



Energistyrelsen



Vandkvalitet

Vand, sediment og biota

Baggrundsnotat

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 Energistrelsens hjemmeside.

Produkt: Vandkvalitet - Baggrundsnotat

Udgiver: Energistyrelsen

Billeder og illustrationer: NIRAS A/S

Dato: september 2025

Version: 1.0



Indhold

1. Forord	4
2. Generel introduktion til fagemnet	4
2.1 Vandkvalitet og NOVANA	5
3. Potentiel påvirkning fra konstruktionsfasen	6
4. Potentiel påvirkning fra driftsfasen	7
5. Overvågningsprogrammet	8
6. Udvælgelse af miljøfarlige forurenende stoffer til overvågning	9
6.1 Valg af MFS til overvågning af sediment og vand under konstruktionsfasen	10
6.2 Valg af MFS til overvågning af stofafgivelse i driftsfasen	10
6.2.1 Katodisk beskyttelse/korrosionsbeskyttelse	10
6.2.2 Overfladebehandling (coating)	11
7. Overvågning af møller og aktiviteter	15
7.1 Spild af væsker under vedligehold og service	15
8. Referencer	16



1. Forord

Dette notat danner baggrunden for databladet for effektovervågning af vandkvalitet. Notatet giver en kort introduktion til relevante regler og lovgivning, der vedrører vandkvaliteten af det danske hav, en definition af begrebet vandkvalitet samt beskrivelse af den statslige overvågning af vandmiljøet med relevans for databladet. Dernæst redegøres for de potentielle afledte effekter på vandkvaliteten fra en havvindmøllepark for hhv. konstruktionsfasen og driftsfasen. Følgelig beskrives effektovervågning som den overvågningstype, der anvendes for vurdering af påvirkninger og effekter af havvindmølle anlæg. Det tilhørende datablad for effektovervågning beskriver hvordan den konkrete overvågning udføres i praksis.

I notatet beskrives desuden hvorledes effektovervågningen i overordnede linjer er tilrettelagt, og efterfølges af afsnit, der vedrører viden om de potentielle påvirkninger, der danner grundlag for den mere specifikke tilrettelæggelse af overvågningen.

2. Generel introduktion til fagemnet

I Danmark er vandkvaliteten i havet reguleret af miljømål i vandrammedirektivet (Direktiv 2000/60/EF, 2000), havstrategidirektivet (Rådets direktiv nr 2008/56/EF) og habitatdirektivet (Rådets direktiv 92/43/EØF). Direktiverne er implementeret i den danske lovgivning gennem hhv. lov om vandplanlægning (LBK nr 126 af 26/01/2017), havstrategiloven (LBK nr 123 af 01/02/2024) og miljømålsloven (LBK nr 692 af 26/05/2023). Selve udmøntningen af den danske implementering sker gennem hhv. vandområdeplanerne, den danske havstrategi og Natura 2000-planerne, herunder for de marine N2000-områder. De respektive plangrundlag indeholdende indsatser for at beskytte og forbedre miljø- og naturtilstand og sigter samlet mod opnåelse af god økologisk tilstand og god kemisk tilstand (jf. vandrammedirektivet), god miljøtilstand (jf. havstrategidirektivet) og gunstig bevaringsstatus (jf. habitatdirektivet). Indsatserne for at nå disse mål er i et vist omfang koordineret. Således sker indsatsen for at nedbringe tilførslen af næringsstoffer og miljøfarlige forurenende stoffer primært gennem vandområdeplanlægningens indsatsprogram, hvilket bidrager til opfyldelse af havstrategiens mål. I forhold til vandkvalitet er vandrammedirektivet og vandplanlægningen i høj grad afgørende for de miljøkonsekvensvurderinger, der udføres forud anlægsprojekter som havvindmøller og de tilhørende kabelforbindelser til land. De kvalitetselementer, herunder vandkvalitetsparametre, som vandplanlægninger indeholder, vurderessåledes også at være dækkende for havstrategi og natur.

Vandrammedirektivets overordnede formål er at fastlægge en ramme for beskyttelse af vandløb og søer, overgangsvande, kystvande og grundvand, blandt andet med henblik på at forebygge yderligere forringelse samt beskytter og forbedrer vandøkosystemernes tilstand (Direktiv 2000/60/EF, 2000). Det bemærkes, at kystvand i vandrammedirektivet omfatter overfladevand i en afstand af én sømil fra basislinjen for den økologisk tilstand og 12 sømil fra kysten for kemisk tilstand. Medlemsstaterne skal iværksætte de nødvendige foranstaltninger med henblik på at forebygge forringelse af tilstanden for alle overfladevandområder. EU's vandrammedirektiv er implementeret i lov om vandplanlægning (LBK nr 126 af 26/01/2017). Vandområdeplanerne er et centralt element i gennemførelsen af EU's vandrammedirektiv. De danske vandområdeplaner indeholder fremgangsmåden for, hvordan Danmark vil nå målsætningen i vandrammedirektivet. Målet med vandområdeplanerne er, at alle vandløb, søer og kystvande skal opnå god økologisk og god kemisk tilstand (Miljøministeriet, 2023).



Den økologiske tilstand for kystvandene vurderes på baggrund af tre biologiske kvalitetselementer, herunder fytoplankton, bentiske invertebrater og rodfæstede planter samt en række fysisk-kemisk og hydromorfologiske kvalitetselementer. De konkrete miljømål for de biologiske kvalitetselementer og til dels for de fysisk-kemiske elementer fremgår af overvågningsbekendtgørelsen (BEK nr 792 af 13/06/2023).

I vurderingen af den økologiske tilstand for målsatte kystvande indgår også et kvalitetselement bestående af en række miljøfarlige forurenende stoffer under betegnelsen nationalt specifikke stoffer, som er stoffer af særlig national betydning.

Den kemiske tilstand i målsatte vandforekomster vurderes ud fra koncentrationen af 45 stoffer i hhv. vandfasen, biota (levende organismer) og sediment, som EU har prioriteret og fastsat miljøkvalitetskrav for, da de udgør en særlig risiko for vandmiljøet. Økologisk tilstand for nationalt specifikke stoffer baseres på andre miljøfarlige forurenende stoffer med nationalt fastsatte miljøkvalitetskrav. Miljøkvalitetskravene, der ligger til grund for vurdering af hhv. økologisk og kemisk tilstand, fremgår af bilagene til bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand (BEK nr 796 af 13/06/2023).

Formålet med det europæiske havstrategidirektiv (Rådets direktiv nr 2008/56/EF) er at sikre god miljøtilstand i alle europæiske havområder inden 2020, og Danmark er gennem havstrategidirektivet forpligtet til at opretholde en god miljøtilstand i danske havområder. I Danmark er havstrategidirektivet udmøntet i bekendtgørelse af lov om havstrategi (LBK nr 123 af 01/02/2024) og i seksårige strategier, hvor den nuværende er Danmarks Havstrategi II (2018-2024) (Miljøministeriet).

Havstrategidirektivet angiver 11 deskriptorer, der beskriver væsentlige karakteristika for påvirkninger af havet og dets tilstand: Biodiversitet (D1), Ikke-hjemmehørende arter (D2), Erhvervsmæssigt udnyttede fiskebestande (D3), Havets fødenet (D4), Eutrofiering (D5), Havbundens integritet (D6), Hydrografiske ændringer (D7), Forurenende stoffer (D8), Forurenende stoffer i fisk og skaldyr til konsum (D9), Marint affald (D10) og Undervandsstøj (D11) (Miljøministeriet).

Offentlige myndigheder er ved udøvelsen af deres opgaver forpligtet til ikke at handle i modstrid med de mål og indsatser, der fastlægges i havstrategien. Havstrategien gælder for danske havområder, herunder havbund og undergrund, på søterritoriet og i den danske eksklusive økonomiske zone. Havstrategien gælder dog ikke havområder, der strækker sig ud til én sømil uden for basislinjen, i det omfang disse områder er omfattet af lov om miljømål m.v. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder (LBK nr 692 af 26/05/2023) samt lov om vandplanlægning (vandområdeplanerne) (LBK nr 126 af 26/01/2017).

Miljømål for emnerne eutrofiering og miljøfarlige forurenende stoffer, hvor miljømål for målsatte vandforekomster ikke er gældende jf. lov om vandplanlægning (dvs. fra hhv. 1 og 12 sømil), findes beskrevet i "Danmarks Havstrategi II. Første del. God miljøtilstand, Basisanalyse, Miljømål" (Miljøministeriet) under Eutrofiering (D5), Forurenende stoffer (D8) og Forurenende stoffer i fisk og skaldyr til konsum (D9).

2.1 Vandkvalitet og NOVANA

Vandkvalitet er af overordnet betydning for havets generelle miljøtilstand og levestandarder for havets flora og fauna. Vandkvaliteten bestemmes især af de hydrografiske forhold, stoftilførsler fra omkringliggende



farvande og landområder samt udveksling med havbunden og atmosfæren. Vandfasen refererer til selve vandsøjlen, og omfatter alt fra bl.a. kemiske stoffer, temperatur, lysforhold mv. til iltniveauer. Sedimentet på havbunden kan både akkumulere og frigive stoffer, som kan indvirke på vandkvaliteten i vandsøjlen. Levende organismer (biota), herunder fisk, bunddyr, alger, planter og mikroorganismer, er direkte påvirket af både vandfasen og sedimentet.

I Danmark overvåges vandmiljøets og naturens tilstand inden for de områder, der prioriteres i forhold til de politisk fastsatte økonomiske rammer gennem Det Nationale Overvågningsprogram for Vandmiljø og Natur (NOVANA) (Miljøministeriet, 2024). I fjorde, ved kyster og på åbne havområder overvåges tilstanden ved at tage fysiske, kemiske og biologiske prøver. Overvågningen udføres af Miljøstyrelsen.

I den nationale overvågning af miljøfarlige forurenende stoffer i det marine miljø måles en række stoffer i sediment eller biota (fisk eller muslinger) fremfor i vandfasen ud fra et økonomisk hensyn samt under den antagelse, at stofferne ikke eller kun i meget lave koncentrationer kan findes i vandfasen (DCE, 2017). Sediment og levende organismer (biota) kan derimod akkumulere forskellige stoffer til koncentrationer, der kan være betydeligt højere end de, der findes i vandfasen. Langt hovedparten af de fastsatte miljøkvalitetskrav for både de prioriterede stoffer og de nationale stoffer er imidlertid fastsat i vandfasen (BEK nr 796 af 13/06/2023). Dog måles næringsstoffer som kvælstof og fosfor typisk kun i vandfasen og i langt mindre grad i sedimentet i det marine miljø i forbindelse med den statslige overvågning. Dertil måles fysiske-kemiske parametre bl.a. sigtdybde, lyssvækkelse, salt, ilt, temperatur og pH i den marine statslige overvågning. Data fra den statslige overvågningen anvendes i bl.a. vandområdeplanernes tilstandsvurderinger for kystvande, og måledata udstilles af Miljøstyrelsen på Danmarks Miljøportal Miljødata (Miljødata.dk).

I databladets afsnit 2 er beskrevet en kort vejledning til, hvordan det kan undersøges om der for en given havvindmøllepark eksisterer data fra NOVANA, der kan benyttes til effektovervågningen.

Effektovervågningen af miljøfarlige forurenende stoffer, næringsstoffer, iltforbrugende stoffer mv. for havvindmølleparker har fokus på at måle stofferne i de matricer (vandfase, sediment og biota), som stofferne kan forventes at forekomme i samt under hensyntagen til hvilke matricer der vurderes, at kunne måles en effekt i under konstruktions- og driftsfasen. Dertil er der taget hensyn til, at resultater fra effektovervågningen i størst mulige grad skal være sammenlignelig med eksisterende og fremtidig NOVANA data.

3. Potentiel påvirkning fra konstruktionsfasen

Anlæg af vindmøllefundamenter og kabler omfatter fysiske arbejder i havbunden, såsom grave-, spule-, og/eller nedramningsaktiviteter, hvilket skaber suspenderet sediment i vandsøjlen, som kan spredes med strømmen i og omkring projektområdet. Suspensionen af sediment kan midlertidigt frigive nogle af de næringsstoffer, iltforbrugende stoffer og miljøfarlige forurenende stoffer, som findes i sedimentet (DTU, 2024; DTU, 2018). De grove fraktioner af sedimentet vil i overvejende grad sedimentere ud efter kort tid og inden for kort afstand til anlægsarbejdet i havbunden, mens de finere fraktioner vil, afhængigt af de lokale hydrografiske forhold, være i suspension over længere tid og spredes over større afstande inden de sedimenterer igen.



Frigivelsen af miljøfarlige forurenende stoffer fra anlægsarbejder i havbunden er umiddelbart begrænset til den potentielle frigivelse af stoffer fra sedimentspredningen, idet der som udgangspunkt ikke tilføres miljøfarlige stoffer forurenende til havmiljøet i forbindelse hermed, men at arbejderne kan give anledning til at stofferne skifter matrice fra sediment til vandfase og til biota i havmiljøet.

Frigivelse af miljøfarlige forurenende stoffer kan potentielt føre til toksiske effekter, mens frigivelse af særligt kvælstof kan føre til en øget primærproduktion og dermed mere fytoplankton. Anlægsarbejder i havbunden er ofte kortvarige, og frigivelse af næringsstoffer og miljøfarlige forurenende stoffer vil formodentligt have en begrænset effekt, da de frigivne stoffer hurtig spredes og fortyndes (Cornwell and Owens, 2011). Mekanismernes effekt afhænger dels af stoffernes puljestørrelser i sedimentet, men også af områdets naturlige niveau for fysisk bundstress (bølger og strøm), som ligeledes kan mobilisere sedimentbundne stoffer ved naturlig resuspension (DCE, 2021). Effekterne kan derfor i høj grad være stedspecifikke. Vidensgrundlaget og dokumentation for effekter er dog på nuværende tidspunkt sparsom (DTU, 2024).

En grundig undersøgelse af sedimentets stofpulje før anlægsfasen (baseline) samt overvågning af stoffrigivelse til vandfasen under konstruktionsfasen vil bidrage til at belyse, om anlægsarbejder i havbunden giver anledning til signifikante ændringer i stoffkoncentrationer i vandfasen under anlægsarbejdet og i sedimentet kort tid efter anlægsarbejdet er ophørt.

Konstruktionsfasen vil i sig selv ikke bidrage til en mertilførsel af miljøfarlige forurenende stoffer til havmiljøet, medmindre der sker uheld såsom spild fra anlægsskibe under konstruktionsfasen, som kan resultere i tab af miljøfarlige forurenende stoffer til havmiljøet. Registrering og afrapportering af spild indgår i effektovervågningen både for konstruktions- og driftsfasen (se yderlig beskrivelse i afsnit 7).

Baseret på foreliggende viden og erfaring med opførelse af havvindmølleparker, vurderes der ikke at være øvrige aktiviteter under konstruktionsfasen, der kan medføre effekter på vandkvalitet.

4. Potentiel påvirkning fra driftsfasen

Vindmøllefundamenter er store fysiske konstruktioner. Tilstedeværelsen af en havvindmøllepark kan potentielt medføre ændringer af bølge- og strømforhold i og omkring havvindmølleparken. Vandkvalitet er direkte forbundet til de hydrografiske forhold, og en ændring i opblanding eller ændrede strømforhold kan bl.a. påvirke lagdeling af vandsøjlen og medføre resuspension, hvilket potentielt kan betyde ændrede iltforhold og næringsstofniveauer (Maar et al., 2009). Effektovervågning af hydrografiske ændringer varetages i databladet for hydrografi og sediment, mens dette baggrundsnotat inkluderer effektovervågning af indirekte effekter af næringsstoffer, klorofyl og ilt, som følge af hydrografiske ændringer. Effektovervågningen af de indirekte effekter på vandkvalitet tilrettelægges derfor til dels ud fra effektovervågningen af hydrografi, eftersom fx placering af målestationer vil være helt afhængig af det konkrete havvindmølleprojekt og den faglige vurdering af, hvor hydrografiske målinger skal placeres.

Ud over de ovenfor beskrevne potentielle indirekte effekter på vandkvaliteten, kan der ske passiv afgivelse eller afsmitning af miljøfarlige forurenende stoffer fra korrosionsbeskyttelse og overfladebehandling anvendt på møller og andre stålkonstruktioner (fx transformerplatforme eller andre platforme) til de omkringliggende vandmasser. Typisk anvendt korrosionsbeskyttelse og overfladebehandling af stålkonstruktionerne, samt de



stoffer, der kan være særligt kritiske i forbindelse hermed er beskrevet nedenfor i afsnit 6.2.1 og 6.2.2. I det følgende og i databladet beskrives denne påvirkning som stofafgivelse.

Ligesom under konstruktionsfasen, kan der i driftsfasen ske spild eller tab af væsker (herunder kølervæske, hydraulik olie, gearolie, smøreolie, transformer olie) i forbindelse med service og vedligehold af en havvindmøllepark under dens levetid.

5. Overvågningsprogrammet

I de seneste år er der i Danmark kommet et øget fokus på vandmiljøet og de forpligtigelser som EU's medlemslande skal leve op til for at overholde vandrammedirektivet. Havvindmølleparkers betydning for vandkvaliteten i havmiljøet er imidlertid i begrænset grad belyst i den videnskabelige litteratur.

Umiddelbart forventes det ikke at installation og drift af havvindmølleparker har en betydende effekt på vandkvaliteten i havmiljøet, der er uforenelig med bestemmelserne i vandramme- og havstrategidirektivet. Der er tale om fysiske og faste installationer, hvorfra der ikke sker emissioner, og det forventes ikke, at de fysiske konstruktioner har betydning på vandkvaliteten i de ofte åbne havområder.

Effektovervågning skal ses om en indsats til vidensopbygning af eventuelle effekter på vandkvaliteten fra havvindmølleparker. Dertil vil overvågning belyse omfanget af tab og spild af væsker (herunder kølervæske, hydraulik olie, gearolie, smøreolie, transformer olie), som følge af uheld til havmiljøet under konstruktions- og driftsfasen samt belyse forbruget af eventuelt anvendt korrosionsbeskyttelse på stålkonstruktionerne.

Effekter på vandkvalitet i havmiljøet forårsaget af havvindmølleparker antages at være vanskelige at detektere grundet de store omkringliggende vandmasser, der vil bevirke en stor fortynding af stofkoncentrationer. Med effekter i havmiljøet menes der for nærværende datablad signifikante ændringer i stofkoncentrationer på repræsentative overvågningsstationer sammenlignet med baseline reference/kontrolstationer. Effektovervågningen er derfor tilrettelagt med det udgangspunkt at udføre overvågningen, der hvor effekterne forventes højest, både i tid og rum. Overvågningsprogrammet er med denne tilgang overvejende begrænset til at påvise hvorvidt, der er en effekt eller ingen effekt og i mindre grad en rumlig og tidlig udbredelse af mulige effekter. Statistiske overvejelser samt økonomiske hensyn lægger til grund for bestemmelsen af antallet af målestationer, der indgår i overvågningen.

Observeres der effekter i enten konstruktions- og/eller driftsfasen, anbefales det, at overvågningen af vandkvalitet for fremtidige havvindmølleparker (og om muligt for den konkrete park, hvor effekter er fundet at være statistisk signifikante) justeres undervejs for at afdække effekterne mere nuanceret (dvs. varighed og udstrækning af effekter) fremadrettet.

Viser dele af effektovervågningen derimod, efterhånden som data tilvejebringes, at der ikke kan påvises statistiske signifikante effekter fra havvindmølleparker på vandkvaliteten, bør man ud fra en faglig vurdering overveje at lade de dele af overvågningen for vandkvalitet udgå for overvågningen af fremtidige havvindmølleparker.



Viden om påvirkninger af vandkvalitet i havmiljøet er i konstant udvikling, og det vil derfor ikke være usandsynligt at listen med relevante stoffer til overvågning løbende vil udvides i takt med, at vidensgrundlaget opbygges og belysning af tidligere ikke-undersøgte stoffer efterspørges. Derudover er tendensen sandsynligvis, at havvindmølleparkerne kun bliver større og derved dækker større områder. Overvågningsprogrammet skal derfor ses som et "minimumsprogram", hvor der ved hvert enkelt projekt skal foretages en konkret faglig vurdering af om antal stationer og undersøgte stoffer er tilstrækkelige eller, om de skal suppleres med ekstra stationer og/eller stoffer.

Placering af målinger/målestationer er for flere af overvågningsaktiviteterne i databladet tilrettelagt ud fra en generaliseret tilgang. De faktiske bedst egnede placeringer af målinger for det enkelte projekt vil dog bero på en konkret vurdering af det enkelte projekt. Dette gælder bl.a. at forhold som sedimentationsområder, herskende strømretning, sedimentanalyser, og geologiske forhold (til bestemmelse af sedimentdybder til analyse) tages i betragtning. Hertil kan der bl.a. anvendes eksisterende data og viden fra foreliggende miljøkonsekvensrapport, som formodes at belyse de fleste af disse forhold. Desuden kan man få et overblik over geologien, sedimentet mv. i området via GEUS sedimentationskort (GEUS) og martadatabase (Martadatabase). Derudover skal man i overvejelserne omkring placering af målestationer, være opmærksomhed på, om der i det givne område kan være kilder til lokal forurening, som kan have indflydelse på resultater og tolkning af data.

Der vil i databladet blive henvist direkte til flere tekniske anvisninger udarbejdet af Nationalt Center for Miljø og Energi – DCE, som bruges i den danske marine overvågning (NOVANA). Det gælder M01 - Indsamling af vand- og planktonprøver i felten, M02 – Vandkemi (næringsstoffer mv.), M07 – Klorofyl a koncentration, M22 - Miljøfarlige stoffer i muslinger, M23 - Næringsstoffer i sediment, M24 - Miljøfarlige stoffer i sediment, M25 - Miljøfarlige stoffer i fisk, MFS i vandfasen (DCE, 2024)). I bilag 2 til databladet er samtlige TA'er med relevans for effektovervågningen listet, og det er for hver af anvisningerne i bilaget fremhævet hvorvidt der eksisterer særlige forhold i metodikken, der er tilpasset effektovervågningen. En tilpasning eller justering af metodikken i TA'erne vurderes dog ikke at have væsentlig betydning for sammenligneligheden af NOVANA data efterfølgende.

Effektovervågning af vandkvalitet vil i forhold til vandramme- og havstrategidirektivet vedrøre kvalitetselementerne fytoplankton, nationalt specifikke stoffer, EU-prioriterede stoffer under kemisk tilstand samt en række understøttende fysisk-kemiske kvalitetselementer, der alle indgår i vandplanlægningen. Dertil vil overvågningen vedrøre deskriptor 5 Eutrofiering, deskriptor 8 Forurenende stoffer og deskriptor 9 Forurenende stoffer i fisk og skaldyr til konsum. Øvrige kvalitetselementer og deskriptorer er behandlet i andre datablade såsom kvalitetselementerne bunddyr og rodfæstede planter i datablad om bundflora og fauna.

6. Udvalgelse af miljøfarlige forurenende stoffer til overvågning

I dette afsnit gennemgås baggrunden for udvælgelsen af, hvilke miljøfarlige forurenende stoffer (MFS) der er relevante for effektovervågningen.



6.1 Valg af MFS til overvågning af sediment og vand under konstruktionsfasen

Til sediment- og vandanalyser tages der udgangspunkt i at måle stoffer, der formodes at kunne være i sedimentet i projektområdet. Der tages udgangspunkt i at analysere MFS opført på HELCOMs og OSPAR's Primærlister (OSPAR; Miljøstyrelsen, 2024). Stofferne på disse lister er stoffer, der har formodede historiske og nuværende eksistens i havne. Stofferne stammer især fra brændstof, beskyttelse mod tæring, anti-fouling bundmaling og udgøres af syv metaller, arsen, tributyltin (TBT), en sum-værdi af 7 PCB-congenerer samt 9 PAH'er. Det er de samme stoffer, der analyseres i projekter og sager, der omhandler genplacering af havbundssediment i kystnære områder (Miljøstyrelsen, 2024).

HELCOM og OSPAR har ligeledes en sekundær liste af MFS, der primært relaterer sig til havne med særlige forureningskilder. Disse stoffer skal sammen med en øvrig kortlægning af kilder til forurening overvejes i forhold til potentielle kilder i nærheden af det enkelte projekt. Det kan være kendskab til eller formodning om lokal forurening, såsom industri, affald, uheld, udledninger fra renseanlæg, udløb fra vandløb mv. Desuden inkluderes eventuelle stoffer, der giver anledning til manglende målopfyldelse i vandplanlægningen i det konkrete vandområder og evt. nærliggende vandområder.

Anlægsarbejde i forbindelse med havvindmølleparker foregår typisk ikke i havne, men der vil være kystnære aktiviteter i forbindelse med kabeletablering. Størstedelen af anlægsarbejdet i havbunden foregår dog længere væk fra kysten, og følgende tilgang til udvælgelse af stoffer, vurderes af den årsag at være tilstrækkelig til at afdække sedimenters forureningsgrad.

For sedimentprøver til baseline analyseres stoffer både som totalindhold i sediment, dvs. prøver udtaget som uforstyrret sediment, indeholdende stoffer bundet til sedimentpartikler og stoffer opløst i porevandet samt i udvaskningstest (eluat), idet eluatanalyserne kan bidrage med viden om fase-fordelingen af stofferne ved resuspension af sedimentet og derved en potentiel koncentrationsforøgelse i vandet, som følge af det fysiske anlægsarbejde.

6.2 Valg af MFS til overvågning af stofafgivelse i driftsfasen

Der er generelt en begrænset viden om stofafgivelse fra vindmøllers overfladebehandling og korrosionsbeskyttelse og de potentielle afledte effekter på havmiljøet. I et større publiceret litteraturstudie fra 2018 fremgår det, at det er relativt små mængder af metaller og andre miljøfarlige forurenende stoffer, der afgives til vandfasen fra havvindmølleparker sammenlignet med andre forurenende kilder (Kirchgeorg et al, 2018).

Nedenfor gennemgås de typiske former for korrosionsbeskyttelse og overfladebehandling anvendt på havvindmøller og andre stålkonstruktioner samt de primære miljøfarlige forurenende stoffer, der knytter sig hertil og kendskabet til stoffernes mulige miljøeffekter.

6.2.1 Katodisk beskyttelse/korrosionsbeskyttelse

Stålkonstruktioner som fx havvindmøller, kajvægge og skibe der er i kontakt med havet, beskyttes som oftest mod korrosion ved brug af katodisk beskyttelse. Katodisk beskyttelse er en elektrokemisk metode til at



beskytte et metal mod korrosion, hvor en elektrisk strøm går fra den omgivende elektrolyt til metallet. Katodisk beskyttelse udføres typisk med galvaniserede offeranoder eller med påtrykt strøm (ICCP). En tredje mulighed er at designe en given stålkonstruktion med en ekstra margin stål, som tillades at korrodere under levetiden (corrosion allowance).

De mest anvendte galvaniserede offeranoder til havvand er baseret på enten aluminium eller zink (FORCE Technology). Metaller fra galvaniserede offeranoder vil afgives langsomt til vandmiljøet i hele stålkonstruktionernes levetid. Anvendelse af påtrykt strøm (ICCP = Impressed Current Cathodic Protection) som korrosionsbeskyttelse er en nyere anvendt teknik inden for bl.a. skibs- og vindmølleindustrien. ICCP har en væsentlig lavere frigivelse af metaller til det omgivende vandmiljø (Kirchgeorg et al, 2018) end offeranoder, idet det er den påtrykte strøm, der udøver beskyttelsen, fremfor offeranoder eller corrosion allowance, der tærer over tid og dermed afgiver metaller til havet.

Aluminium eller zink anoder består hovedsageligt af disse to metaller og derudover indium og andre spormetaller (A. Reese et al, 2020). Indholdet og fordelingen af metaller kan variere mellem typer af anoder og producenter. Behovet for den anvendte mængde til havs afhænger af fundaments typen (overfladeareal af konstruktionen), den ønskede levetid, forholdene i havmiljøet, og hvorvidt fundamenterne er coatede (overfladebehandlet) eller ej (Kirchgeorg et al, 2018).

Aluminium anoder består hovedsageligt af aluminium, zink, bly, indium, magnesium, cadmium, jern, silicium, kobber (Kirchgeorg et al, 2018; Caplat et al., 2020). Ren stål består primært af jern, men også med sporstoffer af carbon, silicium, mangan, fosfor, svovl, krom, kobolt, nikkel, molybdæn, vanadium, aluminium og kobber (Kirchgeorg et al, 2018).

Egnede sporstoffer til undersøgelse af metalafgivelse fra aluminium og zink anoder benyttet i havvindmølleparker er i et videnskabeligt studie foreslået at være: Al, Zn, Ga, Cd, In og Pb (samt ratioen af bly isotoperne $n^{208}\text{Pb}/n^{206}\text{Pb}$) (A. Reese et al, 2020).

Til udvælgelse af metaller til analyse for effektovervågningen af stofafgivelse til havmiljøet under driftsfasen er der til dels skelet til studiet af egnede sporstoffer, samt inkluderet metaller, der indgår som sporstoffer i aluminium anoder og ren stål, der også dækker over et bredt spektrum af de normalt velundersøgte metaller iht. OSPAR og HELCOMs primærlister (OSPAR; Miljøstyrelsen, 2024). Se stoflisterne i bilag 1 til databladet.

Stofafgivelse fra offeranoder vil ske til vandfasen, hvorefter der kan ske en akkumulering af stofferne i sediment og biota (Bell et al. , 2020; Caplat et al., 2020).

6.2.2 Overfladebehandling (coating)

Havvindmøller overfladebehandles (males) af flere årsager, særligt for at beskytte konstruktionerne imod erosion og korrosion (fx (FORCE Technology, 2017). Der anvendes forskellige typer overfladebeskyttelse på henholdsvis vinger og tårn og de dele af fundamentet, som er over eller under vand. Overfladebeskyttelsen på den enkelte konstruktion er dermed optimeret til netop den overflade, som skal beskyttes. Overfladebeskyttelse består typisk af en epoxy- eller polyurethanbaseret beskyttelse, der dannes ved



sammenblanding af to fraktioner, som herefter reagerer og danner en polymer med høj molekylærvægt (Bell et al. , 2020).

Polyurethan og epoxy er i deres endelige form polymerer, som umiddelbart ikke bør indeholde ureagerede monomerer eller øvrige reaktionsprodukter. Flere videnskabelige studier viser dog at begge typer maling kan indeholde en række forskellige ureagerede organiske stoffer i større eller mindre mængder, som ikke intentionelt indgår i polymeren. For polyurethan, er det blandt andet isocyanate og forskellige blødgørere. For epoxy, er der tale om en lang række phenoler, herunder Bisphenol A og 4-tert-butylphenol samt Bisphenol A diglycidyl ether (Bell et al. , 2020; Vermeirssen et al., 2017).

Indholdet af rest- og nedbrydningsprodukter i epoxy- og polyurethanoverfladebehandlinger er meget variabelt og der ses betydelige forskelle på indholdet af organiske stoffer i udvaskningsvand i publicerede videnskabelige forsøg (Vermeirssen et al., 2017; Bell et al., 2021; Schoknecht et al., 2022). Dette kan både tilskrives kvaliteten af det anvendte produkt, den tilsigtede brug af produktet og påførslen af beskyttelsen på overfladen. Dertil kan der forekomme ureagerede monomerer fra de oprindelige to fraktioner i overfladebehandlingen i meget små koncentrationer. Det er dermed vanskeligt at beskrive indholdet af organiske stoffer i epoxy og polyurethane i generelle termer, især i forhold til mængden af miljøfarlige forurenende stoffer (MFS) der kan udvaskes fra materialet.

Polymeren benyttet i overfladebehandling er yderst stabil under naturlige forhold og nedbrydes derfor ikke i væsentlig grad. Tab af maling sker som regel ved at flager i varierende størrelse afskaller, men i disse tilfælde, vil polymeren, som udgør flagen stadig være relativt intakt. Flager af maling anses, afhængig af størrelsen, typisk som mikroplast og indgår som en del af overvågningen i databladet om Marint affald. Den afskallede maling vil ikke i sig selv være toksisk, da polymeren på grund af dens størrelse og molekylærvægt har begrænset toksicitet og biotilgængelighed. Polymeren kan dog, i begrænset omfang, nedbrydes til monomererne som polymeren er dannet af (Gong et al., 2014).

NIRAS har udformet en oversigt, hvor indholdsstoffer fra almindeligt anvendte overfladebehandlinger fra AkzoNobel og Hempel indgår for hhv. polyurethanebaseret overfladebehandling (Tabel 1) og epoxybaseret overfladebehandling (Tabel 2). Dertil er toksiciteten af stofferne i tabellerne belyst ud fra miljøkvalitetskrav fra (BEK nr 796 af 13/06/2023) eller PNEC (Predicted No Effect Concentration). Ud fra en stofscrening af indholdet og stoffernes toksicitet er Bisphenol A og Bisphenol A diglycidyl ether (BADGE) identificeret som de mest kritiske stoffer i epoxymaling, mens diisocyanate er blevet identificeret som det mest problematiske stof i polyurethan maling. Der er ikke truffet 4-tert-butylphenol i oplysningerne fra AkzoNobel og Hempel, men stofforbindelsen er i videnskabeligt litteratur blevet fremhævet som det stof fra epoxyoverfladebehandlingen, der vakte størst bekymring (Bell et al. , 2020). Overvågningen af stofafgivelse fra overfladebehandling vil derfor tage udgangspunkt i de ovennævnte fire stoffer.



Tabel 1: Typisk indhold af miljøfarlige stoffer i polyurethane baseret overfladebehandling samt toksicitet heraf. PNEC = Predicted No Effect Concentration, dvs. den koncentration, hvor man skønner, at stoffet ikke giver anledning til effekter. MKK = Miljøkvalitetskrav fastsat i (BEK nr 796 af 13/06/2023).

Parameter	CAS	Typisk indhold	PNEC/MKK	Kilde
HDI oligomers, isocyanurate (Diisocyanate)	28182-81-2	50-90 %	14 µg/l	ECHA
2-butoxyethyl acetate	112-07-2	5-10 %	30 µg/l	ECHA
N-butyl acetate	123-86-4	5-15 %	18 µg/l	ECHA
Titandioxid	13463-67-7	10-25 %	Ikke toksisk	ECHA
Solventnaphtha	128601-23-0	10-20 %	Ikke muligt	ECHA
Xylen	1330-20-7	1-3 %	1 µg/l	(BEK nr 796 af 13/06/2023).
Reaction mass of bis(1,2,2,6,6-pentamethyl-4-piperidyl) sebacate and methyl 1,2,2,6,6-pentamethyl-4-piperidyl sebacate	1065336-91-5	< 1%	0,2 µg/l	ECHA

Det vurderes på baggrund af en screeningsundersøgelse af udvaskning af PFAS og BPA fra vindmøllevinger, ikke sandsynligt at PFAS udvaskes fra vindmøller under drift, og er derfor ikke en del af overvågningen (Miljøministeriet, Screeningsundersøgelse af udvaskning fra vindmøllevinger, 2023).

Følgende stoffer overvåges under driftsfasen i både vand, sediment og biota: Bisphenol A, 4-tert-butylphenol, Bisphenol A diglycidyl ether og Diisocyanate.

Tabel 2: Typisk indhold af miljøfarlige stoffer i epoxy baseret overfladebehandling samt toksicitet heraf. PNEC = Predicted No Effect Concentration, dvs. den koncentration, hvor man skønner, at stoffet ikke giver anledning til effekter. MKK = Miljøkvalitetskrav fastsat i (BEK nr 796 af 13/06/2023).

Parameter	CAS	Typisk indhold	PNEC/MKK	Kilde
Titandioxid	13463-67-7	10-25 %	Ikke toksisk	ECHA



Parameter	CAS	Typisk indhold	PNEC/MKK	Kilde
2,2'-[(1-methylethylidene)bis(4,1-phenyleneoxymethylene)]bisoxirane (Bisphenol A diglycidyl ether)	1675-54-3	10-25 %	1 µg/l	ECHA
Xylen	1330-20-7	5-10 %	1 µg/l	(BEK nr 796 af 13/06/2023).
Oxirane, mono[(C12-14-alkyloxy)methyl] derivs.	68609-97-2	5-10 %	11	ECHA
4,4'-Isopropylidenedi phenol, oligomeric reaction products with 1-chloro-2,3-epoxypropane	25068-38-6	5-25 %	<2000 µg/l	ECHA
Butan-1-ol	71-36-3	1-5 %	8,2 µg/l	ECHA
Ethylbenzen	100-41-4	1-5 %	2 µg/l	(BEK nr 796 af 13/06/2023).
4,4'-isopropylidenedi phenol (Bisphenol A)	80-05-7	< 0,05 %	0,01 µg/l	(BEK nr 796 af 13/06/2023).
2,4,6-tris(dimethylaminomethyl)phenol	90-72-2	< 5 %	5 µg/l	ECHA
Salicylic acid	69-72-7	< 1 %	20 µg/l	ECHA



Parameter	CAS	Typisk indhold	PNEC/MKK	Kilde
2-Propenoic acid, butyl ester, polymer with 1, 3-cyclohexanedimethanamine, reaction products with Bu glycidyl ether	1257085-86-1	50-75 %	100 µg/l	Environment Canada
1,3-Cyclohexanedimethanamine	2579-20-6	10-15 %	3 µg/l	ECHA
Benzyl alcohol	100-51-6	5-10 %	100 µg/l	ECHA
Calcium nitrate	10124-37-5	< 5 %	Ikke toksisk	ECHA

7. Overvågning af møller og aktiviteter

7.1 Spild af væsker under vedligehold og service

Der kan være risiko for spild af væsker fra skibe, der servicerer og vedligeholder havvindmølleparken i dens levetid. Dette er meget vanskeligt at måle for i vandmiljøet, da tid og sted samt hvilke stoffer, der evt. spildes alle er ukendte faktorer (Maar et al, 2009). Skibstrafik forbundet med service og vedligehold af havvindmølleparker forventes ikke at adskille sig fra øvrig skibstrafik.

Et af miljømålene i havstrategien under deskriptor 8 Forurenende stoffer vedrører akutte forureningshændelser: "Forekomst og omfang af akutte forureningsbegivenheder nedbringes løbende i muligt omfang gennem forebyggelse, overvågning og risikobaseret dimensionering af beredskabet (D8C3)".

Dette er dog vanskeligt at lave et overvågningsprogram for i selve vandmiljøet, da tid og sted samt hvilke stoffer, der evt. spildes alle er overvejende ubekendte. Derfor indgår der i overvågningen en registrering og afrapportering af spild, der skal bidrage til at belyse omfanget af uheld og mulige konsekvenser. Skulle der ske spild eller tab af væsker såsom, olie, smøremidler, lim, maling mv. til det omkringliggende havmiljø under servicering og vedligehold af havvindmøllerne, registreres spildet og afrapporteres jf. databladets metode.

Som udgangspunkt skal skibe, som benyttes til service og vedligehold, følge de til enhver tid gældende retningslinjer for at forebygge og undgå uheld til søs. Havvindmøller er i dag designet til at undgå spild til miljøet i tilfælde af et udslip af væskesystemer i turbinen. Til vedligeholdssituationer findes der strikse procedurer (Best Applied Practice (BAP) og HSE), dels for at forebygge uheld og tiltag til at håndtere spild, hvis uheldet er ude.



8. Referencer

- FORCE Technology. (u.d.). Introduktion til emnet "Katodisk beskyttelse". <https://forcetechnology.com/da/ydelser/korrosionsbeskyttelse/materialevalg-og-korrosionsbeskyttelse>.
- A. Reese et al, A. R. (2020). Characterization of alloying components in galvanic anodes as potential environmental tracers for heavy metal emissions from. *Chemosphere* 257 (2020) 127182.
- BEK nr 792 af 13/06/2023. (u.d.). Bekendtgørelse om overvågning af overfladevandets, grundvandets og beskyttede områders tilstand og om naturovervågning af internationale naturbeskyttelsesområder.
- BEK nr 796 af 13/06/2023. (u.d.). Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand.
- Bell et al. . (2020). Does galvanic cathodic protection by aluminum anodes impact marine organisms?
- Bell et al. . (2020). Ecotoxicological characterization of emissions from steel coatings in contact with water.
- Bell et al. (2021). UV aged epoxy coatings – Ecotoxicological effects and released compounds.
- Caplat et al. (2020). Transfer of elements released by aluminum galvanic anodes in a marine sedimentary compartment after long-term monitoring in harbor and laboratory environments.
- Cornwell and Owens. (2011). Quantifying Sediment Nitrogen Releases Associated with Estuarine Dredging. *Aquat Geochem* 17, 499–517 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10498-011-9139-y>.
- DCE. (2017). Vurdering af mulighed for måling af udvalgte stoffer i vand frem for i sediment eller biota .
- DCE. (2021). Vurdering af miljømæssige konsekvenser ved installation af faste anlæg, som eksempelvis havvind, for det marine økosystem med særlig fokus på havbunden.
- DCE. (2024). Tekniske anvisninger. <https://dce.au.dk/udgivelser/tekniske-anvisninger>. DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi.
- Direktiv 2000/60/EF. (2000). Rådets direktiv 20/60/EF af 23. oktober 2000 om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger.
- DTU. (2018). Menneskeskabte påvirkninger af havet - Andre presfaktorer end kvælstof og klimaforandringer.
- DTU. (2024). Frigivelse af næringsstoffer pga. menneskeskabt fysisk forstyrrelse og suspension af havbundssedimenter.
- FORCE Technology. (2017). New developments in coatings for extended lifetime for offshore wind structures. NACE International.
- GEUS. (u.d.). GEUS sedimentationskort <https://www.geus.dk/mineralske-raastoffer/raastoffer-i-danmark/havbundens-overfladesedimenter> .
- Gong et al. (2014). Decomposition mechanisms of cured epoxy resins in near-critical water . *Journal of applied polymer science*.
- Kirchgeorg et al. (2018). Emissions from corrosion protection systems of offshore wind farms: Evaluation of the potential impact on the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 136 (2018) 257–268.
- LBK nr 123 af 01/02/2024. (u.d.). Bekendtgørelse af lov om havstrategi.
- LBK nr 126 af 26/01/2017. (u.d.). Lov om vandplanlægning.
- LBK nr 692 af 26/05/2023. (u.d.). Bekendtgørelse af lov om miljømål m.v. for internationale naturbeskyttelsesområder (Miljømålsloven).
- Martadatabase. (u.d.). <https://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/marin-raastofdatabase-marta> .
- Miljødata.dk. (u.d.). <https://miljoedata.miljoportal.dk/>.
- Miljøministeriet. (2023). Screeningsundersøgelse af udvaksning fra vindmøllevinger. *Miljøprojekt nr. 2242*.



- Miljøministeriet. (2023). Vandområdeplanerne 2021-2027.
- Miljøministeriet. (2024). NOVANA. <https://mst.dk/erhverv/rig-natur/naturen-i-danmark/novana-overvaagning-af-natur-og-vandmiljoe>.
- Miljøministeriet. (u.d.). Danmarks Havstrategi II. <https://mst.dk/erhverv/rent-miljoe-og-sikker-forsyning/vandmiljoe/havet/danmarks-havstrategi-ii>.
- Miljøstyrelsen. (2024). Klapning og nyttiggørelse: <https://mst.dk/erhverv/groen-produktion-og-affald/klapning/typiske-spoergsmaal-og-svaR>.
- Maar et al. (2009). Local effects of blue mussels around turbine foundations in an ecosystem model of Nysted off-shore wind farm, Denmark.
- Maar et al. (2009). Local effects of blue mussels around turbine foundations in an ecosystem model of Nysted off-shore wind farm, Denmark.
- OSPAR. (u.d.). <https://www.ospar.org/work-areas/cross-cutting-issues/ospar-common-indicators>.
- Rådets direktiv 92/43/EØF . (u.d.). Rådets direktiv 92/43/EØF af 21. maj 1992 om bevaring af naturtyper samt vilde dyr og planter.
- Rådets direktiv nr 2008/56/EF. (u.d.). Rådets directive 2008/56/EF om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets havmiljøpolitiske foranstaltninger (Havstrategidirektivet).
- Schoknecht et al. (2022). Release of substances from joint grouts based on various binder types and their ecotoxic effects.
- Vermeirssen et al. (2017). Corrosion protection products as a source of bisphenol A and toxicity to the aquatic environment.