

GEOFYSIKSAMARBEJDET

**Geofysisk Afdeling
Geologisk Institut
Aarhus Universitet**

**LATERALT SAMBUNDEN TOLKNING AF
TRANSIENTE ELEKTROMAGNETISKE DATA**

SEPTEMBER 2004

INDHOLD

FORORD (1)

INDLEDNING (2)

DATAGRUNDLAGET (3)	Syntetiske Modeller (3.1)	4
	Syntetiske Data (3.2).....	5
	SkyTEM-data (3.3)	6

GEOFYSISK TOLKNING (4)	Processering og tolkning af SkyTEM-data (4.1).....	8
	1D-LCI-tolkning af data (4.2)	8

RESULTATER (5)	Syntetiske data (5.1)	10
	SkyTEM-data (5.2)	16

OPSUMMERING (6)

REFERENCER (7)

1 FORORD

Nærværende rapport er skrevet på baggrund af et specialearbejde udført af Lars H. Jacobsen, som i foråret 2004 blev kandidat fra Geofysisk Afdeling, Aarhus Universitet. Specialeforløbet er foregået i samarbejde mellem GeoFysikSamarbejdet og Geologisk Institut, Aarhus Universitet.

Det overordnede formål med specialearbejdet var at belyse LCI (Laterally Constrained inversion) metodens anvendelse i forbindelse med tolk-

ning af profilorienterede transiente elektromagnetiske data (TEM-data).

I denne rapport beskrives de primære resultater, der er opnået i specialearbejdet. Specialet kan i sin helhed downloades fra GeoFysikSamarbejdets hjemmeside www.gfs.au.dk

Rapporten er udarbejdet af Lars H. Jacobsen, Anders V. Christiansen og Esben Auken.

GeoFysikSamarbejdet 2004.

**2
INDLEDNING**

Den transiente elektromagnetiske metode (TEM) har siden starten af 1990'erne været anvendt i forbindelse med den hydrogeofysiske kortlægning i Danmark. Den overvejende del af målingerne er foretaget med et Geonics PROTEM 47 udstyr. Hvert enkelt datasæt er traditionelt tolket som en 1D-model. Kortlægningerne er primært udført som fladekortlægning, med en datatæthed på ca. 16 målinger pr. kvadratkilometer.

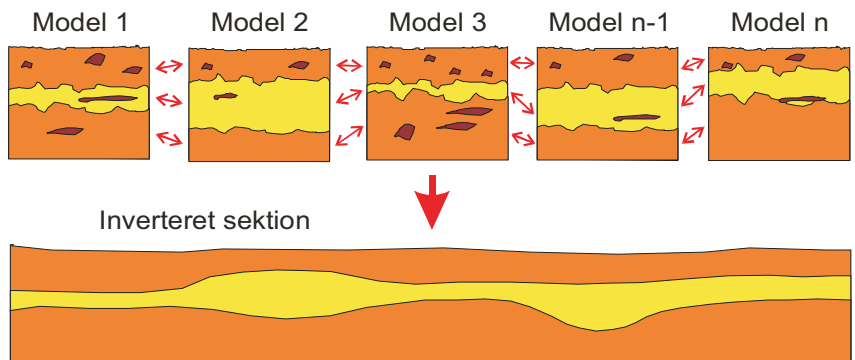
For den nyudviklede SkyTEM-metode er flade datadækningen væsentlig anderledes. Med SKyTEM metoden opnås tættere liggende profilorienterede data, og tolkning med med lateralt sammenbundne modeller (LCI-metoden) er derfor oplagt.

Som skitseret i Figur 2.1 tolkes modellerne i LCI-metoden stykvis som 1D-modeller med laterale bånd mellem mellem de enkelte modeller i ét stort ligningssystem /1/. LCI-tolkningsmetoden medfører skarpe og kontinuerte laggrænser, samt en mere sikker geofysisk model, ifht. hvis data var tolket

hver for sig. LCI-tolkede sektioner kan opfattes som pseudo-2D-sektioner.

I forbindelse med tolkning af geoelektriske data er det vist, at der opnås betragteligt forbedrede tolkningsresultater, hvis data tolkes med lateralt sammenbundne modeller /1/. Det er derfor interessant at undersøge, om der ligeledes kan opnås forbedrede tolkningsresultater, hvis TEM-data tolkes med lateralt sammenbundne modeller, samt i hvilket omfang a priori information kan forbedre tolkningsresultaterne.

I denne rapport beskrives først datagrundlaget, som omfatter både syntetiske TEM-data og SkyTEM-data. Dernæst gennemgås den traditionelle stykvis 1D-tolkning og 1D-LCI-tolkningsmetoden. Herefter vises udvalgte tolkningsresultater. Rapporten afrundes med en opsummering og perspektivering af de opnåede resultater.



Figur 2.1 Principskitse af LCI-tolkning. Flere datasæt tolkes med lateralt sammenbundne modeller.

**3
DATAGRUNDLAGET**

Størstedelen af arbejdet er foregået med syntetiske data, som er genereret ved hjælp af 3D-forward-modelleringskoden TEMDDD /2/. Der er beregnet forward-responser for en række store 3D-modeller, som alle afspejler dalstrukturer af varierende udseende. De beregnede responser er efterfølgende blevet behandlet, således at de er sammenlignelige med

feltdata. Dataene er herefter tolket på forskellig vis og tolkningsresultaterne er sammenlignet med udgangsmodellen.

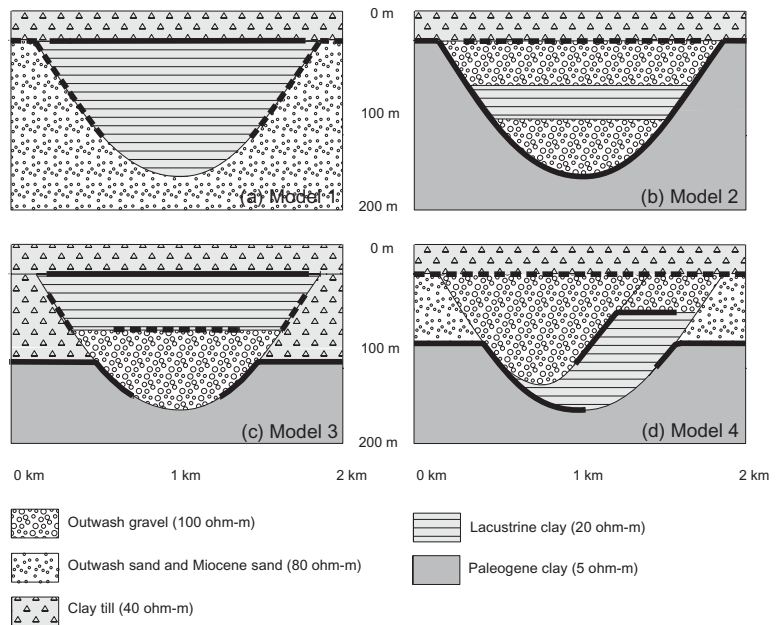
For at efterprøve resultaterne fra de syntetiske data, er der foretaget LCI-tolkninger af feltdata fra SkyTEM-udstyret.

**3.1
SYNTEKISKE MODELLER**

Med udgangspunkt i de "genetiske" dalmodeller fra rapporten "Anvendelse af TEM-metoden ved geologisk kortlægning" /3/, er der opbygget 7 geofysiske/geologiske modeller. Modellernes overordnede karakter

skifter kun i profilretningen, hvorved der reelt er tale om 2D-modeller.

I denne rapport fokuseres på de 4 modeller, der er skitseret i Figur 3.1. Resultater fra yderligere 3 modeller findes i /7/.



Figur 3.1 Modellskitserne af de 4 dalmodeller. Modifieret efter /3/.

MODEL 1 (A)

En simpel dalstruktur, der er nedskåret i et sandet sediment på 100 Ωm. Dalfyldet karakteriseres ved et leret materiale med en modstand på 20 Ωm, mens modstanden i dæklaget har en modstand med en middelværdi på 40 Ωm (moræne) i venstre side af dalen og 400 Ωm (sandet/gruset lag) i højre side af dalen. Vi har valgt at lade lagets modstand variere tilfældigt for at simulere et inhomogent overfladelag.

MODEL 2 (B)

En dalstruktur, der er nedskåret i et leret sediment med en modstand på 10 Ωm. Dalen er udfyldt af et sandet materiale med en modstand på 80 Ωm, hvori der er indlejret et leret materiale med en modstand på 20 Ωm. Dæklaget karakteriseres som før af en moræne og et sandet/gruset lag med varierende modstande.

