Wpływ morskiej energetyki wiatrowej na ekosystemy i rybołówstwo w kontekście książki Every Last Fish autorstwa Rose George

AUTOR

Fundacja Dobre Państwo

STRESZCZENIE / ABSTRACT

Artykuł analizuje wielowymiarowy wpływ farm wiatrowych na środowisko morskie, przeciwstawiając go klasycznemu przełowieniu. Autor skupia się na różnicach między hałasem impulsowym (faza budowy) a ciągłym (eksploatacja), podkreślając złożoność odbioru dźwięku przez ryby (particle motion kontra ciśnienie). Tekst wskazuje, że ocena wpływu inwestycji nie może być jednowymiarowa, gdyż zależy od anatomii gatunku, fazy cyklu życia projektu oraz krytycznych momentów biologicznych, takich jak tarło czy migracje. Podkreślono konieczność stosowania zaawansowanego modelowania układu źródło-droga-odbiorca, aby rzetelnie ocenić stres środowiskowy i jego realne skutki ekologiczne, wykraczając poza uproszczone tezy zawarte w literaturze popularnonaukowej.

How can the impact of wind farms on the environment be reliably studied, and how can the conflicting interests of different sea users be reconciled?

Artykuł analizuje transformację oceanów w złożoną 'technonaturę', gdzie rozwój morskiej energetyki wiatrowej przestaje być jedynie kwestią technologiczną, a staje się wyzwaniem ekosystemowym i społecznym. Autor stawia tezę, że wpływ farm wiatrowych na środowisko morskie nie jest jednowymiarowy – nie można go sprowadzić do prostego dychotomicznego podziału na 'szkodliwe' lub 'pomocne'. Zamiast tego, oddziaływanie inwestycji wynika z dynamicznej interakcji wielu presji: od hałasu

impulsowego i pól elektromagnetycznych, przez zmiany hydrodynamiki i efektu sztucznej rafy, aż po socjoekonomiczne wypieranie rybołówstwa (spatial squeeze). Tekst argumentuje, że tradycyjne modele oceny oddziaływania są niewystarczające, ponieważ ignorują synergię stresorów oraz specyfikę poszczególnych receptorów biologicznych. W konsekwencji autor postuluje przejście od statycznego planowania przestrzennego ku adaptacyjnemu zarządzaniu wspólnym systemem społeczno-ekologicznym, w którym priorytetem jest sprawiedliwość proceduralna i zrozumienie morza jako wielofunkcyjnej sieci powiązań, a nie zbioru odizolowanych działek inwestycyjnych.

SŁOWA KLUCZOWE

morska energetyka wiatrowa | ekosystemy morskie | rybołówstwo offshore | Every Last Fish Rose George | hałas impulsowy | pola elektromagnetyczne kabli | efekt rafy sztucznej | cumulative effects assessment | hydrodynamika morza | maskowanie akustyczne | technonatura | ekologia krajobrazu morskiego | allostatic load | particle motion

Wielowymiarowość presji morskiej energetyki wiatrowej

Morze podzielone: morska energetyka wiatrowa, hałas, hydrodynamika i konflikt o przestrzeń

Rozwój morskiej energetyki wiatrowej wprowadza do analizy oceanu problem innego rodzaju niż klasyczne przełowienie. Trawler oddziałuje na morze przede wszystkim poprzez usuwanie organizmów i fizyczny wpływ narzędzi połowowych. Farma wiatrowa nie eksploatuje ryb jako produktu, lecz zmienia środowisko, w którym żyją: wprowadza pionowe konstrukcje w przestrzeń dotąd pozbawioną takich obiektów, modyfikuje lokalne przepływy, generuje hałas podczas budowy i eksploatacji, wymaga układania kabli, tworzy pola elektromagnetyczne oraz zmienia strukturę dna, co może ograniczać lub reorganizować działalność połowową. Ocena jej wpływu nie może więc przyjmować prostego schematu "turbina szkodzi" albo "turbina pomaga".

Mamy do czynienia z układem wielu presji występujących w różnych fazach cyklu życia inwestycji, które oddziałują na organizmy poprzez odmienne mechanizmy i mogą się w określonych warunkach wzajemnie znosić lub potęgować. Autor książki słusznie wskazuje hałas, wibracje i konflikt przestrzenny jako zasadnicze obszary problemowe, lecz przedstawia hałas eksploatacyjny

zbyt jednolicie, traktując go jako permanentny czynnik stresowy. Aktualna literatura wymaga znacznie bardziej zróżnicowanej oceny.

Najsilniejsze i najlepiej udokumentowane ryzyko akustyczne związane z klasycznymi fundamentami typu monopile występuje zwykle podczas wbijania pali, kiedy uderzenia młota generują krótkotrwałe, bardzo intensywne impulsy. Dźwięk powstający podczas normalnej eksploatacji turbiny jest natomiast zazwyczaj ciągły, niskoczęstotliwościowy i zdecydowanie mniej intensywny, choć może oddziaływać przez dziesięciolecia.

W 2025 roku ICES, syntetyzując stan wiedzy dla Bałtyku, Morza Północnego i Mórz Celtyckich, podkreślił konieczność rozdzielenia fazy budowy, eksploatacji i likwidacji. Stwierdzono przy tym, że mimo rosnącej liczby badań nadal brakuje ocen pozwalających wiarygodnie przełożyć lokalne efekty na poziom całych populacji ryb. Pierwszą trudnością jest sama fizyka dźwięku pod wodą. Człowiek, przyzwyczajony do akustyki powietrza, intuicyjnie utożsamia hałas z ciśnieniem akustycznym odbieranym przez ucho.

U ryb sprawa jest bardziej złożona. Fala dźwiękowa posiada zarówno składową ciśnieniową, jak i ruch cząstek wody - particle motion. Wszystkie ryby wykrywają w pewnym zakresie ruch cząstek poprzez ucho wewnętrzne, natomiast tylko część z nich posiada budowę umożliwiającą efektywne przekształcanie zmian ciśnienia w bodziec słuchowy – na przykład dzięki połączeniom pęcherza pławnego z aparatem słuchowym. W konsekwencji określenie jednej uniwersalnej "granicy hałasu dla ryb" jest biologicznie nieadekwatne. Ten sam sygnał może być bardzo wyraźny dla śledzia albo dorsza, a znacznie mniej istotny dla gatunku o odmiennej anatomii słuchowej. Dodatkowo propagacja dźwięku zależy od głębokości, zasolenia, temperatury, rodzaju osadu, batymetrii oraz częstotliwości sygnału.

Nie wystarczy zatem znać poziomu emisji przy palu. Trzeba modelować cały układ source-path-receiver: charakter źródła, drogę propagacji oraz biologiczną właściwość odbiorcy. Jest to przykład ogólniejszej zasady ekologii stresu: presja środowiskowa nie jest identyczna z jej biologicznym skutkiem. Hałas staje się problemem ekologicznym dopiero wtedy, gdy jego parametry przecinają się z wrażliwością organizmu w odpowiednim czasie i przestrzeni. W przypadku impulsowego hałasu z wbijania pali znaczenie ma zarówno maksymalny poziom pojedynczego impulsu, jak i skumulowana ekspozycja akustyczna. Ryba znajdująca się stosunkowo daleko od źródła może nie doznać uszkodzenia po jednym impulsie, lecz być narażona na setki lub tysiące uderzeń.

Dlatego stosuje się między innymi sound exposure level oraz jego wartość kumulacyjną. Badania eksperymentalne wykazały, że przy wysokich poziomach takiego narażenia mogą występować urazy pęcherza pławnego, krwawienia, uszkodzenia narządów wewnętrznych oraz – zależnie od gatunku i

intensywności – uszkodzenia struktur słuchowych. Nie upoważnia to do twierdzenia, że każda budowa farmy powoduje masowe obrażenia ryb; pokazuje jednak biologicznie wiarygodny mechanizm wymagający uwzględnienia odległości, energii młota, konstrukcji fundamentu oraz zdolności zwierzęcia do oddalenia się od źródła. Klasyczne modelowanie często przyjmuje rybę jako względnie statyczny receptor, podczas gdy w realnym środowisku zwierzę może próbować odpłynąć, zmieniając własną ekspozycję. Sama ucieczka nie jest jednak automatycznie ekologicznie neutralna. Jeśli ryba zostaje wypłoszona z przypadkowego fragmentu akwenu, konsekwencja może być niewielka. Jeśli jednak impulsowy hałas pojawia się na tarlisku w czasie reprodukcji albo w korytarzu migracyjnym, koszt może obejmować utratę dostępu do miejsca biologicznie krytycznego. Ten sam poziom dźwięku może więc być ekologicznie błahy w jednym miesiącu i istotny w innym.

