Geoelektrisk Geofysik

Formål og baggrund

Formålet med gennemførelse af geofysiske kortlægninger er at øge den geologiske forståelse af magasinudbredelse, sammensætning af dæklag, vandindhold og permabilitet, og derved blandt andet opnå et tilstrækkeligt detaljeret grundlag for udarbejdelsen af indsatsplaner.

Opgaverne omfatter gennemførelse af geofysiske kortlægninger, og består af planlægning, advisering, indsamling, processering og tolkning af data, samt præsentation, afrapportering og indberetning af data og resultater.

Opgave

Arbejdet med den geofysiske kortlægning sker fortrinsvist som en af de første faser, der skal gennemarbejdes i et kortlægningsprojekt. Opgaven kan opdeles således:

Planlægning af geofysik kortlægning	Leverance
Opgavebeskrivelse Milepælsplan Kommunikationsplan Kvalitetssikringsprocedurer Målekonfiguration/-specifikationer	Notat
Anbefaling til kortlægning	Notat
Udførelse af testmålinger i kortlægningsområdet	Notat
Indsamling af geofysik	Leverance
Indsamling af geofysik data	Rådatarapport
Daglig kvalitetsvurdering af indsamlede data	E-mail/notat

Processering af indsamlet geofysik	Leverance
Kontrol af rådatarapport og udleverede rådata	Skriftlig godkendelse af rådatarapport
Processeringsparametre	Notat + møde
Processering af målte data	Aarhus Workbench-projekt med dokumentation
Inversion af processeret geofysik	Leverance
Inversionsparametre	Notat + møde
Indledende inversion Evt. revidering af processering	Aarhus Workbench-projekt med dokumentation
Inversion	Aarhus Workbench-projekt med dokumentation
Kontrol af inversion	Aarhus Workbench-projekt med dokumentation
Præsentation og afrapportering	Leverance
Beskrivelse af opgaven inkl. dataindsamling, processering og tolkning	Rapport
Visualisering af resultater	Rapport og GIS-filer
Beskrivelse af resultater	Rapport
Indberetning til GERDA og Rapportdatabasen	Dataindberetning
Endelig Aarhus Workbench aflevering	Aarhus Workbench-projekt med dokumentation
Kvalitetssikring	Leverance
Kvalitetssikring	Notat/kort/skema
Logbog	Rapport
Varetagelse af afgrødeskadeerstatninger	Leverance
Fotodokumentation af evt. afgrødeskader	Fotos samt dokumentation
Opmåling af afgrødeskader	Kort over skader på matrikelniveau
Erstatningsbreve med dokumentation	Erstatningsbreve
Aftale med lodsejere om erstatninger	Erstatningsbreve

Planlægning og indsamling af geoelektrisk geofysik

En opgave med geoelektrisk dataindsamling i regi af grundvandskortlægningen starter med en grundig planlægning, som ender ud i en opgavebeskrivelse.

Under placeringen af de geofysiske målinger vurderes, om der er faktorer, som kan have negativ eller positiv indvirkning på kvaliteten af data. Det er specielt den forventede geologi i dybdefokusintervallet og kortlægningsområdets infrastruktur, der skal vurderes. De geofysiske målingers placering samt indsamlingsparametre skal bestemmes i forarbejdet, således at den bedst mulige datakvalitet opnås.

Der skal desuden præsenteres en plan for dataindsamlingen med indlagte milepæle og kommunikationsplan. Kvalitetssikring under dataindsamlingen skal også beskrives og indlægges i milepæls- og kommunikationsplanen.

Planlægning af dataindsamling

Forud for feltarbejdets igangsættelse ønskes som udgangspunkt følgende:

- Indhentning af geofysiske oplysninger fra GERDA-databasen samt ledningsoplysninger.
- Vurdering af dataindsamlingsområde.
- Fastsættelse af fokusinterval i dybde, der skal kortlægges.
- Vurdering af geologi (beskrivelse af forventet lithologi, strukturer mv.) i området til understøttelse af valgte geofysiske metode.
- Målekonfiguration, samt ønsket opløsning og indtrængningsdybde besluttes i samarbejde med Miljøstyrelsen.
- Risikoanalyse og –vurdering.
- Anbefaling til videre dataindsamling baseret på ovenstående punkter. Miljøstyrelsen skal godkende anbefalingen inden videre arbejde.
- Placering af målepunkter/målelinjer udføres i samarbejde med Miljøstyrelsen.
- Advisering af berørte lodsejere.

I samarbejde med Miljøstyrelsen aftales arbejdet omkring testmålinger. Aftalen skal dokumenteres i notatform. Planlægningsnotatet skal godkendes af Miljøstyrelsen, inden dataindsamlingen igangsættes.

Indsamling af geofysiske data

Forud for en geofysisk kortlægning skal det sikres at data kan sammenstilles og sammenlignes med de eksisterende geofysiske datasæt. Hvis muligt, skal de elektromagnetiske metoder (WalkTEM, TEM40, SkyTEM, tTEM og MRS) sammenlignes med andre elektromagnetiske data og de galvaniske metoder

(MEP og PACES) skal sammenlignes med de omkringliggende galvaniske metoder.

Ved dataindsamling gælder at:

- Miljøstyrelsen vil kræve, at det til kortlægningen benyttede måleudstyr skal kalibreres på det nationale geofysiske teststed. Hvis dette ikke er muligt, skal det godkendes af Miljøstyrelsen.
- Miljøstyrelsen kan kræve, at det til kortlægningen benyttede måleudstyr skal kalibreres via lokalt teststed.
- Som ekstraudstyr på måleudstyret kræver Miljøstyrelsen, at der på trækkeren ved PACES-kortlægning er monteret et GPS-instrument med henblik på at kortlægge måleruten. GPS'en skal have en nøjagtighed på 5 meter eller derunder på bestemmelsen af x- og y-koordinaterne.
- Ved indsamling af MRS skal der udføres støjtests, "Rx gain factor checking", "Tuning frequencies" og frekvenstests.
- Ved indsamling af MRS skal måleparametre som stakantal og filtre fastsættes ud fra tests.
- Ved indsamling af MRS skal opsætning af målestyr ske med pløkke, målebånd og kompas.
- Målingerne skal foretages i henhold til metodes respektive vejledning:
    - WalkTEM og TEM40 /1/ og /2/
    - SkyTEM /3/
    - MEP /4/
    - PACES /5/
    - MRS /6/
    - tTEM /7/
    - GCM data indsamles under henvisning til gældende standard fra Geofysiksamarbejdet ved Aarhus Universitet.

Rådgiver vurderer kvaliteten af dagens produktion og fremsender anbefaling til den videre geofysiske dataindsamling. Det er specielt en vurdering af datakvalitet ift., at geologien kan tolkes i dybdefokusintervallet inden for kortlægningsområdet. Miljøstyrelsen tager beslutning om det videre forløb af den geofysiske dataindsamling (ændre, tilføje eller sløjfe hele eller dele af kortlægningen).

Specielt for MRS dataindsamling skal indledende støjmålinger udføres forud for fastlæggelsen af MRS målepunktet. Efter MRS målingen er gennemført, udføres en supplerende TEM sondering med samme centrum af målekonfiguration som MRS målingen. Denne måling udføres med henblik på at få inddeling af undergrundens elektriske modstande. Datakvalitet for MRS vurderes i henhold til, om de hydrologiske parametre, såsom porøsitet vandindhold og permeabilitet, kan beregnes inden for dybdefokusintervallet.

Ved geofysisk kortlægning er rådgiver forpligtet til at begrænse eventuelle skaders omfang. Såfremt det kan forudsiges, at der er sandsynlighed for afgrøde- og strukturskader, skal Miljøstyrelsen straks underrettes med henblik på at foretage en fælles vurdering om fortsættelsen af den videre kortlægning.

Feltmedarbejdere skal undervejs i kortlægningen holde øje med, om måleudstyret forårsager afgrøde- eller strukturskader. Ved udstyrs-, afgrøde- eller strukturskader skal Miljøstyrelsen underrettes så hurtigt som muligt. Arealer, hvor der vurderes at være sket en skade, opmåles og fotograferes, og materialet fremsendes til Miljøstyrelsen inden for 2 arbejdsdage efter, skaden er sket. Miljøstyrelsen forbeholder sig ret til at kræve, at dataindsamlingen bliver dokumenteret på video. Det besluttes forud for dataindsamlingen, om video dokumentation skal anvendes. Evt. optagelser skal slettes, når den pågældende optagelse ikke længere skal anvendes, senest efter et år, med mindre der efter et år ses, at der er uenighed mellem lodsejer og Miljøstyrelsen om omfanget af eventuelle afgrøde-, udstyrs- og/eller strukturskader.

Præsentation og afrapportering

Som udgangspunkt skal en afrapportering for en geofysisk dataindsamling indeholde følgende:

- Et kort, der viser placeringen af de nyindsamlede data sammen med eksisterende data i GERDA.
- En dokumentation for den anvendte udstyrskalibrering på det nationale geofysiske teststed, indeholdende en sammenligning med den geofysiske referencemodel samt en beskrivelse af den udførte kalibrering af udstyret.
- Et kort, der viser kvalitetsparametre for de indsamlede data samt en beskrivelse af den generelle datakvalitet.
- Beskrivelse af dataleverancen for de indsamlede geofysiske målinger.
- Logbog, der beskriver forhold (fx vejr), særlige tiltag samt andet relevant i forbindelse med dataindsamlingen.
- En beskrivelse af det anvendte måleudstyr skal vedlægges rapporten digitalt. Beskrivelsen skal indeholde de instrumentoplysninger, fx udstyrsspecifikationer og anvendte indstillinger, som rådgiver ifølge Geofysiksamarbejdets vejledninger skal indberette til GERDA. Dokumentet skal også indeholde en beskrivelse af GPS-instrumentet og dets målenøjagtighed.

Dataprocessering og inversion

Processering af geofysiske data

Ved processering skal som udgangspunkt anvendes Aarhus Workbench. SPIA skal som udgangspunkt anvendes ved processering af TEM40 og WalkTEM.

Rådgiver fremsender som udgangspunkt Aarhus Workbench-arbejdsprojekt senest 3 arbejdsdage inden et møde med Miljøstyrelsen, hvor parametre til processeringen skal drøftes. De endelige processeringsparametre skal fremsendes i et kort notat. Efter endt processering skal Miljøstyrelsen godkende processeringen, inden videre arbejde i kortlægningsprojektet igangsættes.

Rådgiver skal minimum en gang om måneden udarbejde et kort statusnotat over forløbet af processeringsarbejdet.

Der kan anvendes alternativt software til processeringsdelen af opgaven, såfremt det godkendes af Miljøstyrelsen. Det skal angives i et kort notat hvilken software, der anvendes i processeringsarbejdet. Uanset hvilken software, der anvendes, skal den i vejledningerne beskrevne fremgangsmåde benyttes. Den benyttede software skal kunne stilles til rådighed for Miljøstyrelsen, hvis det i forløbet vurderes nødvendigt.

Inversion af geofysiske data

Ved inversion skal som udgangspunkt anvendes Aarhus Workbench. De processerede data skal som udgangspunkt inverteres som fålagsmodel (3-6 lag) og mangelagsmodel (>6 lag). Det konkretiseres i de enkelte projekter hvilke inversionsmetoder, der anvendes, og de skal godkendes af Miljøstyrelsen inden videre arbejde.

Rådgiver fremsender som udgangspunkt Aarhus Workbench-arbejdsprojekt senest 3 arbejdsdage inden et møde med Miljøstyrelsen, hvor inversionsparametre drøftes. De endelige inversionsparametre fremsendes i et kort notat. Efter endt inversion skal Miljøstyrelsen godkende den endelige inversion, inden videre arbejde i kortlægningsprojektet igangsættes.

Rådgiver skal minimum en gang om måneden fremsende et kort statusnotat over forløbet af inversionsarbejdet til godkendelse.

Der kan anvendes alternativt software til inversionsdelen af opgaven, såfremt det godkendes af Miljøstyrelsen. Det skal angives i et kort notat hvilken software, der anvendes i inversionsarbejdet. Uanset hvilken software der anvendes, skal den i vejledningerne beskrevne fremgangsmåde benyttes. Den benyttede software skal kunne stilles til rådighed for Miljøstyrelsen, hvis det i forløbet vurderes nødvendigt.

Præsentation og afrapportering

Som udgangspunkt skal afrapporteringen for processering og inversion indeholde:

- Beskrivelse af dataindsamling samt overvejelser i forbindelse med valg af instrumentering, målekonfiguration, opløsning af geologien og geofysisk indtrængningsdybde.
- Beskrivelse af processering (herunder beskrivelse af de benyttede parameterindstillinger).
- Beskrivelse af inversion (inkl. tabeller over benyttede parameterindstillinger samt overvejelser i forbindelse med valg af antal af lag).
- Kvalitetssikringsskemaer og beskrivelse af kvalitetssikrings-procedurer.
- Lokaliseringskort med målepunkter og angivelse af kasserede data.
- Ved overlap med eksisterende kortlægninger sammenlignes modeller i det overlappende område. Eventuelle uoverensstemmelser beskrives og forklares.
- Resultater skal indeholde (beskrivelser – også i forhold til områdets overordnede geologi, geologiske enheder fra boringsbeskrivelser, beskrivelse af udarbejdede fladekort såsom intervalmodstande, kote af god leder, datakvalitet, profilsnit osv.)
    - Lokaliseringskort med målepunkter og angivelse af kasserede data
    - Middelmodstandskort i 5 til 10 meters koteintervaller
    - Middelmodstandskort i 5 til 10 meters dybdeintervaller fra terræn til 40 meters dybde
    - Udvalgte beskrevne profiler
    - Kort over koten af den gode leder, baseret på histogram
    - Kort med dataresidual for inverterede data
- De tolkede data skal leveres i et format der kan præsenteres i et GeoScene3D-projekt.
- Arbejdsdata, rådata, GERDA-database, GIS-filer skal afleveres digitalt.

Ved MRS skal afrapporteringen yderligere indeholde:

- Den vertikale fordeling af vandindholdet med henfaldstiden T1 og T2
- MRS-estimering af permeabiliteten versus dybde
- MRS-estimering af transmissiviteten versus dybde
- Vertikal fordeling af henfaldstiden T1 og T2
- Amplituden af det første signal, inversionstilpasningen og den gennemsnitlige støj versus pulsparameter
- Amplituden af de to signaler versus pulsparametrene samt inversionstilpasningen

- Larmor-frekvensen versus pulsparametrene
- Gennemsnitskurver gennem de to datasignalsæt samt den gennemsnitlige støj versus pulsparametrene
- Skematisk oversigt over måleparametre for hver MRS-sondering
- Sammenfattet visualisering og vurdering af MRS-resultaternes hydrauliske data

Rådgiver skal minimum en gang om måneden udarbejde et kort statusnotat over de igangværende undersøgelsers forløb.

Indberetning til GERDA og Rapportdatabasen

Umiddelbart efter alle rapporter er godkendt, indberettes rådata, processerede data og modeller til GERDA den løbende måned. Der følges forskrifterne for indberetning på GEUS' hjemmeside for GERDA, www.gerda.dk og vejledninger fra Geofysiksamarbejdet. Indberetningen af rapporten til Rapportdatabasen hos GEUS skal ske den løbende måned efter at Miljøstyrelsen har godkendt rapporten.

Software

Til processering og inversion af geofysik-data benyttes som udgangspunkt nyeste version af programmet Aarhus Workbench, og versionsnummeret skal fremgå ved udveksling og afrapportering af Aarhus Workbench-projekter.

Hvis der benyttes anden software til processering og tolkning af geofysik-data, skal softwarens navn og versionsnummer oplyses. Den benyttede software skal kunne stilles til rådighed for Miljøstyrelsen, hvis det i forløbet vurderes nødvendigt.

Kvalitetssikring

Kvalitetssikring af data, mellemresultater og det endelige resultat beskrives.

Proceduren for kvalitetssikringen skal bestemmes og godkendes af Miljøstyrelsen, inden arbejdet igangsættes.

Der skal udføres logbog over hele opgaven – justeringer, vurderinger, analyser, kvalitetssikring etc. skal løbende dokumenteres.

Miljøstyrelsens ydelser

Miljøstyrelsen kan om nødvendigt levere relevante baggrundskort samt oplysninger fra allerede udførte kortlægningsopgaver samt lodsejerinformation. Geologisk information om områderne i form af boringsoplysninger samt resultater fra tidligere udførte geofysiske måleresultater forefindes i Jupiter og GERDA.

Referencer

Det forventes, at rådgiver som udgangspunkt er bekendt med og arbejder efter de nyeste vejledninger og kravspecifikationer, der er udarbejdet af Geofysiksamarbejdet (www.gfs.au.dk).

/1/ Vejledning i udførelse af TEM målinger, november 2002

http://www.hgg.geo.au.dk/rapporter/vejledning_TEM.pdf

/2/ Vejledning i kalibrering af TEM måleudstyr, november 2002

http://www.hgg.geo.au.dk/rapporter/vejledning_kalibreringssondering_2002.pdf

/3/ Vejledning og kravspecifikation for SkyTEM-målinger, processering og inversion, version 2.5, GeoFysikSamarbejdet, november 2011

http://www.hgg.geo.au.dk/rapporter/SkyTEMGuideDK.pdf

/4/ Vejledning og kravspecifikation for MEP-målinger, data-processering og tolkning, version 2.0, GeoFysikSamarbejdet, oktober 2015 http://www.hgg.geo.au.dk/rapporter/Vejledning_mep.pdf

/5/ Vejledning i udførelse af PACES målinger, GeoFysikSamarbejdet, januar 2008

http://www.hgg.geo.au.dk/rapporter/vejledning_paces.pdf

/6/ Número monográfico, Special Issue on - Magnetic Resonance Sounding, A reality in applied Hydrogeophysics, J.J. Durán, Madrid, Julio-Septiembre 2007, Volumen 118, Boletín Geológico y Minero.

http://www.iris-instruments.com/Pdf_file/Magnetic_Resonance/field_work_operation.pdf

/7/ Guideline and standards for tTEM data collection, processing, and inversion. HGG. Aarhus University. September 2020

http://www.hgg.geo.au.dk/rapporter/Guide_tTEM.pdf