

Integreret analyse af geofysiske data – morgendagens geofysik

ANDERS VEST CHRISTIANSEN

Christianen, A.V. 2004-12-20: Integreret analyse af geofysiske data – morgendagens geofysik. DGF Grundvandsmøde 2004. *Geologisk Tidsskrift* 2004 hæfte 2, pp. 15–18, København.

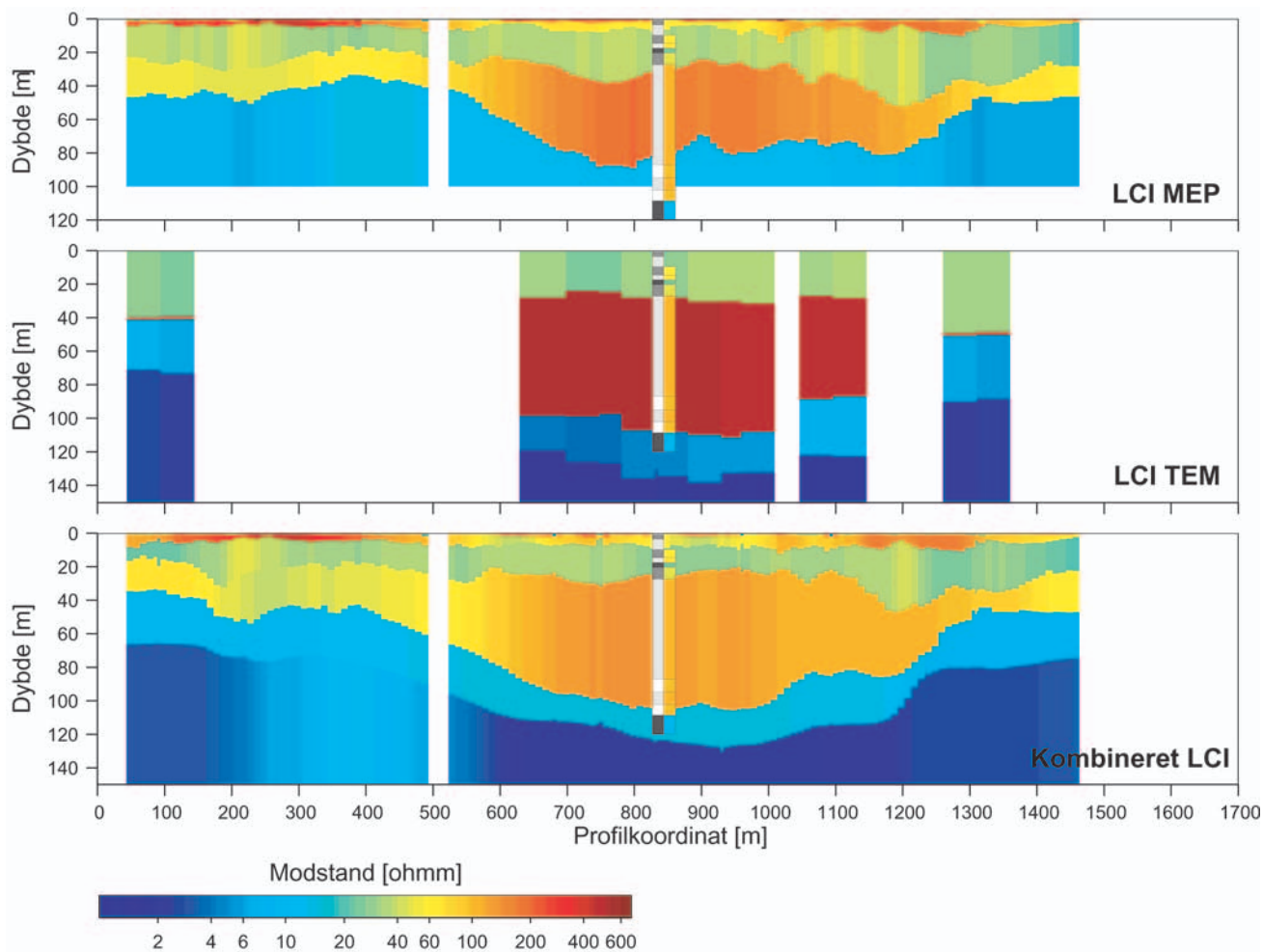
Geofysiske metoder anvendt indenfor grundvandskortlægningen har hovedsageligt koncentreret sig om de elektriske og elektromagnetiske metoder. Fælles for disse metoder er, at de kortlægger den specifikke elektriske modstand af jorden, ofte blot omtalt som modstanden. Modstanden relaterer primært til jordens indhold af lerminerale, samt tilstedeværelsen af ionholdigt porevand. Det er derfor muligt med de elektriske og elektromagnetiske metoder at skelne mellem fx ler/sand, sand over eller under grundvandsspejlet, kalk over eller under grundvandsspej-

let og saltvandsindtrængning i grundvandsmagasin. Disse kontraster er alle vigtige parametre i hydrologisk sammenhæng, hvorfor metoderne har vundet en central plads i den igangværende danske grundvandskortlægning.

Inden for de seneste år har den reflektionsseismiske metode vundet større indpas de steder hvor en meget detaljeret strukturel kortlægning har været påkrævet. Den reflektionsseismiske metode er ikke inddraget i denne sammenfatning, men nævnes for fuldstændighedens skyld. Endelig har også georadar



Figur 1. Eksempler på kontinuerte målesystemer. A: det elektriske PACES system, B: det luftbårne transient elektromagnetiske SkyTEM-system.



Figur 2. Eksempel på samtolkning af et elektrisk MEP datasæt og nogle TEM-sonderinger. Øverst ses den bedste 1D-LCI tolkning af MEP-datasættet (gradient-array). Den øverste lagpakke ned til 40 meters dybde stemmer fint overens med boringen, men dybden til det fede ler er undervurderet. Herunder ses en 1D-LCI tolkning af TEM dataene (HMTM). Den øverste lagpakke er her slået sammen til et enkelt lag, men til gengæld er dybden til det tertiære ler fundet meget præcist. Modstanden af den mellemste tykke sandformation er overvurderet. Nederst ses den samtolkede sektion der både har en god bestemmelse af toplagene og en god bestemmelse af overgangen til det tertiære ler i bunden. Modstanden af den mellemste sandpakke er også bedre ramt. Informationen fra den kombinerede tolkning kunne ikke have været uddraget blot ved at iagttage de to tolkninger hver for sig. refleksionskoefficienten afhænger vel af både hastigheden og densiteten – dermed afhænger det seismiske datum af både hastigheden og densiteten.

og gravimetrisk metode været anvendt, men kun i yderst begrænset omfang.

Dataindsamling

Udviklingen indenfor dataindsamling er de seneste år gået i retning af kontinuert profil måling – først på landjorden og i de senere år i høj grad også i luften.

Fordelen ved kontinuerte målemetoder er en kraftigt forbedret fladedækning med data. Data-

indsamlingen er effektiv, og større områder kan dækkes uden øgning af omkostningerne. Desuden opnås en forbedret rumlig opløsning af de geologiske lag, og muligheden for identifikation af fejlbehæftede data forbedres.

Udviklingen af kontinuerte målemetoder i dansk regi startede med det elektriske PACES-system, der fokuserer på detaljeret opløsning af de øverste 20 meter (Figur 1A). Herefter blev det transiente PATEM-system udviklet til indsamling af TEM-data. TEM-metodens styrke er identifikationen af gode ledere, som fx fedt ler eller en saltvandsgrænse (Auken *et al.* 2003).

I de seneste to år er det helikopterbårne SkyTEM-system blevet udviklet til hurtig indsamling af TEM-data med en datakvalitet sammenlignelig med jordbaseret TEM (Figur 1B; Sørensen *et al.*, 2004).

