

Tlen w obszarach płytkowodnych

Wskaźnik presji związanych z wprowadzeniem do środowiska substancji, odpadów i energii

Podsumowanie oceny

Obszary otwartego morza

'Tlen w obszarach płytkowodnych' to wskaźnik wstępny Komisji Helsińskiej (HELCOM), który ocenia warunki tlenowe w wodach przydennych w strefie płytkowodnej. Wskaźnik oceniany jest na podstawie mediany wartości minimalnych z okresu 2016-2021 z głębokości bezpośrednio nad dnem (maksymalnie 4 metry nad dnem) określanych dla każdej stacji monitoringowej w okresie lipiec-listopad. Wskaźnik odnosi się do oceny kryterium D5C5 RDSM – „Stężenie rozpuszczonego tlenu nie zostało obniżone do poziomu, który wskazuje na negatywne skutki nadmiaru substancji biogennych dla siedlisk bentosowych (w tym powiązanych gatunków fauny i flory oraz gatunków mobilnych) lub inne skutki eutrofizacji.”

W obszarach otwartego morza obejmujących polskie obszary morskie (POM) wskaźnik oceniany jest jedynie w wodach Zatoki Pomorskiej, gdzie w okresie 2016-2021 zaobserwowano dobry stan w zakresie wskaźnika (Rysunek 1).

Wiarygodność oceny wskaźnika w wodach Zatoki Pomorskiej określono jako umiarkowaną.

Jednolite części wód przejściowych i przybrzeżnych

Wskaźnikiem stosowanym w ocenie jednolitych części wód powierzchniowych (JCWP) przejściowych i przybrzeżnych odpowiadającym wskaźnikowi HELCOM jest wskaźnik RDW 'Tlen rozpuszczony', który jest jednym ze wskaźników jakości wód powierzchniowych charakteryzujących warunki tlenowe i zanieczyszczenia organiczne. Wskaźnik określany jest w postaci minimalnych wartości z pomiarów przy dnie w miesiącach: czerwiec-wrzesień w okresie 2016-2021.

W okresie 2016-2021 wszystkie monitorowane JCWP osiągnęły dobry stan w ramach wskaźnika (Rysunek 1).

Porównując okres bieżącej oceny (2016-2021) z okresem aktualizacji wstępnej oceny (2011-2016) w przypadku 3 JCWP zaobserwowano poprawę w klasyfikacji wskaźnika. Sytuacja dotyczy JCWP Zatoka Pucka Zewnętrzna, Ujście Wisły oraz Zalew Wiślany. W pozostałych JCWP stan nie uległ zmianie.

W 10 z 11 JCWP zaobserwowano wzrost w zakresie stężeń tlenu przy dnie co wskazuje na występowanie pozytywnego trendu w warunkach tlenowych w tych obszarach. Zanotowany wzrost wynosił od 20% w wodach JCWP Półwysep Hel do 114% w JCWP Ujście Wisły Przekop. Jedyną JCWP w przypadku której nie zaobserwowano zmian w stężeniu tlenu przy dnie był Zalew Kamieński.

W obszarach wód przejściowych i przybrzeżnych wiarygodność wskaźnika określono jako wysoką we wszystkich obszarach oceny.



Rysunek 1. Ocena wskaźnika 'Tlen w obszarach płytkowodnych' w ramach kryterium D5C5 w okresie 2016-2021

Opis wskaźnika

1. Charakterystyka wskaźnika

Wskaźnik wstępny 'Tlen w obszarach płytkowodnych' to wskaźnik HELCOM, który ocenia warunki tlenowe w wodach przydennych w strefie płytkowodnej w ramach kryterium D5C5 RDSM. Wskaźnik oceniany jest na podstawie mediany wartości minimalnych z okresu 2016-2021 z głębokości bezpośrednio nad dnem (maksymalnie 4 metry nad dnem) określanych dla każdej stacji monitoringowej w okresie lipiec-listopad.

Wskaźnikiem stosowanym w ocenie JCWP do charakterystyki odpowiadającym wskaźnikowi HELCOM jest wskaźnik RDW 'Tlen rozpuszczony', który jest jednym ze wskaźników jakości wód powierzchniowych charakteryzujących warunki tlenowe i zanieczyszczenia organiczne. Wskaźnik określany jest w postaci minimalnych wartości z pomiarów przy dnie w miesiącach: czerwiec-wrzesień w okresie 2016-2021.

Wyczerpanie zasobów tlenu w strefie przydennej obszarów jest jednym z typowych efektów eutrofizacji w obszarach wód przybrzeżnych i jest zjawiskiem globalnym. W obszarach głębokowodnych basenów i innych obszarach Morza Bałtyckiego, w których obserwuje się stratyfikację kolumny wody i ograniczoną wymianę wód, występowanie niskich stężeń tlenu lub nawet warunków anoksji jest naturalnym zjawiskiem, które jest, jednakże nasilane przez dopływ substancji biogenicznych.

Wyczerpanie zasobów tlenu wynika z jego konsumpcji w procesach mikrobiologicznych związanych z rozkładem materii organicznej. Wyczerpanie zasobów tlenu może prowadzić do wystąpienia

warunków hipoksji (niskich stężeń) lub nawet anoksji (brak tlenu). Procesy te mogą mieć charakter epizodyczny, coroczny w okresie lata/jesieni lub trwałe (typowy dla obszarów głębokowodnych). Wyczerpanie zasobów tlenu ma wpływ na procesy biogeochemiczne. Okresy anoksji powodują uwalnianie fosforu z osadów. W warunkach ograniczonych stężeń tlenu dochodzi również do wzbogacania wód w amoniak. Fosfor i amoniak z wód przydennych mogą się przedostawać do wód powierzchniowych i intensyfikować zakwity fitoplanktonu. W związku z powyższym hipoksja może prowadzić do zmian w cyklach biogeochemicznych, co może wzmacniać proces eutrofizacji.

