

Quantifying the cOntribUTion of Fouling fauna to the Local carbon budget of an Offshore Wind farm

SAMENVATTING

1. Context en onderbouwing

Offshore windmolenparken (WMP) breiden zich snel uit in Europese wateren als onderdeel van de transitie naar koolstofarme energiesystemen. Naarmate de geïnstalleerde capaciteit toeneemt, gaan deze structuren mariene ecosystemen steeds sterker beïnvloeden, zowel op lokale als op regionale schaal. De funderingen van de turbines introduceren grote hoeveelheden hard substraat in een omgeving die van nature bestaat uit een overwegend zandige omgeving, en worden snel gekoloniseerd door dichte aangroei-gemeenschappen die worden gedomineerd door suspensievoeders. Deze organismen filteren grote volumes zeewater voor voedsel en produceren aanzienlijke hoeveelheden fecale pellets. Dit proces verandert deeltjesfluxen, sedimentsamenstelling en biogeochemische kringlopen in de omgeving van de turbines. Hoewel eerdere aantoonde dat de hoeveelheid organisch materiaal toeneemt nabij de turbines, en de fauna in dat gebied ook verandert bleef de precieze omvang, de onderliggende mechanismen en de ecologische betekenis van deze effecten onvoldoende gekwantificeerd. Het OUTFLOW-project werd daarom opgezet om een geïntegreerde beoordeling te maken van de manier waarop aangroefauna de koolstofcyclus beïnvloedt op meerdere ruimtelijke schalen binnen en rondom WMP in het Belgisch deel van de Noordzee (BDNZ).

2. Doelstellingen van het project

Het project had tot doel de bijdrage van aangroefauna aan de lokale en regionale koolstofbalans van offshore windparken te kwantificeren. Het OUTFLOW project had daarom vijf hoofddoelstellingen. Ten eerste werd beoogd om een methode te ontwikkelen waarmee de relatieve bijdrage van verschillende bronnen van organisch materiaal in het mariene milieu kunnen worden onderscheiden en gekwantificeerd. Deze methode wordt dan toegepast in het mariene milieu. Ten tweede wilde het project nagaan of fecale pellets geproduceerd door aangroei-gemeenschappen worden opgenomen in bentische voedselwebben. De derde doelstelling was om de biogeochemische mineralisatieprocessen te beschrijven in de permeabele sedimenten rond windturbines. Ten vierde werd gestreefd naar het karakteriseren van de koolstofvoetafdruk van een individuele turbine en het kwantificeren van de hoeveelheid koolstof die in de directe omgeving wordt opgeslagen en gerecycleerd. Tot slot had OUTFLOW als doel om de lokale waarnemingen op te schalen naar windpark- en regionale schaal met behulp van geavanceerde hydrodynamische en biogeochemische modellen.

3. Methodologische aanpak

Om deze doelstellingen te realiseren, hanteerde OUTFLOW een interdisciplinaire aanpak die veldwaarnemingen, laboratoriumanalyses, voedselwebmodellering en hydrodynamische en biogeochemische simulaties op meerdere ruimtelijke schalen combineerde. Tijdens veldcampagnes werden sedimenten rond turbinefunderingen met hoge ruimtelijke resolutie bemonsterd, langsheen transecten van 7 tot 75 meter vanaf de erosiebeschermingslaag, waarbij stalen werden verzameld voor nutriëntenprofielen in het poriënwater, granulometrie, organische koolstof, pigmenten en stabiele-isotopenanalyses. Staalnames in de waterkolom leverden gedetailleerde informatie over zwevend materiaal, chlorofyl-a en omgevingscondities onder verschillende stromingsregimes in de grensoverschrijdende offshorewindzone aan de Belgisch-Nederlandse grens. De bijdrage van faecale pellets aan het organisch materiaal in de waterkolom werd verder onderzocht aan de hand van data

rond stabiele isotopen in aminozuren. Voedselwebstructuur en koolstoffluxen werden onderzocht met behulp van lineaire inverse modellering, waarbij verschillend tussen natuurlijke voedselwebben van grof- en fijnzandige sedimenten en OWP-omgevingen werden gekwantificeerd. Hydrodynamische en biogeochemische modellering, gebaseerd op het COHERENS-model, maakte gebruik van geneste roosters met resoluties tot 10 meter, om de verspreiding en depositie van faecale pellets en fytodetritus te simuleren. Verdere regionale simulaties met een resolutie van 500 meter werden uitgevoerd om de effecten van WMP op primaire productie, deeltjesfluxen en benthische koolstofcyclus te analyseren op grotere ruimtelijke schaal.

4. Belangrijkste wetenschappelijke bevindingen

4.1 Effecten van offshore windparken op de voedselwebstructuur

Het WMP-voedselweb vertoonde de hoogste soortenrijkdom van de onderzochte habitats, maar had tegelijkertijd de laagste totale biomassa. Deze verminderde biomassa was grotendeels toe te schrijven aan de afwezigheid van de grote depositie-etende zee-egel *Echinocardium cordatum*, die in belangrijke mate bijdraagt aan de totale biomassa in de referentie sedimenten. Hoewel het WMP-voedselweb aanzienlijk meer trofische verbindingen bevatte dan de grof- of fijnsedimentwebben, waren deze verbindingen doorgaans zwak. De connectiviteit en recyclingindices waren lager in het WMP-voedselweb, wat wijst op een minder matuur en mogelijk minder stabiel systeem. Soorten van harde substraten speelden, een disproportioneel grote rol in de koolstofopname, ondanks hun beperkte ruimtelijke verspreiding, en waren verantwoordelijk voor ongeveer een kwart van de opname van koolstof uit de waterkolom..

4.2 Productie en depositie van faecale pellets

Aangroeiorganismen zoals de blauwe mossel (*Mytilus edulis*), de vlokreeft *Jassa herdmani* en de zeeanemoon *Metridium senile* produceerden grote hoeveelheden faecale pellets, waarbij *Mytilus edulis* de belangrijkste bijdrage leverde. Deze pellets zinken naar de zeebodem waar ze bijdragen aan een meetbare aanrijking aan organisch materiaal nabij turbinefunderingen. Deze depositie wordt echter sterk beïnvloed door getijstroomingen, wake-dynamiek en ruimtelijke variabiliteit in stromingspatronen, wat tot complexe patronen in koolstofaccumulatie leidt. Hoewel faecale pellets effectief een nieuwe en traceerbare koolstofbron vormen, bleef hun bijdrage relatief klein in vergelijking met de bijdragen van natuurlijke fytodetritus.. Niettemin vormt de depositie van faecale pellets een functioneel belangrijk proces gezien het efficiënte en snelle transport van organisch materiaal naar de zeebodem.

4.3 Sedimentbiogeochemie en mineralisatiedynamiek

De sedimenten binnen het WMP-gebied bleven overwegend permeabel, wat leidde tot snelle advectieve uitwisseling van poriënwater bevorderde en de beperking van langdurige koolstofopslag. Lokale toenames in totale organische koolstof in het sediment bereikten bijna negen procent ten opzichte van achtergrondwaarden, maar deze koolstof werd niet permanent opgeslagen. Mineralisatie verliep efficiënt door de dynamische bodemomstandigheden en de permeabele sedimentstructuur. Modellering toonde aan dat de samenstelling van het afgezette organisch materiaal—met name de verhouding tussen faecale pellets en fytodetritus—de afbraaksnelheden sterk beïnvloedde. De aanwezigheid van turbines verhoogde dus de afzetting van koolstof op korte termijn, maar leidde niet tot substantiële opslag op lange termijn.

4.4 Processen in de waterkolom

Waarnemingen in de waterkolom toonden aan dat zwevend materiaal en chlorofylconcentraties voornamelijk werden bepaald door regionale hydrodynamische patronen, waaronder de invloed van de Scheldemonding en getijwerking. Hoewel een toename werd gemeten in menging en resuspensie binnen het WMP-gebied werd waargenomen, waren de effecten die door WMP werden veroorzaakt beperkt in vergelijking met de natuurlijke achtergrondvariabiliteit. De afwisselende noord- en zuidwaartse stromingen veroorzaakten namelijk sterke ruimtelijke en temporele gradiënten die het grootste deel van de waargenomen variatie verklaarden.

4.5 Regionale opschaling en ecosysteemimpact

Modelmatige opschaling liet zien dat waarneembare effecten op lokale schaal beperkt bleven wanneer ze over grotere ruimtelijke domeinen werden geïntegreerd. Simulaties toonden een afname van fytoplanktonbiomassa binnen een straal van ongeveer zeven kilometer rond het WMP, veroorzaakt door filtratie door aangroefauna. Verder van de turbines ontstond echter een ringvormige zone waar licht verhoogde fytoplanktonbiomassa wordt verwacht. Dit wordt verwacht door de nutriëntenaftgifte via fauna excretie. Alhoewel de depositie van faecale pellets grotendeels beperkt bleef tot het WMP-gebied, omvat het volledige depositiegebied en zone tot tien kilometer langs de dominante getijas. Veranderingen in koolstofvoorraden in de zeebodem waren kleiner dan veranderingen in depositiesnelheden, omdat snelle mineralisatie een langdurige accumulatie van koolstof tegenwerken.

5. Conclusies

Het OUTFLOW-project resulteerde in de eerste geïntegreerde analyse van de invloed van aangroefauna op koolstofdynamiek in en rond offshore windparken in het Belgisch deel van de Noordzee, gesteund op een combinatie van veldwaarnemingen en modellen. Het project toont aan dat aangroegemeenschappen nieuwe trofische routes creëren die primaire productie in de waterkolom koppelen aan benthische processen, wat leidt tot lokale aanrijking met organisch materiaal en meetbare veranderingen in voedselwebstructuur. De permeabiliteit van de sedimenten en de dynamische hydrodynamische omstandigheden beperken echter de opslag van koolstof op langere termijn. Hoewel WMP duidelijke ecologische en biogeochemische effecten veroorzaken op schaal rond turbines en binnen WMP, blijven de effecten op regionale schaal relatief beperkt.

6. Aanbevelingen

Het project beveelt aan om de veldbemonstering rond turbinefunderingen ruimtelijk uit te breiden zodat langere gradiënten en meerdere assen ten opzichte van de getijstrooming rond verschillende funderingstypes worden onderzocht. Hydrodynamische modellen moeten verder verfijnd worden om lokale turbulentie, gedetailleerde wake-dynamiek en interacties tussen turbines beter te voorspellen. Verdere opschalingsoefeningen dienen rekening te houden met de toename of afname in biomassa op en rond individuele turbines. Tot slot zou continue monitoring van de waterkolom met geautomatiseerde systemen essentiële continue gegevens opleveren ter aanvulling van kortdurende meetcampagnes.

trefwoorden: offshore windmolenpark, koolstofkringloop, voedselweb, Noordzee, opschaling