

# MIC risicobeoordeling in monopiles

Subsidieproject voor RVO TKI wind op zee

Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland."



PROJECT: Subsidieproject RVO TKI wind op zee  
PROJECTTITEL: MIC risicobeoordeling in monopiles

DOCUMENTTYPE: Openbaar rapport  
PUBLICATIEDATUM: 9 april 2020  
PROJECTLEIDER: Friso Postma  
AUTEUR(S): Friso Postma  
COLLEGIALE TOETS  
EN APPROVAL: Herman de Vries

**Microbial Analysis b.v.**

*Bezoekadres:* Rozenburglaan 13C; 9727 DL Groningen

*Telefoon:* 050 520 54 70

*Email:* [info@microbialanalysis.com](mailto:info@microbialanalysis.com)

*Website:* [www.microbialanalysis.com](http://www.microbialanalysis.com)



Microbial Analysis werkt met het INK kwaliteitssysteem (Instituut Nederlandse Kwaliteit), een managementmodel, dat is afgeleid van het Europese EFQM Excellence model.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van Microbial Analysis.

© Microbial Analysis b.v.

Op opdrachten aan Microbial Analysis zijn van toepassing de Algemene Voorwaarden voor onderzoekopdrachten aan Microbial Analysis, zoals gedeponeerd bij de Kamer van Koophandel te Groningen.

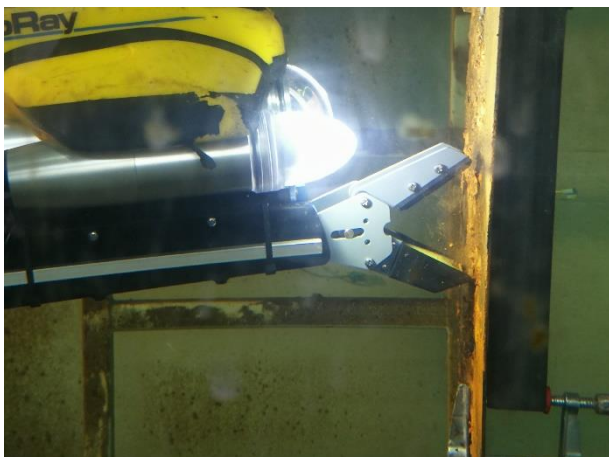
## 1. Introductie

Veel windmolens op zee staan op monopiles, holle buizen die in de zeebodem staan. Deze buizen zijn van buiten gecoat maar hebben aan de binnenzijde veelal geen beschermingsmaatregelen tegen corrosie. Hoewel er relatief weinig atmosferische corrosie wordt verwacht omdat de monopiles zijn afgesloten met een luchtdicht platform, kan wel ernstige microbiologisch beïnvloede corrosie (MIC) plaatsvinden onder deze zuurstofarme omstandigheden (zie de bijlage voor meer informatie over MIC).

Zeewater is rijk aan micro-organismen en nutriënten, het is dan ook vrijwel zeker dat er levende micro-organismen actief zijn in de monopiles. Het is echter onbekend hoeveel invloed deze micro-organismen hebben op eventuele corrosieprocessen in deze monopiles.

Het doel van dit project was om een gestandaardiseerde aanpak te ontwikkelen voor het evalueren van de risico's op microbiologisch beïnvloede corrosie in de monopiles van windmolens op zee.

In samenwerking met Eneco, C-Ventus en Corrosion Laboratory heeft Microbial Analysis bv. methodes ontwikkeld en getest waarmee informatie over corrosie en eventuele MIC in monopiles verkregen kon worden. Zo is gekeken naar de waterchemie zowel binnen als buiten de monopiles, is er een onbemande duikboot gebruikt om binnen de monopile monsters te nemen en te meten (foto 1) en zijn er voor een jaar lang metalen coupons opgehangen die later in detail op biologie, corrosieproducten en corrosiesnelheid gemeten konden worden. Bovendien is er een model ontwikkeld waarmee op basis van simpele chemische parameters een voorspelling gedaan kan worden van de groei en competitie van micro-organismen.



**Foto 1. Een detailweergave van monsternamende door de onbemande duikboot. De duikboot neemt met een klauw een monster van corrosieproducten van een metalen oppervlak. Onderin de klauw bevindt zich een magneet die voorkomt dat de ijzerhoudende corrosieproducten uit de klauw vallen**

## 2. Resultaten

Er is in veel detail gekeken naar zowel de biologische als de chemische en mineralogische gegevens die verzameld zijn in het veld. De metingen hebben laten zien dat er veel microbiologische activiteit binnen de monopiles is, ook die gewoonlijk in verband gebracht kunnen worden met MIC. Echter, uit wandmetingen blijkt dat de daadwerkelijke corrosiesnelheid gelimiteerd is. Resultaten van de coupons laten na een jaar een gemiddelde corrosiesnelheid binnen de monopile zien van 0.025mm/jaar met relatief weinig putvorming.

Na evaluatie van de verzamelde gegevens is gekeken naar de effectiviteit en toepasbaarheid van de ontwikkelde methodes voor het bepalen van risico op MIC in monopiles.

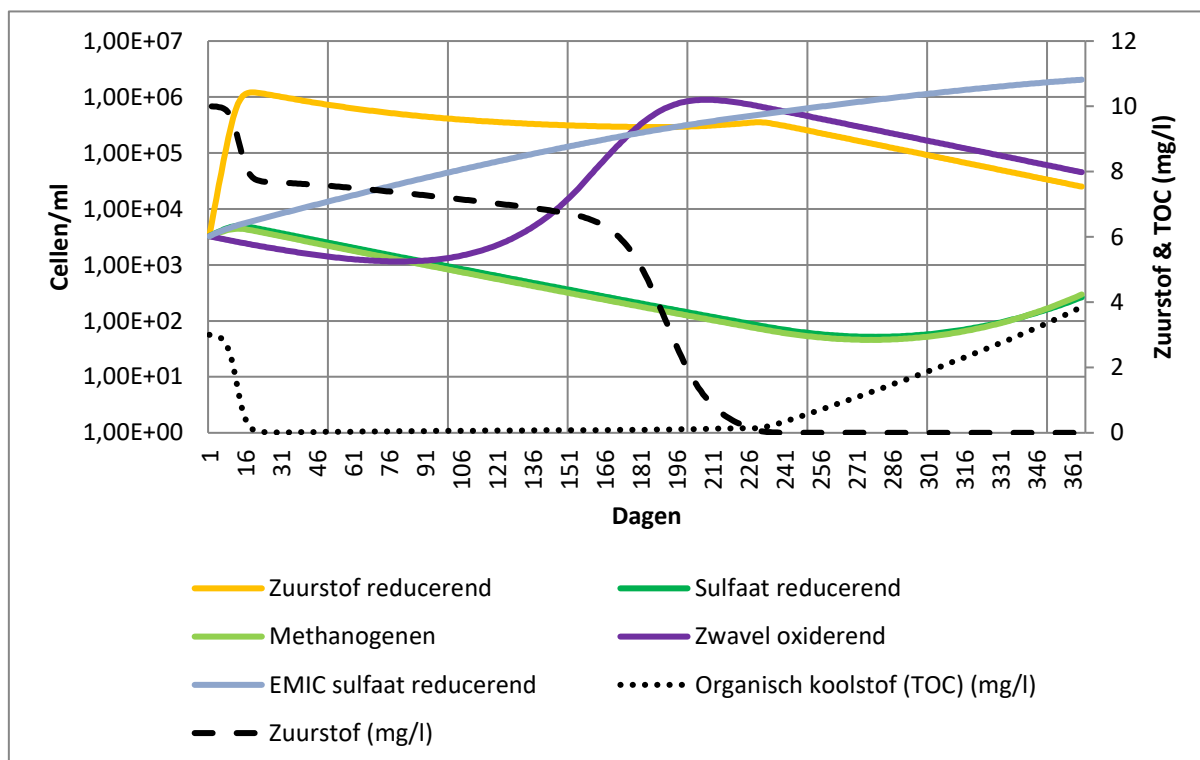
Het bleek dat metingen in de waterkolom alleen niet voldoende zijn om een beeld te geven van de risico's. De gemeten chemische en biologische parameters van het water in de monopiles verschilde niet altijd duidelijk van water uit de omgeving.

De onbemande duikboot kon wanddiktemetingen doen en monsters nemen van corrosieproducten (roest) op de wand van de monopile. Uit tests in een watertank bleek een klauw met een magneet onderin die de ijzerhoudende producten aantrok de beste methode van bemonsteren.

Uit de metingen kwam naar voren dat zuurstof niet helemaal op raakte tussen de werkzaamheden in de monopile. Iedere keer dat er mensen naar binnen gaan wordt de monopile geventileerd waardoor er weer nieuw zuurstof ingebracht wordt. Biologische metingen van coupons en de wand van de monopile lieten ook zien dat er micro-organismen leefden die zuurstof gebruiken. De snelst corroderende coupons bleken de coupons te zijn die boven de waterlijn waren aangebracht en dus blootgesteld werden aan de lucht in de monopile. De coupons in het zeewater bevatten wel corrosie gerelateerde micro-organismen, echter we zien op deze coupons een gering materiaalverlies wat bovendien niet lijkt te worden veroorzaakt door activiteit van deze gevonden micro-organismen.

In één geval zijn coupons van de bodem van de monopile gevist nadat ze naar beneden waren gevallen. Op deze coupons bleken wel micro-organismen te zitten die in zuurstofarme omstandigheden groeien en gewoonlijk ernstige corrosie kunnen veroorzaken, zogenaamde Sulfaat Reducerende Bacteriën (SRB). Het zou zeer interessant zijn om beter te kijken naar het deel van de monopile dat onder de grond zit, want SRB zijn beruchte corrosieveroorzakers.

Een rekenmodel is ontwikkeld wat de groei van micro-organismen simuleert in een gesloten ruimte zoals een monopile, waarbij micro-organisme en omgeving elkaar beïnvloeden. Een voorbeeld van een simulatie van zeewater in een monopile is te zien in figuur 1, waarbij afhankelijk van de beschikbare nutriënten een verwacht verloop van de microbiële populatie wordt gesimuleerd over een jaar.



Figuur 1. Een voorbeeld van de resultaten van het ontwikkelde model. De groei van een aantal micro-organismen waarvan bekend is dat ze zijn betrokken bij MIC is gesimuleerd. Daarbij zijn ook de organische koolstof en zuurstof concentraties weergegeven om te laten zien hoe de micro-organismen in dit model invloed uitoefenen op hun omgeving en vice versa

## 3. Discussie

### ***Knelpunten***

Gedurende het project zijn er vele praktische overwegingen gemaakt op het gebied van bemonstering omdat de offshore monopiles een uitdagende omgeving zijn.

Zo moet er in een kleine ruimte onderwater bemonsterd worden, een duiker zou niet door de toegang passen die naar het binnenste van de monopile leidt. Vandaar dat er een onbemand voertuig is gebruikt waarvoor een speciale 'bemonsteringsklauw' is ontwikkeld.

Ook de verzameling van biologische monsters offshore was een uitdaging. De materialen die hiervoor gebruikt worden zitten gewoonlijk in kartonnen verpakking. Karton is niet goed bestand tegen de natte omgeving op een dek, en bovendien niet praktisch bij het vervoeren tussen windmolen, schip en kade. Hiervoor is een offshore bemonsteringskit ontwikkeld, bestaande uit een waterdichte stevige plastic koffer met een op maat gemaakte voering waar alle materialen precies in pasten. Alle materialen werden daar bovenop kleur gecodeerd zodat in bemonsteren in het veld zeer makkelijk werd.

### ***Perspectief voor toepassing***

Het uitvoeren van dit project heeft tot een aantal directe toepassingen geleid. Het bemonsteren met behulp van een ROV kan ook in andere windmolens toegepast worden voor zowel het uitvoeren van diktemetingen als het nemen van monsters van corrosieproducten op de wand van de monopile. De ontwikkelde methode voor offshore bemonstering voor biologische monsters is al in andere offshore projecten toegepast, en wordt beschouwd als een radicale verbetering ten opzichte van het nemen van zeewater monsters. Het modelleren van biologische activiteit is verder ontwikkeld gedurende dit project. Na afronding van dit project wordt dit gevalideerd met behulp van laboratoriumonderzoek. Het model kan momenteel al berekeningen doen op het gebied van materiaalverlies door MIC, wat beslissingsondersteunend werkt voor eigenaren voor windparken. Het doel is om dit model komende tijd verder te valideren aan de hand van in de praktijk voorkomende situaties.

### ***Bijdrage aan de doelstelling van de regeling***

Tijdens de EWEA2011 offshore conferentie werd uitgelicht dat OPEX 23% van de gehele energie opwekkingskosten beslaat voor offshore windmolens. Ook in de onderzochte windmolens is kostbaar onderhoud gepleegd toen bleek dat de overgangsdelen tussen windmolen en monopile niet altijd goed afsloten. Ook CAPEX zijn hoog voor offshore windmolens, overdimensionering van de monopiles door de onvoorspelbare aard van corrosie wordt bijvoorbeeld toegepast. Biologisch beïnvloedde corrosie (MIC) in het bijzonder kan tot extreme corrosie leiden, beter begrip van dit probleem zou CAPEX kunnen verlagen. Het resultaat van dit onderzoek heeft geleid tot een beter begrip van MIC in offshore windmolens, en een tool (model) die ook bij kan dragen aan preventie, al in de ontwerpfase van een windpark. Door MIC beter te kunnen definiëren kan overdimensionering verminderd worden, wat materiaal en transportkosten kan besparen. Ook beheersmaatregelen als coatings (beter bestand tegen MIC) en cathodische bescherming (beter afgestemd op MIC) kunnen betere en efficiëntere bescherming bieden als deze op het daadwerkelijke risico afgestemd worden.

Met een MIC risico voorspelling kunnen ook onderhoud- en inspectiefrequentie afgestemd worden gebaseerd op risico's, waardoor minder onnodige veldoperaties uitgevoerd hoeven te worden. Het voorkomen van onverwacht falen van constructies door corrosie voorkomt reputatieschade en draagt bij aan het groene beeld van windenergie.

Concluderend; het begrijpen en modelleren van biologische corrosiemechanismen in offshore monopiles leidt tot kostenbesparing, zowel voor CAPEX als OPEX en zowel in de ontwerpfase als voor bestaande windparken.

Meer informatie over dit project?

Neem contact op met:

Microbial Analysis BV

Herman de Vries

[hdevries@microbialanalysis.com](mailto:hdevries@microbialanalysis.com)

+31 50 520 54 70

## Appendix 1 Microbiologische corrosie (MIC)

MIC is een vorm van corrosie die wordt veroorzaakt of versneld door de biologische activiteit van micro-organismen. MIC wordt geacht betrokken te zijn in ongeveer 35% van alle corrosiegevallen en kan lokaal leiden tot 10 – 100 maal hogere corrosiesnelheden. Micro-organismen kunnen het corrosieproces op verschillende manieren beïnvloeden:

1. Door het vormen van **biofilms**. Een biofilm wordt gevormd wanneer micro-organismen aan een oppervlakte hechten, vaak is dit zichtbaar als slijmlaag. Micro-organismen in een biofilm kunnen tussen- en eindproducten uitwisselen en verschillende zones creëren die voldoet aan de eisen van een bepaalde microbiële soort (bijvoorbeeld door het ontwikkelen van zuurstofvrije zones in een omgeving die zuurstofrijk is). Biofilms hebben als gevolg dat micro-organismen zeer persistent zijn.
2. Als gevolg van de activiteit van bacteriën ontstaat **depolarisatie**. Zoals hierboven beschreven betreft corrosie altijd een anode en een kathode waarbij polarisatie optreedt totdat er een evenwicht is bereikt. Door het wegtrekken van gevormde producten kan voorkomen worden dat dit evenwicht bereikt wordt. Dit proces wordt ook wel depolarisatie genoemd. Kathodische depolarisatie kan biologisch optreden doordat bacteriën bijvoorbeeld waterstof dat zich aan de kathode vormt consumeren. Door de consumptie van de gevormde waterstof wordt de elektronenoverdracht vergemakkelijkt waardoor meer ijzer in oplossing treedt.
3. Door productie van **corrosieve afscheidingsproducten**. Veel micro-organismen produceren als gevolg van hun metabolisme zuren die het metaal verder aantasten. Voorbeelden zijn organische zuren zoals vetzuren (bijvoorbeeld acetaat) of anorganische zuren (bijvoorbeeld waterstofsulfide, zwavelzuur of koolzuur).
4. Sommige micro-organismen kunnen via **directe elektronenoverdracht** zorgen voor de oxidatie (of reductie) van ijzer onder anaerobe omstandigheden (EMIC). Bij EMIC worden elektronen direct uitgewisseld met het metalen oppervlak zonder tussenkomst van metabolieten. Het materiaal wordt direct als elektronendonor of acceptor gebruikt, voor de micro-organismen een hele efficiënte vorm van elektronenoverdracht. Hierdoor wordt het corrosieproces plaatselijk (sterk) versneld.

Van alle MIC betrokken organismen worden de sulfaatreducerende bacteriën verondersteld de belangrijkste en meest agressieve veroorzakers te zijn. Ook van andere typen micro-organismen is bekend dat ze betrokken zijn bij MIC, zoals de anaerobe (onder de afwezigheid van zuurstof levende) ijzerreducerende bacteriën en methaanproducerende archaea. Daarnaast ook de aerobe (onder de aanwezigheid van zuurstof levende) bacteriën waaronder zwavel- en ijzeroxiderende bacteriën. Hieronder wordt informatie gegeven over de groepen micro-organismen die typisch betrokken zijn bij het microbiële corrosieproces.



**Sulfaatreducerende bacteriën (SRB)**

Sulfaatreducerende bacteriën zijn veelal betrokken bij MIC. Deze bacteriën gebruiken sulfaat als bron van energie en produceren daarbij het toxische waterstofsulfide ( $H_2S$ ). Ze kunnen ook ijzersulfides ( $FeS$ ) vormen op het metalen oppervlak, deze ijzersulfide afzettingen zijn elektrisch geleidend. Deze geleidende aard vergemakkelijkt corrosiemechanismen in het algemeen en daarnaast ook MIC processen. De sulfaatreducerende bacteriën groeien onder anaerobe omstandigheden in een omgeving die voldoende sulfaat en organisch materiaal bevat. Sulfaatreducerende bacteriën zijn in staat om het corrosieproces te beïnvloeden door indirecte of directe elektronenoverdracht.

**Zwaveloxiderende bacteriën (SOB)**

Zwaveloxiderende bacteriën gebruiken sulfide ( $S^{2-}$ ) of zwavel ( $S$ ) als bron van energie en produceren daarbij sulfaat ( $SO_4^{2-}$ ). Deze groep micro-organismen beïnvloedt het corrosieproces direct door productie van zwavelzuur ( $H_2SO_4$ ). Zij zijn daarmee in staat te overleven in een zuur milieu. Ze leven vaak in symbiose met de sulfaatreducerende bacteriën: de SOB consumeert sulfide dat wordt geproduceerd door SRB, terwijl de SRB het sulfaat consumeert dat wordt geproduceerd door de SOB.

**IJzeroxiderende bacteriën (IOB)**

IJzeroxiderende bacteriën gebruiken opgelost (of gereduceerd) ijzer ( $Fe^{2+}$ ) als bron van energie en produceren daarbij geoxideerd ijzer ( $Fe^{3+}$ ). Voor dit proces vereisen ze lage zuurstofconcentraties. Door verwijdering van  $Fe^{2+}$  van het metaaloppervlak wordt het evenwicht bij de anode verstoord, waardoor meer ijzer in oplossing gaat. Geoxideerd ijzer ( $Fe^{3+}$ ) precipiteert en is zichtbaar als roestgekleurde deeltjes (veelal in een slijmerige laag van micro-organismen).

**IJzerreducerende bacteriën (IRB)**

IJzerreducerende bacteriën gebruiken geoxideerd ijzer ( $Fe^{3+}$ ) als energiebron en produceren daarbij opgelost (of gereduceerd) ijzer ( $Fe^{2+}$ ). Zij zijn betrokken bij het MIC proces doordat ze  $Fe^{2+}$  vrijmaken voor de IOB, en daardoor een symbiotische relatie ontstaat tussen de twee groepen (vergelijkbaar met SRB en SOB).

**Methaanproducerende archaea**

De methaanproducerende micro-organismen (ook wel methanogenen genoemd) behoren tot de archaea. Ze gebruiken eenvoudige moleculen zoals  $CO_2$ ,  $H_2$  en acetaat als energiebron en produceren daarbij methaan ( $CH_4$ ). Deze organismen zijn strikt anaeroob en aanwezigheid is derhalve een goede indicatie dat een bepaalde omgeving (gedeeltelijk) anaeroob is. Omdat ze  $H_2$  als bron van energie kunnen gebruiken, kan het evenwicht op de kathode worden verstoord, waardoor de corrosiesnelheid toeneemt. Van sommige methaanproducerende micro-organismen is beschreven dat ze naast indirect ook directe elektronen kunnen uitwisselen met metalen oppervlaktes.