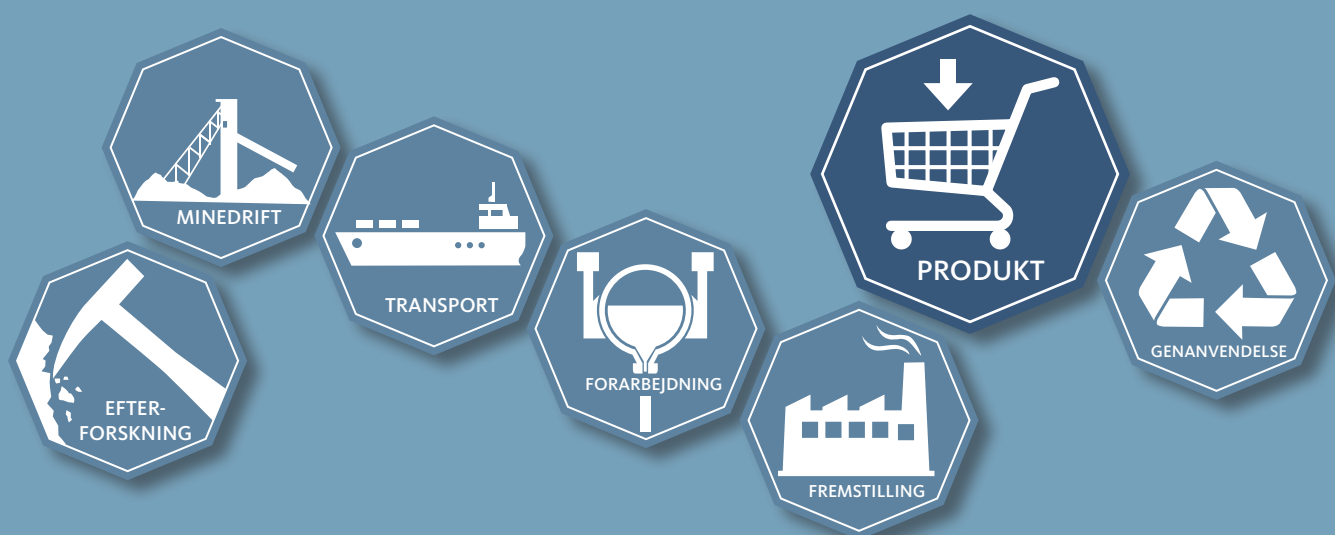


Geofysisk forundersøgelse af Måde Deponi, Esbjerg Kommune

Alessandro Sandrin og Jakob K. Keiding

MiMa rapport 2021/1



Geofysisk forundersøgelse af Måde Deponi, Esbjerg Kommune

Alessandro Sandrin og Jakob K. Keiding

MiMa rapport 2021/1



VIDENCENTER FOR MINERALSKE RÅSTOFFER OG MATERIALER
DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER FOR DANMARK OG GRØNLAND



G E U S

Geofysisk forundersøgelse af Måde Deponi, Esbjerg Kommune

MiMa rapport 2021/1

*Forfattere: Alessandro Sandrin & Jakob K. Keiding
Teknisk redaktion: Kisser Thorsøe*

*Repro: GEUS
Tryk: GEUS*

Marts 2021

ISBN: 978-87-7871-546-3

© Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer (MiMa) under
De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)
Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet
Øster Voldgade 10
1350 København K

Indhold

Sammendrag	4
English summary	5
1. Baggrund og formål	6
2. Feltområde	7
3. Feltarbejde og metoder	10
3.1 Metode	10
3.2 Feltarbejde	10
3.3 Magnetometri	11
3.4 Refraktionsseismiske undersøgelser	12
4. Databehandling	15
4.1 Magnetiske data	15
4.2 Refraktionsseismiske data	15
5. Resultater	18
5.1 Magnetiske undersøgelser	18
5.2 Seismiske undersøgelser	20
5.2.1 Seismisk linje 1 (Figur 12)	20
5.2.2 Seismisk linje 2 (Figur 13)	21
5.2.3 Seismisk linje 3 (Figur 14)	23
5.2.4 Seismisk linje 4 (Figur 15)	24
5.2.5 Seismisk linje 5 (Figur 16)	25
5.2.6 Seismisk linje 6 (Figur 17)	26
5.2.7 Seismisk linje 7 (Figur 18)	27
5.2.8 Seismisk linje 8 (Figur 19)	28
5.2.9 Seismisk linje 9 (Figur 20)	29
5.2.10 Samlet tolkning af linje 1 til linje 9	30
6. Forslag til prøvetagningsstrategi	31
6.1 Prøveboringer	31
6.2 Prøveopgravninger	32
7. Volumenestimer	34
8. Konklusioner og anbefalinger	37
Referencer	39
Bilag 1	40

Sammendrag

Måde Deponi er beliggende nær Esbjerg. Esbjerg Kommune undersøger mulighederne for at ibrugtage dele af arealet, som ikke er aktivt som losseplads længere, til andre erhvervmæssige formål. Her rapporteres geofysiske undersøgelser af deponeringsenhed 561-201 med henblik på kortlægning af dybden af deponiet, mulige interne variationer i affaldet og afgrænsning af deponiet. Forundersøgelserne omfatter magnetisk og 2D refraktionsseismiske undersøgelser, som bidrager med viden for eventuel yderligere planlægning af opgravning, nyttiggørelse og bortskaffelse af affaldet (landfill mining).

Den magnetiske undersøgelse viste, at selve deponiområdet er mere magnetisk end omgivelserne, hvilket hovedsageligt skyldes indhold af magnetisk materiale (jern) i affaldet. På baggrund af resultaterne fra den magnetiske undersøgelse er det muligt at afgrænse deponiet mod syd og sydvest og kortlægge affaldets heterogenitet. Der blev fundet et antal magnetiske anomalier, specielt to store anomalier i den nordlige ende af deponiet og flere mindre overfladenære anomalier.

Der blev målt 2D refraktionsseismik langs ni linjer, der hver var 115 m lange. Linjerne var placeret så hele deponiet blev dækket og således, at de vigtigste magnetiske anomalier, som blev fundet ved den magnetiske undersøgelse, blev dækket. Resultaterne af modelleringen af data fra den seismiske undersøgelse viser, at dybden af deponiet sandsynligvis ligger ca. 20 m under terrænoverfladen langs én af de målte linjer. Støj fra industrielle aktiviteter i området påvirkede for de fleste linjer desværre de seismiske data negativt, hvilket betød, at bunden af deponiet ikke kunne findes for alle dele af deponiet. Hastighedsvariationer målt i affaldet skyldes sandsynligvis kompaktering (øgede hastigheder med dybden) og til dels variationer i affaldssammensætningen.

Volumenet af Måde Deponi er estimeret til at være mellem 1,3 km³ til 2,3 km³, som dog er forbundet med stor usikkerhed pga. dårligt kendskab til deponiets tykkelse.

Det anbefales, at dette studie efterfølges af opfølgende undersøgelser, så omkostninger til opgravning og bortskaffelse af affaldet bedre kan vurderes. En eventuel 2. fase bør fokusere på prøveboringer og prøveopgravninger med henblik på affaldskarakterisering og bedre bestemmelse af placeringen af deponiets bund. Baseret på resultaterne af de geofysiske forundersøgelser anbefales, at der foretages 4-5 prøveboringer og to prøveopgravninger. Yderligere geofysiske undersøgelser, fx geoelektrisk og induceret polarisationsundersøgelser vil ligeledes være nyttige.

English summary

The Måde Deponi is a landfill near the city of Esbjerg, for which a geophysical study was performed to try to map the depth to the landfill, possible internal variations within the waste, and outer boundaries if possible. The report presents the first phase of Esbjerg Municipality's studies of possibilities for using parts of the area for business purposes encompassing a ground magnetic survey and a series of 2D seismic refraction lines which contributes knowledge for possible further planning of excavation, recovery and disposal of the waste (landfill mining).

The magnetic survey show that the landfill area is more magnetic than the surroundings. This fact is mainly caused by a higher content of magnetic material (iron) in the waste. Based on the magnetic survey, it is possible to delineate the boundary of the landfill to the South and Southwest and to map internal heterogeneity in the waste. A number of magnetic anomalies were identified, most importantly two large anomalies in the northern part of the Måde Deponi and multiple smaller near surface magnetic anomalies.

The 2D seismic refraction data were acquired along 9 lines, each around 115 metres long. The lines were planned to cover the landfill from edge to edge, and the sampling areas where intense magnetic anomalies were detected by the magnetic survey. The results of the modelling of the seismic data show that the depth to the base of the landfill is likely located at around 20 metres depth below the surface along one line. Unfortunately, the noise from the industrial activities in the area negatively affected the signal in the seismic data for most of the lines, thus not allowing to map the base of the landfill in all parts of Måde Deponi. Velocity variations within the waste are most likely due to compaction (increase in velocity with depth) and partially to variations in waste composition.

A volume estimate has been made for the Måde landfill, which, however, is associated with great uncertainty due to poor knowledge of the thickness of the landfill. The calculated volume of the landfill varies from 1.3 km³ to 2.3 km³.

It is recommended that this study is followed by a second phase to better assess the cost for reclamation and landfill mining of Måde Deponi. A follow-up study should focus on test drilling and trenching in order to characterize the waste in terms of composition, internal heterogeneity and to better constrain the depth of the landfill. Based on the geophysical survey presented here 4-5 drill sites and two trenched are suggested. This work could also be supported by further geophysical investigations, particularly acquisition of geoelectric and induced polarization data would be beneficial.

1. Baggrund og formål

I et samarbejdsprojekt mellem Esbjerg Kommune og Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer (MiMa) er der foretaget geofysiske forundersøgelser af Måde Deponi (deponeringsenhed 561-201). Projektet er første fase af Esbjerg Kommunes undersøgelser af mulighederne for at ibrugtage arealet til erhvervsmæssige formål, og i forhold til en eventuel byggemodningsproces er det nødvendigt med mere viden om affaldet.

De geofysiske undersøgelser er brugt til at estimere affaldsmængder og affaldsheterogenitet i Måde Deponi. Resultaterne opnået fra de geofysiske undersøgelser kan anvendes til at udpege, hvilke områder der bør karakteriseres, og hvordan man bedst opnår den nødvendige viden om det deponerede affald. Dette kan fx gøres ved hjælp af boreprofiler og prøveopgravninger, hvor affaldet karakteriseres.

De geofysiske undersøgelser kan også bidrage med viden, som kan anvendes ved udarbejdelse af forskellige omkostningsscenarier i forbindelse med opgravning og bortskaffelse af affaldet, også betegnet *landfill mining*.

2. Feltområde

Måde Deponi ligger sydøst for Esbjergs centrale byområde og cirka en kilometer øst for Esbjerg Havn tæt ved kysten (Figur 1). Deponiet danner en lille flad, omtrent trapezformet bakke som hæver sig ca. 20 m over niveau med stejle sider ned mod kysten og det omkringliggende område.



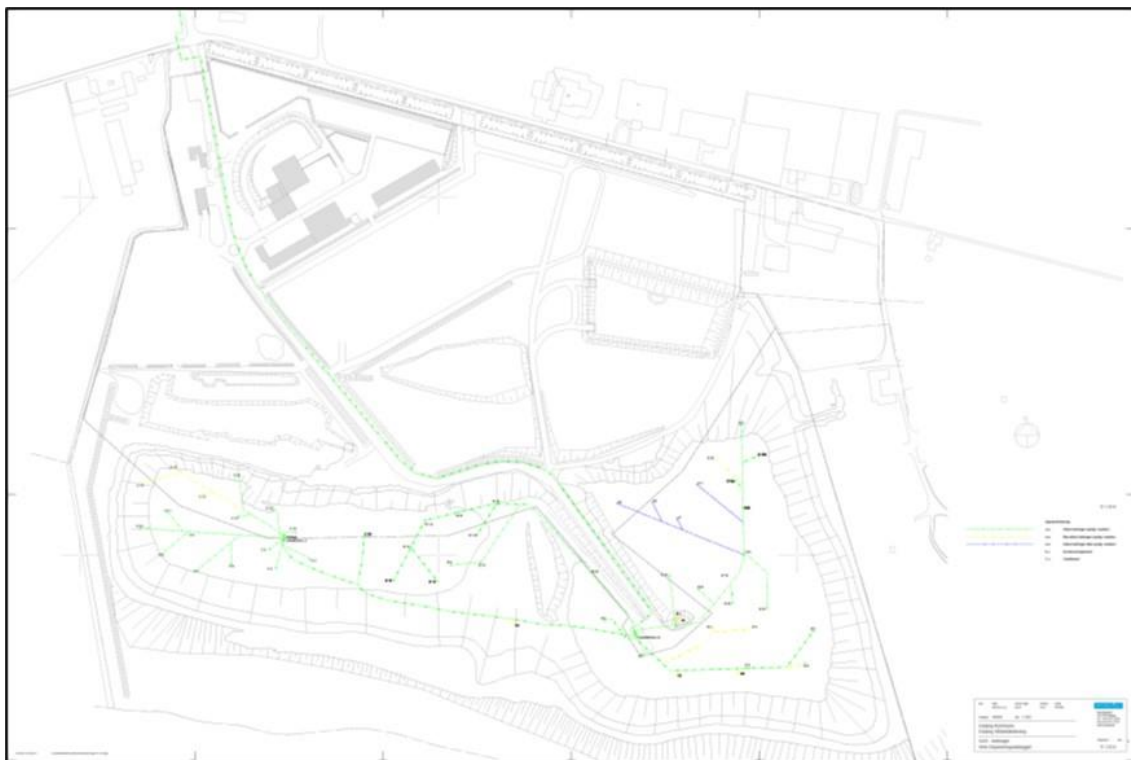
Figur 1 Luftfotos som viser placeringen af Måde Deponi og undersøgelsesområdet (AOI – Area of Interest). Kort: Google Maps. Billedet er fra august 2019.

Der foreligger kun meget begrænset viden om affaldet i Måde Deponi og ingen dokumentation for, hvornår affaldet er deponeret, eller hvor i området forskellige affaldstyper er deponeret.

I området omkring Måde blev der indtil 1964 udgravet ler, som blev benyttet af lokale teglværker. Leret blev udgravet fra en lergrav til to meter under havniveau. I perioden 1968 til 1979 blev alle typer af affald deponeret i Måde Deponi. Fra 1979 til 1985 blev kun industri- og byggeaffald (murstensbrokker) deponeret, hvorefter deponiet blev lukket. Selve deponiet er slutfædækket af et jordlag som indkapsler deponiet.

I 1982 blev deponiet defineret som losseplads med kemisk affald¹. En udredning vedrørende kemikalieaffaldsproducerende virksomheder i Esbjerg fra 1988 fandt at flere virksomheder over en årrække havde deponeret bl.a. farve- og lakprodukter, opløsningsmidler og tungmetaltholdigt slam ved Måde Deponi². Af Bilag 1 fremgår der yderligere information om perkolat-sammensætning og stoftransport fra Måde Deponi fra en undersøgelse foretaget af Vandkvalitetsinstituttet i 1987. Det ligger udenfor rammerne af denne undersøgelse at vurdere de miljømæssige forhold omkring Måde Deponi, og disse forhold er derfor ikke yderligere behandlet i denne rapport.

Deponiet er beliggende i et industriområde, hvor der er en del støj fra tunge maskiner, vindmøller (hvor flere ligger omkring 30 m fra undersøgelsesområdet, Figur 1) og lokale mindre konstruktioner. I undersøgelsesområdet findes et antal borehuller, ligesom der findes rørlægninger og elektriske ledninger i og omkring undersøgelsesområdet (Figur 2 og Figur 3).



Figur 2 *Oversigt over borehuller og rørlægning i undersøgelsesområdet. Kilde: Esbjerg Kommune.*

¹ Notat fra Rigsarkivets dokumenter vedr. Ribe Amts undersøgelser af Måde Losseplads "Status vedrørende Program 83, punkt 3 primo november 1984. Undersøgelsesresultater".

² Notat fra Rigsarkivets dokumenter vedr. Ribe Amts undersøgelser af Måde Losseplads "Notat om Måde gamle Losseplads 1988".



Figur 3 Luftledninger og kabler ved Måde Deponi. Kilde: Esbjerg Kommune. Kort: Google Maps.

3. Feltarbejde og metoder

3.1 Metode

Undersøgelserne i dette projekt inkluderer fladedækkende magnetometri (magnetiske målinger) over hele området og 2D refraktionsseismiske undersøgelser. De magnetiske data indikerer tilstedeværelsen af magnetiske (dvs. jernholdige) materialer i affaldet og kortlægger homogenitet af området. De seismiske data blev indsamlet for at kortlægge grænsen mellem det deponerede affald og det underliggende geologiske lag, og for at vise interne forskelle, som kan afsejle sammensætningsmæssige variationer og/eller forskelle i graden af kompaktion af affaldet.

Der er ikke udført prøveboringer eller prøveopgravninger, hvorfor tolkningerne fra de geofysiske undersøgelser er udført uden kalibreringspunkter. Som beskrevet i kapitel 2 er affaldstyper, deres karakter osv. stort set ukendt, hvilket betyder at deponiets geofysiske parametre også er ubestemte.

Som nævnt i kapitel 2 findes der i undersøgelsesområdet et antal borehuller, rørlægninger og elektriske ledninger. Disse kan påvirke de magnetiske målinger, se afsnit 3.4. Støjen fra omgivelserne omkring undersøgelsesområdet, ligeledes omtalt i kapitel 2, påvirker ikke de magnetiske målinger, men kan påvirke de refraktionsseismiske undersøgelser, se kapitel 4.

3.2 Feltarbejde

Feltarbejdet blev udført fra juli til oktober 2020 med udstyr udlånt af Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN) ved Københavns Universitet.

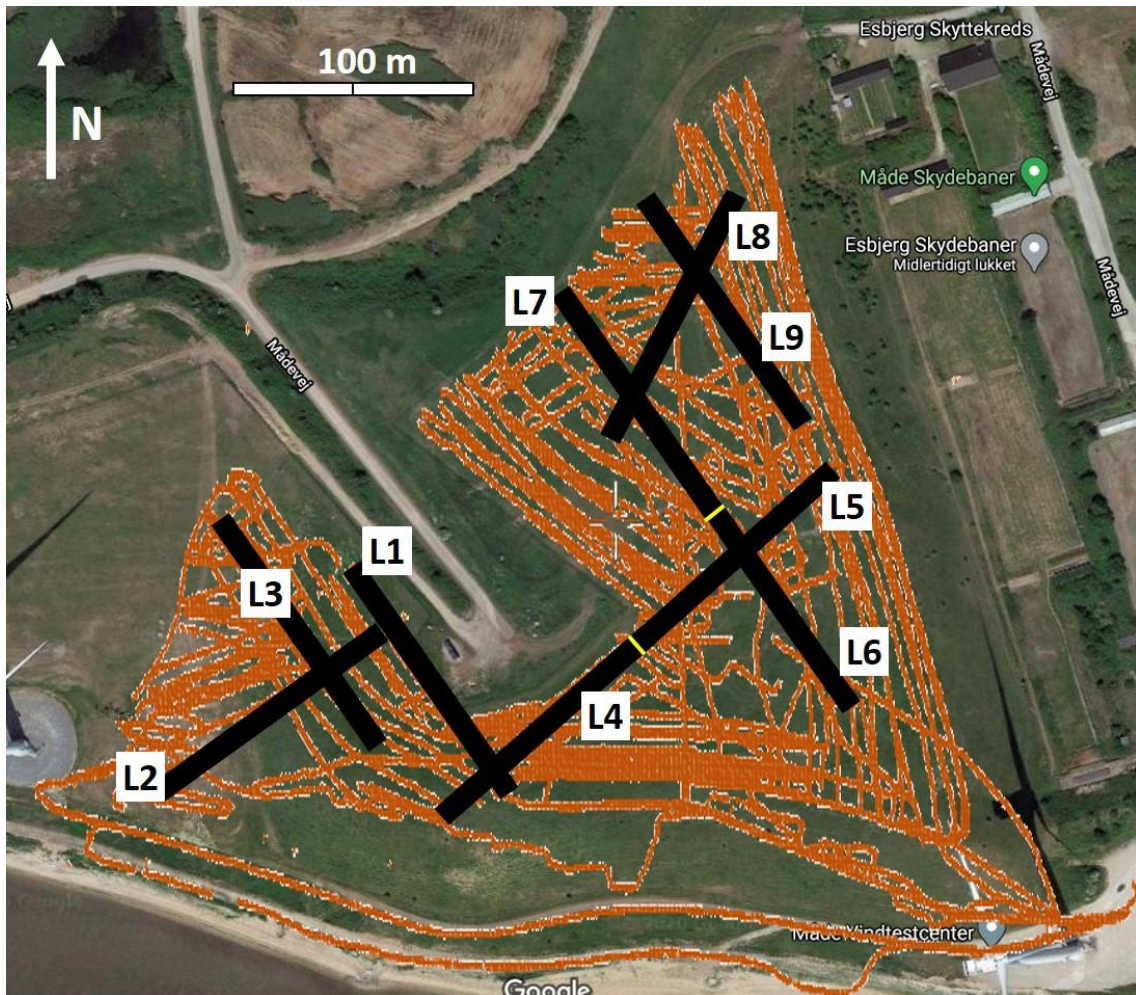
Det første forsøg på at udføre de magnetiske målinger mislykkedes på grund af funktionsfejl i positioneringssystemets (GPS) kobling til magnetometeret. Fejlen kunne ikke udbredes i felten, og efter serviceeftersyn af teknikeren blev en ny feltkampagne gennemført, og data blev indsamlet for hele området af forsker Alessandro Sandrin (GEUS) i september 2020.

Ved dataindsamling går operatøren så vidt muligt i lige linjer og dækker det ønskede område med ca. 10 m mellem linjerne. I Figur 4 ses rutesporet for de magnetiske målinger registeret med differential GPS. For at hele det ønskede areal blev dækket, blev de magnetiske målinger udført på to forskellige dage. Data blev primært indsamlet indenfor deponiområdet, men mod syd og vest blev der også indsamlet data uden for deponiområdet til en direkte sammenligning med baggrundsmagnetfeltet og for at afgrænse, at deponiet mod forventning skulle fortsætte i vestlig retning. De stejle skråninger og høje stålhegn forhindrede yderligere magnetiske målinger mod nord og øst.

Placeringen af de refraktionsseismiske linjer blev fastlagt efter at de magnetiske data var indsamlet og analyseret og blev placeret, så følgende fire kriterier så vidt muligt ville blive opfyldt:

- i) Deponiets vestlige grænse blev fundet;
- ii) Dybden til bunden af deponiet blev bestemt;
- iii) Affaldets heterogenitet blev undersøgt og
- iv) Store kortlagte anomalier observeret i de magnetiske data i den nordlige del af undersøgelsesområdet blev undersøgt.

I alt blev der udført seismiske målinger langs ni linjer (Figur 4). De seismiske målinger blev udført i oktober 2020 af Alessandro Sandrin med assistance fra Emil Rosengaard, specialestuderende ved IGN, og Mia Brenner, studentermedhjælper ved GEUS.



Figur 4 Oversigt over linjer gået for magnetiske kortlægning (rødbrun farve) og placering af de ni seismiske linjer L1 til L9 vist med sorte linjer og nummeret efter rækkefølgen de blev indsamlet og er beskrevet i denne rapport. Kort: Google Maps.

3.3 Magnetometri

Et magnetometer måler variationen i jordens magnetfelt forårsaget af tilstedeværelsen af magnetiske (jernholdige) materialer. Denne teknik anvendes bredt i mineralefterforskning og indenfor arkæologi, men har også vist sig nyttig til afgrænsning og karakterisering af interne variationer af deponier (Magiera *et al.* 2019; Marchetti *et al.* 2013; Sandrin *et al.* 2020).

Til måling af det magnetiske felt af Måde Deponi blev der anvendt en Geometrics G-858 Magmapper med to cæsiumdampsensorer (Figur 5A) og en differential GPS-modtager (Figur 5B), der registrerede den geografiske position ned til ± 2 cm.



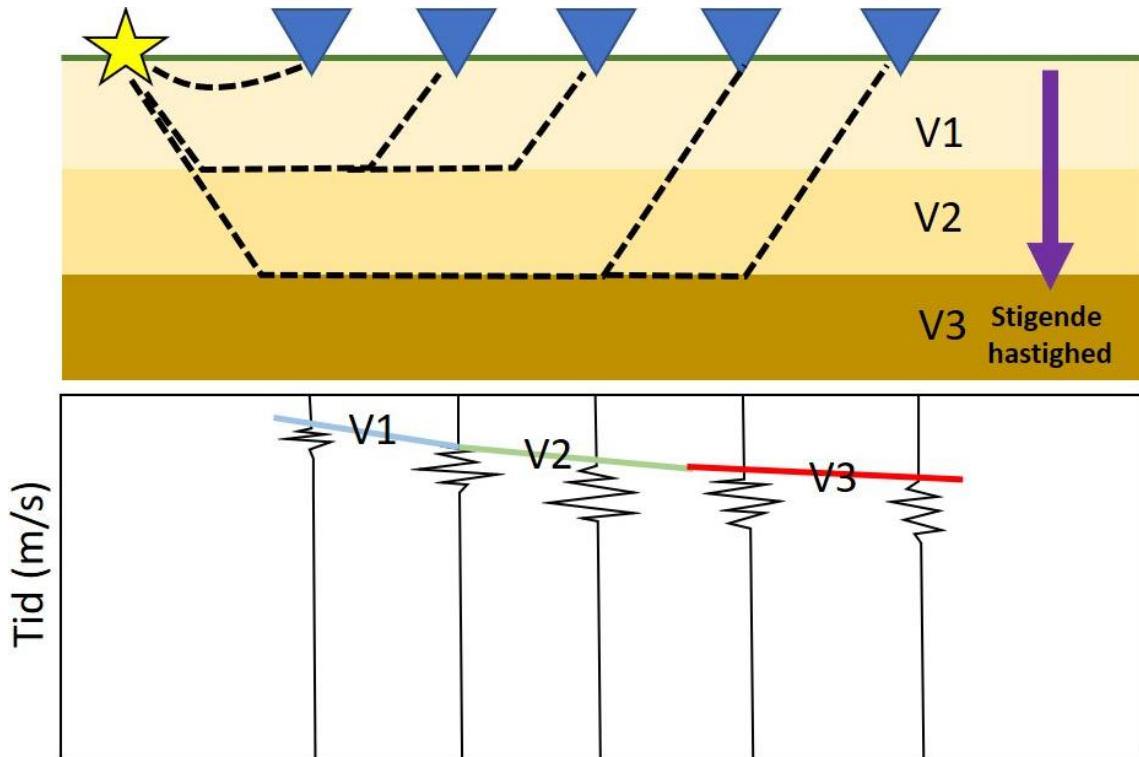
Figur 5 Feltarbejde med magnetometer. (A) Udstyr benyttet til den magnetiske undersøgelse som samles og bæres af en person. (B) Nærbillede af GPS-antenne som løbende registrerer de magnetiske målingers geografiske position under dataindsamling. Foto: MiMa.

3.4 Refraktionsseismiske undersøgelser

Seismiske undersøgelser er et vigtigt værktøj til geologisk kortlægning af undergrunden, men har også vist sig nyttigt til at undersøge gamle lossepladser og deponier (Lanz *et al.* 1998; Sandrin *et al.* 2020). Sådanne undersøgelser omfatter dataindsamling i felten og efterfølgende databehandling, hvor data renses for støj og eventuelle geometriske korrektioner udføres. Data kan herefter anvendes til (geologisk) tolkning eller benyttes til yderligere modellering, fx med seismisk tomografi før data tolkes. Seismisk tomografi er en teknik til afbildning af jordens undergrund baseret på variationer i de seismiske hastigheder målt i undergrunden.

En 2D seismisk refraktionsundersøgelse udføres med en række geofoner placeret med regelmæssig afstand, og som via et kabel er forbundet til en computer (Figur 6 og Figur 7). Geofonerne registrerer jordbevægelser som kan være produceret af en kendt kilde og/eller anden støj, fx miljøstøj. Chokbølger genereret fra en kilde (fx hammerslag, luftkanon eller fra eksplosiver) sendes ned gennem jorden og som følge af ændring i densitet og seismisk hastighed mellem forskellige lag, bryder den seismiske bølge lag for lag og begynder at bevæge sig opad (Figur 6). I denne proces udbreder dele af den seismiske bølge sig til

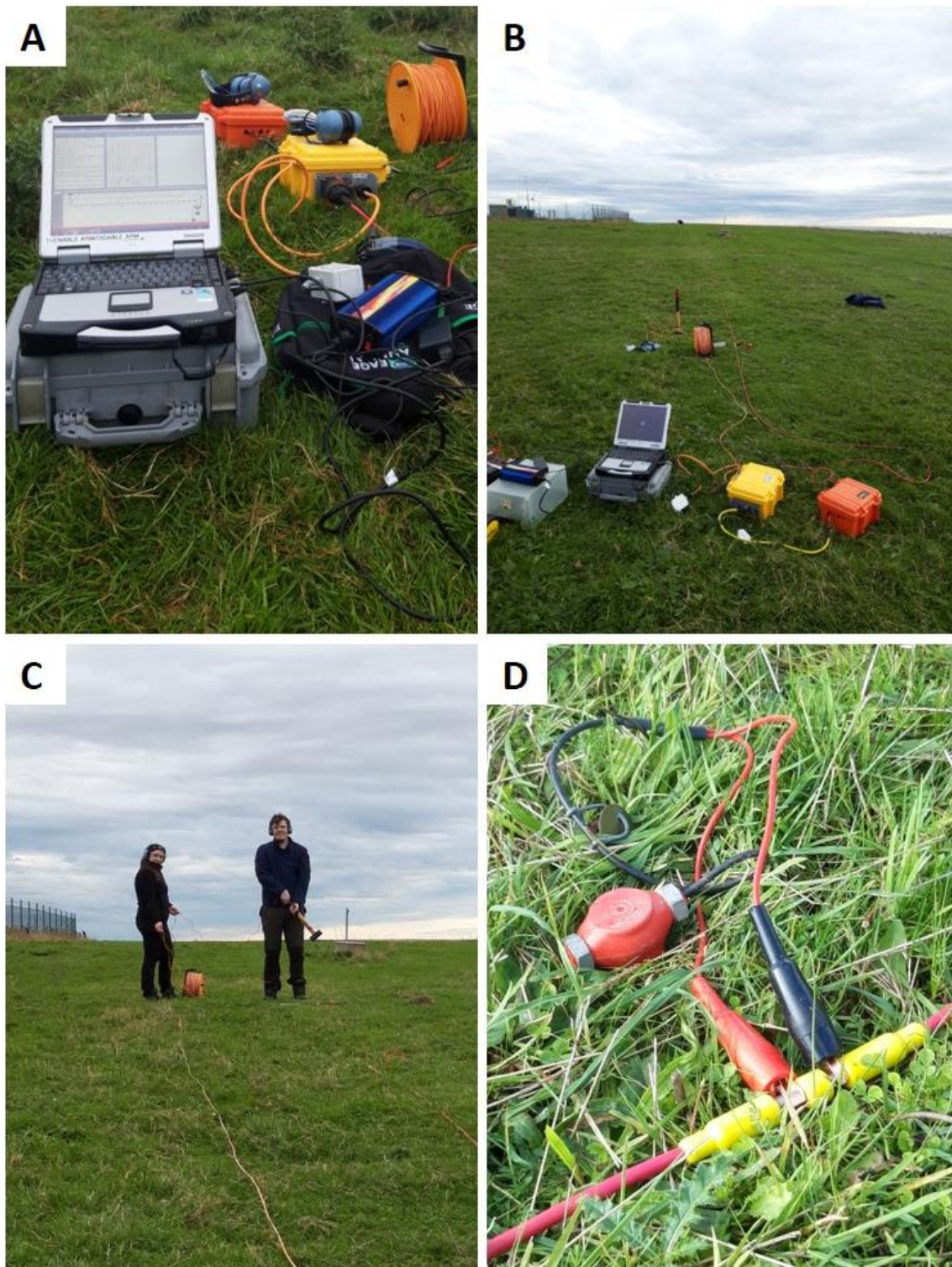
dybere og dybere niveauer, mens dele afbøjes når bølgen rammer de forskellige lag. Ved den efterfølgende modellering beregnes den bedste pasform til de seismiske bølgetider, som geofonerne har målt. Tidspunktet for ankomst af de første seismiske bølger registreret på geofonerne bruges som udgangspunkter til modelleringen.