Alt tyder på at dataindsamlingen for de fleste metoder bliver mere og mere effektiv, og der bliver således mulighed for enten at dække større områder eller at opnå større datatæthed inden for et mindre område. Samtidig vil datakvaliteten også blive forbedret, så vi ikke blot får større datasæt, men også bedre data.

Tolkning

Generelt er udviklingen inden for tolkningen af geofysiske data gået i retning mod samtolkning af forskellige typer datasæt. De forskellige målemetoder har uens følsomhed for de fysiske parametre i jorden, eller er følsomme for helt forskellige fysiske parametre. Elektriske og elektromagnetiske metoder er begge følsomme for den elektriske modstand af jorden, men da strømmene fra de to metoder løber vidt forskelligt i jorden vil tolkede modeller baseret på de to datatyper ofte falde noget afvigende ud. Som kontrast hertil kan nævnes seismiske data, der er følsomme for kontraster i trykbølgehastigheden og densiteten af sedimenterne, hvilket er væsensforskelligt fra kontraster i elektrisk modstand.

Ved at integrere forskellige typer datasæt i tolkningen kan man forøge opløsningen af modellerne og mindske de uomgængelige problemer, der er ved tolkning af kun een type data. Konceptet for samtolkning af data bygger på LCI (Laterally Constrained Inversion) og MCI (Mutually Constrained Inversion) koncepterne, som har været benyttet separat i de senere år. Ved kombination af disse koncepter har man et værktøj der kan inddrage information fra flere geofysiske metoder i den samme tolkning. Det sker ved at tilføje modellerne i tolkningen to typer af bånd (begrænsninger), 1: et bånd der modsvarer-afstanden mellem lokaliteterne for de to geofysiske modeller (LCI), og 2: et bånd der modsvarer forskellen i metodernes opfattelse af fysikken i jorden (MCI). To tolkede modeller der ligger tæt på hinanden kan derfor ikke være så forskellige som to modeller der ligger langt fra hinanden, og en måling på samme sted med forskellige metoder skal ikke give præcis den samme model. LCI- og MCI-koncepterne kombinerer med andre ord information om den laterale geologiske variabilitet mellem adskilte målepunkter med information om den geofysiske forskel mellem forskellige målemetoder.

Samtolkning af elektriske og elektromagnetiske

data er oplagt, da begge metoder er følsomme overfor modstanden af jordlagene. Denne kombination har været forsøgt utallige gange med varierende grad af succes. Med kombinationen af LCI- og MCI-koncepterne er det lykkedes at foretage en effektiv samtolkning af disse datatyper (GeofysikSamarbejdet 2004a). Et eksempel på en sådan samtolkning ses i Figur 2.

Næste skridt er samtolkning af seismiske data (overfladebølger) og elektriske/elektromagnetiske data. Dette er i afprøvningsfasen, og der er stadig problemer der skal løses. Fordelen ved denne kombination er den seismiske metodes evne til at skelne mellem høj og lav seismisk hastighed, hvor der ikke er nogen modstandscontrast (fx sand på kalk). Omvendt indeholder de seismiske data ikke direkte litologisk information som så kommer fra de elektriske/elektromagnetiske data.

MRS-metoden (Magnetic Resonance Sounding) er fornylig blevet afprøvet i Danmark (GeofysikSamarbejdet 2004b). Metodens styrke er dens evne til direkte at måle på vandindholdet i jorden. Problemet med metoden er, at det tager lang tid at foretage målinger med en tilstrækkelig datakvalitet. Det må dog forventes at udviklingen af elektroniske komponenter medfører at måletiden kan nedbringes væsentligt inden for en overskuelig årrække. MRS-metoden vil da være oplagt at indføre i en samtolkning med elektriske og elektromagnetiske data, da man derved kan få en kobling mellem den elektriske modstand og vandindholdet i en formation.

