

GEOFYSIKSAMARBEJDET

**Geologisk Institut
Aarhus Universitet**

**MANGELAGSTOLKNING AF TEM-DATA
TEST OG SAMMENLIGNINGER**

JULI 2007

FORORD (1)

OPSUMMERING (2)

INDLEDNING (3)

Mangelagsmodel kontra fålagsmodel (3.1) 4

ANALYSEMETODE (4)

Dalmodeller (4.1)..... 7

Generering af syntetiske data (4.2)..... 7

RESULTATER (5)

Laterale/vertikale bånd (5.1) 11

Fålags-/mangelagstolkning (5.2) 16

KONKLUSION (6)

FELTEKSEMPLER (7)

REFERENCER (8)

BILAG

Variierende laterale bånd (1)

Variierende vertikale bånd (2)

Fålags-/mangelagstolkninger (3)

1 FORORD

Arbejdet, der præsenteres i denne rapport omhandler brugen af en såkaldt mangelagsmodel ved geofysisk tolkning af transiente elektromagnetiske data (TEM). Arbejdet munder ud i en række anbefalede indstillinger af diverse tolkningsparametre.

Rapporten er udarbejdet af Nikolaj Foged, GeoFysikSamarbejdet, Geologisk Institut, Aarhus Universitet, juli 2007.

2 OPSUMMERING

Undersøgelsen præsenteret i denne rapport viser, at mangelagstolkninger af TEM-data med laterale og vertikale bånd giver gode tolkningsresultater, hvis de anvendes både sammen med og som erstatning for fålagstolkninger. En mangelagstolkning resulterer i et blødt billede af modstandsfordelingen. For de viste dalmodeller opnås generelt de bedste tolkningsresultater ved at anvende en fålags LCI-model. Havde modellerne haft større laterale modstandsændringer, ville resultaterne have været mere positive for mangelagstolkningerne, som det ses i felteksemplerne. Her ses såvel eksempler, hvor mangelagsmodeller har en fordel frem for fålagsmodeller som omvendt.

En mangelagsmodel har en række fordele. Det er i mange tilfælde lettere at erkende komplekse geologiske strukturer, hvor der er mange laterale modstandsvariationer, og de kræver ikke viden om hvilken startmodel, der skal benyttes. Er data processeret, er tidsforbruget for en mangelagstolkning desuden minimalt, da man ikke efter inversion skal igennem en tids-

krævende udvælgelse/evaluering mellem flere modelresultater. En mangelagstolkning er således et godt og "billigt" supplement til en fålags LCI-tolkning.

Blandt ulemper kan nævnes, at man ikke kan estimere usikkerheden på modelparametrene, at indtrængningsdybden kan være svær at fastlægge, og at modstandsvariationerne er bløde, hvorfor laggrænser og lags faktuelle modstande dårligt kan fastlægges absolut.

BÅND - MANGELAGSTOLKNING

Ud fra test på en række syntetiske dalmodeller er det fastlagt, at bånd i intervallet 1,2-1,5 er en fornuftig størrelse på de laterale sammenbindinger for en mangelagstolkning ved en sonderingsafstand på 20 m. De vertikale bånd skal være relativt løse med en båndstørrelse på 2-3.

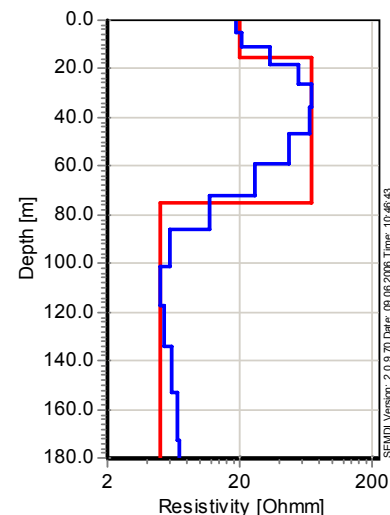
Erfaringerne fra tolkninger af de syntetiske dalmodeller blev med succes overført til tolkningen af feltdata fra SkyTEM-systemet.

3 INDLEDNING

Den geofysiske tolkning af transiente elektromagnetiske (TEM) data foretages traditionelt med en 1D-fålagsmodel. Dvs., at man tilpasser sine data til en geofysisk model, der er karakteriseret ved et antal lag med varierende lagtykkelser og elektrisk modstand - som vist i figur 3.1. I tolkningsprocessen vælges normalt fålagsmodellen med det færreste antal lag, der på tilfredsstillende vis tilpasser de målte data.

I 2004 udgav GeoFysikSamarbejdet rapporten "Lateralt sambunden tolkning af transiente elektromagnetiske data" /1/. Denne rapport omhandler brugen af laterale sammenbindinger ved fålagstolkning af TEM-data (LCI-tolkning). Undersøgelsen viser klare fordele ved LCI-tolkning og munder bl.a. ud i vejledende indstillinger på sammenbindingernes styrke (størrelsen på de laterale bånd).

En alternativ tolkningsmodel til fålagsmodellen - med eller uden laterale bånd - er en mangelagsmodel. En mangelagsmodel består typisk af 10-20 lag med faste tykkelser (figur 3.1). I tolkningsprocessen er det således kun modstanden af lagene, der skal fastlægges. Som ved fålagsmodellen anvendes der laterale bånd mellem modstandene.



Figur 3.1 Eksempel på en fålagsmodel (rød) og en mangelagsmodel (blå).

Formålet med undersøgelsen er primært at finde en egnet tolkningsopsætning for mangelagstolkninger af TEM-data samt at belyse fordele og ulemper ved mangelagstolkning sammenlignet med fålagstolkning og fålags LCI-tolkning.

3.1 MANGELAGSMODEL KON- TRA FÅLAGSMODEL

FÅLAGSMODEL

Fålagsmodeller bliver traditionelt anvendt til tolkning af geofysiske data i forbindelse med hydrogeofysiske kortlægninger. Fålagsmodeller er valgt, da de afspejler vore forventninger om de geologiske forhold - som ofte vil være en lagpakke bestående af relativt homogene lag med skarpe

overgange mellem lagene. Den geofysiske model kommer således med direkte indikationer på den geologiske lagdeling, hvilket letter den geologiske tolkning af de geofysiske resultater. Sammen med modelresultatet beregnes en modelparameteranalyse, der giver estimater på, hvor godt modelparametrene (modstande, tyk-

kelser og dybder) er bestemt. Denne information er værdifuld i den videre geologiske tolkning. Bestemmelsen af, hvor mange lag, der skal indgå i modellen (modelsektionen hvis LCI-tolkning), er relativt tidskrævende, da den kræver en manuel gennemgang og udvælgelse fra flere tolkningsresultater med et varierende antal lag. Endvidere er der en vis subjektivitet i bestemmelsen af antallet af lag.

Ved LCI-tolkning med fålagsmodeller er man tvunget til at have samme antal lag i de enkelte seonderinger i hele LCI-sektionen. Dette kan i nogle tilfælde skabe problemer, hvis de faktiske antal lag varierer meget indenfor en LCI-sektion.

MANGELAGSMODEL

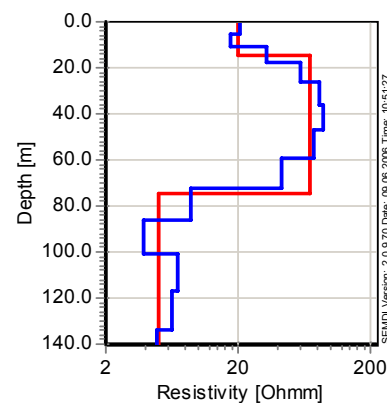
Her er filosofien, at man prøver at være så objektiv som muligt i den geofysiske tolkning. En mangelagsmodel kaldes også "minimum structure model" eller "smooth model", da tolkningsresultatet vil være en model med rolige vertikale modstandsvariationer. En fordel ved en mangelags-tolkning er, at man ud fra dem kan erkende komplekse geologiske strukturer, som f.eks. skråt stillede laggrænser, der er sværere genkendelige i fålagsmodellerne. Samtidig skal man ikke igennem en tidskrævende og i nogen grad subjektiv udvælgelse/evaluering mellem flere modelresultater.

Et uønsket forhold ved mangelags-tolkninger er, at laggrænser ses som diffuse modstandsvariationer samtidig med, at modstandene i modellerne har en tendens til at fluktuere ved skarpe modstandsovergange. Dette resulterer i såkaldte over-shoot

og under-shoot af de sande modstande. Eksempel på over/under-shoot er vist i figur 3.2. Over-shoot og under-shoot kontrolleres ved at justere de vertikale bånd mellem lagmodstandene i modellen. Des strammere vertikale bånd, des mindre over- og under-shoot og des glattere model.

Estimatet af usikkerheden på modelparametrene for mangelagsmodeller er under stor indflydelse af de vertikale og laterale bånd. Således kan usikkerhedsestimaterne kun bruges relativt og ikke absolut som ved en fålagstolkning.

I tabel 3.1 er fordele og ulemper ved en fålagsmodel og mangelagsmodel opsummeret på skematisk vis.



Figur 3.2 Eksempel på over-shoot og under-shoot ved en mangelags-tolkning. Den røde linie er den sande model, den blå er en mangelags-tolkning uden vertikale bånd.

GEOFYSIKSAMARBEJDET

	Fålagsmodel	Mangelagsmodel
Tidsforbrug	☹ Stort. Brugeren skal afgøre, hvor få lag datasættet kan tolkes med. Ved fålags LCI-tolkning skal man bestemme, hvor mange lag hver LCI-sektion skal indeholde.	☺ Lille. Ingen manuel udvælgelse af tolkningsresultat.
Regnetid	☹ Hurtig pga. få modelparametre.	☹ Langsom pga. mange modelparametre.
Objektivitet	☹ Middel. Brugeren skønner antallet af lag ud fra datatilpasningen. Modelresultat noget afhængig af startmodel.	☺ Stor. Brugeren justerer kun båndstørrelser og antal lag. Modelresultatet er meget lidt afhængig af startmodellen.
Struktur	☹ Medfører en model med skarpe laggrænser, hvorfor disse er let erkendelige.	☹ Medfører et "blødt" billede af modstandsvariationerne / de geologiske variationer. Let at erkende komplekse geologiske strukturer.
LCI-tolkning, antal lag	☹ Variation af antallet af lag indenfor én LCI-sektion, styres ved en manuel vertikal sammenlåsning af modstandene lagene imellem.	☺ Mangelagsmodellen har faste laggrænser og variation i antallet af geologiske lag afspejles ved modstandsændringer.
Over-shoot/ under-shoot	☺ Ingen.	☹ Modstandene i model-lagene har en tendens til at fluktuere ved skarpe modstandsovergange, hvilket resulterer i såkaldte over-shoot og under-shoot af den "sande" modstand. Se evt. figur 3.2.
Indtrængningsdybde	☺ Sidste laggrænses placering indikerer indtrængningsdybden.	☹ Vanskeligt at estimere. Brugeren vælger, hvor den sidste laggrænse placeres, og denne dybde flyttes ikke i tolkningsprocessen.
Estimat af modelusikkerhed	☺ Et estimat af usikkerheden på modstande, tykkelser og dybder beregnes under tolkningen.	☹ Estimatet af usikkerheden på modelparametrene kan ikke bruges absolut, da den er under stor indflydelse af de vertikale og laterale bånd.
A priori viden	☺ Der kan tilføjes a priori viden om dybden til laggrænser og modstande.	☹ Der kan kun anvendes a priori viden på modstande, da laggrænserne ligger fast.

Tabel 3.1 Fordele og ulemper ved en fålagsmodel og mangelagsmodel.

4

ANALYSEMETODE

Analysearbejdet foretages med syntetiske data, som er genereret ved hjælp af en 3D-forward-modelleringskode. Der er således beregnet data-responser for en række store 3D-modeller, som alle afspejler dalstrukturer af varierende udseende. Efterfølgende er der adderet støj til responserne, og dataene er processeret som almindelige feltdata. Dataene er herefter tolket på forskellig vis, og tolkningsresultaterne er sammenlignet med udgangsmodellen.

Sammenligningen med udgangsmodellen og vurderingen af tolkningsresultaterne er foretaget dels visuelt, dels ved en punkt-til-punkt sammenligning, hvor forskellen mellem tolkningsresultatet og udgangsmodellen opsummeres for hele modelsektioner/modeltyper. Ved

denne metode er der fundet anbefalede indstillinger for de vertikale og horisontale bånd ved en mangelagstolkning.

Mangelagstolkningerne sammenlignes endvidere med fålagstolkninger uden laterale bånd og fålagstolkninger med laterale bånd (fålags LCI-tolkning) for at belyse fordele og ulemper ved de forskellige tolkningsmodeller.

For at efterprøve de anbefalede indstillinger for en mangelagstolkning fundet ud fra ovennævnte analysemetode, er der foretaget en tolkning af feltdata fra SkyTEM. SkyTEM-dataene er tolket med en mangelags-, en fålags og en fålags LCI-model, med efterfølgende sammenstilling af tolkningsresultaterne.

4.1

DALMODELLER

Med udgangspunkt i dalmodeller (se figur 4.1) fra rapporten "Anvendelse af TEM-metoden ved geologisk kortlægning" /2/, er der opbygget 7 geo-

fysiske/geologiske dalmodeller, som vist i figur 4.2. Modellernes overordnede karakter skifter kun i profilretningen.

