



Energistyrelsen



Hydrografi og sediment

Datablad

Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

T: +45 3392 6700

E: ens@ens.dk

www.ens.dk



Miljøovervågning som grundlag for en strategisk og bæredygtig udbygning af havvind i Danmark

Danmark står over for en markant udvidelse af kapaciteten inden for havvindenergi. Som led i den grønne omstilling og målet om klimaneutralitet, planlægges det at etablere en række nye og langt større havvindmølleparker, end tidligere set. Denne udbygning indebærer væsentlige miljømæssige overvejelser, som skal håndteres med omtanke og på et oplyst grundlag.

Energistyrelsen har derfor anmodet NIRAS A/S om at udvikle omfattende og fagligt funderede overvågningsprogrammer for en række centrale miljøparametre. Disse programmer skal bidrage til at skabe et solidt vidensgrundlag og danne et fagligt fundament for fremtidige vurderinger af miljøpåvirkninger fra havvindmølleparker.

Forslag til overvågningsprogram for de udvalgte miljøemner er beskrevet i "datablade" for hvert emne og der er til hvert emne et uddybende "baggrundsnotat". Databladene indeholder konkrete forslag til overvågningsprogrammer, herunder detaljer om antal prøvetagninger, frekvenser og metoder for indsamling af data. Et overvågningsprogram vil altid skulle tilpasses det enkelte projekt, hvorfor de konkrete programmer ikke nødvendigvis følger den fulde metodik i databladene.

Databladene vil løbende og efter behov blive revideret og de nyeste versioner vil være at finde på Energistyrelsens hjemmeside.

Produkt: Hydrografi og sediment - Datablad

Udgiver: Energistyrelsen

Billeder og illustrationer: NIRAS A/S

Dato: september 2025

Version: 1.0



1. Introduktion.....	4
2. Leverancer.....	5
2.1 Målerapport.....	5
2.2 Indberetning.....	6
3. Baseline.....	6
3.1 Generelle målinger	7
3.1.1 Bathymetriske målinger	7
3.2 Hydrografiske målinger.....	7
3.2.1 Stationære hydrografiske målinger.....	7
3.2.2 Profilmålinger (CTD).....	8
3.2.3 Hydrografiske linjemålinger	8
3.2.4 Forventet måle præcision	9
3.3 Sedimentmålinger.....	9
3.3.1 Sedimentmålinger til brug for bundkomposition, kornstørrelser og substrat	9
3.3.2 Stationære sedimentologiske målinger	9
3.3.3 Profilmålinger (CTD).....	9
3.4 Kvalitetssikring.....	10
3.5 Kalibrering af udstyr.....	10
4. Konstruktionsfasen.....	10
4.1 Hydrografi	10
4.2 Sediment.....	10
4.2.1 Målinger	10
4.2.2 Remote sensing.....	10
5. Driftsfasen	11
5.1 Hydrografiske målinger og modellering	11
5.2 Sediment.....	11
6. Referencer.....	12



1. Introduktion

Formålet med dette datablad er at beskrive en metodik til monitorering af vindmølleparker med henblik på at dokumentere en eventuel effekt på hydrografi, sedimenttransport og/eller morfologi, samt i samspil med andre datablade at dokumentere en afledt effekt på biologi mv.

Dette datablad omhandler således hydrografi og sediment. Dvs. vandets og sedimentets bevægelser og de deraf afledte fysiske konsekvenser som fx erosion/deposition, blokeringseffekter, transport af suspenderet materiale, morfologi og ændringer i de fysiske parametre som fx salt, temperatur og iltindhold. Hydrografi og sediment i nærværende sammenhæng omfatter således:

- 1) Bathymetri
- 2) Vandstand
- 3) Bølger
- 4) Strøm
- 5) Vandtemperatur
- 6) Salinitet
- 7) Turbiditet, baggrundskoncentration
- 8) Morfologi og sedimentsammensætning på bunden.

