

Nyt tilbud til fysik- og naturgeografiundervisningen

Hanne Krøyer og Jesper Munk Jensen, Grenaa Gymnasium

En ny undervisningspakke med udstyr til feltarbejde inden for geofysik er nu udviklet og ligger klar til udlån. Undervisningspakken indeholder udstyr til feltøvelser i seismik og geoelektriske metoder, og kan suppleres med udstyr til jordbundsanalyser. Undervisningspakken er blevet til i samarbejde mellem lærere fra Grenaa Gymnasium, Viden Djurs HTX, Paderup Gymnasium, Geologisk Institut, Aarhus Universitet og med støtte fra Region Midtjylland.

Ideen til undervisningspakken udsprang af et ønske om at anvende geofysiske undersøgelsesmetoder i undervisningen i fysik og naturgeografi, så eleverne kunne opleve undersøgelsesmetoder, der i grundprincip er magen til de geofysiske undersøgelsesmetoder, der anvendes professionelt i fx kortlægningen af Danmarks grundvandsreserver eller i olieeftersforskning. Desuden giver dette udstyr nye eksperimentelle muligheder i forhold til undervisningen i bølger og elektricitet.

Pilotprojekt

I det tidlige forår 2008 blev et pilotprojekt sat i værk som et samarbejde mellem Grenaa Gymnasium og Aarhus



Figur 1
Hammerseismik-udstyr i felten.

Universitet. Pilotprojektet omhandlede råstofeftersforskning og bestod i et samarbejde mellem et fysik B og et naturgeografi B hold, der sammen blev sendt på et to-dages feltarbejde i Mønsted nær Viborg. I dette pilotprojekt benyttede vi professionelt udstyr stillet til rådighed af Aarhus Universitet.

En vigtig grundpræmis for hele projektet har været at udvikle udstyr og vejledninger, der kan anvendes af et bredt udsnit af elever. Derfor var de to hold, der deltog i pilotprojektet, begge tvungne naturvidenskabelige B-niveauer, dvs. alle elever kom fra sproglige, musiske og

samfundsfaglige studieretninger, med andre ord ikke de mest naturvidenskabeligt mind'ede elever.

Under forberedelsen hjemme på gymnasiet fik de to hold hver sin opgave, fysikeleverne skulle være "teknikere" og naturgeografieleverne skulle være "tolkere". Forud for feltarbejdet blev fysikholdet undervist i selve undersøgelsesmetoderne. De havde hjemmefra øvet sig i at "processere" data, og deres opgave under feltarbejdet var at omregne rådata til resultater, som naturgeografieleverne kunne omsætte til en model af jordlagernes opbygning. Naturgeografieleverne var derfor blevet undervist i tolkningen af seismiske og geoelektriske data forud for feltarbejdet. Desuden fik naturgeografieleverne til opgave at stå for jordbundsanalysen, der fungerer som verifikation af den opstillede model.

Under selve feltarbejdet blev eleverne sat sammen i grupper på tværs af holdene, altså med fysik- og naturgeografielever på samme hold.

Alle sejl var sat til, 20 fysik- og 11 naturgeografielever drog af sted en kold dag i begyn-



Figur 2
Geoelektriske målinger i felten.



Figur 3
Den seismiske udstyrspakke til udlån.



Figur 4
En af de geoelektriske udstyrskufferter.

delsen af marts efter skoletid med kurs mod Aarhus Universitets feltstation i Mønsted. På feltstationen mødtes vi med Nicklas Nyboe, Ph.d.-studerende i geofysik ved Aarhus Universitet, der kom med universitetets undervisningsudstyr til hammer-seismik og geoelektrik, nærmere bestemt Wenner-profilering. Efter ankomsten blev eleverne sat til at øve sig i at samle og checke det udstyr, de skulle i felten med næste morgen. Næste morgen var der afgang til de lokaliteter, der skulle undersøges for mulige råstoffer og/eller muligheden for at bore efter grundvand. Feltarbejdet foregik over 1½ dag efter rotationsprincippet, således at alle grupper fik prøvet at lave en seismisk undersøgelse (figur 1), geoelektriske målinger med Wenner-udstyr (elektrodeafstand 2m, 5m og 10m) (figur 2), samt indsamlet jordprøver i forskellige dybder til en jordbundsanalyse og test af de enkelte jordlags specifikke resistivitet med 1 cm Wenner-udstyr.