4.2

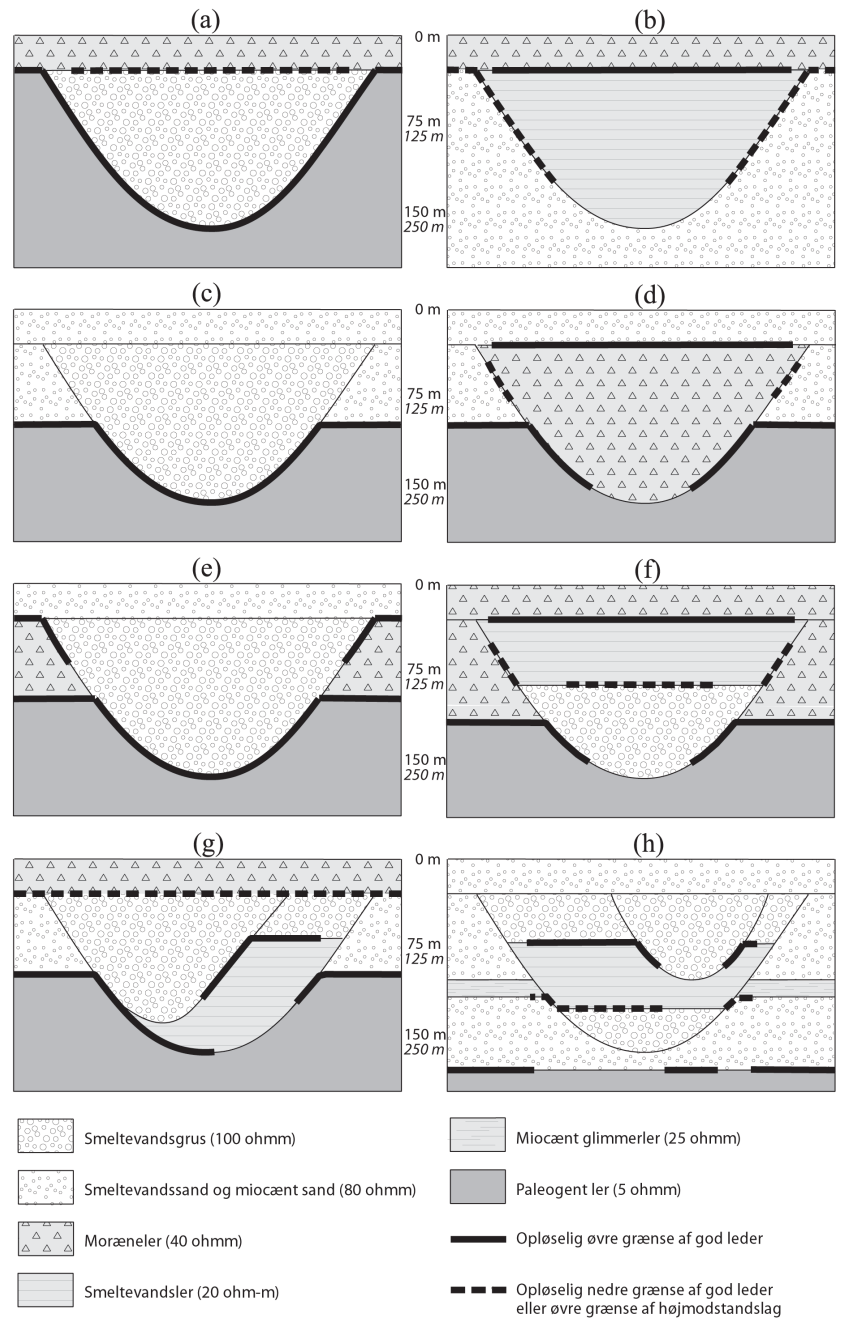
GENERERING AF SYNTETISKE DATA

Henover dalmodellerne 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 en strømstyrke på 3A (sendermoment, 4800 Am²). De syntetiske data er i udgangspunktet støjfrie. For at simulere feltdata er der adderet støj til de syntetiske data. Støjen simuleres ved at perturbere responserne med gauss fordelt støj fra to støjkluder.

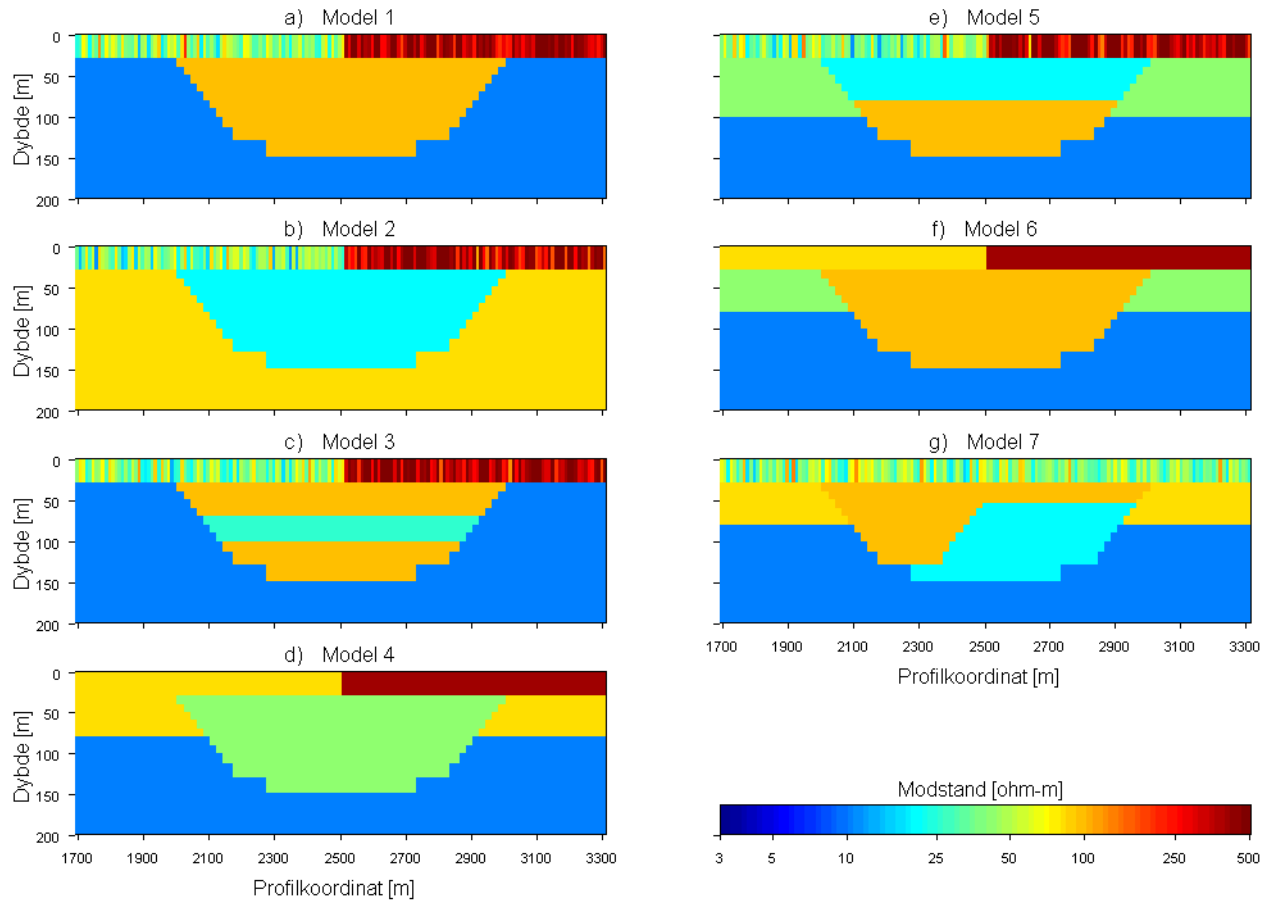
Støjkluderne udgøres dels af tilfældig støj, dels af uniformt fordelt støj. Den uniforme støj simulerer blandt andet instrumentstøj og giver et konstant bidrag til alle tider. Den tilfældige støj simulerer baggrundsstøjen og stiger relativt med faldende målesignal, som vist i figur 4.3.

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

GEOFYSIKSAMARBEJDET



Figur 4.1 Tværsnit af begravede dale. Laggrænser, der forventes at kunne kortlægges med TEM, er markeret med fed streg.



Figur 4.2 De syv dalmodeller, der danner baggrund for de videre analyser.

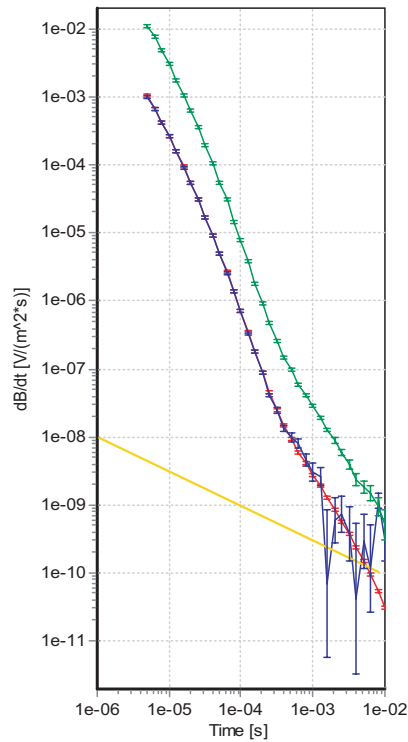
datasæt, der har karakter af rigtige datasæt målt i felten.

En mere detaljeret beskrivelse af genereringen af de syntetiske data findes i /1/ og /3/. Tolkning af syntetiske data

Modelsektionerne går fra 1700-3300 m med én model/ét datasæt pr. 20 m (i alt 81 pr. modelsektion). De vertikale og laterale bånd i tolkningssektionerne er angivet som faktorer. Et bånd på f.eks 1,3 betyder, at ændringen fra parameter til parameter må være 1,3 ganget/divideret med parameter værdien.

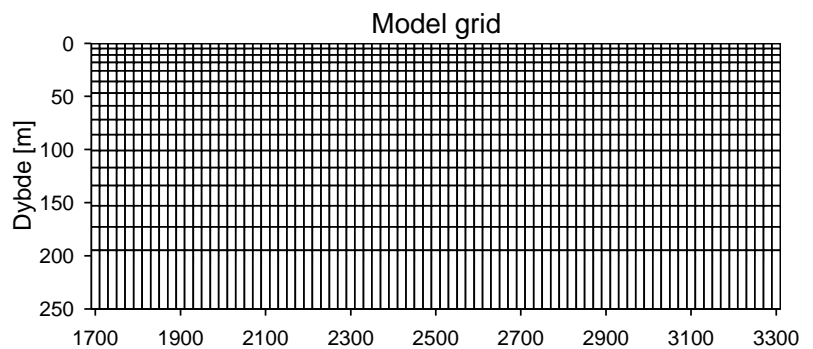
For alle mangलगstolkningerne af de syntetiske data er der anvendt en model med 16 lag med logaritmisk stigende lagtykkelser med dybden (se figur 4.4). Første lags tykkelse er 5 m og næstsidsste lags tykkelse er 22 m (sidste lag er uendelig tykt). Den sidste laggrænse er placeret i 195 m dybde. Modelparametrene (modstande) er vertikalt og lateralt sammenbundet.

De syntetiske data er også tolket med fålagsmodeller (2-5 lag) såvel uden som med laterale bånd (Fålags LCI-tolkning med 2, 3, 4 eller 5 lag).



For alle tolkningerne er modstandene i startmodellen $50 \Omega\text{m}$, og der er ikke tilføjet a priori information til modellerne.

Figur 4.3 Plot af et ustøjet TEM datasæt (rød) og et støjet datasæt (blå). Den gule linie angiver den tilfældige baggrundsstøj og har en hældning på $-\frac{1}{2}$. Støjniveauet er 3 nV ved 1 ms. Den grønne kurve er et støjet datasæt med højt moment.



Figur 4.4 Modelgrid for mangelagstolkningerne. Modellen har 16 lag med stigende tykkelser fra 5 til 22 m.

5 RESULTATER

5.1 LATERALE/VERTIKALE BÅND

Resultaterne fra analysearbejdet præsenteres i form af profilplots med resultater af mangelagstolkninger med varierende horisontale og vertikale bånd, samt punkt til punkt sammenligninger af udgangsmodel og

mangelagstolkningerne. Desuden vises og sammenlignes modelresultater for mangelagstolkninger med fålagstolkninger hhv. med og uden horisontale bånd.

I en mangelagstolkning indføres de laterale og vertikale bånd for at stabilisere inversionen, idet der er mange modelparametre der skal bestemmes. De vertikale bånd begrænser primært over-shoot og under-shoot, mens de laterale bånd sikrer kontinuitet i modelsektionen. Båndene får primært indflydelse i de områder af modelsektionen, hvor data kun indeholder lidt information om modstandsforholdene.

LATERALE BÅND

For at undersøge hvad der er optimale båndstørrelser af de laterale bånd for en mangelagstolkning, er der udført en række tolkninger af de syntetiske data med varierende størrelse af det laterale bånd. Størrelsen af de vertikale bånd er fastlagt på en faktor 2.

I figur 5.1 ses mangelagstolkninger af dalmodel 1 og 5 hhv. uden laterale bånd (b og f), med et bånd på 1,5 (c og g) og med et bånd på 1,2 (d og h). Udgangsmoellerne ses i plot a og e. Tilsvarende tolkningsresultater for de øvrige 5 dalmodeller findes i bilag 1. Ikke overraskende er det en fordel at anvende laterale bånd. Et lateralt bånd på 1,2-1,5 er en fornuftig størrelse for en mangelagstolkning. Dette er konsistent med erfaringerne fra fålags LCI-tolkninger /1/.

For en statistisk vurdering af hvilken tolkningssektion der er "bedst", er der

lavet en punkt-til-punkt sammenligning af udgangsmodellen og tolkningsresultatet. Konkret er forskellen mellem udgangsmodstanden og tolkningsresultatet beregnet som en faktor (*Modelforskel*), på følgende vis:

$$\text{Modelforskel} = 10^{|\log(\rho_{inv}) - \log(\rho_{dalmod})|}$$

ρ_{inv} er modstanden fra tolkningsresultatet og $\rho_{dalmodel}$ er modstanden i udgangsmodellen.