Prowadzi to do rozróżnienia między urazem, zaburzeniem zachowania i zakłóceniem funkcji ekologicznej. Pierwszy poziom obejmuje bezpośrednie uszkodzenie tkanek lub słuchu. Drugi – zmianę prędkości pływania, kohezji ławicy, kierunku ruchu, żerowania lub zachowania antydrapieżniczego. Trzeci pyta, czy te indywidualne reakcje wpływają na przeżycie, reprodukcję, rekrutację albo dynamikę populacji. Literatura jest znacznie bogatsza dla pierwszych dwóch poziomów niż dla trzeciego.

Gatunkowa specyfika i złożoność reakcji ryb na hałas

Badania z 2024 roku wykazały wyraźne, choć silnie zależne od gatunku reakcje behawioralne młodych ryb na hałas z wbijania pali: u labraksa i dorady zaobserwowano zmiany w szybkości pływania oraz organizacji grupy, podczas gdy płastuga reagowała znacznie słabiej. Część osobników habituowała się już w ciągu kilku minut.

Taki wynik jest istotny biologicznie, lecz nie pozwala jeszcze stwierdzić, że populacja danego gatunku ulegnie spadkowi. Samą habituację należy interpretować ostrożnie. Zmniejszenie reakcji behawioralnej może oznaczać, że organizm uznał bodziec za niegroźny, ale może też świadczyć o ograniczonej zdolności do utrzymywania kosztownej reakcji ucieczkowej. Z punktu widzenia fizjologii stresu sama widoczna reakcja nie jest pełnym miernikiem doświadczenia organizmu; zwierzę może przestać gwałtownie uciekać, wciąż wykazując zmiany metaboliczne lub hormonalne. Badania fizjologiczne z 2025 roku dobrze obrazują tę złożoność.

U dwóch gatunków młodocianych ryb ekspozycja na długotrwały zapis hałasu z wbijania pali prowadziła do odmiennych zmian zużycia tlenu: u jednego gatunku wzrosło ono wraz ze zmianami osmolalności, u drugiego spadło. Co istotne, hałas eksploatacyjny turbiny nie wywołał w tym

eksperymencie analogicznego, znaczącego efektu fizjologicznego. Wynik ten podważa zatem proste stwierdzenie, że „hałas z turbin powoduje stres u ryb". Wskazuje raczej na to, że odpowiedź zależy od charakteru dźwięku, gatunku, pory aktywności i mierzonego parametru.

W tym miejscu można odwołać się do teorii allostazy. Organizm utrzymuje funkcjonalną równowagę nie poprzez zachowanie idealnie stałych parametrów, lecz przez ich dynamiczne dostosowywanie do wyzwań. Krótkotrwała odpowiedź stresowa może być adaptacyjna: zwiększa wentylację, mobilizuje substraty energetyczne i modyfikuje zachowanie, co pozwala uniknąć zagrożenia. Problemem staje się dopiero allostatic load, czyli koszt długotrwałego lub powtarzającego się utrzymywania takiej odpowiedzi. Dlatego w badaniach nad farmami wiatrowymi sama detekcja zmiany poziomu kortyzolu, zużycia tlenu czy ruchu nie powinna automatycznie oznaczać uszkodzenia dobrostanu; konieczne jest ustalenie czasu trwania tych zmian, ich odwracalności oraz konsekwencji dla wzrostu, odporności, reprodukcji i przeżycia.

Osobnym mechanizmem jest maskowanie akustyczne. Ryby nie żyją w ciszy – dźwięk służy im do orientacji, wykrywania drapieżników, lokalizowania ofiar, komunikacji, a u niektórych gatunków także do zachowań rozrodczych. Hałas antropogeniczny nie musi być zatem na tyle silny, by uszkodzić słuch, aby mimo to zmniejszyć stosunek sygnału biologicznego do tła. Jest to analogiczne do rozmowy w zatłoczonym pomieszczeniu: rozmówca nie dozna urazu słuchowego, ale informacja staje się trudniejsza do odebrania. Dla zwierzęcia koszt ten może oznaczać krótszy dystans skutecznej komunikacji lub późniejsze wykrycie bodźca kluczowego dla przeżycia. Znaczenie maskowania wzrasta, gdy widmo źródła pokrywa się z zakresem biologicznie istotnych częstotliwości. Hałas eksploatacyjny turbin koncentruje się głównie w niskich częstotliwościach (często poniżej 1 kHz), a więc właśnie w zakresie istotnym dla słuchu wielu ryb.

Przegląd wykonany na zlecenie rządu szkockiego wskazuje, że przy dużych prędkościach wiatru dźwięk operacyjny może być wykrywalny ponad lokalnym tłem na pewnym dystansie, choć rosnący wiatr jednocześnie zwiększa naturalny hałas falowy. Badania terenowe dają w tej kwestii niejednoznaczne wyniki: w niektórych przypadkach obserwowano niższe połowy części gatunków przy wyższym poziomie hałasu, w innych zaś nie wykrywano zmian zachowania znakowanych dorszy. Ta niejednoznaczność nie jest słabością nauki, lecz informacją o systemie. Brak jednego efektu jest sam w sobie wynikiem biologicznym. Jeżeli odpowiedź zależy od gatunku, fazy życia, pory roku, struktury siedliska, tła akustycznego oraz technologii turbiny, regulator powinien porzucić poszukiwanie jednego uniwersalnego promienia „oddziaływania farmy" na rzecz analizy receptorowo-specyficznej.

Jest to szczególnie ważne w przypadku wczesnych stadiów życia. Larwa lub młodociana ryba może mieć znacznie mniejszą zdolność do aktywnego opuszczenia strefy ekspozycji niż osobnik dorosły.

Jeśli krytyczny etap rozwojowy zbiega się z fazą budowy, krótkotrwała presja może przynieść poważniejsze konsekwencje niż długotrwała obecność obiektu w późniejszym okresie. Z punktu widzenia ekologii populacyjnej oznacza to konieczność łączenia map presji akustycznej z mapami spawning grounds, nursery grounds i larval drift, a nie jedynie z ogólnym rozmieszczeniem dorosłych ryb.

Planowanie terminów budowy może być zatem równie ważne jak ograniczanie poziomu hałasu. Seasonal restriction nie usuwa źródła dźwięku, lecz przesuwa je poza okno biologicznej wrażliwości.

Mitygacja hałasu i ryzyko pól elektromagnetycznych

Podobną funkcję pełnią procedury **soft start** lub **ramp-up**, polegające na stopniowym zwiększaniu energii uderzenia młota, co pozwala bardziej mobilnym zwierzętom oddalić się od źródła przed osiągnięciem pełnej mocy. Stosuje się również kurtyny pęcherzykowe, systemy izolujące pal, technologie wibracyjne oraz alternatywne metody fundamentowania. Ich skuteczność zależy jednak od lokalnej geologii, głębokości i charakterystyki samego źródła, dlatego samo wskazanie środka mitygacyjnego nie zastępuje empirycznej weryfikacji jego efektu.

Akustyka nie jest jednak jedynym kanałem oddziaływania. Podmorskie kable przesyłowe generują pola elektromagnetyczne. O ile ekranowanie przewodów ogranicza propagację pola elektrycznego, o tyle pola magnetycznego nie da się w analogiczny sposób całkowicie zatrzymać; dodatkowo ruch organizmu oraz przewodzącej wody w takim polu może indukować pole elektryczne. Ma to szczególne znaczenie dla gatunków wyposażonych w elektro- lub magnetorecepcję: rekinów i płaszczek, części skorupiaków, a potencjalnie także ryb wykorzystujących pole geomagnetyczne podczas migracji. Najnowszy systematyczny przegląd 35 lat badań nad kablami podmorskimi z 2026 roku objął 67 analiz terenowych i laboratoryjnych.

