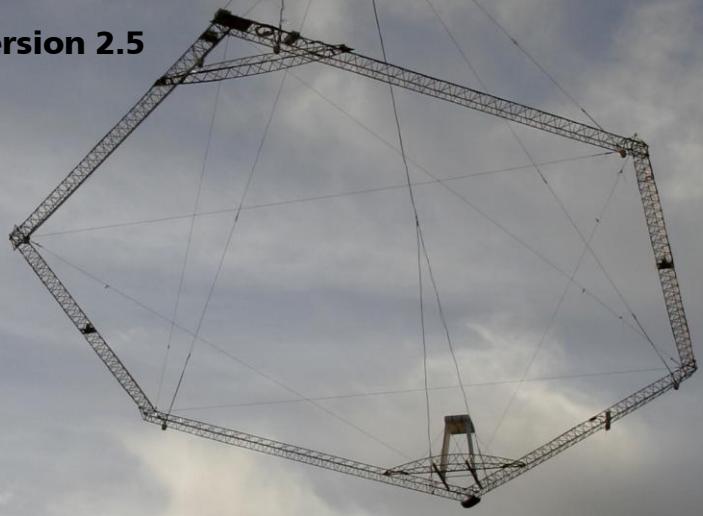


Vejledning og kravspecifikation for SkyTEM-målinger, processering og inversion

November 2011

Version 2.5



Udarbejdet af GeoFysikSamarbejdet,
Geologisk Institut, Aarhus Universitet.

INDHOLDSFORTEGENELSE

Revideringshistorie	2
1 Indledning	4
2 SkyTEM-konfiguration og målestrategier	5
2.1 SkyTEM-konfigurationer.....	5
2.2 Flyvelinjer.....	6
2.3 Flyvehastigheder, flyvehøjder og rammevinkel	6
3 Valideringsprocedurer	8
3.1 Kalibrering – Århus Testlokalitet.....	8
3.2 Bestemmelse af senderbølgeform.....	8
3.3 Lokal referencelokalitet	10
3.4 Biastest under produktionsflyvning.....	10
3.5 Måling i stor højde - Bestemmelse af systemrespons	11
4 Aflevering af data	12
4.1 Afrapportering fra SkyTEM ApS.	16
5 Dataprocessering	17
5.1 Vurdering i forbindelse med dataprocessering	17
5.2 GPS-, vinkel- og højdedata	18
5.3 db/dt-data	18
5.4 Koblede data	19
5.5 Midling og beskæring af data	20
6 Datatolkning.....	22
6.1 Vurdering i forbindelse med datatolkningen	22
6.2 Tolkningsmodel	23
6.3 Constrained Inversion	24
6.4 SCI tolkning.....	25
6.5 Arbejdsgang for tolkning.....	25
7 Afrapportering af processering og tolkning	27
7.1 Processeringsforløb	27
7.2 Tolkningsresultater.....	27
7.3 Indrapportering, GERDA	27
8 Referencer	28
Appendix 1 SkyTEM system definitioner	29
Appendix 2 Dokumentation af SkyTEM-filformater	29
Appendix 3 Dokumentation af Geometrifil.....	29
Appendix 4 Vejledende proc. indstillinger - Aarhus Workbench	29
Appendix 5 Vejledende tolkningsindstilinger - Aarhus Workbench.....	29
Appendix 6 Kalibrering af SkyTEM udstyret.....	29
Appendix 7 Recommended Presentations	29

REVIDERINGSHISTORIE

Denne vejledning er opdateret og udvidet i flere omgange. Det følgende opsummerer de vigtigste ændringer.

Version 1.1

Ændringer i midlingsbredder

Mindre ændringer i processeringsafsnittet, herunder midlingsbredder

Mindre ændringer i tolkningsafsnittet, herunder anbefalet modelopsætning
Specifikation af repetitionsfrekvensen i rådatarapport

Version 2.0

Der er blevet foretaget en større revidering og omstrukturering af vejledningen.

Vejledningen er blevet ændret således at den afspejler det nuværende SkyTEM-udstyr med tidssvarende specifikationer og krav til metoden og dataindsamlingen. Processerings- og tolkningsafsnittene er udvidet og ligeledes gjort tidssvarende.

Baseret på erfaring med den foregående vejledning og udførte SkyTEM-kortlægninger, er der endvidere foretaget en række præciseringer for dataindsamlingen, processeringen og tolkningen af data og afrapporteringen af kortlægningen.

Vigtigste ændringer og tilføjelser i denne version:

- Vejledningen er udvidet med en beskrivelse af de forskellige SkyTEM-opsætninger og deres forskellige anvendelighed.
- Der er foretaget mindre omrokeringer af de forskellige afsnit så teksten er mere konsistent.
- Der er indført afsnit omkring kalibrering herunder biastest og højdetest.
- Der er indført afsnit omkring linjenummerering og udlægning af flyvelinjer.
- Der er beskrevet krav til processering og inversion af SkyTEM-data.
- Der er udarbejdet bilag med detaljerede opsætningsmuligheder for SkyTEM-systemet og indstillinger for processerings- og inversionssystemet.
- Der er udarbejdet dokumentation af SkyTEM fil-formater.

Ændringerne er så omfattende at vejledningen blev fremlagt og kommenteret på et møde for alle aktører i januar 2010.

Version 2.1 – 05.08.2010

Der er i denne version indføjet et ekstra Bilag 7 der detaljeret beskriver standard kort afleveringer ved afrapportering. Der er indført henvisning til det nye bilag i afsnit 7.2.

Version 2.2 – 17.09.2010

Bilag 5 er udvidet med anbefaede indstillinger for opsætning af SCI-tolknninger.

Version 2.3 – 01.12.2010

På side 19 (1. punkt i punktopstillingen) er det præciseret hvad der skal forstås med overlappet mellem det super lave moment og det høje moment i forbindelse med beskæring af koblinger.

På side 20 (sidste afsnit) er formuleringen der omhandler beskæring af datakurver og addering af data usikkerhed ændret således at den fremstår klar og entydig.

I Bilag 1, der vedrører SkyTEM-opsætningerne, er gate-bredderne for SLM i intervallet 6-13 μ s ændret så de er mere robuste.

Version 2.4 – 07.01.2011

I Aarhus Workbench er der i processeringen af GPS-positionerne tilføjet en ny indstilling, der optimerer positioneringen af de enkelte sonderinger baseret på SkyTEM-konfigurationens laterale fokuspunkt i flyveretningen. Appendix 4 er opdateret med forklaring og vejledende værdier for denne nye GPS-indstilling. Videre udvikling af inversionskoden em1dinv har medført at den kan håndterer

større SCI-cellér/LCI-sektion. Anbefalede størrelser for SCI-cellér/LCI-sektion er derfor ændret i Appendix 5.

Version 2.5 – 15.11.2011

I kapitel 3.1, er det specificeret at kalibreringen skal udføres med den opdaterede TEM reference model fra Århus testlokalitet.
Rettelser af unøjagtigheder i appendix 3 vedr. geometrifil.

1 INDLEDNING

Den helikopterbårne transiente elektromagnetiske målemetode, SkyTEM, er den mest anvendte geofysiske metode til grundvandskortlægning i Danmark. Nærværende vejledning er udarbejdet med henblik på at kvalitetssikre procedurer for dataindsamling og -behandling af SkyTEM-data. De udarbejdede standarder er tilpasset den danske geologi og de krav, der stilles til data og tolkningskvalitet.

Vejledningen er opdelt i to dele hvor selve dataindsamlingen, valideringen og dokumentation er beskrevet i afsnit 3 – 5. Processering, tolkning og indberetning til GERDA er beskrevet i afsnit 6 – 8. Endelig er der en række bilag hvor parametre for instrumenter og processering er givet. Disse bilag kan danne grundlag for kontraktudarbejdelse.

I takt med at der introduceres udviklinger af måleudstyret og tolkningssoftwaren, vil vejledningen blive udvidet i det omfang, det er påkrævet.

De krav til instrumenter, feltarbejde og databehandling, der opstilles i vejledningen, er standardkrav. Er det ikke muligt at opfylde disse krav, skal dette begrundes og fremgå af afrapporteringen, evt. afklares med de involverede parter. I vejledningen er der desuden angivet en række vejledende indstillinger til brug ved processering og tolkning.

Vejledningen har været udsendt til høring hos GEUS og de rådgivende ingeniørfirmaer. Alle aktører har været indbudt til møde i januar 2010 på Geologisk Institut.

Det skal bemærkes, at de procentsatser der er angivet i afsnit 4.3 indtil videre er vejledende. Det har vist sig, at en endelig fastlæggelse af disse procentsatser har krævet en større undersøgelse. Resultaterne fra denne undersøgelse forventes at kunne inkorporeres i vejledningen medio april, 2010.

Vejledningen version 2.0 træder i kraft pr. 15. februar 2010 og kan hentes fra GFS' hjemmeside: www.gfs.au.dk

2 SKYTEM-KONFIGURATION OG MÅLESTRATEGIER

I det følgende gennemgås de forskellige SkyTEM-opsætninger, udlægning af flyvelinjer, flyvehastighed og flyvehøjde. SkyTEM-metoden er endvidere beskrevet i ref. /8/.

2.1 SkyTEM-konfigurationer

Som udgangspunkt skal målekonfigurationen for SkyTEM-systemet tilpasses kortlægningsområde og kortlægningens formål. Systemet kan tilpasses på en række måder som gør det muligt at fokusere kortlægningen på meget overfladenære geologiske strukturer, dybereliggende strukturer eller midtimellem. I Appendix 1 er angivet en række standardopsætninger, der passer til disse kortlægningsformål.

Systemet anvender en kombination af to momenter, superlavt moment (SLM) og højt moment (HM). I tidligere versioner af SkyTEM-systemet anvendtes også et lavt moment (LM). Dette anvendes dog ikke længere, da det er erstattet af SLM. SLM- og HM-momenterne har følgende karakteristika:

Superlavt moment (SLM)

Der anvendes én vinding på senderrammen, og der udsendes en strøm på ca. 10 A. Første anvendelige gatetid er afhængig af valget af HM og ligger i intervallet ca. 10–15 µs. Superlavt moment giver maksimal oplosning af de overfladenære geologiske strukturer.

Højt moment

Maksimal senderstrøm er 110 A i 1 til 4 vindinger. Første anvendelige gatetid er ved ca. 30-70 µs. Der kan anvendes to rammeværelser på hhv. ca. 314 m² og 494 m². Ved anvendelse af den lille ramme kan den konfigureres med 1 (HM1), 2 (HM2) eller 4 (HM4) vindinger. Anvendes stor ramme, konfigureres den altid med fire vindinger.

Den største ramme anvendes fortrinsvis i kortlægninger hvor der er behov for meget stor kortlægningsdybde (op til 300 m), mens den lille ramme med fire vindinger anvendes hvor der er behov for en kortlægningsdybde på op til 200 m. Anvendes HM1 og HM2 er kortlægningsdybden lavere (100-150 m) da der kun måles til ca. 1,2 - 4 ms (mod normalt 10 ms).

Ved konfiguration med to eller fire vindinger opnås der ikke så tidlige gatetider på SLM som hvis der anvendes én vinding i HM.

Momentkombinationer og lateral oplosning

Kombineres SLM med HM1 og HM2 opnås en meget tæt lateral datasampling, hvilket resulterer i en meget høj oplosning af den overfladenære geologi. Kombineres SLM og HM4, opnås stor kortlægningsdybde, men da den transmitteres med en lavere frekvens og i længere tid, er den laterale datasampling mindre tæt og oplosningen af den meget overfladenære geologi noget mindre.

Det bør tilføjes at der for hvert ca. tyvende momentskift foretages en måling af baggrundsstøjen på HM med en reduceret stakstørrelse. Denne måling anvendes i forbindelse med processeringen til vurdering af støjen.

2.2 Flyvelinjer

Flyvelinjernes placering aftales som udgangspunkt mellem SkyTEM ApS og rekvirenten.

Placering af flyvelinjerne

Den laterale opløselighed vil altid være større langs flyvelinjerne end på tværs. Normalt vil det således være en fordel at udlægge linjerne vinkelret på forventede/kendte geologiske strukturer. Vind- og vejrførhold under kortlægningen kan dog spille ind på orienteringen af flyvelinjerne. Jo større linjetæthed, jo mindre er betydningen af linjeorienteringen dog i forhold til kortlægningsresultatet.

Flyvelinjerne udlægges som rette linjer. Linjer der over længere strækninger følger installationer på jorden i en afstand af mindre end 100 m, flyves ikke da de resulterer i koblede data. Afstanden er dog afhængig af geologien idet en højere modstand i de øvre jordlag kræver en højere afstand til installationer. Erfaringen viser at en afstand på ovennævnte 100 m er nødvendig ved modstande på 30-80 Ω m, mens den ved modstande på over 200-300 Ω m kan være mere end 200 m.

Det må forventes at de faktiske flyvelinjer i en vis grad afviger fra de udlagte rette flyvelinjer, da det i sidste ende er helikopterpiloten der af sikkerhedshensyn afgør hvor og hvordan der flyves. Således skal piloten flyve uden om bebyggelse samt visse former for dyrehold og over høje træer og højspændingsledninger.

En tæt placering af flyvelinjerne resulterer i en bedre lateral opløsning af de geologiske lag. Det anbefales at der flyves med en maksimal linjeafstand af 200 m (5 linjekm pr. km^2) når fokus er på stor kortlægningsdybde, og med ca. 170 m (6 linjekm pr km^2) når der er fokus på de mere overfladenære geologiske forhold. Er der tale om særlige indsatsområder, kan det være relevant at flyve med en linjeafstand på helt ned til 50 m.

2.3 Flyvehastigheder, flyvehøjder og rammevinkel

Flyvehastighed

Den valgte flyvehastighed er en afvejning mellem lateral opløsning, Kortlægningsdybde og økonomi. Lav hastighed giver stor datatæthed, hvilket igen resulterer i bedre lateral opløsning og større kortlægningsdybde.

