

**GEOFYSIKSAMARBEJDET**

**Geofysisk Afdeling  
Geologisk Institut  
Aarhus Universitet**

**VEJLEDNING I KALIBRERING AF TEM MÅLEUDSTYR  
20. NOVEMBER 2002**

**INDLEDNING (1)**

**REFERENCESONDERING  
(2)**

Systemparametre for referencesonderingen (2.1)..... 3

**KALIBRERING AF TEM40  
(3)**

Forskydning i niveau (3.1)..... 6  
Forskydning i tid (3.2)..... 6

**KALIBRERING AF HMTEM  
(4)**

Forskydning i niveau (4.1)..... 8  
Forskydning i tid (4.2)..... 8

**GENERELT (5)**

**DOWNLOAD REFERENCE-  
SONDERING (6)**

## 1 INDLEDNING

I foråret 2001 blev Testlokalitet Århus etableret. Et af formålene med testlokaliteten er, at rådgiverne kan udføre måleserier, som kan sammenlignes med en standardmåleserie. Dette skal bruges til at kalibrere og kontrollere TEM-måleudstyr; både en periodevis kontrol, og et tjek der bør foretages, når udstyret har været underkastet reparationer eller opdateringer.

Nærværende vejledning indeholder en beskrivelse af baggrunden for de fastlagte referencesonderinger, vejledning for kalibrering af Protem47

måleudstyr og en vejledning for kalibrering af HMTEM måleudstyr.

Som supplerende læsning anbefales:

- Undersøgelse af fejl ved transiente målinger udført med Geonics Protem 47 måleinstrumentet. 2001, GeoFysikSamarbejdet.
- Vejledning i udførelse af TEM målinger. GeoFysikSamarbejdet.
- Test og sammenligning af Transient Elektromagnetisk instrumenter, 2002, GeoFysikSamarbejdet.

## 2 REFERENCESONDERING

Referencesonderingen er fastlagt i forbindelse med TEMTest2002 på baggrund af en sammenstilling af data for i alt 9 måleudstyr.

Figur 2.1 viser den fastlagte referencesondering som et plot.

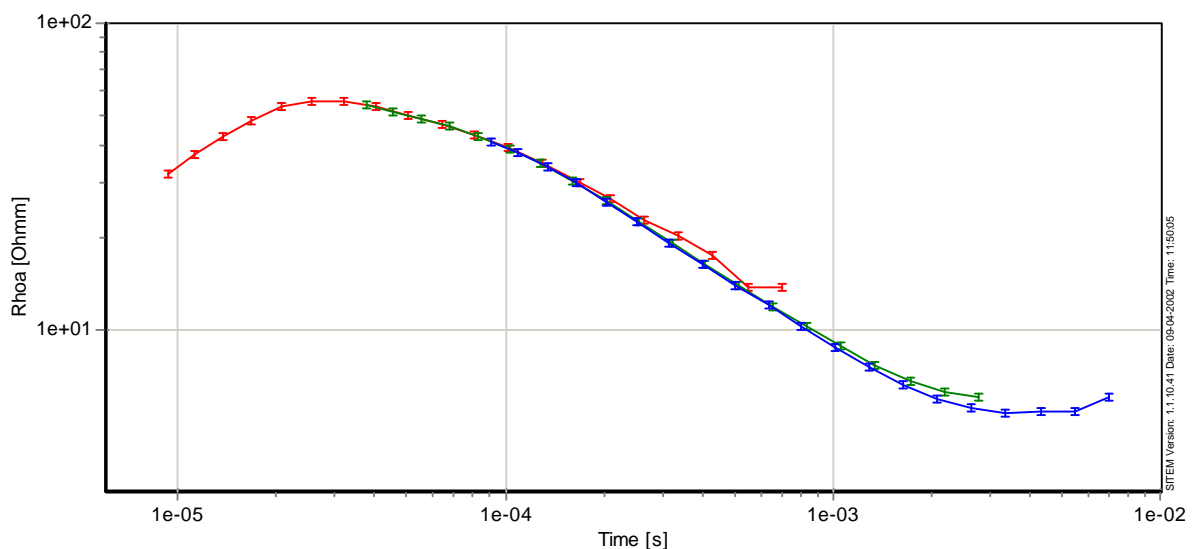
Tabel 2.1 viser den fastlagte referencesondering på tabelform.

Der er fastlagt kalibreringsværdier for 20 gates på frekvenserne 237,5 Hz, 62,5 Hz og 25 Hz. Det skal dog bemærkes, at de sidste 10 gates på UH segmentet generelt må betragtes som usikre. De sidste 3 gates på HI segmentet er ligeledes behæftet med større usikkerhed. Disse gates bør ikke tillægges betydning i forbindelse med kalibrering.

### 2.1 SYSTEMPARAMETRE FOR REFERENCESONDERINGEN

Referencesonderingen er fastlagt på baggrund af følgende systemparametre:

**GEOMETRI**  
Referencesonderingen er baseret på en centrallop konfiguration og et 40x40 m senderloop.



Figur 2.1 Referencesonderingen beregnet på grundlag af TEMTest2002. UH segmentet er rødt, VH segmentet grønt og HI segmentet blåt

## GEOFYSIKSAMARBEJDET

Gate center [s]	Gate	Frekvens [Hz]	dB/dt [V/m <sup>2</sup> ]
9,313e-06	1	237,5	5,239E-04
1,119e-05	2	237,5	2,666E-04
1,363e-05	3	237,5	1,317E-04
1,669e-05	4	237,5	6,670E-05
2,057e-05	5	237,5	3,397E-05
2,556e-05	6	237,5	1,857E-05
3,194e-05	7	237,5	1,057E-05
4,006e-05	8	237,5	6,386E-06
5,044e-05	9	237,5	3,951E-06
6,363e-05	10	237,5	2,428E-06
8,044e-05	11	237,5	1,540E-06
1,019e-04	12	237,5	9,785E-07
1,292e-04	13	237,5	6,484E-07
1,689e-04	14	237,5	4,109E-07
2,085e-04	15	237,5	2,935E-07
2,653e-04	16	237,5	2,006E-07
3,377e-04	17	237,5	1,333E-07
4,302e-04	18	237,5	8,956E-08
5,481e-04	19	237,5	6,999E-08
6,984e-04	20	237,5	3,866E-08
3,775e-05	1	62,5	2,184E-05
4,525e-05	2	62,5	1,485E-05
5,500e-05	3	62,5	9,909E-06
6,725e-05	4	62,5	6,578E-06
8,275e-05	5	62,5	4,364E-06
1,028e-04	6	62,5	2,903E-06
1,283e-04	7	62,5	1,970E-06
1,608e-04	8	62,5	1,366E-06
2,023e-04	9	62,5	9,599E-07
2,550e-04	10	62,5	6,824E-07
3,223e-04	11	62,5	4,823E-07
4,080e-04	12	62,5	3,396E-07
5,173e-04	13	62,5	2,378E-07
6,568e-04	14	62,5	1,667E-07
8,348e-04	15	62,5	1,141E-07
1,062e-03	16	62,5	7,871E-08
1,351e-03	17	62,5	5,334E-08
1,722e-03	18	62,5	3,466E-08
2,193e-03	19	62,5	2,118E-08
2,795e-03	20	62,5	1,227E-08

Tabel 2.1 Den uprocesserede referencesonering på tabelform.

## GEOFYSIKSAMARBEJDET

9,063e-05	1	25	3,688E-06
1,094e-04	2	25	2,611E-06
1,338e-04	3	25	1,849E-06
1,644e-04	4	25	1,330E-06
2,031e-04	5	25	9,652E-07
2,531e-04	6	25	6,984E-07
3,169e-04	7	25	5,027E-07
3,981e-04	8	25	3,604E-07
5,019e-04	9	25	2,562E-07
6,338e-04	10	25	1,807E-07
8,019e-04	11	25	1,273E-07
1,016e-03	12	25	8,869E-08
1,289e-03	13	25	6,147E-08
1,639e-03	14	25	4,069E-08
2,084e-03	15	25	2,626E-08
2,651e-03	16	25	1,581E-08
3,376e-03	17	25	9,235E-09
4,299e-03	18	25	4,986E-09
5,478e-03	19	25	2,676E-09
6,981e-03	20	25	1,246E-09

Tabel 2.1 Den uprocesserede referencesondering på tabelform.

### STRØM

UH segmentet er fastlagt for en strømstyrke på 1A mens VH og HI segmenterne er fastlagt for en strømstyrke på 3A. Nedrampningen af strømmen bliver således  $4 \times 10^5$  Amp/sek for UH og  $1.2 \times 10^6$  amp/sek, svarende til en turn off tid på 2.5  $\mu$ sek. for alle tre segmenter.

### LAVPASFILTRE

- Modtagerspole 450 kHz, 1. orden
- Modtagerinstrument 270 kHz, 1. orden

### RAMPER

Referencesonderingen er baseret på følgende op- og nedrampning af senderstrømmen.

- Oprampe start =  $1/(\text{rep freq} \times 4) - 2,5 \mu\text{sek}$ .
- Oprampe slut = Oprampe start + 123  $\mu\text{sek}$ .
- Nedrampning start = 0  $\mu\text{sek}$ .
- Nedrampning slut = 2,5  $\mu\text{sek}$ .

Som det fremgår af rampeforløbet, er tiderne for referencesonderingen fastlagt som "begin of ramp".

## 3

**KALIBRERING AF TEM40**

Kalibrering af et Protem47 måleudstyr baseres på en testmåling i henhold til "Vejledning i udførelse af TEM sonderinger". I første omgang forskydes data i niveau og efterfølgende forskydes data i tid.

I dette afsnit beskrives hvordan kalibrering foretages i processeringsprogrammet SiTEM.

## 3.1

**FORSKYDNING I NIVEAU**

En forskydning af feltet med en faktor kan kompensere for fejl i senderens måling af strømstyrke. Forkert måling af strømstyrken vil vise sig ved, at alle tre segmenter er parallelforskudte i forhold til referencesonderingens tre segmenter.

Hvis der er forskel på niveauet i tidsintervallet fra  $1e-4$  til  $8e-4$  sek. er der behov for en kalibrering i niveau. Fravælg referencesonderingens segmenter og vælg "Parameters...." i "Edit"-menuen (eller benyt genvejen Ctrl+E). Fanebladet "Factor and constants" vælges.

**PROCEDURE FOR FORSKYDNING AF FELT**

Proceduren for en faktorforskydning af feltet er som følger:

Fra GeoFysikSamarbejdets hjemmesiden hentes databasen med reference-sonderingen. Databasen i kataloget .\TEM40 åbnes i SiTEM, og rådata målt på testlokalitet Århus adderes til denne database. Støjprocessering slås fra, da der ikke nødvendigvis er målt med samme integrationstider.

Aktivér fanebladet ved at markere checkboksen. De valgte segmenters felter kan nu forskydes ved at angive et tal i "Field factor". En faktor over "1" forskyder testsonderingens segmenter nedefter, mens en faktor under "1" forskyder segmenterne opefter. I SiTEM multipliceres faktoren på data regnet i dB/dt.

Et rhoa plotvindue (alle kurver) åbnes, og både referencesonderingens UH, VH og HI segmenter markeres. For testsonderingen vælges ligeledes data for de tre segmenter.

Referencesonderingens segmenter vælges atter, og forskellen i segmenternes niveau vurderes visuelt. Har man ikke opnået et tilfredsstillende niveau af testinstrumentets datakurve, justeres faktoren, indtil samme niveau som i referencesonderingen opnås. Et sammenfald med en afvigelse på under 5 % skal opnås.

## 3.2

**FORSKYDNING I TID**

Variation i slukkeforløbet, synkroniseringen mellem modtager og sender, upræcis filterkarakteristik og usikkerhed på fastlæggelse af bølgeformen vil komme til udtryk i en afvigelse til de tidlige tider på UH-segmentet.

Måleudstyret kan kalibreres i forhold til disse unøjagtigheder ved at forskyde data i tid. For en mere detaljeret beskrivelse henvises der til rapporten "Test og sammenligning af TEM instrumenter i Danmark".

PROCEDURE FOR SKIFT AF TIDER  
Proceduren for at opnå en kalibreringskonstant for forskydning i tid er som følger:

Der kalibreres i forhold til niveau jf. ovenstående beskrivelse.

Et rhoa plotvindue (alle kurver) åbnes, og referencesonderingens UH-segment og et repræsentativt UH-segment for testmålingen vælges.

En forskel i delay mellem referencesonderingen, og det udstyr der er anvendt i testdatafilen, vil vise sig ved, at datakurverne har forskellige forløb til tidlige tider. Til senere tider må de to instrumenters UH-segmenter ikke afvige fra hinanden med mere end 5 %.

Hvis forskellige forløb iagttages til de tidlige tider skal instrumentets dataforskydes i tid.

Fravælg referencesonderingens UH-segment og vælg "Parameters...." i "Edit"-menuen (eller benyt genvejen Ctrl+E). Vælg fane-bladet "Factor and constants".

Aktivér fanebladet ved at markere checkboksen. Tiderne for det valgte datasegment(er) kan nu forskydes ved at angive en værdi i "Time const.". Ligger instrumentets UH-segment i rhoa under referencesonderingens, skal forskydningen være negativ.

Referencesonderingens UH-segment vælges atter, og forskellen i segmenternes forløb vurderes. Har man ikke opnået et tilfredsstillende forløb af instrumentets, datakurve finjusteres forskydningen indtil kurverne er sammenfaldene med referencesonderingen. Et typisk skift ligger i intervallet fra -0,25 til 0,25  $\mu$ sek. Man bør tilstræbe en nøjagtighed på 0.1  $\mu$ sek.



**4  
KALIBRERING AF HMTEM**

Kalibrering af et HMTEM måleudstyr med en ProteM 47 modtager baseres på en testmåling i henhold til "Vejledning i udførelse af TEM sonderinger".

I første omgang forskydes data i niveau og efterfølgende forskydes data i tid.

Da HMTEM sonderinger er baseret på en anden målekonfiguration end refe-

rencesonderingen, er en omregning af referencesonderingen foretaget. Således er et referencedatasæt, svarende til HMTEM målekonfigurationen, fastsat.

I dette afsnit beskrives hvordan kalibrering foretages i processeringsprogrammet SiTEM.

**4.1  
FORSKYDNING I NIVEAU**

En forskydning af feltet med en faktor kan kompensere for fejl i senderens måling af strømstyrke. Forkert måling af strømstyrken vil vise sig ved, at kurverne er parallelforskudte i forhold til referencesonderingen.

Ved HMTEM foretages såvel måling i central loop konfiguration og i offset konfiguration. Da offset konfigurationen vil være påvirket af inhomogeniteter i de overfaldenære lag, kan offset målingerne ikke anvendes under kalibreringen. Derfor vil en kalibrering af HMTEM måleudstyr alene basere sig på central loop målingerne.

**PROCEDURE FOR FORSKYDNING AF FELT**

Proceduren for en faktorforskydning af feltet er som følger:

Fra GeoFysikSamarbejdets hjemmeside hentes databasen med referencesonderingen. Databasen i kataloget .\HMTEM åbnes i SiTEM, og rådata målt på testlokalitet Århus adderes til denne database. Støjprocessering slås fra, da referencesonderingen og testdataene ikke nødvendigvis er målt med samme integrationstider.

Et rhoa plotvindue (alle kurver) åbnes, og referencesonderingens UH, VH og HI segmenter markeres. For testsonderingen vælges ligeledes data for de tre segmenter.

Hvis der er forskel på niveauet i tidsintervallet fra 1e-4 til 8e-4 s er der behov for en kalibrering i niveau. Fravælg referencesonderingens segmenter og vælg "Parameters...." i "Edit"-menuen (eller benyt genvejen Ctrl+E). Fanebladet "Factor and constants" vælges.

Aktivér fanebladet ved at markere checkboksen. De valgte segmenters felter kan nu forskydes ved at angive et tal i "Field factor". En faktor over "1" forskyder testsonderingens segmenter nedefter, mens en faktor under "1" forskyder segmenterne opefter. I SiTEM multipliceres faktoren på data regnet i dB/dt.

Referencesonderingens segmenter vælges atter, og forskellen i segmenternes niveau vurderes visuelt. Har man ikke opnået et tilfredsstillende niveau af testinstrumentets datakurve, justeres faktoren, indtil samme niveau som i referencesonderingen opnås. Et sammenfald med en afvigelse på under 5 % skal opnås.

## 4.2 FORSKYDNING I TID

Variation i slukkeforløbet, synkroniseringen mellem modtager og sender, upræcis filterkarakteristik og usikkerhed på fastlæggelse af bølgeformen vil komme til udtryk i en afvigelse til de tidlige tider på UH-segmentet. Måleudstyret kan kalibreres i forhold til disse unøjagtigheder ved at forskyde data i tid. For en mere detaljeret beskrivelse henvises der til rapporten "Test og sammenligning af TEM instrumenter i Danmark".

**PROCEDURE FOR SKIFT AF TIDER**  
Proceduren for at opnå en kalibreringskonstant for forskydning i tid er som følger:

Der kalibreres i forhold til niveau jf. ovenstående beskrivelse.

Et rhoa plotvindue (alle kurver) åbnes, og referencesonderingens UH-segment og et repræsentativt UH-segment for testmålingen vælges.

En forskel i delay mellem referencesonderingen, og det udstyr der er anvendt i testdatafilen, vil vise sig ved, at datakurverne har forskellige forløb til tidlige tider. Til senere tider må de to instrumenters UH-segmen-

ter ikke afvige fra hinanden med mere end 5 %.

Hvis forskellige forløb iagttages til de tidlige tider skal testinstrumentets data forskydes i tid.

Fravælg referencesonderingens UH-segment og vælg "Parameters...." i "Edit"-menuen (eller benyt genvejen Ctrl+E). Vælg fanebladet "Factor and constants".

Aktivér fanebladet ved at markere checkboksen. Tiderne for det valgte datasegment(er) kan nu forskydes ved at angive en værdi i "Time const.". Ligger instrumentets UH-segment i rhoa under referencesonderingen, skal forskydningen være negativ.

Referencesonderingens UH-segment vælges atter, og forskellen i segmenternes forløb vurderes. Har man ikke opnået et tilfredsstillende forløb af instrumentets, datakurve finjusteres forskydningen indtil kurverne er sammenfaldene med referencesonderingen. Et typisk skift ligger i intervallet fra -0,25 til 0,25  $\mu$ s. Man bør tilstræbe en nøjagtighed på 0.1  $\mu$ sek.

## 5 GENERELT

Den opnåede værdi for forskydning i niveau og i tid bør skrives ind i udstyrets geometri-fil for UH, VH og HI-segmenterne. Niveauforskydningen indsættes i feltet "Shift fields by a factor" mens tidsforskydningen adderes værdierne i felterne "Shift times by a constant". Dermed vil kalibreringen automatisk blive overført ved indlæsning af nye datafiler.

Ved kalibrering er der anvendt strømstyrkerne 1A for UH segmentet og 3 A for VH og HI segmenterne. Da kalibreringen forudsætter, at der er

anvendt ovenstående strømstyrker, anbefales det, at produktionsmålinger ligeledes udføres med disse strøm-værdier.

Referencesonderingen er beskrevet ved filterkoefficienter på 270 kHz og 450 kHz første orden. Da måleudtyret er kalibreret op mod disse værdier, skal tolkningen/inversionen baseres på disse filterkoefficienter. Dette gælder også måleudstyr, hvor der er anvendt en Geonics modtagerspole med en oplyst afskæringsfrekvens på 700 kHz.

### 6

#### DOWNLOAD AF REFERENCE- SONDERING

Referencesonderingerne kan hentes på GeoFysikSamarbejdets hjemmeside, [www.gfs.au.dk](http://www.gfs.au.dk). Filen, der hentes, er en selvudpakkende exe-fil, og den indeholder to biblioteker, \TEM40 kalibrering, \HMTEM kalibrering samt dette dokument.

Bibliotekerne indeholder hver sin database, der kan indlæses i SiTEM.

\TEM40 indeholder en middelmåling på hvert af de tre segmenter for et Protem 47 måleudstyr ved anvendelse af Geonics modtagerspøle eller Groundwater Instruments modtagerspøle.

\HMTEM indeholder en omregning af TEM40 referencesonderingen til en HMTEM målekonfiguration.