



Indeks jakości hydromorfologicznej (HQI)

Wskaźnik presji fizycznych

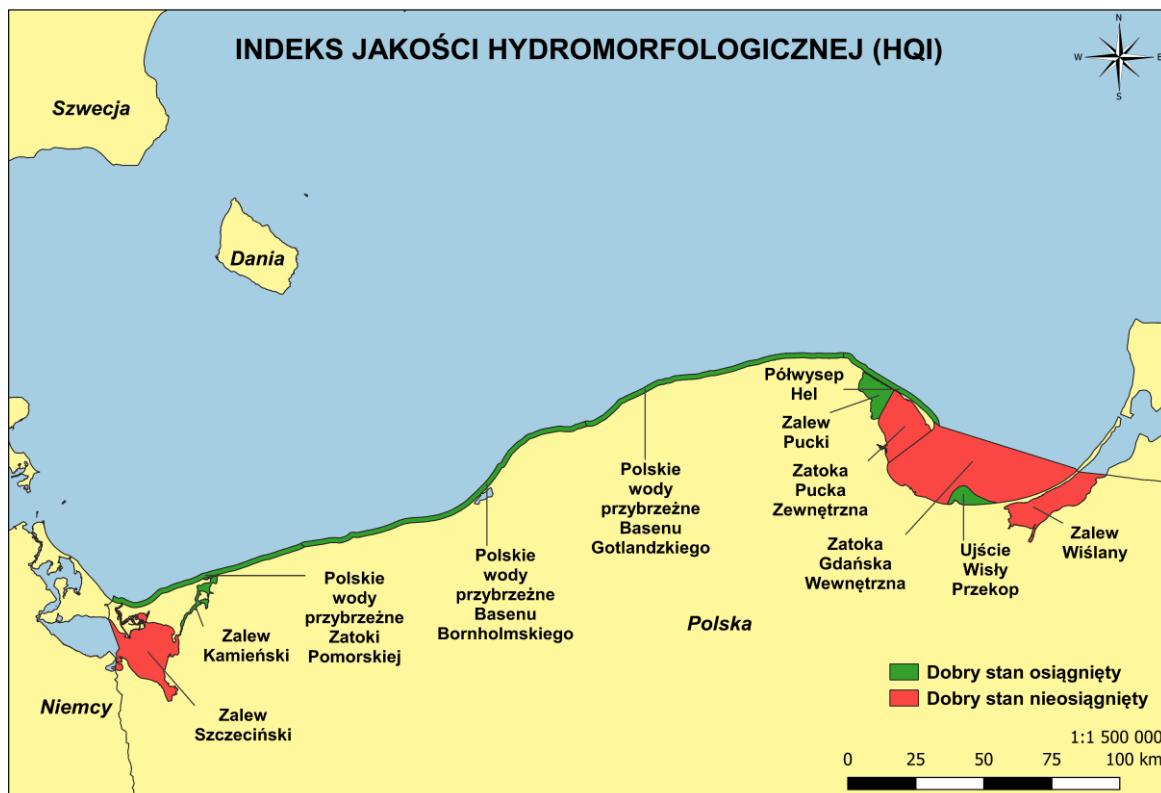
Podsumowanie oceny

Wskaźnik 'Indeks jakości hydromorfologicznej (HQI)' został opracowany krajowo na potrzebę oceny zmian warunków hydrograficznych w wodach przejściowych i przybrzeżnych. Wskaźnik ocenia wpływ infrastruktury i działań prowadzonych w wodach przybrzeżnych i przejściowych na charakterystykę morfologiczną i hydrodynamiczną, zmianę warunków morfologicznych, zmianę warunków hydrodynamicznych oraz zmiany w dopływie wody słodkiej.

Wskaźnik odnosi się do oceny kryterium D7C1 RDSM – „Zasięg przestrzenny i rozkład trwałych zmian warunków hydrograficznych (np. zmian aktywności fal, prądów, zasolenia, temperatury) dna morskiego i słupa wody związanych w szczególności z fizyczną utratą naturalnego dna morskiego.”

Klasyfikacja wskaźnika została przeprowadzona w oparciu o aktualne informacje w zakresie infrastruktury i działań prowadzonych w wodach przybrzeżnych i przejściowych, jak również o dane z monitoringu parametrów hydromorfologicznych i fizykochemicznych przeprowadzonego w roku 2019 zgodnie ze zaktualizowanym Programem Monitoringu Wód Morskich.

W 7 z 11 jednolitych częściach wód powierzchniowych (JCWP) ocena wskaźnika HQI wskazuje na dobry stan, jedynie w przypadku JCWP Zalew Szczeciński, Zalew Wiślany, Zatoka Pucka Zewnętrzna oraz Zatoka Gdańska Wewnętrzna stan określono jako poniżej dobrego (Rysunek 1). Obniżona klasyfikacja wskaźnika w rejonie Zatoki Gdańskiej związana jest z obecnością infrastruktury powodującej zaburzenia i trwałe zmiany dna morskiego i strefy brzegowej. W rejonie JCWP Zalew Wiślany obniżona ocena wynika z klasyfikacji wskaźnika odnoszącego się do charakterystyki osadów, natomiast w JCWP Zalew Szczeciński największy wpływ na klasyfikację obszaru miała zmiana dopływu wód słodkich. Wiarygodność oceny określono w oparciu o ocenę ekspercką. Ze względu na testowy charakter wskaźnika przypisano mu umiarkowaną wartość wiarygodności.



Rysunek 1. Ocena wskaźnika 'Indeks jakości hydromorfologicznej (HQI)' w wodach przejściowych i przybrzeżnych – kryterium D7C1

Opis wskaźnika

1. Charakterystyka wskaźnika

Wskaźnik 'Indeks jakości hydromorfologicznej (HQI)' jest to nowo opracowany wskaźnik, który jest zastosowany w odróżnieniu od stosowanego dotychczas w ocenie wód przejściowych i przybrzeżnych wskaźnika zmian ekosystemu (WskZm), poza określeniem zasięgu wpływu infrastruktury na ekosystem obszaru uwzględnia dodatkowo elementy takie jak zmiany charakterystyki morfologicznej i hydrodynamicznej JCWP. Wskaźnik oceniany jest w JCWP i odnosi się do zasięgu występowania, trwałych zmian i zakłóceń dna w JCWP.

Przy klasyfikacji wskaźnika HQI uwzględniono elementy wskazane w RDW:

- wpływ infrastruktury i działań prowadzonych w wodach przybrzeżnych i przejściowych na charakterystykę morfologiczną i hydrodynamiczną;
- zmiana warunków morfologicznych;
- zmiany warunków hydrodynamicznych;
- zmiany w dopływie wody słodkiej.

Wskaźnik wykorzystuje się do oceny kryterium D7C1, w ramach którego oceniane są zmiany hydrograficzne dna morskiego i słupa wody.

