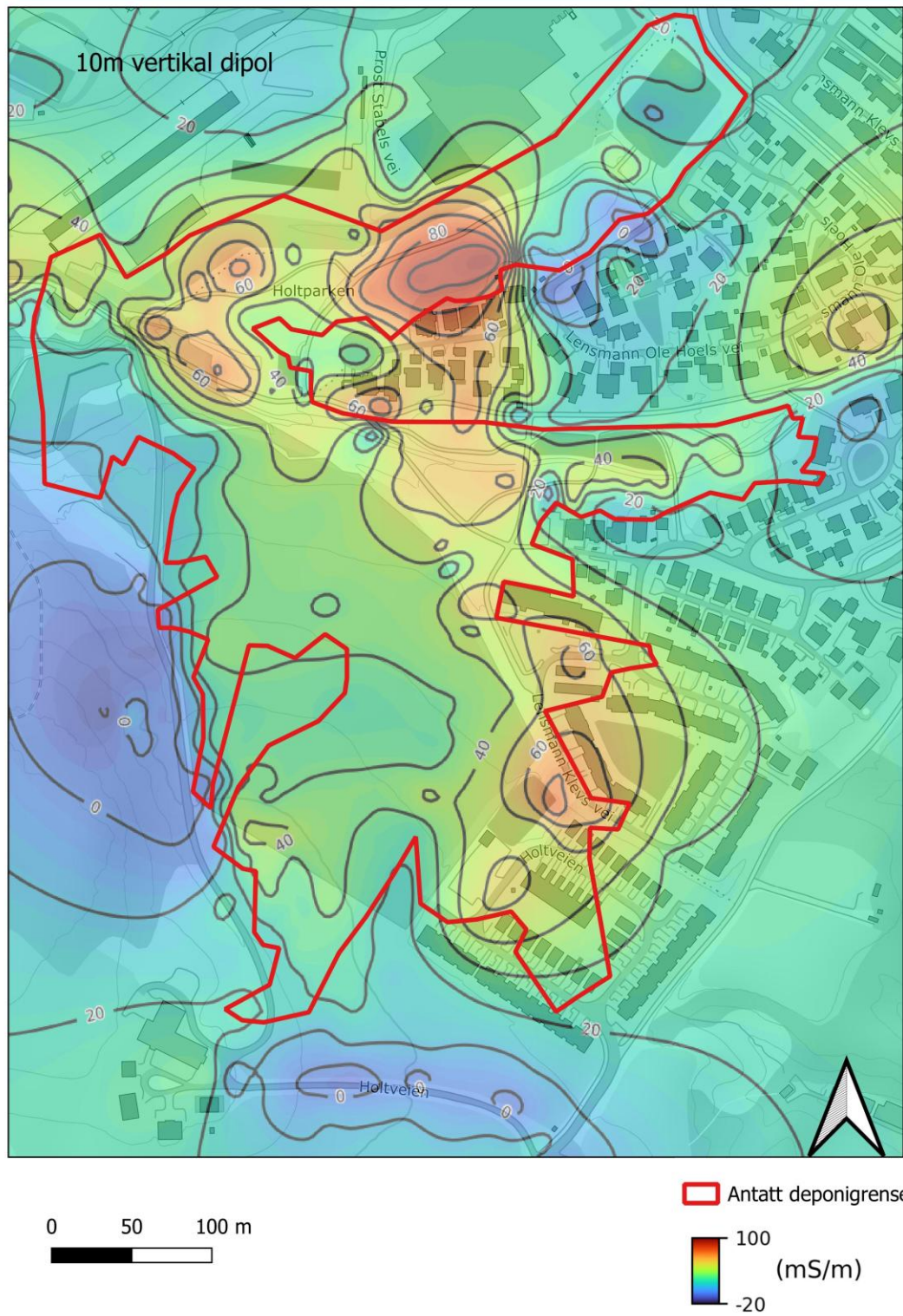
Antatt deponigrense

100
(mS/m)
-20

