

TREŚCI MERYTORYCZNE

MODUŁ V: Ranking zagrożeń dla bioróżnorodności Morza Bałtyckiego

TEMAT 1: Fizyczne niszczenie morskich siedlisk i jego wpływ na przetrwanie gatunków

TEMAT 2: Nadmierna eksploatacja zasobów żywych i nieożywionych oraz towarzyszące jej zjawisko przyłowu

TEMAT 3: Eutrofizacja i toksyczne zanieczyszczenia chemiczne

TEMAT 4: Gatunki obce

TEMAT 5: Hałas podwodny

TEMAT 6: Zmiany klimatyczne i ich wpływ na bioróżnorodność Bałtyku

TEMAT 7: Zanieczyszczenie Morza Bałtyckiego plastikowymi odpadami

TEMAT 1: Fizyczne niszczenie morskich siedlisk i jego wpływ na przetrwanie gatunków

Według definicji zawartej w Ramowej Dyrektywie ws. Strategii Morskiej (RDSM) przez dobry stan środowiska należy rozumieć: "...taki stan środowiska wód morskich tworzących zróżnicowane i dynamiczne pod względem ekologicznym oceany i morza, które są czyste, zdrowe i urodzajne w odniesieniu do panujących w nich warunków, zaś wykorzystanie środowiska morskiego zachodzi na poziomie, który jest zrównoważony i gwarantuje zachowanie możliwości użytkowania i prowadzenia działań przez obecne i przyszłe pokolenia".

Dobry stan środowiska morskiego (*Good Enviromental Status* – GES), według RDSM jest określany na podstawie następujących **wskaźników jakości**:

- Utrzymana jest różnorodność biologiczna. Jakość i występowanie siedlisk oraz rozmieszczenie i bogactwo gatunków odpowiadają dominującym warunkom fizjograficznym, geograficznym i klimatycznym.
- Gatunki obce wprowadzone do ekosystemu w wyniku działalności człowieka utrzymują się na poziomie, który nie powoduje szkodliwych zmian w ekosystemach.
- Populacje wszystkich ryb i skorupiaków eksploatowanych w celach handlowych utrzymują się w bezpiecznych granicach biologicznych, wskazując rozmieszczenie ze względu na wiek i rozmiar populacji, świadczące o dobrym zdrowiu zasobów.

- Wszystkie elementy morskiego łańcucha pokarmowego, w stopniu w jakim są znane, występują w normalnych ilościach i zróżnicowaniu, na poziomie, który w dalszej perspektywie może zapewnić bogactwo gatunków i utrzymanie ich pełnej zdolności reprodukcyjnej.
- Do minimum ogranicza się eutrofizację wywołaną przez działalność człowieka, a w szczególności jej niekorzystne skutki, takie jak ubytki różnorodności biologicznej, degradacja ekosystemu, szkodliwe zakwity glonów oraz niedobór tlenu w dolnych partiach wód.
- Integralność dna morskiego utrzymuje się na poziomie gwarantującym ochronę struktury i funkcji ekosystemów oraz brak niekorzystnego wpływu zwłaszcza na ekosystemy głębinowe.
- Stała zmiana właściwości hydrograficznych nie ma niekorzystnego wpływu na ekosystemy morskie.
- Stężenie substancji zanieczyszczających utrzymuje się na poziomie, który nie wywołuje skutków charakterystycznych dla zanieczyszczenia.
- Poziom substancji zanieczyszczających w rybach i owocach morza przeznaczonych do spożycia przez ludzi nie przekracza poziomów ustanowionych w prawodawstwie Wspólnoty ani innych odpowiednich norm.
- Właściwości ani ilość znajdujących się w wodzie morskiej odpadów nie powodują szkód w środowisku przybrzeżnym i morskim.
- Wprowadzenie energii, w tym hałasu podwodnego, utrzymuje się na takim poziomie, że nie powoduje ono negatywnego wpływu na środowisko morskie.

Hierarchia zagrożeń dla bioróżnorodności morza przedstawia się następująco:

- Fizyczne niszczenie, fragmentacja i likwidacja siedlisk.
- Nadmierna eksploatacja zasobów żywych i nieożywionych.
- Eutrofizacja.
- Zanieczyszczenia substancjami toksycznymi.
- Introdukcje i inwazje gatunków nierodzimych.
- Zmiany klimatu.

Wybrane definicje:

Siedliska przyrodnicze to według Dyrektywy Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory (tzw. Dyrektywy siedliskowej) obszary lądowe lub wodne wyodrębnione w oparciu o cechy geograficzne, abiotyczne i biotyczne, zarówno całkowicie naturalne, jak i półnaturalne. Listę siedlisk przyrodniczych o znaczeniu europejskim podano w załączniku I Dyrektywy Siedliskowej.

Niszczenie siedlisk – to całkowita zmiana warunków środowiskowych lub całkowite usunięcie siedliska. Przykładowo może to być wycięcie lasów pod uprawy lub regulacja cieków – czyli prostowanie naturalnego koryta rzeki, połączone z umocnieniem brzegu. Niszczenie siedlisk mogą powodować też zjawiska naturalne, np.: trzęsienie ziemi, wybuch wulkanu lub powódź.

Fragmentacja siedlisk – zmniejszanie ich powierzchni oraz izolacja tych fragmentów. Może być to np. rozbudowa dróg transportu, a w przypadku siedlisk wodnych – budowa tam oraz innej infrastruktury rzecznej i morskiej (np. portów).

Degradacja siedlisk – oznacza ich osłabienie przez zanieczyszczenia, inwazję obcych gatunków, zmiany klimatyczne, nadmierny pobór wody oraz inne procesy, na skutek których zostaje zaburzona równowaga w ekosystemach.

Najpoważniejszym zagrożeniem utraty bioróżnorodności w morzu jest fizyczne niszczenie naturalnych siedlisk – całkowite lub częściowe oraz ich fragmentacja. Zmiana kształtu linii brzegowej na skutek erozji wywołanej oddziaływaniem czynników hydrometeorologicznych jest procesem naturalnym. Często jednak jest to proces sprzeczny z interesami społecznymi i gospodarczymi. Niestety, działania techniczne podejmowane na brzegu lub w jego sąsiedztwie, mające na celu jego umocnienie i ochronę, zazwyczaj wynikają z potrzeby zabezpieczenia dóbr materialnych znajdujących się na zagrożonych obszarach, a rzadziej walorów przyrodniczych. Do działań mających na celu ochronę brzegu można zaliczyć m.in.:

- **opaski brzegowe** – są to budowle usytuowane równolegle do linii brzegowej zabezpieczające przed rozmyciem dolnej części klifu lub wydmy; przeciwdziałają również procesom osuwiskowym. Ich stosowanie generuje zwykle rozmycie na skrzydłach samej opaski, wymycie materiału z za opaski oraz lokalną erozję dna przed opaską, co mocno negatywnie wpływa na stan siedlisk dennych fauny i flory;
- **sztuczne zasilanie brzegu**, czyli uzupełnienie ubytków brzegu piaskiem pobieranym z innych rejonów. Dużą wadą tej metody jest niszczenie siedlisk fauny i flory dennej zarówno w miejscu poboru materiału do zasilania, jak i w miejscu styku wody i lądu w obszarze zasilanym piaskiem;
- **ostrogi brzegowe** są to budowle hydrotechniczne posadowione prostopadłe do linii brzegowej. Ich podstawowym zadaniem jest rozpraszanie energii fal i hamowanie wzdłużbrzeżnego ruchu rumowiska morskiego wleczonego prądami morskimi;
- **falochrony brzegowe** to usytuowane równolegle lub pod pewnym kątem do brzegu budowle z betonu, kamieni lub prefabrykatów betonowych, tzw. gwiazdobloki. Ich zadaniem jest wygaszanie energii silnego falowania i osłona infrastruktury przy brzegu;
- **progi podwodne** to budowle hydrotechniczne posadowione na dnie, równolegle do brzegu i w pewnej odległości od niego. Mają na celu rozpraszanie energii falowania i wytworzenie w obszarze osłoniętym korzystnych warunków do odkładania się materiału dennego. Jako jedno z nielicznych budowli zabezpieczających nie naruszają walorów krajobrazowych strefy przybrzeżnej.

Kolejnymi przykładami działalności człowieka pozbawiającymi gatunki miejsc ich bytowania są: pogłębianie torów wodnych, niszczenie struktury dna przez wielokrotne trałowanie włokami dennymi w tych samych miejscach, usuwanie makrofitów. W takich sytuacjach lokalne zasoby gatunku, pozbawione siedlisk, nie są w stanie utrzymać się przy życiu.

Fragmentacja morskich siedlisk, z uwagi na ich hydrologiczne cechy oraz biologię organizmów wodnych, teoretycznie jest w tym środowisku mniej groźna niż na lądzie. Ma ona jednak ogromny wpływ na gatunki ryb wędrownych. Usadowione na rzekach źle zaprojektowane tamy, jazy, progi i hydroelektrownie są separatorami sekwencji siedlisk, niezbędnych dla zamknięcia cyklu życiowego takich gatunków jak: węgorz, łosoś, jesiotr czy troć.

Przykładem fizycznego niszczenia siedlisk w celach ściśle komercyjnych jest likwidacja trzcinowisk u zatokowych brzegów Półwyspu Helskiego. Na linii kilku kilometrów, zanurzone u brzegów trzcinowiska zostały zasypane piaskiem i kamieniami, m.in. w celu powiększenia obszaru dostępnego dla kempingów. Działania te spowodowały zmiany charakteru podłoża i konfiguracji brzegowego ekotonu, zostały unicestwione unikatowe zespoły makrofitów, swoje siedliska straciły ptaki oraz ichtiofauna. Dla wielu gatunków ryb zniszczenie trzcinowisk to pozbawienie ich miejsca rozrodu, schronienia i obfitego żerowiska. Warto zaznaczyć, że działania te miały miejsce na obszarze chronionym systemu Natura 2000 oraz w obrębie Nadmorskiego Parku Krajobrazowego.

Materiały źródłowe:

- Kruk-Dowgiało L., Brzeska P., Błęńska M., Opiola R., Kuliński M., Osowiecki A. 2009. Czy ochrona brzegów niszczy siedliska denne? Studium przypadku – progi podwodne w Gdyni Orłowie. Polska Inżynieria Środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej. Tom 3. Dudzińska M. i Pawłowski L. (red.). Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk vol. 60: 125–136.
- Olenin S., Grey J., Agard J., Dolgov L., Lubchenko J., Nilsson P., Skóra, K. and Warwick, R. 1995. Marine Biodiversity and Environmental Degradation. W: L. Hedlund, B. Hagerhall, K. Johannssen (red.). Biodiversity and Sustainable Use of Coastal Waters. Swedish Scientific Committee on Biological Diversity Workshop, Aug, 21–25. Tjärnö Marine Biological Laboratory: 29–33.

Netografia:

- Krzysztof E. Skóra. Ochrona morskich siedlisk kluczem do skutecznej ochrony gatunków zagrożonych i osiągania korzyści ekonomicznych: https://sdr.gdos.gov.pl/Documents/NPF/17-20.04.2012/ochrona_morskich_siedlisk_ke_skora.pdf Dostęp: 20.04.2023 r.
- Monitoring siedlisk przyrodniczych: https://www.iop.krakow.pl/files/162/przewodnik_metodyczny_siedliska_4.pdf Dostęp: 20.04.2023 r.
- Biuletyn Monitoringu Przyrody nr 24 (2021/4): https://siedliska.gios.gov.pl/images/pliki_pdf/publikacje/biuletyn_monitoringu/Biuletyn-Monitoringu-Przyrody-nr-24-2021_4.pdf Dostęp: 20.04.2023 r.
- 2013 Sposoby ochrony brzegów morskich i ich wpływ na środowisko przyrodnicze polskiego wybrzeża Bałtyku: https://www.wwf.pl/sites/default/files/2017-07/Sposoby_ochrony_brzegow_morskich_i_ich_wplywu_na_srodowisko_przyrodnicze_polskiego_wybrzeza.pdf Dostęp: 20.04.2023 r.
- Dlaczego giną gatunki fauny i flory? dr Krzysztof E. Skóra. 2014: <https://www.ekoagora.pl/wp-content/uploads/2017/04/Krzysztof-Skora-DLACZEGO-GINA-GATUNKI-FLORY-I-FAUNY-W-BALTYKU-DLACZEGO-OCHRONA-PRZYRODY-BALTYKU-JEST-NIESKUTECZNA.pdf> Dostęp: 20.04.2023 r.
- Przyczyny i skutki utraty siedlisk: <https://zpe.gov.pl/a/przeczytaj/D1AwDmr2b> Dostęp: 20.04.2023 r.
- Dyrektywa Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:31992L0043&from=PL> Dostęp: 20.04.2023 r.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 lutego 2021 r. w sprawie przyjęcia aktualizacji zestawu celów środowiskowych dla wód morskich: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/>

WDU20210000569/O/D20210569.pdf Dostęp: 20.04.2023 r.

- 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): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0056&from=PL>. Dostęp: 20.04.2023 r.
- 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 ujednolicone metody monitorowania i oceny, oraz uchylająca decyzję 2010/477/UE: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017D0848&from=PL> Dostęp: 20.04.2023 r.
- Ocena stanu środowiska polskich obszarów morskich Bałtyku na podstawie danych monitoringowych z roku 2021 na tle dziesięciolecia 2011-2020: https://rds.m.gios.gov.pl/images/ocena_stanu_2021.pdf Dostęp: 20.04.2023 r.

TEMAT 2: Nadmierna eksploatacja zasobów żywych i nieożywionych oraz towarzyszące jej zjawisko przyłowu

1. Informacje ogólne

Niemalże każda działalność człowieka związana z eksploatacją zasobów naturalnych pozostawia ślad w ekosystemie. Wśród jednych z najistotniejszych czynników wpływających na środowisko naturalne i żyjące w nim organizmy jest nadmierna eksploatacja gatunków w wyniku połowów. Presja ze strony rybołówstwa na stada komercyjnie poławianych gatunków ryb utrzymuje się na najwyższym możliwym poziomie, przez co ogranicza w znaczący sposób możliwość odbudowy stada. Szacuje się, że 90% światowych zasobów ryb jest przeławiana bądź poławiana na najwyższym możliwym poziomie (FAO 2016). Aktualnym przykładem obrazującym problem nadmiernej eksploatacji zasobów jest **bałtycki dorsz**. Niedługo jeden z największych drapieżników wśród bałtyckich ryb, którego połowy na tym akwenie sięgały 400 tys. ton (stado wschodnie), obecnie jest w zaniku. Zły stan zasobów tego stada doprowadził do sytuacji, w której Unia Europejska zdecydowała się zamknąć w drugiej połowie 2019 r. połowy ukierunkowane na wschodnie stado dorsza. Z tego względu połowy dorsza znacznie zmalały i wyniosły w 2020 r. zaledwie 2,3 tys. ton wobec wyładunków na poziomie 50 tys. ton kilka lat wcześniej. Niepokojące informacje dotyczą również stada **śledzia wiosennego** poławianego w zachodniej części Morza Bałtyckiego. Połowy tego stada systematycznie malały – z ok. 190 tys. ton w latach 90. XX wieku do około 30-50 tys. ton po roku 2010. W 2020 r. złowiono zaledwie 22 tys. ton śledzi stada wiosennego. Polska w tym czasie poławiała śledzia z tego stada na poziomie 3-9 tys. ton (po roku 2000), a w roku 2020 zaledwie 600 ton. Międzynarodowa Rada do Badań Morza (ICES) zaleciła jednocześnie zaprzestanie w 2022 r. połowów wiosennego stada śledzia w rejonie Morza Bałtyckiego.

Poza bezpośrednim oddziaływaniem rybołówstwa na zasoby komercyjnie poławianych gatunków ryb należy pamiętać, że niemalże każdy połów obciążony jest przyłowem, a tym samym oddziałuje na grupę organizmów morskich, które nie są celem połowów ukierunkowanych (ssaki, ptaki morskie, inne lub niewymiarowe gatunki ryb). Mimo że nie są one celem umyślnej eksploatacji,

podlegają jednak destrukcyjnym oddziaływaniom ze strony poławiających. O ile, do pewnego stopnia, nadmierny połów gatunków komercyjnych nie oznacza jeszcze ich eliminacji, to przyłów gatunków rzadkich i zagrożonych wyginięciem czyni ten rodzaj antropopresji niezwykle groźnym dla ich właściwego stanu ochrony.

Skala samego zagrożenia przyłowem zależy od rodzaju stosowanych technik połowowych oraz presji w postaci liczby jednostek łowiących, czasu i miejsca połowu oraz liczby wystawianych narzędzi. Należy także pamiętać, że rybołówstwo oddziałuje pośrednio na gatunki chronione poprzez: uszczuplanie zasobów pokarmowych, płoszenie z miejsc żerowania, odpoczynku bądź rozrodu. Szczególnie wiele problemów niesie ze sobą zubożenie bazy pokarmowej, co jest wyraźnie widoczne w rejonie Bałtyku, gdzie rybołówstwo należy do jednych z najintensywniejszych na świecie. Intensywny rozwój floty rybackiej, jaki można było obserwować w latach 60. i 70. XX wieku, przyczynił się do podwojenia wielkości połowów. W chwili gdy zaobserwowano spadek wielkości eksploatowanych stad ryb, zwrócono uwagę, że istnieje nadmierny potencjał połowowy w stosunku do wydajności łowisk i zdolności autoregeneracji zasobów niektórych gatunków. Zwrócono także uwagę na destrukcyjny charakter niektórych technik połowowych względem gatunków, które nie były celem połowów oraz na wpływ połowów przemysłowych na ekosystem morski. Dlatego też obecnie coraz większy nacisk kładzie się na poszukiwanie rozwiązań minimalizujących obopólne oddziaływanie. Poszukuje się i wdraża rozwiązania polegające na opracowaniu bądź modyfikacji narzędzi połowowych, czy urządzeń ostrzegających, które pozwolą ograniczyć przyłów.

2. Przyłów ssaków i ptaków morskich w rejonie Morza Bałtyckiego

Skala przyłowu ssaków i ptaków morskich w rejonie Morza Bałtyckiego, ale też i innych akwenach morskich jest bardzo trudna do oszacowania. Wynika to w znacznej mierze z braku systematycznego i ujednoliconego systemu zbioru tego typu informacji oraz z niechęci do raportowania tego typu incydentów przez samych rybaków. Choć w ostatnich latach udało się w znacznej mierze uregulować przepisy krajowe i międzynarodowe w kwestii zobligowania sektora rybołówstwa do raportowania przyłowu, to w dalszym ciągu brakuje właściwej kontroli umożliwiającej weryfikację przedkładanych informacji.

Presja na ssaki i ptaki morskie ze strony bałtyckiego rybołówstwa jest bardzo wysoka. Związane jest to przede wszystkim z dużą intensywnością połowów w tym obszarze, jak również powszechnym stosowaniem szczególnie w strefie przybrzeżnej sieci skrzelowych i oplątujących, które stanowią największe zagrożenie dla tej grupy zwierząt. Do rozpoznania skali zjawiska przyłowu wykorzystuje się w większości badań naukowych informacje pochodzące z ankiet przeprowadzonych wśród rybaków bądź dane pochodzące z incydentalnych raportów o przyłowie zgłaszanych przez rybaków, z pominięciem jednak obserwacji martwych zwierząt znajdujących na brzegu, a noszących ślady przyłowu. Przeprowadzone w ostatnich latach badania dotyczące przyłowu fok w rejonie Bałtyku wskazały, że roczny przyłów fok szarych oscyluje na poziomie 7,7-8,4% liczebności populacji tego gatunku. Zestawiając te dane z wielkością populacji tych zwierząt w Morzu Bałtyckim z 2012 r. można wnioskować, że w narzędziach połowowych ginie nawet 2180 – 2380 fok szarych rocznie, a 90% z nich może pochodzić z przyłowu w północnej

części Bałtyku. Podobnie sytuacja przedstawia się z morświnem, gatunkiem krytycznie zagrożonym w wodach Bałtyku Właściwego. W ostatnich latach, jedyne i pojedyncze w skali całego regionu Morza Bałtyckiego raporty o przyłowie tych zwierząt odnotowano na wodach Łotwy, gdzie w latach 2003-2004 zgłoszono przyłów dwóch osobników oraz w wodach Polski (zgłoszenie z 2014 i 2018 roku) (dane SMIOUG). Te pojedyncze obserwacje nie pokazują jednak skali problemu, ponieważ od kilku lat można zauważyć znaczny wzrost obserwacji martwych zwierząt znajdujących na brzegu. W rejonie polskiego wybrzeża w 2018 r. odnotowano piętnaście martwych osobników, a w 2021 r. szesnaście. Z kolei we wschodnich landach Niemiec obserwuje się kilkukrotny wzrost liczby znajdujących na brzegu martwych morświnów. Jeszcze na początku XXI wieku było to średnio 30-40 osobników, natomiast w 2016 liczba ta wzrosła do 150 raportów. W większości przypadków ponad połowa zwierząt nosiła ślady przyłowu w sieci skrzelowe.

Kolejną grupą zwierząt wysoce narażonych na przyłów są ptaki morskie. Morze Bałtyckie uznawane jest za miejsce o jednym z najwyższych współczynników przyłowu ptaków w sieci skrzelowe. Jednocześnie region ten ma globalne znaczenie jako siedlisko dla zimujących kaczek. Ze względu jednak na niewystarczającą ilość danych na temat rozmieszczenia połowów i poziomu przyłowu, trudno jest określić wpływ rybołówstwa na stan ich populacji. W Morzu Bałtyckim u jego południowych wybrzeży, przyłów ptaków szacuje się na 76 000 osobników rocznie. Przyłów wszystkich ptaków morskich w rejonie Litwy może sięgać 2 500 – 5 000 ptaków rocznie. Z kolei w rejonie Zatoki Puckiej, gdzie koncentracja floty łodziowej stosującej sieci skrzelowe jest jedną z największych na Bałtyku, przyłów ptaków morskich może wynieść nawet 3 000 osobników. Według niektórych obserwacji za najniebezpieczniejsze uznaje się wystawiane w płytkich strefach przybrzeżnych (do 20 metrów) sieci skrzelowe o oczku większym niż 35 mm, a z przeprowadzonych obserwacji w polskich obszarach morskich wynika, że najczęściej przyławianymi ptakami są: lodówka, uhla i ogorzałka.

Materiały źródłowe:

- ASCOBANS 2018. Progress Report on the Recovery Plan for Baltic Harbour Porpoise (Jastarnia Plan), Vilnius, Lithuania.
- Culik B., Conrad M., Chladek J. 2017. Acoustic protection for marine mammals: new warning device PAL. DAGA Proceedings, Kiel 2017, p. 387-390.
- Górski W., Pawliczka I., Arciszewski B. 2020. Sposoby i metody minimalizowania interakcji między ssakami i ptakami morskimi a rybołówstwem w rejonie Morza Bałtyckiego. Raport dla Fundacji WWF Polska.
- HELCOM, 2017. Baltic Marine Environment. Protection Commission (HELCOM). Number of drowned mammals and waterbirds in fishing gear. HELCOM Seal 11-2017, Gothenburg, Sweden.
- Horbowy J. 2021. Stan zasobów ryb Bałtyku i zalecane przez ICES dopuszczalne połowy (TAC) w 2022 roku. Morski Instytut Rybacki, Gdynia.
- Olenin S., Grey J., Agard J., Dolgov L., Lubchenko J., Nilsson P., Skóra K. and Warwick R. 1995. Marine Biodiversity and Environmental Degradation. W: L. Hedlund, B. Hagerhall, K. Johannssen (red.), Biodiversity and Sustainable Use of Coastal Waters. Swedish Scientific Committee on Biological Diversity Workshop, Aug, 21–25. Tjärnö Marine Biological Laboratory: 29–33.

- Psuty I., Szymanek L., Całkiewicz J., Dziemian Ł., Ameryk A., Ramutkowski M., Spich K., Wodzinowski T., Woźniczka A., Zaporowski A. 2017. Opracowanie podstaw racjonalnego monitorowania przyłowy ptaków w celu zrównoważonego zarządzania rybołówstwem przybrzeżnym nadmorskich obszarach NATURA 2000. Gdynia. Morski Instytut Rybacki-Państwowy Instytut Badawczy. ISBN 978-83-61650-20-1.
- Skov H., Heinänen S., Žydelis R., Bellebaum J., Bzoma S., Dagys M., Durinck J., Garthe S., Grishanov G., Hario M., Kieckbusch J. J., Kube J., Kuresoo A., Larsson K., Luigujoe L., Meissner W., Nehls H. W., Nilsson L., Petersen I. K., Roos M. M., Pihl S., Sonntag N., Stock A., Stipniece A. 2011. Waterbird populations and pressures in the Baltic Sea. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- Skóra K. E., Górski W., Pawliczka I. 2014. Ocena i propozycje zmniejszenia negatywnego wpływu wywieranego przez polskie rybołówstwo na różnorodność biologiczną Morza Bałtyckiego – wybrane zagadnienia. In: Mirek Z., Nickel A. (eds.) Ochrona Przyrody w Polsce wobec współczesnych wyzwań cywilizacyjnych, Komitet Ochrony Przyrody PAN, Kraków: 257-275.
- Watson R.A., Cheung W. W., Anticamara J. A., Sumaila R., U., Zeller D., Pauly D. 2012. Global marine yield halved as fishing intensity redoubles. *Fish and Fisheries*, 14 (4): 493-503.
- Vanhatalo J., Vetemaa M., Herrero A., Aho T., Tiilikainen R. 2014. By-Catch of Grey Seals (*Halichoerus grypus*) in Baltic Fisheries – A Bayesian Analysis of Interview Survey. *PLoS ONE* 9 (11): e113836.

TEMAT 3: Eutrofizacja i toksyczne zanieczyszczenia chemiczne

1. Czym jest eutrofizacja?

Eutrofizacja to naturalny proces ekologiczny prowadzący do wzrostu produktywności ekosystemu wodnego, na skutek zwiększonego dopływu biogenów (azotu i fosforu). Słowo eutrofizacja pochodzi od greckiego *eutrophia*, które oznacza „dobre odżywienie”.

Nie istnieje jedna spójna definicja tego zjawiska. Według Ramowej Dyrektywy ds. Strategii Morskiej eutrofizacja to: „proces napędzany przez wzbogacanie wody w składniki odżywcze, zwłaszcza związki azotu i/lub fosforu, co prowadzi do:

- zwiększonego wzrostu, produkcji pierwotnej i biomasy glonów;
- zmiany w równowadze organizmów;
- pogorszenia jakości wody.

Konsekwencje eutrofizacji są niepożądane, jeśli znacząco degradują stan ekosystemu i/lub zrównoważone dostarczanie towarów i usług (EU MSFD JRC Report 2010)”.

Szczególnie dotknięte procesem eutrofizacji są półzamknięte morza, zalewy, a także niektóre morskie obszary przybrzeżne. Eutrofizacja jest wywołana zarówno naturalnymi procesami, jak i ludzką działalnością. Eutrofizacja jest uznawana za jeden z głównych problemów środowiskowych Bałtyku.

2. Cechy geograficzne i hydrologiczne Bałtyku intensyfikujące proces eutrofizacji

Bałtyk jest półzamkniętym morzem połączonym z Morzem Północnym przez Cieśniny Duńskie. Obszar jego zlewiska jest ponad cztery razy większy niż powierzchnia morza i jest gęsto zaludniony. Z zamieszkujących go 85 mln osób, aż 15 mln żyje w jego strefie brzegowej. 47% populacji ludzkiej zlewiska Bałtyku zamieszkuje Polskę. Morze Bałtyckie charakteryzuje się utrudnionym dopływem wód oceanicznych oraz dużym spływem wód rzecznych i opadowych. Ma ono dodatni bilans wody słodkiej, czyli przewagę jej dopływu nad parowaniem. Rocznie w wyniku parowania z Bałtyku odpływa ok. 180 km³ wody słodkiej, zaś dopływa około 670 km³, z czego 470 km³ to wody rzeczne, a 200 km³ to wody opadowe. Nadmiar wody z Morza Bałtyckiego odpływa do sąsiedniego Morza Północnego – jest to około 920 km³ rocznie, gdyż średni poziom wody w Bałtyku jest wyższy od poziomu wody w Morzu Północnym. Do Bałtyku wpada ponad 250 rzek, wśród 7 największych znajdują się dwie rzeki polskie: Wisła i Odra.

Podczas sztormów silne, zachodnie wiatry powodują podniesienie się poziomu Morza Północnego, co sprawia, iż słone, bogato natlenione wody przelewają się przez cieśniny do Bałtyku. Zjawisko to nazywane jest wlewem, a jego wielkość zależy od warunków środowiskowych. Woda z Morza Północnego jest gęstsza, bardziej słona, a co za tym idzie „cięższa” niż woda bałtycka, dlatego opada na dno. Woda ta po dnie przemieszcza się do kolejnych zagłębień, wypierając w ten sposób zalegające tam stare, pozbawione tlenu wody przydenne. Wysokie zasolenie i duża zawartość tlenu w wodzie wlewowej jest kluczowa dla ekosystemów Morza Bałtyckiego. Głębokie warstwy, w których z reguły panuje deficyt tlenowy, zostają odświeżone podczas wlewu. Jest on więc dla Bałtyku niczym zaczerpnięcie życiodajnego powietrza.

Niegdyś odnotowywano 5-7 wlewów na dekadę, z kolei w latach 1960-1980 wlewy miały miejsce co 3-4 lata. Od roku 1984 zaobserwowano znacznie mniejszą częstotliwość tego zjawiska. Następne znaczące wlewy zdarzyły się dopiero w latach 1993 i 2003, zaś w 2014 roku miał miejsce wyjątkowo silny wlew. Fluktuacje w częstotliwości występowania tego zjawiska są związane ze zmianami klimatu. Trudno przewidzieć, czy nadal utrzyma się 10-letni cykl wlewów, czy też sytuacja powróci do stanu wcześniejszego i wlewy będą znacznie częstsze.

Duże wlewy wód zasolonych składają się z dwóch faz: podczas pierwszej fazy przeważają wschodnie wiatry skutkujące obniżeniem poziomu Morza Bałtyckiego, zmniejszone opady i zmniejszony odpływ wód rzecznych, a w trakcie drugiej fazy przeważają wiatry zachodnie skutkujące zwiększonymi opadami i zwiększonym odpływem rzeczny. Uważa się, iż przewaga występującej w minionych latach jesienno-zimowej cyrkulacji zachodniej przyczyniła się do znacznego obniżenia częstotliwości wlewów wód zasolonych do Bałtyku.

Ważną cechą wód bałtyckich, mającą wpływ na intensyfikację procesu eutrofizacji, jest ich uwarstwienie (stratyfikacja). Wody powierzchniowe są słabo zasolone, cieplejsze, dobrze wymieszane i natlenione, a wody głębinowe mają wyższy poziom zasolenia, są również chłodniejsze i słabiej natlenione.

W warstwie pośredniej, tzw. haloklinie, która znajduje się na głębokości 40-80 m, występuje gwałtowny wzrost zasolenia i tym samym gęstości wody. Jest to więc bariera utrudniająca mieszanie się wód powierzchniowych z głębinowymi i spowalniająca wymianę substancji pomiędzy warstwami.

Stale uwarstwienie wód Bałtyku przyczynia się także do podwyższonej koncentracji zanieczyszczeń chemicznych w warstwie głębinowej.

3. Źródła substancji biogenicznych

Główne źródła substancji biogenicznych (biogenów) trafiających do Bałtyku dzielą się na antropogeniczne i naturalne. Wśród źródeł wynikających z ludzkiej aktywności można wyróżnić: źródła punktowe (ścieki przemysłowe i komunalne) i obszarowe (spalanie paliw, uprawa roślin i hodowla zwierząt – rolnictwo). Natomiast źródła naturalne to m.in. rzeki i inne ciek wodne, odpływ powierzchniowy do morza (po powodziach i roztopach wiosennych), a także burze i opady atmosferyczne.

Okolo 70% całego rocznego ładunku azotu dostaje się do Bałtyku rzekami, okolo 30% to transport powietrzem. W wypadku fosforu niemal 100% to ładunek rzeczny. W przypadku rzeczno-go ładunku azotu źródła obszarowe stanowią blisko połowę, źródła naturalne to ponad 30%, punktowe (11,7%), transgraniczne (8,3%). Najważniejsze źródła fosforu niesionego rzekami to obszarowe (35,7%), naturalne (32,9%) i punktowe (23,5%).

Porównanie dotyczące całkowitych rocznych ładunków biogenów do Bałtyku w latach 1997-2003 i w roku 2012 pokazuje spadek ładunku azotu (9%) i fosforu (14%). Ładunek trzech krajów (Dania, Polska i Szwecja) wykazuje trend spadkowy obu biogenów (azotu i fosforu), w tym czasie dwa kraje (Łotwa i Rosja) zwiększyły ładunek obu biogenów. W pozostałych krajach wystąpił spadek tylko jednego z biogenów.

4. Trend ładunku biogenów dostającego się do Bałtyku

Ładunek azotu i fosforu dostającego się do Bałtyku wzrastał przez długi czas, głównie od lat 50. do lat 80. XX wieku, intensyfikując eutrofizację do poziomu, który niósł poważne konsekwencje dla ekosystemu Morza Bałtyckiego. W odpowiedzi na pogarszający się rozwój sytuacji, podjęto działania mające na celu zmniejszenie ładunku biogenów, które zostały uzgodnione w Deklaracji Ministerialnej HELCOM z 1988 roku. Jednym z głównych celów Bałtyckiego Planu Działań HELCOM jest Bałtyk nie dotknięty procesem eutrofizacji. W roku 2007 ustalono maksymalny dopuszczalny ładunek (MAI) biogenów dla całego Bałtyku i subakwenów, a także krajowe cele redukcji ładunków, które zostały zaktualizowane w Deklaracji Ministerialnej HELCOM z 2013 r. Znormalizowany ładunek azotu zmniejszono o 12%, a znormalizowany ładunek fosforu o 25% między okresem referencyjnym (1997–2003) a rokiem 2015. Najsilniejsze względne zmiany w ciągu ostatnich dziesięcioleci obserwuje się w Kattegacie i Cieśninach Duńskich pod względem ładunku azotu oraz w Zatoce Fińskiej pod względem ładunku fosforu. Od lat 80. ubiegłego stulecia

dopływ biogenów do Morza Bałtyckiego zmniejszył się, a w niektórych subakwenach miały miejsce silne redukcje. Na przykład dopływ azotu wodą do Morza Bałtyckiego jest obecnie na poziomie z lat 60., a dopływ fosforu na poziomie z lat 50. XX wieku. Mimo to całkowity dopływ azotu do Morza Bałtyckiego w 2015 r. był o około 7% większy niż maksymalny dopuszczalny dopływ, podczas gdy dopływ fosforu utrzymywał się o 44% powyżej tej progowej wartości.

5. Wpływ eutrofizacji na ekosystem morski

Duży dopływ biogenów, niesionych przede wszystkim rzekami, powoduje wzrost stężenia tych substancji w wodzie morskiej. Prowadzi to do wzrostu produkcji pierwotnej w strefie powierzchniowej (eufotycznej) toni wodnej. Powstają intensywne zakwity glonów i sinic, a także pojawia się więcej alg nitkowatych. Zakwity powodują zmętnienie wody i słabszą penetrację światła. Spada liczebność dużych brunatnic i morskiej zostery. Wzrasta liczebność zooplanktonu, co sprzyja rybom żyjącym nad halokliną. Wzrost zawiesiny organicznej opadającej na dno powoduje pogorszenie warunków tlenowych na dnie. Rozkład martwej materii organicznej przez bakterie tlenowe i beztlenowe, powoduje uwolnienie siarkowodoru, na skutek czego powstają pustynie tlenowe. Hipoksja (niedotlenienie) i anoksja (deficyt tlenowy) powodują: pogorszenie warunków dla rozrodu dorsza, zanik zoobentosu i spadek liczebności ryb poniżej halokliny.

Stan obecny

Ocena stanu eutrofizacji Morza Bałtyckiego w latach 2011-2016 pokazuje, iż jest ono nadal silnie dotknięte procesem eutrofizacji. Spośród 247 jednostek pomiarowych uwzględnionych w ocenie HELCOM znajdujących się zarówno na wodach przybrzeżnych, jak i otwartych (powyżej jednej mili morskiej od brzegu), tylko 17 uzyskało dobry stan. Obecnie 97% obszaru Morza Bałtyckiego jest dotknięte problemem eutrofizacji.

Efekt błędnego koła

Obszary dna morskiego z anoksją mają mniejsze możliwości wiązania fosforu, który zostaje uwolniony z osadów do kolumny wody, gdzie przyczynia się do intensyfikacji eutrofizacji, większych zakwitów sinic i powstawania pustyń tlenowych. Powstaje efekt błędnego koła: kiedy sinice obumrą, opadają na dno, gdzie dochodzi do ich rozkładu. Ich rozkład przez bakterie tlenowe, a następnie beztlenowe prowadzi do zużycia tlenu przy dnie i uwolnienia większej ilości biogenów. Na skutek rozkładu beztlenowego powstaje więcej siarkowodoru.

Rolnictwo a eutrofizacja

Większość terenów rolniczych w zlewisku Morza Bałtyckiego leży w południowej jego części, co w pewien sposób odzwierciedla uwarunkowania klimatyczne i gęstość zaludnienia. Około 40% wszystkich obszarów rolniczych zlewiska Bałtyku leży w Polsce. Powierzchnia obszarów rolniczych w poszczególnych krajach różni się znacząco. Przykładowo, około 7% Szwecji i Finlandii to obszar rolniczy, podczas gdy w Polsce to 40%, a w Danii 60% powierzchni kraju.

Ilość żywego inwentarza w odniesieniu do obszarów rolniczych jest również bardzo zróżnicowana, największe zagęszczenie żywego inwentarza w porównaniu z innymi krajami jest w Danii.

Obserwuje się generalny trend mniejszej liczby gospodarstw rolnych o większej powierzchni w krajach Unii Europejskiej zlewiska Morza Bałtyckiego. Przeciętna wielkość gospodarstwa rolnego waha się od 10 ha w Polsce do około 150 ha w Niemczech. Jest nadal wiele niewielkich gospodarstw rolnych, w szczególności w Polsce, ale ponad 40% wykorzystywanych obszarów rolniczych w krajach unijnych zlewiska Morza Bałtyckiego to gospodarstwa powyżej 100 ha. W Danii, Niemczech i Szwecji większość inwentarza żywego jest w gospodarstwach powyżej 100 ha.

6. Hipoksja i anoksja

Od 1999 roku istnieje poważny problem niedoboru (hipoksji) lub brak tlenu (anoksji) w wodach głębinowych. W okresie od 1960 do 2019 roku największe obszary dotknięte anoksją i hipoksją obserwowano w 2018 roku. Anoksja obejmowała około 24% powierzchni wód głębinowych, a hipoksja około 33%. Ostatnie wlewy do Bałtyku miały miejsce w latach 2014-2016, zmniejszając obszar pustyni tlenowej we wschodnim i zachodnim Basenie Gotlandzkim. Obecnie obszary z siarkowodorem ponownie wzrastają. Potrzebne są nowe znaczące wlewy, w połączeniu z wysiłkami przeciwdziałania eutrofizacji, które zatrzymają pogorszenie stanu natlenienia wód dennych i jeszcze wyższe koncentracje siarkowodoru.

Od początku XX wieku do roku 2012 wielkość obszarów na dnie Morza Bałtyckiego o obniżonej zawartości tlenu zwiększyła się 10-krotnie, z 5 000 km² do 60 000 km². Na początku XX wieku obszary dotknięte hipoksją obejmowały najgłębsze rejony morza, stopniowo rozszerzając się przez następne 70 lat, aż do momentu, gdy w okresie stagnacji w latach 1973-1993 (bez wlewów) zaczęły się kurczyć. Pod koniec okresu stagnacji, obszar dotknięty hipoksją był porównywalny do tego z roku 1930, od tego momentu hipoksja obszarów dennych ponownie zaczęła się zwiększać przez następne dekady, osiągając niespotykaną wcześniej skalę. Obecnie "martwa strefa Bałtyku" obejmuje obszar 1,5 powierzchni Danii, tj. około 70 000 km². Ostatni duży wlew wody słonej w 2014 roku nie był wystarczający, aby całkowicie natlenić głębokie wody Bałtyku Właściwego. Po wlewie obszary na północ od Gotlandii pozostawały dotknięte anoksją.

7. Skutki eutrofizacji

Skutki eutrofizacji to przede wszystkim pogorszenie jakości wody (kolor, zapach, ilość zawiesiny, pustynie tlenowe, siarkowodor, metan), pogorszenie warunków rekreacyjnych, pogorszenie warunków dla rybołówstwa.

Zakwit sinic jest zjawiskiem, które może obniżyć jakość wód użytkowych. Sinice produkują związki o negatywnym działaniu (cyjanotoksyny) na organizm człowieka i zwierząt. Istnieje wiele metabolitów tych mikroorganizmów m.in. hepatotoksyn, neurotoksyn, cytotoxyn i dermatotoksyn. Związki te dostają się do organizmu człowieka wraz z komórkami cyjanobakterii, np. na skutek

przypadkowego połknięcia wody lub wdychania toksycznych aerozoli, podczas pływania lub uprawiania sportów wodnych. Głównym gatunkiem produkującym niebezpieczne toksyny w Bałtyku jest *Nodularia spumigena*.

Eutrofizacja wywołuje negatywne skutki dla wielu gatunków ryb. Szczególnie niekorzystnie wpływa na dorsza, który jest rybą cenną gospodarczo. Ikra tego gatunku, która jest pelagiczna, potrzebuje do swojego rozwoju dobrze natlenionej wody o zasoleniu powyżej 11 PSU. Obszarów, które spełniałyby te warunki, jest w Bałtyku coraz mniej, ponieważ cięższa, słona woda charakteryzuje się niską koncentracją tlenu lub jest go wręcz pozbawiona. Zagrożona jest również ikra płastug składana w głębszych partiach dna. Obfitość alg nitkowatych nie sprzyja usytuowanym na płyciznach tarliskom śledzi. Na skutek deficytu tlenowego przy dnie uległa obniżeniu biomasa makrozoobentosu w rejonach dna poniżej halokliny, co uszczupliło znacznie bazę pokarmową ryb bentosożernych.

Zielenice, krasnorosty i brunatnice zasiedlają w morzu odpowiednie głębokości, które wynikają z ilości docierającego tam światła. Woda stanowi rodzaj filtra, który powoduje, iż pewne długości fal świetlnych są blokowane przed dalszą penetracją toni wodnej. Im głębiej rośliny rosną, tym mniej światła do nich dociera. Rosnące w płytszej wodzie zielenice wykorzystują światło o barwie niebieskiej i czerwonej. Glony, które rosną na większej głębokości w procesie fotosyntezy wykorzystują dodatkowe barwniki. Brunatnice posiadają żółtobrunatny barwnik (fukoksantyna), który wychwytuje światło o barwie zielonej i niebieskiej. Czerwone krasnorosty odbierają najgłębiej docierające światło zielone i niebieskie. Głębokość na jaką dociera światło jest zależna od przejrzystości wody, która na skutek zakwitów sinic i glonów, a także rozwoju alg nitkowatych, znacznie zmalała. Skutkiem tego jest zanikanie morskoczynu pęcherzykowego (na polskim wybrzeżu wyginął pod koniec XX wieku), który jest gatunkiem siedliskotwórczym dla wielu gatunków ryb i bezkręgowców. Zyskały na tym algi nitkowane, które dominują w wielu miejscach podwodnego krajobrazu wraz z żerującymi pośród nich ciernikami.

8. Zanieczyszczenia chemiczne

Ekosystem Morza Bałtyckiego jest szczególnie podatny na gromadzenie się zanieczyszczeń chemicznych, co wynika z długiego czasu wymiany wód (trwającego około 30 lat), płytkości wód, a także dużej powierzchni zlewiska w stosunku do powierzchni morza. Zanieczyszczenia chemiczne trafiają do morza drogą wodną lub powietrzną z gospodarstw domowych, transportu drogowego, przemysłu i rolnictwa. Dodatkowym źródłem zanieczyszczeń chemicznych jest transport morski oraz inne działania na morzu. Chemiczne zanieczyszczenia w Bałtyku to: metale ciężkie (kadm, rtęć), pestycydy (DDT) i herbicydy oraz inne trwałe zanieczyszczenia organiczne.

Mianem trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO) określa się związki chemiczne charakteryzujące się dużą trwałością we wszystkich elementach środowiska, wykazujące dużą zdolność do gromadzenia się w tkankach ciała organizmów morskich i oddziałujące na elementy biocenozy. Do grupy tej zaliczamy związki zawierające w swojej strukturze atomy chloru, bromu lub fluoru. Są to m.in. polichlorowane bifenyle (PCB), pestycydy chloroorganiczne (np. DDT)

oraz dioksyny. W skład tej grupy wchodzi również związki metaloorganiczne, takie jak trójbutyllocyna (TBT), czy trójfenyllocyna (TFT), które są wykorzystywane w farbach przeciwporostowych.

Do najbardziej szkodliwych zanieczyszczeń występujących w Bałtyku zaliczamy metale ciężkie: rtęć, ołów i kadm. Głównym ich źródłem jest przemysł, kopalnie, huty metali, elektrownie węglowe, fabryki nawozów, a w przypadku rtęci – celulozownie i papiernie. W Bałtyku stwierdzono wysoką zawartość metali ciężkich w osadach dennych. Metale ciężkie charakteryzują się wysoką toksycznością nawet przy niskich stężeniach.

Trwałe zanieczyszczenia organiczne i metale ciężkie ulegają **bioakumulacji**, tj. gromadzeniu się w tkankach organizmów (mięśniach, wątrobie, tkankach tłuszczowych) poprzez przyjęcie toksycznych substancji wraz pożywieniem, wodą czy powietrzem. Substancje toksyczne bardzo dobrze rozpuszczają się w tłuszczach, ale nie w wodzie, stąd ich wyższe stężenie w tkankach tłuszczowych organizmów. Niektóre z nich ulegają **biomagnifikacji**, czyli wzrostowi stężenia substancji toksycznych na wyższych poziomach troficznych. Substancje toksyczne są przekazywane od mniejszego organizmu do większego, od ofiary do drapieżnika. Z każdym kolejnym poziomem troficznym stężenie tych substancji wzrasta, nawet dziesięciokrotnie.

Najbardziej narażone na działanie tych substancji są organizmy na szczycie piramidy troficznej: drapieżne ryby, ptaki i ssaki morskie. Obecność tych substancji w wyższych stężeniach może powodować zaburzenia naturalnych procesów biochemicznych. U różnych grup zwierząt obserwowano zaburzenia działania układu nerwowego, immunologicznego czy rozrodczego. Jednym z głównych powodów niskiej liczebności bałtyckich populacji fok szarych i obrączkowanych w latach 70. i 80. XX wieku było zanieczyszczenie środowiska morskiego trwałymi zanieczyszczeniami organicznymi, które gromadząc się w ciałach tych zwierząt upośledzały ich układ rozrodczy, prowadząc do niskiego sukcesu rozrodczego.

Broń chemiczna

Broń chemiczna została wyprodukowana w dużej ilości w czasie I i II Wojny Światowej. Ta, która została wyprodukowana w czasie II Wojny Światowej, nie została użyta w boju. Duża ilość niemieckiej broni chemicznej została skonfiskowana przez siły sprzymierzone i na podstawie ustaleń konferencji poczdamskiej w sporej części zdeponowana w morzu. Znakomita jej większość została wyrzucona do Morza Bałtyckiego w cieśninie Skagerrak na podstawie decyzji brytyjskich, radzieckich i amerykańskich władz okupacyjnych. Szacuje się, iż w cieśninie Skagerrak zatopiono 17 tys. ton broni chemicznej – w większości były to całe statki z ładunkiem. Na Bałtyku broń chemiczna była przechowywana w Wolgast na wschodnim wybrzeżu Niemiec, skąd była transportowana do miejsc zatopienia w Głębi Gotlandzkiej i Basenie Bornholmskim. W sumie zatopiono 50 tys. ton broni chemicznej zawierającej 15 tys. ton substancji chemicznych. Najwięcej broni chemicznej zatopiono na wschód od Bornholmu – około 32 tys. ton. Pod wodę deponowano bomby, pociski, zbiorniki z substancjami chemicznymi i kilka statków. Wiele wskazuje na to, iż spora liczba ładunków została wyrzucona za burtę podczas transportu do głównych obszarów

zatonienia (Basen Bornholmski i Głębia Gotlandzka). Znaczna część zatopionej broni to trujące środki bojowe: przede wszystkim iperyt siarkowy (gaz musztardowy), a także Clark I, Clark II, adamsyt (związki zawierające arsen), chloroacetofenon i tabun.

Dzisiaj broń chemiczna zatopiona na dnie Bałtyku jest w różnym stadium rozkładu. Zawartość skorodowanych ładunków wybuchowych wycieka do środowiska, co może stanowić poważne zagrożenie dla bałtyckiego ekosystemu. Co najmniej kilka substancji chemicznych, głównie zawierających arsen, było stwierdzanych w osadach dennych, co może mieć poważne konsekwencje dla organizmów morskich. Ze względu na fakt, iż bardzo często obszary skażone substancjami z broni chemicznej są dotknięte hipoksją i anoksją, bardzo ciężko jest wykazać bezpośredni negatywny wpływ tych substancji na organizmy morskie, np. dorsza czy omułka jadalnego. Obecnie bardzo często ludzka aktywność na morzu, np. budowa rurociągów, układanie kabli, trałowanie denne, czy budowa farm wiatrowych ma miejsce w pobliżu skażonych rejonów.

Materiały źródłowe:

- Andrulewicz E., Szymelfenig M., Urbański J., Węsławski J. M., Węsławski S. 1988. Morze Bałtyckie – o tym warto wiedzieć. Zeszyt nr 7. Zeszyty Zielonej Akademii.
- Beldowski J., Klusek Z., Szubska M., Turja R., Bulczak A.I., Rak D., Brenner M., Lang T., Kotwicki L., Grzelak K., Jakacki J., Fricke N., Ostin A., Olsson U., Fabisiak J., Garnaga G., Nyholm J.R., Majewski P., Broeg K., Soderstrom M., Vanninen P., Popiel S., Nawala J., Lehtonen K., Berglind R., Schmidt B. 2016. Chemical munitions search and assessment-an evaluation of the dumped munitions problem in the Baltic Sea. *Deep-Sea Res Pt II* 128, 85–95.
- Hansson M., Viktorsson L., Andersson L. 2020. Oxygen Survey in the Baltic Sea 2019-Extent of Anoxia and Hypoxia, 1960-2019. *REPORT OCEANOGRAPHY* No. 67, 2019.
- HELCOM. 2009. Eutrophication in the Baltic Sea – An integrated thematic assessment of the effects of nutrient enrichment and eutrophication in the Baltic Sea region. *Baltic Sea Environ. Proc.* 155B.
- Pastuszek M., Zalewski M., Wodzinowski T., Pawlikowski K. 2016. Eutrofizacja w Morzu Bałtyckim – konieczność holistycznego podejścia do problemu. 95-lecie Morskiego Instytutu Rybackiego: aktualne tematy badań naukowych. Tom II – Stan środowiska południowego Bałtyku (pp.13-44). Morski Instytut Rybacki.
- Siedlewicz G. 2015. Może czas zadbać o morze. *Chemia Przemysłowa* 606: 40-43.

TEMAT 4: Gatunki obce

Wprowadzenie (introdukcja) – przemieszczenie gatunku poza jego naturalny zasięg na skutek interwencji człowieka.

Gatunek obcy – gatunek wprowadzony świadomie lub zawleczony przypadkowo przez człowieka poza zasięg naturalnego występowania, włączając w to części, gamety, nasiona lub jaja, dzięki którym może on przeżywać i rozmnażać się. Gatunkami obcymi nie nazywamy gatunków, które spontanicznie poszerzyły zasięg występowania, ani takich, które pojawiają się masowo nieregularnie i/lub w krótkich okresach (głównie owady i ptaki).

Gatunek obcy inwazyjny – obcy gatunek, który po wprowadzeniu do nowego środowiska stał się zagrożeniem dla lokalnego ekosystemu. Gatunki inwazyjne często charakteryzują się szeroką tolerancją na czynniki środowiskowe (np. zasolenie czy temperatura) oraz wysoką płodnością. Pozwala im to na stosunkowo szybkie zajęcie siedliska. Inwazji sprzyja też brak naturalnych wrogów, na przykład w przypadku zdegradowanego ekosystemu o niskiej bioróżnorodności, w którym może brakować drapieżników.

Na podstawie powyższych definicji można przyjąć, że podstawowym kryterium odróżniającym gatunki rodzime od obcych jest to, czy ich występowanie na danym obszarze jest wynikiem procesów naturalnych, czy jest wynikiem działalności człowieka. Można wyróżnić kilka rodzajów introdukcji, w zależności od tego, czy udział człowieka w tym procesie ma charakter bezpośredni lub pośredni oraz w zależności od tego, jakie są intencje tego działania.

Udział bezpośredni:

- celowy transport osobników i ich celowe wprowadzenie do środowiska. Celem takiego działania jest osiągnięcie korzyści gospodarczych – obce gatunki drzew w gospodarce leśnej, np. czeremcha amerykańska, *Padus serotina* lub ryb i skorupiaków w gospodarce rybackiej, np. amur, *Ctenopharyngodon idella* czy rak sygnałowy, *Pacifastacus leniusculus*;
- celowy transport osobników i ich niezamierzone wprowadzenie do środowisk (gatunki sprowadzane w celach hodowlanych, których osobniki wydostały się na wolność);
- przypadkowy transport osobników i ich niezamierzone wprowadzenie do środowiska.

Udział pośredni:

- likwidacja barier geograficznych i umożliwienie ekspansji.

Transport morski jest najczęstszą metodą wprowadzania organizmów morskich do nowych ekosystemów. Organizmy są przenoszone w wodach i osadach balastowych oraz w zbiorowiskach porastających kadłuby statków. Gatunki najpierw dostają się do portów, a następnie poszerzają zasięg występowania do sąsiadujących akwenów.

Niektóre zagrożenia:

- zmniejszenie różnorodności biologicznej;
- konkurowanie z rodzimymi gatunkami o niszę ekologiczną i możliwe wypieranie ich z ekosystemu;
- przenoszenie patogenów;
- konsekwencje ekonomiczne (na przykład straty w rybołówstwie, czy duże koszty usuwania inwazyjnych małży porastających budowle hydrotechniczne).

Przykłady gatunków obcych oraz obcych inwazyjnych występujących w Morzu Bałtyckim

Małgiew piaskoław to największy (dorastający w Bałtyku do około 8 cm) małż. Występuje na dnie piaszczystym i mulistym, głęboko zakopany w osadzie (odnotowano nawet do 50 cm). Małgiew charakteryzuje się bardzo masywnymi syfonami, co powoduje, że jego muszla nie domyka się całkowicie. Dokładne miejsce i czas inwazji tego gatunku w południowym Bałtyku nie jest znane. Datowanie muszli piaskołaza znalezionych w holocenijskich osadach np. z rejonu Zatoki Greifswalder Bodden (w południowym Bałtyku) pozwoliły oszacować ich wiek na około 700 – 750 lat. Ze względu na długi czas, jaki upłynął od introdukcji małgwi w Europie zachodniej i północnej, trudno ocenić jego wpływ na rodzimą faunę tuż po inwazji. W większości akwenów europejskich stał się naturalnym składnikiem fauny dennej, nie wykazując negatywnego oddziaływania. Można go zakwalifikować jako gatunek obcy po-inwazyjny.

Racicznica zmienna to gatunek pochodzący z rejonów Morza Czarnego, Azowskiego i Kaspijskiego. Ten słodkowodny małż o długości około 25-40 mm ma muszlę, która przybiera różne barwy i kształty. Ma dużą zdolność przystosowywania się do warunków środowiskowych i troficznych.

Rangia to gatunek północnoamerykański o ciężkiej i masywnej muszli, dorastający w wodach europejskich do około 35-40 mm. Rodzimum miejscem występowania gatunku jest odległy rejon Zatoki Meksykańskiej. Na początku tego wieku odkryto ją w belgijskich wodach Morza Północnego (w rejonie Antwerpii). Podejrzewa się, że gatunek ten niecelowo wprowadzono tam około 2000 roku. Specjaliści są pewni, że czynnikiem, który spowodował rozwleczenie go po wodach mórz europejskich, jest brak kontroli sprzętu i jednostek służących do pogłębiania torów i refulacji brzegów oraz nienależyta troska o czystość zbiorników wód balastowych statków. W 2011 roku zaobserwowano ten gatunek w polskiej części Zalewu Wiślanego (rok wcześniej w rosyjskiej części).

Pąkla niespodziewana to skorupiak należący do wąsonogów o ciele pokrytym zwapniałymi płytkami tworzącymi kształt zbliżony do ściętego stożka o średnicy dochodzącej do około 15 mm. Przytwierdza się do twardego podłoża (kamienie, budowle hydrotechniczne, inne organizmy morskie) za pomocą gruczołów cementowych. Jedynym widocznym elementem ciała są segmentowane odnóża tułowiowe. Jest filtratorem, za pomocą odnóży wychwytuje z wody pożywienie. W wodach Bałtyku pierwszy raz odnotowano ten gatunek w Zalewie Wiślanym koło Królewca w 1844 r. Pąkla niespodziewana pochodzi z Ameryki Północnej.

Kiełz tygrysi to gatunek o szerokiej tolerancji na czynniki ekologiczne, który do wód europejskich przybył z Ameryki Północnej. Ten kiełz to drobny, dorastający do około 12 mm, ubarwiony w charakterystyczne „tygrysie”, zielono-czarne prążki organizm. Znosi nawet duże zmiany zasolenia oraz jest bardzo płodny, przez co stopniowo wypiera rodzime gatunki kiełzy.

Krewetka elegancka (krewetka atlantycka) w Morzu Bałtyckim może osiągać 6 cm długości. Jej ciało jest bocznie spłaszczone i niemal przezroczyste. Na tułowiu i odwłoku występują ciemne żółto-brązowe paski. Druga para odnóży charakteryzuje się obecnością niebieskich lub żółtych obrączek. Ulubionym miejscem występowania tego gatunku jest dno piaszczyste porośnięte glonami. Można ją też spotkać na podłożu kamienistym, w portach i przystaniach rybackich. Wyróżnia się dużą aktywnością ruchową. Krewetka elegancka toleruje bardzo szeroki zakres zasolenia oraz temperatur. Jest również odporna na niedobory tlenowe. W Morzu Bałtyckim może żyć do trzech lat. To gatunek wszystkożerny, pełniący ważną rolę w sieci troficznej. Żywi się wieloma gatunkami roślin i zwierząt, jednocześnie będąc pokarmem dla wielu gatunków ryb: okonia, ryb babkowatych, węgorzycy czy węgorza. Pierwotna ojczyzna tego gatunku to wschodnie wybrzeża Atlantyku, a także wybrzeża Morza Śródziemnego oraz Morza Czarnego. W latach 50. XX wieku została wprowadzona do Morza Kaspijskiego i Morza Aralskiego. W polskiej strefie brzegowej Morza Bałtyckiego obecność tego gatunku po raz pierwszy odnotowano w 2000 roku.

Krab amerykański to niewielki krab, którego szerokość pancerza zazwyczaj nie przekracza 2 cm. Żywi się szczątkami zwierzęcymi i roślinnymi, może polować na niewielkie skorupiaki. Chętnie bytuje na podłożu kamienistym oraz w ławicach omułków. Ojczyzną tego gatunku są atlantyckie wybrzeża Ameryki Północnej i Zatoki Meksykańskiej, od Meksyku do Nowego Brunswiku, gdzie występuje przede wszystkim w słonawych wodach ujść rzecznych. Do Europy został prawdopodobnie zawleczony z wodami balastowymi. Odkryto go po raz pierwszy w zatoce Zuiderzee w Holandii. Zasięg występowania krabika amerykańskiego w Europie szybko się rozszerzał. Poza Holandią, w latach 30. XX wieku odnaleziono go w Niemczech i w Morzu Czarnym, następnie we Francji, w zachodniej części Bałtyku, a także w Wielkiej Brytanii, Hiszpanii, Portugalii oraz w Morzu Śródziemnym, Azowskim i Kaspijskim. W Polsce gatunek ten po raz pierwszy znaleziono w Zalewie Wiślanym w 1951 roku. Od tamtego czasu odkryto liczne populacje zasiedlające Martwą i Śmiałą Wisłę, Motławę, Zatokę Gdańską, Zatokę Pucką oraz Zatokę Pomorską i Zalew Szczeciński.

Krab wełnistoszczypcy to największy skorupiak występujący w Bałtyku. Jego pancerz osiąga szerokość nawet do 9 cm. Posiada masywne szczypce gęsto pokryte chitynowymi wyrostkami przypominającymi wełniane mufki. Jest gatunkiem dwuśrodowiskowym – większą część życia spędza w wodach słodkich, a następnie odbywa wędrówkę rozrodczą do wód morskich. Pochodzi z wód chińskich, naturalny obszar występowania tego gatunku rozciąga się od Hong Kongu aż do Korei Północnej. Do portów europejskich został wprowadzony przypadkowo za pośrednictwem wód balastowych statków kursujących między Europą a Chinami. Po raz pierwszy jego obecność odnotowano w 1912 roku w niemieckich wodach słodkich. Dzięki bogatemu systemowi kanałów i rzek dość szybko i łatwo rozprzestrzenił się w wodach europejskich. W ciągu kolejnych kilkudziesięciu lat zasięg jego występowania objął wody praktycznie całej Europy. W Polsce po raz pierwszy odnotowano ten gatunek w Zalewie Szczecińskim w 1928 roku. Wkrótce rozprzestrzenił się wzdłuż wybrzeża Bałtyku, wchodząc do ujścia Wisły oraz do jezior mazurskich. Występując masowo powoduje szkody w ekosystemach (wyżeranie ikry, konkurencja pokarmowa z lokalną fauną) i gospodarce człowieka (niszczenie połowu i sprzętu połowowego). Gatunek ten został uznany przez Międzynarodową Unię Ochrony Przyrody (IUCN - WCU) za jeden ze 100 najgroźniejszych gatunków inwazyjnych na świecie.

Rak sygnałowy to gatunek pochodzący z północno-zachodniej części Stanów Zjednoczonych. Sprowadzony do Europy (początkowo do Szwecji) w latach pięćdziesiątych XX wieku w celu zastąpienia populacji słodkowodnych gatunków raków wyniszczonych przez tzw. raczą dżumę. Do Polski gatunek ten również został sprowadzony celowo, z powodów ekonomicznych. Rak sygnałowy jest odporny na raczą dżumę, jest jednak jej nosicielem przez co stanowi zagrożenie dla rodzimych raków. Podejmowano próby usunięcia tego gatunku ze środowiska za pomocą pestycydów, nie jest to jednak metoda ani skuteczna, ani bezpieczna dla środowiska. Rak sygnałowy dorasta zwykle do około 16 cm długości i może żyć nawet do 20 lat. Żywi się pokarmem zarówno roślinnym, jak i zwierzęcym. W Polskich wodach jego naturalnymi wrogami są np. okoń i czapla.

Rak pręgowany to naturalnie występujący gatunek w wodach śródlądowych północno-wschodniej części USA. Podobnie jak rak sygnałowy, został introdukowany do wód europejskich celowo. Dorasta do około 12 cm. Przyjmuje barwy od jasno-oliwkowej do brunatnej z charakterystycznymi pręgami na odwłoku. Odżywia się pokarmem zarówno roślinnym, jak i zwierzęcym, stanowi źródło pokarmu ryb drapieżnych.

Babka śniadogłowa to gatunek odkryty w Zatoce Gdańskiej w 1990 roku. To niewielka ryba. Może osiągać około 24 cm długości. Wywiera presję na rodzime gatunki jako drapieżnik, konkurując z nimi o miejsce do życia i rozrodu. Odżywia się pokarmem zwierzęcym: małżami, skorupiakami, wieloszczetami i małymi rybami. Pierwotnie gatunek ten zasiedlał przybrzeżną strefę Morza Czarnego, Azowskiego, Kaspijskiego i Morza Marmara. Występował także w dolnych odcinkach rzek, będących częścią zlewni tych mórz. Do Bałtyku dotarł najprawdopodobniej w wodach balastowych statków kursujących pomiędzy Morzem Czarnym, Kaspijskim, a Bałtykiem w latach 70. i 80. XX wieku. W Polsce ryby tego gatunku zaczęto zauważać dopiero wówczas, gdy swymi rozmiarami przerosły podobne do nich rodzime babkowate, jak: babkę czarną, babkę piaskową i babkę małą. Babka śniadogłowa jest popularną rybą konsumpcyjną w basenie Morza Czarnego i Kaspijskiego. W Bałtyku nie jest poławiana komercyjnie.

Materiały źródłowe:

- Szaniawska A. 2014. Skorupiaki Bałtyku. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.

Netografia:

- Gatunki obce w faunie Polski: www.iop.krakow.pl/gatunkiobce/ Dostęp: 21.04.2023 r.
- Gatunki obce, inwazyjne i niebezpieczne. Ministerstwo Klimatu i Środowiska: <https://www.gov.pl/web/klimat/gatunki-obce-inwazyjne-i-niebezpieczne> Dostęp: 21.04.2023 r.

TEMAT 5: Hałas podwodny

1. Informacje ogólne

Morza i oceany są wypełnione dźwiękami produkowanymi przez zwierzęta morskie, naturalne procesy i ludzką aktywność na morzu. Woda jako ośrodek znakomicie przewodzi fale dźwiękowe, korzystają z tego zarówno morskie zwierzęta, jak i ludzie, wykorzystując dźwięk jako narzędzie do komunikacji, nawigowania i lokalizowania obiektów. Dźwięk przemieszcza się na znacznie większe odległości pod wodą, podczas gdy światło na zaledwie kilkaset metrów, po czym zostaje rozproszone lub pochłonięte. Co więcej: tam, gdzie światło jest dostępne, wzrok nie działa na tak dużą odległość pod wodą, jak w powietrzu. Także zmysł węchu ma ograniczone zastosowanie pod wodą. Dźwięki pod wodą pozwalają organizmom morskim, w szczególności ssakom morskim i rybom, zbierać informacje i porozumiewać się na duże odległości we wszystkich kierunkach. Wiele zwierząt morskich posiada odpowiednie adaptacje (zmysł echolokacji u waleni, wibrysy u fok, linia naboczna i otolity u ryb), dzięki którym są w stanie odkrywać krajobraz akustyczny podwodnego świata. Oprócz odgłosów organizmów morskich, podwodny świat jest wypełniony dźwiękami naturalnych zjawisk (np. fale morskie, deszcz, błyskawice), a także dźwiękami o antropogenicznym pochodzeniu, nazywanymi hałasem podwodnym. Hałas od niedawna zaliczany jest do zanieczyszczeń środowiska morskiego, przez co dopiero zaczyna funkcjonować w świadomości społeczeństwa oraz użytkowników akwenów morskich jako realne zagrożenie dla wielu organizmów morskich. Źródłem hałasu podwodnego są: żegluga morska, instalacje hydrotechniczne, działania militarne, instalacja farm wiatrowych oraz poszukiwanie i wydobycie złóż naturalnych. Około 80% światowego handlu odbywa się poprzez transport morski, który generuje dużą ilość hałasu podwodnego.

2. Charakterystyka dźwięku

Niezależnie od pochodzenia, dźwięk jest transferem energii mechanicznej w postaci fali podłużnej, która przemieszcza się w ośrodku sprężystym: gazie, cieczy lub ciele stałym. Fala propagowana w wodzie jest falą podłużną i objawia się przez przemieszczające się zagęszczenia i rozrzedzenia ośrodka w wyniku przekazywania energii mechanicznej jego cząsteczek. Cząsteczki ośrodka wytrącone z położenia równowagi przez impuls mechaniczny (np. wibracje kadłuba statku, wbijanie fundamentów w dno morskie) zderzają się z sąsiednimi cząsteczkami, przekazując im energię swojego ruchu. Prędkość rozchodzenia się fali akustycznej zależy od parametrów ośrodka i zmienia się w dość szerokich granicach w zależności od temperatury, zasolenia i ciśnienia, przy czym największy wpływ na prędkość dźwięku mają zmiany temperatury. W środowisku wodnym fale rozchodzą się ze znacznie większą prędkością i na większe odległości niż w powietrzu. Dźwięk nie występuje w pustej przestrzeni.

3. Czym zatem jest fala?

Jest zaburzeniem, które propaguje energię z jednego punktu do drugiego w ośrodku, może mieć postać odkształcenia sprężystego, różnic ciśnienia, natężenia pola elektrycznego

lub magnetycznego, potencjału elektrycznego i temperatury. Ośrodek, przez który przechodzi fala, może wykazywać pewne lokalne wychylenia, ale same cząsteczki w ośrodku nie są transportowane. Fala jest zatem transportem energii, bez transportu materii. Zaburzenie może przyjmować bardzo różne kształty, od pulsów o ograniczonej szerokości do nieskończonej długiej fali sinusoidalnej.

Najlepiej obrazującym to przykładem jest fala meksykańska (*La Ola*) obserwowana na stadionach podczas meczów piłkarskich. Grupa siedzących ludzi, podskakuje i siada z powrotem, część siedzących obok nich osób naśladuje to zachowanie, a później kolejne osoby i wkrótce na całym stadionie widać wędrującą falę. Fala jest zaburzeniem (powstający i siadający ludzie) przemieszczającym się dookoła stadionu. Jednakże żadna z osób nie jest przenoszona przez falę – pozostają na swoich miejscach.

Fale poprzeczne to fale, gdzie cząsteczki w ośrodku wychylają się w kierunku prostopadłym do kierunku transportu energii. Falę poprzeczną można wywołać na rozciągniętym w płaszczyźnie poziomej sznurku, którego jeden koniec zostanie wprowadzony w drgania w płaszczyźnie pionowej. Przykładem fal poprzecznych jest światło. Linia przebiegająca przez środek fali poprzecznej to punkt równowagi. Grzbiet fali to punkt na fali o maksymalnym dodatnim wychyleniu od pozycji równowagi. Dolina fali to punkt o maksymalnym ujemnym wychyleniu od pozycji równowagi. Amplituda to maksymalne wychylenie od punktu równowagi. Może być mierzona od punktu równowagi do grzbietu lub doliny fali.

Kolejnym parametrem opisującym falę jest jej **długość** (λ), która jest długością jednego kompletnego cyklu fali. Fala jest powtarzającym się wzorem. I długość takiego jednego przestrzennego powtórzenia nazywana jest długością fali. Długość fali może być mierzona od grzbietu do grzbietu lub od doliny do doliny. Długość fali można również mierzyć jako dystans między jednym punktem na fali i drugim odpowiadającym mu w kolejnym cyklu fali.

Fala podłużna to fala, w której cząsteczki ośrodka wychylają się w kierunku równoległym do kierunku transportu energii. Falę podłużną można wywołać przy pomocy sprężyny, rozciągniętej w płaszczyźnie poziomej, której jeden koniec został wprawiony w drganie również w płaszczyźnie poziomej. Ponieważ zwoje sprężyny drgają podłużnie, niektóre jej obszary ulegają rozrzedzeniu, podczas gdy inne ulegają skupieniu. Skupienie to obszary, gdzie ośrodek, w tym wypadku zwoje sprężyny, posiadają maksymalne zagęszczenie. Rozrzedzenia to obszary, gdzie zwoje sprężyny (ośrodek) mają najmniejsze zagęszczenie. Tak jak fala poprzeczna posiada powtarzający się wzór grzbietów i dolin, tak fala podłużna posiada powtarzający się wzór skupień i rozrzedzeń. W wypadku fali podłużnej długość fali jest mierzona od jednego skupienia do drugiego lub od jednego rozrzedzenia do drugiego. Przykładem fali podłużnej jest dźwięk.

Amplituda dźwięku jest związana ze zmianami ciśnienia. Dźwięk jest postrzegany jako głośniejszy, kiedy amplituda wzrasta i cichszy, kiedy maleje. Wielkość amplitudy odnosi się również do przenoszonej energii. Fale o wysokiej amplitudzie przenoszą więcej energii, a o niskiej amplitudzie przenoszą jej mniej. Średnia ilość energii przesyłanej przez jednostkę powierzchni w czasie w odpowiednim kierunku jest nazywana natężeniem fali. Gdy amplituda dźwięku wzrasta,

wzrasta też jego natężenie. Dźwięki o wyższym natężeniu są odbierane jako głośniejsze. Natężenie dźwięku jest podawane w jednostkach o nazwie **decybel (dB)**.

Wysokie czy niskie dźwięki odnoszą się do kolejnego parametru fizycznego fali, czyli **częstotliwości (f)** fali dźwiękowej. Fala dźwiękowa ma powtarzający się wzór, jedno jego powtórzenie nazywane jest cyklem. Czas trwania tego cyklu nazywany jest okresem. Częstotliwość to liczba cykli na sekundę. Jednostką wykorzystywaną do mierzenia cykli jest **hertz (Hz)**, który jest definiowany jako liczba cykli na sekundę. Wysokie dźwięki to dźwięki o wysokiej częstotliwości (większej liczbie cykli mieszczących się w sekundzie). W wypadku dźwięków o niskiej częstotliwości, tych cykli mieszczących się w sekundzie jest mniej.

Dźwięk przemieszcza się w wodzie morskiej z prędkością około **1 500 m/s**, podczas gdy w powietrzu jest znacznie wolniejszy, jego prędkość wynosi **340 m/s**. Prędkość dźwięku w dużej mierze jest zależna od gęstości ośrodka, w którym się rozchodzi. W wodzie na zmiany prędkości dźwięku mają wpływ następujące parametry oceanograficzne: temperatura, zasolenie i ciśnienie. Generalnie, temperatura zazwyczaj maleje wraz ze wzrostem głębokości, zasolenie może wzrastać lub obniżać się wraz ze wzrostem głębokości, a ciśnienie zawsze wzrasta wraz z głębokością. Prędkość dźwięku w wodzie wzrasta wraz ze wzrastającą temperaturą, zasoleniem i ciśnieniem (głębokością).

4. Hałas podwodny

Hałas podwodny definiuje się jako zanieczyszczenie spowodowane działalnością człowieka, które powoduje (lub może powodować) negatywne skutki w żywych zasobach i ekosystemach morskich (definicja zgodna z Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/56/WE). Rozróżnia się dwa rodzaje hałasu podwodnego: ciągły i impulsowy.

Hałas ciągły charakteryzuje się nieznacznymi zmianami częstotliwości i natężenia w czasie. Dźwięk rozchodzący się od źródła hałasu może być stały, może fluktuować lub zmieniać się nieznacznie w długim przedziale czasu. Generowany jest w morzu m.in. przez transport morski, turystykę motorowodną czy rybołówstwo, które prowadzą do stałego obciążenia tym zanieczyszczeniem obszarów, w których prowadzą swoją działalność. Szacuje się, że na Morzu Bałtyckim może przebywać w jednym momencie nawet 2 000 statków, które w zależności od wielkości, czy prędkości, z jaką się poruszają, mogą wytwarzać hałas o natężeniu 158-190 dB re 1 μ Pa (natężenie dźwięku pod wodą wyrażane w dB odnosi się do ciśnienia 1 mikropaskala, co oznacza się skrótem dB re 1 μ Pa) oraz częstotliwości 7-430 Hz. Hałas ten może być odpowiedzialny za zmiany behawioralne organizmów, płoszenie, reakcje stresowe, itd.

Hałas impulsowy odznacza się z kolei krótkim czasem trwania (tymczasowe obciążenie obszaru) i wysoką energią. W przypadku bliskiej odległości organizmów morskich od źródła hałasu impulsowego można obserwować uszkodzenie tkanek, tymczasową lub całkowitą utratę słuchu (np. ssaki morskie), a w skrajnych przypadkach również śmierć organizmu. Tego rodzaju dźwięki mogą być generowane np. w czasie detonacji amunicji konwencjonalnej lub podczas wbijania fundamentów elektrowni wiatrowych w dno morskie.

Źródła hałasu. Morze Bałtyckie przenikają dźwięki o bardzo szerokim zakresie częstotliwości, począwszy od infradźwięków (< 20 Hz), a skończywszy na ultradźwiękach (> 20 kHz). Choć we wskazanych zakresach mieszczą się również dźwięki pochodzenia naturalnego, to w związku z rosnącą aktywnością człowieka na tym akwenie, natężenie dźwięków pochodzenia antropogenicznego zaczyna dominować, przez co stają się one uciążliwe dla otoczenia.

- **Transport morski i rybołówstwo.** Transport morski generuje hałas o niskich częstotliwościach (do 500 Hz). Poziom hałasu zależy jednak nie tylko od wielkości jednostek, ale także od ich typu, prędkości poruszania się, czy charakterystyki dna morskiego. Dźwięki emitowane przez statki zaliczane są do hałasu ciągłego i oddziałują na organizmy przede wszystkim w sferze zmian behawioralnych i zakłóceń komunikacji między osobnikami.
- **Detonacja broni konwencjonalnej.** Poziomy hałas podwodnego podczas detonacji mogą być słyszalne przez ssaki morskie, nawet w odległości 60 km od źródła hałasu. Rozchodzenie się dźwięku w tej sytuacji zależy jednak od wielu czynników, w tym od wielkości zdetonowanego ładunku, charakterystyki dna morskiego, czy właściwości fizykochemicznych wody. Przeprowadzone pomiary hałasu podwodnego na Morzu Bałtyckim w rejonie Litwy wykazały przy zdetonowaniu ładunku o masie 24 kg poziom ciśnienia akustycznego w granicach 276 dB.
- **Wbijanie fundamentów pod morskie elektrownie wiatrowe.** Stawianie morskich elektrowni wiatrowych generuje hałas na różnych etapach budowy, natomiast największe jego źródło rejestruje się w czasie wbijania fundamentów w dno morskie. Do instalacji fundamentów wykorzystywany jest zazwyczaj młot udarowy lub hydrauliczny, który z odpowiednią siłą uderza w element konstrukcji, wbijając go w dno morskie (liczba uderzeń może wynieść nawet 40 na minutę). Pomiary hałasu podwodnego wykonane podczas prac związanych z wbijaniem fundamentów wykazały, że jego natężenie może dochodzić do 180 dB re 1 μ Pa s przy pojedynczym uderzeniu.

Hałas podwodny a echolokacja u morświnów

Morświny do orientacji w przestrzeni oraz poszukiwania pokarmu posługują się słuchem – systemem echolokacji. System generowania i odbierania dźwięków o częstotliwości około 120-130 kHz, zwanych potocznie „klikami” jest wyjątkowo czuły, dzięki czemu zwierzęta te mogą precyzyjnie lokalizować przeszkody oraz zdobycz. Jednocześnie jest on podstawowym zmysłem tych zwierząt. Ze względu na wysoką czułość tego systemu, morświny są bardzo wrażliwe na dźwięki pochodzące ze środowiska. Nawet nieznaczny hałas ma wpływ na te zwierzęta, powodując płoszenie, wpływając na ich zachowanie, komunikację międzysobniczą, zdolność polowania oraz rozpoznawania przeszkód. Intensywny hałas, generowany w czasie detonacji lub wbijania fundamentów pod morskie elektrownie wiatrowe, może powodować m.in.: trwałe wypłoszenie z siedliska, utrudniony dostęp do pokarmu, utratę kontaktu samicy z karmionym mlekiem potomstwem, oddzielenie osobników od grupy, uszkodzenie aparatu słuchowego czy wręcz bezpośrednią śmierć.

Ciekawostka: do czego mogą się przydać badania podwodnych dźwięków?

Śledzie, *Clupea harengus* żyją w gigantycznych ławicach wysokich na 10-20 m i zajmujących powierzchnię kilku kilometrów kwadratowych. Mają też specyficzny sposób komunikacji dzięki unikalnemu połączeniu pęcherza pławnego z kanałem odbytu. Kiedy śledź ściśnie pęcherz pławny, z jego odbytu wylatuje niewielka ilość bąbelków, a dźwięk im towarzyszący przypomina odgłos smażenia bekonu. Dźwięki te zostały nazwane przez naukowców Powtarzalnymi Raptownymi Dźwiękami (PRD) i są wydawane przez śledzie w momencie, gdy ryby te są przestraszone, a także w celu utrzymania integralności ławicy, kierowania sąsiadów w odpowiednim kierunku i unikania drapieżników. Z drugiej jednak strony taki sposób komunikacji w ławicy śledzi może ułatwić ssakom morskim ich lokalizację. Dźwięki te w latach 90. XX wieku, kiedy jeszcze nie były zidentyfikowane, stały się źródłem kryzysu dyplomatycznego między Szwecją i Rosją. Szwedzi byli wówczas przekonani, że zarejestrowane przez nich dźwięki pochodziły z rosyjskich okrętów podwodnych.

Spektrogram – inaczej **sonogram**, to graficzne przedstawianie dźwięków. Na wykresie spektrogramu widać częstotliwość w funkcji czasu, gdzie różne natężenie częstotliwości jest przedstawione w różnych kolorach lub odcieniach.

Materiały źródłowe:

- Aktualizacja wstępnej oceny stanu środowiska wód morskich. GIOŚ 2018.
- Andersson M.H., Andersson S., Ahlsén J., Andersson B.L., Hammar J., Persson L.K.G., Pihl J., Sigray P., Wikström A. 2016. Framework for Regulating Underwater Noise During Pile Driving. A technical Vindval report, ISBN 978-91-620-6775-5, Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm, Sweden.
- Bagočius D. 2013. Underwater noise generated by the detonation of historical ordnance in the Baltic Sea, Lithuania: potential ecological impacts on marine life. *Baltica*, 26 (2) 187–192. Vilnius. ISSN 0067–3064.
- Górski W., Koza R., Pawliczka I. 2019. Instrukcja minimalizowania hałasu podwodnego jako istotnego zagrożenia dla morświna *Phocoena phocoena* w Morzu Bałtyckim. Raport dla Fundacji WWF Polska.
- Klusek Z. 2015. Pola hałasów antropogenicznych i szumów w Bałtyku, ich unikalne charakterystyki, prognozy trendów i potencjalnego wpływu na organizmy morskie. Krajowa Konferencja Naukowa „BAŁTYK 2015”, Sopot, Polska, 2015.
- Mustonen M., Klauson A., Andersson M., Clorennec D., Folegot T., Koza R., Pajala J., Persson L., Tegowski J., Tougaard J., Wahlberg M. Sigray P. 2019. Spatial and Temporal Variability of Ambient Underwater Sound in the Baltic Sea, *Sci. Rep.* 9, 13237.
- Richardson W.J., Greene C.R., Malme C.I., Thompson D.H. 1995. *Marine Mammals and Noise*. Academic Press, San Diego, California.
- Wahlberg M., Westerberg H. 2003. Sounds produced by herring (*Clupea harengus*) bubble release. *Aquatic Living Resources-AQUAT LIVING RESOUR.* 16. 271-275.

Netografia:

- Aktualizacja wstępnej oceny stanu środowiska wód morskich: https://rdsm.gios.gov.pl/images/aktualizacja_wstepnej_oceny_stanu_srodowiska_wod_morskich.pdf Dostęp: 21.04.2023 r.
- Podwodny hałas szkodzi zwierzętom morskim https://frug.ug.edu.pl/wp-content/uploads/2016/12/podwony_halas_20161.pdf Dostęp: 21.04.2023 r.
- Discovery of Sound in the Sea: <https://dosits.org/> Dostęp: 21.04.2023 r.
- Acoustics and Vibration Animations: <https://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/waves-intro/waves-intro.html> Dostęp: 21.04.2023 r.
- Sound is a Mechanical Wave: <https://www.physicsclassroom.com/class/sound/Lesson-1/Sound-is-a-Mechanical-Wave> Dostęp: 21.04.2023 r.

TEMAT 6: Zmiany klimatyczne i ich wpływ na bioróżnorodność Bałtyku

1. Wstęp

Pogoda jest to stan atmosfery w danej chwili i na danym obszarze, zaś klimat to parametry pogody (takie jak temperatura, wiatry, ilość opadów itd.) uśrednione na podstawie długoletnich obserwacji. Codziennie rano, zanim wyjdziemy do szkoły czy pracy, wyglądamy przez okno, żeby sprawdzić, jaka jest pogoda. Jednak mimo że w naszym kraju nadal występują cztery pory roku, nie są one tak charakterystyczne jak niegdyś. Dzieje się tak z powodu ocieplania się klimatu. Zmiany klimatu nie są zjawiskiem nowym, występują one na naszej planecie od samego jej powstania, czyli od około 4,6 miliarda lat. Klimat kształtują takie czynniki jak: **aktywność Słońca, lokalne zmiany nasłonecznienia, kształt i położenie kontynentów, aktywność wulkaniczna, skład atmosfery czy prądy oceaniczne**. Wpływają one na jego oziębienie lub ocieplenie.

Wiemy, że wieki IX–XIII były okresem „średniowiecznego ocieplenia klimatu”, gdy Wikingowie zasiedlili Grenlandię. Z kolei wieki XV–XVIII to czas tzw. „małej epoki lodowcowej”. Jednakże aż do lat 50. XX wieku zmiany te wynikały głównie z aktywności Słońca i następowały na przestrzeni setek tysięcy lat, zaś obecnie zmiany można zaobserwować w ciągu zaledwie kilkudziesięciu lat. Dlaczego tak się dzieje? Mimo, że aktywność Słońca maleje, każdy rok po 1956 był cieplejszy, a 10 najgorętszych lat zanotowano w ciągu ostatniego 15-lecia. Jak wskazują naukowcy, na klimat naszej planety zaczęły więc wpływać inne czynniki niż Słońce.

2. Efekt cieplarniany

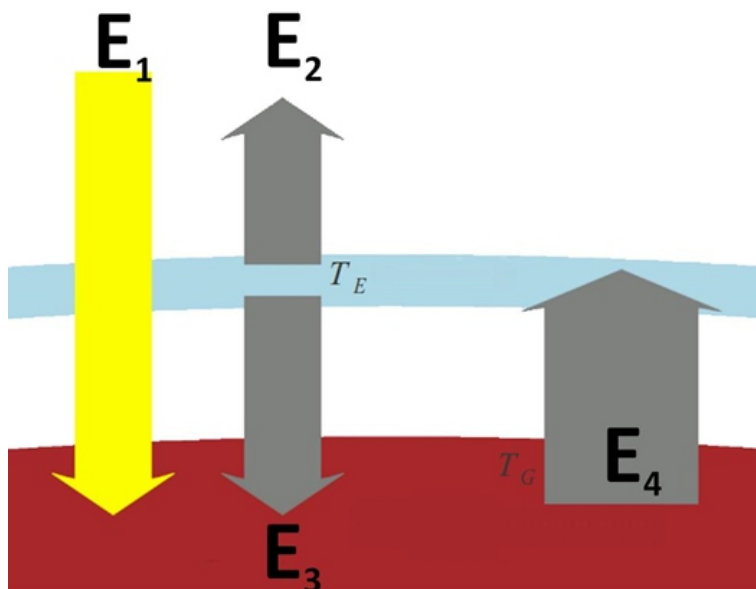
Jednym ze wspomnianych wcześniej czynników wpływających na klimat jest skład atmosfery. Atmosfera ziemska jest niemal przezroczysta dla **promieniowania słonecznego** i niemal nieprzezroczysta dla **promieniowania termicznego** (podczerwonego) oddawanego przez powierzchnię Ziemi. Oznacza to, że energia słoneczna dociera do nas bez przeszkód, zaś promieniowanie podczerwone nie może przedostać się do przestrzeni kosmicznej. W konsekwencji temperatura atmosfery i powierzchni Ziemi wzrasta.

Za tę sytuację odpowiadają tzw. **gazy cieplarniane** (para wodna, dwutlenek węgla, podtlenek azotu, metale i inne). Jest ich w atmosferze relatywnie niewiele, jednak efekt ich działania jest istotny – to one pochłaniają promieniowanie długofalowe, utrudniając wypromieniowanie energii.

Zjawisko to nazywa się **efektem cieplarnianym** i jest spowodowane zarówno procesami naturalnymi, jak i działalnością człowieka (spalanie paliw kopalnych, stosowanie nawozów azotowych, hodowla bydła, składowanie odpadów, używanie gazów fluorowanych w przemyśle itp.). Zjawisko to opisał, badając bilans energetyczny Ziemi i zdając sobie sprawę z istnienia promieniowania długofalowego, francuski fizyk Joseph Fourier już w 1824 roku.

Z punktu widzenia obserwatora w kosmosie można zaobserwować dwa strumienie energii: promieniowania słonecznego, pochłanianego przez planetę (E1) i promieniowania w podczerwieni

emitowanego przez nią (E_2). W stanie równowagi wartość obydwu strumieni jest taka sama ($E_1=E_2$). Jednak „szyba”, czyli atmosfera zatrzymuje część promieniowania termicznego, w wyniku czego nagrzewa się powietrze i ziemia.



Źródło: Nauka o klimacie dla sceptycznych. Schematyczne przedstawienie efektu cieplarnianego za pomocą tzw. „modelu szyby”. <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/efekt-cieplarniany-jak-to-dziala-70/> Dostęp: 08.04.2023 r.

3. Gazy cieplarniane – rodzaje, źródła i znaczenie

Spośród obecnych w atmosferze ziemskiej gazów szklarniowych to **para wodna** ma największy wpływ na efekt cieplarniany. Jej zawartość w atmosferze mieści się w granicach od 40% do 95%, a uzależniona jest od cyklu krążenia wody w środowisku, dlatego zmienia się w czasie oraz jest inna w różnych rejonach. Para wodna odpowiada za efekt cieplarniany aż w 95%, ale jej obecność w atmosferze prawie zupełnie nie zależy od nas i naszej działalności.

Kolejny gaz w dużym stopniu wpływający na powstawanie efektu cieplarnianego to **dwutlenek węgla (CO_2)**. Ten pochodzenia naturalnego stanowi wielokrotność tego produkowanego przy okazji działalności człowieka, ale mimo to, to ten pochodzenia antropogenicznego stanowi główną przyczynę powstawania efektu cieplarnianego. Obecność CO_2 w powietrzu jest zjawiskiem naturalnym – jest on uwalniany podczas oddychania i pobierany podczas fotosyntezy. Niestety, choć początkowo jego obecność w atmosferze była niemal śladowa, to od czasu rewolucji przemysłowej jego stężenie wzrosło z niespełna 10% do ok. 30%. W okresie tym, obejmującym wiek XVIII i wczesny wiek XIX, mieszkańcy Wielkiej Brytanii po wycięciu większości lasów, sięgnęli po węgiel kamienny. Zaczęli wówczas wykorzystywać coraz częściej i efektywniej maszyny parowe opalane tym właśnie paliwem. W efekcie światowa emisja dwutlenku węgla w tym czasie wzrosła znacząco.

Podtlenek azotu (N_2O), podobnie jak dwutlenek węgla, powstaje głównie na skutek naturalnych procesów. Jest wytwarzany przez lasy deszczowe, oceany i bakterie glebowe, jednak pewien jego procent ma pochodzenie antropogeniczne. Wówczas jego źródłem są nawozy azotowe, spalanie paliw kopalnych oraz produkcja niektórych środków chemicznych. Tak samo, jak w przypadku CO_2 , zawartość N_2O w powietrzu wzrosła od czasu rewolucji przemysłowej (o około 16%).

Metan (CH_4) to kolejny gaz cieplarniany produkowany nie tylko podczas procesów naturalnych, ale również w wyniku działalności człowieka. Naturalnie wytwarzają go głównie bakterie, ale także bagna i oceany. Źródła metanu związane z działalnością człowieka to głównie wydobywanie i spalanie paliw kopalnych, hodowla bydła, uprawa ryżu oraz składowanie odpadów. Gaz ten jest wydalany: przez bydło w odchodach, w zalanych poletkach ryżu (tu następuje beztlenowy rozkład materii organicznej), na składowiskach odpadów, gdzie w warunkach niedoboru tlenu jest on wydzielany do atmosfery. Metan w porównaniu do dwutlenku węgla zatrzymuje ciepło w dużo większym stopniu, ale jego czas trwania jest krótszy w porównaniu z innymi gazami szklarniowymi. Metan utrzymuje się bowiem w atmosferze zaledwie około 10 lat (dwutlenek węgla nawet 1000 lat!).

Fluorowane gazy cieplarniane to **HFC** (wodorofluorowęglowodory), **SF₆** (sześćfluorek siarki), **PFC** (prefluorowęglowodory) oraz **CFC** (chlorofluorowęglowodory). Są to gazy, które powstają jedynie w trakcie procesów przemysłowych, nie występują naturalnie, lecz ich źródłem jest działalność człowieka. HFC stosowane są w urządzeniach chłodniczych, np. w klimatyzatorach. SF₆ używany jest m.in. w przemyśle elektronicznym, podobnie jak PFC, aczkolwiek gazów tych używa się również do produkcji aluminium. CFC, czyli freony, stosowane są w aerozolach, dezodorantach, przemyśle samochodowym oraz chłodniczym. Aktualnie produkcja CFC jest ograniczana także dlatego, że są one nie tylko gazami szklarniowymi, ale również przyczyniają się do uszkodzenia warstwy ozonowej. Wszystkie fluorowane gazy cieplarniane stanowią bardzo duże zagrożenie, gdyż ich zdolność wiązania ciepła jest bardzo wysoka. Co więcej, mają one długi czas trwania, tj. mogą pozostać w atmosferze przez tysiące lat.

4. Widoczne przejawy zmian klimatycznych

Ze zmianami klimatu związanych jest wiele zjawisk, które są szeroko dyskutowane także na międzynarodowych forach politycznych. Należą do nich:

- **topnienie lodowców** – znikają lodowce w różnych częściach świata; np. w Glacier National Park w Montanie ze 150 lodowców (rok 1850) pozostało zaledwie 27;
- **zanik rzek (tzw. kryzys wodny)** spowodowany zanikaniem lodowców – lodowce gromadzą wodę przy wzmożonych opadach, a oddają ją intensywniej w porze cieplej, dzięki temu rzeki (mimo braku deszczu) nie wysychają;
- **topnienie lodów** Arktyki, Antarktydy i Grenlandii – lód odbija około 90% energii świetlnej, a pochłania 10%; zaś woda pochłania aż do 90% energii; następuje tzw. sprzężenie zwrotne: wody pochłaniają coraz więcej promieni słonecznych, co przyspiesza tempo ocieplania się morza i topienia się lodu;
- **rozmarzanie wiecznej zmarzliny** – rozmarzanie kilku milionów km² powierzchni wiecznej

zmarzliny uwolni zahibernowane w niej bakterie, które wyprodukowały miliardy ton metanu (CH₄) i dwutlenku węgla (CO₂);

- **wzrost poziomu oceanów** – spowodowany przez topnienie lodowców oraz termiczne rozszerzanie się wody wywoływane przez wzrost jej temperatury;
- **wzrost kwasowości wód** – wzrost ilości CO₂ w atmosferze powoduje jego rozpuszczanie w wodzie, co zagraża wielu organizmów (rafy koralowe, małże);
- **silniejsze wiatry, fale upałów, susza, pustynnienie, powodzie, burze etc.**

5. Zmiany klimatyczne na obszarze Morza Bałtyckiego

Z danych przedstawionych przez IMGW – PIB wynika, że w latach 1861-2000 temperatura powietrza w basenie Morza Bałtyckiego rosła średnio o około 0,11°C/10 lat (na północ od 60°N) oraz o około 0,08°C/10 lat (na południe od 60°N). W tym samym czasie globalna wartość wzrostu wyniosła ok. 0,05°C/10 lat. Zmiany wynikające z ocieplenia klimatu na obszarze Morza Bałtyckiego będą najprawdopodobniej dotyczyć głównie: **temperatury powietrza i wody, opadów deszczu i śniegu, zasolenia, wiatru, pokrywy lodowej oraz poziomu morza i wezbrań sztormowych.**

Przewidywany jest wzrost temperatury powietrza o 2-4°C. Najbardziej pesymistyczne scenariusze zakładają, że wzrost temperatury powietrza w XXI wieku na omawianym obszarze przyjmie wartość nawet 5°C, zaś optymistyczny scenariusz przewiduje wzrost o ok. 1°C. Prognozuje się, że największe ocieplenie dotyczące okresu letniego dotyczy południowego Bałtyku, ocieplenie w sezonie zimowym dotknie najintensywniej część wschodnią i północną naszego morza. Prognozy zakładają niezbyt znaczący wzrost opadów zimą oraz wyraźne zmniejszenie się ilości opadów na południu akwenu w czasie lata, zaś w przypadku wiatrów modele wskazują na niewielki wzrost prędkości wiatrów występujących na tym obszarze. Jednakże dla północnego obszaru Morza Bałtyckiego (Zatoka Botnicka) przewiduje się wzrost opadów o ok. 30%, co spowoduje wzrost splotu materii powierzchniowej i zanieczyszczeń organicznych, a także zmniejszone zasolenie wód. Ponadto prognozy wskazują, że wystąpi wzrost temperatury wody w Bałtyku oraz spadek zasolenia (wywołany wzrostem ilości opadów i odpływu rzecznoego) i zmniejszanie się pokrywy lodowej.

Szacowany wzrost poziomu wód w Bałtyku to 0,6-1,1 m, jednakże Europejska Agencja Środowiskowa (EEA) w raporcie z 2020 roku wskazuje, że wzrost poziomu mórz europejskich wynieść może nawet prawie 2,5 m zważywszy na wzrost tempa dezintegracji czap polarnych. Należy podkreślić, że wzrost poziomu wody Bałtyku koreluje ze zwiększającą się częstotliwością wezbrań sztormowych. Aktualnie obserwuje się tempo zmian poziomu wód Morza Bałtyckiego w granicach od 1,82 cm/10 lat w Świnoujściu do 2,12 cm/10 lat we Władysławowie. Prognozuje się, że wielkość opadów śniegu znacznie się obniży, podobnie jak zasięg pokrywy lodowej na Bałtyku.

6. Wpływ zmian klimatu na ekosystem Morza Bałtyckiego

Spośród zachodzących zmian klimatu największy wpływ na Bałtyk i życie jego mieszkańców będą miały najpewniej dwa czynniki: wzrost temperatury powietrza i wód oraz zwiększone opady atmosferyczne. Rosnąca temperatura powietrza prawdopodobnie przyczyni się do skurczenia się pokrywy lodowej, wskutek czego zmniejszy się obszar, na którym foka obrączkowana zwana nerpą (gatunek zimnolubny) może się rozradzać. Aby wydać na świat potomstwo, musi ona bowiem zbudować jamę na gromadzących się pakach lodowych.

Wzrastająca temperatura wody przyczynić się może z kolei m.in. do powstania zmian w składzie gatunkowym fitoplanktonu. Zakwity wiosenne zostaną zdominowane przez bruzdnice, wzrośnie także zakwit sinic. Do intensywnych zakwitów sinic w związku ze zmianami klimatu dochodzić będzie także z powodu większych i częstszych opadów atmosferycznych. Wraz z padającymi deszczami do Bałtyku dotrze wówczas więcej substancji zawierających azot i fosfor, a to one są kluczowe dla rozwoju tych mikroorganizmów. Intensywne zakwity sinic wywołają spadek zawartości tlenu w wodzie. Dopływający zaś wraz ze spływami powierzchniowymi węgiel organiczny zmniejszy ilość dostępnego dla fitoplanktonu światła słonecznego, tym samym wzmagając produkcję bakterii. Zwiększony dopływ wód słodkich spowodować może także dalszy spadek zasolenia, co bardzo odczuwają ryby morskie np. dorsze. Do efektywnego rozrodu potrzebują one dobrze zasolonej i natlenionej wody. Wyższa temperatura wody, niższa zawartość tlenu przy dnie i niższe zasolenie wpłyną także negatywnie na gatunki bentosowe, takie jak podwój wielki czy pontoporeja czarnooka. Zmiany klimatyczne mogą wpłynąć na siedliska, w których bytują ptaki poprzez podniesienie poziomu morza, zmniejszenie zasięgu pokrywy lodowej, wezbrania sztormowe i erozję. W efekcie może zmienić się rozmieszczenie i liczebność ptaków wodnych zimujących na Bałtyku, np. birginiaka.

Wpływ zmian klimatu na ekosystem Bałtyku



Materiały źródłowe:

- Mordawski J., 2008. Geografia Kaszub. Zrzeszenie Kaszubsko-Pomorskie. Gdańsk.
- Woś A. 1999. Klimat Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.

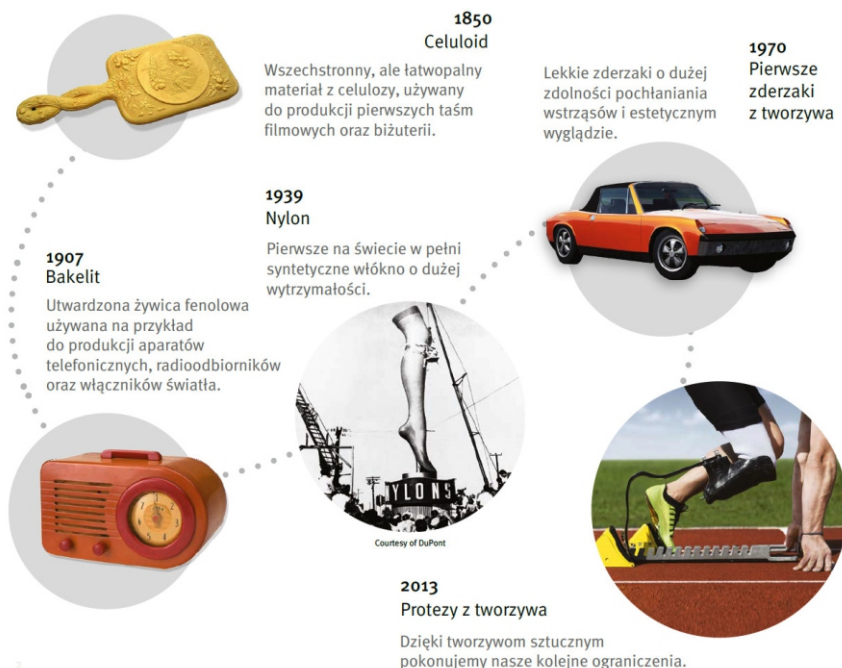
Netografia:

- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/> Dostęp: 24.03.2023 r.
- Klimat Hel (Polska). Climate Data.org: <https://pl.climate-data.org/europa/polska/pomeranian-voivodeship/hel-46935/> Dostęp: 11.04.2023 r.
- Marosz M. Czy Bałtyk może być ciepłym morzem? Obserwator. Magazyn popularnonaukowy IMGW-PIB: <https://obserwator.imgw.pl/czy-baltyk-moze-byc-cieplym-morzem/> Dostęp: 24.03.2023 r.
- Popkiewicz M., Kardas A., Malinowski Sz. Efekt cieplarniany - jak to działa. Nauka o klimacie dla sceptycznych: <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/efekt-cieplarniany-jak-to-dziala-70/> Dostęp: 08.04.2023 r.
- Przyjaciele klimatu. Edukacja Ekologiczna. Portal Gov.pl: <https://www.gov.pl/web/edukacja-ekologiczna/przyjaciele-klimatu> Dostęp: 24.03.2023 r.
- Szokalska A. 2020. Rocznik meteorologiczny 2020. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowy Instytut Badawczy. Warszawa: [https://danepubliczne.imgw.pl/data/dane_pomiarowo_obserwacyjne/Roczniki/Rocznik meteorologiczny/Rocznik Meteorologiczny 2020.pdf](https://danepubliczne.imgw.pl/data/dane_pomiarowo_obserwacyjne/Roczniki/Rocznik%20meteorologiczny/Rocznik%20Meteorologiczny%202020.pdf) Dostęp: 24.03.2023 r.
- Zalewska T., Jakusik E. 2020. Warunki meteorologiczne i hydrologiczne oraz charakterystyka elementów fizycznych, chemicznych i biologicznych Południowego Bałtyku w 2018 roku. IMGW-PIB. Warszawa: https://www.imgw.pl/sites/default/files/2020-08/imgw-baltyk-monografia_final.pdf Dostęp: 24.03.2023 r.

TEMAT 7: Zanieczyszczenie Morza Bałtyckiego plastikowymi odpadami

1. Historia

Tworzywa sztuczne, zwane również potocznie plastikami, są stosunkowo nowym materiałem, wprowadzonym do produkcji przemysłowej w roku **1907**. Wówczas belgijski chemik **Leo H. Baekeland** stworzył i opatentował pierwsze w pełni syntetyczne tworzywo sztuczne – **bakelit**. Produkcję innych powszechnie dziś używanych tworzyw sztucznych, takich jak **polistyren** czy **polichlorek winylu**, rozpoczęto w latach 30. XX wieku. Dziś są one wszechobecne w produktach przemysłowych czy konsumpcyjnych i trudno wyobrazić sobie bez nich nowoczesne życie. Swoją sukces na rynkach całego świata zawdzięczają specyficznym właściwościom. Tworzywa sztuczne są **trwałe**, **elastyczne** lub **odporne** na rozciąganie i działanie czynników zewnętrznych, **wytrzymałe**, **lekkie**, **łatwe** i **tanie** w produkcji oraz transporcie. Niestety te same cechy, które sprawiają, że są one tak przydatne i powszechne, powodują trudności w usuwaniu plastikowych odpadów. Współcześnie produkowane tworzywa sztuczne efektywnie konkurują wytrzymałością i funkcjonalnością z materiałami takimi jak: drewno, papier, metal, szkło, czy skóra i skutecznie wypierają je z powszechnego użytku.



Źródło: Tworzywa sztuczne – Fakty 2013. Analiza produkcji, zapotrzebowania oraz odzysku tworzyw sztucznych w Europie. Plastics Europe. Stowarzyszenie Producentów Tworzyw Sztucznych: <https://plasticseurope.org/>
Dostęp: 10.04.2023 r.

2. Światowa produkcja tworzyw sztucznych

Wszechstronność użytkowania tworzyw sztucznych, możliwość ich wzbogacania substancjami poprawiającymi ich walory oraz barwienia sprawiają, że z plastiku można zrobić niemal wszystko. Dlatego też na świecie corocznie produkuje się coraz więcej tworzyw sztucznych.



rok	produkcja
1950	1,7
1976	47
1989	99
2002	204
2009	250
2010	270
2011	280
2012	288
2013	299
2014	311
2015	322
2016	335
2017	348
2018	365
2019	375
2020	375,5
2021	390,7

Źródło: Na podstawie: Tworzywa sztuczne – Fakty 2013-2022. Analiza produkcji, zapotrzebowania oraz odzysku tworzyw sztucznych w Europie. Plastics Europe. Stowarzyszenie Producentów Tworzyw Sztucznych: <https://plasticseurope.org/> Dostęp: 10.04.2023 r.

3. Rodzaje tworzyw sztucznych i przykłady ich zastosowania w życiu codziennym

Współcześnie znanych jest kilkadziesiąt grup tworzyw sztucznych, jednak do kategorii tzw. tworzyw wielkotonażowych, czyli produkowanych masowo, zaliczamy: polietylen (PE) czasami różnicowany na materiał o niskiej gęstości (LDPE) i wysokiej gęstości (HDPE), polipropylen (PP), polichlorek winylu (PVC), polistyren (PS) oraz politereftalan etylenu (PET).

Najpopularniejsze zastosowania tworzyw sztucznych:

- **polietylen (PE)** – przedmioty używane w gospodarstwie domowym, woreczki, folie, wiadra, pojemniki na płyny, kosmetyki i oleje, protezy ortopedyczne, osłonki do kwiatów, folia tzw. "bąbelkowa", zabawki;
- **polipropylen (PP)** – pojemniki na żywność (tzw. śniadaniówki), zabawki, nakrętki do butelek, słomki do napojów, opakowania na cukierki i ciastka, pojemniki na jogurty, talerzyki turystyczne, strzykawki, sprzęt medyczny, naczynia laboratoryjne, opakowania leków, izolacje kabli i przewodów;
- **polistyren (PS)** – opakowania na wynos, sztuczna biżuteria, opakowania płyt kompaktowych, szczoteczki do zębów, styropian, elementy zabawek, wypełniacze do paczek;
- **politereftalan etylenu (PET)** – butelki do wody i napojów, włókna do produkcji tkaniny polartec (koce, bluzy, kurtki);
- **polichlorek winylu (PVC)** – rury do wykonywania domowych instalacji wodno-kanalizacyjnych, wykładziny podłogowe, stolarka okienna, karty płytnicze, syntetyczna skóra np. do produkcji torebek i butów;
- **akrylonitryl-butadien-styren (ABS)** – nadkola i kratownice w samochodach, sprzęt sportowy, części mebli, obudowy sprzętu AGD i urządzeń elektronicznych, przyciski funkcyjne;
- **poliacetal (POC)** – śruby, nakrętki, koła zębate, elementy urządzeń AGD;
- **poliwęglan (PC)** – szyby w samolotach, świetliki dachowe, butelki dla niemowląt, szybki w kaskach astronautów, szyby w batyskafach, płyty CD;
- **pleksiglas = polimetakrylan metylu (PMMA)** – okna/szyby autobusów, szklarnie, ekrany akustyczne i antytermiczne, światłowody.

4. Mikro- i makroplastik

Tworzywa sztuczne, czyli tzw. plastiki, są substancjami wytwarzanymi jedynie przez ludzi, nie występują one naturalnie w przyrodzie. Są makrocząsteczkami, czyli **polimerami** złożonymi z wielu połączonych ze sobą (w procesie **polimeryzacji**) **monomerów**. Ich źródłem mogą być surowce takie jak: **ropa naftowa**, **olej rzepakowy**, **skrobia**, czy **kwas mlekowy**. Częsteczki tworzyw sztucznych o średnicy mniejszej niż 5 mm określa się mianem **mikroplastików**. Ze względu na źródło możemy podzielić cząsteczki mikroplastiku na **pierwotne** i **wtórne**.

Mikroplastiki pierwotne produkowane są takiej wielkości, aby docelowo stać się składnikiem wielu kosmetyków lub środków czyszczących, stanowiąc w nich element ścierny. Niestety, z całą

pewnością ostatecznie trafiają one do morza, stanowiąc do ok. 20% wszystkich mikroplastików w danym akwenu. Wśród najważniejszych produktów codziennego użytku, do których dodaje się mikroplastiki pierwotne znajdują się:

- pasty do zębów,
- żele pod prysznic,
- peelingi do ciała,
- kosmetyki do makijażu itp.

Mikrogranulki dodaje się po to, by poprawić właściwości tych kosmetyków, takie jak złuszczenie czy nadawanie połysku. Plastikowe mikrogranulki dodaje się także do wielu **detergentów**, by zwiększyć ich powierzchnię aktywną, jak również do **lekarstw**, zwłaszcza w formie żelu czy emulsji.

Mikroplastiki wtórne pochodzą z rozpadu większych plastikowych elementów, takich jak np. jednorazowe naczynia i sztucce, butelki, foliowe torebki, słomki i inne odpady, ale także przedmioty codziennego użytku wykonane z tworzyw sztucznych. Plastik bowiem, poza tym, że jest wytrzymały i trwały, z czasem ulega degradacji, kruszeje. Proces ten zachodzi pod wpływem szeregu oddziaływań fizycznych, chemicznych i biologicznych takich jak: **promieniowanie UV**, **wysoka temperatura**, **zasolenie wody** i **działanie fal morskich**. Dotyczy on zarówno przedmiotów, których codziennie używamy, jak i zalegających w środowisku odpadów. Powstałe w procesie degradacji drobinki plastikowe dostają się do kurzu domowego (z zasłon, tapicerki, dywanów, sprzętu rtv), tak więc, gdy sprzątną mieszkanie i wylewamy wodę, wraz z nią wylewamy do kanalizacji mikroproszek. Również pranie jest istotnym źródłem mikroplastików, podobnie jak budownictwo, transport, żegluga, rybołówstwo i inne.

4. Losy plastikowych odpadów w morzach i oceanach

Niektóre trafiające do mórz i oceanów odpady są dość nietrwałe. Czas ich rozkładu waha się od kilku tygodni do kilkunastu miesięcy. Niestety, polimery syntetyczne tworzące plastik są niezwykle trwałe, a gdy plastikowy odpad trafia do oceanu, jego rozkład staje się wolniejszy niż na lądzie, gdzie poddawany jest utlenianiu termicznemu. Dlatego też **tworzywa sztuczne** mogą zalegać na dnie morza nawet **kilkaset lat**, a niektóre z nich być może nie rozłożą się nigdy. W związku z masową produkcją plastiku, finalnie w ogromnych ilościach trafia on do środowiska jako odpad. Szacuje się, że rocznie do mórz i oceanów dociera nawet **12 mln ton** plastikowych odpadów, które unoszą się w morskiej toni, pływają po powierzchni lub osiadają na dnie.

Największe plastikowe odpady, czyli tzw. **makroplastik** to najczęściej zabawki, plastikowe krzesła, butelki i kanistry, obuwie i części samochodów, statków, samolotów. Bardzo ważną i dużą część makroodpadów plastikowych stanowią porzucone lub zagubione **rybackie sieci**, dryfujące w morzach i oceanach. Mogą one latami trwać i unosząc się w toni wodnej "łowić" zwierzęta i różne odpady (głównie plastik). Z czasem opadają na dno, by tam zalegać kilkadziesiąt lat. Nim tak się jednak stanie stanowią poważne zagrożenie dla fauny morskiej, która się w nie zaplątuje i ginie w wyniku uduszenia (foki, morświny, ptaki, żółwie). Plastikowe makroodpady bywają też **mylone**

z pokarmem. Niektóre ptaki morskie połykają dryfujące na powierzchni plastikowe śmieci, ale nie są w stanie ich strawić – finalnie, mimo pełnego żołądka, umierają z głodu.

Drobne fragmenty plastikowych odpadów tworzą w wodzie zawiesinę, zmniejszając jej przezroczystość i ograniczając przenikalność promieni słonecznych niezbędnych roślinom do wytwarzania pokarmu w procesie fotosyntezy. Drobne cząsteczki plastiku są też włączane w morską sieć troficzną: bywają zjadane przez zooplankton, ten stanowi pokarm dla ryb, a następnie ssaków morskich oraz ludzi. Włączony do sieci troficznej mikroplastik oddziałuje na organizmy na różnych jej poziomach. Poniżej wymieniono przykładowe efekty tych oddziaływań na poszczególne grupy organizmów.

- **Fitoplankton** – spadek efektywności fotosyntezy, uszkodzenie wici.
- **Bezkęgowce** – spadek intensywności odżywiania, obniżenie płodności, zwiększenie śmiertelności, spadek lub wzrost tempa filtracji u małży, transport zanieczyszczeń do tkanek, wpływ na bilans energetyczny (usuwanie mikroplastiku z organizmu to spory wydatek energetyczny dla zwierzęcia), spadek masy ciała.
- **Ryby** – blokada przewodu pokarmowego, co w konsekwencji prowadzi do utrudnienia odżywiania, następnie do spadku wartości energetycznej pokarmu i spadku kondycji; wychwytywanie mikroplastiku przez skrzela, co prowadzi do ich uszkodzenia lub problemów z oddychaniem.

Badania prowadzone na obszarze zlewiska Morza Bałtyckiego wykazały, że corocznie **130 ton** mikrocząstek plastikowych z produktów do pielęgnacji ciała trafia do wód ściekowych, a z powodu niewystarczającej efektywności oczyszczania ścieków do Bałtyku dociera nawet **40 ton** mikroplastików rocznie.

5. Mikroplastik jako środek transportu oraz baza do kolonizacji

Plastiki są tworzywami sztucznymi zbudowanymi z polimerów, do których dodaje się związki chemiczne mające poprawić ich właściwości. Podczas użytkowania plastików związki te poprawiają ich walory użytkowe, w tym także wygląd. Niestety, ostatecznie, dostając się do środowiska, mogą stanowić spore zagrożenie, ponieważ nie są wbudowane w polimer, ale dodane do niego i łatwo się zeń uwalniają. Do substancji tych zaliczamy m.in. **ftalany, polibromowane difenyletery (PBDE)** czy **polichlorowane bifenyle (PCB)**, a także **styreny** stanowiące bazę do produkcji **polistyrenu** czy wielopierścieniowe **węglowodory aromatyczne (PAH)**.

Ponadto mikroplastik, dostając się do środowiska wodnego, może stać się środkiem transportu dla różnego typu zanieczyszczeń w nim występujących. Tworzywa sztuczne posiadają bowiem właściwości hydrofobowe - odpychając wodę, przyciągają inne znajdujące się w niej cząsteczki, takie jak związki ołowiu czy niklu. Takie „obrośnięte” zanieczyszczeniami drobinki mikroplastiku są zjadane przez różne organizmy i dostając się do ich komórek, czy tkanek, wywołując wspomniane wcześniej negatywne efekty.

Mikroplastik w morzach i oceanach jest także kolonizowany przez mikroorganizmy (glony, grzyby, okrzemki, bakterie itp.), które na jego powierzchni tworzą relatywnie cienką warstwę życia, zwaną **plastisferą**. Poszczególne gatunki pojawiają się na powierzchni plastiku w różnym czasie (pierwsze nawet już po kilku godzinach) i z czasem tworzą odrębny, samowystarczalny układ, mały ekosystem. Jest on bardzo zróżnicowany, także pod względem taksonomicznym. Na jednej drobinie może żyć nawet ponad 1000 różnych gatunków! Można więc powiedzieć, że mikroplastik to nowe siedlisko pochodzenia antropogenicznego, które kolonizowane jest przez różne organizmy, w tym także patogeny. W ten sposób organizmy chorobotwórcze (np. *Vibrio*, *Escherichia coli*) są transportowane i mogą trafić do ciał skorupiaków, ryb i ssaków morskich, a także ludzi.

Materiały źródłowe:

- Amaral-Zettler L. A., Zettler E., Mincer T. J. 2020. Ecology of the plastisphere. *Nature Reviews Microbiology*. 18, 139-151.
- Bergmann M., Gutow L., Klages M. Editors. 2015. *Marine Anthropogenic Litter*. Springer Open Access.
- Browne et. al. 2015. Sources and pathways of microplastics to habitats. Springer International Publishing, 229-244.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/904 z dnia 5 czerwca 2019 w sprawie zmniejszenia wpływu niektórych produktów z tworzyw sztucznych na środowisko.
- Lassen, C., Hansen, S. F., Magnusson, K., Hartmann, N. B., Rehne Jensen, P., Nielsen, T. G., & Brinch, A. (2015). *Microplastics: Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark*. Danish Environmental Protection Agency.
- Migdał A. R. i in. "Odzysk energetyczny materiałów odpadowych z tworzyw sztucznych" w *CHEMIK* 2014. 68, 12, 1056–1073.
- *Tworzywa sztuczne – Fakty 2013-2022. Analiza produkcji, zapotrzebowania oraz odzysku tworzyw sztucznych w Europie*. Plastics Europe. Stowarzyszenie Producentów Tworzyw Sztucznych.
- Urban-Malinga B. 2020. Plastik – Ekologicznie Nieobojętny. *Magazyn Polskiej Akademii Nauk*. 3/63/2020.

Netografia:

- Plastics Europe. Enabling a sustainable future: <https://plasticseurope.org/> Dostęp: 10.04.2023 r.
- *Tworzywa sztuczne – rodzaje, właściwości i zastosowanie*. EBMiA.pl WIEDZA: <https://www.ebmia.pl/wiedza/porady/obrobka-porady/tworzywa-sztuczne-dobor-zastosowanie-przemysle/> Dostęp: 10.04.2023 r.