2. Odniesienie do prawodawstwa, planów działań i celów

Konieczność prowadzenia monitoringu i klasyfikacji stanu hydromorfologicznego wynika bezpośrednio z wymagań ramowej dyrektywy wodnej (RDW) (Dyrektywa 2000/60/WE), która zobowiązuje państwa członkowskie do osiągnięcia „dobrego stanu ekologicznego” wszystkich części wód i dołożenia starań w kierunku nie pogorszenia ich stanu. Stan hydromorfologiczny jest składową oceną stanu ekologicznego, na który składają się również warunki fizykochemiczne i biologiczne. Wskaźnik HQI określa zasięg przestrzenny i rozkład zmian warunków hydrograficznych w ramach kryterium D7C1 (Decyzja Komisji 2017/848) ramowej dyrektywy ws. strategii morskiej (RDSM) (Dyrektywa 2008/56/WE). W ramach specyfikacji i ujednoczonych metod monitorowania i oceny Decyzja wskazuje, iż dla wód przybrzeżnych wykorzystywane będą dane dotyczące hydromorfologii oraz odpowiednie oceny przeprowadzone zgodnie z RDW. Powiązanie wskaźnika z europejskimi aktami prawnymi przedstawiono w tabeli poniżej (Tabela 1).

Tabela 1. Odniesienia do prawodawstwa, planów działań i celów

Wymagania i rekomendacje legislacyjne	
Ramowa Dyrektywa ws. Strategii Morskiej (Dyrektywa 2008/56/WE, Dyrektywa 2017/845)	Cecha D7 - Trwała zmiana warunków hydrograficznych nie ma niekorzystnego wpływu na ekosystemy morskie. Kryterium D7C1 – Zasięg przestrzenny i rozkład trwałych zmian warunków hydrograficznych (np. zmian aktywności fal, prądów, zasolenia, temperatury) dna morskiego i słupa wody związanych w szczególności z fizyczną utratą naturalnego dna morskiego.
Ramowa Dyrektywa Wodna Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 25 czerwca 2021 r. (Dz.U. z 2021 r. poz. 1475)	HQI ocenia zmiany elementów hydromorfologicznych, które są jednym z elementów jakości dla klasyfikacji stanu ekologicznego JCWP w ramach RDW
Bałtycki Plan Działania (HELCOM BSAP)	Segment: Działalność na morzu Cel: „Zrównoważona środowiskowo działalność morska” Cel ekologiczny: <ul style="list-style-type: none"> • „Brak lub minimalne zaburzenie różnorodności biologicznej i ekosystemu”; • „Działania wpływające na siedliska dna morskiego nie zagrażają żywotności populacji gatunków i zbiorowisk”. Cel zarządzania: <ul style="list-style-type: none"> • „Minimalizacja utraty i zakłóceń siedlisk bentosowych”; • „Minimalizacja wprowadzania i wpływu substancji niebezpiecznych pochodzących z działalności człowieka”.
Cele Zrównoważonego Rozwoju ONZ	Cele zrównoważonego Rozwoju ONZ: <ul style="list-style-type: none"> • 14 - Ochrona i zrównoważone wykorzystywanie oceanów, mórz i zasobów morskich na rzecz zrównoważonego rozwoju; • 12 - Zapewnienie wzorców zrównoważonej konsumpcji i produkcji; • 13 - Podjęcie pilnych działań w celu przeciwdziałania zmianom klimatycznym i ich skutkom.

3. Powiązanie z presjami

Wskaźnik HQI powiązany jest z presjami wymienionymi w załączniku III do RDSM (Dyrektywa 2017/845): zaburzeniami fizycznymi dna morskiego (tymczasowymi lub odwracalnymi), stratami fizycznymi (spowodowanymi trwałymi zmianami podłoża dna morskiego lub morfologii oraz eksploatacją substratu dna morskiego) oraz ze zmianami warunków hydrologicznych (Tabela 2).

Tabela 2. Powiązania wskaźnika 'Indeks jakości hydromorfologicznej (HQI)' z typami działalności człowieka oraz presjami z tabel 2a z Załącznika III do Dyrektywy 2017/845

Presje antropogeniczne: RDSM, Załącznik III, Tabela 2a
Fizyczne: - Zaburzenia fizyczne dna morskiego (tymczasowe lub odwracalne); - Straty fizyczne (spowodowane trwałymi zmianami podłoża dna morskiego lub morfologii oraz eksploatacją substratu dna morskiego); - Zmiany warunków hydrologicznych.

4. Powiązanie ze zmianą klimatu

Zmiana warunków hydrograficznych wynika w głównej mierze z wpływu działalności człowieka wywierającej presje fizyczne na dno morskie oraz kolumnę wody. Dodatkowo na zmiany warunków hydrodynamicznych oraz zmiany w dopływie wody słodkiej może wpływać zmiana klimatu, co tym samym może przekładać się na zmiany charakterystyki hydromorfologicznej, szczególnie w obszarach brzegowych.

Podstawowymi zjawiskami powiązanych bezpośrednio ze zmianą klimatu mogącymi mieć wpływ na warunki hydrograficzne i charakterystykę morfologiczną są:

- cyrkulacja atmosferyczna, kierunek i intensywność wiatrów, falowanie mogą wpływać na dynamikę procesów zachodzących w obszarach brzegowych, prowadząc do niszczenia brzegów, transportu osadów szczególnie w sytuacjach zjawisk ekstremalnych; to prowadzi z kolei do intensyfikacji działań w zakresie ingerencji i umocnienia linii brzegowej wpływając na warunki hydromorfologiczne;
- zmiany w reżimie dopływu wód słodkich na skutek większej częstotliwości występowania zjawisk ekstremalnych takich jak powódzie czy susze;
- wzrost poziomu morza spowodowany zmianą klimatu, który spowoduje konieczność budowy nowych struktur zabezpieczających obszary brzegowe przed wymywaniem.

Ocena stanu środowiska wód morskich

Największy poziom zmian linii brzegowej zaobserwowano w JCWP Półwysep Hel oraz JCWP Zatoka Pucka Zewnętrzna, gdzie ponad 60% długości linii brzegowej zostało poddane zmianom (Tabela 3). Znaczne zmiany linii brzegowej zaobserwowano również w JCWP Polskie wody przybrzeżne Basenu Bornholmskiego (40%). Pozostałe JCWP przybrzeżne oraz JCWP Zalew Pucki i Zatoka Gdańska Wewnętrzna są poddane zmianom linii brzegowej w zakresie 20%. Najmniejszy % zmian linii brzegowej zaobserwowano w zalewach Szczecińskim, Kamieńskim, Wiślanym oraz w JCWP Ujście Wisły Przekop. W zakresie obecności barier odnoszących się do powierzchni JCWP poddanych trwałym zmianom, jedynie w JCWP Polskie wody przybrzeżne Zatoki Pomorskiej oraz Zatoka Pucka Zewnętrzna zaobserwowano udział powierzchni przekraczający nieznacznie odpowiednio 2 i 1 % powierzchni JCWP.

W zakresie zakłóceń dna morskiego największy odsetek dna podlegającego zmianom wyliczono dla JCWP Polskie wody przybrzeżne Basenu Gotlandzkiego, JCWP Zatoka Gdańska Wewnętrzna oraz JCWP Polskie wody przybrzeżne Basenu Bornholmskiego, gdzie udział powierzchni dna podlegającego zakłóceniom wynosił między 10 a 15%. Spośród pozostałych ocenianych JCWP jedynie w wodach Zatoki Puckiej Zewnętrznej zaobserwowano zakłócenia blisko 10% powierzchni JCWP.

Największy procentowy udział frakcji mulistej osadów wyliczono dla wód JCWP Zalew Wiślany, gdzie ponad 40% stanowiły osady muliste. W wodach JCWP Zalew Szczeciński i Zalew Kamieński udział frakcji

mulistej wynosił około 30%. W pozostałych JCWP udział frakcji mulistej był nieznaczny, poza wodami JCWP Zalew Pucki, gdzie wynosił nieznacznie poniżej 10%.

Nie zaobserwowano znacznych zmian w zakresie zmian reżimu falowania czy kierunku dominujących prądów morskich.

W odniesieniu do dopływu wód słodkich największą zmianę w stosunku do okresu referencyjnego zaobserwowano w rejonie Zalewu Szczecińskiego.

Podsumowując w 7 z 11 JCWP ocena wskaźnika HQI wskazuje na dobry stan w zakresie wskaźnika. Jedynie w przypadku JCWP Zalew Szczeciński, Zalew Wiślany, Zatoka Pucka Zewnętrzna oraz Zatoka Gdańska Wewnętrzna stan określono jako poniżej dobrego (Tabela 5). Obniżona klasyfikacja wskaźnika w rejonie Zatoki Gdańskiej związana jest z obecnością infrastruktury powodującej zaburzenia i trwałe zmiany dna morskiego i strefy brzegowej. W rejonie Zalewu Wiślanego obniżona ocena wynika z klasyfikacji wskaźnika odnoszącego się do charakterystyki osadów, natomiast w JCWP Zalew Szczeciński największy wpływ na klasyfikację obszaru miała zmiana dopływu wód słodkich (Tabela 3, Tabela 4). Wiarygodność oceny określono w oparciu o ocenę ekspercką. Ze względu na testowy charakter wskaźnika przypisano mu umiarkowaną wartość wiarygodności.

Tabela 3. Wyniki wyliczeń wskaźników cząstkowych wskaźnika 'Indeks jakości hydromorfologicznej (HQI)' w JCWP przejściowych i przybrzeżnych

Kategoria wód	Nazwa JCWP	Wskaźnik 1 Zmiana linii brzegowej			Wskaźnik 2 Obecność lub brak barier			Wskaźnik 3 Zakłócenia dna			Wskaźnik 4 Udział frakcji mulistej		Wskaźnik 5 Zmiana reżimu falowania		Wskaźnik 6 Zmiana kierunku dominujących prądów		Wskaźnik 7 Zmiana dopływu wód słodkich	
		Długość zmian razem [km]	% długości zmian do długości linii brzegowej	IS	Zastęg oddziaływania barier [km ²]	% powierzchni zmian do powierzchni JCWP	IS	Powierzchnia zmian razem [km ²]	% powierzchni zmian do powierzchni JCWP	IS	% udziału frakcji <0,063 mm	IS	Δ [%]	IS	Δ [°]	IS	Δ [%] AAF/LTAF	IS
Przejściowe	Zalew Szczeciński	20,29	6,74%	1	0,16	0,04%	0	9,70	2,38%	0	30,9%	2	2,63%	0			-42,35%	4
	Zalew Kamieński	4,39	5,24%	1	0,000 03	<0,001%	0	1,65	3,79%	0	33,46%	2	2,63%	0				
	Zalew Pucki	10,48	25,30%	2	0,03	0,03%	0	0,23	0,20%	0	8,57%	1	2,27%	0			-2,14%	1
	Zatoka Pucka Zewnętrzna	38,05	61,92%	3	3,83	1,33%	1	25,98	9,06%	1	0,81%	0	2,27%	0			-28,69%	2
	Zatoka Gdańska Wewnętrzna	15,19	21,35%	2	6,71	0,56%	0	172,82	14,46%	1	0,57%	0	2,27%	0			-28,69%	2
	Ujście Wisły Przekop	0,00	0,00%	0		0,00%	0	0,00	0,00%	0	4,85%	0	2,27%	0			-28,69%	2
	Zalew Wiślany	13,55	9,65%	1	0,11	0,03%	0	5,27	1,75%	0	43,72%	4	3,13%	0				
Przybrzeżne	Półwysep Hel	27,16	64,50%	3	0,20	0,24%	0	2,53	3,11%	0	0,18%	0	1,32%	0	1,09%	0		
	Polskie wody przybrzeżne Basenu Gotlandzkiego	23,22	22,82%	2	0,08	0,05%	0	27,83	14,83%	1	0,24%	0	1,28%	0	2,97%	0		
	Polskie wody przybrzeżne Zatoki Pomorskiej	16,74	22,14%	2	2,97	2,14%	2	2,95	2,13%	0	1,69%	0	2,27%	0	19,88%	0		
	Polskie wody przybrzeżne Basenu Bornholmskiego	54,66	46,05%	3	0,30	0,14%	0	24,76	11,17%	1	1,77%	0	4,69%	0	6,33%	0		

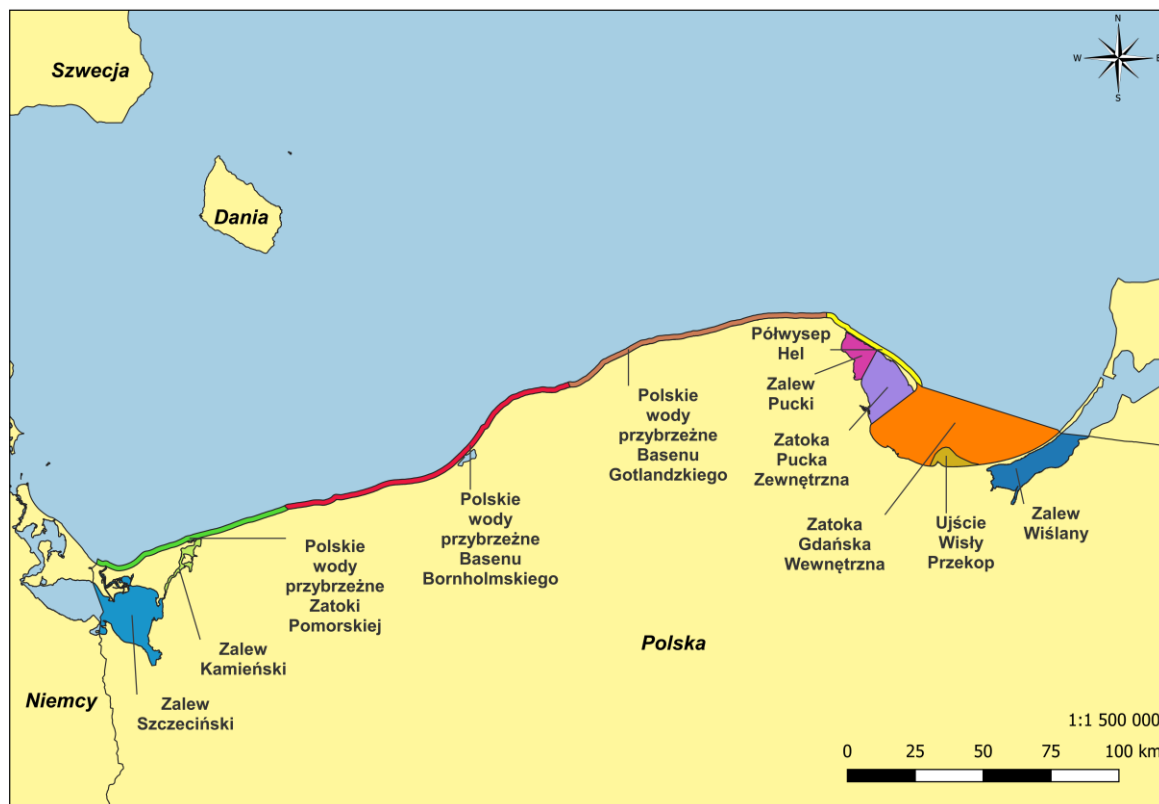
Tabela 4. Wyniki oceny wskaźnika 'Indeks jakości hydromorfologicznej (HQI)' w JCWP przejściowych i przybrzeżnych (dobry stan osiągnięty – kolor zielony, dobry stan nieosiągnięty – kolor czerwony)

