Seismik

Formål og baggrund

Formålet med at anvende seismiske metoder i grundvandskortlægningen er at kortlægge et områdes geologiske strukturer. Metoderne kan bidrage væsentligt til en forståelse af et områdes dannelseshistorie og tektoniske forhold. Desuden kan den seismiske undersøgelse give et vigtigt bidrag til tolkningen af andre geofysiske data og til forståelsen af eksisterende boringers repræsentative værdi i området. Resultatet af den seismiske kortlægning skal bidrage til den geologiske model og dermed give en øget forståelse af de hydrogeologiske forhold i kortlægningsområdet.

Langt hovedparten af den seismik, der er indsamlet i grundvands-kortlægningen, er baseret på den refleksionsseismiske metode. De foreliggende kravspecifikationer er derfor skrevet med udgangspunkt i erfaringerne med den refleksionsseismiske metode. Andre seismiske metoder, som f. eks. refraktionsseismik og S-bølge seismik, kan også anvendes. I sådanne tilfælde skal indsamling, processering og tolkning af de seismiske data tilnærmes de enkelte delopgaver, krav og leverancer, som er beskrevet i nærværende kravspecifikation.

Opgave

Planlægning af feltkampagne	Leverance
Opgavebeskrivelse Milepælsplan Kommunikationsplan Kvalitetssikringsprocedurer Målekonfiguration/-specifikationer	Notat
Placering af seismiske linjer	Kort over planlagte seismiske linjer GIS-filer med planlagte seismiske linjer
Advisering og indhentning af tilladelser	Advisering / Tilladelser

Indsamling af seismiske data	Leverance
Optage testlinje Beskrivelse af kvalitet og vurdering af setup og resultater ift. den stillede opgave.	Testlinje Notat med kvalitetsvurdering
Indsamling af data	Rådata Positionsdata Rawinfo fil
Dag til dag processering, foreløbigt processeret samt kvalitetsvurderet	E-mail/notat
Daglig kommunikation ang. resultater og kvalitet	E-mail
Processering af seismiske data	Leverance
Processering af de seismiske data	Basic stack Full stack Final stack Migrated stack Stackinfo fil
Tolkning af seismiske data	Leverance
Tolkning af de seismiske data	Tolkede seismiske profiler (både i tid og dybde) i et format, der kan indlæses i GeoScene3D. Tolkninger af geologiske horisonter/flader i XYZ format (både i tid og dybde), som kan indlæses i bl.a. GeoScene3D og GIS-programmer.
VSP/checkshots	Leverance
Planlægning af dataindsamling: Opgavebeskrivelse, placering iht. tilgængelige boringer og planlagte/indsamlede seismiske data, indsamlings-specifikationer ift. geologi	Notat

Advisering og indhentning af tilladelser	Advisering Tilladelser
Dataindsamling	Rådata Positionsdata
Processering af VSP	Processerede seismiske data i SEG-Y format og billedformat Formationshastigheder
Kvalitetssikring	Leverance
Kvalitetssikring	Notat/kort/skema
Logbog	Rapport
Rapport og indberetning	Leverance
Alle delleverancer afrapporteres samlet skriftligt i en sammenhængende rapport. Ved længerevarende projekter kan det aftales at levere skriftlige notater ang. specifikke delleverancer. Dette aftales på forhånd med Miljøstyrelsen.	Rapport
Indberetning af data. Gælder al standard data tilknyttet projektet. Aftales med Miljøstyrelsen.	Dataindberetning til Gerda og evt. andre databaser.
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 af feltkampagne

En opgave med seismisk dataindsamling i regi af grundvandskortlægningen starter med en grundig planlægning, som ender ud i en opgavebeskrivelse. Under placeringen af de seismiske linjer 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 dens akustiske respons, der skal vurderes ift. forventet signal og kvalitet af data, så det formås at afbillede geologien i de resulterende seismiske data. Andre faktorer, som har betydning for kvalitet af de seismiske data, såsom tykkelsen af den umættede zone og lerdæklag, skal også tages i betragtning. De seismiske linjers placering samt indsamlingsparametre som geometrisk setup og energikilde skal bestemmes i forarbejdet, således at den bedst mulige datakvalitet opnås.

Består kampagnen af flere seismiske linjer, er det en stor fordel, at de planlægges således, at linjerne krydser hinanden. Dette vil i den senere tolkning gøre det muligt at få en god sammenhæng i den geologiske tolkning fra en linje til en anden.

Datagrundlaget for en geologisk model i projektområdet vurderes, og det skal tilstræbes, at de seismiske linjer bidrager med viden, der hvor behovet er. Antal af boringer i området, kvalitet og dybde af dem m.m. skal vurderes, så forarbejdet er gjort bedst muligt. Desuden skal data vurderes ift. muligheden for at foretage en god tids/dybde konvertering af de seismiske data, da det er en forudsætning for, at seismiske data kan anvendes i det videre modelarbejde.

Hvis der findes dybe boringer af god kvalitet (boringer med log-data prioriteres højest) i området, lægges de seismiske linjer så tæt på disse som muligt, således at de seismiske enheder kan korreleres til sedimentære enheder i boringen, og at der kan opnås en god relation mellem seismisk tid og geologisk dybde. Hvis der forefindes eller indsamles vertikale seismiske profiler (VSP) eller andre hastighedsmålinger, skal disse anvendes i korrelationen mellem seismiske data og geologiske.

Findes der anden geofysik i området, kan de seismiske linjer med fordel placeres således, at de forskellige metoder kan supplere og verificere hinanden m.h.t. den geologiske tolkning.

De seismiske linjer kan placeres både på vej og på mark.

De planlagte seismiske undersøgelser skal præsenteres for Miljøstyrelsen med begrundede overvejelser for og imod dataindsamling med denne metode. 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.

Arbejde og plan for advisering og indhentning af tilladelser specificeres i projektet.

Tilbudsgiver forestår følgende processer:

- Indhenter tilladelser fra relevante myndigheder/ejere af veje til udførelse af seismik på såvel offentlige som private veje og marker.
- Foretager løbende opfølgning af kortlægningens fremskridt til relevante myndigheder/ejere af veje og marker.
- Foretager de nødvendige foranstaltninger, som eventuelt beordres af myndighederne/ejere af veje og marker.
- Foretager skriftlig advisering i form af brev af berørte grundejere langs vejen/på marken, hvor der måles seismik kort tid inden igangsættelse af kortlægningen, i fald seismikken skal måles om natten.
- Kontakter relevante trafikradioer, således at eventuelle trafikgener grundet kortlægningen offentliggøres på relevante tidspunkter.

Miljøstyrelsen orienteres om ovenstående via e-mail.

Indsamling af seismiske data

Det er af afgørende betydning, at kvaliteten af data bliver god, og derfor skal kvaliteten af data under indsamlingsprocessen vurderes løbende og i samråd med Miljøstyrelsen.

I hvert kortlægningsområde laves en testlinje som start på dataindsamlingen. I samråd med Miljøstyrelsen bestemmes det, hvor og hvor lang testlinjen skal være. Det har betydning for placering af testlinje hvilken geologi, der skal kortlægges, og hvad testlinjen tilsvarende repræsenterer. Dermed vil der kunne være flere testlinjer, der viser det seismiske respons for forskellige geologiske formationer. De seismiske data skal allerede vurderes i felten, hvor energinedtrængning og kvalitet af data i fokusdybden skal vurderes løbende. Evt. støjkilder skal beskrives. Testlinjen processeres og fremsendes til Miljøstyrelsen til gennemsyn med en tilhørende præsentation af kvalitet og eventuelle problemstillinger. Dette skal ske hurtigst muligt efter aftale i opgavens planlægningsforløbet. Afhængigt af resultaterne af testlinjen/-rne afgøres det, om der med fordel skal ske ændringer i optageparametrene, og om kortlægningen fortsættes i området.

Der skal anvendes en energikilde, som er egnet til formålet for den givne geologi. Rådgiver skal inden dataindsamling beskrive den eller de seismiske metoder, der foreslås anvendt med angivelse af forventet frekvensområde, sampleinterval, skudafstand, geofonafstand, antal geofoner, CMP afstand og optagerlængde m.v. Af testlinjen med tilhørende kommentarer og dataanalyse skal det faktisk opnåede frekvensindhold i data fremgå, herunder en angivelse af det for data mest betydende frekvensområde.

Positioneringen af de enkelte kildepunkter skal bestemmes ved hjælp af en differentiel GPS.

Der ønskes foretaget en dag-til-dag-processering under dataindsamlingen. Observationer i felten omkring rådata, såsom energinedtrængning generelt for dagens skud ift. forventet geologi, skal præsenteres. Hver feltdag afsluttes med en foreløbig processering af dagens produktion, som fremsendes med tilhørende forklaring af kvalitet og problemstillinger til Miljøstyrelsen til vurdering. Miljøstyrelsen vurderer løbende i samråd med rådgiver kvaliteten af den foregående dags produktion, og tager beslutning i samråd med rådgiver om det videre forløb af de seismiske undersøgelser (ændre, tilføje eller sløjfe hele eller dele af kortlægningen).

Ved geofysisk kortlægning er rådgiver forpligtet til at begrænse eventuelle skaders omfang og holde miljøstyrelsen orienteret løbende. 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.

Under feltarbejdet skal rådgiver fra dag til dag skriftligt afrapportere fremdrift af dataindsamlingen samt kvalitetsvurdering. Dataeksempler skal inkluderes. Når dataindsamling forløber problemfrit med data af god kvalitet (vurderet af Miljøstyrelsen i samråd med rådgiver), kan en ugentlig fremdrifts-/kvalitetsrapport aftales. Dataindsamlingen afrapporteres skriftligt i en rapport, der skal indeholde en beskrivelse af den anvendte metode, indsamlingsparametre, feltarbejdets forløb og så vidt muligt en illustration af kvaliteten af data.

De seismiske rådata, Rawinfo filen og positionsdata skal opfylde kravene i den nyeste version af "Kravspecifikationer for reflektionsseismiske data optaget i forbindelse med hydrogeologiske undersøgelser" /1/ og indlæses af tilbudsgiver i den Nationale Geofysik Database (GERDA) efter retningslinjer fra GEUS.

Processering af seismiske data

Der ønskes anvendt en ”crooked line” geometri i områder med knæk og sving på veje/linjer, således at de eksakte positioner for de enkelte kildepunkter og optagestationer anvendes.

Det skal tilstræbes, at der i processeringen dæmpes artefakter som fx multipler og diffraktioner, dog uden at det reelle signal forringes.

For at kunne kvalitetssikre de anvendte processeringstrin ønskes de stackede data leveret digitalt i tre umigrerede versioner og i en migreret version i SEG-Y og pdf –format med tilhørende data- og kvalitetsbeskrivelser.

De fire versioner skal være navngivet:

1. Basic stack
2. Full stack
3. Final stack
4. Migrated stack

Se en nærmere beskrivelse af de enkelte stack-typer og Stackinfo filen i ”Vejledning til kravspecifikationerne for refleksionsseismiske data optaget i forbindelse med hydrogeologiske undersøgelser” /2/.

Den endelige processering skal afrapporteres skriftligt i en rapport, der skal indeholde en beskrivelse af kvaliteten af data og den anvendte processeringssekvens. Beslutninger omkring processering begrundes og forklares, suppleret med illustrationer/figurer af data. Desuden skal rapporten indeholde de færdig processerede seismiske profiler som bilag i høj opløsning og et oversigtskort i et passende målestoksforhold, der viser placeringen af de seismiske linjer og anden relevant information, som f.eks. markering af skudpunkt og ’common depth point’ (CDP-punkter).

De stackede seismiske data og Stackinfo filen skal opfylde kravene i den nyeste version af ”Kravspecifikationer for reflektionsseismiske data optaget i forbindelse med hydrogeologiske undersøgelser” /1/ og indlæses af tilbudsgiver i den Nationale Geofysik Database (GERDA) efter retningslinjer fra GEUS.

Tolkning af seismiske data

Der ønskes foretaget en geologisk tolkning af de seismiske data, som kan indgå i en geologisk model for området. Det vil sige, at de geologiske laggrænser og strukturer af betydning for den geologiske og hydrologiske model skal bestemmes mht. x, y og z i et valgt koordinatsystem. Konverteringen af de seismiske data fra tid til dybde skal beskrives og usikkerheder i denne forbindelse skal vurderes.

Inden den geologiske tolkning foretages, skal de forskellige versioner af stakkede og migrerede data gennemses. Sammen med Miljøstyrelsen vælges den version, der afspejler den geologiske virkelighed bedst muligt til brug i den videre tolkning. Det samme gælder for tids/dybde konvertering.

Alle kendte data (boringer, logdata, anden geofysik samt eksisterende geologiske modeltolkninger), rapporter og publikationer bør indgå i overvejelserne omkring hvilke geologiske enheder og strukturer, der findes i området, som støtte for tolkningen.

Den endelige tolkning skal afrapporteres skriftligt i en rapport, hvori de tolkede seismiske profiler skal indgå. Det ønskes markeret på profilerne, om tolkningen er sikker eller usikker, og det skal beskrives i teksten, hvad usikkerheden baseres på. Desuden ønskes referencer til data og information, som har støttet tolkningen.

De tolkede seismiske profiler ønskes også leveret digitalt i et format, både dataformat (SEG-Y/ascii), GIS-format og billedformat i høj opløsning, således at de kan importeres i diverse software (bl.a. GeoScene3D). Tolkninger af geologiske horisonter/flader i XYZ format (både i tid og dybde), som kan indlæses i bl.a. GeoScene3D og GIS-programmer, skal leveres med data.

VSP

For indsamling af VSP skal placeringen vurderes ud fra geologien, der forventes kortlagt i de seismiske data. Det er vigtigt, at planlægningen tager højde for hvilke geologiske formationer, der ønskes kortlagt med de seismiske data sammenlignet med de formationer, der vil blive undersøgt med en VSP. Med VSP menes der vertikal seismiske profil, der optages og processeres i lighed med seismiske data. Resultatet er et seismisk profil repræsenterende refleksioner af laggrænser ved boringens placering.

VSP data eller anden målt hastighedsdata (check shot) anvendes til at sammenkæde geologi i en boring (data i dybde) med refleksioner i de seismiske data (i tid). Det er vigtigt, at Miljøstyrelsen kan foretage en god tids-dybde konvertering.

Indsamlings-setup og energikilde samt processeringssekvens skal bestemmes således, at den bedst mulige datakvalitet opnås. En VSP indsamling skal repræsentere den/de geologiske formationer, der skal indsamles seismiske data af, og VSP målingen skal ligge så tæt på en seismisk linje som muligt, så synergien mellem de to typer data udnyttes bedst muligt. Boringer, der er anvendelige til formålet mht. fx dybde og placering, bestemmes, og det vurderes herefter, i hvilken boring det bedste resultat opnås ift. geologien og de seismiske linjer.

Arbejdet med VSP skal udføres under henvisning til /3/. Det konkretiseres i de enkelte projekter, om der er yderligere, der skal specificeres.

I forhold til indhentning af tilladelser og advisering specificeres det i projektet.

Tilbudsgiver forestår følgende:

- Indhenter tilladelser fra relevante myndigheder/ejere af boring/-er til udførelse af VSP/hastighedsmålinger.
- Foretager løbende opfølgning af dataindsamlingens fremskridt til relevante myndigheder/ejere af boring/-er.
- Foretager de nødvendige foranstaltninger, som eventuelt beordres af myndighederne/ejere af boring/-er.
- Foretager skriftlig advisering i form af brev af berørte grundejere langs vejen til en boring, hvor der måles VSP, kort tid inden igangsættelse af dataindsamlingen, i fald seismikken skal måles om natten.

Miljøstyrelsen orienteres om ovenstående via e-mail.

Rapportering / leverancer

Det kan efter aftale med Miljøstyrelsen godkendes, at alt vedrørende en seismisk dataindsamling og tolkning afleveres i én rapport frem for delrapporter/notater eller omvendt, afhængig af et projekts varighed/størrelse. Dette fastsættes i opgavebeskrivelsen i projekts begyndelse.

Den endelige afrapportering skal som minimum indeholde:

- Beskrivelse af den anvendte metode med den anvendte målekonfiguration, samt ønsket opløsning og indtrængningsdybde. Overvejelser omkring dataindsamlinger før, under og efter projektet skal beskrives og drøftes, og beslutninger skal begrundes.
    - Beskrivelse af feltarbejdets forløb.
    - Beskrivelse af og illustration af kvaliteten af data og resultater ift. den stillede opgave (fokusdybden og geologi).
    - Beskrivelse af processeringen.
    - Beskrivelse og konklusion af tolkningen – herunder diskussion eller præcisering af usikre tolkninger.
    - De færdig processerede seismiske profiler i høj opløsning i figurer.
    - Oversigtskort i et passende målestoksforhold, der viser placeringen af de seismiske linjer og anden relevant

information, som f.eks. skudpunkter eller 'common depth point' (CDP-punkter).
  - De færdigt tolkede seismiske profiler i høj opløsning i figurer.
  - Bilag med adviseringsmateriale og evt. tilladelse fra offentlige myndigheder/vejejere.
  - Arbejdsdata, rådata, GERDA-database, GIS-filer mm. skal afrapporteres digitalt.

Desuden skal de indsamlede data og resultater afrapporteres digitalt indeholdende:

- Alle data, der er nødvendige for en evt. reprocessering af de indsamlede data (evt. af 3. part). Data skal overholde kravene i den nyeste version af "Kravspecifikation for reflektionsseismiske data optaget i forbindelse med hydrogeologiske undersøgelser":
- De seismiske rådata leveres digitalt i SEG-Y, SEG-D eller SEG-2 format sammen med positionsdata.
- En simpel ASCII tekst file (Info file) med metadata til indlæsning af de binære filer skal følge både de seismiske rådata og de stackede data.
- De stackede data skal leveres digitalt i 3 umigrerede versioner og i en migreret version i SEG-Y format.
- De stackede data skal leveres digitalt i tre umigrerede versioner og i en migreret version i pdf-format.
- De tolkede profiler leveres i både et højopløst billedformat og PDF. Tolkninger af geologiske lag skal også afleveres i XYZ-format (ascii og GIS-tabel). Det skal være muligt at kunne lægge data direkte ind i software, bl.a. GeoScene3D og GIS-programmer.
- De seismiske linjedata leveres digitalt i GIS-format. Alle data indlæses i GERDA efter retningslinjerne fra GEUS.
- VSP data skal afleveres som SEG-Y på linje med andre seismiske data. Desuden leveres tids/dybde data som tabel og graf. Andre eventuelle hastighedsmålinger i boringer, kan afleveres som tabel-data med tilhørende illustrationer.

Indberetning

Når den endelige rapport og data er godkendt, indberettes rådata og processerede data til GERDA. Forskrifterne for indberetning på GEUS' hjemmeside for GERDA, www.gerda.dk følges. Indberetningen af rapporten til Rapportdatabasen hos GEUS skal ske umiddelbart efter Miljøstyrelsen godkendelse af rapporten. Såfremt der sker ændringer til de gængse standarder for indberetning af data til det nationale datacenter, GEUS, skal de til enhver tid gældende regler følges.

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

/1/ ”Kravspecifikationer for refleksionsseismiske data optaget i forbindelse med hydrogeologiske undersøgelser”. September 2009

http://gk.geus.info/xpdf/kravspecifikationerseismik.pdf

/2/ ”Vejledning til kravspecifikationerne for refleksionsseismiske data optaget i forbindelse med hydrogeologiske undersøgelser”, Egon Nørmark og Holger Lykke-Andersen. September 2009.

http://gk.geus.info/xpdf/vejledning_reflseismiske_data.pdf

/3/ ”Kravspecifikation for udførelse af geofysisk borehulslogging i forbindelse med den afgiftsfinansierede grundvandskortlægning”, version 1.0, De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, november 2010

http://mst.dk/media/145118/kravspecifikation_logging_version_1.pdf