



Miljø- og  
Fødevareministeriet  
Kystdirektoratet

# Manual for marine vandstandsmålere

2018



Titel: Manual for marine vandstandsmålere

Udgiver: Kystdirektoratet, Højbovej 1, 7620 Lemvig, [www.kyst.dk](http://www.kyst.dk)

Forfattere: Jane Toft Olufsen, Rene Sørensen & Thorsten Piontkowitz

*Kystdirektoratet*

Lonny Hansen & Kristine Skovgaard Madsen

*Danmarks Meteorologiske Institut*

Kristian Keller

*Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering*

Svend Åge Bendtsen

*Miljøstyrelsen*

Per Knudsen

*DTU Space*

Grafiker/bureau: Ragnhild Koerschen, Kystdirektoratet

Forsidefoto: Vandstandsmåler i Rønne Havn, Kystdirektoratet

ISBN: 978-87-93593-70-1

# Forord

Danmark har en lang kystlinje og havet påvirker mange dele af vores samfund. Især når vejret bliver rigtigt vildt, og stormfloder rammer, bliver havets kræfter tydelige. En af de vigtigste klimaforandringer vi skal forberede os på, er den stigende vandstand i havet, som vil øge vores udfordringer bl.a. omkring stormfloder. Det er derfor afgørende at kunne beregne korrekt statistik for faren for stormfloder, modellere og varsle stormfloder, vurdere stormfloderne, når de er sket, og estimere hvordan de kommer til at ændre sig i et fremtidigt klima.

Det danske samfund er baseret på en meget høj grad af planlægning. Helt grundlæggende er højdesystemet i meget høj kvalitet. Vandstandsmålinger er et vigtigt referencepunkt i beregning af højdesystemet, da middelvandstands niveauet bruges som reference for Danmarks højdenet.

Det er ligeledes vigtigt at kende vandstanden til en række andre formål, blandt andet miljøovervågning, tidevandsberegning, sejladsikkerhed og søopmåling.

Viden om vandstanden nationalt og internationalt er et vigtigt forskningsområde. Hvordan udvikler middelvandstanden sig, hvad betyder det for bølger, oversvømmelse, erosion, saltbalance, det terrænnære grundvand i kystområderne og iltniveau i Østersøen og meget andet? Vi er nødt til at kende fortiden for at forstå nutiden og forudsige fremtiden. Vi deler observationer af vandstanden i høj kvalitet internationalt og bruger observationer og viden fra vores nabolande og resten af verden.

Derfor er det afgørende at have målinger af vandstanden i høj kvalitet, og at kende den samlede usikkerhed på målesystemet, altså usikkerheden fra både instrument, installation, de fysiske forhold i målesituationen, mv.

I Danmark har vi mange vandstandsmålere. Nogle målere skal have en kvalitet, så de kan bruges i forhold til specifikke formål, for eksempel stormflodsvarsling, mens andre stationers kvalitet skal matche flere forretningsområder (formål), der stiller øgede krav, for eksempel beregning af stormflodsstatistik og vurdering af klimaforandringer. Fælles er, at etablering og den daglige drift af marine vandstandsmålere er afgørende for den samlede kvalitet af observationerne fra en vandstandsstation.

Ved at højne kvaliteten af observationerne, kan de bruges til flere forretningsområder. En station, der for eksempel er opsat til brug for stormflodsvarsling, kan videre bruges til beregning af stormflodsstatistik i god kvalitet ved at følge de konkrete anbefalinger.

Denne rapport beskriver forudsætninger og anbefalinger til marine vandstandsmålere. Vi håber, den vil blive taget godt imod og blive brugt til at højne den samlede kvalitet af målingerne, så det fulde potentiale af vores meget værdifulde vandstandsobservationer kan udnyttes.

# Indhold

<b>Forord</b>	<b>3</b>
<b>1. Indledning</b>	<b>5</b>
<b>2. Den marine vandstand: Rammesætning og begreber</b>	<b>6</b>
2.1 Vandstanden i havet	6
2.2 Påvirkning af havvandstanden	6
2.3 Saltholdighed og temperatur i havet omkring Danmark	7
2.4 Forretningsområder for vandstandsdata	7
<b>3. Instrumenter til måling af vandstand</b>	<b>10</b>
3.1 Måletyper, fordele og ulemper	10
3.1.1 Radar og ultralyd	10
3.1.2 Flydere	12
3.1.3 Trykmålere	12
3.2 Nøjagtighed på instrumenter	15
<b>4. Etablering, overvågning og datatransmission</b>	<b>16</b>
4.1 Etablering af vandstandsmålere	16
4.1.1 Konkrete anbefalinger	16
4.1.2 Problematikken omkring brønd eller rør	17
4.2 Overvågning og drift	18
4.3 Datatransmission/-kommunikation	19
<b>5. Niveausikring</b>	<b>20</b>
5.1 Fikspunkter ved vandstandsmålerne	20
<b>6. Oversigt over fejlkilder</b>	<b>22</b>
6.1 Estimering af samlede fejl på systemet	23
6.2 Eksempel på samlet oversigt over maksimal fejl på systemet	24
<b>7. Forudsætninger og anbefalinger</b>	<b>25</b>
7.1 Forretningsområder indenfor Gruppe A	26
7.2 Forretningsområder indenfor Gruppe B	31
7.3 Forretningsområder indenfor Gruppe C	35
<b>8. Referencer</b>	<b>39</b>
<b>Bilag A Fejlkilder og målenøjagtigheder</b>	<b>40</b>
<b>Bilag B Tjekliste for service af marine vandstands-målere</b>	<b>48</b>
<b>Bilag C Kvalitetskontrol ved DMI</b>	<b>50</b>
<b>Bilag D Kommissorium for udarbejdelse af vandstandsmåler-manual</b>	<b>52</b>

# 1. Indledning

Stigende havvand og hyppigere og voldsommere storme stiller stadig større krav om overvågning og udveksling af marine vandstandsdata. I 2017 blev antallet og infrastrukturen af de marine vandstandsmålere og deres geografiske placering kortlagt [1].

For at forbedre den daglige drift af marine vandstandsmålere og højne kvaliteten af de samlede data har Kystdirektoratet (KDI), Danmarks Meteorologiske Institut (DMI), Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering (SDFE), Miljøstyrelsen (MST) og Institut for Rumforskning og Teknologi hos Danmarks Tekniske Universitet (DTU Space) udarbejdet denne manual til opsætning, service og drift af marine vandstandsmålere, jf. kommissoriet (se Bilag D).

Manualen er et konkret redskab til ejere og/eller driftsansvarlige for private og offentlige marine vandstandsmålere, der uanset formål gerne vil bidrage til det samlede nationale datagrundlag. Manualen beskriver behovet for kvalitetssikrede marine vandstandsmålinger og forudsætninger samt anbefalinger til infrastrukturen for marin vandstandsmåling. Dette sættes i relation til forskellige formål og forretningsområder.

## Manualens opbygning

Manualen er opbygget som følger:

Kapitel 2: Den marine vandstand: Rammesætning og begreber

Hvad er en vandstand, hvad påvirker vandstanden, og hvilke forretningsområder anvender vandstandsdata?

Kapitel 3: Instrumenter til måling af vandstand

Hvilke målertyper findes – fordele og ulemper.

Kapitel 4: Etablering, overvågning og datatransmission

Hvordan opsættes vandstandsmålerne, og hvordan sikres optimal drift og valide data?

Kapitel 5: Niveausikring

Hvad er niveausikring og hvordan kontrolleres niveausikring?

Kapitel 6: Oversigt over fejlkilder

Estimering af samlede fejl på systemet og eksempel på oversigt over maksimal fejl på systemet.

Kapitel 7: Forudsætninger og anbefalinger

Hvilke forudsætninger og anbefalinger knytter sig til de forskellige grupper af forretningsområder for at forbedre den daglige drift af målerne og højne datakvaliteten.

Kapitel 8: Referencer

Bilag A: Fejlkilder og målenøjagtigheder

Bilag B: Tjekliste til service af marine vandstandsmålere

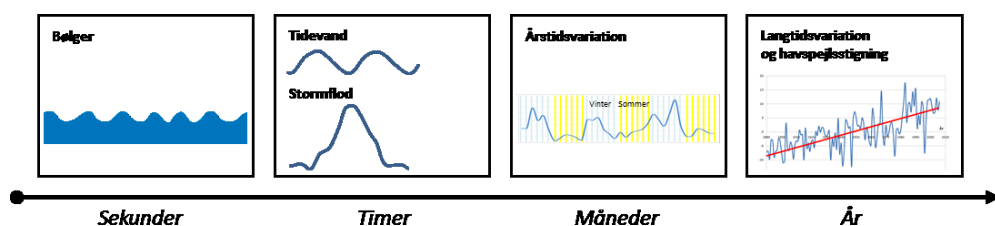
Bilag C: Sådan foretages online og manuel datakontrol ved DMI

Bilag D: Kommissorium for udarbejdelse af vandstandsmålermanual

## 2. Den marine vandstand: Rammesætning og begreber

### 2.1 Vandstanden i havet

Vandstanden er højden af havet målt i forhold til Dansk Vertikal Reference 1990 (DVR90). Vandstanden varierer på tidsskalaer fra sekunder (bølger) over timer (tidevand og stormfloder) til århundreder (klimaforandringer), se Figur 1.



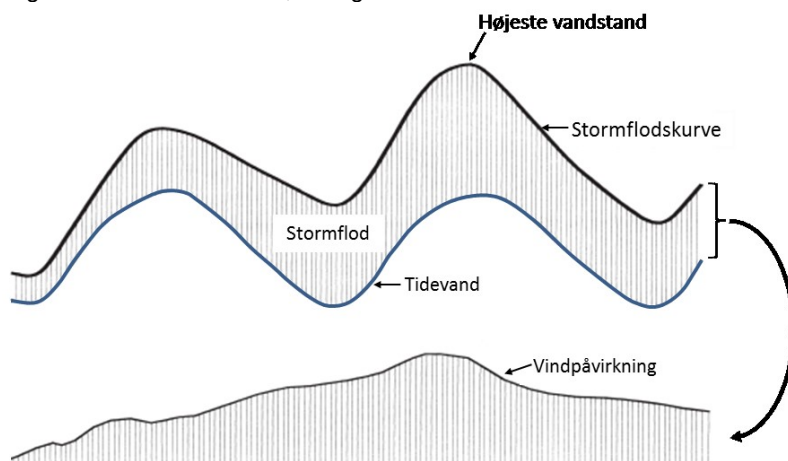
Figur 1: Vandstandens variation over tid.

### 2.2 Påvirkning af havvandstanden

Vandstanden kan beskrives ved en middelvandstand, der beregnes over en længere tidsperiode, samt mere kortvarige ændringer fra denne middelværdi.

Ændringer fra middelvandstanden skyldes vejret, tidevand og ændringer i vandets massefylde.

Vejrets påvirkning af havet skyldes først og fremmest vind og forskel i lufttryk, der giver havstrømme og ændringer i vandstanden. Det ses specielt ved kysterne, hvor vandet bliver stuvet sammen af vinden. Ved kraftig vind og stormfloder kan vandstanden ved de danske kyster stige eller falde flere meter, se Figur 2.



Figur 2: Vindpåvirkning under en stormflod.

Tidevandet ved de danske kyster er størst på den sydlige del af den jyske vestkyst med maksimal forskel mellem højvande og lavvande på op mod 2 meter. Tidevandet bliver svagere nordpå langs Vestkysten og ind i de indre danske farvande, og udgør kun få centimeter syd for de danske bæltter.

Vandets massefylde ændrer sig løbende med årstiden pga. temperaturen og ferskvandstilførslen (primært fra floder i Østersøen) og dette giver et mindre, sæsonmæssigt udsving.

Når vinden når op omkring stormende kuling, evt. samtidig med at tidevandet er højt, kan vandstanden stige til et niveau, så landarealer bliver oversvømmet. I Danmark har Stormrådet defineret en stormflod til at være værre end en 20 års hændelse, dvs. en vandstand der statistisk set kan forventes sjældnere end hvert 20. år på det pågældende sted.

Middelvandstanden i Verdenshavene og dermed også langs de danske kyster stiger som følge af et varmere klima. Vandstanden langs de danske kyster er jf. [2] steget omkring 17 cm over de sidste 100 år, og forventes at stige mere i fremtiden. Stigningen modvirkes delvist af landhævning, og i Danmark er landhævningen stigende mod nord. Det varmere klima giver anledning til to vigtige bidrag til en global vandstandsstigning: dels udvider vandet sig, når havtemperaturen stiger, og dels smelter iskapper på Grønland og Antarktis samt gletsjere over hele kloden, hvilket tilfører vand til oceanerne. Størrelsen af disse bidrag kan kun bestemmes med en vis sikkerhed, blandt andet fordi forskerne ikke i detaljer kan forudse fremtidige udledninger af drivhusgasser. DMI udarbejder scenarier inklusive usikkerheder for den fremtidige vandstand jf. [2].

### **2.3 Saltholdighed og temperatur i havet omkring Danmark**

Havets saltholdighed og temperatur kan påvirke målingen af vandstand. Temperaturen ændrer sig over året, afhængig af vejret, og varierer med dybden. Havets saltholdighed er stigende fra Østersøen til Nordsøen, og kan også variere med dybden. Saltholdigheden på en given lokalitet i de danske farvande kan ændre sig meget, afhængig af om vandet strømmer ud fra Østersøen eller ind fra Nordsøen, og påvirkes også af lokale forhold, f.eks. ferskvandsudløb.

### **2.4 Forretningsområder for vandstandsdata**

Vandstandsmålinger anvendes i mange forskellige sammenhænge. Opgaveporteføljen er bred og kravet til data og nøjagtighed er varierende. Realtidsmålinger bruges til at vise den aktuelle vandstand i f.eks. havne, medens historiske målinger anvendes til beregning af havstigninger og til statistikker til planlægning af kystnære bygge- og anlægsprojekter.

I kortlægningen af marine vandstandsmålere [1] blev forskellige forretningsområder gennemgået og beskrevet. Gennemgangen viste tydeligt, at vandstandsdata indgår i mange tekniske og samfundsmæssige områder blandt andet som et vigtigt grundlag til beslutningsprocesser eller serviceydelser. I alt blev der identificeret 8 overordnede grupper af forretningsområder, relateret til offentlige og private opgaver, se Tabel 1. Kortlægningen viste, at nogle opgaver kræver nøjagtige real-tidsdata, da målingerne bruges til at sikre borgerne f.eks. ifm. arbejdet omkring (1) stormflod eller (4) sejladsikkerhed. Andre opgaver kræver lange tidsserier med kendt datakvalitet til (3) national kortlægning eller (7) forskning, medens nøjagtigheden er mindre vigtig til f.eks. nogle (5) public servicerelaterede opgaver. Vandstandsdata anvendes også til bl.a. (8) rådgivningsopgaver ifm. klimatilpasning, kystbeskyttelse og byggeri.

Følgende Tabel 1 præsenterer et sammendrag af de 8 grupper af forretningsområder og giver en beskrivelse af opgaverne i hver gruppe.

Tabel 1: Grupper af forretningsområder og opgavebeskrivelse

Forretningsområde	Opgavebeskrivelse
<b>(1) Stormflod</b>	
Varsling	<p>Valide vandstandsdata er afgørende for DMI, der overvåger den aktuelle vandstand samt varsler for forhøjet vandstand langs de danske kyster. Under en stormflod er de aktuelle vandstandsmålinger afgørende for beredskabet og igangsættelse af de eventuelle tiltag, der skal beskytte menneskeliv og værdier.</p> <p>Stormflodens maksimale vandstand danner grundlag for de højvandsstatistikker, som udarbejdes af Kystdirektoratet, og som anvendes ved klimatilpasning, planlægning af infrastruktur, oversvømmelsesbeskyttelse m.v.</p> <p>Højvandsstatistikkerne danner også grundlaget for Kystdirektoratets indstilling til Stormrådet, som afgør om et oversvømmet område kan få erstatning for skader, bl.a. forårsaget af stormflod.</p>
Beredskab	
Højvandsstatistik	
Vurdering af stormflod	
Modeludvikling	
<b>(2) Vandmiljøovervågning</b>	
	<p>Marine vandstandsmålinger anvendes til overvågning af vandmiljøet, idet data registreres i forhold til vanddybden. Miljøstyrelsen anvender desuden vandstandsdata ved modellering af det marine miljø, som randbetingelse og kalibrerings/-valideringsdata.</p>
<b>(3) Kortlægning &amp; havplanlægning</b>	
Nationalt højdesystem	<p>SDFE definerer det landsdækkende højdesystemer i Danmark. Højdemålingerne er koblet sammen med vandstandsmålere – geografisk spredt over hele landet for at relatere højden på land til en repræsentativ middelvandstand i de danske farvande. Resultatet udgør samlet et højdesystem, også kaldet et højdedatum, og det er dette datum, der udgør fundamentet for al højdebestemmelse til kortlægning og landmåling i Danmark.</p> <p>SDFE, Geodatastyrelsen og KDI har ansvar for søopmåling, der anvendes til vedligehold af søkort og dermed til sikring af sejladsikkerheden i de danske farvande.</p>
Landbevægelser	
Søopmåling	
<b>(4) Sejladsikkerhed</b>	
Erhvervssejlads	<p>Vandstandsmålinger anvendes til at sikre sejladsikkerheden, som varetages af Søfartsstyrelsen. Skibe skal både kunne passere sikkert ind og ud af havene, gennem områder, der er lavvandede ift. skibets dybgang, samt passere under broer, f.eks. Storebæltsbroen. Korrekte vandstandsmålinger og -prognoser er derfor vigtige af hensyn til sejladsikkerheden, så skibe ikke går på grund eller skader broer.</p>
Fritidssejlads	



## (5) Public service

Informationsservice

Adgang til tidevandspåvirkede områder

Fritidsaktiviteter

De statslige institutioner har igennem deres myndighedsområder indsamlet og udviklet stor viden og erfaring om vandstandsmålinger og -data. Denne viden og erfaring er sammen med konkrete vandstandsdata tilgængelig for offentligheden via de enkelte institutioners hjemmesider.

## (6) Øvrige opgaver

Udviklingsarbejde

Havmodellering

Kystbeskyttelse

Dataudveksling

Tidevandstabeller

Tsunamivarsling

De statsinstitutioner, der indsamler og arbejder med vandstandsdata, bestræber sig hele tiden på at udbygge erfaring og viden for at imødekomme de samfundsmæssige behov på området.

Data udveksles på tværs af statslige institutioner samt i nationale og internationale samarbejder og organisationer.

## (7) Forskning

Forskning vedr. havniveau (ift. terræn, storme, vandstand)

Forskning vedr. havmiljø

Vandstandsdata anvendes inden for et bredt felt af forskningsopgaver.

Arbejdet med søopmåling, miljøovervågning, klimatilpasning, stormflodsvarsling- og beredskab kræver konstant udvikling. Det sker både gennem statslige udviklingsopgaver, men i ligeså høj grad igennem forskning. Forskningen er afhængig af nøjagtige data og i nogle tilfælde – lange tidsserier. For at understøtte forskningen er det derfor vigtigt med valide og vedvarende vandstandsmålinger.

## (8) Rådgivningsopgaver

Diverse rådgivningsopgaver

Historiske vandstandsdata, enten som tidsserier eller i form af statistikker, anvendes af rådgivere inden for f.eks. planlægning og dimensionering af kystbeskyttelseskonstruktioner og andre konstruktioner nær havet. Ved udarbejdelse af f.eks. kommunale klimatilpasningsplaner benyttes højvandsstandsstatistikkerne ved anbefaling af laveste sokkelkote af kystnært byggeri.

# 3. Instrumenter til måling af vandstand

Der findes forskellige typer af instrumenter til kontinuerlig måling af vandstand, baseret på forskellige metoder og teknologier. I det følgende beskrives de typer af instrumenter, som følger måleprincipperne hos de nationale myndigheder. Det er instrumenter og metoder, som alle er internationalt anerkendte og testet - og som følger anbefalingerne fra Intergovernmental Oceanographic Commission [3].

Væsentlige fordele og ulemper ved de forskellige instrumenttyper vil blive nævnt og afslutningsvist nøjagtighed på instrumenter generelt. For information om nøjagtigheder på hhv. instrumenter og det samlede målesystem, se kapitel 6.

## 3.1 Måletyper, fordele og ulemper

Instrumenter til vandstandsmåling kan inddeles efter metode og teknologi, hvilket er sammenfaldende med placering ift. vandsøjlen:

1. Radar og ultralyd – målere placeret over vandoverfladen
2. Flyder – målere placeret på vandoverfladen
3. Trykmålere – målere placeret under vandoverfladen

### 3.1.1 Radar og ultralyd

Radar og ultralyd bruges til kontinuerlig måling af afstand. Målingen sker, når måleren udsender en puls, som så rammer materialet i dette tilfælde vandet, hvor det reflekteres og sendes tilbage til måleren. På den måde kan måleren beregne afstanden (niveauet).

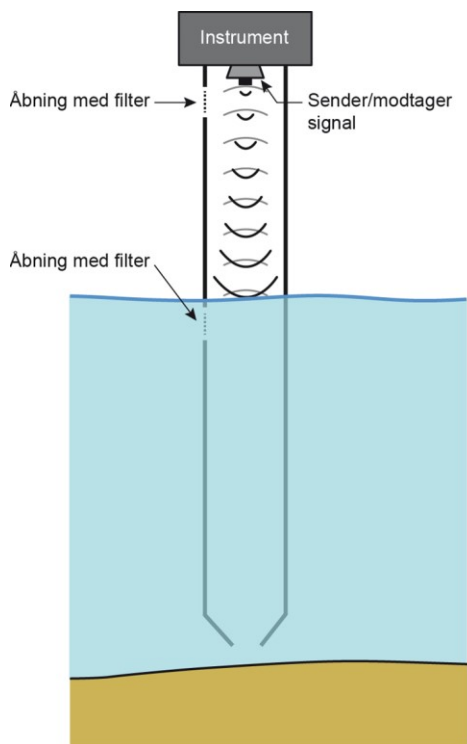
Begge typer er placeret over vandoverfladen (remote sensing) og er derfor ikke i kontakt med havvandet, hvilket er en stor fordel i forhold til begroning. En ulempe er, at måleren skal placeres et godt stykke over den højest mulige forventede vandstand. Det kan være en udfordring i forbindelse med opsætning og besværliggøre service og vedligehold.

#### Radar

Vandstandsmåling ved hjælp af radartechnologi benytter et elektromagnetisk signal til at måle vandstanden.

En stor fordel ved brug radar er, at måleren er stabil i drift og foretager præcise målinger.

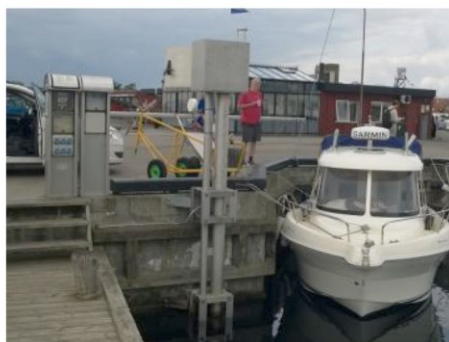
Ulemperne er, at radaren skal monteres over et sømløst trukket rustfrit stålrør, som er tungt og som derfor kæver nyere spuns eller betonkaj ved ophængning. Desuden er radaren yderst følsom over for dug på domene og biologi i røret eller på rørsiden. Det reflekteres f.eks., hvis en mariehøne flyver rundt i røret eller hvis der sidder ålegræs på siden af røret. Ikke mindst kan en radar ikke registrere is på havoverfladen, da is enten ikke reflekterer eller fejlflekterer det elektromagnetiske signal.



Figur 3: Måleprincippet bag en radarmåler



Elektronikskab – Radarmåler, Dragør (DMI)



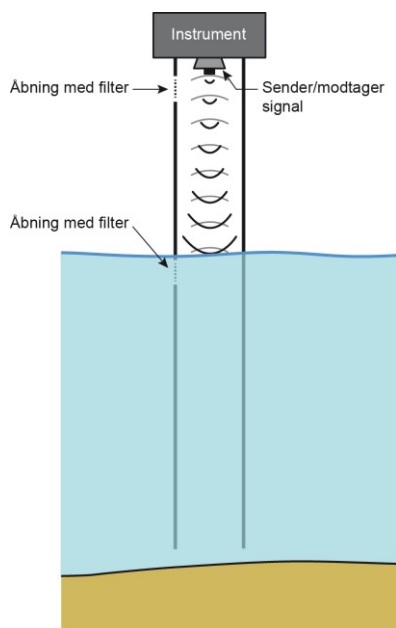
Montering – Radarmåler, Dragør (DMI)

## Ultralyd

Vandstandsmåling ved brug af ultralyd benytter lydets udbredelse til at måle vandstanden.

En fordel ved brug af ultralyd er, at den er stabil i drift.

En ulempe er, at lydets hastighed er afhængig af temperaturen, dvs. temperaturen af den luft signalet passerer mellem instrument og vandoverflade. Dette er især et problem om sommeren, hvor luften i teknikskabet kan blive meget varm.



Figur 4: Måleprincippet bag en ultralydsmåler



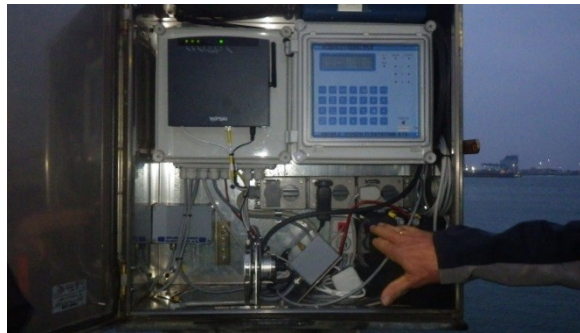
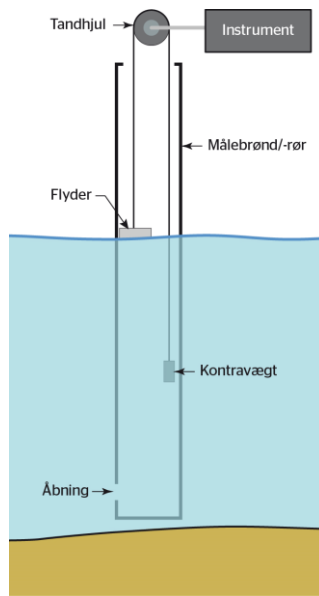
Elektronikskab – ultralyd, Nordre Røse Fyr (DMI)

### 3.1.2 Flydere

En flyder ligger på vandoverfladen og følger denne ved bevægelser op og ned. Flyderen og dens kontravægt er forbundet med et bånd, som går over et hjul, hvis bevægelse registreres, da denne giver forskellen i vandstand.

Fordelen ved flyder er, at det er en enkel og simpel løsning.

Ulemperne er, at det er en mekanisk løsning med slitage af bånd og hjul. Ved forforskning af brønd/rør samt eventuel begroning af flyder ændres opdriften og det giver en målefejl.



Figur 5: Måleprincippet bag en flydermåler Elektroniskab – Flyder, Rønne (KDI)

### 3.1.3 Trykmålere

Disse måletyper baserer sig på princippet, at højden af vandsøjlen kan bestemmes ud fra vandsøjleens samlede tryk og vandtrykket skal måles tæt ved havbunden. Ved omregning fra tryk til højde af vandsøjle skal der tages hensyn til vandsøjleens saltholdighed og temperatur, da vandets massefylde afhænger af disse to faktorer.

Trykmålere findes både som integrerede instrumenter, der synkront måler tryk samt vandtemperatur og/eller konduktivitet, som kan omregnes til saltholdighed, samt som selvstændige instrumenter, som kun måler tryk.

Fordelene ved brug af trykmåler er, at den virker på trods af is på vandoverfladen og at den er simpel at montere.

