

**GEOFYSIKSAMARBEJDET**

**Geofysisk Afdeling  
Geologisk Institut  
Aarhus Universitet**

**PROCESSERING OG TOLKNING AF MEP-DATA MÅLT MED  
GRADIENT-ARRAY-KONFIGURATIONER**

Februar 2005

## INDHOLD

### FORORD (1)

### GRADIENT-ARRAY (2)

Konfigurationer 3  
Fokuspunkter 4  
Vertikalt fokuspunkt 4  
Lateralt fokuspunkt 5

### PROCESSERING (3)

Visuel gennemgang 7  
Opsplitning til 1D-sonderinger/midling 7  
Datausikkerhed 8

### 1D-LCI-OPSÆTNING / TOLKNING (4)

LCI-opsætning 9

### TOLKNING I RES2DINV (5)

Processering 10  
Dataformat 10  
Indstillinger i programmet 11  
Change Settings 11  
Inversion 11

### REFERENCER (6)

## 1 FORORD

Dette notat omhandler behandling af MEP-data indsamlet med en gradient-array-protokol.

Første del omhandler processering og opdeling med henblik på 1D- og 1D-LCI tolkning. Denne del omtaler endvidere vores erfaringer med LCI-opsætningen ved 1D-LCI-tolkning af MEP-data.

Anden del ("Tolkning i Res2dinv" på side 10) omhandler opsætning til tolkning med programmet Res2dinv.

I bilag 1 findes en tabel med laterale og vertikale fokuspunkter for konfigurationer, der indgår i gradient-array-protokollerne, som findes på GFS' hjemmeside ([www.gfs.au.dk](http://www.gfs.au.dk)).

Rapporten er udarbejdet af Anders V. Christiansen og Nikolaj Foged. GeofysikSamarbejdet, Geologisk Institut, Aarhus Universitets, april 2004.

Mindre revision maj 2004

Anden del af rapporten omkring Res2dinv er indsat april 2005.