MODEL 3 (C)

En dalstruktur, der er nedskåret i dels en moræne med en modstand på 40 Ωm, og nederst et leret materiale med en modstand på 10 Ωm. Dalfyldet består nederst af et sandet materiale med en modstand på 100 Ωm, og øverst et leret materiale med en modstand på 20 Ωm. Dæklaget har en karakter som ved de to foregående modeller.

MODEL 4 (D)

En dalstruktur, der er nedskåret i dels et sandet lag med en modstand på 80 Ωm, og nederst et leret materiale med en modstand på 10 Ωm. Dalfyldet udgøres af et leret bundlag med en modstand på 20 Ωm, hvori der er nedskåret en mindre dal. Denne er udfyldt med et sandet materiale med en modstand på 100 Ωm, der samtidig udfylder resten af den store dal. Dæklaget består i hele modellens bredde af et morænelag med en middelmodstand på 40 Ωm.

**3.2
SYNTEKISKE DATA**

GENERERING AF DATA

Henover modellerne er der beregnet profilorienterede forward-responser (syntetiske data) for hver 20 m. Dataene er genereret for en måleopstilling, som svarer til den traditionelle 40x40 m² PROTEM 47 konfiguration.

De syntetiske data er i udgangspunktet støjfrie. For at simulere feltdata er de syntetiske data dels pålagt støj, dels multipliceret for at simulere forskellige strømstyrker.

Støjen simuleres ved at perturbere responserne med gaussfordelt støj fra to støjkluder. Støjkilderne udgøres dels af tilfældig støj, dels af uniformt fordelt støj. Den uniforme støj simulerer blandt andet instrumentstøj og giver

et konstant bidrag til alle tider. Den tilfældige støj simulerer baggrundsstøjen og sættes derfor proportional med $t^{-1/2} / 4$. Det "støjede" respons er derved givet ved:

$$\frac{dB}{dt} = \frac{dB_n}{dt} G(0, 1) + \frac{dB_{nn}}{dt}$$

hvor dB/dt er det støjede respons og $G(0, 1)$ er gaussfordelingen med en middelværdi på 0 og en spredning på 1. dB_{nn}/dt er det støjfrie respons, mens dB_n/dt er støjbidraget (spredningen), som er givet ved:

$$\frac{dB_n}{dt} = \frac{dB_{nn}}{dt} \left[(N_{uni})^2 + \left(\frac{N_{tilf}}{\frac{dB_{nn}}{dt}} \right)^2 \right]^{1/2}$$

hvor N_{uni} er den uniforme støj, og N_{tilf} er den tilfældige baggrundsstøj, som er givet ved /4/:

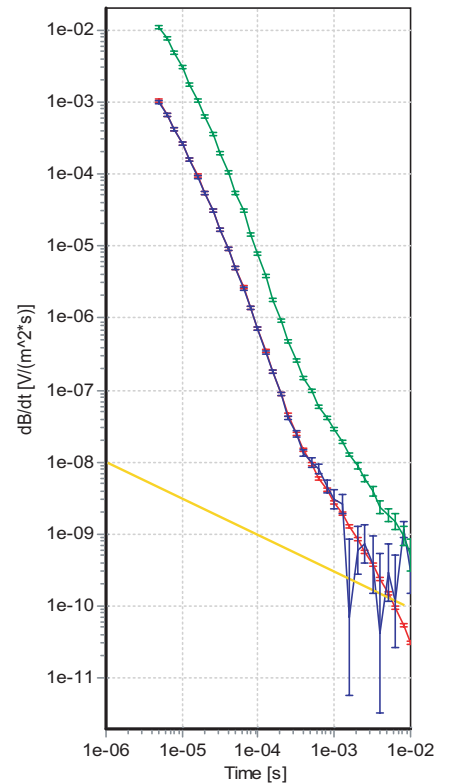
$$N_{tilf} = b \left(\frac{t}{10^{-3}} \right)^{-1/2}$$

hvor b er støjniveauet ved 1 ms, mens t er tiden.

For de syntetiske data er den uniforme støj sat til 2 %, mens den tilfældige baggrundsstøj er sat til 3 nV ved 1 ms.

Resultaterne i denne rapport er primært simuleringer af det traditionelle PROTEM 47 TEM-udstyr, med en sender loop på 40x40 m² og en strømstyrke på 3 A. Denne målekonfiguration resulterer i et sendermoment på 4800 Am². Resultater af simuleringer med højmoment TEM-systemet (sendermoment 50.000 Am².) findes i /7/ .

I Figur 3.2 er der et eksempel på både et støjede datasæt med højtmoment (grøn), lavt moment (blå) og et ustøjede datasæt med lavt moment (rød). Den gule linie i figuren angiver den gennemsnitlige støj og har en hældning på -1/2. Det ses, at ved at øge momentet hæves signalet over støjniveauet, hvorved data til senere tider er mindre støjede. Endvidere ses det, at de støjede datasæt har karakter som rigtige datasæt målt i felten.



Figur 3.2 Plot af et ustøjet lavmomentdatasæt (rød), et støjede lavmomentdatasæt (blå) og et støjede højmomentdatasæt (grøn). Den gule linie angiver den tilfældige baggrundsstøj (N_{tilf}) og har en hældning på -1/2. Støjniveauet ved 1 ms er 3 nV.

3.3 SKYTEM-DATA

PROFILERNE

De anvendte SkyTEM-data er indsamlet i efteråret 2003 og stammer fra to

undersøgelelsesområder. Det første område er nord for Århus ved

Langskov, det andet område ligger ved Stilling/Stjær, sydvest for Århus.

DATA

SkyTEM-dataene er målt i en højde af ca. 15 - 30 m, med en flyvehastighed på ca. 20 km/t. Dataene er indsamles i cykler, der indeholder 5 datasæt

med et lavt moment og 5 datasæt med et højt moment. Hver enkelt datasæt indeholder 200-300 transiente målinger. Det lave moment dækker tidsintervallet ca. 24 μ s - 1,4 ms og sendermomentet er ca. 3000 Am². Det høje moment dækker tidsintervallet ca. 0,15 - 3,5 ms, og sendermomentet er ca. 28000 Am².

4

GEOFYSISK TOLKNING

I forbindelse med den geofysiske tolkning af de syntetiske data og SkyTEM-dataene er der foretaget traditionelle stykvisse 1D-tolkninger, MCI-tolkninger (Mutually Constrained Inversion) /5/ og LCI-tolkninger. De stykvisse 1D-tolkninger af de syntetiske data og MCI-tolkningen af SkyTEM-dataene er

foretaget med henblik på at opnå et sammenligningsgrundlag til LCI-tolkningerne. De stykvisse 1D-tolkninger og MCI-tolkningerne er foretaget som fålagstolkninger, hvor der vælges en model, som tilpasser data med færrest muligt antal lag.

4.1

PROCESSERING OG TOLKNING AF SKYTEM-DATA**PROCESSERING**

Rådata indlæses i processeringsprogrammet (SITEM) og sammenkobles med information om bl.a. målegeometri, lavpasfiltre, op- og nedrampning af senderstrømmen og kalibreringsparametre. For at reducere støjen stakkes de 5 datasæt fra henholdsvis lavmoment- og højmomentmålingerne hver for sig, hvorved der for hver 20 - 30 m opnås et stakket lav- eller højmomentdatasæt.

Da flyvehøjden ikke er konstant i datamidlingsintervallet på 5 datasæt, anvendes middelhøjden inden for midlingsintervallet. Beregninger har vist, at dette er acceptabelt, hvis flyvehøjden varierer mindre end 10 m inden for midlingsintervallet.

MCI-TOLKNING

Lav- og højmoment SkyTEM-responserne ønskes samtolket, således at der opnås en god opløsning af både den

overfladenære og den dybereliggende geologi. SkyTEM målingerne foretages kontinuert, hvorved lavmoment- og højmomentdelen ikke er målt på præcist samme lokalitet og i samme højde. Dette medfører, at tolkning af høj- og lavmomentdelene til én fælles model ikke altid er mulig. SkyTEM-dataene tolkes derfor med MCI-metoden, hvor der knyttes en model til både højmoment- og lavmomentdelen. Som skitseret i Figur 4.1 knyttes de to modeller sammen med et bånd, der sørger for, at modellerne ligner hinanden inden for den tilladte laterale variation. Slutmodellen er en midling af de to separate modeller.

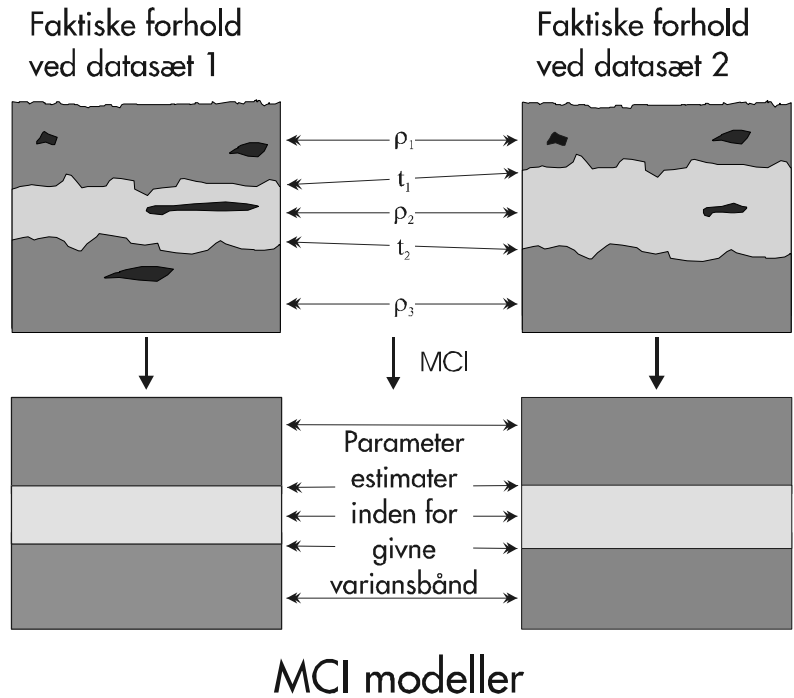
Da SkyTEM opstillingen er hævet over jordoverfladen, repræsenterer første lag i tolkningerne luftlaget mellem opstillingen og jordoverfladen. Luftlagets modstand låses fæst på en modstanden på 10.000 Ω m, mens tykkelsen sættes til flyvehøjden.

4.2

1D-LCI-TOLKNING**SYNTEKISKE DATA**

LCI-kørslerne på de syntetiske data er foretaget med udgangspunkt i resultaterne, der tidligere er opnået på geoelektriske data /1/. Der er således

lavet kørsler, hvor der er lagt bånd mellem modstandene og dybderne til laggrænserne. Styrken af båndene mellem modellerne varierer mellem 1,1 og 1,5. Båndene kan opfattes som



Figur 4.1 Principskitse af MCI-tolkning. To datasæt tolkes med to sammenbundne modeller.

en faktor på, hvor meget modelparametrene må variere. For hver modeltype er båndene justeret for at opnå et optimalt resultat.

Båndstørrelserne har for hver modeltype været ens for alle parametre af samme type. Det vil sige, at båndet på $\rho_1 = \dots = \rho_n$ og $d_1 = \dots = d_{n-1}$, hvor n er antallet af lag.

Antallet af lag i modellerne er valgt ud fra de stykvist tolkede 1D-modeller. Det er gjort således, at der anvendes et antal lag svarende til den tolkede model med flest antal lag.

SKYTEM-DATA

LCI-tolkningen af SkyTEM-dataene er foretaget således, at de enkelte datasæt repræsenteres ved særskilte modeller, som fortløbende bindes sammen med laterale bånd.

LCI-startmodellerne indeholder, som for MCI-tolkningerne, et luftlag, der repræsenterer flyvehøjden. Sammenbindingen af modellerne er foregået på modstandene og dybden til laggrænserne.

Båndstørrelserne skaleres med afstanden mellem sonderingerne. Denne skalering foretages ud fra følgende ligning:

$$LC_{anv} = LC_{opt} \sqrt{\frac{\Delta GPS}{20m}}$$

hvor LC_{anv} er det anvendte bånd, LC_{opt} er det optimale bånd ved en afstand mellem sonderingerne på 20 m og ΔGPS er afstanden mellem sonderingerne.

5 RESULTATER

I det følgende afsnit vises og kommenteres de opnåede resultater. Først gives en kort introduktion til de anvendte båndstørrelser. Dernæst

vises og beskrives de resultater, der er opnået på de 4 modeller. Endvidere vises LCI-tolkninger af de to SkyTEM-profiler.

5.1 SYNTETISKE MODELLER

BÅNDSTØRRELSER

For i fremtiden at kunne anvende LCI-tolkning af TEM-data rutinemæssigt, er det nødvendigt at undersøge, hvilke båndstørrelser der er optimale for netop denne datatype.

Et optimalt valg af båndstørrelser vil føre til, at samspillet mellem bånd og data opløser modellen bedre. Det ønskelige er, at hvor data alene opløser modelsektionen godt, nedtones båndenes indflydelse på inversionsresultatet, mens deres indflydelse vokser i takt med, at dataenes evne til at opløse modellen falder. Det er dog vigtigt at have for øje, at de laterale bånd, og bånd i det hele taget, anvendes for at forbedre tolkningsresultaterne. Derfor er det vigtigt, at båndene vælges således, at de ikke er i konflikt med den forventede geologi eller de målte data.

Der er arbejdet med bånd på dybde- og modstandsparametrene. De optimale størrelser af disse ved en data-tæthed på 20 m viser sig at være 1,1 for dybdebåndene og 1,2 - 1,3 for modstandsbåndene.

RESULTATER AF LCI-INVERSION

De anvendte data er, hvor ikke andet er nævnt, genereret ud fra et moment på 4800 Am^2 , hvilket svarer til normale PROTEM 47 målinger med en $40 \times 40 \text{ m}$ senderspole.

MODEL 1

I Figur 5.1 ses tolkningsresultaterne for modelsektion 1.

Sektion a viser udgangsmodellen, mens sektion b viser den stykvis 1D-tolkning (ingen laterale bånd) med tilhørende parameteranalyse og residualer. I sektion c ses LCI-tolkningen med tilhørende modelparameteranalyse og residualerne. Modelparameteranalysen angiver, hvor godt de enkelte modelparametre er bestemt. De varme farver (røde) angiver godt bestemte parametre, mens de mere kolde farve angiver dårligere bestemte parametre. Residualplotene angiver hvor godt hhv. data og båndene er tilpasset. Et residual under 1 svarer til, at data/bånd tilpasses inden for usikkerheden.

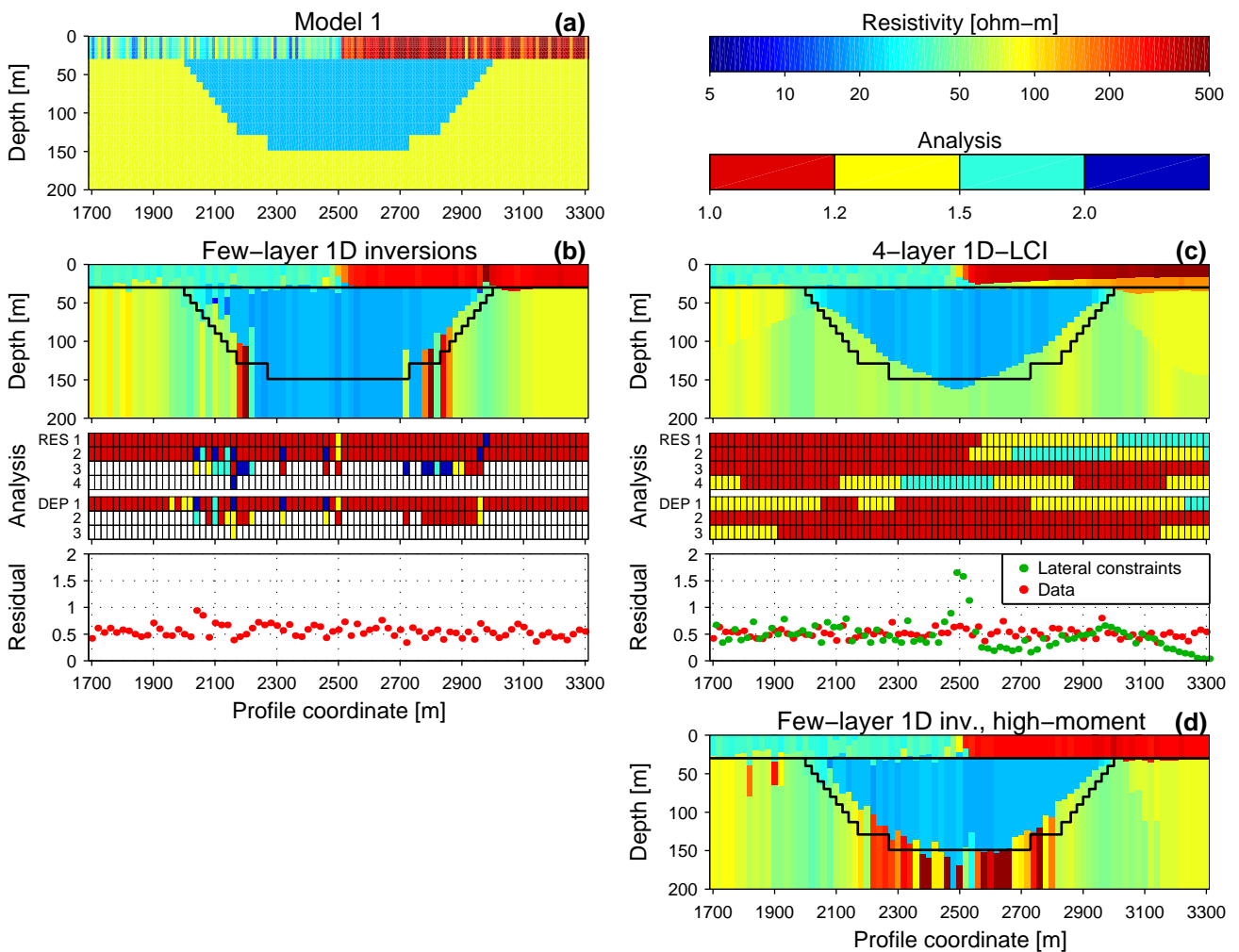
For de stykvis 1D-tolkninger i sektion b ses det, at dæklaget overvejende gengives pænt, og modstandsskiftet i 2500 m opløses. I forbindelse med modstandsskiftet i dæklaget forventes en 2D-effekt. Denne er dog nedtonet, idet der arbejdes hen over et lavmodstandslag. Der ses dog markante 2D-effekter i $100 \Omega\text{m}$ laget, der omslutter den nedskårne dal. Her bliver responserne, selv et stykke fra dalen, påvirket af den gode leder, der udgør dalfyllet, hvorved modstandene estimeres for lavt. Ydermere giver dalfyllet også anledning til, at dalflankerne hæves, samt at indtrængningsdybden forringes. Parameteranalysen viser, at parametrene bliver godt bestemt i modellerne med 2 lag, mens bestemmelsen bliver ringere i modellerne med 3 og

4 lag. Af dataresidualet fremgår at data tilpasses inden for datausikkerheden.

4-lags LCI-tolkningen i sektion c, giver udgangsmodellen bedre end i sektion b. Den afviger dog en anelse, idet 2D-effekterne stadig bevirker, at dalbunden hæves, og modstanden underestimeres i 100 Ωm laget.

Sammenlignes sektion c med sektion b er der en pæn overensstemmelse

mellem opløsningen af de overfladenære strukturer, hvor også modstandsskiftet i 2500 m opløses. Med dybden sker der i LCI-sektionen en markant forbedring af opløsningen af dalen og specielt bunden af denne. Dette skyldes to ting; 1) båndene formår at trække tilpas med information om højmodstandslaget med ind fra siderne, 2) den information, der er i data om højmodstandslaget bliver fremhævet med båndene. Der sker en generel udglatning af modellen, sam-



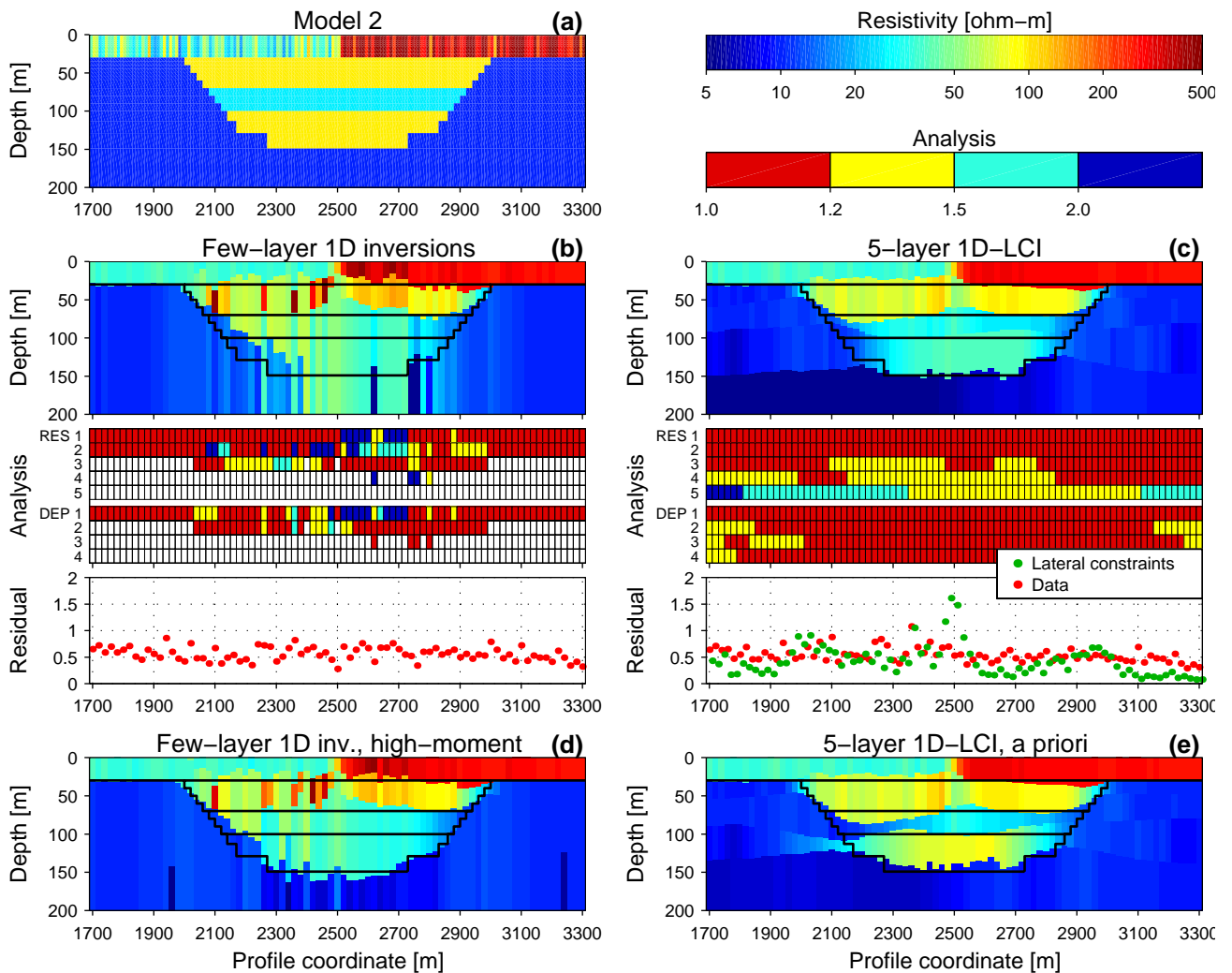
Figur 5.1 Stykvis 1D-tolkninger og LCI-tolkning af syntetiske TEM-responser fra Model 1. a) Udgangsmodel. b) Stykvis 1D-tolkning med tilhørende modelparameteranalyse og bånd- og dataresidualer. c) LCI-tolkning, modelparameteranalyse og bånd- og dataresidual. d) Stykvis 1D-tolkning -data genereret med højt moment.

tidig med at der opnås en god parameterbestemmelse. Af residualerne ses, at både data og bånd tilpasses. I sektion d ses en stykvis 1D-tolkning (ingen bånd), hvor data er genereret ved et højt moment på 50000 Am² - svarende til et Højmoment TEM-system. Det ses, at ved at øge momentet øges indtrængningsdybden, hvorved der opnås en bedre opløsning af modellen end ved sektion b.

MODEL 2

I Figur 5.2 ses tolkningsresultaterne for modelsektion 2.

For den stykvis 1D-tolkning i sektion b ses det, at dæklaget med nogen fluktuation til venstre for 2500 m overvejende opløses pænt. Samtidig ses mindre 2D-effekter som resultat af modstandsskiftet i dæklaget.



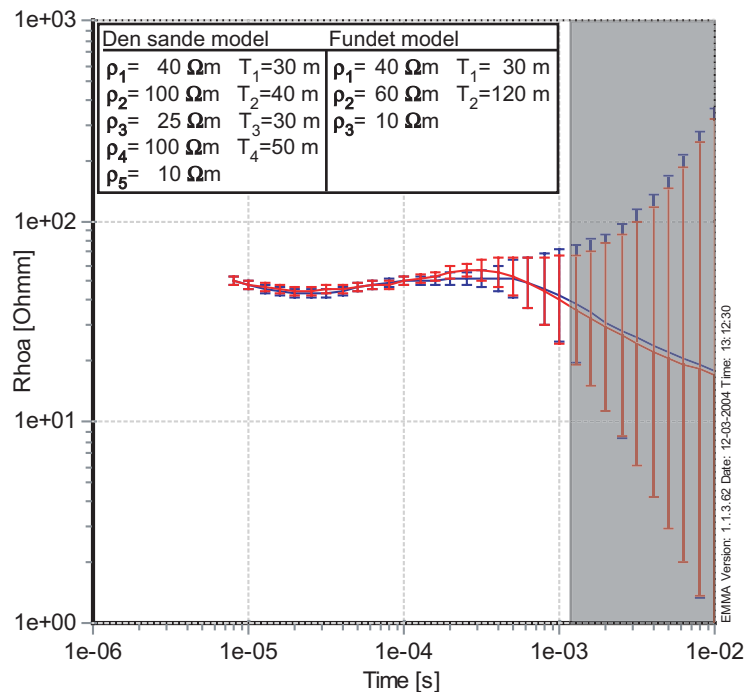
Figur 5.2 Stykvis 1D-tolkninger og LCI-tolkning af syntetiske TEM-responser fra Model 2. a) Udgangsmodel. b) Stykvis 1D-tolkning med tilhørende modelparameteranalyse og bånd- og dataresidualer. c) LCI-tolkning, modelparameteranalyse og bånd- og dataresidual. d) Stykvis 1D-tolkning - data genereret med højt moment. e) LCI-tolkning med prior-information på én model (prior-information på modellen ved 2650 m).

Det indskudte lavmodstandslag i dybden 80-100 m giver imidlertid anledning til kraftig ækvivalens. Således kan dalfyldet i venstre side af dalen tolkes med ét lag, og i højre side med to lag. Ækvivalensen er illustreret i dataplottet i Figur 5.3. I plottet ses sonderingskurver for udgangsmodellen og for modellen i venstre side af dalen fra tolkningen. Sonderingskurverne for de to modeller er næsten sammenfaldende, hvilket gør de to modeller ækvivalente.

Den indskudte gode leder i dalfyldet bevirker, at strømmen bliver hængende i dette lag, hvilket forringer opløsningen af dalbunden. Parameteranalysen viser, at parametrene overvejende bestemmes godt, mens dataresidualerne viser, at data tilpasses inden for datausikkerhederne.

LCI-tolkningen i sektion c, som her er en 5-lagstolkning, opløser dæklaget pænt, og fluktuationerne reduceres kraftigt. Båndene formår at trække tilpas megen information med ind fra højre side af dalen, således at ækvivalensen i det øverste 100 Ωm lag i dalfyldet brydes. Dette betyder samtidig, at toppen af lavmodstandslaget opløses. Yderligere formår båndene at trække informationer med ind fra siden, således at dalbunden også fremkommer i tolkningen. I LCI-tolkningen ses endvidere en antydning af lavmodstandslaget i dalfyldet.

I sektion d ses den stykvis 1D-tolkning med data genereret med et højt moment (50000 Am²). Sammenlignes resultatet med sektion b, resulterer det højere moment i en større indtrængningsdybden og en bedre opløsning af modellen. Det øgede moment giver imidlertid ikke anled-



Figur 5.3 Sonderingskurve for fra den sande model (blå) og LCI-tolkningsmodellen (rød). Data i det gråkraverede område anvendes ikke i tolkningen.

ning til, at ækvivalensen i det nederste 100 Ωm lag opløses.

For denne modelsektion er det undersøgt, om tilførelse af a priori-information til LCI-tolkningerne bevirker en bedre opløsning af modelsektionen. Der er udført en række kørsler med a priori-information tilført én model forskellige steder i profilet. A priori-informationen er tænkt som data fra en boring med detaljeret information om modstande og laggrænser. A priori-informationen tilsvare derfor udgangsmodellen. Usikkerheden på A priori-informationen sættes til 1,2 på modstande og 1,1 på lagtykkelser og dybder.

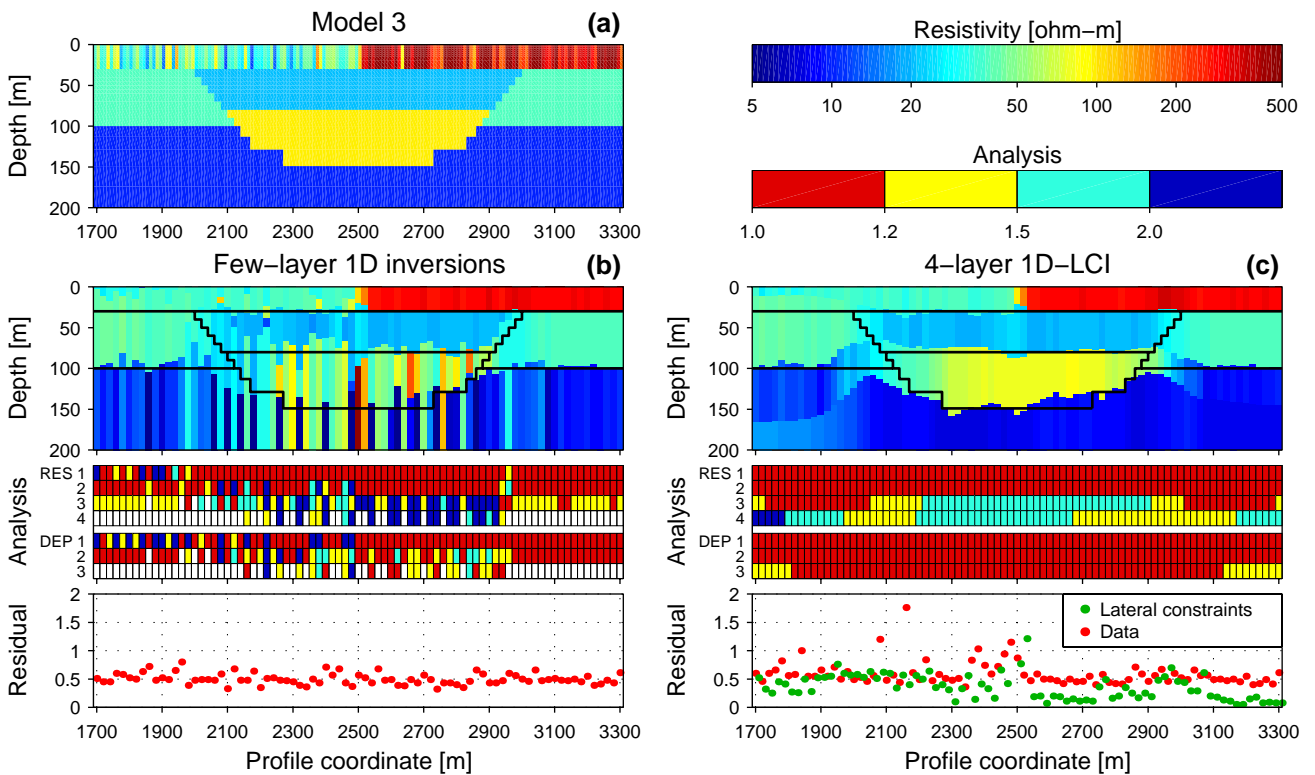
I plot e ses LCI-tolkningsresultatet med A priori-information på modellen ved 2620 m. Båndene formår at

spredde a priori-informationen ud i modellen, hvorved opløsningen af hele modelsektionen forbedres markant. Det lykkes bl.a. at få opløst ækvivalensen for det nederste 100 Ωm lag. Dog underestimeres tykkelsen af det indskudte lerlag, specielt i den venstre side af profilet.

MODEL 3

I Figur 5.4 ses tolkningsresultaterne for modelsektion 3.

For den stykvis 1D-tolkning i sektion b ses det, at dæklaget opløses pænt. Samtidig kan det øverste lavmodstands lag (40 Ωm) i toppen af dalfyldet tydeligt identificeres. Modstanden i det underliggende 100 Ωm lag er meget varierende og underestimeres i de fleste tilfælde. Den varierende



Figur 5.4 Stykvis 1D-tolkninger og LCI-tolkning af syntetiske TEM-responser fra Model 3. a) Udgangsmodel. b) Stykvis 1D-tolkning med tilhørende modelparameteranalyse og bånd- og dataresidualer. c) LCI-tolkning, modelparameteranalyse og bånd- og dataresidual.

modelsektion skyldes, at $100 \Omega\text{m}$ laget i dalen er ækvivalent. $40 \Omega\text{m}$ laget giver her, som det også var tilfældet i model 1 og 2, anledning til, at strømmen bliver hængende, hvilket medfører, at dalbunden i flere tilfælde ikke findes. Parameteranalysen viser generelt godt bestemte parametre for de øverste lag, mens modstanden i 3. og 4. lag er dårligt bestemt. Dataresidualerne viser igen, at data tilpasses inden for usikkerhederne.

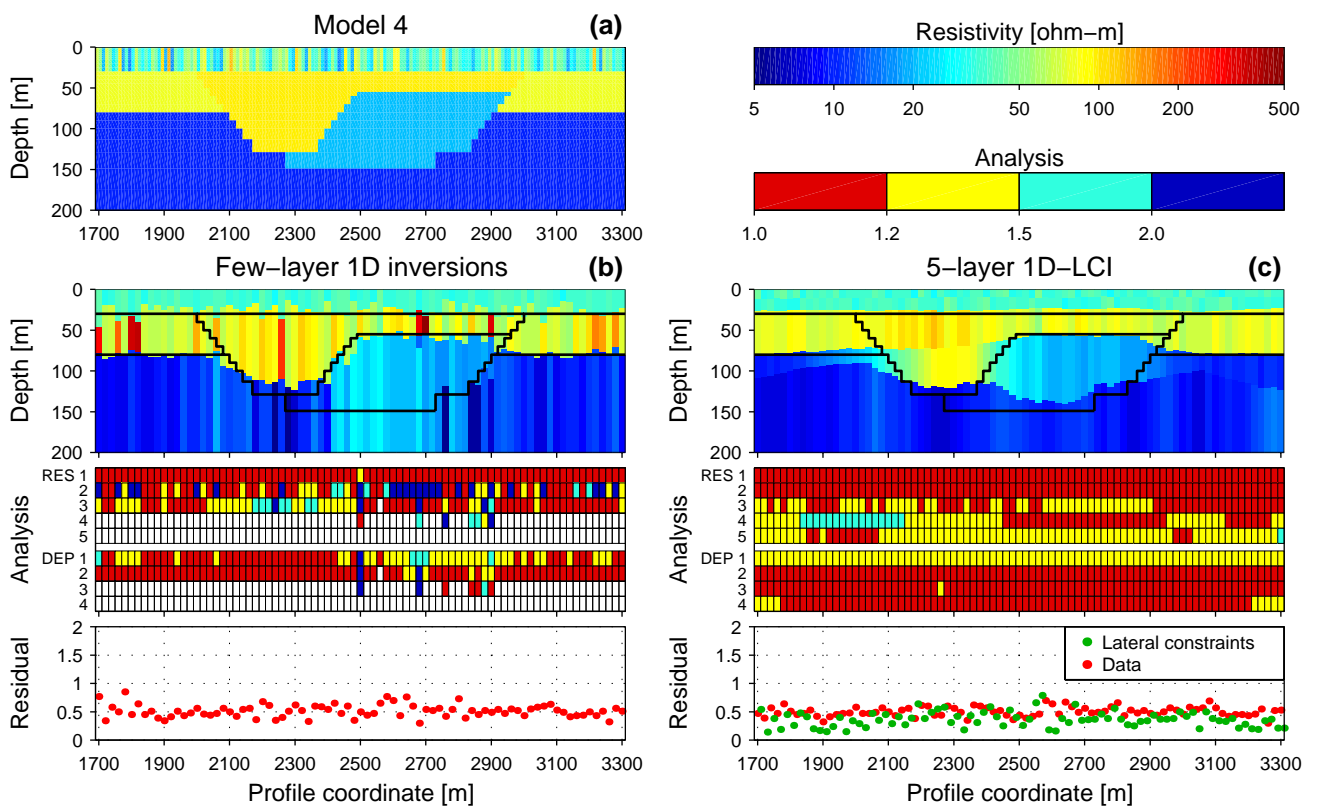
LCI-tolkningen i sektion c, som er en 4-lagstolkning, fremkommer med en generel udglatning af modellen og en god gengivelse af de overordnede strukturer. Dæklaget med modstandskiftet gengives igen godt. Ydermere ses det, at båndene formår at trække information om dalbunden med gen-

nem hele modellen, således at denne opløses. Det bevirker, at tykkelsen og modstanden af $100 \Omega\text{m}$ laget i dalfyldet estimeres bedre. Der ses her igen en god parameterbestemmelse, specielt af alle dybdeparametrene.

MODEL 4

I Figur 5.5 ses resultaterne, der er opnået for model 4.

Den stykvis 1D-tolkning (sektion b), resulterer i en god gengivelse af den overordnede modelsektion. Dalbunden i den højre side af dalen findes dog ikke. Modstanden i $80/100 \Omega\text{m}$ laget fremkommer i tolkningsresultatet med et spraglet udsende, hvilket skyldes mindre ækvivalensproblemer. Dette ses også i modelparameterana-



Figur 5.5 Stykvis 1D-tolkninger og LCI-tolkning af syntetiske TEM-responser fra Model 4. a) Udgangsmodel. b) Stykvis 1D-tolkning med tilhørende modelparameteranalyse og bånd- og dataresidualer. c) LCI-tolkning, modelparameteranalyse, bånd- og dataresidualer.

lysen, hvor modstanden af 2. lag er dårligt bestemt.

LCI-tolkningen i sektion c er foretaget med 5-lagsmodeller og medfører en forbedret opløsning af udgangsmodellen, idet båndene trækker information med ind fra siderne, således at dalbunden i hele sektionen fastlægges. Båndene giver igen anledning til en generel udglatning, hvilket betyder, at de store modstandsvariationer i 80/100 Ωm laget jævnes ud. I den venstre side af dalen, omkring koordinat 2100 og 2400 m, kan der imidler-

tidig observeres modstandsændringer, der ikke optræder for den stykvisse 1D-tolkning (sektion b). Disse skyldes, at de laterale bånd medfører en begrænsning i de laterale modstandsvariationer. Således spædes en kraftig modstandsændring i udgangssektionen over flere modeller i LCI-tolkningen. Parameteranalysen viser igen en overvejende god bestemmelse af parametrene, dog er modstanden i 4. lag ubestemt. Samtidig viser residualerne, at både data og bånd tilpasses.

**5.2
SKYTEM-DATA**

LANGSKOVOMRÅDET

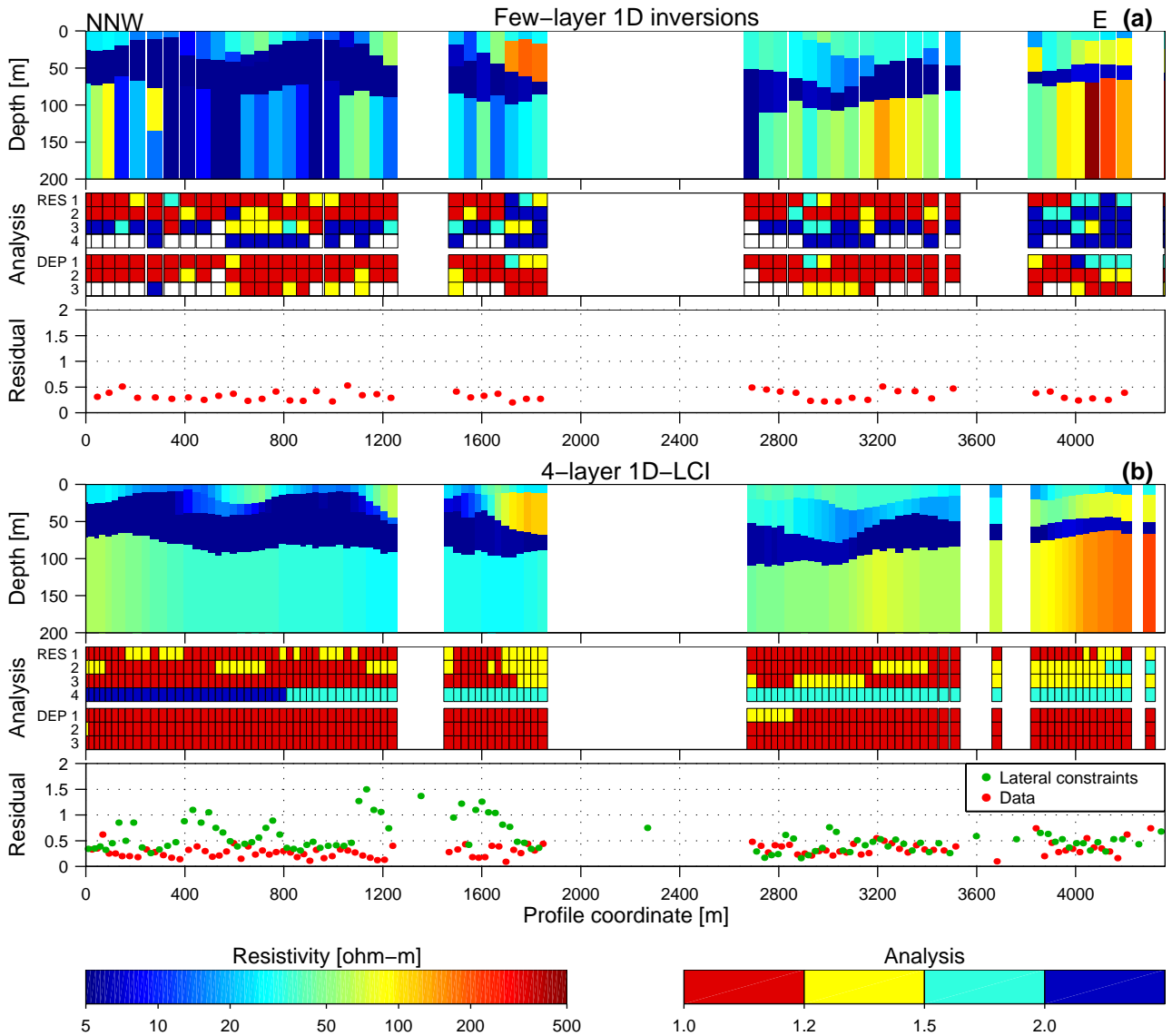
I Figur 5.6 ses et oversigtskort over Langskovområdet. Den blå markering angiver det behandlede profil.

I Figur 5.7 a ses en MCI-tolkning af SkyTEM-dataene. Denne tolkning til-

svarer den stykvisse 1D-tolkning for de syntetiske eksempler (ingen laterale bånd igennem hele modelsektionen). I plot b ses en 4-lags LCI-tolkning. Begge profiler er plottet med en dybdeskala, da terrænvariationerne langs profilet er relativt små.



Figur 5.6 Oversigtskort over undersøgelsesområdet ved Langskov. Der vises tolkninger for profil 1 (blå markering).



Figur 5.7 Tolkninger af SkyTEM data fra Langskovområdet. a) MCI-tolkning. b) LCI-tolkning.

I den MCI-tolkede sektion (a) ses et overfladenært leret lag med sandede indslag, der varierer både i modstand og tykkelse. Herunder opløses et fedt lerlag med lav modstand. Dette lag er generelt tykket i den nordvestlige del af profilet, mens det tynder ud i den østlige del af profilet. Lerlaget underlejres af kalk, som i den østlige del har en høj modstand, mens modstands-kontrasten til leret er mindre i den

nordvestlige del, hvor kalken i flere tilfælde ikke kan erkendes.

LCI-tolkningen (sektion b) formår i samme grad som MCI-tolkningen at opløse det overfladenære lerede/sandede lag. Lerlaget med lav modstand opløses ligeledes i LCI-sektionen, hvor det også fremstår tykket i den nordvestlige del, mens det tynder ud mod øst. De laterale bånd bevirker, at

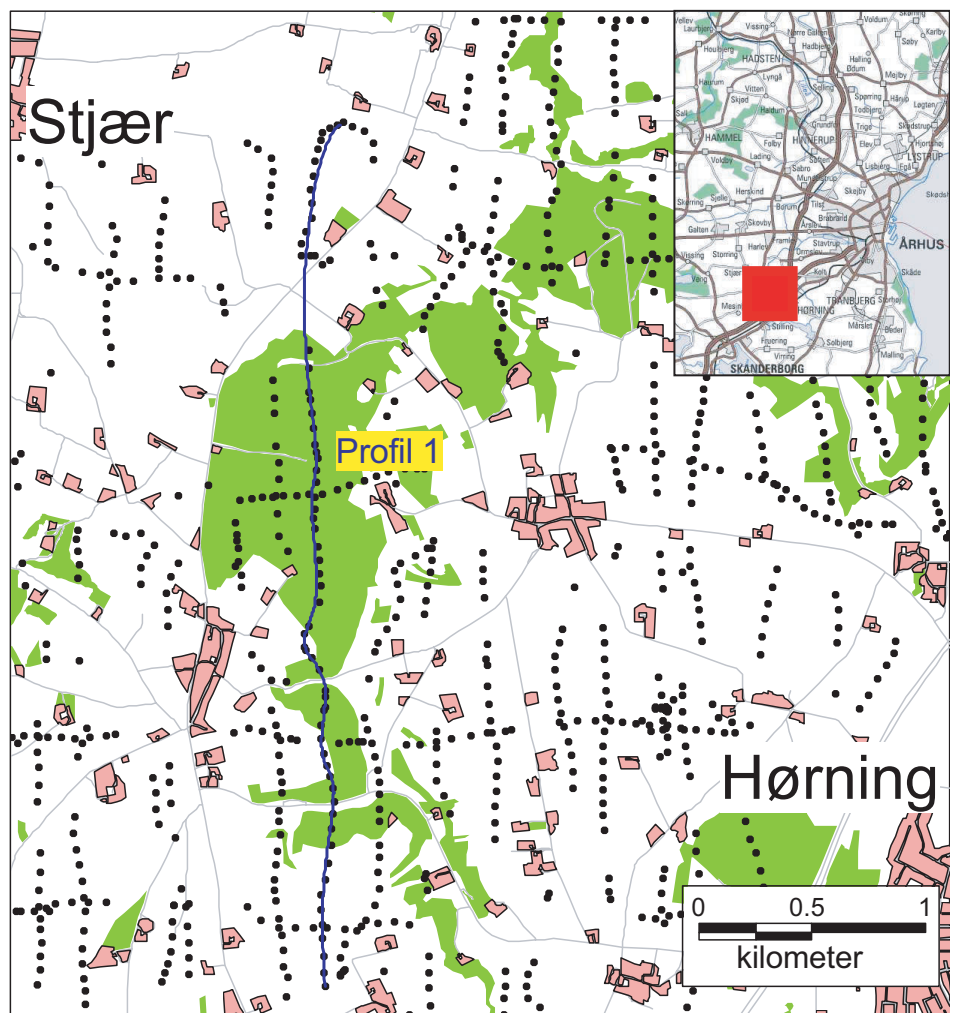
overgangen til kalklaget opløses bedre. Som det ses, formår båndene at trække information med ind fra den østlige side af profilet, hvorved grænsen til den overliggende fede ler kan erkendes. Båndene bevirker, som for de syntetiske eksempler, at tolkningsresultatet fremstår med glatte laterale modstandsvariationer. Endvidere medfører båndene, at modelparametrene bestemmes bedre.

STILLING-/STJÆROMRÅDET

I Figur 5.8 ses et oversigtskort over Stilling-/Stjærområdet. I det følgende vises tolkninger fra profilet markeret med blå.

I Figur 5.9 a ses MCI-tolkningen af SkyTEM-dataene og i plot b en 5-lags LCI-tolkning. Profilerne er plottet uden terræn.

Første lag i MCI-tolkningen (sektion a) domineres af høje modstande. Herunder ses et lerlag med lav modstand, som fra koordinat ca. 1000 m frem-

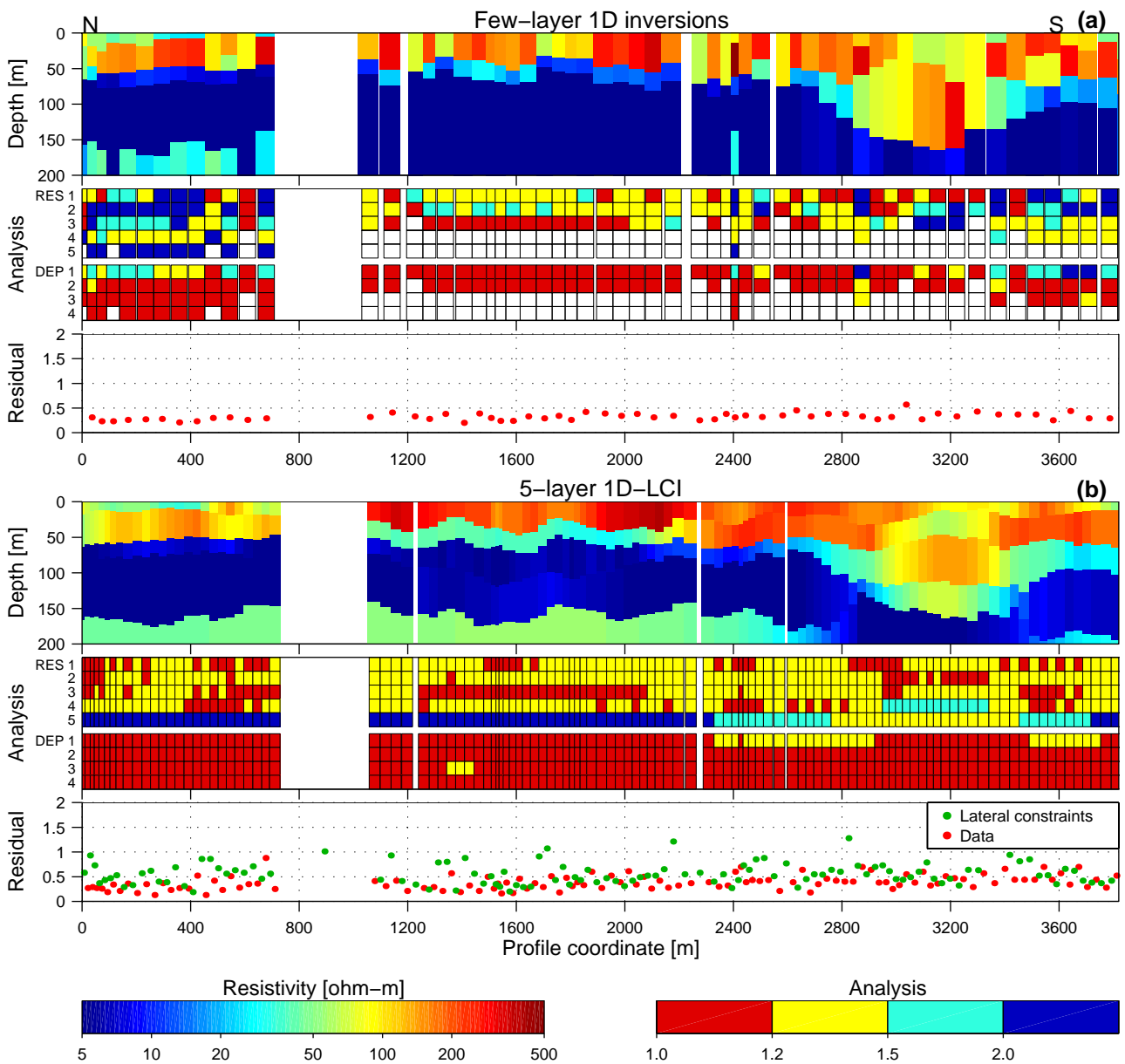


Figur 5.8 Oversigtskort over undersøgelsesområdet ved Stilling/Stjær. Der præsenteres tolkninger fra profil 1 (blå markering).

står som med en intern lagdeling. I den sydlige del af profilet ses en tydelig begraved dal nedskåret i leret. I den nordlige del opløses et sandet lag med højere modstand, som iflg. parameteranalysen er dårligt bestemt. Fra

koordinat ca. 1000 m og mod syd kan dette lag ikke længere erkendes.

I sektion b ses LCI-tolkningen af profilet. LCI-tolkningen opløser, i samme grad som MCI-modellerne, det overfladenære lerede/sandede lag. Dog



Figur 5.9 Tolkninger af SkyTEM data fra Stilling-/Stjærområdet. a) MCI-tolkning. b) LCI-tolkning.

fremstår det øverste lag med en lidt højere modstand. I LCI-tolkningen ses også den begravede nedskåret i leret i den sydlige del af profilet. Den primære forskel mellem den stykvisse 1D-tolkning og LCI-tolkningen er, at båndene trækker information med ind fra

den nordlige del af profilet i den sidstnævnte, således at det nederste sandlag erkendes længere ind i profilet. Endvidere medfører LCI-tolkningen, at lagmodstandene fremstår mere homogene.

6 OPSUMMERING

Undersøgelserne præsenteret i denne rapport har vist, at man med fordel kan anvende laterale bånd i forbindelse med tolkningen af TEM-data. Tolkningerne af de syntetiske TEM-data viste, at der opnås en forbedret opløsning af modellen og en bedre bestemmelse af modelparametrene ved benytte LCI-metoden. Båndene bevirker yderligere, at modellerne overordnet glettes, hvorved 2D-effekter nedtones.

Arbejdet med laterale bånd på modstands- og dybdeparametrene viser, at med en sonderingstæthed på 20 m er det optimalt at anvende båndstørrelser på 1,1 på dybdeparametrene, mens båndstørrelser på 1,2 - 1,3 er optimale på modstandsparametrene. Det ses endvidere, at de laterale bånd reducerer ækvivalensproblemer. Dette forstærkes, hvis der anvendes a priori-information, da båndene formår at trække den tilførte information ud i hele den sammenbundende modelsektion.

Erfaringerne fra tolkningerne af de syntetiske TEM-data blev med succes overført til tolkningen af felt-data fra SkyTEM-systemet. Sammenlignet

med den normale MCI-tolkning opnås med LCI-tolkningen en forbedret bestemmelse af modelparametrene, samtidig med at modelsektionen glettes lateralt og fremstår med et mere geologisk realistisk forløb.

På baggrund af de opnåede resultater kan det konkluderes, at der med fordel kan anvendes laterale bånd i forbindelse med tolkning af profilorienterede TEM-data.

PERSPEKTIVER

LCI-tolkning af data har primært været anvendt i forbindelse med tolkning af geoelektriske data. Senest har det vist sig, at der med fordel kan anvendes laterale bånd i forbindelse med kombineret tolkning af geoelektriske data og TEM-data. /6/

Der er til dato primært arbejdet med profilorienterede data. En stor del af TEM-kortlægningerne er imidlertid udført som fladekortlægninger, hvorfor det vil være interessant at arbejde videre med LCI-tolkning af data, der er spredt ud over fladen, hvorved der vil kunne opnås sammenhængende pseudo 3D-lagflader.

7 REFERENCER

- /1/ GeoFysikSamarbejdet 2002. LCI-tolkning af geoelektriske data.
- /2/ Árnason, K. 1995. A Consistent Discretization Of The Electromagnetic Field In Conducting Media And Application To The TEM Problem. Proceedings of the international symposium on Three-Dimensional Electromagnetics. Schlumberger-Doll Research. s. 167-179.
- /3/ GeoFysikSamarbejdet 2003. Anvendelse af TEM-metoden ved geologisk kortlægning.
- /4/ Munkholm, M. S. og Auken, E. 1996. Electromagnetic Noise Contamination on Transient Electromagnetic Soundings in Culturally Disturbed Environments. Journal of Environmental and Engineering Geophysics 1(2). 119-127.
- /5/ Auken, E., Sørensen, K. og Pellerin, L. 2003. Mutually Constrained Inversion of Electrical and Electromagnetic Data - Part B. Geophysical Prospecting. Artikel indsendt til Geophysical Prospecting - Januar 2003.
- /6/ GeoFysikSamarbejdet 2004. Kombineret LCI-tolkning af MEP- og TEM-data.
- /7/ Jacobsen, L. H. 2004. 1D-LCI-inversion af transiente elektromagnetiske data, Speciale afhandling, Geologisk Institut, Aarhus Universitet.