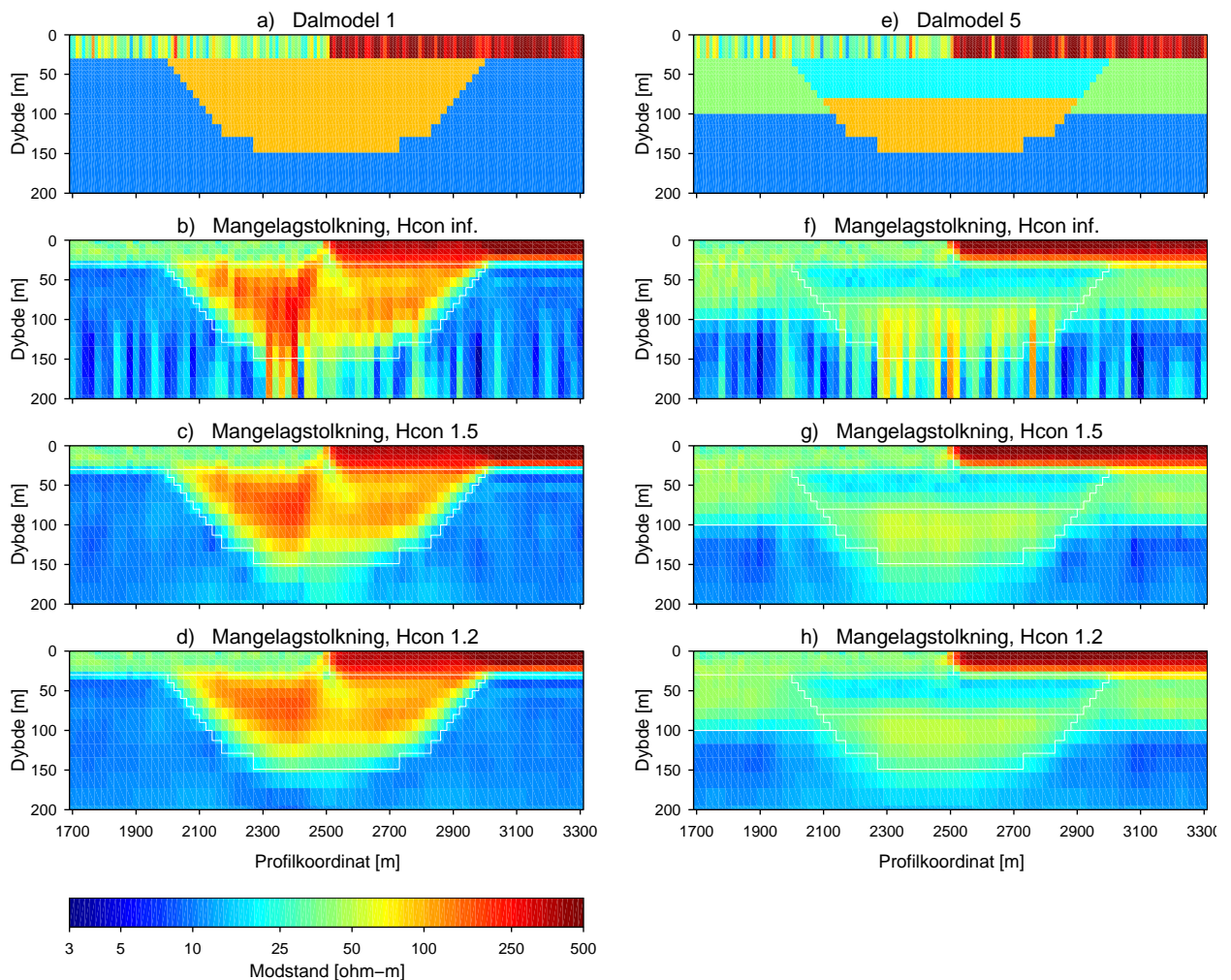
Herefter er det opsummeret, hvor stor en andel af sektionen der falder inden for et givet interval. En udgangsmodstand på f.eks. 50 Ω m og en tolkningsmodstand på 100 Ω m resulterer således i en *Modelforskel* på en faktor 2.

I figur 5.2 plot a og b ses resultaterne af punkt-til-punkt sammenligningerne for dalmodel 1 og 5 opsummeret i fire intervaller. De tre farver (rød, grøn, blå) er for tolkningerne hhv. uden laterale bånd, med et lateralt bånd på 1,5 og med et lateralt bånd på 1,2. Højden af søjlen angiver, hvor stor en procentdel af sektionen, der falder inden for det angivne interval. Tallet over søjlerne er den akkumulerede sum. F.eks. plot a, interval 1,2-1,5, grøn søjle: ca. 25% af denne sektion afviger mellem en faktor 1,2 og 1,5 fra udgangsmodellen, og 68% af

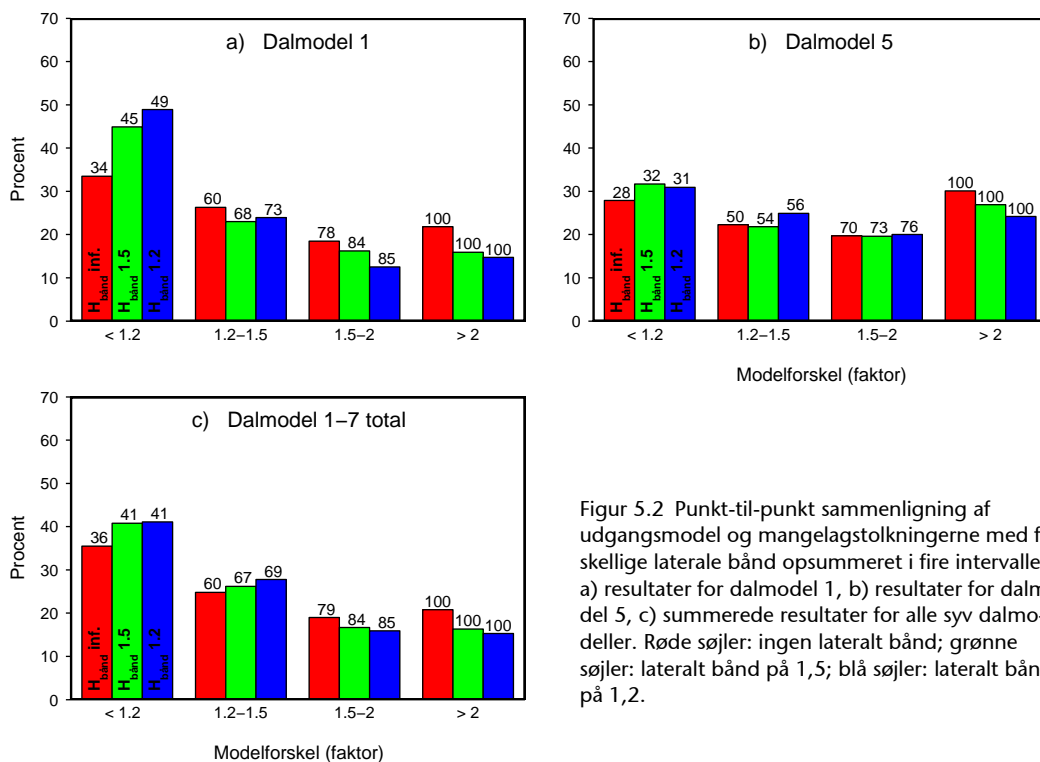
sektionen har en afvigelse på mindre end 1,5.

I figur 5.2 plot c ses en opsummering for alle syv dalmodeller. Resultater for de resterende 5 daltyper findes i bilag 1.

Resultaterne for dalmodel 1 og 5, samt de summerede resultater viser, at det er en klar fordel at anvende laterale bånd. Et bånd på 1,2 synes at være marginalt bedre end 1,5.



Figur 5.1 Mangelagstolkninger med forskellige laterale bånd og med et fast vertikalt bånd på 2 for dalmodel 1 og 5. a) og e) viser udgangsmodellen, b) og f) tolkninger uden laterale bånd (Hcon inf), c) og g) tolkninger med laterale bånd på 1,5, d) og h) tolkninger med laterale bånd på 1,2.



Figur 5.2 Punkt-til-punkt sammenligning af udgangsmodel og mangelagstolkningerne med forskellige laterale bånd opsummeret i fire intervaller. a) resultater for dalmodel 1, b) resultater for dalmodel 5, c) summerede resultater for alle syv dalmodeller. Røde søjler: ingen lateralt bånd; grønne søjler: lateralt bånd på 1,5; blå søjler: lateralt bånd på 1,2.

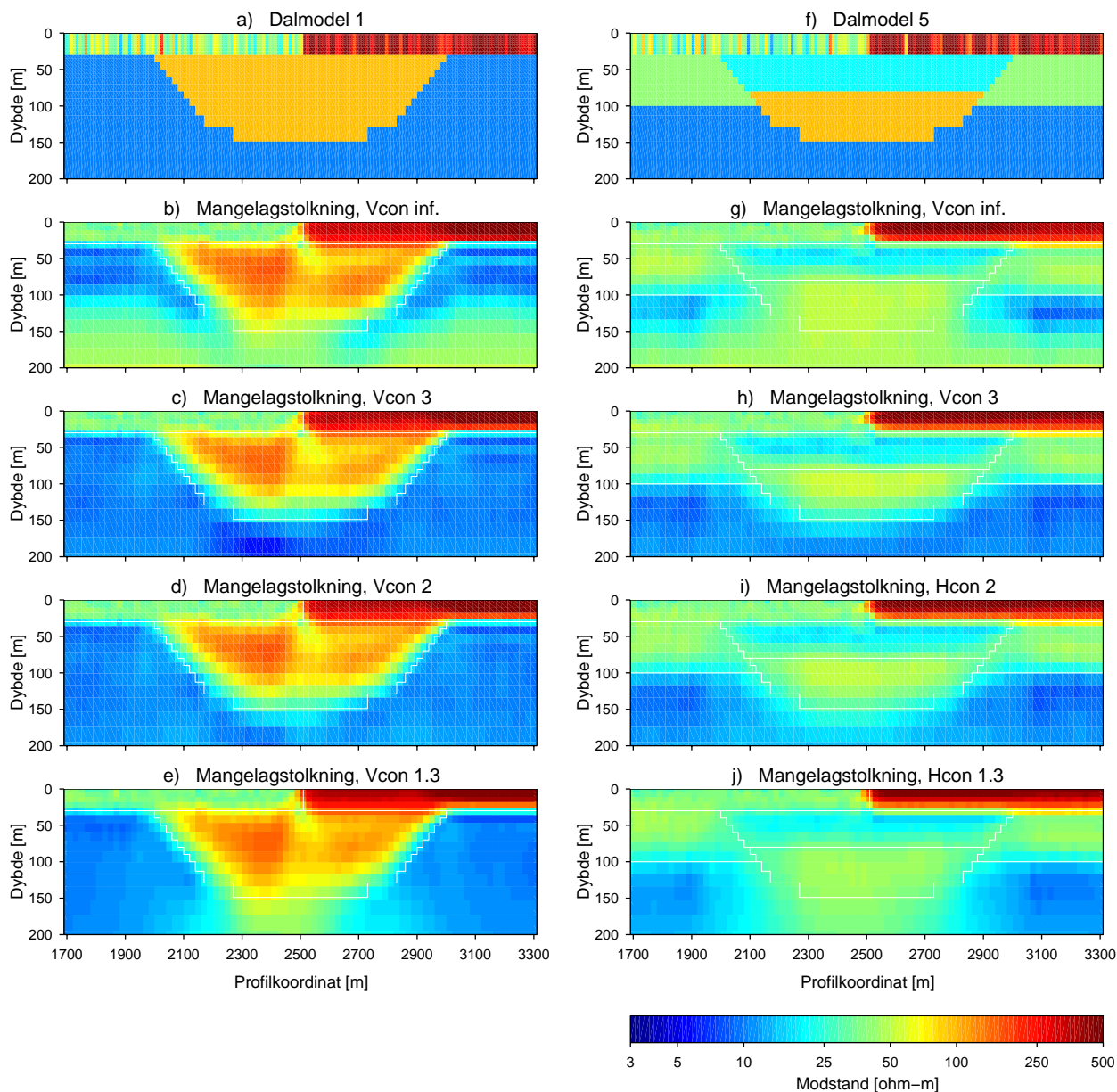
VERTIKALE BÅND

For at undersøge båndstørrelser for de vertikale bånd ved mangelagstolkning, er der udført en række tolkninger af de syntetiske data med varierende størrelse af det vertikale bånd og med en fast størrelse af de laterale bånd på 1,2.

I figur 5.3 ses mangelagstolkninger af dalmodel 1 og 5 uden vertikale bånd (plot b og g), med vertikale bånd på 3 (c og h), vertikale bånd på 2 (d og h) og vertikale bånd på 1,3 (e og j). Udgangsmodellerne ses i hhv. plot a og f. Tilsvarende tolkningsresultater for de øvrige 5 dalmodeller findes i bilag 2. Datatilpasningerne for de fire tolkninger er sammenlignelige, dog lidt dårligere for tolkninger med det kraftige vertikale bånd på 1,3.

Resultaterne for dalmodel 1 illustrerer tydeligt effekten af de vertikale bånd. Anvendes ingen vertikale bånd (plot b), ses over-shoot og under-shoot f.eks. ved overgangen fra højmodstandslaget til lavmodstandslaget ved koordinat 3100 m. Endvidere ses det, at tolkningsresultatet går mod modstanden i startmodellen (50 Ωm), hvor modellen er dårligt bestemt - de dybereliggende dele af modelsektionen.