Generelt skal der tilstræbes så jævn flyvehastighed som muligt. Kraftige fluktuationer i hastigheden over korte afstande bevirker at den efterfølgende dataprocessering bliver ujævn mht. kortlægningsdybde og lateral opløsning. Flyvehastigheden tilstræbes at være gennemsnitlig 45 km/t (12,5 m/s) og uden udsving over 55 km/t i mere end få minutter ad gangen. Afviger flyvehastigheden/gennemsnitshastigheden fra det aftalte, skal det accepteres af rekvirenten. Den beskrevne flyvehastighed anses med de nuværende systemkonfigurationer at være optimal under danske forhold.

Flyvehøjde

Flyvehøjden har stor indflydelse på jordresponssets størrelse, særligt til tidlige tider. Signal-støj-forholdet vil alt andet lige blive mindre jo større flyvehøjden er. Af sikkerhedsmæssige hensyn tilstræbes en flyvehøjde over åbent landskab på ca. 30 m, med udsving i intervallet 25-45 m. Over skov og installationer øges flyvehøjden med højden af disse.

Generelt skal der tilstræbes så lav og så jævn flyvehøjde som muligt. Kraftige fluktuationer i højden over korte afstande bevirker at den efterfølgende dataprocessering bliver fejlbehæftet, og i nogle tilfælde må data kasseres helt.

Rammevinkel

Rammen skal så vidt muligt være vandret under flyvningen. I praksis vil rammen altid afvige fra vandret pga. skiftende vindretning/flyveretning og hastighed. Det skal tilstræbes at rammen er ophængt så vinklerne (pitch og roll) er under +/-10 grader i produktion. Vinkler større end 20 grader i perioder på mindre end 20 s accepteres.

3 VALIDERINGSPROCEDURER

I det følgende gennemgås valideringsprocedurerne for SkyTEM-udstyret i forbindelse med kortlægning.

For alle valideringsprocedurer gælder at SkyTEM-systemet skal være konfigureret på samme måde som ved produktion. Ændringer af konfigurationen skal oplyses til rekvirenten, og der skal redegøres for deres indflydelse på valideringen af udstyret. Er ændringerne væsentlige, skal udstyret genvalideres.

3.1 Kalibrering – Århus Testlokalitet

Formålet med kalibrering af SkyTEM-systemet på Århus Testlokalitet er at fastlægge det absolute dataniveau for at kunne lave en præcis modellering af data.

Kalibreringsmålinger laves altid i forbindelse med instrumentelle ændringer. Herudover gennemføres maksimalt 3 måneder forud for kortlægningen kalibreringsmålinger. Kalibreringen skal foretages ud fra den opdaterede TEM reference model fra Århus testlokalitet, jævnfør /11/

Bestemmelse af tids- og niveauafskydning foregår ved at sammenligne et målt SkyTEM-respons med forwardresponset fra den geofysiske jordmodel fra Århus Testlokalitet. Dette gøres for minimum tre flyvehøjder, typisk ca. 10, 20 og 30 m. Forwardresponserne beregnes ud fra den konkrete flyvehøjde, og det fulde SkyTEM-system (senderbølgeform, filtre, frontgate mm.) modelleres. Bølgeformen skal således være fastlagt før beregning af forwardresponser. Ændres bølgeformen, skal der genereres nye forwardresponser til bestemmelse af kalibreringskonstanter. Denne procedure kaldes *upward continuation*.

Dokumentation for kalibreringen leveres i form af plot der viser forwarddata og de målte data fra de forskellige højder. Det tilstræbes at vinkel på rammen er ca. 0 grader. Er den væsentlig større skal der laves korrektion for vinklen. De fundne kalibreringskonstanter skal være ens for alle højder.

Forskellen mellem et upward continued forwardresponse for modellen fra Århus Testlokalitet og det målte respons i hver af flyvehøjderne må ikke være større end 5 % (rhoa-datatransform) for data med lavt støjniveau. Afvigelser herfra skal begrundes og accepteres af rekvirenten.

Der henvises til /10/ for en generel beskrivelse af kalibreringsproceduren.

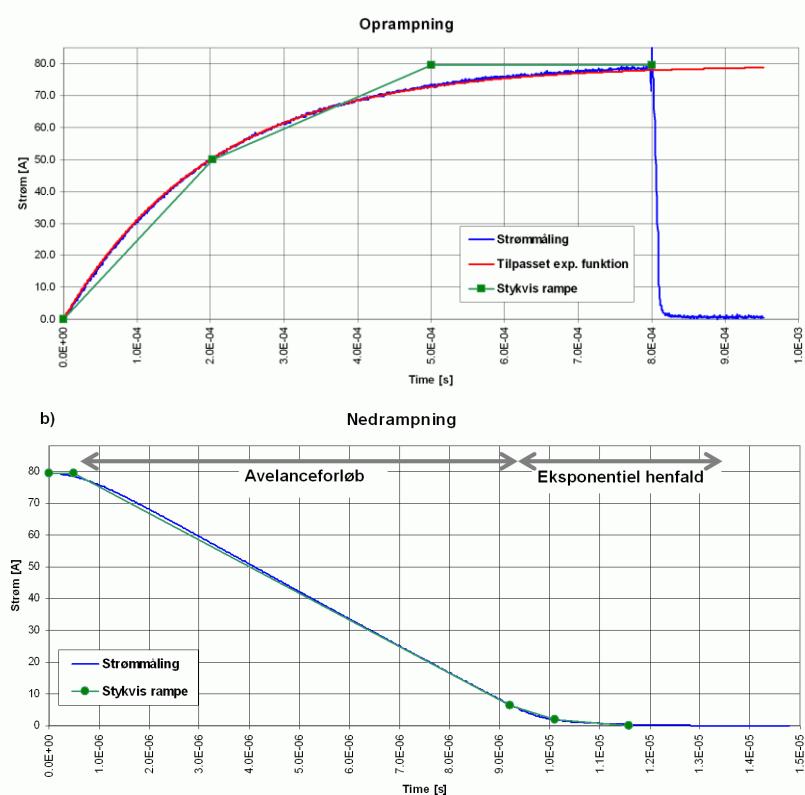
3.2 Bestemmelse af senderbølgeform

Formålet med bestemmelse af senderbølgeformen er at kunne lave en præcis modellering af de målte data.

Senderbølgeformen består af op- og nedrampning. Oprampningen på strømmen måles direkte på senderspolen. Nedrampning måles som den tidsligt aflede af strømmen. Ved bestemmelsen af bølgeformen skal senderstrømmen have samme niveau som ved produktion for de forskellige momenter. Bølgeformen

skal være skalerbar med senderstrømmen da der under kortlægningen kan være mindre fluktuationer i bølgeformen, primært pga. temperaturændringer.

Oprampningen defineres i geometrifilen ved en eksponentiel funktion og placering af knækpunkter, som vist i Figur 1 øverst. Nedrampningen angives med en slukkekonstant (A/s) for det lineære avalancheforløb og en eksponentiel konstant for det frie eksponentielle henfald (Figur 1 nederst). I processeringsmodulet i Aarhus Workbench oversættes bølgeformskonstanterne fra geometrifilen til en stykvis lineær op- og nedrampning, som vist med de rette linjer i Figur 1.



Figur 1 Figuren viser senderbølgeformen samt hvordan den modelleres i Aarhus Workbench. Øverst - Oprampning. Den blå kurve viser den målte strøm. Den røde kurve viser den tilpassede eksponentielfunktion (angives i geometrifilen). De grønne linjestykker viser rampen der anvendes ved tolkning af data, og som udregnes på baggrund af eksponentialkonstanten og den aktuelle senderstrøm. Nederst - Nedrampning. Den blå kurve viser det målte integrerede slukkeforløb. De grønne linjestykker viser rampen der anvendes ved tolkning af data og udregnes på baggrund af slukkekonstanten for avalancheforløbet, eksponentialkonstanten og den aktuelle senderstrøm.

Bestemmelsen af bølgeformen dokumenteres i ráddatarapporten med plot af:

- De målte strømdata fra oprampningen med den valgte eksponentielfunktion.
- Nedrampningsstrømmen med den valgte eksponentielfunktion. Da data fra pickupspolen angiver den tidsligt afledte af den faktiske strøm i senderspolen, udføres der en tidslig integration for at fastlægge parametrene for avalancheforløbet samt det eksponentielle henfaldsforløb.

Der henvises til /4/ for en generel beskrivelse af bølgeformsberegningen.

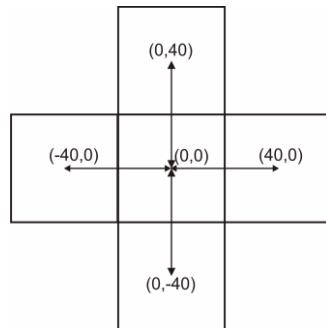
3.3 Lokal referencelokalitet

Formålet med test på den lokale referencelokalitet er at sikre at der ikke er opstået fejl på systemet under mobilisering og i kortlægningsforløbet.

Den lokale referencelokalitet oprettes ved at udføre fem sonderinger med et jordbaseret udstyr. Dette udstyr skal forinden være kalibreret på Århus Testlokalitet. Sonderingerne laves i et kryds, således at opstillingernes centrum ligger med 40 m mellemrum som vist i Figur 2. Ved denne opstilling kan den geologiske inhomogenitet vurderes samt om der er tilstrækkelig afstand til kabler etc. Vurderes forholdene at være for inhomogene eller hvis data er koblede, bør der oprettes en anden referencelokalitet.

Under selve indsamlingen af produktionsdata skal der i forbindelse med ud- og returflyvning for hver flight måles i ca. 30 sekunder over den lokale referencelokalitet med rammen i produktionshøjde. Ved at sammenligne disse målinger dokumenteres repesterbarheden af data. Ved samtidig at sammenligne målingerne med de jordbaserede målinger, dokumenteres også reproducerbarheden af data.

Repeaterbarheden for alle kurver skal ligge inden for 5% af middelværdien for hver enkel gate (rhoa-transform). Reproducerbarheden af upward continued data fra jordmodellen skal ligge inden for 10% for middelværdien for hver enkelt gate (rhoa-transform). Begge forhold gælder for gates med højt signal-støj forhold. Afvigelser herfra skal begrundes og accepteres af rekvirenten.



Figur 2 Oprettelsen af lokal referencelokalitet foretages ved at lave fem sonderinger med 40 m imellem centrum af opstillingerne.

3.4 Biastest under produktionsflyvning

Formålet med biastesten er at fastlægge biasniveauet til tidlige tider således at biaspåvirkede data kan fjernes. For at kunne fastlægge ændringer i biasrespons skal der under ud- og hjemflyvning flyves op i min. 300 m højde, eller så højt som skydækket tillader. Denne højde skal holdes i min. 15 sekunder.

3.5 Måling i stor højde - Bestemmelse af systemrespons

Formålet med højdetesten er at fastlægge systemresponset. Højdetesten foretages ved at der måles i en højde hvor jordresponset er negligerbart, normalt ca. 1000 m. Der udføres én højdetest per kortlægning i umiddelbar nærhed af eller inden for kortlægningsområdet.

Systemresponset må maksimalt udgøre ca. 2% (db/dt) af jordresponset i normal produktionshøjde fra den lokale referencelokalite. Systemresponsens størrelse dokumenteres i form af kombinerede plot med data (db/dt) fra stor højde og af data fra normal produktionshøjde. Der skal anvendes en stor stakstørrelse for db/dt -data fra stor højde, således at den tilfældige baggrundsstøj minimeres, og systemresponset træder tydeligt frem. På baggrund heraf skal SkyTEM ApS i geometrifilen angive hvilke gatetider der kan anvendes

4 AFLEVERING AF DATA

SkyTEM-systemet producerer en række forskellige datafiler. De efterfølgende afsnit beskriver disse datatyper samt krav til rådata-afrapportering. Endvidere gennemgås kravene til kalibreringen af SkyTEM-udstyret.

I det følgende omtales en række forskellige instrumenter der leverer data, som bruges i forbindelse med processering og tolkning. Deres placering er vist på Figur 3.

Datatyper

SkyTEM ApS skal samlet levere alle relevante data i formater og konventioner som angivet i nedenfor.

Data optaget ved en SkyTEM-kortlægning rapporteres i følgende filformater:

- Geometrifil
- SKB-filer
- SPS-filer
- Linjenummerfil

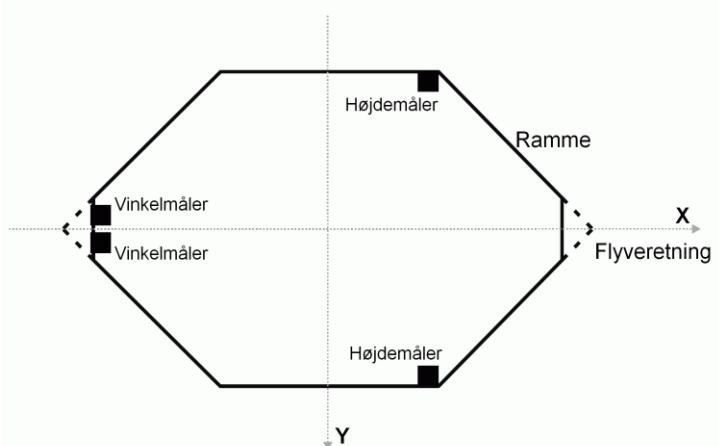
Geometrifil

Geometrifilen indeholder information om konfigurationen af SkyTEM-systemet. Denne information anvendes ved processering og tolkning af data.

Geometrifilen indlæses sammen med de øvrige data i Aarhus Workbench. Det er et krav at geometrifilen afleveres endeligt sammen med data. En komplet beskrivelse af geometrifilen findes i Appendix 3.