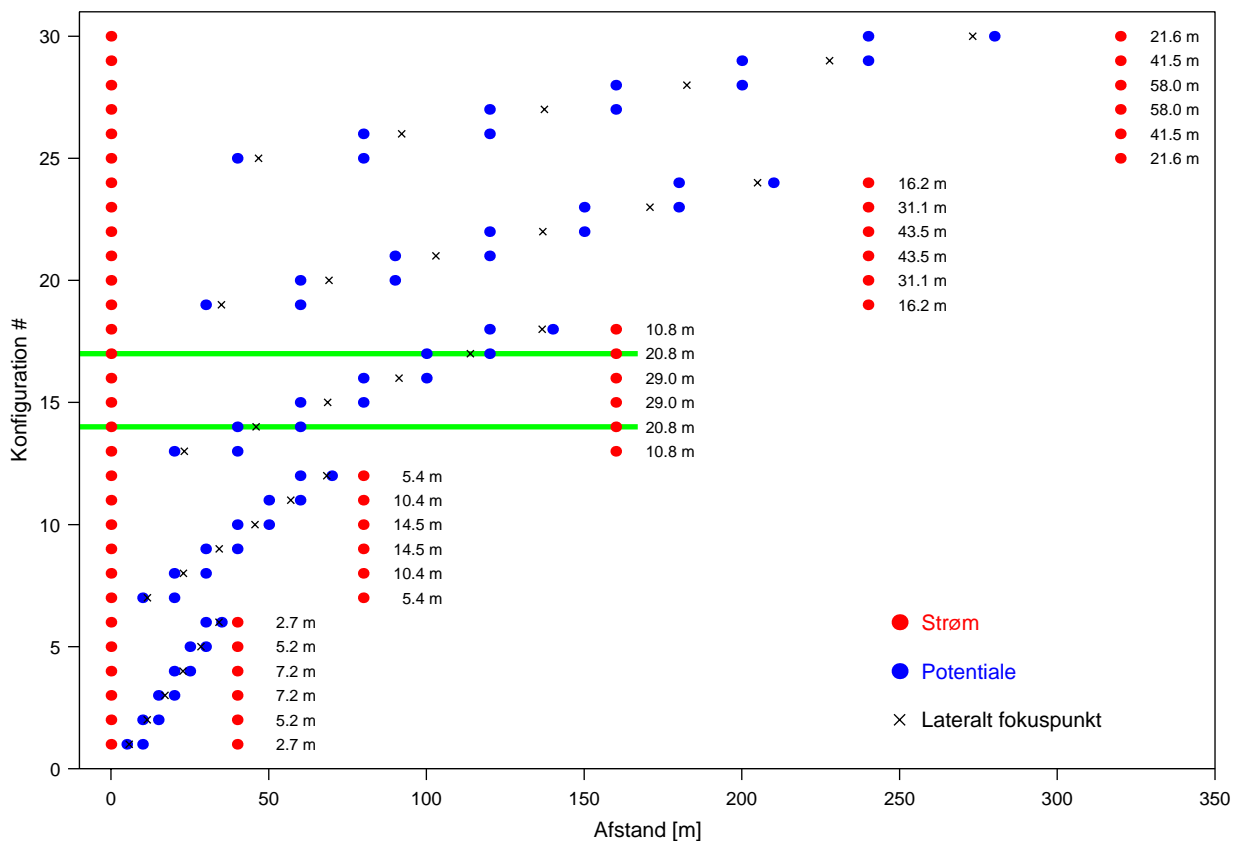
**2**  
**GRADIENT-ARRAY**

**KONFIGURATIONER**

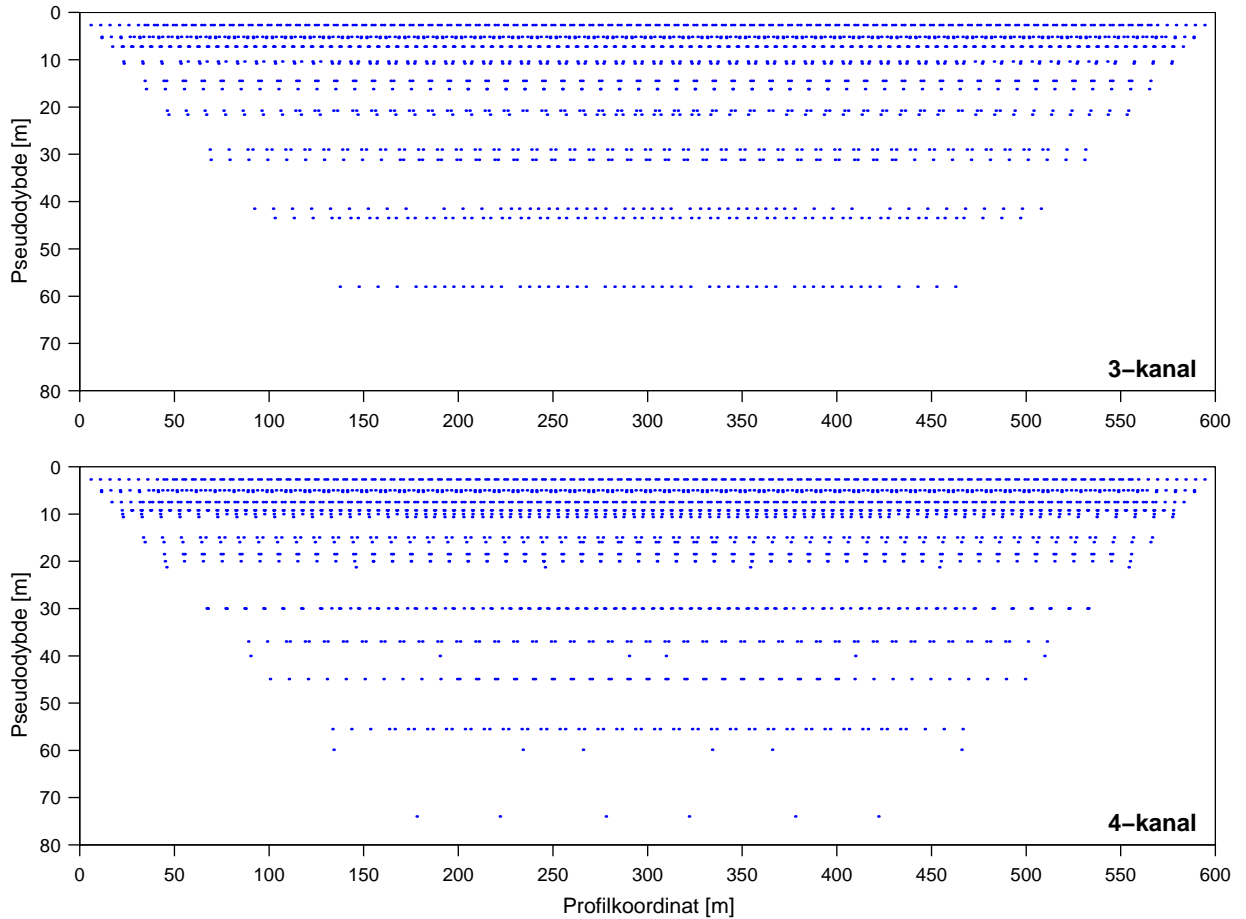
Gradient-arrayet er en relativt ny måleprotokol til MEP-udstyr og er primært udviklet til de nyere multikanalsudstyr der nedsætter måletiden væsentligt. Gradient-arrayet anvender en række forskellige skæve 4-pols-opstillinger, og der indsamles normalt langt flere data end ved traditionelle Wenner/Schlumberger arrays. I figur 2.1 ses de 30 forskellige konfigurationer, der måles med gradient-array-protokollen for et 3-kanals-MEP-

udstyr med en elektrodeafstand på 5 m. Som det fremgår af figuren, er en række konfigurationer spejlinger af hinanden. Konfiguration 17 er f.eks. en spejling af konfiguration 14 og har derfor samme vertikale fokuspunkt. I det viste tilfælde er der derfor reelt kun 15 forskellige konfigurationer.

I figur 2.2 ses datafordelingen for 3- og 4-kanals MEP-udstyr målt med gradient-array protokoller.



Figur 2.1 De 30 målekonfigurationer for 3-kanals protokollen. Én konfiguration udgøres af to strøm- og potentialeelektroder på samme vandrette række. Tallet til højre for konfigurationerne angiver 1D-fokusdybden. De to konfigurationer markeret med grønt er eksempler på konfigurationer, der er spejlinger af hinanden. Disse to konfigurationer har derfor samme fokusdybde.



Figur 2.2 Datafordelingen for gradient-array protokoller for 3- og 4-kanals MEP udstyr. Datapunkterne er afsat ved konfigurationernes laterale og vertikale fokuspunkt. Udlæggene er 600 m (400 m + 2x100 m roll-a-long) og elektrodeafstanden er 5 m.

**FOKUSPUNKTER**

En vigtig forudsætning for at kunne opsplitte dataene til 1D-sonderinger langs MEP-profilet er at fastlægge de enkelte konfigurationers laterale fokuspunkt. Et korrekt lateralt fokuspunkt er også vigtigt ved den visuelle gennemgang af dataene, hvor data vurderes, og evt. dårlige datapunkter slettes.

Det vertikale fokuspunkt bruges til at estimere konfigurationernes indtrængningsdybde samt ved plotning

af data i pseudosektionen. I det følgende gennemgås hvordan det vertikale og det laterale fokuspunkt beregnes for en 4-polsopstilling.

**VERTIKALT FOKUSPUNKT**

Det vertikale fokuspunkt bestemmes ved at beregne den 1D-integrerede følsomhed over et homogent halvrum. Det vertikale fokuspunkt tilskrives til den dybde, hvor den integrerede følsomhed er 50%. Dvs. 50% af konfigurationens følsomhed ligger

over det vertikale fokuspunkt og 50% under. Det vertikale fokuspunkt er en analytisk beregning baseret på et homogent halvrum.

Den 1D-integrerede følsomhed,  $G$ , i dybden  $z$  for en 4-polsopstilling er givet ved,

$$G(r,z) = g(r_{AM},z) - g(r_{AN},z) - g(r_{BM},z) + g(r_{BN},z)$$

hvor

$$g(r,z) = \frac{1}{r^2} \cdot \frac{(2z/r)^2}{[1 + (2z/r)^2]^{3/2}}$$

og  $r$  er afstanden mellem et pol-pol sæt /6/.