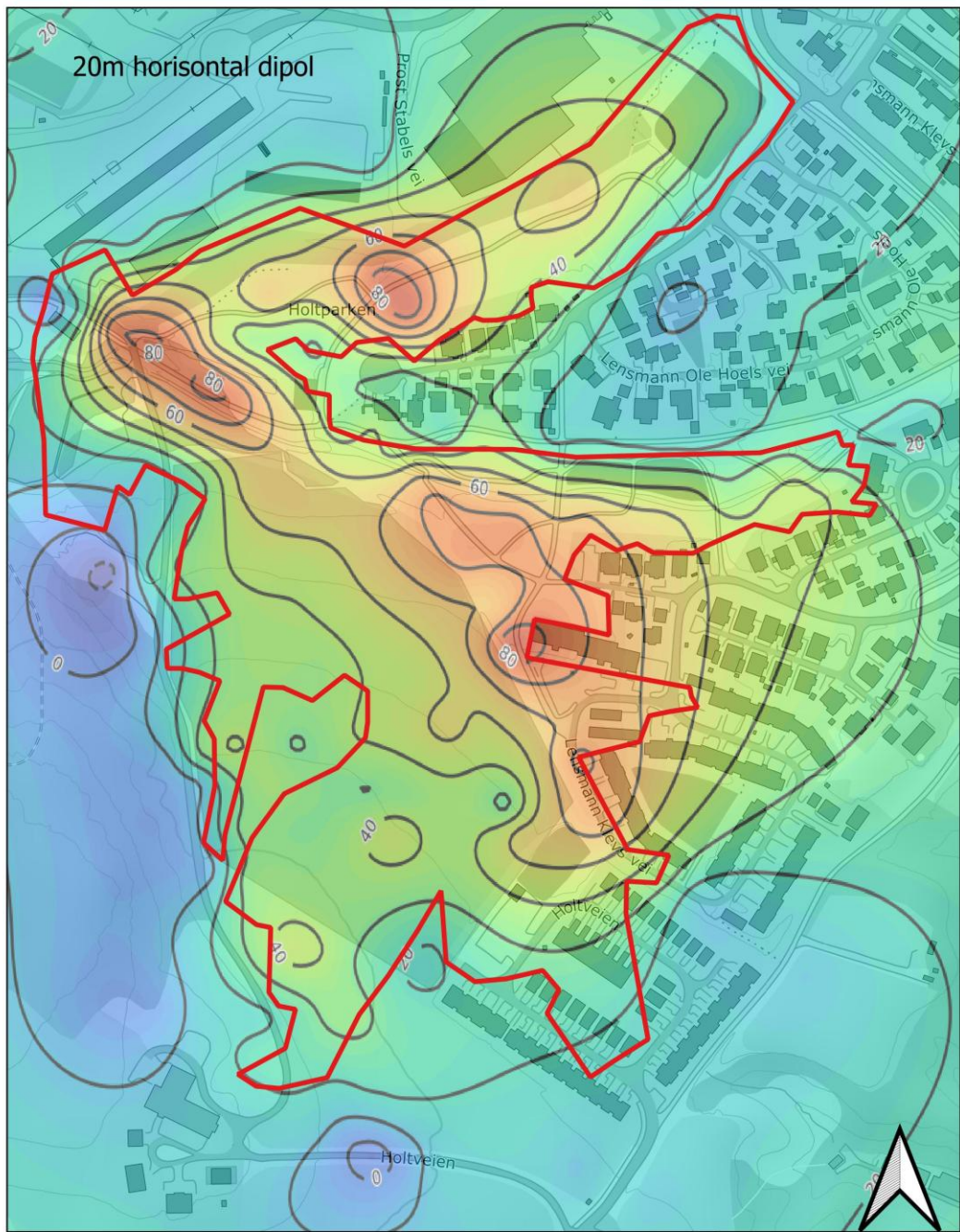
vedlegg 2 EM38 vertikal dipol uten klipping