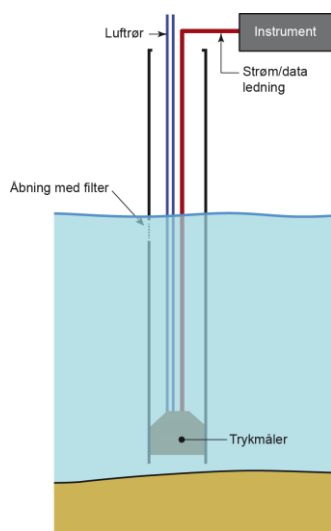
Ulemperne er, at den ved placering i havvand er udsat for begroning, samt at detaljeret kendskab til massefylden (vandtemperatur og saltholdighed) op gennem vandsøjlen ikke er kendt. Dette giver en stor usikkerhed, når måleren er placeret ved f.eks. ferskvandsudløb eller hvor der er udskiftning af hhv. ferske og salte eller varme og kolde vandmasser. Montering af en eller flere temperatursensorer i vandsøjlen kan minimere denne fejlkilde. Måling af saltholdighed er ikke mulig med eksisterende teknologier til saltmålinger, da målerens placering i rør/brønd vil ødelægge denne måling.

En anden ulempe er, at alle trykmålere driver, hvilket betyder, at kalibreringen driver og dermed giver fejlmålinger. Dette sker uanset, om de måler i luft eller vand. Effekten er kendt og i en størrelsesorden på 1 cm/år. Desværre driver nogle trykmålere yderligere af ukendte årsager, og dette kan være i størrelsesordenen 10 cm eller mere pr. år.

Opgøres fejlbudgettet, er den ukendte saltholdighed oftest den største fejlkilde, og denne fejl stiger med stigende vandstand. Fejlen kan være i størrelsesordenen 10 cm eller mere.

Der anvendes tre forskellige metoder til trykmåling; relativ trykmåling, absolut trykmåling og trykmåling med en boblemåler.

### Relativ trykmåler

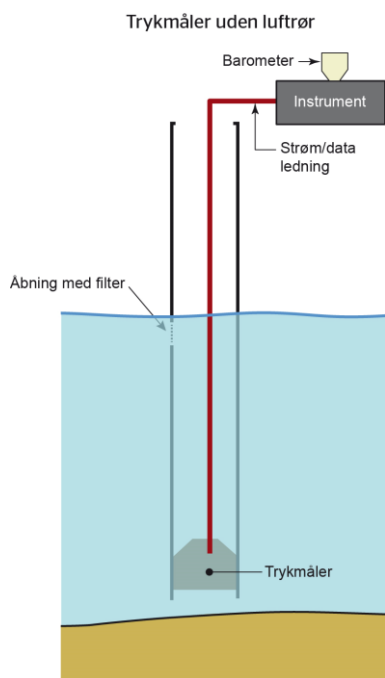


Figur 6: Måleprincippet bag en relativ trykmåler

Relativ trykmåling betyder, at trykket af vandsøjlen måles i forhold til atmosfæretrykket. Måleren er udstyret med et tyndt rør, hvor den ene ende af røret stikker op over vandoverfladen, mens den anden ende er koblet til måleren under vandet. På denne måde kompenseres det målte tryk af vandsøjlen for det atmosfæriske tryk. Det målte tryk svarer derfor kun til højden af vandsøjlen.

Der må ikke komme vand i luftrøret, da det ødelægger målingerne, og det skal derfor beskyttes og ventileres. Desuden skal enden af det tynde rør over overfladen være placeret over højeste vandstand inklusiv en eventuel bølgepåvirkning.

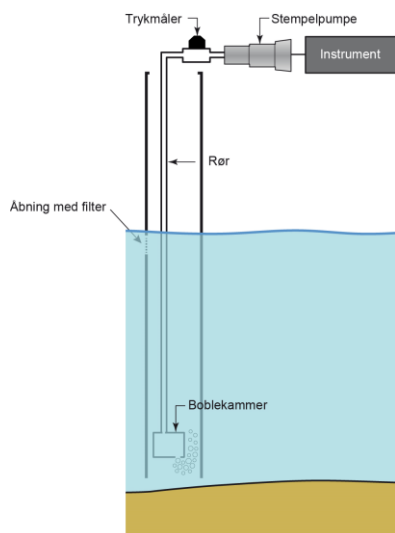
## Absolut trykmåler



Figur 7: Måleprincippet bag en absolut trykmåler

Absolut trykmåling betyder, at trykmåleren måler det absolutte eller det samlede tryk af vandsøjlen og atmosfæren. Her skal målingen korrigeres for atmosfæretrykket, der måles med et barometer, som er placeret så tæt på trykmåleren, som det kan lade sig gøre ud fra de givne forhold på stedet. Ved denne type målere bestemmes vandstanden ved at fratække atmosfæretrykket samt en højdekorrektion jf. placeringen (højden) af barometret fra det målte tryk.

## Boblemåler



Figur 8: Måleprincippet bag en boblemåler

Princippet bag denne type måler baserer sig på, at det tryk, der kræves for at presse vand ud af et rør eller en slange, der er stukket ned i vand, svarer til trykket fra vandsøjlen over boblekammeret. Når trykket er kendt, kan højden af vandsøjlen bestemmes analogt til ovenstående.

Boblemåleren inkluderer en kompressor, der sender luft via en tynd slange ned til et boblekammer, placeret tæt ved eller eventuelt på bunden. Luften komprimeres i boblekammeret, som presser havvandet ud af kammeret. Når kammeret er tømt for vand, bobler luften ud i havet, og trykket på luftsøjlen er nu lig med trykket af vandsøjlen og atmosfæren over. Trykmåleren, som er placeret sammen med kompressoren et godt stykke over havoverfladen, måler successivt atmosfæretrykket og trykket på luftsøjlen (= trykket af vandsøjlen). Trykket kan således omregnes til højde af vandsøjlen helt analogt til de mere traditionelle trykmålere nævnt ovenfor.

Der må ikke komme vand i luftrøret, da det ødelægger målingerne, og det skal derfor beskyttes og ventileres. Desuden skal enden af det tynde rør over overfladen været placeret over højeste vandstand inklusiv en eventuel bølgepåvirkning.

### **3.2 Nøjagtighed på instrumenter**

Nøjagtighed på instrumenter afhænger primært af valgt fabrikat, måletype og måleområde, men der kan indgå yderligere fejl og usikkerheder på det samlede system, f.eks. ved opmåling, eventuel omregning fra tryk til højde af vandsøjle m.v. Disse indgår i det samlede regnskab over fejlkilder og beregning af nøjagtighed, se kapitel 6.

# 4. Etablering, overvågning og datatransmission

I kapitel 4 beskrives forholdene omkring vandstandsmålerens etablering, overvågning og drift.

## 4.1 Etablering af vandstandsmålere

Placering af en vandstandsmåler sker med hensyn til flere overvejelser, såsom målerbehov, økonomi og tilgængelighed. Måleren skal helst placeres et sted, hvor den er forholdsvis nem at installere, beskytte og forsyne med el og kommunikationsforbindelse. Mulighederne for regelmæssig service af måleren skal også tænkes ind i valget af placering.

De fleste vandstandsmålere er placeret i en havn. Der er stor interesse fra havnene i at kende vandstanden, og havnene er et oplagt sted at installere en vandstandsmåler, da den eksisterende infrastruktur gør det nemt at installere en måler ved en kaj, som giver en lettere adgang til måleren.

For at registrere vandstanden ude ved den åbne kyst placeres vandstandsmålere også i kystbeskyttelseskonstruktioner, som f.eks. høfder. Høfder muliggør fastgørelse af målere på høfdernes sider. Måleren fastgøres typisk så langt ude på høfden som muligt for at nedsætte bølgepåvirkningen på den målte vandstand. En kraftig metalkasse støbt ned i høfden beskytter målerudstyret mod udefrakommende stød fra drivtømmer eller sten under storm. Strøm- og telekommunikationsinstallationer er normalt ikke tilgængelig og kræver større gravearbejde ud til høfden.

En anden mulighed for at placere målere ude i vandet kan være på bropiller eller ved et fyr, som er placeret i sunde og bæltter.

Ved flere sluser er der placeret en vandstandsmåler både på inder- og ydersiden af slusen for at måle forskellen i vandstand. Vandstanden på begge sider af slusen indgår i slusens drift. Placering af målere ved sluser kan være en fordel, da sluser er faste konstruktioner, der normalt råder over strøm- og telekommunikationsinstallationer og er tilgængelige via faste veje.

### 4.1.1 Konkrete anbefalinger

Gældende for opsætning af en vandstandsstation over eller i et rør.

#### Placering af en vandstandsstation

Placeringen skal så vidt muligt tage højde for følgende:

##### Oceangrafiske forhold

- Rimeligt åbent bassin
- Ingen stående bølger i bassinet
- Minimal bølgepåvirkning
- Tilstrækkelig dybde
- Ingen ferskvandsudløb i nærheden

##### Kajens beskaffenhed

Kajen skal være stabil, og kajkanten skal bestå af beton eller nyere spuns.



### Beskyttelse af stationen

Stationen bør placeres på et beskyttet sted for at undgå påsejling eller påkørsel mv., forårsaget af arbejde på havneområdet.

### Tilgængelighed

Måleren bør placeres på et sted, som er rimeligt tilgængeligt for service og vedligehold, herunder indmåling i forbindelse med niveausikring ved hjælp af nivellement og GNSS.

### **Montering af rør**

Rør skal fastgøres med solide beslag for at sikre mod skred i beslagene og i øvrigt for at sikre mod vejr og vind. Der skal tages højde for vægten af det samlede system, dvs. vægt af rør – plast eller stål – samt eventuel vægt af elektroniskskab og indhold i dette. Der skal anvendes minimum 2 beslag for at sikre, at røret står fuldstændigt i lod. Ved brug af radar, ultralyd og flyder er dette specielt vigtigt. Mellem beslag og rør bør indsættes træklodser eller andet isolerende materiale for at minimere kuldebroer og dermed isringe på indersiden af røret. Ved brug af radar er dette specielt vigtigt.

Hvis kajen består af træ eller er på ustabil grund, kan et rør spules et godt stykke ned i havbunden, hvorefter røret fyldes med beton/cement. Dette rør fungerer som "kaj".

### **Placering af elektroniskskab**

Elektroniskskabet kan indeholde måleinstrumenter, datalogger, kommunikations-enhed, udluftningsfilter ved brug af relativ trykmåler, batteriback-up osv.

Elektroniskskabet skal placeres over røret ved brug af radar, ultralyd, flyder og boblese nsor og over højest målte vandstand samt bølger.

Elektroniskskabet kan placeres i nærheden ved brug af trykmåler, men bruges trykmåler, der skal ventileres bør der sættes et skab til dette – over højest målte vandstand samt bølger.

Elektroniskskab og eventuelt udluftningsskab bør være af syrefast stål.

### **Placering af et eventuelt elskab/elstander**

Placeres elskab/elstander i nærheden på kajkanten, bør det sikres, at udtag for el er placeret et stykke over højest forventede vandstand + bølger medmindre, der er valgt batteri-backup.

## **4.1.2 Problematikken omkring brønd eller rør**

Vandstandsmåling bør foretages i et beskyttet miljø, dvs. i et rør eller i en brønd for blandt andet at minimere bølgepåvirkning, mindske lysindfald og dermed begroning af eventuelt instrument samt sikre mod flydende genstande.

Etablering af en brønd i kajen er ikke bare en dyr konstruktion, men også en konstruktion, der ikke lige er flytbar, hvis det viser sig, at brønden er uhensigtsmæssigt placeret. Brug af rør er derfor det mest anvendte, da det er langt simplere at håndtere i anlægsfasen.

Bølgepåvirkning er en vigtig fejlkilde. Uanset om der vælges brønd eller rør, er det derfor vigtigt, at diameteren af disse dimensioneres korrekt for at minimere bølgepåvirkning. Bølgepåvirkning kan minimeres ved valg af rette forhold mellem målerrørets/brøndens diameter og størrelsen af åbningen, som vandet kommer ind gennem og/eller med midlingstid, valgt specifikt for hver måler.

Brønde og rør har tidligere kun haft tilløb af havvand i bunden eller i siden lige over bunden. Det viste sig, at denne konstruktion forfærsker over tid, og det derfor er vigtigt, at der laves yderligere tilløb/afløb for havvand i højden og at disse også indgår i dimensioneringen. Kommer der ferskvand ind i en brønd/rør kun med åbning i eller ved bunden, vil dette lægge sig øverst i vandsøjlen og sjældent blive udskiftet. Dette giver en fejl på vandstanden ved brug af alle andre instrumenttyper end trykmålere, da trykket i rør/brønd er lig trykket udenfor i havet, men højden af vandsøjlen i rør/brønd er højere.

Fejlen på vandstandsmåling i forbindelse med forferskning kan være op til 5-10 cm, afhængigt af højden af ferskvandet og forskellen af saltholdet på dette og det underliggende havvand.

Der kan desuden forekomme forferskning af vandet inde i målerørene/-brøndene, som betyder, at vandstanden i rør/brønd er højere end vandstanden udenfor. Dette har ingen betydning for trykmåling, da trykket indenfor og uden for rør/brønd er ens, men det har stor betydning for måling med flyder, radar og ultralyd og fejlen er også her i størrelsesorden 10 cm eller mere.

Denne fejl kan minimeres med placering af yderlige huller i rør/brønd, som sikrer udskiftning af vandet også i toppen af vandsøjlen. Dette sker dog på bekostning af bølger, som yderligere må midles ud. Ved brug af flyder har forferskning desuden en effekt på opdriften af flyderen, afhængigt af valgt materiale til denne.

## 4.2 Overvågning og drift

Løbende overvågning og vedligehold af målere mindsker risikoen for fejl og nedbrud. Derfor bør måler og målinger overvåges jævnligt og helst dagligt. Overvågningen skal dels være en kontrol af, om måleren fungerer, dels om den måler korrekt. Det anbefales løbende at kontrollere, om data driver ved brug af flyder eller trykmåler, om tidsstemplingen er korrekt og om forsendelsen foregår i realtid. Når lufttemperaturen nærmer sig 0°C, kan der komme is på overfladen eller siderne i røret. Dette er problematisk, når radar eller flyder anvendes, hvorfor der bør skiftes til sekundærmåler, hvis en sådan er tilgængelig.