Kategoria wód	Kod MRU	Nazwa JCWP	Klasyfikacja HQI	Wskaźnik jakości hydromorfologicznej (HQI)	Wskaźnik zmian hydromorfologicznych (HAI)	Maksymalna wartość presji wskaźników cząstkowych	Wskaźnik 1 Zmiana linii brzegowej	Wskaźnik 2 Obecność lub brak barier	Wskaźnik 3 Zakłócenia dna	Wskaźnik 4 Udział frakcji mulistej	Wskaźnik 5 Zmiana reżimu falowania	Wskaźnik 6 Zmiana kierunku dominujących prądów	Wskaźnik 7 Zmiana dopływu wód słodkich
			Bardzo dobry (>0,95) Dobry [0,85–0,95) Umiarkowany [0,65–0,85) Słaby [0,25–0,65) Zły (<0,25)										
Przejściowe	L4-POL-020	Zalew Szczeciński		0,73	0,27	26	1	0	0	2	0	-	4
	L4-POL-021	Zalew Kamieński		0,86	0,14	22	1	0	0	2	0	-	-
	L4-POL-022	Zalew Pucki		0,85	0,15	26	2	0	0	1	0	-	1
	L4-POL-023	Zatoka Pucka Zewnętrzna		0,73	0,27	26	3	1	1	0	0	-	2
	L4-POL-024	Zatoka Gdańska Wewnętrzna		0,81	0,19	26	2	0	1	0	0	-	2
	L4-POL-025	Ujście Wisły Przekop		0,92	0,08	26	0	0	0	0	0	-	2
	L4-POL-026	Zalew Wiślany		0,77	0,23	22	1	0	0	4	0	-	-
Przybrzeżne	L4-POL-027	Półwysep Hel		0,88	0,12	26	3	0	0	0	0	0	-
	L4-POL-028	Polskie wody przybrzeżne Basenu Gotlandzkiego		0,88	0,12	26	2	0	1	0	0	0	-
	L4-POL-029	Polskie wody przybrzeżne Zatoki Pomorskiej		0,85	0,15	26	2	2	0	0	0	0	-
	L4-POL-030	Polskie wody przybrzeżne Basenu Bornholmskiego		0,85	0,15	26	3	0	1	0	0	0	-

Metodyka przeprowadzenia oceny

1. Obszary oceny

Ocena wskaźnika HQI w ramach kryterium D7C1 przeprowadzona została w 11 obszarach zgodnie z krajowym podziałem obowiązującym od 2022 roku (Rysunek 2).



Rysunek 2. Obszary oceny wskaźnika 'Indeks jakości hydromorfologicznej (HQI)'

2. Opis przeprowadzenia oceny

Przy opracowaniu nowej metodyki klasyfikacji uwzględniono wymagania RDW oraz zapisy norm: polską (PN-EN 17123 Jakość wody Wytyczne dotyczące określenia stopnia modyfikacji cech hydromorfologicznych wód przejściowych i przybrzeżnych), angielską (BS EN 16503:2014 Water quality – Guidance standard on assessing the hydromorphological features of transitional and coastal waters). Metodyka bazuje na założeniach metodyki zaproponowanej dla obszarów brzegowych Irlandii opartej na nowym indeksie (Koege i in. 2020). Zmodyfikowana metodyka w sposób kompleksowy podchodzi do oceny stanu hydromorfologicznego na podstawie 7 wskaźników cząstkowych odnoszących się do elementów morfologicznych i elementów charakteryzujących reżim hydrodynamiczny.

Przy klasyfikacji wskaźnika HQI uwzględniono elementy wskazane w RDW:

- Wpływ infrastruktury i działań prowadzonych w wodach przybrzeżnych i przejściowych na charakterystykę morfologiczną i hydrodynamiczną – ocena opiera się na trzech wskaźnikach cząstkowych: 1 – zmiana linii brzegowej, 2 – obecność lub brak barier, 3 – zakłócenia dna;
- Zmiana warunków morfologicznych - charakteryzowana jest wskaźnikiem cząstkowym 4 – udział frakcji mulistej;

- zmiany warunków hydrodynamicznych – ocena przeprowadzana w oparciu o wskaźniki cząstkowe: 5 – zmiana reżimu falowania we wszystkich JCWP oraz wskaźnikami 6 i 6a – zmiana charakterystyki prądów morskich, mającymi zastosowane w wodach przybrzeżnych (wskaźnik 6a dotyczący zmiany prędkości prądów morskich ma charakter wspomagający);
- zmiany w doptywie wody słodkiej – ocena wykonywana jedynie w wodach przejściowych w oparciu o jeden wskaźnik cząstkowy - wskaźnik 7 – zmiana reżimu doptywu wód słodkich. Dane do klasyfikacji pochodzą zarówno z informacji administracyjnej, pomiarów oraz reanaliz.

Zintegrowana ocena wskaźnika HQI

W pierwszej kolejności każdy ze wskaźników cząstkowych klasyfikowany jest osobno.

Następnie wyniki klasyfikacji poszczególnych wskaźników cząstkowych wyrażone jako wartość wskaźnika (IS – ang. Index Score, Tabela 5) wykorzystywane są do obliczenia indeksu zmian hydromorfologicznych (HAI – ang. Hydromorphological Alteration Index) (Koegh i in. 2020) zgodnie z równaniem:

$$HAI = \frac{\sum_1^n IS_n}{\sum_1^n IMS_n} \quad (1)$$

Gdzie IS_n oznacza wartość wskaźnika cząstkowego n, IMS_n – oznacza maksymalną wartość wskaźnika cząstkowego n odpowiadającego największym zmianom (Tabela 5).

Na podstawie HAI wyznaczana jest wartość indeksu jakości hydromorfologicznej (HQI – ang. hydromorphological Quality Index):

$$HQI = 1 - HAI \quad (2)$$

Na podstawie wartości HQI przeprowadza się klasyfikację jednolitej części wód zgodnie z przyjętymi zakresami (Rysunek 3).

