

STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB

ZESZYT 59(13): 109-129

2019

Alicja Pecio*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach***OCENA ZANIECZYSZCZENIA MORZA BAŁTYCKIEGO
SUBSTANCJAMI BIOGENICZNYMI WEDŁUG RAPORTU HELCOM PLC-6*****Słowa kluczowe:** HELCOM, PLC, Morze Bałtyckie, substancje biogeniczne, ocena zanieczyszczenia**Wprowadzenie**

Komisja Ochrony Środowiska Morskiego Bałtyku, znana również jako **Komisja Helsińska** lub **HELCOM**, jest to organizacja międzynarodowa, proklamowana przez tzw. Konwencję Helsińską z 1974 roku (4) jako jej organ wykonawczy. Sygnatariuszami konwencji helsińskiej, a zatem i członkami Komisji Helsińskiej, są: Dania, Estonia, Finlandia, Litwa, Łotwa, Niemcy, Polska, Rosja, Szwecja oraz Unia Europejska. HELCOM został powołany około czterdzieści lat temu dzięki współpracy międzyrządowej, w celu ochrony środowiska morskiego Morza Bałtyckiego przed wszystkimi źródłami zanieczyszczeń. Wizja HELCOM na przyszłość zakłada poprawę stanu środowiska Morza Bałtyckiego, z zachowaniem różnorodności i równowagi, składników biologicznych, co zapewni dobry stan ekologiczny oraz umożliwi szeroki zakres zrównoważonych działań gospodarczych i społecznych. Zadaniem HELCOM jest również monitorowanie środowiska naturalnego Morza Bałtyckiego. Jest ono realizowane przez zespół ekspertów, który zbiera informacje o stanie środowiska oraz zanieczyszczeniach wprowadzanych do morza. Dane te są analizowane i na ich podstawie opracowywane są zalecenia dla państw członkowskich, skłaniające je do podejmowania konkretnych działań nakierowanych na ochronę obszaru Bałtyku.

Głównym źródłem środowiskowej presji na ekosystem Morza Bałtyckiego pozostają wciąż różnego rodzaju zanieczyszczenia pochodzące z lądu. Skutkiem tej presji jest między innymi eutrofizacja, powodowana nadmiarem zaopatrzenia środowiska morskiego w substancje biogeniczne (azot i fosfor) oraz metale ciężkie,

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.6 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

trwałe zanieczyszczenia organiczne i inne syntetyczne substancje niebezpieczne. Za dostarczanie aktualnych informacji, w tym szacunków rocznych i okresowych, na temat ładunków substancji biogenicznych oraz substancji niebezpiecznych odprowadzanych do środowiska morskiego, ich źródeł i dróg dopływu, odpowiedzialny jest Pollution Load Compilation (PLC), jeden z największych projektów HELCOM. W ramach projektu sporządzana jest integralna część szacunków systemu HELCOM od 1987 r. Stanowi on zaplecze naukowe krajów członkowskich, które na ich podstawie podejmują działania w celu zapobiegania i eliminowania zanieczyszczenia środowiska morskiego Bałtyku, zgodnie z artykułem 16 Konwencji do spraw Ochrony Środowiska Morskiego Bałtyku (4). Zakończony ostatnio szósty cykl projektu realizował swe zadania w latach 2012-2018 pod nazwą PLC-6 (6).

Dane PLC

Podstawę wiarygodnej oceny wykonywanej w ramach projektu PLC stanowią naukowe i kompatybilne dane o wielkości ładunków zanieczyszczeń w regionie Morza Bałtyckiego. Dane dostarczane przez wszystkie kraje członkowskie uzyskiwane są głównie poprzez krajowe programy monitoringowe zgodnie z *Guidelines for the annual and periodical compilation and reporting of waterborne pollution inputs to the Baltic Sea, PLC-Water* (Wytyczne do monitorowania i raportowania HELCOM). Obszar monitorowania danych ilustruje mapa przedstawiona na rys. 1. W szacunkach PLC-6 uwzględniono dane za okres od 1995 r. do 2014 r. Są one przechowywane w bazie PLC HELCOM, która zapewnia również publiczny dostęp do surowych wyników monitoringu. Wszystkie zgłaszane dane są rozmieszczone przestrzennie i mogą być wizualizowane w formie map. Dane dotyczące ładunków substancji biogenicznych z powietrza są corocznie dostarczane przez EMEP *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* na podstawie krajowych raportów emisji azotu. Depozycja atmosferyczna fosforu jest przyjmowana jako stała wartość 5 kg fosforu na km².

W zestawieniach danych zgłaszanych do szacunków PLC HELCOM szczególną uwagę zwraca się na ich jakość. Przechodzą one cztery etapy kontroli. Parametry techniczne zgłaszanych danych są automatycznie weryfikowane przez specjalnie zaprojektowane dla danych o ładunkach zanieczyszczeń sieciowe narzędzie raportowania, które dokonuje też statystycznej oceny ich jakości. Te, które nie spełniają kryterium weryfikacji statystycznej, są automatycznie oznaczane jako podejrzane i korygowane ręcznie przez krajowych ekspertów odpowiedzialnych za raportowanie danych PLC. Ostateczna weryfikacja jakości przeprowadzana jest przez ekspertów jako element procedury.



Rysunek 1. Obszar zlewiska i basenów Morza Bałtyckiego PLC objętych monitoringiem PLC

Źródło: Updated Fifth Baltic Sea Pollution Load Compilation PLC-5.5 (7)

Wskaźniki HELCOM

W 2007 roku szacunki HELCOM wykazały, że w celu osiągnięcia zadowalającego stanu środowiska Bałtyku maksymalny dopuszczalny roczny ładunek substancji biogennych do Morza Bałtyckiego wynosi 21 tys. t fosforu i około 600 tys. t azotu. Obliczono, że aby osiągnąć kluczowy cel planu „czysta woda”, roczne redukcje powinny wynosić około 135 tys. t azotu i 15 tys. t fosforu. Wyróżniono dwa główne wskaźniki określające wielkość niezbędnej redukcji składników biogennych dostarczanych przez poszczególne kraje. Są to:

- *Maximum Allowable Inputs of nutrients (MAI)* - maksymalne dopuszczalne ładunki substancji biogenicznych
- *Country-Allocated Reduction Targets (CART)* - krajowe cele redukcji ładunków substancji biogenicznych

Krajowe docelowe poziomy redukcji uwzględniają również przewidywane redukcje ładunków substancji biogenicznych, wynikające z redukcji emisji z krajów niebędących członkami HELCOM na podstawie Protokołu z Göteborga oraz z żeglugi międzynarodowej, a także przewidywane redukcje transgranicznych dostaw wody przez kraje niebędące członkami HELCOM. Podstawę do obliczeń aktualnych wartości wskaźników MAI i CART stanowi najlepsza dostępna wiedza naukowa. Cele ekologiczne i zaktualizowane wartości wskaźników MAI i CART zostały opracowane przy udziale wszystkich krajów Morza Bałtyckiego.

MAI (*Maximum Allowable Inputs*) maksymalne dopuszczalne ładunki substancji biogenicznych

Wskaźnik MAI jest jednym z podstawowych wskaźników HELCOM. Określa maksymalny poziom ładunków azotu całkowitego (TN) i fosforu całkowitego (TP), wprowadzanych do poszczególnych basenów Morza Bałtyckiego drogą wodną oraz z powietrza, który jest dopuszczalny, aby zminimalizować nadmierną eutrofizację. Wskaźnik ten jest zasadniczym elementem schematu redukcji ładunków substancji biogenicznych i jest wyliczany modelowo na zasadzie określenia, jaki powinien być zrzut do Bałtyku, by osiągnąć uzgodnione cele środowiskowe (zmniejszające skutki eutrofizacji). Takie docelowe wartości dla każdego kraju członkowskiego po raz pierwszy określono w *Baltic Sea Action Plan* w 2007 r.(1), a następnie zaktualizowano w deklaracji ministerialnej z Kopenhagi w 2013 r. (2). Zwykle jako wartości MAI przyjmuje się średnie znormalizowane ładunki w okresie 1997-2003 (Tab. 1). Stanowią one podstawę do obliczeń wartości krajowych celów redukcji ładunków substancji biogenicznych CART oraz krajowych limitów ładunków azotu i fosforu jako tzw. zrzućy referencyjne.

Tabela 1

Całkowite znormalizowane ładunki azotu i fosforu (t) do Morza Bałtyckiego
w okresie referencyjnym. Zrzućy referencyjne

Kraj	Azot	Fosfor
Dania	70 490	1 928
Estonia	27 684	804
Finlandia	82 652	3 560
Niemcy	63 335	526
Łotwa	77 959	2 227
Litwa	46 335	2 635
Polska	220 606	12 310
Rosja	93 598	7 178
Szwecja	130 279	3 639
Inne źródła atmosferyczne	28 009	-
Żegluga morska	11 868	-
UE 20 atm*	57 528	-
Dep. atm. **	-	2 087
Morze Bałtyckie	910 343	36 893

*UE 20 atm.- atmosferyczna depozycja azotu z państw Unii Europejskiej nie należących do HELCOM

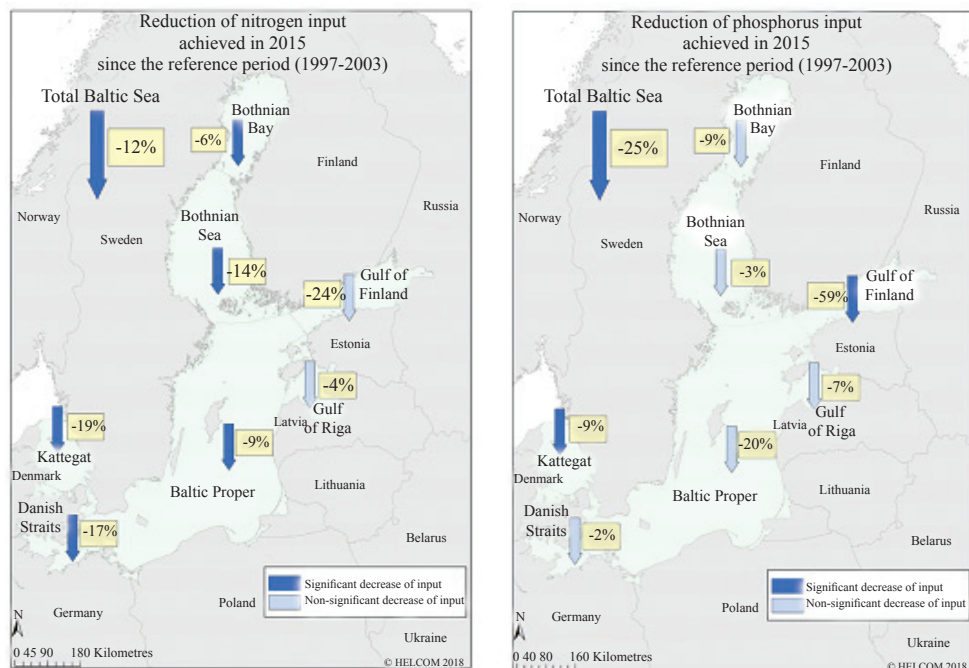
** Dep. atm. – atmosferyczna depozycja fosforu

Źródło: HELCOM Copenhagen Declaration, 2013 (2)

Normalizację stosuje się w odniesieniu do rocznych ładunków rzecznych i atmosferycznych w celu zmniejszenia wpływu międzyokresowych wahań wielkości tych ładunków, powodowanych zmiennością warunków pogodowych (przede wszystkim opadów). Wraz z normalizacją zwiększa się porównywalność ładunków rocznych, co ułatwia wykrywanie trendów, a także identyfikację efektów podjętych działań w zlewniach. Bez normalizacji, skutki mogłyby zostać ukryte przez dużą naturalną zmienność roczną opadów i przepływu rzecznego.

Postęp w realizacji wskaźnika MAI

W czasie od przyjętego okresu referencyjnego (1997-2003) do 2015 r. stwierdzono znaczną redukcję ilości substancji biogenicznych wprowadzanych do całego Morza Bałtyckiego. Znormalizowany ładunek azotu został zredukowany o 12%, a fosforu o 25% (Rys. 2).



Rysunek 2. Redukcja ładunku azotu (N) i fosforu (P) w 2015 r. w stosunku do okresu referencyjnego (1997–2003)

Źródło: PLC-6 Executive Summary (6)

Zgodnie z raportem PLC-6 maksymalna dopuszczalna wartość wskaźnika MAI dla azotu w badanym okresie nie została przekroczona w Cieśninie Kattegat, w Cieśninach Duńskich, Zatoce Botnickiej i Morzu Botnickim (Tab. 2). Ładunek azotu odprowadzany do wód Zatoki Ryskiej był mniejszy niż wartość wskaźnika MAI, ale nie mógł być ostatecznie uznany za dopuszczalny, ze względu na niepewność statystyczną. Wskaźnik MAI dla ładunków fosforu nie został przekroczony w Cieśninie Kattegat, Cieśninach Duńskich i Morzu Botnickim. Ładunki do wód Zatoki Fińskiej i Zatoki Botnickiej były mniejsze niż wartość MAI, ale ich również nie uznano za dopuszczalne ze względów statystycznych.

Tabela 2

Średnie znormalizowane roczne ładunki azotu i fosforu w 2015 r.

Baseny Morza Bałtyckiego	MAI*	Ładunek w 2015 r.	Statystyczna niepewność 2015	Ładunek uwzgl. statystyczną niepewność 2015	Przekroczenie MAI	Ładunek uwzgl. statystyczną niepewność 2015	Klasyfikacja osiągniętej redukcji
	t rok ⁻¹					% MAI	
Azot (N)							
Zatoka Botnicka	57 622	54 092	1 852	55 944		97	●
Morze Botnickie	79 372	71 305	2 479	73 784		93	●
Bałtyk Właściwy	325 000	387 711	12 358	400 069	75 069	123	●
Zatoka Fińska	101 800	107 746	7 535	115 280	13 480	113	●
Zatoka Ryska	88 417	83 398	5 533	88 931	514**	101	●
Cieśniny Duńskie	65 998	55 033	2 009	57 042		86	●
Kattegat	74 000	65 422	1 394	66 816		90	●
Morze Bałtyckie***	792,209	827 773	17 752			107	●
Fosfor (P)							
Zatoka Botnicka	2 675	2 574	149	2 724	49**	102	●
Morze Botnickie	2 773	2 569	133	2 702		97	●
Bałtyk Właściwy	7 360	15 327	1 554	16 881	9 521	229	●
Zatoka Fińska	3 600	2 853	1 610	4 463	863**	124	●
Zatoka Ryska	2 020	2 372	227	2 559	579	129	●
Cieśniny Duńskie	1 601	1 530	49	1 579		99	●
Kattegat	1 687	1 477	59	1 563		91	●
Morze Bałtyckie***	21 716	30026	1 229	31 255	9 539	144	●

* Zgodnie z definicją przyjętą przez HELCOM Copenhagen Ministerial Meeting (HELCOM 2013a)

** Przekroczenie wartości MAI jest wynikiem niepewności statystycznej danych

*** Ładunek do Morza Bałtyckiego oszacowany z wykorzystaniem innej procedury statystycznej, dlatego może różnić się od sumy ładunków do poszczególnych basenów

Klasyfikacja realizacji MAI: ● = MAI osiągnięty, ● = realizacja MAI nie jest określona z powodu niepewności statystycznej, ● = MAI nie został osiągnięty.

UWAGA: nie zaokrąglono danych w celu zachowania spójności z wartością wskaźnika MAI

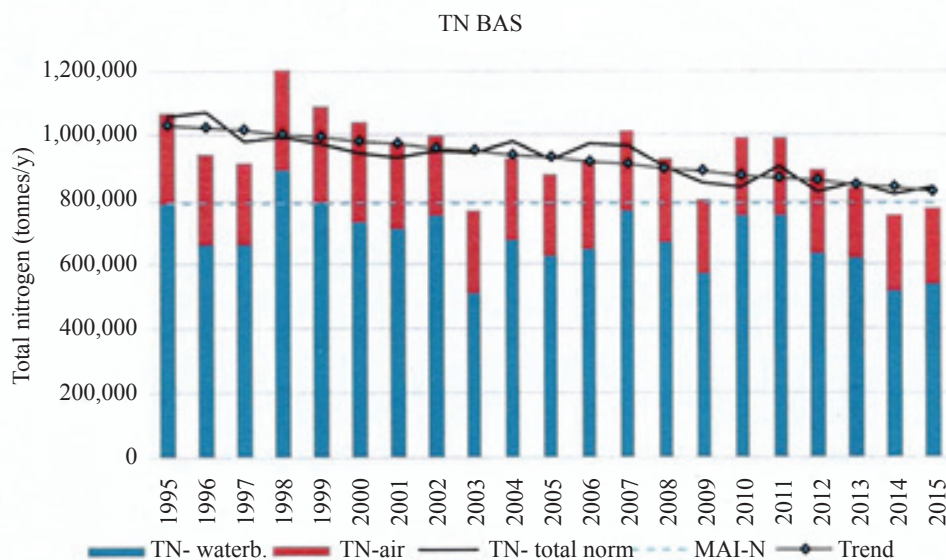
Źródło: PLC-6 Executive Summary (6)

Analizy trendów wprowadzania substancji biogenicznych do Morza Bałtyckiego w całym okresie obserwacji, rozpoczynającym się od 1995 r., w 2015 r. wykazywały stałą, statystycznie istotną redukcję całkowitych ładunków azotu i fosforu do Morza

Bałtyckiego, odpowiednio o 20% i 27% (Rys. 3-4). Systematyczną redukcję dopływu azotu w tym okresie obserwowano w Cieśninach Duńskich, w cieśninie Kattegat, Zatoce Ryskiej oraz w wodach Bałtyku Właściwego. W przypadku Morza Botnickiego, znaczące zmniejszenie dopływu zaobserwowano po 2003 r., do Zatoki Fińskiej po 2014 r., a do Zatoki Botnickiej po 2006 r.

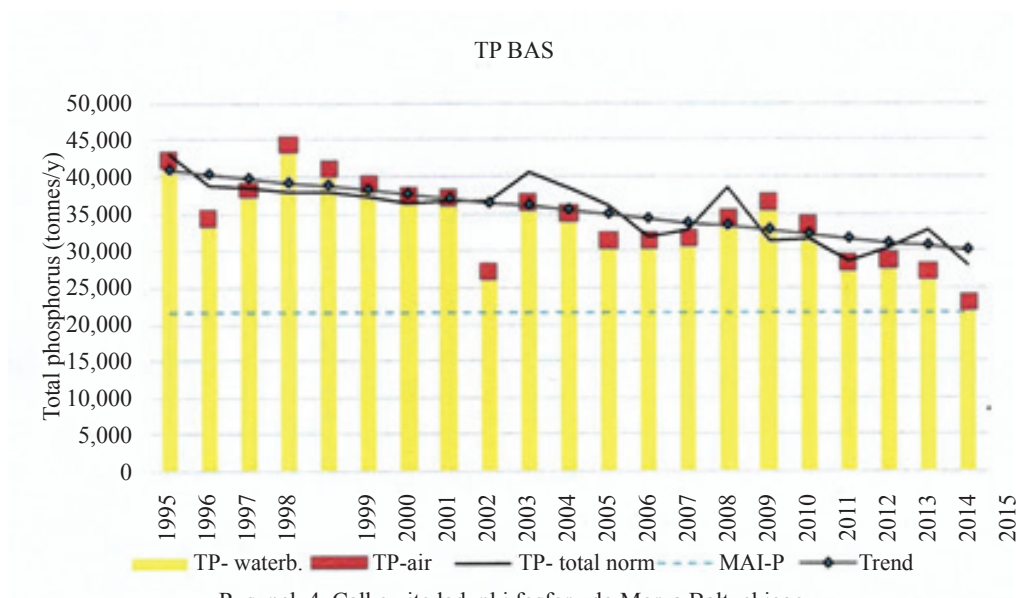
Ładunek fosforu ulegał znacznemu zmniejszeniu przez cały badany okres tylko w cieśninie Kattegat. W czterech basenach stwierdzono istotne redukcje w pierwszej części badanego okresu: w Bałtyku Właściwym w latach 1995-2011, w Zatoce Botnickiej w latach 1995-2002, w Morzu Botnickim w latach 1995-2002) i w Cieśninach Duńskich w latach 1995-1999. Redukcję ładunku P do Zatoki Fińskiej stwierdzono dopiero w ostatnich latach, ale rozpoczęła się ona już w 2009 r. Niestety, ładunki P do Zatoki Ryskiej zwiększały się do 2007 r. i w ostatnim czasie nie obserwowano żadnej statystycznie istotnej redukcji.

Roczną zmienność przepływu wody przedstawiono na rysunku 5.



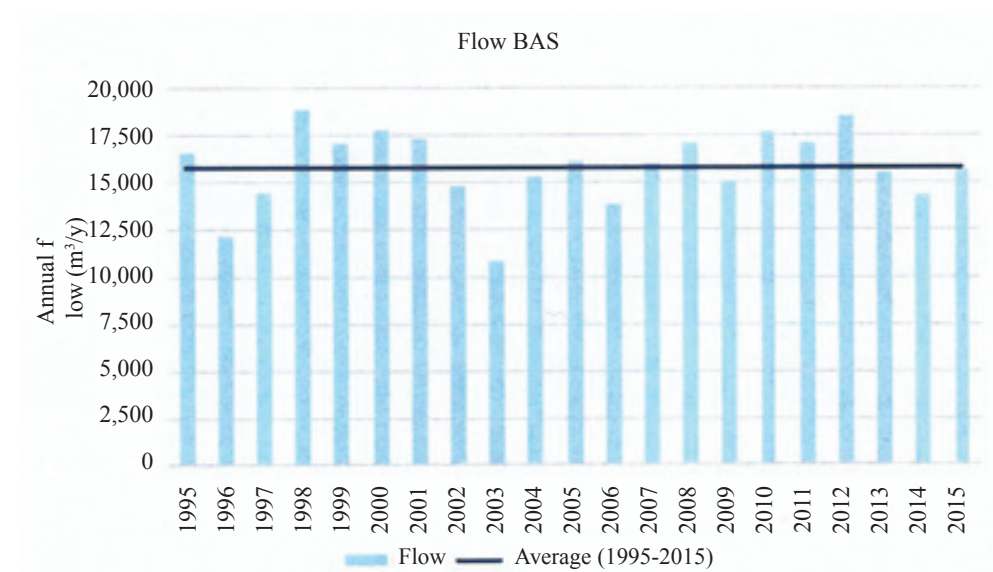
Rysunek 3. Całkowite ładunki azotu do Morza Bałtyckiego

Źródło: PLC-6 Executive Summary, (6)



Rysunek 4. Całkowite ładunki fosforu do Morza Bałtyckiego

Źródło: PLC-6 Executive Summary (6)



Rysunek 5. Roczna zmienność przepływu wody

Źródło: PLC-6 Executive Summary (6)

CART(Country-Allocated Reduction Targets) **Krajowe Cele Redukcji ładunków substancji biogenicznych**

Wskaźnik CART (Krajowe Cele Redukcji), jest częścią planu redukcji ładunków substancji biogennych HELCOM i wskazuje, o ile poszczególne kraje muszą zmniejszyć wielkość ładunków substancji biogenicznych przed upływem 2021 roku w porównaniu z okresem referencyjnym (1997-2003). Wartości krajowych celów redukcji azotu i fosforu ustalono na spotkaniu ministerialnym HELCOM w Kopenhadze 2013 r.

Tabela 3.

Krajowe docelowe poziomy redukcji azotu i fosforu (t)

Kraj	Azot	Fosfor
Dania	2 890	38
Estonia	1 800	320
Finlandia	2 430 +600*	330 + 26*
Niemcy	7 170 + 500*	110 + 60*
Łotwa	1 670	220
Litwa	8 970	1 470
Polska	43 610	7 480
Rosja	10 380*	3 790*
Szwecja	9 240	530

* Wymagania w zakresie redukcji wynikające z: zrzutu niemieckiego do rzeki Odry, w oparciu o bieżące podejścia modelowe z MONERIS i zrzutu fińskiego do zrzutów zlewni rzeki Newy (przez rzekę Vuoksi) oraz dane dotyczące ładunków transgranicznych pochodzących z krajów HELCOM i odprowadzanych do Morza Bałtyckiego poprzez inne kraje HELCOM są wstępne i wymagają dalszej dyskusji w ramach odpowiednich organów zarządzania wodami transgranicznymi

Źródło: HELCOM Ministerial Meeting, (3)

Realizacja krajowych celów redukcji ładunków substancji biogenicznych **CART**

Ocena osiągniętych postępów opierała się na szacunku redukcji ładunków netto substancji biogenicznych w odniesieniu do określonych limitów wprowadzania tych substancji.

Limity krajowych ładunków netto

Ładunek netto substancji biogenicznych jest to szacunkowa ilość substancji biogenicznych, wnoszonych do basenu Morza Bałtyckiego z danego kraju. Szacunki projektu PLC uwzględniają ładunki dostarczane drogą wodną (źródła bezpośrednie z punktów przybrzeżnych oraz zrzuty z rzek), z powietrza (depozycja atmosferyczna z konkretnego kraju lub grupy krajów) oraz ładunki transgraniczne (zrzuty rzekami z innego kraju).

Krajowy limit ładunku netto substancji biogenicznych to maksymalna dopuszczalna ilość substancji biogenicznych, odprowadzanych z danego kraju do danego basenu Morza Bałtyckiego, zapewniająca dobry stan środowiska Bałtyku w zakresie eutrofizacji (Tab. 4, Tab. 5). Suma limitów określonych dla wszystkich krajów odprowadzających substancje biogeniczne do poszczególnych basenów odpowiada wartości wskaźnika MAI dla tych basenów.

Tabela 4.

Krajowe limity ładunków netto azotu (t) dla wszystkich basenów Morza Bałtyckiego

Kraj	Zatoka Botnicka	Morze Botnickie	Bałtyk Właściwy	Zatoka Fińska	Zatoka Ryska	Cieśniny Duńskie	Kattegat
Dania	231	904	7910	334	381	30313	29319
Estonia	95	317	1413	11265	13029	18	20
Finlandia	35081	29619	1569	20653	255	64	77
Niemcy	817	3170	27473	1312	1465	21957	3285
Łotwa	63	273	6091	183	53898	24	25
Litwa	110	491	33093	261	5795	54	60
Polska	644	2802	160857	1166	1361	1125	1106
Rosja	710	1551	9253	62522	2516	174	174
Szwecja	17924	33350	30942	502	449	6224	34206
Inne kraje	1876	6603	33002	3455	2804	5880	5579
Żegluga	72	292	1434	147	112	165	149
Białoruś	0	0	7322	0	6352	0	0
Czechy	0	0	2693	0	0	0	0
Ukraina	0	0	1948	0	0	0	0
Suma (MAI)	57622	79372	325000	101800	88418	65998	74001

Źródło: Baltic Sea Action Plan, (1)

Tabela 5.

Krajowe limity ładunków netto fosforu (t) dla wszystkich basenów Morza Bałtyckiego

Kraj	Zatoka Botnicka	Morze Botnickie	Bałtyk Właściwy	Zatoka Fińska	Zatoka Ryska	Cieśniny Duńskie	Kattegat
Dania			21	0	0	1040	829
Estonia			8	236	239	0	0
Finlandia	1668	1255	0	322	0	0	0
Niemcy			101	0	0	351	0
Łotwa			74	0	541	0	0
Litwa			831	0	166	0	0
Polska			4309	0	0	0	0
Rosja			277	2892	185	0	0
Szwecja	826	1125	308	0	0	105	740
Depozycja atm.	181	394	1046	150	93	105	118
Białoruś			244	0	797	0	0
Czechy			108	0	0	0	0
Ukraina			33	0	0	0	0
Suma (MAI)	2675	2773	7360	3600	2020	1601	1987

Źródło: Baltic Sea Action Plan, (1)

Realizacja krajowych limitów ładunków azotu i fosforu

Szacunek postępu w kierunku realizacji krajowych celów redukcyjnych substancji biogenicznych przeprowadzono na podstawie oceny redukcji ładunków netto. Ładunki netto azotu i fosforu z poszczególnych krajów wprowadzane do poszczególnych basenów Morza Bałtyckiego w 2014 r. oszacowano z zastosowaniem metody estymacji statystycznej, w oparciu o serie czasowe znormalizowanych ładunków netto w latach 1995–2014. Metoda uwzględnia również niepewność szacunku. Postęp w kierunku realizacji krajowych celów redukcyjnych do 2014 r. oceniano poprzez porównanie oszacowanych ładunków netto substancji biogenicznych z odpowiednimi limitami krajowymi (Tab. 6-7).

Jedynym krajem, który nie przekraczał limitu ładunków azotu dostarczanych do wszystkich basenów Morza Bałtyckiego była Dania. Finlandia i Szwecja osiągnęły cele redukcyjne azotu dostarczanego do wszystkich zlewni, z wyjątkiem Bałtyku Właściwego i Zatoki Fińskiej, gdzie wymagana jest dalsza redukcja w ilości mniejszej niż 10% limitów ładunków wyznaczonych dla tych krajów. Polska osiągnęła swoje cele redukcyjne ładunków odprowadzanych z powietrza do Zatoki Botnickiej i Morza Botnickiego. Do wykonania pozostały istotne redukcje, o ok. 10-30% ładunków do Bałtyku Właściwego, Zatoki Fińskiej i Cieśniny Kattegat oraz mniejsze niż 10% do Zatoki Ryskiej. Rosja przekroczyła poziom krajowego limitu ładunków odprowadzanych do wszystkich basenów. Ładunki azotu atmosferycznego, pochodzące z transportu morskiego na Morzu Bałtyckim oraz z państw nienależących do HELCOM, przewyższały limity we wszystkich basenach. Ważne jest, że ładunki azotu całkowitego do Morza Botnickiego, Zatoki Botnickiej, Cieśnin Duńskich i Cieśniny Kattegat były mniejsze od MAI dla tych basenów, a w państwach, które przekroczyły krajowe limity ładunków wyznaczonych dla tych basenów stwierdzono tylko niewielki udział ładunków z powietrza. Prawie wszystkie kraje wykazały postęp w redukcji ładunków azotu.

Tabela 6

Szacunek realizacji celów redukcyjnych ładunków azotu całkowitego w stosunku do określonego limitu, na podstawie danych statystycznych

Państwo/Basen Morza Bałtyckiego	Zatoka Botnicka	Morze Botnickie	Bałtyk Właściwy	Zatoka Fińska	Zatoka Ryska	Cieśniny Duńskie	Kattegat
Dania	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Estonia	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Finlandia	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Niemcy	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Łotwa	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Litwa	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Polska	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Rosja	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Szwecja	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Białoruś			↓		↓		
Czechy			↓				
Ukraina			↓				

Tabela 6 cd.

Transport morski							
Inne państwa	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
MAI	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

	tylko ładunki z powietrza do basenu
	tylko transgraniczne ładunki z wodą do basenu
	redukcja pozostała do wykonania:
	mniej niż 10%
	między 10 i 30%
	między 30 i 50%
	50% lub więcej
	w granicach statystycznego błędu; realizacja CART nie może być udowodniona
	realizacja CART z 95% pewnością, limit ładunku nie jest przekroczony
	klasyfikacja jest nieistotna

CART- Country-Allocated Reduction Targets – krajowe cele redukcyjne

Strzałki oznaczają statystycznie istotne zmiany wielkości ładunków składników biogennych w porównaniu do okresu referencyjnego, z uwzględnieniem 95% przedziału ufności dla ostatnich danych wejściowych i wartości referencyjnych:

↓ = istotna redukcja

↑ = istotny wzrost

* Żółte, pomarańczowe i czerwone wypełnienie: pułap ładunku jest przekroczony z prawdopodobieństwem 95%. Legenda ilustruje procent redukcji pozostały do osiągnięcia pułapu ładunków.

„Inne kraje” obejmują źródła depozycji azotu atmosferycznego z 20 krajów UE, które nie są członkami HELCOM, w tym Białoruś, Ukraina, żegluga na Morzu Północnym itp.

Źródło: PLC-6 Executive Summary (6)

Żadne z badanych państw nie osiągnęło limitu ładunków fosforu odprowadzanego do wszystkich basenów Morza Bałtyckiego. Wszystkie kraje członkowskie HELCOM oraz kraje spoza HELCOM, odprowadzające substancje biogeniczne drogą wodną przekroczyły limit ładunków dostarczanych do Bałtyku Właściwego. Dwa z trzech państw, przekroczyły swoje limity ładunków do Zatoki Fińskiej. Osiągnięcie limitu ładunków przez Rosję nie zostało udowodnione statystycznie z powodu dużej zmienności danych. Dotyczy to również jakości danych dla rosyjskich ładunków fosforu odprowadzanych do Zatoki Ryskiej. Łotwa, Polska, Republika Czeska i Ukraina przekroczyły swoje limity ładunków fosforu do basenów Morza Bałtyckiego, do których mają dostęp. Wszystkie kraje osiągnęły limity ładunków fosforu całkowitego odprowadzanych do Cieśnin Duńskich i cieśniny Kattegat.

Tabela 7

Szacunek realizacji celów redukcyjnych ładunków fosforu całkowitego w stosunku do określonego limitu, na podstawie danych statystycznych

Państwo/Basen Morza Bałtyckiego	Zatoka Botnicka	Morze Botnickie	Bałtyk Właściwy	Zatoka Fińska	Zatoka Ryska	Cieśniny Duńskie	Kattegat
Dania			↓				↓
Estonia				↓			
Finlandia	↓						
Niemcy							
Łotwa							
Litwa			↓		↓		
Polska							
Rosja			↑	↓			
Szwecja		↓	↓			↓	
Białoruś							
Czechy							
Ukraina							
Transport morski							
Inne państwa							
MAI				↓			

Źródło: PLC-6 Executive Summary (6)

Wewnętrzne cykle biogeochemiczne substancji biogenicznych w Morzu Bałtyckim

Oprócz dostaw substancji biogenicznych z ziemi i poprzez depozycję atmosferyczną, ich źródłem są również wewnętrzne cykle biogeochemiczne w Morzu Bałtyckim. Duży ładunek azotu ($400\,000\text{--}600\,000\text{ t}\cdot\text{rok}^{-1}$) pochodzi z wiązania N_2 poprzez transformację azotu cząsteczkowego (N_2) z powietrza do biodostępnego amoniaku przez cyjanobakterie. Ilość tak związanego N zwiększa się wraz z wielkością zakwitów cyjanobakterii.

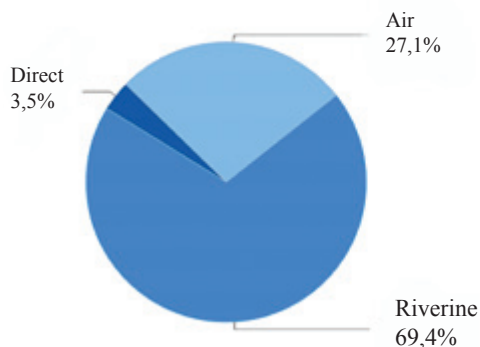
Innym procesem stymulowanym mikrobiologicznie jest denitryfikacja, która polega na redukcji azotanów (NO_3^-). Ostatecznie powstaje azot cząsteczkowy (N_2), włączany do cyklu azotu. Denitryfikacja odbywająca się zarówno w wodzie, jak i osadach dennych, stanowi istotne źródło w budżecie azotu Morza Bałtyckiego.

W ciągu ostatnich dziesięcioleci w osadach dennych Morza Bałtyckiego zgromadzone zostały ogromne zasoby fosforu. Ładunek wewnętrzny, powstający w wyniku uwolnienia fosforu z osadów w warunkach beztlenowych, jest czynnikiem przyczyniającym się do podwyższonej koncentracji w Morzu Bałtyckim.

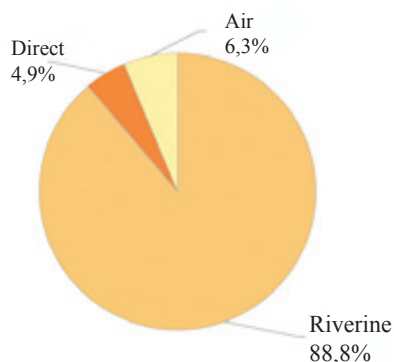
Drogi dopływu substancji biogenicznych do Morza Bałtyckiego

Azot dociera do Morza Bałtyckiego trzema różnymi szlakami. Może być transportowany wodami rzek, deponowany z powietrza lub odprowadzany bezpośrednio do Morza Bałtyckiego z różnych obiektów, tj. oczyszczalni ścieków przemysłowych czy komunalnych, położonych na wybrzeżu morskim. Fosfor może być dostarczany w ten sam sposób. Różnica jednak polega na tym, że depozycja fosforu z powietrza zachodzi głównie na skutek działania czynników naturalnych, co powoduje trudności w monitoringu i modelowaniu danych. W szacunkach HELCOM jest przyjmowana wartość stała i uwzględniane są tylko dwa szlaki fosforu do Bałtyku: rzeki i bezpośrednie zrzuty.

W 2014 r. w przypadku obu składników dominował szlak rzeczny, który obejmowała prawie 70% ładunku azotu całkowitego (TN) i 89% ładunku fosforu całkowitego (TP) odprowadzanego do Morza Bałtyckiego (Rys. 6-7). Jednakże udział poszczególnych szlaków różnił się pomiędzy basenami. Depozycja azotu z powietrza wahała się od prawie 12% w Zatoce Ryskiej, do ponad 40% w Cieśninach Duńskich, a fosforu od poniżej 4% w Zatoce Fińskiej do ponad 15% w Morzu Botnickim. Udział punktowych źródeł azotu wahał się od około 1% w wodach Zatoki Ryskiej i Bałtyku Właściwym do ponad 8% w Zatoce Fińskiej. Udział bezpośrednich źródeł fosforu był także zróżnicowany pomiędzy basenami od prawie 3% w Zatoce Ryskiej i Bałtyku Właściwym do prawie 20% w Cieśninach Duńskich. Również krajowe ładunki netto wykazywały duże zróżnicowanie pomiędzy szlakami.



Rysunek 6. Całkowity ładunek azotu do Morza Bałtyckiego



Rys. 7. Całkowity ładunek fosforu do Morza Bałtyckiego

Źródło: PLC-6 Executive Summary (6)

Zmienność ładunków azotu i fosforu niesionych głównymi szlakami

Łączne średnie ładunki fosforu i azotu dostarczane do całego Morza Bałtyckiego w badanym okresie uległy zmniejszeniu. Jednakże redukcja osiągnięta w 2014 r. w stosunku do 1995 r. nie była jednakowa dla wszystkich szlaków. Największą redukcję stwierdzono w przypadku źródeł punktowych. Ich udział zmniejszył się z 5,5% do 3,8% dla azotu i z prawie 11% do niemal 6% dla fosforu. Udział ładunków azotu z powietrza również uległ nieznacznemu zmniejszeniu, podczas gdy udział ładunków obu składników niesionych rzekami znacznie się powiększył.

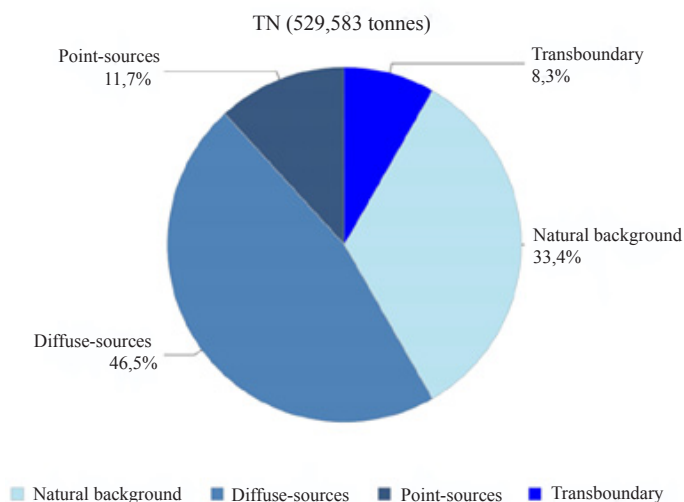
Udział różnych szlaków dopływu do Morza Bałtyckiego w całkowitym ładunku substancji biogenicznych był zróżnicowany pomiędzy jego basenami i badanymi państwami. Jednakże, ogólna tendencja zmian ładunków TN i TP wykazywała spadek udziału bezpośrednich źródeł punktowych, największy od 1995 r. Takie proporcje były podobne w przypadku ładunków azotu docierających do wszystkich basenów południowej części Morza Bałtyckiego (Bałtyk Właściwy, Cieśniny Duńskie i Kattegat), jak również do Zatoki Fińskiej. Redukcje odpowiadały spadkowi dopływu azotu z krajów odpowiedzialnych za główny ładunek azotu do tych basenów. Podobną tendencję stwierdzono również dla ładunków TN do Zatoki Ryskiej, aczkolwiek występowała tu duża zmienność ładunków w czasie.

Główne tendencje w zmianach dopływu fosforu wskazywały na zmniejszenie ładunków TP w okresie od 1995 r. Szczególnie dotyczyło to udziału źródeł bezpośrednich. Największą redukcję udziału ładunków fosforu z tych źródeł obserwowano w Zatoce Ryskiej, chociaż był to jedyny basen, gdzie nie stwierdzono redukcji ładunków P z pozostałych źródeł. Większość krajów wykazywała zmniejszenie udziału źródeł bezpośrednich, z wyjątkiem Szwecji, która była jedynym krajem bez wyraźnego trendu zmian szlaków dopływu P do Bałtyku. Wynikało to z faktu, że Szwecja, a także Dania, Finlandia i Niemcy zaczęły, zmniejszać emisje z oczyszczalni ścieków jeszcze przed

rozpoczęciem pomiarów HELCOM, co oznacza, że redukcje te nie były widoczne w danych HELCOM. W krajach tych, podejmowane środki są obecnie bardziej zorientowane na źródła obszarowe, takie jak np. straty w rolnictwie.

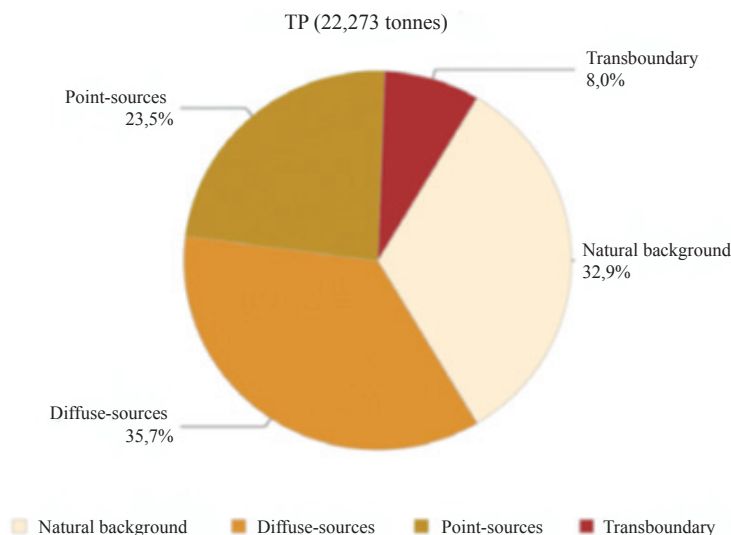
Źródła substancji biogenicznych w rzekach obszaru zlewiska Morza Bałtyckiego

Jedną trzecią całkowitego ładunku substancji biogenicznych dostarczanych do Morza Bałtyckiego stanowiły ładunki powstające przy braku działalności człowieka, na skutek naturalnych procesów biogeochemicznych zachodzących w ekosystemie (tzw. naturalne tło); (Rys. 8-9). Występowały jednak duże różnice pomiędzy poszczególnymi basenami. Największy udział tych ładunków stwierdzono w Zatoce Fińskiej (68% N i 59% P) i Zatoce Botnickiej (65% N i 65% P), a najmniejszy w Zatoce Ryskiej (12% N i 11% P). Obszarowe źródła antropogeniczne (głównie z działalności rolniczej) stanowiły 46% całkowitego rzecznoego ładunku azotu i 36% całkowitego rzecznoego ładunku fosforu do Morza Bałtyckiego. Na zróżnicowanie udziału tych źródeł duży wpływ miały różnice w powierzchni gruntów rolnych. Wysoki ich udział stwierdzono w Zatoce Ryskiej (57% dla N i 42% dla P) i dla samego azotu także w Cieśninach Duńskich (68%) i Cieśninie Kattegat (59%). Źródła punktowe stanowiły 12% całkowitego ładunku azotu i 24% całkowitego ładunku fosforu. Zmienność udziału źródeł punktowych była jeszcze większa niż w przypadku innych źródeł substancji biogenicznych. Duży ładunek ze źródeł punktowych stwierdzono w Bałtyku Właściwym (18% dla N, 33% dla P) oraz w Cieśninach Duńskich (43% dla P). Jednakże dla dużej części ładunków substancji biogenicznych, sklasyfikowanych jako transgraniczne, które pochodziły z krajów zlewni południowych, głównie z Białorusi, nie było możliwości określenia ich źródła. Na przykład obciążenie transgranicznym ładunkiem Zatoki Ryskiej oszacowano na 30% dla azotu i 42% dla fosforu.



Rysunek 8. Ładunki azotu w wodach rzek

Źródło: PLC-6 Executive Summary, (6)

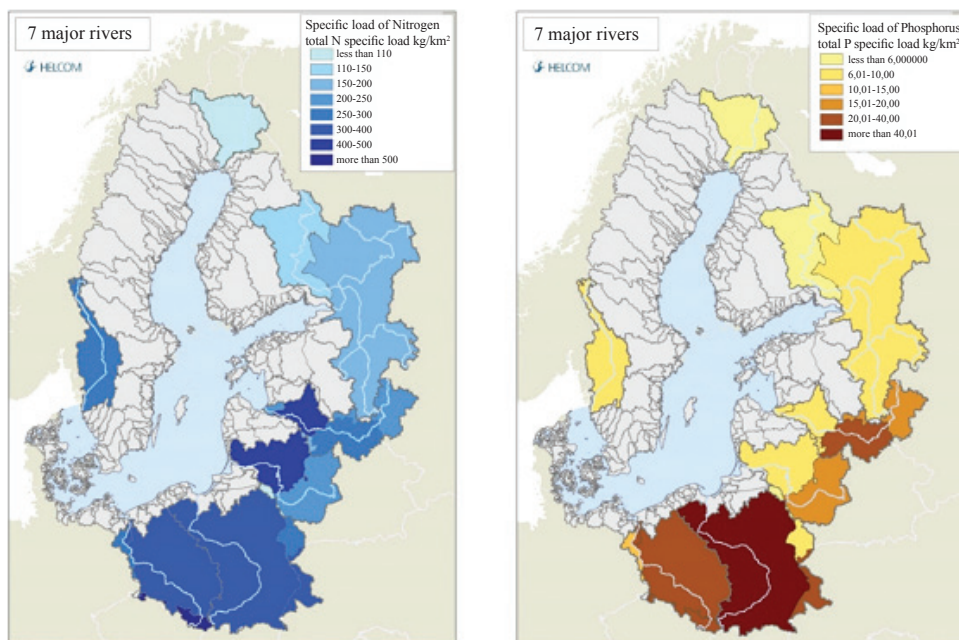


Rysunek 9. Ładunki fosforu w wodach rzek

Źródło: PLC-6 Executive Summary, (6)

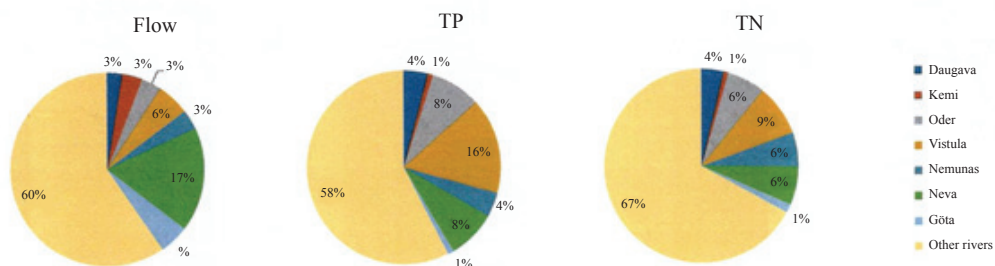
Ładunki substancji biogenicznych w wodach siedmiu największych rzek

Zlewnie siedmiu największych rzek Morza Bałtyckiego (Göta, Kemi, Daugava, Niemen, Odra, Wisła i Neva) pokrywają łącznie 50% powierzchni zlewniska Morza Bałtyckiego i zamieszkane są przez ponad 50 milionów mieszkańców. Ładunek przenoszony przez te rzeki stanowi istotną część substancji biogenicznych wprowadzanych do Bałtyku. Dlatego też, jednym z kluczowych elementów rzetelnej oceny możliwych zmian wielkości niesionych ładunków, jest intensywny monitoring jakości wody w tych rzekach. W 2014 roku rzeki te przeniosły do Bałtyku 227 000 t TN i 15 300 t TP, co stanowiło 29% całkowitego ładunku azotu i 46% fosforu wniesionych do Bałtyku. Największą presję antropogeniczną stwierdzono w krajach zlewni południowych, wyróżniających się największą populacją i intensywną działalnością rolniczą (Rys. 10). Ładunek TN wniesiony do basenu Bałtyku Właściwego rzeką Wisłą w 2014 r. wynosił 341 kg km⁻², podczas gdy odpowiedni ładunek z fińskiej rzeki Kemijoki do Zatoki Botnickiej wynosił 111 kg km⁻². Zmienność ładunków TP na tym obszarze była jeszcze większa. Rzeką Kemijoki do Bałtyku dotarło średnio 5,1 kg km⁻², a Wisłą 42 kg km⁻². Powodował ją również udział rzeki Neva, który wynosił 40% całkowitego ładunku z siedmiu największych rzek, przy czym Wisła wносиła największy ładunek TN i TP, który stanowił odpowiednio 26% TN i 52% TP (Rys. 11). W przypadku obu ładunków, zarówno TN, jak i TP, stwierdzono jednak istotną statystycznie redukcję w latach 1995–2014. Ładunek TN został zmniejszony o prawie 81 000 t (21%), a ładunek TP o 4 600 t (23%), ale trendy dla poszczególnych rzek były bardzo zróżnicowane.



Rysunek 10. Ładunki TN i TP w zlewniach siedmiu największych rzek w 2014 r.

Źródło: PLC-6 Executive Summary, (6)



Rysunek 11. Udział całkowitego przepływu oraz znormalizowanych ładunków TN i TP w wodach siedmiu największych rzek zlewiska Morza Bałtyckiego w 2014 r.

Źródło: PLC-6 Executive Summary, (6)

Skuteczność działań w celu redukcji ładunków substancji biogenicznych

Ocena skuteczności działań ograniczających ilość substancji biogenicznych wprowadzanych do Morza Bałtyckiego była jednym z dodatkowych zadań projektu PLC-6. Ocena opierała się na informacji państw członkowskich, zawartej w kwestionariuszu przygotowanym przez zespół ekspertów projektu. Kwestionariusz zawierał ocenę zmniejszenia ilości ładunków w okresie pomiędzy latami 1995 i 2014 oraz

szacunek dalszej potencjalnie możliwej redukcji ładunków azotu i fosforu po 2015 r. Krajowe szacunki efektów redukcji opierały się głównie o: działania uwzględnione w planach zarządzania wodami w poszczególnych dorzeczach (*RBMPs - River Basin Management Plans*), krajowe programy ochrony wody oraz o efekty wdrożenia odpowiednich dyrektyw UE, na przykład Planu Zabiegów (*PoMs - Programme of Measures*) w celu rozwoju i wdrożenia Ramowej Dyrektywy Strategii Morskiej (*MSFD - EU Marine Strategy Framework Directive*) oraz Dyrektywy Miejskiej dotyczącej ścieków (*UWWB - Urban Waste Water Directive*). Kwestionariusz wykazał bardzo dużą zmienność raportowanych szacunków pomiędzy krajami, ze względu na stosowanie różnych niezharmonizowanych metod oceny oraz znaczne różnice zarówno w danych czasowych i geograficznych, jak i sektorowym pokryciu danymi. Stwierdzone niedobory danych, jak również ich niespójność, utrudniały kwantyfikację skutków działań podjętych w całym regionie i pozwoliły na sporządzenie tylko opisowej informacji o podjętych i zaplanowanych działaniach. Jednakże wykonana praca umożliwiła dokonanie kompleksowego przeglądu działań podjętych w celu redukcji emisji substancji biogenicznych w regionie i stworzyła podstawy do dalszych analiz i specyfikacji danych, torując drogę do oceny w ramach kolejnej (PLC-7) edycji projektu.

Ładunki substancji niebezpiecznych do Morza Bałtyckiego

Ładunki kadmu, rtęci i ołowiu

Szacowane łączne ilości metali, które dostają się do Morza Bałtyckiego każdego roku są bardzo zróżnicowane pomiędzy latami. Wiele jest także głównych dróg ich transportu. Stwierdzono, że ładunki kadmu, rtęci i ołowiu w latach 2012-2014 wahały się w przedziałach, odpowiednio: 23-42, 4,7-5,3 i 441-550 ton rocznie. Rtęć dostaje się do Morza Bałtyckiego głównie poprzez depozycję atmosferyczną (około 70% łącznego ładunku). W przypadku ołowiu i kadmu, największą część stanowią ładunki rzeczne, odpowiednio 64% i 79%. We wszystkich przypadkach najmniejszy udział w ładunkach całkowitych (4% - rtęć, <1% - kadm i ołów) wykazywały zrzuty bezpośrednie ze źródeł punktowych.

Depozycja atmosferyczna wybranych zanieczyszczeń organicznych

Modelowana depozycja atmosferyczna PBDEs, PCBs, PCDD/Fs wykazywała systematycznie malejący trend w czasie. Natomiast depozycja Benzo(a)pirenu osiągnęła pewien stan równowagi, który nie wskazywał na żadne dodatkowe redukcje.

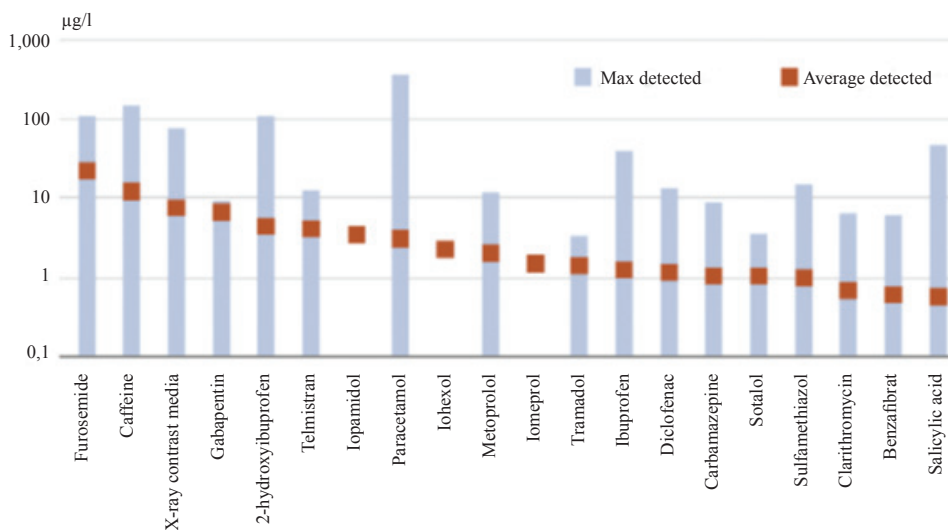
Pozostałości farmaceutyczne

W wyniku pierwszej próby sporządzenia przeglądu ilości ładunków farmaceutyków wprowadzanych do środowiska wód słodkich i morskich w regionie Morza

Bałtyckiego, jak również szacunków zanieczyszczenia środowiska morskiego, wykazano, że roczne zrzuty z głównego źródła, tj. z komunalnych oczyszczalni ścieków (*Municipal Wastewater Treatment Plants – MWWTPs*) wynosiły około 1,8 tys. ton pozostałości farmaceutycznych. Tylko 9 ze 118 badanych farmaceutyków zostało usuniętych ze skutecznością większą niż 95%, a niemal połowę związków usunęto ze skutecznością mniejszą niż 50%.

Przyszłe prace dotyczące ładunków substancji niebezpiecznych do Morza Bałtyckiego

Praca nad substancjami niebezpiecznymi w ramach projektu PLC zostanie zintensyfikowana w kolejnych cyklach projektu PLC. Sugeruje się, aby pierwszy zbiór danych i szacunek ładunków związków organicznych, sporządzony w oparciu o wyniki wstępnego rozpoznania, uwzględniał zanieczyszczenia zawierające nonylofenole, oktylofenole i PFAS. Substancje te zidentyfikowano jako potencjalnie niebezpieczne, a dostępność danych umożliwiających analizę jest dla nich stosunkowo dobra.



Rysunek 12. Farmaceutyki wykryte w największych ilościach w ściekach

Źródło: PLC-6 Executive Summary, (6)

Podsumowanie

W pracy przedstawiono wyniki monitoringu środowiskowej presji zanieczyszczeń pochodzących z ładunku na ekosystem Morza Bałtyckiego. Są one przyczyną eutrofizacji, powodowanej nadmiarem substancji biogenicznych (azot i fosfor) w środowisku morskim oraz źródłem metali ciężkich, trwałych zanieczyszczeń organicznych i innych syntetycznych substancji niebezpiecznych. Raport sporządzono w ramach szóstego cyklu projektu HELCOM Pollution Load Compilation (PLC-6) na podstawie danych za okres od 1995 r. do 2015 r.

Stwierdzono, że w stosunku do przyjętego okresu referencyjnego (1997-2003) nastąpiła znaczna redukcja ilości substancji biogenicznych wprowadzanych do Bałtyku. Znormalizowany ładunek azotu został zredukowany średnio o 12%, a fosforu o 25%. Maksymalna dopuszczalna wartość wskaźnika MAI dla azotu w badanym okresie nie została przekroczona w Cieśninie Kattegat, w Cieśninach Duńskich, Zatoce Botnickiej i Morzu Botnickim, a dla fosforu w cieśninie Kattegat, Cieśninach Duńskich i Morzu Botnickim.

Analizy trendów od 1995 r. wykazały redukcję całkowitych ładunków azotu i fosforu do Morza Bałtyckiego, odpowiednio o 20% i 27%. Systematyczną redukcję dopływu azotu obserwowano w Cieśninach Duńskich, w cieśninie Kattegat, Zatoce Ryskiej oraz w wodach Bałtyku Właściwego. W przypadku Morza Botnickiego, znaczące zmniejszenie dopływu zaobserwowano po 2003 r., do Zatoki Fińskiej po 2004 r. a do Zatoki Botnickiej dopiero po 2006 r. Ładunek fosforu znacznie zmniejszał się przez cały badany okres jedynie w cieśninie Kattegat, a w Zatoce Fińskiej od 2009 r. Jedynym krajem, który nie przekroczył limitu ładunków azotu dostarczanych do wszystkich basenów Morza Bałtyckiego była Dania. Finlandia i Szwecja nie osiągnęły celów redukcyjnych azotu dostarczanego Bałtyku Właściwego i Zatoki Fińskiej. Polska osiągnęła swoje cele redukcyjne ładunków odprowadzanych z powietrza do Zatoki Botnickiej i Morza Botnickiego. Do wykonania pozostały istotne redukcje, o ok. 10-30% ładunków do Bałtyku Właściwego, Zatoki Fińskiej i Cieśniny Kattegat oraz mniejsze (<10%) do Zatoki Ryskiej. Rosja przekroczyła poziom krajowego limitu ładunków odprowadzanych do wszystkich basenów Morza Bałtyckiego. W przypadku fosforu, żadne z badanych państw nie osiągnęło celów redukcyjnych ładunków odprowadzanych do wszystkich basenów. Wszystkie kraje członkowskie HELCOM oraz kraje spoza HELCOM, odprowadzające substancje biogeniczne drogą wodną przekroczyły limit ładunków dostarczanych do Bałtyku Właściwego. Dwa z trzech państw przekroczyły swoje limity ładunków do Zatoki Fińskiej. Łotwa, Polska, Republika Czeska i Ukraina przekroczyły limity ładunków fosforu do basenów Morza Bałtyckiego, do których mają dostęp. Wszystkie kraje osiągnęły limity ładunków fosforu całkowitego odprowadzanych do Cieśnin Duńskich i cieśniny Kattegat.

Dominującymi drogami transportu pierwiastków biogenicznych do Bałtyku są rzeki. Obejmowały one prawie 70% ładunku azotu całkowitego (TN) i 89% ładunku fosforu całkowitego (TP). Spośród źródeł ładunków substancji biogenicznych jedną trzecią stanowiły ładunki powstające przy braku działalności człowieka, na skutek naturalnych procesów biogeochemicznych zachodzących w ekosystemie (tzw. naturalne tło). Obszarowe źródła antropogeniczne (głównie z działalności rolniczej) stanowiły 46% całkowitego rzeczno-ładunku azotu i 36% całkowitego rzeczno-ładunku fosforu do Morza Bałtyckiego. Źródła punktowe stanowiły 12% całkowitego ładunku azotu i 24% całkowitego ładunku fosforu.

Największą presję antropogeniczną stwierdzono w krajach zlewni południowych, wyróżniających się największą populacją i intensywną działalnością rolniczą. Ładunek

TN wniesiony do basenu Bałtyku Właściwego rzeką Wisłą w 2014 r. wynosił 34 1 kg·km⁻², a ładunek TP 42 kg·km⁻². Wisła, wśród siedmiu największych rzek, wносиła największy ładunek TN i TP, który stanowił odpowiednio 26% TN i 52% TP. W latach 1995–2014 odnotowano istotną redukcję obu ładunków niesionych wodami siedmiu największych rzek: TN zmniejszył się o prawie 81 000 t (21%), a ładunek TP o 4 600 t (23%), jednakże trendy dla poszczególnych rzek były bardzo zróżnicowane.

Literatura

1. Baltic Sea Action Plan (BSAP). <http://www.helcom.fi/baltic-sea-action-plan>.
2. HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration “Taking Further Action to Implement the Baltic Sea Action Plan - Reaching Good Environmental Status for a healthy Baltic Sea” (3 October 2013, Copenhagen, Denmark). <http://www.helcom.fi/helcom-at-work/ministerial-declarations>.
3. HELCOM Ministerial Meeting. Summary report on the development of revised Maximum Allowable Inputs (MAI) and updated Country Allocated Reduction Targets (CART) of the Baltic Sea Action Plan.. Copenhagen 2013. <http://www.helcom.fi/helcom-at-work/ministerial-declarations/2013>.
4. Konwencja o ochronie środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego, sporządzona w Helsinkach 22 marca 1974 r. (Dz.U. 1980 nr 18 poz. 64).
5. Konwencja o ochronie środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego, sporządzona w Helsinkach 9 kwietnia 1992 r. (Dz.U. z 2000 r. nr 28, poz. 346).
6. Sonesten L., Kamenetsky D.F., Gustafsson B., Knuuttila S., Räike A., Svendsen L.M. PLC-6 Executive Summary. 2018. <http://www.helcom.fi/helcom-at-work/publications/all-publications/>.
7. Updated Fifth Baltic Sea Pollution Load Compilation PLC 5.5. <http://www.helcom.fi>.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Alicja Pecio
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 47 86 834
e-mail: alap@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Alicja Pecio	0000-0001-7780-8313