I figur 2.2 er datapunkterne afsat efter konfigurationernes vertikale fokuspunkter beregnet efter ovenstående formel.

I figur 2.3 ses et plot af den normaliserede amplitude af følsomheden (rød) og den integrerede følsomhed (blå) som en funktion af dybden for en Wenner-opstilling med en  $a$ -afstand på 30 m.

For denne konfiguration er det vertikale fokuspunkt 15,6 m (markeret med den stiplede linie), hvilket stemmer overens med tommefingerreglen, der siger, at det vertikale fokuspunkt for en Wenner-opstilling er ca. det halve af  $a$ -afstanden. Endvidere ses det, at den maksimale følsomhed er i ca. 10 m dybde.

I figur 2.1 på side 3 angiver tallet til højre det vertikale fokuspunkt for den pågældende gradient-array-konfiguration.

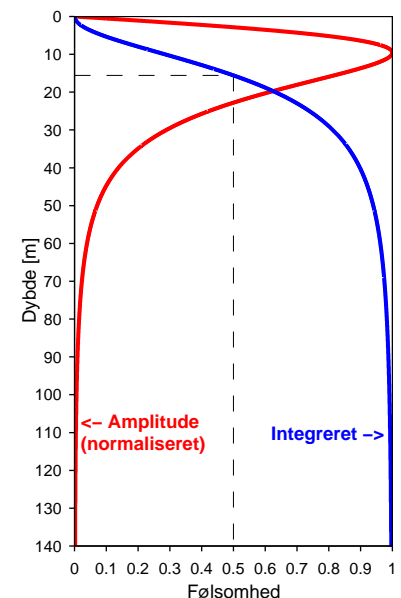
**LATERALT FOKUSPUNKT**

For at opsplitte et MEP-datasæt til 1D-sonderinger er det nødvendigt at bestemme, hvor på profilet en given konfiguration skal tilskrives (det late-

rale fokuspunkt). For asymmetriske konfigurationer er det ikke simpelt at bestemme det laterale fokuspunkt. Vi har valgt at bestemme det laterale fokuspunkt ved at foretage en numerisk integration af den sande 2D-følsomhed over et homogent halvrum. Det laterale fokuspunkt antages, hvor 50% af den laterale følsomhed opnås.

I figur 2.4 ses et plot af 2D-følsomheden for en 4-polsopstilling. De røde områder bidrager positivt til det målte potentiale, mens de blå områder bidrager negativt til det målte potentiale. Det laterale fokuspunkt er altså fundet ved at summere numerisk i  $x$ -retningen. I figur 2.1 på side 3 er det laterale fokuspunkt markeret med X for hver af konfigurationerne.

Ved 2D-tolkning af MEP-data tager man højde for følsomhedens laterale udbredelse, og de fire elektroders absolutte positioner anvendes. Det er

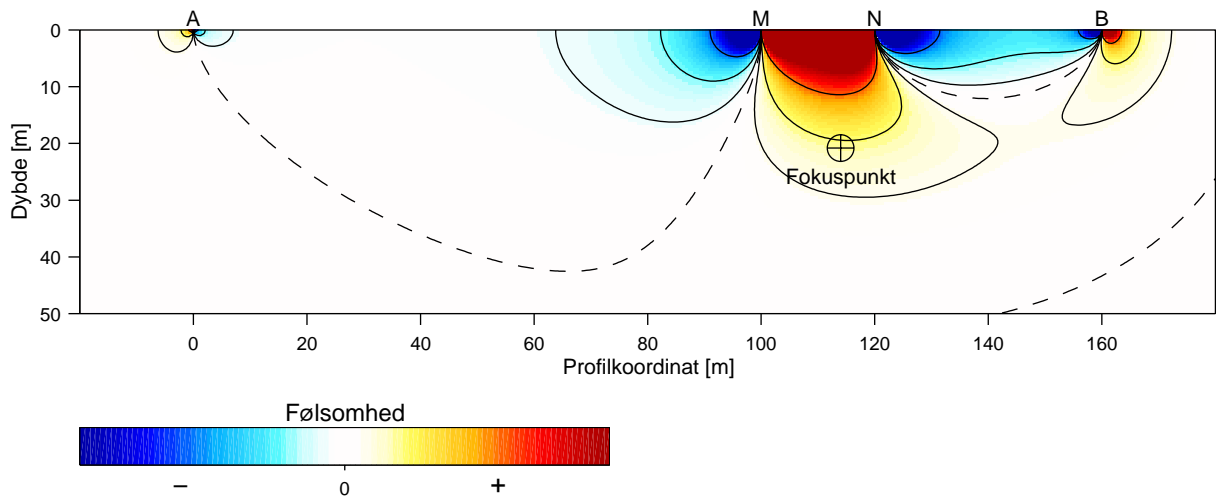


Figur 2.3 Den røde kurve er den relative amplitude af følsomheden normaliseret med maksimumværdien. Den blå kurve er den 1D-integrerede vertikale følsomhed.

således ikke nødvendig at fastlægge de laterale fokuspunkter ved en 2D-tolkning.

Beregning af 2D-følsomheden er beskrevet i /5/ (formel 13-17).

I /8/ (Vejledning og kravspecifikation for MEP-målinger - Maj 2004) findes en oversigt over anbefalede gradient-array protokoller samt en tabel med laterale og vertikale fokuspunkter for gradient-konfigurationerne.



Figur 2.4 2D-følsomhedsfordelingen. A og B er strømelektroder, M og N potentialelektroder. De røde områder bidrager positivt til det målte potentiale mens de blå områder bidrager negativt til potentialet. Cirklen med kryds markerer det laterale og horisontale fokuspunkt for konfigurationen. Konfigurationen modsvarer konfiguration 17 i figur 2.1.

### 3 PROCESSERING

Følgende kapitel omhandler processeringen af MEP-data med særligt henblik på 1D-tolkning. Den visuelle gennemgang beskrevet herunder bør dog også inddrages inden en 2D tolkning.