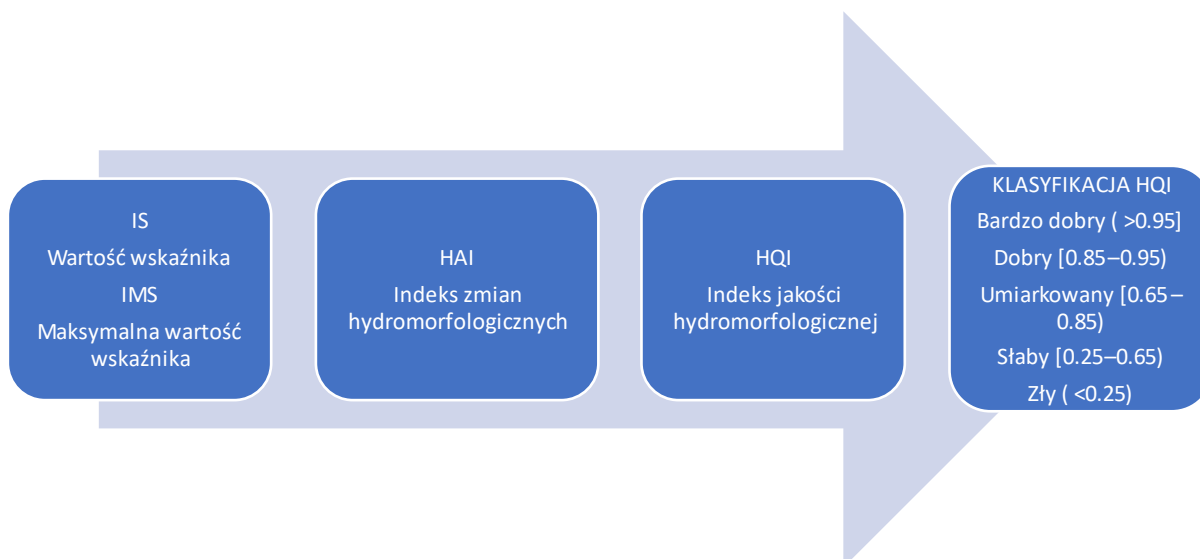
Wartość wskaźnika HQI ≥ 0,85 wskazuje na dobry stan środowiska.

W przypadku, kiedy jeden ze wskaźników cząstkowych 1, 2, 3 lub 4 osiągnie maksymalną wartość IS, stan jednolitej części wód określić należy jako zły niezależnie od wyników innych wskaźników.

Tabela 5. Klasyfikacja wskaźników cząstkowych wyrażona jako wartości IS

Element oceny RDW	Wskaźnik cząstkowy	Zakres zmian	Wartość wskaźnika cząstkowego (IS)
Wpływ infrastruktury i działań prowadzonych w wodach przybrzeżnych i przejściowych na charakterystykę morfologiczną i hydrodynamiczną	1 Zmiana linii brzegowej	Linia brzegowa jest w naturalnym stanie (długości linii brzegowej zmienione < 5%)	0
		Nieznaczna zmiana linii brzegowej (5% ≤ długości linii brzegowej zmienione < 15%)	1
		Umiarkowana zmiana linii brzegowej (15% ≤ długości linii brzegowej zmienione < 35%)	2
		Znaczna zmiana linii brzegowej (35% ≤ długości linii brzegowej zmienione < 75%)	3
		Silna zmiana linii brzegowej (długości linii brzegowej zmienione >75%)	4
	2 Obecność lub brak barier	powierzchnia obszaru trwale zmieniona < 1%	0
		1% ≤ powierzchnia obszaru trwale zmieniona < 2%	1
		2% ≤ powierzchnia obszaru trwale zmieniona < 5%	2
		5% ≤ powierzchnia obszaru trwale zmieniona < 10%	3
		powierzchnia obszaru trwale zmieniona >10%	4

Element oceny RDW	Wskaźnik częściowy	Zakres zmian	Wartość wskaźnika częściowego (IS)
	3 Zakłócenia dna	Znikome zakłócenia dna lub ich brak (powierzchnia zakłóceń dna <5%)	0
		nieznaczące zakłócenia dna ($5\% \leq$ powierzchnia zakłóceń dna < 15%)	1
		umiarkowane zakłócenia dna ($15\% \leq$ powierzchnia zakłóceń dna < 35%)	2
		znaczne zakłócenia dna ($35\% \leq$ powierzchnia zakłóceń dna < 75%)	3
		silne zakłócenia dna (powierzchnia zakłóceń dna >75%)	4
Zmiana warunków morfologicznych	4 Udział frakcji mulistej w wodach przybrzeżnych	Zawartość frakcji mulistej < 5%)	0
		5% ≤ Zawartość frakcji mulistej < 10%	1
		10% ≤ Zawartość frakcji mulistej < 35%	2
		35% ≤ Zawartość frakcji mulistej < 75%	4
		Zawartość frakcji mulistej ≥ 75%	6
	4 Udział frakcji mulistej w zalewach	Zawartość frakcji mulistej < 15%	0
		15% ≤ Zawartość frakcji mulistej < 25%	1
		25% ≤ Zawartość frakcji mulistej < 35%	2
		35% ≤ Zawartość frakcji mulistej < 75%	4
		Zawartość frakcji mulistej ≥ 75%	6
Zmiany warunków hydrodynamicznych	5 Zmiana reżimu falowania	Znikoma zmiana wysokości fali znacznej (< 5% zmiany w Δ_{H_S})	0
		Nieznacząca zmiana wysokości fali znacznej ($5\% \leq \Delta_{H_S} < 15\%$)	1
		Umiarkowana zmiana wysokości fali znacznej ($15\% \leq \Delta_{H_S} < 35\%$)	2
		Duża zmiana wysokości fali znacznej ($35\% \leq \Delta_{H_S} < 75\%$)	3
		Ogromna zmiana wysokości fali znacznej ($\geq 75\%$ zmiany w Δ_{H_S})	4
	6 Zmiana kierunku dominujących prądów	Znikoma zmiana kierunku dominujących prądów (< 30° zmiany w Δ_{DIR})	0
		Nieznacząca zmiana kierunku dominujących prądów ($30^\circ \leq \Delta_{DIR} < 60^\circ$)	1
		Umiarkowana zmiana kierunku dominujących prądów ($60^\circ \leq \Delta_{DIR} < 90^\circ$)	2
		Duża zmiana kierunku dominujących prądów ($90^\circ \leq \Delta_{DIR} < 120^\circ$)	3
		Ogromna zmiana kierunku dominujących prądów ($120^\circ \leq \Delta_{DIR} < 180^\circ$)	4
Zmiany w dopływie wody słodkiej	7 Zmiana reżimu dopływu wód słodkich	Znikoma zmiana dopływu wód słodkich (zmiana w LTAF < 5%)	0
		Nieznacząca zmiana dopływu wód słodkich ($5\% \leq$ zmiana w LTAF < 15%)	1
		Umiarkowana zmiana dopływu wód słodkich ($15\% \leq$ zmiana w LTAF < 35%)	2
		Znaczna zmiana dopływu wód słodkich (zmiana w LTAF > 35%)	4



Rysunek 3. Schemat klasyfikacji wskaźnika HQI w ramach kryterium D7C1

Sposób wyliczenia wskaźników cząstkowych przedstawia się następująco:

Wskaźnik 1 - Zmiana linii brzegowej

Do struktur wpływających na zmianę linii brzegowej należą: opaski, sztuczne zasilanie brzegów, wały przeciwpowodziowe oraz progi. Dodatkowo do tej kategorii zaliczono ostrogi, w przypadku których oddziaływanie w płaszczyźnie prostopadłej jest ograniczone do niewielkich odległości i dla których przyjęto długość linii brzegowej ich występowania jako element podlegający ocenie. Na podstawie warstw GIS pozyskanych z wyżej opisanych źródeł dokonano identyfikacji występowania tych struktur wzdłuż odcinków linii brzegowych jednolitych części wód przejściowych i przybrzeżnych. Sumaryczna długość zmian wzdłuż linii brzegowej każdej z jednolitych części wód została odniesiona do całkowitej długości linii brzegowej i wyrażona procentowo wg poniższego wzoru.

$$SAI\% = \frac{TLAS [km]}{TLWBC [km]} \cdot 100\% \quad (3)$$

gdzie:

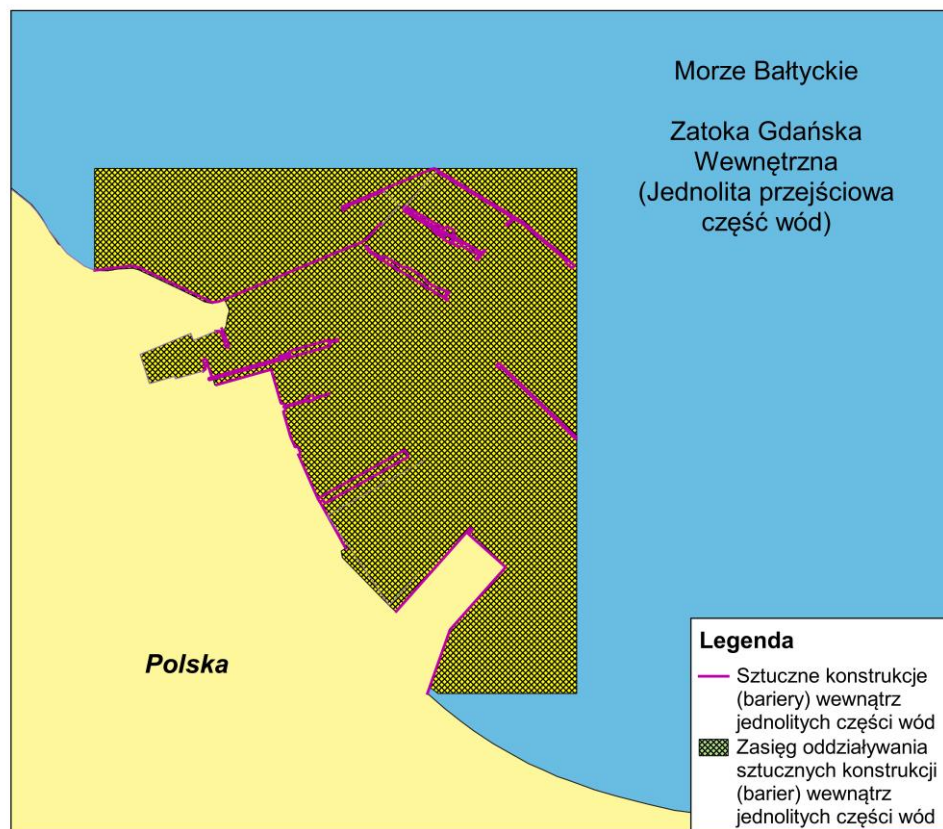
- SAI – Wskaźnik zmiany linii brzegowej [%]
- TLAS – całkowita długość sztucznych struktur [km]
- TLWBC – całkowita długość linii brzegowej JCWP [km]

Uzyskany w ten sposób wynik został wyrażony w 5-cio stopniowej skali odpowiadającej wartościom klasyfikowanych wskaźników (Tabela 5).

Wskaźnik 2 - Obecność lub brak barier

Do konstrukcji stanowiących bariery, które mogą wpływać na przepływ wód w obszarach przybrzeżnych i tym samym wpływać na transport osadów należą: pirsy, falochrony, progi podwodne, pomosty, mola, inne budowle osłonowe/blokujące. Konstrukcje te mogą także utrudniać swobodne przemieszczanie się ryb. Może to prowadzić w konsekwencji do pogorszenia stanu ekologicznego wód przejściowych i przybrzeżnych Bałtyku.

Pierwszym krokiem jest identyfikacja, na podstawie warstw GIS, sztucznych konstrukcji (barier) wewnątrz jednolitych części wód przejściowych i przybrzeżnych. Ze względu na to, że długość tych konstrukcji jest pomijalnie mała w stosunku do szerokości danej JCWP, przyjęto metodę określenia obszaru wpływu takich struktur, co ma szczególne zastosowanie w obszarach portowych. Schemat wyznaczenia obszaru przedstawiono na Rysunek 4.



Rysunek 4. Sposób określenia powierzchni infrastruktury mającej potencjalny wpływ na przepływ wód w JCWP

Sumaryczną powierzchnię zasięgu oddziaływania barier odniesiono do powierzchni jednolitych części wód przejściowych i przybrzeżnych w ujęciu procentowym wg poniższego wzoru.

$$PBI\% = \frac{IRB [km^2]}{TAWB [km^2]} \cdot 100 \quad (4)$$

gdzie:

- PBI – wskaźnik obecności barier [%]
- IRB – zasięg wpływu barier [km²]
- TAWB – całkowita powierzchnia JCWP [km²]

Wynik uzyskany dla każdej JCWP odniesiony został do klasyfikacji (Tabela 5). Biorąc pod uwagę, iż ocena wskaźnika odnosi się zasadniczo do określenia powierzchni konstrukcji powodujących trwałe zmiany dna morskiego i uwzględnienia zasięgu wpływu tych konstrukcji na dno morskie, dokonano harmonizacji granicy dobrego stanu z wartością maksymalnej dopuszczalnej powierzchni utraty siedliska zgodną z RDSM, która wynosi 2%. W ten sposób wszystkie konstrukcje powodujące trwałe zmiany w środowisku morskim o zasięgu powyżej 2% powierzchni JCWP zostaną zaklasyfikowane jako poniżej stanu dobrego. Jednocześnie ponieważ wskaźnik nie odnosi się jedynie do powierzchni trwałych zmian, ale także uwzględnia powierzchnię ich wpływu (w postaci strefy buforowej) przekroczenie

granicy 2% nie przekłada się bezpośrednio na zaklasyfikowanie JCWP jako będącej w złym stanie tak jak miałyby to miejsce w RDSM, a skutkuje nadaniem odpowiedniej wartości wskaźnika IS zgodnie z tabelicą (Tabela 5).

Wskaźnik odnoszący się do obecności barier nie dotyczy trwałych zmian występujących na brzegu, które są oceniane w ramach wskaźnika cząstkowego Zmiana linii brzegowej.

Wskaźnik 3 - Zakłócenia dna

Wskaźnik obejmuje wszelkie presje antropogeniczne takie jak pogłębianie torów wodnych czy też składowanie urobku bagrowanego w wodach przejściowych i przybrzeżnych, wpływające na ukształtowanie oraz strukturę geologiczną dna morskiego.

Na podstawie warstw GIS dokonano identyfikacji: obszarów składowania urobku bagrowanego, kotwicowisk, torów wodnych, obszarów pogłębiania torów wodnych oraz obszarów przebiegu rurociągów i kabli morskich.