Geometrifilen indeholder information om:

- Placering af de forskellige enheder på senderrammen. Konventionen for koordinatsystem er vist i Figur 3.
- Den forventede senderstrøm. Afvigelse iht. den faktisk udsendte strøm må maksimalt være 25% fra det angivne tal
- Størrelsen på senderspolen, antal vindinger og areal.
- Kalibreringskonstanter i form af tids- og db/dt-faktorer og konstanter.
- Angivelse af første brugbare gates for de enkelte kanaler.
- Lavpasfiltre.
- Tidslig placering af frontgaten. Frontgaten skal være placeret mindst 1 μ s før den første brugbare gate åbner.
- Den estimerede dæmpning af primærfeltet ud fra nulpositionen.
- Repetitionsfrekvens. Bemærk at repetitionsfrekvensen der angives i geometrifilen udregnes som: RepetitionsfrekvensGeo = 1 / (4 x OnTime).
- Parametre der beskriver bølgeformen (tænde- og slukkeforløbet). Slukkeforløbet skal være afsluttet før frontgatetiden (som angivet ovenfor).
- Uniform data STD. Som standard anvendes 3%.
- Gatecentertider, gatefaktorer og gate åbne- og lukketider.



Figur 3 Skitse af SkyTEM-rammen set ovenfra med angivelse af de vigtigste instrumenter samt definition af x- og y-retningen. x-aksen peger i flyveretningen, y-aksen peger til højre, mens z-aksen peger ind i papiret.

SPS-filer

SPS-filerne indeholder

- GPS-data
- Pitch and roll (vinkeldata),
- Højdedata
- Senderdata, herunder senderstrøm

De instrumenter der mäter disse data er alle dublerede (med undtagelse af senderen). Som udgangspunkt skal data være brugbare fra begge instrumenter. I tilfælde af at kun ét instrument har fungeret, er dette dog acceptabelt.

Alle strenge i SPS-filen er tidsstemplet med en GMT-tid. Tiden for hver datatype skal være fortløbende i filerne. Forskellen mellem systemtiden (tidsstemplet) og GPS-tiden må maksimalt være 2 sekunder.

Koordinatsystemet for GPS-data i SPS-filen skal være lat./long. WGS84. GPS-data skal være målt for mindst én GPS, og der må maksimalt være udfald i 10 s.

Vinkelmålerne skal være vandrette med senderrammen/modtagerspolen med visningen 0° for x- og y-vinkel i vandret position. X-vinklen (pitch) er i flyveretningen og er positiv når fronten af rammen går op og bagenden ned. Y-vinklen (roll) er hældningen vinkelret på flyveretningen og er negativ når højre side vipper op i positiv y-retning (se Figur 3).

Vinkeldata fra mindst én vinkelmåler skal være til stede i fuldt omfang; dog accepteres enkelte udfald på maksimalt 10 s.

Flyvehøjden måles normalt med to uafhængige lasere. Opløsning er 1 cm, og usikkerheden på laseren er i størrelsesordenen 30 cm over en reflektørflade. Laseren giver mindst 9 målinger pr. sekund. Højdedata fra mindst én laser skal være til stede i fuldt omfang; dog accepteres enkelte udfald på maksimalt 10 s.

En komplet dokumentation af SPS-filformatet findes i Appendix 2.

SKB-filer

SKB-filer indeholder TEM-dataene (db/dt-responserne). Dataene er i et binært format, med en ascii-header. Fortegnet på TEM-dataene skal være positivt for uforstyrrede data.

En komplet dokumentation af SKB-filformatet findes i Appendix 2.

Linjenummerfil

Linjenummerfilen indeholder tidsintervaller der knytter data til flyvelinjerne. Endvidere angives en datakategori, start/slut UTM-position for de enkelte linjer og evt. en kommentar

Eksempel på linjenummerfil (udsnit):

```
<dato> <id> <linje nr> <datakategori> <utm x> <utm y> <kommentar>
30-11-2009 09:30:06 911011.7 581886.11 5093810.78 !Flight 20091130.01 "Lokal ref, start"
30-11-2009 09:30:58 911011.7 581898.03 5093817.46 !Flight 20091130.01 "Lokal ref, end"
.....
30-11-2009 09:41:58 931011.8 581106.04 5092809.77 !Flight 20091130.01 "Bias test, start"
30-11-2009 09:42:34 931011.8 581981.25 5093680.87 !Flight 20091130.01 "Bias test, end"
.....
30-11-2009 09:43:48 100201.1 582063.04 5093561.63 !Flight 20091130.01 "Produktion, start"
30-11-2009 09:46:08 100201.1 580788.27 5092262.15 !Flight 20091130.01 "Produktion, end"
30-11-2009 09:47:16 100301.1 580465.36 5091680.92 !Flight 20091130.01 "Produktion, start"
30-11-2009 09:50:28 100301.1 582216.15 5093423.02 !Flight 20091130.01 "Produktion, end"
```

Linjenummerkonventionen er følgende:

- Der nummereres i en naturlig geografisk orden f.eks. vest til øst, nord til syd.
- Linjenumrene skal være unikke, og de enkelte sonderinger i kortlægningen skal tilhøre ét og kun ét linjenummer.
- Ved nummereringen skal flyvelinjerne have samme orientering. Dvs. at UTM-positionen for starten af alle flyvelinjerne skal være i samme ende af linjen (f.eks. fra vest mod øst - tilstræk en orientering fra venstre mod højre).
- Linjenummeret består af 6 cifre.
- Første ciffer angiver linjetype samt delområde jf. nedenstående linjetypetabel.
- Ciffer 2-5 anvendes til selve linjenummeret. Ved planlægningen angives nummereringen af nabolinjer med et spring på 100, altså f.eks. '100100', '100200', '100300', etc. Hvis det under dataindsamlingen besluttes at måle mellemliggende linjer, navngives disse med et mellemliggende nummer. F.eks. vil linjen beliggende mellem linje '100100' og '100200' blive navngivet '100150'.
- Sidste ciffer angiver eventuelle dellinjer. Dellinjer opstår når en flyvelinje deles op i flere stykker, f.eks. fordi linjen er fløjet i forskellige flights. Sidste ciffer tildeles efter indsamlingen af data. Er der ikke underinddelinger, sættes det sidste ciffer til 1. Er der underinddeling, nummereres linjestykkerne fortløbende 1,2,3...n (se eks næste side).

Linjetyperne (1. ciffer) for produktionsdata er angivet i nedenstående tabel.

Produktionsdata	Linjetype	Ciffer			Evt. delstykke af linje
		1	2-5	6	
Produktionsdata	Produktion område 1	1	Linje nr.		
	Tieline produktion område 1	2			
	Produktion område 2	3			
	Tieline produktion område 2	4			
	Produktion område 3	5			
	Tieline produktion område 3	6			
	Produktion område 4	7			
	Tieline produktion område 4	8			

Linjetyperne for test- og referencedata er angivet i nedenstående tabel. Her anvendes de to første ciffer.

	Linjetype	Ciffer			
		1	2	3	4-6
Test og reference data (ikke produktion)	Test- og reference data	9	x	x	x
	Gentaget reference (punkt), Århus testlokalite, lokal reference	9	1	Reference lokalitet	Førtøbende nummer
	Gentaget reference (linje)	9	2		
	Biastest (~300m)	9	3		
	Højdetest (>800m)	9	4		
	0-position test	9	5		
	Mag lag test	9	6		
	Mag Heading test	9	7		
	---	9	8		
	Øvrige testflyvninger	9	9		

I linjenummerfilen angives også en datakategori efter linjenummeret som Aarhus Workbench bruger til at filtrere ikke-produktionsdata fra. Den kan antage følgende værdier:

1. Produktion
2. Tieline produktion
3. Ikke i brug
4. Ikke i brug
5. Ikke i brug
6. Gentagne referencemålinger (linje)
7. Gentagne referencemålinger (punkt) – f.eks. lokal reference eller Århus testlokalitet
8. Biastest
9. Højdetest

Eksempler på linjenummer.datakategori - produktion

118701.1= linjestykke 1 af linje 18700 i område 1, produktion

118702.1= linjestykke 2 af linje 18700 i område 1, produktion

305601.2= linjestykke 1 af linje 05600 i område 2, tieline produktion

301651.1= linjestykke 1 af indsats linje mellem linje 01600 og 01700 i område 2

Eksempler på linjenummer - referencelokalitet

911001.7= lokal referencelokalitet 1000 måling 1, gentagne referencemålinger

911013.7= lokal referencelokalitet 1000 måling 3, gentagne referencemålinger

4.1 Afrapportering fra SkyTEM ApS.

Overordnet set er det SkyTEM ApS' ansvar at levere data der ikke er fejlbehæftede samt at fastlægge kalibrerings- og geometrikonstanter der muliggør optimal tolkning af data. SkyTEM ApS skal også dokumentere valideringen/kalibreringen af det anvendte SkyTEM-udstyr i rådatarapporten.

SkyTEM ApS afrapporterer data samt information om kortlægningen i en rådatarapport. Denne rapport skal som minimum indeholde information om:

- Særlige forhold og problemer som kan have betydning for datakvaliteten, processeringen eller tolkningen - f.eks. øget flyvehøjde og/eller -hastighed samt udfald af komponenter.
- En fuldstændig redegørelse for datakalibrering.
- Vejrforholdene på overordnet plan, i særdeleshed vindstyrke og -retning, og eventuelt regnvejr angives for højdetest og for hver produktionsflyvning.
- Placering og nummerering af de enkelte flyvelinjer.
- Tidsintervaller for produktionsdata, højdedata osv. Dette gøres i linjenummerfilen
- Placeringen af reference- og landingslokaliteter inkl. GPS-positioner. Det skal desuden fremgå i hvilke tidsintervaller der er indsamlet referencedata på hvilke lokaliteter. Dette gøres vha. linjenummerfilen.
- Fladekart (GIS) der viser flyvehastigheden, flyvehøjden, pitch og roll
- Antal indsamlede linjekilometer.
- Systemparametre (se nedenstående).

Alle koordinatangivelser i rapporten skal være Euref89, UTM zone 32 (33). Alle tidsangivelser er GMT-tider.

Før den endelige aflevering af rådata og rådatarapport kontrolleres det, at data kan indlæses i Aarhus Workbench ved anvendelse af de afleverede filer. Dette omfatter dog ikke en egentlig indberetning af data til GERDA.

Systemparametre

Hovedparten af systemparametrene findes i geometrifilen. Som minimum skal der i rådatarapporten redegøres for følgende systemparametre:

- GERDA-identifikationsnumre for det anvendte SkyTEM-udstyr med delkomponenter. Identifikationsnumrene skal være oprettet i GERDA
- Den anvendte målesekvens.
- Gennemgang af parametrene angivet i geometrifilen.

Med mindre andet er aftalt, skal rekvirenten sørge for at data er kvalitetsvurderet senest 10 uger efter overleveringen af rådatarapporten.

Kalibrering/validering af det anvendte SkyTEM-udstyr

Kalibrering og validering af måleudstyret foretages af SkyTEM ApS. Denne validering skal som minimum omfatte:

- Kalibrering på Århus Testlokalitet. Data fra testlokalitet leveres med alle nødvendige informationer så kalibrering kan tjekkes og evt. genskabes.
- Måling i stor højde for fastlæggelse af systemresponset.
- Målinger på lokal referencelokalitet for hver flyvning. Dette dokumenterer at udstyret har fungeret optimalt under hele kortlægningen.
- Biastests ved ind- og udflyvning.
- Måling og bestemmelse af bølgeform (tænde- og slukkeforløbet)

5 DATAPROCESSERING

I det følgende gennemgås overordnede krav og forhold ved processering af data. Processeringen foretages i SkyTEM-processeringsmodulet i Aarhus Workbench. Vejledende indstillinger for de enkelte processorer findes i Appendix 4. Processeringsindstillinger kan også hentes på GFS' hjemmeside www.gfs.au.dk.

Det fremhæves at de vejledende dataprocesseringsindstillinger skal tilpasses/justeres til det konkrete kortlægningsområde og dets geologi, flyvehastighed, kortlægningsfokus mv. Det er til enhver tid den rådgiver der processerer data, som har ansvaret for at de brugte processeringsindstillinger er egnede og tilpasset det aktuelle datasæt.

Som udgangspunkt skal følgende inkluderes i processeringen af SkyTEM-dataene:

- Kontrol af rådatarapport fra SkyTEM ApS.
- Kontrol af kalibreringssonderinger samt referencemålinger.
- Kontrol af geometrifil der også sammenholdes med rådatarapporten.
- Kontrol af linjenummerfil der også sammenholdes med rådatarapporten.
- Processering af GPS-, vinkel- og højdedata inkl. visuel gennemgang og editering langs profiler.
- Processering af db/dt-data - automatisk
 - Justering af indstillinger for den automatiske processering. Her tages hensyn til antallet af fjernede data og signal-støj-forhold.
 - Verifikation for at alle data er til stede og er sammenfaldende med afrapporterede data i rådatarapporten.
- Processering af db/dt-data - manuelt
 - Visuel gennemgang og editering langs flyvelinjer
 - Beskæring af koblede data
- Indledende mangelagstolkning til understøttelse af processeringen.

En gennemgang af processeringen af SkyTEM-data findes i ref. /4/ og /10/. Endvidere findes der beskrivelse af de enkelte processeringsindstillinger i hjælpen i Aarhus Workbench.

5.1 Vurdering i forbindelse med dataprocessering

I forbindelse med afrapporteringen af processeringen skal der som minimum redegøres for følgende:

- Valg af midlingsbredder for trapezfiltre
- Sonderingstæthed – udtagningsafstand samt sammenhæng med den valgte midlingsbredde.
- Strategi for fjernelse af koblede data
- Vurdering af valg af første gate under hensynstagen til biasindhold.

5.2 GPS-, vinkel- og højdedata

GPS-, højde- og vinkeldata indlæses fra SPS-filerne. Dataene måles asynkront og med forskellig frekvens. Det meste af dataprocesseringen foretages automatisk, men skal altid evalueres af tolkeren.

GPS-data

X og Y-koordinaten filtreres og midles separat. GPS-data skal være til stede for at db/dt-dataene kan anvendes.