W około dwóch trzecich z nich stwierdzono mierzalne reakcje behawioralne lub fizjologiczne – zwłaszcza u organizmów wrażliwych magnetycznie oraz w ich wczesnych stadiach rozwojowych. Efekty te obserwowano również przy natężeniach występujących naturalnie w środowisku. Jednocześnie autorzy przeglądu podkreślili, że wyniki terenowe są znacznie rzadsze, krótsze i bardziej heterogeniczne niż dane z eksperymentów laboratoryjnych. Jest to modelowy przykład różnicy pomiędzy hazard a ecological risk.

Fakt, że pole elektromagnetyczne wywołuje mierzalną reakcję, dowodzi istnienia mechanizmu oddziaływania, lecz nie rozstrzyga, czy kabel powoduje znaczący efekt populacyjny. Jeśli zwierzę zwalnia na kilka sekund podczas przechodzenia nad przewodem, biologiczny koszt może być

znikomy. Jeżeli jednak linia kablowa przecina wąski korytarz migracyjny, a jej wpływ prowadzi do systematycznych opóźnień, dezorientacji lub zwiększonej podatności na drapieżnictwo, znaczenie problemu rośnie. Ryzyko wynika z iloczynu wrażliwości, intensywności ekspozycji, czasu, częstotliwości oraz ekologicznego znaczenia danego miejsca.

Istotne są także różnice technologiczne między HVAC a HVDC. Prąd przemienny generuje zmienne pole magnetyczne, natomiast prąd stały – pole o charakterze bardziej statycznym. Znaczenie biologiczne obu rozwiązań może być odmienne, gdyż układy sensoryczne zwierząt reagują nie tylko na amplitudę, ale i na częstotliwość oraz kierunek zmian. W praktyce do ekspozycji dochodzą parametry takie jak głębokość zakopania kabla, rodzaj osadu czy rzeczywiste obciążenie sieci. To kolejny powód, dla którego określenie „wpływ kabli" jest zbyt szerokie: kabel nie jest biologicznie jedną kategorią.

Hydrodynamika i synergia stresorów kształtują odpowiedź ekosystemu

Kolejnym problemem jest hydrodynamika. Turbina nie jest jedynie generatorem energii czy źródłem dźwięku, lecz przede wszystkim przeszkodą w przepływającym środowisku. Fundament wywołuje lokalne zaburzenia prądów i turbulencje, tworząc strefy przyspieszonego oraz spowolnionego przepływu. Przy dużej liczbie instalacji efekty poszczególnych konstrukcji mogą się nakładać. Co więcej, sama ekstrakcja energii z przepływu atmosferycznego generuje rozległe atmospheric wakes, które zmieniają prędkość wiatru za farmą, wpływając tym samym na wymianę momentum pomiędzy atmosferą a powierzchnią morza. ICES w 2025 roku zwrócił uwagę, że fundamenty zwiększają lokalne mieszanie i mogą osłabiać stratyfikację w pewnej strefie za konstrukcją, podczas gdy duże zespoły turbin poprzez osłabienie wiatru mogą w innych skalach wzmacniać stratyfikację i zmieniać cyrkulację pionową. Modele dla rozległych scenariuszy na Morzu Północnym wskazują, że przy bardzo gęstej zabudowie zmiany hydrograficzne i ekosystemowe przestają być wyłącznie lokalne. Jest to kluczowe, gdyż ekologiczny efekt farmy nie musi kończyć się na zewnętrznym rzędzie turbin. Hydrodynamika łączy zatem energetykę wiatrową z produkcją pierwotną.

Stratyfikacja determinuje wymianę substancji między warstwą powierzchniową a głębszymi wodami, bogatymi w składniki odżywcze. Jeśli konstrukcje zwiększają mieszanie, mogą lokalnie dostarczać więcej nutrientów do warstwy eufotycznej, zmieniając produktywność fitoplanktonu. Jeżeli natomiast efekt atmosferycznej smugi ogranicza pionowe mieszanie na większym obszarze, proces ten może przebiegać odwrotnie. W literaturze modelowej pojawiają się zatem scenariusze

zarówno lokalnego wzrostu, jak i spadku produkcji pierwotnej, co wymaga szczególnej ostrożności w interpretacji.

Zwiększona produkcja fitoplanktonu nie jest automatycznie „korzyścią dla ekosystemu". W systemie oligotroficznym może ona zwiększać dostępność energii dla sieci pokarmowej, jednak w morzu silnie eutroficznym dodatkowa materia organiczna może nasilić późniejszy rozkład i zużycie tlenu. Ten sam kierunek zmiany parametru może mieć odmienne znaczenie w zależności od stanu początkowego ekosystemu.

To czyni Bałtyk przypadkiem szczególnym. Jest to płytki, półzamknięty akwen o silnych gradientach zasolenia, okresowej i przestrzennej hipoksji oraz rozległej eutrofizacji, wykazujący dużą wrażliwość na zmiany przepływów i stratyfikacji. Nie można więc mechanicznie przenosić wyników uzyskanych w otwartych akwenach oceanicznych. HELCOM już w ocenie kumulatywnych oddziaływań fizycznych traktuje farmy wiatrowe, kable, trawling, wydobycie osadów i żeglugę jako presje, które należy analizować łącznie. Prowadzi to do jednego z najważniejszych pojęć: cumulative effects assessment – CEA. Klasyczna ocena oddziaływania na środowisko często pyta jedynie o skutki pojedynczej inwestycji.

Tymczasem ryba nie doświadcza "inwestycji" jako jednostki administracyjnej. Doświadcza łącznego środowiska: temperatury, niedoboru tlenu, ruchu statków, połowu, hałasu, farmy wiatrowej, kabla, presji drapieżników i dostępności pokarmu. Jeżeli każdy projekt zostanie oceniony jako mający niewielki indywidualny wpływ, suma wielu "niewielkich" presji może mimo to przekroczyć próg istotny biologicznie. Matematycznie kumulacja nie musi być addytywna. Dwa stresory mogą działać synergistycznie, gdy wspólny efekt przewyższa sumę oddziaływań; mogą być antagonistyczne, jeśli jeden osłabia drugi, lub oddziaływać sekwencyjnie. Ryba osłabiona hipoksją może mieć mniejszą rezerwę fizjologiczną, by odpowiedzieć na hałas. Zmiana temperatury może przesunąć czas tarła dokładnie na okres prac budowlanych. Ograniczenie połowu w obrębie farmy może natomiast częściowo kompensować inne lokalne presje.

Ambiwalencja efektu rafy i pułapki lokalnych wskaźników

Ekologia kumulacyjna wymaga zatem nie tylko nakładania map, lecz przede wszystkim rozpoznawania interakcji mechanistycznych. ICES w 2025 roku sformułował istotny wniosek metodologiczny: nie istnieje dziś jeden model zdolny kompleksowo objąć wszystkie społeczne, ekonomiczne i ekologiczne interakcje między energetyką offshore a rybołówstwem. Zaleca się

zatem łączenie narzędzi oceny ryzyka z modelami ekosystemowymi i przestrzennymi. Jest to szczególnie istotne w obliczu pokusy stworzenia pojedynczego „wskaźnika wpływu", który miałby sprowadzić wielowymiarową zmianę morza do jednej liczby.

Kolejnym kluczowym zagadnieniem jest dno morskie i efekt rafy sztucznej. Fundamenty monopile, zabezpieczenia przeciwerozyjne czy bloki skalne wprowadzają do środowiska osadowego twardy substrat, umożliwiając osiedlanie się organizmom, które wcześniej nie dysponowały tam trwałym podłożem. Konstrukcje te kolonizują hydrozoa, małże, skorupiaki i ukwiały, co zwiększa lokalną złożoność strukturalną i dostarcza pokarmu rybom. Badania prowadzone na europejskich farmach wielokrotnie wykazały większą liczebność niektórych grup bentosowych oraz części ryb w sąsiedztwie instalacji. Globalna metaanaliza 109 publikacji (obejmująca 531 efektów ekologicznych) wskazuje na umiarkowany, dodatni średni wpływ konstrukcji sztucznych na badane wskaźniki względem obszarów ich pozbawionych, choć jednocześnie odnotowano bardzo dużą heterogeniczność wyników.

