

GEOFYSIKSAMARBEJDET

VARNA, OKTOBER 2002

**ØVELSESNOTER TIL KURSET
RETOLKNING AF TEM SONDERINGER**

INDHOLD

FORORD (1)

**DATA OG
MODELANALYSE (2)**

EMMA (2.1)	3
Om programmet (2.2)	4
EMMAs grundlæggende struktur (2.3)	4
Øvelse - Filtre (2.4).....	6
Øvelse - Ramper (2.5)	8

**TOLKNING AF TEM
DATA (3)**

Introduktion til SITEM (3.1)	10
Introduktion til Semdi (3.2).....	12
Øvelse - Kalibreringsparametre (3.3)	14
Øvelse - Processering/inversion (3.4).....	15

1 FORORD

De følgende øvelser indgår i kurset "Retolkning af TEM-sonderinger". Det aktuelle kursus og disse øvelser forudsætter, at deltagerne på forhånd har et rimeligt kendskab til behandling af transiente data.

Med 3 øvelser illustreres problemstillingerne, som indgår i arbejdet med retolkning af TEM-sonderinger.

Den første øvelse er baseret på et teoretisk studie af betydning af filtre og

ramper. De efterfølgende to øvelser er baseret på data fra kortlægninger, som dog er lettere modificeret med henblik på at tydeliggøre problemstillingerne.

Øvelserne er udarbejdet af Nikolaj Foged, Jens E. Danielsen, Esben Auken og Max Halkjær.

Århus, oktober 2002

2

DATA OG MODELANALYSE

I denne øvelse vil vi demonstrere effekter af lavpasfiltre og ramper i TEM målinger. Dette gøres ved at anvende programmet EMMA. Hvis du

på kender EMMA på forhånd kan du springe direkte til "Øvelse - filtre" på side 6

2.1

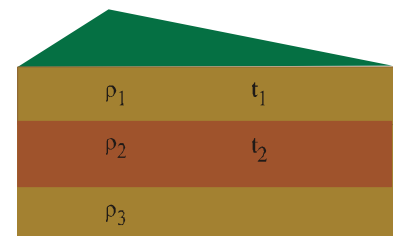
EMMA

EMMA (ElectroMagnetic Model Analysis) er et program til analyse af geoelektriske og elektromagnetiske data og modeller. Med EMMA er det muligt at simulere, hvad der ville måles med et bestemt instrument i en given målekonfiguration over en kendt geologisk model. Derudover kan EMMA estimere, hvor godt en lagmodel opløses, såfremt usikkerheden på måledata kan estimeres.

En geofysisk model er en oversættelse af egenskaberne af de geologiske formationer til geofysiske parametre som f.eks. elektrisk modstand. I EMMA antages det, at den geofysiske model er én dimensional (1-D), som vist i Figur 2.1. Hvert lag i modellen har en elektrisk modstand (ρ) og en tykkelse (t). Laget er homogent og isotropt. Med homogent menes, at den elektriske modstand overalt i formationen er den samme, men ikke nødvendigvis at den har samme størrelse i alle retninger. Med isotrop menes, at modstanden er ens i alle retninger, men ikke at den er ens overalt i formationen. Tilsammen betyder homogen og isotrop, at modstanden i formationen er ens overalt og i alle retninger.

EMMA kan lave modelanalyser af de forskellige datatyper hver for sig, eller man kan lave analyser, hvor flere forskellige datatyper eller datasæt er

anvendt på samme tid. Det sidste er det, der på engelsk kaldes "joint analysis" eller "joint inversion". Ud over at kunne lave modelanalyser med mere end ét datasæt kan EMMA også lave analyser, hvor mange én-dimensionale modeller er koblet sammen med laterale bånd. Ved at koble modellerne sammen opnås en pseudo to-dimensionel (2-D) model.



Figur 2.1 1-D model

Med EMMA er det forsøgt at give selv ikke-eksperter adgang til at kunne udføre komplicerede analyser af f.eks. hydrogeologiske problemstillinger. EMMA er dermed et arbejdsredskab, der kan anvendes, inden en undersøgelse endeligt designes. Endvidere er EMMA et redskab, der kan bruges til at få en intuitiv forståelse af, hvordan de elektrogeofysiske metoder virker, og hvordan de evner at opløse en bestemt geofysisk model.

2.2 OM PROGRAMMET

EMMA er en grafisk brugerflade, der kan afvikles under Windows (helst NT) på en kraftig computer. Det program, der udfører de egentlige beregninger af modelrespons og modelanalyser, er programmet "em1dinv". Em1dinv er udviklet delvist i USA, delvist på DTU, ved Aarhus Universitet og i GeoFysikSamarbejdet. Det skal understreges, at brugeren af EMMA på ingen måde skal kende til opbygningen eller brugen af em1dinv for at kunne anvende og få fornøjelse af EMMA.

De algoritmer, der anvendes i em1dinv, og som der er adgang til via EMMA, er nogle af de mest avancerede, der findes. Nogle af algoritmerne er baseret på matematiske løsninger, der er udviklet gennem de sidste 30 år, mens andre er udviklet i forbindelse med den egenforskning, der foretages ved Geofysisk Afdeling,

Aarhus Universitet og i GeoFysikSamarbejdet.

EMMA er freeware og kan dermed benyttes af alle. Programmet i sin helhed eller dele heraf må ikke sælges.

EMMA kan således hentes kvit og frit på GeoFysikSamarbejdets hjemmeside, "www.GeoFysikSamarbejdet.au.dk" eller "www.gfs.au.dk". Den eneste betingelse er, at programmet registreres. GeoFysikSamarbejdet forlanger denne registrering for at kunne følge programmets udbredelse, holde brugere opdateret med den nyeste version samt informere om nyudviklinger.

EMMA er stadig relativt nyudviklet, og det er ikke utænkeligt, at man støder på fejl eller uhensigtsmæssigheder i sin daglige brug af programmet. Disse bedes indberettes til "bugreport@geo.au.dk".

2.3 EMMAS GRUNDLÆGGENDE STRUKTUR

I det følgende gennemgås kort den grundlæggende struktur og organisering af EMMA.

EMMA er organiseret omkring et Workspace. I dette workspace gemmes 1) alle opsætningsparametre, der anvendes for at kunne fastlægge en bestemt målekonfiguration og model, 2) alle respons og modelanalyseberegninger. Workspacet er grundlæggende en database, der består af mere end 20 relaterede tabeller.

Adgangen til data i workspace't er organiseret via guider, som leder brugeren igennem de forskellige trin, der er nødvendige for at kunne visualisere og analysere på den ønskede måde. Derudover findes der modeltemplates, der definerer standard geofysiske modeller sammen med de mest almindeligt anvendte målekonfigura-

tioner. Enhver modelkørsel er baseret på en af disse templates, og brugeren kan frit oprette nye templates, der passer til specielle behov.

ORGANISERING AF EMMA

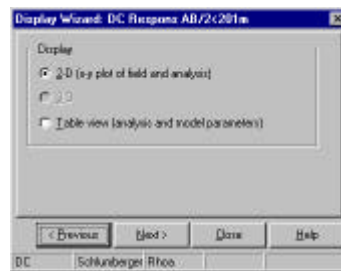
Organiseringen af EMMA er bedst beskrevet ved kort at gennemgå menu-systemet samt de vigtigste vinduer. Nogle af menu-punkterne er selvforklarende, mens andre kræver nogen forklaring.

Plot og modelrespons hentes fra workspace't via en guide (Display Wizard), hvor brugeren angiver, hvilke parametre (f.eks. Rho som funktion af tid for TEM plot) man ønsker at plote på hvilke akser. Dette system er søgt gjort så fleksibelt, at alle parametre i princippet kan plottes mod alle parametre. I plotvinduerne

GEOFYSIKSAMARBEJDET

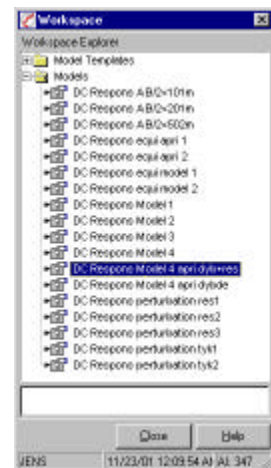
kan kurver kopieres fra et vindue til et andet, og der kan f.eks. beregnes relativ forskel imellem to kurver.

menuerne "Close Workspace" og "Remove Workspace".



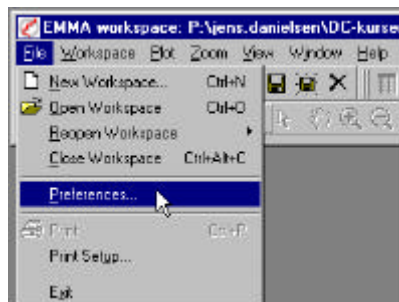
Display Wizard

For at kunne bruge EMMA skal der oprettes eller genåbnes et workspace (Open Workspace eller Reopen Workspace). Dette gøres i menuen File. Når et workspace åbnes, skal brugeren indtaste et brugernavn samt angive, fra hvilken folder workspace't skal hentes, eller i hvilken det skal placeres.



Vinduet "Workspace Manager"

Når et workspace først er åbnet, er der adgang til alle menupunkter i "Workspace"-menuen. Denne menu bruges til at vedligeholde og navigere rundt i workspacet. De vigtigste menupunkter er "Workspace Manager" og "Save Model".



Menuen "File"

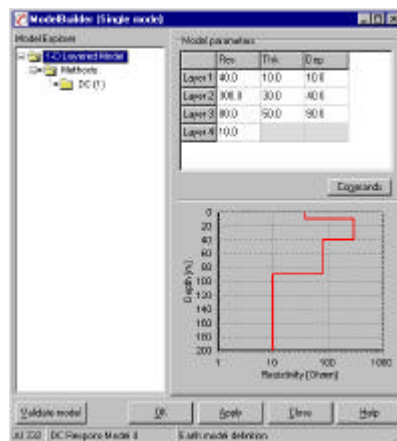
I "File"-menuen findes foruden "New Workspace" og "Open Workspace"

"Workspace Manager" viser en liste over alle de modeller, for hvilke der allerede er beregnet responser og analyser, mens "Save Model" giver mulighed for at gemme en model permanent i workspacet. Dette skal forstås på den måde, at når en beregning foretages, gemmes resultatet som "Unsaved". De modeller, der ikke er gemt, kan slettes, når workspacet lukkes!

På "Workspace Manager"-en kan der laves plot eller defineres nye modelkonfigurationer. Plot eller analyser opbygges ved at markere en model og derefter trykke på "Workspace/Display Wizard". De parametre, der er brugt til at definere den valgte model i modeloversigten, fås frem ved at markere en model og derefter trykke på "Workspace/Model Builder".

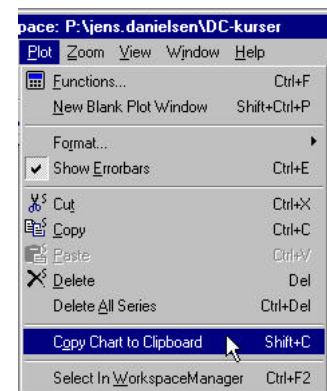
"Model Builder" bruges til at definere den geofysiske model samt hvilke geofysiske metoder, der anvendes. Dette vindue indeholder mange forskellige parametre. I langt de fleste tilfælde skal der dog kun ændres på ganske få parametre, idet de fleste er prædefinerede.

Sender-modtager konfigurationer kan visualiseres i et 3-dimensionalt plot. vindue eller i en liste med koordinater.



Model Builder

Plot-menuen er den sidste menu, der skal omtales. Denne menu bruges til at formatere modelresponsplot. Disse plots kan printes eller kopieres til andre programmer. På Plot-menuen er der også facilitet til f.eks at beregne relative forskelle mellem to modelresponsers samt kopiere/flytte kurver fra et plotvindue til et andet.



Menuen plot

2.4 ØVELSE - FILTRE

I et TEM system indgår forskellige filtre. F.eks. er måling i tidsvinduer en form for filter. Også modtagerenspolen har en elektronisk begrænsning for, hvilke frekvenser der kan optages - såkaldt båndbegrænsning.

I denne øvelse skal vi se på konsekvenserne af båndbegrænsning i TEM-instrumenter. I øvelsen anvendes workspacet "k:\øvelse filtre og ramper". Vælg den model i Workspace Manageren, der hedder "Filters". Denne model er meget simpel, nemlig et 100 Ωm halvrum (som angivet i Tabel 2.1). Start med at udregne responset for halvrummet uden noget filter. Gå ind på "1d layered model\Methods\TDEM 1\Transform\Channel 1\Filters" i Model Builder'en og slå "Apply low pass filters" fra. I første omgang vil vi kigge på responser i dB/dt. Gå ind i Model

Lag	Rhoa [Ωm]	Tykkelse [m]
1	100	-

Tabel 2.1 Modellen som anvendes i undersøgelsen af betydningen af filtre er et homogent halvrum med en resistivitet på 100 Ωm.

Builder'en under "1D Layered Model\Methods\TDEM1" og slå "Convert to rhoa" fra.

Vælg "OK" og modelresponsen beregnes.

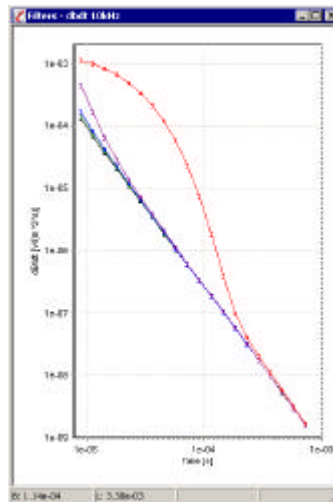
Modelresponsen plottes ved at trykke "Next-Next-Next-Finish-OK" gennem "Display Wizard". Beregn herefter modelresponsen med afskæringsfrekvenserne (båndbegrænsninger), der er angivet i Tabel 2.2. Dette gøres ved hele tiden at bruge Filter-modellen som skabelon og ændre afskæ-

ringsfrekvensen. For at kunne skelne

Modelnavn	Afskæringsfrekvens [Hz]
270 kHz	270e3
450 kHz	450e3
100 kHz	100e3
10 kHz	10e3

Tabel 2.2 Forskellige afskæringsfrekvenser. Modelnavn angiver forslag til, hvad modellerne kan gemmes under i workspace. Alle filterne er 1. ordensfiltre.

kurverne for de fire afskæringsfrekvenser skiftes kurvefarven, hver gang responset fra en ny frekvens er beregnet. Det gør du ved at markere kurven og gå ind i "Format series" i højrekliksmenuen.



Plot af responserne for et 100 Ohm halvrum med filtre som i tabel 2.2

Læg mærke til hvordan filterresponset bliver større, når afskæringsfrekvensen bliver lavere, og at effekten af filteret bliver lavere til senere tider. Hvad er den fysiske forklaring på dette ?

Et filter på 270 kHz svarer til filteret i modtageren, dvs. at den del af nyttesignalet og støjen med frekvenser

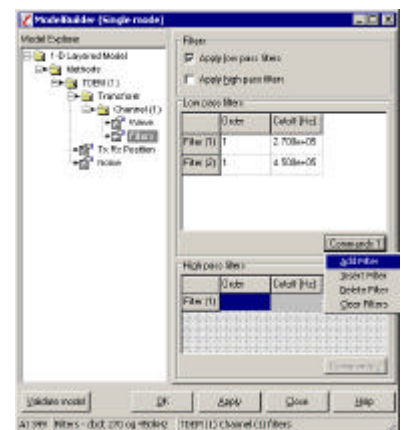
over 270 kHz bliver dæmpet. Et 450 kHz filter svarer til filteret i en modtagerspole fra Groundwater Instruments.

Vi vil nu udregne hvor stor en forskel i respons det giver, når man undlader de to ovennævnte filtre. Det gør du ved at markere den ene af kurverne, f.eks. 270 kHz, sammen med modelresponset uden filter, gå op under "Functions" i Plot-menuen og divider de to responser med hinanden. Gør det samme for 450 kHz. Hvor stor en forskel giver det? Til hvilken tid er forskellen faldet til under 1 %?

Udregn igen responser for halvrummet uden filter og for et 270 kHz filter, hvor responserne konverteres til Rho_a. I dette plot er det nemmere at få overblik over filterets betydning på data.

Prøv at ændre resistiviteten af halvrummet til 10 Ohm og udregn et nyt respons uden filter og et respons med et filter på 270 kHz. Divider de to responser med hinanden for at finde den relative forskel. Forskellen viser sig at være lidt mindre end for et 100 Ohm halvrum. Hvorfor er den det?

Til sidst: Gå tilbage til et 100 Ohm halvrum. Udregn et repons hvor både 270 og 450 kHz filteret er inkluderet.



Model Builder

Udregn den relative forskel mellem dette respons og responset hvor filtrene ikke er medtaget.

Vi har hermed demonstreret at filterne har betydning for responset. Det er

således vigtigt, at man tager højde for de filtre der ligger i modtageren og modtagerspølen, når man tolker sine data.

2.5 ØVELSE - RAMPER

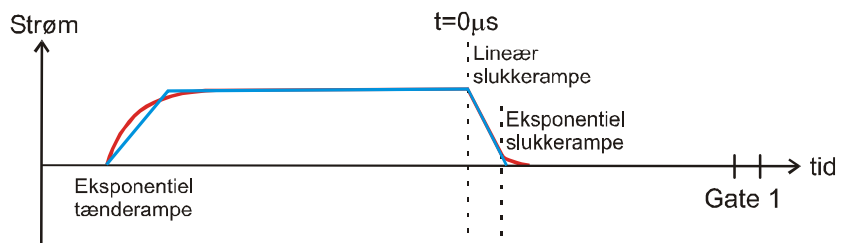
I denne øvelse undersøges betydningen af senderens tænde- og slukkeforløb (bølgeform) på TEM data.

Bølgeformen i et TEM-instrument er skitseret i Figur 2.2. Strømmen stiger eksponentielt, når der tændes, indtil den når sin maksimale amplitude. Strømmen er konstant indtil strømmen slukkes. Den største del af strømmen slukkes lineært (avelancen), men den sidste del slukkes eksponentielt. Figuren er ikke i skala, således kan det tage betydelig længere tid at tænde for strømmen end at slukke den. I Emma (og SEMDI) approksimeres denne bølgeform med en stykvis, lineær funktion. I princippet kan man anvende så mange liniestykker, man har lyst til i sin approksimation, og på den måde få en meget nøjagtig gengivelse af sender-bølgeformen. I ethvert praktisk henseende er det dog tilstrækkeligt at tilnærme en PROTEM 47 bølgeform med tre liniestykker - om ikke andet fordi man ikke kender den bedre.

Tiden "0" er sat til det tidspunkt, hvor strømmen begynder at slukke. Dette er normalt et veldefineret tidspunkt. Kigger man på processerede datafiler ældre end 2000, er det sandsynligt, at tiden "0" er defineret som det tidspunkt, hvor strømmen er slukket. Tolkes sådanne datafiler i et program, med udgangspunkt i den gældende konvention, introduceres naturligvis en fejl i tidsforskydningen.

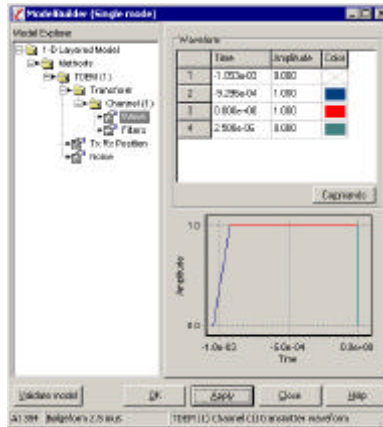
Åben modelskabelonen "Bølgeform" i Model Builderen. Gå til siden "Channel 1 \ Wave". Bølgeformen defineres ved noderne i den stykvis lineære og kontinuerte funktion. Hver node angives som et tidspunkt og en amplitude. Amplituden er relativ, dvs. man angiver hvor stor amplituden er i forhold til den maksimale amplitude (den maksimale amplitude = 1).

I denne øvelse er slukkerampen defineret sådan, at strømmen tændes ved -1.053 millisekunder og slukkes igen ved 0.0 s. Det tager 123 mikrosekunder



Figur 2.2 Principskitse af bølgeformen i et TEM instrument. Den røde kurve viser det teoretiske forløb af strømmen i senderspølen. Den blå kurve er en stykvis lineær tilnærning som den kan modelleres i Emma og SEMDI.

GEOFYSIKSAMARBEJDET

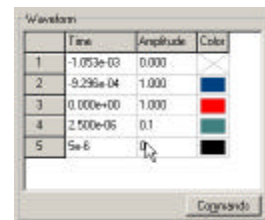


Model Builder - bølgeform

der at tænde for strømmen, og det tager 2.5 mikrosekunder at slukke den. Dette svarer nogenlunde til bølgeformen for en Geonics PROTEM 47 sender.

Beregn responset i dB/dt for modellen og plot responset i et nyt vindue. Lav et nyt respons, hvor turn-off tiden (Rampe 4) under Wave ændres til 5 mikrosekunder. Plot dette i samme vindue som før. Hvad gør rampens længde ved responset? Tænk på, at denne effekt optræder, selvom der stadig er cirka 3.3 mikrosekund til, at selve målingen starter. Plot evt. de samme kurver i rhoa. Det giver en mere dramatisk visualisering af fænomenet.

Gå tilbage til modelskabelonen "Bølgeform" og tilføj en femte node. Ændre amplituden af 4. node til "0.1", og lad 5. node have amplituden "0" i 5 mikrosekunder. Udregn et respons for denne model, og plot den i samme vindue som de øvrige. Hvilken af dem ligger denne model tættest på?



Stykvis linier bølgeform

Som tommelfingerregel kan man regne med, at slukkeforløbets energimidtpunkt bestemmer, hvor kraftigt bølgeformen influerer på modelresponset. Det tredje respons slukker ligeså sent som det andet, men ligger alligevel tættest på det første. Dette skyldes, at 9/10 af strømmen er slukket efter 2.5 mikrosekund, hvorefter de næste 2.5 mikrosekund kun slukker 1/10 af strømmen.

På samme måde som med filtre, indgår bølgeformen i tolkningen af TEM data. Ved at modellere bølgeformen opnår man et mere korrekt respons og dermed større præcision i sin tolkning.

3 TOLKNING AF TEM DATA

I de følge to øvelser vil vi dels finde kalibreringsparametre ud fra kalibreringssonderinger, dels processere og retolke TEM sonderinger med de fundne kalibreringsparametre. Til

dette formål benyttes softwarepakken SiTEM/SEMDI. Hvis du har kendskab til SiTEM/SEMDI kan du springe direkte til "Øvelse - kalibreringsparametre" på side 14.

3.1 INTRODUKTION TIL SITEM

Programmet SiTEM (Single site TEM data processing) benyttes til processering af transiente elektromagnetiske data. SiTEM er bygget op omkring en Windows brugerflade, og udnytter alle fordele herfra.



Programmet kan foretage støjprocessering med to forskellige støjmodeller, hvilket er nyt i forhold til andre processeringsprogrammer.

Såfremt der ved hver sondering er målt støj (normal procedure), kan data tilskrives en usikkerhed på baggrund af disse. Usikkerheden, der bliver påført data, findes ud fra signal/støjforholdet og vil derfor altid blive større i det sene kurveforløb end i det tidlige.

Med SiTEM er det formålet at gøre det muligt for alle, med enkelte klik med musen, at få et godt og hurtigt overblik over data. Sammen med SEMDI udgør SiTEM en homogen tolkningspakke for processering og tolkning af TEM data.

Mens data behandles, er det muligt at have flere plotvinduer åbne på samme tid. Hvert plotvindue viser data på hver sin måde, enten med de enkelte segmenter eller med normaliserede kurver. Herved bliver faldgrupper som koblede data eller enkelte dårlige segmenter lette at identificere.

Musen benyttes til at markere data, som enten skal slettes eller skal tilskrives ekstra usikkerhed. Man er på den måde fri for underlige kommandoer og indviklede genvejtaster.

Støjprocesseringen er et nyttigt redskab, der vægter usikre data ned, så de derved ikke får så megen indflydelse på den senere inversion.

RI no	Note	N/B	Exec	Curr	Gain
1	AG01 Noise	25.0	70.00	6	
2	AG01 Noise	25.0	70.00	6	
3	AG01 Noise	25.0	70.00	6	
4	AG01 Noise	25.0	70.00	6	
5	AG01 Noise	25.0	70.00	7	
6	AG01 Noise	25.0	70.00	7	
7	AG01 Data	25.0	77.90	6	
8	AG01 Data	25.0	76.20	6	
9	AG01 Data	25.0	77.20	6	
10	AG01 Data	25.0	76.70	6	
11	AG01 Data	25.0	76.40	6	
12	AG01 Data	25.0	76.30	6	
13	AG01 Data	25.0	76.10	6	
14	AG01 Data	25.0	75.90	6	
15	AG01 Data	25.0	75.70	6	
16	AG01 Data	25.0	75.70	6	
17	AG01 Data	237.5	2.40	2	
18	AG01 Data	237.5	2.40	2	
19	AG01 Data	62.5	2.40	7	
20	AG02 Noise	25.0	70.00	5	
21	AG02 Noise	25.0	70.00	5	
22	AG02 Noise	25.0	70.00	6	
23	AG02 Noise	25.0	70.00	6	
24	AG02 Noise	25.0	70.00	7	
25	AG02 Noise	25.0	70.00	7	
26	AG02 Data	25.0	70.00	6	
27	AG02 Data	25.0	70.00	6	
28	AG02 Data	25.0	70.00	6	

TEM sonderingerne indlæst i en SiTEM database.

Hvis der er målt mange repetitioner på hver repetitionsfrekvens, kan man på baggrund af spredningen af disse tilskrive hvert enkelt data en individuel usikkerhed. Dvs. usikkerhed tilskrives i forhold til de aktuelle målte data. Denne form for usikkerhedsestimater kan med fordel benyttes ved data optaget med den digitale PROTEM 47, hvor det er muligt at definere korte integrationstider og derved øge antallet af records.

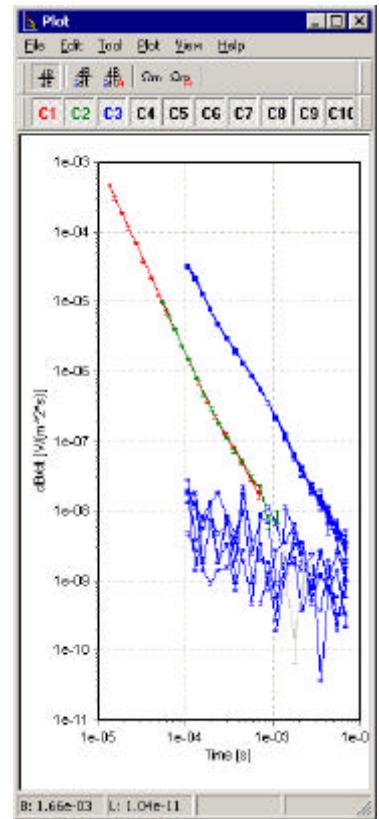
For de enkelte records kan man ændre parametre som strømsætning, tidsforskydning, integrationstid mm. Herved kan der rettes en evt. indtastningsfejl, sket i felten.

Det er muligt at kalibrere hver enkelt gate for hver enkel repetitionsfrekvens. Herved kan data korrigeres for eventuelle systematiske fejl. Erfaringer har vist at, standardkalibreringen, der kan foretages på den analoge Protem 47, kan benyttes til at beregne kalibreringsfaktorer, som korrigerer data, således at mindre "hak" på sonderingskurverne rettes op.

Efter dataprocessering udlæses en TEM-datafil (*.tem), som er en ascii fil, der indeholder data fra den processerede sondering. Datafilen kan benyttes som input i tolkningsprogrammet SEMDI. SEMDI benytter 1D inversionskoden em1dinv til at udføre den egentlige tolkning af data optaget med TEM-instrumentet.

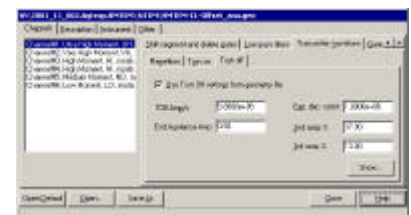
SiTEM læser data fra standard analog eller digital PROTEM 47 fra Geonics. I princippet kan SiTEM læse data fra en hvilken som helst TEM modtager.

Datafilerne fra PROTEM 47 modtageren mangler en del informationer, dels omkring senderforløbet, dels omkring opstillingens geometri. Disse manglende informationer opstilles i en geometrifil (*.geo) som knyttes til rådata ved indlæsningen i SiTEM. Denne fil indeholder desuden karakteristika for det benyttede instrument, så som filtre på modtager og modtagerspole. Det er også her muligt at



dB/dt plot

korrigerer for evt. sender-modtager offset, dette både som tidsforskydninger og kalibreringsfaktorer, som kan differentieres på hver enkelt repetitionsfrekvens, eller i form af kalibreringsfaktorer på hver enkelt gate. Da geometrifilen knyttes til data ved indlæsningen, mindskes chancen for fejl i den videre processering.



Geometrifilen - parameterindstillinger

Ved indlæsningen af rådatafiler skal der, ud over geometrifilen, angives en formateringsfil (*.pff). Denne fil formaterer rådatafilen, således at de rigtige parametre bliver læst ind de rigtige steder i databaserne. Formateringsfilen er, som geometrifilen, knyttet til data efter indlæsningen. Det er derfor vigtigt, for senere at kunne rekonstruere processeringen af data, altid at have defineret hvilken geometrifil og hvilken formateringsfil der er

benyttet ved indlæsningen af rådatafilerne.

SiTEM er projektorienteret, hvilket vil sige, at al adgang til indlæste data administreres af programmet. Brugeren behøver derfor kun et minimalt kendskab til filhåndtering. SiTEM er udviklet på Aarhus Universitet og benyttes til processering af størstedelen af de TEM sonderinger, som for tiden udføres i Danmark.

3.2 INTRODUKTION TIL SEMDI

Programmet SEMDI (Singlesite EM Data Inversion) benyttes til tolkning af enkeltstående DC (geoelektriske) og TEM sonderinger.

SEMDI er en Windows baseret brugerflade, der gør det muligt at flytte fokus væk fra selve det at håndtere en computer og et besværligt inversion-program til det, der er essentielt, nemlig databehandling og tolkning.



De forskellige vinduer i SEMDI kan på normal Windows vis arrangeres efter individuelle ønsker. Dette giver mulighed for at have både data-, model- og modelanalysevinduer åbne på samme tid. Herved opnås optimalt overblik over hele data-tolkningsprocessen. Alle plotvinduer kan kopieres til Windows clipboardet eller printes.

TOLKNING AF MODELLER

Med SEMDI er det muligt at tolke og gentolke sonderinger, opbygge modeller samt inkorporere geologisk a priori information i tolkninger.

SEMDI gør det endvidere muligt at samtolke både TEM datasæt med TEM datasæt (f.eks. HøjMomentTEM (HMTEM)) men også TEM datasæt med geoelektriske datasæt. Samtolkningen kan foretages vha. en fælles model, men kan også foretages vha. to modeller. Når der samtolkes med en model til hvert datasæt (dvs. to modeller), kan modellerne bindes mere eller mindre tæt sammen. Hvor tæt modeller skal bindes sammen, er baseret på tolkerens forventninger til de to datasæt.

Alle tolkningssekvenserne kan udføres uden at brugeren skal have kendskab til, hvordan de underliggende filer er formateret, eller hvordan den bagved-liggende inversionkode virker.

Det er muligt i programmet at lave en batch kørsel, som laver inversion med flere modelfiler til udvalgte TEM datafiler. Normalt foretages der 2-, 3-, 4- og 5-lagstolkninger til hver sondering. Herefter udvælges de mest optimale modeller til videre brug.

UDVIKLING

SEMDI er udviklet på Aarhus Universitet gennem de seneste par år. 1D inversionsprogrammet, em1dinv, der foretager den egentlige inversionen af data, er udviklet delvist i USA, delvist ved Aarhus Universitet og delvist i

GEOFYSIKSAMARBEJDET

GeoFysikSamarbejdet. Det skal, som under gennemgangen af analyseprogrammet Emma, understreges, at brugeren af SEMDI på ingen måde skal kende til opbygningen af em1dinv for at få glæde af SEMDI.

SEMDI benyttes til tolkning af de fleste TEM sonderinger, der for tiden udføres i forbindelse med kortlægninger i Danmark.

Programmet startes ved at dobbeltklikke på ikonet SEMDI. Denne ikon ligger på skrivebordet eller under Start-menuen ("Start\Programs\BubiSoft\Semdi"). Når programmet er startet, åbnes fem vinduer udover hovedprogrammet.

I "Navigation"-vinduet vises de enkelte modeltolkninger samt stien til biblioteket, der indeholder emo-filerne. En liste over samtlige emo-filer i det valgte bibliotek er også vist. Det er muligt at liste to biblioteker ad gangen. De listede filer er benævnt <sonderingsnavn>.emo. En emo-fil er en output-fil fra inversionskoden. Filen indeholder alle output parametre såsom analyser, forwardresponser og residualer.



"Navigation"-vinduet der viser output filer fra tolkninger.

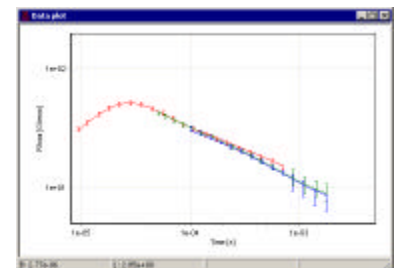


"Model Parameters and Analysis" vinduet

I "Data Plot"-vinduet er den eller de valgte emo-filer plottet. Det plottede er data med deres usikkerheder samt modelresponset for den endelige model.

"Line Model" vinduet viser et plot af lagmodstande som funktion af dybden. Vinduet "Model Parametres and Analysis", indeholder alle modelparametre samt deres standardafvigelser. Herudover er residualer mellem data og modelrespons angivet. Endelig vises der "Residuals"-vinduet data residualt som funktion af antal lag i modellen.

Tilpasning mellem data og modelkurver samt standardafvigelser på modelparameter er centrale aspekter ved tolkning af sonderinger. Normalt tilstræbes en tolkning med så få lag som muligt med det mindst mulige dataresidual.



"Data Plot"-vinduet med data vist som error bars, og modelrespons vist som kurve.

Ved udvælgelse af den mest optimale model, vurderes først tilpasningen imellem modelrespons og data. Dernæst vurderes det, om denne model er geofysisk realistisk.

3.3 ØVELSE - KALIBRERINGSPARAMETRE

FORMÅL

Formålet med denne øvelse er at vurdere, om sonderingerne fra den oprindelige kortlægning skal forskydes i tid og/eller niveau for at kunne reproducere med kalibreringssonderinger. Kalibrering af de oprindelige data kan udføres på baggrund af kalibreringssonderinger udført med et måleudstyr, som er kalibreret ind efter Testlokalitet Århus.

Som led i retolkningen udføres en række kalibreringssonderinger i retolkningsområdet. Disse sonderinger foretages på lokaliteter, hvor der er målt en brugbar sondering i det oprindelige datasæt. Kalibreringssonderingerne og de oprindelige sonderinger sammenlignes, hvilket tilvejebringer et sæt kalibreringsparametre, der anvendes på de oprindelige data i hele området/perioden.

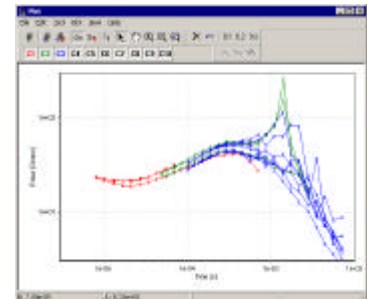
I denne øvelse sammenlignes kalibreringssonderingerne med de oprindelige sonderinger og kalibreringsparametre udregnes.

FREMGANGSMÅDE

Projekt-databasen i mappen "k:\øvelse kalibrering\sitem_data base" åbnes i SiTEM (File/Open Project). Denne database indholder syv kalibreringssonderinger navngivet C***, samt de tilhørende oprindelige sonderinger - navngivet ***N.

Sonderingerne sammenlignes parvis og evt. tids- og niveauforskydninger noteres for hvert par.

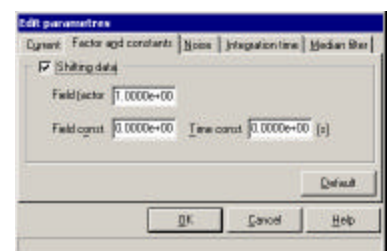
Dette gøres på følgende måde: Da sonderingerne ikke har samme gatecentertider slås støjprocesseringen fra i menuen "Noise". Marker segmenterne for de to sonderinger der skal sammenlignes. Medtag ikke støjsegmenter. De enkelte segmenter kan vælges fra og til ved at holde Ctrl-knappen nede mens der klikkes på segmenterne.



Sammenligning af to sonderinger

Graden af overensstemmelse mellem sonderingerne vurderes i Rho-a plottet på baggrund af datapunkterne efter ca. 5e-5 s. Husk at vælge rho-a plottet der viser alle kurverne.

Den oprindelige sondering niveauforskydes til den er sammenfaldende med kalibreringssonderingen. Niveauforskydningen foretages ved at højreklikke på den markerede sondering, vælge "Parameters/Factor and Constants", markér "Shifting Data" og gå ind i feltet "Field Factor". Angives en værdi over 1 i feltet "Field Factor" øges dB/dt værdierne og rho-a værdierne bliver dermed mindre. Bedøm niveauforskellen på tiderne, der svarer til første halvdel af VH-segmentet.



Forskydning af data

Tidsforskydningen, vurderes på de første gates på UH-segmentet. Tidsforskydningen foretages på samme måde som niveauforskydningen, her ændres der blot i feltet "time const" i

"Edit parameters" dialogboksen. En positiv tidsforskydning bevirker at den første del af sonderingskurven bøjer nedad. Størrelsesorden af tidsforskydningerne vil normalt være i mikrosekunder. De opnåede parametre for forskydning noteres for den pågældende sondering. Proceduren gentages for de resterende sonderinger. Enkelte sonderinger kan ikke bringes overens, og disse kan således ikke anvendes til at bestemme kalibreringsparametrene.

Hvis de fundne forskydninger i overvejende grad er konsistente beregnes

en middelforskydning, der er brugbar for alle sonderingerne. Det vil således være de fundne middelkalibreringsparametre, der anvendes ved retolkningen af samtlige sonderinger i området/perioden.

Den fastlagte værdi for tidsforskydning er den relative forskel i delay mellem kalibreringssonderingen og den oprindelige sondering. Tidsforskydning, der skal anvendes i den videre retolkning, er således det oprindelige delay (normalt turn off tiden) plus den beregnede middel-tidsforskydning.

3.4 ØVELSE - PROCESSERING/INVERSION

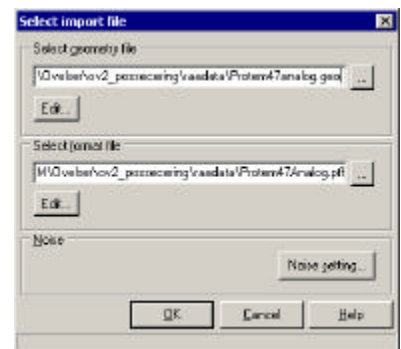
FORMÅL

Formålet med denne øvelse er at processere en række TEM sonderinger, specielt med henblik på udpegning af koblede sonderinger. Endvidere inverteres de processerede data i Semdi. Tolkningens resultaterne sammenlignes med sonderinger tolket uden filtre og uden datakorrektioner.

PROCESSERING - SITEM

I SiTEM oprettes et nyt projekt; "File/New Project", som placeres i mappen "k:\øvelse koblinger\sitem_data base". Rådatafilen der skal indlæses i databasen er "k:\øvelse koblinger\raaddata\protem47_data.c". I raaddata mappen findes også en Formatfil (Protem47Analog.pff) og en geometrifil (Protem47analog.geo), der passer til det pågældende instrument. Disse filer vælges.

I geometrifilen tilføjes de fundne middelkalibreringsparametre fra øvelse 1. Gå ind i "Edit/Geometry File Editor" for at editere i geometrifilen. Gå til menupunktet "Shift Segment and Delete Gates/Shift". I feltet "Time Shift Const", angives tidsforskydningen opnået i den forrige øvelse adderet med den tidsforskydning, som de oprindelige data var indlæst med (typisk indstillingen af turn-off tid i instrumentet). I dette tilfælde 1.5e-6 s

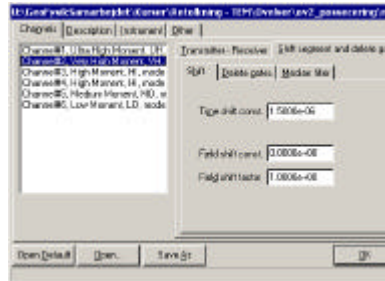


Import File menu

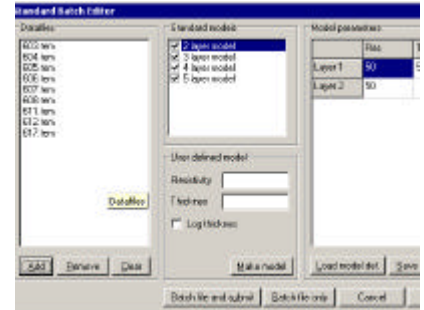
+ ny tidsforskydning. Dermed indlæses de oprindelige data med det kalibrerede delay.

I feltet "Field Shift Factor" angives den fundne niveauforskydning. Husk at lave ændringerne for alle tre segmenter. De øvrige parametre i geometrifilen, gennemses kort. De skulle være korrekte. Geometrifilen gemmes, og der vælges OK til import af data.

Sonderingerne processeres efter sædvanlig procedure. Husk i denne forbindelse at støjen på gate 1, 2 og 3 på UH-segmenter skal være henholdsvis 15,12 og 8 procent. Støj på hhv. 10, 7 og 3 procent adderes (angivet i



Geometrifilen - indstillinger



Batchfile Editor

dB/dt) derfor manuelt til disse gates idet default-støjen er 5%.

På kortet figur 3.1 er sonderingernes placering angivet. Dette kort er en hjælp ved udpegning af koblede sonderinger.

De processerede sonderinger gemmes i rho-a format i mappen "K:\øvelse koblinger\tem_files".

INVERSION - SEMDI

De udlæste datafiler (*.tem) inverteres i Semdi med 2-, 3-, 4- og 5-lags modeller i batchjob på følgende måde: "File/Standard Batch Editor", under hovedmenuen i SEMDI. Her indlæses TEM datafilerne ved hjælp af "Add", hvorefter alle *.tem filer i mappen med data filer markeres. Under "Standard Models" kan brugeren vælge antal modellag, der skal anvendes i inversionen. De valgte modellens startparametre er defineret under "Model Parameters". Vælg tolkning med 2-, 3-, 4- og 5-lags modeller. Batch jobbet eksekveres ved at vælge "Batch File and Submit".

I navigationsvinduet "View Directory 1" peges på, mappen hvor inversionsresultaterne udskrives i ("K:\øvelse

koblinger\tem_files"). Tryk Ctrl F for løbende at opdatere vinduet med de færdiggjorte inversionsresultater. På sædvanlig vis vælges mellem 2-, 3-, 4-, eller 5-lags modeller for hver sondering. Modeller, hvor resultatet er utilfredsstillende, kan geninverteres med en ny startmodel ved dobbeltklik på emo-filen. Flere modelresultater kan sammenlignes ved Ctrl + venstreklik på emo-filerne.

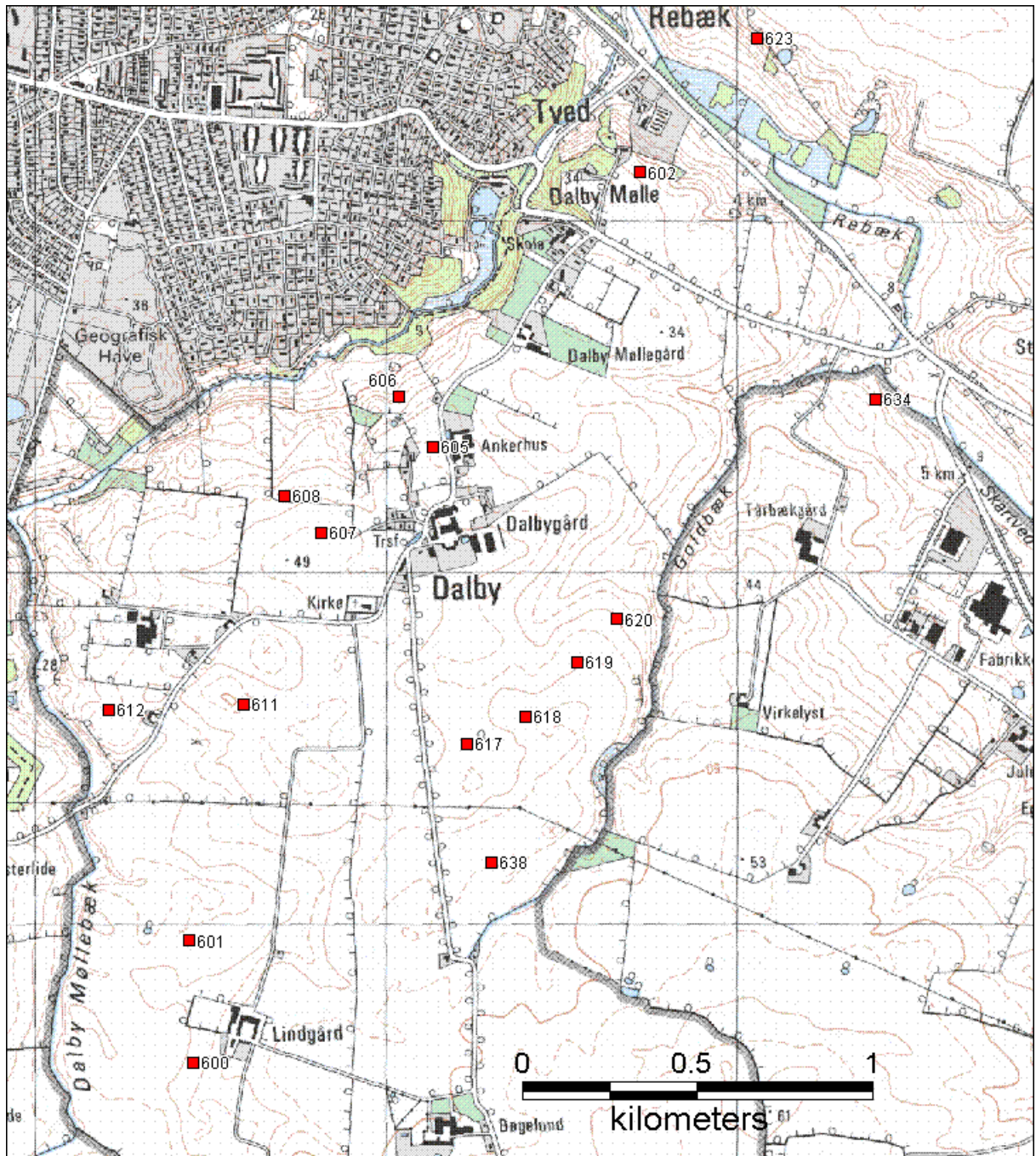
De udvalgte modeller gemmes i mappen "K:\øvelser koblinger\new_mod".

EFFEKT AF RETOLKNINGEN

I "View directory 1" peges nu på "K:\øvelse kobling\new_mod" og I "View Directory 2" peges på "K:\øvelse kobling\old_mod".

Mappen old_mod indeholder de selv samme sonderinger tolket uden filtre, tids- og niveauforskydninger og uden ekstra støj på de tre første gate. Disse tolkninger repræsenterer således den oprindelige tolkning.

Effekten af retolkningen på modelsiden kan nu vurderes ved at sammenligne de to modelresultater.



Figur 3.1 Lokalisering af sonderinger til øvelse - processing inversion.