Udstyret til vandstandsmåling bliver slidt. Målerne står i barske miljøer og tæring, slitage, vand i udstyr og lignende er derfor nogle af risiciene ved vandstandsmåling. Løbende vedligehold er derfor nødvendigt.

Begroning eller smådyr i målerør/-brønd kan få udstyret til at sætte sig fast (for flydere), eller resultere i fejlmålinger (for radarer). Rensning af rør og instrumenter bør indgå i det løbende vedligehold.



Eksempel på begroning af rør (DMI)

Ved fejl på eller nedbrud af udstyr bør fejlretning foretages snarest muligt.

Det anbefales, at vandstandsstationer serviceres regelmæssigt (se kapitel 7). Serviceintervallet afhænger af den ønskede datakvalitet og hvordan stationen er konstrueret og etableret samt af det miljø, stationen indgår i. KDI anvender en stationsopsætning med et serviceinterval på minimum 1 gang om året. DMI har udviklet et koncept for vandstandsmåling med brug af radar-måler som primær måler. Disse stationer er optimeret til minimal service.

### **4.3 Datatransmission/-kommunikation**

Data transmitteres til DMI via 1) FTP, 2) Alarmnet eller 3) GPRS i givne formater.

1) FTP er protokol til dataoverførsel via internettet.

2) Alarmnet er et separat kommunikationsnetværk, der overvåges af TDC døgnet rundt og som udsender en fejlmeddelelse, hvis der opstår fejl, der hindrer datakommunikationen.

3) GPRS står for General Packet Radio Service og er en service til at sende og/eller modtage data via mobilnettet. GPRS data er delt op i små pakker for ikke at belaste mobilnettet.

Formatet for dataoverførsel fås ved henvendelse til DMI.

# 5. Niveausikring

Ved opsætning af en vandstandsmåler er det vigtigt, at den måles ind i forhold til et stabilt højdefikspunkt i det landsdækkende højdesystem DVR90 (Dansk Vertikal Reference 1990) i baglandet, så den viser den rigtige vandstand og de rigtige vandstandsændringer. Endvidere er det vigtigt at kontrollere denne højde jævnligt, da vandstanden over tid kan ændre sig i takt med generel vandstandsstigning og terrænændring. Mange havne og områder omkring dem er opfyldt og vil forventeligt sætte sig sammen med vandstandsmåleren, medmindre vandstandsmåleren er fastgjort til f.eks. en piloteret kajkant.

Det anbefales, at vandstandsmåleren kontrolmåles regelmæssig ved et nivellement i nærområdet omkring havnen, for at bestemme de evt. lokale sætninger og for at sikre, at selve måleren ikke har flyttet sig, f.eks. efter en påsejling eller lign. Det kan ske ved hjælp af nivellement. Med jævne mellemrum nivelleres der ikke blot i nærområdet omkring vandstandsmåleren, men der måles ind i baglandet til et eller flere særlige stabile højdefikspunkter. Nivellementet bør udføres som præcisionsnivellement under de til enhver tid gældende guidelines [4] af SDFE eller landmålingstekniker. Nøjagtigheden bør være bedre end 2 mm, eller bedre end 1-2 mm/km for længere nivellement ind i baglandet.

Niveausikring til DVR90 er vigtig for alle anvendelser af vandstandsdata, for at data fra forskellige stationer kan sammenlignes, og for at data kan sammenlignes over tid.

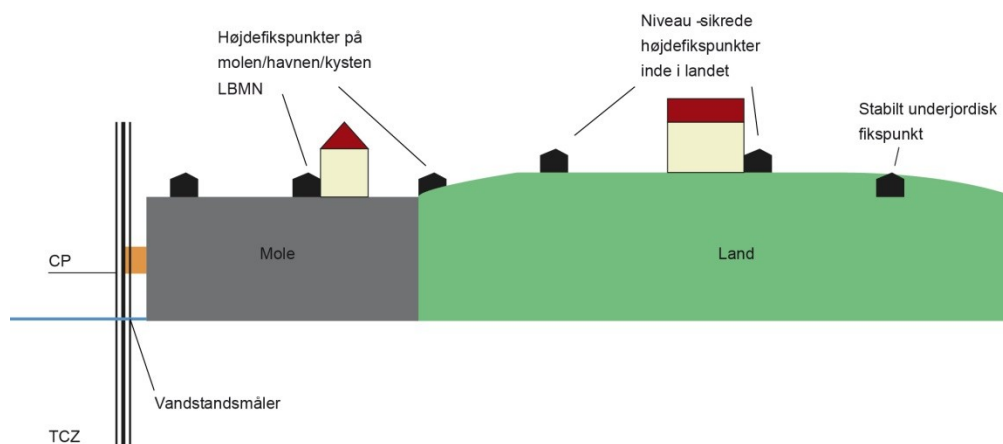
## 5.1 Fikspunkter ved vandstandsmålerne

I forbindelse med kontrolmålingerne mellem de meget stabile højdefikspunkter (kaldet 5D nettet) og vandstandsmåleren, opereres der med flere forskellige punkter i vandstandsmålerens nærhed. I Tabel 2 og Figur 9 er der redegjort for disse punkters normale placering og funktion.

Det skal bemærkes, at de gældende guidelines [3] i første omgang er tænkt gældende for vandstandsmålere af højeste kvalitet og dernæst for alle andre målere, afhængig af den kvalitet, der ønskes.

Tabel 2: Fikspunkter på og omkring en vandstandsmåler.

Fikspunkt	Beskrivelse
<b>TGZ</b> Vandstandsmålerens nulpunkt "Tide Gauge Zero"	TGZ er punktet, hvorfra vandstanden til enhver tid måles fra. Det er dette punkt, som verificeres i forhold til CP. I nogle tilfælde kan punktet f.eks. være defineret som bunden af målerørret, således at vandstanden aldrig falder under dette punkt.
<b>TGBM</b> Vandstandsmålerens referencpunkt "Tide Gauge Bench Mark"	TGBM er det punkt, som er definerende i forhold til vandstandsmålerens TGZ (Tide Gauge Zero). TGBM skal etableres tæt på vandstandsmåleren og være etableret på en sådan måde, at det bedst muligt er sikret en lang levetid.
<b>CP</b> Vandstandsmålerens "Contact Point"	CP er ikke et almindeligt fikspunkt, men en markering på selve vandstandsmåleren. Punktet eller markeringen er defineret i forhold til TGBM, og det er denne højdeforskel som vandstandsmålerens ejer normalt selv måler. Denne højdeforskel skal kontrolleres, hvis der sker fysiske ændringer på målerens opsætning og eventuel udskiftning.
<b>LBMN</b> Vandstandsmålerens nærområdes fikspunktsnet "Local bench mark net"	I forbindelse med kontrol af den interne lokale stabilitet ved TGBM, skal der være mindst 4 højdepunkter i nærområdet (inden for en afstand på 300 m), hvoraf det ene kan være GPS egnet, hvis GPS-muligheden ikke er etableret i forbindelse med CP. Dette er en anbefaling for målere, der skal anvendes til bestemmelse af Danmarks referencenet.



Figur 9: Skitse af vandstandsmåler og fikspunkterne omkring en vandstandsmåler fra molen og hele vejen ind i landet til de stabile højdefikspunkter.

# 6. Oversigt over fejlkilder

## Generelle fejl og usikkerheder - uafhængige af valgt måertype

Opmålinger som inkluderer niveausikring i forhold til DVR samt eventuelle opmålinger af afstande herfra til måleren. Eksempelvis længden på kablet til trykmåleren. Niveausikring kan foretages af SDFE eller landmålingstekniker og fejlen her bør max. være på 2 mm. Eventuel opmåling ellers bør foretages med størst mulig nøjagtighed og bør ikke være større end 3 mm. Samlet set bør dette maksimalt give en usikkerhed på 5 mm.

Valg af datalogger og de beregninger denne evt. foretager bør have en maksimal fejl på 5-10 mm. Afrunding i forbindelse med formatering af data, som sendes, bør ikke medføre en fejl større end 5 mm.

## Eksempler på øvrige fejlestimer

### Radar

Radar anvendt på DMI har en nøjagtighed på ca. 3 mm.

Radaren er monteret på toppen af et stålrør og længdeudvidelsen af dette rør er ved en længde på 300 cm over fastgøringspunkt på maksimalt 5 mm.

### Ultralyd

Ultralydsmålere anvendt på DMI har en nøjagtighed på ca. 15 mm.

Måleren er monteret på toppen af et plastrør og længdeudvidelse af dette rør ved en længde på 300 cm over fastgøringspunkt er på maksimalt 21 mm.

Lydens hastighed i luft afhænger af temperaturen, hvorfor en temperaturføler er integreret i måleren. Men luftens temperatur varierer mellem måler og vandoverfladen især på en varm sommerdag, hvilket tilfører en usikkerhed på 100 mm (worst case) ved lavvande.

Måling med ultralyd er under udfasning ved DMI.

### Flyder

Flyder anvendt af KDI har en nøjagtighed på 10 mm. Nøjagtigheden afhænger af temperaturen, idet rør og bånd udvides, samt forforskning af vandet i røret.

### Trykmålere

Trykmålere anvendt på DMI har en nøjagtighed på 5 mm for boblesensoren og på 26-30 mm for traditionelle trykmålere (relativ trykmåling).

Ved brug af absolut trykmåling og dermed et eksternt barometer skal tillægges en fejl på 10 mm, dog afhængigt af valgt instrument.

Fejl, forårsaget af længdeudvidelse af rør, er på ca. 5,3 mm ved brug af plastrør og på ca. 1,3 mm ved brug af stålrør.

Omregning fra tryk til højde af vandsøjlen foregår efter Trykloven for væsker og gasser:

$$p = h \cdot d \cdot g$$

Hvor

p: tryk i Pa

h: højden af vandsøjlen i m

d: massefylde/densitet i kg/(m<sup>3</sup>)

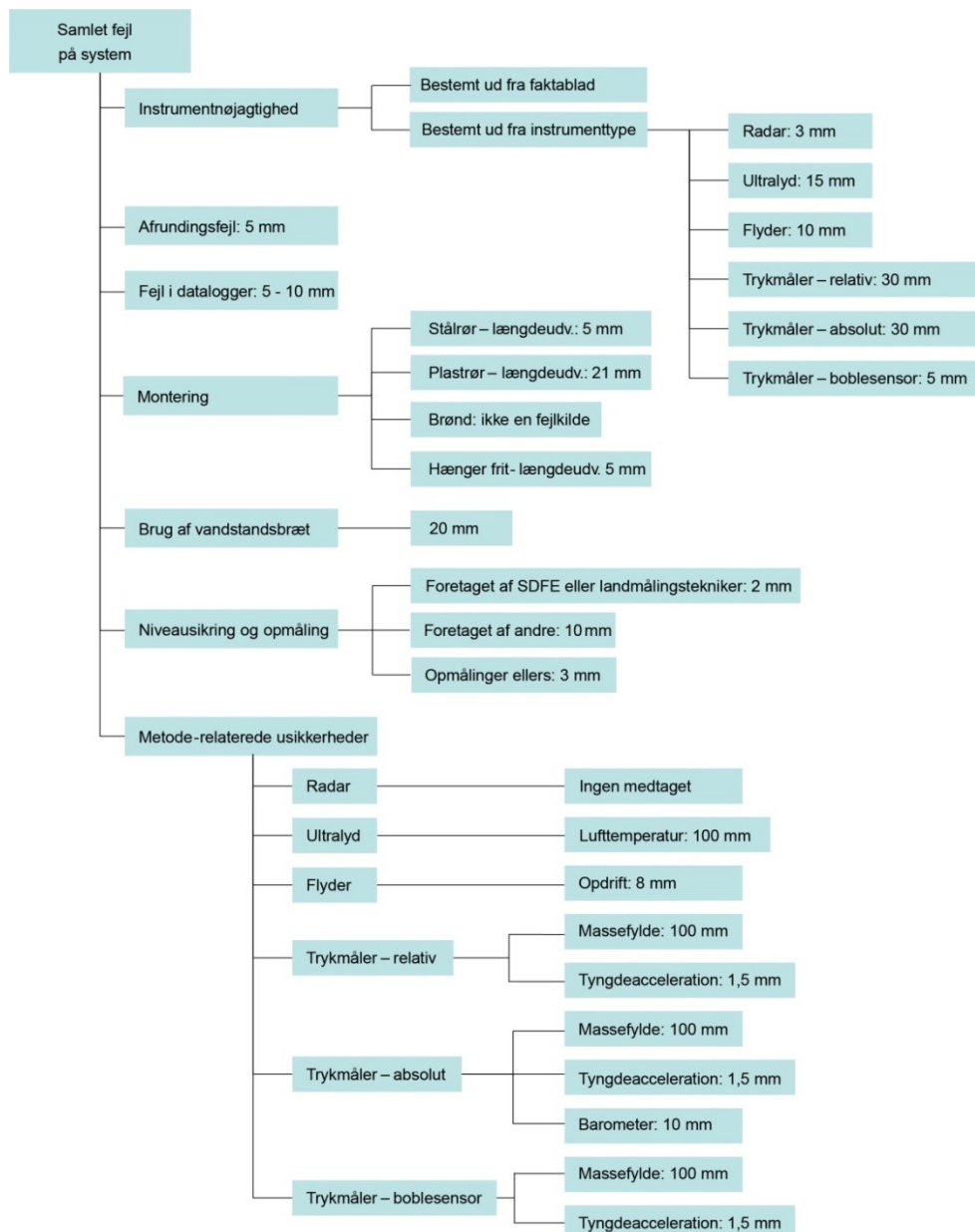
g: tyngdeaccelerationen i m/(s<sup>2</sup>)

Tyngdeaccelerationen i Danmark er fastsat til 9,816 m/(s\*s), men varierer med breddegraden. Denne variation medfører en usikkerhed på max. 1,5 mm.

Massefylden af vandsøjlen over måleren afhænger af vandtemperatur og saltholdighed og disse er ikke konstante op gennem vandsøjlen. Det kan medføre en fejl på vandstandsmålingen på 100 mm tiltagende med højere vandstand.

## 6.1 Estimering af samlede fejl på systemet

Følgende figur 10 viser grafisk estimering af de samlede fejl på et vandstandsmålersystem. Figuren viser de forskellige usikkerhedsområder og estimater angivet i mm. For at komme frem til en samlet fejl på et vandstandsmålersystem, opsummeres de forskellige værdier til den samlede systemusikkerhed.



Figur 10: Estimering af samlet fejl på et vandstandsmålersystem. Ved siden af de anførte usikkerhedsområder, opstår der også fejl på vandstandsmålingen som følge af bølger og dønninger, forferskning og ukendt massefylde af vandsøjlen. Disse fejlkilder er vanskelige at kvantificere, men kan være væsentlige, og det er vigtigt at minimere dem.

For en nærmere redegørelse for beregning af de forskellige fejlkilder henvises der til Bilag A.

## 6.2 Eksempel på samlet oversigt over maksimal fejl på systemet

En samlet oversigt over maksimale fejl på systemet ved de instrumenter og opsætninger, der er beskrevet i begyndelsen af kapitel 6, er givet i Tabel 3.

Tabel 3: Eksempler på maksimale fejl på specifikke vandstandsmålersystemer.

Instrument	Instrument-nøjagtighed (afhænger af fabrikat mv)	Datalogger (afhænger af fabrikat) samt afrunding	Andre fejlkilder	Nivellement samt eventuelle opmålinger	Maksimal fejl på system
Radar	3 mm	< 5 mm	Længdeudvidelse af stålør 1,3 mm	≤ 5 mm	≤ 8 mm
Ultralyd	15 mm	≤ 5 mm	Længdeudvidelse af plastrør 5,3 mm Lufttemperatur 100 mm	≤ 5 mm	≤ 100 mm
Flyder	10 mm	≤ 5 mm	Længdeudvidelse af plastrør 5,3 mm Opdrift 8 mm	≤ 5 mm	≤ 16 mm
Trykmåler – relativ	26-30 mm	≤ 5 mm	Længdeudvidelse af plastrør 5,3 mm Massefylde 100 mm Tyngdeacceleration 1,5 mm	≤ 5 mm	≤ 100 mm
Trykmåler – absolut	26-30 mm	≤ 5 mm	Længdeudvidelse af plastrør 5,3 mm Massefylde 100 mm Tyngdeacceleration 1,5 mm Barometer 10 mm	≤ 5 mm	≤ 110 mm
Trykmåler - boblesensor	5 mm	≤ 5 mm	Længdeudvidelse af plastrør 5,3 mm Massefylde 100 mm Tyngdeacceleration 1,5 mm	≤ 5 mm	≤ 100 mm

Disse fejlestimer er gældende, når instrumenterne er indmålt uafhængig af den aktuelle vandstand. Hvis vandstandsmåleren justeres ud fra aflæsning af vandstandsbræt, skal der tillægges en fejl på ca. 20 mm.



## 7. Forudsætninger og anbefalinger

Viden om vandstanden nationalt og internationalt er afgørende, når vi ser på middelvandstandens udvikling og hvordan den påvirker bølger, oversvømmelse, erosion, saltbalance, det terrænnære grundvand i kystområderne, iltniveauet i Østersøen og meget andet. Vi er nød til at kende fortiden for at forstå nutiden og forudsige fremtiden.

Derfor er det afgørende at have målinger af vandstanden i høj kvalitet, og at kende den samlede sikkerhed på målesystemet, dvs. usikkerheden fra både instrument, installation, de fysiske forhold i målestationen m.v.

Ofte vil en vandstandsmåler være opstillet med ét formål, men vil med få justeringer kunne bruges til flere, vigtige formål og forretningsområder.

For at overskueliggøre mulighederne for synergi, forbedre den daglige drift af marine vandstandsmålere og højne kvaliteten af det samlede regionale og nationale datagrundlag, beskrives forudsætninger og anbefalinger for de forskellige forretningsområder.

Der er forretningsområder, hvor der er få forudsætninger og anbefalinger til kvaliteten af data, og områder, hvor der er flere. Omfanget af forudsætninger og anbefalinger afhænger af den opgave eller det produkt, der ligger i hvert forretningsområde. Der er formelle og tekniske forudsætninger til at forbedre den daglige drift af målerne, samt kvaliteten af det samlede regionale og nationale datagrundlag af marin vandstandsmåling. Under anbefalingerne anføres muligheder for yderligere at forbedre den daglige drift og datakvaliteten.

Beskrivelsen af forudsætninger samt anbefalinger til hvert forretningsområde har dog vist, at der kan opstilles tre grupper, henholdsvis Gruppe A, Gruppe B og Gruppe C. Gruppe A omfatter forretningsområder, hvor der er få forudsætninger til kvaliteten af data, Gruppe B omfatter flere forudsætninger, og Gruppe C omfatter de forretningsområder, hvor der er flest forudsætninger og anbefalinger til kvaliteten af data for marin vandstandsmåling.

Forudsætninger og anbefalinger indenfor hver gruppe af forretningsområder beskrives i forhold til en række emner. Disse emner forklares i Tabel 4.

Tabel 4: Emner til beskrivelse af forudsætninger og anbefalinger

<b>Emne</b>	<b>Beskrivelse</b>
Kommunikation af data	Datatransmission fra måleren til dataserveren, se Kapitel 4.3.
Dataformat	Hvorvidt specifikt format kræves.
Datatilgang til DMI	Hyppighed for datatilgang til DMI.
Tidsstempel	Hvornår målingen skal foretages.
Afsendelsestid	Tid fra tidsstempel til data afsendes.
Niveausikring	Indmåling af vandstandsmåleren til en geodætisk højdereference.
Målenøjagtighed på systemet	Samlet nøjagtighed på måling og processering, se Kapitel 3, 4 og 6.
Datadækning	Længde på dataperioden = Længde på tidsserien – Huller/udfald af målinger.
Dataserielængde	Længde på dataserien.
Meta-information	Information om vandstandsmåleren som f.eks. geografisk placering.
Service af udstyr: verifikation og evt. kalibrering	Service af måleinstrumentet og tilhørende udstyr, se Kapitel 4.2.
Oplysninger om driftsansvarlig og ejer	Kontaktoplysninger på personer, som lokalt er ansvarlige for målerens drift.
Salg/udlevering	Aftaler med målejerne, som regulerer evt. salg eller udlevering af vandstandsdata.
24/7 beredskab	Kontaktoplysninger til relevant beredskab, hvis måleren indgår i lokal stormflodsvarsling.
Varslingsniveau	Krav til fastsættelse af varslingsniveauer.
Overvågning	Anbefalinger om overvågning, se Kapitel 4.2.
Back-up el	Elforsyning af måleren i tilfælde af nedbrud af el-nettet.

I forbindelse med punkterne *niveausikring* og *service af udstyr* er der for nogle forretningsområder ønsket til dokumentation. Her er forventningen, at hhv. resultatet af niveausikringen, f.eks. korrektion for drift, og rettelser foretaget under service, der kan påvirke observationerne, er dokumenteret skriftligt og kan udleveres til relevant myndighed på forespørgsel. Målejer bør derfor opbevare relevant dokumentation.

## 7.1 Forretningsområder indenfor Gruppe A

Gruppe A omfatter 5 forretningsområder (se Tabel 5):

- Præsentation af vandstandsdata på dmi.dk
- Stormflodsvarsling (national)
- Stormflodsvarsling (lokal)
- Miljøovervågning og -modeller
- Salg og udlevering af vandstandsdata

### *Præsentation af vandstandsdata på dmi.dk*

DMI præsenterer vandstandsmålinger og prognoser for en lang række vandstandsstationer på dmi.dk (<http://www.dmi.dk/hav/maalinger/vandstand/>). Siden bruges både af borgere med interesse i vandstanden, for eksempel sejlere, og af myndigheder og virksomheder, der har brug for vandstandsinformation i professionel sammenhæng, som f.eks. i forbindelse med lodserier og erhvervssejlad, eller nationale og lokale beredskaber.

### Ved opfyldelse af forudsætninger

Opfyldes forudsætningerne, kan vandstandsmålinger og prognoser af den pågældende station præsenteres på dmi.dk.

### *Stormflodsvarsling (national)*

DMI varsler for forhøjet vandstand langs de danske kyster. Løbende modelberegning af den forventede vandstand danner sammen med aktuelle vandstandsobservationer grundlaget for vandstandsprognoserne og for varslingen af forhøjet vandstand i danske farvande. Under en

stormflod er de aktuelle vandstandsmålinger og prognoser afgørende for beredskabet og de eventuelle foranstaltninger, der skal beskytte menneskeliv og værdier.

#### Ved opfyldelse af forudsætninger

Opfyldes forudsætningerne, vil den pågældende station indgå i DMI's vandstandsprognoser. Prognose og varslingen kan blive mere nøjagtig i det pågældende område og vil forbedre beslutningsgrundlaget for beredskaberne i henhold til akutte beredskabstiltag.

#### *Stormflodsvarsling (lokal)*

DMI udsender både almene varsler og lokale varsler om forhøjede vandstande. Sidstnævnte udarbejdes for de lokaliteter, hvor der foreligger en samarbejdsaftale med det lokale beredskab eller anden aktør.

#### Ved opfyldelse af forudsætninger

Opfyldes forudsætningerne, kan DMI indgå en samarbejdsaftale om lokal varsling med et lokalt beredskab eller anden aktør.

#### *Miljøovervågning og -modeller*

Marine vandstandsmålinger anvendes til overvågning af vandmiljøet, som Miljøstyrelsen har ansvaret for i Danmark. Denne overvågning er med til at give en forståelse for naturens tilstand, og identificerer hvis natur- og miljøtilstanden viser sig at være for dårlig i forhold til de vandområdeplaner, der er vedtaget.

#### Ved opfyldelse af forudsætninger

Opfyldes forudsætningerne, kan data af den pågældende målerstation anvendes til miljøovervågning.

#### *Salg og udlevering af vandstandsdata*

Vandstandsdata sælges eller udleveres på tværs af de statslige instanser og myndigheder samt i nationale og internationale samarbejder og organisationer. Desuden sælges data til kunder.

#### Ved opfyldelse af forudsætninger

Opfyldes forudsætningerne, kan vandstandsdata sælges eller udleveres af DMI og KDI.



Tabel 5: Forudsætninger og anbefalinger til forretningsområderne indenfor Gruppe A

Emne	Forudsætninger Præsentation på dmi.dk	Forudsætninger Stormflodsvarsling -national	Forudsætninger Stormflodsvarsling -lokal	Forudsætninger Miljøovervågning og - modeller	Forudsætninger Salg/udlevering af data	Anbefalinger Præsentation på dmi.dk	Anbefalinger Stormflodsvarsling -national	Anbefalinger Stormflodsvarsling -lokal	Anbefalinger Miljøovervågning og - modeller	Anbefalinger Salg/udlevering af data
Kommunikation af data	ftp, GPRS eller alarm-net	ftp, GPRS eller alarm-net	ftp, GPRS eller alarm-net	ftp, GPRS eller alarm-net	ftp, GPRS eller alarm-net					
Dataformat	Ifølge DMI's udmelding	Ifølge DMI's udmelding	Ifølge DMI's udmelding	Ifølge DMI's udmelding	Ifølge DMI's udmelding					
Datatilgang til DMI	Realtid hvert 10. minut	Realtid hvert 10. minut	Realtid hvert 10. minut	Hvert 10. minut	Realtid hvert 10. minut					
Tidsstempel	Ved minuttallene 00, 10, 20, 30, 40 og 50	Ved minuttallene 00, 10, 20, 30, 40 og 50	Ved minuttallene 00, 10, 20, 30, 40 og 50		Ved minuttallene 00, 10, 20, 30, 40 og 50	Korrekt indenfor 2 minutter <sup>(1)</sup>	Korrekt indenfor 2 minutter <sup>(1)</sup>	Korrekt indenfor 2 minutter <sup>(1)</sup>		Korrekt indenfor 2 minutter <sup>(1)</sup>
Afsendelsestid						Data bør afsendes fra stationen til DMI i realtid	Data bør afsendes fra stationen til DMI indenfor 5 minutter	Data bør afsendes fra stationen til DMI indenfor 5 minutter		
Niveausikring	ift. DVR90	ift. DVR90	ift. DVR90	ift. DVR90	ift. DVR90				Dokumenteret regelmæssig kontrol ift. DVR90 efter lokal behov	
Målenøjagtighed på systemet							5 cm <sup>(2)</sup>	5 cm <sup>(2)</sup>		
Datadækning						Sikring af målernes funktion ved ekstremt høj vandstand. Datadækningen må ikke afhænge af vejsituationen	Sikring af målernes funktion ved ekstremt høj vandstand. Datadækningen må ikke afhænge af vejsituationen	Sikring af målernes funktion ved ekstremt høj vandstand. Datadækningen må ikke afhænge af vejsituationen		
Meta-information	Position, kort, billeder, mv.	Position	Position		Position					
Oplysninger om driftsansvarlig og ejer	Navn og telefonnummer, mv.									
Salg/udlevering					Fuldmagt ved målere ejet af havnemyndigheder mv.					Fuldmagt over flere år, evt. samarbejdsaftale
24/7 beredskabet			Navn, mailadresse og telefonnummer (24/7)				Navn, mailadresse og direkte telefonnum-mer	Direkte telefonnum-mer		
Varslingsniveau			Fastsættelse af lokalt varslingsniveau							
Overvågning						Daglig kontrol foretaget af ejer/driftsansvarlig	Daglig kontrol foretaget af ejer/driftsansvarlig	Daglig kontrol foretaget af ejer/driftsansvarlig	Online-kontrol foretaget af DMI	Daglig kontrol foretaget af ejer/driftsansvarlig
Back-up el							Batteri-drift	Batteri-drift		

<sup>(1)</sup> For at sikre korrekt sammenligning mellem observationer fra flere stationer og mellem observationer og modelsimuleringer, anbefales det, at tidsstempelen af data for en station, der skal anvendes til præsentation på dmi.dk, stormflodsvarsling eller salg/udlevering af data, er 2 minutter.

<sup>(2)</sup> For at sikre en korrekt varsling med bedst mulig præcision, anbefales det, at målenøjagtigheden på systemet for en station, der skal anvendes til stormflodsvarsling, er 5 cm.



## 7.2 Forretningsområder indenfor Gruppe B

Gruppe B omfatter 4 forretningsområder (Se Tabel 6):

- Verifikation af modeller
- Verifikation af varsler
- Tidevandstabeller

### *Verifikation af modeller/verifikation af varsler*

DMI har ansvaret for varsling af forhøjet vandstande langs de danske kyster. Varslingen bygger på en samlet vurdering af modelprognoser, observationer og viden om stormfloder. Vandstandsdata fra en række stationer benyttes til regelmæssig kvalitetskontrol af model og varsler, med det formål hele tiden at forbedre begge.

### Ved opfyldelse af forudsætninger

Opfyldes forudsætninger, kan vandstandsmålinger af den pågældende målerstation anvendes i verificering af stormflodsmodellen og varsler om forhøjet vandstand. Inddragelse af målinger af højt kvalitet forbedrer modellerne og prognoserne.

### *Tidevandstabeller*

Vandstanden varierer dagligt grundet tidevandet. DMI fremstiller tidevandstabeller for Danmark (samt Færøerne og Grønland). Hertil analyseres lange tidsserier af vandstandsdata.

### Ved opfyldelse af forudsætninger

Opfyldes forudsætninger, kan data af den pågældende målerstation anvendes i forbindelse med fremstilling af tidevandstabellerne for Danmark. Dataserien skal helst være på mindst et år, men i visse tilfælde kan en måneds data gå an, hvilket beror på et skøn af usikkerhederne af en tidevandsanalyse for pågældende station.





Tabel 6: Forudsætninger og anbefalinger til forretningsområderne indenfor Gruppe B

Emne	Forudsætninger Verifikation af modeller	Forudsætninger Verifikation af varsler	Forudsætninger Tidevandstabeller	Anbefalinger Verifikation af modeller	Anbefalinger Verifikation af varsler	Anbefalinger Tidevandstabeller
Kommunikation af data	ftp, GPRS eller alarmnet	ftp, GPRS eller alarmnet	ftp, GPRS eller alarmnet			
Dataformat	Ifølge DMI's udmelding	Ifølge DMI's udmelding	Ifølge DMI's udmelding			
Datatilgang til DMI		Hvert 10. minut				Mindst 1 måling i timen
Tidsstempel		Ved minuttallene 00, 10, 20, 30, 40 og 50			Korrekt indenfor 2 minutter <sup>(1)</sup>	Korrekt indenfor 1 minut, og helst indenfor sekunder. Midles målingen over tid, er ensartet tidspunkt afgørende (f.eks. start/midt/sluttid) <sup>(2)</sup>
Afsendelsestid					Data bør afsendes fra stationen til DMI indenfor 5 minutter	
Niveausikring	ift. DVR90	ift. DVR90	Fast referenceniveau, f.eks. DVR90			Regelmæssig kontrol for at sikre, at referenceniveauet ikke ændres/driver
Målenøjagtighed på systemet	5 cm <sup>(3)</sup>				5 cm <sup>(3)</sup>	Bedre end 10% af tidevandsudsving, sikring mod/korrektion for drift <sup>(4)</sup>
Datadækning	80 % i stormflodssæsonen <sup>(5)</sup>	80 % i stormflodssæsonen <sup>(5)</sup>	Mindst en måneds data <sup>(6)</sup>			Mindst 1 års data med mindst 80 % dækning <sup>(6)</sup>
Meta-information	Position	Position	Position			
Varslingsniveau		Fastsættelse af lokalt varslingsniveau				
Overvågning	Online-kontrol + manuel kontrol foretages af DMI	Online kontrol foretages af DMI	Online-kontrol + manuel kontrol foretages af DMI	Daglig kontrol foretaget af ejer/driftsansvarlig	Daglig kontrol foretaget af ejer/driftsansvarlig	Daglig kontrol foretaget af ejer/driftsansvarlig
Back-up el					Batteri-drift	

<sup>(1)</sup> For at sikre korrekt sammenligning mellem observationer fra flere stationer og mellem observationer og modelsimuleringer, anbefales det, at tidsstemplet af data for en station, der skal anvendes til verifikation af varsler, er 2 minutter.

<sup>(2)</sup> Da beregning af tidevand er særligt følsom overfor variationer i tidsstemplet, anbefales det, at tidsstemplet af data for en station, der skal anvendes til beregning af tidevandstabeller, er 1 minut.

<sup>(3)</sup> For at sikre en korrekt verifikation med bedst mulig præcision og dermed muliggøre høj kvalitet af modeller og varsler fremadrettet, forudsættes det, at målenøjagtigheden på systemet for en station, der skal anvendes til modelverifikation, er 5 cm, og anbefales for verifikation af varsler.

<sup>(4)</sup> For at sikre en præcis beregning af tidevand, anbefales det, at målenøjagtigheden på systemet for en station, der skal anvendes til beregning af tidevandstabeller, er bedre end 10 % af tidevandssignalet ved stationen. Det bemærkes, at jo længere tidsserie der er tilgængelig, des mindre vigtig er præcisionen af den enkelte måling.

<sup>(5)</sup> For at minimere risikoen for at overse begivenheder, forudsættes det, at datadækningen for en station, der skal anvendes til verifikation af modeller og varsler, er mindst 80 % i stormflodssæsonen.

<sup>(6)</sup> For at sikre en præcis beregning af tidevand, forudsættes det, at datadækningen for en station, der skal anvendes til beregning af tidevandstabeller, er af mindst 1 måneds længde, ligesom det anbefales, at den er af mindst 1 års længde med mindst 80 % dækning.



## 7.3 Forretningsområder indenfor Gruppe C

Gruppe C omfatter 4 forretningsområder (se Tabel 7):

- Højvandsstatistikker
- Vurdering af stormflod
- Danmarks referencenet
- Klima- og vandstandsændringer

### *Højvandsstatistikker*

KDI udsender hver 5. år Højvandstatistikker, som er en offentlig tilgængelig statistik af marine vandstandsdata i Danmark. I beregning af statistikkerne indgår ekstraordinære høje vandstande, der typisk forekommer sjældnere end en gang om året. Statistikkerne kan anvendes bredt i planlægnings- og forvaltningsøjemed, samt i risikovurderinger for oversvømmelse. Statistikkerne danner endvidere grundlaget for KDI's indstilling til Stormrådet, om hyppigheden og den geografiske udbredelse af hændelser med høje vandstande langs de danske kyster.

#### Ved opfyldelse af forudsætninger

Opfyldes forudsætningerne, vil dette påvirke statistikernes kvalitet positivt og herigennem føre til en mere pålidelig anvendelse af de statistiske tal på forskellige områder. Den generelle kvalitet af vandstandsdata til beregning af statistikkerne fremgår af Højvandsstatistikken til hver målerstation.

### *Vurdering af stormflod*

Skader, som opstår ifølge oversvømmelse fra stormfloder, er ikke dækket af den almindelige forsikring. Stormrådet, som administrerer en offentlig ordning, kan i disse situationer udbetale erstatning for skader. Stormrådets afgørelse af, om der har været stormflod i et konkret område, er betinget af, at den målte vandstand statistisk indtræffer sjældnere end en 20-års hændelse, dvs. den målte vandstand skal overstige en 20-års vandstand.

#### Ved opfyldelse af forudsætninger

Opfyldes forudsætningerne, kan afgørelsen om udnævnelse af et erstatningsberettiget område baseres på en pålidelig måling af stormflodens højeste vandstand, uden at så tvivl om den målte værdi og selve udpegningen.

### *Danmarks referencenet*

SDFE har ansvar for at fastlægge det landsdækkende referencenet i Danmark. Referencenetet udgør fundamentet for al højdebestemmelse til kortlægning og landmåling i Danmark. For at geodata kan anvendes på en troværdig måde – herunder højdemodellen i klimatilpassningsarbejdet, anlægsprojekter og lignende – skal der være sammenhæng mellem det gældende højdesystem og den faktiske middelvandstand langs kysterne. Vedligeholdelse og opdatering af ét fælles højdesystem, som bygger på vandstandsdata, er derfor vigtig for hele tiden at bevare et fælles grundlag til forskellige opgaver og dermed sikre, at f.eks. nye analyser af klimaudfordringerne er retvisende.

#### Ved opfyldelse af forudsætninger

Opfyldes forudsætningerne, kan vandstandsmålinger af den pågældende station indgå i arbejdet om fastlæggelsen af det landsdækkende referencenet. Det er vigtigt, at kvaliteten på vandstandsdata er høj, fordi et troværdig referencenet er alt afgørende i mange samfundsmæssige sammenhænge.

### *Klima- og vandstandsændringer*

Vandstandsdata anvendes inden for et bredt felt af forskningsområder, herunder analyser om den klimabetingede ændring af vandstanden. Disse analyser er afhængige af nøjagtige data og i nogle tilfælde lange tidsserier.

#### Ved opfyldelse af forudsætninger

Opfyldes forudsætningerne, kan stationen for eksempel indgå i bestemmelsen af historiske ændringer i middelvandstand omkring Danmark. Det er afgørende at forstå disse historiske ændringer, når klimaforskere skal vurdere, hvor meget vandet vil stige med nutidige og fremtidige klimaforandringer.

Tabel 7: Forudsætninger og anbefalinger til forretningsområderne indenfor Gruppe C.

<b>Emne</b>	<b>Forudsætninger Højvandsstatistikker</b>	<b>Forudsætninger Vurdering af stormflod</b>	<b>Forudsætninger Danmarks referencenet</b>	<b>Forudsætninger Klima/vandstandsændringer</b>	<b>Anbefaling Højvandsstatistikker</b>	<b>Anbefaling Vurdering af stormflod</b>	<b>Anbefaling Danmarks referencenet</b>	<b>Anbefaling Klima/vandstandsændringer</b>
Kommunikation af data	ftp, GPRS eller alarmnet	ftp, GPRS eller alarmnet	ftp				ftp	ftp, GPRS eller alarmnet
Dataformat		Ifølge DMI's udmelding			Ifølge DMI's udmelding		Ifølge DMI's udmelding	Ifølge DMI's udmelding
Datatilgang til DMI		Hvert 10. minut			Hvert 10. minut		Hvert 10. minut	Hvert 10. minut
Tidsstempel								Ved minuttallene 00, 10, 20, 30, 40 og 50
Afsendelsestid								
Niveausikring	Dokumenteret regelmæssig kontrol ift. DVR90 efter lokal behov	Dokumenteret regelmæssig kontrol ift. DVR90 efter lokal behov	Dokumenteret regelmæssig kontrol ift. DVR90 efter lokal behov	Regelmæssig kontrol ift. DVR90 efter lokal behov	Hver 3. år kontrol-nivellement til DVR90	Hver 3. år	Permanent GNSS indenfor 1 km. Årlig lokal kontrol-nivellement inkl. GNSS, CP og TGBM. Hver 3. år kontrol-nivellement til DVR90.	GNSS, permanent
Målenøjagtighed på systemet	5 cm på højvandet <sup>(1)</sup>	5 cm på højvandet <sup>(1)</sup>	5 cm månedsmiddel <sup>(2)</sup>		Mindre end 3 cm på højvandet <sup>(1)</sup>	Mindre end 3 cm på højvandet <sup>(1)</sup>	1 cm månedsmiddel <sup>(2)</sup>	5 cm, 1 cm månedsmiddel <sup>(2)</sup>
Datadækning	90 % af målingerne i stormflodssæsonen <sup>(3)</sup>		90 % <sup>(4)</sup>		Mere end 90 % af målingerne i stormflodssæsonen <sup>(3)</sup>		99 % <sup>(4)</sup>	90 % på månedsbasis <sup>(5)</sup>
Dataserielængde							Min. 20 år <sup>(6)</sup>	Min. 20 år <sup>(6)</sup>
Meta-information	Position, kort	Position	Position, kort	Position			Position, kort, billeder mv. sendes til DMI og information om DVR90 tilknytning	
Oplysninger om driftsansvarlig og ejer		Navn og telefonnummer						
Service af udstyr: verifikation og evt. kalibrering	Dokumenteret regelmæssig service efter måletypens behov	Dokumenteret regelmæssig service efter måletypens behov	Dokumenteret regelmæssig service efter måletypens behov		Hyppigere afhængig af måletyper	Hyppigere afhængig af måletyper	Hyppigere afhængig af måletyper	
Overvågning	Ja Kvalitet egnet til formålet	Ja Kvalitet egnet til formålet	Ja Kvalitet egnet til formålet	Ja Kvalitet egnet til formålet	Daglig kontrol foretaget af ejer/driftsansvarlig	Online-kontrol	Daglig kontrol foretaget af ejer/driftsansvarlig	Daglig kontrol foretaget af ejer/driftsansvarlig

- (1) For at sikre en korrekt stormflodsstatistik og bestemmelse af stormfloder med bedst mulig præcision, forudsættes det, at målenøjagtigheden på systemet for en station, der skal anvendes til beregning af stormflodsstatistik og vurdering af stormfloder, er 5 cm på højvandet, og det anbefales, at den er mindre end 3 cm på højvandet.
- (2) For at sikre præcis bestemmelse af langtidsudvikling i referenceniveaue, forudsættes det, at målenøjagtigheden på systemet for en station, der skal anvendes til beregning af Danmarks referencenet, er 5 cm for et månedsmiddel, og anbefales, at den er mindre end 1 cm. For at tillade beregning af ændringer i vandstanden og andre klimarelaterede parametre, anbefales det på samme måde, at målenøjagtigheden på systemet for en station, der skal anvendes til klimaforskning og bestemmelse af vandstandsstigninger er 5 cm på hver enkelt måling, og 1 cm for et månedsgennemsnit.
- (3) For at minimere risikoen for at overse begivenheder, forudsættes det, at datadækningen for en station, der skal anvendes til Højvandsstatistikker, er mindst 90 % i stormflodssæsonen, og det anbefales, at den er højere.
- (4) For at sikre en meget præcis bestemmelse af langtidsudvikling i referenceniveau, forudsættes det, at datadækningen for en station, der skal anvendes til beregning af Danmarks referencenet, er mindst 90 %, ligesom det anbefales, at den er mindst 99 %.
- (5) For at tillade præcise beregninger af vandstandsstigninger og andre klimarelaterede parametre, anbefales det, at datadækningen for en station, der skal anvendes til klimaforskning og bestemmelse af vandstandsstigninger, er mindst 90 % på månedsbasis.
- (6) For at tillade præcise beregninger af ændringer i vandstanden, anbefales det, at tidsseriens længde for en station, der skal anvendes til beregning af Danmarks referencenet og til klimaforskning og bestemmelse af vandstandsstigninger, er mindst 20 år.