Strammes det vertikale bånd (plot c og d), formindskes over-shoot og under-shoot effekterne. Anvendes et meget stramt bånd, som i plot e, går modstanden i de dårligt opløste områder mod det sidste godt bestemte lags modstand, hvorimod et svagt vertikalt bånd medfører, at modstanden i de dårligt bestemte områder primært styres af informa-



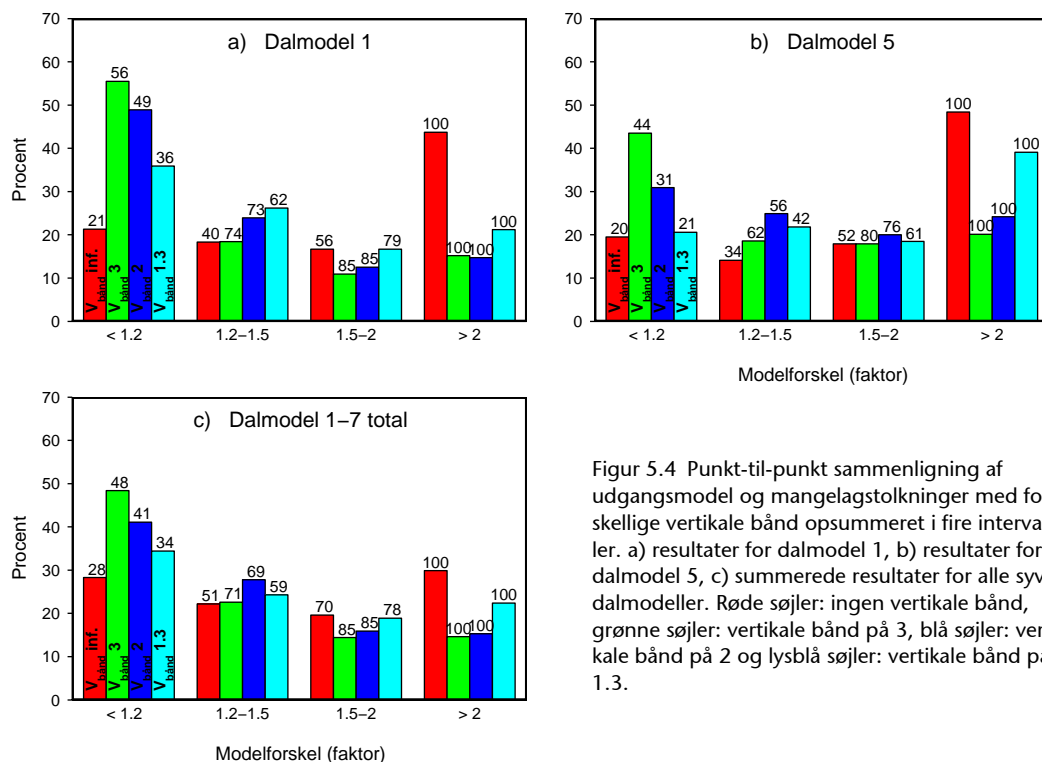
Figur 5.3 Mangelagstolkninger med forskellige vertikale bånd og med et fast lateralt bånd på 1,2 for dalmodel 1 og 5. a) og f) udgangsmodellen, b) og g) ingen vertikale bånd (Vcon inf.), c) og h) vertikale bånd på 3, d) og i) vertikalt bånd på 2, e) og j) vertikalt bånd på 1.3.

tion fra siderne igennem de laterale bånd - som i plot c og d.

På samme måde som for tolkningerne med varierende laterale bånd er der lavet en punkt-til-punkt sammenligning for tolkninger med varierende vertikale bånd med udgangsmodel-

len. Resultaterne af denne sammenligning for de syv dalmodeller samt en total for alle dalmodellerne er vist i figur 5.4.

For de to viste dalmodeller medfører det svage laterale bånd på en faktor 3 de mindste forskelle mellem udgangs-



Figur 5.4 Punkt-til-punkt sammenligning af udgangsmodel og manglagstolkninger med forskellige vertikale bånd opsummeret i fire intervaller. a) resultater for dalmodel 1, b) resultater for dalmodel 5, c) summerede resultater for alle syv dalmodeller. Røde søjler: ingen vertikale bånd, grønne søjler: vertikale bånd på 3, blå søjler: vertikale bånd på 2 og lysblå søjler: vertikale bånd på 1.3.

model og tolkningsmodel. Ud fra sammenligningerne for alle dalmodeller (plot c) ses det, at det primært er på intervaller $>1,2$, at et vertikalt bånd på 3 er bedre end en faktor 2. For en afvigelse mindre end en faktor 1,5 er forskellene mellem et bånd på 2 og 3 lille, hhv. 71% og 69%, og for en forskel mindre end 2 resulterer et bånd på 2 og 3 i en genkendelsesprocent på 85%.

DELKONKLUSION - LATERALE/VERTIKALE BÅND

Som for fålags LCI-tolkninger er et bånd i intervallet 1,2-1,5 en fornuftig

størrelse på de laterale bånd for en manglagstolkning ved en sonderingsafstand på 20 m. De vertikale bånd skal være relativt løse, og en båndstørrelse på 3 er en fornuftig værdi. Det er vigtigt at have i mente, at det til dels er forholdet mellem de laterale og vertikale bånd der er styrende for modeludviklingen i de områder, hvor informationen fra data alene er sparsom. Således vil svage laterale bånd ifht. de vertikale bånd have tendens til at fremhæve vertikale strukturer og omvendt.

5.2 FÅLAGS-/MANGELAGSTOLK- NING

I dette afsnit sammenlignes fålags-tolkning med mangelagstolkning af dalmodellerne. Mangelagstolkningen er foretaget med laterale bånd på 1,2 og vertikale bånd på 3. De laterale bånd for fålags LCI-tolkningen er 1,2. Fålagstolkning uden laterale bånd vises uden yderligere kommentarer. Problematikken omkring tolkning med og uden laterale bånd er gennemgået i /1/.

I figur 5.5 ses en mangelagstolkning (b og g), en fålags LCI-tolkning (c og h) og en fålagstolkning uden bånd (d og h) af dalmodel 1 og 5. Udgangsmo- dellerne ses i plot a og f. Datatil- pasningen for de tre tolkningsmeto- der er vist i plot e og j. Tilsvarende tolkningsresultater for de øvrige 5 dalmodeller findes i bilag 3.

Af datatilpasningsplottet fremgår, at de tre tolkningsmodeller overordnet tilpasser data lige godt. De tre tolk- ninger er altså matematisk set lige gode.

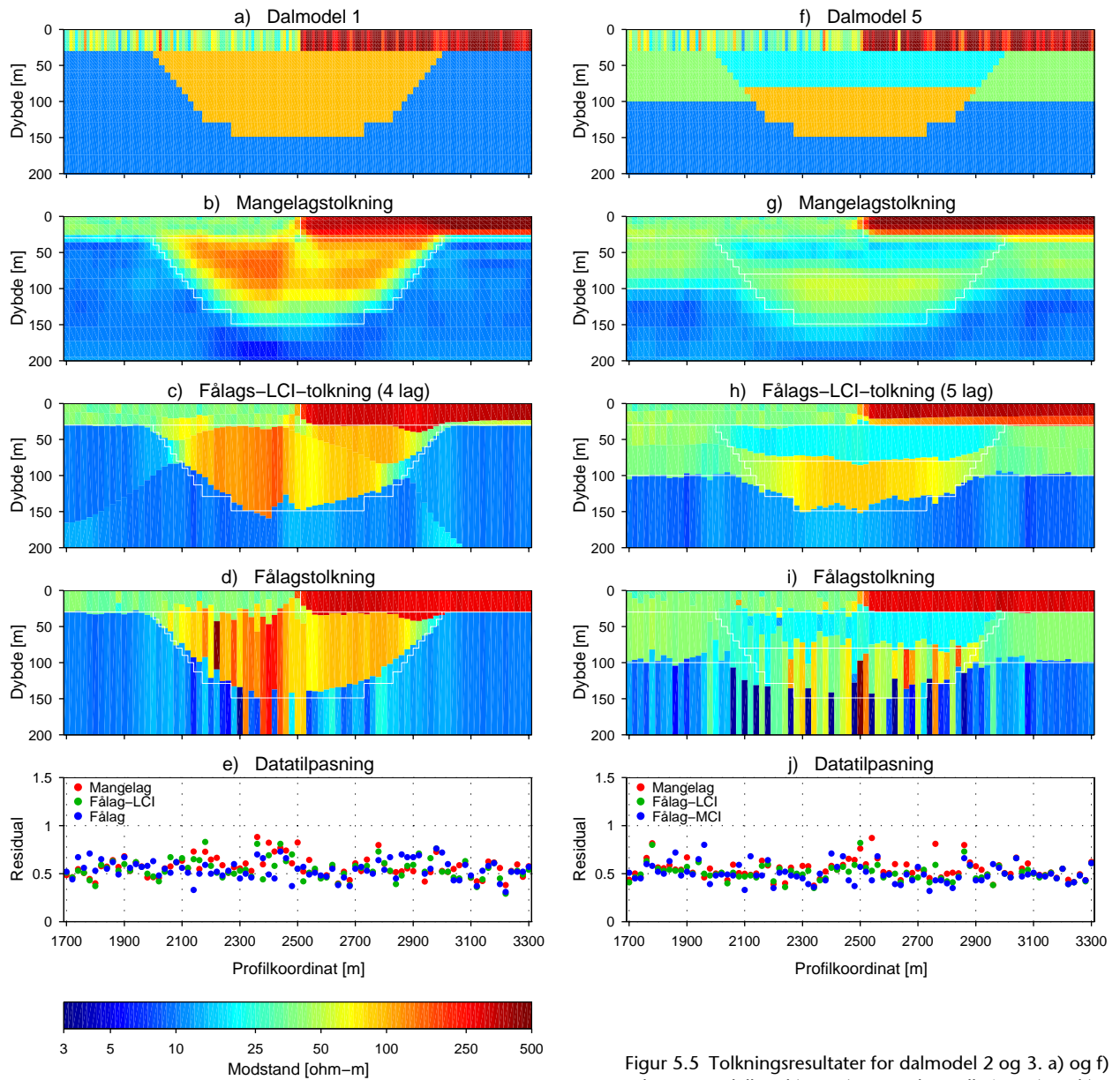
Dalmodel 1 er en simpel og forholds- vis nem model for TEM-metoden at genfinde. Data indeholder således præcis information om modellen, og de laterale og vertikale bånd har der- for ikke så stor indflydelse på tolk- ningsresultaterne. Der er således ikke stor forskel mellem fålags LCI-tolkning og mangelagstolkningen. De skarpe laggrænser udglattes som for-

ventet i mangelagstolkningen og det er svært, at bestemme f.eks. dybden til det godt ledende bundlag. Mangel- agstolkningen repræsenterer til gen- gæld de vertikale og horisontale modstandsovergange i udgangs- modellen på en ensartet måde, mens der i fålagstolkningen opstår artefakter, hvor antallet af lag reduceres i udgangsmodellen. Dette ses f.eks. ved profilkoordinat 2700-3100 m figur 5.5, plot c.

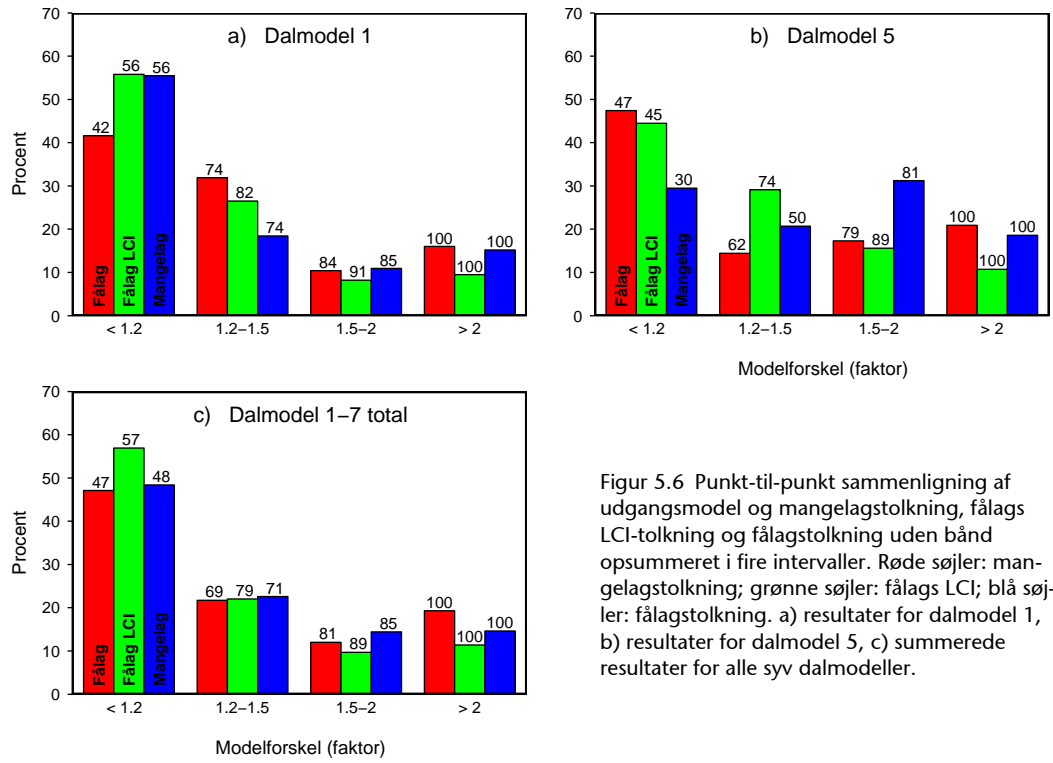
Dalmodel 5 er en mere kompliceret model, og specielt information om det dybt liggende dalfyld er sparsom i data. Dette ses bl.a. i fålagstolkningen (plot i), hvor kun nogle af sonderin- gerne fanger højmodstandslaget. Mangelagstolkningen er for denne daltype væsentligt anderledes fra fålags LCI-tolkningen. Specielt mod- standen af det dybt liggende dalfyld underestimeres pga. modellens bløde karakter.

For de tre forskellige tolkningsmodel- ler og for alle syv dalmodeller er der lavet en punkt-til-punkt sammenlig- ning med udgangsmodellerne. Resul- taterne af denne sammenligning er vist i figur 5.6.

Ud fra de summerede sammenlig- ningsresultater i plot h ses det, at få- lags-LCI er bedst, men at der opnås acceptable tolkningsresultater ved en mangelagstolkning.



Figur 5.5 Tolkningsresultater for dalmodel 2 og 3. a) og f) udgangsmodellen, b) og g) manglagstolkning, c) og h) fålags LCI-tolkning, d) og i) fålags MCI-tolkning, e) og j) datatilpasning.



Figur 5.6 Punkt-til-punkt sammenligning af udgangsmodel og mangelagstolkning, fålags LCI-tolkning og fålagstolkning uden bånd opsummeret i fire intervaller. Røde søjler: mangelagstolkning; grønne søjler: fålags LCI; blå søjler: fålagstolkning. a) resultater for dalmodel 1, b) resultater for dalmodel 5, c) summerede resultater for alle syv dalmodeller.

6 KONKLUSION

En mangelagsmodel tilpasser TEM-dataene lige så godt som en fålagsmodel og fålags LCI-model. For de viste dalmodeller, der udpræget er lagdelte, opnås de bedste tolkningsresultater generelt ved anvendelse en fålags LCI-model. Der opnås acceptable resultater ved en mangelagstolkning. Felteksemplerne, hvor geologien er mere kompleks, viser til gengæld, at der er situationer, hvor de geologiske strukturer kun vanskeligt erkendes ved hjælp af en fålagstolkning.

I fålagstolkningen fås et direkte estimat på laggrænsernes placering. Mangelagstolkning resulterer, som forventet, i et blødere billede af modstandsforholdene.

Områderne i udgangsmodelsektionen hvor antallet af lag skifter, repræsenteres på en mere ensartet måde i mangelagstolkningerne, end i fålagstolkningerne.

Såvel for fålags og mangelags LCI-tolkninger er et bånd i intervallet 1,2-1,5 en fornuftig størrelse ved en sonderingsafstand på 20 m. De vertikale bånd for mangelagstolkningerne skal være relativt løse, og en båndstørrelse på 3 er en fornuftig værdi.

Er informationen fra data alene sparsom, er det til dels forholdet mellem de laterale og vertikale bånd, der er styrende for modeludviklingen.

7

FELTEKSEMPLER

STILLING/STJÆR

I dette afsnit vises tolkningsresultater fra et ca. 4 km langt SkyTEM-profil målt i det daværende Århus Amt; efteråret 2003. Dataene er tolket med en mangelagsmodel og en fålagsmodel med og uden laterale bånd.

SkyTEM-dataene er målt i en højde af ca. 15 - 30 m, med en flyvehastighed på ca. 20 km/t. Dataene er under processeringen midlet skiftevis til en lavmomentsondering og en højmomentsondering. Det lave moment dækker tidsintervallet 24 μ s. - 1,4 ms. Det høje moment dækker tidsintervallet ca. 0,15 - 3,5 ms. Sonderingsafstanden mellem en høj- og en lavmomentsondering er ca. 30 m.

I figur 7.1 a-c ses hhv. en mangelags-tolkning, en fålags LCI-tolkning og en fålagstolkning uden laterale bånd (fålags MCI-tolkning). For fålags MCI-tolkningen indgår en lavmoment- og en højmomentsondering til hver model. For de to øvrige tolkningsmodeller er der en model for hver sondering. I plot d ses datatilpasningen for de tre tolkninger.

For fålags LCI-tolkningen og for mangelagstolkningen skaleres de laterale bånd med afstanden mellem sonderingen. Udgangsbåndet er 1,2 for en sonderingsafstand på 20 m. Udgangsbåndet skaleres efter følgende formel:

$$LC_{anv} = 1 + (LC_{20} - 1) \sqrt{\frac{\Delta GPS}{20m}}$$

LC_{anv} er det anvendte bånd, LC_{20} er udgangsbåndet for en sonderingsafstand på 20 m og ΔGPS er afstanden mellem sonderingerne. Det vertikale bånd for mangelagstolkningerne er 3.

Ud fra plottet af datatilpasningen (plot d) ses det, at de tre forskellige tolkningsmodeller alle tilpasser data på tilfredsstillende vis.

Som det fremgår af de tre tolkningssektioner er de overordnede træk ens, således erkendes en begravet dal tydeligt i alle sektionerne.

Den primære forskel mellem de tre tolkninger findes i de dybereliggende dele af sektionerne. I fålags MCI-tolkningen ses et højmodstandslag i ca. 150 m dybde i venstre side af profilet. I fålags LCI-tolkningen ses højmodstandslaget helt hen til profilkoordinat 2500 m. Der er altså lidt information i data om højmodstandslaget, og de laterale bånd bevirker, at denne information kommer frem i tolkningsresultatet. Information om højmodstandslaget er åbenbart så sparsom, at det ikke fremkommer i mangelagstolkningen.

Måden dalen og dalfyldet repræsenteres på er også noget forskellig i de tre tolkninger. I mangelagstolkningen er det nemmere at erkende, hvordan højmodstandsdalfyldet hænger sammen som et lag i forhold til fålagsmodellen. Til gengæld er det svært at komme med et præcist bud på dalens udstrækning, pga. det bløde modelbillede. Dette illustrerer mangelagsmodellens evne til at opløse skråtstillede laggrænser og fålagsmodellens evne til at komme med et mere præcist bud på laggrænsernes placering.

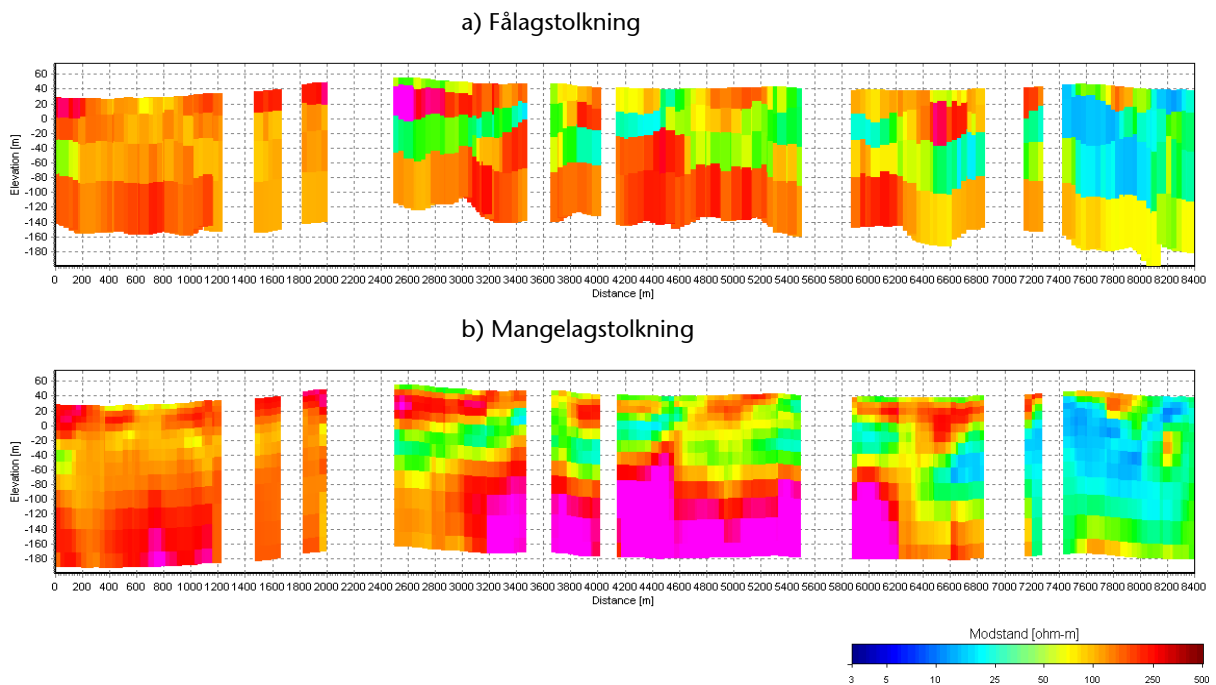
ØLGOD

Her vises tolkningsresultater fra Ølgod i det daværende Ribe Amt, indsamlet i sommeren 2006 med skiftende højt og lavt moment. Sonderingerne er taget ud med en sonderingsafstand på ca. 25 m, og er tolket med få- og mangelags LCI sektioner, som ses i hhv. figur 7.2 a og b.

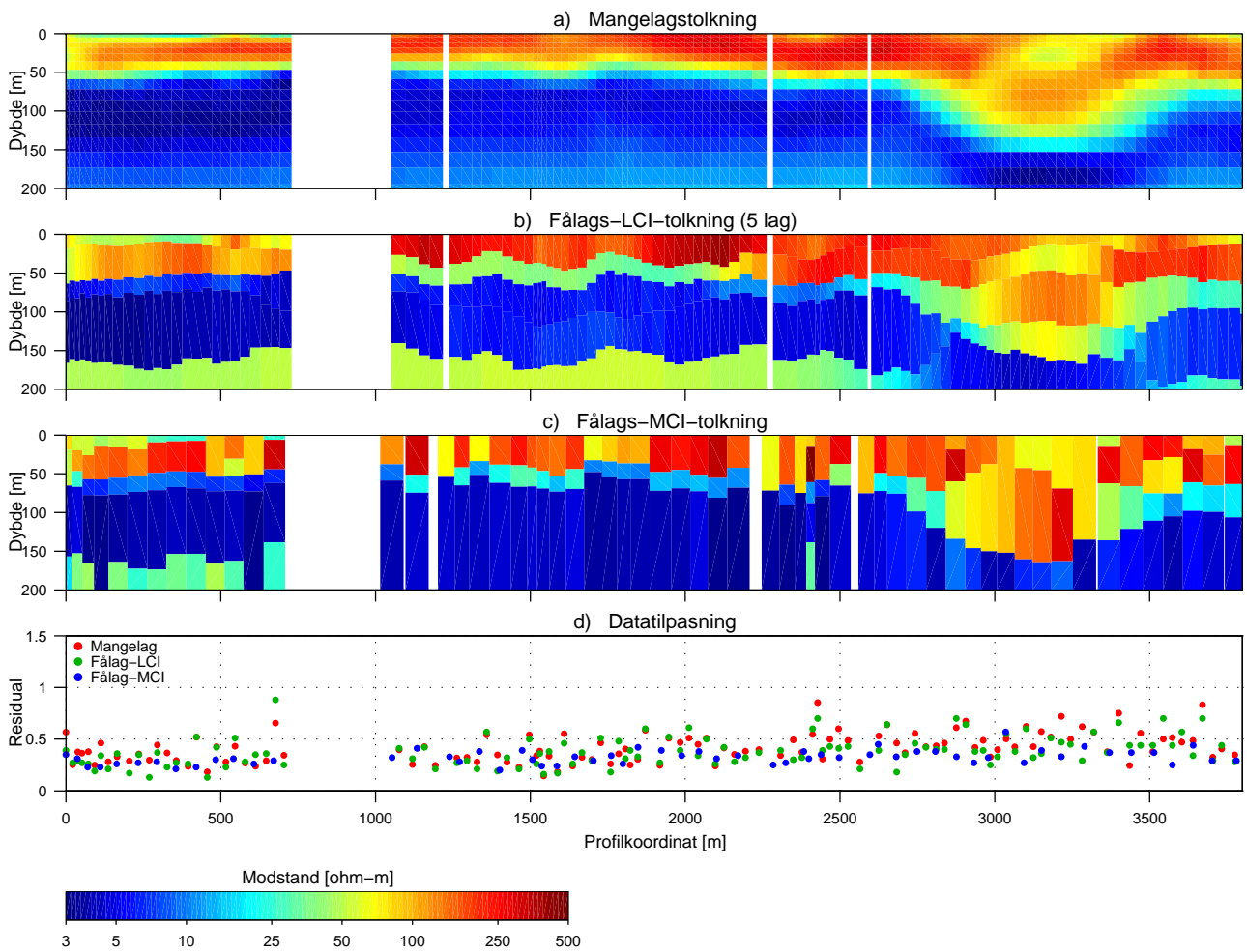
Som det ses, er geologien domineret af skråtstillede laggrænser samt afgrænsede lag. Dette erkendes dog klart lettest i mangelagstolkningerne, f.eks. ses omkring profilkoordinat 3700-4600 en lavmodstandsstruktur i mangelagstolkningerne, der først dykker og siden stiger mod stigende profilkoordinater. Samme tendens med skråtstillede strukturer ses omkring profilkoordinat 7600-8400. I begge tilfælde er strukturerne vanske-

ligt erkendelige i fålagstolkningerne. Generelt set er det i fålagstolkningerne svært at se, at der er tale om sammenhængende lag, mens de tydeligt fremstår som sådan i mangelagstolkningerne.

Omkring profilkoordinat 2500-3500 ses skråtstillede strukturer, der er lige let genkendelige i såvel mange- som fålagsmodellerne.



Figur 7.2 Tolkninger af SkyTEM data fra området ved Ølgod. a) fålags LCI-tolkning, b) mangelags LCI-tolkning.



Figur 7.1 Tolkninger af SkyTEM data fra Stilling-/Stjærområdet. a) Mangelagstolkning, b) LCI-tolkning, c) MCI-tolkning.

8

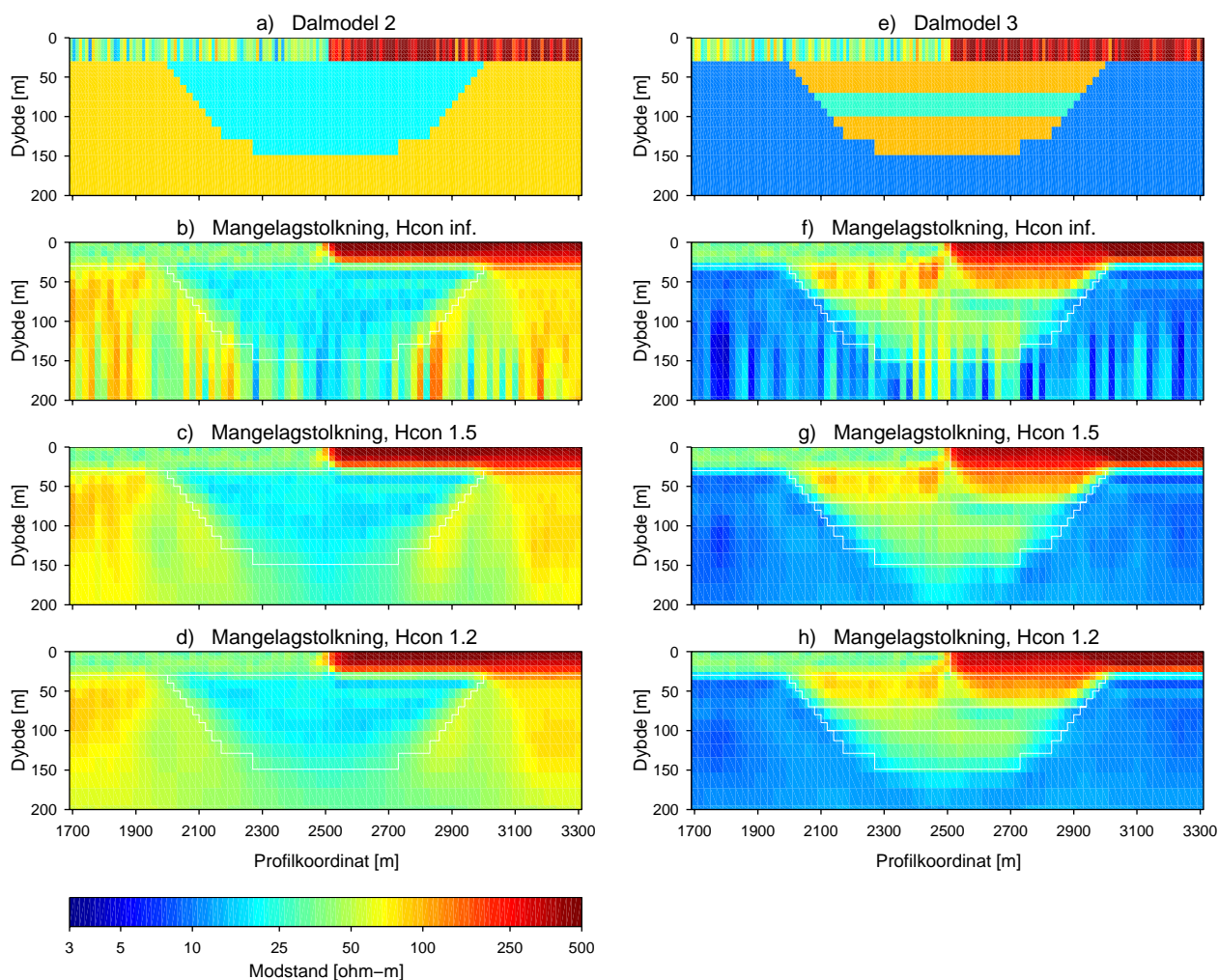
REFERENCER

- /1/ GeoFysikSamarbejdet, 2004, Lateral sambunden tolkning af transiente elektromagnetiske data.
- /2/ GeoFysikSamarbejdet, 2003, Anvendelse af TEM-metoden ved geologisk kortlægning.
- /3/ Jacobsen, Lars Hjortshøj, 2004, 1D-LCI-inversion af transiente elektromagnetiske data, speciale, Geologisk Institut, Geofysisk Afdeling, Aarhus Universitet.
- /4/ GeoFysikSamarbejdet, 2004, Kombineret LCI-tolkning af MEP og TEM data - Koncept og tolkningsresultater.
- /5/ GeoFysikSamarbejdet, 2002, Indflydelsen af 2D- og 3D-modstandsfordelinger på den endimensionale tolkning af TEM data
- /6/ Auken, E., Christiansen, A. V., Jacobsen, B. H., Foged, N., and Sørensen, K. I., 2005, Piecewise 1D Laterally Constrained Inversion of resistivity data: Geophysical Prospecting, 53, 497-506

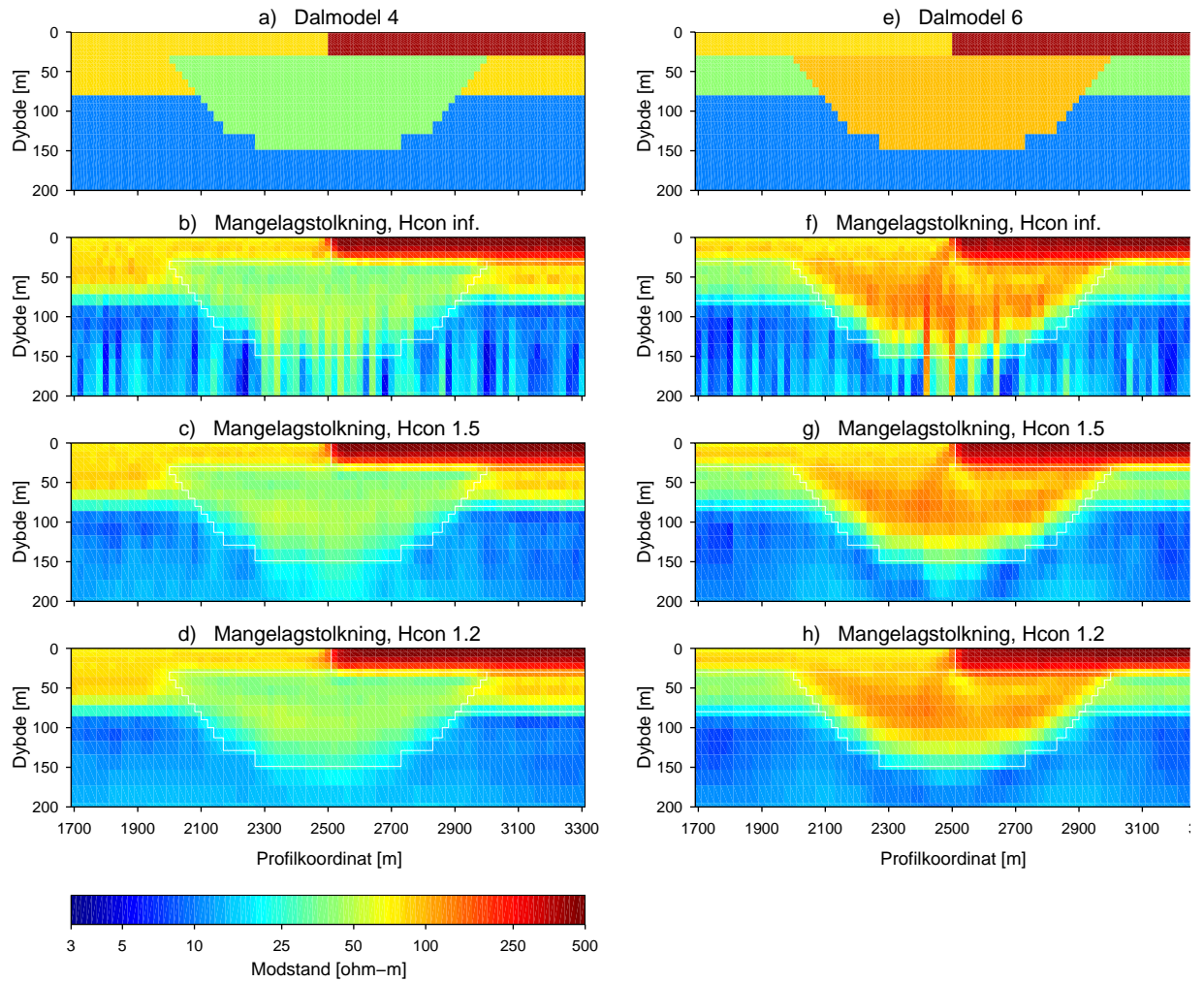
Denne rapport og ovenstående litteratur kan hentes fra GeoFysikSamarbejdets hjemmeside: www.gfs.geo.au.dk

**BILAG 1
VARIERENDE LATERALE
BÅND**

I dette bilag findes tolkningsresultater med varierende laterale bånd for dalmodel 2, 3, 4, 6 og 7.

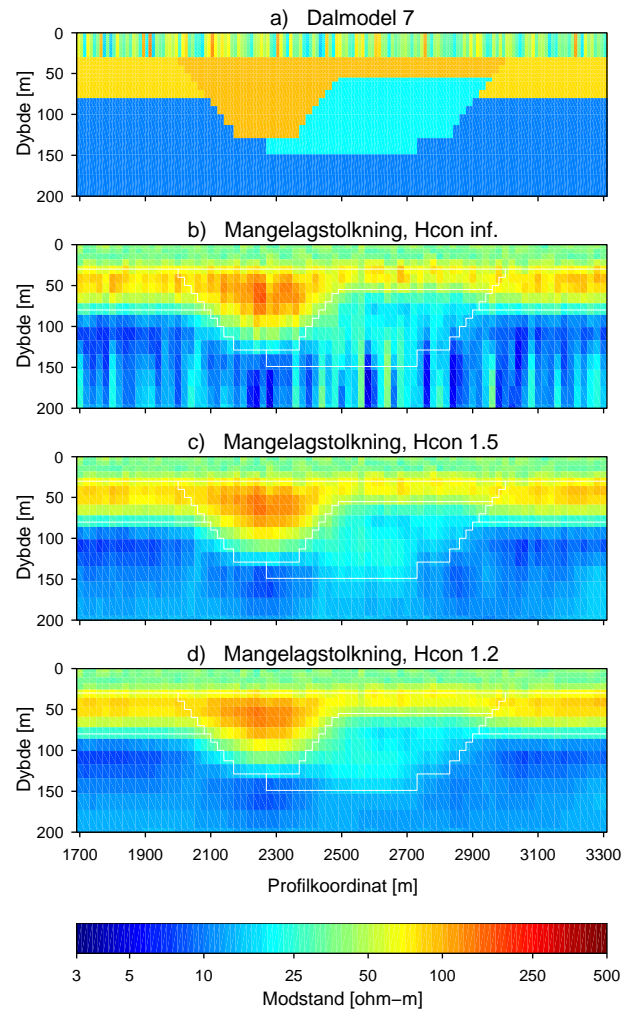


Mangelagstolkninger med forskellige laterale bånd og med et fast vertikalt bånd på 2 for dalmodel 2 og 3. a) og e) udgangsmodellen, b) og f) ingen laterale bånd, c) og g) lateralt bånd på 1,5, d) og h) lateralt bånd på 1,2.



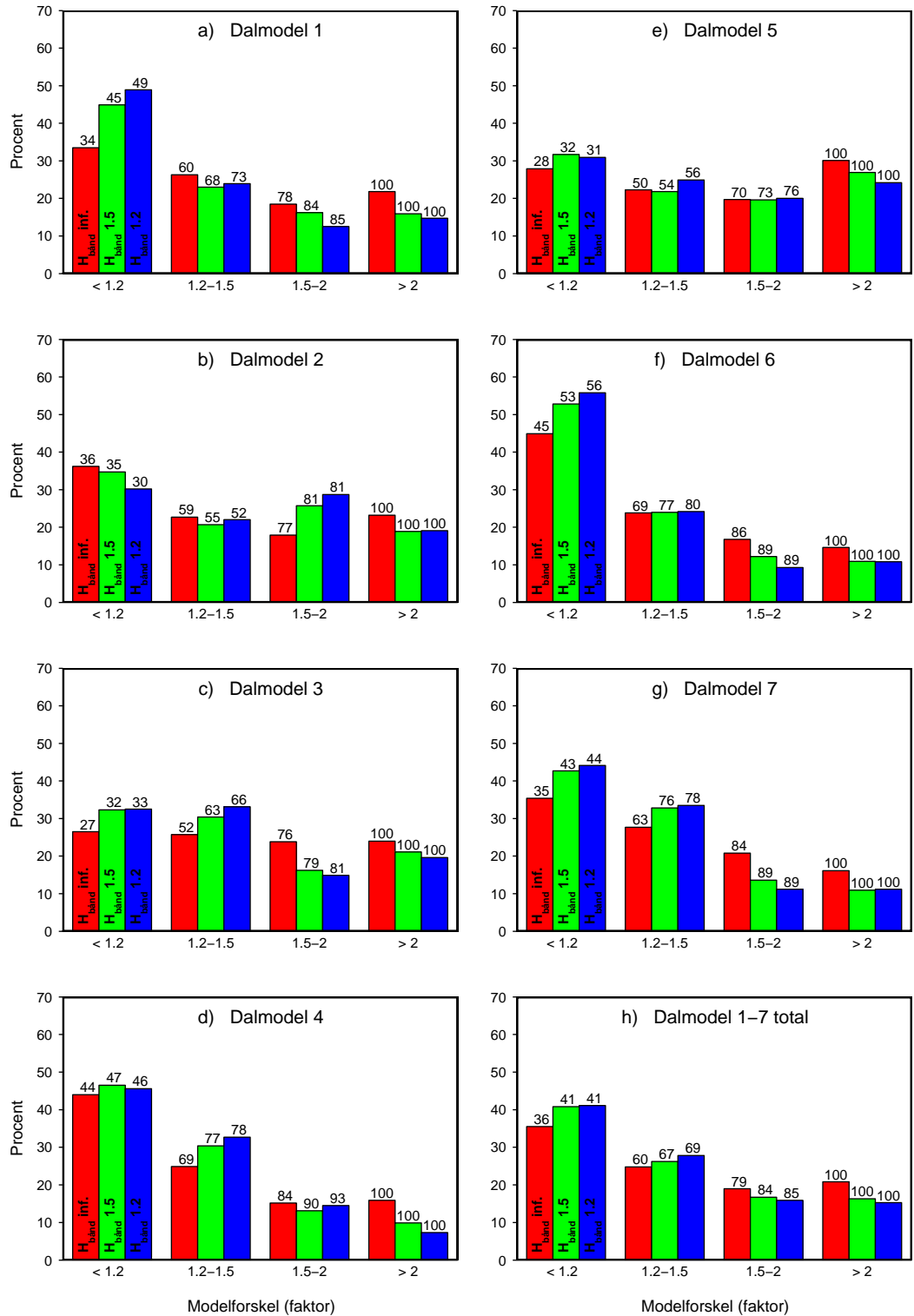
Mangelagstolkninger med forskellige laterale bånd og med et fast vertikalt bånd på 2 for dalmodel 4 og 6. a) og e) udgangsmo-
dellen, b) og f) ingen laterale bånd, c) og g) lateralt bånd på 1,5, d) og h) lateralt bånd på 1,2.

GEOFYSIKSAMARBEJDET



Mangelagstolkninger med forskellige laterale bånd og med et fast vertikalt bånd på 2 for dalmodel 7. a) udgangsmodellen, b) ingen laterale bånd, c) lateralt bånd på 1,5, d) lateralt bånd på 1,2.

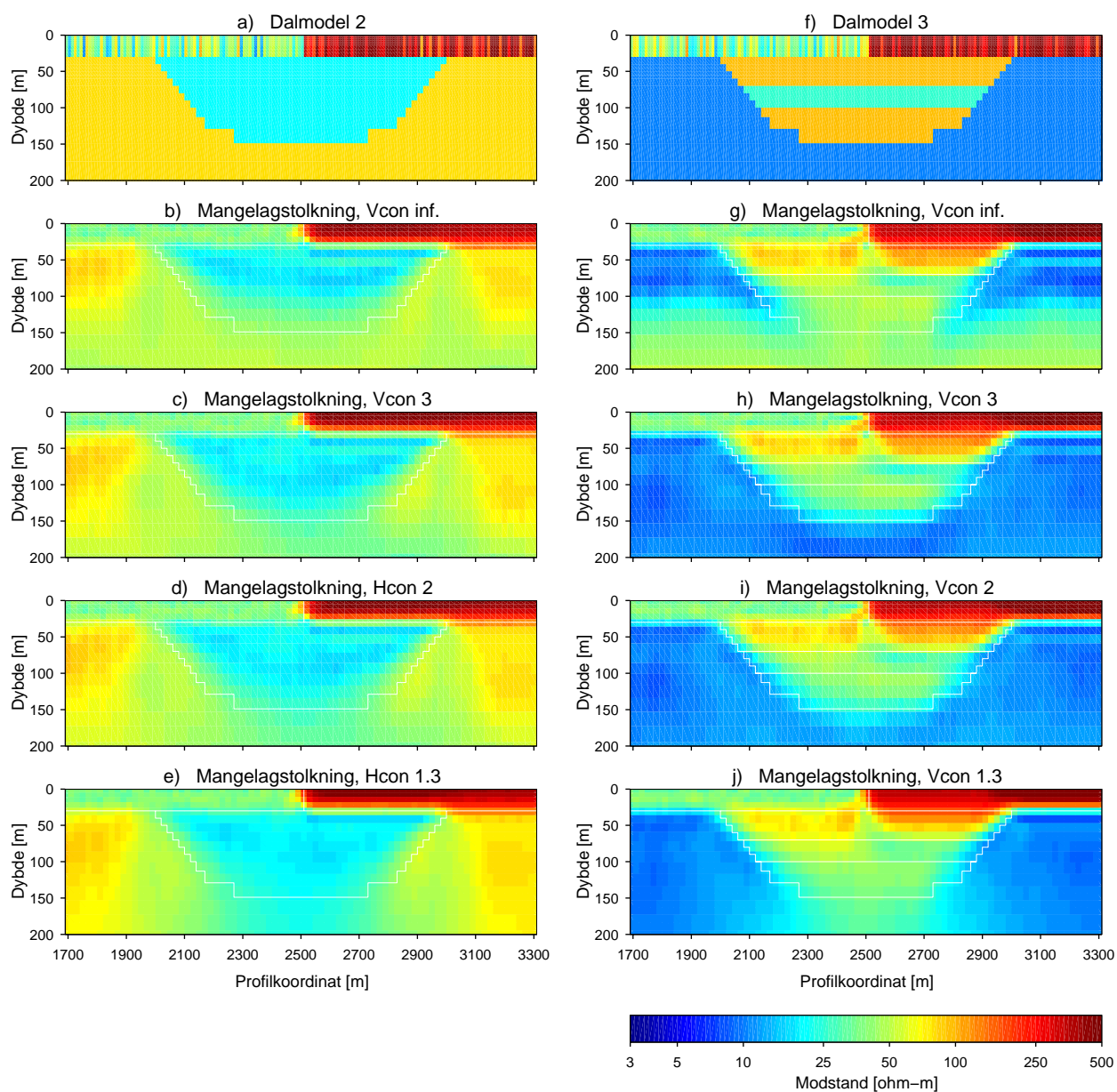
GEOFYSIKSAMARBEJDET



Punkt-til-punkt sammenligning af udgangsmodel og manglagstolkninger med forskellige laterale bånd opsummeret i fire intervaller. Røde søjler: ingen laterale bånd; grønne søjler: laterale bånd på 1,5; blå søjler: laterale bånd på 1,2. a) til g) for dalmodel 1-7, h) middel for de syv dalmodeller.

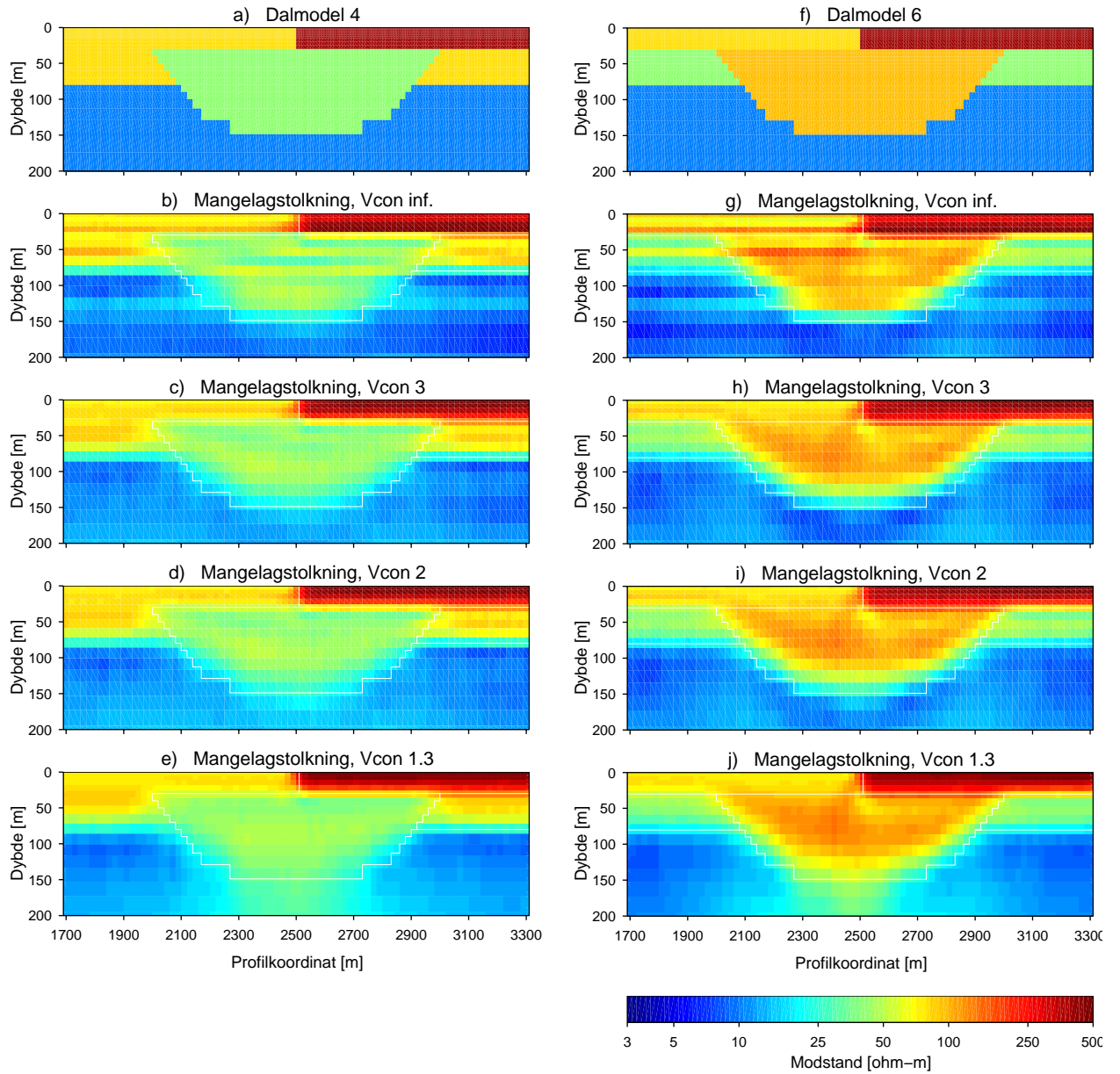
**BILAG 2
VARIERENDE VERTIKALE
BÅND**

I dette bilag findes tolkningsresultater med varierende vertikale bånd for dalmodel 2, 3, 4, 6 og 7.



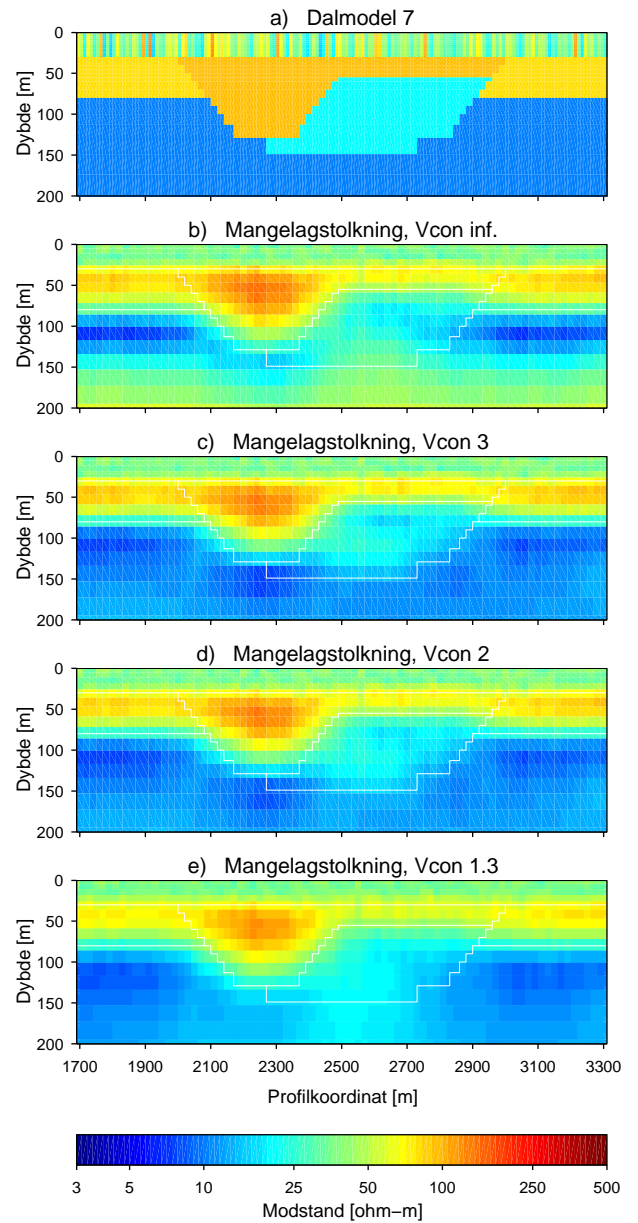
Mangelagstolkninger med forskellige vertikale bånd og med et fast lateralt bånd på 1,2 for dalmodel 1 og 5. a) og f) udgangsmodellen, b) og g) ingen vertikale bånd, c) og h) vertikale bånd på 3, d) og i) vertikalt bånd på 2, e) og j) vertikalt bånd på 1,3.

GEOFYSIKSAMARBEJDET



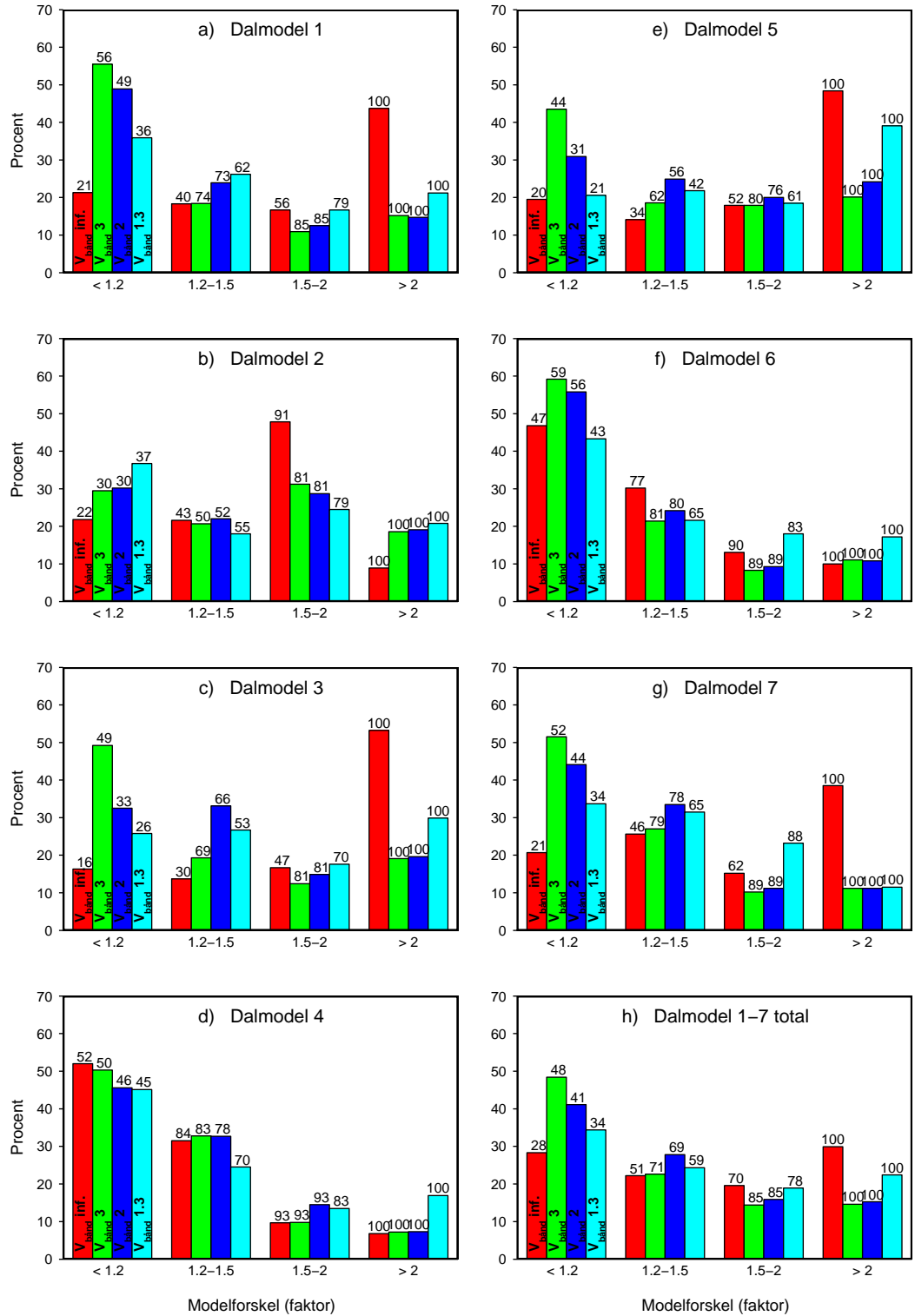
Mangelagstolkninger med forskellige vertikale bånd og med et fast lateralt bånd på 1,2 for dalmodel 4 og 6. a) og f) udgangsmodellen, b) og g) ingen vertikale bånd, c) og h) vertikale bånd på 3, d) og i) vertikalt bånd på 2, e) og j) vertikalt bånd på 1,3.

GEOFYSIKSAMARBEJDET



Mangelagstolkninger med forskellige vertikale bånd og med et fast lateralt bånd på 1,2 for dalmodel 7. a) er udgangsmodellen, b) ingen vertikale bånd, c) vertikale bånd på 3, d) vertikalt bånd på 2, e) vertikalt bånd på 1,3.

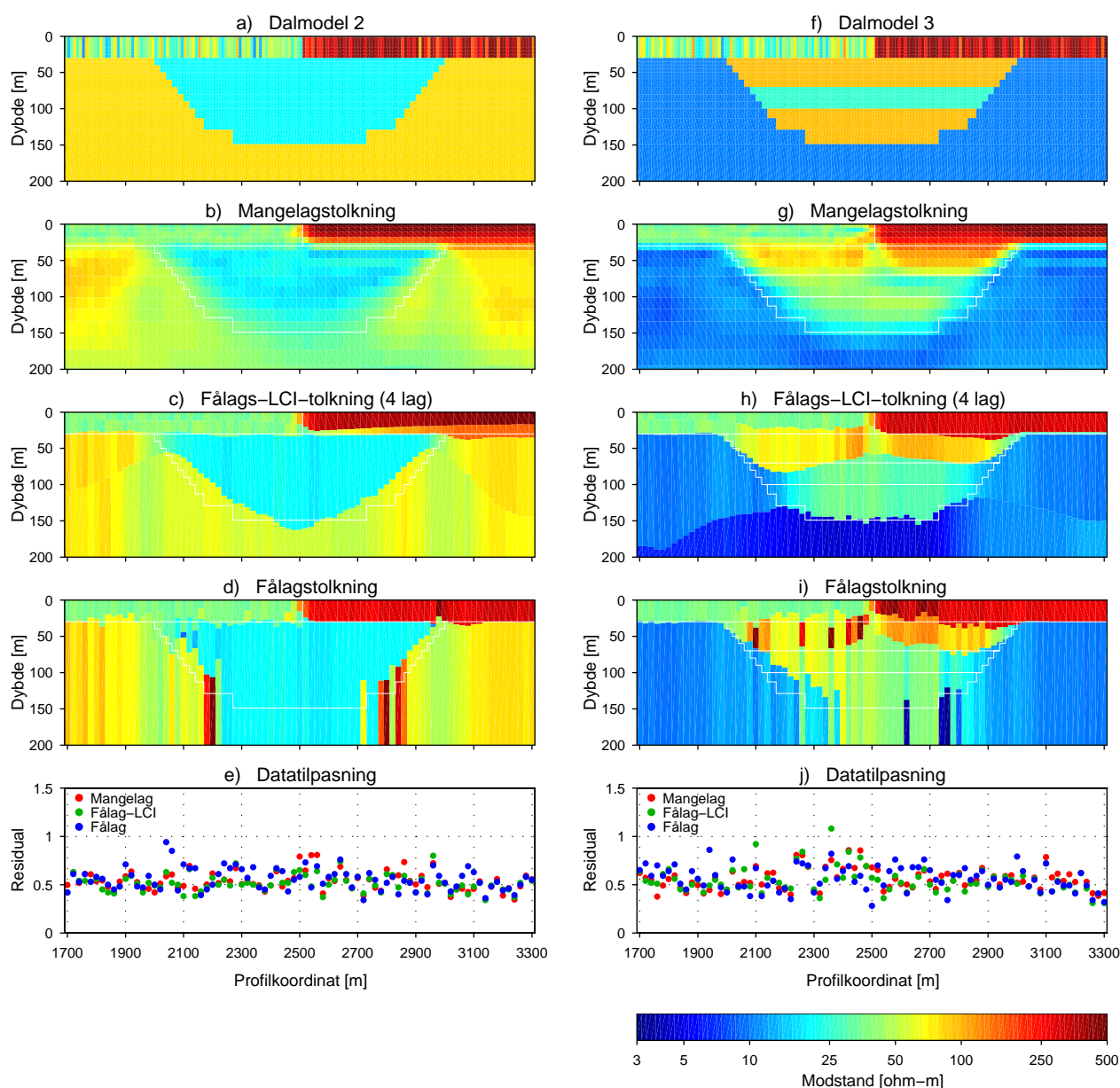
GEOFYSIKSAMARBEJDET



Punkt-til-punkt sammenligning af udgangsmodel og mangलगstolkninger med forskellige laterale bånd opsummeret i fire intervaller. Røde søjler: ingen laterale bånd; grønne søjler: laterale bånd på 1,5; blå søjler: laterale bånd på 1,2. a) til g) for dalmodel 1-7, h) middel for de syv dalmodeller.

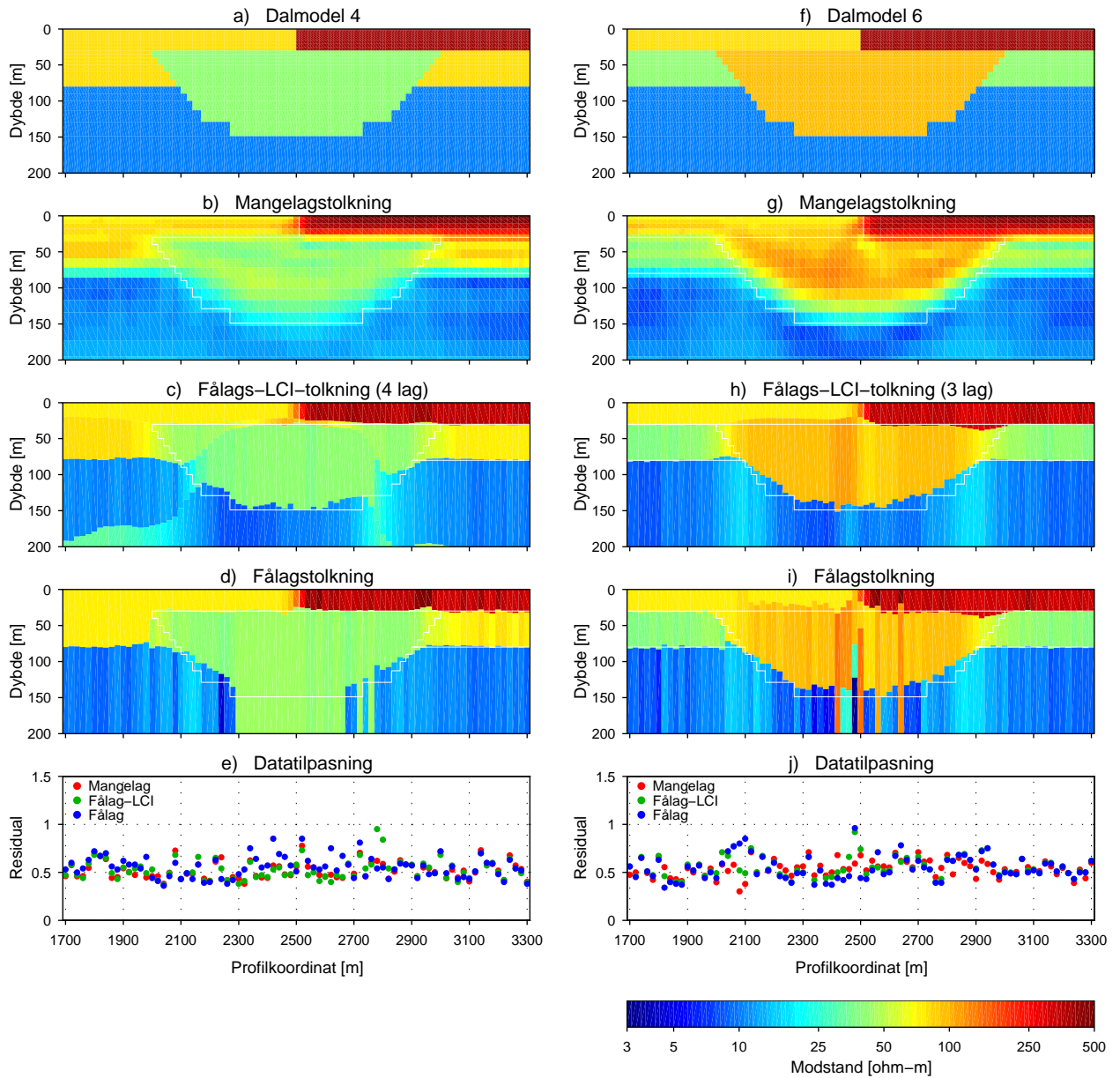
**BILAG 3
FÅLAGS-/MANGELAGSTOLK-
NINGER**

I dette bilag findes mangelagstolkninger, fålags-LCI-tolkninger og fålagstolkninger uden bånd for dalmodel 2, 3, 4, 6 og 7.



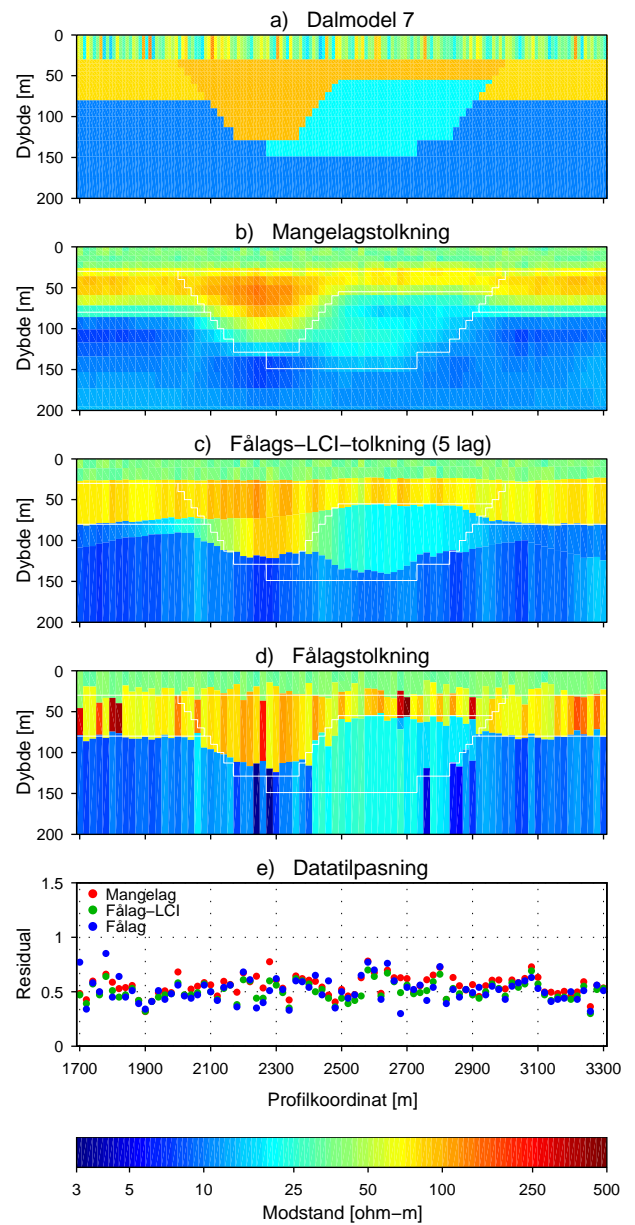
Tolkningsresultater for dalmodel 2 og 3. a) og f) udgangsmodellen, b) og g) mangelagstolkning, c) og h) fålags-LCI-tolkning, d) og i) fålags-MCI-tolkning, e) og j) datatilpasning.

GEOFYSIKSAMARBEJDET



Tolkingsresultater for dalmodel 4 og 6. a) og f) udgangsmodellen, b) og g) mangelagstolkning, c) og h) fålags-LCI-tolkning, d) og i) fålags-MCI-tolkning, e) og j) datatilpasning.

GEOFYSIKSAMARBEJDET



Tolkingsresultater for dalmodel 7. a) udgangsmodellen, b) manglagstolkning, c) fålags-LCI-tolkning, d) fålags-MCI-tolkning, e) datatilpasning.