Hvad kom der så ud af alt dette? Eleverne fik en stor oplevelse, og blev så grebet af projektet, at de faktisk af egen fri vilje fortsatte deres undersøgelser og beregninger hjemme på feltstationen til kl. 22.30. Desuden fik eleverne i dette pilotprojekt en oplevelse af at være ekspert på hver deres felt, en situation der minder meget om virkelighedens arbejdsmarked. Mest af alt fik eleverne en succesoplevelse med naturvidenskab, et fagområde netop denne elevgruppe ikke altid har et lige godt forhold til. Som lærere blev vi bekræftet

i, at geofysik – som havde begejstret os selv i løbet af vores studietid – ikke behøver at være forbeholdt meget naturvidenskabeligt mind'ede elever, men kan anvendes bredt.

Geoinstrumentbanken

På denne baggrund udvidede vi samarbejdet til at omfatte Viden Djurs HTX og Paderup Gymnasium, og med finansiering fra Region Midtjylland er der nu blevet udviklet et 12-kanalers hammer-seismik udstyr (figur 3) samt 4 udstyrskufferter til geoelektriske målinger (figur 4).

For at sikre muligheden for sammenligning med litteratur er kasser med sigter, svarende til professionelle geoteknikeres kornstørrelsesinddeling, i skrivende stund ved at blive færdiggjort og forventes klar inden udgangen af dette skoleår. Med til alle udstyrskasser følger lærer- og elevvejledninger, forslag til relevant litteratur samt opgaver til træning af beregningsmetoder.

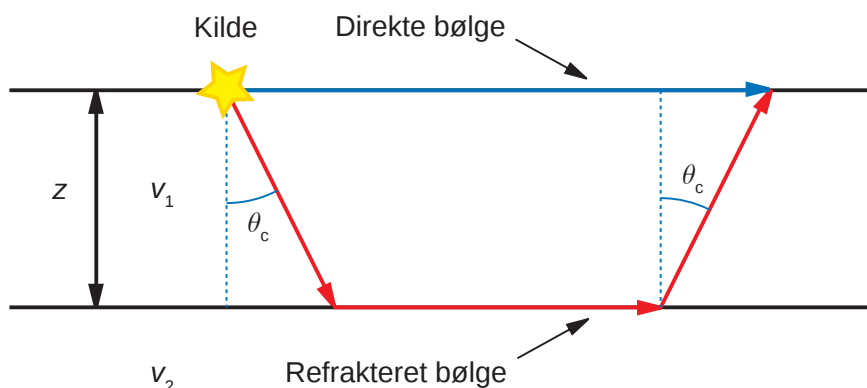
Kasserne er til udlån for alle interesserede, og man kan låne hele den samle-

de pakke eller de dele, der har interesse. Lånet arrangeres gennem henvendelse til Geologisk Institut, Aarhus Universitet, p.t. Lone Davidsen, lone@geo.au.dk, tlf. 8942 9404. Selve lånet er gratis, dog skal man selv betale fragtomkostningerne. Bor man i nærheden, kan man uden problemer selv afhente udstyret på Geologisk Institut.