Autor książki podkreślił również istotne luki w danych dotyczących reprodukcji, zachowania i przeżywalności gatunków. Systematyczny przegląd farm wiatrowych z 2024 roku potwierdził podwyższoną liczebność części organizmów w obszarach farm, zwłaszcza ryb demersalnych i gatunków związanych z dnem. Pojęcie „większej liczby ryb" wymaga jednak analitycznej korekty: należy odróżnić attraction od production. Konstrukcja może bowiem działać jak urządzenie agregujące, przyciągając osobniki z otoczenia bez zwiększania całkowitej produkcji populacji. W takim scenariuszu lokalna gęstość wzrasta, lecz biomasa w regionie pozostaje na niezmienionym poziomie. Aby mówić o rzeczywistym wzroście produkcji, konieczne jest wykazanie poprawy przeżywalności, wzrostu lub rekrutacji, a nie jedynie zmiany rozmieszczenia ryb. Rozróżnienie to ma fundamentalne znaczenie zarządcze.

Jeśli badanie porównuje liczbę ryb bezpośrednio przy fundamencie z ich liczbą na jednorodnym dnie w oddaleniu od konstrukcji, może przynieść spektakularny „pozytywny efekt farmy". Z perspektywy całego stada może to być jednak wyłącznie redystrybucja biomasy. Modelowanie dla zachodniego Bałtyku sugeruje właśnie, że ograniczenie presji połowowej w połączeniu ze strukturalną atrakcyjnością farm zwiększa lokalną obecność części ryb bez analogicznego wzrostu ich całkowitej biomasy. Efekt rafy może ponadto zmieniać strukturę gatunkową. Wprowadzenie twardego podłoża do środowiska zdominowanego przez piasek lub muł nie jest prostym „dodaniem siedliska", lecz zamianą jednego typu siedliska na inny.

Gatunki preferujące konstrukcje skalne mogą zyskać, podczas gdy organizmy związane z niezakłóconym osadem tracą. Wzrost lokalnej liczby gatunków nie musi zatem oznaczać przywrócenia naturalnej funkcji ekosystemu. Jest to kluczowe w świetle współczesnej teorii

bioróżnorodności, gdzie liczba gatunków stanowi tylko jeden z wymiarów. Równie istotny jest skład funkcjonalny, struktura troficzna, naturalność zespołu, różnorodność genetyczna oraz zdolność ekosystemu do podtrzymywania procesów. Więcej gatunków przy sztucznej konstrukcji nie jest synonimem lepszego stanu ekologicznego, jeśli wzrost ten wynika z zastąpienia charakterystycznego siedliska zespołem oportunistycznym. Konstrukcje mogą również pełnić funkcję stepping stones, ułatwiając przemieszczanie się gatunków związanych z twardym podłożem przez obszary wcześniej dla nich niedostępne. Dotyczy to zarówno gatunków rodzimych, jak i obcych. ICES wskazał, że infrastruktura offshore może wspierać dyspersję organizmów nieindygennych, choć znaczenie farm wiatrowych na tle portów czy statków pozostaje słabo rozdzielone. Pojawia się zatem paradoks: struktura zwiększająca lokalną różnorodność może równocześnie wspierać biogeograficzną homogenizację w większej skali.

Podobnie ambiwalentny jest reserve effect. Jeśli ze względów bezpieczeństwa ogranicza się stosowanie narzędzi połowowych (zwłaszcza mobilnych narzędzi dennych) wewnątrz farmy, dno zyskuje okresową ochronę przed mechanicznym naruszeniem. Z punktu widzenia bentosu efekt ten może być silniejszy niż bezpośrednie oddziaływania samej turbiny. W określonych warunkach obszar energetyczny zaczyna funkcjonować jako nieformalna strefa ograniczonego połowu, choć nie jest ona równoważna morskiemu obszarowi chronionemu. Cel farmy pozostaje bowiem energetyczny, a nie konserwatorski, zaś ograniczenie połowu wynika z wymogów bezpieczeństwa. Ponadto wyeliminowany wysiłek połowowy nie musi znikać – może zostać przesunięty przestrzennie na sąsiednie łowiska. Jeśli tysiąc godzin trałowania zostanie przeniesione kilka kilometrów dalej, pozytywny efekt wewnątrz farmy będzie współistniał ze wzrostem nacisku poza nią.

To klasyczny przykład leakage, znanego z ekonomii środowiska i polityki ochronnej. Lokalna poprawa nie stanowi pełnej poprawy systemowej, jeśli presja zostaje przeniesiona w inne miejsce. Dlatego właściwą jednostką oceny farmy wiatrowej nie zawsze powinien być poligon inwestycji; może nią być cała przestrzeń rybacka, do której realokowany jest wyparty wysiłek połowowy.

Nierówny dostęp do przestrzeni i problem współmierności wartości

Socjoekonomiczne konsekwencje takiego przesunięcia są rozłożone nierówno. Badania z lat 2024 i 2025 wskazują, że ograniczenie dostępu do tradycyjnych łowisk zwiększa koszty paliwa, wydłuża czas rejsu i zaostrza konkurencję o pozostałą przestrzeń, przy czym odporność flot na te zmiany jest zróżnicowana. Mniejsze jednostki mają węższy promień bezpiecznych operacji i mniejszą zdolność

do przeniesienia działalności na odleglejsze łowiska niż duże statki. Łączy się to bezpośrednio z wcześniejszym problemem tradycyjnego rybołówstwa: formalnie elektrownia wiatrowa nie "odbiera kwoty" małemu rybakowi, lecz może odebrać mu geografię ekonomicznie użytecznego dostępu do kwoty.

Prawo połowowe pozbawione przestrzeni, w której jednostka mogłaby operować bezpiecznie i opłacalnie, traci część swojej realnej wartości. W tym miejscu znajduje ponowne zastosowanie podejście capabilities Sena. Dwaj armatorzy mogą dysponować identycznym uprawnieniem formalnym, a jednocześnie mieć zupełnie odmienną zdolność przystosowania się do zamknięcia akwenu. Jednostka 8-metrowa nie może potraktować dodatkowych 30 mil morskich tak samo jak duży statek wyposażony w chłodnie, większą dzielność morską i zapas paliwa. Spatial displacement jest zatem jednocześnie problemem ekologii i dystrybucji zdolności.

Z kolei argument rybaków o "utracie łowiska" wymaga precyzji. W niektórych jurysdykcjach połów wewnątrz farm jest możliwy, choć obecność kabli, fundamentów i stref bezpieczeństwa może utrudniać stosowanie określonych narzędzi. W Morzu Północnym rozwijane są koncepcje co-location, zwłaszcza dla pułapek, koszy i innych narzędzi biernych. Literatura wskazuje jednak, że bariery prawne, odpowiedzialność za uszkodzenie kabli, ryzyko zaczepienia, ubezpieczenia oraz niepewność ekonomiczna wciąż ograniczają skalę takich rozwiązań. Co-location nie jest więc prostym rozwiązaniem geometrycznym; samo umieszczenie dwóch działalności na tej samej mapie nie gwarantuje ich kompatybilności technologicznej. Konieczna jest analiza typu narzędzia, odległości między turbinami, głębokości kabli, wzorców serwisowania, manewrowości statku i warunków ubezpieczenia.

W praktyce przestrzeń prawna może być otwarta, a przestrzeń operacyjna nadal zamknięta. Do konfliktu o powierzchnię dochodzi konflikt o ryzyko nawigacyjne. Im większe zagęszczenie infrastruktury, tym bardziej statek musi planować manewry względem fundamentów, kabli i jednostek serwisowych, uwzględniając ograniczenia pogodowe. Dla małego rybołówstwa kluczowa nie jest zatem wyłącznie liczba kilometrów kwadratowych wyłączonych z połowu, lecz zmiana geometrii bezpiecznego prowadzenia narzędzia.

Nowoczesna polityka morska potrzebuje czegoś więcej niż tradycyjnego planowania sektorowego. Marine Spatial Planning - MSP powinno być interpretowane nie jako podział pustej mapy pomiędzy przemysły, lecz jako projektowanie wielowarstwowego systemu społeczno-ekologicznego. Te same współrzędne mogą jednocześnie pełnić funkcję tarliska, trasy statku, łowiska, obszaru energetycznego, korytarza migracyjnego i habitatu bentosowego. Nie istnieje zatem jeden "najlepszy" użytkownik przestrzeni bez uprzedniego określenia kryteriów wartościowania. Pojawia się tu problem commensurability, czyli współmierności wartości. Kilowatogodzinę energii łatwo

przeliczyć na wartość rynkową, podobnie jak można oszacować utracony dochód rybaka. Znacznie trudniej jednak wycenić utratę lokalnej wiedzy połowowej, zmianę krajobrazu kulturowego, zakłócenie reprodukcji gatunku czy wzrost odporności ekosystemu dzięki ograniczeniu trałowania.

Planowanie przestrzenne staje się więc nie tylko optymalizacją techniczną, ale również problemem aksjologicznym ukrytym pod mapą GIS. Najnowszy przegląd ICES pokazuje skalę tej trudności. Dla 34 istotnych gospodarczo gatunków z Bałtyku, Morza Północnego i Mórz Celtyckich zastosowano podejście cechowe, by ocenić ich podatność na zmiany związane z farmami. Szczególnie istotne okazały się kwestie resuspensji osadów, przeżywalności rekrutów i interakcji drapieżnik-ofiara; spośród ocenianych gatunków wysoką podatność wykazywał m.in. śledź. Nie oznacza to jednak, że konkretne farmy wiatrowe odpowiadają za zły stan śledzia zachodniobałtyckiego. ICES wyraźnie zaznaczył, że obecna baza dowodowa jest niewystarczająca do ilościowego przypisania takiego wpływu na poziomie stada i nie dostarcza bezpośredniego dowodu, że istniejące farmy są przyczyną jego stanu.

To właśnie jest model naukowo poprawnego języka przyczynowości. Można wykazać plausible mechanism, zidentyfikować podatność i przestrzenne nakładanie się presji, nie posiadając jeszcze dowodu efektu populacyjnego. Między możliwością a wykazanym skutkiem istnieje cała drabina dowodowa. W ocenie farm offshore szczególnym problemem jest właśnie przeskakiwanie tej drabiny: eksperyment laboratoryjny wykazuje reakcję pojedynczej ryby, raport publiczny zaczyna mówić o "zagrożeniu dla stada", a debata polityczna przekształca to czasem w tezę o "niszczeniu rybołówstwa". Ruch w przeciwną stronę bywa równie błędny – brak wykazanego spadku stada zostaje przedstawiony jako dowód całkowitego braku efektów biologicznych.

Wielofunkcyjne zarządzanie morzem jako systemem współdzielonym

Konieczny jest zatem aparat **hierarchii dowodu**. Na najniższym szczeblu znajduje się mechanizm fizycznie możliwy. Wyżej sytuujemy reakcję fizjologiczną lub behawioralną w warunkach laboratoryjnych, następnie obserwację tychże reakcji w środowisku naturalnym, a dalej – wykazanie wpływu na przeżycie lub reprodukcję. Dopiero na szczycie tej drabiny mieści się dowód oddziaływania na populację i stado. Każdy z tych etapów wymaga nowych danych oraz rygorystycznej kontroli czynników zakłócających.

Metodologia terenowa nie jest prostsza. Idealny eksperyment zakładałby losowe przydzielenie identycznych ekosystemów do grupy „farma” i „brak farmy”, co w praktyce jest niemożliwe. Stosuje

się więc schematy **BACI (Before-After Control-Impact)**, które porównują zmiany przed i po budowie w obszarze inwestycji z odpowiednio dobranym obszarem kontrolnym. Siła wnioskowania zależy tu jednak od podobieństwa kontroli, długości szeregu czasowego oraz zdolności do oddzielenia wpływu farmy od równoczesnych zmian klimatu, intensywności połowów i naturalnej zmienności populacji. Jeśli badanie rusza dopiero po wybudowaniu infrastruktury, nie wiadomo, czy różnice między lokalizacjami nie istniały wcześniej. Jeżeli okres „before" obejmuje tylko jeden sezon, może on reprezentować rok nietypowy. Z kolei obszar kontrolny o innej głębokości lub rodzaju osadu obciąża porównanie. W ekologii morza **brak danych bazowych jest jednym z najdroższych błędów poznawczych**, gdyż po wzniesieniu konstrukcji nie można cofnąć czasu, by przeprowadzić rzetelny monitoring przedinwestycyjny.

ICES postuluje zatem stosowanie długich szeregów czasowych, najlepiej przekraczających dekadę, szczególnie przy ocenie kumulatywnego wpływu farm i zmian klimatu. Wymaganie to jest trudne politycznie: transformacja energetyczna opiera się na harmonogramach liczonych w latach, podczas gdy rzetelne rozpoznanie ekologiczne wymaga znacznie dłuższej obserwacji. Powstaje w ten sposób konflikt dwóch rodzajów ostrożności. **Ostrożność klimatyczna** przemawia za szybkim ograniczaniem emisji i budową bezemisyjnych źródeł energii. **Ostrożność ekologiczna** nakazuje powstrzymać się przed głębokimi zmianami w środowisku, jeśli ich długoterminowe skutki pozostają słabo znane. Obie zasady dążą do ochrony przyszłości, lecz mogą prowadzić do przeciwstawnych rekomendacji co do tempa inwestycji. Konfliktu tego nie da się rozwiązać prostym stwierdzeniem, że jedna ze stron „jest ekologiczna", a druga nie.

Spalanie paliw kopalnych również oddziałuje na ocean – poprzez ocieplenie, zakwaszenie, zmianę poziomu morza i redystrybucję gatunków. Punkt odniesienia dla farmy wiatrowej nie może więc zawsze brzmieć: „morze bez turbiny przy niezmienionym świecie". Prawidłowy scenariusz kontrfaktyczny powinien pytać również o to, **jak wyglądałby ekosystem przy alternatywnym systemie energetycznym i związanych z nim emisjach**. Jest to jedna z kluczowych lekcji analizy cyklu życia: technologii środowiskowej nie ocenia się wyłącznie przez pryzmat lokalnego wpływu, lecz względem realistycznej alternatywy. Farma może zwiększać lokalny hałas podwodny i jednocześnie redukować emisje gazów cieplarnianych w porównaniu z produkcją energii z paliw kopalnych. Obie te tezy mogą być prawdziwe jednocześnie. Interdyscyplinarna polityka powinna dążyć do minimalizacji pierwszego efektu, nie ignorując drugiego. Taki sposób myślenia prowadzi do **multi-criteria decision analysis**.

Wybór lokalizacji powinien uwzględniać potencjał energetyczny, koszty przyłączenia, żeglugę, znaczenie łowisk, tarliska, migracje, siedliska chronione, wrażliwość bentosu, krajobraz, bezpieczeństwo oraz rozkład społecznych korzyści i kosztów. Nie chodzi o znalezienie miejsca „bez

konfliktu", gdyż w gęsto użytkowanych morzach może ono nie istnieć. Celem jest poszukiwanie konfiguracji, która zminimalizuje koszt całego systemu.

W tym kontekście metafora **cross sea** zyskuje znaczenie wykraczające poza retorykę. Autor przedstawia morze jako przestrzeń, w której krzyżują się interesy tradycyjnego rybołówstwa, wielkiego przemysłu i nowej energetyki. Nauka tłumaczy tę metaforę na język **multiple-use seascape**: ten sam akwen jest jednocześnie środowiskiem biologicznym, zasobem energetycznym, drogą transportową, źródłem żywności, przestrzenią kultury i obiektem ochrony. Problemem nie jest zatem samo pojawienie się nowego użytkownika morza, lecz sytuacja, w której każdy sektor optymalizuje własny cel, traktując zdolność absorpcji kosztów przez pozostałych jako nieskończoną. Rybołówstwo dąży do zachowania biomasy, energetyka – do zajęcia powierzchni z odpowiednim wiatrem, żegluga – do korytarzy, ochrona przyrody – do refugiów, obrona – do przestrzeni operacyjnej, a turystyka – do walorów krajobrazowych. **Morze jest wspólne nie dlatego, że niczyje, lecz dlatego, że wiele funkcji próbuje korzystać z niego jednocześnie.**

W tym miejscu można ponownie odwołać się do Ostrom. Morska przestrzeń jest dobrem wspólnej puli tylko częściowo: umieszczenie turbiny nie zużywa wody tak jak ryba złowiona z populacji, ale może ograniczyć dostępność danej przestrzeni dla konkretnego rodzaju połowu. Powstaje zatem forma **spatial subtractability** – użycie obszaru przez jeden sektor zawęża wachlarz zastosowań dostępnych pozostałym. Jednocześnie niektóre funkcje mogą być komplementarne: zakaz trałowania wewnątrz farmy może zwiększać integralność dna, a sama konstrukcja tworzyć nowy habitat. Na jednym obszarze można potencjalnie łączyć energetykę z hodowlą małży i wybranymi narzędziami biernymi. Takie multi-use wymaga jednak świadomego zaprojektowania od początku; spontaniczne współistnienie nie jest gwarantowane. W teorii zarządzania jest to problem **co-design**.

Sprawiedliwość proceduralna i adaptacyjne zarządzanie przestrzenią

Rybołówstwo włączone do procesu dopiero po wyborze lokalizacji farmy może negocjować głównie wysokość kompensacji. Jeśli jednak rybacy uczestniczą w procesie przed podjęciem tej decyzji, mogą współtworzyć rozkład turbin, korytarze przepływu, harmonogram budowy i zasady dostępu. Różnica dotyczy więc nie tylko końcowego wyniku, ale przede wszystkim pozycji aktorów w procesie decyzyjnym.

Najnowsze przeglądy społeczne dotyczące offshore wind wskazują, że pomiar wpływu inwestycji wyłącznie przez pryzmat utraconego dochodu jest niewystarczający. Znaczenie mają również bezpieczeństwo, tożsamość zawodowa, dostęp do tradycyjnych łowisk, koszty adaptacji oraz możliwość przeniesienia praktyk połowowych w inne miejsce. Wspólnota rybacka może zatem ponieść koszt, którego nie da się zniwelować jednorazową rekompensatą pieniężną. Nie wynika z tego jednak prawo do trwałego zawetowania każdej zmiany przestrzeni morskiej. Podobnie jak rybołówstwo nie ma moralnego prawa do eksploatacji stada ponad jego zdolność regeneracyjną, tak społeczność wykorzystująca przestrzeń historycznie nie posiada automatycznie wyłącznego prawa do jej przyszłości. Wynika z tego natomiast prawo do **proceduralnej sprawiedliwości**: transparentnej informacji, wczesnego uczestnictwa, uwzględnienia wiedzy lokalnej i proporcjonalnego rozłożenia kosztów transformacji.

Teoria sprawiedliwej transformacji energetycznej powinna zostać zatem rozciągnięta również na morze. **Just transition** nie dotyczy tylko pracownika kopalni węgla; dotyczy także rybaka, którego łowisko staje się infrastrukturą energetyczną w imię społecznie uzasadnionego celu klimatycznego. Jeżeli koszty dekarbonizacji są skoncentrowane w niewielkiej grupie przybrzeżnej, a korzyści rozproszone w całym społeczeństwie, pojawia się klasyczny problem sprawiedliwości dystrybucyjnej.

Argument ten ma szczególne znaczenie dla małych flot. Autor książki przedstawia społeczności w rodzaju **The Filey Few** jako grupy tracące kolejne fragmenty ekologicznej i gospodarczej przestrzeni działania. Nie każda utrata wynika z farm wiatrowych i nie każda inwestycja rzeczywiście zamyka rybołówstwo, lecz naukowo zasadne jest badanie **cumulative spatial squeeze**: równoczesnego wpływu obszarów chronionych, farm offshore, żeglugi, kabli, portów i zmiany rozmieszczenia stad na przestrzeń dostępną dla konkretnych typów statków. Zmiana klimatu czyni tę analizę jeszcze bardziej dynamiczną. Łowisko, które dziś znajduje się poza planowaną farmą, za dwadzieścia lat może przesunąć się wraz z gatunkiem. Statyczny plan zagospodarowania przestrzennego nakładany jest więc na **mobilną ekologię**. W 2025 roku badacze wskazywali właśnie, że planowanie energetyki i rybołówstwa powinno łączyć scenariusze zmian klimatycznych z przewidywanym przemieszczeniem zasobów, zamiast przyjmować historyczny rozkład połowów jako stały. Prowadzi to do pozornie paradoksalnego wniosku: im dłuższy okres eksploatacji farmy, tym mniej wiarygodne może być planowanie oparte wyłącznie na danych z kilku ostatnich lat.

Infrastruktura jest względnie nieruchoma, ryby i klimat - nie.

Dlatego adaptacyjne zarządzanie powinno być integralną częścią projektu. **Adaptive management** nie oznacza chaotycznego poprawiania błędów po fakcie. W klasycznym sensie

Hollinga i Waltersa jest to instytucjonalne uczenie się: projektuje się monitoring, definiuje progi reakcji, aktualizuje modele i zmienia reguły w momencie, gdy rzeczywiste dane odbiegają od przewidywań. Farma staje się wtedy częściowo eksperymentem społecznym prowadzonym pod warunkiem kontroli i możliwości korekty.

Wielowymiarowy monitoring i standardy dowodowe w mitygacji szkód

Skuteczny monitoring nie powinien ograniczać się do liczenia kilku gatunków wokół turbin. Powinien obejmować before-after trajectories, akustykę, ruch cząstek, osady i strukturę bentosu, a także telemetryczne śledzenie ryb, sukces reprodukcyjny, rekrutację oraz rozmieszczenie wysiłku połowowego, CPUE, strukturę dochodów floty i sposób przemieszczania się jednostek na sąsiednie akweny. Dopiero taki zestaw danych pozwala wykryć zarówno mechanizmy ekologiczne, jak i skutki gospodarcze. Rozwój telemetrii akustycznej otwiera tu wyjątkowo interesującą perspektywę: sieci odbiorników mogą śledzić konkretne ryby przez dłuższy czas, co pozwala ustalić, czy infrastruktura działa jako atraktor, bariera, element korytarza, czy obszar obojętny. Przegląd z 2025 roku wskazuje właśnie telemetrię jako jedno z najważniejszych narzędzi przyszłej oceny zachowania ryb wobec infrastruktury offshore. Różnica względem tradycyjnego połowu próbnego jest zasadnicza – sieć mówi, co znaleziono w jednym momencie; telemetria pokazuje, jak osobnik wykorzystuje przestrzeń w czasie.

Konieczne są również wskaźniki funkcjonalne. Jeśli przy fundamencie pojawia się więcej dorszy, należy zbadać nie tylko ich liczbę, lecz kondycję, dietę, wzrost, sposób wykorzystania siedliska i status reprodukcyjny. Dopiero wtedy można ocenić, czy konstrukcja tworzy produktywny habitat, czy jedynie punkt koncentracji. Analogicznie w przypadku bentosu nie wystarczy odnotować wzrostu liczby organizmów; trzeba zbadać zmianę funkcji: filtrację wody, przetwarzanie materii organicznej, bioturbację i włączenie nowych zespołów w sieć troficzną. Współczesne badania bentosu wokół instalacji offshore przesuwają się właśnie od prostego katalogowania gatunków ku process-based causality, czyli próbie wyjaśnienia procesów odpowiedzialnych za obserwowane zmiany. W tej perspektywie samo pojęcie „wpływu” okazuje się zbyt uproszczone.

Farma może jednocześnie ograniczyć możliwość trałowania, zwiększyć lokalną liczebność organizmów rafowych, zaburzyć tarlisko w fazie budowy, zmienić hydrodynamikę i podnieść koszty działalności części floty. Nie istnieje biologiczny rachunek, który spontanicznie zsumuje te efekty do jednego znaku plus lub minus.

Przegląd w Nature Reviews Biodiversity opisuje farmy jako źródło zarówno negatywnych, jak i potencjalnie pozytywnych oddziaływań, podkreślając jednocześnie potrzebę długoterminowego monitoringu, harmonizacji metod i oceny kumulatywnej. To właśnie jest stanowisko najtrudniejsze do wykorzystania publicystycznie, ale najbardziej adekwatne naukowo: nie daje jednego prostego sloganu. Pojawia się jednak kolejna pułapka interpretacyjna. Gdy wiedza jest niepełna, inwestor może stwierdzić: „nie wykazano szkody", podczas gdy krytyk powie: „nie udowodniono bezpieczeństwa". Oba zdania mogą być logicznie prawdziwe, lecz prowadzić do przeciwstawnych decyzji. Potrzebny jest zatem jawny standard dowodowy: jakie prawdopodobieństwo szkody i jaka skala możliwych konsekwencji uruchamiają obowiązek mitygacji? Jest to problem bliski statystycznemu rozróżnieniu błędu pierwszego i drugiego rodzaju.

Jeśli polityka zbyt łatwo uzna wpływ za istotny, może blokować inwestycje nieszkodliwe lub niezbędne klimatycznie. Jeśli zaś próg dowodu będzie zbyt wysoki, reakcja nastąpi dopiero po wystąpieniu szkody trudnej do odwrócenia. Wybór poziomu dowodu jest więc częściowo decyzją normatywną dotyczącą kosztu fałszywego alarmu i kosztu przeoczonego zagrożenia. Zasada ostrożnościowa nie nakazuje automatycznego zakazu. W dojrzałym zastosowaniu oznacza ona proporcjonalność środków względem odwracalności potencjalnego skutku, jakości dowodów i możliwości redukcji ekspozycji. Jeśli tarlisko można ominąć, racjonalniejszym rozwiązaniem jest przesunięcie lokalizacji niż rezygnacja z całej inwestycji. Jeśli hałas można ograniczyć kurtyną pęcherzykową lub inną technologią fundamentowania, środek minimalizujący jest lepszy niż binarny wybór "budować-nie budować". Tak rozumiana ostrożność jest zgodna z inżynierią mitigation hierarchy: najpierw należy unikać wpływu, którego można uniknąć; potem minimalizować pozostały; następnie odtwarzać zaburzone funkcje, a dopiero na końcu rozważać kompensację. Kompensacja finansowa dla rybaka nie jest równoważna uniknięciu utraty siedliska, podobnie jak sztuczna rafa nie musi być ekologicznym substytutem siedliska zniszczonego podczas budowy.

Morze jako technonatura wymaga ekologii krajobrazu morskiego

Kwestia likwidacji farmy po kilkudziesięciu latach ujawnia kolejny paradoks. Jeśli konstrukcja została skolonizowana i wytworzyła lokalny ekosystem, jej usunięcie samo w sobie może stać się znaczącym zaburzeniem. Globalna metaanaliza konstrukcji morskich wskazuje, że proces decommissioningu powinien uwzględniać funkcje ekologiczne, które wykształciły się w czasie eksploatacji. Powrót do stanu sprzed inwestycji nie zawsze jest już prostą operacją techniczną – po

trzydziestu latach punkt bazowy może po prostu przestać istnieć. To swoista, odwrócona odmiana **shifting baseline**: sztuczna struktura z czasem staje się integralną częścią lokalnego świata biologicznego.

Pytanie o jej usunięcie przestaje więc być jedynie kwestią demontażu aktywa przemysłowego. Wielkoskalowa energetyka offshore wymusza rewizję samego znaczenia pojęcia „naturalny ekosystem". Morze XXI wieku staje się coraz bardziej technonaturą: procesy biologiczne zachodzą tu w bezpośrednim sąsiedztwie kabli, statków, fundamentów, farm hodowlanych i regulowanych stref połowowych. Nie oznacza to zniknięcia granicy między przyrodą a infrastrukturą, lecz fakt, że nauka o ochronie morza nie może już skupiać się wyłącznie na izolowanych, „nietkniętych" fragmentach środowiska. Kluczowym celem staje się utrzymanie funkcji ekologicznych i zdolności regeneracyjnej w krajobrazie intensywnie użytkowanym przez człowieka.

Z tej perspektywy farma wiatrowa nie jest z definicji ani wrogiem, ani sprzymierzeńcem ryb. Stanowi nowy zestaw presji i możliwości, których wypadkowa zależy od lokalizacji, skali, technologii, sezonu, gatunku, reguł połowowych oraz całego otaczającego systemu. W przypadku Bałtyku takie podejście jest szczególnie istotne. ICES zaznacza, że mimo biologicznie uzasadnionych mechanizmów potencjalnego oddziaływania, wciąż brakuje bezpośrednich danych pozwalających jednoznacznie określić wpływ istniejących farm na stan zachodniego stada śledzia.

Jest to istotna granica wiedzy. Odpowiedzialny autor nie powinien wypełniać tej luki pewnością retoryczną. Jednocześnie niedostatek dowodów na poziomie populacji uzasadnia lepsze projektowanie przyszłych badań. Skala planowanej rozbudowy offshore sprawia, że analiza pojedynczej turbiny czy jednej farmy przestaje wystarczać. Potrzebujemy nauki zdolnej badać **seascape-scale effects**, czyli zmiany całego krajobrazu morskiego przy dziesiątkach farm i tysiącach turbin.

Tu pojawia się problem nieliniowości skali. Dziesięć farm nie musi wywołać efektu dziesięciokrotnie silniejszego niż jedna. Smugi atmosferyczne mogą się nakładać, korytarze migracyjne mogą zostać częściowo otoczone infrastrukturą, a przesunięty wysiłek połowowy może skoncentrować się w coraz mniejszej części akwenu. Badanie typu „farma A versus kontrola B" może być poprawne lokalnie, lecz niewystarczające dla przyszłego systemu energetycznego. Rozszerzenie perspektywy prowadzi do ekologii krajobrazu morskiego (**marine landscape ecology**), gdzie kluczowa staje się nie tylko powierzchnia poszczególnych siedlisk, lecz ich **connectivity**. Organizmy korzystają z różnych miejsc w zależności od fazy życia: tarło może odbywać się w jednym obszarze, **nursery habitat** w drugim, a żerowanie w trzecim. Korytarz łączący te strefy może mieć znaczenie nieproporcjonalne do własnej powierzchni. Planowanie oparte wyłącznie na powierzchni siedliska może więc przeoczyć funkcję sieciową – mały obszar

bywa ekologicznie kluczowy, jeśli stanowi „wąskie gardło” migracji. Jest to analogiczne do ludzkiej infrastruktury transportowej: zamknięcie hektara przypadkowego pola i hektara jedynego mostu ma zupełnie inne konsekwencje systemowe.

Bałtyk jako zintegrowany system społeczno-ekologiczny

Przyszłość morskiej energetyki powinna być projektowana w oparciu o dynamic ocean management, a nie jedynie statyczne mapy. Monitoring populacji, temperatury, tras migracyjnych czy wysiłku połowowego pozwoliłby na bieżąco aktualizować okresowe ograniczenia, trasy jednostek serwisowych oraz harmonogramy prac. Morze nie jest nieruchomym planem zagospodarowania; jest procesem.

W tym miejscu widać, jak wiele wątków poruszonych przez autora książki zbiega się w obrębie jednej farmy wiatrowej. Shifting baseline ostrzega przed uznaniem obecnego, zdegradowanego stanu morza za naturalny punkt odniesienia. Koncepcja Ostroma nakazuje analizować reguły dostępu do wspólnej przestrzeni, natomiast ekonomia zewnętrzności przypomina, że koszty jednego sektora mogą zostać przeniesione na inny. Teoria resilience pyta o zachowanie systemu pod wpływem wielu jednoczesnych stresorów, ekologia behawioralna obrazuje reakcje organizmów, a bioakustyka tłumaczy percepcję hałasu. Hydrodynamika ujawnia zmiany w przepływach, zaś idea sprawiedliwej transformacji stawia pytanie o to, kto poniesie koszty dekarbonizacji.

Wydaje się zatem, że offshore wind nie jest jedynie tematem pobocznym wobec problemu przełowienia. Ujawnia on nową epokę oceanu, w której społeczeństwo przestaje konkurować wyłącznie o biomasę i zaczyna rywalizować o fizyczną strukturę przestrzeni morskiej.

Przez stulecia morze wydawało się człowiekowi zbyt rozległe, by można je było realnie zająć. Dziś elektroniczne mapy planowania przestrzennego przypominają mapy lądowe: wypełniają je koncesje, tory wodne, kable, rurociągi, poligony, obszary Natura 2000, farmy wiatrowe, porty, akwakultura, strefy bezpieczeństwa i łowiska. Ocean pozostaje fizycznie otwarty, ale instytucjonalnie jest coraz gęściej parcelowany. Nie musi to jednak oznaczać jego degradacji.

Parcelacja może bowiem umożliwiać ochronę i świadome zarządzanie. Problem pojawia się wtedy, gdy każdy nowy sektor traktuje mapę jako powierzchnię do zagospodarowania, a nie przestrzenną reprezentację żywego systemu. Dlatego podstawową jednostką przyszłej polityki morskiej nie powinna być pojedyncza turbina, trawler czy jedna populacja ryb, lecz cały społeczno-ekologiczny układ zlewni, morza, gospodarki i infrastruktury.

Właśnie taki układ najdobitniej reprezentuje Morze Bałtyckie. To akwen, w którym wszystkie omawiane dotąd presje spotykają się w szczególnym zagęszczeniu: historyczne przełowienie, zmiana klimatu, eutrofizacja, hipoksja, rolniczy dopływ azotu i fosforu, transport morski, toksyny, porty, kable, energetyka offshore, drapieżnictwo, zmieniające się sieci troficzne oraz bardzo ograniczona wymiana wody z oceanem. Kryzysu Bałtyku nie da się wyjaśnić jedną przyczyną, a tym bardziej działaniem jednego sektora.

W związku z tym przejdziemy do analizy Morza Bałtyckiego jako laboratorium systemowej ekologii. Zderzymy fizykę słonawej wody, haloklinę i ograniczone wlewy z Morza Północnego z eutrofizacją, „martwymi strefami", cyklem fosforu, zmianą klimatu i załamaniem populacji dorsza. Następnie prześledzimy relację dorsz-szprot-śledź, problem niskiej kondycji ryb, rolę fok i pasożytów, presję połowową oraz aktualne rekomendacje ICES.

Dopiero na tym tle będzie można odpowiedzieć, dlaczego Bałtyk jest szczególnie niewdzięcznym miejscem dla prostych wyjaśnień i zarazem jednym z najlepszych europejskich przykładów tego, jak ekologia oceanu, rolnictwo zlewni, energetyka, rybołówstwo i polityka publiczna stają się jednym systemem.

> Przez wieki ocean wydawał się człowiekowi przestrzenią nieskończoną i nieujarzmioną, jednak dziś staje się on gęsto parcelowaną mapą koncesji i kabli. Prawdziwym wyzwaniem nie jest już samo zajmowanie powierzchni wody, lecz pytanie, czy potrafimy zarządzać tą nową technonaturą bez utraty jej biologicznej duszy. Czy w świecie zdominowanym przez kilowatogodziny i korytarze transportowe znajdzie się jeszcze miejsce na ekologię, która nie jest jedynie załącznikiem do raportu inwestycyjnego?

Inspiracje

[1] 

"Every Last Fish" Rose George

W. W. Norton & Company | ISBN: 9780393881486

Rose George (ur. 1969) to brytyjska dziennikarka i autorka literatury faktu, ceniona za reportaże śledcze dotyczące pomijanych i istotnych aspektów globalnego społeczeństwa, przemysłu i fizjologii człowieka. Studiowała filologię neofilologiczną w Somerville College w Oksfordzie, które ukończyła w 1992 roku, a następnie uzyskała tytuł magistra polityki międzynarodowej na Uniwersytecie Pensylwanii jako stypendystka Fulbrighta i Thourona. George rozpoczęła karierę pisarską od staży i stanowisk redakcyjnych, m.in. w magazynie „Colors", po czym rozpoczęła bogatą karierę freelancerską, pisząc dla takich mediów jak „The Guardian", „The New York Times" i „Financial Times". Jej uznane książki śledcze poruszają tematy rzadko analizowane dogłębnie, takie jak przesiedlenia uchodźców, międzynarodowe systemy sanitarne, globalny transport kontenerowy i nauka o ludzkiej krwi. Dzięki rzetelnemu, wciągającemu reportażowi zdobyła szerokie uznanie, w tym Nagrodę Literacką Mountbatten przyznawaną przez British Maritime Foundation.

***Rose George** (born 1969) is a British journalist and non-fiction author celebrated for her investigative reportage on overlooked and essential aspects of global society, industry, and human physiology. She studied modern languages at Somerville College, Oxford, graduating in 1992, and earned a master's degree in international politics from the University of Pennsylvania as a Fulbright and Thouron Scholar. George began her writing career with internships and editorial positions, notably at Colors magazine, before embarking on an extensive freelance career writing for outlets including The Guardian, The New York Times, and the Financial Times. Her acclaimed investigative books explore subjects rarely examined in depth, including refugee displacement, international sanitation systems, global container shipping, and the science of human blood. Through rigorous immersive reporting, she has received widespread recognition, including the British Maritime Foundation's Mountbatten Literature Award.*

University of British Columbia

Literatura uzupełniająca

Książki

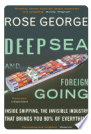
Książki autora i dzieła przywołane w tekście:



[1] "Nine Pints"

Rose George

2018 | Portobello Books | ISBN: 9781846276132



[2] "Deep Sea and Foreign Going"

Rose George

2013 | Portobello Books | ISBN: 9781846274800



[3] "The Big Necessity"

Rose George

2009 | Macmillan + ORM | ISBN: 9781429925488



[4] "Ninety Percent of Everything"

Rose George

2013 | Metropolitan Books | ISBN: 9780805096040



[5] "A Life Removed"

Rose George

2004 | New York

[6] "Krew"

Rose George

2019 | ISBN: 9788324055838

Książki autorów przywoływanych i literatura pokrewna:

[7] "Assessment of Effects of Offshore Wind Energy Facilities on the Marine Environment"

Michael Bellmann, Carina Juretzek, Maria Boethling

2019

[8] "Assessment of the effects of noise and vibration from offshore wind farms on marine wildlife"

G. Vella, I. Rushforth, E. Mason

2001



[9] "Offshore Wind Energy"

Julia Köller, Johann Köppel, Wolfgang Peters

2006 | Springer Science & Business Media | ISBN: 9783540346777



[10] "Offshore Wind Farms"

Jacob Smith, AI

2025 | Publifye AS | ISBN: 9788235209863



[11] "Noise and Vibrations in Offshore Wind Farms and Their Impact on Aquatic Species"

Rui He, Lijun Dong, Xiaomei Xu, Apostolos Tsouvalas

2023 | Frontiers Media SA | ISBN: 9782832536988



[12] "50 Offshore Wind Disasters"

Investigative Voices

2024 | Independently Published | ISBN: 9798304746274

Artykuły naukowe

Artykuły naukowe autora:

[1] "Cod spawning on a migration highway in the north-west Atlantic"

George A. Rose

1993 | Nature | DOI: 10.1038/366458a0

Źródło

Treść tworzy Fundacja Dobre Państwo.
Redaguje i publikuje APA ONE, autorski system redakcyjny Fundacji oparty na AI.
APA ONE Publishing System
Fundacja Dobre Państwo © 2026
Article ID: c27f679a-5e5f-42c8-8765-97a3ccba5d8e