Vinkeldata

Pitch og roll vinkeldataene filtreres og midles vha. medianfiltrering. Er pitch eller roll numerisk større end 25 grader, anvendes db/dt-dataene ikke, da effekten af hældende sender- og modtagerspole ikke kan ud kompenseres på fornuftig vis. Denne beskæring foretages manuelt.

Højdedata

Ved processering af højdedata fjernes refleksioner der ikke stammer fra jordoverfladen, og de indgår derfor ikke i den midlde højdeserie.

Processeringen foretages i to skridt. Det første skridt involverer en automatisk processering af data hvor der ved hjælp af gentagne polynomiefit frasorteres refleksioner der ikke stammer fra jordoverfladen. Højdedata korrigeres under processering også for højdemålernes afvigelse fra vandret. Andet skridt involverer visuel gennemgang og manuel korrektion af den automatiske processering.

Mindre strækninger hvor der ikke er højdedata efter processering, f.eks. pga. tæt skov eller flyvning over vand, accepteres.

5.3 db/dt-data

Processeringen af db/dt-dataene har til formål at fjerne koblede og støjede data samt at midle data til sonderinger og herved undertrykke den tilfældige støj i data.

Processering af db/dt-data omfatter som minimum følgende trin:

1. Import af geometrifil, sps- og db/dt-data.
2. Automatisk processering, fjernelse af støjede/koblede data samt midling af rådata til middelsonderinger.
3. Visuel gennemgang af alle db/dt -dataene og manuel beskæring af støjede/koblede data.

ad 1) Import af data

Instrumentdata defineres som data fra måleudstyret som endnu ikke er stakket. Rådata defineres som præstakkede data med en stakstørrelse der sikrer at forstyrrelse fra 50 Hz strømforsyningens nettet er stakket ud. Denne præstakning foretages automatisk ved importen af dataene i Aarhus Workbench. Ønskes det på importtidspunktet at gøre rådatastakkene mindre, skal det sikres at forstyrrelsen fra 50 Hz strømforsyningens nettet stadig stakkes korrekt ud. Under processeringen midles rådata til middelsonderinger, som senere tolkes til geofysiske modeller.

db/dt-data pålægges en uniform datausikkerhed på 3%. Den tilsvarende usikkerhed i tilsyneladende modstand (ρ_{oa}) findes ved at gange usikkerheden i

db/dt med 2/3. Den uniforme datausikkerhed tilskrives dataene når de importeres og angives i geometrifilen.

Nogle af parametrene i geometrifilen kan ikke rettes efter at dataene er importeret/processeret i Aarhus Workbench. Det er derfor vigtigt at geometrifilen er korrekt på indlæsningstidspunktet. På denne baggrund kan det være en fordel at lave en mindre inversionstest af data før den endelige processering påbegyndes. Dette sikrer at data er konsistente, og at der kan opnås tilfredsstillende inversionsresultater med de anvendte systemparametre.

ad 2) Automatisk processering

Her benyttes en række filtre til automatisk at fjerne koblede og støjede data. Samtidig korrigeres data for spolens afvigelse fra vandret. Det må forventes at den automatiske processering ikke fjerner alle støjede/koblede data og i nogle tilfælde kasserer data der godt kan anvendes. Det er derfor nødvendigt med en manuel gennemgang og korrektion af den automatiske processering. Hvor stor eller lille datamængde der kasseres af de automatiske filtre afhænger af indstillingerne af filtrene. For at de automatiske filtre virker optimalt skal de tilpasses det enkelte datasæt/område.

Under den automatiske processering defineres endvidere parametrene for midlingen af rådata til sonderinger.

ad 3) Manuel processering

Den manuelle processering omfatter en visuel gennemgang af alle db/dt-dataene på profil- og sonderingsniveau. Formålet er at finjustere resultaterne fra den automatiske processering.

Under den manuelle processering fjernes rester af koblinger i rådata. Endvidere beskæres de midlede sonderinger når de rammer støjniveauet. Denne manuelle gennemgang af data er den mest tidskrævende proces i processingsarbejdet, men er essentiel for at opnå en god datakvalitet og pålidelige tolkningsresultater.

5.4 Koblede data

Koblede data kan ikke bruges og skal fjernes. Koblede data fjernes på rådataniveau, således at de ikke indgår i de data der midles til sonderinger og trapez filtre kan genkøres ved senere omprocessering af data. Koblinger kan normalt erkendes i data ved dels at betragte sonderingskurver, dels at studere dataudviklingen langs flyvelinjerne. Samtidig er det vigtigt hele tiden at inddrage dataenes geografiske position i forhold til potentielle dataforstyrrende installationer (ledningsnettet, vindmøller, dyrehægn mv.).

Da data indsamles kontinuert langs et profil, er det muligt at danne sig et godt overblik over udviklingen i data og evt. koblinger. I nogle tilfælde er det derfor muligt kun at beskære den koblede del af en datakurve væk.

Det kræver stor erfaring og fortrolighed med data at erkende koblinger. Som minimum beskæres segmenterne (SLM, HM) efter følgende retningslinjer

- Hvis koblingen forekommer til gatetider som er overlappende for begge segmenter, fjernes alle data på begge segmenter. Med overlappet menes det tidsinterval hvor der normalt er brugbare gates med jordsignal fra begge momenter.
- Hvis koblingen ligger meget tidligt (tidligere end overlappet til HM), fjernes alle data på SLM. HM-data kan bevares.

- Hvis koblingen ligger sent (senere end overlappet SLM), fjernes de koblede datapunkter og alle senere datapunkter. SLM-data kan bevares.

5.5 Midling og beskæring af data

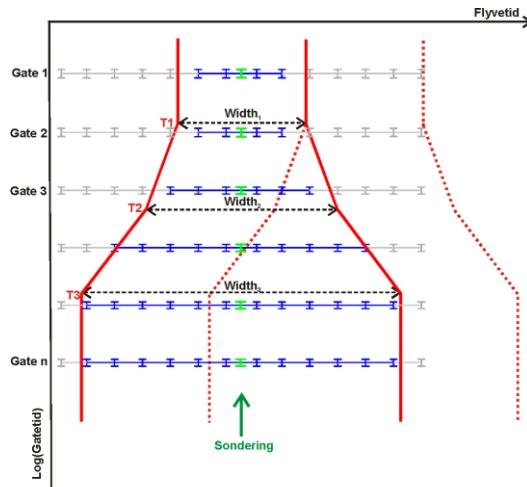
Midlingen af rådata til sonderinger har til formål at forbedre signal-støj-forholdet. Til det formål benyttes en trapezmidling hvor data til sene tider på datakurven midles over et større interval end data til tidlige tider. Dette er vist i Figur 4.

Valg af midlingsbredden er en afvejning mellem ønsket om brugbare, ikke-støjfyldte data og lateral opløselighed. Midlingsbredden bør derfor ikke være større end nødvendigt for at opnå brugbare data og skal aftales med rekvirenten. Det anbefales at midlingsbredden fastlægges ved en første gennemgang af data. Som støtte hertil kan man lave plots af rå og midlede data ved brug af forskellige midlingsbredder samt eventuelt lave mindre testinversioner for at evaluere resultatet af en valgt midlingsbredde.

En stor midlingsbredde forbedrer signal-støjforholdet specielt for den sidste del af datakurven der niveaumæssig ligger tæt på baggrundsstøjniveauet. Det kan derfor være fordelagtigt med en stor midlingsbredde hvis man arbejder med støjede data eller har som mål at kortlægge dybtliggende strukturer. Lille midlingsbredde kan med fordel bruges hvor signal-støjforholdet er godt, eller hvor man ønsker maksimal lateral opløsning. Ud over midlingsbredden er støjniveauet en funktion af bl.a. flyvehøjden, stakstørrelsen, sendermomentet og middelmodstanden i kortlægningsområdet, sidstnævnte på den måde at højere middelmodstand vil resultere i lavere signalniveau.

Midlingen af data fastsættes under processeringen af data, hvor også sonderingsafstanden angives. Midlingsbredden og sonderingsafstanden angives i tid og skal således sættes i relation til flyvehastigheden. Til tidlige tider anbefales det at midlingsbredde ikke er væsentligt større end sonderingsafstanden, således at der er igen eller kun lille overlap i midlingsintervallet for nabosonderinger. Normalt anvendes samme midlingsbredder for hele kortlægningen. Data fra de forskellige momenter midles ind til sonderinger på samme position/tid (Aarhus Workbench: "Trapez Sync. location of sound." ON).

Den sidste del af en datakurve vil normalt "gå i støj". Den meget støjede del af datakurven, der ikke indeholder brugbart jordrespons kasseres. De lettere støjpåvirkede datapunkter ved og lige over støjniveauet tilskrives en passende usikkerhed, typisk 5-20%. Aarhus Workbech beregner normalt en passende usikkerhed på baggrund af datastakken. I nogle tilfælde skal man manuelt justerer den beregnede usikkerheden. Støjbeskæringen skal fortages på midlede data og ikke på rådataniveau.



Figur 4 Principskitse af trapezmidlingen: Midlingskernen for sonderingen er angivet med rødt, hvorfed der dannes en midlet sondering. Derefter rykkes trapezen, og der laves en ny midling.

6 DATATOLKNING

Dette afsnit omhandler de krav der stilles til den geofysiske tolkning (tolkning/inversion) af data. En gennemgang af tolkningen af SkyTEM-data findes også i ref. /4/ og /5/.

De første afsnit omhandler generelle forhold for tolkningsmodel og -metodikker, mens de sidste afsnit indeholder mere specifikke krav til selve arbejdsgangen for tolkning af SkyTEM-data.

Tolkning foretages i tolkningsmodulet i Aarhus Workbench. Datamodeller skal være kotesat. Vejledende indstillinge for de forskellige tolkningstyper findes i Appendix 5. Tolkningsindstillinger kan også hentes på GFS' hjemmeside www.gfs.au.dk. Disse vejledende tolkningsindstillinger skal tilpasses/justeres til det konkrete kortlægningsområde (geologien), sonderingstæthed, kortlægningsfokus mm. Det er til enhver tid den der forestår tolkningen af data der har ansvaret for at de anvendte tolkningsindstillinger er egnede/tilpasset det aktuelle datasæt. Den geofysiske tolkning kan senere følges op af en integreret geologisk/geofysik tolkning.

Som udgangspunkt skal følgende inkluderes i tolkningen af SkyTEM-dataene:

- Indledende LCI-mangelagstolkning til understøttelse for processeringen
- Kontrol og revidering af:
 - processeringen
 - tolket højde versus processeret højde
 - datatilpasning
- Endelig LCI/SCI-mangelagstolkning, evaluering af:
 - troværdighed af modellen
 - tolket højde versus processeret højde
 - datatilpasning
- Endelig LCI/SCI-fålagstolkning med antal lag estimeret fra mangelagstolkningen, evaluering af:
 - troværdighed af modellen
 - tolket højde versus processeret højde
 - datatilpasning
- Tematiske kort
- Beregning af kortlægningsdybder

6.1 Vurdering i forbindelse med datatolkningen

I forbindelse med afrapportering af tolkningen skal der som minimum redegøres for følgende valg af:

- antal lag i få- og mangelagsmodellen
- vertikale og laterale bånd for mangelagsmodeller samt diskretiseringsdybde
- laterale bånd for fålagsmodeller
- startmodel, herunder laggrænser og lagmodstande.
- a priori model, hvis anvendt.

6.2 Tolkningsmodel

Modellering af data

Ved tolkning af SkyTEM-data anvendes en 1D-model i enten LCI-opsætning (Laterally Constrained Inversion) eller SCI-opsætning (Spatially Constrained Inversion). Ved inversion af SkyTEM-data skal det fulde SkyTEM-system modelleres. Dette omfatter modellering af:

- segmenteret senderspole
- modtagerspolens position
- frontgate
- lavpasfiltre før og efter frontgaten
- dæmpning af primærfelt
- tænde- og slukkeforløb (bølgeformen)
- standardafvigelser på data
- flyvehøjden som inversionsparameter med a priori bånd og laterale bånd

Den bagvedliggende inversionskode em1dinv (ref. /2/), er specielt udviklet til at modellere det fulde SkyTEM-system.

Fålagsmodel

Fålagsmodeller bliver traditionelt anvendt til tolkning af geofysiske data i forbindelse med hydrogeofysiske kortlægninger.

En fålagsmodel resulterer i en geofysisk model med skarpe laggrænser. I et lagdelt geologisk miljø kan de geofysiske laggrænser ofte korreleres direkte med markante geologiske laggrænser, hvilket letter den geologiske tolkning af de geofysiske resultater.

Sammen med modelresultatet beregnes en modelparameteranalyse der giver estimerer over hvor godt modelparametrene (modstande, tykkelser og dybder) er bestemt, hvilket er værdifuldt i den videre geologiske tolkning. Bestemmelsen af hvor mange lag der skal indgå i modellen (modelsektionen, hvis LCI-tolkning), er relativt tidskrævende da den ikke kan foretages ud fra rent objektive kriterier, men kræver en manuel gennemgang og udvælgelse baseret på flere tolkningsresultater med et varierende antal lag.

Mangelagsmodel

En mangelagsmodel består typisk af 15-20 lag med faste tykkelser. Det store antal lag gør at modellen fremstår kontinuert. I tolkningsprocessen er det således kun lagenes elektriske modstande der skal fastlægges. En mangelagsmodel kaldes også "smooth model", da modstandene varierer langsomt ned gennem lagene. En af de væsentligste fordele ved en mangelagstolkning er, at der ofte kan erkendes komplekse geologiske strukturer, som f.eks. skrætstillede laggrænser, der er sværere at genkende i fålagsmodellerne. Samtidig skal man ikke igennem en tidskrævende og i nogen grad subjektiv udvælgelse/evaluering mellem flere modelresultater.

Ulempene ved mangelagstolkninger er, i nogle sammenhænge, at laggrænserne er diffuse, og at kortlægningsdybden ikke kendes.

Estimatet for 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.

En gennemgang af tolkningen af mangelagsmodeller, samt eksempler på få- og mangelagstolkninger, findes i ref. /5/

6.3 Constrained Inversion

AI tolkning af data foretages med enten LCI eller SCI inversion.

Laterale bånd

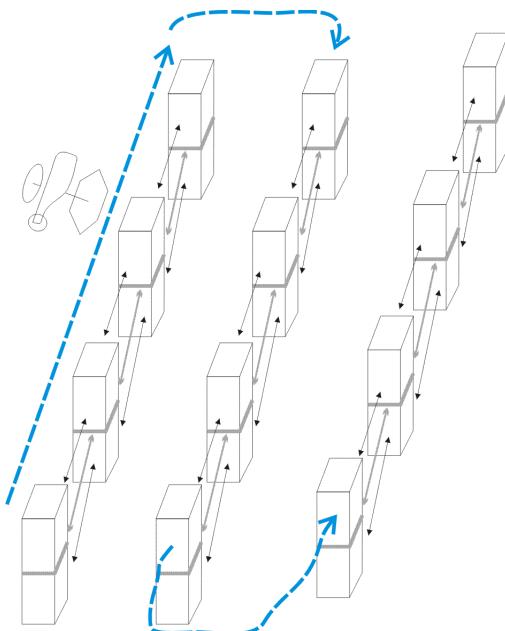
Ved LCI- og SCI-tolkning anvendes der laterale bånd. De laterale bånd skaleres med afstanden mellem sonderingerne.

Båndstørrelserne er vigtige i opsætningen af LCI sektionen, illustreret i Figur 5. Ideelt set skal de laterale bånd afspejle de geologiske variationer i området. Et for stramt bånd indfører fejlagtig information og kan give sig udslag i for få og for små variationer i sektionen og evt. dårlig datatilpasning. Et for løst bånd kan på den anden side resultere i at information ikke gives videre fra sondering til sondering, og at inversionen dermed ikke stabiliseres.

LCI-tolkning

LCI-tolkning foretages ved at sammenbinde lagparametre, normalt modstande og dybder, med nabosonderingerne. Princippet bag LCI ses i Figur 5. En af de vigtigste fordele ved LCI-tolkning er at der opnås kontinuitet i modelsektionerne samt en forbedring af bestemmelsen af de dårligst bestemte parametre. Data tolkes i sektioner, og sektionerne opsplices hvor der er mere end en givet afstand imellem sonderingerne, eller når sektionen når en given størrelse. En fornuftig sektionsstørrelse er på ca. 1000 modelparametre pr. sektion dvs. ca. 125 modeller pr. sektion hvis man anvender en firelagsmodel (1000/8 modelparametre, 7 modelparametre og en flyvehøjde). Denne sektionsstørrelse er en afvejning mellem en fornuftig beregningstid og ønsket om store sektioner.

En nærmere beskrivelse af LCI-tolkning findes også i ref. /3/ og /7/.



Figur 5 Illustration af princippet bag LCI-tolkning. Der er laterale bånd mellem modellerne langs flyvelinjerne.

6.4 SCI tolkning

En naturlig videreudvikling af LCI-metoden, specielt efter at det er blevet almindeligt med mindre linjeafstande på 170–200 m, er også at indføre laterale bånd til modellerne på nabolinjer. Dette er illustreret i Figur 6 og konceptet kaldes SCI. Den væsentligste forskel mellem SCI og LCI er måden de laterale bånd opsættes på. Ved SCI opsættes de laterale bånd i et trekantsystem hvor der altid bindes til nærmeste nabo ("nearest neighbour"). Ved denne metode indføres der således information om geologisk sammenhæng både på langs og på tværs af flyvelinjerne. Der opnås generelt mere sammenhængende modstandsområder, og eventuelle effekter af LCI-båndene der kun går langs flyvelinjerne, findes ikke ved SCI-tolkning.

Som ved LCI-tolkning deles kortlægningsområdet op i delområder der tolkes hver for sig. En nærmere beskrivelse af SCI-tolkning kan desuden findes i ref. /9/ og /6/.

6.5 Arbejdsgang for tolkning

Den typiske arbejdsgang for tolkning kan beskrives ved følgende punkter:

1. Justering af processering på baggrund af resultaterne fra en midlertidig LCI-mangelagstolkning.
2. Afsluttende LCI/SCI-tolkninger med få- og mangelagsmodel.

ad 1) Justering af processeringen

På baggrund af en midlertidig tolkning evalueres tolkningsresultatet. Dette gøres ved en visuel gennemgang af data og inversionresultater på sonderings- og/eller profil- niveau. Ved denne gennemgang vurderes bl.a. datatilpasning, model, flyvehøjde (input og output flyvehøjde).

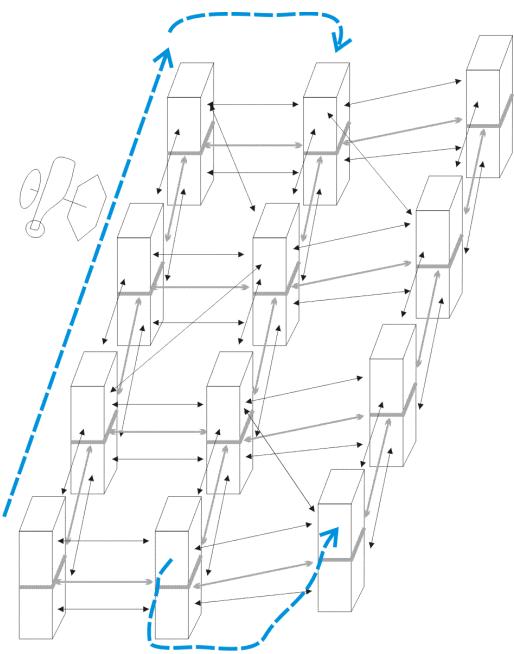
Det anbefales at man bruger en mangelagstolkning til den midlertidige tolkning da den afvikles automatisk. Følgende skal oftest rettes på baggrund af tolkningen:

- Justering af dataprocesseringen - dvs. sletning af meget støjede datapunkter og/eller koblede sonderinger der blev overset ved processeringen af data.
- Er der stor forskel mellem flyvehøjden fra højdemåleren og højden fra inversionsresultatet, kan det medføre at højdeprocesseringen skal justeres eller at der er problemer med data kalibreringen.
- Modellernes geografiske position ift. forventede koblingskilder evalueres. På steder hvor data er inkluderet i tolkningen, hvor man umiddelbart må forvente en kobling (ved større veje, højspændingsledninger mm.), revurderes processeringen, og flere data kasseres eventuelt.

ad 3) Afsluttende tolkninger

Ved de afsluttende tolkninger skal man sikre at der er kontinuitet i modelsektionerne over sektionsgrænserne. For LCI-tolkninger gøres dette ved at anvende "Force continuos model section" i LCI-tolkningsmodulet, Aarhus Workbench. Ved SCI-tolkning sker dette automatisk.

For de afsluttende tolkninger tjekkes endvidere at man opnår en tilfredsstillende datatilpasning mv. Det aftales med rekvirenten hvad de afsluttende tolkninger skal omfatte: fålagstolkning og/eller mangelagstolkning, LCI/SCI-tolkninger etc.



Figur 6 Illustration af principippet bag SCI-tolkning. Der er laterale bånd mellem modeller langs med og på tværs af flyvelinjerne.

7 AFRAPPORTERING AF PROCESSERING OG TOLKNING

Dette afsnit omhandler, hvad den geofysiske data-afrapportering som minimum skal omfatte.

I den geofysiske data-afrapportering skal der redegøres for forhold der har haft særlig indflydelse på processeringen, tolkningen og tolkningsresultaterne.

7.1 Processeringsforløb

Afrapporteringen af dataprocesseringen skal som minimum omfatte:

- Oversigt over parametre brugt i forbindelse med processeringen.
- Redegørelse for valg af:
 - midlingsbredder for trapezfiltre
 - sonderingstæthed – udtagningsafstand samt sammenhæng med den valgte midlingsbredde
 - strategi for fjernelse af koblede data
 - første anvendte gatetid under hensynstagten til biasindhold.
- Et Aarhus Workbench Workspace med processering.
- Digital aflevering af alle datatyper

7.2 Tolkningsresultater

Tolkningsresultaterne præsenteres typisk som profilsteknioner, middelmodstandskort og andre relevante temae, f.eks. koten til god leder. Af kortet/rapporten skal fremgå hvordan disse kort er fremstillet samt beregningsmetode for middelmodstandskortene, udsøgningskriterier, gridningsmetoder, mv. Alle kort leveres i Euref89, UTM zone 32 (33). I ref. /1/ findes en generel information om præsentation af TEM-data.

Tolkningsdelen i rapporten skal som minimum inkludere:

- Redegørelse for valg af:
 - antal lag i fålagstolkning
 - antal lag og diskretiseringsdybde for mangelagsmodeller
 - startmodel herunder laggrænser og lagmodstande
 - vertikale og laterale bånd
 - a priori bånd - hvis anvendt
- Kort, se for nærmere specifikation i Appendix 7
- Aarhus Workbench Workspace med tolkningsresultater.

7.3 Indrapportering, GERDA

Rådata, processering samt tolkningsresultat indrapporteres til GERDA i overensstemmelse med gældende konvention for indberetninger til GERDA-databasen.

8 REFERENCER

1. GeoFysikSamarbejdet, 2003, Anvendelse af TEM-metoden ved geologisk kortlægning.
2. em1dinv manual, 2004, www.gfs.au.dk
3. GeoFysikSamarbejdet, 2006, Lateral sambunden tolkning af transiente elektromagnetiske data.
4. GeoFysikSamarbejdet, 2006, Guide to processing and inversion of SkyTEM data.
5. GeoFysikSamarbejdet, 2007, Mangelagstolkning af TEM data, test og sammenligninger.
6. GeoFysikSamarbejdet, 2008, Spatially Constrained Inversion of SkyTEM data, 2008.
7. Esben Auken, Anders V. Christiansen, Bo H. Jacobsen, Nikolaj Foged and Kurt I. Sørensen, 2003, Part A: Piecewise 1D Laterally Constrained Inversion of resistivity data, Geophysical Prospecting Vol. 53.
8. Sørensen, K. I. and E. Auken, 2004, SkyTEM - A new high-resolution helicopter transient electromagnetic system: Exploration Geophysics, 35, 191-199.
9. Viezzoli, A., Christiansen, A. V., Auken, E., and Sørensen, K. I., 2008, Quasi-3D modeling of airborne TEM data by Spatially Constrained Inversion: Geophysics, 73, F105-F113
10. Auken, E., A. V. Christiansen, J. A. Westergaard, C. Kirkegaard, N. Foged, and A. Viezzoli, 2009, An integrated processing scheme for high-resolution airborne electromagnetic surveys, the SkyTEM system: Exploration Geophysics, 40, 184-192.
11. Refinement of the national TEM reference model at Lyngby, November 2011.

Artikler og rapporter kan hentes fra GeoFysikSamarbejdes hjemmeside:
www.gfs.au.dk

APPENDIX 1

THE SKYTEM SYSTEM - DEFINITIONS

This Annex will be regularly updated so that it follows the development of the SkyTEM system.

Configurations and moments - Overview

The right part of the table below gives an overview of the main parameters of the super low moment (SLM) and the three variants of the high moment (HM). Note also that there are two sizes of the transmitter frame. The left part of the table shows the possible combinations of moment and the investigation depth a given combination has. In the following tables the different moment specifications are tabulated in detail.

Moment definitions						Two-moment configurations			
	Tx-area [m ²]	Number of turns	¹ Tx current [A]	² 1st gate time [μs]	³ Last gate time [ms]	A	B	C	D
SLM	314	1	10	12	1,0		X	X	X
	494	1	10	15	1,0	X			
HM1	314	1	100	30	1,0				X
HM2	314	2	100	35	2,7			X	
HM4	314	4	100	70	9,0		X		
	494	4	90	100	9,0	X			
Focus depth:						Deep	Near surface /deep	Near surface	Very near surface
Lateral resolution:						Medium	Medium	High	Very high
⁴ Approx. depth of investigation [m]:						~300	~200	~150	~100

¹Approx. current.

² Approx. time for the first usable gate (gate with an acceptable low bias level). Depend on the resistivities of the survey area.

³The last gate-center time recorded. The last gate-center time used in the processing will normally be earlier dependent on the resistivities of the survey area.

⁴The depth of investigation is highly dependent on the resistivity distribution in the survey area.

Detailed moment definitions

The following tables contain detailed specifications for the various moments from the overview table. Furthermore a table showing standard software IDs for the various moments is present.

Super low moment (SLM)	
Number of turns, Tx-loop	1
Tx-loop area	314 m ² / 494 m ²
Current	~10 A
Tx moment	~3.200 Am ² / ~5.000 Am ²
Repetition frequency	222 Hz
On-time	1000 µs
Off-time	1200 µs
Waveform	Exponential ramp-up, followed by an exponential turn-off
Number of series per moment	160
Front-gate time	No front gate (0 µs)

High moment 1 (HM1)	
Number of turns, Tx-loop	1
Tx-loop area	314 m ²
Current	~100 A
Tx moment	~31400 Am ²
Repetition frequency	100 Hz
On-time	2000 µs
Off-time	3000 µs
Waveform	Exponential ramp-up, then linear turn-off followed by an exponential turn-off
Number of series per moment	64
Front-gate time	~35 µs (time in script file)

High moment 2 (HM2)	
Number of turns, Tx-loop	2
Tx-loop area	314 m ²
Current	~100 A
Tx moment	~62800 Am ²
Repetition frequency	100 Hz
On-time	2000 µs
Off-time	3000 µs
Waveform	Exponential ramp-up, then linear turn-off followed by an exponential turn-off
Number of series per moment	64
Front-gate time	~ 35 µs (time in script file)

High moment 4 (HM4)	
Number of turns, Tx-loop	4
Tx-loop area	314 m ² / 494 m ²
Current	~100 A / ~90 A
Tx moment	~125600 Am ² / ~179000 Am ²
Repetition frequency	25 Hz
On-time	10000 µs
Off-time	10000 µs
Waveform	Exponential ramp-up, then linear turn-off followed by an exponential turn-off
Number of series per moment	96
Front-gate time	~ 50 µs / Ca. 70 µs (time in script file)

Software channel ID	Moment ¹	Component	Signal/Noise
1	SLM	Z	Signal
2	HM	Z	Signal
3	SLM	X	Signal
4	HM	X	Signal
5	SLM	Z	Noise
6	HM	Z	Noise
7	SLM	X	Noise
8	HM	X	Noise

Because LM is not in use anymore the SLM is on channel 1, 3, 5, and 7.