#### VISUEL GENNEMGANG

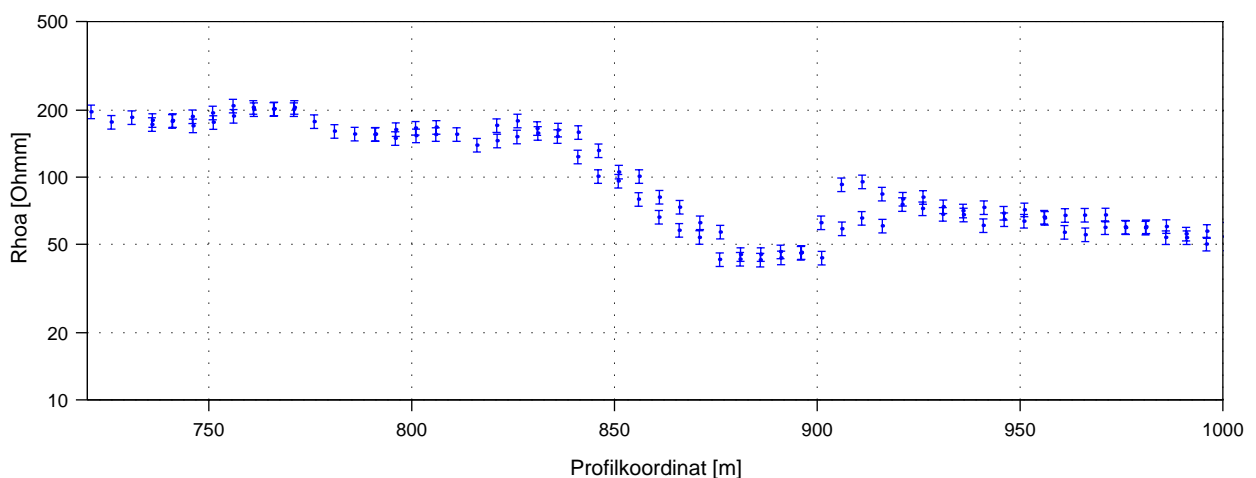
Visuel gennemgang af data og sletning af spikes mm. udføres på baggrund af dataplot for de enkelte konfigurationer langs profilet, sorteret efter deres laterale fokuspunkt. Konfigurationer med samme vertikale fokuspunkt betragtes som værende den samme konfiguration. I tolkningsprogrammet RES2DINV foretages den laterale sortering af data ikke som beskrevet i denne note, og en visuel gennemgang af gradient-array-data i RES2DINV er derfor besværlig. I figur 3.1 ses et plot af 300 m MEP-data for en konfiguration med vertikalt fokuspunkt tæt på overfladen. I intervallet ca. 825-925 m deler kurven sig i to. Dette skyldes, at konfigu-

rationen og den spejlede konfiguration (se figur 2.1 på side 3) kan have elektroder stående i meget forskellige positioner, men samtidig opnå næsten sammenfaldende laterale fokuspunkter.

Kurvespredningen svarer til den statiske forskydning (static shift), man ser i Schlumberger-sonderinger, når der skiftes potentialelektrodepar.

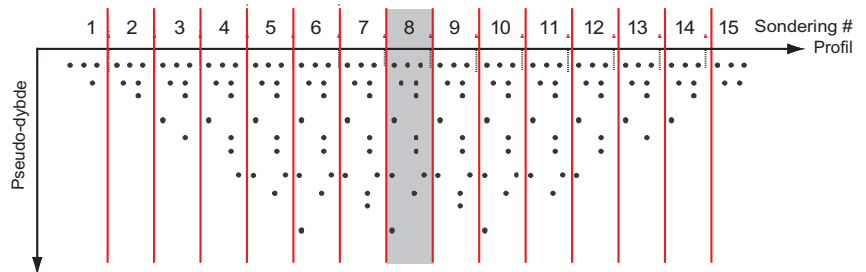
#### OPSPLITNING TIL 1D-SONDERINGER/MIDLING

MEP-datasættet opdeles til en række 1D-sonderinger ud fra konfigurationernes laterale fokuspunkt, således at én sondering udgøres af alle de konfigurationer, der har lateralt fokuspunkt inden for et givet interval (sonderingsintervallet). I figur 3.2 er opsplitningen illustreret. Data fra konfigurationer med samme vertikale fokusdybde, der falder inden for et sonderingsinterval, midles logaritmisk sammen til ét datapunkt. I figur 3.2



Figur 3.1 300 m MEP-data for en given konfiguration plottet ved deres laterale fokuspunkt. Fokussybden for konfigurationen er 2,7 m.





Figur 3.2 Opdeling af MEP-data til 1D-sonderinger. Prikkerne angiver det laterale og vertikale fokuspunkt for konfigurationerne. Data på samme vandrette linie stammer fra den samme elektrodekonfiguration. Alle data inden for det grå felt indgår således i sondering 8.

midles således de tre øverste datapunkter på samme vandrette række for sondering 8 sammen til ét datapunkt før tolkningen. Midlingen af data inden for et sonderingsinterval udglatter de omtalte statistiske forskydninger. Et alternativ til denne midling er at lave en løbende midling af data, konfigurationsvis langs profilet, som det f.eks. gøres for slæbegeoelektriske data.

Størrelsen af sonderingsintervallerne skal være uniform. I den centrale del af profilet skal man have mindst lige så mange datapunkter som antallet af modelparametre (antallet af tykkelser + antallet af lagmodstande) for hver sondering. Da MEP-data typisk kan tolkes med 5-7 lagsmodeller skal man derfor have mindst 9-13 datapunkter pr. sondering. Som vist i figur 3.2 kan forholdet mellem datapunkter og

modelparametre ikke opretholdes ved profilenderne.

**DATAUSIKKERHED**

Den tilskrevne datausikkerhed bygger på et skøn. Ved 1D-tolkning dækker datausikkerheden over både den reelle datastøj og det, at den stykvisse 1D-tolkningsmodel er en forsimpning af de faktiske forhold.

