



Titel: CTD måling			
Dokumenttype: Teknisk anvisning	TA. nr.: M03	Version: 1	Oprettet: 21.11.2013
Forfatter: Torben Vang	Gyldig fra: 21.11.2013		
	Sider: 14		
	Sidst ændret:		
TA henvisninger	M01 - M04		

0 Indhold

1 Indledning	1
2 Metode	2
2.1 Tid, sted og periode.....	2
2.2 Udstyr	2
2.3 Procedure.....	2
2.3.1 Daglige procedurer.....	2
2.3.2 Ugentlig kontrolmåling.....	3
2.3.3 Kvartalsvis kontrol af tryksensor	4
2.3.4 Årlig kalibrering af måleudstyr	4
2.5 Vedligehold af instrumenter.....	5
2.6 Særlige forholdsregler - faldgruber	5
3 Databehandling	6
4 Kvalitetssikring	7
4.1 Kvalitetssikring af metode	7
4.2 Kvalitetssikring af data og dataaflevering	8
5 Referencer	10
6 Bilag	11
6.1. Statistiske redskaber – præcision og korrekthed	11
7 Oversigt over versionsændringer	14

1 Indledning

Denne anvisning beskriver procedurerne for elektroniske målinger af vandets ledningsevne, temperatur og måledybden fra skib. Parametrene registreres automatisk fra en sonde og betegnes som CTD-målinger (eng. conductivity, temperature, depth).

2 Metode

2.1 Tid, sted og periode

CTD profiler foretages jvf. teknisk anvisning M01 prøvetagning i felten.

2.2 Udstyr

Der anvendes en CTD af anerkendt fabrikat som GMI, FSI, Seabird eller lignende, der kan leve op til kravene om korrekthed og præcision af målingerne (se afsnit 4.1).

2.3 Procedure

Rutinerne for dataindsamling fra skibsmålingerne foretages efter nedenstående beskrivelser.

2.3.1 Daglige procedurer

Med CTD-sonden på dæk:

- Kontrollér stik og kabler
- Kontrollér at sensorer er ubeskadigede og rene – rengør om nødvendigt med demineraliseret vand
- Kontrol af PC'ens klokkeslæt. Klokkeslættet skal være UTC tid (dvs. dansk normaltid minus en time, dansk sommertid minus to timer).
- Kalibrér tryksensoren i forhold til lufttrykket. Lufttryk og kompensationsværdi overføres til datafilen sammen med instrumentets dæksværdi.
- Kalibreringskoefficienter for de anvendte sensorer overføres til datafilen.

Inden CTD-målingen begynder:

- Målesonden hejses ned i vandet og hænger i 1-3 meters dybde i mindst 1 minut for at luftbobler kan undslippe og for at temperaturforskellen mellem sonde og vand udlignes.
- Dato (YYYYMMDD) for målingen og skibets position (grader og decimalminutter (min. 2 decimaler): GG MM,MM i WGS84 datum og med nøjagtighed inden for 10 meter) overføres til datafilen, sammen med stationsnavn eller -nummer og institutionskode.
- Målesonden hæves til 0,4 meters vanddybde, såfremt vejr og søgang tillader dette.

CTD-målingen:

- CTD-sonden sænkes mod bunden med en ensartet hastighed. Sondens nedsænkningshastighed må ikke overstige $0,2 \text{ m s}^{-1}$, hvis der samtidig foretages iltensormåling. Uden iltmåling kan nedsænkningstiden øges til max. $0,5 \text{ m s}^{-1}$
- Elektronisk målte data registreres i datafilen med minimum 0,2 meters intervaller.
- Den dybeste måling foretages mellem 0,2-0,5 meter over bunden. Når målesonden når bunden, noteres den aktuelle bunddybde sammen med data fra ekkoloddet.

Efter hver CTD-måling:

- Når sonden atter er på dæk, noteres instrumentets dæksværdi for tryk i logfilen. Denne værdi må højst afvige 0,1 mVS fra værdien inden profilmålingen. Hvis afvigelsen er større, skal tryksensoren skylles og profilen tages om.
- Alle sensorer rengøres med demineraliseret vand.
- Tidspunkt og dybde for første og sidste CTD-måling trækkes fra hinanden og sænkningshastigheden beregnes. Nogle sondesystemer gør dette automatisk, se manual fra producenten. Sænkningshastigheden overføres til datafilen og gemmes som dokumentation for, at nedsænkningshastigheden er gennemført iht. anvisningen.

2.3.2 Ugentlig kontrolmåling

Kontrolmålingerne er en sammenligning mellem CTD-sondens målinger af temperatur og salinitet og mere præcise målinger – såkaldte referencemålinger. Kontrolmålingerne foretages i kar.

I de uger, hvor der foretages CTD-målinger, etableres der minimum en gang om ugen et sæt kontrolmålinger af salinitet og temperatur.

Måles der mindre hyppigt med udstyret, skal der laves kontrolmålinger før brugen.

Hvis der udskiftes en sensor skal der foretages kontrolmålinger før og efter udskiftningen.

Temperatur:

Der foretages 3 på hinanden følgende målinger med CTD'en og 3 med præcisionstermometeret ($\pm 0,01 \text{ }^\circ\text{C}$, se Tabel 4.1) enten i et mindre vandfyldt termostatstyret kar eller et stort kar, hvor temperaturen er konstant under målingerne ($\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$). I begge kartyper skal der være omrøring.

Salinitet:

Der foretages 3 på hinanden følgende målinger med CTD'en og 3 målinger med enten præcisionssalinometer ($\pm 0,01$ psu) eller ved at udtage 3 vandprøver, der efterfølgende analyseres for salinitet. Kravene til vandkar og omrøring er de samme som ved temperaturmåling og saliniteten skal være konstant under målingerne ($\pm 0,1$ psu).

Bestemmes salinitet med salinometer, skal dette kalibreres med IAPSO standard havvand.

Bestemmes salinitet i vandprøver, skal der udtages mindst 100 ml havvand, som opbevares i glas- eller plastflaske med tætsluttende låg. Flasken må ikke fyldes helt op. Saliniteten i vandprøven skal bestemmes inden for én måned ved en anerkendt metode (UNESCO 1981).

Kontrolmålinger evalueres hurtigst muligt efter gennemførelsen af kontrolmålingen, dog senest en måned efter. Data gemmes i en logfil (se 3.1).

2.3.3 Kvartalsvis kontrol af tryksensor

Minimum hver tredje måned skal tryksensoren kontrolleres over for en referencemåling. Referencemålingerne kan udføres med trykkalibrator. Kontrollen udføres i trykområdet 0 til 100 i trykenheden mH_2O ved 20°C . Kontrollen udføres som en 5 punkts kontrol både for stigende og faldende tryk, således at eventuelle hystereseforhold kan dokumenteres. Såfremt kontrollen afslører, at tryksensoren skal justeres, skal der altid afsluttes med yderlig en 5 punkts kontrol både for stigende og faldende tryk. Hermed er sensoren kontrolleret/kalibreret "as found" og "as left", og således mistes ikke kalibreringshistorien i kalibreringsintervallet. Anvendes en af de fælles indkøbte trykkalibratoren til kontrol, medfølger en skriftlig betjenings- og kontrolprocedure.

Kontrolmålinger evalueres hurtigst muligt efter gennemførelsen af kontrolmålingen, dog senest en måned efter. Data gemmes i en logfil (se 3.1).

2.3.4 Årlig kalibrering af måleudstyr

Det kan være vanskeligt at gennemføre kontrolmålinger i hele udstyrets måleområde med hensyn til saliniteten. Af denne grund skal der gennemføres en årlig kalibrering af måleudstyret. Dette foretages enten af institutionen, som forestår målingerne, eller fx producenten af måleudstyret. Ved at lade producenten af måleudstyret forestå kalibreringen af måleudstyret foretages der en uafhængig evaluering af måleudstyret. Den uafhængige evaluering er imidlertid ikke nødvendig for at overholde kravspecifikationerne.

Under kalibreringen estimeres kalibreringskoefficienterne ved at måle i hele det naturlige udfaldsrum under kontrollerede laboratorieforhold.

2.5 Vedligehold af instrumenter

Alle sensorer skal rengøres med demineraliseret vand efter hver profilmåling. Selv små rester af saltvand på sensorer kan påvirke det efterfølgende måleresultat, idet saltvand ved indtørring efterlader saltkrystaller. Såfremt producenten anbefaler en detergent til rengøring, skal denne anvendes.

2.6 Særlige forholdsregler - faldgruber

I afsnit 4.2 gennemgås en række eksempler på fejl, der kan opstå i forbindelse med CDT-målingen.

3 Databehandling

3.1 Data og koder

Data indrapporteres til STOQ i form af datafiler og logfiler.

I datafilen findes data fra profilmålingen og logfilen indeholder data, der er nødvendige til evaluering af kalibrering og kontrol af CTD'ens målinger.

Der oprettes én logfil for hver CTD-sonde, som indeholder (kontrol/kalibrerings)data over tryk, temperatur og salinitet. Logfilen skal opdateres hver gang, der foretages en kontrolmåling eller kalibrering og indeholder CTD-sondens måleresultater fra kontrolmålingerne med tilhørende referencemålinger samt kalibreringsdata og -koefficienter, der tilsammen udgør kontroldatasættet.

I logfilen genereres en ny linje hver gang, der foretages en kontrolmåling. Når kontrolmålingerne består af tre enkelte målinger, forøges logfilen med tre linjer.

Logfilens indhold skal være:

dato, tid, CTD-sondekode, TCTD, TREF, CCTD, SCTD, SREF, DCTD, DREF.

hvor:

dato: YYYYMMDD

tid: TTMM

CTD-sondekode: sondespecifik kode

TCTD: sondens beregnede temperatur

TREF : resultatet af præcisionsmåling af temperaturen

CCTD: temperaturkompenseret konduktivitet

SCTD: sondens beregnede salinitetsværdi.

SREF : resultatet af salinometerbestemmelse af saliniteten

DCTD: sondens beregnede måledybde

DREF : resultatet af præcisionstrykmålingen.

4 Kvalitetssikring

Inden den første CDT-måling udføres skal en erfaren medarbejder gennemgå den tekniske anvisning sammen med prøvetagerne og give en grundig introduktion og supervision til nye medarbejdere samt sikre, at producentens anvisning til CTD'en følges korrekt.

Én gang årligt gennemgås måleprocedurerne af prøvetagerne for at sikre, at den er i overensstemmelse med TA M03, og at producentens anvisninger ved brugen af CTD-en overholdes.

4.1 Kvalitetssikring af metode

CTD sondens sensorer skal, udover de periodevise kalibreringer, der er beskrevet i afsnit 2.3, leve op til specifikke krav i forhold til korrekthed og præcision (se Tabel 4.1 og afsnit 6 Bilag).

Korrektheden for målingerne er afvigelsen mellem observationsværdien og en referenceværdi. Viser målingen fx værdien 17,45 psu, mens referenceværdien er 18,01 psu, er afvigelsen mellem referenceværdi og observation 0,56 psu. Afvigelsen mellem referenceværdi og observation udgør grundlaget for beregningen af korrektheden.

Præcisionen er afvigelsen målingerne imellem (Dansk Standard 5725-1). Det vil sige to målinger viser fx værdien 17,45 psu og 17,54 psu. Målingerne har her en indbyrdes forskel på 0,09 psu. Afvigelsen målinger imellem udgør grundlaget for beregningen af præcision. Præcisionen er uafhængig af referenceværdien.

Tabel 4.1. Krav til korrekthed og præcision af målinger fra CTD sonde samt korrekthed af udstyr til referencemålinger.

Måling	prøve		reference		måleudstyr/standarder til referencemåling
	korrekthed	præcision	korrekthed	præcision	korrekthed
Måledybde (tryk, D)	±0,1mVS	±0,05mVS	±0,08 mVS	±0,04 mVS	±0,02 mVS
Temperatur (T)	±0,1 °C	±0,05 °C	±0,02 °C	±0,01 °C	±0,002 °C
Salinitet (SP)	±0,1 psu	±0,05 psu	±0,02 psu	±0,01 psu	±0,002 psu

Kontrollen af referencemålingerne skal foretages med præcisionsmåleudstyr eller anvendelse af standarder, som har korrekthed jf. Tabel 4.1.

Kravene til nøjagtighed af CTD-sensorer skal dokumenteres i forbindelse med kontrolmålinger. Såfremt ovennævnte krav overholdes, og de normale procedurer for CTD-sondens drift gennemføres, overholdes kravene til nøjagtighed.

4.2 Kvalitetssikring af data og dataaflevering

Måledata og data fra kontrolmålinger indgår i datarapporteringen. Tabel 4.2 viser en oversigt af kvalitetsstyringen.

I det følgende gennemgås typiske eksempler på identificerede fejl:

CTD'ens salinitets- eller temperaturvisning i et kar varierer med tiden.

Aktion: Kontroller at karret er velblandet. Kontroller stik, kabler, strømforsyning, andet udstyr og evt. nyetableret udstyr. Kontroller for øvrig elektrisk støj. Specielt for temperatur kontrolleres, at karopstillingen er korrekt.

Konsekvens: Målinger kan ikke foretages! Fejl skal findes og rettes, før nye målinger kan udføres.

Profilmålingen viser fejl.

Eksempel: Densiteten har lokale maksima i vandsøjlen.

Aktion: Sensorer kontrolleres for brud, revner og partikler. Sensorer renses efter producentens forskrifter og skylles med demineraliseret vand. Kabler kontrolleres for kinker og øvrige fejl. Profilen laves om, og hvis fejlvisningen bibeholdes, skal udstyret efterses af producenten.

Konsekvens: Målinger kan ikke foretages. Fejl skal findes og rettes før nye målinger gennemføres. Procedurer for vedligeholdelse og CTD-sondens betjening gennemgås. Det skal tages vandprøver i standarddybderne til salinitetsbestemmelse.

Egentlige metodefejl under kontrolmålingerne.

Eksempel: En salinitetsvisning afviger markant fra de øvrige 2 i kontroldatasættet.

Aktion: Kontroldatasættets enkeltværdier evalueres, og der testes for fejlmålinger på basis af målemetodens usikkerhed. Måleprocedurer gennemgås.

Konsekvens: CTD-målinger kan gennemføres.

Præcisionen er utilstrækkelig.

Eksempel: Præcisionen af CTD-sondens salinitetsvisning er utilstrækkeligt i forhold til kvalitetskravene.

Aktion: Måleprocedurer gennemgås. Måleudstyr renses. Kontrol af stik, kabler, strømforsyning, andet udstyr, og evt. nyetableret udstyr. Specielt for temperatur kontrolleres, at karopstillingen er korrekt. Specielt for præcisionssalinometeret kontrolleres temperaturindstillingen og placering. Der skal tages vandprøver i standarddybderne til salinitetsbestemmelse.

Konsekvens: Målinger kan gennemføres. Fejl skal findes og rettes. Data skal anmærkes med angivelse af den observerede præcision.

Korrektheden er utilstrækkelig.

Eksempel: CTD-måleudstyret overholder ikke kvalitetskravet mht. korrektheden af salinitet.

Aktion: Kontroldatasættets spredninger evalueres i detaljer af den fagligt ansvarlige. Fejlkilder identificeres på baggrund af kontroldatasættet. Yderligere kontrolleres procedurer og sensorer.

Konsekvens: Målinger kan gennemføres. Målingerne rettes op efter den nye kalibrering. Måleudstyret skal kalibreres. Procedure for kontroldatasættets etablering gennemgås både mht. præcisionsmåling og for prøvetagning til præcisionsmåling samt for CTD-målingerne. Der skal tages vandprøver i standarddybderne mht. salinitetsbestemmelse.

Ikke tilfældigt fordelte afvigelser, CTD.

Eksempel: Afvigelsen mellem præcisionsmålingen af salinitet og CTD-visningen øges i, på hinanden følgende, kontroldatasæt.

Aktion: Det testes, om afvigelserne forekommer tilfældigt. Sensorer renses og procedurerne gennemgås. Det undersøges, om der er drift i sensorkalibreringen.

Konsekvens: Målingerne rettes op på baggrund af sensordriften.

Tabel 4.2. Skematisk oversigt af kvalitetsstyring

Kontroltype	Hyppighed	Resultat	Konsekvens
Daglig	efter/under hver profilmåling	profilen viser direkte fejl	find årsagen til målefejlen og tag vandprøver i standarddybder til salinitetsbestemmelse
Kar	Ugevis, togtvist	ok	fortsæt måleprogrammet
Kar	Ugevis, togtvist	ej ok	fortsæt evt. måleprogrammet, find årsagen, evt. laves en genkalibrering
Kar	månedsvist, togtvist	variation i tryk eller salinitet	kontrollen kan ikke gennemføres; find årsagen; måleprogrammet må ikke fortsættes, før fejlen er fundet
Kalibrering	Årligt	ingen ændring	fortsæt måleprogrammet
Kalibrering	Årligt	ændring	Sensorer kontrolleres og måleprogrammet fortsættes med nye konstanter; Tidligere kontroldata evalueres for at finde starttidspunkt for evt. drift; opret evt. ældre data på baggrund af kontroldata

5 Referencer

UNESCO 1981: International Oceanographic Tables, Vol 3. UNESCO Papers in Marine Science, 39.

6 Bilag

6.1. Statistiske redskaber – præcision og korrekthed

Bilaget er et eksempel på en statistisk metode, der kan anvendes til at analysere og evaluere korrekthed og præcision, baseret på tre observationer. Såfremt der anvendes en anden metode, skal denne kort beskrives.

Metodefejl:

Metodefejl identificeres på baggrund af deres indbyrdes differencer (dX) og den forventede difference (dY) som specificeret i Tabel 6.1. Den forventede difference estimeres på basis af målemetodens estimerede præcision (S). Hvis differencen er større end forventningsværdien, er der lavet en metodefejl.

Tabel 6.1. Beregning af metodefejl

Obs.	Sort.	dx	dY	dx/dY
X1	x1	x1-x3	S*1.92	(x1-x3)/(S*1.92)
X2	x2	x1-x2	S*1.60	(x1-x2)/(S*1.60)
X3	x3	x2-x3	S*1.60	(x2-x3)/(S*1.60)

X er observationerne, mens x er sorterede værdier, hvor x1 er største værdi, x3 er mindste værdi. S er målemetodens estimerede præcision på baggrund af mange kontrolmålinger. Hvis S estimeres til at være mindre end 0,03 psu eller 0,03 °C for CTD-sonden, anvendes værdierne 0,03 psu eller 0,03 °C til kontrol af CTD-sondens præcision og anvendes som minimumsværdier, idet mindre værdier er uvæsentlige i forhold til kravspecifikationen i overvågningsprogrammet. Teststørrelsen kan have udfald som beskrevet i Tabel 6.2.

Tabel 6.2. Mulige udfald af test for metodefejl.

dx/dY	dx/dY	dx/dY	dx/dY	dx/dY
<1	>1	>1	>1	> 1
<1	>1	<1	<1	> 1
<1	<1	>1	<1	>1
Målinger ok	Metodefejl ved x1	Metodefejl ved x3	Målingerne accepteres	Metodefejl
Målinger ok	x1 fjernes fra den videre estimering	x3 fjernes fra den videre estimering	Målingerne er ikke udført med sædvanlig god nøjagtighed	Metodefejlen skal identificeres

Præcision:

Målingernes præcision defineres som spredningen (S) af observationerne (Tabel 6.3), hvor n er antallet af observationer og SAK er summen af kvadraterne.

Tabel 6.3 Præcision af observationer.

Observation	dX	dX ²
X1	X1-X	(X1-X) ²
X2	X2-X	(X2-X) ²
X3	X3-X	(X3-X) ²
Middelværdi X	Sum: 0,00	SAK
	S ²	SAK/(n-1)

Korrekthed:

Målingernes korrekthed (Tabel 6.4) defineres som spredningen (S) af observationerne i forhold til referenceværdien (Y).

Tabel 6.4 Korrekthed af målinger.

Observation	dX	dX ²
X1	X1-Y	(X1-Y) ²
X2	X2-Y	(X2-Y) ²
X3	X3-Y	(X3-Y) ²
Middelværdi X	Sum: ukendt	SAK
Ref. værdi Y	S ²	SAK/n

Overholdelsen af kvalitetskravene (K) testes på basis af den estimerede spredning (S) for hvert kontroldatasæt. Kvalitetskravene skal testes for både korrekthed og præcision. Teststørrelsen er $S^2/K^2 > 2,996$, når spredningen er estimeret på basis af 3 observationer. Teststørrelsen er $S^2/K^2 > 3,841$, når spredningen er estimeret på basis af 2 observationer. Hvis S^2/K^2 er større end 2,996 (eller 3,841) er kvalitetskravet ikke opfyldt.

Beregningseksempel:

Detaljerne i testprocedurer og beregninger gennemgås i et beregningseksempel for salinitet. Kontrol-datasættet består af 3 CTD-målinger fra et kar og 3 vandprøver fra samme kar til efterfølgende salinometerbestemmelse (tabel 6.5). Til kalibrering af salinometer er der anvendt IAPSO standard havvand med saliniteten 34.993 psu.

Tabel 6.5 Måleresultater.

Observation	CTD	Salinometer	Kalibrering af salinometer
	34,450	34,484	34,999
	34,250	34,469	34,996
	34,470	34,470	35,002
Middelværdi	34,390	34,474	34,999

Denne CTD-sonde kunne registre data med 2 decimaler. Værdien 0 er derfor tilføjet af hensyn til den videre databasehåndtering.

Evalueringsmetoden udføres ved at anvende beregningskema (Tabel 6.6) og vurderingskemaet i Tabel 6.2.

Tabel 6.6 Beregningskema.

Sort.	dx	dY	dx/dY
34,47	0,22	0,153344	1,4347 >1
34,45	0,02	0,127941	0,1563 <1
34,25	0,20	0,127941	1,5632 >1

Observationen 34,25 afviger for meget fra de øvrige to observationer til, at det kan antages, at målemetoden er udført korrekt. S er estimeret til 0,08. Observationen 34,25 fjernes fra den videre estimering.

Evaluering af præcisionen foretages jævnfør tabel 6.3:

	Obs	dX	dX ²
	34,45	0,06	0,0036
	34,25	-0,14	0,0196
	34,47	0,08	0,0064
Middelværdi	34,39	S ²	0,0148
		S	0,1217

Medtages observationen 34,25 estimeres spredningen til 0,1217. Kravet til præcisionen er 0,05. Teststørrelsen for kravoverholdelse er $(0,1217/0,05)^2 < 2,996$ ($6,20 > 2,996$). Dermed er kravet til præcision ikke overholdt. Når fejlmålingen 34,25 fjernes fra estimeringen, bliver middelværdi og spredning henholdsvis 34,46 og 0,0141, og kravet til metodens præcision overholdes ($0,08 < < 3,841$).

Korrektheden af CTD-sondens måling evalueres ved anvendelse af beregningskema fra tabel 6.4:

	Obs.	dX	dX ²
	34,45	-0,0243	0,0006
	34,25	-0,2243	0,0503
	34,47	-0,0043	0,0000
		S ²	0,0170
Ref. værdi	34,474	S	0,1303

Inklusiv observationen 34,25 estimeres spredningen i forhold til referenceværdien til 0,1303. Kravet til korrektheden er 0,1. Teststørrelsen for kravoverholdelse er $(0,1303/0,1)^2 < 2,996$ ($1,698 < 2,996$). Dermed er kravet til korrektheden overholdt trods fejlmålingen. Når 34,25 fjernes fra estimeringen, bliver korrektheden estimeret til 0,0138. Kravet til korrektheden overholdes uden problemer ($0,02 < < 3,841$). Bemærk at middelværdien ikke indgår i estimeringsproceduren.

Tilsvarende analyse skal laves af salinometerkalibrering og kontrolmåling.

7 Oversigt over versionsændringer

Version	Dato	Emne:	Ændring: