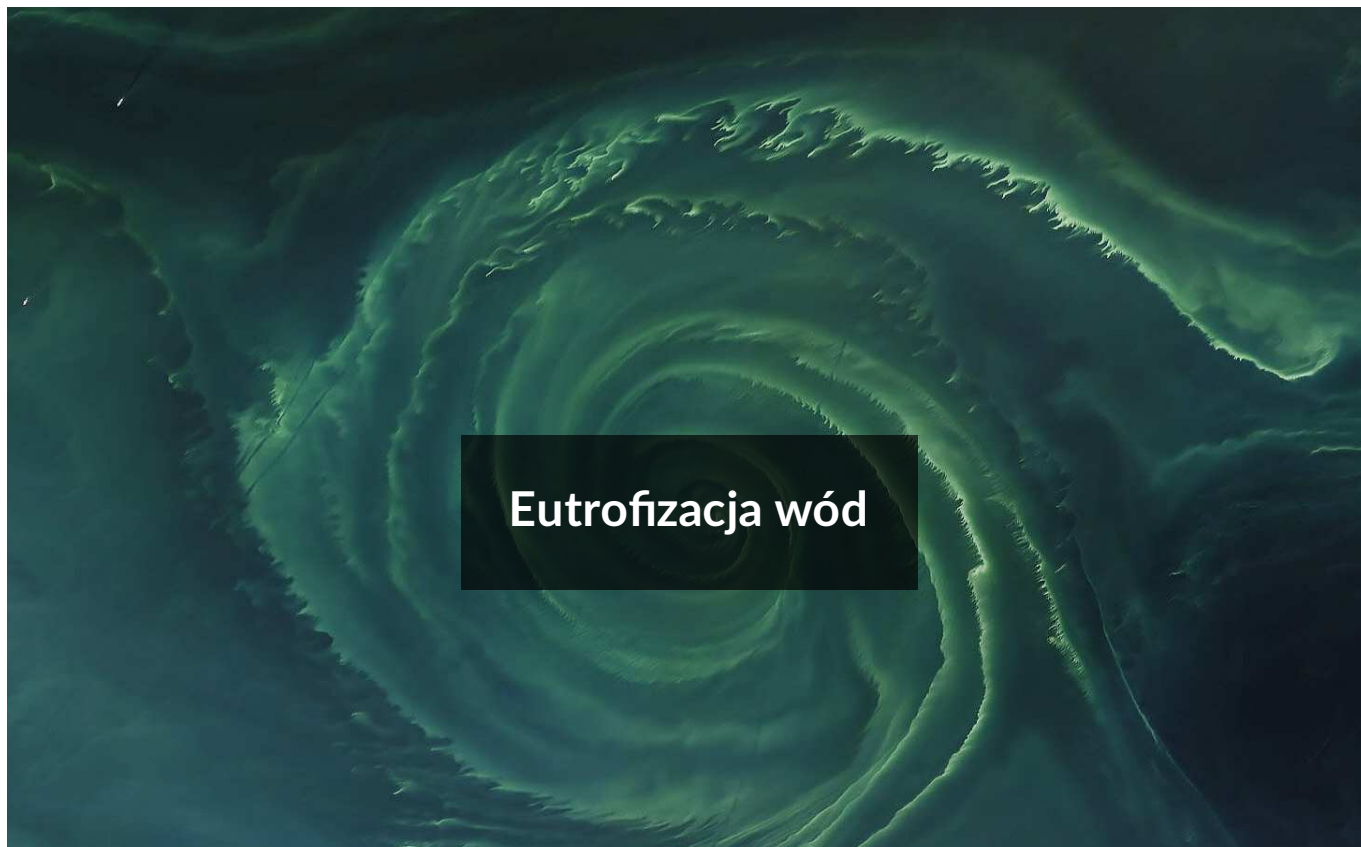




Eutrofizacja wód

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Symulacja interaktywna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Eutrofizacja wód

Niebieskozielone sinice kłębiące się na powierzchni Bałtyku są oznaką przeżyźnienia zbiornika wodnego, czyli eutrofizacji.

Źródło: NASA / LANCE / EOSDIS / Seán Doran, flickr.com, licencja: CC BY-NC-ND 2.0.

Nadwyżka substancji odżywczych w wodach powoduje niepożądane konsekwencje. Gdy jest ona spora, może prowadzić do wymierania organizmów zamieszkujących zbiorniki wodne. Owo zjawisko użyźniania wód pierwiastkami biogennymi – głównie azotem i fosforem – nazywamy eutrofizacją. Wywołuje ono szereg procesów w ekosystemie wodnym. Jednym z nich jest powstawanie przy nadadtku substancji odżywczych tzw. martwych stref.

Twoje cele

- Wskażesz i scharakteryzujesz przyczyny eutrofizacji wód.
- Wyjaśnisz mechanizm powstawania martwych stref w zbiornikach wodnych.
- Ocenisz skutki eutrofizacji dla organizmów i ekosystemów.

Przeczytaj

Eutrofizacja jako naturalne zjawisko zachodzące w ekosystemie wodnym

Eutrofizacja to proces wzrostu żyzności wód. Pojęcie trofii wód jest stosowane w kontekście zasobności wód w biogeny. Eutrofizacja jest zjawiskiem zachodzącym stopniowo, przez długi czas: do jeziora, rzeki czy morza wpływają wody zawierające [pierwiastki biogenne](#) – głównie azot i fosfor – z naturalnych źródeł, pochodzących np. z rozkładu szczątków organicznych. W wyniku tego [fitoplankton](#) i rośliny wodne rozrastają się. Przyrasta biomasa roślin, a w następstwie mnoży się zooplankton oraz ryby. Ekosystem wodny powoli rozwija się i pozostaje w równowadze.

Jak przebiega eutrofizacja spowodowana działalnością człowieka?

Eutrofizacja spowodowana przez ludzi ulega znacznemu przyspieszeniu. W dużo krótszym czasie zwiększa się ilość pierwiastków w ciekach i zbiornikach wodnych – azotu o 80%, a fosforu o 75%. Wynika to z różnych przyczyn: z powodu nadmiernego użycia nawozów na polach uprawnych (25% nawozów przedostaje się z pól do wód), na skutek spływu ścieków – domowych, przemysłowych, odprowadzanych z obiektów hodowli zwierząt, z kopalni, z terenów bez kanalizacji, a także w rezultacie nadużywania związków fosforu w proszkach do prania i innych detergentach. Wzrost stężenia [biogenów](#), będący wynikiem działalności człowieka, zachodzi bardzo szybko, dlatego prowadzi do eutrofizacji przebiegającej inaczej niż naturalna. Skutkuje ona załamaniem równowagi ekosystemu wodnego oraz powstawaniem w nim [martwych stref](#). Kolejne etapy tego zjawiska przedstawia poniższa grafika interaktywna.



1

Nadmiar biogenów trafia do gleby wraz z nawozami stosowanymi w uprawie roślin.

2

Część pierwiastków wsiąka w glebę. Mogą one pozostawać w niej wiele lat, by ostatecznie przesączyć się do wód.

3

Biogeny są wymywane z gleby przez opady lub topniejący śnieg i trafiają do zbiorników wodnych.

4

Przy temperaturze między 23°C a 28°C następuje szybki rozwój sinic, czyli zakwit: woda mętnieje i lekko się pieni, nabiera zielonkawej barwy i nieprzyjemnego zapachu.

5

Gęsta warstwa glonów unoszących się na powierzchni zbiornika wodnego nie pozwala na przenikanie promieni słonecznych do głębszych jego warstw.

6

Rośliny wodne rosnące w głębi oraz przy dnie zbiornika obumierają w wyniku braku możliwości prowadzenia fotosyntezy.

7

Szczątki glonów i martwych roślin opadają na dno. Tam rozkładają je bakterie, powodując ich gnicie. Proces ten zużywa duże ilości tlenu.

8

Niedobór tlenu w wodzie (tzw. hipoksja środowiskowa) prowadzi do śmierci zwierząt oddychających tlenowo, np. ryb. One także opadają na dno – martwa materia gromadzi się tam w coraz większych ilościach. Brak tlenu umożliwia bakteriom beztlenowym rozkład coraz większej ilości szczątków. Produktami tego procesu są: siarkowodór, metan i amoniak, trujące dla zwierząt. W zbiorniku wodnym (także rzece lub morskiej strefie przybrzeżnej) powstaje martwa strefa.

Kolejne etapy eutrofizacji będącej wynikiem działalności człowieka.

Źródło: Englishsquare.pl sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ciekawostka

W 1960 r. w oceanach zidentyfikowano 10 [martwych stref](#). 50 lat później odnotowano ich ponad 450, a liczba ta wciąż rośnie. Szacuje się, że 14% powierzchni Morza Bałtyckiego zajmują martwe strefy.

Podczas [zakwitu sinic](#) woda nie tylko zmienia barwę, smak i zapach, ale również przejrzystość – mętność spowodowana dużą ilością mikroorganizmów stanowi jeden ze wskaźników eutrofizacji.

Ważne!

Woda ze zbiornika dotkniętego zakwittem może być niebezpieczna dla zwierząt i ludzi. Wiele gatunków sinic produkuje toksyny: spośród ponad 5 tys. znanych gatunków morskiego [fitoplanktonu](#) 2% (czyli ponad 100 gatunków) wykazuje działanie szkodliwe lub trujące nawet dla dużych ssaków. Dzieje się tak, gdyż wytwarzane przez sinice związki toksyczne mogą kumulować się w organizmach z wyższych poziomów łańcuchów pokarmowych. W taki sposób giną [fiszbinowce](#) żywiące się krylem, żółwie morskie czy delfiny zjadające ryby.



Do niezwykle toksycznego zakwitu doszło w październiku 2011 r. w Jeziorze Erie, znajdującym się na terenie USA i Kanady. Ulewne deszcze spłukały wielką ilość nawozów z pól do jeziora, co

spowodowało gwałtowny rozwój sinic, wytwarzających trujące mikrocystyny szkodliwe dla zwierząt i ludzi. Fotografia przedstawia Jezioro Erie w czasie zakwitów widziane z kosmosu.

Źródło: Jesse Allen and Robert Simmon, wikimedia.org, domena publiczna.

Do mórz i oceanów spływa coraz więcej [biogenów](#) pochodzących przede wszystkim z rolnictwa. Niegdyś gospodarstwa były niewielkie, rolnicy uprawiali grunty rolne głównie na swoje potrzeby, a obornik zużywali do nawożenia pól. Ze wzrostem zamożności społeczeństwa zwiększyła się jednak konsumpcja mięsa, przez co pojawiła się konieczność zintensyfikowania jego produkcji, to znaczy tuczu zwierząt na rzeź. Aby zapewnić im odpowiednią ilość pokarmu, należało znacząco zwiększyć produkcję zbóż na pasze, a w konsekwencji na polach zaczęto powszechnie i w dużych ilościach stosować nawozy sztuczne. Z farm przemysłowych spłukiwane są coraz większe ilości odchodów do zbiorników wodnych, co skutkuje powstawaniem coraz większej ilości [martwych stref](#) w akwenach morskich i śródlądowych – jest to następstwem [eutrofizacji](#).

Czy ludzie, którzy przyczyniają się do zanieczyszczania wód biogenami, mogą temu zapobiegać? Czy jest możliwe zmniejszenie negatywnych skutków eutrofizacji, skoro nie można cofnąć rozwoju ludzkości?

Na szczęście odpowiedź na powyższe pytania jest twierdząca, gdyż:

1. Można kontrolować skład ścieków komunalnych i przemysłowych oraz usuwać z nich nadmiar [pierwiastków biogenych](#), wykorzystując metody fizyczne i chemiczne. Oczyszczalnie ścieków dzieli się zazwyczaj na oczyszczalnie ścieków komunalnych i przemysłowych. Oczyszczalnie ścieków komunalnych przystosowane są głównie do oczyszczania ścieków bytowych pomieszanych ze ściekami przemysłowymi. Wykorzystują one głównie metody fizyczne, nazywane również mechanicznymi, które polegają na usuwaniu większych ciał stałych oraz zawiesin organicznych i mineralnych za pomocą krat, sitek, tłuszczowników oraz osadników. Z kolei oczyszczalnie ścieków przemysłowych przystosowane są do oczyszczania ścieków powstających podczas różnorodnych procesów przemysłowych. W tych oczyszczalniach częściej wykorzystywane są metody

chemiczne, które przeprowadza się przy użyciu odczynników chemicznych.

Wyróżnia się kilka metod oczyszczania chemicznego: koagulację (podczas której koloidy łączą się ze sobą w większe zespoły), neutralizację (czyli zobojętnianie ścieków), ekstrakcję (rozdzielanie ścieków na dwie cieczce), elektrolizę (zmianę struktury cząstek zawieszonych w ściekach) i destylację (rozdzielanie zawiesiny przez odparowanie z niej cieczy).

2. Można hodować małże (omułki jadalne), pochłaniające azotany i fosforany, jak praktykuje się to w Szwecji we fiordzie Gullmar, w pobliżu oczyszczalni ścieków Lysekil.
3. Rolnicy mogą używać nawozów w sposób, który pozwoli ograniczyć ich negatywny wpływ na eutrofizację wód, np. unikając stosowania nawozów azotowych, gdy spodziewane są większe opady, lub też tworząc [strefy buforowe](#) przy ciekach w celu ograniczenia spływu związków azotu i fosforu.
4. Wszyscy możemy zrezygnować z [detergentów](#) szkodliwych dla środowiska lub choćby ograniczyć ich zużycie.

System recyklingu biogenów pomiędzy rolnictwem a akwakulturą (hodowla w wodzie): z morza na ląd i z powrotem na przykładzie hodowli omułek



Hodowla omułek daje wiele korzyści: dzięki małżom z wody usuwane są związki azotu (jak pokazują wyniki badań ok. 65 t w ciągu 10 miesięcy, czyli 20% dopływu), omułki można zjeść lub wykorzystać jako paszę dla kur, wreszcie – ich muszle i odpady można stosować jako naturalny nawóz na polach żyta.

Słownik

biogeny

(gr. *bios* – życie, *génos* – ród, pochodzenie, gatunek) pierwiastki biogenne kluczowe dla życia; są składową elementów świata nieożywionego oraz budują organizmy i uczestniczą w ich najważniejszych procesach życiowych; należą do nich: węgiel (C), wodór (H), tlen (O), azot (N), siarka (S) i fosfor (P)

chlorofil a

zielony barwnik uczestniczący w procesie fotosyntezy; absorbuje światło; obecny u wszystkich roślin fotosyntetyzujących, a także u alg i cyjanobakterii

detergenty

związki chemiczne obniżające napięcie powierzchniowe wody; są składnikami używanych powszechnie preparatów do mycia (szampony, płyny do kąpieli), prania (proszki, żele) i czyszczenia (płyny, mleczka do czyszczenia); pod względem chemicznym są to sole sodowe estrów kwasu siarkowego i wyższych alkoholi

eutrofizacja

(gr. *eutrophía* – dobre odżywianie) zjawisko użyźniania wód pierwiastkami biogennymi; wywołuje ono szereg procesów prowadzących, w wyniku nadmiaru owych pierwiastków, do zamierania życia w zbiornikach i ciekach wodnych oraz powstawania tzw. martwych stref

fiszbinowce

podrząd ssaków morskich z rzędu waleni, łączący 3 grupy wielorybów oraz pływacze. Nazwa grupy pochodzi stąd, iż zęby występują tylko u płodu, natomiast już w pierwszym roku życia wyrastają tym zwierzętom zwisające z podniebienia rogowe płyty, u dołu postrzępione (tzw. fiszbiny), w liczbie do 800 sztuk, które służą do odcedzania pokarmu, który stanowi plankton

fitoplankton

(gr. *phytón* – roślina, *planktós* – dryfujący) drobne rośliny, w tym glony, unoszące się na powierzchni wody; fitoplankton pełni rolę producenta w ekosystemach wodnych

mikrocystyny

toksyny wytwarzane przez sinice; powodują poważne uszkodzenia wątroby, a transportowane z krwią także naruszenie innych tkanek

martwe strefy

powstające na skutek eutrofizacji obszary wód o zbyt niskiej zawartości tlenu, by mogły zasiedlać je organizmy nim oddychające

sinice

(*Cyanoprokaryota*) prokariotyczne glony mające cechy bakterii, a zarazem zdolne do prowadzenia fotosyntezy

strefy buforowe

strefy oddzielające grunty rolne od wód powierzchniowych zapobiegające dostawaniu się do tych wód zanieczyszczeń rolniczych

trofia wód

termin określający produktywność biologiczną zbiorników wodnych; zależy ona od zasobności wód w pierwiastki biogenne oraz czynników środowiskowych, takich jak np. położenie, budowa geologiczna zbiornika, skład i ilość dostających się do wody nawozów rolniczych czy ścieków, a także składu gatunkowego i liczebności organizmów

zakwit

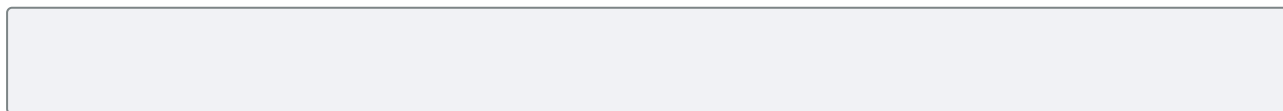
masowy wzrost populacji samożywnych mikroorganizmów (np. glonów czy bakterii) w zbiornikach wodnych i ciekach spowodowany eutrofizacją; w wyniku

tego wzrostu woda mętnieje i lekko się pieni, nabiera zielonkawej barwy oraz nieprzyjemnego zapachu

Symulacja interaktywna

Polecenie 1

Poniższa symulacja interaktywna pokazuje, jak w ciągu pięciu lat zmieniała się zawartość chlorofilu a w zależności od zawartości azotu i fosforu w dwóch rzekach – Dłubni i Sance (Polska, woj. małopolskie). Przeanalizuj dane, a następnie sformułuj wnioski na temat zaobserwowanych przez ciebie związków zachodzących między poszczególnymi parametrami. Pamiętaj, że chlorofil a jest barwnikiem fotosyntetycznym występującym w komórkach fitoplanktonu, a jego cząsteczka zbudowana jest z pierścienia porfirynowego zawierającego atomy azotu oraz długiego łańcucha utworzonego przez resztę alkoholu – fitolu.



Symulacja 1

Kliknij na poszczególne elementy symulacji i obserwuj, jak zmieniała się zawartość chlorofilu a w zależności od zawartości azotu i fosforu w dwóch rzekach – Dłubni i Sance (Polska, woj. małopolskie) w latach 2007-2011.

Wyniki oceny wód powierzchniowych, pobieranych przez krakowskie ZUW w latach 2007–2011, pod względem eutrofizacji. Na podstawie: Waław Adamczyk, Artur Jachimowski, *Wpływ składników biogennych na jakość i eutrofizację powierzchniowych wód płynących, stanowiących źródło wody pitnej*, Żywność. Nauka. Technologia. Jakość., 2013, 6 (91), 175–190.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Wyniki oceny wód powierzchniowych, pobieranych przez krakowskie ZUW w latach 2007–2011, pod względem eutrofizacji. Na podstawie: Waław Adamczyk, Artur Jachimowski, *Wpływ składników biogennych na jakość i eutrofizację powierzchniowych wód płynących, stanowiących źródło wody pitnej*, Żywność. Nauka. Technologia. Jakość., 2013, 6 (91), 175–190.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Polecenie 2

Wyjaśnij, dlaczego zawartość chlorofilu a w wodzie jest wskaźnikiem eutrofizacji.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wskaż główne źródła zanieczyszczeń wód azotem i fosforem.

☐ ścieki komunalne

☐ rolnictwo

☐ hodowla

☐ hipoksja

☐ transport ciężarowy

☐ rybołówstwo

Ćwiczenie 2



Ułóż we właściwej kolejności etapy eutrofizacji spowodowanej działalnością człowieka.

Ginięcie organizmów tlenowych



Niedobór tlenu w wodzie



Tlenowy rozkład szczątków



Rozwój glonów w warstwie powierzchniowej zbiornika wodnego



Nadmierna podaż azotu i fosforu



Rozwój organizmów beztlenowych



Powstanie tzw. martwej strefy



Obumieranie roślin rosnących w głębi zbiornika wodnego



Ćwiczenie 3



Wskaż zdania prawdziwe oraz zdania fałszywe.

	Prawda	Fałsz
Zakwit sinic prowadzi do powstania stref beztlenowych z powodu rozwoju bakterii tlenowych, rozkładających szczątki.	☐	☐
Rolnictwo przyczynia się do eutrofizacji wód z powodu erozji gleby w czasie suchych lat.	☐	☐
Morskie strefy hipoksji (niedotlenienia) powstają w wyniku rozkładu szczątków organicznych przez bakterie tlenowe na morskim dnie.	☐	☐

Ćwiczenie 4



Czy eutrofizacja zawsze jest niekorzystna dla środowiska? Uzasadnij swoją odpowiedź.

Ćwiczenie 5



Wybierz zdanie prawidłowo opisujące strefy buforowe.



Sadzenie roślin przy brzegach cieków nie ma sensu, gdyż korzenie drzew i krzewów nie stanowią bariery dla spływu biogenów.



Sadzenie roślin przy brzegach cieków nie ma sensu, gdyż rośliny wykorzystują azot i fosfor do budowy swoich związków organicznych.



Roślinne strefy buforowe przy ciekach ograniczają dopływ biogenów do wód, gdyż rośliny wykorzystują azot i fosfor do budowy swoich związków organicznych.

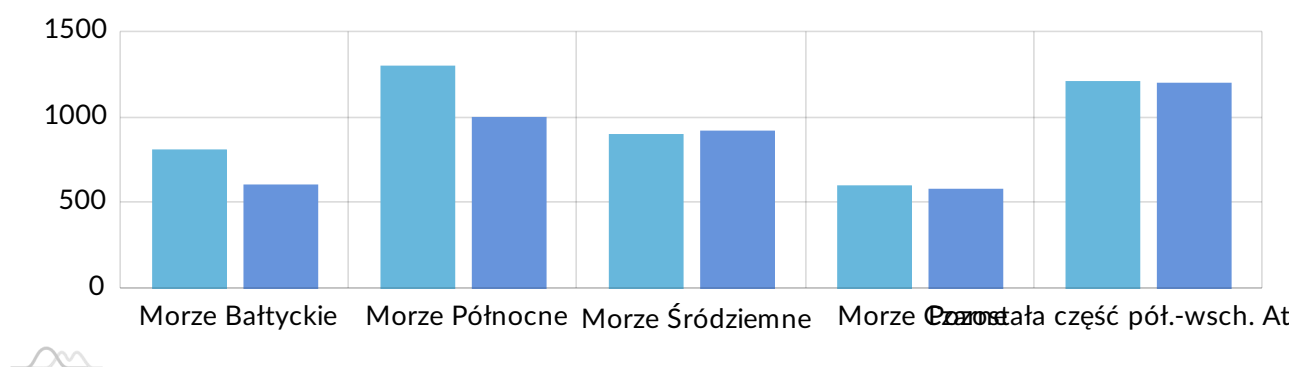


Roślinne strefy buforowe przy ciekach ograniczają dopływ biogenów do wód, gdyż korzenie drzew i krzewów nie stanowią bariery dla spływu biogenów.

Ćwiczenie 6



Na wykresie przedstawiono roczny dopływ azotu (szacowanego w kilotonach) do europejskich mórz w dwóch pięcioletnich okresach: 1985–1990 (kolor zielony) oraz 2000–2005 (kolor granatowy). Przeanalizuj dane, a następnie wyjaśnij, czy rozwój turystyki w basenie Morza Śródziemnego może mieć wpływ na obserwowane zwiększenie ładunku azotu.



Na podstawie: *Nitrogen – nutrient loads to Europe’s seas*, portal internetowy Europejskiej Agencji Środowiska (www.eea.europa.eu).

Ćwiczenie 7

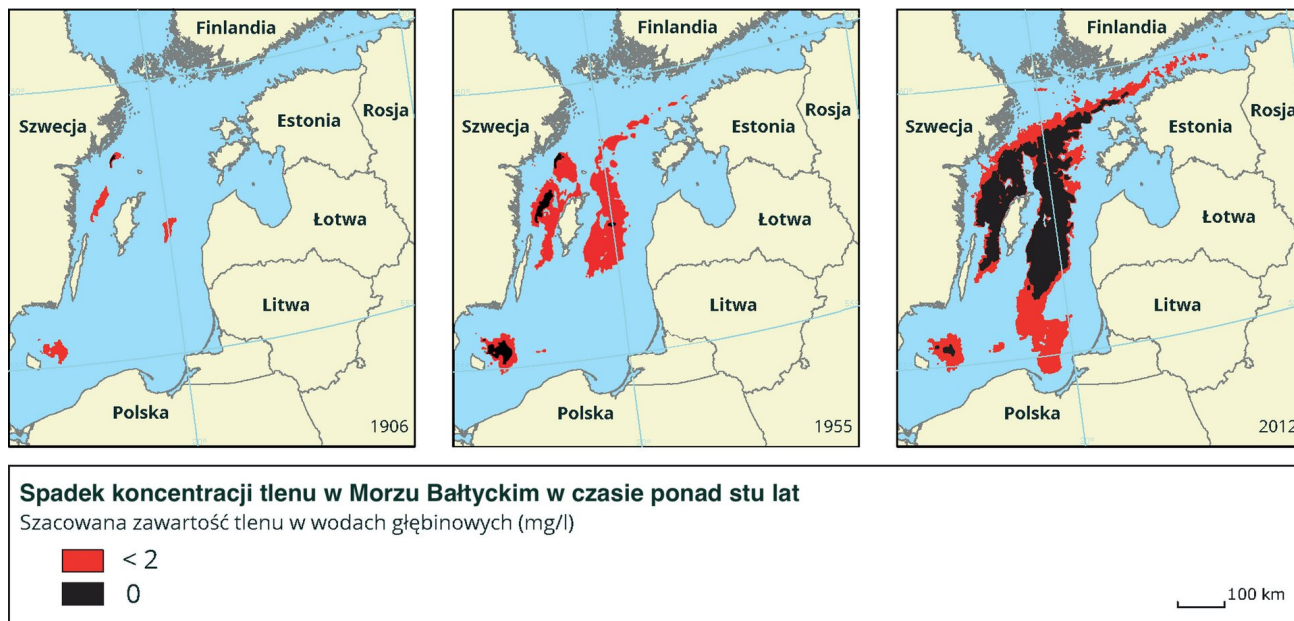


Wyjaśnij, w jaki sposób mieszkańcy krajów nadbałtyckich przyczyniają się do eutrofizacji Morza Bałtyckiego. W swojej odpowiedzi uwzględnij zrzut związków fosforu do morza.

Ćwiczenie 8



Poniższe mapy przedstawiają rozwój obszarów pozbawionych tlenu (tzw. martwych stref), które wytworzyły się w Morzu Bałtyckim w ciągu ponad stu ostatnich lat.



Na podstawie: *Development of oxygen depletion in the Baltic Sea over time*, portal internetowy Europejskiej Agencji Środowiska (www.eea.europa.eu).

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Na podstawie map określ tendencję zmian zachodzących w Bałtyku i podaj przyczynę powstawania martwych stref.

Ćwiczenie 9



Wyjaśnij, jakie znaczenie dla ekosystemu morskiego i dla rybołówstwa mają martwe strefy. W odpowiedzi uwzględnij efekt powstania strefy ubogiej w tlen.

Dla nauczyciela

Autor: Anna Juwan

Przedmiot: biologia

Temat: Eutrofizacja wód

Grupa docelowa: uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie podstawowym i rozszerzonym

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XI. Różnorodność biologiczna, jej zagrożenia i ochrona. Uczeń:

4) wykazuje wpływ działalności człowieka na różnorodność biologiczną;

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

XVIII. Różnorodność biologiczna, jej zagrożenia i ochrona. Uczeń:

4) wykazuje wpływ działalności człowieka (intensyfikacji rolnictwa, urbanizacji, industrializacji, rozwoju komunikacji i turystyki) na różnorodność biologiczną;

Kształtowane kompetencje kluczowe:

- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się;

- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii.

Cele operacyjne (językiem ucznia):

- Wskażesz i scharakteryzujesz przyczyny eutrofizacji wód.
- Wyjaśnisz mechanizm powstawania martwych stref w zbiornikach wodnych.
- Ocenisz skutki eutrofizacji dla organizmów i ekosystemów.

Strategie nauczania:

- konstruktywizm;
- konektywizm.

Metody i techniki nauczania:

- z użyciem komputera;
- rozmowa kierowana;
- dyskusja;
- ćwiczenia interaktywne;
- symulacja;
- gra dydaktyczna.

Formy pracy:

- praca indywidualna;
- praca w parach;
- praca w grupach;
- praca całego zespołu klasowego.

Środki dydaktyczne:

- komputery z głośnikami, słuchawkami i dostępem do internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- tablica interaktywna/tablica, pisak/kreda.

Przed lekcją:

1. **Przygotowanie do zajęć.** Nauczyciel loguje się na platformie i udostępnia uczniom e-materiał „Eutrofizacja wód”. Prosi uczestników zajęć o zapoznanie się z tekstem w sekcji „Przeczytaj”, tak aby podczas lekcji mogli w niej aktywnie uczestniczyć i rozwiązywać zadania.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla na tablicy temat zajęć, nawiązując do zagadnień opisanych w sekcji „Wprowadzenie”. Następnie omawia cele lekcji.
2. **Raport z przygotowań.** Zalogowany na platformie nauczyciel, przy użyciu raportu, kontroluje przygotowanie uczniów do lekcji: weryfikuje, którzy uczniowie zapoznali się z udostępnionym e-materiałem.

Faza realizacyjna:

1. **Praca z tekstem.** Nauczyciel ocenia, na podstawie informacji na platformie, stan przygotowania uczniów do zajęć. Jeżeli jest ono niewystarczające, prosi o ciche zapoznanie się z treścią w sekcji „Przeczytaj”. Jeżeli zaś uczestnicy zajęć zaznajomili się wcześniej z tekstem, prosi, aby w 4-osobowych zespołach wynotowali minimum trzy najważniejsze, ich zdaniem, kwestie poruszone w e-materiale. Na koniec każda z grup na forum przedstawia i argumentuje swój wybór.
2. **Praca w parach z treścią e-materiału.** Uczniowie na podstawie przeczytanego tekstu oraz informacji zawartych w medium w sekcji „Symulacja interaktywna” układają pytania do quizu dla innych par. Nauczyciel wraz z uczniami określa

zasady rywalizacji i punktowania dobrych odpowiedzi (np. gra na czas lub na liczbę poprawnych odpowiedzi). Przeprowadzenie gry w klasie. Nauczyciel lub wybrany uczeń dba o prawidłowy przebieg quizu zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami. Nauczyciel ogłasza zwycięską parę.

3. **Praca z multimedium („Symulacja interaktywna”).** Nauczyciel prosi wybranego ucznia, aby przeczytał polecenie nr 1 (polegające na sformułowaniu wniosków na temat związków między poszczególnymi parametrami zaobserwowanych na symulacji interaktywnej). Poleca uczniom, aby podzielili się na grupy i opracowali w nich odpowiedzi. Po ustalonym wcześniej czasie przedstawiciel wskazanej (lub zgłaszającej się na ochotnika) grupy prezentuje propozycję odpowiedzi, a pozostali uczniowie ustosunkowują się do niej. Nauczyciel w razie potrzeby uzupełnia ją lub koryguje.
4. **Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie dobierają się w pary i wykonują ćwiczenia od 6 do 8 (odnoszące się do wykresu przedstawiającego dane na temat dopływu azotu do Morza Bałtyckiego i Północnego oraz do mapy prezentującej martwe strefy w Morzu Bałtyckim) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie konsultują swoje rozwiązania z inną parą uczniów i formułują wspólne uzasadnienia. Nauczyciel w razie potrzeby naprowadza ich na prawidłowy tok rozumowania. Chętni prezentują odpowiedzi na forum klasy. Nauczyciel udziela informacji zwrotnej.
5. Nauczyciel wyświetla na tablicy po kolei ćwiczenia nr 1, 2, 3, 4 i 5 (sprawdzające wiedzę na temat eutrofizacji wód). Zespół klasowy zostaje podzielony na 4-osobowe grupy, które rozwiązują zadania na czas. Najszybsza grupa przedstawia swoje propozycje i omawia je na forum klasy. Pozostali uczniowie weryfikują przedstawione odpowiedzi. Jeśli są one poprawne, grupa wygrywa.

Faza podsumowująca:

1. Ochotnicy definiują pojęcia: eutrofizacja, biogeny, chlorofil A, mikrocyстыny, trofia wód.
2. Na koniec zajęć nauczyciel raz jeszcze wyświetla na tablicy interaktywnej lub przy użyciu rzutnika temat lekcji i cele zawarte w sekcji „Wprowadzenie”, w tym kontekście podsumowuje pracę uczniów na zajęciach.

Praca domowa:

1. Wyobraź sobie, że masz okazję przeprowadzić wywiad z naukowcem – specjalistą w dziedzinie, której dotyczy e-materiał. Sformułuj pytania, które chcesz mu zadać.

Materiały pomocnicze:

- Jane B. Reece i in., „Biologia Campbella”, tłum. K. Stobrawa i in., Dom Wydawniczy REBIS, Poznań 2021.
- „Encyklopedia szkolna. Biologia”, red. Marta Stęplewska, Robert Mitoraj, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2006.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania symulacji interaktywnej:

- Nauczyciel może wykorzystać symulację interaktywną m.in. na lekcji „Sinice i rewolucja tlenowa”.