Da midling af data kun sker indenfor sonderingsintervallerne er udglætning af 2D-effekter ikke er så stor sammenlignet med slæbegeoelektriske data. Det kan derfor være nødvendigt at antage en datausikkerhed på 6-7% for at opnå en tilfredsstillende datatilpasning. Da den antagne datausikkerhed er uniform, har den ikke væsentlig indflydelse på tolkningsresultatet, men nogen betydning for modelparameteranalysen.

## 4 1D-LCI-OPSÆTNING / TOLK- NING

Dette afsnit indeholder vejledende angivelser for 1D-LCI opsætningen. Tolkingsresultaterne for hvert profil bør vurderes med evt. efterfølgende justeringer af de laterale bånd, startmodel mm.

Før LCI-tolkningen foretages, bør sonderingerne tolkes uden de laterale bånd. Herved får man et sammenligningsgrundlag til LCI-tolkningen. Hvis der opnås en dårlig datatilpasning i tolkningen uden bånd, bør filtreringen og midlingen for sonderinger med dårlig datatilpasning revurderes og datapunkter evt. slettes. Endvidere er det en fordel at se på en 2D-tolkning fra f.eks. RES2DINV og dennes datatilpasning, så man kan fastslå, om en evt. dårlig 1D-datatilpasning skyldes 2D-effekter.

Dårligt tilpassede datapunkter skyldes ikke nødvendigvis, at datapunktet er meget støjet eller fejlagtigt, men kan i lige så høj grad skyldes 2D- og 3D-effekter.

### LCI-OPSÆTNING

LCI-tolkningen forudsætter at man har lige mange lag i alle de sammenbundne 1D-modeller. På baggrund af tolkninger uden bånd vurderes det, hvor mange lag man skal have i LCI-modellen. I områder, hvor man kan nøjes med færre lag end i udgangsmodellen, kan man evt. låse modstanden mellem to lag sammen vertikalt, således at de i tolkningsresultatet fremstår som ét lag. Alternativt kan man opsplitte profilet i flere dele.

Det kan være en fordel at give startmodellen lidt struktur, specielt mht. dybdeplaceringen af laggrænserne. Endvidere bør man indføre et tyndt frit top lag i modellerne for at kunne tilpasse effekterne fra overfladenære inhomogeniteter. Effekterne ses som fluktuerende datakurver fra konfigurationer med overfladenære vertikale fokuspunkter.

Følgende opsætning for de laterale bånd anbefales:

- Anvend kun laterale bånd til nabomodellen
- Anvend laterale bånd på modstande og dybder
- Første lags modelparametre gøres helt frie (ingen laterale bånd). Tykkelsen af første lag sættes til 0,5-1 m i startmodellen.
- Angiv de laterale bånd på dybderne som en absolut værdi (ny indstilling i em1dinv - se manual, /1/).

Nedenstående vejledende størrelser for de laterale bånd er gældende, hvis man kører em1dinv på ascii-fil niveau. Anvendes brugerinterface-programmer til em1dinv (SIP, Semdi, Emma), skal der lægges 1 til båndene.

Styrken af de laterale bånd ved en sonderingsafstand på 10 m:

- Første lag: ingen bånd.
- Øvrige lag, modstande: 0,1 for modstande
- Øvrige lag, dybder: +/- 5 m. Selvom dybdebånd opfattes absolut, skrives de relativt som 5/dybde\_n, hvor dybde\_n er dybden til laget i startmodellen.

## 5 TOLKNING I RES2DINV

I det følgende gennemgås indstillinger i Res2dinv til tolkning af data optaget med gradient-array-protokoller.

Indstillingerne er udvalgt på basis af Res2dinv version 3.54.35. Alle indstillinger er vejledende, og det er altid en god ide at afprøve alternative tolkninger/indstillinger for at få en ide om omfanget af mulige inversionsresultater.

### PROCESSERING

Til en 2D tolkning i Res2dinv skal data ikke midles og opdeles i sonderinger som beskrevet i tidligere afsnit. Til en 2D tolkning er det tilstrækkeligt at fjerne decideret fejlbehæftede data. Res2dinv har en funktion til at fjerne støjede eller fejlbehæftede datapunkter i datafilen under menupunktet **Edit/Exterminate bad data-points**. Denne funktion er uhensigts-

mæssig at anvende med data optaget i gradient-array-konfigurationen, da Res2dinv's laterale sorteringsalgoritme ikke fungerer optimalt. Data kan derfor se støjede/fejlbehæftede ud, uden at være det.

### DATAFORMAT

Til gradient-array data anvendes det generelle format (general-array). For dette format angiver man (x,z) for hver elektrode, hvor x er profilkoordinaten og z er topografien. I figur 5.1 er vist et eksempel på en datafil til Res2dinv i general array format.

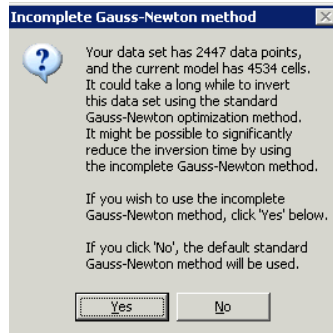
Når datafilen indlæses åbner dialogboksen i figur 5.2 (afhængig af data-sættets størrelse). Ved svaret **Yes** anvendes en approksimativ løsning, der giver mindre præcise resultater. Ved **No** anvendes den mest nøjagtige løsning. Vi anbefaler at svare **No**, men man kan komme ud for, at

```

Eksempelfil
2.5
11
0
Type of measurement (0=app.resistivity,1=resistance)
1
4108
0
4 0 82.20 270 83.02 30 82.29 60 82.38 0.108822
4 0 82.20 270 83.02 60 82.38 90 82.47 0.031757
4 0 82.20 270 83.02 90 82.47 120 82.57 0.007749
4 0 82.20 270 83.02 120 82.57 150 82.66 0.007508
4 0 82.20 270 83.02 150 82.66 180 82.75 0.012742
4 0 82.20 270 83.02 180 82.75 210 82.84 0.026672
4 0 82.20 270 83.02 210 82.84 240 82.93 0.086545
4 10 82.23 280 83.05 40 82.32 70 82.41 0.094371
4 10 82.23 280 83.05 70 82.41 100 82.50 0.027347
4 10 82.23 280 83.05 100 82.50 130 82.60 0.010383
4 10 82.23 280 83.05 130 82.60 160 82.69 0.007792
4 10 82.23 280 83.05 160 82.69 190 82.78 0.012779
4 10 82.23 280 83.05 190 82.78 220 82.87 0.024903
4 10 82.23 280 83.05 220 82.87 250 82.96 0.087423
4 20 82.26 290 83.08 50 82.35 80 82.44 0.095494
: : : : : : : : :
N Ax Az Bx Bz Mx Nz Dataværdi

```

Figur 5.1 Eksempel på datafil til Res2dinv i general array formatet, angivet af (11-tallet i linie tre). Første kolonne angiver antallet af elektroder. De følgende 8 kolonner angiver x- og z-positioner for de fire elektroder. Sidste kolonne er dataværdien, her angivet som den målte modstand (resistance)



Figur 5.2 'Incomplete Gauss-Newton'-boksen der åbner efter indlæsning af et datasæt.

meget store datasæt ikke kan invertres, med mindre man svarer **Yes**. Hvis man vil anvende L1-norm SKAL man svare **No**, da programmet ellers ikke foretager en korrekt L1-norms løsning.

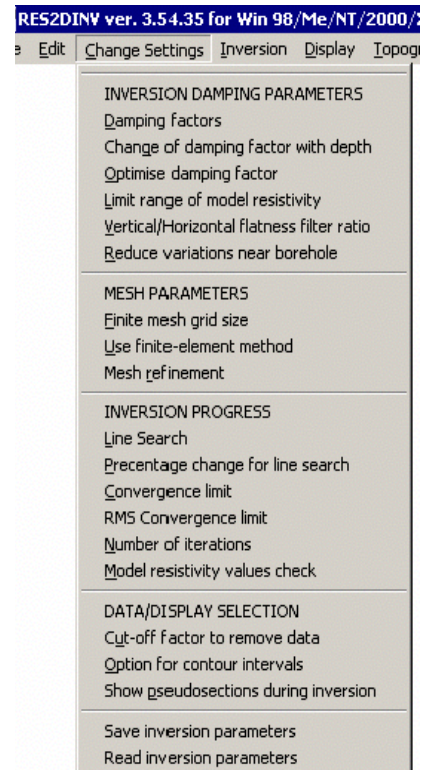
**INDSTILLINGER I PROGRAMMET**

I det følgende gennemgås de vigtigste menupunkter i forbindelse med inversion af gradient-array data i Res2dinv.

Alle inversionsindstillinger i Res2dinv kan gemmes til en fil med filtypenavnet ivp (\*.ivp). Alle indstillinger beskrevet i det følgende er identiske med de indstillinger man kan finde i ivp-filen gradient.ivp på GeoFysik-Samarbejdets hjemmeside. Ivp-filen indlæses under **Change Settings/Read inversion parameters**. Man bør kontrollere at de indlæste værdier er konsistente med nedenstående anbefalede værdier. Dette gøres ved at gennemgå de enkelte menupunkter i Res2dinv.

**CHANGE SETTINGS**

**Change Settings**-menuen vist i figur 5.3 indeholder en række indstillinger der påvirker inversionen. I det følgende beskrives de vigtigste menupunkter.



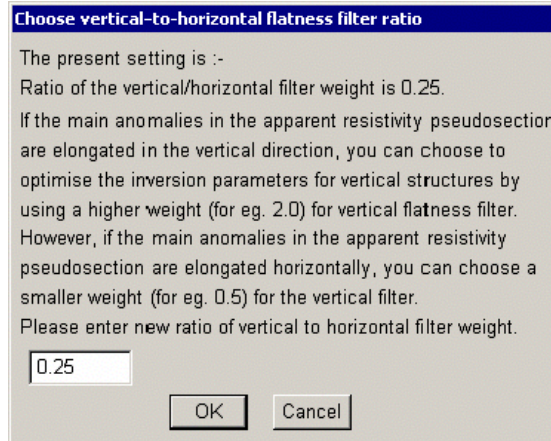
Figur 5.3 'Change Settings'-menuen.

**Vertical/horizontal flatness filter ratio.**

- 0,25 kan anvendes til gradient-array-konfigurationer (figur 5.4). I Res2dinv stabiliseres inversionen ved at lægge bånd imellem de enkelte kasser, der indgår i opbygningen af 2D-modellen. Som default-indstilling er båndene mellem kasserne lige store i den horisontale og den vertikale retning. I sedimentære miljøer er sammenhængen dog ofte større i den horisontale end i den vertikale retning. Denne information indføres i programmet ved at angive **vertical/horizontal flatness filter ratio** mindre end 1,0.

**Convergence limit og RMS convergence limit.**

- Standardindstillingerne kan bruges som udgangspunkt. Disse værdier styrer hvornår programmet stopper med at iterere. Med gra-



Figur 5.4 'Vertical to horizontal flatness filter ratio'-menuen.

dient-array-data er det i mange tilfælde nødvendigt at foretage flere iterationer end standardindstillingerne giver. Det vil dog være forskelligt fra datasæt til datasæt, hvordan indstillingerne skal være.

**INVERSION**

**Inversion**-menuen, vist i figur 5.5, styrer de nærmere detaljer omkring inversionen og modelopbygningen. I det følgende gennemgås centrale indstillinger.

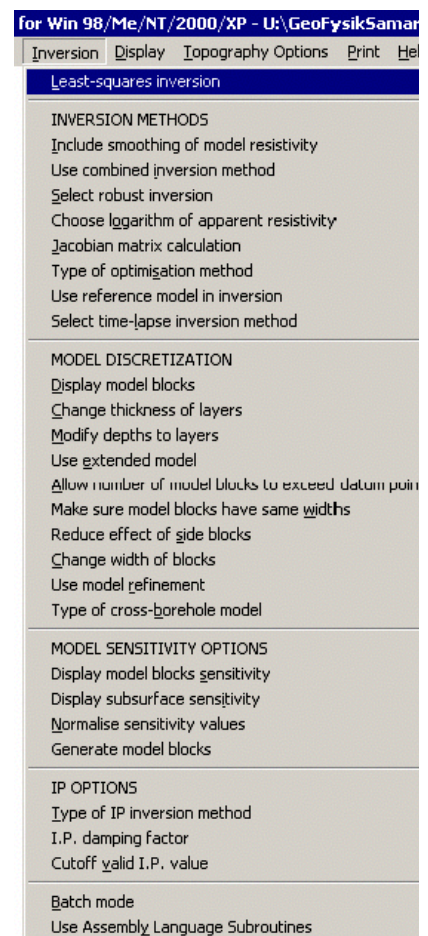
**Least squares inversion**

- Starter inversionen når alt er indstillet.

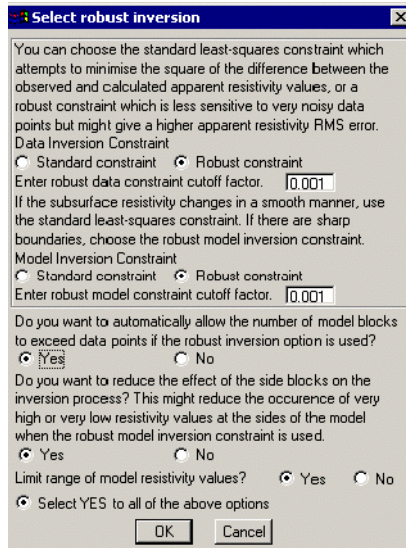
**Select robust inversion.**

- De to constraint-værdier sættes til 0.001. Feltet **Select YES to all of the above options** markeres (figur 5.6).

For gradient-array data anbefales det at anvende L1-norms inversion i Res2dinv kaldet robust inversion. Pga. de skæve konfigurationer der indgår i gradient-array protokollerne er data generelt lidt mere støjede end traditionelle Wenner-Schlumberger-data. For støjede data er det en fordel at anvende L1-norms inversion. En L1-norms inversion frembringer modeller der har skarpere modstandsovergange.



Figur 5.5 'Inversion'-menuen.



Figur 5.6 Dialogboks til 'Select robust inversion'-menuen.

**Jacobian matrix calculation.**

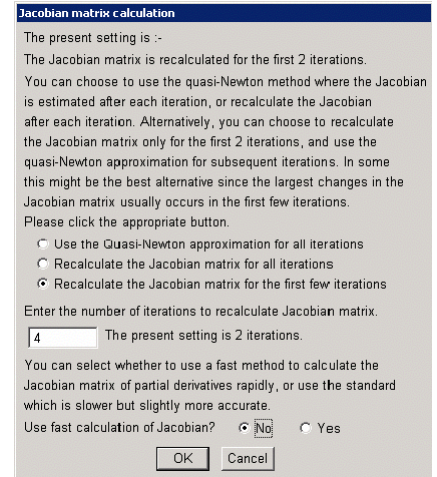
- Afkryds feltet **Recalculate the Jacobian matrix for all iterations**, og sig **No** til **Use fast calculation of Jacobian** (figur 5.7).

Da gradient-array data har store kontraster i følsomheder (se figur 2.4), er det en fordel at regne så nøjagtigt som muligt i inversionen. Det mest præcise er at genberegne Jacobematrixen for hver iteration. Har man begrænset regnekraft/regnetid, kan man afkrydse **Recalculate the Jacobian matrix for the first few iterations** og angive mindst 4 i boksen nedenfor.

**Type of optimization method.**

- Feltet **Standard Gauss-Newton** afkrydses. Resten af formen er indstillinger for det andet felt **Incomplete Gauss-Newton** (figur 5.8).

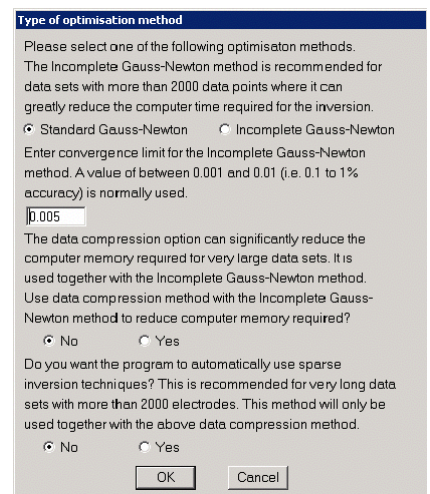
Også denne form drejer sig om mulige approksimationer, hvis man inverterer på meget store datasæt. Det anbefales at undgå approksimationerne, hvis det overhovedet er muligt. Resultaterne fra en L1-norms inversion (i Res2dinv kaldet Robust



Figur 5.7 Dialog boks til 'Jacobian matrix calculation'-menuen.

inversion) er markant forskellige inverteret hhv. med og uden approksimationerne slået til. Resultatet med approksimationerne ligner til forveksling en almindelig L2-norms inversion.

**Display model blocks.**



Figur 5.8 Dialogboks til indstillinger for 'Type of optimization method'

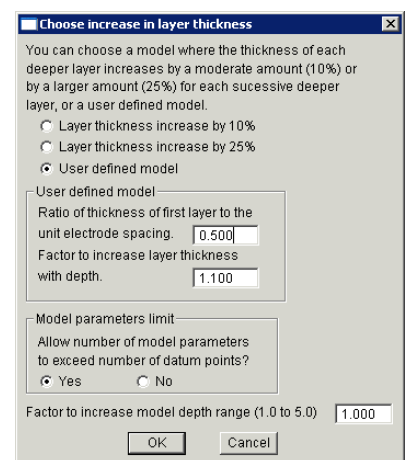
I denne menu kan man se programmets aktuelle inddeling af modelblokkene. I vinduet der kommer op angiver programmet 'Maximum pseudo depth'. Tallet angiver den største indtrængningsdybde for det indlæste datasæt - helt præcist den dybde hvor der er 50% følsomhed over og 50% følsomhed under for konfigurationen med den største indtrængningsdybde.

### Change thickness of layers.

- **User defined model** vælges. **Ratio of thickness of first layer to the unit electrode spacing** sættes til 0,5. **Factor to increase layer thickness with depth** sættes til 1,1 (figur 5.9).

I **Change thickness of layers** dialogboksen kan man justere både dybden af modelsektionen og tykkelsen af de enkelte lag. I defaultindstillingen vælger Res2dinv tykkelsen af 1. lag baseret på de indlæste data. Denne tykkelse bliver herefter ganget med en faktor for hvert lag, så lagene bliver tykkere og tykkere nedefter. Dybden af det sidste lag er bestemt af **Maximum pseudo depth**. Betegnelsen **unit electrode spacing**, der

anvendes i dialogboksen, er desværre misvisende, idet det der beregnes efter er den mindste cellebredde i modellen. Med 5 m mellem elektroderne vælger programmet som default 2,5 m brede celler, hvilket betyder, at første lags tykkelse med ovennævnte indstillinger bliver 1,25 m.



Figur 5.9 Dialogboks til 'Change thickness of layers'-menuen.

## 6

## REFERENCER

1. Auken, E., Christiansen, A. V., Jacobsen, B. H., Foged, N., and Sørensen, K. I., 2003, Piecewise 1D Laterally Constrained Inversion of resistivity data: Submitted to Geophysical Prospecting
2. Christiansen, A. V., Auken, E., Foged, N., and Sørensen, K. I. 2003, Em1dinv - User manual: Geologisk Institut, Århus Universitet
3. Dahlin, T. and Zhou, B., 2002, Gradient and mid-point referred measurements for multi-channel 2D resistivity imaging: Proceedings, Integrated Case Histories session, 8th meeting EEGS-ES, Aveiro, Portugal
4. Foged, N., Christiansen, A. V., Auken, E., and Sørensen, K. I., 2004, Kombineret LCI-tolkning af MEP og TEM data - Koncept og tolkningseksempler: GeoFysikSamarbejdet, Geologisk Institut, Århus Universitet
5. Møller, I., Jacobsen, B. H., and Christensen, N. B., 2001, Rapid inversion of 2-D geoelectrical data by multichannel deconvolution: Geophysics, 66, 800-808
6. Oldenburg, D. W., 1978, The interpretation of direct current resistivity measurements: Geophysics, 43, 610-625
7. Zhou, B. and Dahlin, T., 2003, Properties and effects of measurement errors on 2D resistivity imaging surveying: Near Surface Geophysics, 1, 105-117
8. GeoFysikSamarbejdet, 2004, Vejledning og kravspecifikation for MEP-målinger - Maj 2004

Gradient-array-protokollerne findes på GeoFysikSamarbejdes hjemmeside: [WWW.gfs.au.dk](http://WWW.gfs.au.dk)



**BILAG 1**

Vertikale- og laterale fokuspunkter for  
gradient-array konfigurationerne.

### 3-kanals gradient protokol (Grad3I6, Grad3s6)

A og B: Strømelektroder

M og N: Potentialelektroder

Elektrodafstand: 5 m

A [m]	B [m]	M [m]	N [m]	Lateralt fokuspunkt [m]	Vertikalt fokuspunkt [m]
0	40	5	10	5.8	2.7
0	40	10	15	11.5	5.2
0	40	15	20	17.2	7.2
0	40	20	25	22.8	7.2
0	40	25	30	28.5	5.2
0	40	30	35	34.2	2.7
0	80	10	20	11.6	5.4
0	80	20	30	23.0	10.4
0	80	30	40	34.3	14.5
0	80	40	50	45.7	14.5
0	80	50	60	57.0	10.4
0	80	60	70	68.5	5.4
0	160	20	40	23.3	10.8
0	160	40	60	46.0	20.8
0	160	60	80	68.7	29.0
0	160	80	100	91.3	29.0
0	160	100	120	114.0	20.8
0	160	120	140	136.7	10.8
0	240	30	60	35.0	16.2
0	240	60	90	69.1	31.1
0	240	90	120	103.0	43.5
0	240	120	150	136.9	43.5
0	240	150	180	170.9	31.1
0	240	180	210	205.0	16.2
0	320	40	80	46.8	21.6
0	320	80	120	92.2	41.5
0	320	120	160	137.4	58.0
0	320	160	200	182.6	58.0
0	320	200	240	227.8	41.5
0	320	240	280	273.2	21.6

## 4-kanals gradient protokol (Grad4I8, Grad4s8)

A og B: Strømelektroder

M og N: Potentialelektroder

Elektrodafstand: 5 m

A [m]	B [m]	M [m]	N [m]	Lateralt fokuspunkt [m]	Vertikalt fokuspunkt [m]
0	50	5	10	5.7	2.7
0	50	10	15	11.3	5.0
0	50	15	20	16.7	7.5
0	50	20	25	22.2	9.2
0	50	25	30	27.7	9.2
0	50	30	35	33.2	7.5
0	50	35	40	38.7	5.0
0	50	40	45	44.3	2.7
0	100	10	20	11.3	5.3
0	100	20	30	22.5	10.0
0	100	30	40	33.5	15.0
0	100	40	50	44.5	18.5
0	100	50	60	55.5	18.5
0	100	60	70	66.5	15.0
0	100	70	80	77.5	10.0
0	100	80	90	88.7	5.3
0	200	20	40	22.7	10.6
0	200	40	60	45.0	20.0
0	200	60	80	67.0	29.9
0	200	80	100	89.0	37.0
0	200	100	120	111.0	37.0
0	200	120	140	133.0	29.9
0	200	140	160	155.0	20.0
0	200	160	180	177.3	10.6
0	300	30	60	34.3	16.0
0	300	60	90	67.6	30.0
0	300	90	120	100.6	44.9
0	300	120	150	133.5	55.5
0	300	150	180	166.5	55.5
0	300	180	210	199.4	44.9
0	300	210	240	232.4	30.0
0	300	240	270	265.7	16.0
0	400	40	80	45.8	21.3
0	400	80	120	90.2	40.0
0	400	120	160	134.1	59.9
0	400	160	200	178.0	74.0
0	400	200	240	221.9	74.0
0	400	240	280	265.9	59.9
0	400	280	320	309.7	40.0
0	400	320	360	354.2	21.3