Sumaryczną powierzchnię zidentyfikowanych obszarów odniesiono do powierzchni jednolitych części wód przejściowych i przybrzeżnych w ujęciu procentowym wg poniższego wzoru:

$$BDI\% = \frac{CA [km^2]}{TAWB [km^2]} \cdot 100 \quad (5)$$

gdzie:

- BDI – wskaźnik zakłóceń dna [%]
- CA – powierzchnia zmian [km²]
- TAWB – całkowita powierzchnia JCWP [km²]

Wynik uzyskany dla każdej jednolitej części wód przejściowej i przybrzeżnej odniesiony został do 5-cio stopniowej skali (Tabela 5).

Wskaźnik 4 - Wskaźnik zmian morfologicznych

Charakterystyka struktury dna wyrażona udziałem różnych frakcji może mieć kluczowe znaczenia dla warunków funkcjonowania siedlisk w jednolitych częściach wód. Zmiana struktury dna może wynikać z procesów naturalnych, ale również może być związana z obecnością infrastruktury zmieniającej dynamikę transportu osadów i procesów sedymentacji w określonej lokalizacji. Może również wynikać z prac naruszających dno tj. intencjonalna depozycja lub pogłębianie torów.

Zaproponowana klasyfikacja w zakresie charakterystyki osadów z uwzględnieniem przede wszystkim zmian wynikających z obecności infrastruktury i działań prowadzonych w jednolitych częściach wód bazuje na określeniu udziału frakcji mulistej (< 0,063 mm) osadów.

Przyjęcie udziału frakcji mulistej, wynika z faktu, iż jest ona niespecyficzna dla większości obszarów polskiego wybrzeża (gdzie dominują piaski) i jest uznawana za zdecydowanie mniej korzystną dla siedlisk dna piaszczystego, również ze względu na potencjalnie większą zawartość substancji niebezpiecznych.

W odniesieniu do obszarów Zalewów Wiślanego, Szczecińskiego oraz Kamieńskiego naturalnie występującymi osadami są osady mulisto-ilaste, mulisto-piaszczyste oraz piaszczystych (M. Olenycz i A. Barańska 2014). W związku z powyższym biorąc pod uwagę inną specyfikę procesów sedymentacyjnych w obszarach zalewów przyjęto inne wartości udziału frakcji mulistej dla klasyfikacji wskaźnika (Tabela 5). W celu przeprowadzenia klasyfikacji stanu hydromorfologicznego w oparciu o wytypowany wskaźnik w poszczególnych częściach wód, wyznaczono średnią zawartość frakcji

mulistej. Na podstawie uzyskanych wyników wskaźnikowi opisującemu udziału frakcji mulistej przypisano odpowiednią wartość zgodnie z Tabela 5.

Zmiany warunków hydrodynamicznych

Zmiany reżimu falowego i prądów morskich determinują transport i koncentracje biomasy, w tym stabilność makroglonów. Zarówno prądy morskie jak i ekstremalne zjawiska sztormowe mogą oddziaływać destrukcyjnie na przybrzeżne torfowiska wysokie i przejściowe niszcząc florę powstałych tam solnisk.

Wskaźnikami, które wytypowano do oceny zmian hydrodynamicznych są wskaźnik zmiany reżimu falowania i wskaźnik zmiany kierunku dominujących prądów morskich.

Wskaźnik 5 - Zmiana reżimu falowania

Wskaźnik 6 - Zmiana kierunku dominujących prądów

Wskaźniki charakteryzujące zmianę warunków hydrodynamicznych bazują na procentowej zmianie w stosunku do średniej z wielolecia. W przypadku falowania przyjęto okres referencyjny 1991 - 2020 zgodnie z rekomendacją dla pomiarów meteorologicznych (WMO 2017). Takie założenie ma bezpośredni związek z powiązaniem reżimu hydrodynamiki wód morskich z potencjalnym wpływem zmiany klimatu. Okresem porównawczym w stosunku do analizowanego wielolecia było pięciolecie, tj. 2018-2022. W przypadku prądów morskich przyjęto okres 2000 - 2019 wyznaczony na podstawie zakresu dostępności danych reanalizy. Okresem oceny był rok 2020. W celu identyfikacji zmian dla reżimu falowania i dynamiki zmian prędkości prądów morskich posłużono się uogólnionym wzorem [6], przy czym w przypadku falowania wykorzystuje się wysokość fali znacznej (H_s) falowania wiatrowego (sh_{ww}), a w przypadku prądów – średnią prędkość prądów (C_v). Zmiana dynamiki kierunków propagacji prądów morskich jest określana jako różnica pomiędzy dominującymi kierunkami prądów w wieloleciu poprzedzającym rok poddawany ocenie ($Dir_{c[my]} - Dir_{c[ly]}$).

$$|\Delta| = \left(\frac{\bar{ly}}{\bar{my}} - 1 \right) \cdot 100 \quad (6)$$

gdzie:

- $|\Delta|$ – dynamika zmian parametrów hydrodynamicznych (wysokość fali znacznej - H_s , prędkość prądów morskich C_v [%]);
- \bar{ly} – wartość średnia z okresu oceny;
- \bar{my} – średnia z wielolecia

Dane dla wszystkich wskaźników pozyskano z reanalizy ERA-5 (C3S 2017). Obejmują one przestrzennie cały obszar południowego Bałtyku. Składowymi danych z reanalizy są archiwalne pomiary morskie, dane satelitarne oraz inne dane bazujące na wymuszeniach modelowych. Dla reżimu falowania wykorzystano bazę danych ERA-5 (C3S 2017). o rozdzielczości przestrzennej $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (siatka prostokątna) i czasowej 1h, zaś dla prędkości i kierunku prądów morskich dane z reanalizy PM3D (Kowalewski 2021), które oparte zostały na modelu POM (Blumberg i Mellor 1987) i wykorzystują schemat turbulencji Mellora-Yamady i współrzędne pionowe sigma. Reanaliza ta jest również w siatce prostokątnej a jej rozdzielczość wynosi ok. 5,5 km ($3' \times 6'$). Wykorzystane w pracy dane z reanalizy pochodzą z jakościowych zweryfikowanych źródeł (Kowalewski 2017, Jędrasik i in. 2019).

Do określenia zmian w reżimie falowania i prądów morskich wykorzystano dane w zakresie wysokości fali znacznej z bazy danych ERA-5 oraz kierunku prądów morskich z reanalizy POM-PM3D (Kowalewski

2021). Pozyskane dane przetworzono z użyciem oprogramowania CDO (Climate Data Operators) łącząc pliki danych rocznych, a następnie ekstrahując dane dla obszaru południowego Bałtyku. W przypadku kierunku prądów wyizolowano warstwę powierzchniową ($\sigma = 0$). Dla wysokości fali znacznej obliczono średnią dla południowego Bałtyku i średnie dla odpowiednich jednolitych części wód przybrzeżnych i przejściowych. Na tym samym etapie wyznaczono mody dominujących kierunków propagacji prądów morskich dla wód przybrzeżnych. Obliczone średnie i dominanty posłużyły do oceny procentowej zmiany parametrów hydrodynamicznych obserwowanej w danym roku w stosunku do poprzedzającego trzydziestolecia (falowanie) i dwudziestolecia (prądy morskie). Na tej podstawie przypisano wartości poszczególnym wskaźnikom stosując pięciostopniową skalę (0-4) (Tabela 5).

Wskaźnik 7 - Wskaźnik dopływu wody słodkiej

Dopływ wód słodkich, związany przede wszystkim z uchodzącymi do morza rzekami, ma bezpośredni wpływ na wielkość stężenia substancji biogennych, a także stopień zasolenia i temperaturę wód przejściowych. Wahania w dopływie wód słodkich mogą w istotny sposób wpływać na ekosystem, zwłaszcza w zamkniętych obszarach morskich z ograniczoną wymianą wód.

Do określenia zmian dopływu wód słodkich do jednolitych części wód przejściowych wykorzystano pomiary przepływów rzek uchodzących z obszaru Polski do Bałtyku. Średni roczny przepływ (AAF) z danego roku (2020) odniesiony został do średniego przepływu charakteryzującego poprzedzające dziesięciolecie (2010-2019) – LTAF zgodnie z równaniem (7).

$$CRF\% = \left(\frac{AAF [m^3/s]}{LTAF [m^3/s]} - 1 \right) \cdot 100 \quad (7)$$

gdzie:

- CRF – zmiana w przepływie rzeki [%]
- AAF – średni roczny przepływ [m^3/s]
- LTAF – średni przepływ długoterminowy [m^3/s]

Wartość wskaźnika wyznaczona dla każdej jednolitej części wód przejściowych została odniesiona do skali 4-stopniowej (Tabela 5).

3. Wartości progowe

Wyliczone wartości wskaźnika HQI w danej JCWP przyrównuje się do wartości progowej zgodnie z przyjętym systemem klasyfikacji (Tabela 6). Wartość progowa dla wskaźnika została przyjęta w ślad za źródłową metodyką (Koegh i in. 2020) i wynosi $\geq 0,85$. Wartość ta jest tożsama z granicą pomiędzy klasą umiarkowaną a dobrą (RDW).

Tabela 6. Klasyfikacja wskaźnika HQI

Wartość wskaźnika HQI	Klasa RDW	Klasyfikacja RDSM
$\geq 0,95$	Wysoka	GES
$\geq 0,85 - < 0,95$	Dobra	
$\geq 0,65 - < 0,85$	Umiarkowana	subGES
$\geq 0,25 - < 0,65$	Słaba	
$< 0,25$	Zła	

4. Metodyka określenia wiarygodności oceny

Ze względu na testowy charakter wskaźnika jego wiarygodność oceniono na podstawie oceny eksperckiej jako umiarkowaną. Wskaźnik bazuje na dostępnych danych w zakresie działań prowadzonych na morzu oraz w strefie brzegowej. Przyjęta wartość progowa pochodzi z opublikowanej metodyki (Keogh i in. 2020), jednakże metodyka oceny wskaźnika nie została jak dotąd opublikowana.

5. Źródła danych

1. Do oceny w zakresie wpływu infrastruktury i działań prowadzonych w wodach przybrzeżnych i przejściowych (wskaźniki 1, 2, 3) na charakterystykę morfologiczną i hydrodynamiczną pozyskano informacje na temat zmian linii brzegowych, konstrukcji hydrotechnicznych oraz działań mających wpływ na zaburzenia w funkcjonowaniu ekosystemów jednolitych części wód przejściowych i przybrzeżnych z następujących źródeł:
 - Urząd Morski w Gdyni;
 - Urząd Morski w Szczecinie;
 - SIPAM – System Informacji Przestrzennej Administracji Morskiej (sipam.gov.pl);
 - Studium Uwarunkowań Zagospodarowania Przestrzennego Polskich Obszarów Morskich wraz z analizami przestrzennymi – luty 2015 (praca wykonana przez Instytut Morski w Gdańsku na zlecenie Urzędu Morskiego w Gdyni);
 - Geoportal Infrastruktury Informacji Przestrzennej (geoportal.gov.pl).
2. W zakresie zmian morfologicznych (wskaźnik 4) informacje pochodzą z monitoringu warunków hydromorfologicznych i fizykochemicznych przeprowadzonego w roku 2019 zgodnie ze zaktualizowanym Programem Monitoringu Wód Morskich.
3. W zakresie zmiany warunków hydrodynamicznych (wskaźniki 5 i 6) dane pochodzą z reanalizy ERA-5 (C3S 2017) i obejmują przestrzenie cały obszar południowego Bałtyku. Składowymi danymi z reanalizy są archiwalne pomiary morskie, dane satelitarne oraz inne dane bazujące na wymuszeniach modelowych. Dla reżimu falowania wykorzystano bazę danych ERA-5 (C3S 2017) w zakresie kierunku prądów morskich dane pochodzą z reanalizy POM-PM3D.
4. Dane obejmujące wielkości przepływów (wskaźnik 7) pochodzą z pomiarów realizowanych w ramach służby hydrologiczno-meteorologicznej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego.

Autorzy

Tamara Zalewska, Michał Iwaniak, Beata Danowska, Michał Saniewski, Patryk Sapięga, Wojciech Kraśniewski, Małgorzata Witczak, Marta Rybka-Murat, Agnieszka Grajewska, 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>

Blumberg A.F., Mellor G.L., 1987. Three-Dimensional Coastal Ocean Models, Volume 4 A Description of a Three-Dimensional Coastal Ocean Circulation Model. Coastal and Estuarine Sciences. AGU. doi.org/10.1029/CO004p0001

Copernicus Climate Change Service (C3S), 2017. ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS). date of access. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>

DECYZJA KOMISJI (UE) 2017/848 z dnia 17 maja 2017 r. ustanawiająca kryteria i standardy metodologiczne dotyczące dobrego stanu środowiska wód morskich oraz specyfikacje i ujednoczone metody monitorowania i oceny, oraz uchylająca decyzję 2010/477/UE

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

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

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)

Jędrasik J., Kowalewski M., 2019. Mean annual and seasonal circulation patterns and long-term variability of currents in the Baltic Sea. Journal of Marine Systems, 193, 1-26.

Keogh J., Wilkes R., O'Boyle S., 2020. A new index for the assessment of hydromorphology in transitional and coastal waters around Ireland. Marine Pollution Bulletin 151. 110802.

Kowalewski M., Kowalewska-Kalkowska H., 2017. Sensitivity of the Baltic Sea level prediction to spatial model resolution. Journal of Marine Systems, 173, 101-113.

Kowalewski. M., 2021. Hydrodynamic reanalysis of currents in the Baltic Sea using the PM3D model [Data set]. Gdańsk University of Technology. <https://doi.org/10.34808/1hq4-df69>

Olenycz M., Barańska A. (red.), 2014. Zbiorcze sprawozdanie z analizy dostępnych danych i przeprowadzonych inwentaryzacji przyrodniczych (zebranie i analiza wyników inwentaryzacji. materiałów niepublikowanych i opracowań publikowanych. przydatnych do sporządzenia projektów planów) w obszarze Natura 2000 Zalew Wiślany i Mierzeja Wiślana (PLH 280007). Instytut Morski w Gdańsku. Gdańsk.

WMO, 2017. WMO guidelines on the calculation of climate normals. WMO-1203. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4166.