vedlegg 3 10m antenneavstand horisontal dipol uten klipping

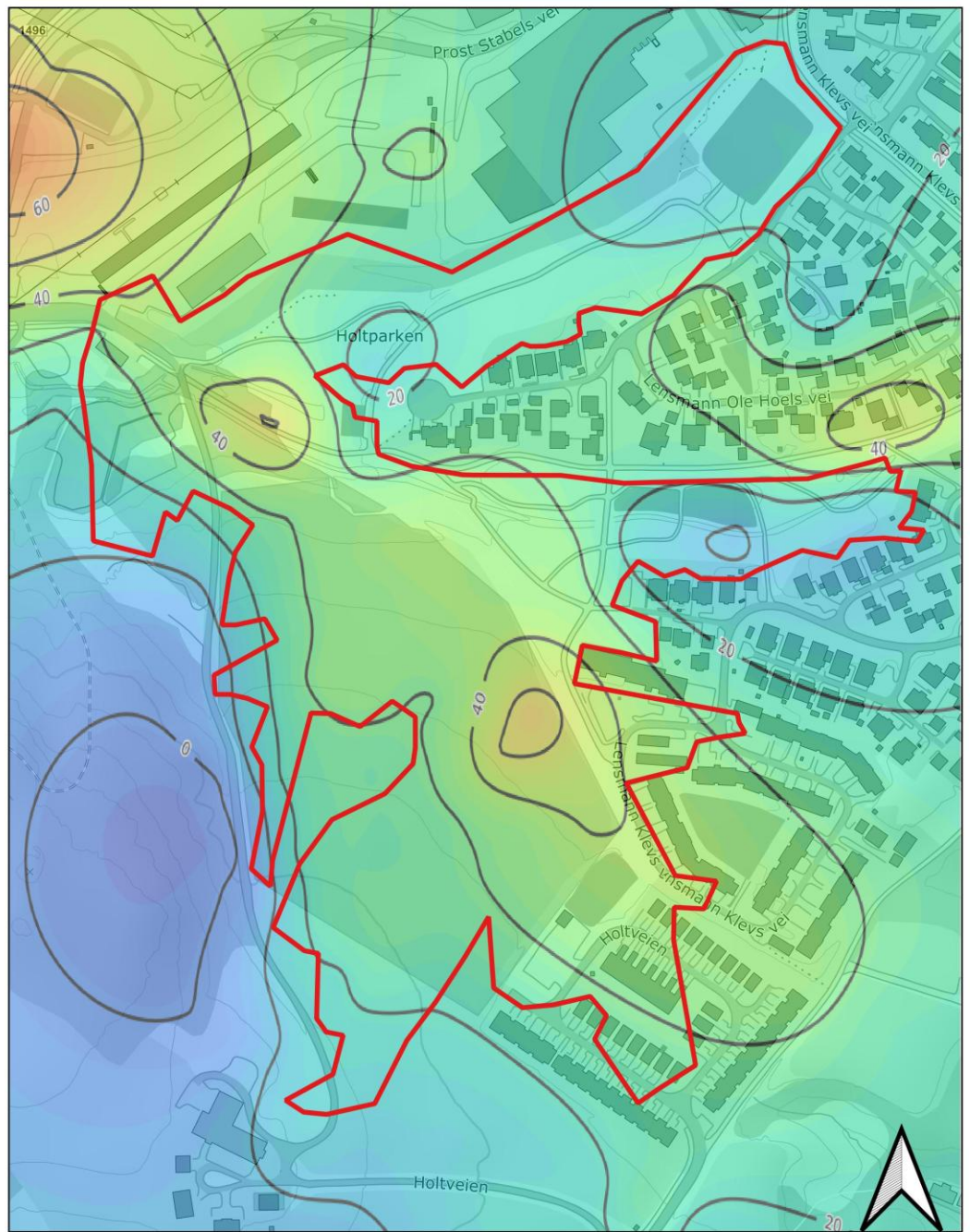


vedlegg 4 10m antenneavstand vertikal dipol uten klipping



vedlegg 5 20m antenneavstand horisontal dipol uten klipping

20m vertikal dipol



0 50 100 m

Antatt deponigrense

100
(mS/m)
-20

vedlegg 6 20m antenneavstand vertikal dipol uten klipping

Sammendrag av samtale med ai for fremstilling av interpolasjon

1. Kriging-interpolasjon for vertikalt snitt

For å visualisere geofysiske målinger i et **vertikalt snitt**, utviklet vi en Python-basert Kriging-interpolasjon. Prosessen involverte flere steg:

Dataforberedelse og struktur

- Dataene inneholdt målinger langs en linje (X) med ulike dybder (Y) og tilhørende verdier (V).
- Dataene ble rensset og konvertert til numeriske verdier for å sikre riktig interpolasjon.
- Gridet ble utvidet i alle retninger for å inkludere mer kontekst i interpolasjonen.