Measuring sequence, gate times and system

The following tables contain settings for the measuring system

General measuring sequence	
Number of moments	2
Moment 1	SLM
Moment 2	HM
Noise measurement	HM, stack size 32
Moment sequence	Alternating SLM, HM and noise. A noise measurement is recorded for every 20th SLM and HM measurement

Gate times*/ gate distribution SLM, HM	
Time interval: 6 µs to 7 µs	1 µs gate width
Time interval: 6 µs to 13 µs	2 µs gate width
Time interval: 13 µs to 10 ms	10 gates per decade approximately logarithmically distribution
Gate-centre time definition	Arithmetic mean of gate-open and gate-close

* Approximate gate centre times after calibration correction

Navigation instruments	
Altimeters	Minimum data from one laser mounted on the Tx frame.
Frame inclination	Minimum data from one inclinometer mounted on the Rx platform
Positioning	Minimum data from one GPS

Receiver system – z-coil	
Coil area	5 m ² , effective area 100 m ²
Receiver coil low pass filter	450 kHz, 1st order
Receiver instrument low pass filter	300 kHz, 1st order
Nominal position	Null-position

The mapping

The following table contains settings for the actual field campaign

Flight lines and flight speeds	
Line distance	170 m - 250 m, to be agreed with the client
Line direction	To be agreed with the client
Average flight speed	45 km/h
Accepted variation of speed	+/- 10 km/h
General flight altitude	25-35 m, forest areas etc. will increase the altitude

Calibration and high-altitude test

The following tables contain settings for calibration and test of the system.

Local reference location measurements	
40x40 measurements on the ground	Five soundings in a cross.
Number of reference measurements, SkyTEM	1 per flight
Altitude at reference measurements	Production altitude, ~30m
Time at reference location	Min. 30 s

High-altitude test/Bias test	
High-altitude test	Minimum one high-altitude test is performed before production flights start
Min. altitude for high-altitude test	1000 m
Time at high altitude	Min. 30 s
Bias test	At outgoing and at incoming ferry flight for every flight
Min. altitude for bias test	300 m if the cloud cover permits it
Time at bias test	Min. 15 s

Calibration, Aarhus Test site	
Ramps	By SkyTEM ApS
Time shifts	By SkyTEM ApS
Factor shifts	By SkyTEM ApS

APPENDIX 2

DOCUMENTATION OF THE SKYTEM FILE FORMATS

SPS-fil

The following is a description of the format of the SPS file, version 3.

The sps-file contains data from the instruments listed in the table below. The line numbers in the table refers to the SPS-file example shown in Figure 1.

The data frequency in the SPS-file is different for the different instruments. All data lines in the SPS-file start with a device ID followed by a system GMT-time stamp. The format of the system GMT-time stamp is: [yyyy mm dd hh mm ss zzz] corresponding to [year month day hour minute second millisecond].

Line num.	De-vice	Comment
1	VER	SPS-filer version
2-4	MRA	Marks. Text string added by operator
5-6	SOF	Software version
7-8	HE#	Data from Laser altimeter number #
9-10	GP#	Data from GPS number #
11-12	TL#	Data from Inclinometer number #
13	ANG	Duplicate of TL1 line (backward compatible reasons). Do not read this line.
14	TXD	Data from transmitter. Description of measurement cycle, transmitter currents
15	TX3	Data from transmitter, when running in multi moment mode

Line number	SPS-filer (short example)
1	VER 3
2	MRK 2009 05 02 09 51 32 015 PaPc id: 21
3	MRK 2009 05 02 09 51 32 015 PaPc Software version: Build: 3.0.1.40
4	MRK 2009 05 02 09 51 32 015 TxProc: Software version 2.0.1.6 and TX ID 8 CtrlID 505 Slice 498 485 455 454 453
5	SOF 2009 05 02 09 51 32 015 1 21 Build: 3.0.1.40
6	SOF 2009 05 02 09 51 32 015 3 8 2.0.1.6
7	HE1 2009 05 02 10 23 42 859 14.39
8	HE2 2009 05 02 10 23 42 968 14.58
9	GPI 2009 05 02 10 23 42 921 5534.9376 00920.9471 10:23:43 10 WGS84 7.3 1.4 0.8 0.0 72.7
10	GP2 2009 05 02 10 23 42 890 5534.9385 00920.9456 10:23:43 9 WGS84 7.2 1.5 0.9 0.0 72.4
11	TL1 2009 05 02 10 08 31 500 2.17 -2.31
12	TL2 2009 05 02 10 08 31 656 -0.41 -1.22
13	ANG 2009 05 02 10 08 31 500 2.17 -2.31
14	TXD 2009 05 02 10 08 32 859 64 0 0 32 32 70.67 70.62 32.48 0 1 64 92.53 93.18 91.66 -1.00
15	TX3 2010 01 15 16 31 46 260 160 1 22 0 0 22.62 22.62 23.04 7.66 7.92 7.52 0.00

Figure 1 SPS file example

The format of the data string for the different devices are listed in the tables below.

Row	Laser altimeter device
1	Device type [HE1 or HE2]
1-8	GMT-system time, [yyyy mm dd hh mm ss zzz]
9	Distance to the reflective object (~TX-frame height), [m]. Device returns

	99999.99 if no reflection/invalid reading (normal about ~200 m)
--	---

Row	GPS-devise
1	Devise type [GP1 or GP2]
1-7	GMT-system time, [yyyy mm dd hh mm ss zzz]
8-9	Latitude and longitude coordinates in degrees
10	GTM-Time from GPS-receiver, [hh mm ss].
11-12	Numbers of satellites connected to GPS-receiver
13	Coordinate system datum
14	Speed [m/s]
15-17	The delusion of precision of the GPS receiver. (HDOP, VDOP, PDOP)
18	Elevation, [m]

Note: Only Latitude, Longitude and elevation are used from the GPS-device in the data processing in Aarhus Workbench.

Row	Inclinometer
1	Devise type [TL1 or TL2]
1-8	GMT-system time, [yyyy mm dd hh mm ss zzz]
9	Pitch. Tilt of the coils in direction X positive when the nose of the frame goes up [degree].
10	Roll. Tilt of the coils in direction Y, negative when the right side of the frame goes up (right side is in the positive y-direction), [degree].

Row	Transmitter, TXD-devise
1	Devise type [TXD]
1-8	GMT-system time, [yyyy mm dd hh mm ss zzz]
9	NumberOfShots: The total number of transients, NumberOfDatasets * NumberOfSerie.
10	NumberOfProtemErrors: Indicates a missing pulse detection. The integer states the number of missing pulses.
11	FirstProtemError: The position of the first missing pulse.
12	Nplus: The number of positive currents in stack.
13	Nminus: The number of negative currents in stack.
14	VoltageOn: The battery voltage measured during transmitter on time, [V].
15	VoltageOff: The battery voltage measured during transmitter off time, [V].
16	TxTemperature: The temperature of the transmitter, [°C].
17	VersionNo: Added to be able to add new elements to the frame. VersionNo 0 is without PolErr and VersionNo1 is with PolErr. VersionNo 3 adds Max_Current, Min_Current and RMS_Current.
18	NumberOfDatasets: The number of data sets.
19	NumberOfSeries: The number of series in each data set.
20	Mean_Current: The mean transmitter current for NumberOfSeries. Measured for before the ramp off, [A]. Current is looped over the NumberOfDatasets.
21	Max_Current: The maximum current for NumberOfSeries measurements [A].
22	Min_Current: The minimum current, for NumberOfSeries measurements, [A].
23	RMS_Current: The RMS current for NumberOfSeries measurements. Not calculated !

Note: Not all TDX-parameters are used in the data processing.

Row	Transmitter, TX3-devise, for “multi moment” mode (not yet in production)
1	Devise type [TX3]
1-8	GMT-system time, [yyyy mm dd hh mm ss zzz]
9	NumberOfShots: The total number of transients, NumberOfDatasets * NumberOfSerie.
10	MomentID: Moment ID in instrument script file
11	DatSeqCount: Dataset counter from TX. Can be match with TIB data.
12	Nplus: The number of positive currents in stack.
13	Nminus: The number of negative currents in stack.
14	VoltageOn: The battery voltage during transmitter on time, [V].
15	VoltageOff: The battery voltage during transmitter off time, [V].
16	TxTemperature: The temperature of the transmitter, [°C].
17	Mean_Current: The mean transmitter current for NumberOfSeries. Measured for before the ramp off, [A]. Current is looped over the NumberOfDatasets.
18	Max_Current: The maximum current for NumberOfSeries measurements [A].
19	Min_Current: The minimum current, for NumberOfSeries measurements, [A].
20	RMS_Current: The RMS current for NumberOfSeries measurements. Not calculated !

APPENDIX 3

DOCUMENTATION OF THE GEOMETRY FILE

The geometry file contains all information about the SkyTEM system, e.g. calibration factors, loop sizes, device positions, transmitter ware form etc. used during the processing and inversion of the data. The information from the geometry file is linked to the rawdata during import to the processing module in Aarhus Workbench.

The geometry file contains of header part and settings block for each software channel, e.g. Super low moment (SLM) z-data, High moment (HM) z-data, Low moment z-noise etc. All values in the geometry file are in SI-units.

The line numbers in tables below refer to the geometry file example in Figure 1.

Header part of geometry file, line 1-14

Line num.	Type	Column	Comment
1	Char		Free text
2	integer		Geometry file version
3	integer		Number of channels in the geometry file
4	integer		Not in use
5	Real		Instrument factor, 1 for SkyTEM-data
6	integer		Number of device in the in the following device block (line 7-14)
7-14	Char	1	Device types. GP=GPS, HE=Laser altimeter, AN=inclinometer, RX=Receiver coil, TX=transmitter instrument
	Integer	2	Sub-device number
	Real	3-5	x,y,z, position of the devices. Coordinate system orientation see figure 2
	Real	6	Rotation of the device. Not in use

Channel part, line 15-82

Line num.	Type	Column	Comment
15	Char		Free text. Used as display text in the Aarhus Workbench
16	integer		Software channel number matching the software channel number for the SkyTEM data
17	Real	1-3	x,y,z center position of transmitter frame. (0, 0, 0) for SkyTEM-setup
18	Real	1-3	x,y,z center position of receiver coil. Orientation of coordinate system (z-position negative upwards)
19	Integer		Receiver polarization. 1=x, 2=>y, 3=-z
20	Integer		Rx device number, see the Rx device in the header table.
21	Real		Approximate transmitter current. Must be within 25% of the actual current.
22	Integer		Transmitter loop type. 72=segmented loop (SkyTEM setup)
23	Integer	1	Number of segments for transmitter loop
	Real	2	Transmitter loop area. Area must match the area of the polygon formed in line 24-31
24-31	Real	1-2	x,y coordinates of the wire segments of the transmitter loop
32	Integer		Number of transmitter loop turns
33	Integer		Number of time gates defined in the time gate data-block line 57-82
34	Real		Gate time shift, constant [s]
35	Real		Shift db/dt fields by a constant [V/m ²]

36	Real		Shift db/dt fields by factor
37	Integer	1	Default disable gates 1 to N during data-import. If 0 no gates are disabled
	Integer	2	Default disable gates N to last gate during data-import. If 0 no gates are disabled
38	Integer	2	Not in use
39	Integer		Not in use
40	Integer		Not in use
41	Integer	1-3	Order of 3 possible low pass filers before the front gate. 1=first order filer, 2=second order filer, -1=Off.
42	Real	1-3	Cut off frequencies for the 3 low pass filers. If some of the 2 possible filters are switch off in line 41 the value is not used. 3 numbers must be specified.
43	Integer	1	Use front gate. 1=yes, 0=no
	Real	2	Front gate time (0 at begin of ramp)
	Real	3	Primary field damping factor
44	Integer		Order of low pass filter after front gate. 1=first order filter, 2=second order filter -1=Off. If Use front gate in line 43 is off this value is not used.
45	Real		Cut off frequencies for low pass filers. If Use front gate in line 43 is off or the filter is set off in line 44, this value is not used.
46	Real	1	Repetition frequency calculated as 1/(4 x transmitter on time)
	Integer	2	Not in use
47	Integer		Transmitter wave form type 1=exponential, 2=piecewise linear
48	Real		Exponential decay constant for ramp on
49	Real		Percent of the current for locating the first piece wise linear transmitter wave segment
50	Real		Percent of the current for locating the second piece wise linear transmitter wave segment
51	Real		The slope on avelance part of the turn off ramp. [Amp/sec]
52	Real		Current level when the avelance part of the turn off ramp ends.
53	Real		Exponential decay constant for exponential part of ramp off.
54	Real		Percent of the current for locating the first piecewise linear transmitter wave segment
55	Real		Percent of the current for locating the second piece wise linear transmitter wave segment
56	Real		Relativ uniform STD for db/dt-data (all gates). E.g. 0.03 = 3%
57-82	Real	1-3	Gate center time, Gate start time, Gate width. The number of gate must match the specifies number of gate in line 33
	Real	4	Shift db/dt fields by factor (single gates).
	Real	5	Relativ STD for db/dt-data (single gates). E.g. 0.03 = 3%
83-...			Similar settings for channel next channel

Example of SkyTEM Geometry file for Aarhus Workbench

Line number						
1	SkyTEM Geometry file for Aarhus Workbench					
2	7 !FileVersion number (int)					
3	3 !NChannel, number of channels.					
4	3 !Not in use					
5	1 !InstrumentFactor, 1 for SkyTEM					
6	8 !NDevice, number of device					
7	GP	1	15.32	0.98	-0.24	0 !DeviceName, DeviceNumber, X, Y, Z, Rot
8	GP	2	15.32	1.02	-0.24	0
9	HE	1	8.15	9.90	-0.10	0
10	HE	2	8.15	-9.90	-0.10	0
11	AN	1	-15.87	0.50	-0.36	0
12	AN	2	-15.87	-0.50	-0.36	0
13	RX	1	-16.06	0.00	-2.13	0
14	TX	1	16.48	-0.34	0.00	0
15	Ch. #1 - Super Low Moment - z component					
16		1	!Channel Number			
17	0.0	0.0	0.0	!TxPos, Relative position of Transmitter, negative in the air [m] {float}		
18	-16.06	0.0	-2.13	!RxPos, Relative position of Receiver [m] {float}		
19			3	!Receiver polarization (1->x, 2->y, 3->z)		
20		1	!Rx device number {integer}			
21		11	!Current interval (A) {float}			
22		72	!LoopType, 72=Segmented loop			
23		8	494.4	!if Loop=72: NumberOfWires, LoopArea [m2] {>=2 or <=16,int}{>0,float}		
24		-15.34	-2.03	!if Loop=72: 1st wire begin and end points (x0,y0) -> (x1,y1)		
25		-7.13	-10.26			
26		7.13	-10.26			
27		15.34	-2.03			
28		15.34	2.03			
29		7.13	10.26			
30		-7.13	10.26			
31		-15.34	2.03	!if Loop=72: 8th wire begin point. Connects back to 1st wire begin point(x,y)		
32			1	!NTurns, Number of turns in loop		
33			26	!NGates, Number of gates		
34			-0.7e-06	!Shift times by a constant [s]		
35			0.0	!Shift fields by a constant [V/m2]		
36			0.92	! Shift fields by factor		
37		5	0	!Default remove gates 1..X and Y..NGate, 0=no gates are removed		
38		0	0	!Not in use. Default remove ... for noise datasets,0=no gates are removed		
39		0	0	!Not in use. Median filter, number of data to remove from Low end {>=0, int}		
40		0	0	!Not in use. Median filter, number of data to remove from High end {>=0, int}		
41		1	1	-1 !SlopFilters before front gate, -1=no filter (3 numbers)		
42		450E+3	300E+03	1 !Filter cut off frequency [Hz] (3 numbers)		
43		0	0.5e-6	0.01 !UseFrontgate (1=yes, 0=no),FrontGate time[s], Primary field damping factor		
44			1	!Lowpass filter after front gate, -1 or UseFrontGate=0 means no filter		
45			300.0E+3	!FrontGateFilter cut off frequency [Hz] (1 numbers)		
46		250.0	1	!Repetition frequency [Hz] and RepFreqID [1..NChannel]		
47			1	!WaveformType, 1 for exponential, 2 for piecewise linear		
48			31000	!if WaveformType=1, TOn: Exp. decay constant (time constant)		
49			65.0	!if WaveformType=1, TOn: 1st ramp [%] {>=0 <100, float}		
50			95.0	!if WaveformType=1, TOn: 2nd ramp [%] {>=0 <100, float}		
51			4.08E+006	!if WaveformType=1, TOff: Turn off time [Amp/sec]		
52			3.0	!if WaveformType=1, TOff: End avelance mode - [Amp]		
53			1.27E+006	!if WaveformType=1, TOff: Exp. decay constant (time constant) {>0, float}		
54			25.0	!if WaveformType=1, TOn: 2nd ramp [%] {>=0 <100, float}		
55			1.5	!if WaveformType=1, TOn: 3rd ramp [%] {>=0 <100, float}		
56			0.03	!MinUniformNoiseSTD, minimum uniform noise (>0, float)		
57		1.195E-06	0.39E-06	1.61E-06 1.0 0.0![Gatecenter, Start, Width, GateFactor, GateSTD]		
58		3.195E-06	2.39E-06	1.61E-06 1.0 0.0		
59		5.195E-06	4.39E-06	1.61E-06 1.0 0.0		
60		7.195E-06	6.39E-06	1.61E-06 1.0 0.0		
61		9.195E-06	8.39E-06	1.61E-06 1.0 0.0		
62		11.195E-06	10.39E-06	1.61E-06 1.0 0.0		
63		13.195E-06	12.39E-06	1.61E-06 1.0 0.0		
64		15.195E-06	14.39E-06	1.61E-06 1.0 0.0		
65		17.195E-06	16.39E-06	1.61E-06 1.0 0.0		
66		20.195E-06	18.39E-06	3.61E-06 1.0 0.0		
67		24.695E-06	22.39E-06	4.61E-06 1.0 0.0		
68		30.695E-06	27.39E-06	6.61E-06 1.0 0.0		
69		38.195E-06	34.39E-06	7.61E-06 1.0 0.0		
70		47.195E-06	42.39E-06	9.61E-06 1.0 0.0		
71		58.695E-06	52.39E-06	12.61E-06 1.0 0.0		
72		73.195E-06	65.39E-06	15.61E-06 1.0 0.0		
73		91.695E-06	81.39E-06	20.61E-06 1.0 0.0		
74		115.195E-06	102.39E-06	25.61E-06 1.0 0.0		
75		144.195E-06	128.39E-06	31.61E-06 1.0 0.0		
76		181.195E-06	160.39E-06	41.61E-06 1.0 0.0		
77		227.695E-06	202.39E-06	50.61E-06 1.0 0.0		
78		285.695E-06	253.39E-06	64.61E-06 1.0 0.0		
79		359.195E-06	318.39E-06	81.61E-06 1.0 0.0		
80		451.695E-06	400.39E-06	102.61E-06 1.0 0.0		
81		568.195E-06	503.39E-06	129.61E-06 1.0 0.0		
82		714.695E-06	633.39E-06	162.61E-06 1.0 0.0		
83	Ch. #2 - High Moment - z component					
84	..					
85	..					
86	..					
87	Ch. #6 - High Moment Noise - z component					
88	..					
89	..					
90	SkyTEM Geometry file for Aarhus Workbench					

Figure 1. Geometry file example

Software channel definitions

Software channel ID	Moment ¹	Component	Signal/Noise
1	SLM	z	Signal
2	HM	z	Signal
3	SLM	x	Signal
4	HM	x	Signal
5	SLM	z	Noise
6	HM	z	Noise
7	SLM	x	Noise
8	HM	x	Noise

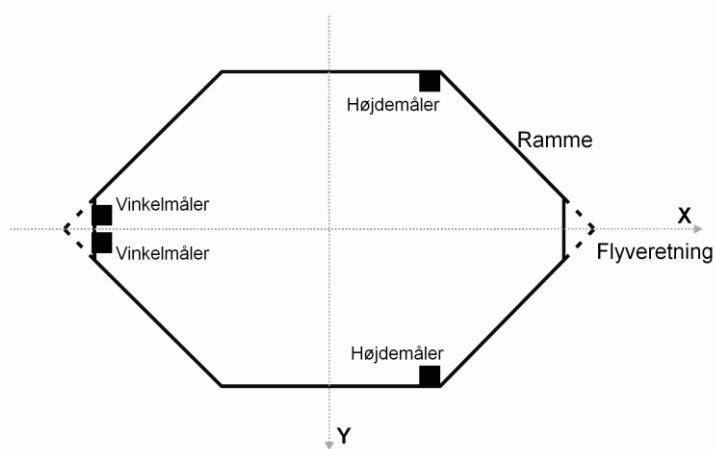


Figure 2. Sketch of the SkyTEM system. The x-axis is in the flight direction, the y-axis is towards the right while the z-axis is pointing into the paper

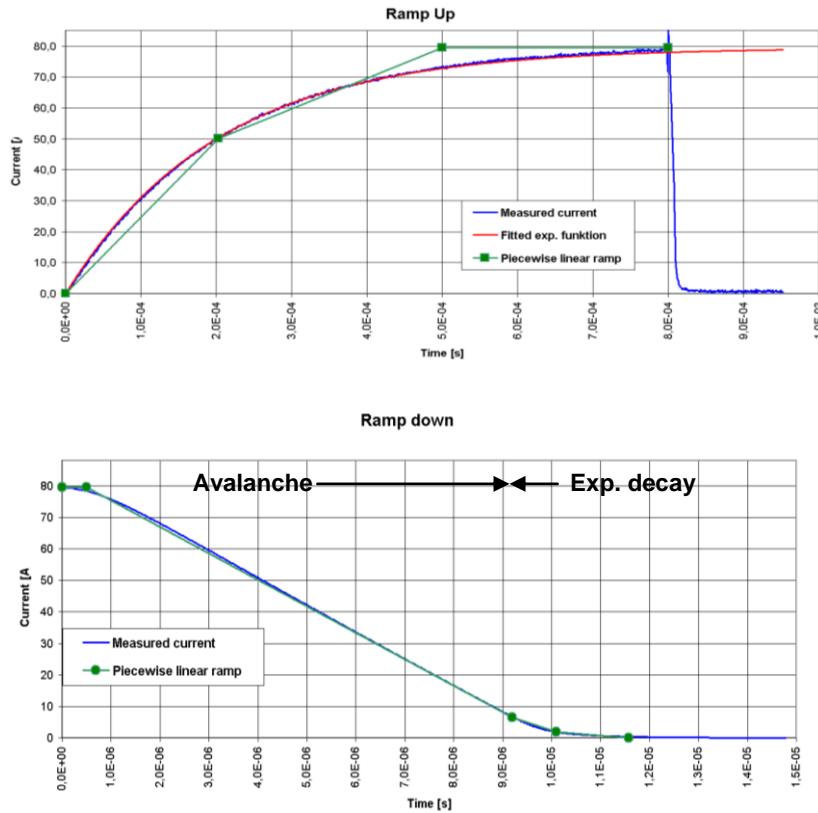


Figure 3 The figure shows the transmitter waveform and the modeling in the Aarhus Workbench. Top figure) Ramp up. The blue curve is the measured current. The red curve show the fitted exponential function while the green curve show the piece wise linear waveform modeled in the Aarhus Workbench. Lower figure) The figure shows the integrated turn off ramp, blue curve. The green curve shows the piece wise linear waveform modeled in the Aarhus Workbench.

APPENDIX 4

RECOMMENDED PROCESSING SETTINGS - AARHUS WORKBENCH

The following tables show recommended processing settings for the different data from the SkyTEM system

The settings must always be adjusted to the actual survey area, target geology, flight speed etc.

Settings for GPS data

GPS x- and y-positions are fitted stepwise to a polynomial of an order that can be specified in the processing phase. Furthermore the GPS-position can be shifted in the flight direction (x-direction) to position the data in the optimum lateral focus point for the actual SkyTEM-configuration. The lateral focus point for the SkyTEM-configuration is approximate 2/3 the distance from the frame center to Rx-coil position. This gives at negative shift of the GPS-data if the GPS-receivers are placed at nose of the frame (normal setup). The GPS-shift is based on calculations of the frame orientation from the GPS-positions. Hovering measurements result in a poor determination of the frame orientations, due to the uncertainty of the GPS-positions.

Parameters	Value	Comment
Device	All	Use one or all devices
Beat Time [s]	0.5	Sample rate for the time array which all navigation data are averaged into
Filter Length [s]	9	The length of the filter for each polynomial fit.
Polynomial Order	2	The order of the polynomial
Reposition in x-direction [m]	-20 / -26	Shift of the GPS-position in flight direction (x-direction). Working values for normal SkyTEM-setup: Small frame -20 m; Big frame: -26 m

Settings for Tilt data

Tilt data are filtered using a median filter to eliminate potential outliers. Tilt data are used to correct altitude and voltage data. Tilt data are measured as the deviation from normal in degrees in the x- and y-direction. It is presumed that the transmitter frame is rigid.

Parameters	Value	Comment
Device	All	Use one or all devices
Median Filter	ON	Turns the filter on and off
Median Filter Length [s]	3	Length of the filter
Average Filter Length [s]	2	Part of the data from Median Filter Length to use for in each step

Settings for Altitude data

The transmitter altitude is found using a number of lasers placed on the frame. The lasers measure the distance to the ground, but are also influenced by reflections from tree tops, bushes, etc., which results in a seemingly lower altitude. The main issue of altitude processing is therefore to remove reflections from the lasers. An automatic tilt correction is, however, also made. Furthermore, the final output is corrected for the fact that the lasers are not placed in the middle of the transmitter frame, while the position of the frame is defined as the center.

Filtering of altitude data is done using a two-step polynomial fit working separately on each device: Step one involves repeated cycles of fitting a polynomial to the data while continuously discarding outlying data, predominantly those of relatively low altitude. This results in an increasingly better data fit, where more and more undesired reflections are removed. The fit is done in steps where a certain amount of data is fitted at a time. Based on the fit, data are removed from a small portion of this interval after which the program

steps to the next time interval. The second step is a polynomial fit to the remaining data from pass 1, and data are sampled to Beat Time.

Parameters	Value	Comment
Device	All	Use one or all devices
Tilt Correction Threshold [s]	5	If no tilt data is found within this time span no tilt correction is made.
First Filter Poly Order	8	The order of the polynomial used in the first filtering of the altitude data
First Filter Number of Passes	8	Numbers of time (passes) the first polynomial fit is applied.
First Filter Shift Length [s]	6	Time interval that are used for evaluation (center par of Filter Length).
First Filter Length [s]	30	Time interval for each polynomial fit.
First Filter Lower Threshold [m]	1	Data that are below the polynomial minus the threshold value are discarded before the next pass. (reflections from tree tops etc.)
First Filter Upper Threshold [m]	30	Data that are about the polynomial plus the threshold value are discarded before the next pass. (incorrect readings from altimeter)
Second Filter Poly Order	8	Order of the polynomial used to fit the remaining data from the first filtering.
Second Filter Length [s]	30	Time interval for each polynomial fit.

Settings for Voltage data

In the table below recommended settings for the Voltage data Processor are listed. The settings most likely need to be adjusted to the current survey to result in an optimum processesing of the data.

The time values given for the Trapez. Filters in the table match a flight speed of approximate 45 km/h (12.5m/s), and the values need to be adjusted if the flight speed differs significantly from this speed. The selected average widths (Trapez Width 1 2 3) are optimized based on the signal-to-noise ration for the survey area.

Note: For the Cap filters and the Ave filters, the assumed noise level, the min. and max. slope, and the back step value have much influence on the number of data that are automatically disabled.

Parameter	SLM/ LM	HM	Comment
Noise Channel	OFF	OFF	Define if the Channel is a Noise channel or not.
Use 2nd order slope filters	ON	ON	ON: all Slope Filters will be based on the change in slope of the db/dt sounding curve ("2nd order derivate"). When set OFF all Slope Filters will be based on slope of the db/dt sounding curve.
Sounding Bin Spacing [s]	2	3	Not in use, but is included for compatibility reasons.
Current Time Distance	0.5	0.5	Not in use, but is included for compatibility reasons for old data.
Cap Sign Filter	ON	ON	Sign filters cull data if a sign change is found.
Cap Sign from time [s]	1.5e-5	1e-4	Data points before this time are not evaluated by the sign filter.
Cap Sign noise level (ms) [v/m ²]	5e-7	2e-7	Defines the assumed noise level at 1 ms. Data points below noise function formed by the noise level and the noise slope are not evaluated.
Cap Sign noise slope	-0.5	-0.5	Defines the slope of the noise function
Cap Sign back step	30	30	Number of additional data points backwards to be removed from the data curve
Cap Slope Filter	ON	ON	Sets filter on/off. Slope filters cull data if the slope or the chance in slope (2nd order slope ON) of the dB/dt sounding curve is not within specified min/max slopes interval

Parameter	SLM/ LM	HM	Comment
Cap Slope from time [s]	1.5e-5	1e-4	Data points before this value are not evaluated by the filter.
Cap Slope noise level (ms) [v/m2]	5e-7	2e-7	Defines the assumed noise level at 1 ms. Data points below noise function formed by the noise level and the noise slope are not evaluated.
Cap Slope noise slope	-0.5	-0.5	Defines the slope of the noise function
Cap Slope min slope	-0.6	-0.6	Defines the smallest acceptable 1st or 2 nd order derivate of the dB/dt sounding curve as selected with Use 2nd Order Slope filters
Cap Slope max slope	0.6	0.6	Defines the maximum acceptable 1st or 2 nd order derivate of the dB/dt sounding curve as selected with Use 2nd Order Slope filters.
Cap Slope back step	30	30	Number of additional data points backwards to be removed from the data curve.
Ave Sign Filter	ON	ON	Sets filter on/off. Sign filters cull data if a sign change is found..
Ave Sign from time [s]	1.5e-5	1e-4	Data points before this value are not evaluated by the filter.
Ave Sign back step	1	1	Number of additional data points backwards to be removed from the data curve.
Ave Slope Filter	ON	ON	Sets filter on/off. Slope filters cull data if the slope or the chance in slope (2nd order slope ON) of the dB/dt sounding curve is not within specified min/max slopes interval
Ave Slope from time	1.5e-5	1e-4	Data points before this value are not evaluated by the filter.
Ave Slope min slope	-0.6	-0.6	Defines the smallest acceptable 1st or 2 nd order derivate of the dB/dt sounding curve as selected with Use 2nd Order Slope filters.
Ave Slope max slope	0.6	0.6	Defines the maximum acceptable 1st or 2 nd order derivate of the dB/dt sounding curve as selected with Use 2nd Order Slope filters.
Ave Slope back step	0	0	Number of additional data points backwards to be removed from the data curve
Trapez Filter	ON	ON	Always On, Off is included for compatibility reasons for very old data.
Trapez Sounding Distance [s]	2	2	Sets the distance in time between soundings.
Trapez Gate Time 1 [s]	1e-5	1e-4	Sets the time of Trapez Width 1
Trapez Gate Time 2 [s]	1e-4	1e-3	Sets the time of Trapez Width 2
Trapez Gate Time 3 [s]	1e-3	1e-2	Sets the time of Trapez Width 3
Trapez Width 1 [s]	3	6	Sets the width of the filter at Trapez Gate Time 1
Trapez Width 2 [s]	6	12	Sets the width of the filter at Trapez Gate Time 2
Trapez Width 3 [s]	12	36	Sets the width of the filter at Trapez Gate Time 3
Trapez Spike Factor	25	25	Median filtering of the data. E.g. Spike Factor = 20 removed the upper and lower 10% of the data within the averaging width for each gate
Trapez Min. No. Gates [%]	25	25	Minimum number of possible gates in the averaging interval that must be in use for an average sounding to be created.
Trapez Min. No Gates per Sound.	7	5	If less than Trapez Min. No. Gates per Sounding are in use after the filtering of the average data the sounding is removed.
Trapez Sync. location of sond.	ON	ON	Synchronize the location/time of the sounding from the different software channels.
Trapez Require left/right sound.	OFF	ON	If set to On raw data are required to both left and right side of the sounding time within the average interval for an average data point to be created. Off makes a more densely soundings/models sampling/averring possible without getting "holes" in the sounding array.

APPENDIX 5

RECOMMENDED INVERSION SETTINGS - AARHUS WORKBENCH

The following sets of tables states recommended LCI- and SCI-inversion settings. The settings must always be adjusted to the actual survey area, target geology, line spacing, etc. The horizontal constraints are stated for a sounding distance of 25-30 m.

LCI-INVERSION SETUP

LCI inversion settings, in general

Parameter	Value	Comment
Use soft channel inversion groups	1,2	software channel 1 (SLM) and 2 (HM) is inverted using one model
Altitude a-priori STD:	3	Defines the STD for the altitude in meters.
Altitude lateral constraint STD:	1.3	The lateral constraint on the altitude between two adjacent models.
A-priori altitude if not recorded [m]	50	Inversion start value for the altitude if no altitude is available
Max Number of Iterations	50	Maximum number of iterations before the inversion is stopped.

Setup of LCI 4-layer model

Parameter	Value
Resistivity [Ωm]	Auto scale or homogenous half space
Thickness [m]	20, 35, 65
Vertical constraints, resistivities	99 (not constrained)
Horizontal constraints, resistivities	1.3
Horizontal constraints, thicknesses	99 (not constrained)
Horizontal constraints, depths	1.35, 1.13, 1.06
Auto scaling, power	1
Max. Section length	250
Max. Distance before creating a new section [m]	300
Continuity between section boundaries	Force continuous: On

Setup of LCI 5-layer model

Parameter	Value
Resistivity [Ωm]	Auto scale or homogenous half space
Thickness [m]	15, 30, 50, 65
Vertical constraints, resistivities	99 (not constrained)
Horizontal constraints, resistivities	1.3
Horizontal constraints, thicknesses	99 (not constrained)
Horizontal constraints, depths	1.46, 1.16, 1.07, 1.04
Auto scaling, power	1
Max. Section length	250
Max. Distance before creating a new section [m]	300
Continuity between section boundaries	Force continuous: On

Setup of LCI-smooth model

Parameter	Value
Resistivity [Ωm]	Auto scale or homogenous half space
Number of layers	19 (maximum number)
Thickness first layer [m] ¹	4 m followed by logarithmic increasing thicknesses
Thickness A-priori constraint ²	1.001 (fixed), last layer 1.5
Vertical constraints, resistivities	2
Horizontal constraints, resistivities	1.3
Horizontal constraints, thicknesses ²	99 (not constrained)
Horizontal constraints, depths	99 (not constrained), last layer 1.05
Auto scaling, power	1
Max. Section length	100
Max. Distance before creating a new section [m]	300
Continuity between section boundaries	Force continuous: On

¹Last layer boundary is chosen so it covers the expected depth of investigation.

²Last thickness has a a-priori constraint of 1.5 and a horizontal constraint on the last depth of 1.05

SCI-INVERSION SETUP

Note: For SCI-setup the start model can be customized in subareas. The lateral constraints are in general set looser in a SCI-setup compare to a LCI-setup, since a SCI-setup in total holds more constraints - this is reflected in the tables below.

SCI inversion settings, in general

Parameter	Value	Comment
Altitude a-priori STD:	3	Defines the STD for the altitude in meters.
Altitude lateral constraint STD:	1.3	The lateral constraint on the altitude between two adjacent models.
A-priori altitude if not recorded [m]	50	Inversion start value for the altitude if no altitude is available
Max Number of Iterations	50	Maximum number of iterations before the inversion is stopped.

Setup of SCI 4-layer model

Parameter	Value
SCI-section size aprox.	240
SCI-section size min	170
Resistivity [Ωm]	Auto scale or homogenous half space
Thickness [m]	20, 35, 65
Vertical constraints, resistivities	99 (not constrained)
Horizontal constraints, resistivities	1.5
Horizontal constraints, thicknesses	99 (not constrained)
Horizontal constraints, depths	1.5, 1.2, 1.08
Auto scaling, power	0.75

Setup of SCI 5-layer model

Parameter	Value
SCI-section size aprox.	240
SCI-section size min	170
Resistivity [Ωm]	Auto scale or homogenous half space
Thickness [m]	15, 30, 50, 65
Vertical constraints, resistivities	99 (not constrained)
Horizontal constraints, resistivities	1.5
Horizontal constraints, thicknesses	99 (not constrained)
Horizontal constraints, depths	1.7, 1.2, 1.11, 1.06
Auto scaling, power	0.75

Setup of SCI-smooth model

Parameter	Value
SCI-section size aprox.	100
SCI-section size min	70
Resistivity [Ωm]	Auto scale or homogenous half space
Number of layers	19 (maximum number)
Thickness first layer [m] ¹	4 m followed by logarithmic increasing thicknesses
Thickness A-priori constraint ²	1.001 (fixed)
Vertical constraints, resistivities	2
Horizontal constraints, resistivities	1.5
Horizontal constraints, thicknesses ²	99 (not constrained)
Horizontal constraints, depths	99 (not constrained)
Auto scaling, power	0.75

¹Last layer boundary is chosen so it covers the expected depth of investigation.

APPENDIX 6

CALLIBRETION OF THE SKYTEM-SYSTEM

This Appendix will bee added later

Calibration at the Test Site

Local reference measurements

Waveform calibrations

APPENDIX 7

RECOMMENDED PRESENTATIONS

This appendix gives an overview of the basic maps and sections to be delivered together with the report for a SkyTEM survey.

All maps must be in Euref zone 32 (33) UTM coordinate system. Information about gridding method, search criteria for geological layers etc. is given in the report or in the map legends. Kriging is normally the preferred gridding method. Refer to 1 for general information about presentation of TEM-inversion results.

The basic maps are divided into three groups: Survey location, data, and inversion results. Specifications for the different theme maps are listed in the tables. All theme maps are composed with basic background maps e.g. KMS-map, air photos.

The tables below distinguish between digital maps (D) and printed maps on paper (A). Digital maps are delivered in the Aarhus Workbench survey workspace. Printed maps are printed on paper appearing in the report. They are also delivered in pdf format and present in the Aarhus Workbench Workspace. The themes can be either by color coded points (P) or gridded bitmaps images (G).

For some surveys it can be optimal to produce other/more theme maps.

Survey location

Theme	Digital/Paper	Point/Grid
Planned survey area and planned flight lines.	D	
Planned survey area, actual flight lines with overlay of coupling sources (roads, power lines etc.), landing location and local test site.	A	

Data

Theme	Digital/ Paper	Point/Grid
Flight altitude	A	P
Flight speed	D	P
Raw data positions overlaid by model positions (non-coupled data). This map shows where data have been excluded during the processing.	A	P
Presence of moments – with a two-moment system, the color code is: Both SLM and HM (green), SLM only (red), HM only (blue).	A	P
Number of gates for each moment. One map per moment.	D	P

Inversion results

The maps are created for each inversion (one set of maps for smooth inversion, one set for the few-layer inversion).

Themes	Digital/ Paper	Point/Grid
Data residual.	A	P
Difference in measured and inverted altitude.	D	P

Inversion results – few-layer models

The following maps are delivered for few-layer models.

Note: Resistivity maps must be gridded on the logarithm to the resistivity.

Themes	Digital/ Paper	Point/Grid
Horizontal mean resistivity maps in 10 m elevation intervals.	D	G
Horizontal mean resistivity maps in depth intervals. 5 m intervals down to 20 m. 10 m intervals from 20 m to 50 m.	D	G
Elevation of the conductive subsurface (if present). The conductivity of the layer must be determined from histograms of the resistivity distribution in the deeper layers.	A	G
Resistivity of first layer	A	G
Thickness of first layer	D	G
Depth of investigation (DOI).	D	G

Inversion results – smooth-layer models

The following maps are delivered for smooth-layer models.

Note: Resistivity maps must be gridded on the logarithm to the resistivity.

Themes	Digital/ Paper	Point/Grid
Horizontal mean resistivity maps in 10 m elevation intervals.	A	G
Horizontal mean resistivity maps in depth intervals. 5 m intervals down to 20 m. 10 m intervals from 20 m to 50 m.	A	G
Depth of investigation (DOI).	A	G

Sections

Sections are typically created along flight lines. A number of sections illustrating central geological elements are selected. Typically, 10-20 sections are printed, and additional sections are present in the Work-space. The sections contain: resistivity models, boreholes, and DOI. There is a set for both smooth and layered models. Same scale and orientation are used for all sections.

Themes	Digital/ Paper	Point/Grid
Location of profiles inc. model and boreholes positions.	A	P
Sections for smooth and layer inversion results including boreholes and DOI.	A	