Figur 6 Modellskitse som viser princippet for refraktionsseismik. Gul stjerne – kilde hvor chokbølge udløses (her med mukkert); blå trekant – geofoner. Undergrundens hastighed øges normalt med dybden og den seismiske bølge afbøjes langs grænser af lag med forskellige hastigheder og bevæger sig efterfølgende opad og registreres af geofonerne.

De seismiske refraktionsdata blev indsamlet langs en 115 m lang linje. Der blev brugt en Geode seismisk optager med 24 geofoner, der var placeret med 5 m afstand. Den seismiske kilde var en mukkert, som blev slået på en stålplade. Hele opstillingen blev flyttet 5 m mellem hvert skud, så afstanden mellem hver seismiske chokbølge ('skud'; hamring med mukkert) var 5 m. For hver af de ni linjer blev der skudt 25 gange.

De seismiske refraktionsdata blev, som beskrevet i afsnit 3.2, indsamlet langs ni linjer som giver en god dækning af hele deponiet (Figur 4), og som desuden gav mulighed for at undersøge oprindelsen af de største magnetiske anomalier. Erfaringer fra en undersøgelse af en losseplads ved Hvalsø (Sandrin *et al.* 2020) indikerer, at stærke magnetiske anomalier kan være forårsaget af metalakkumuleringer, der også kan give en anomali i seismisk hastighed, da metaller har højere seismiske hastigheder end jord.



Figur 7 Det seismiske feltarbejde og udstyret som blev benyttet. (A) Feltcomputer der registrerede tidspunkt og størrelse af de seismiske bølger, som blev registreret af de enkelte geofoner. (B) Seismisk linje og udstyr. (C) 'Klar til skud!' (dvs. hamring på stålplade); studerende Emil Rosengaard står klar med mukkert, som blev brugt til at udløse chokbølge, der efterfølgende blev registreret af de 24 geofoner. (D) En af de 24 geofoner stukket ned i jorden og koblet til hovedkablet, der havde forbindelse til computeren i (A) og (B). Foto: MiMa.

4. Databehandling

4.1 Magnetiske data

Analysen af de magnetiske data blev udført ved hjælp af Geosoft®-software. Målingernes placering blev visualiseret for at kontrollere, at den ønskede dækning af området var opnået og dataene blev kontureret for magnetisk kort, se kapitel 5.1. Reduktion til polen, som er en proces, der kompenserer for problemer relateret til breddegraden, viste ikke signifikante ændringer i data og præsenteres derfor ikke i rapporten. Høj- og lavpasfiltrering blev ikke anvendt, for at hele det magnetiske signal, uafhængigt af dybde, er synlig i dataene.

4.2 Refraktionsseismiske data

Databehandling for de seismiske data, herunder udvælgelse af første ankomst af den seismiske bølge (engelsk *first arrival picking*) og modellering af undergrunden, blev udført ved hjælp af softwaren ReflexW® fra Sandmaier Geophysical Research som beskrevet i Sandrin *et al.* (2020). Softwaren benytter seismisk tomografi til modellering af undergrunden, hvor man ofte omtaler afbildningen af undergrunden som den 'tomografiske inversion'.

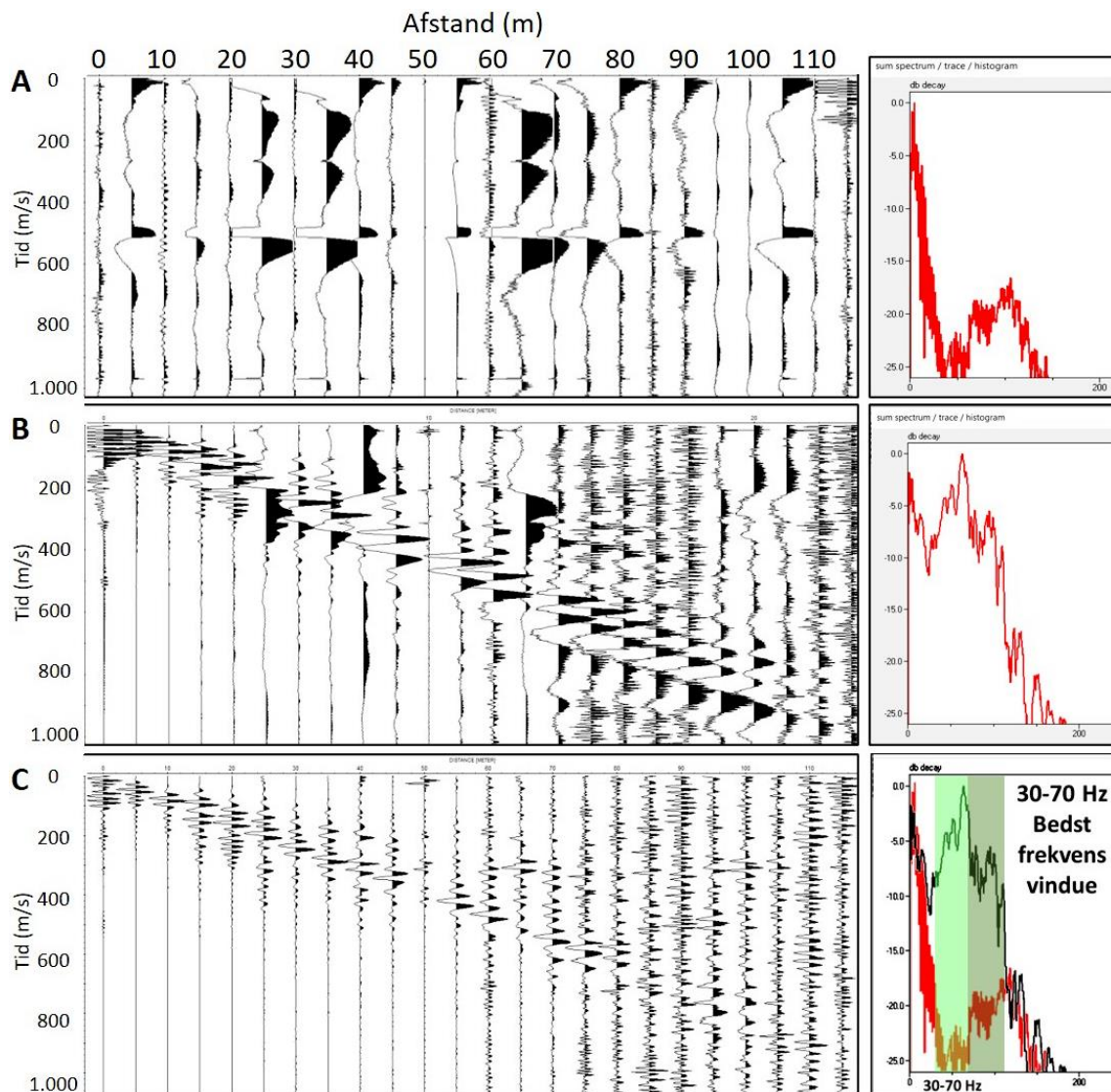
De seismiske instrumenter er meget fintfølede og registrerer alle typer af rystelser i området, hvilket kan være problematisk for målingerne. Som nævnt ligger Måde Deponi i et industriområde, hvor tunge maskiner opererer konstant. Nærheden til havnen, roterende vindmøller og andre menneskelige aktiviteter er alle kilder som skaber støj, der registreres af de seismiske instrumenter og ændrer det seismiske signal. Hvis signal-støj-forholdet er for lavt, bliver analysen af de seismiske data vanskeliggjort, og resultaterne af den tomografiske inversion kan påvirkes negativt.

For at undersøge effekten af støj på de registrerede data blev der først målt uden, at der blev genereret en seismisk bølge med et 'skud' (Figur 8A). Dvs. at instrumenterne blot registrerer baggrundsstøj fra de omgivende jordrystelser. Derefter blev der 'skudt' langs den samme linje (Figur 8B), hvorefter det er muligt at bortfiltrere de frekvenser, hvor støj er stærkere end signalet. På frekvensbåndet ses nu kun der, hvor signalet er stærkere end støj, hvorefter det var muligt at isolere det frekvensbånd, hvor signal-støj-forholdet er højest, hvilket var mellem 30 og 70 Hz (Figur 8C). For alle de seismiske data blev der derfor anvendt et båndpasfilter, som dæmper uønskede frekvensintervaller og kun lader bølger indenfor frekvensintervallet 30-70 Hz passere.

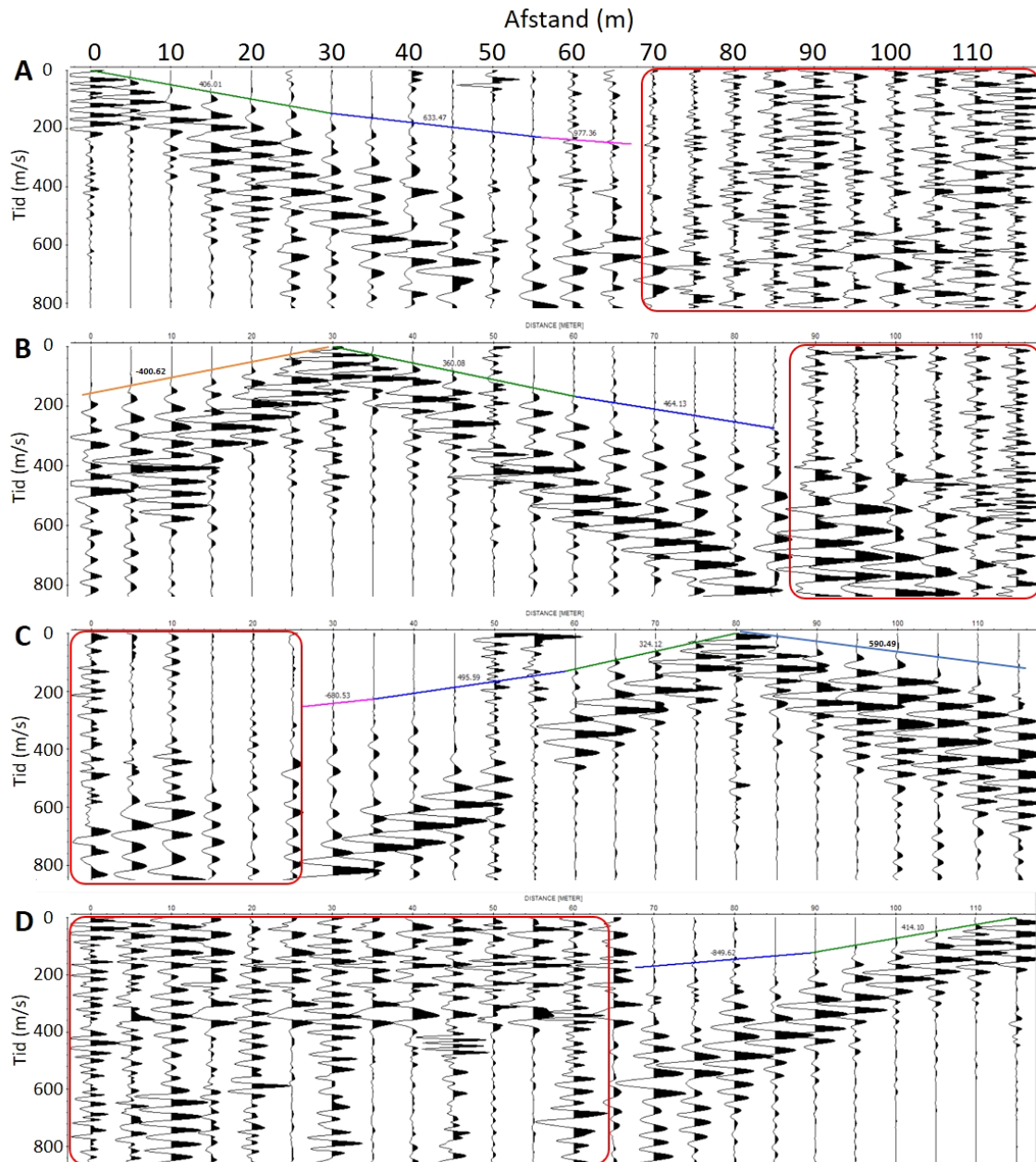
For at kunne modellere undergrunden, skal tidspunktet for ankomsten af den første seismiske bølge ved hver af de 24 geofoner udvælges visuelt. Ankomsttidspunktet er lettest at udvælge for geofoner tættest på lydilden (mukkeret der slår på stålplade), hvorimod det bliver vanskeligere, når afstanden fra skuddet øges (Figur 9). Det bemærkes i næsten alle de seismiske sektioner, at udvælgelsen af de første ankomster på afstande større end 70 meter bliver udfordrende eller ikke er mulig. Udvalgelsen af ankomsten for den første seismiske bølge blev foretaget for alle de 225 målte seismiske sektioner (ni linjer, 25 skud)

og for hver geofon blev cirka 24 trykbølger registreret. I alt er omkring 5.400 trykbølger analyseret.

I Figur 9 ses fire seismogrammer for at eksemplificere udvælgelsen af de første ankomster af den seismiske bølge. I de fire paneler er de foreløbige estimerede hastigheder vist som linjer. Den seismiske bølges hastighed gennem affaldet og dækjorden er i størrelsesordenen 400-600 m/s. Ved store afstande mellem lydkilde og geofoner (røde firkanter i Figur 9) er det ikke muligt at bestemme ankomsten af de første seismiske bølger pga. meget støj i data, og hastighederne kan derfor ikke beregnes. De manglende gode hastighedsmålinger over lange afstande medfører, at det ikke er muligt at få brugbare resultater af tomografien for de dybere dele af deponiet.



Figur 8 Seismogrammer som viser hvordan støj er forsøgt fjernet fra data. (A) og (B) Eksempler på seismiske sektioner med støj. (C) Seismisk sektion hvor støjen er fjernet. Frekvensspektre ses til højre for hvert er de tre seismogrammer.

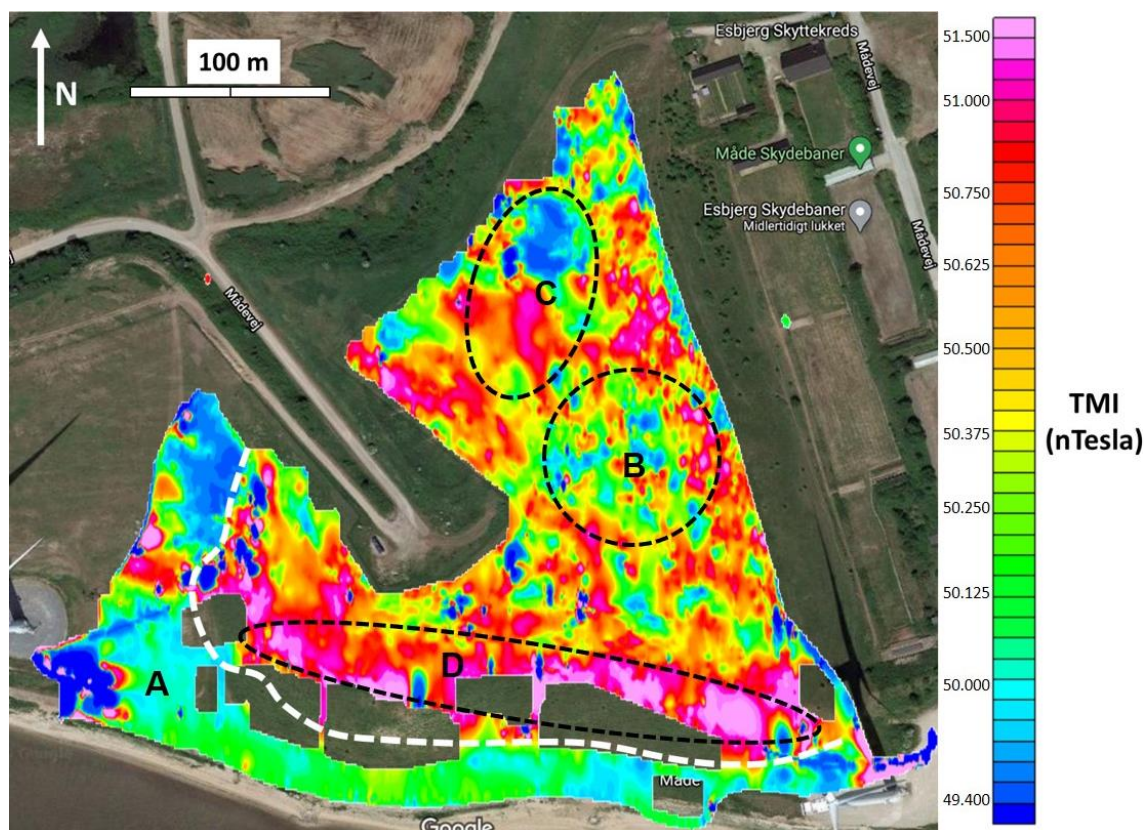


Figur 9 Eksempel på seismisk sektion (fra linje 5) til udvælgelse af første seismiske bølge, også kaldet 'first arrival picking', der benyttes som input til modelleringen af undergrunden. Omkring 225 paneler blev analyseret. I (A) ses chokbølger udført ved 0 m, (B) ved 30 m, (C) ved 80 m og (D) ved 115 m afstand. Røde firkanter markerer områder, hvor udvælgelse ikke blev udført på grund af stærke støjniveauer. Foreløbige hastigheder er vist som blå, grønne, gule og lilla linjer i seismogrammerne.

5. Resultater

5.1 Magnetiske undersøgelser

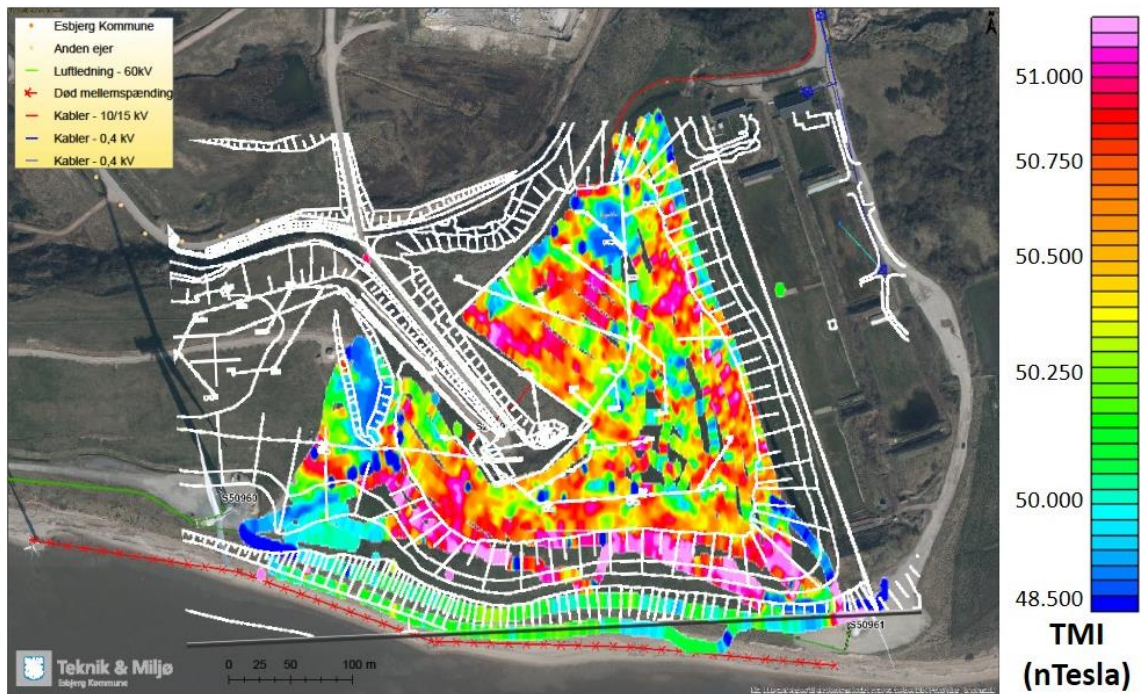
Resultaterne af de indsamlede magnetiske data ses i Figur 10 og Figur 11. Overordnet set er Måde Deponi kendetegnet ved positiv magnetisk anomali sammenlignet med det omkringliggende område (område A i Figur 10). Dette stemmer overens med tidligere undersøgelser udført af MiMa på lossepladser i Hvalsø og Avedøre der viser, at både blandet husholdnings- og industriaffald samt shredderaffald indeholder jern og genererer positive magnetiske anomalier (Sandrin *et al.* 2020). Det er dog ikke muligt at kvantificere indholdet af jern i deponiet alene baseret på undersøgelser foretaget her. Indholdet af jern og metal i danske lossepladser og deponier varierer og er typisk omkring 1 % (Clausen & Kalvig 2020).



Figur 10 Total magnetisk intensitet (TMI) over Måde Deponi. Stiplet hvid linje viser afgrænsning af Måde Deponi, baseret på de magnetiske målinger. Områderne A-D: (A) Område udenfor deponiet som har væsentlig lavere magnetfelt end selve deponiet. (B) Små forholdsvis overfladenære magnetiske anomalier. (C) To relativt store (henholdsvis positive og negative) anomalier. (D) Markant anomali mod syd som skyldes topografisk effekt. Kort: Google Maps.

Inden for deponiet er der en række meget små positive magnetiske anomalier i den østlige del af deponiet (område B i Figur 10). Den lille udbredelse (kort bølgelængde) af hver af disse anomalier indikerer, at de er forårsaget af små jernholdige legemer, som befinder sig terrænnært. Hvis kilden til den magnetiske anomali lå dybere, ville det berørte område normalt være større (lang bølgelængde). Dette er sandsynligvis tilfældet i den nordlige del,

hvor en stor positiv anomali er placeret nær en stor negativ anomali (område C i Figur 10). Denne del af Måde Deponi forventes derfor, baseret på de magnetiske data, at kunne have stor forskel i affaldssammensætning. Disse store magnetiske anomalier er også undersøgt seismisk for bedre karakterisering af variationerne i affaldet.



Figur 11 Magnetisk felt over Måde Deponi og placering af forskellige strukturer og elektriske ledninger. Kort: Google Maps.

Ved den sydlige grænse af deponiet observeres generelt en meget kraftig positiv anomali (område D i Figur 10). Dette er dog formodentlig et artefakt, som alene skyldes et kraftigere magnetfelt som følge af ændring i topografien og ikke et højere indhold af jern i deponiet. Den kraftige skråning påvirker magnetometeret, der her på skråningen ikke kun måler det magnetiske felt vinkelret på overfladen af deponiet men også ind fra siden. Dette medfører et kraftigere signal og frembringer en stærk anomali ved den sydlige kant af deponiet, hvor skråningen starter, og op langs hele skråningen. Generelt er den sydlige del dårligere undersøgt end resten af deponiet (Figur 4) pga. den stejle hældning, der ikke tillod en ordentlig dækning af området.

I den vestligste del og ved kysten mod syd ses et markant lavere magnetisk felt (Figur 10), hvilket skyldes, at der her ikke findes jernholdigt affald. Det tolkes derfor, at der ikke findes affald syd og vest for den hvide stiplede linje i Figur 10 som derfor afgrænser siderne af deponiet. Området mod vest af deponiet blev ligeledes undersøgt seismisk i håb om at kortlægge bunden af deponiet.

Tilstedeværelsen af brønde i deponiet påvirker det magnetiske signal (Figur 11). Anomalierne her er meget små og lokale og kun begrænset til et par meter fra brøndhovedet. Til sammenligning resulterer anomalier forårsaget af vindmøller og biler, fx i den sydøstlige del af undersøgelsesområdet, i meget stærke både negative og positive magnetiske

anomalier, da magnetiseringskilden er over overfladen og dermed på samme niveau som magnetometeret.

5.2 Seismiske undersøgelser

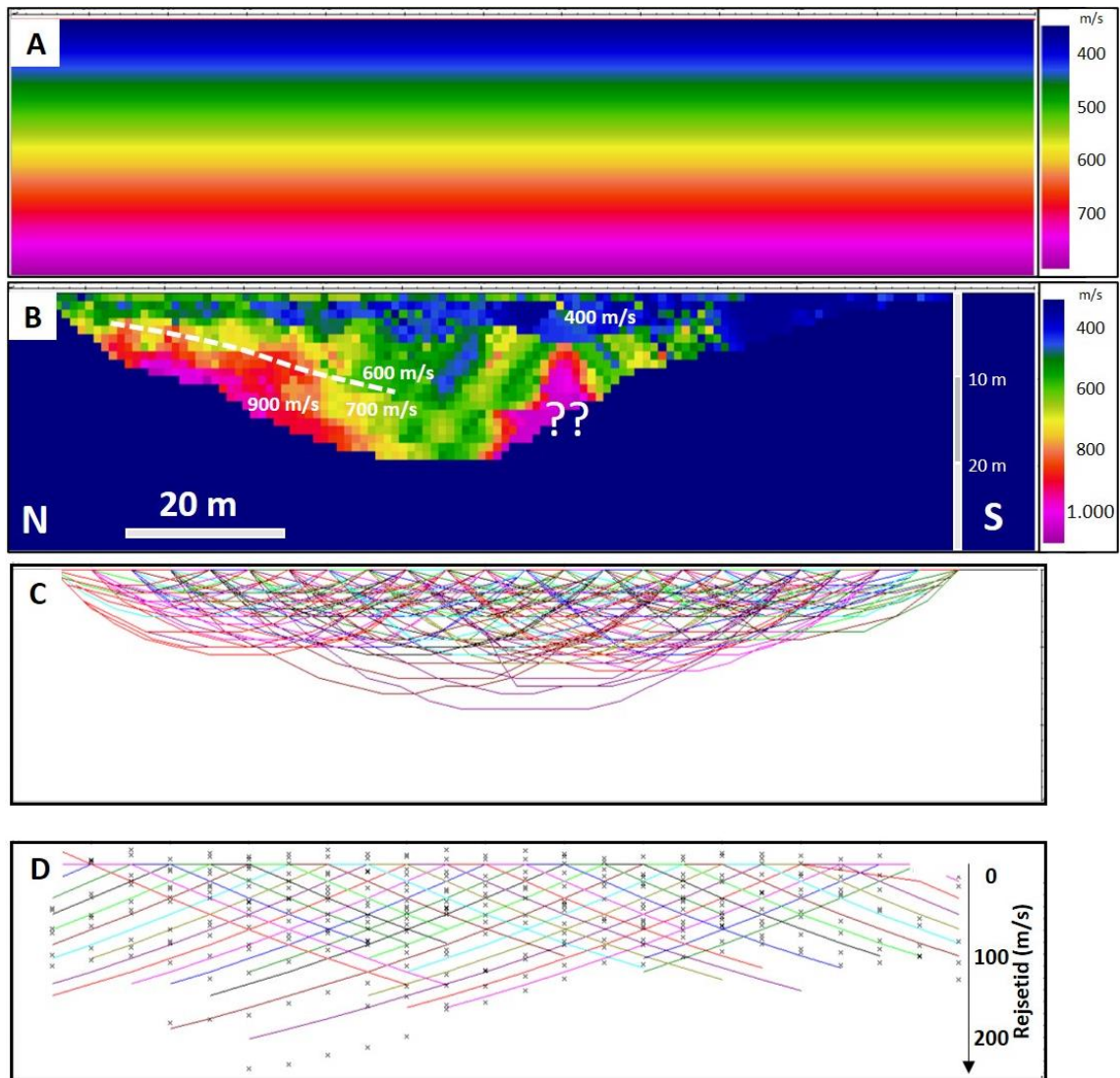
I Figur 12 til Figur 20 ses resultaterne af modelleringen (den seismiske tomografi) for de ni seismiske linjer, som blev udført i projektet (placeringen af de seismiske linjer ses i Figur 4) og beskrives separat herunder; i Figur 21 ses en samlet oversigt over modelleringen.

For hver af Figur 12 til Figur 20 ses:

- Panel A – hastighedsstartmodellen for 2D seismisk tomografi (inputmodel)
- Panel B – resultatet af den tomografiske inversion, dvs. den endelige model
- Panel C – stråledækningen (dvs. den del af sektionen, hvor den seismiske bølge har bevæget sig i henhold til den tomografiske inversion).
- Panel D – en sammenligning mellem målte (små kryds) og beregnede (linjer) rejsetider for de seismiske bølger. En perfekt pasform er umulig, hvorfor der blev udført flere forskellige inversioner; den bedste pasform ses i figurene.

5.2.1 Seismisk linje 1 (Figur 12)

Datakvaliteten forringes mod syd, hvorfor den seismiske tomografi kun kan definere hastigheder for den øvre del (ned til 6-8 m dybde) i den sydlige ende af profilet, hvor en markant anomali i den nedre del må antages at være et artefakt (markeret med ?? i Figur 12B). Den seismiske hastighed af affaldet, beregnet ved den tomografiske inversion, er mellem 400-600 m/s. I den nordlige del af profilet ses et markant skift til hastigheder på op til 800-900 m/s i den dybere del. Linje 1 er placeret ved kanten af deponiet, og de høje hastigheder tolkes at skyldes af tilstedeværelsen af kompakteret jord/sediment; den stiplede linje i Figur 12B tolkes derfor som den nedre grænse af deponiet.

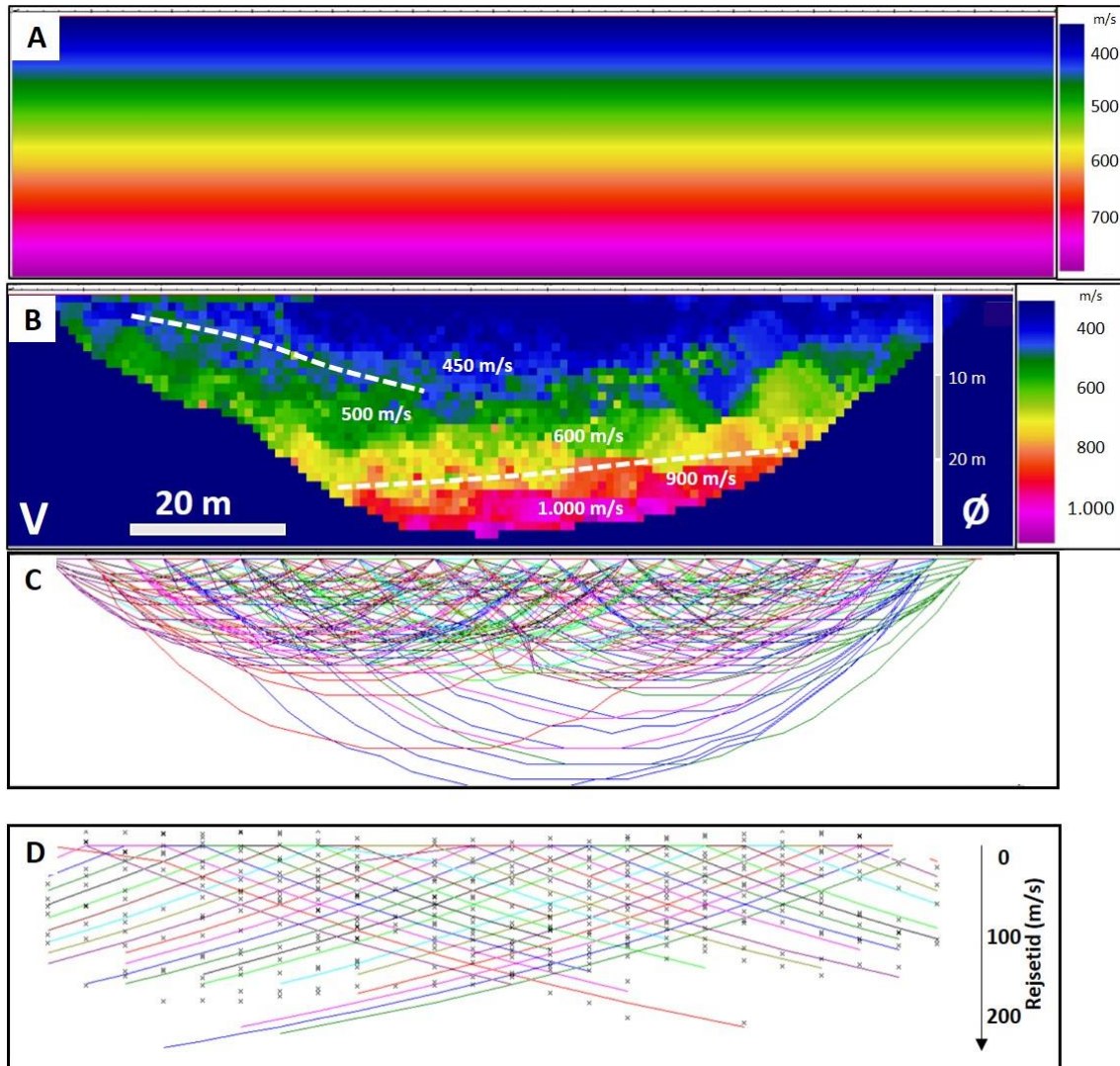


Figur 12 Seismisk linje 1. (A) Hastighedsstartmodel til 2D seismisk tomografi; (B) Endelig model, hvor den hvide stiplede linje viser tolket nedre grænse af deponiet; (C) Stråledækning; (D) Målte (små krydser) og beregnede rejsetider (linjer).

5.2.2 Seismisk linje 2 (Figur 13)

Den seismiske tomografi for linje 2 indikerer, at affaldet her har hastigheder mellem 400-600 m/s. I ca. 20 m dybde markerer hastigheder på mere end 900 m/s formentlig bunden af deponiet (markeret med stiplede linje nederst i Figur 13). Linje 2 ligger i et område med svag hældning ved kanten af deponiet, så den østlige ende ligger ca. 10 m højere end den vestlige ende. For denne linje var støjniveauet relativt lavt, og det var derfor muligt at foretage en bedre udvælgelse end for de øvrige linjer, hvilket giver en bedre dækning (Figur 13C). Som det ses af Figur 13B, er de terrænnære seismiske hastigheder i den vestligste ende af linjen i størrelsesordenen 500-600 m/s, mens de seismiske hastigheder i samme dybder længere mod øst er 400-450 m/s. De stigende hastigheder i den vestlige del af profilet er i overensstemmelse med en forventet mindre tykkelse af affaldet mod kanten af deponiet. Den formodede grænse mellem affaldet og de omkringliggende sedimenter i den vestlige del af

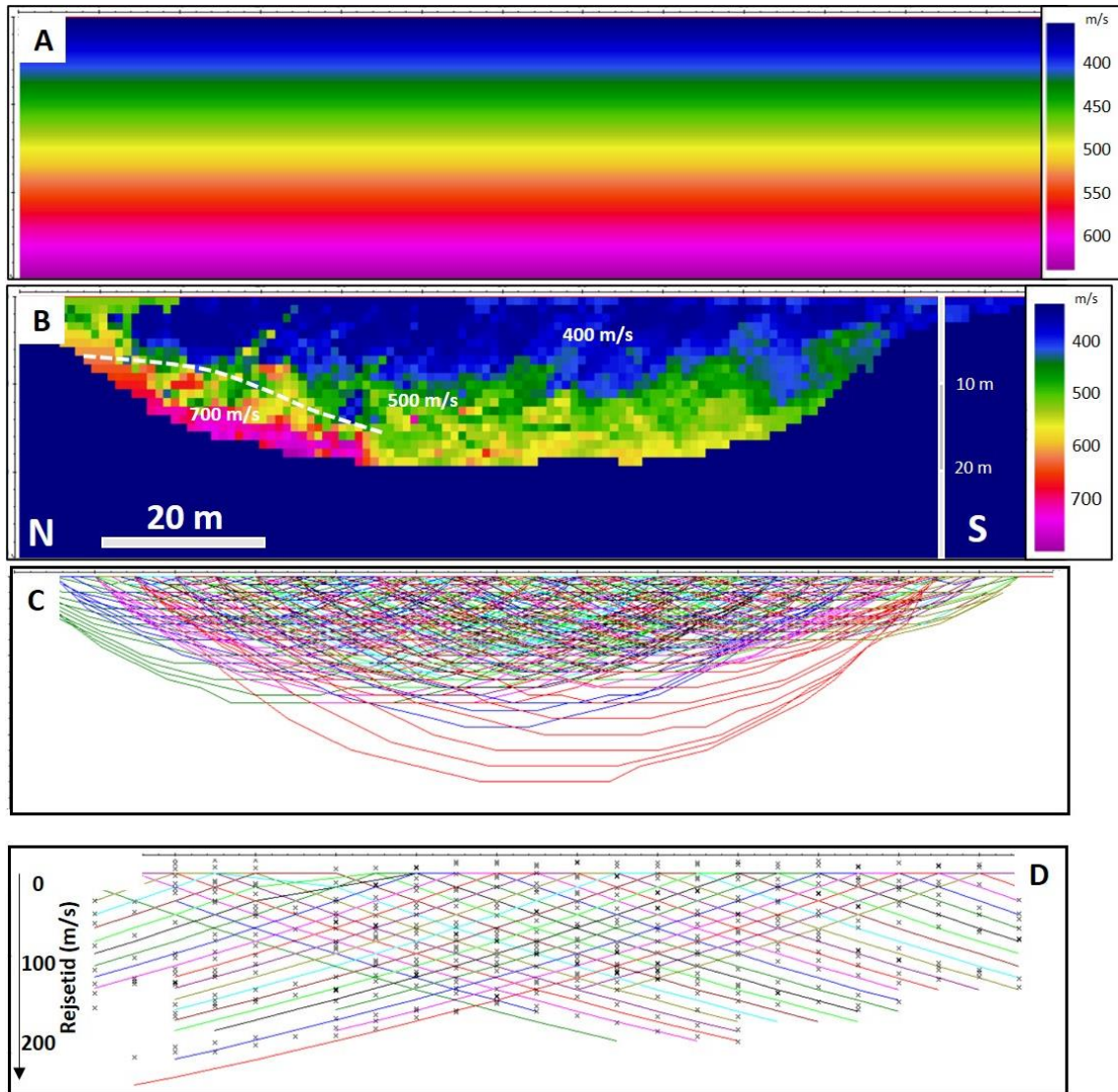
profilen er ikke meget tydelig i det seismiske profil, men er markeret med stiptet linje i Figur 13B. At grænsen ikke er mere tydelig, skyldes formentlig, at de overfladenære sedimenter, som ligger op til deponiet, kun er let kompakteret og ikke har væsentlig højere seismisk hastighed end affaldet.



Figur 13 Seismisk linje 2. (A) Hastighedsstartmodel til 2D seismisk tomografi; (B) Endelig model, hvor de hvide stiplede linjer viser tolket nedre grænse af deponiet; (C) Stråledækning; (D) Målte (små krydser) og beregnede rejsetider (linjer).

5.2.3 Seismisk linje 3 (Figur 14)

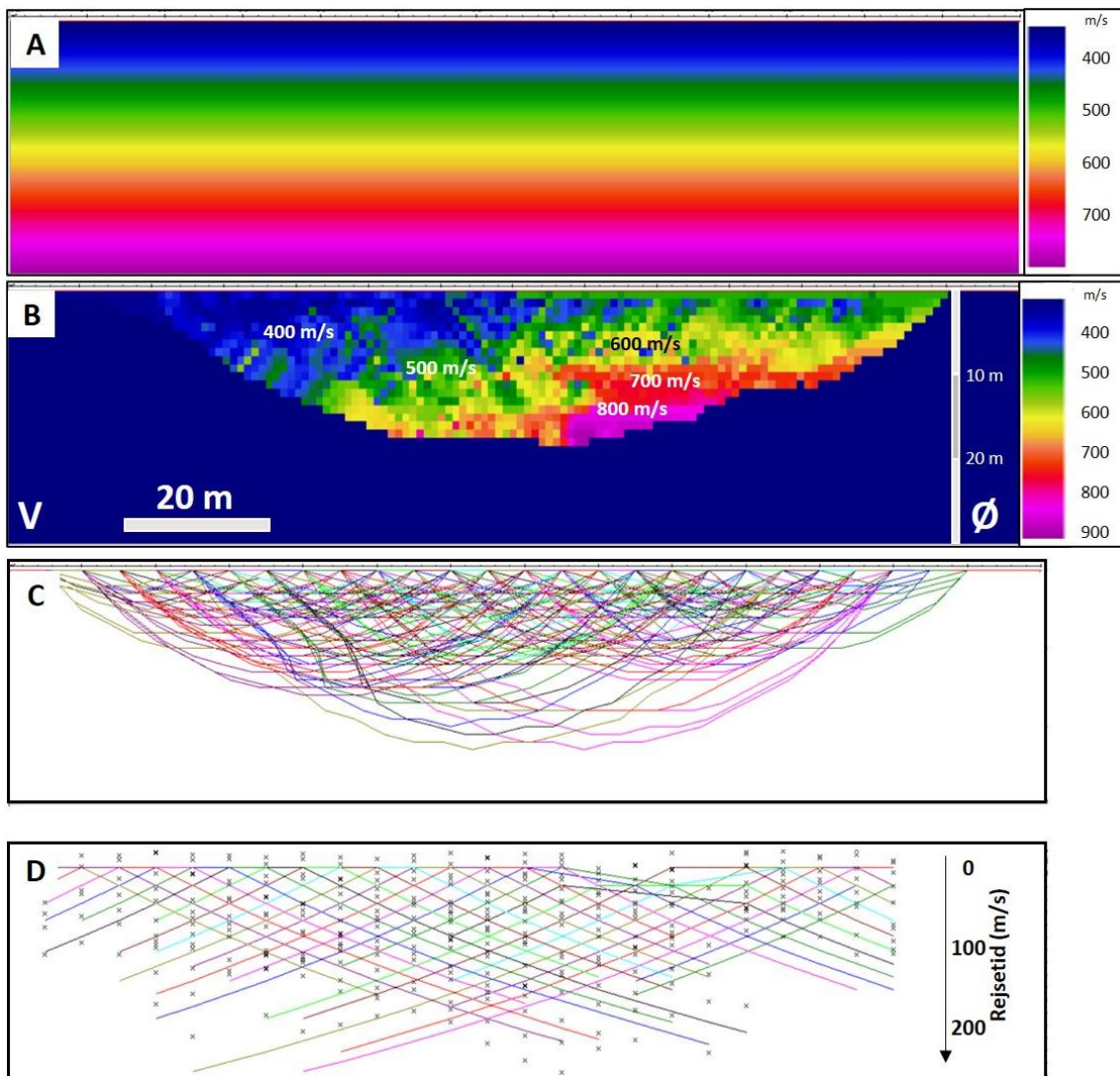
Linje 3 blev lagt ved kanten af deponiet parallelt med linje 1 ud fra et ønske om at opnå data med et bedre signal-støj-forhold end for linje 1. Den sydlige ende af profilet ligger ca. 5 m højere end den nordlige ende. Udvælgelsen af de først ankomne seismiske bølger var også her vanskelig for flere af geofonerne, men der blev opnået en tilfredsstillende dækning (Figur 14C). Den seismiske hastighed af affaldet er beregnet til 400-600 m/s for det meste af linjen. I den nordlige ende af linjen tolkes en pludselig stigning i hastigheden til 700 m/s som deponiets nedre grænse, hvilket er i overensstemmelse med de tomografiske resultater for linje 1 (Figur 12B).



Figur 14 Seismisk linje 3. (A) Hastighedsstartmodel til 2D seismisk tomografi; (B) Endelig model, hvor den hvide stiplede linje viser tolket nedre grænse af deponiet; (C) Stråledækning; (D) Målte (små krydser) og beregnede rejsetider (linjer).

5.2.4 Seismisk linje 4 (Figur 15)

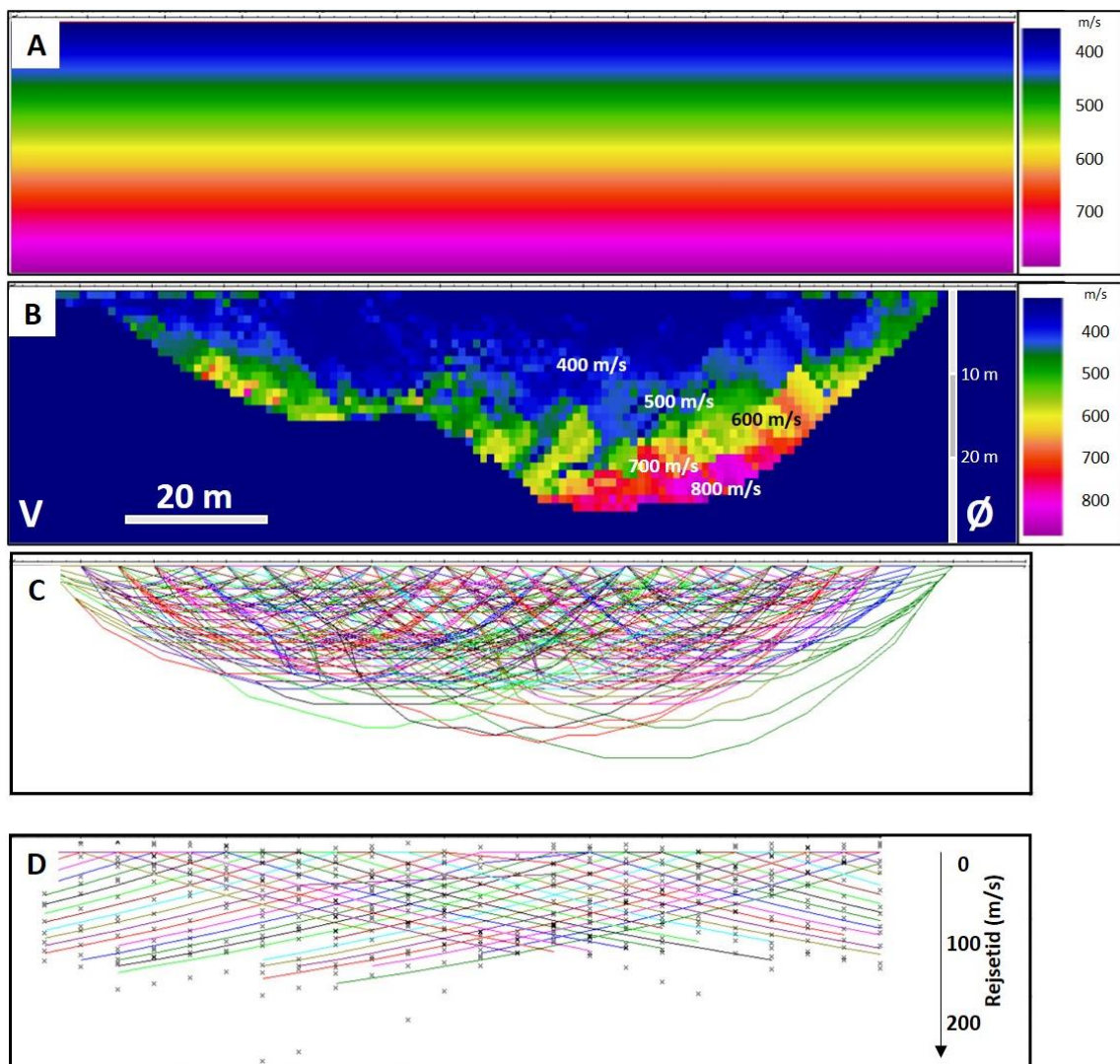
For at opnå et profil der kunne dække deponiet fra sydvest til nordøst, blev linje 4 og 5 placeret i forlængelse af hinanden. Linje 4 skærer et par lodrette brønde og et par betonkonstruktioner (med brøndhoveder) ligger også tæt på linjen. Betonkonstruktioner har høje seismiske hastigheder og kan påvirke de seismiske data lokalt. Desuden kan brøndene indeholde jern, hvilket skaber stærke, lokale anomalier i de magnetiske data (Figur 10 og Figur 11). I linje 4 har affaldet hastigheder i størrelsesordenen 400-600 m/s, dog stiger hastigheden i den nordøstlige ende til 700-800 m/s under ca. 10 m dybde. Hvorvidt denne hastighedsforøgelse skyldes brønde i området eller affald med højere densitet, er vanskeligt at fastslå. Så høje hastigheder dybere end ca. 10 m ses ikke langs linje 5, hvilket tyder på, at de høje hastigheder i linje 4 skyldes lokale forhold.



Figur 15 Seismisk linje 4. (A) Hastighedsstartmodel til 2D seismisk tomografi; (B) Endelig model; (C) Stråledækning; (D) Målte (små krydser) og beregnede rejsetider (linjer).

5.2.5 Seismisk linje 5 (Figur 16)

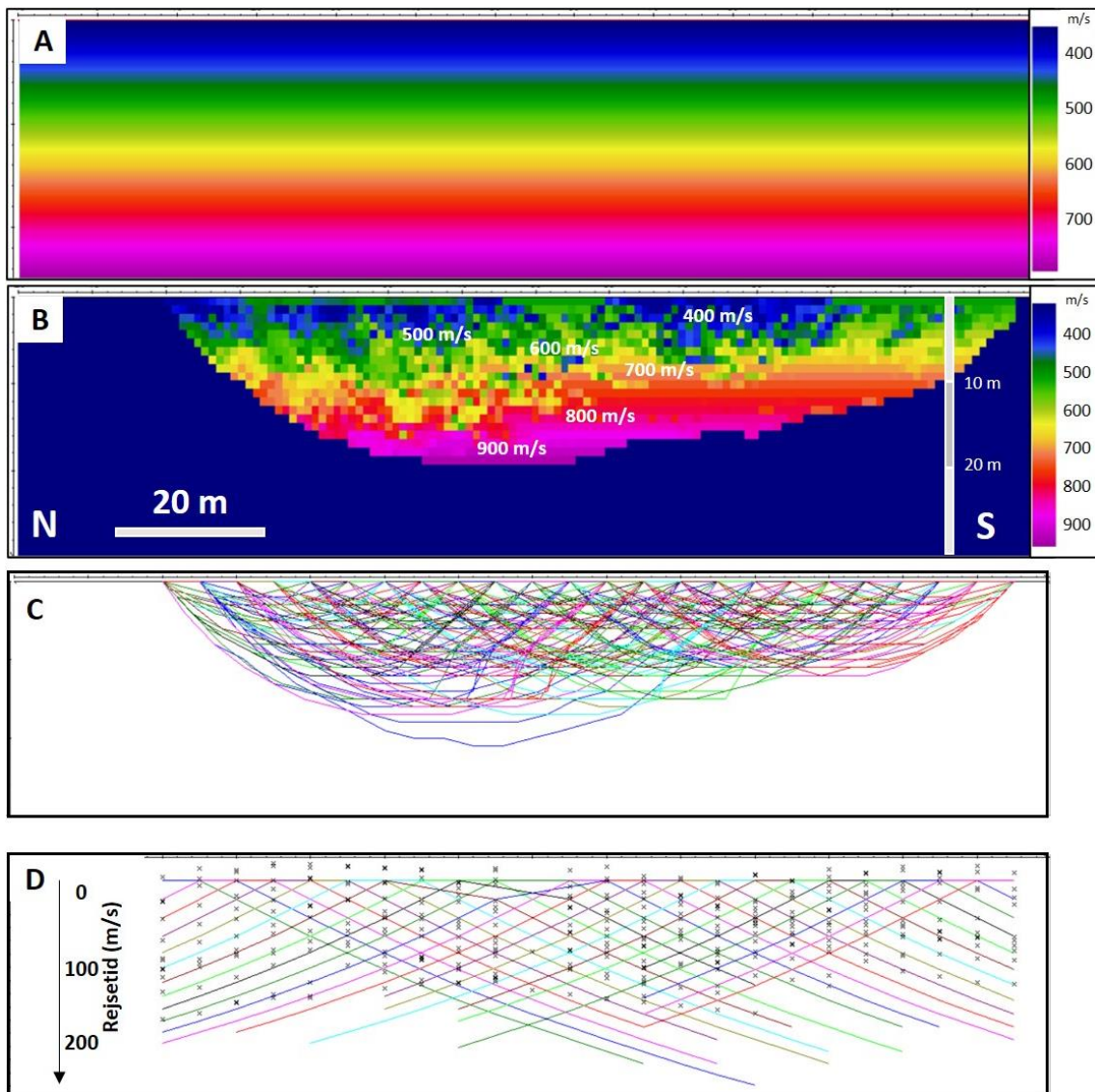
Linje 5 er den nordøstlige fortsættelse af linje 4. De øverste 10-15 m er kendetegnet ved seismiske hastigheder i størrelsesordenen 400-600 m/s. I den nordøstlige ende, ca. 20 m under terræn stiger hastigheden til 700-800 m/s. I den sydvestlige ende af profilet dækker de seismiske målinger fra modellering ikke dybden under omkring 15 m (Figur 16C); det er derfor usikkert, om laget der ses i den nordøstlige del også findes i den sydvestlige del. Hastighederne på 700-800 m/s skyldes sandsynligvis en højere densitet i kompakteret affald i den dybere del af deponiet, hvilket indikerer at det seismiske profil ikke når bunden af deponiet langs denne linje. Der er dog en vis usikkerhed om resultatet i de dybere dele af profilet og således også på tolkningen.



Figur 16 Seismisk linje 5. A) Hastighedsstartmodel til 2D seismisk tomografi; (B) Endelig model; (C) Stråledækning, (D) Målte (små krydser) og beregnede rejsetider (linjer).

5.2.6 Seismisk linje 6 (Figur 17)

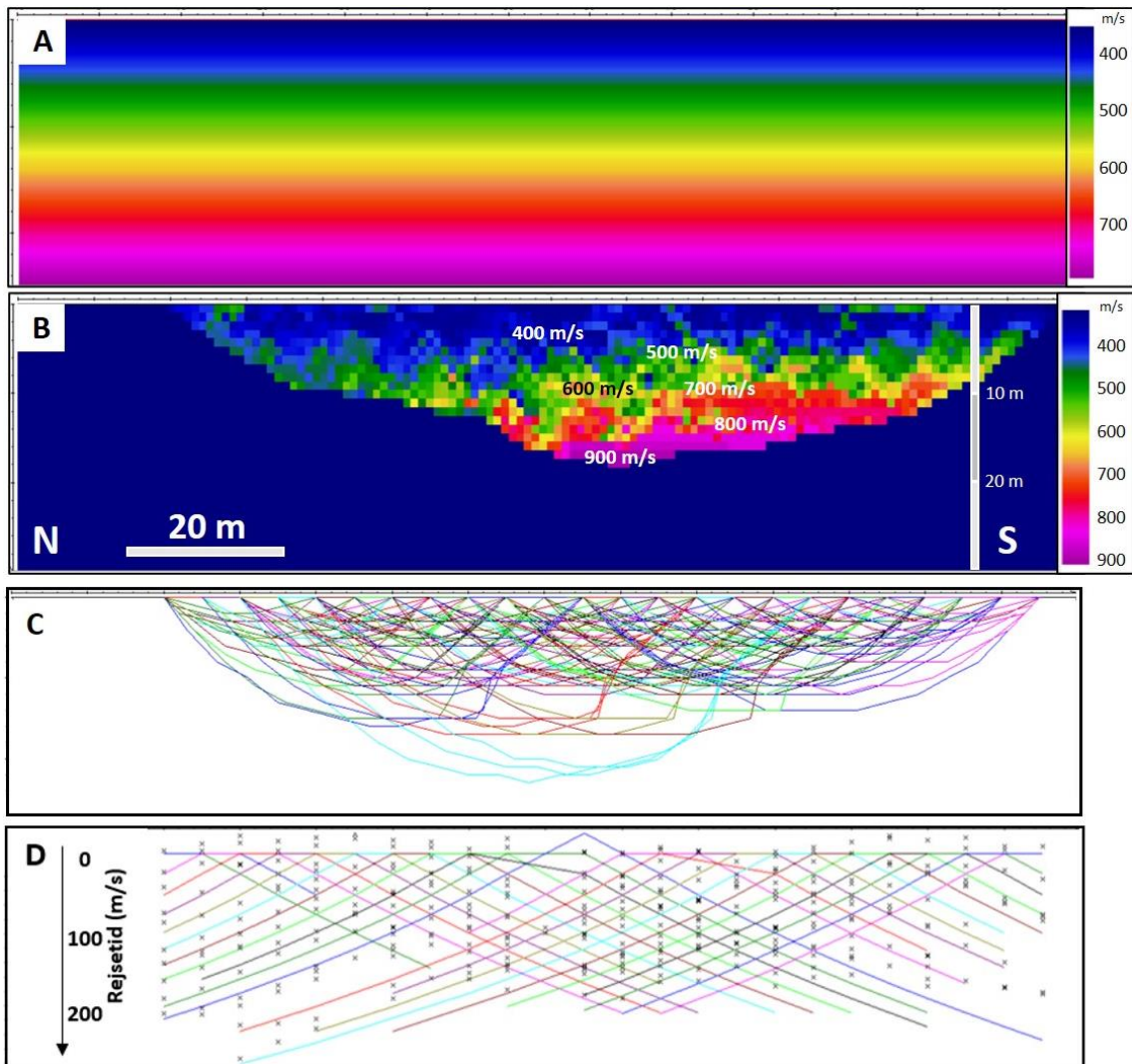
For at opnå et profil der kunne dække deponiet fra den sydlige til den nordlige ende af deponiet, blev linje 6 og 7 placeret i forlængelse af hinanden (Figur 4). For de øverste 8-10 m er de seismiske hastigheder mellem 400-600 m/s. Fra 8-10 m dybde stiger hastigheden til 700 m/s og op til 900 m/s ved 16-18 m dybde. Stigningerne i hastighed kan være forårsaget af kompaktering af affaldet, men det ses ikke for alle de seismiske linjer, hvorfor det er mest sandsynligt, at affaldet her er af en anden type end i resten af deponiet. Hastighederne på 900 m/s i den dybere del af profilet skyldes sandsynligvis kompakterede lag. Direkte prøveudtagning ved boring vil være meget nyttigt til bestemmelse af affaldstypen og den nedre grænse af deponiet. Derudover vil det muliggøre kalibrering af de geofysiske modeller i denne del af deponiet.



Figur 17 Seismisk linje 6. (A) Hastighedsstartmodel til 2D seismisk tomografi; (B) Endelig model, hvor den hvide stiplede linje viser tolket nedre grænse af deponiet; (C) Stråledækning; (D) Målte (små krydser) og beregnede rejsetider (linjer).

5.2.7 Seismisk linje 7 (Figur 18)

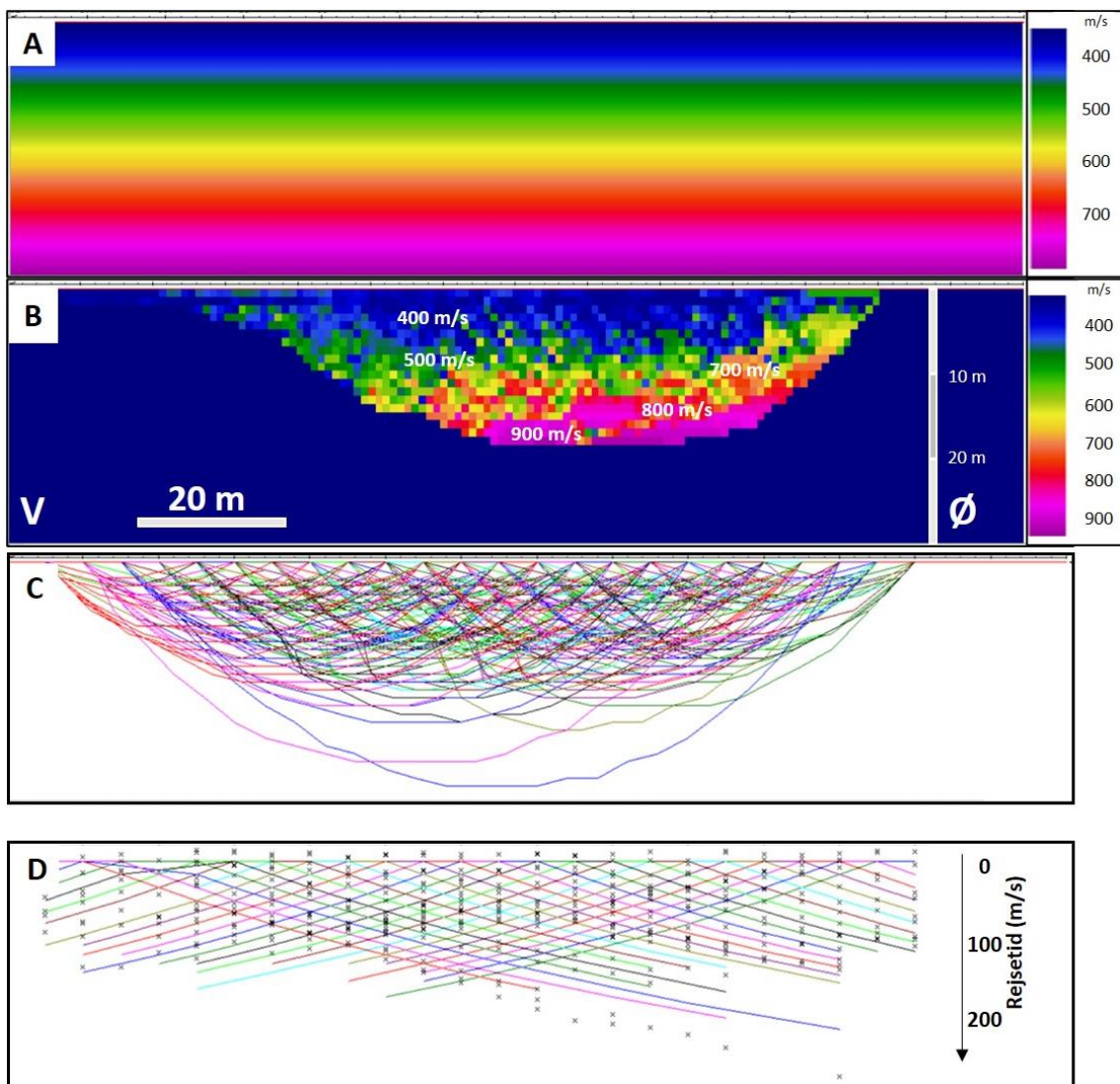
Linje 7 er en fortsættelse mod nord af linje 6. I 8-10 m dybde ses en stigning i seismisk hastighed som også ses for linje 6. I den øverste del af profilet ses hastigheder på 400-600 m/s, som er kendetegnende for en stor del af affaldet i Måde Deponi, mens der for de dybere dele ses hastigheder mellem 700 m/s og 900 m/s. Som for linje 6 tyder stigningen i hastigheden ved omkring 10 m dybde på, at affaldet har en anden sammensætning her. Det er som for linje 6 ikke muligt at bestemme den nedre grænse af deponiet på baggrund af de seismiske data alene. Den nordlige ende af profilet er ikke godt dækket af den seismiske undersøgelse (Figur 18C), og modellen er ikke retvisende under ca. 10 m dybde.



Figur 18 Seismisk linje 7. (A) Hastighedsstartmodel til 2D seismisk tomografi; (B) Endelig model, hvor den hvide stiplede linje viser tolket nedre grænse af deponiet; (C) Stråledækning; (D) Målte (små krydser) og beregnede rejsetider (linjer).

5.2.8 Seismisk linje 8 (Figur 19)

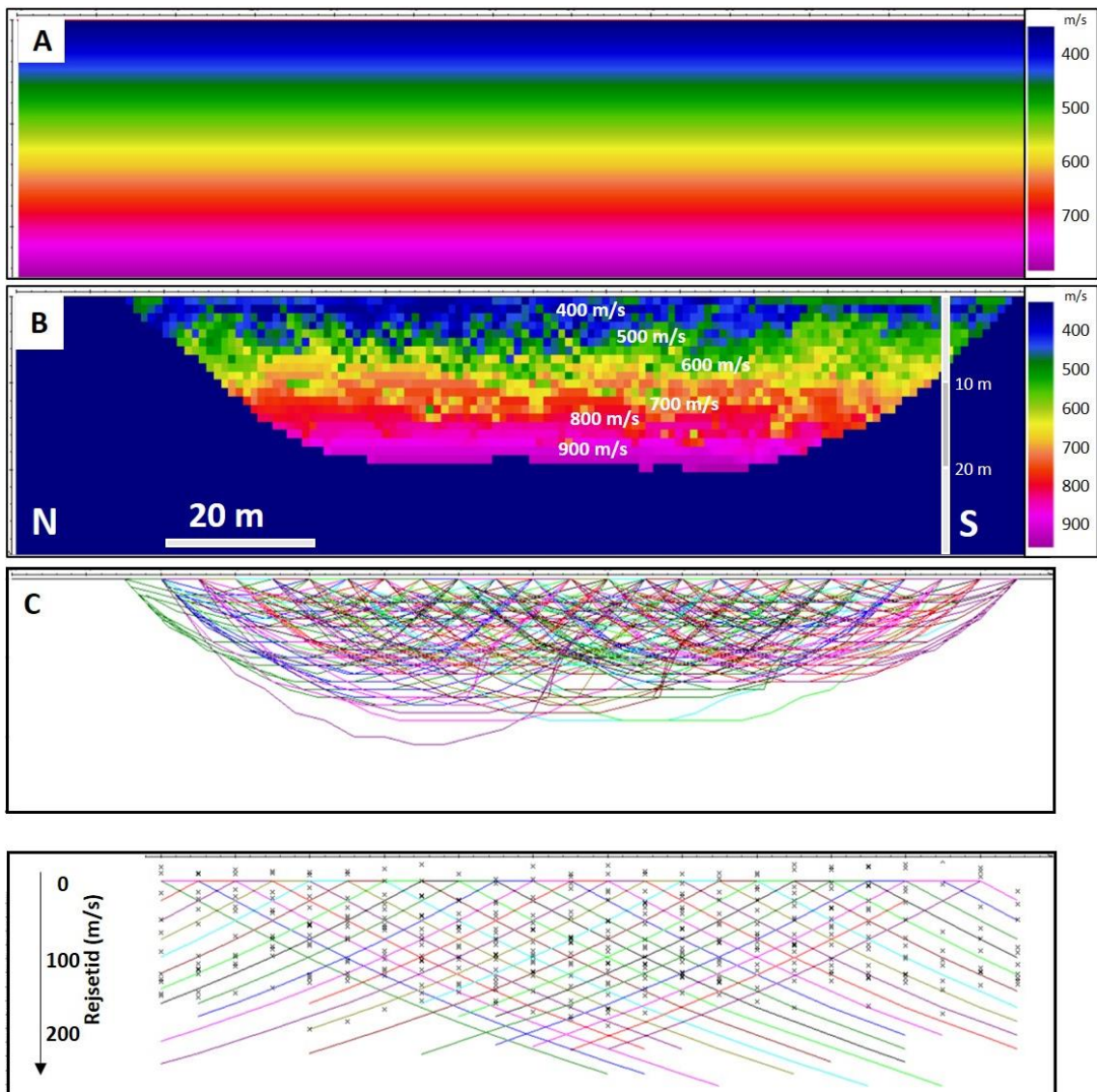
Linje 8 blev placeret for at kunne undersøge de store variationer i den nordlige del af området, som blev fundet ved den magnetiske undersøgelse. En positiv og en negativ anomali blev målt tæt på hinanden med magnetometer, og den seismiske linje blev placeret her for at dække begge områder (Figur 4 og Figur 10). For linje 8 viser den seismiske tomografi ingen større lateral variation i de seismiske hastigheder. Gennemtrængningsdybden af de seismiske målinger tillader ikke tolkning under 18-20 m dybde (Figur 19C). Der er således muligt, at kilden til de magnetiske anomalier ligger dybere end 18 m under terrænoverfalde, som også antydtes af den store bølgelængde af de magnetiske anomalier (dvs. store brede form af anomalierne i Figur 10).



Figur 19 Seismisk linje 8. (A) Hastighedsstartmodel til 2D seismisk tomografi; (B) Endelig model, hvor den hvide stiplede linje viser tolket nedre grænse af deponiet; (C) Stråledækning; (D) Målte (små krydser) og beregnede rejsetider (linjer).

5.2.9 Seismisk linje 9 (Figur 20)

Linje 9 blev placeret så den store negative magnetiske anomali i den nordlige ende af deponiet, som blev fundet ved de magnetiske undersøgelser, blev dækket. Seismisk tomografi viser ligesom for linje 8 ingen store laterale variationer. Som det ses for linje 6 og 7, stiger den seismiske hastighed fra 600 m/s til 700 m/s ved omkring 10 m dybde og derfra til højere hastigheder. Dette kan skyldes kompaktering af affaldet eller ændring i affaldets sammensætning, men prøveboring vil være nødvendig for at afklare dette.

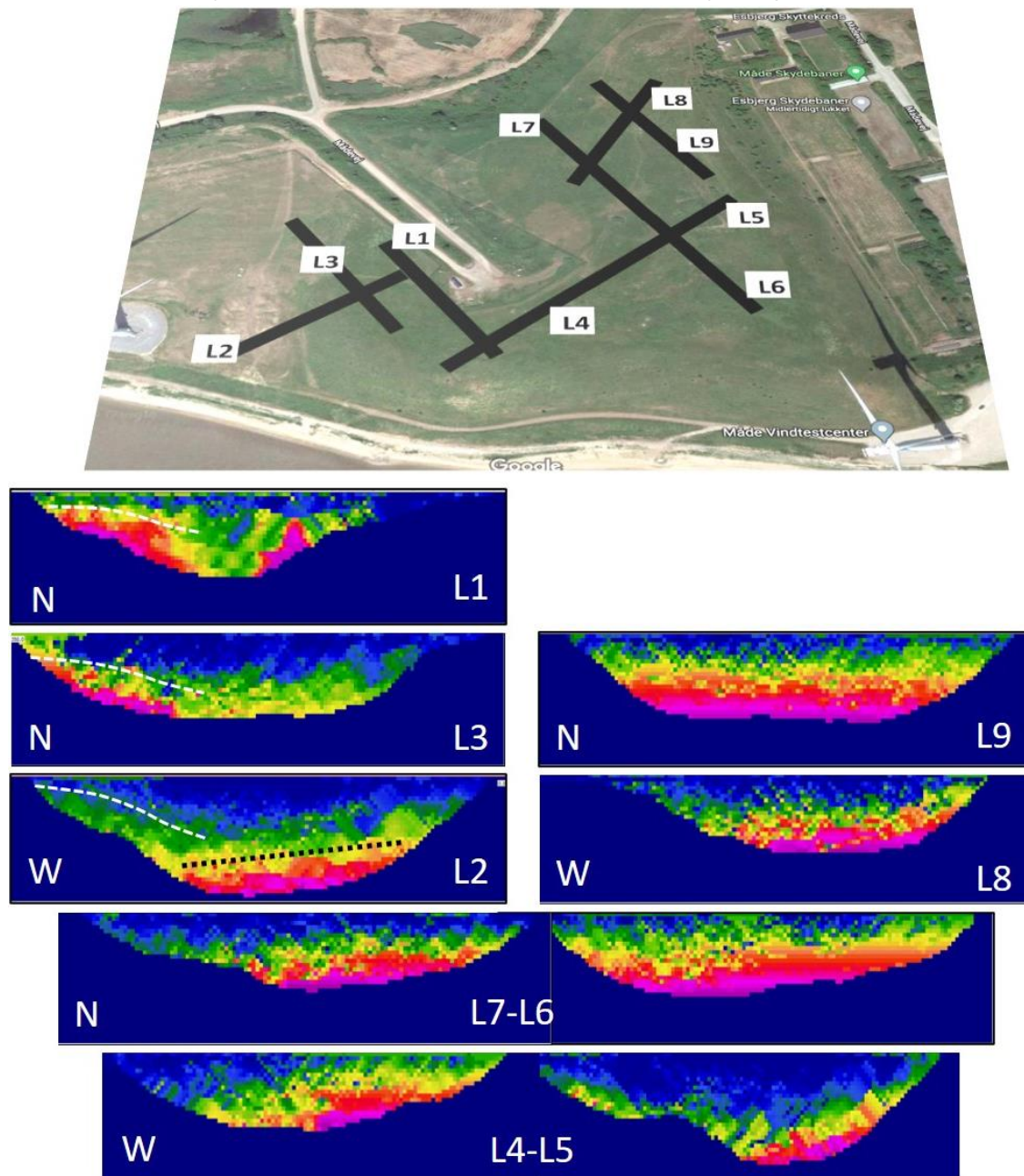


Figur 20 Seismisk linje 9. (A) Hastighedsstartmodel til 2D seismisk tomografi; (B) Endelig model, hvor den hvide stiplede linje viser tolket nedre grænse af deponiet; (C) Stråledækning; (D) Målte (små krydser) og beregnede rejsetider (linjer).

5.2.10 Samlet tolkning af linje 1 til linje 9

I Figur 21 ses en oversigt over data for de ni seismiske linjer for Måde Deponi. For linje 4 og linje 5 samt linje 6 og linje 7 vises kombinerede snit, da linjerne ligger i forlængelse af hinanden.

I Figur 21 tolkes de hvide stiplede linjer for linje 1, linje 2 og linje 3 til at være grænsen mellem affald og det underliggende terræn. For linje 2 tolkes hastighedsstigningen til mere end 900 m/s i bunden af linje 2, som bunden af deponiet (sort stiplede linje i Figur 21).



Figur 21 Oversigt over de tomografiske modeller for linje 1 til linje 9. Kort: Google Maps.

6. Forslag til prøvetagningsstrategi

Tidligere erfaringer fra landfill mining-projekter i Danmark og udlandet viser, at et utilstrækkeligt vidensniveau om affaldets sammensætning før opgravning, samt uafklarede anvendelsesmuligheder for udsorterede materialer og priser for disse produkter er væsentlige risikofaktorer for kommerciel succes i projekterne (Clausen & Kalvig 2020). Det anbefales derfor, at de geofysiske undersøgelser understøttes af prøvetagning af Måde Deponi for at få et bedre kendskab til deponiets sammensætning til brug ved fremtidig planlægning for området.

Resultaterne fra de geofysiske undersøgelser kan bruges som beslutningsgrundlag til placering af borerer så hele deponiets sammensætningsmæssige variation dækkes. Prøvetagning er desuden vigtig til bedre bestemmelse af deponiets tykkelse, som er nødvendig i forhold til mere præcise volumenberegninger (se kapitel 7).

Det vurderes, at der med hensyntagen til økonomi, opnås mest mulig information ved at udføre prøveboringer suppleret med enkelte prøveopgravninger af overfaldenære grøfter; placering og koordinater ses i Figur 22 og Tabel 1.

6.1 Prøveboringer

Det anbefales, at der bores i alt fire vertikale prøveboringer. Foreslåede placeringer af de fire borerer samt en evt. 5. boring ses i Figur 22.

Borehul 1 (BH-1) anbefales placeret i den centrale østlige del af deponiet. Boringen skal bruges til at bestemme affaldstyper fra denne del af deponiet, som har en middel magnetisk værdi og må formodes at være relativ repræsentativ for den gennemsnitlige sammensætning mht. til det magnetiske signal. Denne boring vil desuden give en god indikation af tykkelsen af deponiets midte, som er afgørende i forhold til mere præcis beregning af volumener.

Borehul 2 og 3 (BH-2 og BH-3) anbefales placeret i den nordlige ende af deponiet. Resultaterne fra BH-2 og BH-3 skal bruges til at karakterisere det materiale, der stammer fra hhv. den store negative og store positive magnetiske anomali. Fra resultaterne af de geofysiske undersøgelser forventes det, at disse anomalier er dybtliggende (ca. 10-20 m under terrænoverflade).

Borehul 4 (BH-4) bør placeres omkring skæringspunkterne for de seismiske linjer 2 og 3 i den vestlige del af deponiet. Skæringspunktet mellem linje 2 og linje 3 er vigtig som kalibreringspunkt for de to linjer mht. affaldssammensætning og -type. Desuden vil BH-4 være vigtig til bestemmelse af tykkelsen i den yderste vestlige del af Måde Deponi og placeringen af bunden i denne del af deponiet.

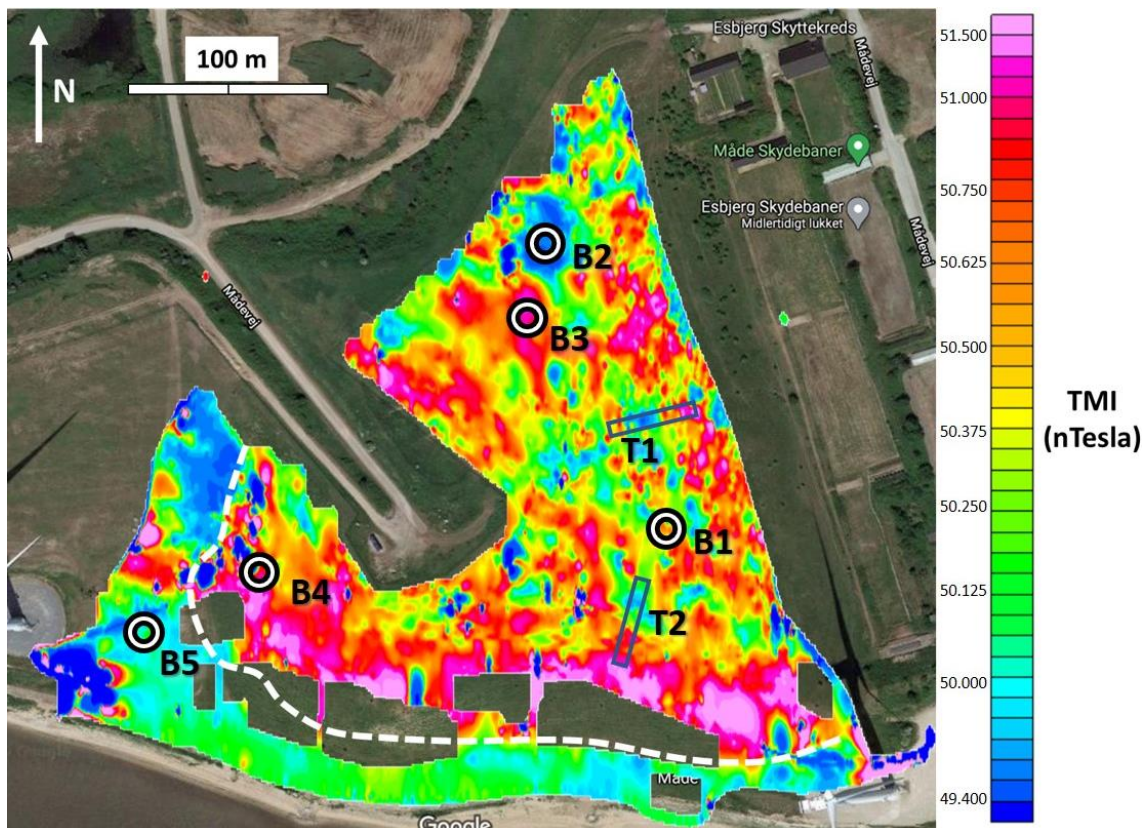
Et yderligere borehul 5 (BH-5) kan overvejes som supplerende boring og er placeret umiddelbart uden for selve Måde Deponi. BH-5 skal bekræfte deponiets afgrænsning mod

sydvest og skal bruges til at bestemme, hvilket underlag (sediment) affaldet oprindeligt blev deponeret på. BH-5 er placeret forholdsvis tæt på stranden, hvorfor det forventes, at underlaget vil være relativt terrænnært, og der derfor kun er behov for en kort boring. Da BH-5 er placeret tæt på linje 1, vil boringen desuden kunne bidrage med nyttig information til kalibrering af linje 2 og dennes grænse mod sydvest. BH-5 har lav prioritet i forhold til de øvrige foreslåede borer.

6.2 Prøveopgravninger

Udover borerne anbefales det at lave to prøveopgravninger i den østlige del af deponiet. I Figur 22 ses placeringen af de to grave, G-1 og G-2. De to prøveopgravninger skal give information om affaldet i de øverste 2-3 m (under den topdækkende jord) af deponiet i områder, hvor de magnetiske anomalier antyder tilstedeværelsen af små metalgenstande relativt terrænnært.

Resultaterne af de geofysiske undersøgelser viser ikke andre områder af Måde Deponi med større relevante anomalier, og det vurderes derfor ikke, i en indledende boreundersøgelse, at være nødvendigt med flere prøveboringer eller prøveopgravninger end de beskrevne.



Figur 22 Foreslåede placeringer af prøveboringer og prøveopgravninger. Kort: Google Maps.

Table 1 *Overview of proposed test borings and test excavations.*

Undersøgelse	Nummer	Geografisk placering (WGS 84)	
		Længdegrad	Breddegrad
Boring	BH-1	8,51627588	55,4533281
Boring	BH-2	8,51520136	55,4548651
Boring	BH-3	8,51503360	55,4544797
Boring	BH-4	8,51264831	55,4531969
Boring	BH-5	8,51166900	55,4527631
Grøft (startpunkt)	G1	8,51582037	55,4538611
Grøft (slutpunkt)	G1	8,51654199	55,4539904
Grøft (startpunkt)	G2	8,51606271	55,4531287
Grøft (slutpunkt)	G2	8,51590115	55,4525633

7. Volumenestimerer

Den samlede mængde affald indeholdt i deponiet kan kun estimeres med større sikkerhed, hvis bunden af deponiet bestemmes med større nøjagtighed. En sådan kortlægning vil omfatte indsamling af detaljerede og mere avancerede geofysiske data (fx 3D refleksionsseismik) og et antal prøveboringer.

På baggrund af resultaterne fra de geofysiske undersøgelser er det muligt at beregne minimum-, middel- og maksimumvolumen af deponiet; dog skal man være opmærksom på at estimererne er behæftet med stor usikkerhed.

Der er intet i resultaterne fra de geofysiske undersøgelser der peger på, at deponiet fortsætter udenfor den omtrent trapezformede bakke, som deponiet udgør. I den vestlige centrale del af deponiet ligger en pumpestation (Figur 1 og Figur 23), der ligger i et noget lavere niveau end selve deponi-bakken. Pumpestationen kan være placeret over deponiet, men det formodes at være placeret udenfor.



Figur 23 Beregnet areal for Måde Deponi. Den gule optrukne linje viser arealet for hele undersøgelsesområdet, mens stiplet gul linje indikerer delområde omkring pumpestation, som er fratrukket arealet for beregning af minimumsarealet i volumenestimeringen. Kort: Google Maps.

Hele området beliggende indenfor den gule linje i Figur 23 er ikke en del af selve deponiet, så arealet af deponiet er derfor med meget stor sikkerhed mindre end arealet af den gule linje, som er fundet til 102.000 m². Deponiets minimumsareal er beregnet til 89.000 m² ved at fratække arealet med pumpestationen (den gule stiplede linje i Figur 23) fra 102.000 m², der anses som maksimum for arealet af deponiet.

Affaldet i Måde Deponi er dækket af 1-2 m slutfædækning af jord. Da det ved de geofysiske metoder foretaget i forbindelse med denne undersøgelse ikke har været muligt at bestemme tykkelsen af dækjorden, er volumenestimererne foretaget for hele deponiet, dvs. af både affaldet og topjorden.

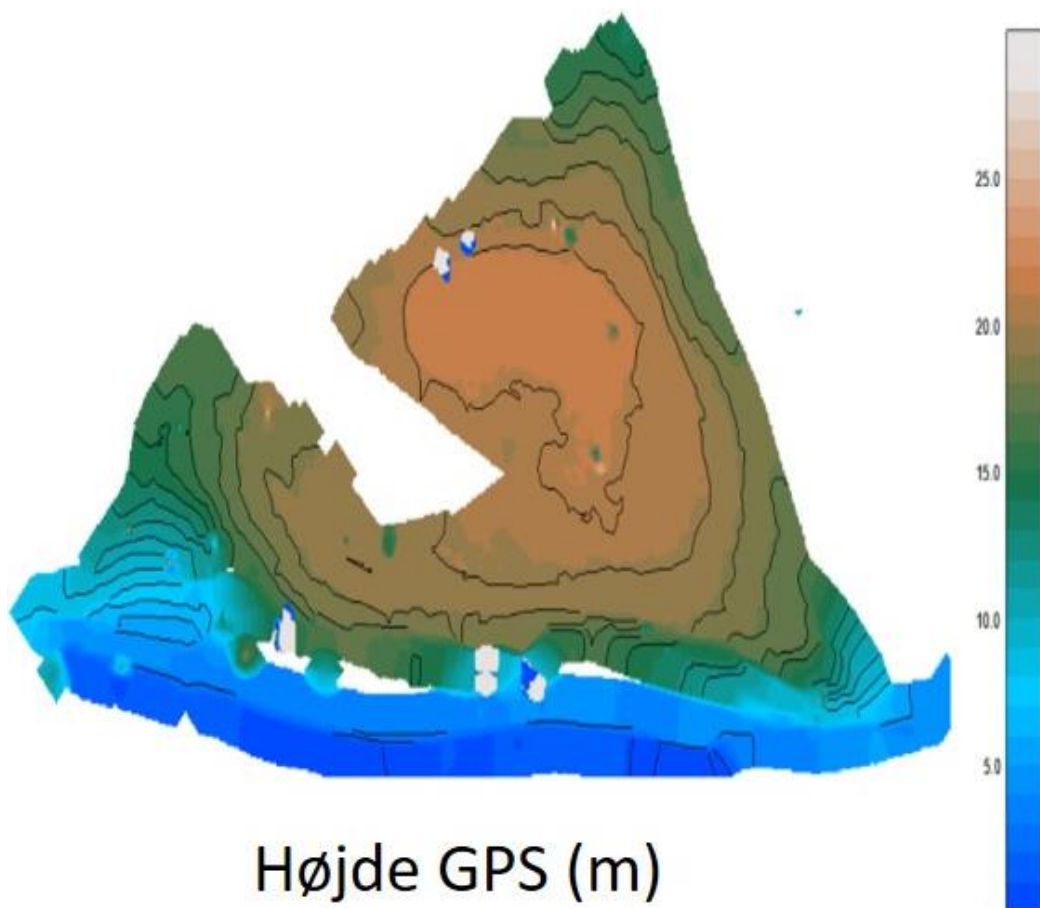
Som nævnt i afsnit 5.2.10 har det været vanskeligt at bestemme placeringen af bunden af deponiet med refraktionsseismik og tykkelsen af deponiet er derfor knyttet med væsentlig større usikkerhed end arealberegningen. Bunden er sandsynligvis detekteret i den sydvestlige ende af deponiet i den seismiske linje 2 (Figur 13 og Figur 21). Her vurderes bunden af deponiet at ligge ca. 20 under terrænoverfladen, hvilket her svarer til omkring 5 m under havets overflade.

Da de magnetiske data blev indsamlet, blev der samtidig målt med differential GPS, så der kunne udarbejdes et detaljeret kort over Måde Deponi (Figur 24). Som det ses af Figur 24 har deponiet en relativ flad top, som ligger ca. 20 m over havets overflade, og som hælder ud mod skråningerne. Der findes ikke information om formen af lossepladsens bund (flad, bulet, stejlt hældende osv.), men med de målte variationer i topografien og baseret på refraktionsseismikken (linje 2) anslås deponiets gennemsnitlige tykkelse at være mellem minimum 15 m og maksimalt 23 m. På baggrund af disse antagelser er volumen af Måde Deponi beregnet til som minimum at være 1,3 km³ til maksimalt 2,3 km³ med et middelvolumen på 1,8 km³ (Tabel 2). Ifølge et notat³ blev volumen af Måde Deponi i 1988 beregnet til 1,5 km³, hvilket svarer overens med den lavere del af volumenestimatet angivet i Tabel 2. Der foreligger ingen yderligere information om, hvordan den tidligere beregning af volumen er foretaget.

Tabel 2 Volumenberegninger for Måde Deponi.

Parameter	Minimum-volumen	Middel-volumen	Maksimum-volumen
Højde (m)	15	19	23
Areal (m ²)	89.000	95.500	102.000
Volumen (m ³)	1.335.000	1.814.500	2.346.000
Volumen (km ³)	1,3	1,8	2,3

³ Notat fra Rigsarkivets dokumenter vedr. Ribe Amts undersøgelser af Måde Losseplads "Notat om Måde gamle Losseplads 1988".



Figur 24 *Undersøgelsesområdets topografi opmålt med differential GPS, da målingerne med magnetometer blev udført.*

8. Konklusioner og anbefalinger

På baggrund af de magnetiske og refraktionsseismiske undersøgelser er det muligt at drage følgende konklusioner:

- Måde deponi er karakteriseret af relativt højt magnetfelt sammenlignet med det omkringliggende område og deponiet viser interne variationer i magnetfeltet.
- Der er kortlagt to interessante store magnetiske anomalier (henholdsvis en positiv og negativ) i den nordlige del af deponiet, som begge er tolket som værende relativt dybtliggende, og en række mindre mere overfladenære magnetiske anomalier. Disse magnetiske anomalier skyldes formentligt variabelt jernindhold i affaldet.
- Der er registreret stærke magnetiske anomalier i den sydlige del af deponiet. De stærke anomalier skyldes en topografisk effekt fra den sydlige skråning, og det tolkes derfor ikke at skyldes et forhøjet jernindhold i denne del af deponiet.
- Den refraktionsseismiske undersøgelse er stærkt påvirket af kraftig støj fra bl.a. vindmøller og industrielle aktiviteter i området, som medfører et lav signal-støj-forhold. Til trods for at der er forsøgt kompenseret for dette ved filtrering af støj under databehandling, medfører støjen i data betydelige begrænsninger for kortlægningen af dybe mål og særligt placering af deponiets bund, som seismikken primært var planlagt for at undersøge.
- Langs seismisk linje 2 tolkes en stigning i hastighed over 900 m/s som bunden af deponiet ca. 20 m under terrænoverfladen. På grund af støjen i data er det ikke muligt med sikkerhed at bestemme dybden af deponiets nedre grænse i de øvrige otte seismiske profiler.
- Langs linje 1, linje 3 og linje 9 observeres der interne variationer som tyder på en vis heterogenitet i deponiet. Der observeres højere seismiske hastigheder af affaldet med dybden, hvilket formentlig skyldes kompaktering af affaldet eller tilstedeværelse af andre typer affald med højere densitet.
- Der er foretaget volumenestimering for deponiet som dog er knyttet med stor usikker pga. manglende viden om deponiets tykkelse. Det beregnede volumen af deponiet varierer fra ca. 1,3 km³ til 2,3 km³.

Der er behov for yderligere undersøgelser, hvis Esbjerg Kommune overvejer at sanere deponeringsenheden for at ibrugtage dele af området ved Måde Deponi til erhvervsmæssige formål. Udarbejdelse af realistiske omkostningsscenerier for opgravning og bortskaffelse af affaldet kræver bedre kendskab til tykkelsen af deponiet og særligt, at der gennemføres prøvetagning og -karakterisering af affaldet, da affaldstype har stor betydning for prisen på bortskaffelse. Prøvetagning er afgørende for at karakterisere affaldet således, at der kan foretages kvantificering af jord- og affaldsmængder og estimering af affaldsheterogenitet.

For at få undersøgt og karakteriseret affaldet og lateraler og vertikale variationer i affaldssammensætningen anbefales det, på baggrund af den geofysiske forundersøgelse, at der foretages 4-5 prøveboringer og to prøvegravninger som angivet i Figur 22. Hvis prøveboringerne bores gennem deponiet og ned i de underliggende lag, vil deponiets tykkelse kunne fastlægges, hvilket kun i begrænset omfang har været muligt i denne undersøgelse. Dette vil være nyttigt til mere præcise volumenberegninger.

Arbejdet præsenteret her kan suppleres med yderligere geofysiske undersøgelser. Særligt anbefales det, at der som minimum foretages en geoelektrisk/induceret polarisations 2D-linje for at undersøge dybden til grundvandet. Denne linje skal krydse mindst ét borehul, så målingerne kan kalibreres med observationerne fra boringen. Placering af denne linje bør være vinkelret på kystlinjen, da det er meget sandsynligt, at havvandet trænger ind i sedimenterne omkring deponiet og affaldet. Det er derfor nødvendigt at kunne vurdere, hvor langt havvandet trænger ind og undersøge affaldet i deponiet, som også kan være vandmættet fra nedbør, grundvand og/eller indtrængende havvand.

Referencer

- Clausen, R.J. & Kalvig, P. 2020. Vurderinger af muligheder og udfordringer ved landfill mining i Danmark. MiMa rapport. ISBN 978-87-7871-536-4.
<http://mima.geus.dk/udgivelser/landfill-mining-2020/>
- Lanz, E., Maurer, H., Green, A. 1998: Refraction tomography over a buried waste disposal site. *Geophysics* 63, 1414–1433. <http://dx.doi.org/10.1190/1.1444443>.
- Magiera, T., Zogala, B., Szuszkiewicz, M., Pierwola, J. & Szuszkiewicz, M.M. 2019. Combination of different geophysical techniques for the location of historical waste in the Izery Mountains (SW Poland) *Science of the Total Environment*, 682, 226-238.
- Marchetti, M., Sapia, V. & Settini, A. 2013. Magnetic anomalies of steel drums: a review of the literature and research results of the IGV. *Annals of Geophysics* 56, R0108.
<https://doi.org/10.4401/ag-6201>.
- Sandrin, A. Maricak, A. Heincke, B.H., Clausen, R.J. Nielsen, L. & Keiding, J.K. 2020. Geophysics for urban mining – first surveys in Denmark: Rationale, field activity, and preliminary results. *GEUS Bulletin* 44. 5240. doi:10.34194/geusb.v44.5240

Bilag 1

Notat fra Vandkvalitetsinstituttets undersøgelse af udsivning 1987

- Perkolatsammensætningen i både depot 561 - 200 og 561 - 201, som den fremgår af kemiske analyser på depotboringerne, svarer for en lang række stofgrupper til almindeligt lossepladsperkolat. Koncentrationsmæssigt ligger de målte værdier i den lave ende af erfaringsværdier fra kontrollerede lossepladser. De relativt lave værdier kan for depot 561 - 200 skyldes, at depotet er gammelt. For depot 561-201 kan de lave værdier skyldes opblanding med oprindeligt vand, som endnu ikke er udskyllet.
- Perkolatet fra depoterne indeholder herudover stoffer, der kan henføres til tjæreproduktion eller gasværksaffald (bl.a. PAH-forbindelser), stoffer, der kan henføres til pesticidproduktion (chlorcresoler, chlorphenoler, Dichlorprop) og mindre mængder aromater (benzen, toluen).
- En beregning af stoftransporten for udvalgte stoffer fra det største depot 561-201 til Vadehavet giver følgende resultat:

Organisk stof (målt som COD)			30.000 kg/år
Ikke-flygtigt organisk kulstof (NVOC)	7.000	-	15.000 kg/år
Ammoniak-kvælstof	4.000	-	10.000 kg/år
Total-kvælstof	9.000	-	16.000 kg/år
Chrom			1 kg/år
Phenolære forbindelser	15	-	30 kg/år
Dichlorprop	30	-	80 kg/år

Geocenter Danmark er et formaliseret samarbejde mellem de fire selvstændige institutioner De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet samt Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN) ved Københavns Universitet og Geologisk Museum under Statens Naturhistoriske Museum.



Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer (MiMa) er et rådgivende center under De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS). MiMa formidler viden om mineralske ressourcers værdikæde fra efterforskning og udvinding til forbrug, genanvendelse og udviklingen af nye teknologier.