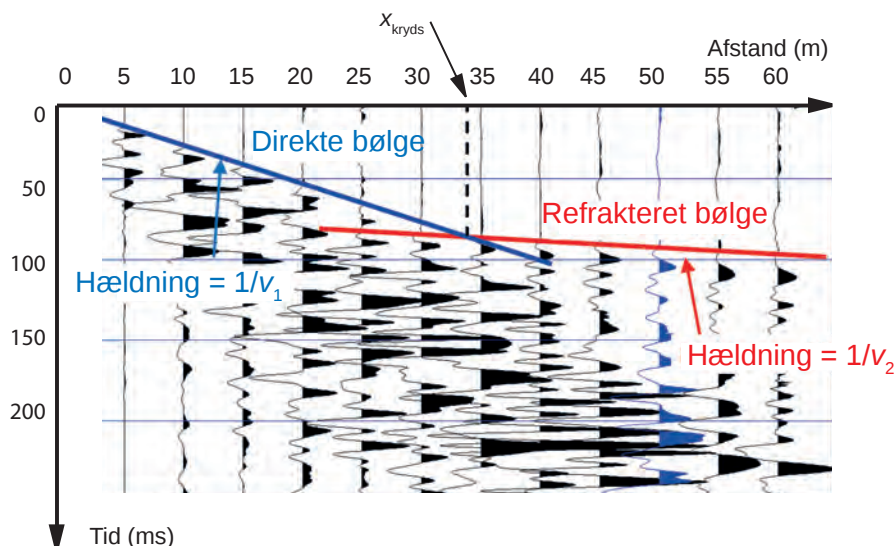
Nærmere oplysninger om udstyrets tekniske detaljer, reservationskalender, og digitale vejledninger, fotos og vejledningsvideoer findes på geoinstrumentbank.dk.

Seismiske undersøgelser

Et eksempel på undersøgelser, der kan foretages med udstyret, er at bestemme dybden til dybereliggende lag i undergrunden. Figur 5 viser en typisk situation, hvor der er to lag med bølgehastighederne v_1 og v_2 , dybden til lag 2 er z , og der udsendes seismiske bølger fra en lydkilde, som i vores tilfælde er en stor hammer. Ud fra de først ankomne bølger (P -bølgerne) kan man se både en direkte bølge, der løber ved overfladen, og en såkaldt refrakteret bølge, der løber i den øverste del af lag 2. Man kan vise, at løbetiden i afstanden x fra kilden for henholdsvis den direkte og den refrak-



Figur 5
Bølgeudbredelse i tolags-model. Her ses den direkte og den refrakterede bølge. θ_c er den kritiske vinkel.



Figur 7

Løbetidskurver for første ankomster af den direkte og refrakterede bølge. Geofonafstand og offset er 5 meter og der er 50 ms mellem hver markering på tidsaksen.

terede bølge er:

$$\tau_{\text{direkte}} = \frac{1}{v_1} \cdot x$$

$$\tau_{\text{refrakteret}} = \frac{1}{v_2} \cdot x + \frac{2 \cdot z}{v_1} \cdot \sqrt{1 - \frac{v_1^2}{v_2^2}}$$

Ud fra disse ligninger kan man se, at hvis man plotter ankomsttiderne som funktion af afstand til kilden, vil man få to rette linier (figur 6). Ud fra hældningerne kan man finde hastighederne, og ud fra den såkaldte intercepttid (skæringen med y-aksen) kan dybden derefter bestemmes. I stedet for intercepttiden bruges ofte krydsningsafstanden (x_{kryds}), hvor den refrakterede bølger begynder at ankomme før den direkte (figur 6). Ved at løse ligningen $\tau_{\text{direkte}} = \tau_{\text{refrakteret}}$ får man dybden

$$z = \frac{x_{\text{kryds}}}{2} \sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}}$$

Figur 7 viser data optaget i forbindelse med pilotprojektet. Figurer af denne type kan med den seismiske instrumentpakke udprintes i felten på medfølgende batteridrevet blækprinter. Linjestykker tilpasses til den direkte og den refrakterede bølge, og med de ovenstående formler får man, at hastigheden i første lag er ca. 400 m/s og hastigheden i andet lag ca. 2000 m/s samt at dybden til lag 2 er ca. 13 m. Der er her tale om et kridtlag i nærheden af Mønsted Kalkmine, som i øvrigt også er et besøg værd. Grundvandsspejlet ytrer sig ofte på samme måde, mens grænser mellem ler og sand typisk ikke fremgår af undersøgelser af lydhastigheden.

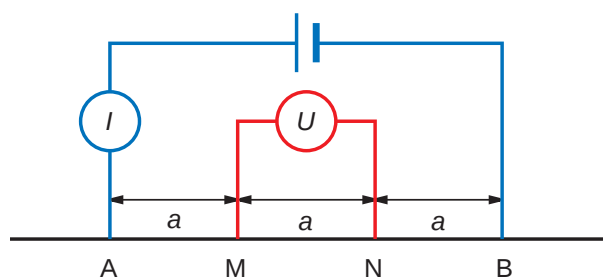
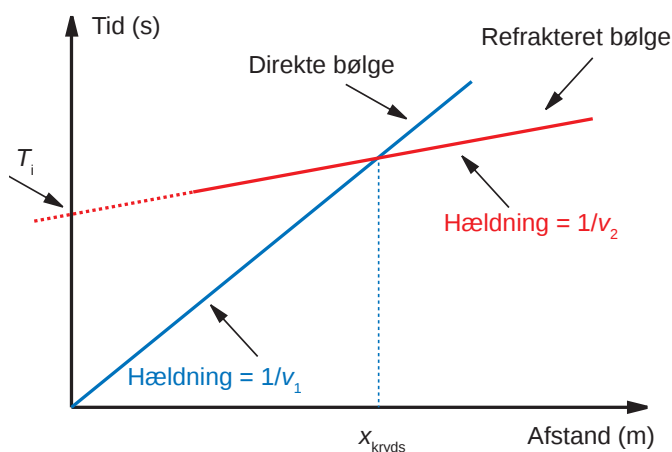
Geoelektriske undersøgelser

Når man arbejder med geoelektriske undersøgelser af jorden undersøger man undergrundens elektriske resistivitet, dvs. evne til at lede elektrisk strøm. Denne afhænger af tilstedeværelsen af vand, samt opløste ioner og mængden af lerminerale. Grundvandsspejlet repræsenterer derfor en næsten vandret laggrænse, og lag af ler og sand/grus vil også kunne lokaliseres vha. geoelektriske målinger. Dette har gjort, at metoden er meget brugt i Danmark til at kortlægge drikkevandsressourcer og vurdere deres sårbarhed over for forureningskilder ved jordoverfladen.

Materialernes resistivitet kan bestemmes ud fra strømstyrke I og spændingsfald U som

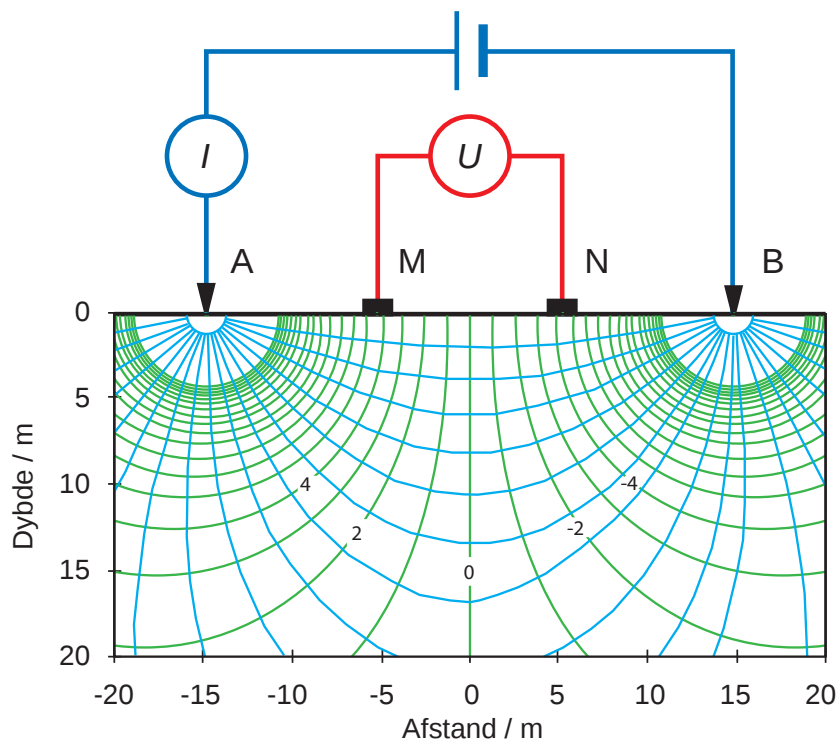
Figur 6

Løbetidsdiagram der viser den direkte og den refrakterede bølge samt intercepttiden T_i og krydsningsafstanden x_{kryds} .



Figur 8

Wenneropstilling til geoelektriske målinger.



Figur 9
Strømlinier (blå) og ækvipotentialeflader (grønne) for en homogen Jord. Strømmen løber fra strømelektrode A til strømelektrode B på figuren. Spændingsfaldet måles mellem potentialelektroderne M og N. Tallene på ækvipotentialefladerne angiver spændingsforskel i mV.

Kilde: Bo Holm Jacobsen, Aarhus Universitet.

$$\rho = K \cdot \frac{U}{I}$$

hvor K er en geometrisk faktor der afhænger af måleopstillingen. For en cylindrisk ledning er $K = A/L$, hvor L er længden og A tværsnitsarealet.

I geoelektriske undersøgelser bruges ofte en måleopstilling, der kaldes en Wenner-konfiguration og som er vist i figur 8. Strømmen ledes gennem de to strømelektroder (A og B), mens spændingsforskellen måles mellem potentialelektroderne (M og N). Elektroderne er placeret med en fast afstand a imellem sig. For et homogent halvrum får man med denne meget enkle elektrodeopstilling at

$$\rho = 2\pi a \cdot \frac{U}{I}$$

Figur 9 viser et strømbillede for en Wenner-opstilling, når Jorden betragtes som et homogent halvrum. For dette eksempel kan man se på figuren, at a er 10 m og U er ca. 8 mV. Hvis den udsendte strømstyrke er 10 mA giver dette en resistivitet på omkring 50 Ωm , hvilket er en typisk resistivitet for moræneler.

Såfremt undergrunden ikke er et homogent halvrum, er det ikke den sande resistivitet, men en tilsyneladende resistivitet, man måler. Denne afhænger af, hvilke lag, der er i undergrunden. Ved at øge elektrodeafstanden udstrækkes

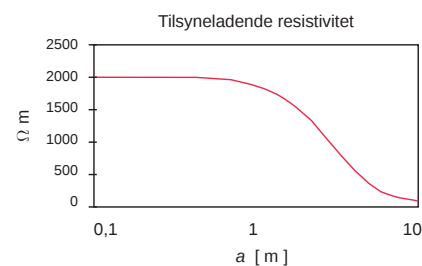
målingernes følsomhed til større dybde, og man kan således bestemme resistiviteten i forskellige lag. Figur 10 viser et eksempel på, hvordan den tilsyneladende resistivitet varierer ved måling på overfladen af en to-lags model.

I hver af de fire geoelektriske kufferter ligger udstyr til, at tre elevgrupper kan foretage undersøgelser med strømelektrodeafstande op til 30 m, dvs. $a = 10$ m (figur 9). Dette gør det muligt både at bestemme resistiviteter af materialeprøver samt gennemføre lokalisering af grundvandsspejlet og eventuelle ler/sand-grænser ned til dybder på 3 til 5 meter.

Hvis man har lyst til at komme hurtigt i gang, kan man selv lave en Wenner-opstilling med 4 søm, to multimeter og et 9V batteri. Det rækker fint op til elektrodeafstande på små brøkdeler af en meter. Ved elektrodeafstande i meterstørrelse er udstyrspakkens måleboks af afgørende betydning.

Kombination af seismik og geoelektrik

De to metoder egner sig fint til at bruges enkeltvis, men ved kombination kan man opnå uafhængig bestemmelse af dybde til grundvand, og man opnår at kunne bestemme, om et elektrisk ledende lag i dybet er et lerlag (ses kun geoelektrisk) eller er grundvandsspejlet (ses med begge metoder).



Figur 10
Tilsyneladende resistivitetskurve for en to-lags-model med et 2 meter tykt øverste lag, der har en resistivitet på 2000 Ωm og et nederste lag med en resistivitet på 100 Ωm .

Kurser

Der vil blive afholdt to kurser/workshops omkring brugen af udstyret og den bagved liggende teori og nærmere om, hvordan man vælger egnede udendørs lokaliteter og problemstillinger. Det ene afholdes torsdag den 22. september 2011 på Mønsted Feltstation og det andet tirsdag den 4. oktober 2011 på Grenaa Gymnasium. Deltagelse i disse kurser er gratis, og man kan tilmelde sig ved at kontakte Lone Davidsen, lone@geo.au.dk, tlf. 8942 9404.