For at monitorere en effekt på hydrografien og sedimentet er det nødvendigt at dele monitoringsprogrammet op i 3 faser:

- I. Baseline: Perioden inden møllefundamentterne opstilles.
- II. Konstruktionsfasen: Perioden imens møllerne opstilles.
- III. Driftsfasen: Perioden imens møllerne er i drift.

Da møllerne ofte er fordelt over et stort område inden for en havvindmøllepark, og de effekter man leder efter ofte er i samme størrelsesorden eller mindre end de naturlige variationer, stilles der store krav både til det måleudstyr som anvendes og den metodik man anvender.

Alle de nævnte parametre varierer horisontalt over tid; og strøm, vandtemperatur, salinitet, og turbiditet varierer også vertikalt, hvilket yderligere skærper kravene til den valgte metodik og det måleudstyr der anvendes.

En væsentlig parameter styrende for de hydrografiske og sedimentologiske forhold er vinden, som også forventes påvirket af vindmøllerne og derfor skal inkluderes i den hydrografiske og sedimentologiske undersøgelse.

De enkelte faser er overordnet beskrevet i dette blad og i detaljer i det tilhørende baggrundsnotat. Databladet indeholder følgende afsnit:



- **Afsnit 1: Indledning**
- **Afsnit 2: Leverance**
Heri beskrives krav til dokumentation for kvalitetssikring, beskrivelse af måleudstyr, format og struktur for levering af måledata, præsentation af målinger og kommentarer til det målte.
- **Afsnit 3: Baseline**
Heri beskrives data der skal indsamles, suppleret med opsætning af numerisk model.
- **Afsnit 4: Konstruktionsfasen**
Heri beskrives data der skal indsamles, de begrænsninger der er i data og hvorfor de skal suppleres med en numerisk hydraulisk- og sedimentspredningsmodel.
- **Afsnit 5: Driftsfasen**
Heri beskrives data der skal indsamles i driftsfasen og hvorfor de skal suppleres med numeriskemodeller.
- **Afsnit 6: Referencer**
Liste i alfabetisk orden over anvendte referencer.

2. Leverancer

Målingerne skal dokumenteres i form af en teknisk målerapport, samt en digital leverance med rådata fra målingerne. Nedenfor angives krav til indhold i den tekniske rapport, og til indholdet af den digitale leverance.

2.1 Målerapport

Målerapporten skal udarbejdes og indeholde følgende:

1. En overordnet opsummering, der præsenterer de primære fund på et ikke-teknisk niveau.
2. En teknisk opsummering, der diskuterer målene og hvordan de blev opnået. Detaljerede fund, konklusioner og resultater skal præsenteres.
3. En detaljeret beskrivelse af måleprogrammet, herunder:
 - 3.1. Udsætningsprocedure.
 - 3.2. Målelokationer i både koordinater og grafisk på et kort.
 - 3.3. Udsætningsdybde.
 - 3.4. Udsætnings- og hentningsdato og -tid i UTC.
4. Måleopsætning, herunder teknisk beskrivelse af målesystemer, fortøjning med mere.
5. Udstyrskalibrering, herunder både laboratoriekalibrering og kalibreringstjek. Certifikater skal vedlægges i appendiks.
6. Teknisk beskrivelse af analysemetodologi og anvendte metrikker.
7. Resultater, inklusive alle numeriske tabelresultater (kan placeres i appendiks) og grafiske resultater.
8. Diskussion.
9. Konklusion.
10. Appendikser, der inkluderer datablade for målesystemer, sonder, fortøjninger, kalibreringscertifikater, ekstra resultater (numeriske tabeller).

Ud over målerapporten skal en digital levering udarbejdes. Den digitale levering skal indeholde:



1. Alle optagede data:
 - 1.1. Filerne skal være i en mappestruktur med 1 mappe pr. målestation
 - 1.2. Hvis der blev udført mere end én udsætning på en eller flere stationer (med samme eller forskellige instrumenter), skal hver udsætning være i en separat mappe.
 - 1.3. Navngivningskonventionen for hver fil skal inkludere:
 - 1.3.1. UTC-dato og -tid
 - 1.3.2. Målestations-ID
 - 1.3.3. Tilknyttet hver måleperiode skal være komplette metadata for instrumentet, inklusive serienummer.
2. Alle relevante logfiler, herunder:
 - 2.1. GPS-log for målestationer (i det omfang GPS systemer anvendes).
 - 2.2. Udsætnings- og indhentnings logfiler
 - 2.3. Målesystemlogfiler
3. Digitale (.png eller .jpeg) filer af alle resultatplots.
4. Data Excel-filer med numeriske resultater (hvis ikke inkluderet i appendiks), enten som csv-filer eller HTF5-filer, i overensstemmelse med ICES-standardformatet.
5. Kalibreringscertifikater (pdf).

2.2 Indberetning

I nuværende version er det endnu ikke fastlagt, hvor data skal indrapporteres. Dette vil fremgå i en senere opdatering af databladet.

Som udgangspunkt skal nedenstående indberettes:

- Rådata navngivet som påkrævet (se kapitel 2.1).
- Rådata skal være kvalitetssikrede.
- Kalibreringsdokumentation for hver enhed.
- Dokumentation af software og versionsnummer.
- Metadata der entydigt linker rådata til positioner og perioder.
- Analyse scripts skal opbevares af den virksomhed der udfører overvågningen til evt. dokumentation.

3. Baseline

I baseline ønsker man viden om de naturlige variationer af de fysiske parametre. Typisk over ti år eller mere, fordi de naturlige variationer fra måned til måned og fra år til år kan være signifikante. Da man som oftest ikke har lange data serier til rådighed er tilgangen, at man laver et måleprogram over en afgrænset periode, som så benyttes til at opsætte og kalibrere en dedikeret numerisk model (se baggrundsnotat), der kan benyttes til at udføre hindcaste (generere) data for de sidste 10 år eller mere. Dette er beskrevet i det følgende.



3.1 Generelle målinger

3.1.1 Bathymetriske målinger

Der skal laves geofysiske målinger (dybdemålinger) omfattende det udlagte vindmølleareal inklusive kabelkorridorer samt en buffer på 500 m omkring det hele. Hvis det er muligt at etablere et uforstyrret, referenceområde, der tjener til sammenligning med det egentlige mølleområde, men uden den fysiske påvirkning fra etableringen af fundamenterne, gøres dette. Dette vil erfaringsmæssigt være et område som er minimum 500m - 1000m fra nærmeste mølle, hvor de 1000m særligt vil være gældende for parker med de største møller. Referenceområdet kan benyttes til at se om der fx er en naturlig erosion/deposition som ikke har noget med vindmøllerne at gøre. Hvis referenceområdet ikke kan findes inden for mølleområdet, kan tilsvarende målinger udføres for et alternativt referenceområde uden for havvindmølleområdet. At lokalisere et referenceområde er oftest en vanskelig opgave, hvorfor den udlagte 500 m buffer eventuelt kan anvendes som referenceområde hvis den kan betragtes som repræsentativ, dvs. området skal ligne mølleområdet på alle parametre og være upåvirket af andre evt. aktiviteter i undersøgelsesperioden. Sådanne kunne være klappning, havneudvidelser eller lignende. Kan man ikke lokalisere et egnet referenceområde kan man også overveje at lave tidsforskudte bathymetriske målinger for at se den naturlige tidslige udvikling i mølleområdet. Disse skal helst være over flere år.

Ved etablering af kystnære mølleparker skal lokale kystområder inkluderes i ovennævnte undersøgelser, hvis de vurderes at være inden for påvirkningsområdet.

Følgende målinger skal foretages:

- Side-scan sonar (SSS) er en type sonarsystem, der bruges til at skabe detaljerede billeder af store områder af havbunden. Som indenfor marinarkæologi og identifikation af potentielt ueksploderet ammunition (UXO) benyttes SSS til lokalisering og kortlægning af undervandsartefakter og skibsvrag og indenfor miljø til kortlægning af havbundens habitater og ændringer i sedimentforholdene, herunder substrat klassificering (GEUS, 2024).
- MBES (multibeam), et multistråleekkolod, der bruges til detaljeret kortlægning af havbunden mht. vanddybde og habitats kortlægning. Udføres som minimum iht. S-44 Exclusive Order (International Hydrographic Organization, 2020).
- Grøn LiDAR bruger grønne lasere med en bølgelængde på 532 nm til at trænge igennem vand for at måle vanddybden i lavvandede områder.

3.2 Hydrografiske målinger

3.2.1 Stationære hydrografiske målinger

Til indhentning af kontinuerte tidsserier skal der udlægges minimum én målebøje til måling af de fysiske parametre. Det kunne fx være en FLiDAR i kombination med en CTD (Conductivity, Salinity, Temperature, and Depth) og en OBS (Optical Back Scatter til måling af sediment koncentrationer), eller en LISST (Laser In-Situ Scattering and Transmissometry). Hvis der benyttes OBS eller en anden optisk metode til måling af suspenderet sediment koncentration (SSC – suspended sediment concentration) skal der udtages et



repræsentativt antal (typisk 10 - 50 ved forskellige koncentrationsniveauer) vandprøver til bestemmelse af SSC, så man kan lave en konvertering fra NTU (Nephelometric Turbidity Units) til SSC (mg/l) til brug for baseline (baggrundskoncentration). For metode beskrivelse se (FEHY consortium , 2013).

Bøjen udlægges for en periode af minimum et år på en repræsentativ position, som udvælges på grundlag af områdets strømningsmæssige karakteristika inden for det planlagt havvindmølleområde. Hvorvidt en målebøje kan repræsentere hele havvindmølleparken skal baseres på en faglig vurdering.

Data der som minimum skal måles er:

- Vind,
- Vandstand,
- Bølger,
- Strøm – profil for beskrivelse den vertikale variation (ADCP),
- Vandtemperatur (minimum 3 niveauer),
- Salinitet (minimum 3 niveauer),
- Turbiditet -baggrundskoncentration af suspenderet sediment (minimum 3 niveauer i vandsøjlen).

De tre niveauer skal være 2 m over bunden, midt i vandsøjlen og 3 m under havoverfladen, hvis mindre end 10 m vand justeres dybderne forholdsmæssigt og den midterste kan undlades.

3.2.2 Profilmålinger (CTD)

I supplement til de stationære bøjemålinger skal der udføres profilmålinger på en række positioner inden for vindmølleområdet svarende til minimum et profil pr. 10 km². Profilmålinger skal udover at beskrive forholdene inden og uden for det betragtede vindmølleområde også fungere som kontrol af målebøje(rne) og, som minimum, omfatte:

- Strøm/flux (ADCP med "bottom track" og kompensation for "heading, acceleration and tilt"),
- Vandtemperatur,
- Salinitet,
- Turbiditet, vandprøver til analyse for sedimentindhold mm.

For kvalitet og metode vedr. dybde, konduktivitet og temperatur henvises der til (Aarhus Universitet, 2014-02-24) og (Dansk standard, 2021).

Målingerne skal som minimum udføres en gang pr. måned dækkende perioden, hvor målebøjen er udlagt.

3.2.3 Hydrografiske linjemålinger

Som supplement til profilmålingerne og de kontinuerte målinger skal der udføres målinger af strøm langs linjer i havvindmølleparken og udenfor med ADCP eller lignende til beskrivelse af den vertikale variation af strømmen (vertikal opløsning 1-2m). ADCP'en skal være af typen med "bottom track" inklusiv kompensation for kompasretning, acceleration og hældning (heading, acceleration and tilt), så også flux'en over linjen kan bestemmes. Måleprogram



3.2.4 Forventet måle præcision

De forventede måle præcision er vist i tabel 3.1.

Tabel 3.1: Specifikation for forventede måle præcisioner og målefrekvenser for FLiDAR eller et lignende apparat.

Sensor	Præcision	Interval	Tidsligopløsning
LiDAR	<0.5% hastighed, <0.5° retning	Vindhastighed: <1m/s til 70m/s, højde: 10-300m	10 minutter
Anemometer	±2% @ 12m/s	Vindhastighed 1m/s to 65m/s	10 minutter
Barometrisk tryk	±0.2hPa @ 25°C	Tryk 500-1100hPa	10 minutter
Luft temperatur	±0.3°C	-40°C to +60°C	10 minutter
Konduktivitet og temperatur	Konduktivitet ±0.0003 S/m, Temperatur ±0.002 °C	Konduktivitet 0 to 7 S/m, Temperatur -5°C to +35°C	10 minutter
Bølger	1%	Periode: 1.5-33 sekunder, Heave: ±20m	30 minutter
Strøm profil (ADCP)	0.5% af vandhastigheden relative til ADCP'en ±0.5 cm/s	Hastighedsinterval ±5m/s default, ±20m/s max., per 1 til 2m over vanddybden	10 minutter
Turbiditet	1%	0-1000 NTU Temperatur interval -5 til 30°C	10 minutter

3.3 Sedimentmålinger

3.3.1 Sedimentmålinger til brug for bundkomposition, kornstørrelser og substrat

Udover de sedimentmålinger som laves sammen med de stationære hydrografiske målinger og profilmålingerne skal der udtages sedimentprøver af bunden, så man dels kan fastsætte bundens geofysiske egenskaber, dels vurdere mulig sedimenttransport bl.a. i forbindelse med spildscenarier under etablering. Desuden er bundtypen en afgørende parameter for det biologiske habitat. Kortlægning af bundtyper skal derfor afklares i samarbejde med datablade for bundflora og fauna. Lokalteten for sedimentprøverne skal baseres på resultatet af side-scan og MBES analyserne og som minimum indeholde en prøve pr. 5 km² og hvis varierende sedimenttyper minimum 2 prøver pr. sedimenttype. Antallet kan reduceres ved store ensartede områder. Pr. lokalitet skal der udføres følgende:

1. Sedimentprøver (gravity core/boring) analyse for kornstørrelse og geologisk vurdering (DS/ISO 11277:2020, Soil quality — Determination of particle size distribution in mineral soil material — Method by sieving and sedimentation, 2020), densitet, glødetab mm. (koordineres med bundfauna og vandkvalitet).
2. Video, drop down/nedsækning.

3.3.2 Stationære sedimentologiske målinger

Disse er beskrevet under de hydrografiske målinger i afsnit 3.2.2.

3.3.3 Profilmålinger (CTD)

Disse er beskrevet under de hydrografiske målinger i afsnit 3.2.3.



3.4 Kvalitetssikring

Som supplement til den generelle kvalitetssikring skal der benyttes den før-kalibrerede numeriske model (henvis til det afsnit den beskrives i). For detaljer vedr. modellen se baggrundsnotatet.

3.5 Kalibrering af udstyr

For hver af de i Tabel 3.1 listede sensorer skal der foreligge et kalibreringsnotat som dokumentation for at de opfylder de givne specifikationer.

4. Konstruktionsfasen

4.1 Hydrografi

Påvirkningen af de hydrodynamiske parametre i konstruktionsfasen er typisk minimal på grund af varigheden, hvorfor der normalt kun ses på effekten af sedimentspild fra anlægsarbejderne.

Kilderne til spredningen af sediment vil variere over dybden og være følsom over for dybdevariation i strøm hvorfor en 3D model vil være påkrævet. Da der er tale om punktkilder skal den horisontale og vertikale opløsning i modellen tage højde for dette. Dette dokumenteres med en følsomhedsanalyse, der viser, at der er opnået rimelig konvergens med det valgte beregningsnet. Man skal desuden tage højde for gravetakt og metode, og medtage klapområdet hvis der klappes opgravet sediment.

4.2 Sediment

Der er mange metoder til at planlægge og monitorere sedimentspild og sedimentfaner. De vigtigste er beskrevet i (CEDA 2024 og CEDA 2020). Man kan vælge at monitorere ved kilden eller ved de mest sensitive receptorer (steder hvor sedimentet kan gøre særlig skade). I denne sammenhæng skal der monitoreres ved kilden, men det udelukkes ikke, at man også kan monitorere ved de sensitive receptorer. I konstruktionsfasen skal sedimentfanen monitoreres.

4.2.1 Målinger

Der skal monitoreres strøm (ADCP, vessel mounted) og turbiditet inklusive vandprøver for analyse af suspenderet stof. Målingerne udføres 100 m. opstrøms sedimentfanen og hhv. 100 m., 200 m. og 500 m. nedstrøms i sedimentfanen. Dette giver dels reelle målinger af koncentrationen i fanen og dels kan det bruges til at kalibrere en numerisk model (se baggrundsnotatet), som både kan forudsige styrke og udbredelse af fanen samt sedimentation. Det bruges også til at monitorere om den valgte entreprenør overholder de miljørestriktioner der er blevet pålagt i tilladelsen. Hvis der er tale om udgravninger med cutter suction og overflow skal der også tages prøver af overløbsvandet på forskellige tidspunkter under operationen. Minimum 5 prøver per overvågningsdag.

4.2.2 Remote sensing

I supplement til vandprøver, ADCP målinger og til brug for kalibrering af den numeriske model skal der suppleres med remote sensing data via satellit eller dronebilleder, for at give et bedre billede af udbredelsen af sedimentfanen. Ved hjælp af postprocessering sammenholdt med strømmålingerne kan man ved at gange koncentrationen med bredden af fanen, den anslåede fanedybde og strømhastigheden, anslå hvor meget sediment, der er spildt til et givet tidspunkt i kg/s. Resultatet er naturligvis et overslag, men det vil give en god indikation på størrelsesordenen på spildet i kg/s.



5. Driftsfasen

5.1 Hydrografiske målinger og modellering

Det er svært måleteknisk at monitorere ændringer i fx vandspejl, bathymetri og/eller strømhastigheder, fordi de naturlige variationer typisk er meget større end den ændring man forsøger at måle. I driftsfasen måles derfor i udgangspunktet det samme som i baseline, men formålet er ikke at måle en forskel i forhold til baseline målingerne men at validere den numeriske model (se baggrundsnotatet) som er den eneste reelle måde man kan vurdere ændringerne på. Man kører således sin numeriske model med og uden vindmøller. Der valideres imod målinger og disse bruges til at evaluere, hvilke påvirkninger vindmølleparken har ved at opsætte den numeriske model for situationen uden havvindmøllepark og med, for derefter at bestemme forskellen som differencen mellem projekt (med havvindmøllepark) og baseline (uden havvindmøllepark).

5.2 Sediment

Det er ikke relevant at vurdere på sediment i driftsfasen.



6. Referencer

- Aarhus Universitet. (2014-02-24). *CTD måling, Teknisk anvisning*. Aarhus Universitet.
- Copernicus. (05 2024). *In Situ TAC Dashboard*. Hentet fra <https://marineinsitu.eu/dashboard/>
- Danish Coastal Authorities. (u.d.). *Vandstandsmålinger*. Hentet fra <https://kyst.dk/soeterritoriet/maalinger-og-data/vandstandsmaalinger/>
- DMI Open data. (2020). *Meteorological Observation*. Hentet fra <https://confluence.govcloud.dk/display/FDAPI/Meteorological+Observation>
- DS/ISO 11277:2020, *Soil quality — Determination of particle size distribution in mineral soil material — Method by sieving and sedimentation*. (2020). ISO.
- GEUS. (05. 08 2024). *Seabed sediment map*. Hentet fra <https://eng.geus.dk/mineral-resources/danish-raw-materials/seabed-sediment-map>
- International Hydrographic Organization. (2020). *Standards for Hydrographic Surveys, S-44 Edition 6.1.0*.
- Miljø- og Fødevareministeriet. (01 2022). *Overfladevanddatabasen, ODA*. Hentet fra <https://odaforalle.au.dk/login.aspx>
- Norsk Klimaservicesenter. (2023). *Observasjoner og værstatistikk*. Hentet fra seklima.met.no
- SMHI. (10 2019). *Ladda ner oceanografiska observationer*. (SMHI) Hentet fra <https://www.smhi.se/data/oceanografi/ladda-ner-oceanografiska-observationer/#param=seatemperature,stations=all>