Med indsamlingen af flere fladedækkende datasæt er det næste naturlige tolkningsskridt at samtolke disse data på fladen og ikke kun langs profiler, som det gøres i dag. Matematisk er formuleringen den samme, men det er en hel del vanskeligere og mere krævende at håndtere en fladedækkende tolkning end profilorienterede tolkninger.

Online tolkning og adaptiv målestrategi

Udviklingen inden for elektroniske komponenter og computerkraft medfører at vi meget snart vil se tolkning af data samtidig med indsamling (online-tolkning) af snart sagt alle datatyper. Online-tolkning af SkyTEM data er allerede under udvikling. Fordelen ved online-tolkning er åbenlys; ved at få præsenteret en tolkning mens data måles kan dataindsamlingen koncentreres omkring de områder hvor modellerne ser mest interessante ud. Desuden vil det være muligt, at overføre data via internettet, således at feltfolket kan modtage løbende korrektioner omkring

dataindsamlingen fra kolleger, der sidder hjemme på kontoret.

Det vil dog være muligt ikke alene at foretage en tolkning af data online, men også at øge kvaliteten af de indsamlede data ved at ændre på centrale indsamlingsparametre. Det kunne fx være at ændre på den udsendte bølgeform ved TEM-udstyret eller ændre i protokollerne, der styrer indsamlingen af geoelektriske multi-elektrode-data (MEP), så dataindsamlingen er optimal for netop de geologiske formationer, der er på det givne sted. Selve processeringen af data vil også blive integreret med den information, der kan hentes fra fordelingen af data i rummet.

Datahåndtering og visualisering

Som nævnt har udviklingen medført, at der nu indsamles data med kontinuerte systemer, med høj grad af fladedækning. Kontinuerte systemer indsamler data kontinuert i modsætning til tidligere hvor man optog data på een lokalitet hvorefter man flyttede sig til en ny lokalitet og foretog en ny måling. De kontinuerte systemer indsamler derfor store datamængder og det har afstedkommet et øget behov for standardisering af dataformater og datasikring, så data er tilgængelige også om mange år. Til det formål er GERDA-databasen blevet oprettet. GERDA-databasen håndteres af Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) og de fleste geofysiske data indberettes hertil. I GERDA findes al rele-

vant information med hensyn til data, dataindsamlingen og de tolkede modeller. I og med at alle data nu findes i GERDA fungerer den også som et fælles udvekslingsformat hvorpå forskellige visualiserings- og tolkningsværktøjer er bygget.

Med den forøgede datatæthed der er introduceret med de kontinuerte metoder, er der også opstået et behov for forbedrede værktøjer til visualisering af data og modeller. Udviklingen går imod præsentation og tolkning af data ved hjælp af GIS-værktøjer, hvor man håndterer mange forskellige datatyper samtidigt. Endelig er der også mulighed for rumlige præsentationer af data for dermed at forbedre den visuelle vurdering. Teknikken er veludviklet inden for seismisk tolkning, men tendensen går samme vej også for andre datatyper f.eks. ved hjælp af programmerne GeoStudio og Workbenchen.

Referencer

- Auken, E., Jørgensen, F. & Sørensen, K.I. 2003: Large-scale TEM investigation for groundwater. *Exploration Geophysics* 33, 188–194.
- GeoFysikSamarbejdet 2004a: Kombineret LCI-tolkning af MEP og TEM data - Koncept og tolkningsresultater, 20 pp. Århus: GeofysikSamarbejdet, Geologisk Institut.
- GeoFysikSamarbejdet 2004b: Magnetic resonance sounding in county of Northern Jutland - Results and evaluation, 100 pp. Århus: GeofysikSamarbejdet, Geologisk Institut.
- Sørensen, K.I. & Auken, E. 2004: SkyTEM - A new high-resolution helicopter transient electromagnetic system. *Exploration Geophysics* 35, 191–199.