## 8. Referencer

- [1] Kystdirektoratet (2017): Kortlægning af marine vandstandsmålere i Danmark. Infrastrukturrapport.
  
- [2] Danmark Meteorologiske Institut (2014): DKC Rapport 06-2014
  
- [3] Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO (2006): Manual on Sea-level Measurements and Interpretation, Volume IV: An update to 2006 & Volume V: Radar Gauges. UNESCO, Paris.
  
- [4] Kort og Matrikelstyrelsen (2011): P. Knudsen og K. Vognsen: Guidelines for tilknytning af 5D-nettet til vandstandsmålerne.

# Bilag A Fejlkilder og målenøjagtigheder

I dette bilag beskrives kendte fejlkilder som indgår i vandstandsmåling, herunder de naturskabte der skyldes f.eks. bølger og forskel i vandtemperatur og saltholdighed i vandsøjlen, de fejlkilder der er forårsaget af montering i rør eller brønd og af valgt målertype og instrument og andet hardware, samt fejlkilder relateret til nivellering og opmåling. Først beskrives generelle fejlkilder, dernæst yderligere fejlkilder relateret til valg af instrument. Hvis muligt, angives formler brugt til beregning af nøjagtigheder, således at et samlet fejlbudget kan anslås for valgt målertype og instrument. Bilaget afsluttes med en beskrivelse af hvordan den samlede fejl på systemet beregnes.

Instrumenter til observation af vandstand måler ikke vandstanden direkte. Vandstanden bestemmes i stedet indirekte ved måling af afstand ned til vandoverfladen (radar og ultralyd), relativt dvs. forskel i niveau fra sidste måling (flyder) eller som måling af trykket af den overliggende vandsøjle eventuelt inklusiv den overliggende atmosfære (trykmålere). Målingen skal efterfølgende omregnes til højde af vandsøjlen, og specielt for trykmålere er dette ikke en simpel omregning. Målertyper er nærmere beskrevet i kapitel 3.1.

## Præmisser brugt i beregninger

I den følgende vurdering af usikkerheder antages det at vandstanden måles i måleområdet 0 - ca. 10 m, hvilket for trykmåling modsvarer 0 - ca. 1000 hPa. Dette for at sikre at både lavvander og især højvander på alle lokaliteter i Danmark kan måles. Vandtemperaturen i Danmark antages at variere over året fra ca. 0 °C til ca. 25° C. Saltholdigheden antages at variere fra ca. 5 ved Østersøen til ca. 35 ved Vesterhavet med stor variation i de mellemliggende indre danske farvande forårsaget af vind og strøm. Se rapportens afsnit 2.1-2.3 for yderligere beskrivelse.

Massefylden af havvand ( $d$ ) varierer som funktion af saltholdighed ( $S$ ) vandtemperatur ( $t$ ) og tryk ( $p$ ). Den officielle formel til beregning af massefylden er kompleks (<http://www.teos-10.org/>). Til brug for beregning af fejl anvendes her en ganske simpel formel (som ikke bør anvendes til andet!):

$$d = 1000 + (-0,15 \cdot t + 0,8 \cdot S)$$

hvor  $d$  er massefylde i  $\text{kg/m}^3$ ,  $t$  er temperatur i °C og  $S$  er saltholdighed. Således bliver fejlen i massefylden:

$$\Delta d = -0,15 \cdot \Delta t + 0,8 \cdot \Delta S$$

hvor  $\Delta t$  og  $\Delta S$  er fejlen i hhv. temperatur og saltholdighed.

## Generelle fejlkilder - Naturskabte

### Bølger

Alle marine vandstandsmålere er påvirket af bølger genereret af vind eller af dønninger. Nogle vandstandsmålere er desuden påvirket af stående bølger grundet f.eks. konstruktion af havn/bassin eller forårsaget af rutesejllads, som kan skabe bovbølger.



Påvirkningen af bølger og dønninger kan minimeres ved montering af instrument i eller over et rør eller en brønd – se også afsnit nedenfor om Rør og brønd

Bølger minimeres via en åbning i bund af rør eller via et tilløbsrør til brønd som fungerer som et mekanisk low-pass filter. Arealet af åbning = 1/100 arealet af rør/brønd.

Påvirkningen af bølger og dønninger kan yderligere minimeres ved midling i selve instrumentet og/eller ved midling i softwaren, som processerer data lokalt på stationen eller eksternt ved modtagelse af data. Denne midling bør være bestemt ud fra de lokale forhold.

### **Rør og brønd**

Montering af instrumenter til vandstandsmåling kan foretages i eller over et rør eller en brønd, da rør eller brønd har en beskyttende effekt ift. lysindfald og dermed begroning af instrumenterne i eller på vandsøjlen samt flydende genstande (sildekasser ol.) på vandoverfladen, osv. Desuden virker rør/brønd bølgedæmpende.

### **Forforskning**

Brug af rør eller brønd kan medføre forforskning, hvilket vil sige at ferskere vand kommer ind i rør eller brønd og lægger sig i overfladen, over det tungere (saltere) vand. Det påvirker målinger med radar, ultralyd og flyder, da vandsøjlen er højere i røret end udenfor.

Da rør eller brønd er forbundet med havet udenfor gælder trykloven for væsker og gasser:

$$p = h \cdot d \cdot g \Rightarrow h = p/(d \cdot g)$$

hvor p er trykket af vandsøjlen i Pa, h er højden af vandsøjlen i m, d er massefylden i kg/m<sup>3</sup> og g er tyngdeaccelerationen i m/s<sup>2</sup>.

Herudfra kan det beregnes at fejlen på højden af vandsøjlen  $\Delta h$  er:

$$\Delta h = h \cdot \Delta d/d$$

hvor  $\Delta d$  er fejlen på massefylden.

Fejl på massefylden bestemmes ud fra ligningen beskrevet ovenfor i afsnittet Præmisser, og da fejlen her skyldes fejl i saltholdighed, antages  $\Delta t = 0$ , og ligningen reduceres til:

$$\Delta d = 0,8 \cdot \Delta S$$

Dermed bliver fejlen på højden pga. forforskning:

$$\Delta h = h \cdot 0,8 \cdot \Delta S / d$$

Fejlberegninger er angivet i Tabel 1 til Tabel 4.

Tabel 1: Fejl i mm pga. forforskning som funktion af saltholdighed uden for røret og fejlen i saltholdighed i røret og en højde af vandsøjlen på 200 cm

Højde af vandsøjle = 200 cm		Fejl i saltholdighed i ‰				
		5	10	15	20	25
Saltholdighed	5	8				
	10	8	16			
	15	8	16	24		
	20	8	16	24	31	
	25	8	16	24	31	39
	30	8	16	23	31	39
	35	8	16	23	31	39

Tabel 2: Fejl i mm pga. forforskning som funktion af saltholdighed uden for røret og fejlen i saltholdighed i røret og en højde af vandsøjlen på 400 cm

Højde af vandsøjle = 400 cm		Fejl i saltholdighed i ‰				
		5	10	15	20	25
Saltholdighed	5	16				
	10	16	32			
	15	16	32	47		
	20	16	31	47	63	
	25	16	31	47	63	78
	30	16	31	47	63	78
	35	16	31	47	62	78

Tabel 3: Fejl i mm pga. forforskning som funktion af saltholdighed uden for røret og fejlen i saltholdighed i røret og en højde af vandsøjlen på 600 cm

Højde af vandsøjle = 600 cm		Fejl i saltholdighed i ‰				
		5	10	15	20	25
Saltholdighed	5	24				
	10	24	48			
	15	24	47	71		
	20	24	47	71	94	
	25	24	47	71	94	118
	30	23	47	70	94	117
	35	23	47	70	93	117

Tabel 4: Fejl i mm pga. forforskning som funktion af saltholdighed uden for røret og fejlen i saltholdighed i røret, og en højde af vandsøjlen på 800 cm

Højde af vandsøjle = 800 cm		Fejl i saltholdighed i ‰				
		5	10	15	20	25
Saltholdighed	5	32				
	10	32	63			
	15	32	63	95		
	20	31	63	94	126	
	25	31	63	94	125	157
	30	31	63	94	125	156
	35	31	62	93	125	156

For at minimere forforskning kan et eller flere huller f.eks. omkring DVR = 0 cm og DVR = 100 cm skabe omrøring. Dette medfører ændrede forhold omkring reduktion af bølger, hvilket der bør tages højde for på anden vis.

### Længdeudvidelse på rør af hhv. plast og rustfri stål

Ved montering og fiksering af instrument hhv. i bund (trykmåler) og/eller top (radar/ultralyd) af et rør, vil længdeudvidelsen af rør grundet opvarmning/afkøling af selve røret medføre en fejlkilde (se Tabel 5 og Tabel 6).

Antagelser:

- Længdeudvidelseskoefficienten er for plastrør ca. 0,07 mm/m°C og for rustfrit stål ca. 0,0165 mm/m°C
- Vandstandsmåleren er fikseret i bunden alternativt i toppen af røret

Faste stoffers længdeudvidelse er:

$$\Delta l = a \cdot l \cdot \Delta t$$

hvor a er længdeudvidelseskoefficienten i mm/m°C, l er længden fra rørets fastgørelsespunkt til instrumentets monteringspunkt i m og  $\Delta t$  er temperaturforskellen i forhold til temperaturen ved opmåling i °C.

Tabel 5: Fejl i mm pga. længdeudvidelse for et rør af plast som funktion af rørlængde og temperaturforskel

Rør af plast		Temperaturforskel i °C				
		5	10	15	20	25
Rørlængde i m	1	4	7	11	14	18
	2	7	14	21	28	35
	3	11	21	32	42	53
	4	14	28	42	56	70
	5	18	35	53	70	88

Tabel 6: Fejl i mm pga. længdeudvidelse for et rør af rustfrit stål som funktion af rørlængde og temperaturforskelle

Rør af rustfrit stål		Temperaturforskel i °C				
		5	10	15	20	25
Rørlængde i m	1	1	2	2	3	4
	2	2	3	5	7	8
	3	2	5	7	10	12
	4	3	7	10	13	17
	5	4	8	12	17	20

### Instrumentrelaterede

Instrumenter til måling af vandstand leveres med et datablad, hvor blandt andet instrumentets måleområde, nøjagtighed og midlingsperiode fremgår.

*Nøjagtighed* angiver hvor præcis selve målingen er, før der tages højde for andre fejlkilder. Den er vigtig, da den indgår i det samlede budget over nøjagtighed på systemet.

*Måleområdet* angiver "spændet" af målingerne – f.eks. fra 0 cm til 1024 cm eller fra 0 til 1024 hPa. Alle instrumenter midler over tid og det er vigtigt at kende *midlingsperioden*.

### AD og DA konvertering samt afrunding

Nøjagtighed på konverter fremgår af det medfølgende datablad. Som eksempel kan nøjagtigheden angives som "Bedre end 0,1 % - kan kalibreres til større nøjagtighed, typisk 0,01 %", hvilket i måleområdet 0 - 10 m svarer til en nøjagtighed på bedre end 10 mm. Dette kan efter kalibrering blive på 1 mm. Afrunding efter beregning medfører en maksimal fejl på 5 mm.

### Nivellement og opmåling

Alle målinger skal relateres og dermed omregnes til et nulpunkt, som i Danmark er DVR90 (Dansk Vertikal Reference 1990). Dette medfører en niveausikring til et ajourført højdefikspunkt. Niveausikring består af en nøjagtig opmåling af højdeforskelle og afstande dvs. afstand fra instrument til vandoverflade eller direkte til DVR90. Niveausikringen udføres af f.eks. en landmålingstekniker eller af Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering (SDFE).

Nivellement (indmåling/niveausikring) udført af SDFE leveres med angivelse af middelfejl, i størrelsesordenen 1,4 mm. Opmålinger efterfølgende af f.eks. rørlængde mv. bør udføres med præcisionsinstrumenter for at minimere fejlen. Som beskrevet i kapitel 6, bør nivellement og opmåling samlet set ikke give en fejl på mere end 5 mm.

## Yderligere fejl relateret til valgt målertype/instrument

### Ultral lyd

Lydens hastighed i luft afhænger primært af lufttemperatur men også af luftfugtighed, dog har sidstnævnte minimal effekt på fejlregninger.

Lydens hastighed ændres med ca. 17 % / °C hvorfor ultralydssensorer er udstyret med en temperatursensor til korrektion. Men denne korrektion er baseret på målt temperatur ved sensoren og tager ikke højde for temperaturgradienten mellem sensor og vandoverflade, som på en varm og solrig sommerdag kan blive stor.

Fejlen på afstandsmålingen  $\Delta s$  er:

$$\Delta s = 17 \text{ mm/m/}^\circ\text{C} \cdot s \cdot \Delta t$$

hvor  $s$  er afstanden mellem sensor og vandoverflade i m og  $\Delta t$  er temperaturforskellen i °C.

Tabel 7: Fejl i mm pga. forskelle i lydens hastighed for et ultralydsinstrument som funktion af afstand og temperaturforskel

		Temperaturforskel i °C				
		5	10	15	20	25
Afstand i m	1	9	17	26	34	43
	2	17	34	51	68	85
	3	26	51	77	102	128
	4	34	68	102	136	170
	5	43	85	128	170	213

### Trykmålere – generelt

Trykmålere måler tryk og ikke højden af vandsøjlen, men ud fra trykloven – se afsnit ovenfor om forforskning. Højden h kan bestemmes som:

$$h = p/(d \cdot g)$$

hvor p er trykket af vandsøjlen i Pa, h er højden af vandsøjlen i m, d er massefylden i kg/m<sup>3</sup> og g er tyngdeaccelerationen i m/s<sup>2</sup>.

### Tyngdeaccelerationen - g

Tyngdeaccelerationen i DK er fastsat til 9,816 m/(s\*s), men reelt varierer den med breddegraden. Dette giver dog kun mindre fejl i størrelsesordenen max. 1,5 mm.

### Massefylden

Massefylden af vandsøjlen ved og over trykmåleren varierer pga. naturlige spring og variationer i temperatur og saltholdighed i vandsøjlen ved og over måleren. Ved omregning fra tryk til højde af vandsøjlen tages imidlertid ikke højde for dette.

Som tidligere nævnt bestemmes massefylde d ud fra vandtemperatur og saltholdighed:

$$d = 1000 + (-0,15 \cdot t + 0,8 \cdot S)$$

hvor d er massefylde i kg/m<sup>3</sup>, t er temperatur i °C og S er saltholdighed i ‰

### Saltholdighed

Fejl forårsaget af at saltholdigheden er anderledes end antaget for stationen beregnes på samme måde som fejl der skyldes forforskning – se afsnit om forforskning ovenfor.

### Vandtemperatur

Analogt til bestemmelsen af fejl forårsaget af saltholdighed er ligningen til bestemmelse af fejl forårsaget af vandtemperatur:

$$\Delta h = h \cdot 0,15 \cdot \Delta t / d$$

Fejlberegninger er angivet i Tabel 8 til Tabel 10.

Tabel 8: Fejl i mm pga. forskel i vandtemperatur for trykmålere som funktion af temperatur uden for røret og fejlen i temperatur i røret for en højde af vandsøjlen på 200 cm

Højde af vandsøjle = 200 cm		Temperaturforskel i °C				
		5	10	15	20	25
Temperatur i °C	0	2	3	5	6	8
	5	2	3	5	6	8
	10	2	3	5	6	8
	15	2	3	5	6	8
	20	2	3	5	6	8
	25	2	3	5	6	8

Tabel 9: Fejl i mm pga. forskel i vandtemperatur for trykmålere som funktion af temperatur uden for røret og fejlen i temperatur i røret for en højde af vandsøjlen på 500 cm

Højde af vandsøjle = 500 cm		Temperaturforskel i °C				
		5	10	15	20	25
Temperatur i °C	0	4	8	11	15	19
	5	4	8	11	15	19
	10	4	8	11	15	19
	15	4	8	11	15	19
	20	4	8	11	15	19
	25	4	8	11	15	19

Tabel 10: Fejl i mm pga. forskel i vandtemperatur for trykmålere som funktion af temperatur uden for røret og fejlen i temperatur i røret for en højde af vandsøjlen på 800 cm

Højde af vandsøjle = 800 cm		Temperaturforskel i °C				
		5	10	15	20	25
Temperatur i °C	0	6	12	18	24	30
	5	6	12	18	24	30
	10	6	12	18	24	30
	15	6	12	18	24	30
	20	6	12	18	24	30
	25	6	12	18	24	30

### Drift af trykmålere

Alle trykmålere driver i størrelsesordenen 10 mm/år – dette er velkendt. Desværre driver nogle trykmålere yderligere op til 100 mm/år og nogle gennem året formodentligt afhængigt af instrumentets egentemperatur.

### Trykmåler med eksternt barometer

Et barometer leveres ligesom en vandstandsmåler med et datablad, hvor nøjagtighed mv. på instrument fremgår. Denne nøjagtighed er gældende ved levering. Men alle trykmålere driver over tid – dermed også barometre. Det er derfor vigtigt at barometre kontrolleres jævnligt mod et kalibreret referencebarometer.

Desuden skal der korrigeres for højdeforskellen mellem barometeret og havoverfladen grundet trykfald, som er i størrelsesordenen 0,13 hPa pr. m.

### **Opgørelse af samlet fejl på målesystem**

Når fejlkilderne vurderes, samles disse i et fejlbudget. Når det samlede budget er opgjort, beregnes den samlede fejl på målesystemet  $\Delta F$ .

Vi antager at alle fejlkilder er uafhængige, dvs. at der ikke er årsagssammenhæng mellem dem. Så kan fejlen beregnes som:

$$\Delta F = (\Delta F_1^2 + \Delta F_2^2 + \Delta F_3^2 + \dots)^{1/2}$$

hvor  $\Delta F_1$ ,  $\Delta F_2$ ,  $\Delta F_3$ , ... er relevante fejlkilder og  $()^{1/2}$  angiver kvadratroden.

# Bilag B Tjekliste for service af marine vandstands-målere

Afhængig af vandstandsmålertype, er der en række generelle og specifikke forhold, der med fordel kan kontrolleres ved service:

## Stationens tilstand generelt:

Målebrønd/rør renses.

Beslag mv. efterses for tæring mv.

Kabler kontrolleres.

Eventuelt elektronikskab efterses for tæring mv.

Eventuelle udluftningsfiltre efterses.

Sensor skaleres.

Sensor offset justeres.

Vandstandsbræt renses.

## Trykmåler – relativ

Luftrør kontrolleres.

## Trykmåler – absolut

Barometer kontrolleres.

Barometerhøjde kontrolleres.

## Boblemåler

Luftrør kontrolleres.

## Flyder

Flyder, kontravægt og bånd renses.

Hjul kontrolleres.

## Radar og ultralyd

Sensor rengøres.

## Hardware ellers

Eventuelle batterier kontrolleres.

Eventuel temperaturmåler renses og kontrolleres.

Tid i logger kontrolleres.

Udstyr ellers kontrolleres.

## Nivellement

Målepunkt på instrument eller i skab kontrolleres i forhold til målepunkt på kaj.

## Vandstandsmåler(e)

Vandstandsmåling(er) kontrolleres.



Eksempel på tjekliste ved service af tryktransmitter:

<b>Tjek- liste Tryktransmitter</b>	
Lokalitet: _____	Tilsynsførende: _____
	Dato: _____
<b>Transmitter</b>	
Relativ Ja / Nej	Absolut Ja / Nej
Kl.: _____ (Realtid)	Kl.: _____ (i logger)
Absolut transmitter: Ånderør renset Ja / Nej	
Relativ transmitter: Barometer kontrolleret Ja / Nej	Barometer højde kontrolleret Ja / Nej
Målebrønd / Rør renset: Ja / Nej	Vandstandsbræt renset: Ja / Nej
Vandstandsbræt aflæst (cm): _____	
Sensor skaleret: Ja / Nej	
Gl. offset i logger(cm) _____	Ny offset i logger (cm): _____
Gl. Vandstand i logger (cm) _____	Ny Vandstand logger (cm): _____
Bemærkninger _____	
_____	

# Bilag C    Kvalitetskontrol ved DMI

På DMI foretages følgende kvalitetstjek af data fra vandstandsstationerne:

1. Automatisk kontrol af data (vandstand samt vandtemperatur) fra alle målere ved modtagelse af data.
2. Manuel kontrol af data fra DMIs primære målere efter afslutning af hver kalendermåned.
3. Nulpunktsjustering af data fra DMIs primære stationer efter modtagelse af nivelleringer, hvis f.eks. kaj/udstyr har sat sig.
4. Justering af data fra sekundærmålere mod data fra primærmålere årligt i september (inden opstart af stormflodssæsonen).

Hertil skal tillægges visuel kontrol og overvågning af data på hverdage.

## **Automatisk kontrol**

### Vandstandsdata

Automatisk tjek af data er en kontrol, som udelukkende tjekker data fra én station, eventuelt mod tidligere data fra samme station. Den er baseret på grænseværdier fastlagt ud fra historiske data og ved tilgang af nye målere ved simpel interpolation mellem grænseværdier fra nærliggende stationer. Efter stormfloder tilpasses grænseværdierne, hvis disse er blevet overskredet eller fundet uhensigtsmæssige.

Følgende kontrol er valgt til vandstand:

- Step:            Fastlæggelse af en maksimal værdi for ændringen mellem 2 på hinanden følgende observationer.
- Konstant:        Fastlæggelse af hvor lang tid flere på hinanden følgende observationerne må være ens.
- Max:             Fastlæggelse af en maksimumværdi, som observationen ikke må overskride. Værdien er fastsat et godt stykke over højeste målte vandstand.
- Min:             Fastlæggelse af en minimumværdi, som observationen ikke må komme under.
- Konsistens:      Hvis vandtemperaturen er forkert – se nedenfor - fejlmarkeres vandstanden (trykmåling)

Rækkefølgen af kontrolpunkterne er nøje overvejet, da kontrollen stopper efter første tjek, der melder fejl.

## **Vandtemperatur**

Følgende kontrol er valgt til vandtemperatur: step, max og min med forklaring som ovenstående. Der er taget udgangspunkt i temperaturen i de danske farvande ikke varierer geografisk, men kun over året. Dvs. grænseværdierne for vandtemperatur er gældende for alle stationer. Dog er der specielle forhold mht. step-kontrollen gældende for stationerne i Esbjerg og Vidå, da målerne her er placeret i en brønd.

Ved overskridelse af grænseværdi flagmarkeres data i databasen.

Ingen automatisk kontrol er perfekt og der bliver flaget korrekte data og der går også fejlagtige data igennem kontrollen uden at blive flaget. Disse er få og de kan blive opdaget i den manuelle kontrol efterfølgende.

#### **Manuel kontrol**

Manuel kontrol af data foretages for DMIs 33 primære målere ved visuel kontrol.

Findes yderligere fejl, flagmarkeres disse i databasen. Der er også mulighed for at "afflage" tidligere satte flag, hvis den manuelle kontrol godkender målingerne

#### **Nulpunktsjustering af data**

Justering af data foretages bagudrettet, når og hvis nivellementer modtaget fra SDFE indikerer at kaj eller udstyr har sat sig, dvs. 0-punktet er ændret. Dette kan ske med flere års forsinkelse.

#### **Justering af sekundærmålere**

DMI har pt. 18 stationer med sekundærmålere. Disse er alle trykmålere. Sekundærmålere på DMIs stationer (pt 18) består alle af trykmålere, som driver; nogen mere end andre. Årligt lige inden stormflodssæsonen plottes data fra hhv. primær- og sekundærmåler og et eventuelt offsæt disse imellem beregnes og anvendes til justering af sekundærmåleren.

# Bilag D Kommissorium for udarbejdelse af vandstandsmålermanual

Vandstandsdata anvendes af mange offentlige og private aktører i Danmark, herunder stormflodsvarsling og udpegning af stormflodsramte områder, monitoring og modellering af havstigninger, klimaændringer og de udfordringer, der følger med muligheden for hyppigere og mere intensive ekstremhændelser i fremtiden. Endvidere er vandstandsmålinger vigtige for sejlads-sikkerhed, fastlæggelse af højde referencesystemer og forvaltning af vandmiljø. Data fra måling af vandstanden danner derfor samlet et afgørende grundlag for mange tekniske og forvaltningsmæssige aktiviteter og beslutninger.

En tværministeriel arbejdsgruppe har under Kystdirektoratets formandskab tilvejebragt en samle national kortlægning af infrastrukturen og udfordringerne ved alle marine vandstandsmålere i Danmark, herunder målerens fysiske forhold og drift samt databehandlingen, datalagringen og datatilgængeligheden, inklusiv fejlkilder i forbindelse med dataregistrering og datahåndtering.

Kortlægningen viser ved nogle målere udfald af vandstandsmålingerne og en utilstrækkelig kvalitet eller undladt datahandling, som medfører ufuldstændige og ikke-kvalitetssikrede dataserier for vandstandsmåling. Der er derfor behov for at udarbejde en beskrivelse af et standardiseret behov for driften af marine vandstandsmålere, samt forhold omkring datalagring, kvalitetskontrol og datatilgængelighed.

Der udarbejdes en vandstandsmålermanual og kategorisering for marine vandstandsmålere.

## Formål og opgaver

Vandstandsmålermanualen for den marine vandstandsmåling skal være et redskab til både private, lokale og offentlige ejere af målere at vejlede i, hvordan en marin vandstandsmåler bør drives. Ved manualen bliver det lettere for, særligt lokale ejere, at undersøge, hvad en marine vandstandsmåler kræver ift. placering og måleteknik, samt ressourcer til vedligehold af måler og data.

Udarbejdelse af en vandstandsmålermanual og kategorisering for marine vandstandsmålere indeholder følgende elementer:

- Definition og fastlæggelse af kategorier for marine vandstandsmålere der sætter et standardiseret behov for marine vandstandsdata i relation til de forskellige forretningsområder.
- Udarbejdelse af en manual for marine vandstandsmålere under inddragelse af kategoriseringen for marine vandstandsmålere, der definerer minimumskrav til infrastrukturen for vandstandsmåling.
- Indordning af de eksisterende vandstandsmålere i de fastlagte kategorier for at skabe et mere pålideligt overblik og kendskab over alle målerens tilstand og datakvalitet.

- Udarbejdelse af en bred informations- og formidlingsproces der introducerer konceptet om vandstandsmålermanualen og målerkategorierne, hvoraf vigtigheden af marine vandstandsmålinger og vedligehold af målerne tydeliggøres over for kommunerne og de lokale målerejere.
- Offentliggørelse af manualen for marine vandstandsmålere.

### **Proces og organisering**

Manualen udarbejdes af en tværministeriel arbejdsgruppe bestående af Naturstyrelsen v/ Kystdirektoratet (formand), DMI, Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering, Miljøstyrelsen v/NOVANA og DTU Space. Andre interessenter inddrages efter behov.

Analysen igangsættes februar 2017 og afsluttes med offentliggørelse af manualen ultimo december 2017.



Kystdirektoratet  
Højbovej 1  
7620 Lemvig

[www.kyst.dk](http://www.kyst.dk)