

Risikovurdering af miljøfarlige forurenende stoffer

THOR HAVVINDMØLLEPARK

Dato: 2. oktober 2023

Contents

1	Introduktion.....	1
2	Risikovurdering	1
2.1	Nonylphenoler	1
2.2	Octylphenoler	3
2.3	Kviksølv	4
2.4	BDE	6
2.5	Anvendt overfladebeskyttelse på offshore vindmøller	7
2.5.1	Indhold af miljøfarlige forurenende stoffer i epoxy og polyurethan	8
2.6	Bisphenol A	9
2.6.1	Risikovurdering af afgivelse af monomerer fra overfladebehandling	9
2.6.2	Risikovurdering af tilførsel af miljøfarlige stoffer fra overfladebehandling	10
3	Liste over anvendt litteratur	12
4	Referencer.....	15

1 Introduktion

I Bekendtgørelse om indsatsprogrammer for vandområdedistrikter (BEK nr 797 af 13/06/2023) fremgår det, at der kun kan træffes afgørelse om en direkte eller indirekte påvirkning af et vandområde, hvor miljømålet ikke er opfyldt eller tilstanden ukendt, hvis afgørelsen ikke medfører en forringelse af vandområdets tilstand og ikke forhindrer målopfølgelse. Vurdering af påvirkningens signifikans for vandområdets tilstand beror på en helt konkret vurdering af det enkelte vandområde, og indbefatter i dette tilfælde en vurdering af stofferne, der er årsag til ikke-god kemisk tilstand i de nærliggende vandområder samt oplysninger om stoffernes egenskaber og skæbne i vandområdet.

Projektområdet for Thor Havvindmøllepark går på tværs af de to kystvandområder nr. 133 Vesterhavet nord og 218 Vesterhavet 12 sm, hvor der er ikke-god kemisk tilstand. Dette skyldes, at der i disse vandområder er målt koncentrationer af BDE og kviksølv i biota, der overstiger gældende EU miljøkvalitetskrav, samt koncentrationer af nonylphenoler i sediment i vandområde nr. 218 og octylphenoler i sediment i vandområde nr. 133, der overstiger gældende nationale miljøkvalitetskrav (BEK nr 796 af 13/06/2023). Størstedelen af havvindmøllerne vil dog placeres længere vest på og dermed uden for det målsatte kystvandområde nr. 218 Vesterhavet 12 sm.

Enkeltstofferne, der ligger til grund for den ikke-gode kemiske og økologiske tilstand i vandområderne, behandles nedenfor med det formål at vurdere, om der er risiko for at Thor Havvindmøllepark vil forringe vandområdernes tilstand og forhindre opfyldelse af miljømålet. Aktiviteter, der kan påvirke vandkvaliteten og målsætningerne i vandområderne under anlægsfasen for de ovennævnte enkeltstoffer, relaterer sig til den fysiske påvirkning af havbunden under anlægsarbejdet, som vil forårsage sedimentspredning og potentielt frigivelse af miljøfarlige forurenende stoffer fra det suspenderede sedimentet. Som for kapitlet om vandplanlægning i miljøkonsekvensrapporten, er vurderinger og konklusioner af påvirkninger i demonteringsfasen indeholdt i anlægsfasens vurderinger og konklusioner.

Mulige miljøpåvirkninger i forhold til enkeltstofferne fra havvindmølleparken i drift relaterer sig til afgivelse af stoffer fra korrosions- og overfladebeskyttelse samt spild fra skibe i uheldssituationer. Det bemærkes indledningsvist, at bygherre har indhentet tilsagn fra dennes mulige leverandører om, at der ikke anvendes overfladebehandling, der indeholder BDE, kviksølv, nonylphenoler og octylphenoler. Projektet vil derfor ikke give anledning til en mertilførsel til vandområderne af disse stoffer. Dertil er der i nærværende notat lavet en risikovurdering af miljøfarlige forurenende stoffer fra overfladebehandling, hvor der er taget udgangspunkt i Bisphenol A, som er et nationalt specifikt stof. I denne risikovurdering er Bisphenol A anvendt som et indikatorstof for de miljøfarlige forurenende stoffer, der kan forekomme i overfladebehandlingen af vindmøllekomponenter og tilføres havmiljøet via udvaskning og slitage under driftsfasen.

2 Risikovurdering

2.1 Nonylphenoler

Nonylphenoler hører til gruppen alkylphenoler, og er nedbrydningsprodukter af nonylphenoethoxylater (NPEOn), som er overfladeaktivistoffer. Nonylphenoler er metabolitter, som er giftigere end udgangsstoffet nonylphenoethoxylater. Toksiciteten af nonylphenolforbindelser øges, jo kortere ethoxylatkæden er, således at nedbrydningsprodukterne af NPEOn er mere toksiske end de oprindeligt langkædede forbindelser. Nonylphenoethoxylater anvendes i mange forskellige sammenhænge og findes i f.eks. tekstiler, kosmetik, maling, lak, klæbemidler, fyldstoffer og rengøringsmidler. Nonylphenoethoxylater ender i spildevand, hvor de nedbrydes til nonylphenoler (U.S. Environmental Protection Agency, 2010). Desuden forventes regnbetingede udløb også at udgøre en væsentlig kilde til nonylphenoler i havmiljøet.

Nonylphenoler er hormonforstyrrende stoffer og klassificeret som værende meget giftige overfor vandlevende organismer. Nonylphenoler er syntetiske organiske stoffer, der har en lav vandopløselighed og som er vurderet at være potentielt bioakkumulerbare, idet stofferne optages let i fedtvæv (Miljøstyrelsen, 2002).

I den nationale overvågning er der fundet nonylphenoler i sediment fra vandløb, søer og marine områder med størst hyppighed i kystnære marine områder. Alkylphenolerne (heriblandt nonylphenoler) er i perioden 2008-2013 fundet i 66-95 % af de undersøgte prøver af sediment fra kystnære marine områder, og i perioden 2014-2019 i 35-95 % af de undersøgte prøver. Koncentrationsniveauet af nonylphenoler i prøver fra åbne marine områder er lavere end i prøverne fra kystnære områder. De fundne sedimentkoncentrationer var højere end miljøkvalitetskravet for 12 nonylphenoler i mere end 10 % af de undersøgte marine områder, både kystnære og åbne vandområder (DCE, 2021).

Nonylphenoler kan nedbrydes i sediment, men det vil formentlig være en langsom proces, da stofferne er vurderet som ikke let-nedbrydelige (Miljøstyrelsen, 2020).

Nonylphenoler er på EU's liste over prioriterede stoffer. Miljøkvalitetskravet for nonylphenoler i marint sediment omfatter forskellige isomere forbindelser. Miljøkvalitetskravet for sediment er $2,5 \times f_{oc}$ mg/kg TS og skal beregnes ud fra indholdet af organisk kulstof i sedimentet. Miljøkvalitetskravet for nonylphenoler i vandfasen gælder for 4-nonylphenol (forgrenet) (DCE, 2021). Det generelle miljøkvalitetskrav for nonylphenoler i vandfasen for er $0,3 \mu\text{g/l}$ og maksimumkoncentrationen er $2,0 \mu\text{g/l}$. Der er ikke fastsat miljøkvalitetskrav (MKK) for nonylphenoler i biota.

Den kemiske tilstand i vandområde 218 Vesterhavet, 12 sm er ikke-god grundet målinger af nonylphenoler i sediment, der overstiger det stedspecifikke miljøkvalitetskrav.

Ifølge de data, der ligger til grund for tilstandsvurderingerne ligger koncentrationen af nonylphenoler i vandområde nr. 218 Vesterhavet, 12 sm på $0,008 \text{ mg/kg TS}$ mod et miljøkvalitetskrav på $0,006 \text{ mg/kg TS}$ (vandplandata.dk).

Overfladebeskyttelse af havvindmøller (o.a. stålkonstruktioner) består typisk af en kombination af epoxy og polyurethan baseret beskyttelse, og vil ligeledes indgå i overfladebeskyttelsen af møllerne på Thor Havvindmøllepark. I en epoxy baseret beskyttelse kan der forekomme phenolforbindelser, såsom fx Bisphenol A, p-tert-butylphenol, octylphenol og nonylphenol. (Bell et al., 2020a). Bygherre har dog fået tilsagn fra dennes mulige leverandører om, at der ikke anvendes overfladebehandling, der indeholder nonylphenoler¹. Der vil derfor ikke være risiko for afsmitning af nonylphenoler fra møllernes overfladebehandling.

Det vil således udelukkende være forstyrrelse af sediment i forbindelse med etablering af søkablerne, der vil kunne give anledning til frigivelse og spredning af nonylphenoler i vandområdet.

Spredning af sediment under anlægsaktiviteterne vil foregå over en begrænset tidsperiode (overvejende under 7 dage) og have en lokal udbredelse omkring etableringen af kablerne (op til 2-3 km fra kabeltraceet). Eftersom nonylphenoler ikke er naturligt forekommende, vil det med al sandsynlighed kun være at finde i det øverste lag af havbunden og dermed ikke i den dybere havbund. Kablerne forventes at skulle jettes ned i en dybde på ca. et par meter, som er normal praksis i denne metode. Anlægsaktiviteterne vil således kun give anledning til en begrænset spredning af sediment potentielt indeholdende nonylphenoler, da sedimentspredning af dybere lag (forventeligt $>0,5\text{-}1 \text{ m}$) ikke vil indeholde nonylphenoler. Derudover vil nonylphenoler overvejende forblive bundet til sediment og partikulært materiale, grundet dets lipofile egenskaber (Miljøstyrelsen, 2020), og det vil derfor være begrænsede mængder af nonylphenoler, som kan frigives til vandfasen ved en midlertidig suspension i forbindelse med

¹ Bygherre har indhentet tilsagn fra dennes mulige leverandører om, at der ikke anvendes overfladebehandling, der indeholder BDE, kviksølv, nonylphenoler og octylphenoler.

anlægsarbejderne. Den begrænsede frigivelse af nonylphenoler, der potentielt kan være fra sedimentspredningen, vil desuden hurtigt blive fortyndet og spredt grundet den store vandudskiftning, der er i anlægsområdet.

Der kan ske eventuelle spild fra skibsfartøjer til vandmiljøet under uheldssituationer i forbindelse med anlæg og tilsyn/service under driftsfasen. Det, der måtte spildes ved uheld, vil i det omfang, det er muligt, blive opsamlet. Eventuelle tilbageværende små mængder vil blive fortyndet hurtigt i de store vandmasser til ubetydelige koncentrationer. Dertil vurderes det, at spild ved uheld er en sjælden hændelse.

Det vurderes på baggrund af ovenstående, at Thor Havvindmøllepark ikke udgør en særlig kilde i forhold til tilførsel af nonylphenoler til vandområdet. Samtidig forventes udviklingen af den samlede tilførsel af nonylphenoler til vandområdet at falde grundet myndigheders reguleringer og indsatser for stoffet.

Det vurderes samlet, at frigivelse og spredning ikke vil give anledning til koncentrationsforøgelser af nonylphenol i vand, biota og sediment i vandområdet, og dermed ikke vil forringe tilstanden eller forhindre målopfyldelse for kemisk tilstand i vandområde nr. 218 Vesterhavet, 12 sm.

2.2 Octylphenoler

Octylphenoler repræsenterer en række forskellige forbindelser, der alle består af en kæde af otte carbon atomer, som er arrangeret på forskellige vis (isomerisk). Det er næsten udelukkende 4-tert-octylphenol (CAS nr. 140-66-9), som er kommercielt tilgængelig i Europa (UK EPA, 2005). Octylphenol forekommer ikke naturligt i miljøet, men bliver udledt gennem industriel udledning af selve stoffet og indirekte gennem nedbrydning af andre udledte stoffer som octylphenoethoxylater i tekstil og vandbaserede malinger. Desuden skønnes brug af octylphenoethoxylater i pesticider og biocider at være vigtige kilder til octylphenoler i overfladevand (Boutrup, 2021). Octylphenol anvendes primært til at producere phenol-resiner, som indgår til fx dækproduktion. Derudover bruges octylphenol også til at producere isoleringsmateriale til elektronik samt printerblæk (Miljøstyrelsen, 2020).

Octylphenol er på EU's kandidatliste over særlige problematiske stoffer (SVHC-listen), da det giver hormonforstyrrende effekter i miljøet, og er klassificeret som værende meget giftigt overfor vandlevende organismer og med langvarende virkninger (ECHA, 2011). Bioakkumuleringspotentialet i akvatiske organismer er lavt til moderat, hvilket understøttes af bioakkumuleringsfaktor (BFC) for fisk på 46-471 fundet på baggrund af laboratoriestudier (ECHA, 2011). Koncentrationen af octylphenol blev i 1994 undersøgt i kuller, sild, og ising omkring offshore installationer i Nordsøen. Koncentrationen i muskler og lever var for alle tre arter under detektionsgrænsen (CEFAS, 1997). Octylphenoler vurderes at have en forholdsvis høj metabolisering og ekskretion i pattedyr og det vurderes at der ikke forekommer en bioakkumulering i pattedyr (Miljøstyrelsen, 2020).

Octylphenol er delvist nedbrydeligt ved de rette omstændigheder, særligt i vandfasen, og på iltrige lokaliteter, der er eksponeret for sollys. I et studie fra England med målingstider for sollysnedbrydning i en lavvandet bæk (25 cm) blev der fundet halveringstider (DT50) på mellem 6,9 og 13,9 timer (UK EPA, 2005). Under iltfrie forhold ses der ingen nedbrydning af stoffet (ECHA, 2011), ligesom at nedbrydningen vil være lav i miljøer, hvor sollys ikke når ned. Miljøstyrelsen har derfor overordnet vurderet octylphenoler som værende ikke let nedbrydelige (Miljøstyrelsen, 2020). For mikroorganismer kan der forekomme bionedbrydning efter en tilpasningsperiode (ECHA, 2011).

Octylphenoler er på EU's liste over prioriterede stoffer. Miljøkvalitetskravet for octylphenol i marint sediment er 3,93 x f_{oc} mg/kg TS, hvilket vil sige, at det beregnes i forhold til fraktionen af organisk stof i sedimentet. Det generelle miljøkvalitetskrav for octylphenoler i vandfasen er 0,01 µg/l. Der er ikke fastsat MKK for octylphenoler i biota.

Den kemiske tilstand i vandområde nr. 133 Vesterhav, nord er ikke god grundet octylphenoler i sediment, der overstiger det stedspecifikke miljøkvalitetskrav.

Ifølge de data der ligger til grund for tilstandsvurderingerne ligger koncentrationen af octylphenoler i vandområde nr. 133 Vesterhav, nord på 0,002 mg/kg TS mod et kvalitetskrav på 0,001 mg/kg TS (vandplandata.dk).

Overfladebeskyttelse af havvindmøller (o.a. stålkonstruktioner) består typisk af en kombination af epoxy og polyurethan baseret beskyttelse, og vil ligeledes indgå i overfladebeskyttelsen af møllerne på Thor Havvindmøllepark. I en epoxy baseret beskyttelse kan der forekomme phenolforbindelser, såsom fx Bisphenol A, p-tert-butylphenol, octylphenol og nonylphenol. (Bell et al., 2020a). Bygherre har dog fået tilsagn fra dennes mulige leverandører om, at der ikke anvendes overfladebehandling, der indeholder bl.a. octylphenoler². Der vil derfor ikke være risiko for afsmitning af octylphenoler fra møllernes overfladebehandling.

Det vil således kun være forstyrrelse af sediment i forbindelse med etablering af søkablerne, der vil kunne give anledning til frigivelse og spredning af octylphenoler i vandområdet.

Ved forstyrrelse af sediment i forbindelse med etablering af kablerne, vil der kunne ske frigivelse og spredning af octylphenoler fra sedimentet. Spredning af sediment under anlægsaktiviteterne vil foregå over en begrænset tidsperiode (hovedsageligt under 7 dage) og med en lokal udbredelse omkring etableringen af kablerne (op til 2-3 km på tværs af kabeltraceet). Kablerne forventes at skulle jettes ned i en dybde på ca. et par meter, som er normal praksis i denne metode. Anlægsaktiviteterne vil således kun give anledning til en begrænset spredning af sediment indeholdende octylphenoler, da sedimentspredning af dybere lag (forventeligt >0,5-1 m) ikke vil indeholde octylphenoler, og dermed vil forstyrrelse af de dybere lag ikke frigive disse syntetiske stoffer. Derudover binder octylphenoler overvejende til sediment og partikulært materiale, og det vil derfor være begrænsede mængder octylphenol, som kan frigives til vandfasen ved en midlertidig resuspension. Den begrænsede frigivelse af octylphenoler, der vil være fra sedimentspredningen, vil desuden hurtigt blive fortyndet og spredt grundet den store vandudskiftning der er i projektområdet.

Der kan ske eventuelle spild fra skibsfartøjer til vandmiljøet under uheldssituationer i forbindelse med anlæg og tilsyn/service under driftsfasen. Det, der måtte spildes ved uheld, vil i det omfang, det er muligt, blive opsamlet. Eventuelle tilbageværende små mængder vil blive fortyndet hurtigt i de store vandmasser til ubetydelige koncentrationer. Dertil vurderes det, at spild ved uheld er en sjælden hændelse.

Det vurderes på baggrund af ovenstående, at Thor Havvindmøllepark ikke udgør en særlig kilde i forhold til tilførsel af octylphenoler til vandområdet. Samtidig forventes udviklingen af den samlede tilførsel af octylphenoler til vandområdet at falde grundet myndigheders reguleringer og indsatser for stoffet.

Det vurderes samlet, at frigivelse og spredning ikke vil give anledning til koncentrationsforøgelser af octylphenol i vand, biota og sediment i vandområdet, og dermed ikke vil forringe tilstanden eller forhindre målopfyldelse for kemisk tilstand i vandområde nr. 133 Vesterhav, nord.

2.3 Kviksølv

Kviksølv er et ikke-essentielt tungmetal og betragtes som en af de farligste miljøgifte. I 2013 indtrådte en ny global kviksølvkonvention med henblik på at begrænse kviksølvforurening (Miljøstyrelsen, 2021). I vandmiljøet omdannes metallisk kviksølv af mikroorganismer til methylkviksølv, som har et højt biomagnifikationspotentiale, og derfor kan der forekomme en kraftig ophobning gennem fødekæden af kviksølv (Miljøministeriet, 2019).

² Bygherre har indhentet tilsagn fra dennes mulige leverandører om, at der ikke anvendes overfladebehandling, der indeholder BDE, kviksølv, nonylphenoler og octylphenoler.

I Danmark er forbrændingsanlæg den vigtigste kilde til udslip af kviksølv til luften, hvilket skyldes dårlig sortering af affald. Den næststørste kilde er udslip fra kulraftværker til luften. Udslip til vand sker via spildevand fra kommunale renselanlæg, hvor kviksølv fra tandklinikker vurderes at udgøre den primære belastning. Udslip til jord sker især fra spildevandsslam og kirkegårde (Miljøstyrelsen, 2021). Der findes flere diffuse kilder til kviksølv i vandmiljøet, hvor atmosfærisk deposition, grundvand, gødning samt slam er de dominerende kilder (DHI, 2020). DHI har beregnet, at diffuse kilder bidrager til en kviksølvkoncentration i overfladevand på 0,016 – 0,055 µg/l.

Siden Miljøstyrelsens opgørelse over forbruget af kviksølv i Danmark, er brugen af kviksølv til tandfyldninger reduceret markant og erstattet af plastik. Anvendelsen af lysstofrør og sparepærer er også i meget stor udtrækning blevet erstattet af LED, der ikke indeholder kviksølv. Forbruget af kviksølv må derfor antages at være reduceret væsentligt og ligeledes forekomsten i bl.a. spildevand.

I 2020 var kviksølvkoncentrationen i 39 % af muslingeprøverne fra hele DK over miljøkvalitetskravet (DCE, 2021b). Dette ligger på niveau med målingerne i 2019, men er lavere end andelen i de øvrige år fra 2012 til 2018, som udgjorde 39-48 %. Udviklingen skal dog ses med det forbehold, at nogle stationsplaceringer ændres over tid, og at det således ikke nødvendigvis er en direkte tidslig udvikling, der fremgår af procentfordelingerne (DCE, 2019). Sammenlignes koncentrationer af kviksølv målt i biota i perioden 2008-2013 med perioden 2014-2019, ses der overordnet et fald i koncentrationer over tid (DCE, 2021).

Kviksølv er et EU prioriteret stof. Specielt for kviksølv gælder, at der ikke findes et generelt miljøkvalitetskrav for vand, men kun en maksimumkoncentration på 0,07 µg/l (BEK nr 796 af 13/06/2023). Derudover er der for kviksølv fastlagt et miljøkvalitetskrav for biota på 20 µg/kg VV. Kviksølv har en lav vandopløselighed.

Thor Havvindmøllepark vil ikke medføre en mertilførsel af kviksølv til vandområderne. Bygherre har indhentet tilsagn fra dennes mulige leverandører om, at der ikke anvendes overfladebehandling, der bl.a. indeholder kviksølv³. Det vil udelukkende være forstyrrelse af sediment i forbindelse med anlægsfasen, der vil kunne give anledning til frigivelse og spredning af kviksølv fra sedimentet. Spredning af sediment under anlægsaktiviteterne vil foregå over en begrænset tidsperiode (hovedsageligt under 7 dage) og med en lokal udbredelse omkring etableringen af kablerne (op til 2-3 km på tværs af kabeltraceet), der placeres på tværs af de to vandområder. Derudover kan uorganisk kviksølv binde til organisk stof og derved være mindre tilgængeligt for de bakterier, der omdanner uorganisk kviksølv til det giftige methylkviksølv, der kan bioakkumuleres (Miljøstyrelsen, 2014). På grund af bindingen til organisk stof vil det være begrænsede mængder kviksølv, som kan frigives til vandfasen og dernæst optages i biota under en midlertidig sedimentforstyrrelse fra anlægsarbejdet. Den begrænsede frigivelse af kviksølv, der vil være fra sedimentspredningen, vil desuden hurtigt blive fortyndet og spredt grundet den store vandudskiftning, der er i projektområdet. Det vurderes derfor at frigivelse og spredning ikke vil give anledning til koncentrationsforøgelse i vand, biota og sediment i vandområderne.

Der kan ske eventuelle spild fra skibsfartøjer til vandmiljøet under uheldssituationer i forbindelse med anlæg og tilsyn/service under driftsfasen. Det, der måtte spildes ved uheld, vil i det omfang, det er muligt, blive opsamlet. Eventuelle tilbageværende små mængder vil blive fortyndet hurtigt i de store vandmasser til ubetydelige koncentrationer. Dertil vurderes det, at spild ved uheld er en sjælden hændelse.

Det vurderes, at Thor Havvindmøllepark ikke udgør en særlig kilde i forhold til tilførsel af kviksølv til vandområderne i forhold til andre tilførsler af kviksølv fra atmosfærisk deposition, punktkilder og diffus belastning. Samtidig forventes

³ Bygherre har indhentet tilsagn fra dennes mulige leverandører om, at der ikke anvendes overfladebehandling, der indeholder BDE, kviksølv, nonylphenoler og octylphenoler.

udviklingen af den samlede tilførsel af kviksølv til vandområderne at falde grundet myndigheders reguleringer og indsatser for stoffet.

Det vurderes samlet, at frigivelse og spredning ikke vil give anledning til koncentrationsforøgelser af kviksølv i vand, biota og sediment i vandområdet, og dermed ikke vil forringe tilstanden eller forhindre målopfyldelse for kemisk tilstand i vandområde nr. 133 Vesterhav, nord og vandområde nr. 218 Vesterhavet, 12 sm.

2.4 BDE

Anvendelsen af BDE (bromerede diphenylethere), også typisk benævnt bromerede flammehæmmere, har hovedsageligt været som flammehæmmere især i forskellige former for plast, men også i en lang række andre produkter. På trods af det omfattende forbud i 2004, vil der i mange år endnu cirkulere store mængder BDE rundt i samfundet, som bestanddele i diverse plastmaterialer, produkter og artikler, der efterhånden vil ende som affald. En potentielt stor kilde til BDE er shredder anlæg og specielt anlæg til sønderdeling af elektronik og elektriske artikler. Af andre potentielle kilder kan nævnes afdampning fra produkter under almindelig brug, afdampning fra lossepladser, atmosfærisk deposition samt udsivning fra tidligere ikke-kontrollerede lossepladser (Nordic Institut, 2018). Den største kilde til BDE i vandmiljøet er tidligere vurderet at være diffust atmosfærisk nedfald.

BDE er stort set unedbrydeligt. Stoffet har en meget lille opløselighed i vand, og bindes forventeligt kraftigt til partikulært materiale og sediment (Miljøstyrelsen, 2014).

Bromerede flammehæmmere er i danske marine områder tidligere undersøgt i muslinger (2008-2010) og dernæst i fisk i forbindelse med den statslige overvågning. Forekomst af BDE kongenerne er påvist med varierende hyppighed i muslinger og fisk og et spinkelt datagrundlag vanskeliggør undersøgelsen af en statistisk signifikant udvikling. I det omfang det har været muligt at påvise signifikant udvikling i koncentrationen af bromerede diphenylethere fra 2008-2013 til 2014-2019, har der i marine områder været faldende koncentration af BDE#47 og BDE#100, og stigende koncentration af BDE#154 (DCE, 2021).

Derudover er der fundet en tydelig nedgang i niveauerne af BDE i marsvin, som var strandet i Storbritannien (Nordic Institut, 2018). Yderligere er der observeret en trend med faldende koncentrationer af fire BDE-kongener i svensk modermælk, hvilket understøtter trenden omkring en tidlig udvikling mod lavere koncentrationer i miljøet (Nordic Institut, 2018).

Der er således en overordnet nedadgående trend af BDE i miljøet, hvilket peger på, at forbud og kildeopspringer har haft den ønskede effekt. Denne nedadgående trend forventes at fortsætte, da de fleste BDE'er blev forbudt i 2004.

BDE er et EU prioriteret stof. Ligesom for kviksølv, findes der for BDE ikke et generelt miljøkvalitetskrav for vand, men kun et maksimumskvalitetskrav for BDE (summen af koncentrationer af kongenerne nummer 28, 47, 99, 100, 153 og 154) på 0,014 µg/l i havvand, og et miljøkvalitetskrav i biota på 0,0085 µg/kg VV.

Den kemiske tilstand i vandområde nr. 133 Vesterhav, nord og i vandområde 218 Vesterhavet, 12 sm er ikke-god grundet BDE i biota.

Ifølge de data, der ligger til grund for tilstandsvurderingerne, ligger koncentrationen af BDE i vandområde nr. 133 og 128 på hhv. 0,0133 µg/kg VV og 0,038 µg/kg VV mod et miljøkvalitetskrav på hhv. 0,0085 µg/kg VV (Vandplandata, 2022).

Thor Havvindmøllepark vil ikke medføre en mertilførsel af BDE til vandområderne. Bygherre har indhentet tilsagn fra dennes mulige leverandører om, at der ikke anvendes overfladebehandling, der bl.a. indeholder BDE⁴. Det vil udelukkende være forstyrrelse af sediment i forbindelse med anlægsfasen, der vil kunne give anledning til frigivelse og spredning af BDE fra sedimentet. Spredning af sediment i forbindelse med anlægsfasen vil foregå over en begrænset tidsperiode (overvejende under 7 dage) og med en lokal udbredelse omkring etableringen af kablerne (op til 2-3 km fra kabeltracéet), der placeres på tværs af de to vandområder. Derudover binder BDE overvejende til sediment og partikulært materiale, og det vil derfor være begrænsede mængder BDE, som kan frigives til vandfasen ved en midlertidig suspension. Eftersom BDE ikke er naturligt forekommende, vil det med al sandsynlighed kun være at finde i det øverste lag af havbunden og dermed ikke i den dybere havbund. Kablerne forventes at skulle jettes ned i en dybde på ca. et par meter, som er normal praksis i denne metode. Anlægsaktiviteterne vil således kun give anledning til en begrænset spredning af sediment indeholdende BDE, da sedimentspredning af dybere lag (forventeligt >0,5-1 m) ikke vil indeholde BDE, og dermed vil forstyrrelse af de dybere lag ikke frigive disse syntetiske stoffer. Den begrænsede frigivelse af BDE, der vil være fra sedimentspredningen, vil desuden hurtigt blive fortyndet og spredt grundet den store vandudskiftning der er i projektområdet.

Der kan ske eventuelle spild fra skibsfartøjer til vandmiljøet under uheldssituationer i forbindelse med anlæg og tilsyn/service under driftsfasen. Det, der måtte spildes ved uheld, vil i det omfang, det er muligt, blive opsamlet. Eventuelle tilbageværende små mængder vil blive fortyndet hurtigt i de store vandmasser til ubetydelige koncentrationer. Dertil vurderes det, at spild ved uheld er en sjælden hændelse.

Det vurderes, at Thor Havvindmøllepark ikke udgør en særlig kilde i forhold til tilførsel af BDE til vandområderne. Samtidig forventes udviklingen af den samlede tilførsel af BDE til vandområderne at falde grundet myndigheders reguleringer og indsatser for stoffet.

Samlet vurderes det, at frigivelse og spredning af BDE i forbindelse med forstyrrelse af sediment under anlægsaktiviteterne, ikke vil give anledning til koncentrationsforøgelser af BDE i vand, sediment og biota i vandområderne og dermed ikke vil forringe tilstanden eller forhindre målopfyldelse for kemisk tilstand i vandområde nr. 133 Vesterhav, nord og vandområde nr. 218 Vesterhavet, 12 sm.

2.5 Anvendt overfladebeskyttelse på offshore vindmøller

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.

Overfladebeskyttelsen på vingerne består af flere forskellige lag, hvoraf de inderste lag er epoxy baseret, mens det yderste lag består af polyurethan. Formålet med epoxy overfladebeskyttelsen er beskyttelse mod erosion af overfladen på vingerne, som ved erosion vil blive mindre effektive. På den skærende kant af vingen, er der desuden en ekstra beskyttelse "Leading Edge Protection (LEP)", som består af en skal af polyurethan fæstnet med en epoxy primer. På stålkonstruktionerne beskytter overfladebehandlingen mod erosion og korrosion. Tårnet og nacellen på møllerne er behandlet med en epoxymaling, der er overmalet med et lag polyurethan maling. Fundamentet beskyttes mod korrosion dels ved brug af påtrykt strøm (ICCP) (beskrevet i afsnit 24.5.1.1 i miljøkonsekvensrapporten) og dels af et eller flere lag overfladebehandling. Typisk anvendes der, ligesom på tårnet, et indre lag af epoxy og et ydre lag polyurethan som UV-beskyttelse i den atmosfæriske zone. I den neddykkede zone, anvendes der udelukkende epoxy, da UV-beskyttelse ikke er nødvendig i dette tilfælde.

⁴ Bygherre har indhentet tilsagn fra dennes mulige leverandører om, at der ikke anvendes overfladebehandling, der indeholder BDE, kviksølv, nonylphenoler og octylphenoler.

I dette projekt bliver indersiden af fundamenterne desuden behandlet med en tilsvarende overfladebehandling, som den ydre zone, hvilket skal beskytte mod indre rustdannelse, da fundamentet bliver fyldt med havvand ved installationen. Det antages dog ikke, at der foregår udveksling mellem vandet i den indre del af fundamentet og havmiljøet efter installation, hvorfor den anvendte overfladebehandling i fundamentets indre del ikke vil indgå i den videre vurdering.

Polyurethan maling er en polymer med en høj molekylærvægt. Polyurethan bliver dannet ved en polyadditiv reaktion mellem et isocyanat og en polyol. Der kan desuden være flere hjælpestoffer mv., som indgår i reaktionen. Den endelige opbygning af polymeren afhænger af de anvendte resiner og den polyadditive reaktions forløb.

Epoxy overfladebehandling bliver dannet ved en polymerisering af en epoxy resin og eksempelvis en amin resin, som danner en polymer med høj molekylærvægt. Den endelige opbygning af polymeren, afhænger af de anvendte resiner og den polyadditive reaktions forløb.

2.5.1 Indhold af miljøfarlige forurenende stoffer i epoxy og polyurethan

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 isocyanat 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.

Indholdet af rest- og nedbrydningsprodukter i epoxy og polyurethan overfladebehandlinger 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. Det er dermed ikke muligt at beskrive indholdet af organiske stoffer i epoxy og polyurethan i generelle termer, især ikke i forhold til mængden af miljøfarlige forurenende stoffer (MFS), der kan udvaskes fra materialet.

NIRAS har gennem et litteraturstudie og en screening af sikkerhedsdatabladene for typisk anvendte overfladebehandlinger identificeret indholdet af Bisphenol A, 4-tert-butylphenol og Bisphenol A diglycidyl ether som de mest kritiske stoffer i epoxymaling, grundet deres toksicitet og at de udgør den største andel af MFS i malingen. I polyurethan maling, er diisocyanat blevet identificeret som det mest problematiske stof, også her pga. dets toksicitet og at det er det stof, der udgør den største mængde i polyurethanmaling. En liste over videnskabelige artikler, datablade mv. der er anvendt i litteraturstudiet er angivet i Tabel 3.1 i afsnit 3.

Af de to anvendte overfladebehandlinger (epoxy og polyurethan), er det tydeligt at toksiciteten af de udvaskelige organiske stoffer i epoxymaling er størst, eftersom Bisphenol A er det indholdsstof i epoxymaling med det lavest fastsatte miljøkvalitetskrav på 0,01 µg/l (BEK nr 796 af 13/06/2023). Forbindelsen 4-tert-butylphenol og Bisphenol A diglycidyl ether har ikke et dansk fastsat miljøkvalitetskrav (MKK), men PNEC-værdien er af ECHA fastsat til 1 µg/l for begge stoffer (ECHA, 2023; ECHA, 2023). For diisocyanat er der ikke fastsat et dansk miljøkvalitetskrav, men PNEC-værdien er af ECHA fastsat til 14 µg/l (ECHA, 2023). Modsat toksiciteten af udvaskelige organiske stoffer fra de to typer overfladebehandling, er det ikke muligt at vurdere hvilken type maling, der har størst potentiale for at tilføre MFS til miljøet i forhold til stofmængder, som følge af udvaskning fra intakte polymerer. Bisphenol A er det indholdsstof i overfladebehandling af vindmøllekomponenter, der vurderes at være det mest kritiske stof i forhold til udvaskning og toksicitet i havmiljøet, og de videre vurderinger tager derfor afsæt i Bisphenol A, der vurderes at være velegnet som en worst case indikator for potentielle øvrige miljøfarlige forurenende stoffer i overfladebehandling.

2.6 Bisphenol A

Som beskrevet tidligere kan epoxy overfladebehandling indeholde Bisphenol A monomerer, som er ureagerede og dermed ikke inkorporeret i polymeren. Indholdet kan, som det ses i litteraturen, være meget variabelt. Videnskabelige artikler har vist, at Bisphenol A monomerer er relativt let udvaskelige fra epoxymaling og udvaskningen vil umiddelbart stagnere efter 7 dage (Vermeirssen et al., 2017).

Bisphenol A indgår i gruppen af nationale specifikke stoffer, der omfatter en række andre stoffer foruden de EU prioriterede, der er vurderet relevante for danske forhold. Miljøkvalitetskravet for Bisphenol A i marine vande er 0,01 µg/l (BEK nr 796 af 13/06/2023).

Bisphenol A er derudover på EU's kandidatliste over særligt problematiske stoffer (SVHC-listen) fordi det skader fertiliteten og er hormonforstyrrende. I miljøet har Bisphenol A ligeledes hormonforstyrrende virkning på en række organismer og anses for at være giftigt. Stoffet er hverken persistent eller bioakkumulerbart (Miljøstyrelsen, 2005). Bisphenol A anses for værende let bionedbrydeligt og studier har vist, at når der i vandmiljøet er sket en adaptering, dvs. tilpasning til nedbrydning af Bisphenol A, vil der være en 100 % fjernelse af bisphenol A indenfor 2-17 dage efter en forudgående lag-fase på 3-8 dage (Miljøstyrelsen, 2005).

Udover at de kan forekomme som restprodukter i overfladebehandlingen, kan Bisphenol A, 4-tert-butylphenol og Bisphenol A diglycidyl ether også findes som nedbrydningsprodukter fra epoxypolymeren, især når den bliver udsat for længerevarende UV-stråling (Bell et al., 2021). På grund af indholdet af aromatiske ringe i epoxypolymeren er den nedbrydelig af UV-stråling, hvorfor der i malingslag over vandlinjen anvendes et lag polyurethan som yderste lag for at beskytte epoxymalingen mod UV-stråling. Polyurethan yder ikke samme beskyttelse som epoxy og kan derfor ikke anvendes som den eneste overfladebehandling på møllen.

Til Europa-Kommissionen er der fremsat et forslag omkring begrænsning af Bisphenol A og lignende bisphenoler i produkter, blandt andet epoxymaling, til 10 ppm (ECHA, 2023). Hvis indholdet af bisphenoler i produkter er under 10 ppm, er argumentet herfor, at det ikke bør kunne medføre skadelige miljøeffekter som følge af stofafgivelse til miljøet. Efter en endt offentlig høring er forslaget midlertidigt trukket tilbage og gennemgår en revurdering ift. grænseværdier og producentansvar. Det forventes, at der indenfor den nærmeste fremtid vil blive fremsat et revurderet forslag.

RWE har indhentet tilsagn fra flere leverandører omkring begrænsning af indholdet af Bisphenol A i overfladebehandling til 10 ppm. Desuden har samtlige fundamentleverandører givet tilsagn om overholdelse af fremtidige grænseværdier for Bisphenol A og tilsvarende bisphenoler (Bisphenols of similar concern – BoSC), som potentielt vil være trådt i kraft ved opførelsestidspunktet i projektet.

Nedenfor er der foretaget en risikovurdering for afgivelsen af det ureagerede og dermed letudvaskelige monomerer, der efterfølges af yderligere en risikovurdering af tilførsel af miljøfarlige forurenende stoffer fra udvaskning og afskalning af malingen over hele driftsperioden.

2.6.1 Risikovurdering af afgivelse af monomerer fra overfladebehandling

Som beskrevet ovenfor kan monomerer, eksempelvis Bisphenol A, som ikke er blevet inkorporeret i epoxypolymeren ved den polyadditive reaktion udvaskes fra den færdige overfladebehandling. Disse monomerer er sandsynligvis relativt let udvaskelige og det antages derfor, at hele stofmængden af Bisphenol A som indikatorstof bliver udvasket fra den færdigopstillede mølle over 7 dage.

Opstilles en simpel "badekarsmodel" for møllerne, hvilket vil sige et afgrænset vandvolumen, kan koncentrationen af Bisphenol A i vandfasen beregnes. For at beregne koncentrationer opstilles en række antagelser;

1. Indholdet af Bisphenol A i overfladebehandlingen på fundamentet er 10 ppm og denne stofmængde udvaskes lineært over 7 døgn.
2. Der udvaskes ikke Bisphenol A fra øvrige dele af møllen.
3. Hele vandmængden i området omkring en mølle udskiftes en gang pr døgn og ikke kontinuerligt. Dette medfører en overestimering af koncentrationen i vandområdet.
4. Tabet af overfladebehandling sker til et område omkring møllen med en radius på 350 meter, svarende til en normal blandingszone i marint vand.
5. Dybden i området omkring møllen er 26,25 meter, svarende til middeldybden af projektområdet.

Jf. ovenstående antagelser beregnes den resulterende koncentration af Bisphenol A i området omkring hver mølle til 0,0002 µg/l/dag over 7 dage. Dermed overskrides MKK for Bisphenol A på 0,01 µg/l ikke på noget tidspunkt af udvaskningsperioden. Selv hvis hele stofmængden på 10 ppm blev udvasket over 1 døgn, ville dette ikke overskride MKK. På grund af de store vandmængder i havområdet vil koncentrationer af Bisphenol A op til 500 ppm udvasket over 7 dage ikke overskride MKK for Bisphenol A.

Der findes ikke målinger af den i forvejen forekommende koncentration af Bisphenol A i projektområdet eller tilstødende vandområder. På Danmarks Miljøportal Vanda er der hentet målinger fra Køge Bugt og Aarhus Bugt, hvor der i alle tilfælde ikke er målt koncentrationer af Bisphenol A i vandfasen over detektionsgrænsen. Derfor vurderes det rimeligt at antage, at den i forvejen forekommende koncentration er nul i projektområdet, eftersom potentielle kilder fra land er langt mindre i projektområdet for Thor Havvindmøllepark end i de indre farvande omkring Aarhus Bugt og Køge Bugt.

Fraværet af målbare koncentrationer stemmer også overens med halveringstiden for Bisphenol A i vand på < 10 dage, som følge af fotodegradering og bionedbrydning. Der akkumuleres altså ikke Bisphenol A i højere koncentrationer i vandfasen som følge af kontinuerlige udledninger, da Bisphenol A ikke er persistent i vandmiljøet, som beskrevet indledningsvist i afsnit 2.6.

På denne baggrund vurderes det, at projektet ikke medfører risiko for overskridelse af miljøkvalitetskrav for letudvaskelige organiske stoffer fra overfladebehandlingen anvendt på fundamentet, hverken i vand, sediment eller biota i vandområdet. Ligeledes vurderes udvaskningen af letudvaskelige stoffer ikke at medføre koncentrationsforøgelser i sediment og biota, da stofferne i vandfasen vil blive spredt og fortyndet øjeblikkeligt i vandmasserne og idet stofnedbrydningen sker efter kort tid.

2.6.2 Risikovurdering af tilførsel af miljøfarlige stoffer fra overfladebehandling

Som beskrevet ovenfor, findes der ikke præcise modeller eller antagelser omkring den samlede tilførsel af MFS til miljøet fra havvindmøller over hele deres levetid.

Tilførslen af organiske stoffer til miljøet fra overfladebehandlede installationer på havet foregår ad to veje; udvaskning og afskalning. Afskalning af maling (overfladebeskyttelse) kan forekomme på vinger og tårn, som følge af mekaniske påvirkninger, især fra regn og vindmodstand. Fundamentet er udsat for en tilsvarende mekanisk belastning i form af regn og havvand. Ved fundamentet kan der desuden ske afskalning, hvis der forekommer rustdannelse under malingen. Afskalningen forekommer typisk i form af malingsstykker på 1x1 cm, som falder af konstruktionen, men dette bør ikke forekomme, hvis overfladebeskyttelsen er korrekt påført.

For udvaskning er det især de områder af fundamentet under vandlinjen, der er relevante, da de er i konstant kontakt med vand. Det kan antages, at der forekommer udvaskning fra konstruktioner over vandlinjen, dog i markant mindre grad grundet den relativt begrænsede kontakt med vand. Her vil en betydelig del af udvaskningen til miljøet ske i form af udvaskningen fra afskallet maling. Den afskallede maling vil ikke i sig selv være toksisk, da den som udgangspunkt stadig består af en stort set intakt polymer, der på grund af dens størrelse og molekylærevægt har begrænset

toksicitet. Der forekommer sandsynligvis en anden dynamik i udvaskning og nedbrydning af maling efter afskalning, som følge af øget kontakt med vandfasen og delvis nedbrydning af polymeren, som den afskallede maling består af.

Som det fremgår ovenfor, er det ikke muligt at beskrive tilførslen af miljøfarlige stoffer fra møllerne til det omgivende havmiljø i præcise detaljer, hverken i form af sammensætning eller størrelse på grund af et manglende vidensgrundlag og de dynamiske forhold, som påvirker tilførslen efter installation af møllen.

For nuværende foreligger der et meget begrænset datagrundlag omkring erosion og tab af overfladebehandling fra vindmøllefundamenter til miljøet. I det nærværende projekt er den præcise sammensætning af overfladebehandlingen på fundamentet desuden ikke fastlagt i skrivende stund. I tidligere havvindprojekter er der observeret store forskelle i tabet af overfladebehandling fra fundamenter, der ses både store tab af overfladebehandling og efterfølgende rust og overfladebehandlinger, som er stort set intakte (Force Technology , 2017).

Siemens Gamesa har til NIRAS oplyst estimater på tab og erosion af overfladebehandling fra vinger, nacelle og tårn. Disse estimater er blandt andet baseret på beregninger med grundlag i den nu nedlagte Vindeby havvindmøllepark.

Siemens Gamesa oplyser, at der ved brug af en intern model, er beregnet et maksimalt tab af overfladebehandling fra vingerne på 35,7 kg pr mølle over 25 år i det nærværende projekt. Dette tal er beregnet med udgangspunkt i at der ikke installeres LEP (Leading Edge Protection) på vingerne, hvilket der vil blive i nærværende projekt, og dermed er det oplyste maksimale tab en worst case betragtning, idet installationen af LEP forventes at kunne reducere tabet fra vingerne betydeligt. Det forventes, at det primært vil være det yderste lag polyurethan maling, der vil blive eroderet. Andelen af epoxymaling, der eroderes, vil sandsynligvis udgøre få procent af den samlede mængde tabt maling.

Derudover har Siemens Gamesa ved observationer fra demonteringen af Vindeby havvindmøllepark estimeret tabet af overfladebehandling på nacelle og tårn til 0-10 % pr mølle, hvoraf størstedelen af de observerede konstruktioner ikke havde synlig erosion af overfladebehandlingen. Hvis det antages, at tabet pr mølle vil være 10 % i det nærværende projekt, vil det samlede tab af maling fra tårn og nacelle være 43 kg pr mølle over 25 år. Ved Vindeby havvindmøllepark blev det observeret, at epoxymalingen under det yderste lag polyurethan maling var intakt. Det bestyrker derved de tidligere forventninger af, at det primært vil være polyurethan maling, der tabes fra tårn og nacelle.

Dermed vil der i alt tabes 3,15 kg/pr år over møllens driftsperiode fra vinger, tårn og nacelle.

Da der ikke findes konkrete data for tabte mængder maling til miljøet i en vindmølles levetid, anvendes data som AkzoNobel har fremsendt til NIRAS (Bundesanstalt Für Wasserbau, 2019). AkzoNobel har fremsendt en rapport, der er udarbejdet af det tyske føderale institut Bundesanstalt für Wasserbau (BAW). I rapporten har BAW målt lagtykkelsen af Interzone 954 og Interzinc 52 over en femårig periode, hvor malede stålkonstruktioner har været udsat for havvand under naturlige forhold. Der er observeret et maksimalt tab på 6,3 % af lagtykkelsen over fem år, mens middelværdien for tabet er 0,78 % over fem år. I dette tilfælde antages en worst case betragtning, hvor det årlige tab sættes til 1,26 %, under antagelse af at tabet sker lineært.

Da den præcise anvendte mængde maling afhænger af det enkelte produkt, tages der udgangspunkt i en almindeligt anvendt epoxymaling til offshore konstruktioner; Interzone 954 og de vejledende mængder oplyst af producenten. Fundamenterne varierer i højde og diameter, men vil maksimalt have et overfladeareal på 1.727 m² over havbunden. I dette tilfælde vil der anvendes 1.586 kg Interzone 954 pr fundament.

Jævnfør ovenstående antagelser vil der i alt tabes 23,1 kg overfladebehandling pr. mølle pr. år fra vinger, nacelle, tårn og fundament lineært gennem driftsperioden.

Opstilles en simpel "badekarsmodel" for møllerne, hvilket vil sige et afgrænset vandvolumen, kan koncentrationen af tabt og/eller udvasket overfladebehandling (maling) i vandfasen beregnes. For at beregne koncentrationer opstilles en række antagelser;

1. Tabet af overfladebehandling foregår lineært over driftsperioden.
2. Der tabes samlet set 23,1 kg overfladebehandling pr år.
3. Hele vandmængden i området omkring en mølle udskiftes en gang pr døgn og ikke kontinuerligt. Dette medfører en overestimering af koncentrationen i vandområdet.
4. Tabet af overfladebehandling sker til et område omkring møllen med en radius på 350 meter, svarende til en normal blandingszone i marint vand.
5. Dybden i området omkring møllen er 26,25 meter, svarende til middeldybden af projektområdet.

Den resulterende koncentration af tabt overfladebehandling, både polyurethan og epoxy, omkring hver mølle kan beregnes til 0,0056 µg maling/l/dag i driftsperioden. Som tidligere beskrevet, er dette en konservativ antagelse, da det egentlige tab fra fundamentet forventes at være flere gange mindre end worst case, og der ikke er indregnet kontinuerlig vandudskiftning. Selv ved denne worst case betragtning fremgår det, at den resulterende koncentration af maling ikke vil overskride miljækvalitetskravet for Bisphenol A og dermed ikke for nogle af de øvrige relevante stoffer. Den resulterende koncentration gælder for al overfladebehandlingen (både epoxy og polyurethan) og da indholdet af Bisphenol A er begrænset til kun at findes i epoxymalingen og eftersom nedbrydningen til Bisphenol A fra epoxy-polymeren i litteraturen dertil er påvist til kun at ske i begrænset omfang, vurderes det, at der ikke er risiko for at overskride miljækvalitetskravet for Bisphenol A på noget tidspunkt i løbet af projektets levetid.

Som beskrevet i forrige afsnit, nedbrydes Bisphenol A let i vandmiljøet og er ikke akkumulerende i vandlevende organismer. Der vurderes ud fra de ovenstående worst case beregninger, at der ikke vil forekomme koncentrationer i eller udenfor projektområdet, der overskrider gældende miljækvalitetskrav, og at der ikke vil ske en koncentrationsforøgelse i biota eller sediment. Det samme vurderes at være gældende for de øvrige undersøgte stoffer, 4-tert-butylphenol, Bisphenol A diglycidyl ether og diisocyanate. Bisphenol A er derudover vurderet at være en god indikator for øvrige potentielle miljøfarlige forurenende stoffer i overfladebehandling af havvindmøller.

På denne baggrund vurderes det samlet, at projektet i dets driftsfasen ikke medfører risiko for overskridelse af miljækvalitetskrav for Bisphenol A og øvrige stoffer fastlagt i (BEK nr 796 af 13/06/2023) eller PNEC værdier for andre organiske indholdsstoffer og nedbrydningsprodukter fra overfladebehandlingen anvendt på vinger, nacelle, tårn og fundament i vand, sediment og biota i det omgivende vandområde nr. 218 Vesterhavet, 12 sm og dermed heller ikke i det tilstødende kystvandområde nr. 133 Vesterhav, nord. Projektet vurderes dermed ikke at ville forringe tilstanden eller forhindre målopfyldelse for kemisk tilstand i de to vandområder eller økologisk tilstand for nationalt specifikke stoffer i det kystnære vandområde nr. 133.

3 Liste over anvendt litteratur

NIRAS har i 2023 foretaget et skrivebordsstudie af tilgængelig videnskabelig litteratur og indhentet sikkerhedsdatablade fra nogle af projektejers mulige leverandører. Studiet har været til brug for nærværende risikovurdering af miljøpåvirkninger fra overfladebehandling anvendt på havvindmøller. Nedenfor fremgår en liste over det litteratur og data, der er benyttet.

Tabel 3.1: Liste over videnskabelige artikler, datablade mv., der er benyttet til litteraturstudiet af overfladebehandling for bl.a. indholdsstoffer og toksicitet af MFS i overfladebehandling. Kilder fremgår i tilfældig rækkefølge.

Forfatter	Titel	Udgivelses år
Wang et al.	A comprehensive review on the analytical method, occurrence, transformation and toxicity of a reactive pollutant: BADGE	2021
Bell et al.	Ecotoxicological characterization of emissions from steel coatings in contact with water	2020
Kirchgeorg et al.	Emissions from corrosion protection systems of offshore wind farms: Evaluation of the potential impact on the marine environment	2018
Heisterkamp et al.	Investigating the ecotoxicity of construction product eluates as multicomponent mixtures	2023
Weinell et al.	New developments in coatings for extended lifetime for offshore wind structures	2017
Vermeirssen et al.	Corrosion protection products as a source of bisphenol A and toxicity to the aquatic environment	2017
Solbjerg et al.	Leading Edge erosion and pollution from wind turbine blades	2021
Lomholt et al.	Unification of corrosion protection for offshore wind farms - collaboration in partnerships	2018
West et al.	Exploring structure/property relationships to health and environmental hazards of polymeric polyisocyanate prepolymer substances. Design of experiments, aquatic exposure, and acute aquatic toxicity	2022
Miljøstyrelsen	Screeningsundersøgelse af udvaskning fra vindmøllevinger	2023
Fischer et al.	Identification of relevant emission pathways to the environment and quantification of environmental exposure for Bisphenol A	2021
Environment and Climate Change Canada Health Canada	Screening assessment Epoxy Resins Group	2019
Bell et al.	UV aged epoxy coatings_Ecotoxicological effects and released compounds	2021
Schoknecht et al.	Release of substances from joint grouts based on various binder types and their ecotoxic effects	2022
ECHA	ANNEX XV RESTRICTION REPORT	2022
Bae et al.	The quantification and characterization of endocrine disruptor bisphenol-A leaching from epoxy resin	2002
Bruchet et al.	Leaching of bisphenol A and F from new and old epoxy coatings: laboratory and field studies	2014
Luscher et al.	Sea-based sources of microplastics to the Norwegian marine environment	2021
Hodkovicova et al.	Effects of plastic particles on aquatic invertebrates and fish – A review	2022
Luo et al.	Environmental behaviors of microplastics in aquatic systems: A systematic review on degradation, adsorption, toxicity and biofilm under aging conditions	2022
Hempel	Hempathane HS 55613 SDS	2023
Hempel	Hempadur 4774D SDS	2023
AkzoNobel	Interzone 954 SDS	2023

AkzoNobel	Interzone 954GF SDS	2023
AkzoNobel	Interzone 1000 SDS	2023
AkzoNobel	Interthane 990 SDS	2023
AkzoNobel	Interthane 990E	2023
AkzoNobel	Interzone 954GT	2023

4 Referencer

- BEK nr 796 af 13/06/2023. (u.d.). Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand. Miljøministeriet.
- BEK nr 797 af 13/06/2023. (u.d.). Bekendtgørelse om indsatsprogrammer for vandområdedistrikter.
- Bell et al. (2021). UV aged epoxy coatings – Ecotoxicological effects and released compounds.
- Bell et al., A. M. (2020a). Ecotoxicological characterization of emissions from steel coatings in contact with water. Water Research.
- Boutrup, S. K.-G. (2021). *Miljøfarlige forurenende stoffer i vandmiljøet. NOVANA. Tilstand og udvikling 2009-2019.*
- Bundesanstalt Für Wasserbau. (2019). Prüfung und Bewertung von Beschichtungsstoffen für den Korrosionsschutz im Stahlwasserbau. 204-11.
- CEFAS. (1997). *Monitoring and surveillance of non-radioactive contaminants in the aquatic environment and activities regulating the disposal of wastes at sea 1994.*
- DCE. (2019). Marine områder 2019.
- DCE. (2021). MILJØFARLIGE FORURENENDE STOFFER I VANDMILJØET - NOVANA. tilstand og udvikling 2008-2019. nr. 466. <https://dce2.au.dk/pub/SR466.pdf>.
- DCE. (2021). Miljøfarlige forurenende stoffer i vandmiljøet. NOVANA. Tilstand og udvikling 2009-2019. *Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 466 2021.*
- DCE. (2021b). Marine områder 2020.
- DHI. (2020). Kvantificering af tilførsel af miljøfarlige forurenende stoffer fra diffuse kilder til vandmiljøet. Miljøstyrelsen.
- ECHA . (2023). <https://echa.europa.eu/da/registration-dossier/-/registered-dossier/15260>.
- ECHA. (2011). *SVHC SUPPORT DOCUMENT. 4-(1,1,3,3-TETRAMETHYLBUTYL)PHENOL, 4-TERT-OCTYLPHENOL. European Chemicals Agency.*
- ECHA. (2023). <https://echa.europa.eu/da/registration-dossier/-/registered-dossier/14695/1/1>.
- ECHA. (2023). <https://echa.europa.eu/da/registration-dossier/-/registered-dossier/22590/1/1>.
- ECHA. (2023). <https://echa.europa.eu/da/restrictions-under-consideration/-/substance-rev/71401/term>.
- Force Technology . (2017). New developments in coatings for extended lifetime for offshore wind structures . *NACE International.*
- Miljøministeriet. (2019). *Miljøstyrelsen.* Hentet fra <https://mst.dk/kemi/>.
- Miljøstyrelsen. (2002). Nonylphenol og nonylphenolethoxylater i spildevand og slam. Miljøprojekt nr. 704, 2002.
- Miljøstyrelsen. (2005). Datablad for Bisphenol A. <https://edit.mst.dk/media/2sxct3hv/bisphenol-a-80-05-7.pdf>.
- Miljøstyrelsen. (2014). Kviksølvforurening i jord. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2014/02/978-87-93026-61-2.pdf>.
- Miljøstyrelsen. (2014). Survey of brominated flame retardants Part of the LOUS-review Environmental Project No. 1536, 2014.
- Miljøstyrelsen. (2020). *Datablad: Fastsættelse af kvalitetskriterier for vandmiljøet 4-tert-octylphenol.*
- Miljøstyrelsen. (2020). Fastsættelse af kvalitetskriterier for vandmiljøet. 4-tert-nonylphenol CAS nr. 84852-15-3 .
- Miljøstyrelsen. (2021). Kviksølv. <https://mst.dk/kemi/kemikalier/fokus-paa-saerlige-stoffer/kviksoelv/>.
- Nordic Institut. (5. juli 2018). Notat om PBDE og PFOS i havnesediment.
- Schoknecht et al. (2022). Release of substances from joint grouts based on various binder types and their ecotoxic effects.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2010). Nonylphenol (NP) and Nonylphenol Ethoxylates (NPEs) Action Plan.
- UK EPA. (2005). *Environmental Risk Evaluation Report: 4-tert-Octylphenol.*
- Vandplandata. (2022). <https://vandplandata.dk/vp3hoering2021/vandomraade>.
- Vermeirssen et al. (2017). Corrosion protection products as a source of bisphenol A and toxicity to the aquatic environment.