Interpolasjonsmetode og tilpasninger

- Vi brukte **Ordinary Kriging** med en valgfri variogrammodell (linear, exponential, gaussian, spherical).
- Variogramparametrene (sill, range, nugget) kunne justeres manuelt for bedre kontroll.
- **Trendfjerning** ble implementert for å sikre at interpolasjonen fokuserte på lokale variasjoner.
- **Indicator Kriging** ble testet for å vektlegge ekstreme verdier i dataene.
- **Local Kriging** ble innført for å redusere overdreven utjevning og bevare detaljer.

Visualisering og eksport

- Plottet ble optimalisert med en **fast proporsjon mellom X og Y**, slik at det ikke ble forvrengt.

- En fargebar ble inkludert og justert til å gjenspeile min_value og max_value.
- Resultatet ble lagret som en **høyoppløselig PNG-fil**, egnet for inkludering i masteroppgaven.

2. Kriging-interpolasjon for konturkart

For å lage **konturkart** over geofysiske målinger utviklet vi en Kriging-baserte interpolasjon som genererte en **GeoTIFF-fil egnet for GIS-verktøy**.

Datahåndtering

- CSV-dataene inneholdt koordinater (X, Y) og måleverdier (V og H), hvor X og Y representerte posisjon på overflaten.
- Datapunktene ble filtrert for å fjerne unøyaktige verdier (min_value og max_value ble brukt til filtrering).
- Skilletegn ble automatisk detektert for å sikre korrekt innlesing.

Interpolasjon og optimalisering

- Vi brukte **Ordinary Kriging**, men testet også variogrammodeller for å finne den beste tilpasningen.
- Interpolasjonsgridet ble justert for å forbedre oppløsning og tilpasse det til GIS-format.
- Kriging ble implementert slik at interpolasjonen kunne eksporteres som **GeoTIFF** for bruk i QGIS.

Fargebar og eksport

- En fargebar ble generert for å matche interpolasjonens skala, og denne ble eksportert som en egen PNG.
- Bildet ble optimalisert for inkludering i Word-dokumenter ved å **justere størrelsen på både plott og fargebar**.

- Konturkartene ble lagret i høy oppløsning for å sikre klarhet i presentasjonen.

Python code for ordinary kriging interpolasjon (konturkart)

```
import pandas as pd

import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

import matplotlib.path_effects as pe

from pykrige.ok import OrdinaryKriging

from scipy.ndimage import gaussian_filter

import rasterio

from rasterio.transform import Affine

import matplotlib.colors as mcolors

import csv

import os

import re


# ♦ Konfigurasjon ♦

file_path = r"filsti" # Endre denne banen til riktig CSV-fil

output_folder = r"ønsket output mappe" # Endre til ønsket lagringsmappe

color_palette = "turbo"

value_min = -20
```

```

value_max = 100

smoothing_sigma = 1.0

contour_interval = 10 # Angi ønsket intervall for konturlinjer

num_color_intervals = 50 # Antall fargeintervaller i konturkartet

variogram_model = "exponential" # exponential, linear or gaussian

contour_line_width = 2.0

clines_fontsize = 10

crs_output = "EPSG:25833"


# ♦ Kriging-innstillinger ♦

use_manual_variogram = False # Sett til True for å manuelt definere
variogramparametere

sill = None # Variogram sill (None for automatisk)

range_val = None # Variogram range (None for automatisk)

nugget = None # Variogram nugget (None for automatisk)

use_external_drift = False # Sett til True for å bruke External Drift Kriging (EDK)

use_trend_removal = False # Sett til True for å fjerne trend før interpolasjon

use_indicator_kriging = False # Sett til True for å bruke Indicator Kriging

use_local_kriging = False # Sett til True for å bruke Local Kriging


# ♦ Konfigurerbare innstillinger for fargebaren\colorlegend ♦

```

```

colorbar_label = "(mS/m)"

colorbar_width = 0.2 # Juster bredden på fargebaren

colorbar_height = 0.5 # Juster høyden på fargebaren

colorbar_fontsize = 10 # Juster skriftstørrelse på label

colorbar_ticksiz = 8 # Juster tallene på fargebaren


# ♦ Angi output-mappe og filnavn for fargebaren ♦

os.makedirs(output_folder, exist_ok=True) # Opprett mappen hvis den ikke finnes

colorbar_path = os.path.join(output_folder, "colorbar.png")


# Oppretter output-folder hvis den ikke eksisterer

os.makedirs(output_folder, exist_ok=True)


# ♦ Ekstraher dynamisk filnavn fra input ♦

input_filename = os.path.basename(file_path).replace(".csv", "")

match = re.search(r'(\d{1,2}m)', input_filename) # Finn "20m", "10m" osv.

distance = match.group(1) if match else "Unknown"


# Oppdager skilletegn (komma eller semikolon)

with open(file_path, "r", encoding="utf-8") as f:

    first_line = f.readline()

```

```

detected_delimiter = csv.Sniffer().sniff(first_line).delimiter

# Leser CSV-filen

data = pd.read_csv(file_path, sep=detected_delimiter)

data['X'] = pd.to_numeric(data['X'], errors='coerce')

data['Y'] = pd.to_numeric(data['Y'], errors='coerce')

data['V'] = pd.to_numeric(data['V'], errors='coerce')

if 'H' in data.columns:

    data['H'] = pd.to_numeric(data['H'], errors='coerce')

# ♦ Funksjon for interpolasjon og generering av konturkart uten hvit ramme ♦

def process_data(value, output_tiff):

    df = data.dropna(subset=['X', 'Y', value])

    if value_min is not None:

        df = df[df[value] >= value_min]

    if value_max is not None:

        df = df[df[value] <= value_max]

    x = df['X'].values

```

```
y = df['Y'].values
```

```
v = df[value].values
```

```
grid_x = np.linspace(x.min(), x.max(), 200)
```

```
grid_y = np.linspace(y.min(), y.max(), 200)
```

```
grid_x, grid_y = np.meshgrid(grid_x, grid_y)
```

```
# Kriging interpolasjon
```

```
if use_manual_variogram:
```

```
    variogram_parameters = [sill, range_val, nugget] # Må være en liste
```

```
else:
```

```
    variogram_parameters = None # Auto-detect parameters
```

```
OK = OrdinaryKriging(
```

```
    x, y, v,
```

```
    variogram_model=variogram_model,
```

```
    variogram_parameters=variogram_parameters,
```

```
    verbose=False,
```

```
    enable_plotting=False
```

```
)
```

```

grid_v, _ = OK.execute("grid", grid_x[0], grid_y[:, 0])

grid_v_smooth = gaussian_filter(grid_v, sigma=smoothing_sigma)

# ♦ Tegner konturkart **uten ramme**

fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 10))

ax.set_xticks([])

ax.set_yticks([])

ax.set_frame_on(False)

ax.set_axis_off()

ax.set_xlim(x.min(), x.max())

ax.set_ylim(y.min(), y.max())


contour_levels = np.arange(value_min, value_max + contour_interval,
contour_interval)

color_levels = np.linspace(value_min, value_max, num_color_intervals)

contour_filled = ax.contourf(grid_x, grid_y, grid_v_smooth, levels=color_levels,
cmap=color_palette)

contour_lines = ax.contour(

    grid_x,

    grid_y,

    grid_v_smooth,

```

```

levels=contour_levels,

colors='black',

linewidths=contour_line_width

)

contour_labels = ax.clabel(

    contour_lines,

    inline=True, fontsize=14,

    fmt='%d', colors='black',

    levels=np.arange(value_min, value_max, 20),

    use_clabeltext=True

)

# Legger til hvit bakgrunn på konturlinjeverdierne

for txt in contour_labels:

    txt.set_path_effects([pe.withStroke(linewidth=2, foreground="white")])

    txt.set_fontweight('bold')

plt.subplots_adjust(left=0, right=1, top=1, bottom=0)

fig.canvas.draw()

image = np.array(fig.canvas.renderer.buffer_rgba())[:, :, :3]

```

```

plt.close(fig)

styled_tiff = os.path.join(output_folder, f'{input_filename}_{value}.tif')

with rasterio.open(

    styled_tiff, 'w',

    driver='GTiff',

    height=image.shape[0],

    width=image.shape[1],

    count=3,

    dtype='uint8',

    crs=crs_output,

    transform=Affine(

        (grid_x.max() - grid_x.min()) / image.shape[1], 0, grid_x.min(),

        0, -(grid_y.max() - grid_y.min()) / image.shape[0], grid_y.max()

    ),

) as dst:

    dst.write(image[:, :, 0], 1)

    dst.write(image[:, :, 1], 2)

    dst.write(image[:, :, 2], 3)

print(f'Styled GeoTIFF for {value} saved as: {styled_tiff}')

```

```

process_data('V', os.path.join(output_folder, f'{input_filename}_V.tif'))

if 'H' in data.columns:

    process_data('H', os.path.join(output_folder, f'{input_filename}_H.tif'))

```

Python kode for fremstilling av koordinater på rett linje

```

import os

import numpy as np

import csv

def read_data_and_coordinates(filename):

    # Read the data points and coordinates from a .txt file

    data_points = []

    start_coord = None

    end_coord = None

    with open(filename, 'r') as f:

        reader = csv.reader(f, delimiter='\t') # Reading tab-delimited .txt file

        for row in reader:

            if row[0].strip() == 'koordinat':

                continue # Skip the header

            if row[0].strip() == 'start':

```

```

        start_coord = (float(row[1]), float(row[2]))

        print(f"Start coordinate found: {start_coord}")

    elif row[0].strip() == 'slutt':

        end_coord = (float(row[1]), float(row[2]))

        print(f"End coordinate found: {end_coord}")

    elif row[0].isdigit(): # Data points section

        data_points.append({

            'nr': int(row[0]),

            'qp_vertikal': float(row[1].replace(',', '.')),

            'ip_vertikal': float(row[2].replace(',', '.')),

            'qp_horisontal': float(row[3].replace(',', '.')), # Handle comma in numbers

            'ip_horisontal': float(row[4])

        })

# Check if start and end coordinates were found

if start_coord is None:

    print(f"Error: No start coordinate found in {filename}")

if end_coord is None:

    print(f"Error: No end coordinate found in {filename}")

return data_points, start_coord, end_coord

```

```

def generate_coordinates(start_coord, end_coord, num_points):

    # Generate interpolated coordinates between start and end

    latitudes = np.linspace(start_coord[0], end_coord[0], num_points)

    longitudes = np.linspace(start_coord[1], end_coord[1], num_points)

    return list(zip(latitudes, longitudes))


def write_output_with_coordinates(data_points, coordinates, output_file):

    # Write the updated data with interpolated coordinates

    with open(output_file, 'w', newline='') as f:

        writer = csv.writer(f, delimiter='\t')

        # Write the headers (add latitude, longitude columns)

        writer.writerow(['nr', 'qp_vertikal', 'ip_vertikal', 'qp_horisontal', 'ip_horisontal',
'latitude', 'longitude'])

        for data, coord in zip(data_points, coordinates):

            writer.writerow([data['nr'], data['qp_vertikal'], data['ip_vertikal'],
data['qp_horisontal'], data['ip_horisontal'], coord[0], coord[1]])


def process_all_files_in_folder(input_folder, output_folder):

    # Create the output folder if it doesn't exist

    if not os.path.exists(output_folder):

```

```

os.makedirs(output_folder)

# Iterate over all .txt files in the input folder
for filename in os.listdir(input_folder):

    if filename.endswith('.txt'):

        input_file = os.path.join(input_folder, filename)

        output_file = os.path.join(output_folder, filename) # Output file with the same
name

        print(f"Processing {filename}...")

        # Read data and coordinates from the file

        data_points, start_coord, end_coord = read_data_and_coordinates(input_file)

        # If start or end coordinate is missing, skip the file

        if start_coord is None or end_coord is None:

            print(f"Skipping {filename} due to missing coordinates.")

            continue

        # Generate interpolated coordinates corresponding to each data point

        coordinates = generate_coordinates(start_coord, end_coord, len(data_points))

```

```
# Write the updated data with interpolated coordinates to the output file

write_output_with_coordinates(data_points, coordinates, output_file)

print(f"Processed {filename} and saved to {output_file}")


# Define the input and output folder paths

input_folder = r'Filsti' # Replace with your input folder path

output_folder = r'Filsti' # Replace with your output folder path


# Process all .txt files in the input folder and write results to the output folder

process_all_files_in_folder(input_folder, output_folder)
```