2. Odniesienie do prawodawstwa, planów działań i celów

Eutrofizacja jest jednym z czterech bloków tematycznych Bałtyckiego Planu Działania (HELCOM BSAP), którego nadrzędnym celem jest Morze Bałtyckie wolne od eutrofizacji (HELCOM, 2021). Eutrofizacja w ramach HELCOM BSAP określana jest jako stan, w którym nadmierny dopływ biogenów do środowiska morskiego wpływa na wzmożony wzrost glonów co powoduje zakłócenie równowagi w funkcjonowaniu całego systemu Morza Bałtyckiego.

Podwyższone stężenia biogenów w kolumnie wody są spowodowane poprzez wzmożony dopływ ładunków biogenów z antropogenicznych źródeł z lądu i atmosfery. Cel dla eutrofizacji jest podzielony na 5 celów ekologicznych, z których jeden to „naturalne poziomy tlenu”.

Ramowa dyrektywa ws. strategii morskiej (RDSM) (Dyrektywa 2008/56/WE) wymaga, aby „do minimum ograniczyć eutrofizację wywołaną przez działalność człowieka, a w szczególności jej niekorzystne skutki, takie jak utrata różnorodności biologicznej, degradacja ekosystemu, szkodliwe zakwity glonów oraz niedobór tlenu w dolnych partiach wód”. Stężenie rozpuszczonego tlenu na dnie słupa wody jest jednym z elementów kryteriów oceny eutrofizacji w ramach kryterium D5C5.

Ramowa dyrektywa wodna (RDW) (Dyrektywa 2000/60/WE) wymaga dobrego stanu ekologicznego wód przybrzeżnych. Dobry stan ekologiczny jest określany zgodnie z RDW w oparciu o jakość elementów biologicznych, charakterystyki hydrologicznej i chemicznej, w tym stężeń tlenu rozpuszczonego.

Powiązanie wskaźnika z europejskimi aktami prawnymi przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Powiązania wskaźnika ‘Tlen w obszarach płytkowodnych’ z prawodawstwem UE

Wymagania i rekomendacje legislacyjne	
Ramowa Dyrektywa w sprawie Strategii Morskiej (RDSM) (Dyrektywa 2008/56/WE, Dyrektywa 2017/845)	<p>Cecha D5 - Do minimum ogranicza się eutrofizację wywołaną przez działalność człowieka, a w szczególności jej niekorzystne skutki, takie jak utrata różnorodności biologicznej, degradacja ekosystemu, szkodliwe zakwity glonów oraz niedobór tlenu w dolnych partiach wód.</p> <p>Kryterium D5C5 - Stężenie rozpuszczonego tlenu nie zostało obniżone do poziomu, który wskazuje na negatywne skutki nadmiaru substancji biogennych dla siedlisk bentosowych (w tym powiązanych gatunków fauny i flory oraz gatunków mobilnych) lub inne skutki eutrofizacji.</p> <p>Wartości progowe są następujące:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) w odniesieniu do wód przybrzeżnych, wartości ustanowione zgodnie z dyrektywą 2000/60/WE; b) poza wodami przybrzeżnymi, wartości spójne z wartościami dla wód przybrzeżnych na podstawie dyrektywy 2000/60/WE. Państwa członkowskie ustanawiają te wartości w ramach współpracy regionalnej lub podregionalnej. <p>Właściwość - Eutrofizacja</p> <p>Element kryterium – Rozpuszczony tlen</p>
	<p>Cecha D6 - Integralność dna morskiego utrzymuje się na poziomie gwarantującym ochronę struktury i funkcji ekosystemów oraz brak niekorzystnego wpływu zwłaszcza na ekosystemy bentosowe</p>

Wymagania i rekomendacje legislacyjne	
	<p>Kryterium D6C5 - Zakres negatywnych skutków oddziaływań antropogenicznych na stan typów siedlisk, w tym zmiany ich biotycznej i abiotycznej struktury i jej funkcji (np. jej typowego składu gatunków, a także ich względnej liczebności, braku szczególnie delikatnych lub wrażliwych gatunków lub gatunków zapewniających kluczową funkcję, struktury rozmiarów gatunku), nie przekracza określonego odsetka naturalnego zasięgu siedliska w ocenianym obszarze.</p> <p>Właściwość – siedliska bentosowe</p> <p>Element kryterium – Ogólne typy siedlisk bentosowych</p>
Bałtycki Plan Działania (HELCOM BSAP)	<p>Segment: Eutrofizacja</p> <p>Cel: "Morze Bałtyckie wolne od eutrofizacji".</p> <p>Cel ekologiczny:</p> <ul style="list-style-type: none"> • "Naturalne poziomy tlenu". <p>Cel zarządzania:</p> <ul style="list-style-type: none"> • "Minimalizacja wprowadzania biogenów z działalności człowieka". <p>Osiągnięcie regionalnych celów w zakresie wprowadzania składników pokarmowych - Maksymalne Dopuszczalne Dopływy (MAI) i Pułapy Dopływu Biogenów (NIC) - dla wszystkich basenów, jak określono w niniejszym BSAP, jest kluczowym warunkiem wstępnym dla osiągnięcia celów ekologicznych.</p>
	<p>Segment: Eutrofizacja</p> <p>Cel: "Morze Bałtyckie wolne od eutrofizacji".</p> <p>Cel ekologiczny:</p> <ul style="list-style-type: none"> • "Stężenia biogenów zbliżone do poziomów naturalnych"; • "Czyste wody"; • "Naturalny poziom zakwitów glonów"; • "Naturalne rozmieszczenie i występowanie roślin i zwierząt". <p>Cel zarządzania:</p> <ul style="list-style-type: none"> • "Minimalizacja wprowadzania biogenów z działalności człowieka". <p>Osiągnięcie regionalnych celów w zakresie wprowadzania składników pokarmowych - Maksymalne Dopuszczalne Dopływy (MAI) i Pułapy Dopływu Biogenów (NIC) - dla wszystkich basenów, jak określono w niniejszym BSAP, jest kluczowym warunkiem wstępnym dla osiągnięcia celów ekologicznych.</p>
	<p>Segment: Bioróżnorodność</p> <p>Cel: "Ekosystem Morza Bałtyckiego jest zdrowy i odporny"</p> <p>Cel ekologiczny:</p> <ul style="list-style-type: none"> • "Naturalne rozmieszczenie, występowanie i jakość siedlisk oraz związanych z nimi zbiorowisk". <p>Cel zarządzania:</p> <ul style="list-style-type: none"> • "Minimalizacja zakłócania gatunków, ich siedlisk i szlaków migracyjnych spowodowanego działalnością człowieka".
Ramowa Dyrektywa Wodna Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 25 czerwca 2021 r. (Dz.U. z 2021 r. poz. 1475)	Tlen rozpuszczony jest jednym ze wskaźników charakteryzujących warunki biogenne (substancje biogenne)
Cele Zrównoważonego Rozwoju ONZ	<p>Cele zrównoważonego Rozwoju ONZ:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cel 14 Zrównoważonego Rozwoju ONZ (Chronić oceany, morza i zasoby morskie oraz wykorzystywać je w sposób zrównoważony) jest najbardziej istotny; • Cel 12 (Zapewnić wzorce zrównoważonej konsumpcji i produkcji); • Cel 13 (Podjąć pilne działania w celu przeciwdziałania zmianom klimatu i ich skutkom) również mają znaczenie.

3. Powiązanie z presjami

Wyczerpanie zasobów tlenu jest pośrednim skutkiem eutrofizacji, który można pośrednio powiązać z presjami antropogenicznymi takimi jak dopływ substancji biogenych do morza prowadzący do wzrostu sedimentacji materii organicznej

Źródła rozproszone stanowią blisko 50% dopływu azotu całkowitego i 56% fosforu całkowitego do Morza Bałtyckiego (HELCOM 2022). W przypadku azotu całkowitego drugim największym źródłem jest depozycja atmosferyczna (24%), a następnie dopływy naturalne (20%) i źródła punktowe (9%). W przypadku fosforu całkowitego to dopływ naturalny stanowi drugie największe źródło dopływu do Bałtyku (20%), następnie źródła punktowe (17%) i depozycja atmosferyczna (7%). Do źródeł punktowych zalicza się działalności takie jak miejskie oczyszczalnie ścieków, oczyszczalnie przemysłowe i rolnicze. Na źródła rozproszone składają się głównie rolnictwo, gospodarka leśna, rozproszone budynki mieszkalne, czy kanalizacja burzowa.

W rejonie Morza Bałtyckiego zaobserwowano znaczną redukcję dopływu biogenów. Całkowity znormalizowany dopływ azotu został zredukowany o 12%, a fosforu o 28% pomiędzy okresem referencyjnym (1997-2003) a rokiem 2020 (HELCOM 2023).

Progi maksymalnego dopuszczalnego dopływu (MAI) azotu i fosforu zostały wypełnione w przypadku obszarów Zatoki Botnickiej, Morza Botnickiego, Cieśnin Duńskich oraz Kattegat.

Tabela 2. Powiązania wskaźnika 'Tlen w obszarach płytkowodnych' z typami działalności człowieka oraz presjami z tabel 2a z Załącznika III do Dyrektywy 2017/845

Presje antropogeniczne: RDSM, Załącznik III, Tabela 2a
- Wprowadzanie substancji biogenych – źródła rozproszone, źródła punktowe, depozycja atmosferyczna;
- Wprowadzanie materii organicznej – źródła rozproszone i źródła punktowe

4. Powiązanie ze zmianą klimatu

Wpływ zmiany klimatu na stężenia tlenu w obszarach głębokowodnych Morza Bałtyckiego zachodzi poprzez zmiany w transporcie w transporcie wód głębinowych oraz mieszania i stratyfikacji wód. Pomimo iż w skali stulecia nie obserwuje się istotnych statystycznie trendów w stratyfikacji wód i wlewach wód do Morza Bałtyckiego (Meier i in. 2019), wzrost temperatury wód powierzchniowych spowodował najprawdopodobniej wzmocnienie pionowej stratyfikacji w kolumnie wody (Kniebusch i in. 2019). Zmienność między letnia oraz w dziesięcioletnia stężeń tlenu obszarów głębokowodnych Morza Bałtyckiego może być spowodowana zmianami w transporcie i stratyfikacji tlenu (Carstensen i in. 2014; Meier i in. 2019). Przykładowo obserwowane w latach 1982-2016 nasilenie się stratyfikacji pionowej w większości obszaru Morza Bałtyckiego może być jedną z przyczyn gwałtownego wzrostu długu tlenowego od początku lat 90 (Liblik i Lips 2019). Ostatnio obliczone wskaźniki zużycia tlenu są wyższe niż obserwowane wcześniej (Meier i in. 2018), a prognozowane ocieplenie może zwiększyć ubytek tlenu w Morzu Bałtyckim poprzez ograniczenie transportu tlenu na granicy powietrze-morze, jak również transport pionowy tlenu (HELCOM i Baltic Earth 2021).

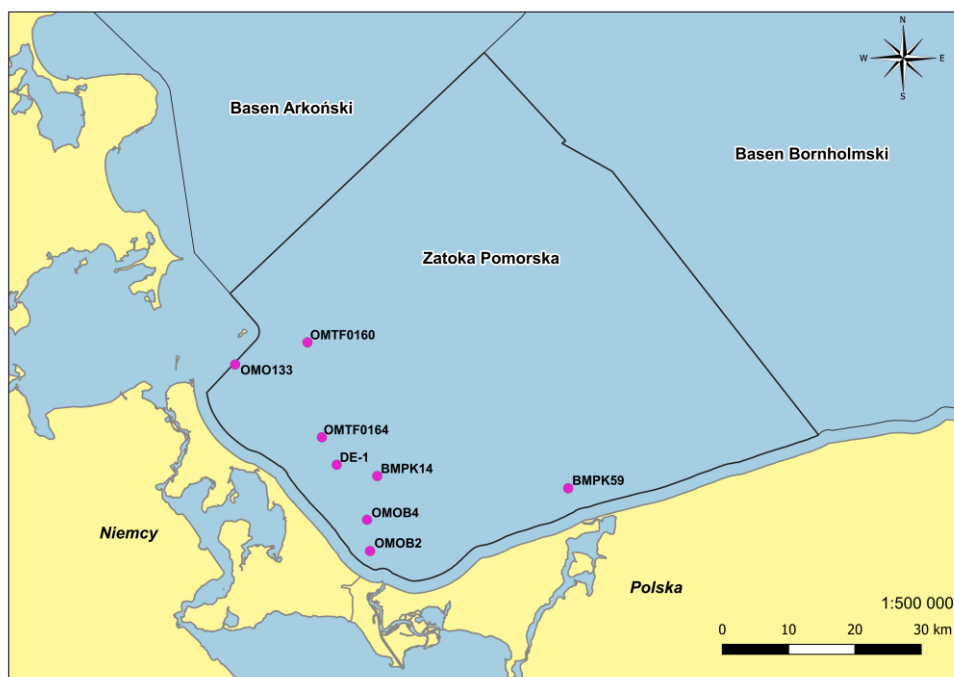
Ocena stanu środowiska wód morskich

Obszary otwartego morza

Wskaźnik 'Tlen w obszarach płytkowodnych' wskazuje na dobry stan w rejonie Zatoki Pomorskiej. Jako że wskaźnik jest wskaźnikiem wstępnym HELCOM jego wyniki należy uznać jako przejściowe.

Wszystkie stacje, z których dane zostały wykorzystane do oceny obszaru Zatoki Pomorskiej zlokalizowane są na głębokościach < 15 m (Rysunek 2), w związku z czym do oceny przyjęto wartość progową 6 mg l⁻¹. Dane z okresu 2016-2021 wskazują, iż większość wyników pomiarów z okresu

czerwiec-listopad była zdecydowanie powyżej wartości progowej (Tabela 3). Niektóre pojedyncze wyniki były poniżej wartości progowej (głównie w sierpniu) i jedynie w wyjątkowych sytuacjach wartość stężenia spadła poniżej 2 mg l^{-1} wskazując na warunki hipoksji. Mediany wartości minimalnych na stacjach w okresie oceny były powyżej wartości progowej. Wartości stężeń tlenu z pojedynczych pomiarów w północnej części ocenianego obszaru Zatoki Pomorskiej również były powyżej wartości progowej, jednakże stacje z wynikami z pojedynczych pomiarów nie zostały uwzględnione w ocenie. Bieżące dane z modelowania przeprowadzonego przez instytut IOW (Leibniz Institute for Baltic Sea Research) potwierdzają tezę, iż obszar Zatoki Pomorskiej jest na ogół dobrze natleniony, chociaż mogą epizodycznie wystąpić niższe stężenia w zachodniej części akwenu.



Rysunek 2. Lokalizacja stacji wykorzystanych w ocenie warunków tlenowych wód Zatoki Pomorskiej.

Tabela 3. Sezonowe wartości minimalne stężeń tlenu, mediana (mg l^{-1}) oraz wyskalowane wartości wskaźnika (w zakresie od 0-1) na poszczególnych stacjach w okresie 2016-2021

Rok/stacja	OMO133	OMTF0164	OMOB4	OMOB2	BMPK14	BMPK59	DE-1	OMTF0160
2016	7,43	6,57	5,86	7,63	9,24	9,27	7,81	10,43
2017	6,86	8,0	8,14	8,23	8,23	8,84	-	10,67
2018	6,71	6,86	7,29	7,43	5,97	5,59	1,33	9,67
2019	7,57	6,29	7,00	8,14	7,90	9,10	8,19	9,43
2020	1,86	6,57	7,56	5,36	9,41	9,29	8,03	7,96
2021	-	-	6,60	6,40	7,33	7,89	-	-
Mediana:	6,86	6,57	7,14	7,53	8,06	8,97	7,92	9,67
EQR:	0,57	0,55	0,60	0,63	0,67	0,75	0,66	0,81
EQRS:	0,66	0,64	0,68	0,70	0,74	0,80	0,73	0,84

W przypadku większości stacji monitoringowych wyniki pochodziły z 4 i więcej lat i z kilku pomiarów w sezonie oceny, więc przypisano im najwyższą wagę (3). Dwóm stajom przypisano wagę 1 (Tabela 4).

Tabela 4. Liczba wyników, które posłużyły do wyliczenia wskaźnika i wagi przypisane stacjom wytypowanym do oceny wskaźnika w okresie 2016-2021

Rok/stacja	OMO133	OMTF0164	OMOB4	OMOB2	BMPK14	BMPK59	DE-1	OMTF0160
2016	5	5	8	3	3	3	1	1
2017	2	2	5	3	3	3	-	1
2018	4	3	6	3	3	3	2	1
2019	3	3	6	3	3	3	1	1
2020	1	1	4	3	3	3	2	3
2021	-	-	3	3	3	3	-	-
Wagi:	3	3	3	3	3	3	1	1

Tabela 5. Bieżąca wartość wskaźnika (jako średnia wartość EQRS z lat 2016-2021), oraz stan wskaźnika 'Tlen w obszarach płytkowodnych' w basenach otwartego morza. EQRS jest ilościową wartością opisującą stopień eutrofizacji, wyliczaną z wartości progowej oraz wartości bieżącej wskaźnika – dla wartości EQRS $\geq 0,6$ dobry stan został osiągnięty (dobry stan osiągnięty – kolor zielony, dobry stan nieosiągnięty – kolor czerwony)

HELCOM ID	Obszar oceny	Wartość wyskalowana EQRS	Stan środowiska
SEA-007B	Zatoka Pomorska	0,72	

Jednolite części wód przejściowych i przybrzeżnych

Wszystkie JCWP osiągnęły dobry stan środowiska w zakresie wskaźnika tlenu przy dnie (Tabela 6). Najwyższe wartości wyskalowane wskaźnika zanotowano w JCWP Zalew Pucki, Zatoka Pucka Zewnętrzna, Polskie wody przybrzeżne Basenu Gotlandzkiego oraz Polskie wody przybrzeżne Basenu Bornholmskiego.

Tabela 6. Wartości progowe, bieżące wartości wskaźnika (jako średnia z lat 2016-2021), wartość wyskalowana (EQRS) oraz stan wskaźnika 'Tlen w obszarach płytkowodnych' w JCWP przejściowych i przybrzeżnych. EQRS jest ilościową wartością opisującą stopień eutrofizacji, wyliczaną z wartości progowej oraz wartości bieżącej wskaźnika – dla wartości EQRS $\geq 0,6$ dobry stan został osiągnięty (dobry stan osiągnięty – kolor zielony, dobry stan nieosiągnięty – kolor czerwony)

Obszar oceny	Wartość progowa (mg l ⁻¹)	Wartość średnia 2016-2021 (mg l ⁻¹)	Wartość wyskalowana EQRS – średnia z lat 2016-2021	Stan środowiska
Zalew Wiślany	4,2	4,92	0,77	
Zalew Szczeciński	4,2	6,05	0,93	
Zalew Kamieński	4,2	5,97	0,85	
Zalew Pucki	4,2	8,56	1	
Zatoka Pucka Zewnętrzna	4,2	7,17	1	
Zatoka Gdańska Wewnętrzna	4,2	6,81	0,95	
Ujście Wisły Przekop	4,2	7,3	0,99	
Półwysep Hel	4,2	8,28	1	
Polskie wody przybrzeżne Basenu Gotlandzkiego	4,2	8,63	1	
Polskie wody przybrzeżne Basenu Bornholmskiego	4,2	7,80	1	
Polskie wody przybrzeżne Zatoki Pomorskiej	4,2	7,09	0,96	

Trend w ocenie

Porównując okres bieżącej oceny (2016-2021) z okresem aktualizacji oceny wstępnej (2011-2016) w przypadku 3 JCWP zaobserwowano poprawę w klasyfikacji wskaźnika. Sytuacja dotyczy JCWP Zatoka Pucka Zewnętrzna, Ujście Wisły oraz Zalew Wiślany. W pozostałych JCWP stan nie uległ zmianie.

Poprzez trend w zmianie wartości stężeń wskaźnika rozumiana jest zmiana $\geq 15\%$. W 10 z 11 JCWP zaobserwowano wzrost w zakresie stężeń tlenu przy dnie co wskazuje na występowanie pozytywnego trendu w warunkach tlenowych w tych obszarach. Zanotowany wzrost wynosił od 20% w wodach JCWP Półwysep Hel do 114% w JCWP Ujście Wisły Przekop. Jediną JCWP w przypadku której nie zaobserwowano zmian w stężeniu tlenu przy dnie był Zalew Kamieński (Tabela 7).

Tabela 7. Porównanie wartości i ocen wskaźnika 'Tlen w obszarach płytkowodnych' w wodach przejściowych i przybrzeżnych w latach 2011-2016 i 2016-2021 (dobry stan osiągnięty – kolor zielony, dobry stan nieosiągnięty – kolor czerwony)

Obszar oceny	Wartość średnia 2011-2016	Wartość średnia 2016-2021	% zmiany stężenia	Zauważalny trend pomiędzy oceną bieżącą i poprzednią
Zalew Wiślany	2,9	4,92	+69%	Istotna pozytywna zmiana ↑ (zmiana z poniżej dobrego na dobry)
Zalew Szczeciński	4,4	6,05	+37%	Istotna pozytywna zmiana ↑ (nadal dobry stan)
Zalew Kamieński	5,4	5,97	+10%	brak istotnej zmiany (nadal dobry stan)
Zalew Pucki	5,8	8,56	+47%	Istotna pozytywna zmiana ↑ (nadal dobry stan)
Zatoka Pucka Zewnętrzna	3,7	7,17	+94%	Istotna pozytywna zmiana ↑ (zmiana z poniżej dobrego na dobry)
Zatoka Gdańska Wewnętrzna	4,3	6,81	+61%	Istotna pozytywna zmiana ↑ (nadal dobry stan)
Ujście Wisły Przekop	3,4	7,3	+114%	Istotna pozytywna zmiana ↑ (zmiana z poniżej dobrego na dobry)
Półwysep Hel	6,86	8,28	+20%	Istotna pozytywna zmiana ↑ (nadal dobry stan)
Polskie wody przybrzeżne Basenu Gotlandzkiego	6,85	8,63	+26%	Istotna pozytywna zmiana ↑ (nadal dobry stan)
Polskie wody przybrzeżne Basenu Bornholmskiego	5,32	7,80	+46%	Istotna pozytywna zmiana ↑ (nadal dobry stan)
Polskie wody przybrzeżne Zatoki Pomorskiej	5,13	7,09	+38%	Istotna pozytywna zmiana ↑ (nadal dobry stan)

Wiarygodność oceny

Obszary otwartego morza

Ze względu na to, iż wskaźnik ma status wstępnego i jego metodyka oraz wartości progowe nie zostały jeszcze uzgodnione na szczeblu HELCOM, wiarygodność oceny należy uznać za umiarkowaną.

Ocenę wiarygodności przeprowadzono w oparciu o metodykę przyjętą dla pozostałych wskaźników eutrofizacji, która uwzględnia aspekty wiarygodności przestrzennej i czasowej, jak również precyzję i wiarygodność metodyki oceny.

Wiarygodność czasowa bierze pod uwagę liczbę rocznych obserwacji oraz ciągłość danych w sezonie oceny (liczba brakujących miesięcy). Obydwa wymienione aspekty wiarygodności czasowej zaklasyfikowano jako wysokie, gdyż w ocenie wykorzystano powyżej 20 rocznych obserwacji, a ocena sezonowa bazowała na danych ze wszystkich miesięcy.

Wiarygodność przestrzenną określono jako niską, gdyż mniej niż 60% obszaru było poddane monitoringowi, pozostawiając znaczną część obszaru oceny bez informacji o warunkach tlenowych. Jednakże pomimo, iż znaczna część obszaru nie była monitorowana, należy przyjąć, iż ze względu na charakterystykę obszaru (płytki, odsonięty i dobrze wymieszany akwen) wyniki oceny są reprezentatywne dla większego obszaru niż wody o głębokości 10-15 m. W szczególności uwzględnienie wyników pomiarów z płytkiego obszaru ławicy Odrzanej, gdzie nie przewiduje się wystąpienia deficytów tlenowych, mogłoby skutkować poprawieniem wyniku oceny.

Wiarygodność precyzji określono jako wysoką, gdyż wszystkie wartości EQRS były zdecydowanie powyżej wartości progowej. Wiarygodność metodologiczną określono jako wysoką. Ogólna wiarygodność oceny została określona jako umiarkowana.

Jednolite części wód przejściowych i przybrzeżnych

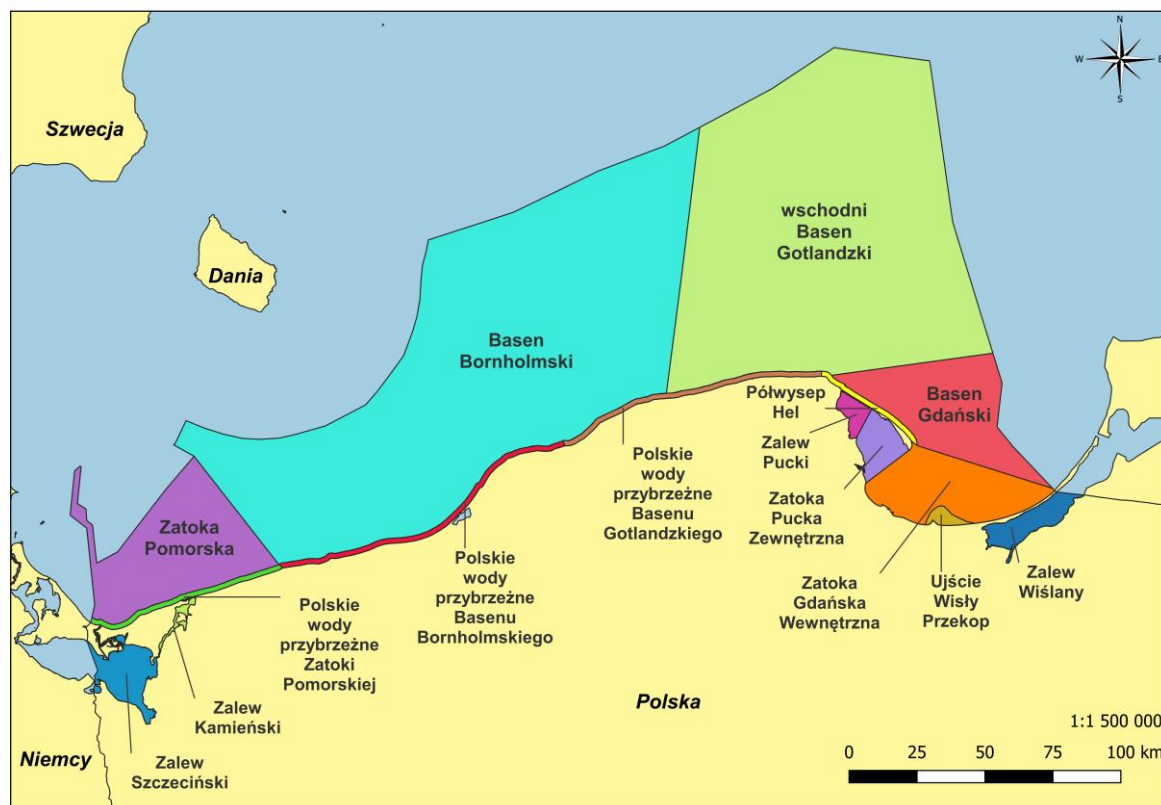
W obszarach wód przejściowych i przybrzeżnych wiarygodność wskaźnika określono jako wysoką we wszystkich obszarach oceny.

Metodyka przeprowadzenia oceny

1. Obszary oceny

Ocena wskaźnika 'Tlen w obszarach płytkowodnych' została przeprowadzona na poziomie L4 podziału HELCOM (HELCOM 2013), co w zakresie eutrofizacji wiąże się z oceną 4 akwenów otwartego morza oraz jednolitych części wód powierzchniowych (Rysunek 3). W wodach otwartego morza wskaźnik został oceniony jedynie w rejonie Zatoki Pomorskiej.

Ocena jednolitych części wód powierzchniowych przeprowadzona została w 11 obszarach zgodnie z krajowym podziałem obowiązującym od 2022 roku.



Rysunek 3. Obszary oceny wskaźnika 'Tlen w obszarach płytkowodnych'

2. Opis przeprowadzenia oceny

Obszary otwartego morza

W przypadku obszarów otwartego morza ocena wskaźnika została przyjęta w całości za oceną regionalną HOLAS 3 i zaprezentowana dla obszarów obejmujących POM.

Wskaźnik określany jest na podstawie mediany wartości minimalnych zmierzonych nad dnem w miesiącach lipiec - listopad.

Dla każdej monitorowanej stacji określana jest mediana z rocznych wartości minimalnych z miesięcy lipiec - listopad z okresu 2016-2021 oraz nadawana jest waga odnosząca się do ilości i zakresu danych wykorzystanych w ocenie (Tabela 8). Nadanie wagi 0 jest równoznaczne z odrzuceniem stacji z oceny. W celu wyskalowania wartości median (wyliczenia wartości EQR w zakresie 0-1) jako najwyższą wykorzystano wartość 12 mg l⁻¹, a najniższą 0 mg l⁻¹. Wartość EQR zostały wyskalowane do równych przedziałów klasyfikacji (EQRS) o odległości 0,2.

W celu określenia wartości wskaźnika w obszarze oceny wyskalowane wartości EQRS z poszczególnych stacji są uśredniane z zastosowaniem współczynników wagowych. Wyliczona wartość jest przyrównywana do wartości progowej.

Wartość progowa w postaci EQRS wynosi 0,6.

Tabela 8. Współczynniki wagowe dla wskaźnika 'Tlen w obszarach płytkowodnych'

Waga	Zakres danych
3	Dane pochodzą z ≥ 4 lat i > 1 pomiaru na rok
1	Mniejszy zakres danych niż dla wagi 3
0	Ocena w oparciu o dane z ≤ 3 lat

Jednolite części wód przejściowych i przybrzeżnych

Wskaźnik wyliczany jest jako minimalna wartość stężeń tlenu rozpuszczonego przy dnie w lecie (czerwiec - wrzesień) w okresie 2016-2021.

Dla wskaźnika, w każdym obszarze oceny, z wartości rocznych obliczona została wartość znormalizowana (EQR) Wartość wskaźnika EQR opisuje stosunek wartości zmierzonej do wartości progowej. Wskaźnik EQR wylicza się z wartości progowych zgodnie z przedstawioną procedurą:

$$EQR = \frac{\text{Wartość zmierzona [ES]}}{\text{Wartość najwyższa [BEST]}} \text{ gdzie}$$

$$\text{Wartość najwyższa [BEST]} = \frac{\text{Wartość graniczna [ET]}}{\left(1 - \frac{ACDEV}{100}\right)} \text{ gdzie}$$

ACDEV – dopuszczalne odchylenie dla wskaźnika 'Tlen w obszarach płytkowodnych' wynoszące 25%.

Znormalizowane wartości roczne są skalowane do wartości EQRS mieszczącej się w zakresie 0-1.

Z wyskalowanych wartości rocznych wyliczana jest następnie wartość wskaźnika z okresu 2016-2021.

Wartość EQRS większa od 0,6 traktowana jest jako dobry stan w rozumieniu RDSM.

3. Wartości progowe

Ocena stanu wskaźnika przeprowadzana jest w odniesieniu do wartości progowej.

Obszary otwartego morza

Do oceny warunków tlenowych w oparciu o wskaźnik 'Tlen w obszarach płytkowodnych' przyjmuje się wartości progowe 4 mg l⁻¹ dla obszarów, gdzie następuje sezonowo stratyfikacja wód (obszary o głębokości >15 m) oraz 6 mg l⁻¹ dla obszarów wód dobrze wymieszanych (głębokość ≤15 m). Stężenie tlenu w okolicach 6 mg l⁻¹ jest granicą, poniżej której około 75% ryb doświadcza stresu spowodowanego

niskimi stężeniami (Vaquer-Sunyer i Duarte 2008). Podczas gdy stężenia poniżej 6 mg l⁻¹ wpływają na wzrost, to stężenia pomiędzy 4 i 2 mg l⁻¹ wpływają na inne aspekty metabolizmu.

Zgodnie z ustaleniami poczynionymi w ramach prac grupy ds. eutrofizacji HELCOM (EG Eutro) do oceny wód Zatoki Pomorskiej w ramach HOLAS 3 przyjęto wartość 6 mg l⁻¹, gdyż bazuje ona na wynikach ze stacji o głębokościach < 15 m (Tabela 9).

Wody przejściowe i przybrzeżne

Wartości progowe dla wód przejściowych i przybrzeżnych pochodzą z Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz.U. 2021 poz. 1475) (Tabela 10).

Tabela 9. Wartości progowe dla wskaźnika 'Tlen w obszarach płytkowodnych' w Zatoce Pomorskiej.

Nazwa obszaru	Wartość progowa [mg l ⁻¹]
Zatoka Pomorska	4 mg l ⁻¹ (dla sezonowo stratyfikowanych wód), 6 mg l ⁻¹ (wody wymieszane)

Tabela 10. Wartości progowe dla wskaźnika 'Tlen w obszarach płytkowodnych' w wodach przejściowych i przybrzeżnych

Nazwa obszaru	Wartość progowa [mg l ⁻¹]
Zalew Wiślany	4,2
Zalew Szczeciński	4,2
Zalew Kamieński	4,2
Zalew Pucki	4,2
Zatoka Pucka Zewnętrzna	4,2
Zatoka Gdańska Wewnętrzna	4,2
Ujście Wisły Przekop	4,2
Półwysep Hel	4,2
Polskie wody przybrzeżne Basenu Gotlandzkiego	4,2
Polskie wody przybrzeżne Basenu Bornholmskiego	4,2
Polskie wody przybrzeżne Zatoki Pomorskiej	4,2

4. Metodyka określenia wiarygodności oceny

Ogólna ocena wiarygodności wskaźnika wyliczana jest jako średnia z wiarygodności czasowej, przestrzennej i wiarygodności precyzji oceny. Kryteria oceny wiarygodności czasowej przedstawiono poniżej (Tabela 11).

Tabela 11. Kryteria oceny wiarygodności czasowej

Klasa wiarygodności	Kryteria oceny ogólnej wiarygodności czasowej	Kryteria oceny specyficznej wiarygodności czasowej
Wysoka (100)	Ocena została wykonana w oparciu o > 20 obserwacji wykonanych w ciągu roku w danym okresie oceny	0 brakujących miesięcy w ocenie rocznej
Umiarkowana (50)	Ocena została wykonana w oparciu o 7 - 20 obserwacji wykonanych w ciągu roku w danym okresie oceny	1 brakujący miesiąc na rok
Niska (0)	Ocena została wykonana w oparciu o < 7 obserwacji wykonanych w ciągu roku w danym okresie oceny	≥ 2 brakujące miesiące na rok

Jeżeli specyficzna wiarygodność czasowa jest wysoka (100) w przynajmniej połowie lat z ocenionego okresu to jest też określana jako wysoka (100) dla okresu oceny. Całkowita wiarygodność czasowa jest wartością średnią z wiarygodności czasowej ogólnej oraz specyficznej.

Kryteria oceny wiarygodności przestrzennej przedstawiono poniżej (Tabela 12).

Tabela 12. Kryteria oceny wiarygodności przestrzennej

Klasa wiarygodności	Kryteria oceny wiarygodności przestrzennej
Wysoka (100)	Komórki grid w których dokonywano pomiarów obejmują > 70% obszaru oceny
Umiarkowana (50)	Komórki grid w których dokonywano pomiarów obejmują 50 - 70% obszaru oceny
Niska (0)	Komórki grid w których dokonywano pomiarów obejmują < 50% obszaru oceny

Klasyfikacja precyzji odnosi się od oceny prawdopodobieństwa właściwej klasyfikacji (określenia czy wskaźnik jest poniżej czy powyżej wartości progowej dobrego stanu). Kryteria związane z oceną precyzji przedstawiono poniżej (Tabela 13).

Tabela 13. Kryteria oceny wiarygodności precyzji

Klasa wiarygodności	Kryteria oceny wiarygodności precyzji
Wysoka (100)	GES został/nie został osiągnięty z ≥ 90 % prawdopodobieństwem
Umiarkowana (50)	GES został/nie został osiągnięty z $70 - < 90$ % prawdopodobieństwem
Niska (0)	GES został/nie został osiągnięty z < 70 % prawdopodobieństwem

Jednolite części wód przejściowych i przybrzeżnych

W obrębie JCWP przejściowych i przybrzeżnych ocena wiarygodności została przeprowadzona metodą ekspercką w oparciu o analizę liczby lat monitoringu wskaźnika w okresie oceny (Tabela 14).

Tabela 14. Kryteria oceny wiarygodności wskaźnika 'Przezroczystość wody morskiej' w JCWP przejściowych i przybrzeżnych

Klasa wiarygodności	Liczba lat monitoringu wskaźnika w okresie oceny
Wysoka (100)	5 - 6
Średnia (50)	3 - 4
Niska (0)	1 - 2

5. Źródła danych

Ocena obszarów otwartego morza została przeprowadzona w oparciu o zaraportowane do bazy HELCOM w ICES, dane wszystkich krajów członkowskich. Baza zawiera dane pozyskane w ramach realizacji PMŚ. Dane zostały zweryfikowane przez ekspertów wszystkich krajów członkowskich.

Link do danych HOLAS 3:

<https://metadata.helcom.fi/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/773810ac-dd18-4485-b042-2eb26ac7a177>

W obszarach wód przejściowych i przybrzeżnych ocena została przeprowadzona z wykorzystaniem wyników ocen wskaźnika jakości RDW – 'Tlen rozpuszczony'

Dane wykorzystane w ocenie wskaźnika w wodach przejściowych i przybrzeżnych pochodzą z monitoringu realizowanego w jednolitych częściach wód przybrzeżnych i przejściowych (Tabela 15).

Tabela 15. Źródła danych oceny wód przejściowych i przybrzeżnych

RDW	dane PMŚ, realizowanego zgodnie z wymaganiami RDW w jednolitych częściach wód przybrzeżnych i przejściowych; monitoring prowadzony przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska
-----	--

6. Link do wskaźnika regionalnego HELCOM

<https://indicators.helcom.fi/indicator/shallow-water-oxygen/>

Autorzy

Na podstawie raportu wskaźnika regionalnego:

Wojciech Kraśniewski, Michał Iwaniak, Natalia Drgas, Kamil Wawryniuk - Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy

Literatura

Bałtycki Plan Działania (HELCOM BSAP) <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2021/10/Baltic-Sea-Action-Plan-2021-update.pdf>

Carstensen J., Andersen J.H., Gustafsson B.G., Conley D.J., 2014. "Deoxygenation of the Baltic Sea during the Last Century." Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 111 (15): 5628–33.
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3992700&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>

Cele Zrównoważonego Rozwoju ONZ <http://www.un.org.pl/>

DYREKTYWA 2000/60/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej

DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY 2008/56/WE z dnia 17 czerwca 2008 r. ustanawiająca ramy działań Wspólnoty w dziedzinie polityki środowiska morskiego (dyrektywa ramowa w sprawie strategii morskiej)

DYREKTYWA KOMISJI (UE) 2017/845 z dnia 17 maja 2017 r. zmieniająca dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/56/WE w odniesieniu do przykładowych wykazów elementów branż pod uwagę przy opracowaniu strategii morskich

Gustafsson B.G., Schenk F., Blenckner T., Eilola K. i in., 2012. Reconstructing the Development of Baltic Sea Eutrophication 1850–2006. *Ambio* 41, str. 534-548

HELCOM, 2013. <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2020/02/Monitoring-and-assessment-strategy.pdf>

HELCOM, 2021. "Baltic Sea Action Plan. 2021 Update." Dostęp z : <https://helcom.fi/wp-14-content/uploads/2021/10/Baltic-Sea-Action-Plan-2021-update.pdf>

HELCOM, 2022. Assessment of sources of nutrient inputs to the Baltic Sea in 2017." Dostęp z: <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2022/12/PLC-7-Assessment-of-sources-of-nutrient-inputs-to-the-Baltic-Sea-in-2017>

HELCOM, 2023. "Inputs of Nutrients to the Sub-Basins (2020). HELCOM Core Indicator Report. Online." 2023

HELCOM i Baltic Earth, 2021. "Climate Change in the Baltic Sea. 2021 Fact Sheet. Baltic Sea Environment Proceedings N°180." <https://doi.org/ISSN:0357-2994>

Kniebusch M., Markus Meier H.E., Neumann T., Börgel F., 2019. "Temperature Variability of the Baltic Sea Since 1850 and Attribution to Atmospheric Forcing Variables." Journal of Geophysical Research: Oceans 124 (6): 4168–87. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2018JC013948>

Liblik T., Lips U., 2019. "Stratification Has Strengthened in the Baltic Sea – An Analysis of 35 Years of Observational Data." Front.Earth.Sci. 7:174. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00174>

Meier, H.E.M., Eilola K., Almroth-Rosell E., Schimanke S., Kniebusch M., Höglund A., Pemberton P., Liu Y., Väli G., Saraiva S., 2019. "Disentangling the Impact of Nutrient Load and Climate Changes on Baltic Sea Hypoxia and Eutrophication since 1850." Climate Dynamics 53 (1): 1145–66. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4296-y>

Vaquer-Sunyer R., Duarte C. M., 2008. Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. PNAS 105, 40, 22 0803833105, 6pp. <https://doi.org/10.1073/pnas.0803833105>

RM z 13.08.2021 (Dz.U. z 2021 r. poz. 1475) - ROZPORZĄDZENIE MINISTRA INFRASTRUKTURY z dnia 25 czerwca 2021 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych



Sfinansowano ze środków
Narodowego Funduszu
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej